

斜め自立土留め（親杭横矢板方式）の設計と施工

(株) 大林組	正会員	○上原 郷
成田国際空港 (株)	正会員	早川 勇
(株) 大林組	正会員	照井 太一
(株) 大林組	正会員	青木 峻二

1. 目的

成田国際空港の新設トンネル設置工事において、開削工法の工程短縮及びコストダウン手法として、斜め自立土留め工法（親杭横矢板方式）を適用した事例を報告する。本工法は、鋼矢板での施工事例が1例¹⁾有るのみであり、親杭横矢板方式での適用は本工事が初である。

2. 斜め自立土留め

斜め自立土留めとは、土留め壁を傾斜して構築することにより、背面土圧を低減させ、土留め工の安定を確保しながら支保工を省略した、自立式の土留め構造である。開削工事では、土留め支保工の施工が掘削や構造物築造の工程に大きな影響を及ぼすが、その省略により工程短縮とコスト縮減が可能となり、躯体構築時の施工性向上が期待できる。

なお、設計においては土留め壁の傾斜を考慮するため「道路土工－擁壁工指針」に示される「クーロン土圧式」を使用し、壁背面と鉛直面のなす角（ α ）に土留め壁の傾斜角を負の値で入力し安定照査を行っている（図-1）。

3. 土留め検討

本工事の開削寸法は、深度 9.5m、幅は底版にて 15.5m、施工延長は 94m である。傾斜角 10 度の斜め自立土留め（以下斜杭）を標準とし、背面側の上載荷重が大きい範囲を直立の親杭（以下直杭）＋グラウンドアンカー形式とした。実施した仮設工全景を写真-1 に示す。

地盤は、上部が粘性土（GL-3.4m, N 値 3 程度）で、その下は砂質土である。砂質土の N 値は 10~30 程度であるが、GL-13m 付近に N 値 50 以上の硬質砂質土層（成田砂層）が存在し、その下に地下水位が確認されている。

前述した「クーロン土圧式」を用い、傾斜角を 10 度とすると主働土圧係数 $K_A=0.189$ となり、直立した場合

（ $\alpha=0$ ）の主働土圧係数 $K_A=0.251$ より約 25%小さくなった。また、斜杭の根入れ長は、①根入れ部の側圧に対する安定、②掘削底面の安定、③土留め壁頭部の許容変位量（掘削深さの 3%以下）と 3 つの検討を行い、最大となった③から求まる値（ $L=10.0\text{m}$ ）とした。決定された杭の仕様及び断面図を図-2、図-3 に示す。

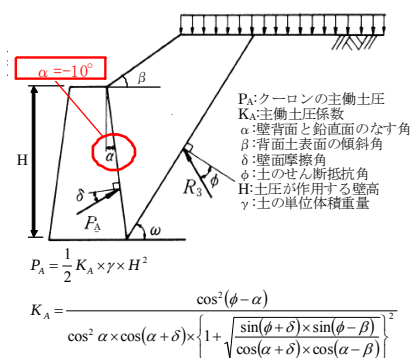


図-1 クーロン土圧式による土圧算定

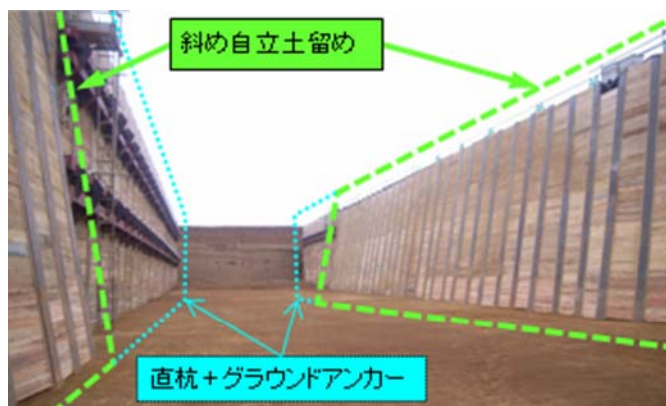


写真-1 仮設工全景

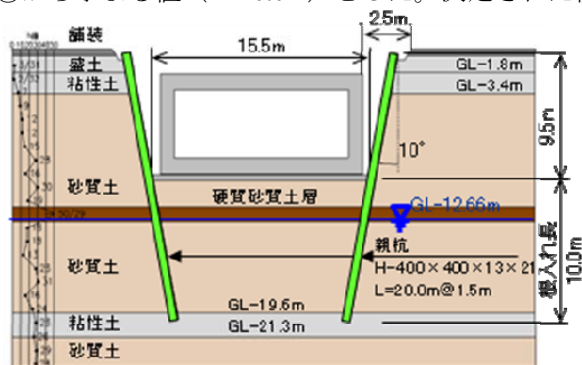


図-2 仮設工断面図（斜杭）

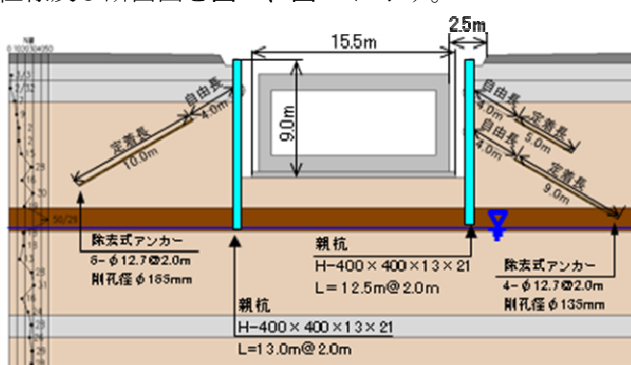


図-3 仮設工断面図（直杭）

キーワード 開削工法, 斜め自立土留め, 斜杭, 親杭横矢板, コストダウン

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株) 大林組 生産技術本部 技術第一部 TEL03-5769-1322

