

立命館大学理工学部 学生員 ○岡部夕佳 立命館大学大学院理工学研究科 学生員 早川真吾
立命館大学理工学部 正会員 高木宣章 立命館大学理工学部 正会員 児島孝之

1. はじめに

本研究は、一定繰返し荷重を受ける高品質軽量粒骨材を用いた軽量骨材コンクリート I 種の圧縮疲労試験を行い、コンクリートの圧縮強度と試験環境条件が疲労性状に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

本実験に用いた使用材料を表 1、コンクリートの示方配合を表 2、骨材物性を表 3 に示す。人工軽量骨材は、打設前約 24 時間吸水させ表面乾燥飽水状態にして用いた。円柱供試体(φ7.5×15 cm)は、打設翌日に脱型、1 週間水中養生し、疲労試験を実施するまで高温恒温恒湿室(20℃±1、RH=90%±5)で保管した。水中静的強度試験供試体および水中疲労試験供試体は、試験前約 7 日間水中養生した後に载荷試験を実施した。疲労試験は正弦波による部分片振り载荷で、材齢 91 日以降に実施し、载荷速度は 4Hz とした。疲労試験直前に行った静的強度試験結果を表 4 に、実験要因を表 5 に示す。

3. 実験結果および考察

同一繰返し応力を受ける場合でも、疲労寿命は一般に大きく変動する。本研究では疲労寿命の分布は、対数正規分布に従うものとして処理した。200 万回の繰返し载荷で破壊しなかった供試体の疲労寿命は N=200 万回とした。この方法で平均疲労寿命を求めると安全側となる。

上限応力比と平均疲労寿命の関係を既報告[1]の高強度軽量骨材コンクリートの結果とともに図 1 に示す。高強度軽量骨材コンクリートの気中における S-N 式には、その後の試験データも追加している。普通強度を有する軽量骨材コンクリートの 200 万回疲労強度は、気中では 60%、水中では 43%であり、水中疲労強度は気中疲労強度より低下した。また、普通強度コンクリートの 200 万回疲労強度は、高強度コンクリートより気中で 4%、水中で 10%低下した。

軽量骨材コンクリートの $S_r/(f_k/f_m - S_{min})$ と $\log N$ の関係を既報告[1][2]のデータとともに図 2、3 に示す。ここで、 S_r : 応力振幅比、 f_k : コンクリート強度の特性値 (試験値 f_m が特性値を下回る確率が 5%とした値)、 $f_k/f_m = 1 - 1.64\delta$ 、 δ : コンクリートの試験強度の変動係数。土木学会「コンクリート標準示方書(構造性能照査編)」に規定されているコンクリートの設計疲労強度(f_{rd})式を式(1)に示す。

$$f_{rd} = k_1 f_d \left(1 - \sigma_p / f_d \right) \left(1 - \frac{\log N}{K} \right) \quad (1)$$

ここで、 f_d : コンクリートの設計強度、 σ_p : 永久荷重による応力度、 K : 普通コンクリートで継続してあるいはしばしば水で飽和される場合、および軽量骨材コンクリートの場合は $K=10$ 、その他の場合は $K=17$ 、

表 1 使用材料

セメント(C)	普通ポルトランドセメント 密度 3.16g/cm ³ 比表面積 3310cm ² /g
石粉(P)	密度 2.71g/cm ³ CaO=54.7% 比表面積 3.95×10 ⁴ cm ² /g
細骨材(S)	野洲川産川砂
粗骨材(G)	人工軽量骨材 原料: 真珠岩 製造方法: 回転造粒型
混和剤	高性能 AE 減水剤 カルボキシル基含有ポリエーテル系
	AE 助剤 アニオン系界面活性剤

表 2 軽量骨材コンクリートの示方配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						高性能 AE 減水剤(kg/m ³)	AE 助剤(A)*2
		W	C	P	S	G ¹			
57.1	46.5	166	291	165	769	282	2.28(C×0.8%)		2.2

*1 G は表面乾燥飽水状態

*2 2%希釈液をセメント 1kg あたり 2cc 使用する時を 1A とする。

表 3 骨材の物性

	物性	
	密度(g/cm ³)	2.62
細骨材	F.M.	2.55
	吸水率(%)	1.48
	絶乾密度(g/cm ³)	0.82
粗骨材 (人工軽量骨材)	表乾密度(g/cm ³)	0.85
	24 時間吸水率(%)	1.64
	最大寸法(mm)	15
	F.M.	6.42

表 4 静的強度試験結果

強度	環境	f_c (N/mm ²)	(疲労試験時)	
			E_c (×10 ⁴ N/mm ²)	
普通強度	気中	36.2(4.1)	1.7	
	水中	36.8(5.0)	1.99	
高強度[1]	気中	62.8-76.8 (4.9-10.1)	2.73-3.06	
	水中	65.6(5.7)	2.73	

() は変動係数 %

表 5 実験要因

環境条件	$S_{2.2}$	$S_{2.5}$	供試体数
気中	50	10	3
	60		14
	70		22
	80		13
水中	40	10	2
	50		10
	60		14

