

論文 Tヘッドバー工法の開発

塩屋俊幸^{*1}・中澤春生^{*2}・長澤保紀^{*3}・高岸正章^{*4}

要旨：兵庫県南部地震以後，耐震設計規定が厳格化し，土木構造物では橋脚などのせん断補強筋および中間帯鉄筋の量が増えている。また，高層建築では高強度コンクリートを用いて柱断面を小さくすることが出来たが，一方で，はり・柱接合部が過密配筋となっている。過密配筋の施工性を改善する工法として，Tヘッドバー工法を開発した。実験内容は(1)組織観察，(2)定着耐力試験，(3)引き抜き試験，(4)柱主筋定着部実験，(5)ト形接合部実験である。各種実験結果からTヘッドバーが十分な定着性能などを持っていることが実証された。

キーワード：鉄筋定着，Tヘッドバー，組織変化，接合部

1. まえがき

兵庫県南部地震以後，耐震設計規定が厳格化し，土木構造物では橋脚などのせん断補強筋および中間帯鉄筋の量が増えている。また，高層建築構造物では高強度コンクリートを用いることで，柱断面を小さくすることが出来たが，一方で，はり・柱接合部が過密配筋となっている。過密配筋の施工性を改善し，工期短縮とコストダウンに直結する工法として，Tヘッドバー工法を開発した¹⁾。Tヘッドバーとは鉄筋端部を高周波誘導加熱シテーパー付き孔スプレートを取り付けしたもの，あるいはプレートなしで鉄筋端部を成形したものである(写真-1参照)。今後，施工の合理化をめざしてせん断補強筋および中間帯鉄筋として現状使われている両端フック重ね継ぎ手配筋，あるいは接合部における主筋のフックに替わってフックの無いTヘッドバーが使われてくるものと考えられる。Tヘッドバーは面的構造物^{2)~6)}(例えばタンクの側壁，耐震壁)とか隅角部^{7)~10)}(例えばラーメン橋脚，建物)

など配筋が複雑な所に有効である。

本論文では開発に伴って行った(1)組織観察，(2)定着耐力試験(3)引き抜き試験(4)柱主筋定着部実験(5)ト形接合部実験について述べる。

2. Tヘッドバーの熱成形による組織変化

Tヘッドバー成形部近傍の組織観察とビッカース硬さ試験を実施し，成形部近傍の材質の健全性を裏付ける資料とするため行った。

図-1に，観察位置および硬さ試験位置を示す。図中には，成形時の最高到達温度も併せて示した。

写真-2に組織観察結果の一例を示す。C点からH点では，組織の変化はほとんど無く，フェライト-パーライトの混合組織となっている。B点では，母材と同様のフェライト-パーライトの混合

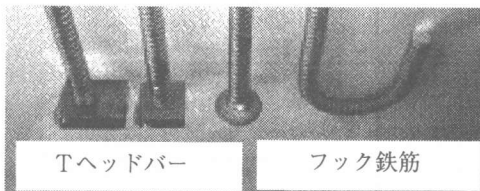


写真-1 Tヘッドバーとフック鉄筋の比較

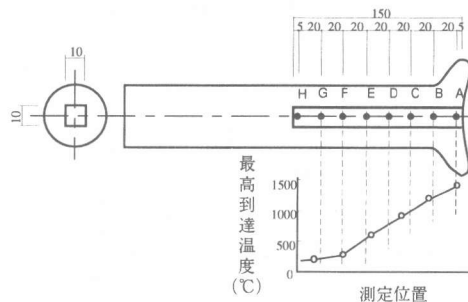


図-1 撮影位置

*1 清水建設(株)技術研究所構造研究開発部主任研究員 工博(正会員)

*2 清水建設(株)技術研究所構造研究開発部副主任研究員 工修

*3 清水建設(株)技術研究所土木研究開発部主席研究員 工修(正会員)

