

## 杭の衝撃載荷試験の波動解析に用いる入力波の検討(その2)

衝撃載荷試験, 既製杭, 縦波伝播速度

ジャパンパイル(株) 正 小嶋 英治  
金沢大学大学院 国際 松本 樹典

## 1. はじめに

2002年5月に, 地盤工学会基準「杭の鉛直載荷試験方法・同解説」<sup>1)</sup>(以下, 基準と省略する)が発行され, 杭の衝撃載荷試験法もそのうちのひとつとして導入された。衝撃載荷試験は, 杭に軸方向の衝撃力を加え, 波形マッチング解析に基づいて地盤抵抗を同定することを前提とした試験方法である。この解析法には, 差分法<sup>2)</sup>やマトリクス法<sup>3)</sup>およびSmith法などがあるが, 地盤工学会基準では一次元波動理論に基づいた特性曲線法<sup>1)</sup>が紹介されている。特性曲線法は, 地盤抵抗を離散化し, 離散化した杭節点に地盤抵抗が集中しているモデルとし, 波動伝播理論は, 軸方向力を上昇波と下降波に分離して組み立てている。また, 基準で紹介している特性曲線法では, 入力波に計測点の下降波を用いている。本論文は, この入力波について検討を行なったものである。

## 2. 入力波の検討

入力波を検討するために, 図1に示す, 地中に埋め込んだ鋼管に, 直径400mm, 杭長8mの既製コンクリート杭(直杭)を挿入し, 先端抵抗のみが存在する条件で, 重錘質量300kgを用い, 落下高さ80cmで, 杭頭を打撃する試験<sup>2)</sup>を行なった。

図2の一番上が計測点の軸方向力 $F_m(x_0, t)$ で, 上から二番目が $Z \cdot v_m(x_0, t)$ である。ここに,  $Z$ は杭の機械インピーダンスで,  $v_m(x_0, t)$ は計測点の粒子速度である。

計測点の軸方向力には上昇波と下降波が含まれており, これらを分離して図2に示した。図2の上から三番目および四番目に, 計測点の軸方向力の上昇波および下降波をそれぞれ示した。

この上昇波と下降波を, 伝播時間を考慮して杭頭に戻し, 杭頭の軸方向力<sup>4)</sup>を求めた。この杭頭の軸方向力が図2の一番下に示す波形で, この波が打撃力である。本論文では, この杭頭の軸方向力である打撃力を, 特性曲線法の入力波に用いるべきと提案<sup>5)</sup>している。

## 3. 試験杭のシミュレーション

試験から求めた打撃力の最大値を1MNに基準化して, 2ケースの境界条件をシミュレートした。

ケース1の境界条件は杭頭自由端・杭周面自由面・杭先端自由端で, ケース2は杭頭自由端・杭周面自由面・杭先端固定端である。図3はケース1の計測点の軸力<sup>6)</sup>で, 上から順に, 下降波 $F_d(x_0, t)$ , 上昇波 $F_u(x_0, t)$ , 上昇波+下降波( $F(x_0, t)$ )で,  $F(x_0, t)$ (上昇波+下降波)が計測されたはずみから求まる軸方向力である。

図4に, 図3同様, ケース2の計測点の軸方向力, すなわち, 下降波, 上昇波, 上昇波+下降波を示す。やはり, 一番下の波が, 計測されるはずみから求まる軸方向力である。

計測結果とシミュレートした軸方向力を比較する。計測結果の軸方向力(上昇波+下降波)は図2の一番上の波形である。これに対応するシミュレーション結果の軸方向力は, ケース1が図3の一番下の波形で, ケース2が図4の一番下の波形である。ただし, 入力波

の最大値を1MNに基準化した。この結果, 図2と図3の軸方向力の波形が良い一致を示し, これより実験の杭先端の境界条件は自由端に近いことがわかる。

図5, 6に, ケース1およびケース2の, 軸方向力の波動伝播をシミュレートした。ケース1およびケース2の打撃力は同じ波形であるが, 計測点の軸方向力の, 上昇波, 下降波, 上昇波+下降波のいずれの波も異なっている。これは, 杭頭の軸方向力(上昇波+下降波)以外の波は, 打撃力を入力波としたときの応答波であるからである。したがって, 計測点の軸方向力の, 下降波, 上昇波+下降波のいずれの波も, 入力波としては不適切である。すなわち, 計測点の軸方向力(下降波あるいは上昇波+下降波)を入力波として用いると, マッチング未完の境界条件で, マッチング完了した時の軸方向力(下降波あるいは上昇波+下降波)を与えることになるので, 以下の現象の起きる可能性がある。

