

# 大和川遊水地におけるセメント改良土を用いた築堤施工について

川崎 海輝<sup>1</sup>

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

大和川河川事務所では治水対策として遊水地整備を計画しているが、遊水地整備では貯水量確保のために行う遊水地内掘削により大量の粘性土が発生する一方で、周囲堤の整備等で多くの築堤材料が必要となる。そのため、土砂の有効利用の観点から、粘性土を築堤材料として利用出来ないかの検討を行い、セメント改良して再利用する計画を立案したので報告する。

キーワード 遊水地, 築堤材料, リサイクル

## 1. 大和川流域の概要

大和川は、その源を奈良県桜井市の笠置山地に発し、低平地である奈良盆地を放射線状に広がる佐保川、曾我川等の支川を合わせ、亀の瀬狭窄部を経て河内平野に入り、石川と合流して浅香山の狭窄部を通過し大阪湾に注ぐ。その流域と周辺地域には、近畿の行政・産業の中心地である大阪市、堺市をはじめ、柏原市、奈良市、橿原市などの主要都市が存在し、JR大和路線や近畿自動車道、西名阪自動車道等の重要な交通網や、大阪港や堺泉北港等の阪神工業地帯の中枢港湾を含んでいる。また、世界遺産でもある法隆寺や平城京に代表される数多くの寺社仏閣、史跡、名勝が存在し、数多くの観光客が集まる。

(以下、河床勾配や河道形態を踏まえ、山地から奈良盆地に至るまでを「上流部」、奈良盆地から亀の瀬狭窄部までを「中流部」、大阪平野から河口までを「下流部」という。)



図-1 大和川流域図

## 2. 大和川流域の特徴

奈良盆地では上流部から放射線状に広がる多くの支川が本川に集中して合流するため、河川のはん濫や内水被害が発生しやすい地形となっている。さらに、昭和30年代後半から流域の都市化が急速に進み、水田・ため池等の保水機能が減少している。また、亀の瀬狭窄部の上流付近は、勾配の緩い地形特性と狭窄部の堰上げにより、洪水時に本川水位が上昇し、洪水はん濫や内水浸水等の水害を受けやすい地形的特性を有している。下流部は、柏原地点から北上し淀川と合流していたが、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人工河川となっており、大阪平野の高い位置を流れている。

大和川の中流部はその災害の発生しやすい特性上、過去に度々浸水被害を伴う災害が発生しており、特に1982(昭和57)年8月洪水では奈良県域で甚大な浸水被害を受け、浸水家屋数が1万戸を超える戦後最大の洪水被害となった。

また、近年においても2007(平成19)年、2017(平成29)年の洪水等で、100戸を超える浸水被害が発生しており、特に亀の瀬狭窄部上流や奈良盆地の地盤が低い地域での浸水を繰り返している。

## 3. 大和川の整備予定

大和川水系河川整備計画(2003年11月)においては、上下流及び本支川の調整を図り、治水安全度のバランスを確保しつつ段階的かつ着実に整備を進め、戦後最大となる1982(昭和57)年8月と同規模の洪水が発生しても、洪水氾濫による浸水被害を防止し、内水による浸水被害を軽減させる事を目標としている。

大和川の中流部に関してはというと、当面亀の瀬狭窄部の開削は行えない状況であることを踏まえ、下流部への負荷を増大させずに河川改修を進める必要があることから、築堤や河道掘削等とあわせて、大和川遊水地の整備や流域全体での雨水貯留浸透施設の整備などの「貯める対策」を進めている。

大和川遊水地（保田、窪田）整備や藤井・立野南地区の河道掘削は令和7年度の完成を目指しているが、整備期間内に約70万m<sup>3</sup>の土砂が発生する。これらの土砂をいかにうまく利用したり、搬出するかマネジメントが非常に重要であり、周囲堤の築堤材に利用するほか、三郷町広域防災拠点整備箇所への搬出調整等を行っている。

