

III-20

有筋二次覆工を施したシールドトンネルの軸方向剛性について

中部電力㈱ 正会員 滝 英治 依田 真

中部電力㈱ 正会員 奥田康三 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、二次覆工を施した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、これまでに実施した無筋二次覆工・一次覆工のみの実験結果と比較しながら有筋二次覆工を施したシールドトンネルの軸引張剛性について報告する。

2. 実験概要¹⁾²⁾³⁾

写真に示すように、供試体は下水道用標準セグメント 1-1に準じるスチールセグメント（ただし、主桁・継手板厚は14mm、有筋二次覆工のケースはSS41、無筋二次覆工のケースはSM50）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。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）、この端部に載荷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軸方向交番載荷を行なった。なお、二次覆工打設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載荷を実施した。

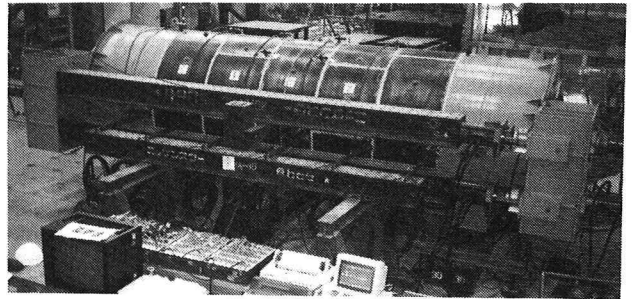


写真 実規模シールドトンネル載荷実験状況

表1 実験時の二次覆工物性値

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

3. 覆工形態の違いによる軸引張剛性の比較

(1)一次覆工の軸引張剛性：図1にトンネル長さの変化、表2に最大荷重時の各継手部断面の目開き量を示す。トンネル長さはSM50、SS41とも継手部材が弾性変形範囲内ではほぼ同様の挙動を示し、しかもトンネル長さ変化量の大部分は継手部で生じている。トンネル長さ変化から継手部1箇所当たりの引張ばね定数を算出すると（測定間には継手が4断面あり、各継手断面には計20個の継手があるととして算出）、約 $kt = 6.2 \text{ tf/mm}$ となった。

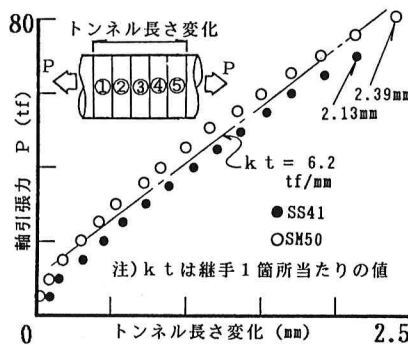


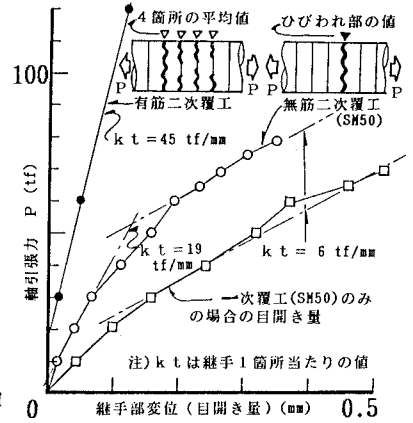
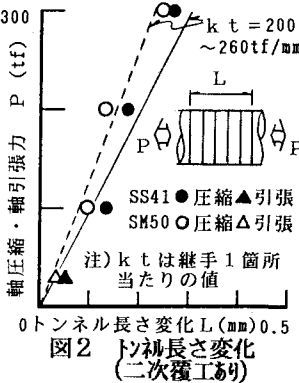
図1 トンネル長さ変化（一次覆工）

表2 継手部変位計測値(mm)

セグメント材質	SS41	SM50
軸引張荷重値(tf)	70.3	80.0
No. ①②リング間	0.44	0.54
No. ②③リング間	0.51	0.63
No. ③④リング間	0.55	0.66
No. ④⑤リング間	0.55	0.56
継手部変位の合計	2.05	2.39

(2)二次覆工ひびわれ前の軸方向剛性

：図2に軸圧縮（最大 300tf）および軸引張（最大 30tf）載荷時のトンネル長さ変化を示す。二次覆工ひびわれ前の軸方向剛性は無筋・有筋にかかわらず圧縮・引張ともにほぼ同様である。また、無筋二次覆工供試体(SM50)と有筋二次覆工供試体(S S41)の剛性の差は二次覆工コンクリートのヤング率の比となっている。



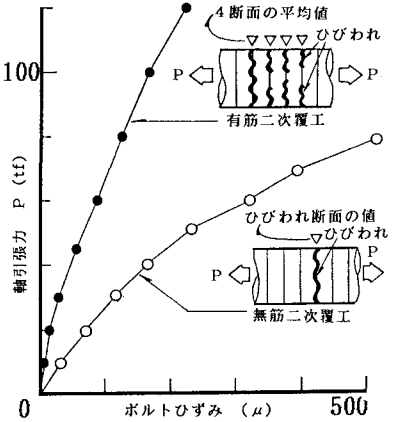
(3)二次覆工ひびわれ後の軸方向剛性：純曲げ載荷により二次覆工コン

クリートにひびわれを発生させた²⁾³⁾後の軸方向載荷による、ひびわれ部リング継手断面の目開き量を図3に示す。当然のことながら有筋二次覆工供試体のひびわれ部継手引張ばね定数 ($kt=45\text{tf/mm}$) は無筋二次覆工供試体 ($kt=19\text{tf/mm}$) より大きくなるが、その量はほぼ継手部材断面の増加量（無筋のボルト面積に比べ有筋は約 2.6倍）になっている。また、無筋二次覆工のひびわれ部継手引張ばね定数はしだいに一次覆工のそれ ($kt=6\text{tf/mm}$) に近づく。図4はひびわれ継手部のボルトひずみを比較したものである。

図3 ひびわれ継手部の変位

(4)軸方向引張載荷時の覆工部材挙動：図5にひびわれ前の軸方向引

張載荷時（最大30tf）の、縦リブ、コンクリート、二次覆工鉄筋ひずみを示す。鉄筋が引張力を分担するため二次覆工コンクリート内面の引張ひずみは非常に小さい。これは無筋二次覆工供試体の場合と異なった挙動である²⁾。一方、縦リブと二次覆工鉄筋ひずみの大小から覆工部材挙動を模式すると図6のようになる。これより、軸引張荷重が作用した場合の有筋二次覆工コンクリートは、継手部ボルト近傍から曲げ引張ひびわれが発生してゆく状況が推察される。



4. あとがき

本実験は、純曲げ載荷によるトンネル挙動に注目した載荷計画に従ったため²⁾³⁾、軸方向載荷は継手部材の弾性変形内で行なったが二次覆工を施したトンネルの基本的な軸方向挙動を把握できた。並行して実施したセグメント部材試験結果も踏まえ、軸方向問題に対する二次覆工効果の検討をまとめたいと考えている。本実験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。

図4 ひびわれ継手部のボルトひずみ

〔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（スリーブ）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、児玉、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、児玉、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

