

論文 変動軸力を受ける鉄筋コンクリート造ト形柱梁接合部の定着法に関する実験的研究

小島 陽一*1・安達 洋*2・中西 三和*2・小川 勤*3

要旨: 鉄筋コンクリート造建物の高層化に伴い下層部外柱には、大きな軸力の変動が生じる。また、高強度鉄筋や太径鉄筋の使用により接合部での折曲げ定着は困難なものとなり機械式定着が開発され、その使用が現在増加している。そこで、本研究では、機械式定着法を用いたト形柱梁接合部試験体に変動軸力を負荷し、静的及び動的載荷実験を行った。そして、平成 10 年度に実施した U 字形定着の実験結果と比較し、接合部挙動の差異を調べた。定着法の違いによる性能の違いはそれほど見られず、せん断余裕度の低い試験体では、高圧縮軸力を負荷される場合、最大耐力を迎えた後、急激な耐力低下を起こすという結果を得た。

キーワード: 鉄筋コンクリート, ト形柱梁接合部, 機械式定着, U 字定着, 動的載荷

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート造（以下 RC 造）建物の高層化に伴い、建築材料や構造解析手法が進歩し、コンクリートや鉄筋の高強度化、柱や梁の塑性変形能力に期待する構造設計の考え方が取り入れられるようになってきた。そして、コンクリートや鉄筋の高強度化は、柱や梁を小断面化させ、接合部の高応力化をもたらし、柱や梁端部の大きな塑性曲げ変形により、接合部内部の歪や応力状態は厳しいものになり、建物の相対的弱点が接合部に移行した。

また、RC 造建物の高層化に伴う鉄筋材料の高強度化や太径鉄筋の使用などから、接合部内における梁主筋の折曲げ定着が困難なものになった。そこで、接合部内の高密度配筋の緩和や施工の省力化を進めるために、近年研究開発が行われているのが機械式定着である。

筆者等は、平成 7, 9, 10 年度にト形柱梁接合部試験体に対し静的載荷と動的載荷実験を一对として実施している。平成 7 年度には一定軸力下での機械式定着の有効性を確認し、平成 9 年度には一定軸力下で U 字定着の実験を行い、

比較検討した。平成 10 年度には、変動軸力の影響を調べるため、U 字定着の試験体で柱に高圧縮軸力から引張軸力まで作用させ実験を行った。そして、本年度は、変動軸力下で機械式定着を用いたト形柱梁接合部試験体で実験を行った。それぞれの実験の位置付けを図-1 に示す。

本論文では、本年度行った実験の結果をまとめ U 字定着のものと比較することにより、変動軸力下での機械式定着法を用いた柱梁接合部の挙動について明らかにすることを目的とする。

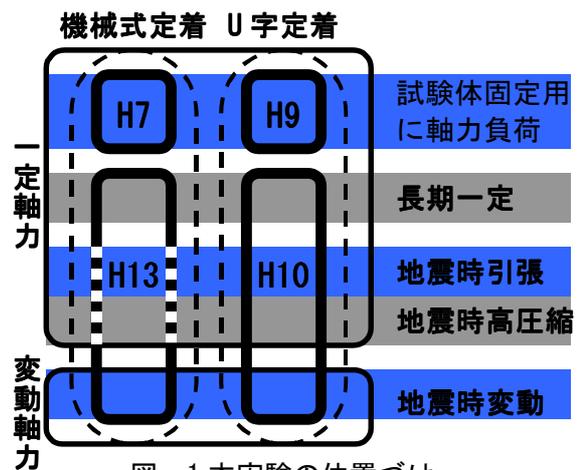


図-1 本実験の位置づけ

*1 株式会社 総合設計 工修 (正会員)

*2 日本大学教授 海洋建築工学科 工博 (正会員)

