

トンネル背面空洞と裏込注入の効果に関する実験

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○中西 祐介, 野城 一栄
東海旅客鉄道株式会社 正会員 春日井 敦詞

1. はじめに

鉄道山岳トンネルは、昭和 50 年代以前に在来工法(矢板工法)で建設されたものが多く存在する。一般的に、この工法で施工されたトンネルは覆工背面に空洞が発生しやすいとされ、この空洞が変状を助長するとも言われている。本稿は、背面空洞と対策工(裏込注入)の効果を検証するために実施した実験について報告するものである。

2. 実験条件

実験には鉄道総合技術研究所が所有する載荷模型実験装置¹⁾、²⁾を用いた。実験装置の概要を図 1 に示す。本装置は、片側からジャッキで土槽(60cm×60cm)内の模擬地山に変形を与え、模擬地山内に設置されたトンネル模型を地山を介して変形させる構造となっている。実験の流れとしては、土槽内へのトンネル模型の設置、トンネル模型周囲の模擬地山の打設、地山打設後 7 日目に載荷実験という手順である。

実験で用いたトンネル模型を図 2 に示す。模型はモルタルにより作成し、巻厚 70cm インバートなし複線新幹線断面の 1/50 縮尺を考え、巻厚 14mm、直径(内空) 192mm の断面とした。なお、一軸強度は約 24MPa である。なお、模擬地山については一軸強度が約 0.4MPa の低強度モルタルとした。

実験は、上記トンネル模型を 2 体準備し、背面空洞が有る場合、背面空洞箇所に裏込注入を施工した場合の 2 ケースについて、

載荷実験を実施した。試験体の概要図を図 3 に示す。背面空洞の模擬はトンネル模型と地山モルタルの間に発泡スチロールを設置することにより表現し、裏込注入は発泡スチロール撤去後にその箇所にモルタル(一軸強度約 1.5MPa)を注入することにより表現した。載荷は変位制御によりトンネル模型の左側から実施し、0.2mm/分の速度で 5 分間載荷後一時中断し、変位を保った状態で 5 分間の覆工内面の観察、この作業を最終的にジャッキ変位が 20mm に達するまで繰り返した。そのほか、カメラや、覆工内外面にひずみゲージを設置したほか、内空の変形量を把握するために、水平方向、鉛直方向に変位計を設置した(図 2 参照)。

3. 実験結果

両ケースのひび割れ発生状況を比較したものを図 4 に示す。ひび割れの形状は、両ケースとも両側壁に引張りひび割れ、天端部に圧ざの発生と同様な結果となったが、裏込注入を施工した場合、圧ざの規模が小さく、圧ざ発生時期も遅くなることが確認できた。また、ひび割れ数や幅も裏込注入を施工することにより小さくなることが確認できた。主な変状発生時期と水平縮小率(縮小量/直径)との関係を図 5 に示す。通常、圧ざ発生時に剥落を伴うため、圧ざ発生を限界状態と仮定すると、水平方向からの変形に対しては、約 3 倍の性能の向上が見られる結果となった。

キーワード トンネル, 背面空洞, 裏込注入, 実験

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 トンネル TEL 042-573-7266

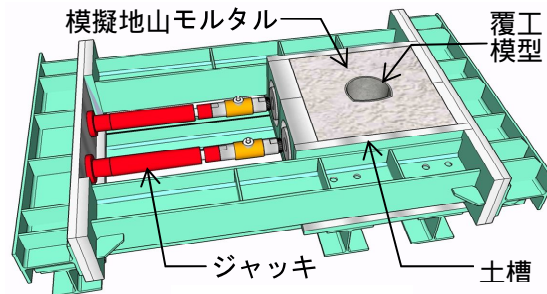


図 1 実験装置

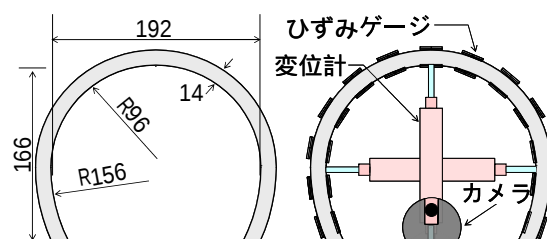


図 2 覆工模型・計測器

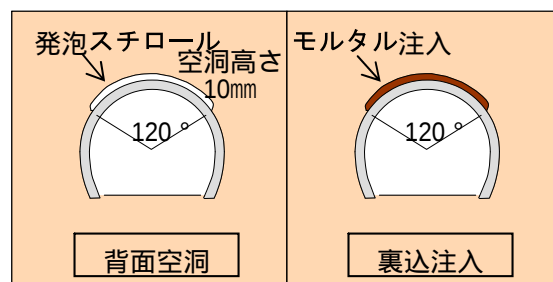


図 3 試験体

内空変形率や路盤隆起の変化を表したものを図6に示す。水平縮小率については、インバート設置などの水平方向の変形に対する補強を実施していないこともあり、両ケース間の違いは見られなかった。一方、天端上昇率（天端上昇量/SLからの鉛直距離）については、裏込注入を施工することにより上部へのトンネルの突き上げを抑えることができた。なお、路盤については、背面空洞の有無によらず路盤隆起が発生する結果となった。

