

Tヘッドバーを用いた施工の合理化について

橋本道代¹・瀧 諭²・木村克彦³・高岸正章⁴

¹正会員 清水建設株式会社 土木事業本部設計部（〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3）

²清水建設株式会社 技術研究所（〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17）

³正会員 清水建設株式会社 技術研究所（〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17）

⁴第一高周波工業株式会社 技術統括部（〒210-0821 川崎市川崎区殿町2-17-8）

兵庫県南部地震以後，耐震設計規定の改定に伴い，鉄筋の高密度化が進み，従来の標準フックを用いた鉄筋の定着工法では施工が困難となっている．また，加工においても鉄筋の高強度化や太径化によって曲げ加工がしにくくなっている．そこで，このような問題を解決するため，鉄筋端部に拡径部を成形し，それにより鉄筋の定着を行うことで施工を容易にし，かつ標準フックと同等の性能を有する定着構造の鉄筋を提供する目的で「Tヘッドバー」を開発した．論文では，Tヘッドバーの概要や性能確認試験結果の概略説明を行うとともに，実施工での適用事例や，施工性の改善効果を確認した結果（歩掛かり調査結果）を報告する．

キーワード：鉄筋，施工性，定着

1．Tヘッドバーの概要

兵庫県南部地震以後，耐震設計規定の改定に伴い，橋脚などの構造物のせん断補強筋および中間帯鉄筋の量が増えたことによって鉄筋の高密度化が進み，従来の標準フックを用いた鉄筋の定着工法では施工が困難となっている．このような過密配筋部における施工性を改善し，特に工期短縮に直結する工法として「Tヘッドバー」を開発した．

Tヘッドバーは，鉄筋端部を高周波誘導加熱し，鉄筋端部を加工したものである（写真-1，図-1，写真-2参照）．鉄筋端部の拡径部によって，機械的にコンクリートに定着することにより，従来のフック付き鉄筋（以下，フック鉄筋と呼ぶ）と同等の性能を付与する鉄筋であり，フック鉄筋の代わりに使用することを目的としている．フック鉄筋とTヘッドバーの組立て例を図-2に示す．

