

(20) 千葉実験所における地震動観測

— その 1 観測の概要と記録一覧 —

東京大学生産技術研究所 ○片山 恒雄
東京測振㈱ 佐藤 暢彦
東京大学生産技術研究所 永田 茂

1. まえがき

東京大学生産技術研究所の千葉実験所構内で、地震動の高密度アレー観測を開始したのは、1982年4月である。その後、地盤ひずみ計、埋設管ひずみの観測システムを追加し、アレー観測網を拡張して現在に至っている。もともと、埋設管のような地中構造物の地震時応答が地盤のひずみに強く関係しているにもかかわらず、地震時の地盤ひずみの実測例がほとんど無かったことから、きわめて密に配置した地震計アレーによって、地盤ひずみに関する基礎的情報を得ることを目的としたものであった。観測を続けるうちに、地震動によって地盤内に発生するひずみは、一般に構造物に被害を生じさせるレベルには達しないことが明らかとなったが、3次元アレーから得られる良質の地震記録そのものが地震工学にとってきわめて重要な財産となり始めた。特に、1987年12月17日のM6.7千葉県東方沖地震の際に、地表付近の多数の地震計が最大加速度300~400ガルの記録を残したことがきっかけとなり、国内外の機関から研究等の目的のためにデータ提供を求められることが増えている。

2. アレーの概要と現状

図-1は高密度アレー観測網の概要、図-2は地盤ひずみ計、埋設管の管体ひずみ計等の設置状況を示したものである。表-1に、1989年3月15日現在における地震計・ひずみ計の稼働状況をまとめた。観測孔C0からP6までのアレーは1982年4月に稼働し始め、地盤のひずみ計および地下埋設管の観測は同年12月から続いている。観測孔P7からP0の8組の加速度計は、図-1のアレーを一辺約300mの三角形でとり囲むように設置し、1985年9月から観測を開始した。しかし、これらの地震計は、落雷によると思われる原因で故障したため、地下1mのものについては再埋設したにもかかわらず、現在また稼働していない。初期のネットワークが全く故障なく作動し続けていることを考えると、追加分のアレーには何か特殊な状況があるものと思われるが、原因は明らかでない。これらに加えて、図-1の観測室内において、村松式速度型地震計(3成分)および気象庁52C型1倍強震計(3成分)を、アレー観測に使用している加速度計と並置し1985年12月から観測を続けている。観測体制等に関しては、文献1)~3)に詳しい。

3. これまでに得られた記録

観測孔C0を中心とした観測を開始してから丸7年を経過した。アレー観測網は、観測孔C0の地表面下40mの加速度計のいずれかの成分が 1 cm/s^2 を超えるとその時点から1.5秒さかのぼって、0.05秒きざみで地震動を記録する。関東南部では、これくらいの地震は平均して1年に20回前後発生するので、7年間に記録された地震の総数は150を超えた。記録は、共通の絶対時刻入りで、デジタル・レコーダにとり込まれる。C0の地下40mの加速度成分のいずれもが 1 cm/s^2 以下となって30秒を経過すると、記録を終了する。1回の地震で150成分以上の記録が得られ、記録時間が数分を超えるものも珍しくないで、これまでの記録量はすでに膨大なものとなった。観測開始の直後は、ともかく記録をとることに重点をおいたため、地下40mで 1 cm/s^2 以上という基準を定めたのであるが、今となっては小さな記録にはあまり興味がなくなってきた。しかし、大きなシステムでは、「気が付かないうちに故障」していて、せつかくの強震動のときにシステム・ダウンが起こらないことを確認する目的もあって、現在も微小地震動を含めて観測を続けている。

1989年3月までに得られた加速度記録のうち、観測孔C0の地表面下1mにおける水平方向のいずれかの成

分の最大加速度が20ガルを超えた記録の一覧表を表-2にまとめて示した。8つの地震においては最大加速度が50ガルを超えているが、1987年千葉県東方沖地震の記録が群を抜いて大きい。

