

杭基礎を有する橋脚のレベル 地震時の静的設計手法に関する一考察

(株)構造技術センタ - 正会員 岩上 憲一
 九州大学 フェロ - 大塚 久哲
 鹿児島市水道局 正会員 榊 豊和

1. 研究概要

実務における橋脚杭基礎の耐震設計(レベル 地震対象)では,設計の煩雑さを回避することなどから,地震荷重を震度により置き換えた静的設計を用いることが多く,代表的なものとしては,道路橋示方書¹⁾と鉄道標準²⁾がある.前者は上部構造・橋脚とフーチングにそれぞれ同一方向の値の異なる震度を作用させている.後者は,フーチングを上部構造の一部とみなして上部構造全体に同一の震度を作用させ,さらに杭に地盤変位を作用させている.本研究で着目したのは,上部構造部分に作用する震度の方向であり,先述の基準においては両者とも上部構造とフーチングにおける震度の作用方向の記述はない.しかしながら,フーチングの挙動が必ずしも上部構造と一致しないとの指摘³⁾もあり,経済的な設計を行う上で橋脚とフーチングの動的挙動の把握は重要である.そこで,本研究では構造物の固有周期(T_s)と地盤の固有周期(T_g)をパラメトリックに変化させた動的解析を行い,杭基礎の動的な挙動の特性を把握し,その結果を基にして静的設計の改善手法の検討を行っている.

2. 解析条件

本研究に用いた橋脚の形状概要を図-1に示す.解析モデルは,橋脚および杭を非線形はり部材とし,地盤をばねとした2次元はりばねモデル(図-2)であり,地盤変位を地盤ばねを介して入力する手法としている.以上を基本とし,杭長及び周面地盤を変化(地盤の固有周期 T_g と杭の特性値・杭長 L を変化)させた地盤モデル4種類(表-1)と,上部構造重量と橋脚高さ(橋脚重量)より構造物の固有周期(T_s)を変化させた構造物モデルを12種類(表-2)作成し,それを組み合わせることにより計48ケースのモデルを設定した.

3. 挙動の把握

3.1 正弦波による挙動の確認

まず基本的な挙動を明確にするため,正弦波による動的解析を行った.正弦波は,フーチングの挙動に着目していることから,周期は地盤の卓越周期(T_g)と同一の周期とし,最大振幅400gal,継続時間は30秒としている.

図-3は,48ケースから代表的な4つのモデルにおける上部構造重量作用位置と杭頭位置における応答加速度時刻歴の解析結果を示している.これより,Case1($T_g/T_s=0.78$)・Case2($T_g/T_s=0.90$)では,完全に上部構造重量作用位置と杭頭位置(フーチング)の加速度時刻歴は逆位相となっており,Case3($T_g/T_s=1.25$)・Case4($T_g/T_s=1.56$)では,上部構造とフーチングに発生する加速度が逆位相からずれる場合も見られる.ただし,増幅現象は見られない.このように,上部構造とフーチングの挙動方向は, T_g/T_s の値によって挙動する方向が定まることが判る.

3.2 道示における設計水平震度との比較

ここでは,設計に用いられている道示の震度との相関や,正弦波入力で判明した T_g/T_s による挙動の変化を見るため,実地震波(東神戸大橋GL-33)を先の48ケースに対して入力し動的解析を行った.

図-4は,杭に最大曲げモーメントを与える時刻に着目し,換算震度法により上部構造とフーチングに発生する水平震度を算定し,その震度と道示による設計震度との比を,地盤と構造物の固有周期の比をパラメータとして示している.

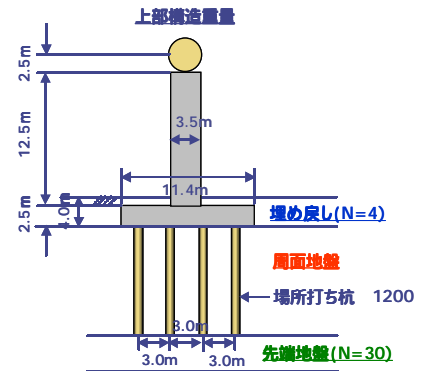


図-1 橋梁基礎の形状概要図

表-1 地盤モデル

	TypeGA	TypeGB	TypeGC	TypeGD
杭長(m)	18	12	18	24
L/D	15	10	15	20
周面地盤	15		2	
先端地盤	30			
L'(m)	4.5	1.7	2.6	3.5
地盤の固有周	0.454	0.522	0.727	0.904

