

報告

[2109] プレストレストコンクリートはり鉄骨柱との接合に関する研究

正会員 中野 清司 (東京電機大学工学部)
 正会員 立花 正彦 (東京電機大学工学部)
 正会員 ○三橋 文明 ((社)日建経中央技術研究所)
 瀬尾 卓也 (東京電機大学大学院)

1. はじめに

本研究は柱を鉄骨部材とし、はりをプレストレストコンクリート(以下PCと略記)はりとしたハイブリット組立工法を提案し、鋼構造とPC構造の両者がもつ施工上の合理性と構造特性を共存させ、それを有効に利用しようとするものである。本構法の概要図は図1に示す通りで、工場製作されたPCはりにポストテンションを与え、その端部上下面にH形鋼より削り出したスプリットティー(以下S.T.と略記)をアンボンドPC鋼棒を用いて接合し、S.T.のフランジと柱鉄骨とを高力ボルトを用いて接合して仕口部を構成しようとするものである。

本報告は、本構法の実用化の可能性を検討するため縮小試験体を用いて、その力学的挙動を実験的に検討したものである。

2. 実験計画と試験体

実験計画は表1に示す通りで、実験変数としては破壊場所に着目してS.T.のウェブ板厚と幅(3水準)及びウェブ長さ(2水準)である。試験体は合計4体である。

試験体の形状及び寸法を図2に示す。S.T.の断面の詳細を図3に示す。A-1、B-1試験体はH-428x407x20x20x35より削り出した。C-1、C-3試験体はH-588x300x12x20より削り出した後、S.T.フランジはE-16にて補強した。

S.T.ウェブ(以下この部分をS.T.部と略記)

とPCはりとの接合は8本のアンボンドPC鋼棒(17φ)を用いて行ない、緊張力は1本当り15.4tfとした。この接合部の平均プレストレス量は $\sigma_a = 273.8 \text{ kgf/cm}^2$ である。PCはりの断面寸法は $b \times D = 150 \times 300$ とし、PC鋼棒(アンボンド)は2-17φ、平均プレストレス量 $\sigma_a = 75.6 \text{ kgf/cm}^2$ である。主筋は4-D10 ($p_t = 0.63\%$)、スターラップはD6@100 ($p_w = 0.21\%$)である。以上のこれら接合部及びPCはりには全試験体で共通である。

なお、これら使用材料の機械的性質を表2に示す。

3. 実験方法

加力方法は、PCはり端にアクチュエータを用いて加力する片持ちばり形式である。なお、S.T.と加力部とは8-M24(F10T)を用いた引張接合とし、本

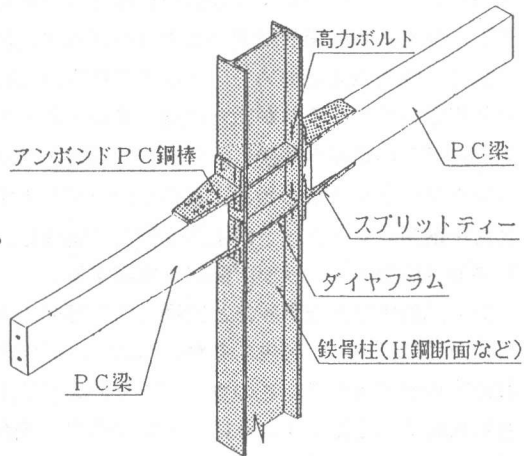


図1 構法概要図

表1 実験計画

PC	φ	75	150
E-240x20	A-1	—	—
E-150x20	B-1	—	—
E-150x12	C-1	C-3	—

表2 使用材料の機械的性質

材 料	種 別	σ_y kg/cm ²	σ_b kg/cm ²	E t/cm ²
主 筋	SD30	3673	5033	2100
スターラップ	SD30	3760	5300	2050
PC 鋼 棒	B-1種	10600	11900	2050
S.T. t=20	SS41	3567	5338	2010
		3060	4738	2080
高力ボルト	F10T	9000	10000	2100
コンクリート	普通コンクリート	$f_c = 646 \text{ kg/cm}^2$	—	293

実験の範囲内では剛接合であった。

各部の変形は電気式変位計にて、また、各部の歪値はゲージ (W.S.G) を貼付してそれぞれ測定した。荷重は全体変形 (δ) で変形制御し、 $\delta = 19\text{mm}$ 及び 38mm (部材角 $R=1.5\%$ 及び 3.0%) で各3サイクルの繰り返し荷重し、その後は大変形まで正加力 (本実験では上部に上げる方向) により変形を増大させた。

