3-334

小土被りトンネルの地震被害を想定した模型実験

鉄道総研 正会員 ○野城一栄,橘直毅,小島芳之

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、小土被りの山岳トンネルを対象として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盤中 のトンネルの載荷実験の結果について報告する.

2. 実験装置

過去の研究¹⁾により、小土被り山岳トンネルの地震時の被害は地震 動による地盤のせん断変形により生じるものと考えられている.よっ て、実験は2次元せん断土槽(図1)を用いて実施した.本装置は、 せん断土槽(内法 2×2×3m),反力フレーム,ジャッキ,ロードセル, 模擬地盤(硅砂)、トンネル模型等からなっている、ジャッキは油圧に より制御され、ジャッキの載荷によるせん断土槽の変位が、模擬地盤 を通じてトンネルの周囲の地盤のせん断変形としてトンネル模型に伝 わる構造になっている.

図2にトンネル模型の寸法を,表1にトンネル模型と模擬地盤の諸 元を示す. トンネル模型は在来工法により建設された新幹線標準断面 のトンネルを想定した1/20スケールのモルタル製の模型である.なお、 トンネル模型脚部の水平方向の移動を固定(回転は自由)しており, インバートありのトンネルを想定した実験となっている. 模擬地盤の 材料は乾燥した硅砂で、地盤は気中落下法により作成した. 締固めを 行うことにより、地盤の相対密度は80%程度になっている. 模擬地盤 の土被りは 2D(D:トンネル径) である.

3.実験準備及び実験条件

型枠にモルタルを打設して養生した後に脱型してトンネル模型を作 成する.トンネル模型は、ひずみゲージ、変位計、カメラなどを取り 付けた後に土槽に設置し、模擬地盤を作成する.実験においては、3 段あるジャッキのうち最下段のジャッキは固定し、上側2段のジャッ キにより、三角形分布の変位を作用させる.図3に載荷ステップを示 すが,載荷は変位制御(入力位置における地盤のせん断ひずみ Δ/H の 増加速度 0.6%/min, Δ/H の定義は図4にて後述)とし、1 サイクル毎 に, Δ/H の最大値を大きくしながら, Δ/H が 6%に達するまで, 交番載 荷により静的に行った.実験においては、トンネル模型壁面の変位、 トンネル模型のひずみ等を計測した.また、トンネル模型内に設置し たカメラにより覆工のひび割れの発生,破壊の進展の様子を観察した.

表2に実験ケースを示す.実験は、トンネルの欠陥(巻厚不足、背 面空洞)と対策工(裏込注入)に着目して3ケースを実施した.ここ で、巻厚不足を模擬したケースでは天端の巻厚を正規の巻厚の 1/2 と している.また背面空洞は覆工天端表面に t=2mm のアルミ板を天端 120°範囲に設置することにより模擬した.

4. 実験結果

(a) トンネルの変形, ひび割れ

変形については、地盤のせん断ひずみ δ/H,トンネルのせん断変形

キーワード トンネル 模型 実験 地震 せん断

〒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 連絡先



せん断土槽 ジャッキ(押し引き可能)

Ì∎⊒=-(^î



硅砂6号

目標 80%

榵擬

地盤

種類

相対密度

図3載荷ステップ



率 δ_s/h , トンネルの水平変形率 δ_h/b に着目して整理した. これらの定 義を図 4 に示す. 図 5 に $\delta/H \ge \delta_s/h$ の関係を示す. なお,実験は交番 載荷により行ったが,わかりやすくするため,各載荷段階での地盤の せん断ひずみ δ/H が最大となる時の計測値をつないで表示している. 図より,いずれのケースも δ_s/h は δ/H にほぼ比例して増加しており, せん断変形により破壊する小土被り山岳トンネルの地震時挙動が再現 できていることがわかる. 図 6 に $\delta/H \ge \delta_h/b$ の関係を示す. 地盤の載 荷が進むにつれ水平内空が縮小するように変形することがわかる. な お,水平内空の縮小は,背面空洞・巻厚不足のあるケース 1 で $\delta/H=0.4\%$ 程度,その他のケースで $\delta/H=0.8\%$ 程度から顕著になる.

図7にトンネル模型の内側表面の変状展開図を示す.ひび割れ,圧 ざ発生の時期は図8に示した通りである.ケース1に着目すると、δ/H =0.4%時に左右両肩部と天端に曲げひび割れが生じた.δ/Hが大きく なると、ひび割れは本数・幅とも増加していく.δ/H=1.2%時に天端に 圧ざが発生し、δ/H=2.3%時には、天端の圧ざ箇所で剥離が生じた他、 斜め方向に複数のひび割れも発生した.同じδ/H=1.2%で比較すると、 背面空洞のないケース2では、ケース1と異なり、天端部での圧ざは 発生していない.さらに、巻厚が正規の場合のケース3では、天端部 でのひび割れはみられず、ひび割れはアーチ両肩部にあるのみである.

実験において、肩部で曲げひび割れが発生するのは、図5に示すようにトンネルがせん断変形しているためと考えられる.また、トンネル天端で曲げひび割れが発生するのは、図6に示すように水平内空が縮小しているためである.天端背面に空洞があるケースでは、欠陥のために水平方向の剛性、耐力が不足し、地盤のせん断変形の増加によりトンネル周辺地盤自体が水平方向に押し出し、天端に大きな被害が生じたものと考えられる.

(b) トンネルの欠陥の影響,対策工の効果の比較

図8に各ケースについて、ひび割れ、圧ざが発生する時の δ/H(絶対値)を比較する.図より、ケース1に比べケース2、3では、ひび割れや圧ざの発生する δ/H が大きくなっている.地盤から同じ変形を受けたときでも、対策工の施工により、あるいは、覆工から欠陥をなくすことにより、トンネルに生じる被害を小さくできることがわかる.

図9に、 $\delta/H=2.3\%$ 時の δ_h/b 、 δ_s/h をまとめる.背面空洞、巻厚不足という欠陥を有するケース1で δ_h/b が最も大きく、破壊に伴い水平内空の縮小を起こしやすいことがわかる.裏込注入を行ったことに相当するケース2は背面空洞ありのケース1に比べて δ_h/b が小さくなっており、地盤からの反力が復活しトンネルが変形しにくくなるという裏込注入の効果が確認できる.

5.まとめ

小土被り山岳トンネルの地震被害に関して模型実験を実施した.模型実験により小土被り山岳トンネルの地震被害を再現し,被害メカニズムや覆工の破壊が生じる地盤のせん断変形量を把握することができた.また,模型実験により,欠陥を有するトンネルでは,健全なトンネルに比べて構造耐力が大きく低下すること,裏込注入により上記の問題を改善できることがわかった.

参考文献

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



図9 トンネルの変形率の比較