

寒冷地における文化財的コンクリート構造物の保存活用と維持管理の考察

北見工大 正員 ○桜井 宏 岡田包儀 藤田昌之  
 北見工大大学院 学員 廣畑玄樹 長屋綾将  
 北大 フェロー 佐伯 昇

1. はじめに 寒冷地に於けるコンクリート構造物は、長期間供用すると、冬期間の凍結融解作用や年較差の大きい温度変化によりコンクリートの剥落・剥離・ひび割れが発生し、構造物としての機能・第三者影響度・美観等が損なわれる可能性がある。しかし、それらの構造物の中には意匠や周囲景観との調和が優れ、地域住民に親しまれ文化財的に価値のあるとされる構造物がある。その一例の旧国鉄士幌線等のコンクリートアーチ橋梁群には、規模・景観・施工技術の観点からも我国有数の土木遺産で、産官民が一体となった保存活動により、現在までに勇川橋梁、第三音更川橋梁、第五音更川橋梁、十三の沢橋梁が登録有形文化財に指定されている。さらに2004年から十勝支庁が中心となり、『北海道自然歩道「東大雪の道」』が推進され、さらに上士幌町が周辺の旧国道不二川トンネルや不二川橋梁を含め自然歩道への活用を検討している。

本研究は、寒冷地の土木遺産の保存活用、維持管理に際し、例として、三の沢橋梁及び糠平川橋梁、不二川トンネル、不二川橋梁、モニュメントとして「タウシュベツ川橋梁」、現在の劣化状況を把握し、保存と活用、維持管理等の基礎的な考察をした。

2. 調査概要

2.1 対象構造物 対象構造物を遊歩道として利用計画されている三の沢橋梁(図 2.1 参照)と糠平川橋梁(図 2.2 参照)、及び観光スポットとして最も有名なタウシュベツ川橋梁(図 2.3 参照)とする。橋梁群は寒冷地内陸環境下で、三の沢・糠平川橋梁はそれぞれ施工後 50 年経過している。一方タウシュベツ川橋梁については、施工後 70 年近く経過し、ダム湖で浮沈する維持管理には厳しい条件下にある。

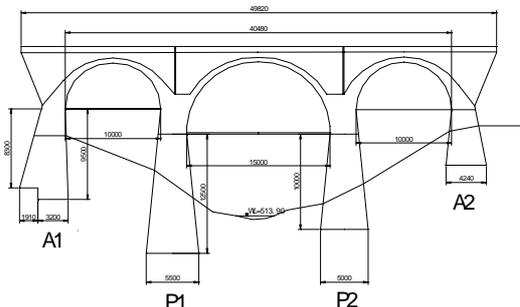


図 2.1 三の沢橋梁概略寸法



写真 2.1 不二川トンネルと同橋梁（上士幌町内旧国道）

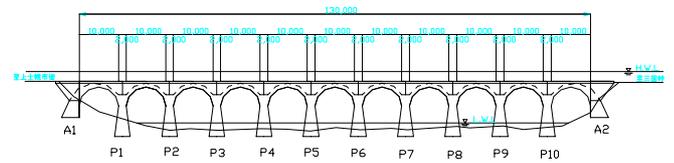


図 2.1③ タウシュベツ川橋梁概略寸法図

2.2 調査手順 現地における調査により橋梁の現況状態を把握した(表 2.2 参照)。それらのデータを FEM 温度応力練成解析の材料特性値として用い、有限要素法解析プログラムソフト「MARC」を使用し解析した。MARC から出力されたデータを基に橋梁の現況状態の安定性を把握し、考察

| 調査項目<br>橋梁名 | 施工年  | 図面 | 目視調査 | シュミットハンマー | コア採取 | 圧縮強度試験 | 中性化試験 | 鉄筋探査 | 配合推定試験 | 気泡試験  | 気象条件 | FEM解析                   |
|-------------|------|----|------|-----------|------|--------|-------|------|--------|-------|------|-------------------------|
| 三の沢橋梁       | 1955 |    |      | 4         | 5(4) | 5(4)   | 4     |      | 85.9   | 0.792 |      | 糠平<br>夏・冬<br>夏・冬<br>夏・冬 |
| 糠平川橋梁       | 1955 |    |      | 2         | 5    | 5      | 5     |      | -      | -     |      |                         |
| タウシュベツ川橋梁   | 1937 | x  |      | 12        | -    | -      | -     | -    | -      | -     |      |                         |

