

FRP 格子筋と HPFRCC を用いた下面増厚補強梁の静的載荷試験

北海道大学大学院工学院

学生会員

○山本 健太

北海道大学大学院工学院

学生会員

菊地 裕介

北海道大学大学院工学研究院

正 会 員

古内 仁

BASF ポゾリス(株)技術センター

田村 哲也

(株)デーロス・ジャパン

森井 直治

(株)マレックス技研

齋藤 恒雄

1. まえがき

近年、道路橋などの交通荷重の増大に対する補強工法の一つとして、下面増厚工法が開発され、施工例が増えてきている。本研究では、引張応力下でひずみ硬化の性質を持つ HPFRCC (High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composite) と、軽量で高強度かつ耐食性に優れた FRP 格子筋を補強筋として利用した下面増厚補強工法について、静的荷重下における実験を行い破壊モードや耐力を調べることにした。また、増厚モルタルに PCM (Polymer Cement Mortar) を用いた下面増厚補強工法の実験結果との比較も行った。

2. 実験概要

供試体は、図 1 に示すように幅 200×高さ 150mm の矩形断面を有する鉄筋コンクリート梁（以下、RC 梁と記す）に下面増厚補強を行ったものである。RC 梁下面で、補強筋である FRP 格子筋をオールアンカーで取付け、増厚モルタル(HPFRCC または PCM)を吹き付けて作製した。RC 梁部には、主筋として D13(SD295A)を、スターラップには D10 (SD295A) を使用した。

実験変数は、表 1 に示すように RC 梁における主鉄筋量、増厚部の補強筋量および増厚モルタルの種類とした。RC 梁には、呼び強度 30、スランプ 12cm のレディミクストコンクリートを用いた（実測圧縮強度 45.7 N/mm²）。補強筋として用いた FRP 格子筋は、カーボン連続強化繊維を樹脂に含浸させながら格子状に一体成形の材料である。筋 1 本あたりの断面積は 26.4mm²、材料特性は、引張強度 1,400N/mm、引張弾性率 100,000N/mm²である。FRP 格子筋のピッチは 100mm×100mm と 50mm×50mm の 2 種類あるが、実験変数に合わせて供試体に使用した。増厚モルタルに使用した HPFRCC および PCM は、いずれも吹付けによって施工が行われた。HPFRCC と PCM の実測圧縮強度は、それぞれ 56.8 N/mm²、47.2 N/mm²である。

3. 実験結果および考察

下面増厚補強梁の実験結果を表 2 に示す。降伏荷重は、荷重－変位曲線の変曲点から推定した荷重である。供試体 S-1 と S-4 は、主鉄筋降伏後の RC 梁の上縁部での圧壊と FRP 筋の 1 部が破断して、曲げ破壊に至った。供試体 S-2 と S-3 については、増厚部の端部から発生したひび割れが進展し、RC 梁の主鉄筋に沿って割裂ひび割れが発生し（写真 1 参照）、急激な荷重低下を伴って終局に至った。

実験変数ごとの荷重－中央点変位関係を図 2 に示す。増厚モルタルの比較においては、曲げひび割れが発

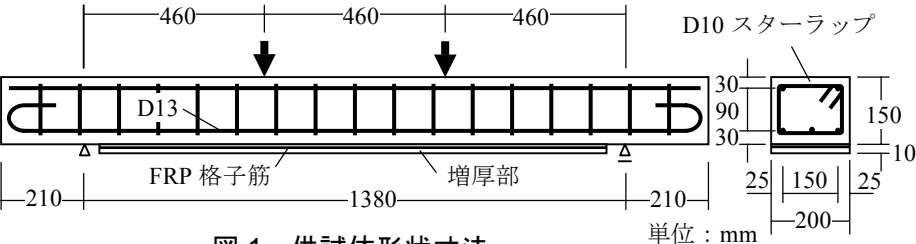


図 1 供試体形状寸法

表 1 実験変数

供試体	主鉄筋 本数	補強筋 本数	増厚 モルタル
S-1	3	2	HPFRCC
S-2	2	4	HPFRCC
S-3	3	4	HPFRCC
S-4	3	2	PCM

キーワード 下面増厚補強, HPFRCC, FRP 格子筋, 曲げ破壊, 付着割裂破壊

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学大学院工学院 TEL 011-706-6182

表 2 実験結果および断面分割法による計算値

供試体	降伏荷重 (kN)		最大荷重 (kN)		破壊モード (実験結果)
	実験値	計算値	実験値	計算値	
S-1	82.7	81.2	109.0	104.0	曲げ破壊
S-2	67.6	67.7	99.5	115.7	付着割裂破壊
S-3	90.6	89.4	117.5	127.3	付着割裂破壊
S-4	75.0	77.0	102.7	103.0	曲げ破壊

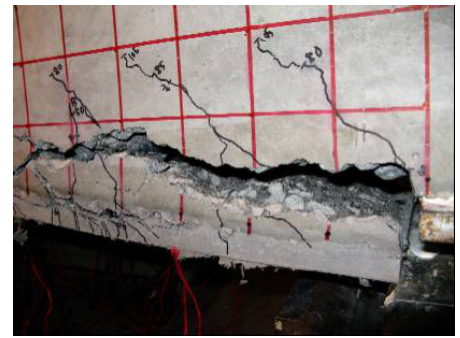


写真 1 付着割裂破壊の例 (S-2)

