

拡孔式アンカーの設計・施工および面的な土留壁の計測管理

Design and Execution of Spread Anchors and Two-dimensional Measuring Management for Retaining Walls

日 野 宣 隆^{*1} 新 井 勝 明^{*1}

Noritaka Hino Katsuaki Arai

小 林 薫^{*2} 松 元 和 伸^{*2} 熊 谷 幸 樹^{*2}

Kaoru Kobayashi Kazunobu Matsumoto Koki Kumagai

【要旨】

高速電気軌道第8号線第2鶴見検車場工事は、グラウンドアンカーとソイルセメント壁工法を用いて軟弱粘性土地盤を掘削する大規模開削工事である。本工事南部の一部分において用地境界の制限から軟弱粘性土地盤への定着を余儀なくされたために拡孔式アンカーを採用した。拡孔式アンカーは、アンカー体をφ800mmに拡大することによる支圧効果と摩擦効果の複合作用により比較的大きな引抜抵抗力を得ることができる工法である。

本稿は、軟弱粘性土地盤へのアンカー工法の施工実績と土留壁の安全性確保の面で当社保有技術である精密写真測量システム (TPhotoS) および光学式地盤変位計を新しい土留壁の面的な計測管理手法として適用した結果を報告するものである。

【キーワード】 大規模開削工事, 軟弱粘性土地盤, 拡孔式アンカー, 精密写真測量 (TPhotoS), 光学式地盤変位計

1. はじめに

第2鶴見検車場は、大阪市地下鉄8号線の車庫として花博記念公園北側および北西駐車場の敷地下に建設される。検車場工事は、グラウンドアンカーとソイルセメント壁工法を用いて軟弱粘性土地盤を掘削する大規模開削工事（検車場面積；21,000m²、掘削深さ；平均 11m、掘削土量；230,000m³）である（図-1）。

当 15 工区は、検車場南側2分の1を築造する工事（図-2）であり、検車場南側区間では、用地境界の制限から軟弱粘性土地盤へのアンカー定着を余儀なくされたために拡孔式アンカーが一部の区間で計画された。しかし、粘性土地盤での施工実績が乏しいため、施工箇所に近い場所で試験施工を実施し、その結果を計画・設計および実施工へ反映させることとした。また、拡孔式アンカーの安全性確保の面から土留壁の計測管理と大規模開削工事に伴うリバウンドの影響を計測管理することが必要となった。

本稿は、軟弱粘性土地盤へのアンカー工法の施工実績

と当社保有技術である精密写真測量 (TPhotoS) および光学式地盤変位計を新しい土留壁の面的な計測管理手法として適用した結果を報告するものである。

2. 工事および地形地質概要

2.1 工事概要

工事件名 高速電気軌道第8号線 自 鶴見区緑三丁目
至 鶴見区緑地公園 間 第2鶴見検車場南部
および工場連絡線工事 (15 工区)

工 期 2001年12月18日～2005年11月30日

発注者 大阪市交通局

施 工 飛島. 銭高. 壺山特定建設工事共同企業体

本工事は、第2鶴見検車場南部が開削工法、第2鶴見検車場～既設第7号線鶴見緑地西漏斗部間の工場連絡線がシールド工法、西漏斗部の接続部（到達立坑）が開削工法で建設するとともに既設職員通路および換気塔を改造する工事である。第2鶴見検車場主要工事数量を表-1に示す。

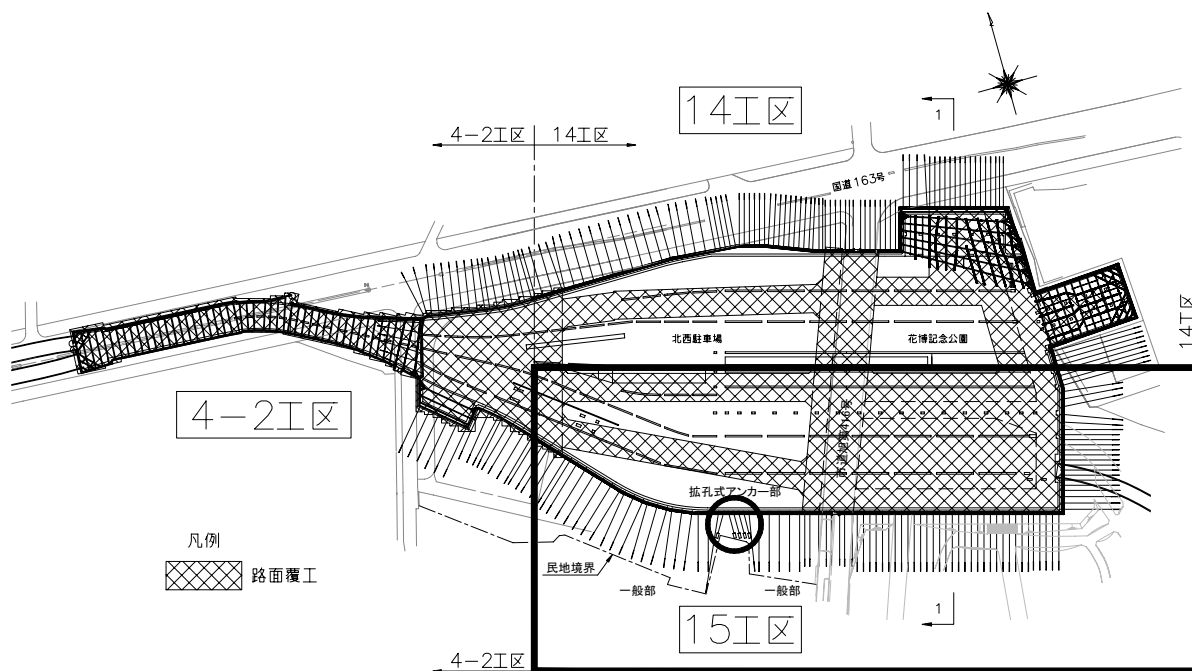


図-1 第2鶴見検車場仮設平面図

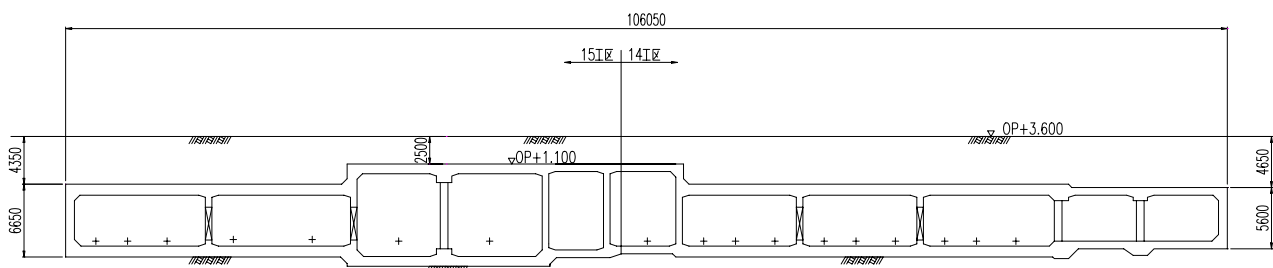


図-2 第2鶴見検車場断面図(1-1断面)

