

変状発生トンネルにおける覆工耐力評価手法に関する研究

東京電力(株)栃木支店 正会員 日比野悦久
東京電力(株)栃木支店 野村智浩
日本工営(株)中央研究所 正会員 鈴木正樹
日本工営(株)中央研究所 正会員 太田資郎
日本工営(株)中央研究所 正会員 桜井達朗

1. はじめに

既設水路トンネルの覆工コンクリートで発生する変状には、図1に示すように覆工コンクリート背面に空洞がある場合、側方土圧のみが作用し、覆工コンクリート内外面に曲げ変形によるひびわれがトンネル縦断方向に発生する。さらに、変状が進むと、天端部覆工内面において圧挫が生じる。このような変状発生トンネルの健全度評価の指標として、覆工コンクリートのひびわれ開口幅があげられる。

本研究では、このひびわれ開口幅に着目して、開口幅から、作用荷重ならびにトンネル覆工残存耐力の評価手法を開発することを目的としている。

本報告では、局所的なひびわれを有するコンクリート構造体の挙動評価手法として、離散ひび割れモデルを用いた解析手法の適合性を、はりの曲げ破壊実験結果との照合により検証した。

また、同解析手法を用いて、はりの曲げ破壊の感度解析を行い、軸力の増分がはりの耐荷力に与える影響、ひびわれ進展状況の再現性について確認した結果を報告する。

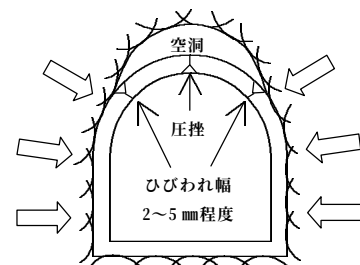


図1 対象とする変状発生トンネルの状況

2. 離散ひびわれモデルによる解析手法の適合性の検討

本研究ではトンネル覆工の開口ひびわれといった局所的で大きなひびわれ幅を扱うことから、適用する解析手法は、ひびわれ面を直接不連続面とし、ひびわれ幅を節点間の相対変位として直接算定できる離散ひびわれモデル¹⁾を基本とした。

ここでは、1本のひびわれを対象とした無筋コンクリートはりの3等分点曲げ載荷実験結果²⁾との比較検討により、離散ひびわれモデルを用いた解析手法の

<実験および解析条件>

圧縮強度：33.6 N/mm²
引張強度：2.8 N/mm²
弾性係数：28.0kN/mm²
破壊エネルギー： $G_f=0.10\text{N/mm}$
引張軟化曲線：2直線タイプ
限界開口幅 $W_c: 5.0G_f/f_t=0.18\text{mm}$

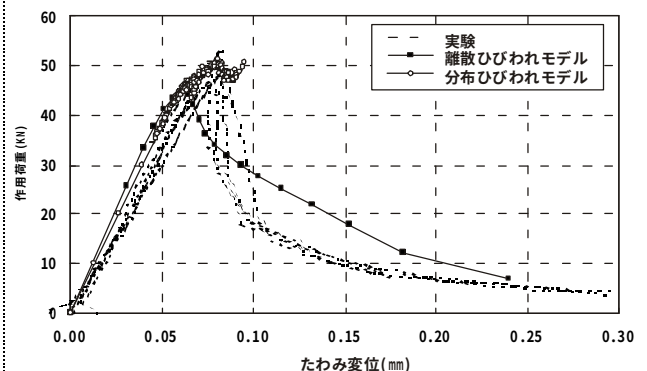
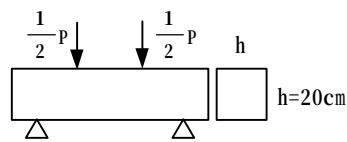


図2 荷重とコンクリートはりのたわみ変位の関係

適合性の検証を行った。その結果、図2に示すとおり解析値は実験値と概ねよい合致を示し、分布ひびわれモデル³⁾では追跡困難なピーク荷重以降の変位量についても十分に再現が可能であった。本研究では、ひびわれ幅から、覆工コンクリートへの作用荷重の推定並びに残存耐力を評価し得る手法の開発を目的としており、その点から本手法の適用が有効と判断された。