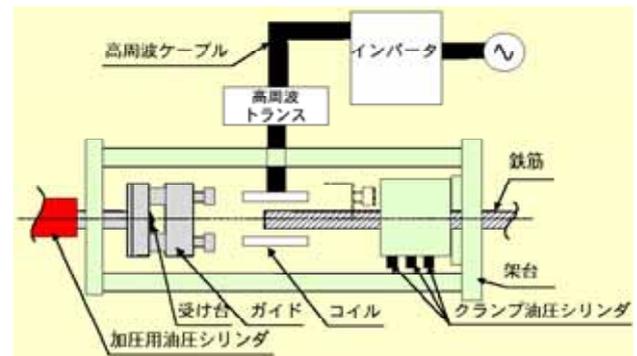


図-1 Tヘッドバー加工装置概念図

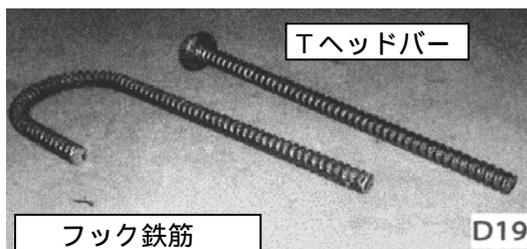


写真-1 Tヘッドバーとフック鉄筋

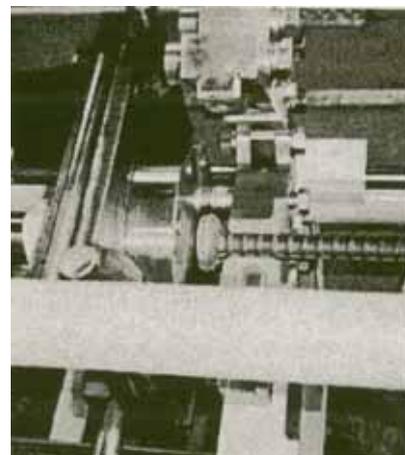


写真-2 高周波誘導加熱成形

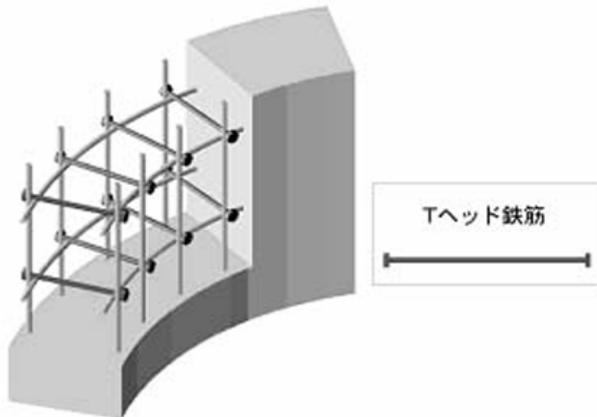
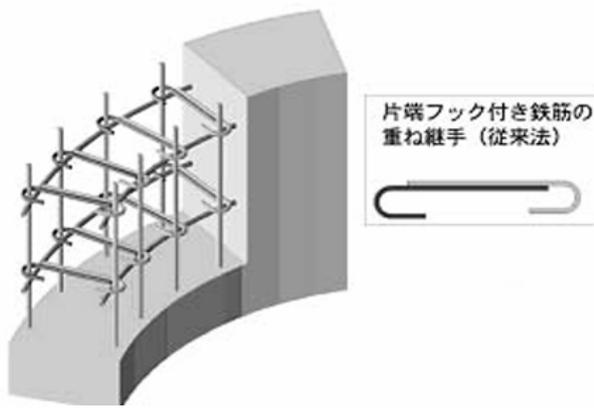


図-2 組立て方法例（壁のせん断補強筋）

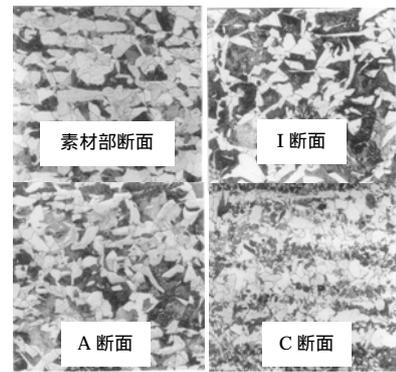


写真-3 組織観察

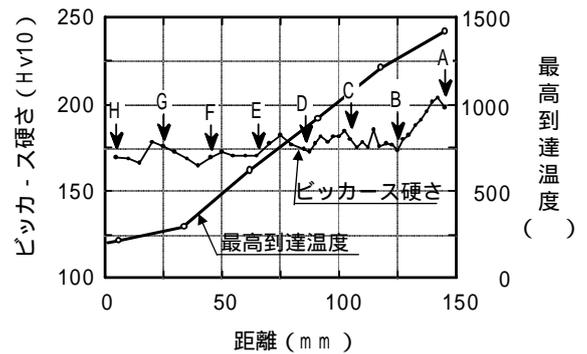


図-4 ビッカース硬度試験結果

2. 性能確認試験の概略

Tヘッドバーの性能を確認するために、性能確認試験を行った。以下にその概要を示す。

(1) Tヘッドバーの拡径部の性質

熱成形により拡径部に有害な組織変化がないことを確認するため、拡径部近傍の組織観察とビッカース硬度試験を実施した。

図-3に観察位置および試験位置を、写真-3に組織観察結果の一例を、図-4にビッカース硬度試験の結果を示す。

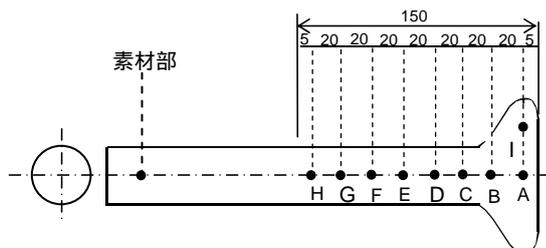
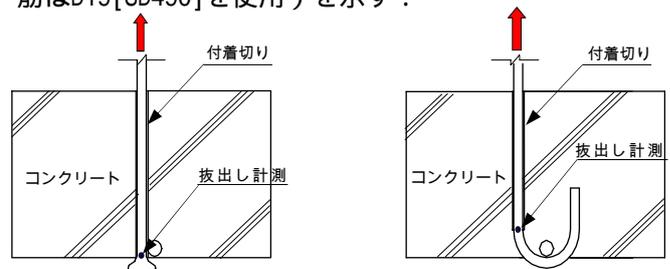


