

再生コンクリートの合成構造への適用に関する研究

－縮小試験体の中心圧縮性状－

藤本 利昭（安藤建設㈱・主管研究員）

小松 博（日大生産工・教授）

櫻田 智之（日大生産工・教授）

1. はじめに

近年、JIS が制定された再生骨材^{1),2),3)}のうち、吸水率が5%以下の再生骨材Mはコンクリート塊を破砕のみで製造した骨材であり、付着するモルタル分や微粉末の影響で吸水率が高く、乾燥収縮が大きいため、これを用いた再生コンクリートでは乾燥収縮ひび割れが発生しやすい。このためJIS A 5022²⁾では、乾燥収縮を受けにくい地下構造物や、コンクリート充填鋼管(以下、CFT)のように継続的に乾燥を受けないよう表面が保護されている部材への適用が推奨されている。

前報(シリーズI)⁴⁾では、再生骨材Mを用いたコンクリート(以下、再生コンクリート)の有効利用方法の一つとして、薄肉鋼管によりコンクリート外周を補強した鉄骨コンクリート(以下、SC)柱ならびにCFT柱部材に着目し、柱部材としての基本性能を表す圧縮性状について、普通コンクリートとの比較を基に検討を行った。

本報(シリーズII)では、更に超高強度繊維補強コンクリート(以下、UFC)によりコンクリート外周を補強したSC柱の実験を行い、シリーズIで行ったSC柱の実験結果を含めて、再生コンクリートを用いたSC柱の圧縮性状について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体の一覧を表1に、代表的な試験体の断面形状を図1に示す。試験体は、断面形状を $b \times D=150 \times 150\text{mm}$ の正方形断面とし、H形鋼(H-100 $\times 100 \times 6 \times 8$)を再生コンクリートで被覆し、更に

薄肉鋼管(板厚2.3mm)で補強した試験体(S-R-S)を標準として、柱外周部の被覆材の種類(薄肉鋼管、UFC(厚さ15mm, 有効厚さ11.4mm))および被覆材の有無、内蔵鉄骨の有無、被覆コンクリートの有無およびコンクリートの種類(再生、普通)を実験変数とした15種類、合計20体の試験体を計画し

表1 試験体一覧

試験体名称	断面構成			
	内蔵鉄骨	充填部	外周部	
S-0-0	H形鋼	無し		シリーズI ⁴⁾
S-R-01	H形鋼	再生 コンクリート	無し	
S-R-S			鋼管	
0-R-01	無し		無し	
0-R-S			鋼板	
S-P-01	H形鋼	普通 コンクリート	無し	
S-P-S			鋼管	
0-P-01	無し		無し	
0-P-S			鋼管	
S-R-02	H形鋼	再生 コンクリート	無し	
S-R-U			UFC	
0-R-02	無し		無し	
0-R-U			UFC	
S-P-02	H形鋼	普通 コンクリート	無し	
S-P-U			UFC	
0-P-02	無し		無し	
0-P-U			UFC	
0-0-U1	無し		UFC	
0-0-U2	無し		UFC	
0-0-U3	無し		UFC	

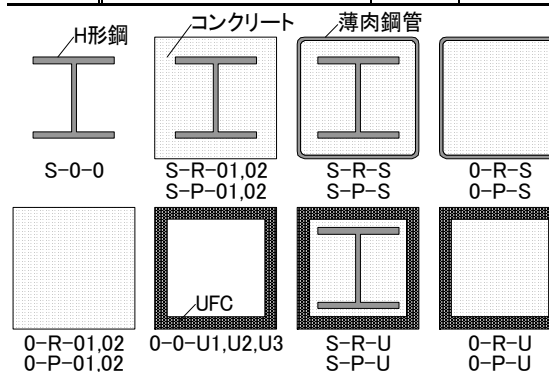


図1 試験体の断面形状

た。なお試験体の高さは、SC 柱試験体の断面せい D の 3 倍(=450mm)とし、コンクリートの打設は試験体上端より縦打ちで行った。

2.2 使用材料

使用したコンクリートの調合表を表 2 に、実験時の圧縮強度 σ_B を表 3 に示す。各コンクリートの設計基準強度は、再生骨材 M を用いたコンクリートの呼び強度の上限値である 36N/mm^2 を目標とした。コンクリート強度用供試体は $\phi 100 \times 200$ とし、封かん養生とした。表 4 に鋼材の材料試験結果を示す。内蔵鉄骨および薄肉鋼管には SS400 材を用い、鋼材の引張試験片は 5 号および 12B 号試験片を用いた。表 5 に UFC の材料試験結果を示す。圧縮強度 σ_{BU} および曲げ強度 σ_{FU} は、何れも UFC の規格値を満足していた。

