音波探査による高圧噴射撹拌工法の改良形状の確認試験

安藤ハザマ　正会員　○西尾竜文，足立有史，グエン ホン ソン
JFE シビル　正会員　榊原淳一，非会員　小津悠揮

1.　はじめに

従来，高圧噴射撹拌工法の出来形確認は集音マイクやボーリング調査により行われている．これらの方法は改良体の造成前や造成後にボーリングにより試験孔を設ける必要があるため，計測できる点数には限りがあり，限られた断面のみでの確認となっていた．そこで著者らは，地盤内の状況を非破壊で把握できる音波探査技術を用いて改良早期における 3 次元的な改良体形状の把握を目指している．本論では高圧噴射撹拌工法の実施工現場において実施した改良体の音波探査試験について報告する．

2.　試験概要

(1)　対象改良体

表-1 に対象とした地盤改良体の改良仕様を示す．本試験は高圧噴射撹拌工法のうち二重管工法に分類される V-JET 工法により造成された改良体を対象として行った．硬化材は VJ-H（標準タイプ）を使用しており，硬化材量は事前検討により目標強度の 3.0MPa を満足する配合として 780kg/m³ となっている．設計改良形状は直径 φ5.0m の円柱状である．

(2)　試験方法

表-2，図-1，2 に本試験に用いた機材一覧と改良断面図および計測概要図を示す．本試験では，以下に示す①直達波による P 波速度（V_p）の計測と②反射波による改良径の計測を行った．改良体には計測器を挿入するためのガイド管（塩ビ管 VPφ65）を造成直後に中心と中心から 0.3m 程度離した位置に設置した．発振周波数は 5kHz～78kHz とし，計測深度は GL-3.0m～7.7m とした．

①　直達波による P 波速度の計測

直達波は，発振器と受信器を 2 本のガイド管に 1 台ずつ挿入し，孔間で計測を行った．現地探査とは別に，サミットモールド（φ5cm×H10cm）で採取した供試体の直達波計測を行った．供試体は GL-6.0m～8.0m を改良している時点の排泥を採取して作製した．

②　反射波による改良径の計測

反射波は，改良体中心のガイド管に発振器 1 台と鉛直方向に 10 ㎝間隔で設置した受信器 5 台を一体として挿入し，図-2b)の A~D の 4 方向で計測を行った．ガイド管周辺の直達波の影響を取り除くため，これら 5 台の受信器で同時に受信した波形を重ね合わせて反射波の受信波形を得た．発振器と受信器の間に設置したゴムチューブに空気を送り，膨らませることで孔内波を遮断した．孔間の V_p と原地盤と改良体の境界面からの反射波到達時間より改良体形状を推定した．

表-1　改良仕様（V-JET 工法）

タイプ	V3-A
硬化材	VJ-H
設計一軸圧縮強度（MPa）	3.0
硬化材量（kg/m³）	780
水量（kg/m³）	743
噴射圧力（MPa）	35
硬化材吐出量（ℓ/min）	540
有効径（m）	5.0
造成時間（min/m）	12

表-2　使用機材一覧

機器名称	仕様
ピエゾ発振器	φ44mm×L250mm
受信器	φ30mm×L50mm
データロガー	24ch マルチ計測
発振器用増幅器	150V，4.2A，AC100V
発電機	0.9kVA，100V
ゴムチューブ	孔内波遮断用

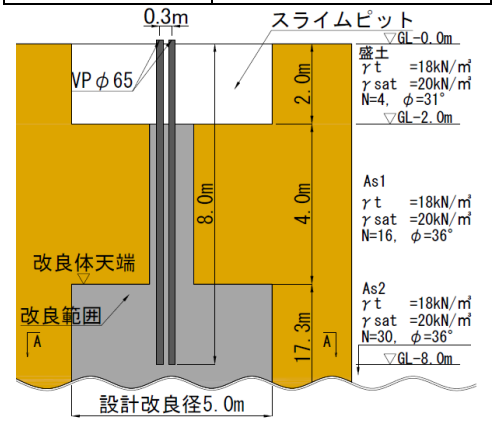
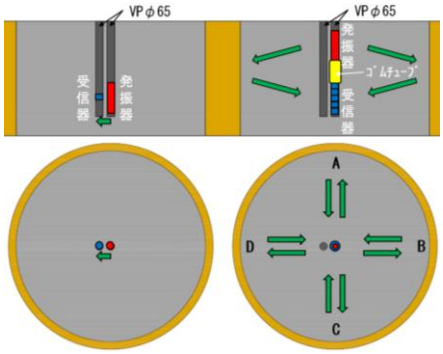


図-1　改良断面図



a)直達波　　b)反射波

図-2　計測概要図（A-A 断面）

キーワード　音波探査，高圧噴射撹拌工法，出来形計測
連絡先　〒305-0822　茨城県つくば市苅間 515-1　安藤ハザマ技術研究所土木研究部　TEL 029-858-8813

