

築堤工事の基盤改良から発生する吹上り土の活用によるコスト縮減方策！

宮下 真輝¹

¹近畿地方整備局 福知山河川国道事務所 工務第一課(〒620-0875京都府福知山市字堀小字今岡2459-14)

由良川下流部の下東地区では緊急治水対策として築堤工事を進めているが、厚い軟弱地層が堆積しているため地盤改良（深層改良工）を行っている。本地区では、地盤改良に伴い副産物としてセメント系改良材を含んだ吹き上がり土が発生するが、発生直後は緩い泥土であり、そのまま処分を行うと建設汚泥として処理が必要となり、高コストである。他方、時間が経過すると含有するセメント系改良材が固化し、一定度の強度を有するようになる。

このような性状を利用し、同様に軟弱地盤対策で地盤改良が必要な三日市地区の改良体として流用し、下東地区の深層改良における吹き上がり土の処分費用のコスト縮減および三日市地区の地盤改良の施工費用のコスト縮減を行った方策について報告する。

キーワード コスト縮減, 地盤改良, 再生利用

1. はじめに

(1) 由良川の概要

由良川はその源を京都、滋賀、福井の府県境三国岳に発し、京都府南丹市美山町の山間部を西流しながら綾部市を経て、福知山市内において土師川を合わせて流れを北に転じ、宮津市及び舞鶴市を左右岸に望みながら日本海に注ぐ流域面積1,880km²、幹線流路延長約146kmの一級河川である。



図-1 由良川流域図

(2) 由良川の特徴

渓谷や河岸段丘が発達している由良川の上流部では、勾配が急で流れが速いが、福知山盆地を流れる中流部では、川幅が広く、勾配も緩くなるため、流れが遅くなっている。そのため、由良川では上流部から流下してきた洪水が中流部で溜まりやすい地形となっており、無堤区間が長く存在する中下流部では水害が頻発してきた。

(3) 由良川の治水事業

平成16年台風23号や平成25年台風18号において大きな洪水被害が発生したことをふまえ、平成16年の洪水と平成25年の洪水の2度浸水した区間を対象に、「由良川水系河川整備計画」の治水対策を大幅に前倒して、概ね10年以内で緊急治水対策を実施している。このうち、被害が甚大であった地区はさらに優先的に対応し、概ね5年間で整備を行うことを目標に治水対策を実施している。

緊急治水対策では、中流部は連続堤や河道掘削を実施し、特に由良川下流部は山間の狭い平地に集落が散在しているため、効率的な対策として、水防災対策（輪中堤、宅地嵩上げ）を実施している。

本稿の対象である下東地区においては、洪水から効率的に集落を守るため、約1,240mの輪中堤を整備することとしており、三日市地区においては、約1,140mの輪中堤の整備および、宅地嵩上げを実施する計画である。



図-2 由良川緊急治水対策(下流部)

(4) 由良川下流部の地質と利用状況

由良川下流部の下東地区や三日市地区の平地は、由良川の堆積作用によってできた沖積層から成る平地で、繰り返し洪水が起こって土砂などが積もってきた低平地で、軟弱な地盤が多い地層となっている。

また、由良川沿いは由良川自然堤防堆積物として砂がち堆積物、山側は由良川氾濫原堆積物として泥がち堆積物が堆積している状態であり、現状で上記自然堤防の区域は畑、由良川氾濫原の区域は水田として利用されている。

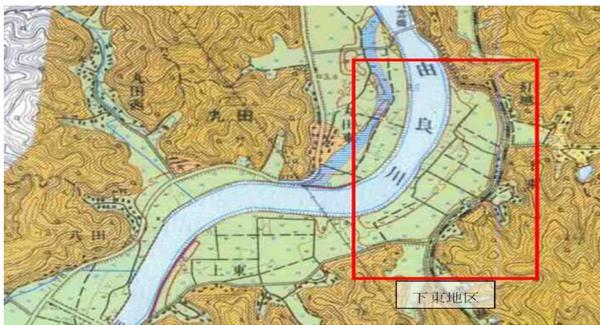


図-3 治水地形分類図(下東地区)



図-4 治水地形分類図(三日市地区)

