

RC 部材を模擬した超小型模型試験体の振動台実験 (その2) 解析および静的加力実験による検証

徳井紀子¹⁾・山内成人²⁾・真田靖士³⁾・境有紀⁴⁾・中埜良昭⁵⁾・諏訪田晴彦⁶⁾・福山洋⁷⁾

1) 学生会員 東京大学工学系研究科, 東京都目黒区駒場 4-6-1, tokui@iis.u-tokyo.ac.jp

2) 非会員 東京大学生産技術研究所, 東京都目黒区駒場 4-6-1, nyama@iis.u-tokyo.ac.jp

3) 正会員 東京大学地震研究所, 東京都文京区弥生 1-1-1, ysanada@eri.u-tokyo.ac.jp

4) 正会員 筑波大学機能工学系, 茨城県つくば市天王台 1-1-1, sakai@kz.tsukuba.ac.jp

5) 正会員 東京大学生産技術研究所, 東京都目黒区駒場 4-6-1, iisnak@iis.u-tokyo.ac.jp

6) 非会員 国土交通省国土技術政策総合研究所, 茨城県つくば市立原 1, suwada-h92h9@nilim.go.jp

7) 正会員 独立行政法人建築研究所, 茨城県つくば市立原 1, fukuyama@kenken.go.jp

1. はじめに

筆者らは, RC 造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節減できる簡易振動実験の開発を行っている. その一環として, 高靱性繊維補強セメント複合材料 (以下, HPRC) と主筋のみで構成される超小型試験体を開発し, その試験体が RC 部材の履歴形状を模擬できることを振動実験で確認した. しかし, 端部固定法の異なる 2 種類の試験体で耐力の実験値が異なる結果を得た¹⁾. 本報ではこの 2 種類の試験体について, さらに静的加力実験および解析を行った結果について報告する.

2. 試験体

試験体詳細図を図 1 に示す. 端部にスタブを打った S (スタブ) タイプと主筋とシアキーをナットで固定した P (プレート) タイプの 2 種類である. 試験区間は同一で断面が 30mm × 30mm, 高さ 180mm の柱部分を想定している. HPRC には水セメント比 45%, 砂セメント比 40% のモルタルにポリエチレン繊維を体積比で 1% 混入したものを, 主筋には M4 のネジ鋼を用いた.

3. 静的加力実験の方法

本加力システムは, 試験体上部のスタブの水平を保持しつつ, 鉛直方向への伸びを許容した状態で, 試験体に逆対称曲げモーメントを作用させることができる (図 2). 静的加力以外は, 付加重量等の加力制御システムは振動実験時と同一である. レーザ式

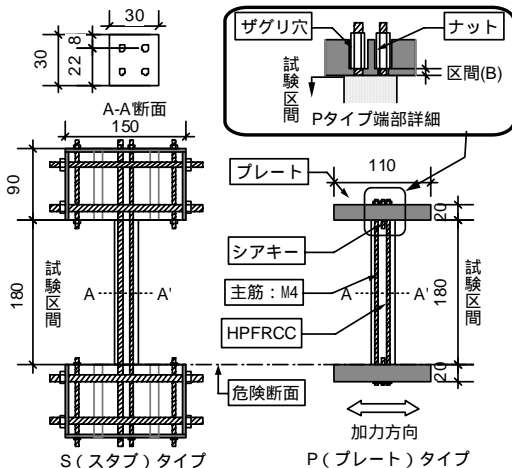


図 1 試験体詳細

変位計で上下スタブの相対変位を, ロードセルで試験体に作用するせん断力を計測した. また, 危険断面から上方 10mm 位置での回転角をレーザ式変位計で計測した. 加力は, 図 2 中静的治具取り付け位置に加力用治具を取り付け, ナットの締め付けによる変位制御で行った. 変位履歴は, 振動実験時と同一とし最後は正方向へ押し切った.

4. 静的加力実験の結果

静的加力実験より得られた変形角-せん断力関係を図 3 に示す. ここでの試験体タイプ間での耐力差は, S タイプ (2285N) の方が P タイプ (1897N) より 1 割程高い. これは S タイプではひび割れ発生後も引張り応力を負担するが, P タイプではひび割れ発生後にはそれを負担しないためと考えられる. 次に, 参考文献 1) で行った振動実験結果と比較し, 載荷法の違いによる耐力差について考察する. S タイプでは, 静的加力が動的加力よりも 8% 程低いのに対し, P タイプではほぼ同一であった. これは P タイプでは危険断面位置外側のプレート内に主筋の付着が切れている区間 B (図 1) を有しているため, 主筋の危険断面位置付近での歪領域がこの部分に拡大し, 動的載荷による強度上昇の影響を受けないためと考えられる.

