

軟弱地盤上の築堤に伴う鉄道構造物への影響解析

東日本旅客鉄道（株）東北工事事務所 正会員 ○牛木 隆匡
東日本旅客鉄道（株）東北工事事務所 正会員 高橋 彰俊

1. はじめに

既設構造物に近接して盛土工事を行う場合、盛土荷重による地盤沈下等の影響を予め把握し、影響を抑止する対策工について検討する必要がある。特に鉄道構造物の場合、許容変位量はミリ単位であることから、FEM による数値解析に基づき詳細な検討が必要である。

本報告では、N 値 5 以下の軟弱層が 40m 程度連続する軟弱地盤において、線路近接箇所での排水路埋戻し及び河川堤防構築が線路へ与える影響について FEM 解析を実施し、その対策工の検討例を報告する。

2. 工事概要

本工事は、事業主体が進める河川の無堤防区間の築堤事業において、当社在来線と直交する箇所の堤防新設を事業主体から委託をうけ施工するものである。

当社在来線は高さ約 4.3m (T.P.+5.253) の盛土区間であり、新設する堤防の計画高は約 3.0m (T.P.+4.620) で鉄道の盛土に腹付けされる。起点方には河川を渡河する橋りょうが位置し、P8 橋脚、A2 橋台を有す。線路から 20m 離れた位置に排水路が存在し、築堤に合わせて埋め立てる計画である。(図-1)

当該箇所の特徴は、N 値 5 以下の極めて軟弱な粘性土が G.L.-40m 程度厚く堆積した軟弱地盤であるため、築堤により周辺に大きな沈下が想定される。

3. 解析条件

(1) 解析方法

築堤による影響解析には三次元 FEM 粘弾塑性解析を行う。地盤定数、地下水位等は既往の地質調査データを用い、鉄道標準により設定する。モデルの範囲は、深さ方向 (z 方向) は既往の地質調査から強固な礫層が確認された深さを考慮し 50m、線路方向 (x 方向) は隣接する橋梁の橋脚、橋台の影響把握を行うため 90m、線路直角方向 (y 方向) は、z 方向の 3 倍程度の 140m として線路中心から両側 70m とした。図-2 にモデルを示す。

解析ステップは実施工に合わせて、初期応力→排水

路埋戻し→築堤→築堤から 1 ヶ月→2 ヶ月→6 ヶ月→1 年→10 年→50 年の計 9 ステップとする。

(2) 照査方法

軌道の変位量に着目し、対策を検討するため、解析上の変位着目点は「軌道面」とする。解析から出力される値は絶対変位であるため、軌道の管理をする際に用いる相対変位 (10m 弦：管理点とその前後 5m の計 3 点の相対変位) に変換して管理値を定める。10m 弦からは、鉛直変位である「高低」、水平変位である「通り」を求め、許容変位量を満足するかを確認する。

許容変位量は、軌道の整備基準値に対して当社の「近接工事設計施工マニュアル」で定められた安全率を加味し、「高低」、「通り」ともに 11.9mm とした。

以下、紙面の都合上、鉛直変位 (高低) の解析結果を記載する。

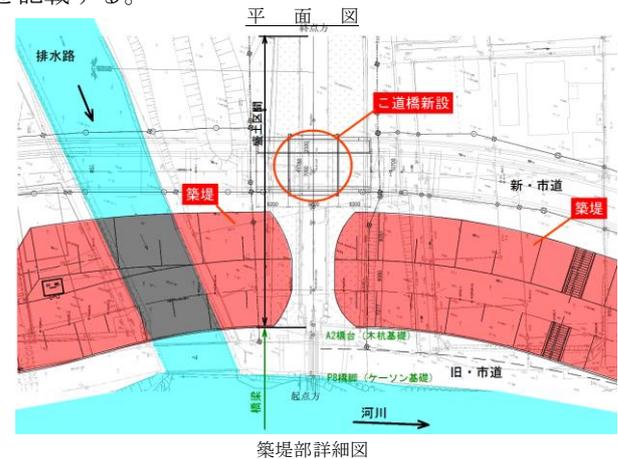


図-1 平面図及び築堤部詳細図

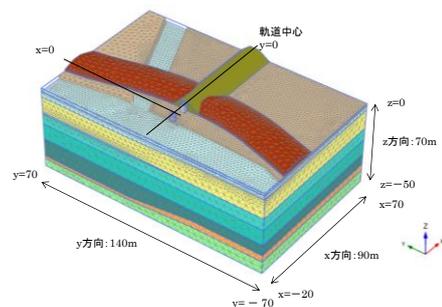


図-2 解析モデル

4. 対策工無の影響解析結果

対策工無で築堤した場合の軌道の鉛直変位を図-3に示す。沈下量が最大となったのは堤防の最大荷重が発生する築堤中央（x=20）付近であった。この点に着目すると、②排水路埋戻し後は66mm、③堤防盛土後は107mmと大きな変位が見られ、その後も沈下は継続している。10年後～50年後の変位は極小であるため、無対策の場合、堤防盛土の軌道への影響は10年間で収束していくものと考えられる。表-1に10m弦による変位量の照査結果を示すが、いずれの段階でも許容変位量の11.9mmを超過し、対策工の必要性を示した。