- 解析結果が地盤抵抗の仮定値の変化に鈍感となる。
- 幅広い地盤抵抗でマッチングされる。
- 解析者により同定した地盤抵抗に大きなばらつきが生じる。
- 見かけ上マッチングが終了したと判断される。

差分法やマトリクス法のように偏微分方程式を直接解く方法では入力波に衝撃力を用いているので問題がない。基準では, 特性曲線法の入力波に, 計測点の下降波を用いることを奨励しているが, 筆者らは, 上記の理由で, 特性曲線法においても入力波に杭頭の軸方向力, すなわち衝撃力を用いる必要があると考える。

## 4. まとめ

本論文は, 特性曲線法に基づいた波形マッチング解析であっても, 解析における入力波に, 杭頭における衝撃力, すなわち杭頭の軸方向力の時刻歴データを用いる有用性を示したものである。

謝辞 建築学会の「杭の鉛直支持力小委員会動的問題WG」での議論は, 本論文を展開する上で, 非常に参考になりました。委員の方々に, 感謝の意を表します。

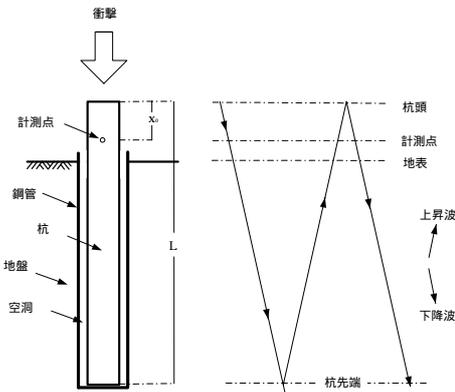


図1 試験杭のイメージ

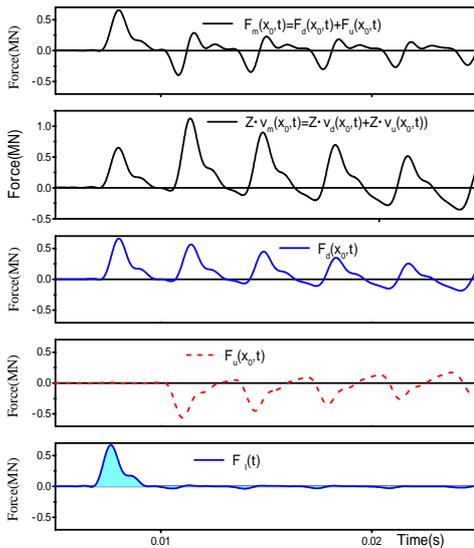


図2 鋼管に立て込んだ直杭の計測波形

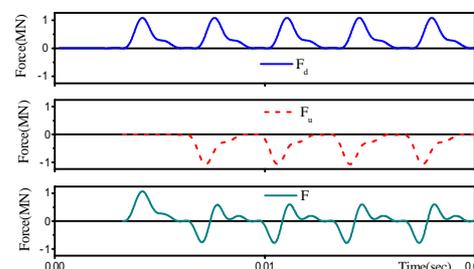


図3 ケース1における計測点の軸方向力波形  
(杭頭・杭先端・杭周面:自由, 入力波を1MNに基準化)

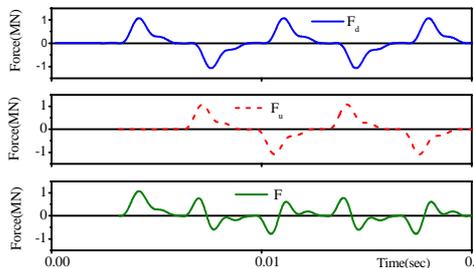


図4 ケース2における計測点の軸方向力波形  
(杭頭・杭周面:自由, 杭先端:固定, 入力波を1MNに基準化)

