

III-465

シールドトンネルの軸方向剛性評価実験
（その8）二次覆工クラック発生後の曲げ実験結果と解析

（株）奥村組 正員 井戸田芳昭
飛島建設（株）正員 松島 健一
鉄建建設（株） 後藤 智

1. はじめに

本報告は、二次覆工クラック発生後の曲げ実験結果及びそのシミュレーション解析の結果の報告である。

2. 実験の概要

曲げ載荷により二次覆工にクラックを発生させた後、供試体中央の水平変位が2mmとなるまで載荷（ $M=196.5 \text{ t}\cdot\text{m}$ ）を行った。その後、軸圧縮、軸引張載荷及び横方向載荷を行った後、あらためて、曲げ載荷により $M=320 \text{ t}\cdot\text{m}$ まで載荷し、今回の供試体の最大耐力を求めた。

3. 解析モデル

（1）梁と回転バネのモデル

昨年報告したように、二次覆工のクラックはセグメント継手部に均等に発生せず、2～3リングに1ヶ所発生した状態であったため、スパンの短い供試体を等価な梁としてモデル化することは妥当ではないと判断し、梁と回転バネでモデル化することを試みた。前報で述べた等価梁モデルのケースAのモデルにおいて、クラック発生後は二次覆工の引張側の剛性を無視すると、図1に示すような曲げモーメントと回転角の関係が得られる。セグメントリング部については、セグメントと二次覆工の曲げ剛性の和の剛性を持つ梁としてモデル化し、継手部については、図1の $M=200 \text{ t}\cdot\text{m}$ での M/θ から、クラックの入っている部分及び入っていない部分の回転バネ定数を算定した。なお、図1において、aとbの2本の曲線が存在するのは、継手部の引張剛性として非線形な関係を用いているため、解が2つ求まるためである。

（2）三次元FEMモデル

前報で述べたFEMモデル、ケースBのモデルにおいて、クラックの発生した継手部では二次覆工の引張剛性を考慮しないモデルとした。

4. 実験結果と解析結果の比較

（1）水平変位分布（図2）

解析では、梁モデル及びFEMモデルともに、実験結果のクラック発生状況から、クラックの発生箇所を2ヶ所（No.①と②の間、No.④と⑤）とした。さらに、セグメント No.⑦の二次覆工の打継目も多少開いていたので、参考のため、No.⑥と⑦間もクラックとみなし、クラックを3ヶ所設けたモデルについて

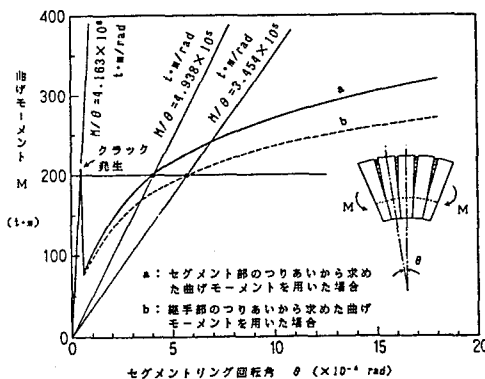
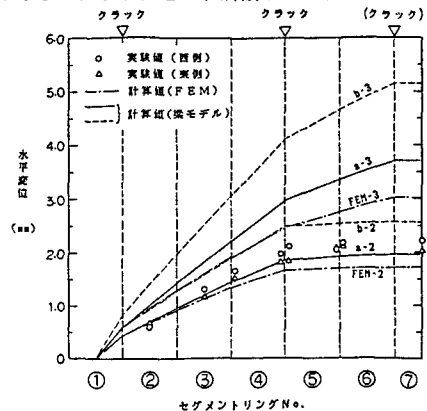


図1 曲げモーメントとセグメントリング回転角の関係

図2 セグメントリングごとの水平変位分布
($M=196.5 \text{ t}\cdot\text{m}$)

