

# 軟弱地盤上の堤防整備(三日市地区)における 施工効率向上の取り組みについて

石井 啓介<sup>1</sup>

<sup>1</sup>近畿地方整備局 大和川河川事務所 調査課 (〒582-0009大阪府柏原市大正2-10-8)

由良川流域では、上流域で河川勾配がきつく中下流域で緩くなるという河川条件から、これまで洪水によって中下流域で浸水被害が頻発している。とくに昭和28年の台風13号や昭和34年の伊勢湾台風、近年では平成16年の台風23号や平成25年の台風18号等によって甚大な浸水被害が発生した。このような背景のもと、中流域及び下流域において連続堤防や宅地嵩上げ、輪中堤防の整備が急ピッチで進められている。本報文では、築堤整備の早期の効果発現を目的とした急速盛土の可能性について、試験盛土によって検証した結果を報告する。あわせて、軟弱地盤上の地盤対策工の留意点を報告する。

キーワード 試験盛土, 急速施工, 堤防安定性, 地盤変状, i-Construction

## 1. はじめに

由良川は、その源を京都府、滋賀県、福井県の境の三国岳(標高959m)に発し、福知山市内を流下し舞鶴市と宮津市の市境において日本海に注ぐ幹川流路延長146km、流域面積1,880km<sup>2</sup>の一級河川である(図-1)。由良川は、上流域で河川勾配がきつく中下流域で緩くなること(図-2)、また下流域では川幅が狭くなる狭窄部があること等から、浸水被害が発生しやすい地形となっている。近年では、平成25年18号台風で福知山地点で観測史上最高の水位に達し甚大な被害が発生した(表-1)。

このような状況を背景に、福知山河川国道事務所では堤防整備(連続堤、輪中堤の整備)や周辺家屋の浸水対策(宅地嵩上げ)を実施している。

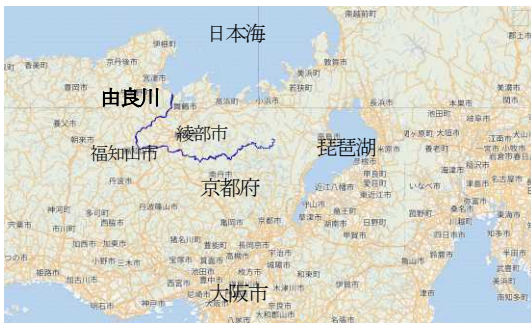


図-1 由良川の位置

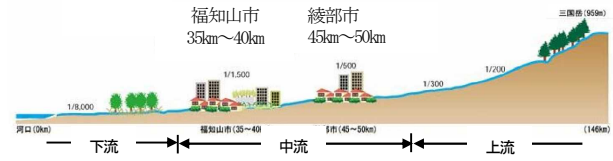


図-2 由良川の縦断勾配<sup>1)</sup>

表-1 由良川流域の既往浸水被害<sup>2)</sup>

発生年月日	原因	洪水流量 (m <sup>3</sup> /s) 福知山地点	被害の状況
昭和28年9月25日	台風13号	6,500	死者・行方不明者37人、床上浸水5,307戸、床下浸水2,458戸
昭和34年9月26日	台風15号	4,384	死者・行方不明者3人、床上浸水4,455戸、床下浸水2,450戸
昭和36年10月28日	台風26号	2,402	床上浸水767戸、床下浸水1,540戸
昭和40年9月17日	秋雨前線 台風24号	2,833	床上浸水411戸、床下浸水1,534戸
昭和47年9月16日	台風20号	4,063	床上浸水527戸、床下浸水1,024戸
昭和57年8月1日	台風10号	3,636	床上浸水40戸、床下浸水65戸
昭和58年9月28日	台風10号	3,608	床上浸水23戸、床下浸水49戸
平成16年10月20日	台風23号	5,285	死者5人、床上浸水1,251戸、床下浸水418戸
平成23年9月21日	台風15号	3,188	床下浸水4戸
平成25年9月16日	台風18号	5,390	床上浸水1,102戸、床下浸水500戸
平成26年8月16日	秋雨前線 (集中豪雨)	3,530	床上浸水1,586戸、床下浸水1,712戸(弘法川・法川流域)

