

断面補修した高強度繊維補強モルタルの曲げ疲労特性に関する検討

鹿島建設(株) 正会員 ○渡邊有寿 高木智子 一宮利通 本田智明
カジマ・リノベイト(株) 正会員 白木 浩

1. はじめに

省力化, 急速施工, 生産性向上などの観点から, プレキャストコンクリート製パネルを用いた埋設型枠工法の検討事例が増えている。近年は, 高強度・高耐久な埋設型枠を構造部材としてかぶり内(圧縮縁, 引張縁)に設置する積極的な活用方法も提案されている。セメントマトリクスの高強度化や繊維補強効果によって薄肉化, 軽量化を実現し, 施工の合理化に寄与できる一方で, 運搬, 架設する際や, 設置後もしくは供用中に外的要因で割れ・角欠けといった損傷を受けるケースも報告されている。そこで著者らは, これまでに薄肉の埋設型枠の断面補修に適した材料として, 高弾性・高強度樹脂モルタル¹⁾を選定し, 一体性や強度回復効果などを評価している²⁾。本検討では, 断面補修した高強度繊維補強モルタルが疲労を受けた際の, 異種複合部材としての挙動と疲労特性を把握するために, 曲げ疲労試験を実施した。

2. 使用材料

本検討で使用した材料の諸物性を表-1に示す。埋設型枠は, 補強用短繊維に合成繊維を用いた高強度繊維補強モルタルであり, 圧縮強度 120N/mm², 曲げ強度 20N/mm²程度の強度を有している。断面補修材は, 圧縮強度 120N/mm²程度の強度を有する樹脂モルタルであり, 付着性に優れるエポキシ樹脂に特殊な骨材を混合し, コンクリートに近い弾性係数を達成したものである¹⁾。

3. 断面補修供試体による曲げ疲労試験

既報²⁾では, 埋設型枠に生じる欠陥を, 軽微な「表面気泡レベル」と, 構造性能に影響する「断面欠損レベル」の2種に分け, 静的曲げ試験と高周波振動モータによる簡易的な疲労試験にて断面補修材による強度回復効果を評価した(欠損率0, 20, 40%)。欠損面に残存した繊維を架橋させるように補修する場合,

「欠損率20%」が強度回復を見込める閾値という知見から, 本検討では「欠損率20%」にケースを絞り, 断面100mmに対する欠損厚を20mm, かつ繊維を架橋させた曲げ供試体を製作した(写真-1)。試験ケースを表-2に示す。

(1) 強度試験(静的)

断面補修後の曲げ強度は, 表-2に示すとおり母材の22.0N/mm²に対して16.2N/mm²と26%強度が低下している状態であった。ただし, 図-1の応力-たわみ曲線に示すとおり, 補修後の供試体は

表-1 諸物性(埋設型枠および断面補修材)

試験項目(規格)		埋設型枠 高強度 繊維補強モルタル (合成繊維) 蒸気養生後※	断面補修材 高弾性・高強度 樹脂モルタル (エポキシ樹脂系) 材齢1日(20℃)
圧縮強度 (N/mm ²)	JIS A 1108	129.4	125.8
弾性係数 (kN/mm ²)	JIS A 1149	40.9	20.5
曲げ強度 (N/mm ²)	JIS A 1106 (JSCE-G552)	22.0	38.5
曲げひび割れ 発生強度 (N/mm ²)		11.5	38.5

※脱型後, 90℃-24hの蒸気養生

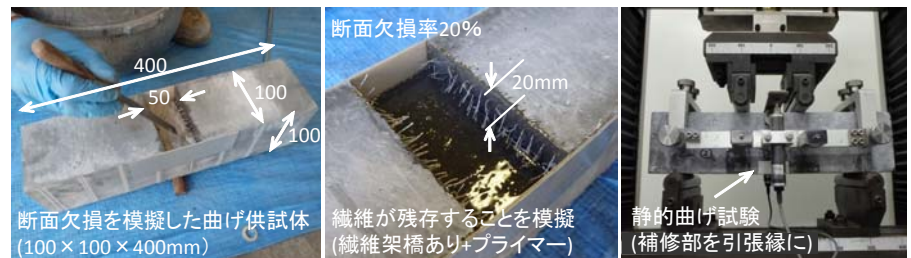


写真-1 供試体概要(補修部模擬)

表-2 試験ケースおよび結果一覧(断面補修供試体)

ケース※		静的強度		曲げ疲労試験条件			
		曲げ 強度 (N/mm ²)	曲げひび割れ 発生強度 (N/mm ²)	上限 応力 (N/mm ²)	上限 載荷力 (kN)	下限 応力 (N/mm ²)	下限 載荷力 (kN)
20℃	0.2	16.2	5.09	4.76	9.92	1.90	3.96
	0.4			6.48	13.50		
	0.6			9.72	20.25		
	0.8			12.96	27.00		
50℃	0.4	16.2	5.09	6.48	13.50	1.90	3.96
70℃				6.48	13.50		

※欠損率はいずれも20%(全断面100mmに対し欠損厚20mm)

