

水路トンネルの覆工背面空洞がひび割れ発生に与える影響とその補強工法

Cracking in aqueduct tunnel lining caused of insufficient filling and its countermeasures

○陳 星*, 長束 勇**, 上野和広***, 石井将幸**, 溝上辰弥**, 富山和城**

CHEN Xing*, NATSUKA Isamu**, UENO Kazuhiro***, ISHII Masayuki**, MIZOUE Tatsuya**, TOMIYAMA Kazuki**

1. はじめに

高度経済成長期に精力的に建設された農業用水路トンネルの多くには変状が発生している。その発生原因や補修・補強工法のあり方について、様々な議論や提案がなされている。その中で、側壁のある一定の高さ（スプリングライン付近）に発生しているひび割れ（図-1 参照）については、天端覆工背面の空洞との関連性が指摘されている（石井ら，2007）。トンネル覆工の形状は、外周から均一な垂直荷重が作用したとき、覆工断面内に引張応力が発生しないように設計されているにも拘わらず、図-1 に示したような引張ひび割れが発生しているからである。

そこで本報告では、数値解析により、天端覆工背面の空洞の存在状況とひび割れ発生との関係を明らかにするとともに、その補強工法として効果的と考えられる裏込め注入工法施工時の適切な注入圧について検討した。

2. 解析手法と解析対象断面などの条件

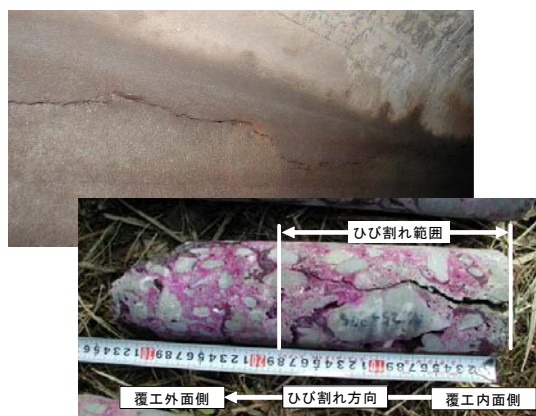


図-1 ひび割れ状況とひび割れ部から抜いたコア
Fig-1 Cracks in tunnel lining and its core

使用した解析プログラムは、コンクリート構造物の破壊解析が可能な ATENA Ver.2 である。コンクリートの引張側、圧縮側それぞれの材料モデルを持ち、弾性域からひび割れ発生を経て、構造物の破壊に至るまでのプロセスを再現することができる。

解析の対象としたトンネル断面形状は、一般的に多く採用されてきた 2r 標準馬蹄形である。断面寸法は、農業用水路トンネルの最小施工断面を考慮して $r=1\text{m}$ とした。また、覆工厚は、設計基準「水路トンネル」に示された係数表を参考として、アーチサイド、インバートともに 0.15m とした。コンクリートの圧縮強度は 18N/mm^2 とし、引張強度、ヤング係数などその他の物性値は、圧縮強度からの算定式を用いて設定した。

3. 解析結果

3.1 天端覆工背面に存在する空洞がひび割れ発生に与える影響 解析ケースは、Case1（空洞存在せず）、Case2（天頂からの鉛直線を基線として左右対称に覆工背面の 10° の範囲が空洞）、Case 3（同 30° の範囲が空洞）、Case4（同 50° の範囲が空洞）、Case5（同 70° の範囲が空洞）として、次第に空洞の範囲を広くした。解析は、覆工外周からの土圧荷重を増加させながら行い、ひび割れの生じる荷重と発生位置、さらに覆工が破壊して解析が収束しなくなる荷重の大きさを求めた。なお、背面空洞は、外周から荷重の作用しない領域として表現した。各解析ケースにおけるひび割れ発生位置を図-2 に、ひび割れ発生土圧および破壊土圧を表-1 に示す。

*島根大学大学院生物資源科学研究科, Graduate school of Life and Environmental Science, Shimane University

