

論文 プレート定着型せん断補強鉄筋を用いた部材の耐震性能

小林昭男*1・趙 唯堅*2・田中良弘*3

要旨：RC部材の中間帯鉄筋を対象にして、耐震性能および施工性の向上を目的に開発されたプレート定着型せん断補強鉄筋の、定着プレートの設計方法、部材の被りコンクリート剥落への影響、および靱性への効果を検討した。設計には、定着部の引抜き変位などに着目したFEM解析を用い、検証として実験結果と比較した。また、壁部材の面外交番載荷実験の結果に基づき、定着プレートの影響による被りコンクリートの早期剥落がないこと、および従来の曲げフック定着を用いた場合に比して部材の靱性が向上することを示した。

キーワード：せん断補強鉄筋、プレート定着、拘束効果、靱性、被りコンクリート

1. はじめに

阪神・淡路大震災の教訓を踏まえて、コンクリート標準示方書や道路橋示方書が改訂され、耐震設計の構造細目^{1, 2)}において、中間帯鉄筋の定着には、135度曲げフックや半円形フックの使用を標準として規定している。しかし、高密度配筋に対して鋭角曲げフックの中間帯鉄筋の配筋方法としては、その中央を機械継手で接合する高コストの方法で施工しなければならない場合がある。

この課題の解決策の一つとして、中村ら(1998a)³⁾は図-1に示したような、定着にプレートを用いる方法を提案している。また、定着にプレートを用いる効果については、DilgerとGhali(1997)⁴⁾が、壁体の軸圧縮において、

横方向鉄筋端部の定着にプレートを用いたことによるコンクリートの横方向拘束による耐力向上効果を示している。また、定着部の引抜き変位については、DykenとKepp(1988)⁵⁾が、半円形フックよりも小さいことを示している。さらに、施工性とコスト効果については、中村ら(1998b)⁶⁾が、実施工への適用例によって有効性を示している。

これらの研究によりプレートによる定着の効果は明らかになっているが、必要最小限のプレート寸法の設計方法を明確にする必要があり、また、耐震性能として、靱性に対する効果も検討しておく必要がある。

そこで本研究では、これらに対し、数値解析および構造実験の結果に基づいて、定着プレートの設計方法、靱性への影響・効果などについて論じる。

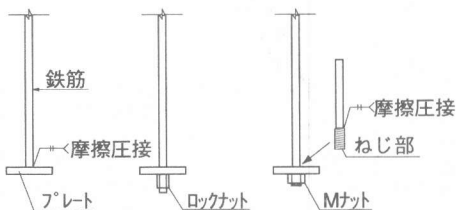


図-1 プレート定着の例

2. 定着プレートの設計

2.1 設計の条件

プレート定着に期待される性能は、示方書に規定されている半円形フック定着と同等以上の

*1 大成建設(株) 技術研究所土木研究部土木構造研究室主任研究員 工博 (正会員)

*2 大成建設(株) 技術研究所土木研究部土木構造研究室 工博 (正会員)

*3 大成建設(株) 技術研究所土木研究部部長 Ph.D (正会員)

性能である。ここで、比較する定着性能は、定着部の引抜き変位とする。ただし、プレートと鉄筋は摩擦圧接により接合し、接合部は鉄筋の引張強度まで破壊しないことを前提とする。

プレートの最小寸法としては、鉄筋が降伏に至っても、プレートおよび周辺のコンクリートを破壊させないための平面寸法や厚さが必要である。これらを条件として、適切な寸法のプレートを合理的、かつ効率的に設計するためには、図-2に示すような構造モデルにおける定着部の引抜き挙動を照査し、引抜き変位、プレートやプレート周辺のコンクリートの応力状態を把握する必要がある。数値シミュレーションの方法は、プレート定着については3次元FEM解析、半円形フック定着については2次元FEM解析が有効であることを中村ら(1998a)¹⁾が示しており、本研究でもこれに準じる。ただし、プレート定着に対する3次元FEM解析は計算労力が非常に大きいので、軸対称FEM解析の適用を検討する。

