

小口径動的圧入推進工法の開発

日本電信電話(株) アクセスサービスシステム研究所 正会員 日野 英則
 日本電信電話(株) アクセスサービスシステム研究所 正会員 高梨 敏彦

1. まえがき

小口径推進工法には大きく掘削推進方式と圧入推進方式の2種類あり、従来の推進工事においては土質への適用性が広い掘削推進方式が一般的に使われてきたが、掘削・排土工程があるため推進速度が遅く工事コストが高くなる要因となっていた。一方圧入推進方式では、高速推進が可能な反面、これまでは粘性土等柔らかい土質に適用が制限されていた。そこで著者らは、軟らかい地盤から硬い地盤まで幅広い地盤に圧入推進の適用を可能とする動的圧入推進方式を開発し、掘削推進方式の適用を圧入推進方式の適用に変えることによる、工期の短縮および工事コストの低減を提案した。本稿では、動的圧入推進方式の概要と所内実験結果について報告する。

2. 動的圧入推進方式の概要

砂に振動力が加えられると、一般に加振しない場合に比べてせん断強度が低下する。特に振動の加速度がある大きさ（300gal～400gal）を超えると、せん断強度が急激に低下することが知られており、これは砂の流動化現象によるものであると考えられている。

また、粘性土についても振動力が加えられるとせん断強度が低下することが知られており、やはり振動加速度がある大きさを超えると急激に低下する。さらには共振が起こり加速度が最大になるような振動数の振動力が加えられたときにせん断力が最も低下することが確認されている。

動的圧入推進方式は、これらの土の性質を利用し、先端装置で地盤を強制振動させ、前面の土粒子を流動化させることによりせん断抵抗を低減し、その結果前面抵抗の低減を図る方式である。

土の振動する部分の質量 M_s と先端装置振動部の質量 M_v の和を M 、土のばね係数を K 、土の減衰係数を C とし、そこに $F_0 \sin \omega t$ の強制振動が加えられたとすると、図1のような1自由度粘性減衰系の強制振動モデルで近似できる。

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} + C \frac{dx}{dt} + Kx = F_0 \sin \omega t$$

この方程式の特解は、一般によく知られているように定常振動となるが、振動数 f が、

$$f (= \omega / 2\pi) = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M}}$$

を満たす時に共振状態となり、変位 x 及び加速度 $a (= -\omega^2 x)$ は最大値をとる。また起振力 F_0 が大きいほど変位 x 及び加速度 a の値は大きくなる。ここでばね係数 K および質量 M は、土の性状に依存する変数であるから、共振振動数 f は土質によって変化することがわかる。動的圧入推進方式においては加速度 a が最大になるよう土質に応じて振動数 f を変化させ共振状態を生起させればよい。

推進システムとしては、先端装置の先端に推進方向と平行に搭載した油圧シリンダにサーボ制御による油圧の \sin 波を与え、前面の地盤に振動的外力を与える方式を採用しており、振動数、起振力、振幅を自由に設定し最適な振動状態を作り出すことができるようになっている。

3. 所内推進実験による前面抵抗低減効果の検証

動的圧入方式による前面抵抗低減効果を検証するため、所内実験を繰り返し行った。屋内に人工の土槽（山砂）を作成し、振動数および起振力を変化させ前面抵抗を測定した。その結果を図2に示す。

キーワード 小口径，推進，動的圧入，振動，

連絡先 〒305-0805 茨城県つくば市花畑1-7-1 TEL0298-68-6220 FAX0298-68-6260

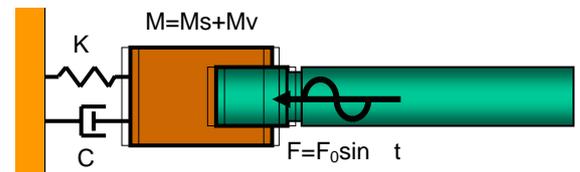


図1 動的圧入モデル

なお、先端装置外径は 350mm、人口土槽のN値は簡易貫入試験装置の打撃数による推定値である。また、前面抵抗値として先端装置先端の油圧シリンダに発生した推力を用いている。

振動数に関しては、モデル式からも導かれるようにある振動数で前面抵抗低減のピークが存在し、同じく実験土槽で行った静的圧入での実験結果と比較すると、30%程度の前面抵抗低減が確認できた。ただし、これはあくまで砂質土における共振振動数であり、土質が変化すれば異なった振動数にピークが見られると思われる。粘性土等の土質における前面抵抗低減効果についても今後検証を続けていく予定である。

起振力に関しては、モデル式通り起振力と前面抵抗低減の間には直線的な関係が認められた。起振力の値が 20kN 周辺に集中しているのは、それ以上の値に設定していたのにも関わらず実際は 20kN 程度の起振力しか発生しなかったものである。これは先端装置前面の地盤の反力と起振力とのバランスに起因すると考えられ、計算上受動土圧による地盤の反力は 10~20kN 程度になり、現象とよく一致している。