生すると部材剛性はPCM(S-4)に比べてHPFRCC(S-1)の梁の方が大きく、降伏荷重も大きくなった。両者は曲げ破壊であるが、終局荷重についてもPCMに比べて、HPFRCCを用いた梁のほうが大きかった。

増厚部の補強筋量を変化させた場合の比較では、ひび割れ発生荷重と部材の降伏荷重はそれほど大きな違いはないが、降伏荷重以降では補強筋量の多いS-3のほうが部材剛性が大きくなった。最大荷重は、補強筋2本の梁(S-1)に比べて4本の梁(S-3)のほうが大きくなったが、破壊形式が曲げ破壊ではなく付着割裂破壊であったため、急激に荷重が低下した。

増厚部の補強筋量と同じ場合で、RC梁の主筋量を変化させた場合は、部材の降伏荷重は主筋の降伏に支配されるので、当然のことながら3-D13(S-3)のほうが2-D13(S-2)に比べて大きい。両者の破壊形式はいずれも付着割裂破壊であったが、最大荷重は主筋量の多いS-3の方が大きかった。

実験結果に対して、断面分割法による計算によって検証を行った。計算におけるコンクリートおよび鉄筋の応力-ひずみ関係は、コンクリート標準示方書の材料モデルを用いた。FRP格子筋は弾性体としてモデル化し、HPFRCCは森山らの実験結果¹⁾に基づいてモデル化した。計算結果を表2に示す。計算上の破壊形式はすべて曲げ破壊である。降伏荷重については、いずれの供試体も計算値が実験値に良く一致しており、実験値/計算値の比は0.97~1.02である。このことから、降伏荷重時までは増厚部が一体となって挙動していることが確認できた。最大荷重については、実験と計算で破壊モード(曲げ破壊)が一致したS-1とS-4では、実験値/計算値の比はそれぞれ1.05と1.00で良好な結果となった。付着割裂破壊が先行したS-2とS-3は、実験値/計算値の比が0.86と0.92であり、危険側の値を示した。現在のところ、下面増厚補強された梁において、増厚端部からのひび割れが起点となって付着割裂ひび割れに発展する破壊については予測可能な計算方法が存在しないので、設計法を確立する上ではこの破壊モードに対する解明が必要である。

謝辞：本研究の実験にあたり日鉄コンポジット(株)の谷口硯士氏に多大なご助力を得ました。ここに感謝の意を表します。

参考文献 1) 森山他: 複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料の引張性能と試験装置, コンクリート工学年次論文集, 28-1, 2006

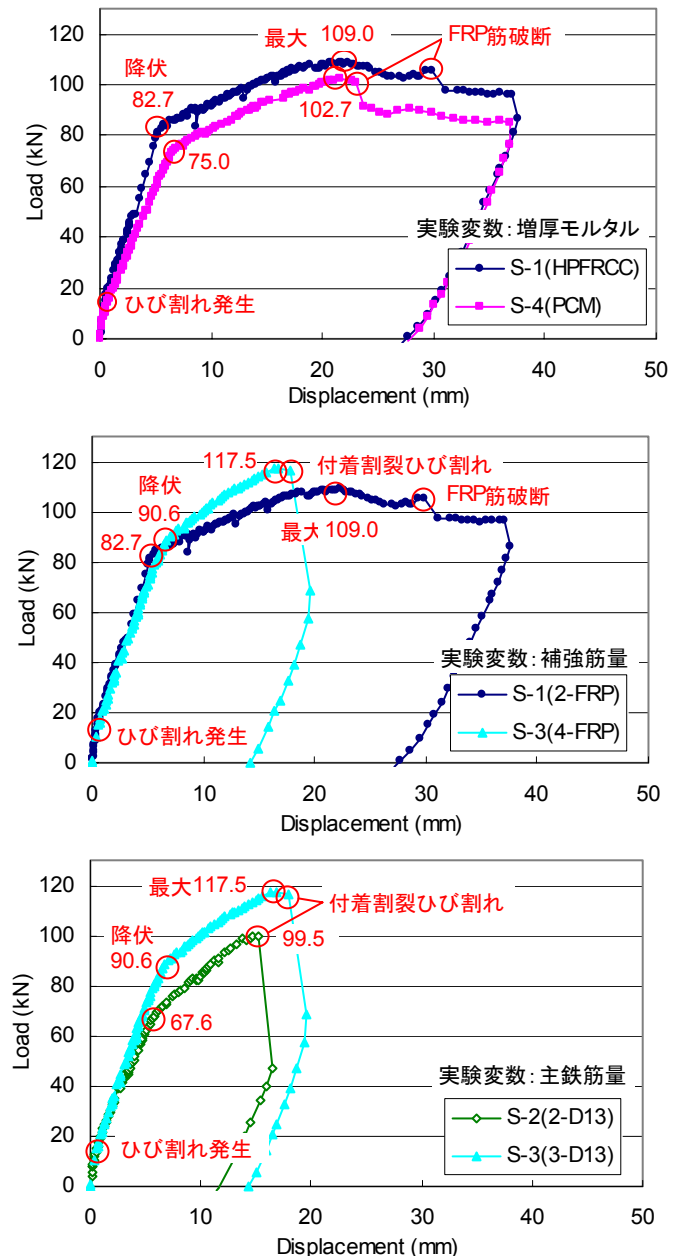


図 2 荷重-変位関係