

III-19

シールドトンネルの軸方向剛性確認実験

住友建設株式会社 正員 三上 博、森 信介
 日本国土開発株式会社 正員 石田智朗
 東京湾横断道路株式会社 正員 林 光俊
 東洋大学工学部 正員 小泉 淳

1. はじめに

一般にトンネルの耐震性の検討には、応答変位法に基づき、トンネル覆工を弾性支承上の梁としてモデル化し、地盤の応答変位を支承に作用させて覆工に生じる応力を解析する方法が用いられる。この方法の適用にあたっては、トンネルの軸方向の剛性を適切に評価することが重要である。しかしながら、シールドトンネルは、多数のセグメント及び継手ボルト等で構成され、その内面には二次覆工が存在する構造であり、さらに二次覆工コンクリートに生じたひびわれにより、この部分の鉄筋のばね作用が影響するなど、全体の剛性評価は難しい問題となっている。したがってこの様なシールドトンネル覆工の軸方向引張り剛性を評価するために、今回東京湾横断道路で用いられるセグメント及び二次覆工の配筋及び継手構造を再現した、トンネル覆工の一部を軸方向に切り出した実物大供試体を用いて、引張り載荷実験を実施した。以下にその結果の概要について報告する。

2. 実験概要

供試体は、実物のシールドトンネル覆工のリング継手2ヶ所分に相当する1760mmの幅をもち、覆工の厚みは実際と同様の一次覆工 650mm、二次覆工 400mmの断面形状とした。（図-1参照） この様な断面の供試体を軸方向に4リング分（1リング $l=1.5m$ ）連結し、全長6.0mの供試体とした。供試体の作製は、一次覆工4リング分を6ヶ所の継手でボルト締めし、その後二次覆工を軸方向に連続体として配筋し、コンクリートを直打で打設した。供試体の各部材は表-1に示す規格のものを使用した。

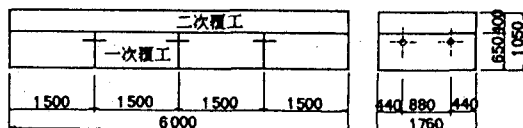


図-1 実験供試体形状図

実験ケースは、リング継手構造及び二次覆工配筋の粗密（鉄筋径）の違いに着目し、表-2に示す4ケースのものについて実験を実施した。

表-1 供試体各部材の規格

部 材 名 称	規 格
一次覆工コンクリート	$\sigma_{ck}=480\text{kgf/cm}^2$
二次覆工コンクリート	$\sigma_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$
鉄 筋	SD35
リング継手ボルト	M36高力ボルト F10.9

載荷装置の概要を図-2に示す。供試体端部にアンカー付きの金物を埋込み、これを8本のP C鋼棒で引張る方式とした。加力は8台の油圧ジャッキを用い、供試体を均等な純引張状態に保つために、変位計と連動させた自動制御システムで管理した。

載荷の方法は、変位制御による多サイクル方式として行ない、各変位段階毎に、供試体各部の変位及びひずみの測定を行った。

表-2 実験ケース

	リング継手	二次覆工配筋
Case 1	ダクタイル製金具継手	D19 @150
Case 2	長尺ボルト継手	D19 @150
Case 3	ダクタイル製金具継手	D22 @210
Case 4	" (7ヶ所継手)	D22 @210

3. 実験結果

4ケースの実験を行ったが、供試体の全体的な挙動については、概ね各ケースとも同様の傾向を示した。

図-3は、実験結果から得られた代表的な軸方向引張力と供試体変位の関係を示したものである。（継手

ボルト1ヶ所当り及び供試体1リング当りの換算値）覆工の全体剛性は、軸方向引張力の増加に伴って変化していくが、これを供試体各部の挙動との関係から見ると、以下の様であった。軸方向引張力50tf～100tfで二次覆工にひびわれが発生し剛性低下が始まった。初期のひびわれはリング継手位置に発生したが、それ以後継手位置以外の二次覆工部分にも20～25cm程度のほぼ等間隔でひびわれが発生し、一次覆工と二次覆工間のほぼ全面に付着切れが生じた。軸方向引張力が140tf～150tfで一次覆工の一部にひびわれが発生した。軸方向引張力170tf～190tfで二次覆工鉄筋が降伏し、載荷重200tf程度で覆工全体がほぼ降伏に至った。

