

B-25

高速载荷及び衝撃载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3 解析結果

Study on Effects of Strain Rate on Concrete under High Speed and Impact Loading

Part3 Result of the Analysis

○宇田川晃司<sup>1</sup>, 佐藤壮大<sup>1</sup>, 横瀬秀行<sup>1</sup>, 川口昇平<sup>2</sup>, 白井孝治<sup>3</sup>, 高柳秀秋<sup>4</sup>, 小川勤<sup>5</sup>, 安達洋<sup>6</sup>, 中西三和<sup>6</sup>

\*Koji Udagawa<sup>1</sup>, Sota Sato<sup>1</sup>, Hideyuki Yokose<sup>1</sup>, Shohei Kawaguchi<sup>2</sup>, Koji Shirai<sup>3</sup>, Hideaki Takayanagi<sup>4</sup>, Tsutomu Ogawa<sup>5</sup>, Hiromi Adachi<sup>6</sup>, Mitsukazu Nakanishi<sup>6</sup>,

In this paper, the compatibility of an experimental result (mixing-H (air curing)) and an analysis result was investigated by simulation analysis which imitated the SHPB methods. Moreover, it investigated analytically that the specimen of the mixing-H (standard curing) could be destroyed by lengthening impact bar from 1.0 [m] to 1.5 [m].

1. はじめに

前報(その2)では、地震動及び衝撃レベルを対象としたコンクリート試験体の圧縮材料試験結果を示した。

衝撃レベルの試験では、打撃棒の長さが 1.0[m]では短く、破壊に必要な応力の継続時間を試験体に与えることができなかつたため、配合 H(標準養生)の試験体を破壊することができなかつた。

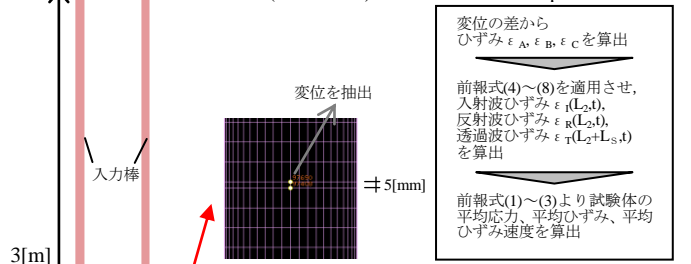
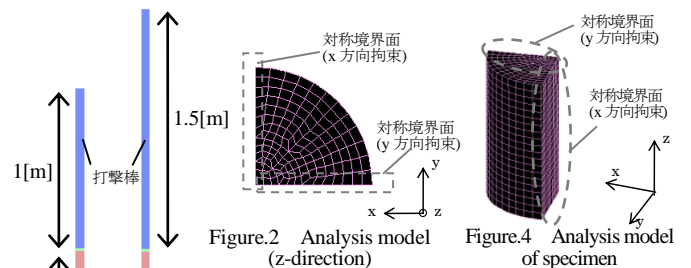
本報では、SHPB 法载荷試験を模擬したシミュレーション解析を行い、配合 H(気中養生)の実験結果との整合性を確認した。また、打撃棒を 1.0[m]から 1.5[m]に長くすることで、配合 H(標準養生)の試験体を破壊することができることを解析的に検証した。

2. 解析概要

2. 1 . SHPB 法試験装置

本解析には非線形構造解析ソフト LS-DYNA を使用した。SHPB 法試験装置のモデル(y 方向)の打撃棒 1.0[m]のモデルを Figure.1-(a)に、1.5[m]のモデルを Figure.1-(b)に、SHPB 法試験装置のモデル(z 方向)を Figure.2 に、入・出力棒上の変位を計測する点(A, B, C)の拡大図を Figure.3 に、各棒の材料特性を Table.1 に、打撃棒の衝突速度を Table.2 にそれぞれ示す。

