

一関遊水地鉄道橋改築事業に伴う軟弱地盤 対策としての低改良率工法の効果について

東北地方整備局 岩手河川国道事務所 工務第三課 一戸 欣也
 ○ 宇部 鉄也
 工務第二課 福田 優

1. はじめに

北上川の中流部・岩手県南部に位置する一関遊水地事業計画の一環として、北上川の支川太田川を完全背水堤として改修するため計画・施工されたJR第3太田川橋梁は、全国的に事例のない**遮水壁土堤方式のボックスカルバート構造**を採用している。この構造は特殊であることから、国土交通省及び東日本旅客鉄道（株）の双方の技術を反映させながら、土木研究所の指導協力のもと、計画段階から施工に至るまで多年度に渡って諸検討を実施してきた。

本稿では、種々ある特殊性のうちアーチアクション効果の実現性、施工コスト縮減に着目して、最新の技術情報を取り込み、大規模な堤体盛土工事における軟弱地盤の地盤改良工法として「**低改良率の深層混合処理工法（DJM）による地盤改良**」を採用した経緯、検討内容、動態観測結果、工法の有益性、コスト縮減化の方向性など、今後の同種施工への参考とすべく概要を報告するものである。



図-1 位置図



図-2. 完成状況写真

2. 低改良率地盤改良工法の技術的特徴

2. 1 アーチアクション効果による低改良率の実現化

当該地はN値=0~3、深度≒13mの軟弱層である。JR部は現況高さを維持するため荷重増加は殆ど無いが、その近隣に約10mの横堤盛土を新たに施工するため、不同沈下防止として太田川函体周辺の地盤改良が必要となる。当初JR設計では現地盤強度増加を目的に、改良体杭径1m(改良率90.6%)の計画であったが、協議過程の中で土木研究所(土研)より低改良率施工の可能性について指導があり、再照査後変更に至った。低改良率の採用は、日本では新潟、北海道に次いで3例目で、測定計器を設置して施工中からの観測は初めての試みである。

土研での模型実験(図-3)では、沈下量がある一定になるまでは改良・未改良部とも、応力分担比が急増し収束する実態が確認されており、改良率が高いほど応力分担比は大きくなる。また、図-4では、改良率と応力分担比及び盛土高さでその相関性を示しているが、盛土が高くなる程応力分担比が増大する傾向にあり、低改良率ほど盛土高による増加率が高く、応力分担効果が増長される。

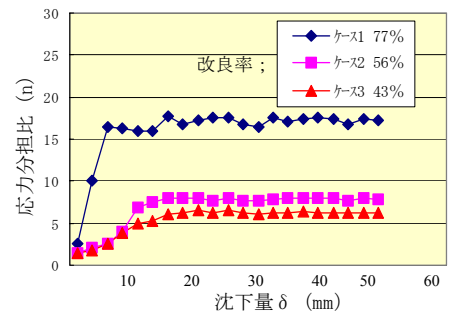


図-3. 不同沈下量と応力分担比の関係 (土木研究所模型実験データ)

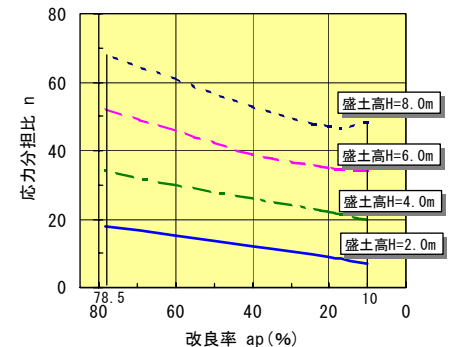


図-4. 改良率、応力分担比、盛土高の関係 (土木研究所模型実験データ)

低改良の成立理論は、軟弱地盤上に盛土を施工した際、改良部及び未改良部盛土の不同沈下により発生したせん断面に沿って上層盛土にアーチ作用（アーチアクション効果）が働き、改良部に作用する盛土荷重は図-5 のような形（杭体間の土砂分）が想定される。この状態下での上層盛土による鉛直荷重は、アーチ作用によりその殆どが改良部にかかることになり、改良部を支持点とするいわゆるドーム型のアーチとして保持されるためと考えられている。