このような背景の中、福知山河川国道事務所では緊急的な治水対策を実施しており、下流部では輪中堤を整備している。このうち、軟弱地盤が厚く分布する三日市地区では、整備効果の早期発現、施工効率向上を目的として、急速施工による試験盛土を実施し、堤防の安定性や周辺地盤への影響について検討を行った。本稿では、そ

の結果について報告する。

## 2. 試験盛土箇所の地盤状況

試験盛土実施箇所である三日市地区の輪中堤計画位置を図-3に、地盤状況を図-4に示す。

当地区では、沖積土層がGL-25m～-35mまで分布している。層相は粘性土(Ac)と砂質土(As)の互層である。試験盛土箇所は、この中でもとくに粘土層が厚く分布し、圧密沈下量及び安定性に対して不利な箇所を選定した。なお、試験盛土箇所の周辺は民家や埋設管等の保全物件がない場所である。

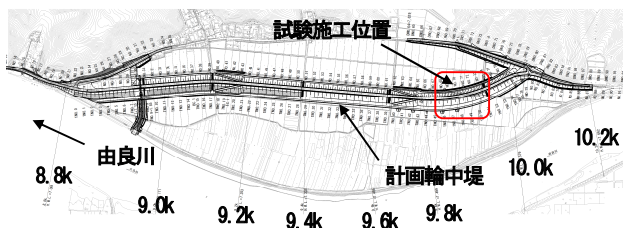


図-3 三日市地区 (右岸8.8k～10.2k)

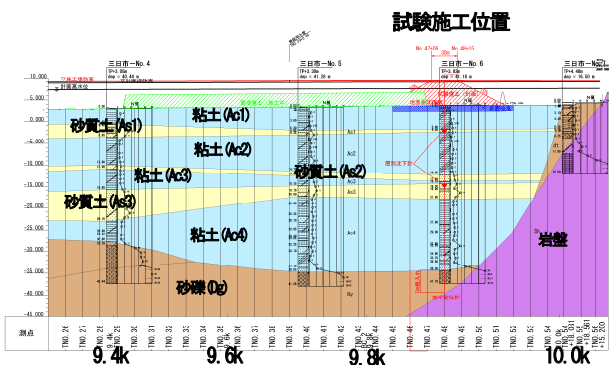


図-4 土質断面図 (三日市地区上流部)

## 3. 築堤に伴う対策工の必要性

輪中堤は現在の地盤高からおよそ6m盛土される計画である。設計時の対策工検討結果を以下に示す。

### (1) 圧密沈下

圧密沈下量は、一次元圧密計算で求めた。軟弱層厚が薄い山際を除けば、圧密沈下量はおよそ0.8m～1.0mとなる(表-2)。目標値とした残留沈下量30cmまでは、盛土後1年以内となることから、沈下対策(圧密促進工法、地盤改良工法等)は必要ないと判断した。

なお、残留沈下量の目標値は、当該地区の堤防余盛量(法肩地点)を30cmにしていること、及び河川土工マニュアルでは当該地区の盛土高の場合、30cm～40cmが標準的な余盛量となるためである。

表-2 圧密沈下量一覧

検討測点	No.2	No.7	No.17	No.28	No.39	No.48	No.55	
最終沈下量(cm)	28	92	90	82	96	93	17	
圧密度 U=90%	沈下量 (cm)	25	83	81	74	87	84	15
	残留沈下量 (cm)	3	9	9	8	9	9	2
	時間(day)	275	481	423	420	605	596	173
盛土完了1年後	沈下量 (cm)	27	83	83	75	81	79	17
	残留沈下量 (cm)	1	9	7	7	15	14	0
対策工の要否	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	