2. 由良川における主な軟弱地盤対策

(1) 志高地区における地盤改良対策の事例

志高地区においては、「河川堤防構造検討手引き」に基づき、円弧すべりによる安定解析を行い、さらに築堤時の沈下量による周辺家屋への影響が懸念される箇所においては、FEMによる変形解析を行った結果、志高地区では堤体直下に浅層改良をほぼ全てで実施しており、民家が隣接している箇所ではさらに川裏の尻付付近に深層改良を実施している。

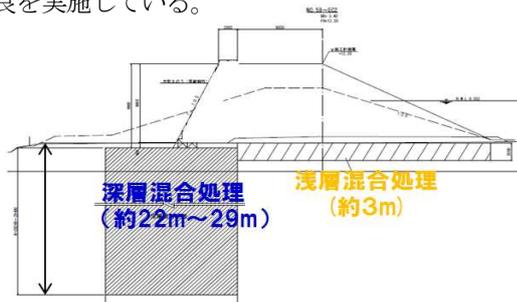


図-5 志高地区における築堤断面

(2) 大川地区における堤防整備の事例

平成26年11月22日(土)の早朝に、由良川左岸7.4km付近において、築堤盛土を施工中の堤防が約80mにわたり沈下した。

沈下発生後、沈下した地形や盛土高に応じた詳細な土質調査を実施し、それをもとに、地盤の強度等、堤防の設計にかかる定数を見直し、設計の照査を実施したところ、当初想定していた地盤定数よりも部分的に値が低い箇所があり、国道側に比べ川側の軟弱粘土層の強度が低く、盛土のすべりに対する安全率が部分的に下回り、盛土の荷重が地盤の支持力を上回ることが判明。

対策工として、堤防が沈下した区間は沈下により地盤の構造が変化したため、深層改良を実施している。

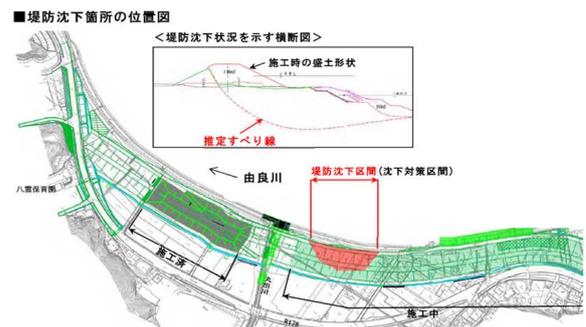


図-6 大川地区における堤防のすべり破壊

(3) 下東地区の軟弱地盤対策

下東地区における輪中堤の整備の検討にあたっては、「河川堤防構造検討の手引き」に基づき、堤防整備の検討を実施している。

検討の結果、当該地区における現況断面(完成断面)では、水位ピーク時の川裏側の円弧すべり計算および、水路近傍における盤膨れの照査に対して、所用の安全性を満足しない結果となった。

また、下東地区では、築堤における地盤変状に対して、圧密沈下検討を実施し、当該地区において縦断的な圧密沈下量および圧密完了時間を把握したところ、所定の数値を上回ったため、圧密沈下対策が必要となっている。

したがって、下東地区では粘性土層厚が概ね30m程度と厚く、沈下に対起因する周辺構造物への影響が懸念されることから、深層改良を実施している。

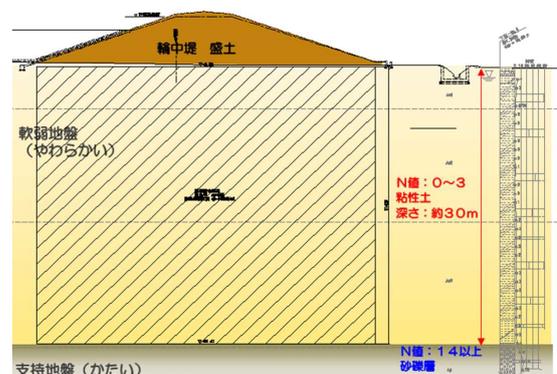


図-7 下東地区における地盤対策

3. 軟弱地盤対策工事

(1) 下東地区の地盤対策工

深層改良対策が必要とされている下東地区では、主に深層混合処理工法として、C I-CMC工法が用いられている。

C I-CMC工法とは、貫入時に攪拌翼に内蔵されている装置からセメントスラリーを霧状に高圧噴射しながら攪拌することにより、改良域を流動化させ固化剤を混合する工法である。この工法では、霧状スラリーが土をほぐし、土粒子の流動性を高め、エアリフト効果により排土を促すため、セメント量が改良体と同程度均一に混ざり合った吹き上がり土が発生する。

