

DTH の応答加速度波形を利用した地盤の剛性評価手法の開発

石川工業高等専門学校 学生会員 ○坪内 悠馬
 石川工業高等専門学校 正会員 新保 泰輝
 株式会社ケー・エフ・シー 正会員 渡邊 直人
 一般財団法人 先端建設技術センター フェロー会員 山本 拓治

1. はじめに

我が国では、軟弱地盤が広がっており、軟弱地盤を要因とした災害が多く発生している。軟弱地盤上に建造される構造物の倒壊を防ぐためには基礎が必要である。しかし、杭の支持層への貫入不足により、2015年に横浜市、2020年には福岡市でマンションが傾くという問題が生じた。これらの原因はダウンザホールハンマー（以下、DTH）などに代表されるような杭打設時に杭の基盤への到達が担保されていないことから発生する。本研究で取り扱う DTH は、硬質地盤を対象に基礎工事等の杭打施工に適用するものであり、先端ビットの衝撃力で岩盤を掘削する工法である。本研究では、DTH 上部に加速度センサーを取り付けることで打撃に対する応答加速度（以下、計測波形と称する）を計測し、この計測波形を用いて地盤の剛性を推定する手法を開発する。これにより、追加の調査を行わずに地盤剛性を求めることができるようになり、基盤到達が担保できる。

2. 解析手法

本研究では、DTH の挙動を図-1 のような、地盤とハンマービットを一質点のバネとダッシュポットで構成された簡易なモデルと仮定する。ここで、質量 M_{bit} はハンマービット質量、バネ定数 K と減衰定数 C には地盤の値を用いる。すなわち、 M_{bit} のハンマービットが地盤に衝撃力を与え、その反力によってハンマービットが反射する挙動を強制振動現象と捉えて応答加速度を求める。このとき、応答加速度が DTH 上に設置された加速度センサーから得られた計測波形と一致するようにバネ定数 K と減衰定数 C を求める再現解析を行う。なお、掘進と共に地層が変わっていくことから、バネ定数 K と減衰定数 C は適宜変化する。そのため、簡易に 1 秒ごとに異なる地層に到達すると考え、解析時間を $t_{start} < t < t_{start} + 1s$ とした。求まったバネ定数からヤング率を求めて掘進時の地盤剛性とする。バネ、ダッシュポットを有する一質点の運動方程式は $M_{bit}\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = f(t)$ で表される。ここで、ダッシュポット係数 C は、反発係数 e とすると次式となる¹⁾。

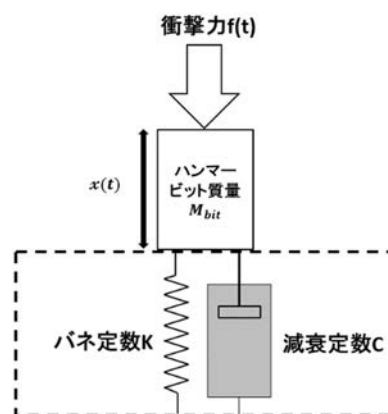


図-1 解析モデル

$$C = 2 \sqrt{\frac{M_{bit}K}{1 + \left(\frac{\pi}{\ln e}\right)^2}} \quad (1)$$

固有角振動数 $\omega^2 = K/M_{bit}$ 、減衰定数 $\gamma = C/(2M_{bit})$ とすると応答加速度はフーリエ変換を用いて、

$$\ddot{x}(t) = \sum_{i=1}^{\frac{N}{2}} \frac{-\omega_s^2 F_s}{(\omega^2 - \omega_s^2 + 2i\gamma\omega_s)} e^{i\omega_s t} \quad (2)$$

上式に対し、バネ定数 K と反発係数 e を乱数として与えて求まる応答加速度と計測波形の一致を試みる。これにより、バネ定数 K と反発係数 e が求まる。また、 F_s は荷重に関する係数であり、計測波形を利用して
 キーワード 剛性評価, DTH, 応答加速度波形, N値, 再現解析

連絡先 〒929-0392 石川県河北郡津幡町北中条タ1 石川工業高等専門学校 TEL076-288-8000

これを再現可能な荷重の時刻歴波形を求めることで得られる。紙面の都合上詳細は割愛する。

3. 解析条件

本手法の妥当性を示すために、実際の地盤やコンクリートに対して DTH による掘削を行った際の観測波形を用いて解析を実施した。コンクリートはヤング率が測定可能な均質な材料であるため、検証には適しているといえる。再現解析のための乱数発生回数は 100 万回と 1000 万回で近い傾向を示したことから、解析時間の短い 100 万回で行った。なお、機器仕様書より、 $M_{bit} = 28.4\text{kg}$ とした。

