

機関番号：32619

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560534

研究課題名(和文) 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

研究課題名(英文) Ultimate Strength of Reinforced Concrete Beam-Column Joint with Different Floor Level on both sides of column

研究代表者

上村 智彦 (KAMIMURA TOMOHIKO)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：00052879

研究成果の概要(和文)：この研究の目的は、柱の左右の梁が芯ずれする段差梁を有する梁・柱接合部について、力学的挙動と接合部終局強度を検討することである。接合部の終局強度への梁主筋の接合部内での定着方法と芯ずれ量及び載荷方向の影響を抵抗機構の観点から検討する。芯ずれ量が梁せい未満では、機械式定着の負載荷を除き、芯ずれ量が増すと、接合部終局強度時の接合部水平せん断力は、十字型接合部強度より大きくなる。芯ずれ量が梁せいの場合、接合部終局強度は、段差のないト字型接合部の終局強度で評価できる。

研究成果の概要(英文)：The objects of this study are to give consideration to the mechanical behavior of beam-column subassembly with different floor levels on both sides of column, and also to estimate the shear strength of joint in such a subassembly. The parameters of test series are the method of beam bar anchorage within a joint, the distance between one beam axis and the other beam axis on both sides of column, and loading directions. The influence of these parameters on the ultimate strength of joint is estimated from test results. In the specimen which the distance between one beam axis and the other beam axis is smaller than a beam depth, the horizontal joint shear force at joint shear failure is larger than the joint shear strength of interior joint type as the distance increase. In the specimen which the distance is equal to a beam depth, the ultimate joint shear force can be estimated by the shear strength of exterior joint type.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学，建築構造・材料

キーワード：コンクリート構造，鉄筋コンクリート，段差梁，梁・柱接合部，芯ずれ，接合部終局強度，載荷方向，定着法

1. 研究開始当初の背景

鉄筋コンクリート構造の構法では、梁に段差を設ける場合がある。しかし、現在までに左右梁断面が同じで、段差梁となる梁・柱接合部の力学的挙動に関する接合部耐力や抵抗機構についての研究がされていない。

2. 研究の目的

鉄筋コンクリート構造物は、接合部の両側の梁に段差を設けることがある。しかし、梁・柱接合部を設計する際に用いられる鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説(日本建築学会)の接合部せん断強度式では段差梁を有する場合の接合部終局強度を評価することができない。

本研究では、段差梁を有する接合部の実験の結果を用いて、定着方法と芯ずれ量及び載荷方向の違いが接合部終局強度に与える影響を抵抗機構の観点から検討を行った。

3. 研究の方法

(1) 実験概要

各試験体の形状・寸法を図-1に、また、試験体諸元と材料特性を表-1, 2に示す。

表 - 1 試験体諸元

試験体名	-J-0.25D	-J-0.5D	-J-D	-mJ-0.25D	-mJ-0.5D	-mJ-D
定着法	U字形			機械式		
芯ずれ量[mm]	100	200	400	100	200	400
コンクリート強度	23.0[N/mm ²]			21.1[N/mm ²]		
梁	主筋	4-D22(SD390)		4-D22(SD490)		
	補強筋	□-D10@150(SD295)				
柱	主筋	8-D25(SD390)		8-D25(SD490)		
	補強筋	□-D10@150(SD295)				
接合部補強筋	D10(SD295)					
本数	4	5	7	4	5	7

表 - 2 材料特性

鉄筋種類	降伏強度 [N/mm ²]		ヤング係数 [×10 ⁵ N/mm ²]	
	U字形	機械式	U字形	機械式
梁主筋	408	538	1.83	1.96
柱主筋	430	539	1.81	1.95
補強筋	446	385	1.74	1.90

