

III-464 シールドトンネルの軸方向剛性評価実験 （その7）二次覆工後の曲げ実験結果と解析

鉄建建設㈱ 正員 松岡 茂
飛島建設㈱ 正員 武藤 正人
㈱奥村組 正員 井戸田芳昭

1. はじめに

本報告は、昨年発表を行った二次覆工後の曲げ実験¹⁾の内、二次覆工にクラックが発生するまでの載荷実験の結果及びそのシミュレーション解析結果についての報告である。

2. 解析モデル

(1) 梁モデル

二次覆工後のシールドトンネルの曲げ剛性を評価するために、セグメントについて川島らが提案している方法²⁾を拡張し、以下の2つのモデルを作成した。

ケースA：図1に示すように、二次覆工はセグメント圧縮側と同じ傾きの平面を保持するものとした。すなわち、セグメントと二次覆工は圧縮のみ付着し、引張側では付着が無いモデルである。

ケースB：前報で述べた継手影響係数 α の考え方を導入し、図2に示すように二次覆工の継手付近ではセグメントと圧縮のみ付着を考慮し、継手の影響範囲外ではセグメントと完全な付着があるものとした。前報に基づき継手影響係数は $\alpha=0.2$ とした。

(2) 三次元FEMモデル

図3に示すように、載荷版・反力版をソリッド要素で、セグメント・二次覆工をシェル要素、継手部をバネ要素でモデル化した。二次覆工とセグメント間にはせん断バネ要素を設け、付着の有無を考慮できるようにした。

ケースA：セグメントと二次覆工の間に付着を考慮したモデル

ケースB：セグメントと二次覆工の間に付着を考慮しないモデル

なお、継手の引張剛性は継手の引張実験結果に基づき、図4に示すように三次元FEMモデルではBi-linear型とし、梁モデルではMulti-linear型とした。また、継手部の圧縮剛性は100%有効とした。

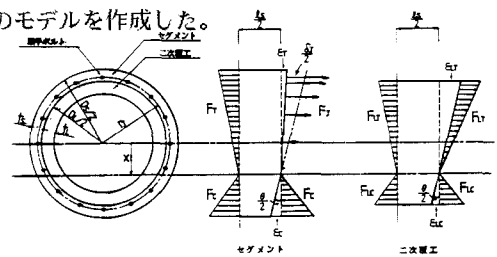
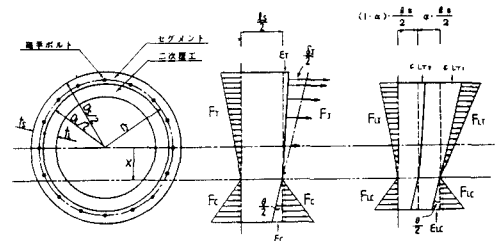


図-1 梁モデル（ケースA）の計算方法



D_s : セグメントリングの外径
 t_s : セグメント厚
 l_s : リング長
 x : 中立軸位置
 ϵ_c : セグメントの圧縮ひずみ
 ϵ_{Lc} : 二次覆工の圧縮ひずみ
 θ : リングの回転角
 ϵ_{LT1} : 二次覆工の継手影響部分の引張ひずみ
 ϵ_{LT2} : 上記以外の二次覆工の引張ひずみ
 D_L : 二次覆工コンクリートの外径
 t_L : 二次覆工コンクリート厚
 r_j : ボルトサークル半径
 δ_j : 最外継手の目開き量
 ϵ_T : セグメントの引張ひずみ
 ϵ_{LT} : 二次覆工の引張ひずみ
 α : 継手影響係数

図-2 梁モデル（ケースB）の計算方法

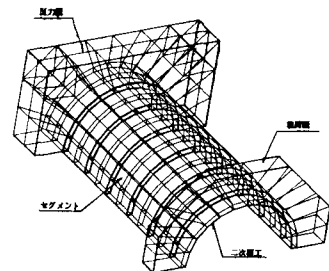


図-3 三次元FEM解析モデル図

3, 実験結果と解析結果の比較

(1) 水平変位及び曲げ剛性

二次覆工後の曲げ剛性の実験結果は、セグメントと二次覆工の和の7割程度であり、梁モデルのケースA・Bともに比較的近い値であり、いずれのモデルでも二次覆工後の曲げ剛性を評価できると考えられる。（図5・表1参照）

