

V-29

水中におけるRCはりのせん断疲労性状に及ぼす
繰返し载荷速度の影響

北海道大学工学部	学生員	藤本 将行
北海道大学大学院	学生員	水河 洋介
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	上田 多門

1. はじめに

近年、室蘭の白鳥大橋や東京湾アクアラインをはじめとする多くのコンクリート構造物が海や河川に建てられるようになった。こうした厳しい環境下で設置される構造物を設計、施工するにあたって考慮しなければならない点としては、水中に建造する事による材料の本来持つべき耐力の低下や波力や流水圧などの不規則な繰返し荷重を受けるという事などがある。空気中に比べて水中では繰返し荷重を受ける際、コンクリート構造物の疲労強度が低下する事はすでに報告されているが[1]、繰返し载荷速度の違いによる鉄筋コンクリート(RC)はりの疲労性状の影響についての研究はほとんど無いといってよい。载荷速度が空気中、水中に関わらずRCはりに対して何らかの影響があるのではないか。そこで本研究では、水中において载荷速度が異なる疲労試験を行い、主鉄筋あるいはせん断補強筋の歪みの変化、せん断力の分担、そして付着についての検討を行った。

2. 実験概要

2-1 供試体

実験に用いた供試体は、せん断補強筋をもつ2体のRCはりである。それらはせん断スパンが600mm、有効高さが240mm、せん断スパン比(せん断スパン/有効高さ)が2.5であり、左右のスパンでせん断補強筋(D10)の間隔を変え、左スパンに120mm間隔で6本(せん断補強筋比0.95%)、右スパンに80mm間隔で8本(せん断補強筋比1.42%)、主鉄筋にD22を4本(主鉄筋比4.3%)配置している。

2-2 実験方法

供試体は打設後1ヶ月間水中養生したものを使用し、いったん気中においた後また水中に戻し1週間置いて実験を行った。1体目の供試体(A)は4Hz、2体目の供試体(B)は0.4Hzと繰返し载荷速度を変え水中で実験を行った。まず、処女载荷で斜めひび割れを発生させ、その後繰返し载荷することにより疲労性状の相違を比較検討する事とした。供試体(A)は作用最大せん断力を100kN、最小を20kN、供試体(B)は作用最大せん断力を105kN、最小を20kNとした。圧縮強度に違いがあるため作用最大せん断力 V_{max} を決定する際、 V_{max}/V_u がほぼ一致するように V_{max} を定めた。疲労性状の観測に関しては主鉄筋、せん断補強筋、ひび割れ幅の変化を調べることとし、測定は主鉄筋及びせん断補強筋の歪みには電気抵抗式ストレインゲージを使用し、またひび割れ幅にはコンタクトゲージを用いた。形状寸法とゲージ貼付け位置を図-1に示す。また、供試体の諸元を表-1に示す。

The effect on shear fatigue behavior of RC beams of speed of cycle loading in water

By Masayuki FUJIMOTO, Yousuke MIZUKAWA, Yasuhiko SATO and Tamon UEDA

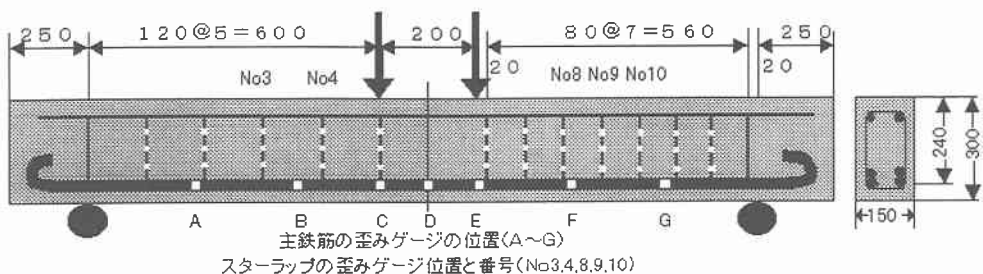


図-1 供試体図及びゲージ貼付け位置

表-1 供試体の諸元

供試体	載荷速度	作用最大 せん断力 V_{max} (kN)	作用最小 せん断力 V_{min} (kN)	終局せん断 耐力 V_u^l (kN)	コンクリートの 圧縮強度 f_c' (MPa)	V_{max} / V_u
(A)	4 Hz	100	20	147	35.4	0.68
(B)	0.4 Hz	105	20	153	43.9	0.68