*3 日本大学大学院 理工学研究科 海洋建築工学専攻

2. 実験概要

2.1 試験体概要

試験体は、高層鉄筋コンクリート造建物の下層部ト形柱梁接合部を模擬した、約 1/3 スケールの試験体である。試験体形状を図-2 に、材料強度を表-1 に示した。想定した建物の部材と接合部の応力状態を図-3 に示したが、各部材の中央に反曲点位置が存在すると仮定している。また、試験体一覧を表-2 に示した。試験体は、二種類からなり、せん断余裕度の低い試験体を B シリーズ、せん断余裕度の高い試験体を N シリーズとしている。せん断余裕度は、試験体の接合部せん断耐力時の梁の水平荷重を、梁端曲げ耐力時の梁の水平荷重で除した値であり、せん断余裕度の低いものは約 0.7~0.9, 高いものは約 1.2~1.6 としている。

2.2 加力方法

加力装置を図-4 に示す。柱軸力は、てこ比 1:3.5 のてこを介して加力した。柱に変動軸力を載荷する実験においては長期一定軸力まで柱軸力を負荷し、その後、梁水平変位に追随させ柱軸力を変動させ加力した。なお、梁の水平力が正加力方向の時、柱軸力を引張軸力とした。加力スケジュールを図-5 に、柱軸力決定のために用いた仮定を表-3 に示す。柱軸力決定のために用いた想定建物は、左右対称の RC 造建物とし、1 次モードで振動しているとした。柱

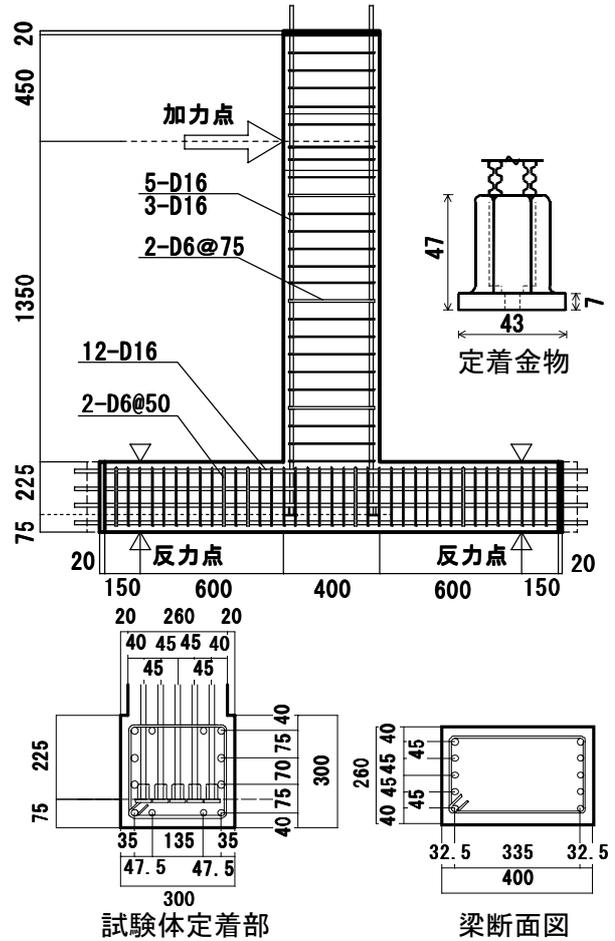


図-2 試験体形状

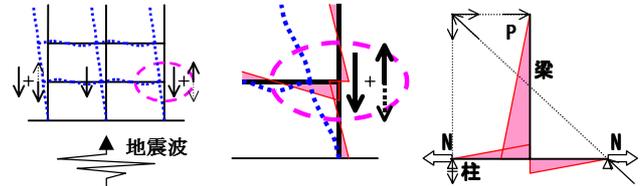


図-3 応力状態の概念図

表-1 材料強度

実施年度	平成13年度		平成10年度		
	降伏強度 [MPa]	引張強度 [MPa]	降伏強度 [MPa]	引張強度 [MPa]	
鉄筋	D16	392	591	388	600
	D13			374	527
	D6	334	487	402	560

