

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：基盤研究(B)
研究期間：2006～2008
課題番号：18360257
研究課題名（和文） スティールバンドを有するアンボンド PCaPC 柱・梁圧着接合機構の構造特性
研究課題名（英文） STRUCTURAL PERFORMANCE OF UNBONDED PRECAST P/C BEAM-COLUMN JOINTS WITH STEEL BAND
研究代表者
上田 正生 (UEDA MASAHIKI)
北海道大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号：50091418

研究成果の概要： 本研究はPC鋼材によって圧着されたプレキャストコンクリート柱・梁接合構造の優れた原点指向性に着目し、地震などにより過大な外力が作用した後においても、接合部近傍の柱と梁に鋼板を巻くことにより、通常は避けられぬ接合端上下の梁の圧潰損傷を防ぎ、被災後の補修も必要がなく、尚且つ必要とあれば構造自体を解体した後、部材をそのまま再利用可能な構造の開発を試みたもので、これを実験により検証したものである。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	3,811,930	1,143,579	4,955,509
2007年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	8,411,930	2,523,579	10,935,509

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：PCaPC，柱・梁，圧着接合，アンボンド，鋼板補強，リユース

1. 研究開始当初の背景

近年、アンボンド PCaPC 柱・梁圧着接合構造が注目を浴びている。この種の圧着接合構造が示しうる可能性としての最大の特徴は、第一に大きな地震荷重を受けた場合であっても PC 鋼材を過度に降伏させずに済むことであり、第二に優れた原点指向性を有するが故に、被災後も柱、梁ともに大きな補修を要しない程度に残留変形を小さく抑えうる可能性が高いことである。

然しながら既往の実験研究をみると明らかかなように、通常のプレキャストコンクリート柱・梁部材で構成された構造では、最大荷重を受けた後、残留変形は良好に制御される

にも拘らず、接合部近傍の梁の上下のコンクリートが圧壊により可なり大きな損傷を生じており、その修復・補強には多大な労力と費用を要することが明らかである。

即ちこの種の構造において喫緊に解決されるべき課題は、大きな地震荷重を受けた後でも柱、梁部材が殆ど補修を要しない程度に健全な状態を保ち得る構造形態を開発することである。

2. 研究の目的

本研究の主たる目的は、PCaPC 梁の端部にスティールバンドを、そしてそれが取り付く柱の接合部分にも同様にスティールバンドを巻き付けることによって、接合部の柱と

梁のスティールに囲まれた部分のコンクリートに強力なコンファインド効果と圧壊防止効果を付与し、結果として既往のこの種の研究では未だ達成されていない「最大荷重経験後も、柱と梁が共に補修を要しない程度に健全性を保持できる」PCaPC 圧着接合構造を開発し、これを実験研究によって検証することである。

3. 研究の方法

本研究対象であるスティールバンドを有する PCaPC 柱・梁圧着接合構造には基本的に図 1 に掲げるような 2 種のタイプが考えられる。

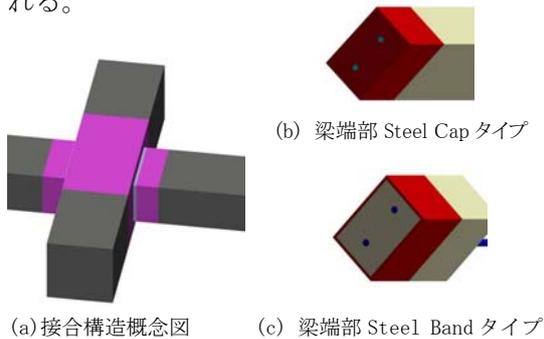


図 1 PCaPC 柱・梁圧着接合構造の概念図

即ち、梁端部をスティールキャップで覆うタイプと、梁の接合面のコンクリートは露出させ側面のみをスティールバンドで覆うタイプの 2 種である。勿論このスティールキャップタイプは大地震被災後においても PCaPC 梁を、建物自体が解体されたとしても、この梁部材はそのままリユース可能な状態を確保することを意図している。

