# 動的貫入試験による弾性波探査の現場適用とその効果について

Applicability and adaptability of seismic tomography using dynamic penetration test

東洋建設（株）　正○小田切祐樹　正　和田　眞郷　正　宮本　順司
応用地質（株）　正　山内　政也　浅野　泰寛

## １．目的

地盤改良工事等の施工中・施工後の品質管理において，リアルタイムに確認が可能な調査方法が求められている．著者らは表層改良工事の施工後の確認において使用される動的コーン貫入試験の打撃振動を利用し，鉛直アレイにて S 波速度計測や弾性波トモグラフィ解析による広範囲な確認を簡易に行う実験を行い，その適用性を示した[1)]．本稿では，埋立地の表層改良工事において，動的貫入試験による S 波速度計測と弾性波トモグラフィ解析を出来型・品質確認手法として使用した例を紹介する．打撃振動の地表面受振や地中鉛直アレイ受振による表層改良前後の弾性波速度のトモグラフィ解析結果を示し，改良工事現場での実用性を検討する．

## ２．動的貫入試験装置による調査の概要

当該工事において改良効果の確認のため，S 波速度計測を行った．調査場所の平面図を図-1 に示す．計測は図中に示すよう改良範囲の 3 測線とした．表層改良の計画深度は地表面から深度 2.5m までである．A，B 測線では 2 箇所，C 測線は延長が短いため 1 箇所を起振点として動的貫入を行った．

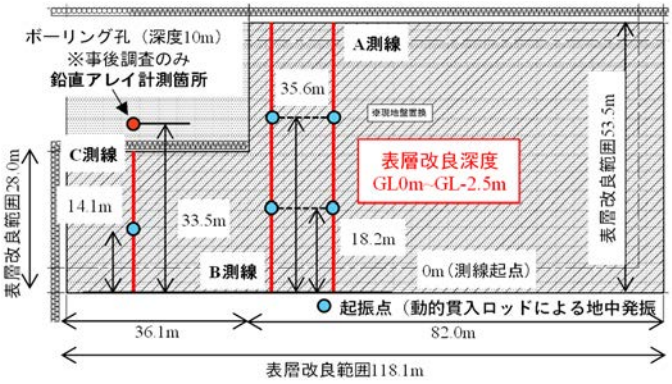


図-1　表層改良範囲と計測測線

動的貫入試験装置を用いた S 波測定概要図を図-2 に示す．動的貫入にてロッドを GL-10m まで 1.5m ずつ貫入させ（GL-2.5m までは 0.5m ずつ貫入），地点ごとにロッドの頭部をカケヤで打撃する起振と油圧ハンマーにて振動打撃する起振を行った．受振器は 1m ごとに地表面に設置した．改良後の C 測線調査では，改良域境界付近にボーリングで別孔を設け，孔内に孔中受振ユニットを挿入して孔中においても弾性波を測定した．1m 毎に 3 成分速度計を 5 つ配置した孔中受振ユニットで深度 1~5m，および 6~10m にて測定した．これらの方法で測定した弾性波の初動走時を解析することで，起振点・受振点間の弾性波速度構造を推定した．

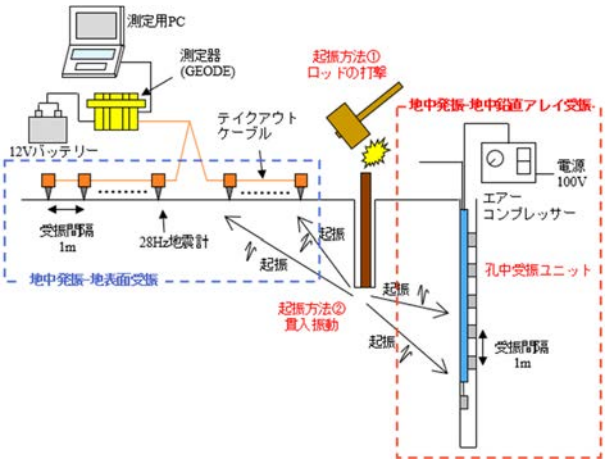


図-2 S 波速度測定概要図

## ３．弾性波速度構造の推定

図-3 に今回の調査で得られた A 測線の表層改良前と改良後のトモグラフィ解析結果（波線経路図）を示す．メッシュ間隔は 1m とした．赤い丸が起振点，緑の丸が受振点の位置を示している．表層改良前の S 波速度は 200m/s 程度であり地盤が一様であることがわかる．また，表層改良の対象である GL-2.5m の範囲を隙間なく波線が通過しており，正確に速度が決定できていると考えられる．表層改良後，GL-3.0m までの範囲は S 波速度 750m/s～900m/s 程度であると推定され，表層改良範囲が精度よく可視化できている．S 波速度から強度を推定する[2)]と 2400~3500kN/m$^2$ で，コアサンプリングした供試体の圧縮強度 1800~3400kN/m$^2$ とほぼ一致した．

キーワード　サウンディング，速度検層，弾性波トモグラフィ，動的貫入試験
連絡先　〒101-0051　東京都千代田区神田神保町 1-105 神保町三井ビルディング 東洋建設㈱　TEL 03-6361-5464

