

機関番号：24402

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760362

研究課題名(和文) 液体の粘度の違いがコンクリートの疲労強度に及ぼす影響に関する研究

研究課題名(英文) Effect of Viscosity on Fatigue Strength of Concrete in Liquid

研究代表者

角掛 久雄 (TSUNOKAKE HISAO)

大阪市立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：90326249

研究成果の概要(和文)：本研究は様々な粘性の液体に浸漬させた鉄筋コンクリート部材に対してひび割れ内に液体が浸透することで、疲労特性に及ぼす影響を検討するため、曲げせん断疲労試験を行った。その結果、液体の粘性の違いによりコンクリート部材に生じるひび割れ進展や疲労強度に影響を及ぼすことを明らかにした。また、疲労試験時の载荷速度の違いが疲労寿命に影響を及ぼすことを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This study describes flexural shear cyclic loading test results of reinforced concrete member in various viscous liquid, with focusing on fatigue characteristic due to liquid permeation into cracks of the member. As a result, it was obtained that the viscous difference of liquid influences crack progress and fatigue strength. Furthermore, it was obtained that the fatigue life is affected by the difference of rate of cyclic loading.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：コンクリート構造，疲労強度

## 1. 研究開始当初の背景

コンクリート基礎は、化学プラントや製鉄所等の産業設備の基礎として広く用いられているが、近年、油圧プレス機のコンクリート基礎に潤滑油による材料劣化が生じた例が確認されている。実際の状況として、コンクリート表面は、揮発成分が蒸発してタール状になった潤滑油に覆われており、表面に発生するひび割れは、プレス機の駆動と連動して開閉していたと報告されている。つまり、

プレス機の稼働時は絶えずコンクリート基礎に変動荷重が作用しており、表面のひび割れからコンクリート内部へ流入した潤滑油の非圧縮性流体としての挙動によるひび割れの進展が、疲労劣化へ影響すると考えられる。

## 2. 研究の目的

今後の産業設備をはじめとする様々なコンクリートの維持管理のため、潤滑油などの

水と粘性の異なる液体の浸透がコンクリートの力学特性にどのように及ぼすかを明確にすること目的として様々な条件において実験を行うものである。具体的には以下の項目について検討を行った。

(1) ひび割れ内の液体による挙動特性

コンクリート柱部材を対象にひび割れ内に侵入した液体（水もしくは油）がひび割れの開閉に伴い、コンクリート部材の挙動への影響を検討する。

(2) 荷重速度による疲労性状への影響

液体（水もしくは油）に浸漬したせん断補強筋の無い鉄筋コンクリートはりに対して荷重速度をパラメータに疲労試験を行い、破壊性状への影響と疲労寿命に関する影響を検討した。

(3) 荷重振幅幅による疲労強度への影響

液体（水もしくは油）に浸漬したせん断破壊型となるせん断補強筋の無い鉄筋コンクリートはりに対して荷重振幅幅をパラメータに疲労寿命に関する検討をした。

3. 研究の方法

(1) ひび割れ内の液体による挙動特性

供試体は、断面の幅と奥行きをともに 140 mm、長さが 500mm のコンクリートに対して、断面中心に主鉄筋として D16 を配した。ひび割れの位置を固定するため、中央部以外に補強筋(D10)を配して、かつ側面の中央に薄いステンレス板を入れた試験体とした。

荷重はひび割れ内に液体が侵入した状態での影響を見るため、単純引張による繰り返しで行うものとして、電気油圧サーボ式の疲労試験機(容量 250kN)を用いた。図-1 に荷重試験概要を示す。また本試験ではひび割れ内への液体の有無や液体粘性の違いによる劣化促進の影響を把握するため、既研究と同様に浸漬条件を水中、油中および気中として供試体名をそれぞれ W-○、O-○および N-○とした。なお、○はそれぞれの条件の供試体番号を示す。また、繰り返し荷重時の下限荷重を固定して、上限荷重もパラメータとする。主鉄筋を引張った時に生じる任意応力相当の軸力を作用させることとして、鉄筋の許容応力  $\sigma_a=160$  MPa を基準に下

