

SHPB 法におけるコンクリートの動的一軸圧縮強度に関する数値解析的検討

防衛大学校 学生会員 ○岩根 利浩 正会員 市野 宏嘉 別府 万寿博

1. 緒言

高ひずみ速度下($10^1 \sim 10^2/s$)におけるコンクリートの圧縮強度の増加に関する研究は、これまでに多く行われている¹⁾。この中で、コンクリート円柱供試体の半径方向に生じる慣性力によって多軸状態が生じ、拘束効果によって見かけの強度が増加することが報告されている²⁾。本研究は、高ひずみ速度下におけるスプリットホプキンソン棒圧縮試験(以後、SHPB 試験という)における円柱供試体内の応力挙動を調べるため、弾性および弾塑性モデルを用いて数値解析を行ったものである。

2. 数値解析の概要

衝撃解析コード AUTODYN を用いて、SHPB 試験法を対象とした数値解析を行った。図-1 に、解析モデルの全体図を示す。SHPB 試験は図に示すように、入力棒と出力棒の間に供試体を設置し、入力棒に打撃棒を衝突させることにより供試体に応力波を入射し、高ひずみ速度下における供試体の応力を計測する動的強度試験法である。

図-2 に、コンクリート円柱供試体モデルを示す。打撃棒、入力棒、出力棒および供試体モデルの要素寸法は 1 要素あたり 5mm である。表-1 に、コンクリートおよび鋼材の材料定数を示す。コンクリートの状態方程式は線形モデル、破壊基準はスポール破壊とし、構成則は弾性モデルおよび Von Mises, Drucker-Prager の降伏関数を用いた。また、鋼材には Von Mises の降伏関数を用いた。なお、供試体における 3 箇所の断面(入力棒に近い方から S_1 , S_2 , S_3)にデータの出力点を設定した。表-2 に解析ケースを示す。打撃棒が入力棒に衝突する速度を 10m/s, 30m/s と設定し、供試体に生じるひずみ速度をそれぞれ 35/s, 140/s とした。コンクリートの静的圧縮強度は $30N/mm^2$ とした。藤掛らが提案した動的強度倍率式³⁾を用いて上記のひずみ速度による強度倍率を求めると、それぞれ 1.8 倍, 2.1 倍となる。解析では、これらの強度増加を考慮し、降伏関数の中では降伏応力としてそれぞれ $54N/mm^2$, $62N/mm^2$ を用いた。

3. 数値解析結果および考察

図-3 および図-4 に、それぞれ供試体中における塑性進展状況および応力～時間関係を示す。図-3 から、打撃速度、降伏関数によらず、入力棒側から塑性化が進行し、応力波が出力棒へ透過すると弾性除荷することがわかる。図-4 から、弾性モデルの場合は応力波の伝播、反射によって、応力が階段状に増加している。Von Mises 降伏関数に対する打撃速度 10m/s のケースでは、応力が急激に立ち上がり、断面の位置によらずほぼ同様の応

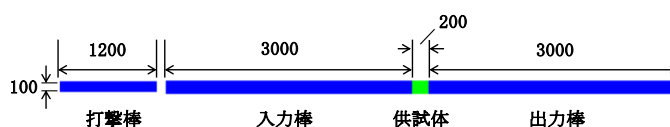


図-1 解析モデル(全体図)

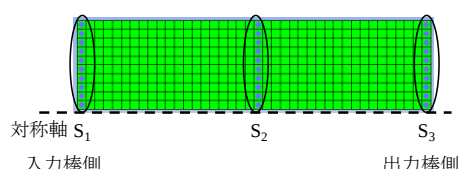


図-2 解析モデル(円柱供試体)

表-1 材料定数

	コンクリート	鋼材
密度(g/cm^3)	2.3	7.8
ヤング率(N/mm^2)	2.5×10^4	2.1×10^5
ポアソン比	0.2	0.3

表-2 解析ケース

解析ケース	打撃速度	コンクリートの降伏関数	降伏応力(動的倍率)
E-10	10m/s	なし(弾性)	$54N/mm^2$ (1.8)
VM-10		Von Mises	
DP-10		Drucker-Prager	
E-30	30m/s	なし(弾性)	$62N/mm^2$ (2.1)
VM-30		Von Mises	
DP-30		Drucker-Prager	

キーワード SHPB 試験, 慣性効果, Drucker-Prager 降伏関数, Von Mises 降伏関数

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 TEL 046-841-3810 E-mail:em55044@nda.ac.jp

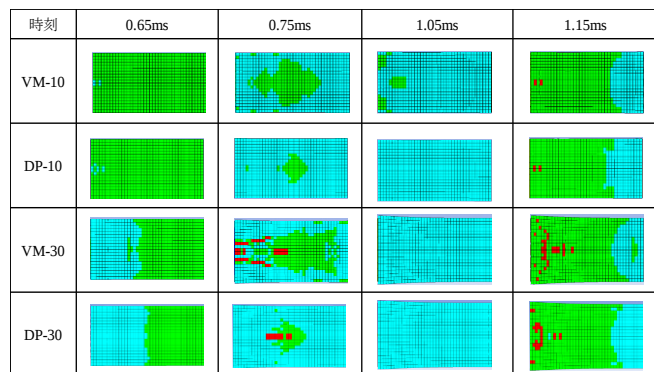


図-3 塑性進展の状況(緑:弾性, 水色:塑性, 赤色:破壊)

