

CFRP-BFRP 積層メッシュ補強モルタルの曲げ特性

名城大学 学生会員 ○佐藤 大地, 河上 和久
 名城大学 正会員 岩下 健太郎
 JCK 株式会社 稲垣 廣人, 呉 智仁
 槌屋ティスコ株式会社 佐藤 讓得, 松本 信行, 高見 肇, 神崎 豊裕

1. 目的

大規模な震災を背景に、コンクリート構造物に対して大きな靱性が求められている。これまでの研究では、モルタルに比較的高い伸度を有するバサルト繊維複合材 (BFRP) メッシュを混入し、曲げ靱性の向上を図った。本研究では、BFRP と高い引張弾性率や引張強度を有する炭素繊維複合材 (CFRP) を積層・接着したメッシュ材料を用いて、モルタルのひび割れ開口後の二次剛性、靱性、耐荷力といった使用性の総合的な向上を図った。また、有限要素法に基づく解析モデルを構築し、実験結果を評価した。

2. 実験方法

本研究では、コンクリート標準示方書[基準編]¹⁾における JIS A 1106「コンクリートの曲げ強度試験方法」に準拠した寸法、すなわち、幅 100mm×高さ 100mm×長さ 400mm の供試体を作製し、曲げ試験を実施した。打設したモルタルは重量比で水：普通ポルトランドセメント：珪砂 5 号が 0.7:1:2 となるよう配合した。FRP メッシュは供試体の引張縁にかぶり高さが 20mm となるように配置した。実験パラメータは FRP メッシュの枚数 (0 枚, BFRP メッシュ 3 枚, CFRP メッシュ 3 枚と CFRP メッシュ 1 枚, それぞれ CM-N, CM-B3, CM-B3C1 と呼称する。) とし、それぞれの供試体について 3 体の実験を行った。ここで、モルタル打設前に FRP メッシュ表面にエポキシ樹脂を塗布し、FRP メッシュの付着確保を図った。各種材料の物性値を表-1 に示す。FRP メッシュは、0°, 90°方向に 1 本 200tex のバサルト繊維紐を 4.2mm 格子間隔で編んだ繊維メッシュをエポキシ樹脂で含浸・成形したものである。供試体の幅内にはメッシュ 1 枚あたり 14 本の FRP 棒が混入される。BFRP, CFRP メッシュについては BFRP, CFRP 棒 (1 本) の引張試験を 10 本行い、平均値を物性値として採用した。また、モルタルの物性については 3 体の φ100mm×200mm の円柱供試体 3 体の試験結果を平均した値を採用した。供試体は、打設後に屋外環境下で湿布養生を行い、28 日間の養生後に 2000kN 加圧試験機により荷重速度 1kN/min で 4 点曲げ試験を実施した。計測機器及び項目は、荷重および、供試体両側面の各載荷点に設置した変位計により測定したたわみ (平均値) とした。

表-1 材料の物性値一覧

BFRP メッシュ	引張強度 σ_{bf} (N/mm ²)	2210
	引張弾性率 E_{bf} (kN/mm ²)	91.0
	1 枚の断面積 A_{bf} (mm ²)	2.07
	繊維含有率 V_{bf} (%)	50
CFRP メッシュ	引張強度 σ_{cf} (N/mm ²)	3530
	引張弾性率 E_{cf} (kN/mm ²)	235.0
	1 枚の断面積 A_{cf} (mm ²)	2.12
	繊維含有率 V_{cf} (%)	50
エポキシ樹脂	引張強度 σ_e (N/mm ²)	45
	引張弾性率 E_a (kN/mm ²)	1.5
モルタル (材齢 28 日)	圧縮強度 (N/mm ²)	35.9
	割裂引張強度 (N/mm ²)	2.70

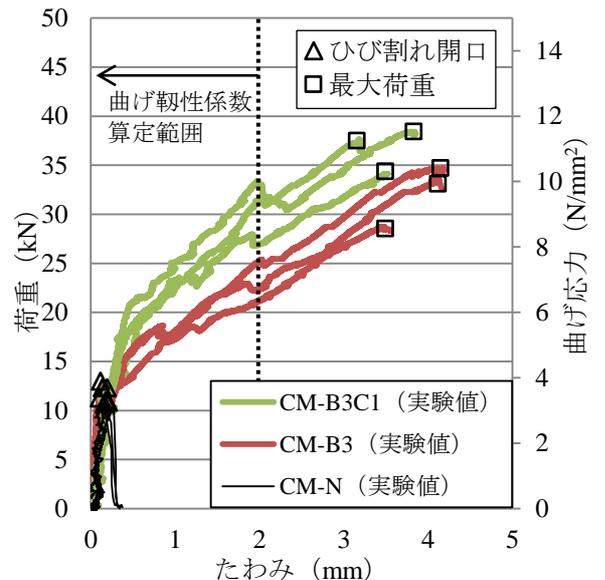


図-1 荷重-たわみ関係

3. 実験結果と考察

4 点曲げ試験の結果より、荷重 (曲げ応力) -たわみ曲線を

キーワード FRP メッシュ, バサルト繊維, 炭素繊維, モルタル, エポキシ樹脂, 有限要素法

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学大学院建設システム工学科 TEL052-832-2352

図-1 に示す. CM-N のケースでは, 供試体のスパン中央部に 1 本のひび割れが発生して 2 つに割れ, 荷重を継続できなくなったが, CM-B3, CM-B3C1 についてはスパン中央のひび割れから両端に向かって 50mm 程度離れた箇所に新たにひび割れが生じ, かぶりが剥落した. 曲げ応力は以下の式(1)より算出した.

