

(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

筆者らは、養生温度(20℃～90℃)やひずみ速度($10^{-5}/\text{sec}$ ～ $10^1/\text{sec}$)、水セメント比(50%、60%)をパラメータとした動的強度試験を実施している。さらに、熱的影響を受けたコンクリートの微視的な特徴が動的挙動に与える影響を把握するため、多孔質モデルを用いた衝撃応答解析を実施し、弾性領域における挙動を定性的に把握した¹⁾。

本研究では、衝撃応答解析に用いる入力パラメータをさらに詳細に検討し、実験結果との比較検討を行った。

2. 動的圧縮強度試験

2.1 試験方法

動的圧縮強度試験では、低中速載荷試験装置(ひずみ速度： 10^{-6} ～ $10^{-1}/\text{sec}$)と、Split Hopkinson Pressure Bar 法(以下、SHPB 法)を利用した高速載荷試験装置(ひずみ速度： 10^0 ～ $10^2/\text{sec}$)を使用した。

SHPB 法を利用した高速載荷試験では、入・出力棒にひずみゲージを2枚ずつ貼り、これらの計測値を用いて入力波と出力波を分離する手法を用いた²⁾。

2.2 試験体

試験では、普通ポルトランドセメント(比重 3.16)を使用した。表-1 に、コンクリートの配合を示す。水セメント比(以下、W/C)は、50%と 60%の2種類とした。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。また、設計基準強度は、材令 28 日においてそれぞれ 55MPa、40MPa 程度となるように定めた。試験体の寸法は、低中速載荷試験には直径 100mm×高さ 200mm、高速載荷試験には直径 100mm×高さ 100mm 及び直径 80mm×高さ 80mm の計3種類の円柱とした。

3. 動的圧縮強度試験結果

図-1 に、W/C 60%のコンクリート供試体の圧縮応力-ひずみ曲線を、図-2 に W/C 50%と 60%のコンクリート供試体の初期弾性係数の試験結果を示す。なお、図-2 の縦軸は、動的試験で得られた初期弾性係数に対し、静的試験(ひずみ速度： $10^{-5}/\text{sec}$)で得られた値で除して無次元化し、動的倍率として表示している。初期弾性係数の動的倍率は、ひずみ速度の増加に伴い大きくなり、ある一定値に収束する。W/C 50%ではひずみ速度 $10^{-3}/\text{sec}$ 付近で約 1.05、W/C 60%ではひずみ速度 $10^{-2}/\text{sec}$ 付近で約 1.10 に収束している。

4. 衝撃応答解析

コンクリートを巨視的に固体と液体から成る二相系の飽和弾性体としてモデル化し衝撃応答解析を実施し、弾性領

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
		C	W	G	S	混和剤
60	53.5	280	168	974	858	4.48
50	53.4	336	168	950	837	5.38

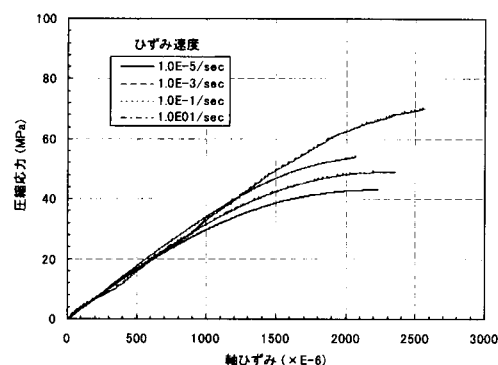


図-1 圧縮応力-ひずみ曲線(W/C 60%)

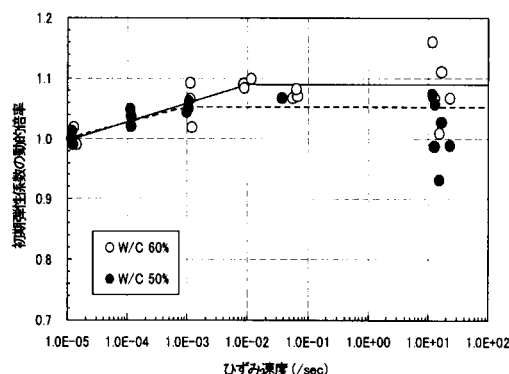


図-2 初期弾性係数のひずみ速度依存性

キーワード：コンクリート、初期弾性係数、ひずみ速度依存性、衝撃応答解析、二相混合物理論、間隙水

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

域における間隙水の挙動を定性的に検討した。固体相と液体相の二相から成る材料の波動論の基礎は、Biot により二相混合体理論³⁾として提案されている。コンクリート材料は透水性が小さいことを考慮し、間隙水の慣性力を考慮できるように修正した修正 $u-\pi$ 法⁴⁾で定式化し直接積分による有限要素法を用いた。