検討を行った。表 2.2 各橋梁に実施した調査項目

3. 試験結果及び考察

3.1 目視調査及び非破壊試験結果



写真 3.1① 側壁の剥離状態



写真 3.1② 地震による側壁崩壊

三の沢橋梁はスケーリングが発生しており G.L 付近で比較的深度までコンクリートの浮きや、エフロレッセンスが著しく確認できる。一方タウシュベツ川橋梁は表面剥離が著しい(写真 3.1①参照)、また橋脚部 P5 の部分は、十勝沖地震により岸側側面部分が崩壊し、路盤砂利が流出している。また各橋脚間において側壁部分に、はらみも確認され、側壁の崩壊の可能性がある。(写真 3.1②参照)またタウシュベツ川橋梁のシュミットハンマーによる表面強度を測定した。(表 3.1 参照)

タウシュベツ川橋梁施工当時の設計基準強度が 18 N/mm<sup>2</sup>とされ、表面部分は 5 割弱強度が低下している。これは、含水率が高く凍害の影響が著しいことが予測され、部材内部の強度が低下していると考えられる。不二川トンネルは坑口付近の凍害による劣化と天端ひびわれからの漏水と、冬期間ツララ発生、不二川橋梁は高欄の凍害傾きが認められた。

表 3.1 シュミットハンマーによる反発硬度(単位 N/mm<sup>2</sup>)

| タウシュベツ川橋梁 |    | 1A  | 1P   | 2P   | 3P  | 4P   | 平均  |
|-----------|----|-----|------|------|-----|------|-----|
| 内壁        | 岸側 | 6.9 | 9.1  | 10.8 | 7.5 | 13.8 | 9.6 |
|           | 湖側 | 5.4 | 13.1 | 8.2  | 4.7 | 10.1 | 8.3 |

### 3.2 コア採取による圧縮強度試験結果

三の沢橋梁及び糠平川橋梁に対して、コア採取による圧縮強度試験を実施した。並行して静弾性試験も実施した(表 3.2 参照)。この結果、糠平川橋梁は採取したどの箇所についても当時の設計基準強度  $21 \text{ N/mm}^2$  を超える良好な結果が得られた。しかし三の沢橋梁については河川水が浸かる橋脚 P1、P2 部分で非常に低い強度を示した。これはコンクリート中の含水率が高くなり凍害の影響が著しく、河川水により水酸化カルシウムが流失も影響したと推定される。

表 3.2 コア採取から求めた圧縮強度値、静弾性係数値

※静弾性係数の単位  $\times 10 \text{ N/mm}^2$  とする。

| 三の沢     | 圧縮強度   | 弾性係数 | 糠平川      | 圧縮強度 | 弾性係数 |
|---------|--------|------|----------|------|------|
| A2側地覆   | 57.7   | 3.11 | A1側地覆    | 45.9 | 3.36 |
| A2側橋台側面 | 45.9   | 2.65 | A2側地覆    | 38.8 | 2.05 |
| P2橋脚    | 22.6   | 0.41 | A1橋台アーチ面 | 40.9 | 2.95 |
| P1橋脚    | 19.8   | 0.32 | P1橋脚     | 34.7 | 2.04 |
| P1橋脚    | コア採取不可 |      | P2橋脚     | 34.3 | 2.39 |

### 3.3 中性化深さ試験および鉄筋調査結果

コンクリートの中性化による水酸化カルシウムが炭酸化し不動態皮膜が変化し内部鉄筋を腐食させる事にある。実際試験を行って得られた値は、三の沢橋梁で各部の平均値は  $0 \sim 14 \text{ mm}$  で、糠平川橋梁で平均値  $0 \sim 22 \text{ mm}$  であった。凍害により剥離した部分の中性化が進行しているが、鉄筋腐食するほど中性化が進行していない、特に進行している橋脚部分はアーチに比べ鉄筋が疎で、著しく耐久性を低下させるレベルではなく、年平均気温も低いので鉄筋腐食に対し現在のところ安全なレベルである。

### 3.4 気泡組織分析試験結果

三の沢橋梁で採取したコア供試体を用いて実施した。一般的に凍結融解に対する指標は  $0.2 \sim 0.25 \text{ mm}$  の範囲とされており、当構造物は気泡間隔係数  $0.792 \text{ mm}$  と分析された。また施工年次が同一な糠平川橋梁に関して、材料・方法も同じと考えるのが自然であり、この分析結果を反映させるべきである。つまり両橋梁は、耐凍害性に劣る Non-AE コンクリートで施工されていると言える。

### 3.5 FEM 温度応力練成解析結果

1) 気象条件 糠平における 2004 年の冬期間(1~3 月)、夏期間(7~9 月)それぞれを用いた。熱伝達係数は同期間の日平均風速より求めた。北海道におけるコンクリート打設開始は 5 月が多く、故に 1979~2004 までの 5 月の平均気温  $8.4^\circ\text{C}$  をコンクリート内部の初期温度として定めた。

