

モルタルを用いた複合石造アーチ橋の復元手法の検討

北海道大学大学院工学研究科 学生会員 ○中野 定政
 大成建設(株) 正会員 谷口 良太
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 蟹江 俊仁

1. はじめに

1.1 背景

札幌創成橋(図1)は、明治43(1910)年に架設された石造アーチ橋である。同橋は2006年末、札幌市中心部を流れている創成川に沿う幹線道路のアンダーパス連続化工事に伴い解体された。

創成橋はスパンに対してライズが小さい扁平な橋である。創成橋の構造諸元は表1に示すとおりである。また解体後の調査から、同橋は「アーチ石材間にモルタルが使用された複合構造」であることが明らかとなった。この様な構造様式を持つ橋は希少であり、その歴史的価値と構造的特殊性から創成橋をある程度再現性を持たせつつ復元させることが決定している。しかし、架橋当時の詳細な設計書が残されておらず、参考とする資料に乏しく、非常に困難な復元である事が予想されている。

1.2 施工方法

石造アーチ橋はまず支保工を設置し、石材を両端から積んでいき、要石を嵌めてアーチ構造が完成した後、死荷重を載荷させる。そしてジャッキダウンで支保工を緩め、その重量によるアーチアクションによって圧縮力が発生して噛み合うという仕組みである。本橋では、石材を積んでいく過程で空目地を入れながらモルタルを注入していくという工法をとり、この過程が創成橋独特の施工方法となる。

1.3 研究目的

石材間に間詰めされているモルタルの剛性値は、アーチ石材のそれより数十%低く、養生日数によって大きく変動する。施工中は支保工の設置によりアーチ構造は高次な不静

定構造となるので、アーチ部材の剛性値の値によって変位・応力伝達状況、反力等に影響が生じると考えられる。また、従来の空積みの石造アーチ橋は石材同士の噛み合わせで構造が成立するが、モルタルを石材間に注入することによりその噛み合わせがなくなり、アーチ石材が緩みやすくなる可能性や、応力分布に影響を及ぼす可能性がある。本橋は扁平な形状であるから、わずかな緩みが石材の脱落やアーチ構造完成後の安全性の欠如に繋がる。本研究では、復元を想定して石材とモルタルが一体化した構造・施工中の支保工を考慮し、実際の施工過程を解析し変位・応力伝達状況を検証し、創成橋の施工試験の結果とも比較し、創成橋復元に資する事を目的とする。

2. 解析内容

2.1 解析手法とモデル

本解析では、ソリッド要素の二次元FEMを採用した。解析モデルは、アーチ部分と中詰め土砂で構成される一体化モデルとし、奥行きは1(m)とする。荷重はアーチの自重と中詰め土砂からなる死荷重である。モルタルは橋軸方向の全てのアーチ石の間に幅1cm分注入されているとする。図2に解析モデルを、表2に材料諸元を示す。支保工が接している節点は、ばね節点として剛性を与え、端部の境界条件は固定端であるとする。又、モルタルの弾性係数は養生日数によって変化していくことに留意する(図3)。

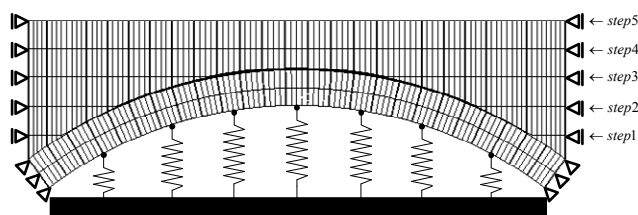


図2 解析モデル

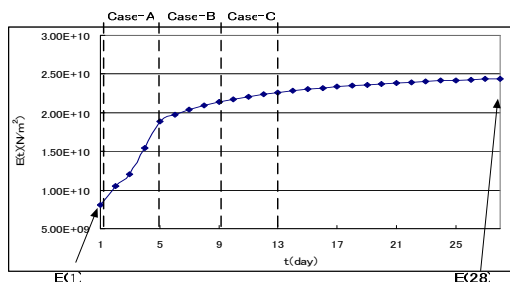


図3 モルタルの硬化曲線



図1 創成橋の外観

表1 構造諸元

橋長(m)	7.33
幅員(m)	13.25
スパン(m)	6.38
ライズ(m)	1.045

表2 材料諸元

	アーチ石材	モルタル	土被り	支保工
一軸圧縮強度(N/m²)	1.84×10^5	養生日数による	-	-
弾性係数(N/m²)	4.77×10^7	図3参照	8.22×10^4	21.0×10^7
単位体積重量(t/m³)	2.69	2.30	2.00	-
ポアソン比	0.26	0.17	0.30	-

キーワード 石造アーチ橋, モルタル, 復元, 二次元ソリッド, 有限要素法

連絡先 〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目 北海道大学大学院工学研究科構造システム研究室 TEL 011-706-6176