次に、実トンネルの維持管理に置き換えて検討してみる。なお、この検討は実験結果をもとにした一例であり、実トンネルの置かれている状況は、覆工の健全性や地山状況などが多種多様であるため、直接適用するには更なる検討が必要となる。

トンネル覆工と建築限界との離隔が建設時に左右に約 200mm づつあったとすると、約 4%（ $=400\text{mm}/9600\text{mm}$ ）の水平縮小率で覆工が建築限界に抵触すると仮定できる。今回の模型実験では、図6（左）より両ケースとも水平縮小率 4%はジャッキ変位 10mm 程度で発生し、この時の覆工の状況を図4、図5を見ると、背面空洞の有るケースでは天端部に圧が発生しているが、裏込注入を施工した場合には圧が発生しないことがわかる。すなわち、水平方向の変形が継続するような変形式の場合、裏込注入を施工すれば、建築限界抵触後に圧（はく落）が発生することになり、この余裕量を管理することがトンネルの安全性を照査するにあたり重要な指標となると言える。

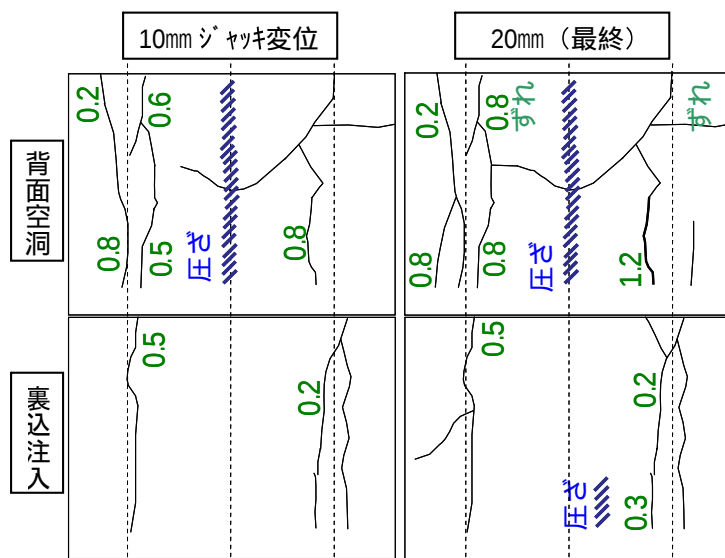


図4 ひび割れ状況比較

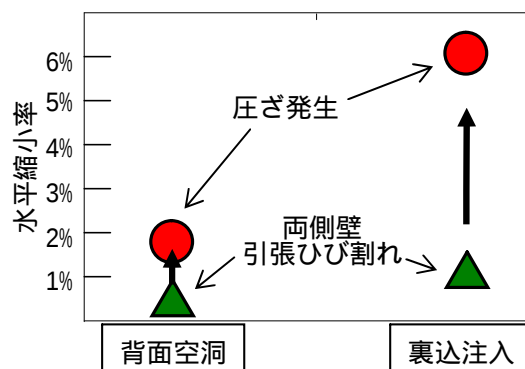


図5 主な変状と内空縮小率の比較

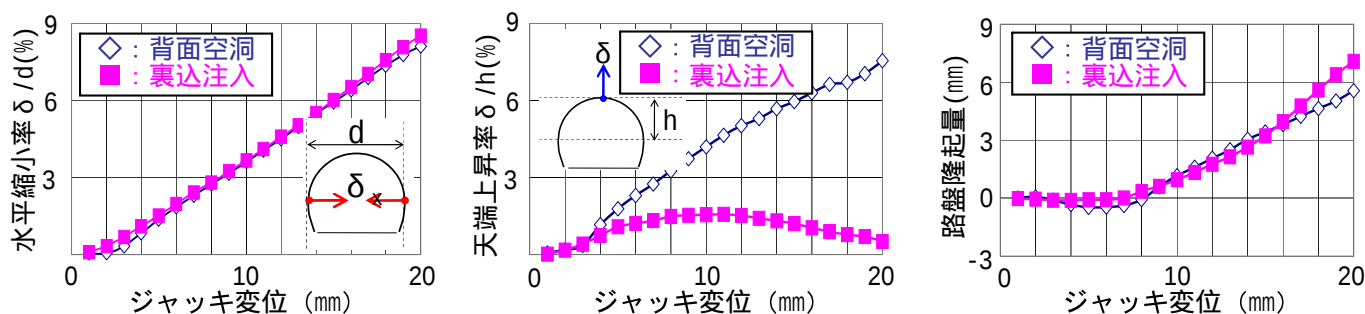


図6 ジャッキ変位と内空変形率・路盤隆起量の比較

4. まとめ

今回の実験により以下のことが確認された。

- 1) 背面空洞への裏込注入の施工によって、圧の規模も小さく、発生時期も遅くなることが確認できた。また、上部へのトンネルの突き上げに対する抑制効果も確認できた。
- 2) 背面空洞への裏込注入の施工によらず、路盤隆起が発生した。従って、路盤隆起に対しては別途対策工を検討する必要がある。

参考文献 1) 野城ほか、地震による変位を想定したトンネルの模型実験、トンネル工学報告集第17巻

2) 野城ほか、地震による変位を想定したトンネルの模型実験、土木学会年次講演会、2007