

# 鉄道シールドトンネルのセグメントおよびシールドマシンに関する事例調査

船越 宏治\* 津野 究\*\* 藤田 輝一\*\*\* 木下 果穂\*\*

## Trend Analysis of Segments and Tunnel Boring Machine for Railway Shield Tunnels

Koji FUNAKOSHI Kiwamu TSUNO Kiichi FUJITA Kaho KINOSHITA

Trends of railway tunnels constructed by the shield method were analyzed based on the database, which covers 388 construction cases since 1964 to 2013. This research investigated thickness and width of segments, numbers of divided segments and intervals of ring joints. The tendency of items regarding a shield machine was also described such as types of TBM, tail clearances between shield skin plates and segments, thickness of shield skin plates and backfill grouting.

キーワード：シールドトンネル，セグメント，シールドマシン，事例調査

### 1. はじめに

鉄道シールドトンネルの設計にあたっては、図1に示す余裕、セグメント高さ、テールクリアランス、シールドマシンのスキンプレート厚などの内空断面に関する諸元が必要となり、これらは構造計画の段階で検討されることが一般的である。また、セグメント幅、セグメント分割、リング継手間隔など、覆工に関する諸元や、シールド形式や裏込め注入など施工の基本となる項目も決定しておく必要がある。これらは、経験や実績に基づいて判断する部分も多く、セグメントおよびシールドマシンに関する実績を整理しておくことが重要となっている。

そこで、セグメントおよびシールドマシンに関して、とくに構造計画や構造設計に関係する項目について事例調査を行い、傾向を把握した<sup>1)2)3)</sup>。ここでは、1964～2013年に施工された鉄道シールドトンネル（388工区）を対象としており、1960年代が6%、1970年代が20%、1980年代が15%、1990年代が32%、2000年代以降が26%である。なお、項目によっては多円形および矩形断面の22件について除外している。

### 2. セグメントに関する傾向

#### 2.1 セグメント高さ

セグメント高さは、構造耐力に影響する重要な諸元で

ある。大きいほど構造耐力が大きくなるが、コスト、重量、掘削土量等も増加することから、適切に設定することが重要である。RC平板形セグメントについて、外径とセグメント高さを整理した結果を図2に示す。ここでは、外径 $D$ に対するセグメント高さ $H$ の比( $H/D$ )が3.5%、4%、4.5%および5%の線を併せて図示している。これより、セグメント高さは250～550mmの範囲に分布しており、設計荷重等の影響を受けてばらつきが見られるが、外径が大きくなるほど大きくなる傾向が見られる。

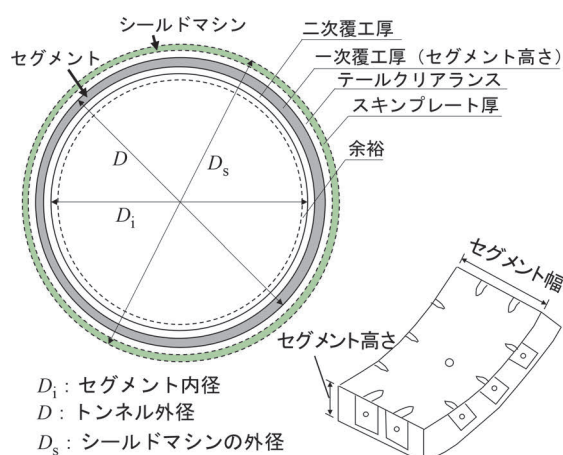


図1 トンネル断面の構成

また、外径と $H/D$ の関係を図3に示すが、 $H/D$ は二次覆工一体型の1事例を除き3.4～5.6%の範囲に分布している。外径7.5m以下では5%を超えるものもあるが、外径10m以上では4.5%以下となっている。

\* 構造物技術研究部 トンネル研究室（現 植村技研工業株式会社）  
 \*\* 構造物技術研究部 トンネル研究室  
 \*\*\* 構造物技術研究部 トンネル研究室（現 東海旅客鉄道株式会社）

