

V-30

水中におけるコンクリートの引張疲労性状について

北海道大学大学院 学生員 水河 洋介
 北海道大学工学部 学生員 藤本 将行
 北海道大学大学院 正会員 佐藤 靖彦
 北海道大学大学院 正会員 角田與史雄

1. はじめに

著者らは既に水中における鉄筋コンクリート(以下「RC」)はりのせん断疲労性状に関する実験^[1]を行ない、疲労性状に関する研究を進めている。しかしその研究はRCはり全体の巨視的な挙動についてであり、微視的なものについては今まで行なっていない。今後、水中で繰返し载荷を受ける鉄筋コンクリート構造物の設計法を確立するに当たり、部材を構成するコンクリート要素の水中における疲労性状の把握が必要である。

本研究は、水中におけるひび割れ前のコンクリートの引張疲労性状及び繰返し引張力下でのコンクリートと鉄筋の付着性状を実験的に明らかにし、気中におけるそれと比較、検討することを目的として行なった。

2. 実験概要

本研究において、断面 $100 \times 100 \text{ mm}$ 、高さ 400 mm の角柱供試体を 8 体作製した。この角柱供試体には中央位置に D16 の鉄筋が配置されており、この鉄筋を引張ることによりコンクリートに力を加えることとした。供試体図を図-1 に示す。8 体の供試体のうち気中で 5 体、水中で 3 体の実験を行なった。気中で行なった 5 体のうち 4 体は静的载荷実験を、残りの 1 体は疲労载荷実験を行ない、水中で行なった 3 体のうち 2 体は静的载荷実験を、残りの 1 体は疲労载荷実験を行なった。これらの供試体は養生条件において水中養生と気中養生の 2 つのグループに分けられる。本実験においては、気中と水中の差を明確にするために、2 種類の条件で養生された後、1 体の例外を除いては、気中用の供試体は実験前 1 週間以上気中下に置かれたものを、水中用の供試体は実験前 1 週間以上水中に置かれたものを使用した。例外の 1 体というのは、1 週間の水中養生後ただちに水中から取り出し気中で静

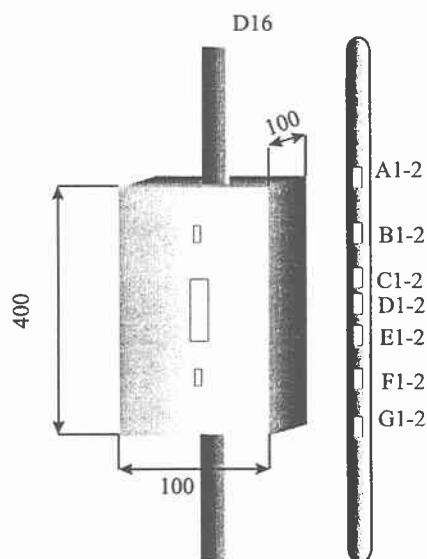


図-1 供試体図

的载荷実験を行なったものである(表-1・W-A-S1)。疲労実験における最大及び最小引張力は気中、水中共にそれぞれ 7 kN 、 3 kN である。測定は図-1 に図示してある位置における鉄筋及びコンクリートのひずみである。なお、疲労実験における载荷速度は気中、水中共に 2 Hz である。試験条件を表-1 に示す。

A Study on Tensile Fatigue Behavior of Concrete in Water

by Y.Mizukawa, M.Fujimoto, Y.Sato, Y.Kakuta

表-1 試験条件

養生条件	試験環境	载荷方法	供試体名	コンクリート 圧縮強度(MPa)	最大引張力 (kN)	最小引張力 (kN)	载荷速度 (Hz)
気 中	気 中	静 的	A-A-S1	35.2			
			A-A-S2	37.3			
	水 中	静 的	A-W-S1	40.6			
		疲 労	A-W-F1	41.4	7.0	3.0	2
水 中	気 中	静 的	W-A-S1	31.2			
			W-A-S2	35.2			
		疲 労	W-A-F1	44.4	7.0	3.0	2
	水 中	静 的	W-W-S1	31.2			

3. 実験結果および考察

3.1 静的载荷実験

6体の静的载荷試験が行われた。図-2に作用全荷重とその際に供試体中央部(C-D-E位置、図-1参照)のコンクリートに作用する力の分担割合関係を示す。ここで、コンクリートに作用する力の算出方法を式(1)に示す。

$$P_c = P - P_s \quad P_s = A_s \times E_s \times \varepsilon_s \quad \text{式(1)}$$

