

地盤改良を用いた自立式土留壁による開削トンネルの施工実績

阪神高速道路株式会社 大阪管理部 正会員 新井 偉史
 堺建設部 正会員 小仲 康範
 前田建設工業株式会社 東北支店 正会員 清水 孝広
 関西支店 正会員 若林 治郎
 土木設計部 正会員 ○仲井 幹雄

1. はじめに

阪神高速大和川線は、大阪都心部における新たな環状道路を整備する「大阪都市再生環状道路」の一部として、4号湾岸線と14号松原線を接続するために計画された片側2車線の自動車専用道路である(図-1参照)。その全長は9.7kmであり、大部分が地中構造物となる。三宝第2工区はその西端に位置し、地上部分から地下構造に遷移する区間を開削工法にて函体を構築するものである(図-2参照)。工事概要を表-1に示す。



図-1 位置図

表-1 工事概要

工 事 名	三宝第2工区開削トンネル工事
工事場所	堺市堺区松屋大和川通4丁 ～同区松屋大和川通2丁付近
工事内容	大阪府道高速大和川線 開削トンネル工事 延長：約500m 道路規格：第2種第1級 函体外形状寸法： 高さ：約8.2m～8.8m 幅：約22.1m～27.5m
工 期	平成21年4月4日 ～平成25年11月3日

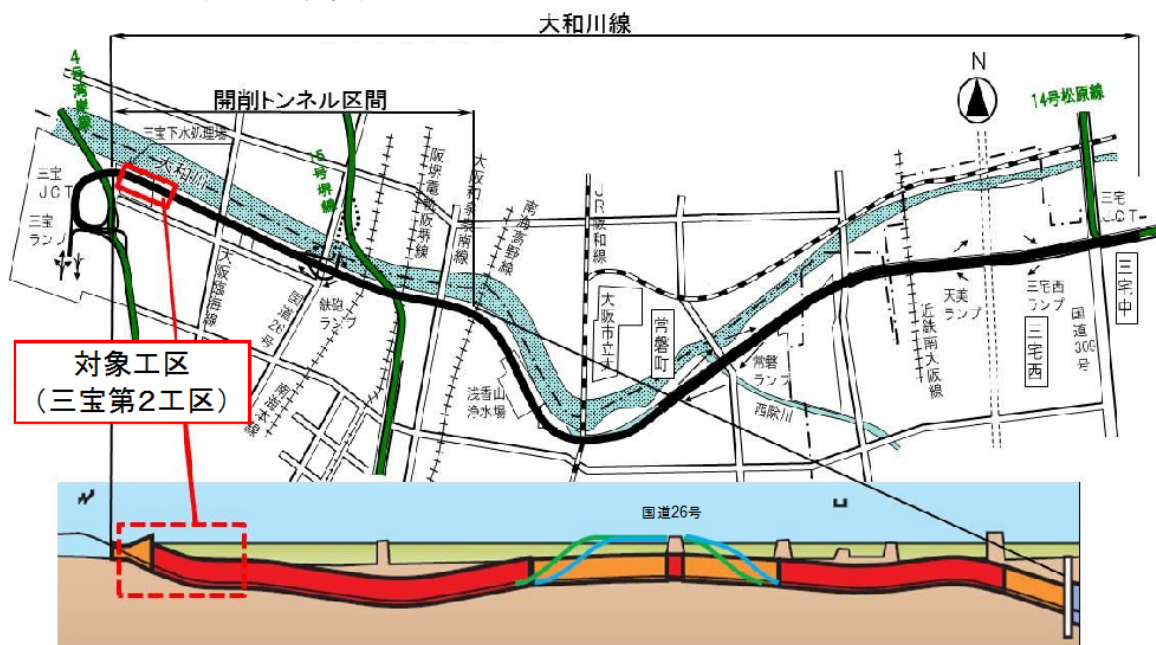
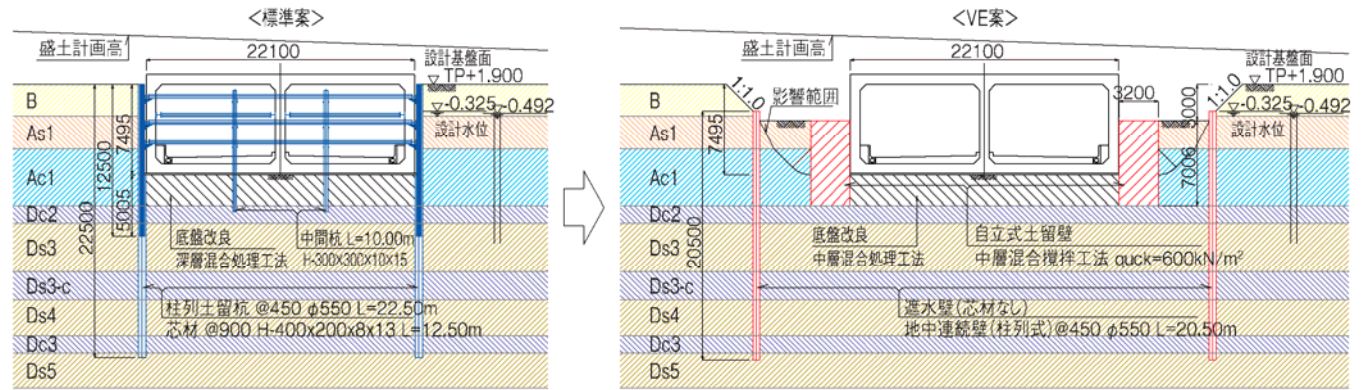


