

信頼性理論に基づく斜張橋の耐震安全性評価

鳥取大学工学部 正会員 白木 渡 鳥取大学大学院 ○学生員 岩本 芳和  
鳥取大学工学部 正会員 松保 重之 徳 島 県 庁 川村 将

1. まえがき 近年、斜張橋の発展はめざましく多くの架設例と共に支間の長大化が進んでいる。これにともない構造物は面外からの外力に対して応答し易くなる。従って、斜張橋の安全性を検討する場合は、鉛直荷重である活荷重に対する安全性と共に、これら面外からの荷重に対する安全性の検討が必要である。従って、ここでは斜張橋に作用する外力として、死荷重（プレストレスを含む）、活荷重、に加え地震荷重を考慮し、死荷重+活荷重作用時（常時）、死荷重+地震荷重作用時（地震時）に対する斜張橋の信頼性の評価を行い、比較、検討することにより斜張橋の耐震安全性の重要性について議論する。なお、解析を行ったのは、図-1に示す点(①~⑮)であり、各点における断面内において注目する点は、図-2に示す点(A~F)である。

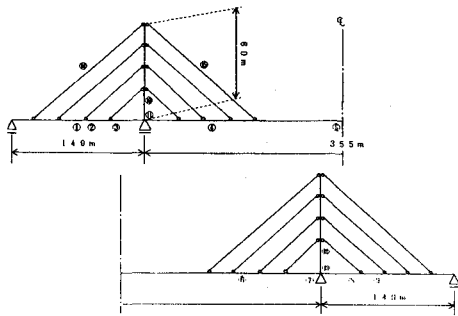


図-1 解析モデルと注目断面

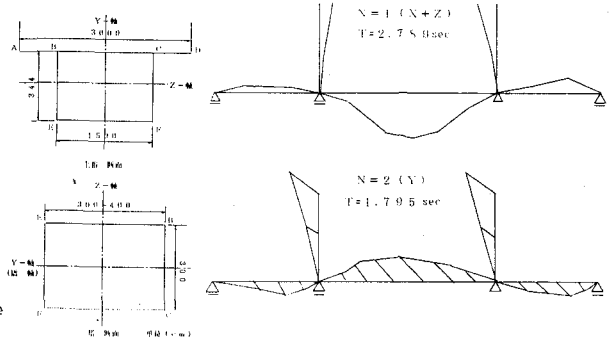


図-2 主桁、塔の断面図

2. 解析手法 常時については、着目点の影響線関数を求め、モデル化された鉛直活荷重を用いて効率化シミュレーションにより各着目点の最大応答値を抽出し確率特性の評価を行う。そしてその結果を用いて主桁、塔、ケーブルの各構造要素の信頼度の評価を行う。その際、終局限界状態としては、式(1)~(3)に示す3種類の設定(A, B, C)を定めた。地震時については、大きさを変えた数種類の荷重を載荷させ、それぞれの状態において断面に発生する応力を求め、荷重の変化に対する応力の変化率を求める。そして荷重~応力の関係式を誘導し、モデル化された荷重載荷時における応力を求めることにより、与えられた供用期間における各構造要素の信頼度の評価を行う。地震時に対する終局限界状態は式(4)のように決めた。

また、本研究において、地震荷重を作用させる時には、図-3に示すような3種類の振動モードを考え、面内、面外からの載荷に対して検討した。なお、ここでいう地震荷重とは荷重効果を考えているため、応答加速度に着目し、応答加速度を $\alpha$ 、重力加速度を $g$ 、部材の単位長重量を $W$ として、式(5)により地震荷重へ変換する。

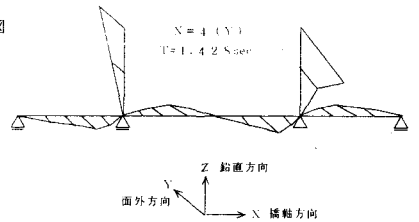


図-3 地震荷重による振動モード

設定A 主桁、塔  $1.7 \cdot \sigma_{0L} - \sigma_{1L} < 0$  (1)  
ケーブル  $2.5 \cdot \sigma_{0L} - \sigma_{1L} < 0$

