

大成建設株式会社 正員 志 波 由紀夫
建設省土木研究所 正員 川 島 一 彦
建設省関東地建 正員 大日方 尚 已
建設省土木研究所 正員 加 納 尚 史

1. はじめに

シールドトンネルの長手方向の耐震性を検討する上では、トンネルの本体である覆工構造の長手方向剛性が重要な因子となる¹⁾。この覆工は、一般にセグメントを継手によって組み立てた構造であるが、その長手方向剛性および地震による破壊性状については不明な点が多い。

このような観点から、著者らは、シールドトンネルの覆工部材について、トンネル長手方向の載荷実験を行った。本文では、一連の実験のうち、セグメント～リング継手系構造についての実験結果を報告する。

2. 載荷実験の概要

載荷実験に用いた供試体は、外径 4 ～ 5 m の下水道用標準セグメント（コンクリート系）を参考として製作した。図-1 に示すように、厚さ 20 cm、リング長 90 cm の R C 平板型セグメントの 1 部分を切り出した形状の部材を、リング継手を用いてトンネル長手方向に連結したものを 2 体製作した。リング継手は図-2 に示す構造であり、長さ 30 cm のアンカー鉄筋（D13 × 2 本）によって、セグメントに定着されている。継ぎボルトには M22（強度区分 8.8）を用い、軸力 6 tf を目標に締め付けた。使用したコンクリートおよび鉄筋の強度は、表-1 に示すとおりである。

供試体への載荷は、供試体の一端を固定し、他端を加振機に取り付けて、長手方向の軸力を載荷した。2 体の供試体のうち、1 体（A-1）は単調引張載荷、他の 1 体（A-2）は正負交番の繰返し載荷によって破壊に至らしめた。

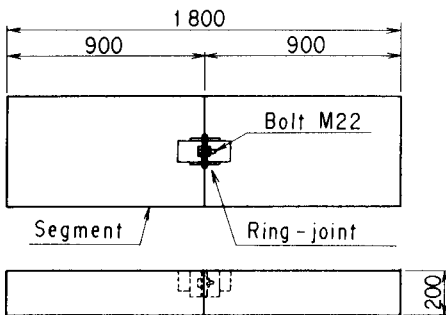


図-1 供試体（Aタイプ）の概要図

表-1 使用材料の強度

材 料	強 度	A-1	A-2
コン リ ート	圧縮強度 (Kg/cm ²)	475	571
	引張強度 (Kg/cm ²)	37.3	46.0
鉄 筋	降伏強度 (Kg/mm ²)	36.7	
	破断強度 (Kg/mm ²)	51.9	

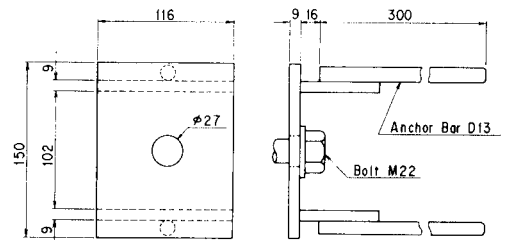


図-2 リング継手

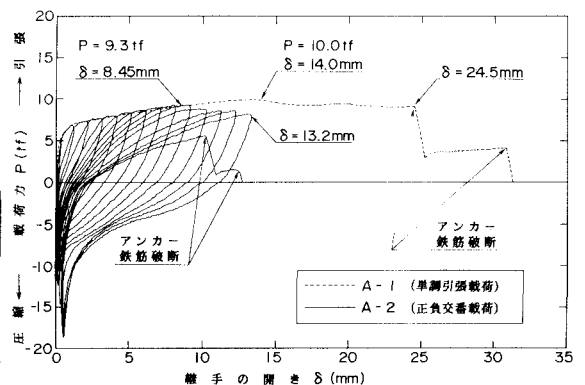


図-3 継手開きの載荷履歴曲線

3. 実験結果

図-3に、リング継手の開きの載荷履歴曲線を示す。2体の供試体とも、載荷力（引張）の増加にともない、リング継手金具の面板が互いに凸型に変形するとともに、金具の周囲に多数のクラックが発生して、剛性が急激に低下した。さらに、載荷力が最大値に達した後、リング継手の2本のアンカー鉄筋が破断した。図-4に示すように、供試体の破損はリング継手周辺に集中しており、シールドトンネルが長手方向の地震荷重を受けた場合には、この部分が弱点となることが予想される。なお、継ぎボルトには損傷が見られなかった。

