

断面修復を施したコンクリート部材の耐荷力特性に関する検討

独立行政法人土木研究所つくば中央研究所 正会員 ○北野 勇一  
 独立行政法人土木研究所つくば中央研究所 正会員 渡辺 博志  
 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 久田 真  
 プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 北山 良

1. はじめに

断面修復部に求められるひび割れ抵抗性の評価を意図し、物性の異なる3種類の補修材を用いた様々な供試体を作成して長期暴露による硬化収縮試験を実施した<sup>1)</sup>。その結果、補修厚みとひび割れ発生には相関性があり、補修部のひび割れを防ぐためには薄肉化を図るほど硬化収縮率を抑制する必要があること、および、ポリマー混入の補修材はひび割れ抵抗性に優れる材料であることが確認された。一方、用途目的を構造体とした場合、補修部には耐荷力の分担も求められる。そこで本研究では、材質や補修厚みにより乾燥過程の受け方が異なる補修コンクリート部材の耐荷力特性を明らかにするため、硬化収縮試験が完了した供試体を用いて実験を行うとともに、シミュレーション解析との比較検討を行った。

2. 検討概要

2-1 実験方法

(1) 使用材料

使用材料の材料試験値を表-1に示す。ここで、母材部には、プレストレストコンクリート道路橋を想定した設計基準強度 40N/mm<sup>2</sup>のコンクリートを用いた。示方配合は、水セメント比W/C=40%、単位水量 W=163kg/m<sup>3</sup>、細骨材率s/a=45%、空気量Air=4.5%とした。補修部には、市販品より、ポリマーセメントモルタル (PCM)、セメントモルタル (CM)、軽量ポリマーセメントモルタル (LPCM) を選定し、使用した。なお、どの補修材にも有機繊維が予め含まれていた。

(2) 供試体の作成および実験方法

供試体は母材部のコンクリート打設後3ヶ月目に、補修厚みが10, 25, 50mmとなるように補修材を打ち重ね(打継面は遅延剤処理)、その翌日に被覆を行い、その後暴露1.5年が経過した10×10×40cmの角柱部材を用いた。この供試体を「補修コンクリート供試体」と呼び、補修材のみで作成したものを「補修材供試体」とした。前者は実施工を模擬して補修部1面のみを暴露させ、後者は6面全てを暴露した。暴露環境は平均して温度20℃、湿度50%であった。

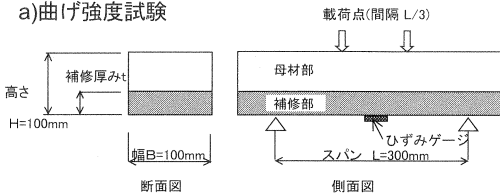
実験要領を図-1に示す。この図より、補修部を下側とし、その下縁にひずみゲージを取り付けて曲げ強度試験(JIS A 1106)を行った。その後、建研式接着力試験器を用いて、付着強度試験を実施した。

表-1 使用材料の材料試験値

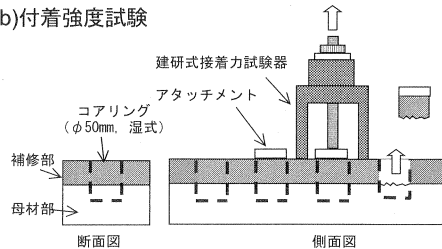
部 位	材料名	圧縮強度* N/mm <sup>2</sup>	比重* g/cm <sup>3</sup>	備 考
母 材	コンクリート	65.2	2.339	配合 40-8-20H
補 修	PCM	43.9	2.175	粉体ホ <sup>○</sup> リマ <sup>○</sup> 使用
	CM	76.9	2.257	ホ <sup>○</sup> リマ <sup>○</sup> 無し
	LPCM	26.7	1.636	液体ホ <sup>○</sup> リマ <sup>○</sup> 使用