## 2.2 セグメント幅

セグメント幅は、大きくするほどリング継手を減らすことによるコスト低減が図れるとともに施工速度が向上する。一方、セグメント重量が大きくなることや、急曲線区間でシールドとセグメントが接触しやすくなるといったデメリットもあることから、適切に設定することが重要である。

外径とセグメント幅の関係を図4に示す。セグメント幅は、RC平板形セグメントでは780~1600mm、RC中子形セグメントでは650~1200mm、ダクタイルセグメントでは600~1300mm、合成セグメントでは800~1200mmの範囲に分布している。RCセグメントについて、外径とセグメント高さ $H$ に対するセグメント幅 $B$ の比( $B/H$ )の関係を年代別に整理した結果を図5に示す。これより、2000年代に入って $B/H$ が大きくなる傾向が見られ、セグメントが幅に対して薄くなっている傾向が把握できる。

## 2.3 セグメント分割数

外径とセグメント分割数の関係を図6に示す。これより、セグメント分割数は5~13分割の範囲に分布しており、RCセグメントは6~13分割、RC以外のセグメントは5~12分割の範囲に分布している。また、外径が大きくなるほど、セグメント分割数も大きくなる傾向

が見られる。

## 2.4 リング継手間隔

外径とリング継手間隔の関係を図7に示す。RCセグメントのリング継手間隔は、400~1400mmの範囲に分布し、800~1000mmに集中している。また、平板形と中子形で傾向に差異がみられず、外径との明確な相関性は確認できない。一方、RC以外のセグメントでは、200~1200mmの範囲に分布し、300~500mmに約8割が集中している。

