

一日市地区地盤変動解析について

近畿地方整備局 豊岡河川国道事務所
工務第一課 専門調査員 小長谷 健

1 はじめに

平成16年10月の台風23号により円山川では、破堤2箇所、堤防欠損1箇所、越水29箇所が生じ甚大な被害が発生した(図-1)。このため、台風23号と同規模の洪水に対し、再度災害を防止するために「円山川緊急治水対策事業」が採択され、平成21年度までの5年間で、激特事業として、河道掘削、築堤、内水対策、堤防強化等の対策工事を実施している。

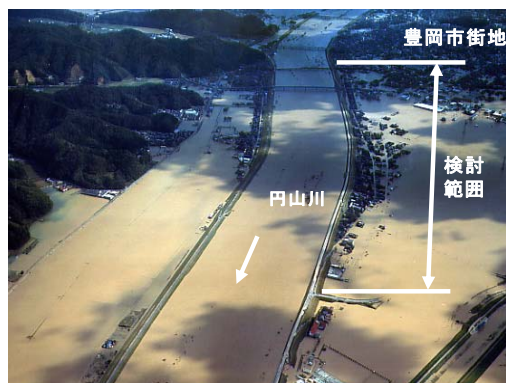


図-1 平成16年10月洪水の状況

激特事業では約9kmの築堤工事を施工するが、円山川が流れる豊岡盆地は軟弱地盤であることから、堤防に近接する家屋への影響を抑制するための対策工の検討が必要である。本検討は、一日市地区をモデルケースに試験施工による動態観測結果を用いて、効果的かつ経済的な軟弱地盤対策工を選定するための地盤変動解析手法を確立することを目的としている。

2 円山川の特徴

豊岡盆地は、昔、円山川の河口がふさがっており、広大な入り江湖であったと考えられている。現在でも下流部では山が接近しており、下流部、中流部の河床勾配は約1/10,000と非常に緩やかである。その影響で緩い砂、軟らかい粘土が約40m堆積している。また、多いところでは、年間約1cm程度の広域沈下が生じている。

3 対策工の必要性

一日市地区の標準的な盛土断面は図-2に示すとおりである。当地区はN値1~5の軟弱層が30m~40m堆積し、家屋が近接していることから盛土による家屋への影響発生が懸念された。よって、周辺地盤への影響を予測した結果、法尻で26cmの沈下、地表面の傾きは、傾斜角12/1000となった(図-3)。この予測値は、家屋に対する変位許容値の目安とした3/1000を上回ったため、周辺地盤への変位抑制対策工法が必要となった。

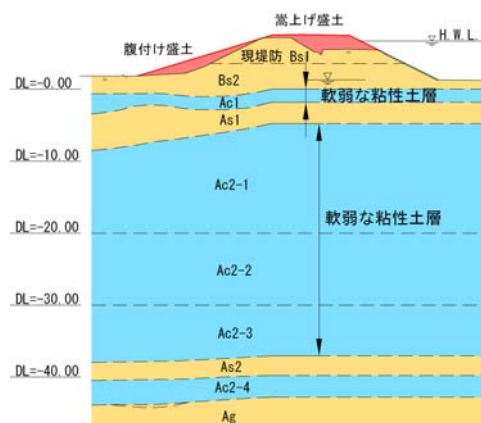


図-2 断面図

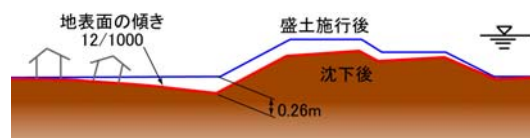


図-3 未対策時のFEM解析結果

4 対策工の選定

4.1 対策工の選定

周辺地盤に対する変位抑制対策に関して、軟弱層の深さ、経済性、施工性について比較検討を実施し、従来工法に対し工費縮減を期待できる2つの新工法(部分フローティング式鋼矢板工法と低改良セメントコラム工法)を選定した。

4.2 対策工の特徴

4.2.1 部分フローティング式鋼矢板工法(以下、PFS工法という)(文献[1])

