

I-413

GAの土留逆解析への応用に関する基礎的研究

室蘭工業大学 学生員 森 一功、北海学園大学 正 員 杉本博之
東急建設㈱ 正 員 酒井邦登、室蘭工業大学 正 員 尾崎 訓

1. まえがき わが国では国土が狭いという理由から、特に都市部では地下空間の有効利用が重要視されている。しかし過密した都市部では開削工法によって施工を行う場合、地下構造物が大規模であるほど、また掘削が大深度であるほど土留構造物（以下、土留）の安全性と共に周辺構造物への影響が懸念される。よって掘削を進めるにあたって、施工中の土留の挙動をより早く、より正確に把握し、必要に応じて迅速に対処する事が重要である。これを計画的に行うためには、各施工段階ごとに、計測される土留の挙動から設計値を見直し、次段階での予測解析を行い、その結果を施工に反映させ、常に安全性を確認しながら施工を進める情報化施工が必要不可欠である。その中でも、計測値から地盤物性値を推定する（土留逆解析）手法については種々提案されているが、従来の一次の微係数の値を用いる数理計画法では適用が困難といわれている。筆者らは土留逆解析に対し、離散的最適化問題に有効であるといわれ近年特に注目されているGA（遺伝的アルゴリズム）を適用し、その有効性や種々考えられる目的関数、およびGAのパラメータについて検討してきた^{1) 2)}。本研究では多くの例題について計算を行うことにより、本手法の有効性について検討することを目的としている。

2. 土留のモデル化 本研究は、逆解析手法の妥当性の検討に重点を置いたため、土留の解析は簡単なモデルを用いて行った。図-1は、数値計算のための解析モデルである。土留壁は矩形断面の柱とし、下端は固定、切梁位置を単純支持としている。土留壁には、式(1)を用いて算出した各層の有効主動土圧(tf/m²)を分布荷重(tf/m)として載荷し、土留壁の変位や応力を算出した。

$$P_{ae} = P_a - P_o \quad (1)$$

ここで、

$$\left. \begin{aligned} P_a &= K_A (\gamma_t \cdot Z - p_w) - 2c \sqrt{K_A} + p_w \\ P_o &= K_o (\gamma_t \cdot Z' - p_w') + p_w' \\ K_A &= \tan^2(45^\circ - \phi/2), K_o = 1 - \sin \phi \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ただし、 P_{ae} は有効主動土圧(tf/m²)、 P_a は主動土圧(tf/m²)、

P_o は静止土圧(tf/m²)、 K_A は主動土圧係数、 $\gamma_t \cdot Z$ は背面側全

鉛直圧力(tf/m²)、 p_w は背面側間隙水圧(tf/m²)、 K_o は静止土圧係数、 $\gamma_t \cdot Z'$ は掘削面側全鉛直圧力(tf/m²)、 p_w' は掘削面側間隙水圧(tf/m²)、 c は土の粘着力(tf/m²)、 ϕ は土の内部摩擦角(°)である。

なお、上載荷重 $q=1.0$ (tf/m²)としている。

3. 土留逆解析の定式化 目的関数は、本研究ではひずみ計による計測値を前提とし図-1に示すように任意に設定した測定点(図中・印)における土留壁の曲げモーメント値を用いて算出する。

○目的関数：

$$OBJ = \sqrt{\sum_{i=1}^{NP} (m_{ai} - m_{mi})^2} \rightarrow \min \quad (3)$$

○設計変数： $\{H, c(j), \phi(j)\} \quad (j=1 \sim n, n: \text{土層の数}) \quad (4)$

ここで、 m_{ai} 、 m_{mi} は*i*点での土留壁の解析曲げモーメント(kgf・cm)、測定曲げモーメント(kgf・cm)、NPは測定点の数である。測定曲げモーメントは、設計変数に正解値を与えた場合の値としている。

設計変数は、地下水位 H (m)、および土層の地盤物性値のうち、粘着力 c (tf/m²)と内部摩擦角 ϕ (°)とし、各層における土の単位体積重量 γ (tf/m³)および土層厚は既知としている。

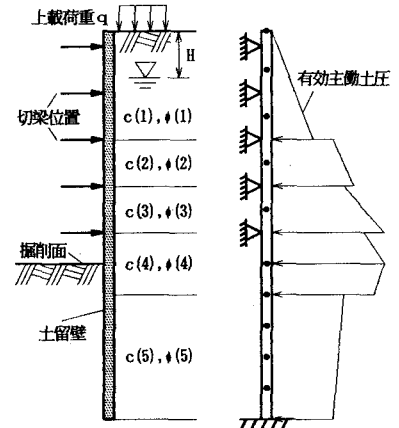


図-1 土留の解析モデル

表-1 地盤物性値

種類	c (tf/m ²)	φ (°)	γ (tf/m ³)
砂質土①	0.0	25.0	1.80
粘性土①	2.0	0.0	1.70
砂質土②	1.5	30.0	1.90
粘性土②	1.0	5.0	1.85

