

論文 柱梁曲げ強度比が小さい RC 造段差梁 - 柱接合部の耐震性能に関する実験的研究

諏訪田 晴彦^{*1}・小豆畑 達哉^{*2}

要旨：本論文では、柱に取り付く左右の梁の芯ずれ量と柱梁曲げ強度比を変動因子とした RC 造段差梁 - 柱接合部部分架構試験体 6 体の静的漸増繰返し載荷実験を行い、基本的な耐震性能を検討した。検討の結果、梁芯のずれ量の増大および柱梁曲げ強度比の増大により、梁主筋および柱主筋の降伏機構が変化して最大耐力が上昇したが、梁芯のずれ量が梁せいの 0.5 倍の試験体では、段差のない試験体よりも最大耐力以降の接合部の損傷が激しくなり、耐力低下が比較的大きくなる傾向が見られた。

キーワード：鉄筋コンクリート，段差梁 - 柱接合部，柱梁曲げ強度比，耐震性能

1. はじめに

鉄筋コンクリート（以下、RC）造ラーメン構造建物では、柱に取り付く左右の梁に段差を有する柱梁接合部（以下、段差梁 - 柱接合部）が計画される場合があるが、構造関係技術基準解説書¹⁾や学会指針等^{例えば2)}において、明確な評価法は記述されておらず、設計時および構造計算適合性判定時における強度算定やモデル化等の判断基準が明確ではないとの指摘がある。また、塩原³⁾は、十字型接合部を対象とした研究ではあるが、現行の柱梁接合部の耐震設計法で考慮されていない設計因子である柱梁曲げ強度比が 1.0 に近い場合、現行設計における入力せん断力の制限や接合部の最小補強筋量を満足しても柱梁接合部に破壊が起こりやすくなることを指摘している。

段差梁 - 柱接合部に関する既往の研究としては、澤田ら⁴⁾、藤原ら⁵⁾等の研究があるが、柱梁曲げ強度比に関

する検討は行われていない。

そこで本研究では、柱梁曲げ強度比が 1.0 に近い段差梁 - 柱接合部部分架構試験体の静的漸増繰返し載荷実験を行い、基本的な耐震性能について検討した。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体の形状および配筋を図-1 に、試験体諸元を表-1 に、材料特性を表-2 にそれぞれ示す。試験体は縮尺 1/2 程度を想定し、梁芯のずれ量と柱梁曲げ強度比をパラメータとした。断面寸法は楠原ら⁶⁾の研究を参考に、接合部内部の破壊の様子を外部から観察しやすくするために柱・梁ともに 350mm×350mm の正方形断面とした。また、梁の反曲点間距離は 3000mm、柱の反曲点間距離は 2550mm とした。梁芯のずれ量は 0mm（梁せい D の 0 倍：

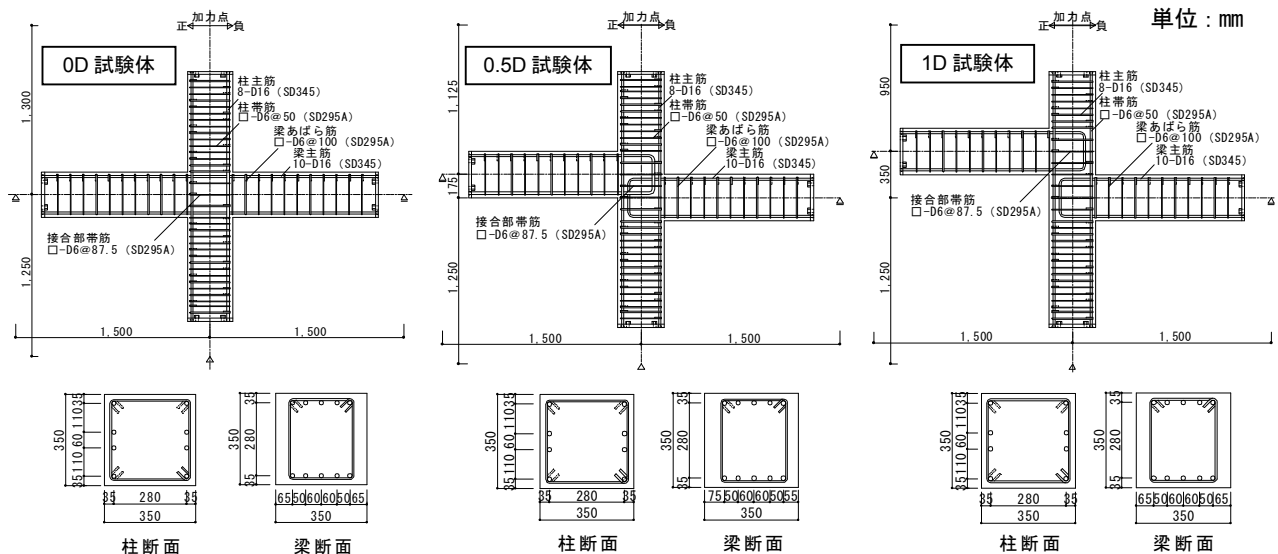


図-1 試験体の形状および配筋

*1 国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部構造基準研究室 主任研究官 博士（工学）（正会員）

