

斜張橋システムの信頼性評価

鳥取大学工学部 正会員 白木 波 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 鳥取大学大学院 学生会員 〇岩本芳和

1. まえがき

斜張橋は、短期間のうち普及・発展し数多く建設されているが、その信頼性評価については、鉛直活荷重に対する検討が2,3あるだけである。¹⁾ 本研究では、構造形式の異なる2種類モデルを用いて各構造要素(主桁、ケーブル、塔)の終局限界状態に対する信頼性評価、さらに3つ構造要素からなる斜張橋を1つのシステムと考えた場合の信頼性評価を行う。

表-1 構造条件

	モデル1	モデル2
塔	門型ラーメン	A形鋼製塔
固定条件	塔基部ピン結合	
ケーブル	形式 2面放射形式 2段	1面ファン形式 2段
固定条件	全ケーブル 塔、主桁に対してピン結合	
主桁	形式 2I桁	逆台形箱桁
幅員構成	車道8m	車道2×7.5m歩道2×1.5m
総幅員	10.2m	20.3m

表-2 断面諸量

	A (m ²)	I (m ⁴)	E (t/m ²)
主桁	0.14796	0.202406	2.1×10 ⁷
塔	0.08826	0.019730	2.1×10 ⁷
ケーブル-1	0.01388	0	1.6×10 ⁷
ケーブル-2	0.00832	0	1.6×10 ⁷
ケーブル-3	0.00836	0	1.6×10 ⁷
ケーブル-4	0.01224	0	1.6×10 ⁷

	A (m ²)	I (m ⁴)	E (t/m ²)
主桁	0.5689	0.9366	2.1×10 ⁷
塔	0.3436	1.1862	2.1×10 ⁷
ケーブル-1	0.0484	0	2.0×10 ⁷
ケーブル-2	0.0299	0	2.0×10 ⁷
ケーブル-3	0.0299	0	2.0×10 ⁷
ケーブル-4	0.0315	0	2.0×10 ⁷

2. 解析モデル

信頼性解析に用いる2種類の斜張橋は力学的作用に大きな影響を及ぼすケーブル張渡し形状が異なる。モデル1は、2面放射形式2段ケーブル、モデル2は、2段ファン形式2段ケーブルである。構造条件、解析に用いた骨組みモデル、およびその断面諸量を表-1、図-1、および表-2に示す。

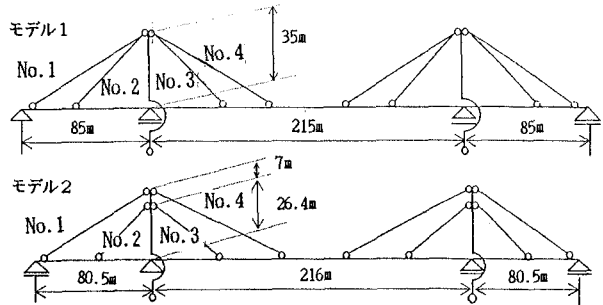


図-1 骨組みモデル

3. 効率化シミュレーション手法¹⁾

効率化シミュレーションにより耐用期間50年の最大活荷重応答値の推定を行う。各構造要素の影響関数の絶対値最大の点を着目点とし、シミュレーションを行い、最大活荷重応答値の抽出を行う。走行モードは、片側車線を突発渋滞、もう一方を通常走行とする。また、車重は、文献²⁾により表-3のようにモデル化する。

本研究では、突発渋滞時に年間1車線当たりが発生する50t以上の積載トレーラ8台を着目点を中心として載荷することにより効率化を行う。

表-3 車重の確率特性値

車種分類	分布形	平均値 (ton)	分散 (ton)	上限値 (ton)	下限値 (ton)	混入率 (%)	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			
” ” 過積載車	EXP	22.20	2.20	40.0	20.0			
” ” カデル軸 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			
トレーラ類 空車	NOR	13.67	2.97	22.6	5.2			
” 積載車	LOG	25.60	10.67	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

4. 斜張橋の信頼性解析

4. 1 各構造要素の信頼性評価 各構造要素に対して、2つの終局限界状態を設定し、3で得られた最大活荷重応答値の超過確率を求め、各構造要素の信頼性評価を行う。以下に2つ終局限界状態の設定を示す。

(設定A)活荷重応答値が設計活荷重による断面力に安全率(主桁、塔は1.7、ケーブルは2.5)を乗じた値を超えた時、破壊が生じると仮定する。(式(4.1)参照)

(設定B)活荷重応答値と死荷重応答値の和が設計活荷重と設計死荷重による断面力に安全率(主桁、塔は1.7、ケーブルは2.5)を乗じた値を超えた時、破壊が生じると仮定する。

(式(4.2)参照)

4.2 斜張橋システムの信頼性評価 複数の破壊モードを有する斜張橋システムにおいて、1つの構造要素が設定Bに対して最大の破壊確率を示すトレーサ荷重位置において、1つの破壊モードが存在するとし、破壊モードの抽出を行う。破壊モードの生起事象は、式(4.3)に示す各構造要素の破壊事象の和事象とする。そして、斜張橋システムの破壊事象は、式(4.4)に示す各破壊モードの生起事象の和事象として斜張橋システムの信頼度の評価を行う。

$$\begin{aligned} \text{主桁} & 1.7M_{OL}^* - M_{OL}^* < 0 \\ & 1.7M_{OL}^* - M_{OL}^* < 0 \\ \text{ケーブル} & 1.7A_{OL}^* - A_{OL}^* < 0 \\ & 2.5T_{OL}^* - T_{OL}^* < 0 \\ \text{塔} & 1.7A_{OL}^* - A_{OL}^* < 0 \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} \text{主桁} & 1.7(M_{OL}^* + M_{OL}^*) - (M_{OL}^* + M_{OL}^*) < 0 \\ & 1.7(M_{OL}^* + M_{OL}^*) - (M_{OL}^* + M_{OL}^*) < 0 \\ \text{ケーブル} & 1.7(A_{OL}^* + T_{OL}^*) - (A_{OL}^* + T_{OL}^*) < 0 \\ & 2.5(T_{OL}^* + T_{OL}^*) - (T_{OL}^* + T_{OL}^*) < 0 \\ \text{塔} & 1.7(A_{OL}^* + A_{OL}^*) - (A_{OL}^* + A_{OL}^*) < 0 \end{aligned} \quad (4.2)$$

