耐硫酸性に優れたBSACセグメント

非開削による長距離施工や複数の急曲線を得意とするミニシールド工法で使用可能なラインアップに「BSAC（Blast furnace Slag and Alumina Cement）セグメント」が加わった。耐硫酸性が特長の本技術は、腐食劣化の進行を防ぐ耐久性が長寿命化に貢献できるとされる。今回、技術開発に携わった技術者とミニシールド工法研究会の瀬戸会長にインタビューしたほか、採用した名古屋市の事例を紹介する。

白波瀬課長補佐（左）と古野技師

工法を採用した事業体
名古屋市上下水道局

技術本部建設部工務課課長補佐
白波瀬 雅史 氏

技術本部建設部工務課技師
古野 竜也 氏

■当該工事の実施目的

名古屋市上下水道局は、上下水道事業を安定的に継続していくための中長期的な経営計画として、「名古屋市上下水道経営プラン2028」（以下、経営プラン）を令和元年度に策定した。上・工・下水道事業を対象に令和10年度までの10年間を計画期間とする中、中間時を迎えた令和7年3月に改定版へと内容を更新。事業を取り巻く潮流・現況や長期的な事業運営方針を踏まえ、課題と戦略を整理した。改訂版経営プランでは、経営の基本理念「信頼～なごやの『水』を守り、この地域を支えます～」のもと、四つの戦略の実現に向けた10施策を位置付けている。

名古屋市は、市域の約6割で合流式下水道を採用しており、下水処理水の放流先となっている河川等の水質は合流式下水道改善施策等の推進により全体的に改善傾向にある。

今回、ミニシールド工法の採用が決まった現場「中区千代田二丁目付近下水道築造工事」は、名古屋市中心部を南北に流れる新堀川の上流部かつ、わが国で初めて活性汚泥法を採用した堀留水処理センターの付近に位置している。

下水処理水の放流先となっている新堀川は、国が平成14年度に創設した「合流式下水道緊急改善事業」による対策を令和5年度末までに完了したことで、水質がかなり改善された。一方で、水辺環境を生かしたまちづくりが行われている水域でもあり、今後もさらなる水環境の向上を図る必要がある。

当該工事は、降雨時に堀留水処理センターへ向かう一部の末端の既設管（φ1000㎜）を流れる汚れの度合いの大きい降雨初期の雨水を一時的に貯留する雨水幹線（φ1100㎜、L＝455㍍）を新たに整備するもの。降雨後に既設管水位が下がった段階で貯留した下水を既設管へ排水し、堀留水処理センターで処理を行う。経営プランで掲げる10施策のうち、施策4「健全な水環境の創出とGXの推進」における「下水道による水環境の向上」の達成を目的する事業として、水質浄化の強化を図る。

■想定された課題と採用経緯

新たな雨水幹線は、名古屋市営地下鉄・鶴舞線が走る大須通（東西6車線）から東川端通（南北2車線）につながる道路下を通るルートとなっている。発進立坑は、道路管理者等と協議した上で、大須通の中央分離帯を一時撤去した場所に設け、西に約50㍍進んだ先にある交差点を急曲線（R＝20㍍）で曲がり、東川端通を既設管と並行しながら到達立坑に向かって北上していく。深度6～7㍍を維持しながら掘削する。

現場で大きな課題となったのが、「急曲線への対応」だった。周辺は用地地域が商業地域であり、工事の影響がより少ない工法の採用が求められていた。こうした中、交差点内に他事業者が過去に工事した鋼矢板（地下埋設物）が路線と沿うように多数残置されているのが確認された。これが設計上の制約となり鋼矢板がない一部空間を縫うようにして通ることが求められた。

シールド工法を採用した場合、急曲線には対応できるものの、布設するφ1100㎜が施工可能なシールド機掘削外径が現場条件の適用外であるため、施工条件を満たしていなかった。このため、延長要件・管径要件に対応しつつ、地下を掘削できる推進工法とミニシールド工法で比較・検討を進めていくことになった。

