

# シールドジャッキ偏心量が大きな場合における セグメントひび割れ対策とその効果

田中 淳寛<sup>1</sup>・金子 伸生<sup>2</sup>・千代 啓三<sup>3</sup>・水原 勝由<sup>4</sup>・大森 裕一<sup>5</sup>

<sup>1</sup>正会員 鉄道・運輸機構 東京支社 新横浜鉄道建設所 (〒222-0033 横浜市港北区新横浜2-15-16)  
E-mail: tanaka.ats-n5m2 @jrnt.go.jp

<sup>2</sup>正会員 鉄道・運輸機構 東京支社 新横浜鉄道建設所 (〒222-0033 横浜市港北区新横浜2-15-16)  
E-mail: kaneko.nob-8x7y @ jrnt.go.jp

<sup>3</sup>正会員 鉄道・運輸機構 北海道新幹線建設局 (〒060-0041 札幌市中央区北二条西一丁目1番地)  
E-mail: chishiro.kei-8r23 @ jrnt.go.jp

<sup>4</sup>正会員 地域地盤環境研究所 東京事務所 (〒113-0034 東京都文京区湯島1丁目8-4山川ビル)  
E-mail: mizuhara@geor.co.jp

<sup>5</sup>正会員 大成・東急・大本・土志田JV (〒221-0866 横浜市神奈川区羽沢南3丁目21)  
E-mail: y-omori@ce.taisei.co.jp

相鉄・東急直通線羽沢トンネルは、覆工構造にセグメントと場所打ちライニングを施工条件によって使い分ける。セグメントの場合、シールドジャッキのロッド中心とセグメント図心の偏心量が非常に大きくなる。このため、掘進時にテール内のセグメントが変形し、特にセグメント継手周辺に損傷が発生することが懸念された。これに対し、シールドジャッキの変形を抑制する対策を実施し、セグメント継手の軸力を計測した。

シールドジャッキの偏心は、セグメントに影響を与える施工時荷重の一つであり、一般に効果的な対策が求められる。ここでは、羽沢トンネルで実施した対策方法と計測結果を報告する。

**Key Words :** *segment joint, eccentricity of shield jack, deformation of segments in tail section, construction load*

## 1. はじめに

シールド工事では、テール内におけるセグメント自重やシールドジャッキの片押し、スキンプレートとの競りなどの施工時荷重によって、セグメントが損傷する事例がみられる。

セグメントに影響を与える施工時荷重の一つとして、シールドジャッキのロッド中心とセグメント図心の半径方向位置の違い（以下、ジャッキ偏心という）により<sup>1)</sup>、セグメントの切羽側が半径方向外側に開く現象があげられる。施工時荷重を小さくする観点から、ロッド中心とセグメント図心の半径方向位置を合わせ、ジャッキ偏心量を0とすることが望ましいが、ロッド直径がセグメント厚さに比べて大きくなること、本体の中折れ部に干渉しないように、シールドジャッキを配置するなどのスペース上の理由により、偏心量が0とできない場合がある。相鉄・東急直通線羽沢トンネルでは、掘進途中で覆工

構造として、セグメントと場所打ちライニングを使い分ける。上記2区間の施工を1台のシールドで施工するため、セグメント区間のジャッキ偏心量が325mmと非常に大きくなり、セグメントへの影響が懸念された。そこで、ジャッキ偏心による影響を抑制する対策をシールドジャッキに施し、対策効果を確認するためにセグメント継手の計測を実施した。本文では、その概要と結果を報告する。

## 2. 羽沢トンネルの概要

相鉄・東急直通線は、図-1のように、JR東海道貨物線横浜羽沢駅付近から東急東横線日吉駅までの連絡線（約10.0km）を新設し、相鉄線と東急線が相互直通運転を行い広域鉄道ネットワークの形成を図るもので、速達性の向上、既設路線の混雑緩和や乗換回数の減少、沿線地域の活性化等を目的とした事業である。羽沢トンネル

は、相鉄・東急直通線のうち、羽沢駅（仮称）付近から新横浜駅（仮称）に至る延長3,350mの複線円形トンネル（φ10.46m）である。

羽沢トンネルの掘削には泥土圧シールドを採用し、覆工は「シールドを用いた場所打ち支保システム」（以下、SENSという）による場所打ちライニングとセグメントを併用する。ここで、SENSとは「密閉型シールドにより掘削及び切羽の安定を図り、シールド掘進と並行して一次覆工となる場所打ちコンクリートライニングによりトンネルを支保し、一次覆工の安定を計測により確認した後、力学的機能を付加させない二次覆工を施工（NATM）してトンネルを完成させる工法（System）」<sup>2)</sup>であり、シールド（S）、場所打ちライニング（E）、NATM（N）を組み合わせたシステム（S）の頭文字を取って命名されている。

羽沢トンネルは、図-2のように、工事始点側から掘削を行い、まず、セグメントで約503mを施工した後、SENSによる場所打ちライニングに切り替えて約2,282mを、再度セグメントに切り替えて約565mを掘削する。図-2の下の数値は羽沢駅起点の距離程を示しており、換装位置（1km193mと3km476m）では、覆工構造の変更に必要なシールドテール部の改造を行う。

