

座屈パラメータの違いが長時間継続地震動を受ける鋼製橋脚の耐力低下に及ぼす影響

株式会社ピー・アイ・ティー 正会員 ○鈴木 拓馬 関東学院大学 正会員 北原 武嗣  
 首都大学東京 正会員 岸 祐介 関東学院大学 正会員 大谷 友香

1. はじめに

近年、我が国では、東海・東南海・南海地震等に代表されるような海溝型巨大地震の発生が懸念されている。海溝型巨大地震は2011年に発生した東北地方太平洋沖地震と同様に、長周期かつ長時間継続の地震動となることが予想されている。しかし、長時間継続地震動を受ける鋼製橋脚の耐震性に関しては、現状では十分な検討が行われてきていない。一方、鋼製橋脚に対する対策は急務であると考えられ、繰返し振幅が耐力低下に与える影響についての検討が必要である。

これまでに長時間継続地震動によって既設の鋼製橋脚に耐力低下が生じる可能性に関して、実験的・解析的検討を行ってきたが、既往の研究では実績データをそのまま用いたため、細長比パラメータと幅厚比パラメータの値がそれぞれ異なっていた。本研究では細長比パラメータ $\bar{\lambda}$ 、幅厚比パラメータ $R_f$ それぞれの値を統一し、 $R_f$ のみ、 $\bar{\lambda}$ のみを変えたモデルを用いて数値解析を行い、橋脚を構成する補剛板の座屈パラメータと長時間地震動による繰返し振幅が耐力低下に与える影響について検討を行った。

2. 検討概要

解析には汎用有限要素解析ソフト DIANA9.4.4 を用いた。既往の研究により、主に橋脚基部付近で局部座屈が発生することが確認されているため、解析モデルは橋脚の全長に対し、基部より約1/3程度の高さまでを曲面シェル要素、上部2/3程度をはり要素で簡略化してモデル化した。橋脚基部と上部の間は剛はり要素を用いて剛結としている。また、橋脚モデル断面の対象性を考慮し、橋脚高さ方向に対して断面1/2部分のみをモデル化した。

座屈パラメータについては既設の鋼製橋脚の実績データを参考に、 $\bar{\lambda}=0.37$ で統一し、 $R_f$ を0.66、0.52、0.32とする幅厚比パラメータに関する検討と、 $R_f=0.52$ で統一し、 $\bar{\lambda}$ が0.51、0.37、0.32となる細長比パラメータに関する検討を行った。表1に各モデル構造諸元を、図1に各解析モデルを示す。解析モデルの境界条件については、橋脚基部を完全固定として6自由度を拘束し、橋脚上部は3軸とも並進および回転を許容するものとした。荷重条件として、橋脚上部への軸力と自重を載荷して初期応力状態を決め、その上で水平方向に強制変位を与えた。

材料構成則として、材料試験結果をもとに移動硬化型のバイリニアモデルで応力-ひずみ関係を定めた。降伏条件は von Mises とし、二次剛性は一次剛性の1/100とした。初期たわみについては、ウェブ、フランジそれぞれに対し、板幅全体に対して1/1000、縦リブ間隔に対して1/150を最大値とする正弦波で仮定した。以上より、材料非線形と幾何学的非線形を考慮した複合型非線形を行い、解析ケースに関しては、幅厚比パラメータの異なる3つの有

表1 構造諸元(幅厚比比較)

解析モデル	A	B	C
橋脚高さ(mm)	1572	1192	1190
断面積(mm <sup>2</sup> )	7980	5799	5194
降伏強度 $\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	330.0		
ヤング率 E(N/mm <sup>2</sup> )	$2.06 \times 10^5$		
降伏曲げモーメント(N・mm)	$2.32 \times 10^8$	$1.24 \times 10^8$	$1.07 \times 10^8$
降伏変位 $\delta_y$ (mm)	10.07	7.42	7.14
幅厚比パラメータ $R_f$	0.66	0.52	0.32
細長比パラメータ $\bar{\lambda}$	0.37	0.37	0.37

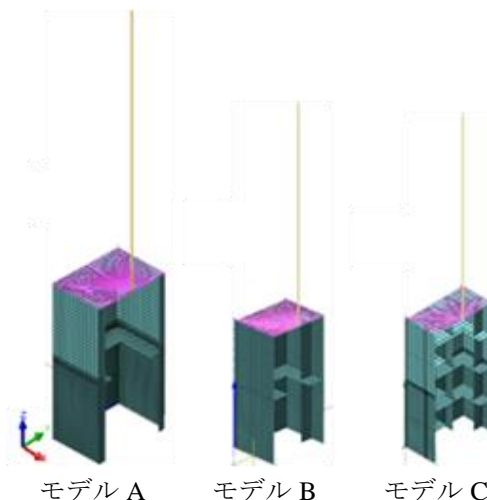


図1 解析モデル

限要素モデルそれぞれに対して、長時間継続地震動の作用を模擬した最大荷重を履歴するまでの漸増変位と、最大荷重履歴後に数十回オーダーで作用する繰返し変位振幅からなる载荷を行った。ここで繰返し振幅範囲に関しては初等はり理論の弾性範囲内である  $1.4\delta_y$ ,  $1.6\delta_y$ ,  $1.8\delta_y$  の3ケースで検討を行った(図2参照)。

