

急曲線シールド出口部のRCセグメントに 生じたひび割れに関する一考察

蓮見 亮¹・花輪 高史²・吉本 正浩³・中村 智史⁴

¹東京電力株式会社 工務部 送変電建設センター (〒108-0023 東京都港区芝浦4-19-1)
E-mail:hasumi.akira@tepcoco.jp

²東京電力株式会社 工務部 送変電建設センター (〒108-0023 東京都港区芝浦4-19-1)
E-mail:hanawa.takashi@tepcoco.jp

³正会員 東京電力株式会社 工務部 送変電建設センター (〒108-0023 東京都港区芝浦4-19-1)
E-mail:yoshimoto.m@tepcoco.jp

⁴正会員 清水建設株式会社 土木東京支店 土木第二部 (〒104-8370 東京都中央区京橋2-16-1-10)
E-mail:s-nakamura@shimz.co.jp

曲率半径15mの曲線部を通過後、鉄筋コンクリート製セグメントの上側左部(向：切羽)のリング継手部周辺にひび割れが生じたため、ひび割れ発生要因の解明および施工時の対策を立案することを試みた。今回の報告では、曲率半径15mの曲線部の影響およびジャッキパターンによる偏心載荷の影響を、はりーばねモデルを用いて抽出し、検討を行った結果を報告する。解析結果をもとに照査を行い、セグメント上側左部に生じたひび割れが有害でないことを確認し、セグメントの上側左部のひび割れ発生要因が急曲線の影響とジャッキパターンの偏心載荷によるひび割れであることを推察した。

Key Words : acute-curve tunnel by shield tunnel , actual load condition , crack , jack's pattern

1. はじめに

近年、都市部のシールド工事では曲率半径30m以下の急曲線施工が頻繁に行われている。この急曲線部の一次覆工にはシールドの施工時荷重による損傷を防ぐため鋼製セグメント(以下、STセグメント)を割付けするのが一般的である。このSTセグメントの割付範囲は曲線の

開始点(以下、BC点)から終了点(以下、EC点)まではもちろんであるが、シールドとの緩衝区間として曲線前後の直線部にもSTセグメントをシールド0.5~1機長程度で設けるのが望ましいとされている¹⁾。

筆者らも東京都内において曲率半径15mの急曲線シールド工事(セグメント外径3.4m)を施工したが、EC点

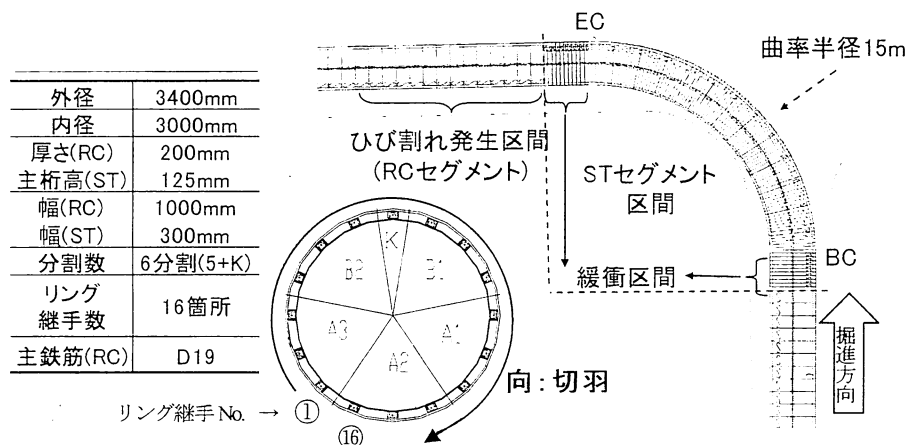


図-1 急曲線部の平面線形ならびにセグメント仕様・割付

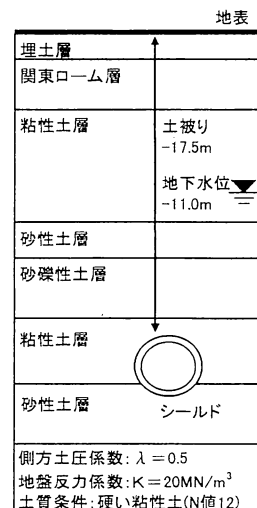


図-2 設計地盤条件

表-1 RCセグメント照査項目と各限界状態

荷重条件		常時	地震時	異常時	施工時
照査項目	RC部	応力度制限値以下 (コンクリート: $0.4f_{ck}$ 以下)	応力度制限値以下 (コンクリート: $0.85f_{ck}$ 以下)	最大耐力以下	応力度制限値以下 (コンクリート: $0.85f_{ck}$ 以下)
	継手部	(鉄筋: 降伏応力度)	(鉄筋: 降伏応力度)		(鉄筋: 降伏応力度)
変形性	内空変位 ^{※1}	D/150以下	D/150以下	D/100以下	D/150以下
	目違い量	1.0mm以下	1.0mm以下	1.5mm以下	1.0mm以下
	目開き量	0.5mm以下	0.5mm以下	2.0mm以下	0.5mm以下
耐久性	ひび割れ幅 ^{※2}	0.005c以下	—	—	—

※1 D: シールドトンネル内径(mm) ※2 シールドトンネル内空側, c: かぶり(mm)

