Ⅲ－477

Advanced Method による部分安全係数の評価

九州大学工学部　学○李　向新　正　落合英俊
正　安福規之　正　大嶺　聖
建設技術研究所　正　松井謙二

1．はじめに

従来、二次モーメント法での部分安全係数の算定法における主な問題点としては、その安全性指標の不変性の欠如、破壊関数の平均値での線形化による誤差、荷重と抵抗を分離して得られた部分安全係数の適切性とが考えられる[1) 2)]。どころが、Advanced Method であるHasofer と Lindの信頼性解析方法で部分安全係数を評価すると[3) 4)]、そういった欠点が避けられるとされている。本文は、このAdvanced method について説明し、具体的にある場所打ち杭の鉛直支持力の計算例を通じて、荷重、抵抗に関する部分安全係数と荷重の変動係数、信頼性指標との関係を検討したものである。

2．Advanced Method

構造物の強度・荷重など n 個の設計基本変数を含むランダムベクトル X ($x_1, x_2, \cdots x_n$) を考える。g(X) はある限界状態において安全余裕を表す性能関数いわゆる破壊関数である。ランダムベクトル X における基本変数の相関性はないとすると、Advanced Method において、信頼性指標を定義するには、まず基本変数 x_i (i = 1, 2, … n) は式（１）によって、平均値が０で、標準偏差が１である標準正規分布の変数 z_i (i = 1, 2, … n) に正規化される。

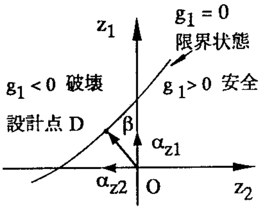

図１　信頼性指標 β

$$z_i = \frac{x_i - \mu_{xi}}{\sigma_{xi}} \qquad (i = 1, 2, \cdots n) \tag{1}$$

ここで、μ_{xi} は x_i 平均値、σ_{xi} は x_i の標準偏差である。それで、限界状態面 g(X)=0 は z 座標に $g_1(Z)$ と写像される。信頼性指標 β は正規化された Z 座標において原点と限界状態面との最短距離で定義される。図１の二次元の問題の場合、β は距離 OD の最小値と等しくなる。点 D を設計点と呼ぶ。

$$x_i^* = \mu_{xi} - \sigma_{xi}\alpha_i^* \beta \tag{2}$$

ここで、（*）は設計点を表す。α_i^* は z_i^* の方法余弦であり、感度係数と呼ぶ。

$$\alpha_i^* = \left(\frac{\partial g_1}{\partial z_i}\right)^* \Bigg/ \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial g_1}{\partial z_i}\right)^{*2}} \tag{3}$$

設計変数 x_i の部分安全係数 φ_{xi} は（２）式で得られた設計点と基準に与えられた公称値の比と定義すると

$$\varphi_{xi} = (1 - \alpha_i^* V_{xi}\beta)\,\mu_{xi} / x_{in} \tag{4}$$

となる。ここで、V_{xi} は設計変数 x_i の変動係数で、x_{in} は設計基準で与えられるxi の公称値である。

一般に、設計点 x_i^* (i = 1, 2, … n)、感度係数 α_i^* 、信頼性指標 β を求めるのに、繰返し計算 (Iteration)を用いなければならない。X が非正規分布の場合、式（１）の μ_{xi}、σ_{xi} のかわりに μ_{xi}^N、σ_{xi}^N を用いればよい。このとき、μ_{xi}^N、σ_{xi}^N は Rackwitz と Fiessler の変換によって得られる等価な正規分布の平均と標準偏差である。

3．杭基礎解析実例

高架橋の橋脚の杭基礎には、直径1.0m、長さ15.0mの場所打ち杭があり、その極限鉛直支持力 Ru 、荷重 P の平均と変動係数は表１に示されている[5)]。Ru は対数正規分布である。杭頭に作用する荷重 P は、上部から伝えてくる橋の自重と積載荷重の和か、または地震荷重との組み合わせの荷重効果とする。P の平均値 μ_p を μ_{Rs}/n とする。ここで、n は中央安全率である。なお、P の分布形は極値Ⅰ型分布と仮定し、その変動係数が0.1 ～ 0.3の範囲内にあると仮定する。以上の条件で、Advanced Methodで、杭の信頼性指標 β 、設計点、感度係数、部分安全係数の値