## 2.5 二次覆工

年代ごとの二次覆工の施工状況を図8に示す。これよ

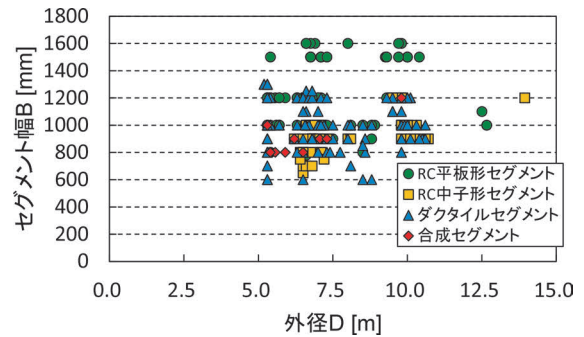


図4 外径とセグメント幅の関係<sup>1)</sup>

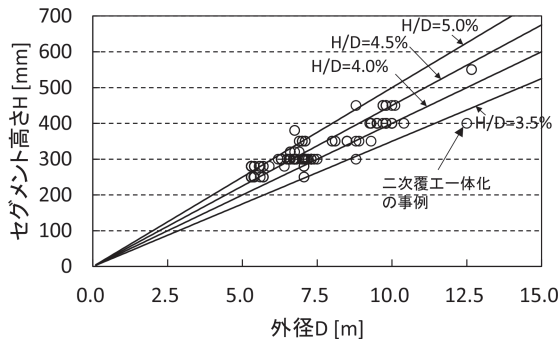


図2 外径とセグメント高さの関係 (RC平板形)<sup>1)</sup>

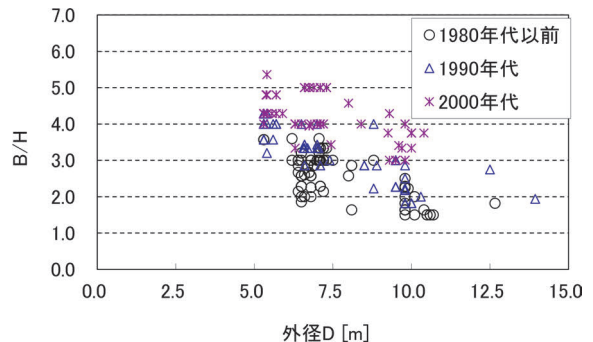


図5 外径とセグメント高さに対するセグメント幅の比 (RCセグメント)<sup>1)</sup>

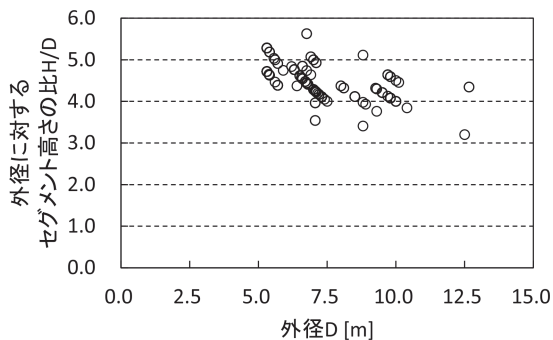


図3 外径と外径に対するセグメント高さの比 (RC平板形)<sup>1)</sup>

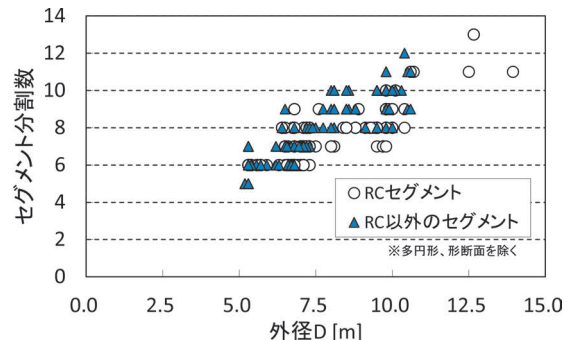


図6 外径とセグメント分割数の関係<sup>2)</sup>

り、1980年代以前は、二次覆工が施工される割合が相対的に多いが、1990年代では約半数、2000年代では約85%で二次覆工が省略され、二次覆工省略が主流となっている。二次覆工が施工された事例を見ると、無筋の場合は250mm以上300mm未満の厚さのものが多いが、RCの場合は200mm未満のものから300mm以上のものまで幅広く分布している。また、1990年代以前は無筋とRCの割合が同程度であるが、2000年代で二次覆工が施工された事例では、RCがほぼ100%となっている。

### 3. シールドマシンに関する傾向

#### 3.1 シールドマシンの形式

鉄道シールドトンネルで採用されたシールド形式について、年代ごとに整理した結果を図9に示す。1970年代までは手掘り式が大部分を占め、1970年代には機械掘り式やブラインド式も採用されている。1980年代以降は、泥水式や土圧式といった密閉型が大部分を占めており、1980年代は泥水式の割合が多いことに対して、1990年代以降は土圧式が採用される割合が多くなっている。

