

天ヶ瀬ダム貯水池崩壊地の現状について

唐松 雅司¹

1 近畿地方整備局 河川部 河川工事課 (〒540-8586 大阪府大阪市中央区大手前 1-5-44)

天ヶ瀬ダム貯水池の法面崩壊を含む重力変形の周辺地形について、過去の文献調査や現地踏査の結果を踏まえ、高品質コア採取のため気泡式機械ボーリング、ボアホールスキャナー観測等の地質調査を行い、崩壊箇所周辺に観られる重力変形に対し、その性状・素因・構造等を考察した。また、水位観測、地震計測及び孔内傾斜計により観測を実施したのでその現状について報告するものである。

キーワード ダム貯水池、法面崩壊、重力変形、高品質コア採取

1. はじめに

天ヶ瀬ダムは、淀川水系宇治川の上流域に位置し、琵琶湖から流出する瀬田川(京都府・滋賀県境付近で宇治川となる)の下流に建設されたドーム型アーチ式ダムである。

1953年(昭和28年)に台風13号が襲来し、宇治川向島の破堤や淀川に未曾有の大洪水をもたらしたことをきっかけとして、1954年(昭和29年)に淀川改修基本計画が決定され、1959年(昭和34年)に建設に着手し、1964年(昭和39年)に完成した、治水・利水・発電の3つの目的をもつ、多目的ダムである。

現在、天ヶ瀬ダムの放流量を増加させて、洪水調節容量の有効活用を図り、かつ上流琵琶湖の浸水被害を低減させる天ヶ瀬ダム再開発事業が琵琶湖河川事務所で実施されている。今回報告するダム貯水池の崩壊箇所周辺の斜面は、天ヶ瀬ダム再開発事業の調査段階で、地質の学識者から重力変形に伴う深層崩壊の可能性があることが指摘された。

近年、2011年(平成23年)9月の台風12号により、紀伊半島の広域で斜面崩壊が発生した紀伊半島大水害や、今年4月に大分県中津市で発生した大規模法面崩壊の事例は記憶に新しい。

対象斜面地で大規模な法面崩壊が、発生すると、その段波でダム本体や関連施設に大きな被害を受ける懸念があり、またダム貯水容量が崩壊土砂によって減少しダム機能を著しく失う可能性もある。

今回、学識者の指導を受けながら、ダム管理者の立場から崩壊地の地質調査を実施したので、その結果を報告する。(図-1 参照)

2. 貯水池法面崩壊地について

(1) 天ヶ瀬ダム周辺の地形

調査箇所は、京都府宇治市槇島町地先の天ヶ瀬ダム堤体上流約2kmの貯水池右岸斜面に位置し、

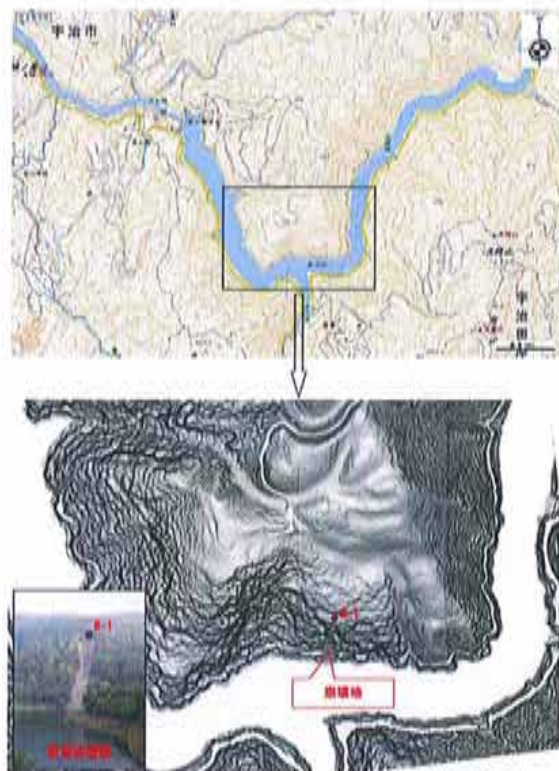


図-1 調査箇所の位置図及び地形図

対岸左岸には支川田原川が合流している。ダム貯水池周辺の醍醐山地は、南北に延びる標高約500m前後の山地で、西側外縁部には黄檗断層が、東側外縁部には膳所断層が分布している。瀬田川、田原川および志津川や、これらに合流する大小の沢により浸食を受け樹枝状の比較的密な谷系が発達し、河川や沢沿いは急峻な地形を形成している。

調査対象地付近では、宇治川は西へ流下しており、当該崩壊箇所以外には規模の大きい地すべり地形は認められないものの、貯水池の影響を受けない箇所に、緩傾斜面と馬蹄形急傾斜地形の組合せの

地すべり状地形が分布して表層崩壊の痕跡が認められる。

また、対象地周辺の地質は、主に砂岩と泥質岩(頁岩)からなる基盤である丹波帯Ⅱ型地層群と、それらを覆う第四系大阪層群と段丘堆積物によって構成されており、一般的な走向は北西-南東方向で、南西向きに傾斜する。

(図-2 及び 図-3 参照)

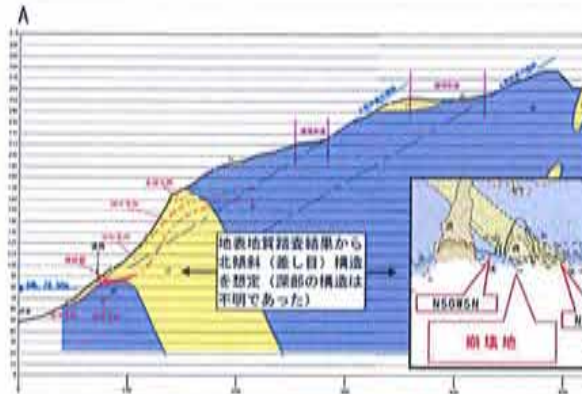


図-2 崩壊地の地質断面図



図-3 崩壊地周辺の地質平面図

(2) 既往調査における評価について

2015年度(平成27年度)迄の現地踏査等で、学識者から次のような主要な指摘を受けている。*1)

- a) ダム湛水前の支川田原川の水衝により、宇治川右岸部の対象地下流に位置する斜面が剝離され、斜面上部に表層崩壊が進行していると推測。
- b) 層理面の開口などのゆるみを示す事象は、山腹斜面全体に見られるが、沢内部では新鮮な岩盤が露出し、ゆるみが認められず、ゆるみの範囲は、斜面表層部に限られるものと推察される。
- c) 崩壊地は、層理面の走向が斜面に平行な箇所、泥岩(頁岩)分布域で、地山内に強ゆるみ部が

形成され、降雨を誘因とし発生したと推察される。

- d) 地形判読の結果、重力変形を疑わせる箇所が存在し、地表踏査では地山深部の状況が明確にできず、規模および変形機構が不明である。

3. 地質調査について

(1) ボーリングコア観察・解析

今回、機械ボーリングφ86mmの気泡ボーリング(B-1)について、現況河川河床高を目標に、高品質コアを141m採取した。なお、コアの整理に際しては、「ボーリング柱状図作成要領(案)改訂版」に準拠し、学識者の指導を受けながら表土・頁岩・砂岩の3区分に整理した。*2)

- a) 0.00~1.20m; 表土、崖錐堆積物
 - ・表土は茶褐色を呈する腐葉土。
 - ・崖錐堆積物中には木根混じる。円礫はなし。



(写真-1) 表土(0.00~1.20m) 代表コア

- b) 1.20~33.45m; 頁岩
 - ・主に丹波帯Ⅱ型地層群の頁岩で構成される。
 - ・砂岩岩片は概ね硬質だが、頁岩の一部が破碎され角礫ないし粘土化している。風化は全般に認められる。



頁岩の健全部分(深度18~18.25m)



砂岩ブロックを混在する頁岩(深度24~27m)

(写真-2) 頁岩(1.20~33.45m) 代表コア

- c) 33.45~141.00m; 砂岩
 - ・主に丹波帯Ⅱ型地層群の砂岩で構成される。
 - ・砂岩岩相は含礫、粗粒、中粒、細粒、砂岩頁岩互層に細分される。



砂岩中の層状頁岩(深度42.45~42.75m)

(写真-3) 左岸(33.45~141.00m) 代表コア

(2) 岩級及び破碎度

(B-1)孔についての、岩級区分及び破碎度については、既往業務に準拠して区分を行った。*1)

なお、「Cl~Cr1a」は重力変形に伴う破碎を示し、「-」は破碎が無いことを示す。また「Sh」については重力変形ではなく造構運動に伴う破碎を示している。(表-1 及び 表-2 参照)





岩級	代表的な細区分組合せ	代表的コア写真
CH	AH a, AH b	 深度130~140m付近
CM	BH b, BH b	 深度74~75m付近
CL	BV b, CIV c	 深度72~73m付近
D	DV d	 深度20~21m付近

表-1 (B-1)各岩級区分の代表コア














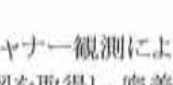
区分	イメージ	特徴・コア写真
Cl		粘土~砂岩  代表的な破碎度Cl (深度31.65~31.15m)
Cr4		角礫岩性、角礫の中央径12~5 mm、基質の量100%以上。 Crに該当するコアなし
Cr3		角礫岩性、角礫の中央径13~18 mm、基質の量100%。 代表的な破碎度Cr3 (深度6.45~6.5m) 
Cr2		角礫岩性、角礫の中央径15 mm以上、基質の量100%未満。 代表的な破碎度Cr2 (深度30.35~30.65m) 
Cr1b		細粒物が多い割れ目を有する。 代表的な破碎度Cr1b (深度10.8~10.8m) 
Cr1a		開口割れ目。 代表的な破碎度Cr1a (深度76~78m) 
-		面割れ目。
Sh		断面による破碎。 代表的な破碎度Sh (深度107~109m) 

表-2 (B-1)孔 コア破碎度区分

(3) 観測及び解析について

a) ボアホールスキャナー観測

(B-1)孔においてボアホールスキャナー観測により深度6.7m~141mまでの孔壁展開図を取得し、密着および開口割れ目、層理、破碎度境界、剪断境界、石英脈を面として識別し、採取コアとともに法面崩壊性状・素因の解析の基礎資料とした。(表-3 参照)











面区分	定義	コア	ボアホールスキャナー
割れ目	割れ目 (密着または開口)		
層理	層理面		
破碎度境界	破碎度区分 Cr2, Cr3, Cr1 の境界		
剪断境界	破碎度区分Shの境界		
石英脈	石英脈		

表-3 B-1コアの識別面区分

b) 不連続面解析

ボーリング孔の下向きに取り付けられたカラー CCDカメラより下方映像を得ることができ、静止画像は、(図-4)のように北(真北)方向を中心に南方向を切り開いたかたちでモニタに表示される。

静止画像1画面の表示している深度は約25cmで、鉛直孔の場合、画面の向きは左から右に南・西・北・東・南の順となっている。

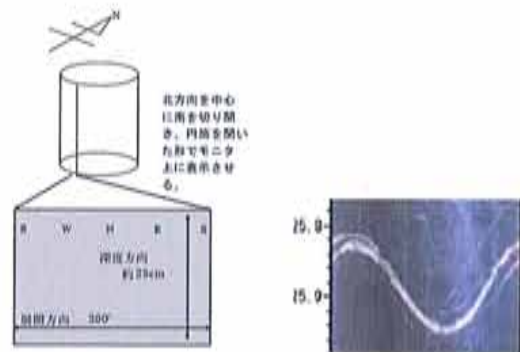


図-4 孔壁展開画像

孔壁展開画像の結果から、開口割れ目の分布や岩相の変化等について、孔内観測図および割れ目について整理を行った。割れ目や層理面などの走向・傾斜は以下のようにして得ることができる。

「北から θ° 西」の走向をもち、「南に α° 傾く」割れ目がボーリング孔を横切っている場合、(図-5)のように割れ目は展開図上で、周期関数(正弦・余弦)として表示される。鉛直なボーリング孔の場合、割れ目の走向は北から割れ目の最大傾斜と中央水平線

の交点までの角度(θ)と一致し、傾きは割れ目の最大傾斜と中央水平線のなす角度(α)と一致することになる。

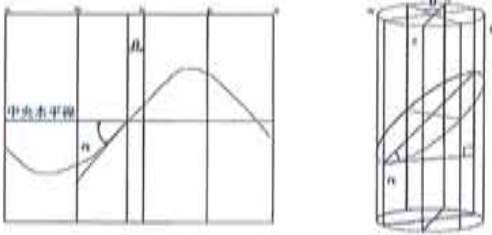


図-5 ステレオネット投影結果例

c) ステレオネット解析

不連続面解析によって得られた各不連続面の割れ目、層理面などの区分に応じた走向傾斜をステレオネットに投影し、卓越する走向傾斜から、調査箇所の地質構造や、ゆるみ構造の特性を「極」と呼ばれる点に変換し把握したデータをシュミットネット図という割れ目解析図を作成して対象地の地質構造やゆるみ構造の特性を把握する基礎資料を得る。

(図-6 参照)

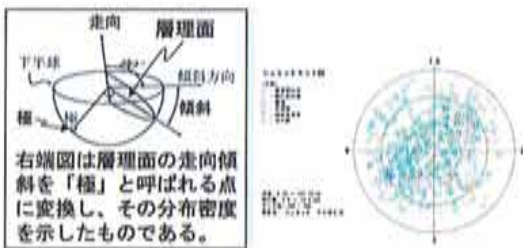


図-6 シュミットネット図

(4) 孔内傾斜計

孔内傾斜計は、ダム貯水池の横断方向(南北方向)にA軸、縦断報告(東西方向)にB軸として、毎月1回実施した観測結果を以下に示す。

A、B軸方向とも、0.5mm以内の変位であった。

(表-4 参照)

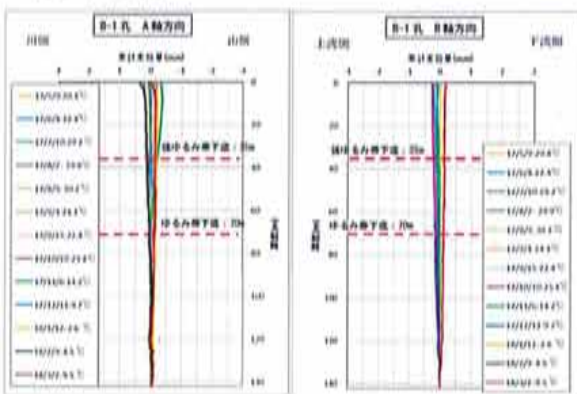


表-4 (B-1) 孔 孔内傾斜計観測結果

(5) 地下水位観測計

地下水位観測については、(B-1)孔の掘進時に孔内水位がほとんど確認されず、地下水供給が少ないと推察されるため、降雨時の表層部の水位を測る水深孔を15mとした。

なお、表層面の流水を遮蔽するためGL-2.5mをモルタル注入し、GL-2.5~14mに降水時の一時的な地下水上昇の有無を把握できるようストレーナを設置、最下端の1mは泥溜めの無孔部とした。

(図-7 参照)

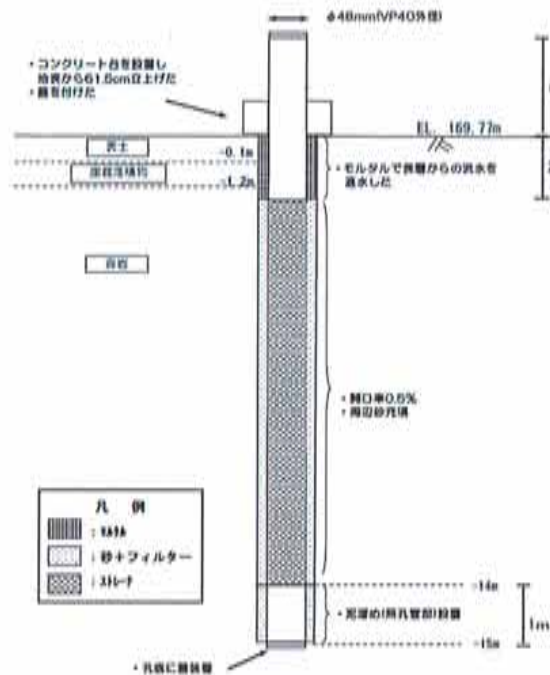


図-7 (B-2)孔(地下水観測井)の井戸構造

2017年(平成29年)の自記水位計での観測結果は、大雨時(台風21号:10月23日など)でも水位上昇は認められていない。(表-5 参照)

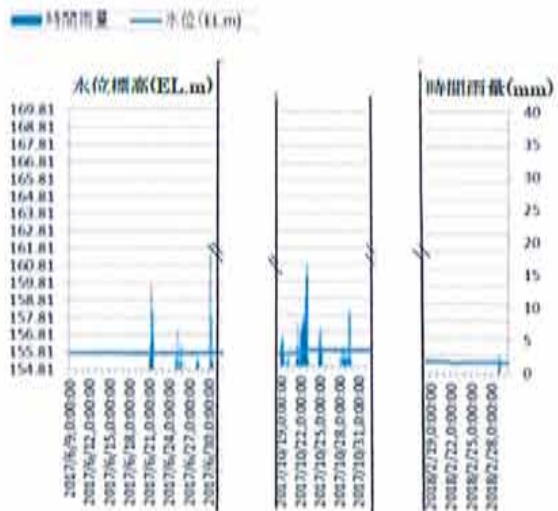


表-5 (B-2) 孔 降雨量及び水位観測結果

(6) 地震計

(B-1)近傍地点に地震計の南北方向をX成分、東西方向をY成分となるよう設置した。この計器は、微弱な揺れから震度6程度の揺れまで連続して記録できる。また、電源となるソーラーパネル(幅150cmのパネル1枚)も併せて設置した。

地震計は、一時電源不足で欠測したが、概ね正常に作動しており、観測期間中に検知した地震について下記のとおり記載する。(表-6 参照)

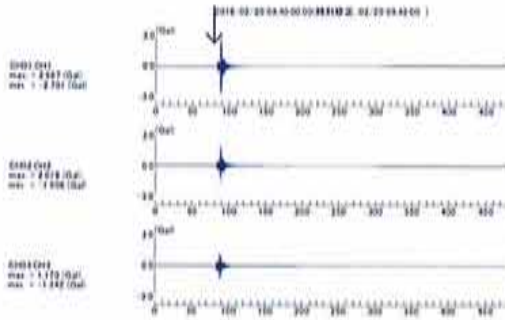


表-6 京都府南部H30.2.20 9:41 地震の記録

4 総合解析

地質解析及び観測結果から、天ヶ瀬ダム貯水池法面崩壊箇所における重力変形の性状・素因及び形成過程を考察し、現状を整理する。

(1) 地質構成と全体構造

深部における高品質地質調査で確認した結果、露頭と同様に、頁岩および砂岩が分布することが把握された。丹波層群に属する対象地周辺の一般走向傾斜が北西-南東走向、南西傾斜であることから、南斜面に位置する対象地においては、事前の想定どおり「曲げトッピング」の重力変形が生じたと考えられる。(図-10 参照 文末記載)

降雨による地下水水位について、これまでの観測では、水位上昇が確認されておらず、崩壊箇所では、地山表面で排水されていると推測される。

(2) 深度方向の走向傾斜の変化

高品質コアによる直接的な岩質確認とボアホールスキャナー解析による層理面の特性から、3つの深度区分(深度35mまで、深度70mまで、深度141mまで)に区分して整理を行う。(図-8 参照)

a) 深度70mまでの層理面の走向は東北東下がり(対象地の東西斜面に対し差し目)であるのに対し、以深の走向は南南西下がり(流れ目)と異なるものの、概ね調査対象地周辺における丹波層群の一般走向傾斜(北西-南東方向)と調和的である。

b) 深度区分ごとのシュミットネット解析図においての見かけ傾斜からは、深部の南傾斜の地層が浅部で傾き、北傾斜となる変形構造が示唆される。

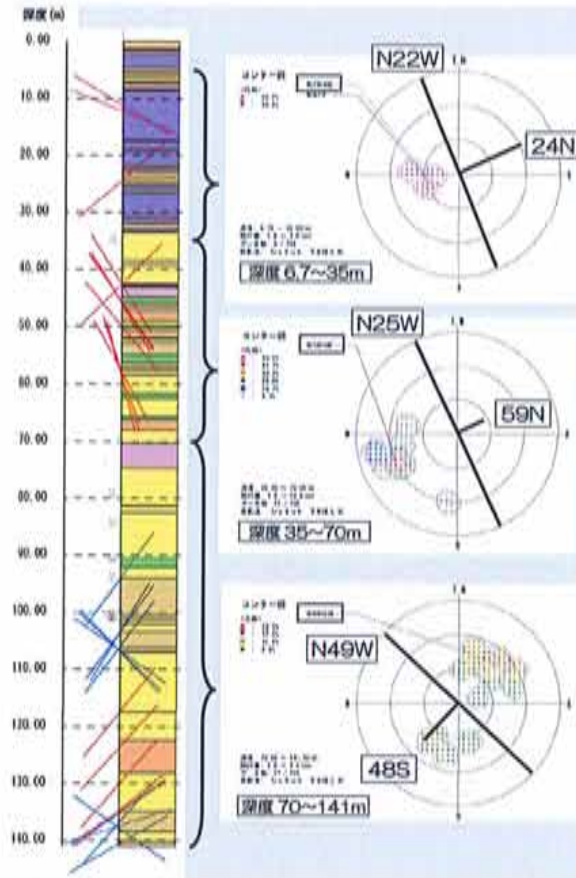


図-8 B-1深度別走向傾斜及びシュミットネット図

(3) ゆるみの変化と区分

割れ目本数は、深度による差異が少なく、深部から浅部に向けての累積勾配は一定で変化に乏しい。

よって、この項目から、B-1孔におけるゆるみ特性を把握するのは、現時では困難である。

(図-9 参照)

a) 強ゆるみ帯(深度35m以浅)

- ・非破碎は認められず、破碎度Cr1bを主体とし、破碎度Cr3とCr2が多く認められる。
- ・頁岩が割れやすく小片状・礫状をなすため開口として捉えられない。このため、割れ目累積分布図において、開口量の累積勾配は下位より緩やかになっている。
- ・しかしながら、破碎状況からゆるみ程度は下位より大きいと判断し、強ゆるみ帯と位置づけられる。

b) ゆるみ帯(深度35~70m)

- ・破碎度Cr3とCr2が散在し、それ以外も破碎度Cr1bまたはCr1aとわずかながら破碎されている。非破碎は下位に比べ少ない。

・開口量の累積勾配が下位に比べ急となることから、ゆるみが生じているものと判断し、ゆるみ帯と位置づけられる。

c) 非ゆるみ帯(深度70~141m)

・破砕度 Cr3 と Cr2 が散在するが、上位に比べ非破砕のゾーンが多く認められる。特に深度 117.4~117.5mmの Cr3 が本孔における最も深い重力変形に伴う破砕で、これより深部に重力変形を示唆する破砕は認められず、非ゆるみ帯と位置づけられる。

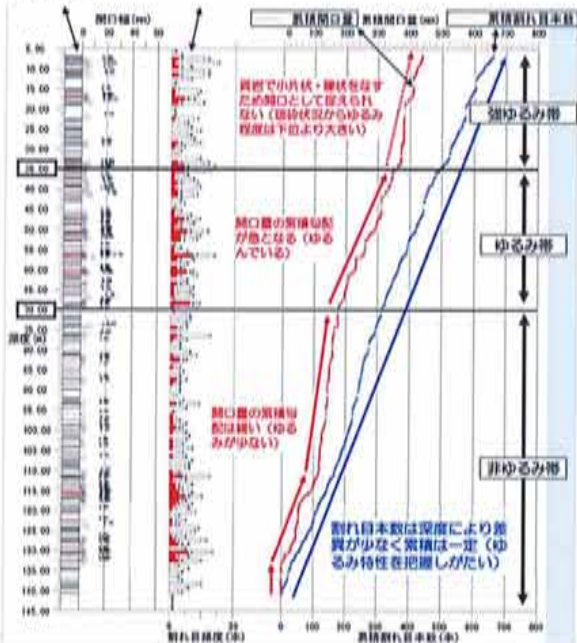


図-9 割れ目頻度(本数)とゆるみ区分

5. おわりに

現時点の調査及び観測において、深層崩壊が絶対に発生しないとは、断言できない状況である。

しかし、崩壊地深部の地質状況や孔内傾斜計を設置したことで、今後の大雨及び地震後の観測結果と比較し、崩壊原因解明の基礎になると考える。

完成後半世紀をこえる天ヶ瀬ダムが、今後も引き続き、治水・利水・発電及び地域の発展を支え続ける存在であるよう、日々精進しなければならない。

謝辞:

今回、現地踏査・コア検定・解析においてご指導頂きました学識者をはじめ、調査頂いたコンサルタントや調査協力を頂きました関係自治体・地権者、並びに発表の機会を与您頂きました淀川ダム統合管理事務所職員の皆様に心から感謝致します。

異動に伴う対応:

元淀川ダム統合管理事務所管理課、現在河川部河川工事課に在席

参考文献

- 1) 琵琶湖河川事務所:平成27年度 天ヶ瀬ダム再開発事業地下水分析業務
- 2) 脇坂ほか: 2012年 地すべり移動体を特徴づける破砕岩
- 3) (財)日本建設情報総合センター:平成11年5月ボーリング柱状図作成要領(案)改訂版



図-10 崩壊箇所周辺の重力変形全体像

奈良県の総合治水における取組の 現状・課題・対応について

井上 貴照

奈良県 県土マネジメント部 河川課 (〒630-8501 奈良市登大路町30)

昭和57年8月の大和川大水害を契機に、国、奈良県、大和川流域内の24市町村からなる「大和川流域総合治水対策協議会」を設立し、大和川流域整備計画を策定しました。その整備計画において、治水対策と流域対策でそれぞれの流量分担量を決定しました。その流量分担量を目指して治水対策と流域対策を組み合わせた総合治水対策をこれまで取り組んできました。しかし、近年新たな課題が発生し、その課題を解決するために「大和川流域における総合治水の推進に関する条例」の制定が必要となりました。その条例が必要となった課題とその課題の解決に向けた取り組みについてご紹介していきます。

キーワード 減災, 安全対策, 防災

1. はじめに



図-1 大和川流域

奈良県では、大和川流域において昭和57年8月の「大和川大水害」を契機に、当時の建設省、奈良県、大和川流域25市町村からなる「大和川流域総合治水対策協議会」を設立し、河川改修やダム建設などの「治水対策」とともに、流域内で一時的に雨水を貯める「流域対策」を行う「総合治水対策」を昭和58年から取り組んできました。また、協議会において、「治水対策」と「流域対策」でそれぞれの分担量を決定した大和川流域整備計画を昭和60年7月に策定し、総合治水対策に取り組んできました。

2. 大和川流域の特徴

総合治水対策に取り組んでいる大和川流域は、地形的な特徴と社会的な特徴のふたつの特徴がみられます。まず、地形的な特徴では、放射線状に河川(157河川)が集まり、流域内で合流しながら1本の和川となり、生駒・金剛山地に挟まれた亀の瀬を抜け、大阪へ流れています。また、四方を山地に囲まれたお皿のように窪んでいる盆地であり、雨水がたまりやすい地形となっています。次に社会的な特徴は、京阪神地区に隣接し、交通の利便性が高いことから、昭和30年代後半から人口が増加し、急速に市街地化が進んだことによって、土地の保水機能は失われ、雨水流出量が増加しています。このふたつの特徴から、大和川流域は、浸水被害が起こりやすい地域ということが分かります。

3. これまでの総合治水対策の取り組み

昭和60年に策定された大和川流域整備計画は、総説、流域の現況、流域整備の基本方針、「治水対策」、「流域対策」などから構成されており、「治水対策」(1790 m³/s)と「流域対策」(310 m³/s)でそれぞれの分担量を決めています。また、大和川の流量分担に基づき、奈良県と市町村の流域対策(雨水貯留浸透施設及びため池治水利用)の最小必要量に合意した大和川流域整備計画実施要領を策定しています。これまで、この大和川の流

量分担量を目指して、“治水対策”では河川改修や遊水地、ダムなどの川の水を安全に流す施設整備を行い、“流域対策”では防災調整池や雨水貯留浸透施設、ため池治水利用などのための機能と保水機能で河川への流出を抑制する対策を行ってきました。

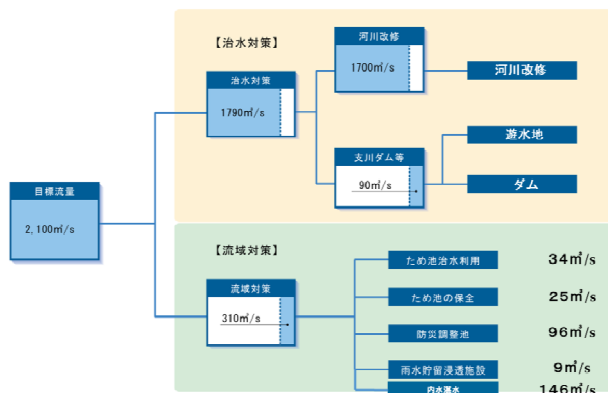


図-2 大和川の流量分担図

すが、市町村のため池治水利用施設は目標に対して平成28年3月末時点で約43%と低迷しています。また、目標を達成した市町村がある一方で、ほとんど実施していない市町村があるなど、その取り組み状況にバラツキがあります。

(2) 防災調整池の設置を必要としない小規模開発の増加

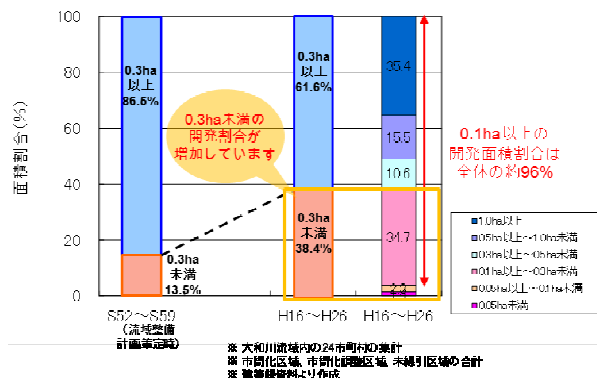


図-4 大和川流域内の開発許可面積割合の変化

4. 新たな課題

しかし、近年流域対策で様々な新たな課題がでてきました。

(1) “流域対策”の低迷とバラツキ

表-1 流域対策の対策率

【雨水貯留浸透施設】	【ため池治水利用施設】
対策率 : 150.8%	対策率 : 43.3%
最小必要量 : 69,000㎡	最小必要量 : 1,000,000㎡
対策済み量 : 104,023㎡	対策済み量 : 433,262㎡

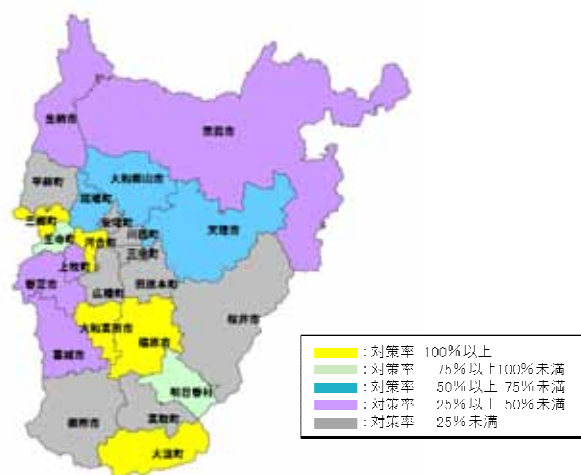


図-3 大和川流域内のため池数の変遷

県と市町村は、雨水貯留浸透施設とため池治水利用施設についての目標整備量を計画して整備を進めていま

開発行為等による雨水の流出量の増加を抑制するために、これまで0.3ha以上の開発行為については、流出量の増加を抑制する防災調整池の設置を義務づけていましたが、近年、設置対象とならない開発行為の割合が、流域整備計画策定時に想定していた13.5%（昭和52～59年）から38.4%（平成16～26年）と約3倍になっています。0.3ha未満の割合が高くなると、流域整備計画策定時に見込んでいた防災調整池の対策量（96㎡/s）を下回り、“流域対策”の対策量にも影響がでてきます。

(3) ため池の減少

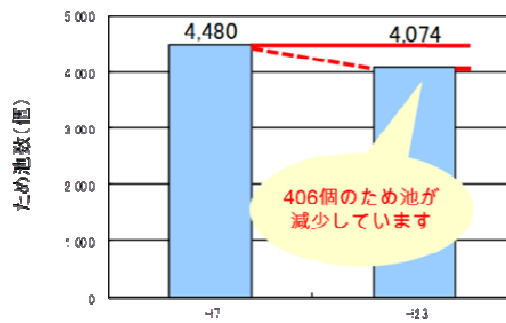


図-5 大和川流域内のため池数の変遷

大和川流域内に存在するため池は、水田などの減少に伴い、平成7年には約4500個ありましたが、約15年で約400個減少しており、大和川流域内におけるため池の有する保水力が低下し、河川への雨水流出量の増加につながります。

(4) 浸水区域の土地利用

市町村が都市計画法に基づき、市街化調整区域内でまちづくりや開発をする計画を策定している地区の中には、浸水実績のある区域を編入してきた経緯があります。浸水被害のおそれのある区域において市街化を図ると自らが浸水被害に遭うリスクが高まります。また、盛土を行うと周囲に浸水区域が拡大してしまいます。

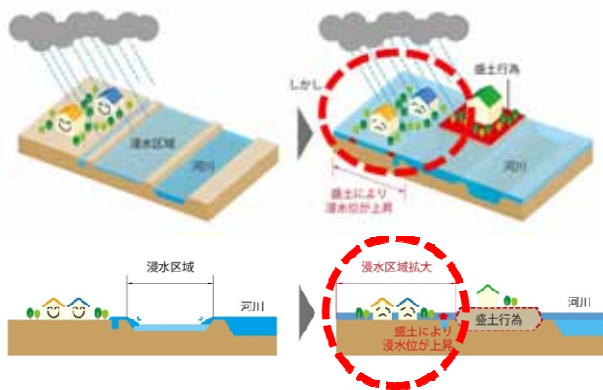


図-6 浸水区域拡大イメージ図

5. 課題解決に向けて

このような課題を解決するために、「大和川流域における総合治水の推進に関する条例」を制定しました。

(1) “流域対策”の低迷とバラツキに対する解決策

具体的には、“流域対策”の分担量を確保するため、耕作面積の減少に伴い、不要となった利水容量を治水容量に転換するなどの工夫により、ため池治水利用の促進を図るとともに、新たな“流域対策”のメニューとして水田貯留を条例に位置づけ取り組んでいくことで課題解決を図ります。また、流域の上下流市町村と県が支川流域毎に総合治水の推進に関する協定を締結し、計画を策定したうえで、県は計画に基づく市町村の施策を積極的に支援することで、上下流市町村の認識の差を解消し、“流域対策”の推進につなげていきます。

(2) 小規模開発の増加に対する解決策

防災調整池の設置対象面積を0.3haから0.1haに強化し、より多くの開発行為に対し防災調整池の設置を求めます。また、新たに設けられた施設については、管理者を届け出てもらって県が定める維持管理基準に基づき機能を維持するために適正な管理を義務づけ、違反した場合は罰則を適用することで実効性の担保を図ります。

調整池の設置の対象

開発面積が **1,000㎡** 以上

調整池の設置が完了した時

- 設置完了時に管理者等の届出が必要です
- 管理者が変更する場合も届出が必要です

設置後の維持管理

機能を維持するための、適正な管理が必要です

防災調整池設置、適正な維持管理義務の違反について
知事の命令に従わない場合、**罰則**が適用されます。

図-7 調整池設置対象について

(3) ため池の減少に対する解決策

満水面積が1000㎡以上のため池を潰廃する場合は県に届け出ることで、また流出抑制対策を行ってもらうことで課題解決を図ります。

(4) 浸水区域の土地利用に対する解決策

市街化調整区域の中で10年に1回の割合で発生すると予想される雨（時間雨量50mm程度）が降った場合、浸水深が50cm以上になると予想される区域を「市街化編入抑制区域」として指定し、公表することで都市計画法による市街化区域への編入の抑制を図ります。

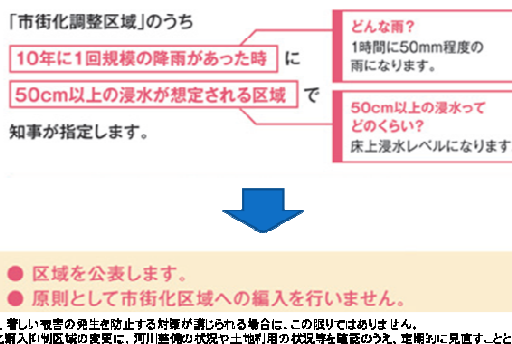


図-8 市街化編入抑制区域の指定イメージ図

6. “流域対策” 対策量の再検討

(1)～(4)の課題については、上記の解決策で課題解決を図りますが、「(2)防災調整池の設置を必要としない小規模開発の増加」、「(3)ため池の減少」の2つの課題で失われた保水機能については、何も対策がとられていない状況です。具体的には、流域整備計画に基づく設置予測割合と現在（H16～H27）の設置割合と比較すると、最低でも約67000㎡の容量が防災調整池の設置をしない

ことで失われたままになっており、これは現在取り組んでいる雨水貯留浸透施設（市町村）の最小必要量（69000m³）に相当します。ため池についても、潰廃されたため池の総面積21.4haのうち3.9haは調整池による保水機能の復元を行っていません。失われた保水機能は、潰廃されたため池が集水域のない皿池と仮定した場合、約2240m³となります。この状況を変えるために、“流域対策”の雨水貯留浸透施設やため池治水利用施設の最小必要量を見直すことや、県や市町村が行う開発事業に対しての防災調整池技術基準を新たに策定し、適用するなどの対策の検討が必要になると思います。

7. さいごに

9月の県議会において、「大和川流域における総合治水の推進に関する条例」が可決されました。この条例は平成30年4月1日から施行され、これから総合治水のさらなる推進を図っていきます。また、これを機会に一般の方も水害について今一度考えていただき、雨どいから流れ落ちる水をバケツに貯めて花への水やりや、大雨の時にお風呂の水を流すのを少し待って貯めておくなど、一人一人が身近にできる総合治水対策をしていただけたらと思います。

排水作業準備計画の作成について

米田 直起¹

¹近畿地方整備局 大和川河川事務所 調査課 (〒583-0001 大阪府藤井寺市川北3-8-33)

「水防災意識社会」再構築に向けた緊急行動計画の取り組みとして、全国的に平成32年度までに長期にわたり浸水が継続する地域などにおいて、排水作業準備計画を作成している状況である。近畿地方整備局では、他地整からの広域的な支援も必要なことを踏まえ、整備局内で統一的な観点で排水作業準備計画を作成する方針とし、大和川を事例とした「排水作業準備計画作成のポイント（案）（以下、計画作成のポイント）」を作成した。また、大和川では水位上昇が速く、限定される人員体制で、情報を迅速かつ確実に把握・伝達するための事前準備ツールを作成した。更に、大阪府域右岸側の低平地では、計画作成のポイントでは網羅できてない事項があり、都市特有の排水施設や道路網等を踏まえた排水計画の課題と対応策をまとめた。

キーワード：排水作業準備計画,水防災意識社会,危機管理,事前準備ツール

1. はじめに

『平成27年9月関東・東北豪雨』では、鬼怒川決壊等により、電力、水道、鉄道の停止などの被害が発生するとともに多数の孤立者が発生し、約4,300人が救助された。そのような状況下で、浸水域の排水は、堤防決壊直後から全国より集まった最大51台の排水ポンプ車等により24時間体制で行われたが、浸水域が広範囲に及んだことから宅地及び公共施設の浸水を解消するまでに10日間を要した¹⁾。『平成27年9月関東・東北豪雨』における対応を受け、全国的に「水防災意識社会」再構築に向けた緊急行動計画の取り組みとして、平成32年度までに長期にわたり浸水が継続する地域などにおいて、排水作業準備計画を作成している状況である。

排水作業は『平成27年9月関東・東北豪雨』のように他地整からの広域的な支援も必要となるため、整備局として統一的な観点も重要である。近畿地方整備局では、平成28年度に各事務所で1事例の排水作業準備計画を作成

したが、配置場所、アクセスルート、図面に記載された情報等の内容が異なっていた。そのため、排水作業準備計画における検討手法、制約条件等について大和川を事例として計画作成のポイントを検討する方針となった。一方、大和川では平成27年の水防法改正を踏まえて平成28年5月に洪水浸水想定区域図（図-1：浸水継続時間参照）を公表している²⁾。大和川の中流部（奈良県域）では、ほぼ全域的に浸水継続時間が3日以内である。大和川では降雨から流出までの時間が短く、河川水位が急激に上昇・下降する特徴を有しているため、初動体制確保が重要であり、排水作業準備計画では、限定される人員体制で、昼夜問わず必要な情報を迅速かつ確実に把握・伝達する必要がある。また、下流部の右岸側（大阪府域）の低平地では、ほぼ全域的に浸水継続時間が3日以上長期化の様相を呈している。下流部は、柏原地点から北上し淀川へ合流していたが、江戸時代に淀川と分離され流路を西向きに付け替えられたため、大阪平野の高い位置を流れている³⁾。そのため、この地形特性を考慮して、都市特有の排水施設

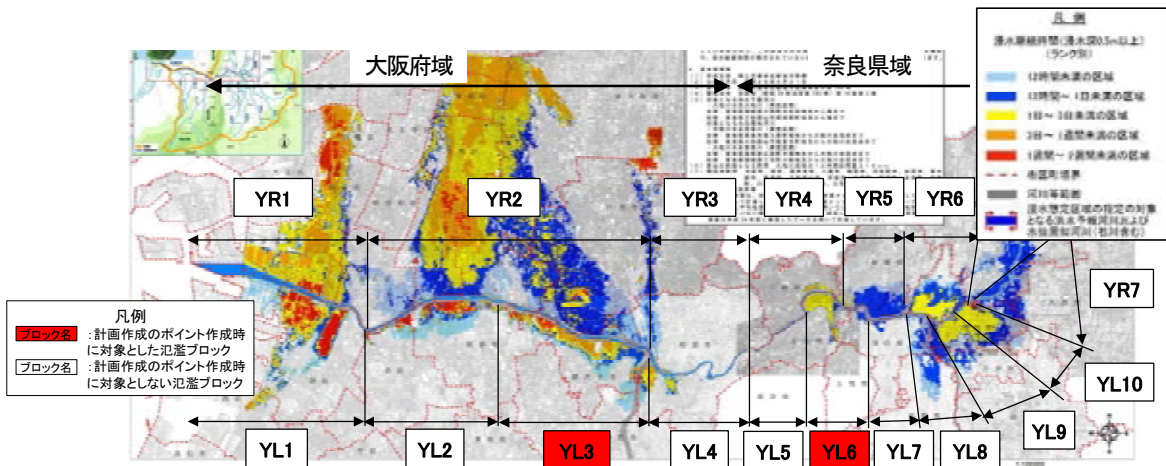


図-1 大和川水系大和川、佐保川、曾我川洪水浸水想定区域図（浸水継続時間）

や道路網等が存在することに対応した排水ポンプ車の配置が必要となる。

これらの背景を踏まえ、本研究では、大和川流域を対象に、近畿地方整備局管内の事務所が今後、統一的な観点で排水作業準備計画を作成するための計画作成のポイントを作成した。また、大和川特有の条件や課題に対して、国・地方公共団体等が保有する既存排水施設や排水ポンプ車などを最大限に活用した排水準備計画を作成するための課題や対応策を検討した。

2. 排水作業準備計画作成のポイント(案)の作成

排水作業は他地整からの広域的な支援も必要とすることを踏まえ、整備局内で統一的な観点で排水作業準備計画を作成する方針として、大和川を事例とした計画作成のポイントを作成した。計画作成のポイントでは、検討条件、アウトプットイメージを明確化することを考慮して、以下の点に留意した。

- 他事務所の参考となる対象地区の選定
- 検討手順の明確化
- チェックリストの作成
- 排水作業準備計画図の標準化

(1) 他事務所の参考となる対象地区の選定

計画作成のポイントは、他事務所でも活用できるように、他事務所にも適用可能な地区で検討を行う必要がある。異なる氾濫形態で排水作業準備計画を検討することが想定されるため、対象地区は地形の異なる奈良県域、大阪府域で各々1地区を選定することとした。

排水作業準備計画は浸水継続時間の短縮が目的であるため、浸水継続時間1日以上となる氾濫ブロックの中から、対象地区を選定した。

大和川では、下流域左岸でスーパー堤防が施工中である。このような区間は近畿地方整備局管内では少ないため、大和川下流域左岸は対象外とした。また、1.でも述べたように大阪府域右岸側で決壊した場合には浸水範囲が拡散し、排水先河川が府管理河川となる。このような地区も他の河川に比較して特異な条件となるため、対象外とした。氾濫ブロックごとの被害額、重要施設等を勘案し、大阪府域では「YL3」、奈良県域では「YL6」の氾濫ブロックを選定した(図-1参照)。

(2) 検討手順の明確化

平成28年度には各事務所で作成された排水ポンプ車配置計画の内容が定まっていなかったため、検討手順の明確化を図った。検討手順は8段階を経ることで排水作業準備計画が作成可能なように整理した。図-2は、排水ポンプ車の規格(揚程・電源用コードの延長)等を制約条件として車両配置パターンを設定した上で、配置可能台数を分析する資料の例である。配置スペース3m以上5m未満の場合では、燃料補給を携行缶で行うことも考慮した。このように各検討段階では、制約条件を明確にし、統一的な観点で検討できるように配慮した。

(3) チェックリストの作成

計画作成のポイントは、50枚程度に及ぶため計画作成のポイントのパワーポイント資料の総括版として、A3一枚のチェックリストを作成した。

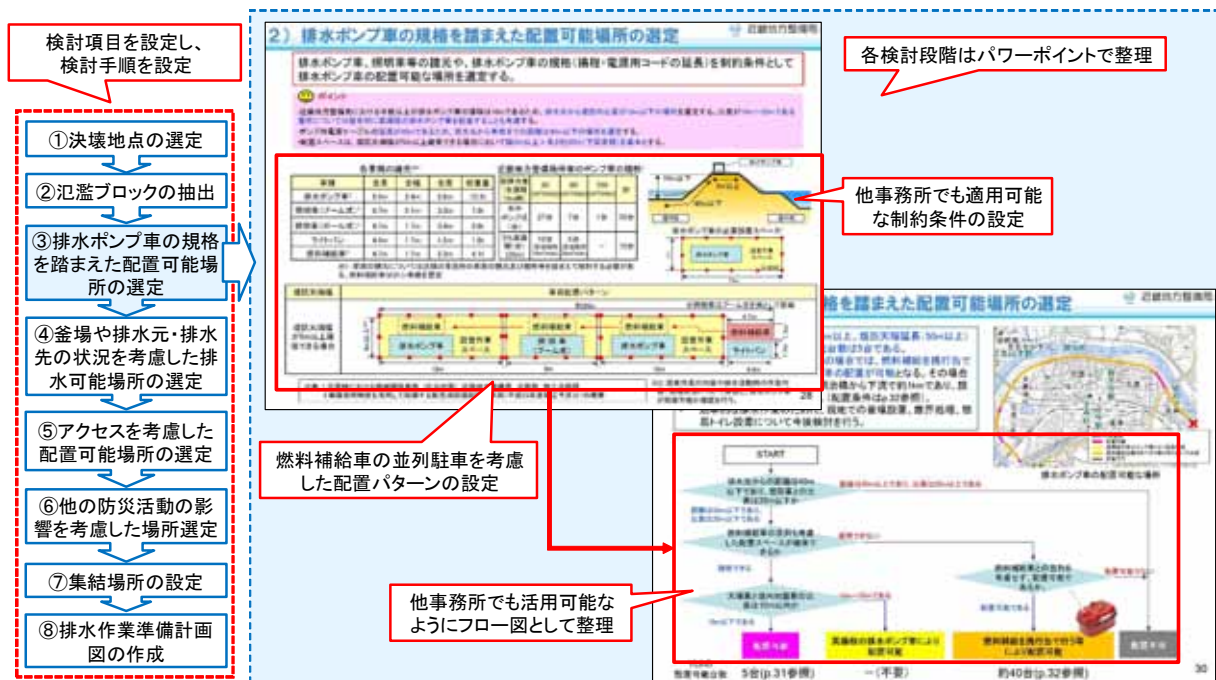


図-2 検討手順と計画作成のポイント(一部抜粋)

表-1 チェックリスト (一部抜粋)

大項目	検討項目	検討内容	チェック欄
4. 排水箇所での排水ポンプ車設置検討、アクセスルート検討	⑧配置可能場所に対する事前準備の検討	【兼用道路での配置場所の選定】 一般車両が通行する兼用道路では、ホースブリッジや通行規制の必要性についても検討したか。配置場所の道路幅、交通量、浸水継続時間などを考慮して、ホースブリッジの規模や形式については及び通行規制の必要性を検討したか。	□
		【緊急復旧工事車両との輻輳】 緊急復旧活動と排水活動の場所や搬入時刻をもとに緊急復旧工事車両との輻輳等について検討したか。堤防決壊時の緊急シミュレーションの結果も踏まえて確認したか。	□
		【堤外側の法面の保護を考慮した排水活動における留意点】 排水現場では排水時はブルーシートによる堤外側の法面の保護を行っているが、堤内側水位低下等によりホースを堤内側へ移動した際にホース吐出口がブルーシートの面から外れ、法面を洗掘する事例が発生している。排水活動時に留意すべき点の周知や施設整備を検討したか。	□
		【踏切通行時における留意点】 踏切内を詳細に確認して、通行における事前準備を検討した上で、必要に応じて緊急時の通行に関して鉄道管理者と協議を行ったか。	□
		【他機関の施設情報】 既存の樋門・樋管、排水機場等の排水施設の操作規則、管理者の連絡先等について整理したか。	□
		【燃料補給施設の整理】 排水ポンプ車配置場所周辺のガソリンスタンドに加えて、経済産業省により取り組まれている災害対応型給油所についても整理したか。	□
		【仮設トイレの配置】 仮設トイレの利用は、排水場所から現実的な距離で検討したか。 優先度の例としては、①>②>③>④ が考えられる。 ①活動拠点(出張所など)で準備、②災害対策で準備(災害時にトイレが完備)、 ③その他、公共で使えるトイレ、④仮設トイレ(各事務所で発注している「災害対策用機械操作業務」で準備可)	□

表-1にチェックリストの一部抜粋として、配置可能場所に対する事前準備に関するチェックリストを示した。チェックリストでは、設置段階だけでなく、設置後に必要となる仮設トイレ配置、燃料補給施設、他機関の施設情報等の確認事項も追加した。これらの内容は、近畿地方整備局河川維持管理WGで意見照会等を行い整理した。

において複数名で見えることを想定してA0版表面のみに情報を集約した。図-3(表面)は、広域図の図郭番号を索引し、29.6K左岸決壊時の具体的な配置場所を選定した例である。排水作業場所の指示等が伝達しやすいように、広域図に図郭番号を設定した。

(4) 排水作業準備計画図の標準化

排水作業準備計画図は現地での配布用とオペレーション用の2種類を作成した(表-2, 図-3, 図-4参照)。図面の記載項目は同一であるが、配布用図面は現地で取り扱いやすいようにA3版1枚で作成し、表面に広域図、裏面に詳細図を記載した。一方、オペレーション用図面は事務所内

表-2 図面の記載項目 (表内の番号は図-3, 図-4の各図面内のコメントの番号と対応)

図面	記載項目
広域図 (A3版 表面) 【図-3】	①緊急輸送路・高速道路等を活用したアクセスルート、サブルート ②集結場所 ③排水施設の管理者の連絡先 ④目印となる看板 ⑤アンダーパス 等
詳細図 (A3版 裏面) 【図-4】	①排水ポンプ車の配置場所の配置図面・写真 ②排水ポンプ車の配置可能台数 ③道路幅員・浸水状況 ④標高図 等

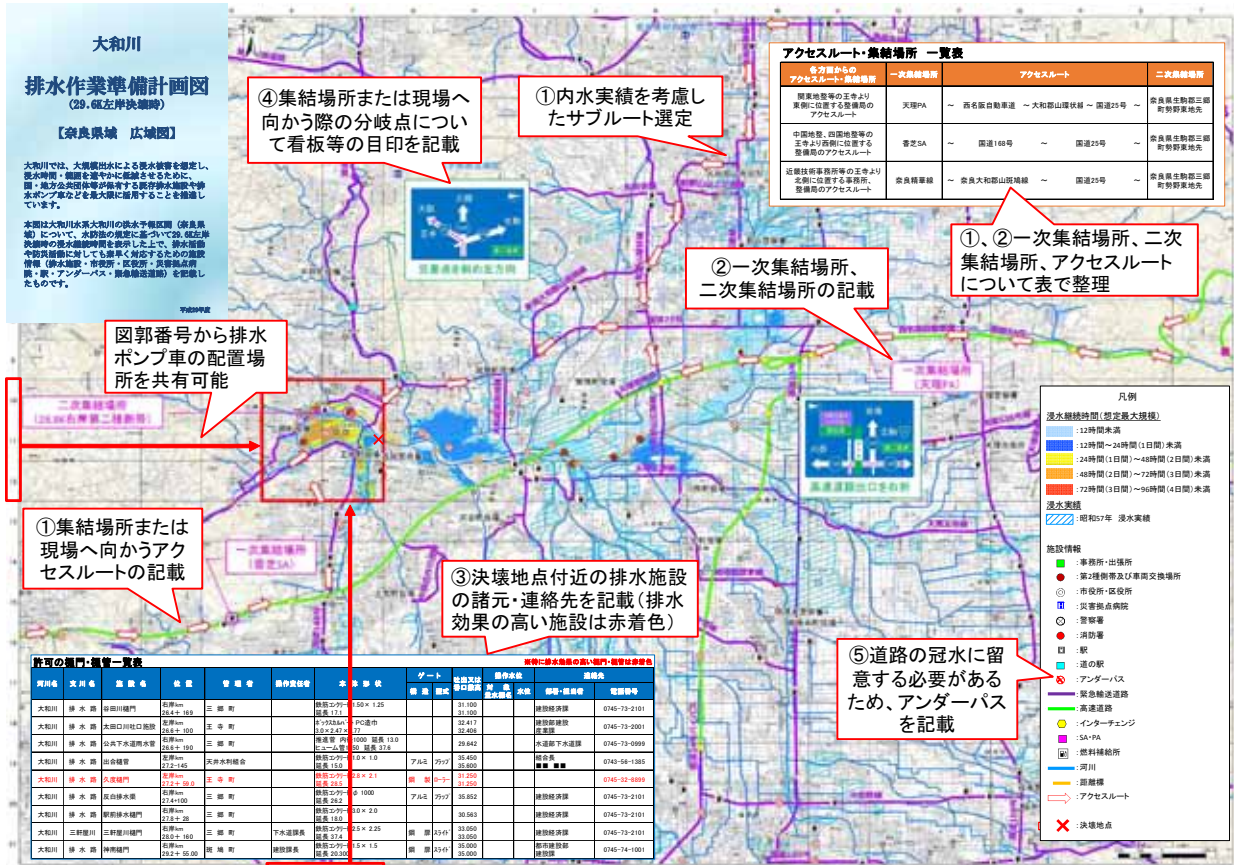


図-3 排水作業準備計画図 大和川 29.6K 左岸決壊時 (表面：広域図)

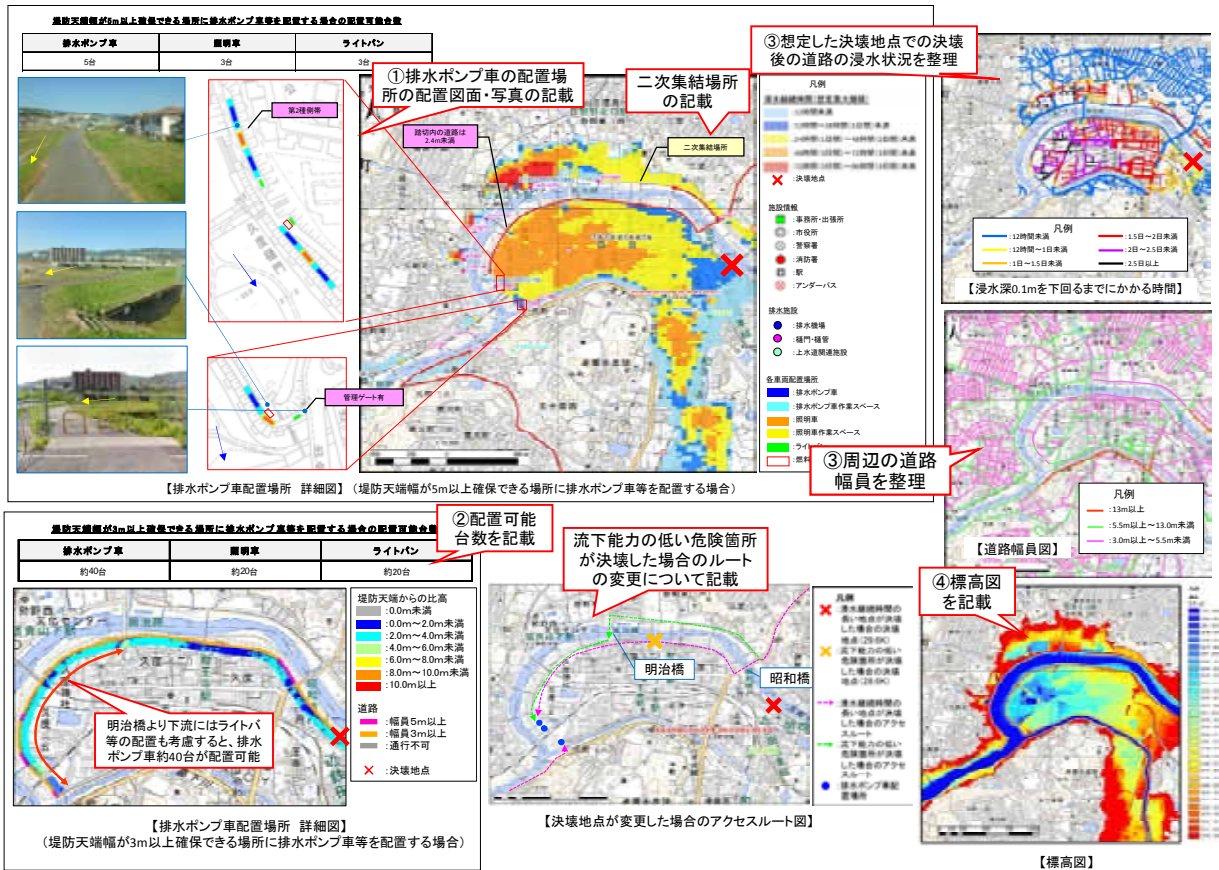


図-4 排水作業準備計画図 大和川 29.6K 左岸決壊時(裏面:詳細図)

3. 迅速な排水作業事前準備計画作成に寄与するツールの作成

大和川の特徴として、河川水位が急上昇・下降しやすい特徴があり、災害時には限定される人員体制で、昼夜問わず必要な情報を迅速かつ確実に把握・伝達する必要がある。

そのため、迅速な排水作業が実施可能なように排水作業準備計画図に対応したツールを作成した。

(1) 初動体制確保に寄与する早見表の作成

大和川は延長が長く、危険箇所が点在する。多数の決壊候補地点がある中で、情報量の少ない初動体制時にも、効果的な排水ポンプ車の配置場所の選定を行う必要がある。そのため、排水作業準備計画図の図郭(図郭番号は図-3表面と対応)ごとの浸水継続時間の特徴を瞬時に把握するため、決壊地点と各図郭の浸水継続時間が対応する早見表を作成した(図-5参照)。早見表では、決壊地点ごとに各図郭の最大浸水深、浸水継続時間、外力規模(想定最大規模、計画規模、内水実績)、排水先の有無を記載した。この整理から、いずれの決壊地点であっても浸水継続時間の長い区域を抽出し、対象となる図郭に対して詳細な排水作業準備計画を検討し、配置可能な場所の優先順位を設定することが可能になるように工夫した。