**島根大学生物資源科学部, Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University

***鳥取大学大学院連合農学研究科, United Graduate School of Agricultural Science, Tottori University

キーワード: トンネル覆工, 数値解析, ひび割れ, 裏込め注入工法

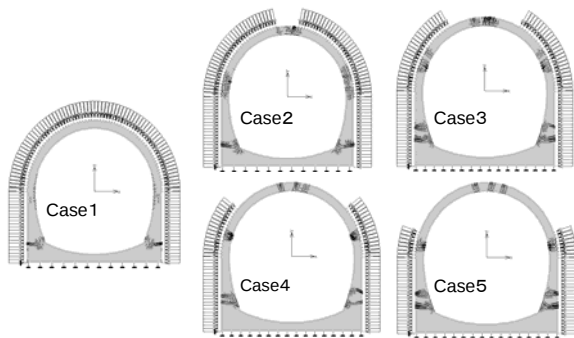


図-2 ひび割れ発生位置

Fig-2 Positions of cracking

表-1 ひび割れ発生土圧および破壊土圧

Table-1 Earth pressure of cracking and destruction

case	空洞 広さ	ひび割れ発生土圧 MPa			破壊 土圧 MPa
		天端 背面	スプリング ライン付近	側壁 外側	
1	0°	0.97	0.69	0.30	0.97
2	20°	0.15	0.17	0.16	0.22
3	60°	0.07	0.08	0.08	0.09
4	100°	0.06	0.06	0.06	0.07
5	140°	0.08	0.08	0.08	0.08

図-2 をみると、天端覆工背面に空洞が存在する Case2～5 のひび割れ分布はほぼ同様であり、すべてのケースでスプリングライン付近にひび割れが発生している。すなわち、現地トンネル内面調査において観察されるひび割れ発生位置と一致している。また、表-1 から、そのスプリングライン付近にひび割れが発生した時点では、既に天端覆工背面側および側壁外側にひび割れが発生していることが分かる。さらに、天端覆工背面に空洞が存在すると、その空洞広さが 20° とごく限られた場合でも、空洞が存在しない場合に比べ、耐荷圧（破壊土圧）が 1/5 程度まで大幅に低下し、空洞が 60° 以上に広がると耐荷圧が 1/10 以下になるのみならず、ひび割れ発生土圧と破壊土圧の差が小さくなることが分かる。したがって、空洞が存在するトンネルにおいて、スプリングライン付近にひび割れ発生が

見られる場合は、早急に対策が必要である。

3.2 裏込め注入工法における注入圧

一般に、裏込め注入工法における注入圧は、トンネル覆工に 0.2MPa 程度の圧力がかかるまでと設計基準などに規定されている。しかし、空洞の広さやひび割れ進行の程度により適切な注入圧は異なると考えられたため、ひび割れ発生箇所の引張応力が消滅し、圧縮応力状態になる時の圧力を適切な注入圧とみなして解析を行った。その結果、覆工断面の応力分布が全圧縮となる注入圧は、Case3 では 0.10MPa、Case4 では 0.07MPa、Case5 では 0.09MPa と、規定注入圧の 1/2 程度となった。

なお、狭い空洞が存在する Case2 の場合では、0.2MPa の注入圧ではスプリングライン付近内側の引張応力が消滅せず、さらに大きな注入圧をかけると天端内側に引張応力が発生したため、全圧縮状態となることはなかった。また、Case3、Case4 おいて 0.2MPa までの注入圧をかけると、天端内側、スプリングライン付近外側、側壁内側に引張応力が発生し、注入圧のかけすぎによる新たなひび割れが発生した。

4. まとめ

天端覆工背面に空洞が存在することによりトンネルの変形が生じやすくなり、スプリングライン付近などにひび割れが発生する。ひび割れ発生による耐荷力の低下は著しく、また空洞が大きい場合には、ひび割れ発生土圧と破壊土圧の差は小さいので、ひび割れが見られる場合は、早急な補強対策が必要である。その補強工法として裏込め注入工法が有効であるが、注入圧は空洞の大きさ、ひび割れの進行状況などを考慮して適切に決定する必要がある。

参考文献

石井将幸，森充広，長束勇，野中資博：背面に空洞を有する水路トンネル覆工の破壊解析，農業農村工学会中国四国支部講演会講演要旨集，pp.150-152（2007）