

論文 フラットビーム端部の応力伝達に関する実験研究

大沼正昭*¹・市澤勇彦*²・川股重也*³

要旨：フラットビームを柱に圧着する際、偏平な梁ほど柱のパネルゾーンに伝わるせん断力が大きく設計が困難になる。本論では、フラットビーム端部の応力伝達に関してパネルゾーンのせん断亀裂による損傷が梁柱接合部の圧着力に及ぼす影響を実験で確かめ、パネルゾーンの損傷が圧着力を低下させることを確認した。また、実用設計域での梁降伏型を保証する柱とパネルゾーンの設計に際して、圧着用のP C鋼棒をアンボンド形式で用いることがパネルゾーンのせん断挙動に有利であることと、パネルゾーンの平均せん断応力度を6.0MPa程度以下にする必要があることを実験により確認した。

キーワード：フラットビーム、偏平梁、圧着接合、梁柱接合部、十字型

1. はじめに

筆者らは、P C組み立てラーメン構法の一つとしてプレキャストの偏平梁と柱をP C鋼棒を用いて圧着接合することでラーメンとし、偏平梁の上にハーフプレキャスト床版を用いた床を敷設するフラットビーム構造の開発研究を行なっている。これまでの研究でフラットビームの基本的な性質について明らかにしたが、偏平梁と柱を圧着接合したラーメン架構の性能については不明なところが多く、特に以下の様な問題点が挙げられる。

1. 通常の梁に比べて偏平梁は梁のせいが低い分、偏平梁と柱の接合部パネルゾーンに作用するせん断応力が大きくなり設計上の問題点となる可能性がある。
2. 接合部パネルゾーンのせん断挙動による接合部圧着力の低下が予想される。
3. 梁降伏を保証する接合部の強度が明確ではない。

本論ではこれらの問題を解明するために柱降伏・柱せん断強度不足型の実験1と実用設計域での梁降伏型の実験2を行い検討を行った。実験は何れも試設計の1/4縮尺の十字型試験体を用いて行った。

2. 実験1の概要

実験1では、柱と接合部パネルゾーンの損傷による影響を見るため、柱降伏・柱せん断強度不足型に配筋設計をした。試験体の形状と配筋を図1に示す。プレキャストの柱と偏平梁は目地モルタルを会して圧着接合してある。試験体一覧を表1に示す。接合部の圧着力と柱軸力をパラメータと

表1. 試験体一覧

試験体名	No.1	No.2	No.3	No.4
圧着力(MPa)	7.45	4.70	1.96	1.96
柱軸力(kN)	23.5	47.1	23.5	47.1

表2. 鉄筋・P C鋼棒の材料定数(単位:MPa)

呼称	降伏点	引張強度	ヤング係数
D 6	384	553	188000
D10	328	533	191000
D13	360	520	194000
D16	357	532	196000
PC13φ	1085	1116	202000

表3. コンクリートの材料定数(単位:MPa)

材令(日)	圧縮強度	引張強度	ヤング係数
24	58.74	2.25	35400

*1 東北工業大学講師 工学部建築学科, (正会員)
 *2 (株)ピー・エス 技術部, (正会員)
 *3 東北工業大学教授 工学部建築学科, 工博(正会員)

し、配筋は4体とも同一である。試験体に用いた鋼材とコンクリートの材料定数を表2と表3に示す。コンクリートは粗骨材粒径10mm以下、スランプ8cmの早強コンクリートを用いて蒸気養生を行い脱型後、材令6日に柱と梁を圧着固定した。

加力は変位制御とし、柱先端に定変位2回ずつ正負繰り返し水平加力を行った。柱軸力は柱芯に配置したアンボンドPC鋼棒と油圧ジャッキにより一定に保った。

3. 実験1の結果

荷重Qと層間変形角Rの関係を図2に示す。各試験体共にR=0.01radまでは紡錘型の履歴特性を示すが、その後は柱筋の降伏とパネルゾーンのせん断亀裂の進展とともにいずれもスリップ型の履歴特性を示す。

