

V-430

高圧三軸応力下におけるコンクリート特性に及ぼすひずみ速度効果

防衛大学校 学生会員 ○上林勝敏

正 会 員 藤掛一典

正 会 員 大野友則

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物中のコンクリートは一般的に複雑な多軸応力下にあると考えられる。これまでに、多軸応力下のコンクリートの力学的性状に載荷速度が及ぼす影響を調べた研究は非常に少ない。そこで、本研究では多軸応力下のコンクリートの力学的性状に載荷速度が及ぼす影響を解明するため、三軸応力下において高速載荷を受けるコンクリート材料の力学的挙動を実験を通して明らかにすることを試みた。

2. 実験概要

実験では、直径 50mm、高さ 100mm のコンクリート円柱供試体を使用した。実験パラメータはコンクリート強度、載荷速度及び側圧である。コンクリート強度については普通強度シリーズ(W/C=65%, 平均一軸圧縮強度 37.4 N/mm²)、中強度シリーズ(W/C=55%, 平均一軸圧縮強度 46.2 N/mm²)、高強度シリーズ(W/C=40%, 平均一軸圧縮強度 85.6 N/mm²)の三種類とした。また、載荷速度は、静的(10⁻⁵ 1/sec)、低速(10⁻² 1/sec)、中速(10⁻¹ 1/sec)、高速(10⁰ 1/sec)の4レベルとした。さらに、側圧は0 から 100N/mm²までの6段階とした。実験は同一ケースに対して3回ずつ行っている。荷重の載荷は、まず所定の側圧まで静水圧載荷を行い、その後側圧を一定に保持したまま軸方向に所定のひずみ速度で加圧している。



(a)せん断型 (A タイプ)

3. 破壊モード

圧縮力を受けるコンクリートの破壊モードは、一軸圧縮でよく見られる縦割れの割裂モード、低側圧三軸圧縮で見られるせん断モード、高側圧三軸圧縮で見られる圧壊モードに分類できる¹⁾。すなわち、圧縮下のコンクリートの破壊モードは応力状態により異なる。

本三軸圧縮試験においては、写真-1に示すようなせん断面が一面であるせん断型(Aタイプ)とせん断面が2つ現れるせん断型(Bタイプ)、および圧壊型(Cタイプ)の概ね3種類に分類できる。普通強度シリーズにおいては、側圧 24 N/mm²以上、中強度シリーズにおいては側圧 48 N/mm²以上において圧壊型の破壊が見られた。これは、破壊モードがひずみ速度に関係なくコンクリート強度に対する側圧の大きさの関係で決まることを示していると考えられる。更に、破壊モードがせん断型から圧壊型に移行する際の側圧と最大圧縮強度が低下し始める時点の側圧が等しいことから、破壊モードの変化が最大応力の低下の原因となっていると考えられる。破壊面の角度 θ に関しては、普通強度シリーズで 25° ~ 35°、中強度シリーズで 20° ~ 37°、高強度シリーズにおいては 22° ~ 45°の範囲であった。 θ の上限は、コンクリート強度の増加に伴い大きくなる傾向を示している。側圧の大きさが θ に及ぼす影響は顕著でなかった。また、各ひずみ速度が大きくなるにつれて θ の上限が大きくなる傾向が見られる。これらより、 θ はコンクリート強度およびひずみ速度の大きさに依存すると考えられる。



(b)せん断型 (B タイプ)



(c)圧壊型 (C タイプ)

4. 破壊基準

破壊基準は、多くの研究者によって種々のモデルが提案されている。本研究においては、各載荷で最大応力状態を示す点を破壊として定義し、 $\sigma_{oct}/f'_c - \tau_{oct}/f'_c$ 座標系を用いて実験結果について考察する。山口らは、²⁾破壊曲線が応力状態において凸状であることおよび静水圧載荷では終局的な破壊を生じないことを考慮して、以下の式を提案している。

$$\tau_{oct}/f'_c = \frac{a_1}{\exp(a_2 \cdot \sigma_{oct}/f'_c)} + a_3 \dots (1)$$

写真 - 1

キーワード：三軸応力、破壊基準、破壊モード、コンクリート材料、ひずみ速度

連絡先 〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 土木工学教室 TEL 0468(41)3810/ FAX 0468(44)5913

ここで、 a_1 、 a_2 、 a_3 は実験から求まる定数であり、($a_1=-6.390$ 、 $a_2=-0.114$ 、 $a_3=6.645$) f'_c は、静的な一軸圧縮強度である。図-1に、中強度シリーズにおける $\sigma_{oct}/f'_c - \tau_{oct}/f'_c$ 関係を示す。実験結果より $\sigma_{oct}/f'_c \geq -2.5$ の範囲においては、荷重速度が大きくなるに従い、静的な破壊基準(点線は(1)式の静的荷重時の実験結果から得られた回帰曲線)より拡大する傾向を示している。しかし、それ以降の範囲では高速荷重の実験値が静的荷重のそれより小さくなる傾向がみられる。これは、 $\sigma_{oct}/f'_c \geq -2.5$ の範囲においては、せん断型の破壊モードを示すのに対し、それ以降の範囲では圧壊型の破壊モードに移行する現象に起因しているものと考えられる。すなわち、高側圧下においては破壊モードの変化によりひずみ速度効果の影響が小さくなるものと考えられる。

