

## 打撃試験法を用いた杭基礎の健全性評価に対する解析的検討

法政大学大学院 学生会員 ○大塚 経志郎 正会員 酒井久和  
 大成建設(株) 正会員 今井 義之  
 (株)日建設計シビル 正会員 西山 誠治 正会員 本田 道識

### 1. はじめに

我が国では阪神大震災以降、既存構造物における被災後の健全性評価の必要性が高まってきている。しかしながら、構造物の杭基礎については地上構造物とは異なり目視による被害状況の確認ができない。近年では、基礎杭など地下構造物に対して、衝撃弾性波法などの非破壊検査による健全性調査が実用化されているが、数万 Hz の解像度を有する高精度の加速度計が必要である。そこで本研究ではより簡便な調査方法を開発する目的で、汎用的に使用されている加速度計を用いた打撃法について、解析的に適用性を検討する。

### 2. 研究方法

杭が地震や老朽化などの影響で脆くなると剛性が低下し、図 1 に示すように、健全な杭と比較すると固有振動数に差異が生じると考えられる。そこで本研究では、数値解析により損傷度の異なる杭基礎モデルに動的荷重を作用させ、応答加速度から各モデルの卓越振動数を比較することによって、杭基礎の健全性評価の適用可能性を考察する。

### 3. 解析条件

解析モデルを図 2 に示す。検討対象構造物は、解析モデル図に示すような杭長 10m 杭径 40cm、上部工高さ約 7m の杭基礎構造物とする。解析には 3 次元 FEM を採用し、杭基礎及び上部工をはり要素で、地盤については水平 2 方向のバネ要素を、それぞれ地表面から杭端部まで 0.5m おきに設定した地盤バネモデルで表現する。

地盤の土質区分と層厚、N 値は以下の表 1 の物性値を採用する。各部材の水平地盤反力係数は、鉄道構造物等設計標準<sup>1)</sup>に基づいて算定を行い、部材の支配面積に応じてバネ定数を設定する。

杭基礎の損傷形態については、はり要素で構成した節点に、ケースに応じてピン結合にすることで表現する。本解析では、以下の 3 ケース(①無損傷 [健全]、②杭上部損傷[杭上部ピン]、③杭中部損傷[杭中部ピン])に分け、図 3 に示す動的荷重を基礎柱の上端部節点に、水平一方向に作用させることで、それぞれの損傷形態に対する卓越振動数の変化を調べる。

### 4. 解析結果

地盤バネモデルを有した杭基礎モデルの健全時と 2 つの損傷時のケース、計 3 つのケースで動的荷重を作用させたときの、荷重載荷方向のフ

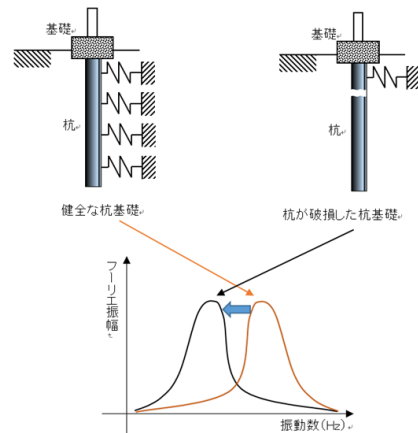


図 1 固有振動数の変化概念図

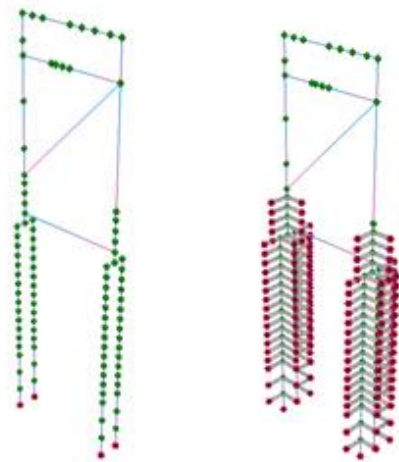


図 2 解析モデル(左：地盤バネなし 右：地盤バネあり)

表 1 地盤の物性値

土質区分	N値	層厚 H(m)
盛土(砂質土)	7	7.5
シルト(粘性土)	2	1
砂(砂質土)	23	0.5
シルト岩(粘性土)	50	5

キーワード 杭基礎 非破壊検査 健全性 卓越振動数

連絡先 〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33 法政大学 TEL 03-5228-1429

ーリエスペクトルを図4に示す。図4より、健全時における杭の卓越振動数は1次で13.1Hz、2次で17.8Hzであった。一方で、杭上部損傷時は1次12.3Hz、2次16.8Hz、杭中部損傷時は1次12.3Hz、2次17.2Hzで卓越した。損傷した杭はどちらも、健全な杭より1次、2次とも卓越振動数が小さく、特に杭上中部損傷時の1次モードにおける卓越振動数と比較すると、約6%の差異を確認することができた。以上の結果より、杭損傷状態の検出方法として本手法が適用できる可能性があると言える。

