

# 薄肉鉄筋コンクリート部材の曲げひび割れ耐力算定法のための引張軟化特性の把握

首都大学東京 学生会員 ○川瀬 麻人, 正会員 宇治 公隆  
 首都大学東京 正会員 大野 健太郎, 正会員 上野 敦

## 1. はじめに

薄肉鉄筋コンクリート部材の曲げひび割れ耐力算定には、コンクリートの引張軟化特性の把握が重要であることが、既往の研究より明らかとされている。2007年版土木学会コンクリート標準示方書(以下、示方書)では、コンクリートの引張軟化曲線は1/4モデルで表現されており、部材厚200mm以下の薄肉部材への適用性については十分議論されていない現状にある。本研究では、薄肉部材を対象として、部材厚を40、50および70mmとしたコンクリートの引張軟化曲線の推定を行い、1/4モデルとの比較を行った。また、微細ひび割れの発生機構をアコースティック・エミッション(以下、AE)法により考察した。さらに、曲げひび割れ強度の算定では、コンクリートの引張強度が重要なパラメータとなることから、割裂引張強度における寸法効果について、AE法を適用して考察した。

## 2. 実験概要

### 2.1 破壊エネルギー試験

破壊エネルギー試験は、JCI-S-001-2003に準拠し、図-1に示すように部材厚( $h$ )を40、50および70mmとして実施し、AE信号の記録も併せて行った。供試体は、粗骨材の最大寸法を20mmとし、材齢28日まで標準養生を行い、各部材厚に対して6体作製した。表-1にコンクリートの力学的特性を示す。

表-1 コンクリートの力学的特性

養生条件	圧縮強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	割裂引張強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	静弾性係数 ( $\text{kN}/\text{mm}^2$ )
標準養生	39.2	2.85	27.9

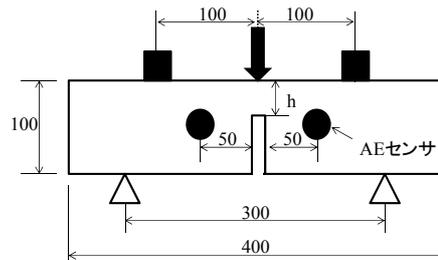


図-1 破壊エネルギー試験概要

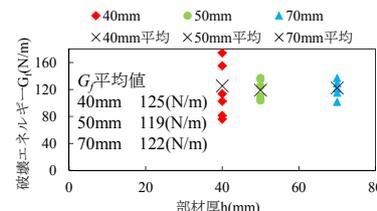


図-2 破壊エネルギー試験結果

### 2.2 割裂引張強度試験

割裂引張強度試験に用いたコンクリートの配合は2.1と同じとし、供試体寸法を $\phi 100 \times 200\text{mm}$ (以下、 $\phi 100$ )、 $\phi 150 \times 200\text{mm}$ (以下、 $\phi 150$ )として、各3体作製した。なお、表-1中の割裂引張強度は $\phi 150$ の供試体の結果を示している。実験には、供試体内部の破壊過程を考察するために、AEセンサを供試体に6個設置し、AE信号の記録を行った。

## 3. 結果および考察

### 3.1 破壊エネルギー試験

図-2に各供試体で得られた破壊エネルギー(以下、 $G_f$ )を示す。図-2より、部材厚に依らず、 $G_f$ はほぼ同等の値となった。しかし、部材厚の減少に伴い、試験結果の変動範囲が大きくなった。これは、部材厚に対する最大粗骨材寸法の比( $d_{max}/h$ )の増大に伴い、試験結果の安定性が低くなることを示している。

図-3に、日本コンクリート工学協会規格による多直線近似解析法により得られた、引張軟化曲線の推定結果と示方書で使用されている1/4モデルとの比較を表している。図-3より、全ての部材厚において多直線近似解析結果と、1/4モデルがほぼ一致していることが確認できる。しかし、部材厚40および50mmの供試体では、多直線近似解析結果の初期結合応力が、表-1中の割裂引張強度試験結果の約1.4~1.5倍大きくなることが明らかとなった。

