

III-21

二次覆工（無筋・有筋）を施したシールドトンネルの継手部曲げ挙動について

中部電力㈱ 正会員 奥田康三 依田 真
 中部電力㈱ 正会員 滝 英治 児玉守広
 日本工営㈱ 田中 弘 和田正樹

1. まえがき

シールドトンネル軸方向剛性の合理的な評価法ならびにトンネル軸方向問題に対する二次覆工の効果を検討するために、著者らは、実規模シールドトンネル（スチールセグメント製）を用いた一連の実験研究を実施している¹⁾²⁾³⁾。ここでは、シールドトンネルの曲げ剛性を評価する際に重要なリング継手部の曲げ挙動に関し、無筋・有筋二次覆工コンクリートを施した場合の実験結果について報告する。

2. 実験概要¹⁾²⁾³⁾

写真に示すように、供試体はスチールセグメント（無筋二次覆工のケースはSM50、有筋二次覆工のケースはSS41）を軸方向に5リング千鳥組し、これに厚さ15cmの二次覆工コンクリートを打設した外径1.8m、長さ3.75mの実規模シールドトンネルである。セグメントは下水道用標準セグメント1-1に準じるもので（ただし、主桁・継手板厚は14mm）、ボルトはM16（F10T、リング継ぎボルト20本）を用いた。二次覆工コンクリートの物性、ならびにトンネル軸方向に対する配筋は表1のようである。トンネル両端にはトランジションとして、外径をトンネル部に合わせた厚さ30mm、長さ1mの鋼管を接合し（ボルト接合+二次覆工も打設）、この端部に荷重フレームを取り付け、トンネル両側部にセットしたジャッキを用いて純曲げ荷重を行なった。

なお、二次覆工施工前の一次覆工状態でも、セグメント部材の弾性変形範囲内にて同様の荷重を実施した。

3. 覆工形態の違いによる継手部曲げ挙動の比較

(1)一次覆工の継手部曲げ挙動：図1に継手部変位から求めた曲げ荷重 M ～継手回転角 θ の関係を示す。継手部が弾性変形範囲内ではSM50、SS41ともほぼ同様の挙動を示し、継手の回転ばね定数は $k_{\theta} = 7.7 \times 10^4 \text{ tfm/rad}$ である。
 (2)二次覆工ひびわれ前の継手部曲げ挙動：図2に示すように、ひびわれ前の曲げ荷重 M ～継手回転角 θ の関係は、無筋・有筋の場合ともほぼ同様の線形挙動を示し、この時の継手の回転ばね定数は $k_{\theta} = 1.7 \times 10^6 \text{ tfm/rad}$ である。一方、セグメント内の二次覆工コンクリート部も考慮した断面二次モーメントと引張強度から算出したひびわれ荷重は無筋が76tfm、有筋が57tfmとなり、実験でもそれぞれ約80tfm、60tfmでともにリング継手位置に二次覆工のひびわれが発生した。

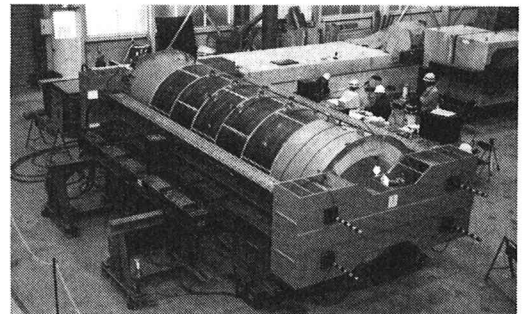
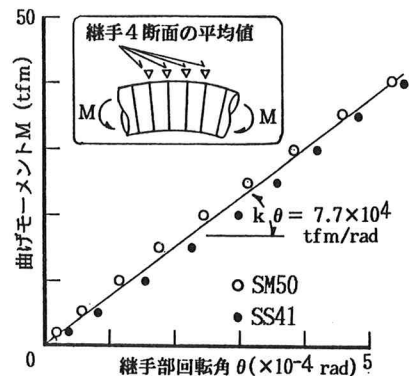


写真 実規模シールドトンネル荷重実験状況

表1 実験時の二次覆工物性値

	圧縮強度	引張強度	ヤング率
無筋二次覆工 コンクリート	207 kgf/cm ²	17.8 kgf/cm ²	2.17×10^5 kgf/cm ²
有筋二次覆工 コンクリート	140 kgf/cm ²	13.3 kgf/cm ²	1.69×10^5 kgf/cm ²
二次覆工の軸 方向配筋	15cm厚さ二次覆工の中央部に D13を40本配置（@11.76cm）		

