

プレートを用いた新しいせん断補強鉄筋

Shear Reinforcement Mechanically Anchored with Steel Plate Heads

古 市 耕 輔 福 田 一 郎
山 中 宏 之¹⁾ 永 谷 達 也¹⁾

要 約

プレート定着型せん断補強鉄筋は、従来の半円形フックのせん断補強鉄筋の代替として適用するもので、鉄筋端部に接合したプレートの支圧により定着を確保する方法である。この方法は、近年の耐震性向上を目的とした過密配筋による施工性低下及びそれに伴うコスト増加を解決する方法として期待されている。そこで、プレートと鉄筋端部をフラッシュ溶接法で接合するもの（J フットバー）とネジフシ鉄筋にプレートを螺合するもの（プレートフック）の2種類のプレート定着型せん断補強鉄筋を開発した。各種の性能確認実験を実施し、今回開発したプレート定着型せん断補強鉄筋が、従来の半円形フックと同等以上の性能を有することを確認した。

目 次

- I. はじめに
- II. プレート定着型せん断補強鉄筋の概要
- III. 性能確認実験
- IV. まとめ
- V. おわりに

I. はじめに

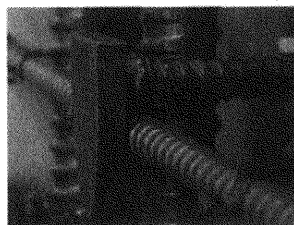
阪神淡路大震災以降、各種設計基準が改定となり、耐震性向上を目的にせん断補強鉄筋量が増加するとともに、半円形フックのせん断補強鉄筋が標準となり、施工性の低下及びそれに伴うコストの増加が問題となっている。このような状況の中、2002年度版のコンクリート標準示方書では、従来の半円形フックに替えて、プレートなどを用いる定着方法についても、一定の性能を満足すれば使用して良い旨が明記された¹⁾。そこで、従来品よりも優れた施工性を有しかつ経済的なプレート定着型せん断補強鉄筋を開発することとした。

II. プレート定着型せん断補強鉄筋の概要

1. 概 要

プレート定着型せん断補強鉄筋は、はり部材や壁・スラブ部材のせん断補強筋や柱の中間帯鉄筋を対象としている。プレート定着型せん断補強鉄筋は、両端半円形フックでは施工が困難な場所でも、組立て手順が簡素化でき安全で迅速な施工が可能となる。

今回の開発では、フレーム解析及び FEM 解析を行い、プレート形状の最適化を図った。材料としては、このプレート形状を経済的に実現するためダクタイル鋳鉄を用いた。また、せん断補強鉄筋や中間帯鉄筋の定着部は、最外縁に配筋された鉄筋に掛かることにより、定着機能のほかに主鉄筋の座屈抑制や帯鉄筋を拘束する機能を有する必要がある。したがって、プレート定着部が主鉄筋または帯



J フットバー
(J-Footbar)



プレートフック
(Plate-hook)

Photo 1 プレート定着型せん断補強鉄筋
(Shear Reinforcement Mechanically Anchored with Steel Plate Heads)

鉄筋を十分に拘束できるように、プレートは最外縁に配筋された鉄筋に掛かるのに十分な大きさとした。

プレートと鉄筋端部の接合方法として、Photo 1 に示すフラッシュ溶接法を用いるもの（以下、J フットバー）とネジ式定着のもの（以下、プレートフック）の2種類を開発した。

2. J フットバー

J フットバーは、プレートと鉄筋の接合にフラッシュ溶接法を用いるものである。フラッシュ溶接法とは、部材を接合する際に火花（フラッシュ）を発生させて、溶接面を熔融した状態で接合する自動溶接法であり、レールの接合などで豊富な実績がある。工場での製造であり製作効率が高いうえ、火花の発生により接合面の酸化物や不純物を排出できることから品質安定性にも優れている。

3. プレートフック

プレートフックは、スリーブと一体となったプレートをネジフシ鉄筋に螺合するものである。機械式でかつ樹脂注入により一体化させるため、必要に応じて現場での接合も可能である。これまで、ネジ式定着は主鉄筋を対象とした研究はなされているが²⁾、本開発で

