

I-523 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 ——

東京湾横断道路(株) 正員 元 山 宏
同 上 正員○林 光 俊
建設省 土木研究所 正員 杉 田 秀 樹
大成建設(株) 正員 志 波 由紀夫

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、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90cmのセグメント模型6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3種類を選んだほか、二次覆工の鉄筋量の影響、ジベル筋の有無の影響を考え、計5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

表-1 実験ケースおよび実験結果概要

ケース No.	リング継手 方式	二次覆工の条件			実 験 結 果						
		軸方向 鉄筋量	ジベル 筋	コンクリート 引張強度 (kg/cm ²)	クラック 発生荷重 (ton)	降伏 耐力 (ton)	降伏 変位 (mm)	終局 耐力 (ton)	終局 変位 (mm)	破壊形態	変位5mmでの 割線剛性 (ton/mm)
2	ダクタイル金具 通常ワッシャー 方式	D19×4本 (SD35)	D10× 24本	24.0	23.1	59.8	8.65	64.9	19.4	ボルト破断	9.7
3		D13×3本 (SD35)	なし	24.0	24.5	15.8	0.44	33.0	18.3	ボルト破断	5.6
4		D19×4本 (SD35)	なし	24.0	22.1	59.7	8.79	64.0	21.7	ボルト破断	9.3
6	ダクタイル金具 弾性ワッシャー方式	D19×4本 (SD35)	なし	24.0	16.1	56.5	8.85	64.4	36.4	ワッシャー・ ボルト破断	8.1
8	長尺通りボルト 方式	D19×4本 (SD35)	なし	24.0	16.1	59.4	8.71	65.6	23.4	ボルト破断	8.6
参考 1), 2)	ビルトアップ金具 方式	D13×3本 (SD30)	D13× 24本	33.2	17.9	21.5	1.2	33.0	81.9*	二次覆工鉄筋・ ボルト破断	4.5

*:二次覆工鉄筋破断時の変位 ボルト破断時の変位は105.3mm

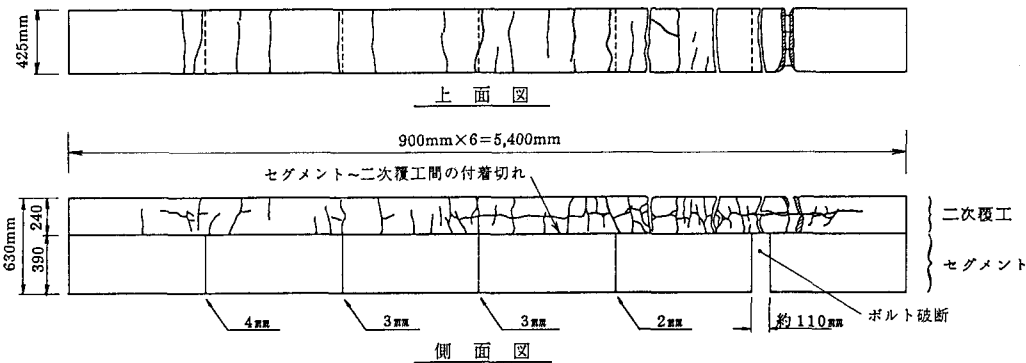


図-1 供試体の概要および破壊状況(ケース2)

(2) 引張剛性は二次覆工の剛性に支配されているが(特にD19×4本の場合)、継手方式別に見ると、剛性の大きい順に、①ダクトイル金具・通常ワッシャー方式、②長尺送りボルト方式、③ダクトイル金具・弾性ワッシャー方式となり、二次覆工無し(継手のみ)の場合と同様である。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、5カ所の継手部にクラックが発生した直後の段階で、D13×3本配筋の場合が210mm、D19×4本配筋の場合が230~300mmと求められた。

(3) 覆工の破壊の進展は表-2に示すとおりであった。また、破壊状況の一例を図-1に示す。覆工の破壊性状について既往の実験結果^{1),2)}と比較すると、次の2点が異なっている。