*4 第一高周波工業(株)技術統括本部技術部長

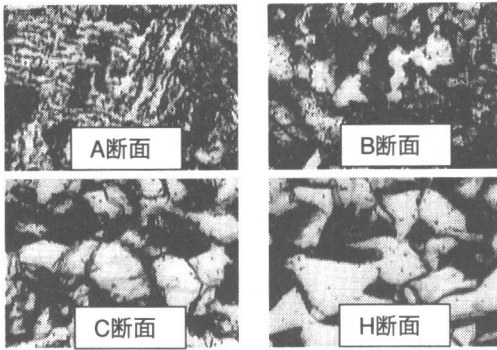


写真-2 組織観察結果 (倍率: ×200)

組織となっているが、フェライト粒の大きさが小さくなっている。最高到達温度が1400℃であったA点では、上部ベイナイト組織がみられ、この位置では冷却速度(800℃→500℃)が大きかったために変態したものと考えられる。

図-2にピッカース硬さ試験結果を示す。B点からH点の区間では、硬さの変化はほとんど無く母材部とほぼ同じ値となっている。上部ベイナイト組織がみられたB点からA点の区間では、成形部の端部に近づくほど硬くなっているが、最高硬さは210程度である。いずれの部位においても著しい硬化部が無いことが分かる。

上記の組織観察および硬さ試験の結果から、本工法の適用による材質面への影響は無いものと判断される。

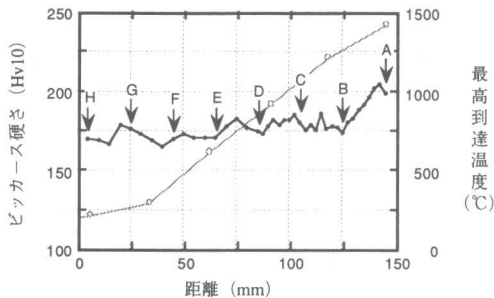


図-2 ピッカース硬さ試験結果

3. 定着耐力, 引き抜き試験結果¹⁾

ここでは、Tヘッドバーの定着耐力, 引き抜き時のTヘッドバーの抜け出し性状に関して実験的に検討したので報告する。Tヘッドバーの形状を図-3に示す。

定着耐力実験においては表-1に示す要因と水準

で試験体を設定した。鉄筋のフシによる付着耐力が定着耐力に影響を与えるので、純粋なコーン破壊耐力として算定できるように、鉄筋埋込み部フシ表面をサラダ油で少し柔らかくした油粘土で覆い、さらに、ラップフィルムで包み、打込みコンクリートとの付着を切った。コーン破壊の影響範囲をTヘッドバー頭部から60°として図-4に示す。実験時のコンクリート圧縮強度は31.2N/mm²であった。

抜け出し性状実験においては表-2に示す要因と水準で試験体を設定した。図-5に示すようにせん断補強鉄筋として使用した場合にかぶりコンクリートが剥落した状態での抜け出し性状をみられるように試験体を製作し、図示した位置での抜け出し量計測を行ないながら、図-5に示す載荷装置で

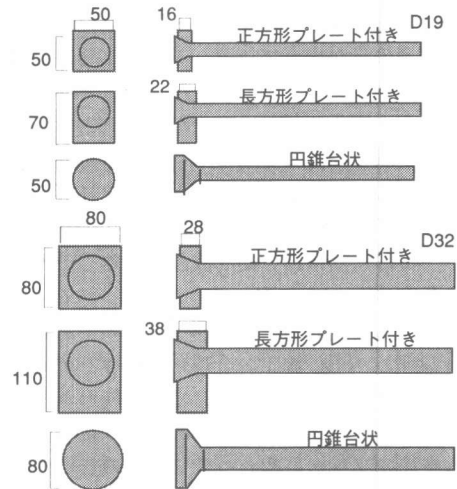


図-3 Tヘッドバーの形状

表-1 定着耐力試験体の要因と水準

試験片 No.	鉄筋	有効埋め込み長さ比 l_e/ϕ	頭部形状
S1904N	D19 SD490	4	円錐台状
S1904S			正方形プレート
S1904R			長方形プレート
S1908N	Py= 153 kN	8	円錐台状
S1908S			正方形プレート
S1908R			長方形プレート
S3204N	D32 SD490	4	円錐台状
S3204S			正方形プレート
S3204R			長方形プレート
S3208N	Py= 426 kN	8	円錐台状
S3208S			正方形プレート
S3208R			長方形プレート