### (2) すべり破壊、パイピング破壊

堤防の安定性については、「河川堤防の構造検討の手引き、H24.2」に準じて検討を行った。計算結果を表-3に示す。

なお、計算地点は比較的透水性が高いAs1層が浅い位置に厚く堆積しており、パイピング破壊やすべり破壊に対して最も厳しい断面(No.17地点、距離標9.1k付近)を選定した。

表-3 安定計算結果一覧

検討地点	ケース名	すべり安全率				備考	
		川裏		川表			
		照査基準	安全率	照査基準	安全率		
No.17	平水位	現況	0.85	1.0	0.86		
		対策工	1.22		1.20		浅層改良1.0m
	洪水時	現況	0.73	1.0	0.74		
		対策工	1.39		1.43		
検討地点	ケース名	局所動水勾配					
		鉛直iv	水平ih	照査基準			
No.17	洪水時 現況	0.19	0.33	0.5以下			

計算の結果、すべり破壊に対して対策工が必要と判断された。パイピング破壊(局所動水勾配)に対しては対策不要となった。

対策工は、せん断強度を増加させる目的で置換え工(深さ2m置換え)と浅層改良工の2工法が選定され、比較検討の結果、地盤改良(セメント改良)を最適工法として選定した。置換え工法は、発生土の運搬・処分費が必要となることから、経済性の面で大きく不利となった。

## 4. 試験盛土の観測計画と施工状況

### (1) 観測機器の設置

観測機器は、安定管理、圧密沈下、周辺地盤の変状確認を目的として設置した。表-4に観測機器とそれぞれの目的を示し、以下に設置平面図、断面図を示す。

表-4 観測機器一覧と目的

計器	目的
沈下板	盛土厚の管理、盛土速度のコントロールを行う。また、変位杭と併せて安定管理図の作成を行う。
変位杭	安定管理のデータとして活用する。また、変位の及ぶ影響範囲も把握する。
層別沈下計	どの地層まで沈下が発生するかを把握するために設置する。沈下解析の検証データにも活用できる。
地中変位計	深部の変状状況を把握することを目的とする。盛土直下は地盤改良を実施するため、変位杭では把握できない深部での地盤変形が懸念される。

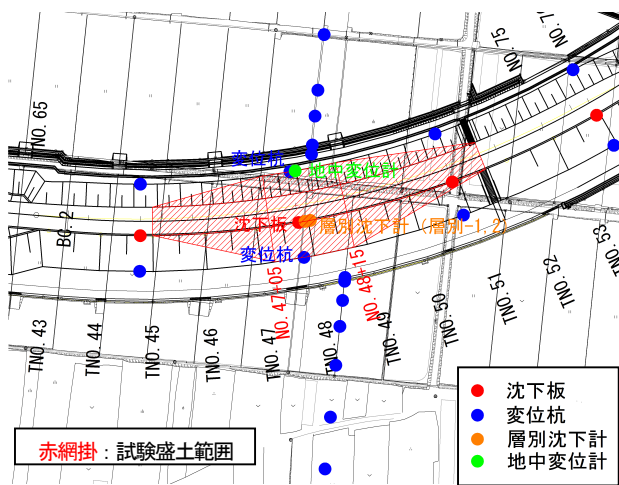


図-5 観測機器の設置平面図

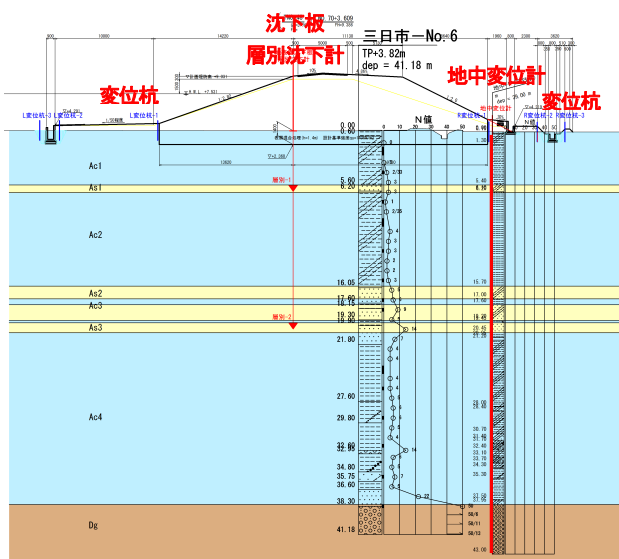


図-6 観測機器の設置断面図 (測点No. 48)

