

溶接鉄筋の強度特性と波浪に対する疲労設計

MECHANICAL PROPERTIES OF WELDED REINFORCEMENT AND FATIGUE DESIGN BY WAVES

清宮 理*、藤澤孝夫**

Osamu KIYOMIYA and Takao FUJISAWA

*工博 運輸省港湾技術研究所、構造強度研究室長 (〒239 横須賀市長瀬3-1-1)

** 運輸省港湾技術研究所、構造強度研究室研究官 (〒239 横須賀市長瀬3-1-1)

Welded reinforcement mesh is proposed to cope with hard work of bar arrangement and shortage of labour workers when reinforcement concrete caissons for breakwater or revetment are fabricated. Strength of reinforcement is, in general, decreased when it is welded. Therefore usage of welded reinforcement is limited in construction work. Various problems as to strength properties are scrutinized through fundamental material tests for welded reinforcement and loading tests of concrete beams with welded reinforcement mesh. By welding, bending capacity of reinforcement and fatigue strength are decreased for certain. However reinforcement mesh can be applied for caissons for port facilities on condition that it is applied for small repeated stress level and no bending work.

Key words : welded reinforcement mesh, fatigue strength, marine caisson

1. まえがき

港湾工事に於いて現在ケーソン製作、捨て石均し、コンクリート打設等いろいろな観点から合理化・省力化の努力が行われている。この中で鉄筋コンクリート製の港湾用ケーソン製作の省力化が注目されている。鉄筋コンクリートでは、配筋作業、型枠工事、打設作業に多数の労働者を必要とする。図-1に示すユニット鉄筋工法は、配筋作業の省力化を目指したもので、陸上で鉄筋ユニットを製作しクレーンを用いて建て込む工法である。鉄筋工が高所で一本ずつ鉄筋を搬入、配置、結束する作業を大幅に低減できる工法である。ユニット化では、結束線を用いる方法、特殊な結束治具による方法、点溶接による方法などに分類できる。結束線ではユニットの運搬時に鉄筋網が変形しやすいこと、特殊な治具では工費が高いなどの短所を有する。一方点溶接による方法では必要な強度を得やすく鉄筋網の変形も少ない等の長所を有する。しかしながら溶接鉄筋網は、鉄筋同士を点溶接するため鉄筋の曲げ強度、疲労強度などの低下が懸念されている。鉄筋継手の溶接に関しては従来より多く研究されている。土木学会のコンクリート標準示方書¹⁾では、鉄筋を溶接あるいは機械加工すると静的強度はほとんど低下しないが疲労強度が低下すると述べている。

既往の研究^{2) - 6)}でもその低下の程度についてさまざまな値が報告されており、直線棒鋼では疲労強度が最大50%まで低下する可能性がある指摘されている。そこで基本的な力学試験を行い、溶接鉄筋網の強度を調べる

とともに港湾用ケーソンを対象に波浪による疲労損傷度を検討した。

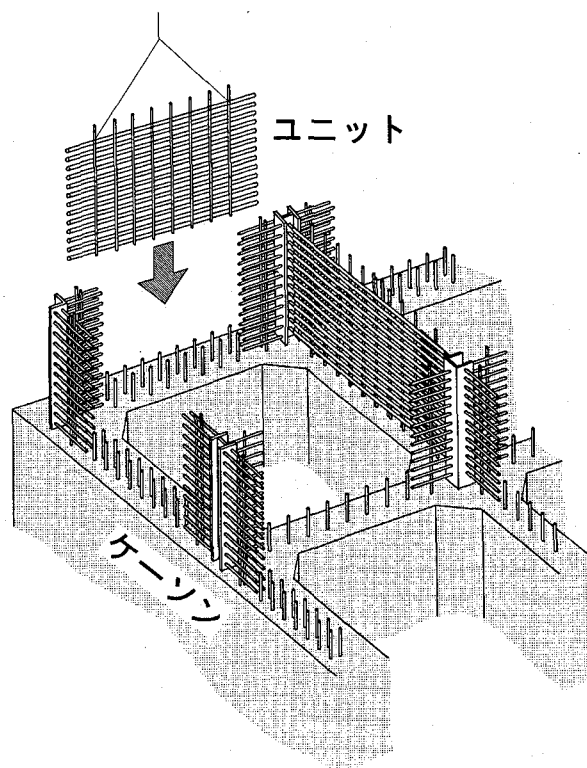


図-1 ユニットを使用した将来の施工例

2. 溶接方法

鉄筋同士を点溶接する方法として、一般的には抵抗溶接とアーク溶接が用いられている。

2. 1 抵抗溶接⁶⁾

抵抗溶接は、鉄筋同士を接触させ大電流を接触箇所に通じ短時間で溶接する方法である。鉄筋網の製作では、鉄筋を縦横に敷き並べそれぞれの鉄筋を上下から押さえながら高電流を流し一気に多点溶接する。今回溶接による鉄筋への熱影響の範囲を極力狭くするため電流値を通常の鉄筋網の製作時より小さくした。また溶接時間も0.3sec程度とした。

2. 2 アーク溶接⁷⁾

アーク溶接は、溶接棒と鋼材間に電氣的にアークを発生させこの熱により鋼材や溶接棒(溶接金属)を溶融して鋼材同士を接合する方法である。溶接ワイヤーはMG-50 12φを選定した。溶接箇所は鉄筋交点の片側のみを約150mm/分の速度でスポット溶接した。溶接時間は、アーク溶接機の時間設定ダイヤルで設定し、規定時間以外の溶接を行わないよう作業管理を行った。

2. 3 使用鉄筋

使用した鉄筋径は、通常の規模の港湾用ケーソンに使用される種類から選定した。鉄筋径は、異形鉄筋のD13、D16、D19およびD22である。材質はD13がSD295AとSD345で他の鉄筋はすべて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合せて鉄筋網を製作した。

