

高収縮骨材を用いたコンクリートの破壊エネルギー特性について

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○MACHARIA Martin Mwangi

広島大学大学院工学研究科 学生会員 太田 光貴

広島大学大学院工学研究科 学生会員 中山 紘紀

広島大学大学院工学研究科 フェロー会員 佐藤 良一

1. はじめに

近年、骨材の低品質化や骨材自身の収縮によるコンクリートの高収縮化が大きな問題となっている。この収縮が要因とされる構造物の損傷問題<sup>1)</sup>を契機として、コンクリートの収縮に対する関心が高まっている。後藤ら<sup>2)</sup>は、多数の骨材物性とコンクリートの乾燥収縮との関連性を評価し、骨材自身の収縮が影響を与えることを指摘した。一方、Hillerborgらは、普通強度コンクリートの破壊エネルギーの低下は斜めひび割れ発生強度の低下をもたらすと報告している<sup>3)</sup>。そのため、骨材の低品質や骨材自身の収縮による破壊エネルギーへの影響の検討が不可欠である。

これらを踏まえて、本研究においては、乾燥収縮が大きくなる粗骨材、細骨材を用いたコンクリート(W/C=0.5)の破壊エネルギー特性を行う。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの使用材料および配合

コンクリートの使用材料を表-1に示す。セメントには普通ポルトランドセメントを用いた。骨材には、同一産地の硬質砂岩砕砂および碎石を用いた。混和剤には、高性能AE減水剤を用いた。

表-2にコンクリートの配合を示す。単位水量は170kg/m<sup>3</sup>、W/Cは50%とした。スランプおよび空気量の目標値はそれぞれ10±2.5cm、4.5±1.5%とした。

2.2 試験の概要

破壊エネルギー試験は、日本コンクリート工学協会の試験方法<sup>4)</sup>に準拠し、試験体中央に幅4mm、深さ50mmの切欠きを設ける。

載荷は、荷重の降下域の変形を測定するため、容量100kNの変位制御型試験機を用いる。試験体のスパンは300mmとし、両支点はローラを配置して水平方向に可動な構造とする。計測項目は、荷重、ひび割れ開口変位(CMOD)、載荷点の鉛直変位である。CMODは試験体底面の切欠き部中央で、鉛直変位は試験体底面の切欠きを挟んだ2点で、クリ

表-1 コンクリートの使用材料

| 材料名  | 記号 | 種類／特性                                     |
|------|----|-------------------------------------------|
| セメント | C  | 普通ポルトランドセメント／密度：3.16g/cm <sup>3</sup>     |
| 細骨材  | S  | 砂岩砕砂／表乾密度：2.65g/cm <sup>3</sup> ，吸水率1.86% |
| 粗骨材  | G  | 砂岩砕岩／表乾密度：2.69g/cm <sup>3</sup> ，吸水率0.89% |
| 混和剤  | AD | 高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)                        |
|      | AE | AE剤                                       |

表-2 コンクリートの配合

| W/C | s/a  | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |      |        |
|-----|------|--------------------------|-----|-----|-----|------|--------|
| (%) | (%)  | W                        | C   | S   | G   | AD   | AE     |
| 50  | 46.4 | 170                      | 340 | 832 | 977 | 2.38 | 0.0153 |

ップゲージ(感度：1/1000mm)により計測する。

他の計測項目は圧縮強度、割裂引張強度、ヤング係数及び無拘束収縮ひずみである。収縮ひずみは100×100×100×400mmの供試体に設置した埋め込みひずみ計(標点距離100mm、弾性係数40N/mm<sup>2</sup>)により計測した。本研究での養生条件は封緘と材齢7日気中曝露である。ここでの気中曝露時の平均湿度は45.8%で、平均温度13.2度であった。

2. 破壊エネルギー試験の評価方法

コンクリートの破壊エネルギーは、以下の算定式(1)から求める<sup>4)</sup>。

$$G_f = \frac{0.75W_0 + W_1}{A_{lig}}$$

(1)

ここで、W<sub>0</sub>：試験体が破断するまでの荷重-CMOD曲線下の面積[N・mm]、W<sub>1</sub>：試験体の自重及び載荷治具がなす仕事[N・mm]、A<sub>lig</sub>：リガメントの面積[mm<sup>2</sup>]

