

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

土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○石川 博之
土木研究所寒地土木研究所 正会員 岡田 慎哉
室蘭工業大学 フェロー 岸 徳光

土木研究所寒地土木研究所 正会員 佐藤 京
北海道開発局旭川開発建設部 堀 暁児
室蘭工業大学 正会員 張 広鋒

1. はじめに

本研究では、旭橋主橋梁区間の下部構造（橋脚）に着目し、塑性域まで考慮した耐荷力性状を数値解析的に検証して、耐震安全性に関する基礎的な検討を行った。なお、本研究では、構造解析用汎用コード DIANA による三次元弾塑性有限要素解析を行うことにより実施している。

2. 旭橋の橋梁概要

旭橋は、北海道の旭川市内を流れる石狩川に架かる橋長225.43mの道路橋であり、昭和7年(1932年)に架設され、現在もなお象徴的な役割を担う歴史的鋼橋である。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、側径間がポ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)構造であり、外壁に花崗岩ブロックが使用されていることが特徴である。橋脚柱は中空断面を有しており、左右に設置された2つの柱が補剛材（鉄綾鋼）により連結されている。写真-1には本橋主橋梁区間における現況写真を示している。



写真-1 旭橋の現況写真（主橋梁区間）

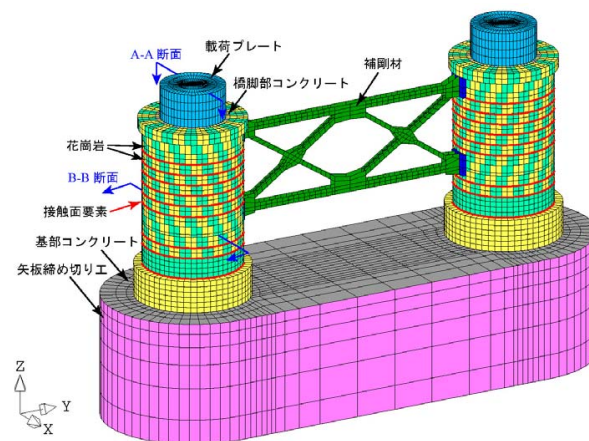


図-1 有限要素モデル（橋軸直角方向載荷時）

(a) コンクリート要素

(b) 鋼材および鉄筋要素

3. 数値解析の概要

3.1 解析モデル

図-1には、橋軸直角方向載荷時の要素分割状況を示している。コンクリートおよび花崗岩要素には8節点固体要素、鉄筋には埋込鉄筋要素、鋼矢板および補剛材には4節点シェル要素を用いている。なお、花崗岩の目地部には高さ方向に接触面要素を定義することにより、ブロック間の開口を表現している。

3.2 解析仮定

境界条件は基礎底面を完全固定とし、橋軸方向載荷時の対称切断面は、その面の法線方向変位成分を拘束している。解析は、自重および所定の軸圧縮力を与えた事前解析の後、載荷点位置に水平方向に強制変位を与えることにより行っている。

3.3 材料構成則

図-2には、本数値解析で用いた各材料の応力-ひずみ特性を示している。コンクリート要素に用いた材料構成則

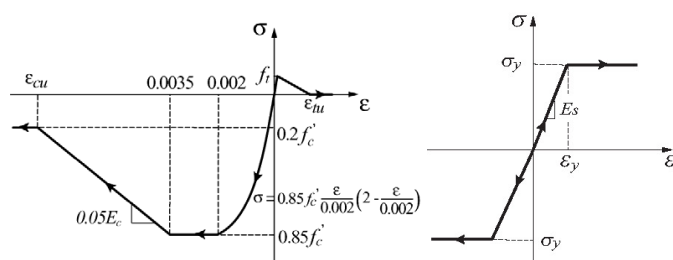


図-2 数値解析に用いた各材料の応力-ひずみ特性

表-1 構成材料の力学的特性値一覧

材料種	圧縮強度 f'_c (MPa)	引張強度 f_t (MPa)	降伏強度 f_y (MPa)	弾性係数 E (GPa)	ポアソン比
コンクリート	25.0	2.50	—	25.5	0.2
鋼材・鉄筋	—	—	300.0	210.0	0.3
花崗岩	—	—	—	50.0	0.2

キーワード：旭橋，下部構造，弾塑性有限要素解析，耐荷力特性

連絡先：〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1-3-1-34（独）土木研究所寒地土木研究所寒地構造チーム TEL：011-841-1698

は、圧縮領域に関しては圧縮ひずみ $3,500\mu$ までは土木学会コンクリート標準示方書（構造性能照査編）に基づいて定式化し、 $3,500\mu$ 以降は初期弾性係数の 0.05 倍で $0.2f'_c$ まで線形に軟化するモデルを設定した。引張領域に関しては線形引張軟化モデルを適用し、終局限界ひずみ ε_u には引張鉄筋の降伏ひずみ ε_y と等しい値を設定した。一方、鋼材および鉄筋要素には、降伏後のひずみ硬化を無視したバイリニア型モデルを適用した。なお、花崗岩ブロックは弾性体としてモデル化している。表-1には、本数値解析で用いた構成材料の力学的特性値を一覧にして示している。

