

基礎の降伏強度と上部構造物の非弾性応答の関係について

京都大学工学研究科 正会員 小野祐輔
立命館大学理工学部 フェロー 土岐憲三
京都大学工学研究科 正会員 清野純史

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震の経験を受けて、構造物の非弾性挙動を考慮した設計が注目されるようになった。しかしながら、このような設計法は、基礎固定の条件のもとで上部構造物のみを対象として行なわれる場合がほとんどである。これに対し、もし基礎構造物の非弾性化が許されるのであれば、許容される塑性変形をあらかじめ定義しておき、その範囲内において上部構造の塑性変形との配分をコントロールすることで、構造物の全体系としての耐震性能を合理的に考慮した設計が可能になると考えられる。そこで本研究では、基礎構造物の降伏強度が上部構造物の応答に及ぼす影響について検討を行った。

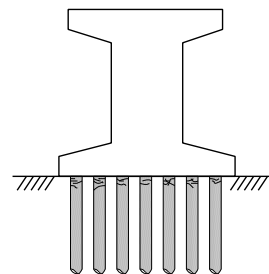


図-1 解析対象橋脚

2. 解析手法

図1に示すような杭基礎で支持された道路橋橋脚を解析の対象とする。本研究では、構造物の全体系を基礎と上部構造の二つに分けて考える。ここで基礎とは、杭基礎-地盤系を指し、上部構造とは橋脚躯体を指すものとする。また以後の検討において、構造物を支持する地盤として、図2に示す支持地盤の上にS波速度が125m/sの粘性土層を仮定したモデルを取り扱った。

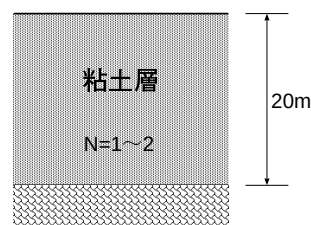


図-2 解析対象地盤モデル

表-1 SRモデルの諸元

上部構造の重量 W_s (N)	1.05×10^6
下部構造の重量 W_f (N)	2.05×10^6
回転慣性 I_f (N・m ²)	4.36×10^8
橋脚の高さ L (m)	12.000

地盤-杭基礎構造物系の動的相互作用を考慮した地震応答解析を行うために、2質点3自由度のスウェイ・ロッキングモデルを用いた。スウェイ、ロッキングばねはバイリニア型モデル、ロッキングばねは線形とする。スウェイばねの初期剛性とロッキングばねの剛性は、線形梁要素でモデル化した杭と非弾性地盤ばねからなる系に対してPushover解析を行い、得られた荷重-変位曲線の傾きを求めることで設定した。スウェイばねの降伏強度は、後に述べるようにパラメトリックに変化させるものとした。解析の対象とした基礎は、杭径が1.0mの4本杭基礎とした。杭間隔は3.0mと設定した。解析に用いたSRモデルの諸元を表1に示す。

構造物の非弾性挙動を考慮した耐震設計においては、必要強度スペクトルを用いることにより、基礎固定の1自由度系を対象として、構造物に生じる応答塑性率ごとに固有周期と降伏強度の関係が与えられる。本研究では、基礎杭の非弾性挙動が上部構造の耐震性能に及ぼす影響を見るために、上部構造の降伏強度を固定し、バイリニアモデルで定義したスウェイ運動の降伏強度を変化させたときに上部構造に生じる塑性率を3次元空間に描く。すなわち、ある一つの構造物の固有周期と、基礎の降伏強度の組み合わせに対して地震応答計算を行い、得られた応答塑性率を3次元空間上に一つの点としてプロットする。この手順を多数の固有周期と基礎の運動の降伏強度との多数の組み合わせについて繰り返すことで、固有周期と応答塑性率、基礎の降伏強度の関係を表す曲面を得ることができる。

この手順により求めた基礎構造物の降伏強度と上部構造物の塑性率および固有周期の関係の一例を図3に示す。図3によると、固有周期が比較的小さな領域においては基礎構造物の降伏強度が変化することにより、上部構造物に生じる