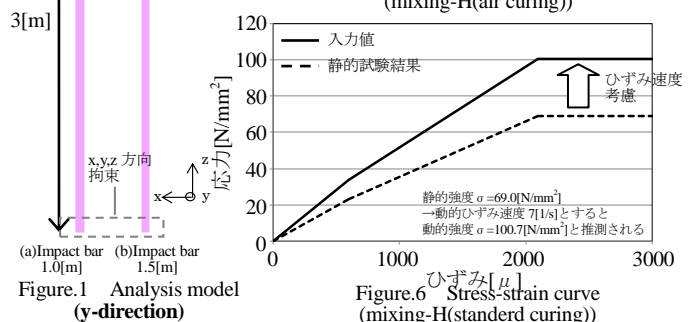
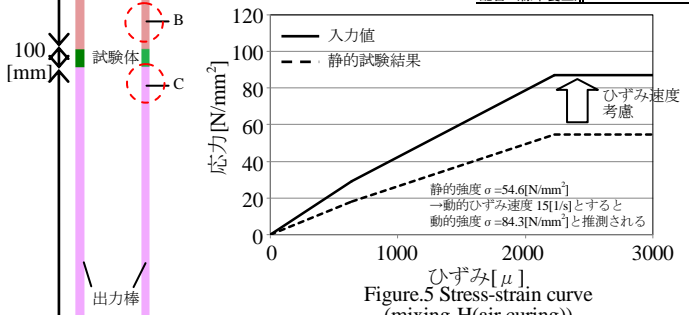
各棒の材料特性に鋼材(線形)を仮定する。打撃棒に衝突速度を与え、入力棒に衝突させる。衝突により発生した応力波が各棒を伝播し、入・出力棒上の各計測点に生じる変位を解析結果より抽出し、A~C 点のひずみ(ε<sub>A</sub>, ε<sub>B</sub>, ε<sub>C</sub>)を算出する。各計測点は、5[mm]間隔で2点ずつ、計6点設定し、それらの点から得られる変位の差を計測点間隔(5[mm])で除し、各点(A~C 点)で得られるひずみとする。得られたひずみを前報(その1)式(1)~(3)に適用させ、試験体に生じる平均応力、平均ひずみ速度、平均ひずみを算出する。



	密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	ヤング係数 [N/mm <sup>2</sup> ]	ポアソン比
鋼材(試験機)	7900	2.05E+06	0.3

試験体名	打撃棒衝突速度 (m/s)
配合H(気中養生)	6.82
配合H(標準養生)	6.72



1 : 日大理工・院・海建 Graduate Student ,Nihon Univ. 2 : 株式会社奥村組 Okumura Corporation  
 3 : 財団法人電力中央研究所 Central Research Institute of Electric Power Industry 4 : 株式会社メイテック Meitec Corporation  
 5 : 日本原子力発電株式会社 The Japan Atomic Power Company. 6 : 日大理工・教授・海建 Prof,NihonUniv.DrEng

2. 2. 試験体

試験体モデルを Figure.4 に示す. 配合 H(気中養生), 配合 H(標準養生)のコンクリートの圧縮域における応力ひずみ関係を静的試験結果と数値解析を比較してそれぞれ Figure.5, Figure.6 に示す. 本解析ではコンクリートは弾塑性体とし, 静的載荷試験から得られた応力ひずみ曲線を多直線近似しモデル化する. 降伏の判定には, Drucker-Prager の降伏条件式を採用する.

また, コンクリートのひずみ速度依存性を考慮するために, 静的載荷試験から得られた強度を, 動的圧縮強度式を適用させることであらかじめ割り増し, 試験体の物性値として入力する. 動的圧縮強度式は SHPB 法載荷試験結果に基づき Tang らにより提案された式 (9) を適用する. ただし,  $f'_{cd}$ : コンクリートの動的圧縮強度,  $f'_c$ : 静的圧縮強度,  $\dot{\epsilon}$ : ひずみ速度 [1/s],  $\dot{\epsilon}_0$ : 1 [1/s] とする.

$$f'_{cd} = f'_c \cdot 1.155 \left( \frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_0} \right)^{0.12} \quad (9)$$

2. 3. 境界条件

SHPB 法試験装置, 試験体共に 1/4 対称モデルとし, 対称境界面は x 方向及び y 方向を拘束する. 出力棒下端を x 方向 y 方向及び z 方向拘束する.

3. 解析結果

配合 H(気中養生)の実験結果と解析結果の比較を Figure.7, Figure.8, Figure.9 に示す. 各図から, 平均応力, 平均ひずみ, 平均ひずみ速度ともに, 最大荷重時 (800[μs])まで概ね整合していることが確認できる.

配合 H(標準養生)の実験結果と解析結果の比較を Figure.10, Figure.11, Figure.12 示す. Figure.10 から, 打撃棒が 1.0[m]の解析結果では応力の最大値が降伏応力(100.7[N/mm<sup>2</sup>])に到達していないため, 試験体を破壊することができないことが確認できる. また, 打撃棒 1.5[m]の解析結果から, 降伏応力に到達していることから, 試験体を破壊することができることを確認できる.