本工法は、図-4に示すようにフローティング鋼矢板と着底(支持)鋼矢板を交互に打設することで応力遮断壁を構築し、盛土側の沈下の影響を縁切りする工法である。

本工法を施工することにより、盛土側の沈下により発生する応力が堤内側に伝わらなくなるため、周辺地盤の沈下を抑制することが出来る。ただし、地盤状況によっては水平変位に対しては効果が期待できないことがある。

従来工法と比べ、支持層まで打設する鋼矢板が減ることから、特に支持層の深い場合には施工性、経済性に優れた工法である。

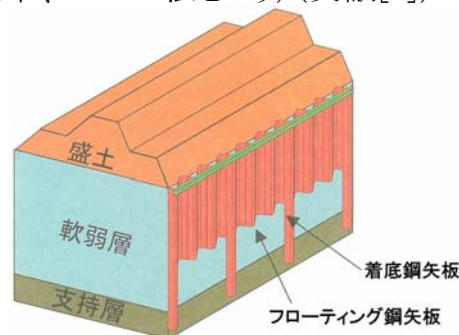


図-4 PFS工法の概要図(文献[1]より)

4.2.2 低改良セメントコラム工法

(以下、ALiCC工法という)(文献[2])

本工法は、セメントコラム(深層混合処理杭)を打設することにより、盛土自体の沈下を抑える沈下抑止工法である。盛土の沈下発生量が少なくなるため、周辺地盤への影響も少なくなる。

盛土材アーチ効果を考慮することで、従来工法と比べ、低改良率($a_p \div 10 \sim 30\%$)で沈下軽減を図ることが可能であり、経済性に優れた工法である。

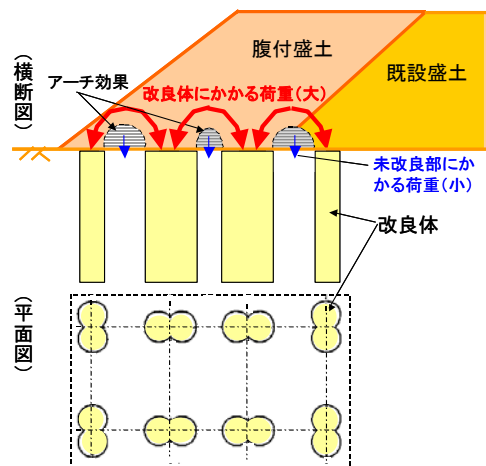


図-5 ALiCC工法の概要図

5 試験施工と動態観測

5.1 試験施工断面

選定したPFS工法とALiCC工法は、新工法として近年、開発された工法で、設計手法は確立しているものの施工実績が少ない。よって、一日市地区の地盤に対し適切な設計となるよう試験施工、動態観測を実施し、その結果を踏まえ、一連区間の解析、詳細設計を行う計画とした。