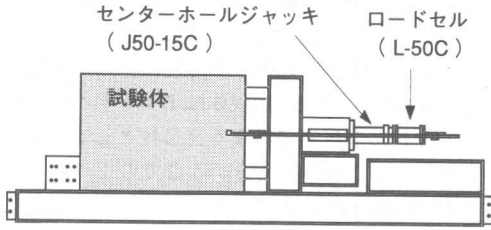
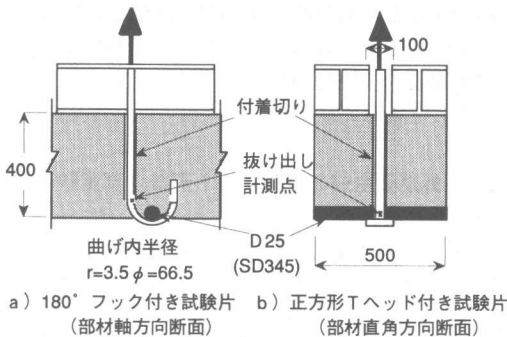


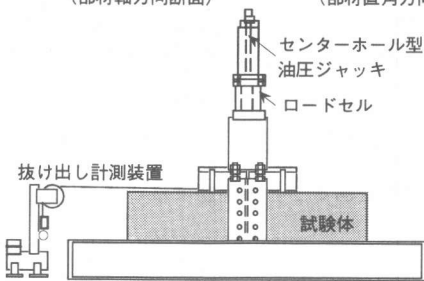
図-4 定着耐力実験載荷装置

表-2 抜け出し性状試験体

試験片No.	鉄筋定着部形状
S19J	180° フック
S19N	円錐台状
S19S	正方形プレート
S19R	長方形プレート



a) 180° フック付き試験片 (部材軸方向断面) b) 正方形Tヘッド付き試験片 (部材直角方向断面)



c) 抜け出し性状実験載荷装置

図-5 抜け出し性状実験試験体形状と載荷装置

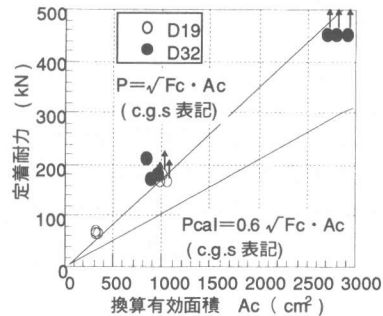
静的単調増加で載荷した。

定着耐力実験結果は表-3、図-6の通りであり、D19、D32ともに埋込長さ 4ϕ でコンクリート破壊、 8ϕ で鉄筋降伏する結果を得、矩形支圧面積を円形支圧面積に換算することにより、建築学会「頭付きアンカーボルトの設計」での設計式で推定可能な見通しが立った。

抜け出し性状実験結果は図-7の通りである。P

表-3 定着耐力実験結果一覧表

試験体名称	埋込深さLe (cm)	換算半径 D (cm)	換算有効面積Ac (cm ²)	定着耐力 P cal (kN)	実験値 Pmax (kN)	Pmax / P cal
S1904N	7.6	5	300.8	31	72	2.32
S1904S	7.6	5.6	316.2	33	67	2.03
S1904R	7.6	6.7	340.8	35	68	1.94
S1908N	15.2	5	964.6	101	167以上	1.65↑
S1908S	15.2	5.6	995.2	105	183以上	1.74↑
S1908R	15.2	6.7	1044.6	110	167以上	1.52↑
S3204N	12.8	8	836.4	88	213	2.42
S3204S	12.8	9	877.7	92	172	1.87
S3204R	12.8	10.6	940.4	99	183	1.85
S3208N	25.6	8	2702.3	283	451以上	1.59↑
S3208S	25.6	9	2784.9	292	451以上	1.54↑
S3208R	25.6	10.6	2910.2	305	451以上	1.48↑