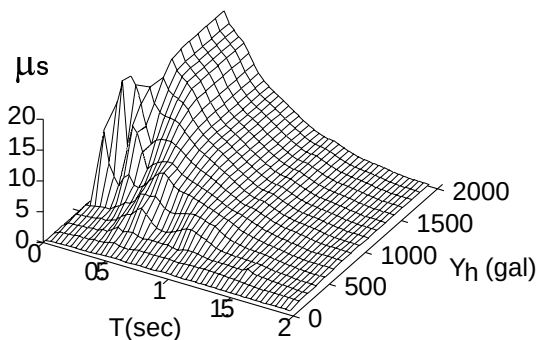


図-3 基礎構造物の降伏強度と上部構造物の塑性率及び固有周期の関係

Key Words: 基礎構造物, 非弾性挙動, 性能設計, SRモデル

〒606-8501 京都市左京区吉田本町, Tel.075(753)5133, Fax.075(762)2005

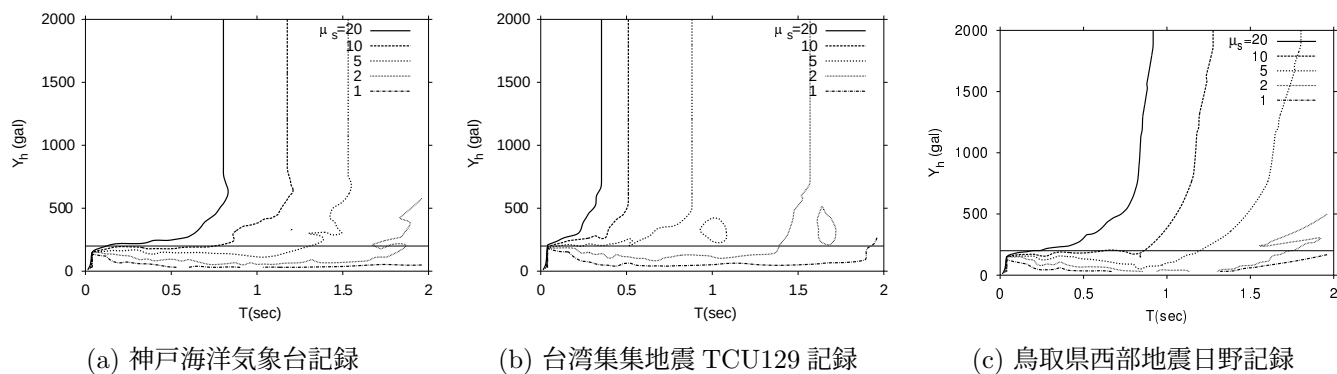


図-4 基礎の降伏力 Y_h と上部構造の塑性率 μ_s の関係（上部構造の降伏強度 200 gal）

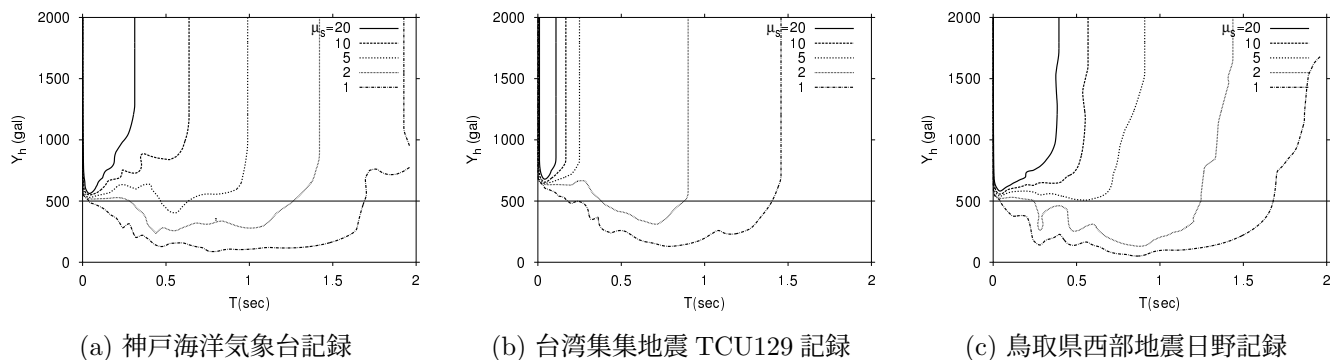


図-5 基礎の降伏力 Y_h と上部構造の塑性率 μ_s の関係（上部構造の降伏強度 500 gal）

応答塑性率が大きく変化する傾向が認められる。逆に上部構造物の固有周期が大きな領域においては、基礎の降伏強度の変化が上部構造物の応答塑性率に及ぼす影響は小さくなっていることが分かる。

3. 解析結果

前章で述べた手法により基礎構造物の降伏強度と上部構造物に生じる塑性率、および固有周期の関係を求め、それらを応答塑性率についてコンター表示したものが、図4ならびに図5である。ここで入力として用いた地震動は1995年兵庫県南部地震における神戸海洋気象台記録、1999年台湾集集地震におけるTCU129記録ならびに2000年鳥取県西部地震の日野記録である。

これらの図中に示した横軸に平行な実線は、上部構造物の降伏強度を表している。すなわち、図4は200gal、図5は500galとなっており、この実線よりも下の領域においては上部構造物よりも基礎構造物の方が強度が弱く、先に非弾性化が生じるものと考えられる。この領域においては図4、5のいずれもコンターが横軸に平行になっており、基礎の降伏強度に対応して、上部構造物の塑性率が変化する。逆に、基礎の強度が上部の強度を上回る領域においては、コンターは縦軸に平行で基礎の強度に対して塑性率は一定となっている。

以上のことから、基礎の強度が上部よりも下回る領域においては、基礎の強度を適切に設定することによって、上部構造物に発生する塑性変形の量を低減可能であると考えられる。例えば、図4(c)において固有周期0.5秒に着目すると、基礎の強度を50から200galの間で変化させることによって、上部に生じる塑性率を1から10までの範囲で制御することができる。

しかしながら、ここで示したいずれの結果においても構造物の固有周期が短くなるにしたがって、基礎の降伏強度の変化に対して上部構造の塑性変形量が急激に変化するため、このような領域においては十分な配慮が求められる。

4. まとめ

本研究では、構造物に生じる上部構造物の応答塑性率と固有周期、および基礎の強度といった三つのパラメータの相互の関係を求めることで、これまでの上部構造のみが非弾性挙動を示すことを前提とした設計に対して、両者の非弾性化を許容することでより合理的な設計が可能となることを示した。