

鉄道シールドトンネルを対象とした 傾向分析（その2）

TREND ANALYSIS OF RAILWAY SHIELD TUNNEL (PART 2)

船越 宏治^{1*}・鎌田 和孝²・津野 究²

Koji FUNAKOSHI^{1*}, Kazutaka KAMADA², Kiwamu TSUNO²

Trends of railway tunnels constructed by shield method were analyzed based on the database, which covers 388 construction cases since 1964 to 2013. This research investigated the margin of space for the shield excavation as well as maintenance, the tail clearance between the shield skin plate and segments, the thickness of shield skin plate, the interval of ring joints, the material and method for backfill grouting and others.

Key Words : Shield tunnel, railway, design, construction cases

1. はじめに

既往の調査データ^{1)~4)}をもとにシールド工法で建設された鉄道トンネル（388工区）について、傾向分析を行った。分析の対象は1964年～2013年に施工されたトンネルであり、項目によっては多円形および矩形断面のトンネル22件について除外している。

傾向分析を行った388工区について建設年代の割合を図-1に示す。1960年代に施工されたトンネルは6%，1970年代が20%，1980年代が15%，1990年代が32%，2000年代以降が26%であり，1990年代に施工されたトンネルが最も多い。

前報⁵⁾では，セグメント外径 D_o とセグメントの幅や高さの関係，二次覆工の有無と厚さ，シールド形式などについて整理して報告した。本報では，これに続き，蛇行余裕・施工余裕，セグメント分割数，リング継手間隔，テーパ量，テーパ角，テールクリアランス，スキンプレート厚さ，および裏込め注入方法・材料について報告する。

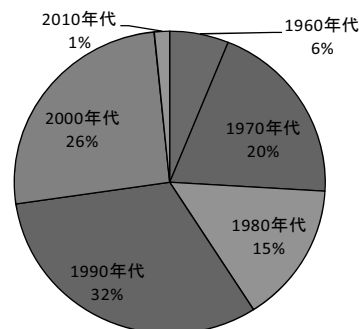


図-1 建設年代による割合

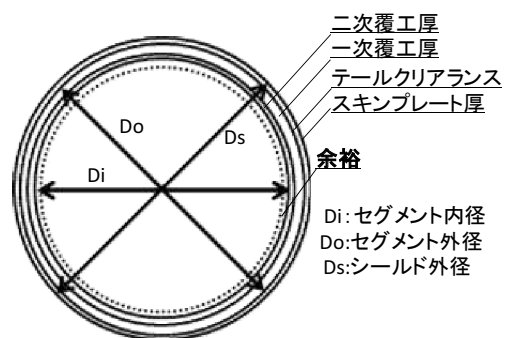


図-2 トンネル断面の構成

キーワード：シールドトンネル，鉄道，設計，施工事例

¹正会員 公益財団法人 鉄道技術研究所 構造物技術研究部 Structure Technology Division, Railway Technical Research Institute,
(E-mail:funakoshi.koji.82@rti.or.jp)

²正会員 公益財団法人 鉄道技術研究所 構造物技術研究部 Structure Technology Division, Railway Technical Research Institute

2. 傾向分析

(1) 蛇行余裕と保守余裕について

鉄道シールドトンネルの内空断面は、図-2のように建築限界等に余裕を考慮して決定するのが一般的である。余裕には、シールド機掘削時の施工誤差を考慮するための蛇行余裕と供用開始時のトンネル保守を考慮した保守余裕がある。蛇行余裕と保守余裕について、実績を整理した結果を図-4に示す。

蛇行余裕については、0～300mm以内に分布しているが単線型と複線型共に150mm以下の範囲に9割程度が分布している。蛇行余裕の平均値は、122mmである。

保守余裕については、0～301mm以上までと幅広く分布しているが単線型では201～250mmが最も多く38%占めており、つづいて、50mm以下が19%を占めている。一方、複線型で50mm以下が36%となっており、つづいて、101～150mmが24%、151～200mmが18%となっている。また、保守余裕の平均値は、169mmである。

(2) セグメントの分割数について

セグメント外径 D_0 とセグメント分割数の関係を図-5に示す。これより、1リングあたりセグメント分割の最低は5分割、最大は13分割である。また、セグメント外径が大きくなれば、セグメント分割数も大きくなる傾向がある。

つぎに、RCセグメントとRC以外のセグメント（合成セグメント、ダクトイルセグメントおよびスチールセグメント）を比較すると、RCセグメントは6分割から13分割、RC以外のセグメントは5分割から12分割に分布しており、RCセグメントの方が、セグメント分割数が多い傾向がある。