ここで、 P_c : コンクリートに作用する力、 P : 全荷重、 P_s : 鉄筋に作用する力、 A_s : 鉄筋の断面積、 E_s : 鉄筋の弾性係数、 ε_s : 鉄筋のひずみ

気中で载荷された供試体の内、気中養生されたA-A-S1、A-A-S2は共にコンクリートに約7kNの引張力が作用した時にひび割れが入った。それに対して水中養生された後、1週間気中に放置されたW-A-S2は約10kNで、水中養生後直ちに载荷されたW-A-S2は約20kNでひび割れが入った。既に明らかにされている養生環境によるコンクリート強度の差^[2]は本実験からも観察された。また、载荷試験時のコンクリートの湿潤度が

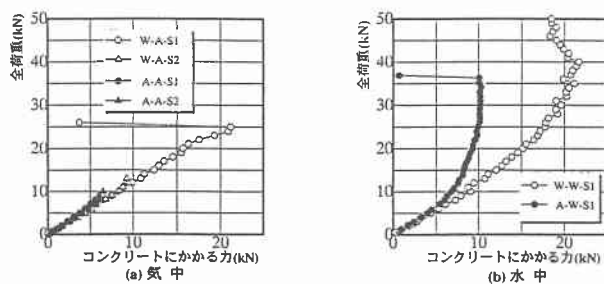


図-2 分担割合

コンクリート引張強度に影響することも観察された(W-A-S1、W-A-S2)。なお、全荷重に対するコンクリートの分担割合は全てほぼ一定である。

水中で载荷された2体の供試体は共にひび割れが入らなかった。図-1において養生条件が同じA-W-S1とA-A-S1及びW-W-S1とW-A-S1を比較すると、水中においては、载荷開始から気中でひび割れが入る時のコンクリートの受け持つ力とほぼ等しい所までは、概ね同じ割合でコンクリートに力が作用し

ていくが、それを境に偏曲している。その後は全荷重が増加してもコンクリートが受け持つ力が増加しなくなっている。A-W-S1 においては全荷重が約 37kN でコンクリートが受け持つ力が急激に落ち、ほぼ 0kN になっている。供試体表面にはひび割れは観察されておらず、これは、鉄筋とコンクリートの付着が取れなくなったことが原因と考えられる。

図-3 に A-W-S1 と A-A-S1 の鉄筋のひずみ分布図を示す。図-3 に示されるように、全荷重が 0kN から 8kN までは気中、水中ともほぼ同じひずみ分布になっている。その後気中供試体の方はひび割れが入り、ひび割れ位置の鉄筋のひずみが大きくなったが、水中供試体の場合にはひび割れが発生せず、ひずみ分布性状に変化は見られない。そして約 37kN でひずみ分布が直線になり、付着がなくなっているのが分かる。このような現象は以下のような過程で起こったと推測する。

水中における供試体(A-W-S1)も気中における供試体(A-A-S1)と同様に全荷重が約 8kN で供試体内部に付着ひび割れが入っている。気中においては、その後の荷重の増加に伴い直ちに表面にひび割れが進展していく。それに対して水中の場合は、内部にひび割れが生じた時点でそのひび割れに水が侵入し(図-4(1))、コンクリートと鉄筋の付着力が低下する。その後荷重が増加していくに従い、コンクリート内部の損傷が進行し、その損傷部に水が浸入していく(図-4(2))。そのため全荷重が増加しても、コンクリートに力が加わらなくなる。そして最終的には内部の鉄筋周辺に水に囲まれ(図-4(3))、完全に付着がなくなる。

