

## 掘進時の応答加速度を用いた地盤の剛性評価手法の開発

ヤング率 杭基礎 強制振動

石川工業高等専門学校 正会員 ○乗地 礼奈  
 石川工業高等専門学校 国際会員 新保 泰輝  
 株式会社ケー・エフ・シー 国際会員 渡邊 直人  
 一般財団法人 先端建設技術センター 山本 拓治

## 1. はじめに

近年、杭の支持層への貫入不足によりマンションが傾く問題が発生している。これらはダウンザホールハンマー（以下、DTH）などでの杭打設時に、杭の基盤到達が担保されていないことが原因である。これまで基盤到達確認方法として、技術者が掘削時の掘削ブリの目視確認などから支持層判断が行われている。これらは土質条件、掘削断面積などにより、掘削が進んでも明確に値に変化が現れない場合がある。DTHは、硬質地盤を対象に基礎工事等の杭打設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上部とDTH機械横の地面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が得られることを利用し、計測された波形を用いて地盤の剛性を推定し、追加の調査を行わずに地盤剛性を定量的に求める手法を開発することを目的とする。これまでに坪内<sup>1)</sup>は、計測波形を再現可能な、運動方程式から逆算して求められる衝撃荷重波形を利用し、コンクリートと地盤に対する剛性評価を行っている。ただし、衝撃力波形を求めるためには調整パラメータが必要となるもののそのパラメータ設定の根拠付けが困難であった。本研究では衝撃荷重波形をパルス近似した荷重波形と考え、調整パラメータを用いることなく剛性を評価する方法を提案する。本提案手法の妥当性を示すために、ヤング率が判明しているコンクリートに対し、DTHによる破砕実験を実施し、得られた観測波形の再現を行い、ヤング率の評価を行った。

## 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、質量 $M_{bit}$ 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上とDTH機械横の地面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 $C$ による再現解析を行う。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秒ごとに異なる地盤に到達すると考え、解析時間を $t_{start} \leq t \leq t_{start} + 1s$ とする。求め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。図-1に示すモデルに対し、1質点モデルと考えると運動方程式は

$M_{bit}\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = f(t)$  次式で表される。ここで、DTHは、空気圧によってピストンがストロークを通過し、ハンマービットに衝撃力を伝達する。短時間で何回もハンマービットが岩盤に衝撃力を与えることで岩盤を粉砕する。そこで、外力 $f(t)$ はパルス荷重を近似した $F_{bit}\cos^2 2\pi ft$ とした。ここで $F_{bit}$ は後述するハンマービットに作用する荷重レベル、 $f$ は振動数である。実測から秒間18回程度の打撃があることがわかっており、打撃数が18回となるように、本研究では $f=9$

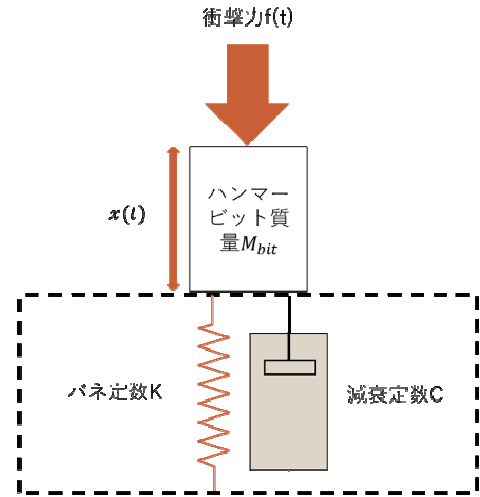


図-1 解析モデル



図-2 DTH 上部に設置した加速度計



図-3 DTH 横の地盤に設置した加速度計

Development of a Stiffness Evaluation Method Using  
 a Response Acceleration Waveforms of Machine digging

NORJI, Ayana (NIT, Ishikawa College)  
 SHIMBO, Taiki (NIT, Ishikawa College)  
 WATANABE, Naoto (KFC Co. LTD.)

YAMAMOTO, Takuji (Adv. Construction Technology Center)

とする。荷重レベルについては紙面の都合上割愛する。表-1に使用したビットの緒元と解析に用いた荷重レベルを示す。以上の解析理論を用いて、DTHを用いたコンクリート破砕実験を実施した結果から剛性評価法の妥当性を検討する。実験では、加速度計をDTH機械上(図-2)とDTH機械横の地面(図-3)に取り付け、加速度を計測しながらコンクリートを破砕している。掘削は口径の違う三種類のハンマービットを用いて行っており、コンクリートの強度とヤング率は表-2に示す通りである。