\* 水中養生 28 日

a) 曲げ強度試験



b) 付着強度試験



c) 暴露条件

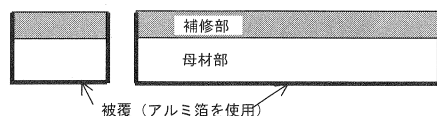


図-1 実験要領

## 2-2 シミュレーション解析方法

### (1) 解析ケース

シミュレーション解析は、平面保持の仮定が成立するとして、図-2に示す3ケースについて実施した。

Case1: 母材部の引張を無視し、補修部は曲げ強度 ( $\sigma_b$ ) に達した時点で応力0にするケース。

Case2: 母材部・補修部共に引張を考慮し、補修部は曲げ強度 ( $\sigma_b$ ) に達した時点で応力0に、母材部の引張軟化は考慮しないケース。

Case3: Case2の条件の内、母材部の引張軟化を考慮するケース。

以上のケースを、曲げ強度試験の曲げスパン内の任意断面を想定して、高さ方向に1mmピッチに分割したファイバーモデルにて解析を行った。

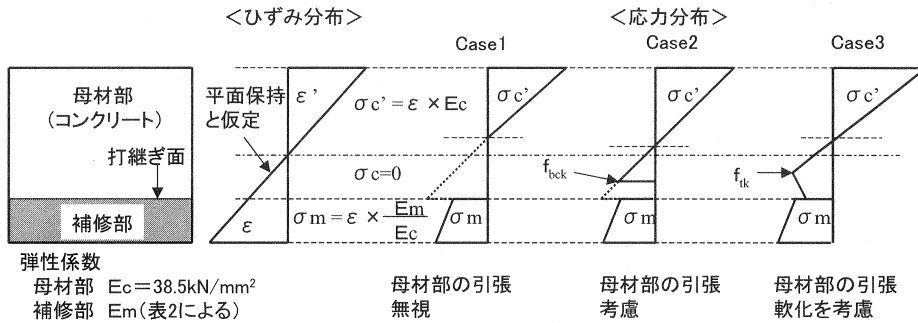


図-2 解析検討モデルケース

### (2) 補修部の材料特性

補修部の材料特性は、補修材供試体の曲げ強度試験の結果より算出した(表-2, 図-3)。

### (3) 引張軟化曲線の設定

文献2)を参考に、1/4モデルの引張軟化曲線より、切り欠きのない梁供試体のコンクリートの軟化域を含めた応力-ひずみ曲線を算定した(図-4)。ここで、引張強度の特性値は、曲げ強度 $f_{bck} = 5.48 \text{ N/mm}^2$ ,  $h = 0.1 \text{ m}$ ,  $d_{max} = 20 \text{ mm}$ ,  $f_{ck} = 65.2 \text{ N/mm}^2$ ,  $E_c = 38.5 \text{ kN/mm}^2$ が既知であることより、逆算した。また、この値は、全供試体で一定とした。

部材寸法を考慮した曲げひび割れ強度は文献3)によって定める式(1)によって求まる。

$$f_{bck} = k_{ob} k_{ib} f_{tk} \quad (1)$$

ここに、

$$k_{ob} = 1 + \frac{1}{0.85 + 4.5(h/l_{ch})}$$

$$k_{ib} = \frac{0.55}{\sqrt[3]{h}} \quad (\geq 0.4)$$

$l_{ch}$ : 特性長さ (m)

( $l_{ch} = G_f E_c / f_{tk}^2$ ,  $G_f = 10 d_{max}^{1/3} f_{tk}^{1/3}$ : 破壊エネルギー,  $E_c$ : ヤング係数,  $f_{tk}$ : 引張強度の特性値,  $d_{max}$ : 粗骨材の最大寸法)  $h$ : 部材の高さ (m)

表-2 計算に用いる材料特性値

材料名	曲げ強度 $\sigma_b$ (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 E (kN/mm <sup>2</sup> )	破壊時ひずみ $\epsilon$
コンクリート	5.48	38.5	$142 \times 10^{-6}$
P C M	8.31	22.7	$366 \times 10^{-6}$
C M	6.02	27.1	$222 \times 10^{-6}$
L P C M	5.33	12.9	$413 \times 10^{-6}$

