

# 道路トンネルにおけるシールド技術体系と最新技術

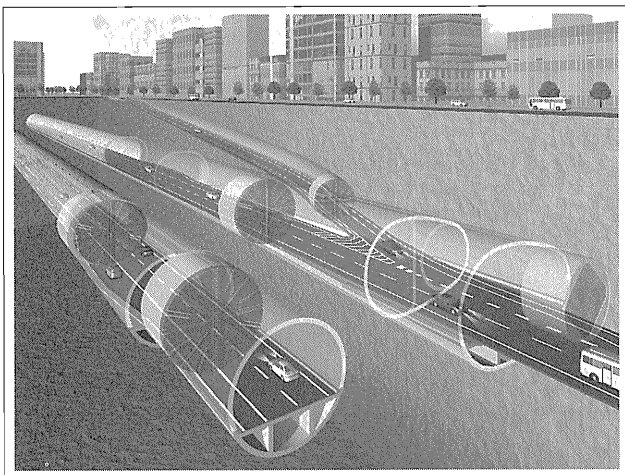
馬野 浩二・永森 邦博・中川 雅由

鹿島の道路トンネルシールド技術体系は、豊富な実績に培われた超大断面、超長距離シールド施工技術を主軸として、道路特有の構造に対応できる合理的設計・施工技術（非常駐車帯、ランプトンネル、覆工、防災）でサポートする形で構成されている。このような技術体系の中で、今回新たに開発した、大深度下で地上環境に悪影響を与えることなく施工できる非常駐車帯構築技術（部分拡幅シールド：VASARA）及びランプ部構築技術（合流シールド：スクリーン/D-Shape/太径曲線パイプルーフ）について紹介する。

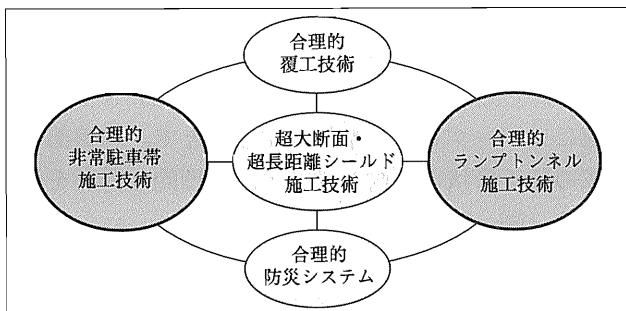
キーワード：大深度地下、部分拡幅、分岐・合流、回収・転用、非開削工法、非常駐車帯、ランプトンネル

## 1. まえがき

都市部の過密化にともない、社会インフラストラクチャを地下に整備する必要性が高まっている。また、都市再生の進展とともに都市部の交通インフラストラクチャの重要性が叫ばれており、その中心となる幹



図一 道路トンネルシールドシステムイメージ図



図二 道路トンネルシールド技術体系図

線道路においても地下化の計画が数多くあることから、これまで道路トンネルを構築する技術が多く開発されている。

シールド工法による道路トンネルは、非常駐車帯の設置を必要としない路肩幅（大断面）で計画されている。また、ランプ部などの施工では、「開削工法」あるいは「地中切掘げ工法」を用いて施工されてきた。

しかしながら、都市部における地上部占有条件や地下埋設物との干渉などによる制約、大深度地下使用法の施行による路線計画の大深度化によって開削施工が困難な状況になりつつある。さらに、従来の「地中切掘げ工法」は地盤改良などの多くの補助工法を必要とし、安全性、工費、工期の面でも問題があり、シールドトンネルの分岐・合流部や断面の部分的な拡大を従来工法にて施工することも難しくなっている。

そこで、鹿島建設株式会社（以下、当社）では、大深度下で地上の環境に悪影響を与えることなく安全確実に道路トンネル特殊部（非常駐車帯・ランプ部）を施工できる新技術を開発し、「道路トンネルシールドシステム」として体系化した（図一1、図一2）。

