

F E M解析による新素材の材料試験の検証について

- 九州大学 工学府建設システム工学科 学生会員 劉 貴位
九州大学教授 工学府工学研究院 フェロー 大塚 久哲
九州産業大学教授 工学部 正 会 員 水田 洋司

1 . はじめに

鋼製構造物の耐震安全性の向上や産業廃棄物であるワイヤットの有効利用などの観点から超軽量・高強度な建設資材(以下「新素材」という)が著者らにより開発され、様々な材料試験が行われた。本研究では、文献⁽¹⁾で提案した「新素材」の応力 - ひずみ関係の妥当性を検証する目的として、当該材料の非線形特性と低引張材料のクラック現象を考慮した三次元 FEM 解析を行い、圧縮試験と曲げ試験の数値シミュレーションを実施した。次に、荷重 - ひずみ関係を着目して FEM の解析値と測定値との比較を通じて、それらの提案式の信憑性を述べる。

2 . 解析対象となる材料特性

解析となる材料の諸元を表 -1 に示す。また、文献⁽¹⁾で提案した新素材の力学特性をそれぞれ次式に示す。

$$1) \text{ 材料密度 } \gamma = 1.2 \text{ t/m}^3 \text{ の場合: } \sigma_c = \sigma_{ck} \times \frac{\varepsilon}{0.155} \times \left\{ 2.0 - \frac{\varepsilon}{0.155} \right\}$$

$$2) \text{ 材料密度 } \gamma = 0.8 \text{ t/m}^3 \text{ の場合: } \sigma_c = \sigma_{ck} \times \frac{\varepsilon}{0.165} \times \left\{ 2.0 - \frac{\varepsilon}{0.165} \right\}$$

$$3) \text{ 材料密度 } \gamma = 0.4 \text{ t/m}^3 \text{ の場合: } \sigma_c = \sigma_{ck} \times \frac{\varepsilon}{0.014} \times \left\{ 2.1 - \frac{\varepsilon}{0.014} \right\}$$

また、式中には σ_{ck} は材料の圧縮強度、 σ と ε は応力度とそれに対応するひずみである。

表 -1 新素材の諸元一覧表

目標密度	1.2 t/m ³	0.8 t/m ³	0.4 t/m ³
圧縮試験	C-1-1	C-2-1	C-3-1
	C-1-2	C-2-2	C-3-2
	C-1-3	C-2-3	C-3-3
曲げ試験	B-1-1	B-2-1	B-3-1
	B-1-2	B-2-2	B-3-2
	B-1-3	B-2-3	B-3-3

3 . 解析モデル

本研究では汎用プログラムである MSC MARC を使用し、材料の非線形特性及び低引張強度のクラック現象を考慮した荷重漸増解析を実施した。解析に用いる材料の降服条件は VON MISES の提案式を適用した。また、三次元 FEM 解析モデルをそれぞれ図 -1, -2 に示す。

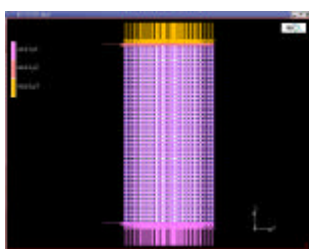


図 -1 圧縮試験用の解析モデル

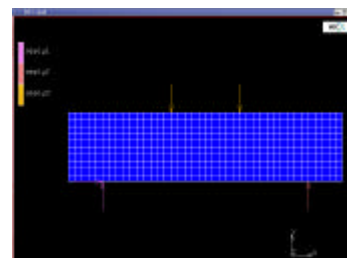
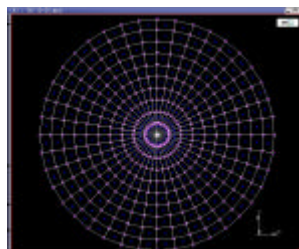


図 -2 曲げ試験用の解析モデル

4 . 解析結果

図 -3 ~ 11 は圧縮試験数値シミュレーションで得られた荷重 - ひずみ関係で、図中の縦軸は Z 方向の鉛直荷重、横軸は供試体中央部位に生じる Z 方向の圧縮ひずみである。また、図 -12 ~ 20 は曲げ試験数値シミュレーションで求めた荷重 - ひずみ関係で、図中の縦軸は Z 方向の鉛直荷重、横軸は供試体上下面のスパン中央部位に生じる X 方向の圧縮・引張ひずみである。比較のため FEM 解析値を実線、材料試験で測定した値を ○ 印で区別している。