表-2 構造物モデル

	TypeSA-1	TypeSA-2	TypeSA-3	TypeSA-4
上部構 W_u (kN)	11760			
橋脚重 W_f (kN)	3288.9	4317.9	5346.9	2259.9
橋脚高 H_f (m)	12.5	16.5	20.5	8.5
減衰定 h_s	0.02			
固有周 T_s (sec)	0.580	0.890	1.247	0.321
降伏震 K_{sp}	0.67	0.49	0.38	1.02
	TypeSB-1	TypeSB-2	TypeSB-3	TypeSB-4
上部構 W_u (kN)	17640			
橋脚重 W_f (kN)	3288.9	4317.9	5346.9	2259.9
橋脚高 H_f (m)	12.5	16.5	20.5	8.5
減衰定 h_s	0.02			
固有周 T_s (sec)	0.701	1.072	1.497	0.390
降伏震 K_{sp}	0.46	0.34	0.27	0.70
	TypeSC-1	TypeSC-2	TypeSC-3	TypeSC-4
上部構 W_u (kN)	23520			
橋脚重 W_f (kN)	3288.9	4317.9	5346.9	2259.9
橋脚高 H_f (m)	12.5	16.5	20.5	8.5
減衰定 h_s	0.02			
固有周 T_s (sec)	0.804	1.227	1.710	0.448
降伏震 K_{sp}	0.36	0.26	0.21	0.53

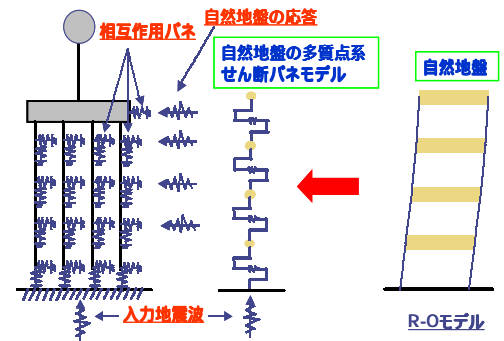


図-2 動的解析手法の概念図

キ・ワ・ド 杭基礎, 耐震設計, 動的解析, 静的解析, 相互作用

連絡先 〒812-0011 福岡市博多区博多駅前3-5-7 博多センタビル (株)構造技術センタ - TEL092-471-1655

この結果より、概ね $T_g/T_s = 1$ を境に、上部構造の震度 (kh_2/khp) に対してフーチングの震度の発生方向 (kh_4/khg) が異なっているが判り、フーチングの震度の絶対値は、道示の約1～2倍になっている。また、上部構造の震度は、 $T_g/T_s > 1$ ではほぼ1であり道示の値と一致している(多少小さくするのは過強度分を考慮していないためだと考えられる)が、 $T_g/T_s < 1$ の範囲では上部構造の震度は0に近い(応答が小さい)ことがわかる。

4. 静的設計における改善手法の提案

ここでは、 $T_g/T_s < 1$ の範囲における設計手法の改善について述べる。前項までの結果より、杭基礎の設計をするには、従来の道示の設計法に対し、フーチングの震度を上部構造と逆方向に作用させればよいこととなる(図-5参照)。また、図-6は代表的なケ-スとし、動的解析と静的改善手法案の杭体の曲げモーメント分布を比較したものである。これを見ると明らかなように、静的解析改善手法案は動的解析よりも大幅に小さく、杭頭部では1/2程度の曲げモーメントしか発生していない。これは、換算震度がフーチングより上部の荷重の釣合い状態から求めたものであり、上部構造とフーチングの慣性力の影響しか見込んでおらず、地盤変位の影響を考慮していないためである。

そこで、地盤変位の影響を静的解析において考慮する一つの方法とし、フーチングが地盤とほぼ同じ挙動をすることから、フーチングの震度を補正することにより考慮することを考えた。補正後の杭体に生じる曲げモーメントの分布の一例は図-6に併記しており、 $T_g/T_s < 1$ の範囲におけるモデルケ-スにより求めた震度を図-7に示す。これより、上部構造の震度は非常に小さく無視でき、杭基礎の設計ではフーチングの震度だけを作用させれば良いことが判る。そして、設計に用いるフーチングの震度は図-7に示すライン上の震度を使用すればより合理的な設計が可能である。

