

V-157

水中における鉄筋コンクリートはりの疲労寿命に関する研究

鳥取大学

西林新蔵

鳥取大学

○井上正一

㈱三井不動産建設

大谷公行

1. まえがき

近年、コンクリート製の海洋構造物が建造される機会が増えているが、この種の構造物は化学的侵食作用の他に、波や氷などの環境荷重によって疲労や衝撃の影響を受けることになる。ここでは、疲労の問題を採り上げ、水中および気中環境における鉄筋コンクリート（以下RCと称す）はりの疲労性状を明らかにし、併せて水の存在がRCはりの破壊様式や疲労強度に及ぼす影響を検討した結果について報告する。

2. 実験概要

実験計画を表-1に、はりの種類、載荷方法、試験実施時（材令100日以上）の材料強度の詳細を図-1に示す。疲労試験は、繰返し速度5Hz、荷重～時間波形は正弦波形とし、上限荷重比(P_s)を各はりの静的平均終局耐力(P_u)に対する百分率で数水準選定、一方、下限荷重比は P_u の10%に固定して行った。

3. 結果と考察

静的試験におけるRCはりは水中、気中の環境条件によらずスターラップを配置した場合には全て曲げ引張破壊を、スターラップを配置しないはりではせん断破壊をした。この場合、各はりの静的静的終局耐力(P_u)は、気中Aはりで $P_u=13.7$ トン、Bはりで21.5トンであり、一方、水中A、C、Dはりの P_u はそれぞれ13.2、9.7、12.9トンで、同一はり（Aはり）においては、水中と気中で静的終局耐力にほとんど差異は認められなかった。

疲労試験における破壊様式と破壊位置を表-2に一括して示す。気中試験におけるA、Bはりは曲げ破壊したのに対して、水中A、Cはりにおいては、設計上必要とされるよりもかなり多いスターラップを配置（図-1参照）したにもかかわらず、スターラップのないDはりと同様のせん断破壊した。このことより、水中にあるRCはりではせん断破壊を起しやすくなるものと考えられる。

図-2、3は、気中Aはりりと水中Cはりりに対し、各荷重比ごとの疲労寿命(N)と次式で算定される生存確率 $P(N)$ との関係を対数正規確率紙上に示したものである。

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

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。

表-1 実験計画表

はりの種類	コンクリート圧縮強度 (kgf/cm ²)	主鉄筋量 (鉄筋比)	せん断補強	せん断スパン有効長さ比 (a/d)	環境条件
A	400	2D19(2.8%)	有	3.03*	気中、水中
B		2D25(4.9%)			気中
C	250	2D16(1.9%)	有	3.03*	水中
D	400	2D19(2.8%)	無		

* a/d 3.03は3等分点載荷に相当する (スパン150cm、d=16.5cm)

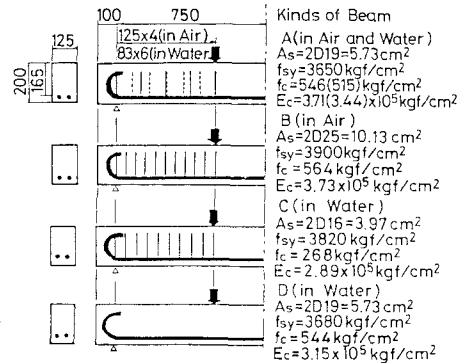


図-1 はりの詳細

表-2 破壊位置と破壊様式

試験の種類	環境条件	はりの種類	設定荷重比 P_s (%)	破壊位置	破壊様式	試験の種類	環境条件	はりの種類	設定荷重比 P_s (%)	破壊位置	破壊様式
静的	気中	A	—	B-C	(*)	疲労	水	A	70~60	S-S	(9)
		B	—	B-C	(*)				50	S-S	(1)
	水中	A	—	B-C	(*)				45	S-S	(3)
		C	—	B-C	(*)				45	S-S	(*)
疲労	気中	A	80~60	B-F	(*)		中	C	50	S-S	(*)
		B	80~60	B-C	(*)				60	S-S	(2)
	水中	A	80~60	B-C	(*)				50	S-S	(1)
		B	50	B-F	(*)				40	S-T	(1)

*破壊位置：Bは曲げスパン内
Sはせん断スパン内

()内の数値は、はりの数を示す
(*)全てのはりが同一破壊様式をしたことを示す

*破壊様式：Cはコンクリート圧潰
Fは鉄筋破断
Sはせん断圧縮
Tは斜め引張

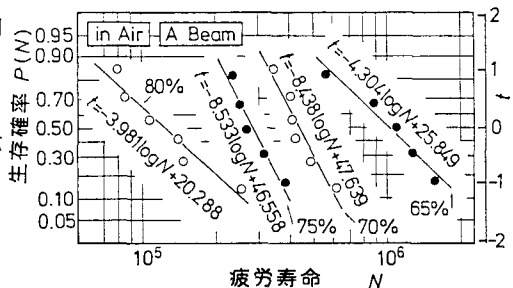


図-2 P(N) - N 関係

図-2、3および同様の検討を他のはりについても行った結果、プロット点はいずれの場合もほぼ直線上にあり、水中、気中におけるRCはりの疲労寿命の分布は対数正規分布に従うことが明らかになった。

