

論文 はり主筋にプレート付ナット定着筋を用いた隅柱-はり接合部の三軸変動加力実験

新藤 健太^{*1}・倉本 洋^{*2}・前田 匡樹^{*3}・松島 基^{*4}

要旨：本研究は、プレート付ナット型定着金物をはり主筋に用いた隅柱-はり接合部の構造性能ならびに定着金物の有効性を調べることを目的として、三軸変動加力による実験を行った。その結果、はり端に定着金物を用いた試験体は、主筋をU字型折り曲げ定着した従来型試験体と同等以上の構造性能を示し、その適用に関して有効であるとの知見を得た。
キーワード：プレート付ナット定着筋、隅柱-はり接合部、三軸変動加力、付着特性

1. はじめに

近年の高層鉄筋コンクリート(以下RC)造建築物の普及や構造躯体の小断面化に対する要求から、特に柱-はり接合部の鉄筋配置が非常に密になり、コンクリート打設に支障をきたす例も報告されている¹⁾。また使用される鉄筋の太径化・高強度化に伴って、従来の折り曲げ加工が困難な状況が生じている²⁾。

本研究では、新しく開発されたネジ筋鉄筋用プレート付ナット型定着金物³⁾をはり主筋端部に用いた隅柱-はり接合部の力学的挙動を調べるため、はり主筋の定着方法および定着長さを変動要因として、三軸変動加力による静的載荷実験⁴⁾を行った。実験結果に基づいて、プレート付ナット型定着をはり端に施した場合の力学特性や変動軸力特に引張軸力を受けた時の部材の挙動について検討した。

2. 実験概要

2.1 試験体

本研究に用いた試験体の諸元を表-1に示す。試験体は、10層RCラーメン構造建築物の2階部分における隅柱-はり接合部を想定したもので、縮尺1/2相当とした。プレート

付ナット型定着の試験体2体、比較のための従来型U字型折り曲げ定着の試験体1体の計3体とした。プレート付ナット定着の試験体のうち、H試験体は通常の定着長3/4Dc(Dc:柱せい)(12d相当)を確保し、Hs試験体は定着長が不十分な場合の影響を調べるため、定着長1/2Dc(8d相当)とした。

試験体の配筋を図-1に示す。はりの断面は幅(b)×せい(D)=350×480(mm)、引張主筋は3-D25(SD490)、Pt=0.90(%)とした。あばら筋は2-D10@60(SD785)の高強度鉄筋を用いた。

試験体は、柱-はり接合部の付着破壊ならびにせん断破壊が先行するよう計画し、接合

表-1 試験体構造諸元

試験体名		U	H	Hs
定着方法		従来型 U字定着	プレート型 ナット定着	プレート型 ナット定着
定着区間長(mm)		—	通常 (295)	浅い (200)
はり	b × D 主筋(Pt) あばら筋(Pw)	350 × 480 (mm) 3-D25 SD490 (1.13%) 2-D10@60 SD785 (0.61%)		
柱	Bc × Dc 主筋(Pg) 帯筋(Pw) 接合部帯筋 (Pjw)	400 × 400 (mm) 12-D22 SD490 (2.90%) 4-D10@100 SD785 (0.71%) 2-D10@120 SD295A (0.30%)		

*1 (財)ベターリビング筑波建築試験センター 工博 (正会員)

*2 建設省建築研究所企画部 国際研究協力官 工博 (正会員)

*3 東北大学大学院助教授 工学研究科都市・建築学専攻 工博 (正会員)

*4 富山県庁(元横浜国立大学工学部建設学科)

部の帯筋を2-D10@120(SD295A)とした。これにより、はりの曲げ降伏耐力(弱曲げ方向)に対する付着耐力(靱性指針式⁵⁾)の余裕度は、定着長3/4Dcを確保した試験体で0.66、定着長の浅い試験体で0.50となった。また曲げ降伏耐力に対する接合部せん断耐力⁵⁾の余裕度は、定着長3/4Dcの試験体で0.79、定着長の浅い試験体で0.89となった。

コンクリート強度設定目標は $F_c=30$ (MPa)とした。試験時における鉄筋およびコンクリートの材料性状を表-2に示す。

2.2 荷重方法・測定方法

加力は図-2に示すように、柱軸力用2MNのアクチュエーター1本と、はり荷重用400kNアクチュエーター2本、試験体のねじれ等制御用400kNアクチュエーター3本をそれぞれフレームに取付け、三軸変動加力を行えるよう設置した。

