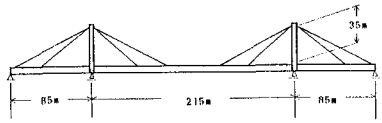


斜張橋の信頼性解析に関する研究

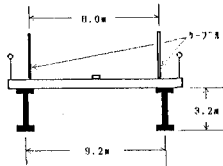
鳥取大学工学部 正会員 白木 渡 鳥取大学大学院 学生会員 ○恒国光義
鳥取大学工学部 正会員 松保重之 アイサワ工業 (株) 正会員 藤井健司

1. まえがき

斜張橋の上部構造(以下、斜張橋)は、3つの主要構造要素、すなわち、主げた、ケーブル、塔より構成され、これらの各構造要素は互いに異なる限界状態を有している。したがって、斜張橋の限界状態設計においては、各構造要素の信頼性をどのような方法で評価するか、さらには、それらに対してどの程度の信頼性を設定しておくべきかが重要な問題となってくる。こうした問題を取り扱うためには、体系的なシステム信頼性評価法の確立が必要であると考えられる。本研究では、図-1に示される2車線(片側1車線)を有する斜張橋モデルの、鉛直活荷重に対する信頼性解析を、効率化モンテカルロシミュレーション手法を用いて行い、その結果に基づき、斜張橋にかかる総費用の最小化を考えることにより、各構造要素に対して設定しておくべき信頼性のバランスについて検討する。



(a) 3径間連続斜張橋



(b) 主げた横断面図

(c) 設計条件

主げた	ケーブル	活荷重
$I = 0.2024 \text{ m}^4$ $A = 0.1480 \text{ m}^2$ $E = 2.1 \times 10^5 \text{ tonf/m}^2$	断面積 (a) $C_1 = 0.01430$ $C_2 = 0.00874$ $C_3 = 0.00794$ $C_4 = 0.01240$ $E_c = 1.6 \times 10^5 \text{ tonf/m}^2$	中央径間 $P = 16.64 \text{ tonf/m}$ 側径間 $P = 1.12 \text{ tonf/m}$ $P_s = 37.6 \text{ tonf}$

図-1 斜張橋モデル

2. 構造要素の信頼性評価

2-1 限界状態の定式化

主げたの使用限界状態、及び各構造要素の終局限界状態を、それぞれ次のように定式化する。

① 使用限界状態

主げた : $D_d - D < 0$ (2-1)

② 終局限界状態

主げた : $M^+_d - M^+ < 0 \text{ or } M^-_d - M^- < 0$ (2-2)

ケーブル : $T_d - T < 0$ (2-3)

塔 : $A_d - A < 0$ (2-4)

ここに、 D は中央径間中央における主げたの鉛直たわみ、 M^+ は中央径間中央において主げたに発生する正のモーメント、 M^- は塔の位置において主げたに発生する負のモーメントの絶対値、 T は側径間最上段ケーブルの引張張力、 A は塔に発生する軸圧縮力を表わす。また、 $D_d = L/400$ (L :中央径間長 (m)) であり、添字 d は、現行の設計基準¹⁾に基づく設計値(衝撃を含む)に1.7の安全率をかけた値であることを意味する。

2-2 効率化モンテカルロシミュレーション

2-1の定式化において、 D 、 M^+ 、 M^- 、 T 、 A は、鉛直活荷重に対する耐用期間50年における最大応答値である。本研究では、これらの確率特性値を効率化モンテカルロシミュレーション手法により評価する。シミュレーションは、それぞれの応答値の影響線関数の絶対値の最大の点に着目して行われる。シミュレーションにおいて用いられる走行モードは、解析する側の車線に対しては日中に発生する突発渋滞、その反対側の車線に対しては、車間距離が、期待値20m、標準偏差10mの対数正規分布でモデル化される通常

表-1 車重のモデル化

車種分類	分布形	特性値		上乗率 (tonf)	下乗率 (tonf)	混入率 (%)	
		平均 (tonf)	標準偏差 (tonf)			通常走行	突発渋滞
乗用車類	LOG	1.37	0.37	3.2	0.5	62.55	31.28
中型車類	LOG	4.97	2.99	20.0	0.9	17.45	8.72
大型車類 2軸 空車	NOR	7.64	2.13	14.0	3.5		
〃 〃 積載車	LOG	14.18	2.61	20.0	7.6		
〃 〃 通車積載車	EXP	22.20	2.20	40.0	20.0		
〃 〃 大型2軸 空車	NOR	11.51	2.11	17.8	5.8	17.14	51.42
〃 〃 積載車	LOG	20.30	3.37	30.0	11.5		
〃 〃 通車積載車	EXP	32.29	2.29	57.0	30.0		
トレーラ類 空車	NOR	13.67	2.97	22.6	5.2		
〃 〃 積載車	LOG	25.60	0.67	80.0	13.7	2.86	8.58

注) NOR: 正規分布 LOG: 対数正規分布 EXP: 指数分布

表-2 車長の確率特性値

車種別	平均 (m)	分散 (m ²)	最大値 (m)	最小値 (m)
乗用車	4.0			
中型車類	6.45	2.72	12.5	3.5
大型車類	10.63	2.59	15.0	5.0
トレーラ	14.12	4.63	20.0	8.0