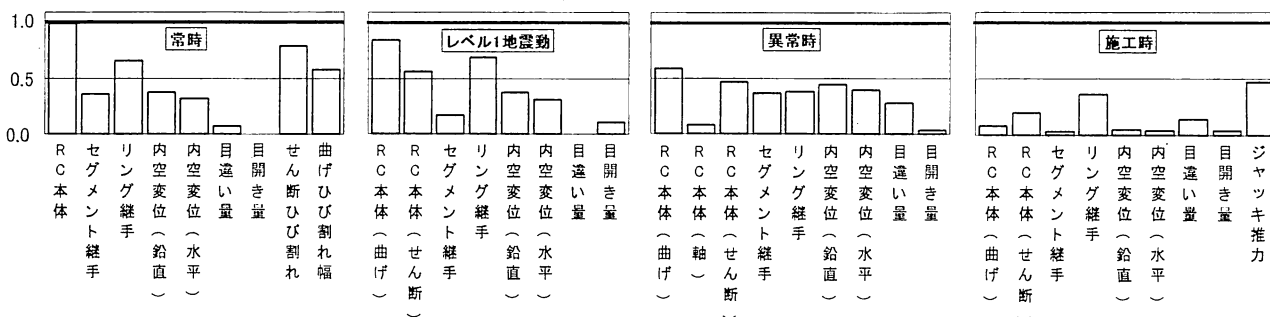


図-3 RCセグメント照査結果

ならびにSTセグメント緩衝区間を通過後の鉄筋コンクリート製セグメント（以下、RCセグメント）に若干のひび割れが発生した。本稿はこのひび割れ発生要因を施工状況などから分析し、損傷程度ならびに再発防止対策等について検討することを目的としている。

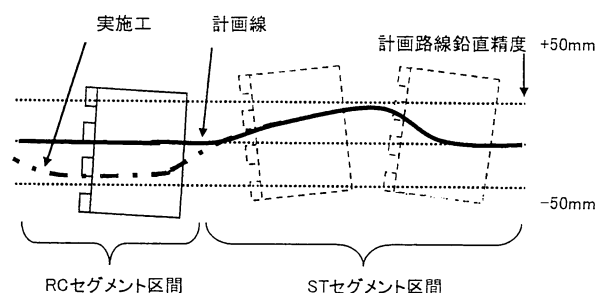


図-4 鉛直方向の掘進管理概念図

2. 工事概要および掘進管理規準

(1) 工事概要

本工事は泥土圧式シールド工法により施工を行った。シールド線形は各種構造物との安全な離隔を確保しつつ、地下鉄や既設埋設物などを考慮し、占用が可能な道路の形状に合わせた線形としているため、曲率半径15mの曲線部を含む施工を行う必要があった(図-1)。急曲線部のBC点・EC点にはそれぞれ3m(シールドマシン半機長)のSTセグメント緩衝区間を設けている。また、リング間およびセグメント継手は、鋼製ボックス継手(片側埋込み)を採用した。

(2) 限界状態設計法による設計結果

対象トンネルの地盤条件を図-2に示す。RCセグメントの設計は限界状態設計法を適用し、①常時、②地震時(レベル1)、③異常時、④施工時(テール圧、ジャッキ推力)を満足するように設計した。各部材の照査項目と限界状態を表-1のように定めた²⁹⁾。なお、耐久性の限界状態は一般環境とし、コンクリートのひび割れ幅の許容値を定めた。照査結果を図-3に示す。図-3の縦軸の値は照査値(応答値/表-1に示した限界値)を示しており、照査値の値が1.0を超えると照査は不合格となる。つま

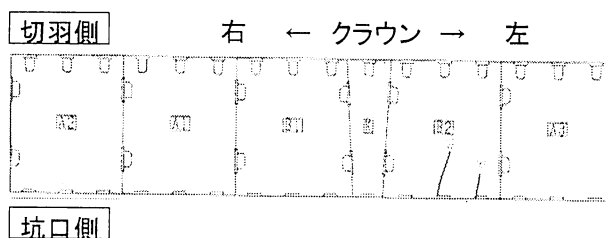


図-5 ひび割れ展開図

り、縦軸の値が1.0に最も近い部材がこのトンネルの断面を決定する部材となる。そして、このトンネルでは常時荷重に対するRCセグメント本体部の圧縮応力が断面決定要因になっていることがわかる。

(3) 鉛直方向の掘進管理

急曲線部の施工では、テールクリアランスをリング毎に計測を行い、マシンテール部とセグメントのせりが生じないように細心の注意を払った。また、図-4に鉛直方向の掘進管理の概念図を示す。急曲線掘進中にシールド、のカッターフェイス面に下がりが生じた場合、シールドの姿勢制御が困難であるため、計画路線を維持することができない。そのため、シールドの鉛直精度管理をつねに計画線より上側で行った。

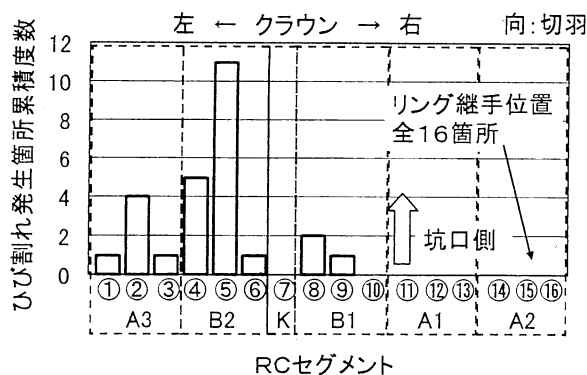


図-6 ひび割れ発生箇所累積度数分布

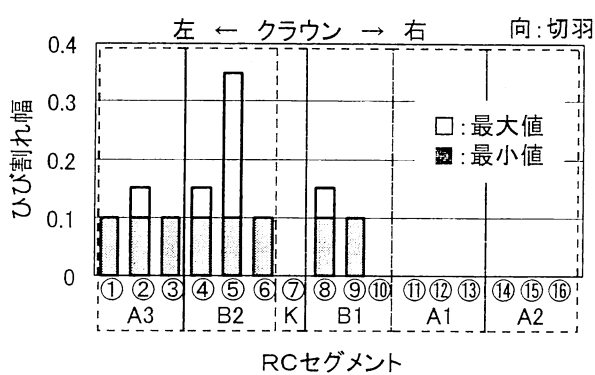


図-7 ひび割れ幅(最大値・最小値)