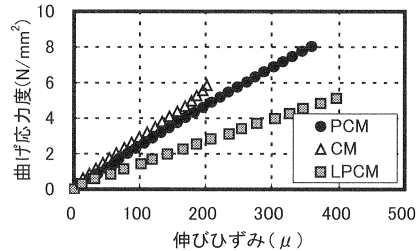


図-3 補修材供試体のひずみ測定結果

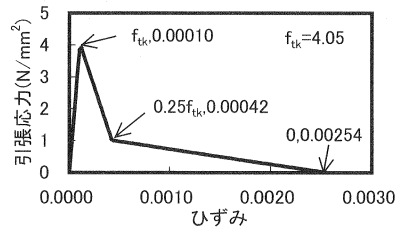


図-4 母材コンクリートの引張軟化曲線

### 3. 補修部の耐荷力分担に関する検討

#### 3-1 補修部下縁ひずみ

補修コンクリート供試体のひずみ測定結果を図-5に示す。ここで、図中の実線は全断面を有効とした場合の理論値であり、実験値は補修材LPCMの結果である。これより、補修厚み10mmを除き、両者がほぼ等しくなることが確認された。一方、補修厚み10mmの場合、試験開始前にはひび割れが確認されていなかったが、実際には載荷直後より補修部が耐荷力を分担してないことが分かる。なお、この傾向は他の補修材でも確認された。

#### 3-2 補修部の付着強度

補修部の付着強度試験の結果を図-6に示す。この図より、補修部の付着強度は材質や補修厚みにより大きく異なる結果となった。

図-5, 6の両図より判断すると、付着強度が補修材LPCMのように0.5N/mm<sup>2</sup>未満でも耐荷力を分担する場合もあり、補修部の付着強度により補修コンクリート部材としての補修部の耐荷力分担を判断することは難しいことが分かった。なお、実構造物では、作用せん断応力が実験供試体よりも小さく、鉄筋の噛み合わせ効果等により、補修部の耐荷力分担が損なわれる危険性は回避されているものと思われる。

### 4. 補修コンクリート部材の耐荷力特性に関する検討

#### 4-1 補修コンクリート供試体の曲げ強度

補修コンクリート供試体の曲げ強度を図-7に示す。ここで、見かけの曲げ強度とは、得られた最大荷重より破壊面に作用した曲げモーメントを算出し、断面係数(B×H<sup>2</sup>/6)で除した値である。

この図より実測された曲げ強度は、補修材PCMを用いた場合、Case3の解析値に概ね一致する傾向であった。また、補修材CMの内、ひび割れ生じている補修厚み10, 25mmの供試体では、断面の高さが減少する分だけ曲げ強度が低下する傾向となった。一方、補修材LPCMの場合は、補修厚み10mmを除いて考えると、Case3の解析値より2N/mm<sup>2</sup>ほど上回る結果となった。

以上より、補修コンクリート供試体の見かけの曲げ強度は、コンクリートの引張軟化を考慮し、補修部は曲げ強度まで耐えるものとして評価できることが示された。しかしながら、長期乾燥によりひび割れが生じて補修部の耐荷力が喪失すること、および、ひび割れが生じなくても収縮拘束による初期応力により、見かけ上、曲げ強度の低下が生じることには注意を要するものとする。

