

III - 22

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 （純曲げ載荷時の有筋二次覆工コンクリートのひびわれ発生形態）

中部電力㈱ 正会員 水野竜也 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

都市部の重要送電施設である地中線洞道などのシールドトンネルを設計する場合、地震時の安全性を考慮した設計が求められる。この際、シールドトンネル軸方向剛性値の評価が重要な課題となるが、地中線洞道では通常施工されている二次覆工を考慮した研究は少ない。著者らは、二次覆工まで考慮にいれた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一連の実験研究¹⁾を実施しており、ここでは有筋二次覆工コンクリート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）地上載荷実験の概要と純曲げ載荷時の有筋二次覆工ひびわれ発生形態について報告する。

2. 実験概要

(1)供試体と載荷装置：写真に示すように、供試体はスチールセグメント(SS41)を軸方向に5リング千鳥組し、これに厚さ15cmの有筋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。トンネル軸方向に対する二次覆工の配筋は、図1に示すように二次覆工中央部にD13を40本配置した。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圧縮・軸引張、純曲げ載荷を行なった。

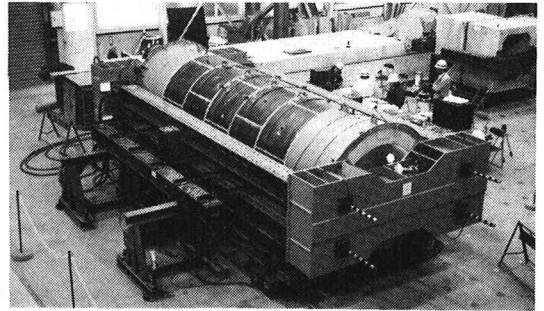


写真 実規模シールドトンネル載荷実験状況

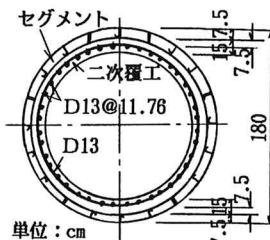


図1 二次覆工配筋図

計測項目	計器配置・数量
トンネル長さ変化	上下左右4箇所
トンネル直径変化	鉛直・水平5断面
リング継手変位	4継手部×6箇所
リング継ぎボルト歪	4継手部×12箇所
縦リブ歪	3継手部×12箇所
二次覆工内側歪	4継手部・セグメント中央の計7断面×12箇所
二次覆工鉄筋歪	トンネル中央2箇所

(2)計測項目と計器配置：表1に示す。

(3)載荷方法：本実験では、曲げによる二次覆工のひびわれ発生・ひびわれ進行状態の把握、最終曲げ耐力に注目したため、図2に示すような、①二次覆工ひびわれ前の軸方向交番載荷→②純曲げ交番載荷で二次覆工ひびわれ発生→③二次覆工ひびわれ発生後の軸方向交番載荷→④⑤で二次覆工にリング状のひびわれを生じた状態で軸方向交番載荷（④・⑤では、ひびわれ部のセグメントが弾性挙動範囲内の荷重とした）→⑥⑦のつづきの純曲げ交番載荷（最終耐力まで）とする載荷方法とした。

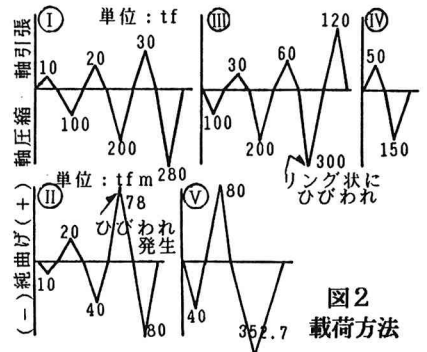
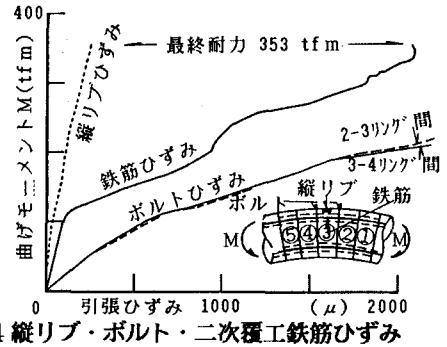
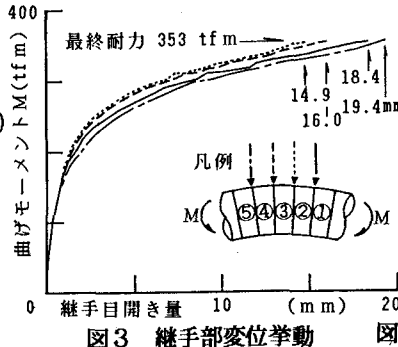