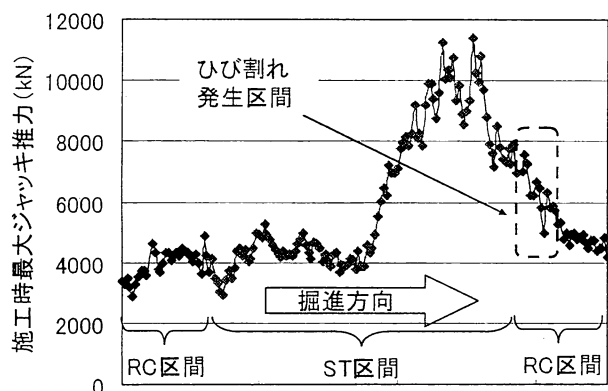


図-8 施工時の最大ジャッキ推力の推移

表-2 ジャッキ選択パターン、偏心量

ジャッキN0.												最大ジャッキ 推力	合力作用位置 (偏心量)
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫		
			○	○	○	○	○	○	○			7576kN	856mm
			○	○	○	○	○	○	○			7283kN	856mm
		○	○	○	○	○			○			6226kN	1091mm
		○	○	○	○	○	○	○				6232kN	856mm
		○	○	○	○	○	○	○				6681kN	1091mm
		○	○	○	○	○	○	○	○			6485kN	856mm
		○	○	○	○	○	○	○				5806kN	856mm
		○	○	○	○	○	○	○				5001kN	1091mm
		○	○	○	○	○	○	○				6321kN	1091mm
		○	○	○	○	○	○	○				5820kN	1091mm
		○	○	○	○	○	○	○				5896kN	1199mm
		○	○	○	○	○	○	○				5720kN	1091mm
		○	○	○	○	○	○	○				5274kN	1091mm

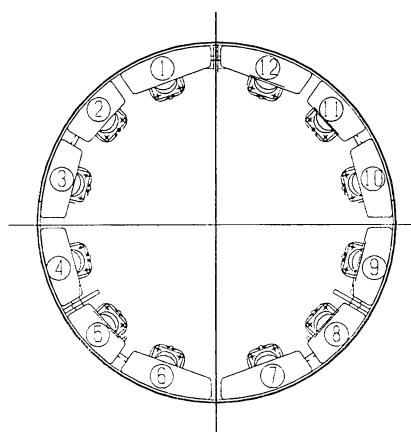


図-9 ジャッキ配置図

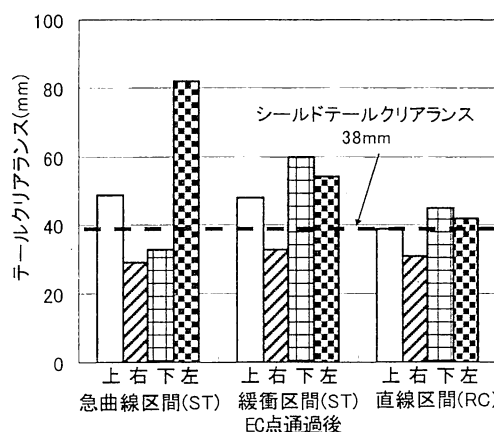


図-10 テールクリアランス

3. ひび割れ発生傾向および施工時データ分析

(1) ひび割れ発生箇所

STセグメントによる曲率半径15mの曲線部および緩衝区間(3m)を通過し、RCセグメントへと変更後、10リング程度の区間のリング上側左部(向:切羽)のリング継手周辺にひび割れが生じた。図-5にひび割れ展開図、図-6に各リング継手位置(表-1)に生じたひび割れ発生頻度、図-7にひび割れ幅(最大値・最小値)を示す。図-6よりひび割れは、上側左部(向:切羽)のB2セグメントの坑口側付近に発生していることがわかる。

(2) 施工時データ分析

ひび割れ発生要因を推定するために、ジャッキ推力・ジャッキパターン、テールクリアランスについて分析を行うとともに、ひび割れ発生時期と施工状況についてヒアリングを行った。図-8に急曲線部を含む各区間のジャッキ推力、表-2にひび割れが発生したRCセグメント区間のジャッキパターン、図-10に各区間のテールクリアランスの測定結果を示す。

図-8より、ひび割れ発生区間は、直線部と比較して総推力が高いことがわかる。一方で、ひび割れ区間の最大ジャッキ推力はシールド装備推力(12000kN)に対して、約6~7割程度であった。

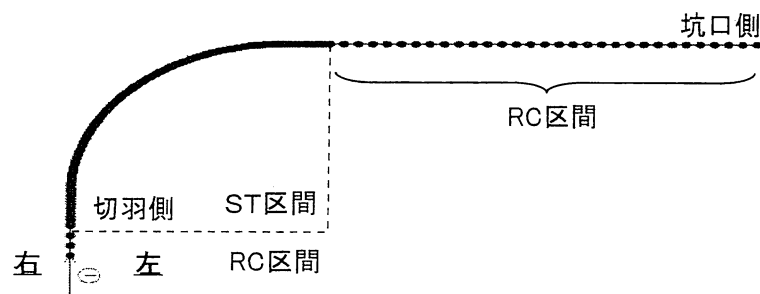


図-11 解析モデル①(平面)

