

V-51

せん断補強筋のない鉄筋コンクリート梁の水中せん断疲労特性について

室蘭工業大学 学生会員 安田 健二
室蘭工業大学 正会員 菅田 紀之

1. はじめに

水中においてせん断疲労荷重を受けるせん断補強筋のない鉄筋コンクリート部材の疲労特性に関する研究は、井上^等によるものがあり、破壊様式や疲労強度、疲労寿命に関する検討が報告されている。しかしながら、鉄筋のひずみやコンクリートのひずみの変化に関して検討された例はなく、せん断補強筋のない鉄筋コンクリート部材のせん断疲労特性が、十分明らかにされているとはいえない。さらに、せん断抵抗機構がどのようなになっているかという事に関しての検討も行われてきていない。

そこで、本研究では、せん断補強筋がない場合の鉄筋コンクリート部材の水中せん断疲労特性に着目し、鉄筋コンクリート梁の水中疲労試験を行い、せん断疲労耐力、軸方向鉄筋およびコンクリートのひずみ変化、せん断抵抗機構について検討を行った。

2. 試験概要

2.1 供試体

実験に用いた鉄筋コンクリート梁の形状寸法は図-1 に示すとおりである。供試体の断面は10×20 cm、長さは150 cmである。軸方向鉄筋には SD295D19 を2本使用し、有効高さを 16.5cm としている。なお、鉄筋比は 3.47 %

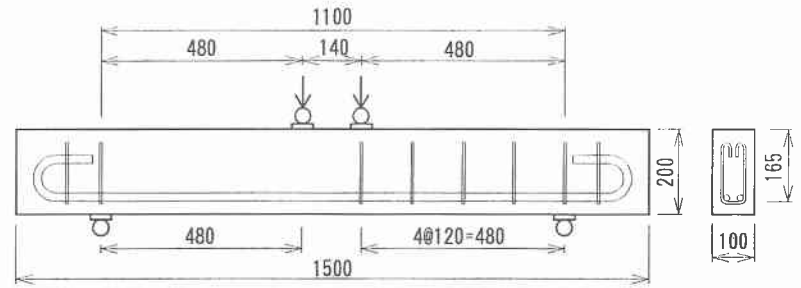


図-1 鉄筋コンクリート梁の形状寸法

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kgf/m ³)				
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	A E材 A D
55	44	165	300	823	1032	0.06

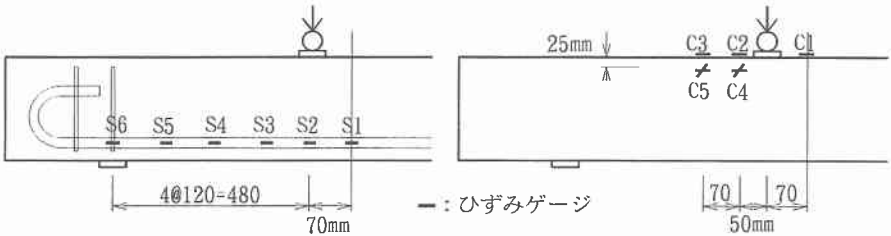


図-2 ひずみゲージ貼付け位置

Shear Fatigue of RC Beam without Web Reinforcement under Water
by Kenji YASUDA and Noriyuki SUGATA

である。また、せん断補強鉄筋としてDGを使用し、図のように右スパンにのみ12cm 間隔で配置し、左スパンを破壊スパン、右スパンを非破壊スパンとした。荷重の載荷は、支間長を110cm とし、せん断スパンを48cm、せん断スパン比(a/d)を2.91として行った。使用したコンクリートの配合は表1に示すように水セメント比を55%、単位水量を165kgf/m³とした。なお、練混ぜ直後の空気量およびスランプは4.1～5.3%、10.5～24cmであった。

表-3 試験結果一覧

No.	f'_c (N/mm ²)	V_c (kN)	S_{max} (%)	V_{max} (kN)	V_{min} (kN)	破壊回数 (回)
1	31.5	30.5	65	19.8	3.1	2,440
2	27.2	29.0	60	17.4	2.9	>2,000,000
3	27.2	29.0	65	18.9	2.9	73,645
4	30.8	30.3	60	18.2	3.0	181,803
5	30.8	30.3	65	19.7	3.0	203,956
6	30.0	30.0	60	18.0	3.0	>2,000,000
7	30.0	30.0	62	18.6	3.0	>2,000,000
8	38.2	32.5	65	21.1	3.3	36,227
9	38.2	32.5	62	20.2	3.3	32,498
10	38.2	32.5	62	20.2	3.3	2,273,553
11	38.2	32.5	65	21.1	3.3	145,075

