

海浜部における大規模開削工事への情報化施工技術の適用

株式会社 大林組 本店 咲洲工事事務所 所長 森上 賢一
主任 上月 健司

1. はじめに

大阪港においては、「テクノポート大阪」計画を推進するため、咲洲、舞洲や夢洲などの臨海部における国際物流施設等の開発・整備が促進されている。本工事は、咲洲と夢洲の両地区を結ぶ鉄道・道路併設トンネル（沈埋トンネル工法）とその陸上アプローチ部（開削工法）を築造する「夢洲トンネル事業」のうち、咲洲側アプローチの最終区間となる沈埋函との接合部、直接接合部を開削工法により築造する工事である。以下に事業内容、ならびに本工事の主要工種、工事数量を示す。

< 夢洲トンネル事業内容 >

区 間：咲洲～夢洲間 延長約 2.1km
構 造：鉄道・道路併設トンネル
アプローチ部：開削工法、海上横断部：沈埋工法

< 本工事概要 >

発注者：国土交通省 近畿地方整備局
大阪港湾・空港整備事務所

工 期：平成 13 年 2 月 9 日～平成 17 年 3 月 25 日

主要工事数量・工種

- ・土留壁：鋼管矢板建込工法
(1,500mm、t=15/17,18mm、L=52.0m
N=111 本、延長 L=194.0m)
- ・土留支保工構造：鋼製支保工（集中切梁方式、5 段一部 6 段、）
- ・平面規模：L=55.0m、B=45.0m、A=2,200m²
- ・掘削土量：V=約 55,000m³
- ・躯体構築：鉄筋コンクリート造 V=12,000m³（低熱ポルトランドセメント使用、温度ひび割れ対策実施）
- ・掘削深度：平均 H=24.5m、最深部 H=28.5m
- ・補助工法：ディープウェル（掘削外径 1,200、スチナ 800、L=50.0m、2 本）

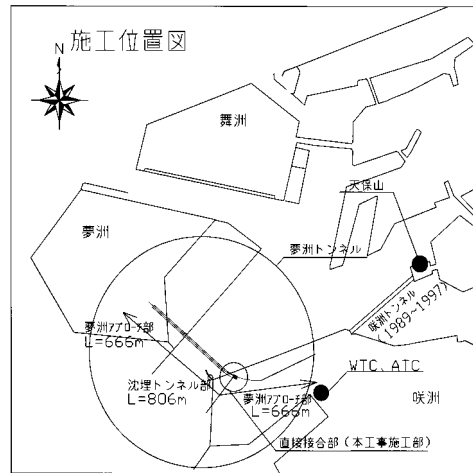


図 - 1 施工位置図

2. 掘削工事の特徴

土留壁に作用する高土水圧	海浜部の大深度掘削、鋭敏性粘土
被圧水による盤ぶくれ現象の懸念	高水位の被圧帯水層（被圧水頭 GL. -2.00m）
掘削下部地盤のリバウンド、圧密沈下	埋立による粘性土層過剰間隙水圧の残留（自由水頭+60.0KN/m ² ）
急速施工への対応	掘削による応力解放 月平均 10,000m ³ の内部掘削

本施工部は海浜部に面するため、土留壁背面側には大阪湾潮位と同値の水圧が作用し、かつ施工部地盤は、若齢埋立地盤ならびに高鋭敏比の沖積粘性土層で構成されることから、土圧・水圧とも高く、掘削床付面 (GL. -25.0m) における側圧は、約 450KN/m² と設計されている。

掘削時においては、沖積粘性土下部の被圧帯水層 (第一天満層) からの盤ぶくれを抑制する目的で、ディープウェルを併用し、最終床付け完了時においては被圧水頭を現状の GL. -2.0m から 25m 低下させる必要がある。

