

性能照査型の手法を用いた旭橋の耐震安全性評価

Seismic safety evaluation for Asahibashi-Bridge by seismic performance verification

寒地土木研究所	○正 員	表 真也
寒地土木研究所	正 員	石川 博之
寒地土木研究所	正 員	岡田 慎哉
北海道開発局		堀 暁兒
室蘭工業大学	フェロー	岸 徳光

1. はじめに

昨今、世界的に大きな地震が相次ぎ、世界各地で大きな被害が発生している。日本においても平成7年に阪神大震災が、平成16年に新潟中越地震が発生し、大きな被害が発生した。これにより、日本全体で地震に対する認識が高まっている。

土木の分野においても、地震に対する認識は高まっている。現在、国土交通省によって橋梁に対する耐震補強事業が積極的に推進されている。このような流れのなかで、建設時期の古い橋梁に関しても耐震補強を検討する必要性が生じた。しかしながら、このような古い橋梁は現在とは異なる施工技術が用いられていることが多く、現状の設計手法では、その耐震性能が容易に検討できないことが多い。さらに、歴史ある構造物は地域住民の愛着が深く、モニュメントやシンボルのように扱われ、地域に深く根付いていることが多い。このようなことより、古い橋梁には安易に手を入れられない現状がある。

本検討は、国道40号の旭川市において石狩川に架かる旭橋の耐震補強の検討を行ったものである。本検討で検討対象となった旭橋は歴史ある橋梁であり、かつ地域のシンボルとして扱われている橋梁である。この旭橋に対して、現状に極力手を加えずに橋梁を保存し、かつ耐震に関する安全性を確保するため、性能照査型の設計手法を用いて検討を行った。

2. 旭橋の橋梁概要

本検討の対象橋梁である旭橋は、国道40号の旭川市内を流れる石狩川に架かる橋長225.43mの道路橋¹⁾である。写真-1には、旭橋の現況の写真を示す。旭橋は、昭和7年(1932年)に架設され、現在橋齢74歳である。

旭橋は北海道3大名橋に数えられる美しい橋梁である。上部構造は中央径間がブレストリブ・キャンチレバータイドアーチ、側径間がボニー形式のワーレントラスである。下部構造は橋台、橋脚ともに鉄筋コンクリート(RC)構造である。その外壁には花崗岩が使用されていることが特徴である。

図-1には旭川市のカントリーサインを示す。旭川市のカントリーサインは大雪山を背景とする旭橋をモチーフにデザインされており、これからも旭橋は現在に至り地域のシンボルの役割を担う歴史的鋼橋であることが分



写真-1 旭橋の現況写真



図-1 旭川市のカントリーサイン

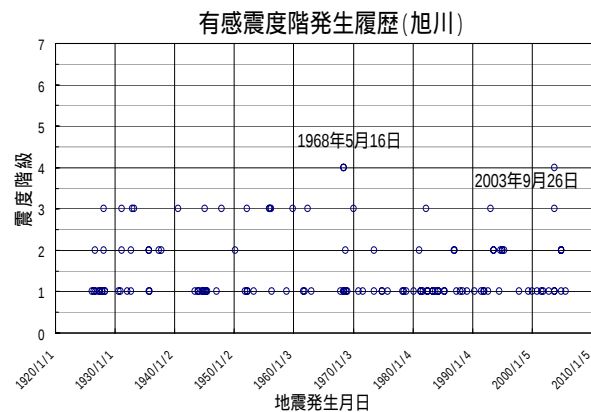


図-2 旭川市の地震記録履歴

かる。

3. 地域地震特性評価

本検討の初めに、旭橋の架橋されている旭川市周辺の地震特性について検討を行った。

図 - 2 には、旭川市周辺の地震記録履歴を示す。旭川市周辺では、日本気象庁によっておよそ 120 年前より地震観測が行われている。地震観測が始まって以来、旭川市ではこれまでに約 130 回の地震を観測している。しかしながら、規模の大きな地震はほとんど観測されておらず、観測記録上最も大きい地震記録においても日本気象庁震度階で震度 4、推定される最大加速度が 25～80 gal 程度の規模の地震である。また、強震波形が記録されている地震動記録における最大加速度は、およそ 60 gal であった。

これらの過去の観測記録を基に、現在想定される最大規模の地震動を考えると、最大加速度がおよそ 60 gal 程度の規模の地震が想定された。この想定地震動の規模は、過去に旭橋が経験した最大級の地震とほぼ同程度である。