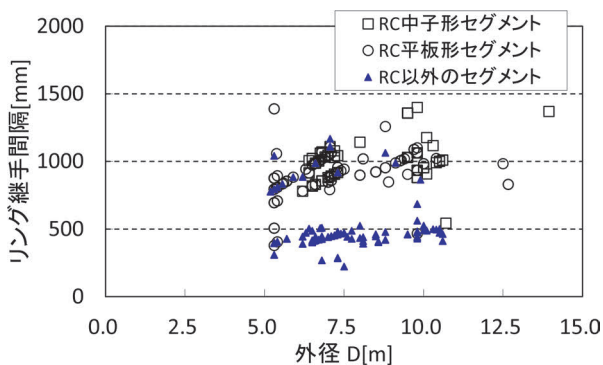


図7 外径とリング継手間隔の関係<sup>2)</sup>

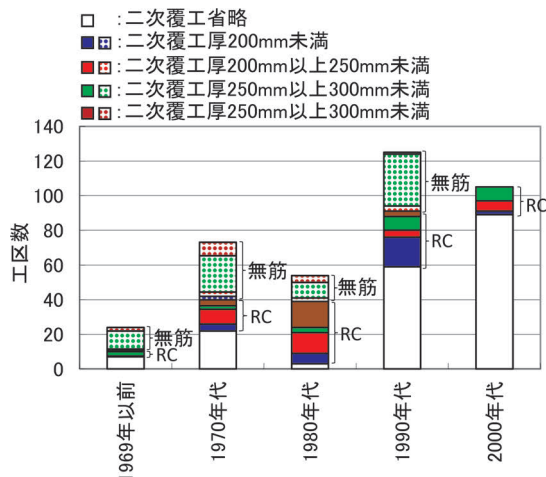


図8 二次覆工の実績<sup>3)</sup>

#### 3.2 テールクリアランス

テールクリアランスは、図10に示すセグメントの外側とシールドマシンとの間隔であり、構造計画時に設定する必要がある項目である。外径とテールクリアランスの関係を図11に示す。テールクリアランスとシールドマシンの外径との明確な相関は見られず、96%が25~40mmの範囲に分布している。

#### 3.3 スキンプレート厚

シールドマシンのスキンプレート厚は、掘削断面に影響することから、構造計画時に設定する必要がある項目である。シールド外径 $D_s$ とスキンプレート厚さの関係を図12に示す。これより、スキンプレート厚さは、25~80mmに分布しており、シールド外径 $D_s$ が大きくなるほど大きくなる傾向が見られる。

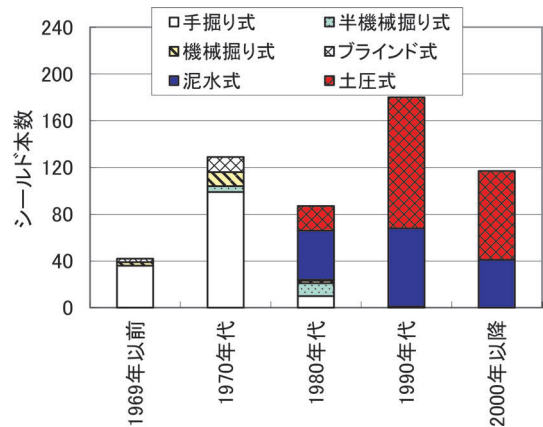


図9 年代ごとに採用されたシールド形式の実績<sup>3)</sup>

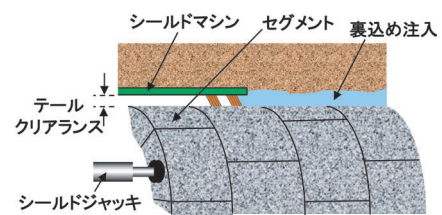


図10 テールクリアランス

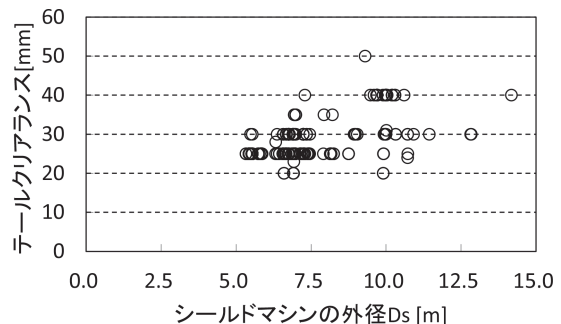


図11 テールクリアランスの実績<sup>2)</sup>

### 3.4 裏込め注入

裏込め注入は、セグメントと地山の間のテールボイドと呼ばれる空隙を裏込め注入材により充填するものである。裏込め注入工法には、同時注入、半同時注入および即時注入があるが、年代ごとに採用された割合を図13に示す。これより、1980年代は即時注入の割合が37%を占め最も多く、同時注入および半同時注入は約20%でほぼ同割合である。一方、1990年代以降では、速やかに裏込め注入ができる同時注入の割合が最も大きく、1990年代では64%、2000年代では78%を占めている。つぎに、裏込め注入材料について1液性懸濁液型、2

