

寒冷地の文化財的コンクリート構造物の保存活用に関する事例と考察

Research and consideration on preservation and application
for cultural assets concrete structure in cold region

北見工業大学 正員 櫻井 宏 (Hiroshi SAKURAI)
北見工業大学 正員 岡田包儀 (Kaneyoshi OKADA)
北見工業大学 ○学生員 水野継太 (Keita MIZUNO)
北海道大学 フェロー 佐伯 昇 (Noboru SAEKI)

1. はじめに

1.1 背景 寒冷地にお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がよく、地域の人々に親しまれ文化財的に価値のあるとされる構造物が存在し、北海道内には、構造物が多数あり、一連の構造物群として残っているものがある。一例として、旧国鉄上士幌線跡のコンクリート橋梁群は、規模や景観で、我が国でも有数の土木遺産の一つといえる。さらに産官民が一体となった活発な保存活動が実を結び、現在までに、勇川橋梁、第三音更川橋梁、第五音更川橋梁、十三の沢橋梁の4橋梁が登録有形文化財に指定されており、また文化財として登録はなされていないものの、糠平湖の湧水期のみ湖底から姿を現すタウシュベツ川橋梁は、知名度が最も高く地域住民や糠平を訪れる人々の心を魅了し続けている。

2.1 研究の目的

本研究は、寒冷地の文化財的コンクリート構造物の保存活用に関する事例として旧士幌線コンクリートアーチ橋梁群を構成する一部の糠平川、三の沢、タウシュベツ川橋梁等の調査と考察を行う。

2. 調査概要

2.1 対象構造物

最近、各種情報で紹介されているタウシュベツ川橋梁と、遊歩道として活用が検討されている三の沢橋梁、糠平川橋梁の2橋梁の安定性について検討する。概略図と全景写真を写真2.1～2.3、図2.1～2.3に示す。



写真 2.1 タウシュベツ川橋梁



写真 2.2 三の沢橋梁

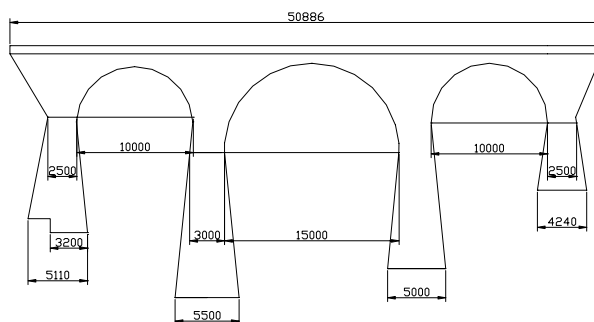


図 2.2 三の沢橋梁概略寸法図



写真 2.3 糠平川橋梁 (写真大開コンサルタント(株)提供)

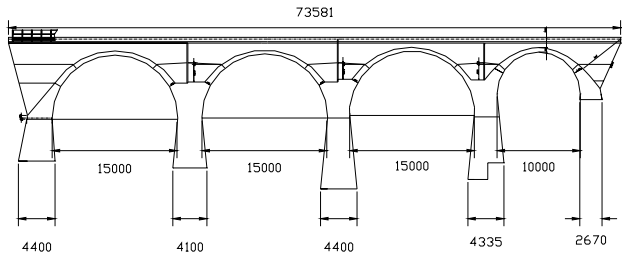


図 2.3 糠平川橋梁概略寸法図

2.2 調査方法

(1)各種調査 写真のような現地調査等でシュミットハンマーと中性化深さの測定,鉄筋腐食調査,利活用検討の際に,採取コアによる圧縮強度(タウシュベツ川橋梁は実施せず),気泡組織方法等を行った。