*2 国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部構造基準研究室 室長 博士（学術）

表-1 試験体一覧

試験体名	0D-1.0	0D-1.5	0.5D-1.0	0.5D-1.5	1D-1.0	1D-1.5
梁芯のずれ量(mm)	0		175		350	
接合部せん断余裕度	1.38					
柱梁曲げ強度比	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0	1.5
軸力比	0.035	0.125	0.035	0.125	0.035	0.125
柱	断面(mm)	350×350				
	引張主筋	4-D16(SD345)				
	引張主筋比(%)	0.72				
梁	断面(mm)	350×350				
	引張主筋	5-D16(SD345)				
	引張主筋比(%)	0.90				

柱梁曲げ強度比の算定は略算式、接合部せん断余裕度の算定は文献2)より行った(段差梁を有する試験体も十字型接合部として算定)。

表-2 材料特性

コンクリート	ヤング係数 [GPa]	圧縮強度 [MPa]	圧縮強度時歪 [%]	割裂強度 [MPa]
Fc26	29.0	32.7	0.186	2.43
鉄筋	ヤング係数 [GPa]	降伏強度 [MPa]	降伏歪 [%]	引張強度 [MPa]
D6(SD295A)	185	343	0.241	522
D16(SD345)	169	389	0.198	565

0D試験体), 175mm (梁せいDの0.5倍: 0.5D試験体), 350mm (梁せいDの1.0倍: 1D試験体)の3水準とし, 上下の柱でモーメントの偏りが生じることの影響を検討できるように左梁のみをずらす形状とした。梁主筋は0D試験体で通し配筋とし, 0.5Dおよび1D試験体では接合部内でU字型定着とした。柱梁曲げ強度比は1.0と1.5の2水準とし, 梁芯のずれ量(0D, 0.5D, 1D)毎に同一配筋の試験体を2体ずつ作製し, 軸力の大小により柱の曲げ強度を調整した。また, 接合部せん断余裕度は全試験体共通で1.38とした。なお, 柱梁曲げ強度比および接合部せん断余裕度は, 段差を有する試験体についても十字型接合部として算定した。用いた計算式は, 文献1)に示されている柱・梁の曲げ終局強度式(略算式)および文献2)に示されている接合部せん断終局強度式である。

2.2 加力方法

加力装置を図-2に示す。境界条件は, 下柱下端をピン支持, 左右の梁先端をローラー支持とし, 上柱上端に油圧ジャッキにより鉛直力と水平力を作用させた。鉛直力は, 所定の軸力を保持するようにコンピュータで制御し, 水平力は, 加力点位置で計測される変位計の値を用いた変位制御にて, 層間変形角0.125%(1回), 0.25%(1回), 0.5%(2回), 1.0%(2回), 2.0%(2回), 3.0%(2回), 4.0%(1回), 5.0%(正側のみ)の正負交番繰返し荷重を作用させた。

