

水中環境下における舗装用ポーラスコンクリートの曲げ疲労特性

東京都土木技術研究所 正会員 関口 幹夫
太平洋セメント（株） 正会員 市川 勝俊

1. はじめに

水中環境下におけるコンクリートの疲労強度は、気中環境下に比較して大きく低下する¹⁾ことが知られている。透・排水性舗装材料として使用されるポーラスコンクリートでは、その水中環境下における疲労特性の把握が重要な課題であると考えられる。本報告は、舗装用ポーラスコンクリートの疲労特性の基礎的検討として昨年度報告した圧縮疲労特性の把握²⁾に続き、気中および水中環境下における曲げ疲労特性について検討した結果を示す。

2. 実験概要

実験に用いたポーラスコンクリート（以下 PoC）および普通コンクリート（以下 NC）の配合を表 1 および表 2 に示す。PoC は目標空隙率を 15%および 18%とし、早強セメント、ポーラスコンクリート用無機系混和材（T 社製ポアミックス）、千葉県君津産細目砂および茨城県岩瀬産砕石を用いて強制 2 軸ミキサで練り混ぜた。

NC は、普通セメント、千葉県市原産山砂、高知県鳥形産砕砂、北海道義朗産砕石および AE 減水剤を用いて PoC と同様に練り混ぜた。PoC の供試体は所定の空隙率を得られる体積の試料を計量し、2 層に分けて 10×10×40cm の型枠に投入し、突き棒で 1 層につき 40 回突き固めた後、最後に振動タンパで締め固めて作製した。

各供試体は翌日脱型後、20 水中養生を行い、各水準における疲労試験開始直前（材齢 60 日以降）に、気中および水中環境下で静的な曲げ強度試験（JIS A 1106）を行った。表 3 に静的な強度試験結果を示す。これを基準に気中および水中環境下でそれぞれ上限応力比 S_1 を 85%、70%および 55%とし、下限応力比を 10%に固定して、3 等分点载荷（図 1）による曲げ疲労試験を行った。ただし、疲労試験中に強度が増進したため、各コンクリートの強度増加率を算出し、それぞれの基準強度に対して $(1+0.5 \times \text{強度増加率})$ を乗じて補正した。疲労試験機はサーボパルス型を使用し、波形は正弦波、繰り返し周波数は 1 万回まで 3Hz、1 万回以上は 5Hz とした。各水準の供試体本数は 3 本とし、繰り返し回数は最大 200 万回とした。また、繰り返し回数 1 万回、10 万回、100 万回および 200 万回に達した時点で、疲労試験機を止めて静的载荷試験を行い、コンタクトストレインゲージにより永久ひずみ³⁾を、ワイヤストレインゲージにより弾性ひずみを測定した。

3. 実験結果

各水準における上限応力比 S_1 と疲労寿命の関係（S-N 線図）を図 2 に示す。図中の回帰直線は、疲労寿命
キーワード：ポーラスコンクリート、水中疲労、疲労強度、永久ひずみ、弾性ひずみ

〒136-0075 東京都江東区新砂 1-9-15 電話 03-5683-1520 FAX 03-5683-1515

表 1 ポーラスコンクリート(PoC)の配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	W/P (%)	m/g (%)	P/S	空隙率 (%)	単位量(kg/m ³)				
					水 W	セメント HC	混和材 PM	細骨材 S	粗骨材 G
13	18	47	2.0	15	70	311	77	194	1515
				18	67	300	74	187	1461

表 2 普通コンクリート(NC)の配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	目標 スランプ ²⁾ (cm)	目標 空気量 (%)	単位量(kg/m ³)				
					水 W	セメント NC	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤
20	60	47	5	2.0	175	292	878	1000	0.73

表 3 コンクリートの静的強度

空隙率	環境	28 日強度 (N/mm ²)		疲労試験前後 曲げ強度(N/mm ²)	
		圧縮	曲げ	開始前	終了後
15%	気中	54.1	6.50	6.44	7.07
	水中	-	-	6.33	6.33
18%	気中	33.3	5.47	6.59	6.90
	水中	-	-	5.69	5.85
普通 コンクリート	気中	50.4	5.92	6.92	7.08
	水中	-	-	6.75	6.90

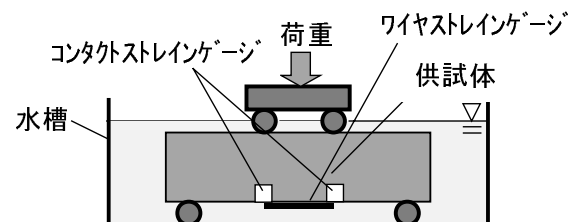


図1 疲労試験状況

の対数正規分布を仮定して描いたものであり、破壊確率 50% のラインを表す。また、破壊しなかった供試体も回帰には 200 万回として用いた。なお、セメントコンクリート舗装要綱⁴⁾に示されているコンクリートの疲労曲線も併記した。これによれば、PoC および NC とともに水中環境下の疲労寿命は、気中環境下に比較して低下した。また、PoC の疲労寿命は、水中環境下と気中環境下で傾向が若干異なるものの、両者の場合で NC と大略同程度となった。なお、本報告で用いたコンクリートの気中環境下における S-N 曲線は、セメントコンクリート舗装要綱の疲労曲線よりもやや上回っていた。