(2) 事前準備ツールの作成

水位上昇速度の速い大和川で、瞬時に排水ポンプ車の配置場所を判断できるよう事前準備ツールを作成した(図-6参照)。

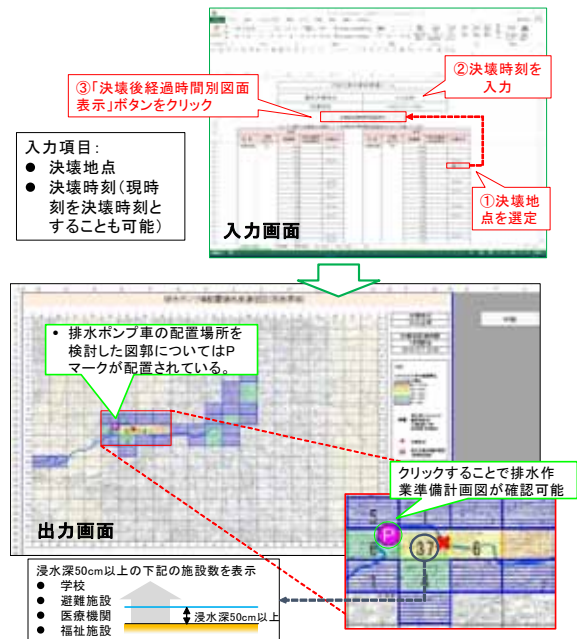


図-6 事前準備ツール

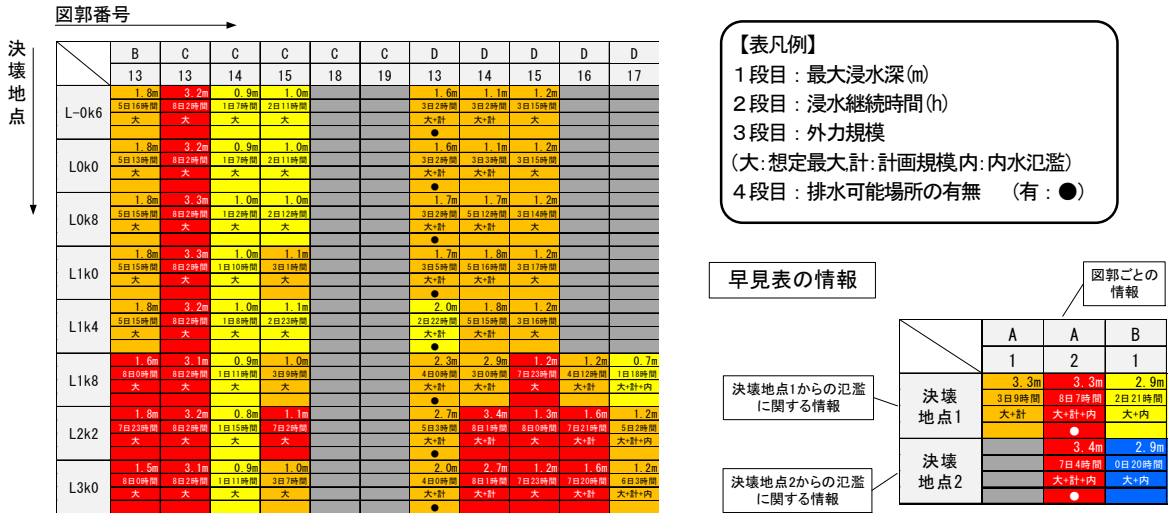


図-5 早見表(抜粋)と記載情報

ツールは、災害時に誰でも使用が可能なようにExcelで作成した。「決壊地点」を選択することで、決壊からの経過時間ごとに図面が出力される。

排水ポンプ車の配置場所を検討した図郭についてはPのマークを配置しており、Pマークをクリックした場合、

2. で作成した排水作業準備計画図(図-3, 4: 表面, 裏面)が表示される仕組みとした。なお、ツールには、社会経済被害の最小化の観点から、図郭内の要配慮者利用施設等の施設数を表示しているが、今後、都市特有の排水施設や道路網等が存在することに対応した排水ポンプ車配置の優先順位設定が必要と考えている。

4. 大阪府域右岸側の排水作業事前準備計画の課題と対応策

大和川では大阪府域右岸側が決壊すると、氾濫流は寝屋川流域に流れ込む。寝屋川流域は、地形的な特性から水はげが悪く、流域面積の約3/4が雨水排水を下水道ポンプなどの既存排水施設に頼らなければならない川より低い地域(内水域)である。既存排水施設が浸水または燃料不足により、停止した場合は排水ポンプ車による排水作業が重要となる。2. で検討した計画作成のポイントでは抽出できていない大阪府域右岸側の都市域における排水作業準備計画の課題と対応策について検討した。なお、決壊地点は、浸水範囲が最も大きくなる15.6K右岸の決壊(想定最大規模)を想定した。

(1) 排水ポンプ車配置上の課題と対応

浸水範囲には図-7 b)のように浸水範囲境界部からアクセスすることを基本とした。ただし、管理用通路が背後の地盤より高くなっている箇所は第二寝屋川の管理用通路のみであった(図-7 c)参照)。図-7 d)は15.6K右岸決壊後からの排水ポンプ車配置台数を時系列で整理したものであるが、第二寝屋川付近以外では排水ポンプ車の配置場所は確保できないと想定された。

都市部には湛水しやすい地下施設(地下鉄・アンダーパス等)が複数存在する。第二寝屋川の管理用通路を含め、長期化する浸水に対しては、関係機関(地下施設管理者・排水先河川管理者・下水道施設管理者等)との調整が必要である。

今後、地形特性上、主に平野区のJR関西本線沿い、西成区・浪速区のゼロメートル地帯、東成区の北端で浸水継続時間が3日以上長期化する様相を呈するなど、浸水範囲が広範囲に及ぶ中で、排水ポンプ車配置の優先順位設定が必要となる。

(2) 既存排水施設の課題と対応

浸水による施設機器の故障、燃料不足により既存排水施設が停止し、浸水継続時間が長期化している。

既存排水施設による排水容量と排水ポンプ車による排水容量の比較を図-8に示す。

既存排水施設による排水容量は大きいため、氾濫水を早期に排水するためには、関係機関との調整により施設耐水化、燃料不足による停止を防ぐための燃料補給体制の構築が重要である。

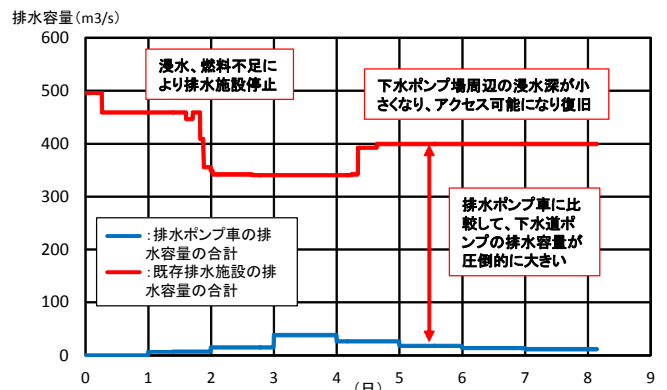


図-8 排水ポンプ車と既存排水施設の排水容量の比較

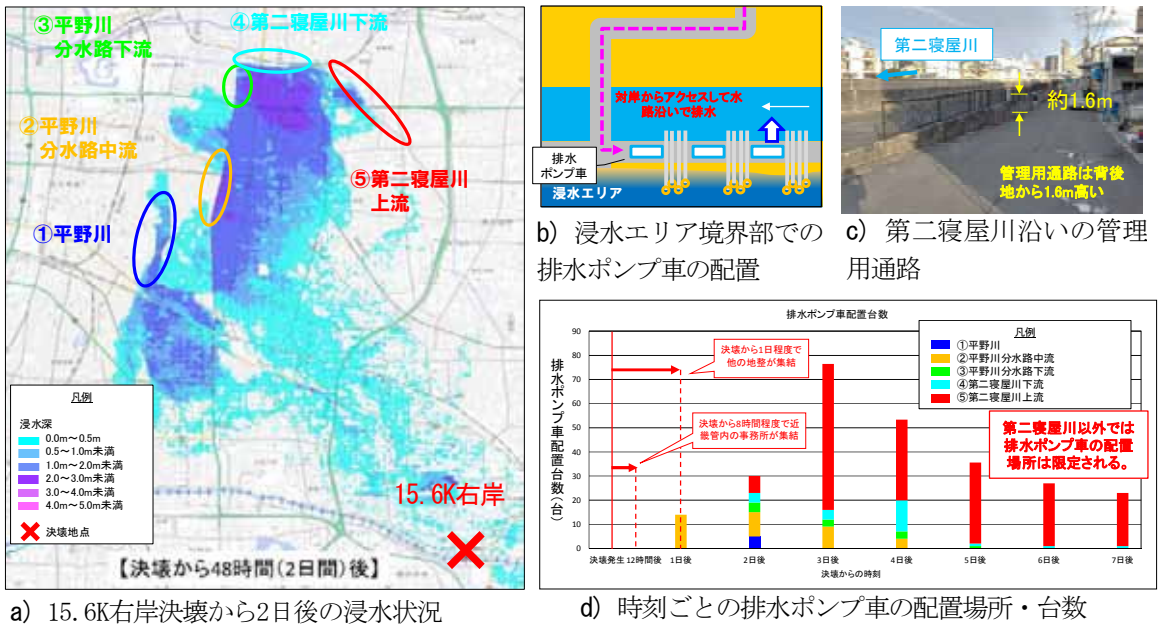


図-7 大阪府管理河川付近での排水ポンプ車配置台数の算定

5. 本研究の成果と今後の展開

(1) 計画作成のポイントによる局内での情報共有

本研究では、計画作成のポイントはチェックリストとして整理し、近畿地方整備局全体の排水作業準備計画の配置条件等を共通認識とし、検討事項の明確化を図った。

計画作成のポイントは近畿地方整備局河川維持管理WGで各事務所に展開したが、今後出水時の作業後や他河川の状態を考慮して必要に応じて見直すことも重要である。またアクセスルートは、府県の浸水範囲や浸水継続時間によって変化する可能性があり、今後、府県の浸水想定区域図を考慮したサブルートについて検討を行う必要がある。

(2) 早見表や事前準備ツールによる初動体制支援

水位上昇速度の速い大和川が決壊した場合に対応可能となるよう、想定決壊地点を入力すると、浸水状況から瞬時に排水ポンプ車を配置すべき場所を選定できるツール、早見表を作成した。本ツールは試行版として2箇所の破壊地点を対象としたが、今後は他の決壊地点も含めた排水作業事前準備ツールの更新が必要である。今後はツールを活用した訓練に取り組み、運用上の課題を明らかにして対応していく必要がある。特に、災害時には他の防災行動（緊急復旧活動等）の行動計画を含め、的確な行動を取る必要があり、排水対応に関するマニュアル等の整備をすることも必要である。

(3) 大阪府域右岸側の排水作業事前準備計画

都市部では排水ポンプ車の配置場所は限られており、排水ポンプ車数十台に比較して既存排水施設による排水容量は圧倒的に大きい。しかし、浸水、燃料不足により既存排水施設が停止し、浸水が長期化している状況であ

る。社会経済被害を最小化するためには、既存排水施設の改良等による浸水継続時間を大幅に短縮する方策の検討が必要である。

都市部には湛水しやすい地下施設（地下鉄・アンダーパス等）も複数存在するため、長期化する浸水に対しては、表-3に示す事項に関して他の機関（地下施設管理者・排水先河川管理者・下水道施設管理者等）と減災対策協議会等を通じて協議・調整が必要である。

表-3 都市部での排水作業の協議調整事項の例

項目	対応の内容	主な課題	
		排水活動時の課題	関係者との協議・調整
浸水エリア境界部による排水活動	①境界部へのポンプ車配置	・排水ホースの接続によって水平距離のさらなる確保	・管理用通路利用の可否 ・車止めの取り外し運用ルール
	②橋梁へのポンプ配置		・橋梁の独占的利用の可否 ・避難路確保等への対応
	③下水道施設（マンホール等）へのポンプ配置	・合流式下水道の管きよ内流速等を踏まえたホースの設置方法	・マンホール等の利用の可否 ・マンホール等の管理ルール
特定施設の浸水の解消	④地下鉄駅へのポンプ配置		・各施設管理者の対応状況を踏まえ、国土交通省への支援要請や連絡体制
	⑤アンダーパスへのポンプ配置	・比高、排水先の確保	
	⑥民間施設地下へのポンプ配置		・民間施設支援への可否

謝辞：本稿の執筆にあたり、多大なるご協力を頂きました八千代エンジニアリング株式会社のご担当者様、また、関係各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 『平成27年9月関東・東北豪雨』に係る洪水被害及び復旧状況等について：国土交通省 関東地方整備局。（平成27年12月25日）
- 大和川水系大和川、佐保川、曾我川 洪水浸水想定区域図：国土交通省 近畿地方整備局。（平成28年5月）
- 大和川水系河川整備計画（国管理区間）：国土交通省 近畿地方整備局。（平成25年）

市川における斜め堰と水制工による 治水効果を踏まえた河道改修について

高橋 伸明¹

¹兵庫県 姫路土木事務所 河川砂防課 (〒670-0947 兵庫県姫路市北条 1-98)

市川には江戸時代から明治時代にかけて作られた斜め堰や水制工などの特徴的な施設があり、これらの治水、利水機能について、流況の再現精度の高い3次元流体モデルを用いて検証を行った。その結果、斜め堰には平常時の取水効果に加え、洪水時の水位低減効果があり、また水制工については護岸近傍で流速低減効果が顕著に表れ、その周辺では深みができるなど魚類の生息場所の形成にも有効であることが確認できた。大昔に設置されたこれらの構造物を最新の解析技術で検証した結果、治水・利水に加え環境面でも効果があることが確認されたことから、河道改修においてこれらの機能を十分に考慮した計画を策定することとした。

キーワード 斜め堰, 水制工, 治水・利水

1. はじめに

(二)市川については平成22年3月に河川整備計画が策定され順次整備を行っており、現事業箇所である「砥堀工区」については平成28年度に具体的な改修計画の策定に着手したところである。当工区については、江戸時代より姫路城を中心とする城下の安全と発展を支えた水制工や斜め堰など治水・利水の技術が現代に引き継がれていることから、これらを適正に評価し、改修計画

へ適切に反映させるため、学識経験者、水利関係者等からなる検討委員会を組織し改修計画を策定することとした。

本稿では、ドローン等を用いたレーザ測量による3次元測量データと、3次元流体モデルを用いた水理解析を行った結果、明らかとなった斜め堰や水制工など特徴的な施設が有する治水・利水等の機能について述べるとともに、河道改修計画に引き継ぐべき事項について提案する。



図-1 市川砥堀工区位置図

2. 斜め堰の機能評価

(1) 3次元流体モデルの採用

従来、流下能力の検討を行う際には、斜め堰の場合は堰を流向に対して直角方向に投影した断面形状で評価を行ってきた。しかし、実際は斜め堰と直交堰では流向、流速、水位など異なる水理特性を有していることが考えられ、従来の検討手法では斜め堰が流下能力へ与える影響を適切に評価できない可能性がある。そこで、斜め

堰周辺の複雑な流れに対しても高い再現性を持つ3次元流体モデルを用いて、砥堀工区にある花田井堰と飾磨井堰の2つの斜め堰について水理解析を行うこととした。

(2) 3次元流体モデルの妥当性の確認

水理解析に用いる3次元流体モデルの妥当性の確認については、近年の大きな洪水被害が発生した平成 23 年台風第 12 号の出水時(ピーク流量 2,795 m³/s)の洪水痕跡水位を再現することにより検証を行った。その結果、各地点で観測された洪水痕跡水位を概ね再現することができたことから、3次元流体モデルの妥当性が確認された。

(3) 水位上昇量低減効果

a) 花田井堰

花田井堰について、3次元流体モデルを用いて河川整備計画の目標流量である2,400 m³/sを流下させた場合、現状の斜め堰(図-2)と、直交堰と仮定した場合(図-3)の堰上流断面の水位上昇量を比較すると、斜め堰の方が横断方向の A-A' 断面で平均 11cm 程度低いことが確認できた(図-4)。また、斜め堰の場合、水位の面的な分布を比較すると斜め堰の効果により左岸の限られた範囲で水位が上昇しており、流向については堰上で堰軸の直角方向に変化していることが確認できた。

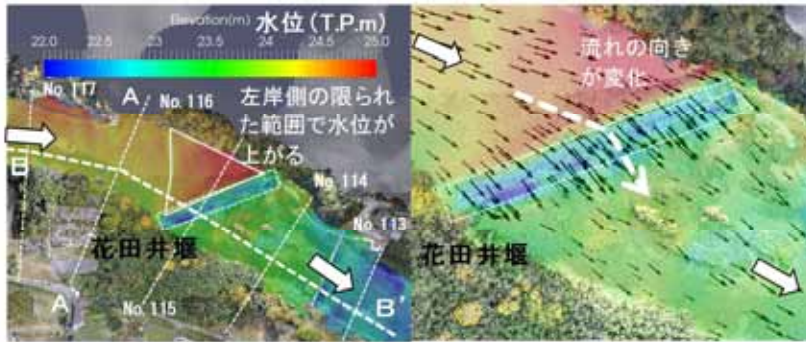


図-2 花田井堰での流況(斜め堰:現況)

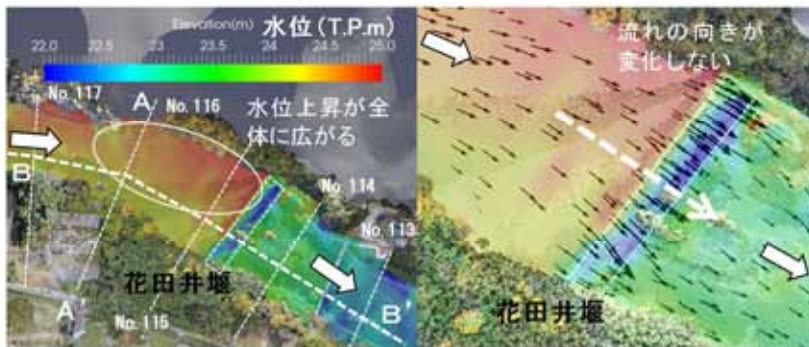


図-3 花田井堰での流況(直交堰:仮定)

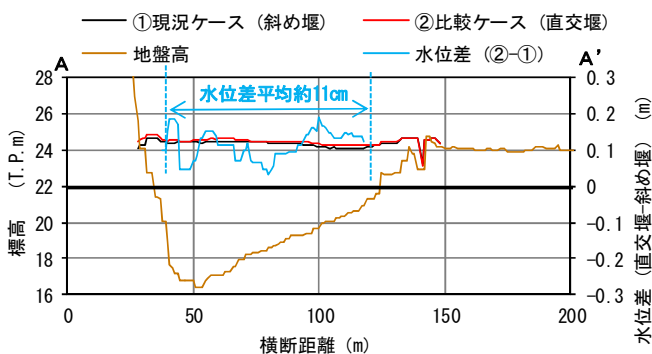


図-4 花田井堰上流の水位差(横断面図)

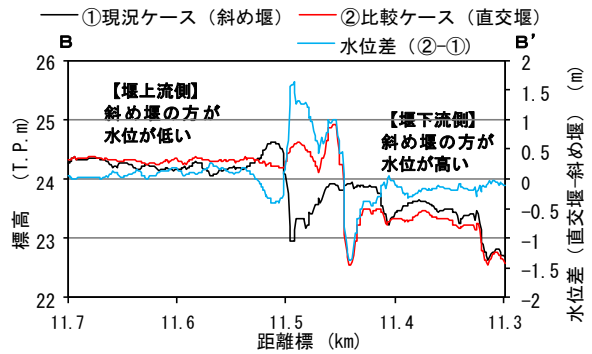


図-5 花田井堰上流の水位差(縦断面図)

b) 飾磨井堰

飾磨井堰については、花田井堰と同様の条件で水位上昇量の比較を行ったが、直交堰の場合と比べ、その差はほとんど認められなかった。

c) 水位上昇量の低減要因

図-2でもわかるように、斜め堰の場合においても洪水時の流向は堰軸に対して直交するため、斜め堰では直交堰に比べ流向に対する横断方向の単位幅流量が小さくなり、その結果、堰上げ量が小さくなっている。従って、流向に対する斜め堰の角度が水位の上昇量に影響しており、花田井堰は流向に対して 60° の角度がついているため水位の低減効果は 11cm であるが、飾磨井堰は流向に対し 70° と花田井堰より直角に近く、直交堰とした場合の堰幅と大きな差がないため、水位低減効果は現れにくくなっているということが推察される。

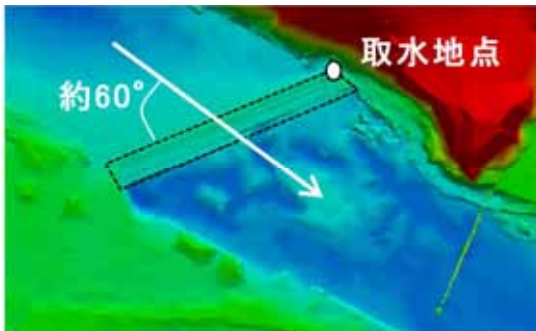


図-6 花田井堰の流向との角度

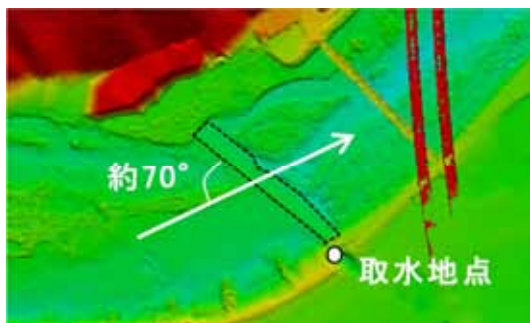


図-7 飾磨井堰の流向との角度

(3) 取水効果

花田井堰、飾磨井堰は主にかんがい用水を取水するための堰であり、河川改修後も現状と同等の取水量が必要である。そこで現況の斜め堰による取水効果を明らかにするため、堰の軸方向と水路の形状を組み合わせた3ケース(図-8)で水理解析を行い、各ケースでの取水量を比較した。解析にあたっては、砥堀工区の河道特性を参考に川幅 100m、河床勾配 1/400 のモデル水路とし、対象流量は市川の平水流量である 10 m³/s とした。

各ケースでの取水量を比較したところ、現状の花田井堰や飾磨井堰の状況に最も近い蛇行水路で斜め堰を設置した①の場合が他のケースと比較して 15%程度取水量が大きくなり、河道形状と斜め堰の組み合わせによる取水効果が現れた結果であると考えられる。

3. 水制工の機能評価

(1) 水制工について

市川の流れは姫路市街に入ってから右岸堤防によって東側に向きを変えている。この右岸堤防は 1749 年に破堤し姫路城下で過去最大の洪水被害が発生しており、姫路城下を洪水から守る重要な堤防である。水制工はこの右岸堤防の前面に低く突き出すような形状で設置され、構造は石積みで長さの異なる5本の水制工群として機能しており、その効果を検証した。

(2) 流速低減・流向制御効果

3次元流体モデルを用いて、水制工群がある場合とない場合について、河川整備計画の目標流量である 2,400 m³/s を流下させたときの水制工群の流速低減効果及び流向制御効果を確認した。その結果、水制工群

	①蛇行水路—斜め堰	②蛇行水路—直交堰	③直線水路—斜め堰
水路と堰の平面形状			
取水量	2.33m ³ /s	2.02m ³ /s	2.01m ³ /s

図-8 水路と堰の平面形状による取水量の比較

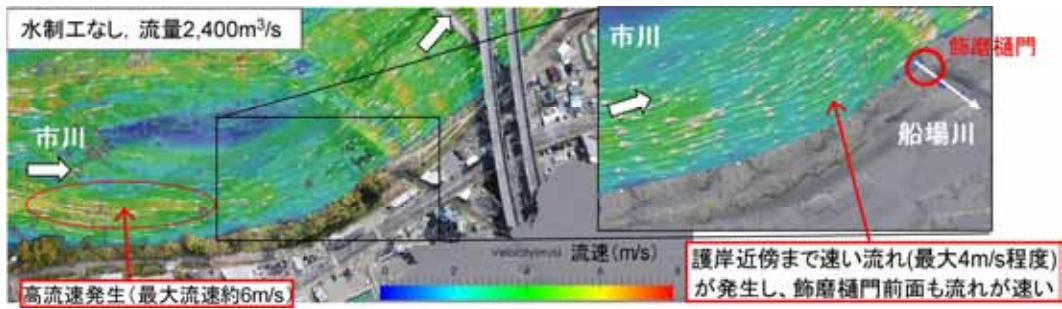


図-9 水制工がない場合の流況

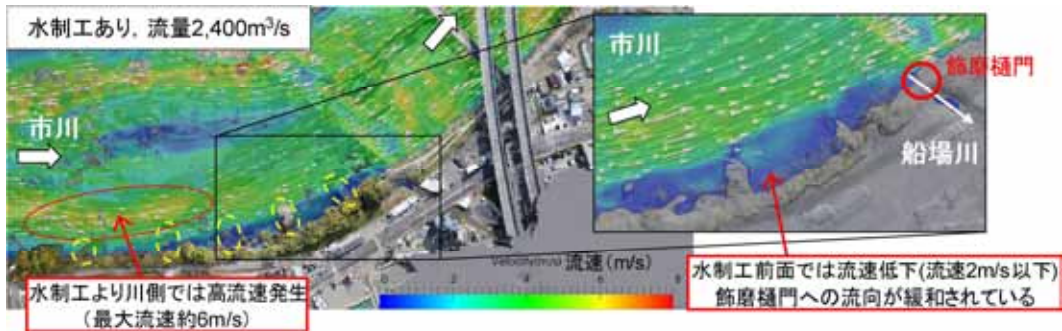


図-10 水制工がある場合の流況(現況)

がない場合、堤防のすぐ前面で最大 6m/s 程度の流速が発生しており、堤防に大きな負荷がかかっている(図-9)。しかし水制工群がある場合では水制工の先端部で最大 6m/s 程度の流速が発生しているが、堤防に近い水制工の根元での流速は 2m/s 以下となっており、水制工群による流速低減効果が確認された(図-10)。また、流向についても、過去に決壊し姫路市街に甚大な被害を及ぼした飾磨樋門に直接影響を及ぼすような流向は発生せず、堤防や飾磨樋門から遠ざける効果があることも確認された(図-10)。以上のように、水制工群が堤防を洪水流による河岸浸食から防護していることが確認された。

(3) 魚類等の生息場所形成効果

水制工群の周辺について今回行った3次元測量データの結果を図化(図-11)すると、水制工群周辺では水深が局所的に深くなっていることがわかった。この「深み」は夏場でも水温が低く、ウナギやナマズ、オオサンショウウオなどの様々な水生生物が生息するための貴重な場所となっており、水制工はこの「深み」の形成にも有効であることが確認できた。

4. まとめ

(1) 斜め堰の効果

洪水時における井堰での水位上昇量は直交堰よりも斜め堰の方が小さく、斜め堰は洪水時に水位低減させる特徴を有しており、また、直交堰よりも斜め堰の方が取水量を確保しやすいことから、湾曲区間の外岸側下流方向に対して斜めに設置された花田井堰については、直交堰よりも治水・利水の両面において有利であることが確認された。

しかし、河川管理施設等構造令では、堰は流心方向に直角に設置することを基本としており、花田井堰の事

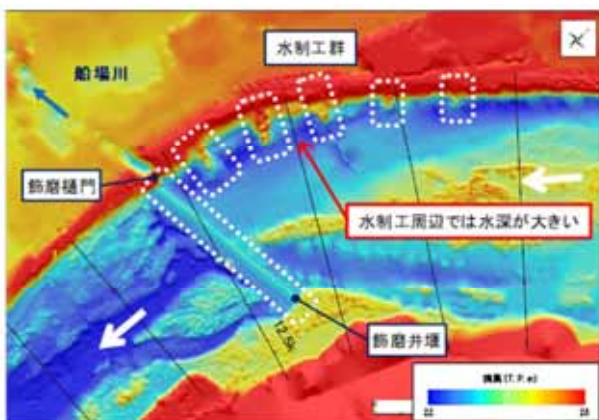


図-11 水制工周辺の「深み」

例は全ての斜め堰において治水効果があるということを証明しているわけではなく、あくまでも地形や構造物の形状など、ある一定の条件の下で結果的に治水効果が発揮されたものである。一方、飾磨井堰は流向に対する角度が直角に近いため、斜め堰特有の効果は認められなかった。

(2) 水制工群の効果

水制工には流速低減効果があり、姫路城下を守る右岸堤防及び飾磨樋門の防御には水制工群が有効に機能しており、局所的な深みと石積みの隙間は様々な水生生物の生息場所となることから、水制工群は治水・環境面で効果があることが確認された。

5. おわりに

市川の砥堀工区に現存する斜め堰や水制工などの特徴的な施設は、先人達の知恵に基づき設置されたものであるが、最新の水理解析技術を用いて検証した結果、それが非常に優れた技術であり、治水、利水そして環境面でも有効であることが確認された。これらの結果を踏まえ、砥堀工区の河川改修においてはこれらの伝統的技術と最新技術をバランスよく融合させた計画を策定し、後世に長く引き継いでいける河川整備を行いたい。また今回の事例から、他の河川でも一様な改修計画とはせず、その河川にある特徴を活かした改修計画を立案するきっかけになれば幸いである。

謝辞: 市川砥堀工区河道計画策定にあたり、検討委員会で熱心な議論をいただいた委員の皆様及び運営に協力いただいた設計コンサルタントの皆様に感謝の意を表します。

天然ダム直下における遠隔操縦装置付分解組立型バックホウによる緊急対策工事実施上の課題

上田 智宗

近畿地方整備局 紀伊山系砂防事務所 (〒637-0002奈良県五條市三在町1681)

奈良県十津川村の栗平地区では、2011年9月の台風12号(以下、「紀伊半島大水害」と言う。)により、大規模な斜面崩壊が発生し、現在も災害対策を継続している。2017年の台風5号・21号により天然ダムに設置した仮排水路末端部に大きな侵食被害が発生した。復旧作業にあたっては作業員の安全確保のため、遠隔操縦装置付分解組立型バックホウ(以下、「遠隔化・分解型BH」と言う。)を活用した時の課題及びその対応について報告する。

キーワード 天然ダム、斜面崩壊、安全施工、遠隔化施工、分解型重機

1. 紀伊半島大水害の概要

紀伊半島大水害により、紀伊半島では、3,000箇所を超える斜面崩壊が発生しその土砂量は約1億m³に及んだ。現地調査から、大規模斜面崩壊や天然ダムの決壊による二次被害の危険性のある箇所に対し、近畿地方整備局紀伊山系砂防事務所では、災害対策を実施している。



図-1 紀伊山系砂防事務所事業実施箇所

長さ 650m の崩壊が発生し約 2,385 万 m³に及ぶ崩壊土砂が河道を閉塞し、現在も天然ダムを形成している状況にある。発災以降、対策工事を進めており、これまで、天然ダムの急激な侵食を防止するため仮排水路を設置、天然ダム下流に堆積した土砂の流出を防止するため砂防堰堤 1 基が完成していた。

(2)栗平地区の 2017 年の被害

a)2017 年 8 月上旬の台風 5 号による被害

総雨量 323.0mm を観測。湛水池からの越流水により、仮排水路の下流部が延長 10m にわたり流出、直下に落差 15m の侵食が見られた。また、2016 年 11 月に完成した砂防堰堤は流出土砂により、水通し高さ(堤高 14.5m)まで 2m となる堆積となった。

台風 21 号が上陸する直前までの間、水路直下の侵食対策として、根固めブロック設置による段差工を実施していたところであった。

b)2017 年 10 月下旬の台風 21 号による被害

総雨量 468.5mm を観測。崩壊地に続く工事用道路が全線にわたり寸断され、通行が不能となった。とりわけ、砂防堰堤直下の堰堤乗越坂路が流出し、復旧には 2 箇月程度かかることが判明した。更に仮排水路の下流部は延長 80m にわたり流出、直下の

2. 栗平川砂防堰堤群事業の概要

(1)これまでの事業

栗平地区では発災当時、幅 600m、高さ 450m、

落差が最大 28m となる侵食が見られ、その流出土砂は、1km 下流の砂防堰堤に堆積、満砂となった。

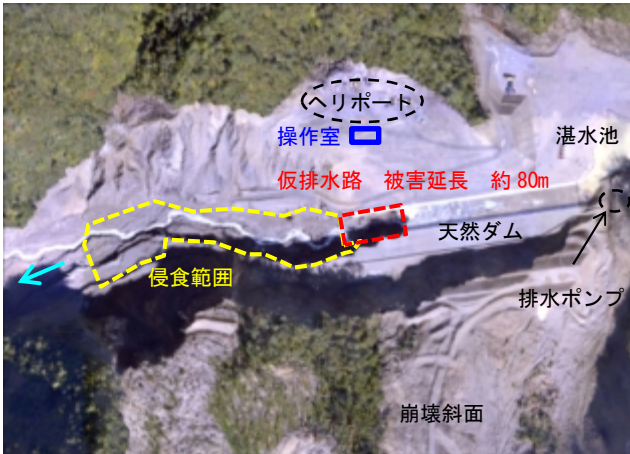


図-2 台風 21 号の被害状況

流量が低下した以降は、常時・出水時の排水ポンプ及び CCTV カメラの電源用の発動発電機への給油路確保のため工事用道路の復旧が急務となった。堰堤乗越坂路の被害により、崩壊地のヘリポートに待避させていた重機のみでの施工を余儀なくされた。人の往来は、堰堤をロープにて登坂することで対応した。



図-5 復旧対応状況



図-3 台風通過後の砂防堰堤

3. 遠隔化・分解型 BH の活用

(1)被害に対する対応

a)緊急対応

台風 21 号通過後の 1 週間後に台風 22 号の近畿上陸が予想されたため、早期に湛水池の水位を下げる事が急務となった。流水が原因となる陸路の寸断により排水ポンプへの給油は、空輸で対応した。



図-4 燃料の空輸状況

b)2018 年出水期までの対応

水路直下の侵食対策が必要となったが、侵食上部のオーバーハング部の崩壊が更なる被害を拡大する可能性があり、排土することが先決となった。侵食落差は最大 28m であり、侵食上部には多数の亀裂が生じていた。よって、高所での排土作業において、崩壊・転落する危険性があることから、以下の理由から遠隔化重機が必要と判断した。

- ・ワイヤーセンサー、振動センサーまたは崩壊検知センサー等の監視システム設置は、排土延長が約 80m と広範囲に及び把握が困難であることや、重機自体が滑落する可能性があり、把握できたととしても防御できないため、適さない。
- ・ロッククライミング BH は、近隣に支持となる樹木が崩壊箇所が存在するものしかなく、適さない。

また、以下の理由から分解型重機が必須となった。

- ・堰堤の落差は、重機の陸送が不可能であった。

これらのことから、近畿技術事務所が所有する遠隔化・分解型 BH (以下、機能により、言い分ける。) の活用が最適と判断したため、移管を行った。

遠隔化・分解型 BH を分解したユニットを陸上にて、堰堤直下まで陸送し、クレーンで吊り上げて、

搬入した。



図-6 侵食状況と重機搬入状況

(2)操作環境

遠隔化 BH の操作は、①重機近傍において直接操作する「目視による遠隔操作型」と、②重機遠方において目視できなくても操作できる「カメラ画像による遠隔操作型」の2種類が選択できる。

施工場所は、侵食延長・深さが大きく、背後は崩壊斜面であることから、作業員を安全に配置する場所が作業全般で確保できなかった。そのため、ヘリポートにて操作を行うことにしたが、作業場所まで距離があることに加え、死角が発生することから、「カメラ画像による遠隔操作型」を採用した。機器は防水仕様ではないため、操作室内に設置した。

操作室には、モニター3台を設置した。遠隔化 BH に直接設置し近視的に前後方3アングルが確認できるカメラ用のモニターは正面に1台、遠隔位置2箇所を設置し俯瞰的に確認できるモニターは各々両サイドに2台設置し、モニタリングできるようにした。

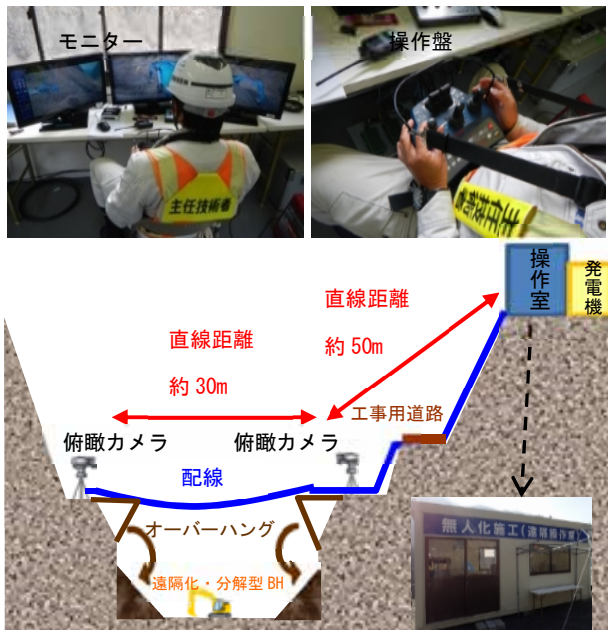


図-7 室内状況と操作室位置

4. 遠隔化・分解型 BH の概要

近畿技術事務所では、遠隔化・分解型 BH1 台を所有している。ヘリコプターで運搬可能となる1ユニット当たり 2.8t 以下とし、13 ユニットに分割運搬し現地で組み立てる仕様となっている。更に災害現場での二次災害防止のため、遠隔操縦機能も有している。

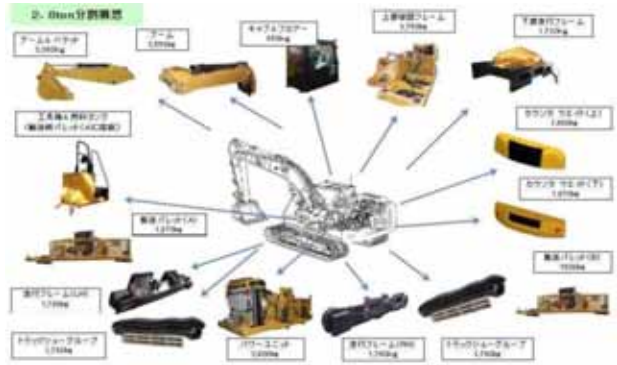


図-8 遠隔化・分割型 BH の仕様



図-9 1ユニットと組み立て後の状況

5. 遠隔化 BH により得られた安全

侵食部の拡大を防ぐために、落差の発生箇所に根固めブロックを設置する対応を行った。しかし、水路直下の侵食上部のオーバーハング部を取り除いた後も、侵食部での作業には危険性があることから、引き続き遠隔化 BH を活用した。



図-10 被害状況

結果として作業時に、大きな崩壊が発生することはなかったが、遠隔化 BH 採用による効果は次のようなことが考えられる。

- ・復旧時における二次災害の防止
- ・危険状況が把握できない間での復旧または計画的な事業の確実な遂行
- ・作業員等の作業環境改善

なお、応急復旧の全工程は、下記の通りとなった。

復旧内容		2017年						2018年		
		10月 下旬	10月 中旬	11月 下旬	11月 中旬	12月 下旬	12月 中旬	1月 下旬	1月 中旬	1月 下旬
台風	21号 22号	■								
燃料の空輸										
流量増加期間										
工所用 道路	堰堤下流									
	堰堤乗越									
	堰堤上流									
遠隔化・ 分解型 BH	申請手続									
	移送・組立									
	操作練習									
仮排水路 末端部	オーバーハング									
	樹土 根固め ブロック設置									

図-11 応急復旧の工程表

今回採用した遠隔化 BH のアタッチメントには、掘削バケットのみならず、油圧式グラブが付属しており、根固めブロックの運搬作業に対応できた。



図-12 根固めブロックの設置状況

近隣に民家の無い条件で離発着ポイントを選定したところ、同じく崩壊地区となっている赤谷地区が最適となったが、空輸距離が片道約 12.0km と輸送距離が長いことから、空輸を断念し陸路の選択とした輸送ルートは一部に幅 3m 以上の車両が通行できない区間があり、制約のある状況であった。

〔対応〕 利用するクローラクレーンは 70t 吊りの規格となるが、3.25m 幅の車両が一般的である。今回は、車幅を 3m 未満のものを調達し対応した。

b)組み立て作業時

〔課題〕 分解型 BH は、油圧配管の接続部をワンタッチ式とする等、部分的に効率化が図られてはいるが、市販の重機を基本に改造しており、本体の接続に関しては分解・組み立てに即した仕様ではない。

そのため、部品数が 100 点以上と多く、組み立て・分解には、作業員が各 3~4 人で 3 日強程度掛かる。また、作業には、小型クローラクレーン (重量・吊り能力共に 2.9t) 2 台が必須となり、作業用スペースや部材スペースの選定・確保が必要となる。

〔対応〕 作業箇所の選定は、組み立て時期が非出水期であったが、天候に左右されない箇所を選定した。スペースは、25m×25m 程度の広さが必要となるが、待避させていた重機で整地することで短縮できた。



図-13 分解型 BH の組み立て状況

6. 遠隔化・分解型 BH の活用時の課題と対応

(1) 分解型 BH の活用時

a)輸送時

〔課題〕 空輸運搬距離の社内規定が片道 10km 程度に限られる航空会社が大部分を占める。分解型 BH は 1 ユニット当たり、3.0t 程度で 2 ロータヘリ (1 ロータヘリは 0.8t 吊りが限界) での運搬が必須となる。2 ロータヘリは騒音・振動が大きいことから、

(2)遠隔化 BH の活用時

a)操作方法

〔課題〕 元々 BH の操作方法は、メーカー毎に特色があり、今回利用した遠隔化 BH の操作設定が作業員の習熟に合ったものではなく、遠隔操作に慣れる以前に操作そのものの習熟に更に時間を要するという課題が生じた。

〔対応〕 操作盤はレバー操作と同じ配置となっており、本体は油圧で作動する。作業員の習熟に合った

レバー操作となるよう、機体本体の油圧配管をつなぎ替えることで、対応した。



図-14 油圧配管つなぎ替え状況

b)作業員の確保と操作の習得

〔課題〕モニター視認による操作に経験のある作業員が見つからず、また操作にモニターで視認することと操作と機動にタイムラグが発生することから、そのままでは操作が困難であるという課題が生じた。

〔対応〕慣れが必要であり、習熟のための時間を設けた。作業員は当初3名専任し、遠隔化施工に熟練した作業員を指導員として配置し操作訓練を行った。その後、試運転教育（7日）実施する中、アタッチメント変更（グラブプル）にも対応できるよう訓練を行った。

更に実際のバックホウに搭乗し、操作室内で無線操縦を体感した後、遠隔操作の練習を継続することで短期で慣れることができた。

3名に対する習熟は上記までで、実施工は3名の中から最も習得できた1名を選定した。

3名に聞き取りしたところ、モニターを通しての作業範囲の距離感・立体感の喪失に困惑したものの、慣れれば遠隔化施工に対応できると感じており、一般的操作は2～3日程度で慣れるとの回答を受けた。



図-15 遠隔操作の練習状況

c)映像配信用無線機の伝送距離

〔課題〕無線機の伝送距離に限界があり、侵食部の施工時は、電波が届かないエリアがあることが判明し、復旧工事が遂行できない状況となった。

〔対応〕法律で許されている特定小電力無線局（総務省令電波法施行規則第6条第4項第2号）を用いると、本現場での伝送距離は直線で100m程度であった。侵食部への根固めブロックの設置作業においては、侵食部の一部が電波を遮断する箇所があることが判明したため、無線の中継局を設置し解消した。伝送距離による中継局の位置については、受信感度分析機で受信感度出力を高速にサンプリングし中継局の位置を設定、無線電波を高い位置でキャッチし伝送高力を落とさないように設置した。



図-16 中継局の設置状況

d)モニターのアングル

〔課題〕当初機体に装備されている標準モニターは前方2アングル（バケット先、キャタピラの足元）、後方1アングルのカメラしかなく、アングルの移動は機体を旋回させることでしか確認できない状況であった。更に3アングルのカメラは同一無線機を使用しているため、3アングルの同時配信はできないため、いずれかの1アングルしかモニター上で確認できない。標準のままでは有人操作時よりも作業員の視界の情報量が少ないことから、施工効率・精度の低下が生じる更に、標準でのアングル切り替えは手元操作しか無く、操作盤で手がふさがり操作が困難であるという課題が生じた。

〔対応〕近視的な視野は、機体本体に標準装備されているカメラのみを利用したが、操作を容易にするため、足元で操作できるスイッチを増設した。

俯瞰的な視野を確保するため、機体から遠隔位置

に2台のカメラ（ズーム・上下左右移動機能付き）を設置し、多方向で確認できるように対応した。

以上により次の点において操作性が向上した。

- ・走行時に障害物が把握できる
- ・油圧ショベルの停止位置が把握できる
- ・掘削時バケット刃先の位置決めが容易となる



図-17 視野確保による操作状況

ルの確保も重要。また、輻輳する工事であれば、安全確認を確実にする必要がある。VR・ドローンの活用等による視認性向上が望まれる。

d) 有人操作との違和感

操作に若干のタイムラグがある（映像に限れば大きなタイムラグはない）。通信技術の高度化が望まれる。

e) 二次災害の被害低減

遠隔化 BH は、二次災害の可能性が高い箇所での施工となり、操作場所も被害を受ける可能性がある。通信技術の高度化により、遠隔地、例えばオフィスビルでの操作が可能となれば、安全面、人材確保、動労環境等の向上が期待でき、建設業界のイメージアップにつながる。更に AI 技術の発展・普及により無人で施工することも可能となるかもしれない。

7. 今後の改善を期待する事項

(1) 分解型 BHに関する事項

a) 着手までの期間

二次被害が予想される箇所において、組み立てに3日強程度掛かることは、作業事態に危険を伴う。

1ユニット単位の運搬量を大きくし、大型ヘリで輸送することで短縮が可能。自組織で所有する又は大型ヘリを所有する他組織との連携が望ましい。

(2) 遠隔化 BHに関する事項

a) 作業員の人選

作業員の人選において、無線での操作では、労働安全衛生法に基づく免許を持たなくとも法的に問題がない。資格・免許の設定制度の創出が望ましい。

b) 操作経験の活用

遠隔化 BH の数が少なく、活用する機会も殆どないため、経験する場、経験したとしても生かす場が限定される。遠隔化施工の活用が i-con 施策に盛り込まれ、機会の増大となることを期待する。

c) 視認性の確保

有人での施工と同等以上の視認性を確保する必要がある。立体視ができなければ、それを補うアング

8. おわりに

紀伊半島大水害から6年が経過した。当栗平地区は、崩壊規模が紀伊半島の中でも最大規模であり復旧に時間を要している。鋭意復旧を進めているところではあるが、その間も台風上陸が相次ぎ被害が発生する等、一進一退を繰り返している状況である。

今回は遠隔化・分解型 BH を利用するに当たり、自然災害に対する危険性を再認識してもらおうと、地元住民や行政機関を対象に現場見学会を開催し、防災意識低下の軽減にも努めた。

今回のテーマである分解型・遠隔化 BH であるが、全国的に見ても事例は少ない状況にある。作業効率や操作性等の面では、まだ課題が残る。当事務所では、遠隔化技術は欠かせない現場を多く抱えており、発災直後から活用してきた。2017年度は、長殿地区でも崩壊地の排土作業において、遠隔化対応のロックライミング BH を活用した。

今年度も、同箇所では根固めブロックを積み上げる作業を遠隔化施工で行っており、今回得られた知見・技術を活用している。今後も継続して、課題解決に向けた検討を行うよう努めて参りたい。

平成29年台風21号による土砂災害への対応 と今後の課題について

森川 智¹・榎原 伴樹²

¹和歌山県 砂防課 (〒640-8585和歌山県和歌山市小松原通一丁目1番地)

²和歌山県 土砂災害啓発センター (〒649-5302和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027番6)

2017年10月に近畿地方を来襲した台風21号は、和歌山県北部の紀の川沿いに300mmを超える降雨をもたらした。この地域の平均年間降水量は約1500mmであり、3日間で年間降水量の1/5がこの台風によりもたらされた。この台風により土砂災害が多発し、特に斜面崩壊に伴う土石流が発生した紀美野町の梅本地区では住民が長期間の避難を余儀なくされるとともに、九度山町の上古沢地区では地すべりにより南海電鉄高野線が被災し列車の運行が休止した。

本発表では、この土砂災害に対して県が実施した緊急対策の事例を紹介するとともに、その対策の実施過程で明らかになった課題と対応について報告する。

キーワード 土砂災害, 緊急対策, 啓発活動

1. 台風21号による土砂災害の発生状況

2017年10月の台風21号の来襲により、和歌山県では21日午後から南部を中心に大雨となり、特に22日午後から23日明け方にかけて、台風の影響により県内全域で暴風を伴った大雨となった。この台風によりもたらされた降雨量の分布を図-1に示す。

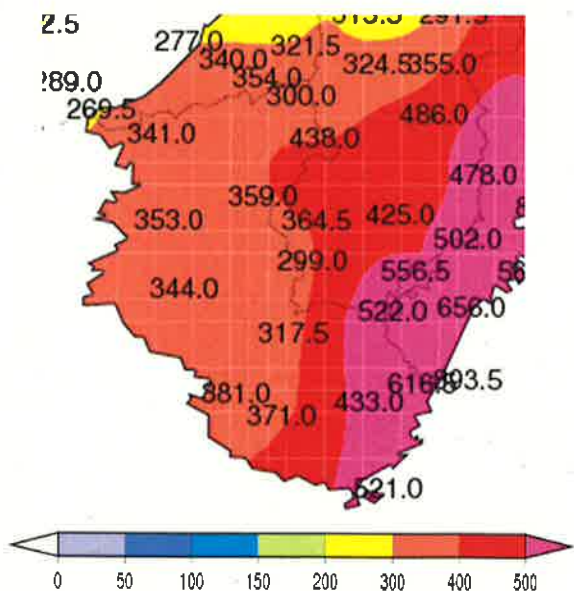


図-1 降雨量分布図 (10月20日12時~23日12時) ①

県北部の紀の川沿いでは、300mmを超える連続降雨が観測された。特に、和歌山地方気象台所管の約40年間の

観測記録を有する「かつらぎ」・「葛城山」・「高野」の各観測地点では、歴代1位の日降水量が観測されるとともに、130年を超える観測期間を有する観測地点である「和歌山」においても、歴代4位の日降水量が観測されるなど、この台風に伴う降雨量は、紀の川沿いでは、2011年の紀伊半島大水害を超える規模であった。

この台風21号と1週間後に接近した台風22号に伴う降雨により、県では紀の川圏域を中心に28件(土石流等2件、地すべり5件、がけ崩れ21件)の土砂災害が発生した。特に避難指示が発令される等、二次災害防止のための緊急対策が必要となり、災害関連緊急砂防事業等の国庫補助事業の申請に至った土砂災害は紀の川南岸の長峰山脈沿いに発生した。



図-2 国庫補助事業申請箇所位置図

国庫補助事業の申請箇所的位置図を図-2に、土砂災害の発生状況をそれぞれ写真-1から写真-5に示す。



写真-1 海南市東畑地区



写真-2 紀美野町奥佐々地区



写真-3 紀美野町梅本地区



写真-4 かつらぎ町星川地区



写真-5 九度山町上古沢地区

特に、斜面崩壊に伴い発生した土石流が下流集落到達した紀美野町梅本地区では、再度の土石流発生に備え9戸の住民が地区外への避難を余儀なくされた。また、地すべりにより南海電鉄高野線の線路および駅施設が被災した九度山町上古沢地区では、南海電鉄高野線の運行が休止となるとともに、1級河川不動谷川の埋塞が懸念される状況となった。

2. 県による緊急対策

和歌山県砂防課では、台風21号の接近に伴い市町村や地域住民の警戒避難活動を支援するために、土砂災害警戒情報の発表に備え警戒態勢を敷くとともに、土砂災害情報および住民の避難情報の収集に努めた。災害情報の収集に際しては、台風に伴う連続降雨量に着目し、土砂災害発生の可能性の高いと推定される区域（平均月降水量や日降水量と比べて多量の降雨が観測された区域）を中心に情報収集を行うよう県出先機関を指示した。

また、情報収集後の現地調査に際しては、土石流災害の場合には被害が発生している区域だけでなく源頭部の調査を行うこと、地すべりが疑われる場合、尾根付近までの山腹斜面の調査を行うことを指導した。その結果、梅本地区では現地調査により源頭部となる崩壊斜面を発見するとともに、UAVを用いて土石流の発生・流下・堆積区間の特定を行うことができた。

その後、収集した災害情報および現地調査の結果等を用いて、土砂災害発生箇所における対策事業の選定を行った。事業の選定に当たっては、土砂災害の規模や緊急性、事業の採択要件等について検討を行った。検討結果を表-1に示す。

個々の災害発生箇所において、シート張等の一般的な緊急対応が実施されたが、本発表では、避難勧告の早期解除のために取り組んだ紀美野町梅本地区の事例と鉄道の運行再開のために取り組んだ九度山町上古沢地区の事例について報告する。

(1)紀美野町梅本地区の事例

梅本地区に流入する梅本川流域では、10月22日午後10時頃、上流山腹で崩壊が発生し、崩土が溪床堆積物を巻き込みながら土石流となって流下した。崩壊規模は崩壊面積8,080 m^2 、崩壊土砂量は12,120 m^3 と推定される。土石流は集落上方の谷出口で氾濫を始めたが、谷出口下方に位置する町道直上流の狭窄部で閉塞したため、人家への流木や巨礫の直撃を避けることが出来た。地区住民は22日の日中に自主避難していたため人的被害は回避できたが、集落到後続流が流入し床下浸水が発生した²⁾。

県では、23日に上流山腹を横断する県道が被災したとの情報を受け現地調査を実施した結果、土石流による再度災害のおそれが高いと判断し、24日に町に調査結果を

表-1 土砂災害対策事業内訳表

事業区分	事業名	土石流等	地すべり	がけ崩れ	合計
補助事業	災害関連緊急砂防事業等	1	3	1	5
交付金事業	地すべり対策事業		2		2
県単独事業	-	1		20	21
	合計	2	5	21	28

説明するとともに避難指示発令の支援を行った。25日には、避難指示の早期解除のために強靱ワイヤーネット工法の導入を決定し、資材確保の準備を行った。

また、国土交通省砂防部に土砂災害専門家の派遣を依頼し、県の緊急対応や今後の対策についての技術的助言を求めた。その結果、10月30日に国土技術政策総合研究所（大規模土砂災害対策技術センター）の木下主任研究官による現地調査が行われ、土砂災害の発生原因や緊急対応で不足している点、今後の対策等について助言をいただいた。

上記の対応と並行して恒久対策を実施するため、国土交通省と災害関連緊急砂防事業についての協議を進め、11月20日に申請を行った。

強靱ワイヤーネット工については、11月10日に着工し12月14日に完成した。その結果、12月15日に避難指示の解除が行われた。現在は、恒久対策である砂防堰堤工事を実施している。写真-6に強靱ワイヤーネット工設置状況を示す。



写真-6 強靱ワイヤーネット工設置状況 (梅本地区)

(2)九度山町上古沢地区の事例

九度山町上古沢地区では、台風21号に伴う豪雨により幅100m、高さ100mの地すべりが発生した。上古沢地区については、この台風以前から斜面内の町道の路面沈下や擁壁のクラック等が見られたことから地すべりの可能性を町が把握していたが、10月23日午前6時30分頃に上古沢駅構内の上り線分岐器付近の路盤（線路を支えている地盤）の低下が発見され鉄道の運行が休止したことから、県は地すべりが発生したと判断し対策に取り組むこ

ととした³⁾。地すべり対策の実施に際しては、緊急対策が必要であることから国土交通省と協議の結果、災害関連緊急地すべり対策事業にて対応することとした。

県では鉄道管理者である南海電気鉄道株式会社（以下、南海電鉄という）と協働しながら、地すべり調査計画を策定するための現地調査を27日に実施し、11月2日に土砂災害専門家の助言を得た後、同日に地すべり調査計画を決定した。この計画には、警戒避難に関する項目を加えることで、町が行う地域住民の避難の支援も行った。

11月3日には調査ボーリングの準備工に着手するとともに、避難のための観測機器（伸縮計、パトライト）の設置を8日に完了した。調査ボーリングは17日より掘削を開始し、12月14日に主測線のボーリングを完了した。ボーリングマシンの搬入に際しては、南海電鉄に依頼することで、搬入路の設置に係る日数の短縮を図った。

また、地下水を排除するための緊急排水ボーリングを11月27日から開始し、12月11日に完了した。排水ボーリングの規模については、現地調査及びUAVによる地形計測結果による地すべりブロックの平面形状や等高線から、風化岩地すべりの可能性が高いと判断し、すべり面の形状・深さを想定して排水ボーリングの長さを決定した。排水ボーリングからは最大700ml/分の排水が確認された。

通常の地すべり対策事業では、調査ボーリング完了後、一定期間、機器による地すべり観測により、すべり面や地下水位等を決定し、機構・安定解析や対策工事設計を実施するが、この地すべりについては、排水ボーリング等の緊急対応や鉄道の早期運行再開が必要であることから、対策工事の設計等に必要となるすべり面や地下水位等について、ボーリング調査のデータ（コア観察やボーリング掘削時の地下水位）により決定することとした。なお、地すべり観測については継続することで、安定解析等のチェックに使用することとしている。

機構解析の結果、応急対策としてのアンカー工を施工することにより、鉄道運行再開を図れることが判明したため、最優先でアンカー工事を実施することとした。工事にあたっては、鉄道隣接工事であることや工事資材を鉄道で運搬することが効率的であるため、南海電鉄と委託契約を行い、平成30年1月16日に着手し3月23日に完成した。現在は、地すべりブロックの更なる安定化のため地すべり対策工事を実施中である。写真-7にアンカー工の状況を示す。



写真-7 アンカー工施工状況(上古沢地区)

3. 緊急対策に関する課題と対応

(1) 土砂移動状況の把握

土砂災害の特徴として、時空間的な災害発生予測の困難さがあるが、台風21号のように和歌山市から高野町までの広い地域に記録的な豪雨がもたらされた場合、住家や道路に土砂災害が発生した箇所については、防災部局や消防等への情報収集により比較的発生場所の特定が容易であるが、直接的に土砂災害に至らなかった土砂移動状況の把握は非常に困難である。このような状況の箇所の中には、次期降雨による大規模な土砂移動が土砂災害に繋がる可能性もあることから、通常とは異なる降雨が発生した地域における土砂移動状況の把握は重要であると考えている。

県では、紀伊半島大水害や昨年の台風21号の災害を受け、上記の課題に対応するため、人工衛星のSAR画像を土砂移動箇所の特定に活用できないか関係機関と勉強を開始した。現在のところすぐに実用できるかどうか分からないが、大規模土砂災害発生箇所や特に大規模な土砂災害に繋がる可能性のある土砂移動箇所の特定につながることを期待し、SAR画像解析技術の活用を検討していきたい。

(2) 二次災害防止対策の事例収集

斜面崩壊に伴う土石流や地すべり等により土砂災害が発生すると、崩壊の拡大や地すべりの再活動による二次災害が懸念される場合が多く、その場合、土砂移動を抑制するための緊急対策や住民の警戒避難のための土砂移動状況の監視が必要となる。昨年の台風21号により土石流と地すべりが発生した箇所においても、土石流の発生を検知するためのワイヤーセンサーや地すべり活動の監視をするための地盤伸縮計の設置を行い、住民の警戒避難を支援するとともに、地すべり活動を抑制するための緊急排水ボーリングや土石流の捕捉を目的とした強靱ワイヤーネットの設置を行った。

これらの緊急対策は、砂防課の指導の下で実施された

が、現場を担当する出先機関が自主的に実施できるように体制を整えておく必要がある。

このため、全国的に実施された緊急対策の事例を収集・分類することで、二次災害防止対策が迅速に実施できるようにしていきたい。

また本県では、大規模土砂災害対策技術センターに常駐する国土技術政策総合研究所の木下主任研究官に依頼し、土砂災害発生箇所における対策について土砂災害専門家の技術的助言を受けることができるような体制を構築している。土砂災害専門家による現地調査状況を写真-8に示す。



写真-8 土砂災害専門家による現地調査

(3) 啓発活動の充実

昨年の台風21号では19市町村に対して土砂災害警戒情報を発表した。その19市町村のうち16市町村で避難勧告が発令された。残りの3市町村においても避難準備情報が発表されており、土砂災害警戒情報が持つ重要性に対する市町村の認識が向上してきていると考えられる。今後は、土砂災害警戒情報が確実に避難勧告に繋がるように、市町村担当者会議における県のソフト対策の説明や土砂災害防止月間に行う情報伝達訓練等とおして、市町村の認識のさらなる向上を図っていく必要がある。

また、土砂災害の犠牲者をなくすためには地域住民に土砂災害に関心を持ってもらうための啓発活動が不可欠である。和歌山県では、紀伊半島大水害を契機として、土砂災害に関する啓発活動を行うための和歌山県土砂災害啓発センターを平成28年4月に那智勝浦町に設置した。このセンターでは、啓発活動の一環として、地域住民が土砂災害について考え、いざというときに安全かつ迅速に避難ができるように、土砂災害に関する講演会を県内各地で実施しており、土砂災害について地域住民に関心を持っていただくように引き続き講演会を継続してゆく。写真-9に地域講演会の様子を示す。



写真-9 地域講演会(かつらぎ町)

4. おわりに

紀伊半島大水害以降、2014年の広島土砂災害、昨年の九州北部豪雨災害を見ていると、今までに経験したことがないような豪雨が毎年のように発生している。それに伴い、地域内の複数の溪流において土石流が同時に多発するなど、地域全体が被災するような激甚な土砂災害が発生しており、警戒避難体制の構築等、今まで以上に平常時からの備えが大切になってくると考える。

土砂災害の被害を軽減するためには、住民の「知る努力」と行政の「知らせる努力」が相乗的に働くことが必要であり、そのためには土砂災害に関する啓発活動は非常に重要である。また、土砂災害が発生した場合には、二次災害防止のための緊急対応がその後の復興に影響するため、迅速かつ的確な対応が必要である。

県では、紀伊半島大水害や昨年の台風21号による土砂災害への対応を振り返り返ることで、災害対応の充実を図り、土砂災害の被害軽減につなげてゆく。

謝辞：台風21号による土砂災害への対応について助言等、ご支援を賜りました国土交通省砂防部、国土技術政策総合研究所にこの場を借りて感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 和歌山地方気象台：気象速報(台風21号)
- 2) 岡田和美ら(2018)：平成29年10月22日台風21号豪雨で発生した梅本川土石流災害と対応について、平成30年度砂防学会研究発表会
- 3) 中山雅之ら(2018)：平成29年10月22日の台風21号によって滑動した三波川帯地すべり、平成30年度砂防学会研究発表会

山岳被災地における画像伝送の一手法について

杉田 雅幸

九頭竜川ダム統合管理事務所 真名川ダム管理支所 (〒912-0021福井県大野市下若生子25字水谷1-36) .

