

既設鋼製橋脚の十回オーダー繰り返し耐荷挙動に関する解析的検討

関東学院大学大学院	学生員	○平口 未帆	関東学院大学	正会員	北原 武嗣
関東学院大学	正会員	田中賢太郎	大阪市立大学大学院	正会員	山口 隆司
			川崎市役所	正会員	下町 和樹

1. はじめに

南海・東南海・東海地震が切迫している現状、海溝型巨大地震動を受ける構造物の地震時挙動を把握することは急務の課題と考えられる。海溝型巨大地震では長周期かつ長継続時間地震波¹⁾が生じると考えられるが、長周期かつ長継続時間地震動を受ける構造物の地震時挙動や耐荷性状に関して十分な検討は行われていないのが現状である。

著者らは、既設鋼製橋脚を検討対象とした、長継続時間を模した载荷パターンによる漸増繰り返し载荷実験を実施してきており、十回オーダーの繰り返し载荷により耐力低下が生じる可能性を示した²⁾。本研究では、実験供試体を解析対象としたFEM解析を実施し、既報の実験との比較および耐力低下の要因を考察する。

2. 繰り返し载荷実験の概要

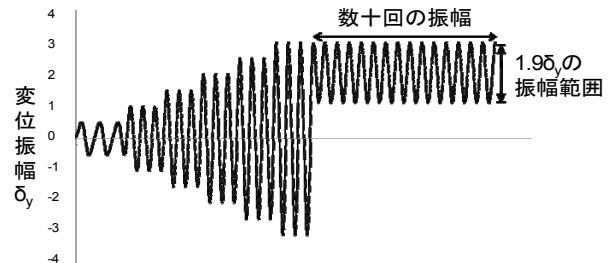
(1) 実験供試体

都市高速に一般的に用いられることの多い橋脚高さ11m程度の鋼製橋脚を想定し、約1/8に縮小した実験供試体とする。耐力や変形性能に影響を及ぼすパラメータとして、補剛板パネル全体や縦補剛材間の板パネル等の幅厚比パラメータ、および細長比パラメータ等に着目し、これらが実物橋脚と実験供試体とで一致するように供試体寸法を決定した。断面寸法は供試体の断面高さ262mm、幅372mmとなった。また、補剛材寸法は、補剛材高さ21.5mm、板厚は6mmとした。橋脚の縮小模型の構造諸元は断面積 $7,464\text{mm}^2$ 、降伏強度 $\sigma_y 310.0\text{ N/mm}^2$ 、ヤング率 $1.973 \times 10^5\text{ N/mm}^2$ 、降伏水平耐力 116.8 kN 、降伏水平変位 8.6 mm である。

(2) 载荷方法

既設鋼製橋脚の耐荷性状を検討するため、漸増繰り返し载荷実験²⁾を行った。以下に载荷方法の概要を示す。

$\pm 0.5\delta_y$, $\pm 1.0\delta_y$, $\pm 1.5\delta_y$, $\pm 2.0\delta_y$, $\pm 2.5\delta_y$, $\pm 3.0\delta_y$ の変位をそれぞれ3回の繰り返し载荷を行い、最大荷重履歴を確認後、完全弾塑性の初等はり理論による弾性範囲と見なせる変位振幅で十回オーダーの繰り返しを与えるものとした。この十回オーダーの繰り返し変位振幅として、 $1.6\delta_y$, $1.9\delta_y$ の2ケースで実施した。また、参考として少し大きい変位振幅として $2.3\delta_y$ の変位振幅でも実験を行った。図-1に変位振幅 $1.9\delta_y$ のケースの载荷パターンを示す。

図-1 载荷パターン(変位振幅範囲 $1.9\delta_y$)

3. FEM 解析の概要

汎用有限要素構造解析ソフト DIANA9.3 を用い、材料非線形と幾何学的非線形を考慮した複合非線形解析を行った。解析モデルは、4 節点四辺形アイソパラメトリック曲面シェル要素 Q20SH を用いてモデル化を行った。図-2 に実験供試体と同サイズの解析モデルを示す。

図-2 に示すように、B 側を固定点としすべての節点を 6 自由度拘束した。また A 側を载荷点側とし、実験で与えた 225.6 kN の軸力を初期状態として与えた後、実験と同様、水平方向(図では鉛直方向)に強制変位を与えた。

材料特性は図-3 に示すようなバイリニアモデルで、降伏ひずみを 1595.7×10^{-6} 、ポアソン比を 0.31、2 次剛性を初期剛性の百分の一とした。モデルの総節点数は 2,832、総要素数は 2,656 である。

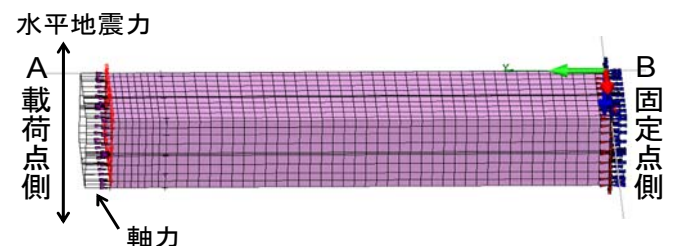


図-2 解析モデル

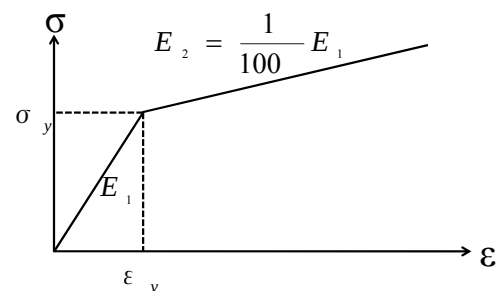


図-3 解析に用いた応力-ひずみ関係

4. 解析結果とその考察

(1) 荷重－変位関係

変位振幅範囲 $\pm 1.9\delta_y$ のケースについて、繰り返し載荷実験により得られた荷重－変位曲線と、FEM解析により得られた荷重－変位曲線を図-4に示す。図中、実線は実験結果を、点線は解析結果を示している。図から解析結果は実験結果を良く再現できているといえる。