2.3 計測方法

荷重は, 鉛直ジャッキ, 水平ジャッキおよび左右梁先端に設置した両端ピン治具に組み込まれたロードセルによって計測した。

層間変形および各部の変形は, 高感度化型変位計により計測し, 接合部近傍の柱・梁主筋および接合部内横補強筋の歪は歪ゲージにより計測した。

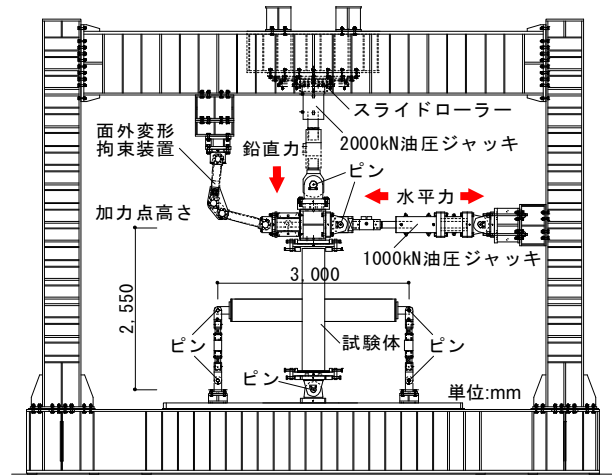


図-2 加力装置

3. 実験結果および考察

3.1 層せん断力-層間変形角関係

層せん断力-層間変形角関係を図-3に, 包絡線の比較を図-4にそれぞれ示す。

図-3中には略算式による梁曲げ強度計算値を示しているが, 0D-1.0の負荷以外では実験で得られた最大耐力が計算値を上回っていることがわかる。

図-4からは, 柱梁曲げ強度比が1.0および1.5の何れについても, 梁芯のずれ量の増大に伴い最大耐力が上昇していることと, 梁芯のずれ量0D, 0.5Dおよび1Dの何れについても, 柱梁曲げ強度比の増大に伴い最大耐力が上昇していることがわかる。これらの耐力上昇の原因については3.2節にて考察を述べる。

一方で, 最大耐力以降の挙動に着目すると, 負荷側では梁芯のずれ量の増大に伴い耐力低下が緩和される傾向が見られるが, 正荷側では梁芯のずれ量が1Dの試験体で0Dの試験体よりも耐力低下が緩和されているものの, 0.5Dの試験体では0Dの試験体よりも耐力低下が著しく, その傾向は柱梁曲げ強度比1.0よりも1.5のほうが顕著である。これらの耐力低下の原因については3.3節にて考察を述べる。

3.2 鉄筋の降伏性状

梁段差によるモーメント分布の変化を図-5に, 層間変形角3%(1サイクル目)加力終了時の鉄筋の降伏状況を図-6にそれぞれ示す。図-5に示すように, 本実験で対象とした0.5D試験体および1D試験体では, 左梁のみを上方にずらしているため, 上柱のモーメントが変化する。そのため, 上柱と左梁の柱梁曲げ強度比は十字型接合部として設計した値よりも大きくなり, 下柱と右梁の柱梁曲げ強度比と差が生じることになる。ここではまず, この影響について, 図-6中の柱主筋の降伏状況より考察する。柱梁曲げ強度比が1.0の試験体では, 1D-1.0における上柱右側主筋のみ(正荷時引張側)が未降伏であるが,

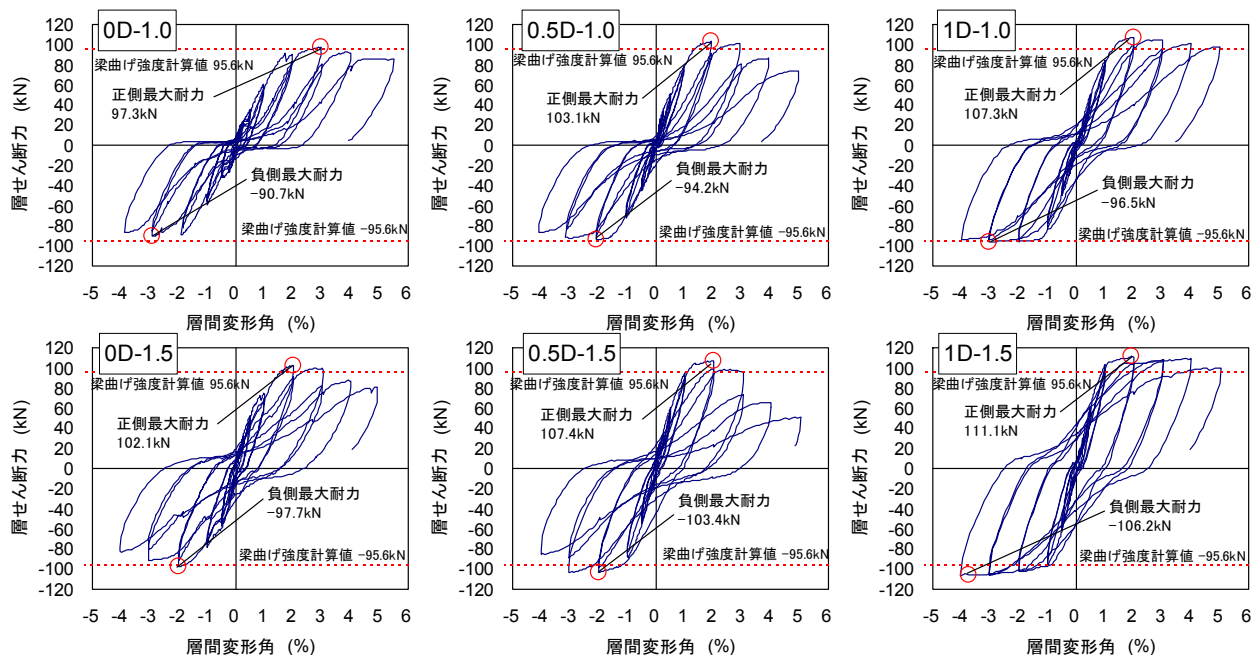
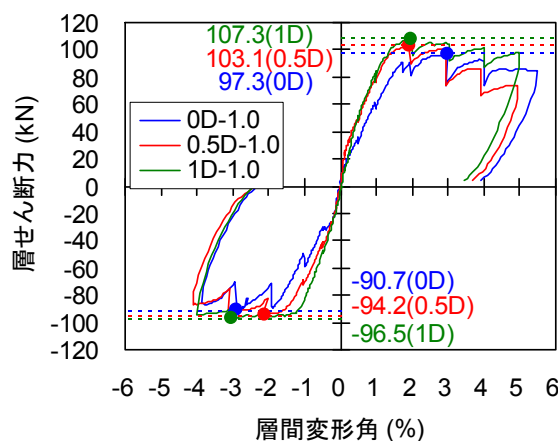