2.3 加力および計測方法

加力は写真 1 および図 2 に示すように、試験体上下の拘束条件を固定として実施した。載荷は

表 2 コンクリートの調合表

種類	W/C (%)	単位質量 (kg/m ³)					
		水	セメント	細骨材		粗骨材	
再生	53.7	170	317	天然砂	再生砂	碎石	再生粗骨材
				496	435	413	362
普通	52	185	356	山砂	砕砂	碎石	
				617	156	979	

表 3 コンクリートの材料試験結果

種類	実験時材齢	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	
再生	31 日	30.7	シリーズ I
普通	29 日	37.8	
再生	65 日	27.5	シリーズ II
普通	52 日	37.3	

表 4 鋼材の材料試験結果

種類	板厚 t (mm)	ヤング係数 E_s (kN/mm ²)	降伏強度 σ_y (N/mm ²)	引張強度 σ_t (N/mm ²)	伸び率 ϵ (%)
薄肉鋼板	2.29	198	265	406	27.4
H ウェブ	5.52	191	329	459	24.2
鋼 フランジ	7.43	195	325	462	27.1

表 5 UFC の材料試験結果

種類	圧縮強度 σ_{BU} (N/mm ²)	曲げ強度 σ_{FU} (N/mm ²)
実験値	202	46.3
規格値	180 以上	22.5 以上

5000kN 試験機による単調載荷とし、試験体の平均軸方向ひずみ ϵ (=軸方向変位/試験体高さ)が 5% に達するまで行うことを原則とした。なお実験の際には、試験体のコンクリート打設面は、セメントペーストを用いて平滑にして実施した。測定は、上下加力用プレート間の 2ヶ所に取り付けた変位計により鉛直変位を測定し、薄肉鋼管には 2 軸ひずみゲージを貼付し、軸方向および横方向ひずみを測定した(図 2 参照)。

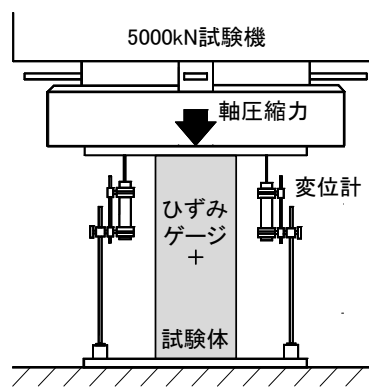


図 2 実験方法



写真 1 試験体セット状況

3. 実験結果

3.1 鉄骨柱試験体

鉄骨柱試験体の圧縮試験結果を図 3 および表 6 に、最終破壊形状を写真 2 に示す。表 6 には、材料試験による降伏強度 σ_y を用いた降伏耐力 N_y ($=\sigma_y \cdot A_s$; A_s :鋼材の断面積)、圧縮試験結果から 0.2% オフセット法により求めた降伏強度 σ_{yc} および降伏耐力 N_{yc} ($=\sigma_{yc} \cdot A_s$)を示している。最大耐力 N_{max} は局部座屈により決定した。また、引張試験に比べ圧縮試験の降伏耐力が高い値を示した。