また、地盤改良工により発生する吹き上がり土は、投入するスラリー量と同量程度の発生が見込まれる。

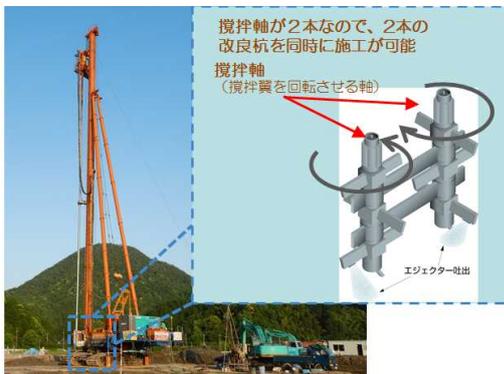


図-8 深層混合処理工の一例

(2) 下東地区の吹き上がり土の性状

地盤改良に伴い発生する吹き上がり土は、発生直後に地上部に出てきた際は図-9の写真のとおり泥状の状態であり、ダンプトラックにて積込・運搬は可能であるが、人が上を歩けない状態であり、発生翌日のコーン指数が193kN/m²との結果も出ている。

建設汚泥処理土利用技術基準【国土交通省】によると、建設汚泥の定義は「建設工事に係わる掘削工事から生じる泥状の掘削物及び汚水のうち、産業廃棄物処理法に規程する産業廃棄物として取り扱われるもの」とされており、泥状の状態とは、標準ダンプトラックに山積みできず、また、その上を人が歩けない状態をいい、コーン指数が概ね200kN/m²以下であることとなっていることから、下東地区で発生する吹き上がり土はそのままでは建設汚泥として取り扱う必要がある。



図-9 吹き上がり土の様子

(3) 吹き上がり土の資材としての価値

しかし、下東地区で発生する吹き上がり土はセメントが含まれているため、時間の経過とともに硬化反応によって性状が変化する。そのため、土質試験において経過日数に対するコーン指数および含水比の試験を行ったところ、結果は下記の表-1に示すとおり発生後2日目以降においては、第4種建設発生土以上の強度になることが確認されている。

土粒子の密度 (g/cm ³)			
2.710			
コーン指数 (kN/m ²)		含水比 (w)	
発生後1日目	9月15日	193.2	73.8
発生後2日目	9月16日	913.0	54.0
発生後3日目	9月17日	1251.2	53.1

表-1 土質試験結果

また、土壤環境基準等を確認するために溶出試験（全26項目）及び含有量試験（9項目）を行ったところ、全ての項目について、基準超過するものはなく、土壤環境基準を満たしていることから、発生後2日以降の吹き上がり土については、建設資材として再利用することが可能であると考えられる。

(4) 吹き上がり土の発生状況

下東地区の地質は、主に泥がち堆積物で構成されており、軟弱な粘性土であるAC1～AC3がほぼ一様に分布している。計画されている地盤改良工は全線に渡って、深層混合処理・改良率（30%）・設計基準強度（600kN/m²）で一様である。このような条件下東地区においては、地盤改良工に使用する固化材および工法が同一であれば、固化材添加量についてもほぼ近い数値になり、発生する吹き上がり土についても、極端な空打ち長の違いが無い限り、ほぼ一様な性状の吹き上がり土が発生すると考えられる。

