

建設省土木研究所 正会員 山本 洋司
 〃 〃 塩井 幸武
 建設省関東地方建設局 〃 岡原 美知夫

1. まえがき

近年、くい基礎が設計施工される割合は基礎形式全体の約50%（昭和52年度調査）を占めており、その設計に際し、くいの鉛直支持力算定式が数多く提案されている。これらの算定式によつて推定される支持力値およびその推定精度は当然異なるが、これまで各算定式の推定精度あるいは信頼性についてはあまり論議の対象とはされず、安全率も画一的な値が用いられている。また、現場載荷試験を実施してくいの許容支持力を算定する場合であっても、支持力算定式と同じ安全率が用いられているのが現状である。しかし、上述のように異なる推定精度を持つ支持力算定式に対し同一の安全率を用いることは妥当とはいえず、それぞれの推定精度に応じた安全率を設定する必要がある。本報告は、支持力算定式または載荷試験によつて推定されたくいの支持力を解析誤差、土質定数のばらつき、測定誤差、施工誤差等の不確定要素を有する確率モデルを想定し、統計手法を用いて支持力の安全率を理論的に算定する手法を提案するものである。また、多数の載荷試験データを用いて本手法を道路橋示方書Ⅳ下部構造編の算定式に適用し若干の検討を試みた。

2. 確率モデルの想定

図-1に、(a)試験ぐいとボーリング孔 (b)実際のくい基礎とボーリング孔の平面的な位置関係を考慮したものを示す。(a)の関係を用いてくいの真の極限支持力をいくつかの確率変数により定式化し、さらにその関係を用いて(b)のモデルに應用すると、実際のくい基礎の真の極限支持力 R は次のように定式化される。

$$R = P \cdot G \cdot M \cdot \left(\frac{F'}{F}\right) \cdot \left(\frac{N}{N'}\right) \cdot C_g \cdot R_n \quad (1)$$

$$P = R_e / R_n \quad (2)$$

ここに、 G (群ぐい効果)、 M (試験ぐいの測定)、 F' (試験ぐいの施工)、 F (実ぐいの施工)、 N (実ぐいの N 値)、 N' (試験ぐいの N 値) は各々確率変数。 C_g (群ぐい効果による抵抗係数)、 R_n (支持力算定式による極限支持力)、 R_e (載荷試験による極限支持力)。

(1) 式を支配的な確率変数である P, N, N' で定式化すると

$$R \approx P \cdot \left(\frac{N}{N'}\right) \cdot R_n \quad (3)$$

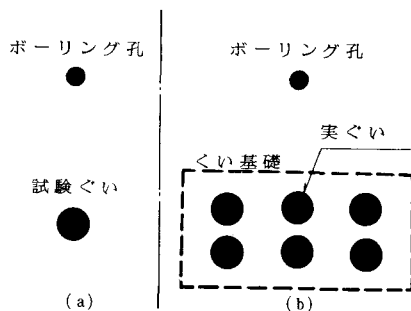


図-1 相対的位置関係

となる。(3) 式から R の平均値 R_m および変動係数 V_R を求めると

$$R_m = P_m \cdot R_n \quad (4)$$

$$V_R = \sqrt{V_P^2 + V_N^2 + V_{N'}^2} \quad (5)$$

となる。ただし(4)式において $N_m = N'_m$ を仮定した。

3. くいの支持力に対する安全率

信頼性理論によれば抵抗 (支持力) R と荷重作用力 Q_i の関係は次のように表わすことができる。

$$R_m e^{-\alpha B V_R} \approx e^{\alpha B V_Q} \sum_i (1 + \alpha \beta \delta_i) (Q_i)_m \quad (6)$$

ここに、 α : Separation Coefficient

β : Safety Index (安全性指標)

V_E : 解析に伴う誤差の変動係数

V_i : 荷重作用 Q_i の変動係数

(6)式において、 Q_i に死荷重 Q_D と活荷重 Q_L (衝撃係数無視)のみを考え、荷重抵抗係数設計法の形になおすと次式のように表わすことができる。

$$\phi R_n \geq e^{\alpha \beta V_E} \cdot \sum (1 + \alpha \beta V_i) (Q_i)_m = \gamma_0 (\gamma_D Q_D + \gamma_L Q_L) \quad (7)$$

$$\phi = P_m \cdot e^{-\alpha \beta V_R} \quad (8)$$

ここに、 ϕ : Resistant Factor (抵抗係数)

γ_0 : Analysis Factor (解析係数)

γ_D, γ_L : 死荷重、活荷重に対する Load Factor (荷重係数)

