

V-428

コンクリートの含水率がひずみ速度依存性に及ぼす影響

(財)電力中央研究所 正会員 ○柳下 拓也、同 白井 孝治、同 伊藤 千浩 *

日本大学 正会員 塩尻 弘雄**

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物が偶発的な飛来物の衝突等の衝撃による苛酷な外力を受けた場合、その構成材料であるコンクリートの力学的性質は、載荷速度による時間依存性(ひずみ速度効果)の影響を大きく受け、これら構造物の応答は静的荷重に対するものとは異なることが知られている。

筆者らは、すでに、コンクリートの動的強度は、コンクリートの含水率に大きく影響を受けることを示した¹⁾。そこで、本研究では、コンクリートの含水率が動的圧縮強度に与える影響を定量的に把握するため、コンクリートの含水率をパラメータとした試験体を用いて動的圧縮強度試験を実施するとともに、Biotの二相混合体理論を用いて、有限要素法により検討した。

2. 動的圧縮強度試験

2.1 試験方法

コンクリートの動的圧縮強度試験では、低中速載荷試験装置と高速載荷試験装置を使用した。低中速載荷試験装置は、ひずみ速度が $10^{-3} \sim 10^{-2}/\text{sec}$ の範囲の試験が可能である。また、高速載荷試験装置は比較的ひずみ速度の小さい領域($10^{-3} \sim 10^{-1}/\text{sec}$)を対象とした油圧式載荷装置と、より大きなひずみ速度($10^0 \sim 10^2/\text{sec}$)を得るために、Split Hopkinson Pressure Bar法(以下、SHPB法)の原理を利用した載荷装置の2種類の載荷方式を有している。SHPB法の原理を利用した載荷試験では、入・出力棒にひずみゲージを2枚ずつ貼り、これらの測定値を用いて入力波と反射波を数学的に分離する手法を用いた²⁾。

2.2 試験体

試験体は、普通ポルトランドセメント(比重 3.16)を使用した。材令は 28 日におけるコンクリートの設計基準強度が 32MPa 程度となるように定めた。試験体の寸法は、直径 10cm×高さ 10cm、直径 10cm×高さ 20cm 及び直径 8cm×高さ 8cm の3種類の円柱とした。コンクリート打設 24 時間後に試験体を脱型し、試験日の前日まで水中(20℃)で標準養生した(以下、湿潤試験体)。また、含水率をパラメータとした試験を行うために、105℃の乾燥炉中で試験体の重量変化が 2 日で 1g 以下となるまで乾燥させた試験体(以下、乾燥試験体)と、気中で約 30 週間放置した試験体(以下、気中放置試験体)の3種類の試験体を用いた。

2.3 試験結果

図-1 に、含水率をパラメータとした動的圧縮強度試験結果を示す。試験体の破壊状況に着目すると、ひずみ速度が大きくなるに従い、破壊モードがせん断型から圧壊型へ変化する結果となった。そこで、Chenの完全塑性の極限解析法を拡張して、破壊モードが破壊強度に及ぼす影響について検討した。その結果、せん断型破壊モードについては、荷重を断面積で割る通常の方法で圧縮強度が求められるが、圧壊型破壊モードのみかけの圧縮強度は、真の圧縮強度よりも約 30% 程度大きくなる。この破壊モードの影響を排除した結

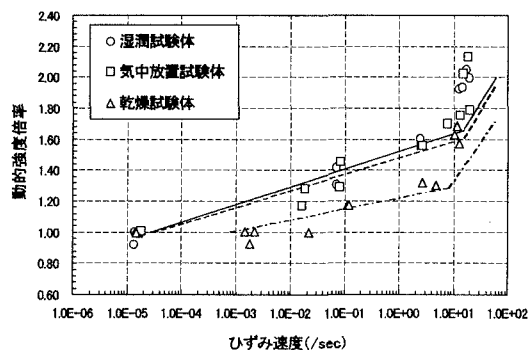


図-1 ひずみ速度と動的強度倍率の関係

キーワード：コンクリート、含水率、動的圧縮強度、ひずみ速度依存性、二相混合体理論、間隙水圧

連絡先：* 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1696 (財)電力中央研究所我孫子研究所 Tel 0471-82-1181

** 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8 日本大学理工学部土木工学科 Tel 03-3259-0876

果を図-1中に直線で併せて表示した。これらの試験結果より、以下の知見が得られた。

- ・回帰式から推定すると $10^0/\text{sec}$ 付近のひずみ速度では、乾燥試験体の強度倍率は約 1.5 であるのに対し、湿潤試験体では約 1.25 であり、乾燥試験体に比べて約 25%程度の強度上昇がみられる。
- ・30 週間程度、室温で気中養生した気中放置試験体では、動的強度は湿潤試験体と比較してやや低い。

