

重力式擁壁の安定に対する信頼性感度解析

東洋大学 正会員 新延泰生
東洋大学 学生会員 ○羽鳥 薫
浪岡 充

1. はじめに

土木構造物の設計では、性能規定化に向けて安全率を用いた許容応力度法から荷重係数と抵抗係数を用いた限界状態設計法への移行が進められている。そこで、本研究では構造物崩壊の危険性を定量的に評価できる信頼性設計法を用い、設計水準レベルⅡで重力式擁壁の滑動モードと転倒モードについて、感度解析を行い、各モードにおける信頼性指標 β に影響をあたえる確率変数パラメータの検討を行った。

2. 解析モデルと解析方法

図2-1のような重力式擁壁を考え、滑動モードと転倒モードに対しては以下の式により安全率 F_S が算定される。なお、本解析では地震時慣性力は考慮していない。

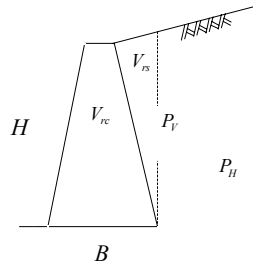


図2-1

$$\text{滑動} \quad F_S = \frac{(V_{rc} + V_{rs} + P_V) \cdot \mu + C \cdot B}{P_H} \quad (1)$$

$$\text{転倒} \quad F_S = \frac{V_{rc} \cdot l_{rc} + V_{rs} \cdot l_{rs} + P_V \cdot l_{P_V}}{P_H \cdot l_{P_H}} \quad (2)$$

ここで、式(1) (2)の V_{rc} はコンクリートの自重、 V_{rs} は土の自重、 P_V は鉛直土圧、 μ は土の摩擦係数、 C は土の粘着力、 B は底版幅、 P_H は水平土圧、 l_{rc} は V_{rc} のアーム、 l_{rs} は V_{rs} のアーム、 l_{P_V} は P_V のアーム、 l_{P_H} は P_H のアームである。

滑動モードの式(1)の各確率変数を $X_1 = V_{rc}$ 、 $X_2 = V_{rs}$ 、 $X_3 = P_V$ 、 $X_4 = \mu$ 、 $X_5 = C$ 、 $X_6 = B$ 、 $X_7 = P_H$ とし、性能関数 Z を求めると、

$$Z = (X_1 + X_2 + X_3) \cdot X_4 + X_5 \cdot X_6 - X_7 \quad (3)$$

転倒モードの式(2)の各確率変数を $X_1 = V_{rc}$ 、 $X_2 = l_{rc}$ 、 $X_3 = V_{rs}$ 、 $X_4 = l_{rs}$ 、 $X_5 = P_V$ 、 $X_6 = l_{P_V}$ 、 $X_7 = P_H$ 、 $X_8 = l_{P_H}$ とし、性能関数 Z を求めると、

$$Z = X_1 \cdot X_2 + X_3 \cdot X_4 + X_5 \cdot X_6 - X_7 \cdot X_8 \quad (4)$$

式(3)、(4)をそれぞれの破壊モードにおける抵抗力（強度）を R 、荷重（作用）を S として性能関数 Z を

$$Z = R - S \quad (5)$$

と定義する。また、 R と S は正の領域(≥ 0)をとるものとする。

R と S が独立で正規分布に従う確率変数であるとする、性能関数 Z が正規確率変数となることから信頼性指標 β は

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (6)$$

と定義される。ここで μ_Z 、 σ_Z はそれぞれ Z の平均値および標準偏差である。この式(6)を用いて壁高と底版幅、変動係数の組み合わせによる信頼性指標 β の解析を行った。

また、滑動と転倒モードを考えた場合、式(6)の分母 σ_Z に各確率変数を代入するとそれぞれの σ_Z^2 は式(7)、(8)となる。

$$\sigma_Z^2 = \sigma_{V_{rc}}^2 \cdot \mu_{\mu}^2 + \sigma_{V_{rs}}^2 \cdot \mu_{\mu}^2 + \sigma_{P_V}^2 \cdot \mu_{\mu}^2 + (\mu_{V_{rc}} + \mu_{V_{rs}} + \mu_{P_V}) \cdot \sigma_{\mu}^2 + \sigma_C^2 \cdot \mu_B^2 + \sigma_B^2 \cdot \mu_C^2 + \sigma_{P_H}^2 \quad (7)$$

$$\sigma_Z^2 = \sigma_{V_{rc}}^2 \cdot \mu_{l_{rc}}^2 + \sigma_{l_{rc}}^2 \cdot \mu_{V_{rc}}^2 + \sigma_{V_{rs}}^2 \cdot \mu_{l_{rs}}^2 + \sigma_{l_{rs}}^2 \cdot \mu_{V_{rs}}^2 + \sigma_{P_V}^2 \cdot \mu_{l_{P_V}}^2 + \sigma_{l_{P_V}}^2 \cdot \mu_{P_V}^2 + \sigma_C^2 \cdot \mu_B^2 + \sigma_B^2 \cdot \mu_C^2 + \sigma_{P_H}^2 \cdot \mu_{l_{P_H}}^2 + \sigma_{l_{P_H}}^2 \cdot \mu_{P_H}^2 \quad (8)$$

