

補強工を施した覆工の耐荷力の評価手法に関する研究

A study of estimating load-carrying capacity of damaged tunnel concrete lining with inner concrete reinforcement lining by 2D-FEM

箱石安彦¹・真下英人²・石村利明³

Yasuhiko Hakoishi, Hideto Mashimo and Toshiaki Ishimura

¹正会員 工修 独立行政法人土木研究所 (〒305-8516茨城県つくば市南原1番地6)

E-mail:yhakoisi@pwri.go.jp

²正会員 工博 独立行政法人土木研究所 (〒305-8516茨城県つくば市南原1番地6)

³正会員 独立行政法人土木研究所 (〒305-8516茨城県つくば市南原1番地6)

In this paper, the results of numerical simulation was discussed for the specimen of damaged tunnel concrete lining reinforced by inner concrete lining for the purpose of studying estimation of load-carrying capacity for damaged tunnel lining with reinforcement. Two dimensional FEM, which is designed for the analysis of concrete structure and can simulate its nonlinear behavior such as the process of crack formation and development, was adopted. The results showed that the load-carrying capacity was acquired when the strain at outer side of tunnel crown and inner side of its shoulders reached to the strain capacity of concrete at compressive failure in bending.

Key Words : tunnel, concrete lining, inner concrete reinforcement lining, load-carrying capacity, FEM

1. はじめに

既設トンネル覆工コンクリートに変状が発生して耐荷力を期待できない場合に、その覆工内面に補強工を実施した場合の耐荷力がどの程度得られるかを把握する目的で、筆者らは2車線道路トンネル断面を想定した実大規模の覆工載荷実験を実施してきた。本文は、損傷した覆工に補強工を施した場合の耐荷力の評価手法に関する研究の一環として、補強工の1つである内巻きコンクリート工ケースの実験結果¹⁾を二次元有限要素-パネ系構造解析によってシミュレーション解析した結果を報告するものである。

2. 解析対象の実験結果の概要のレビュー

解析対象の実験概要を、図-1に示す。対象ケースは、上方の地山が緩んで、ある高さの地山重量がトンネル覆工天端に直接に鉛直荷重として作用する、いわゆる典型的な緩み荷重を想定した載荷形式とした。また、覆工背面は、実トンネルでは背面空洞がある場合には裏込め充填の施工も想定し、反力ジャッキで変位拘束を図った。実験は、まず無垢の覆工供試体に載荷を行い、ひび割れや圧壊の発生した状態の損傷覆工を作成した(損傷載荷)。損傷載荷は

最大荷重(Pmax)後で作用荷重がPmaxの約90~95%に低下した時点で中断し、実験時の安全確保のため一旦除荷して、損傷覆工に内巻きコンクリートを施した。その後、再載荷を最終破壊となるまで行った(補強後載荷)。

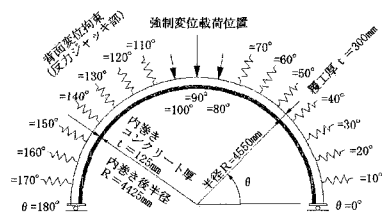


図-1 実験概要図¹⁾

実験の結果、無垢の覆工の損傷載荷では、荷重作用点である天端の外周および覆工供試体の曲げ変形の内部支点となる左右肩部の内面の全3箇所コンクリートの圧壊が発生して耐荷力が決まった。損傷覆工に内巻きコンクリート(t=12.5cm)を施したケースでは、内巻きコンクリートの肩部内面で圧壊が発生して耐荷力が決まり、その耐荷力は無垢の覆工の耐荷力の約1.4倍まで増加した。なお、損傷覆工供試体は無補強で再載荷した場合に耐荷力は無垢の覆工の耐荷力の約76%に低減した。