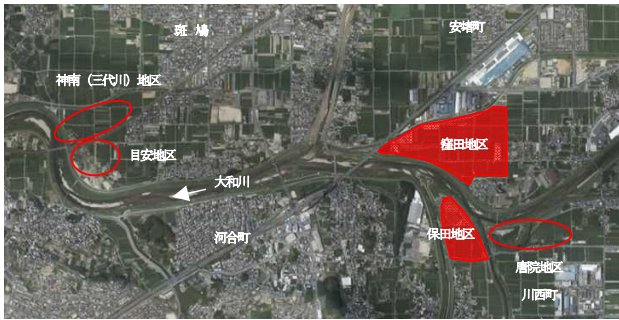


図2 遊水地位置図



図3 保田遊水地



図4 窪田遊水地

#### 4. 土砂の性状及び課題

掘削土砂の再利用にあたって、掘削土砂の性状確認を

行った。要求性能は表の基準書等に準拠される。

要求性能と調査結果は以下のとおりとなった。

大和川中流域で発生する土砂について、河床掘削材料の一部はブルドーザーに必要なコーン指数が確保できないものもあるが、含水比や粒度など概ねそのまま使用できるものであり、第1種建設発生土に該当する。

しかし、遊水地内から発生する池底掘削材料は、粒度分布が悪く、確保されるコーン指数も低い、さらに含水比が高いため、単体で使用できない第4種建設発生土に該当する。

築堤材や防災拠点盛土材にはそのまま利用できない結果が得られた。

表-1 基準書等

項目	基準書名・協定署名	発行元
河川堤防の築堤材料の品質	河川土工マニュアル	(財) 国土技術研究センター
造成盛土材料の品質	公共建設発生土受入要領	三郷町役場
造成盛土材料の品質	公共住宅建設工事共通仕様書	公共住宅事業者等連絡協議会
造成盛土材料の品質	宅地土工指針(案)	(独) 都市再生機構
建設機械の走行	道路土工要綱	(社) 日本道路協会
有害物質の含有量	土壌汚染対策法	-
質的安全性	河川堤防の構造検討の手引き(改訂版)	(財) 国土技術研究センター
斜面安定性	宅地防災マニュアルの解説	ぎょうせい

表-2 土質調査結果

項目	最大粒径	要求性能					建設発生土の区分	発生土の品質の等級	計画上の利用	
		粒度分布	腐植土率(%)	コーン指数(kN/m <sup>2</sup> )	含水比(%)	土質特性				化学性状
要求性能値	100mm以上	矯正粒度分布以内	21.5mm以上の割合40%以下	500kN/m <sup>2</sup>	40%程度以下	有機質土、ベントナイト、多数の粘土シルト等を用いない	-	-	-	
土質試験的評価	地区名	要求性能に対する判定								
	藤井・立野南地区	河床掘削土	21.5	矯正範囲内	0.0	919	17.0	含まない	第4種建設発生土	土質改良土(石灰改良)
	窪田地区	遊水地内粘性土	判定	OK	OK	OK	OK	OK	第4種建設発生土	のどが村(土質改良)
	保田地区	遊水地内粘性土	判定	OK	NG	OK	NG	NG	OK	第4種建設発生土
保田地区	遊水地内粘性土	判定	OK	NG	OK	NG	NG	OK	第4種建設発生土	のどが村(土質改良)

#### 5. 建設発生土改良方法の検討(1)

これらの土砂を全て処分して購入土を使用すると莫大なコストがかかり、リサイクルの観点からもこのましくないため、この土砂を何とか使えないかと検討を行った。

土砂改良方法として大きくは、「水切り」、「天日乾燥」、「良質土混合」、「安定処理等」の4工法が考えられるが、水切り、天日乾燥による工法は、長期間の仮置きヤード確保が必要となるうえ、改良後の強度発現や改良期間の不確実性が高いことから、良質土混合法及び安定処理等(セメント系改良)に着目して検討を行った。

