

地震時水平力分散構造への等価線形化法の適用性—2次モードは必要か？—

(株)長大 構造防災室 正会員 矢部正明

1. まえがき

地震時水平力分散構造の非線形応答を、橋脚に生じる応答塑性率に応じた等価剛性を有する2自由度系を用いた等価線形化法によって推定する場合、1次の固有振動特性だけでなく、1次と2次の固有振動モードを考慮した方が、非線形応答の推定精度が向上するという報告がある。著者は、2次の固有振動モードを考慮することが、等価線形化法の推定精度の向上には繋がらないと考えており、そのことを簡単な試算で示す。検討の対象としたのは、RC橋脚に支持される地震時水平力分散構造であり、RC橋脚の降伏剛性 k_y を用いて求められる2自由度系の基本固有周期 T_0 を0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0秒、橋脚の応答塑性率 μ を2, 4, 6, 8と変化させた2自由度系である。入力地震動は、道路橋の耐震設計に用いる標準加速度波形18波形である。RC橋脚の非線形特性は、Takeda型の非線形せん断バネで表している。

2. 非線形応答における卓越周期

図-1は、非線形動的解析より得られた、桁に生じる変位と橋脚に生じる変位および支承に生じる変位のフーリエスペクトルである。図より、フーリエ振幅が大きいのは、基本固有周期 T_0 よりも長周期側であり、それよりも短周期側の振幅は圧倒的に小さいことがわかる。これより、地震時水平力分散構造の非線形応答に現れる基本固有周期 T_0 よりも短周期成分の応答は、その非線形応答に占める割合は小さいと考えられる。

3. 非線形応答における桁と橋脚に生じる変位の振幅比

図-2は、桁に生じる応答変位が最大となる時刻 t_{max}^u と橋脚に生じる応答変位が最大となる時刻 t_{max}^p における桁に生じる応答変位 δ_u と橋脚に生じる応答変位 δ_p を比較したものである。図の(1)より、橋脚に生じる応答変位が最大となる時刻 t_{max}^p に桁に生じる応答変位 $\delta_u(t_{max}^p)$ は、桁に生じる最大応答変位 $\delta_u(t_{max}^u)$ の約85~100%とほぼ等しいことがわかる。しかし、図の(2)に示すように、桁に生じる応答変位が最大となる時刻 t_{max}^u における橋脚に生じる応答変位 $\delta_p(t_{max}^u)$ は、橋脚に生じる最大応答変位 $\delta_p(t_{max}^p)$ の約60~100%と大きくばらつくことがわかる。このように、桁と橋脚に生じる非線形最大応答変位が同時刻に生じなくとも、等価線形化モデルの1次の固有振動特性のみを用いてその非線形応答を推定できる場合がある。図-3は、桁と橋脚に生じる最大応答変位の比 $\delta_u(t_{max}^u)/\delta_p(t_{max}^p)$ と、橋脚に生じる最大応答塑性率 μ に相当する等価剛性 $k_{eq}=k_y/\mu$ を用いた2自由度系の1次固有振動モードの振幅比 ϕ_{u1}/ϕ_{p1} を比較したものである。等価線形化モデルの1次固有振動モードの桁と橋脚天端位置のモード振幅比は、地震時水平力分散構造の非線形応答の桁と橋脚に生じる最大応答変位の振幅比に良く近似していることがわかる。このような場合には、1次の固有振動特性だけを用いた等価線形化法でも、2自由度系の非線形応答を精度良く推定できることがわかる。

4. 等価線形化法の非線形応答の推定精度

図-4は、等価線形化モデルの1次固有振動特性のみを用いて求めた等価線形解と非線形応答解を比較したものである。図-5は、等価線形化モデルの1次と2次の固有振動モードを用いて求めた等価線形解と非線形応答解を比較したものである。等価線形化モデルの1次固有振動特性のみを用いた等価線形解の方が、橋脚に生じる非線形応答変位の推定精度が圧倒的に優れていることがわかる。