表１　支持力、荷重

	平均値 μ (tf)	変動係数 V
Ru	596.9	0.380
P	596.9 / n	0.1～0.3

を求めることにする。鉛直支持力の限界状態に関する破壊関数は$g_1 = Ru - P$と構成される。これより、杭の鉛直支持力の設計基準式は

$$\varphi_P P_n \leq \varphi_{Ru} Ru_n \qquad (5)$$

となる。ここで、P_nは荷重の公称値で、Ru_nは極限支持力公称値である。簡単化するため、ここで、荷重、支持力の特性値を平均値にして、部分係数を評価することにしよう。Ru、Pは正規分布ではないので、設計点、感度係数、信頼性指標を求めるために、繰返し計算が行われており、その結果は次のとおりである。

図2には、荷重の変動係数Vpの値が0.1、0.2、0.3を取るとき、解析による信頼性指標βと許容応力度設計法における杭の鉛直支持力の中央安全率nとの関係を示している。

図3には、感度係数αと中央安全率nの関係が示されている。変動係数が一定であれば、感度係数は中央安全率の増減に対して、その値に急激な変化がなく、一定と見ることができる。平均にすると、感度係数の値は支持力に対して0.7で、荷重に対して-0.5である。

図4には、与えられた荷重の変動係数で部分安全係数と信頼性指標の関係が示されている。変動係数が一定であれば、部分安全係数と信頼性指標には線形の関係を有する。

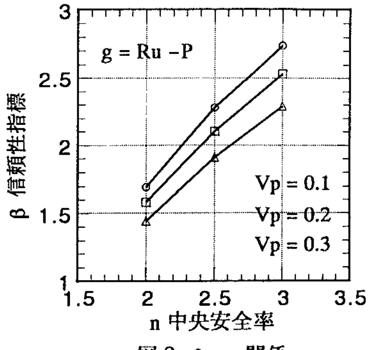

図2 β-n 関係

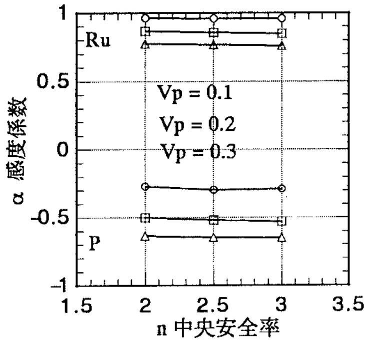

図3 α-n 関係

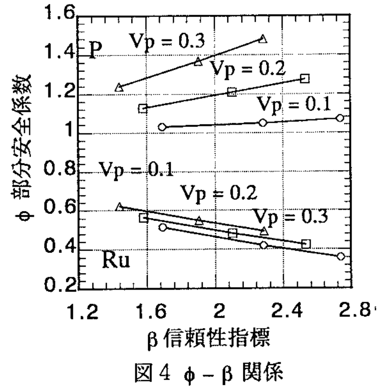

図4 φ-β 関係

4. まとめ

1）Advanced Method 方法では破壊関数が設計点で線形化されるため普通の二次モーメント法における安全性指標の不変性の欠如、破壊関数の平均値での線形化による誤差といった欠点を避けることができる。

2）部分安全係数値は、荷重、地盤両方の不確定性に依存する。

3）死荷重（Vp=0.1）の部分安全係数は抵抗の変化、信頼性指標の増減に対してあまり敏感でない。

4）抵抗係数は荷重の変化に対して相対的に変化が小さいが、荷重係数の増加とともに線形的に減少する。

5）荷重、抵抗の変動係数が一定であれば、部分安全係数は信頼性指標と線形の関係を有する。

〈参考文献〉

1）Lind, N. C.; Consistent Partial Safety Factors, J. of Strut. Div., ASCE, Vol.97 No. ST6, June, 1971

2）Ellingwood, B., Galambos, T.V.; MacGregor, J.G. and Comell, C.A.; Development of a Probability Based Load Criterion for American National Standard A58, Building Code Requirements for Minimum Design Loads in Building and Other Structures, NBS Special Publication 577, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, June, 1980

3）P. Thoft Christensen and M. J. Baker, Structural Reliability Theory and Its Applications, Springer-Verlag, 1982

4）李向新、落合英俊、松井謙二； 新しい部分安全係数の算定法に関する一提案、基礎構造物の限界状態設計法に関するシンポジウム、土質工学会、1995

5）X. Li, H. Ochiai, K. Matsui, Y. Maeda, A Modification Factor for Bearing Resistance Estimation of Pile, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集、1995