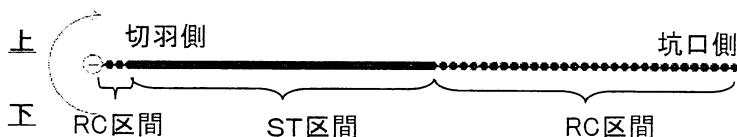


図-12 解析モデル②(縦断)

表-3 はりーばねモデルの解析条件

項目		
部材定数 (RCセグメント)	ヤング係数	33kN/mm ²
	断面積	2.01m ²
	断面二次モーメント	2.58m ⁴
	回転ばね定数	3.03*10 ⁶ kN・m/rad
部材定数 (STセグメント)	ヤング係数	210kN/mm ²
	断面積	0.102m ²
	断面二次モーメント	0.136m ⁴
	回転ばね定数	3.25*10 ⁹ kN・m/rad
地盤ばね	軸方向	11100kN/m ²
	軸直角	10600kN/m ²
荷重	軸力	7576kN
	曲げモーメント	7720kN・m

表-2, 図-9より, ジャッキパターンはセグメントリングに対して下側に集中していることがわかる. なお, 図-4に示すように計画線よりも実施工時は下方にシールドが位置したため, ひび割れ発生区間においてジャッキパターンが下側に集中したパターンとなったことがヒアリングよりわかっている. そのため, RCセグメントに対してジャッキ推力による軸力の他に偏心载荷による曲げモーメントが発生していたことが推察される.

これより, ひび割れ発生区間のマシンテール部では, テールクリアランスが適切に確保されており, マシンテールとRCセグメントの間にせりが生じていなかったことがわかる. なお, ひび割れ発生時期についてヒアリングを行った結果, ひび割れはRCセグメント組立後2リング目または3リング目(マシンテール通過後)以降で発生したことがわかった.

以上より, ひび割れ発生要因はシールド姿勢制御に伴う偏心载荷の影響による可能性が高いと考えられる.

4. 施工時状態のシミュレーション解析およびひび割れ発生要因

(1) 検討モデルおよび解析結果

ひび割れ発生要因と思われるセグメントリング間のボルトに発生する曲げモーメントおよびせん断力を算出するために, トンネル縦断方向の2次元はりーばねモデルを用いて, 解析を行った⁴⁹⁾. 解析条件を表-3に, 解析モデルを図-11および図-12に示す. なお, 今回の解析モデルは急曲線緩衝区間手前のRCセグメント30リングから急曲線緩衝区間通過後のRCセグメント3リング目の施工時状態をモデル化した.

表-3に示す地盤ばねはトンネル軸直角方向と軸方向に設置する. なお, マシンテール内の3リングには地盤ばねは設置しない. また, マシンテール後方の裏込注入材

未固化区間については, 先端部をゼロとし, 地盤ばね定数より直線補間でモデル化した.

図-11に示す解析モデル①は, ひび割れ発生区間施工時に生じた最大ジャッキ推力を载荷し, 急曲線部の影響を抽出するための平面モデルである. また図-12に示す解析モデル②は, 表-2に示すひび割れ発生区間施工時の最大ジャッキ推力に偏心量(ジャッキ6本使用)を乗じて算出された曲げモーメントを作用させ, 偏心曲げによる影響を抽出するための縦断モデルである. この2つのモデルより算出された各断面力を重ね合わせ, リング継手にかかる引張およびせん断力について検討を行う.

解析モデル①の結果を図-13に示す. 図-13より, 以下のことがわかる.

- ・ ジャッキ推力の影響は広範囲におよぶ. 曲げモーメントは急曲線区間で最大となり, EC点の緩衝区間通過後では, 曲げモーメントは減少する
- ・ せん断力は急曲線区間およびEC点で最大となり, EC点の緩衝区間通過後では減少する
- ・ 軸力はジャッキの作用位置において最大となる

解析モデル②の結果を図-14に示す. 図-14より, 以下のことがわかる.

- ・ ジャッキパターンにより生じる曲げモーメント並びにせん断力は, ジャッキの作用位置において最大となり, 急曲線区間では小さい. 影響範囲は切羽側のセグメントに限定される
- ・ 解析モデル①と比較して全体的に曲げモーメントおよびせん断力の絶対値が大きい

(2) ひび割れ損傷箇所の整合性

図-13および図-14のせん断力図より, セグメントリングに生じているせん断変位方向と実際に生じたひび割れ損傷箇所の整合性を確認する⁹⁾. 結果を図-15および図-16に示す. EC点および緩衝区間(STセグメント)通過後のRCセグメント3リングのせん断力は, 解析モデル①では