### 3. 有限要素解析結果

図3は、繰返し振幅範囲  $1.8\delta_y$  のケースで得られた各モデルの荷重-変位関係を示しており、縦軸、横軸をそれぞれ降伏荷重( $P_y$ )、降伏変位( $\delta_y$ )によって正規化している。図3において、 $R_f$ ごとに水平変位量が異なっているのは、厚肉断面で構成されるモデルほど局部座屈が発生するまでの漸増载荷範囲が大きいためである。図3より、幅厚比パラメータが大きくなるにつれ、最大荷重履歴後の荷重低下の割合も大きくなる傾向がみられ、 $R_f$ の違いが軟化特性の違いとして表れていることを確認した。

次に、幅厚比パラメータの違いに着目した繰返し振幅範囲での耐力低下傾向を図4に示す。図4より、幅厚比パラメータが大きくなるにつれ、耐力低下率が大きくなることが確認できる。これは薄肉断面の場合、局部座屈が進展しやすいためであると考えられる。また、 $R_f=0.32$ ,  $0.52$  では、30回程程度の繰返しで1~1.5%程度の耐力低下で収束しているが、薄肉の  $R_f=0.66$  に関しては、100回の繰返しで6.5%ほどの耐力低下率となっており、他のモデルより5倍近く低下している。さらに全体的な傾向としては、 $R_f=0.66$  のモデルは100回の繰返し振幅を与えても収束せず、耐力低下が進行する結果となった。

一方、図5に示す細長比パラメータ $\lambda$ の値が大きいモデルの方が、低下率も大きくなる傾向がある。しかし、値としては2%未満に留まっていることから、短柱領域においては有効座屈長の違いによる影響は小さいといえる。

### 4. まとめ

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 幅厚比パラメータが耐力低下に与える影響について検討を行った結果、 $R_f$ の値が大きくなるほど、局部座屈が進展して耐力低下率が大きくなる傾向が得られた。
- (2) 細長比パラメータについても同様に検討を行ったところ、 $\lambda$ の値による耐力低下への影響は小さかった。これは検討範囲が短柱領域であったためだと考えられる。

現在、材料構成則を繰返し挙動の再現性に優れたモデルに変更して検討を進めており、結果が得られ次第、報告する予定である。

**参考文献**：1) 北原武嗣，ほか：数十回オーダー繰返し载荷を受ける既設鋼製橋脚の耐力低下に関する基礎的研究，土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) Vol.68, No.4, 地震工学論文集, Vol.31-b, 2012.

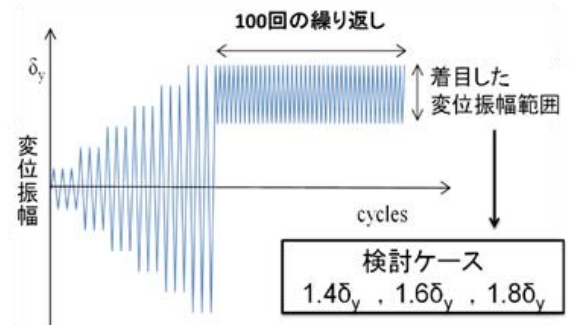


図2 繰返し振幅ケース

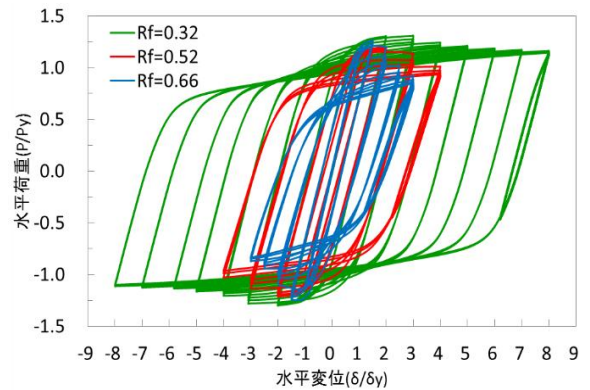


図3 荷重-変位関係 ( $1.8\delta_y$ )

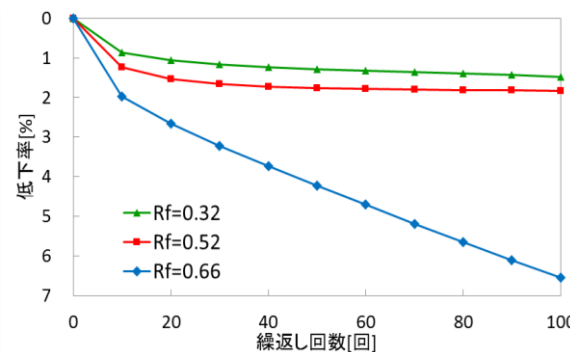


図4  $R_f$ による耐力低下傾向の違い ( $1.8\delta_y$ )

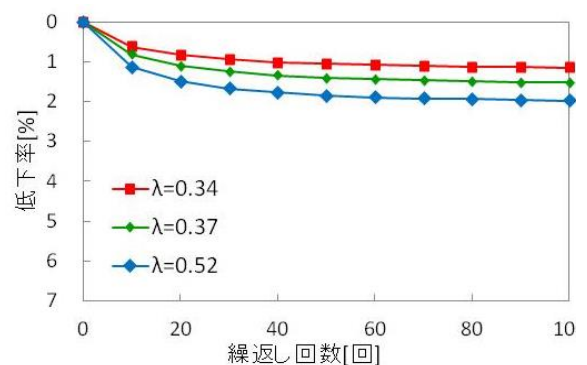


図5  $\lambda$ による耐力低下傾向の違い ( $1.8\delta_y$ )