

V-7 三軸圧縮荷重を受けるコンクリート内の微小クラックに関する研究

京都大学 正員 中川浩二

1 はじめに

圧縮荷重を受けるコンクリートの挙動を明らかにする上で、三軸圧縮荷重下でのコンクリート中の微小クラックの挙動を明らかにすることは基本的な問題である。すなわち一軸圧縮、あるいは拘束圧の下さくない範囲での三軸圧縮応力条件下では、コンクリート中には發音にクラックが飛達し、そのクラックが供試体に耐荷力を失わせるに足るなパターン（供試体の形状、載荷の条件にも影響される）を形成し、その結果として供試体の崩壊が生じる。また拘束圧の下さい圧縮応力条件下では一般には顯著なクラックが飛達せず、モルタル部分の飛達にせよはじめとする供試体中の飛達の非等性性によって、やがて供試体は耐荷力を失はう。

コンクリートの崩壊とコンクリート中の微小クラックという観点から考えるとき、問題点を次のように分類する。

1) コンクリート中の個々の初期欠陥からの微小クラックの発生と飛達。

2) 微小クラックの発生、飛達にともなう供試体の崩壊進行の経過。

3) 局部には崩壊の進行と、クラックパターンの形成過程。

2), 3) についてはいくつかの部分で調査している。またこれらはいずれも報告¹⁾、あるいは報告準備中²⁾であるので、ここでは1)のコンクリート中の初期欠陥からの微小クラックの発生と飛達について行った実験の概略を述べ、コンクリートの崩壊を説明するための資料とする。

2 実験

実験はモルタル中にスリット、円柱あるいは角柱を種々に配列した之次元供試体を三軸圧縮、あるいは適當な拘束圧下で圧縮載荷し、発生、飛達する微小クラックを観察した。

2-1 供試体の作製

マトリックス部分であるモルタルはセメント：砂（豊南標準砂）：水 = 1.0 : 2.0 : 0.6（重量比）に配合したものである。骨材としては初級砂岩とコアボッキングした円柱（径約16mm）およびコンクリートカッターで角柱（断面は矩形で寸法は約15×2mm）および薄板状（断面は約15×2mm）に切り出したものと角をまるくして用いた。なお砂岩の表面は切断したままの状態を用いている。またスリットは塗布した直上にビニールの薄片を（15×1.5mm）モルタルマトリックスが適度に硬化した後、引き抜いて作製した。供試体は打設後約24時間を経過後、20°C 恒温水中で養生し、試験の数日前にコンクリートカッターで約11mmの厚さに切断して用いた。枚数は約4個である。

2-2 クラックの検出

筆者らは先に単体顕微鏡を用いて観察によるクラックの検出結果について若干の報告³⁾を行なったがこの方法は視野が非常に小さく、広範囲の観察には適さない。そのためここでは供試体表面に黒色染料を塗布し、表面をうすくターンテーブル上で磨き取る方法とアセトンと断続的に浸漬させ、急速に乾燥させる検出法⁴⁾を採用した。セメントペーストなどの場合とくらべてモルタル供試体には微細

な欠陥が多数含まれているため、アセトン浸透法によるクラックの痕跡は鮮明ではない。そのためクラックの発生を検出にはアセトンの浸透性と揮発性を利用する方法と、浸透したクラックの正味を換出には染料を塗布する方法を用いた。なおモルタル供試体の検査には染料による方法がかなり明確な結果が得られ、適していることが判明している。

2-3 載荷方法

二軸圧縮試験は両側圧をレバーで与え、軸圧をリーレー式万能試験機で与えた。なお圧縮試験時の端面荷重の影響を小さくするため、0.05mm厚さのテフロンシートにシリコングリートを塗布したものと圧盤と供試体の間にとう入した。

3 実験結果と考察

3-1 単一スリットからのクラックの発生、発生

単一スリットからのクラックの発生応力を図1に示す。供試体間の差、あるいはアセトン浸透法のモルタル材料に対する十分さなどによりばらつきは大きい。その結果は前の報告や小井の結果とかなり一致を示している。若干の両側圧が作用すると(約10kg/cm²)クラックの発生応力は非常に大きくなり、わずかの両側圧の存在がクラックの発生に大きな影響を与えることを示している。しかし発生、発生するクラックの性状にはこの程度の両側圧では有意な差は認められなかった。