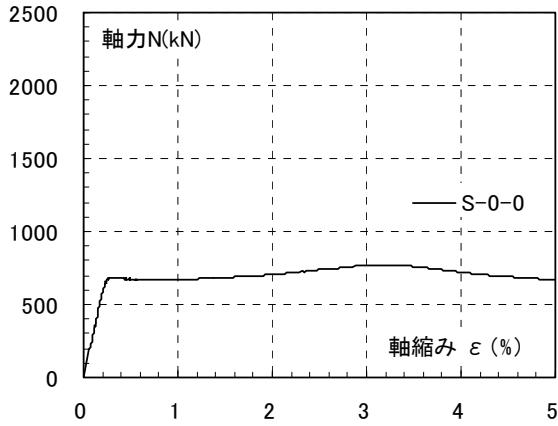


図3 鉄骨試験体の実験結果

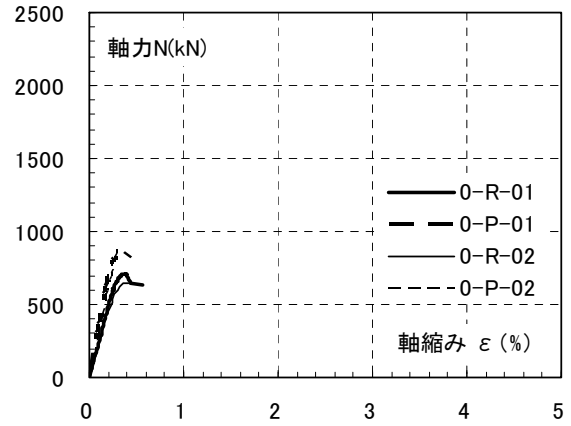


図4 コンクリート柱試験体の実験結果

表6 鉄骨柱試験体の耐力一覧

	N_y (kN)	N_{yc} (kN)	σ_{yc} (N/mm ²)	N_{max} (kN)	N_{max}/N_y	N_{max}/N_{yc}
S-0-0	655	678	337	772	1.18	1.14

$N_y = \sigma_y \cdot A_s$, A_s :鋼材の断面積, $N_{yc} = \sigma_{yc} \cdot A_s$, N_{exp} :最大耐力

表7 コンクリート試験体の耐力一覧

	N_{max} (kN)	σ_{max} (N/mm ²)	σ_B (N/mm ²)	σ_{max}/σ_B
0-R-01	691	31.6	30.7	1.03
0-R-02	652	29.0	27.5	1.05
0-P-01	851	36.5	37.8	0.97
0-P-02	890	39.6	37.3	1.06

σ_{max} : 圧縮強度(= N_{max}/A_c , A_c :コンクリート断面積)



写真2 最終破壊形状(試験体: S-0-0)



写真3 最終破壊形状(試験体: 0-R-02)

3.2 コンクリート柱試験体

コンクリート柱試験体の圧縮試験結果を図4および表7に、最終破壊形状の例を写真3に示す。いずれの試験体も最大耐力を示した後に急激な破壊に伴い耐力が低下し、実験を終了した。最大耐力 N_{max} から求めたコンクリートの圧縮強度 σ_{max} は、材料試験によるシリンダー3本の平均圧縮強度とほぼ同等であった。

3.3 UFC 柱試験体

外殻材として用いるボックス型の UFC 試験体の圧縮試験結果を図5および表8に、最終破壊形状の例を写真4に示す。

UFC 試験体は、いずれも最大耐力を示した後に

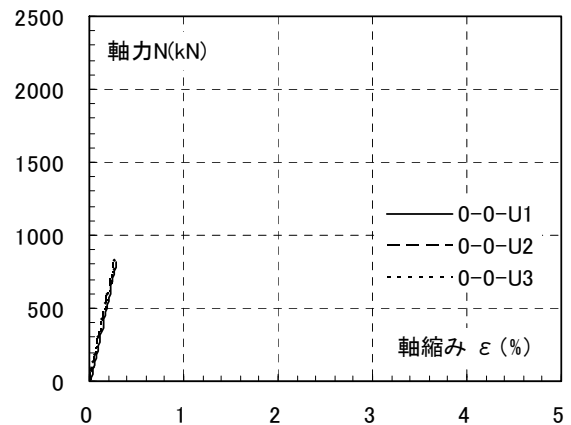


図5 UFC 柱試験体の実験結果

急激な破壊に伴い耐力が低下し、実験を終了した。最大耐力 N_{max} から求めた UFC の圧縮強度 σ_{max} は、材料試験による圧縮強度 σ_{BU} を下回った。これは、試験体形状の違いによるものと推測される。

表 8 UFC 試験体の耐力一覧

	N_{max} (kN)	σ_{max} (N/mm ²)	σ_{BU} (N/mm ²)	σ_{max}/σ_{BU}
0-0-U1	812	128	202	0.64
0-0-U2	828	130		0.64
0-0-U3	765	119		0.59

σ_{max} : 圧縮強度(= N_{max}/A_u , A_u : UFC の有効断面積)