設定B 主桁、塔  $1.7 \cdot (\sigma_{00} + \sigma_{0L}) - (\sigma_{1L} + \sigma_{1L})$  (2)  
ケーブル  $2.5 \cdot (\sigma_{00} + \sigma_{0L}) - (\sigma_{1L} + \sigma_{1L})$

設定C  $\sigma_{0L} - (\sigma_{00} + \sigma_{1L}) < 0$  (3)

ここに、 $\sigma_{00}$ : 設計死荷重応力  
 $\sigma_{0L}$ : 設計活荷重応力  
 $\sigma_{1L}$ : 降伏点強度

$\sigma_{0L} - (\sigma_{00} + \sigma_{0L}) < 0$  (4)

ここに、 $\sigma_{0L}$ : 降伏点強度  
 $\sigma_{0L}$ : 死荷重応力  
 $\sigma_{0L}$ : 地震荷重による応力

$F = \frac{\alpha}{g} \times W$  (5)

3. 実荷重のモデル化 本研究では活荷重による最大応答値の推定は、効率化を行ったシミュレーション手法<sup>1)</sup>を用いた。モデル化を行う際に用いた車種、車重などの確率特性値は、文献<sup>2), 3)</sup>におけるデータ

を用いた。また、自動車荷重の走行状態としては、「突発渋滞モデル」と呼ばれる片側車線が突発渋滞、もう一方が通常走行のモデルを採用した。ここで、突発渋滞とは高速道路上での工事、事故などが原因となって発生する渋滞のことをいう。以上のような条件のもとに効率化を行い、突発渋滞時において50tf以上の積載トレーラーを8台注目点に載荷したシミュレーションを50年間について行い活荷重をモデル化した。

地震荷重(加速度応答スペクトル)のモデル化については、先にも述べたように、地震荷重を考える際に3種類の振動モードを考えるため、ここでもそれぞれのモードに対して地震荷重のモデル化を行った。モデル化の方法は、固有周期に対する加速度応答スペクトルの期待値のグラフ<sup>3)</sup>をもとに、ある固有周期に着目し、再現期間と加速度応答スペクトルの関係が既知である値をもとに、再現期間を短くしたときの値をいくつか推定し、確率分布へのあてはめを行うことによりモデル化を行った。ここで、当てはめる確率分布関数としては極値Ⅲ型分布を選んだ。確率分布  $F(s_{a,i})$  の算出は式(6)~(8)により行われる。以上のようにして求めた各固有周期における分布のパラメータおよび応答加速度の平均、標準偏差を表-1に示す。また、応答加速度  $s_{a,i}$  に対する  $\theta$  年間の最大値の分布は、式(9)で表される。

$$P(Y > y, t) = 1 - \exp\{-\lambda(y) \cdot t\} \quad (6)$$

$$T_r(y) = \frac{1}{P(Y > y, t=1年)} = \frac{1}{1 - \exp\{-\lambda(y)\}} \quad (7)$$

ここに、 $T_r(y)$  : 再現期間  
 $\lambda(y)$  : 年平均発生回数

$$F(s_{a,i}) = \frac{\lambda(s_{a,i}) - \lambda(s_a)}{\lambda(s_{a,i})} \quad (8)$$