(2)FEM による 2 次元温度応力解析

有限要素法による解析システム「MARC」を使用し,静的線形解析と外気温を入力した FEM 二次元温度応力を行った。解析対象構造物は,タウシュベツ川橋梁と三の沢橋梁の 2 橋梁とする。以下にそれぞれの解析設定条件を記す。

a) タウシュベツ川橋梁

2003 年十勝沖地震の際に損傷が発生した(写真 2.4)。本橋梁の図面が残っておらず,ダム湖に浮沈することもあり寸法の測定をすることが困難であるため,写真及び第三・第後・第六音更川橋梁の図面から判断しこれを定めた(15000mm 橋脚底面 2300mm,タウシュベツ川橋梁に関しては,詳細な図面が残っていないため概略寸法図は省略するものとする)。また,シュミットハンマーの結果をより,コンクリート強度を 10N/mm^2 として,動弾性係数を設定した。これは第三音更川橋梁の推定強度が 12N/mm^2 と筆者等の既往の研究から算出されており,また橋梁の表面剥離状態(写真 2.5)やダム湖底にあるという過酷な環境条件を考慮し設定した。



写真 2.4 タウシュベツ川橋梁の地震による損傷状況(十勝三股側 6 スパン目付近,湖岸側アーチ側壁、アーチ上部よりと 6p 目地付近より崩落、例年より大雪のため水位高い、撮影:2004 年 5 月 24 日)



写真 2.5 タウシュベツ川橋梁の表面劣化状況

b)三の沢橋梁 三の沢橋梁のメッシュ分割の概要を示す(図 2.4)。

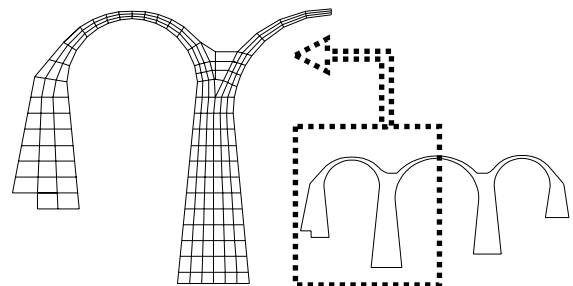


図 2.4 三の沢橋梁メッシュ分割図

主スパン中央部分から見て,左右対称として 174 要素に分割して 2 次元温度応力解析を行った。設定条件は材料特性として,ヤング率 2702kgf/mm^2 2396kgf/mm^2 372kgf/mm^2 ,密度 0.0023kg/cm^3 ,熱伝達率 6.111×10^{-6} ,比熱 0.25kcal ,ただしヤング率は圧縮強度から得られた静弾性係数を基に劣化が著しい部分を,土中内部や激しい劣化部分の次の層,目視において健全と判断した部分や外気に触られていない部分とそれぞれ設定した。

また気温は 1984 年 1 月～2 月までを入力した。これは,1979 年～2004 年の中で最も厳しい寒さであったため採用した。冬期間は遊歩道を使用しないため荷重は,雪・土砂のみとする。

また P1, P2 の橋脚底面からそれぞれ高さ 7000mm, 8500mm は岩盤や土砂に埋もれているので,これを考慮し,温度応力を与えず,さらにこの地域の岩盤は軟弱な岩盤であるため橋脚の拘束を底面のみとした。

3. 調査及び考察

3.1 三の沢及糠平川橋梁等の状況

1) コンクリートコア採取及び圧縮強度等

調査結果によると、採取したコンクリートコアの圧縮強度試験結果は、三の沢橋梁では $20 \sim 58 \text{ N/mm}^2$ で、ばらつきが大きく、特に凍害を受けている P1 橋脚が小さかった。糠平川橋梁では、 $46 \sim 34 \text{ N/mm}^2$ で、ほぼ健全だと判断された。静弾性係数は、三の沢橋梁では $3.5 \sim 2.5 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ で、 $3.4 \sim 2.4 \text{ N/mm}^2 \times 10^4$ であった。

2) 中性化深さ等

中性化深さは、三の沢橋梁では、各部の平均で $0 \sim 14 \text{ mm}$ である。凍害を受けて剥離した部分で、中性化深さが深い傾向を示している。糠平川橋梁では、 $0 \sim 22 \text{ mm}$ で、橋台等の気泡の大きさが目立つ部分の中性化深さが大きい。共にばらつきは、やや大きい。