表-1 第2鶴見検車場主要工事数量

工種		仕様	単位	数量
ソリメント壁工		φ 650 H-482×300×11×15@450	m ²	5,527
土留支保工		グラウトアンカー (除去式)	本	302
鋼杭鋼支柱工		H-300×300×10×15 H-350×350×12×19	本	392
栈橋工			m ²	6,718
地盤改良工	DJM工法	φ 1000 (2軸)	本	1,274
	JEP工法	φ 3500	本	205
掘削工			m ³	102,658
掘削土砂運搬工		運搬処分先南港中継基地	m ³	102,658
躯体工	鉄筋工	SD295、SD345	t	4,250
	躯体コンクリート工	A1:24-18-20BB A2:24-12-20BB	m ³	21,850
防水工	保護コンクリート工		m ³	884
	防水工		m ³	10,857
埋戻工		購入土	m ³	31,038

2.2 地形地質概要

当地域は地形分類の上では、“大阪平野”の中の“東大阪平野”に分類されている。その大部分が縄文時代前期（約 7000 年前）以降、長期にわたり海域から淡水域となっていた。陸域となつてからは当工事地域周辺は後背湿地となり、非常に軟弱な地盤状況を呈している。地下水位は全般に高く、GL-1.00～-1.50m 前後である。

第 2 鶴見検車場一般部のグラウンドアンカーは 45 度の打設角度で N 値 60 以上を示す“密な”～“非常に密な”に区分される「天満砂礫層」と呼ばれる洪積砂礫層（ $Tg12$ 層）を定着層としている。拡孔式アンカーは、一般部と同じ仕様では民地境界を超えてしまうため 45 度の打設角度で N 値 3～5 程度の“軟らかい”～“中位の”に区分される洪積粘性土層（ $Tc12$ 層）を定着層としている。この層の上位には、層境界が不明瞭な N 値 0（モンケン自沈）～3 程度の“非常に軟らかい”～“軟らかい”に区分される鋭敏比の高い沖積粘性土層（ A_{mc} 層）が存在する。

3. 拡孔式アンカーの特徴

民地境界の関係からアンカー長を長くできないため、アンカー定着層は洪積粘性土（ $Tc12$ 層）となり、上部には N 値 0～3 程度の非常に軟らかい沖積粘性土層（ A_{mc}

層）が厚さ 2.0m で堆積している。そのため、一般部に採用したグラウンドアンカーの適用は、計画・設計上困難で、多くのアンカー工法の比較検討の結果、拡孔式アンカーを採用することとした。拡孔式アンカーは、一般部のグラウンドアンカーのアンカー体がストレートなのに対して、アンカー体を $\phi 800\text{mm}$ （写真-1）に拡大することによる支圧効果と摩擦効果の複合作用により比較的大きな引抜抵抗力を得ることができると考えられている。



写真-1 拡孔ビット（ $\phi 800$ ）

拡孔式アンカーの極限引抜き力（ T_{ug} ）は、次式により求められる。

$$T_{ug} = D_2 \cdot \pi \cdot l_a \cdot \tau + q_{pu} \cdot A_p$$

$$= D_2 \cdot \pi \cdot l_a \cdot \tau + q_{pu} \cdot (D_2^2 - D_1^2) \cdot \pi / 4$$

ここで、 D_1 ：削孔径、 D_2 ：拡孔径、 l_a ：定着長、

τ ：極限周面摩擦抵抗、 q_{pu} ：極限支圧抵抗

A_p ：支圧面積

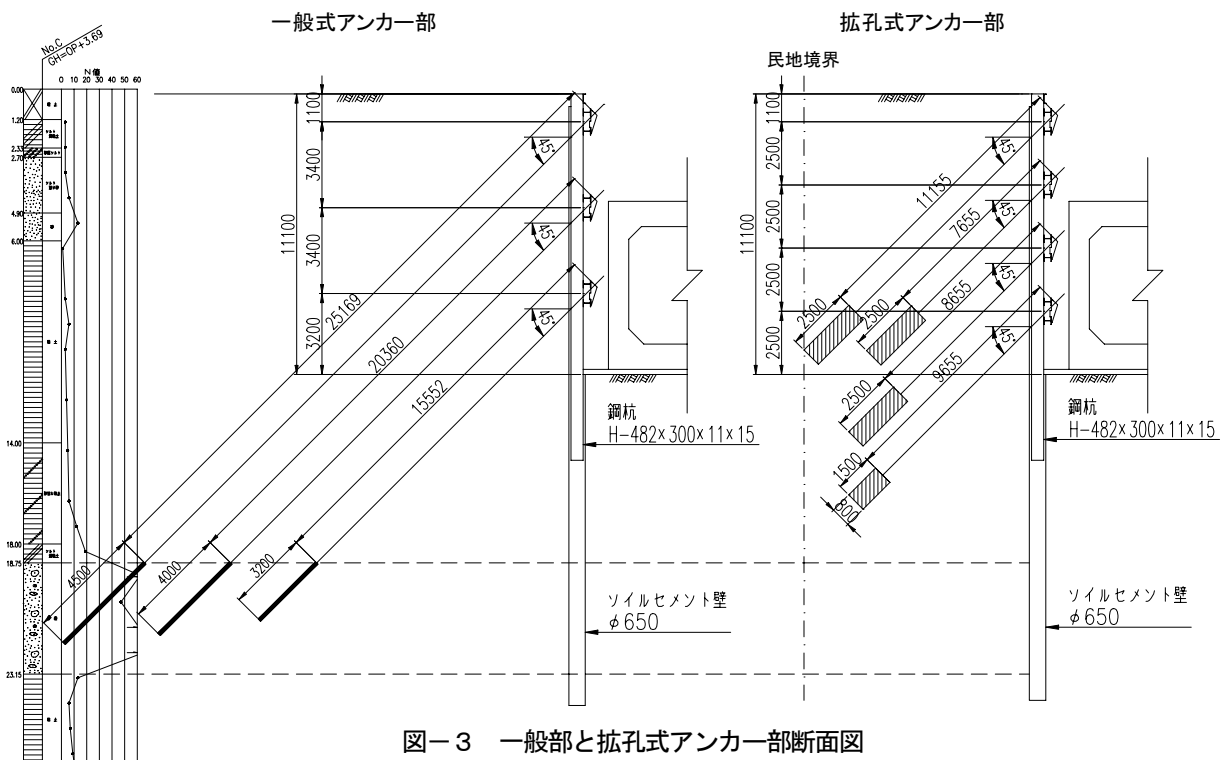


図-3 一般部と拡孔式アンカー一部断面図

前述の式は、P.Habib が提案したものであり、アンカーの極限引抜き力は、アンカー体周面の摩擦抵抗と拡径した断面位置での支圧抵抗の和より求められるとしている。支圧抵抗は、土質により算出式が異なり、砂質土地盤では、場所打ち杭の支持力式、粘性土地盤では、Terzaghi が提案した支持力式に安全率を考慮した式で求める。