試験体は定着方法と芯ずれ量を変数とし、U字形定着を用いた試験体と機械式定着を用いた試験体、芯ずれ量を100[mm], 200[mm],

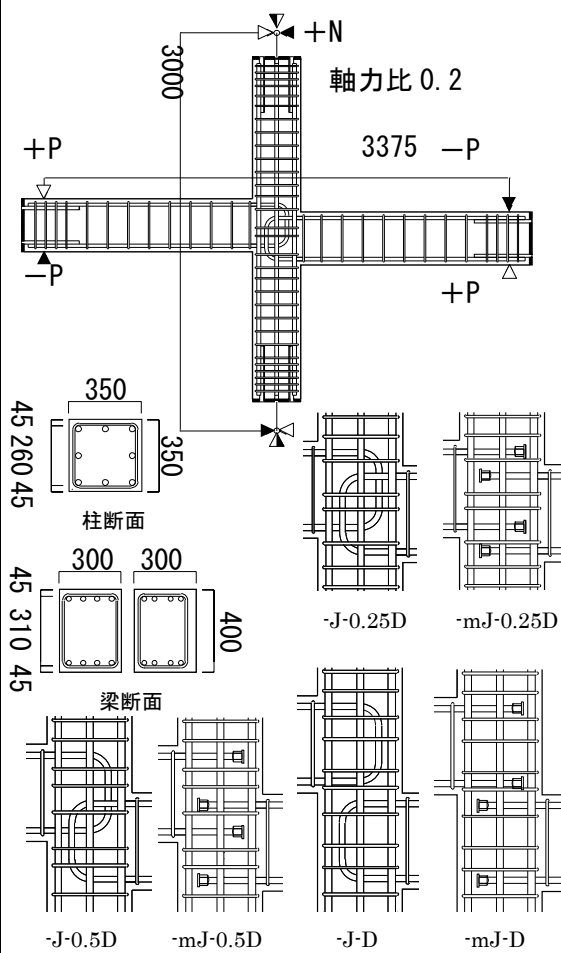


図 - 1 試験体の形状・寸法

400[mm]とした試験体の計6体である。

全試験体で接合部域の破壊を顕著とする為、高強度の鉄筋を使用した。梁主筋の定着は、靱性保証型耐震設計指針、プレートナット工法設計施工指針(東京鉄鋼株式会社)を参考に試験体を製作した。加力方法は、柱に一定圧縮軸力(軸力比0.2)を与え、梁端部に、正負交番繰返し荷重を与えた。

(2) 実験結果

図-2に最大耐力時接合部ひび割れ図、図-3に荷重層間部材角曲線を示す。全試験体は、最終変形まで柱、梁主筋は降伏せず、接合部内補強筋は最大荷重付近で降伏した。また、最大荷重以降、接合部域でコンクリートの剥落がみられた。これらの結果から、破壊形式は全試験体で接合部破壊型と判断した。

-J-0.25D, -J-0.5D, -mJ-0.25D, -mJ-0.5D 試験体は、正載荷では接合部域全体にひび割れが生じており、負載荷では左右の梁の重なり合う領域にひび割れが集中して生じていることがわかる。

-J-D, -mJ-D 試験体は、正・負載荷ともに、上部接合部と下部接合部で独立してひび割

れが生じ、-J-Dの負荷荷では接合部を左梁上部から右梁下部へ縦断するひび割れもみられた。

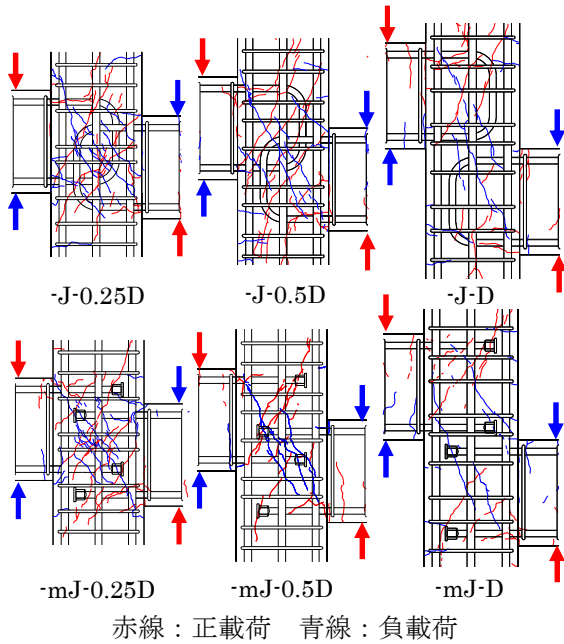
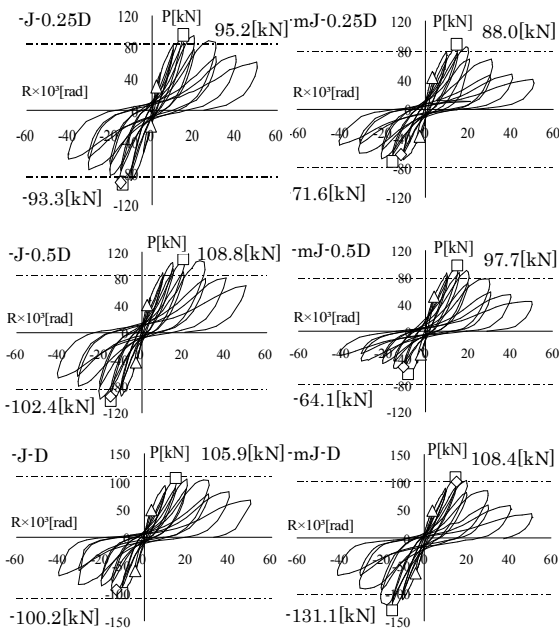