疲労試験中におけるひずみの変化を計測するために、図-2に示すように軸方向鉄筋の支間中央点から6点、梁の上面に3点、側面に4点の合計13点にひずみゲージを貼り付けてある。側点C4およびC5は、主ひずみを求めるためのゲージであるが、ひずみの鉛直方向成分がほぼ0であったため部材軸方向と斜め方向のみとした。

2.2 疲労試験方法

疲労試験は電気油圧サーボ式、容量30tfの疲労試験機を用いて水中で行った。荷重は、載荷速度が3Hzの正弦波とし、作用最大せん断力 V_{max} は静的せん断耐力の計算値 V_c の65%、62%、60%、作用最小せん断力 V_{min} は V_c の10%に設定した。荷重の載荷については10回目までを静的載荷とし、それ以後は、連続的な繰返し載荷として供試体の破壊時まで続けた。疲労試験は材令2ヶ月程度の梁を用いて行った。

3. 試験結果および考察

3.1 全試験結果

表-3に試験結果一覧を示す。表中の f'_c は疲労試験開始時における円柱供試体を用いて求めた圧縮強度、 V_c は、せん断補強筋を用いない場合のせん断耐力³⁾であり、(1)式より求めた。

$$V_c = 0.20 \sqrt[3]{1/d} \sqrt[3]{100p_w} \sqrt[3]{f'_c} b_w d [0.75 + 1.4/(a/d)] \quad \cdots(1)$$

d : 有効高さ p_w : 主鉄筋比
 b_w : 腹部の幅 a : せん断スパン
 f'_c : コンクリートの圧縮強度

なお、表中の>200,000,000は200万回で破壊しなかったことを意味している。破壊性状としては、斜めひび割れの発生とともに、せん断スパンの載荷点付近のコンクリートに若干の圧壊が見られた。

3.2 セン断疲労耐力

図-3に、井上等¹⁾のよるせん断補強筋のない鉄筋コンクリート梁の水中せん断疲労に対するS-N直線と試験結果を示す。なお、○は破壊に至らなかったものを示している。破壊に至らなかった結果を除いて井上式と比較すると、全体として、試験結果は井上式の下に分布しており、疲労寿命が短いという結果になっていることがわかる。

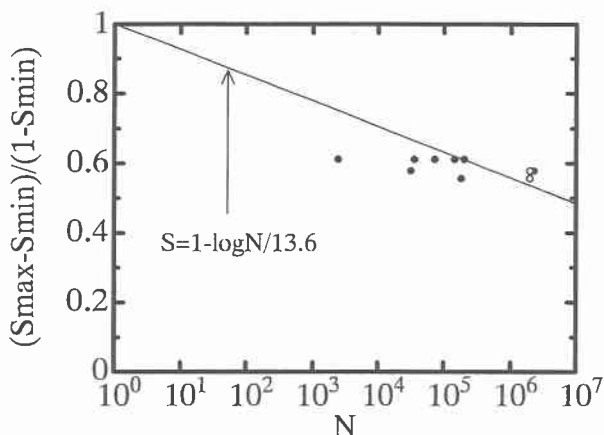
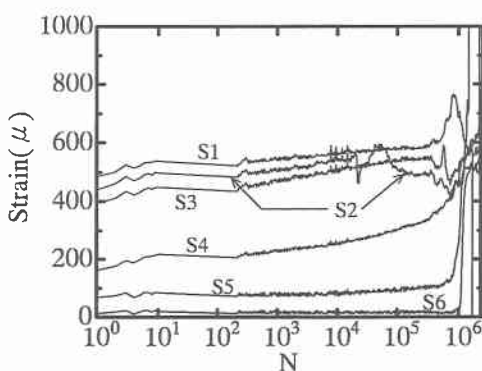