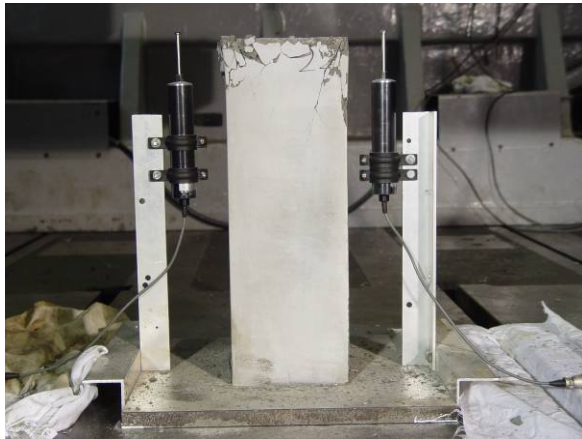


写真 4 最終破壊形状(試験体 : 0-0-U1)

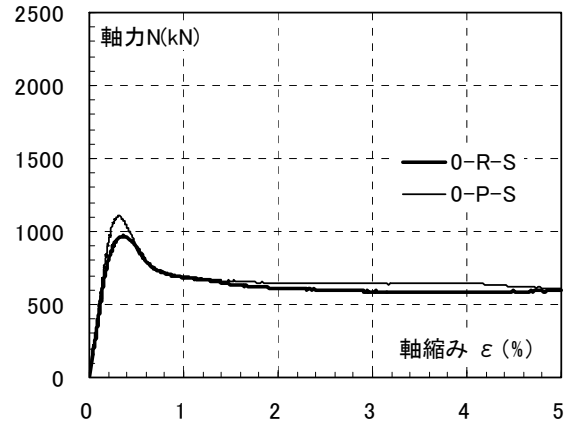
3.4 外殻材を用いたコンクリート柱試験体

コンクリートを薄肉鋼管で補強した試験体の圧縮試験結果を図 6(a)、コンクリートを UFC で補強した試験体の圧縮試験結果を図 6(b)に、実験結果の一覧を表 9 に、UFC で補強した試験体の最終破壊形状を写真 5 に示す。薄肉鋼管で補強した試験体の最大耐力 N_{max} は、式(1)に示す薄肉鋼管と内部コンクリートの単純累加耐力 N_0 の 0.96~0.97 倍の値を示している。

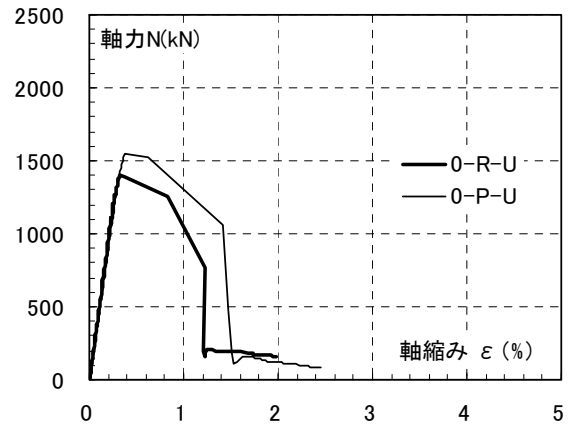
$$N_0 = N_c + N_h \quad (1)$$

ここで、 N_c : コンクリート部分の終局圧縮耐力(= $\sigma_B \cdot A_c$), N_h : 外殻材の終局圧縮耐力(薄肉鋼管 : $N_h = \sigma_y \cdot A_s$, A_s : 薄肉鋼管の断面積, UFC : $N_h = \sigma_{BU} \cdot A_U$)である。

最大耐力後は局部座屈により耐力低下を生じるが、耐力低下後もコンクリートの圧縮耐力 N_c の約 0.6~0.7 倍の荷重を維持し、拘束の無いコンクリートに比べ変形能力(荷重保持能力)が著しく向



(a) 外殻材 : 薄肉鋼管



(b) 外殻材 : UFC

図 6 外殻材を用いたコンクリート柱

表 9 外殻材を用いたコンクリート柱

	N_c (kN)	N_h (kN)	N_0 (kN)	N_{max} (kN)	N_{max}/N_0
0-R-S	649	355	1005	970	0.97
0-P-S	799		1155	1108	0.96
0-R-U	445	1277	1722	1398	0.81
0-P-U	604		1880	1555	0.83

