

## PC 海洋構造物の接合部での疲労特性

運輸省港湾技術研究所  
(社)プレストレストコンクリート技術協会

## 1. まえがき

海洋空間をより有効に活用するため、沖合人工島、波浪制御構造物等の施設の建設が積極的に計画・実施されている。これらの施設の建設は、次第に水深の大きい沖合へと展開している。沖合では、波力、地盤反力、地震力等も大きくなることが考えられ、より精緻に施設の安全性を検証するとともに、経済的な建設を行う必要がある。また海洋環境下では、施工方法や工期がかなり限定される。そこでPCプレキャスト部材の採用が考えられる。プレキャスト部材を用いる場合、構造物内に接合部が存在する。建築物<sup>1),2)</sup>、橋梁等の陸上構造物とは異なり、厳しい海洋環境下に置かれる構造物材では、強大な波力を正負両方向から繰り返して受ける。この波力に対して、構造物材が、耐力的にも安全であり、かつ耐久性の観点からひびわれ幅等が許容値内にあることが望まれる。本報告では、プレキャスト部材の柱・梁接合部での波力に対する疲労特性について実験的に検討を行った結果、および限界状態設計法を接合部に適用する手順と問題点について述べる。また本報告での研究は、科学技術庁の科学振興調整費による「海洋構造物による海洋空間等の有効利用に関する研究」の一環として、運輸省港湾技術研究所とPC技術協会とが共同で行った。

## 2. 対象とする接合部と技術的課題

コンクリート製の海洋構造物には、波浪制御構造物、貯油施設、石油掘削リグ、人工島の護岸等使用目的によってさまざまな形態がある。最近、波浪制御構造物や護岸等にPCプレキャスト部材の導入が図られつつある。具体的な一例として、図-1に示す秋田湾での曲面スリットケーソン<sup>3)</sup>を挙げることができる。この曲面スリットケーソンでは、曲面形状のPC部材が堤体前面に取り

付けられ消波工を形成している。図-2には、柱・梁構造による水平板付き立体骨組構造による透過式波浪制御構造物(案)<sup>4)</sup>を示す。図-2に示す構造形式以外にもいくつかの新形式の波浪制御構造物が提案されている。これらの波浪制御構造物により強大な波浪エネルギーを逸

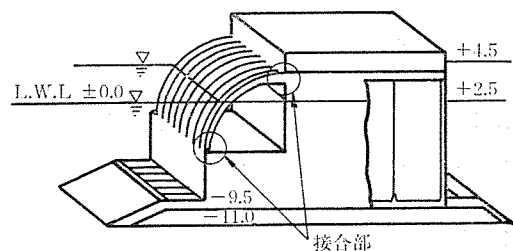


図-1 曲面スリットケーソン防波堤(実在)

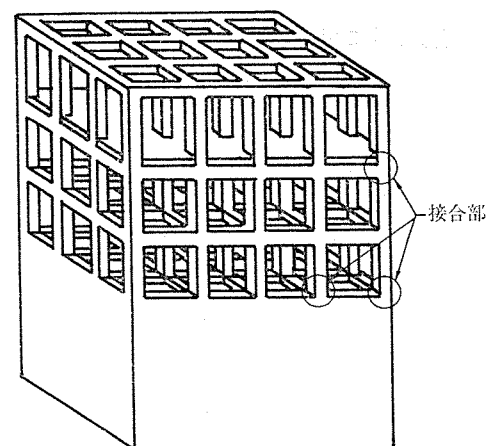


図-2 波浪制御構造物(案)

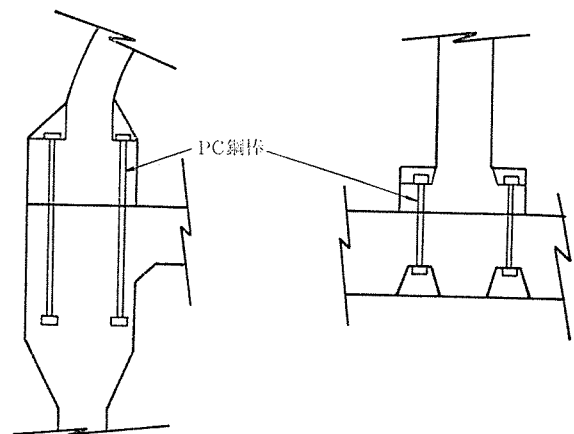


図-3 接合部の一例

(文責)

清宮 理 (運輸省港湾技術研究所)  
横井聡之 (運輸省港湾技術研究所)  
横田 弘 (運輸省港湾技術研究所)  
郡山 修 (オリエンタルコンクリート(株))  
阿部宗人 (ピー・エス・コンクリート(株))  
南川光一 (ドーピー建設工業(株))  
迎 邦博 (住友建設(株))

