

東大生産技研 田村 重四郎
 埼玉大理工学部 岡本 舜 三
 東大生産技研 加藤 勝 行
 大成建設K.K. 中川 良 隆

1. はじめに

沈埋トンネルは水底で軟弱な地盤の表面近くに建設されるので、岩盤中に建設される通常のトンネルとは異なった挙動を示すものと推測される。地震時に軟弱地盤は硬地盤に比較して長い周期、大きな振巾で震動することが知られている。それ故、軟弱地盤中の沈埋トンネルは地震時には軸線方向にも大きく変形する事が予想されるので、その耐震性の解明が急務となっている。

筆者らは多摩川沈埋トンネルにおいて1970年5月より地震観測に従事している。この観測の主たる目的は地震時におけるトンネル軸線方向に関する変形並びに歪を調査することである。この為に高感度歪計を開発し、トンネル壁に取り付けた。これと併行して地震時加速度の測定を行なった。又地盤の振動時性を知る為に常時微動測定を実施した。

2. 多摩川沈埋トンネルの概要と周辺地盤について

沈埋トンネルは6つのTube Elementより構成され、各Tube Elementは長さ80m、小判型断面である。外壁はSteel Shellで構成され、Shellの内側は厚さ約1mの鉄筋コンクリートliningが施こされている。

本トンネルの周辺地盤はFig. 4に示されるように第三紀洪積シルト層及び、その厚さが一様でない第四紀沖積シルト層よりなっている。Tunnel Tubeは多摩川の両岸部で洪積シルト層の丘を通り、河心部に於ては厚さ約35~40mの沖積シルト層の表面近くを貫通している。なお沖積シルト層は所々に細砂層が水平方向に狭在し、N値は2~4程度である。

3. 計器の設置と観測について

Fig. 4に示される様に、多摩川右岸側で洪積シルトの丘に一部入っているNo. 2 Tubeと、沖積層の厚さが約40mとなっている河心部のNo. 4 Tubeに観測計器を設置した。計器の平面配置図及び断面図はFig. 1, 2に示してある。各観測地点には、トンネル軸線上に加速度計2台(軸方向及び河流方向)、トンネル壁の2断面にそれぞれ向い合わせて、歪計を2台ずつ、合計4台設置した。No. 2 TubeとNo. 4 Tubeの各々に設置された地震計間の距離は20.5mである。同一断面に設置された2ヶの歪計によって当該断面の変形状況を知ることが出来る。

4. 高感度動的歪計について

トンネル壁の地震時歪の測定のためにFig. 3に示すような高感度歪計を開発した。

トンネル壁面に通常の抵抗線式歪

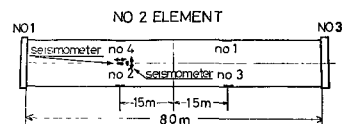


Fig. 1 No. 2 Tubeの計器配置図

計を貼付して測定した場合、小地震では小さな歪示度しか得られないので、これを拡大する為、Fig. 3 に示す様に長さ1 m の鋼製梁と、リン青铜製の片持梁を固着したブロックよりなる高感度歪計を試作した。それぞれA、B点で固定され、C点で2つの梁が接している。AC間1 mをトンネル壁上の標点距離とし、地震時に於けるその間の距離の長さの変化量を短かい片持梁の先端の変位に置き換え、その片持梁の歪を梁の元付の両側に貼着した抵抗線歪計で測定する。

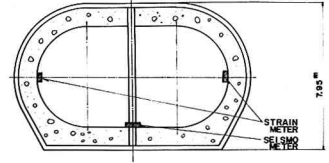


Fig. 2 計器の断面配置図

高感変動的歪計の特徴は次の通りである。

- (1) 歪を拡大できる。極めて単純な機械的方式によつて歪を拡大しているので、動的安定性にすぐれている。
- (2) 歪感度は 1×10^{-7} である。
- (3) 温度変化に敏感であるので、長期の測定では零点の移動を調整する必要がある。計算上では1度の温度変化が 150μ の歪に相当する。

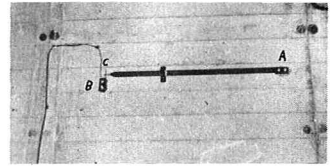


Fig. 3 高感度動的歪計

5. 地震記録

地震観測開始以来、1971年4月迄に十数ケの地震記録が得られた。この中には、震度Ⅲ（東京或は横浜に於て）の記録が4つある。特徴ある5つの地震記録について以下に述べる。

