

打継ぎ目の影響を考慮したトンネルの力学的挙動に関する考察

東京都立大学 学生会員 ○藤井亜紗佳
 東京都立大学 正会員 河田 皓介
 東京都立大学 正会員 砂金 伸治

1. 研究背景・目的

山岳トンネルの構造においては覆工とインバートとの間に打継ぎ目（写真1）が存在し、トンネルの壁面に直交するように隅角部に設ける場合が一般的である。実際の施工時には、打継ぎ目を斜めに仕上げる事が多く、ひび割れ等が生じることを防止するために人力での成型を必要とし、結果的に施工に困難をきたす場合がある。一方で、インバートの隅角部から覆工にひび割れ等が発生する事例があり、構造的な弱部とならない配慮が不可欠である。また、今後においてもトンネル構造全体の品質向上や施工の省力化に繋がるような検討が必要となる。しかし、経験的に扱われてきた従来の山岳トンネルの打継ぎ目の構造等は、実際に問題が生じても把握できないことが多いこともあり、現時点で設計モデルの考え方が統一的には見られていない。今後の設計においては、打継ぎ目の位置や角度の適切な評価が必要であると考えられ、打継ぎ目がトンネルの挙動に及ぼす影響とともに、その特性を考慮したトンネル構造の力学的挙動について把握する必要がある。



写真1 打継ぎ目構造

本研究では、作用荷重の方向や打継ぎ目の位置がトンネルの基本的な力学的挙動に及ぼす影響を把握することを目的として模型実験を行った。

2. 研究手法

図1に実験模型の概要図を示す。実験装置は400mm四方の底面摩擦模型実験装置を使用した。実験で使用した模型は、塗り壁材:豊浦砂:水=1:8:4で混合して作成した。模型の形状は従来型である馬蹄形とし、打継ぎ目の箇所にアルミ棒を用いて仕切りを作ることで模型の打ち込みを別々に行って作成した。実験での打継ぎ目の条件は、「なし」に加え、隅角部・インバート中央・スプリングライン（以下、SL）に設けた4種類とした。アーチ部の半径は40mm、厚さは5mmとし、インバート部の半径はアーチ部との比が1:2、厚さはアーチ部と同様に5mmとした。模擬地山は、粒形φ2.5mmとφ5mmのステンレス棒を使用し、混合重量比がφ2.5mm:φ5mm=3:2となるように充填した。模型は模擬地山の境界部から2D（D：トンネル模型の外径、80mm）の離隔が確保できる位置に設置した。

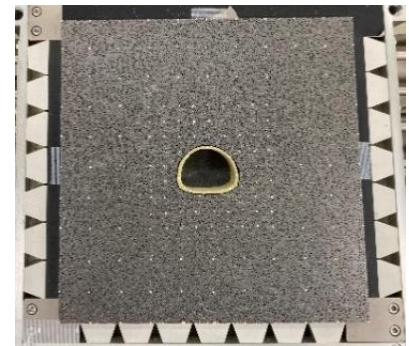


図1 実験模型の概要図

表1 実験ケース

ケース	打継ぎ目	载荷方向
1	なし	下方向
2	隅角部	
3	インバート中央	
4	SL	
5	なし	右方向
6	隅角部	
7	なし	上左右3方向
8	隅角部	

表1に実験ケースを示す。ケース1~4では模擬地山の下方向から中央3本のシリンダーで上方向に载荷して盤ぶくれに伴う隆起を模擬した。また、ケース5, 6では模擬地山の右方向から7本のシリンダーで载荷して地震等により側方から荷重が作用する場合を模擬した。さらに、ケース7, 8では上左右3方向から7本のシリンダーで载荷してゆるみ荷重等を受ける場合の影響を模擬した。実験ではシリンダーによって载荷した荷重とともに、模擬地山および模型に標点を打ち、画像解析により変位を計測した。

キーワード 山岳トンネル, インバート, 覆工, 打継ぎ目, 模型実験

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL042-677-1111

3. 研究結果と考察

各ケースのひび割れ発生状況を表2に示す。模型に打継ぎ目を設けないケース1, 5, 7の基本ケースでは、それぞれインバート中央や隅角部にひび割れが発生した。また、隅角部に打継ぎ目を設けた場合では、ケース2では、インバート中央にひび割れが生じた後、隅角部から破壊し、荷重の方向を変えたケース6, 8では、隅角部に生じたひび割れが横に広がっていき、インバートと覆工全体に広い範囲で複数のひび割れが生じた。また、他のケースに比べてひび割れ発生荷重は大きく、突然範囲の広いひび割れが複数生じたため、脆性的な破壊に至る可能性がある。さらに、打継ぎ目の位置の異なるケース3, 4でも、ケース2と同様に隅角部やインバート中央部にひび割れが生じた。従来型のトンネルでは隅角部やインバート中央が弱部となることから、荷重や地山条件も含めてトンネル構造全体の挙動に及ぼす影響を検討する必要があると考える。

