

論文 せん断補強筋比の異なるRCはりにおけるTヘッド鉄筋のせん断補強効果に関する研究

吉武 謙二^{*1}・小川 晃^{*2}・木村 克彦^{*3}・出羽 克之^{*4}

要旨：耐震設計規定の厳格化により土木構造物のせん断補強筋量が増加している。特に鉄道高架橋では鉄筋が高密度化し、配筋およびコンクリート打設の施工性の向上が課題となっている。そこで、配筋の施工性改善に実績のある拡径部を有する異形鉄筋（以下、Tヘッド鉄筋と称す。）をせん断補強筋比の非常に高い部材に適用することを目的としてせん断実験を実施した。さらに、中間帯鉄筋としてコの字型のTヘッド鉄筋を部材内で重ね継ぐ配筋仕様でのせん断実験も実施した。その結果、いずれの配筋仕様においてもTヘッド鉄筋は良好なせん断補強効果を有することが確認できた。

キーワード：Tヘッド鉄筋，せん断，中間帯鉄筋，高周波誘導加熱，鉄筋定着工法

1. はじめに

兵庫県南部地震以後、耐震設計規定の厳格化に伴い、橋梁やカルバートなどの土木構造物ではせん断補強筋および中間帯鉄筋量が増加している。鉄筋が高密度化することにより、せん断補強筋の標準フック部など、曲げ加工部分を有する鉄筋の組立が非常に難しくなっており、配筋の施工性低下を招いている。また、標準フックなどの曲げ加工部分がコンクリート打設面に多く存在することとなり、ホースなどの吐出口や締固め用の棒形振動機の配筋内部への挿入が困難となる。このように、鉄筋の高密度化は配筋の施工性低下、コンクリートの充填性の低下の要因となり、土木構造物の生産性および品質の向上が大きな課題となっている。また、加工においても鉄筋の高強度化や太径化により曲げ加工がしにくくなっている。

このような背景から、写真-1に示す高周波誘導加熱により端部に拡径部を形成したTヘッド鉄筋を、従来の標準フックの代替として用いる工法を開発し¹⁾、道路カルバートやLNGタンクなどに適用し、配筋およびコンクリート打

設の施工性の向上に寄与してきた^{2), 3)}。

ここでは、特に鉄筋の高密度化が顕著である鉄道高架橋のはり部材などにTヘッド鉄筋を適用することを目的として検討を実施した。

鉄道高架橋のはり部材などでは、せん断耐力(V_y)に占めるせん断補強筋の分担せん断耐力(V_s)が80%程度と非常に高くなる場合がある。Tヘッド鉄筋は V_s/V_y が35%程度のRCはりでは、従来の半円形フックの代替として用いた場合においても良好なせん断補強性能が得られることを確認している⁴⁾。しかし、通常の半円形フックを用いた場合においても、 V_s/V_y が80%

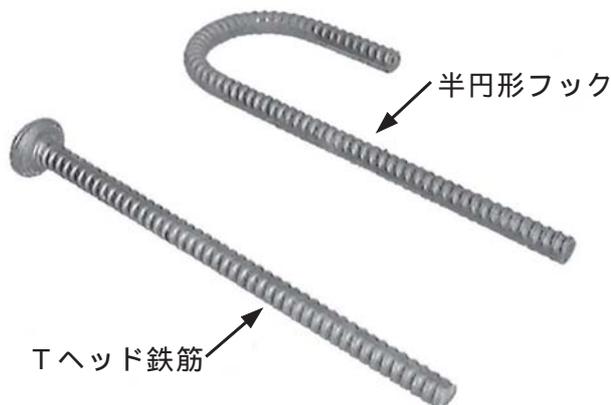


写真-1 Tヘッド鉄筋と半円形フック

*1 清水建設(株) 技術研究所 社会基盤技術センター 工博(正会員)

*2 清水建設(株) 土木事業本部 都市基盤統括部 課長(非会員)

