

1. まえがき

コンクリートとインクルージョンを含まないセメントペースト硬化体の変形および破壊挙動の相違はコンクリートの比較的初期の荷重レベルから発生する骨材界面ひびわれとこれに伴って生じる骨材の Crack Arrest 作用が大きく影響していると考えられる。本研究では各種骨材を用いたコンクリート供試体を用いて、界面ひびわれの観察を行い、その発生成長過程を調べた。又この界面ひびわれ形状を基にしてひびわれをモデル化して、界面ひびわれ先端近傍の応力状態を Hilbert 問題の解析により求め、実験結果との考察を行った。さらにコンクリート中の骨材量すなわち骨材間隔と界面ひびわれ相互の影響について、コンクリートのひびわれモデルを用いて FEM によりひびわれ近傍の応力状態を数値計算し検討した。以上コンクリート中の骨材によるひびわれ性状の影響について基礎的な研究を行ったものである。本研究に対して昭和49年度吉田研究奨励金と授与されました。ここに厚く御礼申し上げます。

2 実験方法

コンクリート中の界面ひびわれ発生成長およびマトリックスひびわれへの伝播の性状を観察するため、図1に示すような供試体を用いた。材料は普通ポルトランドセメントおよび標準砂を用い、 $w/c=0.5, 0.65$ 砂セメント比2である。粗骨材は静内川産砂利(粒径 $5\sim10^{mm}$)、軽量骨材(日本電産, 粒径 $10\sim20^{mm}$)、ガラス玉(粒径 12^{mm} , 表面は研磨材で定常状態になるまで粗さをつけた)を用い、骨材平均径Dと骨材中心間隔Sとのピッチ比 S/D は1.0, 1.2, 1.5程度になるように粗骨材量を決めた。ひびわれ観察は良く研磨した供試体に、クリープ試験用の載荷装置を用いて破壊荷重 P_0 の0.3, 0.5, 0.7, 0.85を目安に載荷し、各荷重レベルのひびわれを観察しながら、あらかじめ用意した拡大写真(9~13倍)の上に記録した。材令は5週間程度で実験を行った。各供試体の配合、ヤング率、圧縮強度、ポアソン比、ピッチ比を表-1に示す。

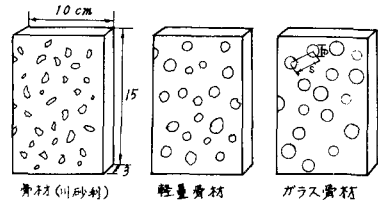


図-1 ひびわれ観察用供試体

表-1

供試体 No.	粗骨材 種類	配 合 C:W:S:G	ヤング率 E/c	圧縮強度 f_c	ポアソン比	ピッチ比
G1	砂利	1:0.65:2:7	236	163	0.193	1.01
G2	"	1:0.65:2:4.5	—	197	—	1.08
G3	"	1:0.65:2:3	238	229	0.161	1.16
G4	"	1:0.50:2:2.5	290	300	0.223	1.19
G5	"	1:0.50:2:1	261	307	0.253	1.49
L1	軽量	1:0.65:2:3	148	163	0.188	1.04
L2	"	1:0.65:2:1.5	—	215	—	1.17
L3	"	1:0.65:2:0.5	172	236	0.199	1.52
L4	"	1:0.65:2:1	201	216	0.256	1.25
GL1	ガラス	1:0.65:2:3.5	314	177	0.174	1.10
GL2	"	1:0.65:2:1	222	211	0.254	1.47
GL3	"	1:0.50:2:2	307	262	0.260	1.21

3. 実験結果および考察

骨材界面傾斜角 φ と界面ひびわれ、マトリックスひびわれ発生伝播性状を図-2, 3に示す。ブリージングの影響によって打設方向に対して骨材下面に卓越した界面ひびわれが生じ、ほぼ台形状の分布になり、 S/D が小さくなるとその上辺の長さが大きくなる。またマトリックスひびわれは多くなる傾向を示す。 S/D が大きくなるとこの卓越した界面ひびわれと別に対称断面にもひびわれが生じていた。荷重が0.85倍程度の界面ひびわれ分布は円周上の傾斜角 φ で表現すると図-4, 5, 6となる。図4は砂利の場合で $w/c=0.65$ で S/D が小さい場合 $\varphi=30\sim50^\circ$ に生じ、 $\pi/2$ ではほぼ全骨材に界面ひびわれが発生していることがわかる。 $w/c=0.5$ では $\varphi=50\sim120^\circ$ に卓越し、 $\pi/2$ で $w/c=0.65$ の場合の $\frac{1}{2}$ であり、 w/c が界面ひび