柱軸力の大きいNo.2とNo.4が他の2体に比べ耐力が高く、柱軸力の等しいNo.1とNo.3を比較すると圧着力の大きいNo.1が剛性も高く履歴曲線の膨らみも大きい。また、圧着力の大きい試験体の方が、繰り返し加力による耐力低下が大きい。

各試験体の最終亀裂図を図3に示す。各試験体とも梁筋は降伏以前であり梁部の曲げ亀裂は極く軽微である。柱部分の曲げせん断亀裂はNo.1試験体が最も大きく、柱主筋に沿った付着割裂と被りコンクリートの圧壊が見られた。パネルゾーンの初亀裂はR=0.005rad附近で生じ、さ

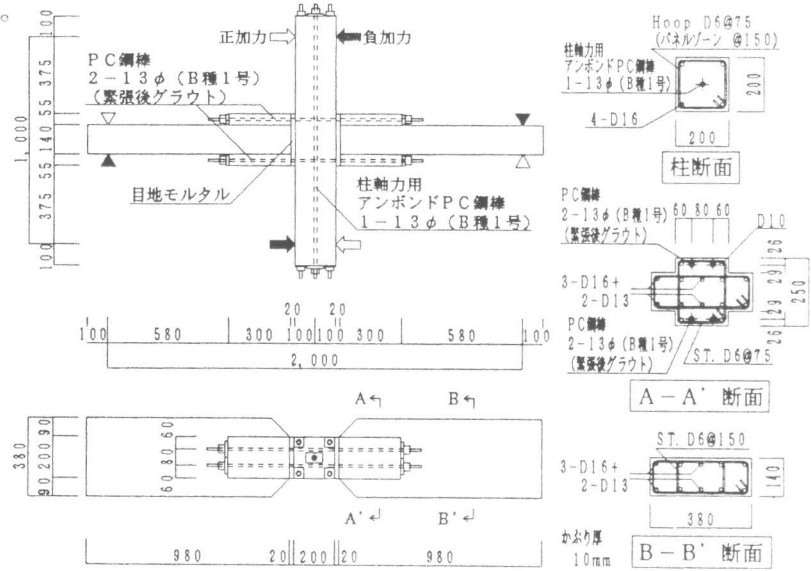


図1. 試験体形状・配筋図 (単位: mm)

