

# 論文 孔あき鋼板ジベルを用いた S 部材と RC 部材で構成される切替え部の性能改善に関する研究

松原 弘道\*1・西村 泰志\*2

**要旨:** 本報は、軸力・曲げせん断を受ける S 部材と RC 部材で構成される切替え部において、土木分野で扱われる孔あき鋼板ジベルを活用することを試みる。本研究は、S 部材ウェブ部に設けた孔あき鋼板ジベルによって、切替え部の破壊性状がどのような影響を受けるのか孔あき鋼板ジベルの有無及び作用軸力を実験変数とする 6 体の試験体を用いて実験的に検討した。これらの実験結果から、孔あき鋼板ジベルによって抜出しに対する変形性状が改善されたことが確認された。しかしながら、切替え部の履歴性状を改善するまでに至っていない。今後、孔あき鋼板ジベルを用いるための新たなディテールを検討する必要性を示した。

**キーワード:** S 部材, RC 部材, 切替え部, 孔あき鋼板ジベル, 応力伝達機構

## 1. はじめに

孔あき鋼板ジベルは、主に土木分野で発展しており、孔のあいた平鋼を溶接により鋼部材に取り付けたもので、ずれを生じさせる作用せん断力の方向に沿って配置される。コンクリートと鋼材の間に作用するせん断力に対し、孔に充填されたコンクリートが 2 面せん断によって抵抗し、コンクリートと鋼材との間のずれ止めとして利用されている。土木分野では、例えば、合成構造橋脚基部における鋼材のフーチングへの定着や橋梁上部工における鋼主桁と RC 部材あるいは PC 部材との接合部

などに使用される。孔あき鋼板ジベルは施工性が非常に簡便であるので、建築構造物に应用する価値があると考えられる。

本研究は、このような観点から S 部材が RC 部材に埋め込まれた切替え部の破壊性状に関して、S 部材ウェブ部に設けた孔あき鋼板ジベルが切替え部の破壊性状にどのような影響を及ぼすか実験的に明らかにする。なお、このような切替え部の S 部材ウェブに孔を設けることによって、切替え部の性能改善が期待できるならば、ハイブリット構造の発展に大きく寄与すると考えられる。

