

裏込め材の充填状況を確認するための新たな計測手法と実績

鹿島建設(株) 正会員 池元康彦 植田康平 加藤嘉昭 佐藤慎祐 ○岩端一也

1. 概要

思川開発事業は栃木県鹿沼市に位置し、思川支川の南摩川に南摩ダムを建設して洪水調整を行うとともに、思川の支川である黒川と大芦川に取水路を設け、それぞれの河川を導水路で結び南摩ダムに導水することによって、効率的に水資源開発を行う事業である。これらの導水路は、黒川および大芦川の平常時の流量を確保するため、南摩ダム下流に建設する南摩揚水機場から、ダム貯留水を黒川及び大芦川に補給する機能も有している。図-1に事業全体図を示す。

思川開発導水路工事では、思川開発事業のうち、黒川、大芦川および南摩ダムを結ぶ延長約 8,500m の導水路トンネルの構築、導水路への取水放流設備の築造を行う。そのうち導水路トンネル工事は、最大水圧 3.85MPa、最大岩盤強度 220MPa が想定される高水圧高強度岩盤区間を泥水式シールドにて施工するものである。

掘進中の作用水圧が最大 2.25MPa と非常に高水圧下での施工となり、更に供用後に内水圧が作用する覆工の水密性を全線にわたり確保するために裏込め材の確実な充填が必要となる。本稿では、そのために導入した計測手法とその計測結果について報告する。

2. 工事諸元・地盤条件

思川開発導水路工事の発注者は、独立行政法人水資源機構殿で、施工者は鹿島建設株式会社である。工期は 2019 年 11 月 26 日～2025 年 3 月 31 日、シールド工事として黒川導水路がトンネル外径 $\phi 2,940\text{mm}$ ×延長 2,833m、大芦川導水路がトンネル外径 $\phi 3,500\text{mm}$ ×延長 5,735m で、大芦川導水路は 2 台のシールドマシンで施工される。表-1 に工事諸元・地盤条件を示す。

3. 課題及び対策検討

シールド工事における裏込め注入工は、地山の緩みと沈下を防ぐとともに、セグメントからの漏水の防止、セグメントリングの早期安定やトンネルの蛇行防止等に役立つために、すみやか、かつ確実に実施しなければならない。

本工事は特に、通常のシールド工事に比べ高水圧下かつ地下水流動下での施工となるため、注入量と注入圧を管理する一般的な注入管理のみでは、注入ポンプ能力不足や地下水流による裏込め材の材料分離での充填不良部を見逃す懸念がある。また、施工時には外水圧が、供用時には内水圧が作用する条件のため、覆工の水密性を確保すべく、いかに裏込め材の確実な充填を行うかが本工場の課題であった。

採用した裏込め注入方式は、セグメントに設けられたグラウトホールから掘進と同時に注入を行うセグメントからの同時注入方式とし、注入量は発生するテールボイドの 105%以上、注入圧は切羽圧+100kPa と設定した。材料は気泡のクッション作用で充填時のポンプ脈動圧を消散させ、体積収縮による品質低下を防止する目的でエア系の裏込め材を選定した。上述した施工条件を考慮し、一般的な注入管理に加え、テールボイドの充填状況を確認する目的で電気伝導率計をシールド機テール部 8 か所に設置し(図-2)、裏込め材の電気伝導率計への接触による電気伝導率の変化を捉えて確認する方法を用い、注入中のリアルタ

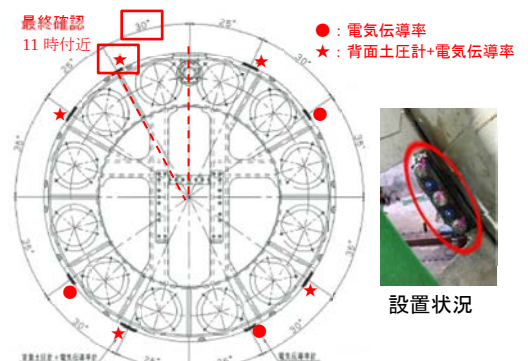


図-1 思川開発事業導水及び送水計画図

(独)水資源機構より提供)

表-1 工事諸元・地盤条件

導水路	大芦川導水路		
	黒川導水路	大芦工区	南摩工区
工区	黒川工区	大芦工区	南摩工区
仕上がり内径	$\phi 2,300\text{mm}$	$\phi 2,800\text{mm}$	$\phi 2,800\text{mm}$
掘削外径	$\phi 3,180\text{mm}$	$\phi 3,750\text{mm}$	$\phi 3,750\text{mm}$
延長	2,833m	2,830m	2,905m
セグメント種類	RC	RC	RC・合成
セグメント幅	1,000mm	1,200mm	1,200mm
地質	花崗閃緑岩	珪質ホルンフェルス	チャート
	珪質ホルンフェルス 泥質ホルンフェルス	泥質ホルンフェルス 頁岩	頁岩
一軸圧縮強度	243N/mm ²	243N/mm ²	111N/mm ²
弾性波速度	4.0~5.0km/s	2.8~4.6km/s	2.8~4.4km/s
最大土被り	492m	275m	221m
最小土被り	38m	45m	33m
最大水圧	3.85MPa	2.25MPa	1.7MPa
最小水圧	0.4MPa	0.4MPa	0.3MPa