当初設計においては、アンカー定着層が粘性土層であってもアンカー体の支圧効果と摩擦効果が十分期待できると考えていたが、施工実績に乏しいため試験施工を実施して確認することとした。図-4に拡孔式アンカー施工手順を示す。なお、本工事で採用した拡孔式アンカーは、日特建設株式会社の特許工法（スプリッツアンカー工法）である。

4. 拡孔式アンカーの試験施工

4.1 試験施工概要

試験施工は、沖積粘性土層（Amc層）の下端で定着する1段目のアンカーが最も条件が厳しいと考え、施工箇所に近い場所で同等の深さにアンカー体を鉛直に設置した後、1週間の養生期間をおいて引張試験を実施した（図-5）。荷重と塑性変位量の関係を求めることができる多サイクル方式（5段階）で行った。

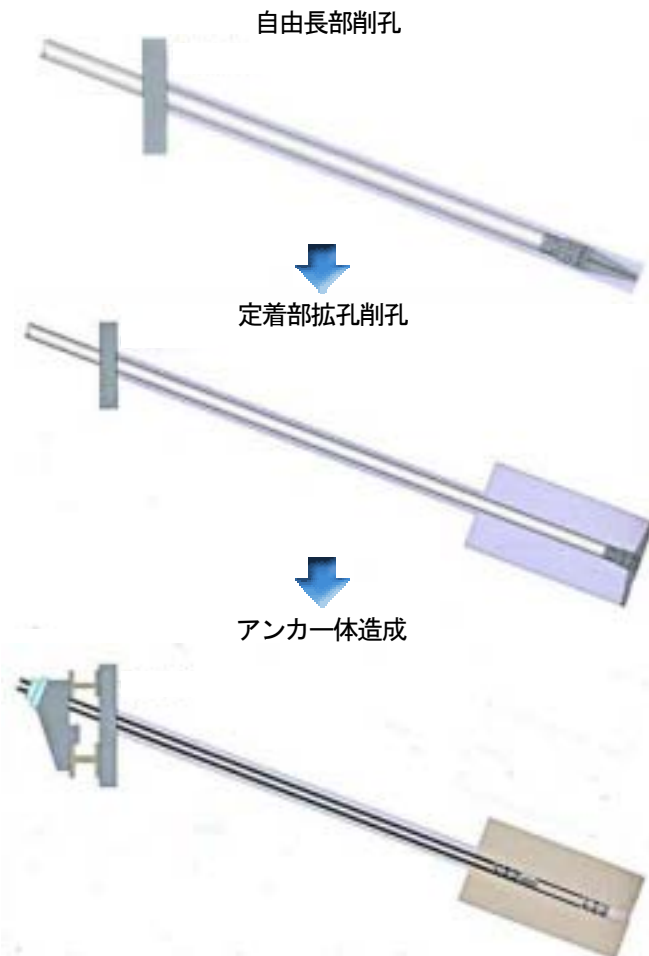


図-4 拡孔式アンカー施工手順

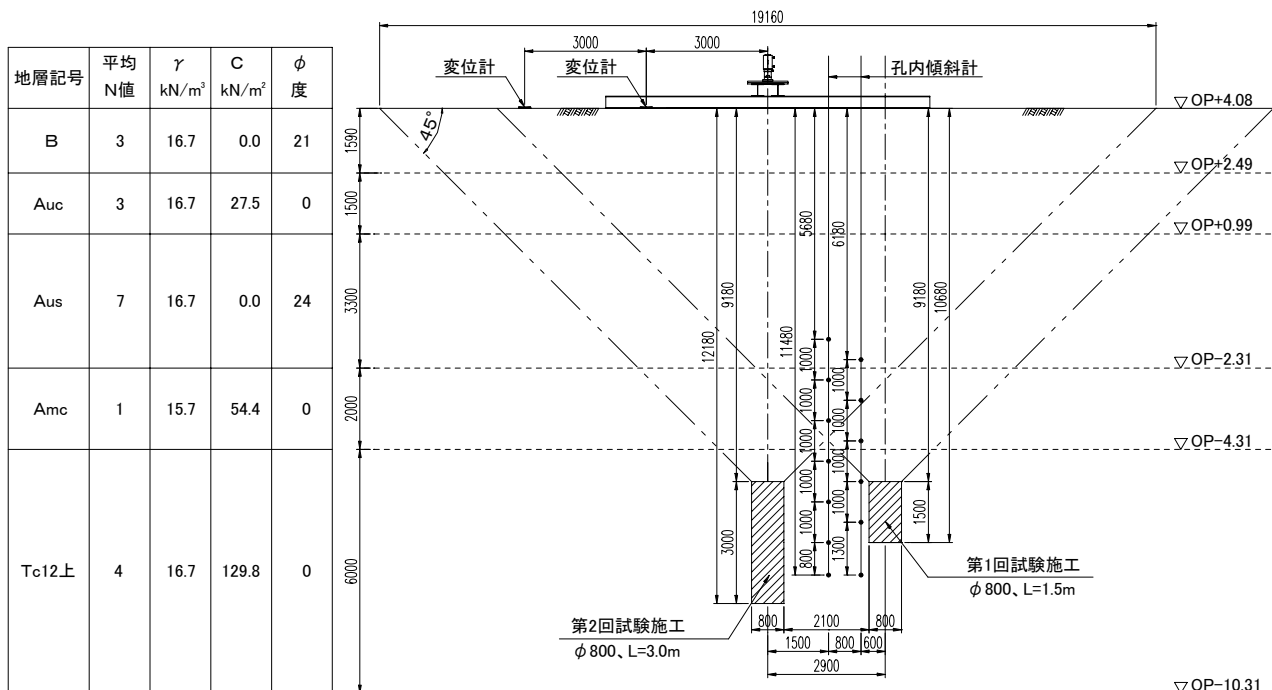


図-5 試験施工断面図

4.2 第1回試験施工の結果

当初設計では、標準的な拡孔式アンカー(φ800mm, アンカー体長 $l_a=1.5\text{m}$)で1段目設計アンカー力(557kN/本)に抵抗できると考え、3段アンカーで計画した(図-6)。