図-3 観察位置および試験位置

試験の結果、A～B部分では冷却速度（800 500 ）が大きかったためにやや組織が変化しているが、鋼材として靱性、伸びが心配されるマルテンサイト等の組織は認められなかった。また、低温引張試験を行った結果¹⁾、強度や靱性の低下は見られなかったため、これは有害な組織変化ではないと考えられる。従って、熱成形により拡径部に有害な組織変化がないことが確認された。

(2) 定着性能

コンクリート中に埋めこまれたTヘッドバーに引抜き荷重が作用した場合、抜き出し量がフック鉄筋と同等であることを確認するため、引き抜き試験を実施した。図-5に試験体形状を、図-6に試験結果（鉄筋はD19[SD490]を使用）を示す。



Tヘッドバー

半円形フック鉄筋

図-5 試験体形状

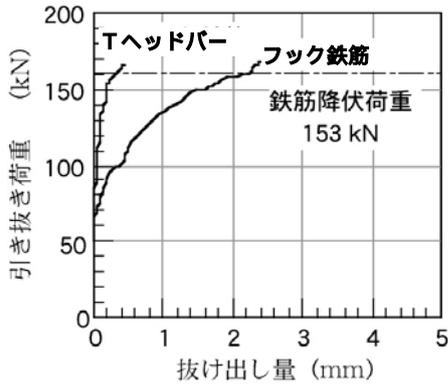


図-6 引き抜き試験結果

図-6より、鉄筋降伏時におけるTヘッドバー定着部の抜き出し量はフック鉄筋と比べて小さいことから、Tヘッドバーに引抜き荷重が作用した場合の定着性能は、半円形フック鉄筋と同等以上であることが確認された。

(3) せん断補強効果

Tヘッドバーをせん断補強筋として用いた場合に、フック鉄筋を用いた場合と同等のせん断補強性能があることを確認するため、梁部材におけるせん断試験を実施した。図-7に試験体とひび割れ状況を、図-8に試験結果を示す。

図-8より、Tヘッドバーとフック鉄筋の供試体はほぼ同等の荷重 - 変位曲線を示すことから、両供試体は同じ挙動をしていることがわかる。最大荷重値（正負の平均値）は、半円形フックの方が3%程大きいですが、両供試体とも破壊時せん断応力は、二羽・岡村式（土木学会コンクリート標準示方書の原式）にトラス理論による分担せん断力を加えた計算値とよく合っている²⁾。以上より、Tヘッドバーのせん断補強効果はフック鉄筋と同等であることが確認された。

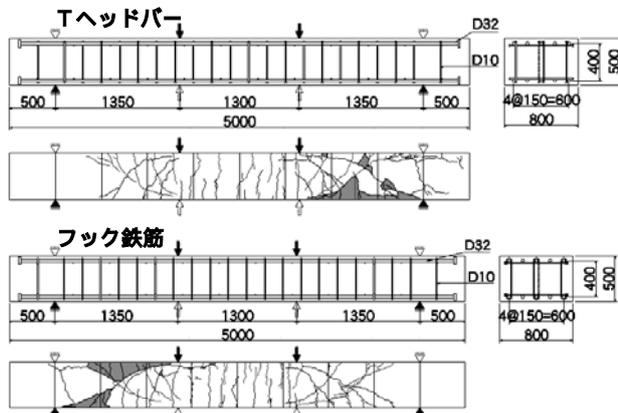
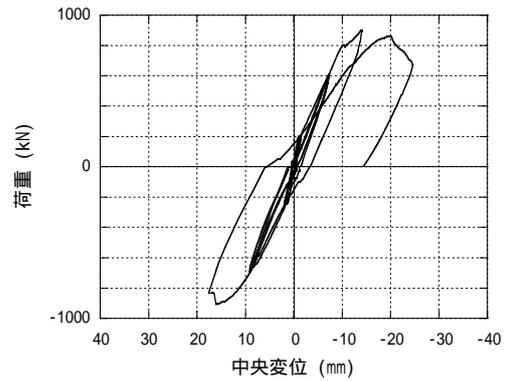
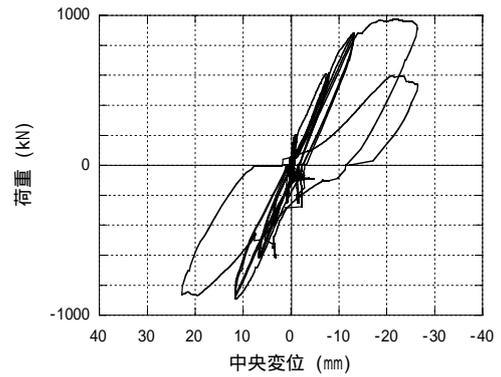


