

III-288

シールドトンネルの軸方向剛性評価実験

(その4) 純曲げ試験とシュミレーション解析

鉄建建設	正員	松岡 茂
飛島建設	正員	三輪 滋
奥村組		石井 敏之

1. はじめに

本文は、文献1) 表-2に示すシールドトンネルのセグメント単独の純曲げ試験(A2载荷)結果とそのシュミレーション解析についての報告である。

2. 純曲げ試験

純曲げ試験における曲げモーメントと中央部の水平変位の関係を図-1に示す。水平変位はほぼ曲げモーメントに比例していることより、トンネル供試体の曲げ剛性は今回の载荷条件下ではほぼ一定であると考えられる。

図-2に最大曲げモーメント(96tm)载荷時における各リングの水平位置(スプリングライン)における水平変位分布を示す。東側、西側の水平変位はほぼ一致していることより、セグメントリング横断方向には変形がほとんど生じていないと考えられる。したがって、今回の純曲げ試験結果には、セグメントリングの変形による影響はほとんど無いと考えられる。

今回の曲げ試験では、供試体が純曲げ状態になっているので水平変位の分布より、供試体の曲率を求めて曲げ剛性を決定した。図-3に曲げモーメントと曲率半径の関係を示す。図-3中の実線は、各载荷ステップにおける供試体の曲げ剛性を平均した値を示している。図-3の平均値を今回の供試体の曲げ剛性とすれば、トンネルの曲げ剛性はセグメント単独の曲げ剛性の0.16程度であった。

3. シュミレーション解析

シールドトンネルの曲げ剛性は、リング間継手部全体の圧縮引張剛性等により決定されと考え図-4に示す様なリング間バネを考慮したモデルによりシュミレーション解析を行った。リング間バネを考慮した解析モデルとして、三次元FEM(図-5のモデル図参照)と川島らの論文¹⁾による梁モデルの2つについて検討を行った。

3-1 リング間バネの設定

軸圧縮、引張試験において剛性がほぼ一様となった最終载荷段階における荷重-変位曲線を図-6に示す。圧縮側、引張側ともに非線形性を示している。

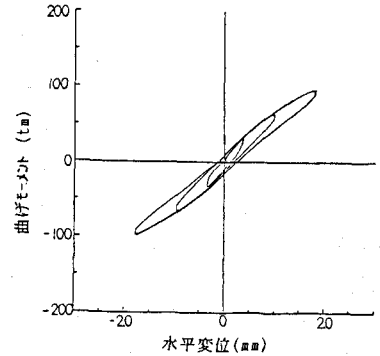


図-1 曲げモーメント-変位図

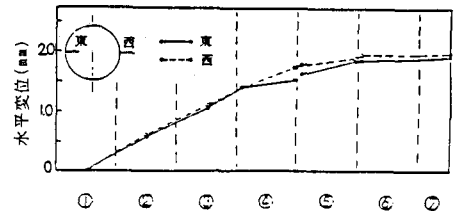


図-2 水平変位分布

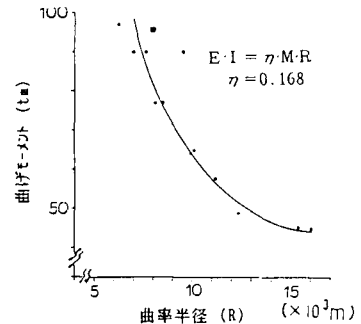


図-3 曲げモーメント-曲率半径曲線

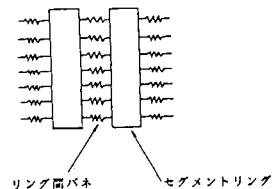


図-4 解析モデル概念図

リング間バネ係数は圧縮領域または引張領域内では一定とした。リング間バネの剛性として表-1に示す2ケースを設定した。

ケース1の割線剛性は、それぞれ原点と軸圧縮力150t（セグメント圧縮応力13.5kg/cm²相当）、軸引張力91t（継手張力7t/本相当）を結んだものである。ケース2は、ケース1の条件によって求められた最大継手張力、最大コンクリート圧縮力のそれぞれ1/2に相当する軸引張力58.5t、軸圧縮力94.3tの接線剛性である。

3-2 シュミレーション解析結果

三次元FEM解析結果についても、試験結果と同様に水平変位分布から曲率半径を求めて曲げ剛性を決定した。表-2に三次元FEM、梁モデル及び実験結果から求めた曲げ剛性を示す。表-2の有効率とは、セグメント本体の曲げ剛性を1.0とした場合の比率である。試験結果から求めたトンネルの曲げ剛性は、実験結果とFEMモデル、梁モデルの結果はほぼ一致している。

図-7に梁モデルから求めたセグメントの軸方向継手張力分布及び鉄筋歪み分布と試験結果の分布を示す。個々の張力、歪みは多少の違いがあるが、全体的な分布傾向と中立軸位置がほぼ一致している。

4. まとめ

- ① シールドトンネルの曲げ剛性は、継手部の圧縮、引張バネを考慮した梁モデルで近似できる。
- ② 梁モデルで計算した張力分布等の結果は、実験結果と良く一致する。

参考文献

- (1) 川島、大日方、志波：応答変位法によるシールドトンネルの耐震設計法、土木技術資料、第28巻5号、1985.5
- (2) 松島、水谷他：シールドトンネルの軸方向剛性評価実験その1-3、土木学会第42回年次講演会、Ⅲ

表-1 解析モデルの条件

ケース	剛性の設定方法	供試体全体の剛性		継手1本あたりの剛性	
		引張 K_{te} t/mm	圧縮 K_{tc} t/mm	引張 K_{jt} t/mm	圧縮 K_{jc} t/mm
ケース1	割線	46.0	125.0	47.0	158.4
ケース2	接線	36.0	150.0	36.0	202.5

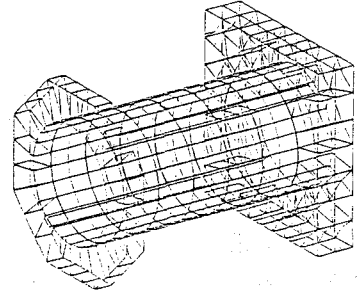


図-5 FEMモデル図

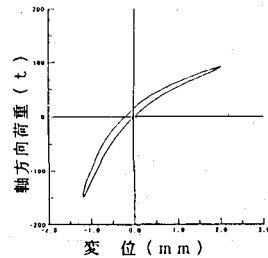


図-6 軸荷重-変位曲線

表-2 曲げ剛性一覧

		曲げ剛性 (t ²)	有 効 率
F E M	ケース1	7.91×10^5	0.195
	ケース2	7.21×10^5	0.169
梁モデル	ケース1	7.36×10^5	0.172
	ケース2	6.61×10^5	0.155
実験結果		7.17×10^5	0.169

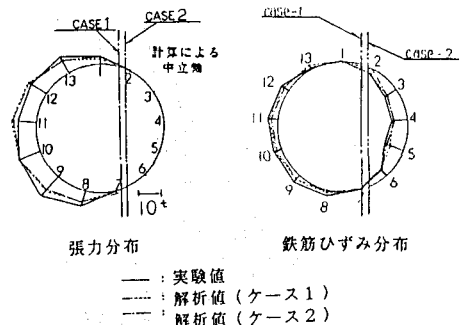


図-7 張力・ひずみ分布