$N_0 = N_c + N_h$, N_c : コンクリート部分の終局圧縮耐力(= $\sigma_B \cdot A_c$), N_h : 外殻材の終局圧縮耐力(薄肉鋼管 : $N_h = \sigma_y \cdot A_s$, A_s : 薄肉鋼管の断面積, UFC : $N_h = \sigma_{BU} \cdot A_U$)



写真 5 最終破壊形状(試験体 : 0-R-U)

上した。

一方、UFC で補強した試験体の最大耐力 N_{max} は単純累加耐力 N_0 の 0.81~0.83 倍であり、最大耐力を示した後に急激な破壊に伴い耐力が低下し、変形能力の向上は認められなかった。そこで、UFC で補強した試験体の最大耐力 N_{max} からコンクリートの負担軸力 N_c を差し引くことで求めた UFC の圧縮強度 σ_{BUmax} (式(2)参照)は 151N/mm^2 であった。

なお、コンクリートの種類の違いによる差異は認められなかった。

$$\sigma_{BUmax} = \frac{N_{max} - N_c}{A_c} \quad (2)$$

3.5 SC 柱試験体の圧縮特性

内蔵鉄骨と被覆コンクリートのみで構成される SC 柱試験体の圧縮試験結果を図 7 および表 10 に、代表的な試験体の最終破壊破壊形状を写真 6 に示す。SC 柱試験体は、最大耐力を示した後、かぶりコンクリートの圧壊と共に耐力低下を生じ、かぶりコンクリートの剥落を伴いながらほぼ一定の荷重を維持していた。

再生コンクリートを用いた試験体(S-R-02)では、コンクリート表面に乾燥収縮によるものと思われるひび割れが生じていたが、各試験体の最大耐力は、式(3)に示す単純累加耐力 N_0 の 0.95~1.03 倍で、圧縮耐力へのコンクリートの種類の違いや乾燥収縮ひび割れによる影響は認められなかつ

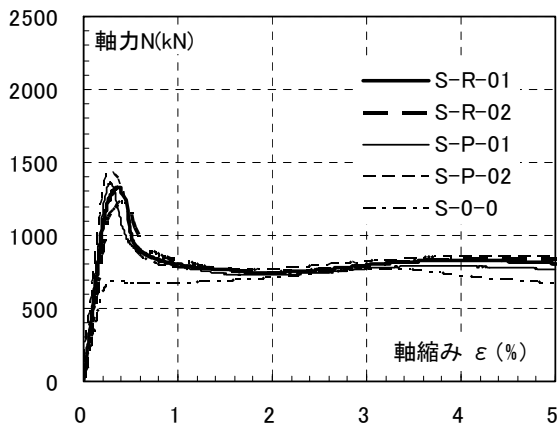


図 7 SC 柱試験体の実験結果

た。また最大耐力以降は、概ね内蔵鉄骨の負担軸力 N_s と同等の荷重を維持していた。

$$N_0 = N_s + N_c \quad (3)$$

ここで、 N_s : 鉄骨部分の終局圧縮耐力である。

表 10 SC 柱試験体の耐力一覧

	N_c (kN)	N_s (kN)	N_0 (kN)	N_{max} (kN)	N_{max}/N_0
S-R-01	629	655	1284	1328	1.03
S-R-02	563		1219	1232	1.01
S-P-01	774		1430	1362	0.95
S-P-02	764		1420	1457	1.03

$N_0 = N_s + N_c = \sigma_y \cdot A_s + \sigma_B \cdot A_c$, N_s , N_c : 鉄骨およびコンクリート部分の終局圧縮耐力



写真 6 最終破壊形状(試験体 : S-P-02)

3.6 外殻材を用いた SC 柱試験体

コンクリートを薄肉鋼管又は UFC で補強した SC 柱試験体の圧縮試験結果を図 8(a), (b) および表 11 に、UFC で補強した試験体の最終破壊形状写真 7 に示す。

薄肉鋼管で補強した SC 柱試験体の最大耐力は、いずれの試験体も式(4)に示す薄肉鋼管 N_h 、内蔵鉄骨 N_s およびコンクリート N_c による単純累加耐力 N_0 に達し、その後若干耐力低下を生じるものの、徐々に耐力が再上昇し、薄肉鋼管による拘束効果は顕著である。

$$N_0 = N_s + N_c + N_h \quad (4)$$

一方、UFC で補強した SC 柱試験体の最大耐力は、単純累加耐力 N_0 の 0.91~0.94 倍を示し、その後急激な耐力低下を生じた。UFC では、薄肉鋼管に比べ、変形性能の向上は僅かであった。なお、コ