1) 土木設計本部

キーワード：せん断補強鉄筋，プレート，定着，
支圧，施工性

Table 1 セン断補強鉄筋及び中間帯鉄筋としての照査項目、要求性能及び確認事項
(Experimental Parameters)

	照査項目	要求性能	確認事項
力学的特性	プレート接合部の機械的性質	せん断補強鉄筋の規格引張強度まで健全とする。	プレートと鉄筋の接合部の強度
	定着性能	せん断補強鉄筋の規格降伏強度まで健全とする。接合部の引抜き変位は半円形フックと同等以上。	・定着部の変位 ・プレートの強度 ・プレート下面のコンクリート強度
	主鉄筋の座屈抑制効果及び部材の靱性向上効果	半円形フックと同等以上。	・部材耐力 ・主鉄筋座屈時の荷重と変位 ・コンクリート、プレートのひずみ ・かぶりコンクリートの剥落状況
施工性	施工手順の簡素化、工期短縮効果、作業における安全性の向上効果、コスト縮減効果などを確認する。		

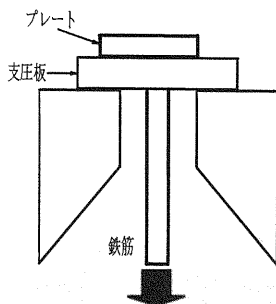


Fig.1 接合部引張試験方法
(Tensile Test of Joint Part)

は、せん断補強鉄筋を対象とした Table 1 に示す要求性能を満足するように、形状及び材質を設定した。

Ⅲ. 性能確認実験

1. 概要

プレート定着型せん断補強鉄筋の性能確認として、コンクリート標準示方書の規定を踏まえて要求性能を設定し、Table 1 に示す性能確認試験を実施し、半円形フック（余長 8φ）との比較を行った。

2. 接合部強度確認試験

プレートと鉄筋の接合部の強度を確認するため、プレートを接合した供試体を用いて単体の引張試験を実施した。J フットバーについては、鉄筋の材質が溶接に与える影響を考慮して、一部の径で SD295A 及び SD345 の 2 種類の材質でプレートフックでは SD345 について試験を実施した。プレートフックの螺合山数は、最小螺合山数の 4 山、スリーブへのグラウト注入無しで試験を実施した。Fig.1 に載荷要領を示す。Table 2 及び Table 3 に試験結果を示す。試験結果は、いずれも 3 本の供試体の平均である。いずれの試験体も、せん断補強鉄筋の規格引張強度に対して接合部は健全であった。

以上のことから、プレート定着型せん断補強鉄筋の接合部強度は適用対象としている SD345 までの範囲で母材の規格引張強度を満たすことが確認された。

3. 定着性能確認試験^{3,4)}

(1) 試験概要

プレート定着型せん断補強鉄筋の定着性能の確認として、コンク

Table 2 接合部強度確認試験結果 J フットバー
(Results of Joint Strength : J-footbar)

鉄筋径	材質	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)
D13	SD295A	347	481
	SD345	406	577
D16	SD295A	359	525
	SD345	399	613
D19	SD295A	338	510
	SD345	393	600
D22	SD295A	321	493
	SD345	393	606
D25	SD345	382	558
D29	SD345	391	574
D32	SD295A	327	510
	SD345	402	595

Table 3 接合部強度確認試験結果 プレートフック
(Results of Joint Strength : Plate-hook)

鉄筋径	材質	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)
D13	SD345	384	550
D16		388	551
D19		368	569
D22		385	576
D25		383	571
D29		385	563
D35		400	577
D51		393	577

リート中に配置したせん断補強鉄筋の引抜き力実験を行った。Fig.2 に試験体形状及び計測位置を示す。実験では、実構造物においてかぶりコンクリートが剥離した状態を想定し、定着部の被拘束鉄筋よりも外側にはコンクリートを設けず、また定着部の性能のみを確認する目的から、定着部以外は鉄筋表面に粘土を配して付着力が作用しないようにした。変位の計測は、定着部付近の鉄筋にワイヤーを

Table 4 定着性能確認試験結果一覧
(Summary of Test Results)

