

報告 ウエルドメッシュ筋（溶接鉄筋網）の基本的な力学性状

清宮 理*¹、藤澤孝夫*²、石原弘一*³

要旨：鉄筋コンクリート製の港湾用ケーソンの現場作業の省力化のためウエルドメッシュ筋（鉄筋網）が提案されている。ウエルドメッシュ筋の基本的な力学性状を把握し、港湾用ケーソンに適用する際の技術的課題を検討した。この結果曲げ性能や疲労強度が通常の鉄筋より低下するものの、引張強度や溶接部の強度は所定の値を満足していた。また3種類の接合方法による梁の載荷試験では、特に悪い力学的性状は見られなかった。現場での曲げ加工作業や大きな繰り返し荷重を受ける箇所での使用に注意が必要であるが、一般的な箇所では十分使用できることが判明した。

キーワード：ウエルドメッシュ筋，溶接，静的強度，疲労強度，接合部

1. はじめに

大量にかつ同一規格で製作される防波堤や護岸用の鉄筋コンクリート製の港湾用ケーソンの製作では、配筋作業、型枠組立、コンクリート打設などで現場作業の省力化が求められている。配筋作業の省力化のためウエルドメッシュ筋による組立鉄筋網（ユニット）の採用が提案されている。ウエルドメッシュ筋を用いることにより、現場での鉄筋工による加工、組立および結束作業が大幅に削減される。ウエルドメッシュ筋では、鉄筋同志を点接するため鉄筋の強度の低下が懸念される。またウエルドメッシュ筋を使用することにより接合部（重ね継手部）が存在する。この接合部では、一断面でウエルドメッシュ筋同志が接合され現行の基準類[1]に整合しない。そこでウエルドメッシュ筋の基本的な力学性状[2]を調べ、港湾用ケーソンへ適用するための条件を整理して設計法の提言のための基礎資料を得ることとした。

2. ウエルドメッシュ筋について

ウエルドメッシュ筋は、工場内の機械で鉄筋を格子状に並べ電気抵抗溶接により連結して製作される。電気抵抗溶接は、高電流と押しつけ圧力により瞬時(0.3s程度)に溶接する方法である。従来のウエルドメッシュ筋は溶接深さをかなり大きくして頑丈に製作されている。今回組立時の自重に耐えられる最小の強度（結束線の強度よりやや大きくし吊り下げ時にユニットが変形しない程度）を確保し、かつ溶接により鉄筋の材質を大きく変化させないため溶接箇所の範囲を極力狭くした。このウエルドメッシュ筋を使用して図-1に示すようなユニットを製作して港湾用ケーソンの配筋作業を行う。

使用する鉄筋径は、通常の規模の港湾用ケーソンに使用される種類

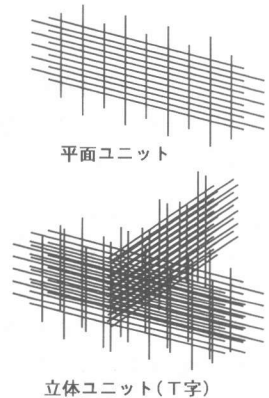


図-1 ユニットの一例

*1 運輸省港湾技術研究所 構造部 構造強度研究室長、工博（正会員）

*2 “ “ 構造強度研究室研究官

*3 運輸省第二港湾建設局 横浜機械整備事務所 施工技術課長

から選定した。すなわち鉄筋径はD13、D16、D19およびD22で、材質はD13がSD295Aで他の鉄筋がSD345である。いずれの鉄筋も電気炉によるものである。これらの鉄筋の種類を縦筋と横筋とに組み合わせてウエルドメッシュ筋を製作する。