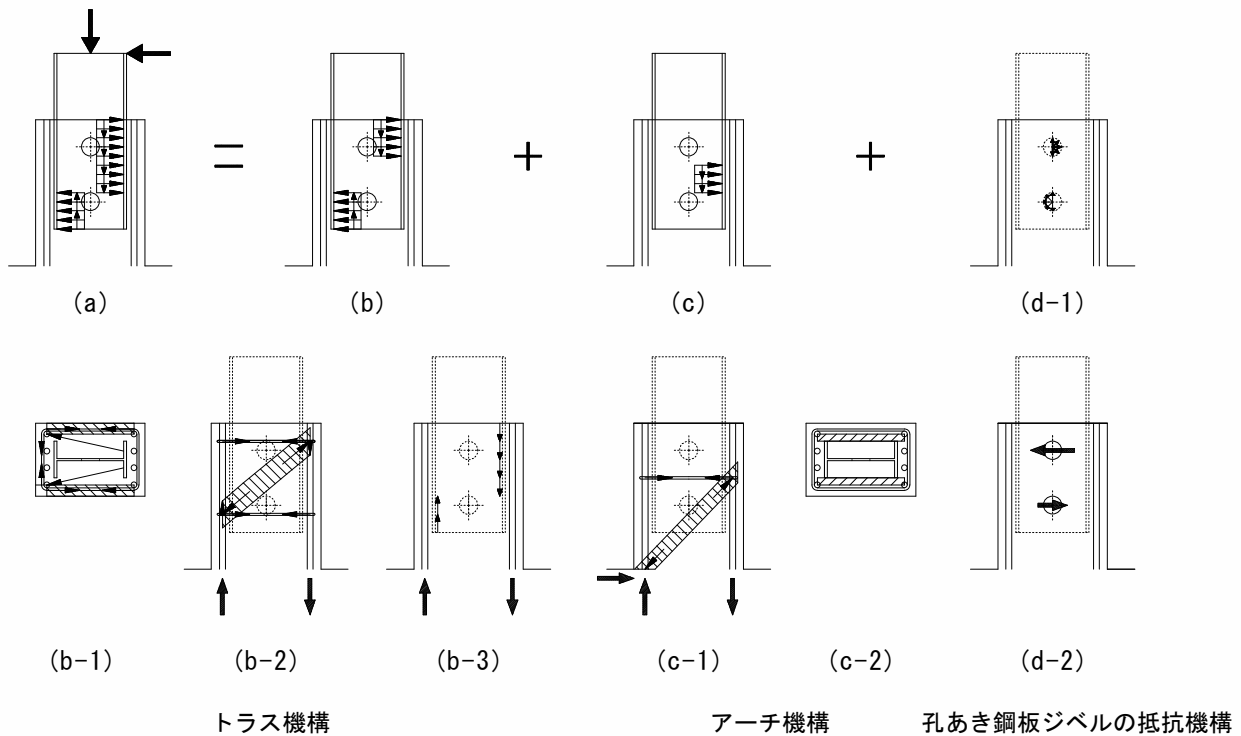


図-1 応力伝達機構

\*1 大阪工業大学大学院 工学研究科 建築学専攻 (正会員)

\*2 大阪工業大学 工学部建築学科教授 博(工) (正会員)

表-1 材料の力学特性

試験体名	使用材料	降伏応力度 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 $\sigma_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E_s$ $\times 10^5$ (N/mm <sup>2</sup> )	材料	圧縮強度 $\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 $\sigma_t$ (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 $E_c$ $\times 10^4$ (N/mm <sup>2</sup> )		
N	鉄骨	PL-5.5	415	502	2.05	コンクリート	28.7	2.76	2.52	
		PL-8.0	366	468	2.07					
	主筋	D16	333	513	1.87					
		せん断補強筋	D6	369	490					1.71
WPN	鉄骨	PL-5.5	320	432	1.90		コンクリート	30.8	2.59	2.34
		PL-8.0	283	416	1.93					
	主筋	D16	343	501	1.75					
		せん断補強筋	D6	414	472					