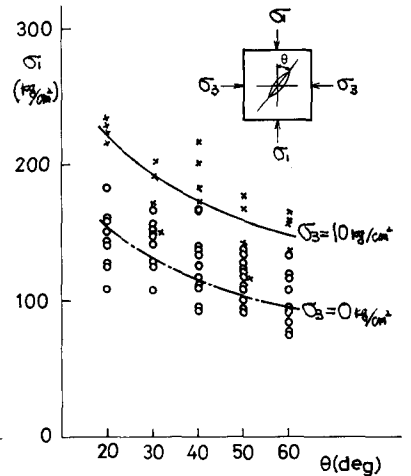


図1. 単一のスリットからのクラックの発生

3-2 単一の薄板状骨材からのクラックの発生

モルタル中に骨材が含まれている場合には供試体の表面はまず骨材とモルタルとの間のボンドの分離から始まる。そしてこのボンドクラックが応力集中源として作用し、モルタル部分へのクラックの発生を促す。モルタルクラックの発生応力と図2を示す。この場合にも両側圧の増加により著しくモルタルクラックの発生応力が大きくなる。なお実験は二次元応力状態であり、両側圧の存在は供試体の側面への応力を促すため両側圧10kg/cm²の場合のものについては十分な結果は得られていない。発生するクラックについてはこの程度の両側圧によつては有意な差は認められなかった。一軸圧縮の場合のスリットおよび薄板状骨材からのクラックの発生を写真1,2に示す。

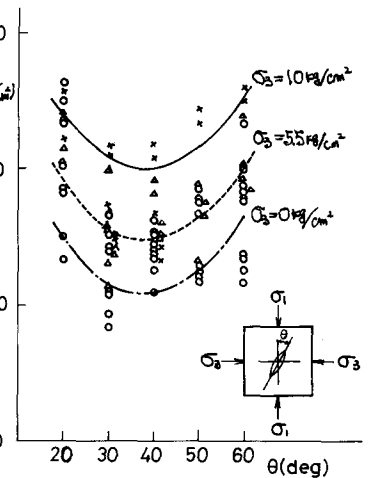


図2. 単一の薄板状骨材からのモルタルクラックの発生

3-3 単一あるいは数個の内柱状骨材からのクラックの発生

円柱状骨材上、荷重軸に平行に近い部分で断片的なボンドクラックが発生し、荷重の増加とともに成長、連続する。そしてこの骨材上に発生したボンドクラックが応力集中源となり、モルタル中へのクラックの発生を促す。このモルタルクラックの発生位置は図2で示されるクラックの発生最小の応力を与える角度(約40度)よりもかなり荷重軸との

角度が大きい位置で発生している。このことはポンドクラックが円弧状であるばかりではなく、ポンドの強度がモルタルの強度にくらべかなり低いためであると考えられる。また骨材の前面で大きなクラックの発生も同時にみられたが、これは角をもつ骨材の場合と同じように骨材がくさびとしての役割をも果たするためである。また骨材間の相互作用は骨材が特に接近している場合を除けば、骨材間の距離よりも配列の形態により支配されることか認められた。

3-4. 多数のスリットを含む供試体

多数のスリットを任意に配列した供試体についての実験結果を写真5,6に示す。(この場合のスリット寸法は $8.0 \times 0.8 \text{ mm}$)。孤立したスリットでは単一のスリットの場合と同様のクラックの発生を示すが、隣接するスリットから発生するクラックが重なり合うような位置に配列されたスリットではクラックの発生が早く、また最終的クラックパターン形成にも大きな差を生ずることが明らかである。先に単一スリットからのクラックの発生能力を図-1に示したがこの現象から河津庄の屈位によるクラック発達の速さが顕著に示されるであろう。

3-5. 多数の角柱状骨材を含む供試体

同一の圧縮荷重を与えたときの河津庄によるクラックの発生を写真7に示す。この場合骨材は小さく、配置も特に注意がある。この写真からモルタルクラックの発生の原因としてのポンドクラックの役割が明らかである。また河津庄によるモルタルクラックの発生経路も顕著であろう。

