

# 鉄道アンダーパス計画における土留および軟弱地盤対策の検討

(株) 吹上技研コンサルタント 綿 舎 真 紀

## 1. はじめに

鉄道直下を軌道面下約 10m で横断するアンダーパスの新設に対し、軟弱地盤(関東ローム, N=0~2)に適した土留および軟弱地盤対策を検討したものである。

地質構成は、地表部より関東ロームが層厚 10m 程度で分布し、その下位にφ100~200mm 程度の玉石が混入する N 値 50 回以上の礫層(武蔵野礫層)が厚く堆積していた。

地下水位は、既往調査より下部礫質土層を対象とした現場透水試験の平衡水位が GL-6m 付近で確認されたことから、被圧水頭(地下水位)がこの当りにあると推測された。

本件は、鉄道直下を横断するアンダーパス計画であるため GL-10m 付近まで掘削する必要があり、地下水位よりも深い位置まで掘削を行う。

以上より、壁高 10m 程度の土留工(擁壁工)、地下水位が上昇した状態で掘削を行った際の盤ぶくれ対策の検討が必要となった。また、鉄道との近接施工となるため、軌道に及ぼす影響や安全性を確認し、計画の妥当性を検証した。

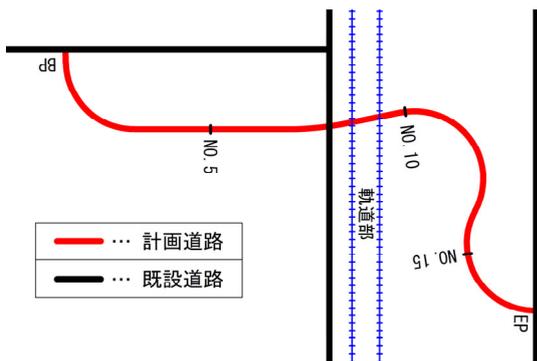


図 1-1 計画平面図

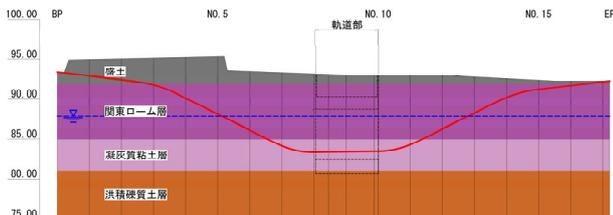


図 1-2 計画縦断面図

## 2. 土留対策の検討

### 2-1 擁壁工の検討

坑口部で用いられる擁壁工(土留工)は、一般的に斜壁擁壁や U 型擁壁などが用いられる。しかしながら、壁高 10m 程度の擁壁が必要であり、地表部より 10m 程度までローム層が分布している軟弱地盤層であると共に、以下の設計条件などを考慮する必要があることから、当地に適した土留工の検討が必要であると判断した。

設計条件
・壁面が垂直であること。(用地的制約)
・掘削が軌道や重要施設に及ばないこと。
・地下水位の上昇に耐えること。
・N値50回以上の硬質地盤(φ200mmの玉石混入層)に打設できること。

そこで、壁高 10m 程度の設置が可能で、切土擁壁に適した「自立山留め式擁壁」を抽出し、比較検討を行った。

表 2-1 比較検討結果

工法	施工性	安全性	経済性
第1案: 短形プレストレストコンクリート壁	△	△	○
第2案: H壁PCパイル壁	△	△	○
第3案: 鋼管矢板壁	○	◎	◎

第1案や第2案は背面土圧軽減対策(EPS等)を施す必要があり、地下水位の上昇が考えられる当地では、浮力が大きくなり安定性が低くなることが想定されるため採用し難い。それに比べ、「鋼管矢板壁」は硬質地盤の打設が容易であり、将来にわたる変形が小さいと推測されることから、施工性・安全性に優れた「鋼管矢板壁」を抽出した。

当地の地質調査結果を用いて設計計算を実施した結果、必要杭径はφ2000mmとなったが、施工期間に制約のある当地においては、施工機械の市場性が低い同径杭工は採用し難く、市場性の高い小型機(杭径φ1500mm以下)での施工とする必要があった。