4. まとめ

本報では, SHPB 法載荷試験を模擬したシミュレーション解析を行い, 配合 H(気中養生)の実験結果との整合性を確認するとともに, 打撃棒を 1.0[m]から 1.5[m]に長くすることで, 配合 H(標準養生)の試験体を破壊することができることを解析的に検証した.

【参考文献】

[1]Tianxi Tang, Lawrence E.Malvern, David A.Jenkins : Rate effects in uniaxial dynamic compression of concrete

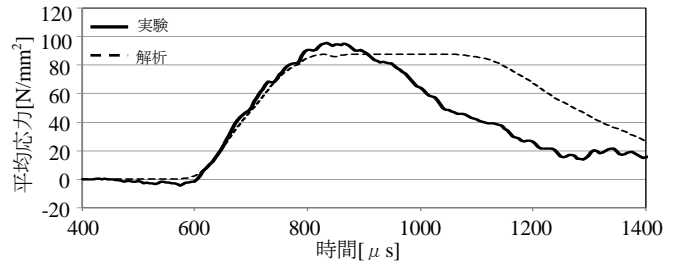


Fig7 Time history waveform of stress of mixing-H(air curing)

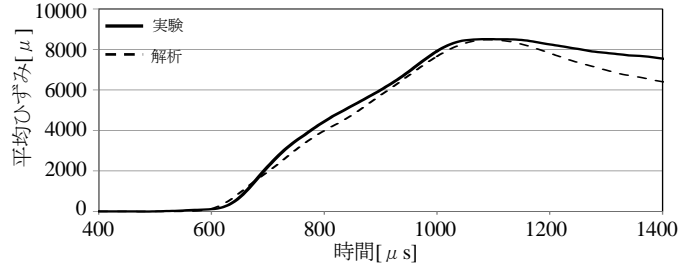


Fig8 Time history waveform of strain of mixing-H(air curing)

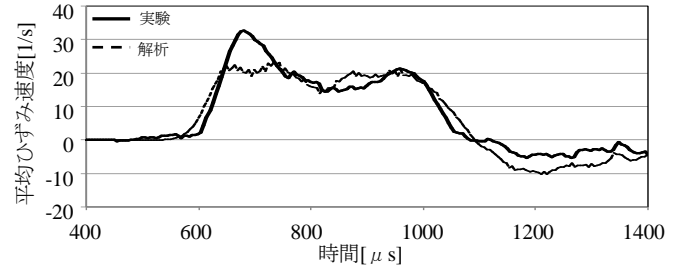


Fig9 Time history waveform of strain rate of mixing-H(air curing)

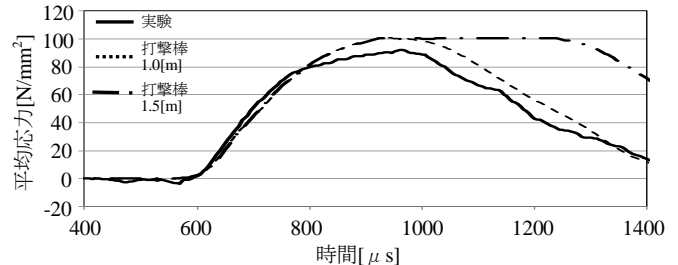


Fig10 Time history waveform of stress of mixing-H(standard curing)

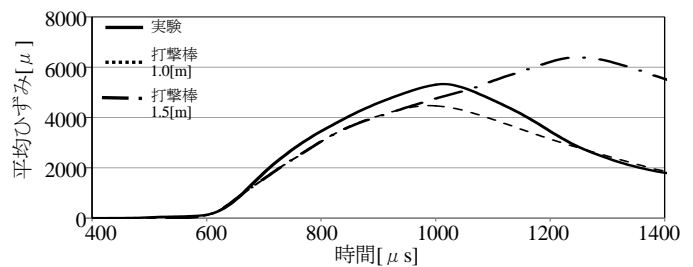


Fig11 Time history waveform of strain of mixing-H(standard curing)

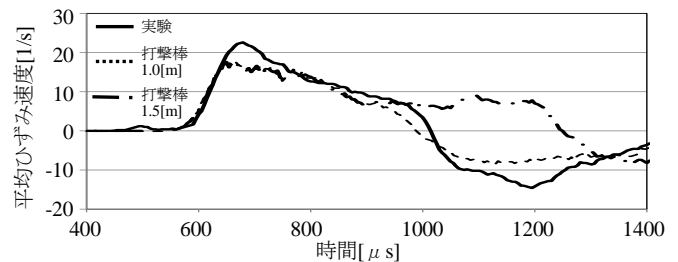


Fig12 Time history waveform of strain rate of mixing-H(standard curing)