加力サイクルを図-3、図-4にそれぞれ示す。加力は変位制御とし、図-3に示すように、はりの上側に生ずる変位を正(プラス)側と定め、直交するはりの座標が図-3に示す軌跡を描くように制御した。すなわちはりの変位は、図-4に示すように、原点を基点に4つのピークを経て原点に戻るまでを1サイクルとし、振幅は図-3に示すように1/400(rad)から徐々に増大させ、最終的には1/25まで荷重した。軸力は変動軸力とし、一つ前のステップにおける、直交はりのせん断力の総和を反映させるよう、(1)式によって算定された軸力を荷重した。

$$N=0.1 \cdot Bc \cdot Dc \cdot \sigma_{B+4} (bQ_x + bQ_y) \quad (1)$$

ここで、N：軸力(kN)

bQ_x ：EW方向はりのせん断力(kN)

bQ_y ：NS方向はりのせん断力(kN)

いずれのはりにもせん断力がない状態での基準軸力は526kNである。

3. 実験結果および検討

3.1 破壊性状

写真-1に加力終了時における各試験体の破壊性状を示す。いずれの試験体も、ひび割れの発生・進展状況は類似している。各試験体

表-2 鉄筋およびコンクリート材料性状

鋼種	部位	降伏強度 σ_y (MPa)	引張強度 σ_u (MPa)
D22 (SD490)	柱	521	679
D25 (SD490)	はり	551	729
D10 (SD295A)	接合部	397	557
D10 (SD785)	柱・はり	872	1019
コンクリート設計 基準強度 F_c (MPa)		圧縮強度 σ_B (MPa)	割裂強度 σ_t (MPa)
30		32.9	5.10

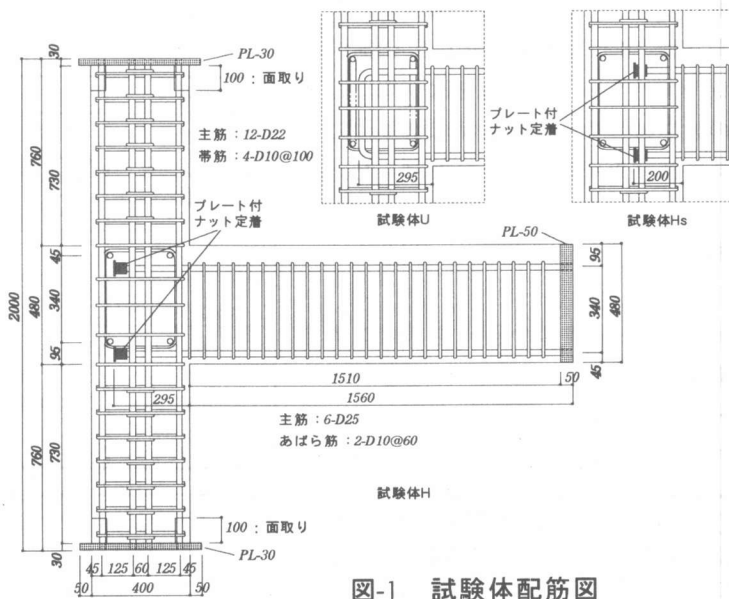


図-1 試験体配筋図

とも1/400サイクル時に、はり端と柱の境界付近に曲げ初ひび割れが発生し、続いて1/200サイクル時にはりの曲げひび割れが発生した。その後3/400サイクル時に、柱-はり接合部にせん断ひび割れが発生し、変位振幅の増大とともにはりの曲げひび割れおよび接合部のせん断ひび割れが進展した。

試験体Uでは、1/50サイクル以降、はり端と柱の境界付近のひび割れが大きくなり、はり主筋の抜け出しと考えられる破壊状況が観察された。一方試験体HおよびHsでは、1/50サイクル以降においてもはり主筋の抜け出しに起因すると思われる破壊状況は観察されず、逆にはり主筋の定着位置付近の接合部せん断ひび割れが著しく進展した。

3.2 はりせん断力-変形履歴曲線

各試験体のNS方向における、はりのせん断力と相対水平変位の関係を図-5に示す。はり主筋の定着方法の違い、またプレート付ナット定着筋の定着長に依らず、せん断力-変位の履歴性状は同様の傾向を示した。各サイクルのピーク時におけるせん断力は、従来型U字定着の試験体Uが最も低く、Hs、Hの順で高くなる傾向が認められた。また最もせん断耐力が高い試験体Hにおいても、はり主筋の降伏が一部認められるものの、はりの曲げ降伏強度には至らなかった。

