

せん断変形を受ける山岳トンネル覆工の破壊挙動に関する基礎的実験

首都大学東京大学院

学生会員

○森田 倫先

首都大学東京大学院

正会員

土門 剛

首都大学東京

正会員

西村 和夫

1. 目的

地震による山岳トンネル覆工の被害には地盤の単純なせん断変形モードによるものと考えられる被害パターン以外のものが多数見られる．この要因として不成層や地質構成，断層などの地盤構成に由来するものと，覆工巻き厚やコンクリート材料，施工やインバートとの継ぎ構造の状態などの覆工構造に由来するものとが考えられる．本研究では，これらの問題について簡易に模型実験できる覆工模型材料と載荷方法の開発を目的とし，その第一段階としての実験槽の工夫と，覆工材料開発を目的とした成層地盤における真円および馬蹄形のトンネル覆工の破壊挙動を確認した．

2. 模型実験

2.1 実験装置

本研究には写真 1 に示す単純せん断変形を与えることができる簡易的な実験装置を使用した．装置は長方形に固定された外枠，外枠の左右側板に 1 本ずつ取り付けられた載荷棒，外枠と底部を蝶番で固定された内枠(せん断土槽)から構成され，単純せん断変形を与えることができると共に，内枠を変えれば，1/4 波長の変形を 1/5 分割で与えることができるようになっている．

2.2 使用材料

- (1) 模擬地盤：模擬地盤には，扱いやすいこと，繰り返し使用しても物性の変化がなく再現性が高いことなどから長さ 100mm のアルミ棒積層体を使用した．アルミ棒は直径 1.6mm，3.0mm のものを重量混合比 3:2 となるように混合した．模擬地盤の緒元を表 1 に示す．
- (2) 覆工模型：実験装置の載荷力は小さいので，低強度な模型材料の開発を試行し，最終的には塗壁材(京壁)，豊浦砂，水を重量混合比 1:8:4 で混合したものを使用した．緒元を表 2，実験ケースを図 1 に示す．例として真円模型を写真 2 に示す．

3. 実験方法

最初にアルミ棒をせん断土層に 20cm まで充填し，トンネル覆工模型を土槽側板および底板から 20cm(2D)の位置に設置，その後アルミ棒を土槽天板まで充填する．設置した覆工模型内側にひび割れ等が無いことを確認した後に，実験装置外枠の右側板に取り付けられた載荷棒を使用し 1mm ずつ変位を与えると



写真 1 実験装置

表 1 模擬地盤緒元

材質	アルミ合金
長さ	100mm
内部摩擦角	30°
粘着力	0kPa
単位体積重量	$2.15 \times 10^{-5} \text{N/mm}^3$

表 2 トンネル覆工模型緒元

材質	塗壁材，豊浦砂，水
1軸圧縮強度	0.68MPa
奥行き	100mm
巻き厚	5mm
打ち継ぎ目	なし

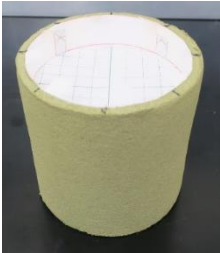


写真 2 真円模型

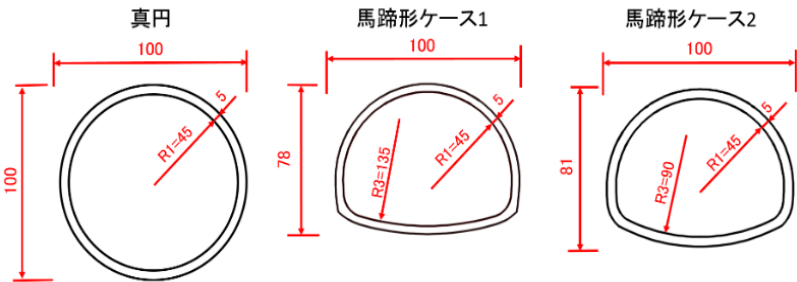


図 1 実験ケース

キーワード： トンネル 模型実験 せん断 地震

連絡先： 首都大学東京 住所〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL:042-677-1111 (代表)

ともに観察を行う。変位は最大で 54mm まで与え、模型が途中で崩壊した場合、それ以上の変位は与えない。

4. 実験結果

真円模型は図 2 に示すように、载荷位置変位 12mm で引張力が働く左上および右下 45 度方向の内側にひび割れが発生した。変位 50mm までには左下および右上 45 度方向の外側にひび割れが発生し、その後 54mm まで変位を与えたが楕円形がつぶれる変形が進行するのみで、内空がつぶれるような破壊は無かった。

