

V-31 再生骨材を用いたコンクリートのせん断および引張疲労性状に関する研究

大阪市交通局 正会員 中村 知慶
愛媛大学工学部 正会員 氏家 勲

1. はじめに

今日、コンクリート廃材の排出量は増大し、処理能力は限界に達しつつあり、骨材問題を考えるとき、コンクリート廃材の再利用は避けて通れない問題である。コンクリート廃材を再生骨材として用いたコンクリートにおいて、天然骨材を使用したコンクリートに比べ、低い応力レベルから微細ひび割れが発生しやすいことが明らかとなった¹⁾。そこで本研究では再生骨材コンクリートのせん断および引張応力下の疲労強度について検討を行った。

2. 実験内容

本実験では普通ポルトランドセメントを使用し、細骨材には神奈川県相模川水系川砂(VS)および再生細骨材(RS)、粗骨材には東京都青海産碎石(VG)および再生粗骨材(RG)を使用した。使用した骨材の品質を表-1に示す。

表-1 使用した骨材の品質

骨材 種別	比重	吸水率 (%)	粗粒率	ペースト or モルタル 混入率(%)	破碎時圧縮 強度(N/mm ²)
VS	2.63	2.63	2.97		
VG	2.66	0.69	6.73		
RS	2.34	9.17	2.93	28.5	44.3
RG	2.37	6.27	6.59	42.3	25.5

コンクリートの配合は水セメント比 50%、目標スランプ 8cm、目標空気量 4%とした。骨材の組合せは川砂と碎石(VS+VG)および再生細骨材と再生粗骨材(RS+RG)の2通りである。せん断試験では push-off 型供試体(試験断面: 10×10cm)、引張試験では角柱供試体(10×10×40cm)を使用した。供試体は打設後材齢 28 日まで水中養生し、その後試験開始まで気中養生を行った。疲労試験にはサーボ疲労試験機を使用し、载荷波形を正弦波とし、周波数を 10Hz とした。繰返し応力比の上限は静的せん断強度および引張強度に対して 70, 80, 90%の3種類とし、下限は全て 5%で一定とした。また、供試体の両側面中央で、せん断試験ではロゼット型に、引張試験では荷重と平行に貼付したひずみゲージよりひずみを測定した。

3. 実験結果および考察

表-2は疲労試験を行う前に実施した静的試験で得られた天然骨材および再生骨材コンクリートの力学特性を示す。なお、圧縮強度は疲労試験開始時と終了時の平均値である。また、弾性係数およびせん断弾性係数は圧縮強度およびせん断強度の1/3における割線せん断弾性係数である。天然骨材を用いたコンクリートに比べ、再生骨材を用いたコンクリートの本実験で計測した力学特性は全て低下しており、引張強度の低下が最も大きくなっている。また、表には圧縮強度および引張強度を用いてせん断強度を求めた結果も示している。式(1)は一軸圧縮強度と一軸引張強度の応力円の共通接線から求めたものである。式(2)は一軸引張強度の応力円の直径を2倍にしたものである²⁾。式(3)は一軸圧縮強度と一軸引張強度の応力円に接する放物線とした破壊包絡線から求めたものである³⁾。再生骨材を用いた場合の計算値はどの式においても天然骨材の場合より実測値に対する割合が小さくなっている。

図-1はせん断疲労試験における疲労寿命と生存確率の関係を示す。疲労試験の結果はばらつきが大きいことから、圧縮疲労の場合、疲労寿命分布を対数正規分布として取り扱っている⁴⁾。せん断疲労においても対数正規分布として取り扱い、確率50%での繰返し回数をそれぞれの応力比における平均疲労寿命とした。

表-2 コンクリートの静的力学特性

	実測値					せん断強度の計算値 τ_s		
	圧縮強度 f'_c (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	引張強度 f_t (N/mm ²)	せん断強度 (N/mm ²)	せん断弾性 係数(kN/mm ²)	式(1) (N/mm ²)	式(2) (N/mm ²)	式(3) (N/mm ²)
VS+VG	49.8	30.7	2.99	7.02	27.5	6.10[0.87]	6.74[0.96]	9.58[1.36]
RS+RG	46.8(0.94)	24.6(0.80)	2.12(0.71)	6.34(0.90)	22.9(0.83)	5.17[0.82]	5.52[0.87]	8.06[1.27]

(): VS+VG に対する割合 [] : 実測値に対する割合

式(1) : $\tau_s = \frac{\sqrt{f'_c f_t}}{2}$

式(2) : $\tau_s = \frac{f'_c f_t}{2\sqrt{(f'_c - 3f_t)f_t}}$

式(3) : $\tau_s = (\sqrt{f'_c / f_t} + 1)f_t$

また、引張疲労においても同様に平均疲労寿命を求めた。

図-2は上限応力比 90%での繰返し回数の増加に伴うせん断ひずみの残留ひずみと最大ひずみの変化の例を示す。再生骨材を用いたコンクリートにおいて、残留ひずみは天然骨材を用いたコンクリートより小さいが、最大ひずみは再生骨材を用いたほうが大きく、また、繰返し回数の増加による最大ひずみの増加割合もやや大きくなっている。

図-3は繰返し回数の増加に伴うせん断弾性係数の変化を1サイクル目の値に対する割合で示す。せん断弾性係数は静的せん断強度の 1/3 における割線せん断弾性係数である。再生骨材を用いたコンクリートのせん断弾性係数の低下割合は天然骨材のものより大きくなっている。