また、活断層型の直下型地震の可能性についても同様に検討を行った。図 - 3 には、現在発見されている北海道の活断層の分布図を示す。図より、旭川市周辺には活断層は発見されておらず、旭橋周辺において大きな活断層型の直下型地震が発生する確率は極めて小さいことが明らかとなった。

これらのことより、旭橋が非常に大きな地震に遭遇する可能性は非常に低く、過去の記録より最大加速度 60 gal 程度のレベルの地震が、想定される最大級の地震と推察される。

4. 強制加振実験と固有値解析による現状評価

次に、旭橋の現状を評価することを目的として、旭橋のトラッククレーンおよびトラック急制動による強制加振実験を行った。この加振実験により得られた結果を、固有周期解析の結果と比較検討することで、現状を評価した。



図 - 3 北海道の活断層分布



写真 - 2 実験状況

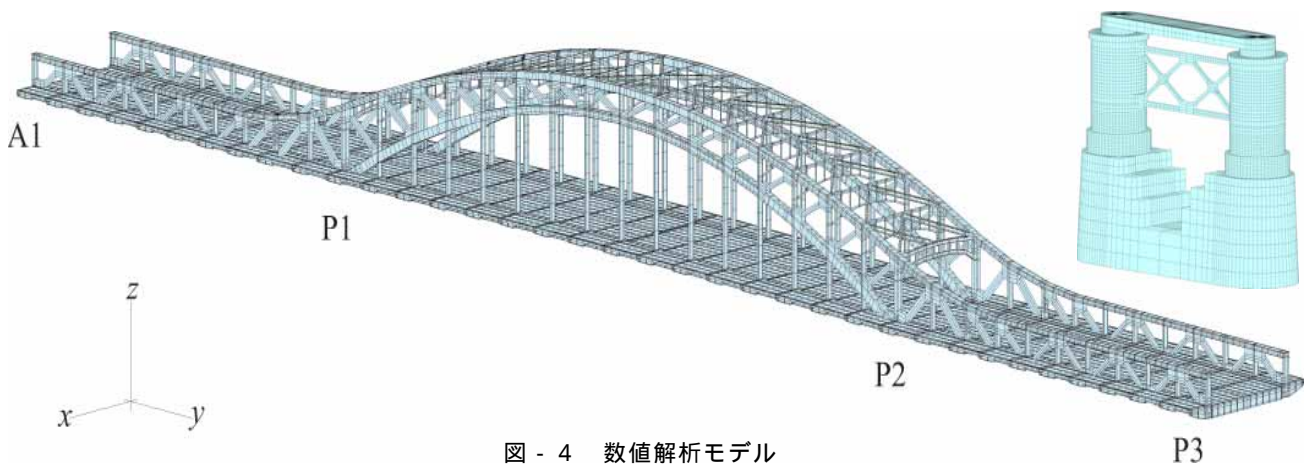


図 - 4 数値解析モデル

表 - 1 実験結果と解析結果の比較

振動モード	実験結果 (実験/解析比)		解析 結果
	クレーン加振	急制動加振	
対象曲げ1次	2.63 (0.97)	2.58 (0.95)	2.72
対象曲げ2次	2.95 (0.95)	2.95 (0.95)	3.11
対象曲げ3次	4.80 (0.99)	4.83 (1.00)	4.84
逆対象曲げ1次	-	2.09 (0.96)	2.17
逆対象曲げ2次	-	-	3.31

評価の方法は、旭橋の現状の固有振動数および固有振動特性を、実験的に明らかにし、次に設計図面を元とした詳細な固有周期解析によって、設計当初の固有振動数および振動特性を理論的に求める。この両者の結果を比較・検討することで、現状の構造が有する性能が設計時からどの程度劣化しているかを推定するという方法である。

写真 - 2 には、強制加振実験の実験状況を示す。実験は、トラッククレーンを橋梁上の任意の位置に設置し、重錘を上下に動かし、その鉛直反力を橋梁に作用させることで、橋梁を振動させるクレーン加振と、トラックを橋梁上で走行させ、急制動させることで橋梁に水平作用力を加え、橋梁を振動させるトラック急制動加振の2つの方法で行った。計測は、橋梁上に加速度計を多数設置し、得られた加速度波形を数値処理することで橋梁の振動特性を推定している。