5. まとめ

地震時水平力分散構造の非線形応答を等価線形化法によって推定する場合には、その1次固有振動モードの固有周期とモード減衰定数で橋脚の非線形化にともなう剛性変化と履歴減衰効果を表すことができ、桁と橋脚に生じる非線形最大応答変位の振幅比はそのモード振幅比によって表すことができることを示した。

地震時水平力分散構造、非線形応答、2自由度系、等価線形化法

〒305-0821 つくば市春日 3-22-6 (株)長大 構造防災室 電話 0298-55-3113 FAX 0298-52-8545

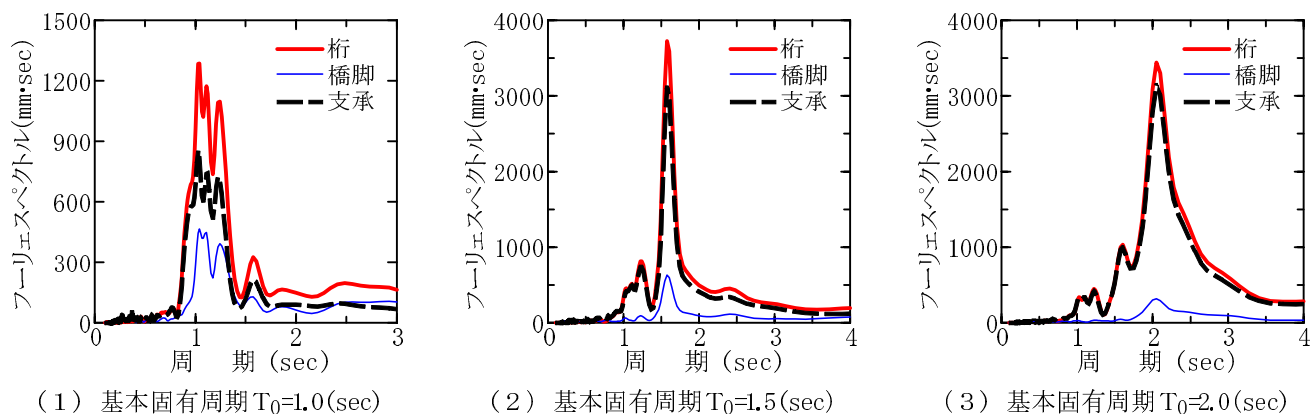


図-1 非線形応答変位のフーリエスペクトル(Ⅱ-Ⅱ-1, 応答塑性率4)

