

[81] 含水量の異なるコンクリートの圧縮疲労性状について

正会員 金子林爾 (名城大学)

1 はじめに

コンクリートの圧縮疲労寿命の試験に関しては、コンクリート自体が内部に多くの欠陥を有して破壊機構の複雑さと作製過程に生じる不均一性のために精度のよい供試体を作ることは困難である。しかし、静的圧縮強度の平均値を基準として所定の応力を決定する疲労試験では、まず静的圧縮強度に影響を及ぼす事項について考える必要がある。これには上記のような多くの因子が関連するが、その中でもコンクリートの含有水分の影響が大きな要因として上げることができるので、ここに乾燥状態と湿潤状態とのコンクリートについて検討する。この場合、同一バッチの供試体でも両者では大きく強度の変動を示し、乾燥状態でも湿潤から乾燥度合の経過によつて供試体はそれぞれに含水量の変化を生ずる。一方、疲労試験では、静的圧縮強度を基準として上・下限に一定応力を加えた疲労寿命は高応力大振幅では短時間破壊をするが、低応力小振幅になるほど長時間破壊をするか又は所定の寿命まで生存する時間依存型破壊のため、供試体の保管方法によつては相当に乾燥度合が異なる。従つて、この疲労寿命がコンクリートの含有水分によつてどのような影響を与えるかについて、乾燥状態と湿潤状態との供試体で水分発散度合、材令およびスランブなどの影響を検討するものである。尚、本実験は工業技術院委託、構造材料の安全性に関する標準化のための調査研究による繰返し疲労の一環として行なわれたことを記す。

2 実験方法

予備実験： 今回の実験には、供試体を湿潤状態で保持する方法として、多くのシール材を考慮したが、次のような前提条件からプラスチックフィルムを使用することにした。即ち、第1に円柱供試体の水分発散を防止できること、第2にシールする方法が容易でかつ迅速にできること、第3に供試体の状態が保管中又は試験载荷中に観察できることなどである。特に、透明なシールであれば、供試体の端面の影響や疲労試験中のひびわれなどの観察から疲労寿命の推定ができて試験時間を有効に利用できることとひびわれの伸展過程から破壊機構を考慮することができる特徴がある。従つて、本来ならば水分発散を防止できる材料としては、金属箔・金属板で被覆する方法が最も効果的であるが、上記の理由で短時間に数多くの円柱供試体をシールすることは困難であり、供試体表面の観察が不可能である。よつて、各種のプラスチックフィルムを用い、湿潤状態の供試体をシールしたのち、所要材令で重量測定(メトラー直示天びん、感量 0.1g)を行ない、水分減少率を求めた。シール材はナイロン・ポリエチレン3層(厚さ 0.085mm と 0.075mm)、ポリエチレン(厚さ 0.06mm)、ポリプロピレン(厚さ 0.06mm)のチューブおよびビニロン(厚さ 0.06mm と 0.05mm)の各材料を用いた。この結果、図1に示すように、水分減少率の最も少ないナイロン・ポリエチレン3層チューブ(厚さ 0.085mm)を使用することにした。

本実験： 使用材料として、セメントに普通ポルトランドセメント(比重 $3/5$ 、材令28日圧縮強度 $4/7\text{kgf/cm}^2$)を使用し、骨材には、細骨材に川砂(矢作川産)、粗骨材に砕石(ホルンフェルス、カンラン石)を使用し、この骨材の品質を表1に示す。コンクリート調合には、水セメント比を一定に保ち、スランブに変化を与えた。