(2) 試験盛土の施工

通常、軟弱地盤における盛土速度は $v=10\text{cm/day}$ 以下であるが、表層改良を実施していること、及び早期の築堤完了を目的として、盛土速度は最大 $30\text{cm/day}$ とした。ただし、実際には荒天の影響や作業休止日の確保、その他の調整もあり盛土全期間で平均すると $v=15\text{cm/day}$ 程度となった。

なお、安定管理図上危険な状態になった場合は盛土を休止する、あるいは速度を落とす対応とした。施工状況は以下のとおりである。

- ・盛土高さ：6.3m (図-7参照)
- ・盛土速度：最大 $30\text{cm/day}$
- ・軟弱地盤対策：浅層セメント改良  
(深さ1.4m, 改良強度： $q_u=140\text{kN/m}^2$ )
- ・改良方法：バックホウによる現地攪拌混合
- ・盛土材料：粘性土質砂質礫
- ・締固め度 $D_c$ ：平均90% (下限値80%)
- ・動態観測頻度：毎日 (盛土施工日)

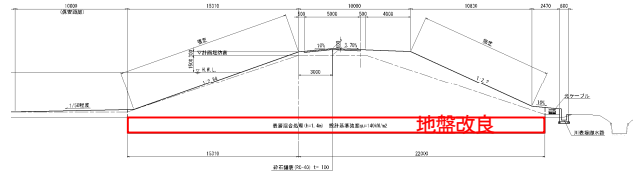


図-7 試験盛土一般図

5. 試験盛土結果

松尾・川村の管理図等で管理した結果 (図-8)，盛土法尻の水平変位量等小さく、安定して盛土を完了した。松尾・川村の管理図による $P_j/P_f$ は0.6程度であり、すべり安全率は $F_s=1.66$ 程度と推察された。設計時に検討したすべり計算では安全率が $F_s=1.22$ であったことから、想定よりも安定度は高かった。なお、地中変位計の水平変位は $\pm 13\text{mm}$ 以内で変位量も抑制されていた。

沈下量は、盛土立ち上がり時で $40\text{cm}$ 程度であり、双曲線法による最終沈下量は $92\text{cm}$ 程度と推察された。当初設計時の沈下量 (表-2) と概ね整合する (図-9) が、実際にはAc1層をセメント改良として置き換えているため、想定よりもやや大きな圧密沈下が発生している。

周辺地盤の変位量は、堤防から山側で $35\text{m}$ 、川側で $23\text{m}$ 程度の範囲である (図-10)。軟弱粘土層厚がおよそ $30\text{m}$ であるため、影響範囲は軟弱層厚の $0.8\sim 1.2$ 倍となった。一般的に軟弱層厚の2倍程度が影響範囲と言われていることから、想定よりも地盤変位量が小さい結果となった。

なお、保全物件に対する地盤変状の影響は、水田に対しては問題がないものの、盛土に近接して家屋がある

場合は注意が必要である（一部許容値をオーバー）。

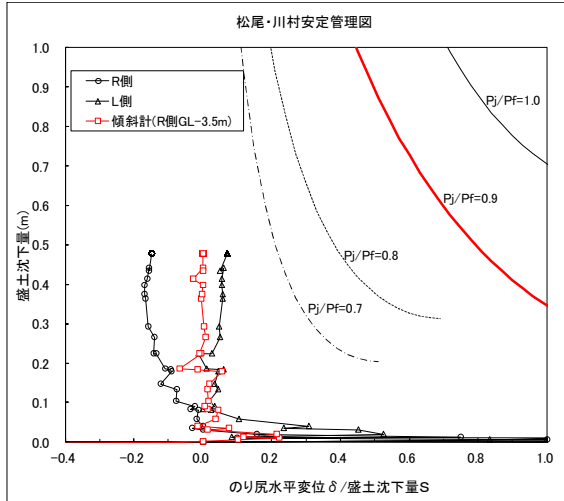


図-8 松尾・川村の安定管理図 (No. 48断面)

