

鋼アーチ橋の疲労設計法に関する一考察

(株) 長大 正会員 ○刑部 清次 国総研 正会員 玉越 隆史

(株) 長大 正会員 加藤 雅彦 八千代エンジニアリング (株) 水津 紀陽

1. はじめに

鋼道路橋の疲労設計は、耐久性の向上を図るために疲労の影響を考慮することが平成14年の道路橋示方書に規定され、また鋼道路橋疲労設計指針においては、一般的な鋼桁構造の橋梁に対する疲労設計法がとりまとめられた。しかしながら、トラス橋やアーチ橋といった構造形式においては、疲労設計法を適用するにあたって、実応力と解析手法の違いによる設計応力との関係が必ずしも明確ではないことが課題となっている。

ここでは、鋼アーチ橋など鋼桁橋以外の構造について、公称応力を適切に算定するための解析モデル作成上の留意事項等について検討を行ったので報告する。

2. 疲労設計に用いる構造解析モデルに関する検討

(1) 検討概要

疲労設計の基本は、部材に発生する応力変動を適切に評価して、必要な疲労耐久性を確保することにある。また、自動車荷重によって橋の各部に実際に生じる応力は、一般には設計計算で得られる応力に対して小さくなることが多い。既往の研究によれば、コンクリート床版を有する鋼鈑桁橋では、一般的な骨組解析で得られる計算応力は、既往の載荷試験で得られた実発生応力に比べ2割程度大きなものとなっており、疲労設計にあたっては構造解析係数として0.8を目安に係数補正を行ってもよいとされている。^{1),2)}しかしながら、係数設定にあたってのデータの大部分は鋼多主桁橋に関するものであるため、本検討ではアーチ橋やトラス橋を対象として、個々の構造形式や解析手法に応じて計算応力と実際に部材に生じる応力との相違に関する検討を行った。

(2) 検討結果

本検討で使用した検討モデルは、各構成部材に考慮する表-1の項目に着目し、6タイプの解析モデルを用いた。ここで、実際に部材に生じる応力は、解析モデルにおいて腹材の部材端結合条件（剛結／ピン結）や床版の合成作用を考慮した骨組解析モデルにより算出するものとし、これと有限要素法による応力算出結果との整合性確認を行った。

図-1は、アーチ主構面の変形が最も大きい支間1/4点に着目した支柱腹板の直応力の影響線、また図-2には補剛桁腹板の直応力の影響線を示した。これらのグラフのピーク値から各モデルの変動応力比を求め、図-3,4に各モデルの相関を示した。図-3は、支柱の変動応力比を示しているが、(a)支柱結合部の結合条件（剛結／ピン結）の違いは、ピン結合とした場合（モデル1）と剛結とした場合（モデル3）とを比較すると、支柱の変動応力は、主構の面内変形が大きな支間1/4点近傍において格点剛結によって大きな影響（最大4.5倍）を受ける。また、(b)床版の合成作用の影響は、モデル1（非

表-1 各モデルの特性（1:考慮、0:非考慮）

	腹材の部材端 結合条件	床版の合成作用 の考慮/非考慮	面外曲げ剛性考 慮/非考慮
モデル1	0	0	0
モデル2	1	1	0
モデル3	1	0	0
モデル4	0	1	0
モデル5	1	1	1
モデル6	0	1	1