3. 解析手法

3.1 解析手法

覆工の耐荷力の評価手法には幾つか提案されている(例えば2),3),4)が、本報告ではコンクリートのひび割れ挙動を考慮するため分布ひび割れモデルを用いた有限要素-バネ系構造解析を選定した。この手法を選定した理由は、解析結果として覆工コンクリートのひび割れ等が直接的に出力され、例えば梁-バネ系構造解析手法と比べて、解析結果を実験結果と直接的に比較検証しやすいためである。本報告では、解析コードにはコンクリートのひび割れなどの非線形挙動を考慮できる鉄筋コンクリートの静的非線形解析プログラム(ATEANA-2D⁵⁾)を用いた。

3.2 要素の力学特性

(1) コンクリート要素

コンクリート要素には、Cervenka によるSBETA要素⁵⁾を用いた。この要素では、コンクリートの二軸応力-ひずみ関係を等価一軸応力-ひずみ関係に変換して近似する非線形弾性モデル(直交異方性弾塑性構成モデル)を用い、コンクリートのひび割れモデルには直交異方性の分散ひび割れモデルを用いている。等価一軸則モデルの長所は、理論が比較的簡単であることと、解析に必要なデータが一軸圧縮試験から容易に得られることである⁶⁾。ただし、本モデルは平面応力状態を前提としたモデルである。以下に、本検討で選定した構成モデルの引張側、圧縮側のモデルを説明する。

① 引張側モデル

引張強度までは線形弾性とし、引張強度に達した時点のひび割れ発生およびその以降のひび割れ進展挙動には回転ひび割れモデルを用い、引張軟化曲線にはHordijkの指数型を用いた(図-2)。引張応力-ひび割れ開口変位関係を応力-ひずみ関係に変換する際には、変位をひび割れ方向に投影した要素寸法(Lt)で除してひずみとしている(図-2)。

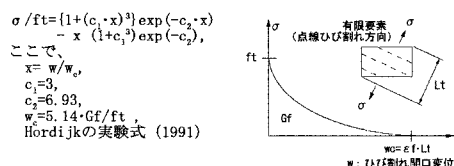


図-2 引張軟化曲線

② 圧縮側モデル

圧縮側の応力-ひずみ関係は、図-3に示すように、圧縮強度に達するまでは応力はひずみの二次曲線で、圧縮強度に達した以降は応力-ひずみ曲線の勾配を零とした。等価一軸応力状態における圧縮強

度および引張強度はKupferらの二軸強度包絡線により評価している(図-4)。

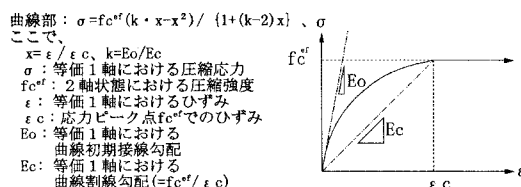


図-3 圧縮側の応力ひずみ関係

f_c^{eq} : 二軸状態での圧縮強度
 $f_c^{eq} = (1 + 3.65a) / (1 + a)^2 \times f_c$
 ここで、 $a = \sigma_{c1} / \sigma_{c2}$
 σ_{c1}, σ_{c2} : 主応力 (圧縮)
 f_c : 一軸圧縮強度
 f_t : 一軸引張強度

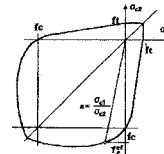


図-4 コンクリート要素の二軸破壊基準

図-3の応力-ひずみ関係は、引張側で用いたようなひび割れ帯理論に基づくものではなく、コンクリートの弾性も塑性も破壊(損傷)も全ての影響を含んだ値であり、それらを区別しない非線形弾性の構成則である。本モデルは、弾性、塑性、破壊を区別している塑性理論に基づいた弾塑性モデル、破壊理論に基づいた破壊理論モデル、あるいはそれらを組み合わせたモデルとは異なる。

