

Ⅲ-B17

トンネル覆工の力学的特性に関する基礎的検討

建設省土木研究所 正会員 砂金 伸治
同 上 正会員 真下 英人

1. はじめに

道路トンネルの建設箇所の増加と大断面化・扁平断面化が徐々に進みつつあることにより、トンネル建設におけるコスト縮減は早急に取り組むべき課題となっている。その中でトンネルの2次覆工は、不明確な外的条件に対する安全性の付与や、特殊条件下での外力支持に挙げられる種々の機能を持ちつつも、主として過去の実績に基づき設計や施工が行われてきている。そのため、覆工の力学的な特性を明らかにすると同時に、強度の高いもしくは鋼繊維で補強したコンクリートといった新たな材料を覆工に導入することにより、薄肉化を図った一層適切な覆工構造の提案ができ、コストの縮減を図ることが可能であると考えられる。

そこで本研究ではトンネル覆工の設計手法を確立するための基礎的な研究として、覆工に使用する材料を考慮した場合の力学的な特性を把握することを目的とした覆工載荷実験を実施した。

2. 検討方法

実験は図-1に示すようなトンネル覆工を模擬した半円形のコンクリート供試体を作成し、それに中心方向に載荷することにより行った。実験に使用した供試体の諸元を表-1に示す。実験は3ケース行い、ケース①を基本的なケースと位置づけ、ケース②は供試体の50°付近に幅2mm程度の貫通ひび割れが存在している影響の把握、またケース③は鋼繊維による影響の把握を目的とした。供試体の設置は覆工の軸方向が鉛直方向と平行になる向きで設置し、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する支承とした。表-2に各ケースにおける強度試験結果を示す。

載荷は図-1に示す座標において、10°ピッチの17断面で、2本/1断面のジャッキを用い、供試体の下より30cmと70cmにジャッキ中心部が配置されるように、供試体の破壊またはジャッキの載荷上限(435kN/1本)に達するまで行った。荷重パターンは、20kN/1本の荷重を全ジャッキより作用させた後、80~100°部分のジャッキのみで載荷を継続し、残りはジャッキのバルブを閉めることによりジャッキ自体を地盤反力ばねと模擬し、供試体の変形に追従させた。またジャッキの荷重を面載荷の状態に近づけるために幅200mm、厚さ30mmの鋼板を供試体とジャッキの間に挟んだ後に載荷した。本実験では荷重、変位、ジャッキストロークおよびひずみを測定した。

3. 検討結果

図-2にケース①で荷重が200kN/本の場合における引張断面を無視した場合の構造物全体の曲げモーメントを●印で示す。またジャッキを地盤反力ばねと模擬し、材料は線形と仮定した場合のフレーム解析に基づいた結果を△印で示す。この場合の地盤反力ばねは引張りを無視し、ばね定数はジャッキストロークと載荷荷重の関係から換算

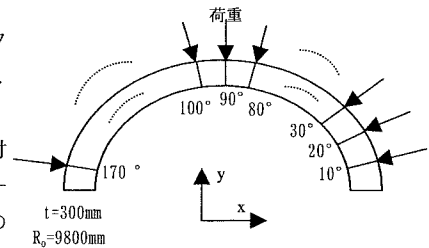


図-1 覆工模型の概要図

表-1 供試体の仕様

コンクリート	普通	鋼繊維補強
厚さ(mm)	300	300
外径(mm)	9800	9800
呼び強度(N/mm ²)	18	18
スランプ(cm)	12	12
粗骨材最大寸法(mm)	40	20
SF混入量(%vol)	-	0.5
SF長さ(mm)	-	60
実験ケース番号	①, ②	③

表-2 供試体強度試験結果

実験ケース	一軸圧縮強度 平均(N/mm ²)	曲げ強度 平均(N/mm ²)	曲げタフネス 平均(N/mm ²)
①(プレーン)	26.29	—	—
②(ひび割れ入りプレーン)	37.24	—	—
③(SF)	19.86	3.88	3.61

キーワード：トンネル、覆工、載荷実験、鋼繊維補強コンクリート、ひび割れ
〒305-0804 茨城県つくば市旭1 TEL：0298-64-4689 FAX：0298-64-0178

した 100MN/m とした。実験結果および解析結果より 45° および 135° より脚部側では曲げがほぼ発生していなかった。また図-3 に同条件での軸力図を示す。これより軸力はほぼ一定であると考えられるが、実験値と解析値が一部異なる部分もあった。

