

高靱性繊維補強セメント複合材料を用いた超小型模型試験体による簡易震動実験手法の開発  
(その6) 超小型模型試験体の履歴コントロール

正会員 徳井紀子\*1 正会員 境有紀\*2  
正会員 真田靖士\*3 正会員 高橋典之\*4  
正会員 中埜良昭\*5

鉄筋コンクリート 振動台実験 HPFRCC  
縮小模型 復元力特性

1. はじめに

筆者らは、鉄筋コンクリート(以下、RC)造建築構造物の模型振動実験に伴う試験体製作の労力と経費を大幅に節減できる簡易振動実験手法として、高靱性繊維補強セメント複合材料(以下、HPFRCC)と主筋のみで構成される超小型模型試験体を開発し、それがRC部材の履歴形状を模擬できることを振動実験により確認した<sup>1)</sup>。次の目標としては、超小型模型試験体の履歴形状をコントロールし、様々な履歴形状を再現する試験体製作方法を提供する事が挙げられる。これが可能になれば、対象部材の復元力特性を有する超縮小模型試験体を作製し、例えばそれらを組み立ててフレーム構造を作製して振動実験を簡易に行うなど適用範囲が拡大する。本報では、試験体の詳細を変化させることにより多様な履歴形状の再現性を確認するため、まず履歴面積(等価粘性減衰定数  $h_{eq}$ )のコントロールに的を絞りを、HPFRCCの繊維混入率および主筋へのプレストレス導入の有無をパラメータとした振動実験の結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体詳細および一覧を図1と表1にそれぞれ示す。製作した試験体は、端部にプレートを配し、主筋とシアキーをナットで固定したプレートタイプ試験体である。試験区間は断面が30mm×30mm、高さ180mmの柱部材である。HPFRCCにはモルタルにポリエチレン繊維を混入したものを、主筋にはM4のネジ鋼をそれぞれ用いた。試験体の変動因子は、HPFRCCの繊維混入率および主筋へのプレストレス導入の有無とし、繊維混入率が1.0%の試験体P10Mを基準試験体と設定した。本実験は、履歴面積のコントロールを目的としているため、HPFRCCの特性として、混入される繊維量が少ないほどHPFRCCと主筋間の付着応力が小さくなること<sup>2)</sup>に着目し、P05M試験体を作製した。さらに、プレストレスコンクリート部材はプレストレスの導入量によっては履歴が太る傾向があること<sup>3)</sup>に着目し、主筋にプレストレスを導入したP10MP試験体を作製した。導入プレストレス力は各ネジ鋼でナット1回転分とした。材料試験結果とM4のネジ山のピッチ(0.7mm)から算定されるプレストレス力は409(N/mm<sup>2</sup>)である。HPFRCCおよび主筋の力学的特性を表2および表3にそれぞれ示す。P10Mは紡錘形の復元力特性、P05Mは比較的痩せた復元力特性、P10MPは比較的太った復

元力特性の再現を意図している。

2.2 実験方法

加振システムは、参考文献1)と同一で、試験体に逆対称曲げモーメントを作用させるものとした。レーザ式変位計により上下プレートの相対水平変位を、ロードセルにより試験体に作用するせん断力をそれぞれ計測した。入力には、振幅が徐々に増大するサイン波を用いた。

2.3 実験結果

各試験体のせん断力-水平変位関係を図2に示す。基準試験体P10Mは、エネルギー吸収能力に優れた紡錘形の履歴形状が再現できていることがわかる。P05Mはややスリップが生じた履歴形状、P10MPはより履歴面積の大きい履歴形状がそれぞれ得られた。今回はねじ山1回転分のプレストレスを導入したが、その値を調整すればさらに太った履歴形状や、痩せたS字型履歴形状の再現も可能と考えられる。

3. 復元力特性の定量的評価(等価粘性減衰定数  $h_{eq}$ )