3. 結果及び考察

3.1 強度特性

コンクリートの圧縮強度(*f<sub>c</sub>*)、ヤング係数(*E<sub>c</sub>*)、引張強度(*f<sub>t</sub>*)および破壊エネルギー(*G<sub>f</sub>*)を表-3に示す。

図-1に割裂引張強度と圧縮強度の関係を示す。また、図-2にはヤング係数と圧縮強度の関係を示す。図-1より、高収縮骨材(以下HSA)を用いたコンクリートの割裂引張強度は一般的なコンクリートと比較して同等以上であると認

表-3 コンクリート特性

| Specimen       | Age    | Compressive strength | Splitting Tensile Strength | Young's Modulus | Fracture Energy | Characteristic Length |
|----------------|--------|----------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
|                | (Days) | $f_c(N/mm^2)$        | $f_t(N/mm^2)$              | $E_c(N/mm^2)$   | $G_f(N/mm)$     | $l_{ch}(mm)$          |
| HSA0.5-dryingA | 125    | 37.3                 | 3.30                       | 20.1            | 0.20            | 368                   |
|                | 288    | 37.3                 | 3.30                       | 20.1            | 0.19            | 350                   |
| HSA0.5-dryingB | 125    | 37.3                 | 3.20                       | 20.1            | 0.20            | 392                   |
|                | 288    | 37.3                 | 3.06                       | 20.1            | 0.19            | 406                   |
| HSA0.5-sealedA | 91     | 38.6                 | 3.18                       | 23.9            | 0.15            | 355                   |
|                | 120    | 41.9                 | 2.99                       | 25.9            | 0.15            | 435                   |
| HSA0.5-sealedB | 91     | 38.6                 | 3.18                       | 23.9            | 0.15            | 355                   |
|                | 120    | 41.9                 | 3.20                       | 25.9            | 0.15            | 380                   |
| HSA0.5-dryingC | 178    | 31.6                 | 2.57                       | 20.7            | 0.16            | 503                   |
|                | 241    | 34.7                 | 2.50                       | 22.8            | 0.15            | 547                   |
| HSA0.5-dryingD | 178    | 29.3                 | 2.77                       | 19.3            | 0.16            | 404                   |
|                | 241    | 32.8                 | 2.36                       | 21.8            | 0.15            | 586                   |
| HSA0.5-sealedC | 90     | 39.5                 | 3.00                       | 25.2            | 0.16            | 449                   |
|                | 90     | 39.5                 | 3.00                       | 25.2            | 0.16            | 449                   |
| HSA0.5-sealedD | 90     | 35.8                 | 2.86                       | 24.0            | 0.16            | 469                   |
|                | 90     | 35.8                 | 2.86                       | 24.0            | 0.16            | 469                   |

められた。図-2より、ヤング係数は通常用いられる骨材を使用したコンクリートに比べて低下していることがわかる。これは高収縮骨材の性質によるものだと考えられる。

3.2 収縮特性

図-3に無拘束供試体の収縮ひずみと土木学会コンクリート標準示方書(以下示方書)<sup>5)</sup>による収縮ひずみの推定値の経時変化を示す。本研究で用いたコンクリートの収縮ひずみは示方書による推定値に比べおよそ1.5倍の収縮が生じていることがわかった。

3.3 破壊エネルギー特性

図-4にDryingおよびSealedの各10体ずつの供試体の平均の荷重-CMOD曲線を示す。荷重-CMOD曲線に囲まれた面積は、ひび割れ進展に要する“破壊エネルギー”であり、図-4にみられるようにHSAの破壊エネルギーは一般的なコンクリートと同じような挙動を示していることがわかる。図-4のDryingとSealedの比較に見られるように、乾燥供試体の架橋効果域の面積は封緘供試体のそれより大きく、その結果、破壊エネルギーは約25%大きい。しかし、ここで得られた骨材コンクリートの破壊エネルギーは、0.15-0.2N/mmの範囲にあり<sup>6)</sup>、一般的なコンクリートと大きく異なるものではないと言える。ただし、表-3にみられるようにヤング係数が小さいため、特性長さは小さい。

