静的載荷試験に基づく石造アーチ橋の変位・応力伝達特性

Characteristics in stress distribution of stone arch bridge based on static loading test

北海道大学大学院工学研究科　学生会員　○工藤　直矢
北海道大学大学院工学研究科　正会員　蟹江　俊仁
株式会社ドーコン　正会員　川端　良幸
札幌市役所　正会員　小泉　正樹

１．解析目的

札幌創成橋は，明治 43（1910）年に木橋から架け替えられた石造アーチ橋である.同橋が架設されている札幌市街中心部を流れている創成川に沿う幹線道路がアンダーパス化するのに伴い，同橋は昨年末に解体され，保存や移設に関わる検討が始められた．アンダーパス開通後の同橋の復元を鑑み，その復元方法の検討材料として静的載荷試験・振動試験・解体時計測が実施された．この 3 項目のうち静的載荷試験で得られた計測データに着目し，架橋から 100 年近く経過した同橋の現状の力学的性質を検証することが本論文の目的である．また同橋は石材の間にモルタルが挿入されているなど，従来の石橋との相違点が見られるため，三次元の弾性 FEM 解析を採用し，結果との比較を行うこととした．

２．解析条件

本解析は三次元 SOLID モデルを FEM で解いたものである．解析モデルは，アーチ石材部分と土被りを一体化したモデルとした（図-1）．本モデルは対称性を考慮し，橋軸方向，橋軸直角方向ともに 1/2 分割した「1/4 サイズのモデル」とし，境界条件を与えている．モデルは，節点数 10935，要素数 9152 で構成されている．なお本橋は橋軸直角方向端部に札幌硬石，中央部に登別中硬石と呼ばれる剛性の異なる石材が使用されている.諸元を表-1 に示す.これらは，同橋解体後の室内試験により得られた物性値である.また土被りは，橋面上に載荷された活荷重の石材の荷重伝達・分散のみを受け持ち，耐荷性能を抑えるよう，弾性係数の値を設定した．

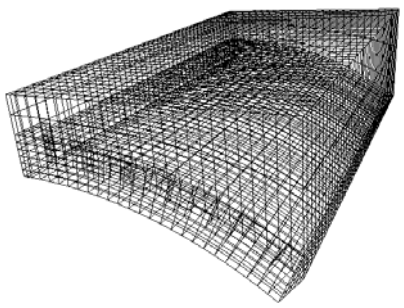


図-1 解析モデル

３．荷重条件

静的載荷試験は,350kN ラフタークレーン一台を用いて載荷し，そのときの鉛直変位，橋軸方向ひずみを計測するものである．橋幅中央と端部にそれぞれ 11 箇所，計 22 の載荷ケースにより計測が行われたが，三次元解析ではこのうち，橋軸方向 1/2 点断面中央載荷（以下 CASE-Ⅰ），橋軸方向 1/2 断面端部載荷（以下 CASE-Ⅱ）の 2 ケースに着目することとした．タイヤの接地箇所と接地面積が既知であるため，そこから荷重を算出し，これを接地箇所に位置する節点に振り分けて載荷した．

表-1 解析材料諸元

材料	札幌硬石	登別中硬石
一軸圧縮強度(MN/m^2)	1.32×10^2	2.91×10^1
弾性係数(MN/m^2)	3.84×10^4	5.60×10^3
単位体積重量(MN/m^3)	2.63×10^1	2.14×10^1
ポアソン比	0.243	0.215

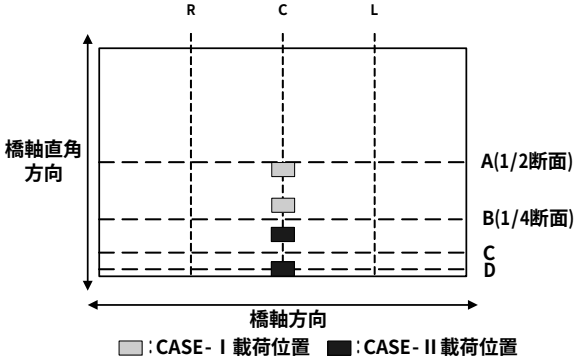
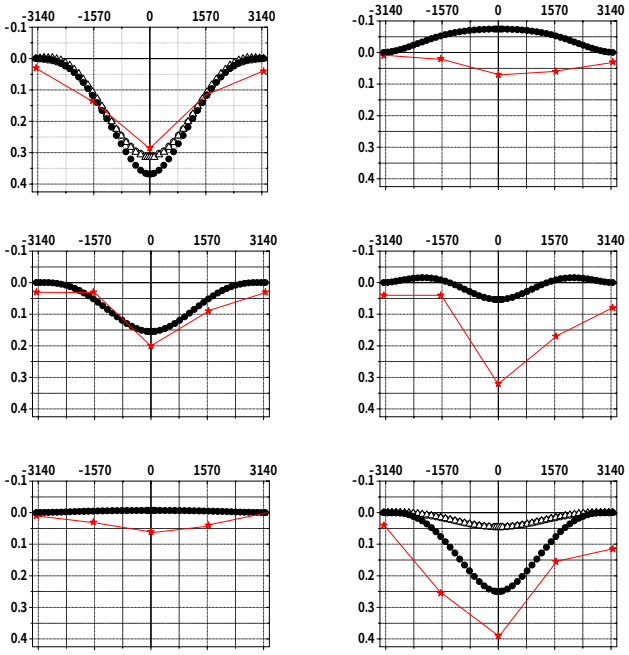


