

III-285

シールドトンネルの軸方向剛性評価実験

（その1）実験の概要

飛島建設（株） 正員 松島 健一
 （株）奥村組 水谷 善行
 鉄建建設（株） 正員 松岡 茂

1. まえがき

シールドトンネルの耐震設計や不等沈下解析、及び、急曲線施工の解析の際には、軸方向（長手方向）の剛性評価が必要となるが、実験例^{1), 2)} が少ないため、剛性を決定するメカニズムについては充分に解明されてはいない。特に、耐震設計の際には、現行の指針等³⁾ では、ボルトの剛性により軸方向の剛性を算定するように定められているが、継手構造によっては、ボルト剛性よりも継手金物の剛性がはるかに小さいことが示されている⁴⁾。近年、シールドトンネルの軸方向の剛性を継手剛性に基づいて評価する研究が進められており^{5), 6)}、さらに、軸圧縮、軸引張剛性の非線形性を考慮した応答変位法⁷⁾ や動的解析法⁸⁾ も提案されており、軸方向の剛性評価に対する関心が高まっている。また、2次覆工が軸方向剛性評価に及ぼす影響については未解明の部分が多い。こうしたシールドトンネルの軸方向の剛性評価に関する課題を実験的に解明するために、実物のコンクリートセグメントを使用した軸方向の載荷実験を実施した。

2. 実験の概要

セグメント単独及び2次覆工後のシールドトンネルの軸方向に圧縮力、引張力、及び曲げモーメントを載荷し、軸圧縮、軸引張、及び曲げ剛性を求める。なお、耐震設計上、シールドトンネルは、地盤の変位に従って変形し、シールドトンネル自体の固有振動の影響は少ないとされているので、実験は静的載荷に限定することとした。

3. セグメント及び2次覆工の仕様（表1参照）

セグメントは、外径 $\phi=2.950\text{m}$ の下水道用標準セグメントC-16補強型相当品を選定した。実験用シールドトンネルの長さは、反力壁の長さに合わせて、13リング、 $L=11.7\text{m}$ とした。また、セグメント間には、シール材は使用しなかった。セグメントの継手構造は予備実験により決定した。2次覆工は、無筋コンクリートとし、供試体中央のセグメントリングNo.7の中央に打継目を設けた。セグメントと2次覆工の間には、特に、シベル筋等は配置しなかった。

表1 セグメント及び2次覆工の仕様

セ グ メ ン ト	外 径	2,950mm
	厚 さ	125mm
	幅	900mm
	分 割 数	5 個
	設計基準強度	420kg/cm ²
	リング間 ボルト	種 類 M22 本 数 13 ピッチ 27° 41' 34"
二 次 覆 工	内 径	2,400mm
	厚 さ	150mm
	設計基準強度	180kg/cm ²

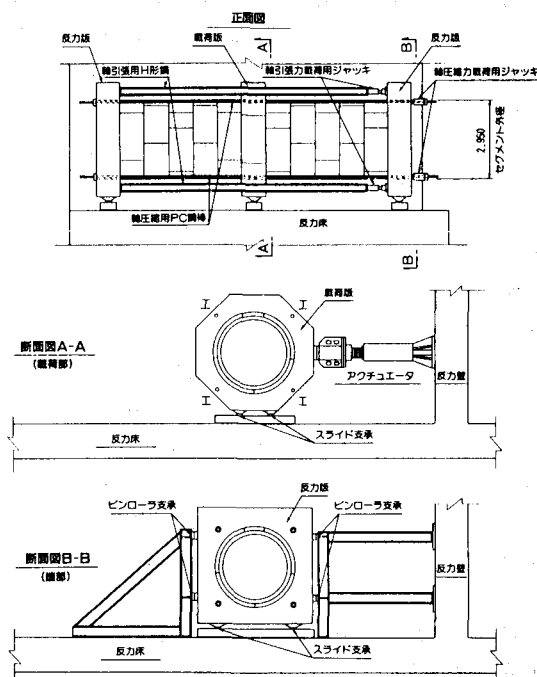


図1 実験概要図

4. 実験方法及び実験装置の概要(図1参照)

- (1) 軸圧縮、軸引張載荷: シールドトンネルの両端に設けた反力版にP C鋼棒($\phi 32$)を4本セットし、油圧ジャッキを使用して緊張することにより、供試体に軸圧縮力を導入した。また、反力版の間に4本の鋼材(H-300)をセットし、油圧ジャッキを押し出すことにより、供試体に軸引張力を導入した。
- (2) 曲げモーメントの載荷: 供試体の端部の反力版に偏心した軸圧縮、軸引張力を与え、端モーメントを作用させ、純曲げ載荷を行った。また、アクチュエータにより、スパン中央に静的に載荷し、曲げ、せん断共存状態の載荷を行った。

