

東京工業大学大学院 学生員 木場美子  
 東京工業大学工学部 学生員 川口哲生  
 東京工業大学大学院 フェロー 二羽淳一郎

1. はじめに

本研究では、最近開発された超軽量人工骨材を用いたコンクリートの破壊力学特性値を検討することを目的とし、破壊エネルギーの計測と、修正 J 積分<sup>1)</sup>、および新修正 J 積分法<sup>2)</sup>を用いて引張軟化曲線の算出を行った。また、六郷らの 1/4 モデル<sup>3)</sup>との適合性の検討も行った。実験は圧縮強度を普通強度レベルと高強度レベルとした 2 水準で行った。また、比重の変化が破壊力学特性に与える影響を検討することを目的とし、比重を 1.2 から 1.8 まで変化させ、実験を行った。さらに、引張軟化特性の向上に効果のあるビニロン短繊維によって補強した超軽量コンクリートについても実験を行った。

2. 実験方法

RILEM が提案する切欠きはりをを用いた 3 点曲げ試験を行った。試験体寸法は高さ 100mm、幅 100mm、全長 840mm(荷重スパン 800mm)、切欠き深さ 50mm である。ただし、本実験では除荷 - 再載荷パスに基づいて弾性エネルギーの解放分を定式化するため、荷重軟化域で繰り返し載荷を行った。また、ひび割れの進展を評価するため、型変位計をリガメント部の片側に 3 個、反対側に 2 個の合計 5 個を 10mm 間隔で設置した。実験ケースを表 1 に示す。載荷速度は 0.1mm/min とした変位制御の載荷を行った。また、ビニロン短繊維はコンクリート体積の 0.3% を混入することとした。

表 1 実験ケース

目標比重	圧縮強度 (普通強度)	圧縮強度 (高強度)	短繊維 補強
1.2			
1.4			
1.6			
1.8			

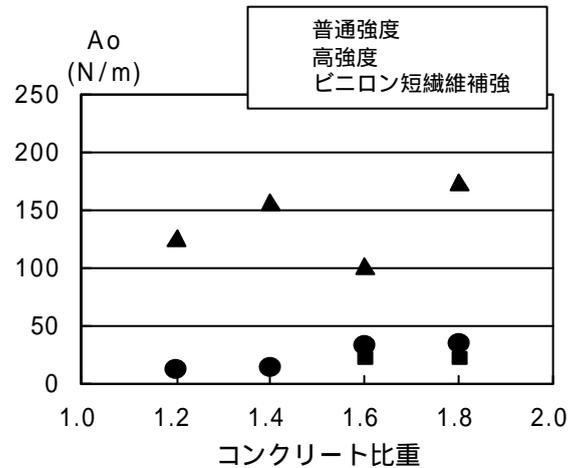


図 1 圧縮強度で補正した破壊エネルギー

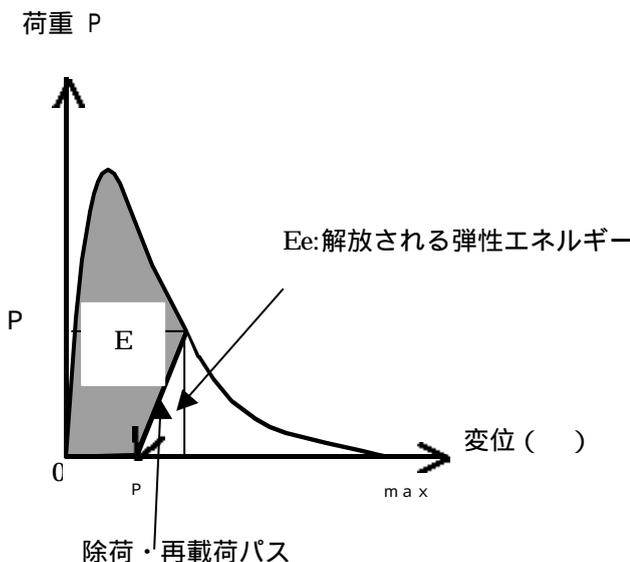


図 2 荷重 - 変位関係図における弾性エネルギーの解放

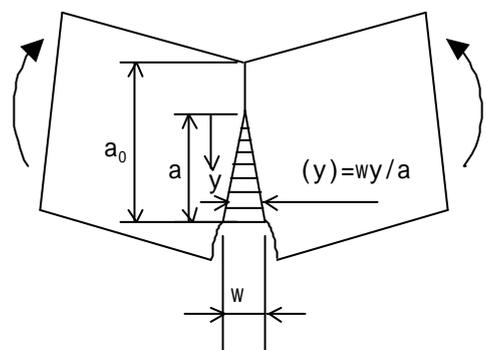


図 3 仮想ひび割れ幅分布

### 3. 実験結果および考察

圧縮強度が異なる供試体の破壊エネルギーを比較するため、式(1)より求めた  $A_0$  を材料の特性値とみなし、検討した。

$$A_0 = G_F / (f_c' / f_{co})^{0.7} \quad (1)$$

$G_F$ : 破壊エネルギー (N/m),  $f_c'$ : 圧縮強度 (MPa),  $f_{co}$ : 定数 (10MPa)

