

B-70

高速載荷及び衝撃載荷を受けるコンクリートのひずみ速度依存性に関する研究  
その4 試験概要

Study on Effects of Strain Rate on Concrete under High Speed and Impact Loading  
Part4 Outline of the Test

○小川翔平<sup>2</sup>, 石渡晶悟<sup>1</sup>, 横瀬秀行<sup>1</sup>, 白井孝治<sup>3</sup>, 南波宏介<sup>3</sup>,  
川口昇平<sup>4</sup>, 小川勤<sup>5</sup>, 中西三和<sup>6</sup>, 安達洋<sup>6</sup>, 北嶋圭二<sup>6</sup>  
Shohei Ogawa<sup>2</sup>, Syogo Ishiwata<sup>1</sup>, Hideyuki Yokose<sup>1</sup>, Koji Shirai<sup>3</sup>, Kosuke Nanba<sup>3</sup>,  
Shohei Kawaguchi<sup>4</sup>, Tsutomu Ogawa<sup>5</sup>, Mitsukazu Nakanisi<sup>6</sup>, Hiromi Adachi<sup>6</sup>, Keji Kitajima<sup>6</sup>

This paper shows an examination summary for investigating the effects of strain rate on the concrete under high-speed Loading and Impact Loading.

1. はじめに

前報 (その3) では, 事前解析について示した. この解析により, 打撃棒を 1.0[m] から 1.5[m] にした SHPB 法載荷試験において, 配合 H, 標準養生試験体を破壊できる可能性を明らかにした.

Fig.1 に既報の試験結果における強度上昇比-ひずみ速度関係についてまとめたものを示す. Fig.1 より, 各配合の地震動レベル(ひずみ速度  $10^{-3} \sim 10^0$  [1/s]) では, ひずみ速度の増加に伴い, 圧縮応力が緩やかに増加した. 衝撃レベル (ひずみ速度  $10^1$  [1/s]) では, 標準養生試験体が緩やかに増加しているのに対して, 気中養生試験体は最大圧縮応力が急激に上昇する傾向を示し, 養生条件によって異なる傾向を

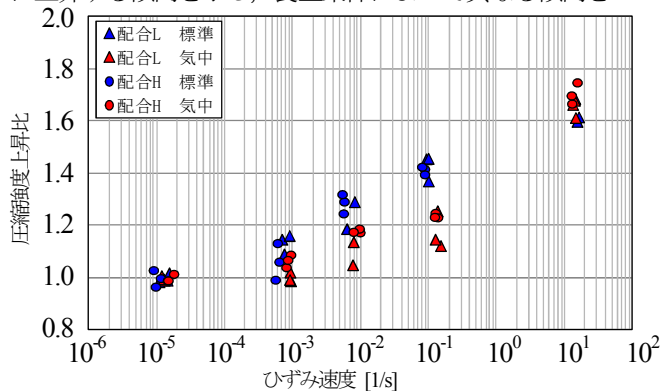


Figure.1 The relation between the Increase in strength ratio and strain rate  
Table.1 The main specifications of each test equipment

装置名	静的載荷試験	動的載荷試験	
	油圧サーボ式	高速載荷試験	衝撃載荷試験
試験機の性能			
載荷方式	油圧サーボ式	油圧サーボ式	SHPB法式
ひずみ速度 [1/s]	$10^{-6} \sim 10^{-3}$	$10^{-3} \sim 10^1$	$10^0 \sim 10^2$
最大荷重 [kN]	1000	静的 1200 動的 800	—
載荷速度	0.01 ~ 10 [mm/s]	0.1 ~ 1000 [mm/s]	4 ~ 7 [m/s] (衝突速度)
目標ひずみ速度範囲 [1/s]	静的レベル $1.2 \times 10^{-5}$	地震動レベル $10^{-3} \sim 10^0$	衝撃レベル $10^0 \sim 10^2$

示した.

そこで本報及び次報では, 広範囲ひずみ速度のデータ取得を目的とし, 打撃棒 1.5[m] の SHPB 法載荷試験装置を日本大学理工学部船橋校舎・大型構造物試験センターに作製し, 高速載荷及び衝撃載荷試験を実施した. また, 養生条件がコンクリートのひずみ速度依存性に及ぼす影響を把握するために, 試験体は呼び強度 18, 30 [N/mm<sup>2</sup>] (以後, 配合 L, H) の 2 種類の配合で作製して, それぞれ標準, 気中, 加熱養生を行った. 本報では試験概要について示す.