災害時において、初動体制を図るにあたっては災害状況を把握するための画像伝送や通信を確保する事が極めて有効である。国土交通省では災害時の画像伝送に通信衛星を利用した衛星通信車やKu-SAT IIを活用しているが、被災して車両交通が不可能となった場所へは、人力で搬送・設営可能な画像伝送方法の検討を行う必要がある。

山岳地域において、有効なIP画像伝送方法となる公共ブロードバンド移動通信システム(以下、「公共ブロードバンド通信」という。)設備の訓練を実施したので紹介する、

キーワード ドローン, 公共ブロードバンド, 衛星通信車, Ku-SAT II

1. はじめに

近年、東日本大震災や熊本地震などの巨大地震、台風や停滞する低気圧による土砂災害や洪水被害などの広域災害が多く発生している。

近畿地方においても、2011年熊野川流域に長期間に停滞した雨雲により土砂崩れや河川の氾濫を引き起こした紀伊半島大水害における赤谷地区の河道閉塞被災現場のように商用電源および民間有線回線や携帯電話サービスエリア対象外の場所にはKu-SATが活躍した、今後は、2012年に次世代衛星通信システムに更新された衛星通信車やKu-SAT IIの活躍も期待されるが、道路が寸断され車両進入が不可能となった場合にも衛星通信車などと組み合わせて、現地に徒歩で運搬出来る通信手段である公共ブロードバンド通信装置の訓練を実施したので紹介する。

2. 訓練概要

訓練内容は、大規模災害が発生し車両進入が不可能、商用電源が無くかつ民間の携帯電話サービスエリア外の現場においてドローンで撮影した映像(画像)を公共ブロードバンド通信装置を利用して、車両通行可能な場所に待機する衛星通信車を經由して、地方整備局の災害対策本部へ画像伝送する。

実施は、2017年11月13日・14日に近畿地方整備局企画部情報通信技術課と防災課が整備局災害対策室設営、九頭竜川ダム統合管理事務所が訓練の総括、近畿技術事務所のドローン操作、福井河川国道事務所が衛星通信車設営に加えて、公共ブロードバンドデモ機提供・設営協力を災害協定に基づく協力会社により図-1の構成で行った。

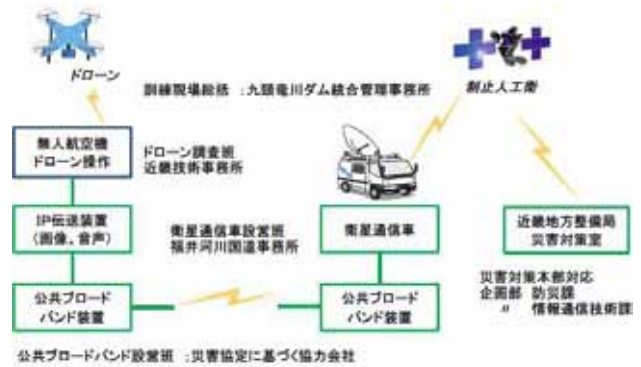


図-1 訓練構成図

場所は福井県大野市中島地先、真名川ダム上流の雲川第一堰堤を車両進入不可能な災害発生場所、下流の中島公園広場を車両通行可能な場所と想定した、図-2のとおり訓練場所間の1.6kmの区間は雲川の溪谷がある山岳地域になっており、公共ブロードバンド通信装置相互は、見通し外区間である。



図-2 訓練実施場所状況

2. 訓練における確認事項

訓練を行うにあたり、確認したい成果項目を以下とおり設定して確認することとした。

(1) 送信画像の見え方(有効性)の検証

ドローン撮影、公共ブロードバンド通信装置相互、衛星通信車より災害対策本部までの各区分および全体を通じた見え方確認。

(2) 災害対策室との連絡方法の検証

公共ブロードバンド通信を用いたドローン操作者への操作指示の伝達。

(3) 山岳部での移動体通信の伝送距離の検証

公共ブロードバンド通信装置相互の見通し外区分となる山岳部での画像鮮明度の確認

(4) 画像配信を行うための必要人員の確認

ドローン操作、公共ブロードバンド通信装置相互及び衛星通信の各操作、搬送用人員

3. 訓練後の確認事項の整理

(1) 送信画像の見え方(有効性)の検証

画像の伝送先である近畿地方整備局災害対策本部では、大画面表示しても遜色ない画像配信が行えていることが確認された。(写真-1)

今回の課題は、使用したドローン装置の操作器からの映像信号がHDMI規格であるのに対して、IP配信のために画像圧縮するエンコーダ装置への入力がNTSC規格で変換用コンバータが介在したため、複数段階の信号変換と装置が必要となり設備が増え設営手間が増えるのみならず、装置と消費電力の増加にもなり、また今回は高画質(High Definition)画像を標準画質(Standard Definition)に変換したため画質の劣化も懸念されたところであったため信号や入力端子など規格の事前確認が必要であった。(図-3)



写真-1 災害対策本部会議室写真

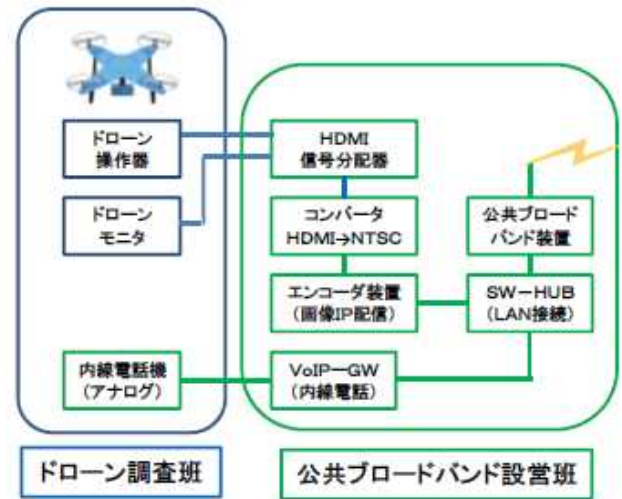


図-3 災害現場想定箇所設営機材

(2) 災害対策室との連絡方法の検証

訓練では、民間有線や携帯電話サービスエリアが無い状況で画像を求めている地方整備局災害対策本部などが求める場所的確なドローン撮影した映像(画像)を送信するため、災害対策本部からドローン運用者に操作指示を行う方法を検討した。

衛星通信車による衛星回線及び公共ブロードバンド通信、音声IP変換を行うVoIPゲートウェイでマイクロ内線電話回線を構築し、災害対策本部より内線電話で現地に指示してリクエストされた映像を伝送する訓練を行い、その指示を的確にドローン操作に反映させることができた。

(3) 山岳部での移動体通信の伝送距離の検証

公共ブロードバンド通信装置の標準仕様においては、可搬運用する際のアンテナは、本体に取り付ける30cm程度のホイップアンテナが使用されるが、山岳地域の災害発生想定場所と想定した雲川第一堰堤から衛星通信車を配置した見通し外1.6kmの区分では、良好な状態での画像通信が出来ない状態であった。

そこで、電波の伝搬を向上させるために送受信アンテナに八木アンテナ(3素子)を設営したことで、安定した画像通信が可能となり実効通信速度1.7~2Mbpsを確認できた。

この数字は、公共ブロードバンド通信装置と接続して運用する衛星通信車の画像伝送chの伝送速度が最大2Mbpsであることを鑑みても動画映像の画像伝送に耐える性能であり、電波が届きづらい見通し外区分においても、八木アンテナを利用することで対向する公共ブロードバンド通信装置の方向に対しての電波の送受信利得を向上させ山岳地域においても画像伝送が出来ることが確認できた。

訓練で想定されたアンテナの種類とその電波に対する絶対利得(dBi)は、表-1のとおりである。

表-1 アンテナの空中線利得

運用状態	アンテナ種別	国電通仕第56号	災害協定協力会社
可搬	ホイップアンテナ	1dBi 以上	約 2dBi
	高利得ホイップアンテナ		約 3dBi
車載	車載ホイップアンテナ	2dBi 以上	約 2.15dBi
半固定	無指向性アンテナ	2dBi 以上	約 2.15dBi
	八木(3素子)アンテナ		約 7.65dBi

(4) 画像配信を行うための必要人員の確認

標準的な現場での必要な人員は、ドローン調査班 3名、公共ブロードバンド設置班が 2名ずつ 4名、衛星通信車設置班 2名の合計 9名程度必要と想定していた。

しかし、ドローンや公共ブロードバンド通信装置本体の設営のみならず周辺装置の運用には人員が足りないことが判明した、IP伝送にて送信画像をIP変換するためのエンコーダ装置や内線電話を運用するためのV o I PゲートウェイやHUB装置を災害発生想定場所において運用するには電源が必要となり、実際訓練では可搬型の小型発電機を利用した。

また、電波の伝搬を向上させるための八木アンテナを設営したが、送受信で約 1m程度のアンテナを高さ 3mに送受信で 2基設置するには、更に追加人数が必要となるため今回訓練での実作業必要人員は、表-2のとおりと想定される。

表-2 画像配信必要人員表

班構成 \ 場所	災害発生箇所(徒歩移動)	設営基地箇所(車両通行)	備考
ドローン調査・操作	3名		
衛星車設営		2名	
公共ブロードバンド設営	2名	2名	
(電源装置設営)	(2名)		衛星車は車載
(アンテナ設営)	(3名)		衛星車は車載
合計	10名	4名	

4. 画像伝達に用いる無線装置の検討

(1) 公共ブロードバンド通信装置概要

公共ブロードバンド通信装置は、2011年にテレビがアナログ放送から地上デジタル放送に切り替わり空いた電波の跡地であるVHF帯の一部 200MHz帯(170MHz~202.5MHz)を利用して、災害現場等に於いて機動的かつ確実に映像伝達を行う手段として、警察・消防などを含む防災機関に総務省より周波数が割り当てられ安心・安全の確保といった用途に利用が期待されている装置である。

国土交通省の標準仕様では、「国土交通省公共ブロードバンド移動通信システム標準仕様(国電通仕第56号)」に定める仕様で2016年(平成28年)に制定され、可搬出来る装置として熊本地震においても九州地方整備局が橋梁の被災現場の画像を伝送するなどの実績もある装置となっている。

2011年 地上アナログ放送で利用されていた電波の跡地利用

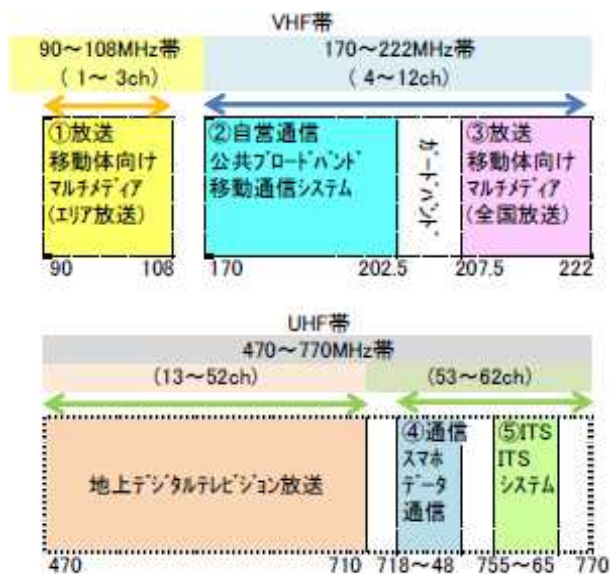


図-4 地上アナログ放送の電波跡地利用

表-3 公共ブロードバンド通信装置規格

項目	性能	備考
無線周波数帯	170.0~202.5MHz	
空中線電力	5 W	利得 37dBm
	1 W	利得 30dBm
占有周波数帯幅	4.9 MHz以下	1chあたり
チャンネル数	3 ch	
伝送速度	1.5~ 6Mbps程度	
インターフェイス	100BASE-TX	RJ-45
本体重量	10kg程度	
電源	AC100V, DC12V	
バッテリー時間	最大消費60分以上	リチウムイオン
防水・防塵	IP X4以上	飛沫保護

(2) 無線装置の特性による比較

表-4において、災害現場からの画像伝送方法を比較する。

条件として、今回の想定は車両進入不可能な山岳地域被災地を想定したものであるため、車両での機材運搬は出来ない、徒歩での移動距離も平地では道路距離80mを1分であるが、山岳地域の被災地において機材を持つての移動距離は登山の一般的な時速1.5kmを参考にして無線伝搬に求める距離も1時間移動を限度と考え1.5km程度と想定した。

表-4 画像伝送方法比較

条件\種別	200MHz 公共BB	2.4GHz 無線LAN	5GHz 無線LAN	5GHz 包括無線	25GHz 無線LAN	12/14G 衛星通信車	12/14G Ku-SAT II
人力での可搬性	○	○	○	○	○	×	△
	人力	人力	人力	人力	人力	車両搭載	60kg
画像伝送通信速度	○	○	○	○	○	○	○
	6Mbps	54Mbps	90Mbps	100Mbps	150Mbps	2Mbps	2Mbps
見通し区間 (1.5km以上伝送)	○	×	○	○	○	—	—
	15km	500m	17km	30km	9.9km	衛星通信	衛星通信
見通し外区間 (1.5km以上伝送)	○	×	×	×	×	—	—
	3~5km	不可	不可	不可	不可	衛星通信	衛星通信

- 伝送速度は、IEEE 802.11に代表される無線LAN通信方式によって同一周波数でも異なる。
- 5GHz包括無線は、国土交通省5GHz無線アクセスシステム(i-RAS)機器仕様による。
- 衛星通信車およびKu-SAT IIは、複数の画像伝送chがあり最大が1chあたり2Mbpsである。

山岳地域の見通し外区間の伝送が極端な結果を示した理由は、電波の周波数特性により生じている。公共ブロードバンド通信 200MHz が有利な性質を示した理由は、”アンテナの指向性”と“山岳回折波”“山岳反射波”が影響すると考えられる。

a) アンテナの指向性

電波の受信電力はFriisの伝送公式(1a)式で求められ、何も無い自由空間の伝送損失は(1b)式の送信と受信の差より求める。

$$P_R = G_T G_R \frac{\lambda^2}{(4\pi r)^2} P_T \quad (1a)$$

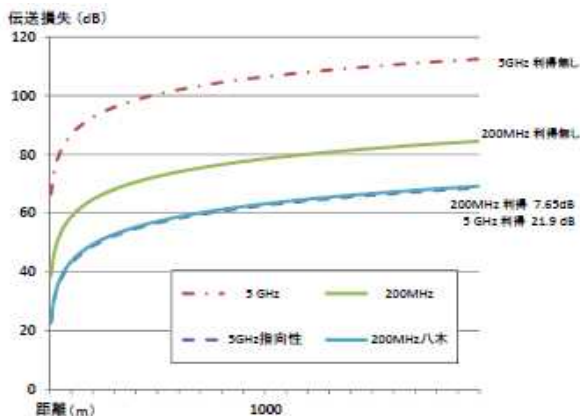
$$P_T / P_R = \text{自由空間伝送損失 (dB)} \quad (1b)$$

- P_R : 受信電力 (W) 、 P_T : 送信電力 (W)
- G_T : 送信アンテナ利得 、 G_R : 受信アンテナ利得
- λ : 電波の波長 (m) (= 光速 (m) / 周波数 (Hz))
- r : 送受信点間の距離 (m)

以上の式より、電波の損失は周波数の2乗に比例して増加する事が確認出来る。

人力にて運搬可能で、画像伝送を行える装置として、公共ブロードバンド通信 200MHz と国土交通省 5GHz (i-RAS) の伝送損失を表-5に比較した。

表-5 電波伝送損失比較



各々利得無し(自由空間)の伝送損失と比較して、公共ブロードバンド通信 200MHz には訓練で用いた八木アンテナと同じ 7.65 dB 利得、国土交通省 5GHz (i-RAS) には平面アレイアンテナ 21.9 dB 利得を用いるとアンテナを用いては偶然に同程度の損失となったが、比べてみると図-5のように利得を上げるために電波の指向性を絞っているのも移動を行っての通信や見通しが出来ない場所には使いづらくなる。

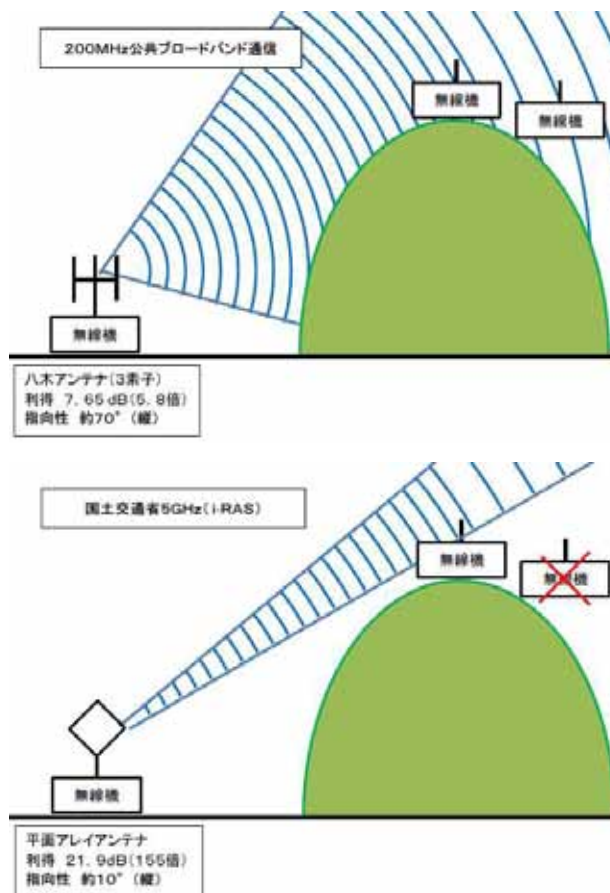


図-5 アンテナの指向性

b) 山岳回折波と山岳反射波

装置相互間が見通し外区間の場合には、電波が折れて拡散する回折波、大地や山岳に反射する反射波が利

用できるが、周波数の低いVHF帯電波の方が優れた性質を持っている。さらに、前項のアンテナの指向性でも触れたが、周波数が高い国土交通省 5GHz (i-RAS) は、電波の減衰を補うため指向性が狭いアンテナが用いられるため、図-6のように公共ブロードバンド通信 200MHzの方が有利と想定できる。

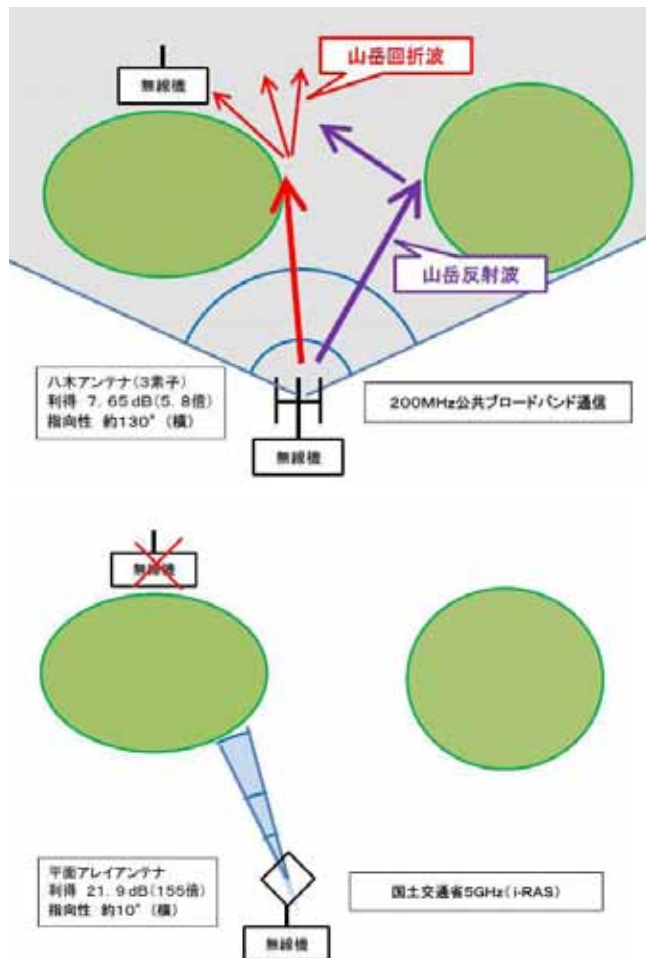


図-6 山岳回折波と山岳反射波

以上の理由から山岳地域の見通し外区間の伝送では、公共ブロードバンド通信 200MHz が適していると判断したため今回の訓練対象とした。

5. 今後の展望について

訓練では、図-3、写真-2のように構成装置が複数になり持ち運びは困難であるため、設備を見直していくことが今後の課題となる。3. 項訓練後の確認事項の整理に対して解決方法を検討することとした。

検討にあたっては、3項(4)において訓練前想定した人員より追加が必要となった公共ブロードバンド設営に関する”電源設備設営”と”アンテナ設営”をいかにして削減するかが訓練成果を生かした提案になることから次のように考察した。

(1) 電源設備設営の削減提案

訓練において、電源が必要となったのは画像送信のための画像IP変換を行うエンコーダ装置、電話のための音声IP変換のVoIPゲートウェイが該当したが、1~2時間の現地調査には、自らバッテリー動作するIPネットワークカメラやIP電話を利用すれば、変換装置や20kg程の小型発電機を持ち歩く必要が無いため電源設備設営のための人数を抑えられる。



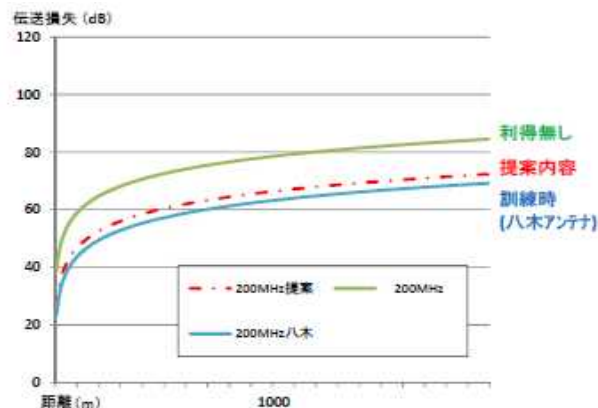
写真-2 訓練構成機材写真

(2) アンテナ設営の削減提案

訓練では、相互に八木アンテナ(3素子)を使用した、通信の中継基地となる衛星通信車に高利得なアンテナを据付けて被災現場への徒歩移動を軽くする方法もある。

表-6 アンテナと損料比較表

	災害発生箇所 (徒歩移動)	設営基地箇所 (車両通行)
訓練時使用アンテナ	八木アンテナ(3素子) 7.65 dBi (5.82倍)	八木アンテナ(3素子) 7.65 dBi (5.82倍)
提案内容アンテナ	ホイップアンテナ 2.15dBi (1.64倍)	高利得なアンテナ MAX 10dBi (10倍)



訓練を行った公共ブロードバンド通信装置が導入される際には、今回の考察を踏まえて設備構成の集約と効率化により実用的な運用を行うことが期待できる。

県道宮津養父線における法面崩壊時の 緊急対応について

本間 彰洋¹

¹兵庫県但馬県民局 但馬水産事務所 漁港課 (〒669-6544 兵庫県美方郡香美町香住区香住 1852-4)

県道宮津養父線は丹後地域と但馬地域間の経済活動を支え、地域住民の通勤経路としても利用される重要な路線である。当該路線において、平成29年1月の記録的大雪による融雪水を起因とした大規模な法面崩壊が発生し、崩土が道路全面を封鎖した。

本稿では、今回の災害時に実施した緊急対応について考察し、今後の災害時対応や日常管理における改善策を提案する。

キーワード 災害, 危機管理, 維持管理

1. はじめに

県道宮津養父線は丹後地域と但馬地域間の産業や交流・連携、沿道地域の生活や経済活動を支えると共に、地域住民の通勤経路としても利用される重要な路線である。当該路線において、平成29年1月の記録的大雪による融雪水を起因とした大規模な法面崩壊が発生し、崩土が道路全面を封鎖した。そのため、当該路線の通行止めを実施した上で、効率的な迂回ルートの周知、早急かつ安全な交通解放に向け様々な取り組みを行なった。

本稿では、今回の重要路線における災害への緊急対応の取り組みを考察し、今後の災害時対応や日常管理業務における災害に備えるための改善策を提案する。



図-1 被災箇所

2. 法面崩壊の概要

(1) 被災状況

平成29年1月27日20時頃、養父市八鹿町下網場において、主要地方道宮津養父線沿いの道路法面が高さ40mにわたり大規模崩壊をおこした。この崩壊により崩土約1,200m³が道路全面を塞ぎ、通行中の車両が1台巻き込まれ、車両は全損、運転者は肋骨を骨折する被害を受けた。被災要因として、1月22日～24日の豪雪及び26日以降の急激な気温上昇による大量の融雪水が風化岩の亀裂部へ浸透したことが考えられる。



写真-1 被災全景

(2) 初期対応

災害時の初期対応は、①被災規模の把握（行方不明者の有無・被災者への対応など）、②交通規制・周知方法の検討、③応急工事の準備、④査定準備（被災要因の調査など）、⑤周辺用地・占用物件の調査・協議、⑥記者対応など多岐にわたり、これらを同時にかつ関係機関と情報を共有しながら進めることとなる。当日の天候は晴れのため、水防・除雪待機はなく、事務所全体で必要人数を招集し、役割を分担して対応した。

(3) 早期交通開放に向けて

崩土撤去及び応急工事完了までの安全確保のため、1月27日20時50分より当該区間を全面通行止めとした。しかし、当該路線は、約9,300台/日（平成27年度交通センサス）の交通量があり、養父土木事務所管内でも主要となる幹線道路である。また被災当時は北近畿豊岡自動車道が八鹿水ノ山ICまでしか開通しておらず、当該路線の通行止めにより唯一の南北交通路となる国道312号で大渋滞が発生した。そのため、早期かつ安全な交通開放に向け、様々な取り組みを行なった。

3. 取り組み内容と考察

本災害において実施した様々な取り組みとその考察を以下に述べる。

(1) 早期対応への取り組み

a) 新技術・新工法の採用（仮設防護柵）

仮設防護柵に設置型（写真-2）を採用し、従来（杭打）工法と比べ設置期間を大幅に短縮した。従来工法で1ヶ月かかる施工期間を4日間に短縮出来たため、有効な手法である。早期に道路下が岩盤で埋設管があることを確認していたため、床堀の必要がない設置型が有利であると判断出来た。



写真-2 仮設防護柵

b) 新技術・新工法の採用（UAV 測量）

UAV 測量（写真-3）の実施により、安全かつ早期の状況把握が出来た。しかし、UAV 測量は地形を面として捉えるため、As と Con の境目、ガードレールの起終点まで把握出来ないなどの課題も判明した。全体把握や危険箇所の測量には大変有効なため、細部測量には現場での測量を併用する手法が効果的である。



写真-3 UAV 撮影写真

c) 職員による手作り看板の設置

迂回路周知看板の発注に1週間程度の期間を要するため、職員が大判プリンターにより迂回路看板（写真-4）を自作し、各所に配置した。看板表記・設置位置を、現地状況により修正出来るため、当初は混乱したがスムーズな交通誘導に成功し、結果として発注より融通が利く上、費用も抑えることが出来た。雨水対策、夜間対策が課題であるが、シール紙やマグネット、道路点滅灯をさらに工夫して利用すれば今後の有効な手法となる。



写真-4 手作り看板

d) 文献調査の早期実施

被災箇所付近に関西電力の鉄塔があることから、早急に関西電力と協議し、地質ボーリング調査・用地境界データを入手出来た。関係機関との連携により効率化を図れた成功例であり、今後にも活かせる手法と思われる。

e) ラインによる情報共有

職員同士の情報共有として、ライングループを作成し、現場状況の写真などを共有した。早急な情報共有が図れたため、今後にも有効である。

(2) 安全への取り組み

a) 警察との連携による信号現示の切り替え

職員が早朝や昼間に各方面の渋滞状況を確認し、警察と連携して、前日の渋滞状況から信号現示を調整した。非常に有効な手法であり、渋滞緩和に大きく貢献した。

b) 監視カメラ・歪み計の設置

交通開放後の安全対策として、本復旧工事までの期間、監視カメラと歪み計によるネットワーク上での現場安全確認を行なった。土日でもスマホで状況確認が出来る上、緊急業者などによるパトロール費用の削減にも繋がった。

(3) 情報発信の取り組み

a) 市の防災無線による情報発信

養父市と連携して、防災無線による情報発信を行なった。特に高齢層への周知に有効だが、聞き間違いによる苦情もあり、今後はチラシの各戸配布も合わせて行なうべきである。

b) フェイスブックによる情報発信

養父土木事務所のフェイスブックで規制情報を発信した。若年層が中心と思われるが、アクセス数5560に達し、一定の効果を発揮した。今後、地元への配布チラシや関係機関への報告文書にもフェイスブックのアドレスを添付すれば、さらなる効果が期待出来る。

c) 営業店舗の周知

通行止め区間内の営業店舗を周知するため、手作り看板により対応したが、設置位置や看板表記など多数苦情が寄せられた。付近に店舗がある際には、規制方法について十分説明し、情報提供を緊密にするなどの配慮が重要である。

d) 道路情報板による情報発信

管内全ての情報板で規制情報を表示した。広範囲の周知に有効だったが、営業店舗から客足が遠のいたとの苦情もあり、利用には注意が必要である。

4. 緊急対応全体を通しての課題と改善案

本災害の緊急対応全体を通して感じた課題及びその改善提案を以下に述べる。

(1) 警備・測量・設計・応急工事業者との早期契約

災害対応には、警備・測量・設計・施工業者との早急な契約締結・協議が求められる。特に、交通誘導員の招集は災害当日に必要なため緊急性は高い。しかし、緊急性を優先するあまり、行政としての公平性を欠くと、業者とのトラブルに発展しかねない。

そこで、警備業協会・測量設計業協会、建設業協会との協定を基に、緊急時の推薦業者を年度毎にあらかじめ選定し、緊急時の連絡網に組み込むことを提案する。

(2) 関係機関との連携強化

災害時には、事務所内だけでなく、県庁、他事務所、市役所、警察・消防などの関係機関と早急に情報を共有することが重要である。しかし、現行のFAXによる情報共有では手間や時間もかかる上、送信エラーも多い。

そこで、「メールによる情報共有」への変更を提案する。省力化・時間短縮・受信の確実性が向上し、写真をカラーで確認出来るなどの利点もある。さらに、ライン、フェイスブックなどを併用すれば、一層の情報共有が期待出来る。

(3) 日常管理業務の徹底

本災害時に、カラーコーン・道路点滅灯など様々な備品が必要となったが、在庫不足のため対応に苦慮した。また、災害要因を調べるため、当該箇所の道路パトロール記録を確認したが、見つけ出すのに時間を要した。これらの反省から、日常の備えが緊急対応において重要だと感じた。

そこで、表-1及び表-2のチェックリストを日常管理に活用することを提案する。さらに、近年のパトロール業務の業者委託拡大や兼用護岸の土砂吸出しによる事故を踏まえ、各委託業者間の意見交換会、経験豊富な直営パトによる講習会、河川の防災点検との連携などを行なえば、災害の未然防止にも繋がる。

表-1 県備品在庫チェックリスト

H29年度 県備品在庫チェックリスト		管理者: 石橋 H29.11.17					合計
備品名称	事務所倉庫	現場	事務所水防倉庫	除雪車庫(羽瀨)	仮置場(三波)	仮置場(新津)	仮置場(竹原野)
カラーコーン							
道路点滅灯		道路					
単一電池		パト					
カラーコーン		ロール					
バリエート							
コーンバー							
チューブライト							
看板「無地」		懸案事項					
看板「通行止め」							
看板「迂回路」							
クッションゴム		チェ					
水タケ		ック					
土のう袋		リスト					
ガードレール(レール)							
ガードレール(基礎)							
根固めブロック							
プレキャスト側溝							
グレーチング							
残土(m3)							

※多数使用する際は、管理者へ報告し、管理者はチェックリストを更新する。
 ※管理者は年度末に在庫量を確認し、ファイル綴じて保管する。

表-2 道路パトロール懸案事項チェックリスト

H29年度 道路パトロール懸案事項チェックリスト

※定期的に監督員と対応状況を確認すること。
 ※対応済みは下の段へまわし、削除しないこと。
 ※位置図へ個表番号を旗上げすること。
 ※パトロール業務引継の際に利用すること。
 ※即日対応し懸案のないものは表記の必要なし。

2017/11/17

A路線(〇〇建設)

優先 順位	個表番号	住所	路線	被災形態	対応方針(監督員)					対応方針(道路パト)				県備品管理		所見	備考
					担当	対応方法	対応者	対応状況	完了 確認	担当	対応方法	対応状況	完了 確認	設置状況	撤去 確認		
1	269-B-2	八鹿町 下網場	宮津養父線	法面崩壊	石橋	法枠工	請負業者	図面・数量 作成中	未	田中	監視・報告	継続中	未	カラーコーン×5 看板×2	未	降雨時の状況を 確認する必要あり。	来年度 発注予定
2	187-A-1	大屋町 明延	養父穴栗線	道路陥没	石橋	道路補修	緊急工事	指示済 (H29.12.22 対応予定)	未	田中	監視・報告	継続中	未	カラーコーン×5 点滅灯×5	未	点滅灯電池切れを 確認。早急に取り替 える予定。	
3	91-C-4	養父市 出合	関宮小代線	側溝 土砂堆積	石橋	土砂撤去	パトロール隊	指示済 (H29.11.19 対応予定)	未	田中	土砂撤去	H29.11.19 実施予定	未	-	-		
4	100-B-1	養父市 出合	福岡出合線	法面崩壊	石橋	検討中	未	未	未	田中	ブルーシート養生 監視・報告	継続中	未	カラーコーン×5 ブルーシート×2 点滅灯×5	未	舗装ひび割れ幅を 定期的に測定し、 報告する。	
5	207-D-5	養父市 福定	関宮小代線	倒木危険	石橋	様子見	未	未	未	田中	監視・報告	継続中	未	-	-	変状を確認したら 至急連絡する。	
6	209-B-3	養父市 数崎	312号	倒木	石橋	撤去	NTT	未	未	田中	監視・報告	継続中	未	-	-	変状を確認したら 至急連絡する。	
済	105-A-3	養父市 森	十二所澤線	側溝 土砂堆積	石橋	土砂撤去	パトロール隊	済	済	田中	済	済	済	カラーコーン×2	済	降雨時に再度堆積 がないか今後監視 する。	

5. おわりに

今回の緊急対応の大きな反省点として、遠方への規制情報の周知が不十分だったことが挙げられる。本災害では県庁との連携により、カーナビの表示や新聞への掲載も出来ていたが、多数苦情が寄せられた。道の駅でのチラシ配布などの細やかな配慮も必要だと感じた。また、今回の緊急対応を通して、災害時における初期対応の重要性を改めて認識した。効率的な初期対応には、普段からの緊急時行動のシミュレーションが必要である。特に本災害は気象条件も良い中、突然発生した。

災害はいつ起こるか分からないことを十分認識し、今回の経験を検証して備えておきたい。

謝辞：本論文は、従前の所属である兵庫県但馬県民局養父土木事務所道路第2課で取り組んだ業務に基づくものである。本論文の作成にあたり、様々なご指導・ご指摘を頂いた養父土木事務所の方々、また議論を通じて多くの知識や見解を示して頂いた関係者の皆様に、深く感謝いたします。

三重県紀宝町におけるコミュニティタイムライン策定に向けた取り組みについて

川嶋 智和¹

¹近畿地方整備局 紀南河川国道事務所 調査課 (〒646-0003和歌山県田辺市中万呂142)

新宮川水系熊野川流域の下流に位置する三重県紀宝町では、過去から度重なる浸水被害に見舞われている。特に、2011年9月の台風第12号洪水では熊野川の支川相野谷川で甚大な被害が発生している。紀宝町では、紀南河川国道事務所等と連携し、全国に先駆けて2014年度より事前防災行動計画（タイムライン）を導入し、地域の防災力向上に努めている。今般、地区住民による実践的な取り組みとしてコミュニティタイムラインを紀宝町鮎田地区において導入する事とし、紀宝町、紀南河川国道事務所は、地区住民の取り組みを支援した。本論文は、この取り組みを通じて、地域の課題や住民目線での防災行動のあり方について考察するものである。

キーワード コミュニティタイムライン、まるごとまちごとハザードマップ、洪水危機管理

1. はじめに

(1)熊野川の概要

熊野川は、その源を奈良県吉野郡天川村の山上ヶ岳に発し、途中で北山川と合流し、熊野灘に注ぐ流域面積2,360km²、幹線流路延長183kmの一級河川である。紀南河川国道事務所では、図-2のように熊野川本川は河口から5km、支川市田川は本川合流点より2km、支川相野谷川は本川合流点より5.7kmを国管理区間として管理している。

水が起こり、国管理区間沿川で約3,000戸の家屋浸水が発生、支川相野谷川では洪水流が輪中堤を越え、堤防が転倒するなどの被害が発生した。

これを受け、熊野川では、2011年12月に激甚災害対策特別緊急事業に採択され、台風第12号の再度災害防止を目的として、熊野川本川の河道掘削、堤防整備、堤防強化等及び、支川相野谷川の輪中堤嵩上げ等を実施してきた。

2017年度からは熊野川のさらなる治水安全度の向上と浸水被害の軽減を図るため、緊急対策特定区間を設定し、概ね5年間で重点的に河道掘削を実施している。



図-1 熊野川流域図



図-2 熊野川管内図



写真-1 高岡輪中堤の転倒

(2)2011年（平成23年）台風第12号による被害

2011年9月に発生した台風第12号は、熊野川上流の大台ヶ原地点にて6日間の総雨量が2,000mmを超える未曾有の豪雨をもたらした。基準地点（相賀）においては、計画規模（19,000m³/s）を大きく越える約24,000m³/sの洪

2.コミュニティタイムラインの導入の経緯

(1)タイムラインとは¹⁾

タイムラインとは、事前にある程度被害の発生が見通せるリスクについて、被害の発生を前提に時間軸に沿った防災行動を策定しておくことである。

米国では2012年のハリケーンサタディ発生時に各地に多くの被害をもたらしたが、ニュージャージー州ではタイムラインに基づき事前に避難指示等の対応を終えた結果、人的被害が発生しなかったという事例があり、注目された²⁾。

紀宝町では、全国に先駆けて2014年度より事前防災行動計画（タイムライン）を導入している。紀南河川国道事務所と津地方気象台は、紀宝町の対応を支援するため、情報の提供を台風接近の数日前から行うことにより、防災・減災に努めている。

熊野川流域では、浸水被害を生じさせる水害の多くは台風によるものであるという特徴があることから、タイムラインを導入することによって、以下の効果が期待され、今後の災害対応に関する手段として非常に有用なものである。

- ・ 早めの防災行動による避難行動・防災活動時間の確保
- ・ 既往災害の「ふりかえり」を行うことによる、課題や教訓の継承

(2)コミュニティタイムラインとは

タイムラインが行政機関による避難指示を事前に行うことに着目している点に対して、コミュニティタイムラインは地区住民自らが避難行動ができるようにすることが目的の一つである。

コミュニティタイムラインを導入することによって、以下の効果が期待され、地区防災計画の策定に向けた取り組みに繋がるものである。

- ・ 知識や防災行動、危機感の認識を共有することにより地域の防災力が向上
- ・ 地域内で共同作成するによりコミュニケーションとルールが確立
- ・ 上記二つをつなぐことによるコミュニティタイムラインの見直し

3. 鮎田地区でのコミュニティタイムラインの導入

(1) 鮎田地区でのコミュニティタイムラインの導入

コミュニティタイムライン検討会を、紀宝町鮎田地区において、鮎田地区住民、紀宝町役場、紀南河川国道事務所の参加者で、2017年8月、9月、11月、12月の計4回開催した。

コミュニティタイムライン検討会の実施内容は、以下のとおりである。なお、第3回目と第4回目は2017年（平成29年）台風第21号を踏まえた内容となっている。

第1回目：タイムライン作成について

- 鮎田地区内水防施設の説明
- 災害対応時におけるそれぞれの役割
- 災害時の地域の課題について

第2回目：コミュニティタイムライン行動の整理
役割の整理

第3回目：まるごとまちごとハザードマップの説明
まちあるきによる地区の危険箇所の確認
2017年（平成29年）台風第21号の振り返り

第4回目：まちあるきの結果について

鮎田コミュニティタイムライン（案）の提示
災害時の役割分担の確認

第1回目と第2回目のコミュニティタイムラインの検討を行う中で、見えてきた地域の課題は以下の通りである。

- ・ 要介護者・要支援者の情報を民生委員と共有できていない
- ・ 要支援者は一人では逃げられない
- ・ 誰が要介護者・要支援者を助けに行くか話し合いができていない
- ・ 一次避難所と二次避難所のどちらに逃げればいいのか、はっきりとしていない
- ・ 避難準備情報を決めていない
- ・ 水位又は雨量などの見える、理解できる情報が作成されていない



写真-2 コミュニティタイムライン検討会の状況

(2) 2017年（平成29年）台風第21号の概要

2017年（平成29年）台風第21号は、2017年10月16日にカロリン諸島で発生し、10月21日から23日にかけて日本を通過し、広い範囲で大雨となった。和歌山県新宮市にある新宮雨量観測所では、10月23日0時に累加雨量893.5mmを記録し、観測史上1の大雨となった。

降雨の状況（新宮雨量観測所：気象庁）

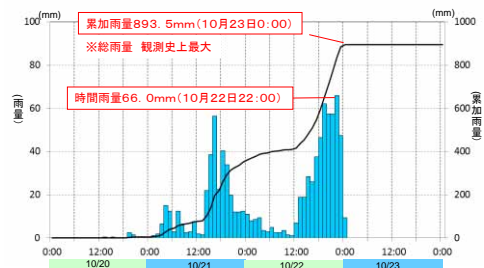


図-3 新宮雨量観測結果

この大雨において、和歌山県新宮市の市田川沿川で

1000戸以上、三重県紀宝町の相野谷川沿川で10戸以上の浸水が発生した。



写真3 新宮市内の浸水状況

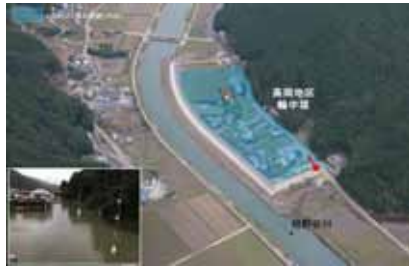


写真4 高岡地区の浸水状況

(3)2017年(平成29年)台風第21号で見つかった課題

2017年(平成29年)台風第21号接近時は、コミュニティタイムラインは検討段階であり、それに基づき行動することで浮き彫りになった課題のうち河川管理者に関するものを以下に示す。

- a)避難地の選定に関する課題
 - ・当初想定していた避難場所が鮎田地区から離れているため、高齢者を連れて行くことが困難。
 - ・二段階避難は台風接近の情報錯綜時には不可能である。
 - ・これまでに決められていた避難先は、周辺が浸水していたため、避難先を変更することが必要である。
- b)避難の目安に関する課題
 - ・排水ポンプの処理能力以上の降雨の場合、二次内水氾濫により市街地の浸水により避難が困難になる。
 - ・自治体の情報に頼らずに地区の避難を考えるには、独自の避難判断開始指標(外水位、降雨予測、時間雨量、施設操作状況など)を設定し情報を入手することが必要である。
- c)その他

- ・読んで理解するものではなく、一目で避難行動に結びつくような工夫を行う必要がある。
- ・2011年(平成23年)9月の大洪水を経験しているにもかかわらず、逃げることをためらう住民がいる。改めて個別に説明し、身を守る避難行動の必要性について理解して頂く必要がある。

(4)課題に対する対策

2017年(平成29年)台風第21号で見つかった課題を受

けて、コミュニティタイムライン検討会で改善を行った。

課題a)に対して、周辺が浸水しないなどの条件を満たした新たな避難所を鮎田地区内に設けることができないか調整中である。

課題b)に対して、情報端末等を通じて外水位や時間雨量等をリアルタイムで見れるように調整中である。また、紀南河川国道事務所は、住民や行政に向けて避難判断の新たな追加情報として、図-4のような樋門の操作状況に関する情報を提供する方向で調整中である。

樋門樋管等現況表

樋門名称	現在水位(m)	樋門高(m)	操作状況	操作時間	現在水位(m)	樋門高(m)	操作状況	操作時間	
相野川樋門	0.18	0.17	全開	全開	新田川樋門	0.14	0.19	全開	全開
電光寺樋門	3.25	2.97	全開		新田川4樋門	3.44	1.09	全開	
新田川1樋門	4.00	3.83	全開		新田川5樋門	3.88	3.88	全開	
新田川2樋門	4.26	3.44	全開		高岡地区樋門	2.57	2.26	全開	
新田川3樋門	4.62	4.61	全開		大津第1樋門	2.60	3.01	全開	
新田川4樋門	7.40	5.96	全開		大津第2樋門	7.14	6.87	全開	
新田川5樋門	6.34	6.14	全開		大津第3樋門	6.22	6.34	全開	

図-4 樋門樋管等現況表

課題c)に対して、紀宝町が一目で避難行動に結びつくような工夫をするにあたり、取り組み内容として似ているまるとまちごとハザードマップを取り入れた。まるとまちごとハザードマップを作成する際は、地区の情報を先行して収集していたコミュニティタイムラインと連携を図るようにした。具体的な内容については、後述する。

改善を行った鮎田地区におけるコミュニティタイムライン(案)を図-6および図-7に示す。

紀宝町鮎田地区における台風による風水害に備えた事前防災行動計画(タイムライン)ver.20171213

◆鮎田地区タイムラインについて
紀宝町鮎田地区タイムラインとは、風水害時に住民の命と暮らし、自主防災会や消防団、民生委員、輪中管理事務所等の地域の守り手の命を守るために、「誰かがいつか役立つ」まで事前防災行動計画として、タイムライン(取り決め)の行動指針を、台風接近時には早くも避難を促し、地域内での安全確保に繋がるよう心がけて、地域を守ります。

◆鮎田地区で利用できる避難場所
牛島神社...鮎田地区内の避難場所
生活支援センター...避難先(避難所)の確保が困難な場合に、自主防災会や消防団、民生委員、輪中管理事務所等の地域の守り手の命を守るために「誰かがいつか役立つ」まで事前防災行動計画として、タイムライン(取り決め)の行動指針を、台風接近時には早くも避難を促し、地域内での安全確保に繋がるよう心がけて、地域を守ります。

災害発生・台風接近 の段階	とるべき避難行動	避難地の状況	きっかりとなる情報
24時間前 1ヶ月前	避難場所は、災害発生に備えて自主防災会や消防団・避難所へ避難する 地区内の避難先へ事前に連絡する	24時間以内の大雨が降って、鮎田地区でも雨で土砂災害の起こる可能性がある 鮎田地区内で内水が発生し始める	避難先情報、避難先までの所要時間 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間) 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間) 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間)
6時間前 3時間前	「避難準備」に促し、自主防災会や消防団・避難所へ避難する 「避難準備」に促し、自主防災会や消防団・避難所へ避難する	避難先情報、避難先までの所要時間 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間) 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間) 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間)	避難先情報、避難先までの所要時間 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間) 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間) 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間)

避難に備えて注意すること
・あらかじめどこへ避難するか決めておきましょう
・必ず避難先まで行く。避難先までの所要時間を把握しておきましょう
・災害が起きてから避難先まで行くことは出来ません。避難先までの所要時間を把握しておきましょう
・紀宝町防災委員会(防災センター)に電話して、避難先を確認しましょう

図-5 コミュニティタイムライン(案)

紀宝町鮎田地区における台風による風水害に備えた事前防災行動計画(タイムライン)案(案) ver.20171213

災害発生 の段階	とるべき避難行動	避難地の状況	きっかりとなる情報
24時間前 1ヶ月前	避難場所は、災害発生に備えて自主防災会や消防団・避難所へ避難する 地区内の避難先へ事前に連絡する	24時間以内の大雨が降って、鮎田地区でも雨で土砂災害の起こる可能性がある 鮎田地区内で内水が発生し始める	避難先情報、避難先までの所要時間 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間) 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間) 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間)
6時間前 3時間前	「避難準備」に促し、自主防災会や消防団・避難所へ避難する 「避難準備」に促し、自主防災会や消防団・避難所へ避難する	避難先情報、避難先までの所要時間 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間) 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間) 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間)	避難先情報、避難先までの所要時間 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間) 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間) 避難先までの所要時間(20分以内の所要時間)

図-6 概要版コミュニティタイムライン(案)

4.まるごとまちごとハザードマップとの連携

(1)まるごとまちごとハザードマップとは

まるごとまちごとハザードマップとは、住民自らが生活する地域の洪水の危険性を実感できるように、市街地をまるごとハザードマップに見立て、生活空間である市街地に水防災にかかわる情報を標示する取組のことである。

まるごとまちごとハザードマップを作成することで以下の効果が期待されている。

- ・災害時において、洪水への意識を高めるとともに、浸水深・避難所等の周知が図られる。
- ・災害時において、安全かつスムーズな避難行動に繋げ、洪水による被害を最小限にとどめる。

今回のまるごとまちごとハザードマップを整備するにあたり、留意した点を以下に示す。

- ・記載内容は地域特性を踏まえた内容にする。
- ・住民の生活習慣を十分に加味し、定期的な関心を持つ位置に設置する。
- ・管理者が継続的に更新・維持管理することができるようにする。

(2)連携内容

図-5～7で記載した発災時に地区独自の避難行動、つまりコミュニティタイムラインと連携した情報を伝えるために、コミュニティタイムラインで抽出された地区の課題や住民の意見を踏まえることとした。また、地区を歩きながら現場を確認するまちあるき第3回コミュニティタイムライン検討会と合同で実施した。

(3)課題c)に対する効果

課題c)に対する効果は、読んで理解が必要な文章ではなく一目見て感覚的に理解しやすい情報をまちあるきを通じて共有し、今後明示する場所を示せたことである。

また、まるごとまちごとハザードマップを作成することで、日常生活において、防災を意識する事や避難時に危険な箇所を知ることができるようになった。



写真-5 水位看板案の提示



写真-6 まちあるきの様子

5. おわりに

鮎田地区でコミュニティタイムラインを策定したことで、地区住民の防災への関心が高まり、地区住民が紀宝町に対して働きかけ鮎田地区に新たな避難地を設定するという計画が進んでいる。また、鮎田地区の課題が見えてきたので、今後は、地域の課題のみならず、住民の普段の生活に(無意識に)防災を根付かせる活動を併せて導入し、コミュニティタイムラインの実効性をより向上させる取り組みにつなげていきたい。

コミュニティタイムライン作成過程において、洪水を実際に経験する事で、机上で議論するだけでは把握できなかった課題を発見することができた。この経験がコミュニティタイムラインの実用性を向上させた。こういった経験は大変貴重であり、この経験を元にして紀宝町他地区でも実用性の高いコミュニティタイムラインを作成していきたい。

また、2018年度は紀宝町他地区でコミュニティタイムライン策定に向けて取り組みを始める予定であり、紀宝町、地区住民、紀南河川国道事務所が協力し合い、防災・減災の体制を確立していきたい。

参考文献

- 1) 加藤：熊野川タイムラインの取り組みについて、平成27年度近畿地方整備局管内技術論文，防災・保全部門：No.09
- 2) 国土交通省：米国ハリケーン・サンディに関する現地調査、先を見越した水害対応（事前行動計画）について、平成25年10月
(<http://www.mlit.go.jp/river/kokusai/disaster/america/>)

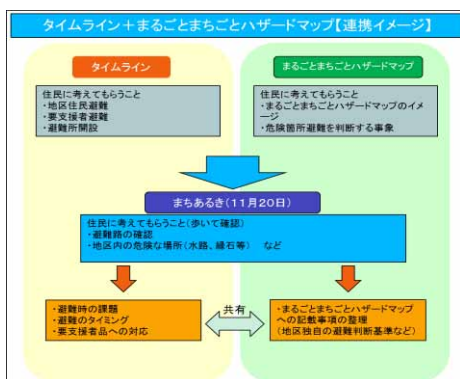


図-8 コミュニティタイムラインとの連携イメージ

円山川災害対策支援システムについて

たまむら まさゆき¹ ゆあさ たけし²
玉村 正幸¹・湯浅 武²

¹近畿地方整備局 九頭竜川ダム統合管理事務所 管理課 (〒912-0021 福井県大野市中野 29-28)

²近畿地方整備局 兵庫国道事務所 防災情報課 (〒650-0042 兵庫県神戸市中央区波止場町 3-11)

近年の水災害の激甚化・複合化に比例して、河川管理者に求められる防災業務も多様化・複雑化しており、限られた人員で効率的に防災業務を実施する必要性がクローズアップされているところである。本稿は、円山川における水災害対策を効率的に支援し、迅速で的確な災害対応を実現することを目的として、円山川災害対策支援システムを試行的に構築したことから、システム機能について説明するものである。

キーワード 防災, 災害, 危機管理

1. はじめに

(1) 円山川流域の水害リスク

円山川は、源を兵庫県朝来市生野町円山(標高640m)に発し、但馬地方を北に流れ、豊岡盆地を経て日本海に流出する一級河川である。豊岡盆地には資産・人口が集中しており、一度洪水氾濫すると甚大な被害が発生する。また、豊岡盆地より下流では河川沿いに山が迫り、川幅が狭く、出石川合流地点下流では河床勾配が19000と緩勾配であり、さらに感潮の影響を受け洪水が流下しにくい地形のため、河川水位は上昇しやすく内水氾濫も発生しやすい地形条件である。

2004年(平成16年)10月の台風23号では観測史上最大の豪雨を記録し、円山川、出石川の多くの区間で越水するとともに、円山川及び出石川では堤防が決壊し、沿川では死者5名、浸水家屋7,944戸の甚大な被害が発生した。

これにより河川激甚災害対策特別緊急事業が採択され、河道掘削、堤防強化等を実施しているものの、現在も無堤部等、整備が不十分な区間が存在する。



写真1 平成16年10月台風23号 豊岡市立野大橋付近

台風23号時の円山川・出石川の水位上昇は速く(1.6m~1.8m/h)、短い時間で水門や排水機場の操作、洪水予報、水防警報などの対応に追われた。平成28年に公表された洪水浸水想定区域では、さらに大規模な氾濫となることが想定されており、短時間かつ限られた人員で、より広範囲で複雑な洪水対応を行う必要がある。

(2) 円山川災害対策支援システム構築の背景

河川管理者を取巻く環境は、職員数が減少傾向にある中、防災・減災へのニーズの高まりもあって、情報受発信(水防法改正に伴う情報提供の充実)や現場対応(緊急浸食防止対策・排水ポンプ車派遣等)等の多岐に渡る任務を抱えている。

また、円山川水系では平成16年台風23号において、堤防決壊を経験しているが、所内に重大災害の経験者は少なくなってきたおり、加えて職員の人事異動もあって、持続的かつ効果的な防災業務を困難にしている。

これらの状況を踏まえて、円山川水系では関係者が事前に実施すべき防災対応を「いつ」、「誰が」、「何をするか」に着目して時系列で整理した円山川タイムラインを策定している(図1)。円山川タイムラインは、3つの洪水規模(既往最大規模・計画規模・想定最大規模)に対する施設操作や体制発令時のタイムライン(防災行動)が整理されている。しかしながら、実出水では降雨規模・降雨波形(地域分布、時間分布)によって洪水波形は異なり、対応のタイミングも変わってくることになる。紙のタイムラインをリアルタイムで万能に活用するには限界がある。このため、円山川における出水対応を効率的に支援し、迅速で的確な災害対応を実現することを目的として、円山川災害対策支援システムを試行的に構築することとした。



図1 円山川タイムライン (抜粋)



図2 災害対策支援システムに求められる機能

2. 災害対策支援システムに求められる要件

(1) 情報・状況把握支援

事務所が出水対応でまず求められることは、流域の状況把握である。しかしながら、必要な情報は、気象庁HP、統一河川情報システム、所内のCCTV閲覧システム等、様々な場所に散在しており、把握に時間を要する。このため、必要とする情報を一元的に把握できる画面の構築が必要である。