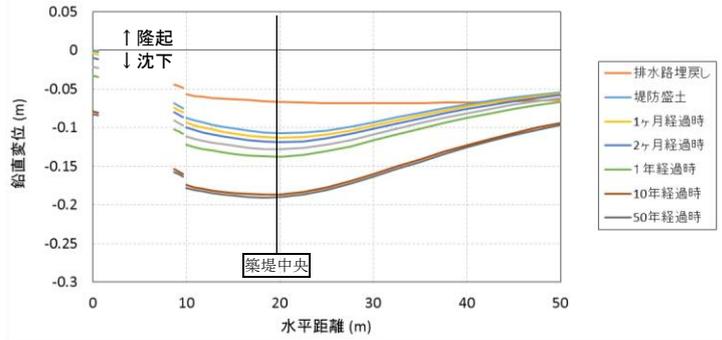


図-3 軌道の鉛直変位（絶対変位）【対策無】

5. 対策工の検討、対策後の影響解析結果

(1) 対策工の検討

対策工は築堤による軌道への影響を遮断する方針とし、地盤改良工を選定した。鉄道盛土の直下を改良することが最も効果的と想定されるが、40m程度の軟弱層の改良を営業線下で行うことは施工性が極端に悪いため事業工期を鑑み、鉄道盛土法面直下に限定し、線路平行方向に線状に深層混合改良することとした。工法は、小型機械で法面上から施工することが可能な高圧噴射攪拌工法とし、排水路の埋戻しに先立ち最初に施工することとする。なお、築堤の川裏側法尻については、堤内の住宅地への沈下対策のため、一様に改良することとし、経済性から変位低減型のスラリー攪拌工法を採用している。図-4に地盤改良工の範囲を示す。

表-1 軌道変位量の照査（10m弦：高低）【対策無】

(単位: mm)

| ステップ 照査範囲 | 排水路埋戻し | 築堤直後 | 1ヵ月経過 | ... | 10年経過 | 50年経過 |
|--------------|--------|------|-------|-----|-------|-------|
| 30-40 | 1.5 | 23.0 | 24.7 | ... | 37.6 | 37.8 |
| 20-30 | 2.3 | 14.5 | 16.1 | ... | 26.4 | 26.5 |
| 10-20 | 9.7 | 20.5 | 20.0 | ... | 12.1 | 12.0 |
| 0-10 | 57.0 | 86.4 | 89.7 | ... | 95.4 | 95.4 |
| 判定 | NG | NG | NG | ... | NG | NG |

(2) 対策工（地盤改良工）有の影響解析検討

前述の地盤改良工を行った場合の軌道の鉛直変位を図-5に示す。排水路埋戻し後は1～2mmの沈下に抑止されている。また、築堤による影響は、無対策の場合と逆に隆起する結果となった。これは築堤により軟弱層がせん断的な変形が生じ、側方変位が生じたことで周囲が隆起したものと考えられるが、時間の経過に伴い圧密により隆起は収束している。表-2に10m弦による変位量の照査結果を示すが、いずれの段階でも地盤改良工の効果により許容変位量を満足した。

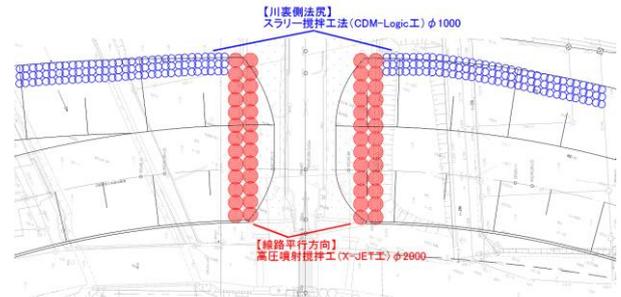


図-4 地盤改良工範囲図

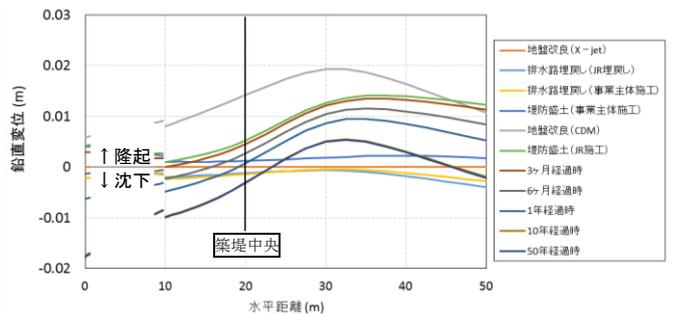


図-5 軌道の鉛直変位（絶対変位）【対策有】

表-2 軌道変位量の照査（10m弦：高低）【対策有】

(単位: mm)

| ステップ 照査範囲 | 排水路埋戻し | 築堤直後 | 3ヵ月経過 | ... | 10年経過 | 50年経過 |
|--------------|--------|------|-------|-----|-------|-------|
| 30-40 | 1.2 | 1.3 | 1.2 | ... | 2.1 | 2.1 |
| 20-30 | 0.6 | 7.4 | 7.7 | ... | 8.2 | 8.2 |
| 10-20 | 0.9 | 4.4 | 4.6 | ... | 6.8 | 6.8 |
| 0-10 | 0.2 | 3.4 | 3.0 | ... | 7.7 | 7.9 |
| 判定 | OK | OK | OK | ... | OK | OK |

6. おわりに

本稿では軟弱地盤において線路近接での築堤に伴う軌道への影響を三次元FEMにより解析し、対策工の要否を検討した。今後は地盤改良範囲の更なる深度化を図り、実施工への反映を目指したい。