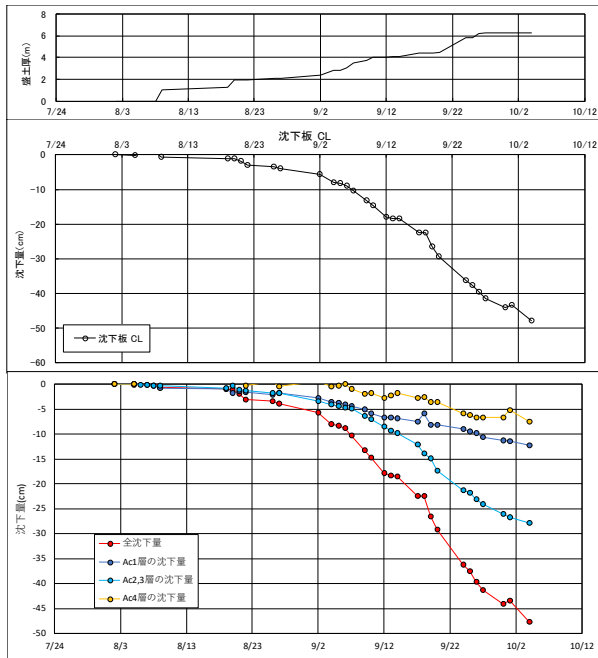


図-9 盛土厚と沈下量 (盛土中央)

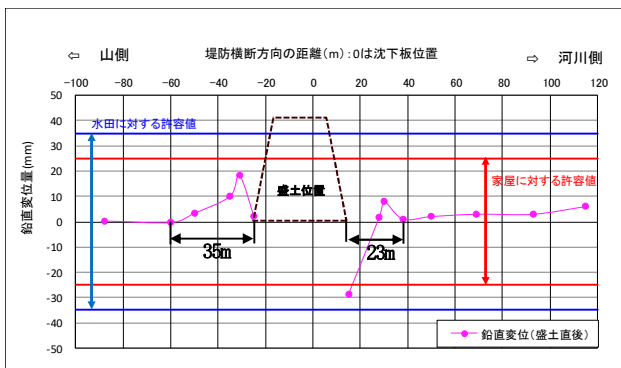


図-10 周辺地盤の鉛直変位量 (盛土立ち上がり時)

## 6. 本施工での施工効率化

試験盛土の結果，急速施工が可能と判断できた．本施工でのさらなる効率化として以下の事項を実施した．

### (1) 動態観測の効率化と役割分担

施工時の動態観測は堤防延長方向に60mピッチで安定管理を実施し，その他，近接する保全物件（家屋，府道）や田面について変状観測を実施した．由良川下流域は軟弱地盤が厚いため，他の地区では詳細な地盤変状の把握を目的として，ほぼ全ての観測地点で3次元計測を実施していたものの，当地点では必要な箇所のみ3次元計測を行い，その他の地点では鉛直方向のみの計測を行った．3次元計測を実施した箇所は，盛土安定管理に用いる盛土中央及び盛土端部の観測点，及び家屋の観測点（合計120点の内，80点）とした．