実施年度	平成13年度		平成10年度	
	圧縮強度 [MPa]		圧縮強度 [MPa]	
コンクリート	25.9		静的載荷	動的載荷
			18.6	21.6

表-2 試験体一覧

試験体名	BMCS	BMCD	BMVS	BMVD	NMVS	NMVD	BUCS	BUCD	BUVS	BUVD	NUVS	NUVD	
実施年度	平成13年度						平成10年度						
梁	主筋	10-D16 SD345			6-D16 SD345			10-D16 SD345			10-D13 SD345		
	補強筋	2-D6@75 SD295						2-D6@75 SD295					
柱	主筋	12-D16 SD345						12-D16 SD345					
	補強筋	2-D6@50 SD295						2-D6@50 SD295					
接合部	補強筋 2-D6@50 SD295						2-D6@50 SD295						
載荷方法	静的	動的	静的	動的	静的	動的	静的	動的	静的	動的	静的	動的	
負荷軸力	長期一定軸力		地震時変動軸力				長期一定軸力		地震時変動軸力				
軸力 [kN]	330.8		-378.0~1039.5				330.8		-378.0~1039.5				
軸力比	0.18		-0.20~0.55				0.18		-0.20~0.55				
せん断余裕度	0.97	1.00	0.97	1.01	1.62	1.65	0.77	0.88	0.77	0.89	1.22	1.34	

に作用する軸力は、最大圧縮軸力比を 0.5 とし、最大引張軸力比を 0.2 とした（詳細は文献 4）。また、動的載荷における載荷速度は、50kine 相当の地震波を用いた高層 RC 造建物のフレーム系地震応答解析結果より部材角 1/50 で層間変形速度が 5.0kine であることに基づいて決定した。静的載荷においては動的載荷の加力スケジュールに準じて載荷速度を 1/200 倍にして行った。静的載荷実験、動的載荷実験、いずれにおいても、部材角 1/25 までの繰り返し載荷を基本とし、静的載荷実験では、耐力低下を起こしていないものについては、最終破壊状況を確認するため部材角 1/12 の大変形まで加力を行った。

2. 3 計測方法

変位測定位置を図-6 に示す。計測は、梁変位を静的載荷実験では、300mm 変位計、動的載荷実験では差動トランス(図中[1])で、梁荷重をアクチュエータ付随のロードセルで、柱軸力を 200 t ロードセルで、梁主筋・柱主筋・接合部横補強筋のひずみをひずみゲージで、接合部せん断変形 [2]、柱の回転角[3]を電気式変位計で計測した。また、静的載荷実験では、梁の材軸方向の曲率分布を求めるため梁の上端と下端の軸方向変位をパイ型ゲージと変位計[4]で測定した。動的載荷実験におけるデータサンプリング時間は、0.01 秒である。

