

東京都 港灣局 正員 山田 豊

同 上 加藤 正悟

同上 長沼 哲夫

1. はじめに 東京港第二航路海底トンネルにおいては、トンネルの地震時の安全性の確認、耐震設計法の検討、ならびに将来の沈埋トンネルの設計のための資料を得る目的で、昭和55年4月より地震観測を実施している。これまでに、地震観測記録の一部¹⁾、観測記録を用いたトンネルの地震応答解析^{2), 3), 4)}、などについて報告して来た。本文では、前報¹⁾以後に観測された主要な記録を紹介するとともに、観測記録を整理した結果を報告する。

2. トンネルの構造および地震観測の概要

本トンネルは、延長1084.8m（沈埋部744m）の

沈埋工法による海底トンネルである。沈埋部は、長さ124m(断面:幅28.4m,高さ8.8m)の鉄筋コンクリート製の沈埋函6函より成り、沈埋函相互は比較的剛性の小さい可撓性継手で連結されている。沈設位置の主要地質は、N値10程度の洪積粘性土である。地震観測計器の種類および配置を図-1に示す。加速度計A-1は、A.P.-51.2mのN値50以上の洪積砂層中に埋設されている。また、1,2,3号函の中央部において、沈埋函左右側壁のひずみを測定している。

詳細については
1), 3)
前報を参照されたい。

3. 地震観測記録

昭和55年4月
より昭和59年3月
までに、表-1に示
す21個の観測記録
が得られた。表中

の基盤加速度は、A-1 についての水平面内合成
 加速度の最大値であり、函体ひずみは、SD-1
 ～SD-6 の最大ひずみの平均値である。

基盤加速度ならびに函体ひずみの大きさと、地震のマグニチュードおよび震央距離との関係を、図-2および図-3に示す。函体ひずみについて重回帰分析を行った結果、表-2に示す回帰式を得た。基盤加速度については、マグニチュードが大きいほど、また、震央距離が短いほど大きな値を示しているものの、震源の深さが震央距離に比較して浅い地震(EQ-2, 5, 6, 11)では、他の地震に比べて加速度が小さくなる傾向があった。

函体ひずみの大きさは、基盤加速度の大きさに必ずしも比例せず、表-1に示したように、

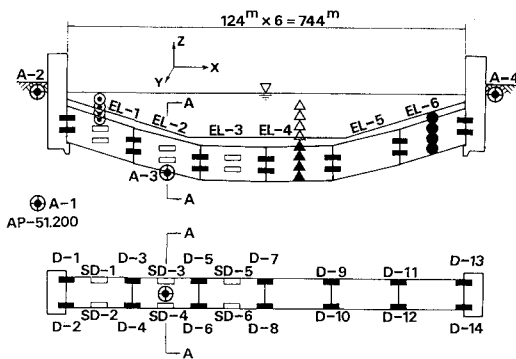
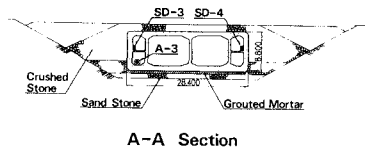


図-1 地震観測計器配置図

Symbol	Instrument	Number	Remarks
	Accelerometer	4	Dynamic
	Strain - gauge	6	Dynamic Static
	Strain - gauge (Steel)	14	Dynamic Static
	Strain - gauge (Concrete)	4	Dynamic Static
	Strain - gauge (Concrete)	4	Dynamic
	Strain - gauge (Steel Bar)	4	Dynamic Static
	Strain - gauge (Steel Bar)	4	Dynamic Static



A-A Section

表-1 地震觀測記錄一覽

地震コード	発震年月日	震央の地名	震源の深度	震源の距離	マグニチュード	震央の緯度 経度(北緯 東経)	震源の緯度 経度(北緯 東経)	各観測点までの 距離(km)	震度の最大値 (0.10~5)	被害の状況 死者の人数 負傷者の人数	
EQ-1	1980.6.18	東京湾中部	140°01'	35°38'	80	6.1	21	3.8	8.3	3.6	0.46
EQ-2	1980.6.29	伊豆半島北部	139°14'	34°55'	10	6.7	91	0.11	10.3	2.90	0.282
EQ-3	1980.9.24	関東平野	139°48'	35°58'	80	5.4	41	2.0	11.4	0.85	0.075
EQ-4	1980.9.25	関東平野	140°13'	35°31'	80	6.1	40	2.6	3.4	3.50	0.115
EQ-5	1981.1.19	三陸沖	142°58'	38°36'	9	7.0	440	0.0	1.6	0.48	0.300
EQ-6	1982.2.21	八丈島近海	141°14'	33°43'	40	6.4	247	0.16	3.2	0.46	0.144
EQ-7	1982.3.7	福島	140°39'	36°28'	80	5.5	124	0.48	6.3	0.26	0.041
EQ-8	1982.3.19	千葉県中部	140°11'	35°37'	70	4.8	36	1.9	4.8	0.15	0.031
EQ-9	1982.4.15	東京湾沖沖ノ島	139°37'	35°34'	70	4.0	16	4.4	2.5	0.10	0.040
EQ-10	1982.4.19	茨城県西部	139°54'	36°05'	50	4.7	55	0.91	2.2	0.13	0.059
EQ-11	1982.7.23	茨城県中部	141°57'	36°11'	30	7.0	206	0.15	8.6	2.79	0.324
EQ-12	1982.8.12	伊豆半島南	139°34'	34°53'	30	5.7	82	0.37	4.5	0.88	0.196
EQ-13	1982.9.6	福島近海	140°58'	29°23'	180	7.0	699	0.26	1.9	0.66	0.347
EQ-14	1983.1.16	千葉県北部	140°7°3'	35°44'	72	6.4	34	2.2	3.3	0.17	0.052
EQ-15	1983.2.27	茨城県南部	140°40°9'	35°56°2'	75	4.0	50	1.4	24.0	1.92	0.080
EQ-16	1983.5.21	千葉県東部	140°24°7'	35°17°4'	49	5.0	66	0.74	4.3		
EQ-17	1983.7.2	福島県	141°11'16"	36°54'35"	54	5.8	193	0.28	2.7	0.18	0.067
EQ-18	1983.7.13	千葉県北部	140°40°9'	35°44°9'	73	4.2	38	1.9	2.4	0.06	0.025
EQ-19	1983.8.8	神奈川県・山梨県境	139°15'15"	35°31'12"	62	6.0	70	0.31	12.2	2.07	0.170
EQ-20	1984.1.1	紀伊半島東方	139°50°53'	33°37'32"	388	7.3	350	1.1	8.7	1.86	0.214
EQ-21	1984.3.16	福島近海	139°09°8'	29°28'28"	460	7.9	680	0.68	10.7	1.74	0.165