3. 溶接鉄筋網の物理試験

3. 1 物理試験の試験項目と目的

(1)引張試験と曲げ試験

試験項目は、鉄筋の試験でごく一般的に行われるJISに示される試験規格による引張試験、曲げ試験を行って、溶接による強度低下と各種鉄筋径の組合せによる強度変化を調べた。なお、アーク溶接の曲げ試験に関しては、溶接強度に影響する溶接電流および溶接時間と曲げ試験における曲げ角度の関係を併せて調べた。

(2)溶接部の強度試験

鉄筋の交差部の溶接強度を調べるために溶接部引張試験と溶接部せん断試験を行い、各種鉄筋径の組合せによる強度変化を調べた。抵抗溶接は一般的に溶接の溶け込み範囲が広く深いのに対し、アーク溶接は溶接の範囲が小さいため、縦筋と横筋のふしの接触形態によって溶接範囲が異なり溶接強度が違うことが想定された。溶接部の引張試験およびせん断試験は、試験規格がない。このため新たに試験治具を製作した。せん断試験については、コンクリート補強用に使用される溶接金網のJIS G 3551の試験を参考に試験治具を製作した。

(3)硬度試験

溶接部の熱影響範囲と溶接部の硬度を調べるために硬度試験を行った。試験方法はJIS Z 2244 ビッカース硬さ

試験法およびJIS Z 3115 溶接部熱影響部のテーパ硬さ試験方法に準じて試験を行った。

(4)高応力繰返し試験

高応力繰返し試験は、土木学会の鉄筋継手指針を参考にして行った。試験方法は下限荷重を4.9kN(0.5t)、上限荷重を鉄筋降伏点荷重の95%の荷重で静的に30回の繰返し載荷を行った。

高応力繰返し耐力性能の評価は、30回目の載荷によって生じた最大変形量と原点を結ぶ勾配が第1回目の載荷時の勾配の85%以上ある場合、一般に高応力繰返し耐力を有する鋼材と評価される。

(5)疲労試験

能力490kN(50tf)の疲労試験機(810システム)を使用した。試験中に試験体掴み部の破断を防止するために、試験体の両端にアルミ管と合成樹脂を用いて補強を行った。試験法は部分片振り応力で行い、応力の下限値は上限値の5%に設定し、上限値を変えた。波形は正弦波で、載荷周波数は10Hzとした。試験条件は、応力の上限値を約200~390N/mm²の範囲とし最大200万回まで繰返し載荷を行った。

3. 2 試験ケース

鉄筋の物理試験用の試験片は、溶接鉄筋網から所定の大きさ(縦筋600mm、横筋300mm)に切断して製作した。

抵抗溶接鉄筋の試験体の個数は溶接鉄筋が108体、単鉄筋(比較のため溶接のない鉄筋)が33体で総個数は141体である。疲労試験については、縦筋D16と横筋D16を溶接した6体(以後、縦筋と横筋の組合せをD16-16の形式で表記)と単鉄筋のD16の6体とした。

アーク溶接鉄筋で溶接による影響が曲げ強度とせん断強度に及ぼす程度を調べるため、溶接電流と溶接時間をパラメータとして予備試験を行った。予備試験の結果、最適な溶接条件として溶接電流150Aと溶接時間3secを定めた。この条件を元に試験体を製作して各種の物理試験を実施した。これらの本試験のうち溶接部引張試験と溶接部せん断試験については、鉄筋の接触形態が山と山、谷と谷および山と谷の3種類をパラメータとして試験を行った。試験体の個数は溶接鉄筋網が278体、単鉄筋が23体で総個数は301体である。疲労試験は鉄筋径の組合せがD19-16の10体(溶接時間:2secで5体、3secで5体)と単鉄筋の5体とした。

4. 溶接鉄筋網の物理試験結果

4. 1 アーク溶接での予備試験

鉄筋径の組合せがD19-16におけるアーク溶接鉄筋の曲げ角度と溶接電流の関係を図-2に示す。横軸は鉄筋の曲げ角度、縦軸は溶接電流、また図中の凡例は溶接時間を示している。溶接時間2secの場合、溶接電流に関係なく概ね良好な曲げ特性を有していた。溶接時間3sec以上の場合、溶接電流が大きくなると曲げ角度の性能

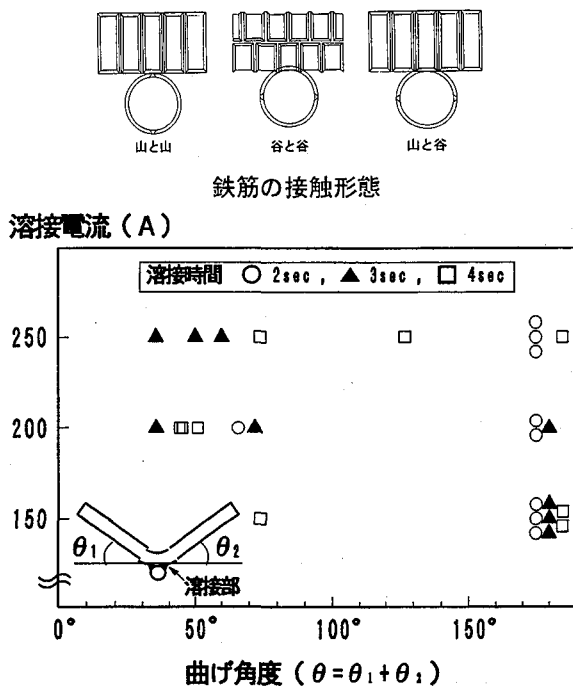


図-2 曲げ角度と溶接電流の関係（7-k溶接）

が低下する傾向にあった。

溶接電流 150A で、溶接時間が 2sec および 3sec の曲げ試験後の試験体状況は、3 体（各ケース 3 体）すべてが 180 度まで曲げることができたが、各ケースの 1 体づつは母材と溶接材の間に 5mm 程度の亀裂（溶接材の剥がれ）が生じていた。