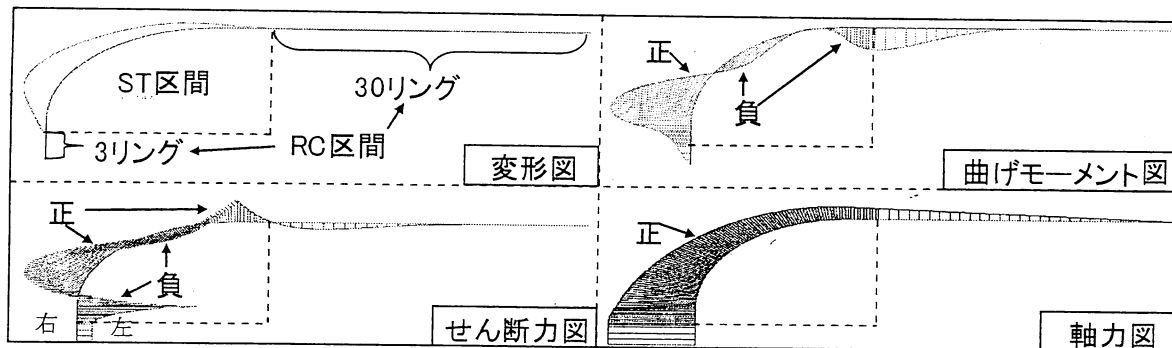


図-13 解析モデル①の結果(平面)

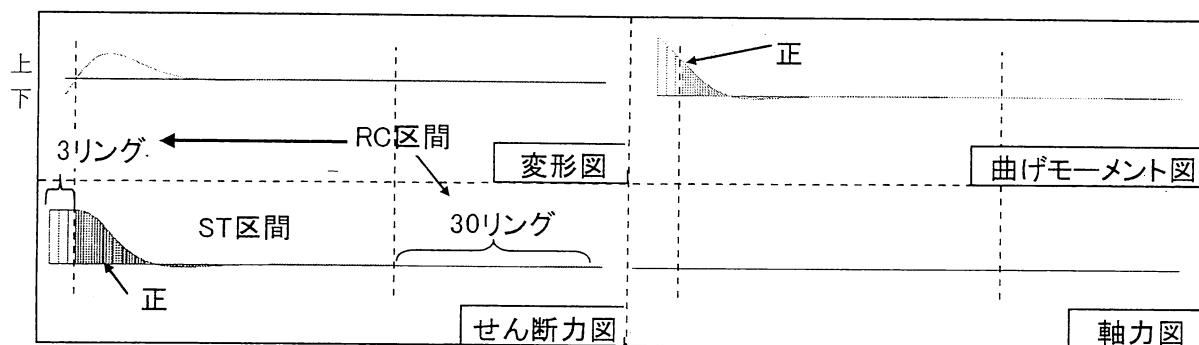


図-14 解析モデル②の結果(縦断)

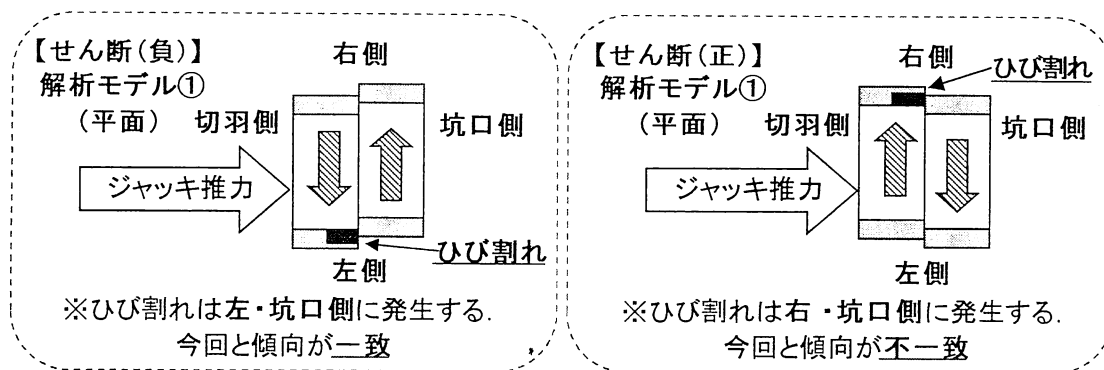


図-15 解析モデル①(平面) ひび割れ発生箇所の整合性の確認

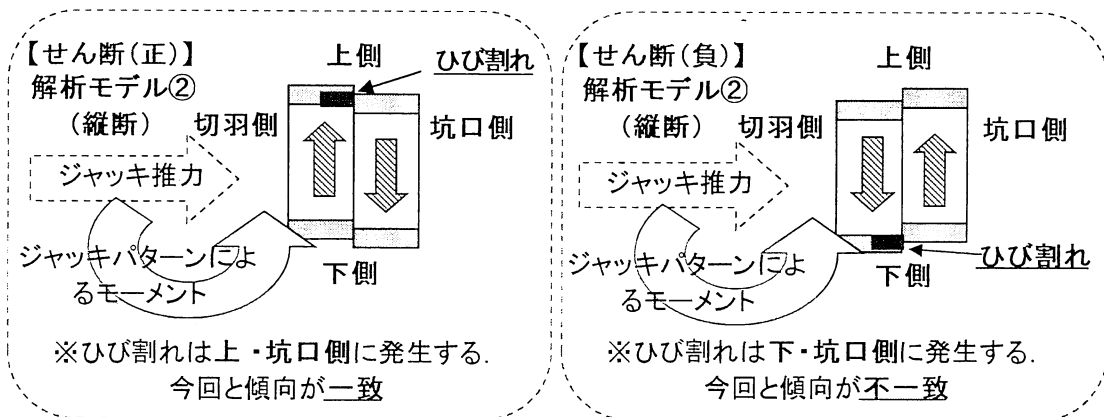


図-16 解析モデル②(縦断) ひび割れ発生箇所の整合性の確認

負であり、解析モデル②では正であることが確認できる。解析により得られたRCセグメント3リングのせん断変位方向は坑口側付近の上側左部(向：切羽)のリング継手周辺にひび割れを発生させる傾向にあり、今回生じたひび割れと整合性を確認することができた。よって、上側

