

親杭横矢板形式による斜め自立土留めの設計および施工

(株)大林組 技術第一部 ○青木峻二 成田木の根トンネル 上原郷
成田国際空港(株) 早川勇

1. はじめに

斜め自立土留めは、土留め壁に傾斜をつけることで土留め壁に作用する土圧が低減する効果に着目し、切梁やグラウンドアンカーなどの支保工を省略した自立形式の土留めである。土留め支保工の省略により目的構造物の品質向上、工期短縮およびコスト削減が可能となる。

斜め自立土留めは、これまで鋼矢板による施工例¹⁾があるのみで、親杭横矢板による適用例はなかった。本報告は、実現場に適用した親杭横矢板形式による斜め自立土留め(写真-1)の施工法および設計法に関する検証と考察を行うものである。

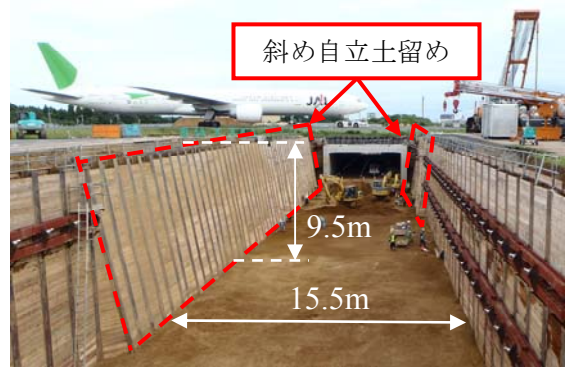


写真-1 親杭横矢板形式自立土留め

2. 工事概要および地盤特性

(1) 工事概要

本工事の概要は下記の通りである。

工事名称：第2木の根トンネル設置工事(その2)

発注者：成田国際空港株式会社

工事内容：航空機誘導路下にGSEトンネル(プレキャスト製品)を築造する開削工事

掘削諸元：幅15.5m、深さ約9.5m、延長97.0m

(2) 斜め土留めの適用範囲

本工事では、クレーン施工ヤードおよび施工区間端部を除く範囲に斜め自立土留めを適用した(図-1)。クレーン施工ヤードでは、プレキャスト製品の設置時に使用する350tクレーンの荷重を上載荷重として考慮する必要があることから、グラウンドアンカーを2段用いた直立土留めとした。なお、斜め自立土留めの傾斜角度は、舗装撤去範囲がプレキャスト製品縁端から2.5mまでと指定されていたため、斜め土留めの安定性を確保できることおよびプレキャスト製品設置工事の必要断面を考慮して10度と設定した(図-2)。

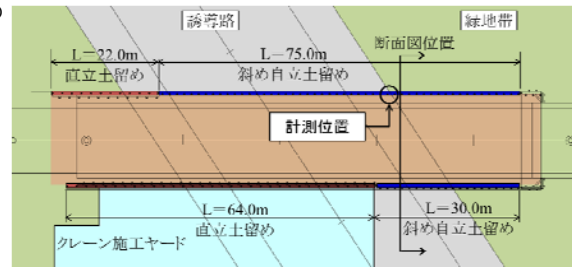


図-1 平面図

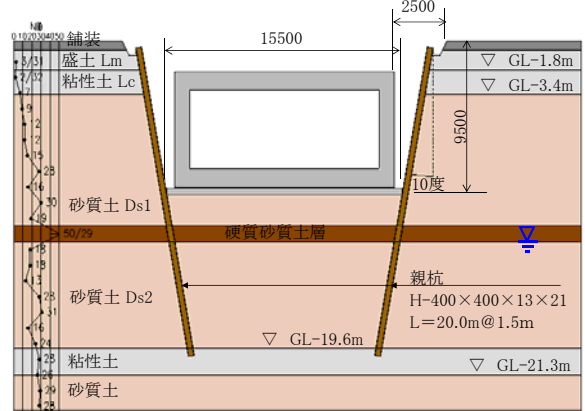


図-2 断面図

(3) 地盤特性

当該地盤は、表層部の粘性土層Lm・Lc(層厚約3.0m, N値3~4)の下が砂質土層Ds1・Ds2(N値10~30程度)で構成されている。砂質土層には、GL-13.5m付近にN値が50以上の硬質薄層が存在する。地下水位は掘削底面以深(GL-14.0m程度)である。また、壁面摩擦角 δ は $\phi/3$ とした。設計用土質定数を表-1に示す。

表-1 設計用土質定数

土質分類	N値	単位体積重量 γ (kN/m^3)	粘着力 C (kN/m^2)	内部摩擦角 ϕ (度)	変形係数 αE (kN/m^2)
Lm	3	14.0	55	0	8,400
Lc	4	16.0	65	0	11,200
Ds1	14	18.0	5	35	39,200
Ds2	16	17.5	0	35	44,800

