

覆工の背面形状や厚さが温度ひびわれに及ぼす影響に関する解析的検討

鈴木 正寛¹・西浦 秀明²・桜井 邦昭³・馬場 弘二⁴・志村 泰広⁵

¹正会員 (株)大林組 東京本店 樽峠トンネル北工事事務所
(〒409-2102 山梨県南巨摩郡南部町富士22297)
E-mail : suzuki.masahiro.ro@obayashi.co.jp

²正会員 (株)大林組 大阪本店 天ヶ瀬減勢池部JV工事事務所
(〒611-0033 京都府宇治市大久保町上ノ山53番地9)
E-mail : nishiura.hideaki@obayashi.co.jp

³正会員 (株)大林組 技術本部 技術研究所 生産技術研究部 (〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640)
E-mail : sakurai.kuniaki@obayashi.co.jp

⁴正会員 中日本高速道路(株) 八王子支社 甲府保全・サービスセンター
(〒409-3866 山梨県中巨摩郡昭和町西条2858)
E-mail : k.baba.aa@c-nexco.co.jp

⁵正会員 中日本高速道路(株) 東京支社 秦野工事事務所 (〒257-0017 神奈川県秦野市立野台1-4)
E-mail : y.shimura.aa@c-nexco.co.jp

覆工背面の凹凸形状や覆工厚さが覆工コンクリートの温度ひびわれに及ぼす影響について2次元および3次元モデルを用いた温度応力解析により基礎的に検討した。その結果，覆工が背面の地山や吹付けコンクリートに直接拘束される条件では，覆工厚さがほぼ設計通りでも，覆工の背面形状が凹型の箇所において，局所的に応力が増大しひびわれが生じる危険性が高まることを確認した。さらに，トンネルの貫通に伴い坑内気温が急激に低下した際にも，それらの拘束の影響によりひびわれが生じやすくなることを示した。一方，防水シートを設置することで，地山や吹付けコンクリートによる拘束が大幅に緩和されることも確認した。

Key Words : lining, thermal crack, thermal stress analysis, uneven shape, waterproofing sheet

1. はじめに

覆工コンクリートは，基本的に無筋構造物であることから，覆工にひびわれが生じると，コンクリート片のはく離やはく落を招く危険がある。そのため，覆工の耐久性を確保する上で，施工に起因したひびわれの発生を防ぐことは重要である。

近年では，3次元FEMモデルを用いた温度応力解析により，施工に起因する温度ひびわれを事前に照査する手法が汎用化され，覆工コンクリートにも広く適用されている。しかし，低発熱型セメントや膨張材を使用する材料面，専用の設備を用いて保温もしくは湿潤養生を行う養生面の対策による効果を検証する機会が多い。

一方で，大半の山岳トンネルは，発破工法で掘削を行うため，吹付けの仕上がり面は平滑ではなく凹凸が生じ

たり，覆工厚さが設計に対し厚くなる場合が多いが，これらの要因が温度ひびわれに及ぼす影響を検討した事例は少ない。

そこで，本報告では，とくに発破工法による掘削や吹付けコンクリートの施工に伴い，覆工コンクリートの背面が凹凸形状となること，および覆工厚さが設計厚さに対して厚くなること，温度ひびわれの発生に及ぼす影響について検討することにした。

まず，2次元の要素モデルを用いて覆工の凹凸の程度が温度ひびわれに及ぼす影響を基礎的に検討した。その後，実際のトンネル覆工の断面を模擬した3次元モデルを用いて詳細に検討した。さらに，トンネルの貫通に伴う坑内温度の低下が温度ひびわれの発生を助長する影響，ならびに防水シートの設置が地山や吹付けコンクリートによる拘束を緩和する効果についても検討を加えた。