3) 鉄筋の状況

配筋の状態は、かぶりもある程度確保され、中性化深さと比較しても、鉄筋の腐食は現在の進まないと判断できる。

表 3.1 三の沢橋梁・糠平川橋梁の鉄筋腐食調査結果

橋梁名	調査位置	鉄筋径	かぶり厚さ	腐食グレード
		mm	mm	
三の沢橋梁	A2側地覆	$\phi 12$	162	
	A1側地覆	$\phi 12$	47	
糠平川橋梁	A2側地覆	$\phi 9$	93	
	A1橋台アーチ面	$\phi 22$	55	

気泡数間隔係数等については、凍結融解に対する指標⁴は $0.2 \sim 0.25 \text{ mm}$ の範囲とされており、当該構造物はコンクリートの気泡間隔係数は 0.792 mm で、non-AE コンクリートであり今後とも観察が必要である。

3.2 タウシュベツ川橋梁の非破壊試験結果

シュミットハンマーの測定結果を以下に示す。

表 3.2 タウシュベツ川橋梁シュミットハンマーによる強度参照(単位: N/mm^2)

タウシュベツ川橋梁	地覆内側	1A	2P	3P	4P	5P
	岸側	6.9	9.1	10.8	7.5	13.8
	湖面側	5.9	13.1	8.2	4.7	10.1

測定面が凍害の影響で、表面剥離やクラックが発生し、基面ができるだけ平坦な箇所で行った。当時の設計基準強度より、現在の表面付近の強度は半分以下に落ちている部分も一部に存在し、橋梁には多数のはらみも一部確認され、橋梁アーチ側壁が現況の路盤等の土圧、風浪等の影響に対して、検討が必要である。

3.3 FEM2 次元温度応力解析結果

1) タウシュベツ川橋梁

解析結果(図 3.3.1)として引張応力・圧縮応力は死荷重のみなので小さい。その中で、比較的大きな値が出たのはアーチ付け根部分の圧縮応力であり、コンクリートの圧縮強度の $1/6 \sim 1/4$ で弾性範囲内にある。現時点で橋梁が自立しているが、構造安定上さらに、詳細な検討が必要である。設定条件として橋梁にかかる荷重は雪・砂利のみで、また過酷な環境条件や地震荷重等を設定していないため、それらを設定して解析を行う必要もある。

