

防衛大学校土木工学教室 正会員 加藤清志

1. まえがき

コンクリートの变形挙動に大きな影響を及ぼす微小ひびわれの性質については、すでに述べたとおりである。^{1) 2)} すなわち、プレーンコンクリートが単軸圧縮載荷されると、気泡殻ひびわれが急激に増加し、また、比例限度よりも低い応力レベルから付着ひびわれが視覚的オーダーで生長し始める。これら微小ひびわれの累積効果がコンクリートの非弾性挙動の直接的要因であるが、さらに応力レベルの上昇により臨界応力度に達すると、気泡殻ひびわれや広義の骨材粒子(細骨材やクリンカ粒子)界面などの構造欠陥を起点として漸増してきたモルタルひびわれが急増し始め、また、付着ひびわれの橋渡しが行なわれ、連続ひびわれが形成され、耐力低下につながる。以上の一般のひびわれ破壊過程を踏まえて、本研究報告では主として、付着ひびわれに及ぼす骨材粒径効果および構成成分の物理常数との関係について考察した。

2. 付着ひびわれの成因

1) 粒径効果 単軸圧縮応力状態のプレーンコンクリート中の付着ひびわれは、曲げを受けるはりの場合³⁾でもそうであるが、粗骨材粒子とくに粒径の大きいものほど、荷重方向にほぼ平行にそれら界面に沿って走ることが観察されている。一方、球体が弾性マトリクス中にある場合の界面まわりの応力⁴⁾は、もしインクルージョンの弾性係数がマトリクスの2~3倍高いと剛体粒子まわりの応力状態として扱ってよい⁵⁾とし、次式で与えられている。

$$\sigma_{rr} = -\left\{ \frac{(1-\nu_1)}{(1+\nu_2)} - \frac{(5-5\nu_1)}{(8-10\nu_1)} \right\} T \quad (1)$$

ここで、 σ_{rr} は赤道上の引張応力、 ν_1 はマトリクスのポアソン比、 $(-T)$ は圧縮応力。(1)式は粒径には依存しない。⁵⁾しかし、実験的に確認されているのであるが、大きな粒径ほど付着ひびわれが生じやすく、したがって、事実と矛盾する。半径方向の応力度は(2)式となる。ここで、 E_1 、 ν_1 はマトリクスの弾性

$$(\sigma_{rr})_{\theta, r=a/T=\phi} = \frac{0.5(k-1)}{(7-5\nu_1)k + (8-10\nu_1)} \times \frac{2(1-2\nu_2)(6-5\nu_1)k + (3+19\nu_2-2\nu_1\nu_2)}{2(1-2\nu_2)k + (1+\nu_2)} - \frac{\left\{ \frac{(1-\nu_1)}{1+\nu_1} - \nu_2 \right\} - (1-2\nu_2)k}{2(1-2\nu_2)k + (1+\nu_2)} + \frac{0.5(k-1)\{(-6+5\nu_1) + (7-5\nu_1)\cos 2\theta\}}{(7-5\nu_1)k + (8-10\nu_1)} \quad (2)$$

係数およびポアソン比、 E_2 、 ν_2 はインクルージョンのそれぞれの値とする。いま、図-1で付着ひびわれ長さを ℓ_c 、粒子半径を r とすると、ひびわれ角 θ_c は $\theta_c = \ell_c/r \quad \therefore \theta = 0.5(\pi - \theta_c)$ (3) (3)式を(2)式に代入すると、“一定の付着ひびわれ長さを発生させるための応力は明らかに粒径の関数となる”ことがわかる。その計算例を図-2に示す。

2) 付着ひびわれ発生応力レベル (1)式は骨材粒子の剛度がモルタルに比し、十分大きい場合以外には一般性がない。しかし、(2)式において $k \cdot \nu_1 \cdot \nu_2$ の値の選択が重要である。構成材料の単体から求めた物理常数、たとえば $E_1 = 216000 \text{ kg/cm}^2$ 、 $E_2 = 380000 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\nu_1 = 0.28$ 、 $\nu_2 = 0.19$ を用いた場合の付着ひびわれ発生応力度は $T = 0.79 \sigma_c$ となり、異常に高い。ここで、 σ_c は圧縮強度。また、(1)式によると $T = 0.38 \sigma_c$ となり、やはり観察値に比し的確なレベルではない。写真-1、図-3に示す立方形供試体の局所ひずみ分布からすれば、 ν_1 として界面の見掛けのポアソン比0.5を採用するのがよいことがわかる。よって、一例として $k = 0.568$ 、 $\nu_1 = 0.5$ 、 $\nu_2 = 0.19$ を用いると、 $T = 0.25 \sigma_c$ となり、顕微鏡観察より求めた付着ひびわれ発生応力レベルと一致する。

