

京都大学大学院 学生員 ○西井 隆太郎 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征
 京都大学大学院 正会員 佐藤 顕彦 京都大学大学院 正会員 安 琳

1. はじめに

FEM モデル上では材料非線形性を正確に反映することが困難であり、構造物の地震時応答の解析精度には課題がある[1]。そこで、本研究ではレベル 2 地震動に対する地震応答解析と 2 軸材料実験の結果を比較し、解析上の材料構成則モデルの問題点を指摘する。

2. 対象橋脚及び解析モデル

2.1. 対象橋脚

本研究の対象橋脚は 3 径間連続鋼箱桁を支持する鋼製橋脚であり、地表面から天端までの高さは 19.4 m である。支承は本橋脚のみ固定支承であり、他の橋脚とは橋軸方向に可動する支承で結合されている。なお、地表面から 2 m までコンクリートが充填されており、1.4 m までは根巻きコンクリートが存在する。

2.2. 解析モデル

本研究では、汎用有限要素解析ソフトウェア Abaqus2020 を用いて解析を行った。図-1 に本橋脚の解析モデルを示す。解析モデルは図面を参考にコンクリートはソリッド要素、鋼はシェル要素で作成した。解析で設定した材料特性を表-1 に示す。本研究では鋼材の弾塑性解析を行うため、降伏後の応力ひずみ関係をバイリニアモデルで設定した。2 次勾配は（降伏ひずみ、降伏応力）と（破断伸び、引張強度）の 2 点を結ぶ直線から求めた。用いたパラメータを表-2 に示す。なお、コンクリートは線形弾性体としてモデル化し、損傷は考慮していない。基部の境界条件は橋軸、橋軸直角方向は完全固定とし、鉛直方向にはばね定数 $k = 2.45 \times 10^6$ N/mm のばねを挿入した。载荷条件として、まず重力加速度(9.8 m/s²)をモデル全体に作用させる。また、橋軸方向は本橋脚のみが可動支承となっており、上部工の慣性力の本橋脚本橋脚のみで負担すると考えられる。よって、上部工重心位置に橋軸方向にのみ慣性力を载荷した。本研究では対象橋脚に対しレベル 2 地震動の 2 方向载荷を行い、動的解析を行った。本研究で用いた地震波は兵庫県南部地震のポート

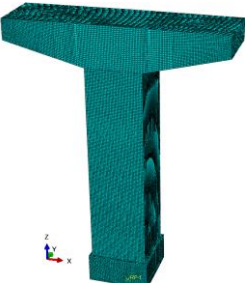
アイランド地盤上で計測された地震波を道路示方書に記載された方法で振幅調整を行ったものである。

表-1 材料特性

材料	$E(\text{N/mm}^2)$	ν	$\rho(\text{ton/mm}^3)$
鋼材	2.06×10^5	0.3	7.86×10^{-9}
コンクリート	2.55×10^4	0.167	2.55×10^{-9}

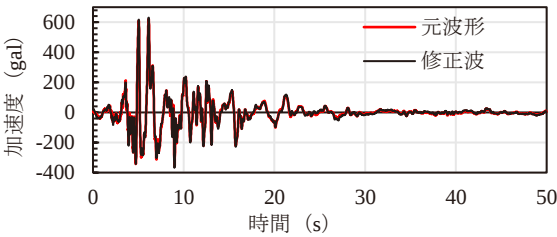
表-2 応力ひずみ関係モデル

鋼種	降伏 応力 (MPa)	引張 強度 (MPa)	破断 伸び (ϵ)	2 次勾配 (GPa)
SM520B	355	520	0.19	0.717
SM490YB SM490YA	355	490	0.19	0.876
SS400	235	400	0.17	0.918

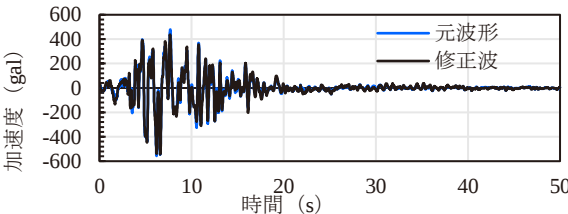


高さ：地表面から 19.4 m
 断面寸法：矩形
 板厚・鋼種分布：
 地表面から
 0-5.0 m SM520B 34 mm
 SM490YB 23 mm
 5.0-14.44 m SM490YB 20 mm
 14.44-19.4 m SM490YB 25 mm

図-1 解析モデル



(a) 橋軸(Y)方向加速度



(b) 橋軸直角(X)方向加速度

図-2 入力地震波

3. レベル2 地震動の解析結果

図-3(a)に解析中の 7.85 s で降伏している要素を示す。赤色部が降伏した要素であり、青色部は降伏していない要素である。橋脚基部で多くの要素が降伏した。コンクリート充填部と中空部の境界のほか、そこから 5.0m 離れた部分でも多くの要素が降伏した。これは板厚変化点にあたり、板厚が薄い方では比較的高い応力が集中したため広範囲で降伏に至ったと考えられる。本研究では、板厚変化部直上の図心付近の単要素のひずみ履歴を利用する。