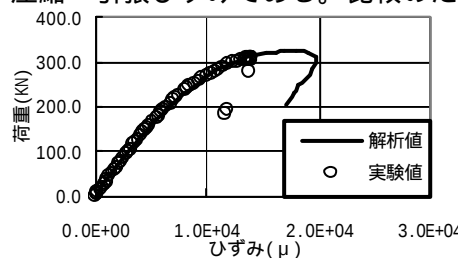


図 -3 C-1-1 の比較結果

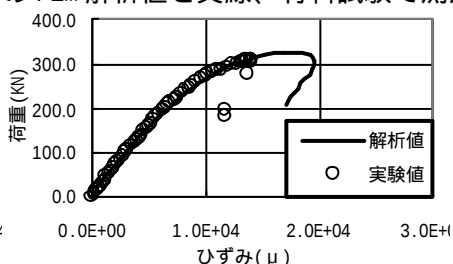


図 -4 C-1-2 の比較結果

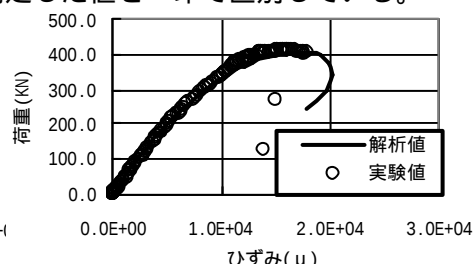


図 -5 C-1-3 の比較結果

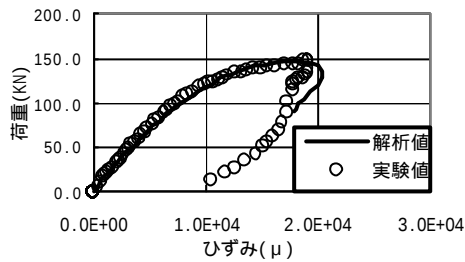


図 -6 C-2-1の比較結果

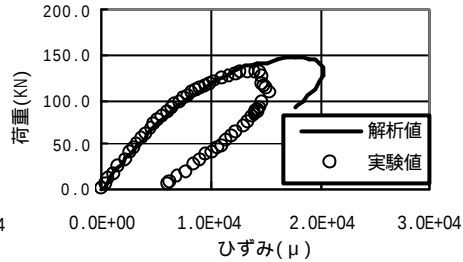


図 -7 C-2-2の比較結果

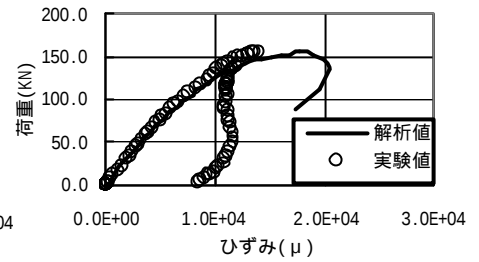


図 -8 C-2-3の比較結果

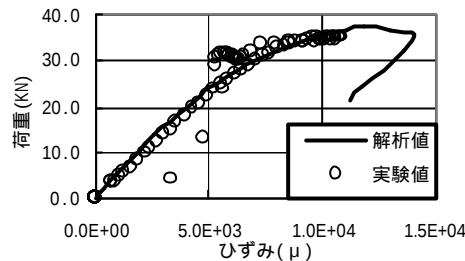


図 -9 C-3-1の比較結果

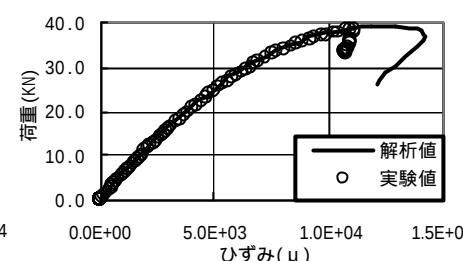


図 -10 C-3-2の比較結果

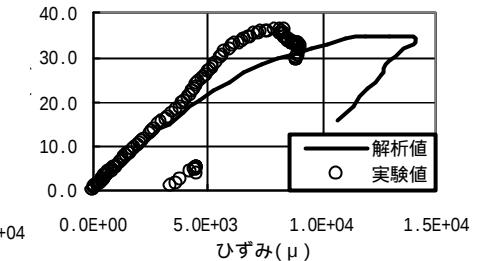


図 -11 C-3-3の比較結果

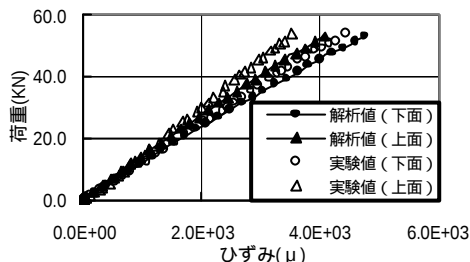


図 -12 B-1-1の比較結果

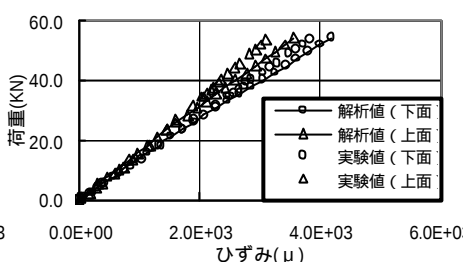


図 -13 B-1-2の比較結果

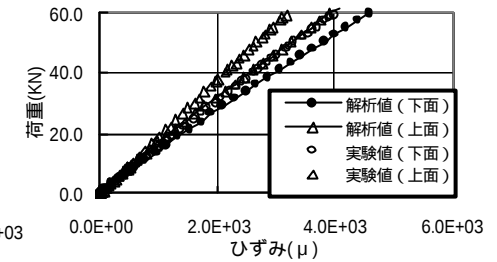


図 -14 B-1-3の比較結果

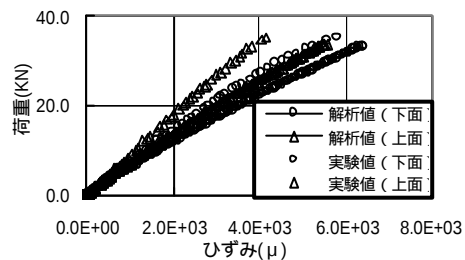