図-7 試験体とひび割れ状況



荷重 - 中央変位 (Tヘッドバー)



荷重 - 中央変位 (フック鉄筋)

図-8 せん断試験結果

(4) 軸方向鉄筋の拘束効果

Tヘッドバーを中間帯鉄筋として用いた場合にフック鉄筋を用いた場合と同等の軸方向鉄筋の拘束性能があることを確認するため、柱部材における曲げ試験を実施した。図-9に試験体形状を、図-10に試験結果を示す。

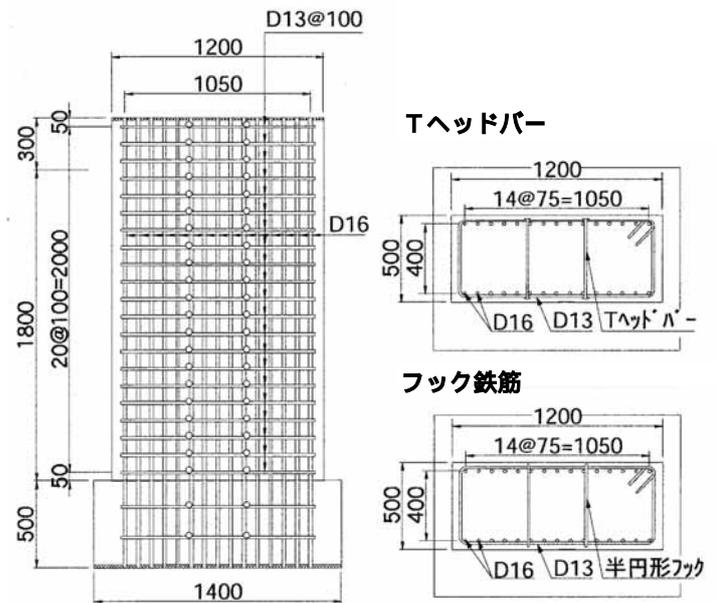


図-9 試験体の形状と配筋

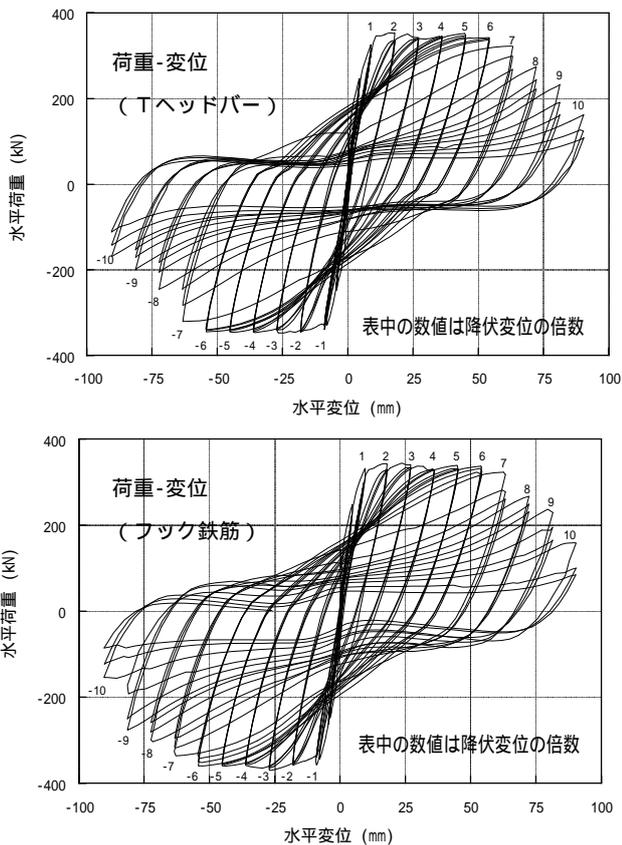


図-10 曲げ試験結果

図-10より、Tヘッドバーとフック鉄筋の供試体はほぼ同等の荷重 - 変位曲線を示すことから、両供試体は同じ挙動をしていることがわかる。

以上より、Tヘッドバーの軸方向鉄筋の拘束効果はフック鉄筋と同等であることが確認された。

3. 実施工での適用事例および実績

(1) 適用事例

実施工の適用事例として、LNG地下タンクの側壁せん断補強筋にTヘッドバーを適用した例を写真-4に示す。また、適用する際にフック鉄筋との比較を行った。配筋比較を表-2および図-11に示す。



写真-4 Tヘッドバー適用例

表-2 配筋比較表

| | 配筋 | 鉄筋量の比率 |
|--------|-----------------------|--------|
| Tヘッドバー | D41@400 | 74 |
| フック鉄筋 | D29@200 ^{*1} | 100 |

*1:重ね継手長が断面内で収まる鉄筋径とした。

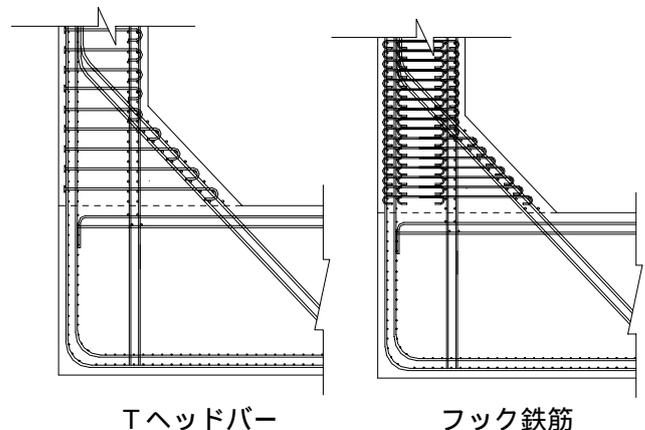


図-11 配筋比較図