その比は地震ごとに異なっており、概して、マグニチュードが大きく、震央距離が遠く、しかも震源深さ／震央距離の小さい地震では、単位加速度当たりの函体ひずみが大きい傾向が認められる。

図－４に主要な観測記録波形を示す。(a)は、1982年7月23日に茨城県沖で発生した地震の、加速度および函体ひずみ記録の一部である。この地震は、マグニチュード7.0、震央距離206 Km、震源深さ30 Kmで、上記の単位加速度当たりの函体ひずみが大きい地震の典型である。地表加速度A-2の主要動の継続時間は30～40秒と長く、基盤加速度A-1に見られるように、後半部において周期2～4秒の波動が長時間続いた。函体のひずみは軸ひずみが支配的であり、曲げひずみが地盤加速度の主要動部分で大きいのに対し、軸ひずみは長周期波動の見られる後半部で大きい。

(b)は、1983年8月8日に神奈川・山梨県境で発生した地震の観測記録である。加速度の主要動は約10秒間でやや短いが、40秒付近から長周期の波動が現われた。この時刻を境にA-1-XおよびA-1-Yの卓越周期は、0.3～0.5秒から1.3～2.0秒に変化している。函体のひずみは軸ひずみが優勢であり、その最大値は前記の長周期波動が現われた時刻に生じた。

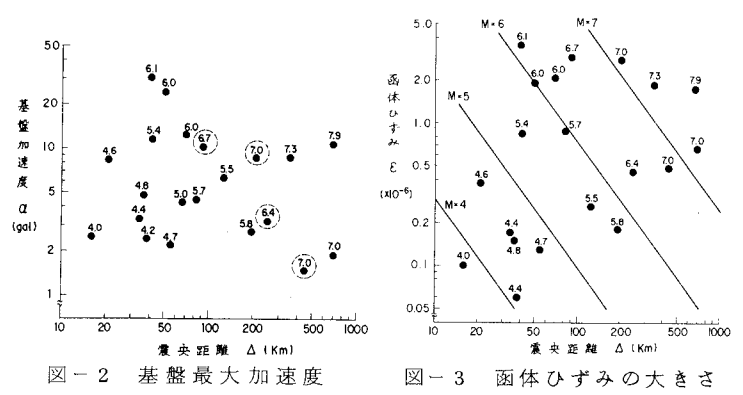
4. まとめ 本沈埋トンネルの地震観測結果では、沈埋函に生ずるひずみは必ずしも地盤加速度の大きさに比例していない。また、ひずみ波形では、加速度が小さくなる後半部に見られる比較的周期の長い波動部分で、ひずみが大きくなっていることなどがわかった。

今後も観測記録の分析に努め、長周期地震動とトンネルのひずみとの関係等について考察を進めたい。

(a) EQ-11 (1982年7月23日 茨城県沖, M=7.0, Δ=206 Km) (b) EQ-19 (1983年8月8日 神奈川・山梨県境, M=6.0, Δ=70 Km)

図－４ 主要地震観測記録

参考文献 1) 七久保他：東京港第二航路海底トンネルの地震観測，第36回年次学術講演会講演概要集，1981
2) 坂本他：東京港第二航路海底トンネルの地震応答解析，第37回年次学術講演会講演概要集，1982
3) 池田他：東京港第二航路海底トンネルの地震観測と応答解析，第6回日本地震工学シンポジウム講演集，1982
4) 泉他：沈埋トンネルの地震応答解析法の一試案，第17回地震工学研究発表会講演概要，1983



表－2 函体ひずみの回帰式

特性	回 帰 式	M: マグニチュード Δ: 震央距離(km)		重相関係数
		M	log ₁₀ Δ	
函体ひずみ (×10 ⁻⁵)	log ₁₀ E = -2.73 + 0.890M - 1.37 log ₁₀ Δ	0.96	-0.92	0.97