3.3 柱軸力とはりせん断力の関係

各試験体の作用軸力とはりのせん断力の関係を図-6に示す。荷重方法の関係で若干の幅を持っているものの、ほぼ図中の式(1)による点線に沿って推移し、目標値をおおむね満足する結果になった。

3.4 柱-はり接合部のせん断変形

各試験体におけるはりのせん断力と接合部せん断変形の間を関係を図-7に示す。N-S、E-W方向とも、従来型U字定着の試験体に比してプレート付ナット定着の試験体で

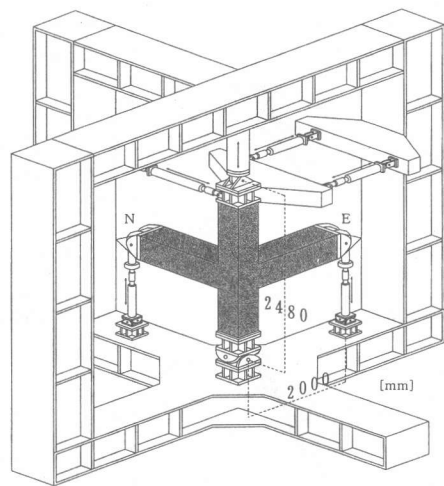
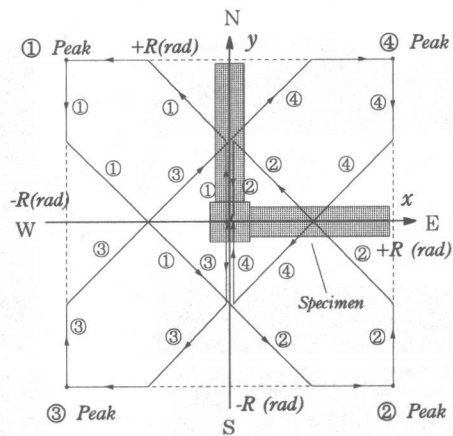


図-2 加力装置



$$R(\text{rad}) = 1/400 \rightarrow 2/400 \rightarrow 3/400 \rightarrow 1/100 \\ \rightarrow 1/67 \rightarrow 1/50 \rightarrow 1/25$$

