

Ⅲ-B200 コードキャリブレーションを目的としたSCP改良地盤の信頼性解析

不動建設 正員 深田 久
 不動建設 正員 高橋 嘉樹
 岐阜大学 工学部 正員 本城 勇介
 岐阜大学 工学部 学生員 古田 茂樹

1. はじめに

現在ユーロコードなど、世界的に設計コードの改訂作業が進められている。それらの設計コードは、構造物の信頼性を解析するのに確率を基礎においており、また許容応力度法では明確でなかった構造物の限界状態を対象に設計を行うことから「確率に基づいた限界状態設計法(probability based limit state design)」と呼ばれている。限界状態設計法で実際に設計実務で用いられるのは、レベル1と呼ばれる部分係数を用いたフォーマットで書かれるコードである。

このようなレベル1のコードの種々の部分係数を決定する方法の一つに、現在の設計基準で設計された構造物は適切な安全性を持っていると仮定し、新しいコードでもこの安全性と同程度の安全性を確保するように部分係数を設定する方法を、コードキャリブレーションと言う。本研究はSCP改良地盤を対象として、現行設計法を、限界状態設計法レベル1のコードに書き改める場合の、コードキャリブレーションの方法を検討し、総合的に考察を行ったものである。

2. コードキャリブレーション

2.1 手順

コードキャリブレーションの一般的な手順を図-1に示した。これにしたがって、手順を述べる。

- ①「港湾の施設の技術上の基準・同解説」の設計法に基づき、いくつかの代表的な地盤条件についてSCP改良地盤の設計を行う。
- ②HasoferとLindが定義した信頼性指標 β を用い、設計された断面の信頼性解析を行い、総合的な考察から目標信頼性指標 β_T を設定する。
- ③各設計基本変数の部分係数 γ を、図-1に示した評価関数が最小になるように決定する。
- ④土構造物のキャリブレーションを行うときの問題点について総合的に考察する。

2.2 代表地盤条件の設定

粘性土の非排水せん断強度が、深度方向に $1.5t/m^2$ の一定値をとる場合（地盤C）と、 $0.5+0.12zt/m^2$ （地盤V）の2種類の地盤を想定し、それぞれに高さ3mと5mの盛土を建設することを想定した。両者とも盛土下を10%改良すれば安全率1.3を満足し安定する。

2.3 信頼性解析

SCP改良地盤の性能関数としては、上記基準で設定されている方法をそのまま採用した：

$$Z = \delta \left\{ \sum R(\tau_c + \tau_\phi) \cdot l - \sum Wx \right\} \quad (1)$$

ここに、

$$\tau_c = (1 - a_s) (c_0 + k_z z + \mu_c \Delta \sigma_z^l \Delta c / \Delta P^l l)$$

$$\tau_\phi = (\gamma_s z + \mu_s \Delta \sigma_z^l) a_s \tan \phi_s \cos^2 \theta$$

記号は、基準の通りである。また、 δ は斜面安定解析法の不確実性を表す確率変数である。

設定した基礎変数の統計量を表-1に示した。粘性土の強度は、その設計強度の考え方を示す上で3つのケースを想定した。Ⅰは平均が設計値で変動係数が0.1の場合、Ⅱは設計値が平均値+標準偏差でその変動係数が0.1の場合、ⅢはⅡと同様であるが変動係数が0.2の場合である。また、設計法の不確実性は平均1.0、標準偏差0.06の正規分布とした。また、 $\tan \Phi$ についても2つのケースiとiiを設けた。

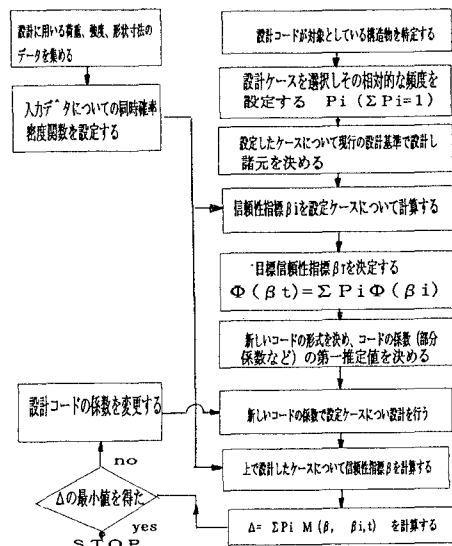


図-1 コードキャリブレーションの手順

キーワード： SCP改良地盤、限界状態設計法、コードキャリブレーション、部分係数、荷重抵抗係数法
 連絡先： 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学工学部 Tel./Fax 058-293-2435, e-mail: honjo@cc.gifu-u.ac.jp

2.4 信頼性解析結果と目標信頼性係数の設定

信頼性解析の結果を図-2に示す。(a)は β の値を、(b)はそれに伴う α の値を示した。これにつき、次のようなことが言える。

(1)Case IとIIでは、 β はV3とC5で同様の挙動を示すが、Case IIIでは異なる。これは、先に説明した地盤強度の変動の性格の違いのためである。

(2)感度係数（分離係数） α を見ると、V地盤では盛土の単位体積重量と応力分担比のみ大きな係数をとるが、C地盤ではこれに粘性土地盤の非排水せん断強度が加わる。一方、砂の内部摩擦角は大きな影響を与えない。