2.2 設計に用いる数値解析モデル

図-3は軸対称解析の概略モデル図である。要素のタイプは、ソリッド要素である。要素分

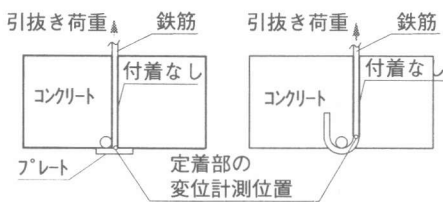


図-2 定着部の引抜きモデル

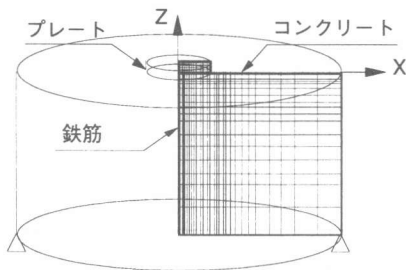


図-3 軸対称解析モデル

割した各材料の間には、実現象を忠実に再現するための境界条件を設定する。即ち、コンクリートとプレートの間は、滑動が可能な境界とするために、接触要素を用いる。また、コンクリートと鉄筋の間は、定着部の強度のみで生じる挙動を表現するために、付着力のない境界とする。支点では鉛直方向の変位のみを拘束する。荷重は、鉄筋の端部の要素に、等分布荷重として作用させる。解析に用いる材料の応力-歪み関係は、コンクリート標準示方書に準じ、材料の破壊基準は、鉄筋、プレートに対してはVon Mises則を、コンクリートに対してはDruker-Prager則を用いる。なお、コンクリートの破壊は、応力ひずみ曲線の終局ひずみにより判定するものとする。なお、本論で示す解析モデルおよび実験供試体の反力スパンは480mm、コンクリート部材の高さは300mmとした。

2.3 設計例

使用材料の材質は、コンクリートの設計基準強度を30MPa、鉄筋をSD345、プレートをSM490Aとし、中間帯鉄筋の径をD22とした場合を例に示す。前項の条件によって数値解析を行い、引抜き変位特性が半円形フック定着と同等になるように設計したプレート形状は、直径40mm、厚さ16mmとなる。このときの引抜き特

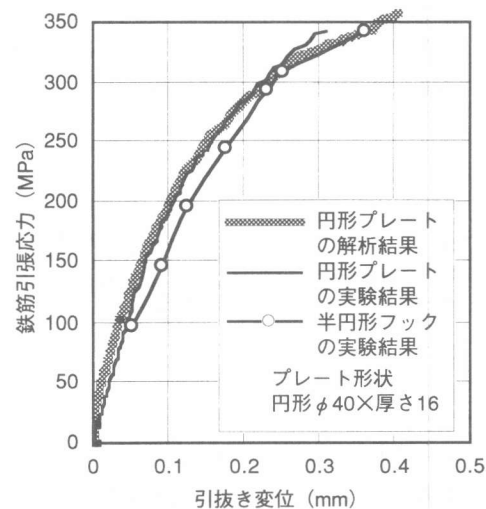


図-4 円形プレート定着部の引抜き変位

性を図-4に示す。図中には、設計の目標であるD22の半円形フック定着の引抜き実験結果、およびプレート定着の引抜き実験の結果を併記した。数値解析結果は実験結果の現象を良く再現している。また、プレートおよびプレート周辺のコンクリートのひずみの解析結果と実験結果の比較を、プレートが直径50mm、厚さ12mmの場合を例に、図-5に示す。プレートのひずみは、鉄筋との接合位置の真裏の位置における半径方向の値であり、鉄筋の引張により圧縮ひ