前出の新潟、北海道の低改良率で施工した事例における動態観測結果においても、実測応力分担比は改良率 35%、盛土高 6.7m で 40、改良率 14.8%、盛土 8.0m で 80 を示し、実験と同様な低改良率の効果が確認されている。

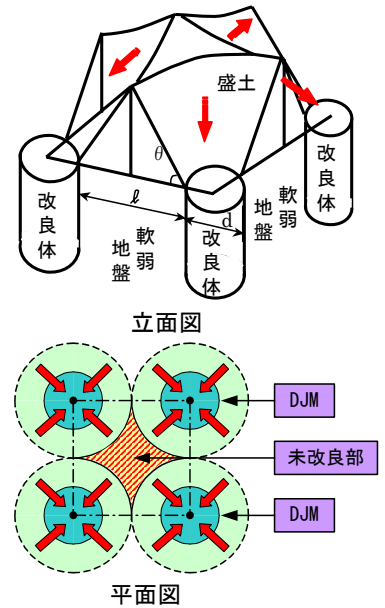


図-5. 未改良部に作用する盛土荷重とアーチ効果

2. 2 ジオテキスタイルの適用性とその効用

低改良率による深層混合処理工法地盤においては、アーチ効果によって改良部に応力が集中するものの、盛土初期状態では改良部と未改良部に若干の不同沈下が発生する。この状態を極力抑制し、且つ盛土荷重を均等に分散作用させる目的で、地盤改良の上にジオテキスタイルを敷設した（図-6）。但し、この効果は明確なものではなかったため、改良杭の設計自体では配慮していない。

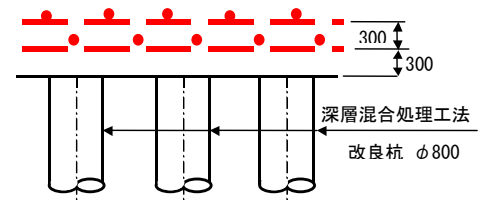


図-6. ジオテキスタイルの敷設状況

3. 効果検証のための動態観測の実施

施工スケジュールの関係から試験施工の余裕が無く工事を実施せざるを得ない状況、およびJR軌道への安全性、国土交通省での採用実績の少ない工法であることから、地盤改良の効果把握のため横堤施工時の挙動を観測しながら工事を開始した。

4. 計測計画の概要とその中間結果の整理、効果検証の方向性

4. 1 計測状況

工事開始後、特殊構造（大函体、マスコンクリート打設、地盤改良等）施工の技術的課題、施工時の問題、安全管理等を工事進捗に合わせ調整協議する目的で、土木研究所、東北地方整備局及びJRにより構成される「技術検討会」が設置された。動態観測については、前出3.の経緯からこの検討会の中で詳細計画を検討協議している。結果、右図に示すように上下流両岸に各計測機器を設置するものとし、施工時の安全管理及び地盤改良の効果検証を図った。