図 - 2 最大耐力時接合部ひび割れ図



実線：荷重変形曲線
 一・一：靱性指針接合部せん断強度
 (0.25D, 0.5Dは十字形, Dはト字形の値)
 △: 接合部ひび割れ □: 最大荷重 ◇: 補筋筋降伏

図 - 3 荷重層間部材角曲線

図 - 4 に接合部破砕状況を示す。写真は、加力終了後に各試験体接合部域を切り取った後、柱幅の中央の位置で柱せい方向に切断した面に蛍光塗料を塗布し、撮影したもので

ある。なお、ピンク色がひび割れ、緑色が梁主筋を示す。-J-0.25D, -J-0.5D (U字形定着) では、接合部全体に破砕が見られ、-mJ-0.25D, -mJ-0.5D (機械式定着) では、梁主筋の間で定着板同士を結ぶ方向のひび割れが見られる。-J-D, -mJ-D は、上部接合部と下部接合部に分けて破砕がみられるが、-mJ-D (機械式定着) は、-J-D (U字形定着) に比べて破砕が激しく、左梁下部と右梁上部の梁主筋間接合部域にも破砕がみられる。

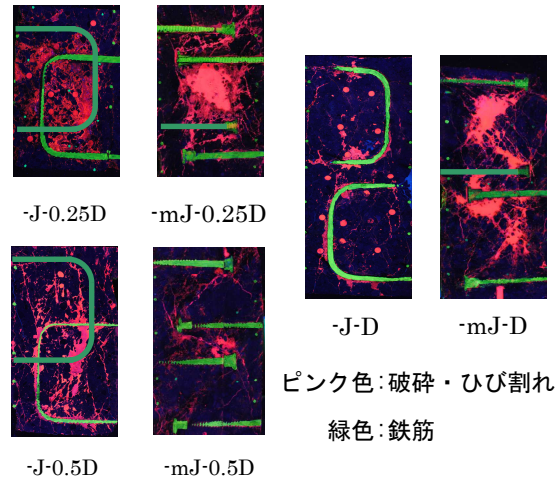
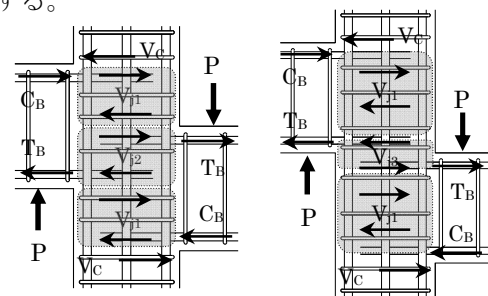


図 - 4 接合部内部のひび割れ・破砕状況

4. 研究成果

(1) 試験体間の接合部終局強度の特徴

図 - 5 に示すように、接合部内の領域によって水平せん断力が異なっているが、芯ずれ量が梁せい未満の試験体では、左右の梁が重なり合う V_{j2} の領域で最も大きくなる。また、芯ずれ量が梁せい以上の試験体では、左右の梁の重なりがなく、 V_{j1} が V_{j3} より大きい。最も大きい水平せん断力の領域で耐力を評価する。



$$V_{j1} = \frac{(L - D_c)}{2 \cdot j_B} \cdot P - \frac{L}{H} \cdot P$$

$$V_{j2} = \frac{(L - D_c)}{j_B} \cdot P - \frac{L}{H} \cdot P$$

$$V_{j3} = \frac{L}{H} \cdot P$$

P : 梁端荷重
 Vc : 柱せん断力
 Tj : 梁引張力
 Cj : 梁圧縮力
 L : スパン
 H : 階高
 Dc : 柱せい
 jB : 梁応力中心間距離