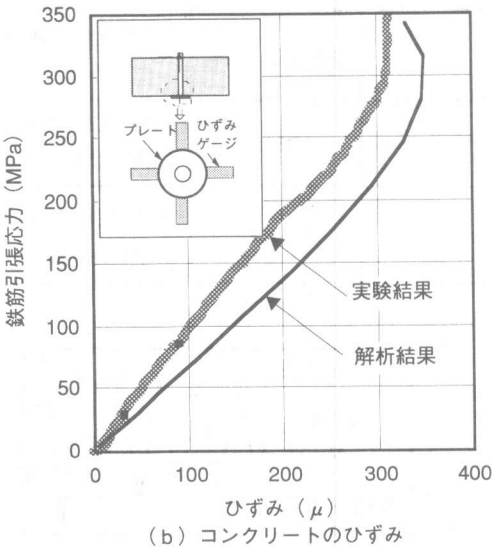
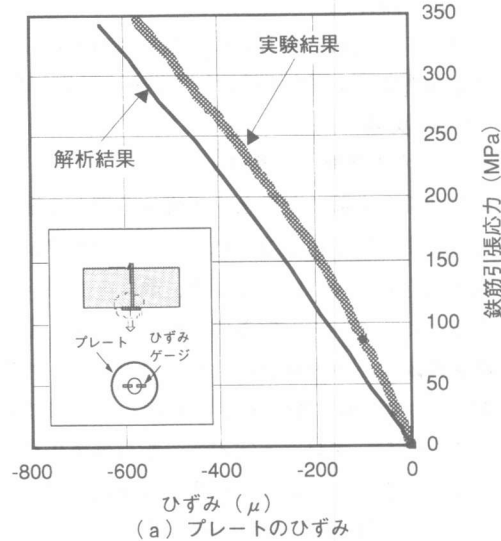


図-5 ひずみの比較

ずみが生じている。コンクリートのひずみは、プレートのひずみ解析位置の延長上の表面における半径方向の値であり、実験においては表面ゲージを用いて計測した。解析と実験の結果は、共にプレートの支圧の影響を受け、引張ひずみが生じている。両者の結果はよく一致しており、これらの結果は軸対称FEM解析が設計に充分適用できることを示している。なお、図示のようにコンクリートには引張強度を上回るひずみが生じているが、実験ではひび割れは観察されなかった。

この方法で設計されたプレートは円形であるが、帯鉄筋に掛けるためには矩形プレートが有利である。コンクリートとの接触面が大きくなれば、コンクリートの破壊に対しては有利になるので、直径を短辺とし、長辺は帯鉄筋に掛かる長さに設計する。

なお、以上の設計では、全ての材料係数は1.0としているが、実設計においては、示方書に示されたコンクリートの材料係数1.3を用いることにより、安全側のプレート寸法が設計できる。