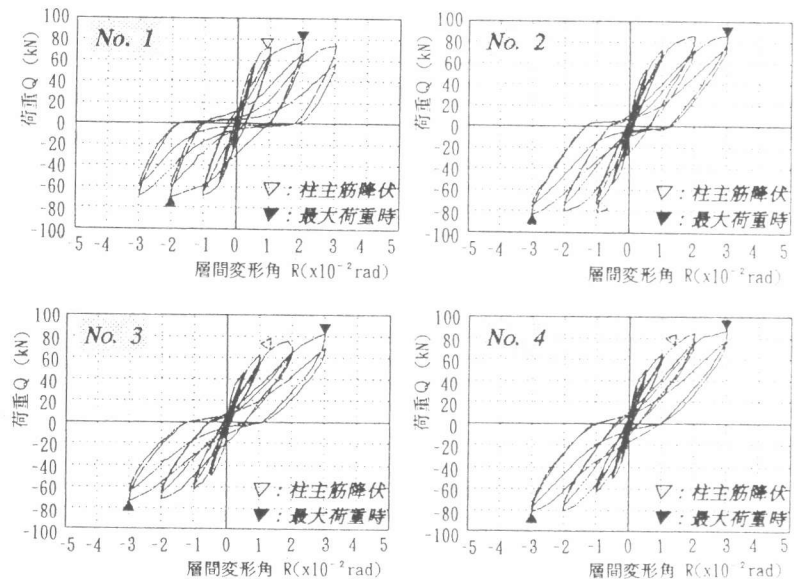


図2. 荷重～層変形角関係

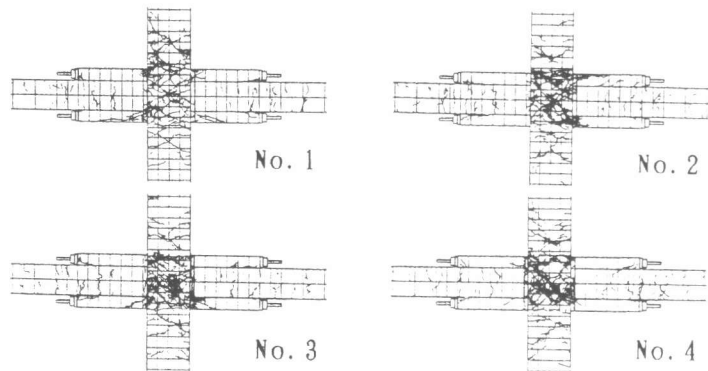


図3. 最終亀裂図

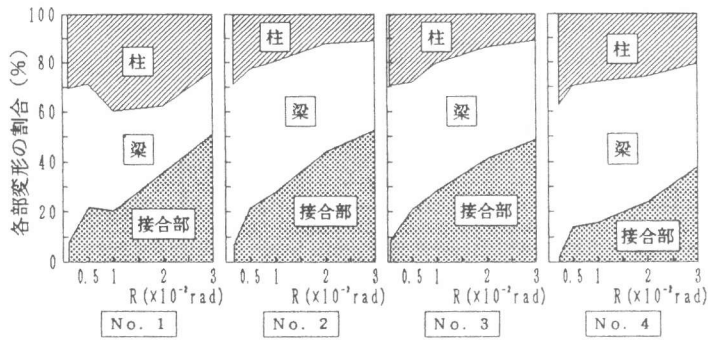


図4. 層間変形角に占める各部変形の割合

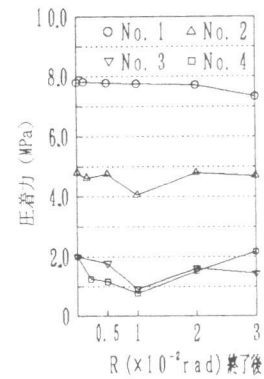


図5. 圧着力の変化

らに $R=0.01\sim 0.02\text{rad}$ でパネルゾーンの中心部にX型にせん断亀裂が生じた。圧着力の大きいNo.1はパネルゾーンのせん断亀裂は比較的少ないが、他の試験体ではパネルゾーンのせん断破壊が進行した。

層間変形角に占める各部変形の割合を図4に示す。No.3に比べ圧着力の大きいNo.1が接合部のせん断変形は小さい。変形の進展と接合部圧着力の変化を図5に示す。接合部パネルゾーンの平均せん断応力度の推移を図6に示す。

以上のパネルゾーン破壊型の実験1の結果から

1. 圧着力が大きい場合は、パネルゾーンに多少の亀裂が生じても圧着力の低下は少ない。
2. 圧着力が小さい場合は、パネルゾーンのせん断亀裂が1~2本程度でも圧着力の低下が大きい。
3. 柱軸力が小さく、圧着力が大きい場合はパネルゾーンの亀裂は少ない。
4. コンクリート強度60MPa前後のフラットビーム構造ではパネルゾーンの平均せん断応力度を6.0MPa以下にする必要がある。

以上の知見が得られた。

4. 実験2の概要

ここでは通常の設計で行う梁降伏型のモデルを用いて接合部の性状を確認する実験を行った。試験体一覧を表4に、試験体に用いた鋼材とコンクリートの材料定数を表5と表6に示す。