改良材は、高含水比の粘性土であれば、改良方法として石灰も考えられるが、石灰系固化材は、その特徴である化学反応(ポゾラン反応)に長時間を要するため、短期施策事業には不向きであることから不採用とした。

計画地点で盛土するにあたり、改良工法も含めて考えられる案は購入土と現地発生土の改良、セメント系材料と現地発生土の改良、現地発生土は使用せず全て購入土とする案となる。これらの3案について施工性や経済性などの視点から評価した。比較検討した結果、セメント系材料と現地発生土の改良が経済的に優れる結果であり、且、施工性及び環境性も購入土と現地発生土の改良に比べて有利であること。また、周囲堤や広域防災拠点整備（造成盛土）といった常に流水にさらされない利用場所が限定的であり、全国的にも事例がいくつかあるのでセメント系材料との改良（案2）を採用することで方針決定した。

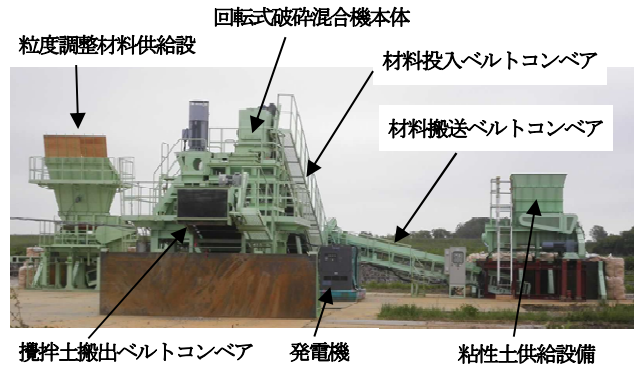


図-6 回転式破碎混合工法プラント設備<sup>1)</sup>

表-3 改良工法の比較表

評価項目	案1		案2		案3	
	購入土と現地発生土の改良		セメント系材料と現地発生土の改良		現地発生土は使用せず全て購入土	
施工性	工法の特長		工法の特長		工法の特長	
	施工性	所定の比率で混合するため、ヤード内の土砂量の適切な管理が必要となる。混合土砂の強度が不足する場合は、混合比率の見直しや追加で固材添加等の処置が必要となる。追加の添加が必要となる場合は、固材貯蔵設備や供給設備などを新たに設置する必要があり、工程遅延となる。	◎	物性値を管理する材料が1材のみであり、施工管理が比較的容易である。改良後に強度発現のための養生(5日間)が必要となる。	◎	遠方からの運搬が想定されるため、運搬距離の増大に伴い、多くのダンプトラックが必要であり、工程遅延につながる。
環境性	混合改良をしない粘性土が土配計面上の余剰分になるため、残土処分が必要となる。	○	粘性土を余剰することなく利用できるため、残土処分は不要である。	◎	運搬距離が長い場合、土砂運搬トラックのCO2排出量が多い。また、粘性土は全て残土処分となる。	△
改良度の品質	改良土に改良材が含まれないため、通常の堤防と同等の品質となる。	◎	改良土のpHは塩基性となるため、植物の生育速度が遅い。塩基度も固材反応が確認しないことを確認するため、モニタリングが必要となる。	△	築堤材料に改良材が含まれないため、通常の堤防と同等の品質となる。	◎
経済性 <sup>※1</sup>	5,794百万円	△	2,950百万円	◎	5,311百万円	△
結果	-		採用		-	

※1 経済性は残土処分や改良機搬送費、中流部の土砂運搬計画等を考慮

表-4 回転式破碎混合工法の特徴

項目	工法の特徴
適用土砂材料	<ul style="list-style-type: none"> <li>・粒径 200mm 以下の材料</li> <li>・一般的な砂質土・粘性土に加えて、高含水比粘性土、軟岩、風化岩、泥土</li> </ul>
全国の施工実績	国土交通省河川分野の実績は約 70 件である。うち、高含水比粘性土をセメント系固材により改良した事例は、以下の 4 件である。 【河川堤防】 江別太築堤他工事 【遊水地周囲堤】 江別太遊水地攪拌土造成工事 【遊水地周囲堤】 北村遊水地周囲堤試験盛土他工事 【遊水地周囲堤】 晩翠遊水地西 15 号線周囲堤工事