ここに、 $\lambda(s_{a,i})$  : 下限値  $s_{a,i}$  に対する年平均発生回数  
 $\lambda(s_a)$  : 計算する  $s_{a,i}$  に対する

$$F_{max}(s_{a,i}) = \exp\{-\nu \cdot \theta [1 - F(s_{a,i})]\} \quad (9)$$

ここに、 $\nu$  : 下限値  $s_{a,i}$  に対する年平均発生回数  
 $\theta$  : 供用期間

表-1 極値Ⅲ型のパラメータと平均・標準偏差

	$Y_L$	$W_i$	$k_i$	平均 (mm)	標準偏差 (mm)
1次モード ( $T=2.7_{max}$ )	2.00	3.0386	0.49318	4.131	5.076
2次モード ( $T=1.7_{max}$ )	5.00	12.2566	0.86134	12.830	4.814
4次モード ( $T=1.4_{max}$ )	10.00	20.3337	0.88162	20.999	12.507

4. 解析結果 常時における各構造要素の破壊確率を表-2に、地震時における各構造要素の破壊確率(2次モード)を表-3に示す。ここで、常時の設定Cにする値と、地震時の1次モードおよび4次モードに対する値が示されていないのは、全ての着目点において破壊確率が0となったからである。表-2を見ると、主桁、塔に比べてケーブルがかなり安全であることがわかる。これは、現行の設計規準による安全率が、主桁、塔の1.7に対してケーブルが2.5と大きな値をとっているからであり、ケーブルの安全率に対して検討の必要があると思われる。表-3をもとに耐震安全性について検討してみると、2次モードに代表されるような橋軸直角方向からの荷重の入力に対して、塔が危険な状態になることがわかる。主桁については十分に安全であることから、地震荷重などの外力が橋軸直角方向から作用した場合、最も影響を受けるのは塔であり、斜張橋の信頼度は塔の信頼度に依存すると考えられる。

表-2 常時における各構造要素の破壊確率

	上フランジ		下フランジ		
	設定 A	設定 B	設定 A	設定 B	
主桁	断面 ①	1.07493E-05	2.13273E-13	3.17353E-06	4.16333E-14
	②	1.19651E-05	0.00000E00	5.38542E-06	2.29594E-13
	③	2.10195E-12	0.00000E00	1.91381E-02	0.00000E00
	④	1.71983E-04	3.33063E-16	0.00000E00	0.00000E00
	⑤	8.52092E-05	1.57651E-14	2.02606E-13	0.00000E00
	⑥	1.82521E-04	2.22946E-16	0.00000E00	0.00000E00
	⑦	2.22044E-15	0.00000E00	4.19858E-03	0.00000E00
	⑧	5.22156E-11	0.00000E00	1.57618E-03	0.00000E00
	⑨	6.19703E-06	0.00000E00	2.06231E-06	0.00000E00
	⑩	6.02301E-09	1.11022E-16	1.01518E-04	0.00000E00
	⑪	1.04730E-11	0.00000E00	1.89901E-07	0.00000E00
	⑫	1.09726E-05	0.00000E00	1.86847E-07	0.00000E00
塔	⑬	9.55453E-09	0.00000E00	1.12586E-10	0.00000E00
	⑭	0.00000E00	0.00000E00		
ケーブル	⑮	0.00000E00	0.00000E00		
	⑯	0.00000E00	0.00000E00		

表-3 地震時における各構造要素の破壊確率(2次モード)

	着目点 A	着目点 B	着目点 C	着目点 D	着目点 E	着目点 F
主桁	断面 ①	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00
	②	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00
	③	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00
	④	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00
	⑤	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00
	⑥	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00
	⑦	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00
	⑧	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00
	⑨	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00
	⑩	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00
	⑪	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00
	⑫	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00	0.00000E00
塔	⑬		2.06427E-04	2.06427E-04	2.06427E-04	2.06427E-04
	⑭		1.14285E-03	1.14285E-03	1.14285E-03	1.14285E-03
	⑮		1.23020E-04	1.23020E-04	1.23020E-04	1.23020E-04
	⑯		7.89266E-04	7.89266E-04	7.89266E-04	7.89266E-04
	⑰					
	⑱					

【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, 1986. 2) 阪神高速道路公団(HDL)委員会：HDL委員会報告書，第2編，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，1984. 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体系に関する調査研究，1986.