2. 試験概要

Table.1 に各試験装置の主な仕様を示す. 動的外力を扱う試験は試験方法によって高速載荷試験と衝撃載荷試験の 2 つに大きく分類される. 高速載荷試験は, 静的載荷試験装置の性能を高めた試験方法であるため, 試験や計測方法は静的試験に準じて行うことが出来, 試験結果の取得も比較的容易である. この試験は地震動レベルのひずみ速度範囲

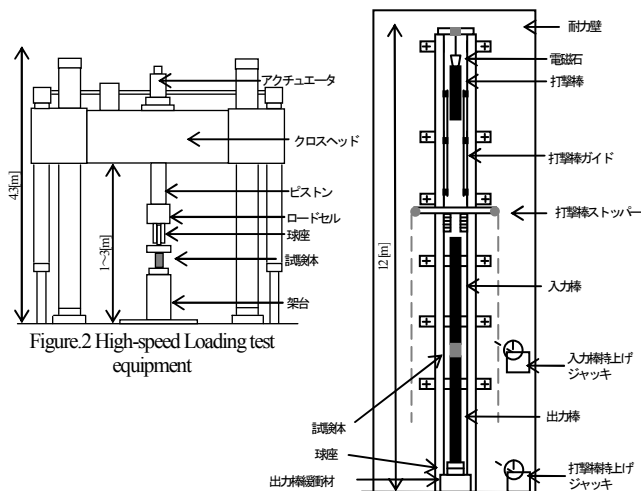


Figure.2 High-speed Loading test equipment

Figure.3 Impact-speed Loading test equipment Overview Figure

1 : 日本大学・院・海建 Graduate Student, Nihon Univ. 2 : 日本大学・学部・海建 Student, Nihon Univ.  
3 : 一般財団法人電力中央研究所 Central Research Institute of Electric Power Industry 4 : 株式会社奥村組 Okumura Corporation  
5 : 日本原子力発電株式会社 The Japan Atomic Power Company 6 : 日本大学・教員・海建 Pro. Nihon Univ. Dr Eng

( $10^{-3} \sim 10^0$  [1/s])に対応している。

地震動レベルより高いひずみ速度範囲( $10^0$  [1/s]以上)の試験結果を得るには、衝撃載荷試験を行う必要がある。この試験は試験体または試験装置に直接物体を衝突させる試験方法であり、物体の衝突に伴い、応力波が発生するという点が高速載荷試験との大きな違いである。応力波の発生により、試験及び計測方法が非常に複雑となり、有効なデータの取得も困難となる<sup>[1]</sup>。

衝撃試験装置の中でも SHPB 法載荷試験装置は古くから金属材料の衝撃試験に広く用いられており、コンクリート試験体においても試験が行われている。

国内では白井ら<sup>[2][3]</sup>によって直径 100[mm]×高さ 100[mm]の試験体での試験が実施されており、衝撃レベルのひずみ速度範囲におけるデータの取得に成功している。

### 2. 1 静的載荷試験装置

静的載荷試験装置は油圧サーボ式アクチュエータを利用した試験装置である。本試験では、ひずみ速度が目標値の  $1.2 \times 10^{-3}$  [1/s]となるように試験を行った。また、静的載荷試験は各動的試験の基準となるため、動的試験に合わせて実施した。

### 2. 2 高速載荷試験装置

Fig.2 に高速載荷試験装置の概要を示す。この試験装置ではひずみ速度範囲  $10^{-3} \sim 10^0$  [1/s]のデータの取得が可能である。また、静的試験に準じて計測を行えることから圧縮応力はロードセル、試験体に生じるひずみは試験体に貼付したひずみゲージ(軸方向(全長 70[mm]), 周方向(全長 30[mm]))を用いて計測を行った。

### 2. 3 衝撃載荷試験装置(SHPB 法)

Fig.3 に SHPB 法載荷試験装置を示す。SHPB 法載荷試験装置は金属材料である打撃棒、入力棒、出力棒によって構成されている。SHPB 法では、ロードセルを設置できないため、前報(その 3)で記述したとおり、入力棒と出力棒に貼付したひずみゲージより計測したひずみを理論式に適用し、試験体に作用する平均応力を算出する。鋼棒に貼付するひずみゲージは、試験体上端部(入力棒側)より 200[mm]及び 400[mm]、試験体下端部(出力棒側)より 200[mm]の位置にそれぞれ 4 枚ずつひずみゲージ(全長 5[mm])を貼付している。打撃棒衝突時の片当たり等に起因する曲げ成分を除去するため、4 枚のゲージ出力の対面方向( $0^\circ$  と  $180^\circ$ 、 $90^\circ$  と  $270^\circ$ )の加算平均の時刻歴波形を使用した。試験体に生じるひずみは高速載荷試験と同様に、試験体に貼付したひずみゲージ(軸方向(全長 70[mm]), 周方向(全長 30[mm]))を用いて計測を行った。

