# 共振載荷試験を用いた杭 - 地盤系の動的応答解析

秋田県立大学	国際会員	カルキ	・マダン
岡三リビック㈱	国際会員	小浪	岳治
岡三リビック㈱	正会員	工藤	章光
A&G 堀口技術士(事)	国際会員	堀口	隆司

## 1.はじめに

構造物を設計する際,安全性や使用性,修復性に関してその要求性能を満足し ていることを明示する必要がある.杭基礎においては荷重-変位量関係を明らか にすることが特に重要であり,そのためには得られる情報と費用に見合った載荷 試験を実施することが望まれる.筆者らは静的な荷重-変位量関係が既知である 杭に対して,共振現象を用いた共振載荷試験(*Harmonic loading test*)を行い,杭 体の2次共振現象を明確に捉えることができた.この共振載荷試験によって得ら れた杭-地盤系の応答をシミュレーション解析によって再現し,地盤性状(質量, 鉛直バネ剛性,減衰特性)を明らかにすることが本研究のねらいである.

### 2.解析方法

杭 - 地盤系は, 質点とバネ, ダッシュポットを用いて図-1の様に表すことができ, この運動方程式は, 質量 *M*, 減衰定数 *C*, バネ剛性 *K* と変位 *u*, 外力 *F* を用

いて式(1)で表される.また,非減衰自由振動を 想定し,*u=Asin t*とおけば式(2)が得られ固有 円振動数 が算出できる.

 $M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = F \qquad \dots \qquad (1)$ 

 $-\omega^2 M + K = 0 \qquad \dots \qquad (2)$ 

本解析の内容は次の2つである. QR 法を 用いて式(2)を解き,得られた固有値<sup>2</sup>から固 有振動数fを算出する. ニューマークの 法 を用いて質点毎の経時的な変位と荷重の値を算 出する.2つの解析でぞれぞれ得られた結果と 共振載荷試験による実測結果との比較を行い地 盤性状を明らかにする.図-2は地盤の標準貫入 試験結果,解析に用いた質点系モデルと入力定 数<sup>2)3)</sup>である. 杭要素を地層毎に分割した質点 と加振機の質点を考慮して 10 質点モデルとし



units of mass:Kg

図-2 標準貫入試験結果と解析モデル

た.試験杭は,鋼管(318.5mm×t12.7mm×L17.0m,埋込み長16.0m)を用いた埋込み杭<sup>1)2</sup>であり,解析に は鋼管の質量と単位体積重量を17kN/m<sup>3</sup>と仮定した中詰めの和を質量として用いた.杭体のバネ剛性は鋼管の 弾性係数を用いて算出し,地盤のバネ剛性はN値から算出した極限支持力と静的な荷重-変位量関係から得 られる弾性限界時の変位を用いて算出した.なお,杭先端のバネ剛性は杭体のバネと先端地盤のバネが直列関 係にあると捉え,2つのバネを合成して用いた.また,質点数,バネ剛性,減衰定数が解析結果に与える影響 の度合いをそれぞれ個々に把握する為,ここでは減衰の影響を考慮せず,バネ剛性と質量のみを用いた.

キーワード 共振,繰返し荷重,動的,動的相互作用,逆解析

連絡先 〒108-0023 東京都港区芝浦 4-16-23 AQUACITY 芝浦 岡三リビック㈱ 企画開発部 TEL03-5442-1490



### 3.解析結果

図-3 は前述の の方法で得られた杭頭の変位波形 を高速フーリエ変換したものである.ここで得られ た固有振動数と の方法によって得られる固有振動 数を実測値と比較したものが表-1 である.今回用い た入力定数では反力マスの違いによる共振周波数の

変化や,1次モードと2次モー ドの共振周波数の違いなどの 傾向は十分に得られているが 解析値は実測値よりも低い.

図-4 は反力マスが 305kg の ときに実測された杭体の軸力 を時系列で表したものと,任意 の時刻における軸力分布を表 している.これに対して図-5 はシミュレーションによって 得られた軸力である.シミュレ ーションによって得られた GL-10m 付近の最大軸力は実測 値より若干大きいが,杭-地盤 系が 2 次モードで振動する様 子が良く再現できている.



### 4.まとめ

質点系のモデルを用いることによって杭体の応答をシミュレートし,地盤の性状を把握できる可能性が得られた.共振載荷試験では2次の固有振動数まで実測可能であることからマッチングさせるパラメータが多く,解析の精度向上に寄与すると考えられる.今後の課題は,反力マス質量の違いによる杭体変位レベルの違いとそれに起因するバネ剛性の変化を考慮すること,バネ剛性の非線形性を考慮できる解析プログラムとすることである.また,地盤の付加質量や減衰の影響を考慮してパラメトリックな解析を行なうことで,より実測値に近い値をシミュレートすることが必要である.

## 参考文献

1) 小浪,工藤,丸山,カルキー,堀口:磁歪装置による杭の動的載荷試験;第37回地盤工学研究発表会

2) Karkee M. B., Konami T., Kudo Y. and Horiguchi T. 2002. "Use of magnetostrictive device to investigate dynamic behavior of single piles," Proc. 4<sup>th</sup> Japan-Korea-Taiwan joint seminar (SEEBUS 2002)

3) Karkee M. B., Kurihaara Y., Cuadra C., and Kudo Y. 2002. "Harmonic loading test for investigation of the axial behavior of single piles under dynamic loads," Proc. 2<sup>nd</sup> International Science Forum (ISF-HONJO 2002)

表-1 固有振動数の実測値と解析値

反力マス	1次共振(Hz)			2次共振(Hz)		
(kg)	実測	QR法	法	実測	QR法	法
780	45	42.5	42.7	110	95.3	95.2
305	60	48.4	48.8	120	113.2	113.5
115	67	50.9	51.3	155	123	123.3