試験体No.	抜け出し変位*1) (mm)	残留抜け出し変位*2) (mm)	圧縮強度*3) (N/mm ²)	高応力繰返しの有無
D13-UH	0.46	0.27	31.7	○
D16-UH	0.74	0.51	30.2	○
D19-UH	0.66	0.24	31.7	○
D22-UH	1.06	0.61	26.5	○
D25-UH	0.78	0.45	31.7	○
D29-UH	0.82	0.47	31.7	○
D32-UH	1.61	0.96	29.8	○
D35-UH	0.95	0.56	31.7	○
D51-UH	0.85	0.41	33.2	○
D16-JH	0.08	0.06	30.1	○
D22-JH	0.21	0.12	26.5	—
D32-JH	0.22	0.10	29.8	—
D13-PH	0.04	0.04	31.7	○
D16-PH	0.02	0.00	30.2	○
D19-PH	0.07	0.03	31.7	○
D25-PH	0.14	0.07	31.7	○
D29-PH	0.16	0.11	31.7	○
D35-PH	0.14	0.06	31.7	○
D51-PH	0.22	0.07	33.2	○

試験体 No.の説明: D○○-△△

○○: 鉄筋径, UH: 半円形フック, PH: プレートフック

JH: J フットバー

*1: 規格降伏応力 95%を1回載荷した時の抜け出し変位

*2: 規格降伏応力 95%を1回載荷した後同2%に除荷した際の抜け出し変位

*3: 実験時のコンクリート圧縮強度

取り付けて行った。載荷は、鉄筋の規格降伏応力の95%まで載荷して除荷を行った後、規格引張荷重まで載荷した。また、高応力繰返しに対する性能確認として、一部の径を対象に規格引張荷重まで載荷する前に、規格降伏応力の95%で30回の繰返し載荷を行った。

(2) 試験結果

Table 4 に試験結果の一覧を示す。Fig.3 に鉄筋応力-変位関係の抜粋を示す。すべての鉄筋径について、プレート定着型の抜け出し変位は、半円形フックの抜け出し変位よりも小さく、規格降伏応力95%を1回載荷して同2%に除荷した際の残留抜け出し変位について、プレート定着型せん断補強鉄筋はすべて0.3mm以下であった。高応力繰返しについても、プレート定着型は半円形フックに対して抜け出し変位の進展が非常小さかった。

Fig.4 に鉄筋応力とプレートひずみの関係を示す。鉄筋に掛かる側のプレートひずみは反対側よりも大きい、その値はすべての試験体で弾性範囲内であることを確認した。

荷重除荷後に試験体下面の観察を行ったところ、半円形フックの試験体は定着部の周囲にひび割れが確認されたが、プレート定着型の試験体では、ひび割れは確認されず健全な状態を保っていた。このことから、プレートは十分な支圧面積があり、コンクリートに作用する局所応力は小さいものと考えられる。

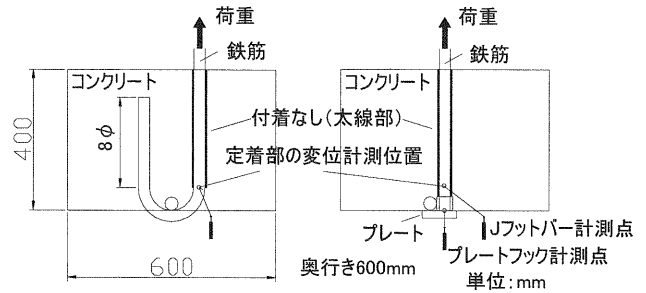
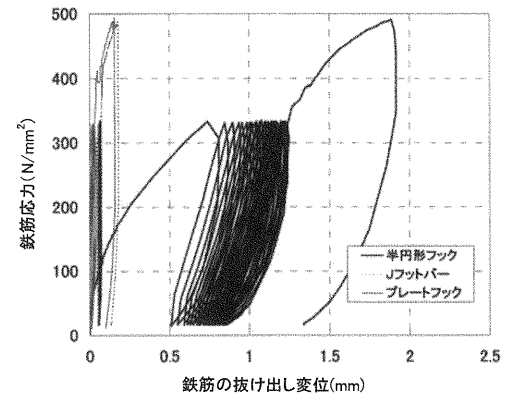
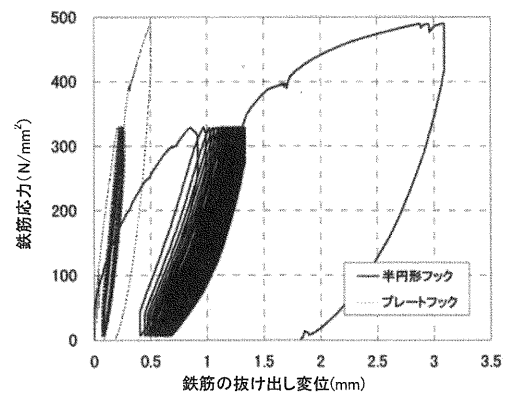


