

ゆるい砂地盤での立坑の観測的工法における 多次元シンプレックス法の適用

金沢工業大学 大学院 学生会員 辻 圭三
金沢工業大学 工学部 正 会 員 川村國夫

1. はじめに

掘削深度の深い立坑は、慎重な観測的工法が必要である。そして、現場の観測結果を施工中に遅滞なくフィードバックさせるため、的確かつ迅速な逆解析が重要となる。本研究では、逆解析手法として多次元シンプレックス法を用い、山留め解析に対する有用性を検討する。検討方法は、掘削現場の計測値から逆解析されたパラメータを山留め弾塑性法に導入し、次段階掘削時以降の山留め挙動予測およびその精度について検証しようとするものである。

2. 多次元シンプレックス法（非線形計画法）による逆解析

本研究で用いた逆解析法は、NelderとMeadによって提唱されたシンプレックス法に基づいている。この方法は、 n 次元空間の $(n+1)$ 個の点の集合がシンプレックスを形成し、そのシンプレックスの形や大きさを変えることによって目的関数の局所的な性質に応じてシンプレックスを適応させていくことができる。すなわち、シンプレックスの頂点の中で、関数値の最も大きいものを選び、鏡像、拡張、収縮、縮小によって関数値は小さくなると期待できる。この期待が正しければ、このプロセスを続けることによって、シンプレックスを最小点に近づけることができ、最適な未知パラメータを推定することができる。

ここで、最適な未知パラメータを推定するため、以下の式を満足するように行う。

$$S(\theta) = \sum_{i=1}^m (\alpha_i^* - \alpha_i)^2 \longrightarrow \text{最小}$$

ここに、 $S(\theta)$: 目的関数（誤差の関数）

θ : 未知パラメータ（ ϕ 、 c 、 Kh ）

α_i^* : i 位置の測定値

α_i : i 測定位置に対応する計算値

m : 測定数

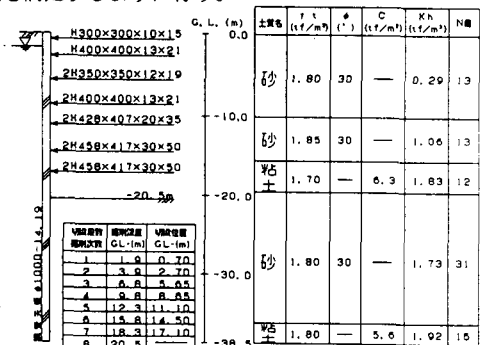
3. 掘削現場への適用

適用された現場は図1よりゆるい砂地盤で構成され、最終掘削深度20.5m、平面形状6×10mの試験工事である。当初、第3次掘削時までは事前予測と一致していたが、第4次掘削時以降から予測困難となったため逆解析する必要がでてきた。よって、ここでは制約条件（ $c > 0$ 、 $\phi > 0$ 、 $Kh > 0$ ）を満足するように、第4次掘削時の c 、 ϕ 、 Kh を逆解析し、次段階掘削時以降の山留め挙動を予測する。また、計測値（変位、曲げモーメント）の入力量の差異による山留め挙動の予測精度についても検討する。

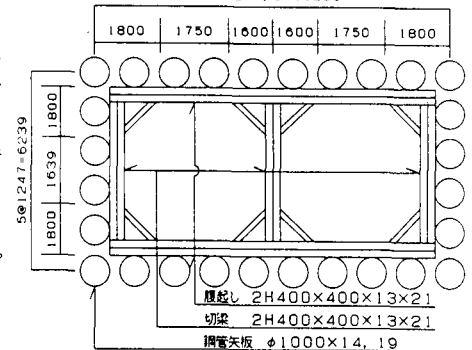
ここで、初期値の設定は図1の砂層および粘土層の c 、 ϕ 、 Kh （10個の未知パラメータ）を基準にし、それぞれシンプレックスの距離が等しくなるようにする。

4. 適用結果

図2は、第4次掘削時における変位 δ_o および曲げモーメン



(イ) 山留め工と土質断面
991247, 8=11230



(ロ) 平面図

図1 掘削現場

ト M_0 の計測値に基づき、現段階掘削時の逆解析結果および次段階掘削時以降の予測解析結果を示したものである。これによると逆解析結果は、最大変位および最大曲げモーメントともほぼ一致しており、その分布形状についても同様のことがいえる。さらに、予測解析結果の次段階掘削時については逆解析結果と同様、変位および曲げモーメントとともに、ほぼ一致しているが、次々段階掘削時の予測解析結果は最大変位で1.87cm、最大曲げモーメントで51.19tfmの誤差をもち、いずれも実測値より予測値の方がかなり安全側にてている。