(3) リング継手間隔について

セグメント外径 D_0 とリング継手間隔の関係を図-6に示す。ここでは、RCセグメントとRC以外のセグメントを分類し、RCセグメントについても中子形と平板形に分類している。これより、RCセグメントのリング継手間隔は、400～1,400mmの範囲に分布し、800～1,000mmに集中している。また、中子形と平板形に傾向の差異はみられず、セグメント外径との明確な相関性は確認できない。つぎに、RC以外のセグメントのリング継手間隔は、200～1,200mmの範囲に分布しセグメント外径 D_0 にかかわらず300～500mmまでに約8割が占めている。

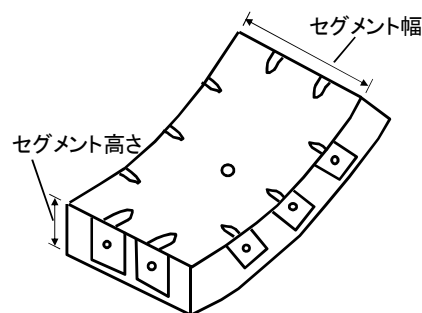


図-3 セグメントの名称

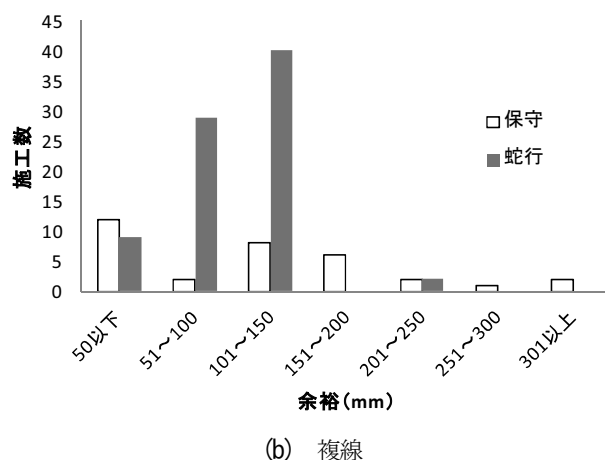
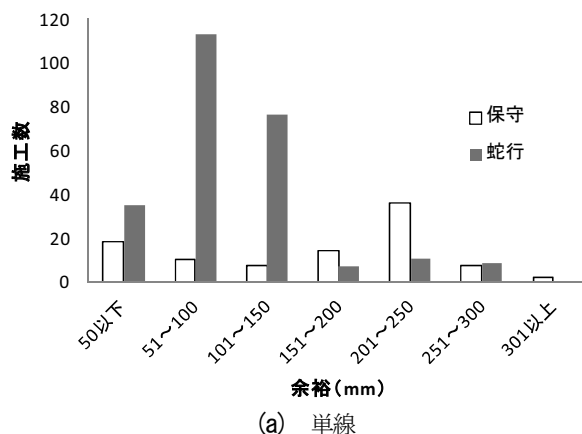


図-4 蛇行余裕、保守余裕

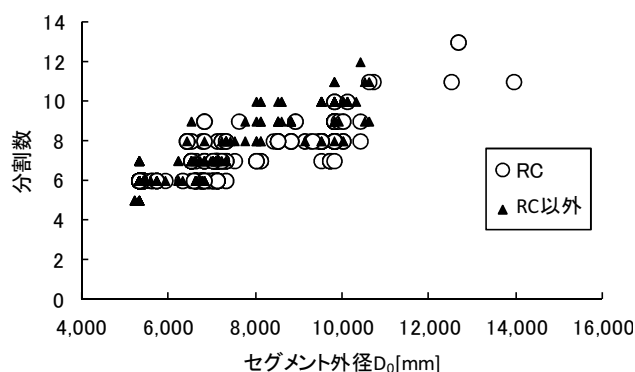
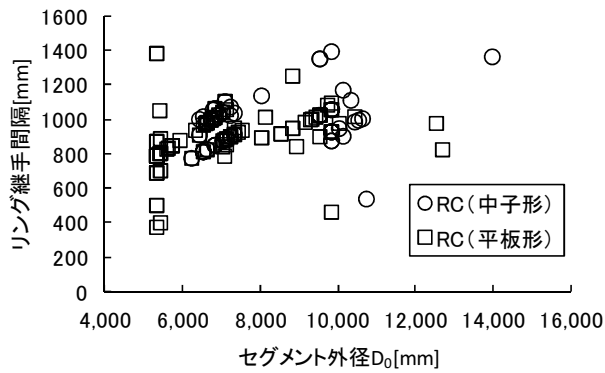
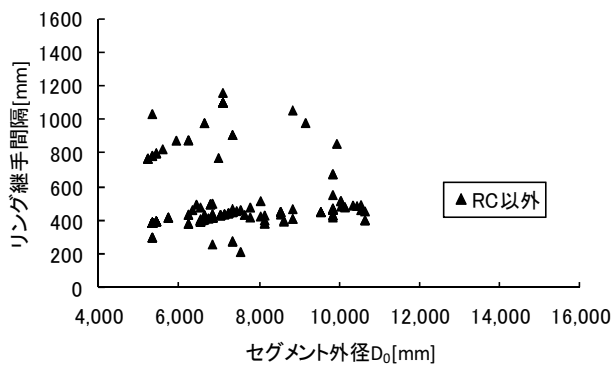