*3 清水建設(株) 技術研究所 テクノセンター 工博(正会員)

*4 清水建設(株) 土木事業本部 都市基盤統括部 部長(非会員)

表 - 1 試験体および結果一覧

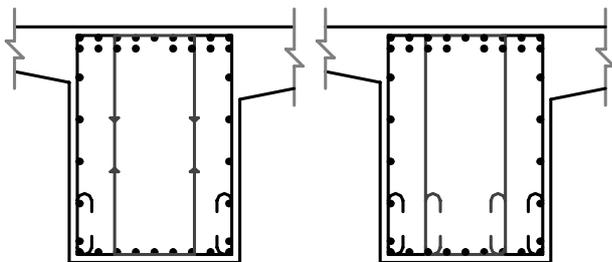
試験体名称	試験体概要					計算せん断耐力 ¹⁾ (kN)	実験結果				コンクリート材料試験結果		
	V_s/V_y	せん断補強筋仕様	使用用途	せん断スパン比 (a/d)	主鉄筋比 (%)		正側最大荷重 +Vy (kN) ²⁾	負側最大荷重 -Vy (kN) ²⁾	負側のせん断耐力低下率 -Vy/+Vy	破壊モード	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)
SS8H	0.8	半円形フック	せん断補強筋	3.0	3.1	3556	4283 (1.20)	3556 (1.00)	0.83	せん断破壊	26.4	28.0	2.3
SS8T	0.8	Tヘッド		3.0	3.1	3559	4568 (1.28)	3805 (1.07)	0.83	せん断破壊	26.7	28.0	2.6
SS6H	0.6	半円形フック		3.0	1.5	1559	1761 (1.13)	2010 (1.29)	1.14	曲げ破壊	30.9	30.1	3.1
SS6T	0.6	Tヘッド		2.5	1.5	1628	2043 (1.25)	2042 (1.25)	1.00	正側-曲げ破壊 負側-曲げ降伏後のせん断破壊	31.9	29.8	3.0
LS4T	0.4	Tヘッド (ラップ式)	中間帯鉄筋	3.1	1.2	695	848 (1.22)	735 (1.06)	0.87	せん断破壊	24.3	29.0	2.3

*1) 二羽・岡村式で求めたコンクリートの分担せん断力とせん断補強筋の分担せん断耐力の和

*2) () 内は計算せん断耐力との比

表 - 2 鉄筋の材料試験結果

鉄筋種類	使用用途	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
D32 (ネジボン)	主鉄筋 (SS8H, SS8T)	1157	1300	198
D32 (SD490)	主鉄筋 (SS6H, SS6T, LS4T)	504	701	190
D13 (SD345)	せん断補強筋 (SS8H, SS8T, SS6H, SS6T)	364	642	190
D10 (SD345)	中間帯鉄筋 (LS4T)	379	563	182
D19 (SD345)	配力筋 (SS8H, SS8T, SS6H, SS6T)	399	577	-



(a)ラップ式Tヘッド (b)標準配筋
図 - 1 想定配筋仕様

となるようなせん断補強筋比の高いRCはり部材におけるせん断補強筋の効果に関する研究は極めて少ない。そこで、 V_s/V_y が80%、60%の2種類のせん断補強筋比の高いRCはり部材における半円形フックとTヘッド鉄筋のせん断補強効果を把握することを目的として、RCはりの正負曲げせん断載荷試験を実施した⁵⁾。