## 2. 合理的非常駐車帯施工技術

### （1）部分拡幅シールド工法（VASARA（バサラ）シールド工法）\*

VASARA シールド工法とは、シールド掘進と同時に

\* VASARA シールドとは、  
 VArivable width (可変幅)  
 SAving space (省スペース)  
 RApid construction (迅速施工)  
 L工法 (Lining), S工法 (Shield)

に補助工法を用いずにトンネルを部分的に拡幅する工法であり、拡幅を「どこでも、何回でも」実施できるのが特長である。同工法はセグメントのみを拡幅・縮幅する「VASARA-L工法」と、シールドマシンとセグメントを一括して拡幅・縮幅する「VASARA-S工法」がある。

いずれの工法も非常駐車帯を部分的に拡幅できるため、本線部分のセグメントを非円形形状にしたり、拡幅部最大断面に合わせて全線を大断面で掘削する必要がないため、経済的かつ合理的な工法である（図—3）。



図—3 非常駐車帯完成イメージ図

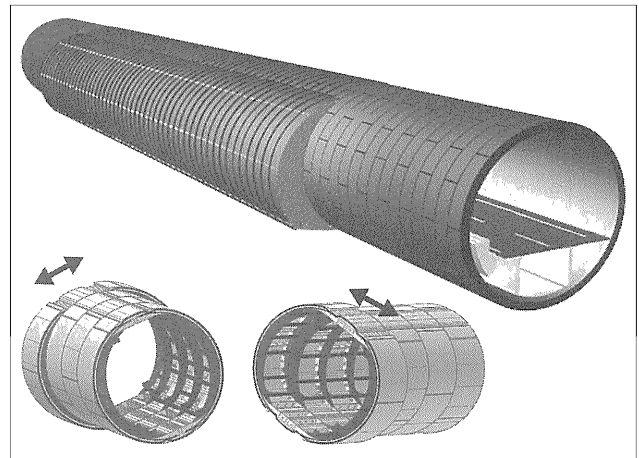
主な特長は以下のとおりである。

- ① 拡幅部以外の本線部は合理的円形断面の選択が可能
- ② シールド幅を段階的に拡大・縮小でき、必要に応じた無駄のない断面の掘削が可能
- ③ シールド延長上何回でも拡大・縮小でき、必要に応じた無駄のない断面の掘削が可能
- ④ 用途に応じて片側、両側拡幅どちらでも可能
- ⑤ 掘削方法は土質に合わせて「泥水式」、「土圧式」の選択が可能
- ⑥ 縮小・拡大時の断面幅比は1:1.2程度まで可能
- ⑦ マシン入替え用の立坑が不要となり、事業費のコストダウンを図ることが可能
- ⑧ 拡幅量にもよるが、マシンの改造がほとんど必要無い（VASARA-L）
- ⑨ 曲線部にも適用可能（VASARA-S）

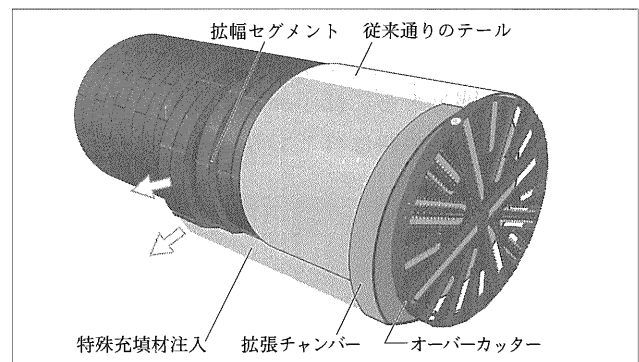
#### （a）VASARA-L工法

本工法は、本線部分では通常のシールド機と同じ方法で円形にセグメントを組立てる。非常駐車帯部分については、拡幅専用のセグメントを円形に組立て、シールド機のテールを抜けた後でセグメント自身が順次外側に押出され拡幅部分を形成するものである。拡幅さ

