

Ⅲ-596

内巻き補強部材の曲げ耐力解析

東京電力㈱ 正会員 井上 素行 東京電力㈱ 菅沼 康男
 鉄建建設㈱ 正会員 青木 義治 鉄建建設㈱ 正会員 松岡 茂
 ○ 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に新たな内巻きコンクリートを打設したことを想定した内巻き補強部材の曲げ試験結果¹⁾によると、ひび割れが部材に生じても軸方向圧縮力が作用している場合には曲げ耐力を保持している。また、軸方向圧縮力が大きい場合では、コンクリートの圧縮強度により部材の最大曲げ耐荷力が決定されることが報告されている。したがって、内巻き補強部材の最大耐荷力や変形挙動を把握するためには、ひび割れの発生・進展を考慮した解析が必要である。本報告は、ひび割れ進展を考慮することが出来る破壊力学の考え方に基づいた有限要素法により、内巻き補強部材の曲げ耐力を解析したものである。

2. 解析条件

トンネル覆工の補修・補強を対象としたトンネル補修ロボット化工法による内巻き補強では、覆工内面側に新たに打設されるTSLコンクリートは、覆工コンクリートに較べて最大骨材径が小さく圧縮強度が高い特徴を有している。曲げ試験結果を解析するのに際して、テストピース（ $\phi 100 \times 200\text{mm}$ ）による圧縮試験を行い覆工コンクリートとTSLコンクリートの圧縮強度および弾性係数を確認した。その結果を表-1に示す。覆工コンクリートとTSLコンクリートの弾性係数は、ほぼ等しいのに対して圧縮強度は異なっていることから、TSLコンクリートは弾性係数が低い圧縮強度が高いという特徴を有していると考えられる。このような特徴から、解析に使用した圧縮応力-ひずみ曲線を図-1に示すような二次曲線タイプとした。覆工コンクリートは、「コンクリート標準示方書」に準拠して、ひずみ量が 2000μ で圧縮強度に達するものとした。TSLコンクリートについては、圧縮試験結果からひずみ量が 3500μ で圧縮強度に達することを確認し、その後はひずみ量が 5000μ まで圧縮強度が保持されるものと仮定した。なお、覆工コンクリートの圧縮限界ひずみを 3500μ とし、TSLコンクリートの圧縮限界ひずみを 5000μ とした。解析では、最大主ひずみが圧縮限界ひずみに達した時点で、最小主ひずみの値に関係なくコンクリートが圧縮破壊したものとして計算を打ち切った。

引張強度については、テストピースによる割裂引張試験結果から求めた。引張強度到達後の引張応力とひび割れ開口幅との関係である引張軟化曲線については、普通コンクリートを対象とした研究報告²⁾から図-2に示すような直線モデルとした。ひび割れが閉口する方向に変位が生じる場合には、図中の破線に示したように原点に指向する除荷経路に従うものとし、ひび割れが完全に閉口するまでひび割れ面でのせん断力の伝達は無効なものとした。FEM解析では、各要素にひび割れが1本発生するものとした仮想ひび割れモデルを用いて計算を行った。解析に使用した要素は、平面応力条件下の4節点アイソパラメ

