

環境温度と含水状態がコンクリートの耐疲労性に及ぼす影響

日本大学 ○学生会員 横山 友康 日本大学 学生会員 皆川 翔平
 日本大学 正会員 子田 康弘 日本大学 正会員 岩城 一郎

1. はじめに

鉄筋コンクリート部材の耐疲労性は、部材を構成する鉄筋とコンクリートの疲労強度の影響を受ける。このうち、コンクリートの耐疲労性は、含水状態により大きく異なり、特に水中における耐疲労性は気乾状態よりも低下する¹⁾。また、コンクリートの圧縮強度も環境温度の影響を受け、氷点下では強度が増加する²⁾とされている。しかし、低温環境下において含水状態がコンクリートの耐疲労性に及ぼす影響を体系的に評価した研究例は極めて少ない現状にある。当研究室では任意の環境温度下で静的および疲労の载荷が可能な温度制御式万能载荷試験装置を保有している。そこで本研究では、環境温度とコンクリート中の含水状態に着目した円柱供試体による疲労試験を実施し、コンクリートの耐疲労性を実験的に検討した。

2. 実験概要

表-1 に、実験条件を示す。表より、载荷試験方法は静的载荷と疲労载荷(以下、S と F)の 2 条件、環境温度を常温と-20°Cの低温(以下、N と L)の 2 条件、およびコンクリート中の含水状態を乾燥状態の含水率を変えた乾燥状態-1 と乾燥状態-2、および飽水状態(以下、それぞれ d₁、d₂、s)の 3 条件とし、これらを組み合わせた合計 12 条件を設定した。表-2 に、コンクリートの配合を示す。水セメント比(W/C)は試験開始時の目標強度を 25MPa として 69%に設定し、空気量を 4.5%とした。供試体形状は、φ 75mm×150mm の円柱供試体であり、コンクリートの打込み後 7 日まで水中養生を行い、その後材齢 28 日まで

表-1 実験条件

ID	载荷試験方法		環境温度		含水状態		
	静的载荷 S	疲労载荷 F	常温 N	低温 L(-20°C)	乾燥-1 d ₁	乾燥-2 d ₂	飽水 s
S-N-d ₁	○		○		○		
S-N-d ₂	○		○			○	
S-N-s	○		○				○
S-L-d ₁	○			○	○		
S-L-d ₂	○			○		○	
S-L-s	○			○			○
F-N-d ₁		○	○		○		
F-N-d ₂		○	○			○	
F-N-s		○	○				○
F-L-d ₁		○		○	○		
F-L-d ₂		○		○		○	
F-L-s		○		○			○

表-2 コンクリートの配合

Gmax (mm)	スランブ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
					W	C	S	G	混和剤	
									AE減水剤	空気量調整剤
20	-	69.0	4.5	48.0	170	246	899	1000	3.696	0.037

試験室内で静置した。载荷試験は、同一バッチのコンクリートで温度条件と含水率が同じ S と F を 1 組として扱い、まず S を実施し圧縮強度を確認した後、F を行う方法とした。疲労载荷試験における荷重設定は、S による静的強度の 70%を最大応力とし、最小応力は静的強度の 10%とした。载荷試験における計測項目は、ロードセルによる荷重、ひずみゲージによる圧縮ひずみ、疲労载荷試験では疲労破壊に至る繰返し载荷回数とした。供試体の含水状態の管理は、予め供試体を水中浸漬し質量が定常になった状態を飽水状態とし、d₂ は飽水状態からの質量減少の管理に加えコンクリート水分計による水分量減少の管理で含水率 75%を目標とした。さらに、d₁の含水率は概ね 50%とした。载荷試験に際しては、N と L における d₂ と s の载荷試験中の水分逸散を防ぐため、供試体表面にロウを塗布し封かん状態とした。また、L における载荷試験では、試験前の 24 時間を-20°C環境に静置した。

3. 実験結果及び考察

図-1 に、圧縮強度の結果(S)を示す。図より、N では、d₁ が 28.6MPa であり、d₂ が 22.3MPa、s が 23.2MPa であり、含水率が高いと見かけの強度が低くなるというコンクリートの特性が

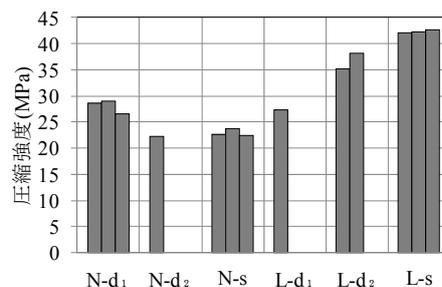


図-1 圧縮強度の結果 (S)