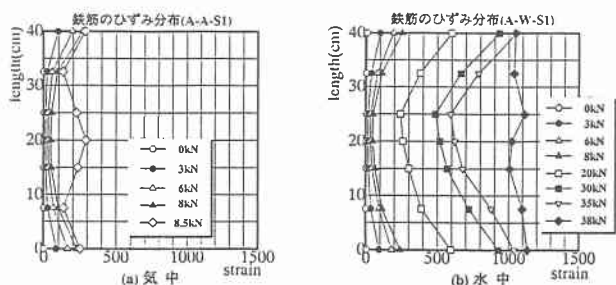


図-3 鉄筋のひずみ分布

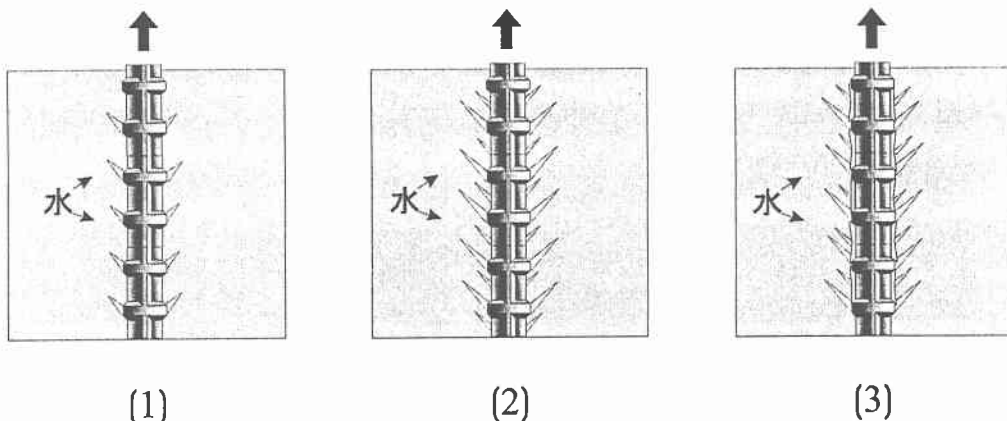


図-4 付着の劣化過程

3.2 疲労載荷実験

疲労載荷試験は気中(W-A-F1)、水中(A-W-F1)でそれぞれ1体ずつ行われた。実験供試体は気中、水中共に70万回の繰返し載荷後に静的に載荷された。図-5に供試体中央部(図-1における位置C-D-E)における繰返し回数とコンクリートのひずみの関係を、図-6に供試体中央部における繰返し回数とコンクリートに作用する応力の関係を示す。

図-5に示す通り、気中においては繰返し回数10万回後に、水中においては繰返し回数1万回後にコンクリートのひずみが急激に増加している。この時、図-6に示す通りコンクリートの応力は急激に減少している。

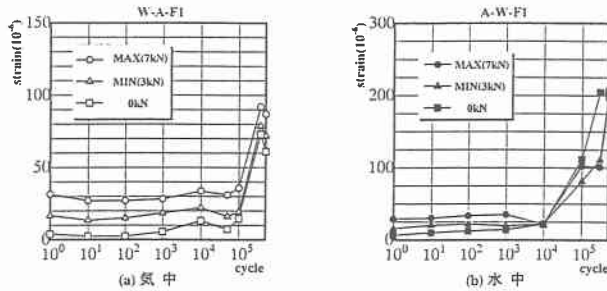


図-5 繰返し回数—コンクリートのひずみ関係

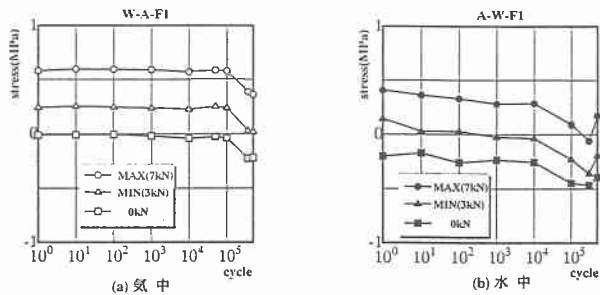


図-6 繰返し回数—コンクリートの応力関係

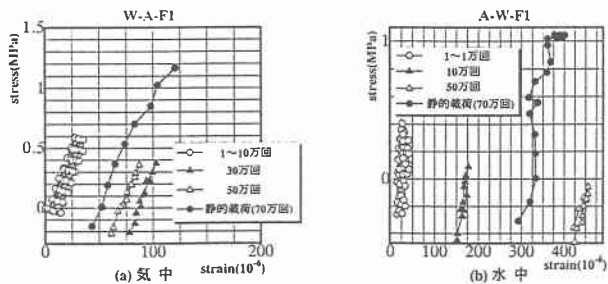


図-7 応力—ひずみ曲線

図-7に示されたコンクリートの応力-ひずみ曲線から、繰返し回数の増加に伴いコンクリートの剛性は、繰返し載荷時及び70万回目の静的載荷時ともほとんど変化していない。すなわち、本実験程度の応力レベル、繰返し回数の範囲では弾性係数は大きく低下しない。