図-3に溶接時間とせん断荷重の関係を示す。図に示すように溶接時間とせん断荷重はほぼ比例関係にあった。また溶接電流が大きいほどせん断荷重も大きくなるが、溶接時間が長くなるほどせん断荷重の増加傾向も大きかった。これは一般的に溶接電流が大きいほど、溶接時間が長いほど溶接材の溶け込み量が多くなるため強度が増大したものと考えられる。

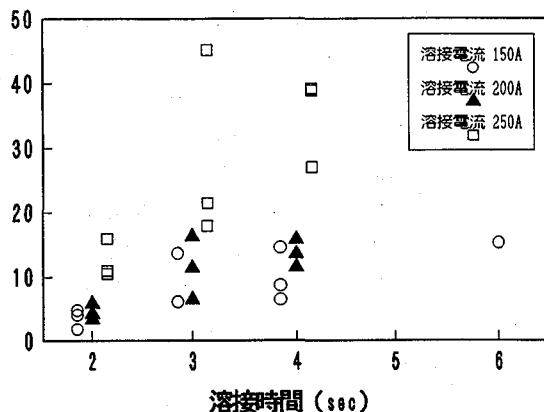
曲げ試験およびせん断試験の結果、曲げ性能の良いものは 150A で 3sec 以下である。またせん断荷重は 150A の 2sec よりも 3sec の方が約 2 倍程大きい。この結果からアーク溶接鉄筋網の製作には、溶接電流 150A、溶接時間 3sec が今回の検討範囲内で最適な溶接条件であることが分かった。

4. 2 引張試験

(1) 引張試験での上降伏強度

図-4に溶接での各鉄筋の組合せ毎と単鉄筋の上降伏点強度の関係を示す。JIS で定める降伏点は D16 が 295N/mm²以上、D19 以上が 345 ~ 440N/mm²である。試験の結果、上降伏点強度は溶接部の有無に関わらず 370 ~ 395N/mm²で規格値以上であった。

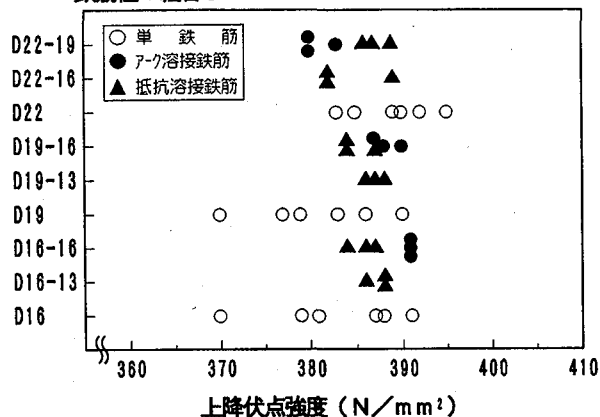
せん断荷重 (KN)



接触形態: 谷谷

図-3 溶接時間とせん断荷重の関係（7-k溶接）

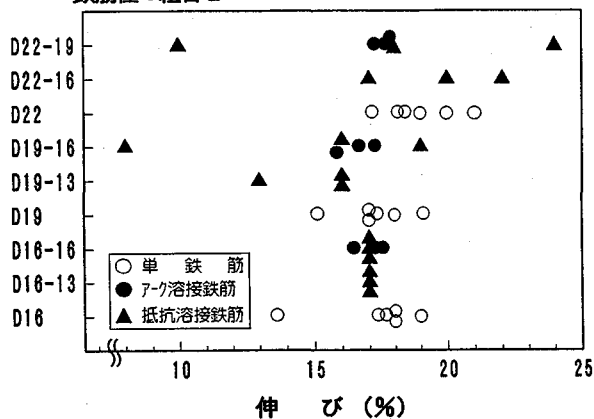
鉄筋径の組合せ



7-k溶接 溶接電流: 150A, 溶接時間: 3sec, 接触形態: 谷谷

図-4 鉄筋の上降伏点強度

鉄筋径の組合せ



7-k溶接 溶接電流: 150A, 溶接時間: 3sec, 接触形態: 谷谷

図-5 鉄筋の伸び

(2) 引張試験での鉄筋の伸び

図-5に鉄筋の伸び(%)を示す。JIS の規格値は D16 が 16%以上(2 号試験片)、D19 以上が 18%以上である。試験の結果、D16 は溶接部の有無に関わらず伸びは概ね 16 ~ 19%で JIS の規格値以上であった。D19 および D22

の単鉄筋は伸びが概ね 17 ～ 21% で、約半数の試験体で規格値を下回るものがあつた。D19 および D22 のアーク溶接は、伸びは 16 ～ 18% で単鉄筋と同様に規格値を下回るものがあつた。抵抗溶接の場合、伸びは 8 ～ 24% で単鉄筋やアーク溶接よりもばらつきが大きかつた。また試験体の半数以上が JIS の規格値以下であつた。伸びが低下した原因は、一般的には鋼材に溶接を行った場合、母材は溶接の熱影響により硬度が上がり、脆くなり、延性が低下すると言われている。このように溶接により鉄筋の伸びが十分でない場合があつた。

4. 3 曲げ試験

図-6 に鉄筋の曲げ試験結果を示す。ここで示した曲げ角度は載荷後の残留角度である。試験の結果、溶接部のない単鉄筋はいずれも規定の曲げ載荷を行つても鉄筋に亀裂などの現象は生じなかつた。一方、抵抗溶接の鉄筋は、溶接部の端部から脆性や延性的な亀裂破壊が生じて全ての鉄筋が折れてしまった。そのときの曲げ角度は図に示すように鉄筋径の組合せに関係なく 10 ～ 70 度の小さな値であつた。曲げ試験を行った結果、抵抗溶接された鉄筋の曲げ性能は良好と言えなかつた。

