

東京電力（株） 正員 福島 啓介
東電設計（株） 星野 直久
鹿島建設（株） 青柳 薫

1. まえがき

土留め掘削工事には設計土圧、地盤性状、施工条件等不明確な要素が多いため、個々の設計を取り上げてみると安全すぎたり逆にトラブルを生じたりする例が少なくない。従って、これらの不確実性を解明していく努力が必要である一方、それらを有機的に取り入れた信頼性理論に基づく設計法を確立するための研究をする事は、真の意味で合理的な設計をめざすために有用である。本報告では、既往の土留工に対して「土留壁の曲げ破壊」「切梁の座屈」「根入れ不足」の3破壊モードの信頼度解析を実施した結果を示す。

2. 信頼度解析法

信頼度を表わす指標は性能関数の変動係数の逆数として計算される安全性指標とする。これは性能関数を線形近似する点によってCornellの安全性指標 β_C （平均値回りにテラー展開）とHasofer/Lindの安全性指標 β_{HL} （破壊点回りにテラー展開）の2つがある。¹⁾ β_{HL} は β_C の持つ式の表現に関する不変性の欠如の問題を改良したものであり、解の精度としては β_C に勝る。しかしここでは、本文5.において幾つかのモデルに対し β_C と β_{HL} の比較を行った上で、解の算出の容易さから β_C で土留工の信頼度を判断するものとした。

各破壊モードの性能関数は次式で与えるものとする。

- ① 土留壁の曲げ破壊 ——— $Z = N_1 \cdot My - N_2 \cdot M_{max}$
ここに、 N_1, N_2 : 補正係数 My : 土留壁の耐力
 M_{max} : 土留壁に発生する最大曲げモーメント
- ② 切梁の座屈 ——— $Z = N_3 \cdot Ry - (N_4 \cdot R_{max} + N_5 \cdot R_T)$
ここに、 N_3, N_4, N_5 : 補正係数 R_y : 切梁の耐力 R_T : 切梁温度荷重
 R_{max} : 中央安全率が最小になる時の切梁反力
- ③ 根入れ不足 ——— $Z = N_6 \cdot (Mp/M_A) - 1$
 N_6 : 補正係数 Mp : 最下段切梁回りの受働土圧による曲げモーメント
 M_A : 最下段切梁回りの主働土圧による曲げモーメント

上記において M_{max} , R_{max} は弾塑性拡張法による逐時解析法によって算出される。補正係数 N_i ($i=1\sim6$)についてはデータがないので平均値1、標準偏差0としたが、土留工の構造形状を表わす変数以外は全て確率変数として扱った。解析上特に重要な土留壁背面側圧（土圧）については、土留壁全長に一定の側圧（土圧）係数 K_A (K'_A)による側圧（土圧）が作用するものと考えた。側圧（土圧）係数の平均値および変動係数は、実測側圧あるいは土留壁の実測変位量から逆解析によって求めた側圧（土圧）係数を地盤種別と掘削深さ D によって層別整理して得た表-1の値とする。この時対象とした土留工は砂質土地盤に対し18例、粘性土地盤に対し24例であった。又、受働土圧は粘性土層に対してはランキン土圧を、砂質土層に対しては壁面摩擦 ($\phi/2$) を考慮したクーロン土圧とし、その際確率変数となる土の粘着力 C 、内部摩擦角 ϕ 、単位体積重量 γ に対してその変動係数を $\delta C = 0.3, \delta \phi = 0.1, \delta \gamma = 0.06$ とした。

3. 解析事例

今回解析対象とした土留工は合計12例で、いずれも粘性土地盤で土留壁として鋼矢板を採用しているものである。詳細については表-2に示すとうりである。表中粘性土層率とは、最終掘削時の根入れ部中央より上部地盤に対し粘

表-1 側圧(土圧)係数の平均値(μ)と変動係数(δ)

最終掘削深さ		$D \leq 10^m$	$10 < D \leq 20^m$	$20 < D \leq 30^m$
砂質土地盤	側圧係数 μ	0.55	0.53	0.27
	K_A δ	0.29	0.34	0.20
	土圧係数 μ	0.26	0.25	0.16
	K_A δ	0.29	0.29	0.33
粘性土	側圧係数 μ	0.63	0.56	0.52
	K_A δ	0.22	0.21	0.22

性土層の締める割合である。

表-2 解析モデルの概要

モデル番号	矢板型	(m) 矢板長	(m) 最終掘削深さ	切梁段数	粘性土層率 (%)
1	V	25.3	15.3	5	66
2	V	23.0	13.0	6	81
3	Ⅳ	17.0	8.0	3	100
4	Ⅳ	18.5	14.9	4	86
5	V	20.5	13.5	5	100
6	Ⅳ	20.0	14.9	5	77
7	Ⅳ	19.0	12.5	5	56
8	V	28.0	15.7	7	78
9	Ⅲ	14.0	7.9	3	77
10	Ⅳ	15.3	10.5	3	78
11	Ⅲ	15.5	9.0	4	79
12	Ⅲ	12.0	8.5	3	60