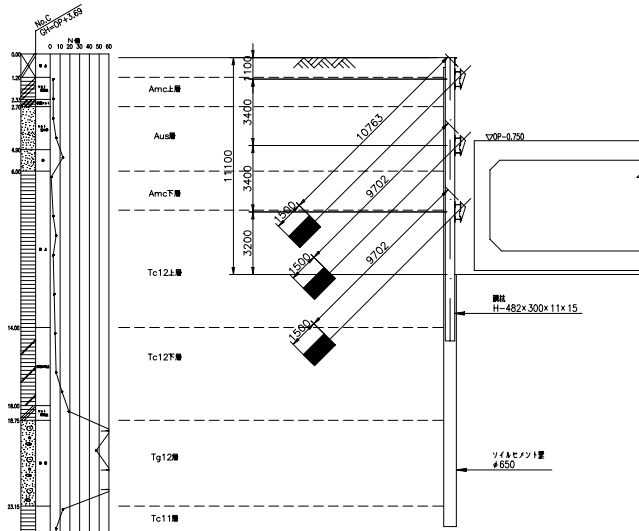


図-6 3段アンカー断面図

試験結果は、昇圧350(kN)途中の約300(kN)で引抜けが発生し、圧力保持が不可能となった。また、傾斜計からは周辺地盤の著しい変動が認められず、アンカー体の支圧効果による円錐状の引抜けではなかったことが確認された。この引抜け原因は次のように考えられる。

- ① アンカー体造成時に、鋭敏比の高い沖積粘性土層(Amc層)の破壊の進行を促進した。
- ② グラウト注入時にスライムの排除が不完全であり、グラウト強度が不足していた。
- ③ グラウト注入圧力が高く、アンカー体底部に局所的な地盤破壊を発生させてしまった。
- ④ 当初予想した周面摩擦力、支圧抵抗が実際は予想より低かった。

4.3 第2回試験施工の結果

第1回試験施工結果を基に設計面では、次のような方針を立てた。

- ① 300(kN)の引抜け結果から支圧抵抗を無視してアンカー体の周面摩擦抵抗値(τ =粘着力)を逆算すると、79.6(kN/m²)となり、Amc層($\tau=54.4\text{kN/m}^2$)とTc12層($\tau=129.8\text{kN/m}^2$)の中間的な値となったため、アンカー体の周面摩擦力のみを考慮する(φ800mm,

アンカー体長 $l_a=3.0\text{m}$)。

- ② 設計アンカー力を低減するために、アンカーピッチを3.6mから1.8m、3段アンカー配置から4段アンカー配置とする(図-3)。
- ③ 土留の長期安定性の推定を目的として長期引張試験を実施する。計測期間は9日間とする。

また、施工面では、次のような改善点を加えた。

- ① 置換注入は、リターンホースを設置することでオーバーフロー注入材の比重管理を行い、拡孔部の置換を確認する。
- ② 加圧注入は、粘性土の降伏圧力(0.26MPa)より小さな注入圧力(0.20MPa)で実施する。

第2回試験施工結果は、次のとおりである。

- ① 設計アンカー力364(kN)に対して、1.2倍の引張力に耐えられた。
- ② 長期試験結果から9日間でアンカー力の減少は8%であり、 $\log t$ 法により1年後の残存アンカー力を回帰分析した結果、10%の減少と推定した。また、全段アンカーバネ値を10%減少させて再計算した結果、土留支保工に問題がないことを確認した。

4.4 試験施工まとめ

2回の試験施工結果から、拡孔式アンカーを粘性土層に定着させた場合、アンカー引抜け時における孔内傾斜計およびアンカー頭部の変位計の計測結果から地盤の挙動がほとんど認められないのでアンカー拡孔部の支圧効果は期待せず、周面摩擦抵抗のみを考慮し、計画・設計することが妥当であると結論付けた。

実施工においては、さらに、以下に示す改善点を加え、

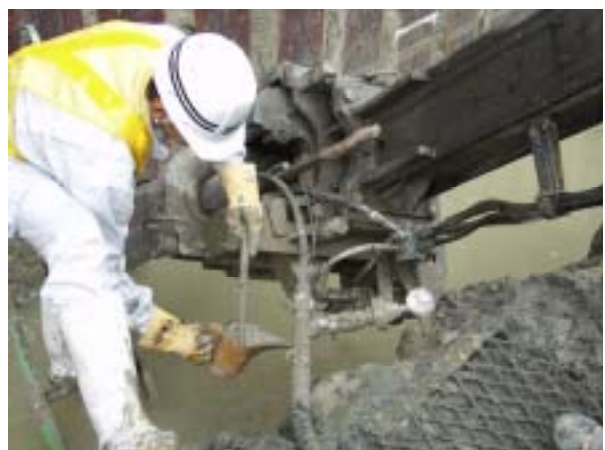
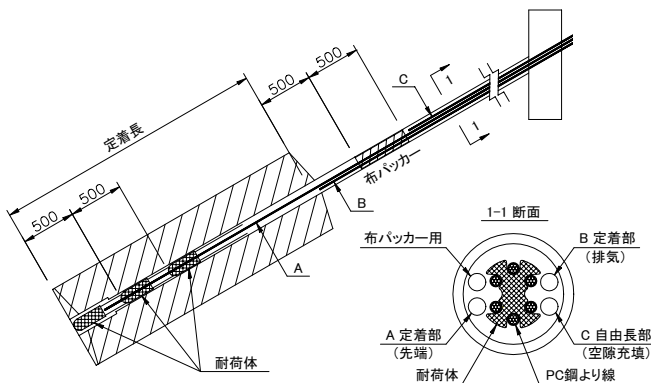


写真-2 グラウト材置換注入確認状況

効果を向上させるものとした。

- ① 定着長部と自由長部の境界にパッカーを設置し、注入ホース（リターンホース）による確実な置換注入を実施する（写真－２）。
- ② 耐荷体の配置を均等配置から定着部前方へ集中させ、アンカー体の一体化を図る（図－７）。