表-2、図-11より、Tヘッドバーをせん断補強筋として用いることにより、鉄筋量はフック鉄筋を用いる場合と比べて約26%削減され、配筋作業が容易になることから、工程が短縮された。また、隅角部で配筋が高密度になる部分の過密配筋を緩和できたため、実施工においてはコンクリートの充填性が良くなり、品質が向上した。

(2) 実績

Tヘッドバーの主な実績を表-3に示す。(写真-5はハンドホールにおける配筋比較である。)

表-3 主な実績

| 構造物 | 用途 |
|-------------|--------------|
| 下水道用シールド立坑 | 側壁せん断補強筋 |
| 駅舎 | 箱抜きアンカー筋 |
| ハンドホール | スラブせん断補強筋 |
| 送電線用鉄塔基礎 | 基礎せん断補強筋 |
| 原子力発電所取水槽 | 底版せん断補強筋 |
| 大型ケーソン | 躯体のせん断補強筋 |
| LNG地上、地下タンク | 側壁、底版のせん断補強筋 |
| トンネル2次覆工 | せん断補強筋 |
| 高層集合住宅 | 大梁主筋の定着 |



写真-5 配筋比較(ハンドホール)

4. 施工性の改善効果（労務歩掛り調査結果）

Tヘッドバーを用いる工法を「Tヘッドバー工法」、従来の標準フック鉄筋を用いる工法を「在来工法」と呼ぶこととする。

ここでは、Tヘッドバー工法および在来工法それぞれの労務歩掛りを評価し、それらと比較することによって、Tヘッドバー工法による改善効果を調査した。

(1) 測定対象

道路トンネルに供用されるボックスカルバート型ケーソンの鉄筋工事を対象とした。ケーソン断面の配筋図を図-12に、その平面および立面の見取りを図-13に示す。工事はケーソン自体の壁（以下、側壁と呼ぶ）と仮設の妻壁からなる。今回の調査では、図-12に示した高さ方向の範囲（第6ロット）のみを対象とした。側壁の鉄筋は主に主筋、配力筋、せん断補強筋で構成されている。これらのうち、せん断補強筋にフック鉄筋とTヘッドバーを用い測定を行った。