注) 図中の↑印は引き抜き力が鉄筋降伏耐力を越えた為、コンクリート破壊耐力としては、これ以上あることを示している。

図-6 定着耐力-換算有効面積

プレート付きTヘッドバーは、円錐台状Tヘッドバーおよび180°フック鉄筋と比べ、引き抜き荷重50kN未滿で抜け出し量が多い傾向を示す。これは抜け出し性状試験体ではプレート部を型枠の外に配置した為、コンクリートのモルタル分が鉄筋とプレートとの隙間に回り込むことはなく、鉄筋とプレートのガタ付きがそのまま実験結果に反映されたからである。先に実施した定着耐力試験体ではコンクリート中に埋め込んでおり、実験終了後に観察したところ、コンクリートのモルタル分が鉄筋とプレートとの隙間に回り込み、鉄筋とプレートとのガタ付きはみられなかった事から、引き抜き荷重50kN時の抜け出し量を零とした相对比较してみると、プレート付きTヘッドバーと円錐台状Tヘッドバーはほぼ同一の抜け出し性状を示し、鉄筋降伏荷重時で約0.2mm程度に対して、180°フック鉄筋は約1.8mmと大きい値を示した。

これらの結果から以下の事項が明らかとなった。1) 長方形プレート型Tヘッドバー・正方形プレート型Tヘッドバー・円錐台状Tヘッドバーの3

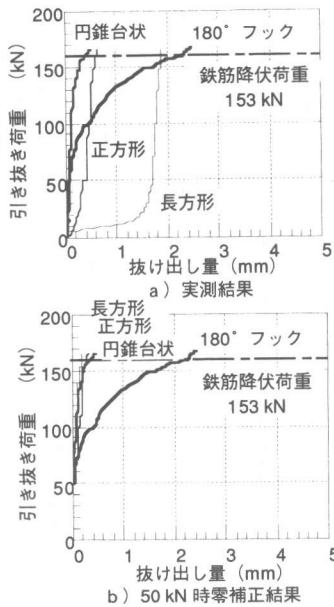


図-7 引き抜き荷重-抜け出し量

種類の定着耐力は、コンクリートのコーン破壊・鉄筋の降伏・頭背面の支圧から決まる、頭付きアンカーボルトの定着耐力と同一な設計式で推定できる。2) 長方形プレート型Tヘッドバー・正方形プレート型Tヘッドバー・円錐台状Tヘッドバー、および180°フック鉄筋の4種類について抜け出し性能を実験的に比較した結果、鉄筋の降伏耐力を越えて十分に定着できる。しかしながら、長方形プレート型Tヘッドバー・正方形プレート型はガタ付きが大きき50kN以下の荷重では抜け出し量が大きくなった。円錐台状Tヘッドバーは180°フック鉄筋と比較して抜け出し量が小さく、180°フック鉄筋と同等以上の定着性能を有している。

4. 柱主筋定着部実験 (CFT柱-RCはり仕口)¹¹⁾

ここではCFT柱とRCはりの接合部の新しい接合方法を開発し、実験した結果について報告する(図-8参照)。TH1試験体はTヘッドバーを用いてCFT柱の全耐力ではなくRC柱としての耐力を得ようとしたものである。ここでのTヘッドバーは鉄筋端部を高周波誘導加熱シテーパー付き孔空プレートを取り付けたものである。PC1試験体はナット付PC鋼棒を用いることにより、またTH2試験体は2重根巻き鋼管に大量のTヘッドバーを用いることにより、CFTの全耐力をRCはりに伝達しようとしたものである。もう一つの特徴としては鉄筋あるいはPC鋼棒はCFT鋼管の直径の1.5倍の長さだけ鋼管側に飲み込ませてあり、全くずれ止めを配していないことである。実験結果を図-9に示す。図中の●印は最大荷重と最大荷重時の水平変形による付加曲げを考慮した曲げ耐力を示す。予測どおりTH1試験体は鉄筋コンクリートとしての耐力を示し、PC1試験体とTH2試験体はCFTを上回る耐力が得られた。したがって今回開発した3種類の接合方法は目的に応じて採用できることが明らかとなった。

