

岡山大学 正員 ○竹宮 宏和
 岡山大学 学生員 田中 宏明
 日本道路公団 正員 角谷 務
 日本技術開発 KK 正員 佐伯 光昭

1. まえがき 最近、軟弱地盤中に深い杭基礎をもって、構造物が建設される傾向にある。群杭基礎の地震時の動的挙動は、杭-地盤-杭の相互作用を考慮しての杭頭複素剛性評価によって特性付けられる。筆者らは、これまでに、当該基礎の動的解析にこの点に着目して地盤反力の適切な評価の下に伝達マトリックス法、マトリックス構造解析法を適用してきた。そして杭頭複素剛性の振動数依存性、また単杭解析結果との比較から群杭効率を明確にしている。今回の報告は、これらの成果を実際の橋梁構造物の合理的耐震設計に反映させるべき一試案を示すものである。

2. 解析フロー 下部構造系に群杭基礎を有する構造物の厳密な地震応答解析は、図2の解析フローに従ってなされる。しかし、これは解析時間・費用を共に多くを要することから実務解析用には、図3の解析フローを提案する。図2から図3への移行に際して、重要な事項は以下に挙げる通りである。

(Ⅰ) 群杭の動的解析を単杭解析で置換し、動的群杭効率を以てそれを修正している。(Ⅱ) 地盤との相互作用効果を表す振動数依存の複素地盤剛性を定数化している。(Ⅲ) 上・下部構造系の連成振動を、下部構造系のバネ効果を含んだ形で固有モード解析している。したがって、地盤との相互作用における減衰効果は固有モード減衰定数として導入している。(Ⅳ) 有効入力力の代りに、自然地盤の地表面応答を使用している。

3. 数値的検討 地盤剛性を求めるに当たり、地盤-群杭系にサブストラクチャ法を適用してkauselらによる変位グリーン関数(準解析解)を用いた。そして、これに有限要素化された杭剛性を加えて地盤-群杭系の動的複素剛性(インピーダンス関数)とした。詳細については文献[3]を参照されたい。上部構造物の解析には、多質点系でモデル化した後固有モード解析を行う。対象系の地震応答は、自然地盤より求めた地表面応答を入力し、直接逐次積分法から時刻歴応答及び最大応答を求めた。

2、3の解析例を採って、本提案における各重要事項の検討を行った。解析地盤の選定は、卓越周期の長い(軟い地盤、卓越周期 $T_g=1.31$ 秒、ケース1)と短い(硬い地盤、 $T_g=0.78$ 秒、ケース2)の2種類とした。杭配置は4本杭と9本杭(図1)を考えた。

(Ⅰ) 地盤バネの評価: 下部構造系(地盤-群杭系)より得られた動的複素剛性の実部は、地盤の卓越振動数以下の範囲でほぼ一定値を示しているの、同振動数で固定し、それを表1に示す。(Ⅱ) 群杭効率: 動的群杭効率を図4に示す。同図より対象とする運動形態にもよるが、耐震解析上重要な低振動数領域では、1より小さいば一定値を示し、静的解析による群杭効率が動的問題にも使用可能であることを示している。しかし、数Hzより高い振動数になると、動的群杭効率は1より大きくなっている。ケース1とケース2の4本杭・9本杭を比較すると、ケース1の4本杭がより顕著にピークを有している。(Ⅲ) 下部構造特性を考慮したときの固有モード減衰定数の評価: (Ⅰ)の地盤バネを含めて上部構造物の固有モード(図5)を採り、地盤インピーダンスの虚数部を固有モード座標上で求めた。その際、簡易法を採ることから固有モード間の連成を無視した。固有モード減衰定数としての値を表2にまとめておく。(Ⅳ) 地震応答: 基礎面入力波として、100galに調整したELCENTRO波形から地表面応答(図6)を求め、それを入力波とし、フーチング重心及び天端における変位・加速度応答を図7に示す。

4. 結論 本研究では、群杭基礎を有する橋梁構造物の耐震解析設計において、上部と下部構造物の動的サブストラクチャ法による厳密

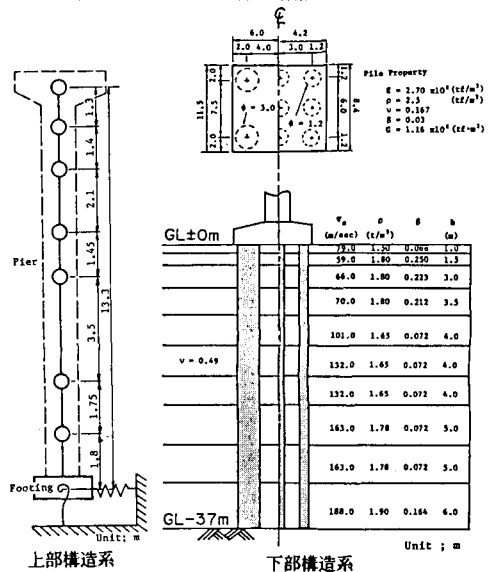


図1 解析対象構造物(ケース1)