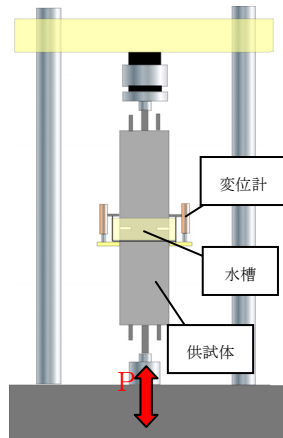


図-1 引張疲労試験

限値を  $\sigma_a$  の 10% とし、上限荷重を変数として 50, 70, 90, 120, 150% の各段階の荷重で 10000 回の繰り返し荷重を共通の荷重速度 1Hz で行った。

(2) 荷重速度による疲労性状への影響

コンクリートのひび割れへの液体の浸透による影響も踏まえた条件とすることとして曲げ降伏先行型の鉄筋コンクリートはりによる曲げせん断荷重試験を行う。そのため、図-2 に示すように寸法を 100 mm × 150 mm × 1000 mm、引張鉄筋 D-10(SD295) を 1 本配筋した。また、荷重方法は 3 点曲げとした。計測項目は図に示す通りである。

パラメータは浸漬条件（液体の種類：油と水）による影響と繰り返し荷重速度とした。それぞれの浸漬条件に対してまず、基本試験として静的荷重試験を行い、次に静的試験から得られたそれぞれの降伏強度を基準強度として繰り返し荷重は降伏強度  $P_y$  を基準にして、 $0.1P_y \sim 0.8P_y$  で実施した。荷重速度は 0.5Hz, 5Hz およびその中間として 2Hz の 3 パターンとした。それぞれ、水中、油中に対して実施している。また、なお、電気油圧サーボ式の疲労試験機（容量 250kN）を用いた。

(3) 荷重振幅幅による疲労強度への影響

鉄筋コンクリートはりの疲労寿命に着目することとし、せん断破壊型の供試体で実施することとした。そのため、(2) の供試体に比べて断面寸法は同じとしたが、せん断スパン比を小さくし、かつ引張鉄筋量を増やした。試験体詳細を図-3 に示す。

パラメータは浸漬条件（液体の種類：油と

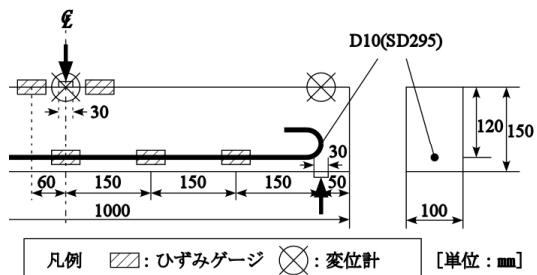


図-2 曲げ降伏先行型疲労試験

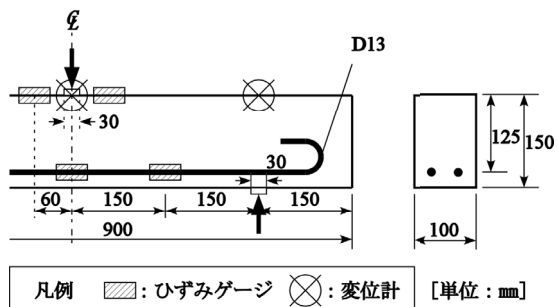


図-3 せん断破壊型疲労試験

水と液体なし) による影響と繰り返し荷重時の荷重振幅幅とした。荷重振幅幅は下限耐力比を基準強度の10%で一定として3パターンの上限耐力比  $S$  (90%, 70%, 50%) で行うこととした。その基準強度は気中での静的荷重試験より得られたせん断終局荷重を適用した。疲労試験は電気油圧サーボ式の疲労試験機(容量250kN)を用い、荷重速度は5Hzとし最大200万回まで繰り返し荷重を行った。200万回で破壊に至らなかった場合にはその後静的荷重により破壊させた。

#### 4. 研究成果

##### (1) ひび割れ内の液体による挙動特性

引張疲労荷重で生じた上限もしくは下限荷重時の変位(開口幅)を図-4, 5に示す。図-4の上限荷重時では初期はW-1を除いて液中の場合は気中より大きな変位を示しているが、上限値が150%の時はW-1とO-2が気中の変位とあまり変わらずひび割れ幅が大きくなると液体の影響が小さくなる可能性がある。図-5の下限荷重時では、水中と気中があまり変わらず、油中でやや大きい値であった。下限荷重時つまりひび割れが閉じる方向に挙動しているのに変位が大きいということは、ひび割れ内に粘性の大きな油がとどまり、ひび割れが閉じにくくなると考えられる。