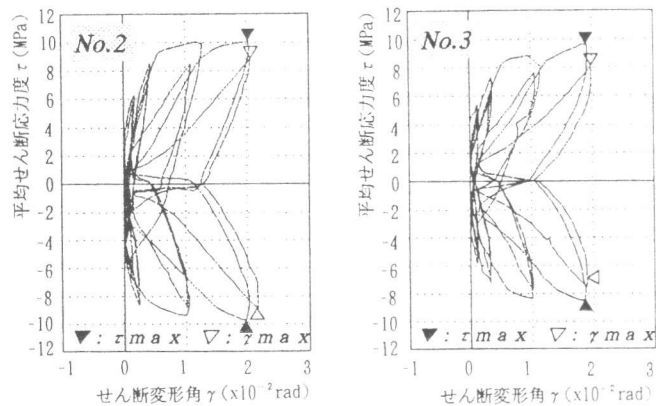


図6. パネルゾーンのせん断応力度

表4. 試験体一覧

試験体名	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
圧着力 (MPa)	4.00			
柱軸力 (kN)	47.1			
接合部PC鋼棒	7mmφ		緊張後9mmφ	
接合部 Pw (%)	0.64	0.32	0.64	0.32
接合部断面 (cm)	20x20		27x27	

表5. 鉄筋・PC鋼棒の材料定数 (単位: MPa)

呼称	降伏点	引張強度	ヤング係数
D 6	321	548	195000
D13	352	508	195000
PC9.2φ	1093	1131	200000
PC11φ	893	976	200000
PC13φ	1055	1100	201000

表6. コンクリートの材料定数 (単位: MPa)

材令(日)	圧縮強度	引張強度	ヤング係数
46	66.88	2.93	41700

使用コンクリートおよび養生は実験1と同様である。

試験体の形状と配筋を図7に示す。形状は実験1の試験体とほぼ同じで、特に梁端の定着部長さを短く設計している。梁は1.84MPaのプレストレスを与えたPRC設計とし、破壊モードは梁降伏型となるようにした。梁の主筋は定着長さの不足を補うために梁端に定着プレートを埋め込み溶接している。各試験体の特徴はNo.5試験体は接合部のPC鋼棒をアンボンドで用いることで、パネルゾーンに作用するせん断力の低減を狙った。その他の試験体では接合部のPC鋼棒はボンド形式で用いている。No.6とNo.7試験体は柱のせん断補強筋比0.43%に対してパネルゾーンのせん断補強筋比を0.32%と0.64%としてある。No.8試験体はパネルゾーンを一廻り大きくすることでパネルゾーンのせん断強度の増加を計っている。

実験は変位制御で柱先端に定変位2回づつの正負繰り返し水平加力を行った。柱軸力は柱芯に配置したアンボンドPC鋼棒と油圧ジャッキにより一定に保った。

5. 実験2の結果

実験で得られた荷重Qと層間変形角Rの関係を図8に示す。No.5試験体は柱・梁圧着用アンボンドPC鋼棒のネジ部破断を避けるために実験を $R=0.03\text{rad}$ で終了した。他の試験体は $R=0.05\text{rad}$ まで加力した。各試験体の履歴曲線は紡錘型を示しており、梁主筋の降伏後も耐力低下せず安定した履歴性状を示している。また、PRC梁の効果によって復元性も優れている。加力の経過を辿ると $R=0.005\text{rad}$ 付近で梁の主筋が降伏し