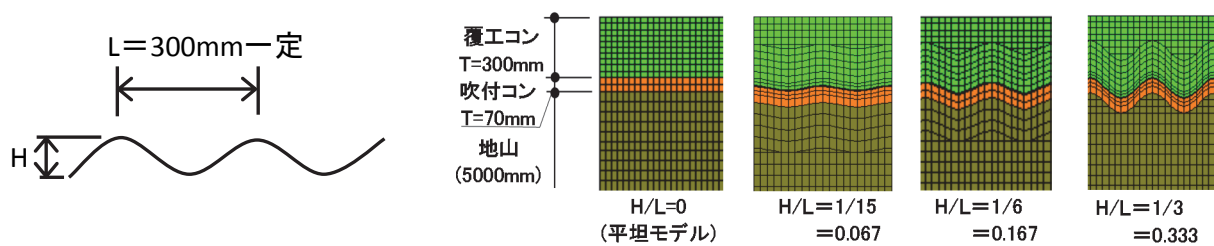


図-1 2次元の要素モデルの概要

2. 2次元の要素モデルを用いた検討

覆工背面の凹凸形状が温度ひびわれに及ぼす影響を基礎的に検討するために、図-1に示す2次元の要素モデルを用いて解析した。凹凸の頂点間隔(L)を300mmで一定として深さ(H)を変化させたモデルを用い、凹凸のない平坦モデル(H=0)と凹凸の程度(H/L)を1/15、1/6および1/3とした4ケースについて検討した。さらに、ロックボルトの先端が突出した場合についても検討した(図-4)。

なお、温度応力解析に用いた諸条件(入力条件および算定式)は、3章で後述するものと同様である。

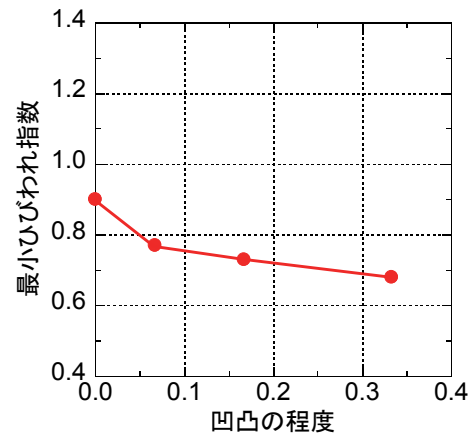


図-2 凹凸の程度と最小ひびわれ指数の関係

(1) 覆工背面の凹凸の影響

凹凸の程度と最小ひびわれ指数の関係を図-2に示す。凹凸の程度が大きいほど、ひびわれ指数が小さくなる。

平滑断面(H=0)と凹凸の程度H/L=1/3における最小ひびわれ指数の分布図を図-3に示す。凹凸を有するモデルでは、覆工コンクリートが凸型の部分でひびわれ指数が大きくなる一方で、凹型となっている部分においてひびわれ指数が小さくなっている。覆工コンクリートが収縮する際に、吹付けコンクリートの凸型部分において引っ掛かりが生じ、覆工コンクリートに生じるひずみや応力が増加するためと推測される。

なお、土木学会の吹付けコンクリート指針(案)¹⁾では、覆工背面の空洞防止、巻厚の確実な確保、およびひびわれ防止の観点から、吹付けコンクリートの仕上げ面は平滑に仕上げなければならないとし、平滑度の目安として $H/L \leq 1/6$ が望ましいと記述している。本検討では、凹凸の程度が大きいほどひびわれ指数は小さく、指針に示される推奨値を境とする明確な差異は認められなかった。

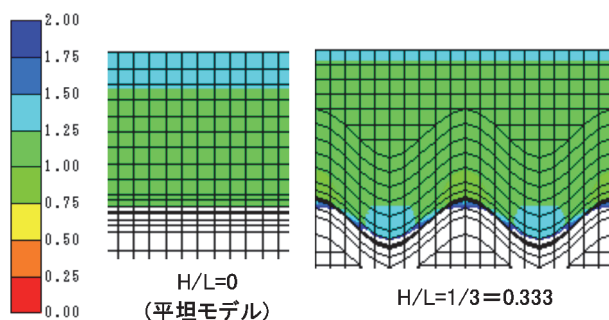


図-3 凹凸の有無による最小ひびわれ指数の分布図

(2) ロックボルトの突出の影響

ロックボルトの突出の有無によるひびわれ指数の分布図を図-4に示す。ロックボルトの突出の有無によらず、ひびわれ指数の最小値は0.8程度であった。一方、図-5に示すように、ロックボルト突出部の周辺を拡大して観察すると、そのごく周辺では、ひずみが増大していることが確認された。解析モデルの影響もあるとは考えられるが、今回の検討結果を踏まえると、ロックボルトの突出が覆工コンクリートのひびわれに及ぼす影響はきわめて