(3)粘性土地盤の強度の影響係数が高いのは、対象としている改良地盤の改良率が10%と比較的低いためと考えられる。

これ以後の解析ではCase Iを想定し、目標信頼性指標を3.0として解析を進めた。

2.5 部分係数の決定

部分係数は、本来は設計基本変数一つ一つに定義されるものであるが、いろいろな設計条件に同程度の安全性余裕を与えるような係数を決定しようとするとき、これらを全て決定することは困難な場合が多い。北米で普及している荷重抵抗係数設計法では、抵抗側に唯一の係数を与える場合もある。本研究では、土質力学の伝統を踏まえ、粘着力成分と摩擦力成分に異なる部分係数を与える、次の形の設計式を想定した。

$$\sum R(\tau_c/\gamma_c + \tau_\phi/\gamma_\phi) \cdot l \geq \gamma_s \sum \#X \quad (3)$$

ここに、 γ_c は、粘着力稿の部分係数、 γ_ϕ は、摩擦力の部分係数、 γ_s は、荷重項の部分係数である。

なお、ここでは設計式を簡単に与えたが、安全性余裕をいろいろな設計条件になるべく均等に与えるような設計式の形と、部分係数を決定する方法は今後の課題である。

(3)式で $1/\gamma_c\gamma_s$ と $1/\gamma_\phi\gamma_s$ の値の組み合わせをいろいろに変え、このとき安全率1.3を満たす盛土の単位体積重量を求め、これを信頼性解析して β を求め、さらに図-1に示した評価関数をCase Iの場合についてこの平面にプロットしたのが、図-3である。この図から分かるように、 $1/\gamma_c\gamma_s$ と $1/\gamma_\phi\gamma_s$ の最適な組み合わせは位置的には決まらず、トレードオフの関係があることが分かる。これらの最適な組み合わせを決めるには、c材と Φ 材の変位の適合性や、材料的な性質を考慮に入れるような地盤工学的な対処が求められると考えられる。

3. あとがき

SCP改良地盤の設計を例として、地盤構造物のコードキャリブレーションの手順とその問題点について検討を行った。各基本変数の不確実性評価や、最適な設計式と部分係数の関係、さらに地盤構造物の特性を生かした部分係数の決定方法など、課題は多い。

表-1 設計基本変数の統計量

		CASE V3		CASE C5	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差
γ_s		2.000	0.200	2.000	0.200
γ_c		1.500	0.150	1.600	0.160
γ_ϕ		1.800	0.180	1.800	0.180
a_s		0.100	0.030	0.050	0.015
m		2.500	1.000	2.500	1.000
c_o	I	0.500	0.050	1.500	0.150
	II	0.550	0.050	1.650	0.150
	III	0.600	0.100	1.800	0.300
k	I	0.200	0.020	0.000	0.000
	II	0.220	0.020	0.000	0.000
	III	0.240	0.040	0.000	0.000
$\tan\phi$	i	0.577	0.0577	0.577	0.0577
	ii	0.577	0.1154	0.577	0.1154
c/p		0.250	0.0125	0.250	0.0125
δ		1.000	0.060	1.000	0.060

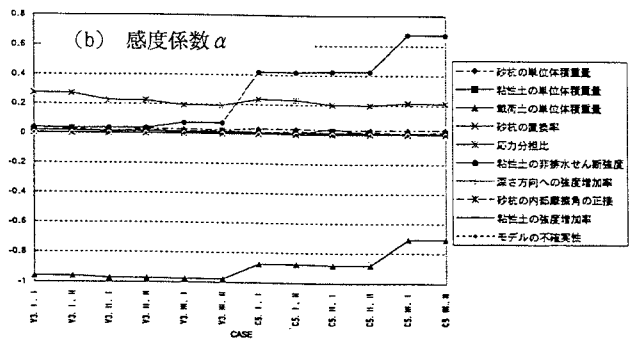
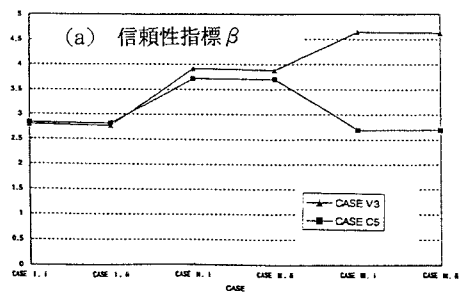


図-2 信頼性解析結果

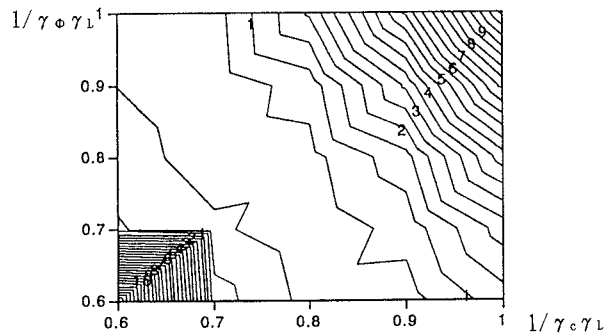


図-3 $1/\gamma_c\gamma_s$ - $1/\gamma_\phi\gamma_s$ 平面上的の評価関数値