(2) バネ要素

覆工コンクリート背面に取り付ける反力ジャッキ部は、圧縮にのみ抵抗する(図-5)節点バネ要素でモデル化した。

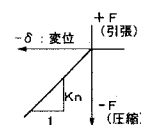


図-5 バネ特性

4. シミュレーション解析

4.1 検証事項

解析手法および解析モデルの妥当性は、解析結果を実験結果と比較することで検証した。その検証の項目は、①耐荷力がほぼ合致すること、②着目点でのひずみ値がほぼ合致すること、③覆工供試体のひび割れ状況が実験時に観察されたひび割れ状況とほぼ合致すること、の3項目とした。これらの検証は、無垢の覆工が損傷する損傷載荷時の供試体挙動および損傷した供試体の内面に内巻きコンクリート補強工を施した場合の供試体挙動について行った。

4.2 検証(1): 損傷載荷時のシミュレーション解析

(1) 解析モデル

解析モデル概要図を、図-6に示す。本検討では、実験結果でひび割れ発生方向が予め分かっているため、そのひび割れに対する要素方向性の影響の低減を図った要素分割とした。具体的には、要素形状は

長方形（四角形）要素だけとし、要素局所座標系（r-s 直交座標系）の各座標軸を実験で観察されたひび割れ方向と一致させた。実験で生じたひび割れは、曲げ引張によって発生した覆工厚方向（半径方向）ひび割れおよびアーチ部材方向（円周方向）の軸力方向と同じ方向のひび割れである。また、要素分割はアーチ方向に5度毎の多角形で近似し、要素寸法の影響を見る目的で、要素代表寸法を50mmとした要素分割A、要素代表寸法を75mmとした要素分割Bの2つの分割モデルを作成してみた。選定した要素は双1次補間のアイソパラメトリック要素とした。また、天端外面での作用強制変位は節点に作用させ（図-6の①）、反力ジャッキをモデル化するバネ要素は節点に配置し（図-6の②）、いずれの箇所でも載荷板はモデル化していない。支承部は、支承板を鋼材要素でモデル化し、支承板の中央の節点の変位を固定（ $u_x=u_y=0$ ）した（図-6の③）。なお、支承板の鋼材要素は覆工供試体のコンクリート要素と一体とした。

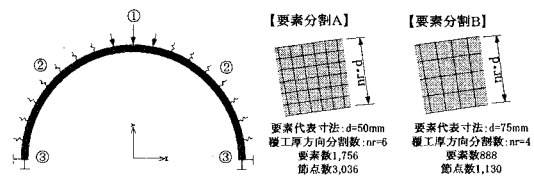


図-6 解析モデル概要図

(2) 解析用物性値

表-1、表-2に、解析用物性値を示す。

表-1 コンクリート要素の解析用物性値（損傷載荷時）

項目	記号	単位	覆工供試体 コンクリート	備考
単位体積重量	γ	kN/m^3	0	(※1)
初期接線弾性係数	E_0	kN/mm^2	18.0	
ポアソン比	ν	—	0.16	(※2)
一軸圧縮強度	f_c	N/mm^2	-21.0	
応力 f_c でのひずみ	ϵ_{cp}	$(\times 10^{-5})$	-2,000	(※3)
引張強度	f_t	N/mm^2	1.8	(※4)
破壊エネルギー	G_f	N/m	90	(※5)

(備考)

※1) 供試体は水平置きのため自重は無視した。

※2) 管理供試体の圧縮試験時の結果を設定。

※3) コンクリート標準示方書の応力ひずみ関係図より仮定。

※4) $f_t = 0.23 \cdot f_c^{2/3}$ で仮定。

※5) コンクリート標準示方書の算定式より仮定。

$G_f = 10 \cdot (d_{\max}[\text{mm}])^{1/3} \cdot (f_c[\text{N/mm}^2])^{1/3}$

粗骨材の最大寸法: $d_{\max}[\text{mm}] = 40$ 。

表-2 バネ要素の解析用物性値

項目	記号	単位	設定値	備考
バネ係数	K_n	MN/m	2×10^7	(※1)