図 - 5 接合部水平せん断力の算出方法

各試験体の接合部終局強度の特徴としては、-J-0.25D、-J-0.5D、-mJ-0.25D、-mJ-0.5Dの場合、機械式定着を用いた試験体の負荷荷以外は芯ずれ量が大きくなるに従い、接合部終局強度時の接合部水平せん断力が上昇した。また、全試験体で負荷荷に比べて正載荷の方で接合部水平せん断力が大きい。-J-D、-mJ-Dの場合、-J-Dでは正載荷、-mJ-Dでは負荷荷の方で接合部終局強度が大きい。

(2) -J-0.25D, -J-0.5D の接合部終局強度

①接合部終局強度に対する芯ずれ量の影響

接合部へ入力される接合部水平せん断力は芯ずれ量の影響はないが、柱の反曲点と柱接合部端までの距離は、芯ずれ量が大きくなるに伴い小さくなるため柱接合部端の曲げモーメントが小さくなる。結果として、柱から接合部へ入力される圧縮ストラットに作用する柱接合部端圧縮力は小さくなる。このことは、同荷重時に芯ずれ量が大きくなるにつれ、接合部圧縮ストラットに作用する圧縮合力が小さくなることを意味する。従って、芯ずれ量が大きくなり接合部が破壊するためには、接合部水平せん断力が大きくならなければならない。このことは、正・負載荷で、芯ずれ量が大きくなるに従い接合部終局強度が大きくなり、最大荷重が上昇したことに対応する。なお、前述したことは、機械式定着の正載荷の場合でも同じである。

②接合部終局強度に対する載荷方向の影響

接合部内梁主筋定着部の支圧力の伝達方向を図-6に、予測される接合部抵抗機構を図-7に示す。接合部内梁主筋定着部の支圧力は、梁主筋折り曲げ部内側で支圧力として伝達されると考えられる。この様な抵抗機構の場合、正載荷では梁・柱危険断面位置のコンクリート圧縮力が分散して伝達され、圧縮ストラットが多数形成される。負載荷では梁・柱危険断面位置のコンクリート圧縮力と梁主筋定着部支圧力により、左右の梁の重なり合う接合部中央域に圧縮応力が集中して伝達されるため、正載荷に比べ接合部終局強度が低くなると考えられる。

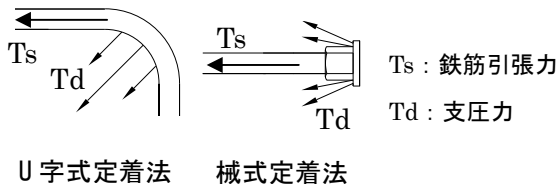
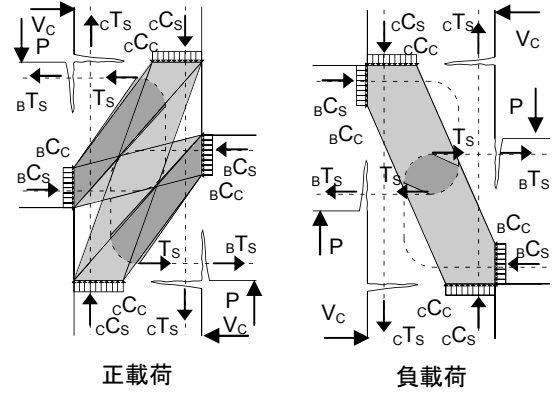


図 - 6 接合部定着部支圧力



P : 梁端荷重 V_C : 柱せん断力 $B_T S$: 梁鉄筋引張力
 $c_T S$: 柱鉄筋引張力 T_S : 接合部内梁定着部支圧力
 $B_C S$: 梁鉄筋圧縮力 $B_C C$: 梁コンクリート圧縮力
 $c_C S$: 柱鉄筋圧縮力 $c_C C$: 柱コンクリート圧縮力

図 - 7 接合部抵抗機構 (-J-0.25D, -J-0.5D)