Fig.2 試験体形状
(Test Specimens)



(a) D16



(b) D51

Fig.3 鉄筋応力-抜け出し変位の関係
(Relationship of Stress and Displacement)

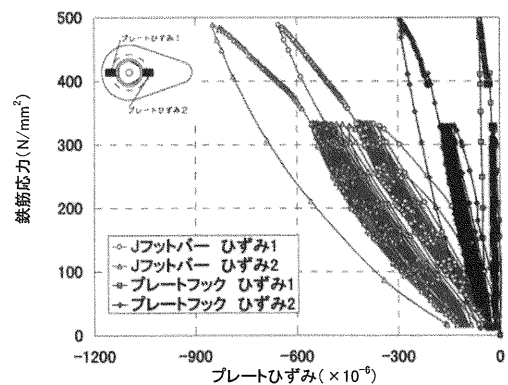


Fig.4 鉄筋応力-プレートひずみ関係
(Relationship of Stress and Strain)

以上の結果から、プレート定着型せん断補強鉄筋は十分な引抜耐力を有するとともに、その引抜き剛性は半円形フック以上であることが確認された。

4. 拘束性能確認試験

(1) 試験概要

柱などの基部に地震力が作用した際、Fig.5 に示すように、主鉄筋が座屈しようとして帯鉄筋及び中間帯鉄筋を部材の外側に押出す力が働くため、中間帯鉄筋には、定着性能のほかに掛けられる鉄筋（被拘束鉄筋）のはらみだしを拘束する性能が必要となる。

そこで、プレート定着型せん断補強鉄筋の拘束性能を確認することを目的に、Fig.6 に示すように、定着部に非拘束鉄筋を模擬した治具を用いて加力する実験を行った。試験配列を Table 5 に示す。比較用としては、施工性が良い直角フックと基本となる半円形フックとし、半円形フックでは余長部分の定着の有無もパラメータとした。本試験においてはせん断補強筋に D22 を使い、コンクリート試験体上面と加力点の距離は想定する帯鉄筋の径と軸方向鉄筋の半分を加えた値として 44mm とした。

(2) 試験結果

Fig.7 に荷重と加力点変位の関係を示す。直角フックは荷重が小さい時点から変位が大きく進み拘束性能がほとんどないことが明らかとなった。半円形フックで付着有りの試験体では、抜け出しがほとんど認められなかったが、付着無しの試験体では余長部分からの抜け出しが大きく、変位も大きくなった。プレート定着型の試験体は、初期の拘束性能が大きく、荷重の増加により鉄筋が曲げ降伏した後には変形が進み治具がプレートからはずれた。以上の試験結果から、プレート定着の拘束性能は直角フックよりもかなり優れていることがわかった。一方、半円形フックに対しては付着ありとなしの間となっているが、地震力の繰返しによりコンクリートにひび割れが発生している状況での余長部分の付着程度が明確でないため本試験のみでは優劣を付けられなかった。そのため、直接的な比較のためには部材試験を行い、拘束性能を総合的に判断する必要がある。