図-3 S-N線図

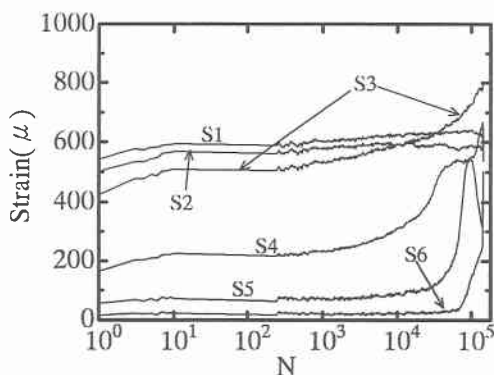
3.3 ひずみの変化

最大せん断力作用時における軸方向鉄筋のひずみの変化を図-4に

示す。図(a)は S_{max} が62%の梁の結果、図(b)は S_{max} が65%の梁の結果である。全体として、ひずみは荷重の繰返しとともに増加の傾向にあることがわかる。図(a)において、S1は、40万回載荷程度で大きく増加、80万回載荷以後減少し、170万回載荷を過ぎたところで急激に減少傾向に転じているが、これはゲージあるいはリード線の断線等によるものと考えられる。S2は、120万回載荷程度まで多少変化しているものの500 μ 程度の値を保ち、それ以後急激に増加している。これも、ゲージあるいはリード線の断線等によるものと考えられる。S3は、初載荷時より徐々に増加し、40万回載荷程度でやや不安定となっているが、破壊時には初載荷時と比べひずみが200 μ 程増加した程度であった。S4は、90万回載荷程度まで徐々に増加し、それ以後大きく増加しているが、これは付着力の低下によるものと考えられる。S5は、80万回載荷程度までやや増加し、その後大きく増加している。S6は、100万回載荷程度まではほぼ0であるが、その後、急激な増加へと転じている。このことより、S5およびS6近傍において、80万回あるいは100万回載荷時に付着力の低下が起きていることが考えられる。図(b)では、S1、S2は初載荷時より、やや増加し破壊時におけるひずみと初載荷時のひずみを比較すると、どちらも100 μ 程度増加している。S3は、初載荷時より徐々に増加し、破壊時には400 μ 程増加している。S4は、初載荷時から3万回載荷程度までやや増加し、それ以



(a) 梁 No.10 $S_{max}=62\%$



(b) 梁 No.11 $S_{max}=65\%$

図-4 軸方向鉄筋のひずみ変化

後 4 万 5 千回載荷程度まで大きく増加し、その後は徐々に増加している。3 万回載荷程度以後、付着の低下が起きていると考えられる。S5 は、5 万回載荷程度まで徐々に増加し、それ以後 10 万回載荷まで大きく増加し、10 万回以後減少傾向に転じている。S6 は、7 万回載荷程度までほぼ 0 の値を取り、その後徐々に増加している。S5 においては 5 万回載荷、S6 においては 7 万回載荷程度から付着力の低下が現れている。図 (a) と図 (b) を比較すると多少の違いはあるものの、同じ位置に貼り付けられたそれぞれのゲージのひずみの変化は同様の挙動を示しているという結果が得られた。

図-5 は、梁の上面に貼り付けたゲージのひずみ変化である。図(a)は、 S_{max} が 62% の梁の結果、図(b)は S_{max} が 65% の梁の結果であり、どちらの梁においても、載荷点より 12cm 支点側のところに貼り付けられた C3 から梁上面の中央に貼り付けられた C1 に向かうにつれ、ひずみの負の値が大きくなっていることを示している。図(a)では、C1、C2 は、初載荷時より徐々にひずみが減少し、C1 は 20 万回、C2 は 40 万回載荷程度を過ぎたところで、ひずみが不安定になり、C1、C2 ともに 100 万回載荷以後急激に変化している。C3 は、40 万回載荷程度まで一定のひずみを保っているが、その後やや不安定となり、150 万回載荷程度以後急激に変化している。C2、C3 が 40 万回載荷程度を過ぎたところでひずみが不安定となっているが、これは軸方向鉄筋の S4 のひずみが増加する点とほぼ同時期である。図(b)では、C1 は、6 万回載荷程度まで、徐々に