3. 基本的な力学試験の項目

ウエルドメッシュ筋の溶接部を切り出して以下の試験を行う。

- ①曲げ試験②硬度試験③鉄筋の引張試験④溶接部の引張およびせん断試験⑤高応力繰り返し試験⑥疲労試験

ウエルドメッシュ筋の3種類の接合部を持つ鉄筋コンクリート梁部材を対象に以下の载荷試験を行う。

- ①静的な曲げおよびせん断試験②疲労試験

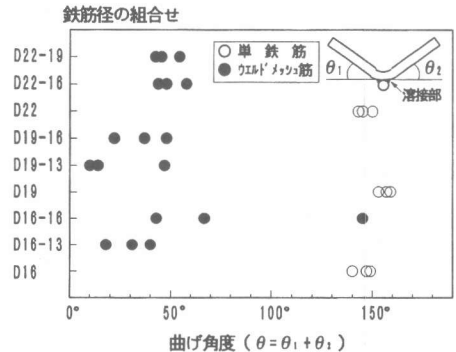


図-2 鉄筋の曲げ試験結果

4. 溶接部を対象とした各種の試験方法[3][4]と試験結果

4.1 曲げ試験

JISの規格に従いDSS-25Tの試験機を使用して鉄筋溶接した箇所を持つ18体と溶接部のない単鉄筋9体の曲げ試験を行った。鉄筋の曲げ半径は、1.5D-2.0Dで最大180度まで载荷を行った。溶接部のない単鉄筋はいずれも規定の曲げ载荷を行っても亀裂などの現象は生じなかった。一方溶接部のある鉄筋では、溶接部の端部から脆性的な亀裂破壊を生じた。

図-2に示すように曲げ载荷後の鉄筋の折れ角度は10度から70度と小さな値であった。ただしここでの折れ角度は、除荷後の残留角度であり破壊時の角度ではない。今回の曲げ試験結果によれば溶接された鉄筋の曲げ性能は良好とは言えなかった。

4.2 硬度試験

ビッカースの硬度試験機により溶接の影響範囲と材質(硬度)の変化を調べた。図-3および図-4に試験結果の一例を示す。ここではD22とD19およびD16とD13の組み合わせの溶接箇所での溶接接合点(ボンド)の水平方向(X)と鉛直方向(Y)の硬度分布を示す。溶接部の硬度(HV)は、約400程度とやや大きな値であった。溶接接合点より水平方向に±約10mm、鉛直方向には±約5mmの範囲で硬度の値が、母材部分より大きくなり、溶接の影響がかなり広い範囲に及んでいることが判明した。他の試験体でも同様な結果を得た。

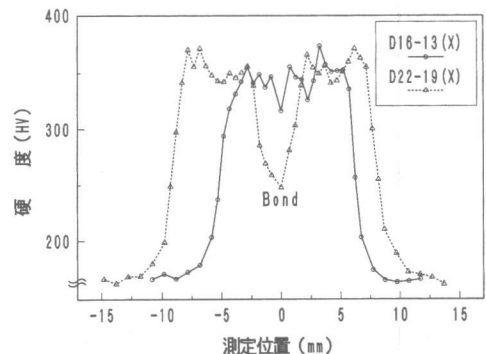


図-3 溶接部の硬度分布(X方向)

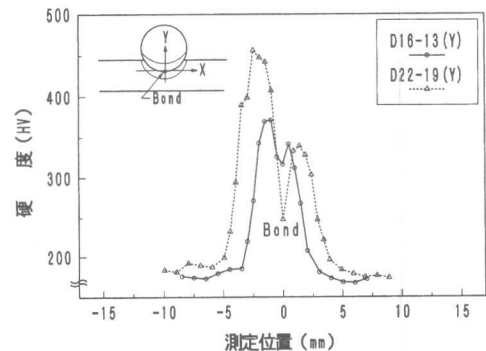


図-4 溶接部の硬度分布(Y方向)

