

1. まえがき

人工軽量骨材コンクリートは 構造用コンクリートとしてかなり広範に使用されており、また、その物理的・力学的性状についても 詳細に研究されつつある。本報告では とくに 圧縮載荷された軽量コンクリートの力学的挙動に大きな影響を与える内部微小ひびわれ発生メカニズムについて考察したものである。

2. 軽量コンクリートの微小ひびわれと変形

2.1 概説 軽量コンクリートの物性一般については 種々研究がある^{たとえ1)}。また、軽量骨材がコンクリート自体に及ぼす影響^{たとえ2)}とか、多軸圧縮応力状態での力学的性状^{たとえ3)}などについて 多方面から実験研究されている。最近の情報²⁾によると、図-1に示す Bache-Christensen モデルから求められる $\sigma_{cB}/\sigma_m - \sigma_a/\sigma_m$ 図 (σ_{cB} : コンクリート強度, σ_m : モルタル強度, σ_a : 有効骨材強度) を利用して、任意の骨材容積比 (v_a) をもつコンクリート強度を推定でき、 $2 < \sigma_m/\sigma_a < 15$ と軽量コンクリートの強度 500 kg/cm^2 以下に対して有効であること、また、強度差の要因として 骨材の強度・剛性・表面組織・表面積・形状等があげられるが、内部応力集中の観点から 形状がもっとも主要因であるとされている。軽量コンクリートの変形および破壊性状に関しては^{3), 4)}、最大圧縮ひずみ度は 約 3000×10^{-6} 、また、微小ひびわれ発生開始を意味する応力-ひずみ曲線の直線部分からの分岐点の臨界横ひずみ度は、普通コンクリートで $150 \sim 200 \times 10^{-6}$ であるのに対し、軽量コンクリートで $400 \sim 700 \times 10^{-6}$ とかなり大きく、骨材の種類や水セメント比に あまり敏感でないとされている。ひびわれは まず ぜい弱な粒子から発生し、荷重方向に骨材粒子からモルタルマトリクス界面へと進展するが、破壊モードからして 引張変形が破壊機構の主要因子となっていることがわかる。

2.2 軽量コンクリートの微小ひびわれ成因 軽量コンクリートの圧縮応力-ひずみ曲線は 普通コンクリートの強度水準程度であれば、後者に比べひずみ硬化率はつねに小さく、かつ、終局強度近くまで大きな変化を示さないのが特徴的である。⁵⁾ また、ひびわれ性状は前述のとおりである。前報⁶⁾によると、理想化された球体骨材粒子回りの界面に生じる付着ひびわれ領域は、図-2 ($k: E_1/E_2, \nu_1: \nu_2; E_2 \cdot \nu_2$: マトリクスおよび骨材の弾性係数とポアソン比) で与えられる。造粒型粗骨材粒子から切り出した角柱試料 ($9.4 \times 9.4 \times 12.5 \text{ mm}$) の強度は $250 \sim 450 \text{ kg/cm}^2$ で、終局近くで $E_2 = 135 \text{ ton/cm}^2, \nu_2 = 0.44$ であった。モルタルマトリクス $E_1 = 150 \sim 200 \text{ ton/cm}^2$ の場合で $k = 1.11 \sim 1.48$ となり、図-2から付着ひびわれ領域外となり、付着ひびわれは生じないことになる。

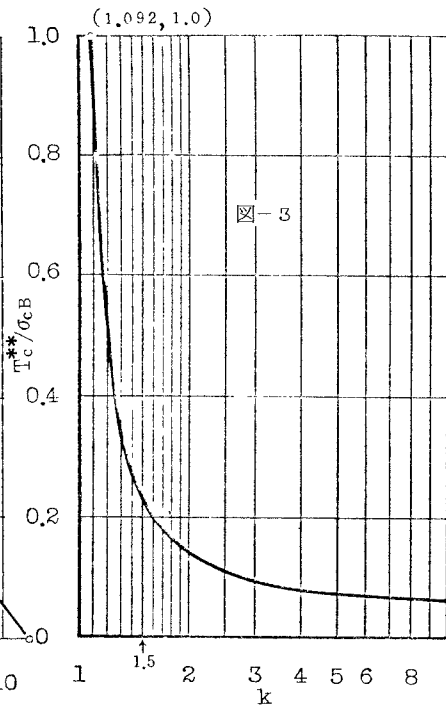
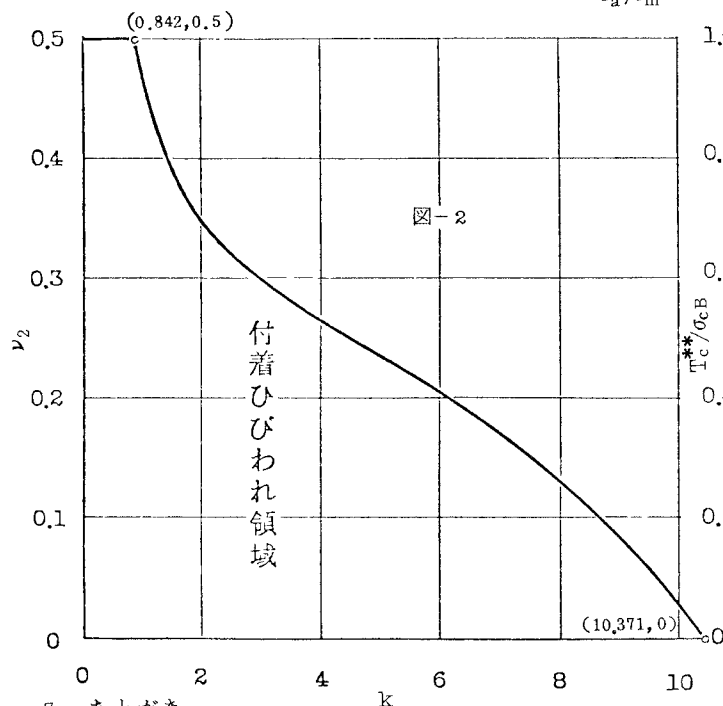
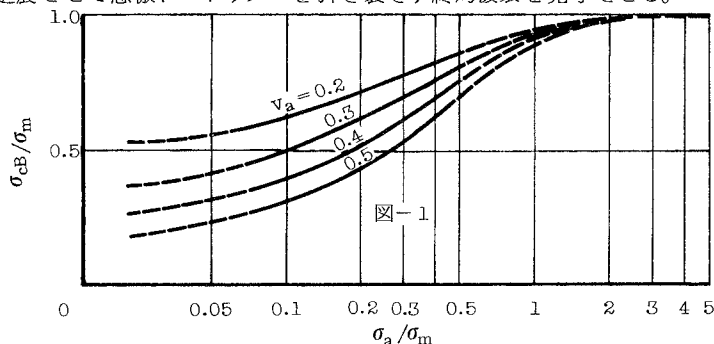
一方、粒子の極点部引張応力は 圧縮応力場 T_c において(1)式で与えられ⁷⁾、とくに、骨材粒子とマトリクスとが 極点部で同時に局部的塑性状態に達すると考え、 $\nu_1 = \nu_2 = 0.5$ を採用すると(2)式が求まる。