図－７ 拡孔式アンカー詳細図

5. 土留壁の計測管理

5.1 土留壁の計測管理における課題

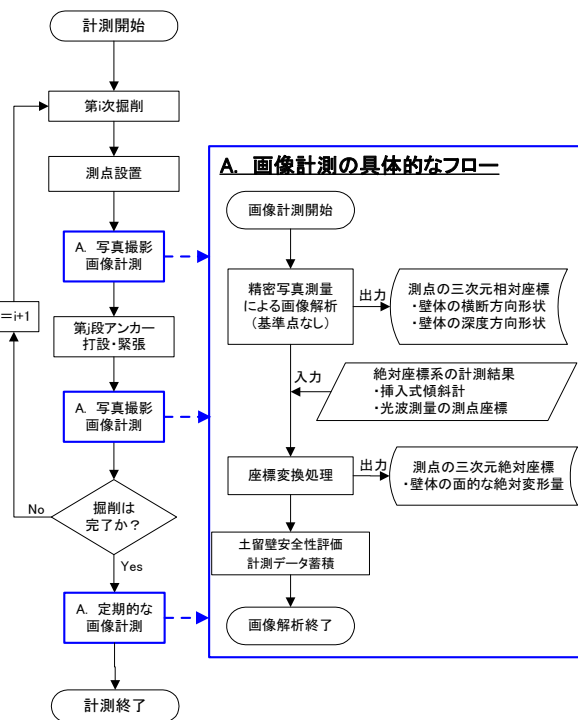
拡孔式アンカーの定着層が軟弱な粘性土層であることから、アンカー軸力計により拡孔式アンカーの効果を把握するだけでなく、土留壁の変形に対する安定性を確保することが計測管理の上で重要であった。同時に、一般部のグラウンドアンカーと拡孔式アンカーの土留壁の仕様が異なるため、両者の相対変位の発生や局所的な変形を監視することが本工事における課題となった。また、大規模掘削に伴うリバウンドが土留壁やグラウンドアンカーへ影響を及ぼす危険性があるため、土留壁の計測管理に加える必要があった。そこで、本工事では、当社保有技術である精密写真測量システム（TPhotoS）および光学式地盤変位計を土留壁の面的な計測管理手法として適用した。

5.2 精密写真測量による土留壁の面的変位計測

(1) 土留壁の面的変位計測の概要

拡孔式アンカー周辺の土留壁の挙動に対しては、特殊な機器を用いずに市販のデジタルカメラで地盤や構造物などの計測対象物を面的に挙動計測することが可能である「精密写真測量システム（TPhotoS）」³⁾を適用した。計測方法の概要を図－８に示す。掘削に応じて順次上部から測点や長さ既知の基準尺（長さ情報）を設置し、各

掘削段階終了時やアンカー緊張時前後に写真撮影を行う。土留壁に設置された測点は掘削に伴って変位することから、不動点などの基準点がないものとして測点の三次元座標をデジタル画像を基に算出する。これら測点の座標値から、掘削に伴う土留壁の横断および深度方向の面的な相対形状の変化が逐次把握できる。



図－８ 土留壁の面的変位計測の概要

(2) 本工事における土留壁の面的変位計測の概要

図－９に測点と 2.5m の基準尺の配置状況を示す。測点は 200mm 角の白色鋼板に直径 100mm の円形を黒色塗装したもの（図－10）で、隣接する一般部アンカー区間を跨いで横断方向約 30m 区間に 1 段当たり 8 点ずつ設置した。写真撮影（図－11）は、見通しがよい工事用仮設栈橋上から 500 万画素のデジタルカメラ（オリンパス社製、E-20）を用いて、焦点距離 60mm、撮影距離約 40m の条件で掘削工事期間中 14 回行った（表－２）。1 回当たりの撮影枚数は、異なる 3 箇所からカメラを 90 度ごとに回転させて各 4 枚、計 12 枚である。

(3) 精密写真測量による計測結果

土留壁の横断方向変位は、掘削当初から上段の測線で計測することができる。図－12 は、1 段目の土留壁横断方向変位分布を両端測点を基準点（不動点）として示す。拡孔式アンカー一部で変位量の増減が大きく、特にアンカ