図-3 層せん断力-層間変形角関係

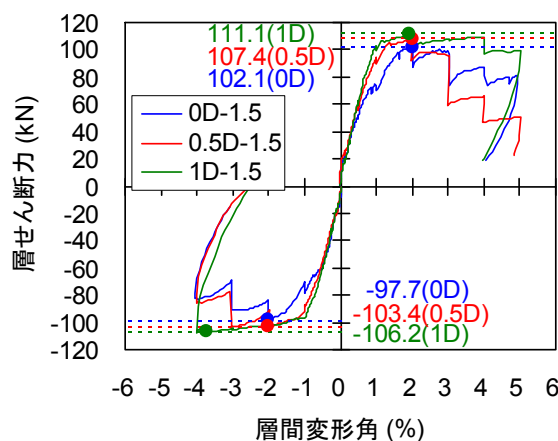
0D-1.0および0.5D-1.0では全て柱主筋で降伏が見られる。柱梁曲げ強度比が1.5の試験体では、0D-1.5で負荷荷時引張側となる上柱左側主筋と下柱右側主筋に降伏が見られ、0.5D-1.5および1D-1.5では、上柱主筋は未降伏となっているが、下柱右側主筋（負荷荷時引張側）が降伏している。これらのことから、本実験で対象とした片側の梁のみがずれる段差梁-柱接合部を十字型接合部と仮定して柱梁曲げ強度比を設計した場合、1.5以上を確保すれば、上柱のモーメント分布の変化により、上柱主筋の降伏は抑制されるが、下柱主筋には降伏が生じるため、梁曲げ降伏メカニズムは保障できないことがわかる。

次に、前節で述べた梁芯のずれ量および柱梁曲げ強度比の増大に伴う最大耐力の上昇の原因について、図-6中の柱および梁主筋の降伏状況から考察する。

梁芯のずれ量の影響について、柱梁曲げ強度比1.0の試験体を比較すると、柱主筋の降伏状況は先述したようにあまり変化せず、影響は小さいと考えられるが、梁主筋については0D試験体で柱フェース位置よりも内側の柱主筋位置において全ての位置で降伏が見られるが、0.5Dでは柱主筋位置の梁主筋は全て未降伏であり、1Dでは左梁下端と右梁下端で柱主筋位置の梁主筋の降伏が見られるものの柱フェース位置から梁せいの0.5倍外側の梁主筋にも降伏が見られるようになっている。また、柱梁曲げ強度比1.5の試験体については、上柱主筋の降伏が抑制されていることに加えて、柱梁曲げ強度比1.0と同様に梁主筋の降伏位置が柱フェース位置よりも外側に広がっている。これらのことから、梁芯のずれ量の増大に伴う最大耐力の上昇は、梁主筋の降伏位置が接合部内部（柱主筋位置）から梁端部（柱フェース位置および