左部(向：切羽)に発生したRCセグメントのひび割れの主原因は急曲線部およびシールド姿勢制御に伴う偏心载荷の影響が複合的に作用し、発生したひび割れである可能性が高いと推察される。

表4 断面力の重ね合わせ(平面・縦断)

		①急曲線の影響			②偏心により生じる 曲げモーメントの影響			重ね合わせ		
		曲げ モーメント (kN.m)	せん断力 (kN)	軸力 (kN)	曲げ モーメント (kN.m)	せん断力 (kN)	軸力 (kN)	曲げ モーメント (kN.m)	せん断力 (kN)	軸力 (kN)
ST	急曲線 区間	574	-112	4560	520	538	0	1094	426	4560
		550	-146	4640	668	591	0	1219	445	4640
		518	-183	4719	830	646	0	1348	463	4719
		476	-224	4799	1007	703	0	1483	479	4799
		422	-273	4868	1197	754	0	1619	481	4868
		355	-196	4945	1402	807	0	1756	610	4945
	緩衝 区間	302	-158	5030	1653	868	0	1954	710	5030
		258	-132	5090	1920	913	0	2178	780	5090
		222	-107	5151	2200	957	0	2422	850	5151
		194	-83	5213	2494	1002	0	2688	919	5213
		171	-70	5249	2799	1029	0	2970	959	5249
		152	-57	5286	3112	1055	0	3263	998	5286
		136	-45	5323	3432	1080	0	3568	1035	5323
		124	-41	5336	3757	1088	0	3881	1047	5336
		112	-37	5348	4085	1095	0	4197	1058	5348
		101	-34	5360	4414	1102	0	4516	1068	5360
		68	-34	5360	5516	1102	0	5584	1068	5360
		34	-34	5360	6618	1102	0	6652	1068	5360
RC	直線 区間									

表5 計算条件

	項目	
部材定数・形状 (RCセグメント)	ヤング係数	33kN/mm ²
	外半径	170cm
	内半径	150cm
	ボルト位置の半径	157cm
部材定数 (リング継手) (M22)	ヤング係数	210kN/mm ²
	断面積(1本あたり)	3.03cm ²
	本数	16本
	総断面積	48.48cm ²
荷重	軸力	5527kN
	曲げモーメント	6696kN・m
	せん断力	1026kN

表6 リング継手(ボルト)の計算結果

コンクリート圧縮応力度
$7.9\text{N/mm}^2 < 24\text{N/mm}^2$
ボルト引張応力度(1本)
$68.9\text{N/mm}^2 < 570\text{N/mm}^2$
せん断応力度
$0.18\text{N/mm}^2 < 1.1\text{N/mm}^2$

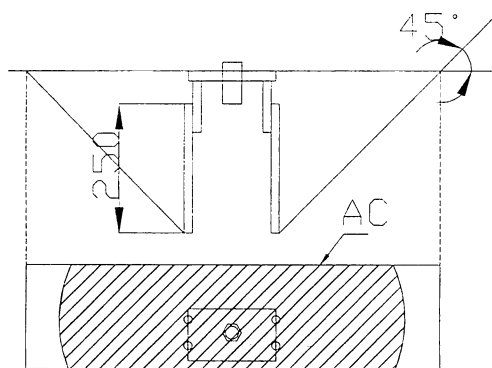
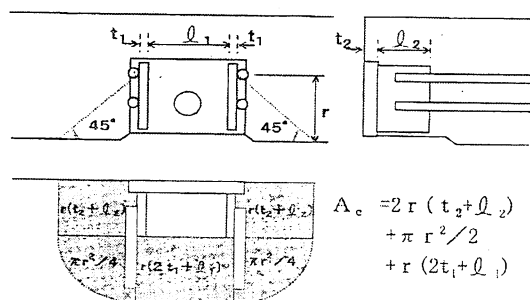