れる部分の地山は、拡幅量が小さければコピーカッターで、大きい場合には面板をスライドさせることで掘削し（余掘り）、余掘り部には特殊充填材を充填することで地山の崩壊を防止する。また、従来のテールシールド機構を適用でき、本工法適用の際のマシン改造が最小限で済む（図—4、図—5）。



図—4 VASARA-L工法トンネル外観図



図—5 VASARA-L工法シールドマシン概要図

#### （b）VASARA-S工法

本工法はシールドマシンの外筒部の一部をラップさせておき、掘削中にこのラップ部を伸縮させることで掘削断面の拡大、縮小を連続的に行うものである。拡幅区間の最初と最後のみセグメント（マシン共）拡幅作業が発生するだけで、拡幅区間内ではセグメント（マシン共）が太鼓型になるものの、ほぼ通常どおりの掘進・組立て作業が行える。したがって、拡幅区間が曲線形であっても対応可能である。また、マシンテール部にカバープレートを装備することで、本線部は拡幅部の覆工形状の制約を受けず、合理的な円形を選択できる（図—6）。

#### （c）実証実験

シールド機外径φ1m規模の模型を用いての土槽実験を行い、同工法の原理が成立することを確認できた。

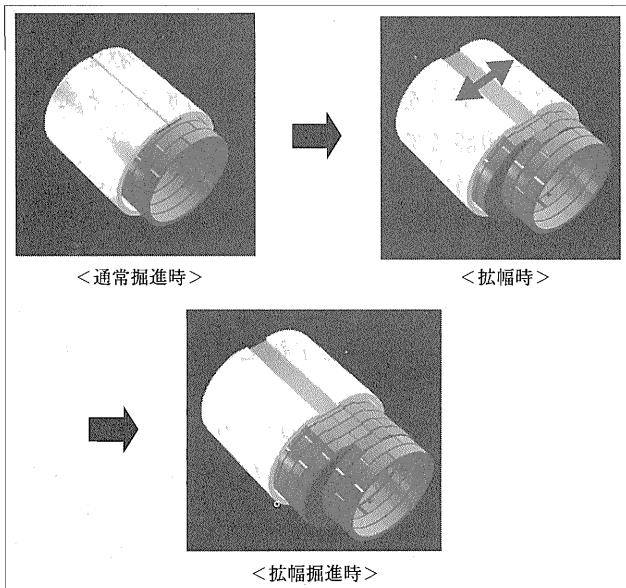


図-6 VASARA-S 工法拡幅イメージ図

土槽内には条件設定に基づく試料土を締め固めによって投入し、土被り 20 m 相当（有効鉛直土圧 0.16 MPa、水圧 0.2 MPa）を想定して载荷を行った。合わせて 0.6 MPa の水圧を作用させた条件下でもセグメントの拡幅を行い、漏水が無いことを確認した。

実験装置はシールド機、セグメントの片側半分を模擬し、土槽と一体化した構造としており、拡幅掘削模擬装置を引抜きながら特殊充填材を充填することで余掘り部を再現し、セグメントを拡幅させた。セグメントスキムプレートには回収孔を設け、押し出し時にはその孔から充填材を回収できる構造とした（写真-1、写真-2、写真-3）。