また信頼性指標 β を各確率変数の標準偏差で偏微分することで標準偏差による感度解析を行った。

3. 設計条件と解析ケースおよび解析結果

表3-1の設計条件のとき、許容応力度法での安全率を満たすように壁高5m底版幅3mの重力式擁壁を設計した（図3-1）。なお、各設計用値は正規分布とし、互いに独立とした。

(1) 壁高、底版幅、変動係数 V の変化による信頼性指標 β

壁高を1~7m、底版幅を0.5H~0.7H(H=壁高)と変化させて、さらに表3-2のような5つのパラメータに変動係数を3種類あたえ、 $3^5 = 243$ 通りの検討を行った。ここでは水平土圧の変動係数(表3-3)に注目した結果を図3-2に示す。また、このときの許容応力度法による安全率を図3-3で表した。

(2) 信頼性指標 β の感度解析

壁高5m底版幅3m(0.6H)の擁壁を対象として、各パラメータの標準偏差で偏微分することで感度解析を行った。

ここでは、(1)と同様に水平土圧の変動係数に注目した結果を表3-4に示す。

キーワード 重力式擁壁、信頼性指標 β 、感度解析

連絡先 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100 東洋大学 TEL 049-239-1312

表3-1 設計条件

設計条件

- (1) 単位体積重量
コンクリート $\gamma_c = 2.35 \text{tf} / \text{m}^3$
裏込め土（砂質土） $\gamma_s = 1.90 \text{tf} / \text{m}^3$
- (2) 許容応力度
コンクリートの設計基準強度 $\sigma_{28} = 160 \text{kgf} / \text{cm}^2$
コンクリートの許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca} = 40 \text{kgf} / \text{cm}^2$
コンクリートの許容曲げ引張応力度 $\sigma_w = 2 \text{kgf} / \text{cm}^2$
コンクリートの許容せん断応力度 $\tau_a = 5 \text{kgf} / \text{cm}^2$
- (3) 基礎地盤の諸量
底版と土のすべり摩擦係数 $\mu = 0.6$
底版と土の粘着力 $c = 0 \text{tf} / \text{m}^2$

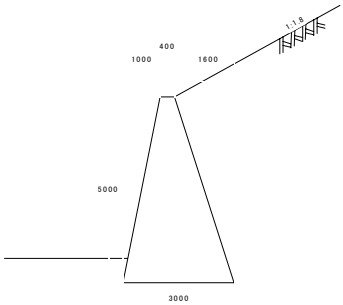


図3-1 形状寸法

表3-2 変動をあたえた設計用値

項目		変動係数V		
単位体積重量	コンクリート	0.05	0.10	0.15
	土	0.05	0.10	0.15
土圧	鉛直	0.05	0.10	0.15
	水平	0.05	0.10	0.15
摩擦係数		0.05	0.10	0.15

表3-3 水平土圧に注目した設計用値

項目		変動係数V		
単位体積重量	コンクリート	0.10		
	土	0.10		
土圧	鉛直	0.10		
	水平	0.05	0.10	0.15
摩擦係数		0.10		

