

V-24

水中下における鉄筋コンクリートはりのせん断疲労性状に関する一考察

北海道大学工学部 学生会員 藤本 直史
 北海道大学工学部 学生会員 水河 洋介
 北海道大学工学部 正会員 佐藤 靖彦
 北海道大学工学部 正会員 上田 多門

1. はじめに

気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は、概ね明らかにされていると言える[1]。しかし近年、水中においてコンクリート構造物が建造される機会が増えてきているにもかかわらず、それに関する研究が、さほど行われていないのが実状である。その中で井上ら[2]は、水中下のRCはりのせん断疲労耐力に関する実験を精力的に行っており、多くの有意な情報を与えている。しかしながらスターラップの歪みや斜めひび割れ幅の変化など、せん断耐荷機構を考える上で必要となる情報は示されていない。水中下でのせん断疲労に対する合理的な設計方法を構築していくためには、まず、そのメカニズムを明らかにする必要がある。そこで本研究は、疲労強度とともにスターラップの歪み性状や斜めひび割れ幅性状を実験的に明らかにすることを目的として行った。

2. 実験概要

本研究において、せん断補強筋を持つ2体のRCはりを作成した。断面寸法は200mm×300mm、せん断スパンが700mm、有効高さが260mm、スパン比が2.7である。左右でせん断補強筋の本数を変えており、右スパンではせん断補強筋としてD10を120mm間隔に6本(せん断補強筋比0.6%)、左スパンではD10を80mm間隔に9本(せん断補強筋比0.9%)、主筋にはD19を6本(主筋比2.9%)用い、両供試体とも全く同じにした。

既往の実験[2]によると、せん断補強筋を持たないRCはりのせん断耐力は、気中での耐力と差異がないことが報告されている。一般的に、せん断補強筋を持たないRCはりは、斜めひび割れが発生すると同時に破壊に至るか、もしくは、斜めひび割れ発生後も若干荷重が増加し破壊に至る。すなわち、斜めひび割れ発生荷重が、気中でも水中でも大きく異ならないことを示しているものと考えることができる。そこで本研究は、処女載荷で斜めひび割れを発生させ、斜めひび割れ発生後の疲労性状の相違を比較検討することとした。すなわち、供試体No.1は作用最大せん断力を85kN、作用最小せん断力を17.5kN、供試体No.2は作用最大せん断力を87.5kN、作用最小せん断力を17.5kNとした。供試体No.1は、気中下で繰返し荷重を受けるものであり、繰返し回数が100回までは1から2Hzで、それ以降は4Hzで載荷した。一方、供試体No.2は、水中下で繰返し荷重を受けるものであり、100回までは1Hzで、それ以降は2Hzで載荷した。

測定は、主筋及びスターラップの歪み、斜めひび割れ幅である。スターラップの歪みの測定には電気抵抗式ストレインゲージを、斜めひび割れ幅の測定にはコンタクトゲージを用いた。供試体図及び歪みゲージ貼付位置を図1に示す。

Shear Behavior of RC beams under Fatigue loading in water

Naofumi FUJIMOTO, Yousuke MIZUKAWA, Yasuhiko SATO, Tamon UEDA

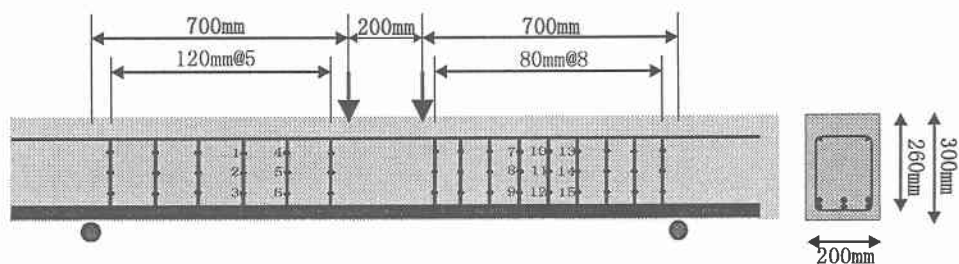


図1 ー 供試体図及び歪みゲージ貼付位置

表-1 実験供試体の諸元

供試体	f'_c (MPa)	V_{cr-cal} (kN)	V_{cu-cal} (kN)	V_{max} (kN)	V_{min} (kN)	V_{min} V_{max}	V_{max} V_{cu}
No.1	31.9	67.0	156.6	85.0	17.5	0.21	0.54
No.2	39.2	72.0	167.7	87.5	17.5	0.20	0.52

f'_c : コンクリート圧縮強度

V_{cr-cal} : 斜めひび割れ発生荷重の計算値 [3]

$$V_{cr}=0.2f'_c \frac{1}{3}(100p_w)^{1/3}(d/100)^{-1/4}b_w \cdot d \quad (1)$$

p_w :主筋比,d:有効高さ(mm), b_w :供試体の断面積(mm²)