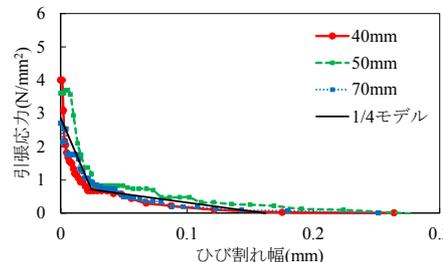


図-3 引張軟化曲線逆解析結果

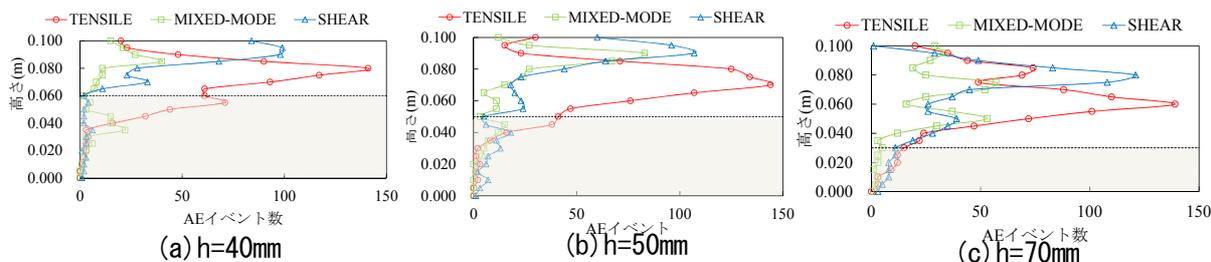


図-4 供試体高さ と AE イベント数の関係

図-4 に、検出 AE 波形に SiGMA(Simplified Green’s functions for moment tensor analysis)解析<sup>2)</sup>を適用して得られた各部材厚のクラック形成モードの発生状況を示す。全ての供試体において、切り欠き先端から供試体高さ方向にクラック形成モードが異なり、切り欠き先端から、引張型 AE イベント、せん断型 AE イベントの順で支配的に発生している。このことから、部材厚の変化に依存せず、破壊機構は同じであることが示された。

3.2 割裂引張強度試験

図-5 に各円柱供試体で得られた割裂引張強度( $f_t$ )を示す。割裂引張強度は $\phi 150$  よりも $\phi 100$  の方が 1.2 倍程度高く、 $\phi 100$  の試験結果が安定した。

図-6 に SiGMA 解析結果を示す。なお、図-6 中において、AE センサの設置位置を供試体下部に限定的に配置したため、供試体上部に AE 発生源がほとんど位置標定されなかった。円柱供試体の割裂引張試験では、供試体高さ中央で上下対称の応力状態となる。よって、図-6 には、供試体下部に位置標定された AE 発生源を、供試体高さ中央を軸として上下対称に表現した。 $\phi 100$ 、 $\phi 150$  供試体ともに、引張応力が卓越する中心部で引張型クラックが集中して発生し、圧縮応力が卓越する荷板近傍でせん断型、混合型クラックのみが発生することが分かった。ここで、引張型 AE イベントの発生領域(以下、引張領域)は、圧縮応力が小さく、引張応力が卓越する中心部近傍であり、引張型 AE イベントが主破壊に大きく関与していると考えられる。そこで、図-6 に示すような引張領域を供試体直径 D に対する長さの比として表-2 に示す。表-2 より、 $\phi 150$  は $\phi 100$  より引張領域が広がっていることが分かる。このことから、引張型 AE イベントの発生領域が、割裂引張強度に大きく関与しているものと考えられる。

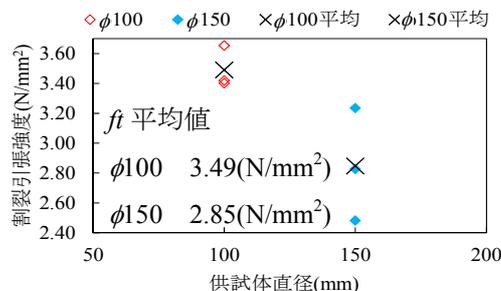


図-5 割裂引張強度試験結果

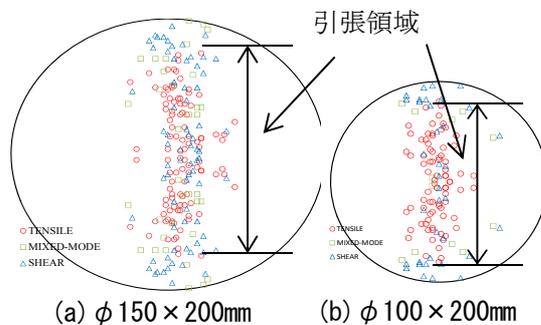


図-6 SiGMA 解析結果

表-2 引張型 AE イベントの発生領域

供試体直径	$\phi 150$	$\phi 100$
引張領域	0.78D	0.66D

4. 結論

- (1) 本研究の範囲内では、破壊エネルギーは部材厚の変化に依存せず、一定値を示すが、引張軟化曲線は 1/4 モデルと比較して、部材厚の低下に伴い初期結合応力が高くなることが明らかとなった。
- (2) 割裂引張強度試験において、断面寸法の減少に伴い、引張強度が高くなる寸法効果を確認し、AE-SiGMA 解析結果より、引張型 AE イベントの発生領域が割裂引張強度に大きく関与する可能性が示された。

参考文献

1)中嶋彩乃他:薄肉鉄筋コンクリート部材の曲げ耐力算定法に関する検討、土木学会第 65 回年次学術講演会講演概要集、pp.1133-1134、2010。  
 2)大津政康他:AE モーメントテンソル解析のための SiGMA コードの開発、非破壊検査、Vol.42、No.10、pp.570-575、1993。