また沖積・洪積粘性土層の掘削に伴う応力解放により掘削底部地盤についてはリバウンド現象が発生し、土留架構全体を押し上げ、過度の応力を発生させる可能性がある。それと同時に当該施工域が埋立完了後数年程度の若齢地盤であることから、盛土層下部の洪積粘性土層 (OP. -30.0m 付近) については、自由水頭 (平均潮位) に比し 60.0KN/m² もの過剰間隙水圧が残留しており、年平均 30mm/年程度の圧密沈下が発生している。また、先行施工工区 (当該施工部の鋼管基礎杭、深層混合処理工) の進捗を鑑みた工程調整の結果、約 8 ヶ月間で約 55,000m³ の掘削工事を完了させる必要が生じた。

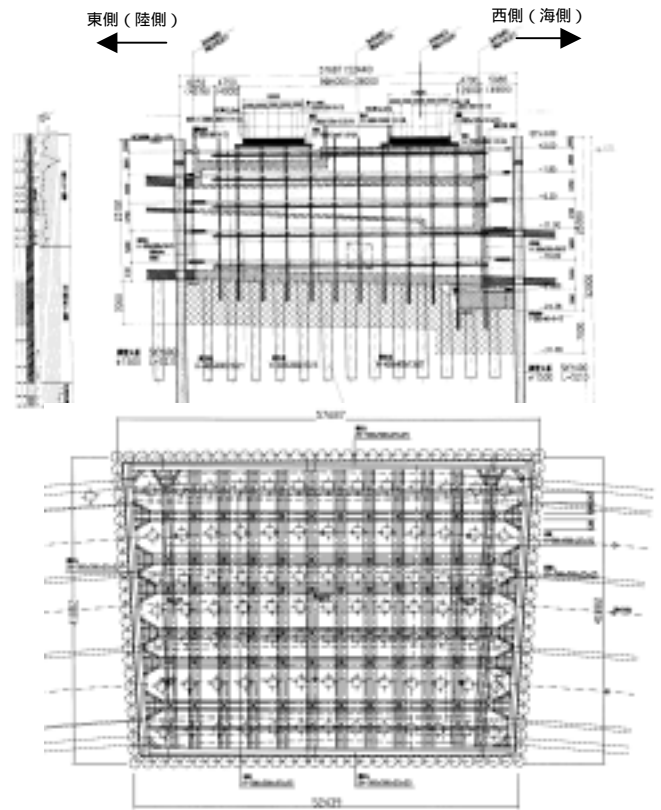


図 - 2 平面図・断面図

3 . 情報化施工技術の採用について

2章で述べたように、本工事においては大きな側圧の作用、若齢埋立地盤の圧密沈下、ならびに掘削に伴うリバウンドによる土留め架構挙動を施工全般に渡り重点的に管理する必要があることから、多岐に渡る計測機器の導入による情報化施工技術が導入された。以下にその具体的内容について詳述する。

3 - 1 計測機器設置について

本工事における土留め架構、ならびに掘削・周辺地盤内に設置された計測機器種別、計測項目、設置仕様、ならびに設置点数一覧表を右に記す。

右に示す通り、計測項目は多岐に渡り、計測点数は自動計測項目のみで 400 測点を超える膨大なものとなった。長期的な動作安定性に富む「

表 1 計測機器設置一覧表

設置位置	計測機器	方法	計測項目	設置仕様	設置点数
土留壁	ひずみ計	自動	土留壁発生応力度	φ3.0m、32箇所×4断面	128
	多段式傾斜計	自動	土留壁変位	φ2.0m、25箇所×4断面	100
	壁面土圧計	自動	土留壁作用側圧	φ5.0m、15箇所×4断面	59
	壁面水圧計	自動	土留壁作用水圧	φ10.0m、10箇所×4断面	39
	挿入式傾斜計	自動	土留壁変位	φ10.0m、8本	8
支保工	ひずみ計	自動	切梁軸力	縦・横断 各段 温度計共	30
中間杭・棧橋杭	三次元測量ターゲット	手動	リフト量測定	MONMOS、27測点	27
掘削地盤	間隙水圧計	自動	被圧水圧	第一天満層	3
	揺動抵抗式層別沈下計	自動	圧密沈下、リフト測定	L=120.0m、粘性土層境	8
周辺地盤	MP-System間隙水圧計	手動	粘性土層間隙水圧	L=100.0m、粘性土層中間	7
	磁気式層別沈下計	手動	粘性土層圧密沈下量	L=150.0m、粘性土層境	8
	三次元測量ターゲット	手動	地表面変位	土留中心よりφ10.0m、50.0mまで	10
	挿入式傾斜計	手動	土留背面地盤変位量	土留中心より10.0m位置	1