ここに、 M_{OL}^* : 中央径間中央に生じる正の曲げモーメント
 M_{OL}^* : 橋脚付け位置に生じる負の曲げモーメント
 A_{OL}^* : ケーブル No. 1 に生じる軸力
 T_{OL}^* : ケーブル No. 4 に生じる軸力
 A_{OL}^* : 塔に生じる軸力
また、各記号の下付き数字は次のことを意味する。
OL: 設計活荷重応答
DL: 設計死荷重応答
D: 死荷重応答

$$M_i = (E_1^i \cup E_2^i \cup \dots \cup E_j^i \cup \dots \cup E_n^i) \quad (4.3)$$

ここに、 M_i : j 番の破壊モードの事象
 E_j^i : i 番の破壊モードにおける j 部材の破壊事象

$$E_s = (M_1 \cup M_2 \cup \dots \cup M_j \cup \dots \cup M_n) \quad (4.4)$$

ここに、 E_s : システムの破壊事象

5. 数値計算および考察

2つの終局限界状態に対する破壊確率を

表-4に示す。設定Aに対しては、両モデルともに主桁、塔は大きな破壊確率を示し、ケーブルは主桁、塔よりも大きな安全率を用いているので破壊確率は、小さくなっている。モデル1がモデル2よりも破壊確率が大きいのは応答値の変動係数がモデル2よりも大きく、最大活荷重応答値のばらつきが大きいことによると考えられる。

そして、設定Bに対しては、モデル1では、主桁の破壊確率が最も大きく、モデル2では、主桁のみに小さい破壊確率あるだけで、その他の要素の破壊確率はゼロになっている。現行の設計基準では、死荷重と活荷重に対して同じ安全率を用いており、設計断面力における活荷重の占める割合が約25%であるケーブルや塔は高い信頼度を有している。それに対して、主桁はケーブルアレストレスにより死荷重の影響が軽減されるため、設計断面力における活荷重の占める割合が約40%となり、ケーブル、塔に比べ終局限界状態に対する余裕が少なく、破壊確率が大きくなっている。

次に、斜張橋システムの信頼性評価を行う。表-5にモデル1の各破壊モードの生起確率を示す。各破壊モードの生起確率は、主桁が支配的となる。そして、式(4.4)を適用するとシステムの破壊確率は、主桁の破壊確率と同じオーダーとなる。また、モデル2もシステムの破壊確率が、主桁の破壊確率と一致する。これらの結果から明らかなように、システムの破壊確率を小さくして、斜張橋システムの信頼度を向上させるには、主桁の信頼度の向上が必要である。

表-4 耐用年数50年の破壊確率

		モデル 1				モデル 2			
		設計活荷重/設計断面力	変動係数	設定Aの超過確率	設定Bの超過確率	設計活荷重/設計断面力	変動係数	設定Aの超過確率	設定Bの超過確率
M^* (tf-m)	0.47	0.062	9.22E-01	1.11E-04	0.42	0.044	5.80E-02	8.86E-10	
M^* (tf-m)	0.43	0.033	3.75E-03	3.48E-14	0.31	0.025	7.27E-07	0.00E00	
A^* (tf)	0.27	0.038	1.00E00	5.60E-15	0.24	0.031	2.05E-01	0.00E00	
T^* (tf)	0.40	0.045	1.75E-06	0.00E00	0.27	0.034	7.63E-14	0.00E00	
T^* (tf)	0.26	0.042	9.03E-07	0.00E00	0.22	0.028	1.30E-16	0.00E00	
A^* (tf)	0.26	0.040	1.00E00	9.82E-16	0.24	0.030	1.81E-02	0.00E00	

M^* : 主桁・中央径間中央に生じる正の曲げモーメント
 M^* : 主桁・橋脚付け位置に生じる負の曲げモーメント
 A^* : 主桁・橋脚付け位置に生じる軸力
 T^* : 橋脚間上段ケーブル(No.1)に生じる引張力
 A^* : 塔に生じる軸力

表-5 破壊モードの生起確率(モデル1)

	E_1^1	E_2^1	E_3^1	E_4^1	P_{E1}
M_1	1.11E-04	0.0000	0.0000	0.0000	1.11E-04
M_2	1.37E-12	3.48E-14	0.0000	0.0000	1.40E-12
M_3	8.78E-07	0.00E00	5.60E-15	7.70E-16	8.78E-07
M_4	7.17E-08	0.00E00	4.07E-15	9.82E-16	7.17E-08

注)破壊モード1: 橋脚部材
1: 主桁・中央径間中央に生じる正の曲げモーメント
2: 主桁・橋脚付け位置に生じる負の曲げモーメント
3: 主桁・橋脚付け位置に生じる軸力
4: 塔(圧縮力)

【参考文献】1) 白木渡・松保重之: 効率化シミュレーション法による斜張橋の信頼性解析, JCSSAR '91, Vol. 2, pp. 473-479, 1991-11. 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体系に関する調査研究, 阪神高速道路公団・(財)阪神高速道路管理技術センター, 1986-12.