図-4 に載荷荷重と天端変位の関係を示す。ケース①では 80kN 程度で最初のひび割れが発生した。また 360~370kN で傾きが変化し、390kN で変位 36mm 程度に達した後、荷重一定のままで変位は増加し約 40mm の時に破壊した。ケース②では、最大荷重まで供試体は破壊しなかったが、変位が 40mm を超えた付近で曲線の傾きが変化していた。π型変位計による計測では 150~200kN で内面側の貫通ひび割れは概ね閉じており、50° 付近に存在していたひび割れは、今回の載荷パターンでは供試体の変位に大きな影響を及ぼしたとは考えにくく、構造体への影響は少ないひび割れであることが分かった。またケース③では 60kN 程度で最初のひび割れが発生した。また 300kN 程度で曲線の傾きが変化し、330kN に達した付近で変位が 35mm となった。そのまま変位が止まらなくなったが、変位の増加速度が小さくなってきたため、変位が 40mm 強で載荷を再開させたが、335kN に増加させた瞬間に供試体は破壊した。傾きが変化する付近から含めて考えると若干ではあるが、SFRC であるケース③の変位は荷重の変化に対して緩やかに増加する傾向があった。

図-5 にケース①と③の内側 60~100° のひび割れの展開図を示す。供試体の強度が異なるためひび割れが発生した荷重は異なるが、発生する領域は概ね共通していた。ケース③では複数のひび割れが種々の方向に進展するが、ケース①では概ね 2~3 本のひび割れが上下に進展していた。また、図-6 にケース③の 92.5° における荷重-ひずみ関係を示す。内側では引張ひずみが緩やかに増加していた。他の地点で見受けられる場合もあり、微細なひび割れが発生しているためと考えられるが、ひび割れの開口幅はケース①と③での有意な差は認められなかった。

4. まとめと今後の課題

今回は供試体がプレーンコンクリートと SFRC としたケースの実験を行った。SFRC ではひび割れが発生すると考えられる領域に分散して発生していたのに対し、プレーンコンクリートではある程度集中して成長していくことが分かった。また、ひび割れの中にはトンネル構造の挙動に重大な影響を与えないものもあることが分かった。今後はひび割れ幅やひずみの変化とともに、コンクリートの強度、覆工厚、荷重パターン等を変更し、覆工の変形等に与える影響を検討するとともに、これらを踏まえた数値解析を行うことにより、力学的にも適切なトンネル覆工を検討していく予定である。

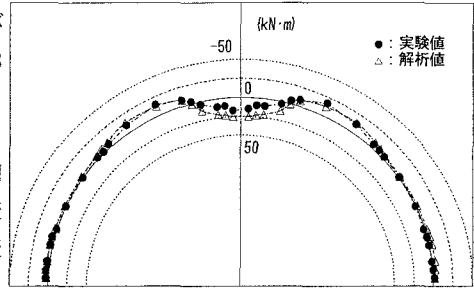


図-2 曲げモーメント図 (ケース①, 荷重 200kN/本)

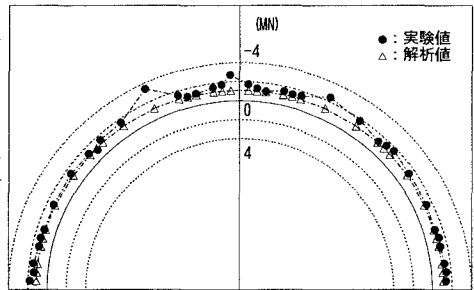


図-3 軸力図 (ケース①, 荷重 200kN/本)

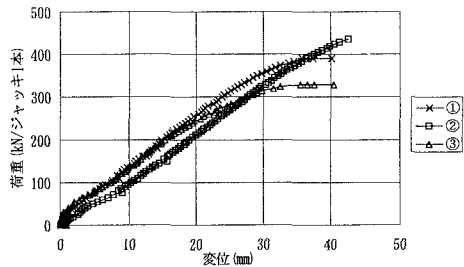


図-4 載荷荷重と天端沈下の関係

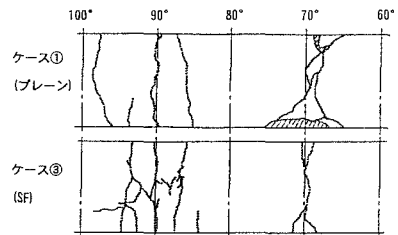


図-5 最終ひび割れ図 (内側)

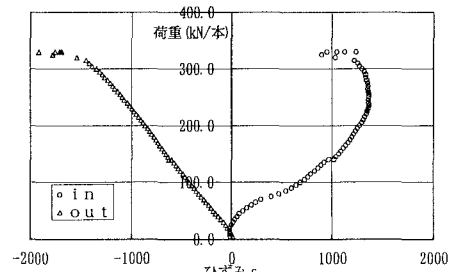


図-6 荷重-ひずみ関係 (ケース③ 92.5°)