① 既往の実験では、二次覆工のクラックは継手部のみに発生し、かつ、セグメント~二次覆工間の付着切れは生じなかった。これに対し本実験では、継手部以外の位置にも二次覆工にクラックが発生し、これと同時にセグメント~二次覆工間の付着切れが生じた。これは、本実験では二次覆工鉄筋量が多く、二次覆工に大きな引張応力が発生したことが主たる理由である。また、供試体の断面寸法および二次覆工コンクリートの引張強度の違いにも関係するものと思われる。なお、ジベル筋無し(ケース4)では継手部のクラックもそれ以外のクラックも同程度に開いたのに対し、ジベル筋有り(ケース2)では継手部のクラックの方が大きく開き、剛性に若干の差がみられた。

② 既往の実験では、変位80mm余りで先ず二次覆工鉄筋が破断し、次いでリング継ぎボルトが破断した。これに対し本実験では、変位18~36mmでリング継ぎボルトが破断し、二次覆工鉄筋は変位100mmでも破断しなかった。これについては、本実験では剛性の大きい継手金具を用いたことと、セグメント~二次覆工間の付着が切れ、多数のクラックが生じた二次覆工の変形能が増大したことが、原因と考えられる。

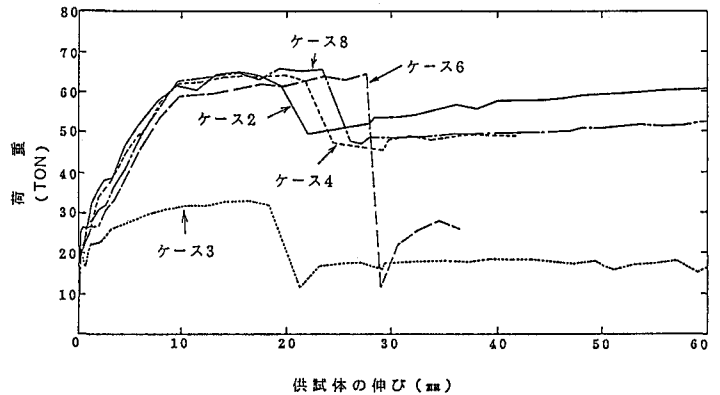


図-2 各供試体の載荷履歴ループの包絡線

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、本実験および既往の実験結果^{1),2)}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) 大日方・川島・加納・志波: 接続したRCシールドセグメントの載荷実験、第42回年次学術講演会 第1部、pp.1070~1071、1987年9月
- 2) 川島・大日方・加納・志波: 交番載荷実験に基づくRCシールドセグメントの力学特性、第19回地震工学研究発表会、1987年7月

表-2 破壊の進展状況の比較 (数値は供試体の変位置)

本実験 ケース2 ダクトイル金具 二次覆工鉄筋量=D19×4本	本実験 ケース3 ダクトイル金具 二次覆工鉄筋量=D13×3本	既往の実験 ^{1),2)} ビルトアップ金具 二次覆工鉄筋量=D13×3本
①二次覆工にクラック発生 (継手位置) 0.18mm	①二次覆工にクラック発生 (継手位置) 0.19mm	①二次覆工にクラック発生 (継手位置) 0.2mm
②二次覆工にクラック発生 (継手部以外の位置)、同時に セグメント~二次覆工間の 付着切れ発生 1.58mm	②二次覆工鉄筋降伏 0.44mm ③二次覆工にクラック発生 (継手部以外の位置)、同時に セグメント~二次覆工間の 付着切れ発生 11.4mm	②二次覆工鉄筋降伏 1.2mm
③二次覆工鉄筋降伏 8.65mm	④ボルト破断 18.3mm (二次覆工鉄筋は破断せず)	③二次覆工鉄筋破断 81.9mm
④ボルト破断 19.4mm (二次覆工鉄筋は破断せず)		④ボルト破断 105.3mm

ケース4,6,8の破壊の進展状況は、ケース2と同様である