

山留めの情報化施工法に関する研究(その1)

- 逆定式化法による山留め作用側圧の推定 -

橋大本組 正員 ○森 嘉仁
橋大本組 正員 巢元 利博

1. はじめに

掘削山留め工は掘削の進行に伴って構造系と荷重がともに変化するために、事前予測値(設計値)に十分な精度を期待することが難しいのが実際である。これを補うために、施工途中の現場計測から得られた最新の情報をもとにして逆解析手法等により、実際の地盤条件や荷重を各施工段階ごとに求めて現状の確認を行なうとともに、それを基に以後の施工段階の挙動予測を行ないながら施工を進めるという方法が試みられている。いわゆる情報化施工と呼ばれる方法である。

逆解析手法としては、山留め設計法の一つである弾塑性法を基本として、直接定式化法によるものや、近代制御理論を応用したものなどが種々発表されているが、収束時間や、初期条件による解の安定性などに問題が残されていると思われる。一方、逆定式化法は構造モデルに対して未知パラメータを計測データの変数で逆の定式化ができることが条件であるが、定式化ができれば1回の計算で逆算値を求めることが可能である。

本論文では、できるだけ平易にかつできるだけ早く未知情報を把握するという目的で、逆定式化法により山留め壁背面の作用側圧を推定する方法の解析概要を報告する。

2. 未知パラメータおよび解析モデル

①モデルの単純化を図るために、未知パラメータは、解析結果に与える影響が最も大きく、かつ事前の把握が困難とされる背面側圧のみとする。

②解析モデルは図-1に示すような弾塑性モデルであるが、荷重は分割した区間内で一定とする。

③壁体剛性、切ばり軸力、地盤バネ定数 E_s 、弾塑性境界、有効受働側圧は既知として与える。

④各区間は次の3種に分類する。(1)掘削面以上：背面側圧 P が作用する。(2)塑性域：背面側圧と有効受働側圧の合力として荷重 P が作用する。(3)弾性域：背面側圧 P と、壁体変位 y に比例する弾性反力 $E_s \cdot y$ が作用する。

⑤各区間の荷重 P_i と計測変位データとの関係を各区間の境界条件を考慮して逆定式化を行ない、これから変位の残差自乗和を最小とするような荷重 P_i を求める。

なお、弾塑性境界は次の2つの方法から総合的に判断して決定することができる。(1)別途に地盤を細分割した通常のはりモデルに基づいて、各区間のトータル荷重を逆定式化法に

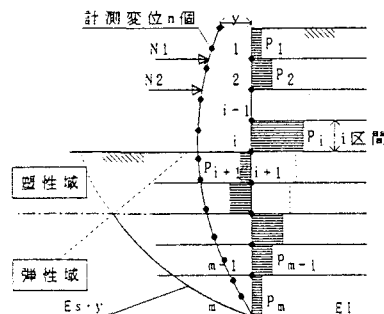


図-1 解析モデル

$$\begin{matrix} L_1 & \{V_1\} & 1 & [\alpha_1], \{a_1\}, \{C_1\} \\ & & & \\ L_i & \{V_i\} & i & [\alpha_i], \{a_i\}, \{C_i\} \\ L_{i+1} & \{V_{i+1}\} & i+1 & [\alpha_{i+1}], \{a_{i+1}\}, \{C_{i+1}\} \\ & & & \\ L_{m-1} & \{V_{m-1}\} & m-1 & [\alpha_{m-1}], \{a_{m-1}\}, \{C_{m-1}\} \\ L_m & \{V_m\} & m & [\alpha_m], \{a_m\}, \{C_m\} \end{matrix}$$

$\{V_i\} = \{y \quad \dot{y} \quad \ddot{y}\}^T$: y : 変位
: i 区間の任意点 x における状態量ベクトル
 $[\alpha_i]$: i 区間の区間マトリクス (4×4)
 $\{a_i\}$: i 区間の荷重係数ベクトル (4×1)
 $\{C_i\}$: i 区間に固有の積分定数ベクトル(4×1)

図-2 はりの区間分割

諸量の関係式

$$\{V_i\} = [\alpha_i] \{C_i\} + \{a_i\} P_i \quad (1)$$

区間境界での連続条件

$$\{V_i\} - \{r_i\} = \{V_{i+1}\} \quad (2)$$

$$\{r_i\} = \{0 \quad 0 \quad 0 \quad \frac{N_i}{E I}\}^T$$

N_i : 切ばり軸力、 i は区間の下端、 i' は区間の上端を表す

①②式より求める漸化式

$$\{C_{i+1}\} = [B_i] \{C_i\} + \{b_i\} P_i + \{b_{i+1}\} P_{i+1} + \{R_i\} \quad (3)$$

$$[B_i] = [\alpha_{i+1}]^{-1} [\alpha_i]$$

$$\{b_i\} = [\alpha_{i+1}]^{-1} \{a_i\}$$

$$\{b_{i+1}\} = -[\alpha_{i+1}]^{-1} \{a_{i+1}\}$$

$$\{R_i\} = -[\alpha_{i+1}]^{-1} \{r_i\}$$

③式の関係を用いて

$$\{C_{i+1}\} = [CHAN_{i+1}] \{x\} = [CHAN_{i+1}] \left\{ \begin{matrix} \{C_i\} \\ \{P\} \\ 1 \end{matrix} \right\} \quad (4)$$