◇論文報告◇

散させ、背後に広大な静穏な水域が確保できる。この水域では、水産業、レクリエーション施設等多目的に利用できる。ところで、これらの構造物では、部材どうしがPC鋼棒によって接合される。この接合例を図—3に示す。PCプレキャスト部材の採用により、自然条件の厳しい現地での施工期間の短縮、品質管理のいきとどいた製品を陸上で製作できるといった利点が生じる。

接合部は、一般的に構造的な弱点あるいは施工の難しい箇所と見なされている。波浪制御構造物での接合部では、以下の項目について検討する必要がある。

- ① 現地で容易に施工できる接合方法
- ② 波浪に対する接合部の静的および動的強度
- ③ 接合部でのひびわれの制御
- ④ 必要に応じた接合部の補強
- ⑤ 接合部の設計の考え方

採用可能な接合部の構造様式の選定および静的な荷重に対する強度特性については、報告済み<sup>5),6)</sup>である。ここでは、接合部の波浪に対する動的強度（疲労特性）について報告する。

### 3. 疲労寿命の算定

#### 3.1 疲労設計に用いる波浪<sup>7)</sup>

日本近海の波浪状況は、外洋、内海等場所ごとに異なる。秋期の台風や冬期の季節風等により大きな波浪が、沿岸に到着する。実際の波は、波高および周期が異なった多数の規則波が合成されている不規則波と見なせる。不規則波の性質を示す指標として、有義波 ( $H_{1/3}, T_{1/3}$ ), 平均波 ( $\bar{H}, \bar{T}$ ), 1/10 最大波 ( $H_{1/10}, T_{1/10}$ ), 最高波 ( $H_{max}, T_{max}$ ) 等がある。ここで  $H$  は波高,  $T$  は周期を示す。疲労設計には波高と波数の関係が必要であるが、用いる波として、有義波と最高波とがある。有義波は、波高の大きいものから数えて全波数の 1/3 に相当する波を選び出し、それらの波高および周期を平均化した値である。最高波は、最も波高の大きい波高とその周期をいう。最高波の波高は、観測される波数 ( $N_0$ ) によって異なるが、波数が大きいと近似的に次式によって有義波高と関連付けられる。

$$H_{max}/H_{1/3} \approx 1.07 \sqrt{\log_{10} N_0} \dots\dots\dots(1)$$

次に簡単に再現期間と最高波高と波数との関係を示す。有効統計年数 ( $K$  年) 内で、ある特定の波高値以上の極大波を拾い出し、その総数を  $N$  とする。拾い出した極大波を順番に並べ、未超過確率  $P[H < X_{m,N}]$  を計算する。極大波は、有義波高で定義される。また  $m$  は、順番に並べた波高記録で  $m$  番目に大きい波を示す。

$$P[H < X_{m,N}] = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta} \dots\dots\dots(2)$$

ここで  $\alpha, \beta$  は、Weibull 分布での  $k$  値より決まるパラメータである。極大波高の再現期間 ( $R_p$ ) は次式で求まる。

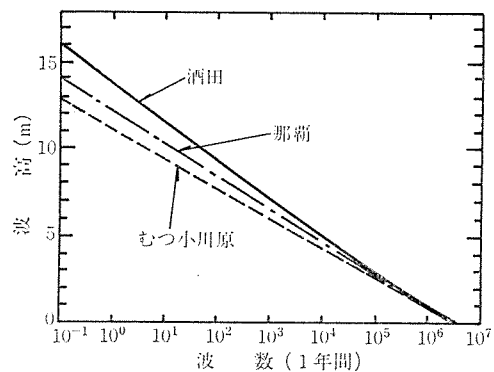
$$R_p = \frac{K}{N} \frac{1}{1 - P[H < X_{m,N}]} \dots\dots\dots(3)$$

運輸省港湾技術研究所では、全国 23 地点で波浪に関する拠点観測<sup>8)</sup>を実施しており、観測で得られた、再現期間に対する極大波高（確率波高）を表—1 に示す。

表—1 再現期間に対する最高波高の推定値

地点名 再現期間	酒田	金沢	浜田	那覇	小川原	鹿島	波浮	油津
1 年	13.2	13.5	11.7	11.5	10.7	12.1	11.5	14.6
3 年	15.1	15.3	13.2	13.1	12.2	13.6	12.8	17.1
5 年	15.6	15.8	13.7	13.5	12.6	14.0	13.2	17.9
10 年	16.3	16.6	14.3	14.1	13.2	14.6	13.8	18.9
15 年	16.7	17.0	14.6	14.5	13.6	15.0	14.1	19.5
20 年	17.0	17.3	14.9	14.8	13.8	15.2	14.3	19.9
30 年	17.4	17.7	15.2	15.2	14.2	15.6	14.6	20.5
50 年	17.9	18.2	15.7	15.6	14.6	16.0	15.0	21.2
100 年	18.6	19.0	16.3	16.3	15.2	16.6	15.5	22.3