図-3 加力サイクル

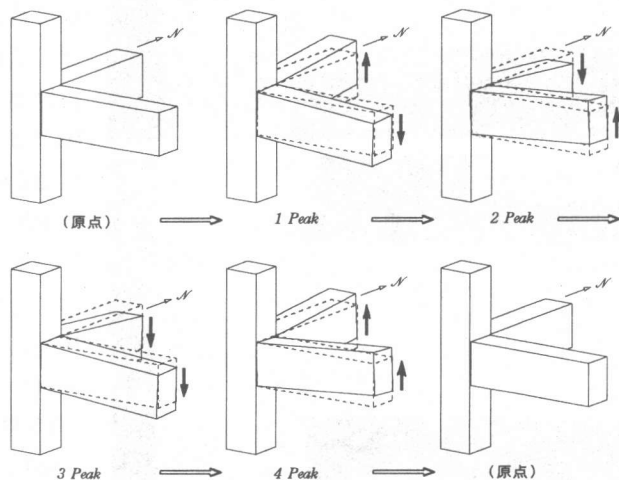


図-4 加力概念図

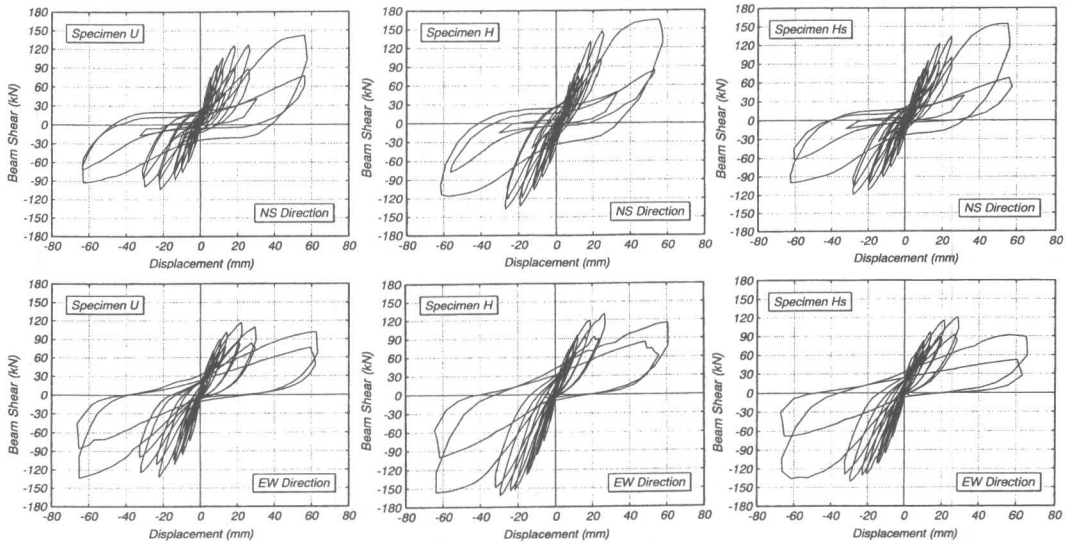


図-5 荷重-変形履歴曲線

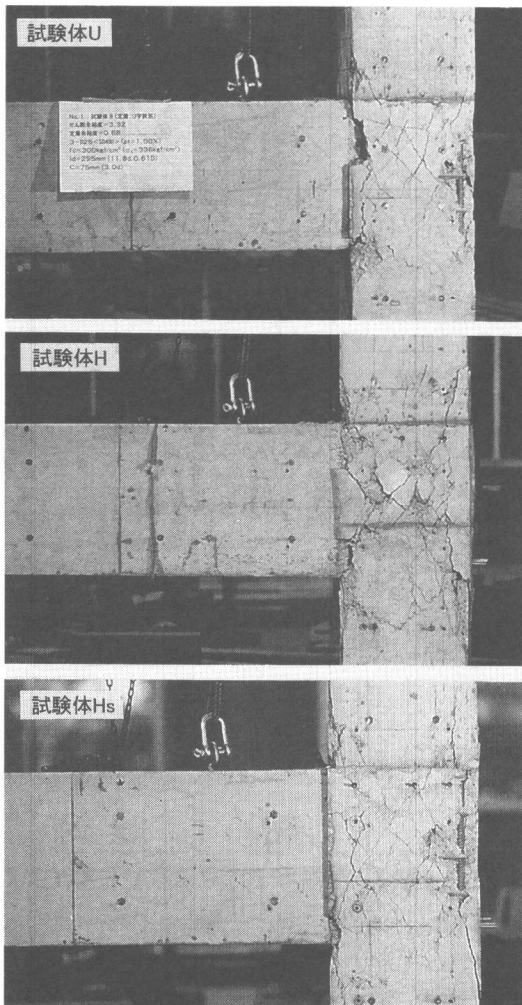


写真-1 最終破壊性状(西面)

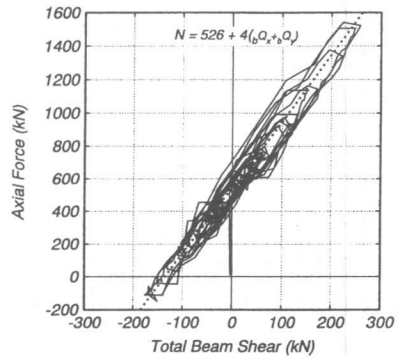


図-6 柱軸力とはりせん断力の関係

は接合部せん断変形が大きく発現した。これは、試験体Uでは定着不良によるはり主筋の抜け出しが生じたのに対し、試験体HおよびHsではプレート付ナット定着によって主筋の定着性能が改善された結果、接合部のせん断変形が卓越したものと考えられる。すなわち、最終的に試験体Uと、試験体HおよびHsでは、破壊形式に違いが生じたものと類推される。また試験体Hと試験体Hsに明確な差は認められなかった。