2) 材料特性 ポアソン比 0.2、コンクリート密度  $2.33 \text{ kg/cm}^3$ 、弾性係数は三の沢・糠平川それぞれの橋梁について、採取コアの圧縮強度試験から算出した値を基に設定した。また部材内部は表面よりも強度が高いとして当時の設計基準強度  $21 \text{ N/mm}^2$  時における弾性係数で算出した。タウシュベツ川橋梁において、表 3.1 で求めた反発硬度の平均値を算出し、以下の式を用いてヤング係数を求めた。

$$E = 2.1 \times 10^5 \times \left( \frac{\gamma}{2.3} \right)^{1.5} \times \sqrt{\frac{F_c}{200}} \cdots \text{式(1)}$$

※  $\gamma$  : コンクリート密度 2.33、 $F_c$  : 反発硬度

3) 荷重条件 冬の荷重雪荷重(雪の密度  $240 \text{ kg/m}^3$ )、路盤砂利

の荷重(骨材単位重量  $1800 \text{ kg/m}^3$ )、夏は人が渡る場合を考慮し荷重( $q = 0.35 \text{ N/mm}^2$ )をそれぞれ設定した。また、対象断面、地盤拘束をそれぞれ設定した。

4) 解析結果 各橋梁の FEM 二次元温度応力解析結果を以下に示す(図 3.5 参照)。

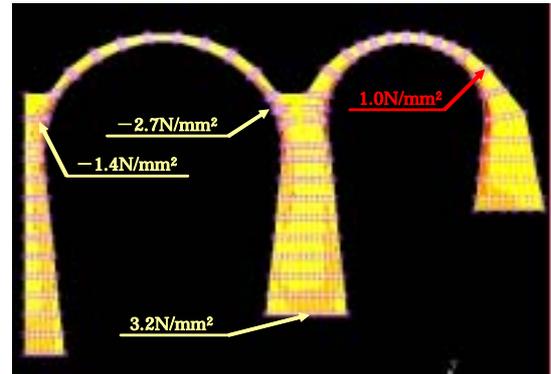


図 3.5 三の沢橋梁における FEM 温度応力練成解析結果

三の沢橋梁の解析結果において、地盤に最大で  $3.2 \text{ N/mm}^2$  の引張応力が働いているが、この解析モデルは地盤と完全拘束としたため自由度が皆無となり生じたと考える。また他の部分では、どれも引張応力が圧縮強度の  $1/10 \sim 1/13$  以下であるので安定している。

糠平川橋梁に関して三の沢橋梁同様安定した値が得られた。タウシュベツ川橋梁に関しては圧縮・引張応力それぞれが非常に小さい値が結果が得られた。しかし、今回図面から作成した解析モデルは、写真や他の橋梁の図面と比較し、路盤砂利の量、アーチ部の部材圧さが他の橋梁と比べて倍近くあること、橋脚が厚すぎることを考慮すると、実際の構造物の応力分布を得られたとは言いがたい。再度、図面や写真、アーチ部の部材圧や、路盤砂利の量など検討する余地がある。

4. 総括 寒冷地における文化財的コンクリート構造物の保存と活用に関する調査と考察の結果以下の事が明らかとなった。①旧国鉄士幌線のコンクリートアーチ橋梁群等を対象として、保存活用のため遊歩道として利用されている三の沢橋梁、糠平川橋梁、保存が望まれているタウシュベツ川橋梁等の現況について調査と解析を行った。各種調査解析により、現状のコンクリート強度や中性化深さ、気泡間隔係数等を測定し、さらに、FEM2次元温度応力解析や気温を非定常境界条件として、内部に凍結及び非凍結層の境界条件を有する熱伝導方程式を差分で解析し、応力と凍結融解回数を明らかにし、保存のための健全性を判定し、遊歩道として活用の適性を判断した。②タウシュベツ川橋梁については、湖水による乾湿と凍結融解の繰り返しによる凍害のため表層強度より推定したコンクリート強度が極めて低く、解析結果より保存対策が必要であると判断する。③不二川トンネルと橋梁で前者は剥離部分を除去し、後者は高欄部を補修または一般人の接近を制限し、活用と通行には厳重注意(子供は保護者同伴)等の周知と経過観察が必要条件等となる。謝辞土木学会道支部、道土木技術会コンクリート委、十勝支庁、大開技術コンサルタント、リテック、ショーボンド建設、大成建設、上士幌町、現地 NPO 等に感謝する。