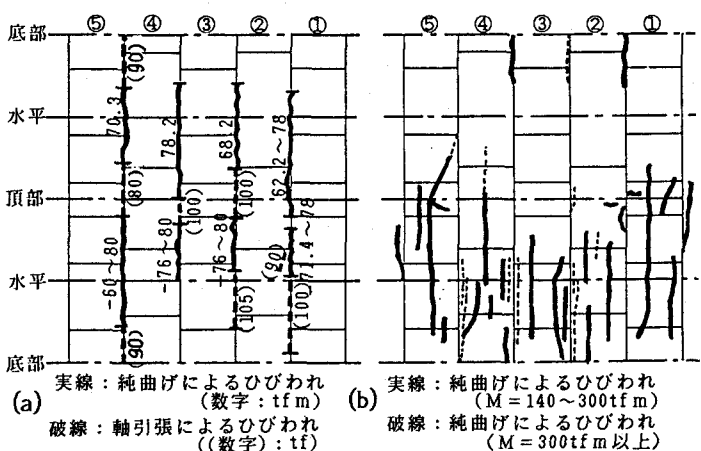
図2 載荷方法

3. 実験結果

(1)純曲げ載荷時の各部材の挙動: 図3、4に純曲げ載荷時(載荷Ⅴ)の継手部変位挙動、セグメント No.③の縦リブひずみ、これと同断面の二次覆工鉄筋ひずみおよび同セグメント両端部のボルトひずみ



挙動を示す。これらは最大曲げ引張を生じる位置の計測値である。次節で述べるように二次覆工コンクリートのひびわれ発生曲げ荷重は約 $M=60\text{tfm}$ であり、特に $M=120\text{tfm}$ 以後は二次覆工鉄筋の荷重分担が大きくなっている。最終耐力は $M=353\text{tfm}$ であり、本実験に先立って実施した無筋二次覆工付きトンネルでの実規模載荷実験¹⁾(同一諸元)で生じたようなボルト破断(この時の最終耐力は $M=232\text{tfm}$)は生じなかった。



(2)有筋二次覆工のひびわれ形態: 純曲

げ載荷(載荷Ⅹ、Ⅴ)での有筋二次覆工コンクリートのひびわれ発生形態を図5に、また無筋二次覆工コンクリートを施した場合の実験結果を図6に示す¹⁾。図5(a)は載荷Ⅹで生じた二次覆工のひびわれを示すもので、正の曲げ(図の上半分が曲げ引張の方向)、負の曲げ(図の下半分が曲げ引張の方向)ともに約 $M=60\text{tfm}$ でリング継手部に沿ったひびわれが発生し、その後約 $M=80\text{tfm}$ までの間に他のリング継手位置へとひびわれが進行した。図5(b)は載荷Ⅴにおけるひびわれであり、この荷重レベルでは、ひびわれがセグメント部にも発生し、最初にひびわれを生じたリング継手位置では鉄筋とコンクリートの付着が切れていく際に生じるひびわれが進行した。こうしたひびわれの分散性は図6に示す無筋二次覆工の場合には認められなかったものである。

4. あとがき

今後著者は、これまでに実施してきた一次覆工状態のシールドトンネルや無筋・有筋二次覆工を施した場合の実験結果の比較を行ない、シールドトンネルの軸方向問題に対する合理的な設計手法を確立したいと考えている。なお、本実験研究に際し貴重な助言をして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、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

図6 無筋二次覆工コンクリートのひびわれ発生状況