液性懸濁液型（エアー系）、2液性懸濁液型（非エアー系）およびその他に分類し、年代ごとの割合を図14に示す。1970年代以前ではセメント主体である1液性懸濁液が全体の95%を占めているが、1990年代以降はほとんど用いられなくなっている。一方、1980年代以降になると、これまでになかった2液性懸濁液型（エアー系）と2液性懸濁液型（非エアー系）の割合が多くなる。とくに、2液性可塑状型（非エアー系）は、1980年代には28%であったのが、1990年代では67%、2000年代では70%を占めている。

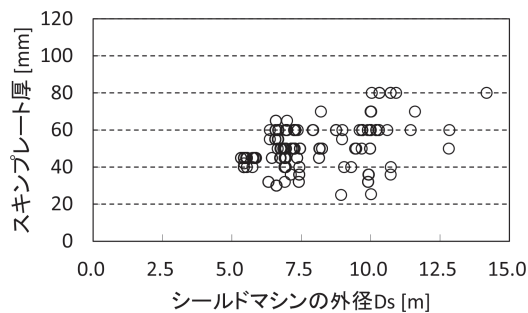


図12 スキンプレート厚の実績<sup>2)</sup>

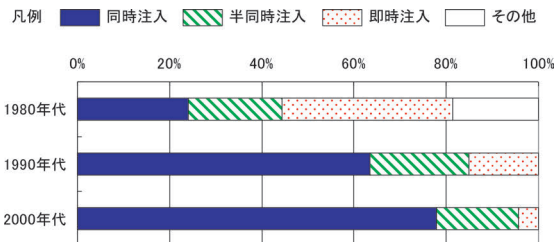


図13 年代ごとに採用された裏込め注入方式の実績<sup>3)</sup>

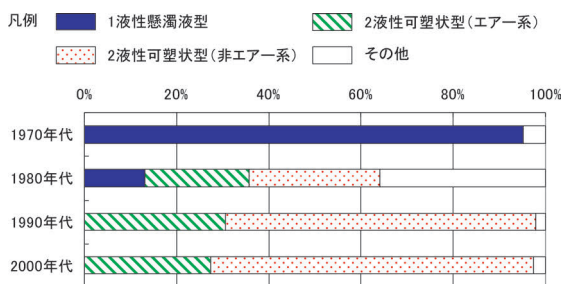


図14 年代ごとに用いられた裏込め注入材料の実績<sup>2)</sup>

## 4. まとめ

鉄道シールドトンネルを対象に、セグメントおよびシールドマシンに関して事例調査を行い、傾向を把握した。得られた知見は、以下の通りである。

- ・セグメント高さは外径とともに大きくなり、外径との比(H/D)が3.4~5.6%の範囲に分布するなど、セグメント諸元に関する傾向を把握した。
- ・セグメント分割数は5~13分割の範囲に分布していることや、リング継手間隔は800~1000mmに集中しているなど、継手配置に関する傾向を把握した。
- ・シールド形式について1990年代以降は土圧式が採用される割合が多くなっていることや、テールクリアランスは25~40mmの範囲に分布しているなど、シールドマシンに関する傾向を把握した。
- ・1990年代以降では同時注入の割合が多くなっていることや、2液性懸濁液型の注入材の採用割合が多くなっているなど、裏込め注入に関する傾向を把握した。

## 文献

- 1) 津野究, 船越宏治, 藤田輝一, 木下果穂: 鉄道シールドトンネルで用いられるセグメントを対象とした傾向分析, 第53回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.1605-1606, 2018
- 2) 船越宏治, 鎌田和孝, 津野究: 鉄道シールドトンネルを対象とした傾向分析(その2), 地下空間シンポジウム論文・報告集, 第22巻, pp.17-20, 2017
- 3) 津野究, 村井稔生, 焼田真司, 新井泰: 鉄道シールドトンネルを対象とした傾向分析, 土木学会第65回年次学術講演会講演概要集, VI-247, pp.493-494, 2010