4. コンクリートの破壊進行について検討

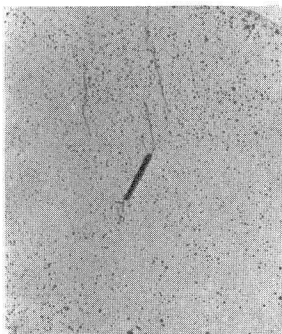


写真-1. 単一のスリットからのクラックの発生

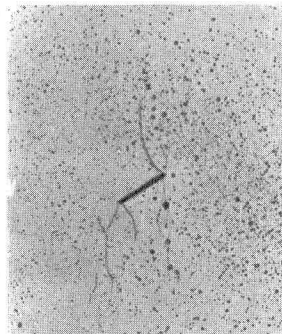


写真-2. 単一の角柱状骨材からのクラックの発生

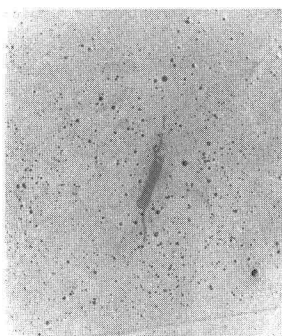


写真-3. 円柱状骨材からのクラック

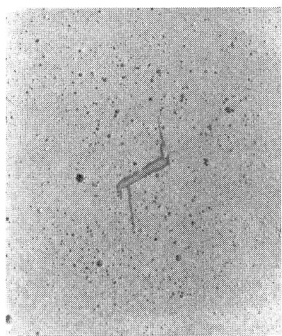


写真-4. 配列された円柱状骨材

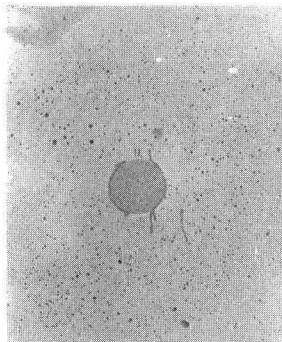
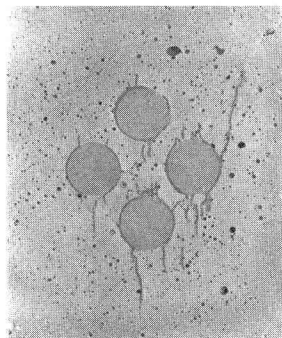
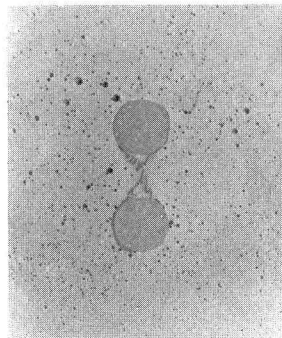
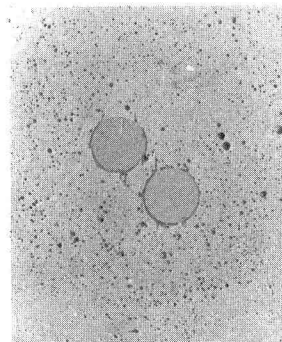
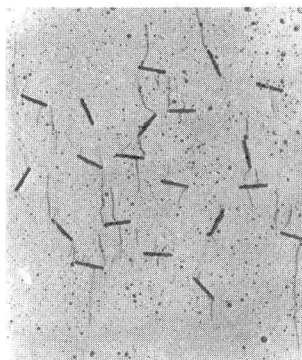


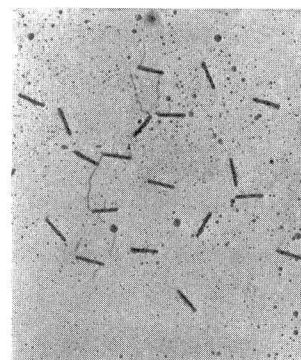
写真-4. 配列された円柱状骨材からのクラックの発生



以上で数種のコンクリート中の人工の欠陥からのクラックの発生、発達を、
 ともにおよびす荷重圧の影響を探討した。
 たとえば Griffith の理論では供試体中の
 もっとも危険な欠陥 (Griffith crack) から
 クラックが進展する状態を供試体の破壊と
 考えているが、これに単にクラックの発生と
 与えるものではなくて供試体の破壊と与え
 るものではないことは多くの研究者により
 指摘されておられ、また本研究の結果から
 も明らかである。実際のコンクリート
 では個々の欠陥から発達したクラックがあ
 る量の発達後安定化し、次に危険なもの
 が発達、そして安定化という過程をくり
 返して供試体の崩壊に必要なクラックの
 パターンを形成する。そしてみかけには
 すべりであり、脆性であるような形で供
 試体は崩壊に至る。この状態について