3. 部材耐力への効果

3.1 実験概要

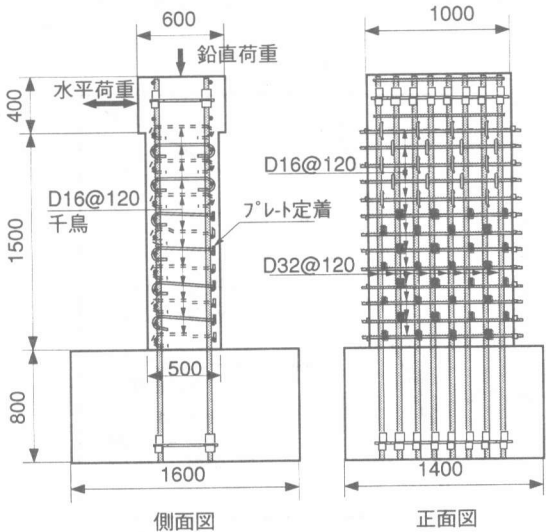


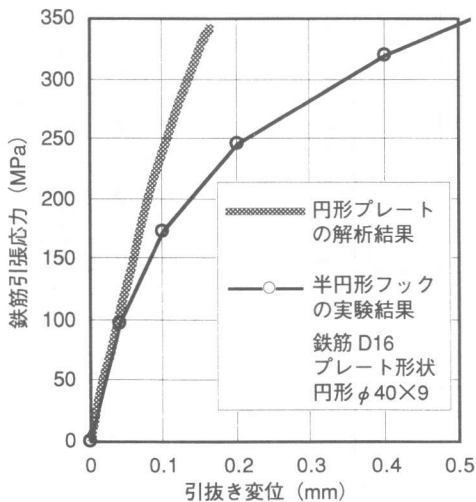
図-6 交差載荷実験の供試体

(1) 供試体

部材耐力への効果を検討するために、中間帯鉄筋の定着にプレートを用いた壁部材の交番載荷実験を行った。供試体は、図－6に示すように、断面寸法が0.5m×1.0mの矩形である。フーチング表面から載荷点までの高さは1.7mであり、せん断スパン比は4.0（有効せい425mm）である。配筋は、壁体の破壊が曲げ卓越になるように設計した。鉛直方向鉄筋にはD32、帯鉄筋を模擬した水平方向鉄筋にはD16、中間帯鉄筋にはD16を用いた。供試体の引張鉄筋比は1.5％、せん断鉄筋比は0.66％であり、曲げ／せん断耐力比は2.0とした。中間帯鉄筋の定着形状は、一端をプレート、反対側を半円形フックとし、双方の効果が比較できるものとした。プレートの形状は、前述の方法で設計し、D16の帯鉄筋に掛かる形状として、短辺40mm×長辺60mm×厚さ9mmとした。このときの引抜き特性の設計結果を図－7に示す。なお、使用材料は壁体供試体と同様であり、設計に際しては、コンクリートの材料係数を1.3とした。

(2) 材料特性

コンクリートは呼び強度30MPa、早強ポルトランドセメントを用い、粗骨材の最大寸法は20mm、スランブは18cmとした。鉄筋の材質は



図－7 円形プレート定着部の引抜き変位

全てSD345とし、中間帯鉄筋の定着プレートの材質はSM490Aとした。コンクリート、鉄筋、プレートの材料試験結果を表－1に示す。

(3) 載荷方法

荷重は、鉛直方向に3MPaの軸圧縮応力を載荷し、水平方向には、主鉄筋が降伏した変位の整数倍になるように、変位制御で交番荷重を載荷した。なお、水平方向の載荷の開始は、プレート定着側が圧縮になる方向とした。載荷履歴を図－8に示す。

(4) 計測内容

全ての荷重状態において、載荷点の変位、鉛直方向鉄筋および中間帯鉄筋の歪みを計測した。

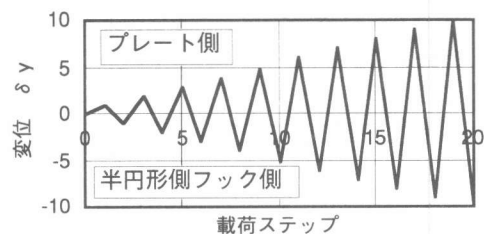
3.2 実験結果

(1) 水平荷重と変形の関係

交番載荷実験の荷重と水平変位の関係を図－9に示す。著しい耐力の低下が、半円形フック側圧縮時10δyで生じたため、載荷を10δyで終了した。プレート定着側の耐力低下は、最終状態の耐力と最大耐力の比で0.87であり、半円形フック側の耐力低下は、同様の比で0.72であることから、プレート定着側の耐力低下の少ないことが判る。これは、後述の破壊状況で示す

表－1 材料試験結果

材料	仕様	強度試験結果
コンクリート	基準強度30MPa	試験日強度38.0MPa (材令14日)
鉄筋	SD345	降伏強度386MPa 引張強度599MPa
プレート	SM490A	降伏強度376MPa 引張強度559MPa



図－8 載荷履歴

ようにプレートによるコンクリートの拘束効果に起因するものと考えられる。以上より、プレート定着を用いた場合の靱性は、半円形フック定着を用いた場合よりも大きいことが示された。