3.5 はり主筋のひずみ分布

第1ピーク時に引張側となるはり上端筋のひずみ分布を図-8に示す。X軸の0(原点)は柱

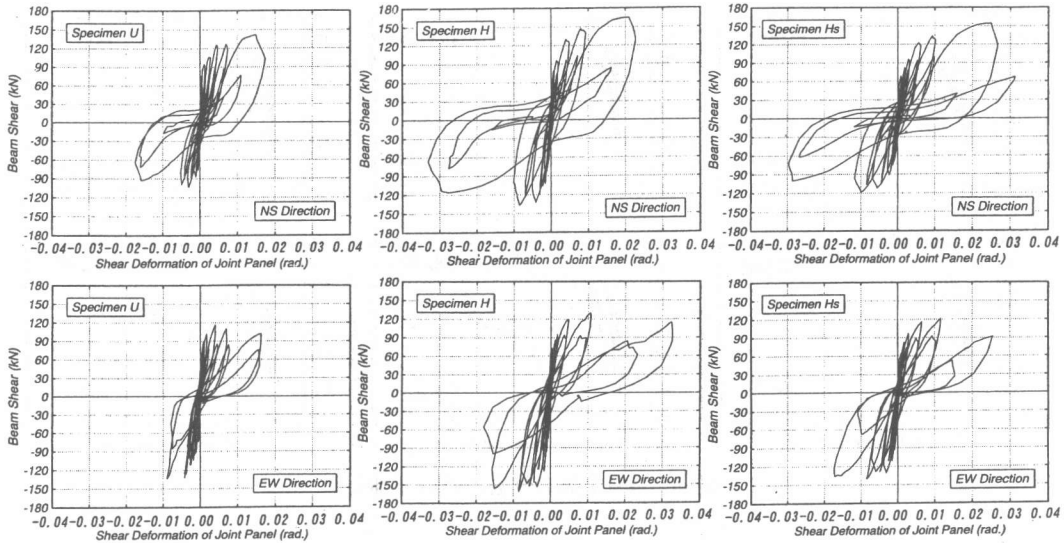


図-7 柱-はり接合部のせん断変形

とはりの境界(危険断面)位置を示し、負(マイナス)側は接合部、正(プラス)側ははり部にそれぞれ該当する。その結果、U型定着試験体は柱部にひずみ勾配を持っているのに対し、プレート付きナット型定着試験体は、定着長さに係わらずひずみ勾配がほとんど認められなかった。これは、はり主筋の引き抜き抵抗のほとんどを、プレート部の支圧によって保持しているためであると考えられる。これより通常の定着長(3/4Dc)の2/3しかない試験体Hsが、他の試験体とほぼ同等の構造性能を示した一因であると推察される。

3.6 はり主筋の付着性状

プレート付きナット定着筋を用いた試験体H、HsのN-S側(南面)におけるはり主筋のすべり(引抜き)性状を図-9に示す。図中のRight-NSは直交ばりのない西側主筋、Left-NSはE-W直交ばりのある東側主筋をそれぞれ示す。その結果、定着長さが浅い試験体Hsでは位置による明確な差は認められなかったのに対し、定着長

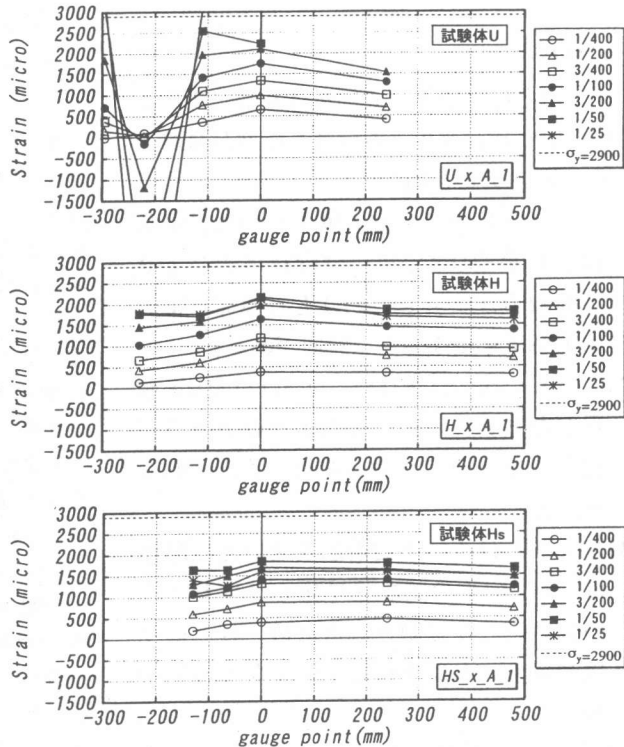


図-8 はり主筋のひずみ分布

3/4Dcを確保した試験体Hでは直交ばりのあるLeft-NSほどすべり量も少なくなる傾向が認められた。これは定着長3/4Dcを確保した場合、かぶりコンクリートのはく離や直交ば