従って、本研究課題の研究方法は、以下の 4 種の方法に準拠して・計画・実施された。

(1) 本提案構造で想定される接合面の種類を選定し、各種圧着接合部試験体を製作して、接合面のせん断加力実験を実施し、種類別のせん断力耐荷特性を明らかにする。

(2) 柱をスタブに見立てた構造として考えられる「ト型の柱・梁圧着接合試験体」を、i) スティールキャップを有するタイプと ii) スティールバンドを有するタイプの二つのタイプについて、それぞれ数種類製作して、静的繰返し載荷実験を行い、その変形耐荷性状を調べ、最適と考えられる鋼板補強を有する PCaPC 柱・梁圧着接合構造の形態を選定することを試みる。

(3) 上の成果を踏まえて、実際の建物に使用される外柱に取り付く梁の架構を模擬した①ト型柱・梁圧着接合試験体と、内柱に両側から取り付く梁の架構を想定した②十字型柱・梁圧着接合試験体を、それぞれ 2 体、即ち、i) 本提案になる柱と梁にスティールバンドを有する試験体と、比較のための、ii) 柱・梁ともにこれを有しない通常の試験体を制作して繰返し載荷実験を行い、本提案構造

の妥当性の検証を行う。

(4) この種の構造が宿命的に有するエネルギー吸収性能の欠如を改善する方法の可能性を探る一つの試みとして、S 構造に見られる柱・梁接合部のスプリットティーの役割を担う「両端ヒンジを有するスティールダンパー治具」を試作して、繰返し載荷実験を実施しその妥当性を検討する。更に著者らの開発になる「材料非線形 FEM 有限要素解析法」を拡張させ解析値との比較を行い更なる可能性を検証する。

4. 研究成果

(1) 目地モルタルを介した圧着接合部分のせん断性状に関する実験の概要

柱と梁部分を繋ぐ通し鉄筋を有しないこの種の圧着接合構造は、圧着接合部のせん断抵抗耐力が確保されて始めて建築の骨組み構造として成立するものであり、接合面の基本的なせん断性状を調べておく必要がある。

①試験体の種類

そこで、図 2 に示す「柱・梁圧着接合部を模擬した試験体」総計 18 体の試験体を製作した。全ての試験体は中央部の目地モルタル (80mmx200mmx20mm) を介した上下のコンクリートブロック (100mmx260mmx56mm) で構成され、接合面の面積は、 $1.6 \times 10^4 \text{mm}^2$ で同一である。同図 (a) にこの実験のために用意した試験体の基本形態を掲げる。作成した試験体総数は 18 体であるがこれらの試験体は、接合形式の違いによって 3 シリーズに分類される。表 1 は、上記のシリーズとタイプ分けに基づき本研究で作製した 3 シリーズ 5 形態・総計 18 体を一覧したものである。

②実験方法と測定項目

本実験では、表 1 を見ると明らかなように各シリーズ毎に圧着応力を主たるパラメータとしてこれを段階的に変動させ、一定圧着応力下での 1) せん断応力 τ -せん断変位 δ 関係、