キーワード：ひびわれ開口幅、トンネル覆工耐力、離散ひびわれモデル、破壊力学、変状トンネル

連絡先：東京電力(株) 〒320-0026 栃木県宇都宮市馬場通り 1-1-11 Tel 028-302-2537 Fax 028-302-2519

日本工営(株) 〒300-1259 茨城県稲敷郡茎崎町稲荷原 2304 Tel 0298-71-2030 Fax 0298-71-2022

3. 軸力を考慮したはりの曲げ破壊による感度解析

トンネル覆工コンクリートには、一般に曲げと軸力が作用している。背面空洞の存在、覆工コンクリート厚さの不均一など外部・内部的な条件から、この軸力が覆工全体に十分伝達されないか、あるいは、曲げ作用が支配的となる場合に、覆工コンクリートにトンネル軸方向の縦断ひびわれが発生すると考えられる。ここでは、軸力の大きさをパラメータとしたはり部材曲げ破壊解析によって、コンクリートのひびわれ幅をどの程度まで追跡できるかについて感度解析により検討を行った。この場合、軸力の大きさによっては圧縮側での塑性化が考えられるため、圧縮側については Drucker-Prager の降伏条件に従う弾塑性体として取扱った。また、コンクリートはり部材にひびわれが発生した後も、荷重を保持しながら大きなひびわれ開口変位量に達することを想定し、有限変形理論(大変形問題)の導入も行い、微小変形理論との比較を行った。

解析結果は、図3. 1に示すとおりであり、軸力増大に伴い耐荷力が増大する現象が再現でき、また軸力増大によりひびわれ幅は1 mm程度までに達した。図3. 2の最大主応力分布図では、軸力が作用することにより結合力が全く作用しない不連続面が形成されても荷重が保持されている状況がよく表されている。また、微小変形理論と比べて、要素の位置の変化、形状の変化、剛体的な回転(高次項)などの幾何学的非線形性を考慮した有限変形理論を用いた方が、各ひびわれ進展段階での開口変位量は増大しており、最終的な増分量も微小変形理論を10%~20%程度上回る。

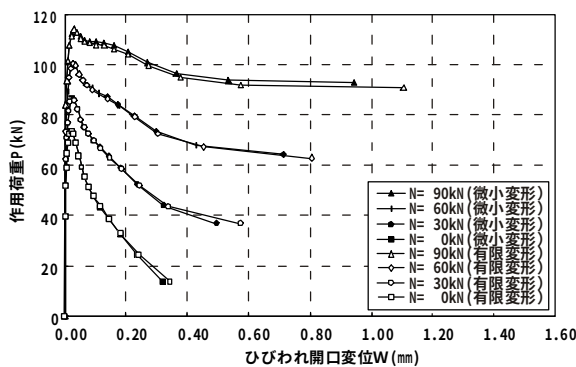


図 3.1 荷重とひびわれ開口変位の関係

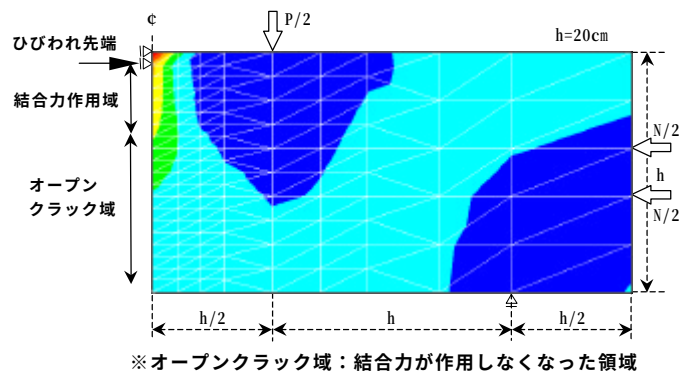


図 3.2 最大主応力分布図(軸力 N=90kN の場合)

4. まとめと今後の課題

以上から、離散ひびわれモデルを用いた解析手法は、局所的なひびわれを有するコンクリート構造体の耐荷力およびひびわれ幅を定量的に算定するのに有効な手法との見通しが得られた。ただし、これまでの解析では、1 mm程度のひびわれ幅までの再現であり、実際の覆工コンクリートに生じている2~5 mm程度の大きなひびわれ幅を評価するには、手法の改良が必要である。

今後は、変状発生トンネルの耐力評価手法への実適用に向けて、トンネル構造体の形状、地山の拘束効果を反映させ手法の高度化を図る考えである。

謝辞：本研究をすすめるにあたり、ご指導頂きました熊本大学工学部環境システム工学科の天津教授に対し、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 天津政康：数値解析への引張軟化特性の組込み, コンクリート構造の破壊力学に関するコロキウム, pp.55-60, 1990
- 2) 内田裕市・六郷恵哲・小柳治：無筋コンクリートの曲げ破壊実験結果, 破壊力学の応用研究委員会報告書, pp.346-347, 1993
- 3) 師自海・中野雅章：コンクリートの補強覆工耐力評価に関する弾性軟化モデル, コンクリート構造物の補修工法に関するシンポジウム論文報告集, pp.83-86, 1996.10