図-5には、変位振幅範囲 $1.9\delta_y$ のケースについて10回目の繰り返し載荷後の変形図を示す。実験時に観察された座屈形状と同様の変形が確認できる。

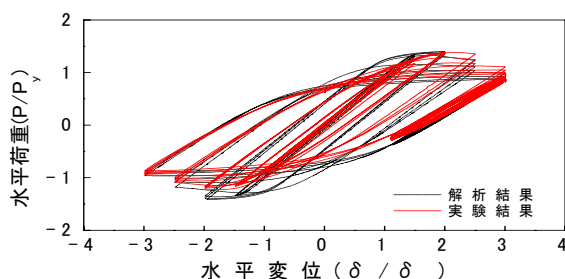


図-4 荷重－変位曲線(変位振幅範囲 $1.9\delta_y$)

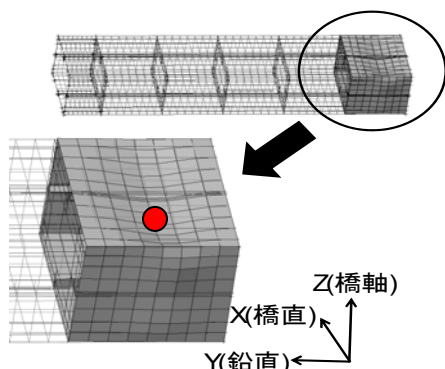


図-5 変形図(変位振幅範囲 $1.9\delta_y$)

同様に、変位振幅範囲 $1.6\delta_y$ 、 $2.3\delta_y$ についても解析結果を整理し、各ケースの $3\delta_y$ 付近の耐力変化をまとめたものを表-1に示す。

表-1 実験結果の耐力変化率(%)

変位振幅範囲		$1.6\delta_y$	$1.9\delta_y$	$2.3\delta_y$
実験	繰り返し5回での低下率(%)	6.16	3.74	7.75
	繰り返し10回での低下率(%)	8.05	5.96	9.50
解析	繰り返し5回での低下率(%)	0.48	0.89	1.06
	繰り返し10回での低下率(%)	1.25	1.25	1.34

表-1より、実験、解析のどちらの結果からでも繰り返し回数が増えるにしたがい、耐力低下の割合が大きくなる傾向がみとれる。また、変位振幅範囲が大きくなるほどやはり変化率も大きくなる。ただし、実験の振幅範囲 $1.9\delta_y$ の場合のみ低下率が減少している。これ

は、実験において変位 $3.0\delta_y$ 付近でアクチュエータに微振動が生じてしまったことが原因と考えられる。

また、全般的に解析結果の方が実験結果より耐力低下の絶対値は小さくなっている。この原因は今後の課題としたい。

(2) 応力－ひずみ関係

変位振幅範囲 $1.9\delta_y$ のケースについて、図-6にステップ毎のひずみの変化を示す。ここでは、図-5の赤丸印の節点における平均ひずみとした。

図-6より、3000ステップ付近で大きなひずみが生じ座屈が発生したものと考えられる。その後、5000ステップあたりから $1.9\delta_y$ 振幅での繰り返しを履歴しているが、ひずみが片方に大きくドリフトしているような傾向はみられない。

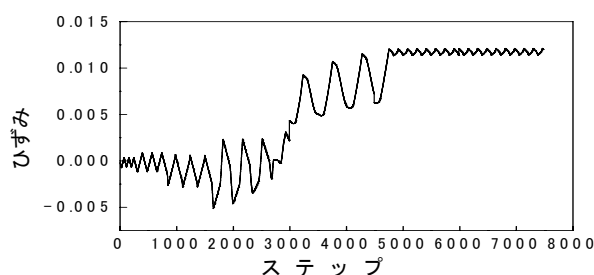


図-6 ステップ毎のひずみ変化

5. まとめ

既報²⁾により、長継続時間地震を模した十回オーダーの繰り返し載荷実験により耐力低下がおこる可能性を示したが、今回、FEM解析によりその再現を試みた。荷重－変形関係は、実験結果とほぼ同様の結果が得られた。繰り返しによる耐力低下に関しては、繰り返し回数の増加にしたがって耐力低下が大きくなる、変位振幅範囲が増加するにしたがい耐力低下も大きくなることを実験、および解析により確かめることができた。ただし、実験では10回の繰り返しで6～10%の低下であったが、解析では1.3%程度の低下に留まった。今後、より詳細なFEM解析を実施することにより実験と解析結果の差異の原因究明に努めるとともに、繰り返しによる耐力低下が生じるメカニズムの解明を行いたい。

謝辞：本研究の実施に際し、平成21年度科学研究費補助金基盤研究(c)(課題番号:20560451)の助成を得た。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本建築学会，東海地震等巨大災害への対応特別調査委員会地震動小委員会：各種波形予測手法に基づいた海溝型巨大地震の予測強震動波形収集資料，2007。
- 2) 田中賢太郎，北原武嗣，山口隆司，吉田隆信：長継続時間地震動を考慮した既設鋼製橋脚の耐荷性能の実験的検討，鋼構造年次論文報告集，Vol.16，pp.291-296，2008。