外力対策を考慮したトンネル覆工の挙動に関する実験的考察

(独) 土木研究所 正会員 〇河田皓介, 砂金伸治, 日下敦, 真下英人

1. はじめに

山岳トンネルは一般的に地震に強い構造物とされているが,地震等に伴う過大な外力がトンネルに作用すること により,覆工の崩落等の被害が報告されている^{例えば1)}.トンネルにおける地震による被害の発生メカニズムについ ては解明が進められている^{例えば2)}.しかし,現状では山岳トンネルに対して地震時において作用する外力の想定は 困難であること等により耐震設計が確立される段階には至っておらず,既設トンネルに対して対策が必要となる場 合はトンネルの変状対策を基本として実施されていることが多い³⁾.本稿では過大な外力の作用下において覆工の 崩落やはく落に対する対策工の効果を把握するために,対策工を模擬した模型実験結果とその考察について述べる.

2. 実験概要

実験は土木研究所が所有する二次元載荷試験装置を使用し、外力の 作用を想定した覆工の挙動について検討を行った.土槽寸法は幅 1.2m 四方、高さ 0.3m である.図-1 に示すように土槽内に 2 車線道路トンネ ルの約 1/20 のモルタル製の覆工・インバートを模擬した模型を設置し、 その外側に貧配合モルタルによる模擬地山を作製した.覆工は一軸圧 縮強度 18N/mm²、地山は 0.5N/mm²を目標強度として作製した.

載荷は,覆工天端部に圧縮破壊が発生すると想定される地山の水平 圧縮変形²⁾を想定し,荷重制御により行った.また,載荷終了の判断 は覆工模型が崩壊するか,ジャッキの最大荷重に到達するまでとした. 本実験では可動壁に作用する荷重と変位,覆工模型内部の変位に加え, 可能な範囲で内面のひび割れを観察・計測し記録した.

表-1に実施した実験ケースの一覧を示す. 模擬した 対策工はロックボルト,繊維シートに加え,道路トン ネルの標準的な坑口部覆工で用いられる単鉄筋を模 擬したケースにて行った.

3. 実験結果

図-2に荷重と水平変位の関係を示す.図-3に発生時 の載荷荷重を100kN間隔で色分けした,ひび割れ発生 状況図を示す.図-2から,荷重が約300~600kNの範 囲でグラフの傾きが変化している.図-3と観察時の状 況から荷重が Case1 は約460kN, Case2 は約560kN, Case3 は約520kN, Case4 は約350kN に達した際に,イ ンバート接続部(特に載荷方向である左側)周辺にお いて,ひび割れが発生したことにより変位の伸びが見 られた.また, Case2,4についてはひび割れと同時に 同部でズレが見られたため,ひび割れは貫通している と考えられるが,他のケースについてはひび割れの貫 通は不明であった.これらは水平方向からの載荷によ



◎□ 復工候空概 表-1 実験ケース一覧





キーワード 山岳トンネル, 地震, 外力, 対策工, 模型実験

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (独)土木研究所 道路技術研究グループ(トンネル) TEL029-879-6791

りインバート接続部周辺に応力が集 中することで破壊が生じたためと考 えられる. この時の荷重が Case1~3 に比べ Case4 は 3~6 割程度小さい. これは、Case4の覆工模型の強度が他 と比べ2~3割程度低いことが要因と して考えられ、結果の解釈に注意が 必要である. また, Casel, 3 では約 900kN で変位が負側に広がり,以後 正常な計測は不可能であった. Case2, 4 では載荷容 量の制約がなければ、さらに載荷可能だったと考え られる. Case1, 3 は約 900kN であり, 同等, Case2, 4はそれ以上の耐力を有していると考えられる.

図-3 から, Casel において荷重 200kN を過ぎた付 近からひび割れが発生し、約370kNで天端部に圧ざ が発生した.以後、せん断破壊によると考えられる 横断方向のひび割れが発生した.載荷終了後,斜線 部で地山模型に達する規模のモルタルの崩落が発生 した. Case2 においては約 230kN で 180°付近のボル ト部からひび割れが発生した.また、天端部で圧ざ は生じなかったが、せん断破壊によると考えられる 横断方向のひび割れが発生した.載荷終了後,斜線 部で模型厚さの 1/3~2/3 程度の深さのはく落が発生



図-3 ひび割れ発生状況図

した. Case3 においてはシートにより載荷中のひび割れは確認できなかったが、約 850kN で天端部のシートに浮き が生じ、約 880kN でシートが一部破断した.実験終了後、天端付近にせん断ひび割れによる 5mm 程度のズレを確 認した.このズレが発生していた部分周辺において覆工模型とシートの付着がはがれていた. Case4 においては約 250kN からインバート接続部左側で部分的にひび割れが発生した後,約890kN で天端部の圧ざによるひび割れが発 生したものの, Case1, 2 で見られたせん断破壊と考えられる横断方向のひび割れは発生しなかった.載荷終了後, 斜線部で厚さ数 mm のはく落を確認した.

4. まとめ

本実験の結果から、ロックボルトのケースではひび割れを抑制する効果は見られないが、崩落を抑制する効果が 確認された.また、繊維シートのケースでは、はく落発生を抑制する効果が確認された.さらに、単鉄筋のケース ではひび割れを分散する効果があり、はく離、はく落の発生が抑制された。また、耐荷力は無対策と繊維シートの ケースではほぼ同等、ロックボルトのケースではそれよりやや高くなった.また、単鉄筋のケースでは模型の強度 が他と比較して低いが、載荷荷重の制約を考慮すると、耐荷力は高くなる可能性がある.ただし、これらの実験結 果は実際の対策工との条件や寸法の違い等があることや、インバートの接続部分での破壊が全体の耐力に影響を及 ぼしている可能性を考慮する必要がある.

今後はこれらの結果を踏まえたうえで、動的な影響を含めた実験および数値解析によるメカニズム等の検証を行 い、耐震対策を含めた外力に対する対策工の提案を検討する必要がある.

参考文献

- 1) 真下ら:新潟県中越地震における道路トンネルの被害,トンネルと地下,423号, pp.55-63, 2005
- 2) 日下ら:山岳トンネルにおける覆工構造と地震時挙動の関係に関する一考察,トンネル工学報告集, No.20, pp.1-8, 2010.
- 3) (社) 日本道路協会:道路震災対策便覧(震前対策編) 平成 18 年度改訂版, pp.184-188, 2006.

-256