また従来、はりの中間帯鉄筋は半円形フックを主鉄筋にかけて閉合する配筋となっており、軸方向鉄筋が密に配置される場合、配筋手順が

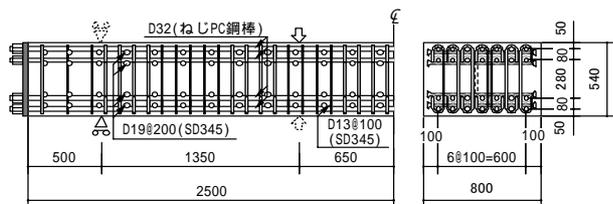
複雑になり配筋の施工性が低下する(図 - 1 (b))。文献6)では中間帯鉄筋として、2つのコの字型の半円形フックを部材内部で重ね継いだ場合、良好なせん断補強効果が得られることを確認している。ここでは、更なる施工性改善を目的として、図 - 1 (a)に示すようにTヘッド鉄筋を重ね継いで閉合する配筋仕様(以下、ラップ式と称す。)を提案し、この配筋におけるせん断実験も実施した⁷⁾。この場合、下側の中間帯鉄筋にもTヘッド鉄筋を使用するため半円形フックと比較して主鉄筋間を通しやすくなること、上側の中間帯鉄筋を下側の主鉄筋に掛ける必要がないことなどから中間帯鉄筋の施工性が大幅に改善されるという利点がある。

2. 実験概要

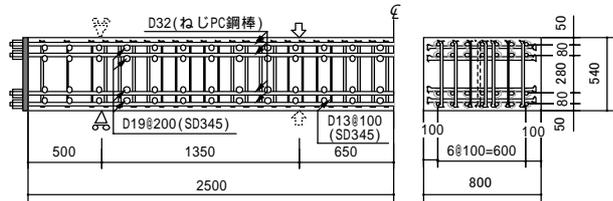
2.1 試験体概要

試験体一覧を表 - 1 に、試験体の形状寸法および配筋を図 - 2 に示す。試験体は使用用途としてせん断補強筋を想定した4体と中間帯鉄筋を想定した1体である。せん断補強筋を想定した場合の実験要因はせん断耐力 V_y に占めるせん断補強筋の分担せん断耐力 V_s の比率 V_s/V_y とせん断補強筋の定着端部形状である。

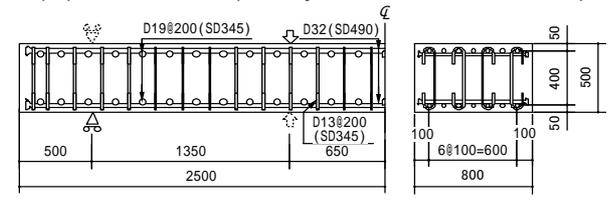
V_s/V_y が80%の試験体 SS8Hと SS8Tでは主鉄筋比を3.1%とし主鉄筋にねじPC鋼棒を用いた。 V_s/V_y が60%の試験体 SS6Hと SS6Tでは主



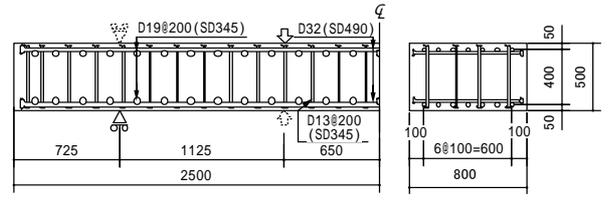
(a) 試験体 SS8H ($V_s/V_y=0.8$, 半円形フック)



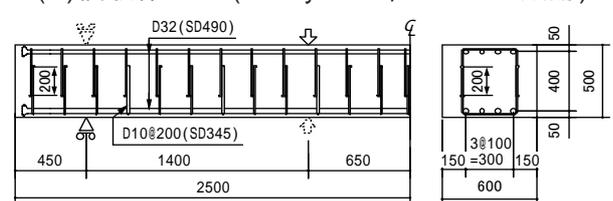
(b) 試験体 SS8T ($V_s/V_y=0.8$, Tヘッド鉄筋)



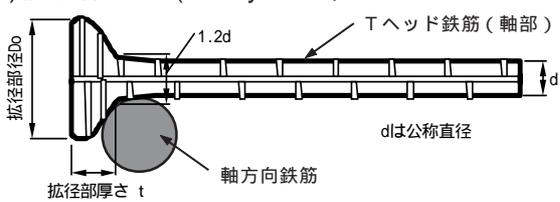
(c) 試験体 SS6H ($V_s/V_y=0.6$, 半円形フック)