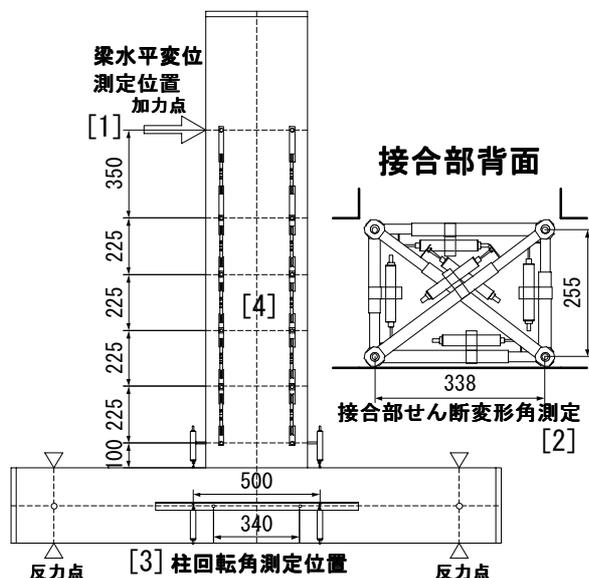


図-6 変位測定位置

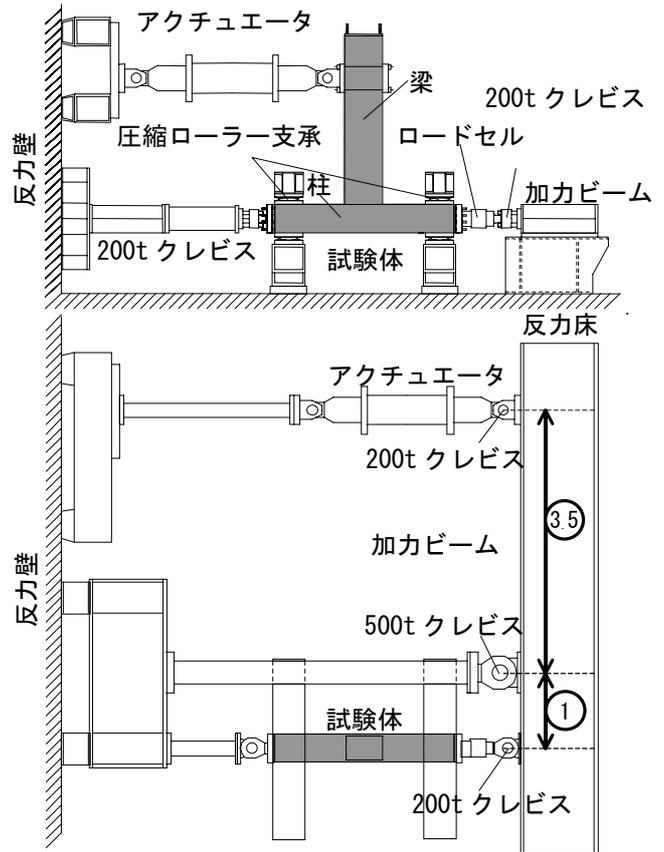


図-4 実験装置

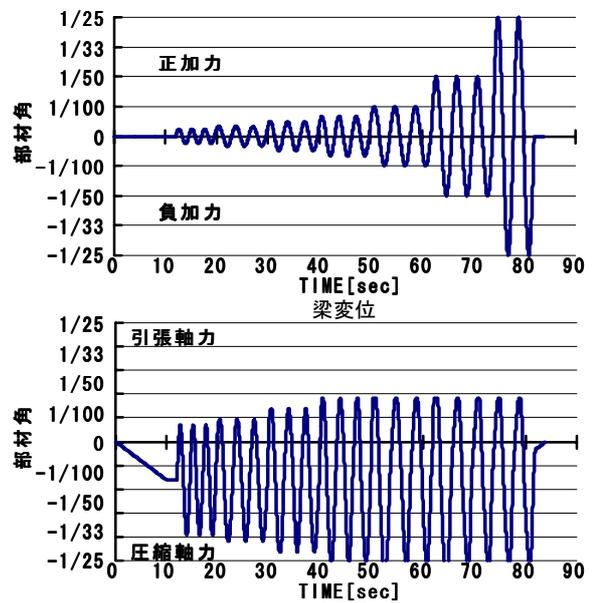


図-5 加力スケジュール

表-3 柱軸力決定のための仮定

1	想定建物は、左右対称のRC造建物とする。
2	想定建物は、1次モードで振動しているとする。このとき左右外柱の軸力変動量の絶対値は等しくなる。
3	想定建物は、頂部での変形角1/150で全体崩壊形を形成し、そのときの各層の変形角は全層1/150とする ²⁾ 。よって層間変形角1/150の時1層の軸力変動量が最大となる。
4	1層の層間変形角と層せん断力は武田モデルで表せるものとする。
5	柱に作用する最大圧縮軸力比は0.5とし、最大引張軸力比は0.2とする ²⁾ 。