5. 計測項目および土質試験

(1) 計測項目

計測機器を設置した親杭を図-1 に示す位置に打設し、土留め壁挙動の計測を行った。計測項目は、①親杭に作用する側圧、②親杭水平変位および③親杭のひずみとした。土圧計とひずみ計の配置は図-5 に示す通りとした。親杭水平変位は、挿入式傾斜計により計測した。

(2) 土質試験

最終掘削 (GL-9.5m) 時に採取した試料で不飽和土と飽和土の三軸圧縮試験を行った結果を表-2 に示す。砂質土の粘着力には、不飽和土に存在するサクションによる見掛けの粘着力と飽和土に存在するセメンテーションによる真の粘着力がある。不飽和土に存在する見掛けの粘着力は、砂質土に負の間隙水圧が存在する場合に生じる。試験結果から、掘削範囲の砂質土には、地下水位より上の不飽和土の粘着力 23kN/m^2 と地下水位以下の飽和土の粘着力 8kN/m^2 が存在することを確認した(以下、砂質土の粘着力)。また、せん断抵抗角は 30 度であった。斜め土留壁の挙動を精度よく再現するために試験結果より得られた砂質土の粘着力およびせん断抵抗角を用いて再設計することとした。

▲ 土圧計

● ひずみ計

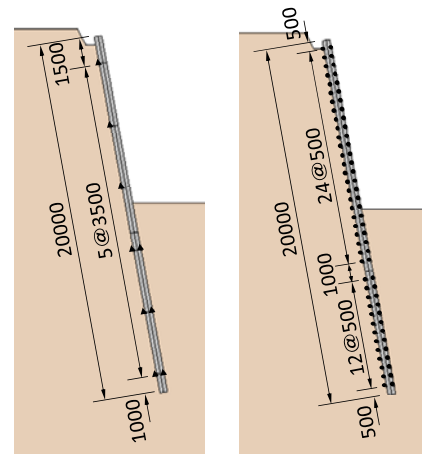


図-5 計測機器設置図

表-2 三軸圧縮試験結果

	設計値 (既往の実績より設定)		試験結果	
	粘着力 C (kN/m^2)	せん断抵抗角 ϕ (度)	粘着力 C' (kN/m^2)	せん断抵抗角 ϕ' (度)
不飽和土	5	35	23	30
飽和土	0		8	

6. 計測結果の考察

合理的な斜め土留め設計法の確立を目的として、土留め壁の最終掘削時 (GL-9.5m) の計測結果について考察を行った。比較対象は、(A) 親杭の計測結果から得られた「計測値」、(B) 設計用土質定数(表-1)を用いて算出した「設計値」、(C) 三軸圧縮試験結果(表-2)から得られた砂質土の粘着力とせん断抵抗角を用いて算出した「再設計値」とした。

①土留め壁の側圧分布(最終掘削時)

杭に作用する側圧の「計測値」、有効主働土圧・有効受働土圧の「設計値」および「再設計値」を図-6 に示した。

まず、主働側圧について比較する。掘削底面以浅では、「計測値」が「設計値」に近似した。それに対して、掘削底面以深では、「計測値」のみが大きく異なり、GL-15.5m の位置で杭に作用する側圧が最大となった。これは、GL-13.5m 付近の硬質薄層が親杭の支点となり杭の変形による回転を抑えるため大きな反力が出たことによる影響だと推定できる。また、設計では「山留め設計施工指針」より主働土圧の作用範囲を掘削底面以深では低減しているが、主働側圧の計測結果では杭の先端付近まで存在していることから、掘削底面以下の主働側圧は、設計時の主働土圧とは異なること考える。

次に、受働側圧について比較する。「計測値」は、「設計値」の受働土圧よりも大きくなっている。これは、「設計値」よりも、「計測値」の主働側圧が大きいため、対応する受働側圧(地盤反力)が大きくなっていることによると推定できる。

②土留め壁の変位分布(最終掘削時)