図-2 載荷位置

キーワード　石造アーチ橋，創成橋，載荷試験，三次元ソリッド，有限要素法
連絡先〒060-8628　札幌市北区北 13 条西 8 丁目　北海道大学大学院工学研究科構造システム研究室　ＴＥＬ011-706-6176

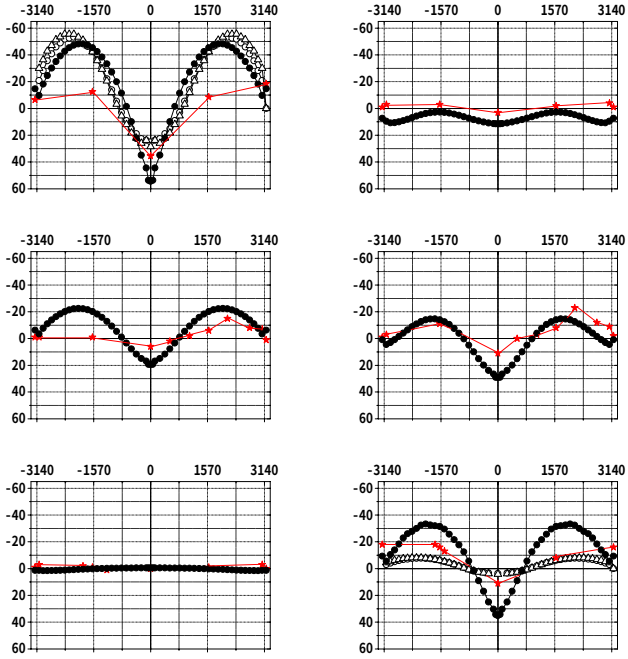
●：三次元　★：実測値　○：二次元(固定端)　△：二次元(ヒンジ端)
横軸：計器位置(mm)
縦軸：鉛直変位(mm)　＋：沈下　－：浮上



CASE-Ⅰ　　CASE-Ⅱ

図-3 鉛直変位(mm)（上段：A，中段：B，下段：D）

横軸：計器位置(mm)
縦軸：橋軸方向ひずみ(×10⁶)　＋：引張　－：圧縮



CASE-Ⅰ　　CASE-Ⅱ

図-4 橋軸方向ひずみ(×10⁶)（上段：A，中段：B，下段：D）

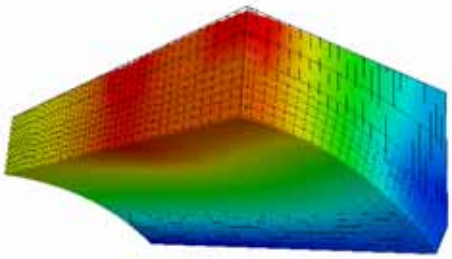


図-5 CASE-Ⅱ変形図（変形を 50 倍に拡大）

4．解析結果と考察

載荷パターン CASE-Ⅰ，CASE-Ⅱによる，A・B・D 断面の鉛直変位・橋軸方向ひずみの結果を図-3，図-4 に示す．なお両ケース共，載荷重を含む断面（CASE-Ⅰの場合 A 断面，CASE-Ⅱの場合 D 断面）の解析結果には，当該断面に二次元 BEAM モデルを適用した場合の解析結果も併せて示している．同じ活荷重を掛けた場合でも，CASE-Ⅰと CASE-Ⅱとでは変位・ひずみの値に差があることがわかる．これは，アーチ部材を構成する登別中硬石と札幌硬石に剛性の差異があることに起因していると考えられる．次に，載荷位置から離れた箇所の橋軸方向・橋軸直角方向の変位・ひずみの影響について考える．本解析では等方性のモデルを用いているため，アーチアクションにより軸圧縮力の伝達が行われる橋軸方向に対し，橋軸直角方向では応力伝達の効果が小さく，載荷位置から橋軸直角方向に離れた部分では等方弾性体と仮定した値よりも変位・ひずみ共に小さくなると考えられる．従って，橋軸直角方向の応力伝達の評価は，二次元モデルで荷重の分布幅を適切に考慮することにより，評価が可能になるものと考える．

5．まとめ

本解析は創成橋の復元にあたり，現状の同橋の力学的性質を明確にするための一検討材料として行ったものである．同橋は，その設計・施工に関する一切の文献が紛失しているため，復元に関する指標が無いのが現状である．今後，同橋の復元に向けての実施設計を行うにあたり，使用石材の選択や施工方法に関する検討が必要であるため，継続して同橋架橋時の力学的性質に関する多角的な解析を行う予定である．

参考文献

札幌市建設局：創成橋保存技術検討委員会第 6 回（資料編），2007