図-14にTヘッドバーとフック鉄筋の形状と寸法を、図-15に各工法の鉄筋配置を示す。

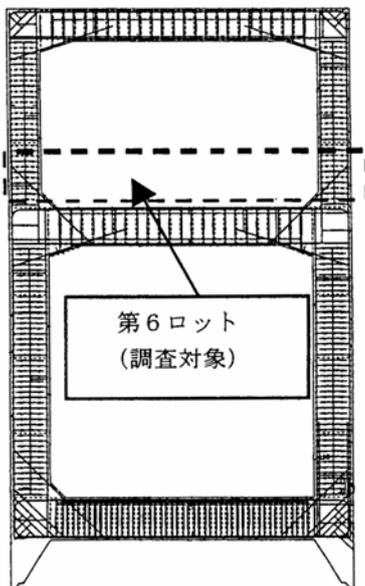


図-12 ケーソン断面配筋

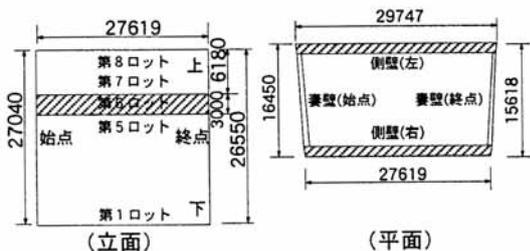


図-13 ケーソン見取り

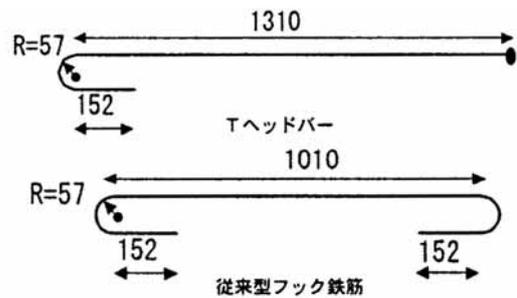


図-14 Tヘッドバーとフック鉄筋 (D19)

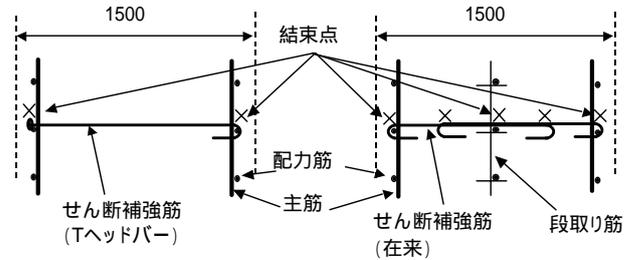


図-15 Tヘッドバーとフック鉄筋の鉄筋配筋

(2) 局所労務歩掛りの評価

鉄筋組立作業のみに対する労務量（局所労務量）を表-4のA～Gの7地点で測定し、各点の労務歩掛りを評価した。労務歩掛りは、測定から得られる労務量を同時間内に施工された鉄筋重量でわり求めた。労務量は、作業人員と測定した作業時間の積とした。表-4中のD、Eはせん断補強筋に対応しており、それぞれTヘッドバー工法、在来工法の結果である。