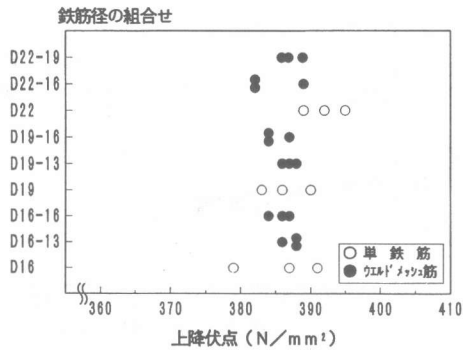


図-5 鉄筋の上降伏強度

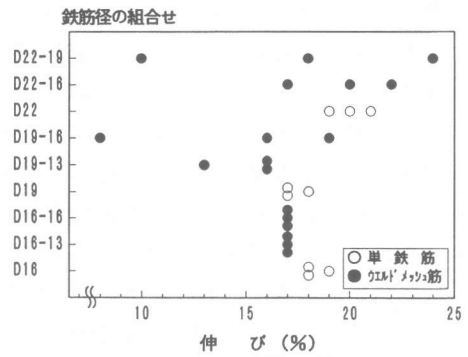


図-6 鉄筋の伸び

4.3 引張試験

溶接部を持つ鉄筋の静的引張試験を行った。ウエルドメッシュ筋より試験体を切り出し溶接部を中央部分に位置させて引張試験を行った。図-5に各鉄筋の組み合わせ毎および単鉄筋の上降伏強度を示す。溶接部あるなしに関わらず上降伏強度は、いずれの試験体も380~395 N/mm²であった。また引張強度も530~600 N/mm²の範囲で溶接あるなしの差はなかった。破断位置は、JISで定めるA部での破断が大半であった。図-6に伸び(%)を示す。伸びは溶接部のない試験体は17%以上あったが、溶接部のある試験体の一部で伸びが小さく同一の種類の試験体でのばらつきが大きかった。溶接部があると伸びがやや小さくなるが、引張強度はほとんど低下しないことが判明した。

4.4 溶接部の引張およびせん断試験

溶接部の引張試験およびせん断試験は、溶接部に直接荷重を与えることのできる専用治具を製作して試験を行った。図-7に各鉄筋の組み合わせ毎の試験結果を示す。鉄筋径が大きくなるほど引張荷重およびせん断荷重もやや増加したが全体的に荷重のばらつきが大きかった。これは、鉄筋の谷と山との接触状況により溶接の溶け込み範囲が異なることによると考えられる。引張荷重は、2.1~6.1 tf、せん断荷重は、3.8~7.1 tfの範囲であった。また試験後に溶接部の破断面積を測定したところ127~243 mm²の範囲であった。載荷荷重を破断面積で除した引張強度は、鉄筋径が大きくなると大きくなった。引張およびせん断荷重値には、ばらつきが見られたがウエルドメッシュ筋の施工時の吊り下げ、運搬などの作業中の強度は十分あると言える。

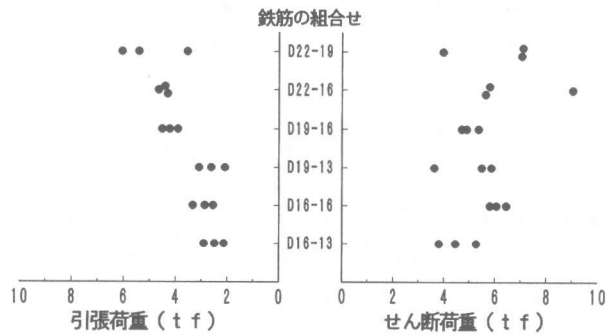


図-7 溶接部の引張およびせん断試験結果

4.5 疲労試験

D16の鉄筋で溶接部のある試験体と無い試験体を対象に疲労試験を実施した。試験体の個数は、それぞれ6体である。応力振幅は200~400 N/mm²の範囲とし200万回まで繰り返

し載荷を行った。得られた疲労試験の結果を図-8に示す。試験体の個数が十分ではないが、図から判るように応力振幅が 250 N/mm^2 以上の範囲では溶接部のある試験体の方がない試験体より疲労強度が最大で約20%程小さかった。図中にコンクリート標準示方書[5]に示される鉄筋の設計疲労強度を示す。ウエルドメッシュ筋の疲労強度は応力振幅が $200\sim 250\text{ N/mm}^2$ の範囲では示方書の設計値とほぼ同じとなった。また示方書では溶接された鉄筋の疲労強度は50%低下する可能性がある指摘しているが、ウエルドメッシュ筋の疲労強度は50%まで低下しなかった。