(d) 試験体 SS6T ($V_s/V_y=0.6$, Tヘッド鉄筋)



(e) 試験体 LS4T ($V_s/V_y=0.4$, ラップ式Tヘッド)

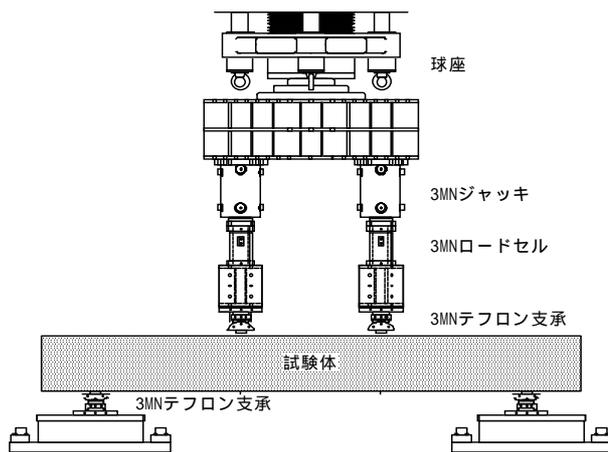


(f) Tヘッド鉄筋拡径部詳細

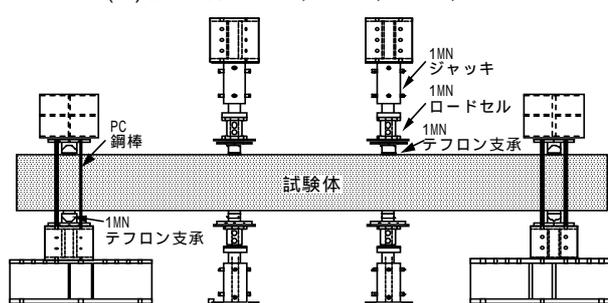
図 - 2 試験体形状および配筋図

鉄筋比は1.5%とし主鉄筋にSD490を用いた。また、Tヘッド鉄筋の軸部および拡径部は、図 - 2 (f) に示すように軸方向鉄筋に接触するように配置した。

試験体のせん断スパン比(a/d)はSS8H, SS8T, SS6Hで3.0, SS6TはSS6Hで曲げ破壊したためせん断スパン比を2.5とした。また、SS8H, SS8Tでは主鉄筋の定着をとるため試験体端部で鉄板(PL32)に主鉄筋を固定した。



(a) 試験体 SS8H, SS8T, SS6H, SS6T



(b) 試験体 LS4T

図 - 3 加力装置図

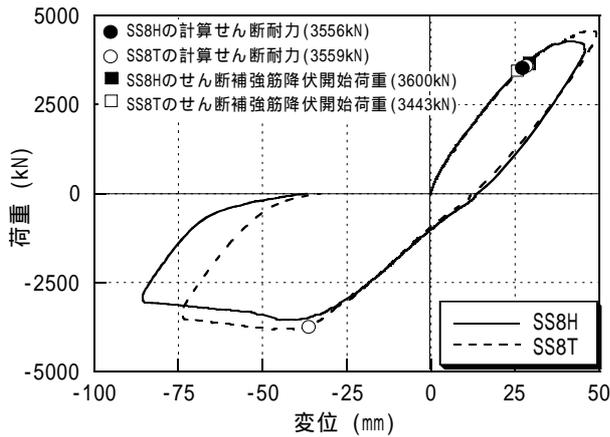
使用用途として中間帯鉄筋を想定した試験体 LS4T では横方向鉄筋として中間帯鉄筋のみを配置し、側面かぶりの剥落の影響を避けるため側面かぶりを大きく設定した。また、Tヘッド鉄筋の重ね継手長は20 (は鉄筋の呼び径) とした。なお、Tヘッド鉄筋の重ね継手長は拡径部端部からdを差し引いた位置を起点として算定した。