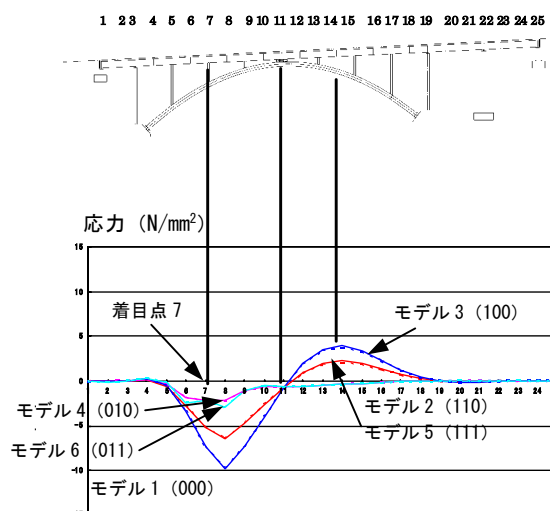


図-1 支柱(支間1/4点着目点)の直応力の影響線

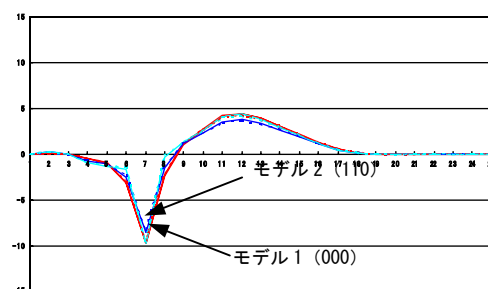


図-2 補剛桁(支間1/4点着目点)の直応力の影響線

キーワード： 疲労設計、公称応力、構造解析係数、有限要素法、解析モデル

連絡先： 〒114-0013 東京都北区東田端二丁目1番3号 株式会社 長大 TEL 03-3894-3212, FAX 03-3894-3263

考慮）とモデル 4（考慮）を比較するとほぼ同等であるが、モデル 3（非考慮）とモデル 2（考慮）を比較すると、モデル 2 の変動応力は主構の面内変形が大きな支間 1/4 点近傍において大幅に低減（最大 60%）される。図-4 は、補剛桁の変動応力比を示しているが、（b）床版の合成作用の影響は、モデル 1（非考慮）とモデル 4（考慮）及びモデル 3（非考慮）とモデル 2（考慮）をそれぞれ比較すると、最大応力については影響は少ないが、変動応力は大きな影響（最大約 60%）を受ける。

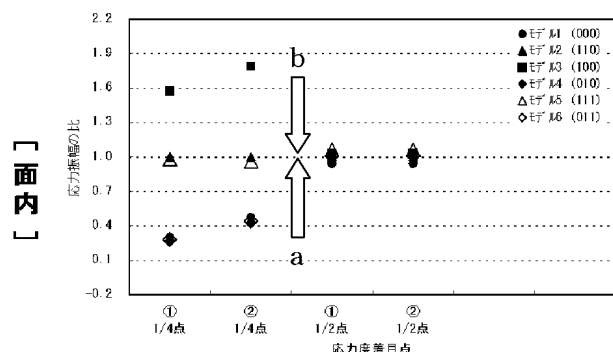


図-3 支柱の変動応力比

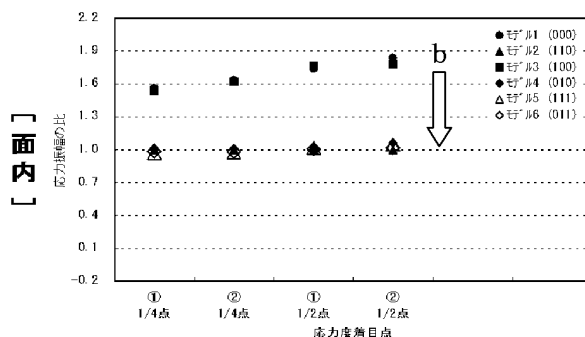


図-4 補剛桁の変動応力比

3. 三次元 FEM 解析結果との整合性検討

三次元 FEM 解析により算定した応力を図-6 に示したが、骨組モデル 2 との整合性を確認（骨組/FEM=1.10, Sec A-A）した。応力値に若干差を生じたが、図-7 に示したように、骨組解析モデルに設定した格点近傍の剛性を部材断面と同一の剛性を持たせたことに起因すると考えられる。疲労設計にあたっては、部材剛性の評価方法に配慮することで、必ずしも FEM 解析によることなくほぼ適切な公称応力の算定は可能であると考えられる。

4. 疲労試設計（上路式アーチ橋）

本検討では疲労設計指針に準拠し、疲労試設計を行った。一部の溶接継手で一定振幅応力に対する打ち切り限界を超過したが、別途算定した構造解析係数で補正するとすべての照査位置で疲労照査を満足する結果となった。

