

石川高専 正員 ○出村禧典
名古屋大学 正員 松尾 稔

1. はじめに

橋梁は、主桁などの上部構造と基礎などの下部構造からなっている。現行設計法では、一般に下部構造の変位を極力押さえる設計がなされている。ところが、軟弱地盤上に架設される橋梁にこのような設計法を適用すると、基礎の規模が非常に大きくなり、不経済な構造物になる。むしろ、下部構造の変位を若干許し、上部構造を下部構造の変位の影響も考慮して設計したほうが、構造物全体として経済的になる場合がある。本研究の目的は、下部構造の変位も設計変数の一つに加え、構造物全体として最適となる上・下部構造設計案を決定するための一体システムを構築することにある。本論文では、特に杭基礎を有する橋梁を対象にした一体システムについて述べる。

2. 一体システムの概略

2.1 最適化のため評価関数 評価関数は、次式のような信頼性設計の概念を用いて導かれる期待総費用を用いる。

$$E(C_T) = C_{GU}(G_U, \delta) + C_{GL}(G_L, \delta) + C_F(D_k)P(D_k; G_U, G_L, \delta) \quad (1)$$

ここに、 G は安全率、 C_G は建設費、 D_k は k なるモードの損傷、 $P(D_k)$ はその生起確率、 $C_F(D_k)$ は D_k なる損傷が生じたときの損失費を表す。サフィックス U は上部構造、 L は下部構造を示す。すなわち、断面決定は従来と同じく上、下部構造別々に行なうが、基礎の変位(δ)を介して上・

下部構造の設計空間を結合する。応答解析、損傷の生起確率の計算やその評価は、設計された上・下部構造を一体として行う。上・下部構造間の力学的な関連は応答解析の際に、機能的な関連は損傷を評価する際に考慮される。建設費や材料の統計的な特性の違いなどの上・下部構造間の相違点も式(1)によって定量的に評価される。

2.2 構造解析法 図-1に示されているラーメン橋脚のように、基礎はバネにモデル化される。支点沈下が発生したとき上部構造の剛性による荷重の再配分効果も考慮に入れられている。すなわち、次式に基づいて解析がなされる。

$$\{S\} = \{K\}(\{Q\} + \{T\}\{S\}) \quad (2)$$

ここに、 $\{Q\}$ は支点に作用する荷重を表すベクトル、 $\{S\}$ は支点変位を表すベクトル、 $\{T\}$ は各支点変位 $\{S\}$ と支点変位の発生に伴い支点に生じる反力とを関係付けるマトリックス、 $\{K\}$ はバネの剛性を表すマトリックスである。ところで式(2)に従って応答計算を行なう場合、基礎の荷重-変位関係からバネ係数を算定する必要がある。本研究では、地盤反力に線形関係を仮定し(図-2参照)、基礎の荷重-変位関係を計算する。ところが、地盤は一般に非線形挙動を示すので、このことを考慮するために

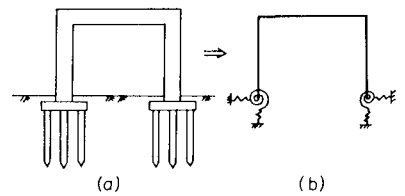


図-1 解析モデル

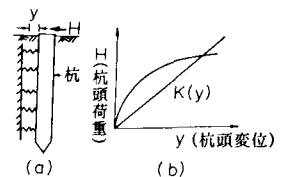


図-2 杭の荷重変位関係

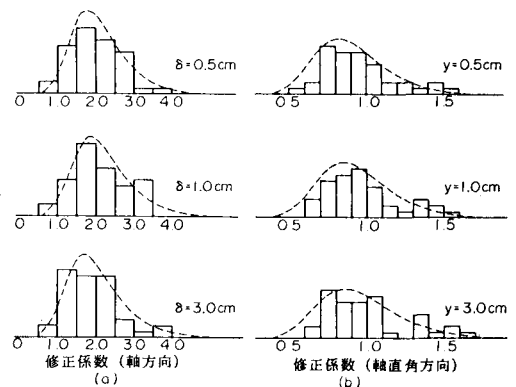


図-3 修正係数の頻度グラフ

表-1 修正係数の平均値、変動係数

杭頭変位 (cm)	軸方向		軸直角方向	
	平均値	変動係数	平均値	変動係数
0.5	1.981	0.337	0.955	0.244
1.0	2.083	0.341	0.982	0.240
1.5	2.109	0.322	0.984	0.246
2.0	2.122	0.323	0.995	0.257
2.5	1.994	0.350	1.002	0.257
3.0	1.904	0.372	1.005	0.267
3.5	1.801	0.371	1.003	0.270
4.0	1.776	0.377	1.003	0.278
4.5	1.788	0.392	1.003	0.284
5.0	1.750	0.394	1.003	0.301