また、セグメント内径  $\phi 2$  m の実大全リングによる可動試験を行い、拡幅性能および拡幅作業性を確認した（写真-4、写真-5）。

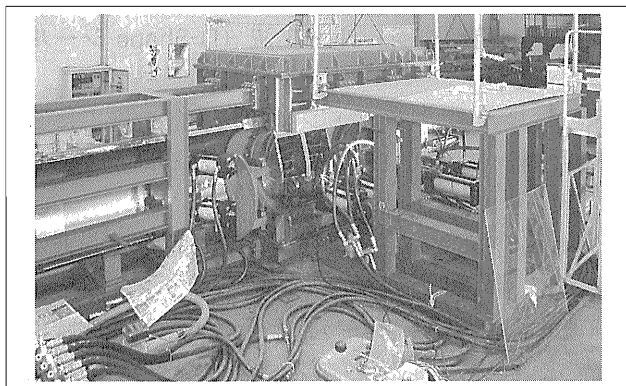


写真-1 実験装置外観

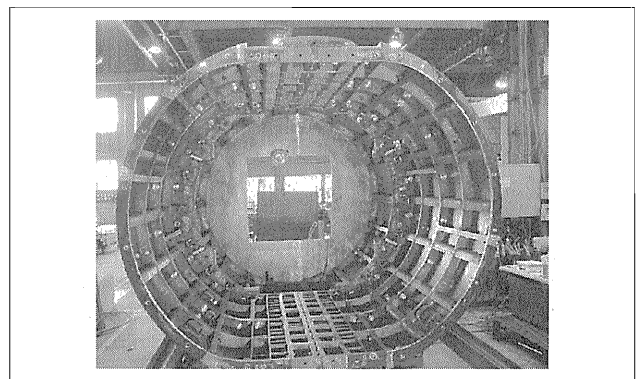


写真-4 全リング試験

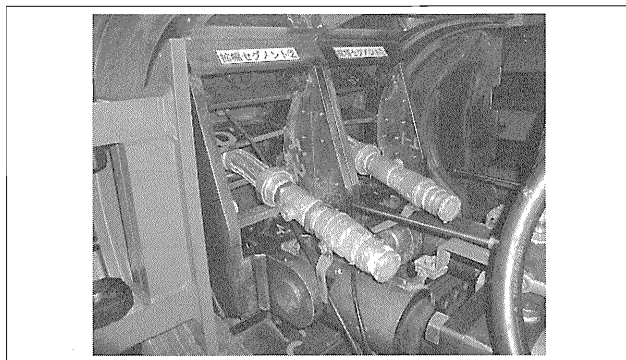


写真-2 拡幅前

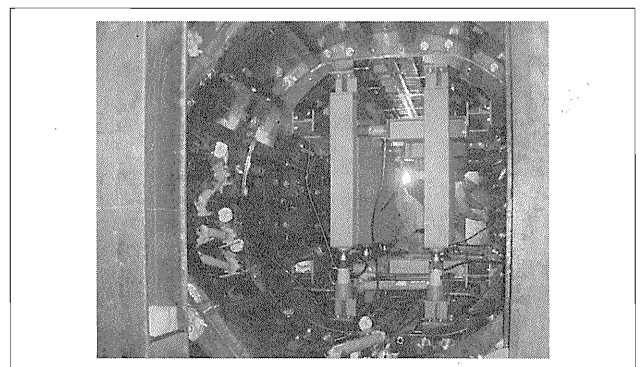


写真-5 拡幅状況

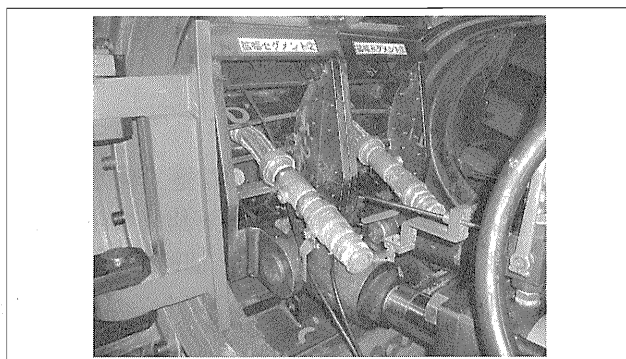


写真-3 拡幅後

### 3. 合理的ランプトンネル施工技術

#### (1) 回収型シールド工法（スクリーンシールド工法）

本工法は、土水圧を遮蔽するための複合素材を用いた遮蔽膜（スクリーン）をシールド機の前面に取付けることにより、シールド機主要部分を「いつでも、どこでも、何度でも」補助工法なしで引抜き、挿入でき

る工法で、カッタービットの交換、シールド機の回収・転用を容易に行うことが可能である（図-7）。

シールド工法ではシールド機の価格が高価なため、ランプ部構築などの短距離施工では施工延長に対するシールド機のコスト比率が高く、全体工事のコストアップにつながる問題点がある。