5. 外端梁主筋を定着するト形接合部実験 (RC柱-RC梁架構)

ここでは、RC梁の外端の主筋定着部にTヘッドバーを用いた場合のト形接合部実験の結果を報告する。

主筋の端部にTヘッドバー等の定着コブを設けることは、過密配筋となりがちな柱梁接合部の配筋の簡素化を実現でき、現場工数の削減を図ることが期待できる。本実験は、そのような工夫をした接合部の構造性能が、一般的な定着方法による場合と同等であることを確認することを目的と

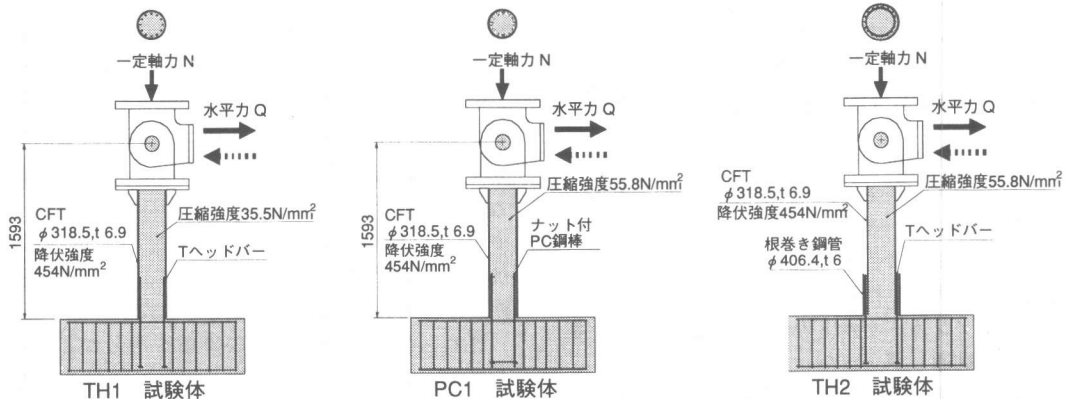


図-8 試験体概要

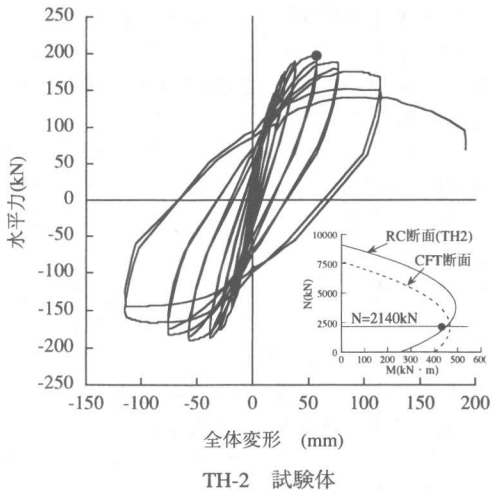
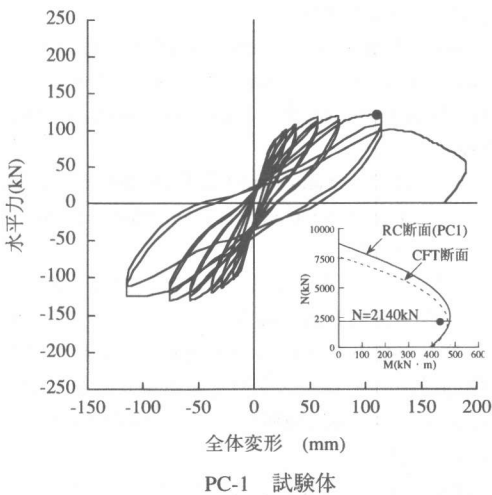
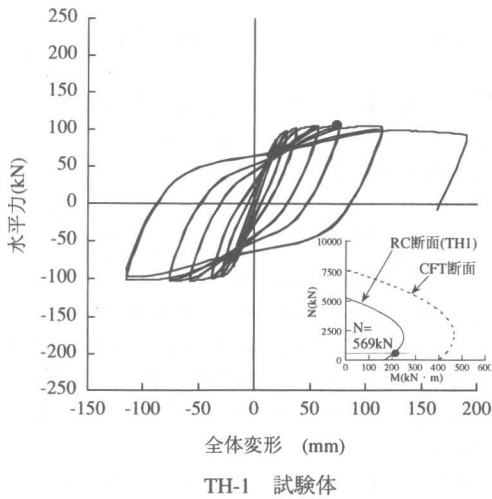


