

水中環境下でのRCはりの疲労性状に関する研究

鳥取大学 正 員 西林 新蔵, 正 員 井上 正一
鳥取大学 学生員○中橋 一寿, 学生員 熊野 知司

1. まえがき

海洋コンクリート構造物の疲労問題に着目し, ここでは, コンクリート強度, 主鉄筋量, せん断スパン有効高さ比, せん断補強筋の有無を要因に選んだ鉄筋コンクリート (以下RCと称す) はりの疲労試験を実施し, 気中と水中における疲労強度や変形性状の相違を検討した結果について報告する。

2. 実験概要

表-1と図-1に実験計画, はりの種類, 載荷方法, 疲労試験実施時 (材令100日以上) における材料強度の詳細を示す。疲労試験は繰返し速度5Hz, 荷重と時間の関係は正弦波形とし, 上限荷重比(Ps)は各はりの静的終局耐力の平均値(Pu: 表-2に併記)に対する百分率で数水準を選び, 一方, 下限荷重比はPuの10%と一定のもとで行った。

3. 結果と考察

表-2に破壊様式の結果を一括して示す。静的試験におけるRCはりは, 水中, 気中の環境条件にかかわらず, スターラップを配置した場合には曲げ引張り破壊が, スターラップを配置しないはりではせん断破壊が起こった。この場合, 同一はり (Aはり) における静的終局耐力は水中と気中とでほとんど差異が認められなかった。一方, 疲労試験における破壊様式は, 気中Aはりが曲げ破壊 (主鉄筋の疲労破断) したのに対して, 水中A, B, Cはりは, 設計上必要とされるよりも多量のスターラップを配置したにもかかわらず, スターラップを配置しないはりと同様のせん断破壊をした。このことより, 水中環境下におけるRCはりはせん断破壊がし易くなるものと考えられる。

図-2は, 対数正規確率紙上に式(1)による生存確率P(N)と各荷重比ごとの疲労寿命(N)との関係をプロットしたものである。

$$P(N) = 1 - r/(L+1) \quad (1)$$

ここに, rは供試体総本数Lの疲労寿命を小さい順に並べたときの序数である。

同様の検討をCはり以外のはりについても行った結果, いずれの場合のプロット点もほぼ直線上にあり, RCはりの疲労寿命の分布は水中, 気中の試験環境の相違にかかわらず対数正規分布に従うことが明らかになった。

このとき, 標準正規変量を t とする直線式および $P(N) = 0.5(t=0)$ に相当する平均疲労寿命($\bar{N}$)は次式で表される。

$$t = A \log N + B, \quad \bar{N} = 10^{-B/A} \quad (2)$$

図-3に荷重比(Ps)と平均疲労寿命($\bar{N}$)との関係および

表-1 実験計画

はりの種類	試験環境	a/d	せん断補強筋	コンクリート 圧縮強度(kgf/cm ²) 目標強度, 試験時	鉄筋	荷重比 Ps (%)
A	気中	3.03	有	546	2019	80~60
	水中			515	2019	70~45
B	水中	3.64	有	400	2019	65~45
C	水中	3.03	有	250	2016	60~40
D	気中	2.0 3.0	無	400	2019	74~65 64~55
	水中	2.0		250	2019	80~60
F	水中	3.03	無	400	2019	51

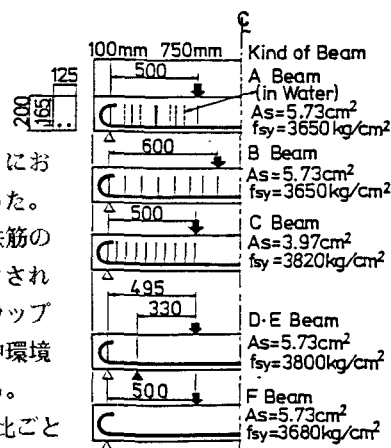


図-1 はりの詳細

表-2 疲労試験におけるはりの破壊様式

はりの種類	終局耐力 Pu	破壊位置	破壊様式	はりの種類	終局耐力 Pu	破壊位置	破壊様式
気中A	13.7 t	B-F (20)		水中A	13.2 t	S-C (12) S-F (7)	
気中D	14.2 t 9.8 t	S-OT (5) S-F (1)		水中B	11.2 t	S-C (11) S-F (7)	
気中E	13.4 t	S-OT (6) S-C (1)		水中C	9.8 t	S-C (8) S-F (6) S-OT (1)	
				水中F	12.9 t	S-C (4)	

()内の数値ははり本数
破壊位置: Bは曲げスパン
Sはせん断スパン
破壊様式: Fは鉄筋破断, Cはせん断圧縮, OTは斜め引張り
DはりのPuの値は上段はa/d=2.0, 下段はa/d=3.0に対応する。

最小二乗法によって求めた $P_s \sim \bar{N}$ 線式を示す。いま、 $P_s \sim \bar{N}$ 線式に $\bar{N} = 200$ 万回を代入して疲労強度を求めると、気中Aはりでは $P_s = 60\%$ 、水中はりでは $P_s = 46 \sim 37\%$ となり、水中での200万回疲労強度は気中のそれよりも15～25%程度低下することがわかる。この疲労強度の低下は、一部は破壊様式の相違によってもたらされたものと考えられるが、水中における疲労強度は、同一の破壊様式を示す場合であってもコンクリート強度や鉄筋比の相違によっても変化する可能性のあることが伺える。

