

1. まえがき

大水深海域における海洋コンクリート構造物、あるいはコンクリート船に作用する支配的外力は波浪荷重であり、構造物に正負交番的に繰返し作用する。このような正負交番荷重に対する構造物や部材の疲労特性を把握し、これを設計にとり入れて行くことが必要である。

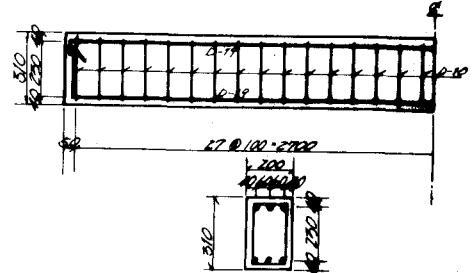
本研究では、鉄筋比、コンクリート強度及びスターラップ量を種々に変えた鉄筋コンクリート梁について、静的載荷、片振り載荷及び両振り載荷試験を行い、梁のたわみ、鉄筋とコンクリートのひずみ、ひびわれの伸展、最終耐力などを計測した。本文では、実験が完了した31本の供試体についての結果を報告する。

2. 試験方法

2.1 供試体

供試体は、長さ2.8m、高さ31cm、幅20cmの複鉄筋長方形梁で、鉄筋比は、0.7%、1.11%及び1.59%の3種類、コンクリート強度は、 24.0 N/mm^2 と 33.0 N/mm^2 の2種類とした。また、スターラップの配筋は、10cmピッチ、15cmピッチ、20cmピッチの3種類とした。配筋図の1例を図1に示す。使用した鉄筋は、いずれも異型鉄筋で、その紋様は横し型と波型の2種類とした。

図1 配筋図 (RA-3 供試体)



2.2 載荷方法及び測定項目

載荷には、動的に50トン、静的に75トンの能力を有する大型電気油圧式疲労試験機を使用し、3分実対称載荷とした。静的載荷では、0.5トンおきに荷重を増大させ、載荷重ごとに梁のたわみ及び鉄筋とコンクリートのひずみを測定するとともにシヨップ顕微鏡によりひびわれ幅の計測を行った。片振り、両振り載荷試験においては、静的載荷にもとずいて上限荷重と下限荷重を設定した。第1回目の載荷では、静的に10トンずつ上限及び下限荷重まで1サイクル載荷し、各荷重段階でひずみ、たわみ、ひびわれ幅の計測を行った。このうち、荷重波形を正弦波形式として繰返し荷重を与え、原則として1~10回、50回、100回、1,000回、5,000回、10,000回目、その後は5万回ごとに動的ひずみと動的たわみを動ひずみ測定器を通し、電磁式シンログラフに記録した。さらに、繰返し載荷の途中で載荷を停止し、1サイクルの静的載荷を行い、たわみ、ひびわれ幅、ひずみの計測をした。これは、10回目に行うのを原則とした。

表-1 静的載荷試験結果

試体番号	f _c (MPa)	f _{yk} (MPa)	降伏			破壊			計算値と実験値との比
			降伏荷重 (kN)	降伏変位 (mm)	降伏時ひずみ (mm/mm)	破壊荷重 (kN)	破壊変位 (mm)	破壊時ひずみ (mm/mm)	
RA1-1	22.6	3620	9.0	3.60	10.5	4.80	12.5	1.07	
RA1-6	25.2	3967	9.5	3.80	12.0	4.80	12.5	1.05	
RB1-1	33.2	3967	9.5	3.80	12.5	5.00	12.5	1.05	
RA2-1	21.8	3907	14.0	5.60	17.0	6.80	12.5	1.02	
RB2-1	31.3	3907	15.0	6.00	16.5	6.60	12.5	1.02	
RA2-2	25.2	3774	13.5	5.40	16.0	6.40	12.5	1.02	
RB2-2	33.2	3774	14.0	5.60	16.5	6.60	12.5	1.02	
RA3-1	25.7	3755	20.0	8.00	22.5	9.00	12.5	1.02	
RA3-6	25.2	3774	19.5	7.80	21.5	8.60	12.5	1.02	
RB3-1	33.2	3774	20.0	8.00	23.0	9.20	12.5	1.02	

3. 実験結果

3.1 静的載荷試験結果

表-1に、静的載荷試験結果の一覧を示す。表

中 f_{ck} 及び f_{yk} は、それぞれ管理供試体の28日圧縮強度及び試験用鉄筋の引張強度(降伏強度)を表す。実験結果は、Hognestadの提案式による降伏モーメントや現行計算式において $m=10$ あるいは7及び $f_{sa}=f_{yk}$ としたときの降伏モーメントとよく一致している。

3.2 片振り及び両振り載荷試験結果

表-2に、片振り及び両振り載荷試験結果の一覧を示す。破壊の形態は、いずれも主鉄筋又はスターラップのせい性破壊であり次の3形式に分類できる。第1は、主鉄筋が曲げモーメントスパン内で破断するもの、第2は、主鉄筋がせん断スパン内で破断するもの、第3は、せん断スパンにおけるスターラップの破断により破壊するものである。この破壊形式の相違は、主として主鉄筋量に対するスターラップ量の相違によるものである。