### 3. 試験体概要

Table.2 にコンクリートの配合表を示す。コンクリートに

用いた材料は普通ポルトランドセメント(密度 3.16[g/cm<sup>3</sup>])及び JASS<sup>5</sup><sup>[4]</sup>の品質管理規定を満たす骨材(最大粗骨材寸法 20[mm])を用いて、配合 L, H の 2 種類の配合で試験体を作製した。試験体は打設 24 時間後に型枠から脱型し、91 日間標準養生を行った。その後、標準、気中、加熱養生の 3 種類を行い、標準養生試験体は試験前日まで水中( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ )、気中養生試験体は試験当日まで恒温室( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , 60%RH)で養生を行った。加熱養生試験体は恒温槽( $80^\circ\text{C}$ , 1%RH未満)で試験体中の自由水 3.5wt%を目標に加熱養生を行った。また、SHPB 法載荷試験では、試験体の平滑度によって曲げ成分等が含まれるため、試験体の端面整形は試験体端面の平滑度が  $\pm 0.2$  [mm]以下となるように端面を研磨した。

Table.3 に試験体寸法及び試験体本数一覧を示す。試験体本数はパラメータ毎に 3 体の有効なデータを取ることを目標としている。高速載荷試験は直径 100[mm]×高さ 200[mm]の円柱試験体を使用し、安定して試験データを得ることができることから予備を含めて 60 体用意した。SHPB 法は試験体内での応力波の収束性を考慮し、直径 100[mm]×高さ 100[mm]の円柱試験体とした。また、SHPB 法載荷試験では有効データを得られる割合が 1 割程度であることから各 27 体の計 162 体の試験体を用意した。

### 4. まとめ

以上、本報(その 4)では試験概要を示した。次報(その 5)では試験結果について示す。

### 5. 参考文献

- [1] 藤井 学, 宮本 文徳; 「衝撃荷重下におけるコンクリート構造物の挙動」, コンクリート工学 Vol21-9, P25-36, 1983 v
- [2] 白井 孝治, 伊藤 千浩, 實 晃司, 島村 和夫, 大沼 博志; 「コンクリート強度ひずみ速度依存性の定式化(その 1)ーホプキンソン棒法衝撃試験方法の適用と圧縮強度試験結果ー」, 電力中央研究所 研究報告書, U97046
- [3] 白井 孝治, 伊藤 千浩, 實 晃司, 島村 和夫, 大沼 博志; 有限要素法による鉄筋コンクリート構造物解析手法ーコンクリートの破壊モデルの提案とその検証ー, 電力中央研究所 研究報告書, U30053
- [4] 建築工事標準仕様書・同解説, JASS5 鉄筋コンクリート工事 2003 (第 12 版)

Table.2 Concrete mixing table

配合	呼び強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	水セメント比 W/C [%]	細骨材率 S/a [%]	スランプ [cm]	空気量 [%]	単位量					
						セメント	水	細骨材		粗骨材	混和材
								(1)	(2)		
L	18	86	48.4	18	4.5	217	186	694	180	975	2.17 <sup>※1</sup>
H	30	52.5	48.1	18	4.5	324	170	594	253	956	3.40 <sup>※2</sup>

※1 ポリス78S ※2 レオセルSP8RV

Table.3 A list of specimen size and number

動的試験方法	試験体寸法 [mm]	目標ひずみ速度 [mm]	試験体本数						合計
			配合L			配合H			
			標準	気中	加熱	標準	気中	加熱	
高速載荷試験	φ100×200	$10^{-3}$	5	5	5	5	5	5	60
		$10^{-1}$	5	5	5	5	5	5	
SHPB法試験	φ100×100	$10^1$	27	27	27	27	27	27	162

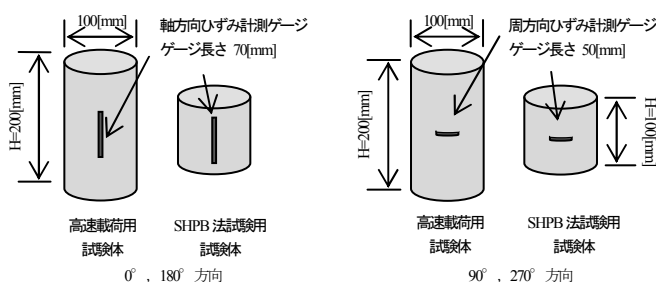


Figure.4 Paste gauge position