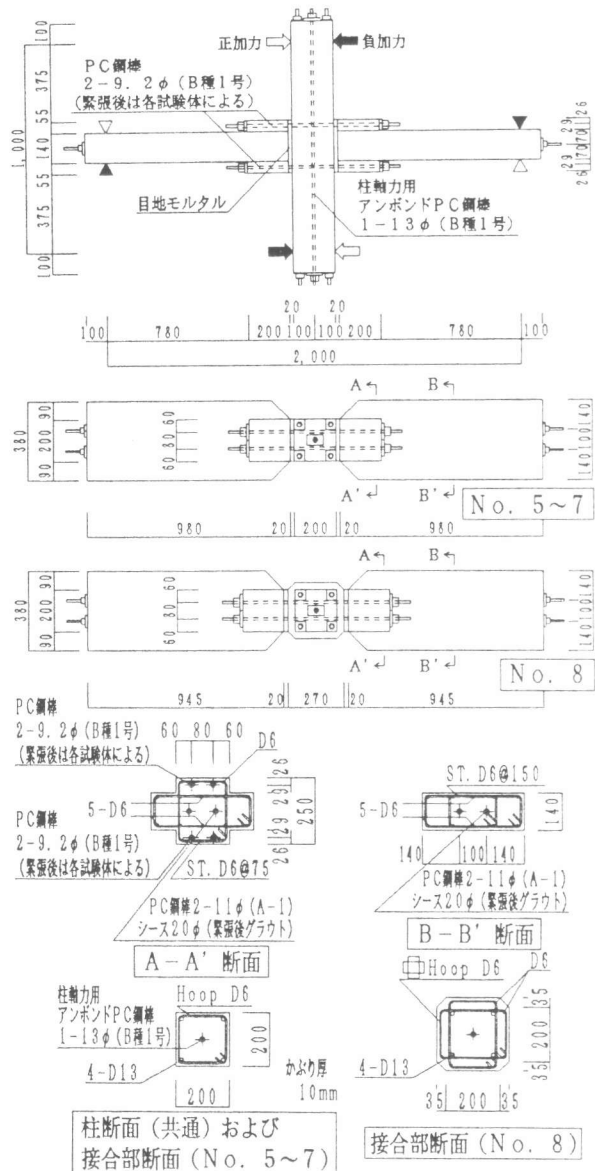


図7. 試験体形状・配筋図(単位: mm)

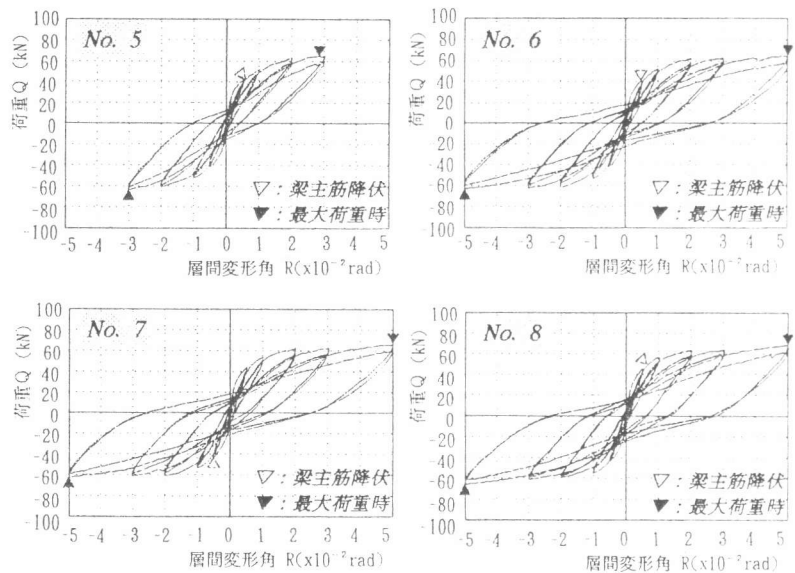


図8. 荷重～層変形角関係

その後パネルゾーンにせん断初亀裂が生じる。さらに変形の増加に伴い $R=0.006\text{rad}$ 附近から柱の主筋が降伏し、 $R=0.015\text{rad}$ 近傍で梁のP C鋼棒が降伏する。 $R=0.05\text{rad}$ 近くで、一部接合部のP C鋼棒も降伏に達するものがある。アンボンド形式のNo. 5試験体とボンド形式のNo. 7試験体を比較すると、ボンド形式のNo. 7試験体の履歴曲線のほうが幾分ループの膨らみは大きいがほとんど差は無いと言える。パネルゾーンのせん断補強筋比が異なるNo. 6試験体とNo. 7試験体の比較でも履歴性状に差はない。No. 8試験体は他の試験体に比べて履歴のループは僅かに幅広くなっている。

各試験体の最終亀裂図を図9に示す。アンボンド形式のNo. 5試験体はパネルゾーンのせん断亀裂が少なく、亀裂幅も極く小さいへアークラック程度である。せん断補強筋比の少ないNo. 6試験体ではパネルゾーンのせん断亀裂は多数分散して見られるものの亀裂幅は極く小さい。No. 7試験体とNo. 8試験体では $R=0.05\text{rad}$ 時にパネルゾーンにX型にせん断亀裂が生じたもののやはり亀裂幅は極く小さい。