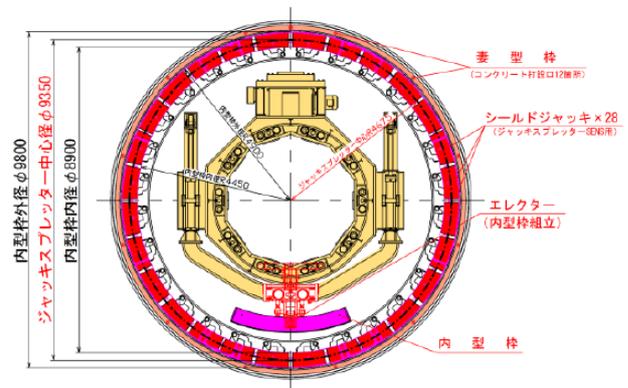
羽沢トンネルは、発進直後の0km691m付近で土被りが最も小さく約5m、東海道新幹線と交差する2km400m付

近で最も大きく約48mである。また、掘進対象土層は、全線の上総層群砂質土層と粘土層の互層である。

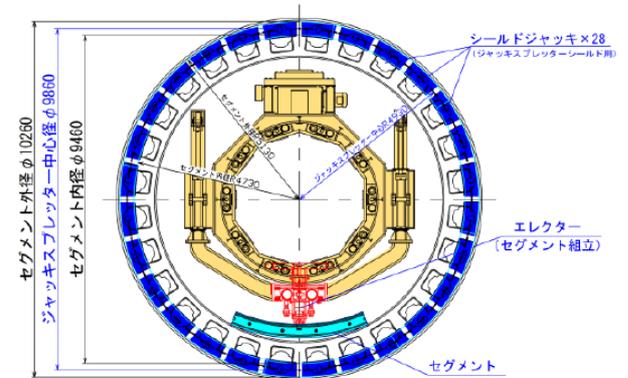
セグメントは、外径10.26m、厚さ0.4m、幅1.2mであり、合成セグメントを使用する到達側の約160mを除いて、鉄筋コンクリート製セグメントを使用する。一方、SENS区間は、外径9.8m、厚さ0.45m、幅1.2mの鋼製の内型枠を組み立て、推力を得ている。図-3のように、シールドジャッキの反力を得るためのセグメントと内型枠の図心径が半径方向に異なるため、セグメントにはより大きなジャッキ偏心が生じる。このため、換装工ではシールドジャッキのロッドは変更しないが、スプレッドを改造し、押し当てる位置を変更している。



図-1 羽沢トンネル位置図



SENS区間



セグメント区間

図-3 テール部横断面図

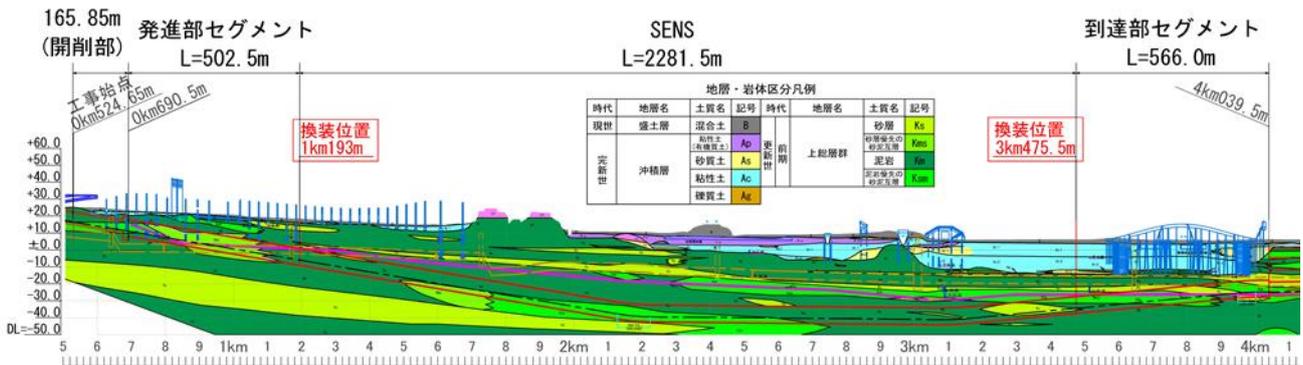


図-2 羽沢トンネル縦断面図

### 3. ジャッキ偏心への対策

#### (1) ジャッキ偏心によるセグメントへの影響

鉄筋コンクリート製セグメントは、図-4のように、8等分割となっており、セグメント継手にはコーンコネクター継手<sup>3)</sup>を、リング継手にはスクリーボルト (SB) 継手<sup>4)</sup>を使用しており、ワンパス性を有している。コーンコネクター継手は、アンカー筋の直径が19mmのタイプ (1金物あたり2本使用) であり、セグメント継手の坑口側と切羽側に2組が取り付けられている。各継手面は切羽側と坑口側でM (オス) 金物とF (メス) 金物が異なる組み合わせとなっている。

SENS施工時に使用する妻型枠を内蔵しておく必要があるため、シールドジャッキのロッドはトンネル中心側に設置する必要が生じた。このため、図-5のように、SENS区間は内型枠との偏心量が70mmであるが、セグメント区間はセグメントとの偏心量が325mmとなる。大口径シールドでは、小口径シールドに比べ、偏心量が小さく、0mmとなる場合もあるが、本工事では覆工構造をトンネルの途中で変更することにもない、セグメント区間でジャッキ偏心量が非常に大きくなった。

このため、ジャッキ偏心により、ロッドがトンネル外側にたわみ、これにより組立直後のセグメントが図-6のように掘進時にラップ状に開き、特にセグメント継手周辺に損傷を与えることが懸念された。

