

# 地震応答解析に基づく杭損傷が橋脚応答に与える影響検討

鹿島建設株式会社 正会員 平尾 謙一，砂坂 善雄，高橋 祐治

## 1. はじめに

本報告では構造物の固有周期と地盤の固有周期の大小関係に着目した橋脚 - 基礎 - 地盤系の動的応答解析を実施し、杭の損傷が橋脚の地震応答に与える影響について検討する。

## 2. 解析対象構造物及び解析手法

検討対象橋脚を図-1に示す。地震応答解析は図-2に示すように橋脚及び群杭を1本の曲げせん断棒でモデル化した多質点系モデルを用いて実施する。各質点に接続する地盤との相互作用ばねは薄層要素法により算出する<sup>1)</sup>。構造系全体の地震応答解析は、自由地盤の動的応答解析(時刻歴非線形解析FLIP<sup>2)</sup>)から得られた各質点深さでの変位応答波形を、相互作用ばねを介して多質点系モデル

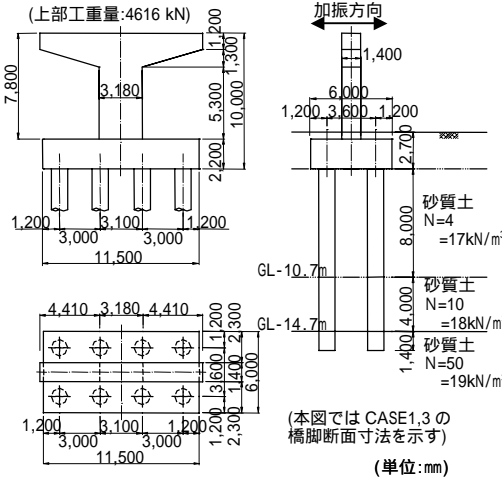


図-1 解析対象橋脚

に入力することにより行う。本検討ではGL-14.7m以浅の表層地盤の液状化を考慮せず、杭を線形弾性とした場合と非線形性<sup>3)</sup>を考慮した場合について検討する。入力地震動はN=50の層の上端を入力基礎面とし、道路橋示方書に示される種地盤が工学基礎と考え、タイプ及びタイプの標準波を最大加速度400Galに調整して用いる。また、橋脚 - 基礎 - 地盤連成系の固有周期 $T_s$ と地盤の固有周期 $T_g$ の大小関係が構造物の応答に与える影響を検討するため、断面形状を相似形で変化させ橋脚形状を2ケース設定する。検討ケースを表-1に、入力地震動の加速度応答スペクトルを各ケースの $T_s$ と併せて図-3に示す

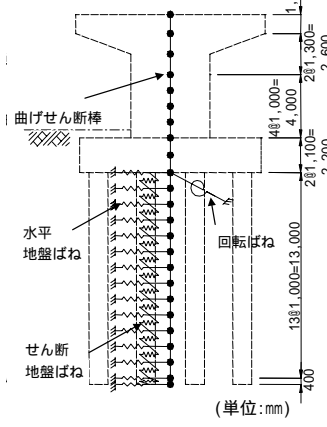


図-2 解析モデル

## 3. 検討結果

**(1) 構造物応答の位相特性** 図-4に $T_s, T_g$ の時刻歴を、図-5に橋脚天端加速度と自由地盤地表面の応答加速度を示す。CASE1では $T_s > T_g$ となる時間帯( $t=0 \sim 4s$ )で構造物と自由地盤の振動に位相差が見られるが、 $T_s < T_g$ となる時間帯( $t=5 \sim 15s$ )でほぼ同位相となる。CASE3では初期の

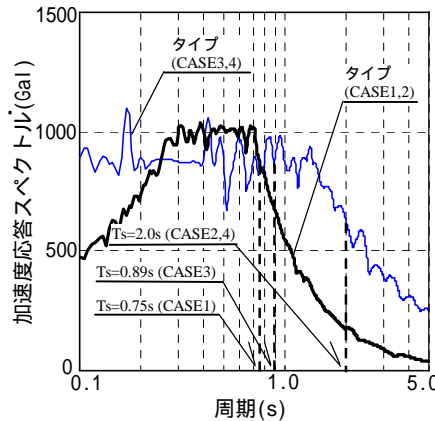


図-3 入力地震動の加速度応答スペクトル (h=5%)