図1 一次覆工の M ～継手部 θ 関係図

(3) 二次覆工ひびわれ後の継手部

曲げ挙動：図3

に示すように、

前述した有筋二

次覆工のひびわれ

荷重（約 $M = 60\text{tfm}$ ）以下の

範囲では、無筋

・有筋二次覆工

とでは継手部の

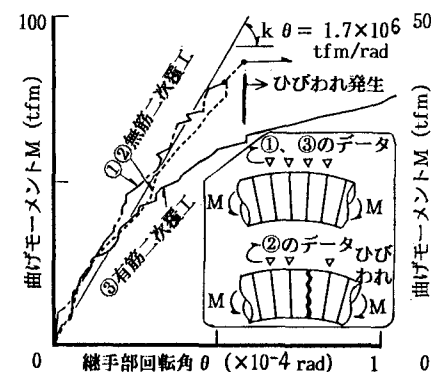


図2 ひびわれ前の $M \sim$ 継手部 θ 関係図

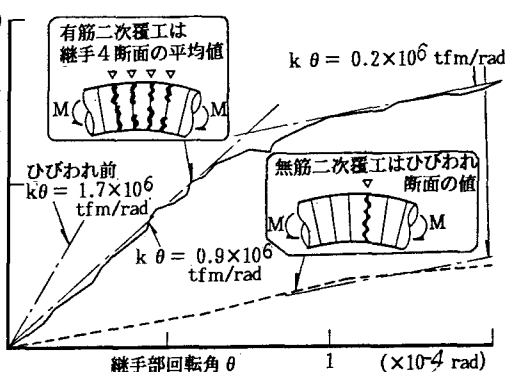


図3 ひびわれ後の $M \sim$ 継手部 θ 関係図

回転ばね定数が明確に異なっているが、ひびわれ荷重を越えると有筋二次覆工の曲げ荷重 $M \sim$ 継手回転角 θ の関係は無筋二次覆工の場合とほぼ同じ勾配を示す。ただし、これはひびわれ直後の短い荷重段階での現象である（鉄筋効果は次節で示す）。

(4) 最終耐力時までの継手部曲げ挙動：図4は最終耐力時まで示した曲げ荷重 $M \sim$ 継手回転角 θ の関係図である。有筋二次覆工の鉄筋効果は継手回転角が約 $\theta = 30 \times 10^{-4} \text{ rad}$ までの範囲で発揮されており、それ以降は無筋・有筋二次覆工とも同様の曲げ荷重 $M \sim$ 継手回転角 θ の関係を示して最終荷重に至る。

4. ひびわれ後の継手部断面の中立軸

図5に有筋二次覆工供試体の中央部2箇所（リングNo.②③と③④間）で計測されたボルトひずみ分布を示す。ひびわれ荷重以後の荷重においては、構造系が逐次変化していくため中立軸位置が変化している。また、中立軸がトンネル断面端部にまで移動したときの荷重は最終耐力 $M = 353\text{tfm}$ と一致する。

5. あとがき

本実験研究に際し貴重な助言をいただいた東洋大学小泉 淳助教授、ならびに実験を担当した（株）奥村組、鹿島建設（株）関係各位に感謝します。

〔参考文献〕1) 滝、依田、水野、和田、田中：シールドトンネル一次覆工（スラットメント）の軸方向剛性評価の実規模実験、土木学会中部支部1989.3、2) 滝、依田、見玉、田中山田：二次覆工を考慮したシールドトンネル軸方向剛性評価の実規模実験、土木学会中部支部、1989.3、3) 水野、依田、滝、田中、和田：有筋二次覆工を施したシールドトンネルの軸方向剛性評価実規模実験、土木学会第44回年次学術講演会、1989.10

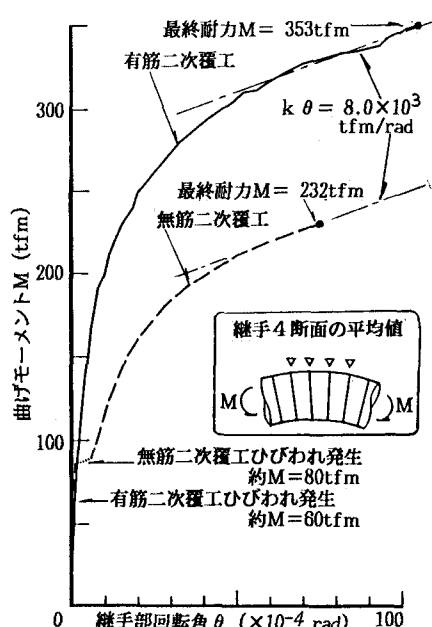


図4 最終耐力までの $M \sim$ 継手部 θ 関係図

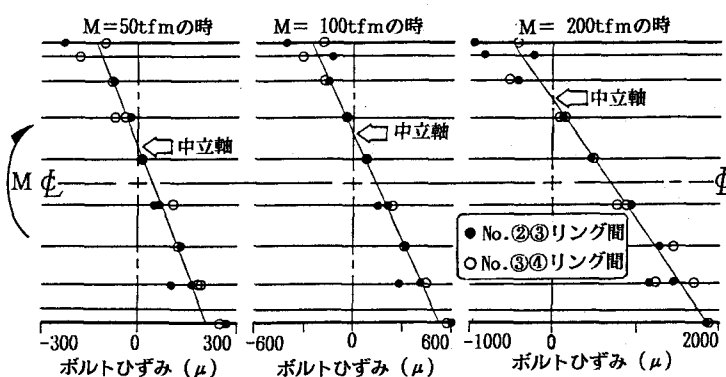


図5 継手部ボルトのひずみ分布

〔参考文献〕1) 滝、依田、水野、和田、田中：シールドトンネル一次覆工（スラットメント）の軸方向剛性評価の実規模実験、土木学会中部支部1989.3、2) 滝、依田、見玉、田中山田：二次覆工を考慮したシールドトンネル軸方向剛性評価の実規模実験、土木学会中部支部、1989.3、3) 水野、依田、滝、田中、和田：有筋二次覆工を施したシールドトンネルの軸方向剛性評価実規模実験、土木学会第44回年次学術講演会、1989.10