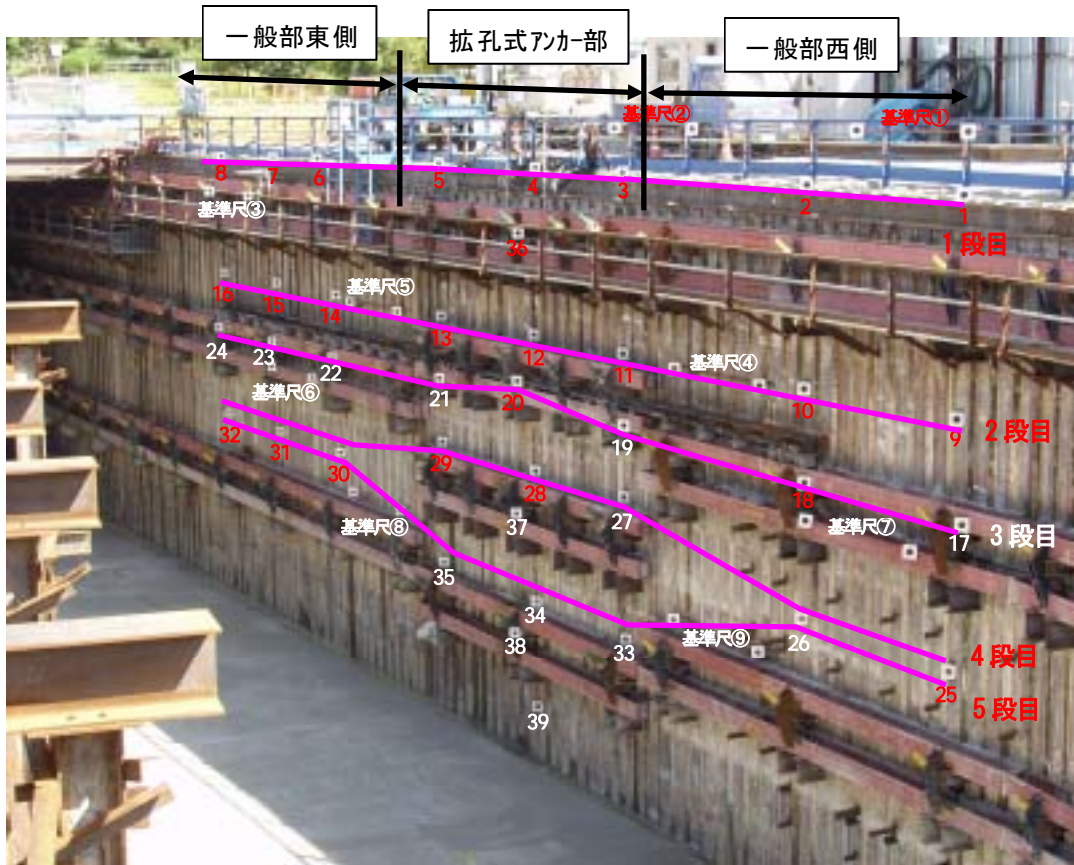


図-9 精密写真測量計測状況

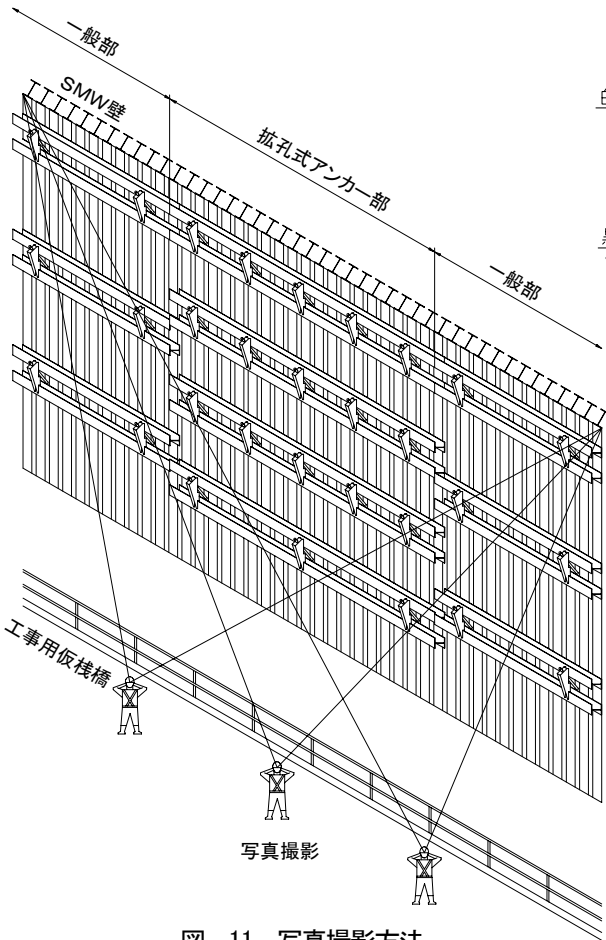


図-11 写真撮影方法

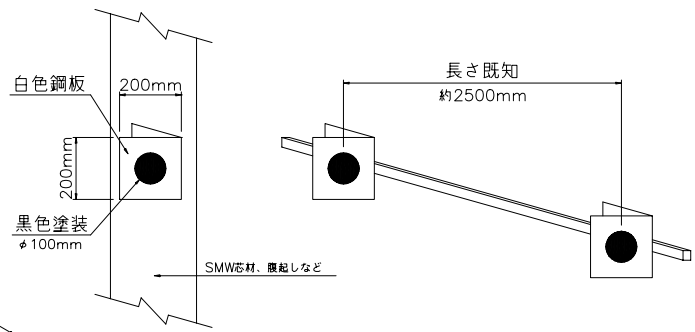


図-10 測点仕様および基準尺

表-2 計測頻度と施工状況

No.	月日	深度 (m)	拡孔アンカー 区間	測点の配置				備考
				1列目	2列目	3列目	4列目	
1	6/ 2	2.1	1次掘削完了	○				拡孔式アンカー1段目緊張前
2	6/ 5	4.6	2次掘削完了	○				拡孔式アンカー1段目緊張後
3	6/11	"	"	○	○			拡孔式アンカー2段目打設
4	7/ 5	7.1	3次掘削完了	○	○	○		拡孔式アンカー2段目緊張後
5	7/ 8	"	"	○	○	○		拡孔式アンカー3段目緊張後
6	7/15	9.6	4次掘削完了	○	○	○	○	一般部3段目アンカー緊張前
7	7/25	"	"	○	○	○	○	拡孔式アンカー4段目緊張前
8	7/28	"	"	○	○	○	○	拡孔式アンカー4段目緊張後
9	8/23	10.6	最終掘削中	○	○	○	○	敷付前
10	9/15	10.9	"	○	○	○	○	敷付高+200上がり
11	10/ 7	11.1	最終掘削完了	○	○	○	○	基礎コンクリート打設完了
12	10/21	"	"	○	○	○	○	"
13	11/17	"	"	○	○	○	○	"
14	12/ 8	"	"	○	○	○	○	"

一緊張直後 (6/5) の分布を見ると前回 (6/2) に比べて
 拡孔式アンカー部の頭部が背面側に押されていることが
 分かる。図-13 に基礎コンクリート打設完了後 (10/21)
 の土留壁鉛直方向変位分布を示す。これより、深度7～
 8mより上部で一般部グラウンドアンカーと拡孔式アン
 カー部で変位挙動が異なっていることがわかる。このよ
 うに、精密写真測量による土留壁の面的計測によって、
 アンカー支持状態の差異や局所的な変形を詳細に評価す
 ることができた。

次に、図-14 に拡孔式アンカー部のソイルセメント壁
 芯材間に設置した後述する 5.3 に示す光学式地盤変位計
 の計測結果を用いて算出した、4次掘削完了時(7/15)か
 ら最終掘削完了時(10/21)における土留壁の絶対変位量
 の分布を示す。なお、変位量の正が掘削側への変位であ
 り、負が背面側への変位を示す。

これらの図から拡孔式アンカー部中央付近と一般部西
 側No.1断面の深度3.5m以深で土留壁が掘削側に変形し、
 その変位量は掘削深度が深くなるにつれて最大 20mm

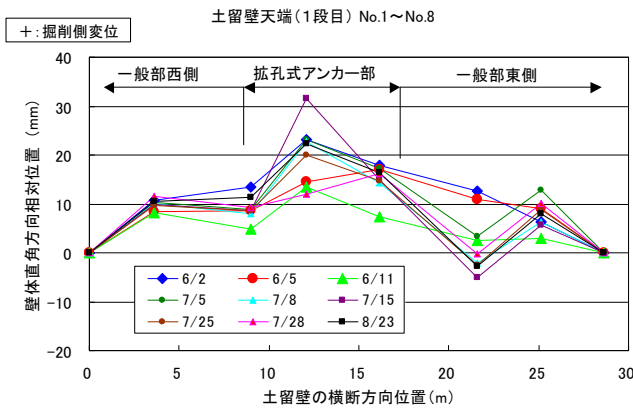


図-12 土留壁天端 (1 段目) 横断方向変位図

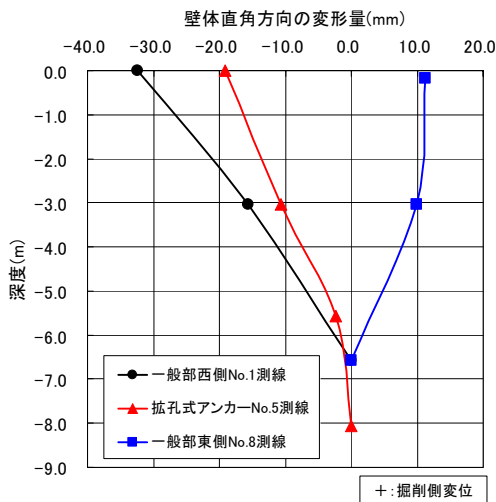
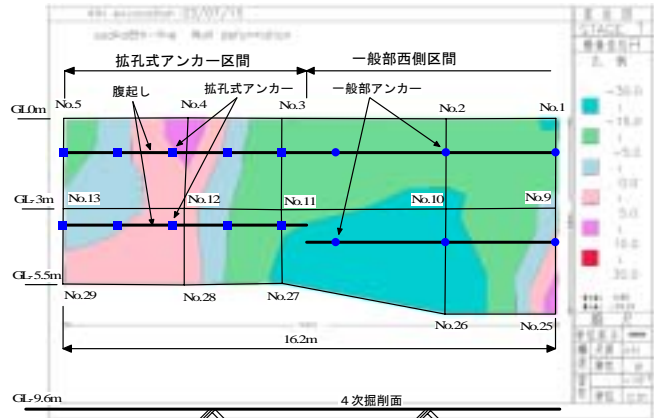