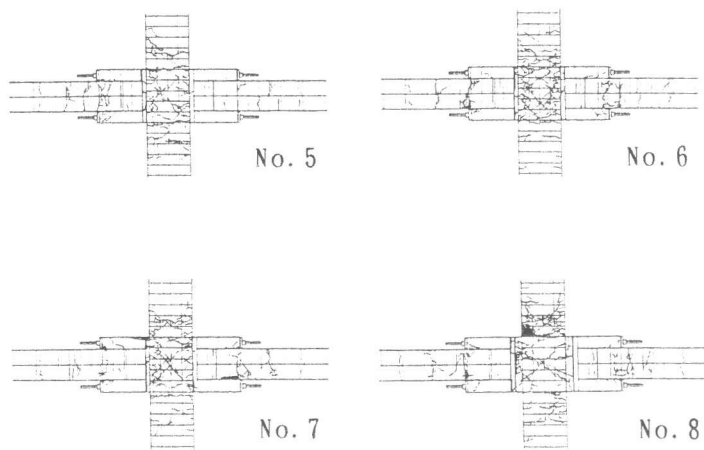


図9. 最終亀裂図

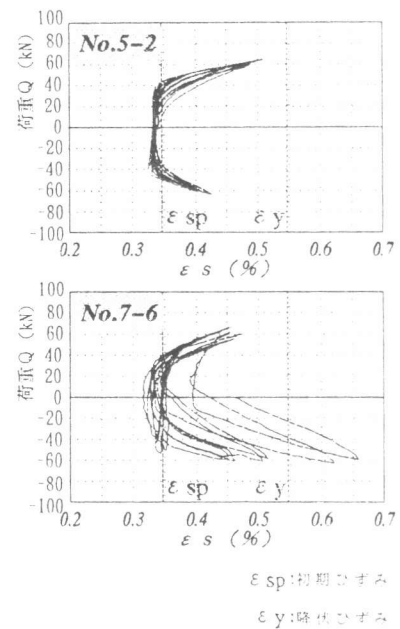


図10. P C鋼棒の歪

圧着接合のP C鋼棒の歪の変化を図10に示す。それぞれアンボンド形式のNo. 5試験体とボンド形式のNo. 7試験体のデータである。アンボンド形式の場合は繰り返し加力に対する再現性が良く、緊張力の低下も認められない。また、ボンド形式のNo. 7試験体の場合は繰り返し加力により徐々に付着が切れアンボンドへ移行していく様子が見られる。さらに $R=5.0\%$ 時にP C鋼棒が降伏歪に達したことも認められる。

接合部パネルゾーンのせん断変形角と平均せん断応力度の推移を図11に示す。No. 7試験体に比べてパネルゾーンの太いNo. 8試験体ではパネルゾーンのせん断変形が極めて小さいことを示している。アンボンド形式のNo. 5試験体も $R=3.0\%$ radまでNo. 8試験体同様にパネルゾーンのせん断変形が極めて小さい結果となっている。

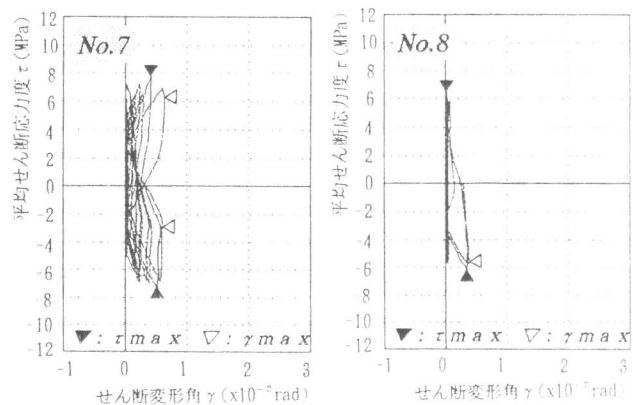


図11. パネルゾーンのせん断応力度(MPa)

