

北海道大学工学部 正員 佐伯 昇
 " 学生員 林 浩二
 " 正員 藤田嘉夫

1. まえがき

コンクリートに圧縮荷重が載荷されると、コンクリート中の一番の弱点部となっている骨材とマトリックスの界面にひびわれが発生する。この骨材とマトリックスの接触面は、ブリージングの影響、骨材表面の機械的および化学的作用、空隙および水酸化カルシウム層等の影響を受けて複雑な力学的性状を示す。本研究では、この界面ひびわれ発生性状を調べるため、次のような過程で解析を行なった。第1に、この複雑なマトリックスと骨材の付着強度性状の力学的挙動を内外の実験結果から Mohr-Coulomb の破壊包絡線で表現できると仮定した。第2に、コンクリートの構成モデルとしてマトリックス中に一個の球形骨材を含む3次元体モデルを想定した。第3に、この3次元体モデルの骨材界面上の応力場に、第1の Mohr-Coulomb の破壊包絡線を適用して界面ひびわれ発生の傾斜角および発生荷重について算定式を求めた。また、先に求めたコンクリート2次元体モデルによる界面ひびわれ発生の傾斜角および荷重との比較を行なった。さらに、Mohr-Coulomb の破壊包絡線、骨材とマトリックスのヤング率およびポアソン比による界面ひびわれ荷重の変化性状について検討した。

2. 解析方法および結果

写真1は割裂引張試験の試体破断面の骨材表面の走査顕微鏡の2次元線像で水酸化カルシウムの結晶状見られる。このように、骨材界面近傍は、弱点が形成される可能性が高く、このため比較的小さな荷重でも微視的な界面ひびわれが発生する。この界面の付着強度性状を Mohr-Coulomb^{1),2)} の破壊包絡線で表示する。

$$\tau = C + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

ここで、 C ：付着力、 ϕ ：内部摩擦角である。 C 、 ϕ は、ブリージングの影響を受けた界面ではかなり小さく、 $C/P_0 = 0.02 \sim 0.05$ 、 $\phi = 30^\circ \sim 40^\circ$ である。普通の界面状態では、 $C/P_0 = 0.05 \sim 0.2$ 、 $\phi = 40^\circ \sim 60^\circ$ である。 P_0 はマトリックスの圧縮強度を示す。コンクリートのモデル構成として、図-1に示すような無限体中に球が一個存在する3次元体を考える。この3次元体の応力は、J.N. Goodier³⁾によって解析されている。界面での半径方向応力 σ と剪断応力 τ は、次式のようになる。

$$\begin{aligned} \sigma &= P(A + B \cos 2\theta) \\ \tau &= PD \sin 2\theta \end{aligned} \quad (2)$$

(2)式を(1)式に代入して、 $\frac{dP}{d\theta} = 0$ によって最小値を求めると界面ひびわれ発生の傾斜角 θ_{cr} および発生荷重 P_{cr} は、次式となる。

$$\theta_{cr} = \frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2} \quad (3)$$

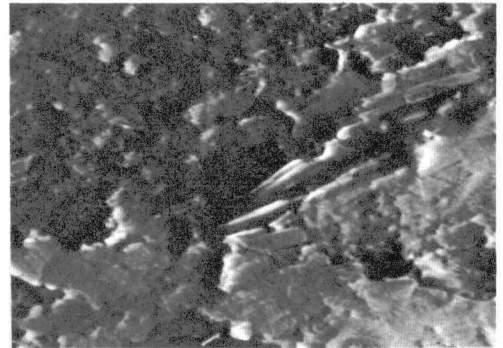


写真 1

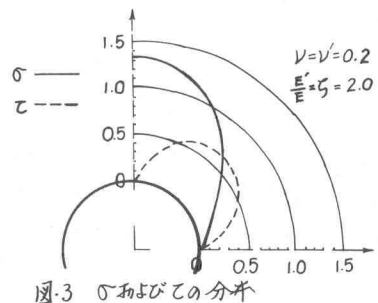
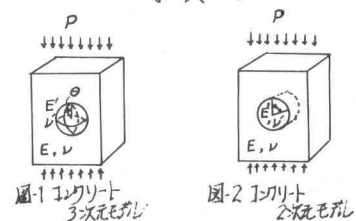


図-3 σおよびτの分布

$$Per = \frac{2C}{\bar{\alpha}_2} \cdot \frac{\cos \phi}{1 - \bar{\alpha}_1 \sin \phi} \quad (4)$$

ここで、

$$\bar{\alpha}_1 = \frac{1}{5} \cdot \frac{2(4-V'-5VV') + (7-5V)(1+V)\zeta}{(1+V)\{2(1-2V') + (1+V)\zeta\}} \quad (5)$$

$$\bar{\alpha}_2 = \frac{15(1-V)(1+V)\zeta}{(7-5V)(1+V') + (8-10V)(1+V)\zeta}$$

図-2のような2次元モデルについては、先に発表したがこれを3次元モデルと比較すると、 α_{1r} は、(3)式と一致し Per は、(4)式において $\bar{\alpha}_1 \rightarrow \alpha_1$ 、 $\bar{\alpha}_2 \rightarrow \alpha_2$ を代入した式となる。係数 α_1 、 $\bar{\alpha}_1$ および α_2 、 $\bar{\alpha}_2$ を比較すると図-4のようになる。