図-5 セグメントの分割数



(a) RCセグメント



(b) RC以外のセグメント

図-6 リング継手間隔

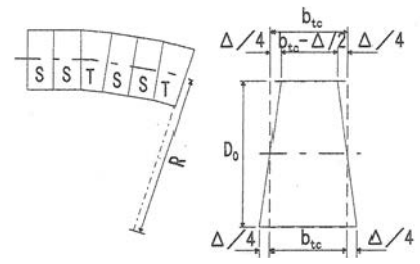
(4) テーパー量・テーパー角について

セグメント外径 D_0 とテーパー量(図-7参照)の関係を図-8に示す。テーパー量は、15~100mmの範囲に分布している。また、RCセグメントとRC以外のセグメントの傾向の差異やセグメント外径 D_0 との相関は確認されない。

つぎに、セグメント外径 D_0 とテーパー角(図-7参照)の関係を図-9に示す。これより、テーパー角は0.13~1.02度の範囲に分布しセグメント外径 D_0 が大きくなるほど小さくなる傾向がみられる。また、テーパー角についてもRCセグメントとRC以外のセグメント差はあまりみられない。

(5) テールクリアランス

シールド外径 D_s とテールクリアランスの関係を図-10に示す。テールクリアランスは、シールド外径 D_s に関わらず96%が25~40mmの範囲に分布している。



b_{tc} : テーパーリングのセンター幅 (mm)

b_s : 普通リングの幅 (mm)

D_0 : セグメント外径 (mm)