アーク溶接の鉄筋 D19-16 の曲げ角度は 150 度以上で、他の溶接鉄筋は 180 度まで曲げることができた。D22-19 の 1 体を除く残り 8 体には、溶接熱影響部に約 9 ～ 13mm の亀裂（溶接材の剥がれ）が生じていた。

曲げ試験の結果、アーク溶接された鉄筋の曲げ角度は概ね良好な性能を有していたが、大多数の試験体で母材と溶接材の間で剥がれが生じた。しかし、母材には致命的な亀裂等がないことから、曲げ特性としては特に問題はないものと考えられる。

4. 4 溶接部強度試験

図-7 は抵抗溶接での各鉄筋の組合せ毎の試験結果である。鉄筋径が太くなるほど引張荷重やせん断荷重も増加する傾向にあつた。引張荷重は 20.6 ～ 59.4kN (2.1 ～ 6.1tf)、せん断荷重で 35.6 ～ 88.7kN (3.6 ～ 9.1tf) の範囲であつた。試験結果のばらつきが全体的に大きかつた。こ

れは鉄筋の山と谷との接触形態により溶接の溶け込み範囲が異なることによるものと考えられる。また試験後に溶接部の破断断面積を測定したところ、127 ～ 243mm² の範囲であつた。

図-8 にアーク溶接での溶接部の引張荷重と鉄筋径の組合せを示す。また図中の凡例は、溶接時における鉄筋同士の接触形態を示している。引張強度は約 2 ～ 10kN (0.2 ～ 1tf) でばらつきが大きいが、鉄筋径の組合せが太くなるほど引張強度がやや低下する傾向があつた。

図-9 にアーク溶接での溶接部のせん断荷重と鉄筋径の組合せを示す。せん断荷重は約 2 ～ 40kN (0.2 ～ 4tf)

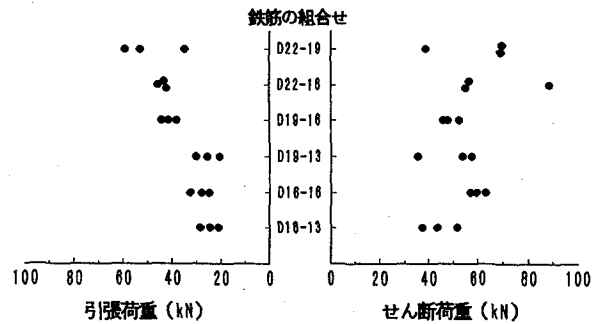


図-7 溶接部引張およびせん断試験（抵抗溶接）

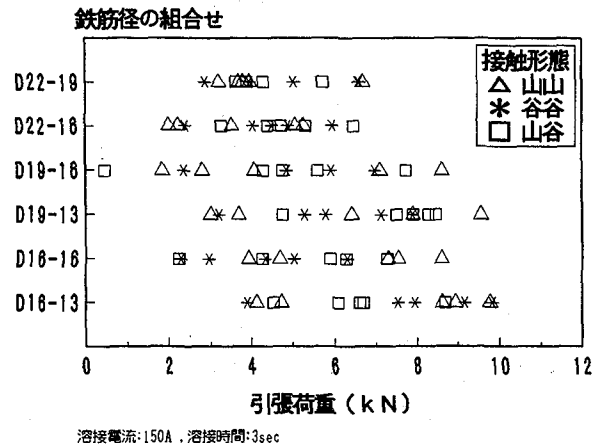


図-8 溶接部引張試験（アーク溶接）

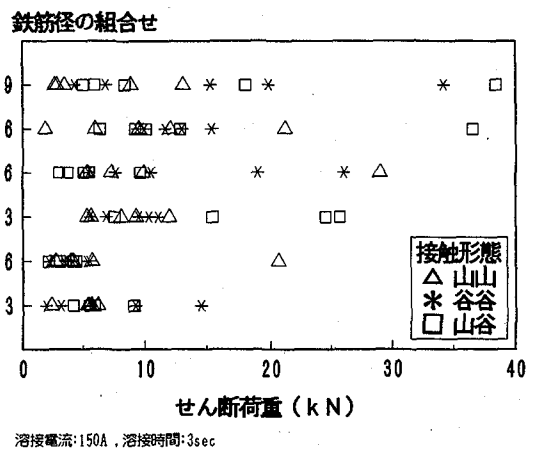


図-9 溶接部せん断試験（アーク溶接）

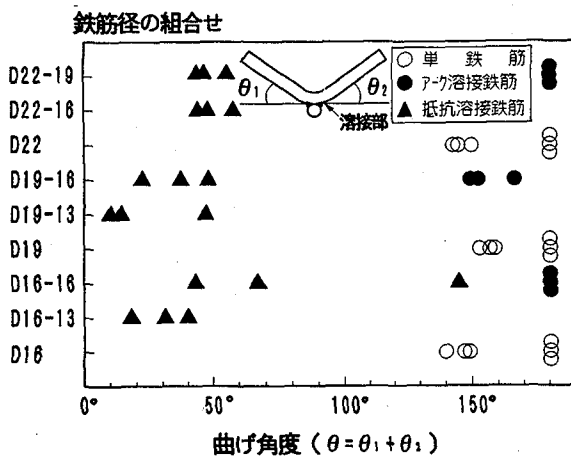


図-6 鉄筋の曲げ試験

でかなりばらつきが大きい。鉄筋径の組合せは太くなるほどせん断強度のばらつきも大きくせん断強度が上がる傾向にあった。

両試験において鉄筋同士の接触形態が与える強度変化について調べたが、強度への影響はほとんど見られなかった。

また、最低の引張荷重およびせん断荷重は約 2kN(約 0.2tf)確保できることから、アーク溶接鉄筋網の施工時の吊り下げ、運搬などの作業中の強度は十分と言える。

4. 5 硬度試験

図-10に抵抗溶接での試験結果の一例を示す。図では鉄筋径の組合せが D16-13 および D22-19 の場合で、測定は溶接接合点(Bond)を通過する水平方向(X)の硬度分布である。溶接の熱影響のない母材の硬度(HV)は 200 以下であるのに対して、溶接部の硬度は約 350 程度でやや大きな値であった。また溶接部の熱影響範囲は、水平方向で約± 10mm、鉛直方向で約± 5mm の広い範囲までに及んでいた。他の試験体でも同様な結果を得た。

