

## フレーム解析を用いたトンネル背面空洞充填工法の評価 Evaluation of hollow filling method for irrigation tunnel using frame analyses

○石井 将幸\*, 長東 勇\*, 磯方 源太\*\*

ISHII Masayuki, NATSUKA Isamu, and ISOKATA Genta

### 1. はじめに

水路トンネルの中には変状をきたしているものが多くあり、その原因や補修・補強の工法についても様々な議論がなされてきた。トンネル覆工の形状は、外周から均一な垂直荷重を受けた場合に曲げモーメントや引張応力が生じないように定められているが、内面に曲げひび割れの生じた事例が多数みられる。その一因としてアーチ外側の空洞が指摘されており、様々な検討によって因果関係が明らかになりつつある。

これまでの検討は、破壊解析と呼ばれる数値解析や、模型実験によるものであった<sup>1)</sup>。しかし破壊解析は実設計における一般的なツールではなく、また実設計に模型実験を組み込むことは現実的ではない。そこで本研究では、水路トンネルやその他の構造物の設計に広く用いられているフレーム解析を用い、トンネルの背面空洞を充填する工法の解析を行ってその効果を検証した。さらに、この解析手法を実設計に適用する上での問題点について検討した。

### 2. 構造のモデル化

フレーム解析では、構造物は線部材の集合としてモデル化される。本研究では、Fig.1 に示す形状のトンネルに対して解析を行った。トンネル軸方向の単位奥行き分を対象とし、覆工を Fig.1 のような直線部材に分割して構造モデルを作成した。アーチ部は円弧の中心からみて 10 度ごとに、側壁とインバートは 5 度ごとの分割としており、各部材は互いに剛結されている。

フレーム解析ではそれぞれの部材に対して、軸方向の剛性  $EA$  と曲げ剛性  $EI$  の 2 つを設定する必要がある。覆工に用いられたコンクリートの弾性係数を  $E=25\text{GPa}$  とし、断面積  $A$  と断面

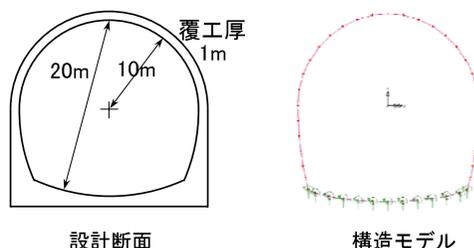


Fig.1 設計断面と構造モデル  
Analyzed tunnel and structural model

二次モーメント  $I$  の値を各部材位置の覆工厚から計算して与えた。支持条件としては、岩着が良好であるとみなしてインバートを固定した。

### 3. 荷重のモデル化

実現場における覆工背面の空洞は、アーチ頂部を概ね中心とした様々な大きさのものが確認されている。フレーム解析では部材ごとに荷重を設定できるため、今回の分割ではアーチ頂点に対して左右にそれぞれ 10 度単位での設定となる。そこで左右対称な 20 度から 80 度までの 4 パターンに対して検討を行った。空洞以外の部分に作用する背面圧を 0.10MPa、空洞に作用する充填圧を 0.00 から 0.08MPa とした。以下では充填圧 0.00MPa を充填圧比 0.0、0.08MPa を充填圧比 0.8 のように称する。

### 4. 解析の結果

フレーム解析では各部材に対して軸力、曲げモーメントとせん断力が求められる。空洞の大きさが 20 度の場合についての曲げモーメント図を Fig.2 に示す。図において、グラフが覆工の外側に描かれている領域では外側が引張、内側に描かれている領域では内側が引張となるような曲げが生じている。