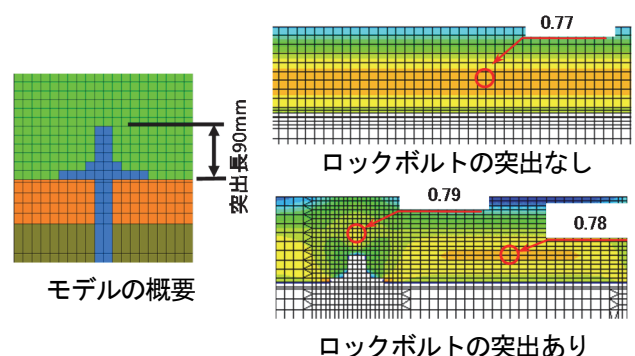


図-4 ロックボルト突出有無の最小ひびわれ指数分布図

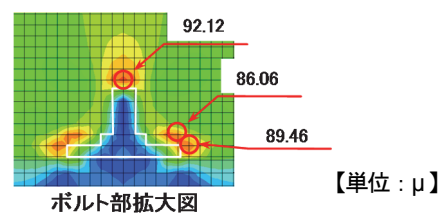


図-5 ロックボルトの突出部周囲のひずみの分布図

表-1 検討ケース

ステップ	検討要因	検討ケース	名称	概要
1	覆工背面の凹凸形状と覆工厚さ	ケース①	標準断面	一樣な設計断面厚さ(30cm)を有するモデル
		ケース②	凹凸断面	トータルステーションにより計測した実際の掘削断面形状を有するモデル
		ケース③	覆工厚さ増加断面	ケース②の着目部位Aと同じ断面厚さ(39cm)を一樣に有するモデル
		ケース④		ケース②の着目部位Bと同じ断面厚さ(32cm)を一樣に有するモデル
		ケース⑤		ケース②の着目部位Cと同じ断面厚さ(65cm)を一樣に有するモデル
2	トンネル貫通に伴う温度降下	ケース①	標準断面	一樣な設計断面厚さ(30cm)を有するモデル
		ケース②	凹凸断面	トータルステーションにより計測した実際の掘削断面形状を有するモデル
3	防水シートの設置有無	ケース①	標準断面	一樣な設計断面厚さ(30cm)を有するモデル
		ケース②	凹凸断面	トータルステーションにより計測した実際の掘削断面形状を有するモデル

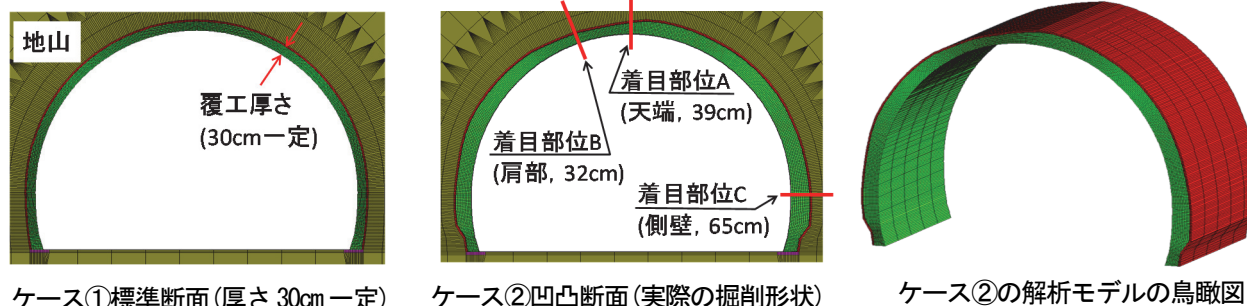


図-6 解析モデルの概要

限定的と考えられる。実施工では、ロックボルト頭部に保護キャップや緩衝マットを設置する対策を講じることから²⁾、さらに影響は少なくなっていると推測される。

3. 3次元モデルによる検討

(1) 検討ケース

検討ケースを表-1に、解析モデルの断面図を図-6に示す。検討は3つのステップに分けて実施した。

ステップ1では、覆工背面の凹凸形状や覆工厚さが温度ひびわれに及ぼす影響について検討した。中部横断自動車道樽峠トンネル北工事において建設中のトンネル(鋼製支保工を用いない支保パターンCⅡ-a区間)を対象に、ケース①設計断面厚さ(30cm)を有する「標準断面」、ケース②トータルステーションを用いて吹付けコンクリートの仕上がり形状をトンネル周方向に50cmピッチで計測した実際の掘削断面形状を有する「凹凸断面」、およびケース②における着目部位A～Cの覆工厚さと同じ厚さを一樣に有するケース③～⑤の「覆工厚さ増加断面」について検討した。なお、今回の検討では、トンネル周方向の凹凸の影響に着目し、延長方向は同じ形状の断面としてモデル化した。

