

鹿島建設(株) 正員 井関 泰文

鹿島建設(株) 正員 山本 正明

東京電力(株) 正員 福島 啓介

1. まえがき

別報告¹⁾で示したように、既往の土留工の信頼度解析結果より「土留壁の曲げ破壊」と「切梁の座屈」の2破壊モードでは、同じ中央安全率を持つように設計してもその構造特性の相異によって安全性に差がある時が分かった。従って、ある設計破壊確率を基準にして設計するためには、実際に信頼度解析プログラムを実行し安全性指標 β_c を算出する必要がある。本報告では、上記2破壊モードの β_c を簡易な方法で算出する方法を検討した結果を述べる。

2. 安全性指標 β_c の分析

別報告の5. β_c と β_{HL} の比較検討結果をふまえ、 β_c で安全性の評価をすることは妥当と考えられる。 β_c すなわち Cornell の提案した安全性指標は、確率変数の分布形は考慮せずに2次までのモーメントを用いて次式で計算される。

$$\beta_c = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Z}{\partial X_i} \right)^2 \cdot \sigma^2 X_i}} \quad \text{ここに、} \quad \bar{R} : \text{部材耐力の平均値} \quad \bar{S} : \text{部材に作用する断面力の平均値}$$

$$\left(\frac{\partial Z}{\partial X_i} \right) : \text{性能関数 } Z = R - S \text{ に含まれる確率変数 } X_i \text{ の平均値に}$$

$$\sigma X_i : \text{確率変数 } X_i \text{ の標準偏差}$$

n : 解析で考慮した確率変数の総数

別報告で解析した12例に対し、式(1)の分母の $\sqrt{\quad}$ の中身を分析すると、その値はどのモデルにおいても10数個の確率変数の一部によってほぼ定まることが分かった。すなわち、次式で与えられる支配率 Q_{X_i}

$$Q_{X_i} = \left(\frac{\partial Z}{\partial X_i} \right)^2 \cdot \sigma^2 X_i / \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial Z}{\partial X_i} \right)^2 \cdot \sigma^2 X_i \quad (2)$$

の値をモデル毎に各確率変数に対して算出し、その値が大きいものから4確率変数とその他に分けて図示すると、「土留壁の曲げ破壊」「切梁の座屈」に対しそれぞれ図-1(a), (b)のようになった。図よりわかるように、いずれのモデルにおいても上位4つの確率変数の支配率の和がほぼ90%を超えており、最大支配率を示す確率変数は側圧係数 K_A である。その他の支配率の大きい確率変数はモデルによって異なるが、一般にそれらは土留壁、切梁の最大断面力を生じた掘削段階における掘削面下の地盤の粘着力 C 、受働土圧係数 K_p 、横方向地盤反力係数 k_h 、又は部材耐力に関する確率変数である降伏応力度 σ_{by} 、 σ_{cy} や土留壁の断

(注)  は側圧係数の支配率 Q_{KA} を、 は上位4つ以外の確率変数の支配率を意味する。
他の文字については、次の確率変数を意味する。
C—粘着力
 K_p —受働土圧係数
 k_h —横方向地盤反力係数
 γ —土の単位重量
 σ_{by} —土留壁の降伏応力度
W—断面係数
 σ_{cy} —切梁の降伏応力度
 ΔT —温度変化
 γ —拘束度
 K_o —静止土圧係数
尚、() 内は土層番号を意味する。

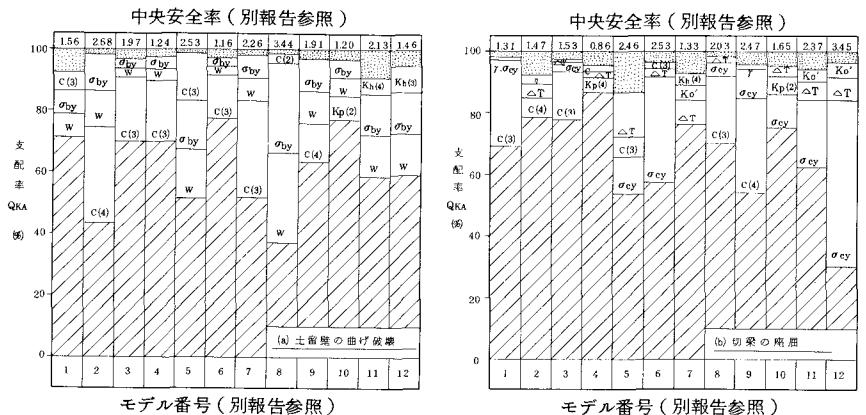


図-1 主要な確率変数の支配率

面係数Wとなっている。

ここで、支配率が最大である側圧係数に着目すると、その値は中央安全率が大きい時には小さくなっている。(例：図-1(a)のモデル2, 5, 8や(b)のモデル5, 6, 9, 12)これは中央安全率の増加とともに耐力のバラツキが断面力のバラツキに対して相対的に大きくなるためである。そこで各モデルを基に、その構造特性を変化させずに土留壁および切梁の耐力を変化させることによって中央安全率を変化させた仮想のモデルを創り、それぞれの場合の側圧係数の支配率 Q_{KA} を算出した結果が図-2である。図中の太線は各中央安全率における、12モデルの側圧係数の支配率 Q_{KA} の平均値を意味している。