図-7 スクリーンシールドマシン外觀図

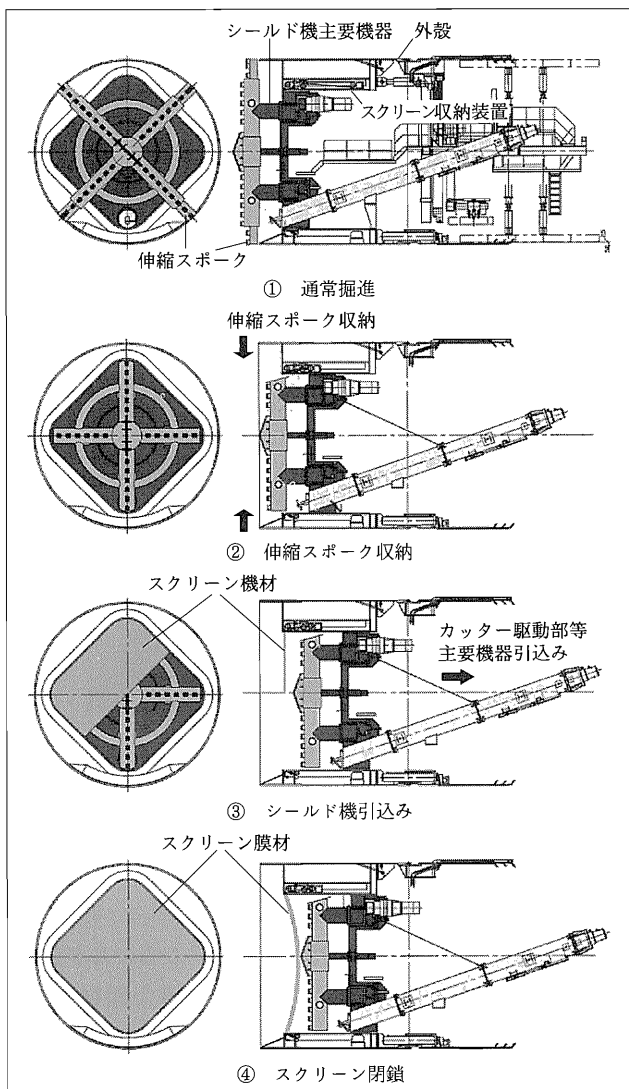


図-8 スクリーンシールド回収手順図

本工法はシンプルかつ低コストな機構で土水圧を遮蔽するとともに、シールド機のカッターや駆動部など主要機器の大部分を容易に回収・転用することでコスト低減化が可能である。

なお、0.6 MPaでの耐水圧実証実験を行い、スクリーンの土水圧に対する抵抗性を確認した。

主な特長は以下のとおりである。

- ① 土水圧の遮蔽に、複合素材である遮蔽膜を装備
- ② 複合素材により、止水構造が簡潔となり低コスト化を達成
- ③ シールド機の主要部回収、カッタービット交換などを行う場合に地山改良などの補助工法不要
- ④ 「スクリーン」は、いつでも、どこでも使用可能  
スクリーンシールドによる回収手順は、図-8のとおりである。

## (2) 断面縮小シールド工法（D-Shape シールド工法）

本工法は本線-ランプトンネル合流部の施工において、占有幅を縮小するとともに施工性を向上させることを目的としたものである。

本線部は円形で構築し、ランプ合流区間のみセグメントをD型に組立て、断面縮小する。ランプシールドがより本線に近づけるようにすることで、完成時に占有幅の縮小のみならず、ランプ合流部接合時の補助工法を最小限に留めることが可能な工法である（図-9）。