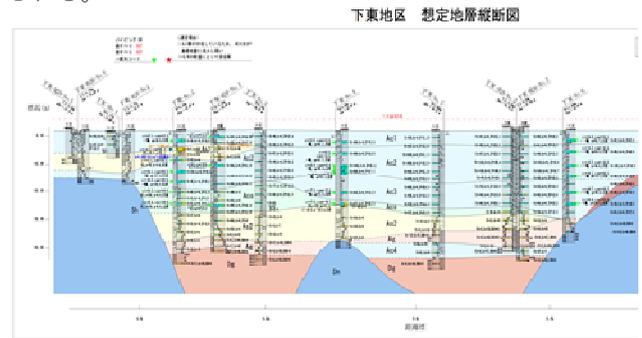


図-10 下東地区 想定地層縦断面図

(5) 三日市地区の対策

三日市地区においては、過年度の業務成果より、堤防の浸透に対する安全性照査結果より、当該地区における現況断面（完成断面）では、水位ピーク時の川裏側の円弧すべり計算の結果から、所用の安全性を満足しない結果となっている。

そのため、三日市地区では、1.4mの浅層改良（必要強度：140kN/m²）が必要となっている。

4. 吹き上がり土の活用検討

(1) 吹き上がり土の性状把握

下東地区の深層改良対策に伴い発生する吹き上がり土を三日市地区の築堤工事の基礎の改良部へ流用することの適用性について検討した。

既往試験では、吹き上がり土はセメントが含まれており、時間の経過とともに硬化反応によって、性状が変化するため、利用にあたっては発生時施工箇所付近にて集積し、所定の日数経過後、バックホウにてほぐし積込を行うことを想定し、A～Dの4種類の材料で試験を行っている。

この内、発生後日数の違いによる試験結果を比べるために、A～Dを抽出した結果を下記に示す。

種別	発生後日数	施工条件	転圧機械
吹き上がり土	A	2日	振動ローラ (12t 級)
	B	3日	
	C	4日	
	D	7日	

表-2 発生後日数別試験材区分

種別	一軸圧縮強度 $qu(kN/m^2)$	
	σ_7	σ_{28}
A(2日目)	129.21	197.84
B(3日目)	144.10	232.99
C(4日目)	169.42	305.90
D(7日目)	145.72	164.76

表-3 一軸圧縮強度試験結果

上記一覧表から、発生後日数が2日以上経過すると、一軸圧縮強度が $qu=164.76\sim 305.90kN/m^2$ となり、三日市地区の浅層混合層の設計基準強度 $140kN/m^2$ を満足している。

しかし、発生直後の吹き上がり土については、表-4に示すとおり、コーン指数が $200kN/m^2$ 以下となっており、「建設汚泥処理土利用技術基準 国土交通省」における建設汚泥再生利用における留意点として、「処理土の運搬を行う場合には、その性状を第4種処理土以上とし、周辺的生活環境に影響を及ぼさないように留意する。」との記載があり、吹き上がり土を運搬する条件(第4種処理土以上)を満足していない。

材料：盛上り土 発生日9/14

土粒子の密度 (g/cm^3)			
2.710			
コーン指数 (kN/m^2)		含水比 (w)	
発生後1日目	9月15日	193.2	73.8
発生後2日目	9月16日	913.0	54.0
発生後3日目	9月17日	1251.2	53.1

表-4 土質試験結果(コーン指数及び含水比)

区分	基準値	備考
	コーン指数 ^{*1,2} $qc(kN/m^2)$	
第1種処理土	-	固結強度が高く礫、砂状を呈するもの
第2種処理土	800以上	
第3種処理土	400以上	
第4種処理土	200以上	

*1) 所定の方法でモールドに締め固めた試料に対し、コーン penetrometer で測定したコーン指数 (参考表-1 参照)

*2) スラリー化安定処理土の指標は、7日後の一軸圧縮強度とする。

表-5 建設汚泥処理土の土質材料としての品質区分と品質基準

したがって、下東地区で発生する吹き上がり土については、発生後に一時的に仮置きした後に活用する必要があるものの、三日市地区における地盤改良強度を満たしていることから、浅層改良工ではなく置換工を実施することを検討する。

(2) 吹き上がり土の流用条件

地盤改良深度による影響については、吹き上がり土の発生時、つまり泥状の状態試料を採取しその強度を調査したところ、地盤改良の深度別の一軸圧縮強度については、施工深度10m(NO.1)、20m(NO.2)、30m(NO.3)付近の発生土を用いて試験がなされており、下記の表-5に示すとおり、 $\sigma_{28}=914.53\sim 2235.86kN/m^2$ を示しており、施工深度による吹き上がり土の強度不足は問題ないと考えられる。

