

1. まえがき 橋梁は各種の部材より構成されているが、おのおのの部材は、部材相互や構造物全体との機能的・構造的関連性も考慮して設計されなければならない。現行の許容応力度設計法では、部材や破壊モード、作用荷重毎に安全率が設定され、各部材毎の安全性が満たされれば構造物全体の安全性も満足されているとしている。

しかし現行の設計法には次のような問題点がある。

- (1) 各安全率の値は主観的・経験的に決定され、関連性や荷重や強度の特性の違い、設計式の精度、破壊が生じたときの影響度の違いなどが定量的に評価されていない。
- (2) 各部材の安全率の配分の設定の理念、構造物全体の安全性との対応が不明確である。
- (3) 使用実態の調査によれば、破壊事例の多い部分と少ない部分があり安全性のアンバランスがみられる(表-1参照)。

本研究はこのような安全率の適合性の問題に注目し、具体的に軟弱地盤上の鋼道路橋の主桁と基礎の間の適合性を例にとり、それぞれの使用実態をフィードバックした形で安全率の決定と信頼性理論の立場より検討する。今回は、その中でも特に橋台の側方移動に対する安全率の上部構造との関連性を考慮した最適決定を中心に発表する。

2. 側方流動による橋台移動の判定基準 橋台が背面盛土の偏載荷重により側方に移動し、支水の破壊や伸縮継手の密着などの損傷事例が多く発生している。側方流動の定量的な把握は難しく、各機関では損傷事例を収集しそこから支配的な要因を抽出し、その要因の組み合わせによる判定指標やその基準を提案している(表-2参照)。日本道路公団は、損傷事例をA、B、Cにランク分けしA:施工時に橋台形式の変更、支承・継手の補修、B:伸縮継手の密着、C:移動が生じないか機能的に問題がない)、各ランクと橋台形式や盛土高さ、杭列数、フレロードの有無、軟弱地盤厚の厚さ、R値などの要因間を数量化II類により解析し、影響の大きい要因を組み合わせている。建設省では、地盤支持力に対する安定係数をベースに、盛土高さ、軟弱地盤厚などの地盤条件の他に、基礎の根入れ深さ、杭列数などの構造条件も加えている。また首都高速道路公団では、円弧オベリ法による安全率と計算圧密沈下量の2つの指標に基準を設けている。

表-1 橋梁構造物の安全性評価項目

構造部分	破壊の種類	荷重作用の種類	発生事例	影響度	安全率
上部構造の主桁	延性屈服破壊	主荷重		大	1.7
	過度な変位	主荷重、その他	少数	大	1.7
	過度な振動、脆性破壊など	活荷重	少数	中	9割制限
		腐食、衝撃力	多数	中	
下部構造の橋台基礎	延性屈服破壊	地盤圧、活荷重、土圧	少数	大	2.0
	支持点側移動	地盤圧、土圧、地震力	多数	大	3.0
		地盤圧、活荷重、土圧、その他	多数	大	2.0
	過度な変位	地盤圧、活荷重、土圧、その他	少数	中	許容変位
	杭の側方移動	地盤圧、活荷重、土圧、その他	少数	中	1.7(制限) 3.0(27%+)
	側方移動	偏載荷重	多数	中	

表-2 各機関の判定基準

日本道路公団
指標 $F = \frac{C}{r \cdot h} \cdot \frac{1}{D}$
判定基準 $F > 4.0$ 無対策 $F \leq 4.0$ フレロード工法、その他対策工
建設省
指標 $I = M_1 \times M_2 \times M_3 \times \frac{r \cdot h}{C}$
$M_1 (= \frac{D}{r})$: 軟弱地盤に因する補正係数
$M_2 (= \frac{b}{D})$: 基礎体抵抗に因する補正係数
$M_3 (= \frac{D}{A})$: 軟弱地盤厚と橋台間の補正係数
判定基準 $I \geq 1.5$ 無対策 $I < 1.5$ 対策工検討の必要あり
首都高速道路公団
指標 $F_c = \left\{ \begin{array}{l} \text{円弧オベリ法抵抗比} F_c \\ \text{軟弱地盤粘土層の計算圧密沈下量} \delta_s \end{array} \right.$
判定基準 $F_c \geq 1.6$ 無対策 $\delta_s \leq 1.0$
上記以外対策工検討の必要あり
C/(r・h): 安定係数, D: 軟弱地盤厚, r: 杭長 b: 基礎体幅, D: 橋台幅, A: 橋台長

本研究では、側方流動に対する安全性は円弧すべり法による安全率 $F_{s,min}$ によって相似的に表現できると考え、以下のような点に留意し、各ランク（日本道路公団と同様）の $F_{s,min}$ の分布を解析した。

