

V-123 コンクリートひびわれ面のインターロックモデル

東京大学大学院 学生員 ○李 宝禄

東京大学工学部 正会員 前川宏一

東京大学大学院 リム、テン・ブーン

1. はじめに

コンクリートひびわれ面でのせん断伝達挙動はRC部材の設計、解析において重要な役割を果たし、そのせん断伝達機構の解明は重要な課題となっている。ところが、コンクリートの強度、種類ならびにひびわれの形成の仕方などにより、その形状が複雑になるため、いまだに精度よく予測できる段階まで至っていないのが現状である。本研究はひびわれ面でのインターロック効果を簡単なモデルに置き換えて、シミュレーションを試みたものである。

2. 実験

供試体は 90X20X35cm の梁形で、実験時のシリリングー圧縮強度は 300—350 kg/cm²であった。ひびわれは実験する前に割裂て発生させる。載荷方法は二点支承で、ひびわれ面に曲げモーメントが働かないように二点載荷を採用した(図1参照)。なお、ひびわれ面に作用する圧縮力は供試体に埋められたシースに PC 棒を通して、センターホールジャッキで制御した。

図2はそれぞれ異なった圧縮応力下で、割裂ひびわれ面でのせん断応力に伴うひびわれ幅とせん断ずれの変形履歴を示したものである。どの圧縮応力下でもひびわれを導入した時の初期ひびわれが残留しているが、十分変形させた段階では $d(\text{slip})/d(\text{opening})$ はある程度収束する。しかも、高圧縮応力になると、ある程度大きくなる傾向が認められる。

3. インターロックモデル

3.1 モデル化のアプローチ

以上の実験結果よりコンクリートのひびわれ面でのインターロックのモデル化について検討してみた。

図3に示したようなひびわれ面を仮定し、任意方向 θ にある接触面に注目して、そこでの力の釣合い条件はつぎのようになる。

$$S = Z \cdot \sin \theta + F \cdot \cos \theta \quad (1)$$

$$N = Z \cdot \cos \theta - F \cdot \sin \theta \quad (2)$$

S はせん断力で、 N は圧縮力である。 θ はひびわれ面での接触する方向をあらわす。 Z は θ に直交する方向に働く圧縮力で、 F は摩擦力である。

一方、接触面に直交する圧縮力により、圧縮変形が生じ、またせん断応力によりずれ変形が生じる。そこで、圧縮変形とずれ変形の関数として、 Z をつぎのよ

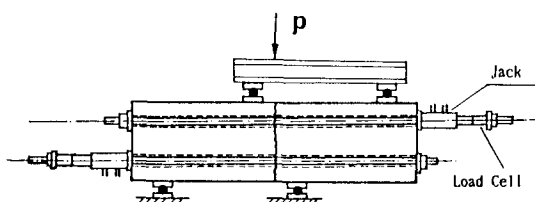


図1. 供試体と載荷装置

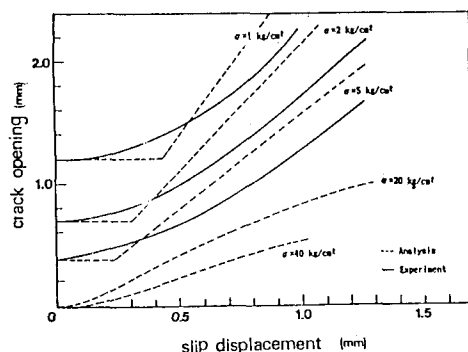


図2. ひびわれ幅とずれの関係

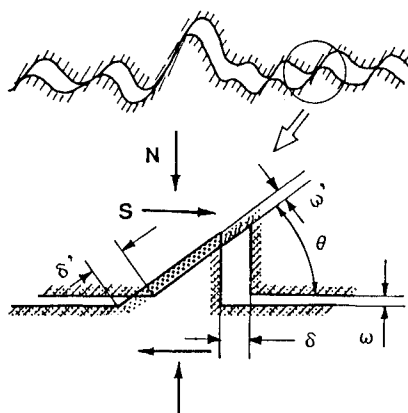


図3. ひびわれのモデル化

うに表せると仮定した。

$$Z = Z(\omega', \delta') = Fc \cdot (1 - e^{-11}) \cdot e^{-JJ} \quad (3)$$

$$11 = -3.4 \cdot \omega' \quad JJ = 0.6 \cdot \delta'$$

Fc は主としてコンクリート強度の関数であるが、本文では、300で計算した。 ω' は接触面直交方向の圧縮変形で、 δ' は θ 方向でのずれ変形を示す。これらは ω - δ 座標系から換算されることができる。