そこで、仮に図心半径 $R_c$ が1mm拡大すると仮定し、試計算を行った。

図心半径 $R_c$ が1mm拡大すると、円周長増分 $\Delta L_c$ が6.28mmとなり、8か所のセグメント継手が均等に広がっ



図-4 鉄筋コンクリート製セグメント断面図

たと仮定すると、継手の目開き量は1か所あたり $\Delta L_c=0.79\text{mm}$ となる。実験から想定したコーンコネクター継手 (D19タイプ) 1個あたりの引張ばね定数は $k_f=248$  (kN/mm)である<sup>5)</sup>ことから、上記の目開きが発生した場合、作用荷重 $F_f$ は196kNと想定され、アンカー筋降伏荷重198kNとほぼ同じ値となる。

$$\Delta L_c = 2\pi(R_c + 1 - R_c) = 2 \times 3.14 \approx 6.28\text{mm} \quad (1)$$

$$\Delta L_f = \Delta L_c / 8 \approx 0.79\text{mm} \quad (2)$$

$$F_f = \Delta L_f \times k_f = 0.79 \times 248 = 196\text{kN} \approx 198\text{kN} \quad (3)$$

安全のため、コーンコネクター継手の組立余裕量やセグメント本体の変形量を無視すると、セグメントの半径方向の図心の拡大を1mm以下に抑えなければ、セグメント継手アンカー筋に降伏荷重が作用する可能性があり、セグメント継手周辺に損傷が発生することが想定された。このため、本工事ではセグメント図心径の拡大を1mm以下に抑えることを目標として対策を検討した。

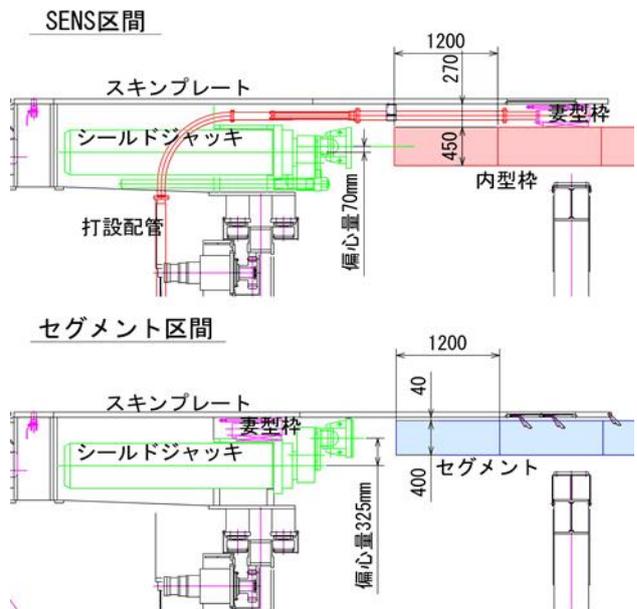


図-5 シールドジャッキの設置位置

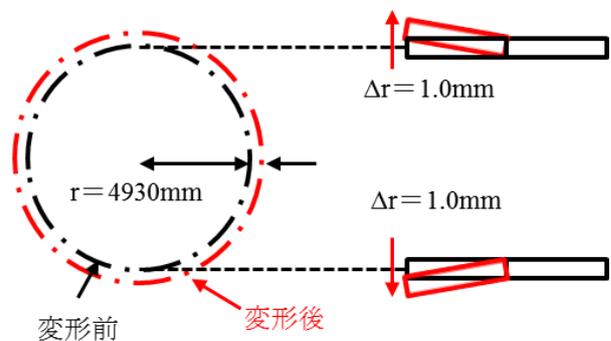


図-6 ジャッキ偏心によるセグメントの変形イメージ

## (2) シールドジャッキに関する対策

ジャッキ偏心量が大きいことにより、ロッドのトンネル外側へのたわみ量が大きくなる。このため、本工事では、ジャッキ1本当たりの最大推力は3,200kNであるが、一般に使用されているロッド径よりも大きなものを使用し、ロッドの剛性を高めた。これにより、最大推力が作用した場合でもロッドに発生する偏心を考慮した曲げ応力は許容値以下となった。ただし、この計算によると、ジャッキ先端の地山側への変位量は約17mmとなり、セグメントへの影響が懸念された。

## (3) セグメントに関する対策

シールドジャッキのトンネル外側へのたわみを抑制するため、図-7に示す摺動板を設置した。摺動板はロッド先端部とスキンプレートの間に取り付けることによって、ロッドのたわみを防止するものである。各ジャッキの位置によって、ロッド先端部とスキンプレートの隙間の大きさが異なるため、緩衝ライナの厚さを調節し、隙間が1mm以下となるようにした。摺動板は摩擦係数の小さな樹脂製の材料で製作し、スキンプレートとの摩擦を低減している。

## 4. セグメント計測

### (1) セグメント計測の概要

ジャッキ偏心による影響を確認するため、セグメント継手アンカー筋の軸力を計測した。

今後の施工に計測結果を早期に反映することを目的に、計測は本掘進開始後すぐの62リング目と63リング目で実施した。図-8のように、計測位置の土被りは約6.9mと小さいが、掘削対象の地盤は上総層群の砂質土層と粘土層の互層であり、堅固である。図-9のように、トンネルの左側に離隔9.2mで道路高架橋の橋脚があるが、橋脚が杭基礎であることから、セグメントに影響する上載荷重は小さいものと考えられる。