3. 実験結果

(1) 直達波計測

図-3，4 に直達波計測より得られた V_p と受信振幅を示す．発振周波数は受信感度が最も良好である，造成直後の計測では 20kHz，1 日後，2 日後は 31kHz のものを表示しており，発振側の振幅は一定である．図中には供試体で計測した V_p も示している．現地改良体で造成直後に計測した V_p は深度方向において大きくばらついた結果となった．時間の経過に伴い，ばらつきの幅は小さくなる傾向を示し，2 日後の V_p は最大値と最小値で 300m/s 程度の差はあるが，供試体で計測した V_p と同程度の値を示す結果となった．このばらつきの原因として造成直後の計測では，造成時に噴射した空気の上昇による影響が考えられる．受信振幅は V_p と同様に深度方向にばらついているが，時間の経過に伴い，大きくなる傾向を示した．この結果より，時間の経過に伴い，改良体内部の音波の減衰は小さくなると考えられる．

(2) 反射波計測

図-5 に反射波計測の受信波形を示す. 発振周波数は受信感度が良好である 5kHz のものを表示しており，図-2b)の A~D における受信波形をそれぞれ示している．図-5a)，b)は改良体上端位置（GL-6.0m）での計測結果である．図中には供試体の V_p と設計改良径から算出した反射波到達予測時間を示している．GL-6.0m では 1 日後，2 日後のどちらのケースにおいても反射波到達予測時間に反射波を明確に確認することができなかった．図-5c)は改良体上部の土被り区間（GL-4.0m）における 2 日後の計測結果である．4 方向において 1.1ms の位置に反射波が観測され，図-3 に示す GL-4.0m の V_p=1.5km/s より改良体中心から 0.8m 程度の位置に境界面があると推定される．GL-4.0m は土被り区間であり，先行削孔径は φ0.2m であるが，造成時の排泥によりに周囲が崩壊して削孔時より孔が広がっている可能性があり，事前の突棒による探査結果と概ね整合している．

4. まとめ

高圧噴射攪拌工法の実施工現場において改良体の音波探査試験を実施した結果，以下の知見が得られた．

① 造成直後の改良体では V_p のばらつきが大きくなるが，時間の経過に伴い，ばらつきの幅は小さくなる傾向を示した．

② 造成後，時間の経過に伴って，改良体内部における音波の減衰が小さくなる傾向を示した．

③ 造成 2 日後の計測において，改良体中心から 0.8m 程度の位置にある境界面からの反射波とみられる波形を観測することができた．

できるだけ早期での改良形状確認を目指し，今後も継続して計測を行い，反射波の計測距離を大きくするために発振エネルギーや発振周波数等の影響分析を進める予定である．

〈参考文献〉

1)榊原淳一:弾性波の振幅減衰を用いた地中の可視化，地盤工学会誌・技術手帳 Vol.66,No.3,pp.39～40,2018.

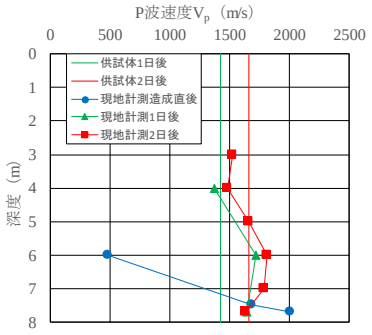


図-3 直達波計測結果（P 波速度）

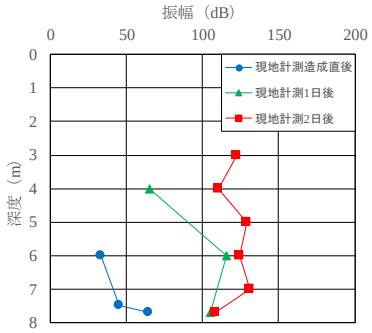
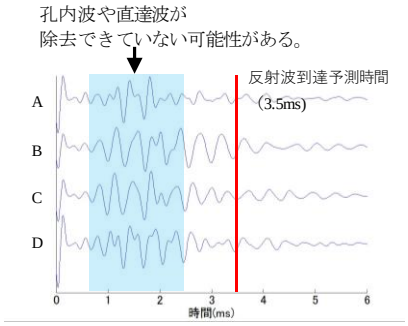
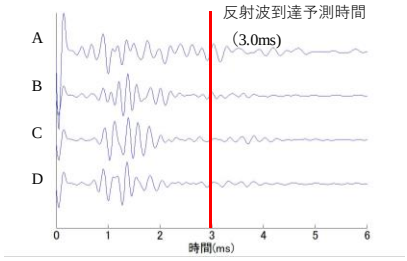


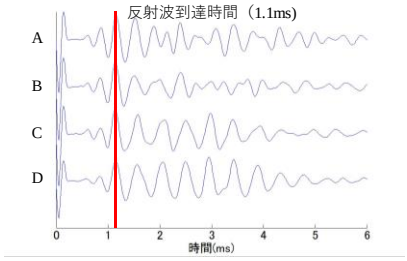
図-4 直達波計測結果（受信振幅）



a)GL-6.0m（1 日後）



b)GL-6.0m（2 日後）



c)GL-4.0m（2 日後）

図-5 受信波形（反射波計測）