ステップ2および3では、ステップ1のケース①およびケース②と同じモデルを用い、トンネルの貫通に伴い坑内温度が急激に低下することが温度ひびわれの発生に及ぼす影響、ならびに防水シートの設置による地山や吹付

表-2 解析条件の概要

項目		解析に用いた値および算定式
施工条件	坑内温度	20℃(標準的な施工時期を想定)
	打込み温度	20℃(同上)
	養生条件	特別な養生はしない(熱伝達率14(W/m ² ℃))
材料条件	コンクリート配合	実工事に適用した配合(表-3)
	発熱特性	コンクリート標準示方書 ³⁾ に示される算定式
	圧縮強度	同上
	引張強度	同上
	弾性係数	同上
	自己収縮ひずみ	同上
	線膨張係数	10 μ/℃(標準示方書 ²⁾ に示される値)
	熱伝導率	2.7W/m℃(同上)
	比熱	1.15kJ/kg℃(同上)

表-3 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
		W	C	LS	S	G
51.5	47.2	175	340	100	789	898

*C: 普通ポルトランドセメント, LS: 石灰石微粉末

けコンクリートによる拘束の低減効果について検討した。

(2) 解析手法および解析条件

解析条件の概要を表-2に示す。温度応力解析は、土木学会2012年制定コンクリート標準示方書³⁾に準じて行い、市販の解析専用ソフトASTEA-Macsを用いた。

コンクリート配合を表-3に示す。先述の工事で実際に

表-4 検討温度応力解析結果(覆工背面の凹凸形状および覆工厚さの検討)

着目部位		A(天端, 凸型形状)			B(肩部, 凹型形状)			C(側部, 凹凸が少ない)			備考
検討ケース		ケース① 標準断面	ケース② 凹凸断面	ケース③ 覆工厚さ 増加断面	ケース① 標準断面	ケース② 凹凸断面	ケース④ 覆工厚さ 増加断面	ケース① 標準断面	ケース② 凹凸断面	ケース⑤ 覆工厚さ 増加断面	覆工厚さ 55cm一定 着目部位B
厚さ(cm)		30	39	39	30	32	32	30	65	65	55
最高温度 (°C)	解析結果	33.6	39.1	39.1	33.6	34.6	34.6	33.6	45.4	45.4	42.9
	ケース①との差	—	5.5	5.5	—	1.0	1.0	—	11.8	11.8	9.3
ひずみ (μ)	解析結果	57.4	75.9	68.7	57.0	82.8	61.7	54.0	89.1	88.1	85.0
	ケース①との差	—	18.5	11.3	—	25.8	4.7	—	35.1	34.1	28.0
発生応力 (N/mm ²)	解析結果	3.4	4.2	3.8	3.2	4.5	3.5	2.8	3.9	3.9	4.6
	ケース①との差	—	0.8	0.4	—	1.3	0.3	—	1.1	1.1	1.4
ひびわれ 指数	解析結果	0.78	0.66	0.69	0.78	0.59	0.77	0.95	0.68	0.69	0.59
	ケース①との差	—	-0.12	-0.09	—	-0.19	-0.01	—	-0.27	-0.26	-0.19