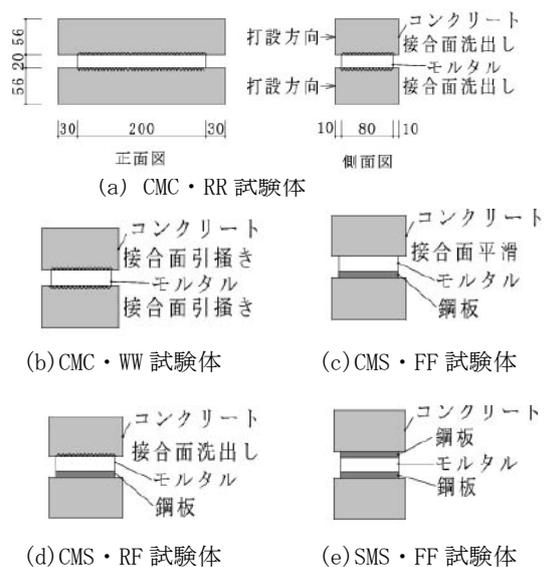


図 2 圧着接合部試験体の形態

表1 圧着接合部試験体の一覧

番号	試験体名	シリーズ	接合面の形式 (梁側)	接合面の形式 (柱側)	圧着応力 σ (N/mm ²)
1	CMC20RR	CMC	洗出し面	洗出し面	2.0
2	CMC35RR				3.5
3	CMC54RR				5.4
4	CMC20WW		引掻き面	引掻き面	2.0
5	CMC35WW				3.5
6	CMC54WW				5.4
7	CMS20FF	CMS	平滑面	平滑面	2.0
8	CMS35FF				3.5
9	CMS54FF				5.4
10	CMS75FF		7.5		
11	CMS20RF		洗出し面	平滑面	2.0
12	CMS35RF				3.5
13	CMS54RF	5.4			
14	CMS75RF	7.5			
15	SMS20FF	SMS	平滑面	平滑面	2.0
16	SMS35FF				3.5
17	SMS54FF				5.4
18	SMS75FF	7.5			

表2 使用コンクリートの調査

水 (kg)	セメント (kg)	粗骨材 (kg)		粗骨材 (kg)	AE減水剤 (kg)
		砂	砕砂		
174	452	534	229	913	4.93
水セメント比		39%		粗骨材率	45.4%
セメント		普通ポルトランドセメント		密度	3.16g/cm ³
細骨材 (砂)		粗粒率	2.65	表乾密度	2.65g/cm ³
細骨材 (砕砂)		粗粒率	2.85	表乾密度	2.62g/cm ³
粗骨材 (砕石)		最大寸法 20mm		表乾密度	2.63g/cm ³
AE減水剤		標準形1種		実績率	60%

表3 コンクリートとモルタルの材料性状

種類	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
コンクリート	47.2	31.0	3.4
モルタル	68.8	26.4	2.5

表4 鋼板の材料性状

規格	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
SS400	388.5	46

表5 表面形状タイプ別の十点平均粗さ
単位 (mm)

表面処理方法	十点平均粗さ Rz			
	No. 1	No. 2	No. 3	平均値
平滑面Fタイプ	0.37	0.46	0.51	0.45
洗出し面Rタイプ	1.84	2.59	2.00	2.14
引掻き面Wタイプ	2.90	1.81	1.98	2.23

2) 鉛直目開き変位 ω -せん断変位 δ 関係を計測し、併せて 3) 目地の破壊状況と 4) 接合面のせん断摩擦性状を観測することとした。

図3に本実験で設定した荷重サイクルcとせん断変位 δ の関係を示す。また図4には、本圧着接合試験体のせん断実験装置の外観を掲げる。図2にその概要を記述した接合部試験体を、図4に示すせん断加力試験装置の試験体保持用治具に格納して、図3の荷重サイクルに従って実験を行った。

③結果の概要

紙幅の制約から詳細は末尾の発表論文に譲るが、本提案構造が成立するために必須となるせん断特性に関する有用な知見を得た。

(2) 圧着接合されたスティールキャップを有するアンボンド PCaPC 片持ち梁 I 型試験体の繰返し荷重実験の概要

梁部材の端部の補強に、万全性を期するな

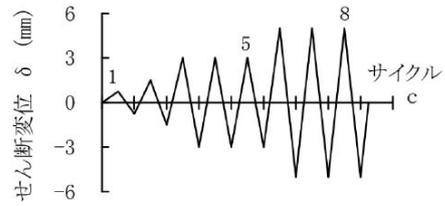


図3 せん断荷重加力サイクル

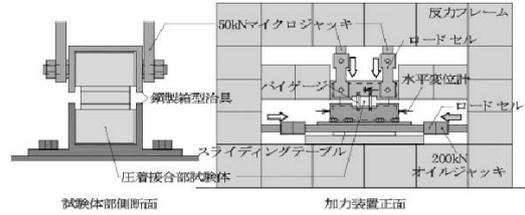


図4 せん断加力装置の外観

らば、柱側の接合面を含めて梁の端部を鋼板製の「スティールキャップ」で覆った方が良くと考え、先ず最初に、スタブを想定した短い柱にスティールバンドを巻きつけ、これにスティールキャップを有するPCaコンクリート梁部材を圧着接合し片持ち梁形式で、その構造性能を確認するため荷重実験を行った。尚、これらの試験体を後述のII型と区別するため片持ち試験体I型と呼称する。