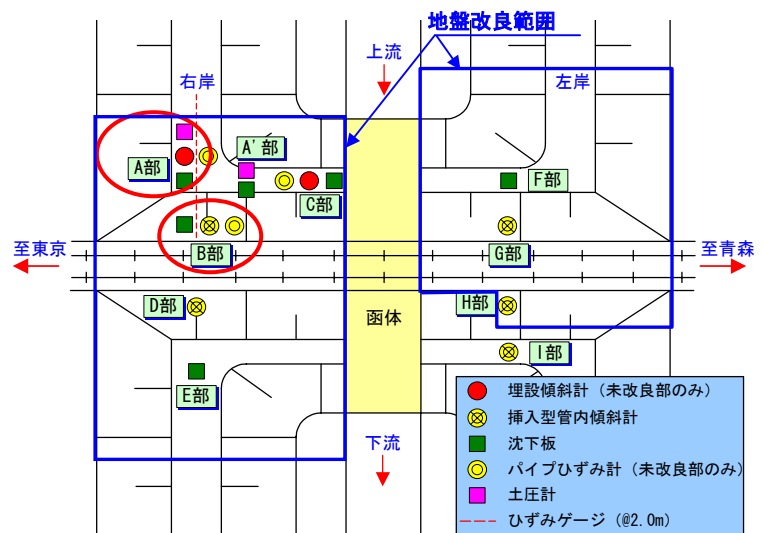


図-7. 地盤改良計測機器の設置状況平面図

4. 2 計測中間結果の整理

低改良率の効果検証のため改良杭と未改良部の挙動を把握すべく、計測結果が顕著に発現するであろう沈下量及び土圧性状、併せてジオテキスタイルの性状を検証した。

(1) 沈下性状について

最大盛土高さ9.7m (A部、図-7 参照)における土研提案式による沈下量は、改良杭部で22.9mm、未改良部で31.3mm、不同沈下量は8.4mmである。因みに、改良しない無処理の場合の沈下量は80cm程度である。

盛土を先行施工しある程度荷重の馴染みの生じたB部(盛土高4.8m部、図-7 参照)を示すものである。初期段階では変化が小さいが、突如急増しているのは平成15年5月26日と7月26日の地震時で、その後、沈下に戻る方向にあるのは地震後の地盤沈下の戻りか、周囲の盛土荷重の影響等が考えられる。相対的には、未改良部の沈下量がやや大きく、理論に合致した傾向を示していると言える。

(2) 土圧性状について

土圧計測は、盛土高が高く改良杭深度の深い上流側右岸のA部で実施した。初期状態は沈下量同様に変化は小さいものの、地震時には微増のみで大きな変化は見られず、急増したのは盛土高3m程度からである。理論ではアーチ効果で改良部に応力が集中すれば、改良部土圧の方が卓越してくるが、計測結果でも改良部の土圧が大きく、未改良部の方が小さい傾向を示している。但し、アーチ発現効果はまだ薄く、盛土完了後も漸増しているものの応力分担比は2.5程度と低い状況である。

(3) ジオテキスタイルの性状について

ひずみ分布は、盛土が高い方が相対的に大きく、JR軌道付近ではその荷重影響が見られる。

ひずみ分布(応力分布)が波打ち形状を示し、差異は顕著ではないが、改良の有無による荷重分担効果を表しているものと判断できる。盛土完了後も漸増し、差異が顕著化する傾向にある。

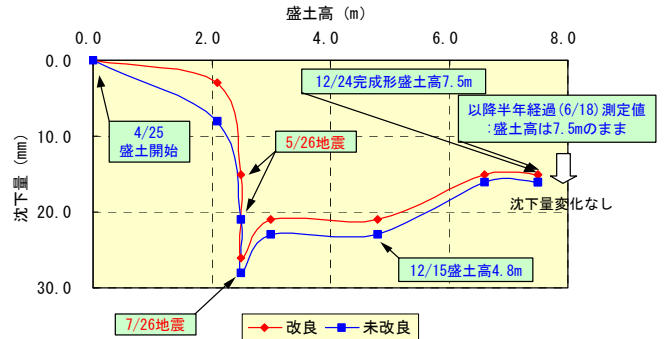


図-8. 改良杭と未改良部の沈下量計測結果 (B部)

※計測は12/15のB部盛土完了後も横堤盛土による影響を考え、計測を継続実施中。
→ 12/24横堤盛土完成後、沈下量に変化無し。

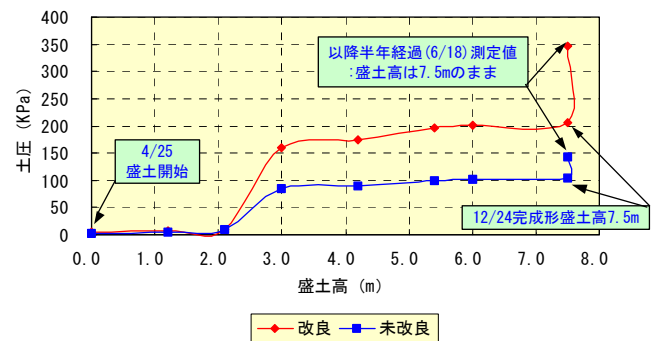


図-9. 改良杭と未改良部の土圧計測結果 (A部)