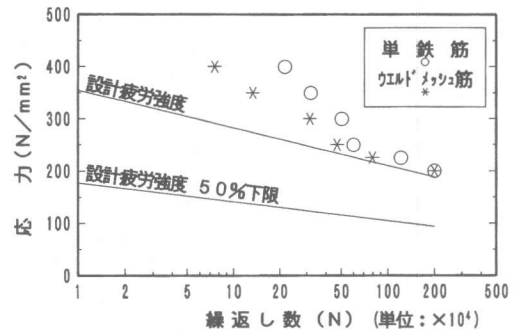


図-8 鉄筋の疲労試験結果

5. 梁の載荷試験

5.1 梁の曲げおよびせん断試験 [6]

ウエルドメッシュ筋では、施工の容易さを考慮して1断面で鉄筋同志が接合される。しかしこの場合部材の終局破壊性状やひび割れ性状に悪い影響を及ぼすことが懸念される。今回3種類(タイプA~C)の接合形式を選定し、この接合部を持つ梁部材を対象に静的曲げおよびせん断試験を行った。曲げおよびせん断試験用の試験体の概要を図-9および図-10に示す。曲げ試験体

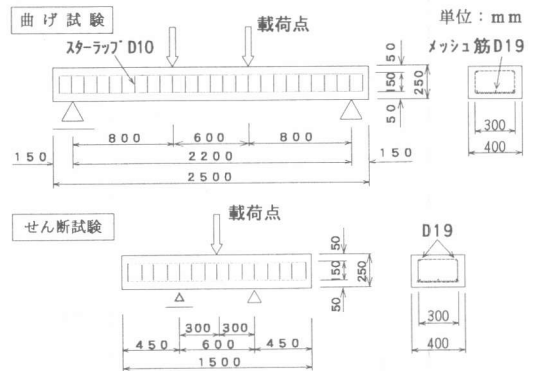


図-9 試験体の概要

は、長さ250 cm、幅40 cm、高さ25 cmで、せん断試験体は同じ断面寸法で長さが150 cmとした。主鉄筋は、D19で13.5 cm間隔に3本、横鉄筋はD19で20 cm間隔とした。またせん断補強筋はD10で10 cm間隔に配置した。せん断スパン比は、曲げ試験体で3.2、せん断試験体で1.2とした。使用したコンクリートは早強ポルトランドセ

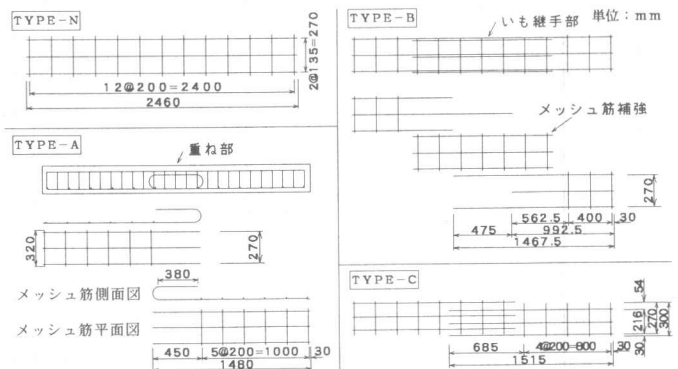


図-10 各試験体接合部での配筋

メントで、設計基準強度は 24 N/mm^2 とした。載荷試験時の管理供試体の圧縮強度は、曲げ試験体で $30.2\sim 31.8\text{ N/mm}^2$ 、せん断試験体で $23.2\sim 27.5\text{ N/mm}^2$ であった。タイプAは、接合部で主鉄筋にU型のフックを付けて33 cmの範囲を重ね継手とした。U型部の直径は60 Rとし38 cmほど折り曲げた。タイプBは、主鉄筋の継手部の長さを交互に変えかつ

接合部にウエルドメッシュ筋を補強した。補強したウエルドメッシュ筋はD 19を3本で長さ123.5cmとした。タイプCは、重ね継手長を30D(57cm)とし一か所での重ね継手(いも継手)とした。ただし鉄筋同志は少し距離を置いて配置した。またタイプNは、接合部のないウエルドメッシュ筋のみの試験体である。