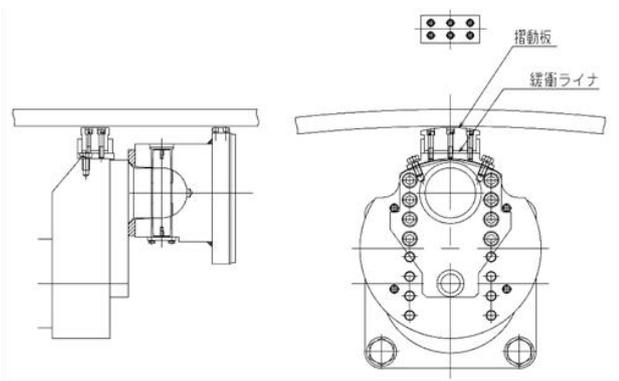


図-7 シールドジャッキ摺動板設置詳細図

セグメント継手の計測方法を説明する。図-10のように、セグメント継手を固定するためのアンカー筋は、全長230mmであるが、根本から20mmの位置にそれぞれ1か所ひずみゲージを設置した。セグメント継手はセグメント桁高の中央に配置されている。計測リングである62リングと63リングはスタンダードリングであり、各ピースの組立位置は図-11の通りである。また、各ピースのセグメント継手金物の配置は図-12の通りである。すべての継手面でM金物とF金物が1個ずつ配置されている。

