

— 次の掘削段階の予測計算 —

フジタ工業 (株) 技術研究所 正員 ○山県達弥 斉藤悦郎 小谷勝昭
鎌田正孝 古賀重利

1. はじめに

情報化施工では、得られた実測データから発生外力や地盤状態などの設計パラメータを推定し、その結果に基づいて将来の挙動を予測することが必要となる。本報告は、拡張カルマンフィルター^{*1), 2)}を用いて、山留め掘削過程における実測データから側圧係数、地盤反力係数などの設計パラメータを逆解析し、これを用いて次の掘削段階の予測計算を行って、検討したものである。

2. 山留め概要

工事場所の地盤は、図-1に示すようにG.L.-29mまでN値2~3の軟弱シルトと粘土質シルト($\gamma_t=1.7 \text{ t/m}^3$, $C_u=3\sim4 \text{ t/m}^2$)の互層からなっているが、G.L.-30~40m付近は、N値30~50の締まった砂レキ層が分布している。山留め工事は、平面規模73m×31m、深さ18mの掘削を行うもので、使用した山留めは、厚さ80cmの鉄筋コンクリート地下連続壁であった。

3. 逆解析結果

拡張カルマンフィルターにより逆解析^{*3), 4)}を行う場合、山留め架構の構造モデルは、掘削時の逐次解析が行える弾塑性法^{*5)}を採用した。壁体背面の作用外力は、掘削面以上において三角形分布、掘削面以下において矩形分布とした。また、塑性域での受働側圧は、受働抵抗から静止側圧を差し引いた値とした。

実測データに山留め壁の回転角と切梁軸力を用いて、逆解析を行った。主働側圧係数 K_a は、まず、各掘削段階の最下段切梁~掘削面間の範囲から求めた。さらに、受働土圧にランキン・レザール式を採用し、受働側圧を既知量として、塑性域の範囲から K_a を逆解析した。両者は、非常によく一致した。したがって、側圧係数をその平均値と考えて、図-2に示した。同図には側圧の実測結果も併せて示した。実測結果では、深度5~6m下方において側圧は壁体変位量の増加とともに、減少する傾向を示している。しかしながら、今回の逆解析による推定では、その傾向がみられなかった。

図-3は、 K_a を既知量として、地盤反力係数 K_h を深度5mピッチで推定したものである。これより K_h は、軟弱シルト層で $0.2\sim0.3 \text{ kg/cm}^3$ 、N値40~50の砂レキ層で $3\sim6 \text{ kg/cm}^3$ となる推定結果が得られた。次に、掘削面下10mの範囲の地盤反力係数を求め、これを用いて弾塑性境界深さの推定を行った。3次掘削時には掘削面下

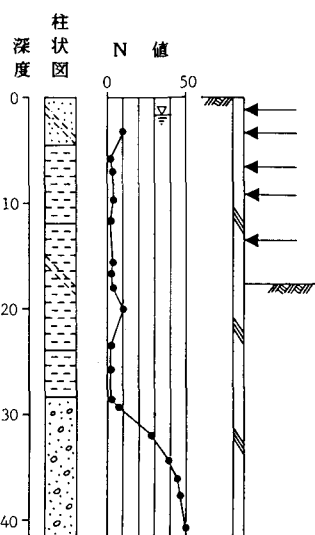


図-1 柱状図および掘削断面

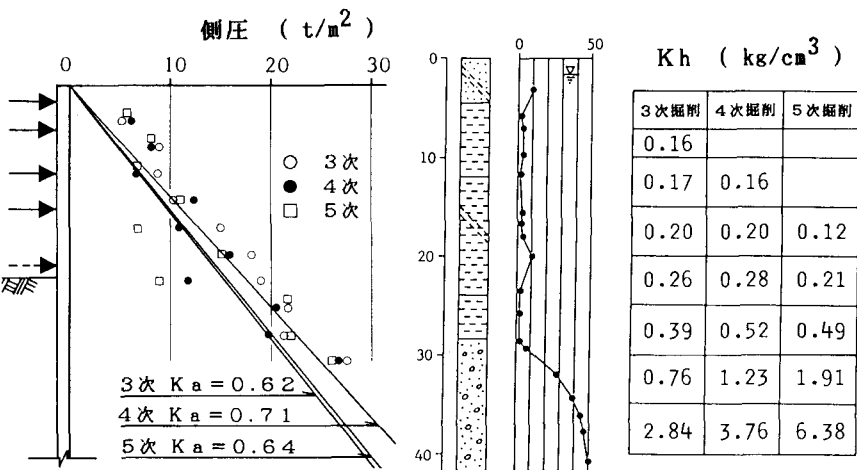


図-2 側圧係数の推定値と実測側圧

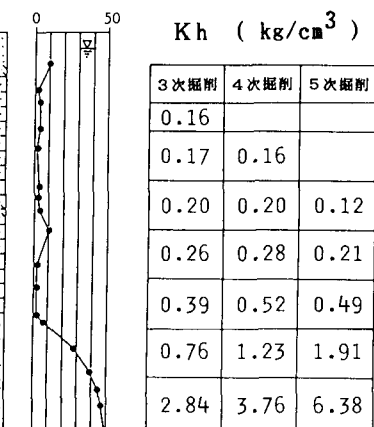


図-3 地盤反力係数の推定

の地盤は、弾性域と考えられるが、4次、5次掘削時にはそれぞれ4.5、6m程度と判断された。この塑性範囲において、内部摩擦角 $\phi=0^\circ$ として、シルト層の粘着力 C を推定した。その結果、 $C=5-6 \text{ t/m}^2$ となった。

