

V-15 コンクリートの骨材界面ひびわれについての一考察

北海道大学

正員 藤田 嘉夫

"

" 佐伯 昇

日本高圧コンクリート(株)

" 〇 櫻 福 浄

1. まえがき

コンクリート中に最初に生ずる微視的なひびわれは、比較的低い荷重段階で発生し、骨材とセメントペースト部の界面に沿って伝播していく。この荷重段階では、比較的安定した界面ひびわれ性状を示している。しかし一方、コンクリートは、この界面ひびわれによって複合材としての一体化が失われ始め、変形及び破壊挙動に大きな影響を受ける。

本研究では、この界面ひびわれ発生機構を解明するために、コンクリートの構造モデルとして、無限板中に円柱骨材が存在する二次元板を考へて、骨材とセメントペーストが、完全に付着している場合の骨材界面近傍の応力を解析した。これに Mohr-Coulomb の破壊包絡線を適用して、界面破壊荷重の極小値を求めることによって、界面ひびわれ発生荷重及び界面ひびわれ発生位置を算定した。また、この界面ひびわれ発生位置及び荷重を照査するため、コンクリート供試体による界面ひびわれ発生状態の実験観察を光学的に行なった。

2. 界面ひびわれ発生条件

コンクリートの構造モデルとして、図-1 のような円形で充物を持つ無限板を考へる。マトリックスとインクルージョンの界面での境界条件は、変位および半径方向直応力と切線方向せん断応力とも一致するとし、完全に付着している状態とする。この二次元応力解析に、Mohr-Coulomb の破壊包絡線の式

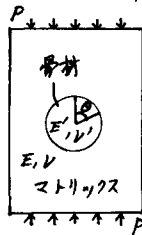
$$\tau = c + \alpha \tan \phi \quad \text{----- (1)}$$

を代入して、荷重軸応力 P の極小値を $\frac{dP}{d\phi} = 0$ より求めると界面ひびわれ発生位置 ϕ_{cr} および界面ひびわれ応力 P_{cr} が次式のように得られる。

$$\phi_{cr} = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \quad \text{----- (2)}$$

$$P_{cr} = \frac{2c}{\alpha_2} \cdot \frac{\cos \phi}{1 - \alpha_1 \sin \phi} \quad \text{----- (3)}$$

図-1

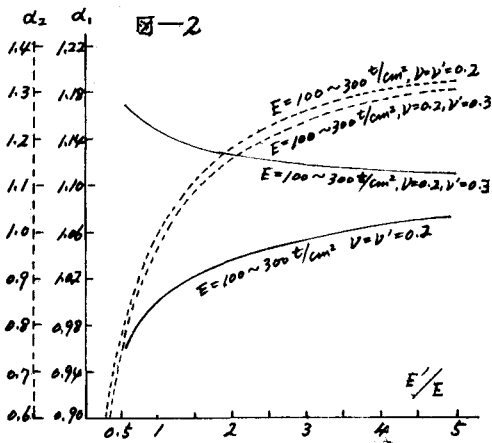


$$\text{ここで、} \alpha_1 = \frac{(\lambda' + \mu')(\lambda + 2\mu)}{(\lambda + \mu)(\lambda' + \mu' + \mu)\alpha_2} \quad \text{----- (4)}$$

$$\alpha_2 = \frac{(\mu - \mu')(\lambda + \mu)(\lambda' + \mu' + \mu)}{\mu(\lambda' + \mu' + \mu + \lambda)(\mu + 3\mu') + \lambda\mu'(\mu' - \mu) + 2\lambda(\mu + \mu')} + 1 \quad \text{----- (5)}$$

ここで、 λ, μ および λ', μ' は、それぞれマトリックスおよびインクルージョンのラメの定数である。図-2 に α_1 および α_2 について、変数 E'/E によって表示した。 α_1 はパラメータ E が $100 \sim 300 \text{ t/cm}^2$ に変化してもほとんど変化せず、骨材のポアソン比によって多少変化し、ほぼ 1.0 に近似しても大差はない。 α_2 はパラメータ E が $100 \sim 300 \text{ t/cm}^2$ および ν が 0.2 ~ 0.3 に変化しても大きな変化はない。特別な場合として、