4. 実験結果と考察

4-1 破壊過程

A-1、B-1、C-1試験体は図2に示す [PC]部分のPC部材の曲げ応力の一番大きな部分に曲げひび割れが発生し、せん断力の増加に従いこのひび割れが進展すると共に、鉄板端より加力方向にはりせい程度の範囲内で数本の曲げひび割れが新たに発生する。 $R=0.3\%$ 位で主筋及びPC鋼材が降伏し、 $R=1.2\%$ 程度より圧縮側コンクリートが圧壊し始め、さらに変形が増大するごとに圧縮側コンクリートが主筋位置より剥落し、 $R=3.0\%$ で主筋がスターラップ間隔で座屈する。

C-3試験体は上記試験体と同様 [PC]部分のPC部材に曲げひび割れが発生するが、その後は[S]部のS.T.部の変形が増大する。このウェブ部分の変形は圧縮側と引張側で図4に示すように、ヒンジ形成位置が圧縮側と引張側で相違する。

以上より、本実験ではA-1、B-1、C-1試験体はPCばかり [PC]部分で曲げ降伏後コンクリートの圧壊さらに主筋の座屈をとめない、鋼板端よりはりせい程度の長さで塑性ヒンジを形成した (以下破壊形式: Type I と略記)。C-3試験体ではS.T.部の [S]部分で降伏し、この部分で塑性ヒンジを形成した (以下、破壊形式: Type II と略記)。

4-2 各部の挙動

1) S.T.部 [S] の弾塑性挙動

S.T.部の歪挙動の代表例及び歪分布を図5 (a)、(b)及び図6にそれぞれ示す。図5中に示す一点鎖線はウェブ部分の曲げ剛性より求めた計算値である。Type I ではこの部分は弾性範囲内にあり、一点鎖線の計算値

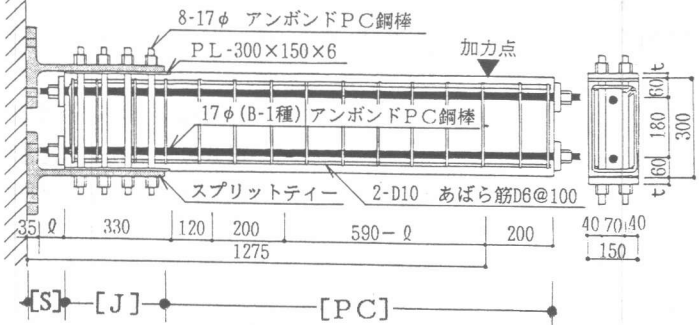


図2 試験体の形状及び寸法

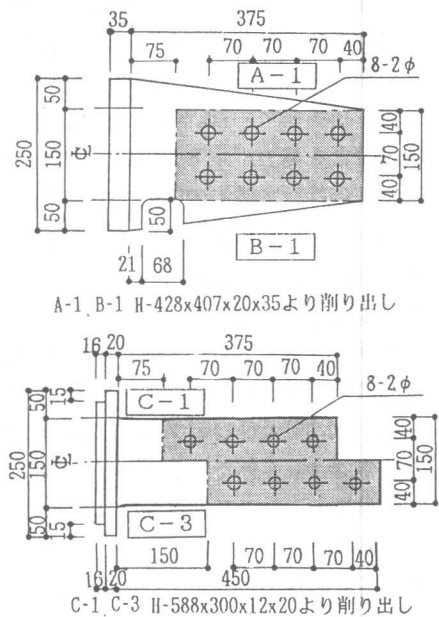


図3 スプリットティーの形状及び寸法

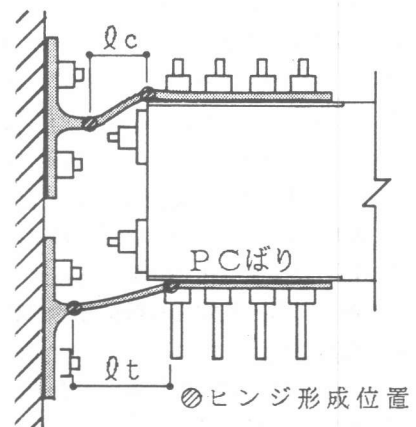


図4 破壊状況 (TYPE II)

