

土 木 研 究 所 資 料

実測による地中埋設管路の地震時挙動 及びその解析(その2)

平成6年8月

建設省土木研究所
地震防災部耐震研究室

Copyright © (1994) by P. W. R. I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

実測による地中埋設管路の地震時挙動 及びその解析（その2）

Anailysis of Seismic Behavior of Embedded Pipes
Based on Strong Motion Observation -Part 2 -

土木研究所

企 画 部 地下開発研究官 川島 一彦
（前耐震研究室長）

地震防災部耐震研究室 研究員 杉田 秀樹

北海道開発局札幌開発建設部 中島 燈
（前耐震研究室研究員）

要 旨

ライフライン施設の地震時挙動については、応答変位法による耐震計算が行われているが、この中で用いる地盤と管路を結ぶばねの推定は、各種の制約により解析的な研究が困難であり、観測及び実測に基づく検討が必要とされている。

本報告では、建設省土木研究所が千葉県君津郡袖ヶ浦町に設置した地中埋設管路の地震時挙動観測システムにより、平成元年5月～平成4年2月までに観測された実測記録に基づき、地中管路の振動特性及び地盤と管路を結ぶばね定数を解析した結果をとりまとめたものである。

キーワード： 地中埋設管路、地震時挙動、管軸方向ひずみ、曲げひずみ、地盤ひずみ、地盤ばね定数

目 次

1.まえがき	1
2.観測システムの概要	2
2.1 観測位置	2
2.2 地中管路	2
3.実測による地中埋設管路の地震時挙動	4
3.1 検討の対象とした地震記録	4
3.2 地中埋設管路に生じたひずみ	7
3.3 地震動と管路のひずみとの相関	14
4.地中埋設管路ひずみの解析	20
4.1 地盤ひずみの解析	20
4.2 地中埋設管のひずみの解析	20
5.結 論	31
謝 辞	32
参考文献	33

1. ま え が き

近年に日米で生じた地震（1971年サンフェルナンド地震、1978年宮城県沖地震、1982年浦河沖地震等）では、上下水道、電力、ガス、通信施設等のライフライン施設に大きな障害が生じた。これらのライフライン施設の機能阻害は、地域社会に対して大きな障害を与え、ライフライン施設の耐震性の確保が重要な課題であることが認識された。これらによりライフライン施設の耐震規定の充実が図られつつあるが、この中でライフライン施設の地震時挙動に関する正しい情報を得ることは大変重要となる。ここで、ライフライン施設の地震時挙動については、応答変位法による耐震計算が行われているが、この中で用いる地盤と管路を結ぶばねの推定は、各種の制約により解析的な研究が現状では困難であり、観測及び実測に基づく検討が必要とされる。

本報告は、地中埋設管路の動的耐震設計の基本となる、地震時の振動特性の観測及び管路に対する周辺地盤の拘束効果について、平成2年10月に発行された土木研究所資料第2915号に続きとりまとめたものである。ここに、地中埋設管路の地震観測システムは、建設省土木研究所耐震研究室が昭和63年度に千葉県袖ヶ浦町の一般国道16号線の中央分離帯に設置したものである。この観測システムでは、軟弱地盤におけるライフライン施設の被害が多いことを考慮して、管路を軟弱な地盤に設置するとともに、直管と曲がり管また、連続管と継手管の振動特性の違い等に注目している。

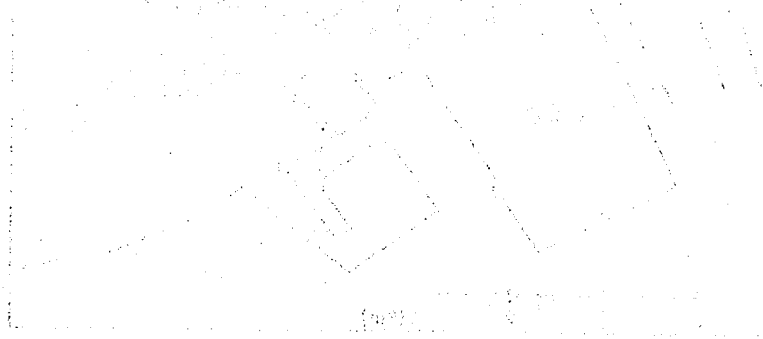


図1 地震観測システム

図1 地震観測システム

2. 観測システムの概要

2.1 観測位置

地中管路の地震観測システムは、一般国道16号線の千葉県君津郡袖ヶ浦町地先の中央分離帯に設置されている。図2-1には観測システムの設置位置を示している。観測地点の地盤条件は、地表面が約3mの埋土で覆われており、これ以深ではシルトと砂が互層状態になっている。なお、観測地点における地盤の柱状図等の詳細については、土研資料第2915号を参照されたい。観測地点の地盤種別は、道路橋示方書Ⅴ耐震設計編に規定されているⅡ種地盤に該当し、平均せん断波速度は200m/sec程度である。また、耐震設計上の基盤面は、地表面下14～17mの位置にある。

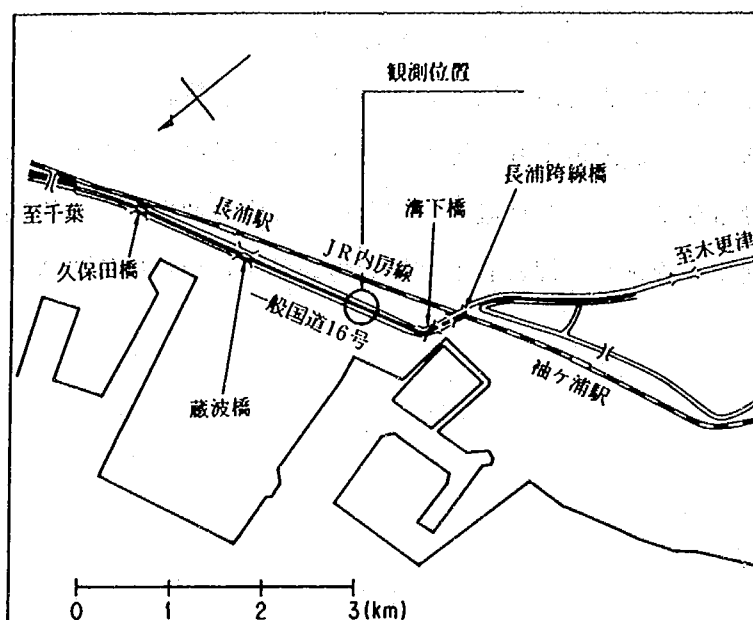


図2-1 観測点位置図

2.2 地中管路

地中埋設管路は、直径150mmの鋼管と直径150mm、300mmのダクトイル管の2種類が、図2-2に示すように土被り厚さ1mの位置に埋設されている。観測では、管体に生じるひずみ、ダクトイル管の継手部における相対変位、地盤の加速度、地盤に生じるひずみに着目している。計測器の種類と設置位置は、図2-3に示す通りである。

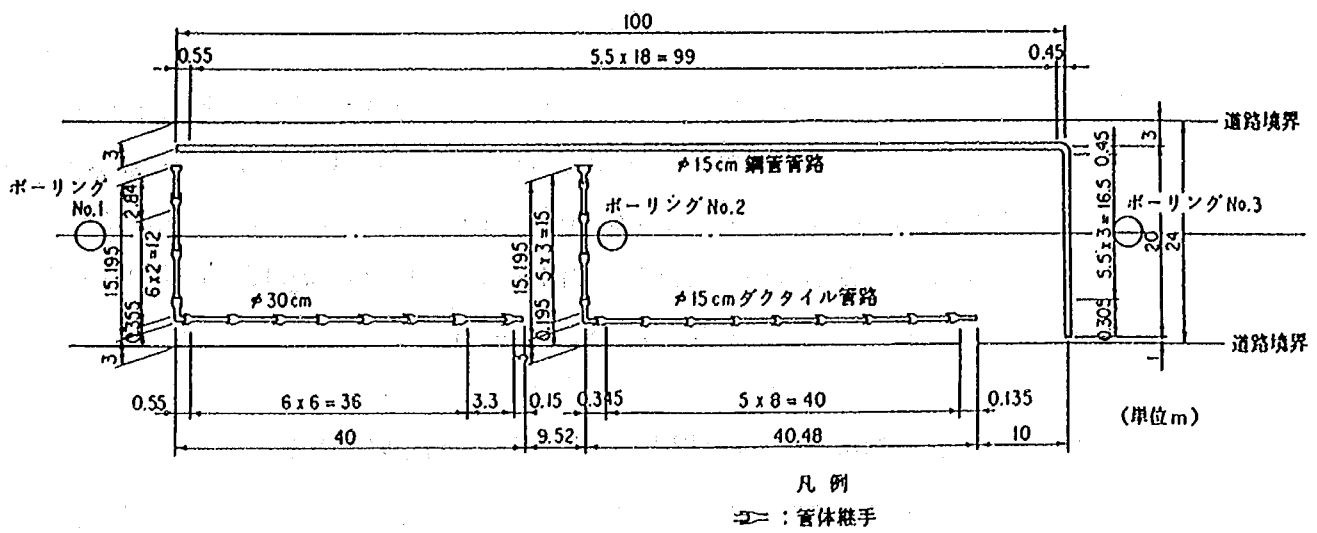


図2-2 埋設管路配置図

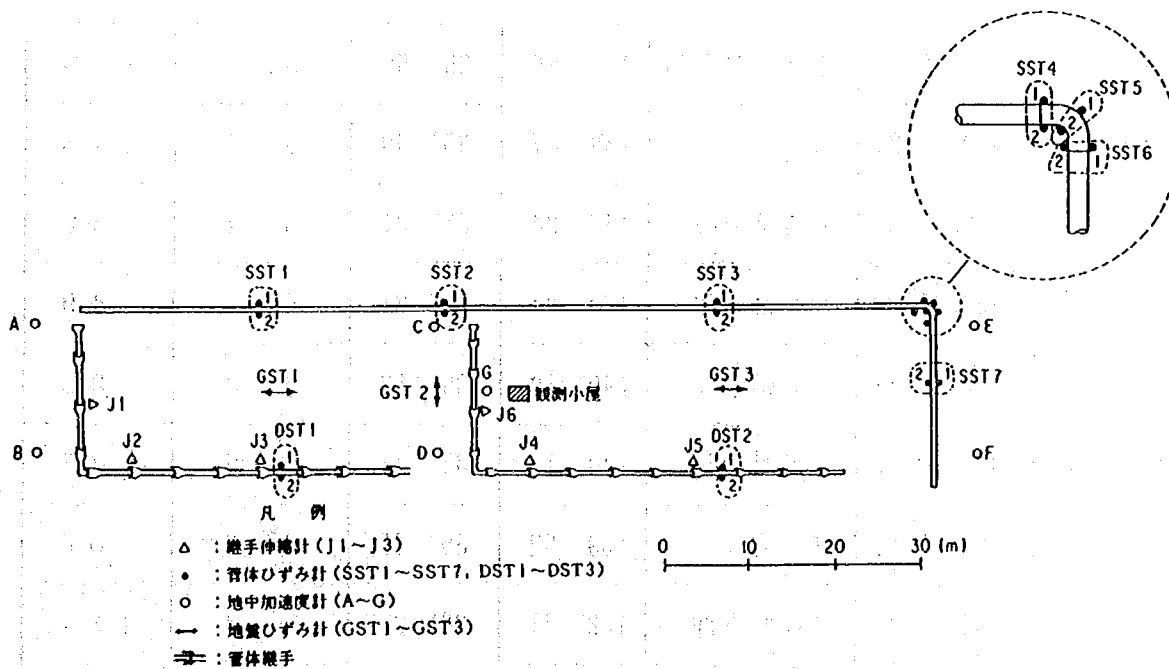


図2-3 計測器配置図

3. 実測による地中埋設管路の地震時挙動

3.1 検討の対象とした地震記録

前報に続く平成元年5月から平成4年2月までの間に、微小なものも含めて約50回の地震波が得られた。この中から、地盤の加速度の最大値が10gal以上の地震波を抽出し、地中管路の地震時の挙動を検討した。本検討に用いた地震波について震源及び地震規模を整理すると、表3-1の通りである。また、表3-1に示す地震により本観測システムで実測された、地盤の加速度、管体のひずみ、及び継手管の継手伸縮量の最大値を示すと、表3-2の通りである。

表3-1 最大加速度10gal以上の記録が得られた地震の諸元

地震番号	発震日	震源			地震規模 (M)	深さ (km)
		震源地名	経度	緯度		
E Q - 1	1989.10.14	伊豆大島近海	135° 03	34° 54	5.7	25
E Q - 2	1990.6.1	千葉県東方沖	140° 40	35° 38	6.0	70
E Q - 3	1990.6.5	神奈川県中部	139° 20	35° 50	5.3	120
E Q - 4	1990.6.27	相模湾	139° 07	35° 00	5.4	148
E Q - 5	1990.8.23	千葉県中部	140° 24	35° 21	5.4	50
E Q - 6	1990.8.23	千葉県中部	140° 24	35° 21	5.2	49
E Q - 7	1990.12.11	千葉県中部	140° 19	35° 19	4.0	35
E Q - 8	1990.12.16	千葉県中部	140° 13	35° 37	4.6	77
E Q - 9	1991.6.28	東京湾	139° 52	35° 29	4.6	68
E Q - 10	1991.7.14	長野県東部	138° 31	36° 25	5.4	187
E Q - 11	1991.9.29	千葉県北部	140° 06	35° 45	4.9	80
E Q - 12	1991.11.19	東京湾	140° 02	35° 36	4.9	81
E Q - 13	1991.2.2	東京湾	139° 08	35° 20	5.7	90

表3-2 観測システムで観測された最大記録(1)

計測点			地震 No.	EQ-1	EQ-2	EQ-3	EQ-4	EQ-5	EQ-6	EQ-7	
加 速 度	起動用	X 方向		4.638	1.953	2.441	2.441	13.181	-7.323	-3.173	
		Y 方向		3.906	-1.220	-2.197	-2.441	-14.158	13.670	-3.906	
		X 方向		15.378	-6.835	-12.205	-9.032	-45.158	-26.363	8.299	
	A	Y 方向		9.764	-4.394	-8.055	8.299	56.631	41.741	-7.079	
		Z 方向		-10.252	3.906	5.126	-7.323	8.299	9.276	7.079	
		X 方向		15.622	-2.197	-10.008	-9.764	46.135	-31.489	-11.229	
	B	Y 方向		-11.229	-3.661	-4.150	-9.520	64.198	42.229	-9.032	
		Z 方向		-8.055	-4.150	6.835	-6.591	-8.543	-6.347	7.079	
		X 方向		-12.937	9.276	-12.937	-10.252	-51.261	-25.142	-10.252	
	C	Y 方向		-10.252	-11.961	14.158	8.788	57.852	35.883	-7.079	
		Z 方向		-3.906	-9.032	12.937	-2.685	-12.693	-10.984	-2.929	
		X 方向		13.425	8.543	-9.276	-10.008	-45.158	24.166	-8.543	
	D	Y 方向		-11.229	13.425	17.087	10.496	69.324	39.300	8.543	
		Z 方向		-4.394	-6.347	-14.158	3.417	-10.496	-8.788	2.929	
		X 方向		-10.496	5.126	-11.961	-7.323	-45.647	-22.457	-8.055	
	E	Y 方向		-10.496	18.796	-15.662	9.276	50.529	35.883	8.543	
		Z 方向		-4.150	-7.811	10.496	-2.929	10.008	12.449	3.661	
		X 方向		10.252	9.276	-11.473	7.567	-44.670	21.725	-7.811	
	F	Y 方向		9.276	22.457	11.717	10.008	59.316	41.253	9.764	
		Z 方向		4.394	-9.276	-7.323	-2.929	-11.717	-12.205	4.394	
		ひ ず み	鋼 管 ひ ず み	SST1	1	3.076	0.879	1.172	1.611	-5.420	4.541
	2				-3.223	0.879	0.879	1.465	-5.420	4.541	-1.904
	SST2			1	3.809	-0.879	-0.439	1.465	6.739	4.981	1.465
				2	3.662	-0.732	0.732	1.465	-6.299	4.688	1.611
SST3	1			3.809	0.586	0.439	1.318	4.834	-4.688	1.611	
	2			3.516	0.586	0.732	-1.025	-4.248	4.102	1.611	
SST4	1			1.758	-1.465	1.465	0.732	-6.739	4.395	-1.172	
	2			3.223	1.172	1.025	1.318	6.153	-4.541	1.318	
SST5	1			0.879	0.586	0.586	0.586	-1.465	0.879	0.439	
	2			0.732	0.586	0.732	0.439	1.465	0.879	0.586	
SST6	1			2.051	0.732	1.172	0.732	2.637	-1.904	0.732	
	2			-2.637	0.879	1.025	1.025	-4.395	3.223	1.025	
SST7	1			-3.516	1.758	0.879	1.611	-10.255	8.057	-1.904	
	2			-3.662	1.904	1.465	1.611	-8.643	-6.739	1.611	
み	ダク タイル 管	DST1	1	-3.516	0.586	0.586	1.758	-9.962	6.446	2.344	
			2	-3.516	0.732	0.879	-1.318	-10.108	6.592	2.051	
		DST2	1	2.490	0.732	0.732	1.172	-6.885	4.541	-1.611	
			2	-2.637	0.732	0.879	1.611	-7.764	4.834	-1.611	
μ	地盤	GST1		0.0	0.0	-8.138	-8.138	0.0	0.0	0.0	
		GST2		8.138	8.138	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		GST3		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.138	0.0	
構 造 伸 縮 量	ダク タイル 管	J1		0.0	0.0	0.0	0.0	0.024	0.024	0.0	
		J2		0.0	0.024	0.0	-0.024	-0.024	0.024	-0.024	
		J3		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.024	
		J4		0.0	0.024	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		J5		-0.024	0.073	0.0	-0.024	-0.024	-0.024	0.024	
		J6		0.0	0.0	0.024	0.0	0.024	0.024	0.0	