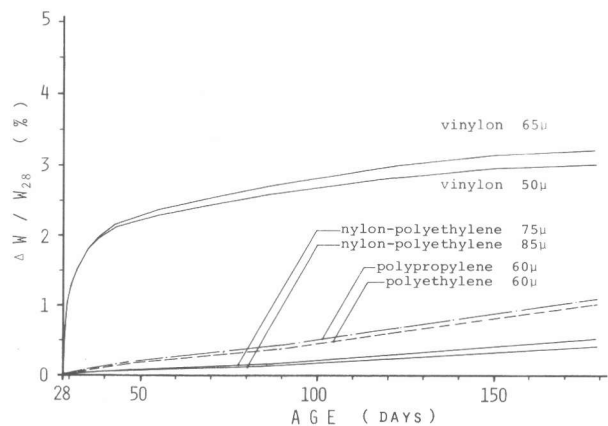


図1 各種シール材と水分減少率

実験には、全てφ10×20 cm 円柱供試体を用いた。湿潤状態には、脱型後直ちに全供試体の半数をナイロンポリエチレン3層チューブでシールし、その後恒温恒湿室(20±1°C, RH65±5%)に移した。一方、乾燥状態には、残りの半数を脱型後から材令28日まで水中養生(20±1°C)を行ない、水槽から取出して供試体表面の付着水を除いたのち、恒温恒湿室に移して試験材令まで保管した。供試体作製に際して、コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響の一つに、キャッピング精度の問題を上げることができる。これはキャッピングの仕上状態で加圧面が平滑でないとか荷重時の端面に集中荷重や偏心荷重が加わり、精度の良い供試体よりも低い荷重で破壊することが知られている。特に疲労寿命には、供試体端面の精度が大きく影響を及ぼすと共に端面のみならずコンクリートとセメントペースト境界面に若干の空隙を有しても影響することが今までに確認された。従って、実験には、コンクリート打設後7~8時間でキャッピングを行ない、供試体の端面精度を高めるためにセメントペーストとガラス板間に延伸ポリプロピレン(厚さ0.05 mm)を使用した。

疲労試験には、脈動源にクランク機構を用いたアムスラー型(前川製作所製、最大振幅0~20 ton, 振動数5.5 Hz)と電気油圧式サーボバルブ機構(MTS製、最大振幅0~25 ton, 可変振動数0~100 Hz, 今回の実験では5.5 Hzで統一)の疲労試験機2台を正弦波で使用した。この場合、試験機機構の違いから試験誤差が考えられるので、アムスラー型試験機では一部分の長時間疲労試験についてのみ使用した。

試験時の供試体採取は乱数表を使って決め、各試験直前に重量測定を行なった。

静的圧縮強度は材令35日、疲労試験直前及び直後で行ない、各材令ごとに供試体5個の平均値と標準偏差を求め、表3に示す。中間材令での疲労試験の設定応力は試験終了後の静的圧縮強度とで補正した。

3 実験結果及びその考察

水分減少率と静的圧縮強度 供試体の含有水分は水槽から取出し恒温恒湿室に移した時点から時間の経過と共に減少し、表乾燥状態から気乾状態へ、さらに絶乾状態へと近づく。その減少率は使用骨材や乾燥条件が一定ならば、水セメント比によって決まり、その減少量は材令の初期段階で大きく徐々に漸減するが材令400日以上でも恒温恒湿室内と平衡状態にならない。個々の供試体は水分減少量に差異を生ずるが、シールしない供試体の減少率は材令35日で1.6~2.0%, 材令65日で2.6~3.1%, そして材令150日で3.2~3.8%であった。これに対して、シールした供試体は材令35日で0.00~0.02%, 材令70日で0.06~0.10%, 材令160日で0.43~0.49%の減少率であった。この結果から、ナイロン・ポリエチレ

表1 骨材の品質

種類	比重	粗粒率	粒大 (mm)	単重 (kg/l)	実積率 (%)	吸水率 (%)	破砕率 (%)
川砂	2.59	3.08	2.5	1.62	63.3	1.51	-
砕石A	2.66	6.95	20	1.60	60.2	1.12	31.1
砕石B	2.67	6.77	20	1.60	60.8	1.32	15.2

表2 コンクリート調査

種類	W/C (%)	水 (kg/m³)	セメント (kg/m³)	細骨材 (kg/m³)	粗骨材 (kg/m³)	スランプ (cm)	空気量 (%)
NC-A (1)	63	159	249	992	934	5.0	1.5
NC-A (2)	63	171	269	867	1006	6.0	1.4
NC-A (3)	63	179	283	835	1006	11.1	1.2
NC-B	63	198	306	748	1031	17.4	-