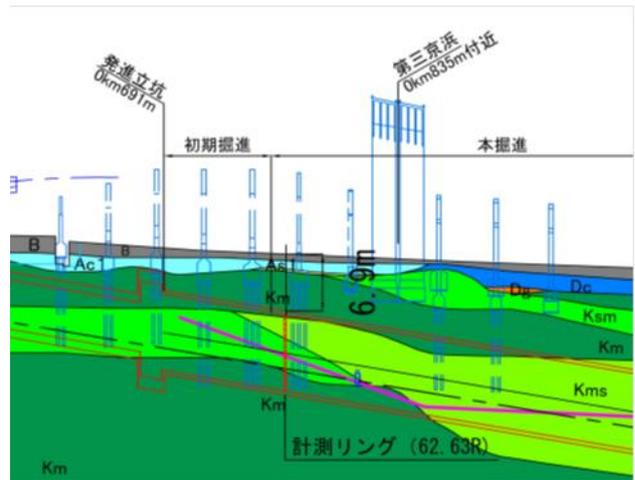


図-8 羽沢トンネル縦断面図

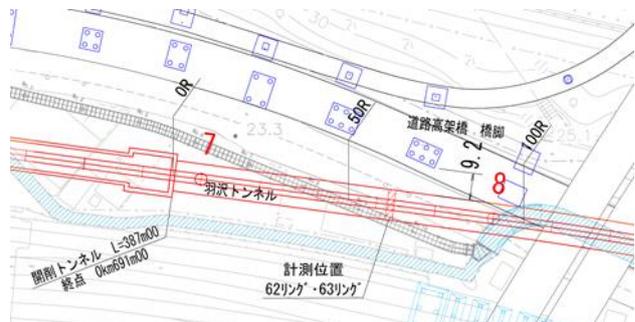


図-9 計測箇所平面図

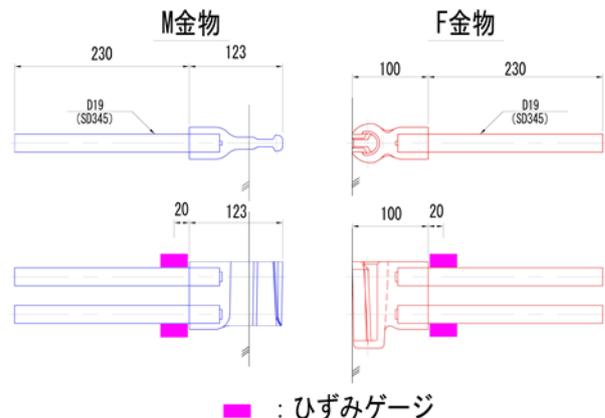


図-10 セグメント継手詳細図

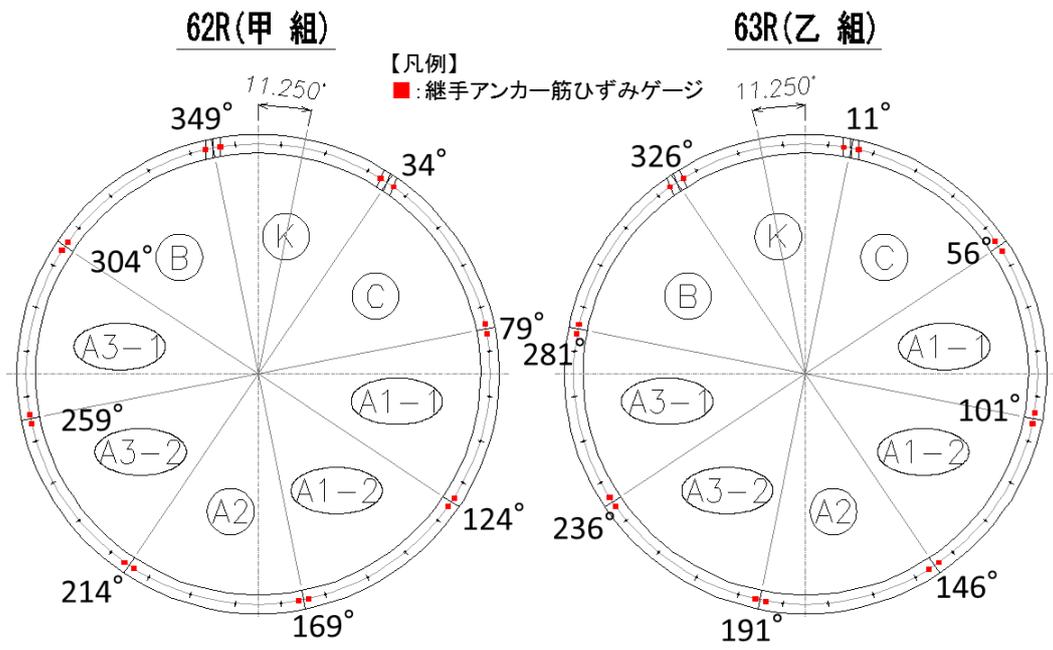


図-11 セグメント組立位置図 (切羽を見る)