表3-2 観測システムで観測された最大記録(2)

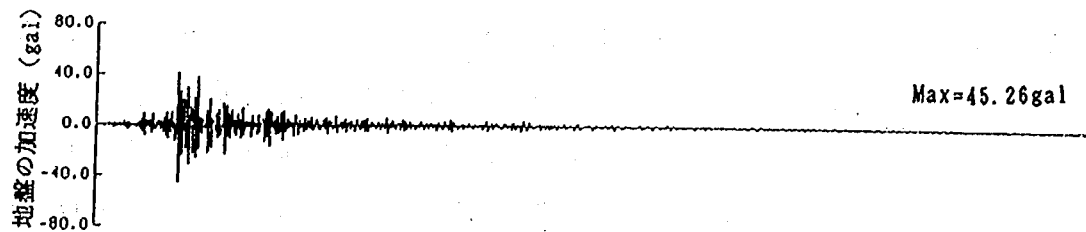
計測点			地震 No.	EQ-8	EQ-9	EQ-10	EQ-11	EQ-12	EQ-13
加 速 度	起 動 用	X 方向	-6.102	-4.150	2.197	-1.953	-3.417	-26.119	
		Y 方向	-7.567	5.614	-1.709	3.173	5.126	-34.662	
		A	X 方向	-20.748	7.079	-9.276	9.520	-9.032	-65.419
	Y 方向		-26.119	10.984	5.858	-11.961	-15.134	-138.405	
	Z 方向		4.394	-2.929	-2.197	-2.929	-3.661	-40.276	
	B	X 方向	-21.725	9.032	-10.496	-8.055	12.205	68.592	
		Y 方向	29.780	9.764	5.370	-13.670	-15.134	-134.743	
		Z 方向	-4.882	3.417	-1.953	2.929	-4.394	43.206	
	C	X 方向	-20.504	10.984	10.008	8.055	-11.473	-70.057	
		Y 方向	26.607	10.252	-5.614	-9.764	-17.331	-114.483	
		Z 方向	-6.591	7.323	-2.197	3.417	8.788	-44.182	
	D	X 方向	15.622	-6.835	10.740	-5.370	15.622	64.686	
		Y 方向	32.221	-10.496	5.858	10.496	17.331	-125.956	
		Z 方向	5.614	-4.638	2.441	3.173	4.638	-41.253	
	E	X 方向	17.087	8.299	-9.520	9.276	-13.425	50.040	
		Y 方向	-28.071	10.740	-6.102	-10.496	18.796	-128.397	
		Z 方向	-4.882	-4.394	1.953	-3.906	-4.150	-38.080	
	F	X 方向	15.866	-9.032	11.229	8.299	16.111	72.009	
		Y 方向	-29.292	8.788	-6.102	-9.032	21.725	-146.704	
		Z 方向	8.299	6.102	2.441	-6.102	-6.835	39.788	
	ひ ず み	鋼 管 ひ ず み	SST1	1	2.783	-1.172	-1.465	-1.318	3.223
2				2.783	-1.318	1.465	-1.465	3.516	-8.497
SST2			1	4.395	1.172	-2.197	-1.758	3.955	10.548
			2	4.248	1.172	-2.197	-1.758	3.662	9.669
SST3			1	2.197	-1.172	-1.318	1.025	2.051	7.618
			2	2.490	-1.172	-1.318	1.025	2.344	7.032
SST4			1	2.930	-1.025	1.318	1.025	-2.490	14.503
			2	-2.637	1.025	1.172	0.879	1.904	-11.134
SST5			1	0.879	0.439	0.586	0.586	0.732	-2.930
			2	0.586	0.586	0.732	0.586	0.732	2.197
SST6			1	-1.025	0.586	0.732	0.732	-1.172	4.541
			2	1.904	0.879	1.025	1.025	-1.465	6.006
SST7		1	4.688	1.465	2.197	1.904	-4.688	21.535	
		2	3.809	1.172	2.197	1.611	-3.369	15.382	
ダク タイル 管		DST1	1	3.369	-2.197	2.783	1.758	4.248	10.401
			2	3.076	-2.197	2.051	1.611	-3.955	-9.522
		DST2	1	2.490	1.318	1.758	1.172	-2.637	7.764
			2	2.637	-1.465	1.611	1.318	-2.930	-9.669
地 盤		GST1	0.0	0.0	0.0	0.0	8.138	0.0	
		GST2	0.0	0.0	0.0	0.0	-8.138	0.0	
		GST3	0.0	8.138	-8.138	-8.138	-8.138	8.138	
ダク タイル 管	J1	0.0	0.0	-0.024	0.0	0.024	0.024		
	J2	-0.024	0.024	-0.024	-0.024	-0.024	-0.024		
	J3	-0.024	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.024		
	J4	0.0	-0.024	0.0	0.0	0.0	0.024		
	J5	0.0	0.024	0.0	0.0	0.024	0.024		
	J6	0.024	0.0	-0.024	0.0	0.024	-0.024		

地中埋設管路の地震時挙動特性を検討する上では、振幅が小さな地震記録だけでは十分とは言えず、大きな振幅を有する地震記録が重要なデータとなる。今回の観測では、平成4年2月2日に東京湾を震源として発生したM5.7の地震(EQ-13)をはじめ、幾つかの振幅の大きな地震が観測された。このため、本検討では表3-1に示した13個の地震記録のうち、EQ-5、EQ-6、及びEQ-13の3つの地震記録に着目して地中管路の地震時の挙動を検討することとした。

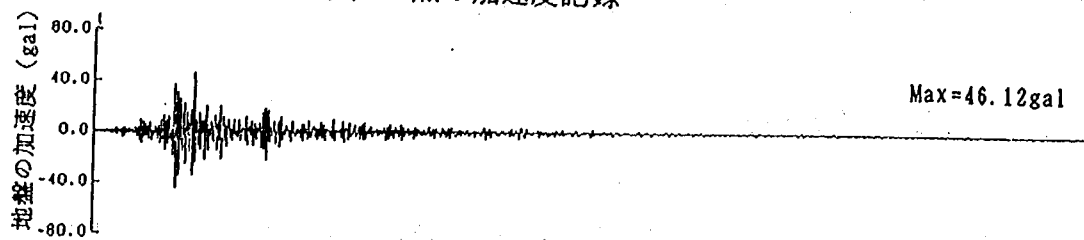
3.2 地中埋設管路に生じたひずみ

図3-1～図3-3は、それぞれ振幅の大きい3つの観測記録(EQ-5、6、13)の波形を示したものである。また、管体ひずみに最大値が生じた地震感知後10秒～25秒における管体ひずみの応答波形を示すと、図3-4～図3-6の通りである。これらによれば、以下の事項が指摘される。

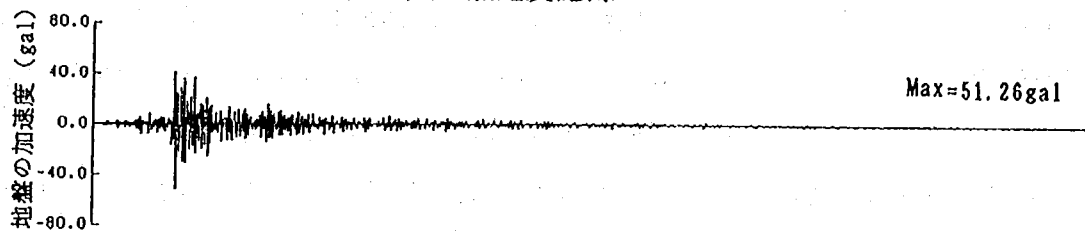
- 1) SST1とSST3の連続管の軸方向ひずみをみると、いずれの地震の場合にも、ひずみ波形には微妙な違いが生じている。むしろ、SST1の波形は継手管の軸方向ひずみ(DST1)によく一致している。これは、SST1がSST3と55m離れているのに対して、SST1とDST1とは20mと比較的近いためと考えられる。
- 2) 最大ひずみに着目すると、いずれの記録においても、ほぼ同程度の値を示している。これは、観測地点の地盤条件が同じであると同時に、管路の軸方向の剛性が周辺地盤の拘束に比べて大きく、地盤ひずみの影響を受けにくいためである。
- 3) 継手管は、長さ6mごとに継手により縁が切れているため、管の両端では軸力が開放され、本来軸方向のひずみは連続管に比べて小さくなることが予想される。しかし、EQ-5及びEQ-6では継手管の軸方向ひずみは、連続管よりもむしろ大きな値を示している。これは、この程度の小さな地震では管体に作用する軸力が小さく（ひずみから計算される軸力は σ_{lf} ）、継手部の摩擦を越えておらず、継手の効果が発揮できなかったためと考えられる。
- 4) EQ-13による継手管の観測結果を見ると、10秒を過ぎたあたりから、波形の中立軸に大きなずれが生じており、地震が終ってもこのずれは元の位置に回復していない。EQ-13は本検討で対象とした3つの地震の中で最も大きいものであり、継手部で軸力の開放が生じた可能性がある。ただし、継手管のひずみは、上記3)に示したものと同様に連続管のひずみに比べて大きいことから、継手部で軸力がすべて開放されたわけではない。



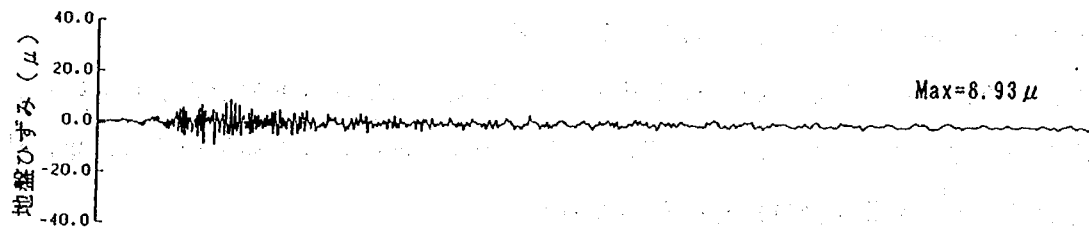
(a) A 点の加速度記録



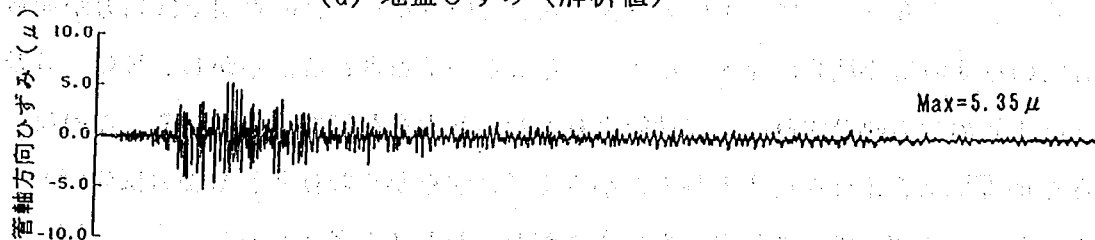
(b) B 点の加速度記録



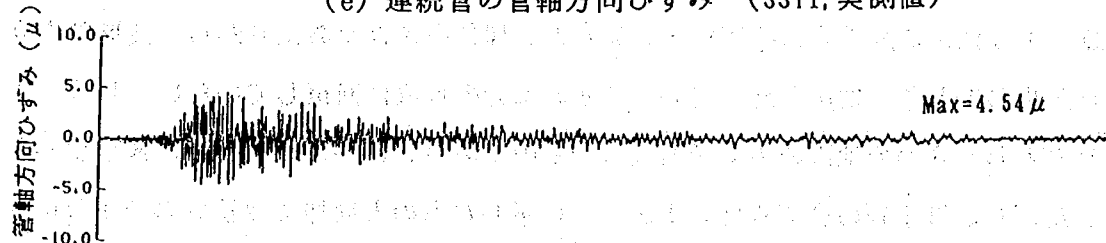
(c) C 点の加速度記録



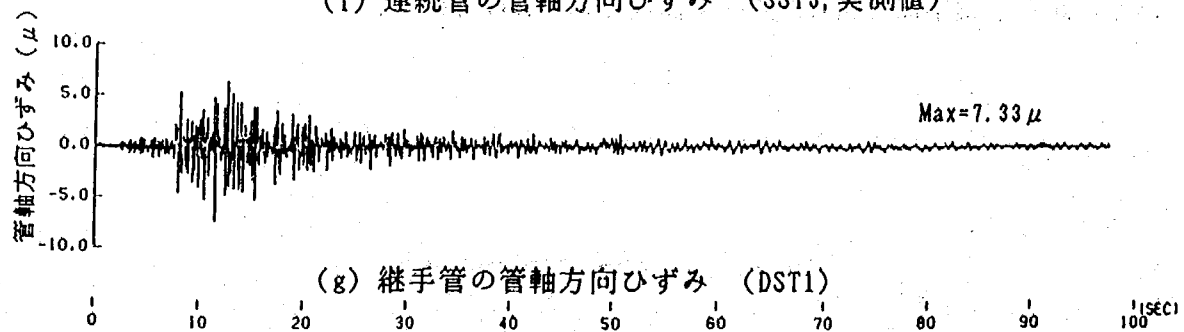
(d) 地盤ひずみ (解析値)



(e) 連続管の管軸方向ひずみ (SST1, 実測値)



(f) 連続管の管軸方向ひずみ (SST3, 実測値)

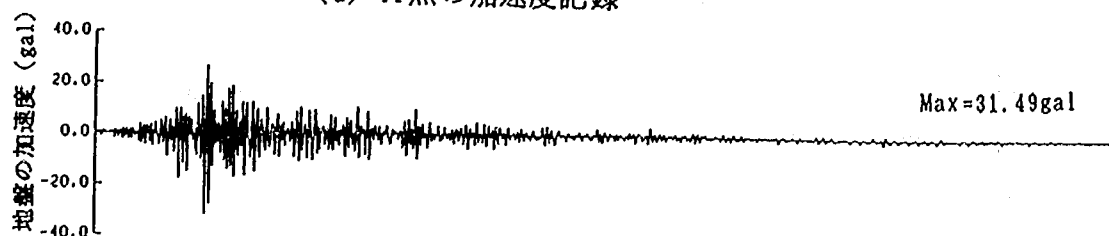


(g) 継手管の管軸方向ひずみ (DST1)

図3-1 観測記録 (EQ-5)



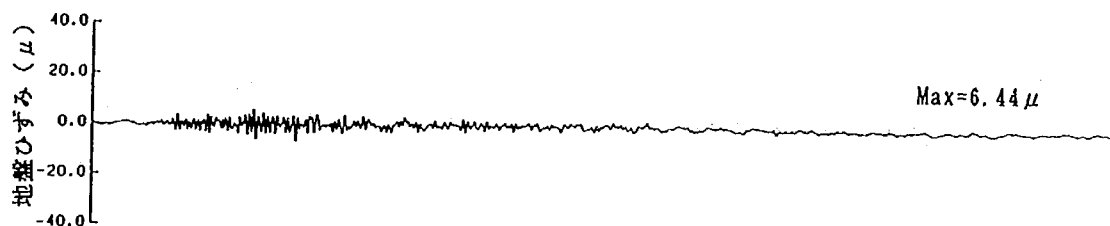
(a) A点の加速度記録



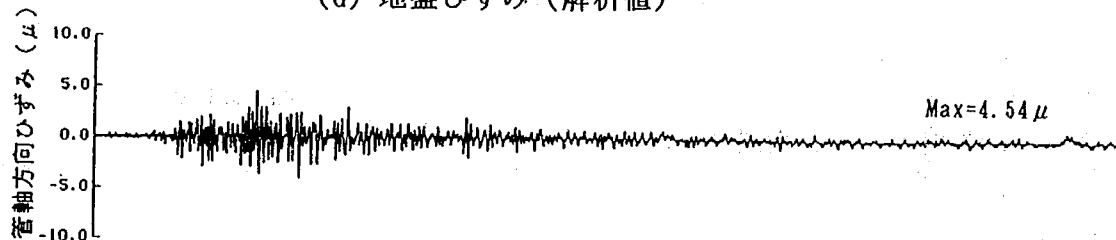
(b) B点の加速度記録



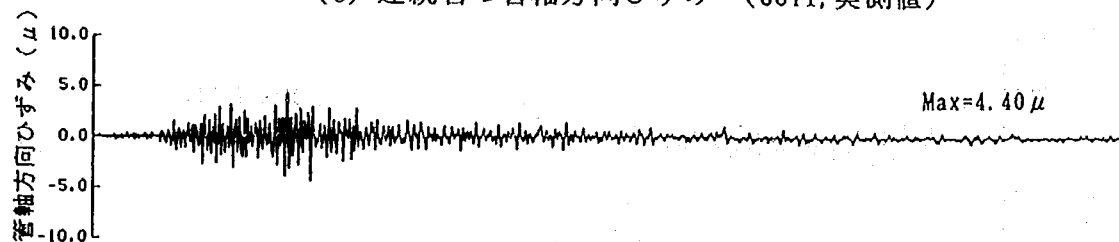
(c) C点の加速度記録



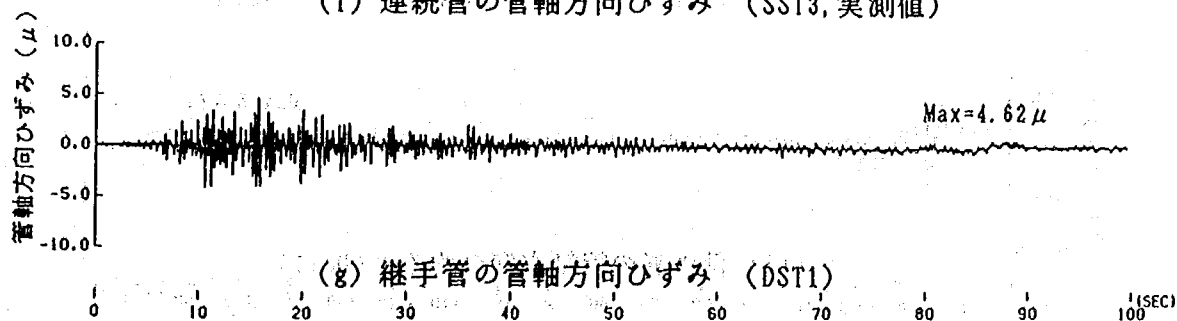
(d) 地盤ひずみ (解析値)