表3 各材令ごとの静的圧縮強度統計値

状態	種類	材令(日)		材令(日)					
		平均圧縮強度 (kgf/cm²)		標準偏差 (kgf/cm²)					
乾燥状態	NC-A (1)	35	191	151	258	35	7.34	151	17.60
	NC-A (2)	35	268	60	307	35	12.79	60	14.06
	NC-B	-	-	85	250	-	-	85	19.31
湿潤状態	NC-A (1)	35	176	161	221	35	11.32	161	20.61
	NC-A (2)	35	214	60	219	35	13.16	60	3.42
	NC-A (3)	35	222	70	214	35	8.64	70	12.34
	NC-B	-	-	80	231	-	-	80	26.20

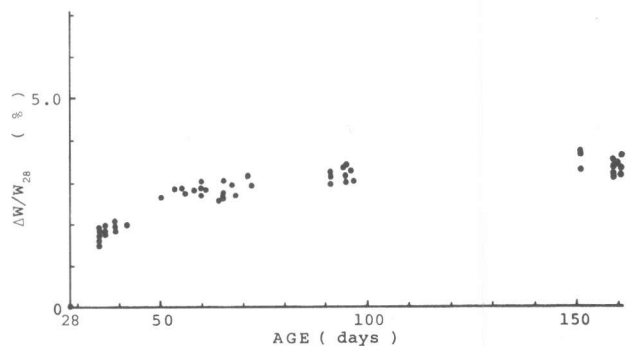


図2 材令と水分減少率(乾燥状態の場合)

3層チューブでシールした供試体は40~50日ならば、ほぼ水分を保持することができるが、長期材令に至って徐々に水分の発散量を増し、シール材の効果は薄らいでいく。

静的圧縮強度は同一バッチでも乾燥状態と湿潤状態とでは強度発現が異なるのは周知の通りで、水分減少量が強度に大きく影響を及ぼすと共に、乾燥するに従ってばらつきも増す傾向にある。これは個々の供試体の内部機構の不均一性や保管位置などによって乾燥に差異を生ずるために長期材令になるほど、ばらつきが大きくなると考えられる。一方、シールした供試体では、水分減少率が0.1%程度まではほとんど強度増進はなく、0.4%以上では水分発散による強度増進がみられる。従って、シールした供試体はシール方法の不注意と外傷がない限り、ある期間強度増進をほぼ停止させることができる。この現象は通常の湿潤状態に於ける材令と強度との認識とは異なる。この原因については、外部から水分を補給しない場合にセメントが水和度に伴って空隙を生ずる自己脱水のためと考えられる。

水分減少率と疲労寿命 疲労試験は下限応力比 ($s_1 = 10\%$) を一定とし、上限応力比を主として3段階にとって各々の所定応力を加え、乾燥状態と湿潤状態との試験結果を図3~図7に示す。

この結果、疲労寿命は上限応力比90%程度の高応力大振幅による短時間破壊の場合には両者ともほぼ同じ疲労寿命を示すが、応力振幅の小さな長時間破壊の場合には両者に寿命差があり、湿潤状態の方が乾燥状態よりも寿命が短い。このことから、疲労寿命は含水量に大きく影響し、水分減少率によって異なることが確認された。このように、乾燥度合によって疲労寿命が異なるのは、コンクリートの内部機構が乾燥によって複雑に変化し、構成粒子の接近や架橋現象を伴うと共に内部摩擦を高めることに起因すると考えられる。この影響は静的圧縮強度には現われない若干の水分発散でも如実に現われるようである。

コンクリートの破壊現象は確率的に考察されているが、疲労試験のような時間依存型破壊では各供試体の保管条件、試験時の室内温湿度変化、

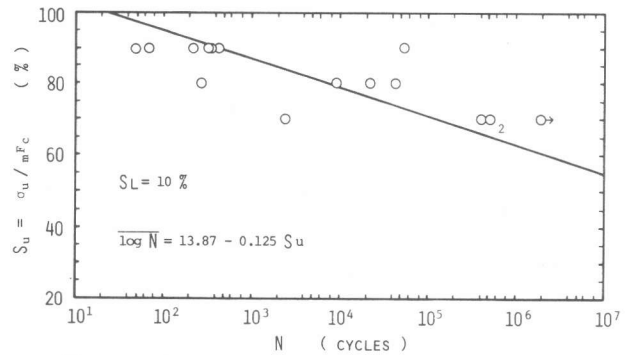


図3 応力比と疲労寿命 (NC-A(1), 乾燥状態)