各ケースとも最終的には、二次覆工にはほぼ等間隔にひびわれが発生したが、ひびわれ間隔には、鉄筋径の影響がみられ、軸方向筋が太径で粗な配置のCase-3、4ではひびわれ間隔が30cm程度とやや広い間隔となった。

図-4は、二次覆工鉄筋の付着切れ状況を調べるために中央継手位置を中心に5cmピッチで鉄筋の軸ひずみを測定した結果を示したものである。測定は軸方向鉄筋にあらかじめ貼り付けたワイヤーストレインゲージで行なったが、この際、鉄筋表面の付着状況が変化しない様に、鉄筋に細幅の溝を切り込み、この中にゲージ及び配線を埋込んだ。継手位置における二次覆工鉄筋の軸ひずみ分布を見ると、荷重（軸方向引張力）の増加に伴って、分布形状がしだいに変化して行くことがわかる。載荷初期の二次覆工にひびわれが入った直後では、軸ひずみの分布は、継手位置を頂点とした山形の分布形状であるが、その後荷重が増加するにつれて、分布形状は平坦化して行った。最終的には、ひびわれ位置（中央継手位置）で鉄筋が降伏に至ったが、それ以前の段階ですでに鉄筋の軸ひずみは全長に渡って均一化していた状況であった。この様な鉄筋の軸ひずみの分布の変化からみて、鉄筋の付着切れ範囲はひびわれ発生直後の軸方向引張力が79.2tf程度の段階では、ひびわれ位置を中心に片側で15～20cm程度であるが、その後しだいに範囲は広がり鉄筋降伏前には、全長が付着切れ状態となることがわかった。

4. おわりに

本実験によりシールドトンネル軸方向のひずみと剛性の関係及び破壊に至るまでの各部の挙動について確認することができた。耐震性の検討上の資料として今後用いて行きたいと考えている。

本研究は東京湾横断道路六社研究会（五洋建設、住友建設、銭高組、東急建設、日本国土開発、不動建設）の活動の一環として行なわれたものであり、御指導、御協力をいただきました関係各位の皆様には謝意を表します。

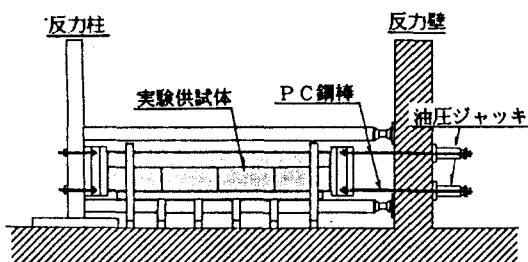


図-2 実験装置概要図

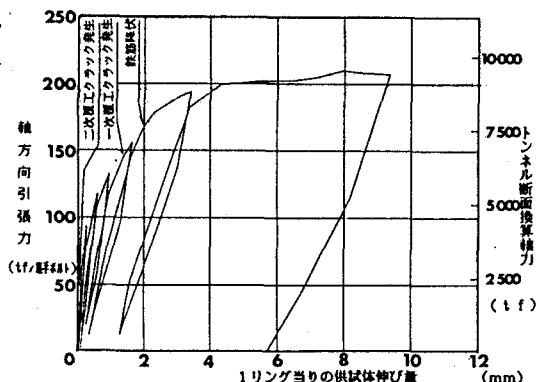


図-3 軸方向引張力と供試体変位の関係

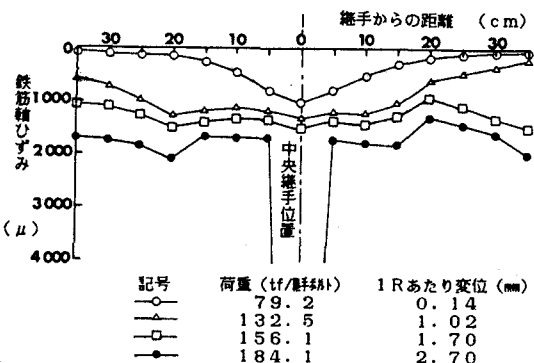


図-4 二次覆工鉄筋軸ひずみ分布図