DryingとSealedの破壊エネルギーが異なることの理由はまだ明確ではないが、一つ考えられる理由は、乾燥によるモルタルの収縮応力に釣り合う圧縮応力が粗骨材界面に生じる結果、架橋効果が高められ、乾燥条件の破壊エネルギーの増大をもたらした。

また、ひび割れ進展エネルギーはコンクリートの含水率が高いほど、減少すると報告されている<sup>7)</sup>。封緘養生は乾燥条件下に比べて内部に含まれている水分が多いためひび割れ進展エネルギーが低下するので破壊エネルギーが結果的に低下すると考えられる。

4. 結論

高収縮骨材を用いたコンクリートの破壊エネルギーは通常用いられる骨材を用いたコンクリートと同等以上であった。また、乾燥の影響により破壊エネルギーは増大した。

5. 参考文献

(1)河金甲：「高強度RCはりの斜めひび割れ発生強度に及ぼす収縮の影響評

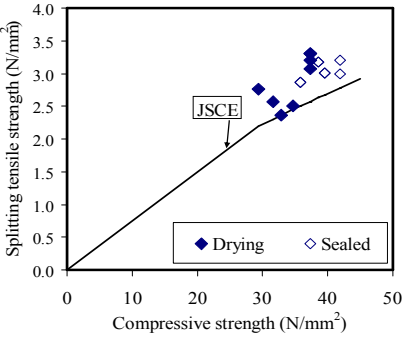


図-1 割裂引張強度と圧縮強度の関係

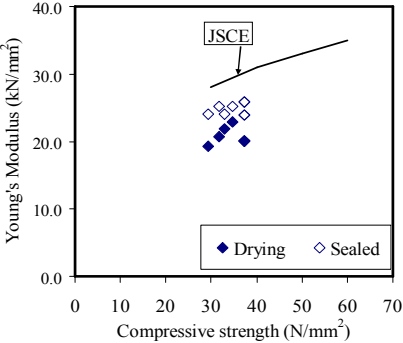


図-2 ヤング係数と圧縮強度の関係

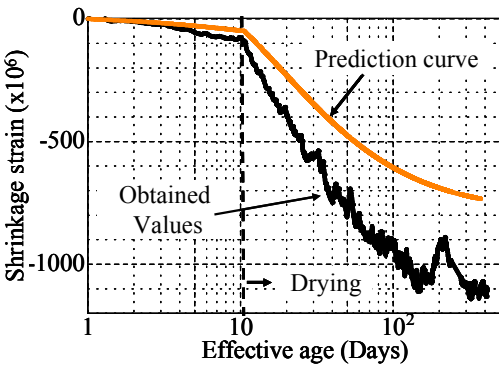


図-3 収縮ひずみ

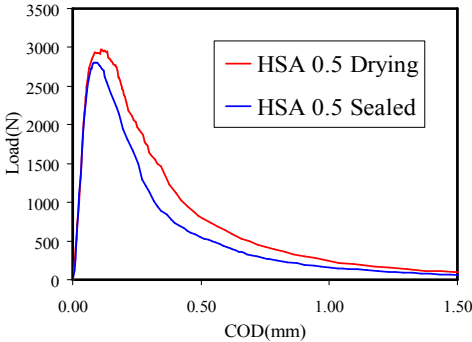


図-4 荷重-COD 曲線

価」,土木学会論文 EVol.65 No.2,178 - 197, 2009.4(2)後藤幸正, 藤原忠司: コンクリートの乾燥収縮に及ぼす(3)Gustafsson, P. J. et al.: Sensitivity in Shear Strength of Longitudinally Reinforced Concrete Beams to Fracture Energy of Concrete, ACI Structural Journal, May-June, pp.286-294, 1988.(4)日本コンクリート工学協会: コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会報告書, 2001.(5)土木学会: 2007年制定コンクリート標準示方書 設計編(6)松元香保里: 高強度コンクリートの材料特性および破壊エネルギーに関する研究, JCI, Vo 24, No 2, pp.739-744, 2002(8)尾上幸造, 松下博通: 液体浸漬によるコンクリートの静的圧縮強度低下に関するエネルギー的考察 土木学会論文集 E Vol. 64 No. 4, 515-525, 2008. 10