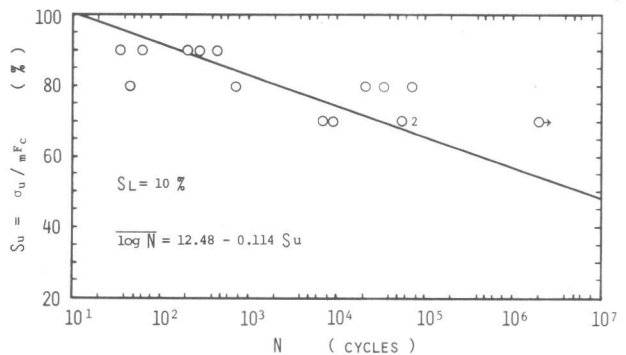


図4 応力比と疲労寿命 (NC-A(1), 湿潤状態)

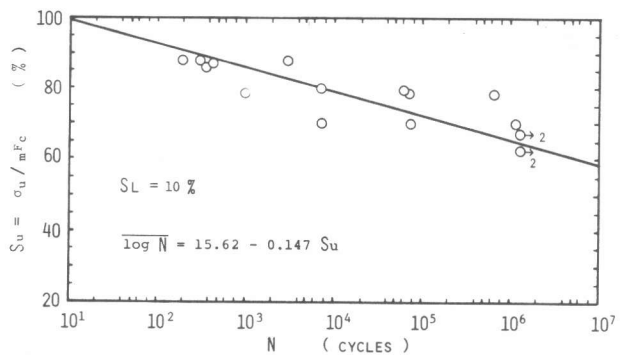


図5 応力比と疲労寿命 (NC-A(2), 乾燥状態)

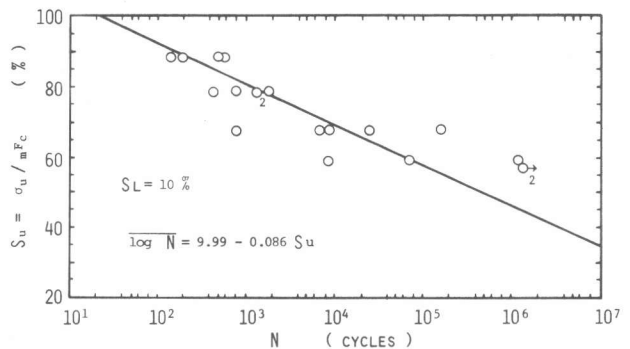


図6 応力比と疲労寿命 (NC-A(2), 湿潤状態)

試験載荷持続時の熱変化など多くの要因に作用されて益々不確定なものになり、定量的に処理することも困難なため、一つの要因として含水量の影響を考慮する必要がある。

上限応力比と平均疲労寿命 各段階の応力比 (S_u) に於ける平均疲労寿命 (\bar{N}) の回帰線と 10^7 回の疲労強度及び載荷前の水分減少率を乾燥状態と湿潤状態についてまとめ、図 10 と下記に示す。

乾燥状態の場合

種類	10^7 回疲労強度	水分減少範囲と平均値
NC-A(1)	55.0 %	3.1~3.8 % 3.4 %
NC-A(2)	58.6 %	2.6~2.9 % 2.7 %
NC-B	64.0 %	3.3~3.8 % 3.4 %

湿潤状態の場合

NC-A(1)	48.2 %	0.21~0.34 % 0.27 %
NC-A(2)	34.7 %	0.03~0.12 % 0.06 %
NC-A(3)	19.0 %	0.00~0.04 % 0.01 %
NC-B	39.4 %	0.07~0.16 % 0.11 %

この結果、乾燥状態の $S-\bar{N}$ 線は各種類とも同じ傾向にあり、繰返し数 10^7 回の疲労強度は 55.0~64.0% であった。これに対して、湿潤状態の $S-\bar{N}$ は水分減少率に伴って異なり、19.0~48.2% の範囲を示し、このことから、疲労寿命は微量な水分発散に影響することが確認され、乾燥状態になるほど疲労強度が大となり、スランプには影響を及ぼさないことがわかる。