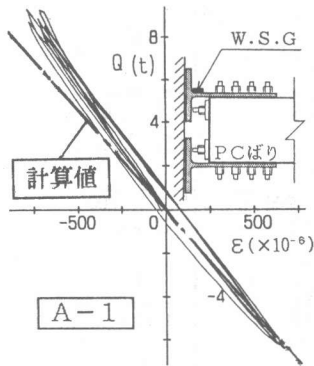


図5(a) スプリットティーの歪挙動 (Type I)

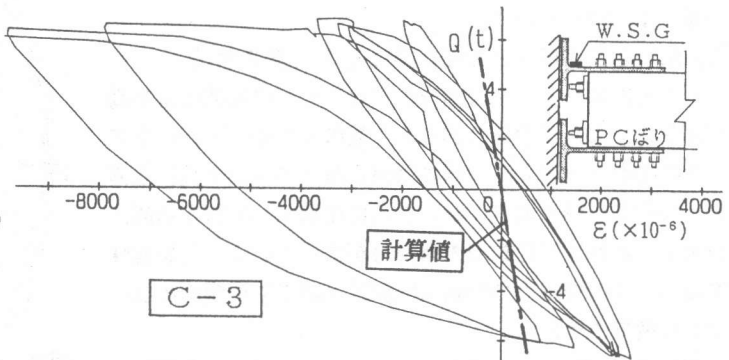


図5(b) スプリットティーの歪挙動 (Type II)

とほぼ一致している。

Type IIのこの部分では、一点鎖線の計算値と相違しており、せん断力による2次曲げモーメントの影響が大きく現れているものと考えられる。図6に観測されるように、S.T.の外側の歪値は圧縮側及び引張側ともに[S]部と[J]部の境で、圧縮側では引張側へ、引張側では圧縮側へと逆転しており、2次曲げモーメントの影響が認められる。S.T.の降伏は圧縮側及び引張側とも $Q=3.5\text{tf}$ 前後で生じている。また、これら歪値より算出したS.T.の2次曲げモーメント

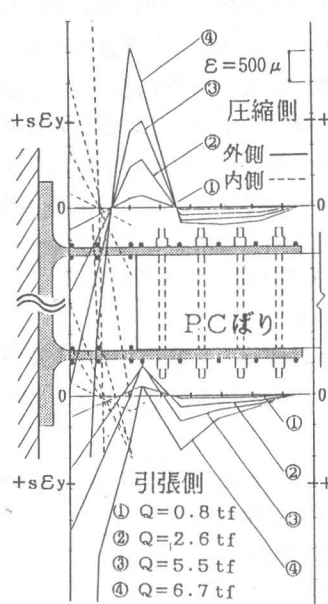


図6 スプリットティーの歪挙動 (Type II)

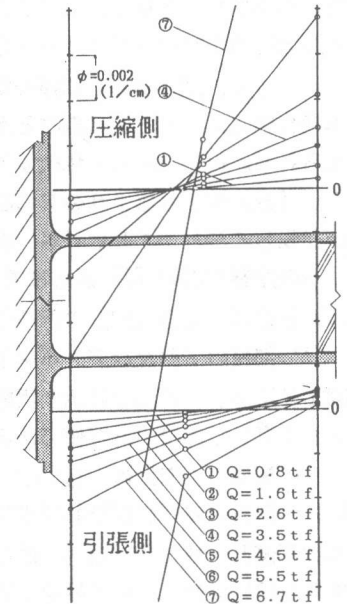


図7 スプリットティーの曲げモーメントによる材軸分布

の分布図は図7に示す通りとなり、圧縮側では反曲点はほぼ中央に位置し、その移動量は少ない。しかし、引張側では反曲点は中央から[J]部分へ移動しており、最大耐力時には[J]部との接点にほぼ移動している。図7に示す曲げモーメント図よりS.T.内ではほぼ直線的に曲げモーメントが変化しているので、直線分布しているものとして圧縮側と引張側の負担せん断力を求め、これら負担せん断力の負担率 Q_t/Q_c 及び軸方向力の負担率 N_t/N_c とせん断力 Q との関係を図8に示す。この図より、圧縮側の負担が引張側に比べて増大する傾向にあり、降伏耐力時よりその負担割合は