図-11にアーク溶接での溶接電流 150A、溶接時間 2,3, および 4sec の条件での硬度分布を示す。測定は溶接接合点(Bond)を通過する水平方向である。溶接の熱影響のない母材の硬度(HV)は 200 以下であるのに対して、溶接部の硬度は約 450 とやや大きな値であった。また溶接部の熱影響範囲は、水平方向で約± 4mm 程度であった。図中の測定位置 0mm 付近の硬度が低いのは、溶接接合点の Bond で熱影響部はその左右に広がっているためである。また図からも分かるように、溶接時間が変わっても硬度には顕著な差は見られなかった。

4. 6 高応力繰返し試験

試験の結果の一例を図-12に示す。抵抗溶接の鉄筋組合せは D22-19 である。また 1 回目と 30 回目の直線勾配比は 0.986 であった。他の試験体についても同様な結果を得た。

土木学会の鉄筋継手指針では 1 回目と 30 回目の直線勾配比(E_{s0}/E_{s1})が 85%以上であれば高応力繰返し耐力を有する継手と評価しているのに対して、今回の試験では最低でも 0.9 以上が確保されていた。高応力繰返し試験を行った結果、溶接部を有する鉄筋は地震時に高応力を繰返し受けても十分耐えうる事が判明した。

4. 7 疲労試験

抵抗溶接での試験結果を図-13に示す。試験体数は十分ではないが図からも解るように、繰返し数が 200 万回以下の範囲において疲労強度は約 20%程小さかった。図中にコンクリート標準示方書に示される鉄筋の設計疲労強度を示す。コンクリート標準示方書では、異形鉄筋の設計疲労強度 f_{srd} は、疲労寿命 N と永久荷重による鋼材の応力度 σ_{sp} の関数として一般に次式により求めるものとしている。

$$f_{srd} = 190 \frac{10^a}{N^k} (1 - \frac{\sigma_{sp}}{f_{ud}}) / \gamma_s \quad (1)$$

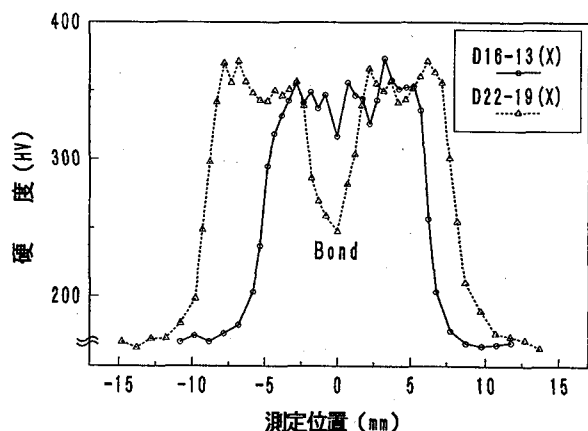


図-10 溶接部の硬度分布 (X方向) (抵抗溶接)

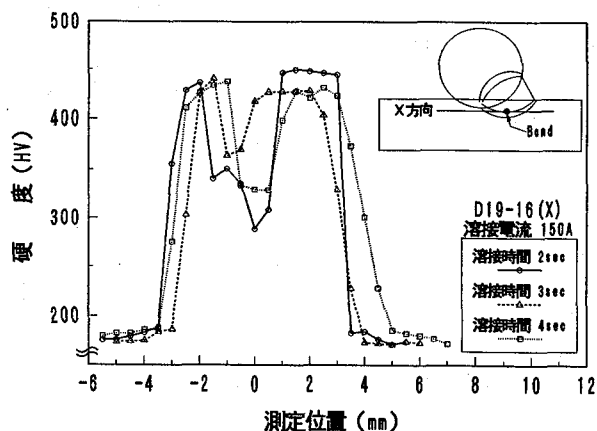


図-11 溶接部の硬度分布と溶接時間 (アーク溶接)

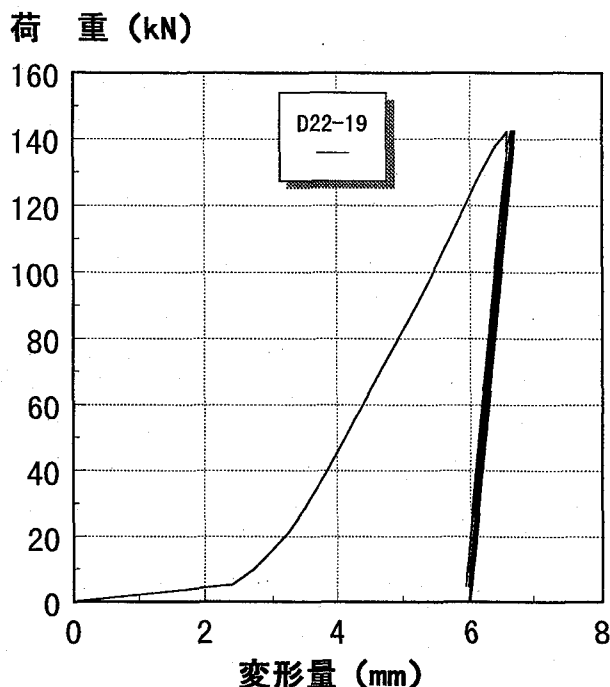


図-12 高応力繰返し試験 (抵抗溶接)