$$1) V_u = V_s + V_c$$

$$V_s = A_w f_{wy} dz / s \quad [2]$$

$$V_c = 0.2 (f_c')^{1/3} (100 p_w)^{1/3} (d/100)^{-1/4} (0.75 + 1.4 d/a) b_w d \quad [3]$$

V_s : せん断補強筋のせん断耐力

V_c : コンクリートのせん断耐力

A_w : せん断補強筋1組の断面積

f_{wy} : せん断補強筋の降伏応力

d : 有効高さ

z : $d/1.15$

s : せん断補強筋の水平間隔

p_w : 引張鉄筋比

a : スパン長

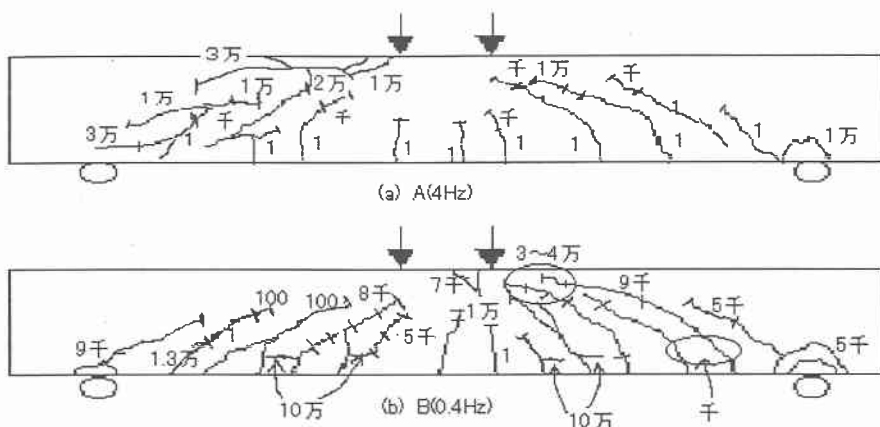
b_w : 断面幅

3. 実験結果及び考察

3-1 ひび割れ性状及び破壊性状

ここで2つの供試体のひび割れ性状を図-2に示す。供試体Aは1万回あたりで斜めひび割れが載荷点付近まで到達した。また、この時支点部のコンクリートも壊れ始めた。その後載荷点付近のコンクリートが圧縮破壊し、左スパンの上部に水平なひび割れが入り、38500回あたりで荷重を受け持てなくなり疲労試験を終了し、静的に載荷したが荷重が143kN(せん断耐力で71.5kN)までしか上がらなかった。実験後コンクリートをはつりせん断補強筋の状況を調べてみたが、破断は見られなかった。破壊形式はせん断圧縮破壊だった。

供試体Bの載荷点部への斜めひび割れの進展は7000回~1万回だった。支点部のコンクリートの破壊が供試体Aよりかなり速く5000回に見られた。また、10万回では主鉄筋の配置位置に沿ってひび割れが入っていた。10万回で載荷試験を終了し静的に載荷した結果、最終荷重は350kN(せん断耐力で175kN)であり、破壊形式は曲げ破壊であった。



3-2 主鉄筋の歪みについて

供試体Aの主鉄筋Eの歪みと繰返し回数の関係を図-3. 1に示す。最大せん断力時と最小せん断力時の歪みの変化を載荷速度の違いで比較した。0. 4 Hzの方は1 0 0 0回と1万回との間で急激な増加が見られ、1万回後の歪みは降伏歪みに達している。この急激な増加時に見られた供試体の変化として、5 0 0 0回あたりで支点部分のコンクリートの破壊があげられる。一方4 Hzでは処女載荷の歪みが0. 4 Hzとほぼ同じにもかかわらず、大きな変化はなく概ね一定である。

