

簡易模型実験によるトンネル背面空洞を充填した覆工の耐荷力について

日本道路公団 正会員 ○加藤 陽一
日本道路公団 正会員 諸岡 伸

1. はじめに

日本道路公団では、山岳トンネル工法として、昭和58年にNATM工法を標準工法としたが、それ以前のトンネルについては矢板工法が標準工法であった。矢板工法は、その工法により、覆工と背面地山との間に空隙が残ることがあり、特にアーチ天端では相当量の空洞が調査により確認されている。この空洞が覆工に加わる局部荷重によるひびわれや、また、それに伴うコンクリート剥落の要因の一つであることが考えられる。

矢板工法により施工されたトンネルのうち、事前調査により空洞が確認されたトンネルに対しては空洞充填工事により対処している。この充填材の強度については、地盤反力を覆工に伝達させることを目的に、一軸圧縮強度を 1.0N/mm^2 （現場ではばらつきを考慮し 1.5N/mm^2 で管理）を使用しているが、地山の強度（ 100N/mm^2 以上の地山が確認されている）や覆工コンクリートの強度（ 18N/mm^2 ）に対して著しく小さいため、その効果について疑問があり、また、充填したことによる覆工の耐荷力の動向について検討を行う必要がある。

そこで、本研究では、実際に使用している充填材を用いて模型実験を行い、空洞を充填した覆工の耐荷力について実験的に検討を行なった。

2. 実験方法

(1) 実験概要(図-1参照)

トンネルの変状は、大概にして覆工のひび割れとして顕在化する。また、地圧の作用による変状においては、ひび割れがトンネル軸方向に卓越することが一般的である。このことから、本実験においては、トンネルの横断面についての2次元的な検討によるものとする。また、本来、トンネル変状の力学的挙動を再現するには、地盤条件、地圧条件、構造条件等をパラメータとした実験が必要となるが、本実験においては、空洞主入材料の有無に着眼しているため、上記のパラメータについては固定した。

実験に用いた模擬トンネルとして、 $L=1.0\text{m}$ の半割 $\phi 500\text{mm}$ ヒューム管（ 40N/mm^2 、鉄筋入り）を使用し、背面に模擬地山を形成した。トンネル背面空洞としては、トンネル中心より 70° の範囲とし、ヒューム管単体、空洞未充填（模擬地山有り）、可塑性材充填の場合の3ケースに対して実験を行った。

地圧条件は既往の研究¹⁾より、トンネル覆工は、鉛直圧に対して変形性・耐力に優れ、側圧に弱く、変形が生じやすいことから、本実験においては、模擬トンネルの両側壁下部に対し加圧し、荷重・変位及びひびきを測定した。

(2) 実験手順

本実験の手順は、治具に模擬トンネルを設置後、覆工にひずみゲージを設置し、模擬地山（モルタル）を打設する。硬化確認後、背面空洞材を充填し、模擬トンネル両側壁下部にセットした12tonジャッキにより加圧する。加圧後は、荷重、変位及びひびきを秒毎に測定する。なお、試験終了は供試体にせん断等の終局的な破壊が発生した時点とした。

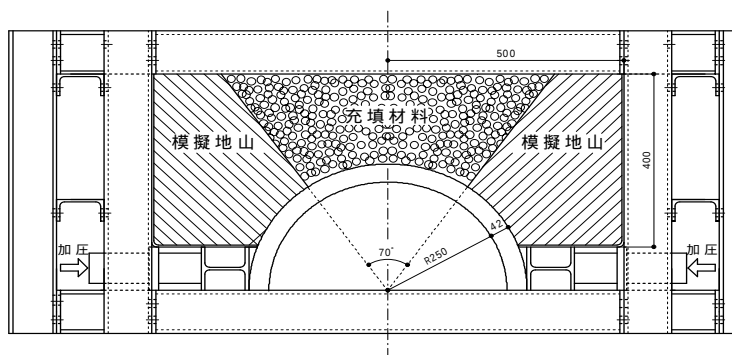


図-1 実験概要図

キーワード：矢板工法、覆工背面空洞、可塑性エアモルタル、覆工耐荷力、簡易模型実験

連絡先：〒914-0014 福井県敦賀市井川17号字稲荷藪8-1 TEL：0770-25-5223 FAX：0770-22-9293

3. 試験結果

(1) 終局状態及び荷重 - 変位関係

実験に用いた供試体パラメータ及び最大荷重、強度比等を表 - 1 に示す。

載荷試験による覆工の終局状態は、A、B が天端頂点のせん断ひび割れによる破断に対し、C は天端に無数の小さなひび割れが生じ、加圧近辺での大きなひび割れにより終局状態に達した。なお、C については、12ton ジャッキでは終局状態に至らず、30ton ジャッキに変更して再加圧を行い、終局状態に達している。