図-2



$E'/E = 2.0, \nu = \nu' = 0.25$ の場合

$$P_{cr} = \frac{5c}{3} \cdot \frac{\cos \phi}{1 - \sin \phi} \quad \text{----- (6)}$$

$$E'/E = 5, \nu = \nu' = 0.25 \text{ の場合}$$

$$P_{ch} = \frac{8.4C}{3} \cdot \frac{\cos \phi}{1 - \sin \phi} \dots\dots\dots (7)$$

$$E'/E = 2, \nu = \nu' = 0.25 \text{ の場合}$$

$$P_{ch} = \frac{8C}{3} \cdot \frac{\cos \phi}{1 - \sin \phi} \dots\dots\dots (8)$$

であり、 C, ϕ が一定であれば、 E'/E が小さくなる程、界面ひびわれ力は、大きくなる傾向を示す。

3.1 実験方法

今回の実験においては、図-3に示したような $8.7 \times 16 \times 2.7 \text{ cm}$ なる2つの骨材を有する供試体を用いて、界面ひびわれの観察を行なった。骨材としては、A, B, C3種類を使用し、骨材A, Cは、中成火成岩、Bは黒雲母変麻岩である。骨材A, Cは、弾性係数 $E' = 900 \text{ kg/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu' = 0.27$ 、骨材Bは、 $E' = 600 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\nu' = 0.2$ である。骨材の採取にあたっては、ボーリングコアマシーンによって、直径 1.8 cm のコアを抜きとり、その中央部分が同一状態と思われる部を 3.0 cm を切り取り、モデル骨材に使用した。供試体作製にあたっては、骨材平均径 D と骨材中心間隔 S のピッチ比 S/D の値を $1.3, 1.5, 2.0$ とし、それぞれについて、水セメント比 $0.45, 0.65$ の2種類を用いた。砂には標準砂を用い、グリーゼングの影響を防ぐため、供試体は厚さ方向に打設し、砂セメント比はいずれも 2.0 である。カラ練り時間は2分、さらに水を加えてから3分練りあげた。界面ひびわれ観察は、20倍の顕微鏡を用い、あらかじめ用意した拡大写真(3倍)に記録した。観察および記録のため段階は供試体の圧縮破壊力 P_{ch} の $0, 0.3, 0.5, 0.7, 0.8$ 倍とした。観察には時間がかかり、荷重が観察中に低下するのを防ぐため、クリープ試験中の載荷装置を利用した。

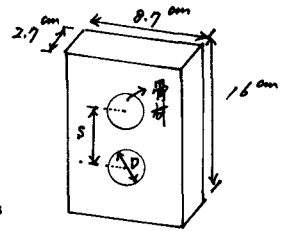


図-3

3.2 実験結果

界面ひびわれ発生位置を各ピッチ比ごとに図-4に示す。A. Taylor²⁾ の行った実験結果により $\phi = 32^\circ$ (骨材は砂岩、水セメント比 0.55 、骨材とモルタルの界面は $\tan \alpha$) を代入して、界面ひびわれ発生位置 θ_{ch} を求めると、 $\theta_{ch} = 61^\circ$ となる。また、前述したように、この θ_{ch} の値は、無限板中にインクルージョンを1個有する場合であり、図-4にその位置 $\theta_{ch} = 61^\circ$ を(Ⅰ)線によって示し、それと対称の位置 $\theta = 119^\circ$ の位置を(Ⅱ)線で示した。したがって、理論解の(Ⅰ)線は、ほぼ理論解と一致していることがわかった。(Ⅱ)線は、一方のインクルージョンの影響を受けていると考えられるが、この実験結果の範囲では、その影響があまり認められなかった。また、図-5に、(3)式より求めた P_{ch} ($\phi = 32^\circ, C = 33.5 \text{ kg/cm}^2$) と実験による界面ひびわれ発生荷重 P との比を各ピッチ比ごとに示す。

参考文献

- 1) Michael A. Taylor: Shear Bond Strength; A. C. I. Aug. 1964
- 2) K. Sogawa and G. Nishimura: Stress under Tension in a plate with a heterogeneous Inclusion Rep. Aero. Res. Inst. Tokyo Imp. Univ. Vol. 6.