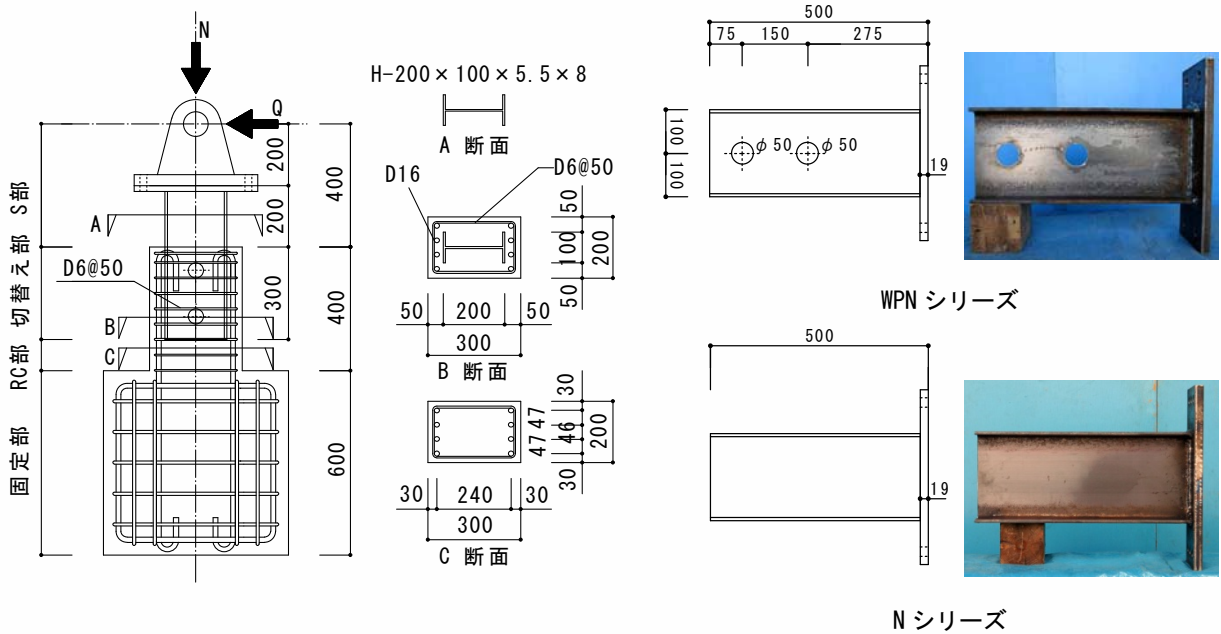


図-2 試験体の形状寸法, 断面, 鉄骨および配筋詳細

## 2. 応力伝達機構

図-1に既往の研究<sup>1,2)</sup>で提案された応力伝達機構, 抵抗機構およびS部材ウェブ部に設けられた孔あき鋼板ジベルの効果を示す。

図-1(a)は, S部材に作用する外力とRC部材に埋込まれたS部材に作用する支圧力および摩擦力が釣合系を構成することを示している。なお, ここでいう支圧力とは, 剛性と強度の異なるものが接触する部分に作用する圧縮応力度のことを呼んでいる。

図-1(b)と(c)は, 図-1(a)のS部材フランジ面に作用する支圧力および摩擦力を, 偶力と偶力の部分を差し引いた残りの支圧力と摩擦力に分離した応力状態を示している。図-1(b)は, 曲げモーメントに抵抗する偶力, 図-1(c)は, せん断力に抵抗することを示している。これらの支圧力および摩擦力は反作用として, 図-1(b-1)に示す様に隅角部の主筋に向かう力となり, RC部ではトラス機構およびアーチ機構を構成して抵抗すると考えられる。