一方、変位の計測値のみに基づく逆解析と、変位および曲げモーメントの計測値に基づく逆解析の2ケースについて比較してみると、図3により、次段階掘削時における最大変位および最大曲げモーメントは、変位のみの計測値より、変位および曲げモーメントの計測値に基づいて逆解析した方がよく一致している。換言すれば、入力情報量が多い程、最大値の予測精度は高いことになる。しかし、次々段階掘削時での予測値はどちらのケースとも次段階掘削時に比べて精度は低い。

また、表1および表2は、各掘削段階における実測値と計算値との深さ方向の測定点に関する誤差の平均値およびその変動係数について検討している。この結果、変位における誤差の平均値は、表1より、逆解析結果および次段階以降の予測の結果ともに、深度が深くなるにつれて大きくなり、その変動係数も同様の傾向を示す。加えて、変位の誤差の平均値および変動係数は、変位および曲げモーメントの計測値に基づく結果の方が、変位だけにに基づく結果より、ともに、等しいか、もしくは小さい傾向にあり、精度の高いことがわかる。計測値をできるだけ多く利用した方が、予測は優利となる。一方、表2の曲げモーメントにおける誤差の平均値は、変位と同じ傾向を示すが、変動係数については、深度や入力情報量に関わらず、大きな変化は見受けられない。

5. おわりに

本研究より、多次元シンプレックス法の適用によって、計測情報を多く導入した逆解析法は、とくに、次段階掘削時の山留め挙動を精度よく予測できることが明らかとなり、その有用性を発揮した。最後に、試験工事にあつた運輸省第一港湾建設局および解析にあつた金沢工業大学生佐渡俊文氏および宮本太郎氏には、ここに深甚なる謝意を表す次第です。

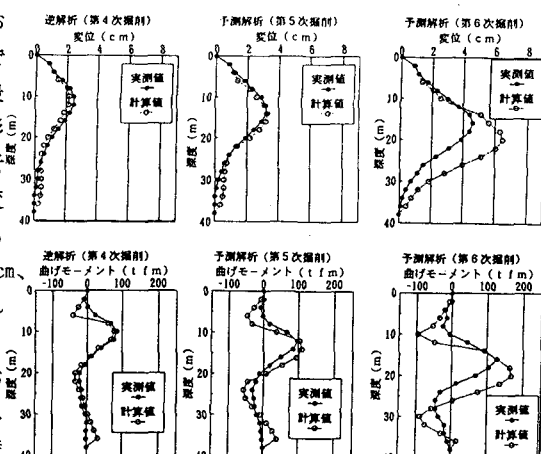


図2 逆解析および予測解析結果

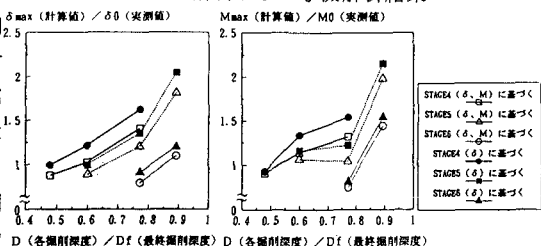


図3 最大変位および最大曲げモーメントの精度

表1 変位の精度 (単位: cm)

計測値 掘削回数		δのみに基づく		δおよびMに基づく	
		誤差の平均	変動係数	誤差の平均	変動係数
逆解析掘削回数	4	0.120	1.039	0.210	0.606
	5	0.390	0.808	0.210	0.757
予測解析掘削回数	6	1.344	0.996	1.077	0.998
	7	2.378	1.002	1.753	1.036
逆解析掘削回数	5	0.128	1.072	0.255	0.662
	6	0.850	1.056	0.718	0.940
予測解析掘削回数	7	0.174	0.805	0.324	0.894
	8	0.478	0.865	0.412	0.760

表2 曲げモーメントの精度 (単位: tfm)

計測値 掘削回数		δのみに基づく		δおよびMに基づく	
		誤差の平均	変動係数	誤差の平均	変動係数
逆解析掘削回数	4	15.205	1.155	12.935	1.121
	5	31.165	0.682	23.384	0.635
予測解析掘削回数	6	52.461	0.831	41.943	0.948
	7	75.344	1.018	68.903	1.020
逆解析掘削回数	5	20.140	0.690	15.551	0.854
	6	39.133	0.903	32.229	0.939
予測解析掘削回数	7	58.799	0.877	57.382	0.899
	8	58.799	0.877	57.382	0.899