2.2 解析パターン

本解析は図2のように土被りを一日に1ステップ毎、step1～step5まで順次载荷させていき、step6のジャッキダウンでアーチ部に応力を伝達させるという流れである。しかし、モルタルは養生期間によって剛性が大きく変化する。この剛性の差異が力学的挙動にどのような影響を及ぼすのかがこの解析の大きなポイントであるので、モルタルの剛性が最も小さい1日目のE(1)、最も大きい28日目のE(28)をそれぞれ下限・上限に置き、この間で3ケースのステップ解析を行う(CaseA～CaseC、図3参照)。また、支保工の奥行き方向の配置間隔による影響も決して無視出来ない事柄であるので、3パターンの配置間隔を用意する(Case1～Case3)。解析パターンは表3のような全7パターンとなる。比較するのはアーチ部の鉛直変位量と応力値である。

3. 解析結果

3.1 鉛直変位の比較

まずモルタルの剛性による影響を確認する為、図4でCase1-A～Cのステップ解析、図5でCase1-1とCase1-2を比較する。図4は要石部分に着目し、図5はステップ6で支保工をはずした段階のものである。これらのグラフから以下のことがいえる。

- (a) モルタルと石材は一体となって変位している。
- (b) モルタルによる変位への影響は小さい。

この理由として、間詰めされているモルタルは数日で十分に硬化するので、剛性の差による影響が出にくいと考えられる。

次に支保工の間隔による影響を見る為、Case1-A、Case2-A、Case3-Aでのステップ毎の要石の鉛直変位を比較する。このケースでも、鉛直変位には大きな影響は出ないことがわかる(図6)。

3.2 応力値の比較

アーチ構造は、アーチアクションによる圧縮力で上載荷重に抵抗するので、アーチ全体にしっかり圧縮応力が伝達されているかどうかは重要な点である。そこでCase1-A、支保工をはずした時(ステップ6)の最大・最小主応力値を算出し、応力伝達状況の検証を行う(図7)。この図によれば、最大・最小主応力共にアーチ両端部の上面側で引張応力が発生したが、その値は最大で110(kN/m²)程度、またアーチ全体で圧縮応力の最大値は1000(kN/m²)程度であった為、アーチ部材の破壊や脱落に対する安全性は十分満たしていると考えられる。

4. 考察とまとめ

今回の解析では、アーチ石材よりも剛性値が数十%小さいモルタルが中詰めされていたにも関わらず、その剛性による変位・応力伝達への悪影響はあまり見られなかった。これは、アーチ構造に大きな荷重が载荷される時にはモルタルが十分に硬化していることを表している。また、支保工の本数による応力への影響も小さかった。ただ、実際は計算通りに施工できるとは限らず、例えば木枠の数ミリの變形や

表3 解析パターン

	支保工の奥行き1(m) 当たりの本数	モルタルの 養生日数
Case1-A	1本	Case-A
Case1-B	1本	Case-B
Case1-C	1本	Case-C
Case1-1	1本	E(1)で一定
Case1-2	1本	E(28)で一定
Case2-A	0.5本	Case-A
Case3-A	2本	Case-A

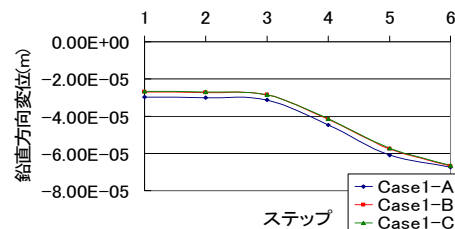


図4 Case 1-A～Case 1-Cの要石鉛直変位の比較

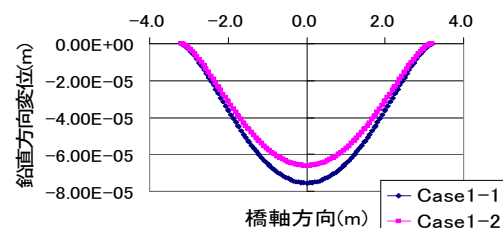


図5 Case 1-1とCase 1-2の鉛直変位の比較

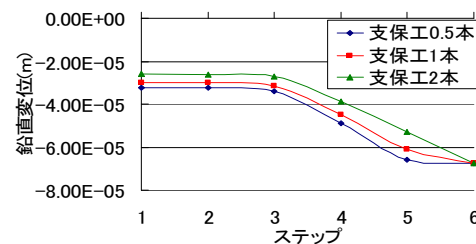


図6 Case1～Case3の要石鉛直変位の比較

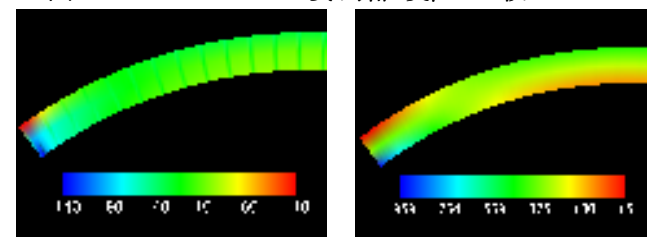


図7 Case 1-A, ステップ6の応力伝達状況

反力体のわずかな変位により危険になる可能性がある為、今後はより多角的な検証をもって構造上の特性を明らかにし、歴史ある札幌創成橋復元への一助となるべくさらなる研究を続ける次第である。

参考文献

- 1) 蟹江俊仁ほか:創成橋と日本橋 二つの石橋に見る技術進化の過程と背景, 土木史研究論文集, pp1-5
- 2) 鷺津久一郎, 宮本博他:有限要素法ハンドブック I 基礎編, 培風館 pp245-250, 1981