

プレストレストコンクリート部材の水中における疲労試験

運輸省港湾技術研究所 正会員 ○大越 康史
同 上 正会員 大即 信明
同 上 正会員 横井 聡之
同 上 原茂 雅光

1. まえがき

昨今、海洋構造物は、沖合に建設される機会が多くなってきている。大水深の沖合で建設されるコンクリート構造物では、断面が大きくなると不経済であるため、プレストレストコンクリート（P C）の採用が考えられる。また、沖合では、構造物に強大な波力が加わるため、部材は大きな繰返し荷重を受けることが予想される。このようなコンクリート部材では、波力に対する静的耐力のみならず、波力による疲労についても検討する必要があるが生じてくる。そこで、本研究は、プレストレストコンクリート部材の疲労試験を実施した結果について報告するものである。試験は水中および気中において行い、それぞれの結果を比較検討し、疲労強度が水中でどの程度低下するかを調べた。

2. 実験概要

実験に用いた供試体は、高さ15cm（有効高さ10cm）、幅10cm、長さ200cmのプレストレストコンクリートはりで、その形状および寸法を図-1に示す。供試体の製作材料としては、セメントとして早強ポルトランドセメント、粗骨材および細骨材としては、それぞれ砕石および砕砂を用いた。コンクリートの示方配合を表-1に示す。ここで、表中のコンクリート強度 σ_c は、試験時の供試体材令（約1年）における管理供試体の試験結果（3個の試験値の平均）である。P C鋼棒には、SBPR 95/110、 $\phi 9.2$ を1本用いた。プレストレス量は、コンクリートに対して平均33.3kgf/cm²の応力が加わるよう導入された。

実験においては、水中試験用供試体は、試験1週間前より水中に浸漬し、载荷も供試体を水槽に入れたまま（すなわち、供試体が常時水に接している状態のまま）行った。载荷条件は、せん断スパン $a/d=3.75$ とした。繰返し载荷速度は、原則として2Hzで行った。測定項目としては、たわみ、 π 型ゲージによるひびわれ幅及び断面曲げ剛性、コンクリートの表面ひずみ、ひびわれ進行状況スケッチなどである。所定の繰返し回数経過後試験機を停止し、上記測定項目の計測を行った。ただし、水中試験用供試体での計測のうち、ひびわれスケッチのみは、他の計測終了後、水槽より一旦水を抜き気中においてスケッチを行った。なお载荷波形は、荷重が衝撃的に加わった場合を想定し

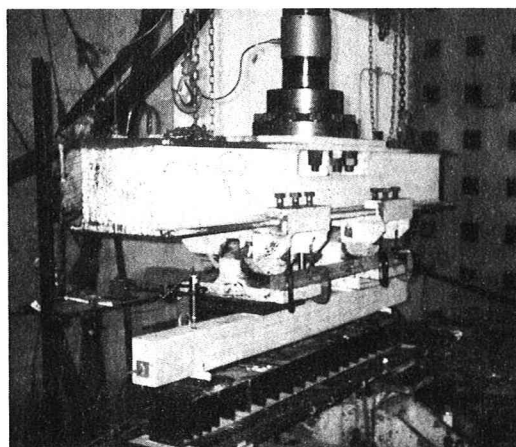


写真-1 疲労試験状況

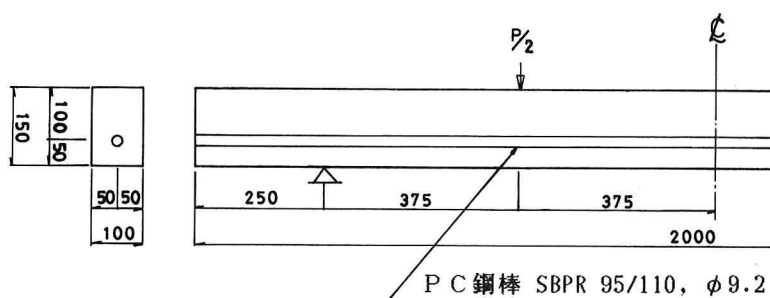


図-1 供試体形状および寸法

表-1 コンクリートの示方配合

σ_c (kgf/cm ²)	G max (mm)	スランプ ^o (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)			
					W	C	S	G
472	20	5±1	4±1	45	154	342	786	1062

