

日本鉄道建設公団 正員 島取孝雄

1. 目的

京葉線臨浜大井ふ頭間約8kmの区間は、その大部分がトンネルで計画され、そのうち、約3.5kmがシールドトンネルとなっている。このうち大部分は、将来も圧密沈下の予想される軟弱な沖積層中に構築されるもので、トンネル完成後、埋立および地下水の過剰揚水により250mm程度の沈下がせられない見込みである。シールドトンネルの設計にあたり、地盤の不平等沈下等に対するトンネルの追従性については不明な要素が多い。従来、シールドセグメントについては、各種の研究が進められているが、何れもトンネル断面に関するものが多く、トンネル軸方向(縦方向)に関するものは皆無の状態である。

本模形実験は、トンネル完成後、予想されるこのような不平等沈下に対し、安全なトンネルを設計するため、シールドトンネルとしての強度、剛性および変形量等の関係を実験的に求めるために実施したものである。

2. 実験設備

実験用セグメントは、本トンネル外径27mに対し外径20mとし、設計条件、構造および許容応力等についてはできる限り本トンネルに準じて設計した。また、セグメントの材質は、鉄筋コンクリート、合成セグメント、鋼製セグメントの3種とし、それぞれ、トンネル延長9m分(15リング)を製作した。

実験は、セグメント

を地上でトンネル状に組立て、全長9mの両側に調整用セグメント1リング分および鋼管長6mを取付け、全長22.2m、スパン21mとし、自重およびチューブ

内への注水を荷重として載荷試験を行うものである。

実験設備は、セグメントチューブの外、両端支承台、

中間版支承(ジャッキ6箇所)、載荷設備(給水設備)および各種測定設備であり、その配置は、概略図(セグメント載荷試験一般図)に示すとおりである。

3. 実験

実験は、鋼製セグメント、合成セグメント、鉄筋コンクリートセグメントおよび鋼製セグメント(継手部フランジ全落接)の4種とし、それぞれ、次の順序

図. セグメント載荷試験設備一般図

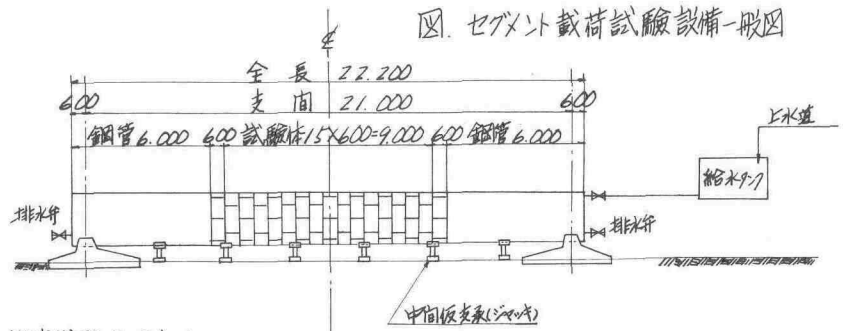
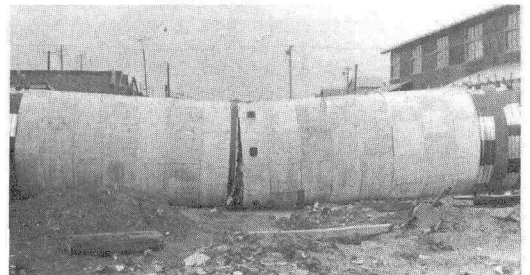


写真. 鉄筋コンクリートセグメントの破壊状況



で施行した。すなわち、測定設備のセッティング完了後、まず、中央部から順次仮支承ジャッキを取除いて自重を載荷し、引続いてチューブ内へ注水を行って荷重を増加して行く。この間、各段階ごとにセグメントチューブ（継手ボルトを含む）各部の歪、内径変化、たわみ、セグメント継手部開口量等を測定した。なお、鋼製セグメント（継手部フランジ全溶接）は、最初に実験を行った鋼製セグメントを再用したものである。