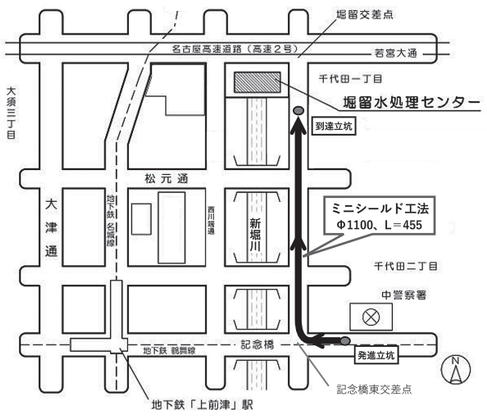
上下水道局では当初、推進工法を第一次選択肢として設計検討していた。現場状況を調べた上で、急曲線のライン上に発進立坑を掘り、油圧ジャッキで掘削機を東と北の方角に向かって両押しする方法を考えていたという。

しかし、地下鉄構造物等の状況などに鑑みると立坑を降ろすことが困難と考えられたため、この方法は発進位置の見直しが必要になった。

また、通常の推進管とは別に、短い特殊推進管を組み合わせることで、小さな屈曲による急曲線の施工が技術的に可能と考えられたが、発進位置が限られている当該現場は、発進後すぐに急曲線に突入するため、必要になる特殊推進管の増加がコスト高につながることが懸念された。

一方でミニシールド工法は、対応する管径要件がφ1000～2000㎜までとなっている。1スパン1000㍍以上の長距離施工とR＝10㍍までの急曲線施工が可能なため、当該現場の施工条件を満たす。

こうした背景を踏まえ、両工法の経済性と施工性を考慮した結果、設計過程でミニシールド工法の選定が決まった。施工の比較・検討に対して白波瀬課長補佐は「地上部の幅員と比較すると、地下は見た目よりもかなり制限がある現場となっている。推進工法で同じような径の急曲線を対応している現場もあると思うが、線形等の条件から施工時にかかるコスト等を考えると、ミニシールド工法は選択の一つになってくる」と話す。



ミニシールド工法による施工路線

■耐硫酸性セグメントの選定理由

堀留水処理センターに流入する下水は、オフィスビルや商業施設が立ち並ぶ栄地区なども対象区域となっている。雨水幹線については、下水を一時貯留する役割を果たす上で、腐食の影響が懸念されるとして、耐硫酸性がある技術の導入を検討していた。

耐硫酸性技術の導入として、主に内面塗装や内装管の導入、管種の変更などの方法がある。上下水道局では、ミニシールドよりも一回り大きい管を作ってから内挿管を入れることも想定していたが、経済性や施工性も踏まえた検討を実施していた。

そうした中で、ミニシールド工法で使用できるBSACセグメントは、従来のミニシールドセグメントよりも高い耐硫酸性を持ちながら、同等の耐力がある技術となっている。ミニシールド工法による施工方法は従来のままとしながら、使用するセグメントを変更するだけで済む技術としてラインアップされていたことから、経済性や施工性などを考慮して導入が決まった。

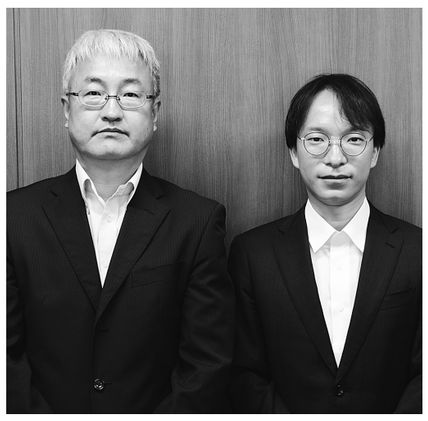
古野技師は「採用するセグメントを決めた後、埼玉県八潮市内で下水道管路に起因する道路陥没事故が起こった。下水道インフラの老朽化への対策がより重要視される状況になっている中、硫化水素に起因する陥没を減らすことにつながるのではないか」と腐食劣化を考慮した設計の重要性を語る。

■最後に一言

雨水幹線は、これから掘進工事に取り掛かり、来年1月まで続く予定となっている。その後、ポンプ施設の付帯工事や流入工事などを行った上で、供用開始となる見込みだ。

今後に向けて白波瀬課長補佐は「新堀川のような水域への対応は、水環境のニーズ・利用用途に応じた対応が必要である。下水道サービスを安定的に提供していくためには、より一層、維持管理などの長期的な視点に目を向けて設計を行っていく必要がある。老朽化への対応や道路陥没、災害への備えなどの課題が山積しているが、下水道の劣化原因の一部となる硫化水素への腐食対策として耐硫酸性セグメントは、下水道ストックの長寿命化に寄与する選択肢の一つである」と結んだ。