(備考)

※1) 覆工載荷実験時の各位置の反力ジャッキの荷重-ストローク変位の関係図から平均的な値を設定。

(3) 解析結果

① 荷重変位曲線

天端（ $\theta = 90$ 度）外面での作用荷重と作用荷重方向の変位の関係図を、実験値も合わせて、図-7に示す。図-7より、解析で得られた荷重変位曲線は

作用荷重が耐荷力の約1/2（約1,000kN）の荷重レベルまでは実験結果と良い近似を示すが、それ以降は解析値は、実験結果とズレ出し、荷重が耐荷力に達してピーク荷重となる実験結果は再現できずに、荷重増加を続けた。

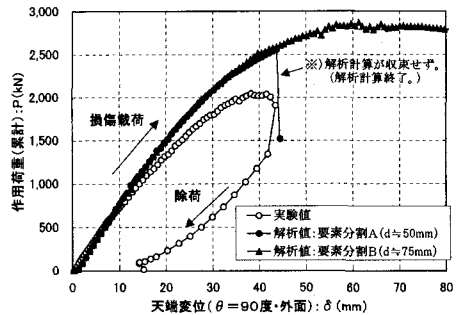


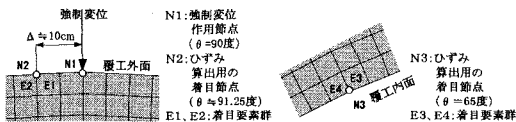
図-7 荷重変位曲線（天端：損傷載荷時）

なお、解析結果の荷重変位曲線は要素分割の影響を殆ど受けないが、要素分割の違いに（図-6）よって最終破壊形態が異なる。要素分割Aの解析ケースの最終破壊は、支承部近傍の要素群でアーチ部材方向の割裂ひび割れが顕著に発生して、それが原因で計算が収束しなかったが、これは要素寸法が比較的に小さいために解析ひずみの局所化が大きく発生したためである。

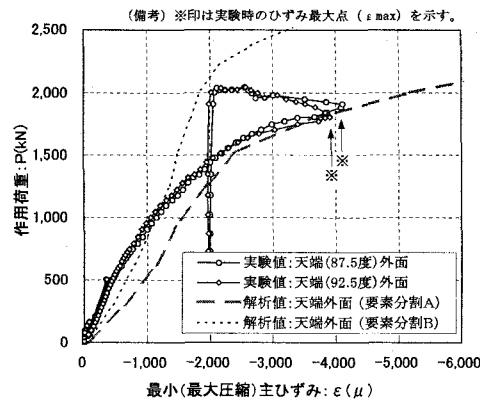
② 荷重ひずみ曲線

荷重とひずみの関係図を、実験値も合わせて、図-8に示す。実験値は、天端外面および肩部内面の圧縮ひずみは荷重増加に伴ってひずみ増加を示し、いずれも圧縮最大値（ $\epsilon_{\max}$ ）を示して後に圧縮ひずみが低下した（図-8）。圧縮ひずみの低下は、コンクリートの圧壊部のいわゆるマイクロクラック発生による体積膨張の挙動に相当するものと考えられる⁶⁾。実験では、 $\epsilon_{\max}$ に達する段階の作用荷重は、最大荷重の約90～95%荷重時で、耐荷力と大差の無い結果であった。なお、以降、 $\epsilon_{\max}$ を圧縮限界値と称す。一方、解析結果は、圧縮ひずみの低下挙動はシミュレートせず、圧縮ひずみは荷重とともに増加を続けた（図-8）。この荷重ひずみ関係図（解析結果）において、天端外面および左右の肩部内面の3箇所では $\epsilon_{\max}$ に達した段階で耐荷力に達した段階と判断してみることにした。実験値と比較的近似の良い要素分割Aでの解析結果の場合、圧壊に達したとする判断を解析圧縮ひずみ値が圧縮限界値 $\epsilon_{\max} = 4,350 \times 10^{-6}$ （天端外面および肩部内面での実験結果 $3,900 \sim 4,800 \times 10^{-6}$ の平均値：図-8）に達した段階とすると、作用荷重が約1,900kN時には天端外面で解析ひずみ値が圧縮限界値 $\epsilon_{\max}$ に達し圧壊に至り、作用荷重が約2,200kN時には肩部内面

