

III-263 トンネル覆工の力学挙動解析(1)―複線トンネルの覆工模型実験―

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 朝倉 俊弘
 " 正会員 ○小島 芳之
 (株) ダイヤコンサルタント 正会員 川上 義輝

1. はじめに

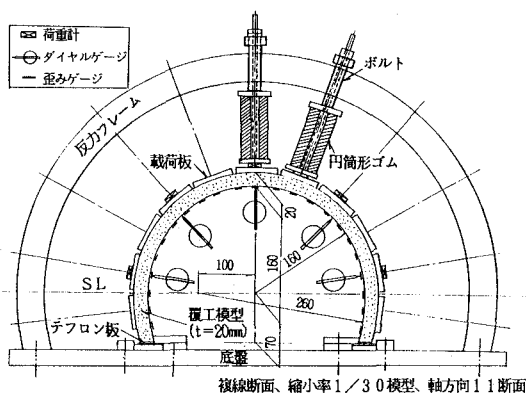
トンネル覆工は、他のコンクリート構造物に比較して厳密な設計がなされていないため、供用中にひび割れが発生し変状した場合の健全度評価や対策工の可否の検討には、高度な技術的判断を要する。

覆工の力学的挙動に関しては、これまで種々の研究が成され多くの知見が得られている。例えば齊藤ら¹⁾は、1/4.27模型を用いて、H鋼の効果・巻厚の影響・天端背面の空隙の影響等について有用な結果を得た。更に今田ら²⁾は、1/2 模型により、二重巻覆工・ブロック覆工・鉄筋の効果等について成果を得た。

これらの実験は、2次元モデルを対象としたものであるが、供用中の覆工の変状現象は、3次元の挙動を示すことも少なくない。そこで、簡易に2次元・3次元の挙動を表現できる模型実験装置を製作し、基本的な荷重パターンについて基礎実験を行った。

2. 実験装置

実験装置は、鉄道トンネル複線断面を想定した立体模型実験装置(縮尺1/30)である(図1)。実験装置には、載荷板を断面方向及び軸方向に各々11列取り付けた。各載荷板には、反力フレームに設置したボルトにより円筒形ゴムを介して荷重を与え、ゴムの弾性により反力を発生させるようにした。載荷板を通したゴムの弾性係数は、150 kgf/cm²である。側壁底面は、水平方向に可動或いは固定とすることができる。また覆工材料はモルタル($\sigma_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $E = 150000 \text{ kgf/cm}^2$ 程度)である。



3. 実験ケース及び実験手順

実験は、2次元・3次元模型について、載荷位置、側壁脚部拘束条件、背面空洞の有無をパラメーターとして種々行ったが、本稿では鉛直方向一点載荷のケースについて整理した(表1)。

実験手順は、載荷板セット後、その内側に厚さ20mmの覆工モルタルを打設・養生し、計器を配置(図1)し、全周に初期荷重を載荷(0.8kgf/cm²)した。載荷箇所は、鋼製円筒により直接載荷板に荷重が伝達されるようにした。載荷は、載荷板の押し込み量に基づく変位制御で、覆工が終極的な破壊に至る迄行った。

4. 実験結果

(1) 2次元鉛直一点載荷実験

図2、3は、2次元鉛直一点載荷実験による覆工の変形進展及びひび割れの発生状況である。ひび割れは、まずアーチクラウン内面に発生した後、アーチ肩部外面に発生し、その後ひび割

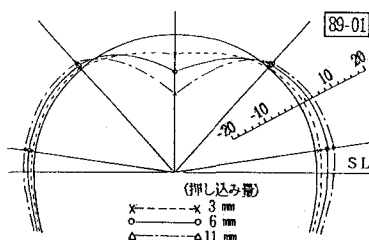


図2 変形進展状況

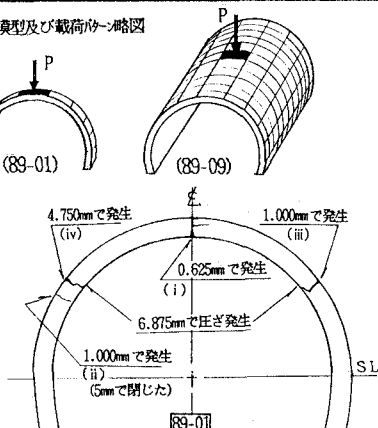


図3 ひび割れ発生状況

れが進展し、各々反対側に圧力が生じた。

図4は、押し込み量の増加に伴う載荷重、反力の変化を示したものである。載荷重(L3)に着目すると、ひび割れiの発生（載荷圧力 $p=3.4\text{kgf/cm}^2$ 、押し込み量 $\delta=0.6\text{mm}$ ）迄は弾性的挙動を示す。ひび割れii、iiiの発生後の荷重増加は小さくなる。ピーク荷重（ $p=7.4\text{kgf/cm}^2$ 、 $\delta=4.5\text{mm}$ ）発現後、この状態はひび割れiii、ivが圧さる6.8mm迄保持され、その後荷重は低下した。この状態を覆工の最終的破壊と考えると、覆工耐力は、構造系が変化しながらも、かなりの変形量まで追従し得るものと見なされる。