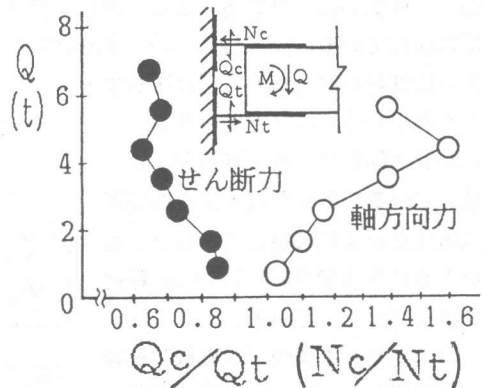


図8 せん断力及び軸方向力の負担率

ほぼ一定値 (2/3) を示す。また、軸方向力は逆に引張側が増大する傾向を示す。

2) S.T.とPCばりとの接合部分 [J] の弾性挙動

S.T.とPC部材との接合部分のアンボンドPC鋼棒の歪挙動を図9に、またこの接合部分の主筋の歪挙動を図10に示す。

この接合部分のPC鋼棒の歪値は荷重の増大と共に圧縮側へ移行し、繰り返すごとにさらに圧縮側へ移行する傾向を示す。これはPC鋼棒の緊張力がぬけていくことを意味するが、その緊張力の低減は実験終了時で初緊張力の11~13%程度であった。

主筋の歪値は [PC] 部のそれに比べて引張側および圧縮側とも小さな値を示し、このことよりこの接合部内においては主筋の応力がスムーズにコンクリートへ移行しているものと考えられる。

以上より、接合用PC鋼棒の緊張力の低下が若干認められるが、本接合部はS.T.とPC部材とが一体として働いているものと考えられる。但し、S.T.の降伏するType IIでは、図6に示されるように [S] 部より第1列のPC鋼棒位置でフランジの材軸歪分布が逆転しており、これは [S] 部せん断力による2次曲げモーメントの影響がこの [J] 部にまで及んだものと考えられる。

3) PCばり部分 [PC] の弾塑性挙動

PC部材の主筋及びアンボンドPC鋼棒の歪挙動を図11及び図12に示す。同図中に示す実線は平面保持の仮定により求めたアンボンド有PC部材の計算値である。

PC鋼棒の歪挙動は、Type I、Type IIともにPC部材の曲げひび割れ発生以前ではほぼ本計算値と一致しているが、曲げひび割れ発生以降は計算値と大きく相違している。これはアンボンドPC鋼材の影響によるものと考えられる。主筋の歪挙動は、Type Iにおいては引張側、圧縮側共に本計算値とよく一致し、降伏歪に達している。このことにより、主筋はS.T.とPC部材の接合部分 [J] に十分定着されているものと考えられる。

Type IIも初期で、本計算値とよく一致しているが破壊形式が違うのでPC鋼棒は降伏歪には達していない。また主筋は引張側で $M=7.5 \text{ t}\cdot\text{m}$ 程度で降伏歪に達している。