5. 壁部材試験^{5,6)}

(1) 試験概要

プレート定着型せん断補強鉄筋を用いた部材における主鉄筋の座屈抑制効果と部材の靱性向上効果を確認するため、柱部材の正負交番載荷試験を行った。試験体は、せん断破壊先行型の部材を、それぞれ両端半円形フック、J フットバー、プレートフックの中間帯鉄筋により補強した試験体も各 1 体とした。試験体の配筋図を Fig.8 に示す。断面は 450mm×900mm で、主鉄筋が D32、帯鉄筋及び中間帯鉄筋が D16 の壁部材の一部を取り出した形となっている。断面有効高さは 375mm、せん断スパン比 4、引張鉄筋比 1.41%、せん断補強筋比 0.66% である。使用したコンクリート及び鉄筋の材料特性を Table 6、Table 7 に示す。載荷方法は、3.0 N/mm² の一定軸圧縮応力を作用させながら、柱基部から 1,500mm の高さに水平荷重を加えた。載荷は、断面解析により求めた柱基部主筋降伏時の荷重時の変位を基準に、その整数倍の変位で 1 回ずつ繰り返しながら、両側の主鉄筋が大きく座屈して水平荷重が最大荷重の 8 割以下に低下するまで正負交番載荷を行った。

(2) 試験結果

試験時の材料試験結果を用いた断面解析では、柱基部主鉄筋降伏

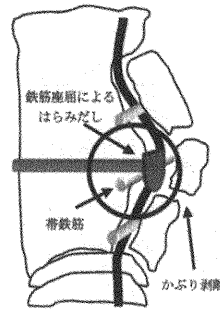


Fig.5 試験対象モデル
(Test Model)

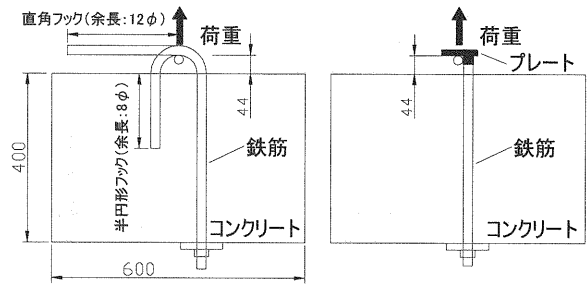


Fig.6 試験体形状
(Test Specimens)

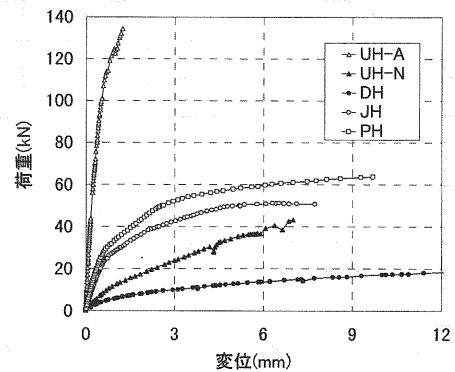


Fig.7 荷重-変位関係
(Relationship of Load and Displacement)

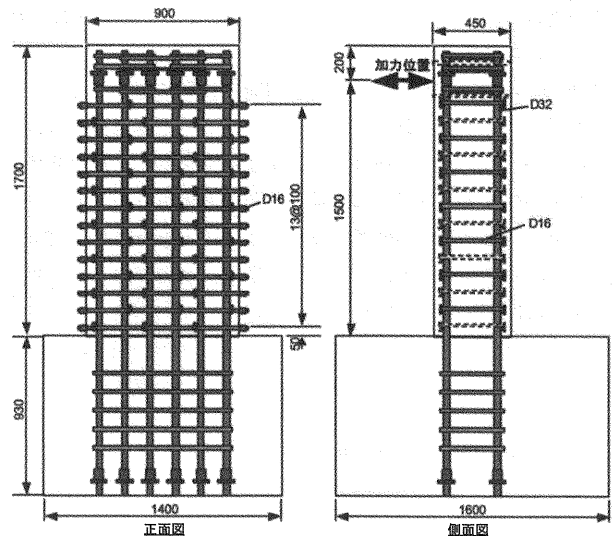


Fig.8 壁部材の配筋図
(Profile of Specimen)