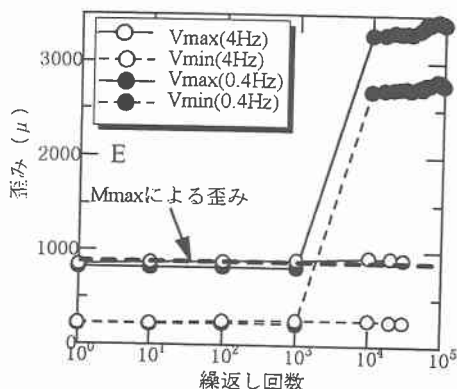


図-3.1 歪み-繰返し回数

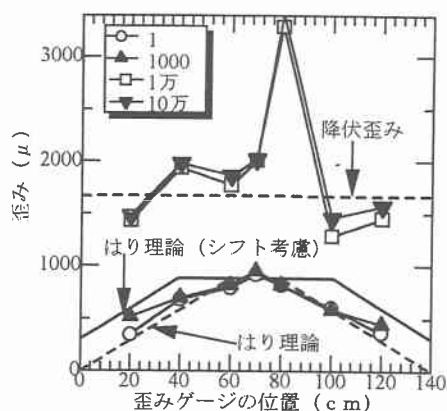


図-3.2 歪み分布

フトし降伏に至ったものと考えられる。支点部のコンクリートの破壊もスパン内での付着の消失に伴い、大きな繰返し引張力が支点部コンクリートに作用したことによるものと考えると説明できる。

3-3 スターラップの歪みについて

スターラップの歪みと繰返し回数の関係を図-3. 3に示す。ここで歪みは1本のせん断補強筋の3点の歪みを平均したものである。供試体B (0.4 Hz) において、主鉄筋と同様1000回と1万回の間で急激な増加が見られた。図-3. 3中の実線は、全作用せん断力をスターラップのみで受け持つと仮定した場合 ($V_{\max} = V_s$) の歪みを表す。10万回以後は、実験値はほぼこの計算値と一致しており、全せん断力をスターラップのみで受け持っていることが明らかである。図-3. 4は供試体B (0.4 Hz) のスターラップの高さ方向の歪み分布を示す。斜めひび割れは、ゲージ位置10 cmのところに入っていた。1回及び1000回に着目すると、高さ方向で歪みがほぼ一様となっている。スターラップNo. 4では1万回以降に3点とも降伏歪みに達している。