4. 解析結果

図-2、図-3 にコンクリートに対する結果を示す。図-2 は、計測波形と解析結果である応答加速度波形を比較したものである。図-4 は実測のバネ定数と解析結果を比較したものであり、実測のバネ定数は直線で表している。図-2 より、計測波形と解析結果のグラフは定性的に一致していることが分かる。また、図-4 に示すように、実測のバネ定数の結果に近い値となっており、また、時間によらず同一の傾向を示している。図-4、図-5 は DTH による地盤掘削に対する再現結果である。図-4 は上のグラフが掘削深度とバネ定数、下のグラフが計測波形と解析結果である応答加速度波形を比較したものである。また、図-5 はヤング率と N 値の関係を表している。図-4 より、掘削深度とバネ定数に関しては、深くなるほどバネ定数が大きくなっていることが分かる。また、計測波形と解析結果である応答加速度波形を比較すると定性的に一致していることが分かる。また、図-5 に示す解析結果の異常値を除いてヤング率を補間した線（図中青線）より、N 値と同様の傾向を示していることが分かる。補間を行った理由は、特に応答加速度が 0 に近い場合にはヤング率が大きくなったり、実際には岩盤を掘削していないタイミングで異常な値が得られたりしたためである。以上より、N 値分布と同様の傾向を示すことから、本解析手法を用いた地盤に対する剛性評価手法は一定の妥当性を有する手法であるといえる。

5. おわりに

本研究では応答加速度の計測波形を用いて地盤剛性測定法の開発を行うために、バネ定数と反発係数による計測波形の再現解析を実施した。その結果、以下のことが分かった。

- コンクリートに対する解析、実地盤に対する再現解析の結果、提案した手法を用いて計測波形の再現ができた。また、コンクリートのバネ定数は実測値と良い一致を示すことが分かった。
- 解析により求めたヤング率は計測値や N 値と同様の傾向を示すことが分かった。

参考文献

1) 和田浩二, 千葉博紀, 松井孝典: DEM による粉体衝突シミュレーション, 日本惑星科学会誌, Vol. 13, No. 4, 2004.

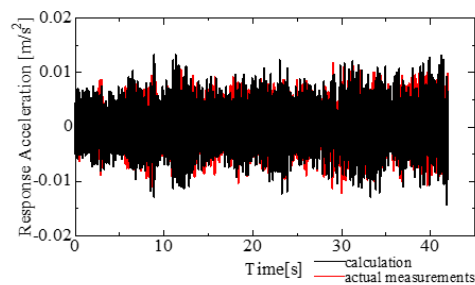


図-2 コンクリートの解析結果

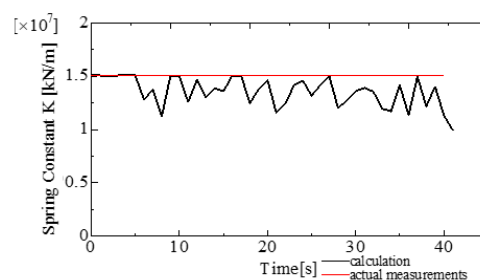


図-3 コンクリートの解析結果

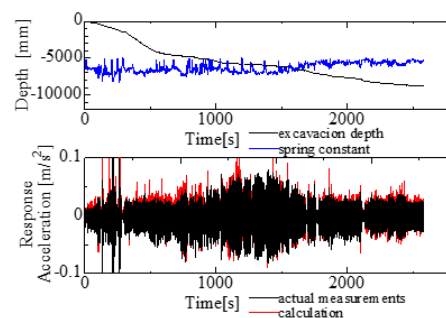


図-4 地盤の解析結果

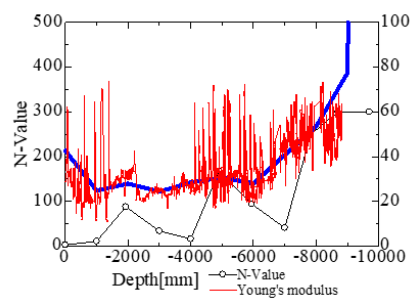


図-5 地盤の解析結果