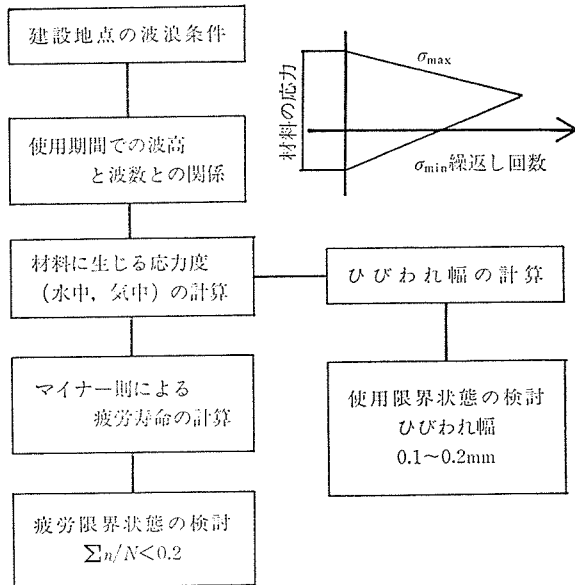
また、ある特定の波高に対する波数 ( $n$ ) は、Battjes の方法により求めることができる。この方法により得られる、ある波高レベルを超過する 1 年間の個別波の波数を、図—4 に示す。小さい波も含めれば、年間数百万波が、構造物に作用することになる。



図—4 ある波高レベルを超過する 1 年あたりの個別波の波数

#### 3.2 疲労設計の手順

波浪を繰り返し受ける PC 部材の疲労設計は、図—5 に示す流れ図に従って行う。疲労設計では、疲労限界状態および使用限界状態の 2 種類の限界状態<sup>9)</sup>を設定する。疲労限界状態は、PC 部材の構成材料である、コンクリート、鉄筋および PC 鋼棒に生じる応力度に対して疲労破壊を起こさないことを前提にマイナー則によって検討を行う。この際、検討を行う荷重は、構造物の使用期間中に来襲する波浪によって計算する。波浪制御構造物では一応 50 年程度を使用期間として考えている。部



図—5 疲労の検討

材内に生じる応力度は、構造計算によって行う。ある特定の波高によって生じる最大応力度 ( $\sigma_{max}$ ) と最小応力度 ( $\sigma_{min}$ ) より応力振幅 ( $\sigma_{max}-\sigma_{min}$ ) を得る。平均応力度  $\{(\sigma_{max}+\sigma_{min})/2\}$  の状態により材料に両振り、あるいは片振り等の応力度が作用することになる。この応力振幅に対応する、波高と波数を 図—4 を参考に求める。波数 ( $n$ ) とその応力度振幅で疲労破壊に達する繰返し回数 ( $N_f$ ) との比  $n/N_f$  が疲労に対する損傷の程度を示す。使用期間中の各波高に対して  $n_i/N_{fi}$  を計算し、この累計 ( $\sum n_i/N_{fi}$ ) が 1 となれば疲労破壊に達すると考える。

一方、使用限界状態は、コンクリートに過度のひびわれを与えず、使用期間中に構造物が耐久性を保持できる状況に対して検討する。ある再現期間の波浪を設定し、このときの波浪に対して、ひびわれ幅が許容値内にあることで使用限界状態の検討を行う。FIP<sup>10)</sup> では、再現期間 1 か月の波浪を設定している。「プレストレストコンクリート港湾構造物設計指針 (案)」<sup>11)</sup> では、6 か月～1 年の波浪 (有義波高で表示) を設定している。ひびわれ幅の許容値の目安は、0.1 mm～0.2 mm である。部材の置かれた環境 (水中、気中、飛沫帯) および求められる水密性等によって、責任技術者がこの許容値を設定できる。また初期にひびわれが生じてなくても、繰返し荷重を長く受けていると、ひびわれが発生、進行することも考えられ、このことも検討する必要がある。