$$f_b = \frac{Pl}{bh^2} \quad (1)$$

$$\bar{f}_b = \frac{T_b}{\delta_{tb}} \cdot \frac{l}{bh^2} \quad (2)$$

ここで, \bar{f}_b は曲げ靱性係数, T_b は荷重-たわみ曲線における δ_{tb} までの面積, δ_{tb} はスパン長さの 1/150 のたわみ (2mm), l はスパン長さ, b は破壊断面の幅, そして h は破壊断面の高さ, P は荷重である. 式(2)より求めた曲げ靱性係数の一覧を図-2 に示す. CM-B3C1 のケースでは CM-B3 に比べて曲げ靱性係数は 13%~42%, ひび割れ開口後の二次剛性は 48%~72%, 最大荷重は 3%~35%それぞれ向上した. よって, BFRP と CFRP を積層・接着したメッシュ材料を引張縁に配置することで, 曲げ靱性係数とひび割れ開口後の二次剛性や最大荷重が総合的に向上した.

4. 有限要素法による解析と考察

解析には汎用ソフト DIANA (Ver.9.4) を使用した. 解析対象は, 供試体の対称性を考慮してスパン方向に 2 等分割した 1/2 モデルである. モルタル, BFRP および CFRP をソリッド要素でそれぞれモデル化した. モルタル部, モルタル-BFRP メッシュ間に界面要素を適用した離散ひび割れモデル, Bond-slip モデルを配置してひび割れの開口, FRP メッシュのすべりをモデル化した. 図-3 に要素分割図を示す. 解析手順は過去の論文²⁾で説明しており, 紙面の都合上割愛する. 本研究では, BFRP, CFRP の破断による引張応力の開放を考慮せず, 表-1 の引張弾性率で線形に増加し続ける材料構成則を設定した. 実験値と解析値を図-4 に示す. いずれの解析値も実験値と類似しており, 本研究で構築した解析モデルで曲げ特性をある程度表現できることが示された.

5. まとめ

本研究では BFRP と CFRP を積層・接着したメッシュ材料を引張縁に配置することでモルタルのひび割れ開口後の二次剛性, 靱性, 耐荷力といった使用性が総合的に向上することが実験的に明確となった. また, 本研究で構築した FEM 解析モデルで, 曲げ特性をある程度表現できることが示された.

謝辞: 本研究の一部は, 平成 24 年度に私立大学戦略的基盤研究形成支援事業として採択・設置された「名城大学自然災害リスク軽減研究センター (代表者: 小高猛司)」の助成を受けて実施したものである.

参考文献

- 1) コンクリート標準示方書 [規準編], 土木学会, 2010
- 2) 佐藤大地他, BFRP メッシュ補強モルタル部材への非線形 FEM 解析の適用に関する研究, 日本材料学会東海支部第 7 回学術講演会講演論文集, 2013

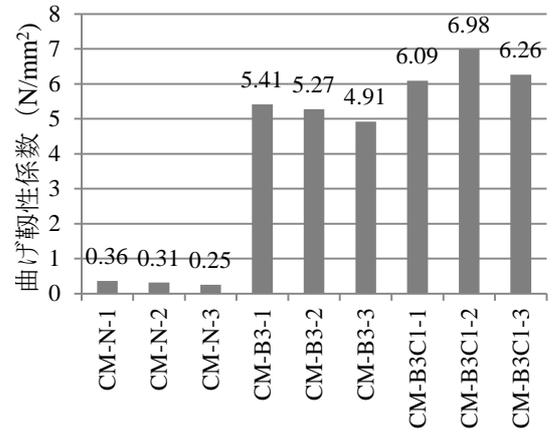


図-2 曲げ靱性係数一覧

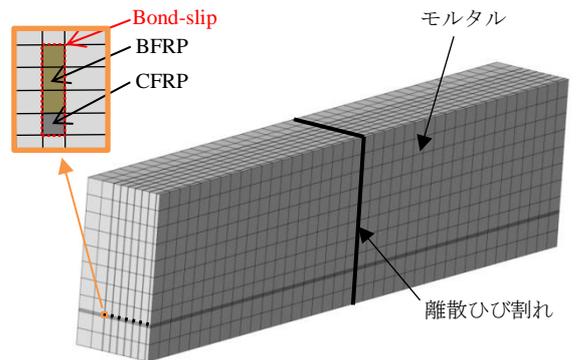


図-3 要素分割図

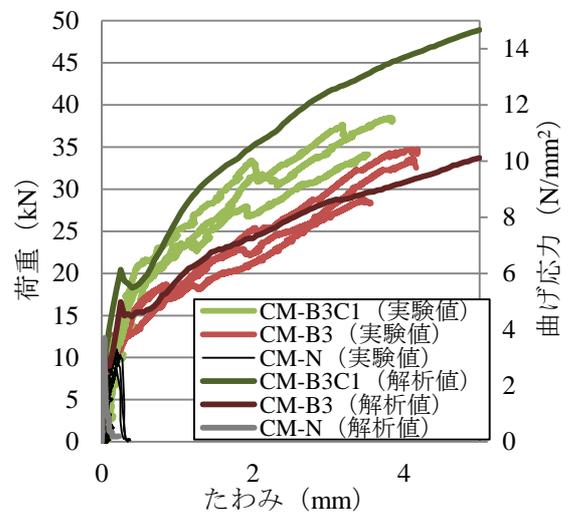


図-4 荷重-たわみ関係 (実験値と解析値の比較)