

寒冷地における水路更生工法の補強効果

Strengthening Effect of the Method for Rehabilitation of Channel of cold regions

○渡部 浩二* 西尾 悟* 竹田 誠** 石神 暁郎*** 緒方 英彦****

○WATABE Koji* NISHIO Satoru* TAKEDA Makoto** ISHIGAMI Akio*** OGATA Hidehiko****

1. 研究背景と目的

寒冷地において凍害劣化したコンクリート開水路の対策工法として、著者らは水路更生工法の開発を進めている。本工法の特徴は、既設躯体コンクリートに FRPM 板を金属式拡張アンカーによって固定し、躯体と FRPM 板の隙間にポラスコンクリート（以下、ポラコンと略す）を充填することで、ポラコンの透水性や断熱性による凍害抑制効果に加えて、コンクリート躯体の補強効果を期待するものである。

本研究では、実験供試体による载荷実験のシミュレーション解析を試み、その結果を踏まえて実構造物を想定した場合の補強効果（耐荷力回復・向上効果）について検証した。

2. 载荷実験に対するシミュレーション解析

(1) 载荷実験の概要

供試体は幅 400mm、高さ 200mm、スパン 2,000mm の矩形 RC 梁とし、補強した供試体は梁の上面に FRPM 板とポラコンを配置した。ここで、FRPM 板は厚さ 10mm、ポラコンの厚さは 30, 50, 70mm の 3 種類とし、各ケース 3 反復の実験を実施した。载荷実験はスパン中央部の 1 点に载荷する 3 点曲げ载荷とし、载荷点位置の鉛直荷重および鉛直変位を計測した。

実験の結果、補強した供試体において、各部材の境界面で軸方向の滑り、FRPM 板-ポラコンの境界面で剥離開口が確認された。補強前後における最大荷重を比較すると、FRPM 板とポラコンによる合成効果によって最大荷重が約 1.3 倍向上するが、ポラコン厚を増加しても、最大荷重はほとんど変化しない（表 1）。これは、

表 1 補強前後の最大荷重値の比較

	補強前	補強後		
		t=30mm	t=50mm	t=70mm
実験結果 (比率)	46.2 kN (1.00)	60.6 kN (1.31)	58.9 kN (1.27)	60.0 kN (1.30)

※ t はポラコン厚、実験結果は 3 反復の平均値を示す。

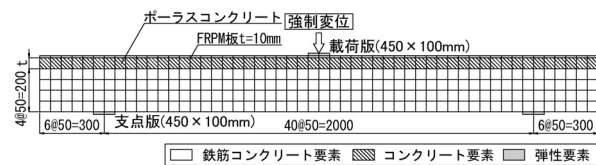


図 1 解析モデル（要素分割図）

補強材（FRPM 板+ポラコン）が金属式拡張アンカーを用いて梁と固定されており、ポラコン厚の増加に伴って固定アンカーの変形量が大きくなることで合成効果が低減し、その結果として補強材と梁の接触界面におけるせん断剛性が低下するためと考えられる。

(2) シミュレーション解析の概要

数値解析には 2 次元非線形有限要素解析コード WCOMD を用いた。図 1 に解析モデル（要素分割図）を示す。適用した有限要素は 8 節点平面要素とし、FRPM 板-ポラコン間、ポラコン-梁上面の要素間には、接触・剥離や滑りを考慮できるジョイント要素を配置した。解析はスパン中央部に単調増加の強制変位を与えた。

材料構成則には、岡村・前川らによって開発された分散ひび割れの仮定に基づく多方向固定ひび割れモデルおよびコンクリートと鉄筋の非線形材料構成モデル¹⁾を用い、FRPM 板は弾性体とし、数値解析で与えた各構成材料の物性値は、材料試験結果とした。

ジョイント要素には接触剛性とせん断剛性を与え、荷重-変位関係、境界面の付着挙動（滑りや剥離）が実験結果と整合するよう、トライ

* (株) ドーコン, Docon Co. LTD., ** (株) 栗本鐵工所, Kurimoto Co. LTD., *** (独) 寒地土木研究所, Civil Engineering Research Institute for Cold Region, **** 鳥取大学農学部, Faculty of Agriculture, Tottori University, コンクリート開水路, 水路更生工法, 補強効果, 非線形有限要素解析

アル解析により剛性を決定した。ここで、補強材の有無による差が明瞭な最大荷重を補強効果の評価指標と位置付け、荷重－変位関係の変曲点となる変位 20mm から最大荷重となる変位 60mm までの範囲において、実験と解析により得られた荷重値の残差平方和が最小となるよう、ポラコン厚さケース毎にせん断剛性を同定した。

