

○石川高専 正会員 出村禎典
名古屋大学 正会員 松尾 稔

1. まえがき 本研究では、軟弱地盤上に架設される橋梁の上・下部構造を一体とした最適設計案や最適安全率の決定法について検討を進めてきた。対象としている下部構造の破壊モードは、橋台の側方流動と、圧密沈下に伴って杭にネガティブフリクションが発生することに起因する不同沈下の2つである。側方流動は短期的な現象であり、圧密沈下は長期的な現象であるから、本研究では、2つの現象を別々にして上・下部構造一体システムの中に組み込んでいる(図-1参照)。図-1の左の流れである側方流動を対象とした最適決定についてはすでに公表したので¹⁾、ここでは、右の流れである圧密沈下を対象とした最適決定と、その両方を同時に考慮する場合の最適化計算法に重点をおき説明する。なお、図中のサフィックスU, Lはそれぞれ上部構造、下部構造に関する量であり、f, cはそれぞれ側方流動、圧密沈下に関する量であることを示している。

2. 不同沈下の予測法 上・下部構造を一体とした設計では、基礎の不同沈下の正確な予測が必要となる。本研究では次のような予測法を用いる。杭基礎を例に説明する。不同沈下を次式のような傾斜角で定義する。

$$\beta = (\delta_B - \delta_A) / l \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 δ_A , δ_B は左右の橋脚または橋台の沈下量で、 l はスパン長である。まず上部構造からの荷重やネガティブフリクションを計算し、これらの荷重と杭を単杭として求めた載荷試験データから基礎の沈下量を計算する。そして、式(1)を用いて不同沈下を計算し、これを仮不同沈下 β_0 と称する。ところが実際の構造物の基礎は単杭ではないので、構造物の不同沈下 β と β_0 は異なる。そこで β と β_0 の関係を次式のように設定する。 H は、 β_0 と β を関係づけるの

$$\beta = H\beta_0 \quad \text{----- (2)}$$

に必要な付加的な要素をまとめて表わしたものである。ところで、 β_0 の算定には多くの不確実要素が存在し、 H も不確実要素としての性格が強いので、本研究では確率量として取り扱う。したがって β も確率量となり、不同沈下を確率的に予測することになる。ところで、 β_0 の確率分布を同定するのに必要な統計データは得られているが、 H に関するデータは得られていないので、 H のパラメータ θ_H を未知とし、実際に不同沈下が生じた構造物の実測値からベイズの方法を用いて推定する。推定に用いた沈下事例は、東京都の荒川に架設された橋梁群で、地下水汲み上げにより沈下した事例ではあるが²⁾、沈下量の中から広域的な沈下量を除いて推定に利用した(図-2に沈下事例の一例を示す²⁾)。解析した結果を図-3, 4に示す。図-3は、 β_0 の平均値 μ_{β_0} と実測値 β' の関係を示しており、 β_0 と β' の間にはかなりの相関があることが分かる。また図-4は、 H の平均値 μ_H の事前分布と事後分布の関係を表わしている。これらの結果から、 β 。

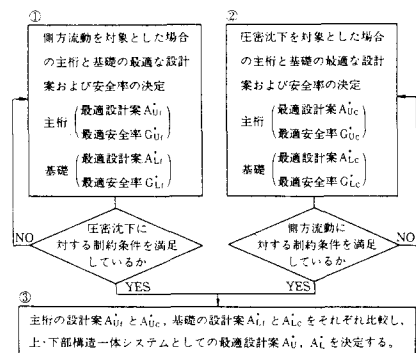


図-1 上・下部一体設計法による最適設計案の決定システム

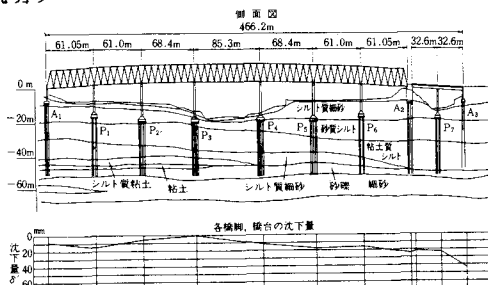


図-2 木根橋の不同沈下量および沈下性状²⁾

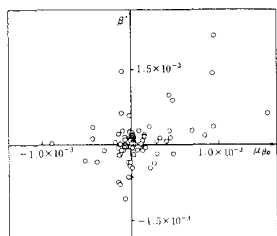


図-3 仮不同沈下の平均値 μ_{β_0} と実測値 β' との相関

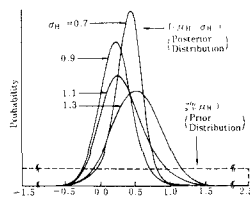


図-4 μ_H の事前分布と事後分布の関係

よりも実際の構造物の不同沈下の方が小さく表われていることが分かる。これは、 β_0 の算定に比べ、実際の構造物では荷重の再配分、フーチングの荷重分担作用などがあり、 μ_{β_0} の計算には橋脚橋台間の土質係数は無相関であるとしているが実際には相関がある、などによるものと考えられる。

3. 期待総費用 圧密沈下を対象とした最適安全率決定に用いた期待総費用E〔 C_T 〕は次式で表わされる。Gは

$$E(C_T) = C_{Cu}(G_{uc}) + C_{CL}(G_{lc}) + P(D_B; G_{lf}) \{ C_{FM}P(D_M; G_{lc}) + C_{FG} \{ P(D_M; G_{lc})P(D_G; G_{uc}|D_B) + P(D_S; G_{lc})P(D_G; G_{uc}|D_B, D_S) \} + P(D_G; G_{lc}) \{ C_{FM}P(D_M; G_{lc}) + C_{FG} \{ P(D_M; G_{lc})P(D_G; G_{uc}) + P(D_S; G_{lc})P(D_G; G_{uc}|D_S) \} \} \} \quad (3)$$