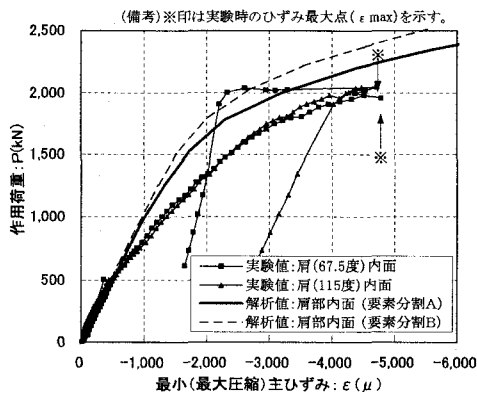
でも解析ひずみ値が $\varepsilon_{\max}$ に達し圧壊に至ったと判断する。耐荷力に達した段階の判断は、圧壊の発生が天端外面だけでなく肩部内面でも発生した段階と考えることから、前述の后者の段階とすると、耐荷力の解析値は、約 2,200kN で、実験値（約 2,000kN）より約 10%（約 200kN）大きい値となる。



【着目節点におけるひずみ値の算出方法】
着目節点を要素構成節点に含む全要素群（着目要素群）における着目節点の節点ひずみ値の平均値とした。



(a) 天端外面



(b) 肩部内面

図-8 荷重ひずみ関係図（損傷載荷時）

天端外面ひずみ値を抽出した着目位置は解析における集中荷重作用点（天端外面 90 度位置）から $\Delta =$ 約 10cm 離れた位置であるが、この Δ 値は実験における載荷板端部からひずみ計測位置までの距離と同じ距離である。なお、作用荷重点である天端外面 90 度での圧縮ひずみ値は他の部位よりひずみが相対的に非常に大きく増加する。これは作用荷重を集中荷重としたことや載荷板をモデル化しない等により発生したもので、その解析値は実際のひずみ値よ

り非常に大きな値となることから評価の対象から外した。

③ひび割れ状況図

耐荷力に達したと判断した解析ステップでのひび割れ状況図を、図-9 に示す。ひび割れ状況図も実験時のひび割れ観察で見られたひび割れ発生状況を概ね再現している。例えば、解析結果の、天端内面および肩部外面で曲げ引張によるひび割れが発生し（A 部）、そのひび割れは天端内面では 1 本のひび割れに対して肩部外面では数本が分散して発生している点、また天端外面および肩部内面の圧壊範囲に相当する箇所アーチ部材方向（円周方向）にひび割れが発生している点は、実験時のひび割れ発生状況にほぼ一致する。ただし、解析での支承近傍でアーチ部材方向に割裂的なひび割れが発生した（B 部）点は、実験時には見られなかった。