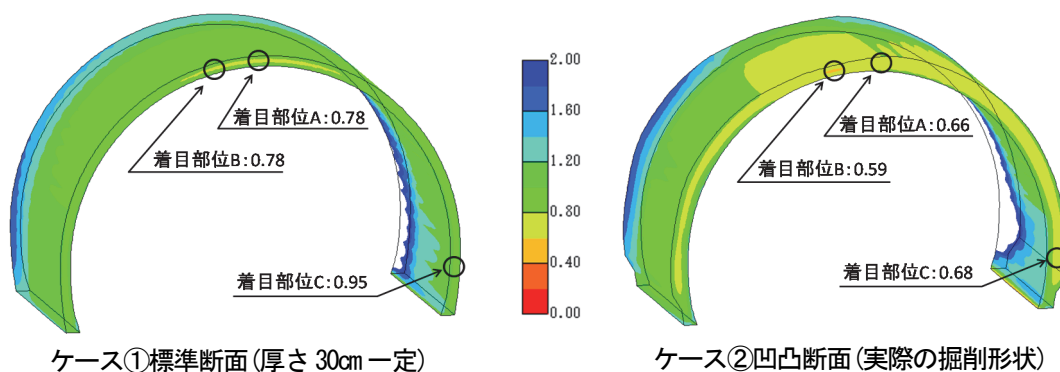


図-7 最小ひびわれ指数の分布図(覆工背面の凹凸形状および覆工厚さの検討)

使用している中流動覆工コンクリートとした。1回の施工スパン長は実施工と同様に12.5mとし、コンクリートの打込み温度および坑内温度は、標準的な時期を想定し20°Cで一定とした。型枠には鋼製セントルを用い、標準的な施工を模擬し特別な養生を施さない条件とした。

吹付けコンクリート(設計基準強度36N/mm²)の厚さは設計厚さ(7cm)で一定とした。また、周辺の地盤(硬岩B)の弾性係数は、設計図書に示される当該位置の地山のボーリング調査により得られた値(7 258MN/mm²)を用いた。なお、ステップ3での検討を除いて、防水シートはモデル化していない。

4. 解析結果および考察

(1) 覆工背面の凹凸形状や覆工厚さの影響

覆工背面の凹凸形状や覆工厚さが温度ひびわれに及ぼす影響に関する温度応力解析結果の一覧を表-4に、ケース①および②の最小ひびわれ指数の分布図を図-7に示す。

一様な設計厚さを有する標準断面(ケース①)では、着目部位AおよびBの最小ひびわれ指数は約0.8、着目部位Cは0.95であった。これに対し、凹凸断面(ケース②)における着目部位A～Cのひびわれ指数は、それぞれ、0.66、

0.59および0.68となった。

凹凸断面の着目部位A(厚さ39cm)は、覆工が凸型の形状を有している部位である。標準断面に比べ覆工厚さは9cm厚く、温度上昇量は5.5°C大きい。発生したひずみは18.5μ、引張応力は0.8N/mm²増加している。単位温度上昇量あたりのひずみの増分は約3μ/°Cで、一般にいわれるコンクリートの線膨張係数10μ/°Cより小さい。また、コンクリートの弾性係数を28.8kN/mm²と仮定して(実際の強度試験結果から圧縮強度を36N/mm²としてコンクリート標準示方書に示される算定式から算出)、フックの法則により引張応力の増分を算出すると0.5N/mm²となる。一方で、覆工厚さが39cmで一般的な断面(ケース③)は、解析による応力の増分は0.4N/mm²で、上記と同様にフックの法則で計算すると応力の増分は0.3N/mm²となる。これらの結果から、覆工背面が凸型の場合には、一様に覆工厚さが厚い場合に比べ、発生応力は若干大きくなる傾向にあるものの、地山や吹付けコンクリートによる拘束の影響は比較的小さいと考えられる。これは、覆工厚さが65cmで設計厚さに比べかなり厚いものの、凹凸のほとんど生じていない着目部位Cにおいても、同様の結果(解析結果での応力増分1.1N/mm²、フックの法則により求めた応力増分1.0N/mm²)であることから推測される。

これに対し、覆工形状が凹型の着目部位Bは、覆工厚

さの増分は2cmで、温度の増分もわずか1℃であるが、ひずみは26 μ 、引張応力は1.3N/mm²増加している。同様に、覆工厚さを着目部位Bと同じ32cmの一定厚さとしたケース④と比較しても、ひずみは21 μ 、引張応力は1N/mm²大きい。覆工形状が凹型である場合には、周辺の地山や吹付けコンクリートの拘束に伴い、覆工コンクリートに生じるひずみや発生応力が局所的に増大し、ひびわれが生じやすくなることを示唆していると考えられる。なお、表4の備考欄に示すように、覆工厚が一定の場合に、今回の凹凸断面の着目部位Bと同程度までひずみや応力が大きくなるのは、覆工厚さが、設計厚さの2倍程度(55cm)に厚くなった場合に相当する。覆工のひびわれを抑制する観点からは、吹付けコンクリートの仕上り形状を平滑にすることが肝要であることを示す結果といえる。