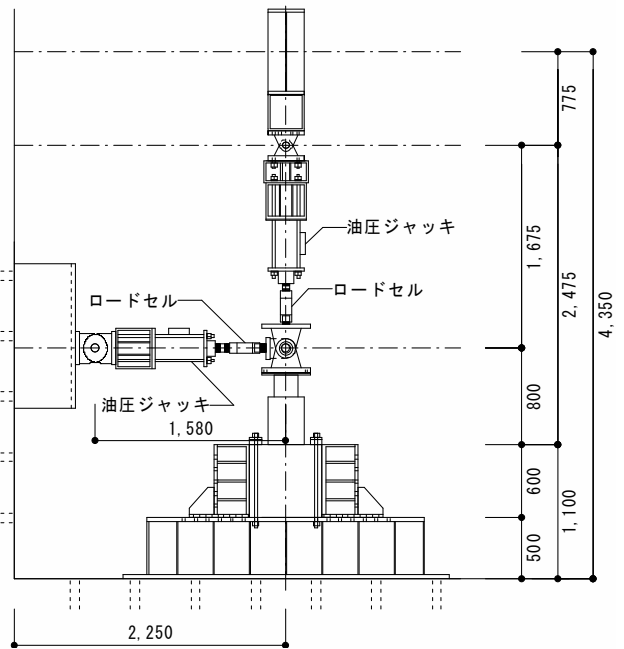


図-3 荷重装置

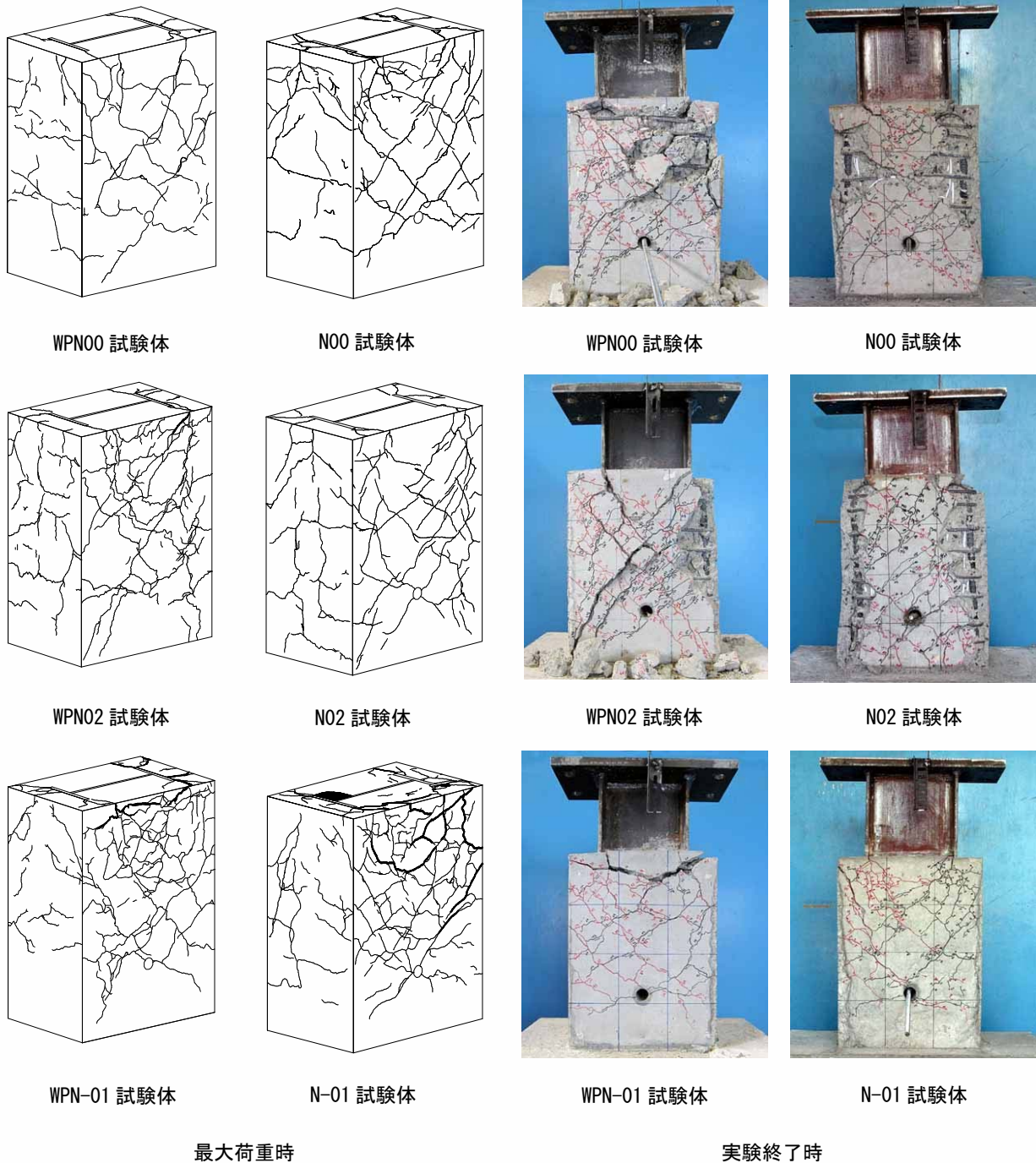


図-4 最大荷重時および実験終了時のひび割れ状況

図-1 (d-1)は、孔あき鋼板ジベルに充填されたコンクリートの片面に生じる支圧力<sup>3)</sup>によって外力に抵抗することを示している。なお、力の釣り合いから上部の孔あき鋼板ジベルに作用する力の効果は下部よりも大きいと考えられる。

図-1 (d-2)に示すように、これらの支圧力が、前述の様に反作用として RC 部に支障なく伝達されるならば、鉄骨フランジに作用する支圧力が軽減できるので、切替え部の耐力および変形性能は改善されることが予想される。

