

鋼アーチ橋の横構損傷時における信頼性評価

中央大学 学生会員 清水 拓実
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

鋼アーチ橋を構成する要素の1つとしてアーチリブを結ぶ横構があげられる。横構は地震や風などの横荷重に対して設計されるとともに面外変形を防ぐ意味でも重要な役割を果たしている。特に主構間隔が支間に比べて小さいアーチ橋は他の鋼橋に比べ面外変形を起こしやすく、横構を設置し面外座屈に対して安全であることを照査しなければならない。もし、この横構に腐食、疲労、または突然の事故などによる損傷が起こった場合、面外座屈に対する抵抗強度が低下する恐れがある。

構造物に対する性能設計の時代をむかえ、性能の評価と明示が社会に要求されるようになってきた。中でも構造口バスタ性は IS02394 号の国際規格にも含まれており、構造物への危機管理的支点が必要となっている。そこで本研究では、実際の鋼アーチ橋を例にとりモデル化し、横構に腐食・疲労・事故などによる損傷が生じたときの、鋼アーチ全体の面外座屈に対する安全性を信頼性解析により検討する。安全性評価としてモンテカルロシミュレーション法により横構の健全時、損傷時における面外座屈による破壊確率を算出し、その比較・検討を行う。

2. 解析モデル及び解析手法

解析モデルについては構アーチ橋の中で最も数多く存在する構造形式である2ヒンジアーチ橋の本州四国連絡橋・大三島橋(図-1)を選定した。これの構造諸元について表-1¹⁾に示す。これらの条件などを用い、出来るだけ多くの条件で解析を行うため以下に示す2つの荷重条件において信頼性解析による破壊確率の算出を行う。

- 1) 活荷重列を等分布荷重でモデル化し標準正規分布をあてはめて用いる。これは、アーチ軸力が車輛総重量との相関が高く、中心極限定理が用いられると考えたことによるものである。
- 2) 個々の車輛に対し活荷重シミュレーションを行い、その結果より等分布荷重を作成し載荷する。

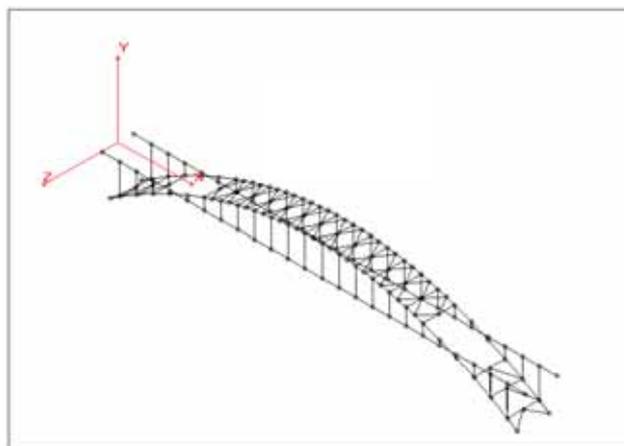


図-1 大三島橋

表-1 大三島橋諸元

支間長	328[m] (アーチ支間297[m])
構造形式	単径間ソリッドリブ2ヒンジアーチ
幅員	2@3.5 + 2@3.5
アーチライズ	49[m]

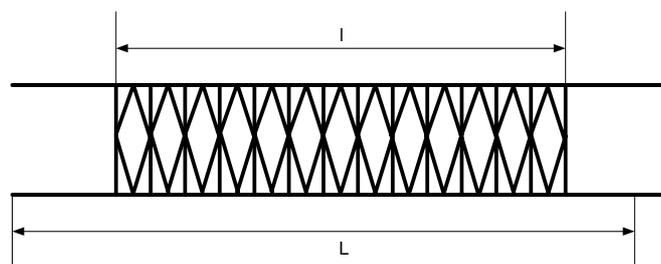


図-2 アーチ橋展開図

3. 破壊確率算出時の性能関数について

破壊モードの生起は式(1)の性能関数 Z を用いることによって定義される。式(1)は面外座屈破壊モードの性能関数である崎元²⁾の面外座屈強度式である。

$$Z = \frac{vN_s}{A} - \sigma_u \cdots \cdots (1)$$

4. 損傷モデルの設定について

横構損傷時のモデルとして面外座屈強度式中の $(=l/L)$ を変化させることで図-2の \sim が損傷した条件と同じ状況を再現することとした。

5. 載荷する等分布荷重の設定

- 1) 標準正規分布に従う等分布荷重
標準正規分布に従う等分布荷重は既存のデータ³⁾より選出し、標準正規分布に従うものとした。詳細なデータは表-2に示す。

表-2 等分布荷重

大型車混入率	載荷長	L=200 (m)
5%	平均値	0.417
	中央値	0.403
	標準偏差	0.093
20%	平均値	0.658
	中央値	0.644
	標準偏差	0.158
32.5%	平均値	0.847
	中央値	0.834
	標準偏差	0.177
40%	平均値	0.94
	中央値	0.928
	標準偏差	0.178
60%	平均値	1.154
	中央値	1.145
	標準偏差	0.179

