

北海道工学部

正員

佐伯 昇

〃

〃

奈良 久

〃

〃

藤田嘉夫

1. まえがき

コンクリートのひびわれ発生および伝播挙動の観点からコンクリート中の骨材の作用を見ると、骨材によってひびわれ発生を助長する効果と一方ではひびわれ伝播挙動を安定させる作用がある。すなわち骨材の存在によって骨材下面はブリージングの影響を受け弱点部となり、またモルタル-骨材界面そのものも応力の集中場となり、比較的初期の荷重段階からひびわれが発生する。また同時にこれらのひびわれが急激に成長しようとする挙動を制御する作用も骨材によってなされている。この作用によってコンクリートは比較的大きな変形挙動をする。本論文ではこれらのひびわれに対する骨材の2つの作用について実験的および解析的に検討したものである。実験はGriffith flaw を有し、そのひびわれ伝播上に骨材が存在するモデル供試体を用いてひびわれ発生伝播挙動を観察してその性状を調べ、これらのひびわれ形状をシュミレートしたFEM解析によって応力拡大係数およびひずみエネルギー解放率を計算し実験との比較を行った。またひびわれ先端における塑性域の形状および大きさについて数値計算とその影響についても検討した。

2. 実験方法

写真1に示すように中央にGriffith flaw があり、そのひびわれ伝播上に骨材を配列したモデル供試体を作製した。マトリックスは水セメント比 0.6, 砂セメント比 2 のモルタルとセメントにはポルトランドセメント、細骨材には標準砂を用いた。モデル粗骨材にはガラス円柱、および石材よりボーリングして抜いた天然骨材を用いた。モデル骨材の表面の粗さはガラス表面そのもの(N), ガラス表面にワックスを塗布したもの(O)を用い、これらは厚さ方向に打設し骨材下面にブリージングの影響が少ない。又荷重方向に打設し骨材下面にブリージングの影響を受けたもの(自然表面のガラス円柱の場合(N), ボーリングで抜いた天然骨材の場合(R))を用いた。骨材とflawの間隔 S/D は1.0, 1.2, 1.5, 2.0に変化させた。flawと骨材の配列の位置関係は図-1aに示すように骨材中心とflaw先端が荷重方向に平行な配列(配列 $\frac{D}{2}$)、および荷重と直角方向に $\frac{D}{4}$ ずつ移動させて(配列 $\frac{D}{4}$, および配列O)の供試体を用いた。flawはあらかじめアクリル板を設置し打設後5〜6時間抜き取った。養生は打設後24時間は型枠のまま湿潤養生を行い、脱型後試験日まで20℃の水槽で水中養生した。実験は材令28日で行った。実験方法は荷重が時間的に安定しているクリープ試験用荷重装置を用い、10 kg/cm² ごとに測微鏡(倍率20倍)でひびわれ発生および伝播を観察した。ひびわれ荷重の呼び方はGriffith flaw 先端から発生するひびわれ荷重を(σ_m), 伝播して骨材表面に達する荷重(σ_{ma}), 界面ひびわれがほぼ成長し終った荷重(σ_a), 骨材表面の界面ひびわれからモルタル部に伝播し始める荷重(σ_{am})で図-1, bに示すようなひびわれを観測した。

3. 実験結果、観察および結論

(1) 骨材の配列に影響を見ると、図-2に示すようにflaw からマトリックスに発生するひびわれは骨材の真下にある $\frac{D}{2}$ 配列に近づくほど生じやすく、又骨材付着