表 4 に、S-N 曲線の回帰式および回帰式から求めた 200 万回疲労強度を示す。気中環境下の 200 万回疲労強度は、PoC が 60～62%、NC が 59% となった。一方、水中環境下では、PoC が 53～56%、NC が 52% となった。

水中環境下における疲労強度の気中環境下に対する比は、NC が 0.88 であるのに対して、PoC は 0.86～0.93 であった。修正 Goodman 線図から求めた完全下振り（下限応力比 $S_2 = 0\%$ ）換算の場合においても、前述同様の傾向が認められた。これらのことから、PoC は NC と同程度の疲労特性を有していることが伺えた。

水中環境下の上限応力比 $S_1 = 55\%$ レベルにおける応力 - ひずみ曲線の一例を図 3 および図 4 に示す。水中環境下における空隙率 15% の PoC の応力 - ひずみ曲線は、曲げ疲労による永久ひずみの進行、ならびに载荷から除荷にかけてのヒステリシスも比較的小さく、NC と同様な傾向を示した。しかし、空隙率 18% の PoC は、水中環境下において残留ひずみが増大する傾向を示した。

4. まとめ

疲労試験を 200 万回で中断した影響はあるものの、ポーラスコンクリートは普通コンクリートと同程度の曲げ疲労抵抗性を有した。この結果と昨年度報告した圧縮疲労特性の結果から、舗装用ポーラスコンクリートは、高い耐久性を持つ舗装材料として、一般道ならびに高速道路の料金所やパーキングエリアなどの車道に適用できる可能性の高いことが確認された。

【参考文献】

- 1) 松下：水中におけるコンクリートの圧縮疲労強度に関する研究、土木学会論文報告集 296 号、pp.87-95 (1980.4)
- 2) 関口、白井：舗装用ポーラスコンクリートの水中圧縮疲労特性、土木学会第 55 回年次学術講演会、pp326-327 (2000)
- 3) 田中、関口：人工軽量骨材コンクリートの圧縮疲労特性について、東京都土木技術研究所年報、pp.195-216 (1971)
- 4) (社)日本道路協会：セメントコンクリート舗装要綱(1984)

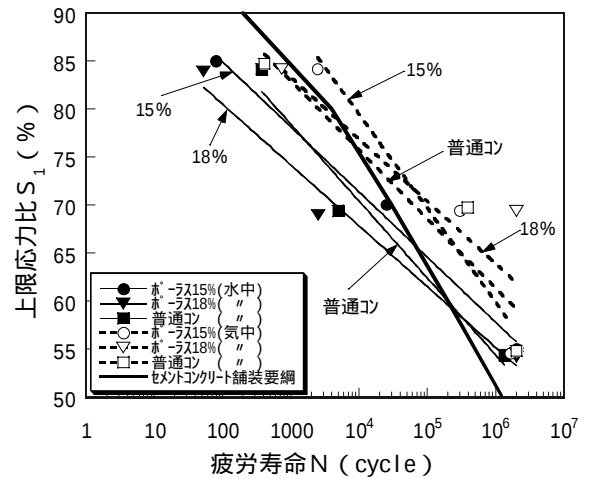


図2 S-N線図

表 4 回帰式および 200 万回疲労強度

コンクリート種類	環境	回帰式	200 万回疲労強度(%)		水中強度 / 気中強度	
			$S_2=10\%$	$S_2=0\%*$	$S_2=10\%$	$S_2=0\%*$
ポーラス 15%	気中	$S_1 = -9.769 \log N + 118.51$	60.0	55.6	0.93	0.92
	水中	$S_1 = -6.781 \log N + 98.48$	55.8	50.9		
ポーラス 18%	気中	$S_1 = -6.472 \log N + 102.73$	61.9	57.7	0.86	0.83
	水中	$S_1 = -6.338 \log N + 93.18$	53.2	48.1		
普通コンクリート	気中	$S_1 = -7.195 \log N + 104.52$	59.2	54.7	0.88	0.86
	水中	$S_1 = -8.010 \log N + 102.45$	52.0	46.8		

*修正 Goodman 線図による

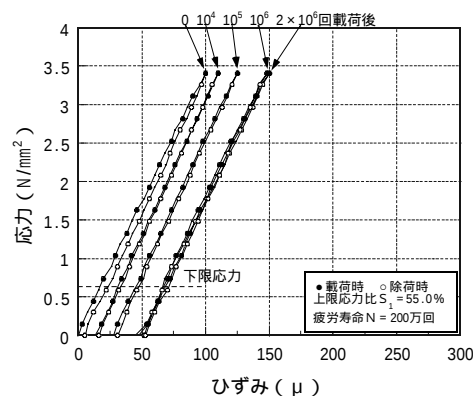


図3 応力-ひずみ線図

(ポーラス15%・水中)

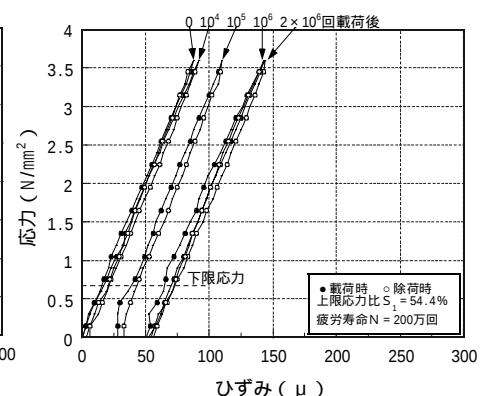


図4 応力-ひずみ線図

(普通コンクリート・水中)