

柔なトンネル構造の挙動に関する実験的考察

(独)土木研究所 正会員 ○砂金 伸治, 日下 敦, 真下 英人

1. はじめに

近年, 地山条件が不利な状況でのトンネルの施工事例が増加している. このような場合, トンネル構造に作用する外力に対して変形を許容し, 作用する外力を「いなす」対応と, 生じる変形を抑制するために支保構造の剛性を高くする対応があり, 現在は後者による方法が多く採られていると考えられる. 一方, 大規模地震の発生時にはトンネル構造に過大な外力が作用し, 覆工コンクリートの崩落等の被害が発生した事例も見られている¹⁾. 覆工の崩落現象が生じる理由の1つとして, 地山の変形に覆工の挙動が追従できないことにより, トンネル構造が過大な荷重を負担するためと考えられる. しかし, トンネル構造が外力の作用や変形に追従できれば, トンネル構造が破壊する時点での変形量または外力を大きく確保出来ると見なせる可能性がある. 我が国のようなトンネル数が多く, かつ, 厳しい施工条件・自然条件下において, より安全なトンネル構造を構築するためには, 施工性, 安全性, 地山の挙動といった種々の観点に加え, 経済性にも留意しなければならないといった課題はあるものの, 1つの方策として現在のトンネル構造のあり方を見直すことも考えられる.

筆者らは過去に実大規模の覆工载荷実験を通じた覆工の力学的メカニズムの解明²⁾や, 過大な変形や外力に耐えうるトンネル構造を構築する場合に, 構造的になるべくシンプルな形で対処できるような機構を持つ「柔なトンネル構造」を想定し, その変形性能や耐荷力といった力学的特性の差異や挙動のメカニズムの解明を検討してきた³⁾. 本稿では柔なトンネル構造に関する実大規模の载荷実験を行った結果について報告する.

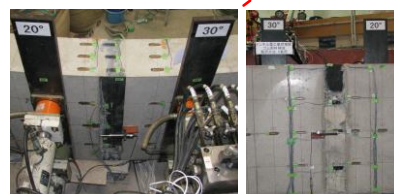
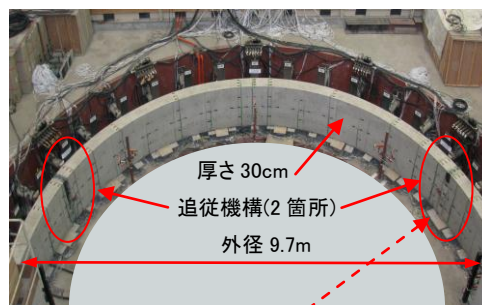


写真-1 実験状況

(供試体全体図, 25度部分拡大)

2. 実験方法

写真-1に実験状況, 図-1に本実験における载荷の形式, および角度を付して定義する座標を示す. 実験ではトンネル覆工载荷装置を用い, 外径が9.7mの半円形, 厚さ30cm, 高さ1mのコンクリート製の供試体を横に寝かせる形で作成した. 供試体下部にはテフロン板等で摩擦を除去した支承を配置し, 支点脚部の拘束は回転のみを自由とした. また, 供試体に外力の作用や変形に追従させる機構を模擬するために, 幅15cm, 厚さ30cm, 高さ1mの合成ゴムを, 25度および155度の位置が中心となるように設置し, 可縮要素(以下, 追従機構と称する)を模擬した. 追従機構の内部には鉄筋を挿入し, 20mmずつ供試体側に出す形で供試体内に設置した.

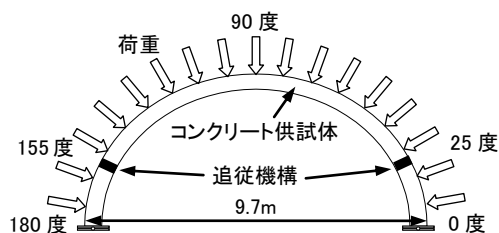


図-1 载荷の形式

表-1 強度試験結果

追従機構の有無	あり	なし(参考)
ヤング率(kN/mm ²)	16.22	14.42
一軸圧縮強度(N/mm ²)	13.90	14.43

荷重を作用させるジャッキは10度ピッチの17断面で1断面につき上下2本で, 供試体の下より25cmと75cmにその中心部が配置されるようにセットし, 供試体の安全が確保出来ないと判断するまで全てのジャッキで载荷を行った. また, 表-1に実験に使用した供試体の強度試験の結果を示す. 過去に同一の载荷条件にて行った追従機構のないケースと同一の配合であり, 装置の载荷容量の制約上, 一軸圧縮強度を実際の構造より低めに設定した.