Tヘッド鉄筋の拡径部径 D_o は $2.5d$ D_o $2.8d$, 拡径部厚さ t は $0.8d$ t $1.2d$ (d は鉄筋の公称直径) である (図 - 2 (f))。また、半円形フックの曲げ内半径は 2.5 とした。

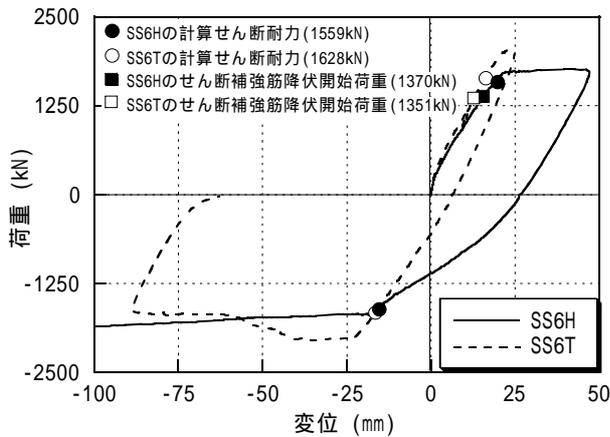
使用したコンクリートおよび鉄筋の材料試験結果を表 - 1, 2 に示す。粗骨材の最大寸法は20mmである。また、セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。載荷はコンクリート打設後、4週以降に実施した。

2.2 加力および計測方法

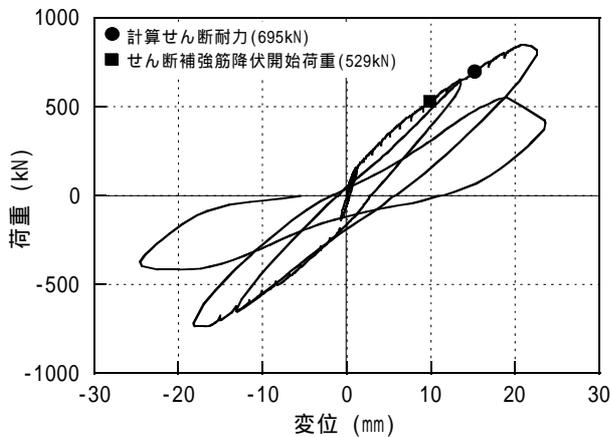
加力装置を図 - 3 に示す。試験体 SS8H, SS8T, SS6H, SS6T はテフロン支承により単純支持し、正側載荷で主鉄筋降伏もしくは荷重低



a) 試験体 SS8H と SS8T



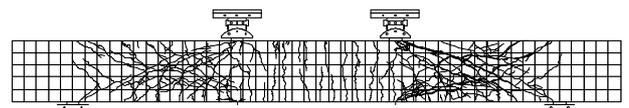
b) 試験体 SS6H と SS6T



c) 試験体 LS4T

図 - 4 荷重 - 変位関係

下後に除荷し、試験体を反転し負側の載荷を実施した。試験体 LS4T は正側、負側ともに曲げおよびせん断ひび割れが発生するまで載荷した後、荷重が低下するまで載荷した。さらに正側、負側に荷重が低下するまで載荷を実施し、せん断破壊後の残存強度を確認した。いずれの試験体も載荷板および支承の幅は 100mm とした。試験体各所の変位、主鉄筋およびせん断補強筋のひずみを測定した。



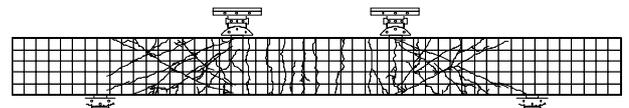
(a) 試験体 SS8H($V_s/V_y=0.8$, 半円形フック)



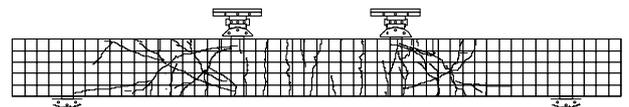
(b) 試験体 SS8T($V_s/V_y=0.8$, Tヘッド鉄筋)