時の水平荷重は 500kN で、水平荷重±500kN 載荷時における加力点高さでの正負の水平変位の平均値は 11mm であった。

各試験体の荷重－変位曲線を Fig.9, 包絡線の比較を Fig.10, 吸収エネルギーを Fig.11, せん断補強筋のひずみ履歴の比較を Fig.12 に、 $-12\delta y$ 時の破壊状況を Photo 2 に示す。

グラフ中の水平荷重は軸力による付加曲げモーメントや柱頭部の回転による水平荷重作用点高さの変化による影響を、柱基部から 1.5m の高さに作用する水平荷重に換算して補正した。

プレート定着型と半円形フックの試験結果を比較すると、主鉄筋の座屈までは両者に大きな違いは見られなかったが、主鉄筋が大きく座屈し始める $\pm 12\delta y$ のサイクルにおいて、半円形フックの試験体は大きく耐力が低下したのに対し、プレート定着型の試験体、特に J フットバーは耐力低下の度合いが緩やかであった。これは、 $\pm 12\delta y$ での吸収エネルギー量に差が見られることから分かる。

また、Fig.12 から、柱基部から 150mm の高さの帯鉄筋に掛かっているせん断補強筋のひずみを見ると、半円形フックは $-12\delta y$ で降伏ひずみ(約 2,000 μ)に達しているのに対し、プレート定着型は 5 $\sim$ 7 δy で降伏しており、プレート定着型の方が早い段階で大きな拘束力を発揮し、主鉄筋の座屈を抑制していたことが分かる。

以上のことから、プレート定着型せん断補強鉄筋による主鉄筋の座屈抑制効果及び部材の靱性向上効果は、半円形フックと同等以上であると考えられる。

6. 施工性確認試験

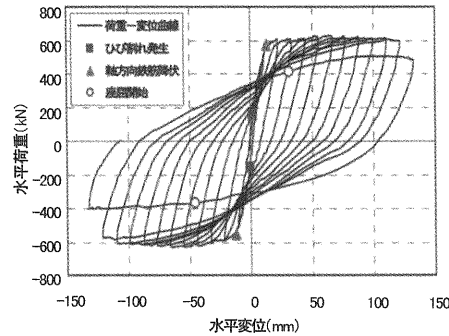
プレート定着型せん断補強鉄筋の施工性を確認するため、Photo 3 に示すカルバートの隅角部を模擬した組立て試験を行った。プレート定着型せん断補強筋は、被拘束鉄筋の組立て後に配置できるため、施工手順が簡潔で施工の合理化が可能であることが確認された。また、被拘束鉄筋組立て後に安定した足場での配置作業が可能であり、半円形フックの場合に比べて、作業の安全性が格段に向上することが確認された。これらのことから、プレート定着型せん断補強鉄筋を用いることで、工期短縮、安全性、コスト低減に

Table 6 コンクリートの圧縮強度
(Material Properties of Concrete)

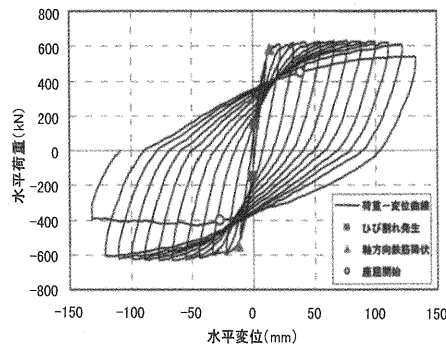
試験体	圧縮強度 (N/mm ²)
半円形フック	34.6
J フットバー	35.5
プレートフック	36.1

Table 7 鉄筋の機械的性質
(Material Properties of Reinforcement)

種類	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
D16	396	611	19
D32	377	573	26



(a) 半円形フック



(c) プレートフック

Fig.9 荷重－変位関係

(Relationship of Load and Displacement)

