

ソイルネイルを使用した大規模オープン掘削工法の設計・施工と計測結果

西松建設（株） 正会員 ○杵築 秀征 上田 幸生

1. はじめに

香港の観塘延伸線工事（KTE）における何文田駅舎部の平面形状は、図-1の掘削平面図に示すように、幅26m、延長250mであり、現況地盤からの掘削深さは約50mである。床付け地盤までの主な土層は、Fill（盛土）、CDG（完全風化花崗岩）およびHDG（高度風化花崗岩）からなる。法面の最大勾配は75度であり、約20mの長尺ソイルネイルおよび吹付けコンクリートにて法面の安定を図りながら掘削を行う。このような急勾配かつ大深度の掘削に対し、ソイルネイルによる大規模オープン掘削工法を適用した施工事例は少なく、安定計算、FEM解析等の設計に基づいた慎重な掘削、多数の計測器機による計測管理と情報化施工が求められた。本稿では、ソイルネイルを使用した大規模オープン掘削工法の設計、施工と計測結果について述べる。

2. ソイルネイルを使用した法面設計

香港において、ソイルネイルを使用した法面掘削の設計手法は、GEO (Geotechnical Engineering Office) 発行の "Guide to Soil Nail Design and Construction" にて確立されており本設計もこれに準じて行った。本工事の主な設計項目は「斜面の安定計算」ならびに「地盤変動予測解析に基づく変位量の算定」であり、各設計は以下のソフトウェアを用いて行った。

(1) 斜面の安定計算 : Slope W (Morgenstern-Price法)

(2) 変位量の算定 : PLAXIS (FEM解析)

土層構成および法高等を考慮し、設計の観点からクリティカルと考えられるセクション20に対し、各掘削ステージでの解析を行った（図-2）。設計に用いた土質定数を表-1に示す。

3. 計測計画

地盤変動予測解析の結果から計測管理値を設定しており、掘削に伴って生じる法面変形の動態観測を行うため、種々の計測器機を配置した。セクション20の計測器機設置断面図を図-2に、また計測器機一覧を表-2に示す。計測結果は、掘削中に特に顕著な動きを示した傾斜計 IN-03B に着目し抽出している。

4. 計測結果

傾斜計の計測結果を図-3に示す。図-3に示すように、5～7段目（標高約26.0mPD）のソイルネイル施工にあたり、傾斜計の計測値が急進した。計測変位は、当初定めた管理値を超過するには至らなかったが、この時点の掘削は45度の法面であり比較的緩勾配であったにもかかわらず、計測値に大きな変化が生じ、本掘削ステージの変形予測値を超過したため、変形要因の検証を行った。

キーワード ソイルネイル、大規模オープン掘削、計測、法面、香港

連絡先 〒105-6310 東京都港区虎ノ門1-23-1 虎ノ門ヒルズ森タワー10階 西松建設(株) TEL 03-3502-7693

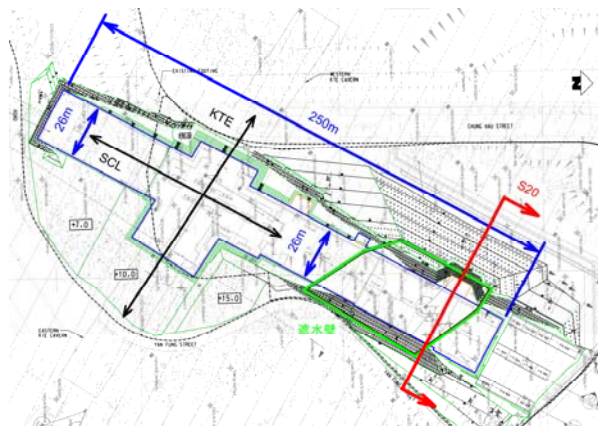


図-1 何文田駅舎部 掘削平面図

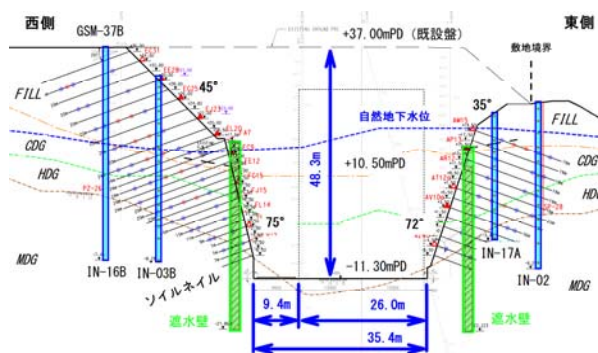


図-2 セクション 20 標準断面図（計測器機）

表-1 設計土質定数

土層	単位体積重量 γ (kN/m ³)	内部摩擦角 ϕ' (度)	粘着力 c' (kN/m ²)	変形係数 E (MPa)
Fill	19	37	0	60
CDG	19	39	5	150
HDG	19	40	15	400
MDG	25	-	-	10,000

表-2 計測器機一覧

計測器機	計測項目
傾斜計	地中水平変位
プリズムターゲット (ソイルネイル頭部)	ソイルネイル頭部変位
ひずみ計 (ソイルネイル)	軸力
地表面沈下計	地表面沈下量
地下水位計測計	水位低下量