図-2 大和川線路線図

キーワード 開削トンネル, 地盤改良, 中層混合攪拌工法, 自立式土留, 大型枠, 移動式型枠支保工
 連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見2-10-2 前田建設工業(株) 土木設計部 TEL 03-5276-5166

当初は、地中連続壁（柱列式）による土留壁と切梁・腹起しによる土留支保工を用いた掘削が計画されていた。しかし、設計・施工一括方式の契約のもと、地盤改良（中層混合攪拌工法）による自立式土留壁へ変更する技術提案を行った（図－３参照）。その結果、土留壁芯材や切梁・腹起し等が不要となることから、経済性に優れるとともに、施工性の向上も期待できると評価され、採用に至った。

本稿では、当工事で採用した自立式土留壁の構造的な特徴ならびに施工方法を紹介するとともに、掘削時に実施した変位計測の結果を報告する。



図－３ 土留壁の変更

2. 自立式土留壁の特徴

2.1 設計の考え方

地盤改良による改良体を土留壁として利用する方法は、比較的小規模な掘削工事においてしばしば用いられてきた。しかし、大規模な線状構造物に対して全体的に採用された事例はほとんどない。ここでは、自立式土留壁を採用するにあたって実施した設計の考え方を述べる。

当該地は、一級河川である大和川の堤防沿いに位置し、地表付近には緩い砂質土層と軟弱な粘性土層が広く分布している（写真－１参照）。掘削深度は最大で約8mであり、この軟弱地盤部分を掘削することになるが、地下水位が高いため、土留壁には遮水性が要求される。また、深部には被圧を呈する地下水が存在しており、掘削時の盤ぶくれ対策も必要となる。



写真－１ 工事箇所状況（着手前）

一方、函体を構築する箇所は下水処理場の跡地であるため、用地にも比較的余裕があり、広い範囲で施工を行うことが可能である。そこで、地下水対策としての遮水壁を掘削影響範囲の外側に造成し、その内部を盤下げ掘削（約3m）することで、土留壁の自立高さを最大5m程度に低減することとした。

盤下げ範囲内に造成する土留壁の仕様は、「陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル¹⁾」を参考に、以下の検討により決定した。

①安定性の検討[外的安定の検討]

改良体を重力式擁壁とみなし、滑動および転倒に対する安定性が確保できるか、また、下部に分布する地盤の支持力が確保できるかの確認を行う。

②改良体強度の検討[内的安定の検討]

改良体を根入れ部分から突出した片持ち梁とみなし、背面から側圧が作用したときに発生する応力度を算出し、許容値を満足できるかの照査を行う。

その結果、深部の洪積粘性土層（Dc2層）を支持層とすることで、自立式土留壁の安定性を確保することとし、中層混合攪拌工法による地盤改良の仕様を表－２のように定めた。