計測項目は、主鉄筋のひずみ、コンクリートひずみ、ひび割れ幅、試験体の変位および荷重値とした。

図-11にタイプNとA試験体のひび割れの発生状況を示す。タイプBとCを含むいずれの試験体でも荷重の増加とともに載荷点付近で曲げひび割れが分散して生じ、その後斜めにせん断ひび割れが進行し終局時に載荷点付近でコンクリートの圧壊が見られた。とくに重ね継手の境界部でひび割れが集中する傾向は見られなかった。また重ね継手部で引張鉄筋側にコンクリートの剥離も見られなかった。図-12に曲げ載荷試験での各試験体の荷重変位の関係を示す。各曲げ試験体の終局荷重は、17tf~20tfであった。3種類の接合方式の試験体は、接合部のない試験体よりも大きな曲げ耐荷力があった。示方書に示されている計算方法での曲げの終局荷重は、17.5tfである。ただしこの計算値は、材料係数、部材係数などを考慮していない特性値を使用して求めた。従っていずれの試験体も所定の曲げ耐荷力を保有していると言える。図-13にせん断試験での荷重変位の関係を示す。せん断耐荷力は55tf~65tfの範囲であった。タイプBの試験体が一番大きなせん断耐荷力があった。また示方書に示される計算方法でのせん断耐荷力(特性値を使用)は、43.1tfでありいずれの試験体も計算値より大きな実験値となった。

5.2 梁の疲労試験

3種類の接合部と接合部のない梁の曲げ疲労

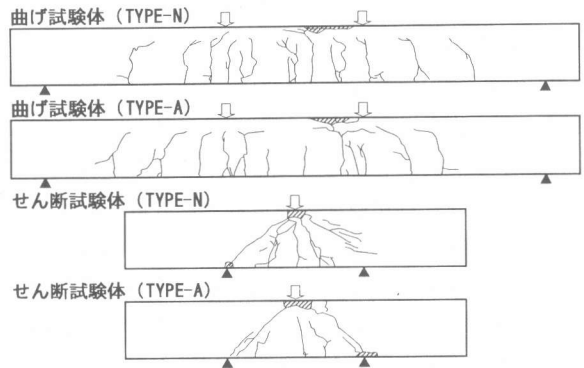


図-11 ひび割れ発生状況図(静的試験)

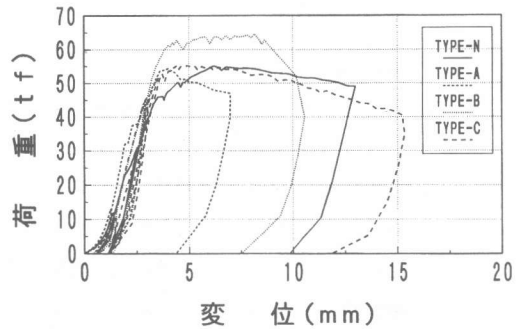


図-12 荷重-変位曲線(曲げ試験)

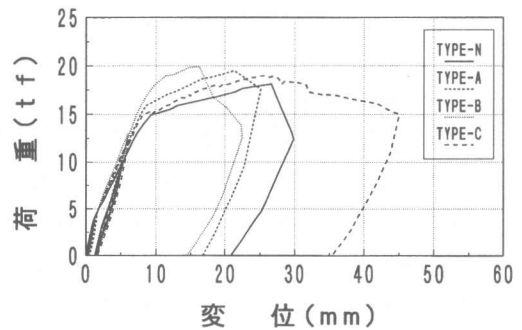


図-13 荷重-変位曲線(せん断試験)

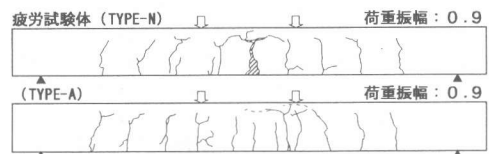


図-14 ひび割れ発生状況図(疲労試験)