3. 実験結果

機械式定着試験体とU字定着試験体の動的及び静的載荷実験の結果を比較・検討し、載荷速度や定着法の違いが接合部挙動に及ぼす影響を明らかにする。

3.1 破壊状況

図-7 に部材角 1/25 の時の破壊状況を示す。機械式定着を用いた試験体のひび割れ状況は、静的載荷に比べ動的載荷した試験体の方が、ひび割れ本数が少なく、損傷が集中している。U字定着の試験体にも、この傾向が見られる。また、機械式定着の試験体で特徴的なのは、接合部のせん断ひび割れが、接合部背面側の柱主筋に沿って伸びていることが挙げられる。U字定着の試験体では、このような現象は顕著ではなく、機械式定着における定着金物の支圧による

影響が考えられる。せん断余裕度の低い試験体に、変動軸力を負荷した BMVS(D)は、U字定着の BUVS(D)に比べ、接合部中央のコンクリートの剥落が顕著である。また、せん断余裕度の高いNシリーズの試験体に変動軸力を負荷した NMVS(D)と、U字定着した NUVS(D)の比較では、共に梁端部の損傷のみならず、接合部の対角線状のせん断ひび割れも顕著であることが分かる。鉄筋の降伏状況においては、Nシリーズの試験体では、梁主筋が先に降伏し、その後接合部中央の横補強筋が降伏する傾向が見られた。一方、Bシリーズの試験体では、梁主筋と接合部横補強筋がほぼ同時に降伏する傾向にあった。梁主筋においては、特に機械式定着を用いた試験体で、定着ナット背面部の鉄筋で座屈現象が見られた。

