

覆工コンクリート背面の凹凸形状が温度ひび割れの発生に及ぼす影響に関する解析的検討

(株)大林組 ○正会員 鈴木正寛 正会員 西浦秀明 正会員 桜井邦明
 中日本高速道路(株) 正会員 馬場弘二 正会員 志村泰弘

1. はじめに

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割れを照査する手法が汎用化され、山岳トンネルの覆工コンクリートにも広く適用されている。しかし、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。そこで、これらの要因が、覆工コンクリートの温度ひび割れの発生に及ぼす影響について解析的に検討した。

2. 検討概要

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(支保パターン CII 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により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様に有するケース③~⑤の「覆工厚さ増加断面」について検討した。ケース①、②の解析モデルを図1に示す。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。

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【設計編】に準じて行い、温度応力解析には専用ソフト ASTEA-Macs を用いた。コンクリート配合は、表1に示す先述の工事で実際に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℃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。なお、吹付けコンクリート厚さは設計厚さ(7cm)で一定とし、防水シートはモデル化していない。

3. 解析結果および考察

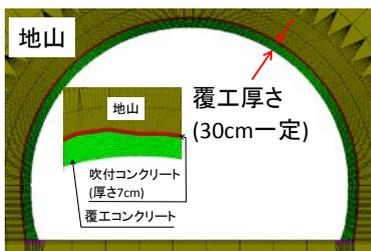
ケース①および②の最小ひび割れ指数の分布図を図2に、解析結果の一覧を表2に示す。一様な設計厚さを有する標準断面では、着目部位 A および B の最小ひび割れ指数は約 0.8、着目部位 C は 0.95 であった。これに対し、凹凸断面における着目部位 A~C のひび割れ指数は、それぞれ、0.66、0.59 および 0.68 となった。

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

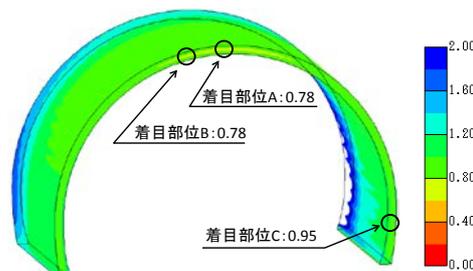
表1 コンクリート配合

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

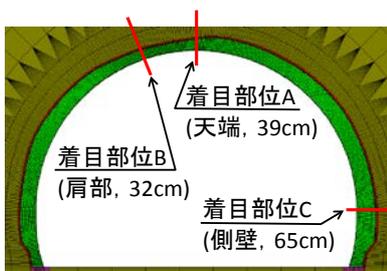
C: 普通ポルトランドセメント
 LS: 石灰石微粉末
 S: 砕砂
 G: 砕石2005
 混和剤は高性能AE減水剤



ケース①標準断面(厚さ 30cm 一定)

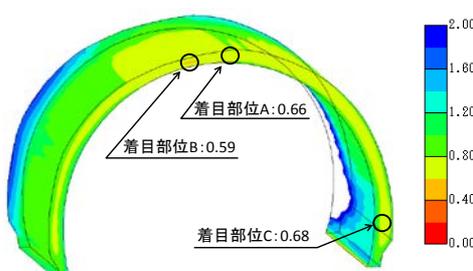


ケース①標準断面(厚さ 30cm 一定)



ケース②凹凸断面(実際の掘削形状)

図1 解析モデルの概要



ケース②凹凸断面(実際の掘削形状)

図2 最小ひび割れ指数の分布図

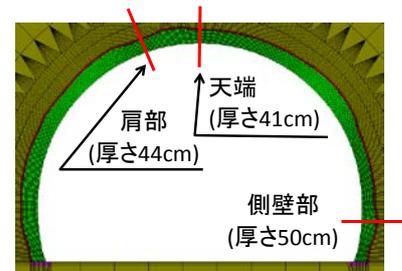


図3 防水シートによる背面拘束の低減効果を検証した凹凸断面

キーワード 覆工コンクリート, 温度ひび割れ, 温度応力解析, 背面形状, 凹凸

連絡先 〒409-2102 山梨県南巨摩群南部町富士 22297 (株)大林組 樽峠トンネル北工事事務所 TEL: 0556-66-1081

表2 温度応力解析結果一覧表

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 厚さが一様に増加	ケース① 標準断面	ケース② 凹凸断面	ケース④ 厚さが一様に増加	ケース① 標準断面	ケース② 凹凸断面	ケース⑤ 厚さが一様に増加	覆工厚さ 55cm一定 着目部位B
厚さ(cm)		30.0	39.0	39.0	30.0	32.0	32.0	30.0	65.0	65.0	55.0
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
最大応力 (N/mm ²)	解析結果	3.4	4.2	3.8	3.4	4.5	3.5	2.8	3.9	3.9	4.6
	ケース①との差	—	0.8	0.4	—	1.1	0.1	—	1.1	1.1	1.2
ひび割れ 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

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4μ/°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、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で様な断面(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ものと考えられる。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。

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°Cであるが、ひずみは26μ、引張応力は1.1N/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21μ、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、ひび割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2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。

表3 防水シートの有無による発生応力の違い

着目部位		天端		肩部		側壁部		
防水シートの有無		あり	なし	あり	なし	あり	なし	
最大応力 (N/mm ²)	標準断面	結果	2.2	3.4	2.3	3.2	2.1	2.8
		差異	1.2		0.9		0.7	
	凹凸断面	結果	2.6	4.7	2.7	4.7	2.6	3.5
		差異	2.1		2.0		0.9	

4. 防水シートによる背面拘束の低減効果

トンネル標準示方書では、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、ひび割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、ケース①の標準断面および図3に示す凹凸断面を対象に、防水シートの設置有無による効果を検証した。防水シートは厚さ5mm、弾性係数1N/mm²とした。解析結果を表3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、特に、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。なお、本検討は、防水シートの弾性係数を1N/mm²と仮定して解析したが、凹凸形状がひび割れに及ぼす影響を定量的に把握するには、防水シートによる背面拘束の低減効果について今後さらに検討する必要があると言える。

5. まとめ

- (1) 覆工背面が凹型の場合、地山や吹付けコンクリートによる拘束を受けやすく、局所的な応力増加が生じひび割れが生じやすくなる可能性がある。
- (2) 一方、防水シートにより地山や吹付けコンクリートによる拘束が緩和される。背面の凹凸がひび割れ発生に及ぼす影響を定量的に把握するには、防水シートによる拘束の低減効果を考慮する必要がある。