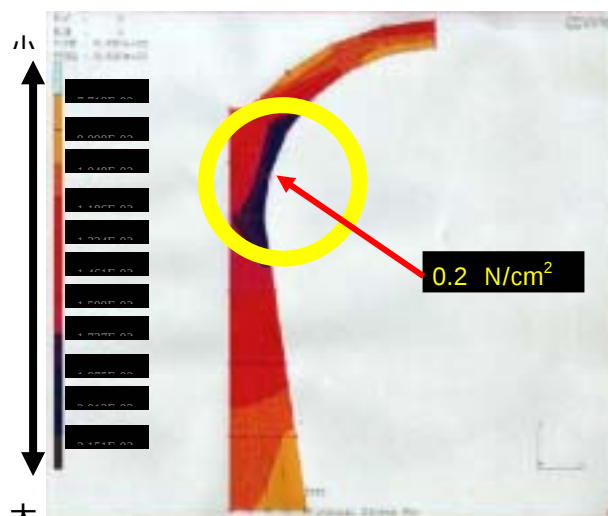


図 3.3.1 タウシュベツ川橋梁の FEM による解析結果

2) 三の沢橋梁

温度応力解析結果を表 3.3.1 に示す。

橋軸方向中心の断面においての解析結果を示す。(図 3.6.2 参照)時間ステップ $T = 0$ 日の時はまだコンクリート内部に温度応力が働いていない状態である。そのときの圧縮応力は 0.82 N/mm^2 、引張応力 0.35 N/mm^2 で、さらにこのモデルに温度応力を与えると、時間ステップ $T = 30$ 日におけるコンクリート内部の温度変化は、アーチ部分では直接外気に接触するため最低で -11.7 となり、それに伴って圧縮応力 2.28 N/mm^2 引張応力 2.58 N/mm^2 となった。さらに 60 日経過させた場合の温度は最低で -12.2 となり、それに伴って圧縮応力 2.52 N/mm^2 、引張応力 2.77 N/mm^2 が働き、これも 30 日のとき同様に、設定条件ができるだけ過酷な条件で設定していること、また圧縮強度試験結果では設計基準強度 21 N/mm^2 より高い値が得られていること。これらを考慮すると、構造物は安定していると言える。

表 3.3.1 三の沢橋梁の温度応力練成解析結果
(解析時間ステップ毎)

日 数	内部の温度分布	圧縮応力	引張応力
0 日 (初期値) (温度) 0 (圧縮応力) 0.82 N/mm ² (引張応力) 0.35 N/mm ² 応 力 解 析			
30 日経過 (温度) -11.7 ~ 10 (圧縮応力) 2.28 N/mm ² (引張応力) 2.58 N/mm ² 温度応力練成解析			
60 日経過 (温度) -12.2 ~ 9.7 (圧縮応力) 2.52 N/mm ² (引張応力) 2.77 N/mm ² 温度応力練成解析			

4. まとめ

本研究の結果以下のような考察結果を得た。

1) 各調査事例について

調査により以下の傾向が見られた。

糠平川橋梁は、概観のほぼ健全で、一部採取コアで凍害の影響が見られたものの、十分な圧縮強度を有し、静弾性係数自体が他の特性値と比較しても低くはなく、構造物の安全性に及ぼす影響が小さい。当該構造物は十分安定な構造物であるといえ、利活用が可能であることが明らかになった。

三の沢橋梁は、構造物の外観状況を観ると、スケーリングが発生し骨材が露出している状態であり、G.L 付近で比較的深度にまでコンクリートの浮きが認められ、部分的な欠損を生じている。著しいエフロレッセンスも発生している。P1、P2 部分の橋脚は表面状態、圧縮強度試験、気泡間隔係数とも符合するように、凍害の影響が著しい。また凍害を防ぐ AE 剤の使用は、北海道では初めて使用されたのは 1952 年であるが、1955 年建設の当該構造物に於いては空気量が 0.2% と異常に小さく、用いられていない可能性が高く、耐凍害性に劣り、長年の凍結融解作用により橋脚部表層部は劣化が進行する可能性がある。しかし、上部工や橋台などの H.W.L 以上の部分は、強度的にも、十分堅固で、橋梁を活用するには、適宜観察を行い、可能であれば、劣化の進行を防止するために、橋脚部分の補修・補強が望まれる。

タウシュベツ川橋梁は、ダム水面を上下する水分が供給される凍結融解条件下の大変過酷な環境下にあるため、景観を保ち崩壊をさせないために、橋梁に関して美観を損なわない補修・補強を行うための検討も必要である。

2) 今後の課題 調査対象の橋梁群の一部を遊歩道として活用する計画が十勝支庁等により、『北海道自然歩道「東大雪の道」』として、推進中である。これは「保存」という枠組みから脱し、「活用」という新たな文化財的構造物の有用性が確立されようとしている。今後これらの利活用と、維持管理を含めて有効な利活用を検討する予定である。

謝辞 本研究は、北海道土木技術会コンクリート委員会古いコンクリート構造物の調査と保存のための研究小委員会の活動の一環であり、三の沢橋梁や糠平川橋梁の調査に関しては利活用検討調査の際に、北海道庁、十勝支庁、大開技術コンサルタント(株)の下で実施され、貴重なデータを得られた。NPO ひがし大雪アーチ橋友の会、NPO ひがし大雪自然ガイドセンター、ショーボンド建設(株)北海道支店、大成建設(株)札幌支店、(株)リテックの御協力を頂いたここに深く感謝する。