今回コントロールの対象とした履歴面積を定量的に評価するため、等価粘性減衰定数  $h_{eq}$ を算出し、計算値との比較を

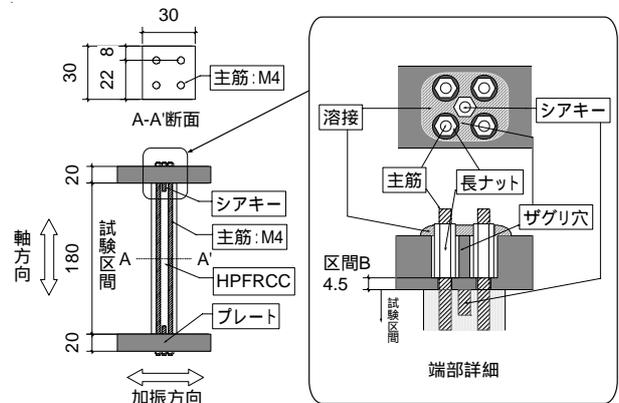


図1 試験体詳細

表1 試験体一覧

試験体名	端部形状	繊維混入率	プレストレス
P10M(基準)	プレート	1.0%	なし
P05M	プレート	0.5%	なし
P10MP	プレート	1.0%	あり

表2 HPFRCCの力学的特性

ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度時歪度(%)	引張り強度(N/mm <sup>2</sup> )
$1.69 \times 10^4$	47.68	0.40	2.14

表3 主筋の力学的特性

断面積(mm <sup>2</sup> )	ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> )	降伏強度(N/mm <sup>2</sup> )
9.87	$1.35 \times 10^5$	443.77

行った．算出した  $h_{eq}$  の推移を図 3 に示す．図中に示した直線は，Takeda モデル（剛性低下率  $\alpha_y$  : 0.25, 降伏後剛性 / 初期剛性  $\beta$  : 0.03, 除荷剛性低下指数  $\alpha$  : 0.0, 0.2, 0.4）から算出した  $h_{eq}$  に初期弾性時の減衰として仮定した 5% を加算したものを示したものである．P10MP, P10M, P05M の復元力特性から算出された  $h_{eq}$  は，履歴の太り具合を表すパラメータのひとつである除荷剛性低下指数  $\alpha$  がそれぞれ 0.0, 0.2, 0.4 のときの計算値と良好に対応していることが分かる．以上のことから，HPFRCC の繊維混入率およびプレストレス導入力を調整することにより， $h_{eq}$  をコントロールすることが可能であることを確認した．

#### 4. 超小型模型試験体の履歴推定

本手法において，実際にこの提案試験体を用いて振動実験を行う場合，設計段階であらかじめ試験体を持つ復元力特性を推定できることが望ましい．ここでは，P10M および P10MP を対象に，ファイバーモデルを用いた断面解析で本試験体の履歴形状を再現できるかどうかを確認する．解析に使用した主筋および HPFRCC の材料モデルを図 4 に示す．主筋は Ramberg-Osgood モデル，HPFRCC モデルは最大圧縮強度点を通る  $e$  関数と実験値に基づく弾性剛性の傾きを持つ直線を組み合わせたものとし，引張り応力は負担しないものとした．本試験体が図 1 の区間 B 示すとおり，プレート内に主筋のアンボンド区間を有していることに留意し，曲率分布は図 5 に示すような台形状の分布と仮定した．さらに，P10MP の解析では，導入プレストレス力により生じる HPFRCC と主筋の初期歪を考慮して解析を行った．解析から得られた結果と

実験値との比較を図 2(a)および(c)に示す．P10M の解析結果は実験結果を良好に再現した．一方，P10MP については，剛性が高めに評価される結果となった．これは，プレストレス力を受けた時点での HPFRCC モデルの剛性とその材料試験結果を適切に表現できていないことが原因である．このため，特にプレストレス力相当の応力度から最大応力度付近までの履歴形状を精度よく再現する材料モデルが必要である．

#### 5 まとめ

RC 造建築構造物の試験体製作の労力と経費を節減できる簡易振動実験手法の開発の一環として，超小型模型試験体の履歴面積のコントロールに的を絞って，HPFRCC の繊維混入率および主筋へのプレストレス導入の有無をパラメータとした振動実験を行った．その結果，上記パラメータを考慮することにより，等価粘性減衰定数のコントロールが可能であることが分かった．また，試験体の端部の詳細を考慮して仮定した台形状の曲率分布による断面解析結果は，基準試験体 P10M の履歴形状を良好に再現することができた．P10MP の解析値は，剛性が高めに評価される結果となったため，今後特にプレストレス力相当の応力度から最大応力度付近の履歴形状を精度よく再現する HPFRCC 材料モデルが必要である．