(a) 柱梁曲げ強度比 1.0



(b) 柱梁曲げ強度比 1.5

図-4 包絡線の比較

梁せいの0.5倍外側)へと変化したことによって生じたものと考えられる。

次に柱梁曲げ強度比の影響について、梁芯のずれ量毎

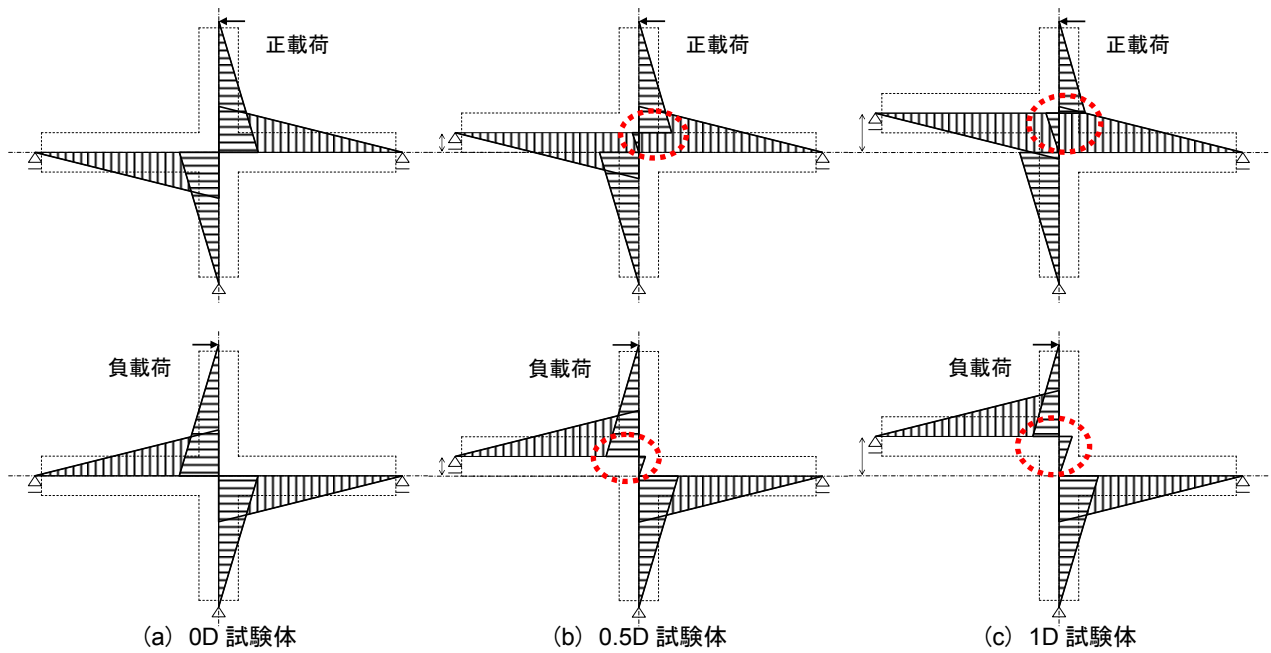


図-5 梁段差によるモーメント分布の変化

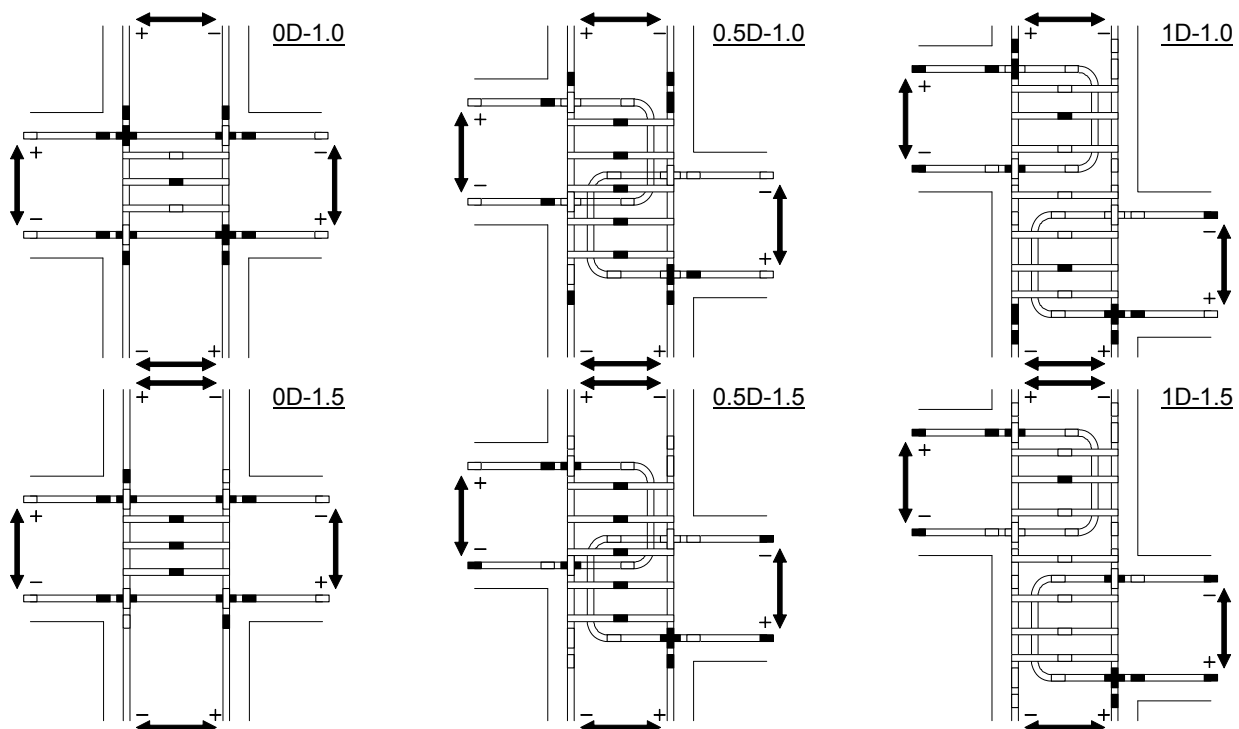


図-6 層間変形角 3% (1 サイクル目) 加力終了時の鉄筋の降伏状況 (黒塗り：降伏, 白塗り：未降伏)

に比較すると、何れの試験体についても柱梁曲げ強度比 1.0 に対し 1.5 のほうが柱主筋の降伏部位が少なくなっている。このことから、柱梁曲げ強度比の増大に伴う最大耐力の上昇は、柱主筋の降伏が抑制されたことよって生じたものと考えられる。

3.3 破壊進行性状

層間変形角 4% 加力時の破壊状況を図-7 に、接合部対角変位の測定位置を図-8 に、接合部対角変位の推移を図-9 にそれぞれ示す。

3.1 節で述べたように、最大耐力以降の耐力低下性状において、負載荷側では梁芯のずれ量の増大に伴い耐力低下が緩和される傾向が見られたが、正載荷側では梁芯のずれ量が 1D の試験体で 0D の試験体よりも耐力低下が緩和されているものの、0.5D の試験体では 0D の試験体よりも耐力低下が著しく、その傾向は柱梁曲げ強度比 1.0 よりも 1.5 のほうが顕著であった。ここでは、その原因を検証する。前出の図-4 において、各試験体における耐力低下の差が顕著に表れたのは正載荷側の層間変形角