図-8に繰返し回数とコンクリートの弾性ひずみ及び塑性ひずみの変化関係を示す。ここで、弾性ひずみは最大荷重(7kN)作用時のひずみから荷重0kN時のひずみを減じたもの($\epsilon_{eN} = \epsilon_N - \epsilon_{pN}$)、塑性ひずみの変化は、任意の載荷回数時の荷重0kN時のひずみから処女除荷時の荷重0kN時のひずみを減じたもの($= \epsilon_{eN} - \epsilon_{pl}$)、と定義する(図-9 参照)。

図-8に示される通り、気中における場合及び水中における場合とも、全ひずみが急激に増加している繰返し載荷回数で塑性ひずみの増加割合が急激に増加している。また、水中における場合の方が気中における場合よりも塑性ひずみの増加割合が大きいことが本実験で観察された。

なお、図-7におけるW-A-F1の繰返し回数30万回～70万回にかけて及びA-W-F1の繰返し回数50万回～70万回にかけて全ひずみが減少しているが、この理由は明らかにできていない。

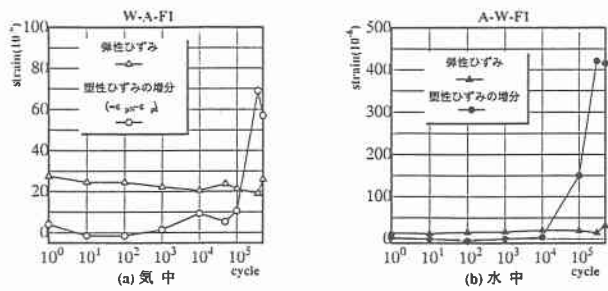


図-8 弾性ひずみ・塑性ひずみの変化

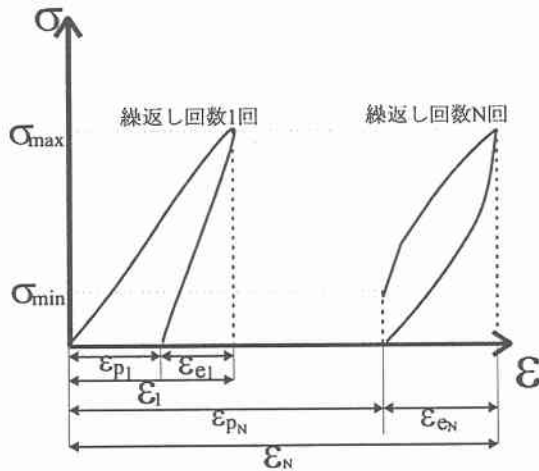


図-9 ひずみの定義

図-10 に繰返し回数の増加にともなう最大荷重(7kN)作用時の鉄筋のひずみ分布を示す。気中における供試体(W-A-F1)より水中における供試体(A-W-F1)の方が鉄筋とコンクリートの付着が取れていない。これは静的载荷時同様に、繰返し载荷にともない鉄筋付近のコンクリートが徐々に損傷し、そこに水が浸透して起こったと推測できる。

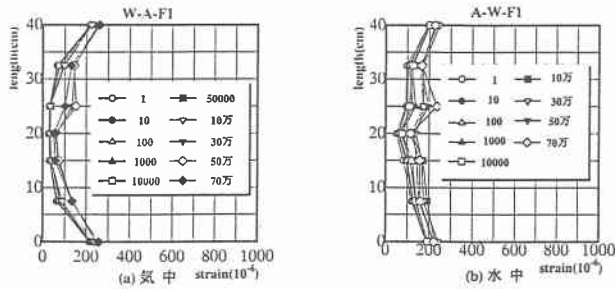


図-10 鉄筋のひずみ分布

4. まとめ

本研究により得られた結果を示す。

- (1) 供試体の養生状態および湿潤状態は、静的引張強度に影響する。
- (2) 水中におけるコンクリートと鉄筋の付着力は、気中におけるそれより小さい。
- (3) 本実験程度の応力レベル、繰返し载荷回数の範囲では、コンクリートの弾性係数の低下は大きくない。
- (4) 繰返し引張载荷下におけるコンクリートのひずみは、気中における場合及び水中における場合ともにある回数を境に急激に増加する。本実験では、水中における場合の方がより少ない繰返し回数でより大きくひずみが増加している。また、このひずみの増加は塑性ひずみの増加によると考えられる。

参考文献

- [1] 水河・藤本・佐藤・角田：水中における RC はりのせん断疲労性状、土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol.5、pp496～497、1997
- [2] 松下：水中におけるコンクリートの圧縮疲労強度に関する研究、土木学会論文報告集第 296 号、pp87～95、1980