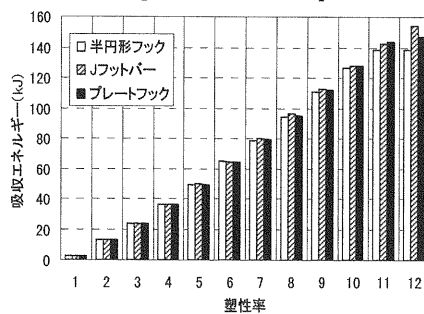
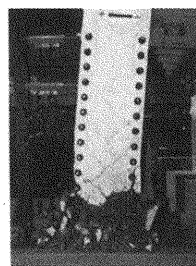
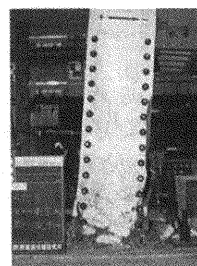


Fig.11 吸収エネルギー量の比較

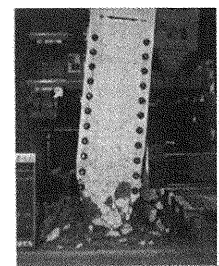
(Comparison of Absorbed Energy)



(a) 半円形フック



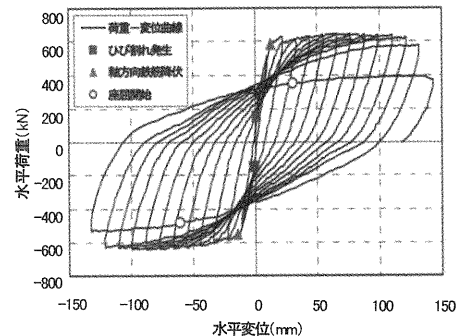
(b) J フットバー



(c) プレートフック

Photo 2 $\pm 12\delta y$ 終了時の状況

(State of Cracking after $\pm 12\delta y$)



(b) J フットバー

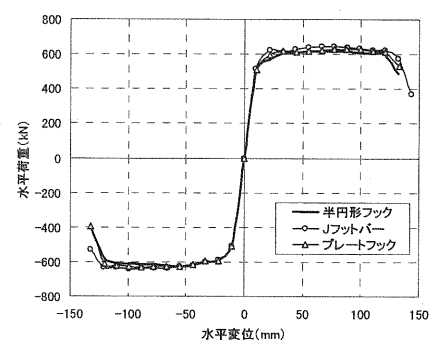


Fig.10 包絡線比較

(Comparison of Envelope Curve)

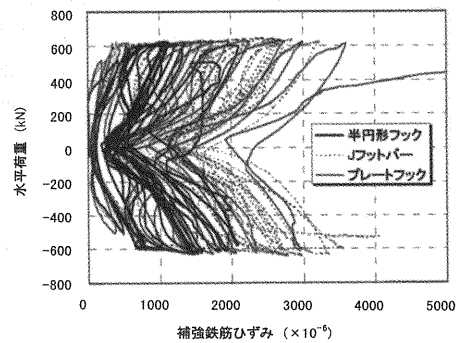


Fig.12 せん断補強鉄筋ひずみの比較

(Comparison of Shear Reinforcement Strain)

寄与できると考えられる。

7. 疲労部材適用に関する検討

プレート定着型せん断補強鉄筋の疲労部材への適用性を検討するため、鉄筋径 D22 の J フットバー単体の疲労試験を実施した。試験は、鉄筋継手部の疲労試験方法 (案)⁷⁾ に準じ、下限応力を 30N/mm^2 として、上限応力を変化させて破断までの回数を測定した。また、上限応力 130N/mm^2 (全振幅応力 100N/mm^2) では、上記試験に従い、200 万回の疲労载荷後に残留変位量を測定した。

Fig.13 に S-N 線図を示す。この図から、J フットバー単体 (D22) の 200 万回疲労強度は $120\sim 140\text{N/mm}^2$ 程度であると考えられる。全振幅応力 100N/mm^2 で 200 万回疲労载荷した残留変位の平均 (3 本) は、 0.04mm と規定の 0.2mm 以下であったことから、J フットバーの接合部は、耐疲労性能を有していると考えられる。本定着の疲労部材への適用にあたっては、コンクリート部材に配置されたせん断補強鉄筋としての性能確認もする必要があり、引続き検討を進める予定である。

IV. まとめ

過密配筋による施工性低下及びそれに伴うコスト増加を解決する方法として、2 種類のプレート定着型せん断補強鉄筋、J フットバー及びプレートフックを開発、性能確認試験の結果、以下のことが確認された。