表-4 測定結果（局所労務歩掛り）

| 記号 | 壁種類 | 壁位置 | 鉄筋種類 | 鉄筋位置 | 作業人員 | 時間 | 工数 | 鉄筋径 | 単位長さ重量 | 長さ | 数量 | 重量 | 局所歩掛り |
|----|-----|-----|----------------|------|------|----|--------|-----|--------|------|----|------|-------|
| | | | | | | | | | | | | | |
| A | 側 | 右 | 主筋 | 外 | 2 | 35 | 0.1556 | 35 | 7.51 | 3.0 | 52 | 1172 | 0.133 |
| B | 側 | 右 | 主筋 | 内 | 2 | 20 | 0.0889 | 32 | 6.23 | 3.0 | 26 | 486 | 0.184 |
| C | 側 | 右 | 配力筋 | 外 | 4 | 90 | 0.8000 | | | | | 1167 | 0.685 |
| | | | | | | | 肉訳 | 22 | 3.04 | 5.0 | 12 | 182 | |
| | | | | | | | | 22 | 3.04 | 8.0 | 12 | 292 | |
| | | | | | | | | 22 | 3.04 | 8.0 | 12 | 292 | |
| | | | | | | | | 22 | 3.04 | 6.0 | 12 | 219 | |
| | | | | | | | | 22 | 3.04 | 5.0 | 12 | 182 | |
| D | 側 | 左 | せん断補強筋(Tヘッドバー) | | 3 | 19 | 0.1267 | 19 | 2.25 | 1.54 | 59 | 204 | 0.617 |
| E | 側 | 左 | せん断補強筋(在来) | | 3 | 54 | 0.3600 | 19 | 2.25 | 3.14 | 61 | 431 | 0.835 |
| F | 妻 | 始点 | 主筋 | 内 | 2 | 7 | 0.0311 | 35 | 7.51 | 3.0 | 12 | 270 | 0.115 |
| G | 妻 | 終点 | せん断補強筋 | - | 1 | 16 | 0.0356 | 22 | 3.04 | 1.0 | 36 | 109 | 0.325 |

(3) 評価対象全体の労務歩掛りの算定

(2)では、鉄筋組立作業（これを主作業と呼ぶ）のみを対象とした。一方、労務量や労務歩掛りは、通常、作業全体（これを全作業と呼ぶ）に対する値として用いられる。よって、(2)の結果は、全作業に対応する値に変換する必要がある。このため、評価対象（第6ロット）全体の全作業に対する労務歩掛りを次の手順で算定した。評価部位の分類、部位*i*の鉄筋

重量 w_i および各工法に対する評価対象全体の鉄筋重量 W_C, W_T の算定, 部位*i*に対する労務量 L_i ならびに各工法の主作業に対する全体労務量 L_C^p, L_T^p の算定,

Tヘッドバー工法による全作業の労務量 L_T^a の算定,

Tヘッドバー工法についての全作業に対する主作業の比率 $r (=L_T^p / L_T^a)$ の算定, 在来工法による全作業量の労務量 $L_C^a (=L_C^p / r)$ の推定. 変数右下のCとTはそれぞれ在来工法, Tヘッドバー工法を, 右上のpおよびaはそれぞれ主作業, 全作業を示す.

上記 ~ の結果を表-5に示す. 評価部位は20箇所である. $W_T=4.7+37.5=42.2t, W_C=9.5+37.5=47.0t, L_T^p=2.88+11.49=14.37$ 人日, $L_C^p=7.93+11.49=19.42$ 人日が, 表より算定される. 表中, p_i は表-4のA~Gに対応する部位の局所歩掛りである. 第6ロットの実働工数は作業日報から $L_T^a=53.7$ 人日であった. これより, $r=0.268$ となり, $L_C^a=72.5$ 人日となる.

両工法の労務歩掛り P_T^a および P_C^a は, $P_T^a = L_T^a / W_T = 1.27$ 人日/t, $P_C^a = L_C^a / W_C = 1.54$ 人日/tとなる.

図-16, 図-17に鉄筋重量, 労務量の比較を示す.

側壁のせん断補強筋をフック鉄筋とした場合, $L=72.5$ 人日, $P=1.54$ 人日/tとなった. 一方, せん断補強筋をTヘッドバーとした場合は, $L=53.7$ 人日, $P=1.27$ 人日/tと, 在来工法に対してLの比率は74%となった.

表-5 算定された労務量

a) A部位群 (Tヘッドバー工法)

| 壁面 | 壁位置 | 鉄筋種類 | 鉄筋位置 | w_i | ρ_i | 測定部位 | L_i |
|----|-----|--------|------|-------|----------|------|-------|
| | | | | t | 人日/t | | 人日 |
| 側 | 左 | せん断補強筋 | - | 2.4 | 0.617 | D | 1.49 |
| 側 | 右 | せん断補強筋 | - | 2.3 | 0.617 | D | 1.39 |
| 計 | | | | 4.7 | | | 2.88 |

a) A部位群 (在来工法)

| | | | | | | | |
|---|---|--------|---|-----|-------|---|------|
| 側 | 左 | せん断補強筋 | - | 4.9 | 0.835 | E | 4.11 |
| 側 | 右 | せん断補強筋 | - | 4.6 | 0.835 | E | 3.82 |
| 計 | | | | 9.5 | | | 7.93 |