以上より、本実験では破壊状況等も含めてA-1, B-1, C-1 試験体はPC部材の曲げにより破壊した。

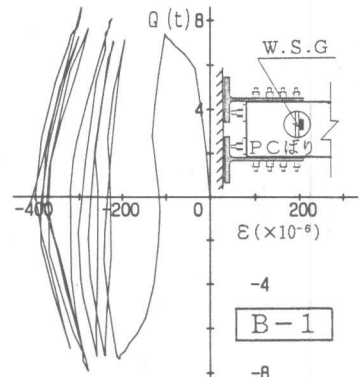


図9 接合部アンボンドPC鋼棒の歪挙動

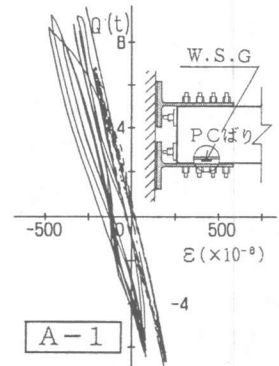


図10 接合部主筋の歪挙動

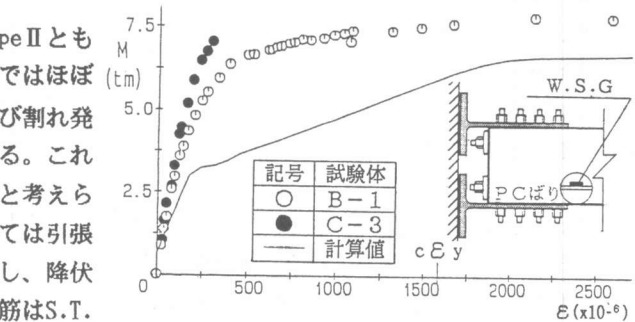


図11 アンボンドPC鋼棒の歪挙動

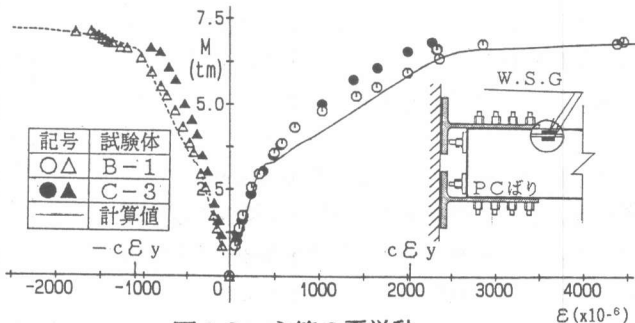


図12 主筋の歪挙動

4-3 履歴曲線

各試験体の履歴曲線を破壊形式別に図13(a), (b)に示す。図中の一点鎖線は図2に示す[S],[J],[PC]部分に分割し、それぞれの断面の剛性を用いて算定した初期剛性の計算値である。図中縦軸は作用せん断力(t)、横軸は部材角(%)を示す。また図13(a)中の∇はPC部材に埋め込まれた鉄板端部に曲げひび割れが発生した点である。図13(b)中の∇はS.T.のウェブ部分の降伏が認められた点を示す。初期剛性はType Iの3つの試験体ではほぼ一致し、Type IはType IIより40%程度剛性が高い。これはおもにS.T.の板厚の影響と考えられる。本計算値はType I、IIともに初期剛性を良く説明している。

履歴曲線は破壊形式によって相違し、以下2つのTypeに分けられる。

【Type I】 実験開始から大変形時に至るまでほとんど耐力低下はなく残留変形の少ない安定したループを描いている。第1ステップのループはS字形で面積の小さいプレストレスト部材の履歴特性を示しているが第2ステップからは面積が大きく膨らみ、通常のRC構造に似た傾向がみられる。これは主筋の降伏にともなうものと考えられる。

【Type II】 第1ステップも第2ステップも大きな耐力低下はみられず大変形時まで安定した紡錘形のループを描いている。最大耐力に達した後もそれに近い値でほぼ横ばいでR=6.3%まで達していることから鋼材の靱性のよさをあらわす典型的な鉄骨系の履歴特性とである。

以上より本構法は、S.T.の設計によりエネルギー吸収量に富んだ紡錘系と復元力に富んだ残留変形の少ないS字形を得ることができ、設計自由度を増すことが可能となる [C-3試験体]。

4-4 耐力

各試験体の実験値(降伏及び最大耐力)と[S]部及び[PC]部の耐力の計算値を表3に示す。ここで[S]部の耐力は図8に示されるようにS.T.の圧縮側と引張側との負担率を圧縮側で $\alpha=1/2$ と $2/3$ の負担の二通りとして、さらにせん断力スパン長は図4に示す様にフィレット端から接合端部までの $l_e=12.2\text{cm}$ と破壊状況によりヒンジ形成間の $l_e=9.6\text{cm}$ の2通りとして

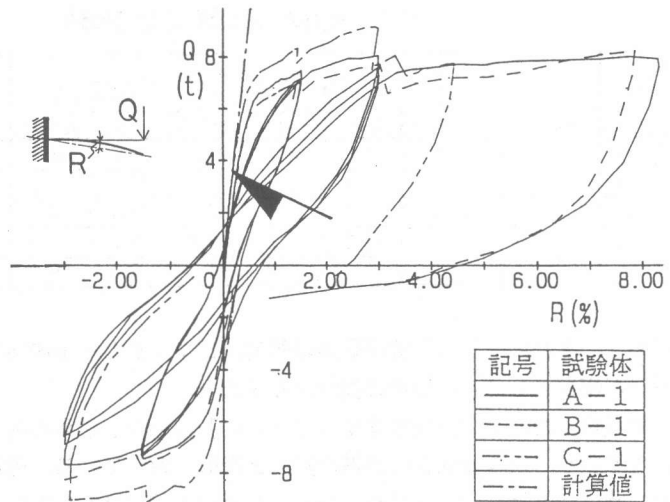


図13(a) 履歴ループ(Type I)