①片持ち梁 I 型試験体の種類

スタブを想定した柱にPCaコンクリート梁を圧着接合して片持ち梁形式で荷重実験を行う総数4体の試験体一覧を表6に示す。表からも分かるように柱部にスティールバンドを有し、梁の端部にスティールキャップを持つ番号3と4の試験体の他に、比較のため、番号1のPCNN試験体として、柱・梁部材ともに鋼板の補強部を持たない従来型のPCaPC圧着タイプと、番号2のPCBN試験体として、梁部は番号1と同じで柱部分にのみ鋼板を巻きつけたタイプを用意した。番号3と番号4の試験体PCBC10とPCBC30は、梁部のキャップ深さのみが異なっている。

図5にこれらの試験体のうちのPCBC30試験体を一例としてその外形・寸度を掲げる。詳細は図に示すとおりであり、試験体外形は全試験体共通で、2本のPC鋼材(φ=23mm)で圧着(5.4N/mm²)されており、柱と梁端部を覆

表6 片持ち梁 I 型試験体一覧
単位 (mm)

番号	試験体名	柱スティールバンド		梁スティールキャップ		
		有無	長さ	有無	長さ	厚さ
1	PCNN	無	-	無	-	-
2	PCBN	有	800	無	-	-
3	PCBC10	有	800	有	100	9
4	PCBC30	有	800	有	300	9

表7 コンクリートとモルタルの材料性状

材料	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
コンクリート	54.1	31.0	3.6
モルタル	87.5	26.4	3.3

表 8 鋼板・鉄筋・PC 鋼材の材料性状

材料	種類	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
鋼板	SS400	-	399
鉄筋	SD345	404	551
PC鋼材	SBPR785/1030	1047	1215

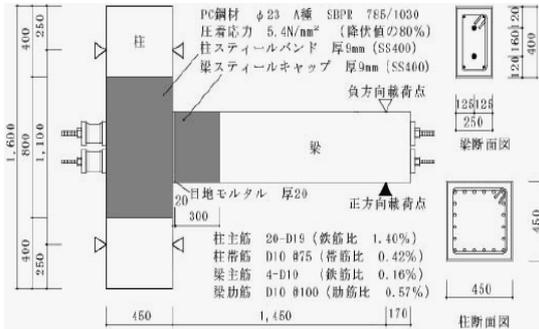


図 5 梁 I 型試験体 PCBC30 の概要

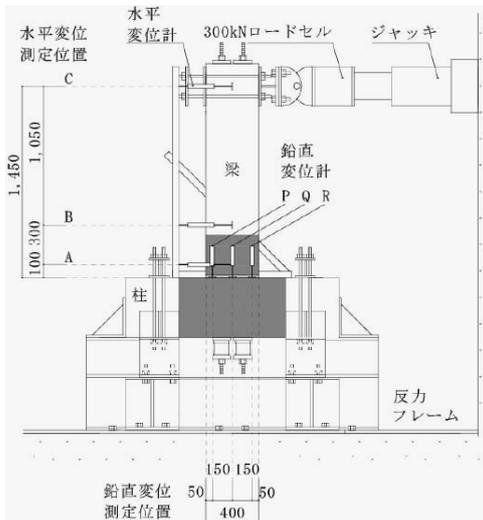


図 6 梁 I 型試験体の加力装置外観

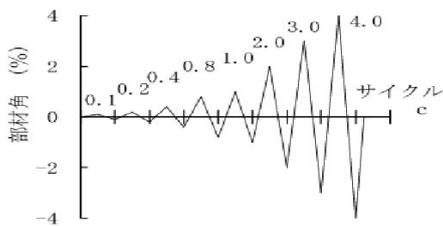


図 7 梁 I 型試験体の加力サイクル

っている鋼板の厚さは 9mm で、柱と梁の接合部の間には、巾 20mm の無収縮目地モルタルが充填されている。

表 7 と表 8 に使用材料の材料性状を掲げる。

②実験方法と測定項目

図 6 に本実験のための加力装置の概略図を示す。ここでは主として梁端部のスティールキャップの効果 を調べるためスタブを想定した柱部分は支持台に水平に強固にボルト締めされ、片持ち梁試験体はこれに直立して

