

立命館大学大学院理工学研究科 学生員 ○岡部夕佳

立命館大学理工学部 正会員 高木宜章

立命館大学理工学部 正会員 児島孝之

1. はじめに

土木学会コンクリート標準示方書(2002 年度制定)構造性能照査編では、コンクリートの設計疲労強度(f_{rd})は式(1)で規定されている。 $f_{rd}=k_1 f_d (1-\sigma_p/f_d) (1-\log N/K) \cdots (1)$

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_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 は、軽量骨材コンクリートでは、 $K=10$ である。しかし、高品質軽量骨材コンクリートに関する報告は少ない。本研究では、一定繰返し荷重を受ける高品質軽量粗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圧縮疲労強度に及ぼす影響を実験検討した。

2. 実験概要

コンクリート(W/C=57.1%, s/a=46%, W=166kg/m³)には、普通ポルトランドセメント($\rho=3.16\text{g/cm}^3$)、細骨材に野洲川産川砂($\rho=2.62\text{g/cm}^3$, FM=2.55)、粗骨材に真珠岩を原料とした独立空隙型人工軽量骨材($\rho=0.82$, FM=6.42, MS=15mm)を使用した。混和剤は、カルボキシル基含有ポリエーテル系の高性能 AE 減水剤を使用した。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($\Phi 7.5 \times 15\text{ cm}$)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湿恒温恒湿室(20℃ $\pm$ 1, RH=90% $\pm$ 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載荷試験を実施した。疲労試験は正弦波による部分片振り載荷で、材齢 91 日以降に実施し、載荷速度は 4Hz とした。疲労試験直前に行った静的強度試験結果を表 1 に、実験要因を表 2 に示す。

表 1 静的強度試験結果

強度	環境	f'_c (N/mm ²)	E_c ($\times 10^4$ N/mm ²)
普通	気中	36.2 (4.1)	1.7
強度	水中	36.8 (5.0)	1.99

(疲労試験時) () は変動係数 %

表 2 実験要因

環境条件	S_{max}	S_{min}	供試体数
気中	50	10	5
	60		16
	70		26
	80		17
水中	40	10	3
	50		15
	60		18

3. 実験結果および考察

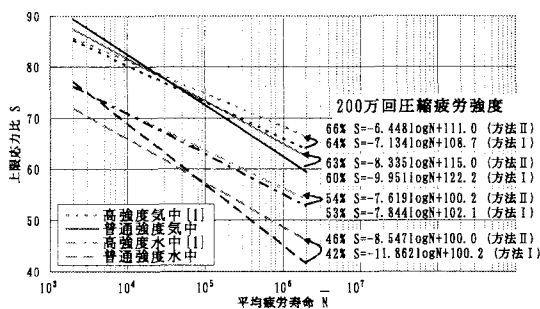
同一繰返し応力を受ける場合でも、疲労寿命は一般に大きく変動する。本研究では疲労寿命の分布は、対数正規分布に従うものとして処理した。200 万回の繰返し載荷で破壊しなかった供試体の疲労寿命は $N=200$ 万回とした(方法Ⅰ)。この方法で平均疲労寿命を求めると安全側となる。200 万回で破壊しない途中打ち切りデータの順序統計量に対しては、正規分布における最良線型推定量によるデータ処理法[1](方法Ⅱ)がある。上記 2 種類の方法で求めた上限応力比(S)と平均疲労寿命($\bar{N}$)の関係を、既報告[2]の高強度軽量骨材コンクリートの結果とともに図 1 に示す。

方法Ⅰで求めた普通強度軽量骨材コンクリートの 200

万回圧縮疲労強度は、気中で 60%、水中で 42% となり、水中疲労強度は気中疲労強度より約 18% 低下した。高強度と普通強度を比較すると、普通強度は高強度より気中で約 4%、水中で約 11% 低下した。方法Ⅱで求めた 200 万回圧縮疲労強度は方法Ⅰより、気中疲労試験時には、高強度軽量骨材コンクリートと普通強度軽量骨材コンクリートともに 2~3% 増加した。水中疲労試験時には高強度軽量骨材コンクリートで 1%、普通

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

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

図 1 S- $\bar{N}$ 線図

強度軽量骨材コンクリートでは4%増加した。

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[3]のデータとともに図2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。

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3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 を使用した時の生存確率(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。

軽量骨材コンクリートに関する既報告[3]を含めた図2に示す全データに対して95%以上の生存確率を満足する K は10.3 となり、土木学会の軽量骨材コンクリートに採用されている値にほぼ等しくなる。

しかし、水中疲労データのみを考えると危険側となるので、気中と水中を区別して検討する。 $S-\bar{N}$ 線式の勾配から K を求めると、方法Ⅰは方法Ⅱより安全側の小さな値となる。 $S-\bar{N}$ 線式の勾配から求まる K と95%以上の生存確率を満足する K の両者を考慮した時の K の推奨値は、普通強度軽量骨材コンクリートの気中で10、水中で8と考えられる。高強度軽量骨材コンクリートの K の推奨値は、気中で13、水中で11となる[2]。軽量骨材コンクリートにおいても、疲労強度式中の K 値は、コンクリート強度と試験環境条件に依存する

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方法Ⅰで求めると、気中で60%、水中で42%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 $K=8$ 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、推奨される。 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。

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方法Ⅰで求めると、気中で60%、水中で42%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 $K=8$ 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、推奨される。 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] 浜田純夫, 中川建治, 成岡昌夫: 疲労試験における途中打ち切りデータの処理に関する研究, 土木学会論文報告集, No.189, pp.99~105, 1971.5.
- [2] 早川真吾, 岡部夕佳, 高木宣章, 児島孝之: 高品質軽量骨材コンクリートの圧縮疲労強度, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.58, No.Disk2, ppV-369, 2003.09
- [3] 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

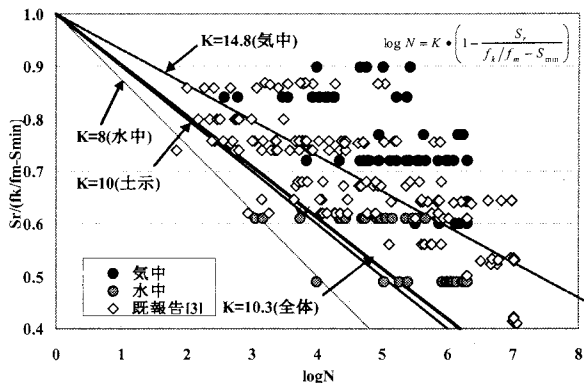


図2 $S_r/(f_k/f_m - S_{min})$ と $\log N$ の関係(普通強度)

表3 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				
			$S-\bar{N}$ 線式の勾配		生存確率95%以上	推奨値	土木学会示方書
			方法Ⅰ	方法Ⅱ			
普通強度 軽量骨材	気中	33.4~36.2	9.0	10.8	14.8	10	10
	水中	36.8	7.6	10.5	8	8	10
高強度 軽量骨材[2]	気中	62.8~76.8	12.6	13.6	13.3	13	10
	水中	65.6	11.5	12.3	11.6	11	10

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