6. 建設発生土改良方法の検討 (2)

セメント系改良工法は、万能改良機による建設発生土再利用システム工法と回転式破碎混合処理工法が考えられる。今回発生する土砂性状は、高含水比であること、さらに、施工機械の汎用性が求められることから、回転式破碎混合工法を採用する。

回転式破碎混合工法の方が経済面で劣るものの、高含水比粘性土に対応可能であり、インパクトチェーンにより均一に攪拌が可能。また、工事の手戻り防止ができ、工程遅延回避にもなる。

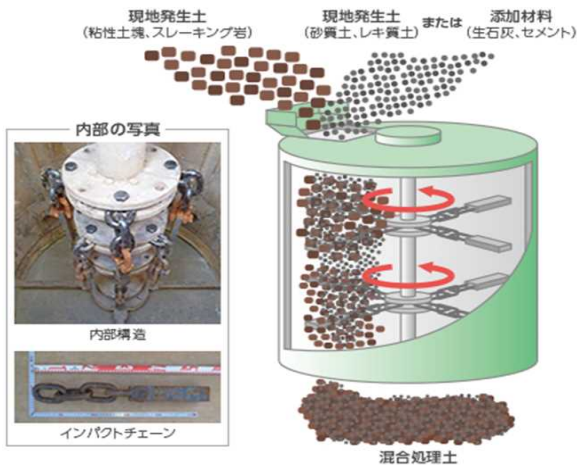


図-5 回転式破碎混合工法

7. 土木研究所へのヒアリング

セメント系改良工法を使用するにあたり、土木研究所に留意すべき手法等のヒアリングを実施した。ヒアリング結果は以下のとおり。

- ・河川堤防として利用する場合は改良強度をあげすぎないよう現地材料を利用した配合試験をして添加量を決定すべき。
- ・砂系の建設発生材は、改良すれば固まりすぎるため、ユーン指数が所定の値を満足していなくてもそのまま流用するのがよい。
- ・周囲堤の直下に砂質土層が分布する場合は、基礎地盤の漏水が懸念されるため、堤体直下の砂質土を掘削し除去する。

8. 配合添加量の設定

(1) 配合試験

土研へのヒアリング結果を踏まえて、改良材添加量を決定するために、室内試験を下記のとおり行った。

セメント改良土の配合試験は、「解砕前の養生期間」及び「改良材の添加量」の条件が異なる改良土を複数作成し、それぞれに対して各種室内試験を実施した。

改良土の作成条件は、「改良材の添加量」が 6 通り

(50, 60, 70, 80, 90, 100kg/m<sup>3</sup>), 「解砕前の養生期間」が4通り(7, 14, 21, 28日)とし、合計で24通りとした。

配合試験の項目は、「物理試験」、「締固め試験」、「コーン指数試験」、「三軸圧縮試験」、「透水試験」、「六価クロム溶出試験」とする。このうち、六価クロム溶出試験は、室内試験の供試体を流用した。

「物理試験(粒度試験)」、「締固め試験」及び「コーン指数試験」は、供試体作成後速やかに試験を行う。「物理試験(含水比試験)」、「三軸圧縮試験」及び「透水試験」は、供試体を作成してから28日間養生し、その後試験を行う。

三軸圧縮試験は、細粒分含有率が15%以上の場合はCU試験、15%未満の場合はCD試験を実施する。

透水試験は、一般に、透水係数が比較的小さい場合(10<sup>-3</sup>~10<sup>-7</sup>cm/s)であれば変水位、比較的大きい場合(10<sup>-1</sup>~10<sup>-3</sup>cm/s)は定水位の試験となる。透水試験の方法は、粒度試験から得られた特性値(D10)により Hazen式等から透水係数を推定し、定水位・変水位のいずれかを選択する。また、透水試験は、止水材等を使用し供試体の外周から漏水が発生しない方法とした。