(3) -mJ-0.25D, -mJ-0.5D の接合部終局強度

①接合部終局強度に対する芯ずれ量の影響

芯ずれ量の接合部終局強度への影響は接合部の作用応力から、先に述べた-J-0.25D、-J-0.5Dと正載荷で同様の傾向となる。

②接合部終局強度に対する載荷方向の影響

接合部終局強度が負載荷より正載荷で大きくなっている。正載荷時は、左梁上部と右梁下部の梁主筋が、引張力を受け定着板の支圧力で伝達される。負載荷時は、左梁下部と右梁上部の梁主筋が引張力を受けて支圧力が伝達される。定着板間が近く、その区間のコンクリートが定着部の形状からU字形定着に比べ応力伝達領域が狭くなるため、定着板による応力伝達が直接せん断の状態に近くなる。

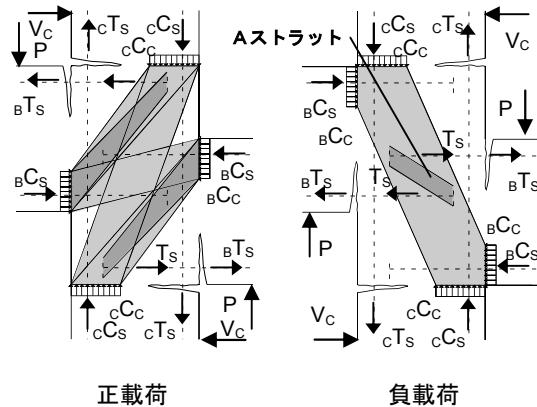


図 - 8 接合部抵抗機構 (-mJ-0.25D, -mJ-0.5D)

結果として、図-8の-mJ-0.25D, -mJ-0.5Dの接合部抵抗機構に示す様に、正載荷時に、圧縮ストラットが多数接合部域に分散して形成され、負載荷時には、左右の梁の重なり合う領域(Aストラット)に圧縮応力が集中するため、接合部終局強度が負載荷より正載荷で大きくなったと考えられる。

(4) 芯ずれが梁せいの場合(-J-D, -mJ-D)の接合部終局強度

-J-Dは正載荷が、-mJ-Dは負載荷が一方の載荷に比べ、接合部終局強度が大きくなっている。-J-Dと-mJ-Dの予測される接合部抵抗機構を図-9に示す。

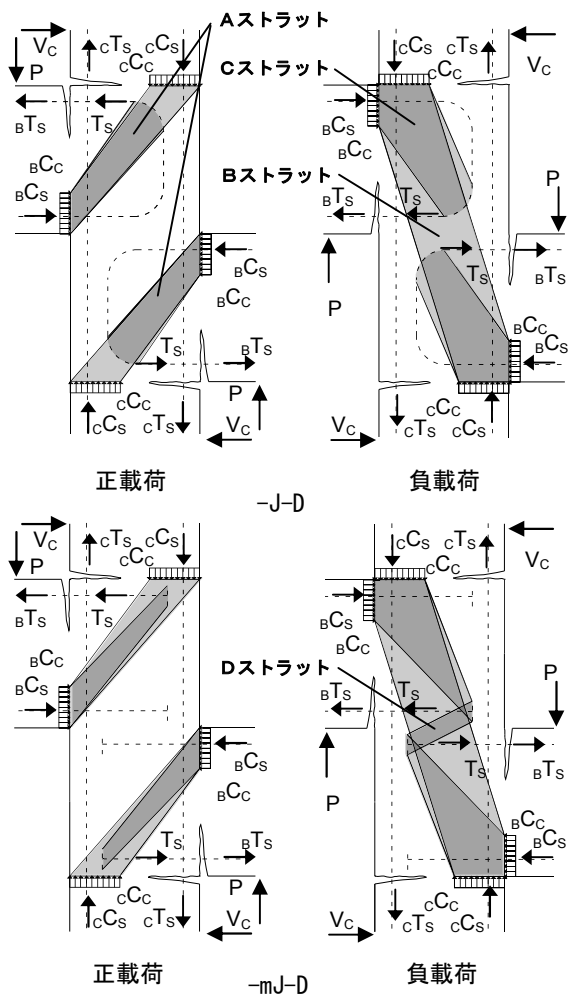


図-9 接合部抵抗機構(-J-D, -mJ-D)

-J-Dは、正載荷では接合部破壊の進行が上部と下部で独立して生じ、上部と下部でト字形接合部に類似した接合部抵抗機構となる。一方、負載荷ではCストラットに加え、接合部上部と下部を縦断するBストラットが考えられ、この圧縮ストラットにより、破壊の進行が正載荷よりも進み、正載荷の接合部終局強度の方が大きくなったと考えられる。