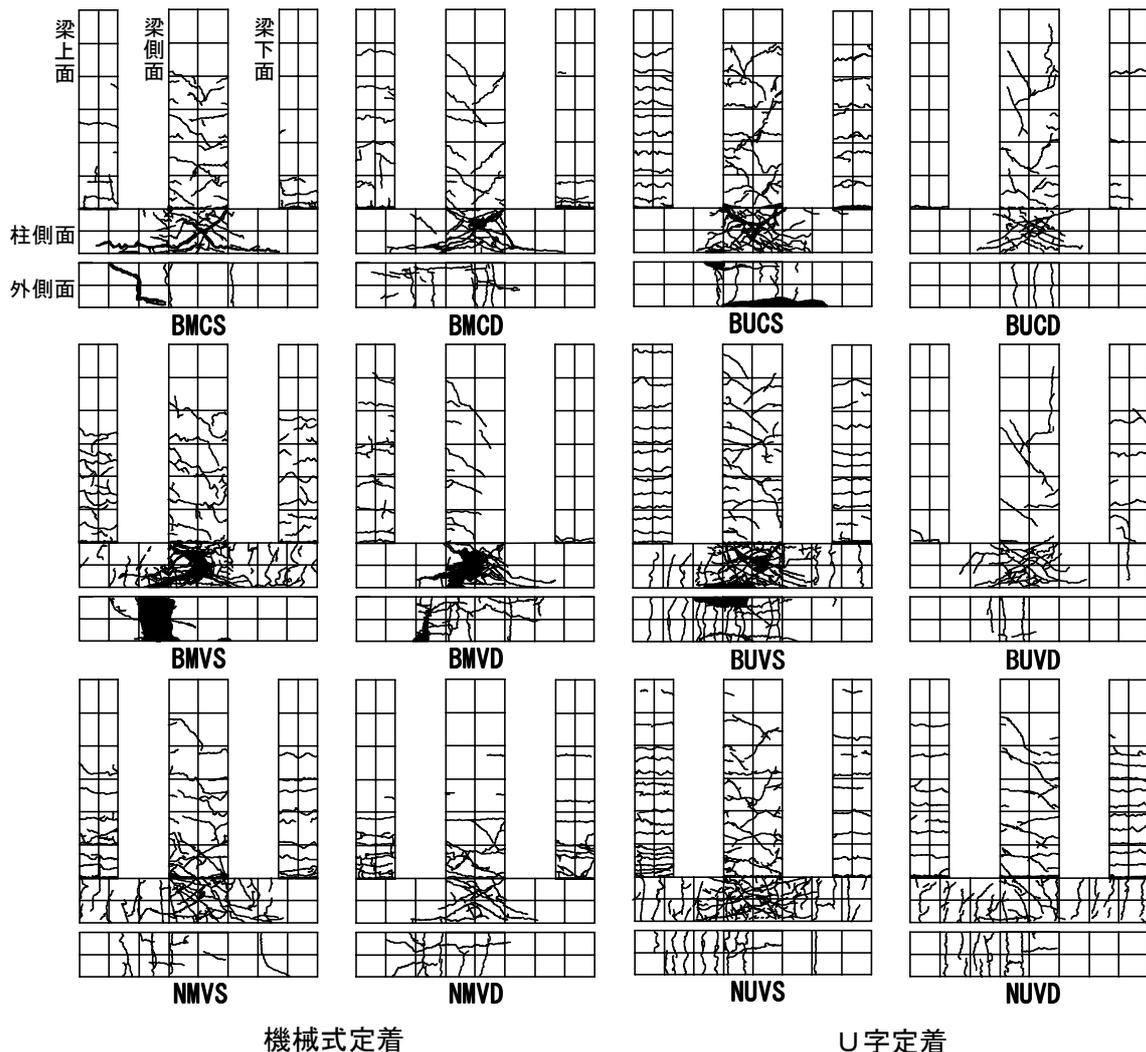


図-7 破壊状況

3.2 荷重—変形関係

図-8 に機械式定着試験体と U 字定着試験体の荷重—変位関係の包絡線を比較して示す。また、規準化するために荷重と変位の値を、それぞれ正加力の最大値で除した。最初に、せん断余裕度の低い B シリーズの試験体について、一定軸力を負荷した BMCS(D)と、BUCS(D)を比較すると、U 字形定着を用いた BUCS(D)は、正負の最大耐力に差は見られないが、機械式定着を用いた BMCS(D)では、正加力側に比べ負加力側の最大耐力が低い値を示している。これは、機械式定着では、最大荷重を与える同一変形の繰り返し载荷において、最初の正加力時(柱引張軸力)に定着部の破壊が起こったためと考えられる。次に、変動軸力を負荷した BUVS(D)と、BMVS(D)を比較すると、正加力側(柱引張軸力)では、両試験体とも一定軸力のもと同様の形状を示しているが、負加力側(柱圧縮軸力)では、U 字形定着の BUVS(D)は、正加力側よりも高い耐力を示し、緩やかに低下を起こしているのに対し、機械式定着を用いた BMVS(D)は、正加力側とほぼ等しい耐力を示した後、急激な耐力低下を起こしている。これは、定着金物近傍の

コンクリートが破壊し、定着力が急激に弱まることや大変形時の高圧縮軸力が接合部せん断破壊を進行させたこと、さらに接合部せん断ひび割れが柱主筋に沿って進行したことなどにより大きな耐力低下を起こしたと考えられる。せん断余裕度の高い N シリーズの試験体については、U 字定着と機械式定着で、ほとんど差が見られない。また、正負両加力側で、ほぼ等しい耐力を示している。

3.3 変形成分比

図-9 に各試験体の変形成分比を示す。梁加力点での変位量は、梁・柱・接合部の変形により構成されているものとし、変形成分比は、その変位量に対するそれぞれの変形量の割合を示す(詳細は文献4)。一定軸力を負荷した BMCS(D)は、負加力時に柱の変形成分が大きな割合を示しているが、U 字定着の BUCS(D)では、正負加力でほぼ対称な分布形状であるが、変形の増大に伴い梁の変形成分が徐々に減少し接合部せん断変形が増加している。また、柱に変動軸力を負荷した BUVS(D)・BMVS(D)・NUVS(D)・NMVS(D)について正負加力で比較すると、せん断余裕度に関わらず、引張軸力が载荷されてい

