

III-436

地盤物性値の変動を考慮した設計値の考察

中部電力(株) 土木建築部 正員 藍田 正和 鈴木 英也
清水建設(株) 大崎研究室 正員 石井 清 ○鈴木 誠

1. まえがき

斜面の設計では、一般に地盤物性値の平均値を用いた円弧すべり解析が用いられている。計算された安全率が許容安全率、たとえば1.2に近いとき、設計者によっては、せん断強度(粘着力、内部摩擦角)の変動を考慮した設計値を用いて再度計算して、安全性をチェックすることを行う。これは、物性値の変動を設計値の設定法と安全率でカバーするためと考えられ、特に重要な構造物を対象とする場合などでは技術者が経験的に行う方法である。本研究では、簡単な数学モデルをもとに信頼性設計法を用いて、現行設計法の範ちゅうで、物性値の変動を考慮した設計値の設定法について検討を行う。

2. 設計値と安全率との関係

はじめに、現行設計法における安全性照査について、設計値と安全率の関係を示す。現行設計法では、公称抵抗値 R_n と公称荷重値 S_n との比を用いて安全率を規定するが、 R と S は本来は確率量であるから、 R_n よりも小さな抵抗値、 S_n よりも大きな荷重値も起こりうるので、絶対的な安全性は確保されない。いま、公称抵抗値 R_n と公称荷重値 S_n をそれぞれ

$$R_n = \mu_R - \gamma_R \sigma_R, \quad S_n = \mu_S + \gamma_S \sigma_S \quad (1)$$

と表わすと、公称安全率 $\bar{v}$ は $\bar{v} = R_n / S_n$ で表される。

いま、問題を簡単にするために、 R と S が正規分布の場合、公称安全率 $\bar{v}$ と安全性指標 β との関係は、

$$\beta = (\mu_R - \mu_S) / \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} = (\mu_R / \mu_S - 1) \mu_S / \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad (2)$$

となる¹⁾。次に変動係数 $V_R = \sigma_R / \mu_R$ 、 $V_S = \sigma_S / \mu_S$ を導入して式(1)を整理すると、式(2)は次のようになる。

$$\beta = \left\{ \frac{(1 - \gamma_R V_R)}{(1 + \gamma_S V_S)} \bar{v} - 1 \right\} / \sqrt{\frac{(1 - \gamma_R V_R)^2 \bar{v}^2 V_R^2}{(1 + \gamma_S V_S)^2} + V_S^2} = \frac{v_0 - 1}{\sqrt{v_0^2 V_R^2 + V_S^2}} \quad (3)$$

式(3)の第2式では、中央安全率 $v_0 = \mu_R / \mu_S$ によって式が整理されている。設計において中央安全率 v_0 を規定し、 R と S の変動係数 V_R 、 V_S が予測できると仮定すれば、式(3)の第2式から安全性指標 β が得られる。また、反対に信頼性指標 β が決定されたとすれば、 β を満足する中央安全率 v_0 が式(3)の第2式から設定できることになる。一方、 R と S の不確定性を考慮して、設計値を式(1)で定義すると、安全性指標 β と満足する公称安全率 $\bar{v}$ は式(3)の第1式を解くことにより得られることになる。さらに、 V_R 、 V_S が既知と仮定すると、中央安全率 v_0 と公称安全率 $\bar{v}$ が決まれば、設計値を定める係数 γ_R 、 γ_S はどちらか一方を定めれば一意的に決定される。

さらに、荷重の変動を考慮しなければ、式(3)は次のように表現できる。

$$\beta = \{(1 - \gamma_R V_R) \bar{v} - 1\} / (1 - \gamma_R V_R) \bar{v} V_R = (v_0 - 1) / v_0 V_R \quad (4)$$

3. 考察

まず、中央安全率 v_0 を用いて設計を行う場合にも、抵抗値(あるいは荷重)の変動係数が大きくなると、安全率が1.0を下回る確率が相当に大きくなることを示す。式(4)より v_0 が一定であっても、安全性指標 β は抵抗値の変動係数 V_R に反比例して小さくなることがわかる。これを概念的に示したものが図-1であり、変動係数が大きくなるに従って安全率が1.0を下回る確率はしだいに大きくなることがわかる。たとえば、中央安全率を1.8、抵抗値の変動係数 V_R を0.4とすると、安全性指標 β は1.11となり、中央安全率が十分大きいと思われるにもかかわらず、安全率1.0を下回る確率は0.133と極端に大きくなってしまふ。さらに文献2)で対象と