-mJ-Dは、正・負載荷で-J-Dと類似した抵抗機構が考えられる。しかし、U字形定着とは支圧力の伝達が異なる為、負載荷時に引張力を受ける左梁の下部梁主筋と右梁の上部梁主筋の支圧力がDストラットで伝達され、正載荷に比べて定着板から接合部上部と下部の梁・柱危険断面に伝達される応力は小さくなる。その為、正載荷に比べ、負載荷の最大荷重が大きくなる。

(5) 接合部終局強度設計式の提案に向けて

① 芯ずれ量が梁せい未満の場合、接合部内の最大水平せん断力は、機械式定着の負載荷を除き、段差のない十字型接合部終局強度式は安全側の評価(10%から28%)となる。機械式定着の負載荷では、10%から19%の危険側となった。

② 芯ずれ量と梁せいが同じ場合は、段差のないト字型接合部終局強度式で評価(-8%~29%の精度)できる。

③ 本研究で示した抵抗機構については、測定データ、有限要素法による検討を行っているが、接合部終局強度精度向上には、更なる実験資料の蓄積が必要と考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

① 廣谷祐貴, 上村智彦, 石橋一彦, 林静雄
機械式定着を用いた段差梁を有する鉄筋コンクリート造梁・柱接合部の抵抗機構, コンクリート工学年次論文, 査読有, Vol.32, No.2, 2010.6, pp.319-324

② 上村智彦, 特殊形状をしたRC梁・柱内部接合部の終局強度と抵抗機構に関する研究の現状, コンクリート工学, 査読有, Vol.48, No.3, 2010.3, pp.9-14

③ 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, 査読有, Vol.31, No.2, 2009.7, pp.367-372

④ Tomohiko Kamimura, Kazuhiko Ishibashi, Mikio Fujitsuka, Mechanical Behavior of Reinforced concrete Beam-Column Assemblage with Different Floor Levels on both Sides of Column, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Structural Engineering: Concrete, 査読有, 2008.10, pp.1-6

〔学会発表〕(計9件)

①山下優恭, 廣谷祐貴, 上村智彦, 石橋一彦, 林靜雄, 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(その5 実験概要—機械式定着を用いた場合)

日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, 構造IV, 2010.9, pp.463-464

②大山聡太, 山下優恭, 廣谷祐貴, 上村智彦, 石橋一彦, 林靜雄, 機械式定着を用いた段差梁を有する鉄筋コンクリート造梁・柱接合部の抵抗機構(その6 接合部抵抗機構の検討—機械式定着を用いた場合)

日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, 構造IV, 2010.9, pp.465-466

③廣谷祐貴, 上村智彦, 石橋一彦, 林靜雄, 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(その7 定着法による接合部終局強度への影響)

日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, 構造IV, 2010.9, pp.467-468

④塚本 浩, 上村智彦, 段差梁を有する鉄筋コンクリート造梁・柱接合部の終局強度(その4 FEM 解析によるストラット機構の確認)

日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, 構造IV, 2009.9, pp.361-362

⑤山下優恭, 平瀬智樹, 廣谷祐貴, 上村智彦, 石橋一彦, 林靜雄, 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(その1 実験概要)

日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, 構造IV, 2009.9, pp.355-356

⑥平瀬智樹, 山下優恭, 廣谷祐貴, 上村智彦, 石橋一彦, 林靜雄, 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(その2 載荷方向の違いによる比較)

日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, 構造IV, 2009.9, pp.357-358

⑦廣谷祐貴, 山下優恭, 平瀬智樹, 上村智彦, 石橋一彦, 林靜雄, 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(その3 接合部終局強度の検討)

日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, 構造IV, 2009.9, pp.359-360

⑧石橋一彦, 藤塚幹夫, 上村智彦, 林靜雄, 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(その4 実験概要)

日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, 構造IV, 2008.9, pp.175-176

⑨藤塚幹夫, 石橋一彦, 上村智彦, 林靜雄, 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(その5 抵抗機構)

日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, 構造IV, 2008.9, pp.177-178

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上村智彦 (KAMIMURA TOMOHIKO)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号: 00052879

(2) 研究分担者

林 靜雄 (HAYASHI SHIZUO)

東京工業大学・応用セラミック研究所・教授

研究者番号: 90092569

(3) 研究協力者

石橋一彦 (ISHIBASHI KAZUHIKO)

千葉工業大学・工学部・教授