

III-416 逆定式化による山留め逆解析法について

(株)大本組 正会員 巢元利博

(株)大本組 正会員 森 嘉仁

1. はじめに

最近の掘削山留め工事の大規模化、大深度化に伴い、山留めに作用する外荷重等未知な条件の元での施工が増大しつつある。このような情勢下において、現場計測に基づいたいわゆる情報化施工の重要性もまた増大しつつあるといえる。

現場計測によって得られた情報をもとに、逆解析手法によって実際の地盤条件や作用荷重を推定し以後の山留めの挙動の予測に役立てようとする試みは、種々発表されているが、それらは弾塑性を基本とした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が多い。

本文では、現場における日常管理として計測管理を位置付け、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、通常のはり理論に基づいた逆定式化法による逆解析手法を提案するものである。

2. 未知パラメータおよびモデル図

本法は、未知情報として掘削面上の主働側圧係数(k_1)、掘削面下の主働側圧係数(k_2)、掘削面下の受働側圧係数(k_3)および掘削面下の水平方向地盤反力係数(k_4)を選定した。

このうち、後の2つは弾塑性境界における連続条件より互いに従属関係にあり、従って独立な未知数は3個となる。

モデル図を、図-1に示す。

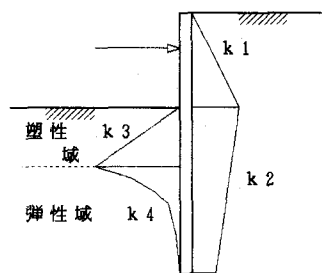


図-1 モデル図

3. 塑性深さの決定法

本法では解析領域は掘削面上、塑性域および弾性域の3つに区分される。従って、弾塑性境界の決定は極めて重要な意味をもつ。

この推定法の概要は、まず地盤を細分し各領域内に作用するトータル荷重を、等分布未知荷重に置きかえ、はりの弾性方程式を各層境界条件を考慮して逆定式化法により定式化し、未知荷重と測定変位データとの関係式を導き、これを最小二乗法処理することによって未知荷重を求める。その結果を用いて、掘削面下方の作用荷重の分布形状より塑性深さを推定することができる。

本法により求められた作用荷重の分布例を、図-2に示す。

また、計測データを高次多項式によって曲線近似し、得られたたわみ曲線の4階微分の極値を与える点を、塑性深さを表現する一情報と考え、これら両者を総合的に判断して、塑性深さを決定する。

4. 逆定式化法

山留め全体を、前述のように3つの区間に大別し、各区間においては適切な個数のはり要素に分割し、各はり要素ごとに要素剛性マトリクス $[K_e]$ 、節点集中荷重ベクトル $\{F_e\}$ およびはりに作用する分

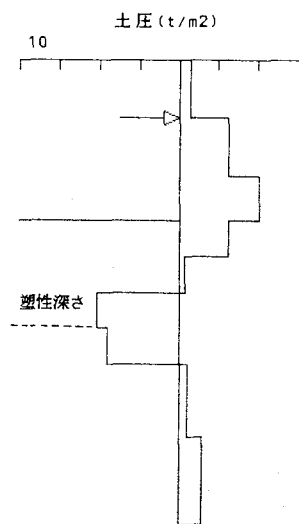


図-2 作用荷重計算例

布荷重に対応する等価節点荷重ベクトル $k_i \{f_i\}$ を計算し、それらを重ね合わせることににより、全体系のつりあい方程式を導く。

一方、計測データ $\{y\}$ と節点変位 $\{v\}$ とを結びつける関係式により、最終的に未知パラメータ $\{k\}$ と計測データとを関係付ける式を導いて、これを最小二乗法により処理することで未知パラメータを決定する。関連の各式を、表-1に示す。

同表中(3)式における $\{f_i\}$ は、実際は節点変位の関数である。これは変位に比例した地盤反力が荷重として作用することを意味しているが、このままでは未知パラメータと節点変位の関係が非線形となり逆定式化が困難となる。従って、地盤反力の形状は実測データより推定されるたわみ曲線の形状に相似であると仮定し、 $\{f_i\}$ を既知量として定式化を行なった。

(4)式を $\{v\}$ について解くためには境界条件が必要である。ここでは、山留め下端の節点変位を計測データより推定し、それを既知量としてすなわち山留め下端を変位既知境界として(4)式を解く。

既知変位を $\{v_2\}$ 、未知変位を $\{v_1\}$ として、それに対応する各部分マトリクス、各部分ベクトルを添字の1,2によって表わすものとする、最終的に未知パラメータ $\{k\}$ と計測データ $\{y\}$ とを結び付ける次式が得られる。

$$\{y\} = [T_1][K_{11}]^{-1}\{F_1\} + ([T_2] - [K_{11}]^{-1}[K_{12}])\{v_2\} + [K_{11}]^{-1}[A_1]\{k\}$$

上式を最小二乗処理することによって、未知パラメータの最適値を求めることができる。

5. 解析例

上記手法に基づいて行なった解析例を図-3に示す。解析結果は、正解値とよくあっているといえる。

6. おわりに

本手法は、掘削の施工現場における計測データの迅速で平易な活用を主眼とするものである。

逆定式化を採用したため、パソコンを用いて逆解析が可能であり、得られた結果は次段階の予測解析に有効なパラメータを含んでいるため予測解析への適用も容易である。

しかし、モデルの簡略化による誤差、実現場での検証等残された課題も多い。今後、データの蓄積と共に良いシステムの構築を目指したいと思う。

表-1 逆定式化関連式

(掘削面上の要素のつりあい式)	
$[k_e]\{v_e\} = \{f_e\} + k_1\{f_1\}$	(1)
(塑性域での要素のつりあい式)	
$[k_e]\{v_e\} = \{f_e\} + k_1\{f_1\} + k_2\{f_2\} + k_3\{f_3\}$	(2)
(弾性域での要素のつりあい式)	
$[k_e]\{v_e\} = \{f_e\} + k_1\{f_1\} + k_2\{f_2\} + k_4\{f_4\}$	(3)
(山留め全体のつりあい式)	
$[K]\{v\} = \{F\} + [A]\{k\}$	(4)
(計測データと節点変位の関係式)	
$\{y\} = [T]\{v\}$	(5)

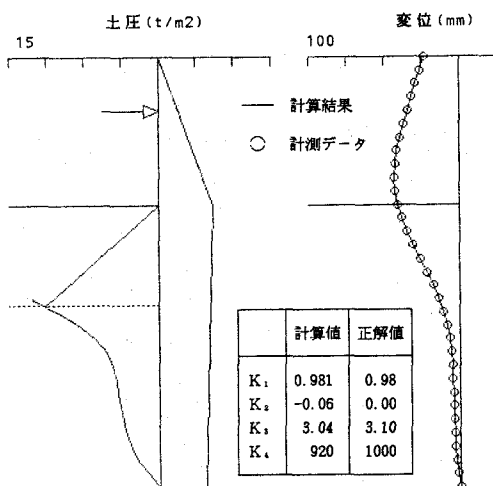


図-3 解析例計算結果

(参考文献)

- 1) 森, 崇元: 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
- 2) 森, 崇元: 山留めの情報化施工法に関する研究(その1), 第41回土木学会中四支部研究発表会, 1989. 5