$V=V'=0.2$ の場合は、簡単になり

$$Per = \frac{C(1+\zeta)}{\zeta} \cdot \frac{\cos \phi}{1 - \sin \phi} \quad (6)$$

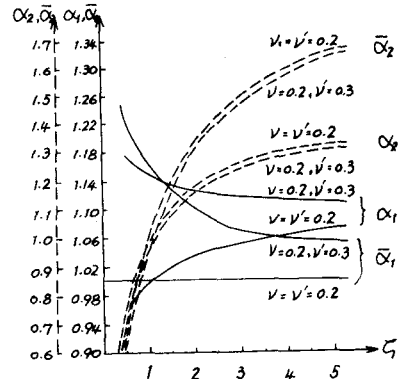


図-4 $\alpha_1, \bar{\alpha}_1$ および $\alpha_2, \bar{\alpha}_2$ の比較

図-3は、(2)式による界面上の応力分布を計算したもので θ は、 $\theta=0^\circ$ で最大値をとり、 $\theta=45^\circ$ で最大値をとる応力分布性状を示す。図-5, 6および7は、それぞれ内部摩擦角が $20^\circ, 40^\circ, 60^\circ$ の場合のマトリックスの破壊強度に対する界面ひびわれ発生荷重の比を(4)式から求めたもので、パラメータとして $C/P_0 = 0.02, 0.1, 0.2$ 、ポアソン比は、 $V=0.2, V'=0.2$ と $V=0.2, V'=0.3$ の場合について計算したものである。 ϕ が小さいほど Per は小さく、また、 C/P_0 が小さいほど Per は小さくなる。

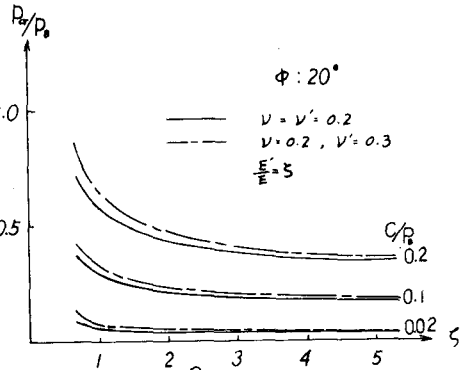


図-5 Per/P_0 ($\phi=20^\circ$)

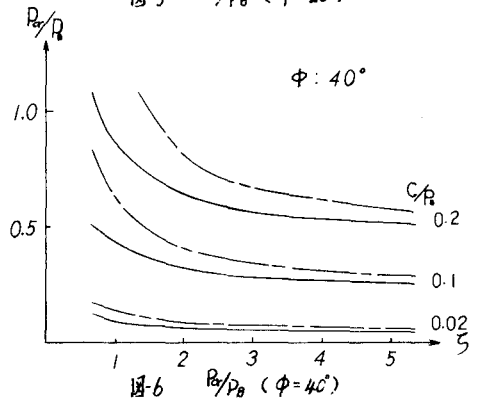


図-6 Per/P_0 ($\phi=40^\circ$)

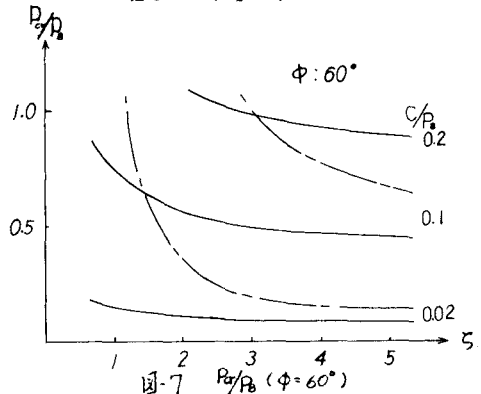


図-7 Per/P_0 ($\phi=60^\circ$)

3 結論

1) 骨材とマトリックスの付着強度性状を Mohr-Coulomb の破壊包絡線 ($\tau = c + \sigma \tan \phi$) で表わすことができるとすると、界面ひびわれ発生傾斜角は荷重方向に対して $45^\circ - \frac{\phi}{2}$ の界面から生じ発生荷重は C 、 ϕ 、骨材とマトリックスのヤング率比およびポアソン比によって算定できる。

2) $\phi=20^\circ \sim 60^\circ$ 、 $C/P_0 = 0.02 \sim 0.2$ まで変化した場合の界面ひびわれ発生荷重性状について、数値計算によって明らかにした。

4 参考文献

- 1) Michael, A. Tayler: Shear bond Strength; ACI Aug. 1964
- 2) 奈良, 佐伯, 高田: 骨材とマトリックスの付着強度について 土木学会年次講演会 S51
- 3) J. N. Goodier: Concentration of stress Around Spherical and Cylindrical Inclusions and Flaws. APM 1955, 7
- 4) 藤田, 佐伯, 櫻橋: エピクリット骨材界面ひびわれへの考察 土木学会年次講演会 S51