図より、モデルによる Q_{KA} のバラツキは中央安全率が2.0以下では比較的小さいと言える。

3. 安全性指標 β_c の近似解法の提案

上記のように側圧係数の支配率は色々な土留工に対し同じような値をとると考えられる。従って、次式によって「土留壁の曲げ破壊」と「切梁の座屈」に対する安全性指標 β_c の近似解 $\beta_{c'}$ が算出できる。

$$\beta_{c'} = \frac{\bar{R} - \bar{S}}{\sqrt{(\frac{\partial Z}{\partial K_A})^2 \cdot \sigma_{KA}^2 / \bar{Q}_{KA}}} \quad (3)$$

ここに、 $\bar{R}$, $\bar{S}$ は通常の確定論的解析により求め、 $(\frac{\partial Z}{\partial K_A})$ は数値微分によって算出できる。又、 σ_{KA} は既知データとして与えられており $\bar{Q}_{KA}$ は中央安全率 $\bar{F}_s$ に応じて図-2の太線より読みとれる側圧係数の支配率の平均値とする。

β_c を算出するためには信頼度解析を行うプログラムが必要であるが、この方法では通常の弾塑性解析を2回実施するだけで β_c の近似解が求まるので、極めて有用な方法であると考えられる。

4. 近似解法の精度の検証

3で提案した方法によって今回の解析対象となった土留工の「土留壁の曲げ破壊」と「切梁の座屈」に対する安全性指標の近似解 $\beta_{c'}$ を求めると表-1のようになった。表より全確率変数を考慮して求めた β_c との比は0.79~1.09の範囲にあり、正解値と良い一致を示す。

5. あとがき

ここで示した支配率は個々の確率変数の変動係数によって変わるものである。しかし、2で選択された支配率の大きな確率変数の変動係数はある程度妥当なものであり、又他の確率変数の変動係数については大きい値を想定しているため、側圧係数の支配率 Q_{KA} が大きいことにはかわりはないと思われる。但し、今後より良いデータを用いてより多くのモデルの信頼度解析を実施し $\bar{Q}_{KA}$ の推定精度を上げる努力が望まれる。

<参考文献> 1) 福島, 星野, 青柳; 「土留工の信頼度解析」, 土木学会第40回年次学術講演会概要集I, 1985

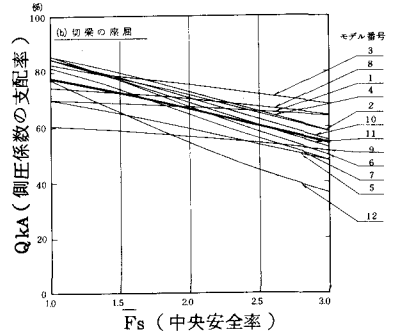
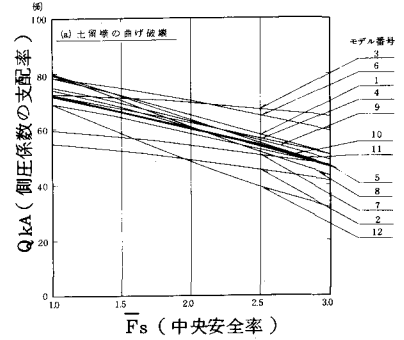


図-2 側圧係数のバラツキの支配率

表-1 β_c の近似解と正解の比較

(a) 土留壁の曲げ破壊

モデル番号	中央安全率 $\bar{F}_s$	支配率 $Q_{KA}(\%)$	近似解 $\beta_{c'}$	正解 β_c	$\frac{\beta_{c'}}{\beta_c}$
1	1.56	65.6	1.06	1.11	0.95
2	2.68	51.8	2.62	2.40	1.09
3	1.97	60.6	0.89	0.96	0.93
4	1.24	69.4	0.42	0.43	0.98
5	2.53	53.5	2.62	2.58	1.02
6	1.16	70.2	0.24	0.25	0.96
7	2.26	56.9	1.76	1.69	1.04
9	1.91	61.3	1.68	1.72	0.98
10	1.20	69.8	0.43	0.46	0.93
11	2.13	58.5	2.15	2.15	1.00
12	1.46	66.9	1.36	1.29	1.05

(b) 切梁の座屈

モデル番号	中央安全率 $\bar{F}_s$	支配率 $Q_{KA}(\%)$	近似解 $\beta_{c'}$	正解 β_c	$\frac{\beta_{c'}}{\beta_c}$
1	1.31	74.1	0.44	0.42	1.05
2	1.47	72.3	1.35	1.71	0.79
3	1.53	71.6	1.01	1.05	0.96
5	2.46	60.4	5.56	5.25	1.06
6	2.53	59.5	4.48	4.41	1.02
7	1.33	73.9	1.32	1.34	0.99
8	2.03	65.6	2.11	2.18	0.97
9	2.47	60.3	2.82	2.67	1.06
10	1.65	70.2	2.07	2.15	0.96
11	2.37	61.5	4.32	4.35	0.99

注) 中央安全率が1.0以下あるいは3.0以上のものについては近似解の算出をしていない。