実際にはこれらひびわれ接触面の集合としてせん断に抵抗する。しかも接触方向が0から $\pi/2$ まで分布している。そのため、接触方向 θ の分布について、実験との対応から、つぎのように表すことにした。

$$\Omega = \Omega(\theta) = \sin(2 \cdot \theta) \quad (4)$$

ここでは、実際のひびわれ面に発生するせん断変形が小さく、変形に伴う接触方向分布の変化が無視できると仮定している。

以上を纏めると、

$$\tau = \int (Z(\omega', \delta') \sin \theta + F \cos \theta) \cdot \Omega(\theta) \cdot d\theta$$

$$\sigma = \int (Z(\omega', \delta') \cos \theta - F \sin \theta) \cdot \Omega(\theta) \cdot d\theta \quad (5)$$

となる。 τ 、 σ はそれぞれひびわれ面での平均せん断と圧縮応力である。式(5)を次式に書き換えられる。

$$d\tau = a_{11}(\omega, \delta) \cdot d\delta + a_{12}(\omega, \delta) \cdot d\omega$$

$$d\sigma = a_{21}(\omega, \delta) \cdot d\delta + a_{22}(\omega, \delta) \cdot d\omega \quad (6)$$

すなわち、せん断応力と圧縮応力はひびわれ幅 ω とずれ δ のみの関数になる。

なお接触面の摩擦の効果については、接触角 θ にさらに摩擦角 μ を加えることで対処され、つまり $\Omega(\theta)$ 関数によって評価されることが考えられる。

3.2 実験結果と本モデルの比較

図4はWalravenら⁽¹⁾のpush-off供試体から得られた結果と本モデルの比較で、ほぼ良い一致を示すことがわかる。また、Paulay⁽²⁾は実験から初期ひびわれ幅を変化させないための圧縮応力はひびわれ幅、骨材の種類、最大寸法に関係なく、せん断応力と一对一の関係が成り立つと指摘したが、本モデルで計算した結果は図5に示したように、よく表現できるといえる。なお、モデルから計算した一定圧縮応力下におけるせん断に伴う変形経路は図1に併記した。

4. おわりに

ひびわれ幅が小さいときに支配的役割を果たすインターロック作用は簡単なモデルで表現される。このモデルでは関数 $Z(\omega', \delta')$ と $\Omega(\theta)$ をそれぞれ用いているが、ひびわれ面での全体的挙動はそれらの定式化により表す。粗骨材の寸法、分布およびひびわれの形状などは $\Omega(\theta)$ で代表され、インターロックによる骨材周辺の応力状態は Z で代表される。しかし、現段階では Z と Ω の定義はまだ明白とは言い難い。さらに、これらの問題を幾何学的、物理的に検討していきたいと考えている。

参考文献

- 1). J.C.Walraven and H.W.Reinhardt, "Theory and experiments on the mechanical behavior of cracks in plain and reinforced concrete subjected to shear loading," HERON, Vol.26, 1981
- 2). T.Paulay and P.T.Leober, "Shear transfer by aggregate interlock," ACI, SP-42 V.1.1974, pp.1-15

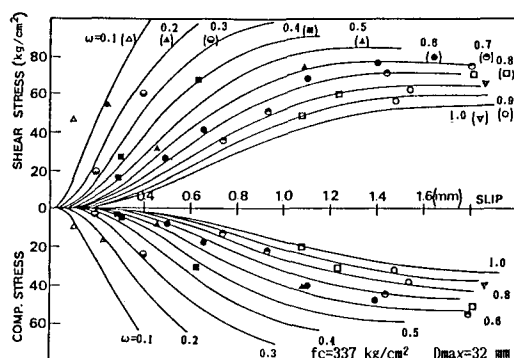


図4. ひびわれ幅一定経路でのせん断変形

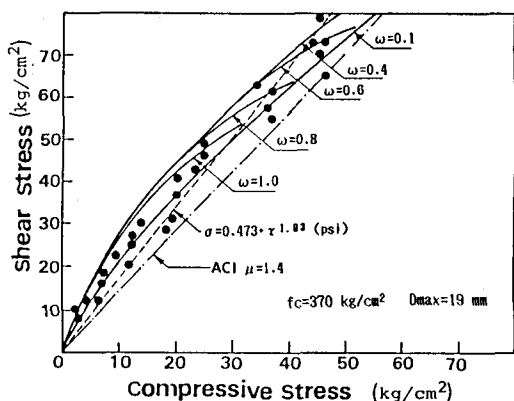


図5. ひびわれ幅一定経路でのせん断応力と圧縮応力