下水道ストックの長寿命化に期待



クボタ建設工事技術本部技術開発部
加藤 隼也

大和クレス製造部品質保証課
王 亮

■技術開発のきっかけ

近年、下水道インフラの老朽化が社会問題となり、下水道管路の腐食劣化に起因した道路陥没の報道が増加しています。

基本的に下水道管路の耐用年数は50年と言われています。しかし、硫化水素が発生しやすい環境では、微生物による硫酸生成により、下水道管路に使用されるコンクリートの早期腐食劣化が確認されています。そのため、同じ布設年度でも環境によっては耐用年数前に補修が必要になる場合があります。

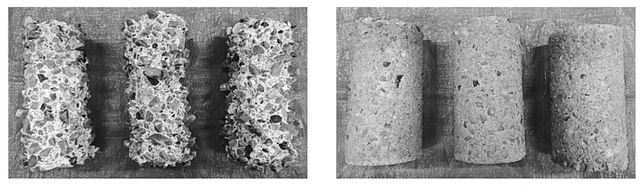
新技術である「BSACセグメント」を開発したきっかけは、こうした腐食劣化の進行を防ぎたいというニーズがありました。

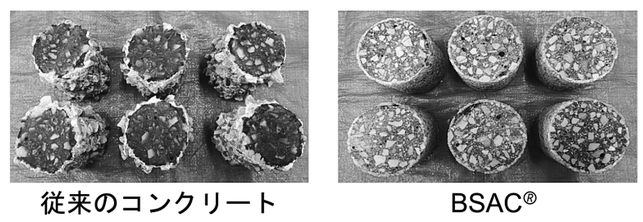
■技術概要

BSACセグメントは、通常のコンクリートを使用したセグメントよりも耐硫酸性を高めることを目的として開発されました。通常のコンクリートは、石灰石（炭酸カルシウム）を主原料とする普通ポルトランドセメントを使用しており、主な水和生成物（水酸化カルシウムなど）が硫酸と化学反応を起こすことで、劣化が進みます。これにより、構造体が強度を失い、耐久性を維持できなくなり、最終的には地上部へ影響を及ぼします。

この課題を解決するため、BSACセグメントでは耐硫酸性を有するアルミナセメントと高炉スラグ微粉末を使用しています。アルミナセメントはボーキサイトを主原料とした材料であり、普通ポルトランドセメントに比べて、硫酸と反応しやすい成分が少ないため、硫酸との反応による劣化を抑制できます。

耐硫酸性以外の形状・寸法・外観・強度においては、従来のミニシールド工法用RCセグメント（以下、従来のミニシールドセグメント）と同等の性能を持つため、ミニシールド工法による施工が問題なく行えます。日本下水道協会規格「下水道ミニシールド工法用鉄筋コンクリートセグメント（JSWAS A-7）2005」にも準拠しているため、腐食環境が想定される下水道管きょでの活躍が期待されます。


従来のコンクリート　BSAC®
耐硫酸性試験


従来のコンクリート　BSAC®
遮断性試験

5%硫酸水溶液に112日間浸漬したときの試験体状況

■現状と課題解決

当初、「工程を増やさず従来の性能は維持しつつ、高い耐硫酸性を持つ」ことを目標として開発が始まりました。

既存の耐硫酸性技術には、セグメント表面だけを硫酸に強い樹脂膜で覆う方法などがありましたが、通常よりも製造工程数が増え、品質管理や工場での作業負担も大きくなります。そのため、開発に求めたのは『コンクリート自体に耐硫酸性を持たせる方法』でした。

そこで着目したのが、アルミナセメントと高炉スラグ微粉末の使用でした。その上で、安定した製品の製作を実施するため、配合バランスの調整をはじめとするさまざまな工夫が必要でした。試行錯誤の末、完成したBSACセグメントは従来のミニシールドセグメントと同一形状ながら、耐硫酸性以外の性能でも同等の性能を実現しました。また、従来のセグメント製造設備を生かしつつ、製造時の蒸気養生が不要になったことでCO2の排出が低減され、製造時の低炭素化も実現しました。