### 3. 実験計画

S 部材ウェブ部に設けた孔あき鋼板ジベルが、切替え部の破壊性状にどのような影響を与えるのか検討するために、孔あき鋼板ジベルの有無(孔あき鋼板ジベルを有する試験体は WPN、無いものは N と表記する)と作用軸力を S 部材降伏圧縮耐力の 0.2, 0, -0.1 とした計 6 体の片持ち梁形式の試験体が計画された。WPN00 試験体および N00 試験体は作用軸力比 0, WPN02 試験体および N02 試験体は作用軸力比 0.2, WPN-01 試験体および N-01 試験体は作用軸力比 -0.1 である。なお、-0.1 は引張軸力比

を示す。図-2 に計画された試験体の形状寸法、断面、鉄骨および配筋詳細図を示す。試験体は下端から、RC部材、切替え部、S部材へと各部材が直列的に切替わる試験体である。RC断面は200×300mm、主筋は圧縮側および引張側にD16(SD295)が4本ずつ計8本配筋されている。せん断補強筋は、D6(SD295)を50mm間隔で配筋した。S部材は、公称寸法がH-200×100×5.5×8(SN400)を使用している。各試験体とも、RC部材に埋込まれるS部材の長さは、300mmとしている。WPNシリーズは、S部材ウェブにφ50の孔が2カ所設けられている。孔位置はS部材ウェブ部の中心線上でS部材端部から75mmと225mmの位置である。孔の中心間距離は150mmである。

コンクリートは縦打ちとし、コンクリート打設後7日後に脱型し、実験実施まで空気養生とした。

表-1 に使用された材料の力学的特性を示す。

図-3 に荷重装置を示す。実験は、試験体の固定部を固定し、所定の軸力を負荷したのち、水平力を正負繰り返し載荷する。載荷は、変位部材角0.5、1.0、2.0、3.0%までは正負2回繰り返し、以後正方向に変位部材角5.0%まで一方向載荷する。

## 4. 実験結果

### 4.1 ひび割れおよび最終破壊状況

図-4 に最大荷重時(変位部材角0.01(rad.))の荷重面側から見たひび割れ図と実験終了時のひび割れ状況写真を示す。

最大荷重時のひび割れを比較する。軸力を負荷していない場合、WPN00試験体は、N00試験体に比べ、ひび割れが試験体の切替え部およびRC部全体に進展している。これより、孔あき鋼板ジベルを設けることで、切替え部およびRC部全体に応力が伝達されているのではないかと考えられる。圧縮軸力を負荷した場合、両試験体とも切替え部に多くの斜めひび割れが観察された。WPN02試験体は、下部の孔あき鋼板ジベル部より、上部の孔あき鋼板ジベル部に多くの斜めひび割れが生じた。これは、下部の孔あき鋼板ジベル部より、上部の孔あき鋼板ジベル部に大きな支圧力が作用しているためと考えられる。引張軸力を負荷した場合、WPN-01試験体は、WPN02試験体と同様、上部の孔あき鋼板ジベル部に多くの斜めひび割れが観察された。

実験終了時を比較する。圧縮軸力を負荷した場合、両試験体とも主筋に沿った付着割裂ひび割れおよび多くの斜めひび割れが観察された。大変形時には、両試験体とも鉄骨フランジに囲まれたコンクリートとその周りのコンクリートは分離していることが観察された。軸力を負荷していない試験体は、圧縮軸力を負荷した試験体と同様なひび割れ状況を示している。WPN00試験体は、

上下部のどちらの孔あき鋼板ジベル部にも、同じような斜めひび割れが観察された。また、鉄骨フランジに囲まれたコンクリートとその周りのコンクリートが分離していることが観察された。なお、この状況は、WPN02試験体よりも顕著である。引張り軸力を負荷した場合、両試験体とも斜めひび割れが多数観察されたが、付着割裂ひび割れはあまり観察されなかった。また、上部の孔あき鋼板ジベル部でコーン破壊に似た破壊状況が観察された。