4. 実験結果

実験の結果から、各セグメントチューブ材の剛性、たわみおよび応力をまとめると表-17のとおりである。外径2.2mのセグメントチューブの実験の剛性は、理論値に対し、鋼製セグメントで15%、合成セグメントで27%、鉄筋コンクリートセグメントで40%、鋼製セグメント（継手部フランジ全溶接）で187%となり、極めて小さな値を示している。また、表-17の諸数値を利用してトンネル外径3.1mの場合の剛性、応力および曲げ半径等を求めたものが表-21である。トンネル用セグメント材への許容曲げ半径は、鋼製セグメントで2,300mm、合成セグメントで6,000mm、鉄筋コンクリートセグメントで15,000mm、鋼製セグメント（継手部フランジ全溶接）で3,000mmと指定された。従って、本等況下の多い区間における鉄筋コンクリートセグメントの適用については、特に慎重な検討が必要である。

5. あとがき

本実験は、本等況下が予測される軟弱地帯中におけるシールドトンネルの設計方針を決定するため、止むなく実施したものであるが、試験内容が大型かつ複雑であるため、測定記録に不明な点が多く、十分な説明が困難であった。すなわち、試験体は、数多くのピースをビルドアップしたもので、全体としては極めて可塑性のものがあり、更に各ピースおよびボルト間には、パッキンが嵌め込まれているため、応力の流れは極めて複雑なものと考えられる。従って、試験体と実験によって説明するためには、繰返し同一試験を行い、その結果を統計的に処理する必要があるものと思われる。しかし、本実験によりシールドトンネル軸方向の見かけ剛度はかなり明らかとなり、設計上、貴重な資料が得られたことは、本実験の大きな収穫であったと思われる。

表-1. 実験用セグメント(外径2.0m)剛性その他比較表

項目 \ 種類		鋼製セグメント	合成セグメント	鉄筋コンクリートセグメント	鋼製セグメント(フランジ全溶接)	
剛性 (EI_j)	理論値($t \cdot m^3$)	2.075×10^5	2.075×10^5	3.450×10^5	2.075×10^5	
	実験値($t \cdot m^3$)	3.11×10^4	5.67×10^4	13.8×10^4	3.89×10^4	
	割合(%)	15	27.4	40	18.7	
たわみ (δ)	理論値(cm)	0.55	1.49	1.29	0.55	
	実験値(cm)	3.4	4.7	2.7	2.7	
	比	6.18	3.15	2.09	4.90	
応力度	理論値 (kg/cm^2)	σ_c	33	92	220	33
		σ_s	495	1,400	1,635	495
	実験値 (kg/cm^2)	σ_c	—	60	20	—
		σ_s	29.1	132	142	33
	割合(%)	σ_c	—	65.3	9.1	—
		σ_s	5.7	9.4	8.7	6.7

表-2. トンネル用セグメント(外径3.1m)曲率等比較表

項目 \ 種類		鋼製セグメント	合成セグメント	鉄筋コンクリートセグメント	鋼製セグメント(フランジ全溶接)
剛性 (EI_j)	理論値($t \cdot m^3$)	9.79×10^6	8.4×10^6	20.1×10^6	9.79×10^6
	応力度(%)	22.6	4.1	60.6	28.0
	指定値($t \cdot m^3$)	2.21×10^6	3.45×10^6	12.06×10^6	2.75×10^6
最大引張 応力度 (自重のみ)	理論値 曲げ材($t \cdot m$)	3,415	7,834	7,206	3,415
	応力度(kg/cm^2)	4,800	13,000	7,680	4,800
	割合(%)	5.7	9.4	8.7	6.7
許容応力度に対する曲率半径(cm)	理論値 曲げ材(kg/cm^2)	273	1,226	665	320
	許容応力度に対する曲率半径(cm)	31,312	16,128	11,380	26,700
	許容応力度時のたわみ(cm)	25.1	9.6	3.9	19.2
許容応力度時の曲率半径(cm)	理論値	2,300	6,000	15,000	3,000
	実験値	—	—	—	—