表－２ 自立式土留壁（改良体）の仕様

設計基準強度		600kN/m ²
掘削深度（自立高さ）		2.1～5.1m
改良体寸法	改良幅	1.4～3.6m
	改良高さ	5.6～7.1m
	根入れ長	1.8～4.7m

2.2 施工方法

施工は、①盤下げ掘削、②遮水壁の造成、③自立式土留壁の造成、④掘削の順に実施した。また、本工事箇所は高規格堤防の対象となっており、トンネル函体上部に盛土を施工する計画となっている。この盛土に伴う上載荷重の増加により、床付け盤以深に存在する沖積粘性土層（Ac1層）が圧密沈下する恐れがある。このため、当初案では掘削に先立ち、深層混合処理工法にて底盤改良を実施する計画であった。しかし、今回の施工では自立式土留壁の特徴を活かし、掘削の途中段階で中層混合処理工法にて地盤改良を行う計画に変更した。

①盤下げ掘削

地表付近に存在する地下水（自由水）が問題とならない深度まで掘削した。この盤下げ掘削を行うことで、支障物の存在を確認する試掘を兼ねるとともに、遮水壁施工機械（杭打機）の安定性を確保するための施工基盤を確保した。

②遮水壁の造成

地中連続壁（柱列式）により、深度約 20.5～22.5m の遮水壁を造成した。施工にあたっては、5 軸式のアースオーガーを搭載するリーダー長 30m の三点式杭打機を採用した（写真－2 参照）。

③自立式土留壁の造成

改良深度が約 7m であることから、バックホウ型ベースマシンを用いた中層混合攪拌工法を採用することとした。

自立式土留壁を造成する上で重要となるのは、確実に下部の支持層に改良体を着底させ、掘削時の安定性を確保することである。そこで、数ある中層混合攪拌工法の中から、掘削能力に優れ、かつリアルタイム管理装置により、未改良部分の発生を防止できる WILL 工法を選定した（写真－3 参照）。

WILL 工法とは、ベースマシン先端に取付けた特殊な攪拌翼を用い、スラリー状の固化材を注入しながら、原位置土を強制的に攪拌混合するものであり、次のような特徴を持つ。

- ・斜めに取り付けた攪拌翼により対象土を三次元的に攪拌し、均質な改良体を造成できる（写真－4 参照）。
- ・掘削能力に優れるため、N 値 30 を超える地盤でも対応可能。
- ・運転席に設置したモニターを用いて、施工状況をリアルタイムに管理できる（写真－5 参照）。

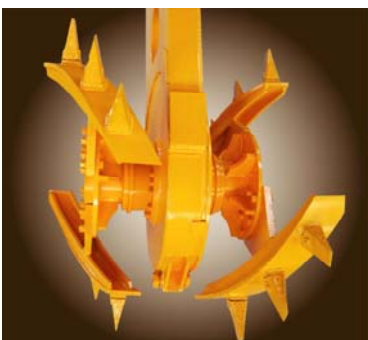
なお、本工事では、改良深度が約 7m であることを考慮し、1.4m³級のベースマシンを採用した。また、品質の確認には、原位置にて未固結試料をサンプリングするとともに、硬化後の改良体に対して、チェックボーリングを行った。



写真－2 地中連続壁（柱列式）施工状況



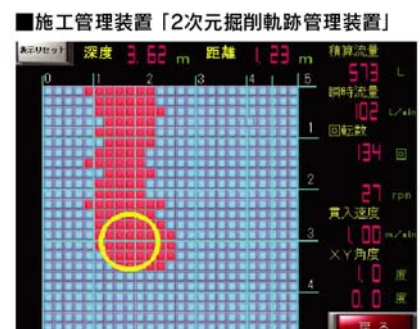
写真－3 WILL 工法地盤改良機（1.4m³級）



写真－4 特殊攪拌翼（WILL 工法）



写真－5 リアルタイム管理装置（WILL 工法）



④掘削

中間杭や切梁等の障害がない利点を活かし、通常のバックホウ（0.8m³級）およびダンプトラックを構内に入れて掘削ならびに積込みを行った（写真－6 参照）。

また、圧密沈下対策として行う底盤改良も、前述の WILL 工法を採用した。この施工も、掘削盤まで改良機を下ろして実施した（写真－7 参照）。なお、底盤改良実施時の施工基盤の深度および施工順序については、自立式土留壁の安定性を損なわないよう、事前に FEM 解析等の検討を行って定めた。

