

VI-74

レーリー波探査法を用いたシールド前方探査システムの開発

—特に、マシン前方の探査範囲について—

ハザマ 正員 ○黒台昌弘, 正員 笠 博義
ビイック(株) 黒須 修, 向 浩司

1. 開発の背景

近年、大都市では地価高騰等の影響を受けてインフラストラクチャーの整備が鈍化する傾向にあり、利用可能空間としての地下開発に大きな期待が寄せられている。このような地下開発の1つとして、地下河川や地下高速道路等の計画が進められているが、地下の浅層部は既に電力・ガス・通信等の共同溝や埋設管により錯綜した状態にある。したがって、新しく構造物を施工する場合には既設構造物の近接部や大深度での施工を実施せざるを得ない状況にある。このような工事を実施する場合は、一般にシールド工法が採用されることが多くなってきている。これは、シールド工法がかなり軟弱な地盤でも施工が可能であり、住民や交通への影響を最小限に抑えることができることに加えて、マシンの掘進制御やセグメント搬送・組立等の自動化が既に実用化されていること等が理由として考えられる。今後は、さらにシールドトンネルの長距離化、深層化が進み、大深度での施工や既設構造物との近接施工が増加していくものと考えられることから、前述した各種自動化技術の向上と同様に安全に施工するための技術開発がますます必要となってきている。その中でも、マシン前方の状況を事前に把握する技術は施工の安全性・経済性の面からも極めて重要なものであり、同技術を開発することによって障害物の除去等の対策や地質に応じた最適施工が可能になるものと考えられる。

2. 開発の経緯と目的

以上のような背景において、筆者らは前方探査手法として、空洞調査や地質調査等に利用されているレーリー波探査法に着目してシールド前方探査システムの開発を進め、屋外実験等により探査可能距離や探査精度等の基本的な探査性能を把握してきた¹⁾。しかし、本探査システムを実機へ搭載するためには、1)マシン前方におけるレーリー波探査可能範囲、2)坑内作業に伴う様々な振動が探査に与える影響、3)マシン面板やチャンパー後壁で反射するレーリー波の影響等の課題について検討する必要がある。本論文ではこれらの課題のうち、レーリー波探査の探査可能範囲について検討し、マシン搭載設計のための指針を示す目的で、以下に示したような2つの実験を通して行った内容について報告する。

- ① 地下4mに埋設した模擬シールドを地表面から探査することにより探査領域（探査指向性）を検討する。
- ② 深度の異なる位置に埋設した探査対象物を地表面から探査し、深度方向の探査領域を確認する。

3. レーリー波探査の指向性確認実験

レーリー波探査は、起振機によって地表面から対象地盤に振動を与え、それによって発生するレーリー波の垂直振動を2つの検出器で測定し、検出器間の時間差からレーリー波速度を求めるものである。この探査において地表面下に空洞や障害物が存在する場合は、レーリー波速度の急激な変化点としてこれらを捉えることができる。このような探査によって得られる情報は理論的には2つの検出器の中間点（測定点）直下のものとされているが、実際にはある程度の立体的な広がりを持った領域を代表する前方の情報が得られているものと考えられる。したがって、測定点直下に障害物が存在しなくても、その周辺に障害物が存在する場合はレーリー波速度値の変化点が探査結果に現れるものと推測される。

3.1 水平方向の指向性確認実験（実験1）

地表面下約4mに施工した直径約2mのシールドトンネルを探査対象にして、その直上を横断する方向に起振機・検出器を一定間隔で移動させながら探査を実施した。その結果を図-1に示す。これはレーリー波速度の変化の度合いをその大きさに応じて示したもので、変化点は深度4.5m付近でトンネル部分とその周辺

で連続して見られる。このトンネルによる速度の変化点の出現範囲は水平方向でトンネル端部から0.5m～1.0mである。つまり、深度4.5mの測定ではトンネル端部より1.0m程度離れても、その影響があるものと考えられる。また、深度方向の指向性については次の実験で検討したが、本実験においても測定点から鉛直方向に向かって概ね 9° ～ 12° の範囲であると推定された。

3.2 深度方向の指向性確認実験(実験2)