(e) 連続管の管軸方向ひずみ (SST1, 実測値)

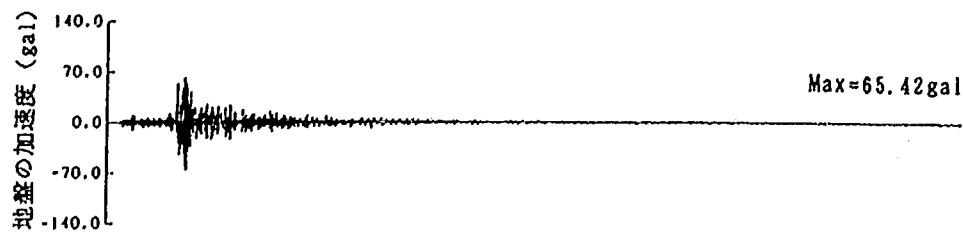


(f) 連続管の管軸方向ひずみ (SST3, 実測値)

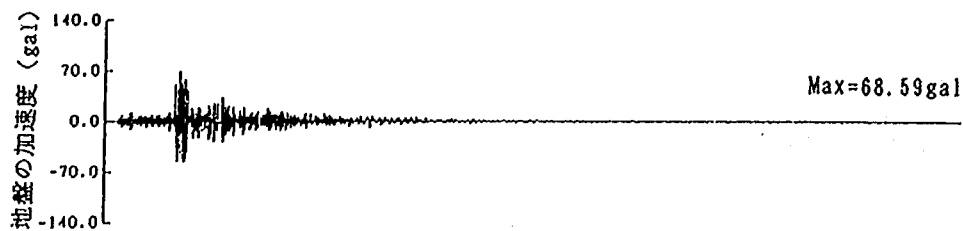


(g) 継手管の管軸方向ひずみ (DST1)

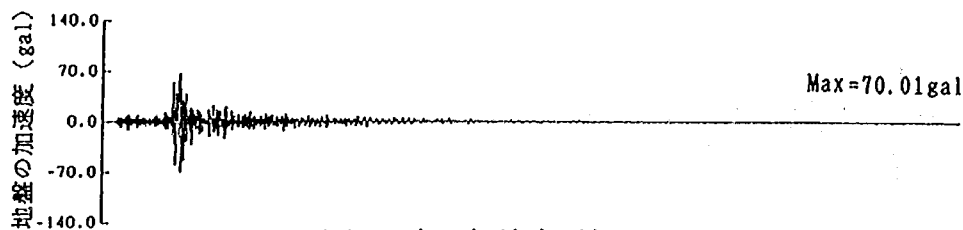
図3-2 観測記録 (EQ-6)



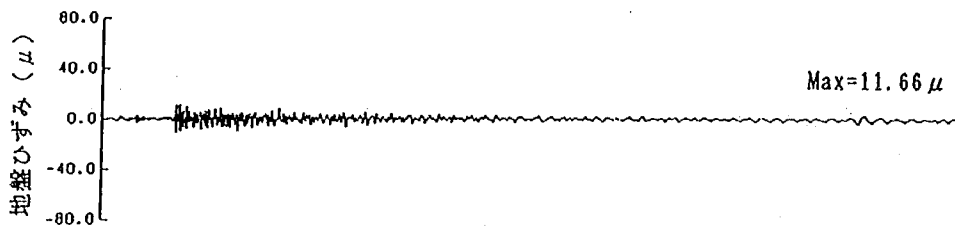
(a) A点の加速度記録



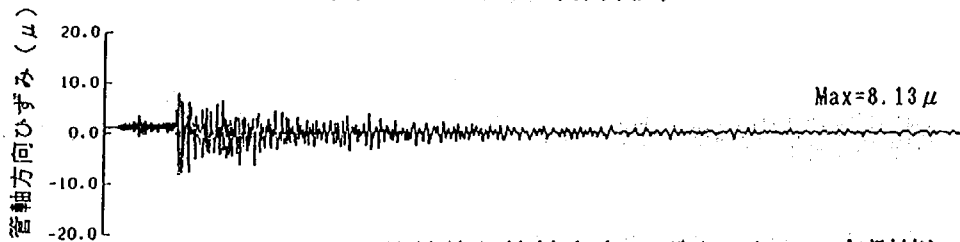
(b) B点の加速度記録



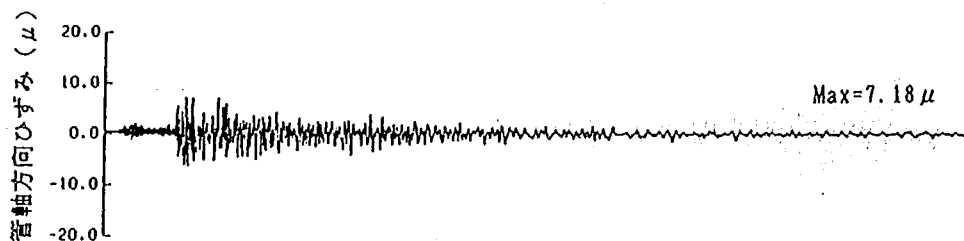
(c) C点の加速度記録



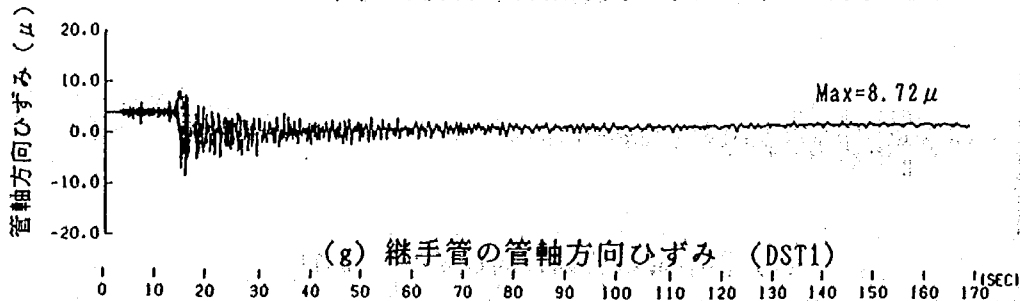
(d) 地盤ひずみ (解析値)



(e) 連続管の管軸方向ひずみ (SST1, 実測値)



(f) 連続管の管軸方向ひずみ (SST3, 実測値)



(g) 継手管の管軸方向ひずみ (DST1)

図3-3 観測記録 (EQ-13)

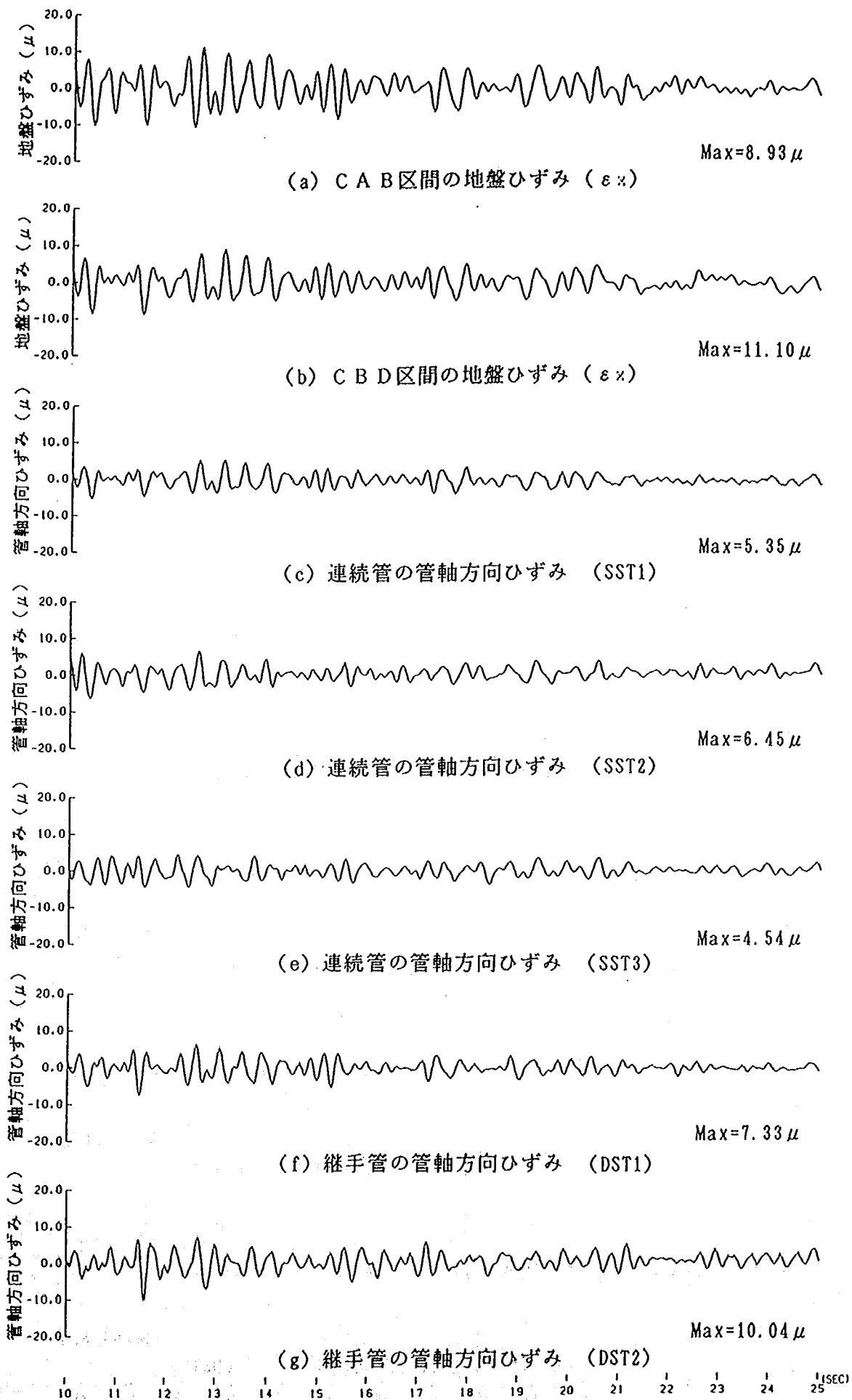
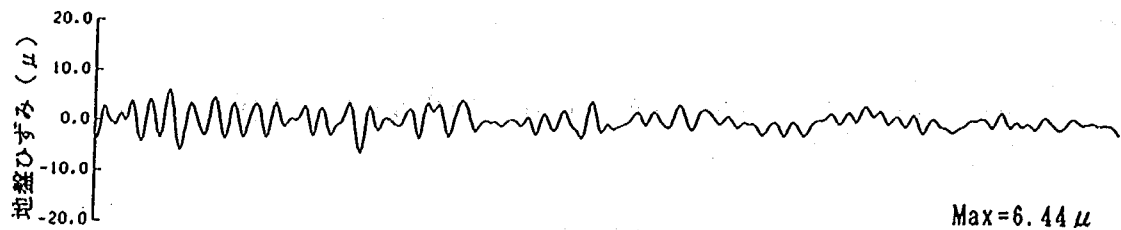
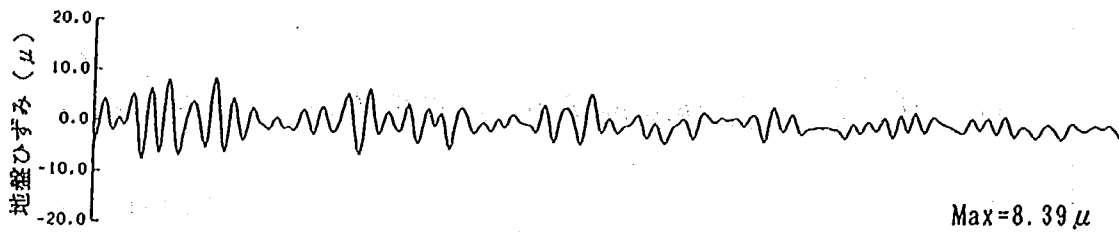


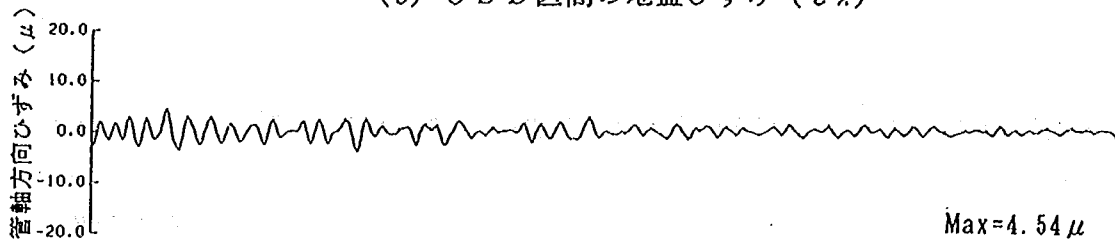
図3-4 実測による10~25秒間の管軸方向ひずみ (EQ-5)



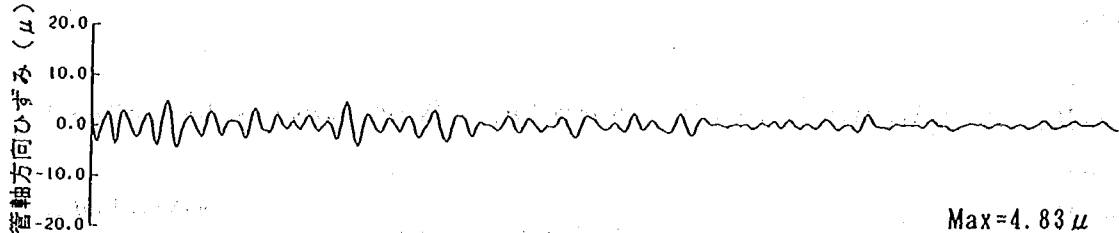
(a) C A B 区間の地盤ひずみ (εx)



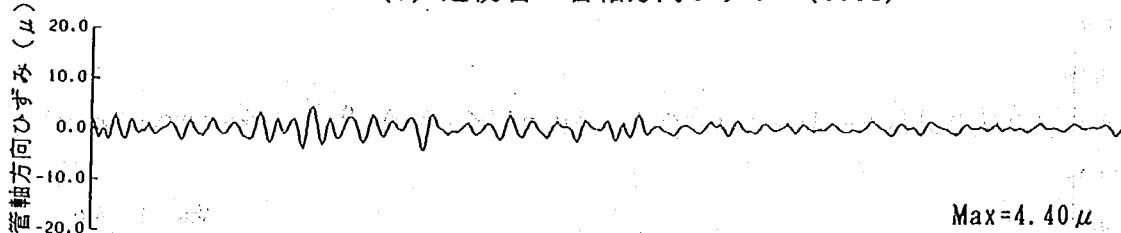
(b) C B D 区間の地盤ひずみ (εx)



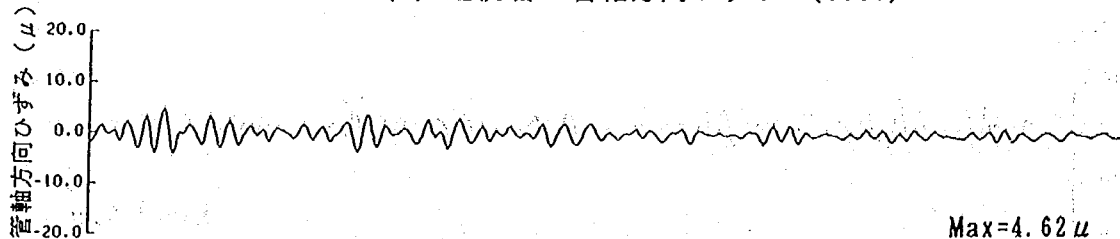
(c) 連続管の管軸方向ひずみ (SST1)