(2) 防災行動の判断・実施支援

事態が進行し河川水位の上昇が始まると、時々刻々と変化する状況に応じて、様式の作成・発信やホットライン等、複数で複雑な防災業務の遂行が必要となるため、事前に作成したタイムラインや災対運営計画を確認しながらの対応は困難となる。そのような状況をサポートするため、水位と連動して対応が必要な防災業務を自動的に表示する「タイムライン機能」と、防災業務の行動開始時間（トリガー）に達した時点でポップアップにより注意喚起を自動的に行う「注意喚起機能」の構築が必要である。

(3) 出水対応訓練支援

円山川水系では平成16年台風23号において、堤防決壊を経験しているが、所内に重大災害の経験者は少なくなっている。出水期前に洪水対応演習を実施するが

表1 災害対策支援システムの構成

種別		機能
メインシステム	タイムライン支援システム	・状況監視機能 ・タイムライン機能 ・ポップアップ機能 ・水位状況監視機能 ・訓練モード
サブシステム	類似台風検索システム	・類似台風検索機能
	樋門等操作状況入力支援システム	・樋門等操作支援機能

表2 状況監視機能 表示画面

画面種類	おすすめ画面
台風情報 (気象庁)	フェーズ1
天気図 (気象庁)	フェーズ1
海水温 (気象庁)	フェーズ1
現況レーダ雨量 (統一河川情報システム)	フェーズ1, 2, 3
累加レーダ雨量 (統一河川情報システム)	フェーズ1, 2
水位 (詳細) (統一河川情報システム)	フェーズ1, 2, 3
水位流量グラフ (統一河川情報システム)	フェーズ2, 3
水位 (模式図) (統一河川情報システム)	フェーズ2, 3
時刻水位流量概況表 (統一河川情報システム)	フェーズ2, 3
基準水位超過水位観測所一覧表 (統一河川情報システム)	フェーズ2, 3

、何度も演習を行うには手間暇がかかりすぎる。

このため、仮想水位ハイドロを設定することで、「タイムライン機能」、「注意喚起機能」等が稼働し災害時の状況を再現することができる「災害対策支援システム（訓練モード）」の構築が必要である。

3. 災害対策支援システムの構築

システムに求められる要件を踏まえ、表1の通り災害対策支援システムを構築した。

(1) タイムライン支援システム

a) 状況監視機能

状況把握に必要な情報を集約し、4画面または、6画面で表示できる「状況監視機能」を構築した。気象庁ホームページ、統一河川情報システムの情報をプルダウンで自由に表示することが可能である（表2）。

また、雨量、水位の状況に合わせて「おすすめ画面」が選択可能である。これにより、情報収集の手間を減らし、効率的な情報収集が期待される。

b) タイムライン機能 (防災行動の漏れ防止)

現在水位と予測水位、雨量をきっかけに、実施すべき行動項目が該当時刻に表示する「タイムライン機能」を構築した。タイムライン機能で表示する行動項目（洪水予報、樋門操作等）は13種類、行動項目の判断基準（氾濫危険水位到達時、等）は102種類に及んだ。

タイムライン機能では、現在までに実施すべき行動項

目のほか、予測水位により今後、実施すべき行動項目(3時間先まで)が表示される。また、「実施確認」で実施済の行動項目はチェックを行うことで、行動項目の実施状況が共有でき、またクロノロとして蓄積できるため出水対応の振り返りに活用できる。

c) ポップアップ機能(防災行動の判断・実施の支援)

行動項目を実施すべきタイミングで、音と共にポップアップが表示される「ポップアップ機能」を構築した。

ポップアップ機能は、行動項目の種類に応じてポップアップの「色(塗りつぶし)」と「音」を変え該当者に注意喚起する(表3)。洪水予報、水位周知情報、水防警報、ホットラインは、行動項目については「異なる音」で注意喚起する。また、ポップアップ内には、行動を指図する文章(なぜ/誰に/何を/どのように)と、行動する上で使用する他システムや様式のリンクボタンが表示されており、職員の防災行動の実施を支援する。

d) 水位状況監視機能

主要観測所である立野、府市場、赤崎、弘原、宮井、5箇所の水位観測所において、10分毎に更新される現在水位と6時間先までの予測水位を一覧で表示できる「水位状況監視機能」を構築した。基準水位により背景に色がつくため、視覚的に水位を把握することができる。

e) 訓練モード

平成16年台風23号実績規模・計画規模・想定最大規模の3種類の模擬波形により、タイムライン機能、ポップアップ機能を稼働させる訓練モードを構築した。訓練モードを用いることで出水対応を疑似体験することができる。災害対策支援システムの操作習熟とともに、出水時の対応力向上に寄与することが期待される。



図3 状況監視機能(6画面)

表3 注意喚起する防災行動と該当者

防災行動	該当者
洪水予報	対策班対策係
水位周知河川、水位到達情報	対策班対策係
水防警報	対策班対策係
ホットライン	副部長、対策班対策係
体制	対策班対策係
タイムライン発動	全員
樋門操作	管理班機械係 緊急維持係
河川巡視出動指示	管理班緊急維持係
水位予測提供	対策班対策係
出水概要(出水様式-総括)	対策班対策係
出水様式-1(水位予測)	対策班対策係
危険箇所水位状況報告様式	対策班対策係



図4 ポップアップ機能

(2)類似台風検索システム

台風の現在位置、予測進路(1日後、2日後、3日後)の中心気圧、予報円半径、中心位置の緯度経度を入力すると、類似台風が検索される「類似台風検索システム」を構築した(図5)。類似台風検索システムでは、代表8台風の中から(表4)、現在位置、1日後、2日後、3日後それぞれの予報円内を通る台風の中から最も近い台風を抽出する。さらに今回の台風、類似台風、既往最大降雨の比較が可能であり、タイムライン発動の判断や今後の対応方針を立てる上での手助けができる。

表4 代表8台風と類似台風群

代表8台風の分類	代表8台風のグループに属する台風群
①紀伊半島よりも東寄り	昭和34年台風15号
	昭和42年台風34号
	平成2年台風19号
②紀伊半島よりも東寄り北上	昭和57年台風10号
③紀伊半島～円山川流域	昭和36年台風18号
	昭和39年台風20号
	昭和40年台風23号
	昭和54年台風20号
	昭和62年台風19号
	平成6年台風26号
④円山川流域よりも南を通過	平成10年台風10号
	昭和46年台風23号
⑤円山川流域よりも西を通過	昭和49年台風18号
	平成23年台風12号
⑥九州の西端を通過	平成3年台風19号
⑦上陸せずに南を通過	平成21年台風9号
⑧既往最大洪水	平成16年台風23号

(3)樋門等操作状況入力支援システム

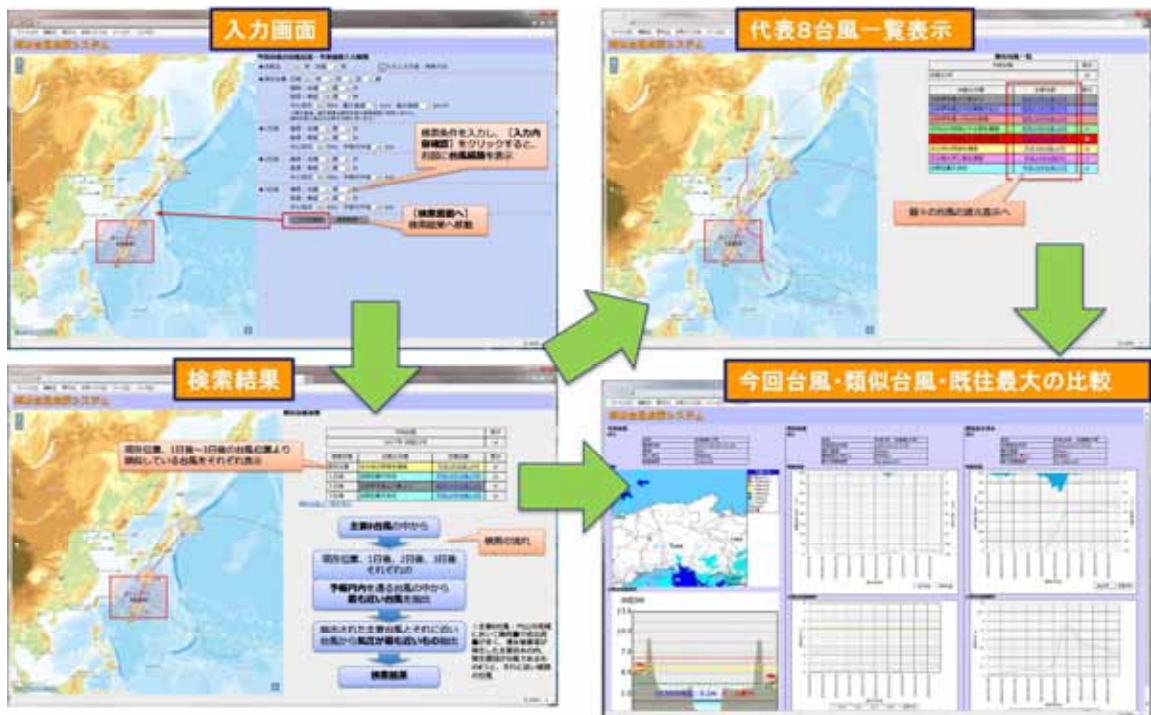


図5 類似台風検索システム

樋門、排水機場の操作状況が入力・共有可能な「樋門等操作状況入力システム」を構築した。樋門等操作状況入力システムでは、樋門、排水機場の操作に係る水位予測(6時間先まで)が表示されるため、操作等の見込みが確認でき、入力した内容は所内及び本局で共有できる。また入力した操作状況はcsvで出力が可能であるため、管理や豊岡市への共有が容易になる。

4. おわりに

本検討では、試行的に災害対策支援システムを構築したものであり、洪水対応演習や出水対応時にシステム活用し、本システムを評価し機能改良が必要となる。さらに、本検討より明確になった今後の課題を以下に示す。

①気象情報取得機能の追加

台風情報や気象情報が配信されている防災情報XMLを自動受信できるようになれば、気象注意報・警報を踏まえた防災行動(例えば、第一警戒体制の移行基準:大雨、洪水及び高潮に関する注意報が発令され、対策部長が必要と判断したとき)の通知や台風情報の自動入力とそれを踏まえたタイムライン発動基準の超過状況を自動通知等の機能を実装することができる。

②豊岡市とのシステム接続

当事務所と豊岡市は光ケーブル線で両施設間を結んでいるが、通信の接続がされていない状況にあることがわかった。光ケーブルが開通すれば、災害対策支援システムについても市役所に共有することが可能であり、例えばホットライン時に状況監視機能画面の同様の画面を見ながら、危険性等を伝達することが可能となる。

※本論文の内容は、従前の所属である豊岡河川国道事務所 調査課における業務に基づくものである。

那智災害に学ぶ土砂災害啓発センターを活用した被害軽減への取り組みについて

崎山 朋紀¹・坂口 武弘²

¹和歌山県 土砂災害啓発センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

²和歌山県 土砂災害啓発センター所長 (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

平成23年の紀伊半島大水害では、那智川流域で多発した土石流等や河川の氾濫によって甚大な被害が生じた。この災害では警戒避難活動が十分に出来なかったことや、土石流に起因した河川の氾濫に対する認識の不十分さによる逃げ遅れが多数あったことが分かっている。

そうした災害から得られた教訓を広く伝承するために、和歌山県は平成28年に土砂災害啓発センターを設置し、全国各地から来る団体に対し、オリジナル資料を作成し啓発研修を実施している。また、地域住民を対象とした啓発イベントや防災総合学習なども併せて実施している。本発表では、和歌山県土砂災害啓発センターでの2年間の啓発活動について発表する。

キーワード 教訓, 伝承, 啓発研修, 防災総合学習, 和歌山県土砂災害啓発センター

1. はじめに

近年、昨年の九州北部豪雨や平成23年の紀伊半島大水害など、大規模な土砂災害が多発¹しており、避難の遅れによる地域住民等の犠牲が後を絶たない。

これらの災害から身を守るには早め早めの避難が重要であり、近年では土砂災害警戒区域等の指定や土砂災害警戒情報をはじめとしたツールが活用されている。しかしながら、これらのツールが行政側から発出されるだけでは不十分であり、住民が行政から提供される情報を理解し²、実際の避難行動につなげる必要がある³。

本稿では、紀伊半島大水害時の避難状況から得られた教訓や課題を整理し、土砂災害による被害の軽減に向けた教訓の伝承や取り組みを、また小中学生向けの防災総合学習等などの和歌山県土砂災害啓発センターでの2年間にわたる啓発活動について発表する。

2. 紀伊半島大水害災害発生及び避難状況

那智川流域では、平成23年8月30日から9月4日にかけて台風12号による豪雨により、大規模な表層崩壊に伴う土石流や支川からの土石流の流入による河川氾濫によって多くの人的被害が発生した。(死者28名、行方不明者1名) 特に9月4日の未明には、和歌山県が設置する市

野々雨量局において最大時間雨量123mm、0時から4時の4時間雨量341mmを観測した(図-2)。当該地には9月1日13時50分に大雨注意報、2日4時15分に大雨警報、2日21時55分に土砂災害警戒情報が発表されていた。



図-1 那智川の位置図

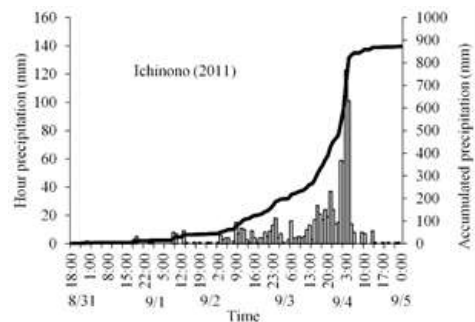


図-2 災害時の時間雨量と積算雨量



図-3 保育所（避難所）の被災状況



図-4 小学校（避難所）の被災状況

町の防災担当者や住民と消防機関へのヒアリングから取りまとめられた土砂災害が発生した9月1日から4日の事象の時系列を表-1に示す。土砂災害の主な発生時刻は9月4日の2:00~3:00の間で、那智川の8支川において表層崩壊及び土石流が発生している。流下した土石流是那智川本川に流入し、那智川沿いの集落や避難場所であった

3時頃と判明している(図-5)⁹⁾。

こうした中、当該地域の高齢化率は37.8%（平成27年度65歳以上人口比率：和歌山県）と高く避難に支援が必要な住民が多く、また避難をためらう人もいた。そのほか、大きな災害にはならないと考えていた住民も多く、すぐに避難誘導に応じない住民や全く応じない住民もいて消防機関職員の避難誘導活動が効率的にできなかった。このため、雨が強くなってから住民が自ら避難しようとしたときには浸水が発生しており、やむを得ず家屋の2階に避難した人や危険な状況の中を避難場所まで避難した人、中には避難中に土石流に遭遇して亡くなった人もいた。



図-5 那智川流域の土砂災害発生箇所図

表-1 災害発生概要と避難状況の時系列

日時	那智川流域での主な事象	地域の避難状況
9/1 13:50	大雨注意報発表	
16:55	洪水注意報発表	
9/2 4:15	大雨・洪水警報発表	
21:55	土砂災害警戒情報発表	
9/3 16:10	氾濫注意水位を超える	
16:15	下流域で避難勧告	
18:00頃		町が災害対策本部を設置 消防機関が警戒の巡回を開始
20:30	井関保育所避難場所開設	
22:00頃	水位上昇・転石が川に落ちる音	
22:30	市野々小学校避難場所開設	
9/4 0:00	保育所前の県道半分出	
1:00頃	堤防決壊・浸水発生	駐在所に消防団員を配置 保育所の避難者が小学校へ移動 市野々地区から救助要請。浸水に 阻まれ救助できず 避難指示発令(0時25分99人) 保育所避難場所を閉鎖 避難指示発令(2時25分933人)
1:45		浸水に阻まれ、活動できず
2:12	支川に土石流が相次いで発生 小学校の1階が浸水 井関地区は3~4m以上で浸水 尻剣谷川・金山谷川の暴漲が全流出 保育所で浸水被害発生	
3:05	金山谷川で土石流が発生 土石流の音が30分程度続く 音が小降りとなる	夜明け後、救助・安否確認・捜索活動開始
4:00頃		

井関（いせき）保育所（以下、保育所）（図-3）や市野々（いちのの）小学校（以下、小学校）（図-4）に土砂や流木が流れ込んだ。また、同時時間帯に那智川沿いの道路の流出が複数箇所発生した。最も崩壊と土石流の規模が大きかった金山谷川では、その発生時刻が9月4日の

3. 災害から得られた教訓と課題

今回の災害を体験された方へのヒアリングの結果、以下の意見があげられている。

- ・危機意識を持ってもらう

小規模な市町村の消防機関では大規模災害のときに対応が困難となるため救助がすぐに来ない可能性がある。自分の身は自分で守るという自覚を持ってもらう必要がある。

- ・早期避難を行ってもらう

危険な状態となった後では逃げるのが出来なくなる。大雨などの異常気象の際の自宅は決して安全な場所ではなく、危険な場所であることを認識してもらう必要がある。

- ・安全な避難場所とルートを知ってもらう

川沿いの中山間地域においては、安全な場所は少ない。事前に安全な避難場所と避難ルートを確認してもらう必要がある。

・災害が風化しないように継承していく
土砂災害について発生したことを聞いたことがないと言う人が多数いた。風化させないように継承していくことが大事である。

以上より、土砂災害からの被害を軽減するために必要な対応は次のように整理できる。

- ① 住んでいる場所の安全度を認識してもらう
- ② 安全な避難場所と避難ルートを確認してもらう
- ③ 大雨が降って災害のおそれがあるときには早期に避難してもらう

4. 教訓と伝承を生かした啓発活動

(1) 来館団体への啓発研修

和歌山県土砂災害啓発センターには、平成28年4月24日の開所以来、平成28年度には123団体3,166名、平成29年度には99団体1,985名の方が来館し、土砂災害についての啓発研修を受講している。

研修受講団体としては、平成29年度では和歌山県はもとより、京阪神地域や中京地域が多く(図-6)、遠くは秋田県や福岡県からも来館している。また、災害時の住民の避難・誘導に関する自治会の参加が多く、次いで民生児童委員や自主防災組織となっている。

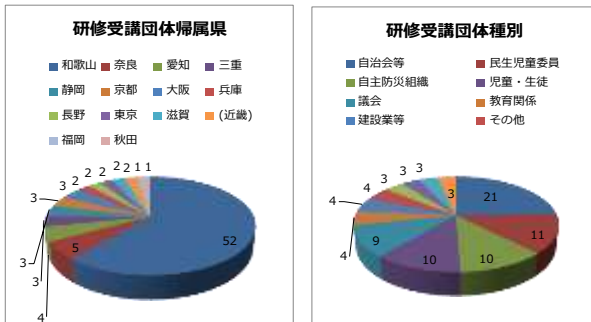


図-6 研修受講団体帰属県及び種別

また、団体への啓発研修は以下の内容で実施している。

a) 紀伊半島大水害の状況説明

紀伊半島大水害やその際に数多く発生した深層崩壊について、メカニズムや発生状況等を説明している。(図-7)



図-7 紀伊半島大水害の際の深層崩壊箇所

特に土砂災害から7年が経過している現地では、被災状況が推測できないため、現在と当時の写真を見比べるなどして説明を行っている。



図-8 被災地の被災当時と現在の写真の対比

b) 被災地での活動を紹介

被災地では安全な早期避難を促すために住民が適切な避難行動をとれるよう、内閣府の「災害・避難カード」モデル事業(図-9)を利用した「自然災害から命を守



図-9 「災害・避難カード」モデル事業

る！ワークショップ」(図-10)を実施し、避難場所や避難ルート、避難時期などを記入した「避難カード」の作成を行っている⁵⁾。ワークショップでは住民自らが参加し、



図-10 住民参加のワークショップ

いつ、どのようなルートを通ってどこに避難すればよいのか、要援護者をどのように避難させるのかの検討を行って地区全体の避難行動(図-12)をとりまとめている。作成した避難カードと避難行動マイマップ(図-11)を基に机上で模擬避難訓練を実施して有効性を確認し、地区全世帯へ配布している。また、定期的実施している避難訓練では避難要援護者の避難に要する時間なども確認

(図-13)している。

また、避難所に早期にストレスなく避難してもらうために、那智勝浦町内にある宿泊施設組合と自治会が協定(図-14)を結び、避難準備情報が発令された段階から、町内の宿泊施設に避難できるようにしている。



図-11 マイマップ



図-12 住民の意見を反映した避難行動



図-13 避難カードを基に避難訓練実施(要支援者支援状況)

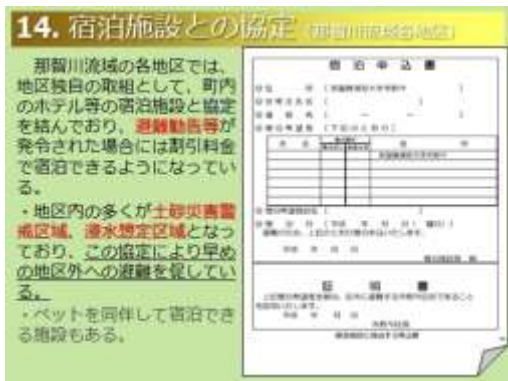


図-14 自治会と旅館組合との協定

そうした被災地での活動を紹介することにより、来館団体自らが出来る活動を考えてもらい、今後の避難計画の策定や避難訓練に生かされるようにしている。

c) 地域の土砂災害の恐れのある場所について

来館団体の地元の土砂災害警戒区域等を研修の中で紹介する(図-15, 図-16)ことにより、土砂災害が自分の身にも降りかかる災害であることを自覚させる。なお、各団体がある地域の土砂災害に係る資料は、インターネット等を活用して収集している。

	秋田県	和歌山県	
土石流	土砂災害警戒区域	2,744	3,398
	土砂災害特別警戒区域	1,757	2,396
急傾斜地の崩壊	土砂災害警戒区域	2,328	7,910
	土砂災害特別警戒区域	1,880	6,491
地すべり	土砂災害警戒区域	0	304
	土砂災害特別警戒区域	0	0
計	土砂災害警戒区域	5,072	11,612
	土砂災害特別警戒区域	3,617	8,887

図-15 地域の土砂災害警戒区域等の指定状況



図-16 地元の土砂災害警戒区域等の状況 (例)

d) 土砂災害の前兆現象について

土砂災害からの避難行動を促すため、土砂災害の前兆現象の説明(図-17)を行っている。その際、紀伊半島大水害時に那智川流域で実際に発生した前兆現象について、被災者からの証言等をお聞きし、具体的に説明を行っている。



図-17 前兆現象について (土石流)

e) 早期避難の重要性について

土砂災害の特性(図-18)を説明し、土砂災害が如何に人命を奪っているかを説明するとともに、避難方法や咄嗟の対応等(図-19)についても説明を行っている。

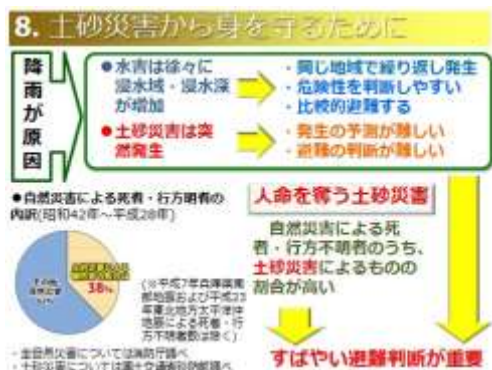


図-18 早期避難の重要性(土砂災害の特徴)



図-19 早期避難の重要性(避難方法)

以上の内容を団体の種別により適宜組み合わせて題材としているが、喫緊の土砂災害や各地方で過去に発生した土砂災害を題材に取り上げることにより、土砂災害に対し危機感を持つような研修を行うことにも留意している。

(3) 啓発イベントの開催

a) 地域講演会

和歌山県内において地域住民の方が土砂災害について考え、いざという時の安全かつ迅速な避難に役立てていただくことを目的として、地域講演会を開催している。地域講演会では講師として防災や土砂災害に詳しい専門家(図-20)や大規模土砂災害対策技術センターの職員に講演していただくとともに、啓発センターの職員が各地域で過去に発生した土砂災害とその対策等について詳しく説明し、避難行動につなげていただけるような内容としている。



図-20 第3回地域講演会 In 伊都 (広島大学 海堀教授)

b) 防災カフェ

自然災害や防災に関する様々な疑問に対し、地域住民の方に興味や理解を深めてもらうため、大学や国と連携した「防災カフェ」を啓発センターで実施している。「防災カフェ」とは防災関連の専門家と一緒に飲み物を片手に気軽に語り合うもので、テーマとしては、「防災教育」「防災計画」「避難支援システム」「救助ロボット」「災害事例」と様々な分野を取り上げているが、啓発センター内にある大規模土砂災害対策研究機構で研究している内容も説明し、土砂災害に係る最新研究成果(図-21)を地元の方々に紹介している。



図-21 平成29年度防災カフェ 「新たな切り口で紀伊半島大水害を分析する」

5. 子供達への防災総合学習

那智勝浦町では、土砂災害などの災害から身を守る知識を早くから身に付けておくことが重要と考え、国と連携して小学生や中学生を対象とした防災教育を行っており、啓発センターの施設を活用して授業を実施している。また、総合学習の一環として、県内の小中学校の来館を受け入れており、被災者による紙芝居の実演や模型水路(図-22,図-23)を用いた土石流体験など、様々な授業を展開している。

土砂災害など自然災害について正しく学び、正しく逃

げてもらうことを目的として小学校を対象とした防災授業を実施することにより、授業で学んだことを家庭にフィードバックして家族全体や地域に波及することで正しく逃げてもらいたいことを期待している。



図-22 扇状地模型実験装置



図-23 土石流大型水路模型実験装置

6. まとめ

和歌山県土砂災害啓発センターでは、開館当初から被災者やご遺族の様々なご意見を啓発活動に生かしてきている。紀伊半島大水害から7年が経過し、地元の意見が多様化する中、今までに取り組んできた活動を踏まえ、より効果的に災害の教訓を伝承する方法を模索していきたいと考えている。

また、紀伊半島大水害に限らず、毎年全国各地で頻発する土砂災害についても、国土交通省のご指導のもと行っている研究活動を通じて知り得た情報を広く発信していきたいよう努力していきたい。

謝辞：紀伊半島大水害からの復興や啓発センターの運営にご協力を頂いています関係各位に、この場を借りて感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 松村ら：2011年9月台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害，砂防学会誌（2012），Vol. 64, No5, p. 43-53
- 2) 千葉幹・片山祐二・三木洋一・高橋和行：土砂災害時の警戒避難に関する情報共有について，砂防学会誌（2008），Vol. 60, No. 6, p. 33-37
- 3) 菊井稔宏・佐野寿聰：土砂災害における住民等の意識と警戒避難対応について，砂防学会誌（2008），Vol. 60, No. 6, p48-51
- 4) 那智勝浦町（2013）：紀伊半島大水害平成23年9月町を襲った台風12号の記録，p. 15-27.
- 5) 内閣府（2016）：災害避難カードモデル事例集，http://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/pdf/sai_gai_jireisyu.pdf

ダム情報の有効的な提供手法について

小池 勇¹・西野 拓志²

¹近畿地方整備局 九頭竜川ダム統合管理事務所 防災情報課 (〒912-0021福井県大野市中野29-28)

²近畿地方整備局 河川部 水災害予報センター (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

近年、台風、ゲリラ豪雨、線状降水帯による、激甚な水害が各地で発生し、ダムの防災操作についても、ただし書操作や特別防災操作の可能性が高まっている。そのような中、ダム管理者が流域住民や関係自治体へダム操作の状況をリアルタイムで情報提供する事は、住民自らが危険を認識し、安全な行動を促すことにつながると考える。

九頭竜川ダム統合管理事務所では、流域自治体への情報提供、ホームページ及びツイッターによる提供を行ってきたところであるが、さらなる情報提供手段として、放送局や流域自治体への情報提供システムを新たに構築したので、そのシステムの検討内容及び今後の展望について報告する。

キーワード ダムの防災操作、情報提供、流域自治体、地域住民、地上デジタル放送

1. はじめに

九頭竜川ダム統合管理事務所ではより効果的・効率的に、洪水や濁水の被害から地域を守るため九頭竜ダムと真名川ダムを統合管理して運用を行っている。

ダム管理者として、ダムの情報を提供することは、住民及び流域自治体担当者が危険を認識し安全な行動を促すことにより、人的被害を減少するための重要な使命であると考えられる。

これまで、ダムの情報についてはダム連・放流警報のほか、広く一般には、ホームページやツイッターなどを利用し提供してきたところである。また、流域自治体には、事務所から光ファイバーを接続し、ダム諸量やCCTV 画像を提供している。

しかし、ホームページやツイッターの情報提供では、インターネット環境下での情報取得であり、広く情報提供出来ない問題が有る。また、流域自治体への情報提供については、ネットワークセキュリティの問題より、危機管理担当部署のみの提供であるため、大規模な出水時には、自治体職員が情報共有出来にくい状況となることが考えられる。

2. 改善案の検討

上記の2つの問題を解決すべく、現状における情報提供個々の状況について改善策を検討し、提供設備の整備を行った。

(1) 一般住民への情報提供

一般住民への情報提供については、テレビ放送を利用することが、広く一般に提供出来ると考えられ、福井県内の放送局に対して「TV放送局向け配信」を検討する。

(2) 流域自治体への情報共有

流域自治体への情報共有については、上記問題点を踏まえて、情報提供内容及び提供方法について検討する。

以下に、個々の情報提供についての解決策とシステム構築について、記述する。

3. TV放送局向け配信

(1) 課題

福井県内における国土交通省CCTVカメラ映像の放送局向け配信については、直轄河川の映像を配信を行っているが、ダム操作状況がわかる映像は配信されていなかった。今回、ダム映像を新規に配信するのに加え、ダム諸量も確認出来るよう、以下の項目をそれぞれ検討した。

- ① 配信する映像の選定
- ② カメラの仕様検討
- ③ 配信するコンテンツの検討

(2) 配信する映像の選定

配信する映像については、視聴者が映像を見て、的確に状況が判断できる下記の箇所を選定する。

(a)ダム放流を視覚的に捉える事が出来る場所

- ・ダム堤体正面(写真1)
- ・ダム堤体側面(写真2)

【提供目的】

ダムPR(ダム堤体全景、放流状況)及び洪水におけるダム放流状況の把握



写真1 ダム堤体正面

写真2 ダム堤体側面

(b)ダム下流河川の河川状況が判る場所

- ・君が代橋周辺(写真3)
- ・富田大橋周辺(写真4)

【提供目的】

下流河川の水位状況の把握



写真3 君が代橋

写真4 富田大橋

当初(a)のカメラは堤体正面のみで計画していたが、放流時の水しぶきや夜間の照度不足により放流状況が鮮明に見れない可能性を考慮して、堤体側面から放流状況が見えるカメラを追加で設置することにした。

また、(b)ダム下流河川の河川状況については、増水状況が視覚的に判断しやすい目的物(橋梁)があり、夜間でも比較的判断(道路照明)出来る上記2箇所を選定した。

(3) カメラの仕様検討

ダム堤体正面、君が代橋、富田大橋の3箇所については、既存のCCTVカメラがあり、その映像を提供出来るかどうかの可否を検討した結果、以下の課題が考えられる。

- 1) 既存CCTVカメラの映像を使用するので、ダム管理上カメラを制御した時に、放送上意図しない画角に変わってしまう。(情報提供に適さない画像が放送される可能性がある)
- 2) 既存CCTVカメラの映像にタイトルが含まれてしまうため、テレビ放送での提供に向かない。
- 3) 上記1)に対応するためには、放送中に制御できないようにインターロック制御機能を追加する必要があり、ソフトウェア開発のコストが増大する。

上記の理由から、ダム管理運用及び整備コストであるロック機能ソフトウェア開発費用と固定カメラ追加費を総合的に判断し、放送局配信用のカメラを新たに設置する事とした。

新設するカメラについては、運用形態及びコストを重視し、IP方式の固定カメラを選定した。

(4) 配信先及び配信方法

配信の目的及び必要性を福井県内の各放送局(NHK、福井放送、福井テレビジョン)と協議を行い、NHKと福井放送が映像を受けることに同意した。

配信方法についてはすでに放送局向映像配信を行っている福井河川国道事務所の既存システムを利用することを検討したが、システムが老朽化しており改修が不可の状況であり、また、障害時の切り分けを考慮し、九頭竜ダム統合管理事務所の画像管理サーバーにシステムを構築することとした。映像配信については、既に上記2放送局とのVPN回線が確立されていた為、今回増える情報量について検討した結果、この既存回線が利用できることが確認できた。これにより事業者回線のランニングコストが削減でき、九頭竜統合管理事務所→福井河川国道事務所→各放送局という既設ネットワーク経路での配信運用を確定した。

国土交通省としてダムの放流映像をリアルタイムで提供する場合、ダム流入量、放流量等の情報を掲載することが望ましいこと、放送局からも、配信映像のタイトルが欲しいとの要望があったことを受けて、今回、カメラ映像だけでなく、ダムの貯水位、流入量や近辺の水位観測所の水位情報をテロップで表示出来るようなシステム構成とした。(図-1~2参照)

また、放送局の操作端末にて、カメラ映像の選択及びテロップ表示の有無を選択出来るようWebサーバに選択画面を作成した。(図-3参照)

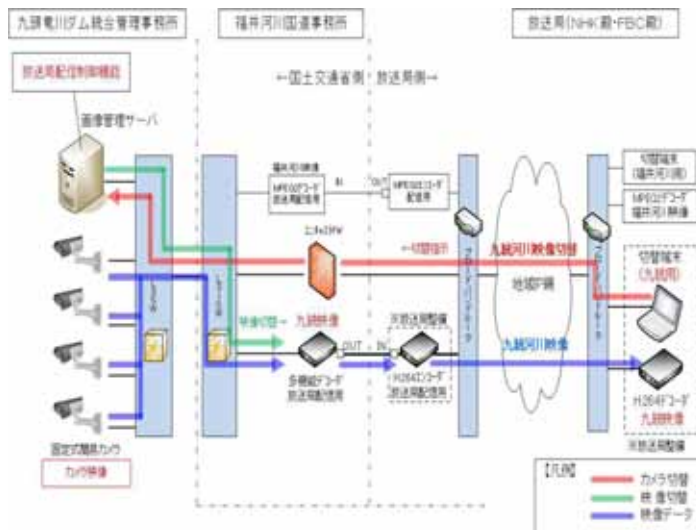


図-1 TV放送局向け配信 システム構成図



図2 放送局向けカメラ テロップ表示



図3 放送局カメラ 選択画面

NHKと福井放送とは協定の締結が平成30年3月末に完了しており、常時映像を配信している。

(5) 今後の見通し

将来的に福井県内のケーブルテレビにも配信が出来ること、一般者が視聴する機会の増加が見込めるとともに、一般者の防災意識を高める効果が期待出来るため、引き続き本事業を進めていきたい。

4. 沿川自治体向け配信

(1) 課題

これまでにダム下流域の関係自治体である大野市と勝山市にたいしては、すでに光ファイバーを接続しダム情報の提供を行っているが、以下の課題があった。

- 1) カメラ映像、ダム諸量、水位、雨量、積雪の配信をしていたが、専用端末によるデータ情報であるため、普段見慣れていない担当者にとって、災害時の情報提供としては不十分であった。
- 2) 市役所内の1箇所のみでしか閲覧が出来なかった。

(2) 課題1)に対する解決案

災害時にどのような情報が役立つかを検討し、以下の情報を組み合わせて、分かりやすく安価なシステムを構築した。

1つ目のコンテンツは、ダム操作情報を確認することを目的として、以下①～③に着目して検討した。(真名川ダム、九頭竜ダム)

(図-4～7参照)

- ① ダムサイト映像 (放流状況の視覚による把握)
- ② ダム諸量データ (データによる状況把握)
- ③ グラフィカルな情報提供 (イメージによる状況把握)

2つ目のコンテンツは、九頭竜川ダム流域全体における、水防に必要な水文データとレーダ雨量データを1つの画面で表示することを検討した。

- ① 雨量情報
- ② 水位情報
- ③ 積雪情報

(図-4～7参照)



図4 システム構成図



図5 真名川ダム情報画面



図-6 九頭竜ダム情報画面

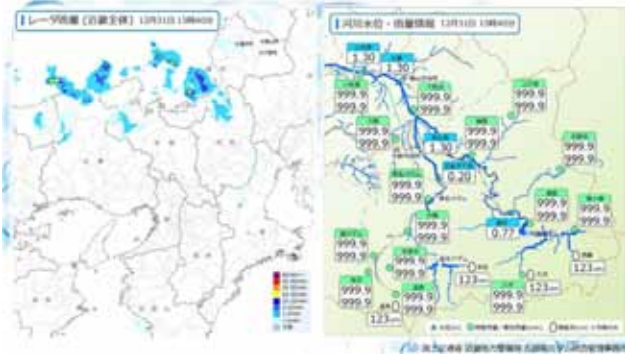


図-7 レーダ雨量、河川水位・雨量・積雪情報画面

今回のコンテンツ作成におけるポイントとして、一般利用者に対して、視覚的に見易いコンテンツとなるよう意識し製作した。

- 1) コンテンツを生成する情報配信サーバは既設仮想サーバに実装することで、コストを削減した
- 2) ダム諸量の各値は閾値超過で警報表示を行う
- 3) ダム模式図を用いて水位や放流状態を表現した
- 4) 模式図は建物及び位置を実物に近づけるようにし、観測した貯水位に応じて模式図の水位部分が変動するようにも対応した
- 5) 水位部分のグラデーションや現在水位を線・矢印で強調表示することで 分かりやすい表示とした
- 6) 水位・雨量情報だけでなく積雪情報も表示した
- 7) 水位・雨量情報は国土交通省だけでなく福井県の情報も表示した
- 8) 雨量分布情報は最新のX&C合成レーダ雨量を使用し提供エリアも近畿エリア全域とした

(4) 課題2)に対する解決案

現状のシステム構成ではIP伝送のため映像を受信する装置がモニタの数だけ必要になり、費用の関係で市役所内の1箇所のみでの映像配信だった。

そこで、より多くの場所（市役所内の全テレビ）で情報コンテンツを閲覧出来るよう、市役所内の既存テレビ共聴設備に接続する構成とした。

情報コンテンツは、地デジのDチャンネルを使用し

て配信する方法を検討したが、コストが増大するため、地デジの空きチャンネルに情報コンテンツを割当てて配信することで、導入コストを削減できたことと併せて、既存のテレビ共聴設備を調整する必要がなく、設定も容易に出来るため、システム導入もスムーズに行うことが出来た。

この構成にすることで、市役所内のどのテレビ（大野市役所：全24台、勝山市役所：全5台）でもコンテンツの閲覧が可能になり、情報の認知度が格段に向上した。これにより、今後異常気象が発生した場合には、市役所と国土交通省で同時に情報共有ができ、連携して対応する事が期待出来る。

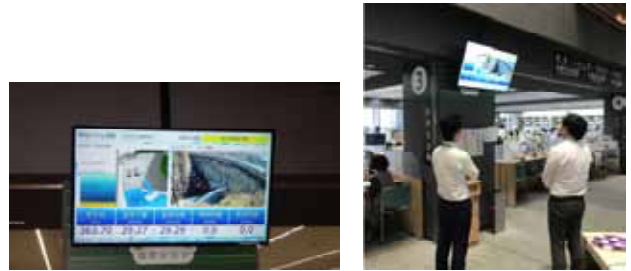


写真5 大野市役所 配信状況

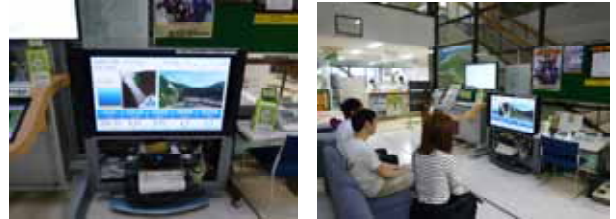


写真6 勝山市役所 配信状況

(5) 今後の見通し

今回の配信はダム直近の下流域である勝山・大野市役所の2市に対する提供であったが、今後はさらに下流域の永平寺町、福井市、坂井市や福井県への配信も検討したい。なお、国土交通省の光ケーブルが接続されていない沿川市町の場合は事業者回線を用いることで同様に配信が可能である。さらに、福井県内のケーブルテレビや各道の駅にも配信することで、一般者の視聴機会を提供でき、より一層防災意識を高めてもらう効果が見込める。

その他コンテンツ内容の改善事項としては、九頭竜ダム情報画面はイメージ画像を表示しているもので、現地にカメラを設置して、リアルタイムでのカメラ映像配信が行えるよう検討していきたい。

5. おわりに

異常気象に伴う水害のリスクが高まる中、人的被害を無くすためには、住民の意識向上や流域自治体の協力が不可欠となっている。ダム管理者としても、住民や流域自治体への情報提供を積極的に取り組み、三位一体となって、取り組んでいく必要があると考えられる。

基礎的実験による 既存道路の地震時段差対策の効果

竜田 尚希¹・横田 善弘²

¹富山大学 都市デザイン学部 都市・交通デザイン学科 (〒930-8555富山県富山市五福3190)

²前田工織株式会社 開発推進本部 (〒919-0422福井県坂井市春江町沖布目38-3)

地震発生直後においては、被災地の消火や人命救助等を行う緊急車両の走行性を確保することが重要である。2012年3月に改定された道路橋示方書は、橋台背面アプローチ部の項目が追加され、地震時における路面の連続性の確保の必要性が示されている。これまで橋台背面については、踏掛版による段差対策を中心に対応がされて来たが、ボックスカルバートについては、十分な対応がされて来たとは言えない状況である。しかし無体策のボックスカルバートは全国に多数あることから、出来得る限り短期間の交通規制で対策のできる工法の開発が急務である。そこで本研究では、簡易な段差緩和対策を提案し、その効果を模型実験により検証する。

キーワード 路面段差 対策 模型実験

1. はじめに

2011年の東北太平洋沖地震をはじめ、大規模な地震発生時には、橋台やボックスカルバート等のコンクリート構造物と道路盛土の境界で路面に段差が生じ、重大な交通障害を引き起こしてきた。道路の段差の一例を図-1に示す。この交通障害は、人命救助や甚大な2次災害の防止と言った観点から、緊急車両だけでも通行を可能とする状況に留めなければならない。これまで著者らは、地震時の段差の発生を抑制し緊急車両の走行性を確保するため、ジオシンセティックスを使用した段差抑制工法の開発を行ってきた。しかし、既存の道路に施工するためには、通行規制を出来得る限り短期間にする必要があり、数日の施工であっても交通量の多い幹線道路では現実的



図-1 中越沖地震で発生した路面段差¹⁾

な対策となり難しく、施工コストも高くなりがちなために、普及には至っていないのが実情である。これらの課題に対して、著者らは新たな対策工法を構想してきた。本研究では、その新たな対策工法の効果を、施工方法を含めて実験的に証明することで、短期間低コストで施工ができ、かつ確実な効果をもたらす道路の段差抑制工法の実現を目指している。

ここでは、対策工法の効果を評価するための基礎となる模型実験の概要と結果について報告する。

2. 模型実験概要

実験土槽の側面図を図-2に示す。路面の段差を再現できるように、BOXカルバート等を模した構造物の区間と、沈下が生じる盛土を模した区間が設けられている。盛土区間は、土槽底面の床をジャッキにより降下させることができる。実際の地震発生時には、地盤の沈下やゆすり込みによる盛土層厚の変化等で、構造物区間と盛土区間に相対的な沈下差が発生して、路面に段差ができると考えられる。今回の模型実験では、地震時の盛土の層厚の変化は考慮せず、盛土区間の底版のみを沈下させることで相対沈下を生じさせている。

今回、路面の段差に対する車両の走行性を視覚的に確認するために、1/9スケールのラジコンカーを準備した。このラジコンカーのスケールに合わせて、盛土や沈下量

を実スケールの1/9として実験を行った。構造物の上部は、実スケールで約450mmの舗装構成が直接載ることとなる。

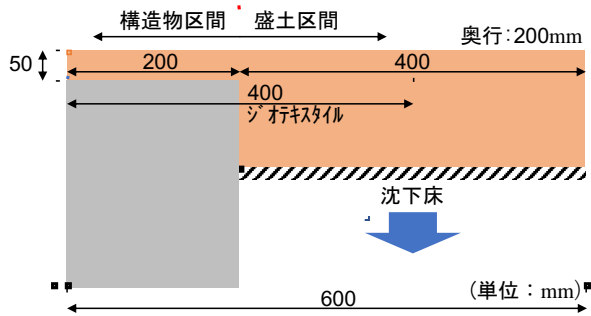


図-2 実験土槽 (写真: 実験初期状態)

使用する盛土材料は、図-1の実際の段差形状を再現できることを主に考えて選定を行った。道路はアスファルト舗装や密実に締め固められた路盤により構成されており、路面に沈下差が生じると、図-1のように明確な階段状の段差形状となる。この形状を再現するための盛土材料は、乾燥状態の砂では段差形状の保持が難しいことから、粘性を持つ砂質土とを使用した。具体的には、「Kinetic Sand」²⁾という砂を使用することとした。この砂は、珪砂にシリコンが含有されたものであり、珪砂の性状でありながら、水を含んでいるような粘着力を持つ砂である。性状の一端を図-3に示す。

実験は、模型スケールで11mm (実スケールで約



図-3 KineticSandの性状

	無対策	ジオテキスタイル	踏掛版
11mm沈下			
22mm沈下			
33mm沈下			
44mm沈下			
55mm沈下			

図-4 沈下量ごとの段差形状の比較

100mm) 沈下させるごとに、土槽の奥行き方向の中央部の表面形状をレーザー変位計により計測した。模型スケールで沈下量55mm(実スケールで約500mm)まで計測を行った。図-2中の点線で示されているジオテキスタイルは目合1mmの樹脂ネットを使用した。踏掛版(厚さ9mmの合板を使用)は、構造物に台座を取り付けて、盛土区間側のジオテキスタイルと同じ範囲に設置した。

3. 実験結果

(1) 無対策道路

無対策での実験の状況を図-4左列に示す。沈下量が実スケールで200mmを超えると明確な段差形状が生じる様子がわかる。図-1の実際の段差形状を概ね再現できていることがわかる。

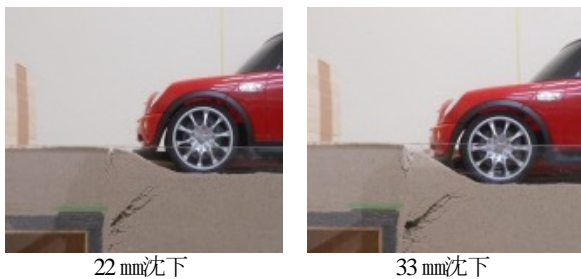


図-5 沈下量と車両の相対関係(無対策)

図-5は、ラジコンカーを置いた様子である。22mm(実スケール約200mm)の段差に対しては、車両の種類によっては路面に接触せずに通行が可能であるが、300mmの段差に対しては車両前面が接触してしまい通行が困難であることがわかる。この結果は、過去に実施された実車両の段差走行実験の結果³⁾を、模型でも概ね再現できていると考える。

(2) 段差対策道路

段差緩和対策としては、設置が容易なジオテキスタイルを舗装下部に敷設する手法の実験を行った。ジオテキスタイルの配置を図-2に示す。盛土と構造物との境界をまたがるように敷設し、構造物側、盛土側ともに、その境界から200mm(実スケール1800mm)ずつ敷設した。ジオテキスタイルを敷設した場合の実験の状況を図-4中央の列に示す。無対策実験に比較して、明らかに段差が抑制されていることがわかり、スロープ状の路面が形成

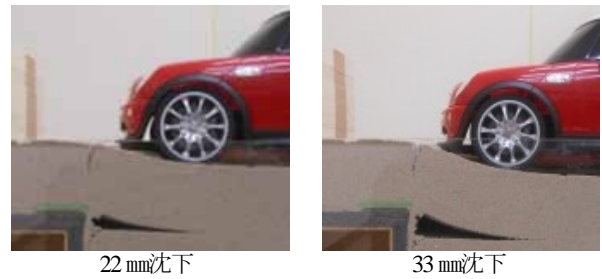


図-7 沈下量と車両の相対関係(ジオテキスタイル敷設)

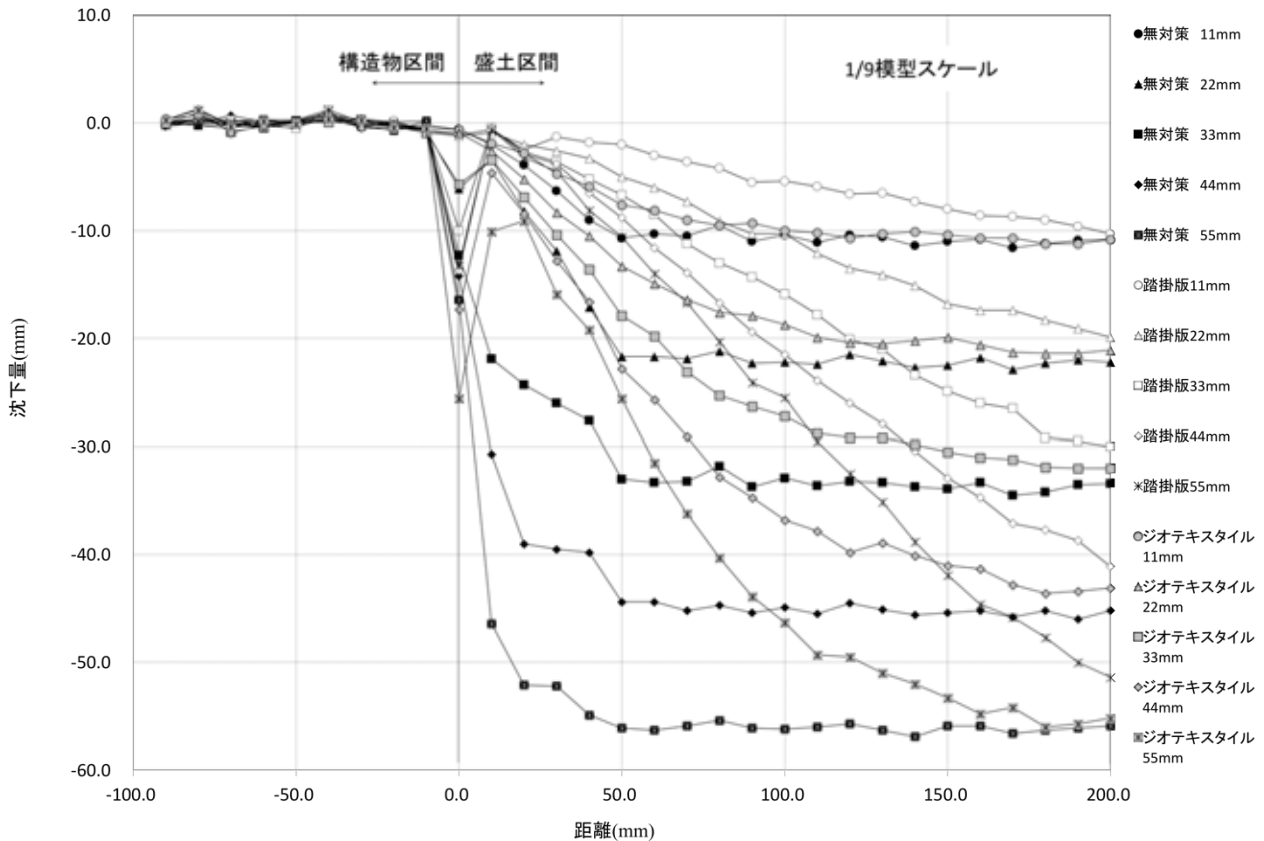


図-6 路面形状計測結果

されている。

次にジオテキスタイルと同じ範囲に踏掛版を模した合板を設置した場合の実験結果を図-4右の列に示す。また、レーザー変位計で路面形状を計測した結果を図-6に示す。これらの図から無対策と2つの対策した路面の形状がそれぞれ異なることがわかる。図-7は、ジオテキスタイルを敷設した実験にラジコンカーを置いた様子である。無対策実験よりも走行性が確保されているように見えるが、沈下量300mmを超えると路面に車両が接触する危険がある。この結果から、段差を解消しスロープ状の変形をさらに緩やかにすることで、車両の走行性をさらに改善できることがわかる。

(3) 土被り厚さと段差の関係

中越地震で発生した段差被害の調査結果を土被り厚さと段差の発生量で整理したグラフを図-8に示す。BOXカルバートの土被り厚さが大きいほど、発生する段差の最大値が小さくなる傾向にある。

模型実験において、この現象の再現を試みた。地震時には、ゆすり込みによる層厚の変化量の違いによって生じる段差も想定できるが、今回の実験は、地震を受けた結果として生じる構造物と盛土区間の相対沈下のみの影響で発生する段差形状に着目した。図-9に土被り厚さ100mmと300mmのケースで、50mmの沈下を生じさせた時の段差の様子を示す。盛土区間の沈下によるせん断面

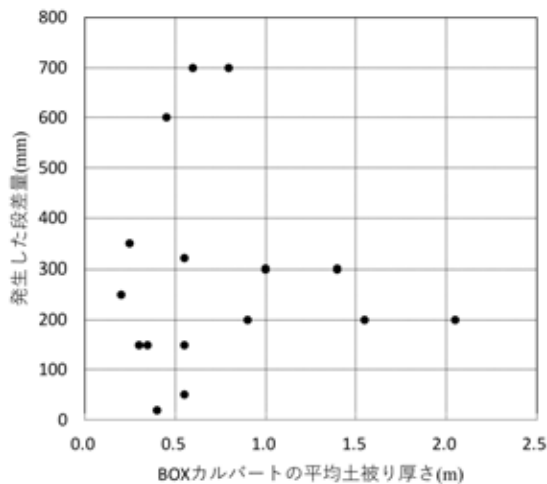
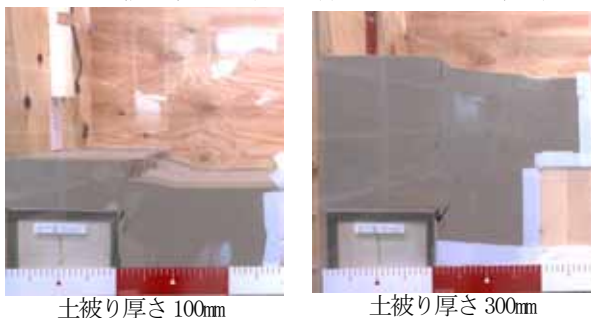


図-8 土被り厚さと段差量 (中越地震における調査)



土被り厚さ 100mm 土被り厚さ 300mm

図-9 土被り厚さの違いによる段差形状の比較 (沈下量 50mm)

で形成されたくさび状の土塊が、路面に傾斜を作っていることがわかる。この傾斜は土被り厚さが大きいほど範囲が広くなり、路面に緩やかな傾斜を作り出している。土被り厚さ毎に路面の形状を比較したグラフを図-10に示す。同じ沈下量で比較すると、土被り厚さが大きくなるほど段差が小さくなる傾向であることがわかる。

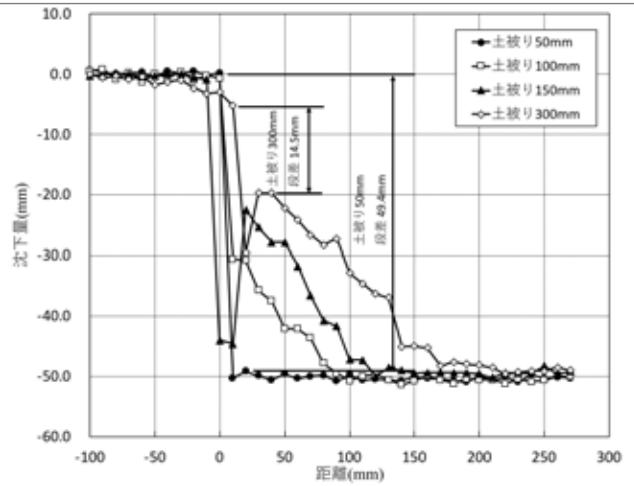


図-10 土被り厚さ毎の路面形状の比較 (沈下量 50mm)

4. まとめ

本研究では、新たな段差抑制工法の開発を目的に基礎的な模型実験を行った。

実際の段差の発生形状を模型実験においても再現することが出来た。以降、この無対策実験を比較対象として、様々な対策工法の実験を行う予定である。今回、対策工法の一例として、ジオテキスタイルを敷設する実験を行ったが、単純に敷設するのみでは、車両の走行性の改善効果は僅かであることが分かった。しかし、BOXカルバートの土被り厚さの大きな箇所では、発生する段差が小さくなるため、ジオテキスタイルを敷設するのみで十分な対策効果を得ることができると考えられる。今後、さらに検証ケースを増やし、コンクリート2次製品などの他の材料と組み合わせた検証を行うことで新たな対策工法を提案する予定である。

謝辞：中越地震で発生した段差の調査結果は、株式会社高速道路総合技術研究所より提供していただいた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) NEXCO 東日本：平成 19 年新潟県中越沖地震～高速道路の被災及び復旧状況～, 2007.
- 2) <http://kineticsand.com>
- 3) 常田賢一・小田和広・中平明憲・林健二・依藤光代：段差走行実験に基づく地震時の道路の性能評価および交通運用, 土木学会地震工学論文集, pp.596-604, 2007 年 8 月

下水道中継ポンプ場における浸水対策について

手塚 聡¹・細溝 雅宏²

^{1, 2} 滋賀県 北部流域下水道事務所 (〒522-0002 滋賀県彦根市松原町1550)

下水道における中継ポンプ場は、上流から流れてきた汚水を終末処理場へ送水するため不可欠な下水道施設である。

近年、豪雨により発生した浸水によりポンプ場が水没して機能停止し、周辺に汚水が溢れ出して住民生活に影響を与えるとともに、ポンプ場の機械・電気設備が大きな損害を被ってその復旧に長期間を要する事例が発生している。

滋賀県では、このような背景のもと、浸水想定区域図等の浸水シミュレーション資料に基づき、想定される浸水からポンプ場を守る対策について検討を行い、浸水のおそれのあるポンプ場において耐水化計画を策定した。この計画の骨子について発表する。

キーワード 下水道, ポンプ場, 浸水対策, 耐水化

1. はじめに

(1) 処理区概要

滋賀県では、生活環境の改善と、河川や琵琶湖の水質を保全するため、「湖南中部」、「湖西」、「東北部」、「高島」の4つの処理区からなる琵琶湖流域下水道の整備を進めてきた。

北部流域下水道事務所が所管する「東北部処理区」は、彦根市、長浜市を中心とする東北部地域の4市4町を対象とする処理区である(図-1)。

終末処理場である東北部浄化センターに向けて、138.8kmに及ぶ流域下水道管渠網により、中継ポンプ場等の揚水施設を介して送水している。

(2) ポンプ場の役割

下水道管渠は下流に向かって適当な勾配をもって埋設されているため、汚水は自然流下している。しかし、勾配をとり続けることにより埋設深が深くなりすぎると、管渠の設置費用が増大し不経済となる。このような場合、中継ポンプ場を設置して汚水を地表面近くまで揚水し、次のポンプ場または処理場へ送水している。

中継ポンプ場は、管渠網の途中に存在して揚水機能を担うことから重要な施設である。

また、東北部浄化センター内では雨水ポンプ場があり、浄化センターの広大な敷地に対応した雨水調整池の排水ポンプとして、施設管理上重要な位置付けとなっている。



図-1 琵琶湖流域下水道の処理区域

2. 検討の背景

このように重要な位置づけとなっているポンプ場であるが、図-2に示すように、近年、豪雨によりポンプ場周辺が浸水したことにより、ポンプ場が水没し、機能が停止する事例が発生している。

このような事態が発生すると、汚水を下流へ送水する

ことが出来なくなり、周辺住民の生活空間に汚水が溢れ出して公衆衛生が確保できない状態となったり、ポンプ場内部の設備類が水没して、復旧までに長い期間と多大の費用を要するとともに、下水道使用自粛等の要請により広い範囲の住民にも影響を及ぼすこととなる。