掘削完了の状況を写真－8 および 9 に示す。



写真－6 掘削状況



写真－7 底盤改良施工状況



写真－8 掘削完了状況（自立高 5m）



写真－9 掘削完了状況（均しコンクリート打設後）

2.3 自立式土留壁採用の効果

本工事では遮水壁を函体構築範囲の外側に造成することで、盤ぶくれ対策として必要となる減圧井戸（リリーフウェル）を掘削範囲の外側に配置することができた。これらの結果も含めると、経済性、施工性、品質および安全性の4項目について様々な効果が得られた。以下にその内容を示す。

（1）経済性の向上

厚みを持たせた改良体を土留壁とした場合、高い剛性を必要としないため、通常の土留壁で用いるような鋼材が不要となった。さらに、自立式とすることで、切梁・腹越しといった土留支保工や中間杭も不要となった。

その他、地盤改良の仕様を掘削深度や地盤条件に合わせて細かく変更することができ、合理的な土留壁が構築できた。また、機動性に優れた小型の施工機械を用いたことで、施工の途中段階でも比較的容易に改良寸法の変更等が行えた。

(2) 施工性の向上

通常のバックホウとダンプトラックのみで掘削・積込みが可能となるため、施工能率が大幅に向上した。函体の構築においては、荷降ろしに支障となる障害物が存在しないため、鉄筋組立作業が効率的に行えた（写真-10 参照）。また、コンクリートの打設時も、ポンプ車のホース移動が土留支保工等の支障物によって妨げられることがないため、スムーズに打設を行うことができた（写真-11 参照）。

その他、大規模な作業空間を確保することで、壁部分の「大型型枠」や解体せずに隣接ブロックへ移動できる「移動式型枠支保工」の採用が可能となり、施工性が向上し、工程の短縮につながった（写真-12, 13 参照）。



写真-10 鉄筋組立状況



写真-11 コンクリート打設状況（底版部）



写真-12 大型型枠設置状況

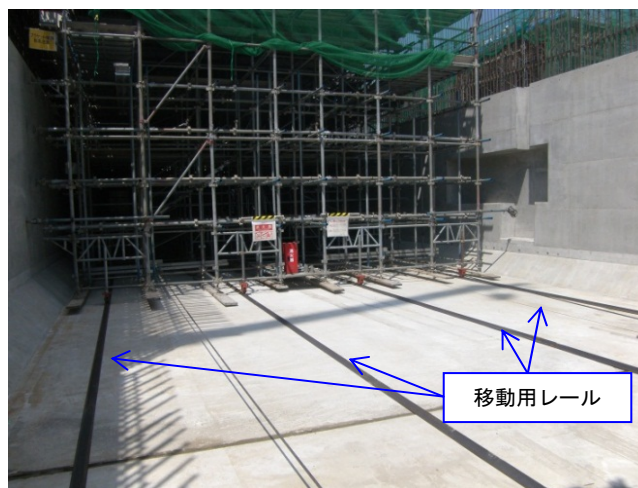


写真-13 移動式型枠支保工

(3) 品質の向上

前述のとおり、中間杭や減圧井戸（リリーフウェル）が函体構築範囲に存在しないため、支障物によって寸断されるような鉄筋がなくなり、理想的な鉄筋配置が可能となった。また、部材（主に底版）を貫通する仮設鋼材がないため、漏水の原因となる弱点も低減できた。

(4) 安全性の向上

土留支保工が省略できるため、設置・撤去に伴う高所作業や重量物の取扱い作業が低減した。また、掘削時には、通常のバックホウを利用できることから、重機の輻輳作業が低減できた。

その他、函体構築にあたっては、障害物がなくなったことにより、クレーン作業時の視認性が向上し、吊荷との接触や挟まれ災害に対するリスクも低減できた。さらに、足場や型枠支保工を移動式としたことにより、それらの組立・解体に伴うリスクも低減できた。