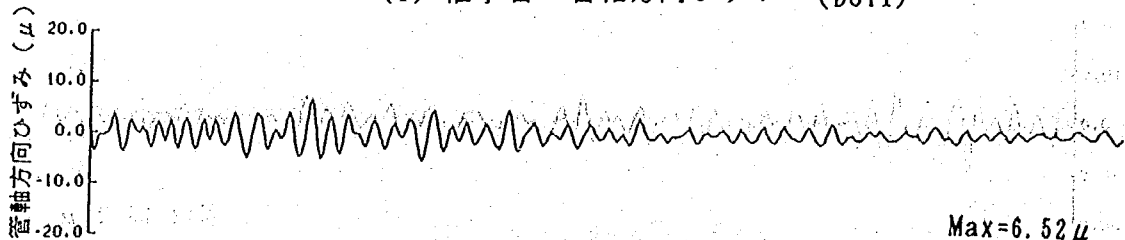
(d) 連続管の管軸方向ひずみ (SST2)



(e) 連続管の管軸方向ひずみ (SST3)



(f) 継手管の管軸方向ひずみ (DST1)



(g) 継手管の管軸方向ひずみ (DST2)

10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 (SEC)

図3-5 実測による10~25秒間の管軸方向ひずみ (EQ-6)

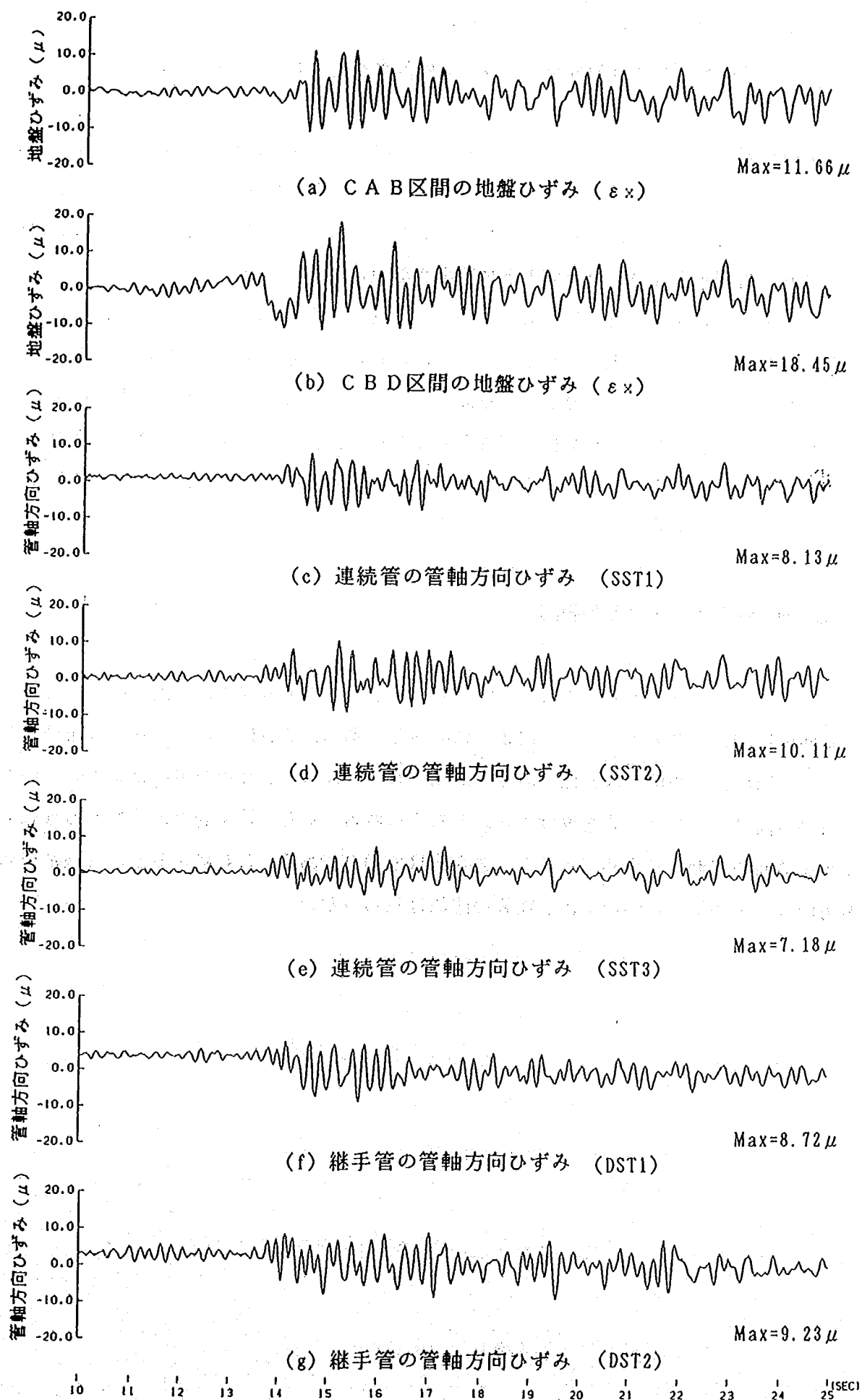


図3-6 実測による10~25秒間の管軸方向ひずみ (EQ-13)

図3-7～図3-9は、それぞれEQ-5、EQ-6及びEQ-13の地震により生じた、連続管の管軸方向ひずみ及び曲げひずみの分布を示したものである。これによれば、以下の事項が指摘される。

- 1) 管軸方向ひずみは、管路の両端と曲がり部を除けば、ほぼ全域にわたり同程度の値を示している。管路の両端では管軸ひずみが解放されるため、当然ながら小さな値となっている。また、管路の曲がり部においては、曲がり角が90度であるため、管軸方向ひずみがもう一方の管路の曲げもしくはせん断変形となり、軸ひずみ自身は小さな値となる。
- 2) 曲げひずみの分布を見ると、管軸方向ひずみとは反対で直線部においては曲げひずみは小さく、曲がり部において突出して大きくなっている。前述した管軸方向ひずみと比較すると、直線部において生じる管軸方向ひずみよりも曲がり部において生じる曲げひずみの方が大きい場合がある点に興味深い。これは曲がり部では、直管と考えた場合に見込まれる軸方向ひずみよりも大きな曲げひずみが生じる場合のあることを示しており、曲がり部においては管路の線形の影響を十分考慮することが重要である。

3.3 地震動と管路のひずみとの相関

SST1及びSST3地点での最大管軸方向ひずみと、A地点での地盤の最大加速度（管軸方向）の関係を前回の観測値を含めて示すと、図3-10の通りである。これによると、管軸方向ひずみと地盤の加速度との間には、相関的な関係があると推測される。よって、今後記録を充実させていくことにより、管軸方向ひずみの推定式を導けるものと考えられる。また、連続管と継手管との管軸方向ひずみの関係を前回の観測値を含めて示すと、図3-11の通りである。これによると、管種及び管径による管軸方向ひずみの違いについては、顕著な関係は見られない。

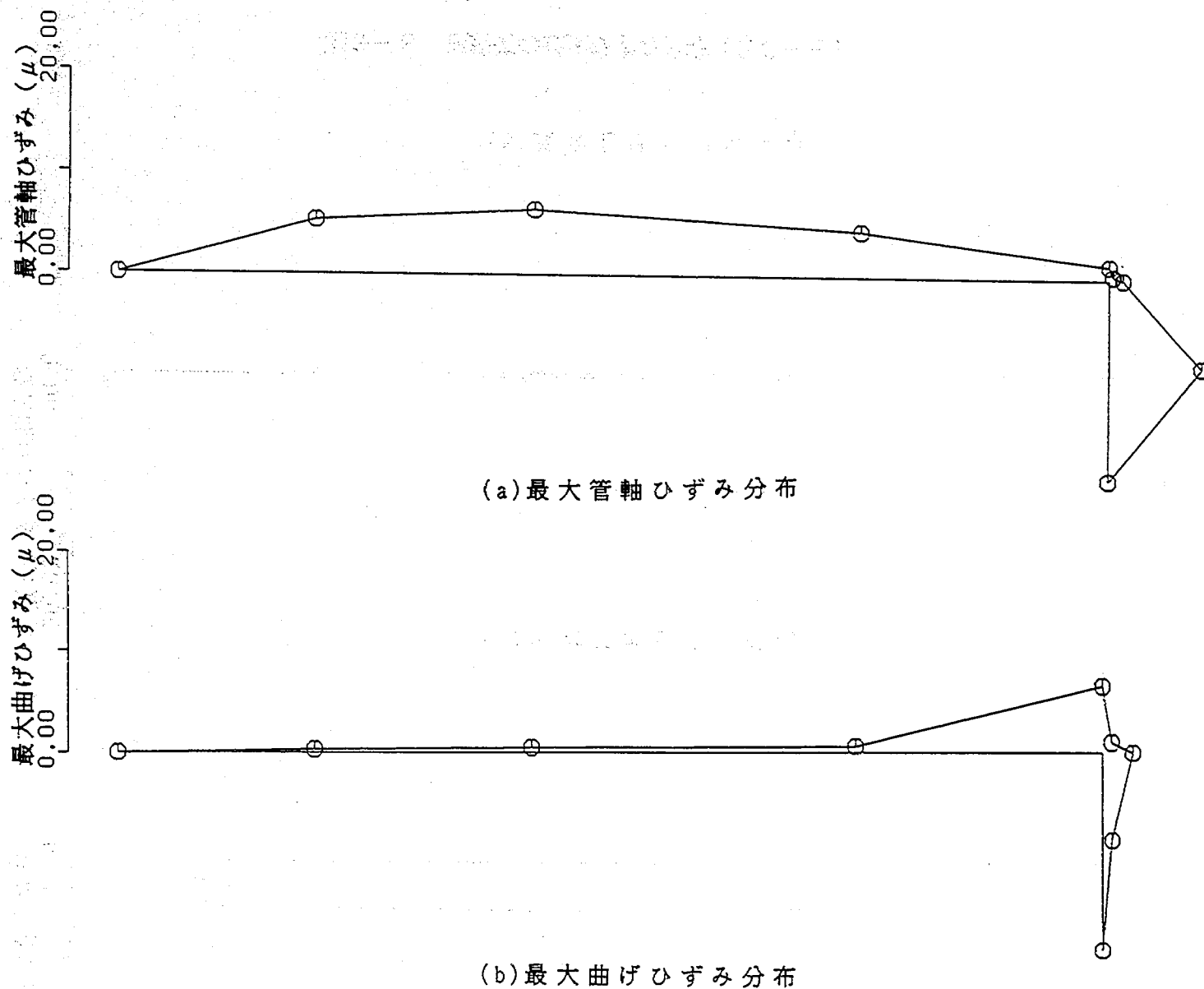


図3-7 連続管の最大ひずみ分布 (EQ-5)

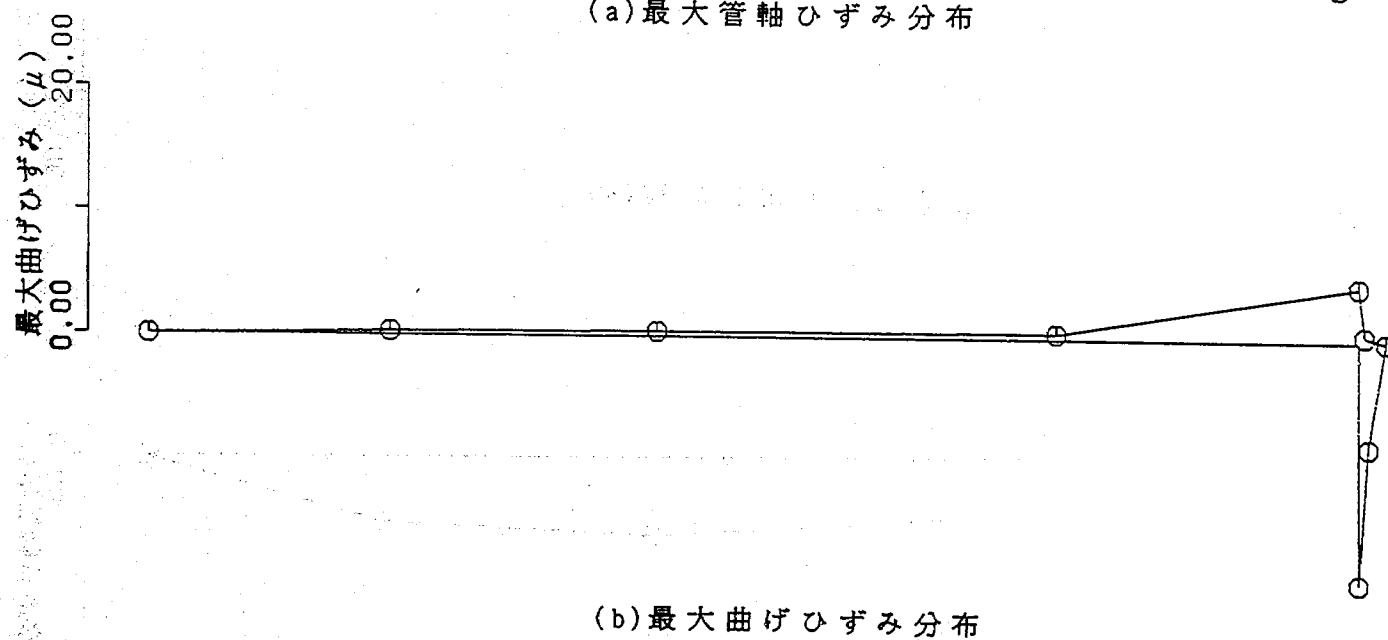
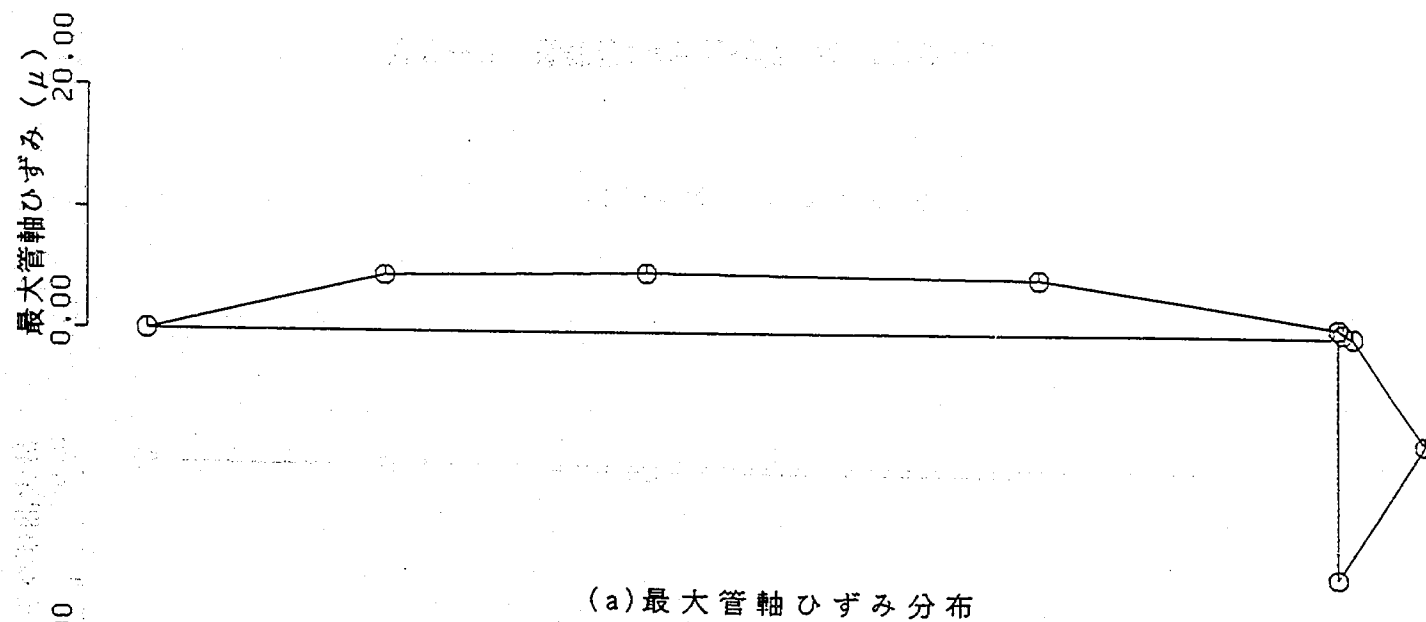


図3-8 連続管の最大ひずみ分布 (EQ-6)