ひび割れの開閉に伴うひび割れ内の液体の存在による影響の差、および液体の粘性に

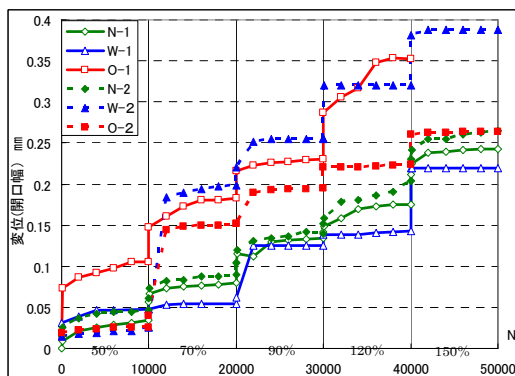


図-4 上限荷重時の変位-N 曲線

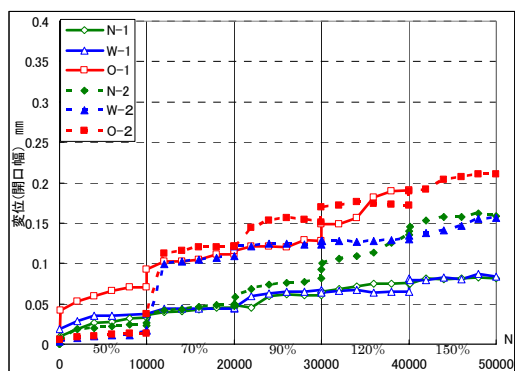


図-5 下限荷重時の変位-N 曲線

よる影響の差の傾向は確認できた。しかし、液体の有無、種類の違いによる定量的な影響を明確にするには至らなかった。

##### (2) 荷重速度による疲労性状への影響

###### ① 疲労寿命

浸漬条件ごとに荷重速度(振動数)を変化させたときの疲労試験結果の一覧を表-1に示す。すべての試験体で曲げ降伏先行のせん断破壊に至った。液体の種類に関係なく振動数が大きくなる(荷重速度が速くなる)ほど疲労寿命が遅くなる結果となった。また、同じ荷重速度において浸漬条件ごとに比較するとすべてにおいて水中の方が早く疲労破壊に至っている。しかし、荷重速度が速くなることで、油中の0.5Hz荷重と水中の5Hz荷重の疲労寿命が近似しており、荷重速度によって疲労寿命に与える影響が大きいことが分かる。そこで、図-6に振動数と疲労寿命の関係をグラフにして最小二乗法により近似曲線を示した。直線の勾配は若干であるが、水中の方が小さく荷重速度による影響が大きくなる結果となった。ただし、O2Hz-2の疲労寿命が他の油中のものと比べて少なく特異な値と考慮して除外して近時直線を考えるとより大きな差となる。

表-1 荷重速度による疲労試験結果

試験体名	浸漬条件	荷重速度 (Hz)	疲労寿命 $N$ (回)	$\log N$
O5Hz-1	油中	5.0	949,571	5.98
O5Hz-2		5.0	1,311,937	6.12
O2Hz-1		2.0	629,168	5.80
O2Hz-2		2.0	170,987	5.23
O05Hz-1	水中	0.5	461,152	5.66
W5Hz-1		5.0	518,382	5.71
W5Hz-2	水中	5.0	422,968	5.63
W2Hz-1		2.0	202,348	5.31
W2Hz-2		2.0	143,334	5.16
W05Hz-1		0.5	25,280	4.40
W05Hz-2		0.5	32,807	4.52