試験を行った。各種類で4本の梁を製作し2.2 Hzの振動数で鋼材の降伏荷重の0.9, 0.8, 0.7および0.6の荷重振幅で載荷を行った。図-14にタイプNとA試験体のひび割れ発生状況を示す。タイプBとCを含むいずれの試験体とも曲げひび割れが静的載荷と同様に分散して発生し、終局時に引張側の鉄筋の破断と載荷点間でコンクリートの圧縮破壊が見られた。鉄筋は溶接部で破断していた。重ね継手部で文献[7]で指摘されるような引張鉄筋沿いに鉄筋とコンクリートとの

付着切れによるコンクリートの割裂破壊は見られなかった。図-15に鋼材降伏荷重の比と破壊までの繰り返し数との関係を示す。タイプCの試験体の疲労強度は、接合部のない試験体タイプNとほぼ同程度で、タイプAとBの試験体は接合部のない試験体以上の疲労強度を保有していた。

6. 結論

- (1)今回溶接範囲を狭く溶け込み深さを少なくしてウエルドメッシュ筋を製作したが、それでもウエルドメッシュ筋の曲げ特性は良くなく、現場での加工作業や高応力下での曲げを受ける箇所（地震時のじん性を期待する箇所など）での使用は望ましくない。ウエルドメッシュ筋の静的な引張強度は、単鉄筋とほぼ同程度であったが伸びはややウエルドメッシュ筋の方が小さかった。ただし疲労強度は、単鉄筋と比較して2割ほど低下した。
- (2)溶接部のウエルドメッシュ筋の溶接部の影響範囲は、幅約20mm程度とかなり広くの範囲までに及んでいた。この溶接状況で一箇所当たり2.1~6.2tfの引張荷重と3.8~7.1tfのせん断荷重が得られた。施工中の吊り下げなどの作業中の強度は確保されていた。
- (3)ウエルドメッシュ筋を用いた鉄筋コンクリート梁の曲げおよびせん断強度は、一般部と同程度以上の強度が確保されており、また疲労強度も特に悪い傾向は見られなかった。

7. あとがき

ウエルドメッシュ筋の使用により現場での配筋作業の大幅な低減が図られる。ただし構造部材としてどこでも使用できると限らない。荷重状態（発生応力度の状況）や施工状況を考慮して採用すべきである。港湾用ケーソンでも波浪荷重が直接作用する外壁の鉄筋では繰り返し応力による疲労が懸念されており使用には注意が必要である。たとえば疲労限界状態の検討を溶接強度を考慮して行う、鉄筋の発生応力度を下げる部材設計を行う等の検討が求められる。ただし繰り返し荷重が小さく疲労が問題とならない隔壁、側壁、上部工などの部材には現行でも十分適用できると考える。

参考文献

- 1) 土木学会：鉄筋継手指針、コンクリート・ライブラリー第49号、昭和52年
- 2) 河野広隆、森濱和正：ユニット鉄筋導入による施工合理化技術、土木技術資料、36-1、1994.4
- 3) 佐竹次男：場所打ち杭の鉄筋かご（被覆アーク溶接が鉄筋の材質に及ぼす影響）、建築技術、pp.211-213、1990.5
- 4) 丹野弘ほか：点溶接した鉄筋の力学特性、土木学会第42回年次学術講演会、pp.524-525、昭和62年9月
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書（設計編）、pp.182-249、平成3年度版
- 6) 小林肇ほか：プレキャスト部材の接合目地における鉄筋の重ね継手に関する研究、第4回コンクリート工学年次講演会講演論文集、pp.421-260、1982.6
- 7) 出雲淳一ほか：各種鉄筋継手の集中度がRC梁の疲労特性に及ぼす影響、第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集、pp.257-260、1981.6

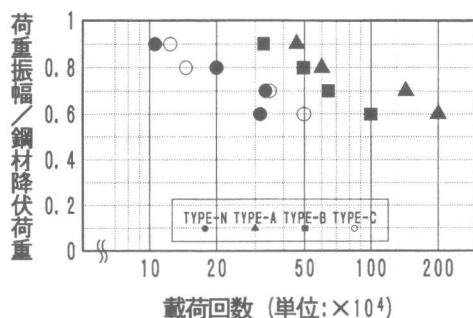


図-15 梁試験体の疲労試験結果