#### 4. 疲労試験の内容

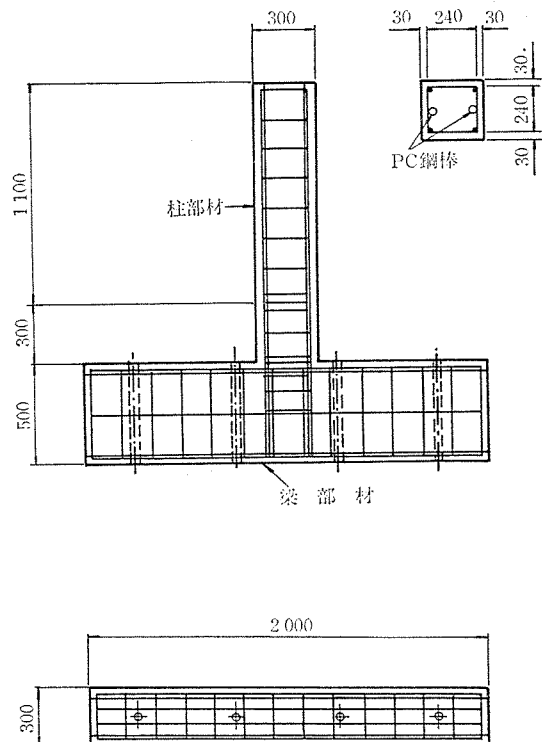
##### 4.1 疲労試験の概要<sup>12)</sup>

本報告で対象とする接合部は、柱・梁接合部である。

波浪制御構造物での柱と梁の接合方法として何種類か提案されているが、ここでは一体接合構造と場所打ち接合構造の二種類を取り上げる。場所打ち接合構造は、個々に分割された PC 部材をヤードで組み立てる際に生じる。疲労試験では、柱下端の接合部の疲労特性の把握に着眼する。試験体の形状は L 形で、梁を反力床に PC 鋼棒で固定し、柱上端に油圧振動機により両振りの繰返し荷重を載荷する。また水中と気中との疲労特性の相違を調べるため、試験体の接合部付近に水槽を取り付け水没させる。疲労試験では、破壊形式、荷重～繰返し数 ( $S-N$  曲線)、ひびわれの発生と進展、鋼材とコンクリートでのひずみの進行等を調べる。

##### 4.2 試験体の諸元

試験体の概要を 図—6 に示す。柱部材は高さが 140 cm、幅と奥行が各々 30 cm の正方形の断面である。梁部材は長さが 200 cm、高さが 50 cm、奥行が 30 cm である。柱部材の主鉄筋は直径 10 mm のが 4 本、帯鉄筋は直径 6 mm で 15 cm 間隔に各々配置してある。梁部材の主鉄筋は、直径 13 mm のが 12 本、帯鉄筋は直径 6 mm で 15 cm 間隔に各々配置してある。鉄筋の材質は SD 35 である。柱部材と梁部材とは、柱部材内の直径 17 mm の 2 本 PC 鋼棒および 4 本の主鉄筋を梁部材に延長させて接合させる。PC 鋼棒による導入プレストレス量は、コンクリート応力で約 20 kgf/cm<sup>2</sup> である。プレストレス導入後、シーす内にグラウトを注入する。



図—6 試験体の概要 (単位: mm)

◇論文報告◇

一体接合構造は、柱部材と梁部材とを配筋後同時にコンクリート打設を行う。場所打ち接合構造では、柱部材下方 30 cm の範囲内で、柱部材の主鉄筋と梁部材からの鉄筋とが重ね継手となっている。この範囲では、膨張コンクリートを用いて場所打ちを行う。柱部材と梁部材の設計基準強度は、 $350 \text{ kgf/cm}^2$  である。場所打ちコンクリートの設計基準強度は、150, 350 および  $550 \text{ kgf/cm}^2$  の 3 種類である。製作する試験体の総数は 23 体である。内訳は、一体接合構造 10 体（気中 5 体，水中 5 体）および場所打ち接合構造 13 体（気中 8 体，水中 5 体）である。柱部材の終局曲げ耐力は、約  $6.6 \text{ tf}\cdot\text{m}$ 、せん断耐力は、約  $10.3 \text{ tf}$  と計算される。

4.3 荷重方法と計測

柱上端の位置で加振機（動的荷重能力 30 tf）により水平方向に荷重を行う。加振機と柱間にピンを 2 段に取り付け、柱の水平および回転変位に対して加振機が追従できる構造とする。加振は、正負交番すなわち両振りで行う。この際の波形は正弦波で、振動数は、 $1.5\sim 3.0 \text{ Hz}$  とする。

計測は、荷重重、柱部材の変形、鋼材のひずみおよびコンクリートのひびわれ幅について実施する。計測の概要を図-7 に示す。鋼材のひずみは、柱部材の主鉄筋の 18 箇所、帯筋の 2 箇所および PC 鋼棒の 3 箇所にひずみゲージを貼り付け測定を行う。