(W/C=57.1%)

$$S_{2.2}(\%) = [(\text{上限応力}) / (\text{各々の環境条件での静的強度})] \times 100$$

$$S_{2.5}(\%) = [(\text{下限応力}) / (\text{各々の環境条件での静的強度})] \times 100$$

k_1 : 永久荷重による強度低下などを考慮する係数(圧縮の場合は $k_1=0.85$)、 N : 疲労寿命 $N \leq 2 \times 10^6$

コンクリートの種類と供試体の乾湿状態によって定まる疲労強度式中の定数 K の実験値を表 6 に示す。疲労強度の特性値は、過去のデータの大部分を安全側(生存確率 95%以上)に包括する値にすることが望ましい。そのため、 S - $\bar{N}$ 線式から得られた K を使用したときの生存確率(超過確率)が 95%以上であればその値を採用し、95%以下であれば生存確率が 95%以上になるように低減した K の値が土木学会「コンクリート標準示方書」のコンクリート疲労強度式に採用されている。普通強度を対象とした軽量

骨材コンクリートの場合、水中における K の値は気中より低下する傾向にあるものの、現行示方書に規定されている値($K=10$)とほぼ一致した。しかし、軽量骨材コンクリートの水中疲労試験データは非常に少ないのが現状であり、今後の更なる検討が必要である。

高品質軽量骨材を使用した高強度コンクリートでは、既報告[1]によると、気中では $K=17$ を使用しても差し支えないと報告されているが、引き続き行った試験結果を加えると、 $K=12$ を採用することが望ましい。高品質軽量骨材を使用した高強度コンクリートでは、現行示方書の規定より大きな K の値を採用することが推奨される。コンクリートの疲労強度は強度依存性があり、その依存性は使用する骨材の種類により異なる傾向にあった。砕石を使用したコンクリートの疲労強度は、高強度になると低下するのに対して、高品質軽量骨材コンクリートでは高強度になると疲労強度は改善された。それに伴い、 K の値も大きくなった。

4. 結論

- 1) 普通強度を有する軽量骨材コンクリートの 200 万回圧縮疲労強度は気中では 60%、水中では 43% となり、供試体の乾湿状態に依存した。
- 2) 普通強度を有する軽量骨材コンクリートの圧縮疲労強度式の K の値は、気中では $K=10$ 、水中では $K=9$ 程度を採用すると 95%以上の生存確率を保証することができる。 K の値を決定するには、環境条件や圧縮強度などにより検討する必要がある。

【参考文献】

[1] 林他：高強度コンクリートの圧縮疲労特性 土木学会論文集 No.641/V-46, 67-76, 2000.2 [2] 土木学会：コンクリートライブラリー 第 52 号 コンクリート構造の限界状態設計法指針(案) pp285~300, 1983.

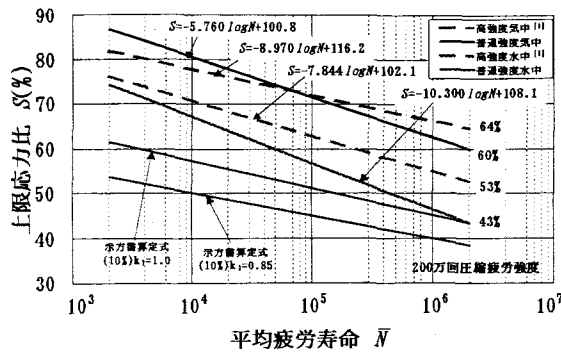


図1 S- $\bar{N}$ 線図

注) 示方書算定式の $K=10$ 、強度の変動係数は 10%

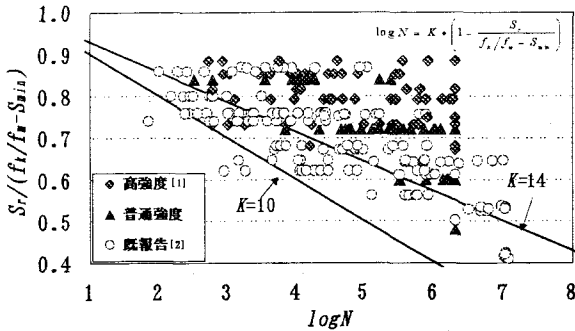


図2 S-N関係(気中疲労試験)

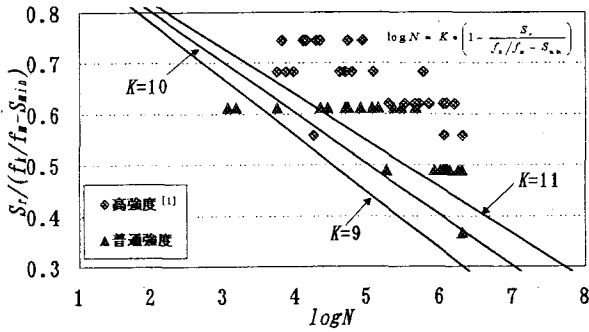


図3 S-N関係(水中疲労試験)

表6 K の推奨値

コンクリートの種類	環境条件	圧縮強度	K の値			
			S-N曲線の勾配	生存確率 95%以上	推奨値	土木学会示方書*
普通強度 軽量骨材	気中	36.2	10.0	14	10	10
	水中	36.8	8.7	9	9	10
高強度 軽量骨材 [1]	気中	62.8-76.8	12.6	14	13	---
	水中	65.6	11.5	11	11	---
高強度 砕石 [1]	気中	79.8	12.8	12	12	---
	水中	68.4	8.3	8	8	---

注) *: $f_{ck}=50\text{N/mm}^2$ に対する設計強度を上限とする