PC 鋼材によって圧着接合され、その先端部の加力点に油圧ジャッキを用いて静的正負交番繰返し載荷される。この載荷サイクルは、図 7 に掲げるように相対部材角 0.1~4% の ± 8 サイクルである。主要な測定項目は、前掲の図 6 から分かるように、1) 梁の材軸中央線に沿う A, B, C 3 点の載荷方向変位、2) 接合面の梁端から 50mm 離れた横断面に沿う P, Q, R 3 点の鉛直目開き変位、3) 柱中央下部に取付けたロードセルによる PC 鋼材の張力、そして 4) 接合面から 150mm 離れた位置における梁の 4 本の主筋（鉄筋）の歪である。

③結果の要約

本実験により、梁端部にキャップを有するタイプの試験体の変形・耐力性状は、これを有しない通常の PC 梁タイプと殆ど同じであるが、実験終了後の梁端部の破壊現象を有効に制御し得ることが明らかとなった。しかしキャップ長が短いと最終的に脱帽現象が見られ、長いと補強が過大となる傾向が認められた。

(3) 圧着接合されたスティールバンドを有するアンボンド PCaPC 片持ち梁 II 型試験体の繰返し載荷実験の概要

梁端部に鋼板をキャップ状ではなくバンド状に巻きつけた「スティールバンドを有するアンボンド PCaPC 片持ち梁 II 型試験体」を作製して行った実験結果について概説する。

①片持ち梁 II 型試験体の種類

本シリーズは全試験体ともにスタブを想定した（スティールバンド有り）柱にスティールバンドを有する梁を片持ち梁状に圧着接合したもので、スティールバンドの適切な巾と設置位置を調べるために計画されたものである。表 9 に本シリーズの試験体の一覧を示す。表中の PCBB00-I は比較のための試験体でスティールバンドを持たない普通のアンボンド PCaPC 梁であり、PCBB15-I、PCBB22-I、PCBB30-I はバンド長さを、それぞれ梁背 D に対して D/3、D/2、2D/3（バンドの材端は梁端に一致）と変化したものである。また、PCBB15s-I と PCBB22s-I は梁のバンド材端を梁端から 20mm 後退させ端部にコンクリートを露呈させてありバンドと目地モルタルの直接接触の回避の効果を見るための試験体である。これらの試験体の外形は全て同一であり、図 8 に PCBB15-I 試験体を一例として寸法詳細を示す。また、表 10 と表 11 に使用材料の材料性状を掲げる。

表 9 片持ち梁 II 型試験体一覧

番号	試験体名	梁スティールキャップ		
		有無	長さ (mm)	後退 (mm)
1	PCBB00-I	無	-	-
2	PCBB15-I	有	150	0
3	PCBB22-I	有	225	0
4	PCBB30-I	有	300	0
5	PCBB15s-I	有	150	20
6	PCBB22s-I	有	225	20

表 10 コンクリートとモルタルの材料性状

材料	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
コンクリート	54.1	31.0	3.6
モルタル	87.5	26.4	3.3

表 11 鋼版・鉄筋・PC 鋼棒の材料性状

材料	種類	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
鋼板	SS400	399	-
鉄筋D10	SD345	404	551
鉄筋D19	SD345	404	551
PC鋼棒	SBPR785/1030	1047	1215

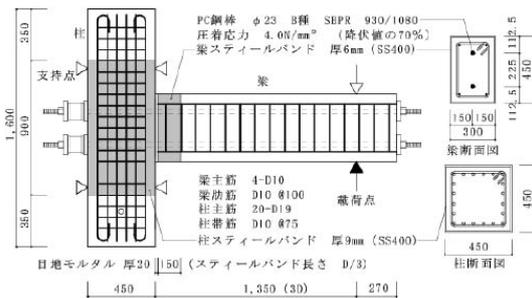


図 8 梁Ⅱ型試験体 PCBB15-Ⅰの概要

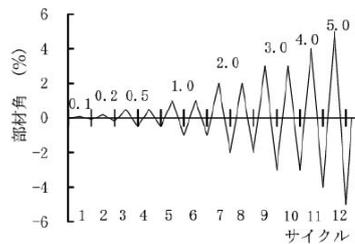


図 9 梁Ⅱ型試験体の加力サイクル

②実験方法と測定項目

片持ち梁Ⅱ型の本シリーズの試験体の加力装置は、前掲の図 6 の片持ち梁Ⅰ型と同じであり、測定項目についても同様である。しかし本シリーズ梁Ⅱ型の加力サイクルは、図 9 に示すように、先のⅠ型より 4 サイクル多い ±12 サイクル (部材角 0.1~0.5%) である。