力値 54N/mm^2 (動的強度)を示した。打撃速度 30m/s では、入力棒側の断面 S_1 における応力は瞬間的に大きな応力値 (120N/mm^2)を示すが、時間の経過とともに全ての断面で動的強度に収束した。なお、Drucker-Prager 降伏関数の場合も同様の応答を示した。この理由は、図-5 および図-6 に示す応力履歴および圧力～時間関係から、打撃速度が大きくなると、入力棒に近い要素の圧力が大きくなり、降伏応力が増加したためと考えられる。ただし、供試体の中央部や出力棒側ではそのような挙動は認められなかった。

図-7 に、打撃速度 30m/s における各断面の応力～ひずみ関係を、構成則で設定した応力～ひずみ関係と比較して示す。図から、入力側の断面 S_1 の応力～ひずみ関係において最初のピークが非常に大きい(約 2.1 倍)ことがわかる。一方、断面 S_2 , S_3 においては大きなピークが生じていない。このように、SHBP 試験においては、ひずみ速度が高くなると慣性力の影響などによって供試体の軸方向において応力～ひずみ関係に差異が生じることがわかる。

4. 結言

本研究は、数値解析により供試体に生じる応力挙動について検討したものである。本解析から、拘束効果による圧力増加の影響が入力棒側の要素で確認できた。今後、実験的検討を行って、これらの影響を確認する予定である。

参考文献

- 1) Bischoff, P. H. and Perry.: Compressive Behavior of Concrete at High Strain Rate, Materials and Structures, Vol.24, No.144, pp.425-450, 1991
- 2) Y. Hao, H. Hao, G. P. Jiang, Y. Zhou.: Experimental confirmation of some factor influencing dynamic concrete compressive strengths in high-speed impact tests, Cement and Concrete Research, Vol.52, pp.63-70, 2013
- 3) 藤掛一典, 上林勝敏, 大野友則, 水野淳, 鈴木篤: ひずみ速度を考慮した三軸応力下におけるコンクリートの直交異方性構成モデルの定式化, 土木学会論文集, No.669/V-50, pp.109-123, 2001

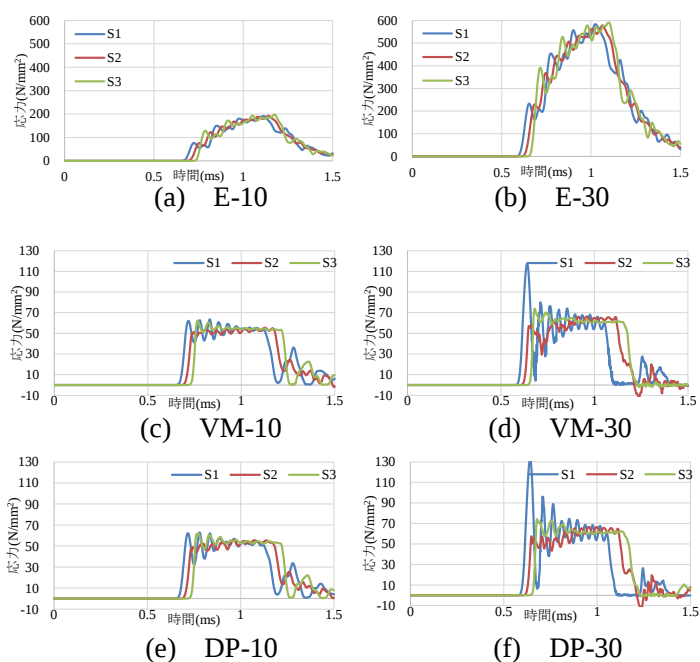


図-4 応力～時間関係

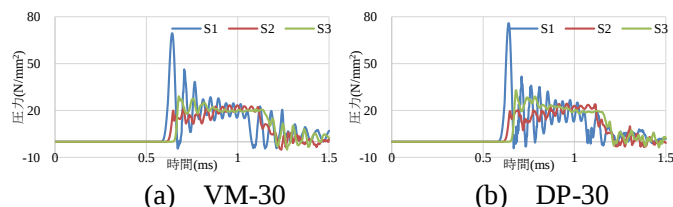


図-5 圧力～時間関係

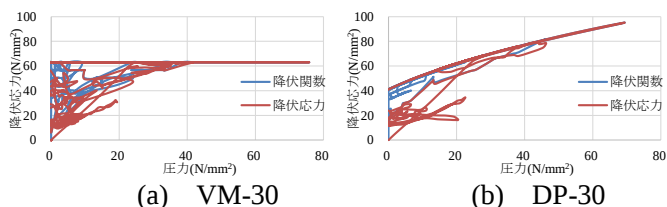


図-6 断面 S_1 における降伏応力～圧力関係

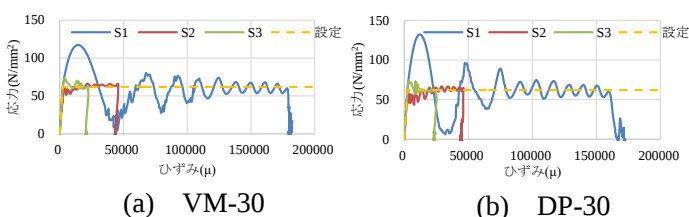


図-7 応力～ひずみ関係