地震による変位を想定したトンネルの模型実験

鉄道総研 正会員 野城一栄,橘直毅,○小島芳之 京都大学 正会員 朝倉俊弘 鉄道・運輸機構 正会員 野々村政一

# 1. はじめに

山岳トンネルは一般に地震に強い構造物といわれているが、地 震の規模や震源域からの距離によっては被害を受ける場合があ る.本稿では、山岳トンネルを対象としてトンネルが地震被害を 受けるメカニズムや覆工の有する耐震性能を明らかにするため に実施した模擬地山中のトンネルの載荷実験について報告する.

### 2. 実験装置

実験には載荷模型実験装置(縮尺 1/50,図1)を用いた.本装 置は、土槽(600×600×300mm),反力フレーム、載荷用ジャッ キ(20kN×2本),ロードセル、載荷板、模擬地山、覆工模型等 からなっており、ジャッキの載荷により模擬地山を介して覆工模 型に地山の変位が伝わる構造になっている.また、模擬地山作成 後は天板を設置して、2次元ひずみ条件を仮定して実験を行った が、トンネルの位置する部分には円形の観察窓が空いており、ト ンネル内空の様子が目視で観察できるようになっている.

覆工模型と模擬地山の諸元を表1に示す. 模擬地山は軟岩地山 を想定して低強度モルタルとし, W/C を調整することにより実験 時(打設7日後)の強度が約0.5MPa 程度になるようにした. 覆 工模型はNATM(新幹線標準断面)を想定した1/50スケールの モルタル製の模型で,内空変位を測定するための変位計を設置し たほか,内外面には発生ひずみを測定するためにひずみゲージを 貼付した. 図2に覆工模型の概要を示す.

#### 3. 実験条件

既往の研究<sup>例えば D</sup>によれば土被りの大きい山岳トンネルでも断層・破砕帯など地山の条件が悪い場合,地震の規模や震源からの距離によってはトンネルも地山から変位を受け,ひび割れや圧ざなどの被害を生じることがあるとされている.本実験では水平方向からの変位を想定し,トンネルに対して左側から片押しで載荷することにより実験を行った.図3に載荷方法を示すが,載荷は変位制御により実施し,載荷速度 0.2mm/min のもとで5分間載荷,載荷を停止して5分間観察・計測を繰り返すことにより載荷板変位 20mm 迄載荷した.表2 に実験ケースを示すが,構造条件の差を把握するためにインバートをモデル化したケース (ケース2)の他,最近覆工の補強法として使われるようになった繊維材料の効果を把握するために,さらにポリプロピレン繊維をモルタルに添加したケース (ケース3) についても実験を行った.

# 4. 実験結果

地山のひずみ(載荷板の変位量/土槽の長さ)とトンネルの変形 率(内空の縮小量/内空幅)の関係を図4に示す.水平方向につい てはいずれのケースも載荷に伴いトンネルは縮小するが,トンネ ルの水平変形率は,インバートありのケース2,3はインバート

キーワード トンネル 模型 実験 地震 変位

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所構造物技術研究部 TEL:042-573-7266



図1実験装置の概要(天板を外した状態)



なしのケース1の1/2程度となることがわかる.インバートはト ンネルの変形抑制に大きな効果を有することが確認できる.なお 鉛直方向については、ケース1は縮小、ケース2、3は拡大とい う結果になった.

ケース1,3について、載荷終了後の地山の変位の状況を図5 に示す. 図中には地山表面に設置したターゲットの移動を矢印で 示している.なお、ケース2はケース3とほぼ同様の破壊形態で ある. インバートなしのケース1はトンネル底部の地山が破壊し 盤膨れを生じた.また、地山のひずみはトンネル周辺に集中して いる.これは、インバートがなくトンネルの水平方向の構造体と しての剛性が小さいためと考えられる.このような変形形態とな るため、インバートなしのケースではトンネルの変形がインバー トありのケースに比べて大きくなったものと考えられる.

ケース1,3について,ひび割れ発生前(地山の水平ひずみ0.5%) 時の覆工の発生モーメントを図6に示す.水平方向に載荷するた め、側壁部で正曲げ、天端部で負曲げの曲げモーメントが発生し ており、これらの箇所でひび割れが発生したこと(後述)と対応 している.構造の違いによる違いについては、天端部の曲げにつ いては、インバートなしのケース1のほうが、最大値が大きく、 また、曲げが作用する範囲も拡がる傾向となった.

載荷終了時の覆工の変状展開図(内面側)を図7に示す.水平 方向の載荷であるため、文献<sup>例えば2)</sup>に示されているように、側壁 部に引張ひび割れが入る形態の変状となった.これは、なお、図 上には現れないが、いずれのケースも天端の裏側にも引張ひび割 れが入った. インバートの有無に着目すると、インバートのない ケース1では載荷の進展に伴い天端内側で圧ざを生じた.なお, インバートのあるケース2,3では目視では圧ざは確認できなかっ た. ケース1では天端で圧ざを起こして変形が集中するようにな ったため、側壁の変状が小さくなったと考えられる、次に、覆工 の材料に着目すると、モルタル覆工のケース2では載荷の進行に 伴い側壁部に大きなひび割れが発生しその後はひび割れの数は 増加せずの幅のみ大きくなった. それに対し、繊維を混入させた ケース3では、ひび割れの発生位置はほぼ同じであるものの、ひ び割れの発生数が増加し、一方で、ひび割れの幅は小さくなった. これは、繊維の混入による曲げ変形性能の向上の効果であると考 えられ、トンネルが変形した際のはく落抵抗性の向上につながる ものと考えられる. S.L. 天端

# 5. まとめ

本研究の結論を以下に示す.

- ①本実験装置により、地震による地山変位を受 けた際のトンネルの変形・破壊挙動や耐震性 能の評価が可能であることがわかった.
- ②インバートによりトンネルの変形や盤膨れを 低減することができることがわかった.
- ③繊維の混入により覆工のじん性が向上し、ひび割れを 分散させ,ひび割れ幅を小さくすることが可能となるこ とがわかった.

なお,本研究の一部は,鉄道・運輸機構基礎研究制度に より実施したものである.

表 2	実験ケ	ース
-----	-----	----

5	ケース1	インバートなし、モルタル覆工
',	ケース 2	インバートあり、モルタル覆工
	ケース 3	インバートあり、繊維モルタル覆工



図4地山ひずみとトンネルの変形率の関係



case2 図7変状展開図(図中数字はひび割れ幅)

参考文献

N,

case1

0

1) 朝倉他:山岳トンネルの地震被害とそのメカニズム, 土木学会論文集, No.659, Ⅲ-52, 2000.9

case3

2) 鉄道構造物等維持管理標準(構造物編)·同解説(ト ンネル),鉄道総合技術研究所, p.151, 2007.1