

東京電力(株) 正員 下川 洋司
大日本土木(株) 正員 丹羽 誠
鹿島建設(株) 正員 山本 正明

1. まえがき

レベルⅡ信頼性設計法(2次モーメント法)を連続壁と切梁支保工とによって開削される深い仮設立坑の土留部材(土留壁と支保工)に適用するにあたっての、信頼度解析の方法と設計キャリブレーションの結果を示すとともに、目標信頼度の設定について考察を加えた。なお、ヒービングと根入れ不足に関わる掘削底面の安定問題に対する信頼度解析は別報⁰⁾に示す。

2. 信頼度解析法

対象とする破壊モード(解析モード)は、連続壁の曲げおよびせん断、切梁の面内および面外座屈、腹起しの曲げおよびせん断、腹起し切梁(軸力と曲げをうける腹起し)の面内座屈である。各部材に作用する荷重による荷重効果(断面力)は、立坑の短辺方向の2次元モデルに対して弾塑性拡張法にもとづく逐次解析法によって算出した。耐力は、終局限界状態を対象として、コンクリートの限界状態設計法指針(案)(土木学会)等にもとづき算出した。

信頼度は、2次モーメント法における安全性指標 β を用い、Hasfer & Lindのアルゴリズム⁴⁾にもとづいて算出した。性能関数は、破壊モードにより一部異なるが、主に次式で表わされる。

$$Z = R - N \cdot S \quad (Z > 0 : \text{安全}, Z \leq 0 : \text{破壊})$$

ここに、 R ; 耐力、 N ; 荷重効果の補正係数、 S ; 荷重効果

各荷重、耐力パラメータの不確実性は、別報²⁾に示す平均値と変動係数で評価し、耐力 R と荷重効果 S の平均値と変動係数は、テーラー展開による一次近似法と数値微分とを組み合わせで算出した。また、構造解析モデルの不確実性を評価する荷重効果の補正係数 N の平均値と変動係数は、別報³⁾の結果を用いた。

3. 設計キャリブレーション結果

表-1に示す既往立坑10事例を対象とした。耐力の変動係数は、いずれの破壊モードにおいても、部材形状、掘削深さ等に拘らず、ほぼ一定値を示した。連続壁の曲げ、せん断耐力の変動係数は、それぞれ0.05、0.12程度であり、鋼材の座屈、曲げ、せん断耐力の変動係数はそれぞれ0.07~0.08の範囲にある。また、荷重効果の変動係数は、安全性照査を行う位置の深さ($G.L-m$)と相関を示すような結果となった。

表-1 解析事例一覧

これは、荷重の中でもウェイトの高い側圧²⁾の不確実性を、別報²⁾に示したように深さに関係付けて評価したためと考えられる。連続壁の曲げモーメントについて言えば、最大曲げモーメントを発生する深さ付近で、変動係数 $\delta = 0.50$ である。これらのデータを用いて算出した信頼度 β の一覧を表-2に示す。 $\bar{\beta}$ は平均信頼度を、 $\sigma\beta$ は信頼度の標準偏差をそれぞれ表す。腹起しの曲げ破壊を除いて、ほぼ $1.5 \leq \beta \leq 3.5$ の範囲にあり、各破壊モードとも、ほぼ同じレベルで設計が行われているものと考えられる。腹起しについては、せん断破壊によって設計が支配されているため、曲げ破壊の信頼度 β が高くなったものと考えられる。

No.	連壁厚 (cm)	連壁長 (m)	最終掘削 深さ(m)	平面形状(m)		切梁段数 (段)	注) 主体地盤 の種類
				長辺	短辺		
1	90	44.3	31.84	9.90	6.45	12	砂質土
2	70	29.3	25.30	10.90	6.10	8	粘性土
3	90	44.0	32.45	22.20	6.20	14	粘性土
4	70	22.9	19.90	7.80	4.50	6	粘性土
5	100	39.51	32.51	21.20	11.20	9	砂質土
6	80	29.5	21.94	10.50	5.85	8	粘性土
7	80	30.9	27.50	12.90	7.30	9	粘性土
8	100	46.5	34.10	18.00	10.78	11	砂質土
9	80	21.5	18.50	6.70	3.70	6	粘性土
10	80	33.0	28.20	10.90	7.80	8	粘性土