ンクリートを UFC で補強した試験体と同様に、式(2)を用いて UFC で補強した SC 柱試験体の最大耐力 N_{max} からコンクリートの負担軸力 N_c を差し引くことで求めた UFC の圧縮強度 σ_{BUmax} は $167 \sim 178 \text{N/mm}^2$ で、UFC 単体の圧縮試験結果、コンクリートを UFC で補強した試験体の圧縮試験結果より高く、規格値に近い値であった。

5. まとめ

再生コンクリートを用いた縮小試験体による合成構造柱部材の中心圧縮実験を行い、以下の知見が得られた。

- 再生コンクリートを用いた SC 柱の圧縮性状は、普通コンクリートを用いた SC 柱と同等の性能を示した。
- 耐久性上の問題から、SC 柱のコンクリート表面を薄肉鋼管および UFC で被覆することにより、耐荷能力は向上し、更に薄肉鋼管では変形能力の向上も認められた。

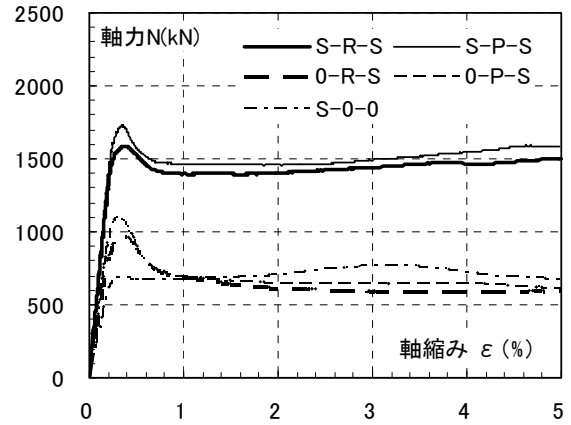
以上のことから、本実験で用いた再生コンクリートは、合成構造部材として充分適用可能である。

謝辞

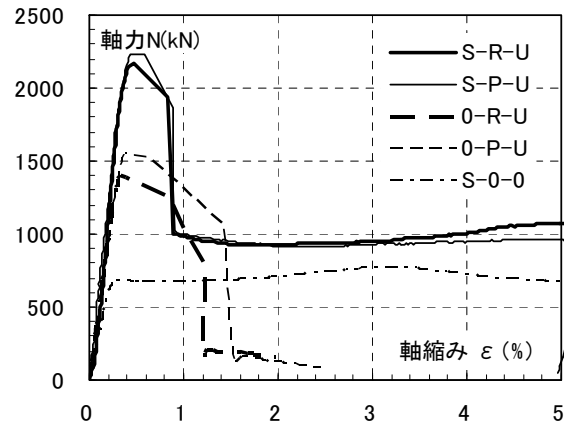
本研究に際し、東京建設廃材処理協同組合 葛西再生コンクリート工場の細野知之氏には再生コンクリートの手配で御協力をいただきました。また、混和剤メーカーF社の方々には調合計画において貴重な御助言をいただきました。ここに記して深謝いたします。

参考文献

- 1) 日本工業規格 : JIS A 5021(コンクリート用再生骨材 H), 2005 年 3 月
- 2) 日本工業規格 : JIS A 5022(再生骨材 M を用いたコンクリート), 2007 年 3 月
- 3) 日本工業規格 : JIS A 5023(再生骨材 L を用いたコンクリート), 2006 年 3 月
- 4) 小松博, 藤本利昭, 櫻田智之 : 再生コンクリートの合成構造への適用に関する研究, 第 2 回日本大学生産工学研究所地域連携プロジェクト



(a) 外殻材 : 薄肉鋼管



(b) 外殻材 : UFC

図 8 外殻材を用いた SC 柱試験体

表 11 外殻材を用いた SC 柱試験体の耐力一覧

	N_c (kN)	N_s (kN)	N_h (kN)	N_0 (kN)	N_{max} (kN)	N_{max}/N_0
S-R-S	587	655	315	1558	1587	1.02
S-P-S	723			1694	1727	1.02
S-R-U	390	655	1277	2322	2172	0.94
S-P-U	529			2461	2242	0.91

$N_0 = N_c + N_s + N_h$



写真 7 最終破壊形状(試験体 : S-R-U)