5. 疲労試験の結果

5.1 破壊性状

疲労試験での試験体の破壊の定義（繰返し数や破壊形式の特定）は容易でない。破壊時付近になると、加振機

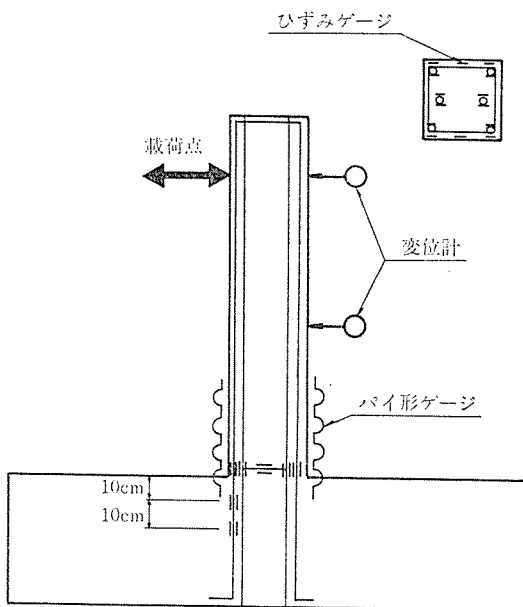


図-7 計測位置

の変位も急に増加しはじめ、設定荷重振幅が保持できなくなると同時に周波数も不安定となる。またコンクリートの圧縮、鉄筋の破断等の破壊形式でどれが先行したのか判定が難しい場合もある。ここでは、加振機の変位が初荷重時の変位の 5 倍に達したときの状況から破壊形式を特定した。また鋼材が破断した場合には、その時点での繰返し数とした。

静的荷重試験では、一体接合構造および場所打ち接合構造とも、柱下端での曲げ破壊が生じていた。疲労試験における破壊形式は、以下の 3 種類に今回分類できた。

- ① 柱部材下端でのコンクリートの圧縮破壊
- ② 柱部材下端での主鉄筋の破断
- ③ 梁部材内での PC 鋼棒の破断と定着部のコンクリートの破壊

大半の試験体でコンクリートの圧縮破壊が見られ、3 体のみ鋼材の破断が見られた。コンクリートの圧縮破壊では、曲げ破壊が卓越していた。この際、柱部材下端のコンクリートをはがして主鉄筋の状況を観察したところ、なかには主鉄筋の細っていたものも見られた。

PC 鋼棒の破断は、定着部のねじ部<sup>13)</sup>で生じており、そこではコンクリートが剝離していた。ただし鋼材の破断は、気中試験で生じており、水中試験ではすべてコンクリートの圧縮破壊であった。

5.2 疲労耐力

図-8 に荷重振幅と破壊に達した際の荷重回数との関係 ( $S-N$  曲線) を示す。今回の試験体の静的耐力は約 4 tf である。気中試験と水中試験では、耐力的に明らかな差が生じているが、同一の繰返し回数に対して、試験体が破壊に達する荷重振幅値は、水中の場合が気中の場合の 70~80% である。繰返し回数 200 万回に達しても破壊に至らない荷重振幅値は、静的破壊荷重（気中）に対して、気中で約 50%、水中で約 30% となった。

また、水中と気中とも、一体接合構造と場所打ち接合構造で疲労耐力に大きな差は見いだせなかった。場所打ち接合構造では、場所打ち部のコンクリートの設計基準強度を 3 種類に変化させてあるが、コンクリートの設計

