

V-273 高速圧縮载荷を受けるコンクリートの材料特性

防衛大学校 正会員 藤掛一典 防衛大学校 正会員 小暮幹太
同 上 正会員 大野友則 同 上 学生員 喜多龍一郎

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の衝撃応答性状を解明するためにはその構成材料であるコンクリートの衝撃荷重下における力学的挙動を定性的かつ定量的に把握する必要がある。これまでに多くの研究者によりコンクリートの材料特性のひずみ速度依存性に関する実験的・理論的研究が行われ、現在、その一部は CEB-FIP MODEL CODE¹⁾（以下 CEB-FIP モデル）等の設計コードに取り入れられている。本報では、設計基準強度・最大粗骨材寸法をパラメータとするコンクリートの円柱供試体を用いた高速一軸圧縮試験を行い、得られた実験結果に基づきコンクリートの材料特性に対するひずみ速度の影響について CEB-FIP モデルおよび既往の研究結果との比較検討を行ったので報告する。

2. 実験方法

実験には設計基準強度 ($f'_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$, $f'_{ck}=300\text{kgf/cm}^2$) および最大粗骨材寸法 ($G_{max}=10\text{mm}$, $G_{max}=20\text{mm}$) をパラメータとした4種類の円柱供試体（高さ 20cm 直径 10cm）を用い、載荷装置には防衛大学校所有の高速負荷変形装置を使用した。荷重の載荷速度は、ひずみ速度 (1/sec) のオーダーで 10^0 （高速）、 10^{-1} （中速）、 10^{-2} （低速）、 10^{-6} （静的）の4種類のレベルの値が得られるように調節した。荷重の計測にはロードセル（許容荷重 50tf）を用い、ひずみの計測には供試体の中央部に軸方向および円周方向にそれぞれ3枚のひずみゲージ（ゲージ長 60mm）を貼付して行った。

3. 実験結果および既往の研究との比較

実験データを整理するに当たり、ひずみ速度は荷重の載荷開始点から最大強度までの平均ひずみ速度を用いた。既往の研究結果を整理するに当たっても各研究者によりひずみ速度の定義が異なる場合もあるので、ここでは、最大強度までの平均ひずみ速度に統一した。

（1）ひずみ速度が圧縮強度の増加率に及ぼす影響 図-1に、コンクリートの圧縮強度の増加率～ひずみ速度の関係に関する実験結果および既往の研究結果を示す。この図-1によれば、各研究者によりその実験値にはかなりのばらつきがあることが分かる。これは、実験に用いている供試体の形状、配合、養生の条件、載荷方法、境界条件等の違いに起因するものと考えられる。しかし、これらの既往の研究結果に共通して程度の差こそあれその全体的な傾向としては、ひずみ速度の増大にともなうコンクリートの圧縮強度の増加が認められる。Dilger ら²⁾、Soroushian ら³⁾、および、CEB-FIP モデルによるコンクリートの圧縮強度の増加率に関する算定式は、ひずみ速度が 10^{-1} (1/sec) 以下の範囲では同程度の値を与えることが分かる。高橋ら⁴⁾の算定式は、ひずみ速度が 10^{-1} (1/sec) 以下のところでは既往の実験値と比較してかなり低い値を与えるが、ひずみ速度が 10^0 (1/sec) 以上のところではここに示した算定式の中で最も大きな値を与えている。今回得られた実験結果の全体的な傾向としては、高橋らの算定式と同様な傾向を示している。今回の実験では、 $f'_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$, $G_{max}=10\text{mm}$ の場合の強度増加率が最も大きく、その他の供試体ケースでは、設計基準強度・使用最大粗骨材寸法の違いによる顕著な差は認められない。 $f'_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$, $G_{max}=10\text{mm}$ の場合の強度増加率が大きくなった要因としては、コンクリートの圧縮破壊の引き金となる骨材の界面に発生するボンクラックに関連していると考ええる。ボンクラックは、骨材とモルタルの剛性の違いに起因して発生し大粒の骨材の周辺からはじまるとされている。

（2）ひずみ速度が最大圧縮強度時のひずみ変化率に及ぼす影響 図-2に、静的な最大圧縮強度時のひずみに対する動的載荷における最大圧縮強度時のひずみの割合を「最大圧縮強度時のひずみ変化率」と定義し、このひずみ変化率とひずみ速度の関係に関する実験結果および既往の研究結果を示す。この図-2によれば、各研究者によりその実験値にはかなりのばらつきがあり、最大圧縮強度時のひずみの変化率とひずみ速度の関係については、圧縮強度の増加率の場合のような統一された傾向がみられない。高橋ら、CEB-FIP モデルによるひずみ変化率の算定式