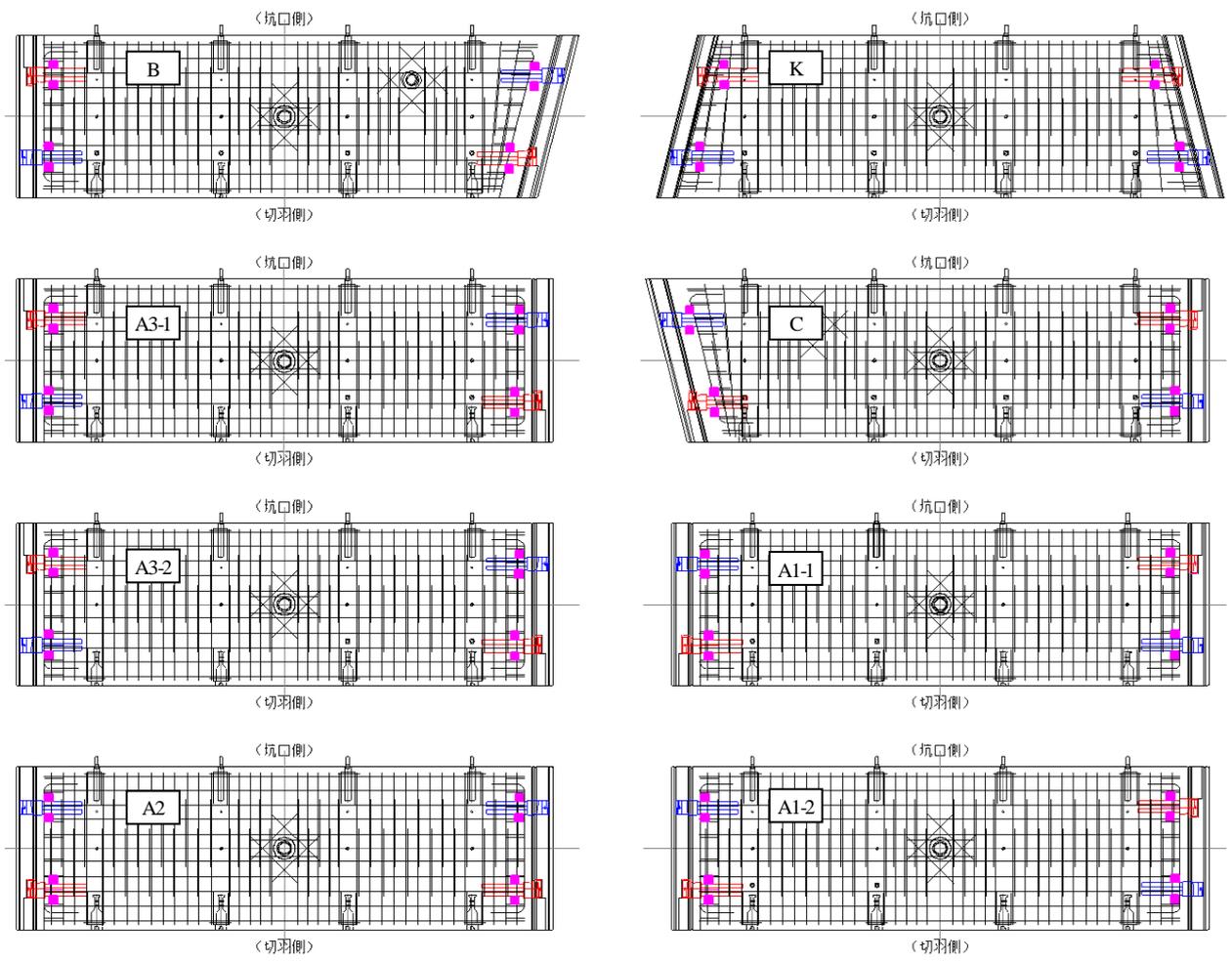


図-12 セグメント継手計測位置平面図

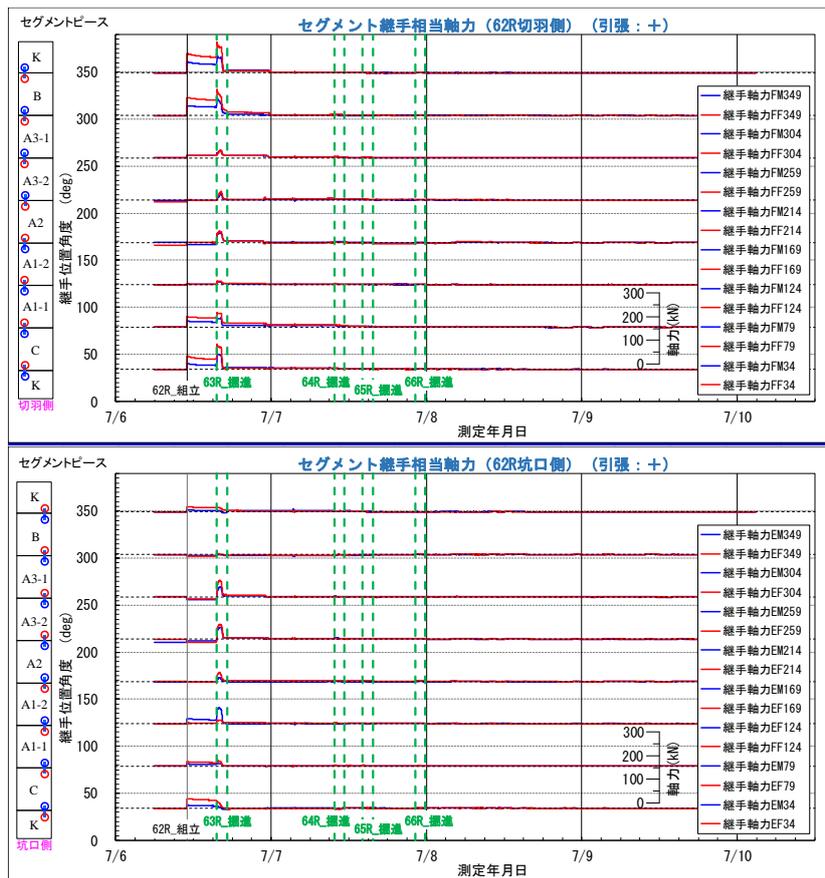


図-13 62リング アンカー筋軸力合計値経時変化図

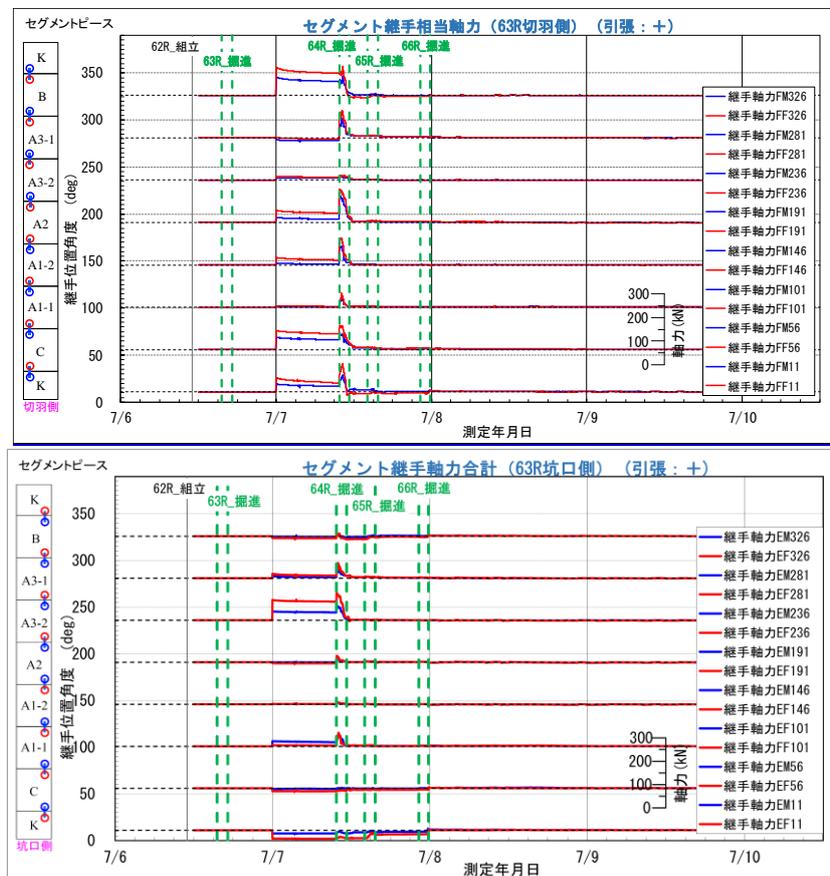


図-14 63リング 継手1か所あたりアンカー筋軸力経時変化図

表-1 計測リング組立後施工状況

	63リング	64リング	65リング	66リング
施工状況	62リング(計測)組立後の掘進	63リング(計測)組立後の掘進		
ジャッキ選択(掘進終了時)				
掘進速度	14mm/分	16mm/分	16mm/分	18mm/分
推力	30,731kN	32,381kN	31,012kN	29,385kN
切羽土圧(SL)	135kN/m <sup>2</sup>	136kN/m <sup>2</sup>	145kN/m <sup>2</sup>	137kN/m <sup>2</sup>

掘進速度、推力、切羽土圧はすべて、1リング施工中の時間平均である。

(2) セグメント計測の結果

計測リングである62, 63リングの組立直後の掘進である63~66リングにおけるジャッキ選択、掘進速度等の施工状況を表-1にまとめる。掘進速度は14~18mm/分程度、推力は30,000~32,000kNであり、計測期間中、変動が大きくなった事象は見られず、安定している。施工状況から、計測結果は、施工に伴う特異な現象の影響を受けたものではないと言える。