安全率、 C_c は建設費、 $P()$ は各種のダメージ(表-1参照)の生起確率を示す。生起確率の計算には、図-4の θ_H の分布を用いる。

4. 最適安全率決定システムと計算結果 前述のように本研究では、側方流動を対象とした最適決定と、圧密沈下を対象とした最適決定を別々に実施することとしている。しかし、それぞれの決定に用いる期待損失費の計算には、他の決定に用いられた設計・施工条件や他の決定で求められた最適安全率に伴うダメージの生起確率と同じ条件や生起確率を用いる必要があり、それらの値は両決定間で異なっているのは不合理である。このため、本研究では図-5に示されているような反復法を用いる。まず、圧密沈下を対象とした安全率を仮定し、側方流動を対象とした最適安全率を求める。次に、その最適安全率を用いて圧密沈下を対象とした最適安全率を計算する。求めた最適安全率値と仮定した値が一致するまで繰り返す。この決定法を、図-6のような構造モデルに適用したときの最適安全率を表-2に示す。なお

表中の W_{uf} 、 W_{lf} 、 W_{uc} 、 W_{lc} は図-6のモデルに対して算定された建設費に乘じた係数である。これらの計算における反復回数は2回程度で、十分実用に耐えられるものと判断される。結果について若干の考察を加えると、No. 2はNo. 1に比べ圧密沈下に対する下部構造の建設費が増えた場合で、建設費の増加に伴って下部構造の圧密沈下に対する安全率の最適値がNo. 1に比べて小さくなり、そのために主桁への付加応力が増加し、主桁の最適安全率は大きくなっている。そして側方流動を対象とした場合の上部構造の安全率もあわせて増加している。No. 3は下部構造の建設費が減少した場合で、No. 2とは逆の傾向を示している。No. 4~No. 9も同様に説明できる。No. 10は軟弱厚層が薄い場合の結果である。

5. むすび 本計算結果では、全体的にみて上部構造の最適安全率は1.7~1.8程度に、下部構造の安全率は1.0~1.3程度になっている。なお、本研究の遂行にあたり多大なご協力を頂きました東京都建設局、金沢大学小堀為雄博士、東京エンジニアリング青木重雄氏に深く感謝致します。

参考文献 1) 松尾 稔, 出村 禧典: 上・下部構造一体システムの最適化に関する研究, 土木学会論文集, 第352号, 1984年12月。 2) 東京都第5建設事務所: 長大橋沈下状況資料調査および分析報告書, 1975年3月。

表-1 ダメージの種類と損失費

ダメージの種類	ダメージ発生による損失費
主桁の変形 D_G : 主桁が大きく変形し、降伏や座屈などの現象が発生	C_F : 主桁の再建費と破壊に伴う社会的損失費
橋台の側方移動 D_A : 施工時に橋台の形式の変更を行なうか、あるいは継手、台などの補修を行なう程度の移動が発生 D_B : 伸縮継手が密着する程度の移動が発生 D_C : 工学的に問題ない程度の移動が発生	C_{FA} : 橋台の再建費とやり直しに伴う費用 C_{FB} : 伸縮継手の密着に伴ない主桁に温度応力が発生
基礎の沈下 D_M : 主桁のかさ上げなどの補修が必要な程度の沈下が発生 D_S : 補修を要しない程度の沈下が発生	C_{FM} : かさ上げなどの補修費 主桁に不同沈下による付加応力が発生

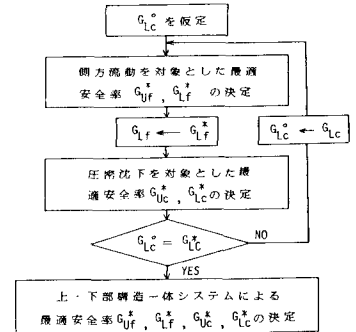


図-5 最適安全率の決定の順序

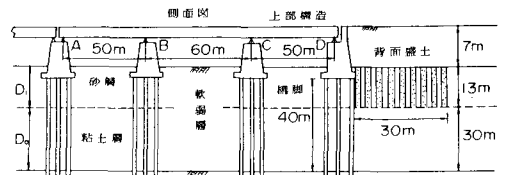


図-6 計算を用いた構造モデル

表-2 最適安全率

No	Do	W_{uf}	W_{lf}	W_{uc}	W_{lc}	G_{uf}^*	G_{lf}^*	G_{uc}^*	G_{lc}^*
1	30m	1.0	1.0	1.0	1.0	1.742	1.392	1.792	1.181
2	30m	1.0	1.0	1.0	1.25	1.752	1.395	1.802	1.095
3	30m	1.0	1.0	1.0	0.75	1.717	1.399	1.765	1.600
4	30m	1.0	1.0	1.2	1.0	1.730	1.389	1.761	1.376
5	30m	1.0	1.0	0.8	1.0	1.742	1.392	1.819	1.181
6	30m	1.0	1.1	1.0	1.0	1.742	1.377	1.792	1.181
7	30m	1.0	0.9	1.0	1.0	1.742	1.408	1.792	1.181
8	30m	1.1	1.0	1.0	1.0	1.730	1.392	1.792	1.181
9	30m	0.9	1.0	1.0	1.0	1.755	1.392	1.792	1.181
10	20m	1.0	1.0	1.0	1.0	1.763	1.398	1.814	1.000