このとき、各荷重比ごとの回帰式は式(2)で表され、

$$t = A \log N + B \quad \dots\dots (2)$$

$$\bar{N} = 10^{-A/B}, \quad V(\log N) = 1 / |A| \quad \dots\dots (3)$$

図-4に各試験条件ごとの $V(\log N)$ の値を示す。図より、水中A、Cはり、気中において疲労寿命のばらつきが大きいとされているせん断破壊であるが、この場合、 $V(\log N)$ の値は気中の曲げ破壊によるBはり（コンクリート圧潰型）とAはり（鉄筋破断型）のそれぞれの $V(\log N)$ のほぼ中間の値を採り、水中におけるRCはりの疲労寿命のばらつきは小さくなる可能性のあることがわかる。

図-5は荷重比(P_s)と平均疲労寿命($\bar{N}$)との関係を示したもので、 $P_s - \bar{N}$ 線式も併記している。いま、 $P_s - \bar{N}$ 線式に $\bar{N}=200$ 万回を代入して求めた疲労強度についてみると、Aはりは気中で $P_s=60\%$ 、水中で $P_s=45\%$ 、さらに水中Cはりでは $P_s=37\%$ となり、水中での200万回疲労強度は気中のそれよりも15～23%小さくなっていることがわかる。この気中と水中における疲労強度の相違は、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ものの、水中における疲労強度は、A、Cはりに見られるように同一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わる可能性のあることが伺える。

図-6は、水中AはりとAはりにスターラップ無しとしたDはりのほぼ同一荷重比における生存確率と疲労寿命との関係を示したものである。図より、Aはりの疲労寿命は、Dはりのそれに比して2オーダー程度長くなっていることがわかる。図-7は、水中Aはりの繰返し載荷に伴うひびわれ幅の一例を示したもので、曲げひびわれの変化は小さい、載荷初期には無かった斜めひびわれはある繰返し回数で突然に発生する、この斜めひびわれの伸展速度はきわめて大きい、さらに斜めひびわれ発生時から1オーダー寿命が長くなった時点でははりは破壊している、などのことがわかる。以上、図-6、7の結果より、水中では気中におけるほどスターラップのせん断補強効果は期待できないが、スターラップの配置は、斜めひびわれ発生までの載荷回数を長くする、および疲労寿命のばらつきを小さくする、などの効果として現れていることがわかる。

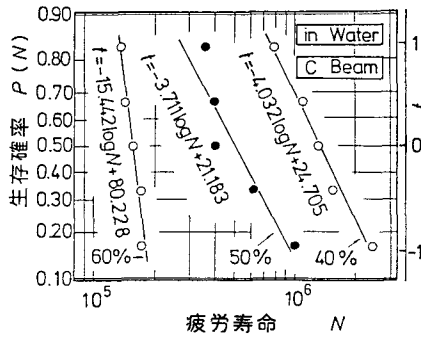


図-3 P(N) - N 関係

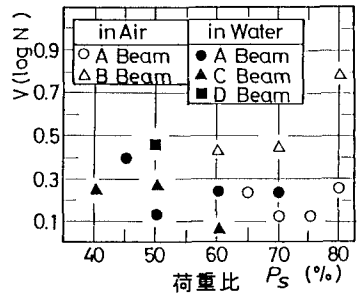


図-4 $\log N$ の標準偏差

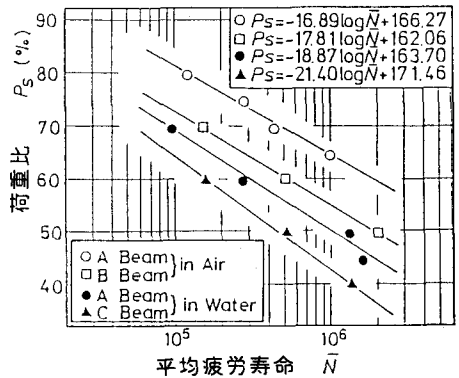


図-5 $P_s - \bar{N}$ 関係

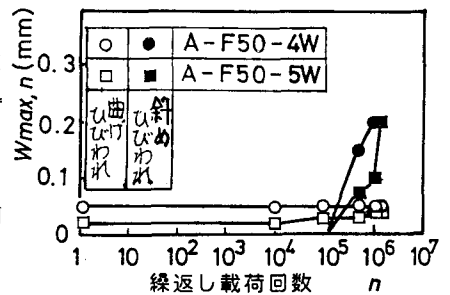


図-6 最大ひびわれ幅の変化

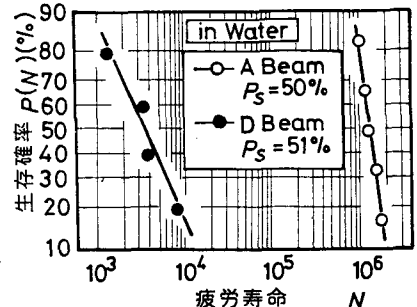


図-7 P(N) - N 関係