

寒冷地の土木遺産的構造物の保存と活用に関する検討と考察

北見工業大学土木開発工学科 正員 桜井宏, 岡田包儀, 学員 廣畑玄樹 長屋綾将

1. はじめに

北海道には、明治以降の開発の歴史に伴う土木遺産的構造物が多く、一連が構造物群として残っているものがある。一例として、旧国鉄士幌線のコンクリートアーチ橋梁群があり、その構造物群の主なものは北海道遺産や国の登録有形文化財に指定登録されている。しかし、寒冷地に置かれたコンクリート構造物は、冬期やその前後の厳しい環境や凍結融解による影響で劣化が著しい。各方面から保存が望まれている文化財的な価値のあるとされる古いコンクリート構造物も、凍害等による大きな影響を受けている。

本研究では寒冷地の土木遺産的構造物の現地調査や解析事例から、土木遺産的構造物の調査、健全度の判定、保存と活用等の方法を考察し検討する。

2. 研究方法

(1)検討フロー 土木遺産的構造物の調査、保存、活用の検討の概略手順を、Fig1 のフローチャートに示す。まず対象の構造物の資料や現地踏査より予備調査を行う。これらをもとに現地調査を行い、主な調査項目はコンクリートのひび割れ、剥離、漏水、凍害、鉄筋腐食等の劣化状況や補修状況等を調査する。特に、崩壊が懸念される構造物については、シュミットハンマー等よりコンクリート強度等を推定してFEM解析を行い、安定性を検討する。

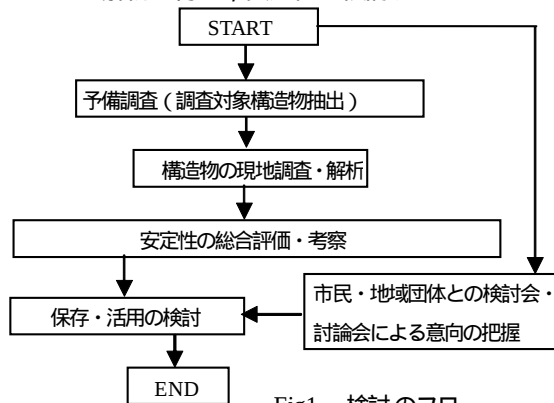


Fig1 検討のフロー

(2)検討対象構造物 対象構造物は、北海道遺産に選定されている旧国鉄士幌線のタウシュベツ川橋梁(1937年竣工)と旧国道で活用を予定している不二川橋梁(1961年竣工)、不二川トンネル(1955年竣工)等を中心に検討する。



Photo.1 タウシュベツ川橋梁(コンクリートアーチ, 橋長130m, 11径間)



Photo.2 不二川橋梁, PC ラーメン, 橋長74.5m



Photo.3 不二川トンネル, 延長76.8m

(3)現地調査 現地調査概要 前述(1)に示した項目を中心に調査し、特に地震による著しい被害を受けている構造物(タウシュベツ川橋梁)については、崩壊部分の状態などの現況を把握する。劣化の評価等 活用等を予定している構造物(不二川橋梁・不二川トンネル)においては、一定区間(4m)毎にひびわれ、剥離、膨れ、腐食、漏水、傾き、補修箇所などに対し基準を設けて、詳細に調査する。健全度(劣化度)のグレーディングを表-1に示す。非破壊試験 各構造物に対してシュミットハンマーによる非破壊試験を実施した。

(4)解析方法 崩壊が懸念されるタウシュベツ川橋梁については、FEM温度応力連成解析の有限要素法解析プログラム「MARC」を使用し、各種荷重条件を入力する。路盤砂利の荷重(骨材単位重量 $1.8 \times 10^{-5} \text{ N/mm}^3$), 夏は荷重($q = 0.35 \text{ N/mm}^2$), 冬は雪荷重(雪の密度 $2.6 \times 10^{-6} \text{ N/mm}^3$)をそれぞれ仮定し、対象断面と地盤拘束をそれぞれ設定し、解析を行った。外気温は糠平の2004年冬(1~3月), 夏(7~9月)のものを用い、熱伝達係数は同期間の日平均風速より求めた。1979~2000年の5月の平均気温8.4をコンクリート内部の初期気温として定めた。材料特性はポアソン比0.2, コンクリート密度 0.0023 kg/cm^3 。静弾性係数は非破壊試験結果(シュミットハンマー)で求めた反発硬度から圧縮強度を算出し、式(1)を用いて求めた。

$$E = 2.1 \times 10^5 \times (\sqrt[3]{2.3})^{3/2} \times (Fc/200)^{1/3} \quad \dots \text{式(1)}$$

γ : コンクリート密度2.3, Fc : 圧縮強度

3. 検討結果及び考察

3.1 検討結果

(1)現地調査結果 現地調査結果概要 Photo.1に示すタウシュベツ川橋梁は施工後70年近く経過しているため、橋梁表面全体に表面剥離が見られる。また十勝沖地震の影響で一部のアーチ側壁等が崩壊し、路盤砂利が流出している。

Photo.2 の不二川橋梁では、凍害による剥離(Fig.2)とひびわれや、かぶりコンクリートの劣化による鉄筋腐食(Fig.3)が多く見られた。Photo.3 の不二川トンネルでは、ひびわれ(Fig.4)、剥離(Fig.5)、漏水等が多く見られ、坑口付近の凍害による劣化が激しい(Fig.7)。

劣化の評価 Table.1 に示す測定区間毎で A～E の5段階の健全度(1～5の劣化度)で実施し、Fig.2とFig.3は不二川橋梁の高欄の剥離、鉄筋腐食の劣化の変状を示し、Fig.4とFig.5は不二川トンネルのひびわれと剥離の劣化の変状を示す。