馬蹄形ケース 1 は図 3 に示すように変位 8mm で左上 45 度方向内側とインバート中央部内側にひび割れが発生した。変位 34mm で右下隅角部外側と左上 45 度方向外側にひび割れが発生した。変位 39mm でインバートが内側に向かって割れ、崩壊した。

馬蹄形ケース 2 は図 4 に示すように変位 6mm でインバート中央部内側に、変位 7mm で右上アーチ部内側にひび割れが発生した。変位 19mm で右下隅角部、変位 30mm で左上アーチ部外側にひび割れが発生した。変位 43mm でインバートが内側に向かって割れ、崩壊した。

5. 結論

単純せん断変形を与えることができる簡易的な装置を使用して、成層地盤における山岳トンネル覆工の破壊挙動を確認した。

真円模型の場合、アーチ肩部など 45 度方向の引張力が生ずるところにひび割れが発生し、楕円形へと大きく変形したが、周辺拘束の効果によってつぶれることはなかった。馬蹄形模型の場合、アーチ肩部とインバート中央部にひび割れが発生し、変位をさらに与えていくと盤ぶくれが進行し、インバートが内空側に割れて崩壊した。馬蹄形模型ケース 1 とケース 2 でインバートの曲率半径を若干変えているが、破壊に至るまでの挙動に違いは見られず、共にインバートが内空側に割れ崩壊した。

真円模型は 45 度方向に被害が発生する理論通りの結果となった。馬蹄形模型も真円模型と同様に 45 度方向にひび割れが発生すると想定していたが、45 度方向のひび割れと共に盤ぶくれが発生した。この原因として、覆工模型の厚さを上半アーチ、インバートともに 5mm としたためインバートの耐力が上半アーチと比較して小さいこと、アルミ棒の変形性能が高いことなどが考えられるが、このほかの原因についても検討する必要があると考える。

本研究の覆工模型の作製には、塗壁材（京壁）、豊浦砂、水を重量混合比 1:8:4 で混合した新しい材料を開発した。整形が容易であることと、実験装置で単純せん断変形を与え覆工模型の破壊挙動を確認できたことから、この材料は簡易な覆工模型材料として適用可能なものであると考えられる。

真円模型を使用して 2 次元模型実験を実施した結果、成層地盤における地震時被害を再現できたことから本研究で使用した簡易的な実験装置でも静的に地震時を模擬できると考えられる。馬蹄形模型の場合は地震時被害の再現が出来ていないため、実験ケースおよび模型作製の改善が必要であると考えられる。また、現状では目視での変状確認のみであるため、ひずみゲージ、変位計などによるより精度の高い計測も行う予定である。

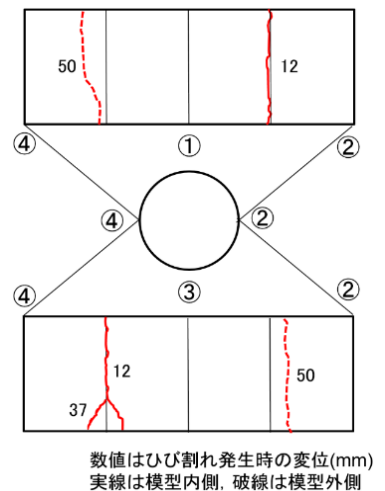


図 2 ひび割れ展開図(真円)

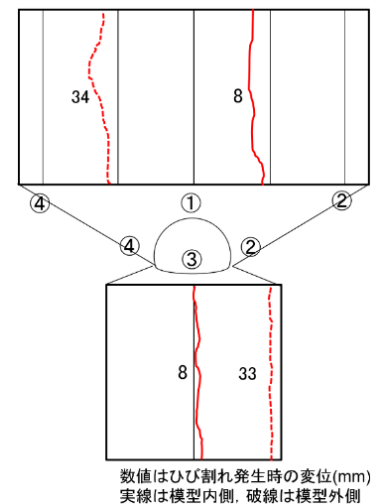


図 3 ひび割れ展開図
(馬蹄形ケース 1)

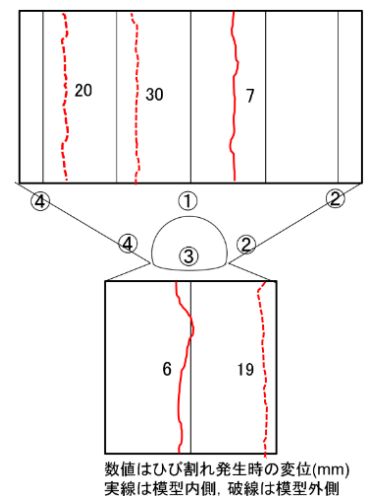


図 4 ひび割れ展開図
(馬蹄形ケース 2)