矩形波を用いた。また、繰返し荷重の下限荷重は、水中・気中いずれの供試体とも 0.8tf とした。

表-2 実験結果一覧

3. 実験結果

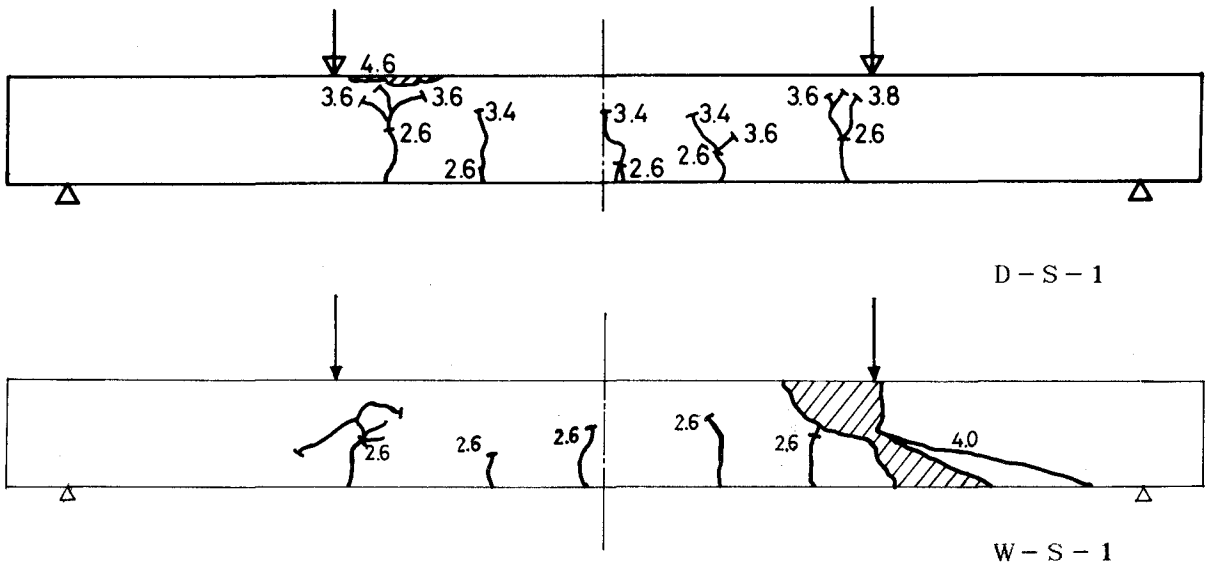
表-2 に実験結果の一覧を示す。以下各項目ごとに試験結果およびそれに対する考察を述べることとする。

3.1 静的耐力

供試体の静的耐力は、水中試験では2本の静的試験結果の平均を、また気中試験では、静的試験

を1本しか行わなかったため、その値をそのまま静的耐力とした。荷重載荷方法は、0.4tf からひびわれ発生まで 0.2tf ずつ荷重を増加させて行き、ひびわれが発生したところで一旦荷重を 0.4tf まで戻し、その後破壊まで荷重を増加させて行く方法としている。

試験結果によれば、静的耐力は、水中・気中とも 4.6tf で同じ値を示していた。静的試験での破壊様式は、水中試験のうち1本（供試体 W-S-1）だけがせん断破壊で、残りの水中試験の1本と気中試験の供試体では曲げ破壊を起こしていた。以前当所で行った実験によれば、水中ではコンクリートの圧縮強度は気中のそれに比べ1～2割低下するという結果が得られている。図-2 に気中静的試験供試体（D-S-1）と水中静的試験供試体のうちせん断破壊を起こした供試体（W-S-1）のひびわれ進行状況スケッチを示すが、気中試験を行った供試体では、せん断ひびわれさえ発生していなかったと考え合わせると、曲げ引張破壊では、コンクリート強度は終局耐力に大きな影響を及ぼさないため、今回の実験でも水中・気中とも静的耐力がほぼ同じになったが、水中ではコンクリート強度の低下が、供試体のせん断耐力の低下をもたらし、供試体 W-S-1 がせん断破壊を起こしたものと思われる。



図中の単位は荷重（tf）である。

図-2 ひびわれ進行状況

3.2 荷重～変位曲線

図-3 に供試体 D-S-1（気中）および供試体 W-S-2（水中）の静的試験において求められた荷重～変位曲線を示す。ただし横軸は、変位計により得られたスパン中央のたわみである。計測においては、0.4tf における値を 0 としている。

破壊様式は、供試体 D-S-1および W-S-2ともに曲げ破壊である。両供試体ともひびわれ発生荷重は 2.6tf であり、荷重が小さいうちは両供試体の荷重～変位曲線は、ほぼ同じ曲線上にあるが、破壊が近づくにつれ次第に気中試験供試体の方が変位が大きくなる傾向にあった。