(c) 試験体 SS6H($V_s/V_y=0.6$, 半円形フック)



(d) 試験体 SS6T($V_s/V_y=0.6$, Tヘッド鉄筋)



(e) 試験体 LS4T($V_s/V_y=0.4$, ラップ式Tヘッド)

図 - 5 ひび割れ発生状況

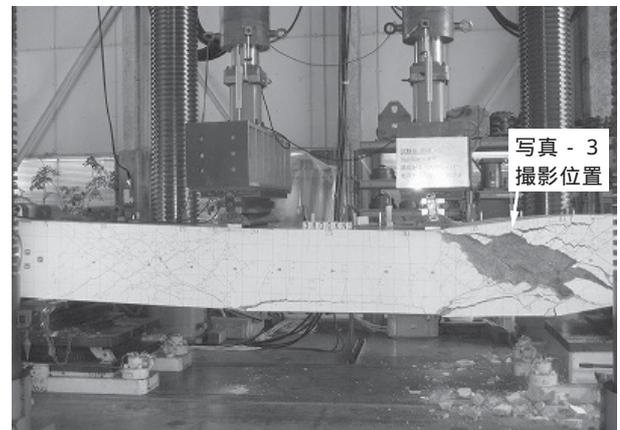


写真 - 2 試験体破壊状況(試験体 SS8T)

3. 実験結果

実験結果一覧を表 - 1 に示す。載荷荷重と試験体中央部での鉛直変位との関係を図 - 4 に、負側の最大荷重時におけるひび割れ発生状況を図 - 5 に示す。図 - 4 には二羽・岡村式⁸⁾で求めたコンクリートの分担せん断力とせん断補強筋のせん断耐力の和により算定した計算せん断耐力およびせん断補強筋の降伏開始時の荷重も示した。ただし、せん断耐力は圧縮ストラットの角度を 45° と仮定して算定した。