(2) 3次元鉛直一点載荷実験

図5～7より、3次元鉛直一点載荷実験結果は、以下のよう
に要約される。

- ①最終的破壊形態は押し抜き剪断破壊である。破壊前のひび割れパターンは、内面は断面方向及び軸方向に代表される放射状のひび割れで特徴づけられる。背面には破壊面の周りに同心円状のひび割れが発生している。
- ③ピーク荷重は、破壊直前に発生する。2次元載荷実験結果と比較すると、軸方向の拘束効果により、小さい変位で破壊するが、荷重は約7倍に達している（ $p=50\text{kgf/cm}^2$ 、 $\delta=3.5\text{mm}$ ）。

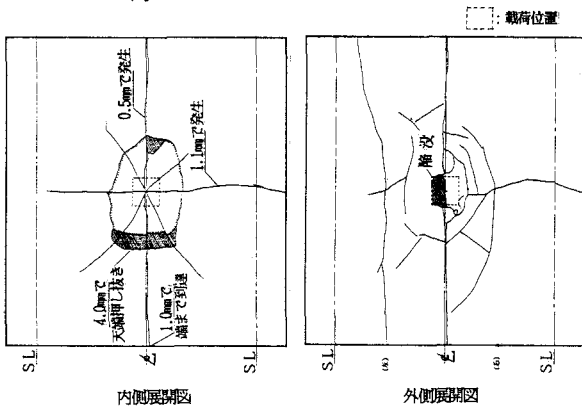


図6 ひび割れ発生状況(展開図)

5. おわりに

地盤との相互作用を考慮できる覆工模型実験装置を製作して基礎的実験を行い、トンネル覆工の破壊進展過程、3次元挙動の特徴等について成果を得た。今後、数値解析によるシミュレーションを行う予定である。今後の課題としては、①単線トンネルの覆工模型実験、②地盤パネの剛性を変化させた実験、③路盤部変状を考慮できる実験装置の開発と実施、等があり、引き続き実施したいと考えている。

〔参考文献〕

- 1) 斉藤徹、他：模型実験によるトンネル覆工の耐力に関する研究、鉄道技術研究報告、NO.779、1971。
- 2) 今田徹、他：トンネルコンクリート覆工の強度、土木技術資料、Vol.16、No.1、1974。

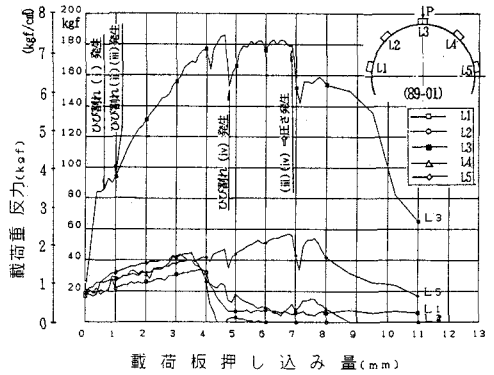


図4 載荷板押し込み量と載荷重・反力

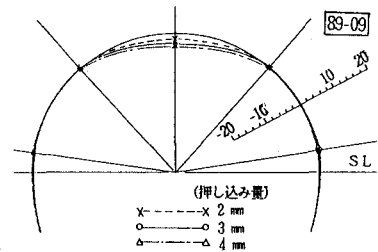


図5 載荷断面での変形進展状況

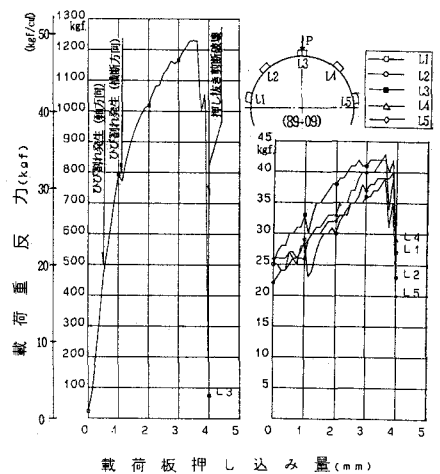


図7 載荷板押し込み量と載荷重・反力