親杭の水平変位について「計測値」、「設計値」および「再設計値」を図-7 に示した。ここでは、自立土留め杭の挙動を最も評価しやすい杭頭部の変位

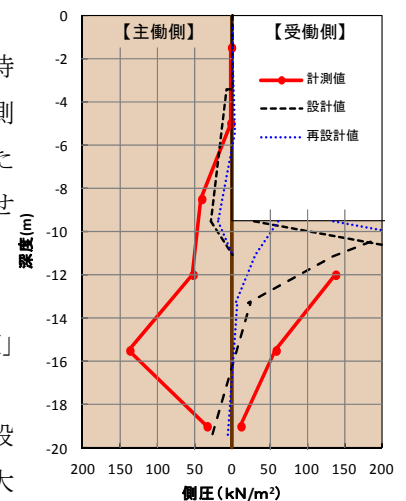


図-6 側圧分布比較

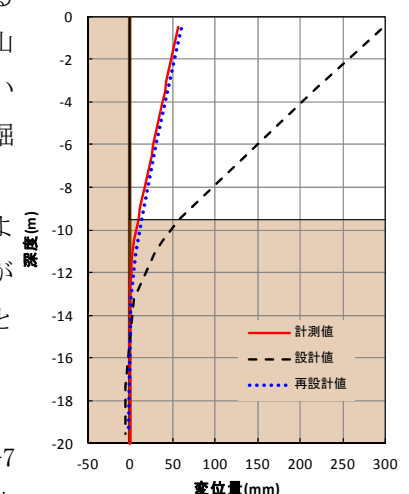


図-7 変位分布比較

量に注目する。「計測値」の変位量は 56mm で、「設計値」の変位量 295mm と比較すると 1/5 程度であった。「再設計値」の変位量は 60mm となり、「計測値」の変位量 56mm に近似した。このことから、砂質土の粘着力を考慮することで、斜め土留め壁の変位量を精度よく再現できると考える。ただし、砂質土の粘着力は地盤の地下水の状態に大きく影響を受けるため、設計に考慮する場合には慎重でかつ総合的な検討が必要である。

③親杭の曲げモーメント分布(最終掘削時)

親杭のひずみ計測結果から親杭の曲げモーメントを算出し、「計測値」とした。親杭の曲げモーメントについて「計測値」、「設計値」および「再設計値」の値を図-8 に示した。

まず、親杭の曲げモーメントのモードについて比較する。「設計値」と「再設計値」の最大曲げモーメント発生位置は、GL-11.0m 付近となり杭の上下端部へ向けて減少している。これに対して、「計測値」の曲げモーメントは、GL-10.5m 付近の最大値より杭の上端部については計算結果と同様に減少しているが、杭の下端部については「設計値」と異なっていた。この原因の 1 つは、設計用土質定数では砂質土層を均一な層としているのに対して、実際には GL-13.5m 付近に硬質薄層が存在して親杭が拘束されている影響であると推定できる。そのため親杭が拘束されていると想定される範囲では曲げモーメントが小さくなり、それより下端では曲げモーメントが負になっている。

次に、親杭の最大曲げモーメントについて比較する。「計測値」は、「設計値」の半分以下の値となった。これに対して、「計測値」は、「再設計値」の 2 倍程度の値となっているが「設計値」よりは近似した。このことから、砂質土の粘着力を考慮した方が親杭の挙動を精度よく再現できると考える。

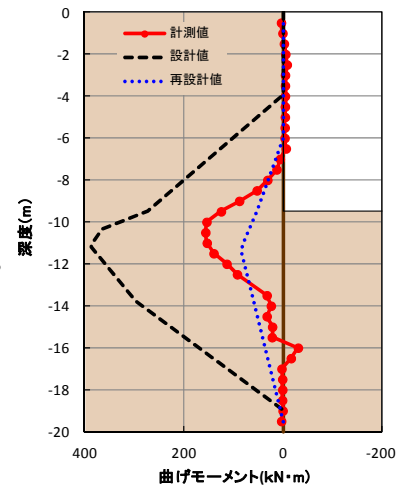


図-8 親杭の曲げモーメント分布

7. まとめ

(1) 施工法

中型三点式杭打機のリーダに CHV を取付けた機械を使用することで親杭を傾斜させて打設することができた。また、親杭の傾斜角の管理はリーダと親杭の傾斜角を管理する 2 種類の方法を用いて、 10 ± 1 度という十分な施工精度を得られることを確認した。

(2) 設計法

土留め壁の変位量・親杭の曲げモーメントのモードは「計測値」と「設計値」で同様の傾向を示したことから、斜め自立土留め壁の設計手法は適切であると考えられる。また、土留め壁の変位量や親杭の曲げモーメントの検証結果から、適用した設計法は安全性を確保できると考える。計測結果の検討では、砂質土の粘着力を考慮することで土留め壁の変位量を精度よく算定することがわかった。土留め壁の挙動を精度よく算定することで、親杭長さの低減や親杭仕様のランクダウンなど、より経済的な斜め土留の設計が可能となることから、今後は、工事の安全性を確保できる合理的な設計手法の確立に努めたい。

参考文献

- 1) 貫井孝治, 坂平佳久, 今村正陽, 橋爪啓樹: 火力発電所取水管路設置における鋼矢板自立斜め土留工法の適用事例, 土木学会第 66 回年次学術講演会, 6-005, 2011.9.
- 2) 山留め設計施工指針 (2002 年 2 月): (社) 日本建築学会.
- 3) 道路土工仮設構造物指針 (平成 11 年 3 月): (社) 日本道路協会.
- 4) 道路土工擁壁工指針 (平成 24 年 7 月): (社) 日本道路協会.
- 5) 嶋田洋一, 松本伸, 高橋真一, 杉江茂彦: 自立土留めに働く砂地盤の土圧に関する遠心模型実験, 土木学会第 65 回年次学術講演会, 3-456, 2010.9.