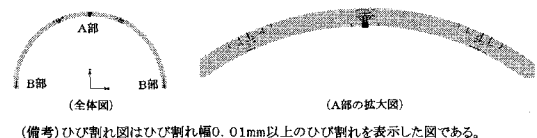


図-9 解析ひび割れ図（損傷載荷 $P=2,200\text{kN}$ 時）

4.3 検証(2)：損傷覆工内面に内巻きコンクリートを施したケースの補強後載荷時のシミュレーション解析

(1) 損傷の考え方とモデル化

再載荷時においては、ひび割れ判定を現応力のみでのひび割れ判定ではなく単調載荷での応力規定のひび割れ基準を包含した上での応力経路依存性を考慮した判定とする必要性⁷⁾や、既存のひび割れの存在と合わせてひび割れの再接触時の剛性回復のモデル化の必要性などが指摘されている。しかし、本検討では、数値解析モデル化の簡便さを考え、単調載荷時（損傷載荷時）の構成モデルと同じとした。この場合、損傷載荷時に発生した既存ひび割れの存在および再載荷時におけるその既存ひび割れの再開口や進展挙動はシミュレーションできない。しかし、再載荷時の載荷形式（境界条件を含む）が損傷載荷時の載荷形式と同じであること、かつ、ひび割れ挙動に大きく影響するような構造系の変化がないため、（内巻きコンクリートは無筋コンクリートで引張強度が小さいためひび割れ発生挙動に与える影響は小さいと考えた）前述したモデルで解析した場合に発生するひび割れは、結果的には既存ひび割れを含んだひび割れ状況と大差はないであろうと考えた。

(2) 解析モデル

解析モデルの概要図を、図-10 に示す。損傷載荷を受けた覆工供試体モデルを、天端外面および左右

肩部内面の圧壊箇所を断面欠損させたモデルとしてみた。断面欠損箇所は、損傷载荷によって圧壊または圧壊の影響でコンクリートの浮きが見られた天端外面および肩部内面とした。また、断面欠損とする範囲は、損傷载荷時の覆工供試体の変状観察結果に基づき、天端外面での範囲はアーチ部材方向に顕著に発生したひび割れより外側の範囲を考え、また肩部内面での範囲は損傷载荷時の実験⁸⁾で確認された肩部内面の圧壊範囲 192~244mm×深さ 21~30mm を考えた。その上で解析モデル上の範囲は上記の近似範囲として天端外面は幅 846mm×深さ 50mm、肩部内面は幅 200mm×深さ 50mm を設定した。なお、要素分割は要素分割Aモデルとした。本検討では、損傷载荷を受けた状態を解析計算して得るのではなく、損傷を有する覆工供試体モデルとして仮定した。また、内巻きコンクリート要素は覆工供試体要素に一体化させた。

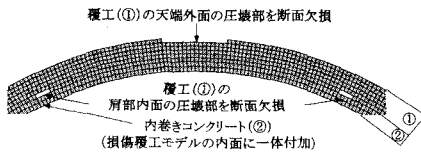


図-10 内巻きコンクリートケースの解析モデル概要

(3) 解析用物性値

内巻きコンクリートケースの解析用物性値を、表-3 に示す。反力ジャッキバネ係数は表-2 に示す。

表-3 内巻きコンクリート要素の解析用物性値

項目	記号	単位	内巻きコンクリート工ケース 損傷覆工 コンクリート	内巻き コンクリート	備考
単位体積重量	γ	kN/m ³	0	0	(※1)
初期接線弾性係数	E_0	kN/mm ²	18.0	16.0	(※2)
ポアソン比	ν	-	0.16	0.15	
一軸圧縮強度	f'_c	N/mm ²	-25.0	-18.0	
応力 f'_c でのひずみ	ϵ_{cp} ($\times 10^{-6}$)		-2,000	-2,000	(※3)
引張強度	f_t	N/mm ²	2.0	1.6	(※4)
破壊エネルギー	G_f	N/m	100	70	(※5)

(備考) 損傷覆工は断面欠損モデル。※1) ~ ※5) は表-1 の備考に同じ。

(4) 解析結果

① 荷重変位曲線

天端位置での荷重変位曲線を、実験値も合わせて、図-11 に示す。解析値は、解析変位零点を再載荷時の開始点(損傷载荷後の除荷後の残留変位点)に重ね書きして示した。

解析値は実験値より曲線勾配が大きい結果となったが、それは構造モデルの曲げ剛性が実際よりも大きいことを示唆し、その一因には内巻きコンクリートと覆工との打継面を、実験で発生した打継面の縁切れの発生および進展を考慮せずに、一体化モデルとした影響が考えられる。一体化モデルでは、縁切れ発生箇所を例えば重ね梁モデルで考慮する場合と比べて、断面二次モーメントが大きい分だけ曲げ剛