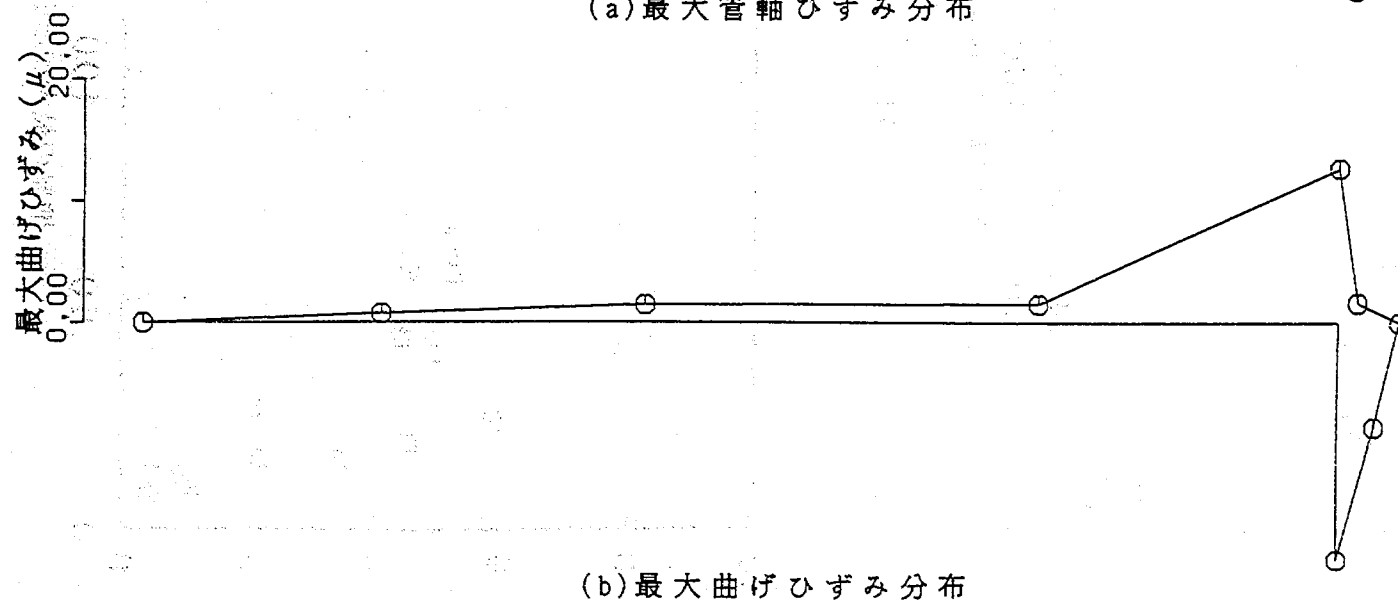
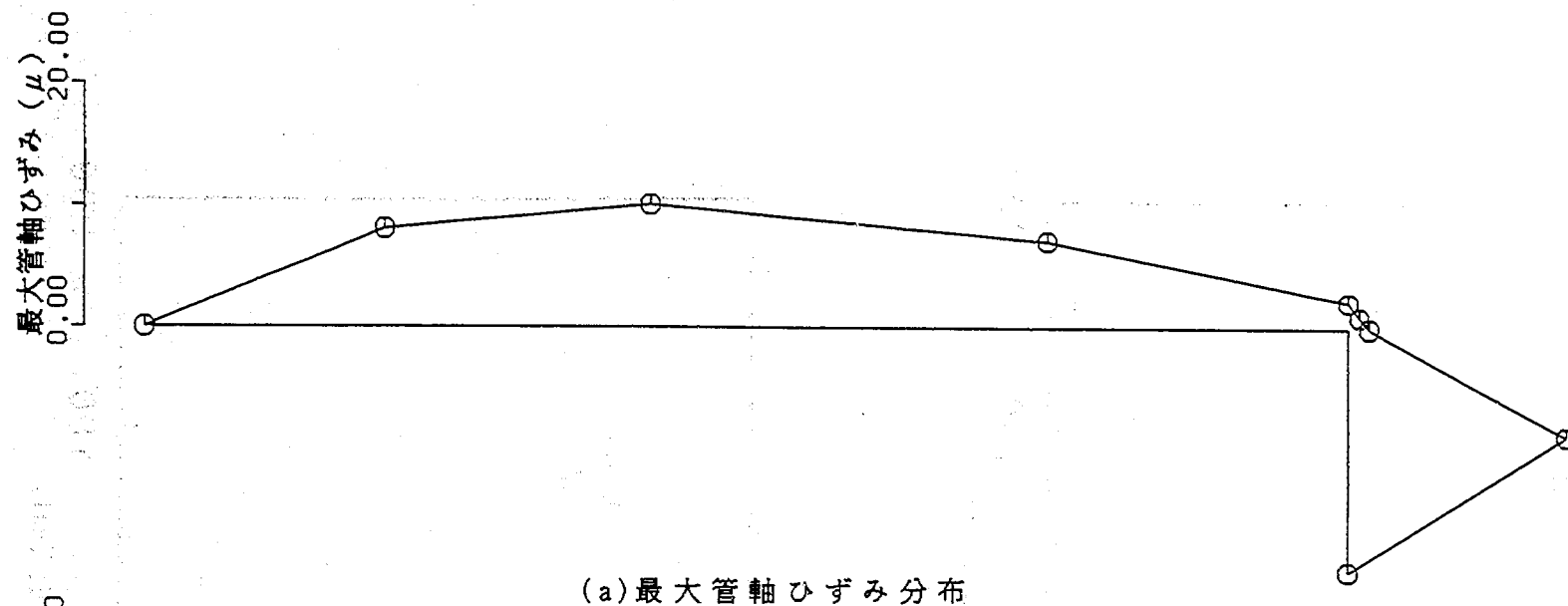
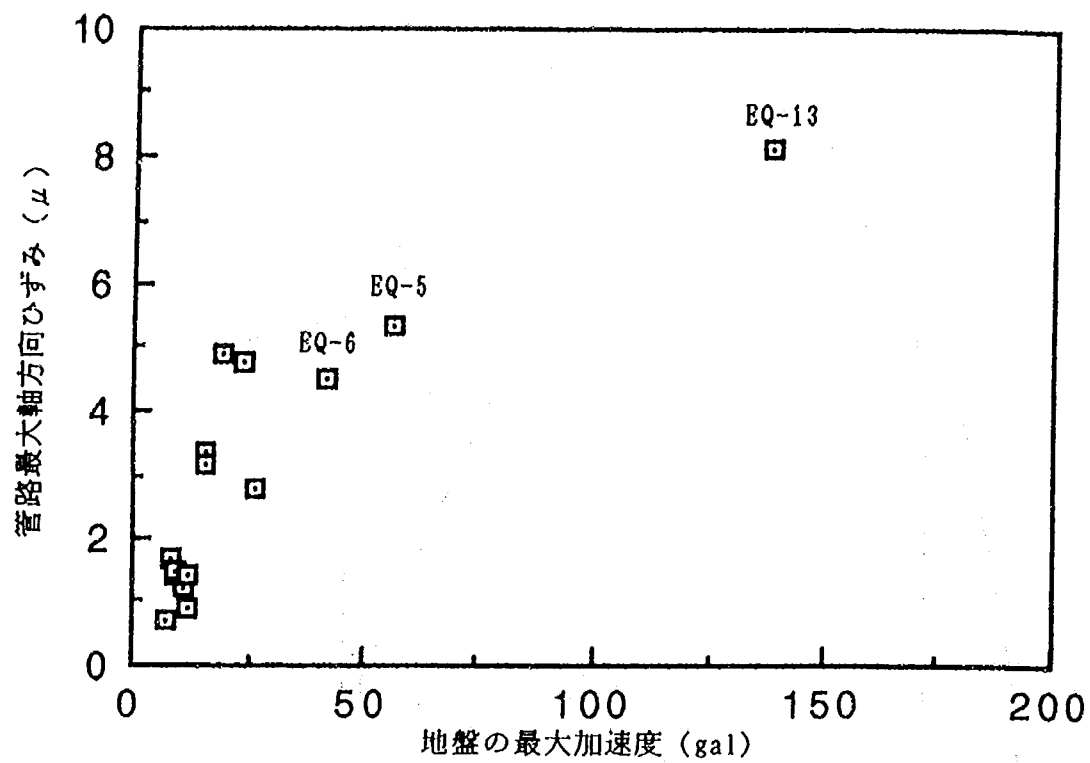
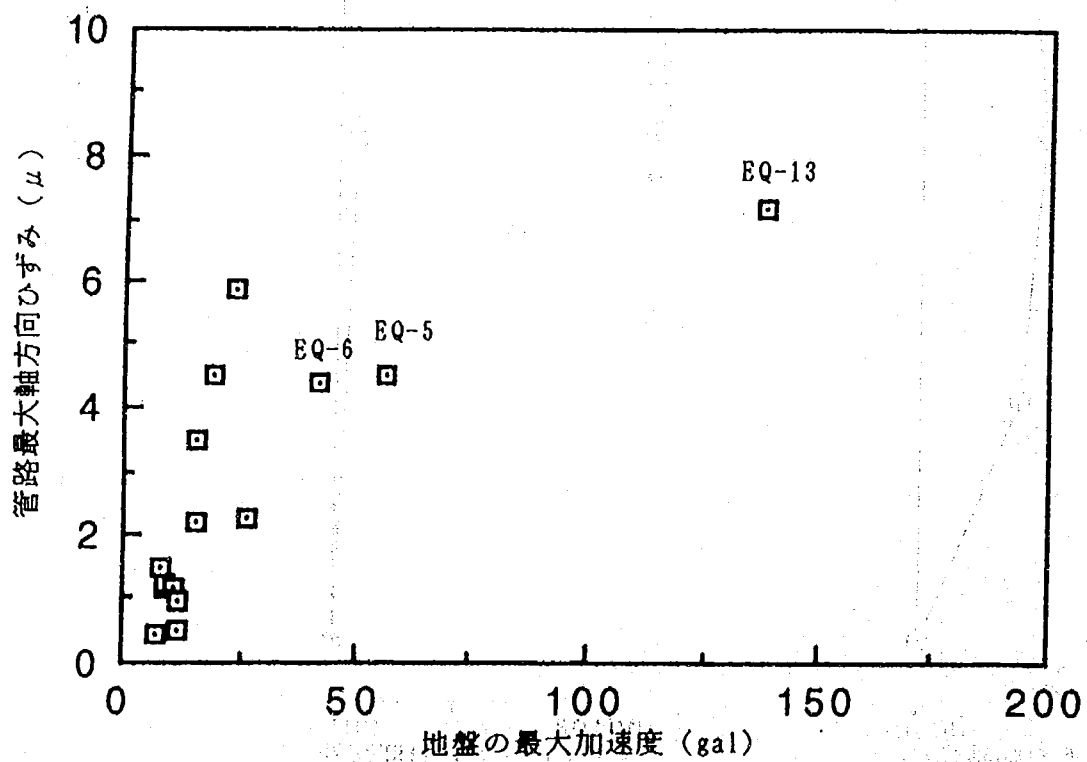


図3-9 連続管の最大ひずみ分布 (EQ-13)

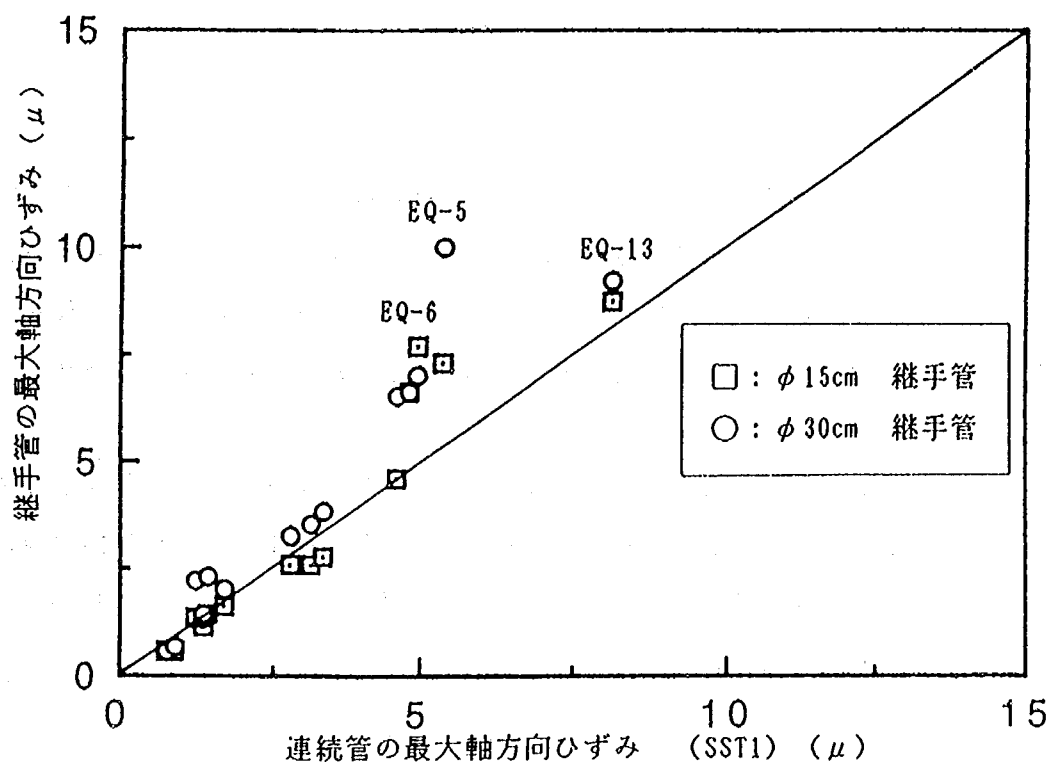


(a) S S T 1

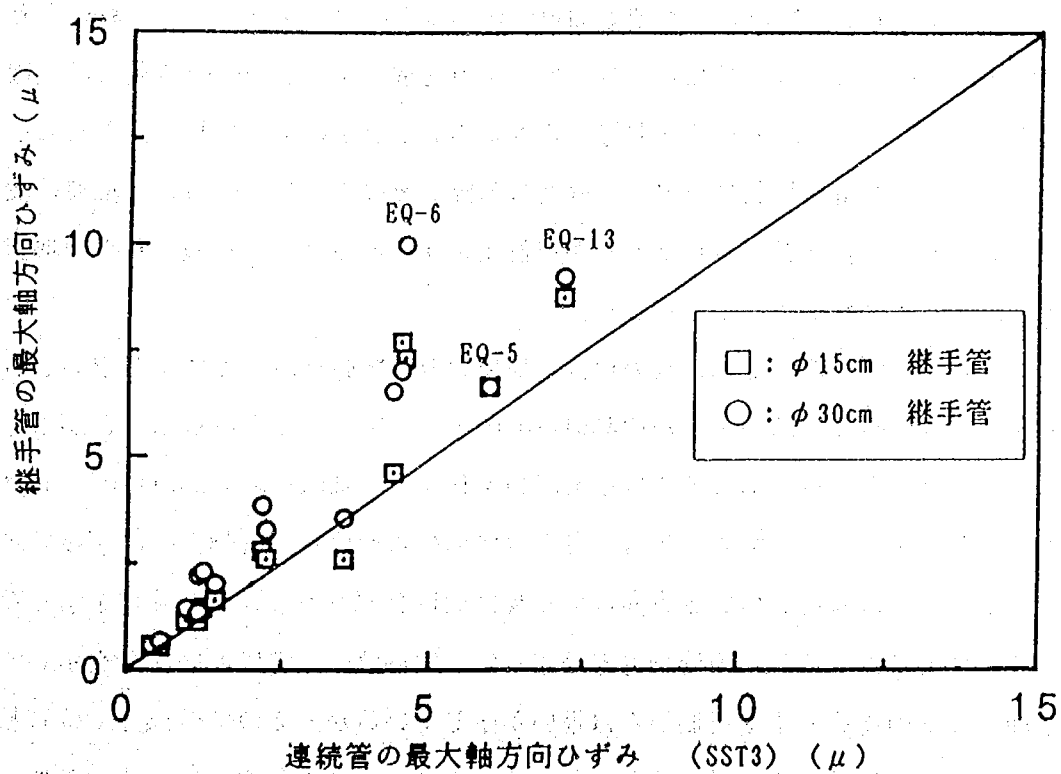


(b) S S T 3

図3-10 連続管の最大軸方向ひずみ地盤の最大加速度 (A点) の関係



(a) S S T 1



(b) S S T 3

図3-11 連続管と継手管の最大軸方向ひずみの関係

4. 地中埋設管路ひずみの解析

4.1 地盤ひずみの解析

埋設管路の地震時の変形は、地盤に生じる変形により支配されている。しかし、今までの観測では地震規模が小さく、本システムの地盤ひずみ計が作動するまでに至っていない。このため、地盤加速度の記録を基に、加速度の測定点内の平均的な地盤ひずみの解析を行うこととした。なお、解析にあたっては、前回と同様に図4-1に示す解析モデルを用いた。また、解析の手法は前回と同じであるため、ここでは省略する。

本観測システムにより観測されたEQ-5、EQ-6及びEQ-13の地震に対する各観測点における加速度記録から、観測点CAB、CBD、BDF及びCEFで囲まれた三角形内の地盤ひずみを求めたものが、図4-2～図4-4である。ただし、遮断振動数としては、 $f_{ll}=1/4\text{Hz}$ 、 $f_{lu}=1/3\text{Hz}$ 、 $f_{ul}=20\text{Hz}$ 、 $f_{uu}=2\text{Hz}$ とした。

4.2 地中管路ひずみの解析

地中管路に生じる変位は、地中埋設管路の動的解析プログラムDAST-TRAINを用いて算出した。このプログラムでは、観測された地盤加速度から地盤の変位を計算し、これにより管路を地盤によって弾性的に支持された梁と見なし、管路のひずみを解析する。今回の観測では、図4-1に示す管路の周辺の6点における地盤加速度記録から推定されるひずみを計算した。ただし、このプログラムでは、一般に地中管路を離散型モデルに置換する際、その節点位置において地盤の変位を計算するが、今回の解析では、管路周辺の6点でしか地盤変位が与えられないため、6点の地盤変位を用いて管路の節点位置の変位を求めることとした。

前回の報告により、実際の地盤ばね定数の値は、地盤のせん断弾性波速度により求める石油パイプライン法の値をかなり下回り、ばね定数が約 300tf/m^2 のときに実測結果と解析結果とがよく一致することが分かった。このことから、本解析では地盤ばねを任意に、 100tf/m^2 、 300tf/m^2 、 900tf/m^2 と仮定して解析を行った。図4-5～図4-7は、各定数における連続管の管軸方向ひずみを示したものである。また、このときの連続管の管軸方向ひずみ及び曲げひずみの最大値の分布を示した結果が、図4-8～図4-10である。これらの管軸方向ひずみは、実測値に非常に近い傾向を示している。曲げひずみは、曲がり部の前後でやや実測値とは違いが生じているが、その他の部分では管軸方向ひずみ同様近い傾向を示している。ここで、曲がり部の前後での実測値との違いは、曲がり部で曲げひずみの定義（ $\text{曲げひずみ}=(L-R)/2$ ）が適応していないため生じたと考えられる。以上の点を考慮して検討すると、今回も前回と同様に地盤と地中管路とを結ぶばねは、 300tf/m^2 程度の値が最も良いと言える。

