

III-B 103 内巻き補強したトンネル覆工の耐力解析

東京電力 正会員 菅沼 康男 東京電力 望月 直也
 ○鉄建建設 正会員 松岡 茂 鉄建建設 正会員 武田 康司
 鉄建建設 正会員 柳 博文

1. はじめに

劣化したトンネル覆工をTSL工法により内巻き補強を想定した模擬トンネル（円環）の载荷試験結果¹⁾によると、局部的にひび割れが発生してもトンネル覆工は破壊に至らない。また、構造体の最終耐力がコンクリートの圧縮で決定されることが報告されている。本報告では、ひび割れの進展を考慮することができる破壊力学の考え方に基づいたFEM解析結果を、模擬トンネル（円環）の耐力および変形挙動に近似することができることを検証し、またフレーム解析による既設覆工耐力算定方法により、内巻き補強したトンネル覆工の耐力および変形挙動を算定できることを確認したものである。

2. FEM解析条件

模擬トンネル（円環）载荷実験で得られたコンクリートの圧縮強度に基づいて、解析に使用した応力-ひずみ曲線を図-1に、引張側の引張軟化曲線を図-2に示す。圧縮応力-ひずみ曲線は、普通コンクリートについては「コンクリート標準示方書」に準拠して定め、TSLコンクリートについては、最大応力に達するまでの曲線は圧縮試験結果のものをを用い、最大応力以降については、「コンクリート標準示方書」を参考に定めた。引張軟化曲線については、峯本ら²⁾がブレンコンクリートのトンネル実験の解析に用いた直線モデルを使用した。また、普通コンクリートとTSLコンクリートとの間に付着切れが生じると力の伝達が無くなるようなモデル化を行った。

3. 実験結果とFEM解析結果との比較

図-3に载荷荷重と载荷直径方向の変位量との関係を示す。それによると、FEM解析結果と実験結果とはほぼ一致している。FEM解析では荷重が400kN付近で载荷点の普通コンクリートの圧縮ひずみが限界ひずみ（3500 μ ）に近づいたために計算を打ち切った。しかしながら、実験結果では荷重は500kNを越えている。これは、コンクリートの最大圧縮応力以降の軟化挙動を正確にモデル化していないためであると考えられる。

図-4に载荷荷重と载荷直交方向の反力との関係を示す。FEM解析結果は、実験結果と同様に载荷点にひび割れが発生する前と後では载荷荷重と反力との関係が異なっている。载荷点にひび割れが発生する前は、载荷荷重と反力との関係は比例関係にあり、荷重増分に対する反力の増加は比較的小さい。これに対して、载荷点にひび割れが発生した後は反力の増加率は大きくなってい

