

I-151 仮設立坑の信頼度解析（その2：構造解析モデルの不確実性評価）

東京電力㈱ 正員 岡田 仁
 東電設計㈱ 正員 伏見 捷二
 鹿島建設㈱ 正員 鈴木 健一

1. まえがき

連続壁式土留工を用いた仮設立坑の荷重効果（変形、応力等）の予測には構造解析モデルが用いられるが、モデル化に伴う近似・仮定により解析誤差が発生し、一般に解析値は真値と異なる。本報では、計測データの分析によって、現時点で最も精度の良い解析法による解析結果を補正する手法を検討し、立坑の信頼度解析に必要な構造解析モデルの不確実性を評価した結果について述べる。

2. 構造解析モデルと入力変数

表-1 入力変数と設定方法

入力変数		入力変数の設定方法
構造系	土留壁の曲げ剛性	$E_c = 2.7 \times 10^6 \text{ t/ml}$ ($w/c=50\%$) I_c : 公称断面に対する断面2次モーメント (m^4)
	切梁バネ定数	$K = \frac{AEsh}{a \cdot (\ell/2)}$ a : 切梁ピッチ (m) ℓ : 切梁長さ (m) A : 切梁断面積 (m^2) Esh : 弾性係数 $2.18 \times 10^6 \text{ t/ml}$
地盤系	土の単位体積重量	原則として資料に示された値を用いる。
	静止側圧係数	原則として静止側圧計測値から得られた静止側圧係数を用いる。
	主動側側圧係数	主動側側圧計測値から得られた側圧係数を用いる。
	受働側側圧係数	$K_p = \tan^2(45^\circ + \frac{\phi}{2})$, $P_p = K_p \cdot \gamma_t \cdot h + \sqrt{K_p} \cdot 2C$ P_p : 受働側側圧 h : 深さ (m) γ_t : 平均体積重量 (t/ml)
系	粘着力	$C = \frac{1}{16} \cdot N \text{ kg/cm}^2$ (Terzaghi-Peckの qu と N 値の関係)
	内部摩擦角	$\phi = \sqrt{20N} + 15$ (大崎の式)
	横方向地盤反力係数	$K_h = 0.691 \cdot N^{0.406} \text{ kg/cm}^2$ (福岡・宇都の式)
掘削面側の水位・サーチャージ		水位は掘削面と一致すると仮定する。サーチャージはないものと仮定する。

3. 解析誤差の補正方法

モデル化に伴う解析誤差を補正し真値を推定するため下記のモデルを考える。

$$Y = N \cdot Y_{\text{CAL}} = N \cdot g(X_1, \dots, X_n)$$

ここに、 Y : 真値、 Y_{CAL} : 解析値、 $g(\)$: 解析モデル、 N : 補正係数、 X_i : 解析変数

補正係数を設定するには構造物の真値を把握する必要があるが、現実には不可能なため、実際に施工された構造物の挙動（変位、応力等）の計測値 (Y_{MEA}) を用いて補正係数を求めるのが次善の策である。

$$N = Y / Y_{\text{CAL}} \approx Y_{\text{MEA}} / Y_{\text{CAL}}$$

解析誤差の発生要因として、①地盤を完全弾塑性体と仮定、②3次元挙動の2次元モデル化、③土留壁の剛性を一様と仮定、④切梁を完全バネモデルと仮定、等があるが、これらに対する補正係数を、切梁軸力、土留壁変位、土留壁の曲げ・せん断に対してそれぞれ設定するものとした。

- (1) 切梁軸力の補正係数 (N_{ST}) : 切梁の設計においては切梁軸力の最大値を用いるので、補正係数は各切梁において掘削全ステージを通しての計測軸力最大値と解析軸力最大値の比とした。
- (2) 土留壁変位の補正係数 (N_{WA}) : 土留壁の変位も最大変位が検討の対象となるため、掘削全ステージを通しての計測変位最大値と解析変位最大値の比とした。

(3) 土留壁の曲げ・せん断の補正係数 (N_{WD}) : 土留壁の曲げせん断に関しては、それぞれの計測データが少ないこと、計測データの信頼度が低いことより土留壁の変位の補正係数を準用した。