表れている。これに対して、Lでは、 d_1 が27.3MPaとNと同程度であるが、 d_2 が36.7MPa、sが42.3MPaと d_1 に対してsは約1.5倍の強度と、既往の見解²⁾と同様になり、本試験により妥当な結果が得られたと判断された。図-2に、Fの結果として破壊時の繰返し載荷回数を示す。図より、現時点では各条件の載荷回数にばらつきがあるため、今後N数を増やす予定である。ばらつきを踏まえN- d_1 を基準として比較すると、N- d_1 の約16,150回に対して、N- d_2 は17,300回～118,520回と明確に回数に違いが表れたとは言い難いが、N-sは100回～2,780回と明らかに減少しており、sは水中疲労と同様に耐疲労性を低下させることがわかる。これに対して、L- d_1 は17,000回でN- d_1 と変わらないが、L- d_2 は約2,700回でN- d_1 よりも回数が減少傾向にある。L-sは、4回～17,210回と極端にばらつくが、平均すると3,750回であり、N- d_1 よりも明らかに回数が減少した。このように、SにおけるL- d_2 とL-sの圧縮強度は、Nよりも増加するが、Lに関しては静的強度とは反対に耐疲労性が低下する傾向を示した。すなわち、氷点下を下回る低温下における疲労作用は、N-sや水中とは異なる要因で疲労破壊に至る可能性が示唆された。図-3に、最大応力作用時の圧縮ひずみと繰返し載荷回数の関係を(a)Nと(b)Lとしそれぞれ示す。図より、載荷1回目のひずみに多少ばらつきはあるが、まずL- d_1 はNと同様であり、 d_1 の場合は環境温度の影響を受けにくいと考えられる。一方、 d_2 とsは、Nが大凡700 μ 前後、Lが1,000 μ 前後と最大応力比は同一であってもひずみの値は環境温度で大別された。つまり、含水率の高いコンクリートは、載荷初期の時点で環境温度によって作用応力により生じるひずみが異なると示唆され、今後詳細に応力-ひずみ関係を検討する予定である。繰返し載荷回数の増加によるひずみの増加傾向は、Nの場合、疲労破壊に向かって次第にひずみが大きくなるような傾向であった。これに対して、Lの場合は、繰返し載荷回数の増加過程におけるひずみ増加はNよりも緩やかで疲労破壊近くになりひずみが急増するという傾向を示した。このような結果からLでは円柱供試体中の水分が凍結することで剛性は高くなるが、疲労の蓄積で微細なひび割れが進展し始めると破壊に至る過程はNよりも急激に進行する可能性が示唆された。

4. まとめ

本実験の範囲内では、静的圧縮強度は、乾燥が進むにつれた含水率の低下に伴い常温は増加傾向を、低温は減少傾向を示し、既往の見解と一致した。一方、耐疲労性は、常温では飽水状態、低温では含水率が比較的高い状態と飽水状態で耐疲労性の低下が示され、特に低温においては載荷回数に伴いひずみが増加する期間が比較的短く、急激に疲労破壊へと至る傾向が確認された。今後は1条件当たりの供試体数を増やし、その再現性を確認するとともに、はりやスラブといった部材レベルにおける環境温度と含水状態の影響を評価する予定である。

謝辞：本研究の一部は、JSPS 科研費 24760367 の助成を受けたものです。ここに謝意を表します。

- 【参考文献】1)藤本将行・佐藤靖彦・角田興史雄(2000):水中におけるコンクリートの圧縮疲労性状に関する一考察, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.3, pp.205-210
2)土木学会(2013):2012年制定コンクリート標準示方書 [設計編]

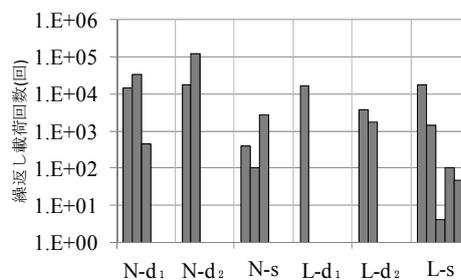
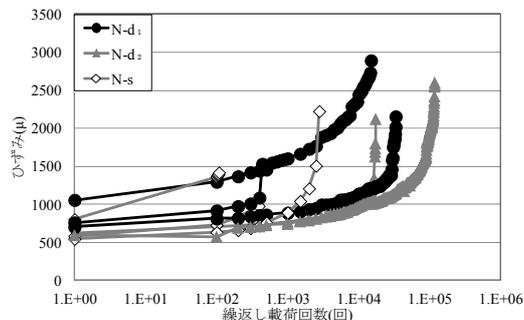
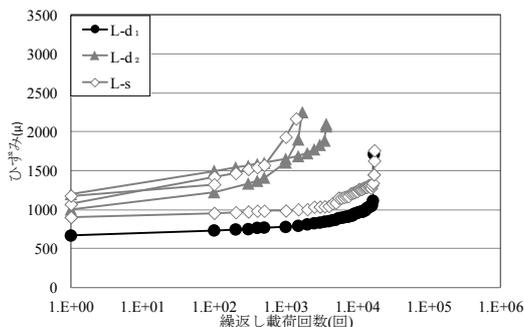


図-2 繰返し載荷回数の結果 (F)



(a) N の結果



(b) L の結果

図-3 最大ひずみと繰返し載荷回数