③結果の概要

本実験の結果は末尾の既発表論文に詳述してあるので、概要に留めるが、梁端のスティールバンド巾は D/3 程度で十分な効果があり、梁端のセットバック量も適切であった。

(4) スティールバンドを有するト型および十字型アンボンド PCaPC 柱・梁圧着接合試験体の繰返し載荷実験

本項では、前項(3)の成果を踏まえて、接合面から 20mm セットバックさせて 15cm 巾 (=D/3) のスティールバンドで梁端部を覆った「スティールバンドを有するト型および十字型アンボンド PCaPC 柱・梁圧着接合試験体」を夫々 1 体ずつ制作して載荷実験を行い、実

表 12 ト型及び十字型試験体一覧

番号	試験体名	形状	梁スティールバンド	
			有無	長さ
1	PCBB00-II	ト型	無	-
2	PCBB15s-II	ト型	有	150
3	PCBB00-III	十字型	無	-
4	PCBB15s-III	十字型	有	150

表 13 コンクリートとモルタルの材料性状

材料	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
コンクリート	56.1	28.5	3.4
モルタル	61.1	27.2	3.4

表 14 鋼版・鉄筋・PC 鋼棒の材料性状

材料	種類	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
鉄筋D10	SD345	391	582	26
鉄筋D19	SD345	402	550	22
PC鋼棒	SPBR930/1080	1093	1224	10
鋼板	SS400	-	397	45

際の柱・梁架構としての基本的な力学性状を検証することとした。

①ト型及び十字型アンボンド PCaPC 柱・梁圧着接合試験体の種類と概要

表 12 に本シリーズのト型及び十字型アンボンド PCaPC 圧着接合試験体の一覧を示す。同表に明らかなようにト型・十字型ともに、スティールバンド (セットバック配置) を有するものと、比較のためこれを有しないもの各 1 体制作したので計 4 体である。図 10 の (a), (b) に、共にスティールバンドを有するト型の PCBB15s-II と十字型の PCBB15s-III の各試験体詳細を掲げる。改めて指摘するまでもなくト型は外側、また十字型は内側の柱・梁接合構造の模擬を意図したものである。

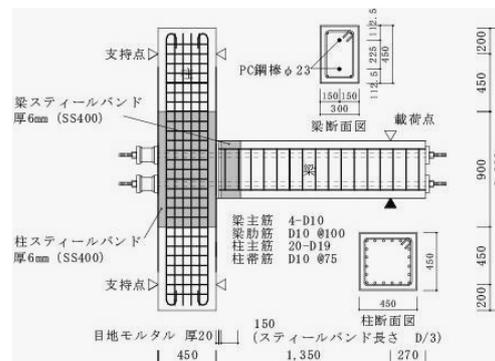
表 13, 表 14 に本シリーズの試験体を使用した材料の材料性状を掲げる。

②実験方法と測定項目

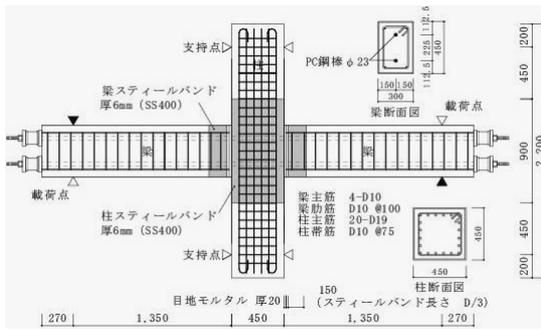
各試験体は柱部分を直立させ、梁部分を水平にして端部をアクチュエータを用いて鉛直方向に正負交番繰返し載荷を行った。図 11 に部材角 0.1~5.0% までの本シリーズの載荷サイクル (±12) を示す。また、加力実験時の測定項目については、基本的に前項(2)と(3)の片持ち梁Ⅰ型,Ⅱ型の場合と同じである。