5. 結論

本研究では、杭基礎を有する橋脚とフーチングの地震時挙動の把握を行い、 $T_g/T_s < 1$ のケ-スでは上部構造に対してフーチングは逆向きに挙動することを解明し、その結果を用いて震度による設計手法の改善案を提案した。この手法を用いることによって、より合理的な設計が可能となる。なお、この手法は、 T_g/T_s が1付近の遷移領域においては、注意が必要である。

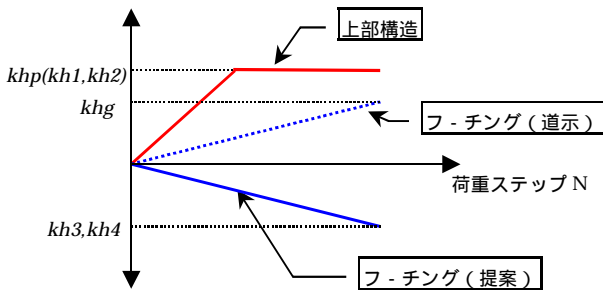


図-5 震度の作用手法概念図

表-3 換算震度対応表

対象部材	基準断面力の種類	
	曲げモーメント	せん断力
換算震度	上部構造 kh_1	kh_2
フーチング	kh_3	kh_4
道示	上部構造 khp	
フーチング		khg

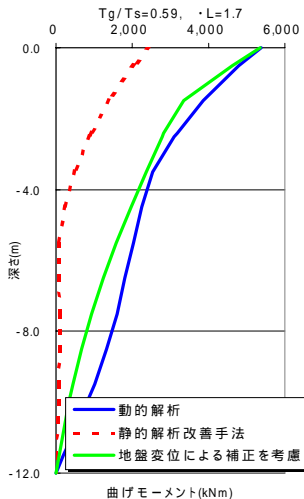


図-6 杭体の曲げモーメント分布図

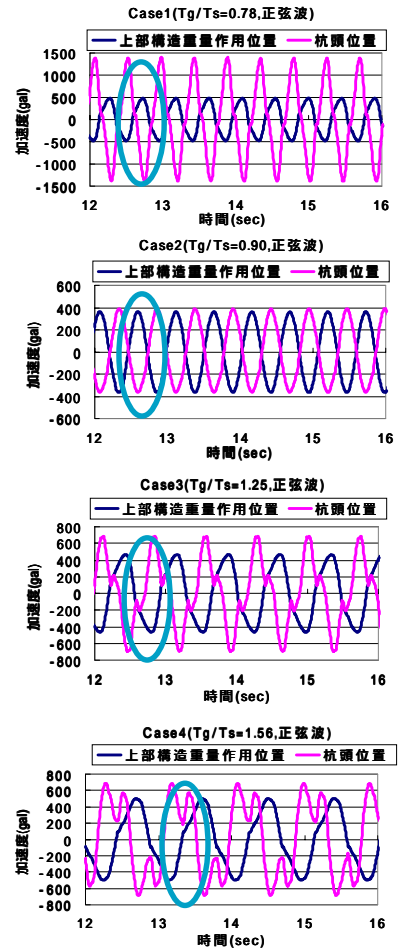


図-3 加速度時刻歴(正弦波)

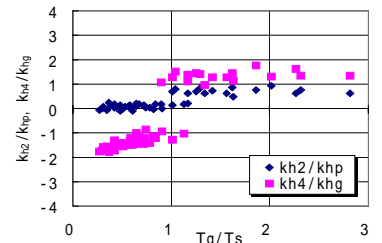


図-4 T_g/T_s -換算震度関係

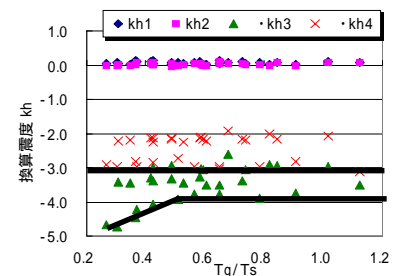


図-7 T_g/T_s -換算震度

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説 耐震設計編 平成14年3月 (社)日本道路協会
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計編 平成11年10月 (財)鉄道総合研究所
- 3) 岩上憲一, 大塚久哲: 杭基礎の静的設計におけるフーチング慣性力算定の改善に関する基礎的研究 第11回日本地震工学シンポジウム, pp1131 - pp1136, 2002年11月