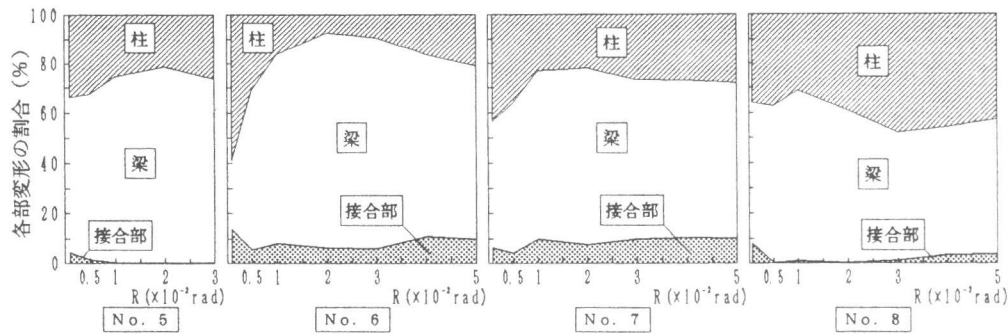


図12. 層間変形角に占める各部変形の割合

層間変形角に占める各部変形の割合を図12に示す。アンボンド形式のNo.5試験体は接合部パネルゾーンのせん断変形が小さく梁の変形が支配的である。パネルゾーンを太くしたNo.8試験体ではパネルゾーンのせん断変形は小さく梁と柱が同程度に変形していることが認められる。No.8試験体では特に柱脚の亀裂が多く柱主筋の歪も他の試験体に比較し大きくなっており、被りコンクリートの圧壊も起きている。これはパネルゾーンを太くしたために、柱筋のパネルゾーンでの定着状況が他の試験体に比べて良く、柱筋の抜け出しが少ないことと、梁位置の変更により曲げ耐力が上昇したためと考えられる。

接合部の圧着力の変化を図13に示す。各試験体とも変形の増加に伴う圧着力の変化は少なく問題はない。接合部パネルゾーンの平均せん断応力度を表7に示す。せん断補強筋降伏時の平均せん断応力度5.6~6.5MPaがパネルゾーンの設計限界と言える。

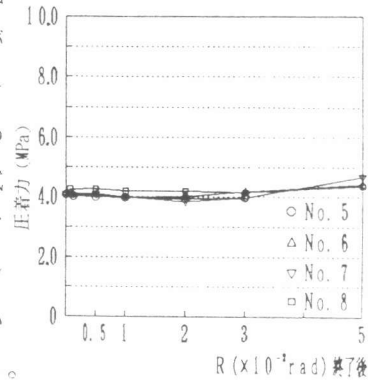


図13. 圧着力の変化

6. まとめ

2つの実験結果から、

1. 実用設計域では圧着力による接合部パネルゾーンの拘束効果やせん断耐力の増加は期待できない。
2. 圧着用のP C鋼棒をアンボンド形式で用いることはパネルゾーンのせん断挙動に有利である。
3. コンクリート強度 60MPa前後のフラットビーム構造で梁降伏型の挙動を保证するには、接合部パネルゾーンの平均せん断応力度を 4.5~6.0MPa程度に押さえる必要がある。

以上の知見を得た。

(参考文献)

- [1]大沼正昭他；”プレキャスト・コンクリート・フラットビームの曲げ性状に関する実験研究”，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東），1993年9月
- [2]市澤勇彦他；”プレキャスト・コンクリート・フラットビーム構造の柱・梁接合部に関する実験研究”，日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），1994年9月
- [3]市澤勇彦他；”プレキャスト・コンクリート・フラットビーム構造に関する実験研究その1. 柱・梁接合部の性状について”，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），1995年8月

表7. 平均せん断応力度 (MPa)

	τ_1	τ_2	τ_3
No. 5	4.7	6.4	7.4
No. 6	4.5	6.5	7.4
No. 7	4.0	5.7	7.6
No. 8	5.1	5.6	6.4

τ_1 : 接合部せん断初亀裂時
 τ_2 : 接合部せん断補強筋降伏時
 τ_3 : 最大耐力時