また竹田らは、破壊基準の拡大率が一軸圧縮強度の増加率とほぼ等しいことを指摘している。そこで、式(1)において、 f'_c の代わりに、 f'_{cd} を用いてひずみ速度効果による拡大率を考慮した破壊曲線を式(2)に示す。ただし、 f'_{cd} は、急速荷重における一軸圧縮強度である。

$$\tau_{oct}/f'_{cd} = \frac{a_1}{\exp(a_2 \cdot \sigma_{oct}/f'_{cd})} + a_3 \dots \dots \dots (2)$$

図-2に中強度シリーズにおける $\sigma_{oct}/f'_{cd} - \tau_{oct}/f'_{cd}$ 関係を示す。図-2より、ひずみ速度効果を考慮した破壊基準は $0 \geq \sigma_{oct}/f'_{cd} \geq -2$ の範囲においては静的な破壊基準と比べ実験値と良く一致している。しかし、それ以降の範囲では危険側の評価を与えることになる。

これは、 $0 \geq \sigma_{oct}/f'_{cd} \geq -2$ の範囲においては、せん断型の破壊モードを示すのに対し、それ以降の範囲では圧壊型の破壊モードに移行する現象に起因しているものと考えられる。

また、一般的な諸元の鉄筋コンクリート部材では、帯鉄筋や横補強筋による拘束圧は約 $2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ 程度である³⁾。この場合、 $0 \geq \sigma_{oct}/f'_{cd} \geq -2$ の範囲であることから動的一軸圧縮強度の増加率に従い破壊基準が等方的に拡大するという考えに基づき式(2)は有効であるといえる。

5. 結論

本研究では、三軸応力下におけるコンクリート材料の高ひずみ速度下での挙動を明らかにすることを試みた。その結果、本実験の範囲内で次の事項が明らかになった。

- (1) 破壊モードは、コンクリート強度に対する側圧の大きさに依存する。
- (2) 破壊面の角度 θ はコンクリート強度およびひずみ速度の大きさに依存し、コンクリート強度および荷重速度が大きいくほど大きくなる傾向がみられた。
- (3) 急速荷重時の最大応力点は、ひずみ速度が大きくなるに従い、静的な破壊基準から隔たる傾向を示している。このことは、ひずみ速度が増加することにより破壊基準が拡大し、最大応力が増加することを示しているものと考えられる。
- (4) ひずみ速度効果による破壊曲線の拡大率は、ある一定の領域においてはひずみ速度効果による一軸圧縮強度の増加率と等しいが、ある領域を超えるとその拡大率が低下する傾向が見られる。これは破壊モードがせん断型から圧壊型に移行することに起因しているものと考えられる。

参考文献

- 1) 畑中ら: 圧縮下のコンクリートの破壊性状とそのモデル化について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 6, No.2, pp. 147~153, 1994
- 2) 山口ら: 高速3軸圧縮応力下におけるコンクリートの応力ひずみ関係(その2, 高速荷重), 日本建築学会論文報告集, 第396号, pp. 50~58, 1989
- 3) 畑中ら: 三軸圧縮下のコンクリートのひずみ軟化モデルの開発, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 13, pp. 25~30, 1991

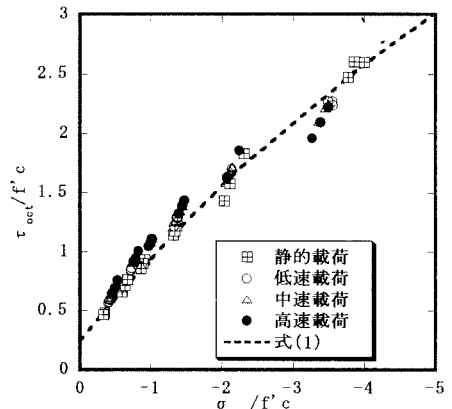


図-1 $\sigma_{oct}/f'_c - \tau_{oct}/f'_c$ 関係

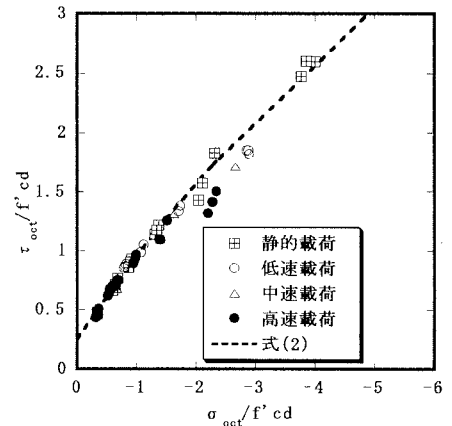


図-2 $\sigma_{oct}/f'_{cd} - \tau_{oct}/f'_{cd}$ 関係