な解析法に取って代るべき合理的な近似解法を示したが、その精度は十分に保証されることがこれまでのケース・スタディから判っている。

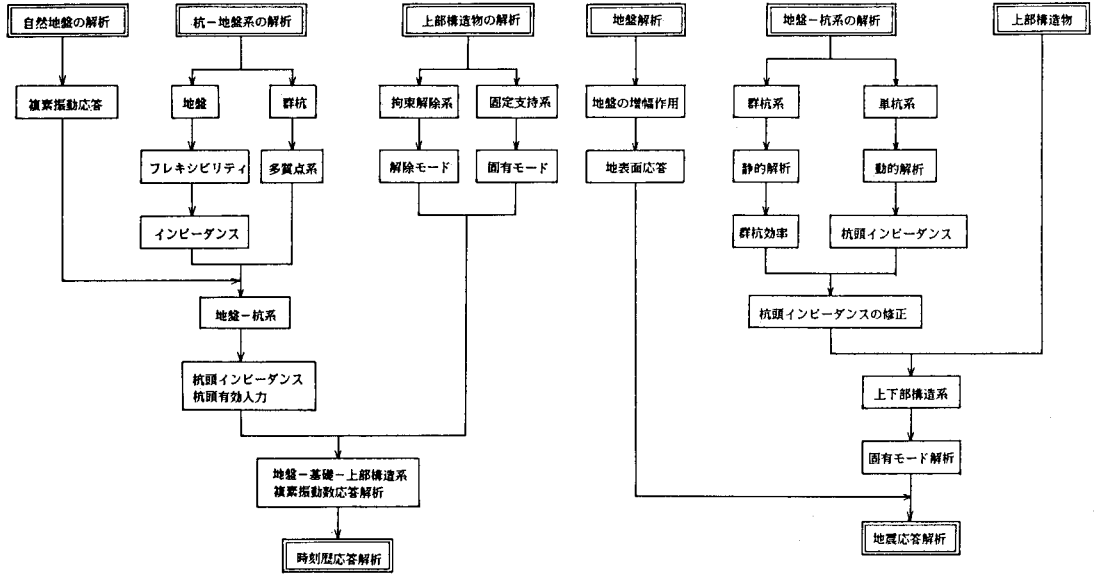


図2 解析フロー

図3 実務解析フロー

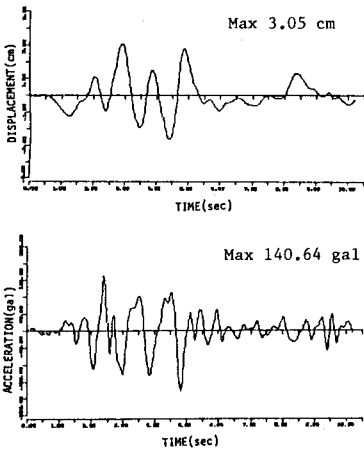


図6 地表面応答（ケース1、4本杭）

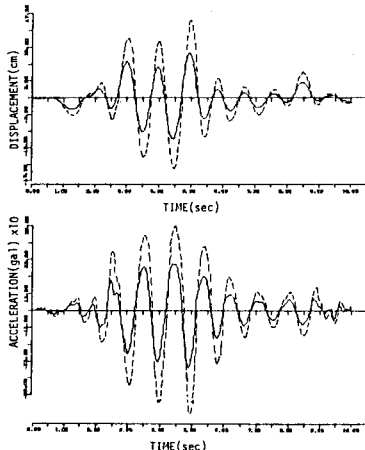


図7 フーチング重心（実線）、天端（点線）の応答（ケース1、4本杭）

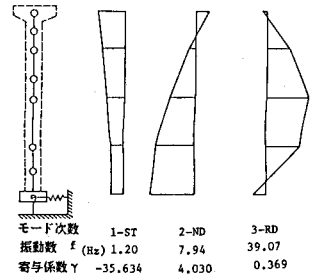


図5 モード形状（ケース1、4本杭）

表1 動的複素剛性 $\omega_g = 4.80$ rad/sec

（ケース1、4本杭）

手法	グリーン関数	
複素バネ係数	REAL	IMAGINARY
並進 (lf/m)	0.8653×10^5	0.2960×10^5
連成 (lf/rad)	-0.5583×10^4	-0.1107×10^6
回転 (lf·m/rad)	0.4137×10^6	0.3641×10^7

（ケース1、9本杭）

手法	グリーン関数	
複素バネ係数	REAL	IMAGINARY
並進 (lf/m)	0.3634×10^5	0.1509×10^5
連成 (lf/rad)	-0.1504×10^6	-0.2738×10^7
回転 (lf·m/rad)	0.7528×10^7	0.8496×10^8

表2 減衰定数

MODE	4本杭	9本杭
1-ST	0.1504	0.0288
2-ND	0.1008	0.1287
3-RD	0.0478	0.0518
4-TH	0.0499	0.05
5-TH	0.05	0.05
6-TH	0.05	0.05

＜参考文献＞

- 1) Takemiya, H. and Yukawa, Y.: Dynamic Analysis of Grouped Pile Foundation in Layered Soils, Earthq. Eng., Vol. 3, No. 1, pp. 183-193, 1986.
- 2) E. Kusel and R. Peek: Dynamic Loads The Interior of a Layered Stratum, Bulletin of the Seismological Society of America, pp. 1459-1481, 1982.
- 3) 竹宮、田中：群杭基礎構造物の動的解析法とその動特性評価：土質工学会論文要集，1987年

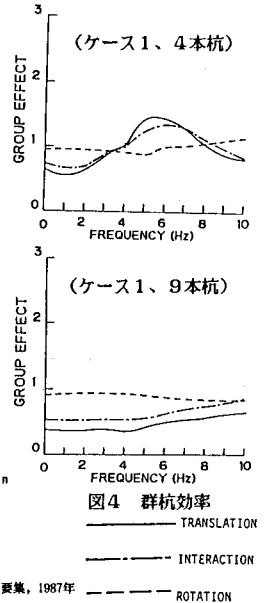


図4 群杭効率