継続時間の長い地震動による繰返し変位が鋼製橋脚の耐力低下に与える影響

ショーボンド建設株式会社　正会員　○濵野　剛　関東学院大学大学院　学生会員　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
大阪市立大学大学院　正会員　山口　隆司

1．はじめに

近年，東海・東南海・南海地震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おり，海溝型巨大地震は長周期かつ継続時間の長い地震動となると考えられる．実際，2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震では，3 分を越えるような長い継続時間の地震動が観測された．

このような継続時間の長い地震動を受ける鋼製橋脚の耐震性に関して，著者らは海溝型巨大地震による繰り返し載荷により鋼製橋脚に耐力低下が生じる可能性を実験的・解析的検討により明らかにしてきた [1)]．既往の研究では，都市高架橋に多用されている単柱式鋼製橋脚のうち，局部座屈が発生しやすい断面形状の橋脚を検討対象とした．

本研究では，継続時間の長い地震動による繰返し作用が鋼製橋脚全体の耐力低下に与える影響に関し，異なる幅厚比パラメータを有する鋼製橋脚を対象として解析的検討を行った．

2．検討手法

2.1 解析モデルおよび解析方法

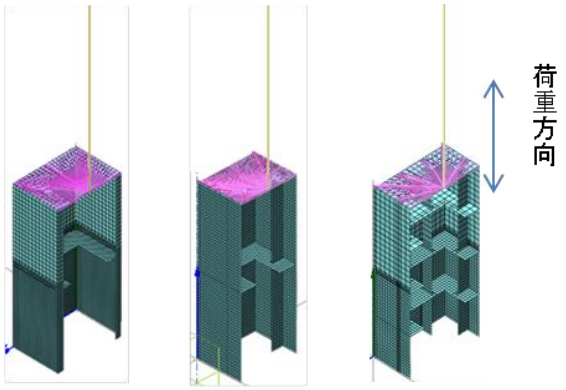
幅厚比パラメータの異なる 3 本の鋼製橋脚を解析対象として，幅厚比パラメータが耐力低下に与える影響に関して検討を行った．構造諸元を**表 1** に示す．

既往の研究により [1)]，局部座屈は柱基部付近で発生することが確認されている．そこで，解析モデルは橋脚高さより約 1/3 程度の高さまでをシェル要素を用いて詳細に，それより上側は，はり要素を用いてモデル化した．はり要素部分とシェル要素部分は，剛はり要素を用いて剛結した．また，対称性を利用し橋脚の高さ方向の断面 1/2 部分をモデル化した．**図 1** に解析モデルの全体図を示す．

境界条件は，解析モデルの基部側を完全固定とし 6 自由度拘束している．荷重としては，軸力と自重を載荷した初期応力状態に，強制変位を与えるものとした．最大変位履歴後の繰返し振幅範囲は，初等はり理論の弾性範囲内として変位振幅範囲 $1.4\delta_y$，$1.6\delta_y$，$1.8\delta_y$ の 3 ケースで検討を行った．変位振幅パターンは，R_f=0.32 の場合は$\pm 8\delta/\delta_y$ まで，R_f=0.49 の場合は$\pm 5\delta/\delta_y$ まで，R_f=0.62 の場合は$\pm 3\delta/\delta_y$ まで漸増繰り返し載荷をした後，弾性範囲内の繰り返しを 100 回与えるものとした．初期に与える変位の大きさが異なるのは最大荷重発生時の変位が異なるためである．

表 1　構造諸元

解析モデル	A	B	C
幅厚比パラメータ　R_f	0.62	0.49	0.32
断面積　A [mm^2]	7581	5799	5194
断面二次モーメント I [mm^4]	8738 ×10^5	3685 ×10^5	3161 ×10^5
降伏応力　σ_y [N/mm^2]	330.0		
ヤング率　E [N/mm^2]	2.055×10^5		
降伏曲げモーメント M_y [N・mm]	1986 ×10^5	1189 ×10^5	986 ×10^5
降伏水平変位　δ_y [mm]	9.1	14.6	5.4



(a)モデル A　(b)モデル B　(c)モデル C

図 1 解析モデル全体図

2.2 材料特性および構造諸元

材料特性として，バイリニア型の応力－ひずみ関係を用い引張試験結果より定めた．ひずみ硬化則は移動硬化則を適用した．降伏条件は von Mises とし，二次剛性は一次剛性の 1/100 と設定した．

キーワード　鋼製橋脚，海溝型巨大地震，長継続時間，耐力低下，FEM 解析
連絡先　〒236-8501　横浜市金沢区六浦東 1-50-1 関東学院大学理工学部　ＴＥＬ045-786-7857

3．解析結果と考察

図 2 に変位振幅範囲 $1.4\delta_y$ のケースの荷重－変位関係を示す．図 2 より，幅厚比パラメータが小さいと局部座屈が発生しにくいため，変形性能が高く安定した履歴を描いていることが確認できる．図 2 の 100 回の繰り返し部分から，耐力低下の度合いを読み取った．