(2) セグメント断面中央での歪み分布

セグメント鉄筋歪み分布、二次覆工コンクリート歪み分布、中立軸位置ともにセグメントと二次覆工に充分に付着を考慮している梁モデルのケースB、FEMモデルのケースAが実験値に極めて近い。（図6・7参照）

(3) 二次覆工クラック発生荷重

実験では、 $M = 192 \text{ t}\cdot\text{m}$ でクラックが発生した。梁モデルケースAの解析によるクラック発生荷重は $M = 208 \text{ t}\cdot\text{m}$ であり比較的近い値であった。継手影響係数 α を考慮したケースBは $M = 150 \text{ t}\cdot\text{m}$ であり、このモデルでは継手付近の二次覆工の引張応力を過大評価していると考えられる。

4, まとめ

(1) 二次覆工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7割程度であった。

(2) 二次覆工後の曲げ剛性を評価するために、セグメントの曲げ剛性を評価する川島らの方法を拡張した2種類の梁モデルを作成した。圧縮側のみの付着を考慮した梁モデルで曲げ剛性及び二次覆工のクラック発生荷重を評価できる見通しを得た。

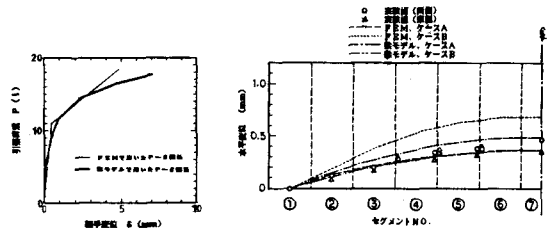


図-4 継手の引張荷重と変位の関係 図-5 セグメントリングごとの水平変位分布 $M = 128 \text{ t}\cdot\text{m}$

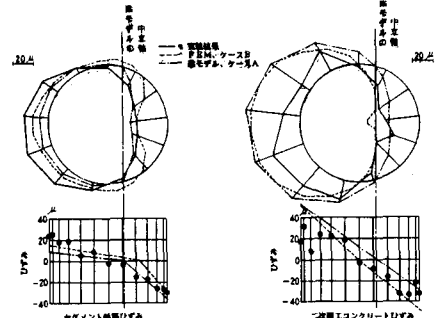


図-6 セグメント鉄筋および二次覆工コンクリート（内側）のひずみ ($M = 128.0 \text{ t}\cdot\text{m}$ 、セグメントN. ④)

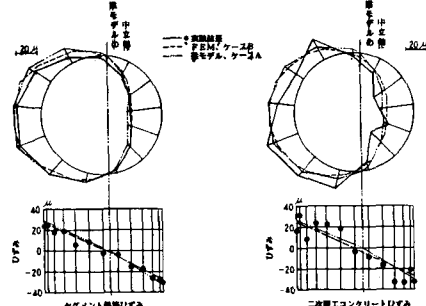


図-7 セグメント鉄筋および二次覆工コンクリート（内側）のひずみ ($M = 128.0 \text{ t}\cdot\text{m}$ 、セグメントN. ④)

表-1 等価曲げ剛性の比較

項 目	曲げ剛性 ($\text{t}\cdot\text{m}^2$)	有効率 (%)
実 験 値	4.10×10^6	67
梁モデル	ケースA 3.75×10^6	61
	ケースB 5.09×10^6	83
3次元 FEMモデル	ケースA 5.78×10^6	94
	ケースB 2.44×10^6	40

(注) 有効率はセグメントと二次覆工の剛性の和に対する比率 $(EI)_s + (EI)_L = 6.13 \times 10^6 [\text{t}\cdot\text{m}^2]$

参考文献

- 1) 井戸田・清水・田辺：シールドトンネルの軸方向剛性評価実験（その5），土木学会第42回年次講演会，III-289, P602-603
- 2) 川島・大日方・志波・加納：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，1986.5. P45-50