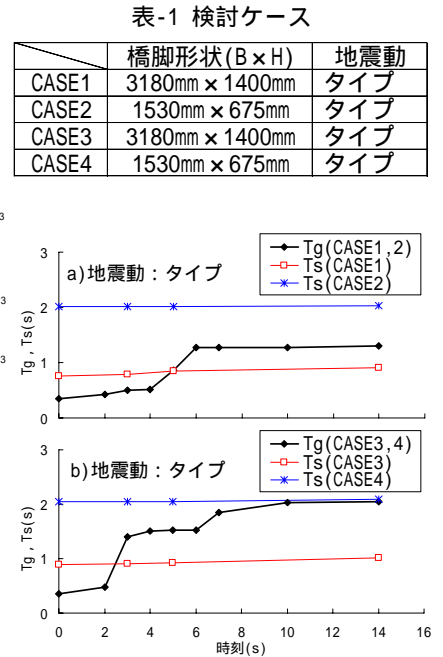


図-4  $T_s, T_g$ の時刻歴(杭非線形)

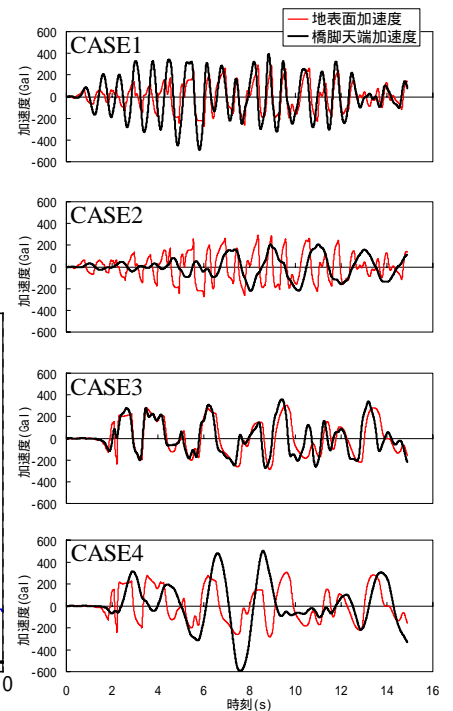


図-5 橋脚天端と自由地盤地表面の加速度時刻歴(杭非線形)

キーワード 杭基礎，地震応答解析，質点系モデル，固有周期，動的相互作用

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 TEL 03-5561-2172 FAX 03-5561-2153

地震力の小さい数秒を除き  $T_s < T_g$  であり、ほぼ全時刻で構造物と地盤の振動は同位相となるが、 $T_s$  と  $T_g$  の乖離が大きい  $t=6s$  以降では若干位相差が見られる。CASE2, CASE4 では全時刻で  $T_s > T_g$  であり、構造物と自由地盤の振動の位相は大きく異なる。

**(2)杭及び橋脚の断面力** 図-6 に杭を非線形とした場合の杭の最大曲げモーメントを構造物の慣性力による断面力 (Inertial) と地盤震動による断面力 (Kinematic) に分離して示す。ここで、 $T_s, T_g$  の大小関係が杭の Total の断面力に対する Inertial, Kinematic の寄与率に与える影響を検討するため、図-6 では  $T_s, T_g$  の大小関係で区分した時間帯における最大値分布を示している。CASE2 では杭頭断面力に対して慣性力の影響が小さく、地盤振動の影響が支配的となるが、これは、図-3 より CASE2 のみ  $T_s$  が入力地震動の卓越周期帯から大きく外れていることが理由であると考えられる。また、図-7 に図-6 と同じ時間帯における橋脚の最大曲げモーメントを、杭を線形とした場合と、杭を非線形とした場合とで比較して示す。図-6 及び図-7 に見られる杭頭断面力に対する慣性力と地盤振動の影響、及び橋脚断面力に対する杭損傷の影響について  $T_s, T_g$

