

開削工事における土留め変形の逆解析と地盤反力係数の非線形性を考慮した次段階予測

逆解析, 地盤反力係数, 非線形性

京 阪 電 気 鉄 道
地 域 地 盤 環 境 研 究 所
大 成 ・ 戸 田 ・ 鉄 建 ・ 熊 谷 JV
ナ ッ ク向井寛行 正会員 泉谷 透
国際会員○長屋淳一
山下 剛 正会員 天野健次
高見邦幸

1. はじめに

開削工事において掘削途中段階の土留め変形の計測値を逆解析により土留め設計のパラメータを見直し、次段階以降の土留め変形を再度予測することは掘削工事の安全性を確認する有効な手法であり、実現場においても多く用いられている手法である。しかし、この逆解析によって求められる地盤反力係数は、計測時点における非線形性を含む等価な線形バネとして評価されるため、掘削の進行に伴って低下する係数であり、この逆解析で得られた地盤反力係数を次段階予測に用いた場合、予測値は危険側の評価となる。特に、軟弱粘土地盤のような非線形性が顕著な地盤では注意が必要となる。そこで、本研究では大阪市内における京阪中之島線の開削工事において初期掘削段階における各掘削ステップで逆解析を行い、各ステップにおける逆解析により得られた地盤反力係数と土留め壁の変位量より、地盤反力係数の非線形性を求め、地盤反力係数の非線形性を考慮した次段階予測手法を提案し、実現場に適用した。

2. 非線形性を考慮した地盤反力係数

図-1は、掘削時における土留め変位 y と地盤反力 p の関係を示す。地盤のような非線形性材料では、土留め壁の変形に伴い、地盤反力係数が低下し、①のような関係にある。これに対して、土留め設計は地盤をバネ、土留め壁を梁でモデル化し、地盤バネは極限受働土圧を上限とした弾塑性法¹⁾が用いられ、図-1の②のように極限受働土圧までを線形バネとしたバイリニアな関係が用いられている。一方、逆解析では地盤バネを線形バネとして取り扱われるため、図-1の③のような土留め変位の計測値における非線形性を含む等価な地盤反力係数として求められる。従って、掘削に伴い土留め変位が大きくなれば、逆解析により求められる地盤反力係数も低減することとなる。ここでは、開削工事の各掘削段階における逆解析で求められる地盤反力係数を用いて地盤反力係数の非線形性を求めて、次段階予測を行う。以下に、地盤反力係数の非線形性の考え方と非線形性パラメータの求め方を示す。

1) 地盤反力係数の非線形性の考え方

地盤反力係数は、土留め壁の水平変位 y に対する非線形性として、 y のべき関数とし、以下の式で表わされるものとする。

$$p = k_{h0} \cdot F(y) = k_{h0} \cdot y^m \quad \text{式(1)}$$

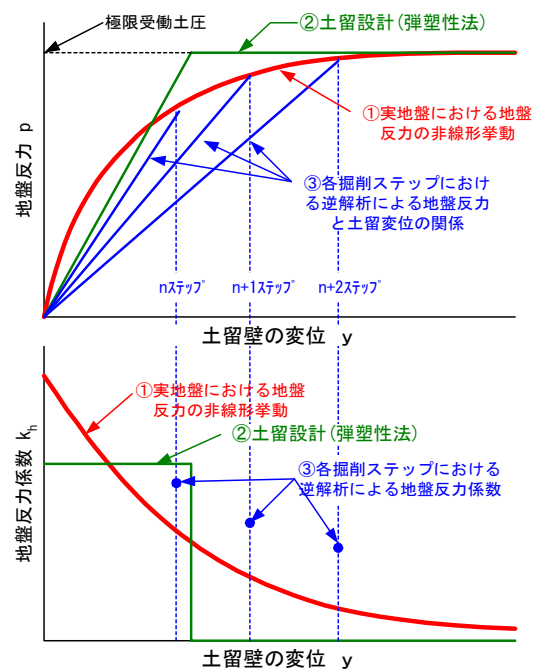
ここで、 k_{h0} は、 $y=1\text{cm}$ における地盤反力 p の値、 m は非線形性を表す係数で $0 < m \leq 1$ の範囲にあり、 $m=1$ の場合に線形となる。