また，観測やデータ整理，安定性の判断等を施工業者や設計コンサルで作業分担を行うとともに，観測データのダブルチェックを行った（図-11）．

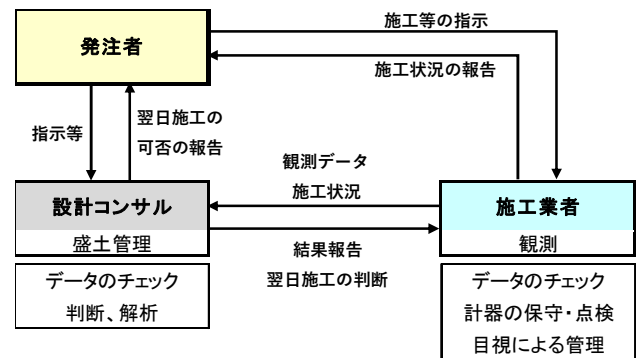


図-11 施工時の役割と監視体制

### (2) 搬入路の増設

築堤材の現地搬入は，試験盛土前では下流部の1箇所から，日当たり100台強のダンプトラックで搬入を行っていた．しかしながら，急速施工を実施し1期で盛土を完了させるには，日当たり300台から400台のダンプトラックによる搬入が必要であった．スパッツ（タイヤ洗浄機）の処理能力が日当たり最大300台であること，及び当地区までのアプローチ道路が狭小でダンプが離合できないことが大きな課題となった．

この課題に対して，地区上流部の府道から築堤箇所への仮設道路を整備し，当初下流部のみであった搬入路を上流部にも設けることで，ダンプトラックの搬入可能台数を増やした．実績として，日350台の築堤材搬入を行い急速施工を行った．



## 7. 地盤改良に関する留意点

今回、軟弱地盤対策工としてセメントによる地盤改良を行った。今回の試験盛土及び隣接地区で生じた問題点も含め、以下に地盤改良における留意点を記載する。

### (1) 地盤とのなじみを考慮した対策工

当地区では低強度の地盤改良とした。地盤改良の比較検討においてはコストや施工性を比較し、改良強度や改良厚さ等を選定するが、今回は地盤とのなじみに留意して低強度改良を選定した。低強度とすることで地盤変形に追随（変形）し、未改良部との接触面で隙間が生じにくいこと、及び改良体の下位に分布する軟弱粘土層の強度も上げることができる。地盤改良の強度を大きくした場合は、改良部の剛性が高いことから変形が小さく、下位の粘土層の圧密沈下が抑制され強度増加も抑制される可能性がある。とくに、改良体の厚さが薄い場合は、盛土終了後、想定以上の外力が発生し改良部が破壊した場合、大きなすべり破壊が発生するリスクがある。

### (2) 対策工境界のクラックの発生

当地区の地盤改良は、浅層改良ではあるが盛土下全幅改良を実施した。他の地区では、家屋等の保全物件の近接状況によって地盤改良の仕様を部分的に変更しているケースがある。このような施工境界では、築堤後に圧密沈下量の差異が発生し、堤体にクラックが生じる可能性がある（写真-1）。とくに堤防横断方向に連続するクラックが発生した場合、堤外側から堤内側への水みちとなるため注意が必要である。対策としては、プレロード期間の確保や対策仕様の均一化、地盤改良境界における緩衝区間の設置等が挙げられる。



写真-1 地盤改良の境界に発生したクラック（隣接工区）

## 8. まとめ

今回の試験盛土の結果、軟弱地盤が厚い地区においても盛土速度30cm/dayで安定した施工ができた。この結果、当地区の残りの築堤区間においても盛土速度を早くすることが可能となり、次回出水期までに築堤が完了できることとなった。

いわゆる軟弱地盤上での盛土施工においては、今回のように状況に応じ沈下を許容する改良形式を選定し、適切な動態観測をすることで工期の短縮を図ることが可能となる。その他、施工計画の工夫や安定した盛土材の確保、ICT技術を活用した品質の高い施工等によって、施工スピードや生産性向上、コスト縮減を図ることが可能と考えられる。

### 参考文献

- 1) 近畿地方整備局：由良川水系河川整備計画 H25.6
- 2) 近畿地方整備局：平成 28 年度第 3 回事業評価監視委員会