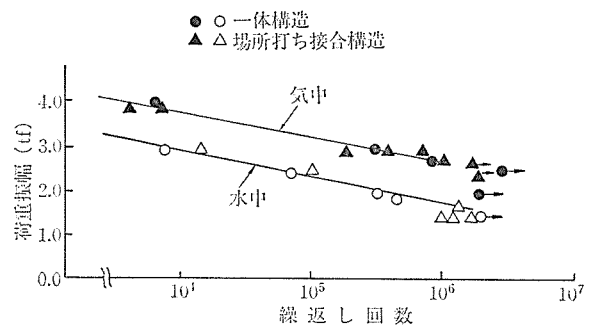


図-8 荷重振幅と繰返し回数

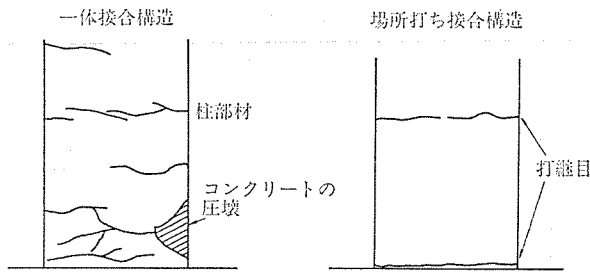


図-9 ひびわれ性状

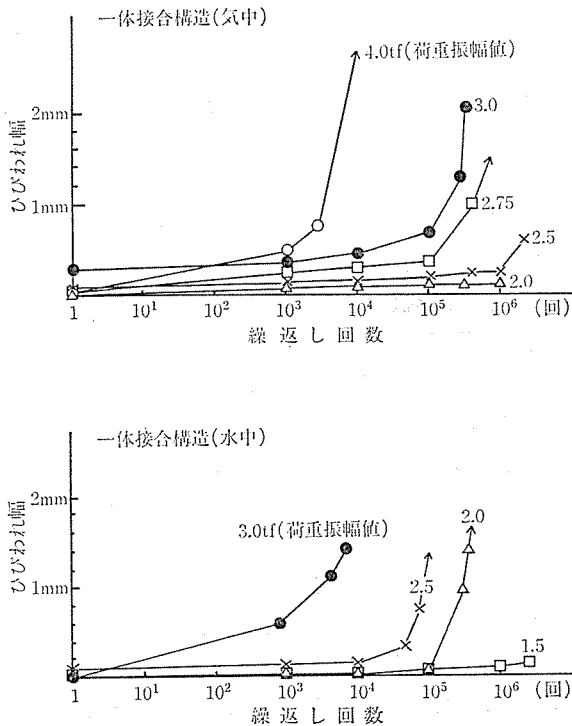


図-10 ひびわれ幅と繰返し回数との関係

基準強度が疲労耐力に大きな差を与えていなかった。

### 5.3 ひびわれ性状

ひびわれの発生状況は、図-9 に示すように一体接合構造と場所打ち接合構造とは、異なった傾向を示した。一体接合構造では、載荷重が2.0 tf で柱部材の下端に曲げひびわれが発生した。荷重振幅が、2.0 tf より大きい場合には、曲げひびわれが柱の上部に向かって10~15 cm 間隔に分散して発生した。

一方、場所打ち接合構造では、場所打ち部の上部と下部の打継目にひびわれが集中して発生した。柱部材の他の箇所にはひびわれはほとんど発生しなかった。これらのひびわれの発生状況は、水中と気中とでほぼ同じである。

図-10 にひびわれ幅と繰返し回数との関係を示す。ひびわれ幅は、柱部材の下端に取り付けられたパイ形ゲージによって測定されたものである。ひびわれ幅は、あ

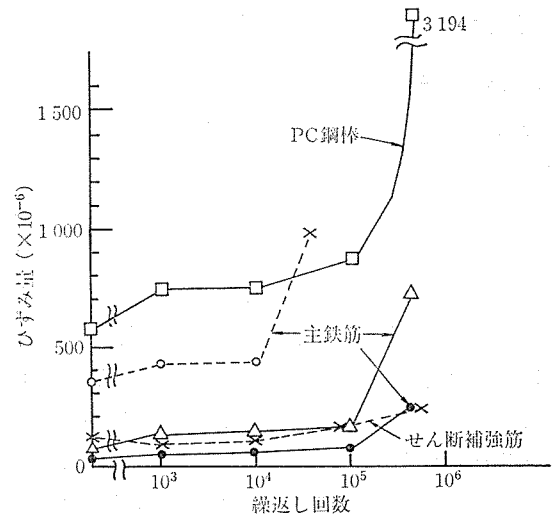


図-11 鋼材のひずみ量と繰返し回数

る繰返し回数まで増加は小さいが、その後急激に増加した。

同図からわかるように、気中と比較して水中の方が、繰返し回数に対するひびわれ幅の増加は速い。例えば、荷重振幅が、3.0 tf の場合に、ひびわれ幅が1.0 mm に達する繰返し回数は、水中の場合、気中の数十分の1程度であった。

水中での疲労試験中、ひびわれ面から、破碎したコンクリートの微粉末が水中に流れ出る状況が観察された。ひびわれが閉じるときに、かなりの速さでひびわれ内の水が押し出され、ひびわれ面が洗われる状況となり、水槽中の水がコンクリートの微粉末により白濁した。この現象が実際の海洋構造物でも生じるのか定かではないが、今回の試験で水中での耐力が気中での耐力より小さかった原因の一つと考えられる。

### 5.4 鋼材のひずみ

主鉄筋、帯鉄筋およびPC鋼棒にひずみゲージを取り付け、ひずみの測定を行ったが、測定結果の一例を図-11 に示す。同図は、気中での一体接合構造(荷重振幅2.75 tf)でのひずみ量を示している。繰返し回数913, 900回でPC鋼棒の定着部のねじ部が破断して破壊に至っている。柱部材の下端の主鉄筋では、繰返し回数が、1万回を超すとひずみ量が急増して計測が困難となった。10万回を超すとPC鋼棒にも大きなひずみ量が生じるとともに、柱部材下端より10 cm, および20 cm 梁部材に入っている主鉄筋でもひずみ量が大きくなった。梁部材内に位置している主鉄筋と周辺のコンクリートとが、繰返し回数が増すにつれて、一種の付着切れ現象を生じ、これが次第に梁部材の深部に広がっていく状況を示している。PC鋼棒でも同様な付着切れ現象が生じたと考えられる。

