

基礎構造物への作用荷重が構造物全体系の損傷過程に及ぼす影響に関する研究

東京都立大学 学生会員 千葉 一樹  
 埼玉大学 正会員 齊藤 正人  
 埼玉大学 正会員 川上 英二

1. はじめに

強震時における構造物の損傷過程を評価する場合，静的非線形解析いわゆる Pushover 解析が一般に用いられている．この Pushover 解析では，上部構造物と基礎構造物（フーチング）に地震時水平荷重を作用させてその変形性能を把握するのが標準的な方法である．このフーチングに作用させる荷重について，例えば，鉄道構造物等設計標準・同解説<sup>1)</sup>では，フーチングの有効重量相当の地震時水平荷重を考慮している．しかし，有効重量相当の水平荷重が，損傷過程を評価する上で適切な値か否かについては，これまで十分な議論がなされていない．特に，フーチングに作用させる荷重が構造物全体系の損傷過程に及ぼす影響について把握しておくことは，極めて重要である．そこで本研究では，一般的な杭基礎橋梁を2質点3自由度系モデルに置換した簡易な解析モデル（図-1）を利用し，基礎への作用荷重の違いが損傷過程に及ぼす影響について把握した．また，地震時における基礎への作用荷重を定量的に把握することを目的に，同モデルの運動方程式から作用荷重の一般式を誘導し，その特性について検討した．

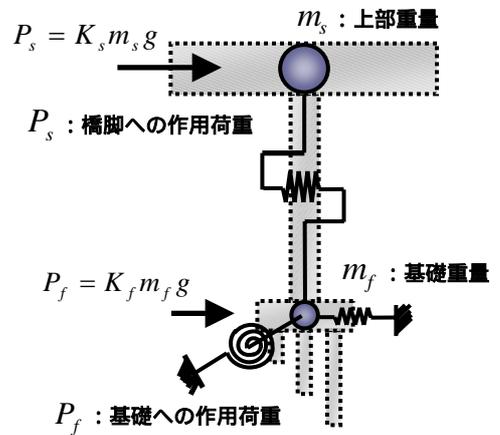


図-1 2質点3自由度系の解析モデル

	初期剛性 (kN/m)	降伏変位 (m)	降伏耐力 (kN)
橋脚	6.25E+04	5.60E-02	3.50E+03
基礎水平	7.88E+04	4.70E-02	3.70E+03

上部重量(t)	892.0
基礎重量(t)	170.0
基礎回転剛性(kNm/rad)	1.31E+07

表-1 解析ケースの諸定数

2. 基礎への作用荷重が及ぼす影響

本 Pushover 解析では，鉄道構造物等設計標準・同解説<sup>1)</sup>に従って，上部構造物とフーチングに作用させる荷重比率を一定に保持しながら，逐次荷重を増分させる方法を適用する．本解析では，この荷重比率を変化させることにより，フーチングに作用させる荷重の損傷過程に及ぼす影響について把握する．ここで，荷重比率を表現する指標として「作用震度比  $kf/k_s$ 」を導入する．作用震度比  $kf/k_s$  とは，上部構造物への作用荷重を上部重量  $m_s g$  で除した値  $k_s$  と，フーチングの作用荷重を基礎重量  $m_f g$  で除した値  $k_f$  の比である．本解析では，作用震度比として  $kf/k_s = 0.0, 0.4, 0.6$  を設定して解析を実施した．また，解析モデルについては，橋脚

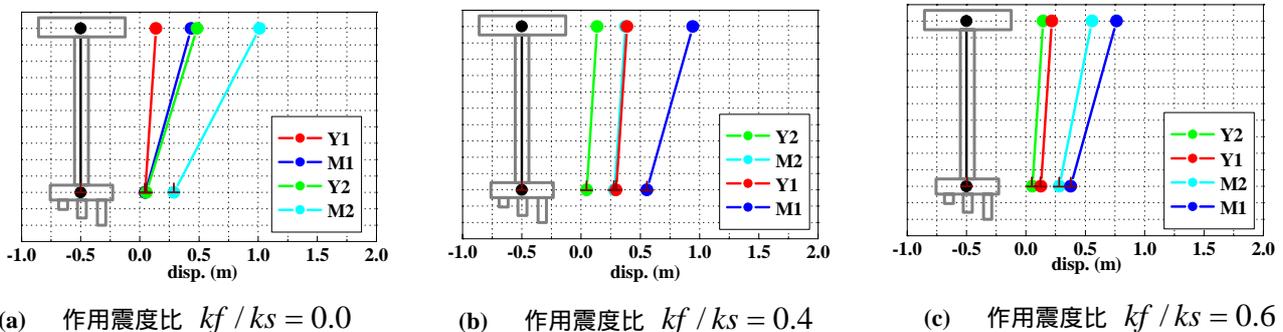


図-2 上部・基礎降伏耐力近接時の損傷過程の違い

キーワード Pushover，静的非線形解析，2質点3自由度系，杭基礎，損傷過程，作用震度

連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 225 埼玉大学工学部建設工学科 T E L 048-858-3560

