

[2018] せん断変形を伴うコンクリート破壊域の軟化特性と構成式

正会員 ○李 宝 禄 (東京大学大学院)  
 LIM Teng Boon (PCS Singapore)  
 正会員 前川 宏一 (東京大学工学部)

1. はじめに

少数のひびわれが鉄筋コンクリート(以下,RCと呼ぶ)の破壊性状に大きく関連している場合,変形が局在化しているひびわれ領域を接合要素に置き換えて有限要素解析が行われる(図1参照)。従来の接合要素構成式の多くは専らひびわれ領域に直交方向の変形のみを取り扱ったものがほとんどであった<sup>(1)</sup>。しかし, RC部材のせん断ひびわれ破壊域では,さらにひびわれに平行な方向のせん断変形が加わる。

本研究では,コンクリートに発生するひびわれ領域に対して,せん断変形を伴う状況下で巨視的なひびわれ軟化モデルを提案し,せん断膨張性状と経路依存性について検討を行った。なお,現象の理解を深める意味で,モルタルの挙動を併せて検討し,接合要素のための構成式導出を行った。

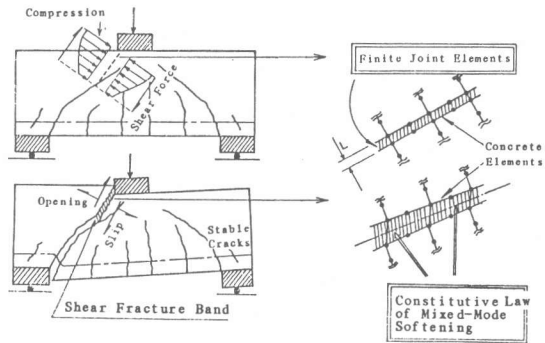


図1. 離散ひびわれモデル

2. 圧縮-せん断応力をうけるコンクリートの变形特性

せん断変形を伴う破壊域がRC構造物に発生する場合,破壊域平行方向のせん断応力以外に,破壊域直交方向に圧縮応力が作用しているのが一般的である(図1参照)。また,破壊域のせん断変形と同時に,圧縮応力作用下においてもひびわれ幅の増加(せん断膨張)が伴われる。本研究では,以上の現象を呈する有限のせん断破壊域 L を解析の対象とし,領域幅 L を解析における接合要素幅に等しいものと定義する。

単位長さ,単位厚さ当りのせん断破壊域の変形は,領域内に導入された微小クラックによる不連続変形と,それ以外の連続域の変形の和として定義されると考えられる(図2参照)。

$$\begin{aligned} d\delta &= d\delta_c + d\delta_d \\ d\omega &= d\omega_c + d\omega_d \end{aligned} \quad (1)$$

ここで,  $\delta$  と  $\omega$  はせん断破壊域 L 全体のせん断及び開口変形を意味し,  $\delta_c$  と  $\omega_c$  を連続域による変形成分,  $\delta_d$  と  $\omega_d$  を不連続域による変形成分と定義する<sup>(3)</sup>。

図3の試験方法で得られる,一定の圧縮応力下での代表的なせん断応力-せん断変形及

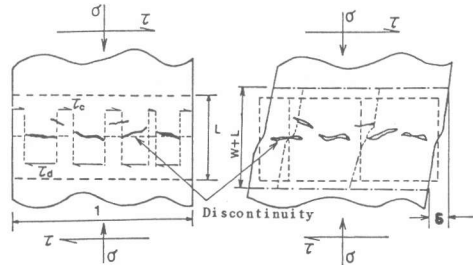


図2. 破壊域のモデル化

び対応するせん断ひびわれ開口変位を図4に示した<sup>(1)</sup>。ここで、せん断破壊域の変形モードを、(1)連続モード、(2)遷移モード、(3)不連続モードに大きく分けることができる。連続モードは、全変形に対して連続成分が卓越している状態を意味し、応力-変形関係は線形かつせん断膨張は観察されない。逆に不連続モードでは微小ひびわれが領域内に卓越するため、連続成分の全体変形に占める割合が小さい状態に対応し、せん断応力-変形関係は完全塑性挙動にほぼ等しい。そこで、本研究では、軟化挙動の両極に位置する(1)と(3)の両モードの挙動をまず定式化した。さらに、両者の中間に位置する遷移モードの挙動を連続モードと不連続モードの加重平均としてモデル化することで、遷移領域で卓越する軟化挙動とせん断膨張を表現する方法を採用したのである。

### 2.1 連続モードの変形メカニズム

連続域の変形成分は、連続体の構成式と作用応力によって記述される。せん断破壊域に作用する応力が一様に連続域に作用すると仮定し、連続モードでせん断膨張が現れないことを勘案して、次式を連続領域の構成式とする。

$$\delta_c = L \frac{\tau}{G}$$

$$d\delta_c = L \frac{d\tau}{G}$$

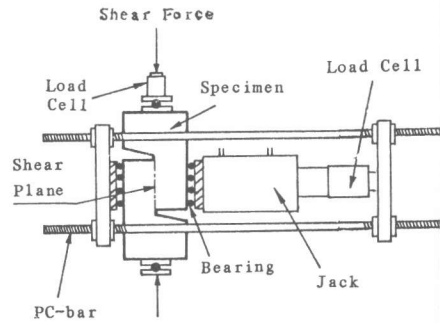


図3. 実験方法

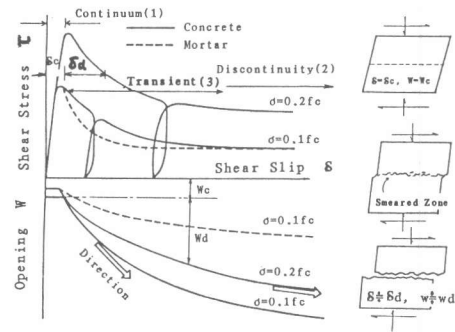


図4. 破壊域のひずみ軟化特性

ここで、EとGはそれぞれ弾性圧縮、せん断剛性(Young's Moduli)である。

コンクリートのせん断破壊域の発生基準については多くの研究が行われているが<sup>(4,5)</sup>、本研究ではクーロン型破壊基準を不連続変位成分( $\delta d, w d$ )の発生条件として採用した。図5は、図3の実験方法から得られたコンクリート、モルタルのせん断軟化開始点を表す。本モデルでは、実験結果より以下の関数を採用した。

$$\omega_c = L \frac{\sigma}{E}$$

$$d\omega_c = L \frac{d\sigma}{E}$$

(2)

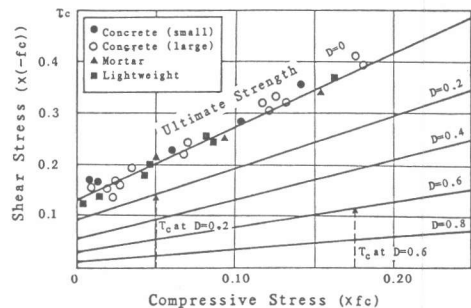


図5. せん断軟化包絡線

$$\frac{\tau}{f_c} = A + B \frac{\sigma}{f_c}, \quad A = -0.14, B = -1.37$$

(3)