

オリエンタルコンクリート(株) 正員 井岡 隆雄
運輸省 港湾技術研究所 正員 大 即 信 明

1. まえがき

近年、港湾構造物は、大水深域の利用および多目的利用のために、従来のものに比較して、大きな波力を受けしかも形状が複雑化する傾向がある。また、コンクリート構造物の設計法が、許容応力度法から限界状態設計法に移りつつあることを考えあわせると、水中でのコンクリート部材の疲労による劣化や疲労破壊が問題になってくる。本報告では、第36回年次大会での報告「コンクリートの水中における疲労試験」をふまえて、RC、PCはりの水中および気中における疲労試験をとりまとめたものである。

2. 実験の概要

供試体に用いたコンクリートの示方配合を表-1に示す。水中試験用供試体は、載荷前7日間水中に放置してコンクリートを湿潤状態とし水中で載荷した。気中試験用供試体は、気乾状態のままで気中で載荷した。管理供試体の材令90日におけるコンクリートの強度の試験結果を表-2に示す。図-1に供試体の形状寸法と載荷状態を示す。せん断スパンと有効高さの比(%)は、5.0と3.75の2種類とした。動的載荷は、静的載荷試験より得られた破壊荷重の5割、6割、7割……を繰返しの上限荷重とし、下限荷重を静的荷重の4割と一定にしてそれぞれ1万回づつ片振り載荷を行なった。その繰返し載荷の途中 $N=1, 10, 10^2, 10^3, 10^4$ 回(繰返し試験と称する)で静的載荷を行い測定した。繰返し速度は、原則として2Hz、荷重は正弦波とした。測定は、破壊荷重、コンクリートと鋼材のひずみ、ひびわれ発生荷重、π型ゲージによるひびわれ中および曲げ剛性、たわみなどについて行なった。なお、水中載荷の場合は、供試体は水中のままでそれぞれの項目を測定した。

表-1 コンクリートの示方配合

種別	F/Ck (%/m ³)	A _{max} (mm)	29mm (cm)	W/C (%)	W (kg/m ³)	C (kg/m ³)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)
A配合	4.00	20	5±1	40	152	382	761	1036
B "	2.40	20	8±1	67.4	170	250	879	978

表-2 コンクリートの強度

供試体環境条件	圧縮強度 (kg/cm ²)	ヤング係数 ($\times 10^5$ kg/cm ²)	曲げ強度 (kg/cm ²)
気乾状態気中載荷	598	3.37	65.1
	355	2.52	49.1
" 水中 "	562	3.35	66.3
	362	2.44	56.4
湿潤状態気中載荷	477	3.55	83.2
	280	2.29	48.4
" 水中 "	483	3.29	78.9
	280	2.52	47.6
標準養生気中載荷	491	3.69	68.0
	286	2.51	47.8

(注) 上段: A配合, 下段: B配合

3. 実験の結果

(1) 最大ひびわれ中

PC部材(鋼材 $\sigma_{2.4}/\sigma_{bd}=0.66\%$)の最大ひびわれ中と曲げモーメントとの関係を図-3に示す。曲げモーメントと最大ひびわれ中との間には、繰返し載荷後、CEB-FIP1978(繰返しを考慮)式でほぼ安全側に算定できた。繰返し回数と最大ひびわれ中の関係を図-4に示す。水中と気中を同じ繰返し荷重および回数で比較すると、最大ひびわれ中が約0.5以下であれば、水中の最大ひびわれ中の方が気中のそれよりも小さかった。最大ひびわれ中の1サイクル目に対する繰返し載荷による増加割合は、繰返し回数にはほぼ比例しており、水中の方が気中のそれより大きく、1万回で約2倍になる場合があった。

(2) 曲げ剛性

曲げ剛性は供試体の上縁、下縁に貼付したπ型ゲージ(ゲージ長30cm)によ

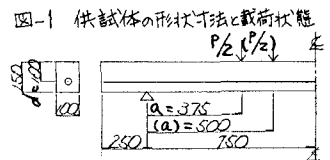
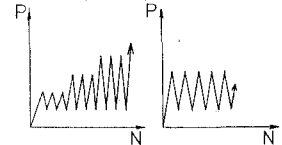


図-2 繰返し試験と疲労試験の違い



リ測定した。全供試体において、曲げひびわれが発生するまでは、水中の方が鋼材量、セン断スパン比に関係なく曲げ剛性が大きかった。繰返し回数と曲げ剛性の関係を図-5に示す。PC部材の曲げ剛性は曲げひびわれ発生後、水中、気中による差がほとんどなく、破壊近くになるとやや水中の方が小さくなる傾向にあった。繰返し回数と曲げ剛性の低下を図-6に示す。PC部材の曲げ剛性の低下は、繰返し回数の影響が大きかった。なお、通常使用限界状態で考えている破壊荷重の0.6以下では、水中の方が大きく、繰返し荷重が0.7以上になると水中の曲げ剛性は著しく低下するようだ。RC部材の場合、曲げひびわれ発生後は載荷条件に関係なくほとんど同じになった。曲げひびわれ発生による曲げ剛性の低下は、PC部材に比較して急激であり、その後破壊まで荷重の増加や繰返し回数に影響されずほぼ一定であった。