屋外実験場に4つの発泡スチロールを異なった位置に埋設し、実験1と同様の手法で探査を実施した。障害物A, B, Cは1辺50cmの立方体で、深さ2, 3, 4mの位置に埋設し、25cm間隔で探査を行った。また、障害物Dは1辺100cmの立方体で、深さ4mの位置に埋設し、50cm間隔で探査を行った。実験2の結果を図-2に示す。この図は、実験場に埋設した障害物の平面的な位置を便宜上無視し、深度方向の位置と実験結果を示している。すなわち、障害物Aの左端に測定点に対応するように探査機器を配置し、順に障害物を横断する方向に地表面から探査し、結果として得られたレーリー波速度値の変化点の位置を示したものである。障害物Aでは右端から25cm離れた地点に測定点がある場合、深度2m付近に速度の変化点がみられる。しかし、この測定点直下には実際には障害物は存在せず、障害物の影響が探査結果に反映されたものと考えられる。障害物B, C, Dについても同様に探査を実施し、それらの結果をもとに探査影響範囲を実測すると、図のように頂角は約 10° となる。実際のレーリー波探査は3次元的な広がりを考慮する必要があることから、レーリー波探査領域は頂角 20° の円錐を呈する領域であると考えられる。

4. マシン搭載時の探査領域

以上の実験から、レーリー波探査の探査範囲は頂角 20° の円錐を示すことが確認された。この結果を考慮して、レーリー波探査システムをシールドマシンに搭載する際の基本設計を行ったものを図-3に示す。マシンの直径を7m、測定点をマシン半径の中心点、探査距離を前方10mと仮定した。この場合、マシン10m前方の探査可能領域はマシン掘進方向に対して垂直に直径3.75mの円となるが、このような探査だけではマシン前方の一部分しか把握できない。そこで、マシン面板を 45° ずつ回転させながら探査を実施することにより、図-3に示したような探査領域が確保できるものと考えられる。以上のことからマシンの直径に対応した探査機器の配置方法と計測分割数(面板1回転中の計測回数)について検討を行うことが可能と考えられる。なお、個々の設計においては、この他にも探査目的(対象)と施工サイクル等を考慮した設計が必要となる。

【参考文献】1) 笠、山森、西田、大賀：音波・レーリー波によるシールド機の前方探査に関する実験的検討，土木学会論文集第427号／VI-14，pp. 113～122，1991

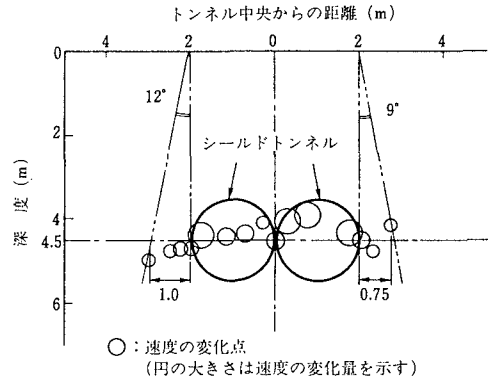


図-1 実験1の結果

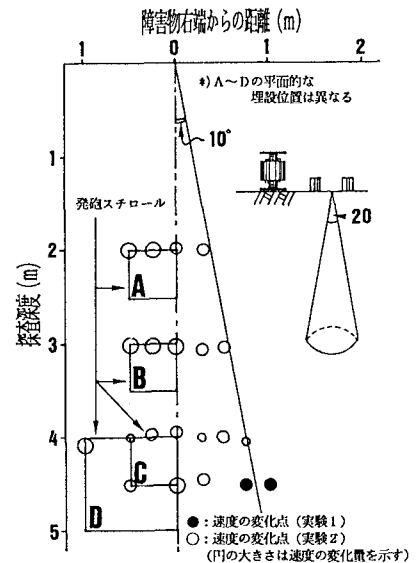


図-2 実験2の結果

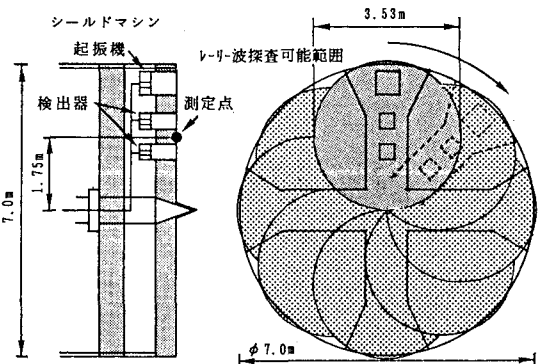


図-3 探査機器搭載例と前方10mでの探査範囲