性が高い。なお、図-11 には、参考ケースとして圧壊部の断面欠損を考慮しないケースの解析値も示す。

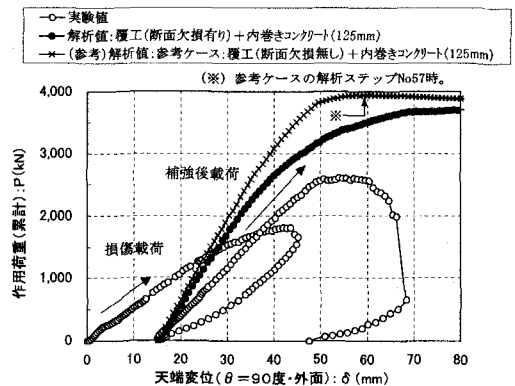


図-11 荷重変位曲線 (内巻きコンクリートケース解析結果)

② 荷重ひずみ曲線

荷重とひずみの関係図を、実験値も合わせて、図-12 に示す。内巻きコンクリート肩部内面の解析ひずみ値が圧縮限界値 ϵ_{max} ($4,200 \sim 4,700 \times 10^{-6}$: 内巻きコンクリート部 : 実験結果) に達した時点の作用荷重は約 2,600kN となり、この値は耐力力の実験値 ($P_{max}=2,603kN$) と近似が良い。覆工の天端外面および肩部内面は損傷载荷により既に圧壊を発生している状態であるため、内巻きコンクリート肩部内面が圧壊に至った時点耐力力に至った段階と捉えてもよいと考えられる。なお、図-12 には、参考ケースとして圧壊部の断面欠損を考慮しないケースの解析値として、内巻きコンクリート肩部内面の圧縮ひずみが約 $5,900 \times 10^{-6}$ となった解析ステップ (No. 57) までの結果を示す。参考ケースの解析結果において、上記と同じ方法で耐力力を求めると約 3,900kN となる。

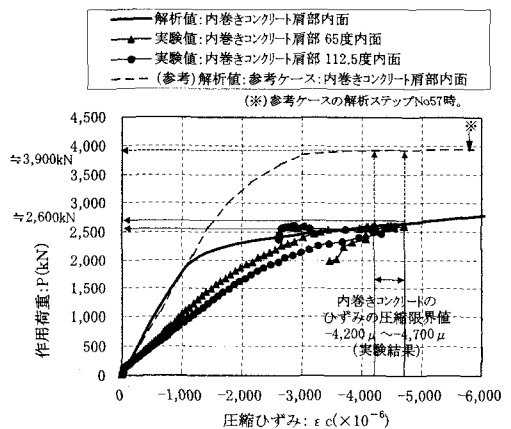


図-12 荷重ひずみ関係図 (内巻きコンクリートケース)

③ひび割れ状況図

内巻きコンクリートの左右肩部内面での解析ひずみ値が圧縮限界値に達した解析ステップ時のひび割れ状況図を、図-13 に示す。解析で得られたひび割れ状況図は、実験時のひび割れ観察結果と概ね一致する。解析では、内巻きコンクリートには、天端における覆工部まで貫通した曲げ引張ひび割れが発生し、それ以外の曲げひび割れは発生せずに、両肩部の覆工の圧壊した箇所付近の内巻き部ではアーチ部材方向（円周方向）にひび割れが発生した。後者は圧縮破壊時に発生する割裂的なひび割れと考えると、圧壊を示すひび割れに相当する。なお、解析では支承近傍で部材方向に割裂的なひび割れが発生したが、このひび割れは実験時には見られなかった。