5.パラメトリックスタディによる検討

地盤条件や構造条件の違いにおける本手法の適用性を、パラメトリックスタディにより検討する。本節では、地盤が軟質と硬質になるようN値を設定し、それぞれの応答加速度のフーリエスペクトルから卓越振動数の差異を調べる。解析は、地盤条件を除き先程と同様の条件で行う。軟質、硬質地盤ケース(表2参照)における解析結果を図6、7に示す。図6より、軟質地盤では健全及び杭中部損傷時のどちらも、1次6.8Hz、2次15.2Hzで、杭上部損傷のケースでは、1次6.4Hz、2次14.8Hzで卓越した。杭健全時と杭上部損傷時のケースにおいて、2次モードでは卓越振動数に約2.7%の差異しか確認できなかったが、1次モードでは6.3%の差異が確認できた。杭中部損傷の有無を判断することは難しいが、杭上部損傷を検知できる可能性はあると考えられる。一方、図7に示す硬質地盤におけるフーリエスペクトルでは、健全と上部損傷のケースにおいて卓越振動数に最大で約1.5%の差異が確認できる(健全:1次14.6Hz、杭上部損傷:1次14.5Hz)。しかし杭健全時と杭中部損傷時はどちらも同じ振動数で卓越しており、硬質地盤においても軟質地盤と同様に杭中部損傷の有無の判断は困難である。

6.まとめ

本研究では、打撃法による杭基礎の健全性評価に対して、解析的検討から適用性を調べ、また硬軟質地盤に対するパラメトリックスタディによって振動特性の比較を行った。その結果、(1)特定の地盤物性値を用いて行った解析では、健全と損傷のケースにおいて、卓越振動数に有意な差があり、打撃法の適用の可能性を有する、(2)硬軟質地盤のパラメトリックスタディにより、本構造物に対しては軟質地盤の方が杭の損傷判断の可能性が高い、(3)本検討ケースにおいては、杭中部の損傷は検出できない、以上3点のことが明らかになった。今後、異なる地盤条件、構造条件ケースに対するパラメトリックスタディや、より卓越振動数に差が生じる打撃方法の検討を行う必要がある。

1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説、2000。

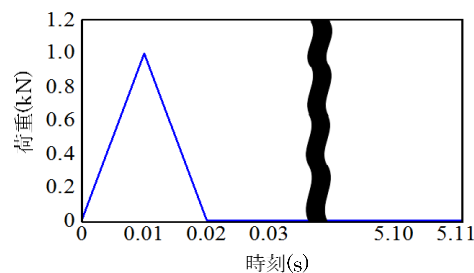


図3 解析に使用する動的荷重

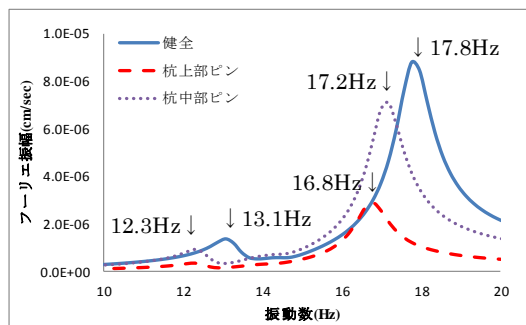


図4 フーリエスペクトル

表2 硬質、軟質地盤の物性値

N値	基本	軟質	硬質
盛土	7	1	30
シルト	2	1	30
砂	23	1	30
シルト岩	50	50	50

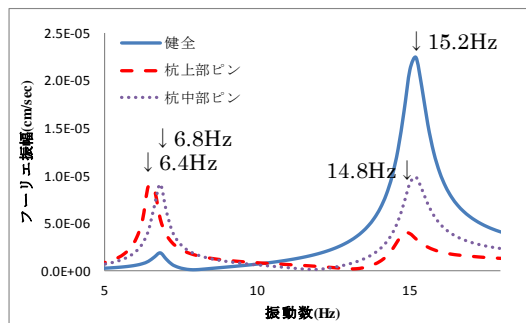


図5 フーリエスペクトル(軟質地盤)

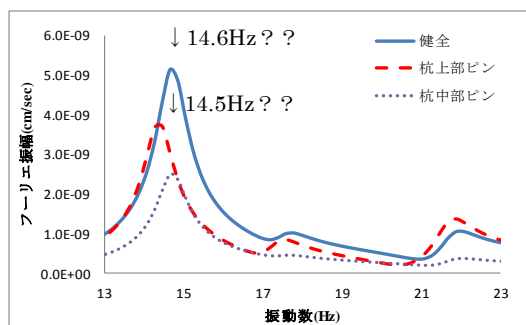


図6 フーリエスペクトル(硬質地盤)