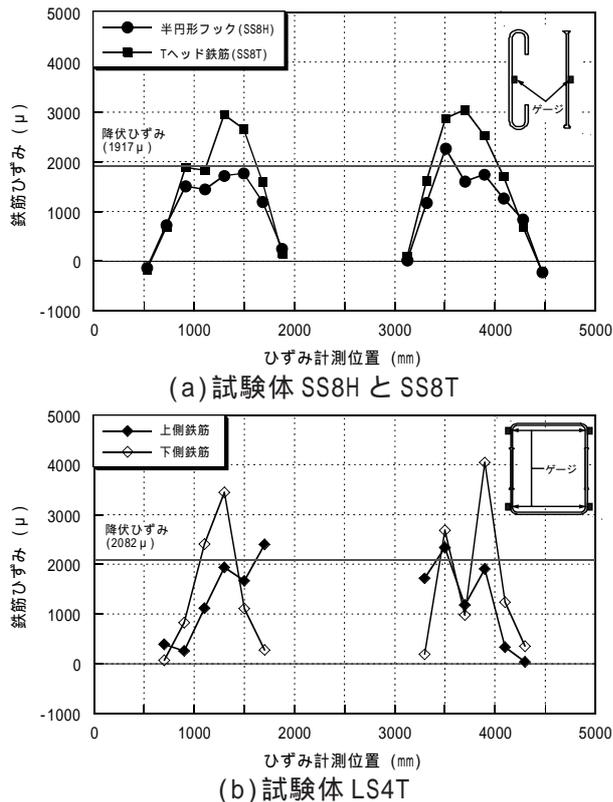


図 - 6 せん断補強筋のひずみ分布

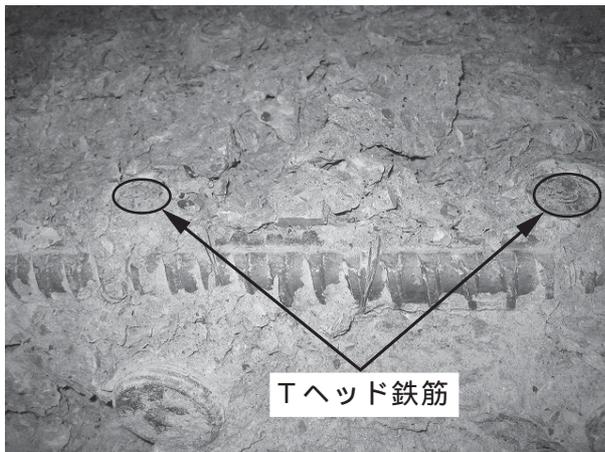
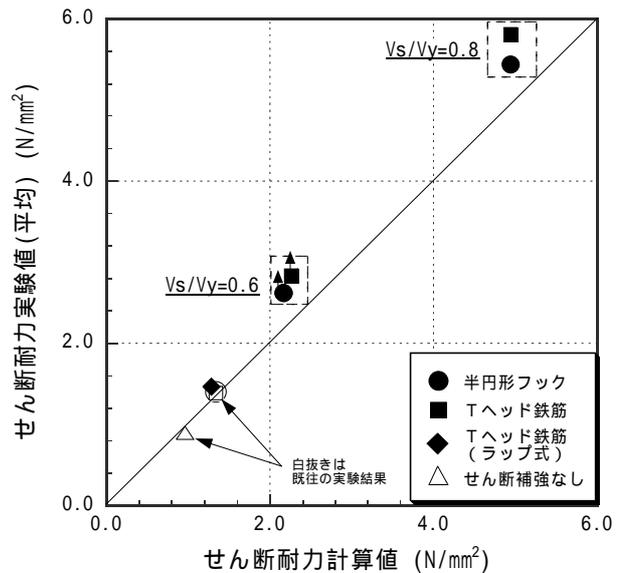


写真 - 3 Tヘッド鉄筋定着状況(試験体 SS8T)

試験体 SS8H, SS8T は初めに曲げひび割れがスパン中央部の引張側に発生し,荷重が増加するにつれて,せん断ひび割れが発生・進展し最大荷重に至った。その後も載荷を続けると,変形が増大するとともに,写真 - 2 に示すようにウェブコンクリートの圧縮破壊が生じ,荷重が緩やかに低下した。

試験体 SS6H は正側,負側ともに,せん断ひび割れが発生し進展したが最終的に曲げ降伏した。せん断スパン比を 2.5 とした試験体 SS6T では正側は曲げ降伏,負側は曲げ降伏後のせん



注) $V_s/V_y=0.6$ の試験体は曲げ破壊をしたためせん断耐力は実験値以上となる。

図 - 7 せん断耐力の実験値と計算値の比較

断破壊により最大荷重に至った。

試験体 LS4T は正側,負側ともに曲げひび割れがスパン中央部に発生し,荷重が増加するにつれて,斜めひび割れが発生・進展し最終的に斜め引張破壊に至った。

斜め引張破壊に至った試験体 LS4T では最大荷重後急激に荷重が低下した。一方,今回の荷重条件ではせん断補強筋比が高くウェブ部分がせん断破壊した試験体は,最大荷重後に脆性的な破壊に至らず急激な荷重の低下は見られなかった。

試験体 SS8H と SS8T および試験体 LS4T の計算せん断耐力時におけるせん断補強筋のひずみ分布を図 - 6 に示す。図内に示すようにひずみゲージ設置位置は試験体 SS8H と SS8T では鉄筋中央部,試験体 LS4T では曲げ加工部付近である。計算せん断耐力時にはせん断補強筋が降伏しており,せん断補強筋比が非常に高い場合においても,半円形フック,Tヘッド鉄筋ともに有効に機能していることが確認できる。また,いずれの試験体もせん断補強筋降伏後も荷重が増加し計算せん断耐力を上回った。