計測値と解析値の差異には、ここで取扱うモデル化に伴う解析誤差の他に、試験・計測誤差、施工手順の変更等の人間の行動に起因する誤差、等が含まれるため、使用する計測値はよく吟味し、異常と思われるものは省く等の処置を行った。

4. 構造解析モデルの不確実性評価

参考文献の内、①土留型式が連壁である事例、②切梁軸力あるいは土留壁変位の計測値がある事例、③背面側の側圧強度の計測値がある事例、の3条件を満たす21事例について弾塑性拡張法で計算を行い、解析変位と計測変位の傾向が明らかに異なっている12事例を除いた9事例（軟粘土 5例、砂質土 4例）を検討対象事例とした（表-2）。切梁軸力および土留壁変位の補正係数の統計量を表-3に示す。補正係数の統計量は、地盤種別、

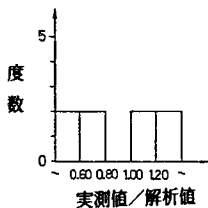
表-2 検討対象事例一覧表

資料No.	土留型式	地盤分類	切梁段数	掘削深さ (GL-m)	壁 長 (m)	平面規模 (m×m)	土の平均単位重量 (t/m ³)	備 考
①	連 壁	軟 粘 土	5	16.7	32.0	29.0×355.0	1.57	駅 舎
②	"	砂	7	21.0	23.0	3.6×8.3	2.16	立 坑
③	"	軟 粘 土	5	20.45	45.0	22.4×76.4	1.67	浄 水 場
④	"	砂	4	22.53	24.53	46.2×53.2	1.78	
⑤	"	軟 粘 土	"	13.50	41.80	73.15×31.45	1.63	
⑥	"	"	5	17.60	"	"	1.64	
⑦	"	砂	"	19.7	28.5	41.95×51.555	1.80	ポンプ場
⑧	"	"	"	"	22.5	"	1.80	"
⑨	"	軟 粘 土	9	27.50	31.72	7.30×12.70	1.67	立 坑

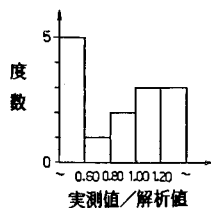
表-3 補正係数の統計量

	切 梁 軸 力			土 留 壁 変 位		
	平均値	変動係数	標本数	平均値	変動係数	標本数
軟 粘 土	0.93	0.47	8	0.56	0.80	30
砂 質 土	0.95	0.60	14	0.92	0.64	15

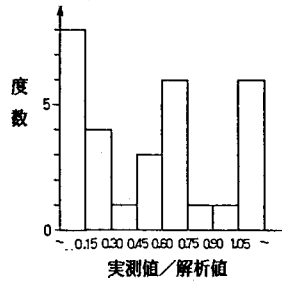
掘削段階、切梁位置で層別してみたが、後2者については有意差が認められなかったため、地盤種別（軟粘土、砂質土）で層別することとした。補正係数の平均値は、切梁軸力で軟粘土0.93、砂質土0.95、土留壁変位で軟粘土0.56、砂質土0.92と、いずれも解析値が安全側にあることが判明した。しかし、変動係数については0.47～0.80と比較的大きな値となっている。図-1、2は、補正係数の分布を示したものであり、これより分布形を特定するのは難しいが、一様分布と考えるのが妥当であろう。



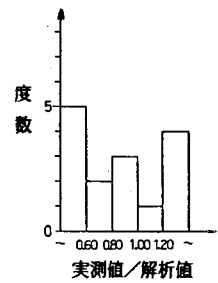
(軟粘土)



(砂質土)



(軟粘土)



(砂質土)

図-1 切梁軸力の補正係数の頻度分布

図-2 土留壁変位の補正係数の頻度分布

5. あとがき

土留工の解析において現在最も精度が良いと言われている弾塑性拡張法の構造解析モデルの不確実性（解析誤差）を実測データにより評価することを試みた。今後、解析誤差評価の精度を更に向上させるためには、計測誤差に関するデータの収集、合理的な層別等を行うことが必要となる。