6. 波力に対する疲労の検討<sup>14)</sup>

6.1 疲労限界状態

接合部の疲労限界をマイナー則により検討する<sup>15)</sup>。波浪条件は、図—4 に示したが、ここでの疲労の検討では、波浪条件の厳しい日本海側に面した酒田港を選んだ。酒田港における波浪の最高波高 ( $H_{max}$ ) は、16.2 m、有義波高 ( $H_{1/3}$ ) は、9.0 m と推算される。構造物の使用期間を 50 年とし、その期間中に到来する波数は、図—4 に示す波数を単純に 50 倍した。図—2 に示した波浪制御構造物に作用する波力を、相似則に基づき試験体への水平荷重に換算した。対象とした波浪制御構造物では、設計波高に対して 485.6 tf・m の曲げモーメントが、基部の接合部に算出される。これを今回の試験体への水平荷重に換算すると、2.82 tf となり、波高 1 m 当たり 0.174 tf の水平荷重が作用する。接合部での主鉄筋、コンクリートおよび PC 鋼棒に生じる応力度を波高に応じて求めた。波高に関しては、0 m~16 m を 1 m 毎に区切って材料に生じる最大応力度と最小応力度を求め、以下に示す疲労寿命の計算式を用いて疲労寿命を求めた。ただし、200 万回繰返しに対して疲労破壊を生じない波浪に関しては、今回損傷度の計算を行っていない。

① コンクリートの疲労寿命

$$\log N = K \left\{ 1 - \frac{\sigma_{rc}}{K_1(f_k - \sigma_{pc})} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 $N$ : 疲労寿命の特性値 (回)  
 $f_k$ : 圧縮強度の特性値  
 $\sigma_{rc}$ : 疲労振幅応力度  
 $\sigma_{pc}$ : 永久荷重による応力度  
 $K$ : 係数 (水中 10, 気中 17)  
 $K_1$ : 係数 (0.85)

② 鋼材の疲労寿命

$$\log N = \frac{1}{K} \log \frac{1 - \sigma_{sp}/f_u}{\sigma_{rs}} \cdot 10^\alpha \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 $\sigma_{rs}$ : 疲労振幅応力度  
 $\sigma_{sp}$ : 永久荷重による応力度  
 $f_u$ : 引張強度の特性値  
 $\alpha, K$ : 係数 ( $N \leq 2 \times 10^6$  で鉄筋の場合  $\alpha = 4.3, K = 0.18$ , PC 鋼棒の場合  $\alpha = 4.7, K = 0.22$ )

上記の式を用いて、主鉄筋の損傷度 ( $\sum n_i/N_{fi}$ ) を求めると 0.007、コンクリートの損傷度は、水中で 0.004 であった。

また 図—8 に示す  $S-N$  線図を基に、試験体としての損傷度を求めると 表—2 に示すように 0.024 であっ

表—2 実験結果から得られた損傷度

波高 (m)	荷重 (tf)	$N_f$ 回数	50年での波数	損傷度
16~15	2.70	5 623	20	0.00356
15~14	2.52	15 849	30	0.00189
14~13	2.35	42 169	75	0.00178
13~12	2.18	112 202	225	0.00201
12~11	2.00	316 227	550	0.00174
11~10	1.83	10 <sup>6</sup>	2 250	0.00225
10~9	1.65	2×10 <sup>6</sup>	4 850	0.00243
9~8	1.48	2×10 <sup>6</sup>	17 000	0.0085
				$\sum n_i/N_{fi} = 0.024$

た。疲労設計および試験結果に基づく両方法によって得られる損傷度は、かなり小さい値であり、今回の接合部の疲労耐力は十分あると言える。ただし疲労設計では、鉄筋の破断により試験体が破断することが予想されたが、今回の試験結果では、コンクリートの圧縮破壊、PC 定着部の破壊が見られ、破壊形式の相違については今後の課題と言える。

6.2 使用限界状態

使用限界状態をひびわれ幅によって検討する。波浪条件は、酒田港を用いる。1 か月、3 か月、6 か月および 1 年の波群の再現期間に対する波数、波高、および水平荷重を 表—3 に示す。FIP では 1 か月の再現期間の波に対して、プレストレストコンクリート港湾構造物設計指針 (案) では、6 か月の再現期間 (有義波) の波に対してひびわれ幅を計算する。

FIP での 1 か月の波浪に対しては、計算上も試験上も試験体に全くひびわれは生じない。すなわち使用限界状態に対して十分安全である。一方、6 か月の波浪に対しては、許容ひびわれ幅を 0.2 mm とすると、一体接合構造と場所打ち接合構造ともに、水中でも試験体でのひびわれ幅は 0.2 mm 以内である。しかし許容ひびわれ幅を 0.1 mm とすると、水中での場所打ち接合では、繰返し回数が大きくなると、ひびわれ幅が 0.1 mm を超える場合がある。もし使用限界上問題があると予想される場合には、①接合部を曲げモーメントの小さい箇所を設置する、②設計外力に対してひびわれを生じないようにコンクリートにプレストレスを導入する、③腐食に強い材料