4.1 解析モデル

幅 10cm×高さ 20cm のコンクリート上面に単調に増加する荷重を負荷し、解析モデル下面の鉛直方向変位を拘束した。要素数は 40、節点数は 55 である。

解析に用いた物性値を表-2 に示す。コンクリート骨格部の体積弾性係数 K_s は、図-1 に示した W/C 60% のコンクリート供試体の静的試験結果より、初期弾性係数の値が試験で得られた値と同等となるように算出した。ラーメの定数 μ 及び λ は K_s と静的試験より得られたヤング率 $E(27,232\text{MPa})$ 及びポアソン比 $\nu(0.2)$ より算出した。間隙率 n は、湿潤試験体(30 週間標準養生した試験体)と乾燥試験体(8 週間の標準養生を経て雰囲気温度 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)の重量変化より算出した。透水係数 k はアウトプット法による透水試験により決定した。1 ヶ月間、3MPa で加圧したが水は流出せず、透水係数は $1.0 \times 10^{-12}\text{cm/sec}$ 以下と推察される。従って、本検討では $1.0 \times 10^{-12}\text{cm/sec}$ とした。また、液相の物性は水の値とした。

表-2 解析に用いた物性値

材 料	物性値	材 料	物性値
コンクリートの密度 ρ	2,100kg/m ³	水の密度 ρ_f	1,000kg/m ³
コンクリート骨格部の体積弾性係数 K_s	16,268MPa	水の体積弾性係数 K_f	2,250MPa
間隙率 n	0.07	ラーメの定数 μ	11,346MPa
透水係数 k	$1.0 \times 10^{-12}\text{cm/sec}$	ラーメの定数 λ	7,564MPa

4.2 衝撃応答解析結果

図-3 に衝撃応答解析によって得られた初期弾性係数の動的倍率とひずみ速度の関係を示す。初期弾性係数の動的倍率は、ひずみ速度の増加と共に大きくなり、ある一定値に収束する。これは、図-2 で示した試験結果と同様な傾向である。ひずみ速度が大きくなると間隙水圧が大きくなり、その結果、ひずみ速度の増加と共に初期弾性係数は大きくなる。また、収束値(約 1.1)も試験結果と良く一致している。

しかしながら、一定値に収束するひずみ速度は、試験では $10^{-2}/\text{sec}$ 付近であるのに対し、数値解析では $10^{-5}/\text{sec}$ 付近となっている。

5. まとめ

コンクリート中の間隙水の弾性領域における挙動を定性的に把握するため、多孔質モデルを用いた衝撃応答解析を実施した。解析に用いる物性値は、 K_s 、 μ 、 λ は圧縮強度試験、 n は湿潤試験体と乾燥試験体の重量変化、 k はアウトプット法による透水試験等により決定し、液相の物性は水とした。衝撃応答解析の結果、初期弾性係数は、ひずみ速度の増加と共に大きくなり一定値に収束する。動的圧縮強度試験結果においても同様な傾向が見られた。

6. 参考文献

- 1) 白井 孝治他：コンクリートの高温下における材料強度のひずみ速度依存性、構造物の衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集, 2000.
- 2) 白井 幸治他：コンクリート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.
- 3) M.A.Biot : Mechanical of deformation and acoustic propagation in porous media, Phys. Vol.33, 1962.
- 4) 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.

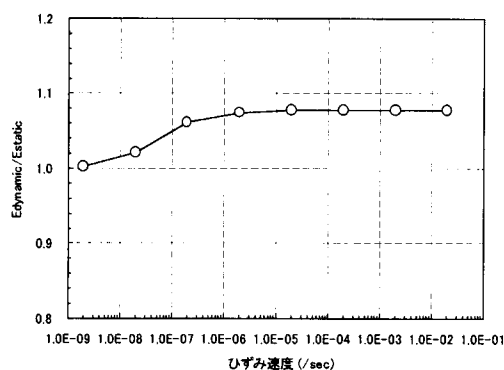


図-3 初期弾性係数の動的倍率に関する解析結果