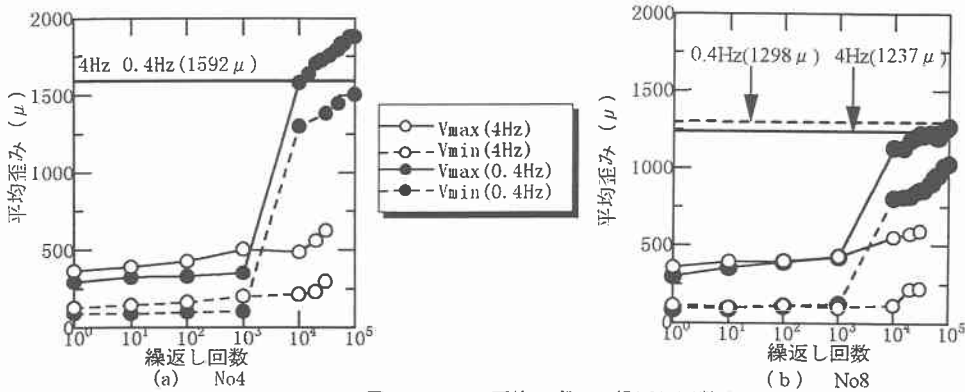


図-3. 3 平均ひずみ-繰返し回数

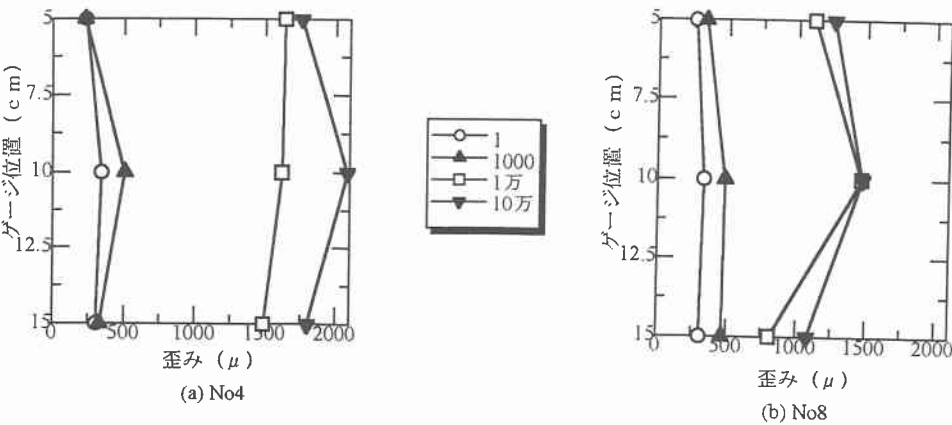


図-3. 4 歪み分布

斜めひび割れ幅の変化は、繰返し載荷回数に伴うスターラップの歪みの増加と密接な関係がある。図-3. 5は、斜めひび割れ幅と繰返し回数との関係を示す。0.4 Hzの供試体は、スターラップの歪みが $10^3 \sim 10^4$ 回にかけて急激に増加しているにもかかわらず、ひび割れ幅には大きな変化はなくそれまでと同じ割合で増加しており、その後ひび割れ幅が小さくなっていることからコンクリートと鉄筋との付着の消

失が起こったものと考えられる。また、図-3.6に、せん断力とひび割れ幅の関係を示す。0.4Hzの場合は、初期載荷時に較べて65000回での勾配が急になっていることから、最大せん断力と最小せん断力が作用した時のひび割れ幅の変化が小さくなったことが言え、コンクリートと鉄筋の付着がなくなっていることが説明できる。