(3) 破壊耐力

はり供試体の破壊荷重、繰返し回数を表-3に示す。セン断破壊しているRC部材の破壊荷重は、水中の方が、気中のそれよりも小さかった。

(4) 水中におけるRCのセン断疲労試験

供試体の数が少ないが、図-7に水中におけるRCのセン断疲労のS-N曲線を示した。静的載荷では水中のみの破壊耐力が若干小さいが、さらに、繰返し載荷を加えることにより疲労荷重は気中のそれと比べ約1~2割低下するようである。

4. まとめ

本試験の範囲では次のことが言える。

(1). 繰返し載荷後、最大ひびわれはCEB-FIP

1978(繰返しも考慮)式ではほぼ算定できる。

(2). 最大ひびわれが0.5mm以下の範囲では、水中

のひびわれは気中のものより小さい。

(3). 使用限界状態の検討範囲(PC港湾構造物の設計では、破壊荷重の0.6程度以下と

考えている。)では、水中での曲げ剛性が気中のものよりやや大きい。

(4). RCについて、水中でセン断による

疲労荷重は気中のものに比べおよそ1~2割小さい。

5. あとがき

今後はさらに、水中におけるコンクリート部材の力学的性質に関する基礎的研究と並行、PC部材のセン断疲労試験も行う予定である。

表-3 繰返し載荷の破壊荷重と回数

供試体名	至何 条件	α/β	ひびわれ 発生荷重 (kN)	破壊荷重 (kN)	破壊 変位 (mm)	繰返し 回数	繰返し 破壊時の せん断比
PC-A	中 22	3.75	1.60	4.0	曲げ	40,070	0.9
			2.20	4.0	曲げ	40,001	0.9
		5.0	1.85	3.1	曲げ	53,500	1.0
	1.85		3.1	曲げ	50,480	1.0	
	中 11	3.75	2.90	5.3	曲げ	60,070	1.1
			2.90	4.8	曲げ	56,820	0.9
RC-A	D 13	3.75	0.60	3.3	せん断	60,430	1.1
			1.00	3.3	せん断	64,280	1.1
		5.0	0.70	2.4	曲げ	53,400	1.0
	0.70		2.15	曲げ	44,720	0.9	
	D 13	3.75	0.30	3.20	せん断	30,760	0.8
			0.50	2.40	せん断	11,920	0.6
RC-B	D 19	3.75	0.80	3.50	せん断	30,010	0.8
			0.80	3.30	せん断	23,310	0.7

*有効スパン比 $\alpha/\beta = 9.2 = 4.5$ $\alpha/\beta = 6.0$

図-3 荷重と最大ひびわれの関係 (PC部材、 $\alpha/\beta = 9.2$)

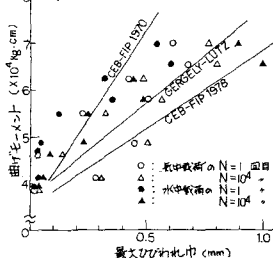


図-4 繰返し回数と最大ひびわれ (PC- $\alpha/\beta = 5.0$)

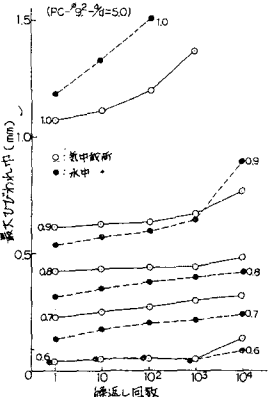


図-5 繰返し回数と曲げ剛性 (PC- $\alpha/\beta = 3.75$)

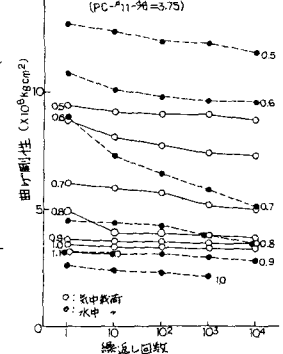


図-6 繰返し回数と曲げ剛性の低下 (繰返し最大荷重/静的荷重 = 0.6)

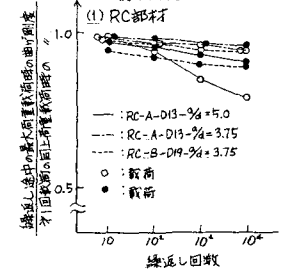


図-7 水中におけるRCセン断疲労試験線

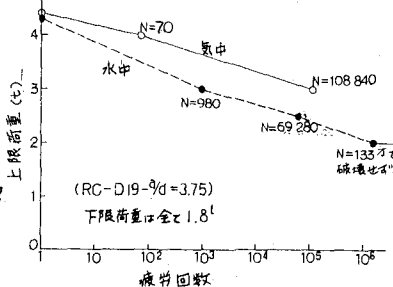


図-8 繰返し回数と最大ひびわれ (RC部材)