また、図示はしていないが、引張疲労においても、引張弾性係数の低下割合は再生骨材を使用したほうが大きかった。

図-4および図-5はせん断応力下および引張応力下での上限応力比と疲労寿命の関係（S-N 曲線）を示す。図中の直線は生存確率 50%の値を回帰したものである。この回帰直線から求めた 200 万回疲労強度は、せん断および引張どちらも使用骨材の違いはなく、約 64%である。圧縮疲労強度に関しては次式が提案されている。

$$\log N = 17.5 \frac{100 - S_{max}}{100 - S_{min}} \quad (4)$$

式(4)より 200 万回圧縮疲労強度を求めると 65.8%となり、本

実験で得られた天然骨材および再生骨材を用いたコンクリートのせん断および引張疲労強度とほぼ同じである。図-6は疲労寿命(LogN)と $(1 - S_{max}) / (1 - S_{min})$ の関係を示す。再生骨材を用いたものの上限応力比 70%と 80%の結果は式(4)の関係より上にあり、図-4および図-5より得られた疲労強度より若干大きくなる。

4. まとめ

本実験の範囲において、再生骨材コンクリートの静的力学特性は天然骨材のものより低下したが、200万回の疲労せん断強度および疲労引張強度はどちらも約64%となり疲労強度に関しては差が見られなかった。

本研究は日本学術振興会未来開拓学術研究推進事業「ライフサイクルを考慮した建設材料の新しいリサイクル方法の開発」(プロジェクト番号96R07601, 研究代表者:長瀧重義)の一環として行ったものである。

〔参考文献〕1) 氏家勲, 横山正樹: 再生粗骨材を用いたコンクリートの透水性および透気性に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No. 53, pp. 551-558, 1999. 2) 小林良二, 奥村清彦: 岩石のせん断強さについて, 日本鉱業会誌, 第 87 巻, 第 999 号, pp. 407-410, 1971. 3) 岡俊行他 3 名: 岩石の静的破壊の機構, 日本鉱業会春季大会分科研究会資料, pp. 1-4, 1970. 4) 徳光善治, 松下博通: 繰返し荷重を受けるコンクリートの疲労強度, コンクリート工学, Vol. 17, No. 6, pp. 13-22, 1979

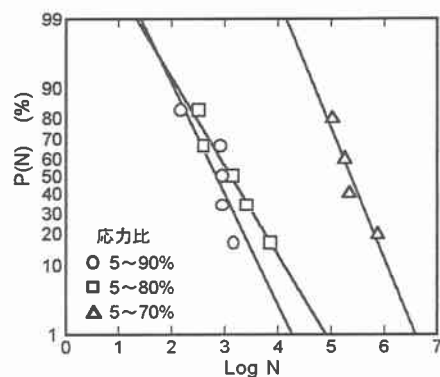


図-1 P(N)-N 線図 (RSRG せん断)

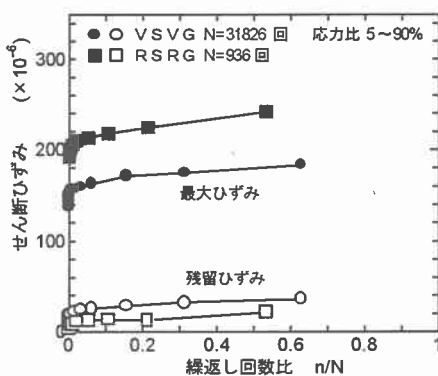


図-2 繰返し回数の増加に伴うせん断ひずみの変化

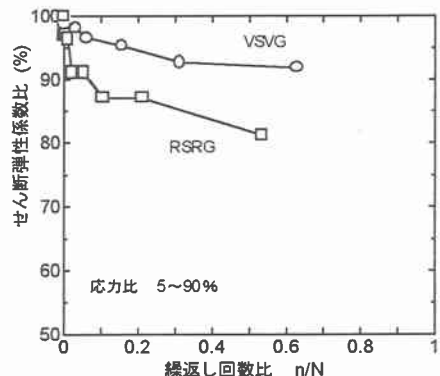


図-3 せん断弾性係数の変化

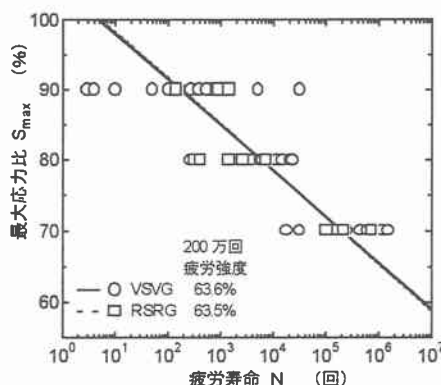


図-4 せん断応力下の S-N 曲線

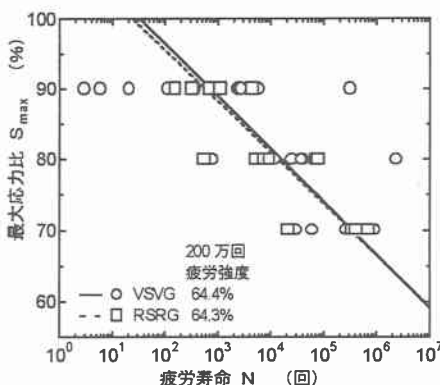


図-5 引張応力下の S-N 曲線

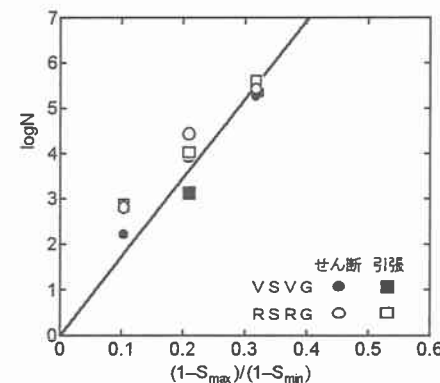


図-6 LogN と $(1 - S_{max}) / (1 - S_{min})$ の関係