図-2 電気伝導率計取り付け位置
(シールド機テール部)

キーワード：裏込め注入、電気伝導率計、弾性波空洞探査

連絡先〒330-0846 埼玉県さいたま市大宮区大門町 2-118 鹿島建設(株) 関東支店土木部 TEL 048-658-7510

イム管理を行った。さらに、裏込め材注入後の充填確認として、シールド機テールから出たセグメントに対して天端部にて弾性波による空隙調査を合わせて実施することにした。

4. 計測実績

4.1 電気伝導率計

使用電極を選定するために銅電極と SUS304 電極の 2 つの電極を候補として事前実験を実施し、電極及びホルダーの耐圧 3.0MPa 以上の確認、および被測定液体として濃度の異なる塩水にて電極、濃度ごとの導電率（伝導率）の計測を実施し、導電率が高く、濃度と比例して上昇傾向が顕著な銅電極を選定した（図-3）。

大芦川工区での初期掘進において、最初の裏込め注入を掘進が停止した状態で行った際の注入率と 11 時方向に設置した電気伝導率計の伝導率の変化グラフを図-4 に示す。裏込め材が電極に接触する際には、事前実験時に確認した塩水よりも電気伝導率が上がり、20mS/cm 以上になることを事前に把握していたため、図-2 に示す計測器で最上部付近にある 11 時に位置する電気伝導率計までが裏込め材で満たされる注入率（計測器位置が天端から 30° のところのため、 $2 \times 150 / 180 = 83\%$ ）以上で測定上限の 20mS/cm に電気伝導率が変化することを確認しながら充填ができた。

4.2 弾性波空隙調査

コンクリート背面の空洞の有無を確認する非破壊の調査技術である弾性波空隙調査を応用し、セグメント背面に空洞が生じておらず、テールボイドの高さ以上まで裏込め材が充填されていることを天端部他で確認した。

この技術は、コンクリート表面を鋼球で打撃した際に内部に球面状に伝搬する弾性波が音響インピーダンス（材料の密度と材料中を伝搬する弾性波速度の積）の異なる材料との境界面を反射面として多重反射するというメカニズムから、生成される振動数を測定し、反射面の厚さ測定、空隙探査を行うというものである。使用した測定器と測定状況を写真-2 に示す。キャリブレーションとして、セグメント桁高が 350mm（図-5）と既知であることを利用し、セグメント背面に裏込め材が充填されていない状態で計測することにより弾性波伝搬速度（4400m/s）を求めた（図-6）。裏込め材注入後の計測において、この弾性波伝搬速度を用いて波形ピークの位置を算出した結果、セグメント桁高 350mm にテールボイド高さ 125mm を加えた 475mm 以上であることを確認した（図-7）。このことから、セグメント背面のテールボイド部には空隙がなく、必要厚さ分の裏込め材が充填されているものと考えられた。

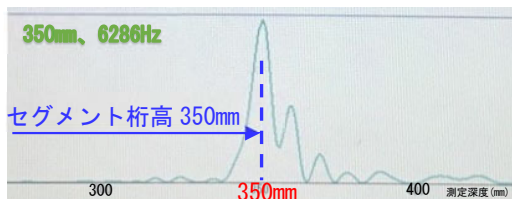


図-6 キャリブレーション時計測結果

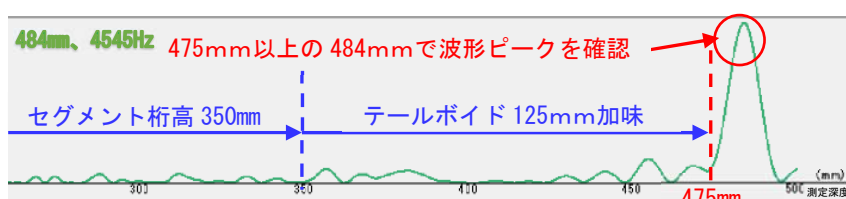


図-7 弾性波空隙調査結果例（大芦川工区）

5. おわりに

本報文では、裏込め材の充填状況を確認するために今回導入した計測手法とその結果について報告した。現在まで裏込め材は一貫して確実な充填ができており、裏込め材充填不良によるセグメントからの漏水などは観測されていない。本報文が今後の同種工事の参考となれば幸いである。

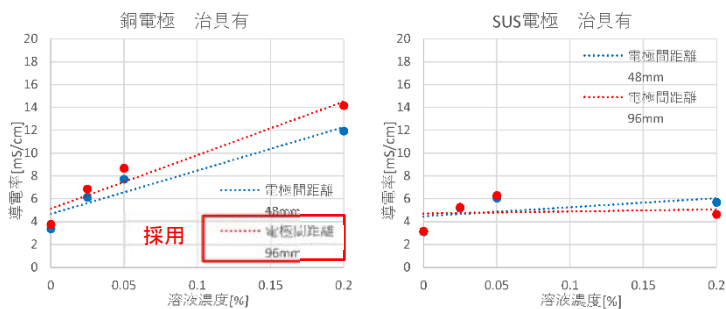


図-3 電極選定事前実験結果



図-4 裏込め注入率と電気伝導率の計測結果



写真-2 測定器（左）と天端部測定状況



図-5 セグメント桁高およびテールボイド高さ