3 - 2 土留め計測管理システムの採用

本工事においては以下の機能を有する計測管理システムの導入を実施し、実施工への適用を行った。

以下に本システムの機能・特徴を示す。

シミュレーション・予測解析機能

計測機器から得られた計測値（現状値）を用いて、次施工段階の計測値の予測解析を自動的に行う。土留架構解析には、弾塑性拡張法を用い、シミュレーション解析時のパラメトリックスタディには、ファジー理論を用いている。また、システムコンピュータ画面上には、計測値、予測値、管理値を同一画面上に表示させる機能を有する。

WEB機能

計測値、ならびに各解析値を現場・企業体事務所、ならびに計測担当協力業者間でリアルタイムに共有でき、かつ様々な対応をタイムリーに行えるよう、LAN環境を構築できる。本工事においては、現場に設置した計測管理室と企業体事務所の距離が約250mと離れていることから、専用線ではなく無線システムを用いたLAN回線を採用している。

また、発注者設置の計測管理専用サーバーへ、1時間毎計測値を自動転送する機能を有する。

警報発令機能

計測値が一次、二次管理値を超えた場合、企業体職員、計測担当をはじめ、全ての関係職長に周知できるよう、自動的に携帯電話にて警報発信・メール送信する機能を有する。

また、現場においては、回転灯ならびに警報音を作動させ、全作業員に周知する機能を有する。

4 . 計測管理システム適用事例

以下に4次掘削～5次掘削時における計測管理事例を示すこととする。

東側（陸側）断面において変形量最大値は、4次掘削時の敷付地盤付近で最大 $\max=15.2\text{mm}$ を示した。この変形結果を基にシミュレーション解析（ $\max=15.7\text{mm}$ ）を行った結果を 下図（図 - 4）に示す（ \circ ：計測値、実線：シミュレーション値）。

本解析結果を基に予測解析を行い、5次掘削時の施工の安全性を確認、すなわち土留架構構造に発生する応力度が全て許容応力度内、かつ二次管理値内であることを確認し、実施工を実施した。

図 5 に予測解析結果、ならびに5次掘削時の土留壁変形結果を併記することとする。

上図に示す通り、5次掘削完了時における土留壁変形量最大値は $\max=23.8\text{mm}$ となり、予測値 $\max=23.5\text{mm}$ とほぼ同値となった。また、変形モードについてもほぼ予測結果通りとなった。