は、ほぼ同じ値を与え、ひずみ速度が増加するに従い最大圧縮強度時のひずみは増加するとしている。Soroushian らによる算定式は、ひずみ速度の増加に伴い 10^{-1} (1/sec) 以下の範囲ではひずみ変化率は減少するがそれ以上のひずみ速度下においては増加するとしている。一方、Dilger らによるものは、ひずみ速度の増加に伴いひずみ変化率は減少するとしている。今回の実験結果は、設計基準強度・使用最大粗骨材寸法の違いによる影響は認められず、全体的な傾向としては Soroushian らによる算定式に近い傾向がみられた。ひずみ速度の影響によるひずみ変化率は各研究者により見解が異なっており、高速載荷を受けるコンクリートの破壊メカニズムを考える場合に重要な要因となることからこの点に関しては更に実験データを蓄積する必要があると考える。

（3）ひずみ速度が初期弾性係数の変化率に及ぼす影響 図-3に、静的な初期弾性係数に対する動的載荷における初期弾性係数の割合を「初期弾性係数の変化率」と定義し、この初期弾性係数とひずみ速度の関係に関する実験結果および既往の研究結果を示す。使用最大粗骨材寸法が 10mm のものはばらつきが大きい概ね今回の実験結果、山口ら⁵⁾による実験結果とも CEB-FIP モデルによる算定式に非常によく適合しているのが認められる。CEB-FIP モデルによる初期弾性係数の変化率の算定式には圧縮強度の違いは考慮されておらずひずみ速度のみを用いてその値が計算されているが今回の実験結果からもその妥当性が確認された。

【参考文献】

- 1) CEB-FIP-CEB-FIP Model Code 1990, First Draft, CEB Bulletin d'information No.195,1990
- 2) Dilger et al.: Ductility of Plain Confined Concrete under Different Strain Rates, ACI Journal, Vol. 81, No.1, pp73~81, Jan-Feb, 1984
- 3) Soroushian et al.: Dynamic Constitutive Behavior of Concrete, ACI Journal Vol83, pp. 251~259, March-April 1986
- 4) 高橋ほか：高速変形する高強度コンクリートの動力学特性，材料の衝撃問題シンポジウム講演論文集，pp. 77~80, 1989, 12
- 5) 山口ほか：高圧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，日本建築学会論文報告集，pp. 50~59, 1989, 2

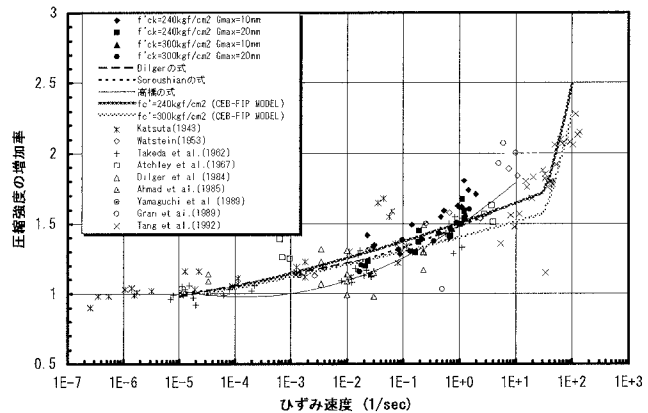


図-1 圧縮強度の増加率とひずみ速度の関係

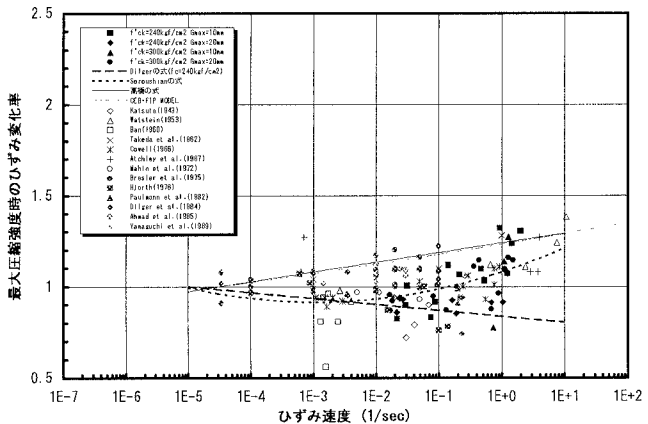


図-2 最大圧縮強度時のひずみ変化率とひずみ速度の関係

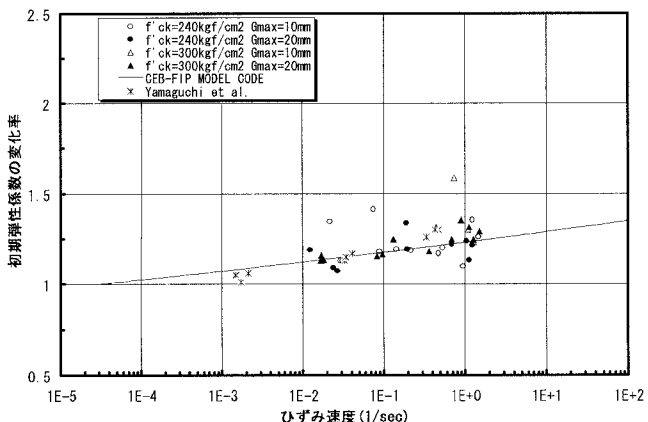


図-3 初期弾性係数の変化率とひずみ速度の関係