した斜面について、安全率とそれを下回る確率を計算したものを図-2に示す。この解析例では、中央安全率は1.8となったが、許容安全率をたとえば1.2とすると、内部摩擦角の変動係数の大きい場合($V_\phi=0.4$)には許容安全率を下回る確率は約0.003になる。いま、内部摩擦角の変動係数 V_ϕ が規定できれば、式(4)の第2式より中央安全率 v_0 を規定することにより、一定の安全性指標 β をもつようにすることができる。また、先に述べたように式(4)の第1式によれば、任意の設計値に対する安全率 v を β ＝一定の条件のもとで定めることができる。さらに、現行設計法では許容安全率 v_a が規定されているので、許容安全性指標 β_a を新たに導入して設計をより合理的なものとしようとするならば、技術者に受入れられている式(4)の第1式による表現を設計に用いる方がよいと考えられる。このような考えから、内部摩擦角の設計値を(平均値+ K ×標準偏差値)としたときの安全率を下回る確率と K との関係を表したものを図-3に示す。ここで、 K は影響係数と呼ばれる係数である³⁾。安全率を下回る許容確率を定めて設計値を設定すれば、内部摩擦角の変動係数によらない安全性が確保できることになる。たとえば、影響係数 $K=-0.5$ とすると安全率1.37を下回る確率は約0.03となる。さらに式(4)より、許容安全性指標 β_a と許容安全率 v_a が規定されれば、内部摩擦角の変動係数によった係数 r_R を決定できる。

4. まとめ

現行設計法における設計値の設定法を中央安全率および公称安全率との関係を整理した。現行設計法の範ちゅうで信頼性設計法を導入する場合、自由度の大きい設計値の設定を適切に行うことにより、従来の設計法と変わることなく、容易に信頼性設計法の考え方を取り入れられることを示した。今後は、より具体的な土木構造物を例として、上に述べた考え方を実際に適用することができるのかを検討していく。

参考文献

- 1) 星谷 勝：確率論的手法による構造解析，鹿島出版会，pp.118～120，1973
- 2) 藍田 正和・鈴木 英也・石井 清・鈴木 誠：地震時斜面安定性に関する材料物性値の感度解析，土木学会第44回年次学術講演会，1989.
- 3) 伊藤 洋・新 孝一：地盤物性値のばらつきの影響評価，電力土木，No. 208，1987.

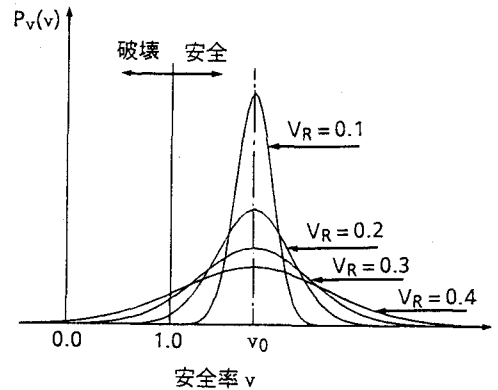


図-1 概念図

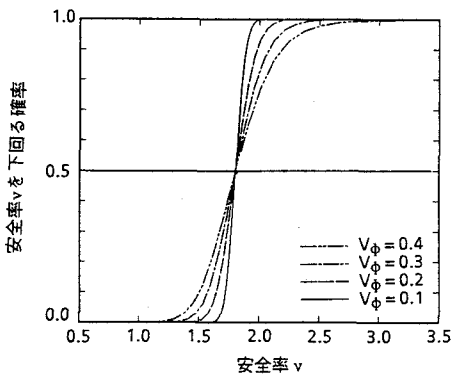


図-2 安全率とそれを下回る確率

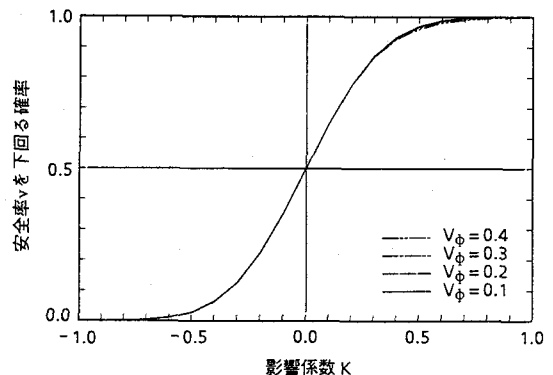


図-3 設計値と安全率を下回る確率