

I-586

シールドトンネル覆工の長手方向の耐震性に関する模型載荷実験(その2)

—— 二次覆工のある場合 ——

東京湾横断道路(株) 和 佐 勇次郎
建設省 土木研究所 正員 杉 田 秀 樹
大成建設(株) 正員○岡 本 晋

1. はじめに

リング継手構造の違い、ならびに二次覆工条件の違いが、シールドトンネルの長手方向の地震時挙動(破壊性状、耐力、変形性能等)に及ぼす影響について、覆工模型の載荷実験により検討した。

2. 実験概要

供試体は、図-1に示すように、東京湾横断道路で計画しているシールドトンネル覆工からリング継手1か所の分担幅をトンネル長手方向に切り出した状態をモデル化したもので、長さ150cmのセグメント4ピースをリング継手により連結した後、二次覆工を一体として打設したものである。実験ケースとしては、表-1に示すように、リング継手として2種類を選んだほか、二次覆工の鉄筋量の影響を考え、計4ケースとした。

供試体への載荷は、セグメントと二次覆工の一端を固定し他端を加振機に連結して、加振機によりトンネル長手方向の軸力を載荷した。載荷方式は変位制御の正負交番載荷とし、供試体の破壊まで載荷を行った。

3. 実験結果

実験結果の概要を表-1にまとめた。また、荷重～供試体変位の履歴ループの包絡線を、図-2に示す。

(1) 終局耐力は、一次覆工の終局耐力(ケース3:ボルトの破断耐力、ケース4～6:ボルト締め付け部分

の押し抜きせん断耐力)と二次覆工内の軸方向鉄筋の降伏耐力の合計より大きく、一次覆工の終局耐力と二次覆工内の軸方向鉄筋の破断耐力の合計より小さい。

(2) 引張剛性は二次覆工鉄筋の剛性に支配されている。継手方式別に見ると、長尺送りボルト方式がクイックナット・弾性ワッシャー方式より大きい。また、二次覆工有り・無し

の載荷実験結果から二次覆工単体の剛性を解析したところ、クラック部分の鉄筋をバネとして評価する際に必要な鉄筋の『見かけの自由長』は、長尺送りボルト方式でD13×12本配筋とD16×10本配筋の場合それぞれ250～364mm、212～273mmとなり、D16×12本配筋の場合は、長尺送りボルト方式で230～263mm、クイックナット・弾性ワッシャー方式で257～327mmとなる。

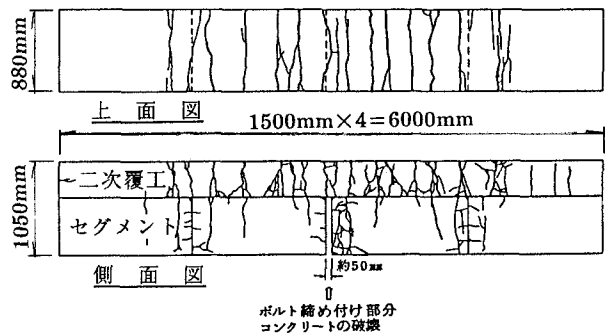


図-1 供試体の概要および破壊状況(ケース4)

表-1 実験ケースおよび実験結果

ケース No.	供試体の条件		破壊形態	終局耐力		二次覆工 クラック発生		二次覆工鉄筋 降伏注3)		割線剛性 (供試体 変位 1.5mm) (ton/mm)
	継手方式	二次 覆工 鉄筋量		耐力 (ton)	変位 (mm)	耐力 (ton)	変位 (mm)	耐力 (ton)	変位 (mm)	
3	長尺送り ボルト方式	D13× 12本	ボルト破断	154.3	75.7	62.2	0.23	79.8	1.23	53.8
4	長尺送り ボルト方式	D16× 10本	ボルト締め付け 部分コンクリート の破壊注1)	173.0	90.7	77.5	0.12	89.4	1.50	60.0
5	長尺送り ボルト方式	D16× 12本	ボルト締め付け 部分コンクリート の破壊注2)	181.3	54.7	63.1	0.12	106.1	1.85	66.7
6	クイックナット・ 弾性ワッシャー 方式	D16× 12本	ナット・アン カー部分の 引き抜け	168.4	41.0	80.0	0.33	111.3	3.42	61.1