V_{cu-cal} : 静的せん断耐力の計算値 [4]

$$V_{cu}=0.2f'_c \frac{1}{3}(100p_w)^{1/3}(d/100)^{-1/4} \times (0.75 + 1.4d/a)b_w \quad (2)$$

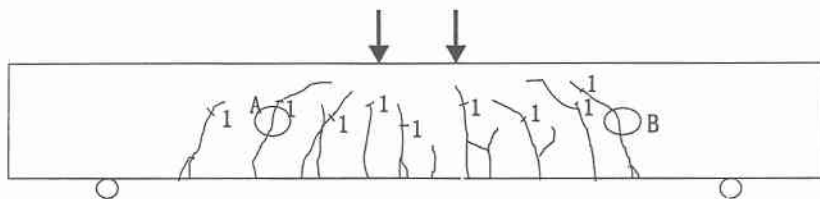
V_{max} : 作用最大せん断力

V_{min} : 作用最小せん断力

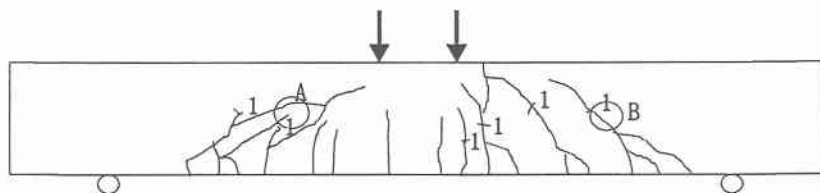
3. 実験結果及び考察

3.1 ひび割れ性状

図2(a)及び図2(b)は、それぞれ供試体No.1及びNo.2の処女載荷時及び10000回時のひび割れ性状を示す。供試体No.1における斜めひび割れは、繰返し回数の増加とともに徐々に上部へ進展するものであった。150万回載荷しても破壊が起こらなかったため、その後静的に載荷し破壊に至らしめた。その時の終局荷重は、410kNであり、破壊形式は、引張鉄筋降伏後の曲げ圧縮破壊であった。一方、供試体No.2の処女載荷時のひび割れ性状は、供試体No.1と同様であったが、その後の進展状況は大きく異なる。すなわち、斜めひび割れの上部への進展が、供試体No.1に比べ極端に速く、5万回あたりでひび割れが急激に進展し、おおよそ8万回で載荷板付近でコンクリートの破壊が起こった。しかし、その後も最大作用せん断力を支えることができていた。これは、スターラップ以外が受け持つせん断力はほとんど無いものと考えられるが、スターラップが全せん断力を受け持つことができたため、部材としては破壊せず荷重を支持できていたものと考えられる。



(a)－No. 1 のひび割れ性状



(b)－No. 2 のひび割れ性状

図 2

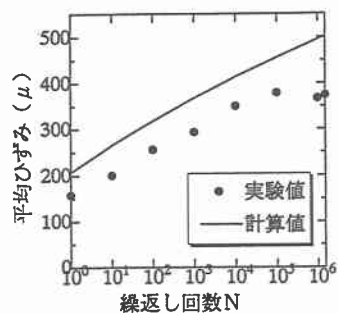
3.2 スターラップの歪み性状

図 3 (a)は供試体No.1の左スパン中央付近におけるスターラップのひずみ（測定点 4・5・6 の平均値）と以下に示す式（3）〔1〕により求めた計算値を、図 3 (b)は供試体No.1の右スパン中央付近におけるスターラップのひずみ（測定点 7・8・9 の平均値）と計算値とを比較したものである。一方、図 4 (a)は供試体No.2の左スパン中央付近におけるスターラップのひずみ（測定点 4・5・6 の平均値）と式（3）により求めた計算値を、図 4 (b)は供試体No.2の右スパン中央付近におけるスターラップのひずみ（測定点 7・8・9 の平均値）と計算値とを比較したものである。

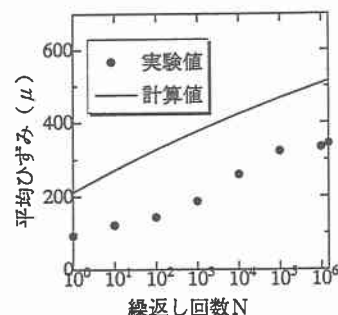
$$\varepsilon = \beta \left\{ V_{\max} - V_{\infty} \times 10^{-0.036(1-r^2)\log N} \right\} / A_w \cdot E_w \cdot Z/S \quad (3)$$