ただし、 $N \leq 2 \times 10^6$

ここに、 f_{ud} ：鉄筋の設計引張強度、 γ_s ：鉄筋の材料係数で、一般に1.05としてよい。

(I) α および k は、試験により定めるのを原則とする。

(II) 疲労寿命が 2×10^6 回以下の場合、 α および k を、次の値を用いる。

$$\alpha = k\phi \quad (0.82 - 0.003 \phi)$$

$$k = 0.12$$

ここに、 ϕ ：鉄筋直径(mm)、 $k\phi$ ：鉄筋のふしの形状に関する係数で、一般に1.0としてよい。

抵抗溶接鉄筋の疲労強度は応力振幅が200～250N/mm²の範囲で、コンクリート標準示方書の設計疲労強度と繰返し回数がほぼ同じとなった。疲労試験の最終破断位置は、単鉄筋の場合母材部とチャック内部で破断していたが、抵抗溶接の場合はすべてが溶接部または溶接部付近で破断していた。

アーク溶接での試験結果を図-14に示す。コンクリート標準示方書の鉄筋の設計疲労強度を示す。溶接時間2secと3secの場合、応力振幅が約210N/mm²以下の領域では示方書の設計疲労強度より繰返し回数が下回った。また溶接部のない単鉄筋と比較した場合、アーク溶接鉄筋は最大で約20～30%ほど疲労強度が低下した。また試験体数は十分ではないが、図中を見る限りでは溶接時間の違いによる疲労強度の差は見られなかった。

疲労試験の最終破断位置は、溶接時間が2secの溶接鉄筋は、5体中4体(1体は破断なし)が溶接部付近で破断していた。一方、溶接時間3secは、5体中3体は溶接部付近で破断しており、1体は母材部で破断していた。残りの1体は破断はしなかったものの、繰返し載荷回数が約112,400回にて横筋が外れてしまった。

示方書では溶接された鉄筋の疲労強度は50%までは低下する可能性があるとして指摘しているが、今回の繰返し範囲内では、抵抗溶接とアーク溶接の鉄筋の疲労強度は50%まで低下しなかった。

5. ケーソンの疲労設計

5.1 設計方法⁸⁾

港湾用のケーソンは、絶えず波浪(波力)を受けており疲労に対する照査が必要となる場合がある。特に外海に面するケーソンでは波浪条件も厳しい。ただし一般的には波浪による疲労限界状態の照査でケーソンの部材断面が設定される例はほとんどない。現在港湾関係の構造設計で行われている波浪に対する構造設計の手順を図-15に示す。通常の港湾用ケーソンの使用期間は50年を想定している。そこで疲労設計する際には50年間の波浪データが必要となる。波浪観測は長期にわたり行われるが、大半の建設地点では短期間のデータしか得られないので、短期間のデータを基にレーリー分布の理論に従い

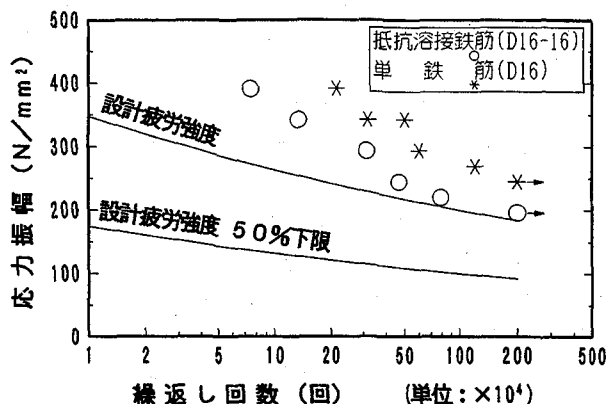


図-13 鉄筋の疲労試験結果(抵抗溶接)

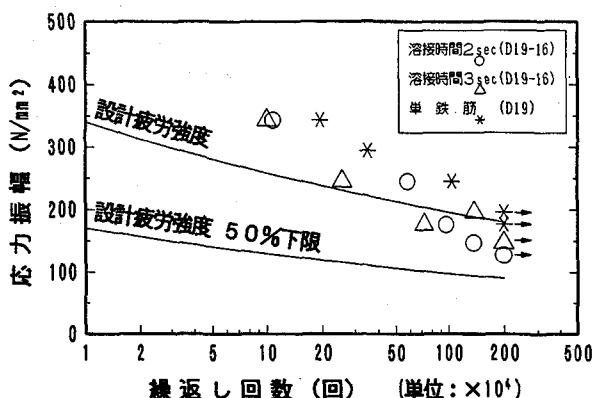


図-14 鉄筋の疲労試験結果(アーク溶接)

50年間の波高レベルと頻度(出現度数)との関係を求める。各波高レベルごとにケーソンの前壁に作用する波力を合式を用いて計算する。波高レベルとして1m(区分された波高の間隔)を今回設定した。この波力と静水圧、土圧、地盤反力、自重など必要な荷重を組み合わせてケーソンの壁に作用する総荷重を計算する。図-16に荷重の状況を示す。押し波時は波の峰がケーソン前壁に到着するときで引き波時は

波の谷がケーソン前壁に位置するときである。押し波時には波圧が前壁に作用し引き波時にはケーソン内部の土圧と静水圧が前壁に作用する。前壁の端部の海側の鉄筋には押し波時に引張応力度が引き波時には圧縮応力度が発生する。ケーソンの前壁を3辺固定1辺自由版と仮定し弾性計算により前壁各点の曲げモーメントを計算する。