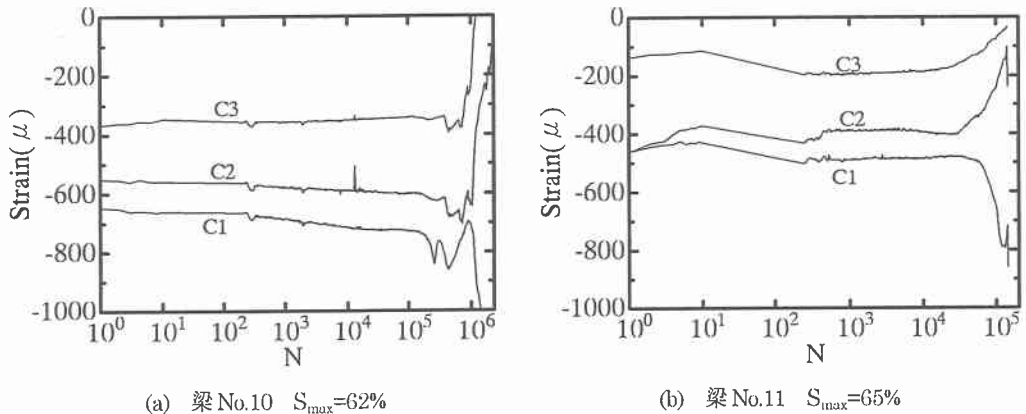


図-5 コンクリート上面のひずみ変化

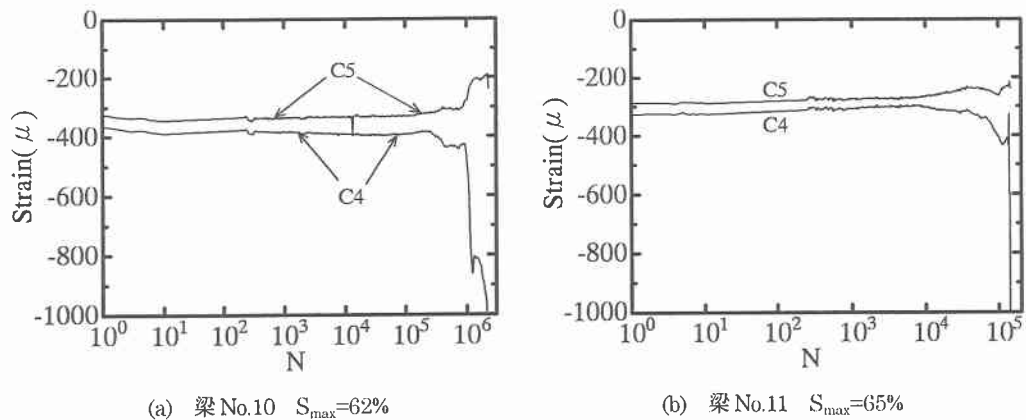


図-6 コンクリート側面のひずみ変化

ひずみが減少し、それ以後、大きく変化している。C2、C3は3万回載荷程度まであまり大きく変化していないが、それ以後徐々に増加している。これは、軸方向鉄筋におけるS4のひずみが増加し始める時と一致する。

図-6は、梁の側面に貼り付けたゲージのひずみ値より求めた各点における主ひずみの変化である。図(a)は S_{max} が62%の梁の結果であり、図(b)は S_{max} が65%の梁の結果である。 S_{max} が62%、65%、どちらの梁においても、載荷点に近い方の主ひずみが負の値が大きいくことがわかる。また、同断面位置であるC5とC3を比較すると、図(a)ではC5が若干小さな値に、図(b)ではC5の方が大きくなっていることがわかる。図(a)でのC4は、100万回載荷程度まで徐々に減少し、それ以後、急激に減少している。この急激な減少は、コンクリート上面のC2が急激に減少する時とほぼ同時である。図(b)でのC4は、徐々に減少し、破壊時に大きく減少傾向へと転じている。C5は、どちらの梁においても、初載荷時から破壊時まで大きな変化は見られない。