### 3. 解析結果・考察

本提案手法の妥当性を示すために、コンクリートに対してDTHによる掘削を行った際の応答加速度データを用いて解析を実施した。再現解析のための乱数発生回数は10万回で近い傾向を示したため、10万回で行った。紙面の都合上、図-4、図-5にビット口径165mmにおけるDTH機械上とDTH機械横の地面で観測した波形のみを記す。図-4、図-5のグラフ(上)の黒線は解析で求めたバネ定数を示し、青線は実際のコンクリートのバネ定数を示す。バネ定数はヤング率 $\times \pi/4$ である。なお、図中バネ定数が急激に大きくなる場所については、機械がアイドリング状態(打撃をしていない状態)に移行した際に応答加速度が微小になることによって再現可能なヤング率が急激に大きくなったためである。グラフ(下)内の黒線は解析による応答加速度を示し、赤線は計測加速度波形である。図-4、図-5に示すように観測された応答加速度と解析による応答加速度のグラフは定性的に一致している。一方、機械上と機械横地面の実際のバネ定数と解析によるバネ定数は定量的に一致しており、機械上の解析による値の大きさは実測の5~8割程度、機械横地面の解析による値の大きさは実測の3~8割程度であり、これを比較すると機械上部で観測した値を使った図-4の方が実際のバネ定数(ヤング率)に近い値が得られている。この観測地点の違いによるバネ定数の違いは他の口径でも見られ、ビットの口径によらず同一の傾向を示している。そのため、コンクリートから地盤に伝達した加速度よりも機械上部の加速度の方が外乱は少ないと考えられる。このことから、機械上で加速度を観測したほうがより正確なバネ定数が得られると言える。

### 4. おわりに

本研究では計測波形を用いて地盤剛性測定方法の開発を行うために、計測波形の再現解析を実施した。その結果、以下の知見を得た。

- ・機械上で加速度を観測したほうがより正確なバネ定数が得られる。
- ・再現解析によるバネ定数はビットの口径に関わらず同一の傾向を示す。
- ・既報と比較し、未知のパラメータが減ったため、より簡素で合理的な手法となった。

今後はN値分布等と比較することで地盤適用性について検証を深めていく。

### 参考文献

1)坪内悠馬, 新保泰輝, 渡邊直人, 山本拓治: 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, 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会, III-392, 2022.

表-1 使用ビットの緒元と解析に用いた荷重レベル

| 項目/使用ハンマー         | Φ165mm       | Φ216mm       | Φ267mm       |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|
| ビット質量Mbit [kg]    | 28.4         | 44.7         | 81           |
| 空気圧[MPa]          | 1.27         | 1.27         | 1.27         |
| 荷重レベルFbit [N]     | -15436.89439 | -24471.73843 | -44945.77319 |
| ピストン質量Mpiston[kg] | 10.4326      | 22.3         | 44.3         |
| ピストンストロークls[mm]   | 108          | 108          | 102          |

表-2 コンクリートのパラメータ

| 項目/使用ハンマー                 | Φ165mm      | Φ216mm      | Φ267mm      |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 強度[N/mm <sup>2</sup> ]    | 46.1        | 46.1        | 46.1        |
| ヤング係数[N/mm <sup>2</sup> ] | 28863.35025 | 29214.22027 | 28686.73062 |

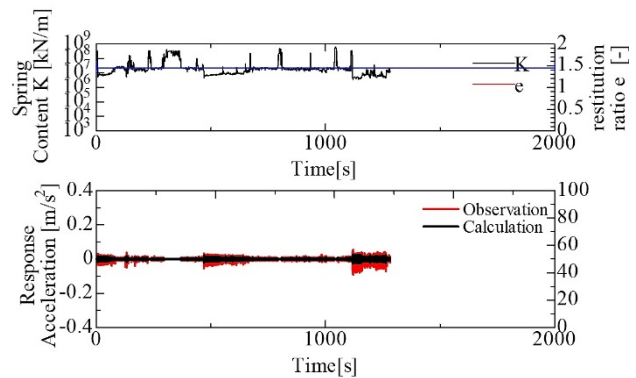


図-4 機械上の解析結果

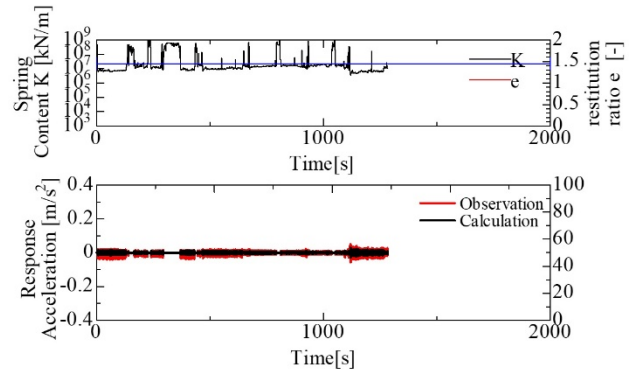


図-5 機械横地面の解析結果