図 -15 B-2-1の比較結果

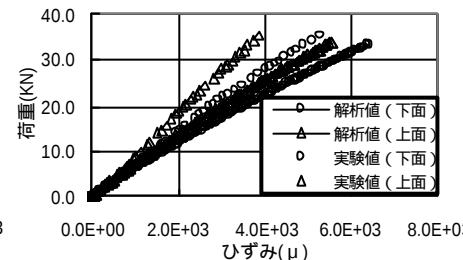


図 -16 B-2-2の比較結果

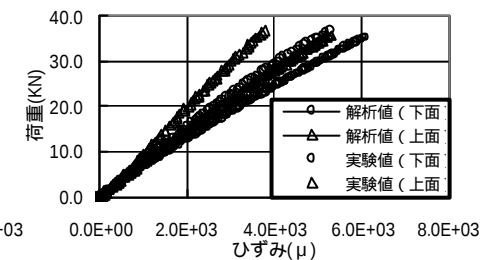


図 -17 B-2-3の比較結果

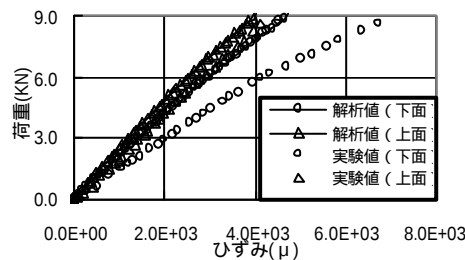


図 -18 B-3-1の比較結果

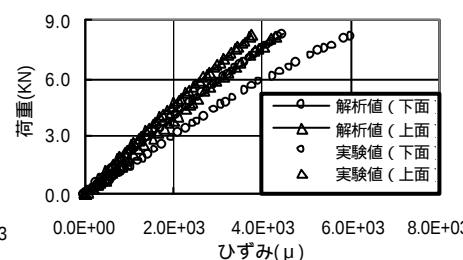


図 -19 B-3-2の比較結果

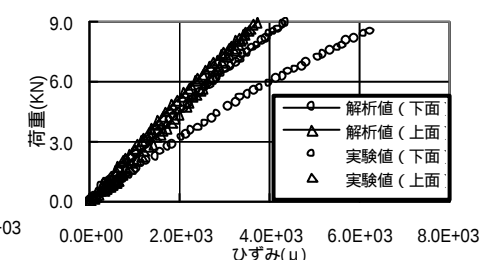


図 -20 B-3-3の比較結果

4. 結論

本研究で得られた知見としては、圧縮・曲げ耐力の解析値は測定値とほぼ一致していること、1%に達するまでの荷重 - 圧縮ひずみ関係は解析値と実験値ともに良く合っていること、などが挙げられる。また、文献²⁾によれば鋼製構造物の許容ひずみは(0.6 ~ 1.0) %程度なので、文献¹⁾で提案した「新素材」の応力 - ひずみ関係は鋼製構造物の耐震設計に使用できると言えよう。しかし、曲げ試験で測定した荷重 - 圧縮ひずみ関係と解析値にバラツキがあるので、十分なデータ蓄積と更なる研究の必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 劉貴位・大塚久哲・水田洋司・清水敦夫：産業廃棄物を用いた超軽量・高強度な材料の開発と静的な力学特性に関する基本研究，日本材料学会論文集，2005, 10月に投稿中
- 2) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，平成 14 年 3 月 12