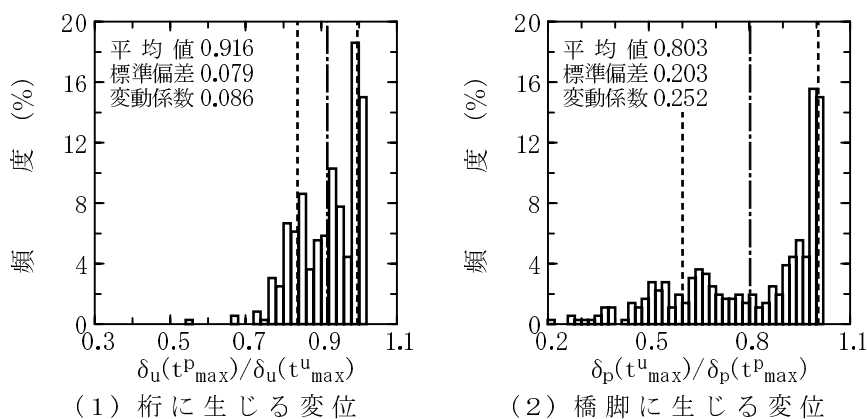


図-2 非線形応答変位の同時性

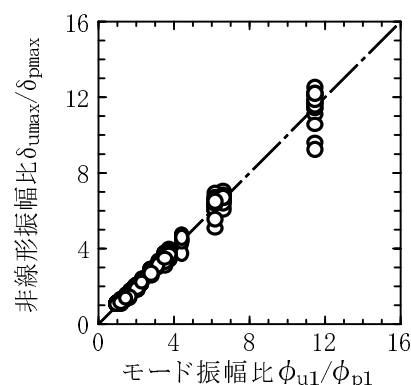


図-3 振幅比の比較

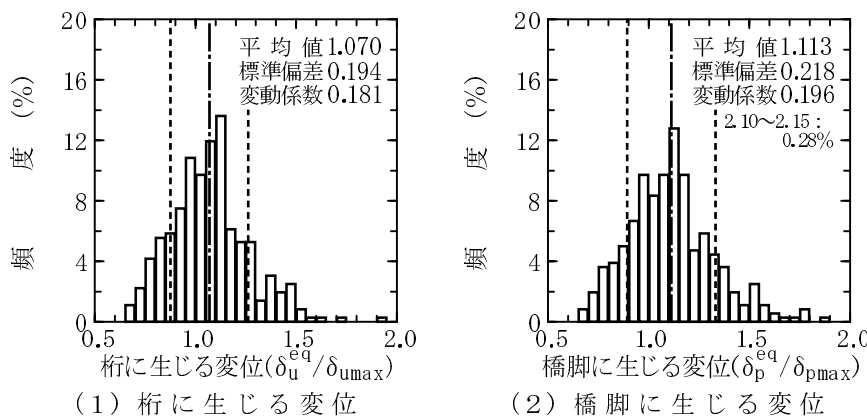
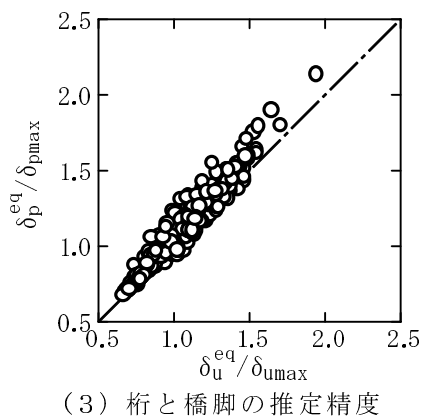


図-4 1次固有振動特性のみを用いた等価線形化法



(3) 桁と橋脚の推定精度

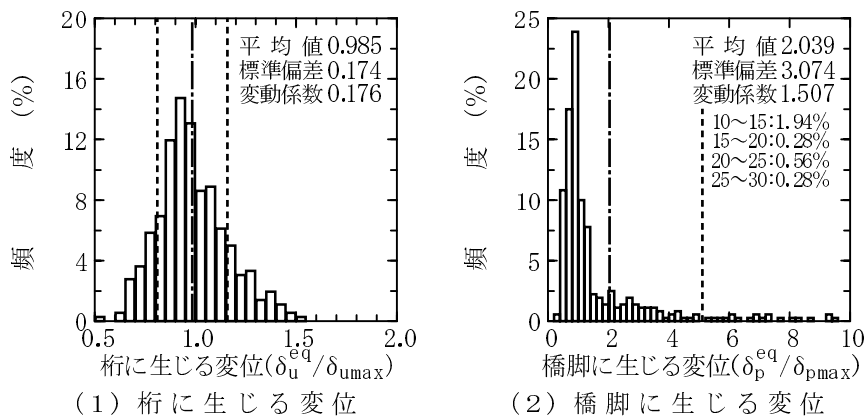
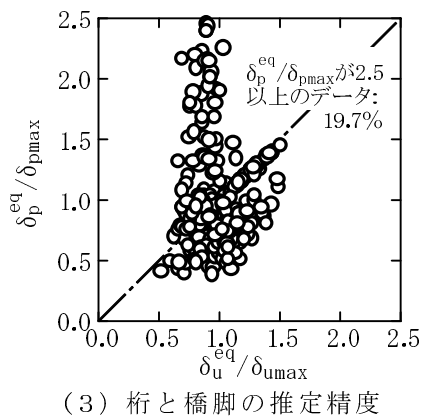


図-5 1次と2次の固有振動モードを用いた等価線形化法



(3) 桁と橋脚の推定精度