4. 予測計算

予測計算を行う場合の構造モデルを図-4に示す。i次掘削時において、i+1次の諸量の予測は、以下のような仮定に基づいた。(a) i次の K_a 、 k_h の値を用いてi+1次の壁体変位量、曲げモーメント、切梁軸力の予測を行う。

(b) 掘削がi次からi+1次に移行するために増加する側圧荷重と掘削区間の地盤反力が作用するものとして計算をおこない、このようにして求めた諸量にi次の実測値を加えたものを予測値とした。なお、i次の地盤反力は、変位量の実測値と推定値 K_h を乗じたものである。(c) 支持条件は、切梁、地盤ともバネ支点とした。塑性域における地盤のバネは、推定値 K_h にすでに塑性効果が加味されているものと考えて、弾塑性境界深さを考慮しないものとした。

(d) 壁体曲げモーメントにおいて、コンクリートのひびわれ限界ひずみは、 120μ としそれ以上のひずみになる場合は、クラックが発生するものとして無視した。曲げモーメントの予測値は、部材の回転角から、実測値は、連壁に取り付けた鉄筋計(カールソントタイプ)から、それぞれ逆算した。

図-5、6に変位量と曲げモーメントの代表例として、4次および5次掘削時の予測値と実測値の比較を示した。図中実線が予測値で、●印が実測値である。変位量の予測値は、いずれも実測値より小さい結果となった。一方、正の曲げモーメントの最大値は、非常によく一致した。切梁軸力の予測値と実測値を表-1に示した。実測値と予測値の比は、0.8~1.2の範囲にあると考えられる。

5. おわりに

山留め壁体の回転角と切梁軸力の実測データから、設計パラメータの推定を行い、これを用いて予測計算を行った。その結果、(1)拡張カルマンフィルターによる逆解析により、地盤条件の推定は、可能である。(2)次の掘削段階における壁体変位量、曲げモーメント、切梁軸力は、精度よく予測できる。ことがわかった。また、土性値、弾塑性境界深さの確認方法、評価方法は、今後

の山留め情報化 表-1 切梁軸力の予測値と実測値 (t)
施工にとって、一層重要になってくるものと考えられる。

切梁 軸力	4 次 掘 削			5 次 掘 削		
	(1)予測値	(2)実測値	(1)/(2)	(1)予測値	(2)実測値	(1)/(2)
1	26	53	0.49	23	20	1.15
2	63	75	0.84	64	70	0.91
3	88	80	1.10	147	182	0.81
4	—	—	—	168	128	1.31

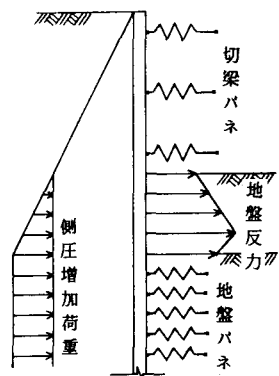


図-4 構造モデル

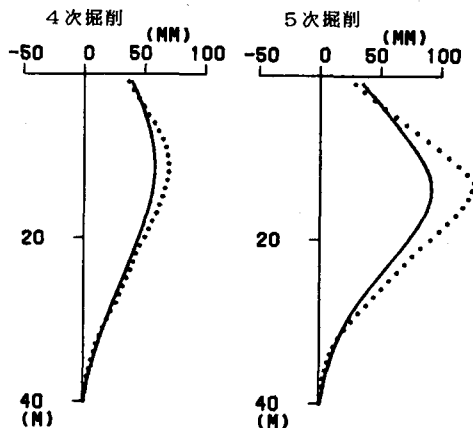


図-5 変位の予測値と実測値

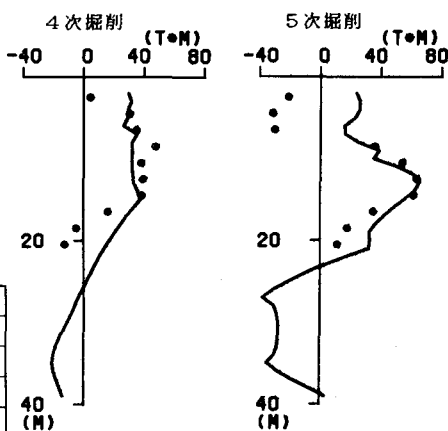


図-6 曲げモーメントの予測値と実測値

* 参考文献

- 1) Jazwinski, A.H.: Stochastic Process and Filtering Theory, Academic Press, 1970
- 2) 星谷勝、斉藤悦郎: 拡張カルマンフィルターを用いた同定問題の各種振動系への応用、土木学会論文集、第339号、1983.11.
- 3) 斉藤、山県、他: 拡張カルマンフィルターによる山留め設計パラメータの推定(その1)、土質工学研究発表会、1985.
- 4) 山県、斉藤、他: 拡張カルマンフィルターによる山留め設計パラメータの推定(その2)、土質工学研究発表会、1985.
- 5) 山肩、吉田、秋野: 掘削工事における切バリ土留め機構の理論的考察、土と基礎、17-9、1969.