表1 地震記録

Record No	年. 月. 日	時間		震 央		震源深さ H(Km)	マグニチュード M	震 度 (東京)	震央位置	震央距離 (Km)
		h	min	N	E					
2	1970. 5. 27	21.	06	27.4	140.7	440	?	Ⅲ	小笠原近海	980
4	9. 14	18.	45	38.7	142.3	40	6.2	Ⅲ	三 陸 沖	400
5	9. 30	4.	26	35.5	139.6	40	4.8	Ⅲ (横浜)	多摩川下流	8
6	10. 30	1.	14	36.0	139.9	60	4.9	Ⅲ	茨木南西部	70
8	1971. 1. 5	6.	09	34.5	137.1	20	6.3	Ⅱ	伊 勢 湾	250

9月14日の地震は三陸沖に震源をもつM = 6.2の速地地震で記録からわかる様に、トンネル壁には最大加速度の大きさに比して相対的に大きい歪が生じた。9月30日の地震は本トンネルのほぼ直下に震源を有するM = 4.8の近地地震で、比較的大きな衝撃的な加速度と、この大きさに比較して小さい歪が記録された。10月30日の記録は、茨木南西部に起つたM = 4.9の地震で、良好な記録が得られた。Record 8は伊勢湾に震源を有するM = 6.3の記録で、2観測地点で良好な記録が得られた。

a) 歪及び加速度記録の振動特性について

Record 2 No 1, No 3の歪記録のいずれも、3~6 sec及び8~11secに於て振動数1.0~1.1Hzの波が記録されている。

Record 4 加速度、歪記録ともに全般に 1.0 ~ 1.1 Hz の振動数成分が卓越している。

Record 5 主要動部でいずれも 4 Hz 程度の波形がみられる。主要動後 5 秒過ぎるあたりにより、1 ~ 2 Hz の波形が多く見られる。

Record 6 歪記録、加速度記録ともに 1.2 ~ 1.3 Hz の波が卓越している。但し加速度記録では、5 ~ 10 Hz の高振動数成分がこれに重畳されている。

Record 8 歪記録では 1.1 ~ 1.2 Hz の波が卓越し、加速度記録では、部分的に 1.1 ~ 1.2 Hz の波が卓越しているが、同時に数 Hz の波も又存在し、特に軸方向に多い。

以上のことから当該トンネルは 1.0 ~ 1.1 Hz の卓越振動がみとめられた。軸方向加速度 (TAA) と、軸直交方向加速度 (TSA) の振動数は、TAA の方が高い振動数成分を含んでいる。

b) 近地地震と遠地地震について

前述したように Record 4 と Record 5 は同じ震度の記録であるにもかかわらず大きな差異がある。

表 2 近地地震と遠地地震の比較について

	加速度記録		歪記録	
	最大値 (gal)	主要動振動数 (Hz)	最大値 ($\times 10^{-6}$)	主要動振動数 (Hz)
近地地震 (Record 5)	№ 2.TSA.. 8.2	4.5	1.2	4.5
	№ 4.TSA.. 12.1	6.0		
遠地地震 (Record 4)	№ 2.TAA.. 2.4	1.1	1.72	1.0
	№ 4.TSA.. 2.6	1.1		

○ 振動数特性について 表からわかる様に、近地地震では歪、加速度ともに高振動数成分が卓越し、一方遠地地震では低振動数成分が卓越している。なお Record 4 の卓越振動数は 1.0 ~ 1.1 Hz で、常時微動観測により得られた地盤の固有振動数と一致している。

○ 歪示度と加速度示度について 近地地震では加速度示度に比して歪示度が小さく、一方遠地地震では加速度示度に比して大きい歪が得られた。この事は前項に述べた振動特性によるものであろう。つまり遠地地震では地盤の卓越振動成分が多く含まれ、地盤の変形が大きくなり、埋設管に大きな歪を生じさせたものと考えられる。

c) Tunnel Tube の変形について

Record 2 同一断面の歪記録 № 1、№ 3 は 22 ~ 24 sec を除いて全域で歪示度がほぼ等しく、逆位相になつている。これは Tube が曲げ変形を受けていることを示している。