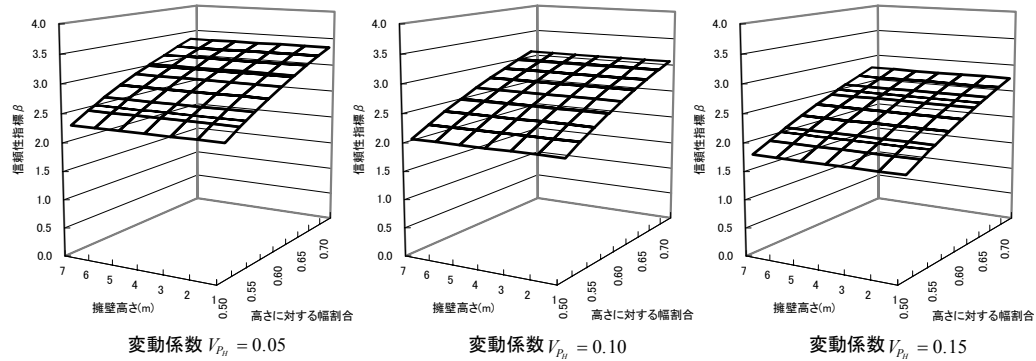


図3-2 壁高、底版幅、変動係数Vの変化による信頼性指標 β (a) 滑動モード

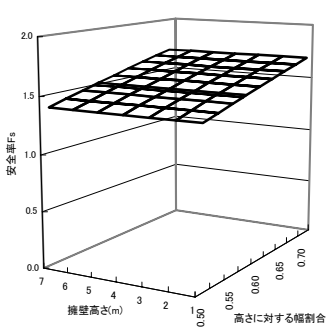


図3-3 壁高、底版幅の変化による安全率F_s (a) 滑動モード

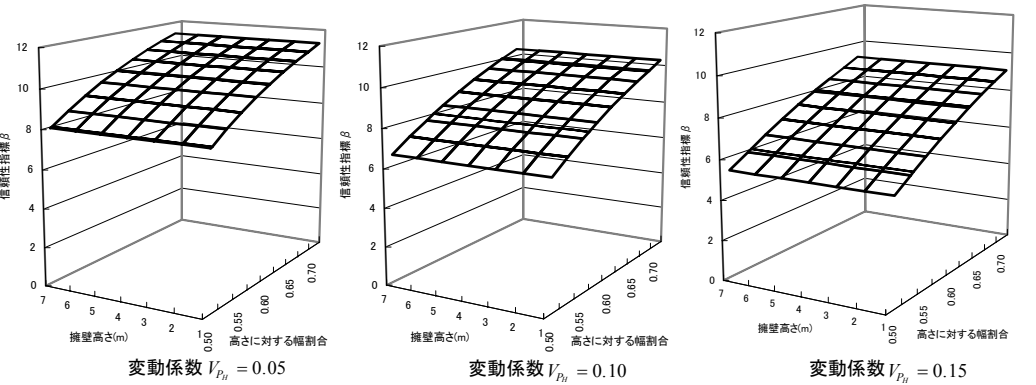


図3-2 壁高、底版幅、変動係数Vの変化による信頼性指標 β (b) 転倒モード

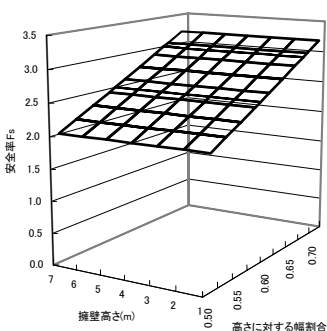


図3-3 壁高、底版幅の変化による安全率F_s (b) 転倒モード

表3-4 変動係数の違いによる感度係数 (a) 滑動モード

変動係数 V_{P_i}	$\partial\beta/\sigma_{\gamma_c}$	$\partial\beta/\sigma_{\gamma_s}$	$\partial\beta/\sigma_{P_v}$	$\partial\beta/\sigma_{P_h}$	$\partial\beta/\sigma_{\mu}$
0.05	-2.96E-01	-1.33E-01	-1.03E-01	-2.86E-01	-3.18E+01
0.10	-2.24E-01	-1.00E-01	-7.77E-02	-4.32E-01	-2.40E+01
0.15	-1.54E-01	-6.89E-02	-5.34E-02	-4.45E-01	-1.65E+01

表3-4 変動係数の違いによる感度係数 (b) 転倒モード

変動係数 V_{P_i}	$\partial\beta/\sigma_{\gamma_c}$	$\partial\beta/\sigma_{\gamma_s}$	$\partial\beta/\sigma_{P_v}$	$\partial\beta/\sigma_{P_h}$	$\partial\beta/\sigma_{\mu}$
0.05	-2.24E-03	-3.17E-03	-3.63E-03	-1.55E-03	0.00E+00
0.10	-1.80E-03	-2.55E-03	-2.92E-03	-2.50E-03	0.00E+00
0.15	-1.33E-03	-1.88E-03	-2.15E-03	-2.76E-03	0.00E+00

4. 結論

各パラメータの変動係数Vをそれぞれ0.1としたとき、滑動に対しては摩擦係数の影響が最も大きく、転倒においては鉛直土圧の影響が大きい。表3-3で仮定した変動係数のもとでは、図3-2「高さに対する幅の割合」の面から見たときの傾きの緩急は変動係数の値によって異なり、水平土圧の変動係数のみ変化させた場合、滑動モードでは変動係数が大きくなると傾きが緩やかになったが、転倒モードでは逆に急になった。変動係数の大きさと感度係数の値とは必ずしも比例しない。なお、各パラメータの変動係数の組み合わせによっては異なる

結果が得られる可能性がある。

参考文献

1. 星谷勝, 石井清: 構造物の信頼性設計法, 鹿島出版会, 1986.
2. (社)日本道路協会: 道路土工-擁壁工指針, 丸善, 2005.
3. 岩松幸雄, 松尾光弘, 工藤真之介: 擁壁及びカルバートの設計と考え方, 鹿島出版会, 1978.
4. 米澤豊司, 篠田昌弘, 館山勝, 古閑潤一: 補強土壁構造物の限界状態設計法における荷重係数と抵抗係数, 土木学会論文集No.785/III-70,71-81, 2005.3.
5. 篠田昌弘, 米澤豊司, 館山勝, 古閑潤一: 補強土壁構造物の限界状態超過率, 土木学会論文集No.792/III-71,119-129, 2005.6.