図-13と図-14にセグメント継手1か所あたりのアンカー一筋軸力(以下、継手相当軸力と呼ぶ)の測定結果の経時変化を示す。縦軸は軸力であり、継手の場所によって位置をずらして測定値を図化している。

図の凡例で、軸力の記号は、最初のアルファベットが切羽側Fか坑口側Eを、2番目のアルファベットがF金物、M金物を、数字が継手の位置を角度で示している。例えばFM349は、349度の位置の切羽側M金物の継手に作用する軸力を表している。

すべての継手金物で、計測リング組立直後の掘進時に測定値の変動が見られたが、セグメントが地山に出ると、測定値は収束している。また、計測リングを目視で確認したところ、目開きは見られず、セグメント本体で圧縮力が伝達され、継手には引張力が作用していないと考えられるため、収束時点(7月10日0時)の測定値を0kNとして整理している。図-15,16に各継手の継手相当軸力測定値の最大値をまとめた。以上の測定結果から、以下の事項が確認された。

【組立時の挙動】

- 継手相当軸力は坑口側よりも切羽側の方が大きい。
- M金物よりもF金物の方が継手相当軸力が大きい。

【掘進時の挙動】

- 組立後のリングの掘進で、掘進開始直後に継手相当軸力が増加するが、掘進途中で軸力が急激に低下する。

(3) 考察

前節で確認された測定結果について、考察する。

a) 継手相当軸力における坑口側と切羽側の違い

組立後のセグメントは、坑口側は前リングとリング継

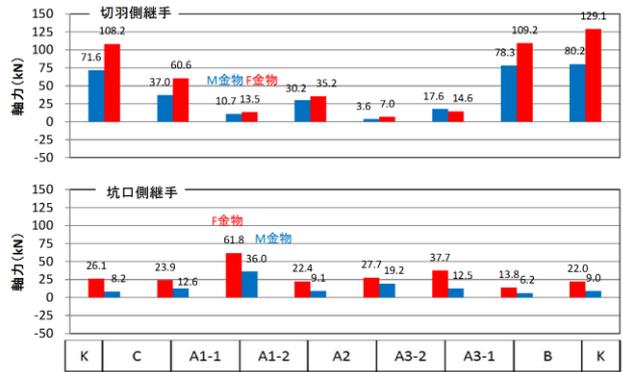


図-15 62リング継手相当軸力の最大値

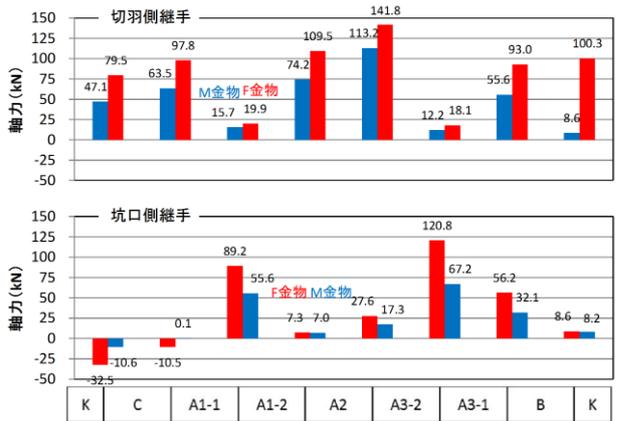


図-16 63リング継手相当軸力の最大値



図-17 コーンコネクター継手 (F金物)

手で拘束されている。このため、坑口側よりも切羽側の方が、測定値が大きくなるものと考えられる。

b) 継手相当軸力におけるM金物とF金物の違い

コーンコネクター継手のF金物には、金物に引張力が作用した際にセグメント本体を損傷しないように図-17のように緩衝材を張り付けているため、金物部分の付着力が作用しない。このため、F金物に比べてM金物ではアンカー筋に作用する引張力が大きくなったと考えられる。

c) 掘進開始後の継手相当軸力の低減

図-18は、62リングと63リングにおける継手相当軸力の掘進中の変化に注目し、ストロークごとの変化を示したものである。図中には、各リングで最も継手相当軸力が大きくなった継手軸力と掘進時の推力の変化を示して