4. まとめ

今回の実験結果から、コンクリートの圧縮疲労に及ぼす影響は、乾燥状態と湿潤状態で、次のことが明らかになった。

1. 疲労試験は時間依存による長時間試験のために湿潤状態を保持する方法としてナイロン・ポリエチレン 3 層チューブのシール材を用いた結果、強度増進をほぼ停止させることができた。

2. 圧縮疲労寿命は含水量に大きく影響を及ぼすがスランプには影響しない。また、疲労強度は湿潤状態ほど小さく、乾燥状態になればなるほど大きいことがわかった。

〔謝辞〕本実験に際して助力を得た中島技術員、学生の木村・両南君に謝意を表します。

参考文献：1) Neville, A.M.; Properties of Concrete Pitman Publishing, 1973 pp267

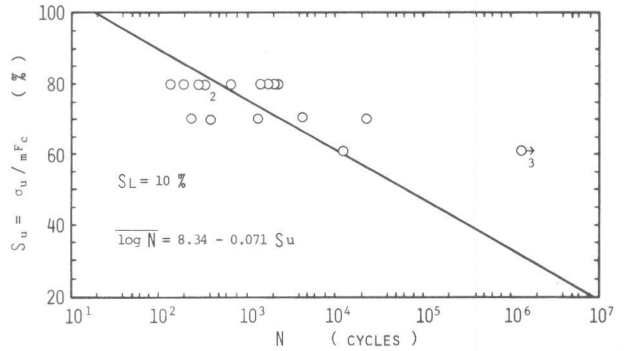


図 7 応力比と疲労寿命 (NC-A(3), 湿潤状態)

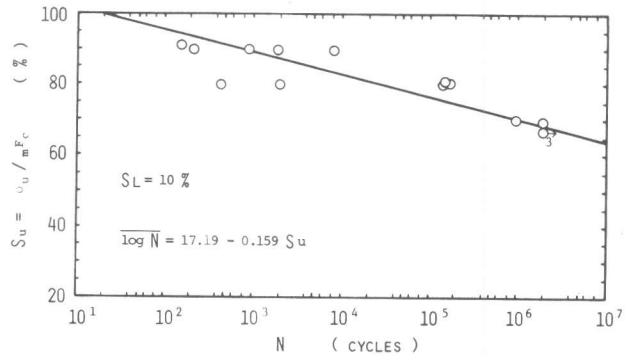


図 8 応力比と疲労寿命 (NC-B, 乾燥状態)

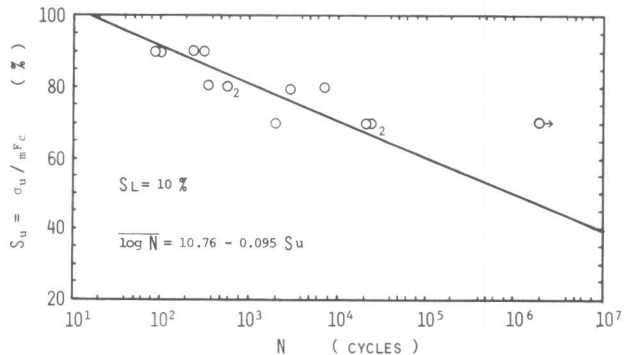


図 9 応力比と疲労寿命 (NC-B, 湿潤状態)

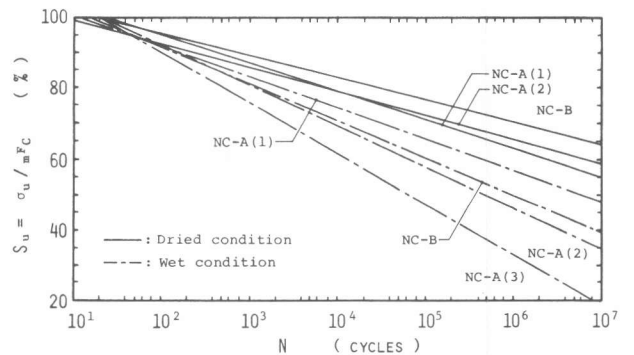


図 10 水分減少率と $S-\bar{N}$ 線