実トンネルと供試体の条件の違いにより、数値的な評価は難しいが、終局状態及び表 - 1 から、空洞を充填することで、覆工耐荷力が著しく向上することが確認できた。

供試体それぞれの荷重 - 変位関係を図 - 2 に示す。縦軸は載荷荷重であり、横軸は載荷面での変位の平均値である。

B、C より、あるレベルの荷重（初期ひび割れ荷重）までの挙動はほぼ同様であるが、C については、その荷重に達した後も耐荷力（強度比3 倍程度）及び変位が増加した。つまり、空洞充填材を介して覆工に加わる外力を地山へ分散することで覆工耐荷力及び変位が向上することが確認できた。

(2) 覆工の変形挙動

覆工の変形挙動を図 - 3 に示す。図は各荷重段階での覆工の鉛直、水平方向変位を示している。図より、B の場合、最大荷重近辺にて変形が増加しており、比較的脆性的な挙動を示しているのに対し、C は各荷重段階でほぼ均一的に覆工全体で変形していることが確認できる。つまり、可塑性材による荷重の伝達により、覆工のエネルギー吸収性能を向上させることができることがわかった。

4. あとがき

本研究では、簡易模型実験を行い、覆工背面空洞に比較的に強度の小さい可塑性材を充填することに対する覆工耐荷力の検証を行った。

本研究結果として、覆工背面空洞充填材に周辺地山や覆工コンクリートよりも強度が小さい可塑性材（ 1.5N/mm^2 ）を用いても、荷重を周辺地山へ伝達し、覆工の耐荷力を著しく向上（3 倍程度）することが確認できた。また、覆工背面空洞を充填することにより、覆工の変形性能、つまり、覆工のエネルギー吸収性能が向上することがわかった。今後の課題として、実験ケースの増加により、空洞充填材の最適強度の設定を行う必要がある。

（参考文献）

1) 朝倉俊弘：山岳トンネルの変状メカニズムとその対策に関する研究、鉄道総研報告、鉄道総合技術論文誌、1997.3

表 - 1 供試体パラメータ

名称	充填材料	充填材強度 (N/mm^2)	模擬地山 強度 (N/mm^2)	最大荷重 (kN)	強度比	備 考
A	未充填	-	-	12.14	0.30	ヒューム管
B	未充填	-	41.9	40.92	1.00	空洞未充填
C	可塑性材	1.58	45.1	115.57 (133.58)	2.62 (3.26)	空洞充填材 (再加圧時)

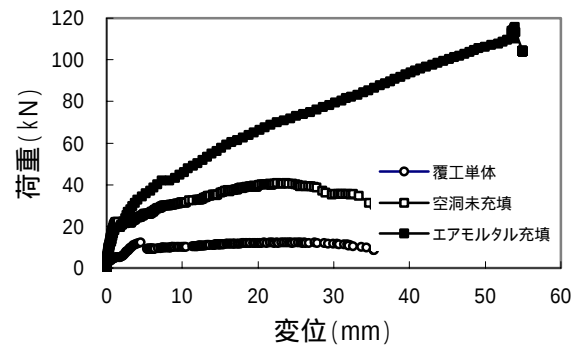


図 - 2 荷重 - 変位関係

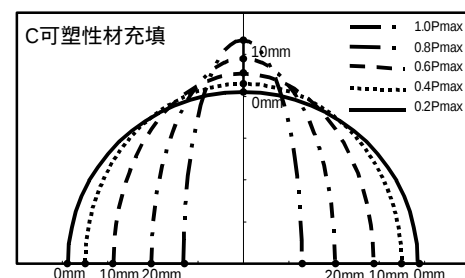
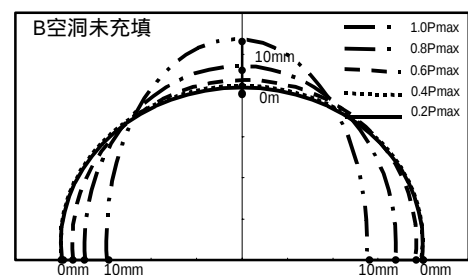


図 - 3 覆工の変形挙動