4. 解析結果

破壊モード毎に、安全性指標 β_c と中央安全率 $\bar{F}_s$ の関係を示すと図-1 になる。図中の数字はモデル番号を意味する。各図より、いずれの破壊モードにおいても、各モデルの有する安全性にはバラツキがあるといえるが、その程度は「切梁の座屈」に対し大きく「根入れ不足」に対して比較的小さい。又「根入れ不足」については、 β_c と $\bar{F}_s$ の関係はほぼ一本の直線になるが、他の2破壊モードでは同じ $\bar{F}_s$ を有していても β_c に大きな差があることがわかる。今回の解析では、側圧係数の標準偏差がその掘削深さによって若干異なるが、他の確率変数の標準偏差はいずれの土留工においても同じ値をとっていることから、安全性のレベルの差はその構造（地盤性状も含む）特性に起因すると思われる。

以上の事より、「根入れ不足」に対してはある中央安全率を基準に設計すればどの様な土留工でも同レベルの安全性を有すると言えるが、他の2破壊モードではいずれの土留工でも同レベルの安全性を持たせるように設計するには、基準とする許容応力度あるいは荷重係数を構造特性によって変えるべきであると考えられる。

5. β_c と β_{HL} の比較

β_c は β_{HL} と比較して解の精度が劣るが、計算に要する時間が少ないという利点がある。安全性指標はあくまで構造物の安全性を相対的に表わす指標であるため、 β_c と β_{HL} の解の相異の傾向が土留工間で一定のものであれば β_c は構造物の安全性を表わす指標として十分意味を持つと思われる。この様な観点から各破壊モードについて数モデルに対して β_{HL} を算出し β_c と比較すると表-3 となった。

表より、各破壊モードで β_c と β_{HL} の大小関係は一定で次の様である。

- 土留壁の曲げ破壊 $\beta_c > \beta_{HL}$ で $\beta_{HL}/\beta_c = 0.71 \sim 0.90$
- 切梁の座屈 $\beta_c > \beta_{HL}$ で $\beta_{HL}/\beta_c = 0.67 \sim 0.75$
- 根入れ不足 $\beta_c < \beta_{HL}$ で $\beta_{HL}/\beta_c = 1.06 \sim 1.30$

以上の結果より、 β_c によって土留工の安全性を評価する事はある程度妥当と考えられる。

6. あとがき

「土留壁の曲げ破壊」と「切梁の座屈」の2破壊モードに対し、その安全性のレベルを左右する構造特性の解明が望まれる。

<参考文献> 1) 長 尚; 「安全性指標に関する若干の考察」, 土木学会論文集, 第324号, 1982.

2) M. Yamamoto & A. H-S. Ang; [Reliability Analysis of Braced Excavation], University of Illinois, Civil Engineering Studies, SRS NO. 497, 1982.

表-3 β_c と β_{HL} の比較

破壊モード	モデル番号	$\bar{F}_s$	β_c	β_{HL}	β_{HL}/β_c
土留壁の曲げ破壊	1	1.56	1.11	0.85	0.77
	3	1.97	0.96	0.68	0.71
	4	1.24	0.43	0.38	0.88
	6	1.16	0.25	0.21	0.84
	12	1.46	1.29	1.16	0.90
切梁座屈	1	1.35	0.61	0.41	0.67
	3	1.53	1.05	0.79	0.75
	7	1.33	1.34	0.93	0.69
根入れ不足	2	1.20	0.62	0.69	1.11
	3	1.42	1.22	1.59	1.30
	4	1.15	0.33	0.35	1.06
	22	1.13	0.40	0.43	1.08
	23	1.32	0.80	0.91	1.14

(注)・(a)(b)における破線は土留工の構造特性を変えずに、耐力を変化させることによって仮想のモデルを創り出した。
・中央安全率が1.0以下あるいは3.0以上のものは省略している。

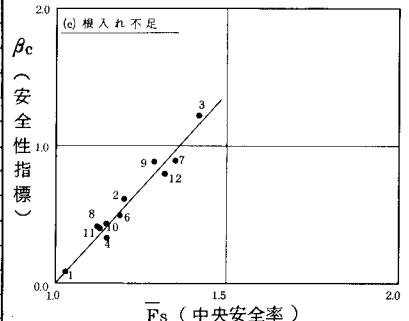
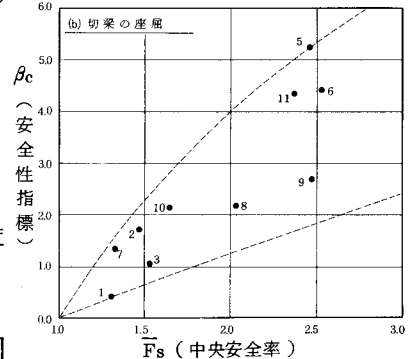
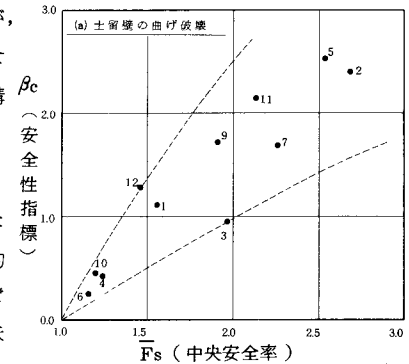


図-1 信頼度解析結果