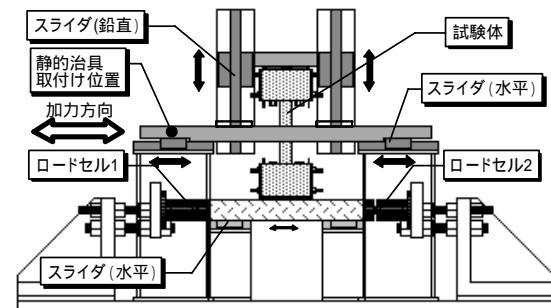


図 2 加力システム (S タイプ)

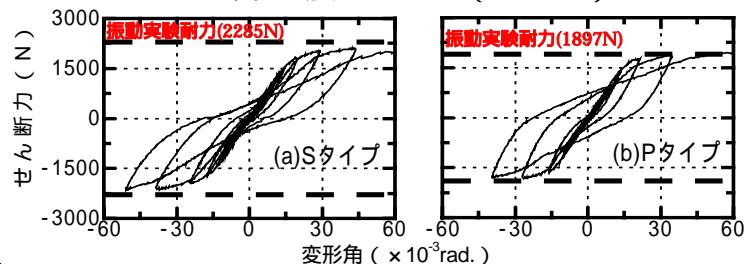


図 3 静的加力実験結果

5. ファイバーモデルによる断面解析

実験で得られた荷重法および試験体タイプの違いによる耐力差を検討するため、漸増一方向による断面解析を行った。表1, 2に HPRC および主筋の材料試験結果を示す。荷重法の違いとして、静的加力実験の模擬では通常の断面解析を、振動実験の模擬では歪速度の影響を考慮した解析をそれぞれ行った。振動実験を模擬する場合、実験結果から得られた試験体頂部の相対変位を1ステップ毎に入力し仮定した曲率分布から HPRC および主筋要素に生じている歪速度を求めた。

HPRC の圧縮強度および弾性係数と歪速度との関係は式(1), (2)のように設定した²⁾。HPRC モデルは、圧縮強度に達するまでは、原点を始点とする弾性剛性の傾きを持つ直線と、原点および圧縮強度点を通る2次曲線の組み合わせとし、2線の交点で直線から2次曲線へ切り替わるものとした。引張側は、Sタイプの場合、圧縮側と同一の傾きを持つ直線で表し、応力度が式(3)に示す引張り降伏強度値に達した時点から、歪度が2%に至るまでその応力を維持するものとした。Pタイプの場合、引張り応力は負担しないものとした(式(4))。

主筋の降伏強度と歪速度との関係は式(5)のように設定した²⁾。主筋モデルは、弾性係数の傾きを持つ直線で表し降伏強度値に達した時点から弾性係数の1/100の傾きを持つ直線に切り替わるものとした。

[HPRC の圧縮強度]
 $|\dot{\epsilon}| > 10^1 \mu/\text{sec} \quad d\sigma_B = (0.06 \log|\dot{\epsilon}| + 0.94) s\sigma_B$ (1)

$|\dot{\epsilon}| \leq 10^1 \mu/\text{sec} \quad d\sigma_B = s\sigma_B$
 ここで、
 $s\sigma_B$: 動的加力時の HPRC の圧縮強度
 σ_B : 静的荷重材料試験の HPRC の圧縮強度

[HPRC の弾性係数]
 $|\dot{\epsilon}| > 10^1 \mu/\text{sec} \quad dE_B = (0.02 \log|\dot{\epsilon}| + 0.98) sE_B$ (2)

$|\dot{\epsilon}| \leq 10^1 \mu/\text{sec} \quad dE_B = sE_B$
 ここで、
 sE_B : 動的加力時の HPRC の弾性係数
 E_B : 静的荷重材料試験の HPRC の弾性係数

[HPRC の引張降伏強度]
 ・ Sタイプ $\sigma_t = \sigma_B / 20$ ($\sigma_B = s\sigma_B$ または $d\sigma_B$) (3)

・ Pタイプ $\sigma_t = 0$ (4)

[主筋の降伏強度]
 $|\dot{\epsilon}| > 10^2 \mu/\text{sec} \quad d f_y = (0.05 \log|\dot{\epsilon}| + 0.90) s f_y$ (5)

$|\dot{\epsilon}| \leq 10^2 \mu/\text{sec} \quad d f_y = s f_y$
 ここで、
 $s f_y$: 動的加力時の主筋の降伏強度
 f_y : 静的荷重材料試験の主筋の降伏強度