4. 施工機械選定

一般的に親杭（H 鋼杭）の打設工法は、プレボーリング工法と打撃・振動の直接打設の2つに分けられる。斜杭の施工において、プレボーリング工法では、砂質土地盤にて傾斜を持った孔壁を自立させることが困難である。また、地下水位が低く硬質の地盤が存在する為、直接打設工法だけでは摩擦抵抗が大きく打設が困難である。そこで、ウォータージェット（WJ）併用の振動工法を採用した。

なお、H 鋼杭の傾斜を一定に保つ方法としては施工機械管理（リーダー等）と打設部の架台による管理（定規材等）が考えられるが、地山上にて架台のみでの角度保持は、架台に作用する荷重による移動が懸念されるため、適用が難しい。よって、リーダーのついた機械での WJ 併用振動工法による施工を適用することとした。

本工事ではリーダー角度調整機能とアタッチメント交換の容易さに着目し、中型三点式杭打機をベースマシンとした改良施工機械を使用した。リーダーには、1 度単位で傾斜角度を計測するリニアセンサを取り付け、アタッチメントをオーガからセンターホール構造の油圧式高周波パイプロ（CHV）機へ変更した。（写真-2）。



写真-2 中型三点式杭打機+CHV

5. 施工結果と評価

斜杭の精度管理は、運転席モニターでのリーダー角度確認に加え、デジタル水平器での打設杭角度の確認を実施し、結果として設計に対し平均+0.2 度（10.2 度）と極めて高精度に施工できた。

打設時の、1 日当たり平均施工量は、直杭 125m（10 本×12.5m）に対し、斜杭 120m（6 本×20m）となり、斜杭の施工能率は直杭に対し全く遜色なかった。なお、直杭は WJ 併用の電動パイプロハンマにて実施した。

引抜きは、直杭と同じ電動パイプロハンマにて実施した。引抜きに伴い杭先端位置が変わることから、常にブーム操作が必要であり、操作補助のため2 方向への合図者を配置したが、引抜き速度は直杭と同程度であった。杭引抜きは、埋戻しに合わせて段階的に実施したため、クリティカルパスではなく、工程への影響はなかった。

斜杭と直杭の工事費を比較したところ、7%斜杭が安くなった。斜杭は、鋼材費と打設費が大きいものの、アンカーを省略した効果が表れた。鋼材費では、斜杭のみで継手部分の部材・減失処理費等が発生したが、これを省くと更なるコストダウンが可能である。また、打設費での費用差は、打設機械の損料等によるものである。

掘削工において、斜杭は極めて有効であった。土留め支保工が無い場合、アンカー工の養生待ち等のクリティカルパスが省かれ 8 日の工程短縮を実現した。なお、本工事は半分が直杭+アンカー併用であったため、アンカー施工時は斜杭側の半分のみ施工を行った。

杭頭部の最大変位量の実測値は 56mm で、当初設計値 295mm の 1/5 程度にとどまった。これは、不飽和砂質土の見かけの粘着力によるものと考えられる。設計時は、既往の実績による定数を使用した。床付掘削時に試料を採取し、三軸試験を実施したところ表-1 に示す値となった。

現場試料結果を設計定数として土留めの再計算を行った結果、杭頭部の変位量は 60 mm となり、前述の実測値 56 mm に近い値となることが分かった。（図-4）ただし、見かけの粘着力は地盤の地下水状態に影響を大きく受けるため、設計定数に適用する場合には十分な検討が必要となる。

	設計値		現場採取試料	
	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	

表-1 砂質土の粘着力

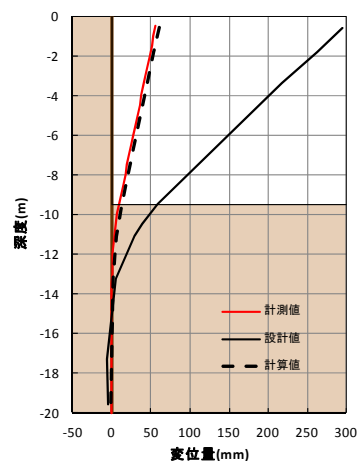


図-4 変位量比較

6. まとめ

本工事では、中型三点式杭打ち機のリーダーを傾斜させ、WJ 併用の CHV 機にて親杭を打設した。打設・引抜き時間は直杭と同等、打設精度・杭変位量とも想定通りであり、工程短縮及びコストダウン効果が確認され、斜め自立土留め工法の妥当性を確認できた。

また、設計法については、土留め計測工により、土留めの傾斜による土圧低減効果を考慮した現在の設計手法の妥当性を確認できた。今後は、砂質土の見かけの粘着力や、粘性土の土圧低減効果を適切に評価して設計に取り入れた設計手法を確立する事で、より経済的な土留め構造を実現できると考える。

参考文献 1) 貫井他: 火力発電所取水管路設置における鋼矢板自立斜め土留め工法の適用事例 土木学会第 66 回年次学術講演会, VI-005, 2011.9