図-17 定着筋のコーン破壊の有効投影面積

図-19 リング継手部のコンクリートの有効投影面積⁸⁾

$$A_c = 2r(t_2 + l_2) + \pi r^2/2 + r(2t_1 + l_1)$$

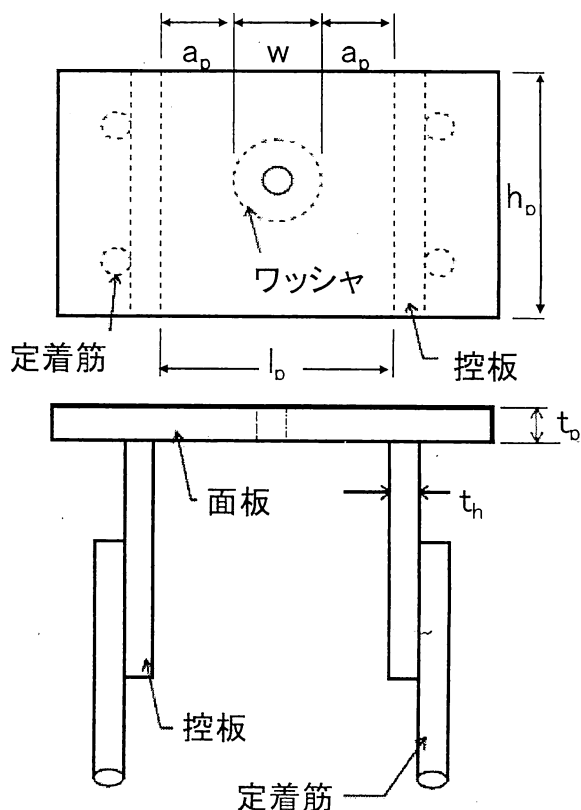


図-18 継手板と定着筋等の詳細図

5. リング継手の損傷程度の判定

(1)リング継手に生じた引張力に対する照査

リング継手の損傷程度の確認を行うため、トンネル横断方向の断面計算を行い、リング継手に生じている引張力を算出した。使用する断面力は解析モデル①および解析モデル②から得られた断面力を重ね合わせたもの(表-4)を用いた。計算条件を表-5に示す。なお、ひび割れ発生時期のヒアリング結果より、断面力はRCセグメント組立後2リング目に生じた断面力を用いた。リング継手

(ボルト)の計算結果を表-6に示すが、ボルトの短期の許容応力度からみると値は小さく、問題ないことがわかる。

つぎにリング継手(ボルト)の引張力を作用させ、コンクリートに定着された埋込型ボルトボックス部の定着筋の照査を行う。この破壊モードとして、式(1)に示す定着筋のコーン破壊、式(2)に示す定着筋の降伏、式(3)に示す継手板の降伏がある。以下に各破壊モードの耐力算定式を示す⁷⁾。図-17に式(1)に用いる有効水平投影面積、図-18に式(3)に用いるボルトボックスの詳細図を示す。なお、式(1)の右辺の係数0.7は、ひび割れを使用限界程度に抑制するためのものである。

$$P_{a1} = 0.7 \times 0.23 f_c^{\frac{2}{3}} \times A_c \quad (1)$$

$$P_{a2} = \sigma_y \times \sigma_{sc} \quad (2)$$

ここに、 P_{a1} ：リング継手のコーン破壊耐力(kN)、 P_{a2} ：定着筋の引張耐力(kN)、 f_c ：コンクリートの圧縮強度(実強度)(N/mm²)、 A_c ：コンクリートのコーン破壊面の有効水平投影面積(mm²)、 σ_y ：鉄筋の降伏応力度(N/mm²)、 σ_{sc} ：鉄筋の公称断面積(mm²)。

$$T_{y1} = \frac{24I(6l_p^2 - 2w^2)}{t_p(2l_p - w)(3l_p^2 - w^2)} \sigma_{sy1} < T_{y2} = A_b \sigma_{sy1} \quad (3)$$

ここに、 l_p ：控え板間隔(mm)、 a_p ：座金端から控え板までの距離(mm)、 w ：座金幅(mm)、 h_p ：継手板高さ(mm)、 t_p ：継手板厚さ(mm)、 I ：断面2次モーメント(mm⁴)、 σ_{sy1} ：鋼材の降伏応力度(N/mm²)、 A_b ：ボルトの断面積(mm²)、 σ_{sy2} ：ボルトの降伏応力度(N/mm²)、 T_{y1} ：継手板の引張降伏耐力(kN)、 T_{y2} ：ボルトの引張降伏耐力(kN)

リング継手の各破壊モードの引張耐力とリング継手に生じる引張力との照査結果を図-20に示すが、各破壊モードとも0.2程度であり、有害な損傷程度にないと考えられる。

(2) リング継手に生じたせん断力に対する照査

つぎにリング継手のせん断力に対する損傷程度の確認を行う。使用するリング継手1つあたりの発生断面力は表4より得られたせん断力をリング継手数で除した値とした。計算条件を表5に示す。リング継手のコンクリートせん断ひび割れ耐力は式(4)より算出した。図-19に有効水平投影面積を示す⁸⁾。

$$Q_{cc} = 0.7 \times 0.23 f_c^{\frac{2}{3}} \times A_c \quad (4)$$

ここに、 Q_{cc} ：リング継手部のせん断ひび割れ耐力(kN)、 f_c ：コンクリートの圧縮強度(実強度)(N/mm²)、 A_c ：継手あたりの有効水平投影断面積(mm²)

リング継手のせん断ひび割れ耐力とリング継手部1つあたりに生じるせん断力との照査結果を図-20に示すが、照査値は0.5程度であり、有害な損傷程度にないと考えられる。

6. リング上側左部に生じたひび割れに対する考察

本工事に於いて発生した上側左部(向：切羽)のリング継手周辺に生じたひび割れについて照査を行った結果、図-20より、照査値1.0を超えていないため有害なひび割れが発生するレベルにはないことが確認された。

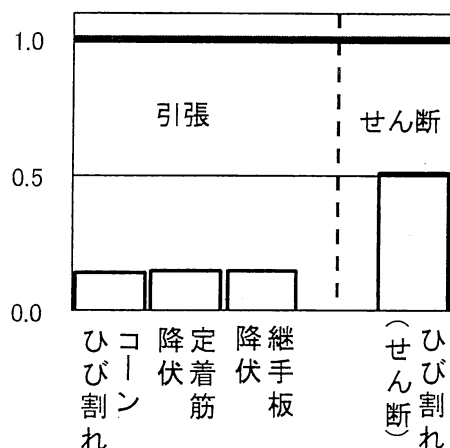


図-20 引張およびせん断力に対する照査結果

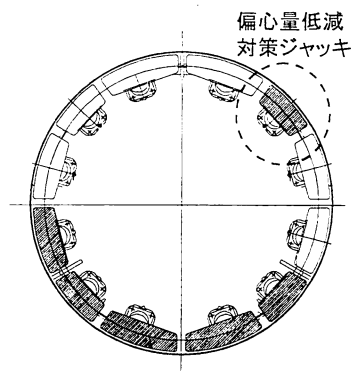


図-21 施工時対策案

ただし、せん断照査結果として0.5という値が得られていることから、有害なひび割れは発生しないが有害でないひび割れが発生することは考えられる。また、施工時の状況を踏まえたうえで以下のようなひび割れ発生要因も推察がされる⁹⁾。