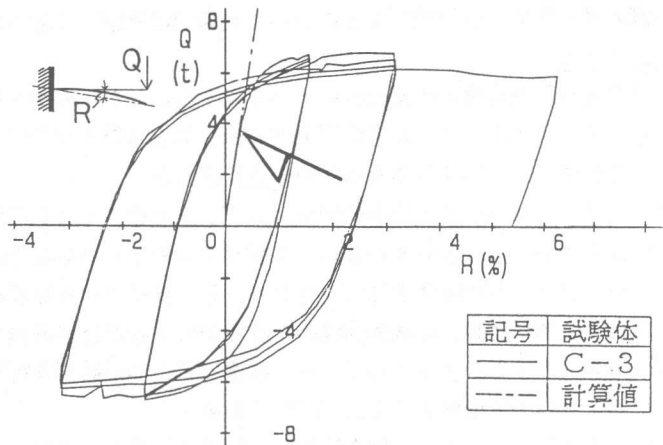
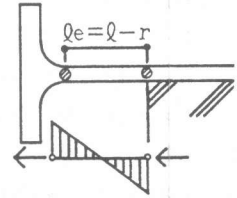


図13(b) 履歴ループ(Type II)

表3 耐力の 実験値 及び 計算値

(単位: tf)

	実 験 値		S 部 耐 力				PC部 耐力	
			l_e (cm)	σ_y の場合		σ_b の場合		
	降伏耐力	最大耐力		$\alpha=1/2$	$\alpha=2/3$	$\alpha=1/2$		$\alpha=2/3$
A-1	3.8	6.8	4.7	31.2	30.4	37.5	35.3	7.5
B-1	3.8	7.8	4.7	20.4	18.7	22.5	21.2	7.5
C-1	3.8	8.5	4.7	8.6	7.5	10.1	9.2	7.5
C-3	3.8	6.7	12.2	4.8	3.8	6.5	5.5	8.2
			9.6	5.9	4.7	7.5	6.4	8.2



求めた。また、[PC]部の耐力は鋼材及びコンクリートの応力及び～歪度関係を用いてボンドPC鋼材として平面保持の仮定より求めた。

破壊形式Type Iの試験体はすべて[PC]部のPC部材の耐力が[S]部のS.T.の耐力を下回っており、実験値はPC部材の耐力とほぼ一致している。破壊形式Type IIの試験体では降伏耐力時には $l_e=12.2$ 、 $\alpha=2/3$ の時と、最大耐力時には $l_e=9.6$ 、 $\alpha=2/3$ の時とほぼ一致している。しかし、S.T.のヒンジ部の形成位置及びこれに伴う反曲点の移動さらにS.T.の圧縮側と引張側のせん断力の負担状況などについて定量的に考察して耐力の検討を考える必要がある。

5. まとめ

PCばりと鉄骨柱との接合法について以下のことが明らかとなった

- 1) スプリットティーとPC部分との接合部を破壊させない方法があることが明らかとなり、これによって本構法の実用化の可能性がある。
- 2) スプリットティーのみの部分、スプリットティーとPC部材の接合部、PC部材のみの部分に分割して設計を行ない、スプリットティーの形状を変化させることにより、スプリットティー部の降伏を先行させたり、PC部材の曲げ破壊を先行させたりすることができ、比較的簡単に耐力や履歴曲線の形状を調整することが可能である。
- 3) スプリットティーせん断力の負担率はPC部材破壊先行型で1/2、スプリットティー降伏先行型でほぼ2/3に圧縮側で収束する。
- 4) スプリットティー降伏先行型において圧縮側と引張側の塑性ヒンジの発生位置が異なる。

【謝 辞】

本研究は(社)日本建設業経営協会・中央技術研究所と東京電機大学との共同研究として行われたものである。本研究の遂行にあたり東京電機大学大学院生栗田康平・林 渉氏、平成元年度卒研究生高橋雅晴・日野剛志・本多和人・望月満伸氏及び同大学3年長嶋訓氏の協力を得た。また試験体作成に際してはドーピー建設工業㈱、ピーエスコンクリート㈱、オリエンタルコンクリート㈱の協力を得た。これら関係各位に謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 中野清司,立花正彦,佐藤和孝,栗田康平,瀬尾卓也「プレストレストコンクリートと鉄骨柱との接合の関する研究(その1 構法の概要と基礎実験)」,日本建築学会大会,1989.10
- 2) 日本建築学会「プレストレストコンクリート設計施工基準・同解説」1987改訂
- 3) 日本建築学会「鋼構造塑性設計指針」1985
- 4) 日本鋼構造協会「高力ボルト接合」1972