(2) 試験結果及び配合添加量の決定

室内試験を行った結果、セメント系改良材が最小添加量(50kg/m<sup>3</sup>)の条件で、各種要求性能を満足する結果となった。

六価クロム溶出量は、養生期間の増加に伴い減少傾向となるが、最短の7日養生でも規定を満足する。したがって、配合添加量は、経済性・環境性をふまえ最小の50kg/m<sup>3</sup>とし、養生期間は仮置きヤード確保の観点から最短の7日とした。

表-5 改良土に対する室内試験結果表

供試体作製条件		室内試験結果							評価
改良材添加量(kg/m <sup>3</sup> )	材齢(日)	最大粒径(mm)	有機入率(%)	含水比(%)	コーン指数(kN/m <sup>2</sup> )	六価クロム溶出量(mg/L)	三軸圧縮試験(CUbar) 粘着力(kN/m <sup>2</sup> ) 内部摩擦角(°)	透水係数(cm/s)	
改良前		4.75	0	42.1	380	—	38 (IU試験) 0 (IU試験)	—	含水比・コーン指数が不測
50	7	9.5	0	35.3	2701	0.04	0.2 28.8	5.51×10 <sup>-6</sup>	使用可能
	14	19	0	33.2	2802	0.04	3.1 27	1.82×10 <sup>-6</sup>	使用可能
	21	19	0	34.2	3086	0.04	3 27.5	3.59×10 <sup>-6</sup>	
	28	—	—	31.5	3086	—	—	—	
60	7	9.5	0	35.3	3086	0.04	0.3 29	1.17×10 <sup>-6</sup>	使用可能
	14	19	0	34.1	3086	0.03	3.3 27	8.92×10 <sup>-6</sup>	使用可能
	21	19	0	35.5	3086	0.05	3 27	1.26×10 <sup>-6</sup>	
	28	—	—	30.9	3086	—	—	—	
70	7	19	0	36.6	3086	0.05	0.7 29.2	1.54×10 <sup>-5</sup>	使用可能
	14	19	0	35	3086	0.05	3 27.2	4.35×10 <sup>-6</sup>	使用可能
	21	9.5	0	33.1	3086	0.02	3.5 27.5	1.31×10 <sup>-5</sup>	
	28	—	—	30.6	3086	—	—	—	
80	7	9.5	0	34.1	3086	0.05	1.4 26.3	1.12×10 <sup>-5</sup>	使用可能
	14	19	0	33.6	3086	0.04	3.1 27.4	1.44×10 <sup>-6</sup>	使用可能
	21	19	0	32.8	3086	0.05	4.4 27.6	7.48×10 <sup>-6</sup>	
	28	—	—	31.4	3086	—	—	—	
90	7	19	0	31.9	3086	0.05	1.2 27.8	1.09×10 <sup>-6</sup>	使用可能
	14	19	0	30.9	3086	0.04	3.9 27.2	2.90×10 <sup>-5</sup>	使用可能
	21	19	0	30.5	3086	0.04	4.7 27.7	2.81×10 <sup>-5</sup>	
	28	—	—	29.9	3086	—	—	—	
100	7	19	0	29.6	3086	0.06	1.8 28	1.91×10 <sup>-5</sup>	六価クロム溶出量が規定値以上となるため使用不可
	14	19	0	30.1	3086	0.05	4 27.2	7.14×10 <sup>-6</sup>	使用可能
	21	19	0	30	3086	0.1	4.5 27.3	8.51×10 <sup>-6</sup>	
	28	—	—	28.5	3086	—	—	—	
要求性能値	100mm以下	粒径37.5mm以上の粒が40%以下	40%以下	500kN/m <sup>2</sup> 以上	0.05mg/L以下	設計業務において、各盛土法面の斜面安定解析を実施し評価する。			