つぎに、せん断耐力式¹⁾(V_{cu})を基準とした場合の疲労強度を考えてみる。図-4はせん断破壊したはりの疲労寿命と次式より算定した荷重比(P_s')との関係を示したもので、最小二乗法によって求めた各はりの $P_s' \sim N$ 直線も併記している。

$$V_{cu} = 0.20fc^{1/3}(0.75 + 1.4a/d)(1 + \sqrt{100P_w} - 1 + 4\sqrt{1000/d} - 1) \quad (3)$$

$$P_s' = P_u + P_s / 2V_{cu}$$

ここに、 fc は疲労試験時のコンクリート圧縮強度(Mpa)を採用している。また、 a 、 d はせん断スパン長(mm)および有効高さ(mm)、 P_w は鉄筋比、 b ははり幅(mm)である。

図より、気中はりの $P_s' \sim N$ 線式の傾きは水中のそれに比べて小さく、疲労寿命はわずかな荷重比の変化に対しても大きく変わることがわかる。また、同一荷重比における疲労寿命のばらつきは、水中が気中の場合よりも小さい。水中はりにおけるスターラップの配置は配置しない(Fはり)場合よりも疲労寿命は長くなりかつ疲労寿命のばらつきが小さくなる、などのことがわかる。また、上田ら²⁾は、上・下限荷重比作用時のせん断力を V_{max} 、 V_{min} と表記すれば、せん断補強筋のない気中はりの疲労強度式は次式で表されるとしている。

$$\log P_s' = -0.036(1 - (V_{min}/V_{max})^2) \log N \quad (4)$$

図中の一点鎖線はCはりの試験条件に対応する式(4)を示したもので、水中RCはりの疲労寿命は、低荷重比になるに伴って、式(4)による値よりも短くなる傾向のあることがわかる。

図-5、6に繰返し载荷に伴うスパン中央たわみおよび最大ひびわれ幅の変化の一例を示す。これらの図より、同一荷重比におけるたわみは、水中が気中におけるよりも大きい、最大曲げひびわれ幅は気中では漸次増加するのに対して水中では気中よりも一貫して小さい、初載荷時には無かった斜めひびわれが繰返し载荷途中で発生しこの時点から1オータ経過後にはりは破壊する、斜めひびわれの発達・伸展は極めて大きい、などのことが明らかになった。

本研究は文部省科学研究費で行った。ここに、謝意を表する。

【参考文献】 1) Okamura and Higai: Proc. of JSCE, No.300, Aug., 1980, pp.131～141. 2) 上田、岡村他: コンクリート工学, Vol.20, No.9, 1982, 9, pp.89～98.

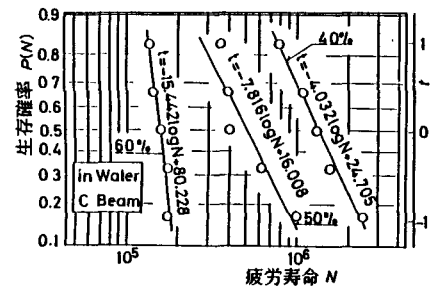


図-2 $P(N) \sim N$ 関係

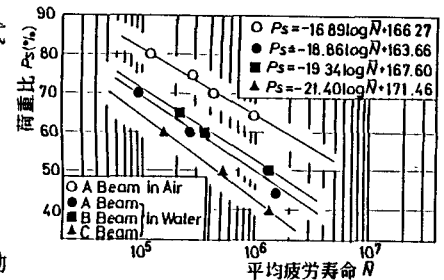


図-3 $P_s \sim N$ 関係

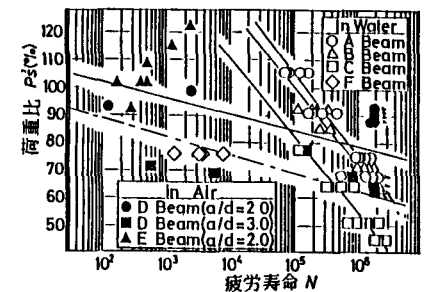


図-4 $P_s' \sim N$ 関係

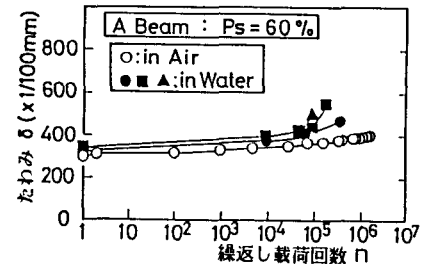


図-5 スパン中央たわみの変化

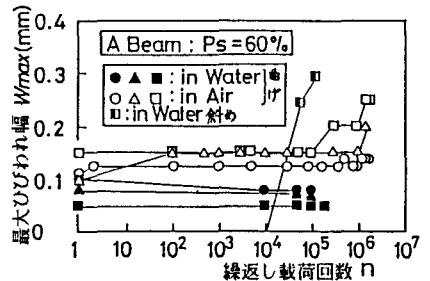


図-6 最大ひびわれ幅の変化