充填圧が作用しない場合には、スプリングライン（アーチと側壁の接合部）よりやや上に内

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

\*\*安芸高田市立吉田中学校, Yoshida Junior High School

キーワード: 水路トンネル, 背面空洞, フレーム解析

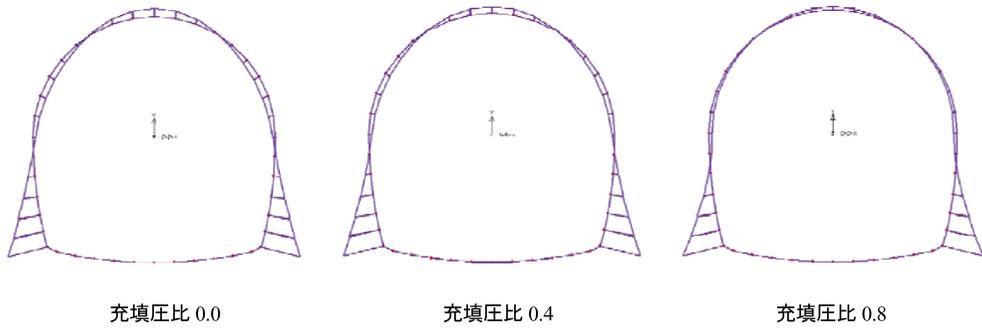


Fig.2 空洞 20 度の場合の充填による曲げモーメント変化

Bending moment diagram for blank and filled hollow with 20-angle hollow

面を引張とする曲げモーメントが作用している。これは、実トンネルにおける変状の形態や、模型実験による結果と完全に一致する。

また充填圧の上昇でスプリングラインとアーチ頂部の曲げモーメントは顕著に減少し、背面充填空洞の効果が表れている。一方、側壁基部における外面を引張とする曲げモーメントも同様に小さくなるものの、減少率はさほど大きくない。しかし、この部位ではアーチやスプリングライン付近と比べて覆工が厚いため、大きな変状にはつながらないと考えられる。充填前と充填後の両方で、軸力はすべての部位で圧縮、大きさもほとんど一定であった。

空洞がより大きい場合には、曲げモーメントが全体的に大きくなった。しかし全体的な傾向は 20 度の場合と変わらず、充填による曲げモーメントの軽減効果も同様であった。

ひび割れが発生するかどうかは、曲げモーメントの大きさではなく引張応力の大きさで決まる。そこで各部位について、軸応力と曲げ応力を合計して求めた引張応力の値を Fig.3 に示す。背面空洞の充填に伴い、すべての部位における引張応力が減少して行くことが明らかになった。充填圧比 0.8 でも引張応力の完全な解消には至らないが、覆工が薄く危険なアーチクラウンとスプリングラインで大きな効果が得られる。背面充填工法の有効性が確認できたと言えよう。

空洞がより大きい場合についても、背面空洞の充填によって引張応力を低減できるという結

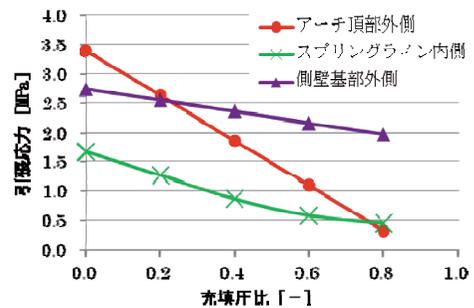


Fig.3 背面充填による引張応力の低下 (空洞 20 度)

Reduction of tensile stress by hollow filling

果が得られた。空洞が大きい場合には、大きい曲げモーメントと小さい軸圧縮力によって大きい引張応力が生じるが、その軽減に充填工法が有効であることが確かめられた。

### 5. 実設計に向けての課題

背面充填工法の設計では、各種条件を現場に応じて設定したうえで、必要な充填圧を定めることになる。解析には本研究で開発した手法を用いることができるが、背面圧の大きさをどう推定するかが最大の課題である。検討をさらに進め、背面圧の大きさによらず概ね適正といえる充填圧が存在するのか、存在するならばその具体的な値について、検討を続ける必要がある。

### 参考文献

- 1)村尾弘道ら(2010)：農業用水路トンネルのひび割れ発生機構の解明と補強工法の検討，平成 21 年度第 6 回土木学会中国支部島根会研究・事例報告会概要集，pp.17-18