$\{C_i\}$: 第1区間の積分定数ベクトル

図-3 積分定数関係マトリクス $[CHAN]$

より求め、その荷重分布形状から推定する。(2)計測変位を高次多項式に曲線近似して得られたたわみ曲線の4階微分の極値から推定する。

3. 逆定式化法

解析には弾塑性床土のはり理論を用い、まず図-2に示す諸量を掘削面以上、塑性域、弾性域に分けて各区間ごとに定義する。各区間の状態量は区間マトリクス、荷重係数ベクトル、積分定数ベクトル、および荷重で表わされ、そのうち積分定数ベクトルと荷重が未知数となるが、各区間の積分定数ベクトルを各区間の境界条件を考慮して第1区間の積分定数ベクトル $\{C_1\}$ (4個)と各区間の荷重ベクトル $\{P\}$ (m個)で表わすことにより、未知数を減少させている点が特徴である。(図-3)

計算ルーチンのゼネラルフローを図-4に示すが、図-3④式を用いて、第1区間の積分定数 $\{C_1\}$ と各区間の荷重 $\{P\}$ を未知数とする観測方程式が計測データの数だけ(n個)作成される。これに壁の上・下端の境界条件を導入して積分定数を未知数から消去し、観測方程式の変形式を作成する。これを最小自乗法処理して未知パラメータ $\{P\}$ を決定する。

4. 解析例

図-5に理論計算値に対する逆解析の例を示す。

まず、通常の弾塑性解析(順解析)を行ない、その解析に用いた地盤定数、荷重を「正解値」、得られた壁体変位量および切ばり軸力を「実測値」とする。逆解析は2次掘削時に対して行なったもので、入力定数には正解値を与えた。実測データとしては50cmごとの壁体変位量と切ばり軸力を与えて、その時の側圧を求めたものである。

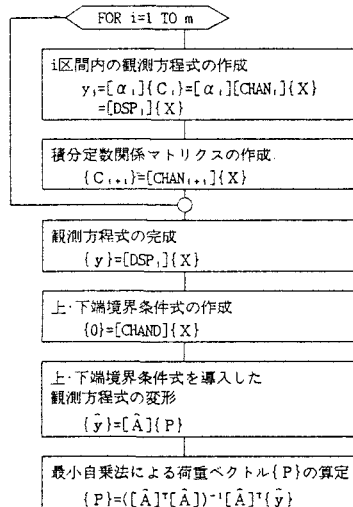
逆解析の結果は、変位はほぼ完全に実測値と一致している。また、側圧は、区間内一定としているが、「正解値」を十分近似している。なお、この例題での計算時間は16ビットパソコンで2分20秒である。

5. おわりに

理論計算値を実測値として入力した場合には精度のよい解が得られた。この方法は種々の仮定を含むものの、計算が容易で、また、土層の違いによる側圧の急変にも対応が可能である。最後に今後の検討課題を示す。①既知定数として与える値の誤差の影響 ②生データによる検証 ③予測解析手法

参考文献

- 1) 森 嘉仁、奥元利博：条件付き最小自乗法による山留め逆解析手法の開発、大本組技術研究所報No 4、1988.6



$[\alpha]$: 区間マトリクス $\{C\}$: 積分定数ベクトル
 $\{X\}$: 未知量ベクトル $\{X\} = (\{C_i\}, \{P_i\})$
 $\{P\}$: 荷重ベクトル $\{y\}$: 計測変位ベクトル
 $[CHAN]$: 積分定数関係マトリクス
 $[DSP]$: 観測方程式マトリクス
 $[CHAND]$: 境界条件マトリクス

図-4 計算ルーチンゼネラルフロー

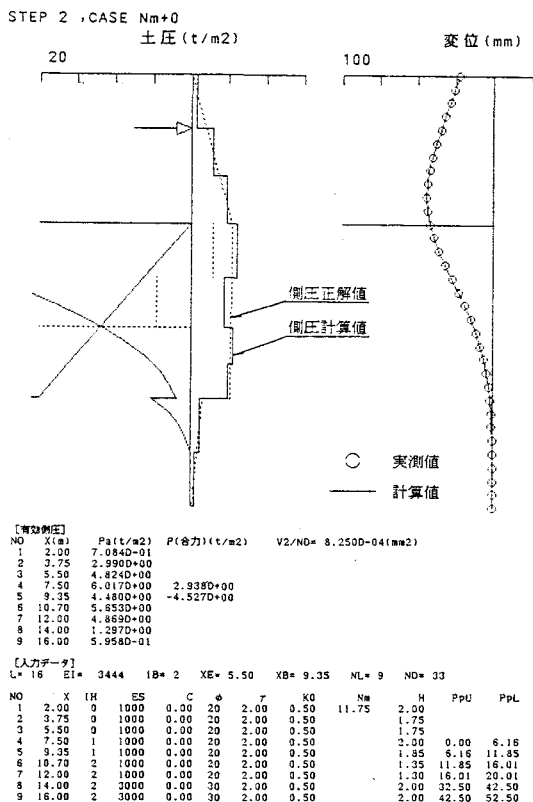


図-5 逆解析結果