図-9 実験結果

して実施したものである。

試験体の形状および加力の概要を図-10に示す。同図には使用した材料の規格等も記載しているが、実験時のコンクリート強度は柱および接合部のコンクリート (Fc60) が78.8N/mm²、梁のコンクリート (Fc48) が56.3N/mm²であった。なお、本実験では正方形プレート型Tヘッドバーを用いている。加力は、図示のとおり、梁先端に正負交番の変位漸増繰り返し力を与えるものとした。

実験結果を図-11、最終破壊状況を写真-3、4に示す。荷重-変形関係、破壊状況とも、Tヘッドバー定着の試験体はU字形定着の試験体と同等であり、安定したヒステリシス・ループを示している。この結果より、梁主筋の端部をTヘッドバー定着とした場合の構造性能は従来形式とほぼ同等であると結論できる。

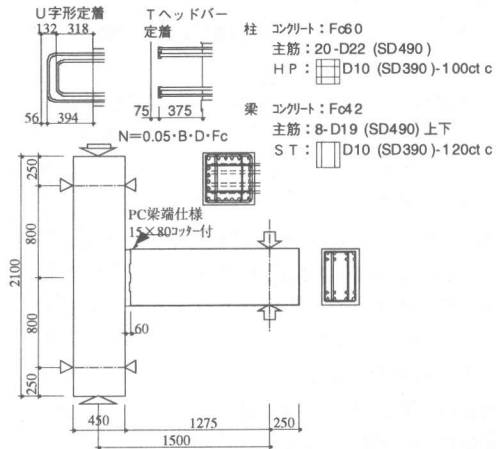


図-10 試験体形状および加力概要

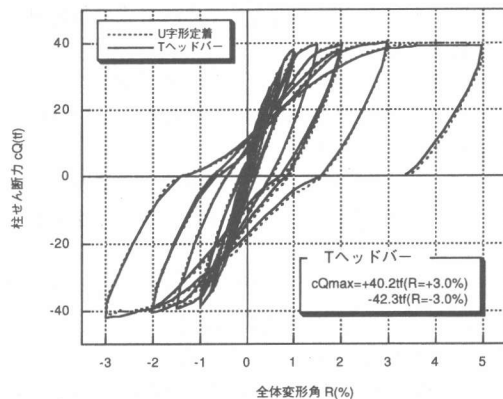


図-11 実験結果

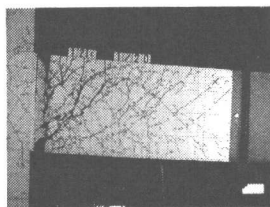
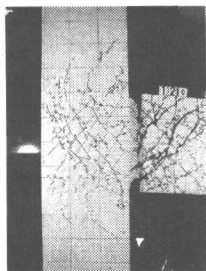


写真-3 U字形定着試験体 最終破壊状況

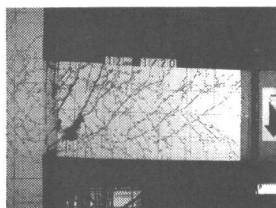
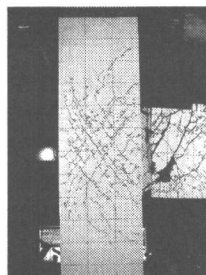