3. 耐水化計画の策定

(1) 浸水対策の考え方

設計指針¹⁾では、ポンプ場は降雨時に浸水したとしてもその機能が停止することがないような配慮が必要であり、①外水および内水による浸水の対策として地盤レベルの設定を上げること、②特に電気関係の機器は絶対に浸水しないよう高位置に設置すること、とされている。

今年度より供用を開始した姉川中継ポンプ場では、基本設計時点(2010年)において、水防法による浸水想定区域図が公表されていたことから、この浸水深を参考に、地盤を嵩上げして浸水に備えている(図-3)。



図-2 日本下水道新聞記事(2017.11.1)



図-3 姉川中継ポンプ場の嵩上げ状況

現在では、水防法に基づく「指定河川浸水想定区域図」の他に、滋賀県流域治水の推進に関する条例に基づく「地先の安全度マップ」といった浸水想定リスク図が複数公表されているため(以下、浸水想定区域図等という。)、新たな計画においては浸水について具体的な対策を講じることが可能となった。

一方で、有効な浸水想定資料の無かった時代に建設されたポンプ場では、浸水対策がとられていないのが実情であり、先述のような浸水事例を受けて、所管の6箇所²⁾のポンプ場について浸水リスクの把握および対策の検討を行うこととした。

(2) 浸水想定

東日本大震災後に改定された下水道施設の耐震対策指針²⁾(以下、耐震対策指針という。)では、津波による大規模な浸水で下水道施設に多くの被害が発生した経緯から具体的な対策指針が示されている。これによると、①一度地下階が浸水すると排水や設備の復旧に多大な時間を要することから、少なくとも地上階から地下階への津波の侵入を防止する必要があること、②想定³⁾の浸水深は「最大クラス(数百年から千年に1回程度³⁾)の津波」によるものとして下水道機能の確保を目的として対策を検討することとしている。

本計画では、浸水対策の考え方は外水・内水はん濫による洪水であっても同様のものと考え、下水道機能の確保、特にポンプ場揚水機能の確保について、耐震対策指針の考え方をを用いた。

浸水想定区域図等は、前述のとおり複数のパターンが公表されており、対策のもととなる浸水深は、それらの中から最も大きい浸水深を採用することとした。所管ポンプ場について、浸水想定区域図等から整理した採用浸水深を表-1に示す。

(3) 耐水化と防水化

耐震対策指針では、浸水対策について以下のように示されている。

図4に示すが、耐水化とは、構造物の対応により設備機器を浸水させないものであり、防水化とは、設備機

表-1 採用浸水深一覧

ポンプ場	採用浸水深(m)	浸水想定の有無						
		地先の安全度マップ	浸水想定区域図					
			琵琶湖	高姉川・高時川	天野川	宇曾川	犬上川	安曇川
近江	0.30	○	-	-	○	-	-	-
長浜	2.00	○	-	○	-	-	-	-
宇曾川	1.20	○	○	-	-	○	○	-
須川	-	-	-	-	-	-	-	-
姉川	2.19	○	-	○	-	-	-	-
雨水	1.00	○	○	-	-	-	-	-

浸水が想定されているものに○、○を記した。最も浸水深の大きいものに◎を付した。グレー着色のポンプ場は、浸水想定なし、もしくは対策済みであり今回検討外とした。

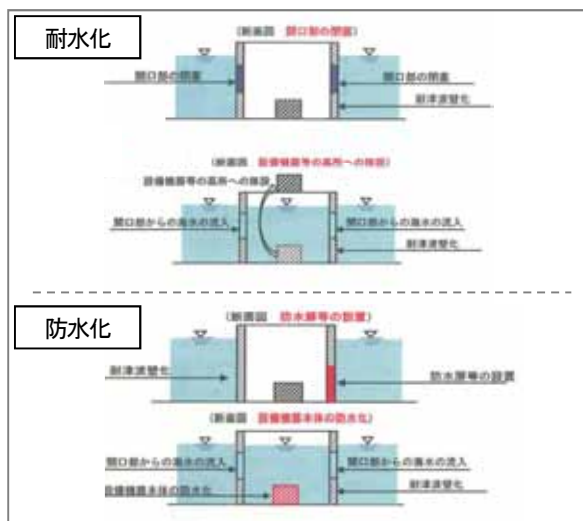


図-4 耐水化(上)、防水化(下) 概念図
(耐震対策指針より引用)

器等に強固な防水性能を持たせることを意図する。

本計画では、ポンプ場ごとの浸水深と設備配置を考慮して、耐水化と防水化の概念を組み合わせた最適な対策を計画した。

もっとも確実な浸水対策は、浸水すると故障してしまう機器類を浸水水位以上の高所へ移設することであるが、既設建物の中で、一定のスペースが必要な自家発電設備や電気室を高所に移設することは、建物自体の大規模改修を伴って不経済である。そのため、高所移設以外の方法により検討を進めることとした。つまり、土木・建築物の改修等により対応することとし、具体的には、止水壁による囲い込み(耐水化)、開口部の閉塞等(耐水化)、防水扉への改修(防水化)等の組合せによる対策である。

また、ポンプ場内部の各区画や設備の配置によっては、浸水を許容する区画を設定できる場合がある。この場合は「重点化区画」を設定し、内部を選択的に対策を実施することも可能である。

(4) 設計上の留意点

設計にあたって特に留意した点を挙げる。

a) 浸水防止性能

浸水防止の方法には、様々な方法が考えられる。扉の対策を例に挙げると、表-2 のとおりである。特に近年は浸水防止をうたった製品が数多く出てきている。

製品を検討する場合は浸水防止性能により評価できる。本計画では(一財)建材試験センターの性能基準に基づき 20L/(h・m²)以上の防水性能を有する製品であれば、ポンプ場内部への漏水を許容できるものとした。

浸水想定区域図等に浸水継続時間などの時系列データが今後拡充されれば、漏水許容量等の詳細な検討が可能となり、採用製品の幅が広がるものと期待される。

表-2 扉における対策例

対策方法	扉の対策方法			
	防水扉改修	防水板設置	RC造階段設置	コンクリート締切または止水壁
姿図(イメージ)				
改修概要	扉を防水仕様に変更する。	防水板を設置する。(常時設置)	内部にRC造の壁を階段状に設置する	扉を撤去し、コンクリートで締め切る。
対象浸水深	5.0m	1.5m	施工位置による	—
長所	既存と維持管理性が変わらない。	改修が最小となる	作業動線を大きく変えない。防水扉より安価となる。	開口の形状に関係なく対応が可能である。
短所	もっとも高価である。	出入りの都度、設置撤去作業が伴う。	設置スペースが必要。	作業動線や搬入口を別に確保する必要がある。

b) 作業動線の確保

所管ポンプ場はいずれも無人・遠隔監視のポンプ場である。しかし、維持管理のため毎日メンテナンス業者が出入りするため、既存の作業動線の確保を第一に考え大規模な改修は極力行わない計画とした。

ポンプ場の周辺状況は、浄化センター中央監視室では把握できないため、近年多発するゲリラ豪雨等による内水氾濫に対して初動が遅れる可能性がある。防水板は、防水扉に比べて安価で、取外し・収納が可能なことが特徴であるが、無人のポンプ場では、このような事態に備えて常時設置状態としておく必要がある。そのため、作業動線に防水板があると日常の維持管理の支障となることから、使用頻度の少ない出入り口に採用し、日常的に使用する出入り口では、防水板が採用可能な水深であっても防水扉を採用することとした。

c) 貫通孔閉塞

建築物には例外なく内外を貫通する穴がある。図-5 に示すとおり、特に電気用ハンドホールは建物内部の電気室と直結しており、見落としがないよう注意が必要である。通常、開口部はシール処理されているはずであるが、現地調査では、閉塞不十分であったりシール材が劣化により脱落している場合が見られた。

本計画では、外壁面に沿って設置されているプルボックスについては配線の行き先を確認した上で、高所に移設するか、プルボックス内に解体可能型レジンを注入して止水する。また、電気用ハンドホール内においては、



図-5 外壁に設置されているプルボックス内部(左)、電気ハンドホール内部(右)

管路端部にて発泡ウレタン等の止水材充填を行うこととした。

d) 余裕高の設定・漂流物対策

河川の破堤等により、流速の大きな氾濫流が発生し、ポンプ場躯体に流れが衝突する際に発生する現象に対する検討を行う。

津波浸水想定設定の手引き⁴⁾では、水流の流れを受ける側の水位が上昇する現象が発生する(せき上げ)ため、これを考慮することとしている。

また、破堤により大量の漂流物が発生して下流へ拡散すると、ポンプ場の扉やシャッター等の脆弱部に激突して破壊されることにより浸水の原因となるおそれがあるため、確認が必要である。

これら検討においては、地先の安全度マップにてシミュレーションされている流体力の情報を参考に、ポンプ場で発生する流速を逆算し、せき上げ高を算定した。以下に水位算定式⁴⁾を示す。

$$h_{max} = h_b + V_b^2 / 2g$$

- h_{max} : 想定津波浸水深(せき上げ考慮)(m)
- h_b : 想定津波浸水深(せき上げ非考慮)(m)
- V_b : 津波の流速(m/秒)
- g : 重力加速度(m/秒²)

表-3 流体力とせき上げ高

ポンプ場	流体力 (m ³ /s ²)	浸水深 (m)	流速 (m/s)	せき上げ高 (m)
近江	- ※	0.3	-	-
長浜	- ※	2.0	-	-
宇曾川	0.5	1.2	0.65	0.02
雨水	- ※	1.0	-	-

※流体力の「-」は閾値(0.01m³/s²)以下であることを示す。

結果的に、表-3 のとおり各ポンプ場ともにほとんど流速は発生しないため、せき上げ高はわずかであり、考慮しないものとした。また、漂流物発生のおそれがある宇曾川中継ポンプ場では、一定の流速が発生すると思われる建物東側には扉等の脆弱部は存在しないため、対策不要とした。

4. 詳細設計の実施

(1) 設計事例

主要な対策方法を以下に例示する。

a) 雨水ポンプ場

雨水ポンプ場は他の中継ポンプ場とは役割が異なり、東北部浄化センターの雨水調整池の排水ポンプ場である。

- 想定浸水深 1.0m
- 除塵機室とポンプ室、電気室の3区画からなる。電気室は嵩上げされており、浸水深以上である。以下のとおり設計した。



図-6 雨水ポンプ場 重点化区画の設定

- 除塵機室は、電動機等の主要部は浸水深以上にあり、補機のみが浸水深以下に位置するため、これを嵩上げすれば浸水の影響を受けないことから、重点化区画を設定した。(図-6)
- ポンプ室は、使用頻度の低い搬入シャッター部分は防水板を設置するが、作業動線となる片開き扉については防水扉へ改修する。
- 耐震対策工事の実施予定があるため、この詳細設計において浸水対策を考慮し、浸水深に合わせて開口部を閉塞(耐震壁化)するなど、耐震対策と浸水対策を両立する。

b) 長浜中継ポンプ場

- 想定浸水深は2.0mであり、防水板等による簡易的な対策は困難である。
- 平屋建であり、高所への機器移設はできない。
- 中継ポンプ場のため地下構造部が深く(GL-16m)、部屋数と搬入出に伴う開口が多い。

当ポンプ場では浸水深が大きいため、対策方法により費用に大きな差が生じることが想定されるため、表-4に示す方法により比較検討を行った。具体的な対策方法については図-7(1)~(3)(次ページ)に示した。

比較検討により、建屋周囲全部を個別に対策する第1案が最も優位となった。第2案は、重点化区画を設定して電気室などを選択的に防水化する案である。しかし、

表-4 比較検討結果

比較項目	第1案 個別対策	第2案 重点化区画	第3案 止水壁
経済性 <small>概算費用(千円)</small>	39,000 ◎	48,000 ○	64,000 △
施工性	非常に複雑 △	複雑 ○	比較的単純 ◎
維持管理性	ほとんど変わらない ○	作業動線に支障 △	内水排除が必要 △
景観	ほとんど変わらない ○	ほとんど変わらない ○	壁に囲まれる △
総合評価	◎	○	△

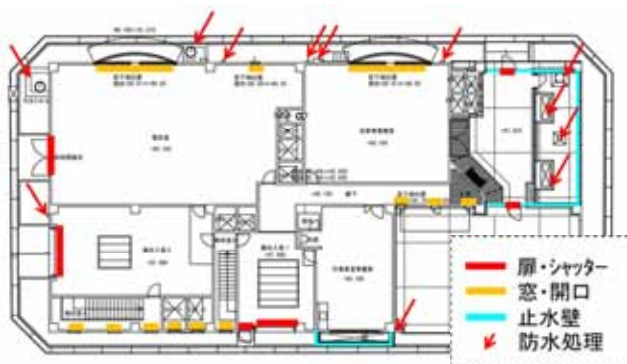


図-7(1) 長浜中継ポンプ場 第1案 個別対策



図-7(2) 第2案 重点化区画

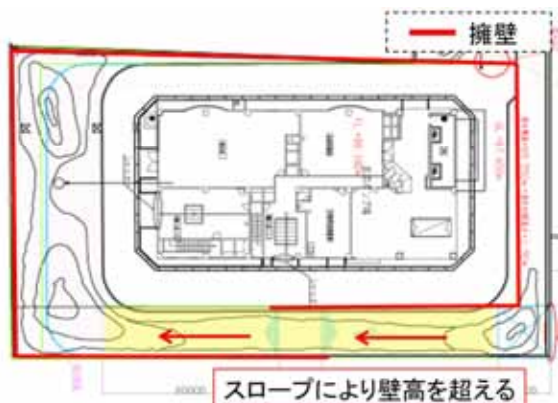


図-7(3) 第3案 止水壁

かえって対策箇所が多くなり不経済となった。また、第3案は止水壁により敷地を囲う方法であるが、当ポンプ場においては優位点は少なかった。止水壁による囲い込みは、規模の大きい施設において施設全体を対策することを想定した場合、開口部を個別に防水扉等に改修するより経済的になる場合があると考えられる。

c) 近江中継ポンプ場他

図-8に改修イメージを示す。浸水深が0.3mと低い近江中継ポンプ場では、基本的に防水板での対応である。また、浸水深1.2mの宇曾川中継ポンプ場における対応は、窓などの脆弱部は嵩上げし、浸水深以下は閉塞するなど、長浜中継ポンプ場と同様の考え方をとっている。



図-8 近江中継ポンプ場(上)
宇曾川中継ポンプ場(下)における対策の一部

(2) 浸水被害額と対策費用

各ポンプ場における浸水被害額と対策費用概算額を表-5に示す。ポンプ場が水没すると非常に大きな被害となることが分かる。それに対して対策費用は、被害額に比べて安価であり、対策の効果が高いと言える。

対策費用は、浸水深が大きくなると、防水板での対応が困難となって防水扉や防水シャッターを採用することとなるため費用は大きくなる。

一方で雨水ポンプ場のように、浸水を許容するエリアが設定できれば大きく費用を削減できる場合もあるが、室内に浸水を許容することはリスクを抱えることにもなる。隣室や地下階への浸水拡大の端緒となるばかりでなく、ひとつの電気系統の浸水・漏電によって設備系統全体がダウンすることも考えられることから、コスト削減によるメリットだけに目を奪われることのないようにしたい。

表-5 浸水被害額と対策費用概算額

ポンプ場	(千円)		対策工法	(千円)
	浸水深(m)	浸水被害額※		
近江	0.3	672,700	防水板×3	7,500
長浜	2.0	979,300	防水扉×4、防水シャッター×2 窓等改修、止水壁	39,000
宇曾川	1.2	908,800	防水扉×4、防水シャッター×1 窓等改修	38,000
雨水	1.0	767,300	防水扉×1、防水板×1	4,000

※ 浸水被害額とは、無対策のポンプ場が浸水した際に、水没する設備類の工事費相当額

5. 対策工事の実施

現在、本計画に基づき、鋭意対策工事を実施中である。実施状況写真を図-9、図-10 に示す。今後の維持管理や改築更新時に、浸水対策が活かされるよう、啓発看板等を設置している。

6. まとめ

本計画の策定にあたっては、本県において未対策となっているポンプ場の浸水防止対策に関して、想定浸水深をもとに、発生し得る事象について想像力を働かせながら、現地調査を繰り返して検討を進めた。

特に、既設のポンプ場における浸水対策として、すでに公表されている浸水想定区域図等を活用して客観的な浸水深を得ることが可能であり、これに基づき、土木・建築構造物の積極的な耐水化・防水化改修により、効果的に浸水対策が実施できることが示された。

当処理区におけるポンプ場は、いずれも現実的に対処可能な浸水深であった。しかし低地に建設されることの多いポンプ場は、それゆえに大きな想定浸水深に対処を求められる場合もあると思われる。このような場合、ハード対策とソフト対策を組み合わせ、一定規模以上の浸水を許容して早期復旧対策に注力するなど、それぞれの浸水特性に合わせた対応が求められることとなる。

浸水想定区域図作成マニュアルの改訂などにより、今後さらに多くの情報が盛り込まれたマップが公表されていくものと考え、これらをどのように活用していくかは、住民の生活環境を守る下水道管理者として重要な視点であると、本計画の策定を通じて認識を新たに

ところである。

参考文献

- 1) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 2009年
- 2) 日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説 2014年
- 3) 国土交通省：国土交通白書 2012年
- 4) 国土交通省：津波浸水想定の設定の手引き 24年2月



図-9 啓発看板の掲示



図-10 長浜中継ポンプ場における耐水対策工事実施状況

自治会と連携した マイ防災マップ作成の取り組みについて

山口 遼太¹・神野 茂彦²

¹枚方出張所管内河川レンジャー (〒573-0056大阪府枚方市桜町3-32)

²枚方市桜町 自治会会長 (〒573-0056大阪府枚方市桜町3-32)

近年、増加傾向にある水害のリスクに対し、河川管理者によるハード面の対策だけではなく、住民による自助共助の対策を充実させる取り組みがいま求められている。淀川管内河川レンジャーは、行政と住民の橋渡し役となって双方の意見交換を円滑にし、住民参加のもとで河川に関する様々な課題解決を目指し活動を行っている。今回は、地域住民との継続的な関係づくりと意見交換によって実現した地域住民とのマイ防災マップ作成の経緯と、その効果を述べるものである。将来的にはこれらの取組を、市民による「まるごとまちごとハザードマップ」や「マイ・タイムライン」作成の提案へと繋げていきたい。

キーワード 淀川管内河川レンジャー、水防災、住民参画、マイ防災マップ

1. はじめに

(1) 河川レンジャー活動について

河川レンジャーは住民と行政が共に川の管理や整備を行うため、住民と行政との間に立って一部の河川管理上の役割を担う人または団体の名称である。

2018年現在、淀川流域で20名の河川レンジャーが河川に関する様々な活動を行っている。

(2) 防災活動への取組

「淀川管内水害に強い地域づくり協議会」首長会議(図-1)においても、住民の意識変革に河川レンジャーの活動による効果が期待されている背景がある。これら住民と行政が共に考える防災への取組として、マイ防災マップ作りに取り組んだものである。



図-1 水防災意識社会 再構築ビジョン概要

2. 水防災意識の向上に向けたこれまでの取組

(1) 枚方市での水害啓発活動の状況

これまで市内各地域で行われてきた防災の取組のうち、地震・火災に関するブースが全体の7割を占め、水害に関するブースはわずか1割に満たなかった。要因を調べると「パネル展示が多く実感できない」「専門の施設でなければ体験ができない」「設備を依頼する上での制約が厳しい」といった声が防災担当者より上がっていた。

(2) 簡易版浸水地歩行体験キットの作成

水害時体験として人気が高いのが、淀川河川事務所が所有する水中歩行体験施設である。(図-2)



図-2 水中歩行体験施設

この施設は1000人規模のイベントにも対応ができ、多

くの市民に水害時体験を提供できるが、反面、参加人数が数百人と少ない地域防災イベントでは、運用コストに対する採算が合わない。また、公園や小学校校庭などの小規模なスペースではサイズの運用が困難であり、これらの理由から各地域で水防災の取り組みが行われにくいという課題があった。この課題に対応すべく、小規模なイベントでも運用が可能な水防災キットの作成に河川レンジャーとして着手。2016年8月、浸水地歩行体験キットを作成し運用を開始した。(図-3)



図-3 簡易版浸水地歩行体験の様子

機材全てを軽車両一台で搬入ができ、設営も大人数人で容易に出来るため、先に述べた小規模な地域防災イベントでも運用が可能となり、水害に関する啓発をピンポイントで実施できるようになった。

(3) 体験キットの効果

この体験キットを用いた水災害の啓発活動によって地域防災イベントへの出展要請が急増した。それまで枚方市内での水防に関する出展依頼は年0~1件程度であったが、2016年度の作成以降は2年間で13箇所・延べ2000名以上への啓発活動を行うに至った。(表-1)

表-1 浸水地歩行体験キットの利用状況(地域防災関係)

日時	活動名	体験者数
2016.08.21	淀川まるごと体験会	156
2016.09.03	中宮北小 地域防災	306
2016.09.10	枚方第二小 地域防災	77
2016.11.19	川越小 地域防災	169
2017.01.22	キッズ防災EXPO	133
2017.02.05	平野小 地域防災	87
2017.08.20	淀川まるごと体験会	142
2017.09.24	桜町 地域防災	56
2017.11.25	淀川防災教室	81
2017.11.26	川越小 地域防災	212
2018.01.27	ひらかた防災学校	238
2018.02.04	平野小 地域防災	135
2018.05.27	牧野小 地域防災	265

これに伴って、これまで水害を意識していなかった自主防災会など地域の防災組織との密接なつながりが生まれ、水防に関する意見交換を行うことができた。小規模な地域防災での啓発活動を元にした繋がりが、のちのマイ防災マップ作りへと発展する素地となっているのである。

(4) 桜町自治会からの要請

2017年9月、これまでの水防災活動からより具体的に自助・共助能力の向上に取り組みたいという要請が桜町自治会より出た。

枚方市桜町は明治18年の淀川洪水を引き起こした「伊加賀切れ」の跡地に形成された町であり、淀川の近代改修の契機となった水災害のあった地として、古くから住民にとっては水災害に関する関心が高い地域である。

(図-4、5)



図-4 桜町 周辺地図



図-5 明治18年洪水後の桜町周辺(国土地理院提供)

自治会代表者と協力し、桜町自治会住民を対象として水害に関する説明会とマイ防災マップ作成を行う事となった。また、地域の子どもの親を中心としたコミュニティとも自然体験活動を通して面識があったため、地域の世代間ギャップを超えた参加も実現している。

作成に当たっては淀川河川事務所と枚方市危機管理室より様々なご協力を頂いた。

3. マイ防災マップ作りの取組

(1) マイ防災マップ作りに向けた情報収集

2017年10月、地域住民代表者3名（自治会長、防災担当者、子ども会会長）と話し合いの場を持ち、自主防災の上で地域にどのようなリスクを感じているかを確認。結果として以下のような意見が出た。

- ・新規住民の間で水災害のリスクが認識されていない。
- ・指定された避難所は遠く、急傾斜。体力的に不安。
- ・避難所のある山は崩れると言われており不安である。
- ・現状の避難経路は過去に浸水被害が発生している。
- ・校区内の人口が急増しているが、対応できるのか。

桜町自治会は水害時の第一次避難所として枚方小学校が指定されている。また、緊急避難場所として枚方公園青少年センターが指定されている。

自治会で想定する避難ルートでは、桜町中心部から枚方小学校まで約1km、高低差約35mであった。緊急避難場所である枚方公園青少年センターまでは約250mの平坦な道のみである。(図-6) また、指定避難所である枚方小学校の敷地、および校舎の一部が土砂災害警戒区域に指定されていることが分かった。また、住民への聞き取りから桜町自治会の加入世帯数は196世帯、高齢者は60名ほどで、足が不自由などの理由で迅速な行動が困難とみられる方はそのうち12名であった。(2017年10月時点) 近年、周辺地区に新興住宅が多く建てられ校区内人口が急増していることも確認できた。これらの情報収集と確認を行ったのち、関係者や地域住民代表者らと避難ルート周辺の下見を行い、ルート候補を設定した。



図-6 桜町地区と自治会で想定している避難ルート

(2) マップ作りに向けた地域事前学習会

水災害リスク認識度の差を埋めるべく、中央流域センター（淀川河川事務所 枚方出張所 隣接）にて地域住民を対象とした勉強会を実施した。淀川河川事務所職員による淀川の堤防強化や排水施設などハード面の解説、枚方市職員による市内の水害対策、河川レンジャーによる地域の水害リスクについてそれぞれ解説を行い、段階的

に理解を深めていく手法をとった。(図-7)



図-7 淀川河川事務所職員による解説

(3) 避難ルートの現地確認

学習会の後、実際に避難ルートを歩いて行程の現地確認を行った。確認するルートは従来から想定されていた避難ルートと、何らかの理由で既存ルートが使えない場合の迂回路の2コースを設定した。

参加者にはルートの白地図を手渡し、気付いた事柄などを地図上にマーキングし詳細を記入する方式をとった。現地確認の前に確認事項を説明し、雨天時で視界が悪い状況を想定するよう指示した。なお、ルート上で確認した項目は以下の通り。

- ・側溝、水路 : 柵やフタ、深さ、視認性など
- ・段差、勾配 : 車椅子等の移動に支障がないか
- ・街灯の有無 : 夜間避難時に危険が無いか
- ・道幅、交通量 : 避難時に通行する上で安全か
- ・冠水の危険性 : 地下空間や低い土地など
- ・過去の教訓 : 過去の浸水や崩落などの情報

参加者を3つの班に分け、それぞれルートを確認した。住民グループの他、道中の安全管理とタイムキーパーとして河川レンジャー、専門知識などのオブザーバーとして河川管理者とその関係者がグループに同行した。

桜町にある淀川河川事務所枚方出張所をスタート地点とし、ゴールの枚方小学校まで片道1~1.5kmのコースをチェックしながら歩いた。高齢者や児童を引率しながらの移動を想定しながら歩いた結果、平均所要時間は最短ルートで15分、迂回ルートで20分であった。

(4) 現地確認後の意見交換

施設に戻り各班で意見交換を行い、一枚の白地図に班の意見を集約した。意見交換時には旧来の住民と新規の住民で発言力に差が出ないようにディスカッションルールを設定し、場の連帯感を損なわないように留意した。また、確認した事柄を記入する際は、大きく4項目に分けた。各色のシールを確認箇所に貼り、具体的な内容をポストイットに記入して併記することで、危険箇所を視

覚的に分かりやすくし、後の編集を容易にした。(図-8)

防災マップ 記入時の約束

①防災マップにはさまざまな人の観点を集約する事に意義があります。議論をせず、目の前の地図に意見を集約することを念頭に置いて下さい。(「それは違う」「知識不足だ」などのネガティブな発言は禁止します)

②下記の凡例に従って地図上に各色のシールを貼り、ポストイットでシールを貼った場所の内容を併記してください。(重複する場合は横に並べて下さい)また、対象が広範囲になる場合は直接地図に範囲を書き込んで構いません。

③記入する時間は今から 15 分間となります。意見を出し惜しみせず、各自が率先して記入を行ってください。

④事前に記入をお願いする事柄がある場合があります。

○防災マップ 記入マニュアル(資料-1)

危険箇所の分類	凡例	
水に関する危険	側溝・水路など	青色の丸印●
	マンホール	
道路に関する危険	階段・段差・坂の勾配	赤色の丸印●
	狭い道・交通量の多い道	
施設に関する危険	冠水の恐れのある施設	黄色の丸印●
	暗い場所(街灯がない)	
地域が知る危険	地域の教訓	緑色の丸印●
	その他気づいた点	

※上記凡例を参考に地図上にシールを貼ります。
 ※ポストイットでシールを貼った場所の内容を併記してください。
 ※広範囲に渡る場合は地図上に直接範囲を書き込んで構いません。

図-8 ディスカッションルールと4分類

各班で意見を集約した後、全体で意見交換を行った。溝蓋の有無や冠水箇所の確認など基本的な内容はもとより、「小学校に通う子どもが雨の日によく滑って転ぶ」というグレーチング(確認したところ設置方向が90度違っていた)や「想定図に出ていない内水氾濫時の水の流れ」など、地域住民ならではの意見も多く寄せられた。これら住民の目線からの情報を盛り込み、地域独自性の高い物とした。(図-9)



図-9 地域住民による意見交換とマッピング結果

また、意見交換においては2017年6月に公表された最新の浸水想定区域図を使用した。これによると京阪枚方公園駅の東ロータリー付近までであるため、「線路を超える」というキャッチフレーズが住民にとって最もわかりやすいのではないかと、という意見が出た。懸念されていた坂道は実際急傾斜ではあったものの、この東ロータリーを超えた先にある為、氾濫による被害を避ける上ではひとまず影響がないと判断、基本的には最短のルートで早期に避難することが最善であると結論付けられた。一方でこのルートは内水による通行への影響も懸念され

ることから、すでに内水被害が発生していた場合の予備ルートとして迂回ルートも記載することが決定。ただし、迂回ルートについては終盤に階段が存在するため、車椅子での避難は不可と明記した。

また、浸水想定区域図と同時に公表された浸水継続時間および家屋倒壊等氾濫想定区域も資料として用いることで、より詳細な検証が出来た。その結果、緊急避難所として想定されていた枚方公園青少年センター周辺で家屋倒壊が発生することと、浸水継続時間が168時間(一週間)であることが確認され、近隣住民が避難するには極めて緊急的な場合のみであることが改めて住民間で理解された。(図-10) この結果を住民間で相談し、災害時要支援者の早期避難に向けたタイムラインを考えるとともに、緊急避難所は足の不自由な高齢者等がやむを得ず避難する場合の手段とし、一般の住民は利用しない方向で話し合った。合わせて、住民の中での要支援者リストの必要性も議論され、作成が検討されることとなった。

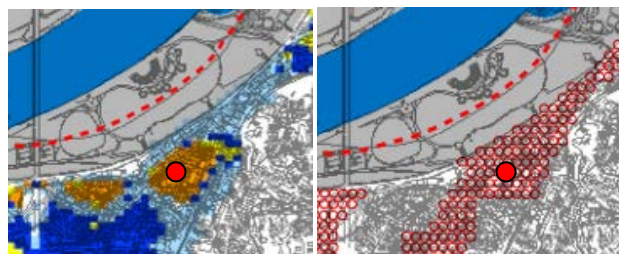


図-10 各想定図と緊急避難所の位置

(5) マイ防災マップ作り

意見交換の結果を受けて、情報を落とし込んだマップの作成を行った。情報量や家庭での保管・携行の容易性を鑑み、A3 サイズ1枚の両面印刷で作成することとした。作成する上での留意点を地域住民と共に話し合った結果、「従来の防災マップは地図を見慣れていない人には実感が湧きにくい」「情報が多すぎて見ずに終わってしまう」という課題が出た。このため特に「危険性を直感的に認識でき」「水害を自分事として目に留める」ことに留意した。表紙には周辺の浸水想定区域をGoogleEarth®上でCG合成して疑似的に浸水時を再現。さらに家屋倒壊想定エリアを色分けして具体化した画像を作成、使用することで注目度を高める工夫とした。(図-11)

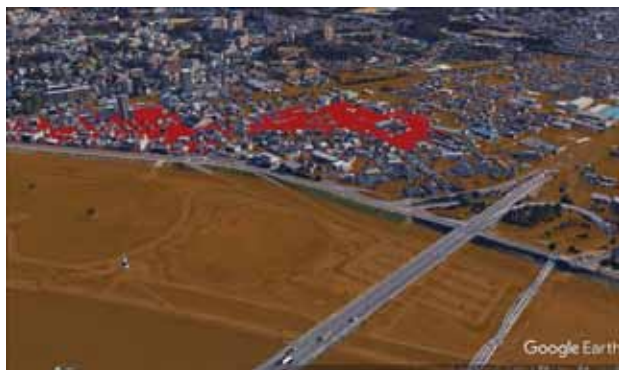


図-11 浸水想定区域の具体化

また、表紙には桜町のシルエットと共に親しみやすいイラストなどを配置し、手に取りやすい印象を意識した。裏面となる部分には避難行動を始める目安や水防災情報の入手方法を紹介。自由に書き込めるスペースを作成し、【住民が完成させる防災マップ】を目指した。これらの内容についても自治会関係者と共に協議しながら、地域に必要な最低限の情報を意識して詳細を決定していた。(図-12)



図-12 【桜町マイ防災マップ 表面・裏面】

中面のマップには住民による経験や過去の事例などを紹介、浸水想定や内水氾濫、土砂災害警戒区域などの情報を網羅しつつ、視認性の妨げにならないよう注意して作成した。意見交換でまとめた4種の色分けをアイコンとして採用し、どのような危険がそこにあるかを認識しやすくした。また、避難ルート要所の写真を掲載することで避難時の混乱を避けるとともに、地理感覚の補強を行った。避難ルートはメインルートと予備ルートを色分けし、線種を変えることでルートの優先順を明確にした。他、行政発行の防災マップとの差別化として資料内の表現などを可能な限り簡単な文言を使用した。(図-13)



図 - 13 【桜町マイ防災マップ中面】

完成した防災マップは2018年2月に桜町自治会各戸へと配布されたほか、周辺自治会へも紹介された。

4.おわりに

(1) マイ防災マップの成果

このマイ防災マップ作成により桜町自治会内でも水防に関する意識が高まっており、定期的に地域住民と河川事業などに対する意見交換を行っている。本年9月にはこの防災マップを利用して地域防災訓練を行う事が企画されており、住民間での相互的な意識の高め合いが期待されている。また、この取組で得たノウハウを河川レンジャー間でフィードバックし、レンジャー間の学習会資料や他地域での防災マップ作りなどへと活用されている。枚方市の危機管理室窓口では、このマイ防災マップ作りの様子が市内の取り組み事例として紹介をされており、他地域の防災担当者などからも問い合わせがあるなど、啓発面での効果も生まれている。枚方市内でも複数の地域とマップ作りに向けた調整を現在進めているところである。

(2) 今後に向けて

今後、他地域でのマイ防災マップ作りを進め、淀川河岸各地の自助・共助能力を向上させるとともに、それらを元としたマイタイムライン作りや「まるごとまちごとハザードマップ」などへの市民提案につなげていきたいと考えている。これまでの関係づくりで得た地域住民との信頼関係を保ち続けるとともに、河川レンジャーの地域に密着した活動と、自治会員の市民の視点を持って、枚方市や淀川河川事務所と共に、【行政と住民が一体となって行う河川管理】の実現に向けた取り組みを進めていきたい。(図-14)



図 - 14 枚方市長へのマイ防災マップ解説と協力願い

謝辞：本稿の場を借り、マイ防災マップに際しご協力をいただいた国土交通省淀川河川事務所、枚方市危機管理室、河川財団の皆様と桜町自治会員の皆様に深く感謝を申し上げます。

流砂水文観測技術を活用した天然ダム監視観測方法の検討

田中 健貴¹

¹大規模土砂災害対策技術センター (〒649-5302 和歌山県東牟婁郡那智勝浦町市野々3027-6)

近年活発に実施されてきているハイドロフォンや濁度計による流砂水文観測を、天然ダムの監視観測方法に活用する方法を検討した。その結果、電源確保といった面で、山地河川における観測は、条件が厳しいものの、出水時のデータについては良好に取得できることが分かった。また天然ダム堤体が大きく侵食される際には、流砂量のデータにも水位と流砂量の関係に変化が現れることが分かった。これらのことに着目することで、観測データに基づく、天然ダム監視観測技術が有効であることが示唆される。

キーワード 流砂水文観測、ハイドロフォン、天然ダム、監視観測技術

1. はじめに

平成23年台風12号により紀伊半島各地で深層崩壊と呼ばれる大規模な斜面崩壊が発生した。深層崩壊が発生した箇所のうち、複数の箇所では崩壊した土砂によって、河川がせき止められ、河道閉塞（以後、天然ダム）が生じた¹⁾。形成された天然ダムの湛水池水位が降雨によって増加すると、天然ダム堤体の越流侵食が発生する。天然ダム堤体の越流侵食が進行すると、堤体が破壊され、大規模な土石流が発生し、大きな被害が生じる可能性がある²⁾。このような天然ダム堤体の侵食による被害を防止、軽減するためには、天然ダム堤体に越流侵食が生じている際の監視観測が必要である。

これまで、天然ダムの監視観測方法として、監視カメラによる天然ダム堤体の監視や水位計による湛水池水位の観測が提案されてきた³⁾。これらの方法では、天然ダム堤体の侵食状況をいち早く把握し、下流域住民へ速やかに情報伝達することで被害を防止・軽減することを想定している。しかし、夜間や悪天候時のカメラによる監視は視界確保が難しい。また水位観測では天然ダムの越流開始は把握できるが、侵食状況の把握は困難である。このような状況では、越流侵食による天然ダム堤体の状況変化は把握困難であり、地域住民の避難に必要な情報の伝達が遅れる可能性がある。

一方で、近年山地河川におけるハイドロフォンや濁度計、水位計を活用した流砂水文観測技術が確立されてきた⁴⁾。ここで、ハイドロフォンとは管状または板状の金属製の観測機器であり、観測機器の管部分または板部分

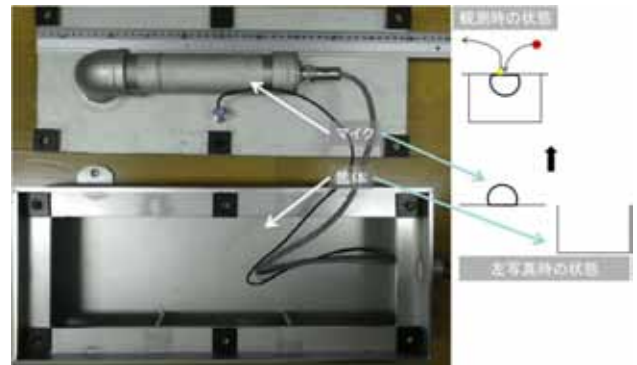


図-1 プレート型ハイドロフォン設置事例およびプレート型ハイドロフォンの構成

に河川内を流下する砂礫が衝突する音を利用することによって、主に掃流砂量を観測する機器である(図-1)。ハイドロフォンは濁度計、水位計等とともに、流砂量観



図-2 栗平地区における崩壊と天然ダム

測に利用される。長期間の観測によって対象流域の土砂動態変化を把握することに利用されることが多いが、対象河川で発生した土石流による流砂量の変化を検知した事例が報告されてきており^{5)・6)}、流砂水文観測が流域状況変化把握に活用できることが示されてきている。

一般に、天然ダム堤体の越流侵食時には、堤体の侵食に伴う土砂移動が発生し、またその土砂移動状況に変化が見られることが想定され、その変化を捉えることが天然ダムを監視観測する上で重要と考えられる。これらから、流砂水文観測技術により、天然ダム侵食状況をふまえた天然ダムの監視観測が可能になると考えられる。そこで、本報告ではハイドロフォン等の流砂水文観測技術を活用した天然ダム監視観測技術について検討する。

2. 調査地概要

(1) 調査方法

栗平地区(奈良県吉野郡十津川村)における崩壊地は高さ450m、幅600m、長さ650mであり、崩壊土砂量は約2385万³mであった(図-2)。栗平地区の天然ダムはこれまでも台風等による降雨によって越流侵食が生じて

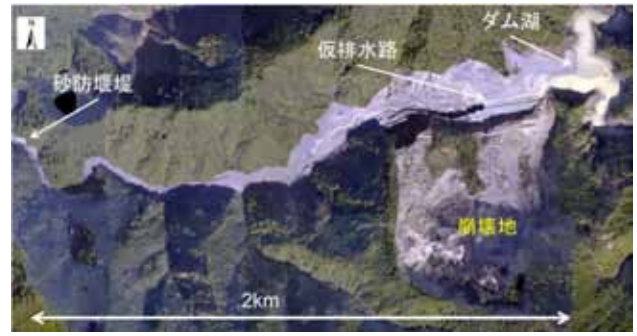


図-2 観測機器設置箇所の概要

いる。平成29年にも8月台風5号および10月台風21号によって越流侵食が生じた。なお、栗平地区の天然ダム堤体には仮排水路が設置されており、この仮排水路の敷高は535.53mである。天然ダム湛水池の水位がこれを超えると越流が始まる。

栗平地区ではこれまでも水位計やカメラによる監視が行われてきた。今回設置した観測機器は、水位計、底面流速計、濁度計、パルス式ハイドロフォンである。パルス式ハイドロフォンでは砂礫衝突音を1倍、4倍、16倍、64倍、256倍、1024倍の各増幅率で増幅を行い、これらの音響波形を解析し、算出されたパルス数を基に校正試験を実施し、掃流砂量への変換式を構築する。今回構築された変換式は以下の通りである。

$$Q_{sc} = \frac{1}{\beta} \times \frac{P_{16}}{\rho_s}$$

ここで、 Q_{sc} ：計算土砂量(cm^3)、 β ：係数、 ρ_s ：礫の密度(kg/cm^3)、 P_{16} ：増幅率16倍時のパルス数である。

これらの機器は天然ダム下流約2kmにある不透過型砂防堰堤直下流に設置し、平成29年6月より観測を開始した(図-3)。ハイドロフォンなどの観測機器は出水時の河川地形変化に留意し、河川構造物に設置することが一般的である。よって、今回天然ダム堤体の仮排水路、下流の不透過型砂防堰堤の水通し天端、下流の不透過型砂防堰堤の垂直壁天端が設置箇所候補として挙げられた。仮排水路への設置に関しては、設置以前に仮排水路自体が侵食を受ける事例があったことから候補から除外した。



写真-1 台風21号による降雨
観測箇所周辺を上流側より撮影

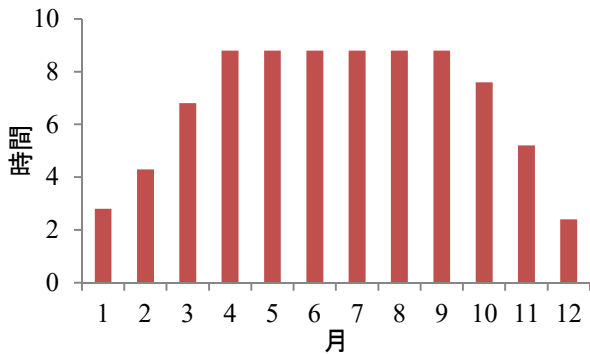


図-3 観測箇所における日照時間

また機器設置当時は砂防堰堤は満砂状態ではなく、天端は観測箇所として適さないと判断した。その結果、最も安定的に観測できると考えられる不透過型砂防堰堤の直下流に設置した(写真-1)。また観測箇所周辺は商用電源がなく、電源としてソーラーパネルを使用した。観測機器を安定的に運用するには日照時間が4時間必要であったが、夏期については日照時間が十分確保できることが分かった。一方で1月と12月は2.4~2.8時間程度しかないので、電圧低下時にはデータロガーの制御プログラムによって、観測を停止し、再度電圧が上昇した後に観測を再開するようにした(図-3)。

(2) 対象とした降雨および越流侵食

データ分析の対象とした降雨は平成29年10月20日から24日にかけての台風21号による降雨である。台風21号では平成29年10月20日から24日にかけて累積雨量468.5mmの降雨が観測された。平成21号は平成23年台風12号以降、最大の累積降雨を記録した(図-6)。この時、10月22日16時ごろから越流が始まった。降雨後、ヘリコプター(Aerospatiale AS350B Ecureuil)による調査を実施した。調査では、天然ダム堤体に設置している仮排水路が侵食されていること、天然ダム堤体と砂防

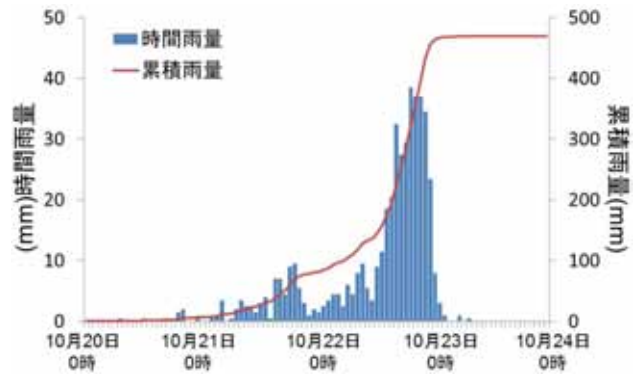


図-4 台風21号による降雨



写真-2 台風21号後の観測箇所周辺の状況
観測箇所周辺を下流側より撮影

堰堤の間で河床地形に変化が見られることが分かった。

なお、侵食後の地形については、ヘリコプターからの写真撮影を基に、写真測量を行った。写真撮影はデジタルカメラ(Nikon D4)によって斜め撮影で実施されている。今回撮影した斜め写真を基にした写真測量を行い、平成29年8月台風5号時に行ったUAV画像を基にした地形データとの差分から侵食深さなどについて調査した。ここで写真測量は、以下の方法で行った。

- ① 平成29年8月台風5号時に作成されたオルソ画像を基に平面基準点、標高基準点を設定
- ② SfM法により今回撮影した斜め写真から自動的に撮影位置および撮影対象物の3次元形状を推定
- ③ ①で設定した基準点を基に②のデータを補正
- ④ ③で補正したデータから地形モデルを作成

ここでSfM法とはStructure from Motion法の略であり、異動しながら撮影された画像から、対象物の形状を復元する技術である⁷⁾。

台風21号による降雨によって移動した土砂は、それ以前に砂防堰堤にある程度土砂が堆積していたこと、また、降雨後の調査から砂防堰堤が満砂したことから一部の土砂は、砂防堰堤よりもさらに下流へと流出し、観測箇所周辺にも土砂が堆積した。このことにより、観測機器は土砂に埋没した。(写真-2)

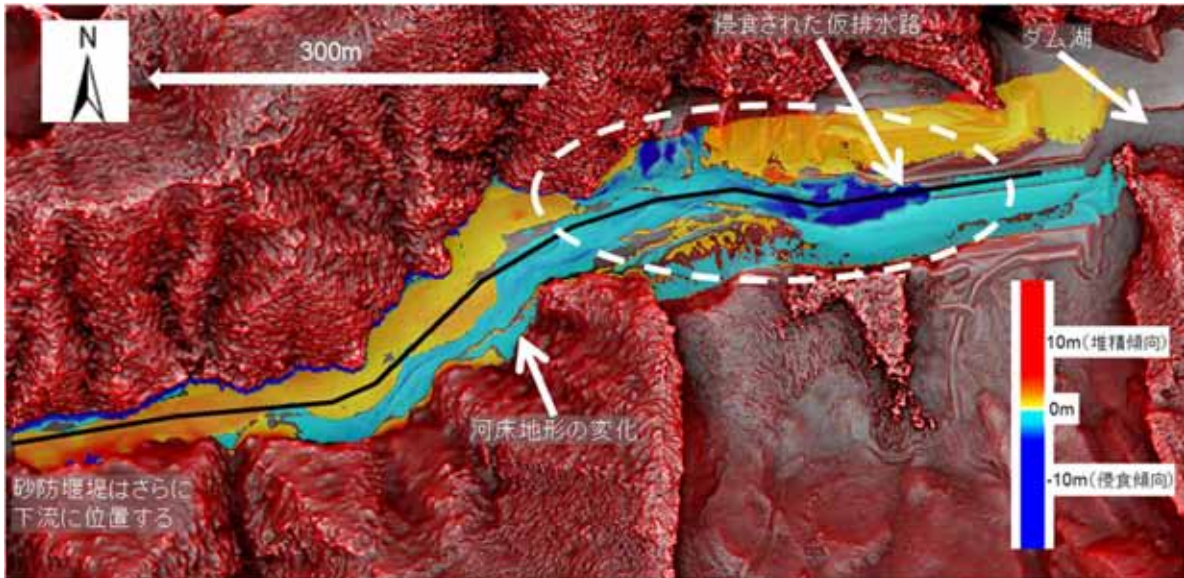


図-8 台風 21 号後の観測箇所周辺の状況

3. 降雨時の観測状況

(1) 測量による侵食状況の把握

写真測量の差分結果を図-8 に示す。この時、天然ダム堤体に設置されていた仮排水路は下流部延長 80m にわたり流出、直下の落差が最大 28m となる侵食を受けた。また天然ダム堤体と砂防堰堤の間についても河床地形に変化が見られることから、この区間でも土砂流出があったと考えられる。(2) 台風 21 号時の観測結果分析

台風21号による降雨時、観測された水位データは不安定ではあるが、4~239 cm を記録した。天然ダムの越流は10月22日16時頃から始まったが、水位増加にともなって濁度、掃流砂量が増加し、濁度・掃流砂量および水位の急激な増加は越流開始とほぼ同じ16時30分頃に観測された。その後濁度および掃流砂量は一度低下しているが、掃流砂量については2度のピークが見られる。23日2時から3時以降は濁度と掃流砂量が急激に低下し、水位も高い値を示したままとなった(図-9)。

(3) 水位と掃流砂量の関係

水位と掃流砂量の関係を図-10に示す。越流開始から5時間程度までは、越流から1時間後の22日17時ごろ掃流砂量の増加し、増加傾向は18時まで見られる。その後、掃流砂量は低下し、その後21時までには掃流砂量は小さい傾向にある。この期間での掃流砂量の増加は水位の増加に伴った変化であり、水位と掃流砂量の関係は右回りのループを示す。

越流開始6時間後から9時間後までの間では、21時から22時にかけて掃流砂量が増加し、23日0時まで掃流砂量は増加する傾向が見られる。この期間での掃流砂量の増加は水位の増加を伴わない変化、つまり水位が低下する

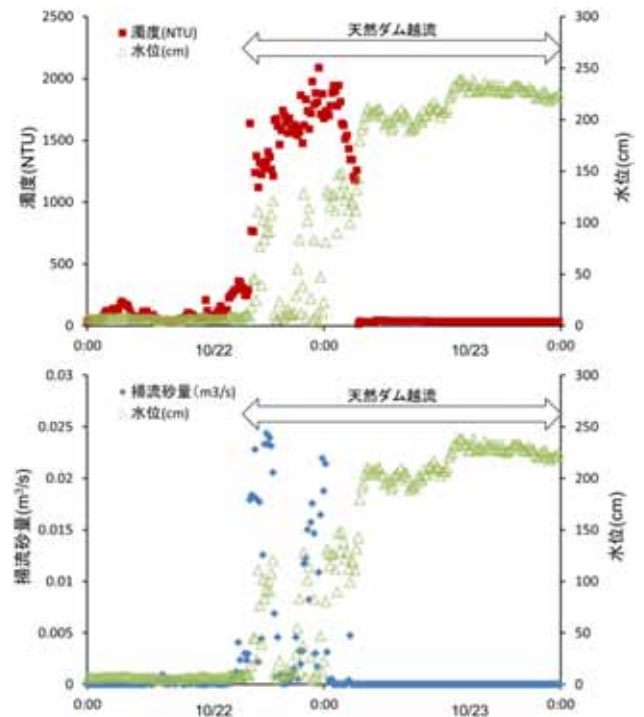


図-9 台風 21 号後の観測箇所周辺の状況

にも関わらず掃流砂量が大きくなる傾向を示し、水位と掃流砂量の関係は左回りのループを示している。その後、大きくなる傾向にあった掃流砂量は23日1時にかけて、ほぼ0m³/sまで掃流砂量は低下している。

4. 観測データに基づく状況変化について

(1) 越流開始と流砂量データ変化の関係

天然ダム堤体の越流が始まる前には、濁度、掃流砂量に

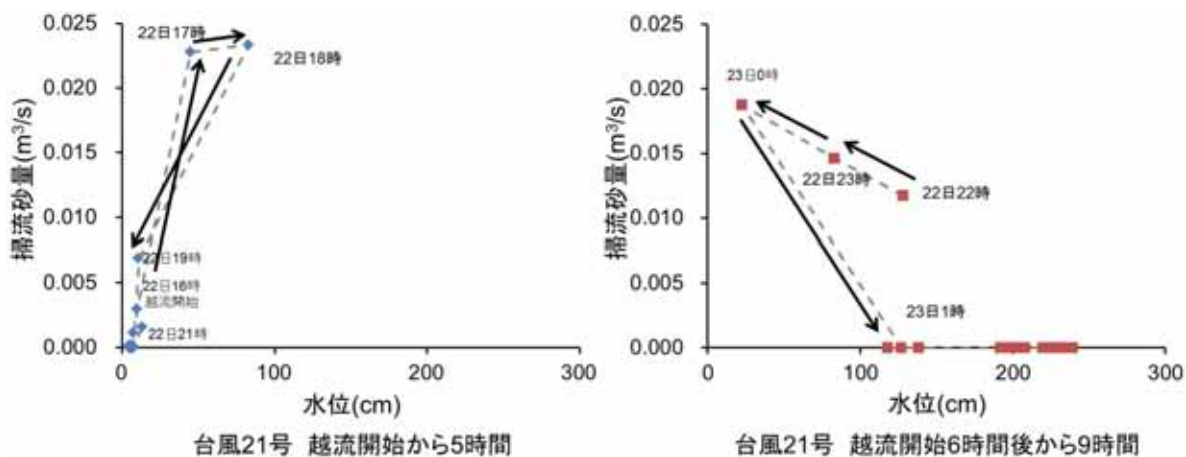


図-10 台風 21 号後の観測箇所周辺の状況

大きな変化は見られなかった。これは観測箇所での流砂量が天然ダムの越流侵食により規定されることを示唆していると考えられる。また濁度と水位は、台風 5 号では越流開始とほぼ同時刻に、台風 21 号では越流開始から 30 分程度経過した後には上昇が見られた。このことから、越流侵食により初期に移動した土砂は 30 分程度までには観測箇所に到達する可能性があると考えられる。

(2) 越流中の流砂量データの変化について

台風 21 号時の観測データでは、掃流砂量のピークが越流開始直後ならびに越流開始後から約 8 時間後の 2 度見られ、土砂移動現象は大きく 2 度あった可能性がある。

また水位と掃流砂量の関係は、1 回目は右回り、2 回目は左回りのループを描いた(図-10)。ここで出水後の調査結果から、天然ダム堤体と河床の侵食が見られ、写真-3 に示す出水中に撮影されたカメラ映像から、左回りのループが描かれた時間周辺で仮排水路が侵食された様子が観察された。この時、下流の砂防堰堤は、ほぼ満砂状態であり、台風 21 号による土砂の多くは砂防堰堤を通過し、観測箇所に到達したことが考えられる。また仮排水路侵食前には天然ダム堤体部分から土砂運搬することなく、比較的土砂濃度が小さいまま流下したことが考えられるが、仮排水路侵食後には本来運搬可能な土砂が運搬されることにより、侵食前よりも掃流砂量が大きくなった可能性がある。

以上から、天然ダム下流での観測データを基に、越流期間中に水位と掃流砂量の関係に着目することで、天然ダム堤体の状況変化を把握出来る可能性が示唆される。

(3) 観測上の課題

各出水時に掃流砂量の最大値は約 $0.025\text{cm}^3/\text{s}$ を示している。ここで台風 21 号時のハイドロフォンによる増幅率毎のパルス数を図-11 に示すが、22 日 17 時頃複数の増幅率でパルス数がほぼ同じ値を示し、パルス数が頭打ちとなっていることが考えられる。この場合、掃流砂量が実際よりも小さく算出された可能性がある。この要因



写真-3 台風 21 号時の CCTV 映像
矢印は侵食が発生していると思われる箇所を示す

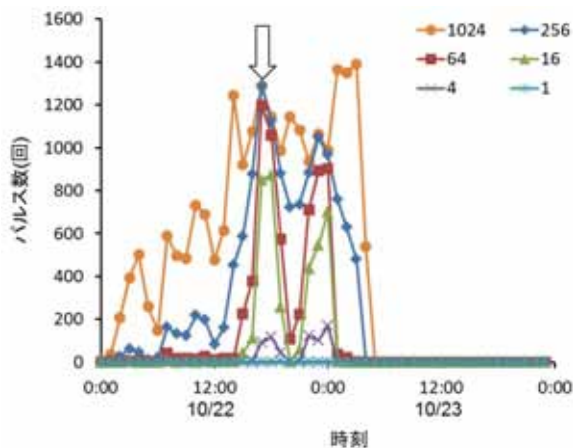


図-11 台風21号後の観測箇所周辺の状況

凡例はハイドロフォンで得られた音響の増幅率を示す
矢印はパルス数が各増幅率でほぼ同じ値をしめしており、頭打ちとなっていると思われる時間帯を示す

としてハイドロフォンへ一度に大量の砂礫が衝突したことによる影響が考えられる⁴。つまり、同時に複数の砂礫がハイドロフォンへ衝突することで、ハイドロフォン内部に設置されているマイクの検知能力の限界となって

いた可能性がある。また水位の観測データにばらつきが見られた。これは水位計が圧力式であることによる水面の乱れが要因として考えられる。さらに観測終盤では水位が高止まりした。出水後の現地調査によって観測機器が埋没していたことから、堆積土砂中の地下水圧を計測した可能性が考えられる。

また、今回の検討は既存の天然ダム水位の観測や、カメラでの監視と組み合わせて活用することが望ましい。現状、観測データから状況変化を把握することは先述の通り、課題がある。天然ダムの水位観測は、これまで長期間にわたり実施されてきており、天然ダム堤体の侵食状況の把握は出来ないが、越流開始のタイミングはある程度精度良く推定することが出来る。またカメラ監視では、実際に現場で発生している現象について把握することが出来るが、今回検討した方法では実際に発生していることの把握は難しい。したがって、既存技術である天然ダム水位の観測や、カメラによる監視も合わせた監視観測方法を構築することが有効であると考えられる。

5. まとめ

栗平地区において観測データに基づき、天然ダム堤体の越流侵食時の土砂流出状況を整理した。その結果、ハイドロフォンなどによる観測データから天然ダム堤体の侵食状況の変化が把握可能であることが示唆され、特に水位と掃流砂量の関係に着目して天然ダムの状況を推定する方法が有効と考えられた。しかし、観測に関する課

題もあためて明らかとなった。今後も観測を続け、より詳細に天然ダムの状況を観測から把握する手法を検討したい。

参考文献

- 1) 松村和樹, 藤田正治, 山田孝, 権田豊, 沼本晋也, 堤大三, 中谷加奈, 今泉文寿, 島田徹, 海堀正博, 鈴木浩二, 徳永博, 柏原佳明, 長野英二, 横山修, 鈴木拓郎, 武澤永純, 大野亮一, 長山孝彦, 池島剛, 土屋智: 2011年9月台風12号による紀伊半島で発生した土砂災害, 砂防学会誌, Vol.64, No.5, pp.45-53, 2012.
- 2) 田畑茂清, 水山高久, 井上公夫: 天然ダムと災害, 古今書院, 2002
- 3) 田村圭司, 山越隆雄, 松岡暁, 伊藤洋輔, 田方智, 柳町利輝: 天然ダム監視技術マニュアル(案), 土木研究所資料第4121号, 2008
- 4) 桜井亘, 内田太郎, 田中健貴, 井内拓馬, 蒲原潤一: 近年の山地河川における流砂水文観測, 国総研資料第887号, 2016.
- 5) 光永健男, 佐藤勇, 齋藤一裕, 池田幸太郎, 長井斎, 松原智生, 田島規雄: 流砂量自動観測装置が捉えた日光大谷川(稲荷川)の土石流発生事象, 平成25年度砂防学会研究発表会概要集, pp.B276-B277, 2013
- 6) 蒲原潤一, 中島一郎, 福本晃久, 玉置和基, 山下伸太郎, 内柴良和, 家田泰弘, 佐伯響, 梅村裕也, 江口友章: 天竜川水系と田切川における土砂移動特性に関する考察, 平成24年度砂防学会研究発表会概要集, pp.300-301, 2012
- 7) 織田和夫: 解説: Structure from Motion (SfM) 第一回 SfMの概要とバンドル調整, 写真測量とリモートセンシング, Vol.55, No.3, pp.206-209, 2016.