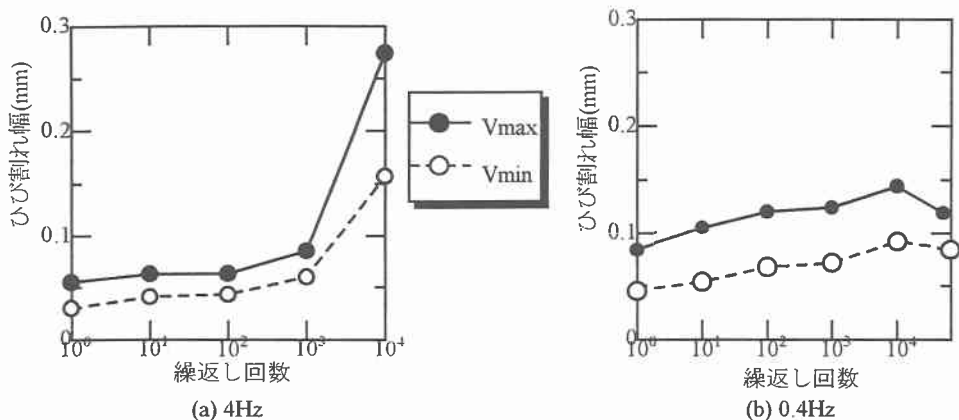


図-3.5 ひび割れ幅-繰返し回数

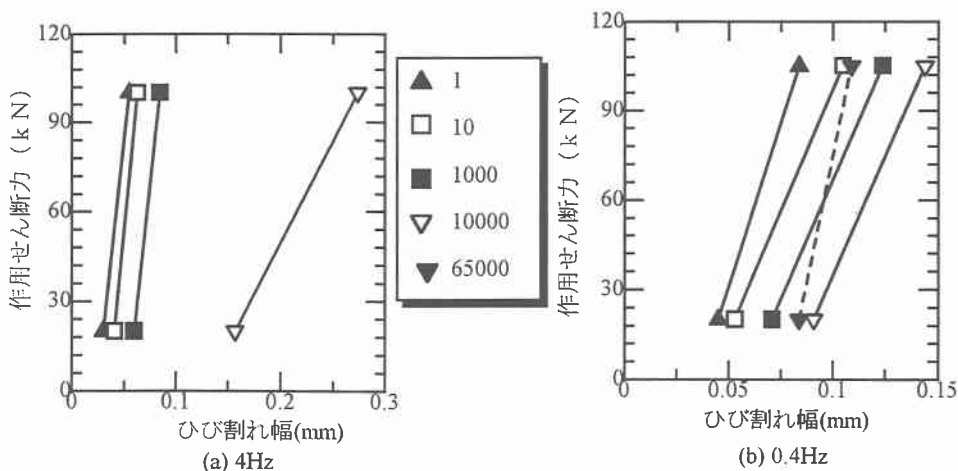
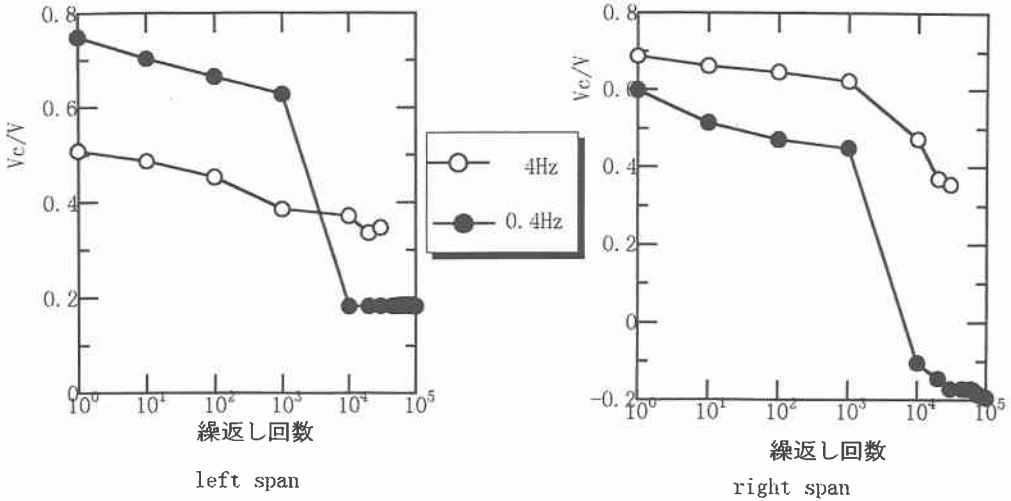


図-3.6 作用せん断力-ひび割れ幅

3-4 分担力の変化

せん断力はコンクリートが受け持つせん断力とスターラップが受け持つせん断力の和からなる。図-3.7は、2つの供試体の左右のスパンの分担力と繰返し回数の関係を示す。載荷点へ向かうひび割れが跨ぐスターラップの歪みの和に弾性係数と断面積を乗じてスターラップのせん断力 V_s を求め、作用最大せん断力 V_{max} から減じてコンクリートのせん断力 V_c を算出し、 V_c/V_{max} をコンクリートの分担比とした。また、降伏歪みを超えたものは降伏歪みとして扱った。0.4Hzの供試体は、 10^4 回以降左右両スパン共に全作用せん断力をスターラップが受け持っている。4Hzの供試体の右スパンにおいても、 10^3 回で V_c の

低下が大きくなっているが、0.4 Hz の場合のように急激に低下することではなく、約 40 % のせん断力をコンクリートが受け持っている。



図－3.7 分担力－繰返し回数

4. まとめ

本研究で得られた結論を以下に述べる。

- (1) 繰返し載荷速度の大きさによってRCはりのせん断疲労性状が異なる。すなわち、載荷速度が小さい方が繰返し回数の増加に伴う主鉄筋及びせん断補強筋の歪みの急激な増加がより早く見られる。
- (2) 歪みの急激な増加が付着の劣化と大きく関係するものと考えられる。すなわち、載荷速度が小さい程、付着の劣化が早くあらわれるものと考えられる。

参考文献

- [1] 藤本直史他、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、土木学会論文集（1997年）
- [2] コンクリート標準示方書 設計編（平成8年制定）、土木学会
- [3] 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（1986年）