### 4.2 荷重変形関係

図-6 に荷重変形関係を示す。縦軸は負荷された荷重 $Q$  (kN)から求められる固定部に作用する曲げモーメント $M$  (kN・m)を $bD^2F_c$ ( $b$ :コンクリート断面幅、 $D$ :コンクリート断面のせい、 $F_c$ :コンクリートの圧縮強度)で無次元化した値、横軸は載荷点位置でのたわみ $\delta$ を載荷点高さ $L$ で無次元化して求められた変位部材角 $R$ (rad.)である。各試験体とも作用軸力によって耐力および履歴性状に大きな相違がみられた。軸力が負荷されていないWPN00試験体およびN00試験体は類似した逆S字の履歴性状を示した。圧縮軸力を負荷したWPN02試験体とN02試験体は、軸力が負荷されていないWPN00試験体とN00試験体に比べ、スリップが少ない履歴性状を示している。さらに、WPN02試験体はN02試験体に比べ残留変形が小さい。引張軸力を負荷したWPN-01試験体とN-01試験体については、初期の段階でS部材が拔出し剛性が低下し、両試験体ともに変位部材角0.01(rad.)時になると軸力を保持できなくなり実験を中断した。

図-7 に固有ループを示す。縦軸は負荷された荷重 $Q$  (kN)を各振幅の最大荷重 $Q_{max}$  (kN)で無次元化した値、横軸は載荷点位置でのたわみ $\delta$  (mm)を各振幅の最大たわみ $\delta_{max}$  (mm)で無次元化した値である。軸力を負荷していないWPN00試験体およびN00試験体は変形が進むにつれて逆S字の履歴性状になっているのが分かる。圧縮軸力を負荷したWPN02試験体およびN02試験体は共に紡錘型の履歴性状を示していることが分かる。変位部材角0.02(rad.)になっても、ほぼ紡錘型の履歴性状を保持している。引張軸力を負荷したWPN-01試験体およびN-01試験体は、変位部材角0.005(rad.)および0.01(rad.)時共に紡錘型の履歴性状を示している。N-01試験体はWPN-01試験体よりもエネルギー吸収能力が若干大きい。しかしながら、各試験体を比較すると、孔あき鋼板ジベルを設けることによって、切替え部の履歴性状を改善するまでに至っていない。

図-6 に切替え部を含む部材の載荷点の鉛直方向の変位量を示す。縦軸は鉛直変位量 $\delta_v$  (mm)、横軸は変位部材角 $R$ (rad.)である。各試験体とも変位部材角0.005(rad.)