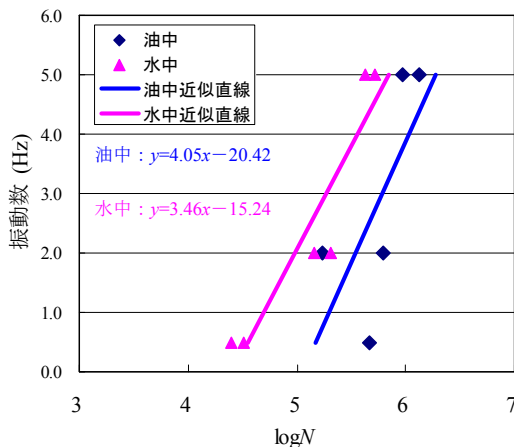


図-6 荷重速度と疲労寿命

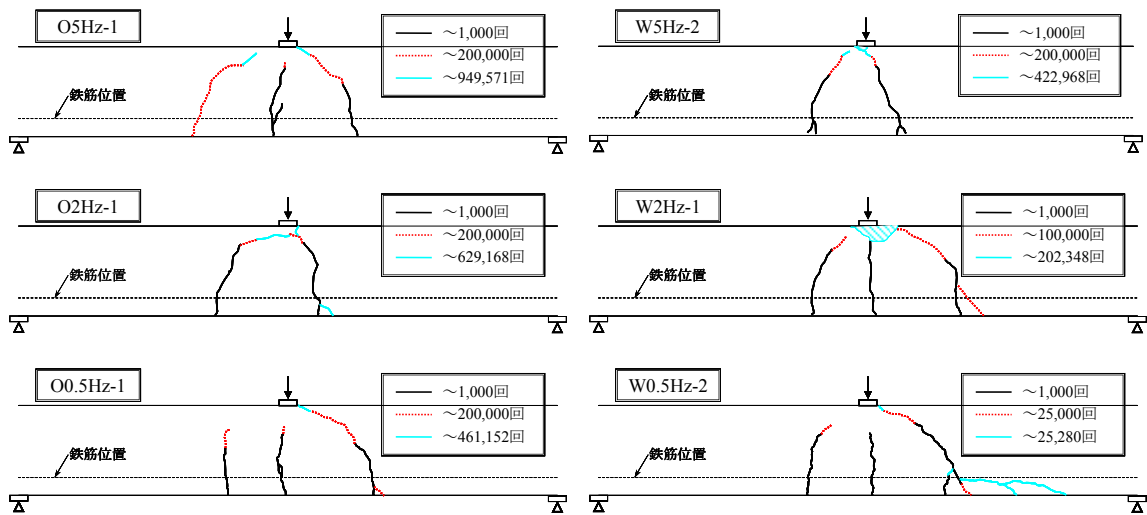


図-7 荷重速度ごとのひび割れ進展状況

## ② ひび割れ進展

次にそれぞれの損傷過程を比較することとして、図-7にそれぞれの振動数におけるひび割れ進展過程を示した。油中においては20万回程度まではひび割れの進展に大きな相違は無く、圧縮縁付近までひび割れは達している。しかし、その後の破壊に至るまでの回数に相違が表れることとなり、振動数と疲労寿命の相関は見られたが、振動数とひび割れの進展との相関は見られない結果となった。それに対して水中では振動数が大きくなるほどひび割れの進展が遅くなり、疲労寿命同様相関性が見られる結果となった。そのため、ひび割れの開閉に伴いせん断ひび割れ内を液体が流れることによって生じるひび割れ面の磨耗効果に対して液体の粘性と荷重速度が大きく影響し、せん断抵抗力の低減につながってゆくものと考えられる。

## (3) 荷重振幅による疲労強度への影響

### ① 疲労寿命

浸漬条件と上限荷重比（荷重振幅）を変化させたときの疲労試験結果の一覧を表-2に示す。また、本実験と同条件の荷重速度である(2)の5Hzの時の結果も併せて示す。ただし、曲げ降伏耐力比で荷重していたのでせん断耐力比に換算し直した。表より上限耐力比  $S=50\%$ を除いた試験体において疲労破壊が得られた。疲労破壊が生じた試験体では上限耐力比  $S=90\%$ において、すべての浸漬条件でばらつきが大きい。  $S=70\%$ に比べると非常に少ない回数で破壊している。  $\log N$ の平均は3付近で類似しており上限荷重が大きくなると、荷重による破壊挙動が主となり、破壊現象に及ぼす液体の浸透の影響が小さくなることが考えられる。  $S=70\%$ ではそれぞれの液体の  $\log N$ の値は、ばらつきが小さくなっているが、油中と水中では平均で1以上異

表-2 上限荷重比による疲労試験結果

試験体名	浸漬条件	上限荷重比 $S$ (%)	疲労寿命 $N$ (回)	$\log N$
O90-1	油中	90	8,308	3.92
O90-2			73	1.86
O90-平均				2.89
O70-1	水中	70	306,831	5.49
O70-2			1,161,431	6.06
O70-平均				5.78
O50-1		50	2,000,000	6.30
W90-1	水中	90	30	1.48
W90-2			25,212	4.40
W90-平均				2.94
W70-1	水中	70	12,900	4.11
W70-2			60,803	4.78
W70-平均				4.45
W50-1		50	2,000,000	6.30
N90-1	気中	90	345	2.54
N90-2			6,472	3.81
N90-平均				3.17
N70-1	気中	70	40,608	4.61
N70-2			105,132	5.02
N70-平均				4.82
N50-1		50	2,000,000	6.30
O5Hz-1	油中	67	949,571	5.98
O5Hz-2			1,311,937	6.12
W5Hz-1	水中	66	518,382	5.71
W5Hz-2			422,968	5.63