3. 3 S～N曲線

図-4にS～N曲線を示す。このグラフでは、水中および気中ごとに全データをプロットし（静的試験のデータを含む）、最小二乗法によりS～N曲線を求めた。ただし供試体 W-F-3は繰返し回数 10^6 で破壊しなかったが、 10^6 の位置にプロットし、データの1つとしている。

3. 1において静的耐力は水中載荷・気中載荷ともほぼ変わらないという結果が得られたが、疲労強度では両者に明確な差が現れた。200 万回の繰返し荷重に対する疲労強度で比較すれば、気中試験では2.98tf（静的耐力の約65%）、水中試験では2.38tf（同52%）であり、およそ2割水中強度が気中強度を下回った。破壊様式は、気中試験のうちの1本（D-F-1）だけがP C鋼棒の破断であるが、他の供試体は、いずれも曲げ破壊を起こしていた。したがって、コンクリートの疲労強度は、水中と気中とでかなり差が大きいことがわかった。

3. 4 曲げ剛性

供試体の断面曲げ剛性EIの算出方法について記しておく。供試体のスパン中央の圧縮部および引張部にそれぞれ1枚ずつπ型ひずみゲージを貼付し、それぞれの点における長さ変化を測定する。そこで、両者の長さ変化の差により、スパン中央付近の曲率半径ρが算定される。この値およびスパン中央付近の曲げモーメントを用いると、次式により断面剛性EIが算出される。

$$EI = M\rho$$

(1) 荷重～曲げ剛性

図-5に荷重と曲げ剛性の関係を示す。ただし、曲げ剛性は、ひびわれ発生までの初載荷時の値である。水中および気中の供試体を各1本ずつ示すが、荷重が小さいうちは水中載荷の方が若干曲げ剛性は大きいようである。他の供試体でもほぼ同様な傾向を示している。グラフよりわかるように、ひびわれ発生とともに曲げ剛性は、その直前の値の約半分、初期値の約3分の1になっており、ひびわれによる有効断面

