

第V部門 下水汚泥スラグを粗骨材として用いたコンクリートの圧縮疲労特性

立命館大学大学院理工学研究科 学生員 ○武田 宇浦
立命館大学理工学部 正会員 児島 孝之

1. はじめに

下水道の普及に伴い発生汚泥量は年々増加しているが、処分場の残存容量は減少している。また、天然資源の枯渇等に起因して、循環型社会に適応した経済社会の変革の必要性が問われている。この下水汚泥の有効利用方法の1つに、下水汚泥スラグのコンクリート用骨材としての利用があげられる。本研究では、下水汚泥スラグをコンクリート用粗骨材として用い、水セメント比50%、下水汚泥スラグ置換率50%および100%としたコンクリートの圧縮疲労試験を行った。

2. 実験概要

表1に使用材料、表2に示方配合および疲労試験開始直前強度を示す。本実験で用いた下水汚泥スラグは、滋賀県湖南中部浄化センターで製造された空冷スラグを用いた。供試体は、打設翌日に脱型し材齢28日まで標準養生を行ったのち、疲労試験開始（材齢91日以降）まで高湿恒温恒湿室(20±1℃, RH=90±5%)にて気中養生を行った。

供試体には円柱供試体(φ7.5×15cm)を用い、気中環境下にて疲労試験を行った。疲労試験は正弦波による部分片振り載荷で行い、載荷速度は4Hzとした。上限応力および下限応力は疲労試験開始直前強度をもとに決定し、上限応力は60, 70, 80%の3水準、下限応力は10%の1水準とした。繰返し回数は200万回とし、200万回で破壊しなかった供試体については静的圧縮強度試験を行うことにより残存強度を測定した。

3. 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、疲労寿命の分布が対数正規分布に従うものとして処理した。また、200万回で破壊しなかった供試体については、最良線型推定量¹⁾を参考に200万回圧縮疲労強度を算出した。

表3に200万回圧縮疲労試験結果、図1に上限応力比と平均疲労寿命の関係を示す。200万回圧縮疲労強度は50-50で67.1%、50-100で64.0%となった。既往の普通コンクリート圧縮疲労試験結果²⁾と比較すると、圧縮疲労強度はほぼ同程度であることが確認された。

図2に $S_r/(f_k/f_m - S_{min})$ と $\log N$ の関係を示す。一般に、コンクリートの種類や供試体の乾湿状態によって定まる疲

表1 使用材料

| 材料(略記) | 主な性質 |
|---------|---|
| セメント(C) | 普通ポルトランドセメント, 密度:3.16g/cm ³ |
| 細骨材(S) | 川砂, 密度:2.60g/cm ³ , F.M.=2.68, 吸水率:1.76% |
| 粗骨材 | (G) 碎石, 密度:2.68g/cm ³ , F.M.=6.64, 吸水率:0.92%, MS=20mm |
| | (Gs) 空冷スラグ, 密度:2.81g/cm ³ , F.M.=6.28, 吸水率:0.8%, MS=20mm |
| 混和剤 | AE減水剤 リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体, 密度:1.06~1.07g/cm ³ |
| | AE助剤 アルキルアリルスルホン酸化合物, 密度:1.04~1.06g/cm ³ |

表2 示方配合および疲労試験開始直前強度

| 供試体名 | 置換率(%) | s/a(%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | AE減水剤*(cc) | AE助剤*(cc) | 直前強度(N/mm ²) |
|--------|--------|--------|-------------------------|-----|-----|-----|------|------------|-----------|--------------------------------|
| | | | W | C | S | G | Gs | | | |
| 50-50 | 50 | 44.2 | 168 | 335 | 779 | 522 | 522 | 3554 | 1677 | 48.6(CV=4.5%) |
| 50-100 | 100 | 43.7 | 167 | 333 | 779 | 0 | 1081 | 2664 | 3331 | 25.2(CV=5.6%) 35.2(CV=4.2%) |

*AE減水剤は25%, AE助剤は1%に希釈して使用した

キーワード：下水汚泥スラグ, 粗骨材, 圧縮疲労

連絡先：〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1 立命館大学大学院 RC構造研究室 Tel: 077-566-1111(6873)

表 3 200 万回圧縮疲労試験結果

| 供試体 | Smax (%) | Smin (%) | 平均疲労寿命 | S- \bar{N} 線式 | 圧縮疲労強度 (%) | K=17 の時の生存確率(%) | 生存確率 95%以上の K の値 |
|------------------------|----------|----------|---------|--|------------|-----------------|------------------|
| 普通コンクリート ²⁾ | 72~80 | 10 | ---- | $S = -4.395 \text{Log } \bar{N} + 97.506$ | 69.8 | ---- | ---- |
| 50-50 | 60 | 10 | 2000000 | $S = -6.700 \text{Log } \bar{N} + 109.286$ | 67.1 | 80.0 | 15.5 |
| | 70 | | 5189734 | | | | |
| | 80 | | 37635 | | | | |
| 50-100 | 60 | 10 | 2000000 | $S = -6.187 \text{Log } \bar{N} + 103.007$ | 64.0 | 83.3 | 10.5 |
| | 70 | | 1128135 | | | | |
| | 80 | | 4480 | | | | |