謝辞 本研究の一部は，科学研究費補助金基盤研究(C)(2)「入力地震動をパラメータとした簡易振動実験手法の開発に関する研究」(研究代表者：境有紀)による援助を受けた．実験実施には，生産技術研究所 山内成人氏，独立行政法人建築研究所 諏訪田晴彦氏，福山洋氏の協力を得た．ここに記して感謝の意を表す．参考文献 1) 徳井紀子ら：高靱性繊維補強セメント複合材料を用いた超小型模型試験体による簡易振動実験手法の開発(その 4,5), 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp.873-876, 2004.8 2) 古田昌弘ら：高靱性セメント系複合材料の局所付着割裂性状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), pp.43-44, 2002.8 3) 伊藤典夫ら：プレストレストコンクリート造梁部材の繰返し載荷実験, コンクリート工学年次論文報告集, pp.1137-1142, 1997

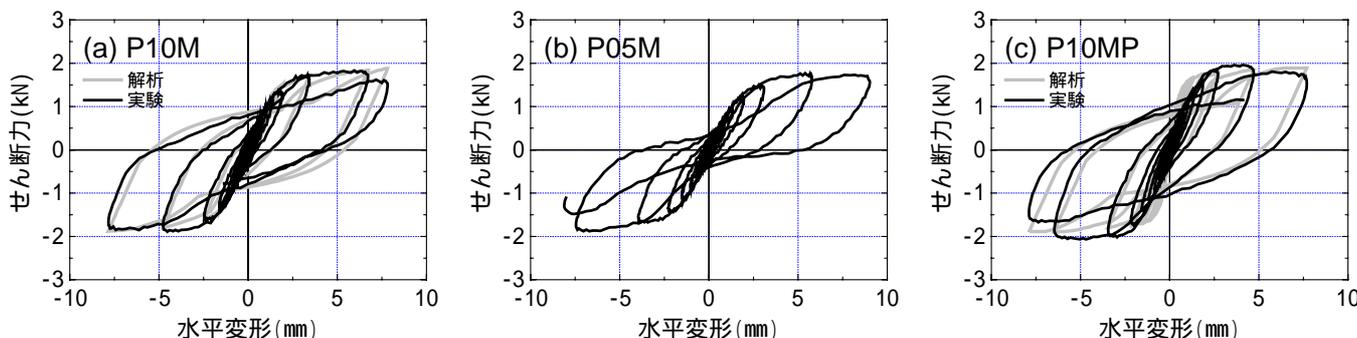


図 2 復元力特性 (せん断力 - 水平変形関係)

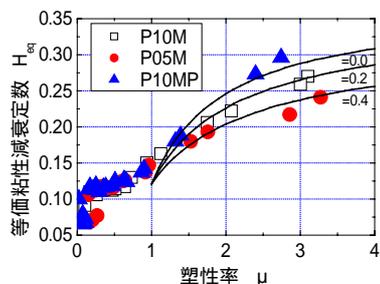


図 3 等価粘性減衰定数

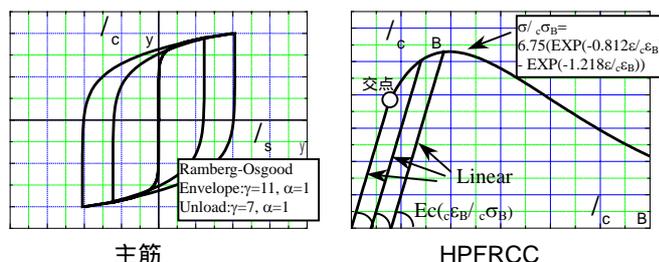


図 4 材料モデル

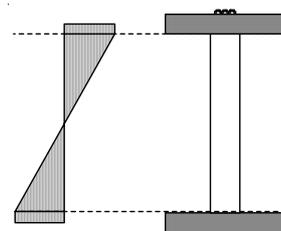


図 5 曲率分布

\*1 東京大学 工学系研究科 大学院生  
 \*2 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 助教授 工博  
 \*3 東京大学 地震研究所 助手 博(工)  
 \*4 東京大学 生産技術研究所 助手 博(工)  
 \*5 東京大学 生産技術研究所 助教授 工博

Graduate School of Engineering, University of Tokyo  
 Systems and Information Engineering, Graduate School, University of Tsukuba, Dr. Eng.  
 Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Dr. Eng.  
 Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Dr. Eng.  
 Institute of Industrial Science, University of Tokyo, Dr. Eng.