

## 直下地震時におけるトンネルの挙動に関する一考察（その2）

応用地質(株) 正会員○荃澤絵理架 正会員 中村 一樹  
 日本道路公団 正会員 伊藤 哲男 正会員 馬場 弘二  
 京都大学 正会員 大津 宏康

## 1. はじめに

阪神淡路大震災以来の大震度を記録した新潟県中越地震は、上越新幹線や関越道の被害報告から周知のようにこれまで比較的耐震性が高いと考えられてきたトンネルにも甚大な被害をもたらした。今回の震災で被害を受けたトンネルは、地滑りや偏圧に伴い損傷を受け、被害の大きいものでは崩落した事例も報告されている。直下地震による大きな突き上げの前では、覆工背面の空洞など構造的な欠陥の存在は非常に危険であると考えられる。

そこで、本文では、覆工背面に空洞を有するトンネルが、直下地震時の地盤の隆起による突き上げを受けた場合のひび割れパターンを確認するため、1/30 トンネル覆工模型試験機を用いて載荷試験を実施した。

## 2. 覆工模型試験の概要

## (1) 試験装置の概要

試験に用いた覆工模型試験装置を図-1に示す。

本覆工模型試験装置には、トンネル横断方向に5列、縦断方向に11列、全55箇所に載荷装置を配している。外枠（反力枠）から載荷板を通じてトンネルに力を加えることで、三次元の試験が可能となっている。外枠からの載荷の他に、トンネル脚部の昇降が可能であるため、脚部の沈下や上昇の試験も可能である。載荷板と外枠の間に、一定の変形係数を有した硬質ゴム（400N/mm）を配置することで、地山を模擬している。

トンネル内面に発生する変状は、トンネル内部に備え付けられたキャタピラつき計測機構でモニタリング可能である。トンネルの内空変位は、レーザー変位計により非接触で捉え、覆工のひび割れはビデオカメラで撮影することができる。

## (2) 試験条件の設定

本試験において、モデルとしたトンネル断面寸法および、供試体の断面寸法を表-1に示す。なお、載荷は直下地震による突き上げを想定し、脚部を強制的に上昇させた。試験装置最頂部の載荷板3列を供試体と非接触にすることで、覆工背面の空洞を模擬した。覆工コンクリートは、モルタルを用いて作成し、別途作成したテストピースの一軸圧縮強度が18N/mm<sup>2</sup>以上に達したことを確認後、試験を実施した。載荷は、地震と同様に数秒で行うべきであると考えたが、荷重制御では詳細な変形挙動を把握できないため、変位制御とし、上昇ピッチを0.125cm、載荷間隔は、載荷後に変位計測とビデオ撮影を行う時間を確保して3分間隔とした。

なお、本試験装置における脚部上昇は、試験装置下部に備え付けられているハンドルによって手動で行い、ハンドル1回転あたり0.125cm上昇させることができる。本試験においては、1段階の載荷をハンドル1回転、すなわち、0.125cmとした。

## 4. 試験結果

試験結果を図-2に示す。脚部上昇量－肩部荷重（トンネル肩部と載荷板の間に設置した荷重計の読み）曲線は、

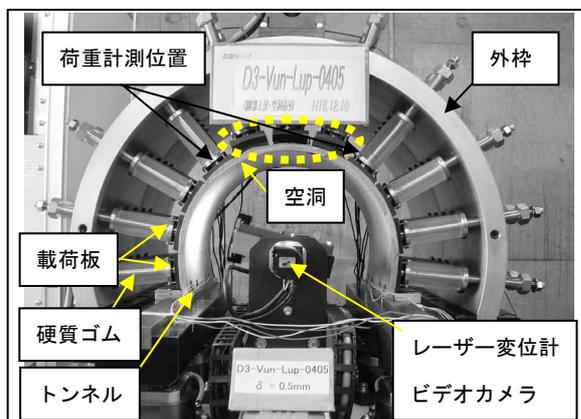


図-1 覆工模型試験装置

表-1 トンネル断面寸法

	標準断面	1/30 模型
半径	5.1m	170mm
覆工巻厚	30cm	10mm

キーワード トンネル、地震、模型実験

連絡先 〒112-0012 東京都文京区大塚 3-2-1 応用地質(株)ジオテクニカルセンター TEL03-3946-6583

最初のひび割れを確認すると同時に最大荷重を記録した。その後、荷重値は低下に転じたが、3本のひび割れの発生を確認している。空洞部の変形が卓越し、トンネル形状を保てなくなったため試験を終了した。ひび割れ展開図作成（スケッチ）は、顕著なひび割れ発生が確認できた時点で随時行った。スケッチ図とスケッチを行った時点の内空変位計測結果をあわせて試験結果図中に示す。