なる結果となり、気中が油中と水中の中間程度となった。この荷重振幅では液体の違いによる疲労破壊への影響が明確に現れていると考えられる。  $S=50\%$ では疲労試験後の静的荷重時の最大荷重を見ると、すべて、基準強度よりも大きくなり、疲労試験による強度低下が見られなかった。図-8に上限耐力比  $S$ と疲労寿命  $\log N$ をグラフにして示す。ただ

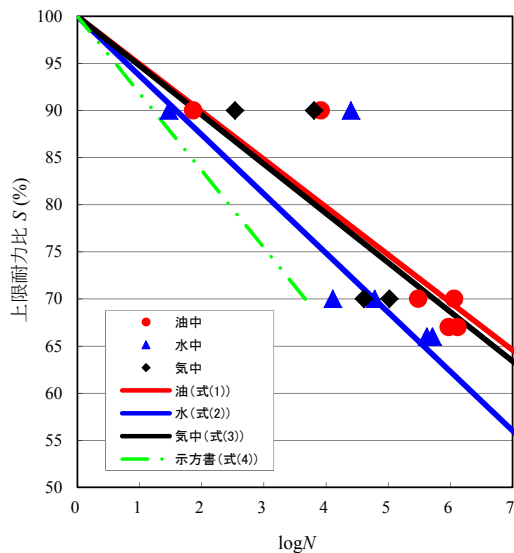


図-8 S-N曲線

し、疲労破壊しなかった  $S=50\%$  を除いて示している。図には、それぞれの浸漬条件に対して最小自乗法による近似直線を示した。ただし、 $S=100\%$  の時  $\log N=0$  となる切片を条件とした。また、コンクリート標準示方書（以後、「示方書」）のせん断補強筋の無い部材の設計疲労耐力に準拠して算定した線も参考に示す。それぞれの近似直線の式を以下に示す。

$$\text{油中： } S = -5.0574 \log N + 100 \quad (1)$$

$$\text{水中： } S = -6.27791 \log N + 100 \quad (2)$$

$$\text{気中： } S = -5.2268 \log N + 100 \quad (3)$$

$$\text{示方書： } S = -8.1818 \log N + 100 \quad (4)$$

それぞれの勾配（係数）を比較すると示方書、水中、気中および油中の順で勾配が小さくなっているが、気中と油中ではあまり変わらない結果となった。水中においては明らかに油中、気中より疲労寿命が少なくなることが示された。ひび割れ等の進展は気中より油中の方が明らかに進んでいたが、疲労寿命としては類似した傾向を示すこととなった。

#### (4) まとめ

鉄筋コンクリート部材を対象に、浸漬条件、載荷速度、荷重載荷幅をパラメータに疲労載荷試験を行った。得られた結果を示す。

- ① 同じ載荷速度では油中より水中の方が速く疲労破壊に達する。
- ② どちらの液体でも振動数が大きくなる（載荷速度が速くなる）ほど疲労寿命が長くなる。
- ③ ひび割れの進展において油中では載荷速度の影響が見られなかったが、水中の場合は疲労寿命と同様に斜めひび割れの進展に相関性が見られた。
- ④ 上限荷重が大きくなると、荷重による破壊挙動が主となり、破壊現象に及ぼす液体の浸透の影響は小さくなる。

- ⑤ S-N 曲線より得られた近似直線より本試験条件における上限耐力比と疲労寿命に関する式を示したが、本実験においては油中と気中で類似した疲労寿命に関する近似直線が得られた。

#### 5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 2 件）

- ① 角掛久雄, 大内一：浸漬した無補強 RC 梁の疲労寿命に及ぼす載荷速度の影響，土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集，査読無，Vol.65，2010，pp.1073-1074
- ② 上田真彦, 角掛久雄, 大内一：ひび割れを有する RC 部材の液中引張疲労実験，土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集，査読無，Vol.65，2010，pp.1075-1076

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

角掛 久雄 (TSUNOKAKE HISAO)

大阪市立大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：90326249

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし