

I-357 効率化シミュレーションによる斜張橋の信頼性解析

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、これら全ての構造要素の信頼性をいかに体系的に評価するかが重要になるものと考えられる。本研究では、各構造要素の限界状態に対する信頼性を評価するために、各要素の活荷重に対する最大応答値の確率特性を、影響線関数を利用した効率化モンテカルロ・シミュレーション手法により求めることを考える。解析の対象として、図-1に示す2車線（片側1車線）を有するモデルを用いる。そして、橋軸直角方向の不規則性を考慮した走行モードについて鉛直活荷重をモデル化し、そのモデル化された活荷重に対する各構造要素の信頼性解析を行う。

2. 限界状態の定式化

本研究では、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、それぞれ式(2.1)～(2.4)のように定式化する。ここに、 D 、 M^+ 、 M^- 、 T 、 A は、鉛直活荷重に対する① 使用限界状態
耐用期間50年における最大応答値であり、 D は中央径間主げた： $D_d - D < 0$ (2.1)
中央における主げたの鉛直たわみ、 M^+ は中央径間中央② 終局限界状態
において主げたに発生する正の曲げモーメント、 M^- は主げた： $M_d^+ - M^+ < 0$ or $M_d^- - M^- < 0$ (2.2)
塔の位置において主げたに発生する負の曲げモーメント ケーブル： $T_d - T < 0$ (2.3)
塔： $A_d - A < 0$ (2.4)
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。

3. 効率化モンテカルロシミュレーション

本研究では、上の定式化における D 、 M^+ 、 M^- 、 T 、 A の確率特性をそれぞれの応答値の影響線関数を用いて、効率化モンテカルロ・シミュレーション手法¹⁾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。

3-1 走行モードの設定：はじめに、シミュレーションにおいて考慮される、道路橋上の自動車荷重の走行モードについて述べる。本研究では比較的長いスパンの斜張橋形式の道路橋を対象としているため、各最大応答値は渋滞によって引き起こされる可能性が高いと考えられる。したがって、走行モードとしては、解析する側の車線に対しては日中および夜間に発生する突発渋滞を考え、その反対側の車線に対しては日中・夜間における通常走行を考える。

3-2 シミュレーション・パラメータのモデル化：次に、効率化シミュレーションにおいて用いられる自動車荷重列をモデル化するための、シミュレーション・パラメータについて述べる。本研究では道路橋上の活荷重の不規則要因、すなわち、シミュレーション・パラメータとして、車種、車重、車長および車間距離を考える。このうち、各車種に対する車重および車長の確率特性値については、文献2)、3)により、それぞれ表-1お

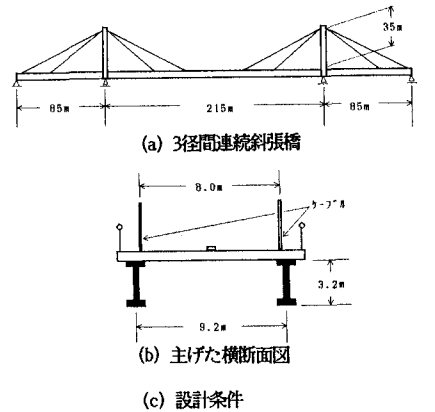


図-1 斜張橋モデル

よび表-2に示すようにモデル化する。また、通常走行の車間距離についても、文献1)により期待値20m、標準偏差10mの対数正規分布と仮定される確率量としてモデル化する。衝撃係数についても同様に、期待値0.2、標準偏差0.1の、負の部分を無視した正規分布でモデル化する。

3-3 最大応答値の確率特性の評価：最後に、耐用期間内での活荷重応答の時間的な不規則変動を考慮した各構造要素の信頼性をべき乗則により評価する方法について述べる。本研究では、各最大応答値はそれぞれ極値Ⅰ型分布に従う不規則過程であると考えられる。以下に、これらの最大応答値のうちの主げたの正の曲げモーメントの最大値(M^+)を例にとり説明する。

N 個の独立な不規則変数 $X_1, X_2, \dots, X_N$ が同一の分布関数 $F_X(m)$ に従うならば、それらの N 個の確率変数のうちの最大値 $X_{\max}$ が X_0 以下である確率は、式(3.1)で与えられる。 $P[X_{\max} \leq X_0] = \prod_{i=1}^N P[X_i \leq X_0] = F_X^N(X_0)$ (3.1)

いま、3-1で定めた走行モードで仮定するシミュレーションの期間内に発生する M^+ の分布関数を $F_N(m)$ とする。また、それぞれのシミュレーション期間における M^+ が独立とすれば、この走行モードで N 期間内に発生する M^+ の分布関数 $F_{\max}(m)$ は、式(3.2)のように表わすことができる。これより、式(2.2)における M_d^+ に対する信頼度 R^* および破壊確率 Q^* はそれぞれ式(3.3)、式(3.4)で表わされる。ここで、 M^+ は極値Ⅰ型分布に従うものとしているので、その分布関数 $F_N(m)$ において α, m_0 を極値Ⅰ型分布のパラメータとして $s = \alpha(m - m_0)$ とする標準化変量を考えれば、式(3.5)のような関係が成り立つので、式(3.2)はこの式を代入することによって式(3.6)のように表わすことができる。すなわち、 N 期間のべき乗によってパラメータ s が $\ln N$ だけシフトすることになる。

本研究では、まず5年のシミュレーション期間でシミュレーションを行い、その結果を $N=50$ 年にシフトさせる。

4. 数値計算および考察

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。これらの結果をもとに、2章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った。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。また、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はほぼ等しい信頼性を有していることが確認できる。

表-1 車重のモデル化

車種分類	分布形	特性値		上限値 (tonf)	下限値 (tonf)	混入率 (%)	
		平均 (tonf)	標準偏差 (tonf)			通常走行	突発渋滞
費用車種	LOG	1.37	0.37	3.2	0.5	62.55	31.28
中型車種	LOG	4.97	2.99	20.0	0.9	17.45	8.72
大型車種 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		
〃 〃 過積載車	EXP	22.20	2.20	40.0	20.0	17.14	51.42
〃 タグム軸 空車	NOR	11.51	2.11	17.8	5.8		
〃 〃 積載車	LOG	20.30	3.37	30.0	11.5		
〃 〃 過積載車	EXP	32.29	2.29	57.0	30.0		
トレーラ種 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	—	—	—
中型車種	6.45	2.72	12.5	3.5
大型車種	10.63	2.59	15.0	5.0
トレーラ	14.12	4.63	20.0	8.0

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

	主げた(M^+)	主げた(M^-)	ケーブル(T)	塔(A)
破壊確率	0.2441×10^{-8}	0.1055×10^{-8}	0.6816×10^{-10}	0.6106×10^{-9}

【参考文献】

- 1) 高田・藤野：道路橋最大活荷重評価のためのコンピュータシミュレーションの効率化、構造工学論文集、Vol.32A, pp.551-559, 1986年3月。
- 2) 阪神高速道路公団設計荷重(HDL)委員会報告書 第2編、活荷重分科会報告(別冊-1)、阪神高速道路における活荷重実態調査と荷重評価のための解析、第4編実態調査資料集、阪神高速道路公団・(財)道路公団・(財)阪神高速道路管理技術センター、1984年3月。
- 3) 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。
- 4) Bucher, C.G.: Adaptive Sampling-An Iterative Fast Monte-Carlo Procedure, Structural Safety, Vol.5, pp.119-126, 1988.