滋賀県降雨強度式の検証について

渡部 博嗣¹・原田 正彦²

¹滋賀県 土木交通部 流域政策局 (〒520-8577滋賀県大津市京町四丁目1-1)

²滋賀県 土木交通部 流域政策局 (〒520-8577滋賀県大津市京町四丁目1-1)

「滋賀県降雨強度式」は昭和43年6月に策定され、河川計画等に幅広く使用されてきた。平成7年3月に一部が改定されたが、その後見直しが行われていない。今回、最新の雨量観測資料を用いて確率雨量の整理を行い、現行の降雨強度式の見直しの必要性について検討を行った。

キーワード 滋賀県降雨強度式、水文統計、極値理論、確率雨量、地域特性

1. はじめに

近年、全国各地で甚大な水害が起こっており、滋賀県でも平成25年(2013年)9月の台風18号、平成29年(2017年)8月の台風5号、10月の台風21号による水害などは記憶に新しいところである。今後さらなる集中豪雨等の増加により水害の頻発・激甚化が懸念されている。

これに対し河川整備など治水対策を着実に進めていくことが必要であるが、河川の計画規模を検討するにあたって、外力の基本条件となる“将来発生するであろう降雨”は自然現象であり不確実性が高いことから、水文統計学的に地域の降雨特性を評価し、計画規模に相当する確率的な降雨量を合理的に設定することが必要である。

地域の降雨特性を表現するため、各都道府県で「降雨強度式」が作成されている。滋賀県でも「滋賀県降雨強度式(昭和43年6月策定¹⁾、平成7年3月一部改定²⁾」が作成されており、河川計画等の基礎として幅広く利用されている。

しかし、現行の滋賀県降雨強度式は、平成7年の改定後、20年以上見直しや具体的な検証作業が行われていない。今回、新たな観測資料を用いた検証を行うとともに、現状の課題等について報告を行う。

2. 滋賀県降雨強度式について

(1) 降雨強度式について

降雨強度式(降雨強度曲線)は、対象とする雨が降り続く時間(降雨継続時間:T)における平均的な雨の強さ(平均降雨強度:r)を表現した関係式である。降雨強度式は各都道府県ごとに、主に下記の式(A)(Talbot型、君島型等)、式(B)(Sherman型)のいずれかの式形を用いて作成されている³⁾。

$$r = \frac{a}{T^n \pm b} \cdots (A), \quad r = \frac{a}{T^n} \cdots (B)$$

※:r:平均降雨強度[mm/h], T:降雨継続時間[min], a,b,n:定数

想定する雨の強さは、地域、発生頻度(発生確率)によって変わる。このため、対象とする地域における過去の降雨資料を基礎資料として、水文統計学的手法により確率分布を考慮し、発生確率に対応する「確率雨量(確率降雨強度)」を算出したのち、確率ごとの降雨強度式を作成している。

たとえば、滋賀県降雨強度式においては、発生確率が1/10(10年確率)の場合、10年確率の降雨強度式を用いると、降雨継続時間60分で平均降雨強度は約50mm/hとなる。

降雨強度式が用いられる代表的な場面は、「ラショナル法(いわゆる合理式)」による計画高水流量の算定である。流域面積が比較的小さくダム等の洪水調節施設計画のない中小河川において、ある地点における計画高水流量Qは下記の式(C)で示す合理式を用いることが一般的である。

$$Q = \frac{1}{3.6} \times f \times r \times A \cdots (C)$$

※Q:計画高水流量[m³/s], f:流出係数, A:流域面積[km²]
r:平均降雨強度[mm/h]

降雨強度式により、平均降雨強度rは、洪水到達時間T(流域の最上端から対象地点までの到達時間)によって定まり、流域の降雨特性、発生確率を反映した計画高水流量を求めることができる。

降雨強度式は、河川計画以外にも、調整池や道路排水など構造物の設計のほか、氾濫解析(例:地先の安全度マップ)などにも幅広く利用されており、水工計画上重要な役割を持っているといえる。しかし、気象状況の変化に伴い、降雨強度式的前提となる雨の強さ、発生頻度等といった降雨特性は、「地域」「時点」によって姿を変えるものである。このため、降雨強度式が「その地域」の「その時点」での降雨特性を適切に表現できてい

るかという点について常に留意することが必要である。

(2) 滋賀県降雨強度式について

滋賀県の降雨強度式は昭和43年6月に「滋賀県降雨強度式」として策定された。その後、初版の設計便覧(案)河川編の作成にあたり、新しい雨量資料を盛り込んで検証がされ、平成7年3月に一部が改訂されている(10年以下の確率年の小さい降雨強度式の変更)。

滋賀県降雨強度式は、洪水到達時間(降雨継続時間)T [min]に対応する降雨強度r [mm/hr]について、以下の式(D)を基本型として、確率年ごとに定数a,bを定めた曲線形の関係式となっている。

$$r = \frac{a}{\sqrt{T - b}} \quad \dots (D)$$

※r:平均降雨強度[mm/h], T:降雨継続時間[min], a,b:定数

表1 滋賀県降雨強度式の定数

確率年	定数 a	定数b	T [min]に対応する 平均降雨強度 r [mm/h] (降雨量 [mm])				
			10min	60min	180min (3hr)	360min (6hr)	
10年	383.4	0.1246	126.2 (21.0)	50.3 (50.3)	28.8 (86.5)	20.3 (122.0)	10.1 (243.3)
30年	523.7	0.4547	193.4 (32.2)	71.8 (71.8)	40.4 (121.2)	28.3 (169.7)	14.0 (335.2)
50年	638.0	0.3590	227.6 (37.9)	86.4 (86.4)	48.9 (146.6)	34.3 (205.6)	17.0 (407.4)
100年	818.6	0.2250	278.7 (46.4)	108.8 (108.8)	62.1 (186.2)	43.7 (262.0)	21.7 (520.8)

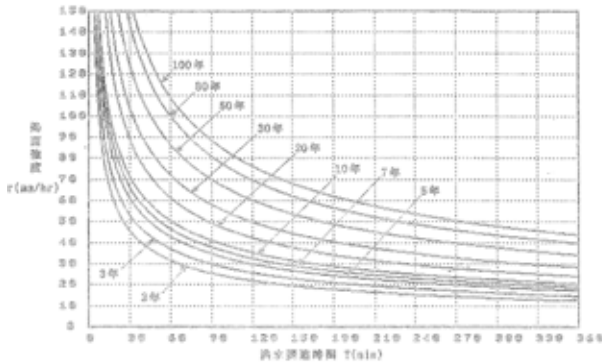


図1: 滋賀県降雨強度式による降雨強度曲線

滋賀県降雨強度式の基本的な考え方は以下に示す通りである。

- 雨量資料は長期間の資料が整理されている彦根地方気象台の観測値(彦根)としている。(観測開始年:1894年(明治27年))
- 県内の主要河川の洪水到達時間がほぼ6時間以内であることから、解析対象とする観測時間(降雨継続時間)は「10分雨量」「1時間雨量」「3時間雨量」「6時間雨量」の4種類としている。
- 観測時間ごとに各年の最大値を上位から整理し、そのうち上位資料を重視するため、上位1/10程度の資料を解析対象としている(当初策定時)。

④確率雨量は「対数確率紙法」により算定している。

※「対数確率紙法」は対数正規確率紙(横軸:雨量の対数值, 縦軸:確率(目盛りは正規分布に基づく))にプロットされたデータを最小二乗法を用いて確率雨量を解析するものである。水文統計の分野では「水文学の対数值は正規分布に従う」とされており⁴⁾, 対数正規確率紙にプロットされたデータは、図2のように概ね直線的に並ぶことから確率雨量の算定時に経験的に用いられてきた。

⑤資料のプロットングポジション公式(水文資料の順位に対応する超過確率の算定法:式(E))はThomas法(Weibull法)としている(式(E)において $\alpha=0$ としたもの:式(F))。

$$W_i = \frac{i - \alpha}{N + 1 - 2\alpha} \quad \dots (E)$$

※W_i:順位番号の超過確率, N:標本数,

α :プロットングポジション公式ごとに異なる定数

$$W_i = \frac{i}{N + 1} \quad \dots (F)$$

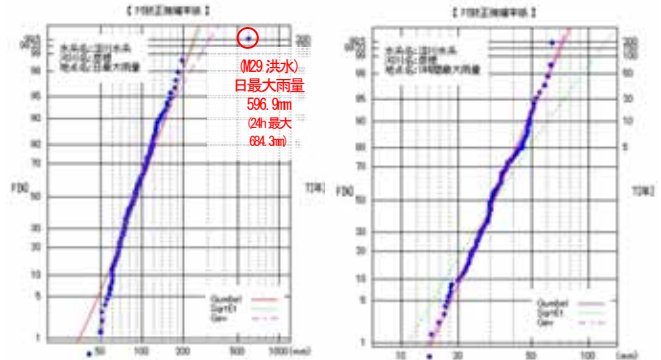


図2: 彦根観測所における日最大雨量(左)1時間最大雨量(右)
(水文統計ユーティリティ⁵⁾による)

⑥県内の観測最大値である1896年(明治29年)9月7日の降雨記録を重視するため、下記式(G)の推定式を用いて、各降雨継続時間における推定値を既往最大値(順位第1位)のデータとして採用している。

$$R = 120 \times \sqrt{D} \quad \dots (G)$$

※R:降雨量[mm], D:降雨継続時間[hr]

⑦平成7年の一部改定時には、平成5年までの雨量資料を追加し、検証を行っている。確率年の小さい確率雨量において、全資料を解析対象とした確率雨量が当初策定時の確率雨量よりも大きかったことから、10年以下の確率年の降雨強度式の見直しを行っている。高い確率年(20年以上)については、当初策定時の確率雨量が大きいため、安全側の立場から当初式を引き続き使用している。

滋賀県降雨強度式において最も特徴的であるのは、⑥の明治29年の記録的洪水をもとにした推定式により確率

降雨計算を行っている点である。明治29年9月7日の彦根観測所の降雨記録は24時間雨量684.3mmであり、極めて突出した値となっている。しかし、明治29年当時は降雨強度式の作成が必要となる10分雨量や1時間雨量といった短時間の降雨記録は存在しない。そこで、明治29年の記録的な洪水を短時間の降雨量に反映させるため、推定式を用いることとしている。彦根および国内の記録的豪雨の降雨継続時間:D[hr]と降雨量R[mm]を対数紙にプロットすると、おおよそ「 $R=定数 \times \sqrt{D}$ 」がうまく適合すると考え、同じ傾きのラインのうち「明治29年洪水の彦根観測所の24時間雨量684.3mm」が乗るライン($R=120 \times \sqrt{D}$)を推定式として採用している。(推定式による1時間雨量推定値: $R=120 \times \sqrt{1} = 120\text{mm}$, 10分雨量推定値: $R=120 \times \sqrt{(10/60)} = 49\text{mm}$)

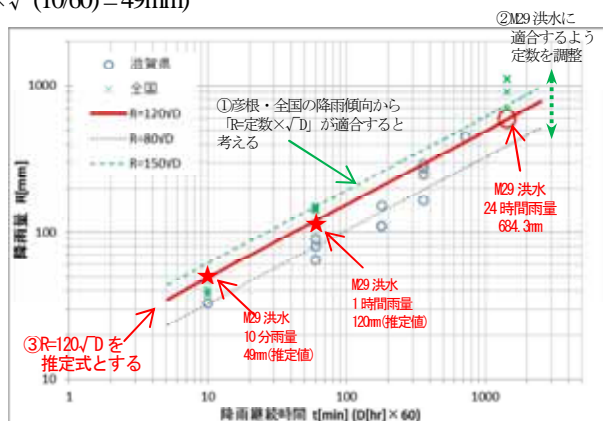


図3:記録的雨量の推定式($R=120\sqrt{D}$)の考え方

(3) 現行の降雨強度式に関する課題

前述の考え方を基にして作成された滋賀県降雨強度式が平成29年現在も引き続き使用されている。しかし、下記のような課題があると考えられる。

【課題A】資料期間(最新のデータが使われていない)

平成7年の検証より20年以上経過しており、この間に降雨状況も変化していると考えられるが、これまで最新実績雨量データを加えた検証は特に行われていない。

【課題B】解析手法(極値理論に基づく解析でない)

確率雨量の算定に使用されている「対数確率紙法」は対数正規分布の分布形状の適合性が高いことから実用的・慣習的に用いられてきたものであり、Gumbel分布などに代表される「極値理論」の理論的背景を特に有しているものではない。このため、適合度のみの観点ではなく、水文統計学的にも最も妥当であると考えられる確率分布モデルを検討することが望ましい。また確率雨量を求める際に、明治29年の既往最大洪水を考慮するためとはいえ「推定式」により実績にないデータを使用している点も課題であると言える。

【課題C】地域性(地域区分が行われていない)

解析対象とする観測所が彦根観測所1地点のみであることから、滋賀県の降雨強度式は県下統一式となっており、県内での降雨の地域特性を考慮したものとなっていない。他府県では地域特性を考慮し、複数の降雨強度式

を作成することが一般的となっている。

3. 滋賀県降雨強度式の検証作業について

(1) 検証作業の流れ

前述の課題を検証するために、彦根観測所1地点のデータ解析により検証が可能な「課題A(資料期間)」および「課題B(解析手法)」について解析作業を行った。

「課題C(地域性)」については、複数地点の雨量観測所における確率雨量を解析し、地域分布の傾向について考察を行った。

(2) 現行式の再現と問題点

まず平成7年の資料を基に現行の降雨強度式の再現計算を行った。雨量資料については気象庁ホームページ⁹⁾で公開されている「彦根観測所」のデータ(以下「公開データ」とする)を使用した。再現作業および最新データの追加を行う中で、下記の問題が明らかとなった。

- ・平成7年の検証で使用されているデータ(以下「H7データ」とする)の観測期間と公開データの観測期間が異なっている(H7データと公開データの標本数が異なっている)。
- ・H7データの値と公開データの値に一部不整合のものが存在する(H7データが正確なものか判断できない)

彦根地方気象台に問い合わせたところ、公開データは過去の雨量観測簿などの資料を再チェックした上で正確な資料として公開しているとのことであった。単純にH7データに近年の公開データを追加した検証だけでは、使用データの正確性に疑問が残る。しかし、全てを公開データのみで検証作業を行うことは、現行式との比較という点で課題となる。

(3) 検証作業(課題A・課題B)について

使用するデータの課題のため、H7データに近年の公開データを追加した検証(以下「H29①」とする)に加えて、全て公開データによる検証(以下「H29②」とする)を行うこととした。「H29①」「H29②」は現行降雨強度式と同様に対数確率紙法により確率降雨量を算出した(課題Aの検証)。

また、課題Bの検証を行うため、中小河川計画の手引き(案)⁹⁾に記載された「確率水文量設定の考え方のフロー」により、一般的な水文統計手法である極値理論に基づく最適な確率分布モデルによる検証(以下「H29③」とする)も行った。

「H29①」「H29②」「H29③」の具体的な解析手法について下記a)~c)に示す。

a) 「H29①」:新データを単純追加して解析

- ・H7データ(使用データは平成5年まで)は変更せず、それ以後の平成6年~平成28年までの公開データを単純に追加(H7データが正しいと仮定し、公開データによる上書きは行わない)。
- ・明治29年洪水を考慮した推定式($R=120 \times \sqrt{D}$)による推定値(以下「M29推定値」とする)を既往最大値と

して使用する。

表 2: 検証作業で用いる解析手法の比較表

	使用データ	M29推定値	統計解析手法
現行式	H7データ	使用する	対数確率紙法 (Thomas法・ 最小二乗法)
H29①	H7データ+ 公開データ	使用する	対数確率紙法 (現行式に準拠)
H29②	公開データ のみ	使用しない	対数確率紙法 (現行式に準拠)
H29③	公開データ のみ	使用しない	最適な確率分布モ デルによる

- ・ M29推定値の超過確率Wの算定は現行式の手法に準拠し、式(E)におけるNを実資料数ではなく観測期間(123年)とし、欠測期間もNに加え、観測開始からの超過確率として評価する($W=1/(123+1)=0.0081$)。
- ・ 超過確率Wを基準正規変数Yに変換し、降雨量Xの対数値logXとYの線形回帰式を最小二乗法により算出する。超過確率Wは確率年(再現年数)の逆数であるため、回帰式より 確率年に対応する降雨量を求める。

表 3: 「H29①」の計算結果(60min: 標本数 N=96+1)

順位	年号	W=i/(N+1)	確率年	降雨量X	logX	基準正規変数Y
1	明治29年	0.0081	124.00	120.0	2.079181	2.4060
2	昭和1年	0.0103	97.00	64.9	1.812245	2.3149
3	平成13年	0.0206	48.50	63.5	1.802774	2.0411
4	昭和46年	0.0309	32.33	63.0	1.799341	1.8673
5	昭和37年	0.0412	24.25	58.0	1.763428	1.7365
6	昭和43年	0.0515	19.40	54.5	1.736397	1.6300
7	昭和9年	0.0619	16.17	52.1	1.716838	1.5394
8	昭和34年	0.0722	13.86	52.0	1.716003	1.4599
9	昭和11年	0.0825	12.13	50.0	1.69897	1.3886
10	平成26年	0.0928	10.78	49.0	1.690196	1.3238
11	昭和18年	0.1031	9.70	48.6	1.686636	1.2641
12	昭和47年	0.1134	8.82	47.5	1.676694	1.2086
13	平成19年	0.1237	8.08	47.5	1.676694	1.1566
14	昭和39年	0.1340	7.46	47.4	1.675778	1.1076
15	昭和60年	0.1443	6.93	47.0	1.672098	1.0611
...
93	昭和10年	0.9485	1.05	17.8	1.25042	-1.6300
94	昭和8年	0.9588	1.04	17.7	1.247973	-1.7365
95	昭和29年	0.9691	1.03	17.0	1.230449	-1.8673
96	大正13年	0.9794	1.02	14.1	1.149219	-2.0411
97	昭和4年	0.9897	1.01	14.0	1.146128	-2.3149

$\rightarrow \log X = 1.509 + 0.1505 * Y$

b) 「H29②」: 公開データのみによる解析

- ・ データは公開データのみ使用。
- ・ 統計解析手法は現行式・「H29①」と同じ対数確率紙法(Thomas法・最小二乗法)による計算。
- ・ M29推定値は使用しない(実観測値のみによる評価)。

c) 「H29③」: 極値理論に基づく解析

- ・ データは公開データを使用。
- ・ 最適な確率分布モデルの選定のための解析については、「水文統計ユーティリティ」を使用し、複数の確率分布の「適合度」および「安定性」について評価する。
- ・ プロットングポジション公式(式(E))は、すべての確率分布形に適用可能とされるCunnane公式「 $\alpha=0.4$ 」を使用する。

表 4: 「H29②」の計算結果(60min: 標本数 N=114)

順位	年号	W=i/(N+1)	確率年	降雨量X	logX	基準正規変数Y
1	平成13年	0.0087	115.00	63.5	1.802774	2.3783
2	昭和46年	0.0174	57.50	63.0	1.799341	2.1109
3	明治29年	0.0261	38.33	60.1	1.778874	1.9417
4	昭和37年	0.0348	28.75	58.0	1.763428	1.8147
5	昭和43年	0.0435	23.00	54.5	1.736397	1.7117
6	昭和34年	0.0522	19.17	52.1	1.716838	1.6241
7	昭和9年	0.0609	16.43	50.9	1.706718	1.5475
8	昭和1年	0.0696	14.38	50.8	1.705864	1.4790
9	昭和11年	0.0783	12.78	50.0	1.69897	1.4169
10	平成26年	0.0870	11.50	49.0	1.690196	1.3597
11	昭和18年	0.0957	10.45	48.6	1.686636	1.3067
12	昭和47年	0.1043	9.58	47.5	1.676694	1.2572
12	平成19年	0.1130	8.85	47.5	1.676694	1.2105
14	昭和39年	0.1217	8.21	47.4	1.675778	1.1663
15	昭和60年	0.1304	7.67	47.0	1.672098	1.1243
...
110	大正1年	0.9565	1.05	17.2	1.235528	-1.7117
111	昭和29年	0.9652	1.04	17.0	1.230449	-1.8147
112	大正9年	0.9739	1.03	15.9	1.201397	-1.9417
113	明治41年	0.9826	1.02	14.5	1.161368	-2.1109
114	大正13年	0.9913	1.01	14.1	1.149219	-2.3783

$\rightarrow \log X = 1.4945 + 0.1462 * Y$

- ・ 確率分布モデルのうち優先的に取り扱うとされているGumbel分布、一般極値分布(GEV分布)および平方根指数型最大値分布(SQRT-ET分布)の3分布を候補とし、「適合度が高い分布(SLSC ≤ 0.04)」のうち、「安定性が高い(jackknife推定誤差が最小)」分布を最適な確率分布モデルとして採用する。
- ・ 10分雨量および1時間雨量の最適な確率分布モデルは「Gumbel分布」となり、Gumbel分布のjackknife推定値を確率雨量とする。

各降雨継続時間ごとに上記3パターンの確率雨量の計算を行い、現行の降雨強度式から算出される確率雨量(以下「現行式」とする)と比較し、その増減を確認する。3パターンの検証結果が現行式による確率雨量を上回る場合、今回の検証結果が危険側と判断されるため現行の降雨強度式の見直しに関する検討を行うこととする。

(4) 課題C(地域性)の検証作業について

今回の検証では県下の降雨状況の地域によるばらつきを把握するため、比較的データ整理が単純であるアメダスの統計資料(16地点)を用いて、日雨量、1時間雨量、10分雨量について確率雨量の評価を行う。確率雨量の解析については、水文統計ユーティリティを用いて、最適な確率分布モデルを選定し、解析を行うこととする。

4. 検証結果および考察

(1) 課題A・課題Bに関する検討結果および考察

a) 確率雨量(降雨強度)の比較

「H29①」「H29②」「H29③」の手法により、確率年(10年、30年、50年、100年)ごとに、降雨継続時間(T=10min,60min,180min,360min)に対応する確率降雨強度r[mm/h]を求め、現行式の値と比較を行った。結果については、下記の表5のとおりである。10年確率の降雨継続時間10minの場合のみ若干増加(+1.0mm/h)するが、概ね現行式よりも確率降雨強度が下がる結果となった。

表5: 確率降雨強度の解析結果一覧

10年確率 ※降雨強度[mm/hr]、右列は現行式からの増減

t	現行式	H29① (H7データ+新データ)	H29② (現公開データ)	H29③ (Gumbelモデル)			
10	126.2	127.2	+1.0	121.8	-4.4	121.8	-4.4
60	50.3	50.3	-0.0	48.1	-2.2	47.5	-2.8
180	28.8	23.0	-5.9	24.8	-4.0	24.7	-4.1
360	20.3	15.9	-4.5	16.3	-4.1	16.4	-4.0

30年確率 ※降雨強度[mm/hr]、右列は現行式からの増減

t	現行式	H29① (H7データ+新データ)	H29② (現公開データ)	H29③ (Gumbelモデル)			
10	193.4	168.0	-25.4	141.6	-51.8	144.0	-49.4
60	71.8	63.2	-8.6	57.9	-13.9	57.3	-14.5
180	40.4	33.8	-6.6	29.6	-10.8	29.7	-10.7
360	28.3	23.5	-4.8	19.4	-8.9	19.7	-8.5

50年確率 ※降雨強度[mm/hr]、右列は現行式からの増減

t	現行式	H29① (H7データ+新データ)	H29② (現公開データ)	H29③ (Gumbelモデル)			
10	227.6	190.8	-36.8	150.6	-77.0	154.2	-73.4
60	86.4	71.2	-15.2	62.3	-24.1	61.8	-24.6
180	48.9	39.5	-9.4	31.7	-17.2	32.0	-16.9
360	34.3	27.5	-6.8	20.7	-13.5	21.3	-13.0

100年確率 ※降雨強度[mm/hr]、右列は現行式からの増減

t	現行式	H29① (H7データ+新データ)	H29② (現公開データ)	H29③ (Gumbelモデル)			
10	278.7	223.8	-54.9	162.0	-116.7	167.4	-111.3
60	108.8	82.5	-26.3	68.3	-40.5	67.9	-40.9
180	62.1	47.8	-14.3	34.6	-27.5	35.1	-27.0
360	43.7	33.4	-10.3	22.6	-21.1	23.3	-20.3

この結果、現行式が概ね安全側と評価できることから、現段階において降雨強度式の見直しは不要であると考えられる。現行の降雨強度式は、数十年前に作成されたものであるが、近年の多雨傾向である状況も包括した非常に先見性の高いものであったと言えよう。

b) 考察

確率降雨強度は全体的に現行式よりも低下しており、近年の降雨状況が多発している傾向とは、異なる結果となった。結果に関する考察は、下記のとおりである。

①M29推定値の影響

近年の雨が上位に来て、M29推定値($R=120 \times \sqrt{D}$)が突出した値であるため、結果を変えるほどではなかったと考えられる。図4は年最大値の経年変化であるが、M29推定値を考慮しない場合、日最大は横ばい、1時間最大・10分最大は若干増加傾向である。しかし、突出したM29推定値の影響が大きく、近年の増加傾向が打ち消されてしまうと考えられる。

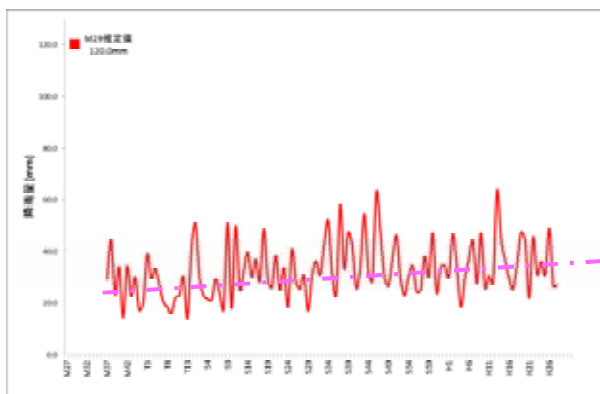


図4: 彦根観測所の年最大値の経年変化(1時間雨量)

②極値(年間最大値)の評価考え方

近年で最も大きな降雨と考えられる平成25年9月16日の台風18号の雨については、彦根観測所において大きな降雨とならなかったため、確率雨量に反映されていない。平成25年の最大雨量の生起日が10分最大、1時間最大とも7月13日となっている(3時間以上は9月16日が年最大)。

気象庁が発表した「アメダスで見た短時間強雨発生回数の長期変化⁷⁾」によると、「1時間降水量50mm/hおよび80mm/h以上の年間発生回数が増加している」ことが示されている。しかしこれは「年間発生件数」が増加しているということであり、確率雨量の基となる「極値(年最大雨量)」の統計とは別で考える必要がある。確率雨量は基本的に極値水文資料である「毎年最大値」(1年1データ)を対象としているため、各年の最大値(極値)が大きくなると確率雨量に反映されない。

近年の豪雨回数の増加を考慮し、多雨年の2位以下のデータも解析対象とする場合、膨大なデータ処理が必要となり、「非毎年水文資料」として特定値以上のデータを解析することが必要となる。

③確率に関する評価

観測期間(資料数)に対し上位から1/10程度の順位に着目すると、前回検証(H7)は資料数73のため上位7~8位程度、今回検証(H29)は資料数96のため上位9~10位程度がおおよそ10年確率に相当すると考えることができるが、今回新しく追加されたデータにより、10年確率相当値が下記のとおり変化している。

10分最大 H7:20.3~21.2mm → H29:21.2~21.5mm

1時間最大 H7:50.0~52.0mm → H29:49.0~50.0mm

観測期間が増え、新たに上位にランクインした資料は若干数あるものの、観測期間が増えた分、同じ10年確率でも対応する順位が下がるため、大幅な底上げとならず結果として同レベルとなったものと考えられる。

またM29推定値について、評価対象とする観測期間が長くなったため、より「再現年数が高い雨(起こりにくい雨)」と評価されることとなった。これによりM29推定値の超過確率(再現年数の逆数)が下がり、確率雨量が全体的に引き下げられる結果となったと考えられる。

④一部微増による影響について

H29①では10minで126.2mm→127.2mm(+1.0mm,+0.8%)とやや増加しているため、確率年の小さい(発生頻度の高い)の短時間降雨については、若干ではあるが降雨強度が現行式よりも高くなる。

河川計画への影響を考える場合、降雨強度rの増加は合理式による計画高水流量Qの増加につながる。しかし、式(C)の合理式において、Qとrの関係は1:1であり、流量増は降雨強度と同じ「+0.8%」となるため、その影響は小さいものと考えられる。

また降雨継続時間の短い開発審査、構造物設計等への影響についても、t=5minであっても+2.5mm(1.4%増)といった微小なものであるため、降雨強度式を見直すまでに

は至らないと考える。

(2) 課題C(地域性)に関する検討結果および考察

県下の降雨の分布傾向を把握するため16地点の雨量観測所におけるアメダスデータを用いて、観測所ごとの確率雨量を算定した。各地点における10年確率雨量の結果については、図5(日雨量)・図6(1時間雨量)のとおりである。一部観測所を除き、概ね現行式が安全側となっている。



図5: 県内の確率降雨(10年確率・日雨量)

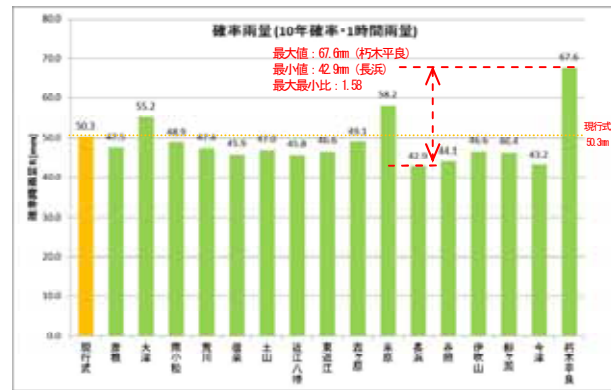


図6: 県内の確率降雨比較(10年確率・1時間雨量)

地域性の検討を行う上で「地域ごとのばらつき」の分析も重要となる。地域ごとのばらつきを評価するため、地点ごとの確率雨量について、観測時間単位および確率年ごとに、「平均値」「標準偏差」「変動係数(標準偏差÷平均値)」「最大最小比(最大値÷最小値)」の項目で整理を行った。

表6: 県内の確率雨量のばらつきに関する統計値

時間単位	確率年	現行式	平均値	標準偏差	変動係数	最大/最小
10分	10年	21.0	21.3	2.5	0.12	1.52
	30年	32.2	25.6	3.3	0.13	1.70
	50年	37.9	27.6	3.7	0.13	1.77
	100年	46.5	30.5	4.4	0.14	1.86
1時間	10年	50.3	48.9	6.2	0.13	1.58
	30年	71.8	59.4	8.0	0.13	1.61
	50年	86.4	64.3	9.2	0.14	1.63
	100年	108.8	71.0	11.1	0.16	1.63
1日	10年	243.3	159.4	42.8	0.27	2.89
	30年	335.2	197.1	62.7	0.32	3.44
	50年	407.4	215.1	73.3	0.34	3.69
	100年	520.8	240.1	89.2	0.37	4.03

ばらつきの目安である「変動係数」および「最大最小比」に着目すると、10分雨量や1時間雨量といった短時間確率雨量の統計値は、日雨量の値の1/2~1/3程度の値

となっており、降雨強度式が重視する短時間降雨の地域のばらつきは日雨量のばらつきほど大きいものではない。

滋賀県の河川整備方針⁸⁾では、流域面積50km²以上の河川における計画降雨規模は「戦後最大洪水」としており、流域内の雨量観測所における実績洪水の降雨波形を用いることで、降雨の地域性を考慮している。一方、降雨強度式を用いて合理式を適用するような流域面積の小さい河川では、洪水到達時間も短いため、地域のばらつきによる影響は比較的小さいと考えることができる。このため、降雨の地域特性の違いはあるものの、現行式の妥当性を覆すほどのものではないと思われる。

しかし、今回地域性の検討に使用したデータのうち資料数が極端に少ない地点(朽木平良11個,米原16個)も存在するため、資料数が変動に大きく影響していることも考えられる。今後データの蓄積や確率モデルの選定など、詳細な検討が必要であると考えている。

地域のばらつきを「地域区分」により反映させる場合、100局以上存在するテレメータの雨量情報も含んで確率雨量の分布状況を詳細に把握する必要がある。

また、地域区分を何分割にするか(北部・南部、圏域単位、流域単位など)、どの確率雨量を採用するか(代表地点とするか、流域平均雨量とするかなど)といった「地域区分の方針」を検討する必要がある。

5. おわりに

今回の検証作業で、現行降雨強度式の課題のうち、資料期間および解析手法の課題について、現行式が安全側であることを確認した。また地域性の課題についても、現行式の妥当性を覆すものではないと判断した。

今後地域区分の課題についてより詳細な検討が必要であるが、データの整理や解析だけでなく、他府県の事例も参考にしながら検討を続けることとしたい。

謝辞：滋賀県降雨強度式の作成およびこれまで滋賀県の河川行政に携われた偉大な諸先輩方の先見性に敬意を表し謝辞といたします。

参考文献

- 1) 滋賀県土木部河港課：滋賀県の河川計画, 1979年
- 2) 滋賀県土木交通部：設計便覧(案)第2編河川編の運用事項, 2007年12月(2016年3月一部改訂)
- 3) 荒川英誠, 宝馨：全国における確率降雨強度式の現状と作成方法に関する一考察, 水工学論文集, 第49巻, 2005年2月
- 4) 岩井重久, 石黒政儀：応用水文統計学, 1970年
- 5) 財団法人 国土技術研究センター：水文統計ユーティリティー Ver1.5 (<http://www.jice.or.jp/tech/software/rivers/hydrology>), 2006年
- 6) 中小河川計画検討会編：中小河川計画検討の手引き(案), 1999年9月
- 7) 気象庁：気象庁ホームページ(<http://www.jma.go.jp/>)
- 8) 滋賀県：滋賀県の河川整備方針, 2010年1月

平成29年台風21号による 木津川基盤漏水の調査報告

有本 浩太郎¹・嶋田 剛士²

¹近畿地方整備局 河川部 河川計画課 (〒540-8586大阪市中央区大手前1-5-44)

²近畿地方整備局 奈良国道事務所 管理第二課 (〒630-8115 奈良市大宮町3丁目5-11)

昨年の台風21号の影響で木津川の河川堤防において漏水、堤体損傷、河岸洗掘等の被害が発生した。とくに久御山地区および上津屋地区では、基盤漏水に伴い、堤防から離れた堤内耕作地で噴砂および陥没が見られた。過去にも同様の現象が発生している地区でもあったので、今回、堤防から堤内地側も含めた一連の地盤構成を把握し、噴砂の発生源や水みちを推定するために、ボーリング調査の他、噴砂箇所のトレンチ掘削やレーダ探査等の詳細調査を実施した。本稿では、漏水・噴砂の調査、事象解析の結果を報告する。

キーワード 基盤漏水、堤防安定性検討、浸透流解析、トレンチ調査

1. はじめに (木津川堤防の特徴)

木津川の堤防は、宇治川や桂川の堤防と比較すると砂質土が多くを占めており、浸透に対して相対的に脆弱な堤防となっている(図-1、写真-1)。また、木津川は河床が高く堤防も高いことから、水位と堤内地盤高の比高差が大きくなる特徴があり、破堤時の浸水リスクが高い河川と言える。



写真-1 堤体材料の砂質土

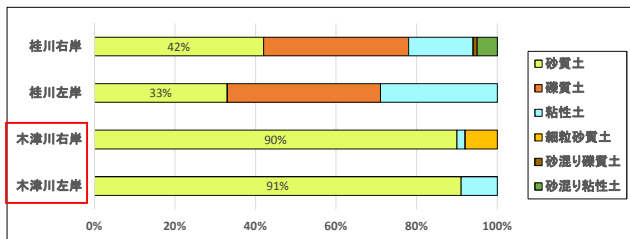


図-1 堤体土質の構成比率

2. 出水状況と被災状況

2017年10月20日から断続的な降雨の後に、超大型の台風21号が近畿に接近し、22日夜から23日明け方にかけて非常に激しい降雨となった。近畿南部では約830mm、中部においても約490mmを越える雨量となり、近畿管内の各地で浸水被害が多発した。木津川においては氾濫注意水位を超える水位が各観測所で記録され、多数の漏水被害や河岸洗掘被害が発生した(図-2)。



図-2 主な被災箇所

図-3に水位観測所の観測データを示す。この図は平成25年の出水データと比較しているが、今回の出水はピーク水位は平成25年のそれより低いものの、ピーク前の水位は平成25年時よりも高いレベルで推移していた。

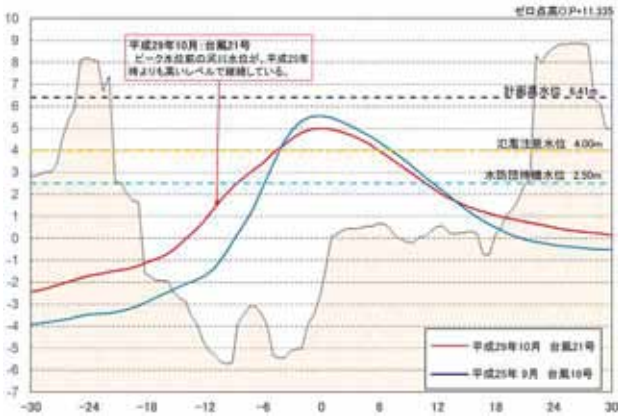


図-3 八幡水位観測所の水位データ (左岸1.4k+261.7m)



写真-3 漏水状況 (久御山地区R5地点)



写真-4 水防活動による釜段と噴砂の状況 (R5地点)

漏水、噴砂の被害が大きかった久御山地区 (右岸 6.0k) および上津屋地区 (左岸 5.6k) の状況を示す。

① 久御山地区

当地区の漏水は堤防屈曲部付近に集中しているが、堤防から遠い場所において漏水が発生した。とくに漏水が大きかった場所がR4、R5地点であり、この地点においては水防活動が行われた。なお、小さな漏水は過去からも発生していた。

② 上津屋地区

当地区はこれまでも漏水被害が多発している地区であり、その対策として川表側に遮水シートおよび遮水矢板(L=10m)、一部区間で川裏のり尻にドレーン工が施工されていた。しかしながら、今回の出水で再び漏水、噴砂が発生した。



図-4 主な漏水箇所 (久御山町久御山地区)

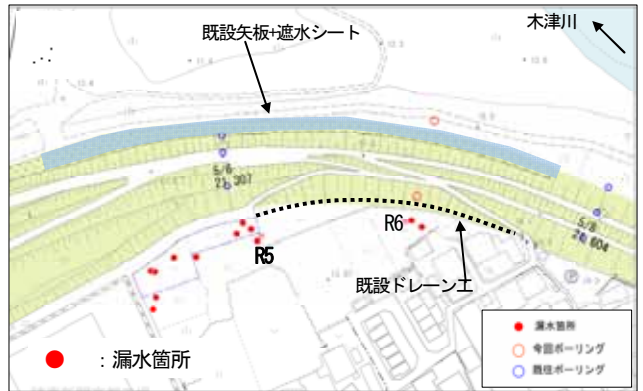


図-5 主な漏水箇所 (八幡市上津屋地区)



写真-2 被災箇所遠景 (堤防上より撮影) (R4,R5地点)



写真-5 漏水状況 (R5地点)



写真6 漏水後の陥没状況 (R5地点)

3. 堤防安全性照査手法の課題

久御山地区の浸透に対する既往の照査は「対策不要」の結果であった(図-6, 表-1)。今回、計画高水位(H.W.L)まで水位が達しなかったものの噴砂が生じたことから、既往照査は今回の現象を再現できていないこととなる。したがって、今回実施する調査によって詳細な地盤情報を取得し、漏水原因の分析と併せて適切な安全性照査手法も検討する必要がある。

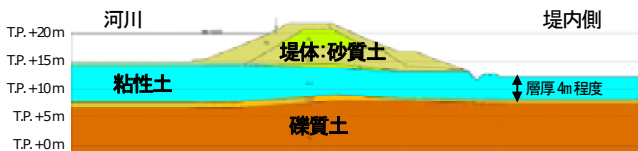


図-6 既往照査断面図 (久御山: 右岸6.0k)

表-1 漏水箇所の既往照査結果

地区名	噴砂地点	既往照査地点	すべり安全率Fs		局所動水勾配		盤ぶくれ	G/W	評価
			川表	川裏	鉛直iv	水平ih			
久御山	右岸6.0k ~6.2k	6.0k	1.51	1.69	-	-	1.77 ^{注1)}	対策不要	

注1)粘土層厚が厚く照査対象外のため参考値

4. 調査方針

今回発生した基盤漏水のメカニズム、及び対策工の検討を行う目的で調査を行った。基盤漏水の発生原因を分析するために着目した点を以下に示し、基盤漏水の概念図を図-7に示す。

【主な調査方針】

- ①表層の粘土層の厚さ
- ②粘土層の土質特性
- ③漏水箇所の詳細な状況確認
- ④地盤の空洞の有無
- ⑤透水性地盤の連続性と透水係数

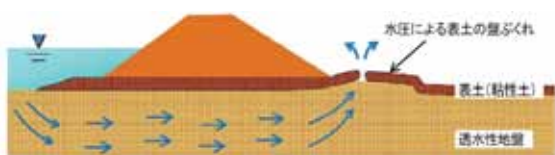


図-7 基盤漏水の概念図

なお、今回漏水した箇所は①堤防から離れており地盤情報が不足していること、②過去において何度も漏水が発生していること、③漏水量や噴砂の規模が大きいこと等から、以下のとおり短期間に段階的に概査、詳細調査を実施した(表-2)。同時に、堤防調査委員会を2回開催し、適宜、学識者の意見を伺いながら進めていった。

- ・第1回: 11/16 (調査方針の審議)
- ・第2回: 2/26 (調査結果, 対策工について審議)

表-2 調査, 検討の実施工程

段階	期間	実施内容
発災	10/23	漏水、噴砂の発生
Step1	10/25~	漏水箇所の現地確認、調査方針立案
-	11/16	第1回堤防調査委員会
Step2	12/11~	概査(地中レーダ探査、簡易ボーリング、スウェーデン式サウンディング)及び詳細調査の計画
Step3	12/21	トレンチ掘削調査(堤防調査委員会立会)
Step4	1/9~	詳細調査(ボーリング、電気探査、室内土質試験、UAV測量等)
Step5	1/29~	被災メカニズムの検討
Step6	2/5~	浸透流解析及び対策工の検討
-	2/26	第2回堤防調査委員会

5. 調査結果 (久御山地区)

a) 調査結果

図-8に土質断面図を示す。当地区は堤体は砂質土であり基礎地盤は表層から粘土層(Ac2)が層厚4m程度分布している。この粘土層の下位には透水性の良い礫質土層(Asg2, Tg, Og)が厚く分布しているが、難透水層は確認されていない。各層は概ね水平構造を呈している。

出水時に確認した痕跡水位によれば、河川水位と堤内地盤高の比高は5m以上になったものと推定される。

堤内地盤高と河川水位の比高	継続時間(推定)
5m	9hr
4m	14hr
3m	20hr

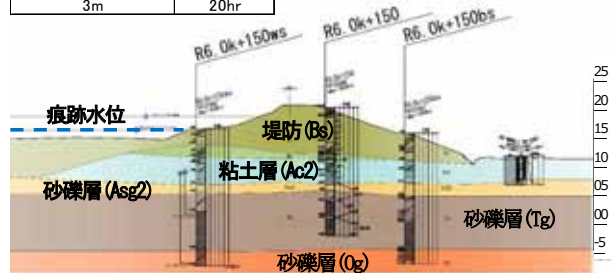


図-8 土質断面図 (今回調査: 右岸6.0k+150m)

以下、前述の調査方針ごとに結果を記載する。

① 表層の粘土層の厚さ (図-9)

堤内地側の被覆土層を調査した結果、被覆土層厚は概ね4m~5mであった。ただし、漏水箇所では被覆土層が薄くなっており、所々で被覆土を割るように下部の砂層が上昇している箇所も多く認められた。なお、被覆土層厚が概ね4.0mを越えると漏水は発生していない。



図-9 漏水箇所の粘土層厚 (赤字が漏水箇所)

する砂質土 (噴砂跡) も確認できた (写真-9) .



写真-7 トレンチ掘削立会状況 (R-4地点)

② 粘土層の土質特性 (図-10, 図-11)

当地区の表層に分布する粘土層は、砂分が多く混入しており低塑性であることがわかった。したがって、水の浸入によって水みちが形成されやすい特徴があった。

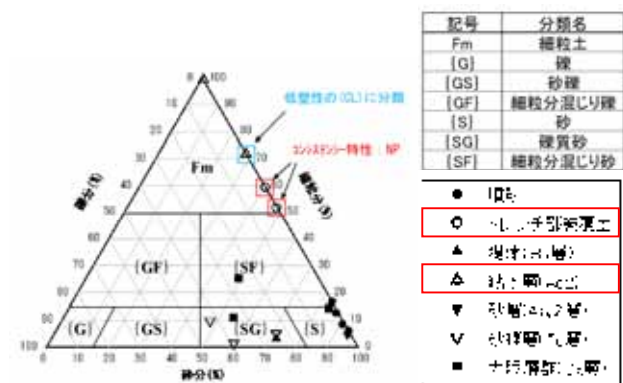


図-10 土質の分類 (三角座標)

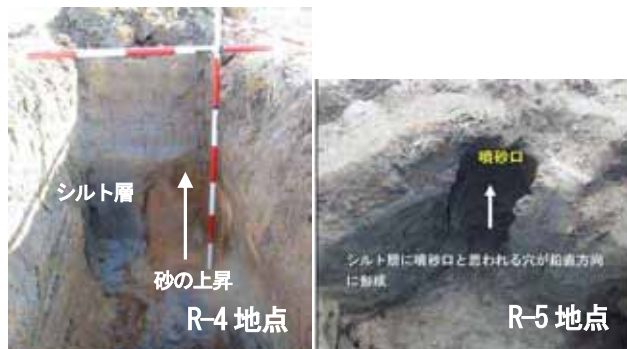


写真-8 噴砂口の状況

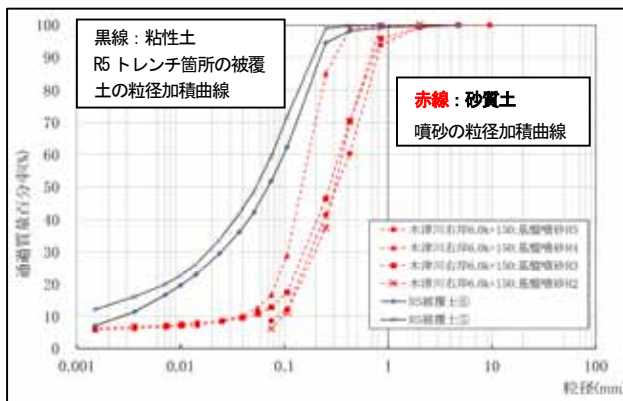


図-11 粒径加積曲線

④ 地盤の空洞の有無 (図-12)

漏水に伴って多量の噴砂が生じたことから、周辺地盤、とくに堤防付近の空洞の有無について調査するとともに水みちの推定を行った。

結果、空洞は認められなかったものの、地盤の緩みと思われる異常信号が認められた。その箇所は堤防の屈曲部 (水衝部) 付近に多かった。

③ 漏水箇所の詳細な状況確認 (写真-7~写真-9)

R4地点, R5地点でトレンチ掘削を行い、噴砂箇所の状態を直接目視し詳細を把握した。その結果、噴砂は被覆土層である粘土層 (Ac2) を割るよう上方に上がっていることが確認できた。その他には、所々に褐色を帯びた砂溜まりも確認され、以前から繰り返し噴砂が生じていたことが示唆された。R5地点では、噴砂口となった孔がそのままの形状で確認できた。

また、ボーリングコアでは粘土層中に縦方向に介在

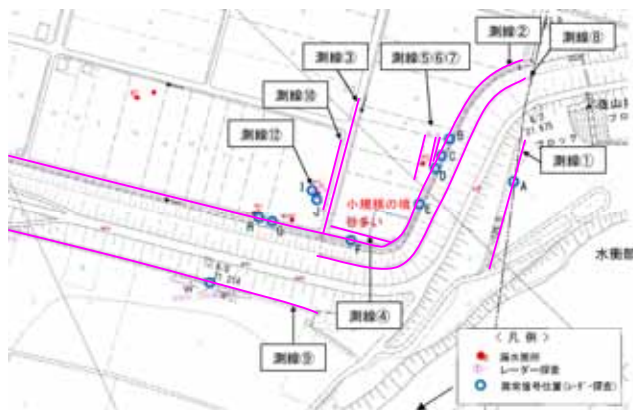


図-12 レーダ探査結果

⑤ 透水性地盤の堤防横断方向の連続性

上記の調査で、漏水は粘土層下の透水層（礫質土層）を通っていることが推察される。これらの透水層と河川との関連および透水係数を把握した。

結果、当地区の透水層の分布標高は、河川の河床高さとほぼ同じ高さに分布しており、帯水層（Asg2、Tg等）の透水係数も良好（ $k=10^4(m/s) \sim 10^5(m/s)$ オーダー）であることから、出水時には河川水が堤内側に流入しやすい状況であることがわかった（図-13）。

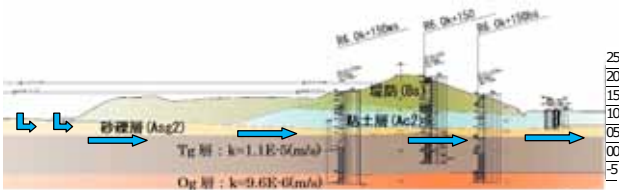


図-13 透水層の分布と現場透水試験値

b) 噴砂の特性からみた噴砂発生源の推定

噴砂及び堤体土、基礎地盤の粒径加積曲線を図-14 に示す。噴砂の粒径は 0.1(mm)～0.8(mm)の幅で平均粒径(D50)は 0.3(mm)程度である。噴砂は流水によって洗われているため地盤の粒径をそのまま表しているものではないが、この粒径が多く混在する地盤が噴砂の基である可能性が高い。この噴砂の粒径と似通っている土質はAsg2層、及びOg層の一部であるが、分布深度を考慮するとAsg2層が噴砂である可能性が高い。また、前述の写真-7のとおりトレンチ掘削の結果、噴砂は被覆土層であるAc2層より下位から上昇していることから、Ac2層直下に分布するAsg2層が噴砂源である可能性が高い。

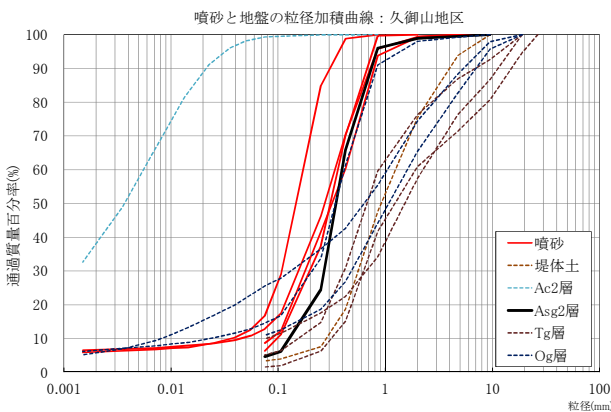


図-14 噴砂と地盤の粒径加積曲線

c) 漏水の原因

当地区は、被覆土層である粘土層が層厚4m程度分布しているため、一般的には漏水が発生しにくい地区である。しかしながら、当地区の被覆土層は低塑性粘土のため、遮水性が低く水みちが形成されやすい土質特性となっ

ている。その下位には河道から連続して透水性の良い砂礫層～礫まじり砂層（Asg2層、Tg層）が分布している。

このような地盤条件の中、これまでの度重なる出水で被覆土層に水みちが徐々に形成されることで、さらに砂の流動が助長され大きな噴砂が発生したと推察される。また、堤防が屈曲し2面が河川に面していることから、漏水量が大きくなり、それに伴って噴砂量も多くなったと推察される。

6. 今回の調査で判明した点と今後の課題

(1) 判明した事項

今回の調査で、粘土層厚と漏水の関係や被覆土の土質特性、地形区分による漏水リスク、基盤漏水の堤体への影響等が把握できた。判明した点を以下にまとめる。

- ・粘土層（被覆土層）が層厚3m～4m程度分布していても低塑性粘土の場合は漏水が発生する可能性がある。
- ・相対的に被覆土層が薄い場所は漏水リスクが高い。
- ・一度漏水が発生した箇所は水みちが形成されているため、同地点で漏水が何度も発生するようになる。
- ・旧河道および地盤高が低い箇所は基盤漏水のリスクが相対的に高い（7章で詳述）。

(2) 今後の課題

現在、上記の調査結果をとりまとめ対策工の検討を実施しているが、これまでに判明した課題を以下に示す。

① 照査手法

今回漏水、噴砂が発生した箇所は、過去の質的照査で対策不要の箇所であった。しかしながら、当地区のように被覆土層が低塑性粘土の場合は、層厚が厚く盤ぶくれの照査対象外の場合でも適切に判定する必要がある。

今回対策を検討する上で、実際の被災を再現する必要があったので、既往照査以外に新たに検討した判定内容とその結果を表-3に示す。

表-3 判定手法による解析結果の変化

判定段階	判定手法	圧力水頭 (m)	揚圧力W (kN/m)	被覆土重量G (kN/m)	G/W	判定
step1	盤ぶくれ	5.52	54.09	62.59	1.16	OK
判定段階	判定手法	全水頭差 (m)	層厚 (m)	動水勾配	安全率Fs	判定
step2	ボーリング	1.86	3.66	0.51	1.75	OK
step3		3.24	3.66	0.89	1.00	OUT

Step1 盤ぶくれ照査：被覆土層がある場合の通常的手法である。被覆土層下面の圧力水頭と被覆土の重量バランスで照査を行った。→ 許容値を満足

Step2 ボーリング照査：噴砂した砂の限界動水勾配を室内土質試験値から求めこれを許容値とし、浸透流解析

により被覆土層に働く動水勾配を求めて判定した。

当地区の噴砂層の限界動水勾配, 判定式は以下のとおりである。

$$\text{限界動水勾配 } i_c = \frac{G_s - 1}{1 + e} = 0.89$$

ここで, G_s : 土粒子の密度 2.64 (g/cm³)

e : 間隙比 0.847

安全率 $F_s = i_c / (\text{被覆土層上面と下面の全水頭差/層厚})$

しかしながら, 上記の計算においても許容値を満足することから, 以下のように再検討を行った。

Step3 透水係数を修正したボーリング照査: ボーリング箇所は水みちの形成により透水係数が高いが, 噴砂地点から堤内側は水みちが形成されていないと仮定し, 以下のように堤内側は一般的な砂層の透水係数とした。

【Asg2層の透水係数の修正】

当初設定値: $k=1.0E-4$ (m/s)

→ 現場透水試験や粒径より設定

修正設定値

・河道から噴砂地点まで: $k=1.5E-4$ (m/s)

→ 水みちの形成を考慮し当初設定値の1.5倍の透水係数とした。

・噴砂地点から堤内側: $k=1.0E-6$ (m/s)

→ 一般的な砂質土層の透水係数を設定した。

② 堤内地側の土質情報の取得

一般的に堤防の調査は堤防断面内で実施するため, 堤内地側の土質情報が少なく, 今回のような漏水に対して信頼性の高い検討が困難となる。堤内地は一般的に民地となり調査は制限されることから, より効率的で非破壊的な調査が望まれる。

③ 漏水, 噴砂の対策の必要性

今回の出水で多量の漏水, 噴砂が発生した。今後の噴砂の繰り返しにより堤体に悪影響を及ぼす可能性が考えられることから, どの程度の漏水, 噴砂で対策工を必要とするかを判断する基準設定が望まれる。

7. 漏水リスクの高い場所, 見るべき着目点

今回漏水が発生した場所についてまとめた結果, とくに基盤漏水は以下の場所でリスクが高いと言える。

- ・旧河道
- ・漏水履歴がある場所
- ・背後地が盛土等の行き止まり地形の箇所
- ・周囲より地盤が低い場所
- ・砂質地盤

・低塑性粘土の下に高透水層がある箇所

上記の事項に複数該当する箇所は, 要注意箇所としてとくに出水時の監視や出水後の点検が望まれる。

図-15に以前から漏水が頻発している箇所の治水地形分類図を示す。図-16には漏水箇所の地盤標高を示す。

結果, 漏水が頻発する箇所は, 旧河道で周辺より地盤が低い場所に多く, 他の漏水箇所においてもこのような条件に当てはまる箇所が多かった。

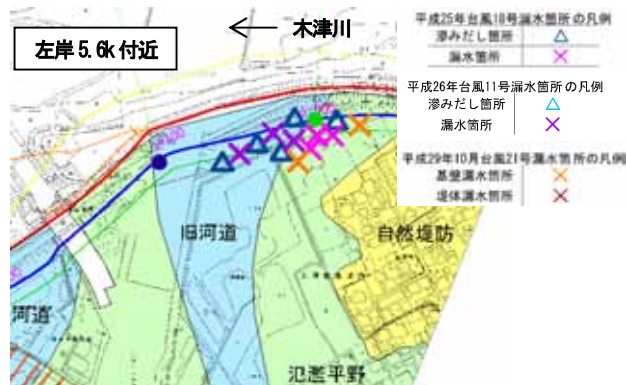


図-15 漏水箇所と地形治水分類

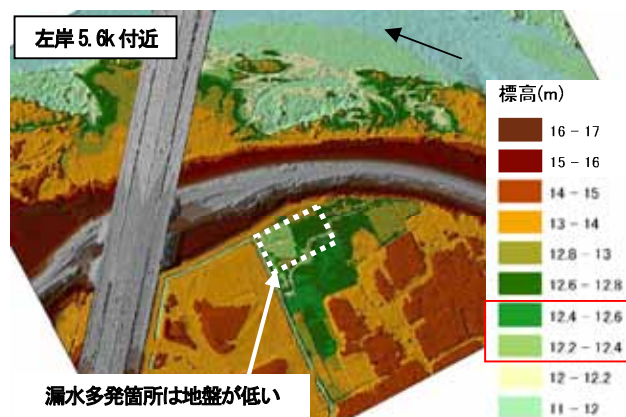


図-16 漏水箇所と地盤標高 (LPデータより作成)

8. まとめ

今回の調査では, これまであまり扱われてこなかった基盤漏水の調査を概査から詳細調査まで一連で実施したことにより, 堤防と漏水箇所を含む堤内地側の一連の土質構成や噴砂の状況を短時間で把握することができた。

これらの調査の観点および調査方法は, 今後同様の事象が起こった際に活用されることが期待される。

今後, こうした情報を一元管理し, 堤防巡視時に活用したり, 水防団とも共有することが大切であると考えられる。

なお, 本稿は, 淀川河川事務所工務第一課に在籍した際に取り組んだ内容をもとに作成したものである。

南海トラフ巨大地震における 近畿地方整備局の活動計画について

黒田 光永¹

¹ 近畿地方整備局 企画部 防災課 (〒540-8586 大阪府大阪府中央区大手前1-5-44)

南海トラフを震源とする地震は、今後30年以内に70～80%程度の確率での発生が危惧され、広域かつ甚大な被害が発生し、我が国の国民生活・経済活動に極めて深刻な影響が生じることが懸念されている。

近畿地方整備局では、南海トラフ巨大地震発災後に、速やかに直轄管理施設の応急対策、施設の点検及び緊急災害対策派遣隊(TEC-FORCE)を派遣して被災した自治体を支援し、施設機能の早期回復、二次災害防止を確実に実施するため近畿地方整備局が対応する活動項目や自治体支援内容を定め、全国からのTEC-FORCE広域派遣による応援も含めた進出エリアの配置や応急対策等について基本的な計画を策定したので報告する。