試験施工断面は図-6、図-7のとおりである。試験施工における動態観測の項目は、表-1のとおりである。

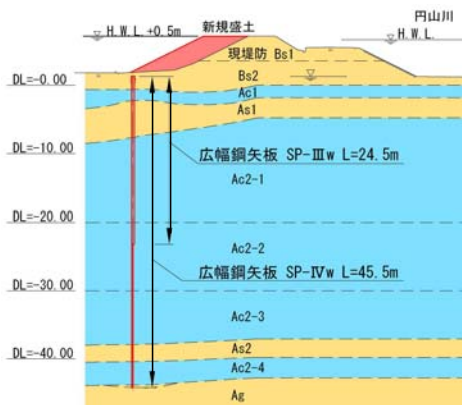


図-6 PFS工法の試験施工断面

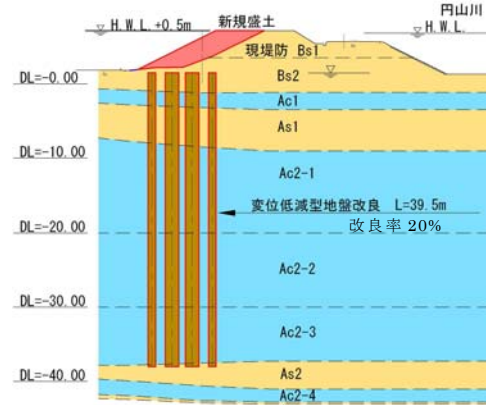


図-7 ALiCC工法の試験施工断面

表-1 動態観測項目

観測機器	観測内容	観測機器	観測内容
層別沈下計	沈下量の深度方向分布の測定	変位杭	地表面の変位量(鉛直・水平)測定
間隙水圧計	各粘性土の間隙水圧測定	ひずみゲージ1	鋼矢板のひずみ量測定
水位計	地下水位の測定	ひずみゲージ2	腹起しのひずみ量測定
孔内傾斜計	深度方向の水平変位測定	頭部ターゲット	鋼矢板頭部変形量測定
沈下板	盛土前地盤面の沈下量測定	土圧計	改良杭・杭間の作用鉛直土圧測定

5.2 動態観測結果

試験施工における堤内地側と盛土側の代表地点における地表面鉛直変位の観測結果を図-8、9に示す。堤内地側には顕著な変位は発生していない。盛土側では盛土後即時沈下が発生し、その後粘性土の圧密に伴って徐々に沈下が進行している様子が観測されている。

施工開始から1年経過した時点の地表面沈下分布の観測結果を図-10、11に示す。PFS工法では、盛土直下は著しく沈下するが、矢板によって堤内地側の沈下が抑えられていることがわかる。ALiCC工法では、改良体によって盛土直下の沈下が小さくなり、それにより堤内地側の沈下も抑えられていることがわかる。

周辺地盤(法尻から6m地点)の変位は、PFS工法で0.6cm、ALiCC工法で2.0cmとなり、傾斜角は許容値(3/1000)を満足したが、当初予測とは差異が生じた。

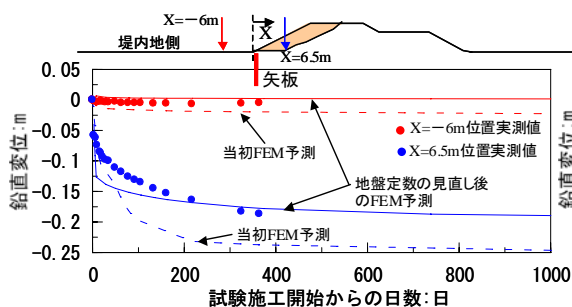


図-8 代表地点の鉛直変位の推移(PFS工法側)

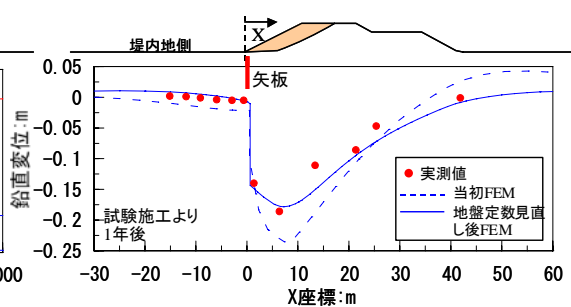


図-10 地表面鉛直変位分布(PFS工法側)

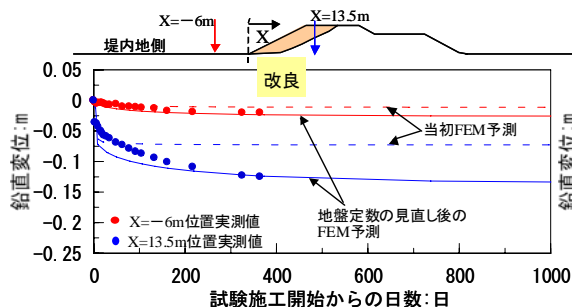


図-9 代表地点の鉛直変位の推移(ALiCC工法側)

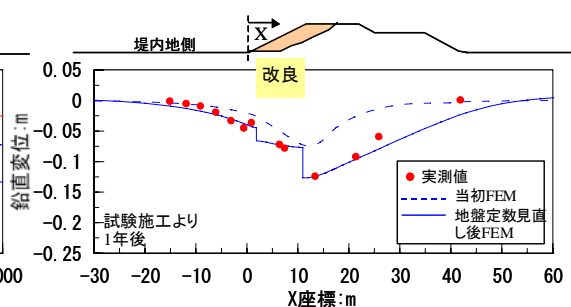


図-11 地表面鉛直変位分布(ALiCC工法側)