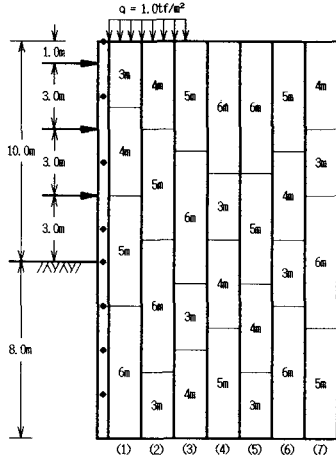


図-2 土留モデルと層厚

表-2 設計変数

設計変数	物理的意味	下限値	上限値	ピッチ	個数	G bit 数	A 数	正解値
1	地下水位 (m)	1.00	4.50	0.50	8	3		3.00
2	砂質土① 内部摩擦角 (°)	20.00	37.50	2.50	8	3		25.00
3	粘性土① 粘着力 (tf/m ²)	0.00	3.00	0.50	7	3		2.00
4	砂質土② 粘着力 (tf/m ²)	0.00	3.00	0.50	7	3		1.50
5	粘性土② 内部摩擦角 (°)	25.00	42.50	2.50	8	3		30.00
6	粘性土② 粘着力 (tf/m ²)	0.00	15.00	1.00	16	4		1.00
7	粘性土② 内部摩擦角 (°)	0.00	15.00	5.00	7	3		5.00

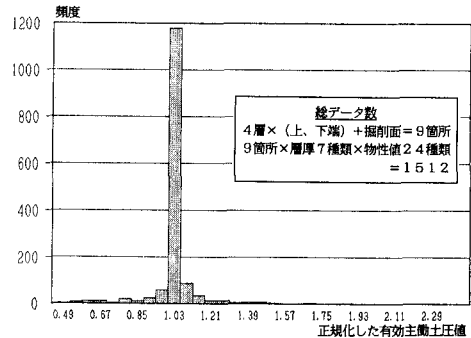


図-3 正規化した土圧値の頻度分布

4. 数値計算例 本研究では多くの例題について計算を行うため、土層の層厚および地盤物性値の組み合わせを種々変えることによりこれを行った。計算対象とした土留めモデルは図-2に示すような4層モデルであり、層厚の組み合わせは(1)～(7)の7種類とした。図中の値は各層の層厚である。そして各層の地盤物性値は表-1のすべての組み合わせ、合計24種類とした。よって計算は合計168ケース行った。設計変数の上・下限値、ピッチ等は表-2とし、GAの詳細は省略するが各パラメータについては、設計変数のコーディングをバイナリコード、人口サイズ100、交叉の確率60%、突然変異の確率5%、最大世代数は100、交叉方法は一点交叉としている。計算結果は各設計変数の値と、それから求まる土圧の2種類について集計した。土圧については各層毎に上端と下端および掘削面での値(合計9箇所)があるため、9箇所×168ケース=1512のすべての値について、逆解析によって得られた値を正解値で割り正規化したものを頻度分布として図-3に示した。これは正規化した土圧値を0.06刻みで集計したもので、0.97～1.03の範囲の頻度を1.03の目盛りに示している。結果的に逆解析によって得られた土圧値は、その大部分が正解値に対して±3%以内の誤差であったため、GAは有効ではないかと考えられる。またGAのパラメータとしては、上記の値を用いることにより、妥当な結果を得ることができる。

5. あとがき 本研究では、土留逆解析手法としてのGAの有効性について検討するため多くの例題に対し計算を行った。その結果を有効主働土圧値を用いて検証してみると、その大部分がほぼ正解値と一致していたと考えられ、計算結果は妥当であったと言える。よって土留逆解析に対しGAは有効であると言える。

今後は土留の解析手法として、より忠実に土留の挙動を計算できる弾塑性法³⁾を適用し、実測値を用いて各施工段階毎に逆解析を行うなど実際的な問題への応用を試みる予定である。

参考文献 1) 満尾 淳・渋谷重彦・酒井邦登・杉本博之・森 一功: GAを用いた弾塑性土留逆解析手法の提案、第3回システム最適化に関するシンポジウム講演論文集、pp.111-116、1993。 2) 森 一功・杉本博之・満尾 淳・渋谷重彦・酒井邦登: 土留逆解析へのGAの応用に関する基礎的研究、土木学会北海道支部論文報告集、pp.168-173、1994。 3) 土木学会: トンネル標準示方書(開削編)・同解説、1986.6