キーワード 南海トラフ巨大地震、TEC-FORCE、活動計画

1. はじめに

駿河湾から紀伊半島の南側の海域及び、日向灘沖のフィリピン海プレートとユーラシアプレートが接する海底の溝状の地形の区域を「南海トラフ」といい、この南海トラフ沿いのプレート境界を震源とする大規模な地震が「南海トラフ巨大地震」である。(図-1)

南海トラフ地震は、おおむね100～150年間隔で繰り返し発生しており、その大きな特徴としては、極めて広域にわたり強い揺れが発生すること(図-2)、巨大な津波が発生し到達時間が極めて短い地域が存在すること(図-3)、時間差をおいて複数の巨大地震が発生する可能性があることから、広範囲にわたり甚大な被害の発生が予想される。



図-1 日本周辺の主なプレート

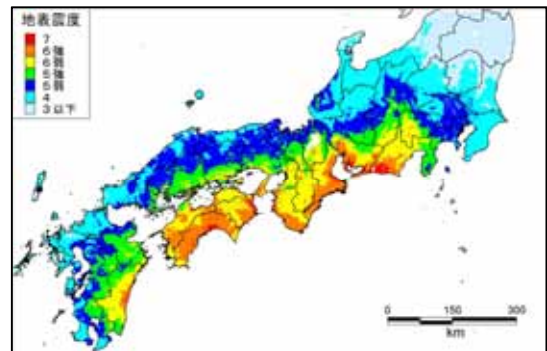


図-2 南海トラフ巨大地震による地震分布(陸側ケース)
平成24年8月内閣府公表

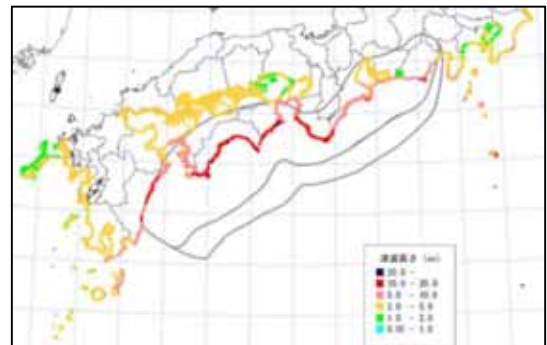


図-3 南海トラフ巨大地震による津波高さ(ケース)
平成24年8月内閣府公表

2. 活動計画に基づく体制の構築

南海トラフ巨大地震が発生した場合、近畿地方整備局は速やかに災害対策本部を設置するとともに、甚大な被害が想定される地域への支援を迅速に行うため、政府の緊急災害現地対策本部、広域派遣を行う応援地整や都道府県の災害対策本部等の関係機関と密接に連携する。

南海トラフ巨大地震が発生した場合の国土交通省が想定する受援・応援地整等は、「南海トラ巨大地震におけるTEC-FORCE活動計画(平成28年8月24日 国土交通省)」により次のとおり定められている。(表-1)

受援地整	中部地方整備局、近畿地方整備局 四国地方整備局、九州地方整備局
応援地整	北海道開発局、東北地方整備局、関東地方整備局、北陸地方整備局、中国地方整備局

表-1 南海トラフ巨大地震発生後に想定する受援・応援地整

近畿地方整備局への応援地整は、「南海トラフ巨大地震におけるTEC-FORCE活動計画(平成28年8月24日国土交通省)」により北海道開発局、東北地方整備局、北陸地方整備局が定められており、近畿地整への応急対策活動(TEC-FORCE隊員数、災害対策用機械等の台数)は、南海トラフ地震の最大被害を想定した場合、以下のとおりである。(表-2)

	近畿	北海道	東北	北陸	合計
TEC-FORCE 隊員	220	120	170	60	570 人
排水ポンプ車	35	-	-	20	55 台
照明車	8	3	7	5	43 台
災害対策本部車	17	1	2	2	22 台
衛星通信車	7	1	1	-	9 台

表-2 TEC-FORCE の動員数及び災害対策機械の派遣数

3. 広域進出拠点及び進出エリアの設定

応援地整の1次集約となる広域進出拠点として、津波等の2次災害の恐れが無く、広大な駐車スペース、派遣にあたっての進行ルート、被害想定が大きい近畿南部地方へのアクセスが容易である名神高速道路の草津PAを位置づける。南海トラフ巨大地震発災後には、災害対策本部からの指示伝達係として、近畿地方整備局の職員を派遣し対応を行う。

南海トラフ巨大地震により津波浸水被害が想定される兵庫県、大阪府、和歌山県の排水対応として、排水対策車や照明車の災害対策用機械が必要となることから、集約拠点として、指示展開が容易で駐車スペースの確保や移動までの整備も可能な近畿技術事務所とする。

各地整毎の進出エリアの選定は、被害が想定される地域を細分化し、活動拠点を含めた活動エリアを想定したうえで、震度分布による被害規模、各地整の派遣人数や応援地整の到着時間を考慮し以下のとおりとする。(表-3、図-3)

整備局名	進出エリア	対象地域
北海道開発局	近畿北部・兵庫エリア	福井県全域、滋賀県全域、京都府全域、兵庫県全域
東北地方整備局	大阪・奈良・和歌山エリア	大阪府全域、奈良県全域、和歌山県和歌山市等
北陸地方整備局	海南・有田エリア	和歌山県海南市、有田市、由良町、御坊市等
近畿地方整備局	紀南エリア	和歌山県みなべ町、田辺市、串本町、新宮市等

表-3 各地方整備局における進出エリア

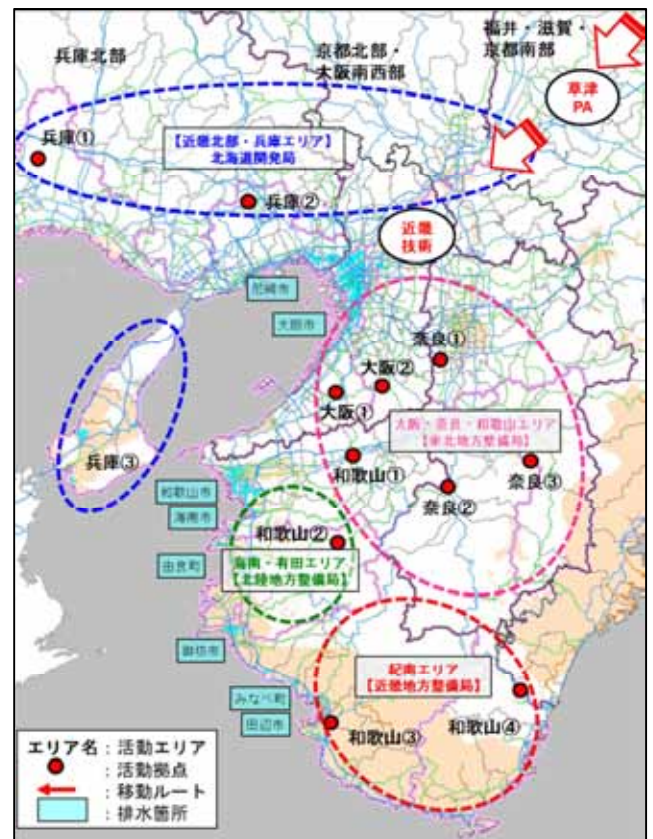


図-3 広域進出拠点及び進出エリア

4. 近畿地方整備局の直轄活動及び自治体支援

近畿地方整備局(応援地整含む)は、人命救助を最優先に、関係機関と連携して被災地域内の救助・救急活動の支援のため、被災状況の把握、道路・航路の啓開などの緊急輸送ルートの確保、緊急排水、被災地方公共団体の支援、緊急・代替輸送等に係る輸送支援、空港施設の復旧、応急復旧対策等の技術的指導等の応急対策活動を行う。近畿地方整備局(他地整含む)が想定している主な応急対策及び被災調査は、以下のとおりである。(表-4)

実施項目	TEC-FORCE による自治体支援	直轄対応
応急対策	道路啓開 国道、主要府県道の緊急輸送道路 孤立等の緊急を要する道路 津波浸水箇所の緊急排水	直轄管理施設における道路の通行確保、河川施設の機能確保 航路確保に向けた航路啓開 二次災害防止に向けた直轄施設の応急措置
被災状況調査	道路被災調査 《1次、2次、3次緊急輸送道路》 河川被災調査 《1級、2級及び準用河川の有堤区間》 土砂災害調査 《土砂災害危険箇所》 港湾災害調査 《係留箇所》 海岸災害調査 《海岸保全施設》 管繕施設応急危険度判定	直轄道路調査・復旧 《一般国道、高規格道路》 直轄河川調査・復旧 《1級河川、ダム、樋門・樋管・陸閘》 直轄砂防施設調査・復旧 《砂防えん堤、溪流保全施設》 港湾・海岸施設調査・復旧 《航路、港湾海岸》 直轄海岸調査・復旧 《海岸保全施設》 管繕施設調査・復旧 《庁舎、宿舍等》

表 - 4 近畿地方整備局が想定している主な応急対策及び被災状況調査

5. 既存計画等の反映

各関係機関等で作成している南海トラフ巨大地震に対する対応計画や今後検討を予定している対応計画については、必要に応じ本計画にも反映し活動計画の策定を行う。

<参考：和歌山県の道路啓開計画>

平成27年度に、和歌山河川国道事務所、紀南河川国道事務所等の国土交通省を主体として、県、沿岸市町や関係機関の各担当部局で構成される「南海トラフ地震に伴う津波浸水に関する和歌山県道路啓開協議会」を設立し、沿岸部を対象とした道路啓開計画に着手した。平成28年度には、風水害等による大規模な道路災害への対応を追加し、「沿岸部の幹線道路」と「内陸部の県管理道路」それぞれを対象として、「和歌山県道路啓開協議会」を設立し、各地域の部会を通じて、道路啓開計画策定に向けた作業を進めている。

近畿地方整備局が想定している和歌山県における道路啓開の考え方は以下のとおりである。

- 基幹ルート(紀勢道・阪和道)の点検を行い、速やかに災害対策部隊を進出
- 国道42号の道路啓開を実施
- 自治体から要請のある緊急性の高い路線を中心に道路啓開を実施
- ・孤立等の緊急性の高いもの
- ・燃料輸送に必要となるもの等

今後、和歌山県と同様に津波浸水被害が想定されている大阪府、兵庫県についての検討も反映する予定である。

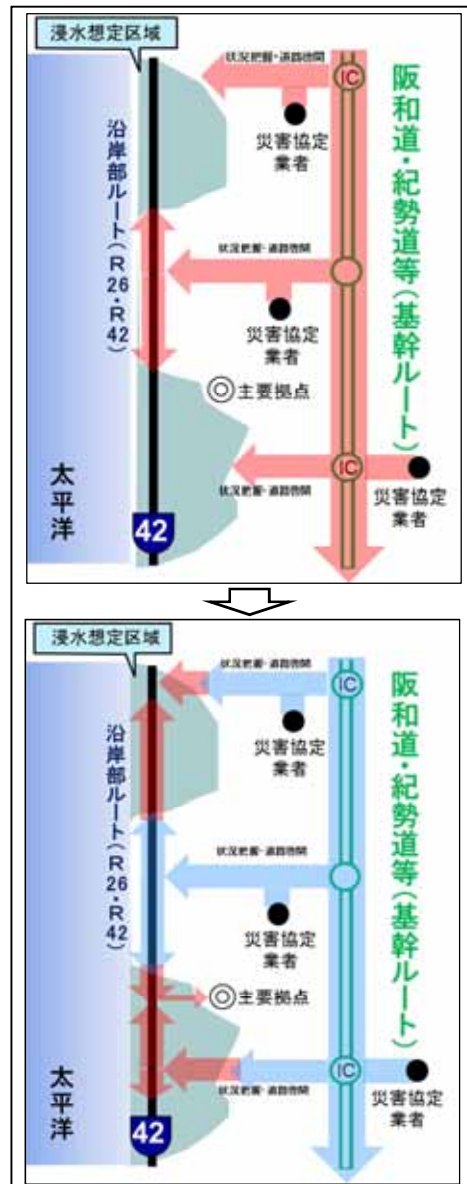


図 - 4 和歌山県(国道42号)における道路啓開

6. 津波排水計画のエリア選定

南海トラフ巨大地震では、沿岸の広範囲にわたる津波浸水と地殻変動（沈降）により、津波が収まった後でも海水に覆われた状態となる。また、ゼロメートル地域等では、大きな津波の襲来がなくとも、地震で堤防等が破損した場合には、その破損が一部であっても全ての地域が海水に覆われた状態となる可能性がある。

紀伊半島及び大阪平野における津波浸水被害では、地殻変動後の地盤高と周辺地形、潮位等の関係から大きく14箇所が長期浸水が予想されている。（表-5）

各箇所の集水特性を踏まえた津波排水計画を検討し、津波警報解除後は、迅速に排水活動を開始できる体制を構築するため、各エリアの排水運用方策について整理を行った。（図-5）

対象市町	排水箇所	排水P車台数
和歌山市	5	22
海南市	1	2
由良町	1	1
御坊市・美浜町	2	17
みなべ町	1	2
田辺市	2	3
大阪市	1	2
尼崎市・西宮市	1	1
合計	14	50

表-5 津波により長期浸水が予想される場所

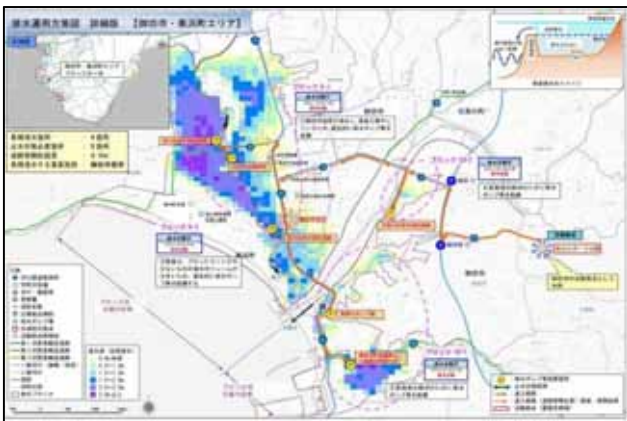


図-5 排水運用方策図（和歌山県御坊市、美浜町エリア）

7. リエゾン派遣

震度6弱以上の府県庁及び震度7及び浸水被害の市町村に対しリエゾンを派遣し、被害情報の収集や地方自治体との連絡調整を行う。また、防災機関としての機能を喪失した地方自治体に対し、地方自治体や被災者等のニーズを直接把握し、必要とされる支援に全力で取り組む。ただし、広範囲で甚大な被害が生じるおそれのある南海トラフ巨大地震等が発生した場合、近畿地方整備局管内の各県、各市町村へのリエゾン派遣が十分に対応できない可能性があることから、特に初動体制における優先順位の考え方を整理した。

各府県の震度6弱以上、自動発進（7府県）

特に甚大な被害が想定される震度7及び2m以上の浸水被害が及ぶ市町村に先行して派遣（44市町）
上記以外の震度6強以上の地域は、被害状況や派遣可能人数を判断し必要に応じて派遣（69市町）

8. 災害対策用ヘリコプターの緊急調査計画

被災状況の全体像を把握するため、発災後速やかに所有する災害対策用ヘリコプターを出动させ、あらかじめ定めた緊急調査計画に基づき被災調査を実施する。

飛行ルートは他機関所有のヘリ活動計画と連携し、津波到着の前夜など複数回を把握する。（図-6）

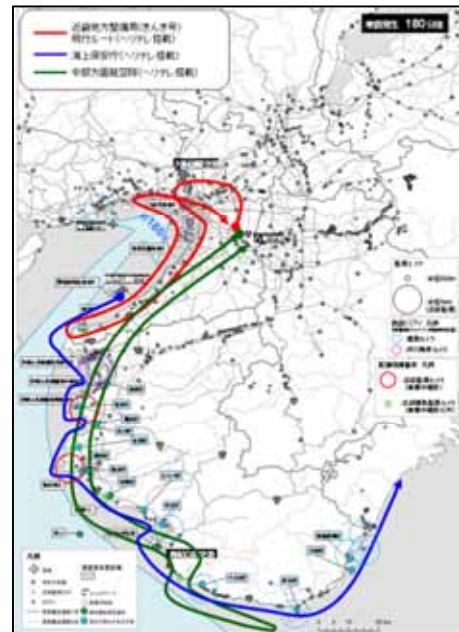


図-6 災害対策用ヘリコプターの飛行ルート計画（案）

9. 今後の課題と対応方針

今回想定している活動拠点や進出ルートについて、今後関係機関と協議を踏まえたうえで具体性を高め、また別途検討している道路啓開協議会とも整合を図り詳細を決定していく必要がある。あわせて応援地整に対し活動内容の情報共有を行い、実行性をより高めていく予定である。

また、本計画は、南海トラフ巨大地震の最大被害での想定を行っているが、地震の規模、発生の日間帯、津波の発生有無等様々な被災シナリオが想定されるため、今後、被災状況に応じた対応を整理し、訓練等により実行性を確認する必要がある。

<参考文献>

- 1) 内閣府「南海トラフ巨大地震の被害想定について（第一次報告）H24.8
- 2) 国土交通省「南海トラフ巨大地震におけるTEC-FORCE活動計画」H28.8
- 3) 和歌山県道路啓開協議会 H29.8

最大クラスの津波に対する 防波堤の粘り強い構造について

仲岡 優¹

¹神戸港湾空港技術調査事務所 (〒651-0082神戸市中央区小野浜町7番30号)

東日本大震災より、防波堤の耐津波設計の考え方が見直され、防波堤を「粘り強い構造」とする考え方が出てきた。これは、設計津波を超える最大クラスの津波に対して、構造の安定に重大な影響を及ぼすのをできるだけ遅らせ、人命の確保及び減災効果を図るものである。今回、近畿地方整備局においては「和歌山県国土強靱化計画（平成27年9月）」を受け、和歌山下津港本港地区及び日高港塩屋地区の第一線防波堤において、施設の効果を粘り強く発揮できるように対策断面の検討を行った。

キーワード 防災，災害，設計

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震において、防波堤が浸水被害を抑制し、減災効果が発揮された一方で、防波堤などの港湾施設が壊滅的な被災を受けて、港湾機能が停止し海上からの支援物資の輸送や東北沿岸に立地する多くの企業も被害を受け、経済活動に大きな損害を被った。

本稿では、和歌山県国土強靱化計画（平成27年9月）¹⁾に基づき、南海トラフ巨大地震発生時の津波による被害の軽減並びに緊急物資輸送や産業活動の早期回復に寄与するため、地震発生後においても港湾施設としての機能（港内静穏度の確保）を継続的に発揮することを目的とした。和歌山県内において第一線防波堤である和歌山下津港本港地区防波堤（外）（1）及び日高港塩屋地区防波堤（西）を粘り強い構造とし、人命の保護及び減災効果を図るための断面検討を行った。ただし、破壊メカニズム、粘り強い化の定量的な効果等、技術的に解明されていない事象が多く、また既存施設の改良による耐津波設計であり、改良できる範囲に制限が生じた。これら諸課題を克服しながら、検討を実施した。

なお、本施設の検討にあたっては、港湾の施設の技術上の基準・同解説²⁾（以下「港湾基準」という）及び「防波堤の耐津波設計ガイドライン」³⁾（以下「ガイドライン」という）に基づき検討を実施した。



図-1 和歌山下津港及び日高港位置図

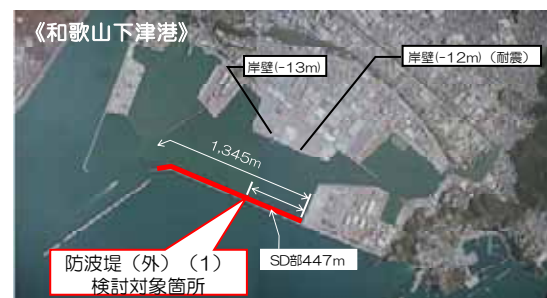


図-2 和歌山下津港本港地区防波堤（外）（1）
検討対象位置図



図-3 日高港塩屋地区防波堤(西) 検討対象位置図

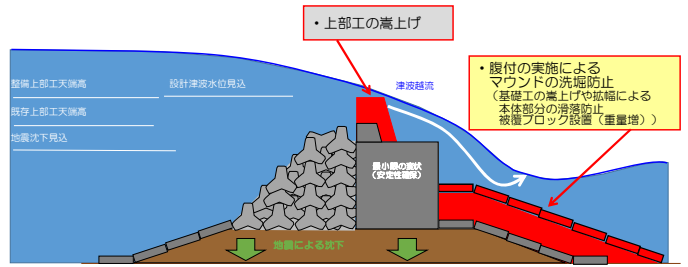


図-5 粘り強い構造断面のイメージ

2. 耐津波設計の検討方針

(1) 検討のフロー

「ガイドライン」では、「設計津波」に対して、津波の越流を許さず、破壊させないことを条件に、天端高の設定や安定性の照査を実施することとしている。「設計津波を超える規模の津波」が来襲した際には、越流は許容するが、防波堤が変形しつつも致命的な倒壊に至らない「粘り強い構造」を目指すものとした。津波による防波堤の破壊形態として、「津波波力」・「越流洗堀」・「地盤浸透流」の3つが挙げられている。

検討にあたり、「ガイドライン」及び今回の検討対象範囲に基づき検討フローを設定した。検討フローを図4に、検討断面のイメージを図5に示す。

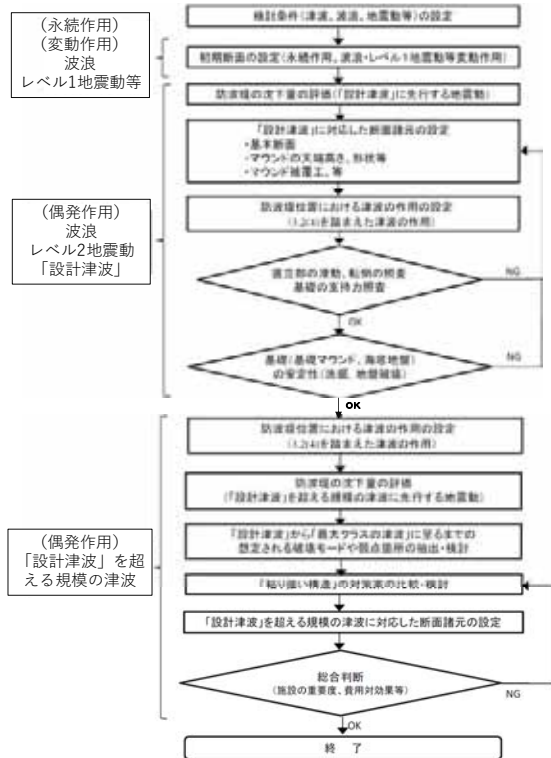


図4 検討フロー

(2) 設計条件の設定

a) 津波と津波に先行する地震動の設定

耐津波設計にあたって、「ガイドライン」では「設計津波」と「設計津波を超える規模の津波」が定義されている。「設計津波」は「発生頻度の高い津波」を対象とすることが多く、今回は数十年から百数十年に発生するものを想定し、東海・東南海・南海地震によって引き起こされる津波とした。「設計津波を超える規模の津波」は、発生頻度は極めて低い最大クラスの津波として中央防災会議等により公表されている南海トラフ巨大地震によって、引き起こされる津波とした。想定した津波と地震動の関係を図6に示す。

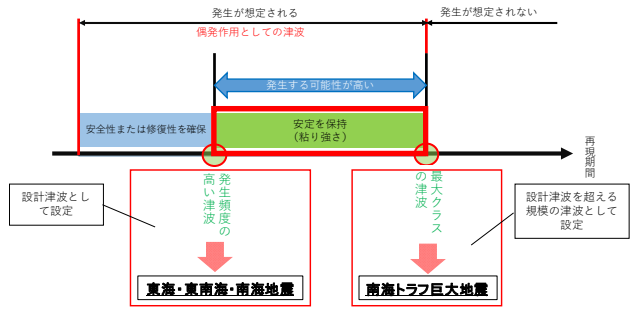


図-6 想定される津波と地震動の関係

b) 土質条件の設定

当該地区では、過去行われたボーリングから供用までに十分な年数が経過しており、粘性土層はケーソン等による圧密が完了していると想定される。今回、土質条件の設定にあたり、検討対象施設ではケーソン据え付け前にボーリングが実施されている箇所とケーソン据付から十分な年数を経たのちにボーリングが実施されている箇所が存在した。同一施設内で圧密が完了した時点でのボーリングデータと非圧密状態でのボーリングデータが存在したため、非圧密状態でのボーリングデータしかない箇所では、ブシネスクの弾性応力解の式 (2a) ~ (2e)

$$\Delta\sigma_y = \frac{q}{\pi} (2\theta + \sin 2\theta \cos 2\varphi) \quad (2a)$$

$$\Delta\sigma_x = \frac{q}{\pi}(2\theta - \sin 2\theta \cos 2\varphi) \quad (2b)$$

$$\tau_{xy} = \frac{q}{\pi} \sin 2\theta \sin 2\varphi \quad (2c)$$

$$2\varphi = \alpha_2 + \alpha_1 \quad (2d)$$

$$2\theta = \alpha_2 - \alpha_1 \quad (2e)$$

を用いて、圧密降伏応力の増加量を求め強度設定を行った。

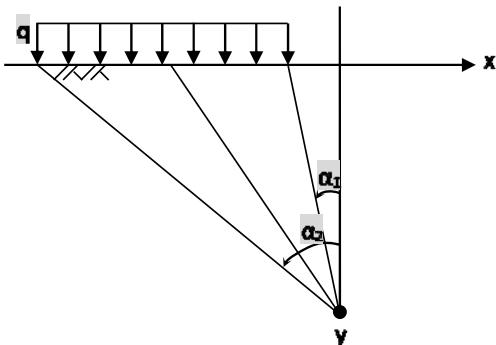


図-7 ブシネスクの弾性応力解 イメージ図

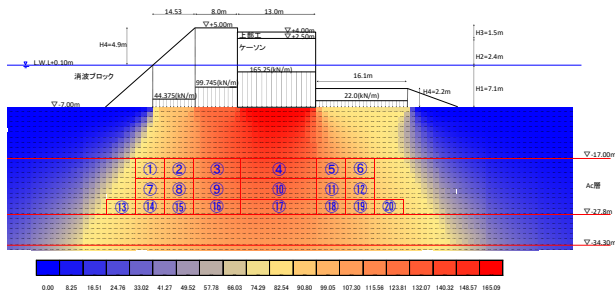


図-8 ブシネスクの弾性応力解を用いて強度増加量を設定した土質条件 (和歌山下津港本港地区防波堤(外) (1) 鉦滓部)

3. 設計津波に対する検討

「設計津波」に対しては構造物で人命・財産を守り切り、津波来襲後も防波堤の機能を継続して維持する構造となるよう検討を行った。具体的には「設計津波」に先行する地震による沈下後の天端高が設計津波より高く、かつ背後の静穏度が確保できる高さ(現況天端以上)となるよう上部工嵩上げ高を設定し、対策断面の沈下前・後の変動波力に対する安定照査および沈下後の津波波力による安定照査により断面を設定した。

今回の検討においては、設計津波高より現況天端高が高いため、沈下後の天端高が現況天端高以上となるよう嵩上げ高を設定した。この嵩上げにより堤体重量の増加と波圧受面積が増大し、偏心傾斜荷重の増加に伴う基礎の支持力不足が想定される。この際、考えられる対策案として不完全被覆堤である今回の検討断面を完全被覆し、波圧増大に備えるという案が考えられたが、1.0~2.0m程度の上部工の嵩上げに対し、消波ブロックを1.0~2.0m程度嵩上げし、完全被覆をするのは容易ではなく、コストが高い。そこで、消波ブロックの積み増しを必要としない、嵩上げを行う上部工の港外側を斜めにカットし、水平波力を鉛直方向への力に変えて偏心傾斜荷重を低減する工夫を行った。ただし、この対策工でも基礎の支持力不足が生じたものについては、港内側のマウンド上にカウンタ盛土を設置することで安定性を確保した。表-1に沈下量と嵩上げ高さの関係と図-9、10に代表的な「設計津波」に対する対策断面を示す。

表-1 沈下量と嵩上げ高さの関係

防波堤	防波堤・区間	現況断面天端高 (D.L.m)	現況断面総沈下量 (m)	沈下後天端高 (D.L.m)	発生頻度の高い津波水位 (D.L.m)	嵩上げ高 (m)	対策断面天端高 (D.L.m)	対策断面総沈下量 (m)	沈下後天端高 (D.L.m)	現況断面天端高 (D.L.m)
和歌山下津港本港地区防波堤(外) (1)	鉦滓部	5.00	-0.59	4.41	> 4.13	1.00	6.00	-0.68	5.32	> 5.00
	SD部	5.00	-0.67	4.33	> 4.11	1.00	6.00	-0.80	5.20	> 5.00
	SD部(開口部)	5.00	-0.67	4.33	> 4.11	1.00	6.00	-0.80	5.20	> 5.00
日高港塩屋地区防波堤(西)	No. 0-200	8.00	-0.47	7.53	> 5.91	1.00	9.00	-0.47	8.53	> 8.00
	No. 0-200(開口部)	8.00	-0.47	7.53	> 5.91	1.00	9.00	-0.47	8.53	> 8.00
	No. 200-350	8.00	-0.63	7.37	> 5.74	1.00	9.00	-0.61	8.39	> 8.00
	No. 200-350(開口部)	8.00	-0.65	7.35	> 5.74	1.00	9.00	-0.66	8.34	> 8.00
	No. 350-450	8.00	-1.62	6.38	> 5.72	2.00	10.00	-1.78	8.22	> 8.00
	No. 350-450(堤頭部)	8.00	-1.73	6.27	> 5.72	2.00	10.00	-1.89	8.11	> 8.00

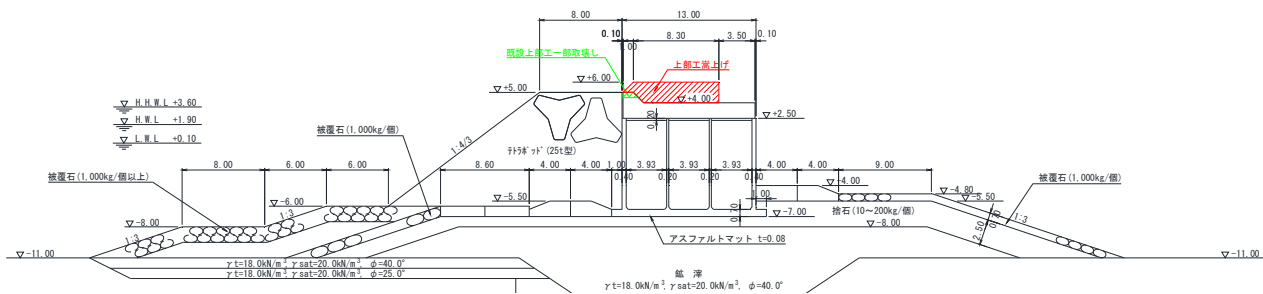


図-9 和歌山下津港本港地区防波堤(外) (1) 鈹津部 嵩上げ対策断面

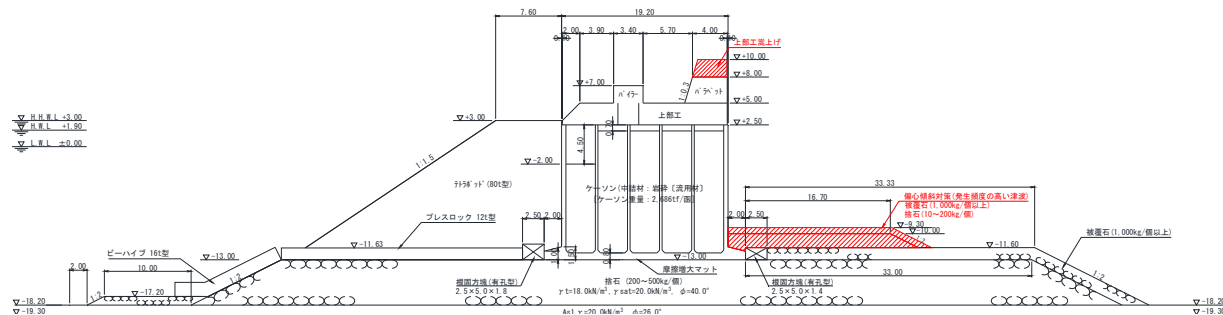


図-10 日高塩屋地区防波堤(西) No. 350-450 嵩上げ対策断面

4. 設計津波を超える規模の津波に対する検討

津波による防波堤の破壊メカニズムについては、未だ解明されていないものが多い。「ガイドライン」では東北地方太平洋沖地震を受けて「津波波力」・「越流洗堀」・「地盤浸透流」の3つに対して、付加的な対策を行うことで、変位はするものの倒壊に至らない粘り強さを求めている。

今回の検討においても、3つの破壊メカニズムに対し現地条件を考慮した対策を検討した。ただし、「変位するものの倒壊に至らない」ための数値的な指標は明確に示されていないため、安定性の照査にあたっては構造解析係数を1.0とし、津波による変位が起きるか否か最低限の安全率を確保できる設定とする工夫をした。

(1)津波波力に対する検討

津波が防波堤を越流する際には、直立部に津波の水圧が作用する。直立部の前面壁及び背面壁に作用する水圧から安定性の照査を実施し、適正な断面の検討を行う。

津波波力による安定性の照査(滑動、転倒、偏心傾斜荷重による支持力照査)を実施した結果、全ての断面で粘り強い構造に必要な安定性は確保されている。従って、今回の検討対象施設では津波波力による影響は小さく、津波波力に対しての新たな対策は講じないものとした。

(2)越流洗堀に対する検討

東北地方太平洋沖地震では、津波が防波堤を越流する

ことによって発生する基礎マウンドの洗堀によって多くの防波堤が被災する結果となった。代表的な対策としては、腹付工を設置する対策工がある。これにより越流した波が直接基礎マウンドに当たっても倒壊しにくい構造となる。

本検討においては越流による基礎マウンドの洗堀に対する影響を把握するため、越流した津波のマウンド上での流速を算定し、イスバッシュ式により基礎マウンドの被覆材の安定照査を行う。マウンド上での流速の算定においては津波シミュレーションにより算定する方法もあるが、津波シミュレーションは平面二次元計算であり、防波堤を越流した水塊の防波堤背後への打ち込みといった鉛直方向の津波の挙動や流速を把握できない欠点がある。そこで今回は断面二次元計算で水脈・飛沫および空気混入を比較的精度良く再現できる断面二次元流体解析プログラム(粒子法型数値波動水路)によりマウンド上の最大流速を算定(図-11、12参照)し、イスバッシュ式で被覆材の安定照査を行った。結果、得られた津波の最大流速に対して既設の被覆材や消波ブロックが洗堀防止に寄与していることがわかり、越流洗堀に対して対策を必要としない結果となった。ただし、堤体の滑動や地盤の偏心傾斜荷重による支持力に対する安定性が不足した場合、対策として洗堀防止にも寄与した腹付工を堤体の背面高さ1/3まで実施するものとした。

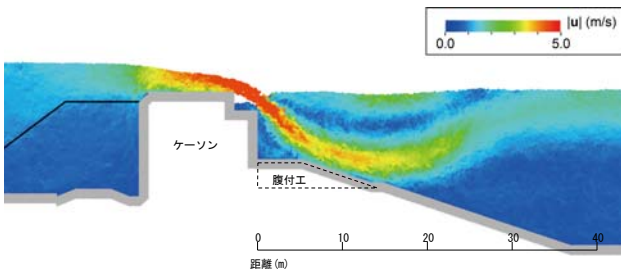


図-11 和歌山下津港本港地区防波堤(外) (1)
断面二次元流体解析プログラムによる流速分布図

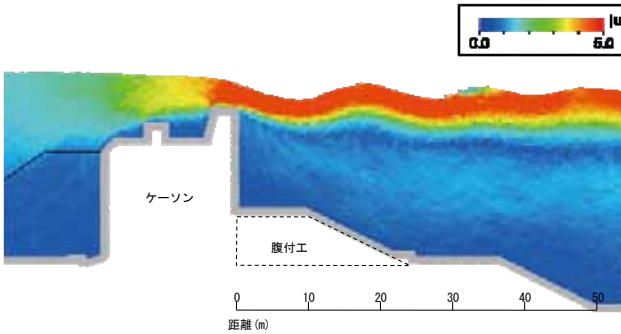


図-12 日高港塩屋地区防波堤(西)
断面二次元流体解析プログラムによる流速分布図

(3)地盤浸透流に対する検討

防波堤により津波の港内側への流入が遮られると、港内側で水位差が生じ基礎マウンド内に浸透流が発生し、基礎の安定性が低下する可能性がある。浸透流による影響は、基礎地盤が砂地盤かつ防波堤前後の水位差が大きい場合(水位差10m程度)に影響を受けるとされているが、今回の検討対象施設では基礎直下の地盤は粘性土かつ前後の水位差も最大で2.8mとなっているため、地盤浸透流による被災も考えにくいので、地盤浸透流に対する対策は行わないものとした。

(4)粘り強い構造断面の設定

(1)~(3)の検討を基に、和歌山下津港防波堤(外) (1)では上部工の嵩上げを1.0m実施するものとし、日高港塩屋地区防波堤(西)では上部工を1.0m~2.0m嵩上げし、堤体の背面高さ1/3まで腹付工を実施するものとした。図-13、14に代表的な「設計津波を超える規模の津波」に対する断面図、つまり「粘り強い構造」となった防波堤の断面図を示す。

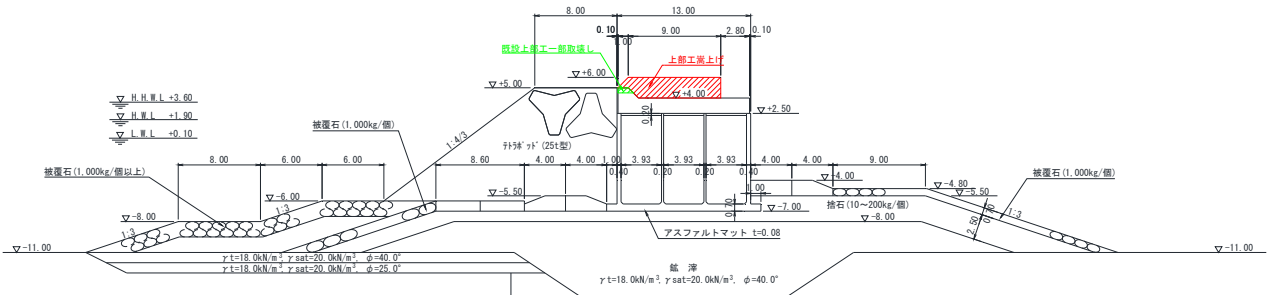


図-13 和歌山下津港本港地区防波堤(外) (1) 鉋滓部 粘り強い構造断面

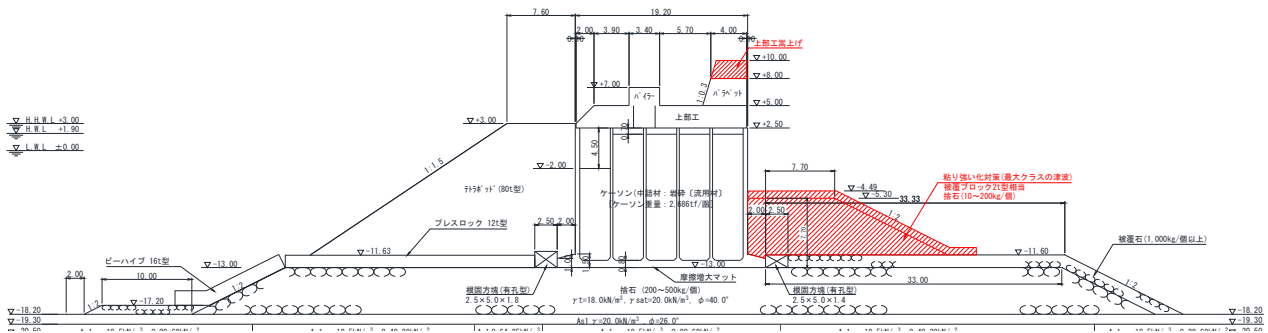


図-14 日高港塩屋地区防波堤(西) No.350-450 粘り強い構造断面

5. 粘り強い構造の検討結果

和歌山下津港は県北部の大阪湾入り口に面し、各種工業の流通拠点として重要な役割を果たしている。日高港は県中央部の荷役拠点としての役割や関西電力の発電所を背後に抱えている。今回の検討対象施設では、一度大きな被害を被ると物資輸送の停止や電力供給の停止などが懸念される。和歌山下津港本港地区防波堤（外）

(1) 及び日高港塩屋地区防波堤（西）を粘り強い構造にすることによって、背後地の浸水深は、ほぼ全域で浅くなる結果となった。和歌山下津港及び日高港を粘り強い構造としたときの津波シミュレーション結果（差分図）を図-15、16に示す。

粘り強い構造とは、防波堤が変位はするものの倒壊に至らないことによって減災効果を期待するものであり、減災効果が発揮されることによって、津波から逃げ切る時間の確保や被害の低減、人命の保護に伴い、背後地の早期復旧に繋がると想定される。

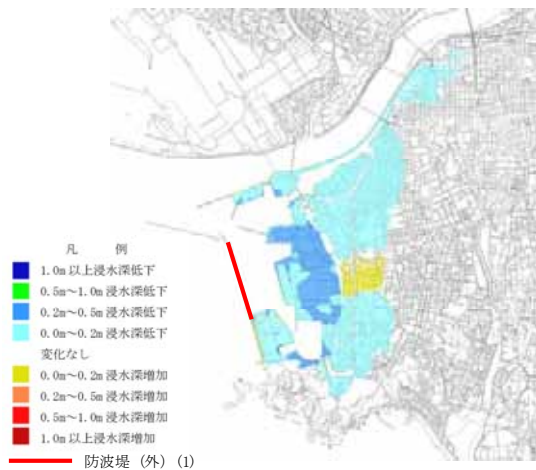


図-15 和歌山下津港本港地区防波堤（外）(1) を粘り強い構造としたときの津波シミュレーション結果（差分図）

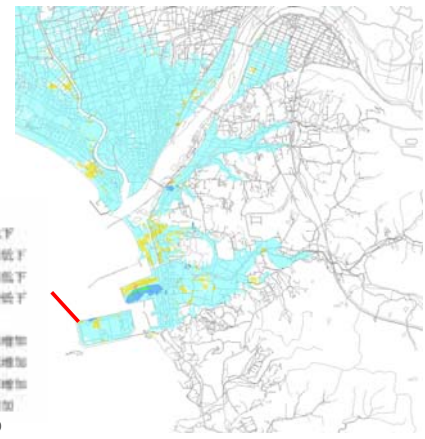


図-16 日高港塩屋地区防波堤（西）を粘り強い構造としたときの津波シミュレーション結果（差分図）

6. 今後の課題

津波作用時の構造物の挙動は、技術的にまだ解明できていない部分も多い。十分な知見が無い中、実際にどのような変形の仕方や壊れ方をするのかイメージ・確認をした上で対策工を選定する必要がある。今回の検討にあたって、構造解析係数を1.0と設定し机上の検討において、「粘り強い構造」を定量的に評価する工夫を講じた。しかし、所要の安全率を満足するというのはあくまで設計上の目安であり、安全率という概念にとらわれすぎないように注意する必要がある。今後は定量的な評価に向け水理模型実験の実施や設計事例の蓄積等、机上と実現象を照らし合わせた確認をしていく必要がある。

今回の机上の検討が、防波堤の粘り強い構造への設計事例として蓄積され、今後の設計方針や定量的な評価に向け活用されれば幸いである。

参考文献

- 1)和歌山県：和歌山県国土強靱化計画 平成27年9月
- 2)(社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月
- 3)国土交通省港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライン 平成25年9月

近畿地方整備局管内における 道路防災診断の取り組み

山田 勝輝

近畿地方整備局 近畿技術事務所 維持管理技術課 (〒573-0166 大阪府枚方市山田池北町11-1)

近畿地方整備局では道路の災害を防止し、安全安心な道路の保全に資するため、道路防災に係わる点検を実施し、順次必要な対策を講じている。また、困難かつ高度な技術力を必要とする事案については、専門的な知識を有する学識経験者により、地域の災害特性に応じた道路機能確保に必要な点検方法やその対策に関する事項に対応するため、1993年度より道路防災ドクター制度を運用し、高度な道路防災診断を実施している。

今回、上記の実績および道路防災の現状と課題への取り組みについて報告する。

キーワード 防災, 維持管理, 安全

1. はじめに

近畿地方整備局は直轄国道24路線、約1,930kmの管理を11事務所32出張所で行っている(表-1)。

表-1: 路線別管理延長 (2018年4月現在)

路線名	延長	事務所	路線名	延長	事務所
国道1号	154.9	滋賀、京都、大阪	国道43号	30.0	大阪、兵庫
国道2号	131.2	姫路、兵庫、大阪	国道158号	25.8	福井
国道8号	190.0	滋賀、福井	国道161号	81.9	滋賀、福井
国道9号	176.6	京都、福知山、豊岡	国道163号	29.6	京都、大阪、奈良
国道21号	12.3	滋賀	国道165号	23.3	大阪、奈良
国道24号	218.6	京都、奈良、和歌山	国道171号	54.9	京都、大阪、兵庫
国道25号	59.8	大阪、奈良	国道175号	63.2	兵庫
国道26号	65.7	大阪、和歌山	国道176号	26.4	大阪、兵庫
国道27号	135.0	福井、福知山	国道478号	5.7	京都
国道28号	56.5	兵庫	国道481号	1.6	大阪
国道29号	68.4	姫路	国道483号	55.6	豊岡
国道42号	230.8	紀南、和歌山	近畿自動車道紀勢線	39.4	紀南
合計				1937.2	

管理路線のうち、雨などによる事前通行規制を行う区間は31箇所約155kmあり、管理延長の約8%を占めている。

また除雪等を行う積雪寒冷地の指定区間の延長は約530kmあり、約27%を占めている。

これらの管内で実施している道路防災点検¹⁾は、1968年に発生した飛騨川バス転落事故を契機とした、防災上課題のある箇所を抽出し、箇所別の安定度の評価を行うものである。最近では1996年度(平成8年度)および2006年度(平成18年度)に管理路線のスクリーニングを実施し、一斉に点検を実施した。

この一斉点検時において、点検箇所の危険性に応じて日常巡視で対応する「対策不要」、毎年専門技術者により点検を行う「カルテ対応」、また、毎年の専門技術者による点検を行いながら計画的に防災対策を実施していく「要対策」に区分し、点検・記録を継続的に実施している(写真-1)。



写真-1: 専門技術者による点検実施状況

また、「要対策」箇所については、毎年の点検結果に基づき、優先度の高い箇所から順次計画的な防災対策工事を実施している。

近畿地方整備局管内では、2017年3月時点で約6,000箇所にてスクリーニング調査を実施し、約1,600箇所をカルテ対応箇所及び要対策箇所として点検管理している(図-1)。

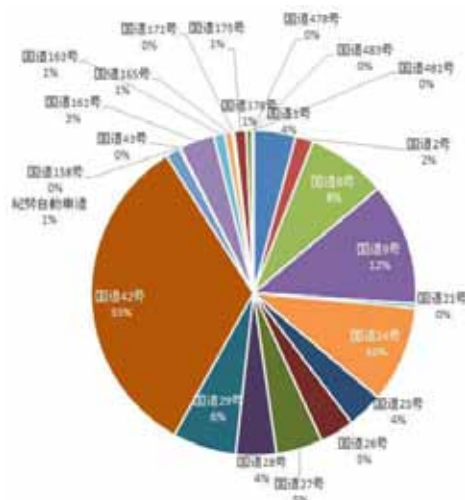


図-1: 要対策箇所およびカルテ箇所の路線別内訳

管理する路線が山間部や海岸線に位置する和歌山県内では、管理道路延長に対する道路防災点検箇所数が多い特徴がある(図-2)。



図-2: 府県別道路延長と100km当たり点検箇所数

2. 道路防災診断の取り組み

近畿地方整備局では、道路の災害を防止し良好な道路の保全に資するため、専門的観点から助言指導を受け、地域の災害特性に応じたより適切な道路防災対策を推進することを目的として1993年度に道路防災ドクター制度を設立し、2018年4月現在18名の学識経験者より構成されている。

主な活動内容は、防災対策連絡会と道路防災診断からなる。

道路防災診断は、高度な技術力と専門的な判断を伴う事象について、直轄国道事務所だけでなく地方自治体も含めた各道路管理者の要請により実施している。(2017年度は24回実施)

上記の活動状況について後述する。

(1) 道路防災ドクターによる診断の現状

近畿地方整備局では道路防災ドクター制度により1993年度から2017年度までに344箇所の診断を実施した。

診断項目および箇所数の傾向は年度によりばらつきがあるが、災害が多発した2004年や2011年、フォローアップ点検を行った翌年の2007年は診断数が増加している。

特に2004年、2005年は路面陥没の診断が多数行われており、2010年の緊急盛土点検以降は盛土の診断数が増加している。

また、2010年以降は事前通行規制区間での診断が行われている(図-3)。

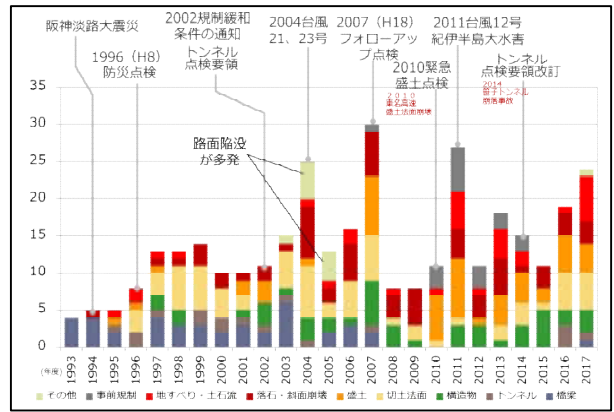


図-3: 年度別診断箇所の変遷

診断対象は橋梁、トンネル、擁壁等構造物に関わるものが約3割、切土法面や落石・斜面崩壊に関わるものが約4割を占める。

これらの診断のうち、全体の36%が緊急診断として実施している(図-4)。

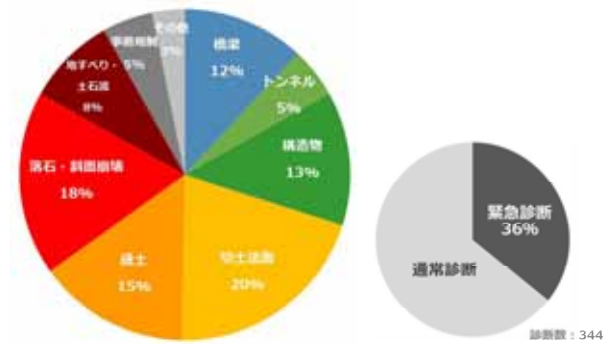


図-4: 緊急診断の割合と診断対象の割合

(2) 道路防災診断が必要となる要因の傾向

次に診断要請のきっかけとなる要因を分類した。全体のうち、防災点検や変状進行によるものが半分で、災害を契機に診断した箇所が25%に上る。

災害の要因を細かく見ると降雨や河川水の増水によるものが69.4%となっている。

その他が16.5%含まれるが、この中には風の影響による落石・表層崩壊が含まれている(図-5)。

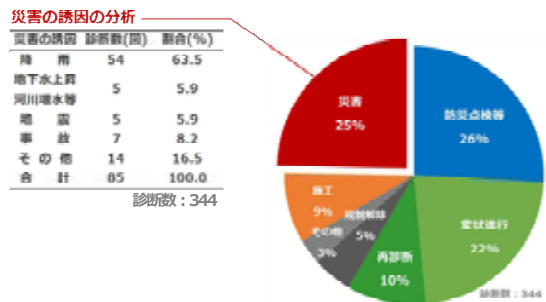


図-5: 診断要請のきっかけとなった要因

3. 診断対応の変遷と診断対象の拡大

(1) 診断内容の変遷について

過去の10年の診断とそれ以前の診断の内訳を比較した。2006年度以前の診断では切土法面の診断が27%、橋梁が23%であった。

過去10年の診断では、1997年の東名高速道路での盛土災害を受けて実施された緊急盛土点検を契機に盛土が24%と全体で最も大きな割合となっている。

また、事前通行規制区間の診断が11%となっている。一方、2006年度以前は、2004年度～2005年度に道路陥没が多発している。これは2004年度の台風21号、23号による集中豪雨の影響と考えられる。

2006年度以降においては、橋梁ドクター制度の創設に伴い橋梁関係の診断対象が分離されたほか、2002年度に事前通行規制区間での規制緩和条件の通知に関連し、対策工事完了箇所での事前通行規制区間の規制緩和のための診断が実施された。

また、2004年度～2005年度の路面陥没の多発に伴う診断時の意見を踏まえ、路面化空洞探査を定期的に予防調査として実施する事となり、近年では路面陥没の事例は減少している(図-6)。

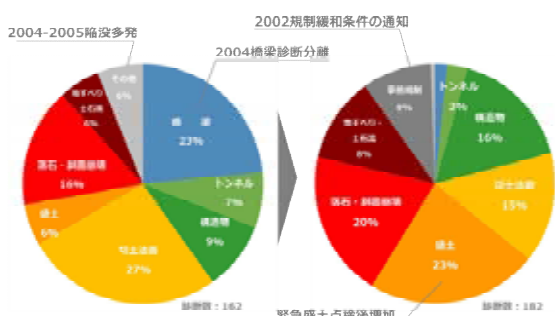


図-6：診断内容の変遷

(2) 自治体支援の増加

道路防災診断では自治体が管理する道路についても、高度な技術的な判断が必要な事象について自治体支援としての診断を実施している(写真-2)。



写真-2：自治体緊急診断の状況

近年の豪雨災害の多発や2014年度以降の道路法および関係法令の改正に伴うメンテナンスへの意識向上と共に自治体からの支援要請数は近年増加傾向となっている(図-7)。

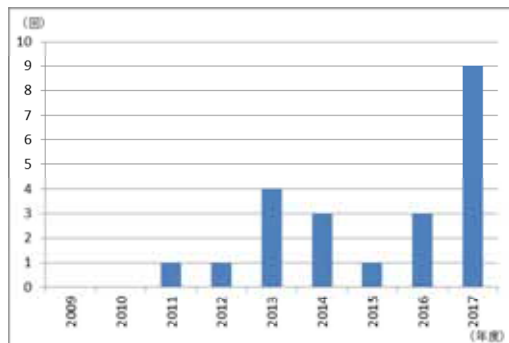


図-7：自治体支援回数の推移

自治体支援時の診断は主に、災害発生原因・応急対応方法・調査や計測の手法・恒久対策に向けた技術的助言を実施している。

4. 今後の課題と対応

(1) 災害の増加と新たな不具合箇所の発生

1) 施設の老朽化と豪雨災害の増加

近畿地方整備局管内の直轄国道の多くは1955年から1970年代にかけて整備され、道路施設の多くが約50年経過しており、施設の老朽化が懸念される。

また、それらの構造物は長期間の繰り返し豪雨や地震等の異常気象に見舞われており、国土交通省水管理・国土保全局の水害レポート2017⁴⁾によれば、時間雨量50mm以上の年間発生回数は1976年から1985年の10年間の平均回数は174回であるが、2007年から2016年の10年間の平均回数は232回と増加傾向(約1.3倍)を示している(図-8)。

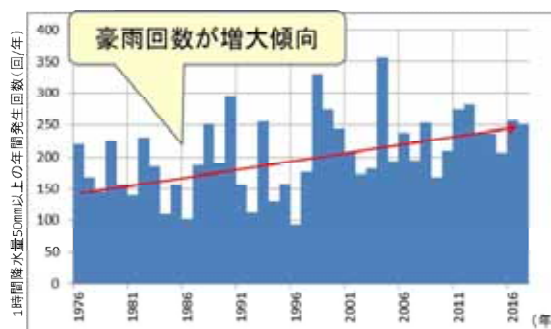


図-8：1時間降水量50mm以上の年間発生回数(気象庁資料より作成)

前述した道路防災診断における災害発生の要因において、降雨や増水の要因であるものが約7割にのぼることを踏まえると、災害発生リスクは上昇傾向にある。

2) 新たな不具合箇所が発生

近畿地方整備局管内の直轄国道においては、これまで道路防災点検において「対策の必要無し」と評価されていた約4,100箇所の中からも、徐々に「要対策」または「継続監視が必要」と評価される“新たな不具合箇所”が増加しつつある(図-9)。

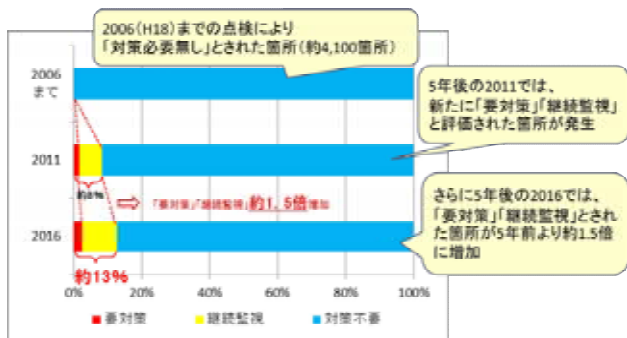


図-9: “新たな不具合箇所” 発生 of 推移

2006年度(平成18年度)までの道路防災総点検時に対策不要と評価されていた箇所は、2016年度では約10%が「要対策」、約3%が「継続監視」が必要と判断されており、今後の進行について注視していく必要があるといえる。

(2) 課題への対応

前述の課題への対応として、以下のような取り組みを実施している。

- ・ 防災対策の履歴の保存とフォローアップ
- ・ 情報の集約および効率化と分析
- ・ 新技術の活用による点検精度向上
- ・ 道路防災の知識および技術力の向上

1) 防災対策の履歴の保存とフォローアップ

次世代の学識経験者への知識や姿勢の継承および、これまでの道路防災診断の成果のフォローアップとして、これまでの診断結果をとりまとめたアーカイブ⁵⁾を作成することとした。

暗黙知を形式化することにより、多くの知見を後世の道路管理事業に生かしていく目的から、1996年～2016年までの診断全記録(320診断)を収集し、整理・分析した。

また、各診断箇所の対応状況や現在の状況を各事務所に対するアンケートで把握し、診断後の対応結果についてフォローアップを図ることとした。

アンケートでは、診断後の対応状況、対策・対応が完了したか、診断結果と対応方法の差異、診断後に大きな問題が発生していないか、設計図、施工時写真などを追

跡した。

収集した情報は診断結果の概要版(道路防災ドクター・アーカイブ)として診断結果に加えて当時の診断状況写真や診断後の対策状況も各事務所で追跡調査を実施し記載した(図-10)。



図-10: 道路防災ドクター・アーカイブ

この道路防災ドクター・アーカイブを各事務所の道路管理担当者へ提供することにより、次世代の学識経験者および技術者へ判断材料の提供が可能となる。

特に、緊急時における応急対応策や判断が難しい補強土壁の変状等の事例などを参考に診断に役立てられることや、各事務所での維持管理のための参考資料および防災点検技術者等への情報提供による着眼点の確認、見逃しの防止を図ることが期待される。

道路防災ドクター・アーカイブは、国道26号での(補強土壁)変状対策の診断において、補強土壁の変状に対する対策の適用例が少ないことから、同様の変状が発生した2009年の診断結果を参考に現地診断で活用された。

過去の事例を適切に保存し、参考とすることで将来への技術伝承に資する有用なツールとなった(図-11)。



図-11: 道路防災ドクター・アーカイブの活用事例

2) 情報の集約および効率化と分析

道路防災点検の結果等の報告書は、従来紙での報告書で作成されていたが、現在ではPDF化による電子納品

へ移行されている。

しかし、これらはいくまで報告書がPDF形式にされたものにすぎず、点検結果へのアクセスや検索が容易になったものではない。

そこで、近畿技術事務所では近畿地方整備局管内の過去に防災点検が実施された約6,000箇所について、安定度調査表、防災カルテ、防災対策工事資料および前述した道路防災ドクター・アーカイブスを収集し、道路防災点検結果ログリストから容易に閲覧可能なシステムを構築した。また点検箇所の位置についても電子国土web上で確認可能とした(図-12、図-13)。