$$(\sigma_{\theta\theta})_{\theta=0, \pi; r=d/T_c} = \frac{1}{4} \frac{k-1}{(7-5\nu_1)k + (8-10\nu_1)} \times \frac{2(13+25\nu_1)(1-2\nu_2)k + (16+20\nu_1+40\nu_1\nu_2)}{2(1-2\nu_2)k + (1+\nu_2)} + \frac{1}{2} \frac{\{(1-\nu_2)\frac{1+\nu_2}{1+\nu_1} - \nu_2\} - (1-2\nu_2)k}{2(1-2\nu_2)k + (1+\nu_2)} \quad (1)$$

$$(\sigma_{\theta\theta})_{\theta=0, \pi; r=d; \nu_1=\nu_2=0.5/T_c} \equiv K_c^{**} = 4(k-1)/(3k+2) \quad (2)$$

$$\text{したがって、極点引張ひびわれ応力 } T_c^{**} \text{ は } T_c^{**} = 0.07 \sigma_{cB}/K_c^{**} \quad (3)$$

T_c^{**}/σ_{cB} と k との関係を図-3に示す。なお、(1)式で $k \rightarrow \infty$ とすると $(3+15\nu_1)/(14-10\nu_1)$ となり、気泡殻ひびわれ⁸⁾の応力レベルは6%となる。図-3から、軽量コンクリートの $k=1.11 \sim 1.48$ に対しては $T_c^{**}/\sigma_{cB}=0.848 \sim 0.235$ ，すなわち、骨材の弾性係数の小さいものでは約24%，大きいものでは約85%の応力レベルで極点引張ひびわれが発生することになるが、この微小ひびわれは局部的塑性領域で延性的な成長を示し、容易に成長はしない⁹⁾。骨材の大きなポアソン比・小さな弾性係数ほど、また、引張微小ひびわれの発生は骨材の見掛けのポアソン比を増大させるので、ますます付着ひびわれは生じ難く、応力-ひずみ曲線の直線性を持続させることへ循環する。蓄積された内部ひずみエネルギー¹⁰⁾が、ある程度まで成長したひびわれを進展させて急激にマトリクスを引き裂き、終局破壊を完了させる。



3. あとがき

本研究には、防大 荻野技官・西村技官・鶴田非常勤職員らの助力を受けた。付記して 謝意を表する。

参考文献

- 1) 狩野春一：コンクリート技術事典，オーム，s.43.4, pp.196-220. [Mag. Conc. Resear. V.25, No.83, June 1973, pp.81-86.]
- 2) Czurykiewicz, A.: The Effect of Aggregate Shape Upon the Strength of Structural Lightweight Aggregate Conc.,
- 3) Atan, Y., and Slate, F.O.: Structural Lightweight Concrete Under Biaxial Compression, ACI Journal Proc. V.70,
- 4) 加藤清志：粗骨材の軟石とコンクリート強度との相関性に関する実験研究，未発表論文，昭42. [No.3, Mar. 1973, pp.182-186.]
- 5) 同上：人工軽量骨材コンクリートの振動締め固め時の分離が強度に及ぼす影響に関する実験研究，未発表論文，昭45.
- 6) 同上：ブレンコンクリートの微小ひびわれ成因に関する基礎的研究，第7回複合材料シンポジウム発表報告文集，昭49.10, pp.127-132.
- 7) Goodier, J.N.: Concentration of Stress Around Spherical and Cylindrical Inclusions and Flaws, J. Applied Mech.,
- 8) 加藤清志：ブレンコンクリート中のマイクロラックと物性，土論 188, 1971.4, pp.61-72. [V.55, 1933, pp.39-44.]
- 9) Tetelman, A.S., and McEvily, A.J., Jr.: Fracture of Structural Materials, 1967, pp.293-303.
- 10) Hansen, T.C.: Cracking and Fracture of Concrete and Cement Paste, ACI Pub. No.3 in SP-20, 1968, p.56.