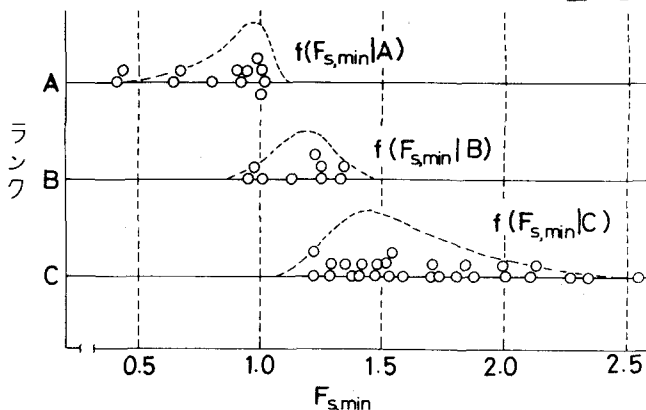


図-1 $F_{s,min}$ のランク別分布

(1) フロートが施工されている橋台は、その期間に応じた圧密を考慮に入れ、強度増加率 $m=0.3$ として解析する。

(2) S.C.P.が施工されている地盤は、複合地盤として砂杭の強度も考慮し、応力分担比 $n=3.0$ 、砂杭の内部摩擦角 $\phi=30^\circ$ として解析した。

(3) 側方流動によって生じる損傷は橋台施工中または竣工直後に生じるものとし、長期経過後の損傷事例は解析から省いた。

(4) 円弧すべりの安全率 $F_{s,min}$ の計算は、理地盤に即したモデルによる。

解析結果を図-1に示す。 $F_{s,min}$ による損傷のランク分けは他の機関によっても行なわれたが明確に分離されない。本研究では、S.C.P.が施工されている地盤は砂杭の強度も含め、またフロートが施工された場合は圧密も考慮しているために明確な分離が可能になったと考えられる。

3. 最適決定システム 側方移動に対する橋台の安全率 $F_{s,min}$ は、上部構造との構造的・機能的関連性を考慮しなければならぬ。そこで図-2のような決定システムを考え次のような損失を考慮する。Aランクの損傷は主に施工中に生じており、施工中の場合は補強のための工事のやり直しに伴う費用と工期遅れに伴う損失費を見込む。Bランクの損傷は主に使用開始後であり、メンテナンスの必要のある場合補修費とその間の交通遮断に伴う損失費を考える。またメンテナンスを行わない場合は、温度応力による桁の破壊確率増加に伴う損失費を考える。

なお、損失関数は次式のように表わせる。

$$EC_T(F_{s,min}) = C_I(F_{s,min}) + C_{F,A} \cdot P(A|F_{s,min}) + C_{F,B} \cdot P(B|F_{s,min}) + C_{F,C} \cdot P(C|F_{s,min}) \dots (1)$$

$$P(A|F_{s,min}) = \frac{P(F_{s,min}|A)}{P(F_{s,min}|A) + P(F_{s,min}|B) + P(F_{s,min}|C)} \dots (2)$$

C_I は建設費、 $C_{F,A}$ 、 $C_{F,B}$ 、 $C_{F,C}$ は各ランクに対する損失費。

4. おまけ 詳細は当日発表する。

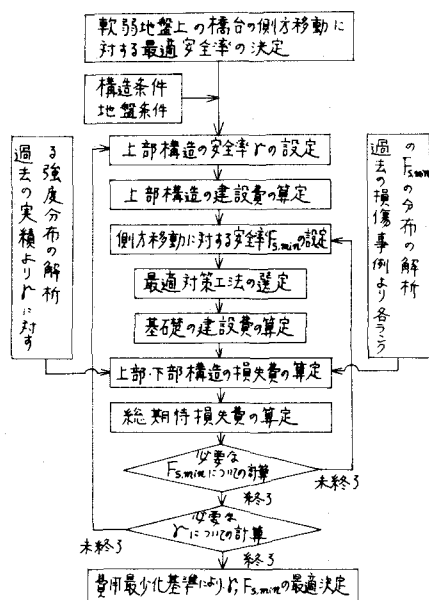


図-2 安全率の最適決定システム

【参考文献】 1) 高速度道路調査会、"軟弱地盤上の橋台基礎に関する調査研究報告書"、2) 建設省土木研究所、"橋台の側方移動に関する研究"、3) 道都高速度道路協会、"軟弱地盤における構造物設計法に関する調査研究"、4) Minoru Matsuo and Hisashi Suzuki: "Study on Reliability-based Design of Design of Improvement of clay Layer Sand Compaction Piles," "Sand F. (to appear)".