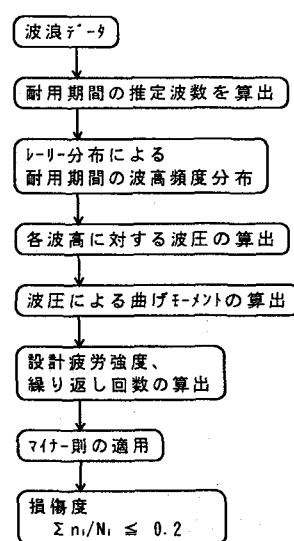


図-15 検討手順

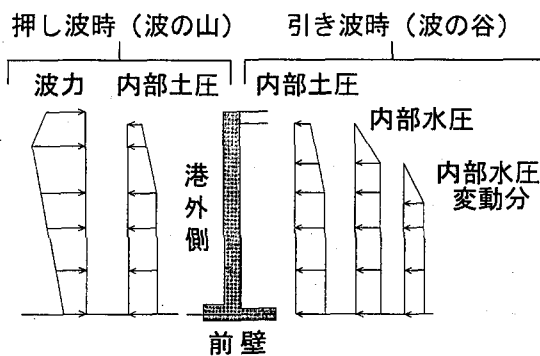


図-16 荷重の状況

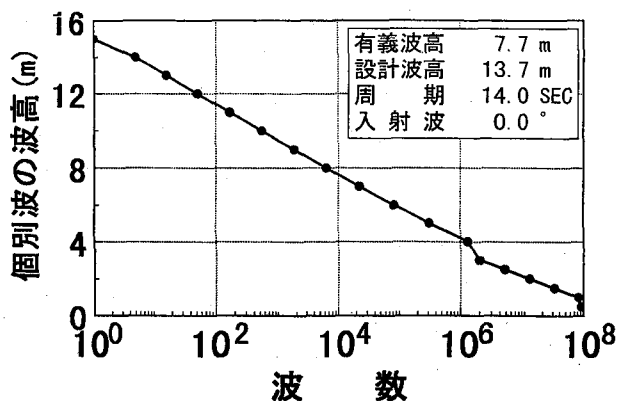


図-18 個別波の波高と波数の関係

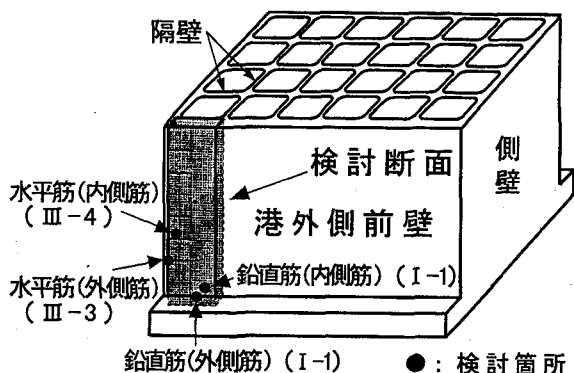


図-17 ケーソン構造と検討断面

この計算は参考文献 8)に示される方法で行う。得られた曲げモーメントから鉄筋の応力度を計算する。押し波時と引き波時のそれぞれの応力度を計算しこの応力度の差を応力度振幅とする。各波高レベルごとにこの応力度振幅での疲労に至る回数と波高の頻度の比を疲労損傷度とする。マイナー則により全波高レベルでの損傷度を累加しこの値が 1.0 以下なら疲労破壊しないとする。ただし疲労の損傷度の安全率を 5 に設定し、損傷度を 0.2 以下にする。

5. 2 計算対象

今回計算の対象とするケーソンは常陸那珂港の防波堤に用いるものである。ケーソンの概要と計算箇所を図-17に示す。ケーソンの幅は 29.85m、高さは 20.0m、奥行きは 24.95m である。港外側の前壁の厚さは 50cm である。完成時の設計波高は (Hmax) は 13.7m、周期は 14sec である。常陸那珂港では 3 年間の波浪観測が行われたので、このデータを基に 50 年間の波高レベルを推定し、図-18に示す波高の頻度分布図を作成した。太平洋側に面している常陸那珂港の波浪条件はかなり厳しい状況である。式(1)に示される設計疲労強度式を 10%, 20%, 30%, 40% および 50% に低減して上記で説明した手順で疲労損傷度を計算した。ただし α および k は示方書に示す式で計算した。

5. 3 計算結果

ケーソンの使用年数 50 年間での疲労損傷度計算にお

表-1 計算結果の一例

波高 H (m)	周期 T (sec)	作用波数 n (回)	曲げモーメント (tf·m)	設計 疲労強度 (kgf/cm ²)	疲労繰り 返し回数 N	損傷度 n/N
12.0	12.0	74	26.207	2667.3	333	0.22222
11.0	11.5	166	22.990	2339.9	993	0.16717
10.0	11.0	539	19.773	2012.5	3487	0.15457
9.0	10.5	1,815	16.557	1685.1	15313	0.11853
8.0	10.0	6,301	13.340	1357.7	92666	0.06800
7.0	9.5	22,510	10.903	1109.7	497629	0.04523
6.0	9.0	82,531	8.467	861.7	4095609	0.02015
5.0	8.5	314,163	6.030	613.7	69286963	0.00453
4.0	8.0	1,316,282	4.313	439.0	1.13E+09	0.00116
3.0	7.5	1,982,581	2.597	264.3	7.75E+10	0.00003
2.5	7.0	4,702,880	1.738	176.9	2.20E+12	0.00000
2.0	6.5	12,010,572	0.880	89.6	6.37E+14	0.00000
1.5	6.0	206,154,251	0.022	2.2	1.66E+28	0.00000
※ 検討条件 設計強度の低減率 50%						0.80159
※ 検討箇所 水平筋 (外側筋Ⅲ-3)						

※ 検討条件 設計強度の低減率 50%
※ 検討箇所 水平筋 (外側筋Ⅲ-3)