単位 (ton-f/m/lane)

表-3 渋滞特性

	車間距離			大型車混入率 (%)
	分布形	平均値	標準偏差	
通常走行	LOG	19.40	6.10	60
通常渋滞	LOG	8.05	3.93	20
突発渋滞	LOG	2.71	1.49	60

LOG = 対数正規分布

2) 活荷重シミュレーションによる等分布荷重

道路橋に生じる車両の走行モードとして車種、車重、車長、車間距離等のばらつきを考慮した、様々な走行状態が考えられる。そこで実態活荷重の各確率モデルに従う荷重列を乱数により発生させ、その総和を支間長で除した等分布荷重により鋼アーチ橋の解析を行う。自動車荷重の車種、車重、車長、車間距離、車種混入率等の各確率特性は阪神高速道路公団の実態調査によって得られた結果を用いた。車線数は上下各2車線、計4車線とし、1車線に上記の方法で自動車荷重を発生させ、これを4回操作し、重ね合わせることで4車線の自動車荷重とすることとした。各荷重をタイヤの位置、つまり軸重としてそれぞれ1個の集中荷重とし主桁に作用させる。車両の軸重と車間距離を確率変数とし、車長は確定値とする。車両の走行モードは表-3のように設定した。

6. 破壊確率の算出結果

モンテカルロシミュレーション法により算出した結果を表-4に示す。表中の、はからその番号までの横構が全て失われた状態に対応しており、は残存する横構が4本、は2本、は0本を示している。また、シミュレーションの繰り返し回数は100万回とした。表以外の荷重・損傷条件ではシミュレーション中に破壊することはなく、破壊確率

表-4 破壊確率

	損傷条件	損傷条件		
大型	大型32.5%	$<1.0 \times 10^{-6}$	$<1.0 \times 10^{-7}$	2.770×10^{-4}
	大型40%	$<1.0 \times 10^{-7}$	$<1.0 \times 10^{-7}$	1.702×10^{-3}
	大型60%	$<1.0 \times 10^{-7}$	1.899×10^{-5}	4.395×10^{-2}
突発渋滞		$<1.0 \times 10^{-7}$	$<1.0 \times 10^{-7}$	4.458×10^{-1}

…標準正規分布による等分布荷重

…活荷重シミュレーションによる等分布荷重

表-5 等分布荷重最大値(平均値)

標準正規分布	大型32.5%	6.2221(3.388)
	大型40%	6.6101(3.76)
	大型60%	7.9391(4.616)
活荷重シミュレーション	通常走行	2.4561
	通常渋滞	5.1489
	突発渋滞	6.9267

単位(tf/m)

PIは $P < 1.0 \times 10^{-6}$ となった。

7. おわりに

今回は複数の走行モードにおける破壊確率を算出した。算出の結果、荷重条件に関わらず深刻な損傷条件の時のみしか破壊にいたらなかった。また、正規分布によるものと比べ活荷重シミュレーションによる等分布荷重では多くの損傷条件で破壊に至らなかった。その原因としては活荷重シミュレーションによる等分布荷重のばらつきの小ささが考えられる。標準正規分布による等分布荷重と活荷重シミュレーションによる等分布荷重の最大値を表-5に示す。表から、活荷重シミュレーションによる等分布荷重の方の最大値がかなり小さく、ばらつきも小さいことが推察できる。しかし、両荷重条件ともに全横構損傷時に破壊確率が飛躍的に大きくなった。ここから、横構群の効果は「並列システム」であり一部のみの損傷では構造口バラスト性への影響が小さいことが確認できた。

<参考文献>

- 1) 本州四国連絡橋公団 本州四国連絡橋 大三島橋工事誌
- 2) 崎元達郎 鶴田栄一 坂田力 下路式および中路式アーチ橋の弾塑性面外座屈強度 土木工学論文集 Vol. 34A
- 3) 吉田修 性能設計の実務的適用のために 土木学会 構造物の性能設計における応用技術研究小委員会
- 4) 星谷勝、石井清 著 構造物の信頼性設計法 鹿島出版会
- 5) 丸山大伍 斜張橋のケーブル定着部損傷時の力学的挙動の解析と安全性の検討 関東支部技術研究発表会 2006
- 6) 鈴木俊男 成瀬勝武 橋梁工学(鋼橋編) 森北出版
- 7) 道路橋示方書・同解説 社会法人日本道路協会