Table 1 劣化による各種変状等と健全度(劣化度)グレーディング

健全度(劣化度数値)	ひびわれ幅	剥離面積率	膨れ・傾き	鉄筋腐食	補修	漏水
A (1)	ほとんど無し	ほとんど無し	ほとんど無し	ほとんど無し	ほとんど無し	ほとんど無し
B (2)	0.2～0.5mm	5%未満	5mm 未満	膨れひびわれ	25%未満	エフロレッセンス
C (3)	0.5～1mm	5～25%未満	5～10mm 未満	錆汁	25～50%未満	微小漏水
D (4)	1～5mm 未満	25～50%未満	10～50mm 未満	鉄筋腐食	50～75%未満	ただの漏水
E (5)	5mm 以上	50%以上	50mm 以上	激しい腐食	75%以上	激しい漏水

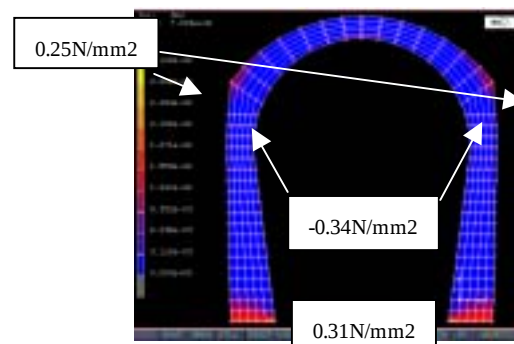


Fig6 FEMによる応力分布

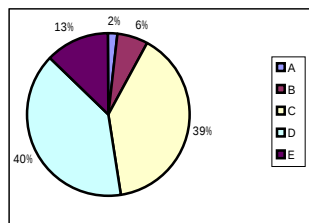


Fig2 橋梁高欄の剥離

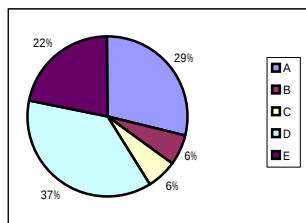


Fig3 橋梁高欄の鉄筋腐食

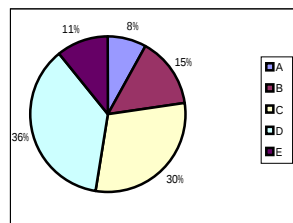


Fig4 トンネルのひびわれ

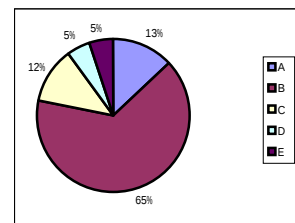


Fig5 トンネルの剥離

非破壊試験結果 シュミットハンマーによる表面強度を算出したが、タウシュベツ川橋梁においては施工当時の設計基準強度 18N/mm^2 に対して 50%程度の低下が見られた。不二川橋梁の高欄部のシュミットハンマーによる強度の平均は $20.8(\text{N/mm}^2)$ 、不二川トンネル全体の強度の平均は $25.7(\text{N/mm}^2)$ であった。

(2)FEM 二次元温度応力連成解析結果 応力分布図は Fig.6 に示したように、アーチ部の圧縮は強度に比べ小さく、モデルの仮定上、橋脚下部に引張応力が出た。

3.2 考察

(1)タウシュベツ川橋梁においては、凍害による表面劣化が著しく、シュミットハンマーによる非破壊強度の測定値からも、部材厚が比較的薄いアーチ側壁部等は当時の設計基準強度よりかなり強度や弾性係数が低いと推察される。既に劣化が著しく進行しており劣化過程は劣化期の段階である。解析結果より、仮定した静的荷重では引張応力は拘束を仮定した橋脚下部以外は発生せず、アーチ部材の圧縮応力は小さい。しかし、水没時の波力や地震時の動的荷重に対しては注意が必要で、当時の詳細な図面等の存在等が確認できず、概略寸法を仮定しているため、再度さらに正確な測量等を行い、応力分布を詳細に検討する必要がある。

(2)不二川橋梁・不二川トンネルにおいては、調査結果からいずれの構造物も凍結融解作用による凍害で劣化が進展している。活用するためにはこれらを抑制する必要がある。不二

川橋梁については主に高欄部の調査を詳細に実施し、その結果、劣化過程は加速期に入っている。橋脚、桁に関しては目視調査を行ったが潜伏期にあり劣化がまだ顕在化しない状態である。不二川トンネルについては、劣化過程は進展期から加速期にあり劣化が進んでいるが、著しい変圧によるひびわれや変形等の変状はほとんど無く、耐力力の低下までには至らない程度であると思われる。しかし、保存や維持管理をするためには、支保工の位置とひびわれの関係や坑口付近の剥離(Fig.7)防止や、地山の状況を判定するなど、更に詳細を検討する必要がある。

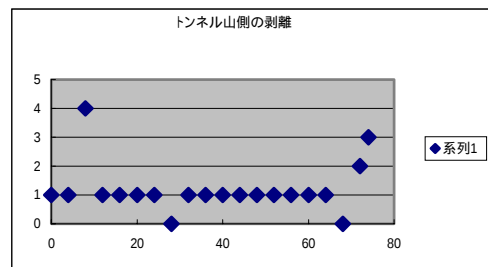


Fig7 トンネル坑口からの距離と剥離分布状況

4.まとめ 寒冷地の土木遺産的構造物を保存と活用するためには、凍害等の影響を相当受けるため、これらによる劣化の程度の把握と進行の防止が必要不可欠である。

謝辞 上士幌町の共同研究による御協力を深謝する。

参考文献 桜井宏他:糠平湖に現れる幻のコンクリートアーチ橋,セメントコンクリート,NO.699,pp7～19,2005.5