表1 HPRC の材料特性 (静的荷重)

	試験体	ヤング係数 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮強度時歪度 (%)	引張強度 (N/mm ²)
動的	スタブ	1.95 × 10 ⁴	45.74	0.34	2.00
	プレート	1.69 × 10 ⁴	47.68	0.40	2.14
静的	スタブ	1.75 × 10 ⁴	48.74	0.42	3)
	プレート	1.69 × 10 ⁴	47.68	0.40	2.14

1 ヤング係数は、1/3 圧縮強度時の割線剛性
 2 表中の各試験値は3サンプルの平均値
 3 未計測

表2 主筋の材料特性 (静的荷重)

主筋種類	断面積 (mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	降伏強度時歪度 (%)
M4 ²⁾	9.87	1.35 × 10 ⁵	443.77	0.55

1 降伏強度は、0.2% オフセット値
 2 表中の各試験値は3サンプルの平均値

曲率分布は次の2点を考慮し仮定した。1) Pタイプは、プレート内に主筋の付着が切れている区間を有している、2) 変形角と危険断面上方10mm位置での回転角関係(図4)において、同一変形角でPタイプの回転角がSタイプの約2倍程度である。即ち、Sタイプでは材軸方向の曲げモーメント分布に相似形とし、Pタイプでは区間Bに相当する部分に曲率が集中し、かつ、Sタイプと同一変形において、危険断面位置上方10mm位置における回転角がSタイプの1/2となるものとした(図5)。

6. 解析結果

静的加力実験および振動実験に対する解析結果を図6, 7に示す。静的加力実験では、両試験体共に耐力の実験値と解析値が良好に対応した。振動実験では、Sタイプでは解析値と実験値が概ね一致したが、Pタイプでは解析値が約15%上回った。これは、解析時に歪速度の影響を過大評価したと考えられる。

7. まとめ

振動実験で異なる耐力を示した端部固定法の違う試験体について、静的加力実験および断面解析を行い、その解析値と実験値の比較検討を行った。1) SタイプとPタイプの静的加力実験における耐力差は、SタイプのHPRCが引張り応力を負担していることによる。2) 試験体の端部詳細による影響と歪速度の影響を考慮した耐力の計算値は、Pタイプで15%程度の過大評価となったが、Sタイプでは、概ね一致した。

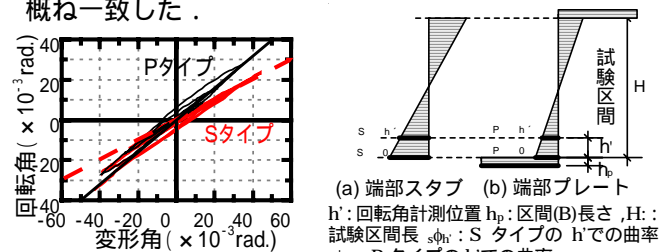


図4 回転角 変形角関係

図5 試験体の曲率分布

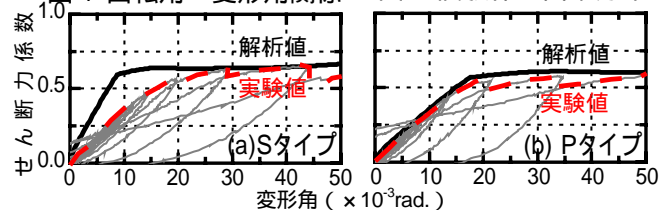


図6 静的加力実験の解析結果

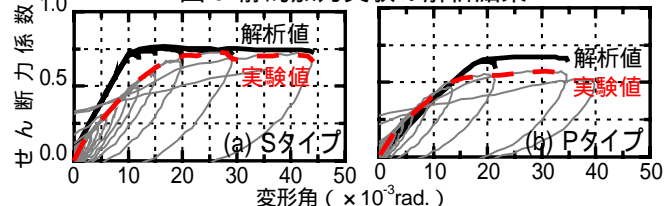


図7 振動実験の解析結果

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タとした簡易震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。また、試験体型枠および加力器具製作は、東京大学生産技術研究所試作工場の協力を得た。参考文献 1) 徳井紀子, 山内成人, 真田靖士, 境有紀, 中埜良昭, 諏訪田晴彦, 福山洋: RC部材を模擬した超小型試験体の振動台実験, 日本地震工学会大会 2003 梗概集, pp.286-287, 2003.11. 2) 細矢博, 岡田恒男, 北川良和, 中埜良昭, 隈澤文俊: ひずみ速度の影響を考慮したファイバーモデルによる鉄筋コンクリート部材の断面解析, 日本建築学会構造系論文集, 第492号, pp.83-92, 1996.4