図2にケース1~4, 図3にケース5, 6, 図4にケース7, 8の鉛直方向と水平方向の内空変位をそれぞれ示す。図2より、下方向から载荷した場合、鉛直方向に縮小、水平方向に拡大することがわかる。このとき、インバート部も天端も隆起したが、インバート部が天端に比べ大きく隆起することから鉛直方向に縮小したと考えられる。インバート中央に打継ぎ目を設けたケース3は初期ひび割れ発生後に急激に変位が大きくなるため、脆性的な破壊に至る可能性がある。また、SLに打継ぎ目を設けたケース4は打継ぎ目がないケースと同様な挙動であることを確認した。下方向からの载荷では、水平よりも鉛直方向の変位の方がケース間での変位差が大きく、鉛直内空変位のみで比較すると、打継ぎ目なしのケースが最も耐荷力が大きいことは自明で経験的にも明らかであるが、打継ぎ目の位置がSL, 隅角部, インバート中央の順に耐荷力が大きくなることがわかった。また、図3から右方向から荷重が加わった際、鉛直方向に縮小、水平方向に拡大することがわかる。打継ぎ目がない場合と隅角部にある場合とでは変位の観点では大きな差が見られなかった。さらに、図4からは、鉛直方向に縮小、水平方向に拡大する結果となった。このとき、ケース1~6の挙動とは異なり、インバートも天端も沈下し、天端沈下量がインバートより大きい結果が得られた。ケース5~8では、ケース1~4と比較して変位量は小さく、ケース間の変位差も微小であったことから、側方からのみやゆるみ荷重の作用を想定した場合、隅角部に打継ぎ目を設けることによる影響は小さいと考えられた。ただし、ケース3, 4のように打継ぎ目の位置が異なる場合は別途検討が必要である。

4. まとめ

本研究では打継ぎ目の位置を変えたトンネル模型に様々な方向から荷重を加えることで、打継ぎ目の位置によるトンネルの力学的挙動の変化を確認した。今後の課題としては地山条件、载荷条件の変更等に加え、解析的な検討を行い、打継ぎ目に関する設計モデルの検討を行う必要がある。

表2 ひび割れ発生状況

ケース	主なひび割れ発生箇所
1	インバート中央
2	インバート中央・隅角部
3	隅角部
4	インバート中央
5	インバート中央・隅角部
6	隅角部・インバート・覆工
7	隅角部・天端
8	隅角部・インバート・覆工

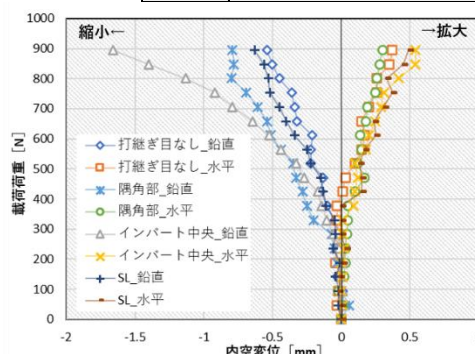


図2 内空変位 (下方向から载荷)

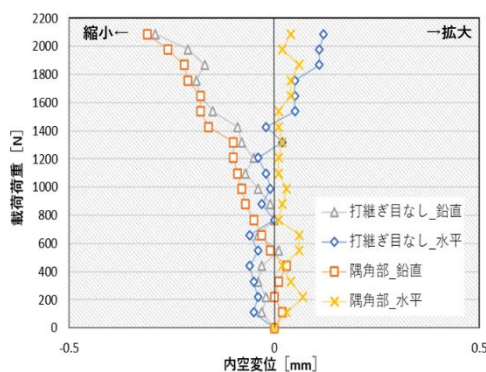


図3 内空変位 (右方向から载荷)

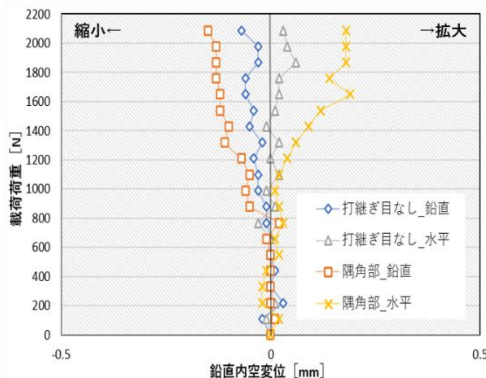


図4 内空変位 (3方向から载荷)