図-12：道路防災対策データベース閲覧イメージ

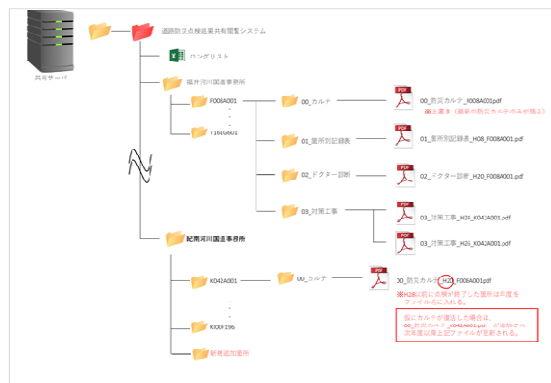


図-13：道路防災対策データベースフォルダ構成

各事務所が、システム内の道路防災対策リストおよび最新の防災カルテを自動的に更新するために、道路防災点検業務成果の統一的な記入様式を作成した。

これらの取り組みにより整備局の職員すべてがシステムにアクセスでき、道路防災対策データベースを用いて道路防災の現状について様々な視点からの分析・把握が可能となった。

3) 新技術の活用による点検精度向上

近年、三次元地形データは活発に利活用されており、道路防災対策においても利用が可能である。

1996年度(平成8年度)及び2006年度(平成18年度)の一斉点検において、航空写真での判別により発見されなかった災害発生のおそれがある箇所においても、高精度の三次元地形データによる微細地形図を用いることで

判別することが可能となる(図-14)。



図-14：地形データ活用による危険箇所把握の例

近畿技術事務所では、2018年度に管内直轄路線において三次元地形データを取得し、そのデータを各管理担当事務所へ提供した。

また、危険箇所の判別・点検精度向上を目的として、学識経験者の意見を聴取のうえ「道路防災点検における留意点(2016年3月)」⁹⁾を作成し、三次元地形データを活用した危険箇所判別方法のポイントを掲載している(図-15)。



図-15：道路防災点検における留意点

これらのツールを活用することで危険箇所の早期発見・災害の未然防止につながることが期待される。

4) 道路防災の知識および技術力の向上

毎年実施される道路防災ドクターである学識経験者および道路管理者が参加する道路防災対策連絡会においては、過年度の道路防災診断を学識経験者が発表し、それらについて意見交換を実施している。

学識経験者同士の診断ポイントの様々な視点や判断の考え方について議論し、学識経験者同士の情報交換・意見交換の場として活用し、さらなる診断技術の発展に役立てている(写真-3)。

各事務所の道路管理担当者もこれに同席し、高度な判断が必要となる道路防災診断への理解と知識を深めることで技術力向上を図っている。



写真3：道路防災対策連絡会

また、前回の2006年度（平成18年度）道路防災総点検より10年が経過したことから、職員の理解と技術力向上のため、整備局内において道路防災点検に関する講習会を開催するなど、道路管理者としての技術力向上の支援に取り組んでいる。

5. おわりに

本稿で紹介した道路防災診断の取り組み事例は、道路管理における多種多様な業務の一部にすぎず、国民の安全安心への需要に我々道路管理者が取り組むべき課題は多く、果たすべき責任はきわめて大きい。

また、2014年からの道路法および関係法令の改正により、定期点検が法定化されたことで、トンネルや土工構造物等の道路管理者が保有する情報はさらに増大することが予想される。

我々道路管理者としては、これらの貴重な情報資源を

用いて適切な維持管理を実施していくために、より一層の効率化および確実性を向上させる取り組みを実施し、国民の安全安心の確保に努めていく所存である。

本稿でとりまとめた各取り組みは近畿地方整備局において学識経験者と連携・協力して困難かつ高度な道路防災診断およびその対策に取り組んだ事例であり、これらが今後発生する他事案への参考事例として活用され、国民の安全安心に寄与できれば幸いである。

謝辞：本論文にて紹介した道路防災診断・対策に関する各取り組みに際し、貴重なご意見を頂いた近畿地方整備局道路防災ドクターである学識経験者の皆様、ならびに資料提供にご協力いただいた関係者の皆様へ、ここに感謝の意を表する。

参考文献

- 1)道路防災点検の手引き（豪雨・豪雪等）〔2014年10月〕（一般社団法人全国地質調査業協会連合会）
- 2)道路防災診断業務報告書（近畿地方整備局近畿技術事務所）
- 3)道路防災対策データベース作成業務報告書（近畿地方整備局近畿技術事務所）
- 4)水害レポート2017〔2017年12月〕（国土交通省水管理・国土保全局）
- 5)道路防災ドクター・アーカイブス〔2017年7月〕（近畿地方整備局道路部）
- 6)道路防災点検に関する留意点〔2016年3月版〕（近畿地方整備局近畿技術事務所）

本庄川水門の計画概要～淡路島南部に建設する 兵庫県内初の津波対策水門～

島岡 明生

兵庫県 県土整備部 県土企画局 総務課 (〒650-8567兵庫県神戸市中央区下山手通5-10-1)

本庄川水門は来たるべき南海トラフ巨大地震による津波の河川への遡上を防止することを目的とした兵庫県内初の津波対策水門（河川）であり、本庄川と塩屋川の合流点下流の河口部に設置するものである。本論文では、河口部に設置するがゆえの漁船等の航行船舶対策や出水期の通水対策といった課題への対応や津波水門としての土木面、機械面、建築面、通信面からの工夫とその結果採用した水門構造について述べる。その後、工事発注まで時間的制約がある中、実施した取組の良かった点など当現場での対応結果を述べるとともに、今後の水門設計への留意事項についてまとめる。

キーワード 津波対策，水門設計，U型構造，サーニットゲート，アルミ鋼上屋，自動閉鎖

1. はじめに

淡路島南部に位置する阿万地区は、南海トラフ地震発生後約 40 分で第一波の津波が到達し、津波高も最大で約 5.2m（周辺の朔望平均満潮位 TP+0.75m との差）となる等、甚大な浸水被害が予想される。そのため、兵庫県では「津波防災インフラ整備計画（2014～2023）」の中でも「重点整備地区」として位置づけ、予算を集中投資している。本稿で紹介する本庄川水門を含めた阿万港では、水門と防潮堤、陸閘が一体となって津波被害を軽減することとしており、2023(平成 35)年度までの完成を目指している（図-1）。

本庄川水門は、（一）本庄川と（二）塩屋川の合流する河口部に設置し、河川への津波の遡上を防ぐことを目的としたもので、2015年度から事業着手している。

なお、河口部の既設堤防高は計画高潮に対して概ね高さを確保しているため、本水門は本県初の津波対策専用の河川水門となる。

本論文では、「概ね 100 年に 1 回の津波発生時にしか作動しないが、その際には失敗が絶対許されない」というコンセプトで設計した本庄川水門の計画概要と構造特性を紹介するとともに、その過程で得た設計の留意事項を述べる。



対 策	事業量	工 程	
		25-30年度	31-35年度
①本庄川水門の整備	1基		
②防潮堤の整備	0.7km		
③陸閘の新設・自動化	3基		
④防潮堤の越流対策	1.1km		



図-1 位置図、阿万港における津波対策の概要

2. 水門計画の概要

本庄川水門の完成イメージを図-2に示す。閉鎖時の水門高さは、発生頻度の高いレベル津波高TP+5.25mに周辺の地殻変動量を考慮してTP+6.0mとした。また、既設の防潮堤と水門の間に取付擁壁を設置することで一連の津波防御ラインを構築することとした(図-5)。

水門構造は、通常の河川堤防上ではなく、河口部の海上に設置することを踏まえ、一般的な構造から不要な部分(胸壁、翼壁、水叩き)を省略した(図-3)。

また、大きな特徴として河川計画断面の倍以上の広さのある海上部であることから水門を1門とした。検討に際しては、水門完成後の断面で河川の計画流量(290m³/s:1/50年)をHWL以下で流下できることを確認している。以下に主な配慮事項をまとめる。



図-2 本庄川水門の完成イメージ(通常時)

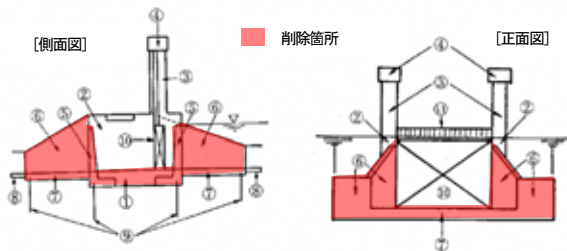


図-3 標準的な水門構造(設計便覧より)

(1) 通行船舶

計画地では漁船等の通行があるため、漁協関係者の意見を聞きながら設計を進めた。その結果、水門幅は22m(最大漁船長さ14.5mの約1.5倍)、水門高さはHWL+8.1m(最大漁船高さ6.0mに余裕高考慮)を確保した。さらに、航路に関しては現況と大きく変化がないよう、水深のある河川中央部を通行できるよう配慮した(図-4)。

また、工事中も漁船が通行できるよう、仮締切を左右門柱で分割する施工計画を立案した。

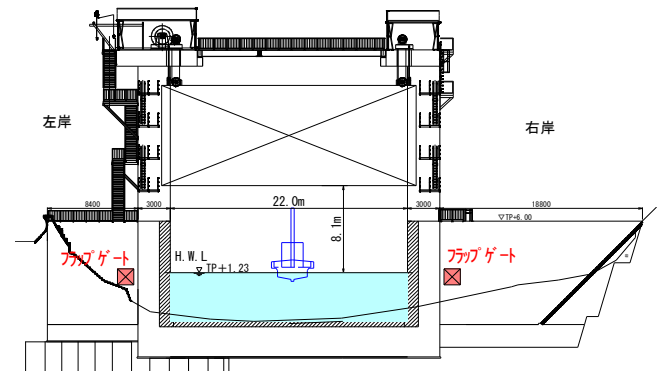


図-4 水門完成後の漁船通行イメージ

(2) 国立公園

計画地の右岸側は瀬戸内海国立公園第二種特別区域(農林漁業活動について、つとめて調整を図ることが必要な地域)に指定されており、土地の大幅な改変は避ける必要があった。そこで、上屋を含めて高さ約29mにも及ぶ門柱の設置を回避し、取付擁壁のみとした(図-5)。

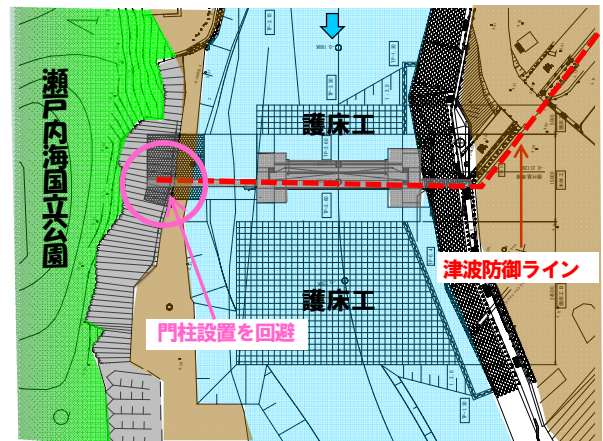


図-5 計画平面図

(3) 水門閉鎖時の氾濫防止

地震発生から津波来襲の危険が収まるまで、当水門は閉鎖を継続することになるが、その間も上流域から河川水は流下してくる。そのため、河川水排除用にワップゲート(1.5m×1.5m)を設置することとした(図-4)。対象流量は東北の事例を参考に平水流量とし、流木等の漂流物による閉塞も考慮して左右岸に1門ずつ、計画の2倍の流下能力を確保した。

(4) 工事中の安全対策

水門位置は河川でない海上であるが、工事中は仮設構造物(締切、栈橋)をいわゆる出水期(6~10月)に存置することになるため、水門上流域に影響を与えないよう対策が必要となる。そこで、施工中も計画流量を安全に流下できる通水域を確保することとした。加えて橋脚が流水阻害しないよう仮栈橋の純径間長は22m(西日本最大級)とするなど、安全対策には十分留意する施工計画とした(次頁図-6)。

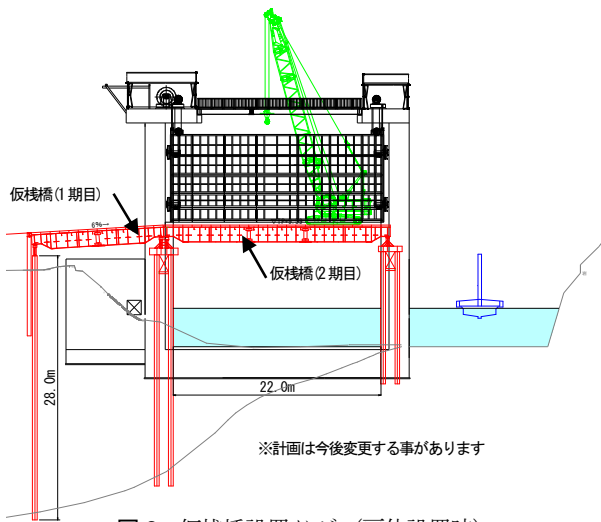


図-6 仮棧橋設置イメージ (扉体設置時)

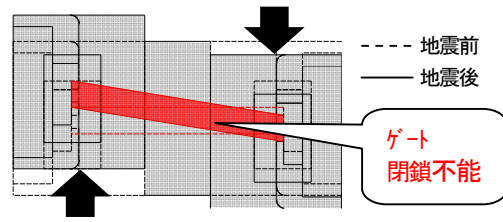


図-8 逆T形水門の変位イメージ

3. 津波対策水門としての構造特性

(1) 土木面 ～地震時の挙動を一体化～

一般的に水門下部構造は図-7 に示す3タイプに分かれ、小規模な場合は箱形、中間のものはU形、大規模なものは逆T形を採用することが多い(河川砂防技術基準より)。本庄川水門は純径間長が22mであるため、通常であれば逆T形になるが、「地震時の挙動を一体化させる」ことを重視し、U形を採用した。

逆T形では門柱同士が独立した構造となるため、構造計算上問題なくても地震後のずれ(変位)が左右の門柱で異なればゲート閉鎖に問題を生じるおそれがある(図-8)。特に、当現場では事前の土質調査結果より支持層が傾斜していることが判明しており、逆T形を採用した場合、右岸は岩着、左岸は杭基礎となることから、地震動による揺れの固有周期が異なるため、ゲートとの衝突による門柱の損傷も懸念される。これらの不安を解消するため、門柱一体構造となるU形にこだわった。

また、基礎構造も左右岸で構造を変えないよう、全て直接基礎を採用した。具体的には、左岸側に分布する平均N値20程度の砂質土層等を支持層である右岸の軟岩並の強度(300kN/m²)に地盤改良(平均改良長約8.0m)することとした。

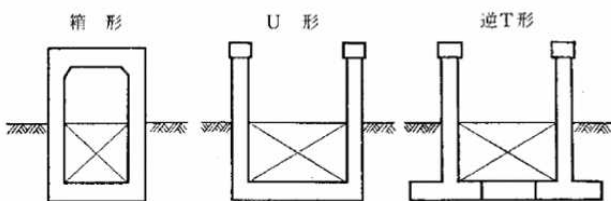


図-7 水門の一般的な本体形式(土木)

(2) 機械面 ～巨大なスライドゲートで津波に対応～

ゲート形式は様々なものがあるが、農業用樋門など小規模な場合は水圧を面で支圧するスライドゲートがよく採用される。一方、規模の大きな水門の場合は開閉動作を円滑に行うために、端部は点で受け止めるローゲートの採用が一般的であり、本庄川水門も当初はローゲートの採用を計画していた。

しかし、設計を進めていく中で、津波荷重が甚大でそれに対応しようとするともうが巨大化すること、防潮水門のように内外水位差により何度も開閉作業する必要はなく、閉鎖されれば津波来襲後の安全が確認されるまで開操作は行わない等を考慮し、「サニットゲート」と呼ばれる形式を採用した(図-9)。

サニットゲートとは、内水側と外水側で支圧構造を変える形式であり、巨大な津波荷重が作用する海側はスライドゲートのように面で支え、通常の水圧荷重しか作用しない川側はローゲートとして点で支える。そのため、比較的高価とされるロー関係部材を小型化できる等のメリットがある。

このサニットゲート形式は、津波対策のように片側からのみ大きな力が作用する場合に効果的であるため、東日本大震災後に岩手県などで建設中の津波対策水門で数多く採用されている。

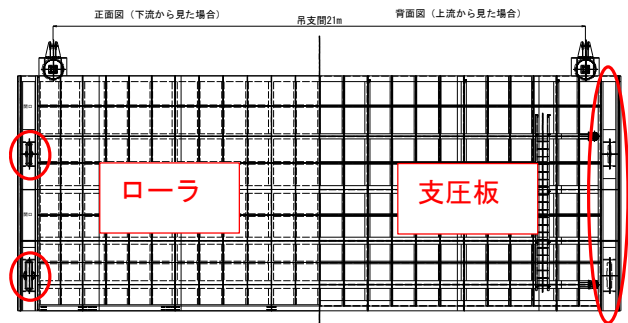
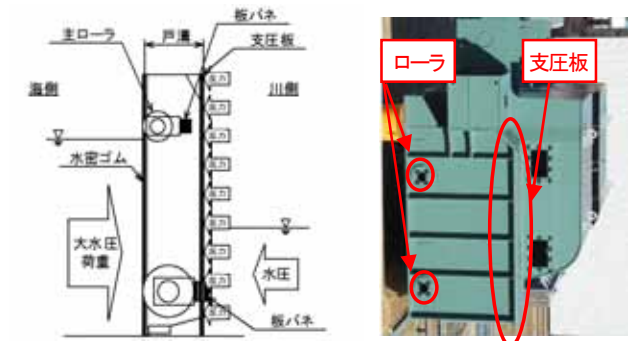


図-9 サニットゲート(正面図、側面イメージ、参考写真)



(3) 建築面 ～電話ボックス形式の上屋で重量軽減～

本庄川水門は、扉高が約9.3mと巨大である事に加え、2(1)で述べたとおり通行漁船とのクリアランスの影響で門柱が約26mと非常に高い。そのため、一般的な鉄筋コンクリート構造、鉄骨構造の上屋を採用すると、トップベアとなり、地震時の門柱端部への負担が大きくなる。

また、維持管理の面で、ゲート巻上機等の修繕時に上屋から搬出入できるよう、大きな扉やクレーンで吊下げるための作業スペースが必要となる。

そこで、新技術であるアルミ鋼構造 (NETIS: TH-090001-VE) を採用した (図-10)。これにより課題であった重量を最大で10分の1程度 (50t→5t) に抑えることができ、下部工の負担を軽減した。

さらに本構造は組立式のため屋根の取外しが可能であることから、上屋から資機材を直接搬出入できるなど維持管理の課題もあわせて解消できた。



図-10 アルミ鋼構造の上屋施工例 (国交省 佐平治排水樋管)

(4) 電気設備面 ～Jアラートで自動閉鎖～

通常の水門操作は、水位や現地の安全を確認したうえで、「人」が現地or遠隔から操作を行う。しかし、休日や夜間などいつ起こるか分からない南海トラフ地震では、通常のやり方では間に合わない。特に東日本大震災で多くの操作者が犠牲になった教訓から「現場操作員の安全の確保を最優先する」ことが国の「津波・高潮対策における水門・陸閘等管理システムトータル」で示されている。

そこで、本庄川水門では津波到達時間が約40分であることを踏まえて「自動閉鎖」を基本とした (図-11)。

具体的には、消防庁のJアラート (津波警報、大津波警報) を閉鎖トリガーとし、水門がJアラート信号を受信すると、直ちにサイレンと回転灯による閉鎖周知 (約5分) を行い、その後水門閉鎖を開始する。閉鎖速度は設計要領に基づき1.0m/分とし、約15分かけて閉鎖を完了させる。

なお、閉鎖中の事故を防止するため漁船等の障害物を検知した場合には一時停止するセンサーを設置するが、停止は1分間1回限りとし、その後は障害物の有無に関わ

らず自動で閉鎖作業を再開する。

また、Jアラートが機能しなかった場合や誤作動を防止するため、バックアップ手段として南あわじ市役所から遠隔操作・監視できるようにした。洲本土木事務所では、操作を市に委託することなどから遠隔監視のみとした。

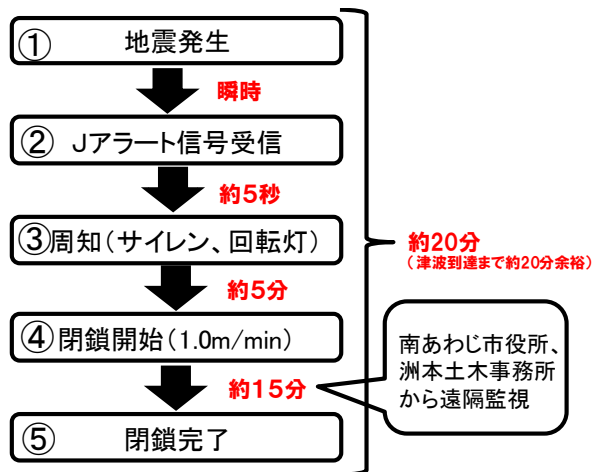


図-11 水門の自動閉鎖フロー

5. 今後の水門設計への留意事項

津波専用の水門設計に対する県の基準がないことに加え、ゲート構造などの機械面は全くの素人であることから、設計課題への対応に苦労した。そこで、洲本土木事務所管内の水門 (排水機場) の点検を委託しているゲートメーカーに対し、設計や施工上の課題について意見交換を行った。

その結果、扉体材料に関して従来アルミの2倍の強度を有する新材料 2 相アルミの採用が主流となりつつあることがわかり、コンサルタントに修正指示を行ったところ、扉体重量を概略で約30t軽量化できた。

また、津波対策を進めている岩手県に連絡し、フラップゲートを設置する水門の設計成果や県の技術基準を入手し、本庄川水門の参考とした。気になることは積極的に自分で情報収集することが大切だと痛感した。

6. おわりに

本庄川水門の工事は、2017年度に仮設工である仮栈橋 (1期目) 等を施工し、2018年度より左岸本体内工に着手している。今後、太径鉄筋 (D41) の加工・組立や仮栈橋 (2期目) の施工など難工事が連続するが、安全対策を徹底して工事が無事完成することを願う。

※本論文は、島岡の従前の所属である兵庫県洲本土木事務所における業務に基づくものである。

仮設型浸水歩行体験装置について

福田 龍太郎¹・城谷 吉彦²

¹高砂市 まちづくり部 まちづくり推進室 都市政策課(〒676-8501 兵庫県高砂市荒井町千鳥1丁目1番1号)

²国土交通省 近畿地方整備局 福知山河川国道事務所(〒620-0875 京都府福知山市字堀小字今岡 2459-14)

国土交通省では、平成27年9月関東・東北豪雨をうけて、“施設では守り切れない大洪水は必ず発生する”という考えのもと、水防災意識社会再構築ビジョンの実現に取り組んでいる。それを踏まえて、姫路河川国道事務所では、幼少期から防災教育を進めることが、自然災害に関する「心構え」と「知識」を備えた個人を育成することにつながり、子どもから家庭、さらには地域へと防災知識が浸透することを期待して、洪水氾濫や浸水被害から“避難する”一助となるよう、防災教育の充実に取り組んでいる。今回、そのなかで検討した仮設型浸水歩行体験装置について論じる。

キーワード そなえる対策、水防災意識社会再構築ビジョン、自主避難計画

1. はじめに

兵庫県の播磨地域を流れる一級河川 加古川・揖保川をはじめとする川々は、兵庫県中部の山々から播磨灘に流れ出て我々の暮らしや産業を支え、日本有数の工業地域、“播磨臨海工業地域”の発展を支えている。その一方で、大きな雨が降れば河川はその姿を変え、洪水氾濫、浸水被害といった水害を引き起こす“暴れ川”としての側面も持ち合わせており、揖保川では2009年(平成21年)8月台風9号出水による宍粟市域の浸水被害、加古川では2004年(平成16年)10月台風23号出水による小野市、加東市域等で浸水被害を記録したことは、記憶に新しいところである。今後さらなる集中豪雨の増加等により水害の頻発・激甚化が危惧されている。

多発する水害から生命と財産を守るため、ハード対策である河川整備を進めていくことは必要不可欠であるが、それと共に、大規模災害に「そなえる」対策等、ソフト対策を推進することが重要となる。

2. 水意識社会再構築ビジョンについて

平成27年9月関東・東北豪雨災害では、鬼怒川において越水や堤防決壊等により浸水戸数は約一万棟、孤立救助者数は約四千人となる等、甚大な被害が発生している。このことに対し、国土交通省では、「施設の能力には限界があり、施設では防ぎきれない大洪水は必ず発生するもの」という考えのもと、社会全体で洪水に備えるよう、施設能力を上回る洪水が発生した場合においても逃げ遅れる人をなくす、経済被害を最小化する等、減災の取り組みを社会全体で推進する必要があるとして、水意識社会再構築ビジョンの実現に取り組んでいる。

姫路河川国道事務所でも、加古川水系4市(加古川市、高砂市、小野市、加東市)、揖保川水系3市1町(姫路市、宍粟市、たつの市、太子町)において、関連する市町をはじめ、兵庫県の関連する部署と共に、減災対策協議会を組織し、ソフト対策に取り組んでいる。

3. ソフト対策について

ソフト対策としては、河川管理者である姫路河川国道事務所や兵庫県が、水害リスクの基礎情報として「浸水想定区域図」を公表しているが、浸水経験の少ない地域住民が浸水した状況下で避難することがいかに難しいか、十分に認識できていないことが危惧される。

また、近年の堤防決壊や洪水氾濫等における、事後の被災者の意識調査の報道等では、避難情報等を発令しても、実際に避難する人はわずか数パーセントほどしかいないことが確認できる。さらに、このような状況に加えて、避難情報等を発令する市町の立場としても、早期避難の呼びかけに対して、実際に避難する人がわずかであることから、地元住民の避難意識の向上が課題となっている。

こうした課題に対して、姫路河川国道事務所では、防災教育の取り組みを行った。そのなかで、2016年(平成28年)5月に実施した揖保川水系総合水防演習で体験コーナーに設置した「浸水歩行体験・水没ドア体験設備」(淀川河川事務所所有)や「豪雨体験装置」(西はりま消防組合所有)を体験した地元小学生や教諭の感想をもとに、幼少期に防災教育を実施することで、子ども達が自然災害は“怖い”ことだと認識することにより、「心構え」と「知識」を備えた個人を育成することにつながる。そして、子どもから家庭、さらには地域へと防災知識が浸透し、洪水氾濫や浸水被害から“避難する”一助となり得ると把握できた。

4. 仮設型浸水歩行体験装置の試作について

近畿地方整備局管内には、揖保川水系総合水防演習用に貸与を受けた「浸水歩行体験・水没ドア体験設備」がある。本設備は可搬性をもたせたユニット型であるため、設営及び撤去にあまり時間がかからず、容易に設置可能なものとなっている。ただし、本装置は近畿地方整備局管内に淀川河川事務所の一つしかないことから、淀川河川事務所等で利用予定のない時に限られること、また、出水期～台風期の防災訓練のシーズンに姫路河川国道事務

所管内の小学校等からの実施依頼が集中することが想定され、小学校側等が希望する日時に対応できない可能性がある。また、一度にできる人数が限られるため、学校の授業時間中に複数の学年やクラスの児童等に対応する等の学校側のニーズに的確に対応するのに不向きであることが課題として浮上している。

ここで、姫路河川国道事務所では、「簡単に設置可能」かつ「限られた時間で多くの体験者が体験可能」な設備を検討することにした。

浸水歩行体験設備に求める機能として、浸水する際に、「歩きづらいこと」を再現することが必要となる。

浸水歩行体験設備には、「歩きづらいこと」を再現するため、20cm程度の水深になるよう、濁水を半日程度維持できることが要求される。20cm程度の濁水を貯留するには、装置側面に一定の水圧がかかるため、強固な構造を持つ設備として、地面を掘り下げて、漏水対策をしたもので作成することを検討した。

具体的には、地面を50cm程度掘り込み、水を入れても地中に浸透しないよう、遮水用シートで覆うことで、簡易なプール状のものを作成した。そこに、土砂を投入・攪拌することで、濁水を再現し、工事用ポンプを用いて、道路側溝等から溢れた水流を再現し、浸水体験装置(図-1)を試作することができた。

試作した装置は、沿川市が主催する水防をテーマとした防災訓練において、体験型設備として展示する予定だった。しかし、2017年(平成29年)台風18号出水により防災訓練が中止となり、市民等が体験することはなかった。



(図-1)試作した掘り込み式の浸水歩行体験装置

5. 仮設型浸水歩行体験装置について

減災対策協議会で取組を進めるなかで、防災意識の高い校長先生から「ぜひ我が校で実施していただきたい。」とお返事をいただき、浸水歩行体験装置を用いて、体験型の防災学習授業を実施することとなった。

試作した浸水体験設備と同様の設備を設置することを検討していたが、掘り込みで浸水体験設備を設営すると、設置場所が学校の校庭であることから、学童保育をはじめ、放課後には地域に開放されるため、事前設置から撤去まで概ね1週間程度を要する掘り込みの設営では、転落防止や侵入防止等の安全性の確保が課題となったのである。また、授業時間を使用しての限られた時間で、多くの児童が体験することや体験者が小学生に限られることから、体験中、転倒防止のより一層の安全性の確保が求められた。

そのため、地面から掘り下げるのではなく、地上部に50cm程度のコンクリート型枠で仮設の壁を設け、そのなかを遮水用シートで被うことで、20cm程度の浸水深を再現できるようにし、流水を模した水流が発生しても型枠サポートパイプで支持することで倒れない構造とした(図-2)。また、濁水により足下が見えないこと、かつ、水中には障害物や段差等を模したブロックやレンガを設置していることから、体験中の児童の転倒が想定されるため、装置の外周部に単管パイプによる手すりを設けた。加えて、遮水用シートについては、試作装置で使ったものを流用したが、厚手のシートで設営していたため、穴が開く等の損傷はなく、複数回の転用に耐えうることが分かった。

今回、浸水体験設備を運用して、次の点が分かった。

- ①ニーズにあわせて、大きさを見直すことで、同時に体験できる児童数の増加すること(図-3)、
- ②一度に体験できる人数が増加したことにより、説明から体験、感想まで短時間のサイクルで実施可能であること、
- ③浸水した際に、足下に何があるかわからない

状況になることを教授できること、

④傘を杖代わりにして体験することで、身近なもので足下を確認できることを教授できること、

⑤汎用品を用いることで、安価に設営できることが分かった。

また、体験型防災学習後に、学校側から児童が書いた感想文を頂いたところ、「足下が見えないことがこんなに“怖い”とは思わなかった。」「こうなる前に早めに避難するのが大事だと思いました。」「長靴のなかに水が入り、歩きにくいので、スニーカーで逃げないといけないと思った。」等、避難意識の向上の効果が確認された。



(図-2) 作成した仮設型浸水歩行体験装置



(図-3) 仮設型浸水歩行体験装置を体験する様子

6. まとめ

近年、洪水氾濫、浸水被害等が頻発しているが、テレビや新聞等の報道を見ている人はどこか他人事のように捉えているように思われる。その結果、“逃げ遅れ”につながり、生命を守れないことにつながると考えられる。浸水体験装置を体験することで、報道で見る、「浸水したところを歩くこと」が“怖い”ことであると実体験することにより、洪水氾濫、浸水被害がもたらす危険性を想像できるようになり、結果、避難意識の向上につながると考えられる。

また、仮設型浸水歩行体験装置は、仮設型設備であるため、利用後は基本的に撤去されるが、小学校等のニーズにあわせて設備の仕様を調整することが可能であるほか、工事現場で使用する汎用品を用いて設営できることから、同時期に複数箇所での実施や安価に設置できる。

さらに、社会的な背景としても、文部科学省において、平成32年度から新学習指導要領が全面实施され、小学校で防災教育の授業が充実されることとなった。防災教育の充実のためにも、このような体験型設備の充実を図ることが、今後の防災教育において必要だと考える。

7. 今後の課題

学校側から頂いた浸水歩行体験設備を体験した児童の感想文を拝見したところ、“怖い”という感想がある一方、残念ながら、思いのほか“楽しかった”という感想も散見された。そのため、自然災害をより一層“怖い”ことだと認識するには、体験型施設の内容の充実が必要と考える。例えば、揖保川水系総合水防演習で貸与を受けたような「豪雨体験装置」等を用いて、よりリアリティのある「歩きづらいこと」が体験できることや今回は検討しなかった「ドアが開きにくくなること」のような体験ができる設備の検討を進めることが、今後の課題として考えられる。

また、このような体験型学習を家庭や地域のみならず、避難情報等を発令する立場である首長等

にも体験していただくことが、適切な避難情報等の発令につながり、洪水氾濫や浸水被害から“逃げ遅れない”ための一助となると考えられる。今後、このような方々が体験できるような運営を検討することも課題と考えられる。

謝辞：本論文の作成にあたり、出向期間中、多くの知識や示唆を頂いた姫路河川国道事務所、また、水中ドア・浸水歩行体験装置を貸し出していただいた淀川河川国道事務所、防災教育を実施するにあたり、ご尽力いただいた関係市町のご担当者様、ならびに学校関係者の方々に、感謝の気持ちと御礼を申し上げたく、謝辞にかえさせていただきます。

足羽川ダムの洪水吐きに係る 水理模型実験について（続報）

小泉 陽彦¹

¹近畿地方整備局 淀川河川事務所 工務第一課 (〒573-1191 大阪府枚方市新町2丁目2-10)

足羽川ダムは、足羽川、日野川及び九頭竜川下流域の洪水被害軽減を目的として建設中の洪水調節専用ダム(流水型ダム)である。現在ダム本体の実施設計を行っているが、机上設計では分からない水理特性については模型実験を行い流況等を確認する必要がある。本研究では過去の実験結果をもとに、本体基礎掘削形状の変更に伴う新たな堤趾導流部形状の模型を作成し、(i)堤趾導流部形状の検討、(ii)河床部放流設備等の流況確認を行った。実験の結果、(i)については机上設計(原案形状)を一部改良することで流況が安定することが確認できた。(ii)については、原案形状では放流設備への影響が懸念され、今後更なる検討が必要であることがわかった。

キーワード 流水型ダム、水理模型実験、洪水吐き

1. はじめに

足羽川ダムは、九頭竜川水系足羽川の支川部子川(福井県今立郡池田町小畑地先)に建設中の高さ96m、堤頂長460m、総貯水量28,700千 m^3 、有効貯水容量(洪水調節容量)28,200千 m^3 の重力式コンクリートダムである(図-1、図-2)。

足羽川ダム建設事業は、足羽川ダム本体と併せて、図-3に示す他流域の4河川(水海川、足羽川、割谷川及び赤谷川)の洪水を導水するための分水施設(分水堰+導水トンネル)を整備するものである。このうち、足羽川ダム本体および水海川分水施設の建設を、九頭竜川水系河川整備計画期間内に整備する第I期事業と位置付けている。



図-1 足羽川ダム位置図

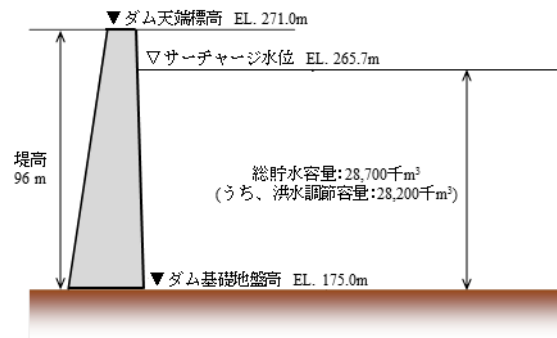


図-2 足羽川貯水池容量配分図



図-3 足羽川ダム計画平面図

2. 足羽川ダムの諸元と実験模型

(1) 足羽川ダム本体設計原案の諸元

足羽川ダム本体は流水型ダムであるため、河床標高付近の左岸側(現況河道の位置)に河床部放流設備として高圧一面ベルマウス式放流管を1条設置しているのが特徴である。平常時にはこの河床部放流設備によって、ダム上下流の連続性を維持したまま河川水を流下させる。

また、その6m上方の河道中心に位置する常用洪水吐きで洪水調節を行う。非常用洪水吐きは基本的に左右対称に洪水吐きを配置するという方針の元に設計しており、左右に各5門（13.0m×10門）を配置している。

足羽川ダム設計原案の諸元を表-1に、足羽川ダム下流面図（設計原案）を図-4に示す。

表-1 足羽川ダム洪水吐きの諸元（設計原案）

項目		諸元
ダム貯水位	設計洪水位	EL.268.7m
	サーチャージ水位	EL.265.7m
非常用洪水吐き	天端標高	EL.265.7m
	越流幅	B=13.0m
	越流水深	H=3.0m
	自由越流	10門
常用洪水吐き	敷高標高	EL.187.0m
	高圧一面ベルマウス式放流管	B:2.2m×H:2.4m×1条
河床部放流設備	敷高標高	EL.181.0m
	高圧一面ベルマウス式放流管	B:5.0m×H:5.0m×1条
減勢工	水叩き長	L=35.0m
	減勢幅	B=20.0m
	副ダム高	h=8.0m

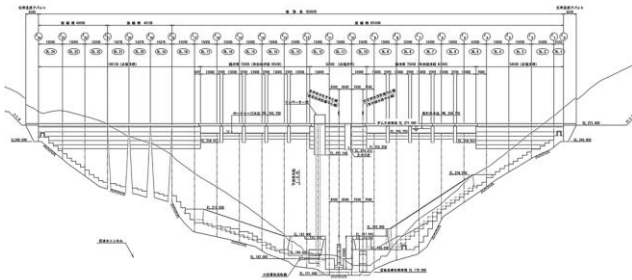


図-4 下流面図（設計原案）

(2) 実験施設および模型の諸元

実験は、国立研究開発法人土木研究所の水理実験施設で実施した。模型は形状の検討をする際に改造がしやすい構造とした。模型の改造・据付精度は±1mm以内とし、実験中もこれを維持するものとした。

製作した足羽川ダム本体の全体模型および抽出模型を図-5、図-6に示す。ダム本体の全体模型は縮尺を1/62.5に、詳細な検討を必要とする河床部放流設備等は抽出模型として縮尺を1/31.25とした。なお、全体模型においては河床部放流設備は検討対象で無いため省略して模型を製作した。また、流量等についてはフルードの相似則を用いて設定し、足羽川ダムの水理特性を再現できるよう留意した。表-2に全体模型および抽出模型における諸量の縮率を示す。なお、本稿に記載されている数字は設計及び実験中のものであり、確定値ではない。

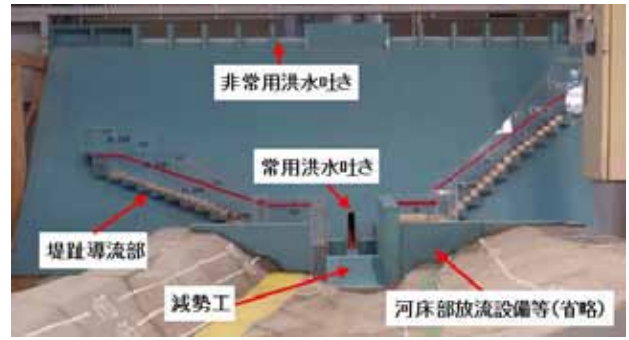


図-5 全体模型：縮尺1/62.5（設計原案，下流面）

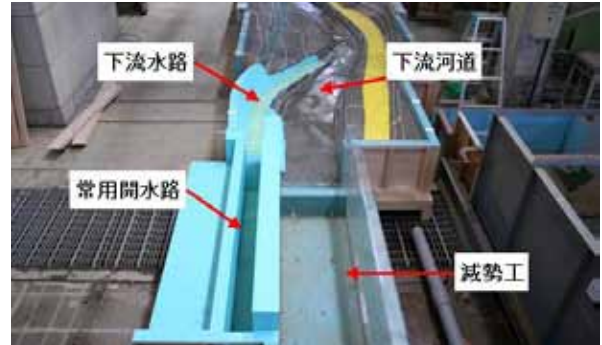


図-6 抽出模型：縮尺1/31.25（設計原案，下流方向）

表-2 諸量の縮率

(i) 全体模型(縮尺1/62.5)

諸量	次元	原型値	模型	
			縮率	模型値
水深	L	10m	1/n	1/62.5 0.16m
流量	L ³ /T	1,400m ³ /s	1/n ^{2.5}	1/30,881 0.0453m ³ /s
流速	L/T	10m/s	1/n ^{1/2}	1/7.906 1.26m/s

(ii) 抽出模型(縮尺1/31.25)

諸量	次元	原型値	模型	
			縮率	模型値
水深	L	10m	1/n	1/31.25 0.32m
流量	L ³ /T	180m ³ /s	1/n ^{2.5}	1/5,459.15 0.0330m ³ /s
流速	L/T	10m/s	1/n ^{1/2}	1/5.590 1.79m/s

3. 堤趾導流部形状の検討

足羽川ダムの非常用洪水吐き導流部の形式は堤趾導流型に分類される。この形式は一般に、レイアウトが左右対称に近いほど導流部から減勢工までの流況が安定すると言われている。足羽川ダムは完全な対称の配置とはなっていないため、導流部および減勢工での水位上昇など、流況の悪化が課題となっている。

本章では、上記の流況の悪化を改善するため、堤趾導流部において、既往実験を参考に(1)シュートブロック及び壁ブロックの配置を検討した後、(2)減勢工接続部形状の検討、(3)デフレクタ張出し長の検討を行い（図-7参照）、流況が安定する形状の抽出を行った。その後(4)改良案を反映した全体模型による実験を行い、洪水

吐きからの放流が安全に流下するか確認した。なお、対象流量についてはダム設計洪水流量 $1400\text{m}^3/\text{s}$ とした。

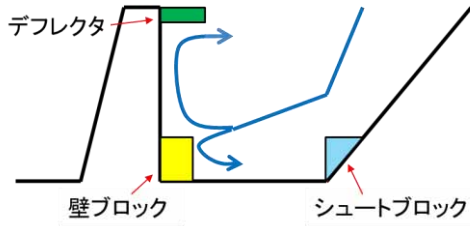


図-7 シュートブロック・壁ブロック・デフレクタのイメージ

(1) シュートブロック・壁ブロックの配置検討

図-8に示す設計原案では、左岸上流端において水位上昇、右岸上流端において水脈の飛散が確認された。これらの改善を行うため、図-9に示すように各ブロックの配置を変更した改良案を作成し、実験を行った。

図-10に実験で得られた水面形状（右岸側）を示す。赤丸で示した水位について注目すると、設計原案と比較して改良案の水位が低下していることが分かる。また、左岸側についても同様に水位の低下が見られ、ブロック配置の変更によって流況が改善されたことが分かった。

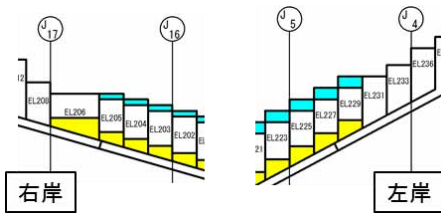


図-8 設計原案のブロック配置（上面図）

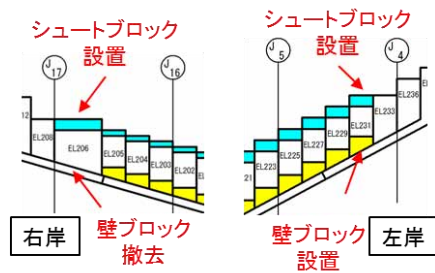


図-9 設計原案からの変更点（上面図）

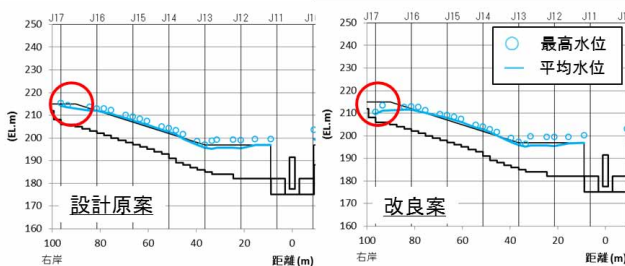


図-10 各ブロック配置による水面形状の違い（右岸側）

(2) 減勢工接続部形状の検討

堤趾導流部から減勢工への接続部における流況を改善するため、設計原案および改良案6ケースの計7ケースについて実験を行なった。

図-11に設計原案及び改良案（ケース1～ケース6）の減勢工接続部の形状を示す。また、図-12に前述の6ケースの実験結果を踏まえて作成した改良案（ケース7）の減勢工接続部の形状を示す。過去の実験結果から、減勢工接続部の水位低下が課題となっており、設計原案ではこの課題を解決するため、導流部からの接続部形状を大きな矩形とすることで対応が考えられた。一方、ケース7では、接続部を直線形とするとともに、堤趾導流壁終端に擦付け円弧を設ける等することで減勢工へスムーズに流入するよう工夫した。また、左右の偏りを解消するため右岸堤趾導流壁の終端が左岸と同位置になるよう折れ曲がり部を設けた。さらに、流況観察により減勢工形状に余裕があることが確認されたため、コスト削減の観点から副ダム高を設計原案より 1.5m 低下させた。

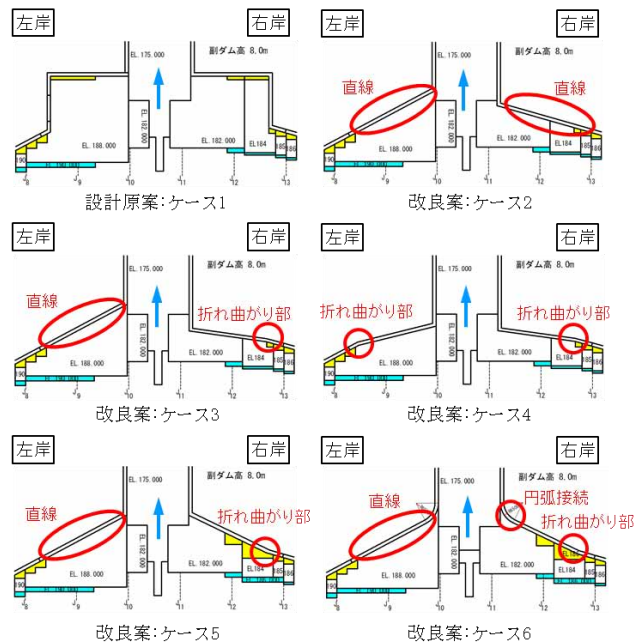


図-11 減勢工接続部の形状：ケース1～ケース6

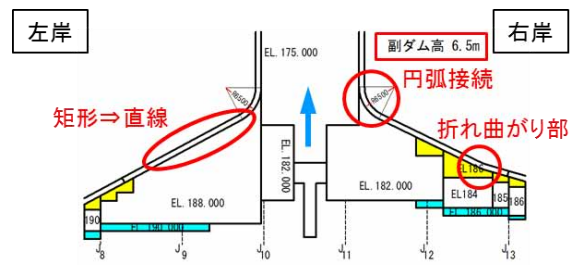


図-12 減勢工接続部の形状：ケース7

図-13、図-14に実験で得られた設計原案（ケース1）および改良案（ケース7）の水面形状を示す。設計原案では、左岸堤趾導流部終端の水位が上昇しており、減勢

工への流入流況に偏りが生じている様子がみられた。これは、右岸からの流下水脈については接続部に流入して減勢するが、左岸については減勢されずそのまま減勢工に突入するためと考えられる。一方でケース7では、原案形状と比較して水位の上昇も抑えられており、かつ流況の偏りについても改善された。

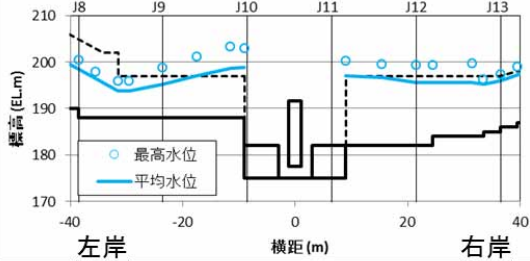


図-13 設計原案の水面形状：ケース1

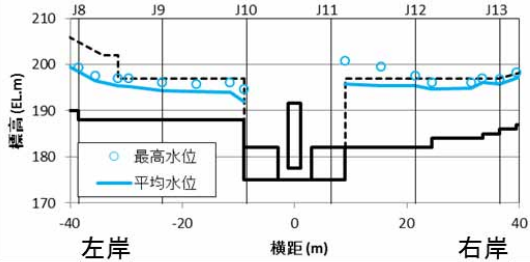


図-14 改良案の水面形状：ケース7

次に、階段状になっている堤趾導流部におけるステップ高についての検討を行った。設計原案では減勢工に接続する右岸ステップ高が左岸よりも6m低い形状となっており、これが流況悪化の要因となっていると考えられた。そこで、右岸のステップ高をEL.182m(原案高さ)～EL.188m(左岸ステップ高さ)まで2mずつ変化させたケース8～ケース10の計3ケースについて模型を作成し実験を行った。なお、減勢工接続部についてはケース7(図-12参照)の形状を用いた。

図-15に流況の改善が確認されたケース10のステップ形状と水面形状を示す。流入流況の悪化については改善されてはいるものの、設計原案高さよりも6m嵩上げする必要があり、コンクリート打設量の増加に伴う工事費用の増大が懸念される。そのため、若干の流況の偏りはあるものの安全に洪水を流下させることができるケース7を減勢工接続部の最終形状として採用することとした。

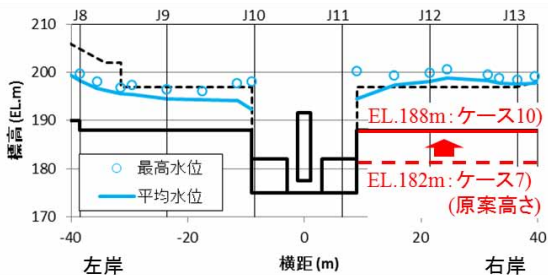


図-15 改良案：ケース10

(3) デフレクタ形状の検討

前節の減勢工接続部の検討におけるケース7の減勢工形状を基本に、デフレクタの張り出し長さの検討を行った。実験は図-16に示すように、張り出し長0.5mおよび1.0mの2ケースについて実施した。なお、デフレクタ設置高さについては、図-17に示すように設計原案の壁高勾配を基本にし壁沿い平均水位を包絡する高さとした。

検討結果を図-18、図-19に示す。張り出し長0.5mでは這い上がり水脈厚に対して張り出し長が不足しており、張り出し長は1.0mが望ましいことが分かった。

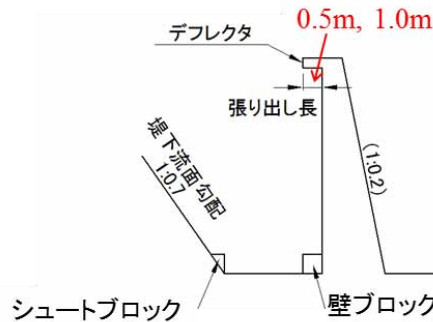


図-16 デフレクタ張り出し長さについての実験

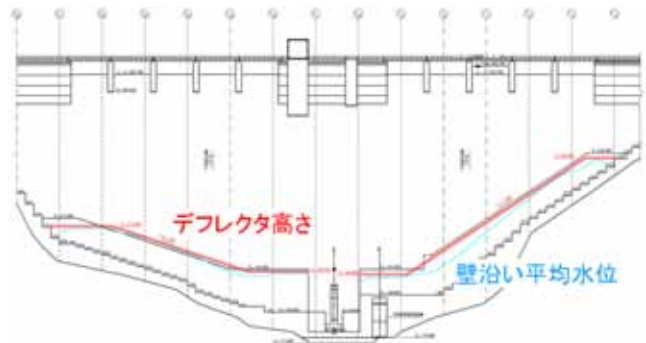


図-17 デフレクタ高さ と 壁沿平均水位の関係



図-18 張り出し長さ0.5mにおける流況



図-19 張り出し長さ1.0mにおける流況

(4) 改良案形状における堤趾導流部，減勢工の流況確認

(1)~(3)における検討で得られた改良案を最終の改良案形状として，堤趾導流部および減勢工の流況を確認した。図-20，図-21に改良案形状の概要を示す。堤趾導流部については減勢工への流入流況をスムーズにすることを目的に，導流壁線形をストレートにした上で，右岸導流壁の終端を左岸と同じ位置に変更し，導流壁終端は擦り付け円弧形状としている。また，堤趾導流壁には張出長1.0mのデフレクタを設けた。減勢工は過去の実験結果から常用洪水吐きの吐き口にサイドブロックを設けることとし，副ダム高さは6.5mとした。

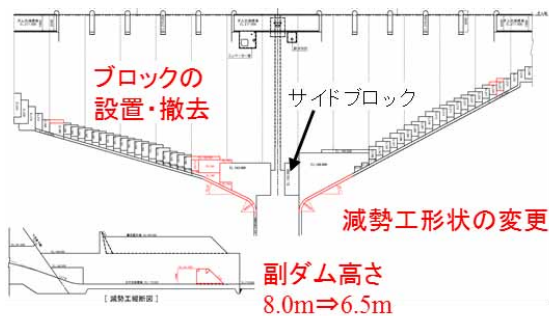


図-20 改良案形状の概要 (平面図)

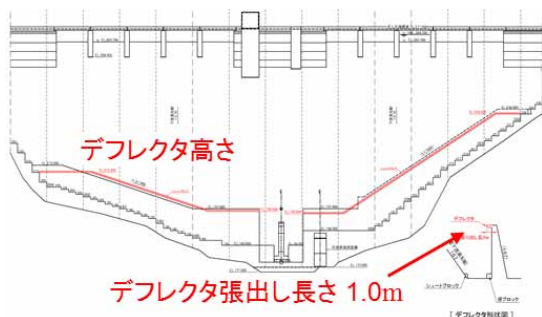


図-21 改良案形状の概要 (下流面図)

放流条件をダム設計洪水流量 $1400\text{m}^3/\text{s}$ (ケース1)，基本方針流量 $180\text{m}^3/\text{s}$ (ケース2) の2ケースとして実験を行った。

図-22～図-24にケース1における各設備の流況を示す。堤趾導流部はブロックおよびデフレクタにより水位上昇が抑制され，減勢工についても設計壁高EL.195mに収まっていることがわかる。また，ケース2についても実験の結果，流況が安定しており，問題なく流下していることを確認した。



図-22 堤趾導流部の流況(右岸下流面，流量: $1400\text{m}^3/\text{s}$)



図-23 堤趾導流部の流況(左岸上面，流量: $1400\text{m}^3/\text{s}$)

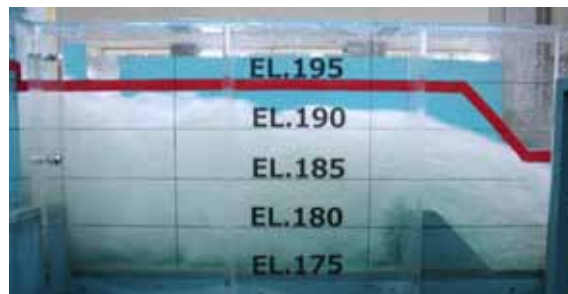


図-24 減勢工の流況(右岸から，流量: $1400\text{m}^3/\text{s}$)

4. 河床部放流設備等の流況についての検討

足羽川ダムの河床部放流設備は開水路流となるように設計されている。また，河床部放流設備の下流には，図-25に示すように常用開水路および下流水路が配置されており，上流からダム本体に到達した河川水はこれらを通して下流河道へ流下する構造となっている。これらについて抽出模型を用いて実験を行い，設計原案における河床部放流設備等の流況を確認した。実験は，流量を $4\text{m}^3/\text{s}$ (魚道対象流量)， $8\text{m}^3/\text{s}$ ， $20\text{m}^3/\text{s}$ ， $40\text{m}^3/\text{s}$ ， $70\text{m}^3/\text{s}$ (整備計画流量)， $180\text{m}^3/\text{s}$ (基本方針流量) と順次増加させて行なった。

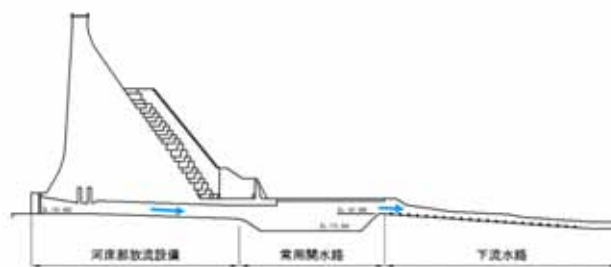


図-25 河床部放流設備，常用開水路及び下流水路の区分

実験の結果， $4\text{m}^3/\text{s}$ までは常用開水路の流れが安定しており魚類の遡上に問題のない流況であった。 $8\text{m}^3/\text{s}$ ~ $70\text{m}^3/\text{s}$ にかけて流量が増加するにつれて常用開水路終端部での背水によって水位が上昇するとともに，河床部放流設備についても常流となり水位が上昇した。基本方針流量 $180\text{m}^3/\text{s}$ に達すると図-26，図-27に示すように常用開水路終端において跳水が発生し背水による水位の

上昇が顕著となることがわかった。また、このとき水位が河床部放流設備放流管および常用開水路の設計高を超えており、放流管内が管路流となることが確認された。これにより洪水時に放流管内に必要な給気がなされず、ゲートが閉まらなくなる等のリスクが考えられるため、設計原案においては安全な放流が出来ない形状となっていることがわかった。

このように、河床部放流設備等の施設設計については課題が残っており、今後の水理模型実験により改良形状を検討する必要がある。



図-26 河床部放流設備内の流況 (流量:180m³/s)

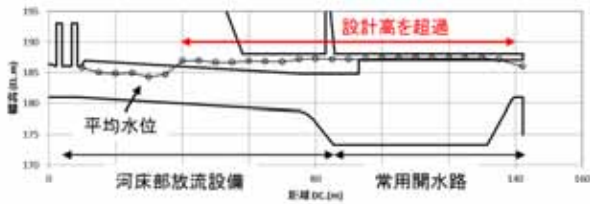


図-27 河床部放流設備の水面形 (流量:180m³/s)

5. まとめ

机上の設計では確認が難しい洪水吐きの水理特性について、流況等の把握と改良案の提示を目的に水理模型実験を行なった。

堤趾導流部の検討では、導流部や減勢工接続部の形状を変化させることで、洪水を安定した流況で下流へ流すことができることがわかり、ダム本体設計における堤趾導流部形状の検討を完了させることができた。

一方、河床部放流設備等における検討では、施設設計について課題があり、今後より詳細な検討が必要であることがわかった。

また、机上の検討で設計された形状による水理模型実験において、流況が安定しない場合や水位が上昇するケースを実際に観察することができた。ダムのような大規模でかつ複雑な形状の水理構造物においては、これら一連の水理模型実験による設計へのフィードバックが不可欠であるということが再確認できた。

今後足羽川ダム本体の設計が終盤をむかえるが、残る検討事項についても机上の設計と模型実験を並行して行い、それぞれの結果を反映し合うことで設計精度の向上を図っていく。

謝辞：本論文の執筆にあたり、ご多忙の中適切な助言等頂きました。国立研究開発法人土木研究所の石神上席、宮脇特任研究員、宮川主任研究員に厚く感謝の意を表します。また、2017年4月~2018年3月の一年間、足羽川ダム工事事務所において熱心に指導頂きました伊藤課長、山崎係長を初めとする事務所職員の皆様に心から感謝致します。

※著者の略歴：2017年4月~2018年3月までダム本体の実施設設計等の業務に従事。2018年4月に現所属へ異動。

参考文献

- 1) 田中 幹 (2017)：足羽川ダム水理模型実験中間報告について