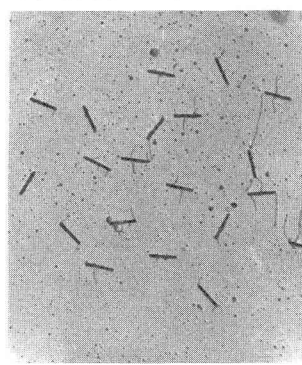


(a) $\sigma_3 = 0 \text{ kg/cm}^2$

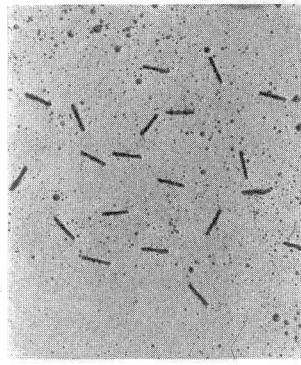


(b) $\sigma_3 = 10 \text{ kg/cm}^2$

写真-5. 多数のズリットを含む供試体. $\sigma_1 = 170 \text{ kg/cm}^2$



(c) $\sigma_3 = 0 \text{ kg/cm}^2$



(d) $\sigma_3 = 10 \text{ kg/cm}^2$

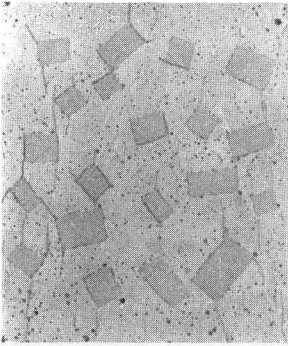
写真-6. 多数のズリットを含む供試体 $\sigma_1 = 125 \text{ kg/cm}^2$

はクラックの入ったとした要素と異方性体
 として扱う有限要素法によるシミュレーションにより、およその説明を導くことができる。

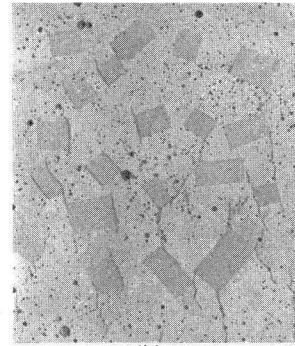
荷重圧の変化による供試体中のクラックの性状については本研究では希疎の機構上十分な結果は得
 られていないがその点については文献を参照されたい。また微小クラックの発生、発達にとちなう
 供試体の破壊進行については内部破壊程度あるいは破壊程度という量を導入することにより、供試体
 の破壊の進行と評価すること³⁾ができる。

5. 謝辞

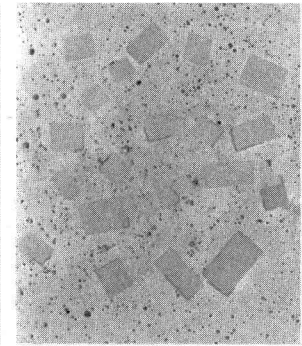
本研究をはじめ
 ぬとす一連の
 研究に吉田研究
 奨励金を授けさ
 したことに謝意
 を表す。同



(a)



(b)



(c)

時に経始御指等 写真-7. 多数の角状木骨材を含む供試体 $\sigma_1 = 24.2 \text{ kg/cm}^2$ $\sigma_3 = \infty: 0 \text{ kg/cm}^2$ (a): 55% (c): 10%
 としたさいに京都大学丹羽義次教授、小林昭一助教授に謝意を表す。次葉である。

参考文献: 1) 丹羽, 小林, 小川, 中川: コンクリート, 12, 1969, 2) 未発表論文, 3) 丹羽, 小林, 小川, 中川: 鋼, 22, 1967
 4) 小林, 材料, 20, 209, 1971, 5) 丹羽, 小川, 中川: 工学論文集 1971