写真-4 Tヘッドバー定着試験体 最終破壊状況

6. まとめ

兵庫県南部地震以後、耐震設計規定が厳格化し、土木構造物では橋脚などのせん断補強筋および中間帯鉄筋の量が増えている。また、高層建築構造物では高強度コンクリートを用いることで、柱断面を小さくすることが出来たが、一方で、はり・柱接合部が過密配筋となっている。過密配筋の施工性を改善し、工期短縮とコストダウンに直結する工法として、Tヘッドバー工法を開発した。各種実験結果を以下にまとめる。

- (1)組織観察結果から高周波誘導加熱による影響は強度や靱性を悪化させるような状態では無いことが分かった。
- (2)定着耐力試験結果から定着耐力は建築学会「頭付きアンカーボルトの設計」での設計式で推定可能な見通しが立った。
- (3)長方形プレート型Tヘッドバー・正方形プレート型はガタ付きが大きく50kN以下の荷重では抜け出し量が大きくなった。円錐台状Tヘッドバーは180°フック鉄筋と比較して抜け出し量が小さく、180°フック鉄筋と同等以上の定着性能を有している。
- (4)柱主筋定着部実験(CFT柱-RCはり仕口)から今回開発した3種類の接合方法は目的に応じて採用できることが明らかとなった。
- (5)外端梁主筋を定着するト形接合部実験(RC柱-RC梁架構)から梁主筋の端部を正方形プレート型Tヘッドバーとした場合の構造性能は従来

形式とはほぼ同等であることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 長澤紀保, 塩屋俊幸, 塩川英世, 高岸正章, 前之園: Tヘッドバーの定着性状, 第54回土木学会年次学術講演会, VI-256, pp.512-513, 1999年9月
- 2) 中村泰介, 田中良弘, 中野謙, 山本平: プレート定着型せん断補強鉄筋, コンクリート工学, Vol.36, No.9, pp.8-14, 1998年9月
- 3) 中村泰介, 吉田諭, 清水伸彦, 足立英明: 過密配筋部へのプレート定着型せん断補強鉄筋の適用, 土木学会第53回年次学術講演会, VI-192, pp.384-385, 1998年10月
- 4) Dale E. Berner, Ben C. Gerwick, Jr., and George C. Hoff: T-Headed Stirrup Bars, Concrete International, pp.49-53, May 1991
- 5) Dale E. Berner and George C. Hoff: Headed Reinforcement in Disturbed Strain Regions of Concrete Members, Concrete International, pp.48-52, January, 1994
- 6) Walter H. Dilger and Amin Ghali: Double-Head Studs as Ties in Concrete, Concrete International, pp.59-66, June 1997
- 7) 吉田啓喜, 岡本晴彦, 菅野俊介, 宮下昭広, 太田道彦, 宮内靖昌: 端部にコブを設けた梁主筋の柱・梁接合部内における定着性能に関する実験的研究(その3 ト型骨組実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.683-684, 1994年9月
- 8) 村井和雄, 岡本晴彦, 菅野俊介, 吉田啓喜, 太田道彦, 宮内靖昌: 端部にコブを設けた梁主筋の柱・梁接合部内における定着性能に関する実験的研究(その4 引抜き実験とト型骨組実験), 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-2, pp.685-686, 1994年9月
- 9) 宮内靖昌, 佐々木照夫, 鴻野良太, 村井和雄: 柱主筋を圧接コブ定着とした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
- 10) 木村秀樹: 梁主筋端部に鉄筋コブ定着を用いた高強度コンクリート外部柱・梁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
- 11) 塩屋俊幸, 勝沢勝栄, 出羽克之, 佐藤孝典, 塩川英世: CFT柱とRCはりの新しい接合部方法の開発, 第4回複合構造の活用に関するシンポジウム論文集, 1999年11月, pp.219-224