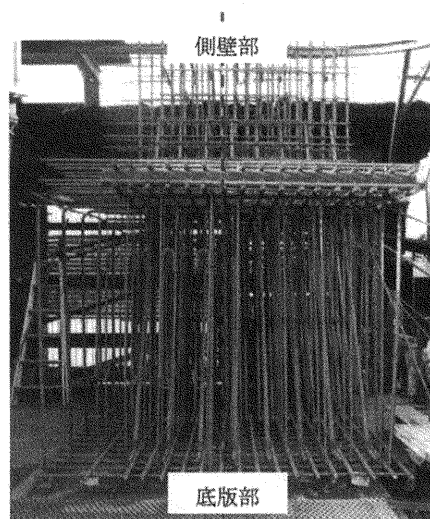
- プレートと鉄筋の接合部の強度は、いずれも適用対象となる SD345 の規格引張強度以上である。
- プレート定着型せん断補強鉄筋を用いた定着部に引抜き荷重が作用した時の引抜き剛性及び引抜き耐力は、半円形フックと同等以上である。
- 直角フックには拘束性能がほとんどない。また、プレート定着型せん断補強鉄筋には十分な主鉄筋の座屈抑制効果がある。
- プレート定着型せん断補強鉄筋による部材の靱性向上効果は、半円形フックを用いたものと同等以上である。
- プレート定着型せん断補強鉄筋を用いることで、施工手順が簡潔となり、施工の合理化が図れる他、作業の安全性が格段に向上する。
- プレートと鉄筋の接合部の耐疲労性が確認され、今後の検討により疲労部材への適用の可能性が示された。

V. おわりに

プレート定着型せん断補強鉄筋は、すでに多くの現場で適用されている。今後は、これまでに得た実績を取りまとめ、合理的な適用方法を提案していきたい。

参考文献

- 1) 土木学会；コンクリート標準示方書 構造性能照査編，2002。
- 2) 加藤ほか；特殊定着金物を用いたネジ筋鉄筋の引抜き実験および解析，コンクリート工学年次論文報告集，vol.18，No.2，(1996)，pp.563-568。



半円形フックによる施工 ← | → プレート定着による施工

Photo 3 施工性試験を実施したボックスカルバート (Box-Culvert)

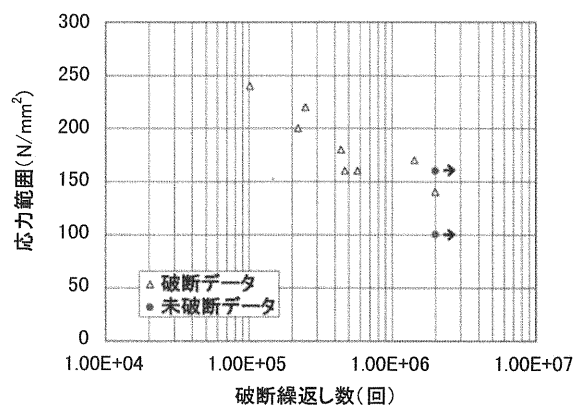


Fig.13 J フットバー単体 (D22) の S-N 線図 (S-N Diagram of J-footbar)

- 3) 藤井ほか；フラッシュ溶接型プレート定着せん断補強鉄筋の接合部強度および定着性能に関する基礎実験，土木学会年次学術講演会，vol.59，No.5，(2004)，pp.787-788。
- 4) 小曾根ほか；特殊定着金物を用いたせん断補強鉄筋の接合部強度および定着性能に関する基礎実験，土木学会年次学術講演会，vol.59，No.5，(2004)，pp.785-786。
- 5) 増川ほか；中間帯鉄筋にフラッシュ溶接型プレート定着を用いた柱部材の交番载荷試験，土木学会年次学術講演会，vol.59，No.5，(2004)，pp.783-784。
- 6) 永谷ほか；中間帯鉄筋に特殊定着金物を用いた柱部材の交番载荷試験，土木学会年次学術講演会，vol.59，No.5，(2004)，pp.781-782。
- 7) 土木学会；鉄筋継手指針，コンクリートライブラリー49。