と基礎水平方向の各自由度に Bi-linear 型の骨格曲線を与えており、基礎の回転自由度については、線形弾性を仮定した。解析モデルの諸数値を表 1 に示す。本解析結果の一例を図 2 に示す。ここで図中には、上部水平・基礎水平成分が降伏変位に達した時の変位分布をそれぞれ Y1, Y2 で、また最大耐力相当の変位（塑性率 6 で想定）に達した時の変位分布をそれぞれ M1, M2 で示した。図 2 は、橋脚と基礎の降伏耐力が近接する場合を想定した場合の解析結果を示したものであり、作用震度比  $k_f/k_s$  の違いが構造物の損傷過程に変化を及ぼすことがわかる。一方、降伏耐力の差が顕著な場合については（結果は割愛）、損傷過程に著しい変化を及ぼすまでには至らなかった。これにより上部構造物とフーチング部に作用させる荷重比率の違いが構造物の崩壊挙動に影響を与えることが解析的に検証できた。

### 3. 運動方程式に基づく作用震度比の評価（線形領域における検討）

次に、地震時における基礎への作用荷重を定量的に把握することを目的に、上記モデルの運動方程式から作用荷重の一般式を誘導し、その特性について検討した。誘導に際しては、地震動として調和入力を想定した。非減衰における作用震度比  $k_f/k_s$  は次式で表されることが明らかとなった。

$$|k_f/k_s| = \left| 1 - \left( \frac{\omega}{\omega_s} \right)^2 - \frac{\left( \frac{J_s}{J} \right)}{\left( \frac{\omega_M}{\omega} \right)^2 - 1} \right| \quad (1)$$

ここで  $\omega$ ：入力地震動の角振動数， $\omega_s = \sqrt{K_s/m_s}$ ：橋脚基部固定条件における上部構造物の固有角振動数， $\omega_M = \sqrt{K_M/J}$ ：基礎単体の回転角固有振動数， $J_s = m_s L^2$ ， $K_s \cdot K_M$ ：橋脚剛性・基礎回転剛性， $m_s$ ：上部質量， $J$ ：基礎の回転慣性， $L$ ：フーチングから天端までの長さである。式(1)に示すように、非減衰時における作用震度比は、構造物の各部位（上部構造物と基礎）の卓越振動数と加振振動数の関数として、簡易に表現されることが理解できる。次に減衰を考慮した場合の作用震度比の動きを調べた。解析は、元の運動方程式に剛性比例型の減衰係数を加えて実施した。本検討では、各自由度の減衰定数を変化させ、そのときの作用震度比の変化を評価した。図-3 にその結果を示す。ここで  $h_s$ ：橋脚の減衰定数， $h_f$ ：基礎の減衰定数（水平と回転）とし、橋脚においては内部減衰、基礎については逸散減衰の影響を想定して諸数値を設定した。本検討では、実杭基礎構造物のデータを用いて7つのモデルを作成し解析を行っているが、本概要では特に代表的なケースを掲載した。また慣性力が主体となるモードでの作用震度比の特性を明示するため、図中同時に、解析モデルの慣性系の一次卓越振動数をプロットした。解析の結果、橋脚と基礎の減衰定数の差が小さいときには、慣性系の一次卓越振動数近傍において作用震度比の値は非減衰のときとほぼ一致することがわかった。また、減衰定数の差が広がるに従い、作用震度比の値は増加していく傾向にあることが確認された。

### 4. 結論

本検討により、基礎に作用する荷重が構造物全体系の崩壊挙動に影響を及ぼしていることが明らかとなった。また2質点3自由度系モデルの調和加振に対する運動方程式から、線形範囲における作用震度比の一般式を誘導した。その結果、非減衰時における作用震度比は、構造物の各部位の卓越振動数と加振振動数の関数として簡易に表現されることがわかった。また、各自由度の減衰に大きな差異がある場合には、作用震度比が非減衰状態の作用震度比から隔たる傾向にあることが判明した。今後、非線形領域に拡張する予定である。

### 参考文献

1) 鉄道構造物等設計標準・同解説・耐震設計 運輸省鉄道局監修・鉄道総合技術研究所編，丸善，1999。

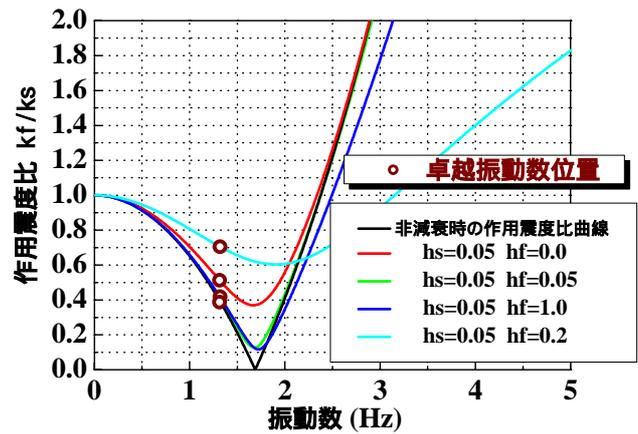


図-3 減衰変化による影響