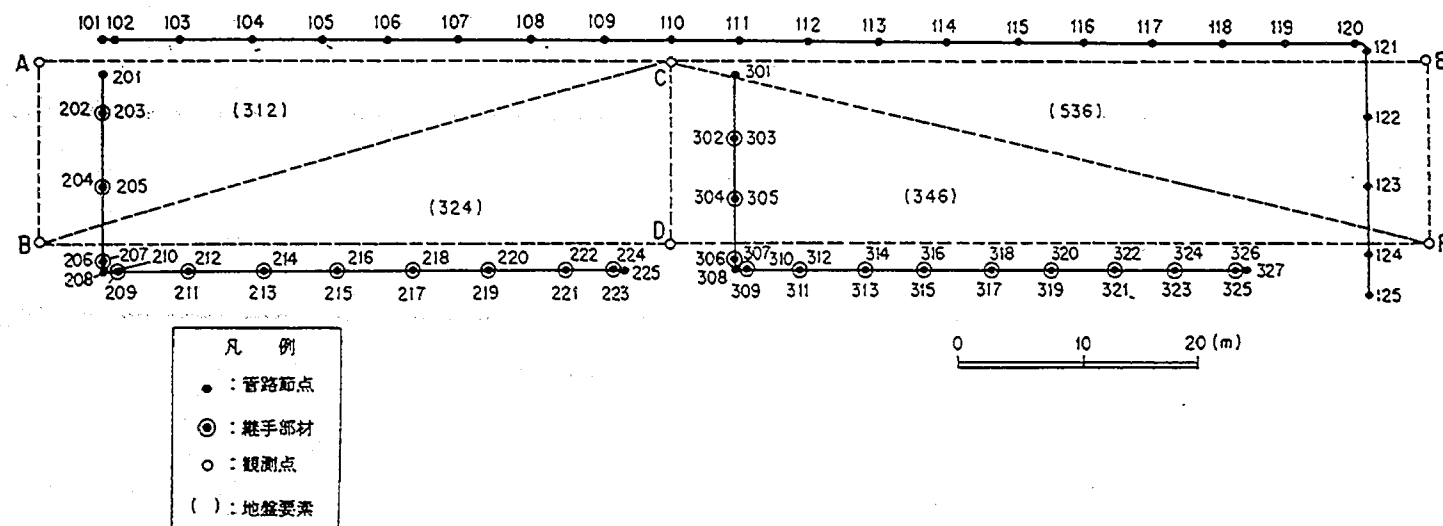


図4-1 地中管路のモデル化

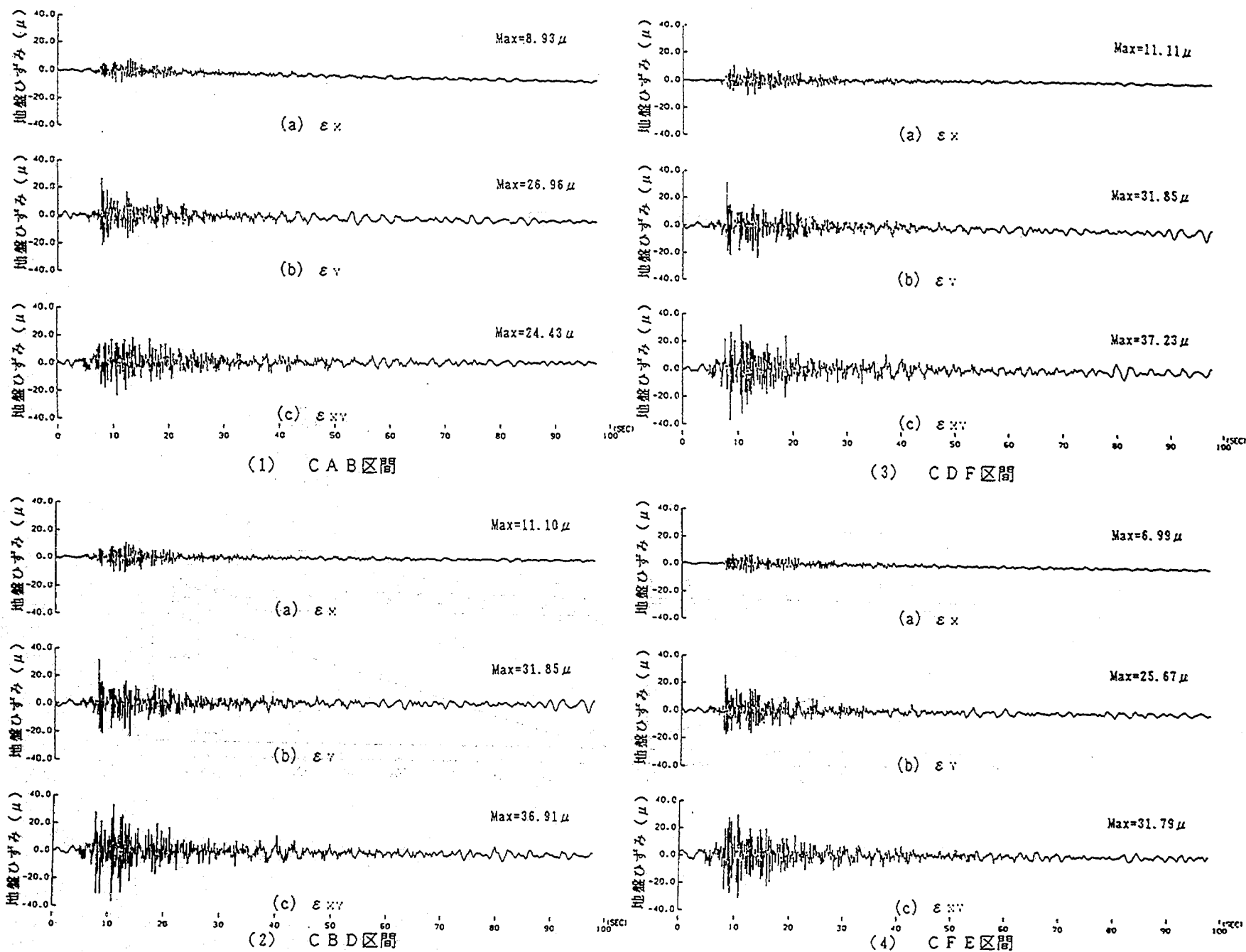


図4-2 加速度記録から計算した地盤ひずみ (EQ-5)

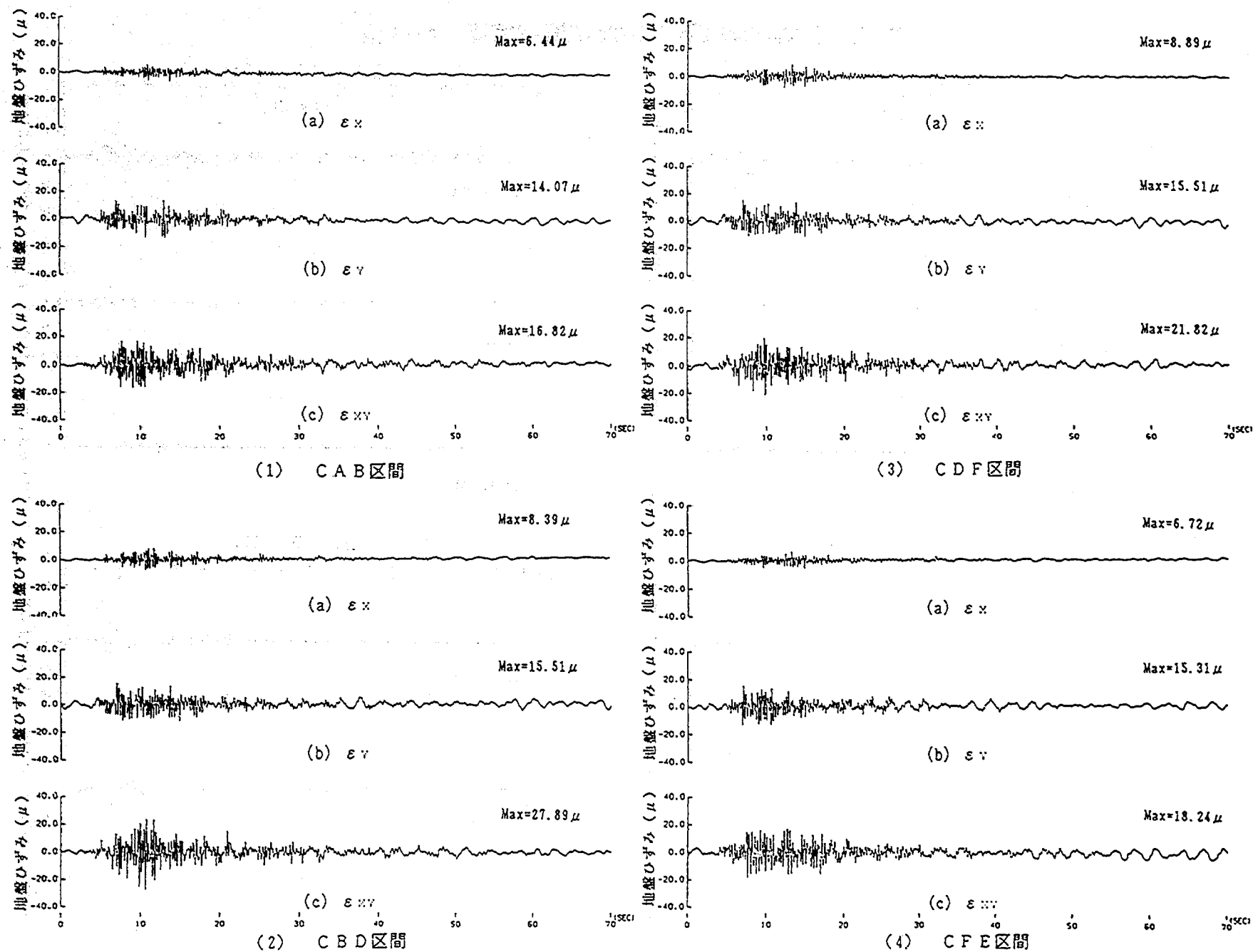


図4-3 加速度記録から計算した地盤ひずみ (EQ-6)

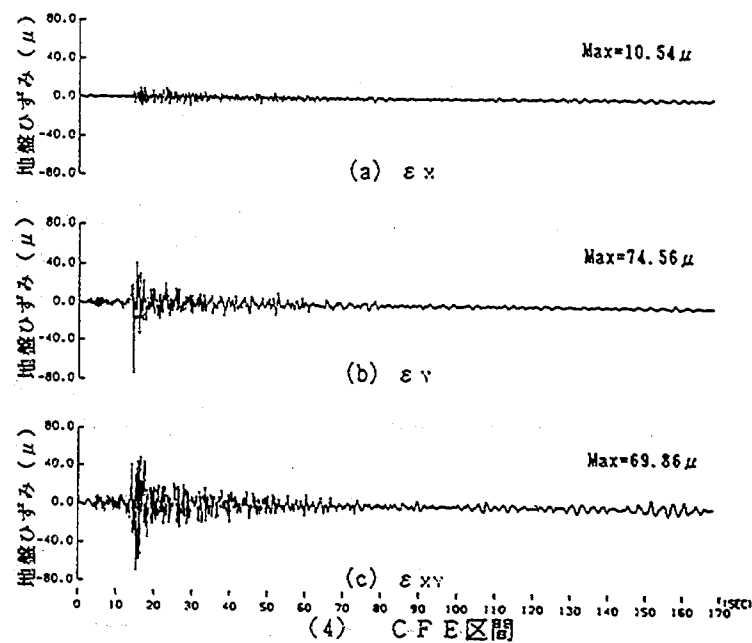
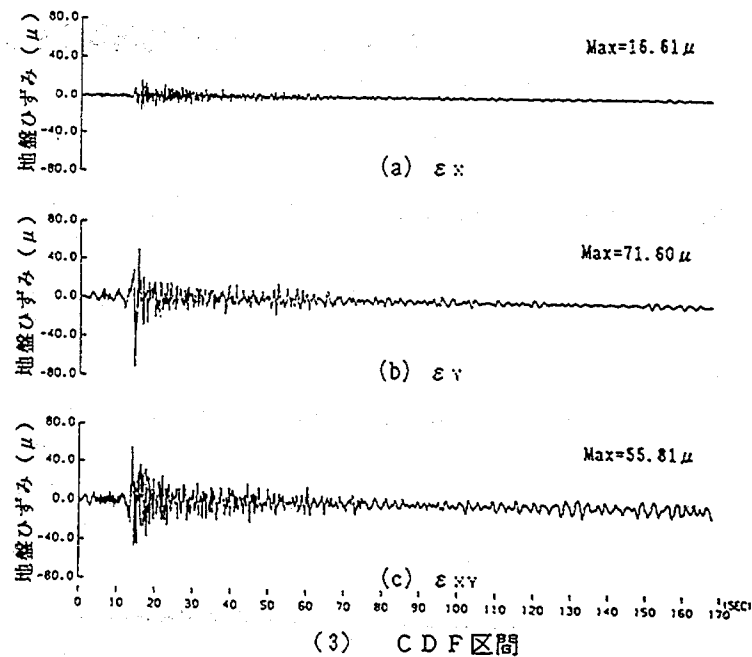
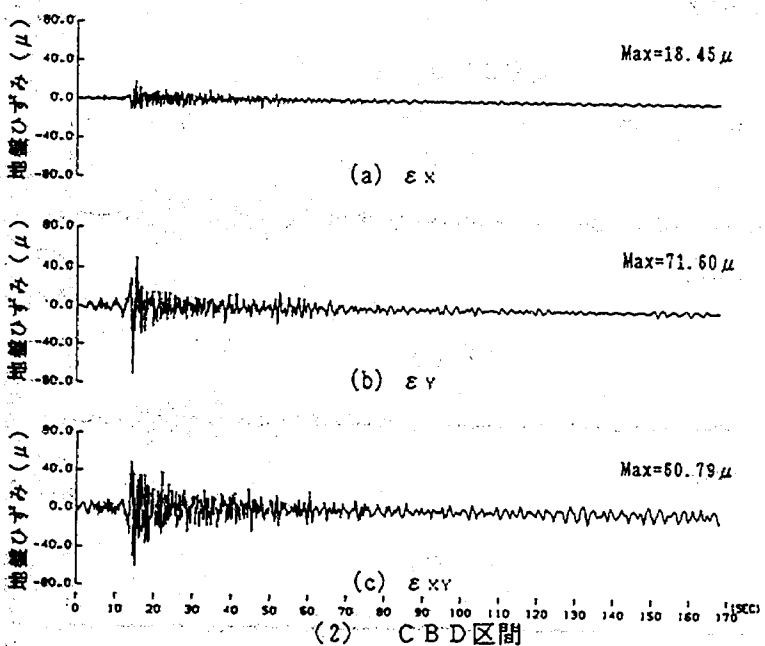
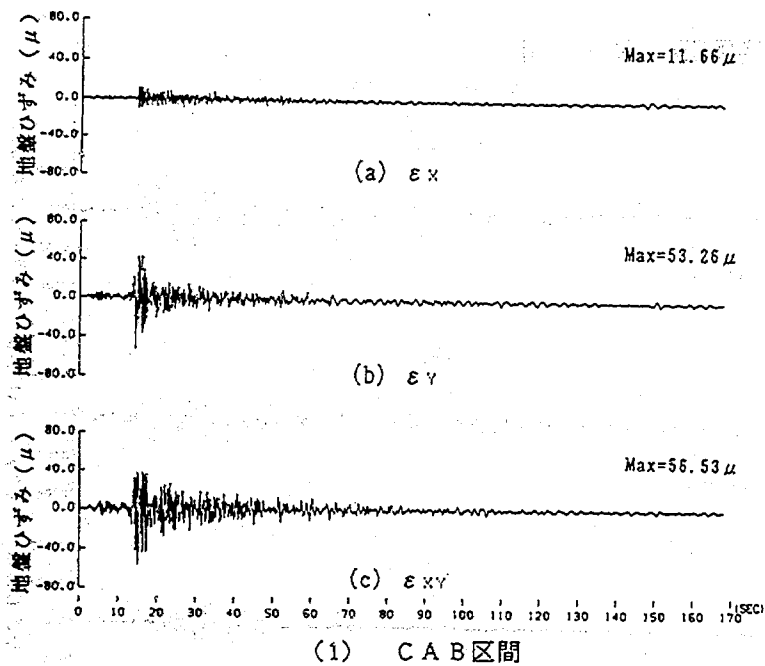


図4-4 加速度記録から計算した地盤ひずみ (EQ-13)