3.4 軸方向鉄筋のひずみ分布

支点からの距離と回数ごとの軸方向鉄筋のひずみ分布の関係を示したのが図-7である。図(a)は、 S_{max} が62%の梁の結果であり、載荷回数が1回、1万回、100万回、110万回、そして破壊直前のひずみ分布を示してある。図(b)は、 S_{max} が65%の梁の結果であり、載荷回数が1回、1万回、7万回、10万回、そして破壊直前のひずみ分布を示している。また、点線で示された線は、計算で求めた理論上のひずみ分布である。初載荷時のひずみ分布は理論上の分布よりも小さくなっていることがわかる。また、荷重の繰返しとともにひずみが増加していることがわかる。初載荷時におけるひずみ分布の傾きから判断すると、支点から36cmの区間はほぼビーム作用により、36cmから38cmの区間はビーム作用とアーチ作用によりせん断力に抵抗していると考えられる。その状態が図(a)においては、1万回載荷時に36cm～48cm区間で、100万回載荷時に24cm～48cm区間で、110万回載荷時に12cm～48cm区間でほぼアーチ作用によってのみせん断力に抵抗する状態に変化していることがわかる。また、破壊直前にはせん断スパン全域でアーチ作用によってのみせん断力に抵抗する状態になっている。図(b)においては、1万回載荷時、および、7万回載荷時に36cm～55cm区間で、10万回載荷時に12cm～24cm区間と48cm～55cm区間でほぼアーチ作用によってのみせん断力に抵抗する状態になっている。また、破壊直前には、せん断スパン全域でアーチ作用によってのみせん断力に抵抗する状態になっている。このように、荷重の繰返しに伴い載荷点から支点方向にアーチ作用によ

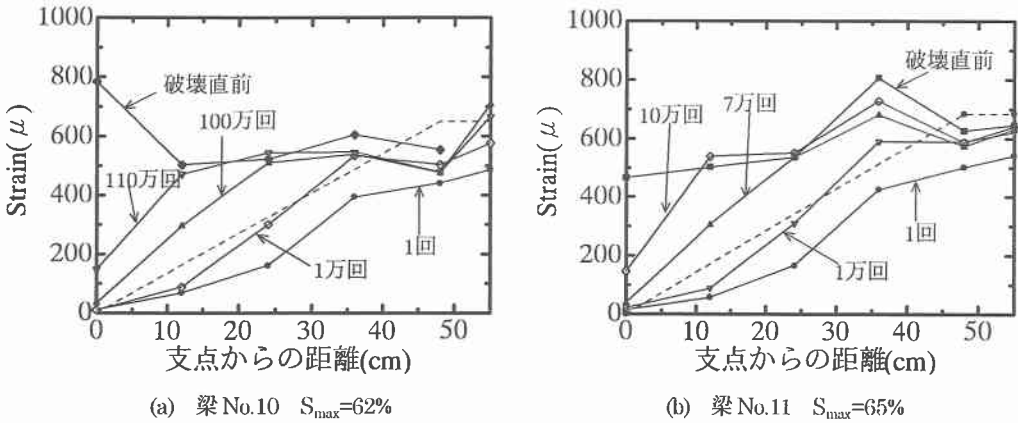


図-7 軸方向鉄筋のひずみ分布

りせん断力に抵抗する領域が拡大していくことがわかる。

4. まとめ

水中におけるせん断補強筋のない鉄筋コンクリート梁のせん断疲労特性および、せん断抵抗機構を明らかにすることを目的とし、有効高さを 16.5cm、主鉄筋比を 3.47%、せん断補強鉄筋比を右スパン 0.53%、左スパン 0%、せん断スパン 48cm、せん断スパン比を 2.91 とする鉄筋コンクリート梁の水中せん断疲労試験を行った。限られた条件による結果ではあるが、まとめると以下ようになる。

- 1) 疲労試験を行った梁の破壊性状は、斜めひび割れの発生とともにせん断スパンの載荷点付近のコンクリートに圧壊が見られる。
- 2) 今回の研究で得られた試験結果を井上式と比較すると、疲労状態が短いという結果が得られた。
- 3) せん断スパン荷重載荷点近傍におけるコンクリートのひずみは、せん断スパン中央がビーム作用からアーチ作用に抵抗機構が移行する時期に、大きな変化が起こり始める。
- 4) 荷重載荷初期においては、せん断スパン全体はほぼビーム作用によりせん断力に抵抗している状態であるが、荷重の繰返しに伴い載荷点から支点方法にアーチ作用による抵抗領域が拡大し、最終的にはせん断スパン全体はアーチ作用によりせん断力に抵抗する状態になる。

参考文献

- 1) 井上正一・西林新蔵・吉野公・権赫文：水中における RC はりの疲労性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.15，No.2，pp.437～442，1993.
- 2) 二羽淳一郎・山田一字・横沢和夫・岡村甫：せん断補強鉄筋を用いない RC はりのせん断強度式の再評価，土木学会論文集，第 372 号，Vol.5，pp.167～176，1986.