一方、許容応力度設計法では、抵抗と荷重の関係は次のように表わせる。

$$\frac{1}{\gamma} R_n \geq (Q_D + Q_L) \quad (9)$$

ここに、 γ : Safety Factor (安全率)

(8)式、(9)式より γ は次のように表わすことができる。

$$\gamma = \frac{\gamma_0 \phi (\gamma_D Q_D + \gamma_L Q_L)}{(Q_D + Q_L)} \quad (10)$$

4. 道路橋示方書算定式に関する検討

土木研究所において収集したくいの載荷試験データを用いて、3.の手法を道路橋示方書支持力算定式に適用し、安全率について検討した。ここに α は Galambos 教授²⁾が提案した値 0.55 を用い、 β は普通構造物に対する値 3 を用い、 γ_D, γ_L は米国の LRFD criteria³⁾が提案した値 1.1 および 1.4 を用いて計算した。さらに V_N, V_N' は 0~0.30 に変化させて計算した。図-2 は (8) 式を用いて計算した ϕ と V_N の関係を打込みぐい、中掘りぐいおよび場所打ちぐいについて示したものである。各ぐいを比較すると、打込みぐいの ϕ が常に一番大きく、最も信頼性のあることがわかる。図-3 は $V_N = V_N' = 0.15$ 、図-4 は $V_N = V_N' = 0.30$ における γ と Q_L/Q_D の関係を示したものである。この図より現行の道路橋示方書下部構造編くいの許容支持力で用いられている安全率 3 はほぼ妥当なものであることがわかる。

5. あとがき

4. の検討では V_N を 0.0~0.30 に変化させて安全率の算定を行なったがより正確な安全率の算定を行なうには、今後 V_N だけでなく (3) 式で無視した確率変数の統計的性質を正しく把握する必要がある。

本報告で提案した安全率の算定手法はコロンビア大学、保塚教授の御指導の下に開発したものである。同氏に対し深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1) Shinozuka, M., Shioi, Y. and Okahara, M., "Safety Evaluation for Pile Bearing Capacity in Load and Resistance Factor Design Criteria" Journal of research, Public Works Research Institute, Vol.20, 1979.
- 2) Galambos, T.V., and Ravindra, M.K., "Load and Resistance Factor Design for Steel" Journal of Str. Div. ASCE, Vol. 104, No. ST9, Sept., 1978.
- 3) "Proposed Criteria for Load and Resistance Factor Design of Steel Building Structures" Research Report 45, C.E. Dept., Washington Univ., St. Louis, 1976.

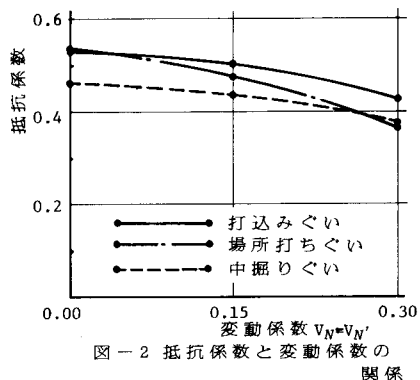


図-2 抵抗係数と変動係数の関係

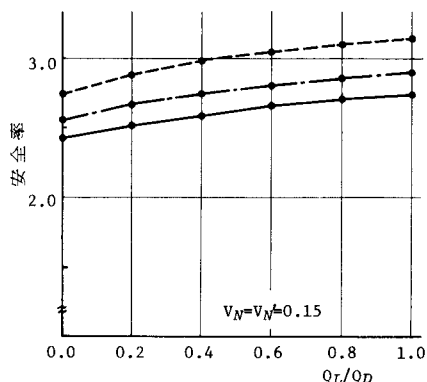


図-3 安全率と Q_L/Q_D の関係

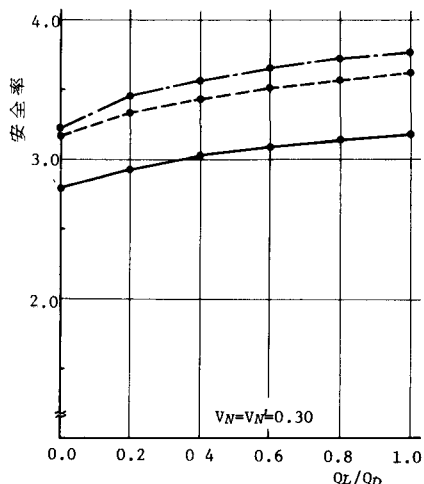


図-4 安全率と Q_L/Q_D の関係