【参考文献】1)地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説，pp.227-271，2002.5．2)小嶋英治・桑山晋一：杭の鉛直載荷試験の開発と実験による検証，第48回地盤工学シンポジウム，pp.99-106，2003.11．3)松本樹典，Kitiyodom P.，小嶋英治：鉛直および水平方向の動的・静的杭載荷試験の解析プログラム開発，日本建築学会大会(近畿)，pp.479-480，2005.9．4)小嶋英治：衝撃載荷試験の波形マッチングに差分法を用いる場合の入力波の検討，日本建築学会大会(東海)，構造，pp.561-562，2003.09．5)小嶋英治・松本樹典：杭の衝撃載荷試験の波動解析に用いる入力波の検討，日本建築学会大会(九州)，構造，pp.563-564，2007.08．

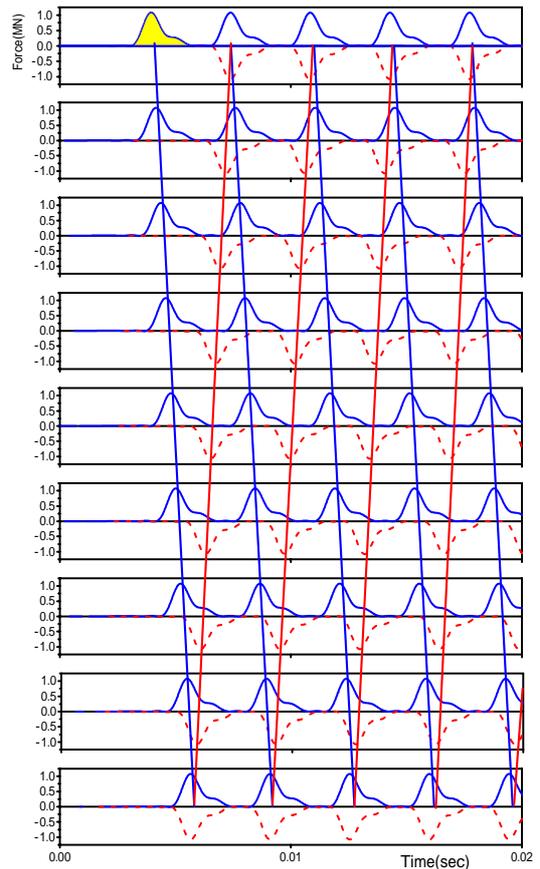


図5 ケース1における杭体の軸方向力波動伝播  
(杭頭・杭先端・杭周面:自由, 入力波を1MNに基準化)

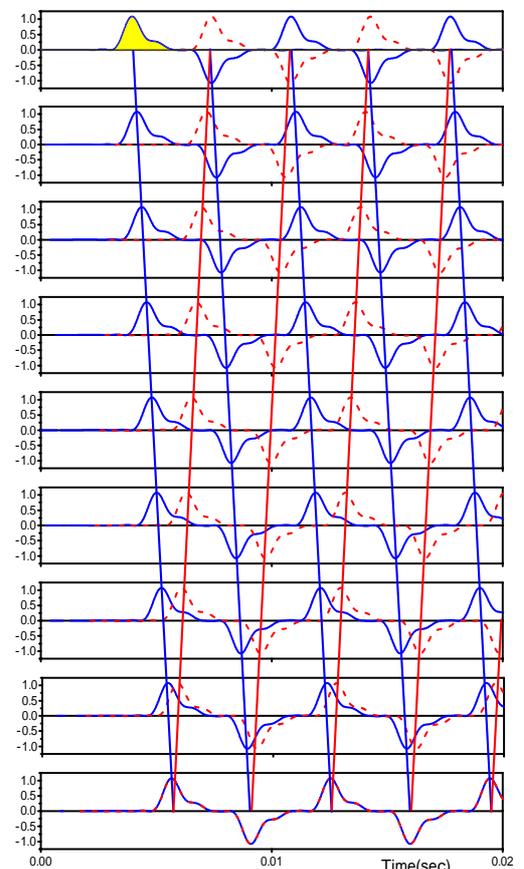


図6 ケース2における杭体の軸方向力波動伝播  
(杭頭・杭周面:自由, 杭先端:固定, 入力波を1MNに基準化)