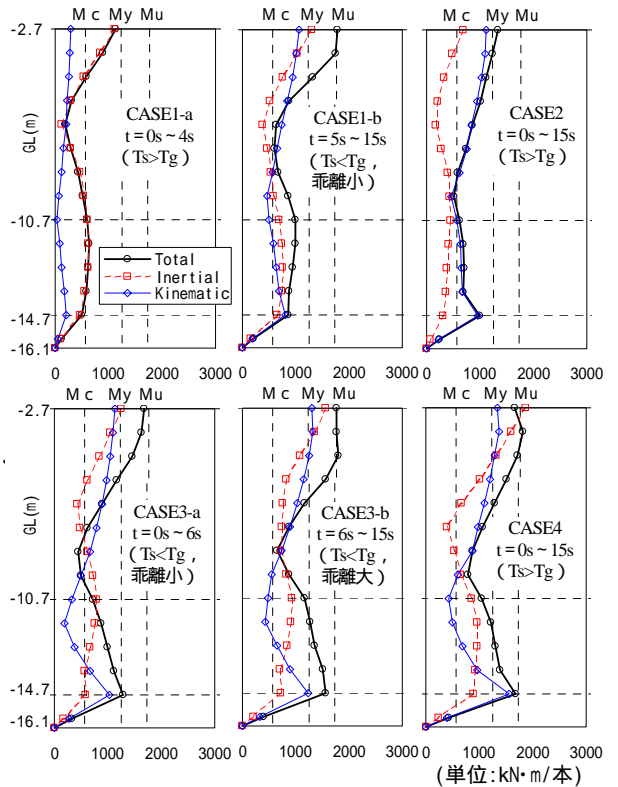
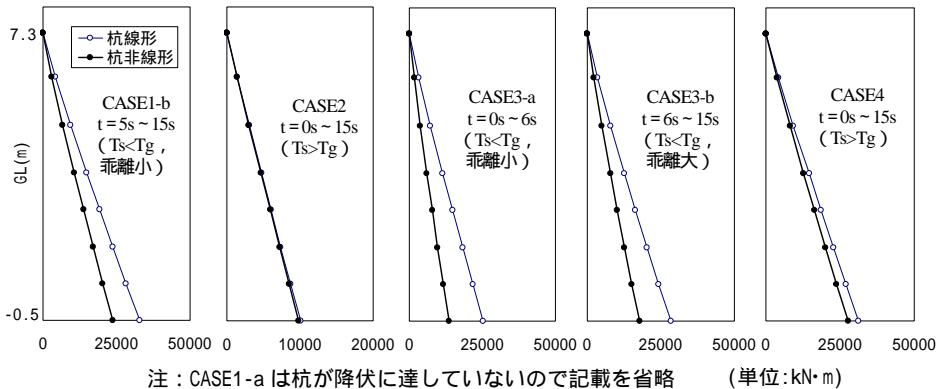


図-6 分離した杭の最大曲げモーメント（杭非線形）

の大小関係に着目して表-2 にまとめる。 $T_s < T_g$  の場合、及び  $T_s > T_g$  で杭断面力に対して地盤振動の影響が支配的でない場合、杭の損傷により橋脚の断面力が低下する。筆者らは表層地盤の液状化を考慮した検討も実施しているが、杭断面力に対する慣性力と地盤振動の影響について同様の傾向を得ている<sup>3)</sup>。



注：CASE1-a は杭が降伏に達していないので記載を省略 (単位: kN・m)

図-7 橋脚の最大曲げモーメント

表-2 杭頭断面力に対する慣性力と地盤振動の影響及び橋脚断面力に対する杭損傷の影響

Ts, Tgの大小関係	Ts < Tg		Ts > Tg	
	CASE1-b, 3-a	CASE3-b	CASE1-a, 4	CASE2
杭頭断面力に対する慣性力と地盤振動の影響 (図-6参照)	Totalの最大値はInertialの最大値とKinematicの最大値の合計に近く、慣性力と地盤振動の影響が杭に同一方向に作用する。	慣性力と地盤振動の影響を受けるがTsとTgの乖離が大きいため、慣性力と地盤振動の影響は同時に最大とならない。	慣性力と地盤振動の影響が位相差を伴って杭に作用し、地盤振動の影響が支配的とならない。	慣性力と地盤振動の影響が位相差を伴って杭に作用し、地盤振動の影響が支配的となる。
橋脚断面力に対する杭損傷の影響 (図-7参照)	杭が損傷する場合は杭が損傷しない場合より橋脚の断面力は低下する。			影響は見られない。

4. まとめ

$T_s < T_g$  の場合、及び  $T_s > T_g$  で杭断面力に対して地盤振動の影響が支配的でない場合、杭の損傷により橋脚の断面力が低下することを示した。このような場合、杭の塑性化をある程度認めるような橋脚 - 基礎の強度バランスを考えれば合理的な設計が可能になると考えられる。本報告は、平成14年度科学技術振興調整費「構造物の破壊過程解明に基づく生活基盤の地震防災性向上に関する研究」の一環として実施したものの一部をまとめたものであり、関係者各位に謝意を表します。

**参考文献**：1) 宮本裕司他：非線形液状化地盤における杭基礎の地震応答性状に関する研究、日本建築学会構造系論文報告集、第471号、pp.41-50、1995.5、2) 井合進他：ひずみ空間における塑性論に基づくサイクリックモビリティのモデル、港湾技術研究所報告、第29巻第4号、pp.27-56、1990、3) 平尾謙一他：液状化を考慮した橋脚 - 基礎 - 地盤系の動的応答解析、第4回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集、pp.259-264、2003