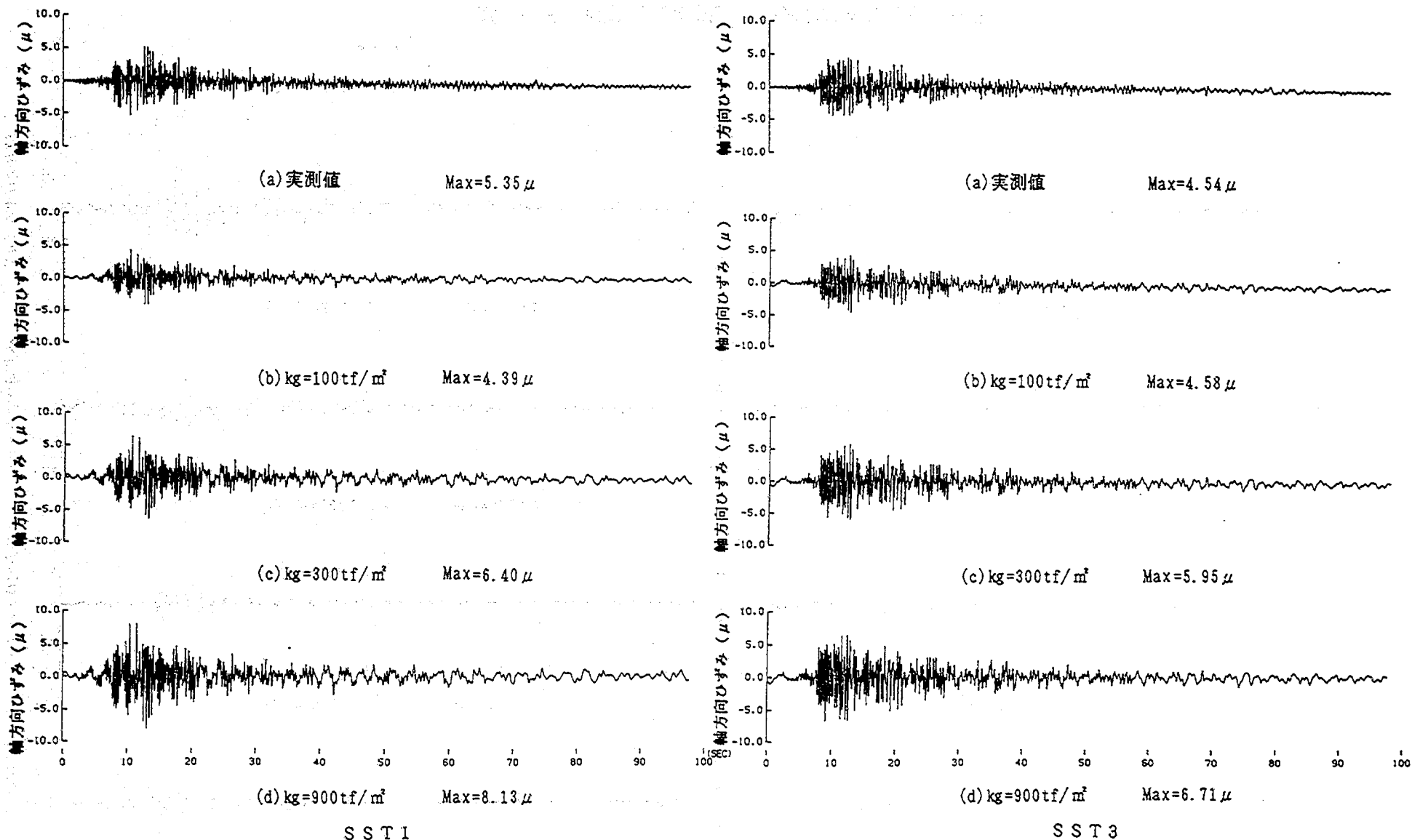


図4-5 解析による管路の軸方向ひずみ (EQ-5)

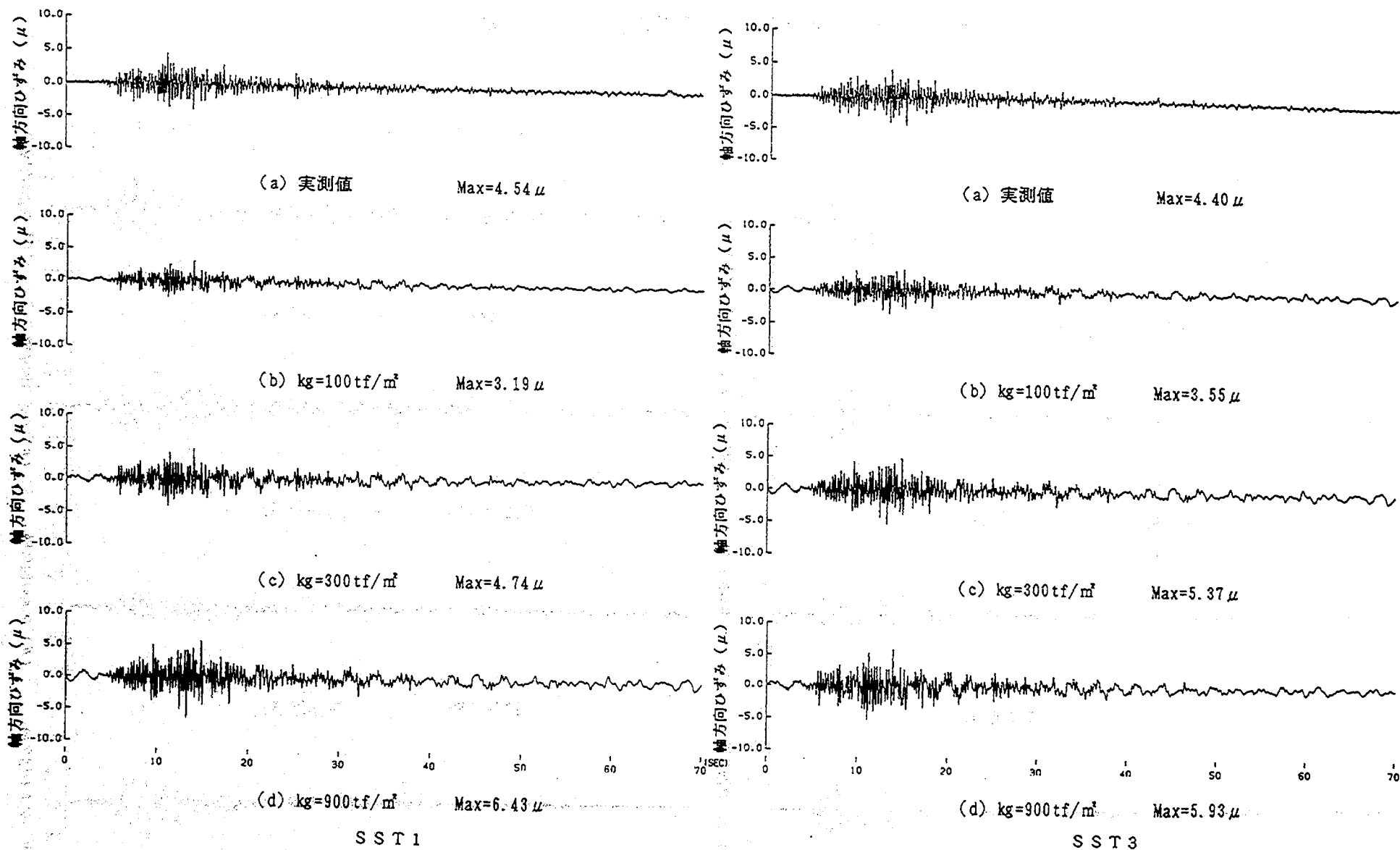
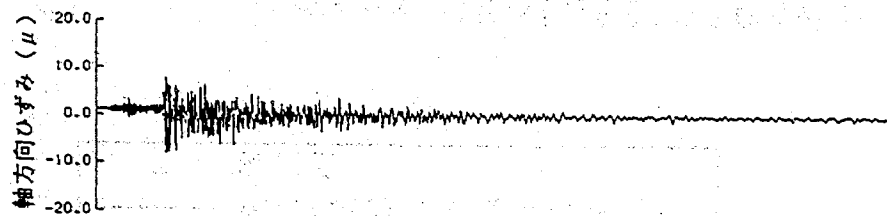
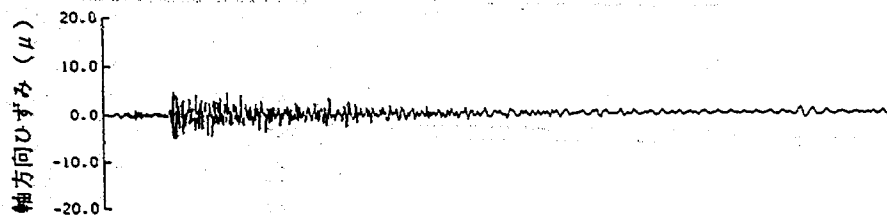


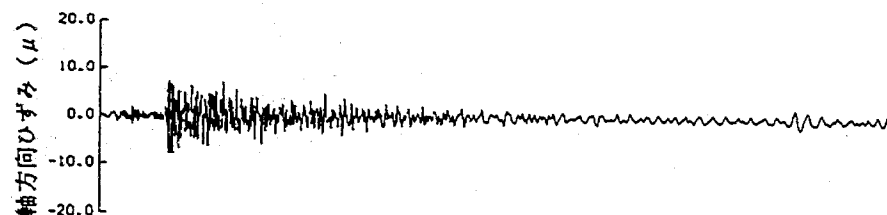
図4-6 解析による管路の軸方向ひずみ (EQ-6)



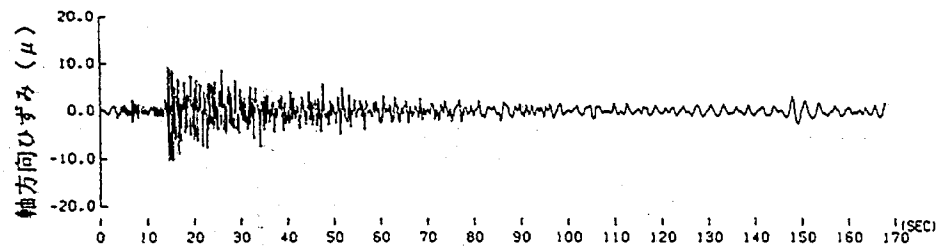
(a) 実測値 Max=8.13 μ



(b) $kg=100 \text{ tf/m}^2$ Max=5.13 μ

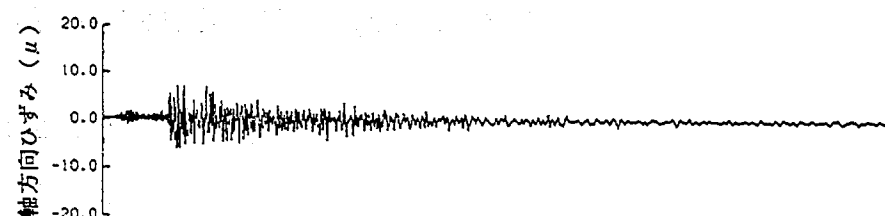


(c) $kg=300 \text{ tf/m}^2$ Max=8.00 μ

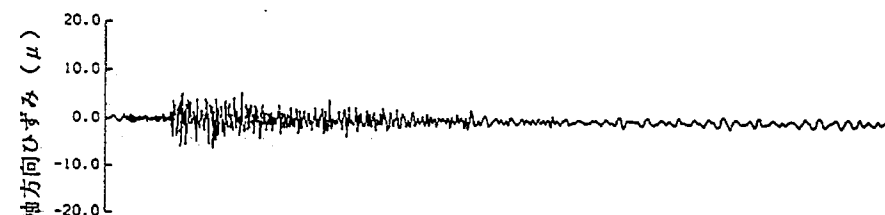


(d) $kg=900 \text{ tf/m}^2$ Max=10.46 μ

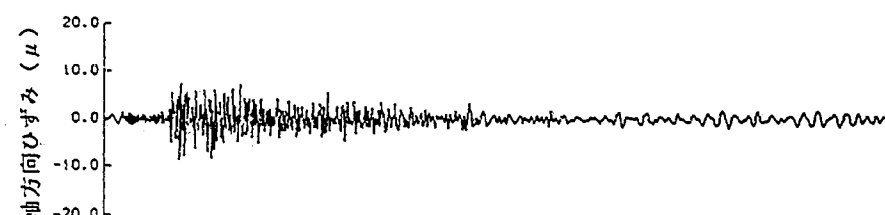
S S T 1



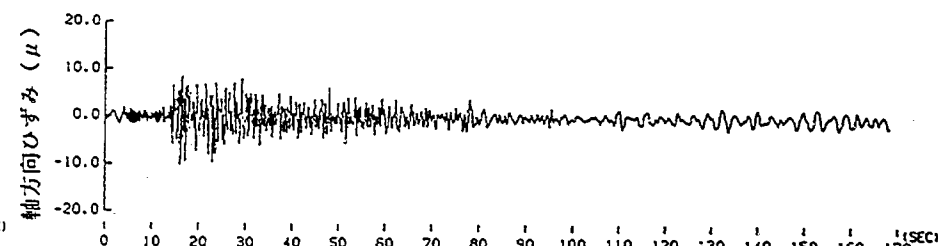
(a) 実測値 Max=7.18 μ



(b) $kg=100 \text{ tf/m}^2$ Max=6.29 μ



(c) $kg=300 \text{ tf/m}^2$ Max=8.65 μ



(d) $kg=900 \text{ tf/m}^2$ Max=10.12 μ

S S T 3

図4-7 解析による管路の軸方向ひずみ (EQ-13)