りとの境界(危険断面)位置を示し、負(マイナス)側は接合部、正(プラス)側ははり部にそれぞれ該当する。その結果、U型定着試験体は柱部にひずみ勾配を持っているのに対し、プレート付きナット型定着試験体は、定着長さに係わらずひずみ勾配がほとんど認められなかった。これは、はり主筋の引き抜き抵抗のほとんどを、プレート部の支圧によって保持しているためであると考えられる。これより通常の定着長(3/4Dc)の2/3しかない試験体Hsが、他の試験体とほぼ同等の構造性能を示した一因であると推察される。

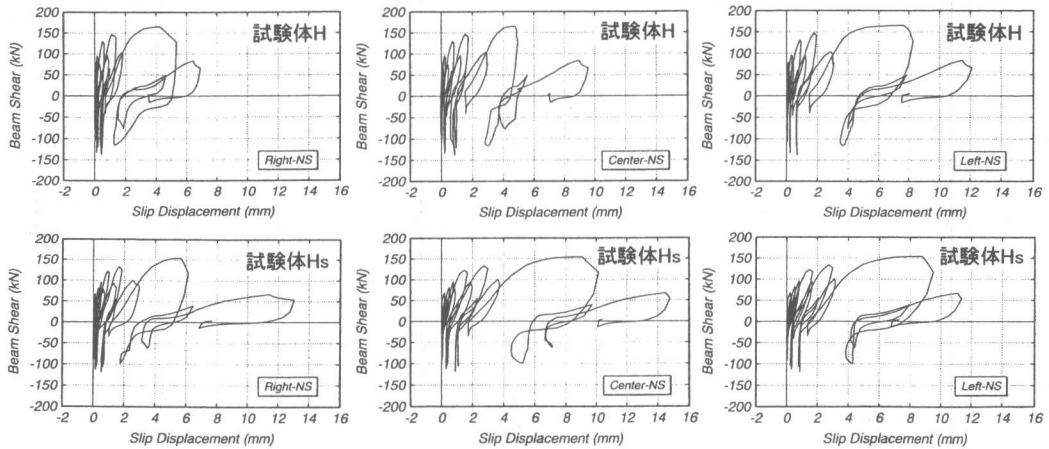


図-9 はり主筋の付着性状(N-S側)

りによるコアコンクリートの拘束効果が顕在化するためであると考えられる。

4. まとめ

プレート付ナット定着筋をはり端に用いた隅柱-はり接合部の二方向せん断载荷試験の結果、以下の知見を得た。

- (1) プレート付ナット定着筋を用いた試験体は、従来型U字定着の試験体に比してせん断耐力が上昇し、繰り返し载荷による耐力低下も少なくなる傾向がある。
- (2) 定着長の浅い試験体は、定着長 $3/4D_c$ を確保した試験体に比して若干の耐力低下が見られたものの、おおむね同等の挙動を示した。
- (3) プレート付ナット定着筋を用いた試験体は、U字定着の試験体に比してはり主筋の抜け出しが抑制されるため、柱-はり接合部のせん断変形が大きくなる傾向がある。
- (4) U字定着の試験体に比してプレート付ナット定着の試験体では、接合部内のひずみ分布に勾配がなくほぼ一定であった。すなわち曲げによるはり主筋引張力のほとんどはプレート部の支圧抵抗によって保持されている状況が認められる。

- (5) 上記の結果を総括すると、プレート付ナット型定着は、従来型U字定着に比してはり主筋の抜け出しを抑制し、定着性能の改善に有効である。

【謝辞】

本研究は、(財)日本建築防災協会に設けられた「機械式定着工法研究委員会(委員長:岡田恒男)」の一環として行われたものである。関係各位に記して謝意を表する次第です。

【参考文献】

- 1) 宮内靖昌ほか：柱主筋を圧接こぶ定着としたRC架構の力学性状に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.3，pp.313-318，1999.7
- 2) 木村秀樹：はり主筋端部に鉄筋こぶ定着を用いた高強度コンクリート外部柱・はり接合部の力学性状に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21，No.3，pp.691-696，1999.7
- 3) 小西覚ほか：特殊定着金物を用いたRC造はり主筋定着法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.17，No.2，pp.1195-1200，1995
- 4) 杉広邦夫ほか：ハイブリッド構造に関する日米共同研究(RCS-29)-RCS造柱はり接合部の2方向载荷実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，C-2，構造Ⅲ，pp.271-272，1998.9
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート建造物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，日本建築学会，1997.7