■技術に寄せる期待

BSACセグメントは、令和6年度に日本下水道新技術機構の建設技術審査証明事業（下水道技術）を新規取得しました。開発目標の一つである耐硫酸性の部分については、第三者機関の認定が発注者や事業体の皆さまに安心して採用していただける技術的な信用度を裏付けるものになると考えます。

人口減少がより進んでいく中で、下水道インフラに対する自治体の予算や人手はさらに限られてきています。そのような状況の中で、BSACセグメントの持つ優れた耐久性は、構造物の長寿命化とライフサイクルコストの低減に貢献できる製品であると考えています。今後、より多くの事業体の皆さまにBSACセグメントをご認識いただき、下水道インフラに関する課題解決の一助となれば幸いです。

ミニシールド工法研究会会長
瀬戸 昭孝

■昨今の事業体ニーズに対する考え

ミニシールド工法は、下水道の汚水管きょを主体としながら雨水管や合流管、水道本管のさや管シールドの掘削で採用されています。採用いただいた事業体からは、都市部で地下埋設物が輻輳した環境下でも、長距離施工や複数の急曲線に対応が可能で、難条件下でも安定した施工が行えることに高い評価をいただいています。

近年では、下水道に起因する陥没事故などを背景に、硫化水素が発生する腐食環境下でのニーズが高まっています。そうした中、当工法に使用可能な「BSACセグメント」が新たなラインアップに加わったことで、より事業体のニーズに合った営業展開が可能になると思っています。

■ミニシールド工法が持つ優位性

本工法の最大の特長は、複数の急曲線に対応できる柔軟性と長距離施工が可能であることです。昭和47年に英国の技術をもとに導入され、49年に国内初で施工を行って以来、約50年にわたり都市インフラ整備を支えてきました。

都市部においては、道路交通事情や地下埋設物（ライフライン）の輻輳化などで道路を全面掘削しての工事は非常に困難です。同様に中間立坑の掘削も用地確保が難しく、長距離・急曲線施工技術の開発が必要とされていました。

従来のシールド工法と同じ仕上がり内径で比較した場合、本工法は15～25%小さい断面での施工が可能なため、都市部でも地下埋設物との離隔を確保しやすい優位性があります。また、最低限の立坑掘削で済む点やR＝10㍍まで施工可能な点は、高い技術力が求められる現場での技術的課題に適切に対処できます。周辺環境への影響を抑えながら、対応力と施工性で計画的・効率的な更新の実現に寄与すると考えます。

また従来のミニシールドセグメントは日本下水道協会のI類認定資器材「JSWAS A-7」として規格が制定されており、「下水道施設計画・設計指針と解説」にも、二次覆工不要な工法として記載されています。

■さらなるシェア拡大

日本全国の下水道管路は深刻な老朽化問題を抱えています。国土交通省の公表によれば、標準耐用年数50年を経過した管きょ延長は約4万㌔㍍（総延長の約7%）、下水道に起因した事故は約2600件（令和4年）に上り、更新対象となる管路のさらなる増加が予想されます。

今回のBSACセグメント導入は従来のミニシールドセグメントが築いてきた構造性能と耐久性による信頼性をさらに高めてくれるものになると考えています。このような背景から、施工条件に応じて事業体や住民にとって最適な提案を進めることが、シェア拡大への近道であると考えています。

■今後の展望

ミニシールド工法は、50年以上の歴史と施工総延長596㌔㍍を超える実績を誇ります。人口減少に伴い労働力不足が懸念される中でも、上下水道事業の維持・継続に資する国土強靱化へ貢献できるよう、技術の進化を重ねながら、事業体のニーズはもとより、地域社会を含む幅広い期待に応え続けてまいります。

硫化水素が発生する下水道環境下で高い耐硫酸性を発揮
BSAC®セグメント
「高炉スラグ微粉末」と「アルミナセメント」を混合し、ポルトランドセメントを一切使用しない
「BSAC®コンクリート」を用いて製造します
「BSAC®セグメント」は、株式会社クボタ建設と大和クレス株式会社の共同開発です

5%硫酸112日浸漬試験結果

普通コンクリート

BSAC コンクリート
高炉スラグ微粉末とアルミナセメントの混合で製造
下水道環境下での耐硫酸性に優れている
ライフサイクルコストの低減ができる
カーボンニュートラルに貢献