ここに、

β : 載荷点及び支点の影響による低減係数, $V_{\max}$: 作用最大せん断力, V_{∞} : コンクリートが受け持つせん断力, r : 荷重振幅($=V_{\min}/V_{\max}$), A_w : 1組のせん断補強筋の断面積, E_w : せん断補強筋のヤング係数, Z : $d/1.15$, S : スターラップの間隔。



(a)－No. 1 左スパン

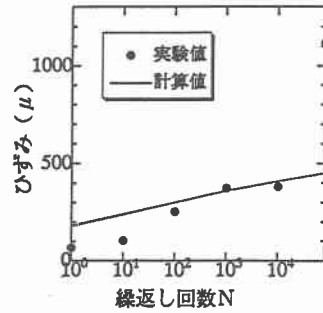


(b)－No. 1 右スパン

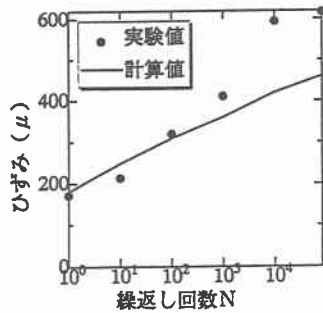
図 3－繰返し回数－歪みの関係

気中で疲労試験を行った供試体No.1において、実験値は式(3)により求めた計算値よりも若干小さいが、繰返し回数に対する歪みの増加傾向は類似している。一方、水中で疲労試験を行った供試体No.2においては、実験値は繰返し回数が1000回までの範囲では予測値と対応が良いが、それ以降、予測値よりも大きくなる傾向にある。

図5は、各測定時の歪みを処女載荷時の歪みで除した値と、繰返し回数との関係を示す。繰返し回数が10回では、両者に差異はないが、その後の繰返し回数に対しては、水中での歪みの増加割合が気中でのものより大きいことが明らかである。これは、水中においてはコンクリートの受け持つせん断力の低下割合が、気中の場合よりも大きいことを示している。すなわち、水中下でのスターラップの歪みの予測式として、式(3)をそのまま用いることはできない。

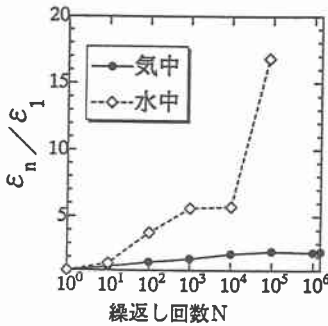


(a) - No. 2 左スパン

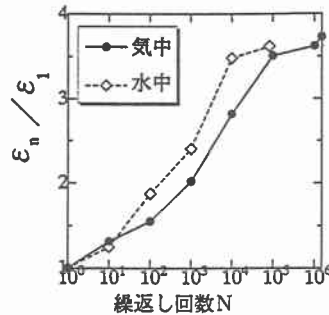


(b) - No. 2 右スパン

図4 - 繰返し回数-歪みの関係



(a) - 左スパン



(b) - 右スパン

図5 - 繰返し回数-各時の歪みを処女載荷時の歪みで除したものとの関係

3.3 斜めひび割れ幅の変化

斜めひび割れ幅は繰返し載荷回数に伴うスターラップのひずみの増加と密接に関係している。ここでは、既に提案されている鉄筋コンクリートはりに対する斜めひび割れ幅の予測式(式(4)) [5]により算定した値と実験により得られた値とを比較する。

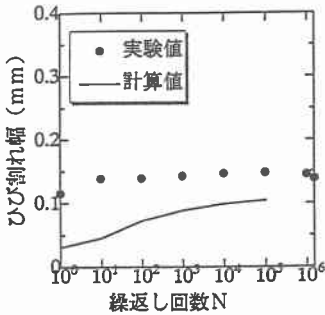
$$W = 1.8 S_d \phi / 10 K_{fc} P_w^{1.3} \quad (4)$$

ここに、

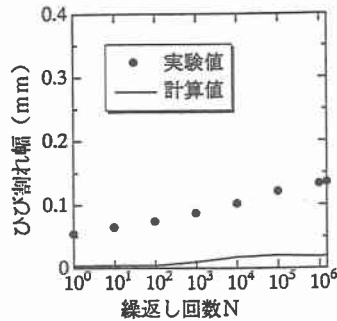
$S_d = 8 \times 10^3 \varepsilon_w + 2 \times 10^6 \varepsilon_w^2$, ε_w : ひび割れ交差部におけるスターラップのひずみ, ϕ : スターラップの直径(mm), $K_{fc} = (f_c / 19.6)^{2/3}$, p_w : セン断補強筋比。