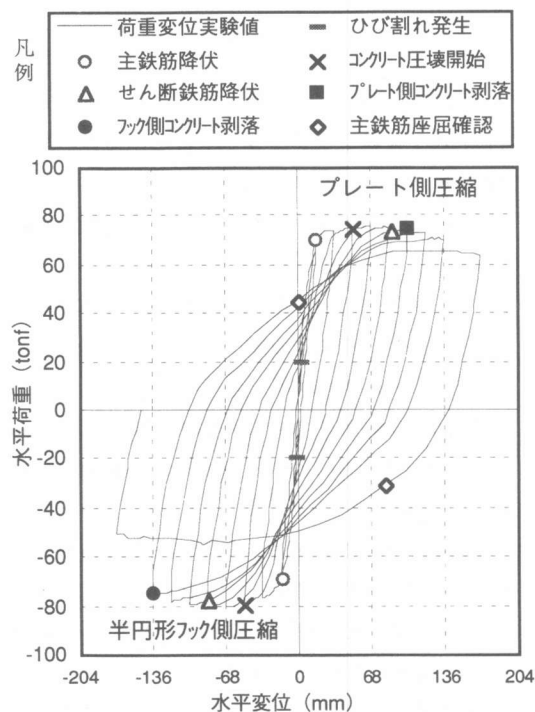


図-9 荷重-水平変位曲線

(2) 破壊状況

初期の荷重ステップでは、壁面にはほぼ帯鉄筋の位置に曲げひび割れが入り、半円形フック側とプレート側の違いはほとんどなかった。荷重ステップ $5\delta y$ で最下段の中間帯鉄筋が降伏し、壁面の下部の圧壊が進展し、最下部の被りコンクリートの剥落の前兆があった。プレート定着側の被りコンクリートの剥落は、この後の $6\delta y$ で生じ、半円形フック側の面は $8\delta y$ で生じた。荷重ステップ $6\delta y$ の場合のひび割れ、剥落状況を図-10に示す。半円形フック定着の場合には、フックがはらみ出すまでは被りコンクリートの剥落影響は生じにくい。これに対してプレート定着の場合は、プレート表面が滑らかなため、被りコンクリートとの付着が充分期待できず、剥落が生じやすいとの懸念があったが、この実験結果から、被りコンクリートの早期剥落は生じないことが判った。

載荷ステップ $10\delta y$ のときの供試体の破壊状況を図-11に示す。半円形フック側は $8\delta y$ から $10\delta y$ において、フックの拔出しと、これに伴う帯鉄筋の弛みが生じてコアコンクリートは破壊したが、プレート定着側のコアコンクリート

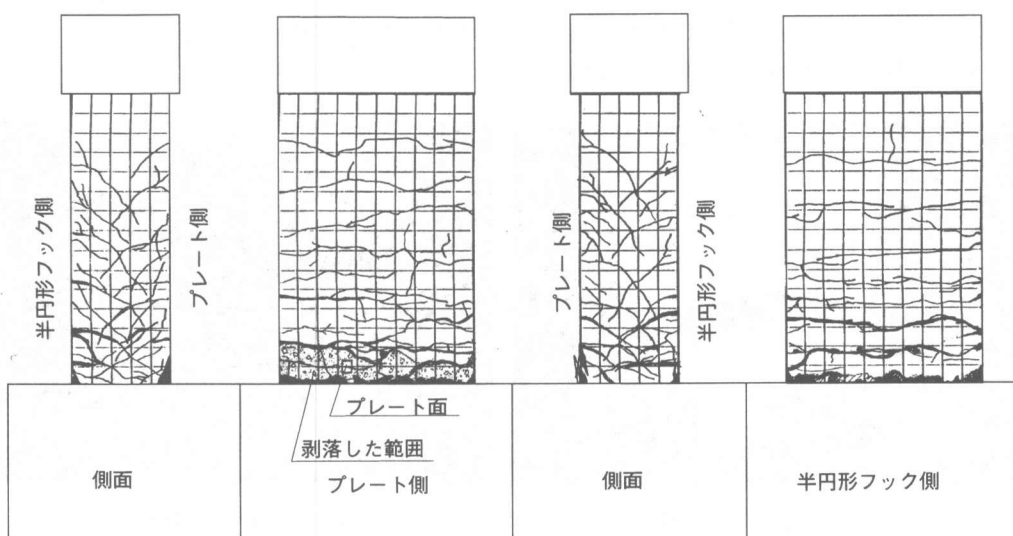


図-10 ひび割れ、剥落状況 ($6\delta y$)