次式のように杭頭変位（ y ）によって地盤反力係数（ k ）を変化させる。

$$k(y) = k_0 y^{-1/2} \quad (3)$$

ここに、 k_0 は $y = 1 \text{ cm}$ のときの地盤反力係数である。したがって、構造解析においては、まず杭頭変位 y を仮定して構造解析を実施し、求められた杭頭変位が、はじめに仮定された変位と一致するまで繰り返すという操作が必要になる。

2.3 基礎の荷重－変位関係 バネ係数の正確な値の推定は難しい。そこで、本研究では、まず現行の設計手続き、またはそれに準じる手続きを用いてバネ係数を予測し、これを修正して実際構造物に適用する。すなわち、次式による。

$$K_e = N \cdot K_c \quad (4)$$

ここに、 K_c は予測されたバネ係数、 K_e は実際の基礎の杭のバネ係数で、 N は K_c を実際の地盤に適用するための修正係数である。本研究では、この修正係数を杭の載荷試験データから求める。すなわち、試験杭に対して地盤の N 値から K_e を計

算し、それと試験結果から求められた K_e との違いから修正係数 N を算定する。なお、本研究では比較的小規模な橋梁を対象とした上・下部構造一体システムの開発を目的としているが、このような橋梁においては土質調査としては一般に N 値のみの測定が行なわれることが多いので、 N 値を与件とした算定手順を考える。図－3に得られた修正係数の分布を、表－1に各分布の平均、変動係数を、それぞれ変位別に示す。なお軸直角方向の場合は、バネ係数の3乗根に相当する特性値に対する修正係数をとっている。

いずれの分布も対数正規分布に近似でき、各分布の平均値、標準偏差の値も変位によって大きく異ならない。これらの結果から、生起確率の計算においては、修正係数の分布は変位によって変らないものとする。

2.4 生起確率の計算法 損傷の生起確率は、上部構造の抵抗強度や作用荷重、地盤反力係数を確率変数として、モンテカルロシミュレーション法を用いて計算する。いずれの方法を用いるにしても、応答解析後の結果によって確率分布が変化するようでは生起確率を計算できない。ところが、幸いにも修正係数の分布が変位に左右されないという結論が得られたので、生起確率の計算が可能になった。

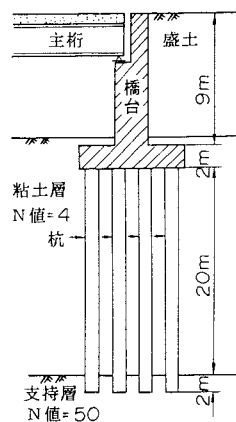
3. 計算結果

計算モデルを図－4に、考慮に入れた上・下部構造の損傷モードを表－2に示す。 s は橋台上部の許容変位量を表わす。図－5に結果を示す。縦軸は費用を、横軸は基礎の水平方向の安全率 G_L を表わし、各曲線は期待総費用 $E(C_T)$ と各損傷モードに対する期待損失費を表わしている。各曲線に付された記号は、表－2中の記号に対応している。結果を見ると、最適な基礎の安全率は1.25程度の値となっている。詳細は講演時に述べる。

4. むすび

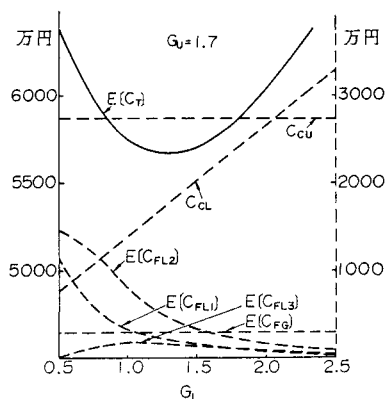
本システムを用いると、地盤の非線形挙動も考慮したうえで、一体としての応答の生起確率の計算ができ、変形状態を考慮に入れた基礎の安全性の検討が可能になる。今後、載荷試験データの整理法、各種費用の算定に用いたデータなどにさらに吟味を加え、計算精度の向上を図るとともに、極限支持力に対する安全性の検討も可能なようにシステムを改良したい。なお、研究の遂行に当たり、石川高専音勇一君をはじめ、卒研生に多大なる援助を受けました。

参考文献 1) Padilla, : Settlement of Structures on Shallow Foundations, MIT, R74-9. 2) 松尾, 鈴木, 金: 荷重～沈下量曲線と残留沈下量曲線を用いた杭の極限支持力推定法の提案, 第22回土質工学会。



表－2 損傷モード（表中の $E(\quad)$ は損傷発生に伴う期待損失費を示す記号である）

基礎	大なる変形 ($y \geq 5.0 \text{ cm}$)	基礎の大幅な補修 $E(C_{FL1})$
	中程度の変形中 ($5.0 \geq s \geq 2.0$)	伸縮継手付近の補修 $E(C_{FL2})$
	小なる変形 ($2.0 \geq s \geq 1.0$)	主桁に付加応力が発生 $E(C_{FL3})$
	極めて小なる変形 ($1.0 \text{ cm} \geq s$)	影響なし
主桁	降伏強度以上の応力の発生	主桁の補修 $E(C_{FG})$



図－5 基礎の安全率と各費用との関係