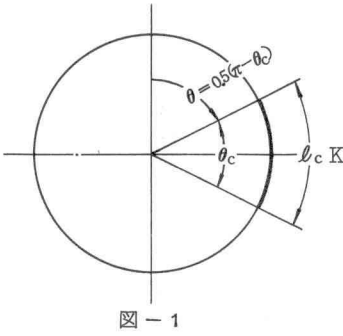


図 - 1

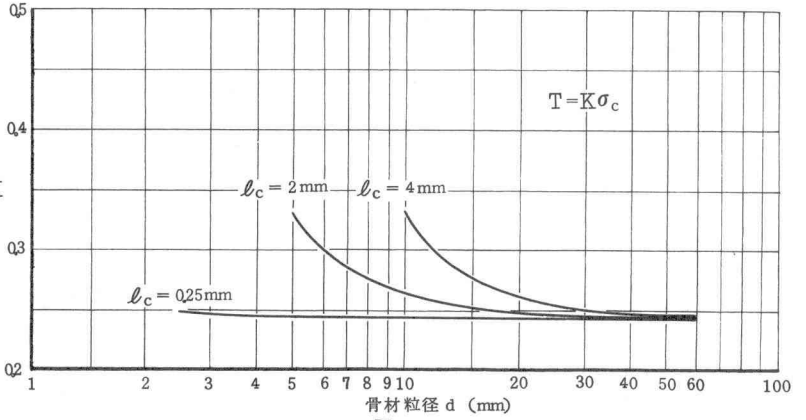


図 - 2

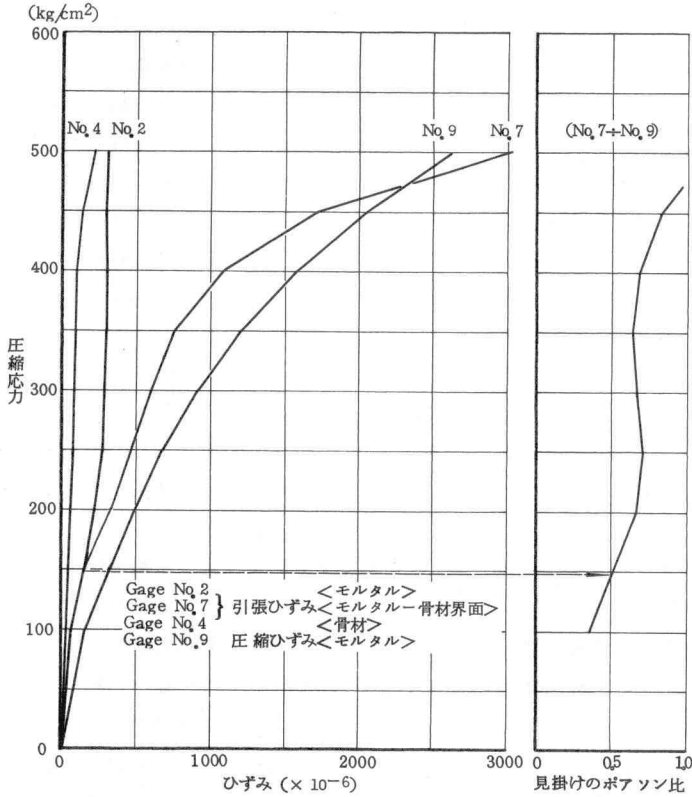
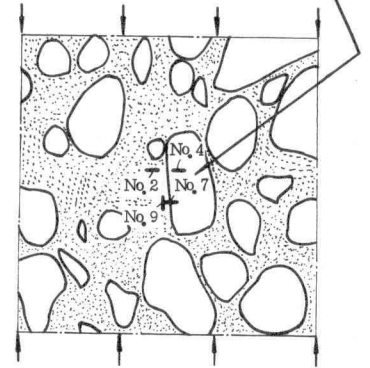
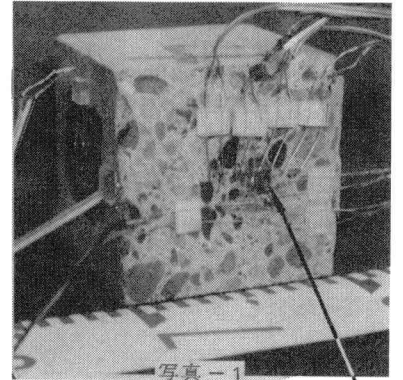


図 - 3



3. あとがき

本研究を行なうに当たり、防衛大学校土木工学教室 荻野雪男技官に多大な助力を受けた。謝意を表す。

4. 参考文献

- 1) 加藤清志：ブレンコンクリート中のマイクロクラックと物性、土論 188、pp.61-72、1971.4
- 2) 加藤清志：ブレンコンクリートの微小ひびわれと物性評価、土論 208、pp.121-136、1972.12
- 3) 加藤・近江：ブレンコンクリートばりの曲げ疲労き裂の発生と伝播、27 回年講、pp.65-68、46.10
- 4) Goodier, J.N.: Concentration of Stress Around Spherical and Cylindrical Inclusions and Flaws, Jour. Applied Mechanics, V, 55, pp.39-44, 1933.
- 5) Hansen, T.C.: Cracking and Fracture of Concrete and Cement Paste, ACI Publication SP-20, 1968.