- ① シールドの姿勢制御を行うために下方のジャッキを集中して使用したことにより、リング間のコンクリート面の摩擦拘束はセグメント上部よりも下部の方が大きいことが考えられる
- ② セグメント下部はリング継手の他に、コンクリート面の摩擦拘束が考えられるため、リング間にせん断力が発生した場合にせん断変形が生じにくい状態にあった
- ③ セグメント上部はコンクリート面の摩擦拘束が下部よりも低いことが考えられるため、リング間の拘束は継手の負担が大となる。そのため、リング間にせん断力が生じた場合、セグメント上部はせん断変形しやすい状態であり、ひび割れが発生した
- ④ リング継手部のせん断照査で用いたせん断力は、リング継手全てに均等に生じると仮定した。しかし、実施工では上記のようにジャッキ推力の載荷位置により、コンクリート面の摩擦拘束が異なることが考えられるため、リング継手が受け持つせん断力も偏

りが生じていた事も要因の一つとして考えられる

7. 施工時の留意点

本稿より得られた知見より、今後同様のひび割れを防止するための施工上の対策を以下に示す。

- ・ シールド姿勢制御に伴う偏心載荷および急曲線部の影響を考慮して、EC点通過後のSTセグメント緩衝区間を設けること
- ・ シールド姿勢制御に伴い、ジャッキパターンの偏りがさけられない場合には、偏心量を低減させるジャッキを、図-21に示すようにあて、ジャッキ推力により生じる曲げモーメントおよびせん断力を極力抑えること

8. おわりに

本工事は、平成23年12月に掘進管理・掘進精度を全て満たした上で、施工は完了している。リング上側左部(向：切羽)のリング継手周辺に生じたひび割れも、施工時のデータを用いて各照査を行ったうえで、有害な損傷程度にないことを確認しており、現在ひび割れからの漏水もなく、品質の高いトンネルを施工することができた。

一次覆工にRCセグメントを用いた場合、ひび割れを完全に防ぐことは困難である。とくに急曲線施工部付近では、マシンテールとセグメントのせり、テール圧、ジャッキパターンによる偏心載荷などさまざまな施工時荷重がセグメントに作用するため、ひび割れの発生はある程度許容し、事後補修で対応する場合もある。しかし、今回のひび割れは曲率半径15mの曲線部および緩衝区間

(3m)を通過後のRCセグメントのリング上側左部(向：切羽)に同じような傾向をもって生じたひび割れであり、発生要因の解明と対策を提案することを試みたものである。本稿が今後品質の高いシールドトンネルを施工するための参考になれば幸いである。

謝辞：本報告の検討にあたり、多大な御指導と御助言を頂いた方々に、末筆ながら誌面を借りて心から謝意を表する次第です。

参考文献

- 1) 中村 益美, 松浦 将行, 沢里 能雄：大深度シールドトンネルの施工時荷重とその対策, トンネルと地下, 第34巻1号, pp.35-41, 2003.1
- 2) 土木学会：トンネル・ライブラリー第23号セグメントの設計【改訂版】, 土木学会, 2010.
- 3) 吉本 正浩, 阿南 健一, 大塚 正博, 小泉 淳：地中送電用シールドトンネルの性能規定と限界状態設計法による照査, 土木学会論文集, No.764/III-67, 255-274, 2004.6
- 4) 小山幸則, 小西真治, P.S.Jovanovic, 橋本正：シールドトンネルに施工時荷重が及ぼす影響, トンネルと地下, 第33巻8号, pp.35-43, 2002.8
- 5) 木村稔, 塩谷清司, 児玉守広：急曲線シールドトンネルの軸方向設計, 電力土木, No.242, pp.33-40, 1992.11.
- 6) 山崎剛, 小泉淳：セグメントリング継手の損傷分析と対策, トンネルと地下, 第39巻2号, pp.47-57, 2008.2
- 7) 日本建築学会：各種合成構造設計指針同解説, 日本建築学会, pp.191-202, 1985
- 8) 吉本 正浩, 阿南 健一, 大塚 正博：シールドトンネルの施工荷重の照査方法に関する一提案, 土木学会論文集, No.756/IV-62, 131-144, 2004.3
- 9) 村井稔生, 焼田真司, 津野究, 新井泰, 吉川和行：シールドトンネル掘進時の施工時荷重に関する実験的研究, トンネル工学報告集, 第20巻, pp.293-298, 2011.11

(2012. 9.3 受付)

A CASE STUDY ON RC SEGMENT DAMAGE DURING ACUTE-CURVE EXIT CONSTRUCTION OF SHIELD TUNNEL

Akira HASUMI, Takashi HANAWA, Masahiro YOSHIMOTO
and Satoshi NAKAMURA

This paper consider to relation between the thrust force of shield jacks, acute-curve construction load and cracks in the shield tunnel construction. The analysis modeled the ring made from RC segment and radius of 15 meters of ST segment by ring beam-spring model. This analysis concentrated on cracks caused by thrust force and jack's pattern, but, this analysis confirmed that cracks is not harmful. As a result, the construction was safely reopened and completed.