ポラコン厚 30mm とした場合の載荷点位置の荷重－変位関係を図 2 に示す。

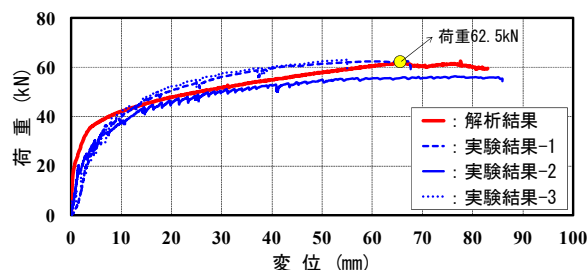


図 2 荷重－変位関係の一例（ポラコン厚 30mm）

3. 実構造物に対する補強効果の検証

(1) 実構造物を想定した場合の検討概要

提案する工法の実構造物への適用性を想定し、実大規模のコンクリート開水路に対する補強効果を数値解析的に検証した。本検討で想定した水路は、内空高 1.0m×内空幅 2.0m と内空高 2.0m×内空幅 4.0m の水路の計 2 ケースとし、凍害劣化した状態での補強効果を確認した。なお、補強材は、FRPM 板厚 10mm、ポラコン厚 30mm に限定して検討を行った。

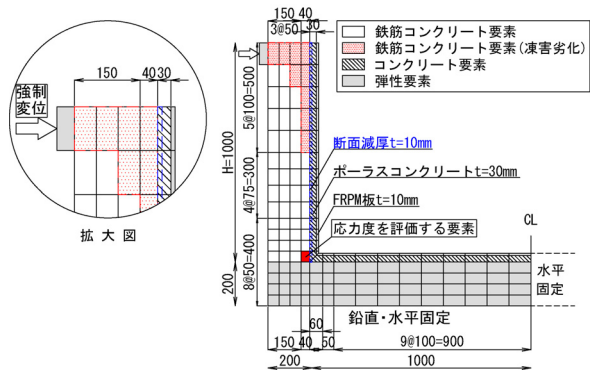


図 3 実構造物を模擬した解析モデルの一例

図 3 に実構造物を模擬した解析モデルを示す。構造物の対称性からモデル化の範囲は 1/2 とし、劣化状態は、側壁天端から側壁高の 1/2 の領域で相対動弾性係数が 60% に低下した状態に加え、スケーリングによって側壁内面が 10mm 減厚した状態を仮定した。ここで、凍害劣化した領域の力学的特性値は、既往の研究成果²⁾による相対動弾性係数との関係式を用いて設定した。

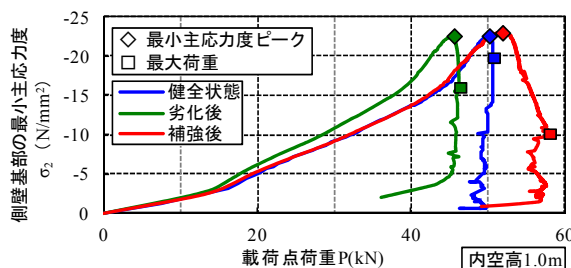


図 4 荷重－側壁基部最小主応力度の比較

表 2 補強前後の荷重値の比較

	健全状態	劣化後	補強後
最小主応力度ピーク時荷重	50.1 kN (1.00)	45.5 kN (0.91)	51.8 kN (1.03)
最大荷重	50.7 kN (1.00)	46.3 kN (0.91)	57.9 kN (1.14)

※ 0内は健全状態を1としたときの比率を示す。

補強効果の検証は、側壁天端背面に強制変位を与え、側壁基部（曲げ破壊が生じる構造的弱部）の要素における、健全状態、劣化後、補強後の主応力度を比較評価した。

凍害劣化が生じた実構造物に対して、耐荷力の回復・向上効果が見込めるものと考えられる。

(2) 数値解析結果および考察

図 4 に内空高 1.0m の載荷点位置の荷重－側壁基部の最小主応力度の関係を比較して示す。

4. 結 論

最小主応力度ピーク時の荷重は、劣化後は 9% 低下する一方、補強後は健全状態と比較して 3% 増加する。さらに、応力度ピーク以降も補強材が圧縮応力を負担することで、最大荷重の増加が認められる（表 2）。よって、提案する工法は、

FRPM 板とポラスコンクリートから構成される水路更生工法は、凍害抑制効果のみならず、著しい凍害劣化が生じた既設開水路の補強にも寄与することが確認された。

参考文献

- 岡村甫, 前川宏一: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂出版, 1991.
- 周藤将司ら: 凍害劣化の生じたコンクリートの力学特性および現地非破壊試験による動弾性係数の評価法に関する研究, 農業農村工学会論文集, 投稿中