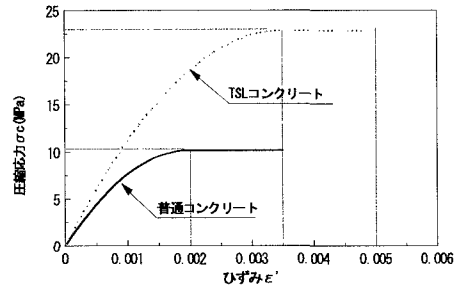


図-1 圧縮応力-ひずみ曲線

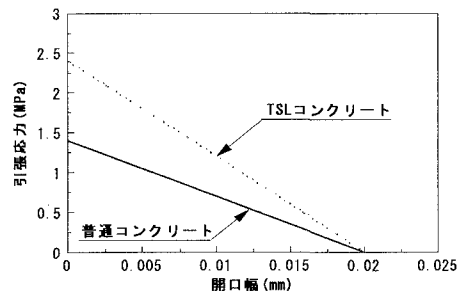


図-2 引張軟化曲線

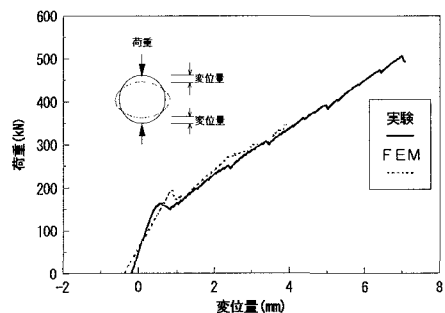


図-3 荷重-変位量

る。全体的な反力の挙動は実験結果とほぼ一致している。以上のことからひび割れ進展を考慮したFEMで実験結果を追跡することができるものと判断される。

4. 実験結果とフレーム解析結果との比較

内巻き補強耐力算定方法の妥当性を検証する目的で模擬トンネル（円環）載荷実験をフレーム解析を用いた手法により検討した。計算に用いた応力-ひずみ曲線等の引張軟化曲線以外の物性値はFEM解析と同様である。この算定手法は益田³⁾らが提案している引張側縁応力が引張強度に達した時点をひび割れ発生荷重として計算し、その耐力線図にフレーム解析により算定された断面力が達した節点でひび割れが発生するものとした。また、ひび割れ先端領域における応力の伝播はないものとした。

図-5にフレーム解析で計算した載荷荷重と載荷直径方向の変位量との関係を示す。それによるとフレーム解析においても荷重150kN程度で載荷点にひび割れが発生した。FEM解析に較べてフレーム解析のひび割れ発生荷重が低いのは、ひび割れ先端で伝達される引張応力、つまり引張軟化曲線を無視しているためである。フレーム解析では、荷重が200kN越えた時点でひび割れ断面の圧縮側縁ひずみが限界ひずみに達したため計算を打ち切った。また、フレーム解析ではプレロード載荷時点の変位が実験結果に較べて大きくなっている。これは、載荷時点の変形は覆工部材の軸方向ひずみにより生ずると推定される。そこで、軸方向ひずみの影響を正確に評価するために曲線要素によるフレーム解析を行った結果を図-6に示す。その結果により、プレロードによる変位は実験結果とほぼ一致し、プレロードの変位の相違は軸方向ひずみによるものと判断された。

5. まとめ

円環構造物である内巻き補強したトンネル覆工は、破壊力学に基づいたひび割れの発生・進展を考慮したFEM解析により、変形挙動を追跡することができること、普通コンクリートとTSLコンクリートとの間に付着切れが生じると力の伝達が無くなるようなモデル化をすることで、部材耐力を算定することができることが判明した。また、既設覆工耐力算定方法に基づいたフレーム解析では、模擬トンネル（円環）実験結果およびFEM解析結果を安全側に近似し、内巻き補強したトンネル覆工の設計耐力を算定できるものと判断される。

【参考文献】

- 1) 菅沼康男，望月直也：内巻き補強した模擬トンネルの載荷実験，土木学会第51回年次学術講演会概要集 投稿中
- 2) 峯本 守，鬼頭 誠，梶原雄三，松岡 茂：トンネル覆工の限界状態設計に関する研究，土木学会論文集 No.523/Ⅲ-32，pp.141-149，1995.9
- 3) 益田彰久，松岡 茂：トンネル覆工解析に関する一研究，トンネル工学研究発表会論文・報告集，1995

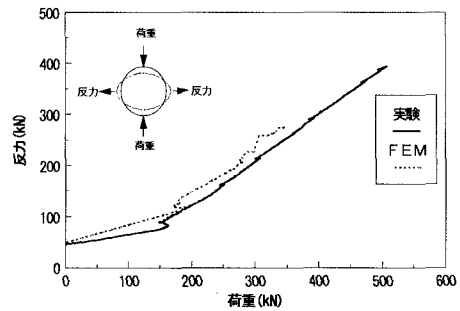


図-4 荷重-反力

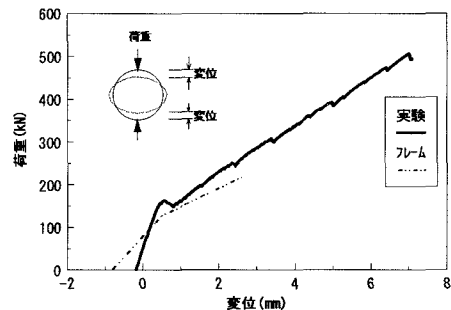


図-5 荷重-変位量

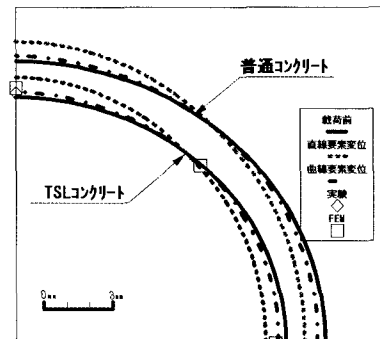


図-6 プレロード載荷時の変位図