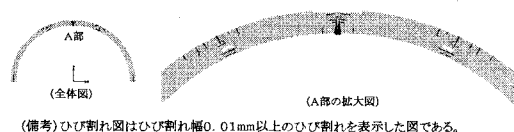


図-13 ひび割れ図（内巻きコンクリートケース:2, 607kN時）

5. まとめ

5.1 結論

本解析検討結果を、以下に要約する。

- ①緩み荷重のようにトンネル覆工天端に外荷重を受ける場合で覆工供試体の耐力力を決める破壊形態がコンクリートの圧壊となるケースでは、解析では解析ひずみ値が圧縮限界値に達した段階で圧壊に至ったと判定し、かつその圧壊箇所が天端外面および両肩部内面の全3箇所になった段階で覆工供試体の耐力力に達したと判断すれば、解析結果は実験結果の耐力力と概ね良い近似を示した。
- ②圧壊部を有する損傷覆工供試体に内巻きコンクリート補強を施した実験ケースの耐力力は、圧壊部を断面欠損でモデル化しかつ上記①の考え方で評価した解析値が実験値と良い近似を示した。

5.2 今後の課題

今回選定したような有限要素解析では、要素分割、コンクリートの構成則（特に圧縮側モデル）の考え方が解析結果に大きく影響する。また本文で用いたひずみの圧縮限界値の設定、圧壊を模擬する断面欠損の範囲設定（箇所数を含む）、内巻きコンクリート部材の打継面の接触条件等も解析結果に大きく影響する。さらに、解析ひずみ値を評価指標とする場合には、解析ひずみ値の算出方法（本報告では節点ひずみ値の平均値としたが）も影響する⁹⁾。本解析

結果は、対象の実験ケースの結果を説明するための一結果であり、客観的な知見として扱えるかどうかは更なる検討が必要と考える。一方、覆工載荷実験は実験施設の制約から平面応力状態で行っているが、平面ひずみ状態を仮定することの多い実際のトンネル覆工とでどの程度の違いがあるかは分からない。以上のことは、いずれも今後の課題である。

参考文献

- 1) 箱石安彦・真下英人・石村利明・森本智: 損傷トンネル覆工における内巻きコンクリートの補強効果に関する実験的研究、土木学会トシ工学研究論文・報告集第13巻、pp. 349-354、2003年11月
- 2) 朝倉俊弘・小島芳之・中田雅博・若菜和之・松岡茂: トンネル覆工の力学挙動への有限要素法解析の適用性に関する研究、土木学会トシ工学研究論文・報告集第5巻、pp. 25-30、1995年11月
- 3) 松岡茂・益田彰久・松尾庄二・柳博文: ひびわれを考慮したトンネル覆工解析に関する研究、土木学会論文集 No. 554/III-37、pp. 147-155、1996年12月
- 4) (財) 鉄道総合技術研究所: 変状対策工設計マニュアル、参考資料、pp. 180-212、平成10年2月
- 5) (株) 計算力学研究センター: ATENA Ver. 3 理論マニュアル、2004年11月
- 6) 例えば W.F.Chen (監訳: 色部誠・河角誠・安達洋): コンクリート構造物の塑性解析、丸善(株)、昭和60年(1985年)7月
- 7) 前川宏一・福浦尚之: 疑似直交2方向ひび割れを有する平面RC要素の空間平均化モデルの再構築、土木学会論文集 No. 634/V-45、pp. 157-176、1999年11月
- 8) 真下英人・石村利明・箱石安彦・森本智: 損傷を受けたトンネル覆工の内面補強工の補強効果について、土木学会第59回年次学術講演会講演概要集、pp. 197-198、平成16年9月
- 9) 土木学会: コンクリート技術シリーズ No. 50・コンクリート構造物の非線形解析技術小委員会成果報告書、平成15年(2003年)1月
- 10) 土木学会: 2002年制定コンクリート標準示方書[構造性能照査編]、平成14年5月