3. 二相混合理論による理論的検討

3.1 二相混合理論の動的圧縮強度試験への適用

図-2 に二相混合理論の模式図を示す。この理論では、弾性体中の水分の間隙水圧や間隙水の変位等を支配方程式に取り入れ、弾性体中の水分の流れを考慮しているものである²⁾。

間隙を流体で飽和された弾性体における Biot の方程式は、次式のように表される。

$$L^T s - \rho \ddot{u} - \rho_f \ddot{w} = 0 \quad (1) \quad s = D L u + \alpha m \pi \quad (2)$$

$$\nabla \pi \cdot k^{-1} \dot{w} - m \ddot{w} - \rho_f \ddot{u} = 0 \quad (3) \quad \pi = \alpha Q \nabla \cdot u + Q \nabla \cdot w \quad (4)$$

$$\alpha = 1 - \frac{K_D}{K_S} \quad K_D = \frac{3\lambda + 2\mu}{3} \quad \frac{1}{Q} = \frac{n}{K_f} + \frac{\alpha - n}{K_s}$$

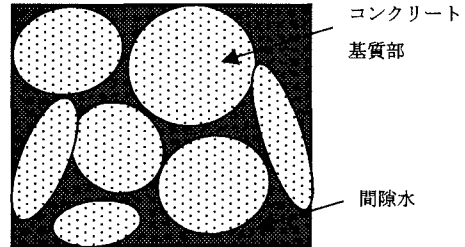


図-2 二相混合理論の模式図

ここで、式(1)は全応力による二相体の運動方程式、式(3)は間隙水の運動方程式、式(2)と(4)はそれぞれ全応力と間隙水圧の構成式であり、 $s, \rho, \rho_f, u, w, \pi, k, m, n$ はそれぞれ全応力ベクトル、二相体の密度、間隙水の密度、固体相の変位ベクトル、間隙水の相対変位ベクトル、間隙水圧、透水系数、間隙水の相対変位に対する等価質量(間隙水の質量と仮想質量を加えて、間隙率で除したもの)、間隙率である。また、 $\nabla \cdot$ は発散、 D は排水時の弾性係数行列である。また、 K_s, K_f はそれぞれ固体相、液体相の体積弾性率、 λ, μ はラメの定数であり、 L は偏微分演算子のマトリックスである。

3.2 解析結果

解析では、半径 10cm×高さ 20cm の試験体を二次元矩形形状の有限要素でモデル化し、試験体上面にステップ荷重を負荷し、下面の鉛直方向変位を拘束した。

図-3 に、試験体中央部における軸ひずみ、間隙水圧及び平均主応力の時刻歴を示す。これらの解析結果より、試験体中央部付近において発生する平均主応力と間隙水圧の比より、 $10^0/\text{sec}$ 程度のひずみ速度で変形するコンクリートに発生する全応力のうち、約 20%程度はコンクリート中の間隙水圧が受け持つことが明らかとなった。

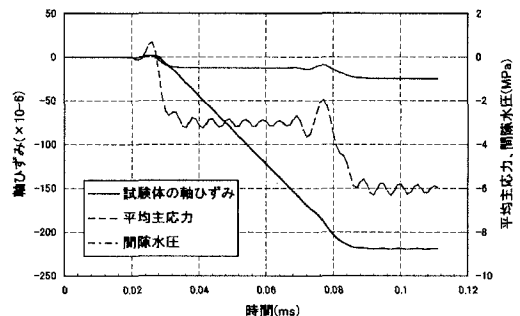


図-3 試験体の軸ひずみ、間隙水圧及びコンクリート基質部の平均主応力の時刻歴

4. まとめ

コンクリートの含水率が動的圧縮強度に与える影響を定量的に把握するために、動的圧縮強度試験と Biot の二相混合理論による数値解析により検討した。動的圧縮強度試験、数値解析ともに湿潤試験体の強度倍率は、乾燥試験体の値に比べて約 20~25%程度大きくなることを明らかにした。

5. 参考文献

- 1) 白井孝治他：コンクリートの強度のひずみ速度依存性の定式化，構造工学論文集，Vol.44A,1998
- 2) 塩尻弘雄：二相体の有限要素法の一定式化，構造工学論文集，Vol.43B, 1997

6. 謝辞

本研究を進めるにあたり、日本大学の福田 憲一、山口 剛両氏からご援助頂いたことに感謝致します。