図 - 4 には、固有振動解析に用いた数値解析モデルを示す。解析は3次元有限要素法により実施した。モデルは、設計当時の図面に忠実にモデル化した。数値解析では、固有周期を理論的に求め、その周期と振動モードを実験結果と比較している。

表 - 1、図 - 5 には、強制加振実験結果および固有周期解析結果を比較する形で示す。図より、数値解析結果による理論解と実験結果は概ね同様のモードで振動しており、振動特性は設計時から大きな変化は見られないと推察される。よって、旭橋には現状において固有振動モードに影響を与えるような局所的な損傷は発生していないと考えられる。

また、表より、数値解析結果と実験結果の固有周期を比較すると、数値解析結果が実験結果より若干短い周期を示していることがわかる。これは、現状の橋梁が設計当初よりも若干の劣化が発生していることにより、剛性が低下していることを示唆していると思われる。しかしながら、その差は最大でも5%程度であり、著しい劣化が発生しているとは考え難い。

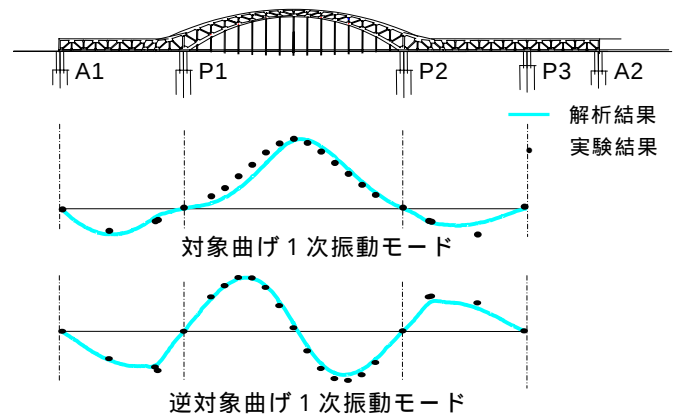


図 - 5 実験結果と解析結果の比較

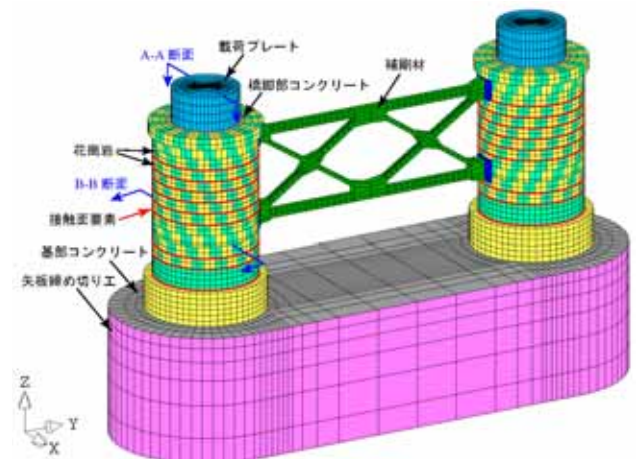


図 - 6 有限要素モデル例

これより、旭橋は現状において若干の性能劣化が発生していると考えられるものの、大きな劣化や局所的な損傷が発生しているとは考え難く、健全な状態を保っていると想定される。

5. 3次元有限要素解析による耐震性能評価

最後に、3次元有限要素法により旭橋の耐震性能を評価した。

図 - 6 には橋脚の解析に用いた有限要素モデルを示す。図はP2橋脚モデルである。モデルは実際の橋梁を忠実に3次元にモデル化している。また、モデルでは橋脚天端に、上部工重量を考慮した載荷プレートを設置し、載荷プレートの密度を調整することで上部工死荷重を考慮している。

解析は、始めに自重解析を行い、自重および上部工重量が作用した状態を作り出し、次にその状態のまま、橋脚天端に水平に変位を与え、プッシュオーバー解析を実

施した。

また、解析は非線形弾塑性解析とし、構造の破壊モードの推定と、その際の最大載荷重を評価できるようにした。

図 - 7 には、解析結果の一例を示す。図は、橋脚天端に水平変位を与えた場合の鉄筋降伏時の変形図である。なお、図では変形量を 250 倍に強調して示している。図より、対象の P2 橋脚の破壊モードは、基部の花崗岩の目地部が開口し、曲げ破壊型で終局することが数値解析上明らかとなった。