なお、本解析においては、切梁バネ定数をフィッティングパラメータとしたが、各段支保工に関しても同数値は当初設計値に比し30～40%の数値となった。

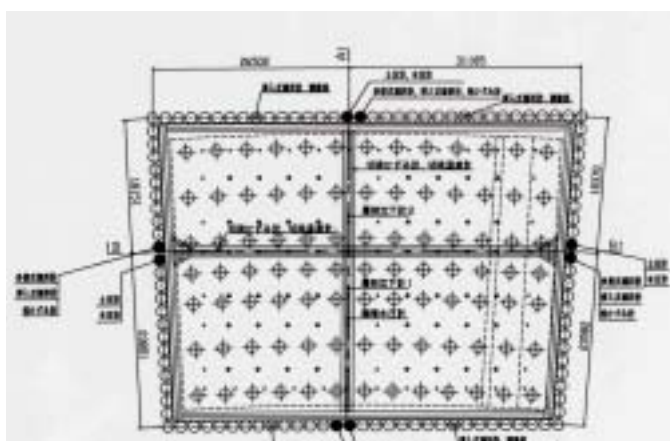


図 3 土留め計測機器配置平面図

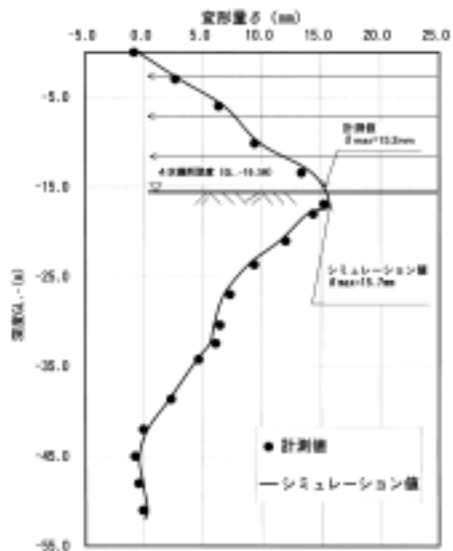


図 - 4 計測値とシミュレーション解析結果の比較
(4次掘削 GL.-16.5m 完了時)

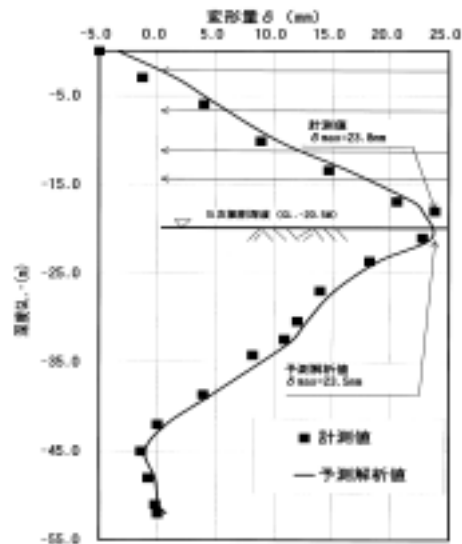


図 - 5 予測解析結果と計測値の比較
(5次掘削 GL.-20.5m 完了時)

5. おわりに

多岐に渡る計測に情報化施工技術を導入し、平成15年3月最終敷付を向えた。敷付完了後、継続工事として支保工撤去・躯体構築工事に着手している。支保工撤去時においては、掘削開始から床付けに至るまでに実施した「シミュレーション・予測解析結果」を基に土留め架構構造の健全性の確認を行い、平成16年5月、全ての支保工の撤去が完了した。この中、特に4段支保工の撤去に際しては、夏場の気温上昇に伴う温度応力増加の影響を受け、3段支保工において許容応力度の95%を超える最大5,000KN/本もの切梁軸力が発生した。この場合においても、「シミュレーション・予測解析結果」を基に、発生最大軸力を予測し、施工体制ならびに安全管理体制を事前に構築できたことが安全かつ順調に施工が進捗した要因として挙げられる。「情報化施工」という言葉が土木現場に導入され、コンピュータの発達と同時にその情報量が膨大になっていると考えられる。これら情報を現場施工に確実にフィードバックできるよう、迅速に処理するシステム、つまり高度処理が可能となるシステムを本工事においては採用した。本施工事例が今後同種の施工の参考となり、また今回得られた各種計測データが土留め架構構造の設計に活用されれば幸いである。

表 3 切梁バネ定数低減率一覧表

段数	縦断方向	横断方向
1	35%	40%
2	42%	45%
3	38%	40%
4	41%	45%
5	40%	35%
6	65%	

切梁バネ定数 $k_s = 2EA / LS \times$
 ここに、E：鋼材ヤング率、A：断面積
 L：切梁長、S：切梁水平間隔
 ：低減率



写真 - 2 夢洲トンネル咲洲側アプローチ部全景

「情報化施工」という言葉が土木現場に導入され、コンピュータの発達と同時にその情報量が膨大になっていると考えられる。これら情報を現場施工に確実にフィードバックできるよう、迅速に処理するシステム、つまり高度処理が可能となるシステムを本工事においては採用した。本施工事例が今後同種の施工の参考となり、また今回得られた各種計測データが土留め架構構造の設計に活用されれば幸いである。