トは破壊に至らなかった。中村ら(1998a)³⁾が行った梁のせん断破壊実験の結果においても、プレート定着の場合のせん断ひび割れの進展は半円形フック定着よりも小さく、半円形フック定着の拔出しによってコアコンクリートが破壊した荷重においても、プレート定着の周辺のコンクリートには顕著な破壊が生じないことが示されている。これらの現象は、プレートの定着効果が優れていること、およびプレートによるコンクリートの拘束効果が高いことを示しており、定着構造として半円形フック定着よりプレート定着が優れていることを示している。

4. まとめ

本研究は、プレート定着型せん断補強鉄筋の設計方法と部材耐力への効果を、数値解析および構造実験の結果に基づいて論じ、以下の結論を得た。

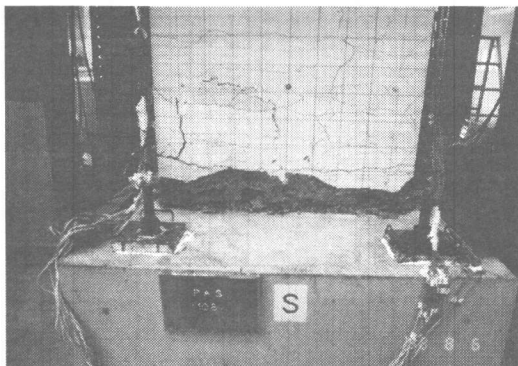
- 1) プレートの設計は、軸対称FEM解析による引抜き実験の照査結果に基づいて行うことができる。
- 2) プレートにより被りコンクリートが早期に剥落する影響を設計に考慮する必要がない。
- 3) 定着プレートによるコンクリートの拘束効果は大きいことが、実験により明らかになった。
- 4) プレート定着を用いた場合、繰返し荷重による部材の耐力低下が少なく、靱性を向上させる

効果がある。

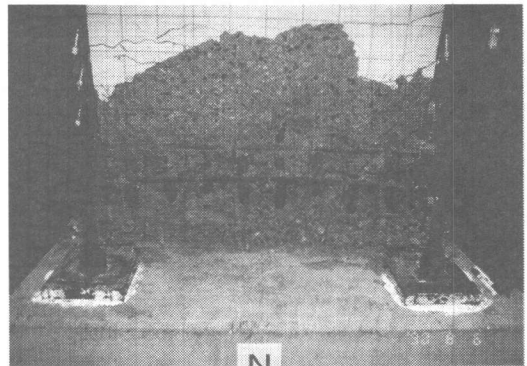
以上のように、プレート定着は定着効果およびコンクリートの拘束効果が高い定着であり、これらの効果を定量的に評価したせん断補強の設計方法が、今後の重要な課題になるものと考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会編：コンクリート標準示方書，耐震設計編，1996，pp.16-22.
- 2) 日本道路協会編：道路橋示方書，耐震設計編，1996，pp. 138-145.
- 3) 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. 9，1998，pp. 8-14.
- 4) Dilger, W., Ghali, A., : DOUBLE-HEAD STUDS AS TIES IN CONCRETE, Concrete International, No. 6, 1997, pp.59-66.
- 5) Dyken, T., Kepp, B., : PROPERTIES OF T-HEADED REINFORCING BARS IN HIGH STRENGTH CONCRETE, Nordic Concrete Research, No. 7, 1988, pp. 41-51.
- 6) 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，土木学会年次講演会論文集，VI - 192，1998，pp. 384-385.



(a) プレート側



(b) 半円形フック側

図-11 破壊状況 (108 y)