赤：品質規定に適合しない 青：品質規定に適合

9. 現場での施工管理

(1) 改良料の締固め特性

改良材料は、盛土施工後に管理規定に基づく締固めを実施する。設計段階では、室内試験での締固め特性から、所定の管理規定を満たす締固めが可能か判断した。締固めの可否は、品質規定方式(締固め度、または空気間隙率)に基づき評価する。品質規定方式は、締固め度での管理実績が多いが、自然含水比が高い粘性土などは、空気間隙率により管理される場合もある。

改良材料の評価は、締固め度及び空気間隙率で評価する。規定値は、使用用途(河川堤防・宅地盛土)により異なるため、いずれにも使用可能か確認する必要がある。

表-6 改良材料の締固め管理基準

締固め度	: 92% (土木工事施工管理基準及び規格値(案))
空気間隙率	: 10% (宅地土工指針(案))

(2) 工事管理項目

配合添加量が決めれば、工事実施に必要な情報は使用する重機による締固め回数になる。なお、締固め回数は、試験施工により設定することになる。

以下に RI 計器を用いた場合の締固め回数設定事例を紹介する。

表-7 RI計器を用いた場合の締固め回数設定事例

手順1	締固め回数は一層の仕上り厚が30cm以下となるまき出し厚さで材料をまき出し、締固めを行う。
手順2	次に様々な締固め回数のもとでRI計器により乾燥密度を測定し、締固め度を算出する。
手順3	最後に締固め度が管理基準値以上確保されている締固め回数を確認し、その回数を施工時の締固め回数として管理する。

## 10. モニタリング計画

セメント改良土についてモニタリング方法を以下に整理した。

表-8 モニタリング計画表

番号	モニタリング項目	確認方法	モニタリング頻度
1	・改良材のアルカリ溶出の有無	・水質調査により確認	盛土工施工前後
2	・植生の生育状況	・目視確認	日常巡視や維持工事における養生工事実施時
3	・堤体の硬化状況	・ポータブルコーン貫入試験（現地試験）により確認	施工後、0～1ヶ月間に4回、1～2ヶ月間に2回、2～15ヶ月間に2回
4	・堤体表面上のクラックの状態	・目視確認	日常巡視や維持工事における養生工事実施時
設定根拠	<ul style="list-style-type: none"> <li>・項目は、事例No. 1, 2, 3を包括する内容を想定する。</li> <li>・ただし、堤体内部のクラックは、No. 3の事例で発生が確認されていないため、調査不要と考える。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・確認方法、頻度は、事例No. 1（アルカリ溶出は事例No. 2）を参考とする。</li> <li>・ただし、堤体の硬化状況は、クラックの原因となる硬化の進行を確認するため、コーン試験により評価する。</li> </ul>	

なお、改良材の粒度分布は、改良前よりも細粒分が減少し、適正分布側に改善する傾向がある。改良後であっても所定の粒度分布（赤ライン上限値）からはみ出ているため、整備完成後にクラックが生じやすい可能性を秘めている。よって、整備後において非定常浸透流解析を実施し、安全率の数値を確認する必要があると考える。また、あわせて周囲堤も河川巡視対象とし形状を点検する必要があると考える。

## 11. 今後の課題

セメント改良における土砂の有効利用について問題なく築堤盛土に使用できることが確認された。しかし、大和川遊水地では、限られた施工ヤード内で複数の工事が煩雑する。その中で、改良場所、養生場所などが必要になる。特にセメント改良では養生期間が長い仮置き場所が必要になってくる。また、限られた中での養生では改良できる量も決まってくるため、改良の施工効率が落ち、工程にも影響してくると思われる。

これらの施工時における制約についての問題点があるため、今後、これらを解消するために継続して、新技術などの材料も視野に検討していく必要がある。

### 参考文献

1)土木学会第68回年次学術講演会(2013年9月)回転式破砕混合工法による高含水比粘性土を築堤土に改良する現地試験施工について(施工時期による曝気乾燥効果と施工性の検証等)