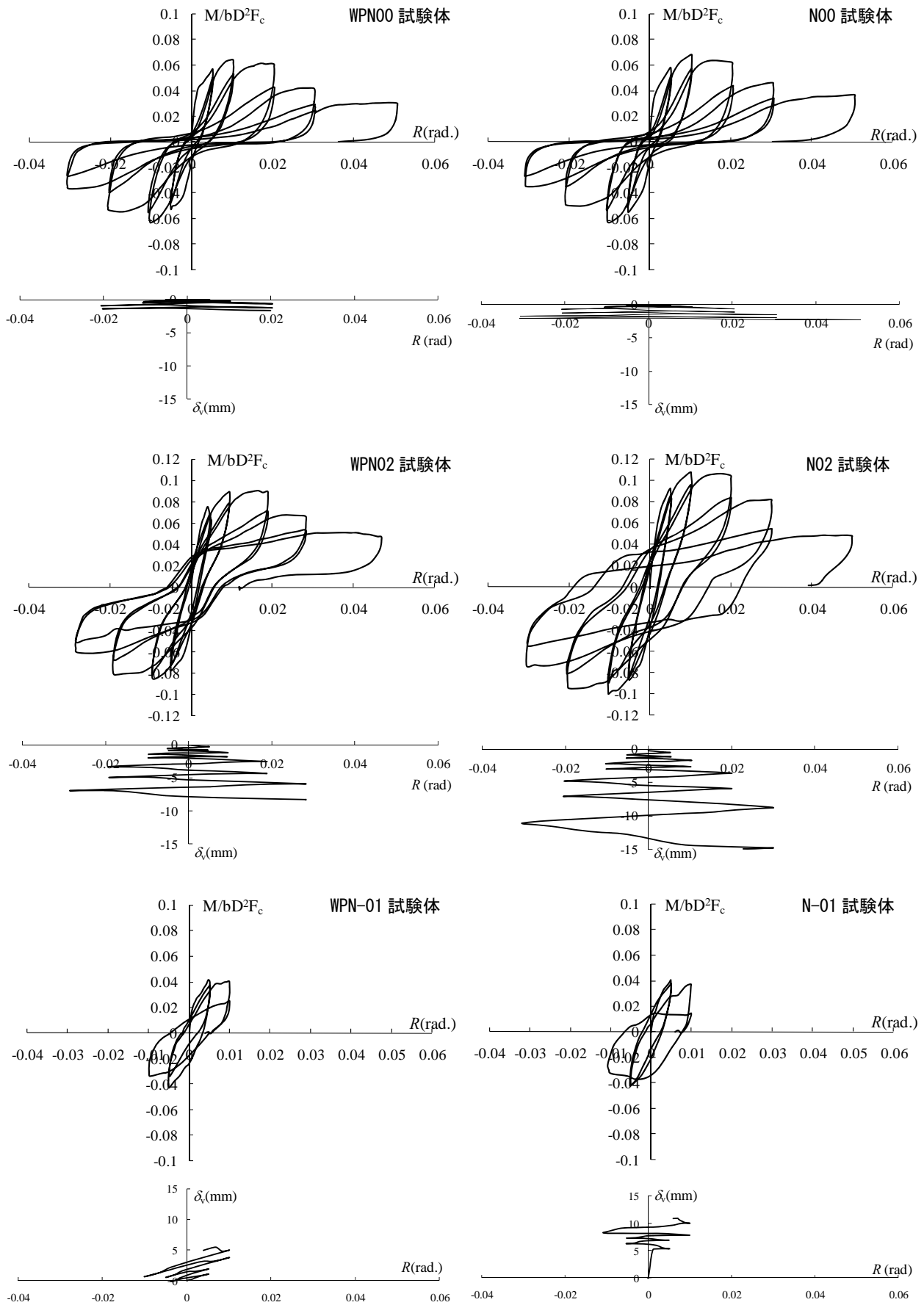


図-6 荷重変形関係および切替え部を含む部材の載荷点の鉛直方向の変位量



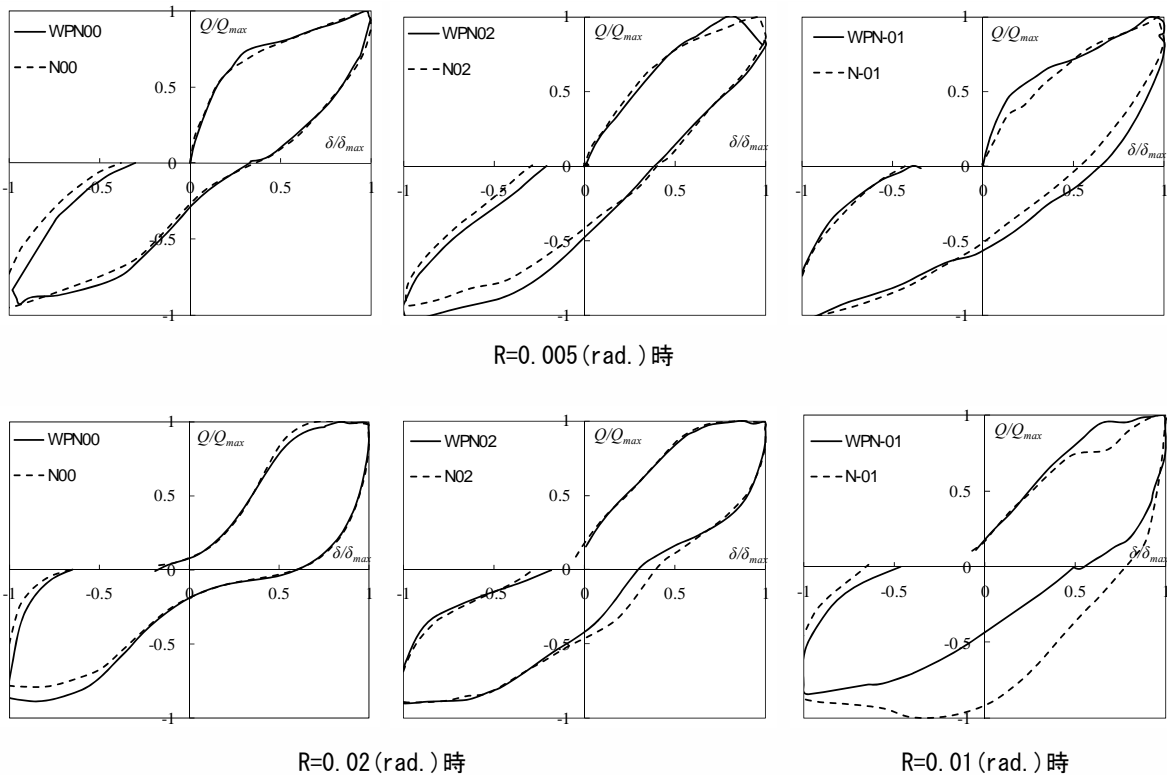


図-7 固有ループ

までは、RC 部材と S 部材は、ほぼ一体となっていることが分かる。軸力を負荷していない N00 試験体と WPN00 試験体の相対変位は小さい。圧縮軸力を負荷した N02 試験体と WPN02 試験体は作用軸力によって、S 部材が RC 部材に大きく沈み込んでいることが観察できる。WPN02 試験体は N02 試験体に比べ相対変位は小さい。引張軸力を負荷した N-01 試験体と WPN-01 試験体は、引張軸力により拔出しが顕著に見られる。WPN-01 試験体は N-01 試験体に比べ相対変位は小さい。これは、鉄骨ウェブに設けた孔あき鋼板ジベルは、鉄骨と鉄骨フランジに囲まれたコンクリートを一体とする効果があり、鉄骨フランジより外側のコンクリートとの摩擦力が増大するためであると考えられる。

### 5. 孔あき鋼板ジベルの有効性に関する検討

孔あき鋼板ジベルは、孔あき鋼板ジベルに作用する抵抗力を鉄骨フランジ側面の支圧力あるいは摩擦力による抵抗機構に付加することによって更なる抵抗力の増大あるいは変形状の改善を意図したものである。しかしながら、前述の実験結果で示されたように、鉄骨の抜け出しに対してはその効果が認められたが、切替え部の履歴性状を改善するまでに至っていない。これは、孔あき鋼板ジベルがウェブに設けられているため、鉄骨と鉄骨フランジ囲まれたコンクリートを一体にする効果はあるものの、前述のように、主筋隅角部に向かう圧縮束

が形成されなかったためと推察される。

実験結果から、孔あき鋼板ジベルはコンクリートと S 部材を一体にする働きを有することは示されたので、今後、建築構造物の切替え部の性能を改善する新たなディテールを検討することが必要である。

### 6. 結語

- 1) 孔あき鋼板ジベルを設けることで切替え部の S 部材の拔出しに対する変形状を改善させる働きを有することが示された。
- 2) 切替え部の性能改善をするための新たなディテールを検討することが必要である。

### 参考文献

- 1) 青山尚樹, 南坂典子, 西村泰志:RC 部材と S 部材で構成される切替え部の耐力評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.3, pp.1315-1316, 2007.6
- 2) 南坂典子, 青山尚樹, 西村泰志:S 部材と RC 部材が直列的に結合される接合部の応力伝達機構(その 18) 日本建築学会近畿支部研究報告集 第 46 号・構造系, pp.349-352, 2006.6
- 3) 山下真一, 西村泰志:S 部材と RC 部材が孔あき鋼板ジベルで接合した切替え部の破壊性状(その 1, 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1pp.1249-1252, 2008