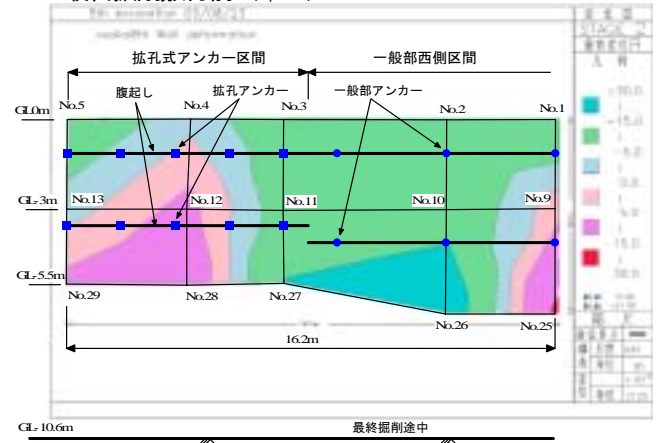
図-13 土留壁鉛直方向変位図

程度まで増大していた状況が面的に把握することができ
 ました。また、4次掘削完了時点の拡孔式アンカー区間右側
 ではアンカー緊張などの影響によって背面側に変形して
 おり、掘削に伴って次第に掘削側へ挙動していたことが
 分かった。最終掘削完了後は、ほとんど土留壁の変形が
 見られなかったことから拡孔式アンカー周辺の土留壁は
 安定した状態を保持していることが確認できた。

4次掘削完了時 (7/15)



最終掘削敷付前 (8/23)



最終掘削完了時 (10/21)

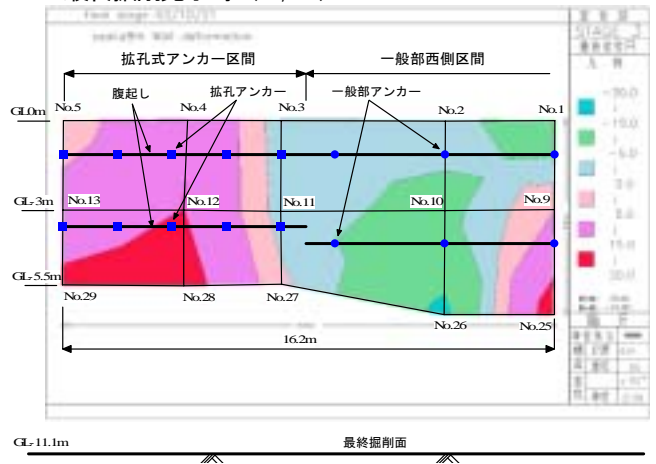


図-14 土留壁絶対変位分布図

5.3 光学式地盤変位計測

(1) 光学式地盤変位計測の概要

本工事では、掘削の除荷重に起因するリバウンドによりグラウンドアンカーに設計荷重以上の大きな荷重が作用することが考えられるため、掘削に伴う安全性確保の面から土留壁のリバウンドの影響についても計測管理する必要があった。

従来は、リバウンドを計測するには層別沈下計を別途設置しなければならないが、土留壁の隆起あるいは沈下とともに土留壁の傾斜角も同時に測定可能な光学式地盤変位計⁴⁾を設置することで地盤挙動の把握を行った。これにより、傾斜角から土留壁の変位量を把握するとともに、リバウンドに伴う土留壁の挙動を同時に把握し、土留壁およびグラウンドアンカーの安全性を判断した。

(2) 光学式地盤変位計の概要

図-15に示すように光学式地盤変位計は、軸受け部を

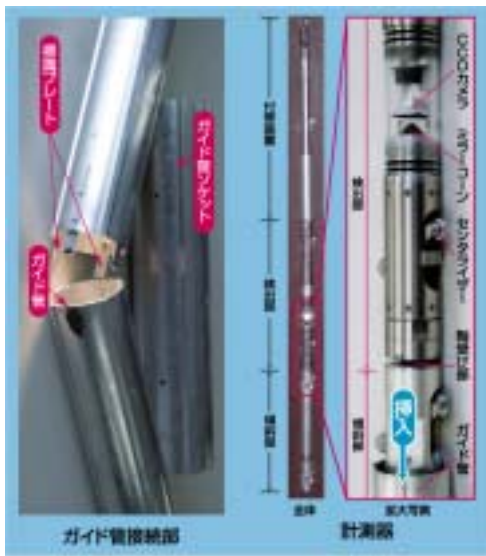


図-15 計測管詳細図

挟んで検出軸の傾斜部と軸頭変位の検出部および付帯装置から構成され、傾斜部から伸びた傾斜検出軸が、軸受け部をヒンジとして自由に回転する構造になっている。この傾斜検出軸の先端には円錐状のミラーコーンが取付けてあり、図-16に示すようにCCDカメラの映像にはミラーコーン先端に取付けた中心表示マークとミラーコーン上に反射した計測管接合部が映っている。デジタル画像処理によって位置が認識しやすいように接合部を挟んで片側の計測管の内側には端部が計測管に固定されたプレートに黒丸印標点が一の間隔で直線上に配置されている。図-16に示すように、この写真画像に写っている計測管接合部の黒丸印標点の移動量、すなわち周辺地山の管軸方向の変位量が測定される。

計測管は、ソイルセメント壁下端より下部 (GL-32m) の不動点と想定される洪積砂礫層 (Tg12層) まで延長し、鉛直変位を計測する (図-17, 図-18)。