なお、着目部位Bにおける覆工コンクリートに生じるひずみの向きを調べたところ、トンネル周方向であった(図8)。一般的な2車線の道路トンネルでは、1スパンの延長(10～12m程度)に比べ、横断方向の周長(20m程度)が長いので、覆工の天端部や肩部付近ではトンネル延長方向にひびわれが生じる場合が多い。今回の解析では、覆工背面の凹凸形状の延長方向での変化は考慮していないが、一般的な事象と併せて勘案すれば、覆工背面が凹凸形状を有する場合も、延長方向にひびわれが生じるものと推測される。

(2) トンネル貫通に伴う温度降下の影響

トンネルの貫通に伴い、坑内温度が低下することが温度ひびわれの発生に及ぼす影響を検討した。覆工コンクリートの施工2か月後にトンネルが貫通し、坑内温度が20℃から15℃に低下した場合を想定した。解析結果を表5および表6に示す。

断面厚さが一般的な標準断面の場合、温度降下に伴う応力の増加量は、天端部で1.8N/mm²、肩部で1.3N/mm²、側壁部で0.9N/mm²となり部位により相違する結果となった。トンネル覆工の形状の影響によるものと推測される。凹凸断面における応力の増加量は、凸型形状を有する天端部は1.8N/mm²、凹凸の比較的少ない側壁部では0.6N/mm²で標準断面と概ね同様である一方、凹型形状を有する肩部では2.0N/mm²と大きくなった。凹型形状の部分では、坑内温度が低下してコンクリートが収縮する際にも、周囲の地山や吹付けコンクリートによる拘束の影響を受けやすく、応力の増加量が大きくなったものと考えられる。

なお、標準断面および凹凸断面の肩部における応力の増加量は、コンクリートの線膨張係数を10 μ /℃、弾性係数を28.2kN/mm²としてフックの法則が成立すると仮定すると、標準断面は4.6℃の温度変化が生じた場合に相当するのに対し、凹凸断面では7.1℃の変化が生じた場合

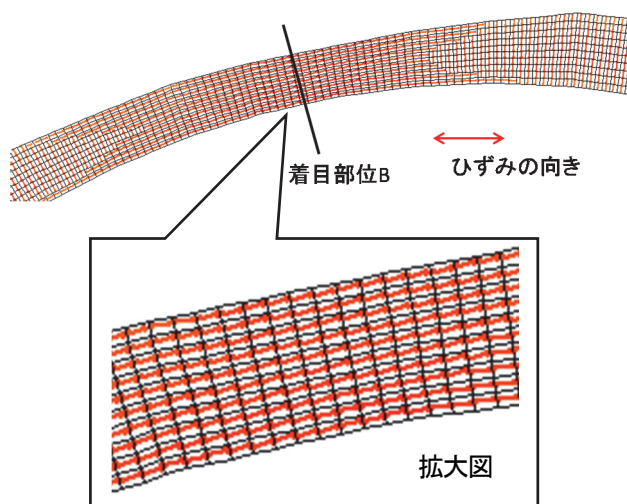


図8 凹凸断面の着目部位B付近のひずみの向き

表5 検討温度応力解析結果①標準断面
(トンネル貫通に伴う坑内温度の低下の検討)

検討ケース		ケース①標準断面		
項目		ひずみ (μ)	発生応力 (N/mm ²)	ひびわれ 指数
着目部位A (天端部)	貫通前(坑内温度20℃)	57.4	3.4	0.78
	貫通後(坑内温度15℃)	112.0	5.2	0.53
	変化量	54.6	1.8	-0.25
着目部位B (肩部)	貫通前(坑内温度20℃)	57.0	3.2	0.81
	貫通後(坑内温度15℃)	88.2	4.5	0.62
	変化量	31.2	1.3	-0.19
着目部位C (側壁部)	貫通前(坑内温度20℃)	54.0	2.8	0.95
	貫通後(坑内温度15℃)	76.8	3.7	0.74
	変化量	22.8	0.9	-0.21

