

シールドトンネル坑内での S 波速度測定の試み

応用地質株式会社 正〇山内 政也 山本 正人 浅野 泰寛
清水建設株式会社 正 飯田 真啓 正 青山 哲也 正 松林 博文

1. はじめに

近年、都市部では、道路や鉄道など地下におけるインフラ整備が多く行われている。これらの整備は、シールド工法などにより地上での社会活動を維持したまま施工を行うことが多く、地表部の変状を極力抑え、住民や施工者の安心安全のための取り組みを行うことが不可欠である。そのためにシールド掘進に伴う周辺地盤の緩みを把握し施工管理に反映することが重要となる。

地盤の緩みを捉える手法としては、例えば動的貫入試験など直接的な方法も考えられるが、施工機械内部や坑内から直接的な調査を行うのは困難である。

そこで清水建設と応用地質は、施工機械内部や坑内から剛性との相関がある弾性波速度を計測し、間接的に緩みを評価することを念頭に、基礎的な実験を行った。その結果、施工機械内や坑内からでも、S 波速度を計測できる可能性があることが確認できた。

2. S 波速度を計測する際の課題

弾性波として P 波あるいは S 波の利用が考えられるが、P 波は液体中も伝播するため、土質地盤の地下水位以下では水の伝播速度 (1500m/s) 以上の値を示し、地盤そのものの剛性を反映した値とはならない場合が多い。そのため、S 波速度を利用した調査を採用することとした。

坑内や施工機械内部から周辺地山の S 波速度を計測しようとした場合、施工機械の外郭部や坑内(覆工内)で、弾性波による地山の振動を捉えられるのかが大きな課題の一つであると考えた。弾性波速度を計測するには、地震計などで地震波を捉える必要があり、地震計を地山に直接設置する必要性、施工機械の外郭部や覆工内面に設置しての計測の可否などで計測のしやすさは大きく異なる。地山に直接設置するのは大変な工夫が必要となる。

竹内、高橋ほか (2006) は、シールドトンネル内から、周辺の地質構造を推定する目的で反射法地震探査を実施しているが¹⁾²⁾、速度測定を目的とした試みは少ない。そこで、施工機械の外郭部や覆工内面で、地山の振動に対する計測の可否を確認する目的で、基礎的な実験を実施した。

3. 実験内容

図-1 に、実験のイメージを示す。

上記で述べたように、今回は、周辺の地山を伝播している S 波の振動を受振できるかを確認することを目的としたため、S 波を確実に発生させることができる方法で振動 (S 波) を発生させる必要があった。そこで、PS 検層や反射法地震探査で使用されている、板叩き法とポータブルバイブレータを用いることとした。写真-1 および写真-2 には、今回使用した起振源を示す。一方で、受振の条件については、実践的なものとして、施工中のシールドマシンおよびセグメント内面に地震探査用の速度計を設置して振動波形の取得を試みた。写真-3 には、シールドマシン内面への地震計の設置状況を示す。リブに金具で地震計を固定した。写真

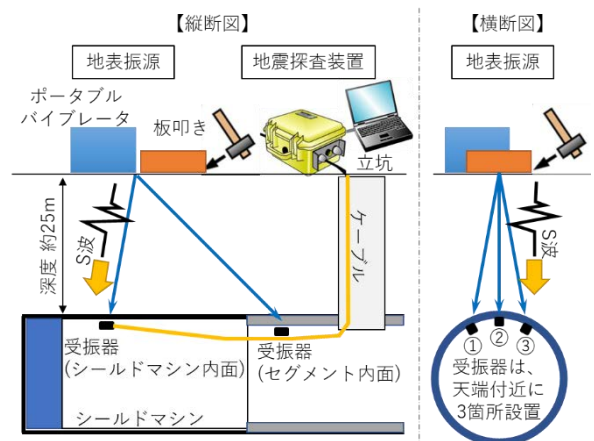


図-1 実験のイメージ

キーワード シールドトンネル, 地盤評価, S 波速度
連絡先 〒331-8688 さいたま市北区土呂町 2-61-5

応用地質株式会社 TEL 048(652)4941

-4には、セグメント内面への速度計の設置状況を示す。グラウトホールを利用して固定した。速度計は、図-1の横断面図に示すように、天端付近にそれぞれ3箇所設置した。

4 実験結果

図-2に板叩き振源、図-3にポータブルバイブレータ振源による振動波形記録を示す。図の横軸は時間で左端 (=0) が起振時刻、各波形の縦軸は振幅である。

板叩き振源では、PS 検層などで実施されているように、打撃方向を反転させて（右叩きと左叩き）波形が反転しているかどうかで、S 波の振動が捉えられているかどうかを確認した。図-2では、右叩きと左叩きの振動波形を重ねて示している。どの振動波形も反転性が良く S 波の到達時刻が明瞭な波形が得られた。赤線の位置で S 波が到達していると判断でき、この時間と受振深度から算出した平均 S 波速度は 400m/s 程度で、地盤状況とも整合的であった。