2) 逆解析による地盤の非線形性の評価

初期掘削時の各掘削段階において、逆解析により地盤反力係数を線形として見直しを行う。この時、実際の地盤は非線形であり、逆解析から得られる地盤反力係数 k_h は、図-1の③に示すような割線勾配となるので、式(2)のように表される。式(3)の両辺の常用対数をとると、式(3)を得る。

$$k_h = \frac{p}{y} = k_{h0} \cdot \frac{y^m}{y} = k_{h0} \cdot y^{m-1} \quad \text{式(2)} \quad \log k_h = \log k_{h0} - (1-m) \cdot \log y \quad \text{式(3)}$$

これより、係数 m は両対数紙上で k_h と y をプロットした時の直線勾配となる。各掘削段階における土留め壁の水平変位 y と逆解析より得られる k_h をプロットし、その勾配と $y=1\text{cm}$ における切片の値より非線形パラメータ m および k_{h0} を求める。なお、地盤反力係数を土留め変位のべき乗とする考え方は、共同溝設計指針²⁾ において用いられており、共同

図-1 土留め変位 y と地盤反力 p の関係

Back-analysis and next stage prediction of retaining walls in considering of nonlinearity of subgrade reactions

H.Mukai, T.Izumitani (Keihan Electric Railway Co.Ltd.), J.Nagaya (Geo-Research Institute), T.Yamashita, K.Amano (Taisei i·Toda·Tekken·Kumagai J.V.), K.Takami (Knack Co.Ltd)

溝設計指針は $m=0.5$ に相当する設定を行っている。

3. 実現場における適用

2. に示した逆解析による地盤の非線形性の評価を京阪中之島線の渡辺橋駅の開削工事において実施した。図-2 に適用現場の施工条件を示す。掘削深さは24mであり、掘削地盤の内、GL-8.5m~GL-29mの19.5mは、N値2~3の沖積粘土層である。逆解析は、2~5次掘削段階において行い、5つの分割した沖積粘土層の内、④~⑦層についての非線形パラメータ m , k_{h0} を求め、6次掘削以降の次段階予測を行った。図-3 に各掘削段階における土留め壁の変位量 y と逆解析より得られた地盤反力係数 k_h より $\log k_h \sim \log y$ の関係を示す。図-3 より、掘削段階が進むにつれて土留め変位の増加とともに逆解析により求められた地盤反力係数 k_h が低減していることがわかる。これらの $\log k_h \sim \log y$ 関係グラフの勾配と $y=1\text{cm}$ における切片の値より求められた④~⑦層の非線形パラメータ m , k_{h0} を示す。求められた非線形パラメータは、沖積粘土層の下部ほど k_{h0} , m が大きい、すなわち剛性が大きく、非線形性が小さくなることを示している。図-4 にこれらの非線形性パラメータを用いて実施した次段階予測と変形の実測値を示す。図中には比較のために5次掘削段階の逆解析で求められた地盤反力係数を線形バネとして用いた次段階予測結果も示す。また、計測値(○印)は、掘削の進行に伴い、土留め頭部が背面側へ変位する結果となっている。これは掘削が深くなるにつれて、土留め変位計測の固定点としている土留め先端部が掘削側へ変位しているためと考えられたため、切梁軸力の変化がない3段切梁位置を固定点として計測値の補正を行った値(●印)も示している。計測値と次段階予測値を比較すると非線形性を考慮しない次段階予測は、実測値に比べて土留め壁の変位量を小さく評価しており、危険側の予測値となっている。これに対して、地盤反力係数の非線形性を考慮し次段階予測は、計測値に近い変形を示しており、地盤反力係数の非線形性を考慮することにより、より精度の良い予測が可能であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、土留め変形の逆解析と地盤反力係数の非線形性を考慮した次段階予測の検討手法を提案し、軟弱粘土地盤を掘削する実現場において適用した。その結果、次段階予測として良好な結果が得られ、より精度の良い予測が可能であると考えられる。今後は、この手法による検討事例を増やし、掘削地盤の土質特性と非線形パラメータの関連について検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書 開削工法・同解説、第3編 仮設構造物の設計、pp.155~160, 2006.
- 2) 社団法人 日本道路協会：共同溝設計指針、7.4 大規模山留めの設計、pp.122~129, 1986.