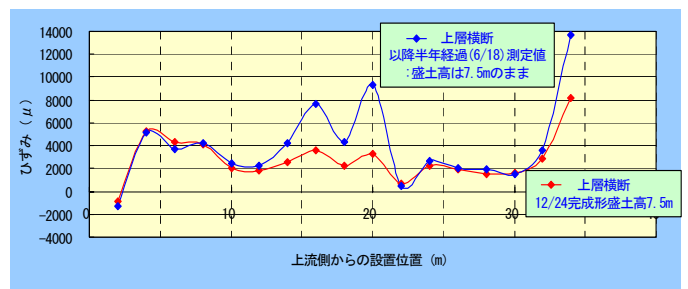
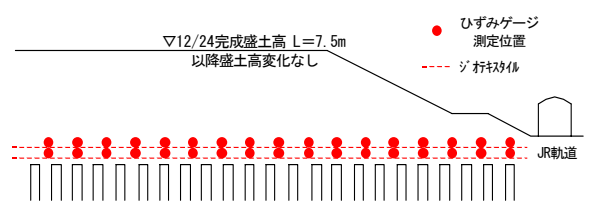


図-10. ジオテキスタイルのセンサーひずみ値の結果

4. 3. 効果検証の方向性

今回の効果検証として特に着目した改良・未改良の計測値の傾向は、現状の中間計測結果でも相互の差異がある程度出てきてはいるが、明確な差異には至っていない。これは、盛土載荷重配分が均等化していないためと考えられる。現在も沈下量以外の計測値は漸増しており、数年後、盛土載荷重配分の均等化によるアーチ効果が増長された状況下の計測値で判断することにより、更なる効果検証が図られるものと思われる。

5. コスト縮減効果

当初設計段階(表-1のJR設計と国交省案)は標準のDJM技術マニュアルに準拠していたが、本工事においては新しい土研提案式を取り入れ、改良径 $\phi=800\text{mm}$ 、打設ピッチ $1.5\text{m}\times 1.5\text{m}$ 、改良率 $a_p=22.3\%$ とした低改良率で施工を行った。これにより、コスト縮減効果は当初設計から約60%減になると推定される。

表-1. 改良仕様と経済比較表

検討案	改良径 (mm)	打設ピッチ (m)	改良率 (%)	設計改良強度 (kgf/cm ²)	施工本数 (本)	改良土量 (m ³)	1m ³ 当たり 単価(円)	工事費 (千円/1000m ²)	比率
JR設計	1000	1.0m×1.0m	90.6	10.0	1000	10,205	8,782	141,012	1.00
国交省案	1000	1.5m×1.5m	40.3	10.0	445	4,541	8,782	66,399	0.47
土研式案	600	1.1m×1.1m	23.3	10.0	826	3,039	18,484	90,831	0.64
土研式案	800	1.5m×1.5m	22.3	10.0	445	2,904	11,866	58,262	0.41

採用案

※数量、工事費比較は、改良対象面積 $A=1,000\text{m}^2$ とした算定。

6. 低改良率地盤改良工法の展望・将来性

これまで述べたとおり低改良率による地盤改良は、アーチ作用により沈下を抑制するものであり、改良率及び盛土高が高いほど応力分担比が増加して有利となる傾向にあるが、通常のDJMでは応力分担比 n を10~20として設計する事が多く、アーチアクション効果を用いる場合は50~80程度を目標としている。

今回の設計においては、JR軌道部の許容沈下量 0.8cm をクリアするため $n=25$ としているが、現時点では $n=2.5$ 程度と $1/10$ の発現であり、今後継続して観測することが必要と考える。

沈下量についても、盛土材の単位体積重量や土質定数 ϕ の条件を変えた試験を行うこと等によって設計精度が高まっていくものと思われる。

今回の報告は、低改良率地盤改良工法を本格的に採用した、先駆的工事例として報告したものであるが、実験段階でのアーチアクション効果は確認されているものの、データ欠測箇所等があり、現状では完全な効果検証とは言い切れない。

今後、本工事箇所の計測値の動向を見守ることや、同種工事の取り組みの増加によって、アーチアクション効果の検証がされることを期待するものである。

前例を含めた3箇所の現地での施工に問題は生じておらず、これら6~10mの盛土において低改良率採用での安全性は概ね評価出来るものとする。