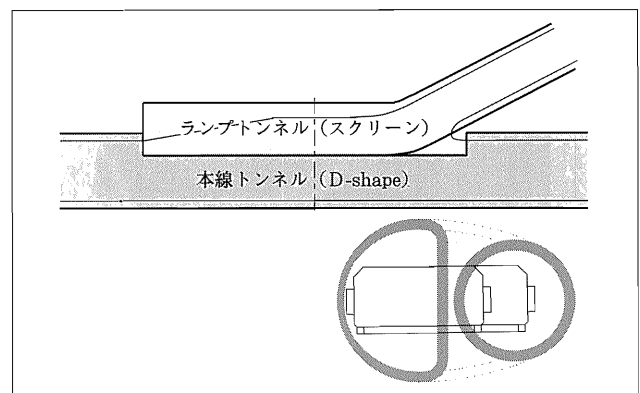


図-9 D-Shape シールド断面図

主な特長は以下のとおりである。

- ① 本線-ランプ合流部の合理的な施工が可能
- ② 隔壁取付け、D型セグメント組立ては、止水性を確保しながら行えるため、補助工法は不要
- ③ 隔壁取付け、取外しは、いつでも、どこでも可能
- ④ シールド機は通常型を基本に、小規模な改造で

済むため、シールド機のコストアップは最小限ですむ

- ⑤ 仕様や用途に応じて、縮幅の量、片側縮幅、両側縮幅、また上下のいずれも可能
- ⑥ 基本型のシールド機は円形に限らないので、どのような形状のシールド機にも適用が可能
- ⑦ 土質に応じた掘削法（泥水、土圧式）の選択が可能

### （3）大断面地下空間非開削構築工法（太径曲線パイプルーフ工法）

本工法は、新設や既設トンネルなどの地下空間内部からまず覆工を貫通し、特殊な太径曲線掘進機を用いて大断面の地下空間用アーチ土留めとしての曲線パイプルーフを構築する工法である。さらに凍結工法で止水膜を形成することで、大断面の地下空間（本線-ランプ合流部）を非開削で構築することが可能な工法である（図-10）。

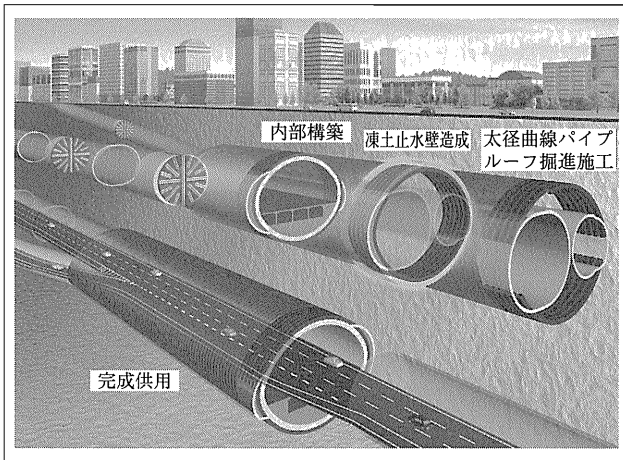


図-10 大断面太径曲線パイプルーフ施工によるイメージ図

主な特長は以下のとおりである。

- ① 太径曲線パイプルーフで土圧・水圧を支保し、凍土で完全止水することにより、非開削施工が可能。
- ② 太径曲線掘進機はカッター拡張機構を有し、リターン回収が可能で、円形断面あるいは矩形断面などの任意の断面の掘削が可能（図-11）。
- ③ 掘削方式として泥土式、泥水式の切替えが可能で、あらゆる地盤の掘削が可能。
- ④ 太径曲線パイプルーフ管は円形あるいは矩形の鋼管を用い、任意の半径、断面寸法に対応でき、かつ曲線半径も自由に選定することが可能。
- ⑤ 太径曲線管の間の地盤凍結は、鋼管内に配置した凍結管で確実に所定の厚さの凍土の造成が可能