表-1 圧縮試験結果

	覆工コンクリート	TSLコンクリート
弾性係数(MPa)	2.16×10^4	2.32×10^4
圧縮強度(MPa)	15.5	38.9

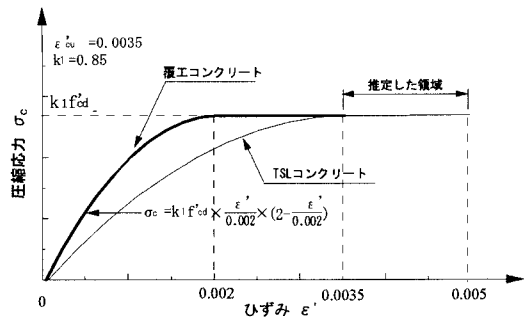


図-1 圧縮応力-ひずみ曲線

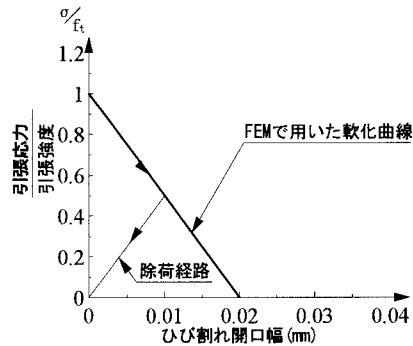


図-2 引張軟化曲線

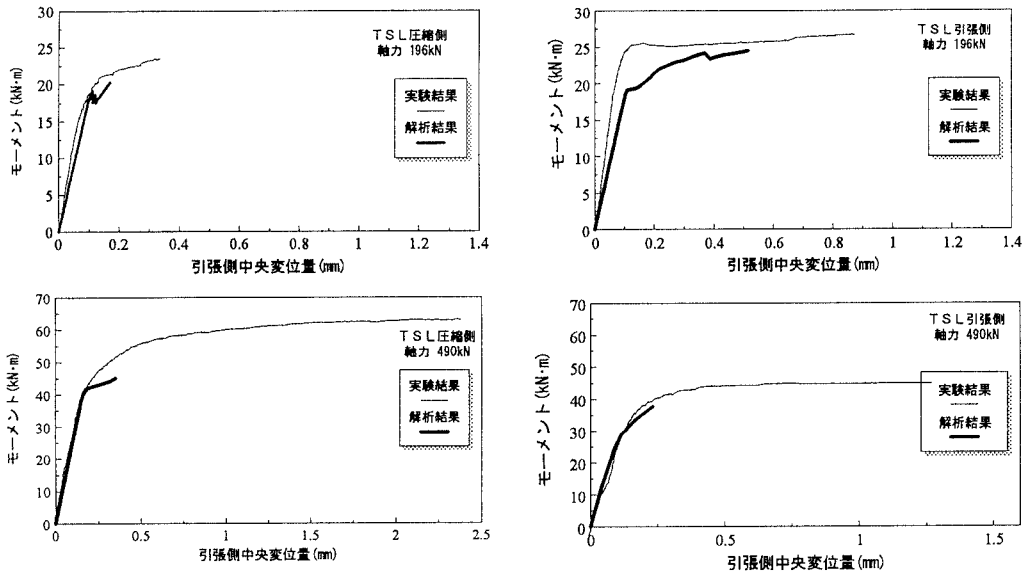


図-3 解析結果と試験結果の比較

トリック要素である。覆工コンクリートとTSLコンクリートとの接合部分は、鉛直方向のみが剛結とし、水平方向はフリーとした。

3. 解析結果

図-3に解析と試験結果の曲げモーメントと供試体中央の変位量との関係を示す。軸方向圧縮力が490kNの場合における解析結果では、試験結果に較べて小さな変位量で圧縮側の縁ひずみが圧縮限界値に達したため計算を打ち切った。圧縮限界ひずみ量が異なるため、TSLコンクリートが圧縮側に位置する時と引張側では、計算上での最終変位量が異なっている。この現象は、試験結果においても観察された。解析における最終変位量が、試験結果のものより小さいのは解析に用いた圧縮応力-ひずみ曲線の特性によるものと思われる。つまり、実際のコンクリートでは、圧縮強度に達した後、ひずみ量が増加し応力が低下する軟化領域が存在するが、解析で用いた応力-ひずみ曲線では軟化領域を考慮していないためであると考えている。解析結果の曲げモーメント-変位曲線は、ほぼ試験結果と一致している。軸方向圧縮力が196kNの場合では、ひび割れ断面における力の釣り合いがとれなくなったため計算を打ち切った。この時、圧縮側のひずみ量は圧縮限界ひずみ以下であった。試験結果においても、軸力が196kNでは荷重を保持することが出来なくなったために試験を終了しており、解析結果の挙動と一致している。内巻き補強部材の最大曲げ耐力は、試験と解析結果はほぼ一致しており、破壊力学の考え方に基づいたFEM解析により曲げ耐力を推定することができるものと判断される。

4. まとめ

今回の解析結果をまとめると次のようになる。

- ① TSLコンクリートが圧縮側にある場合と引張側にある場合では最終変位量が異なっている。これは圧縮側に位置するコンクリートの応力-ひずみ特性の相違によるものと考えられる。
- ② 引張軟化曲線を考慮したFEM解析により、内巻き部材の最大曲げ耐力を推定することが出来る。
- ③ 今回使用した解析モデルにより、軸方向圧縮力と曲げモーメントが作用した内巻き部材の破壊形態を推定することができる。

軸方向圧縮力が高い場合にはコンクリートの圧縮強度以降の軟化領域が部材の破壊に影響することが判明したため、この軟化領域をどのようにモデル化することと、設計上のコンクリート圧縮限界をどのように設定するかが今後検討すべき点と思われる。

【参考文献】

- 1) 井上素行、菅沼康男他：内巻き補強部材の曲げ試験、第50回年次学術講演会概要集投稿中
- 2) 堀井秀之：フラクチャープロセスゾーン問題とコンクリート・岩石・セラミックに対する破壊力学の体系化、構造工学論文集、Vol. 35A, 1989