鉄筋のひずみは繰返し回数の増大とともに急増することはなく、やや漸増するかあるいはほとんど安定している状態であった。コンクリートのひびわれ幅は、破壊に至るまでに急増し、その値は静的載荷のひびわれ幅の約2~3倍に達することが多かった。ひびわれ幅は、荷重方向が逆になると当然その値は減少し閉合するが、わずかながら残留ひびわれが残る。この値は多くの実験データを整理するとひびわれ幅に比例している。一般に、ひびわれ幅が0.3mm以下であると残留ひびわれは0.1mm以下であるといえる。

たわみは、両振り、片振り載荷の両方について第1回目の載荷で大きな履歴曲線を描き、約1mm前後の残留たわみを残す。その後はこの残留たわみを原点とするかのようなヒステリシスの極めて小さな履歴曲線を描きながら、徐々にそのこり配を緩やかにしながら最大たわみが増大していく。このとき残留たわみも徐々に増加するものの顕著ではない。第2回目載荷以後の片振り・両振り載荷を比較すると、片振り載荷のヒステリシス及び残留たわみは、両振り載荷のそれらに比べて極度に小さい(図-2参照)。また、梁の剛性は破断時には、初期に比べて約30%以上も低減することが認められた。

最後に、S-N曲線を図-3に示す。実験供試体の数が未だ十分でなく、かなり大胆に引いた曲線である。破壊形式により耐力は著しく異なり、スターラップの破断によるC形式の場合が最も耐力の低下が顕著である。主鉄筋が曲げモーメントスパン内で破断した形式については、両振り載荷の耐力は片振り載荷のそれらに比べてかなり小さい。この耐力低減の定量的な判定は今後の課題である。

終りに、本研究は、昭和50年度吉田研究奨励金を受けたことを付記するとともに関係諸氏に心から感謝の意を表したい。

表-2 疲労試験結果

試験 桁名	主鉄筋 の割合	設定荷重	耐力 比	破壊 形式	破壊回数 ($\times 10^4$)
RA2-3	1/4	片振り $\pm 4.0^t$	0.29	-	0回で破壊
RA2-4	1/4	" $\pm 2.0^t$	0.50	C	7.49
RA2-5	1/4	" $\pm 5.5^t$	0.39	B	82.00
RA2-6	1/4	" $\pm 8.5^t$	0.61	C	4.67
RA2-7	1/4	片振り $\pm 8.5^t$	0.61	C	45.00
RA2-8	1/4	" $\pm 10^t$	0.71	C	11.80
RA2-9	1/4	片振り $\pm 10^t$	0.71	C	3.75
RA1-2	3/8	" $\pm 6.5^t$	0.72	A	5.64
RA1-3	3/8	" $\pm 6.5^t$	0.61	B	10.18
RA1-4	3/8	" $\pm 4.5^t$	0.51	A	48.96
RA1-5	3/8	片振り $\pm 6.5^t$	0.72	A	87.47
RA1-7	3/8	片振り $\pm 8.0^t$	0.84	A	5.86
RA1-8	3/8	" $\pm 6.0^t$	0.63	A	22.93
RA1-9	3/8	" $\pm 4.0^t$	0.42	-	0回で破壊
RA1-10	3/8	片振り $\pm 0.95^t$	0.84	-	-
RB2-2	1/2	両振り $\pm 12.0^t$	0.80	B	4.57
RB2-3	1/2	" $\pm 9.0^t$	0.60	A	36.34
RB2-4	1/2	" $\pm 6.0^t$	0.40	-	0回で破壊
RB2-6	1/2	" $\pm 10.0^t$	0.71	A	21.19
RB2-8	1/2	片振り $\pm 10^t$	0.71	-	0回で破壊
RB2-10	1/2	" $\pm 12^t$	0.86	-	-

注) 1) スターラップ(I)は、標準耐力算定式 $\sigma_{su} = 3500 \sqrt{f_{cu}}$ (N/mm²) に求めたもの、(II)は、 $\sigma_{su} = 3000 \sqrt{f_{cu}}$ (N/mm²) としたものである。
2) 破壊形式 A は主鉄筋が曲げモーメントスパン内で破断、B は主鉄筋がせん断スパン内で破断、C はスターラップの破断によることを示す。

図-2

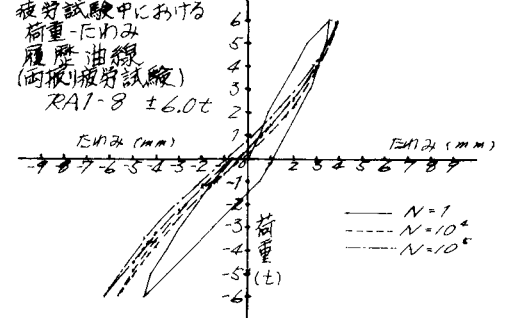


図-3 S-N曲線