また、所内実験データをN値との相関で捉え、静的圧入推進方式の現行小口径推進装置による実際の施工データと比較したのが図 3 である。現行小口径推進装置の施工データにはかなりばらつきがあるものの、理論通りN値との比例関係が認められる。動的圧入推進方式のデータと従来の静的圧入推進方式の平均値（回帰直線）の傾きを比較すると、30%程度の前面抵抗低減効果が認められる。これは実験土槽で行った静的圧入データとの比較結果ともよく合致している。

ここで推進装置が施工機械であることを考えると、適用限界は平均値ではなく最大値で捉えるべきである。あくまで参考指標であるが、現行静的圧入推進方式の施工データの分布から動的圧入推進方式の最大値を推定すると、N値 30 でほぼ 1000kN となる。図 3 からわかるように所内実験ではN値 30 以上の土質での推進実績もあるが、本システムの装備能力を考えると、適用限界としてはN値 30 程度までということになるであろう。

4. あとがき

今回報告した所内実験結果により、小口径推進工法において、従来であれば掘削推進方式でしか適用できなかったN値 30 程度の硬土質領域における、動的圧入推進方式の適用可能性が確認できた。本報告では割愛したが、動的圧入による前面抵抗の低減に加え、管周面摩擦の低減に粒状型滑材を用いることで、理論上 250m 程度の長距離推進が可能となる。今後、所内実験や様々な条件下での現場工事を通して、取得データの理論式・解析モデルへのフィードバックを行い、技術の確立とより広い適用を図っていくこととしたい。

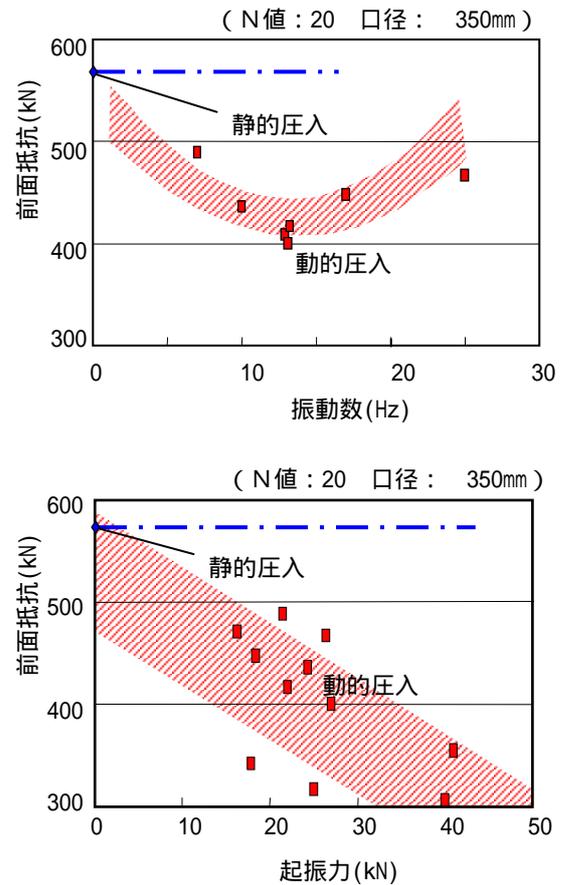


図 2 振動パラメータと前面抵抗との関係

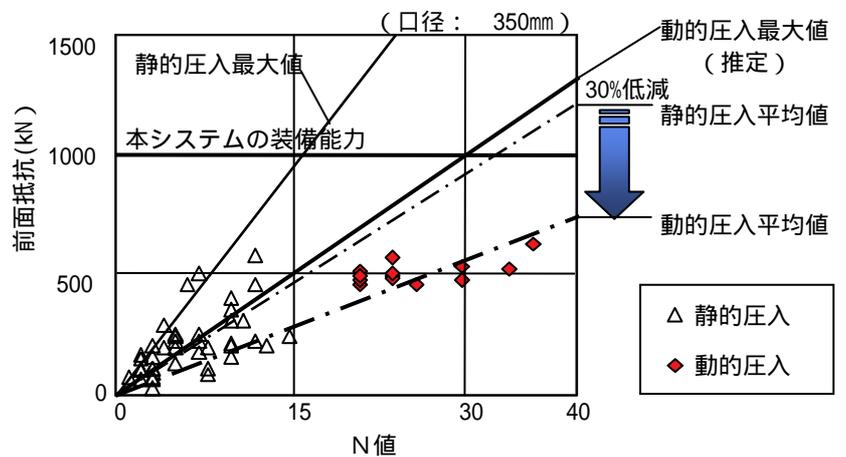


図 3 動的圧入推進技術による前面抵抗低減効果