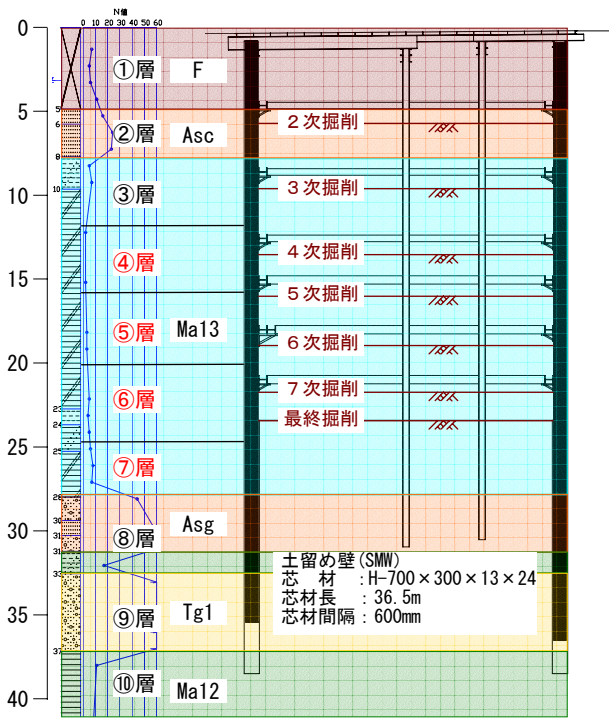


図-2 開削現場の施工条件

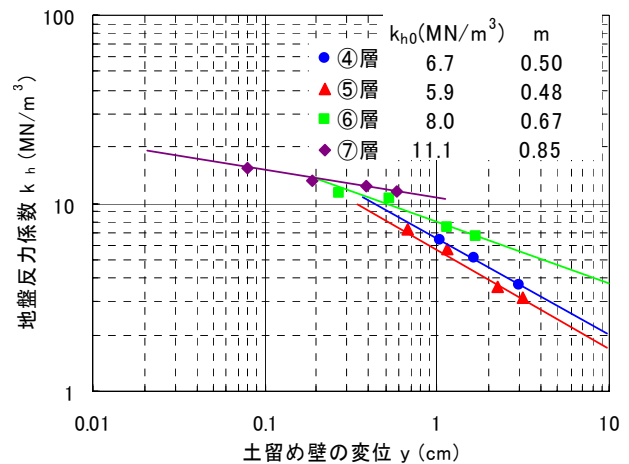


図-3 $\log k_h \sim \log y$ の関係

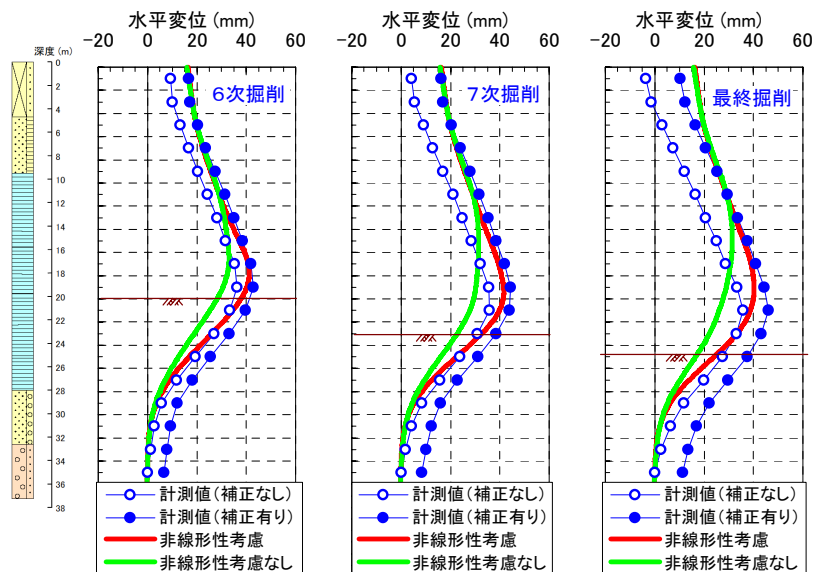


図-4 地盤反力係数の非線形性を考慮した次段階予測結果