超軽量コンクリートの  $A_0$  は、普通コンクリートと比較して、小さくなるのがわかった。この傾向は比重が小さくなるほど顕著に見られることが確かめられた。また、圧縮強度を高くしても破壊エネルギーの値は増加せず、むしろ  $A_0$  の値が小さくなり、より脆性的に破壊することがわかった。しかし、ビニロン短繊維で補強するとエネルギー吸収能力が格段に向上することが認められた(図1)。

図6に比重1.6の高強度超軽量コンクリートの引張軟化曲線を示す。本実験の範囲では、超軽量コンクリートも1/4モデルで直線近似することが可能であることが確認できる。また、新修正J積分法で引張軟化曲線を求める際、弾性エネルギーの解放分(図2)とひび割れの進展(図3)を定式化した。その一例を図4と図5に示す。その結果、超軽量コンクリートは普通コンクリートと比較すると弾性エネルギーの解放分については、ほぼ等しい関係が得られたが(図4)、ひび割れの進展については仮想ひび割れが载荷の初期の段階からはり上縁まで達していることが確認できた(図5)。したがって図6のように修正J積分法と新修正J積分法で求めた引張軟化曲線は第一勾配部では大きな相違は見られなかったが第二勾配部では、新修正J積分法で求めた方が2直線モデルに近づく傾向が見られた。ただし、ビニロン短繊維で補強した場合、1/4モデルでは第一勾配部で引張応力が過大評価されている。例えば、軟化モデルを1/2.5モデルとすると精度良く近似できることがわかる(図7)。

### 4. まとめ

本実験の範囲内から次のことが言える。

1. 超軽量コンクリートは、普通コンクリートと比較して、破壊エネルギーが小さく、比重が小さくなるほどこの傾向が顕著になる。また、圧縮強度を高くしても、破壊エネルギーはほとんど増加しない。
2. 超軽量コンクリートの引張軟化曲線は1/4モデルで2直線近似可能である。
3. 超軽量コンクリートは、载荷直後に仮想ひび割れがリガメント部全域に貫通すると仮定しても大きな誤りとはならないが、弾性エネルギーの解放分については考慮する必要がある。
4. ビニロン短繊維で補強すると破壊エネルギーは格段に向上する。引張軟化曲線を1/4モデルで近似するよりも、例えば1/2.5モデルとすると精度良く近似できる。

参考文献: 1)内田裕市, 六郷恵哲, 小柳洽: 曲げ試験に基づく引張軟化曲線の測定と計測, 土木学会論文集, No. 426, V-14, 1991. 2, 2)二羽淳一郎, Taweechai SUMRANWANICH, 松尾豊史: コンクリートの引張軟化曲線決定に関する実験的研究, 土木学会論文集, No. 606, V-41, 1998. 11, 3)Rokugo, K., Iwasa, M., Suzuki, T. and Koyanagi, W.: Testing Method to Determine Tensile Strain Softening Curve and Fracture Energy, Balkema, 1989

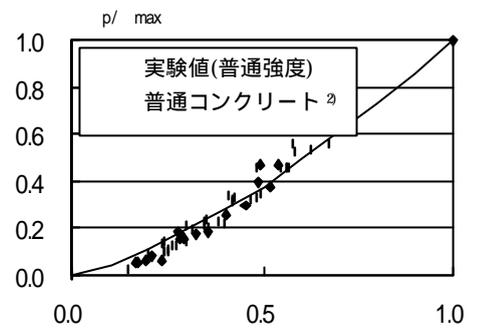


図4  $p/p_{max} - w/w_{max}$  関係

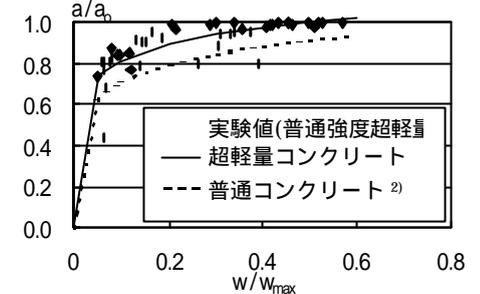


図5 ひび割れ進展と相対開口変位関係

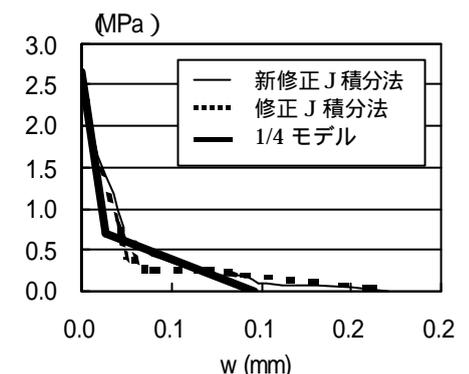


図6 2つの手法から求めた引張軟化曲線

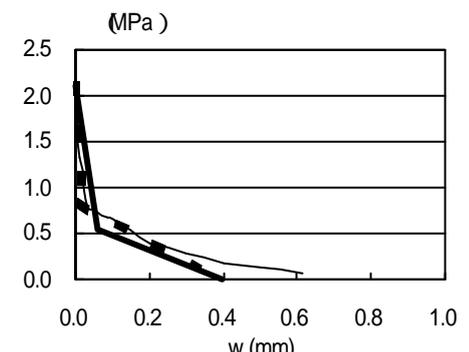


図7 ビニロン短繊維補強した場合の引張軟化曲線