表6 検討温度応力解析結果②凹凸断面
(トンネル貫通に伴う坑内温度の低下の検討)

検討ケース		ケース②凹凸断面		
項目		ひずみ (μ)	発生応力 (N/mm ²)	ひびわれ 指数
着目部位A (天端部、 凸型形状)	貫通前(坑内温度20℃)	75.9	4.2	0.66
	貫通後(坑内温度15℃)	112.9	6.0	0.46
	変化量	37.1	1.8	-0.20
着目部位B (肩部、凹型 形状)	貫通前(坑内温度20℃)	82.8	4.5	0.59
	貫通後(坑内温度15℃)	144.1	6.4	0.43
	変化量	61.3	2.0	-0.16
着目部位C (側壁部、 凹凸少ない)	貫通前(坑内温度20℃)	89.1	3.9	0.68
	貫通後(坑内温度15℃)	83.4	4.5	0.61
	変化量	-5.7	0.6	-0.07

に相当する。トンネル覆工は、屋外に構築されるコンクリート構造物に比べ通年的な温度変化の生じにくい構造物であるものの、トンネルの貫通に伴う温度・湿度の変化に伴いひびわれが生じる場合が多いことも指摘されて

表-7 防水シートの設置の有無の解析結果

着目部位	シートの有無	ケース①標準断面		ケース②凹凸断面		発生応力の差異 (N/mm ²)
		発生応力 (N/mm ²)	覆工厚さ (cm)	発生応力 (N/mm ²)	覆工厚さ (cm)	
A (天端部、凸型形状)	無	3.4	30	4.2	39	0.8
	有	2.2		2.6		0.4
	差異	1.2		1.6		—
B (肩部、凹型形状)	無	3.2		4.5	32	1.3
	有	2.3		2.5		0.2
	差異	0.9		2.0		—
C (側壁部、凹凸少ない)	無	2.8		3.9	65	1.1
	有	2.1		2.9		0.8
	差異	0.7		1.0		—

表-8 凹凸がなく覆工厚さのみが異なる場合の解析結果(防水シートを設置しない条件)

着目部位	ケース①標準断面		ケース③～⑤覆工厚さ増加断面		発生応力の差異 (N/mm ²)
	覆工厚さ (cm)	発生応力 (N/mm ²)	覆工厚さ (cm)	発生応力 (N/mm ²)	
A(天端部)	30	3.4	39	3.8	0.4
B(肩部)	30	3.2	32	3.5	0.3
C(側壁部)	30	2.8	65	3.9	1.1

いる。トンネル覆工の長期的な耐久性を確保する観点からも、覆工の背面形状を平滑にすることが望ましいといえる。

(3) 防水シートの設置によるひびわれ低減効果

トンネルコンクリート施工指針(案)⁴⁾では、防水シートの設置により、地山や吹付けコンクリートによる拘束の影響が緩和され、ひびわれ発生の抑制に効果的であることが示されている。そこで、一様な設計断面厚さを有する標準断面と凹凸断面を対象に、防水シートの設置有無による効果を検証した。

なお、同書⁴⁾において、一般に使用される防水シートの厚さは0.8～2mm程度で、裏面緩衝材(厚さ3mm程度)と一体化した製品が用いられていると記述されていることから、防水シートの厚さは5mmとしてモデル化した。また、防水シートはEVA(エチレン酢酸ビニル共重合体)やPVC(ポリ塩化ビニル)などのビニル素材、裏面排水材は綿状であり、非常に軟質(弾力的な)材料であることから、温度応力解析では防水シートの弾性係数を1N/mm²に設定した。

防水シートの設置有無による解析結果の概要を表-7に示す。防水シートの設置により発生応力が大幅に低減され、とくに、凹凸断面における低減効果が顕著である。凹凸形状に伴う応力の増加は、周辺の地山や吹付けコン