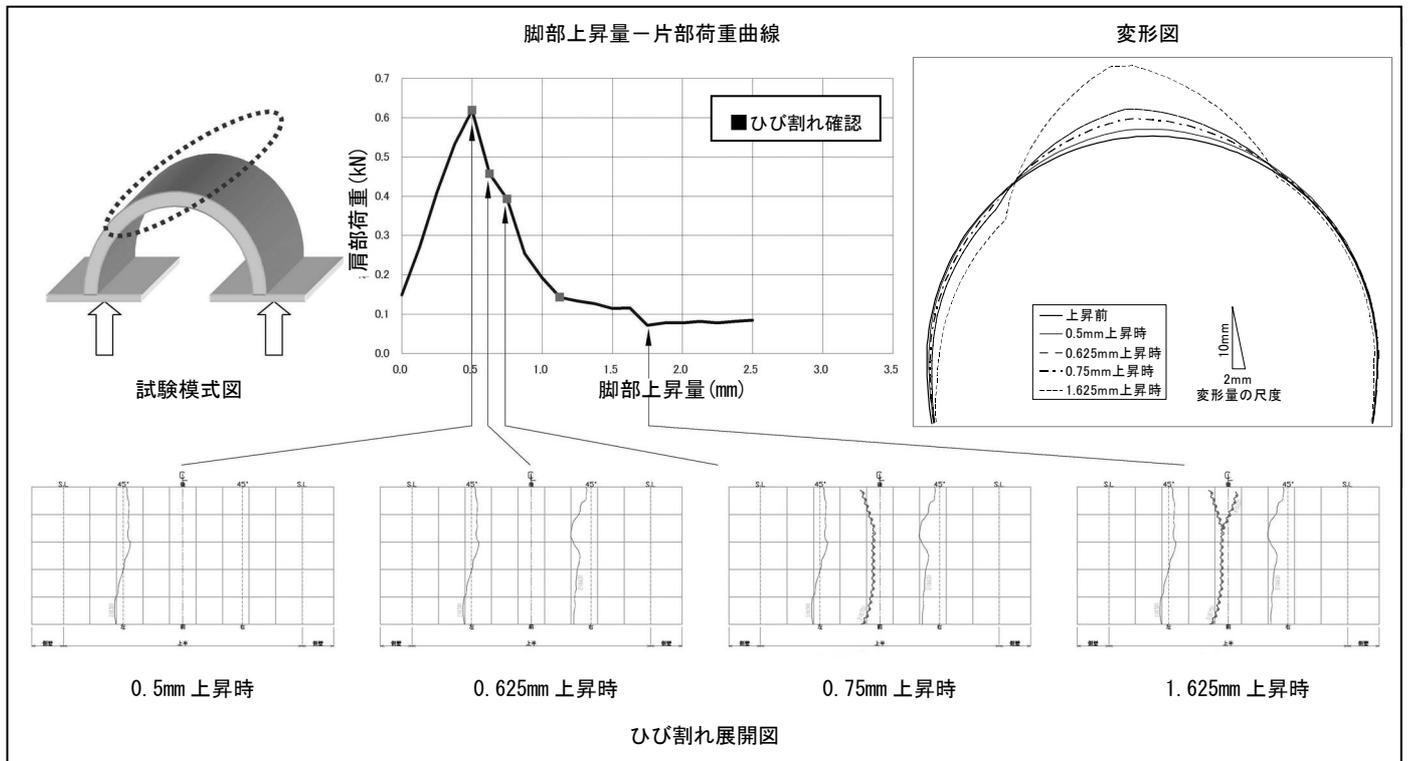


図-2 試験結果

## 5. 考察および破壊モードの推定

載荷試験では、次のような挙動が見られた。

- ・ 最初のひび割れは、空洞部と健全部の境界で発生した。
- ・ 天端で圧ぎが発生した。

図-3 に中越地震により被災したある在来工法で建設されたトンネルの遠方目視によるスケッチを示す。図-3 では、トンネルの側壁の押出し、天端部の崩落があり、肩部（空洞部と健全部の境界付近）や天端の圧ぎなど、ひび割れパターンは本試験結果と良く似ている。

本試験により、覆工に空洞を有するトンネルが、直下地震を受けた場合の変形挙動の一例が把握できた。

## 6. おわりに

小千谷地区における鉛直方向の移動量は、上向き 23.7cm と国土地理院から発表されている。1/30 模型試験機においては、トンネル脚部を 8mm 程度上昇させたことに相当する。本試験結果では、脚部を 0.5mm 上昇させた時点で最大荷重に達しており、実トンネルに換算するとわずか 1.5cm の脚部上昇で崩壊に至るという計算になる。実トンネルにおいて 1.5cm の脚部上昇で崩壊することは考えにくく、今後更なる検討を要する。

本試験により、空洞を有するトンネルが直下地震を受けた場合の挙動の一例を確認することができた。ひび割れパターンから残存耐力が推定できるようになれば、効果的、効率的な対策工や、耐震の検討に有用なデータを提供できるようになると考えられる。

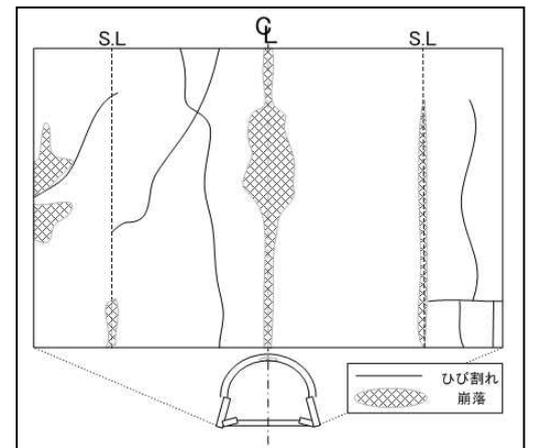


図-3 トンネルひび割れスケッチ