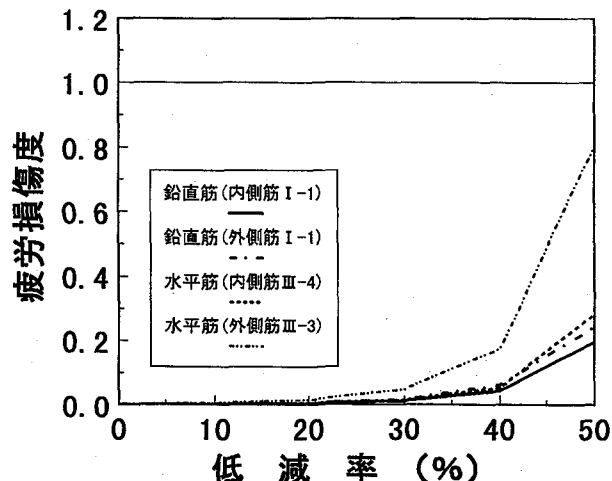


図-19 損傷度と低減率の関係

いて、設計疲労強度が 50%低減した場合の一例を表-1に示す。疲労損傷度は高波浪のとき大きく、低波浪のときは今回非常に小さかった。疲労損傷度と溶接部の疲労強度の低減率の計算結果を図-19に示す。前壁の水平鉄筋の外側筋 (海側) の箇所では疲労損傷度が大きくなった。ケーソン内側の鉄筋の疲労損傷度はかなり小さかった。

低減率が大きくなると疲労損傷度も増加した。前壁の水平鉄筋で外側筋疲労強度の低減率が 50% のとき疲労損傷度は 0.8 程度となり疲労破壊の可能性が高い結果となった。しかしながら低減率を今回の疲労試験結果を基に 20 ～ 30% 低減したときの疲労損傷度は 0.1 以下となり、疲労破壊の可能性は小さいことが分かった。このことから今回の検討場所のケーソンに溶接鉄筋網を用いても波浪による疲労破壊の危険性は低いと判断した。逆に適切な溶接の管理をしないと疲労強度の低下が予測されこの場合波浪に対するケーソンの安全性は低いと考える。

6. 結 論

- (1) 今回溶接範囲を極力小さくして抵抗溶接あるいはアーーク溶接により鉄筋網を製作したが、引張強度の低下は見られなかった。抵抗溶接の鉄筋網では曲げ特性と延びの性質は必ずしも良くなかった。アーーク溶接では電流(150A)と溶接時間(3sec)を管理すると良い曲げ性能が得られた。
- (2) 溶接部での鉄筋の熱影響を受ける範囲は、抵抗溶接では約 20mm と範囲が広がった。この溶接状況で抵抗溶接で 1 カ所あたり 21 ～ 59kN の引張荷重と 36 ～ 89kN のせん断強度が得られた。アーーク溶接で 1 カ所あたり 2 ～ 10kN の引張強度と 2 ～ 40kN のせん断強度が得られた。溶接状況により引張強度およびせん断強度のばらつきは大きかったが、溶接鉄筋網の吊り下げや運搬時の強度は十分であると判断される。
- (3) 溶接により鉄筋の疲労強度は、溶接のない鉄筋と比較して 20 ～ 30% 低下した。コンクリート標準示方書に示されている 50% は低減しなかった。
- (4) 港湾用ケーソンに溶接鉄筋網を用いた場合を想定して波浪に対する疲労損傷度を計算したところ、今回の溶接による疲労強度の低下の範囲では疲労損傷度は小さく疲労破壊しないと判断された。

あとがき

溶接鉄筋網の使用により現場での配筋作業が大幅に低減できかつ高所での危険作業も少なくなる。ただし構造部材に使用する場合どこにも使用できるとは限らない。

荷重状況(鋼材の応力度)や施工状況を考慮して使用するべきである。港湾用ケーソンでは、波浪などの繰返し荷重が作用する箇所に使用する場合、疲労限界状態を照査しておく必要がある。ただし一般的に大きな波浪を受けない限り疲労破壊に対する安全性は高い。また防波堤ケーソンで繰返し荷重が小さく疲労が問題とならない側壁、隔壁、上部工等の部材には溶接鉄筋網が現在でも十分適用できると考える。もし疲労が問題となる箇所に使用する場合は、溶接疲労強度の低下を考慮して鋼材の発生応力度を小さくする部材設計を行うなどの対応が必要である。最後に疲労計算を実施していただいた若築建設の堀之内尚志君(元港湾技術研究所研修生)に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書(設計編)、平成 3 年度版、pp.30-32
- 2) 河野広隆、森濱和正：ユニット鉄筋の導入による施工合理化技術、土木技術資料 36-1、1994.4、pp.24-31
- 3) 丹波弘ほか：点溶接した鉄筋の力学性状、土木学会第 42 回年次学術講演会、昭和 62 年 9 月、pp.524-525
- 4) 佐竹次男：場所打ち杭の鉄筋かご(被覆アーーク溶接が鉄筋の材質に及ぼす影響)、建設技術、1990.5、pp.211-213
- 5) 森濱和正ほか：鉄筋の諸特性に及ぼすスポット溶接の影響、コンクリート工学年次論文報告集 Vol.17 No.2、1995、pp.11-16
- 6) 清宮理ほか：ウエルドメッシュ鉄筋(溶接鉄筋網)の基本的な力学性状、コンクリート工学年次論文集、Vol.17, No.2, 1995, pp.17-22
- 7) 藤澤孝夫ほか：アーーク溶接鉄筋網の力学特性、土木学会第 50 回年次学術講演会、(第 6 部門)、1995.9、pp.400-401
- 8) 港湾施設の技術上の基準・同解説、日本港湾協会、平成元年 6 月、pp.36-131

(1996 年 9 月 6 日受付)