クリートの拘束による影響が支配的な要因であることを改めて示す結果と考えられる。

次に、表-4に示すステップ1の解析結果一覧表から、標準断面(ケース①)と凹凸断面の各着目部位の厚さと同じ様な覆工厚さを有する断面(ケース③～⑤)の発生応力を抽出・整理して表-8に示す。ステップ1は防水シートを設置しない条件での解析結果であるため、単純には比較できないものの、凹凸がなく覆工厚さのみが相違した場合における発生応力の差異は、着目部位A(覆工厚さ39cm)で0.4N/mm²、着目部位B(覆工厚さ32cm)で0.3N/mm²、着目部位C(覆工厚さ65cm)で1.1N/mm²である。この値は、表-7中に示す防水シートを考慮した場合の各着目部位の発生応力の差異(着目部位Aが0.4N/mm²、着目部位Bが0.2N/mm²、着目部位Cが0.8N/mm²)と概ね等しい。このことは、覆工の背面に凹凸を有する断面であっても防水シートを設置する場合は、発生する応力の大きさは覆工厚さによる影響が支配的であり、今回検討した程度の凹凸であるならば、凹凸が覆工コンクリートのひびわれ発生に及ぼす影響は比較的小さいことを示していると考えられる。

なお、今回検討した凹凸断面の凹凸の程度H/Lは最大0.10(凹凸の頂点間隔L=100cm、覆工厚さの差の最大値H=10cm)で、指針¹⁾に示される推奨値(H/L≤1/6=0.167)よりは小さい値であるが、標準的な防水シートを設置することで、覆工コンクリートの施工によるひびわれは生じていない。指針に示される推奨値が概ね妥当であることを示す結果であるとも考えられる。

(4) 今後の課題

今回の検討結果は一例であり、覆工背面の凹凸形状がひびわれに及ぼす影響を定量的に把握するには、①トンネル延長方向の変化も加味し、様々な凹凸形状を有する断面を対象とした検討、②防水シートのモデル化の手法に関する検討、③解析結果と実施工での計測結果との比較による検証を実施していく必要がある。

5. まとめ

覆工背面の凹凸形状や厚さが覆工コンクリートの温度ひびわれに及ぼす影響について、2次元および3次元FEMモデルを用いた温度応力解析により基礎的に検討した。本研究の範囲で得られた知見を以下に示す。

- (1) 2次元の要素モデルを用いた検討によると、覆工が地山や吹付けコンクリートに直接拘束される条件では、背面形状が凹型の箇所に応力集中が生じやすく、凹凸の程度が大きくなるほど顕著である。
- (2) ロックボルトの突出箇所周辺では、局所的に発生す

るひずみが大きくなるが、その範囲は限定的である。

- (3) 覆工形状を模擬した3次元モデルにおいても、覆工背面が、直接、地山や吹付けコンクリートに拘束される条件では、背面形状が凹型の部分において、局部的に発生応力が増加し、ひびわれが生じる危険性が高まる。
- (4) 上記と同じ条件の場合、トンネルの貫通に伴い、坑内温度が急激に低下した際においても、覆工背面が凹型形状の箇所では応力集中が生じやすく、ひびわれが生じやすい。
- (5) 防水シートを設置することで、地山や吹付けコンクリートによる拘束が大幅に緩和される。本研究で対象とした程度の凹凸を有する断面であるならば、防水シートを設置した場合、凹凸に伴う発生応力の増

加はほとんど認められず、覆工背面の凹凸が温度ひびわれの発生に及ぼす影響は小さい。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートライブラリー121 吹付けコンクリート指針（案）〔トンネル編〕，pp.66-67，2005.
- 2) 東・中・西日本高速道路株式会社：トンネル施工管理要領，p.36，2011.
- 3) 土木学会：2012 年制定 コンクリート標準示方書〔設計編〕，2013.
- 4) 土木学会：コンクリートライブラリー102 トンネルコンクリート施工指針（案），pp.26-27 および pp.132-133，2000.

(2014. 9. 15 受付)

ANALYTICAL INVESTIGATION ABOUT INFLUENCE WHICH THE REAR SHAPE AND THE THICKNESS OF LINING HAS ON THERMAL CRACK

Masahiro SUZUKI, Hideaki NISHIURA, Kuniaki SAKURAI, Koji BABA
and Yasuhiro SHIMURA

Uneven shape and thickness of lining considered the influence which it has on thermal crack of lining using Thermal stress analysis. As a result, the following conclusions were obtained; On the conditions in which lining is restrained by shotcrete and natural ground, it becomes easy to produce crack. And, By installing waterproofing sheet, the restraint by shotcrete and natural ground is eased and generating of crack can be reduced.