※載荷応力比 = $(\sigma_{max} - \sigma_{min}) / (f_m - \sigma_{min})$

キーワード 曲げ疲労, 温度, 断面補修材, 埋設型枠, 樹脂モルタル, 高強度繊維補強モルタル

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-8029

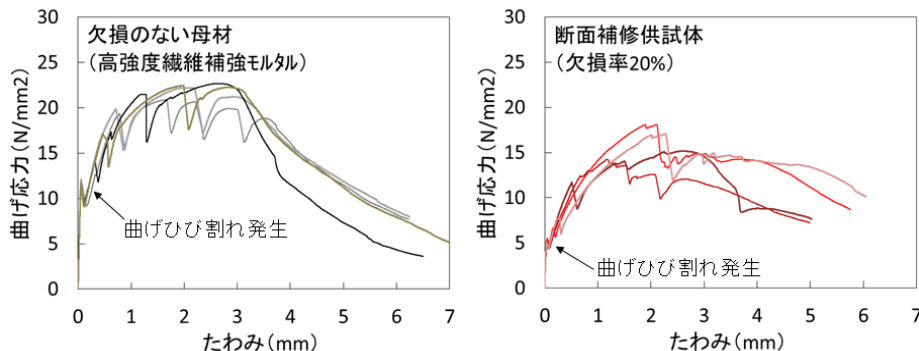


図-1 応力-たわみ曲線（静的曲げ強度試験）

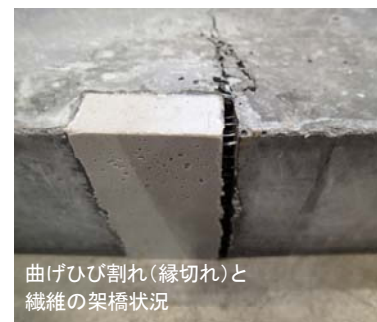


写真-2 曲げひび割れ状況

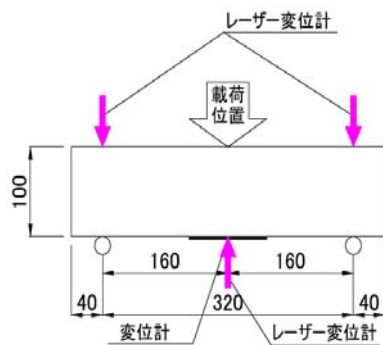


図-2 曲げ疲労試験の載荷方法



写真-3 曲げ疲労試験状況

電熱シートによる加温
(中心温度 50℃, 70℃)

約 5N/mm² で曲げひび割れ（写真-2）が発生したが、その後も荷重（応力）が上昇する傾向を示し、補修材と母材の接合部に架橋された繊維が有効に機能したものと判断された。

(2) 曲げ疲労試験

断面補修後の埋設型枠が供用中に振動を受けることを想定し、500kN サーボパルサを用いた曲げ疲労試験を実施した。図-2 に示すように 3 点曲げ載荷とし、速度 5Hz の sin 波で供試体が破壊もしくは 200 万回到達するまで試験を実施した。荷重条件は表-2 に示すとおり、応力比を 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 の 4 水準とした。また、供用中に日射などで高温に曝されることも想定し、写真-3 に示すように供試体を電熱シートで加温し、供試体中心温度を 50℃, 70℃ とした条件でも試験を行った（応力比は 0.4 のみ）。試験結果を図-3 に示す。本検討では、考察の一つとして UFC 指針³⁾に記載の S-N 曲線図上に結果をプロットした。図より、「欠損率 20%, 繊維架橋あり」という条件で高弾性・高強度樹脂モルタルによる補修を施した場合、UFC の疲労特性と同様の評価ができる可能性が示された。ただし、供試体温度が 20℃, 50℃ に比べ 70℃ では疲労強度が低下する傾向が確認された。これは、高強度繊維補強モルタルに用いている合成繊維の温度依存性（軟化）によるものと思われる。

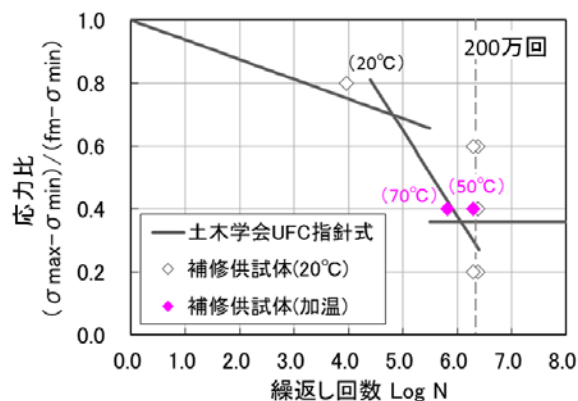


図-3 曲げ疲労試験結果（全 8 点）

4. おわりに

高強度繊維補強モルタル製埋設型枠の断面補修材として、高弾性・高強度樹脂モルタルを用い、曲げ疲労試験にて疲労強度を評価した。欠損率 20% の場合、補修材と母材界面に架橋させた繊維は、静的曲げ挙動や疲労挙動においても有効に機能することが確認された。ただし、部材温度が 70℃ の高温条件では疲労強度が低下する傾向がある。

参考文献

- 1) 内田真末ほか：樹脂モルタル補修材によるコンクリート構造物の耐久性向上に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 37, No. 1, pp. 1633-1638, 2015
- 2) 渡邊有寿ほか：高強度繊維補強モルタル製埋設型枠の断面補修に関する基礎的検討，土木学会第 71 回年次学術講演会，pp. 233-234, 2016
- 3) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針（案），コンクリートライブラリー113, 2004