走行を考える。また、車重および車長については、文献2)により、表-1,2のようにモデル化する。

3. 構造要素の信頼性の設定

ここでは、斜張橋にかかる費用を最小にするという観点から、各構造要素に対して設定しておくべき信頼性レベルを検討する。斜張橋にかかる総費用 C_T は次式で表わされるとする³⁾。

$$\begin{aligned} C_T &= (C_{I,G} + P_{f,G} \cdot C_{F,G}) + (C_{I,C} + P_{f,C} \cdot C_{F,C}) + (C_{I,T} + P_{f,T} \cdot C_{F,T}) \\ &= (C_{I,G} + C_{I,C} + C_{I,T}) + (P_{f,G} \cdot C_{F,G} + P_{f,C} \cdot C_{F,C} + P_{f,T} \cdot C_{F,T}) \\ &= (C_{I,G} + C_{I,C} + C_{I,T}) + C_{F,G} \cdot (P_{f,G} + \alpha P_{f,C} + \beta P_{f,T}), \quad (\alpha = C_{F,C}/C_{F,G}, \quad \beta = C_{F,T}/C_{F,G}) \quad (3-1) \end{aligned}$$

ここに、添字G,C,Tは、それぞれ主げた、ケーブル、塔を意味し、 C_I, C_F は、それぞれ斜張橋の初期建設費用(維持管理費を含む)、構造要素が限界状態に達した時の損失費用を表わし、 P_f は、構造要素が限界状態に達する確率、すなわち、破壊確率を表わす。本研究では、斜張橋システムの初期建設費用($C_{I,G} + C_{I,C} + C_{I,T}$)、及び主げたの損失費用 $C_{F,G}$ をそれぞれ一定とし、 C_T の最小化を行う。つまり、次式で表わされる斜張橋システムの破壊確率 $P_{f,s}$ の最小化を考えることになる。

$$P_{f,s} = P_{f,G} + \alpha P_{f,C} + \beta P_{f,T} \quad (3-2)$$

4. 数値計算及び考察

効率化シミュレーションにより得られた結果を表-3に示す。これらの結果を基に、2-1において定式化された各限界状態に対する破壊確率の算定を行う。本研究では、破壊確率の算定にはI F M法⁴⁾を用いる。その結果、主げたの使用限界状態に対する破壊確率は 0.8198×10^{-4} と算定された。表-4に、各構造要素の終局限界状態に対する破壊確率の算定結果を示す。この結果より、どの終局限界状態についてもオーダー的にほぼ等しい信頼性を有していることが確認できる。

次に、式(3-2)の最小化を行い、各構造要素に設定しておくべき信頼性レベルを検討する。式(3-2)において、 α, β の値としてそれぞれ2,10を採用した。これは、ケーブル、さらには塔の破壊は、主げたと比較して、修復が困難であり、また、斜張橋システム全体の破壊に至る可能性が大きいと考えられるためである。また、 $P_{f,G}$ の値として、使用限界状態に対する破壊確率、及び斜張橋システムの終局限界状態に対して最も支配的である正のモーメントに対する破壊確率を用いた。その結果を図-2に示す。それぞれの $P_{f,G}$ の値について、 $P_{f,s}$ が最小となる等確率面($P_{f,s,min}$)が示してある。この結果、及び先の結果より、今回用いた斜張橋モデルではケーブル、塔に対しては、主げたに比べて更に大きい信頼性を設定しておくか、主げたの信頼性を今よりも下げることが望ましいと考えられる。しかしながらこの結果は、 α, β の値の評価により異なるものになることを考慮する必要がある。

【参考文献】

- 1) 本州四国連絡橋公団：上部構造設計基準・同解説、1980年6月。
- 2) 阪神高速道路公団 設計荷重(HDL)委員会報告書：阪神高速道路の設計荷重に関する調査研究、阪神高速道路公団 (財)阪神高速道路管理技術センター、1986年12月。
- 3) 藤野、杉山：長大吊橋における安全率の配分に関する研究、構造工学論文集、Vol.33A、1987年3月。
- 4) Bucher, C.G.: Adaptive Sampling-An Iterative Fast Monte-Carlo Procedure, Structural Safety, Vol.5, pp.119-126, 1988.

表-3

	平均値	標準偏差
D (m)	0.3932	0.02098
M ⁺ (tonfm)	1126.0	57.59
M ⁻ (tonfm)	831.1	45.59
T (tonf)	182.5	11.36
A (tonf)	229.3	12.07

表-4

破壊確率	主げた(M ⁺)	主げた(M ⁻)	ケーブル(T)	塔(A)
	0.2441×10^{-4}	0.1055×10^{-4}	0.6816×10^{-4}	0.6106×10^{-4}

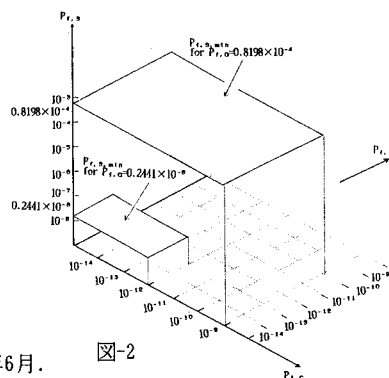


図-2