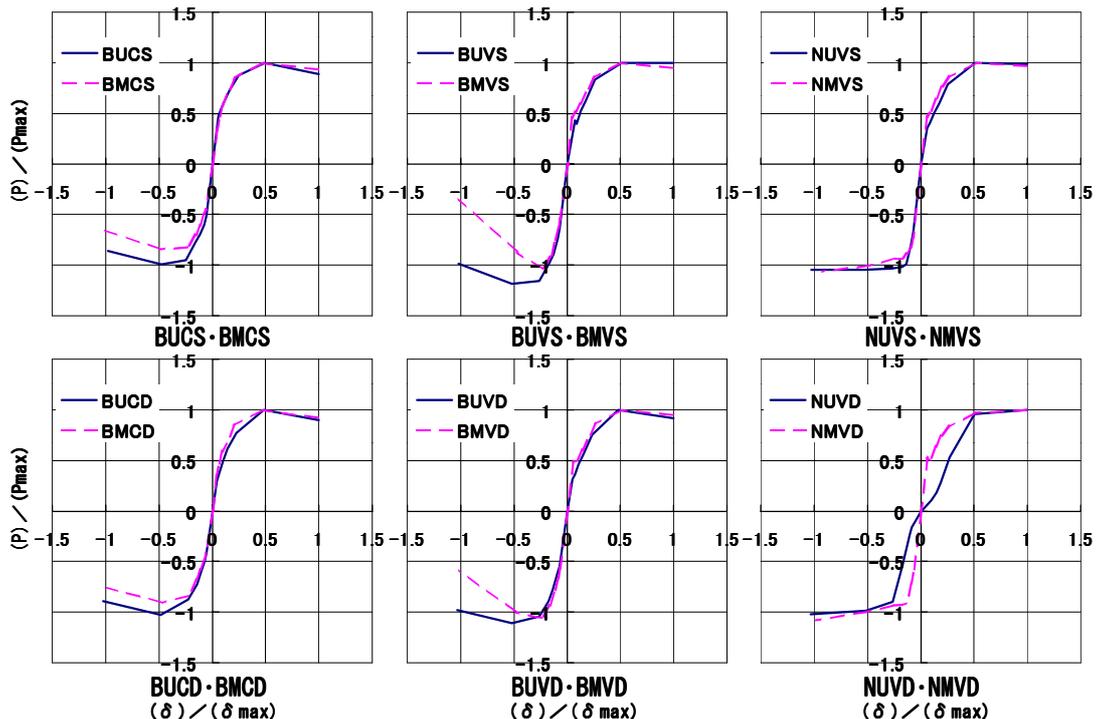


図-8 荷重変位関係の包絡線

る時は、接合部・柱の変形成分が大きくなり、圧縮軸力が載荷されているときは、接合部・柱の変形成分は小さな値を示す。せん断余裕度で比較すると、せん断余裕度の高い試験体は変形成分の大部分が梁であり接合部・柱の変形成分は小さい。

4. まとめ

- (1)機械式定着を用いたト形柱梁接合部では、せん断余裕度が高いものは、U字定着と同等の性能を示す。
- (2)機械式定着を用いたト形柱梁接合部では、せん断余裕度が低いものでは、接合部背面側の柱主筋沿った割裂ひび割れや、接合部内のコンクリートの圧壊・剥落が顕著に見られる。
- (3)機械式定着を用いたト形柱梁接合部では、高圧縮軸力が作用する場合には、一定軸力よりも高い耐力を示すが急激な耐力低下が生じた。
- (4)一定軸力下での変形成分比が、正負加力で、U字定着の試験体では対称であるのに対し、機械式定着を用いた試験体では、正負加力で違いがあり、負加力側で、柱の変形成分比が大きな割合を示した。

