

弾性波によるシールドマシンの切羽地質調査手法の開発

鹿島建設株式会社 正会員 ○升元 一彦, 吉迫 和生, 坂根 英之

1. 目的

シールドマシンによるトンネル掘削時において、切羽面における硬質な地盤の出現や地質状況の変化を掘削中に確認することができれば、掘削管理へ迅速に反映させることが可能になる。切羽前方の物理探査手法として、弾性波などを前方に発信し、その反射波を用いる方法がこれまでも提案されているが、明瞭な反射面となる破碎帯や空洞をターゲットとしたもので、調査精度も十分ではない。現在開発を進めている調査手法は、切羽表面付近を伝播するS波速度分布として、直面している切羽のごく近傍の地質状況の変化を正確に把握することを目的としたものである。シールド工事は地下水位以下であることが多いため、P波速度とは異なり地下水の影響を受けずに土質地盤の違いを把握できるS波速度は有効な評価指標になる。本報では、本手法で使用する測定装置によるS波速度の検出可能性と、硬さの異なる土質地盤での適用性についての性能確認試験を行ったので結果を報告する。

2. 調査手法の概要

ハンマーで表面に対し垂直方向に打撃した場合、図-1のように同じ表面に垂直方向に受感面を設置した受信器ではP波は非常に小さく、Sv波が明瞭に検出できる。このことを利用し、今回開発した測定装置は、カッター面板に取り付けた空気圧による弾性波発信器（エアインパクト）により切羽面を垂直方向に打撃し、別のカッター面板に複数取り付け受信器を切羽面に対し垂直方向に押し付けることにより、切羽面近傍を伝播したSv波の伝播波形を得られるようにしたものである。これにより発受信器間の伝播時間が測定できるので、両者の中間位置の平均的なS波速度を求めることができ、セグメント組み立て中の掘削が停止している間にカッター面板を5～10度程度ずつ回転させて測定を行うことにより、切羽面全体のS波速度分布として出力することが可能になる(図-2)。さらにこの切羽の情報を掘進に伴い連続的に取得することにより、地質状況の連続的な変化を追跡することが可能になる。

3. 性能確認試験

今回開発した測定装置を用いて(1)土質地盤においてS波速度の検出が可能か、(2)土質地盤の硬軟をS波速度の違いとして把握できるか、を確認するため性能確認試験を実施した。計測方法は図-3に示すように地面を切羽面とみなし、発信器に対し50cm間隔で3台の受信器を設置し、地盤を伝播した弾性波を各受信器(ch1～ch3)で測定し、受信器間の伝播速度を求める方法とした。

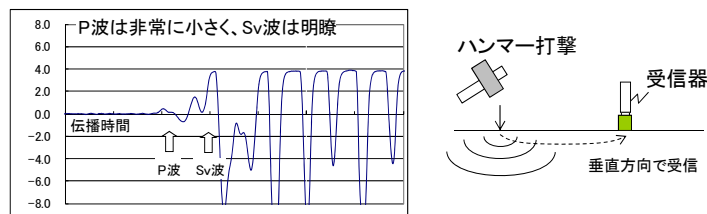


図-1 Sv波の伝播波形検出例

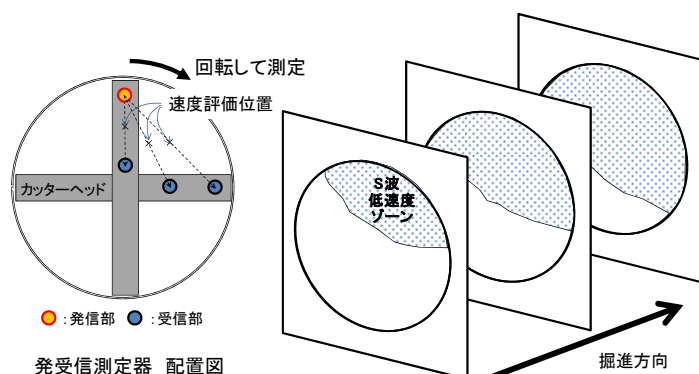


図-2 シールド切羽面の地質評価手法の概要

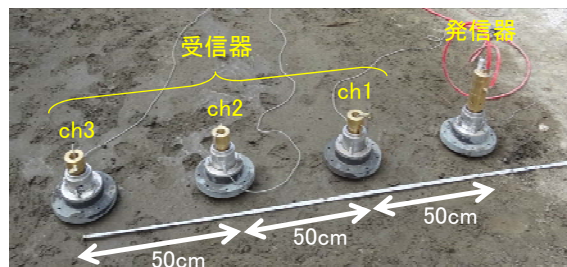


図-3 性能確認試験 計測器レイアウト

キーワード 弾性波速度, S波, シールドマシン, 切羽, 地質調査

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設株式会社 技術研究所 TEL 042-489-6574