表-2 構造解析係数補正した疲労照査（補剛桁：アーチクラウン部）

照査位置	強度等級	$\Delta \sigma_{\text{oe}}$ [N/mm ²]	最大応力範囲 $\Delta \sigma_{\text{max}}$ [N/mm ²]	$\Delta \sigma_{\text{oe}} \cdot C_F \cdot C_1$ [N/mm ²]	判定
①	D	84.0	27.1	89.0	OK
②	D	84.0	28.2	84.0	OK
③	E	62.0	26.0	65.7	OK
④	E	62.0	27.1	62.0	OK
⑤	G	32.0	13.5	33.6	OK
⑥	G	32.0	15.9	32.0	OK
⑦	D	84.0	28.2	89.0	OK
⑧	G	32.0	29.5	27.9	OUT

構造解析係数

$$\gamma_a = 0.86$$



	最大応力範囲 $\Delta \sigma_{\text{max}}$ [N/mm ²]	$\Delta \sigma_{\text{oe}} \cdot C_F \cdot C_1$ [N/mm ²]	判定
①	23.3	89.0	OK
②	24.3	84.0	OK
③	22.4	65.7	OK
④	23.3	62.0	OK
⑤	11.6	33.6	OK
⑥	13.7	32.0	OK
⑦	24.3	89.0	OK
⑧	25.4	27.9	OK

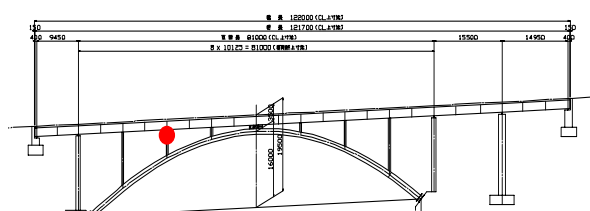


図-5 着目部位

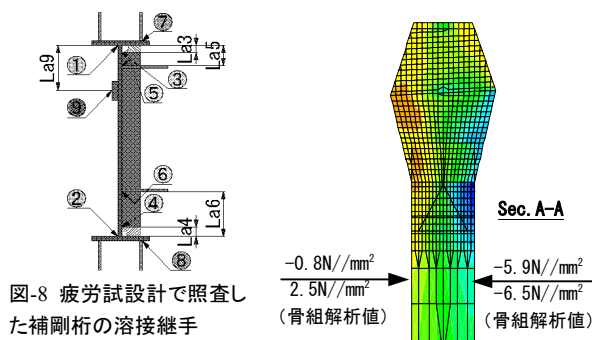


図-8 疲労試設計で照査した補剛桁の溶接継手

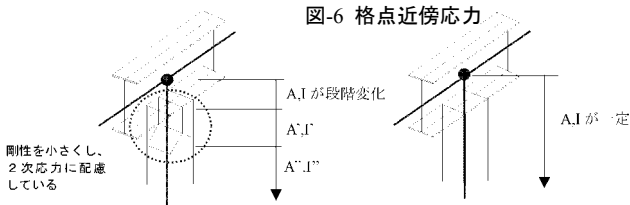


図-7 骨組モデルの格点剛性評価の違い

5. まとめ

本報告では、一般に設計計算で得られる応力（モデル 1）と実応力（モデル 2 または FEM 解析等）との差は、腹材の部材端の結合条件や床版の合成作用等によって影響を受けるが、その度合いは着目部位によって異なることを確認した。疲労設計にあたっては、適切な解析方法を選定するとともに、採用する解析方法によって得られる応力が実応力とどのような相関にあるのかを確認しておく必要がある。また、疲労設計の簡略化を図るためには、構造解析係数の設定等の定量的な整理が必要である。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，平成 14 年 3 月
- 2) 村越潤，高橋実，吉岡勉，野中哲也，加藤修：FEM 解析を用いた鋼多主桁橋の設計合理化の検討，鋼構造論文集 第 11 巻第 43 号（2004 年 9 月）