そこで私は、ローム層の地盤強度が N 値からの推定結果より高い可能性を推察し、三軸圧縮試験の実施により固有のせん断強度を確認すべきと考えた。

その結果、想定したように高いせん断強度(N値からの推定の2倍以上)が確認でき、適切な作用土圧を求めることで、小口径での杭工の実現性を確認した。

### 2-2 鉄道への影響評価

本計画は、鉄道直下を横断するアンダーパスであるため、掘削に伴う軌道への影響を検証する必要があると判断した。当地は軟弱地盤であることから、周辺地盤及び既設構造物を1つの系で解析可能な有限要素法「二次元弾塑性 FEM 解析」や、比較的変位が小さい場合に用いられる応力とひずみの関係の線形モデルを用いて、妥当性を検証した。

一般的には、JR 東日本および JR 西日本では、在来線軌道の整備基準値例として高低変位や通り変位を 15mm としており、本計画においても 15mm を限界値、その 50% の 7mm を警戒値として解析した。

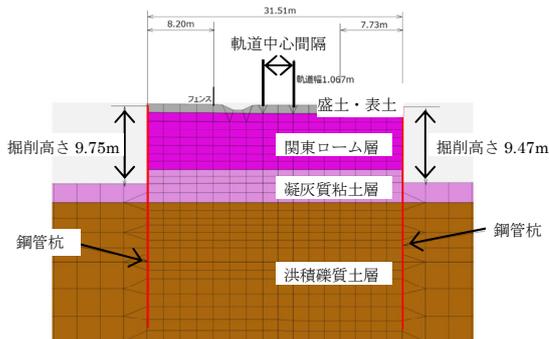


図 2-1 解析モデル(残地部分詳細図)

その結果、最大変位は水平、鉛直ともに許容値（警戒値7mm）以下となる1.5mm以下となっており、設計計算結果での妥当性を確認できた。

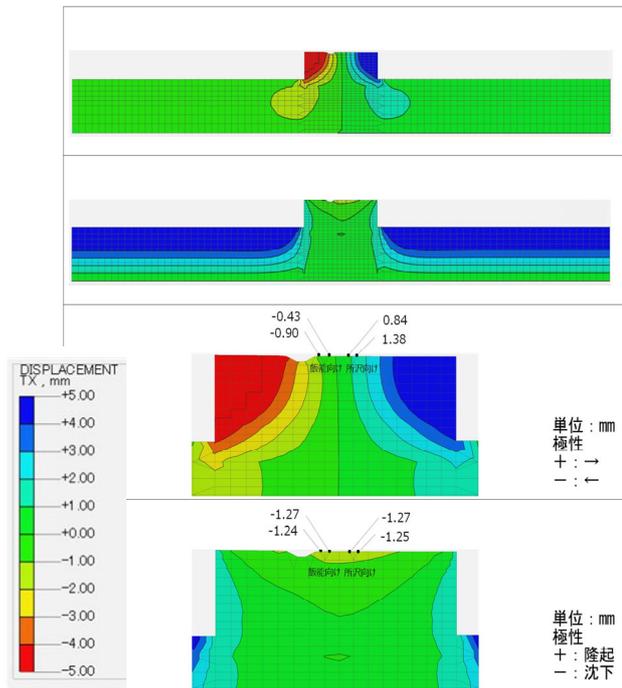


図 2-2 解析結果

### 3. 盤ぶくれ対策の検討

#### 3-1 盤ぶくれに対する安全性

前述のとおり、当地は既往調査により上昇時の地下水位がGL-6m付近にあると推測された。この水位で掘削を行うと、図3-1のように掘削箇所の有効応力が減少し、盤ぶくれが生じる。

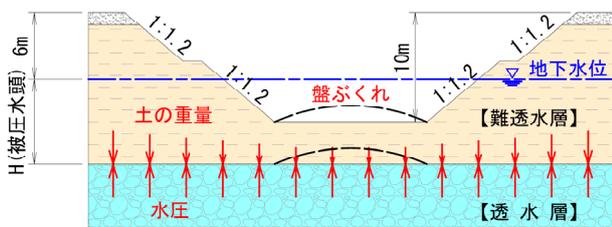


図 3-1 盤ぶくれ

そこで、被圧水圧と土かぶり荷重との比で評価する荷重バランス法を用いて、盤ぶくれに対する安全性を確認した。

その結果、地盤改良を行わず掘削を行う場合、盤ぶくれに対する安全率は0.48となり、一般的な常時の安全率1.1を大きく下回るため、地盤改良を行う必要があると判断し、地盤改良深さの検討を行った。