3.1 Sv 波の分離の確認

洪積粘土層を対象に S 波速度測定を実施した結果を図-4に示す。黄色の丸で示した各受信器でのピーク位置から受信器間の平均速度を求めると 182m/s であった。

ピークを読んだ波形が S 波であることを確認するために、同じ位置でハンマー打撃を行い、3 方向成分を測定できる速度計により波形の測定を行った。図-5は今回の測定装置と同様に地面に対し垂直方向に速度計を設置し波の鉛直方向成分を測定した結果、図-6は地面と水平に速度計を設置し波の進行方向成分を測定した結果を示す。鉛直方向成分の測定では Sv 波が強調され、進行方向成分の測定では P 波が強調されて測定される。両者を比較すると、ピンクの菱形で示したマイナス方向への初期振幅が図-6で図-5より大きく、これが P 波の初動であると考えられる。また、卓越周波数が異なっており、これは進行方向成分を測定した場合、P 波と S 波が混在していることによるものと考えられる。この結果から、図-5の黄色の丸で示した最大振幅は Sv 波を捉えており、図-4の波形と図-5の波形はほぼ同じであることから、今回の測定装置で Sv 波を分離して測定できていると確認できた。

3.2 地盤の硬軟の違いの評価

次に、今回の測定装置を用いて沖積粘土層、沖積砂層、沖積ピート層においても S 波速度測定を実施した。各々の測定結果から平均的な S 波速度を求めると沖積粘土層で 102m/s、沖積砂層で 256m/s、沖積ピート層で 156m/s であった。同じ箇所でも簡易動的コーン貫入試験を実施し、表面から 50 cm 区間の N 値の平均値を求め、S 波速度測定結果との比較を行った。今回の測定結果を既存の測定データ¹⁾に重ねたものを図-7に示す。N 値が大きいほど S 波速度も大きくなり、ほぼ既存の関係性を満たすことが分かった。これにより、今回の測定装置により S 波速度で土質地盤の硬軟の違いを検出できることが確認できた。

4. まとめ

今回開発を進めている調査手法により、シールド切羽面の地質状況の変化を S 波速度の分布により評価できる可能性を示せた。今後、実機へ搭載できるよう鉛直面への適用性の確認、及び現地で S 波速度を迅速に評価できる方法の確立を目指していく予定である。

参考文献

- 1) 地盤工学会:地盤工学・実務シリーズ 14, 地盤工学への物理探査技術の適用と事例, pp. 26, 2001.

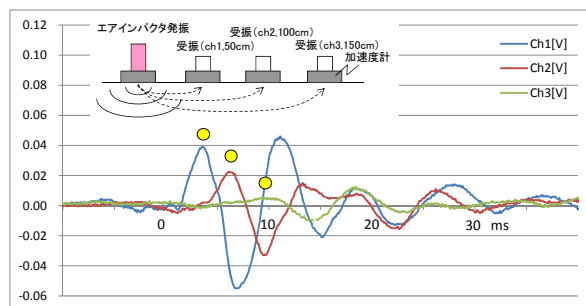


図-4 エアインパクト打撃計測結果

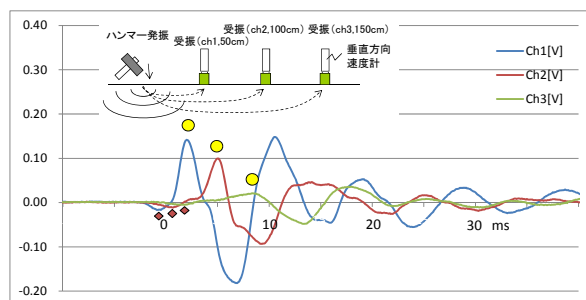


図-5 ハンマー打撃計測結果(鉛直方向)

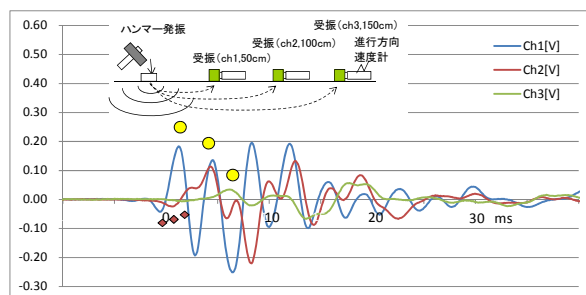


図-6 ハンマー打撃計測結果(進行方向)

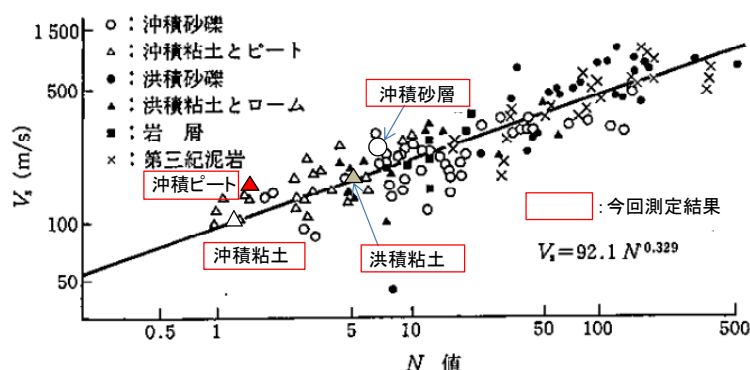


図-7 S 波速度と N 値との関係(文献 1)に加筆)