参考文献

- 1) 角徹三ほか：「変動軸力を受ける鉄筋コンクリート柱梁接合部の応力-変形状」, AIJ大会 構造C-2 pp659-660 1991.9
- 2) 安達洋ほか：「変動軸力を受ける鉄筋コンクリート柱の弾塑性性状に関する研究」, AIJ大会 構造C-2 pp855-860 1990.10
- 3) 日本建築学会：「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針（案）・同解説」, pp241-277 1997.7
- 4) 安達洋ほか：「変動軸力を受ける鉄筋コンクリート造外柱梁接合部の力学的性状に関する実験的研究」, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.21, No3, pp637-642, 1999

謝辞

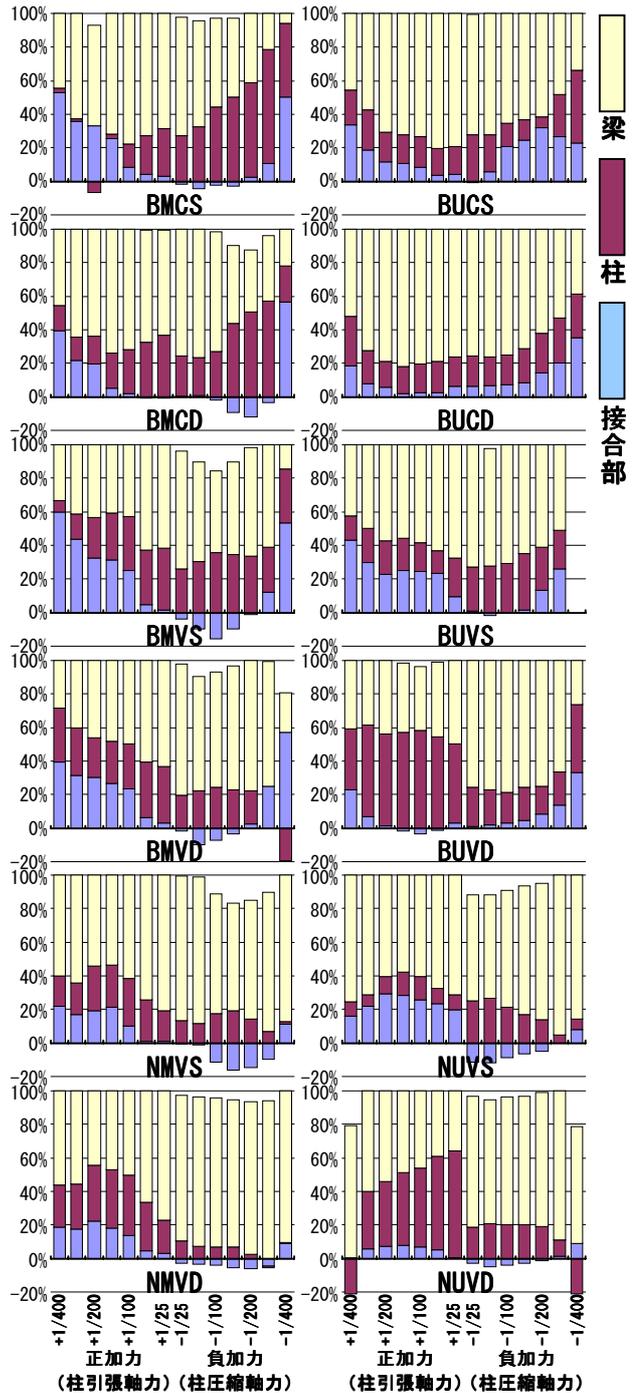


図-9 変形成分比

本研究の一部は文部省学術フロンティア推進事業（日本大学理工学部）「環境防災都市に関する研究」（代表者：理工学研究所長：川幡長勝）の一環として実施したものであり、併せて平成13年度日本大学理工学部特別推進研究費（代表：安達洋「鉄筋コンクリート造建物の性能表示のための損傷評価並びに損傷低減技術に関する研究」）の補助を受けた。関係者各位に深く感謝の意を表します。