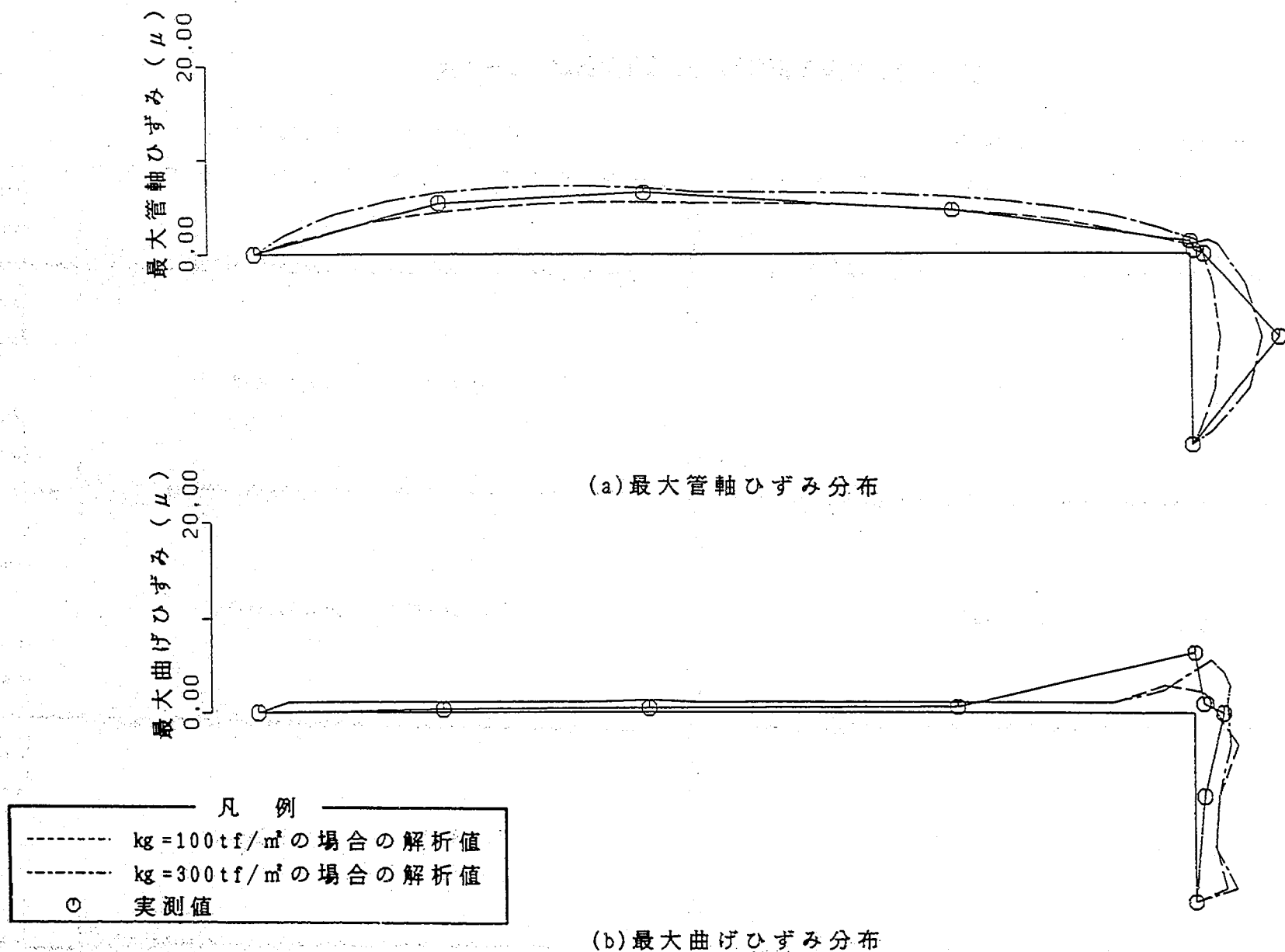
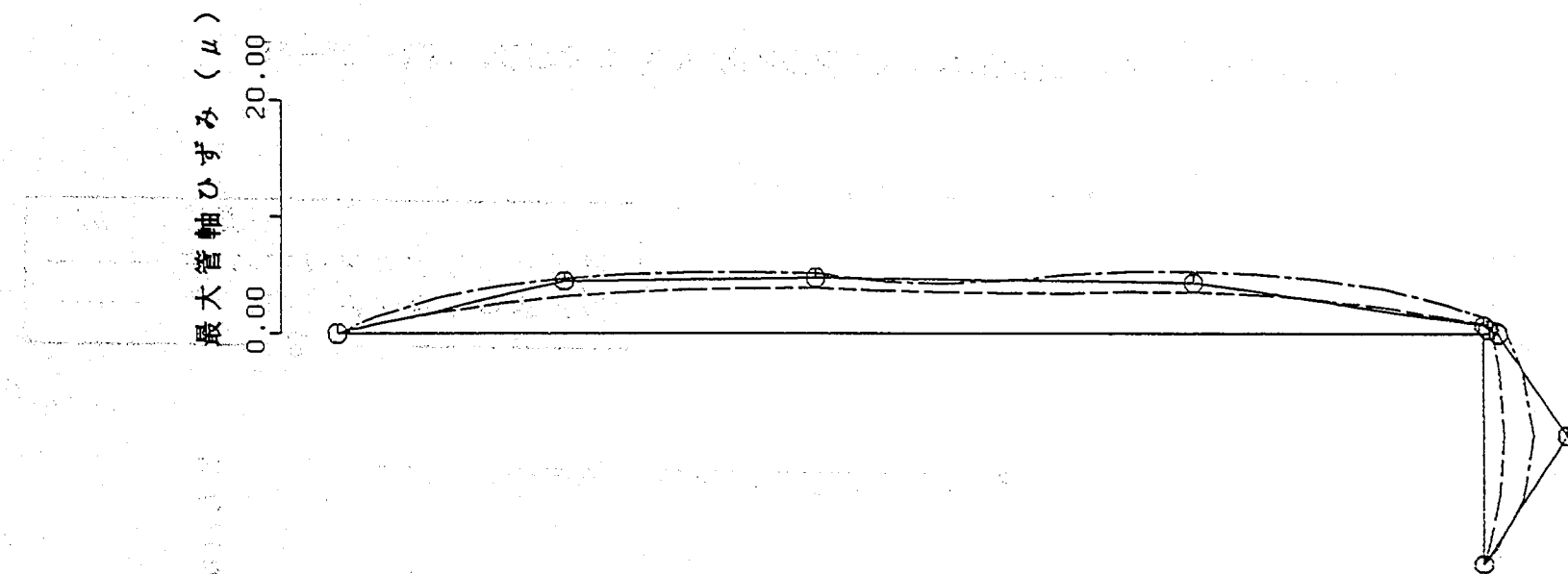
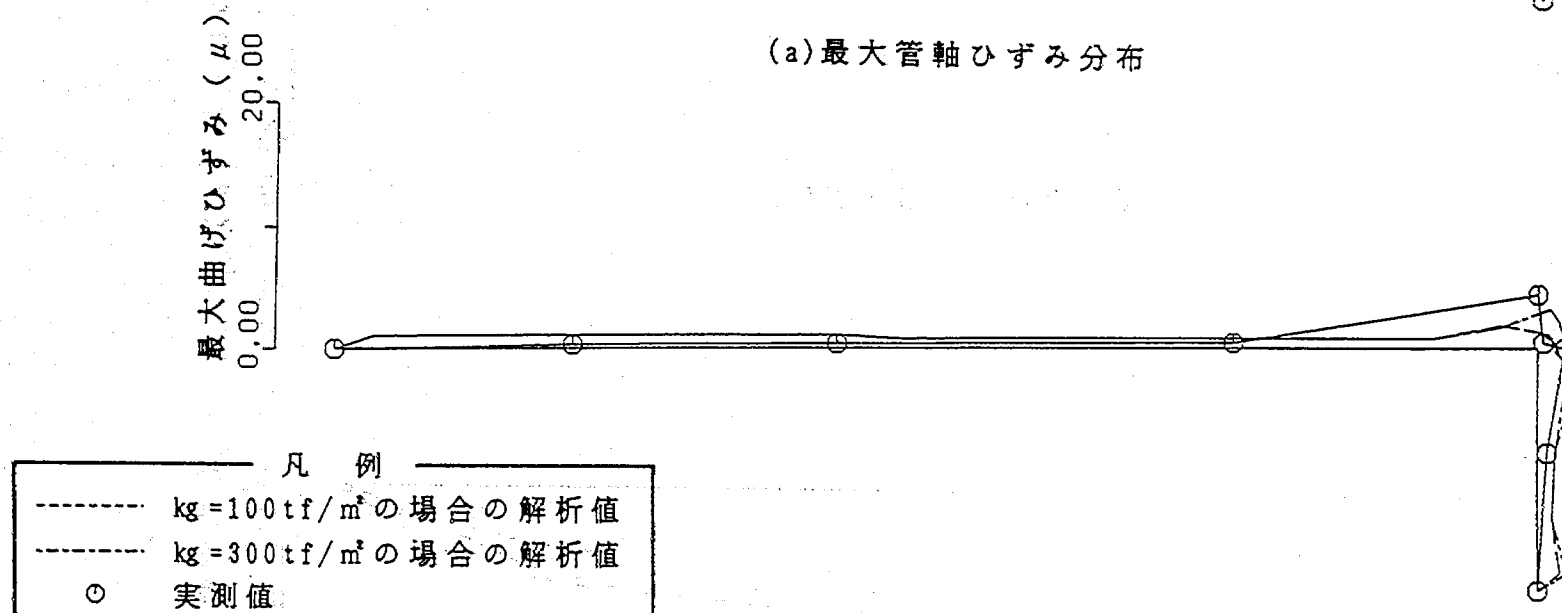


図4-8 地盤バネ定数を100, 300tf/m²と仮定した場合の連続管の最大ひずみ分布 (EQ-5)



(a) 最大管軸ひずみ分布



(b) 最大曲げひずみ分布

凡 例	
-----	kg=100tf/m ² の場合の解析値
-----	kg=300tf/m ² の場合の解析値
○	実測値

図4-9 地盤バネ定数を100,300tf/m²と仮定した場合の連続管の最大ひずみ分布(EQ-6)

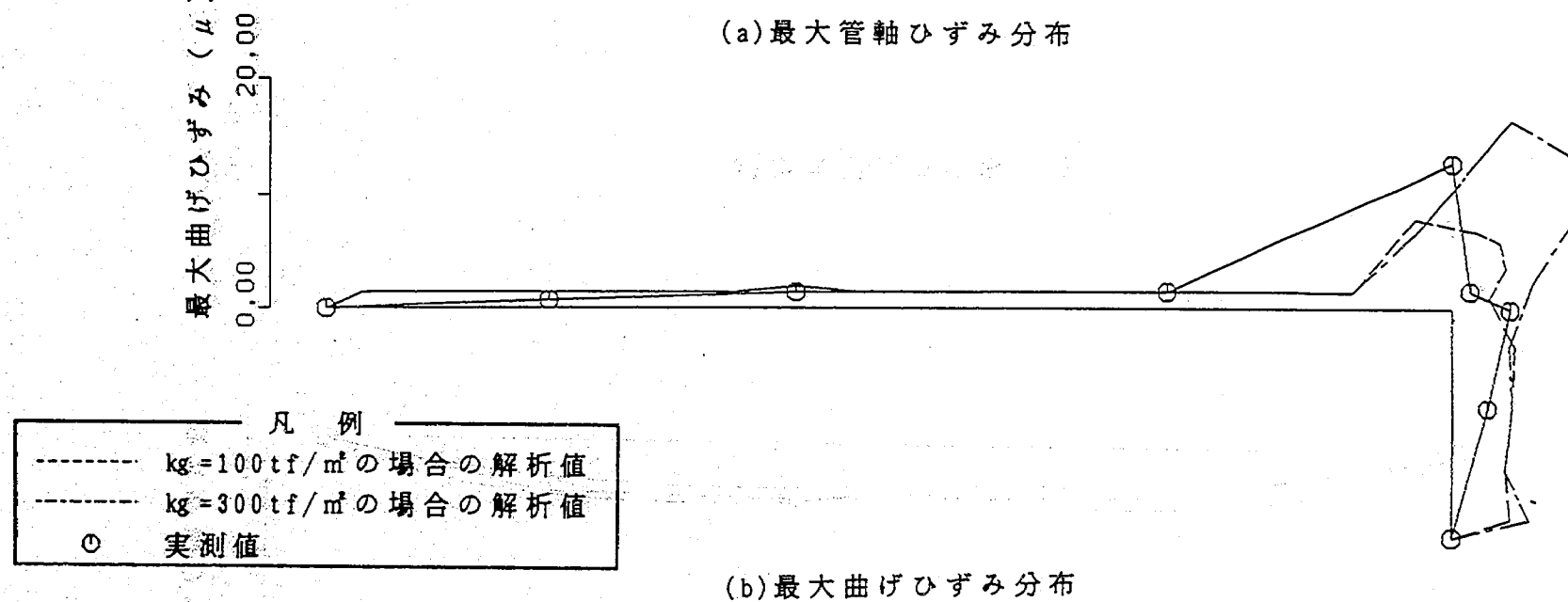
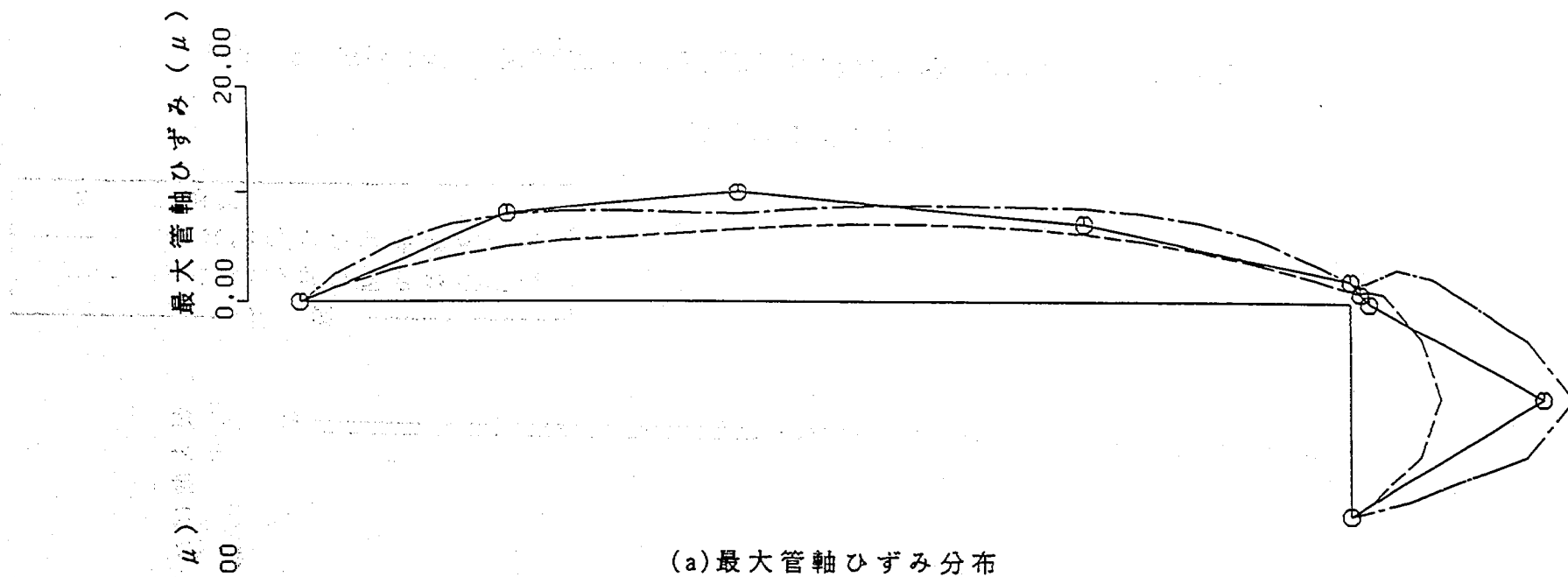


図4-10 地盤バネ定数を100, 300tf/m²と仮定した場合の連続管の最大ひずみ分布 (EQ-13)

5. 結 論

地中構造物の動的耐震設計の開発を目的として、平成2年度に引続き、地中管路の地震観測を行うと同時に記録の解析を行った。今回は、前回に比べて規模の大きな地震の観測記録が得られたが、その数は少ないため、十分な検討が行われたとは言い難い。今後はさらに規模の大きな観測記録を充実させていく必要がある。今回の地震観測による解析結果を以下に示す。

- 1) 管路の直線部に生じるひずみは、曲げひずみに比べて軸方向ひずみの方が大きな値を示しており、直線部の耐震設計を行う上では、軸方向ひずみが重要となる。
- 2) 連続管上の約5.5m離れた2点間での軸方向ひずみの波形は、微妙な違いがあり、管路が長手方向に同一に振動しているとは言えない。
- 3) 曲がり部での曲げひずみは、直管部に比較して非常に大きな値を示している。特に、地震の規模が大きくなると、その値は軸方向ひずみと同程度の大きな値になる。
- 4) 今回の解析では、ある程度大きさにばらつきがあり、連続管及び継手管の最大軸ひずみと地盤の最大加速度の間の相関関係を示してみたが、あまりデータにまとまりがなく、関係式を推定する段階には至っていない。
- 5) 動的解析の結果による地盤ばね定数は、前回と同様 300tf/m^2 となり、石油パイプライン法等による値と比較すると、約 $1/10$ とかなり小さな値であることが明らかとなった。
- 6) 管径及び継手の影響については、今後観測記録の蓄積を充実させた上で検討を進めていく必要がある。

本報告書の作成にあたり、豊橋技術科学大学第6工学系川邊裕晃氏には、多大な御協力を得まして、ここに記して厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 日本道路協会：共同溝設計指針、昭和63年3月
- 2) 建設省土木研究所地震防災部：共同溝耐震設計要領（案）、土木研究所資料、第2144号、昭和59年10月
- 3) 開発問題研究所：技術マニュアル（案）解説キャブシステム、昭和61年2月
- 4) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説、昭和54年12月
- 5) 日本道路協会：石油パイプライン技術基準（案）、昭和49年6月
- 6) 川島一彦、高木義和、相沢 興：数値化精度を考慮したSMAC-B₂型強震計記録の計器補正法及び変位計算法、土木学会論文報告集、第325号、昭和57年9月
- 7) 田村敬一、川島一彦、相沢 興、高橋和之：地震時地盤ひずみの解析を目的とした個別記録方式による変位計算法、土木学会論文集、第329号、昭和63年4月
- 8) 大久保忠良、荒川直士、川島一彦：地震時の地盤ひずみの解析、土木技術資料、Vol.24-11、昭和57年11月
- 9) Tadashi ARAKAWA、Kazuhiko KAWASHIMA and Keiichi TAMURA：Finite Ground Strains Induced During Earthquake for Application to Seismic Design of Underground Structures, 5th International Conference on Numerical Methods in Geomechanics, April 1985, Nagoya, Japan
- 10) 大久保忠良、荒川直士、川島一彦：地震動の箇所別の違いが構造物の地震応答に及ぼす影響、土木技術資料、Vol.24-10、昭和57年1月
- 11) 荒川直士、川島一彦、相沢 興、高橋和之：地下埋設管路の耐震設計と設計地震入力、土木研究所資料、第1764号、昭和57年1月
- 12) 川島一彦、大日方尚巳、志波由紀夫、加納尚史、手塚茂樹、高津和義：沈埋トンネルの耐震性に関する研究－（その2）東京湾トンネルにおける地震観測記録の解析－、土木研究所資料、第2261号、昭和60年10月
- 13) 小軽米松太郎、北条貞宗、松井祥己：八戸市白山浄水場内配管に於ける耐震ダクタイトイル管路の地震時挙動、第5回日本地震工学シンポジウム講演集、昭和53年11月
- 14) 小軽米松太郎、北条貞宗、塚本利行：八戸市白山浄水場系配水幹線の耐震ダクタイトイル管路の地震時挙動観測、第5回日本地震工学シンポジウム講演集、昭和53年11月
- 15) 西尾宣明、寺嶋忠雄、塚本克良：地中埋設管の地震時挙動に関する研究、第5回日本地震工学シンポジウム講演集、昭和53年11月
- 16) 矢作 枢、西山啓伸、浜田政則、泉 博允：沈埋トンネルの地震観測と数値解析、第5回日本地震工学シンポジウム講演集、昭和53年11月
- 17) 田村重四郎、岡本舜三、加藤勝行：トンネルの地震観測、第5回日本地震工学シンポジウム講演集、昭和53年11月

- 18) 大石 博、関口宏二：埋設管路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、昭和57年12月
- 19) 岩本利行、若井伸彦、山路忠雄：耐震ダクタイトイル管路の地震時挙動観測（地盤ひずみと伝播速度）、第6回日本地震工学シンポジウム講演集、昭和57年12月
- 20) 佐藤 彦、中村正博、岩本利行、大保直人：地震動と埋設管のひずみに関する実測的検討、第7回日本地震工学シンポジウム講演集、昭和61年12月
- 21) 川島一彦、長島博之：実測による地中埋設管路の地震時挙動及びその解析、土木研究所資料、第2915号、平成2年10月

地震時挙動及びその解析（その2）

中島 燈

キーワード：地中埋設管路、地震時挙動、管軸方向ひずみ、曲げひずみ、地盤ひずみ、地盤ばね定数



3 0 5 -

切手を
はって
下さい

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

地震防災部耐震研究室行

No. 001

No. 001

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第3300号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印