Δ : 割増しを考慮したテーパー量

図-7 曲率半径とテーパー量⁶⁾

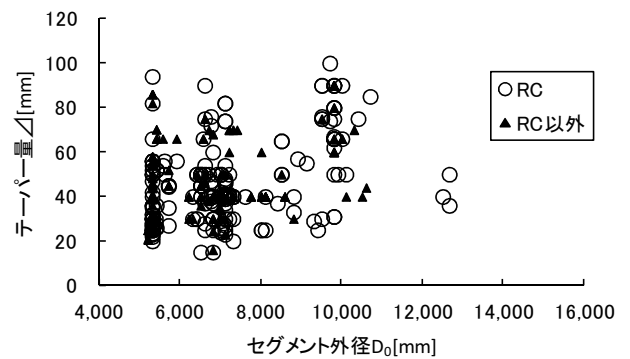


図-8 テーパー量

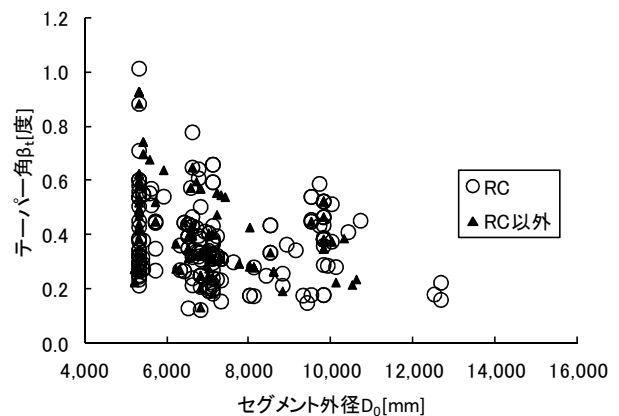


図-9 テーパー角 β_t

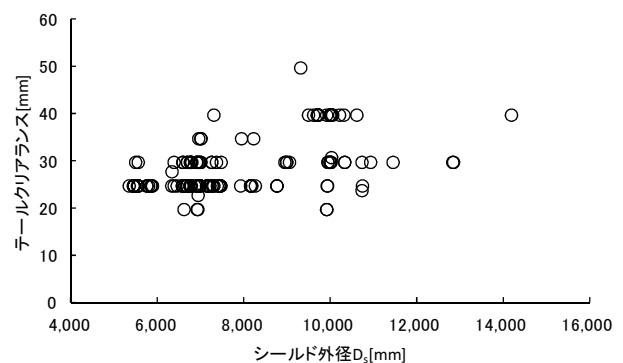


図-10 テールクリアランス

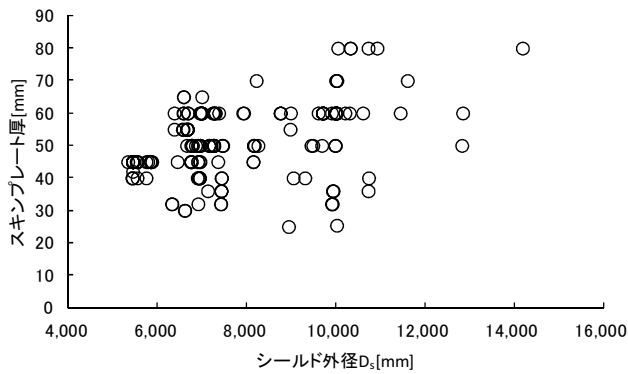


図-11 スキンプレート厚さ

(6) スキンプレート厚さ

シールド外径 D_s とスキンプレート厚さの関係を図-11に示す。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。

(7) 裏込め注入方法および注入材について

裏込め注入工法について同時注入、半同時注入、即時注入およびその他に分類し、年代ごとの割合を図-12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%でほぼ同時割合である。一方、1990年代および2000年代では、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（エアース系）、2液性懸濁液型（非エアース系）およびその他に分類し、年代ごとの割合を図-13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（エアース系）と2液性懸濁液型（非エアース系）の割合が多くなる。とくに、2液性可塑状型（非エアース系）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。

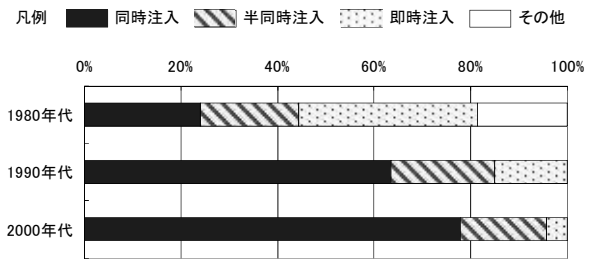


図-12 裏込め注入工法

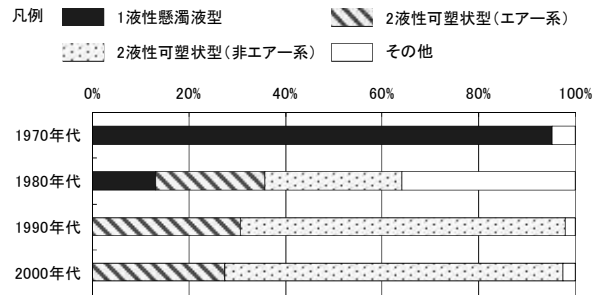


図-13 裏込め注入材料

3. まとめ

- 今回、シールド工法で建設された鉄道トンネルについて傾向分析を行った。得られた知見は以下の通りである。
- (a) 蛇行余裕および保守余裕の分布を把握した。
 - (b) セグメント分割数は、5分割以上13分割以下の範囲に分布している。
 - (c) RCセグメントのリング継手間隔は、400～1,400mmの範囲に分布しており、800～1,000mmに集中している。
 - (d) テーパー量およびテーパー角の分布を確認した。
 - (e) テールクリアランスは、96%が25～40mmの範囲に分布しており、スキンプレート厚さは、25～80mmの範囲に分布している。
 - (f) 裏込め注入工法と裏込め注入材料については、年代別の傾向を把握した。

参考文献

- 1) 日本鉄道施設協会：シールド工法による鉄道トンネル実施例集，1974。
- 2) 地下鉄技術協議会：シールド工法による鉄道トンネル実施例集（その2），1985。
- 3) 鉄道総合技術研究所：シールド工法による鉄道トンネル実施例集（その3），1994。
- 4) 鉄道総合技術研究所：シールド工法による鉄道トンネル実施例集（その4），2010。
- 5) 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回学術講演会，No.376/III，VI-247，pp.493-494，2010。
- 6) 鉄道構造物等設計標準・同解説 シールドトンネル，1997。