なお、セグメント組立にあたっては、ボルトの締め付け力をトルクレンチで $1600\text{kg}\cdot\text{cm}$ (4 t相当)に管理した。また、セグメント組立に伴うなじみを除去するために、軸圧縮力を150 tまで載荷し、圧縮剛性が一定となった後、軸圧縮力60 tをかけた状態でボルトの再締付を行った。また、軸圧縮、軸引張載荷により、供試体の剛性がほぼ一定となった状態で曲げ載荷を行った。

表2 載荷パターン一覧表

載荷方法	目 的	セグメント			2次覆工				
		名称	載荷範囲	荷 重	名称	載荷範囲	荷 重	名称	載荷範囲
軸圧縮 軸引張載荷	軸圧縮、軸引張の剛性を求める。	A 1	弾 性	$N=150\sim 91\text{t}$	B 1	弾 性	セグメントの80%	C 1	弾塑性
純曲載荷	純曲げの剛性を求める。	A 2	弾 性	$M=96\text{t}\cdot\text{m}$	B 2	弾 性	セグメントの80%	C 2	弾塑性
横方向載荷	曲げ、せん断共存状態の剛性を求める。	A 3	弾 性	$P=35\text{t}$ ($M=94.5\text{t}\cdot\text{m}$)	B 3	弾 性	セグメントの80%	C 3	弾塑性
									荷重または変位
									全体の伸び $\delta=3.0\text{mm}$
									中央の水平変位量 $\delta=2.0\text{mm}$
									中央の水平変位量 $\delta=2.0\text{mm}$

注(1)軸力のマイナスが圧縮、プラスが引張を示す。

(2)2次覆工のB 1～B 3載荷では応力集中を考慮し、荷重を低く抑えた。

5. 載荷計画

載荷パターンの一覧表を表2に示す。載荷重を設定するにあたっては、以下の考え方を基本とした。

- (1) セグメント単独の載荷では、弾性範囲内にとどめた。(継手1本あたり引張力7 t程度)
- (2) 軸圧縮力の上限は曲げ載荷の時のコンクリートの平均的な圧縮応力レベルでの剛性が求められるように設定した。
- (3) 2次覆工には純曲げ載荷(C 2パターン)によりクラックを入れた後、C 1、C 3の弾塑性レベルの載荷を行った。
- (4) 地震時の荷重相当として、別途行った予備解析により、純曲げ載荷の場合には、供試体中央の水平変位を2.0mm(曲率半径7500mm相当)と設定し、軸引張載荷の場合には供試体全体の伸び量として、3.0mm程度と設定した。

6. 実験結果

実験結果の詳細な解析は、現在、実施中であり、その一部を以下に紹介する⁹⁾。

7. あとがき

本研究は、飛島建設(株)、(株)奥村組、鉄建建設(株)の3社の共同研究として実施されたものである。実験の実施にあたり、関係各位より貴重な御助言を頂いたことに深く感謝いたします。また、実験の実施に御協力頂いた3社の関係各位に感謝の意を表する。

参考文献

- (1)鳥取: 地盤沈下の影響を考慮したシールドトンネルの設計, 構造物設計資料, No. 54, 1978. 6, P20-25
- (2)山本、中村、大塚、石井: 鋼製セグメントライニングのトンネルチューブとしての剛性について, トンネルと地下, 第17巻8号, 1986. 7, P21-28
- (3)日本水道協会: 水道施設耐震工法指針・解説, 昭和54年
- (4)木川: コンクリートセグメント用継手金物の強度と剛性: トンネルと地下, 第16巻10号, 1985. 10, P35-42
- (5)西野、藍田、小泉: シールドトンネルの地震時における安全性, トンネルと地下, 第17巻7号, 1986. 7, P35-42
- (6)西野、吉田、小泉: シールドトンネル縦断方向の現場載荷実験とその考察, 土木学会論文報告集, 第376号/Ⅲ-6, 1986. 12, P131-140
- (7)川島、大日方、志波、加納: 応答変位法によるシールドトンネルの耐震設計法, 土木技術資料, 第28巻5号, 1986. 5, P45-50
- (8)加納、川島、大日方、志波: 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, 土木学会第41回年次講演会, I-532, P1063-1064
- (9)三輪、水谷、松岡、他: シールドトンネルの軸方向剛性評価実験(その2)～(その5), 土木学会第42回年次講演会, Ⅲ