種別	一軸圧縮強度 $qu(kN/m^2)$	
	σ_7	σ_{28}
NO.1	1,132.93	2,235.86
NO.2	948.58	1,988.08
NO.3	463.01	914.53
平均	848.17	1,712.82

表-6 一軸圧縮試験結果

発生後日数の違いによる締固め度(空気間隙率)については、全てにおいて0～2回の転圧にて得られている。また、締固め度(空気間隙率)の数値の降下収束及び表面沈下量の収束を考慮した転圧回数は、表-7に示すように4回となっている。

種別	転圧回数(回)			
	空気間隙率 V_a		表面沈下量	
	規格値(15%以下)となる回数	値の降下が収束する回数	沈下量が収束する回数	判定・決定回数
A(2日目)	0	2	4	◎ 4
B(3日目)	2	4	4	◎ 4
C(4日目)	2	4	4	◎ 4
D(7日目)	2	4	4	◎ 4

表-7 締固め試験施工結果

したがって、前述の検討の結果、項目別の吹き上がり土を流用するための条件一覧を下記の表-8に示す。

流用条件		
1	強度	発生後2日目を降7日以内の吹き上がり土
2	運搬	発生後2日目を降の吹き上がり土
3	転圧回数	転圧回数4回

表-8 項目別吹き上がり土の流用条件

5. コスト縮減効果

下東地区では深層混合処理により発生する吹き上がり土を三日市地区における置換工に流用することで、コスト縮減を図っている。

コスト縮減効果としては、①吹き上がり土の処分費用の縮減、②三日市地区における地盤改良費用削減の2つが考えられる。

①吹き上がり土の処分費用については、実際、吹き上がり土を処分する場合は、表-1より発生後1～3日間において、コーン指数が193.2～1251.1 kN/m²であることから土質材料としては、第2～4種処理土として扱われる。

したがって、吹き上がり土を流用することで、第2～4種処理土の処分費用を縮減することができる。

②三日市地区における改良費用削減については、吹き上がり土を用いた置換工を実施しない場合、バックホウやパワーブレンダーを用いた改良が必要となるため、今回の場合、その分の対策費用を縮減することができる。

また、今回の場合、三日市地区において置き換えを行う土については、土質試験の結果、粘性土であることが判明しており、礫質土と混合することで築堤材に再利用することが可能なため、築堤材として利用している。

6. 課題

- ・吹き上がり土の乾燥常状態における測定結果については、所定の基準を上回ることはできたが、降雨等により湿潤状態となった場合は、普通の土砂以上に軟弱化する傾向があるため、施工時期や工程等の調整が必要となる。
- ・吹き上がり土の発生時の試料の一軸圧縮強度試験の結果より、発生した吹き上がり土をそのまま放置しておく土砂として掘削できないほど硬化するため、注意が必要である。流用する場合は、発生後数日以内に流用や仮置き等で一旦掘削することによりほぐすことが必要である。
- ・発生後、運搬可能な強度が発現されるまでの間、一時的に場内にて仮置きする必要があるため、仮置きヤードの確保が必要になる。

7. 今後に向けて

今回のケースでは、吹き上がり土が発生する地盤改良工事と、ある程度強度発現した改良土が必要な工事が隣接していたためコスト縮減を図ることができたが、多くの場合、建設汚泥を再利用する際は、使用条件等が制約されることが多いため、工事の計画段階から、コスト縮減を図ることを念頭に発注スケジュール、工程等を調整しておくことが大切である。

謝辞

本稿をとりまとめるにあたり、ご助言・ご指導頂いた方に深く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 由良川水系河川整備計画：平成25年6月 近畿地方整備局
- (2) 河川堤防の構造検討の手引き：（財）国土技術研究センター（平成24年2月）
- (3) 建設汚泥処理土利用技術基準【国土交通省】
- (4) 近畿地方整備局直轄工事における建設汚泥再生利用手引 ～「建設汚泥の再生利用に関するガイドライン」に基づく建設汚泥の再生利用について～
平成19年9月 近畿地方整備局企画部技術調査課