図 6 (a)、図 6 (b)は、供試体No.1の測定点AおよびBの斜めひび割れ幅と繰返し回数との関係を示す。実験値は計算値よりも大きめではあるが、その増加傾向は概ね等しいと言えそうである。式 (4) に用いるスターラップのひずみは実際には斜めひび割れ交差部のひずみを代入するのに対し本実験ではひび割れ付近のゲージのひずみを使用したために、実験値が計算値よりも大きくなったものと考えられる。なお図 6 (a)の計算値において10万回目までのデータしかないのはその後ゲージが破損したためである。

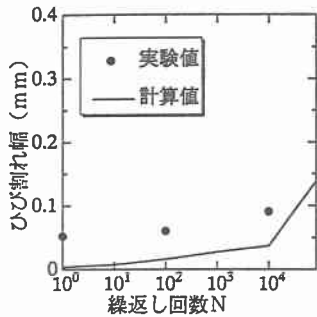
図 6 (c)、図 6 (d)は、供試体No.2の測定点AおよびBの斜めひび割れ幅と繰返し回数との関係を示す。繰返し回数が100回までは、気中における値と大差はないが、それ以降において、斜めひび割れ幅は大きく増加することが明らかである。



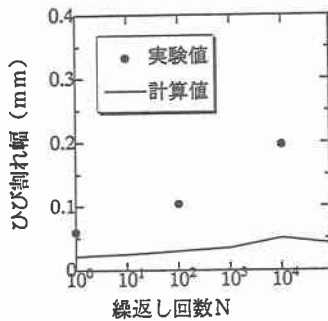
(a)－No. 1 測定点 A



(b)－No. 1 測定点 B



(c)－No. 2 測定点 A



(d)－No. 2 測定点 B

図 6－繰返し回数－ひび割れ幅の関係

3.4 分担力の変化

ここで、繰返し回数と分担せん断力との関係を考察する。図7は、供試体No1及び供試体No2のスターラップ以外、すなわち、コンクリートが受け持つせん断力と繰返し回数との関係を示す。コンクリートが受け持つせん断力は、最大作用せん断力から、実験で観察された斜めひび割れに沿った位置でのスターラップの歪みの測定値にスターラップの弾性係数と面積を掛け合わせた値を差し引いたものである。供試体No.1では150万回目に達してもコンクリートの受け持つせん断力は存在しているが、

供試体No.2では、低下割合が大きく8万回では全せん断力をスターラップが受け持つ形となっている。この理由として、水中下では斜めひび割れ域での伝達力が極端に低下することが考えられるが、そのメカニズムに関する検討は今後行う予定である。

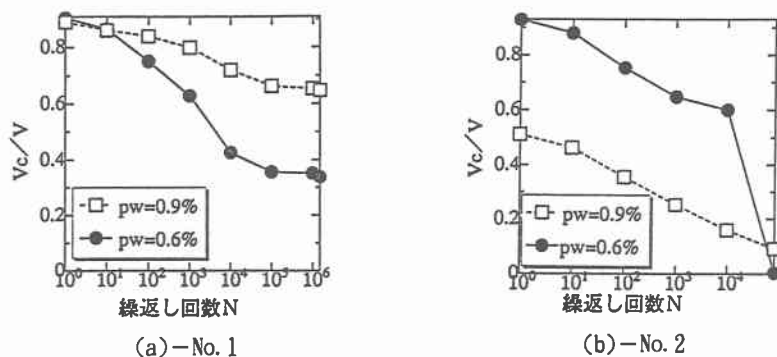


図7 繰返し回数一分担せん断力との関係

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 水中におけるRCはりの繰返し回数に対するスターラップの歪み及び斜めひび割れ幅の増加割合は、気中の場合に比べて大きい。
- (2) スターラップの歪みが気中に比べ大きく増加することは、スターラップ以外が受け持つせん断力、すなわち、コンクリートが受け持つせん断力が、気中に比べ大きく低下することを意味する。本実験供試体は、約8万回でコンクリートが受け持つせん断力が無くなり、全せん断力をスターラップが受け持っていた。

参考文献

- [1] 上田多門・岡村甫, 疲労荷重下のスターラップの挙動, コンクリート工学, Vol.19, No.5, pp.101~116, 1981年.
- [2] 井上正一他, 水中におけるRCはりのせん断疲労強度, コンクリート工学論文報告集, Vol.15, No.2, pp.437-442, 1993年
- [3] 土木学会: コンクリート標準示方書設計編(平成8年版)、1996年
- [4] 二羽淳一郎他, せん断補強筋を用いないRCはりのせん断強度式の再評価, 土木学会論文集, Vol.372, pp.167~176, 1986年.
- [5] Hussein Mokhtar HASSAN et al: DISPLACEMENT AT SHEAR CRACK IN BEAMS WITH SHEAR REINFORCEMENT UNDER STATIC AND FATIGUE LOADINGS, Proc. of JSCE No.433/V-15, pp.215-222, Aug.1991