3. 変位の測定結果

掘削にあたっては、施工状況に合わせて計測管理を行い、設計手法の妥当性を確認するとともに、得られた情報を設計・施工にフィードバックし、慎重に工事を進めた。

自立式土留壁の変位計測には、ローラー型の挿入式傾斜計を用いた。変位の測定結果を図-4に示す。なお、本工事の許容変位量は、河川堤防に及ぼす影響等を考慮し、60mmと定められている。また、図中に示した変位量の予測値は、断面二次元 FEM（弾性解析）による掘削解析を用いて算出した結果である。

この結果をみると、改良体の下端付近からほぼ直線的に傾斜しており、改良体に曲げがかかるような状態は認められない。剛体に近い状況で挙動しているものと判断される。

二次掘削（掘削深度 3.4m）完了時点での変位量は、予測値 12.2 mm に対し、実測値は 9.3 mm であった。しかし、床付け掘削完了後の変位は、予測値 21.8 mm に対し、実測値は 27.3 mm となり、予測値を実測値が上回った。この変位量は、管理基準値を満足するものであったが、計測頻度を増やし、土留壁の安定性を確認しながら施工を進めた。

変位の実測値が予測値を上回った要因としては、解析時に底盤改良の施工の影響を十分に考慮できなかったこと、および、背面に存在する河川堤防等の影響により、当初の想定よりも大きな側圧が作用したことなどが挙げられる。

4. おわりに

工事は平成 25 年 11 月に、無事竣工することができた。これは、当初計画の工期と比較して約 5 ヶ月の短縮を行ったことになる。自立式土留壁によって得られた広い作業空間を活かし、様々な工夫や取組みにより施工性ならびに安全性の向上を図った結果であると考ええる。

自立式土留壁の場合、完全にオープンな作業空間を確保できることから、用地等の施工条件や地質条件が合えば、非常に有効な手法である。今後採用が増え、基礎データの収集が進めば、より合理的な設計手法も確立できるものと考ええる。しかし、想定以上の変位挙動が認められた場合、通常の土留壁とは異なり、切梁への軸力導入（プレロード）や増し梁といった変位抑制対策が困難となることも考慮しておく必要がある。採用にあたっては、現場の施工条件や立地条件を勘案し、対策工まで含めた施工計画を入念に策定しておかなければならない。

軟弱地盤の掘削は困難を伴うことが多く、効率化を図ることが難しい事例も見受けられるが、本工事の実績が今後計画されている同種工事の参考になれば幸いである。

最後に、本工事にあって御指導いただいた関係各位の皆様には深く感謝いたします。

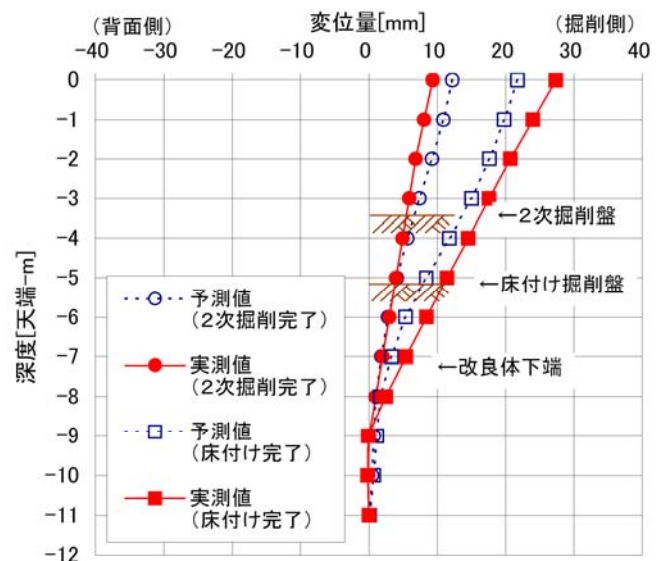


図-4 変位計測結果

参考文献

- 1) 陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル 改訂版 (財) 土木研究センター
- 2) 黒須早智子, 小林寛: 開削トンネル工事における自立式土留壁の変位計測, 阪神高速道路第 43 回技術研究発表会論文集, 2012.5
- 3) 小林寛, 黒須早智子, 林訓裕: 開削トンネル工事における自立土留壁の変位計測, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 2011.11