疲労強度式中の定数 K の値は、 $S-\bar{N}$ 線式から得られた K を使用する。生存確率が 95%以上であればその値が、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³⁾。 K の値は普通コンクリートの水中環境下および軽量骨材コンクリートの場合は 10、その他の一般の場合は 17 とされている。本研究で、 $K=17$ として生存確率を求めると、50-50 で 80%、50-100 で 83%であった。それぞれの生存確率が 95%以上になるように低減した K の値は 50-50 で $K=15.5$ 、50-100 で $K=10.5$ となったため、下水汚泥スラグ粗骨材を用いたコンクリートでは、現行示方書の普通コンクリートの水中環境下および軽量骨材コンクリートの場合と同様 $K=10$ の値を採用することが適当であると考えられる。

表 4 に 200 万回で破壊しなかった供試体の残存強度を示す。直前強度に対する残存強度の比は、供試体によるばらつきが大きく、疲労試験開始直前強度より残存強度が大きくなるものもみられた。しかし、スラグ置換率 100%の方が総じて静的圧縮強度比が小さい結果となった。

4. まとめ

本研究で得られた結果を以下に示す。

- 1) 下水汚泥スラグ粗骨材を用いたコンクリートの圧縮疲労強度は、既往の研究の普通強度のものと同程度であった。
- 2) コンクリート疲労強度式の K の値は、 $K=10$ とすると生存確率 95%以上を満足できることが確認できた。
- 3) 200 万回圧縮疲労試験で破壊しなかった供試体の残存強度-静的圧縮強度比は、スラグ置換率の増加に伴い低下する傾向にあった。

【参考文献】

- 1) 浜田純夫, 中川健治, 成岡昌夫: 疲労試験における途中打切りデータの処理に関する研究, 土木学会論文報告集第 189 号, 1971.5, pp.99-105
- 2) 井上正一: コンクリートの圧縮疲労特性と部材設計への適用に関する基礎的研究, 京都大学博士論文, 1985.4, pp31-53,
- 3) 2002 年制定, コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], (社) 土木学会, 2002.3, pp.24-25

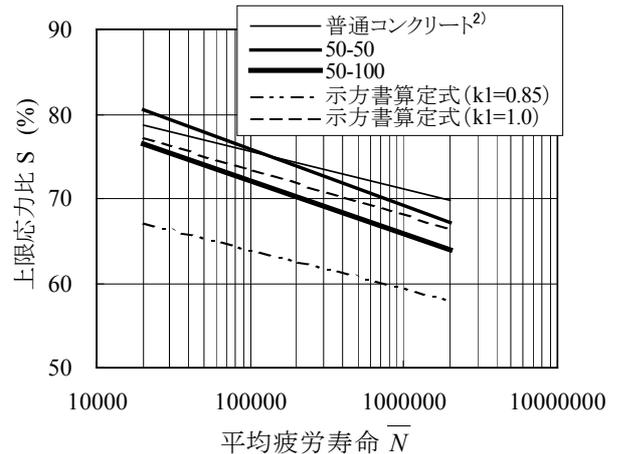


図 1 上限応力比と平均疲労寿命の関係

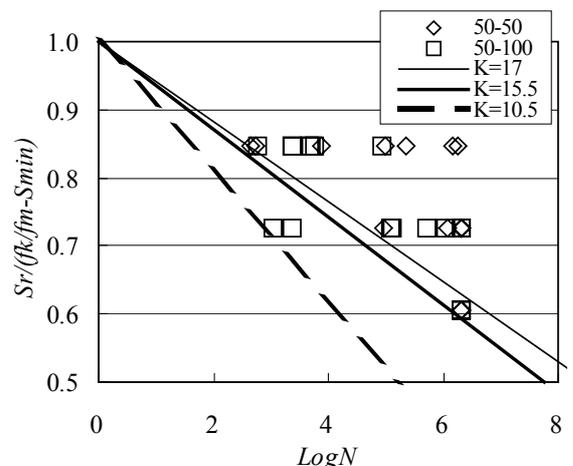


図 2 $S_r/(f_k/f_m - S_{min})$ と $\text{Log } N$ の関係

表 4 残存強度

| 配合名 | 上限応力比 (%) | 残存強度 (N/mm ²) | 静的圧縮強度比 |
|--------|-----------|---------------------------|---------|
| 50-50 | 60 | 41.9 | 0.86 |
| | | 45.4 | 0.93 |
| | | 47.9 | 0.98 |
| | 70 | 51.8 | 1.06 |
| | | 52.9 | 1.09 |
| 50-100 | 60 | 52.5 | 1.08 |
| | | 20.5 | 0.81 |
| | | 12.2 | 0.48 |
| | 70 | 38.3 | 1.52 |
| | | 20.5 | 0.58 |
| | | 35.0 | 0.99 |