表—3 使用限界を検討する波浪条件

$R_p$	1 か月	3 か月	6 か月	1 年
	0.083	0.25	0.5	1.0
$P[H < X_{m,N}]$	0.578	0.86	0.93	0.7965
$r_v = \{-\ln(1-H < X_{m,N})\}^{1/k}$	0.889	1.72	2.19	2.63
$H = 1.519 r_v + 2.89$ (有義波高) (m)	4.24	5.50	6.21	6.89
$H_{max}$ (m)	7.7	10.0	11.2	13.2
1年間に来る波数	1 035	82	22	2.4
50年間に来る波数	52 000	4 100	1 100	120
水平荷重 (tf)	1.3	1.74	1.95	2.3

を用いる等の工夫が必要となる。また日本近海と FIP で想定している地点での波浪条件は、かなり異なることが考えられる。使用限界状態の検討の際、FIP での 1 か月の再現期間の波浪では日本近海では危険側の設計となることが予想される。建設地点での波浪の出現状況を考えて、使用限界状態での波浪を設定する必要がある。

## 7. 結 論

今回行った疲労試験および疲労設計より以下のことが判明した。

- ① 疲労試験での疲労破壊の形態は、柱下端でのコンクリートの圧縮破壊が多く見られ、中には主鉄筋の破断、PC 鋼棒の破断もあった。静的試験ではコンクリートの圧縮破壊（曲げ破壊）のみであったが、疲労試験では異なった破壊形態が見られた。また疲労設計では、主鉄筋の破断が予想されたが、疲労試験では、23 体中 1 体のみが主鉄筋の破断となった。
- ② 水中での試験体の疲労耐力は、気中の疲労耐力の 70~80% であった。また水中での試験体の方がひびわれ幅の増加も速い。
- ③ 一体接合構造では、曲げひびわれが柱部材内に分散して生じたが、場所打ち接合構造では、2 箇所打継目にひびわれが集中した。ただし、両者の疲労耐力はほぼ同程度である。また場所打ちコンクリートの強度が疲労寿命に与える影響は小さかった。
- ④ マイナー則により日本海側の波浪条件下で接合部の疲労強度を計算すると、損傷度はかなり小さく、安全性が高かった。使用限界状態に関連してひびわれ幅の検討を行ったところ、水中部に存在する場所打ち接合構造には注意を払う必要があることがわかった。また波浪条件の設定もこれらの検討をするう

えで重要な要因であり、今後の課題と言える。

## 参 考 文 献

- 1) 相原俊弘：プレハブ構造の接合—プレストレストコンクリート工法，建築技術，昭和 51 年 7 月，pp. 294~303
- 2) 下伊豆隆三：PC 構造のジョイント，PC 建築の話，建築技術選書 No. 5
- 3) 谷本勝利：曲面スリット堤の水利特性について，昭和 54 年度港湾技術研究所講演会集，1979 年 12 月，pp. 1~27
- 4) 谷本勝利ほか：立体骨組構造防波堤の透過率の推定について，港湾技研資料，No. 394，昭和 56 年 9 月，p. 32
- 5) 清宮理ほか：コンクリート製海洋構造物での接合部の耐力評価，第 10 回海洋開発シンポジウム論文集，昭和 60 年 6 月，pp. 184~189
- 6) 横井聡之ほか：海洋構造物の各種接合部の載荷実験，第 6 回コンクリート工学年次講演論文集，昭和 59 年 5 月，pp. 673~676
- 7) 広瀬宗一，高橋智晴：観測結果に基づく沿岸波浪の出現特性，港湾技術研究所講演会講演集，昭和 57 年 12 月，pp. 1~55
- 8) 高橋智晴ほか：波浪に関する拠点観測 10 ケ年統計（昭和 45 年~昭和 54 年），港湾技研資料 No. 401，1983 年 11 月，p. 369
- 9) 岡村 甫：コンクリート構造の限界状態設計法，第 2 版，共立出版，昭和 59 年 5 月，p. 183
- 10) FIP : Recommendation for the Design and Construction of Concrete Sea Structure, 1977 年および 1983 年
- 11) 沿岸開発技術研究センター：大水深対策技術調査（プレストレストコンクリート港湾構造物に関する調査），昭和 60 年 3 月，（内部資料）
- 12) 清宮 理，横田 弘：コンクリート製海洋構造物での接合部の疲労強度，第 11 回海洋開発シンポジウム論文集，Vol. 2, 1986 年，6 月，pp. 79~84
- 13) 猪股俊司：プレストレストコンクリートの設計および施工，技報堂，昭和 32 年 11 月，pp. 27~29
- 14) 横井聡之，大即信明：PC 港湾構造物への限界状態設計法の適用に関する検討，港湾技研資料，No. 459，1983 年，p. 32
- 15) Tepfers, R. et al. : A Study of the applicability to the fatigue of concrete of the Palmgren-Miner partial damage hypothesis, Magazine of Concrete Research, Vol. 29, No. 100, Sept. 1977, pp. 123~130

【昭和 61 年 8 月 11 日受付】