4. 解析結果および考察

4.1 水平震度－水平変位関係

図-3には、各载荷方向の水平震度－水平変位関係を示している。ここで、水平震度は水平荷重を当該橋脚が分担する上部構造重量で除して評価している。図より、いずれの载荷方向においても、水平変位約 2mm で花崗岩の目地部が開口し、水平変位約 4mm の段階で軸方向鉄筋が降伏状態に達することが分かる。軸方向鉄筋が降伏状態に達する時点の水平震度は、橋軸方向载荷時では $k_h=0.32$ 、橋軸直角方向载荷時では $k_h=0.52$ であることが分かる。これは 300gal あるいは 500gal 相当の地震力が作用しても鉄筋が降伏する程度の損傷に止まることを示唆している。また、図中には現行道示のレベル I 地震動を想定した設計水平震度 ($k_h=0.14$) を示しているが、いずれの場合も弾性範囲内にあり安全性が確保されていることが分かる。

4.2 垂直応力分布および変形モード

図-4には、軸方向鉄筋が降伏した時点における z 軸方向（高さ方向）垂直応力分布および変形モードを示している。図より、いずれの载荷方向に関しても柱基部の花崗岩目地部が開口することが確認されるが、それよりも上方においては目地部の開口や局所的な応力集中は見受けられない。なお、鉄筋降伏時の圧縮側の花崗岩およびコンクリートは 10MPa 程度の圧縮応力状態となっており、未だ圧壊には至っていないことを確認している。なお、花崗岩の圧縮強度は、別途実施した材料試験より約 250MPa であることを確認している。また、左右の柱を連結する補剛材に着目した応力分布も 100MPa 程度の応力レベルであり、弾性範囲内であることを確認している。以上より、本橋脚の終局状態における破壊形態は、柱基部の花崗岩目地部が局所的に開口し、その近傍の内部コンクリートのひび割れ、鉄筋降伏に至る曲げ破壊型であるものと推察される。

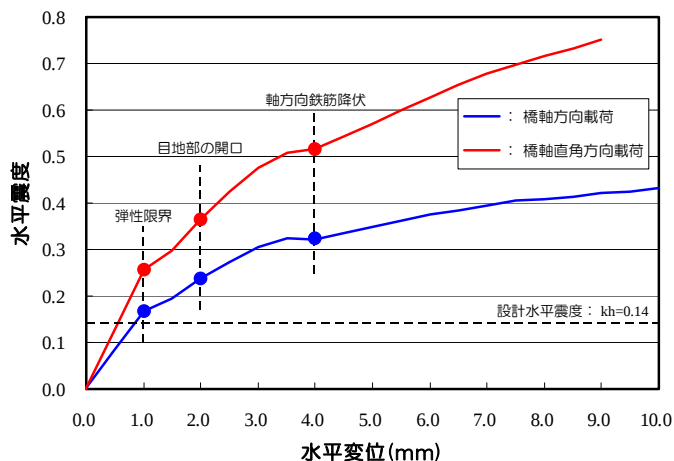


図-3 水平震度－水平変位関係

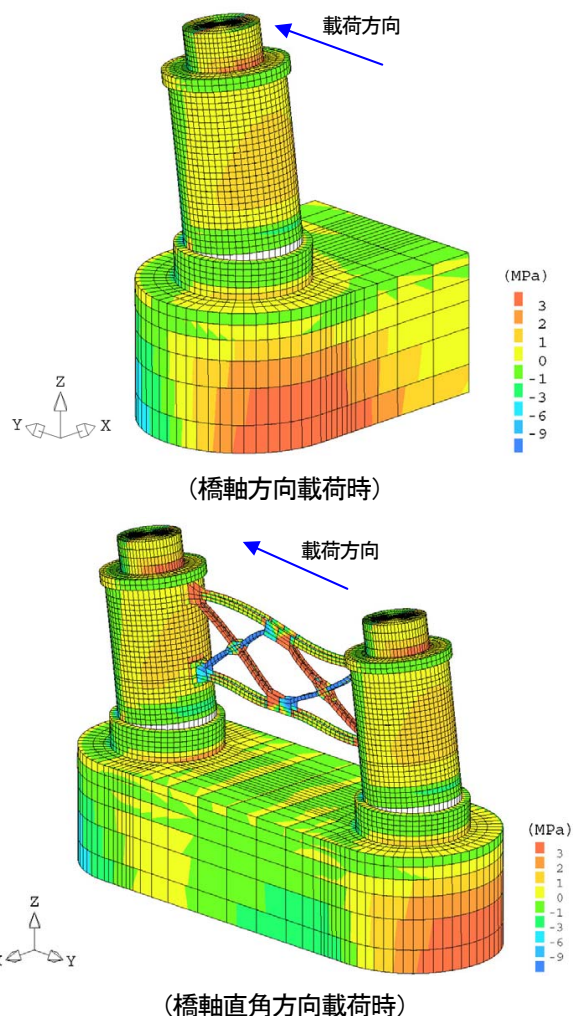


図-4 軸方向鉄筋降伏時の高さ方向垂直応力分布および変形モード（変形倍率：250倍）

5. まとめ

本研究で得られた知見を整理すると、以下の通りである。

- 1) レベル I 地震動を想定した設計水平震度に対しては、弾性挙動範囲内であり、耐震安全性が確保されている。
- 2) 終局状態における破壊形態は、柱基部の花崗岩目地部が局所的に開口し、その後、開口部近傍の内部コンクリートのひび割れ、鉄筋降伏に至る曲げ破壊型である。