注1): 加振機変位100mmまでは急激な耐力の低下は見られず

注2): 治具と供試体の取り付けボルトが破断

注3): 二次覆工鉄筋のひずみが2000μを越えた時点を示す

(3) 覆工の破壊の進展状況は概ね次のとおりであった。

- ①二次覆工にクラック発生(ボルトボックス位置および継手位置)。ほぼ同時に、供試体表面でセグメント～二次覆工間の離れが観察された。
- ②二次覆工鉄筋の降伏開始。
- ③セグメントのボルトボックス近傍にクラック発生。ほぼ同時に、セグメントあご部鉄筋の降伏。
- ④セグメント軸方向鉄筋の降伏。
- ⑤リング継ぎボルトの破断(ケース3)、ボルト締め付け部分の破壊(ケース4、5)もしくはナット・アンカー部分の引き抜け(ケース6)。

破壊状況の一例を図-1に示す。覆工の破壊の進展状況については既往の実験結果¹⁾とほぼ同じである。

(4) 1ヶ所当たりのリング継手目開き量が設計用入力地震動 L_1 に対応する0.5mm(供試体全体の変位 1.5mm)に達した時には、二次覆工クラックおよび供試体表面の二次覆工～セグメント間の離れが全ケースで見られた。ただし、二次覆工～セグメント間の離れは供試体表面で見られただけで、ボルトボックスにくさび状に打ち込まれた二次覆工コンクリートは完全にはせん断されていないと考えられる。また、二次覆工の軸方向鉄筋は長尺送りボルト方式でD13×12本配筋とD16×10本配筋の場合はこの時点ですでに降伏し始めており、D16×12本配筋の場合供試体変位1.85mmで、クイックナット・弾性ワッシャー方式(二次覆工軸方向鉄筋：D16×12本)の場合は供試体変位3.42mmで二次覆工軸方向鉄筋が降伏し始めた。

(5) 図-3に供試体変位と二次覆工上面クラック本数との関係を示す。二次覆工鉄筋が降伏し始めると供試体変位の増加に対する二次覆工クラック本数の増加率が低下する。このため、二次覆工鉄筋が比較的早く降伏し始める二次覆工鉄筋量が少ないケースでは、二次覆工鉄筋量が多いケースに比べて、等しい供試体変位に対する二次覆工クラック本数が少なくなり、結果的にクラック幅が広くなると考えられる。

4. まとめ

シールドトンネル覆工の地震時の挙動については未解明な部分が多いが、本実験の結果から、リング継手構造と二次覆工条件(軸方向鉄筋量)との組合せによって、覆工の破壊性状(特に二次覆工クラックの発生状況)が異なることがわかった。なお、本実験は、東京湾横断道路(株)と建設省土木研究所との共同研究として実施したものである。

参考文献

- 1) 元山・林・杉田・志波：シールドトンネル覆工の長手方向の耐震性に関する模型載荷実験—二次覆工のある場合—、土木学会第44回年次学術講演会 第1部、pp1098～1099、1989年10月

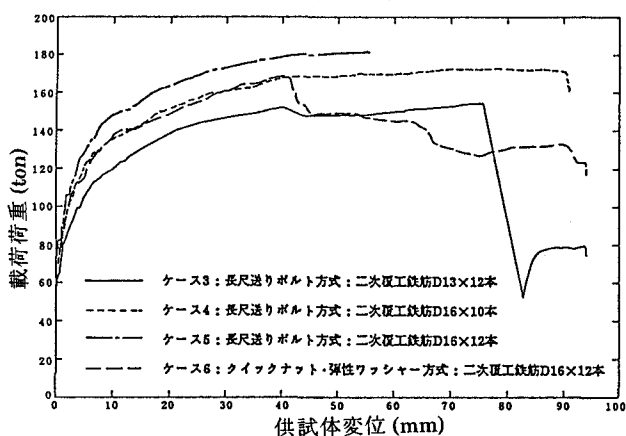


図-2 載荷履歴の包絡線

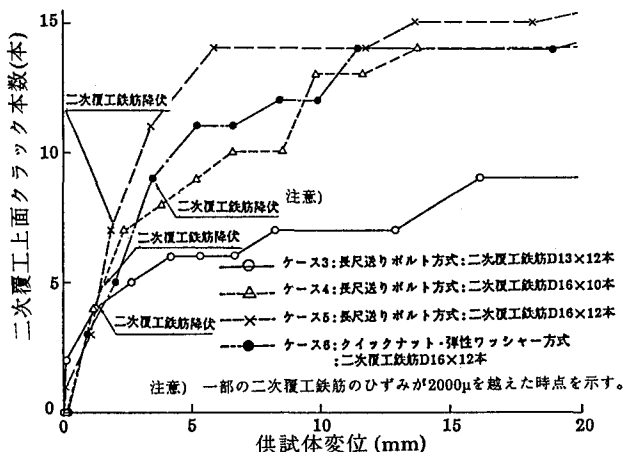


図-3 供試体変位と二次覆工上面クラック本数との関係