耐力低下と繰り返し数の関係を図 3 に示す．この図は，変位振幅範囲 $1.4\delta_y$ における繰返し部分の耐力低下の状況を示しており，繰り返し数の増加とともに耐力低下が進展することがわかる．低下の割合は幅厚比パラメータが大きいほど影響が大きいといえる．R_f=0.32 および R_f=0.49 のケースでは，30 回程度の繰り返しで耐力低下は，ほぼ一定値に落ち着く傾向にあるが，R_f=0.62 の場合，30 回を越えても低下が進行している． 局部座屈の進展が耐力低下に大きな影響を与えていることが，この理由として考えられる．図示はしないが，変位振幅を $1.4\delta_y$ から $1.8\delta_y$ へと大きくした方が，耐力低下も大きくなった．

つぎに，変位振幅範囲 $1.8\delta_y$ のケースについて，局部座屈最大位置の要素における応力―ひずみ関係の繰返し部分の拡大図を図 4 に示す．図中 R_f=0.62 をみると，各ケースで 100 回の繰返しを受けている間，最大応力はほぼ一定値を繰返していることがわかる．しかし，最大応力はほぼ一定であるにも関わらず，ひずみは繰返しごとに徐々に増加している．このように，局部座屈発生位置での局所的なひずみの増加が，橋脚全体では同一変位振幅で耐力低下の一因となっていると考えられる．

4．まとめ

本研究で得られた結論と課題を以下にまとめる．

(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，幅厚比パラメータが大きいほど耐力低下も顕著となる傾向となった．また，幅厚比パラメータが小さいと 30 回程度で耐力低下は落ち着くが，幅厚比パラメータが大きい場合，100 回の繰り返しでも低下が進展し続けている．

(2) 座屈発生位置における応力―ひずみ関係において，繰返し部分では，繰返し変位を与えている間，一定応力のままでひずみが増加していく．この影響で橋脚全体では同一変位振幅で耐力が低下していると考えられる．

(3) 今後，鋼材の繰り返し履歴をより忠実に表現できる構成則を用いた解析により検討を加えたい．

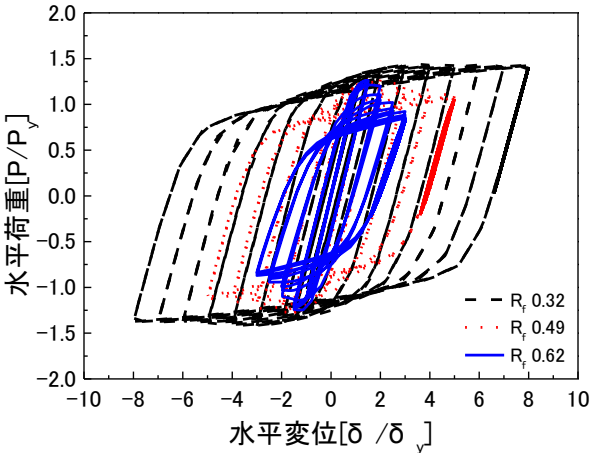


図 2　荷重－変位関係($1.4\delta_y$)

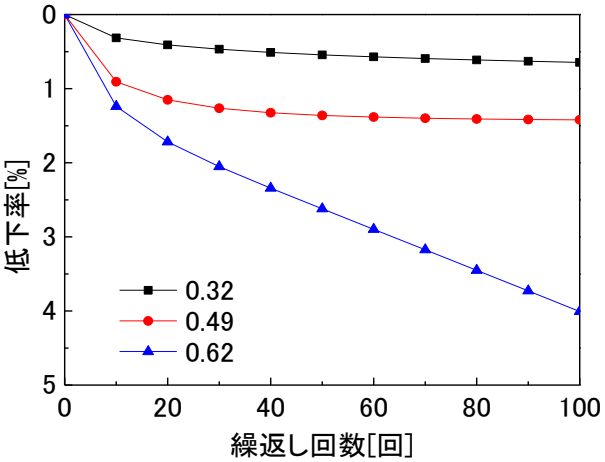


図 3　耐力低下状況（$1.4\delta_y$）

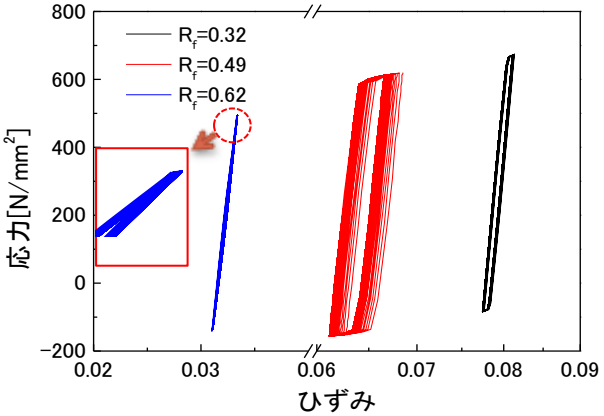


図 4 応力―ひずみ関係繰返し部分拡大図

参考文献

北原武嗣，田中賢太郎，山口隆司，岸祐介，濵野剛：数十回オーダー繰り返し載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，Vol.68，No.4，(地震工学論文集，Vol.31-b)，2012.