キーワード: トンネル, 大変形, 支保構造, 可縮要素, 実験

〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 TEL: 029-879-6790

3. 実験結果

図-2 に実験から得られた荷重変位曲線を示す。図中には今回実験を行ったケースと、過去に実施した追従機構がないケースの結果を併記した。実験では載荷荷重が 24kN/本の時点で追従機構と供試体の接合面が切れる現象が確認され、42kN/本の時点で、追従機構のごく近傍でコンクリートの圧壊と考えられる現象が確認された。この時点で追従機構を介して天端側と脚部側の供試体のコンクリートの軸線がずれる現象が確認された。

図-3(a)～(b)に追従機構の有無別の 5～175 度の供試体のひずみの分布をほぼ同一の荷重において比較した結果を示す。これより追従機構が存在する場合は、そのごく近傍を除いてひずみがほぼ平滑な傾向にあることが分かり、この傾向は模型実験より得られた結果³⁾と一致する。また、ひずみは追従機構の有無にかかわらず、ほぼ同一のオーダーであると考えられる。

写真-2 に最大荷重時における供試体の追従機構近傍の状況、および図-4 に最大荷重時のひずみの分布を示す。追従機構を介した供試体のずれが顕著になっていること、および追従機構の近傍のコンクリートのみが大きく破壊する現象が確認された。この部分以外の供試体の損傷は見られないが、供試体の軸線がずれてもそのままの載荷が荷重制御の状態継続されており、追従機構を配置したことにより荷重が軸力に変換されないこと、および地山側に相当する拘束が存在しないために破壊がより顕著になっていることが考えられる。

4. おわりに

追従機構を配置した柔なトンネル構造に関する載荷実験を実施し、その基本的なメカニズムの把握を行ったところ、外力の作用や変形に追従させようとする場合、同一の荷重が作用した場合には変形量が大きく生じることになるが、供試体における大きなひずみの発生はごく一部に限られ、破壊が一部に集中することが確認された。また、追従機構付近の破壊を生じた箇所では曲げが発生しており、実際の構造が設置される条件を含めた検証が必要になることが分かった。今後はこれらの観点に加え、荷重の形状、地山等級や地山による支持による影響、およびトンネルの形状等をパラメータとした場合のメカニズムを検討する必要がある。

参考文献

- 1) 真下：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，第 36 巻，第 11 号，pp. 55-63，2005. 1
- 2) 真下ら：トンネル覆工の破壊メカニズムと補強材の効果に関する実験的研究，土木学会論文集 F，Vol. 64，No. 3，pp. 311-326，2008
- 3) 砂金ら：柔構造を保有するトンネルの挙動に関する考察，トンネル工学報告集第 22 巻，pp. 41-48，2012

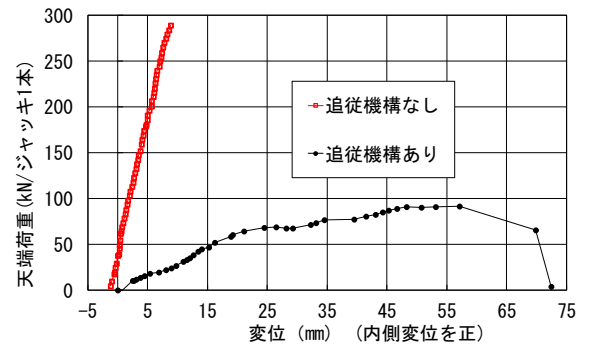
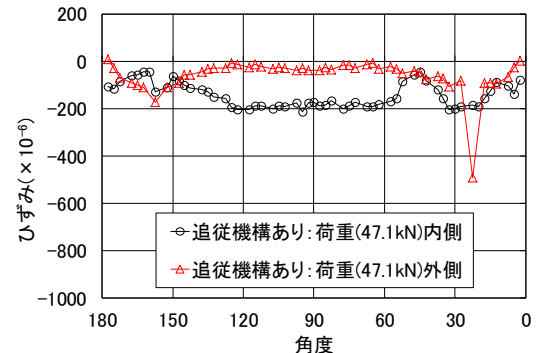
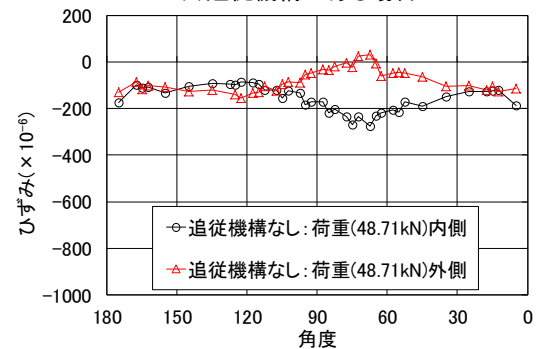


図-2 荷重変位曲線



(a)追従機構がある場合



(b)追従機構がない場合

図-3 ひずみの比較(載荷荷重が約 50kN/本)



写真-2 追従機構近傍の状況(最大荷重時)

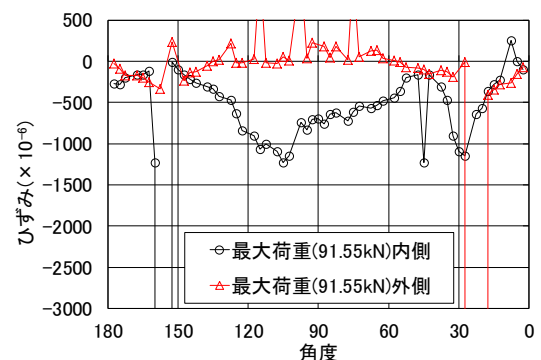


図-4 ひずみの比較(最大荷重時)