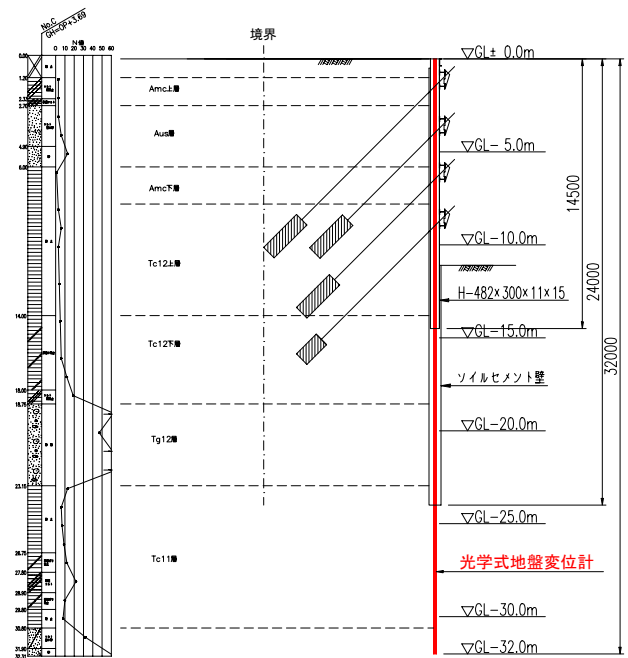


図-17 計測設置断面図

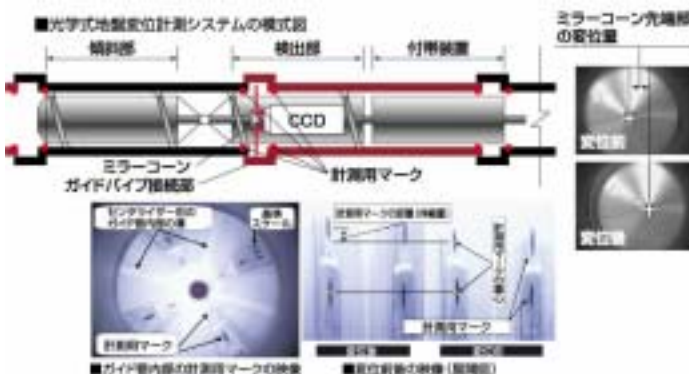


図-16 模式図および計測時の取得画像例

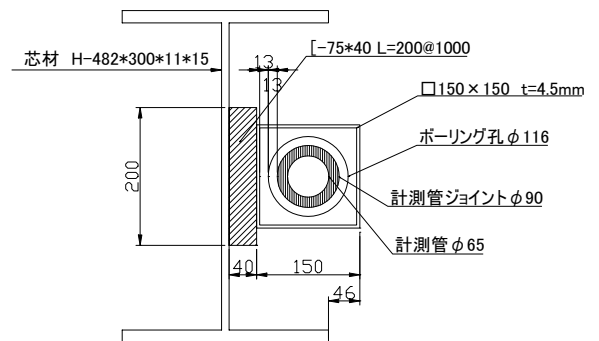


図-18 計測管設置平面図

(3) 光学式地盤変位計測結果

図-19に示すように3次掘削の頃(7/5)からGL-24m付近に位置する洪積砂礫層(Tg12層)下部の洪積粘土層(Tc11層)でリバウンドと考えられる隆起現象が見られた。GL-24m~GL-10mまでは、ほぼ変動はないが、GL-10m~GL±0m区間では、土留壁が収縮傾向にあることからグラウンドアンカーの緊張に伴い土留壁に圧縮力が作用していると考えられる。総じて伸縮量は1mm程度以内であり、同時測定しているアンカー軸力計の変動もないことから、土留壁のリバウンドによるグラウンドアンカーへの影響はないものと判断した。

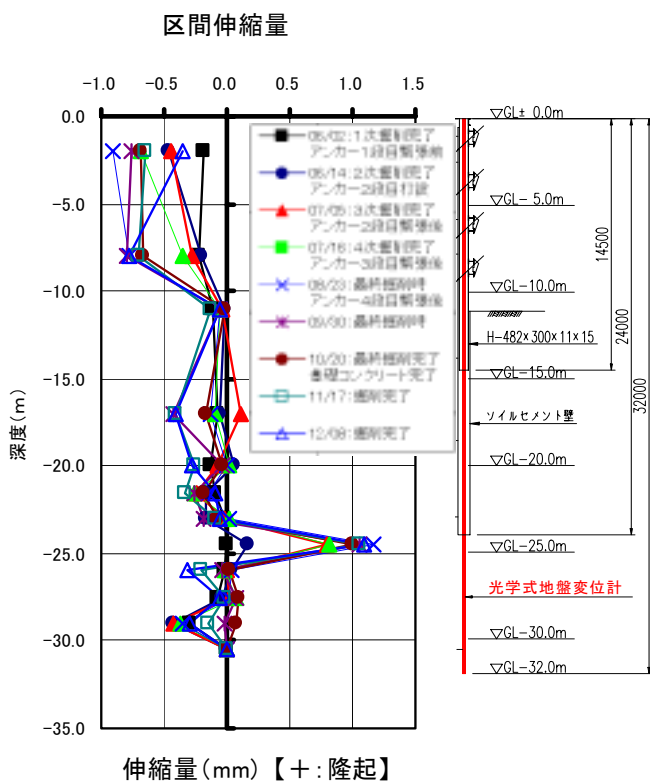


図-19 区間伸縮量分布図

6. まとめ

本工事では、軟弱粘性土地盤に対して拡孔式アンカーを利用した土留壁の施工実績を挙げることができた。しかしながら、拡孔式アンカーの支圧抵抗と周面摩擦力の関係は不明瞭であり、今後、詳細なシミュレーションが必要である。一方、土留壁の計測管理では、「精密写真測量(TPhotoS)」の適用により、面的に土留壁の変状を把握できることで安全に掘削工事を進捗させることができた。さらに、「光学式地盤変位計」の適用により、リバウンドと考えられる土留壁の隆起現象と土留壁変形の把握ができ、双方とも今後の土留壁の計測管理への活用が期待できると考える。

最後に本工事で幾多のご指導を頂いた大阪市交通局古市建設事務所、大阪支店技術課、並びに日特建設株式会社の関係各位に対して紙面を借りて心から感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 塩谷ら：大規模掘削工事における画像計測による山留め壁の面的変位計測，地盤工学会，第39回地盤工学研究発表会，2004.7.
- 2) 塩谷ら：軟弱粘性土地盤に対する土留めアンカー工法の導入，日本材料学会，第53期学術講演会，2004.5.
- 3) 近久ら：市販されているデジタルカメラを用いた長大法面の挙動監視システム“TPhotoS”，電力土木，No.294，pp.116-117，2001.7.
- 4) 松元ら：画像処理技術を取り入れた地盤変位計による室内傾斜実験について，土木学会，第55回年次学術講演会公演概要集III，pp.622-623，2000.9.

Summary Construction of the 2nd Tsurumi Train Shed on Osaka municipal subway No.8 line is a large-scale excavation work in soft-clay ground using earth anchors and soil-cement mixing retaining walls. The spread anchor method was adopted in a part of the south area because earth anchors had to be fixed to soft-clay ground due to restrictions on the working permitted area. This paper describes the results of placing spread anchors into the ground and applying a new two-dimensional measurement system for the deformation of retaining walls by a precise photogrammetric system referred to as “TPhotoS” and an optical measurement system for ground displacement.

【Keywords】 large-scale excavation work, soft-clay ground, spread anchor, precise photogrammetric system “TPhotoS”, optical measurement system for ground displacement