表-2 解析における地盤のモデル化

解析手法		2次元弾塑性有限要素法
土の構成モデル	盛土	線形弾性体
	砂質土・礫質土	線形弾性体
	粘性土	弾・塑性体(関口・太田モデル)
工法のモデル	ALiCC工法	改良域全体をセメントコラム/地盤混合体でモデル化 ^(*) 。 線形弾性体(変形係数は改良率の関数で表される)
	PFS工法	ビーム要素(フローティング部のみジョイント要素併用)

*1: 当初はセメントコラム1本ごとを要素でモデル化していたが、学識経験者の指導をえて改良域全体を混合体としてモデル化することで、モデル全体の簡素化をはかった。同様の結果が得られることを確認している。

6 解析手法の確立

地盤対策工(PFS工法、ALiCC工法)の動態観測結果を踏まえ、効果的かつ経済性に優れる対策工の選定を行うため、学識経験者に指導を仰ぎながら、地盤変動解析手法における地盤のモデル化および地盤定数の見直しを行った。地盤モデルの概要を表-2に示し、当初の手法から見直した地盤定数を表-3に示す。

表-3 動態観測結果をふまえた地盤定数の見直し

見直した項目	当初設計	動態観測結果・土質試験結果の見直し後	理由
AC2層の過圧密比(OCR)の設定	1.0(正規圧密)	Ac2-2層: 1.0(正規圧密) Ac2-1,-3,-4層: 1.1~1.3(若干過圧密)	当初は安全側に考え設定したが、過圧密比の深度分布図より見直した
粘性土透水係数	圧密試験Pc時の値	正規圧密粘土に関しては圧密試験Pc時の値 過圧密粘土に関してはPc時の値の10倍の値	過去の経験により圧密試験の10倍程度を設定するのが良いとされている(文献[3])
砂質土変形係数	E=28×N値より推定	盛土: 三軸CD試験結果より推定 As層: 試験施工層別沈下計実測値より逆算	試験値および実測値を採用した

代表地点の鉛直変位の解析結果を実測値に重ねて図-8、9に示す。また施工開始から1年経過した時点の地表面沈下分布の解析結果を実測値に重ねて図-10、11に示す。両工法において堤内地側、盛土側ともに、概ね実測値と地盤定数見直し後の予測値は整合している。また、本検討により確立した解析手法および解析結果に関しては学識経験者の一定の評価を得た。

7 まとめと今後の展開

今回の試験盛土では、①2つの工法とも従来の対策工法に対し約30%の工費縮減が期待できる、②PFS工法はALiCC工法よりも堤内地の変位をより抑制し効果を発揮する(図10、11参照)ことがわかった。しかしながら、今回確立した解析手法により変動予測を行った結果、盛土規模が大きい場合や地盤変位に厳しい制限がある場合は、PFS工法では水平変位を抑えきれないため、ALiCC工法で改良率を変化させて対策する必要がある。

今後は、今回確立した解析手法を、当該地区だけでなく他の河川における軟弱地盤対策工検討にも適用できるように発展させていくために、i)今後の築堤工事においても動態観測を実施しデータを蓄積していく、ii)観測結果を用いて解析による予測結果を常に評価しながら解析手法を見直していく、iii)地質調査・試験結果の詳細検討を実施し解析に用いる土質定数の設定手法を整備し、マニュアル化を行う必要がある。

(参考文献)

[1] PFS工法 部分フローティング鋼矢板工法 技術資料, PFS工法研究会, 2005,3

[2] 地盤改良のためのALiCC工法マニュアル 独)土木研究所編, 2006,12

[3] Izuka, A & Ohta, H.: A determination procedure of input parameter in elasto-viscoplastic finite element analysis, Soils & Foundations, 27-3, pp.71-87, 1987