b) B部位群

| | | | | | | | |
|---|----|--------|---|------|-------|---|-------|
| 側 | 左 | 主筋 | 外 | 5.3 | 0.133 | A | 0.71 |
| 側 | 左 | 主筋 | 内 | 2.2 | 0.184 | B | 0.41 |
| 側 | 右 | 主筋 | 外 | 5.0 | 0.133 | A | 0.66 |
| 側 | 右 | 主筋 | 内 | 2.1 | 0.184 | B | 0.38 |
| 側 | 左 | 配力筋 | 外 | 1.0 | 0.685 | C | 0.71 |
| 側 | 左 | 配力筋 | 内 | 0.8 | 0.685 | C | 0.53 |
| 側 | 右 | 配力筋 | 外 | 1.2 | 0.685 | C | 0.80 |
| 側 | 右 | 配力筋 | 内 | 0.9 | 0.685 | C | 0.59 |
| 妻 | 始点 | 主筋 | 外 | 3.2 | 0.113 | F | 0.36 |
| 妻 | 始点 | 主筋 | 内 | 2.3 | 0.113 | F | 0.26 |
| 妻 | 終点 | 主筋 | 外 | 2.2 | 0.113 | F | 0.25 |
| 妻 | 終点 | 主筋 | 内 | 1.3 | 0.113 | F | 0.14 |
| 妻 | 始点 | 配力筋 | 外 | 2.4 | 0.685 | C | 1.64 |
| 妻 | 始点 | 配力筋 | 内 | 0.9 | 0.685 | C | 0.59 |
| 妻 | 終点 | 配力筋 | 外 | 2.4 | 0.685 | C | 1.64 |
| 妻 | 終点 | 配力筋 | 内 | 0.9 | 0.685 | C | 0.59 |
| 妻 | 始点 | せん断補強筋 | - | 1.8 | 0.329 | G | 0.60 |
| 妻 | 終点 | せん断補強筋 | - | 1.9 | 0.329 | G | 0.64 |
| 計 | | | | 37.5 | | | 11.49 |

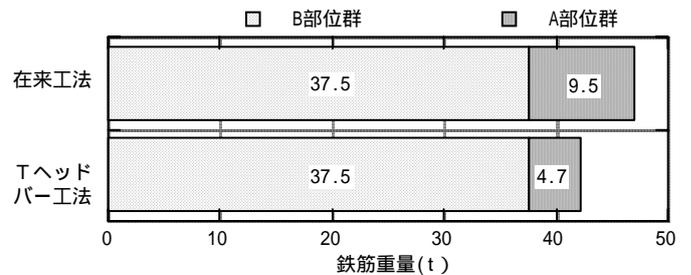


図-16 評価対象全体の鉄筋重量

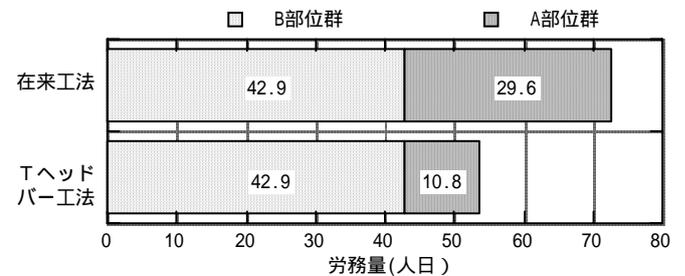


図-17 評価対象全体の労務量

(A部位群: フック鉄筋がTヘッドバーに置換される部位
B部位群: A部位群以外の部位)

以上より, Tヘッドバーを用いることによる施工性の改善が確認できた.

5. まとめ

これまでの施工事例により, Tヘッドバーを用いることで, 施工の容易化による工期の短縮, 材料減少によるコストダウン, 過密配筋部の緩和による品質の向上が可能となることが確認された.

参考文献

- 1) 塩屋俊之ほか: Tヘッドバーの熱成形による組織変化と低温特性, 第55回土木学会年次学術講演会. -578, PP.1512-513, 2000年9月
- 2) 塩屋俊幸, 樋口義弘, 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. コンクリート年次論文報告集. Vol.23, No.3, PP.1799-804, 2001年6月