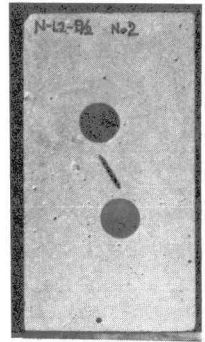


写真-1 供試体

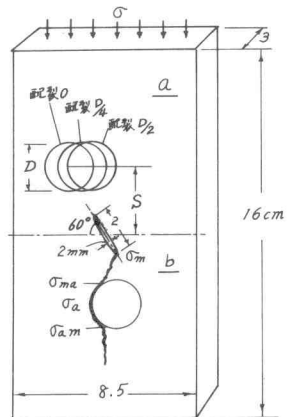


図-1a, b 供試体形状とひびわれの観察法

状態に強く影響される。以後の実験では R/D 配列について検討する。(2)図-3にflawと骨材間の距離によるflaw先端のひびわれ発生荷重の影響を示した。骨材表面にワックスを塗布したものヒブリージングの影響を受けた状態のものとはほぼ一致し、 $S/D=1.0 \sim 2.0$ に変化するに $0.2 \sim 0.5 \sigma_B$ で発生していた。一方骨材付着の比較的良好な場合 $S/D=1.0 \sim 1.5$ で $0.75 \sim 0.60 \sigma_B$ 程度であった。(3)図-4に示すように界面ひびわれ成長し終る荷重について骨材表面の付着の良い場合は $S/D=1.0 \sim 2.0$ で $0.9 \sigma_B$ 程度でありブリージングの影響を受けている界面では $S/D=1.0 \sim 2.0$ に変化するに $0.2 \sim 0.45 \sigma_B$ であり、ブリージングの影響を強く受けることがわかった。(4)図-5にはflawから生ずるひびわれに対する界面からマトリックスに生ずるひびわれ荷重の比を示した。ブリージングの影響を受けない場合 $S/D=1.0 \sim 2.0$ に変化するに $1.2 \sim 2.2 \sigma_m$ であり界面の付着が悪い場合およびブリージングの影響を受けている場合は $1.0 \sim 1.6$ であり界面からのひびわれは生じにくいことを示している。(5)図-6はひびわれ発生伝播の性状を示したもので骨材付着性状が良い場合は破壊の近くまで界面ひびわれの成長が遅れるのに対して、界面付着の悪い場合あるいはブリージングの影響を受けた場合は界面ひびわれの成長が $0.3 \sim 0.6 \sigma_B$ で終り界面ひびわれから急激に破壊する挙動を示した。(6)図-7は界面ひびわれを想定してFEM(節点数397, エレメント数714, $K_I = \sqrt{\frac{E \Delta U}{t \Delta a}}$ によるエネルギー法)を用いて応力拡大係数 K_I , およびひずみエネルギー解放率 G と実験値と比較したもので、ほぼ $K_{I, \text{expt}}/K_{I, \text{FEM}}$ が実験値と対応していた。求められた $G_c = 10 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}$ (骨材がなくflawのみの場合)であり熱力学的実験により求められている G_c は $0.8 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}$ であり約12倍の差がある。これはflaw先端で塑性域が形成されることも一因であると考えられる。(7)図-8はMisesの条件(平面応力状態)を用いて塑性域 r を計算したものである。

$$\alpha_1 K_I^2 + \alpha_2 K_{II}^2 + \alpha_{12} K_I K_{II} \leq \frac{4}{3} \pi \sigma_y^2 r \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\alpha_1 = \cos^2 \frac{\theta}{2} (1 + 3 \sin^2 \frac{\theta}{2}), \alpha_2 = 3 - 8 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 9 \sin^4 \frac{\theta}{2}, \alpha_{12} = 2 \sin \theta (1 - 3 \sin^2 \frac{\theta}{2})$$

$\sigma_y = \sigma_f = 0.7 \sigma_B$ と仮定すると塑性域 r は $0.5 a$ にたがり、塑性的挙動の影響が比較的に広い範囲に及びことがわかった。

参考文献: 1) A.GILLE, "FONDEMENTS DE LA MÉCANIQUE DE LA RUPTURE DES MÉTAUX ET DE SES EXTENSIONS", Ann. Ponts et Chaussées, 1970.

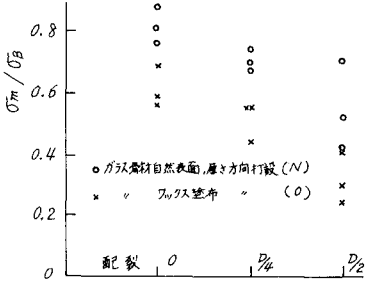


図-2 ひびわれ発生荷重(配列の影響)

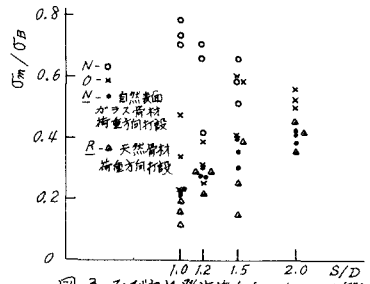


図-3 ひびわれ発生荷重(ヒブリージングの影響)

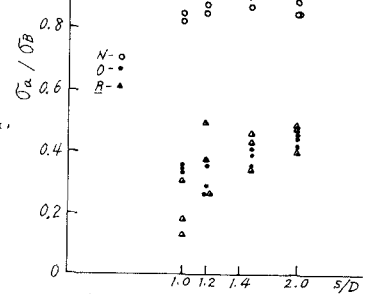


図-4 界面ひびわれ荷重

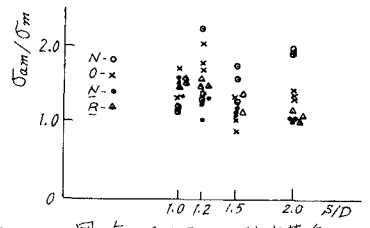


図-5 マトリックスひびわれ荷重

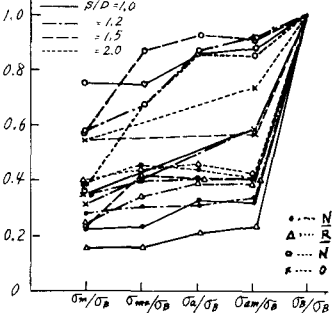


図-6 ひびわれ発生伝播性状

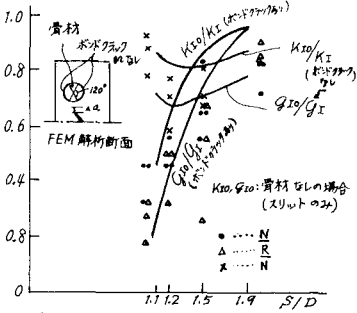


図-7 応力拡大係数 K_I およびひずみエネルギー解放率

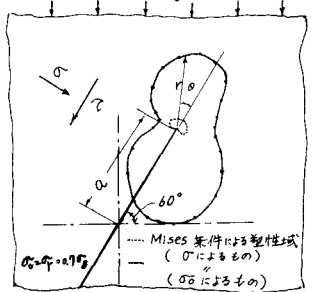


図-8 Mises条件による塑性域