図 - 8 には、解析結果における水平反力 - 水平変位関係の一例を示す。図より、対象の橋梁は変形性能は乏しいものの、耐荷力は有している。前述の地震動の検討において想定された地震動により与えられる力に十分耐えられるものと判断される。

また、同様に上部工モデルに水平加速度を作用させた場合の上部工応力評価や、橋軸方向・橋軸直角方向に変位させた場合など、様々な検討を行った結果、想定される地震動規模において、耐震性能上問題となるような結果は得られなかった。

これより、数値解析結果により、旭橋は想定される地震動に対して、十分な耐震性能を保有していると判断される。

6. まとめ

本検討では、旭川市に現存する建設後 74 年経過した旭橋に関して、極力現状に手を加えずに効率よく耐震補強を行うため、

地震の地域特性の評価、
強制加振実験と固有値解析による現状評価、
3次元有限要素解析による耐震性能評価

を実施し、性能確認を行ったものである。結果をまとめると以下のようなものである。

- 1) 地震の地域特性を評価した結果、旭橋は大地震に見舞われる可能性は低い
- 2) 強制加振実験および固有値解析により、現状の旭橋はそれほど劣化していないことが明らかとなった。
- 3) 3次元有限要素法による解析の結果、本橋梁は想定される地震動に対して、構造的に十分な耐震性能を有していると判断された。

以上の結果により、旭橋は耐震補強は実施せず、経年劣化の発生している部分の補修を行うのみに留めることが出来た。

謝辞

本検討を行うにあたり、北海道開発局旭川開発建設部の方々には多大なご協力をいただいた。ここに感謝の意を表す。

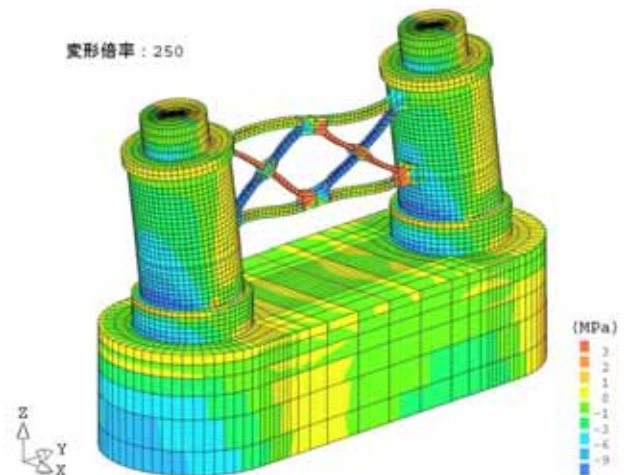


図 - 7 解析結果の一例 (変形倍率: 250 倍)

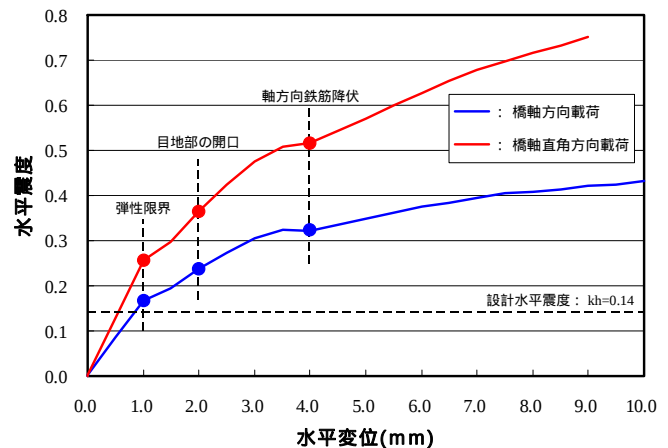


図 - 8 水平震度 - 水平変位関係

参考文献

- 1) 北海道開発局 旭川開発建設部: 旭橋 60 周年記念誌 北海道遺産認定記念改訂版、2004.10.
- 2) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説、2002.3.
- 3) 石川博之、西弘明、岡田慎哉、佐藤京、岸徳光、張広鋒: 弾塑性有限要素解析による旭橋下部構造の耐荷力特性評価、土木学会平成 18 年度全国大会 CD-ROM、2006.9
- 4) Shin-ya OKADA, Hiroyuki ISHIKAWA and Takashi SATOH: SAFETY EVALUATION OF ASAHIBASHI BRIDGE BY USING A MODIFIED DESIGN METHOD TO VERIFY ITS SEISMIC PERFORMANCE, 22nd UJNR Bridge Engineering Workshop, 2006.10.