© Japan Society of Civil Engineers

表層改良前は起振点から受振点まで直線的に波が到達していたのに対し，表層改良後は表層改良部が高速度になるため波は起振点からほぼ鉛直に伝播して改良層との境界で屈折している．そのため，波線は表層の高速度層を多く通過しており，表層の速度について精度よく推定できているようである．しかし，改良層との境界で屈折することで改良体端部を通る波線がないため改良体端部の速度を推定することは困難であり，改良体端部を正確に計測する方法が求められる．

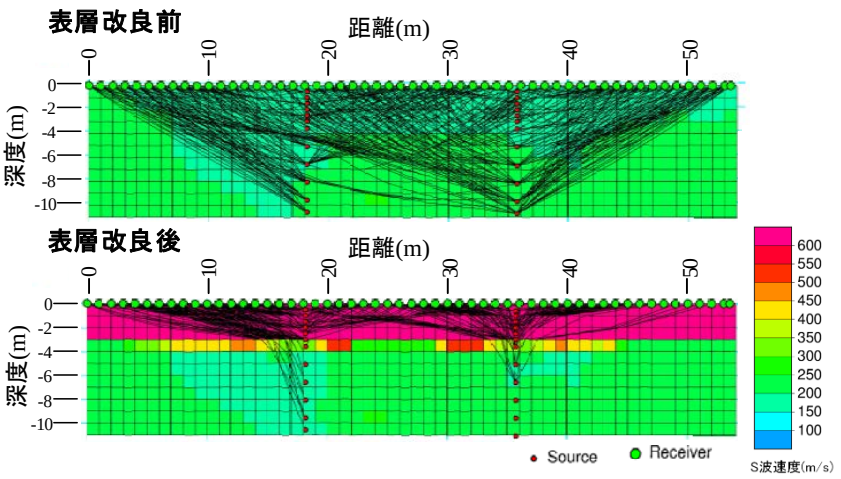


図-3　A 測線のトモグラフィ解析結果

## 4．弾性波の鉛直アレイ受振の効果

改良体端部のＳ波速度を計測するための 1 つの方法として，改良範囲外へも受振器を設置して計測を行った．図-4 に本工事の隣接工区での表層改良工事にて計測を行った際の改良後のトモグラフィ解析結果を示す．改良範囲外へも受信器を設置することで改良体端部に波線が通っていることがわかる．そのため，トモグラフィ解析による改良体端部の解析精度が向上した．しかし，この方法は工事の制約により改良範囲外へ計測器が設置できない可能性がある．

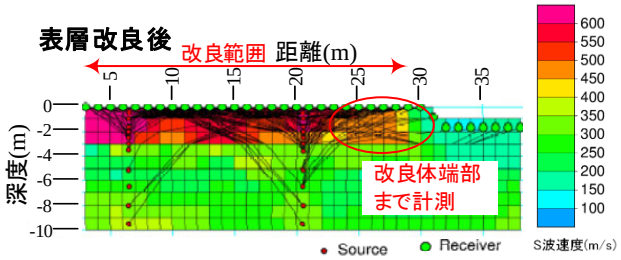


図-4　受振器範囲外設置時の改良体端部計測結果

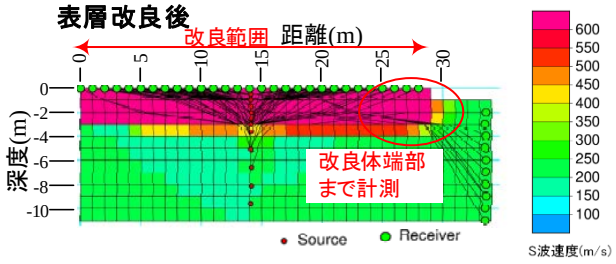


図-5　孔内受振による改良体端部の計測結果

そこで，改良体端部を計測するもう 1 つの方法として，改良範囲境界付近にボーリング孔を設け鉛直アレイによる受振を行った．図-5 に孔中受振ユニットを利用して鉛直アレイ受振による計測を行った C 測線の表層改良後のトモグラフィ解析結果を示す．孔内受振を行っていない測線 A，B では改良体端部が部分的に計測されなかったが，測線 C では孔内受振を行ったため，改良体端部においても S 波の伝播経路が計測できた．この結果から，鉛直アレイ受振による改良範囲の推定も有効であることを確認した．また，機械振動などによるノイズの影響を受けにくいことがわかった．さらに起振孔と受振孔を近づけることで解析精度向上ができると考えられる．

## 5．あとがき

動的貫入による打撃振動によって S 波速度計測と弾性波トモグラフィ解析による弾性波速度構造の推定を行い，現場での実用性を示した．弾性波トモグラフィ解析では改良体端部が推定できないという問題があるが，受振器を改良範囲外まで延長して設置する，もしくは，鉛直アレイによって S 波速度の受振をすることで，改良体端部の計測ができることを得た．これらの方法は限られた範囲での計測やより精度の高い計測に有効である．引き続き精度の良い計測方法を検討する．

## 参考文献

1)和田，宮本，山内，浅野：動的貫入試験による弾性波測定の検討，土木学会第 75 回年次学術講演会公演概要集，VI-1110，2020．　2)地盤調査の方法と解析，公益社団法人地盤工学会，p105，2013

© Japan Society of Civil Engineers