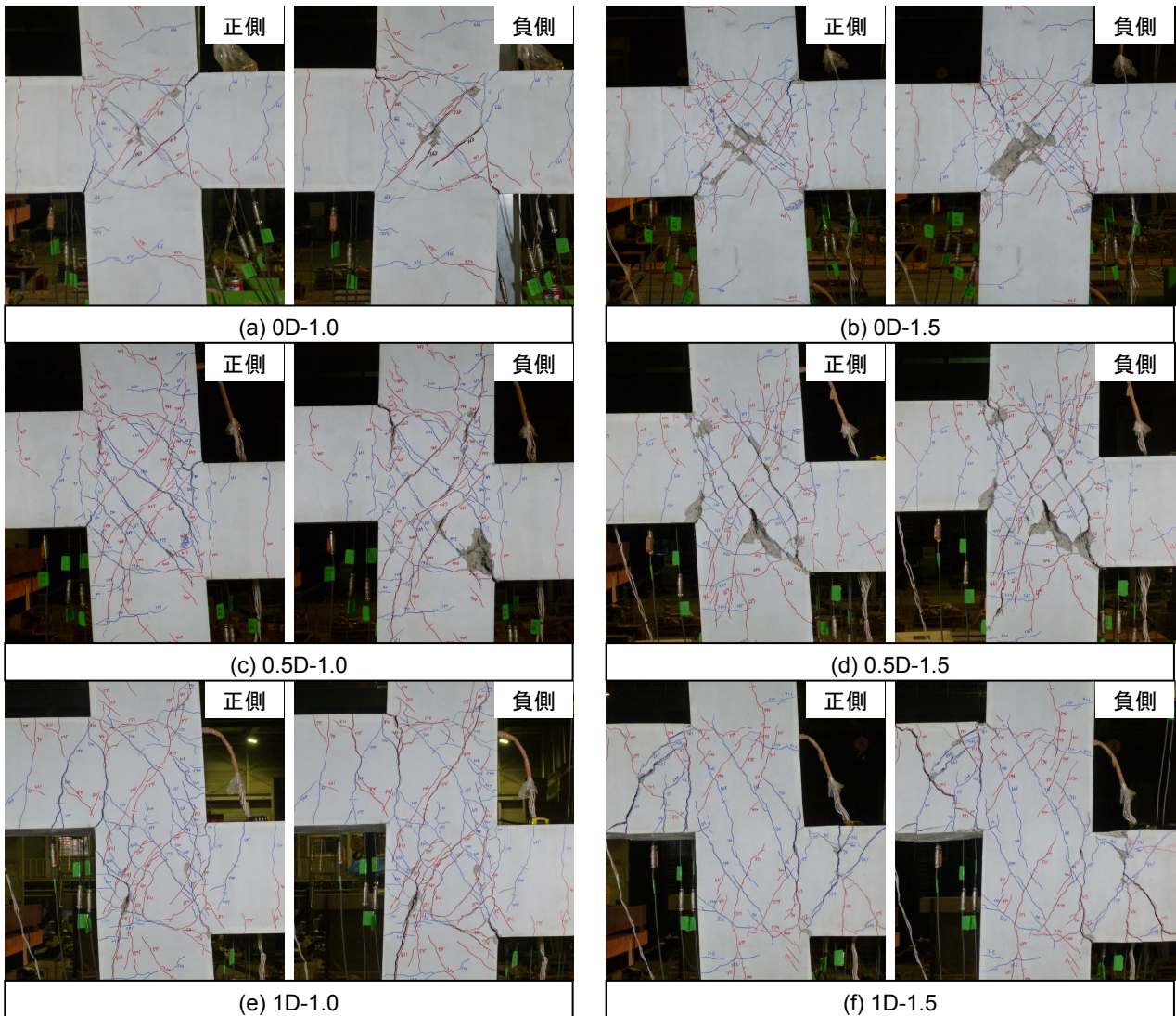


図-7 層間変形角 4%加力時の破壊状況

4%加力時であるが、図-7 に示すように、最も耐力低下が顕著であった 0.5D-1.5 では、この時点において圧縮ストラットに沿ったひび割れの拡幅が他の試験体よりも顕著であった。また、図-9 は図-8 に示す位置に設置した変位計によって計測された接合部対角変位の推移を示したものであるが、これによれば、0.5D 試験体では特に耐力低下が顕著であった正載荷側で、0D 試験体よりも耐力低下に伴う引張変位 (P2 および P4) の増大が大きく、目視観察結果と符合していることがわかる。

4. まとめ

柱に取り付く左右の梁の芯ずれ量と柱梁曲げ強度比を変動因子とした RC 造段差梁 - 柱接合部部分架構試験体 6 体の正負交番漸増繰返し水平加力実験を行い、以下の知見を得た。

(1) 柱梁曲げ強度比が 1.0 および 1.5 のいずれの場合についても、梁芯のずれ量の増大に伴い最大耐力が上昇した。これは、梁主筋の降伏位置が接合部内部 (柱

主筋位置) から梁端部 (柱フェース位置および梁せいの 0.5 倍外側) へと変化したことが原因であると考えられる。

(2) 梁芯のずれ量が 0D, 0.5D および 1D の何れについても、柱梁曲げ強度比の増大に伴い最大耐力が上昇した。これは、柱主筋の降伏が抑制されたことが原因であると考えられる。

(3) 最大耐力以降の挙動について、負載荷側では梁芯のずれ量の増大に伴い耐力低下が緩和される傾向が見られたが、正載荷側では梁芯のずれ量が 1D の試験体で 0D の試験体よりも耐力低下が緩和されているものの、0.5D の試験体では 0D の試験体よりも耐力低下が著しく、その傾向は柱梁曲げ強度比 1.0 よりも 1.5 のほうが顕著であった。これは、最大耐力以降の正載荷側において、0.5D 試験体の接合部の圧縮ストラットに沿ったひび割れの拡幅が、特に大きく進行したことが原因であると考えられる。