試験体 SS8T の試験終了後における Tヘッド鉄筋の定着状況を写真 - 3 に示す。写真 - 3 は写真 - 2 に示す位置において上面かぶり部を除去して撮影したものである。せん断破壊が生じ

た後も、Tヘッド鉄筋は端部の拡径部で健全に定着されていることが分かる。

既往の実験結果⁴⁾を含めたせん断耐力の実験値と計算値の比較を図-7に示す。 $V_s/V_y=0.8$ の場合、最大荷重値(正負の平均値)は、Tヘッド鉄筋の方が半円形フックと比較して約7%程度大きかった。このようにせん断補強筋比が非常に高い場合においても、Tヘッド鉄筋は半円形フックと同等のせん断補強性能を有すること、二羽・岡村式によりせん断耐力を評価して良いことが確認できた。また、Tヘッド鉄筋をラップ式に配筋した場合も良好なせん断補強効果を有することが明らかになった。

4. まとめ

配筋の施工性改善に実績のあるTヘッド鉄筋をせん断補強筋比の非常に高い部材に適用することを目的として正負せん断実験を実施した。さらに、中間帯鉄筋の施工性向上のため、Tヘッド鉄筋をコアコンクリート内で重ね継いで閉合する配筋仕様を考案し、その効果を確認するため正負せん断実験を実施した。以下に得られた知見をまとめて示す。

- (1) せん断補強筋比が非常に高い場合においても、Tヘッド鉄筋は半円形フックと同等のせん断補強性能を有すること、二羽・岡村式によりせん断耐力を評価して良いことが確認できた。
- (2) 中間帯鉄筋を対象としたコの字型のTヘッド鉄筋をコアコンクリート内で20 重ね継いで閉合する配筋仕様においても良好なせん断補強効果を有することが明らかになった。
- (3) 今回の荷重条件では、せん断補強筋比が高くウェブ部分がせん断破壊した試験体は、最大荷重後に脆性的な破壊に至らず急激な荷重の低下は見られなかった。
- (4) せん断破壊が生じた後も、Tヘッド鉄筋は端部の拡径部でコンクリートに健全に定着されていることが確認できた。

謝辞

本研究は、第一高周波工業(株)との共同研究として実施したものであります。ここに記して、関係の方々に謝意を表します。

参考文献

- 1) 塩屋俊幸・中澤春生・長澤保紀・高岸正章：Tヘッドバー工法の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.3，pp.1291-1296，2000.6
- 2) 瀧諭・梶隆・熊田昭彦：Tヘッドバーを用いた鉄筋工事の生産性，第57回土木学会年次学術講演会，VI-273，pp.545-546，2002.9
- 3) 加藤秀紀・降矢昌時・木村克彦・大塚敏哉：高架橋下部工におけるTヘッド鉄筋工法による鉄筋組立の生産性評価，第60回土木学会年次学術講演会，VI-073，pp.145-146，2005.9
- 4) 塩屋俊幸・樋口義弘・塩川英世・高岸正章：Tヘッドバーをせん断補強筋として用いた曲げせん断実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.23，No.3，pp.799-804，2001.6
- 5) 吉武謙二・木村克彦・小川晃・出羽克之・高岸昌章：Tヘッド鉄筋を用いたせん断補強筋比の高いRCはりの曲げせん断実験，第61回土木学会年次学術講演会，V-438，pp.871-872，2006.9
- 6) 渡辺太郎・藤原寅士良・津吉毅・石橋忠良：せん断補強筋の配置形状を変えた壁状部材の交番載荷実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.3，pp.1495-1500，2000.6
- 7) 小川晃・脇登志夫・木村克彦・吉武謙二・高岸正章：Tヘッド鉄筋を20 重ねた中間帯鉄筋を有する梁の曲げせん断特性，第61回土木学会年次学術講演会，V-439，pp.873-874，2006.9
- 8) 二羽淳一郎・山田一字・横沢和夫・岡村甫：せん断補強筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価，土木学会論文集，No.372/V-5，pp.167-176，1986.8