③結果の概要

前項(2)~(3)で実施してきた片持ち梁型試



(a) ト型 PCBB15s-II



(b) 十字型 PCBB15s-III

図 10 ト型及び十字型試験体詳細

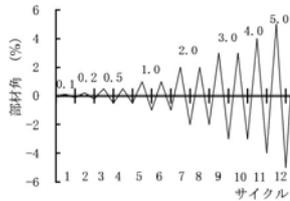


図 11 ト型及び十字型試験体の加力サイクル

験体の実験結果を踏まえて、実際の柱・梁架構の外柱と内柱に梁が取付く形のト型と十字型試験体を作製して載荷実験を行い、本提案構造が初期の目的を十分に達成し得る構造型能を有することを明らかにした。

(5) 研究成果のまとめ

前項(1)においては、この種の構造の接合面における設計の際に必要な、各種接合面のせん断特性を実験的に明らかにした。

また、前項(2)～(4)において記述してきたように、「柱の接合部周り」と、接合面に接する梁の端部に D/3 の巾で帯状にスチールバンド（断面積としては鉄筋比換算で僅か 6.7%程度）を巻くだけの極めて簡便な本提案構造により、特殊な設計手続きを何ら必要とすることなく、著者らの当初の目的は十分達成可能なことが検証された。また、紙幅の制約から記載し得なかったが、柱と梁の接合部近傍にスチールダンパーを付加すると、エネルギー吸収性能の改善が可能なことも、実験と FEM 解析によって確認している。

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 矢野貴大, 越川武晃, 上田正生, 菊地優:
ダンパーを付加したアンボンド PCaPC 柱梁圧着接合構造に関する基礎的研究, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No. 82, pp. 121~124, 2009. 7. (査読なし)
- ② 山下仁, 越川武晃, 和田俊良, 上田正生, 溝口光男, 小松憲一: スチールキャップを有するアンボンド PCaPC 柱・梁圧着接合によるト型試験体の繰返し載荷実験, 日本建築学会技術報告集, 第 14 巻第 27 号,

pp. 115~120, 2008. 6. (査読付き).

- ③ 山下仁, 高瀬裕也, 和田俊良, 上田正生: スチールバンドを有するアンボンド PCaPC 柱・梁圧着接合面のせん断すべり実験, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No. 80, pp. 137~140, 2007. 7. (査読なし)
- ④ 山下仁, 高瀬裕也, 和田俊良, 上田正生: 鋼板と目地モルタルを介した PCaPC 柱・梁接合部のせん断すべり実験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 29, No. 3, pp. 463~468, 2007. 7. (査読付き).

[学会発表] (計 3 件)

- ① 山下仁, 溝口光男, 越川武晃, 菊地優: スチールバンドを有するアンボンド PCaPC 圧着接合による柱・梁ト型試験体及び十字型試験体の繰返し載荷実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (), C-2 構造IV, pp. 未定, 2009. 8. 26-8. 29, 仙台, 東北学院大学
- ② 山下仁, 和田俊良, 上田正生, 越川武晃, 溝口光男, 小松憲一: アンボンド PCaPC 柱・梁圧着接合によるスチールバンドを有する梁に繰返し載荷実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), C-2 構造IV, pp. 903~904, 2008. 9. 18-20, 東広島, 広島大学
- ③ 山下仁, 和田俊良, 上田正生, 越川武晃, 溝口光男, 小松憲一: スチールバンドを有するアンボンド PCaPC 柱・梁圧着構造によるト型試験体の繰返し載荷実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), C-2 構造IV, pp. 823~824, 2007. 8. 29-8. 31, 福岡, 福岡大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上田 正生 (UEDA MASAHIKI)
北海道大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 50091418

(2) 研究分担者

越川 武晃 (KOSIKAW TAKEAKI)
北海道大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 10399983
溝口 光男 (MIZOGUCHI MITUO)
室蘭工業大学・工学部・教授
研究者番号: 80166040

(3) 連携研究者

井上 圭一 (INOUE KEIICHI)
福井大学・大学院工学研究科・講師
研究者番号: 70333630

(4) 研究協力者

山下 仁 (YAMASITA HITOSHI)
北海道大学・大学院工学研究科・博士課程
矢野 貴大 (YANO TAKAHIRO)
北海道大学・大学院工学研究科・修士課程