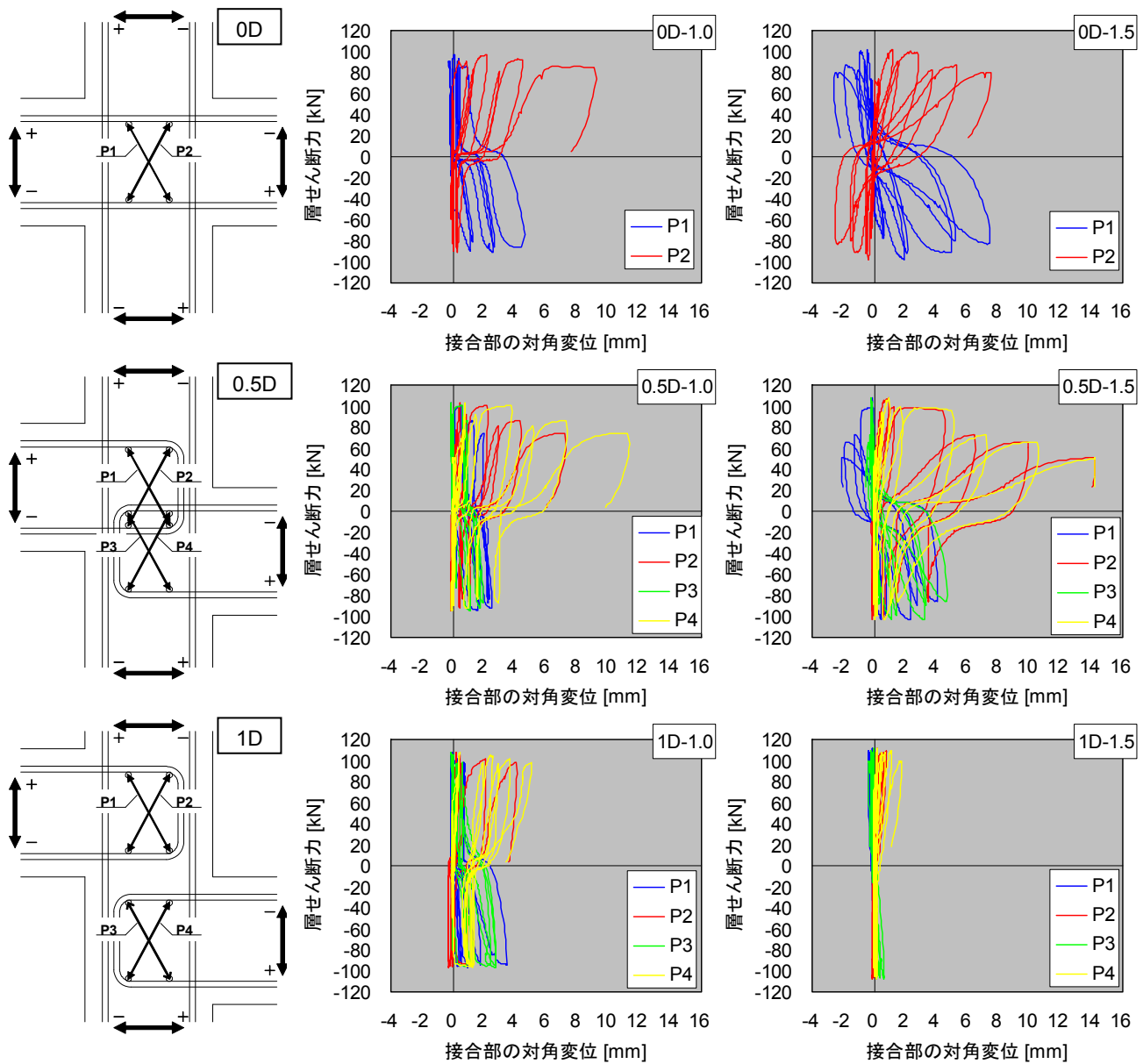


図-8 接合部対角変位の測定位置

※変位は+表示が引張、-表示が圧縮

図-9 接合部対角変位の推移

謝辞

本実験における試験体の計画にあたっては、横浜国立大学大学院准教授楠浩一博士に貴重なご助言を頂いた。ここに記し、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省住宅局建築指導課, 国土交通省国土技術政策総合研究所, (独) 建築研究所, 日本建築行政会議監修, 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会編集, (財)日本建築防災協会, (財)日本建築センター編集協力:2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書, 日本官報販売協同組合, 2007.8
- 2) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保障型耐震設計指針・同解説, 日本建築学会, 1999

- 3) 塩原等: 鉄筋コンクリート柱梁接合部: 梁曲げ降伏型接合部の耐震設計, 日本建築学会構造系論文集, 第74巻, 第640号, pp.1145-1154, 2009.6
- 4) 澤田和宏, 藤塚幹男, 石橋一彦, 上村智彦: 段差梁を有する鉄筋コンクリート造梁・柱接合部の力学的挙動に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, pp.241-246, 2007
- 5) 藤原将章, 上村智彦, 石橋一彦, 林静雄: 段差梁を有する鉄筋コンクリート造梁・柱接合部の終局強度, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, pp.367-372, 2009
- 6) 楠原文雄, 塩原等: 多軸複合応力を受ける鉄筋コンクリート造柱梁接合部の復元力特性と損傷特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, pp.235-240, 2007