検討の結果、地盤改良を7.0m行ったとき、安全率が1.12であり基準値1.1を上回ることから、盤ぶくれに対する地盤改良厚は7.0mとした。(図3-2参照)

また、地表よりGL-6.50m(H=86.0m)まで掘削した時点での未対策時の盤ぶくれに対する安全率が1.11となるため、図3-2に示すとおり、H=86.0m以深に掘削が及ぶ区間は盤ぶくれ対策を行い、それ以浅(概ね小段以浅)の掘削に止まるエリアは、十分な土被り厚があるため対策を行わないものとした。

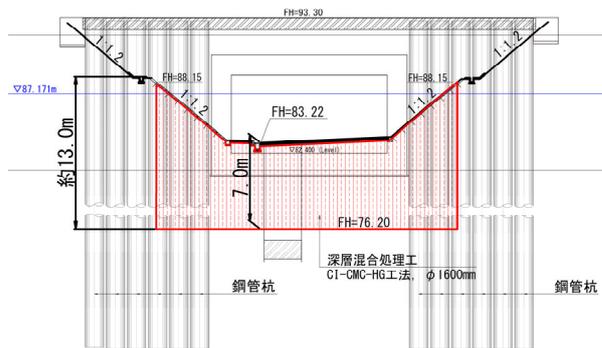


図 3-2 盤ぶくれ対策標準図

#### 3-2 地盤改良工法

地盤改良深さは13m程度であることから、中・深層混合処理工法である以下の4工法で比較した。

表 3-1 比較検討結果

工法	適用性	施工性	経済性
第1案：スラリー噴射方式(地中攪拌)	×	×	—
第2案：高圧噴射攪拌方式(Newスリーブ注入工法)	△	△	△
第3案：高圧噴射攪拌方式(ジェットクリート工法)	△	△	△
第4案：深層混合処理方式(CI-CMC-HG工法)	○	○	◎

その結果、最大改良深さが13mまでであることや大規模な施工現場での施工速度が遅くなること、さらには硬質地盤の改良に適さないことなどから、第1案～第3案は適用性や施工性などから採用し難い。それに比べ、硬質地盤用に開発した工法であり、重機は大掛かりであるが施工速度の速い第4案は施工性や適用性に優れ、確実性が高いことから「深層混合処理方式(CI-CMC-HG工法)」を採用した。

#### 4. あとがき

本件は、鉄道直下を横断するアンダーパスの新設計画であるが、地表部に軟弱地盤、下部に硬質地盤が堆積しており、地下水位の上昇が考えられる地質的、施工的に不利な条件下であることから、鉄道に影響が出ないよう土留対策、盤ぶくれ対策を含む掘込み道路の計画を行った。

土留対策は、施工性・安全性の優れる「鋼管矢板壁」を抽出し、地盤特性を詳細に把握した上、市場性の高い小型機での施工が可能で小口径杭工とした。また、掘削時の鉄道への影響を評価するため「二次元弾塑性FEM解析」を行い、当計画の妥当性の検証した結果、変位が許容値以下であることを確認し、妥当性を確認できた。

盤ぶくれ対策は、常時の安全率が基準値を満たすよう、H=86.0m以深に掘削が及ぶ区間に対して7.0mまで地盤改良を行う計画とした。地盤改良工法は、硬質地盤に適用することが可能で、施工速度の速い「深層混合処理方式(CI-CMC-HG工法)」を採用した。

なお、15mを超える地盤改良については、一般的に深層混合処理工法が多用される。しかしながら、当地の地盤条件のように、超軟弱地盤の下位に玉石を混入する硬質地盤が出現する場合は、選定工法に限られる。今回は硬質地盤対応のCI-CMC-HG工法を選定したが、改良機械の市場性などから、施工期間に限られる工事では採用し難い場合もある。当地のような地盤構成は各所に点在するため、今後は深い地層の硬質地盤にも対応できるような地盤改良工法のさらなる開発が望まれる。