ポータブルバイブレータでは、時間とともに周波数を変化させるスイープ波形を与えているが、図-3にはコリレーション後の波形を示した。反転による確認はできないものの、板叩き振源で反転が確認されたのと同じ到達時間に、比較的明瞭な振動の到達が認められる。

このように、本実験では、施工機械の外郭部や覆工内面に設置した速度計でも地山を伝播してきた S 波の振動を捉えられることが確認できた。

5. 今後の課題

今回、地山の S 波振動を、坑内で受振できることを確認できたが、地上において、十分なエネルギーで起振した結果である。施工中に地中において周辺の S 波速度を計測するためには、トンネル内部または外周部などで S 波を発生させ、その振動を捉える必要がある。そのためには、十分なエネルギーの S 波を坑内から発生させる方法が不可欠である。今後は、起振方法や施工サイクルへの影響を抑えて効率的に計測を行う仕組みに関する研究・開発を進めていきたい。

参考文献

- 1) 竹内友章, 高橋昇, 松原由和, 山本正人, 新家由隆, 松岡俊文, シールドトンネル坑内からの反射地震探査 (その 1), 物理探査学会第 115 回学術講演論文集, pp. 153-156, 2006
- 2) 高橋昇, 竹内友章, 松原由和, 山本正人, 新家由隆, 松岡俊文, シールドトンネル坑内からの反射地震探査 (その 2), 物理探査学会第 115 回学術講演論文集, pp. 157-160, 2006
- 3) 大木智明, 金丸清人, 西川泰司, 井上尚美, 斎藤秀樹, 佐野康: 比抵抗センサーを用いた介在砂層探査技術の開発, 土木学会第 70 回年次学術講演概要集, pp. 205-206, 2015



写真-1 板叩き振源



写真-2 ポータブルバイブレータ振源



写真-3 地震計 (シールドマシン内面)



写真-4 地震計 (セグメント内面)

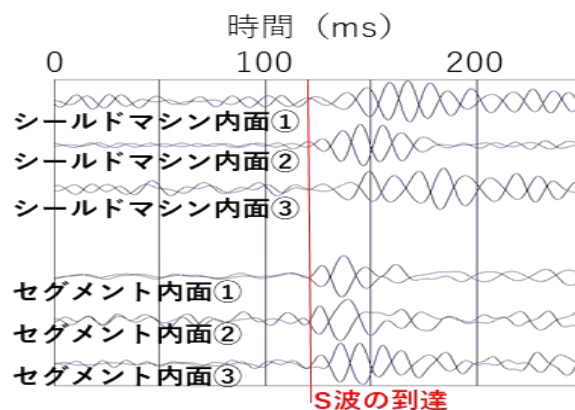


図-2 板叩き振源の振動波形

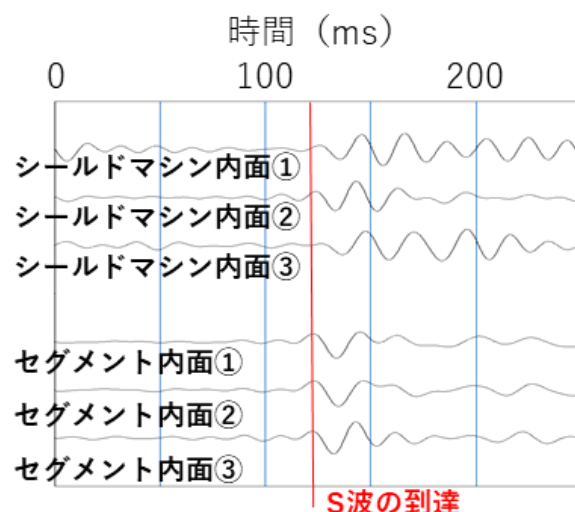


図-3 ポータブルバイブレータの振動波形