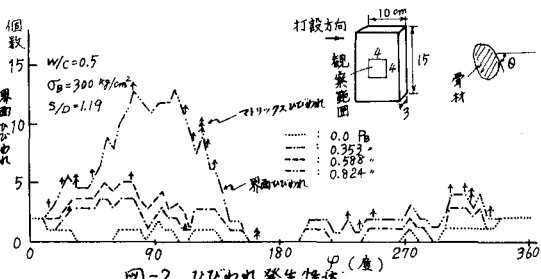


図-2 ひびわれ発生性状

われ発生に大きな影響を持っていることがわかる。 S/D 個数が大きくなるに従って φ の最小値は 30° から 60° と小さくなる傾向を示す。図-5 は軽量骨材の場合で $w/c = 0.65$ で $\varphi = 50^\circ \sim 150^\circ$ でひびわれが卓越し、 $S/D \approx 1$ の時界面ひびわれ発生、成長が他と比べて顕著であった。 $w/c = 0.5$ の場合ひびわれ成長は $w/c = 0.65$ に比べて少ない傾向を示した。図-6 はガラス玉骨材でほぼ対称に $\varphi = 50^\circ \sim 30^\circ$ および $240^\circ \sim 320^\circ$ に生じブリージングの影響をあまり受けていない傾向を示した。図-7 は $0.85 P_u$ 近傍の荷重下で界面ひびわれからマトリックスひびわれに伝播する時の界面角 φ_m とマトリックスひびわれの伝播角 θ_m を表わしたもので θ_m は荷重方向に伝播するものが卓越し、 φ_m は軽量骨材で $0^\circ \sim 30^\circ$ 、砂利で $10^\circ \sim 40^\circ$ 、ガラスで $40^\circ \sim 60^\circ$ に分布していた。図-8 は界面ひびわれ近傍 ρ での最大引張応力を荷重方向の点で求めたもので骨材半径 r との比 ρ/r が 0.01 でほぼ応力集中が定常になる。 ρ/r が小さい場合で大きな応力集中が起るが ρ が数 μ から数十 μ となり微細な欠陥に吸収されることが予想される。図-9 は ρ/r が 0.01 の場合の応力集中度で E/E' が大きくなるに従って σ/σ_0 の最大値に対応する φ_m が 50° から 30° に移行する。界面での付着強度が強く $\varphi_m = 70^\circ \sim 80^\circ$ に界面ひびわれが発生する場合では骨材および界面ひびわれの影響がほとんどなく、マトリックスの強度に支配される。ブリージングの影響等によって界面付着強度が弱いと界面ひびわれが成長し、 φ_m が σ/σ_0 の最大値に近づきマトリックスの強度の $\frac{1}{2}$ 程度で破壊が起ることが考えられる。これは図-4 の界面ひびわれ性状とその圧縮強度とほぼ対応していることからわかる。

界面ひびわれ相互間の影響を調べるため、図-10a のようなコンクリートモデルを考え FEM で応力計算をすると図-10b のようになり、界面ひびわれ先端近傍での最大引張応力は相互の骨材の影響の有無で σ_0 および σ_m である。この比 σ_0/σ_m を S/D を変数に取って表示すると図-10c のようになる。 $S/D = 1.6$ 以上では相互の骨材による界面ひびわれ伝播に対する Arrest 作用は薄れるが、 $E/E' = 2$ の場合で S/D が小さくなると顕著に表われる。又 $E/E' = 0.5$ ではこの影響は認められなく界面ひびわれが生じない場合は影響が大きい。

4. 結論
(1) 界面ひびわれ発生、成長はブリージング、 E/E' および S/D の影響を受けコンクリート強度に大きな影響を持っている。
(2) マトリックスひびわれの伝播には骨材相互の影響がさらに加わる。