Record 4 同一断面の歪記録 № 2、№ 4 は 13.7 sec の近傍及び、15 ~ 17 sec に於て逆位相が見られるが、他の部分は同位相となつている。このことは Tube が軸方向の引張圧縮変形を受けていることを示している。

Record 5 一般的に同位相となつている。(№ 1、№ 3 歪記録)

Record 6 № 2 Tube と № 4 Tube の変形の大きさは、ほぼ同程度であつて、その位相差は同位相である場合も、逆位相の場合もある。又同一観測点では軸方向に変形し易い。

Record 8 No. 2 Tube に於ける歪が No. 4 Tube に於ける歪より幾分大きくなっている。その位相は No. 8 の一部を除いて殆んど一致する。

記録の検討から Tube の変形に対して次の事がわかった。

- 沈埋トンネルは軸方向の引張、圧縮変形及び、水平面内の軸方向曲げ変形を受ける。
- 軸方向引張圧縮変形が卓越している。

6. 常時微動について

沈埋トンネル及び地盤の固有周期を調べる為に、常時微動観測を行なった。測定地点、記録及びフーリエ解析の結果を Fig.4 に示す。常時微動記録（変位）のフーリエ解析の結果より求めた卓越振動数を下の表に示す。

常時微動記録の解析より次の事がわかった。

1. 沈埋トンネルの壁面に生ずる地震時歪の卓越振動数は前述したように 1.0～1.1 Hz である。これは常時微動の変位記録の卓越振動数と良く合致している。
2. 河心部に於て沈埋函はトンネル軸直交方向で、0.8～1.3 Hz の卓越振動数を持ち、軸方向ではこれより幾分高い振動数をもつ。
3. 沖積層厚の薄い堤外地では 2.5～4Hz の振動が卓越している。又 1号函に於ては、堤外地の振動数、河心部の振動数、及びこれらの中間値となる振動数成分が卓越している。

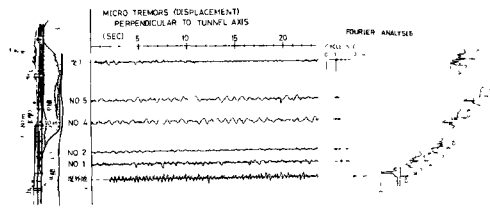
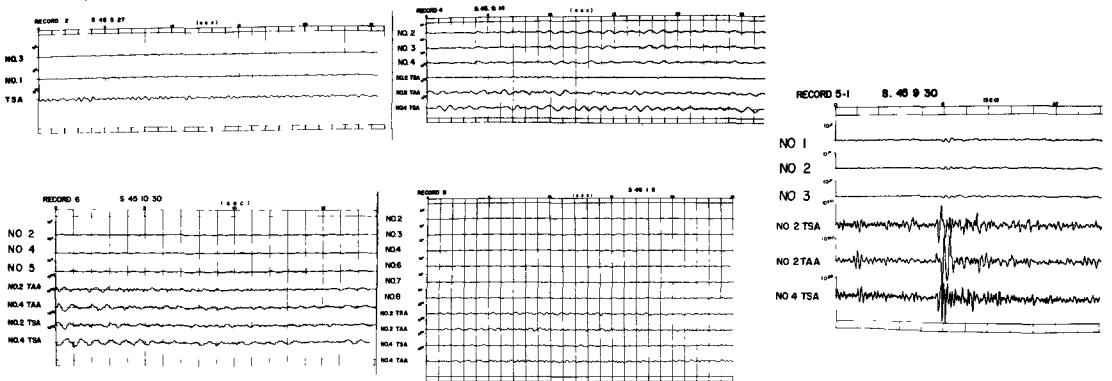


Fig.4 常時微動記録

測定地点	トンネル軸直交方向 (Hz)			トンネル軸方向 (Hz)		
	川崎側堤外地	2.9	3.7		2.0	2.5
No. 1 Tube 中央	0.8	1.4	2.2	1.1, 1.9, 2.6, 3.6		
No. 2 "	0.8	1.3		1.1	2.2	
No. 4 "	0.9	1.3		1.0	1.4	
No. 5 "	0.8	1.3			1.4	
羽田側堤上	1.1	2.5		1.4	2.1	



おわりに当り、地震観測に協力をいただいた、鉄道建設公団本社並びに塩浜作業所の方々に謝意を表します。