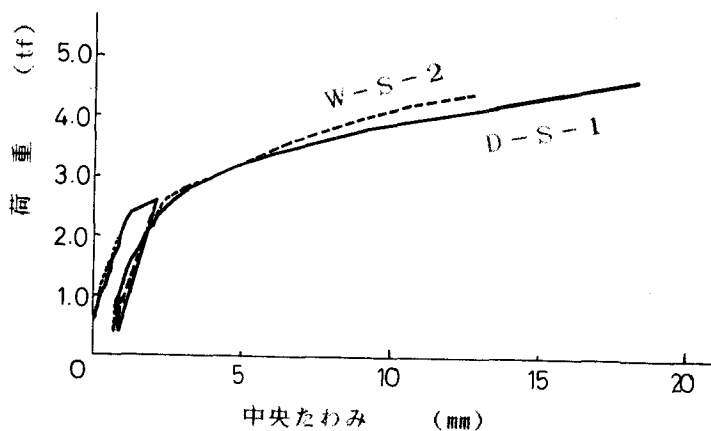


図-3 荷重～変位曲線

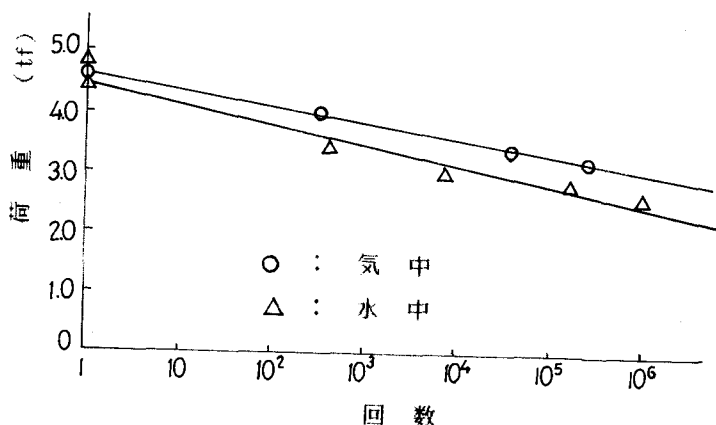


図-4 S～N曲線

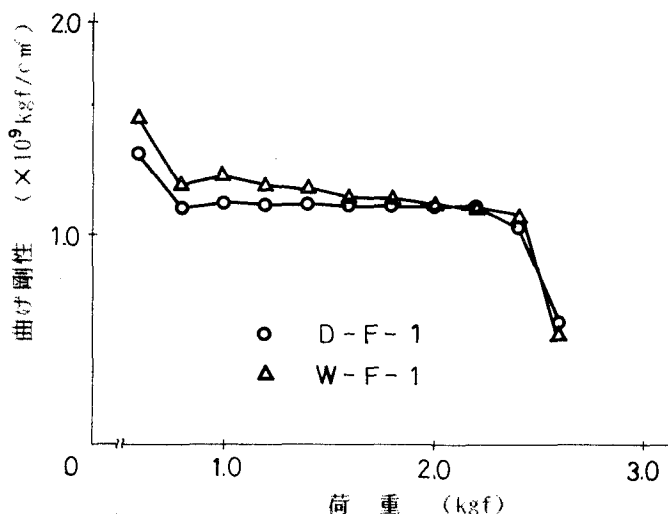


図-5 荷重～曲げ剛性

の減少が明らかに表れている。

(2) 回数～曲げ剛性

図-6に荷重の繰返し回数と曲げ剛性との関係を示す。ここに示した曲げ剛性は、2.0tfの荷重下において前記の計算方法により算出したものである。また、繰返し回数1回の値は、ひびわれ発生後一旦除荷し、再び荷重を2.0tfまで増加した状態での曲げ剛性であり、ひびわれを有する断面における値である。

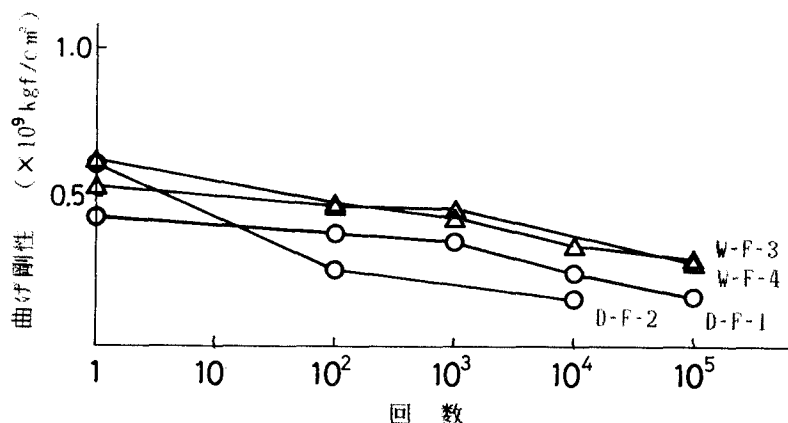


図-6 回数～曲げ剛性

このグラフは、断面の曲げ剛性が荷重の繰返し回数の増加に伴い減少して行く様子を示している。繰返し回数の増加に対する曲げ剛性の減少の割合は、供試体 D-F-2を除けばほぼ同程度であり、供試体破壊の直前には初期の曲げ剛性の約半分の値となっている。

水中試験と気中試験とを比較すれば、水中の方が曲げ剛性は約3割ほど大きくなっている。(1)の結果と考え合わせると、断面の曲げ剛性は、供試体が水中に置かれた場合の方が若干大きな値となるようである。

3.5 載荷波形の影響

今回の実験においては、荷重が衝撃的に加わる場合を想定して、繰返し荷重の波形として矩形波を用いた。しかし、当所で以前に行った正弦波による鉄筋コンクリートおよびプレストレストコンクリートの疲労試験の結果と照らし合わせても、特に疲労強度が静的耐力に対して低下するということなく、載荷波形の影響は小さかったと言える。

4. 結論

今回行った疲労試験により、プレストレストコンクリートの疲労性状に関して得られた結果は以下のとおりである。

- ① 今回の実験に用いたプレストレストコンクリートは供試体(曲げ引張破壊を起こすよう設計されている。)では、静的耐力に関しては、載荷時に供試体が気中にある場合と水中にある場合とでの差はほとんど見られなかった。
- ② 疲労強度に関しては、水の存在の影響が大きく表れ、水中で行った試験の方が約2割程度気中に比べて低下していた。
- ③ 断面の曲げ剛性は、荷重の増加および荷重の繰返しとともに減少して行き、破壊時には初期の曲げ剛性の値の半分以下となり、破壊に至っている。また、断面の曲げ剛性は、水中に置かれた供試体の方が、気中のものに比べて若干大きな値を示した。
- ④ 今回の実験では、載荷波形の疲労強度に及ぼす影響は見られなかった。

参考文献

- 甲斐、大郎、森：コンクリートの水中における載荷試験，土木学会第36回年次学術講演会概要集，1981年
井岡、大郎：コンクリートの水中における疲労試験，土木学会第37回年次学術講演会概要集，1982年
烏山、横井、大郎：重ね継手を有する鉄筋コンクリート部材の水中における疲労試験，土木学会第38回年次学術講演会概要集，1983年