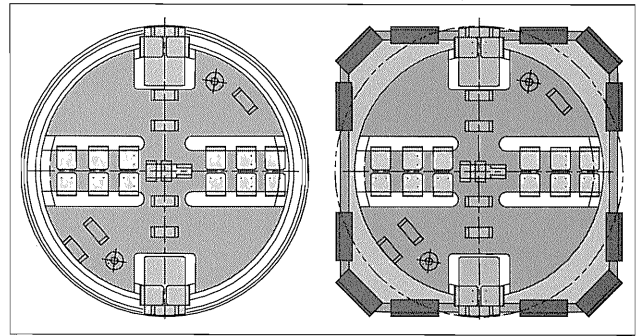


図-11 太径曲線掘進機正面図（円形/矩形断面）

- ⑥ 二次覆工と複合して本体利用も可能。

その他に、本工法には

- ・凍結などの地盤改良技術
- ・パイプルーフ貫通箇所の覆工補強構造
- ・パイプルーフと覆工間の固定構造
- ・パイプルーフ発進用スペース確保のためのトンネル部分拡張工法
- ・パイプルーフ+凍土で形成された土留め内部の掘削工法
- ・撤去すべき既設覆工と新設覆工の合理的な構造変化対処構造

などの工法や構造化も含まれる。

## 4. その他の合理的施工技術

### （1）合理的覆工技術（高剛性ボルトレス式合成セグメント）

ハイブリッド構造により高強度、高剛性を確保し、セグメント厚の低減が可能である。また、継手部のボルトボックスなどの充填が不要なボルトレスタイプとすることで、組立ての高速化（ワンパス組立て）も図れる。

その他に、

- ・先付けタイプの耐火被覆一体型セグメント
- ・後施工タイプの耐火パネル
- ・耐火吹付け工法

などによる耐火被覆構造、とすることで、二次覆工の省略を図ることも可能である。

### （2）合理的防災システム（水幕式火災防災システム）

本システムは水の幕（ウォータースクリーン）を用いて火災発生ゾーンを区画化して、熱や煙の拡散を抑制すると共に、有害浮遊粒子を捕捉・洗浄することで、避難・安全性を向上させることができるシステムである（図-12）。

また、冷却効果と延焼防止効果により構造物の被害

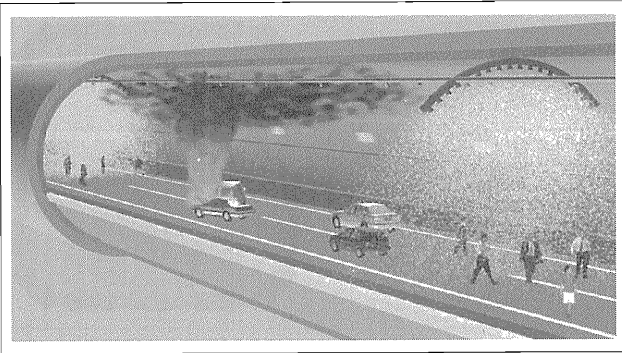


図-12 ウォータースクリーンイメージ図

を最小限に留めるものである。なお、実証実験によりその有効性を確認している。

## 5. あとがき

シールドトンネルの超長距離化、超大断面化、大深度化をキーワードに新技術の開発を進め、一つのシステムとして体系化できた。今後も引続き技術的課題に取り組み、改善を推し進めることで更なる新技術の発展に貢献できると確信している。

最後に、各開発にご指導、ご協力いただいた関係者の方々に対し、誌面をお借りして感謝を申し上げます。

JCMIA

### 【筆者紹介】

馬野 浩二（うまの こうじ）  
鹿島建設株式会社  
土木設計本部  
プロジェクト設計部  
設計主査



永森 邦博（ながもり くにひろ）  
鹿島建設株式会社  
機械部  
技術グループ  
グループリーダー



中川 雅由（なかがわ まさよし）  
鹿島建設株式会社  
土木設計本部  
プロジェクト設計部  
グループ長



# 建設機械図鑑

本書は、日本建設機械要覧のダイジェスト版として、写真・図版を主体に最近の建設機械をわかりやすく解説したものです。建設事業に携わる方々、建設施工法を学ばれる方々、そして建設事業に関心のある一般の方々のための参考書です。

A4判 102頁 オールカラー 本体価格2,500円 送料600円

## 社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館） Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289