3.1. 実験概要

本実験では解析結果の図-4に示すひずみ履歴の再現を行い解析と実際の応力ひずみ関係の比較を行う。試験体を図-5に示す。载荷は軸ひずみ、せん断ひずみの2方向について、ひずみ制御で静的同時载荷を行った。軸ひずみの载荷速度は $25 \mu\epsilon/s$ とした。ひずみの移動時間が小数となる部分では、移動時間はすべて繰り上げて整数となるようにしている。そのため、せん断ひずみの移動速度は一定にはなっていない。

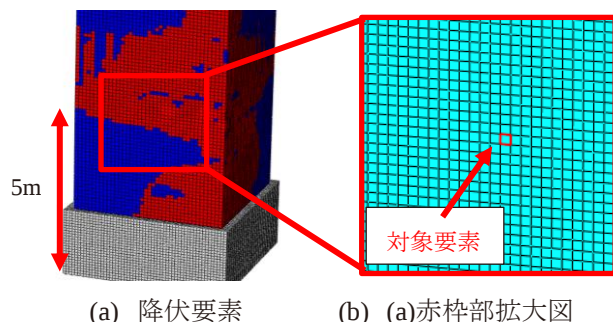


図-3 動的解析コンター図

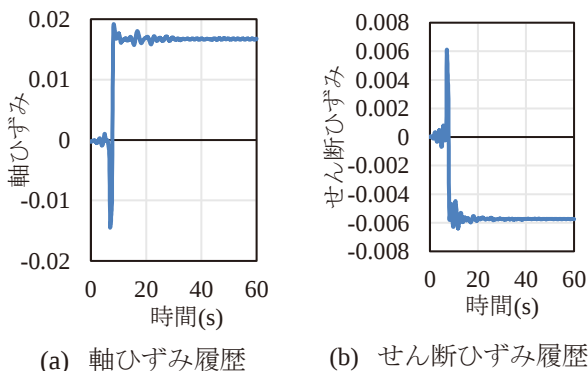


図-4 動的解析でのひずみ履歴



図-5 試験体

3.2. 実験結果

図-6 に応力—ひずみ関係の実験と解析の比較を示す。軸方向は応力が実験値のほうが小さくなっている点が多い。また、相当応力—相当塑性ひずみ関係を比較すると、実験では解析に比べ最大応力が大きい。この原因としては、破断伸びと引張強度を用いて2次勾配を設定したため実際よりも勾配が小さいためである。また、2回目の降伏以降は弾性域から塑性域に滑らかに変化するため降伏点が不明瞭になる。さらに、2次勾配は 4.87 GPa となり、バイリニアモデルに2次勾配で一般的に用いられている $E/100$ の値と比べると大きくなっていった。しかし、2回目の降伏時の最大応力更新後の2次勾配は 2.00 GPa となった。硬化則の非線形により2次勾配が変化する点、2回目以降の降伏点不明瞭になる点からもバイリニアモデルでは不十分であり、勾配の変化を考慮した構成則モデルを提案する必要がある。

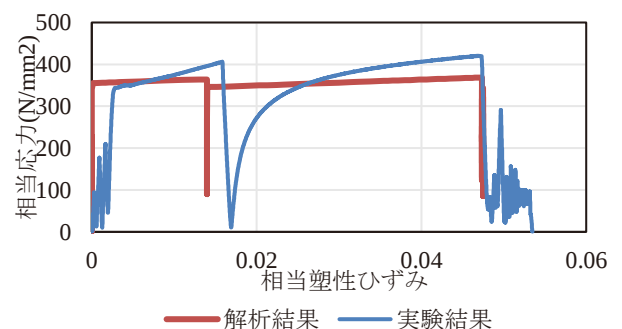
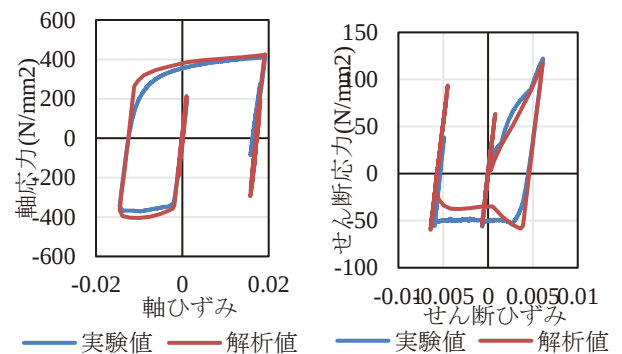


図-6 応力ひずみ関係の解析値・実験値の比較

参考文献

- [1] 後藤芳顕, 王慶雲, 高橋宜男, 小畑誠: 繰り返し荷重下の鋼製橋脚の有限要素法による解析と材料構成則, 土木学会論文集, 1998 年 1998 巻, 591 号, pp. 189-206, 1998