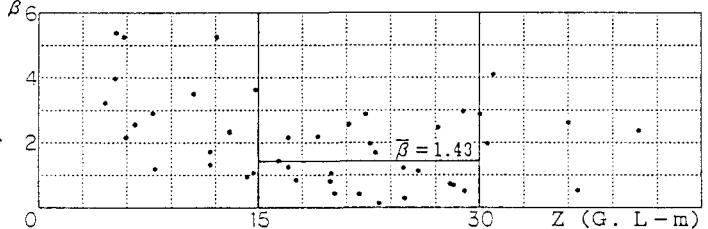
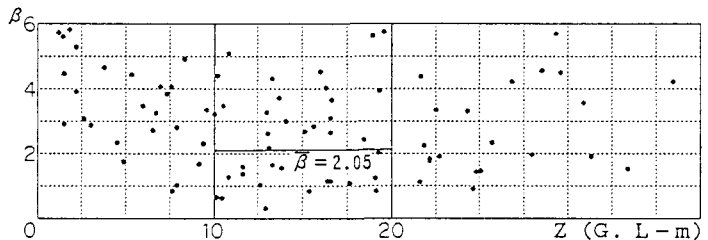
注) 掘削深さ+根入れ長/2の範囲で、砂と粘土の両土層の合計厚の大きな方を主体地盤とする。⁵⁾

4. 目標信頼度 β_T

設計事例に対するキャリブレーション結果をもとに、2次モーメント法における目標信頼度 β_T について考察する。通常、目標信頼度はコードキャリブレーションによって設定されるが、本報で対象とする立坑では、構造解析モデルが複雑であり、しかも荷重のとり方が従来の設計法と同一でないものもあるため、コードキャリブレーションが困難である。そこで、設計キャリブレーション結果から、地表面からの深さとの相関や破壊モードによる β のレベルの差を検討し、適切な目標信頼度について考察した。連続壁の曲げ破壊に対する目標信頼度を例として示す。図-1は、実績 β 値を連続壁の安全性照査断面の地表面からの深さ Z (G.L-m) で整理したものである。15m $\leq Z \leq 30$ m の区間は、最終掘削深さ付近にあたり、最大曲げモーメントが発生する区間と対応しており、 β 値は相対的に低い。通常、設計はこの区間で最適化がはかられているものと考えられるため、この区間にある実績 β 値の平均値を目標信頼度とするのが妥当と考えられる。また、図-2に切梁面内座屈の $\beta \sim Z$ 関係を示す。他の破壊モードについても、ほぼ同様の方法で目標信頼度を設定した。その一覧を表-2に付して示す。

表-2 信頼度 β 算定結果および目標信頼度 β_T

破壊モード	標本数	$\bar{\beta}$	$\sigma \beta$	β_T
連壁曲げ	45	2.07	1.35	1.4
連壁せん断	45	2.66	1.74	1.7
切梁面内座屈	90	3.25	2.04	2.0
切梁面外座屈	90	3.33	2.09	2.0
腹起し曲げ	90	6.11	2.90	2.4
腹起しせん断	90	3.08	2.54	1.7
腹起し切梁面内座屈	90	2.95	2.69	1.8

図-1 連壁曲げ破壊の $\beta \sim Z$ 関係図-2 切梁面内座屈の $\beta \sim Z$ 関係

5. あとがき

本報は、レベルII信頼性設計法にもとづいて検討を行ったが、実設計のレベルでは、この手法では信頼度解析が極めて繁雑という問題点があるため、レベルI信頼性設計法（部分安全係数法）で表示する方法を現在検討中である。また、目標信頼度は今回現行設計に整合させるように設定したが、今後より一層の合理化をはかるにあたっては、荷重・耐力・構造解析以外のものに関わる不確実性、例えば、人的過誤等の要因を如何に評価するかが大きな課題である。

<参考文献> 1) 岡田他、;「掘削底面の安定に関する信頼度解析」、土木学会第41回年講III、1986、2) 日向他、;「仮設立坑の信頼度解析（その1）」、土木学会第41回年講I、1986、3) 岡田他、;「仮設立坑の信頼度解析（その2）」、土木学会第41回年講I、1986、4) Hasfer, A.M. and Lind, N.C.; Exact Invariant 2nd-moment Code Format, ASCE, Vol.100, No. EM1, 1974、5) 土木学会; 土留め壁土圧実測データ調査結果・最終報告、土木学会誌、Sep.1983