5. 計測結果の考察および対策

図-3に示す計測値の推移に基づき、急激な法面変形を誘発した要因の推定、設計の見直しおよび対策、またその後の経過とその考察について記述する。

現場の施工状況から、想定以上にFill層が不均質であり、ソイルネイル削孔時のエアの高圧噴射によって本来排出すべき土量以上に排土が生じていることが確認された。要因については、削孔中に孔壁崩壊が生じ、ソイルネイル上部に空洞が生じた可能性が高いと推測された。この推測に基づき、以後のFill層における削孔は、孔壁崩壊防止対策としてケーシング併用工法にて施工することとした。

また、新たな計測管理値を設けるために、設計の見直しを実施した。PLAXISにて、解析値と実際の変位量を整合させるため、掘削による応力解放、降雨などの浸透水の影響による見かけのせん断強度の低下を考慮し、Fill層の内部摩擦角の値を37度から33度に低減することで、5～6段目の水平変位量の同定を確認した(図-3)。また、見直した内部摩擦角に基づき、Slope Wによる斜面の安定計算を行い、必要最小安全率(1.20)を満足していることも確認した。

しかし、5～7段目における変形は45度法面掘削時に発生しており、残り20m以上の75度法面の掘削が控えていることから、セクション20の6段目と7段目の間にソイルネイルを追加打設し、変形を抑制する対策を行った。

対策実施以降、床付完了までの計測結果では、計測値の急激な増加はなく、最終掘削時における水平変位は67mmとなり、土質定数再評価後の解析値である116mm(図-4)となるような変形は確認されなかった。

図-3に示すように、対策実施後のFill層からHDG層の掘削による計測値と解析値は、増加の傾向に乖離が認められる。土質定数再評価後の解析値と比較した場合、むしろ原設計の解析値に近い傾向を示し、著しい変形は確認されず、水平変位の傾きが緩やかである。この差が生じた要因として、土質定数の再評価にて低減したFill層の内部摩擦角が安全側であったこと、またCDG層、HDG層の土質定数が実際に設計で採用した値より大きな値であったことが考えられる。初期段階の計測結果に合わせてFill層の内部摩擦角を低減したが、5～7段目での変形は、土質の過少評価によるものではなく、ソイルネイルの施工方法により生じたものである可能性が高い。さらにセクション20は岩盤深度が最も深く、両隣のセクションは比較的浅い位置に岩盤が確認されている。したがって、2次元の断面解析では考慮されない縦断方向の3次元的な影響により、解析値と計測値に差異が生じたものと考えられる。一般的には簡易な2次元モデルで設計を行うことが多いが、3次元効果の影響が大きいと想定される場合は、3次元モデルにて検討する必要があると考える。

6. おわりに

ソイルネイルを使用した大規模オープン掘削工法を適用する際には、施工に伴う慎重な計測管理を継続的に実施することが必要であり、素早い計測結果の入手と評価、設計および施工の見直しを一連で行う情報化施工のシステムの確立が重要となる。

今後は、本工事と類似の現場における計測データを蓄積し、より合理的な設計・施工方法の確立を目指したい。

参考文献

- 1) GEOGUIDE7 Guide to Soil Nail Design and Construction: Geotechnical Engineering Office, The Government of the Hong Kong

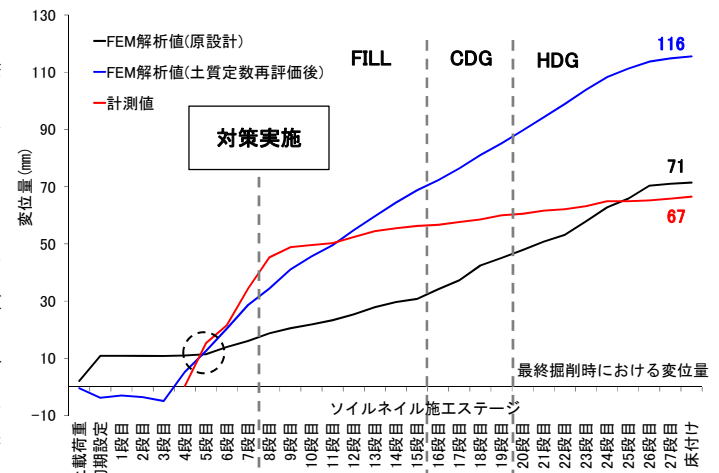


図-3 水平変位量 (IN-03B) の推移

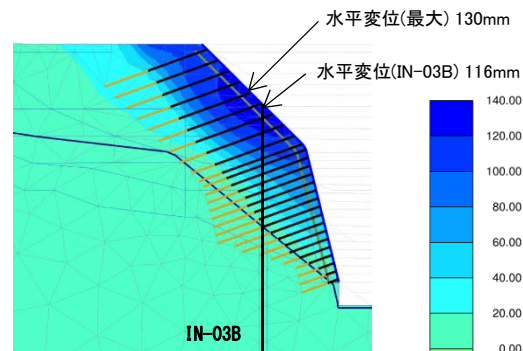


図-4 地盤変動予測解析結果-土質定数再評価後



図-5 何文田駅全景