供試体の耐力および変形性能は表-2に示すとおりである。

表-2 供試体の耐力・変形性能

供試体の 耐力・変形性能	A-1 単調引張	A-2 正負交番
降伏耐力 (tf)	7.1	6.9
降伏変位 (mm)	1.4	1.1
終局耐力 (tf)	10.0	9.3
終局変位 (mm)	24.5	13.2
継手の剛性 (tf/mm)	降伏前	3~30
	降伏後	0.27
		0.30

正負交番繰返し載荷の場合は単調引張載荷の場合に比較し、終局耐力は93%に、終局変位は54%に、それぞれ減少している。ただし、終局変位はいずれの載荷方法の場合も10mm以上であり、継手の変形能は大きい。

図-3に見るように、リング継手の引張剛性は継手の開き量（載荷力）が増加するにしたがって低下し、継手の開き量が概ね1mm（載荷力7tf）を越え、A-1では約0.30tf/mm、A-2では約0.27tf/mmのほぼ一定値となっている。このようなリング継手の引張剛性の変化を見るために、A-1（単調引張載荷）の載荷履歴曲線から、継手の開き量とその状態での接線剛性との関係を求めた。結果を図-5に示す。一般に、シールドトンネルの長手方向の耐震計算に用いるリング継手の引張剛性は、継ぎボルトの軸剛性から算定されているようであるが、本供試体の場合は算定値が140tf/mm程度となり、実験値よりも1オーダー以上大きい値となる。一方、図-5には、継手金具の面板の曲げ剛性から算定したリング継手の引張剛性²⁾を併記した。継ぎボルトの軸剛性から算定した値に比較すれば実験値に近いが、継手の開きが大きくなると実験値との差が大きくなっている。

4. まとめ

セグメント～リング継手系構造を対象とした載荷実験により、この構造系がトンネル長手方向の軸力を受けた場合の破壊性状、ならびにリング継手の引張剛性について基礎的な知見が得られた。

参考文献

- 1) 志波由紀夫，川島一彦，大日方尚巳，加納尚史：シールドトンネルの耐震解析手法に関する提案，土木学会第41回年次学術講演会 講演概要集第1部門，昭和61年11月
- 2) 加納尚史，川島一彦，大日方尚巳，志波由紀夫：覆工の軸剛性の非線形性を考慮したシールドトンネルの動的応答解析，同上

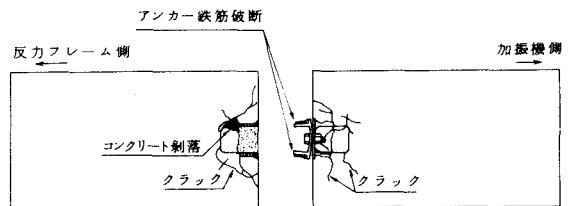


図-4 供試体の破壊状況（A-2）

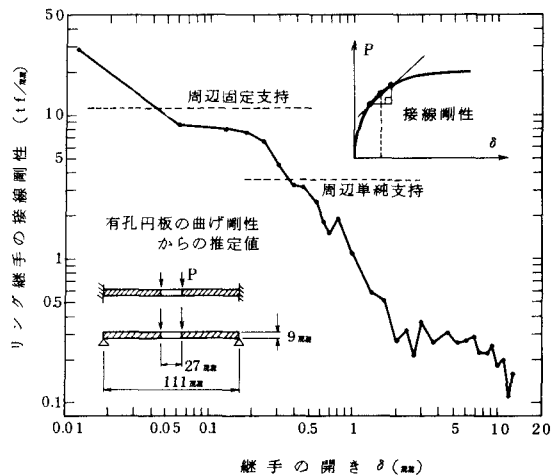


図-5 リング継手の接線剛性（A-1）