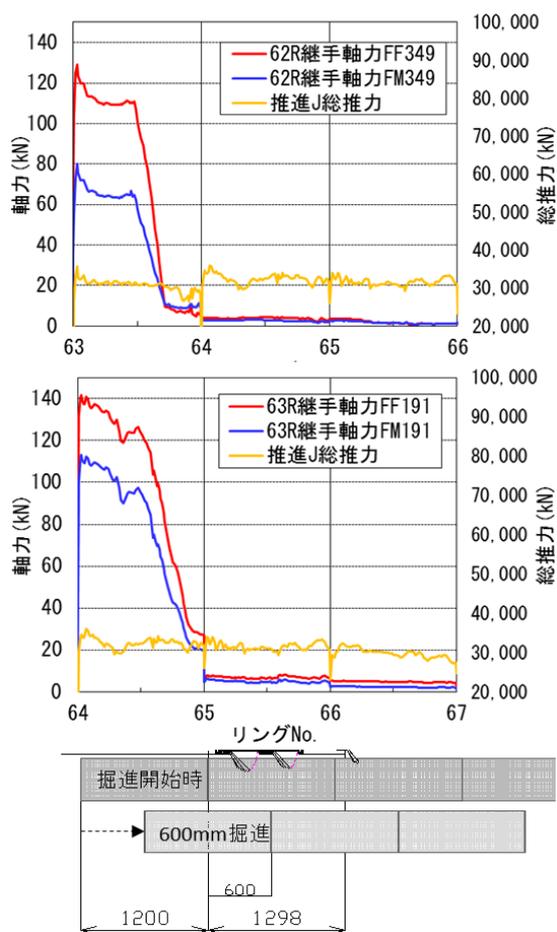


図-18 掘進ストロークと継手相当軸力

いる。横軸は掘進ストロークを示しており、組立中の測定値は図化されていない。

図-18によると、両リングとも掘進を開始した直後に最大の引張力が発生し、掘進ストロークで600mm程度進むと急激に軸力が低減し始め、次リングの掘進時には2～5kN程度となっている。これは、600mm掘進した時点で、計測リングがテールブラシによる締め付け効果を受けるためであり、さらに掘進が進むとテールを抜けて裏込め注入圧が作用したものと考えられる。

#### d) 継手相当軸力の測定値

62リングの最大軸力は129.1kN、63リングの最大軸力は141.8kNであり、それぞれ継手の降伏荷重198kNの65%と72%となった。

また、表-2のように、継手のひずみ量から各継手の目開き量を計算した結果、切羽側の目開きが大きくなり、最大目開き量は0.49mm、周長増分は2.10mm、半径増分は0.33mmとなった。

この結果、軸力は降伏荷重以下、半径増分が1mm以下という当初の目標を達成することができた。これらは、シールドジャッキの偏心によるたわみを抑制する対策の効果によるものと考えられる。

表-2 継手目開き量と半径増分量

計測リング	切羽側(mm)		
	最大目開き量 $\Delta Li$	周長増分 $\Sigma(\Delta Li)$	半径増分 $\Delta Rt$
62R	0.40	1.53	0.24
63R	0.49	2.10	0.33

## 5. おわりに

相鉄・東急直通線羽沢トンネルのセグメント区間では、ジャッキ偏心量が大きいため、シールドジャッキのトンネル外側への変形を防止する対策を実施した。この結果、シールドジャッキへの対策はセグメント継手の目開きを低減する効果があることが確認できた。セグメントの組立状況でも掘進に伴うセグメントのクラックや欠けは見られない。

比較的堅固な地盤で、かつ、大断面トンネルでは、テール内にある際のセグメント自重や施工時荷重の影響によりセグメントに生じる損傷に特に注意する必要がある。このため、過去のシールドトンネル工事では、テール内で強制的にセグメントに軸力を導入するため、セグメントとスキンプレートの間で膨張体を膨らます対策などが実施されてきている。

今回、羽沢トンネルで実施したシールドジャッキに摺動板をつけてジャッキのたわみを防止する方法は、シールドジャッキの偏心への対策として実施したが、テール内のセグメントリングの変形を抑制する点において、セグメント自重による変形を抑制する効果も期待できる。本対策は、非常に簡易な方法であるが、セグメントに対する施工時荷重を低減する方法として、有効な選択肢となると考える。

羽沢トンネルでは、平成29年8月現在、SENS区間の場所打ちコンクリートによる一次覆工を施工しているが、到達部で再びセグメントによる一次覆工を施工する。到達部では発進部に比べて土被りが大きく、推力がさらに上昇することが想定される。あらためて、摺動板による対策の効果を確認したいと考えている。

## 参考文献

- 1) 土木学会：シールドトンネルの施工時荷重（トンネル・ライブラリー（第17号））、丸善株式会社、pp.38, 2006.
- 2) 飯田廣臣、含水未固結地山におけるシールドを用いた場所打ち支保システムに関する研究、早稲田大学学位論文、pp.3, 2008.
- 3) 堀木雅之他：コーンコネクター（セグメント）継手の開発－要素試験（挿入・単体引張）－、土木学会

第 51 回年次講演会, pp.274, 1996. など

ールドセグメント技術協会 RCセグメント部会, 2014.

- 4) 田中篤史他：シールドトンネルセグメントのリング  
継手開発, 土木学会第 63 回年次講演会, pp.29, 2008.  
など
- 5) コーンコネクターセグメントパンフレット：日本シ

(2017.8.11 受付)

## A MEASURE AND AN EFFECT WITH A SEGMENT'S CRACK IN THE CASE OF A LARGE ECCENTRICITY OF THE SHIELD JACK

Atsuhiko TANANA, Nobuo KANEKO, Keizo CHISHIRO, Katsuyoshi MIZUHARA  
and Yuichi OMORI

At the Hazawa tunnel on the Sotetsu/Tokyu line, we use segments or cast-in-place concrete alternatingly as the tunnel lining depending on the construction conditions. On the segment lining section, the eccentricity length between the center of the shield jack and the center of the segment is extremely large. Therefore, we were anxious that segment rings might be deformed and especially the segment joints might be destroyed. For this reason, we carried out the measure against deformation of shield jacks and measured the tensile force of segment joints.

A large eccentricity of the shield jack is one of the biggest effects by constructions on segments and an effective measure is required generally. In this paper, we report the measure against the large eccentricity of the shield jack and measurements of segment joints on the Hazawa tunnel site.