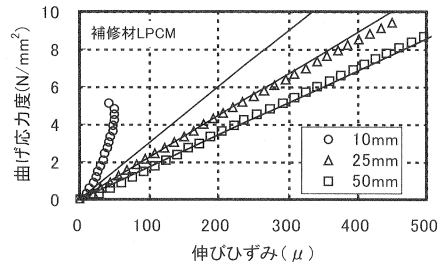


図-5 補修コンクリート供試体のひずみ測定結果

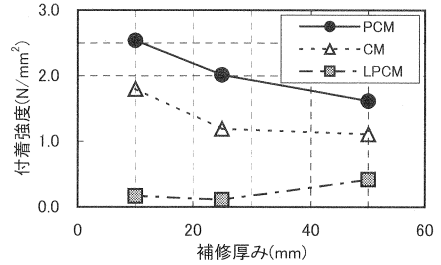


図-6 補修部の付着強度試験の結果

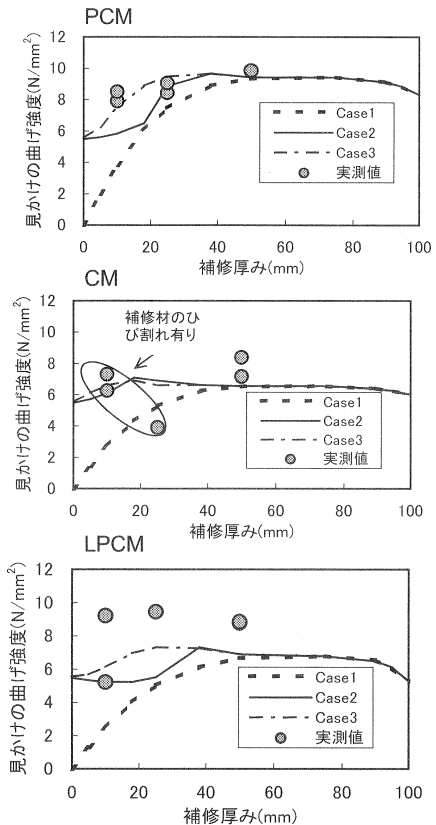


図-7 補修コンクリート供試体の曲げ強度

#### 4-2 補修コンクリート供試体の断面応力状態

断面応力状態の実測値と解析値を図-8に示す。ここで、実測値は測定された供試体の下縁ひずみに表-2の弾性係数を乗じた結果を示した。解析値はCase3の結果であり、実測した載荷荷重12, 24, 28kNとして表記した。また、補修材PCMの測定最大荷重31kNは解析値を超える曲げ強度であるため、解析値を示していない。なお、補修材CMについては、引張軟化が生じると予想される供試体にひび割れが生じているため、除外した。

この図より、実測された補修部の下縁応力は、補修材PCMを用いた場合、概ね解析値と一致することが分かる。一方、補修材LPCMでは、引張軟化の生じた載荷荷重24kNで解析値が約15%大きくなった。また、実測された補修部の最大応力度は、両供試体とも、表-2に示す補修材供試体の曲げ強度とほぼ一致した。

以上より、解析をする上で仮定した条件は、補修材PCMの場合、概ね妥当であったと言える。上記の事は、試験中に塑性変形などが生じてなかったことを示すものである。一方、補修材LPCMでは、母材側コンクリートに仮定した引張軟化モデルが適切でなかったものと推察される。

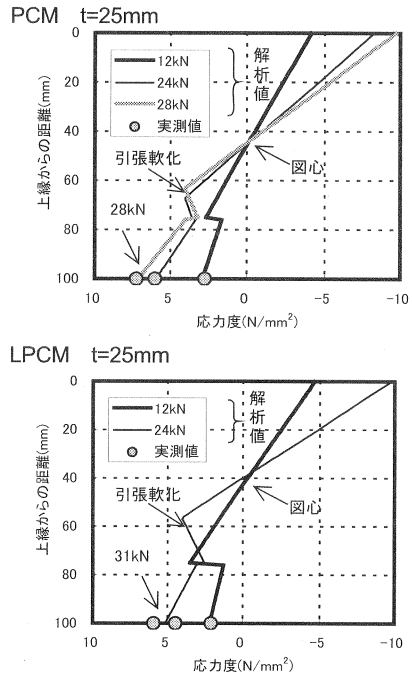


図-8 断面応力状態の実測値と解析値

#### 5. まとめ

本研究で得られた結果を要約すると、以下の通りである。

- (1) 長期暴露によりひび割れの生じなかったポリマー混入の補修材を用いた補修コンクリート供試体の内、補修厚み10mm以下の供試体では補修部が耐力力を分担していないことを示す結果が得られた。
- (2) 補修部の付着強度により補修部の耐力力分担を直接評価できない場合があることが分かった。
- (3) 補修コンクリート供試体の見かけの曲げ強度は、形状寸法が10×10×40cmの場合において、コンクリートの引張軟化を考慮し、補修部は曲げ強度まで耐えるものとして評価できることが示された。

なお、上記(3)において、厳密には補修部の引張軟化や母材部とのクリープ・収縮差による応力状態などを考慮するとともにPC部材ではさらにプレストレスの作用が加わった複雑な挙動を把握しなければならないが、一方で、補修方法によっては補修部に期待した荷重分担が機能しない場合も考えられるため、補修部には必要に応じてプレストレスを導入するなど、より信頼性のある補修技術を確立していくことが望まれる。

#### 謝辞

本研究は著者らが所属する団体における「PC橋の改造技術に関する共同研究委員会」の活動の一環として行ったものである。藤田学委員長ならびに手塚正道副委員長をはじめとする委員の皆様には多大なるご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 北山良, 渡辺博志, 久田真, 中村英佑: 断面修復材の硬化収縮に関する研究, 第14回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 97-100, 2005. 10
- 2) 内田祐市, 六郷恵哲, 小柳洽: コンクリート曲げ強度の寸法効果に関する破壊力学的検討, 土木学会論文集, No. 442/V-16, pp. 101-107, 1992. 2
- 3) 土木学会: 2002年度制定コンクリート標準示方書[構造性能照査編], pp. 21-28