も解析した。クラックの入り方が不規則であったにもかかわらず、クラックを2ヶ所とした梁モデル及びFEMモデルとも、実験結果に近い変位分布となっている。なお、実験結果の水平変位分布から算定した曲げ剛性は、セグメントと二次覆工の剛性の和の約18%であった。

（2）継手張力分布（図3）

クラックの入った No.④と⑤の間の継手張力分布及び中立軸位置ともに、梁モデル及びFEMモデルで良く近似されていると言える。

（3）セグメント鉄筋ひずみ分布（図4）

セグメント上部で実験値は解析値の約2倍となっている。セグメント No.④では、二次覆工のクラックが上部に生じているため、セグメントの荷重分担が増加したと推定される。

5. 最大耐力の実験結果と解析結果

（1）水平変位（図5、図6）

供試体中央の水平変位が15mmで最大耐力320t・mに達し、その後は荷重が増加せず、載荷装置の関係から20mmで実験を終了した。

（2）継手部目開き量（図7）

梁モデルによる解析結果は、実験結果と傾向が一致しており、このようなモデルにより、二次覆工クラック発生後のセグメント継手部の非線形挙動を最大耐力まで解析できることを示している。

6. まとめ

（1）二次覆工クラック発生後のシールドトンネルの曲げ剛性は、セグメントと二次覆工の曲げ剛性の和の約18%であった。

（2）また、その力学的挙動は、セグメントリングを梁として、クラック部分を回転バネとしてモデル化することができる見通しを得た。

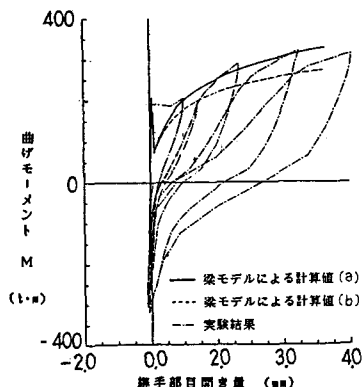


図7 曲げモーメントと継手部目開き量の関係
(No.④、⑤リング間、水平位置)

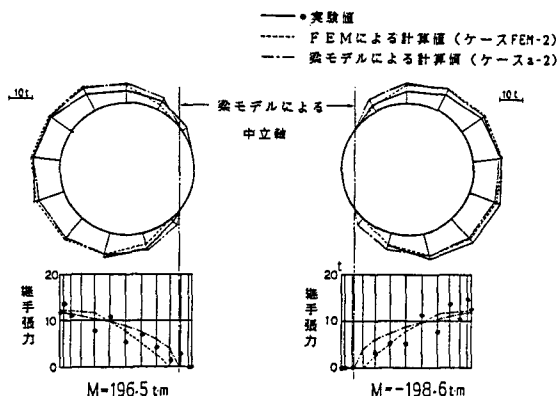


図3 継手張力分布 (No.④、⑤リング間)

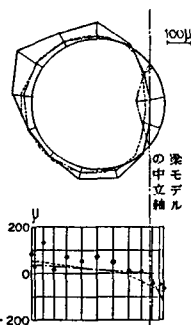


図4 セグメント鉄筋ひずみ
(M=196.5 t·m、セグメントNo.④)

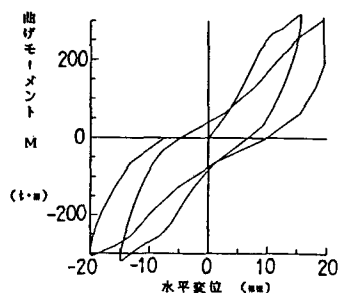


図5 供試体中央の水平変位

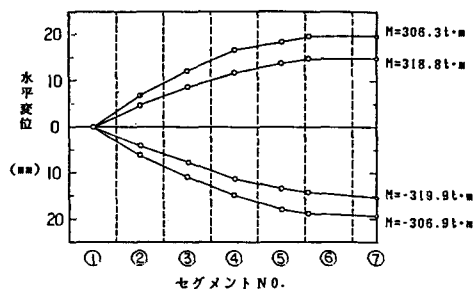


図6 セグメントリングごとの水平変位