図-3は、1988年3月18日に東京都東部に発生した比較的浅い地震による観測波形の一部を示したものである。上の3つは観測孔C0(-1m)の3成分記録、下の2つはダクトイル鋳鉄管の管体表面の左右に貼ったひずみゲージの管軸方向の記録である。鋳鉄管は直径20cm、1本の長さ5mであり、管体ひずみを測定している管の両端には耐震用の伸縮可とう継手が設けられており、これら継手部分の伸縮量も測定している。伸縮可とう継手は、強い地動を受けると、大きな抵抗力を示さずに変形し、管体に生じるひずみを吸収する。

図-3に示した程度の地震動では、加速度記録が強い揺れを示し始めるとわずかに動くものの、摩擦によってそれ以上動かなくなる。したがって、管体ひずみにもわずかな永久ひずみが残る(図-3)。これに対し、強い地震動を受ける場合には、かなりフリーに伸縮し続け、管体に伝わるひずみを軽減する。1987年千葉県東方沖地震の記録は、この傾向をはっきりと示していた。これまでも、地盤ひずみ・管体ひずみの観測記録の解析結果をいくつか発表してきたが(5,6,7)、波形レベルまで戻った総合的な検討は今後の課題として残されている。

図-4~6は、これまでにアレー記録が得られた地震のうち、その諸元が明らかなものについて、概略の性質を示したものである。マグニチュード4~6、震央距離100km未満、震源深さ80km未満のものが大半を占めている。きわめて狭い地区内のアレー観測であるから、小さな地震は当然完全には捕捉されていない(図-5)。図-6をみると、比較的近くの地震は小さくて震源深さも浅いのにに対し、マグニチュード7程度以上の遠くの地震には震源深さの大きいものが多い。

4. まとめ

東京大学生産技術研究所千葉実験所の高密度アレーにより、これまで7年間にわたり続けてきた地震観測の概要を紹介した。地表面最大加速度 20cm/s^2 以上の記録も30個以上となり、工学的にも意味のあるデータベースができつつある。しかし、一方では、記録成分数が膨大なため、せつかくの記録を十分に活かしていないきらいがあり、今後さらにいろいろな方面から検討を続けてゆくつもりである。

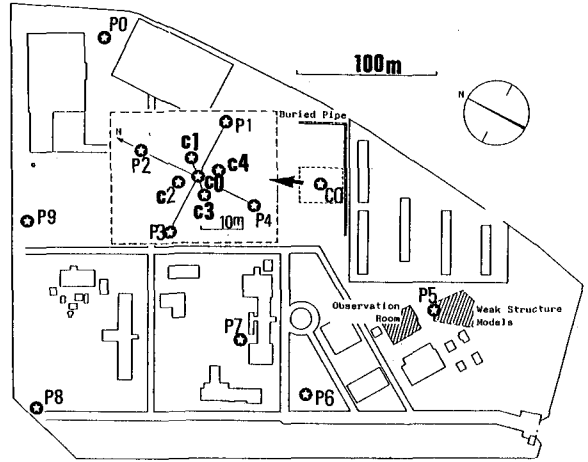


図-1 高密度アレー観測網

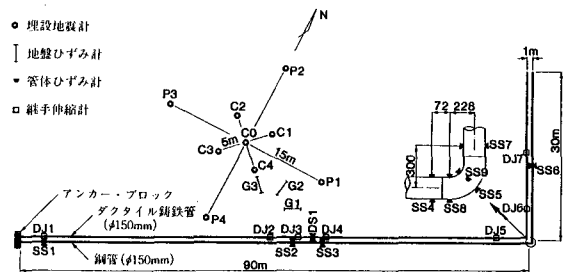


図-2 地震計、地盤ひずみ計、管体ひずみ計の設置状況

表-1 地震計、ひずみ計の稼働状況

深 (m)	観 測 孔														
	C0	C1	C2	C3	C4	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P0
1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●
5	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
40	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

備考：○作動している計器、●故障している計器（'89/3/15現在）

位置	観 測 点										
	SS1	SS2	SS3	SS4	SS5	SS6	SS6D	SS7	SS8	SS9	DS1
右(上)	●	●	○	○	●	○	○	○	○	○	○
左(下)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

位置	観 測 点								
	G1	G2	G3	DJ1	DJ2	DJ3	DJ4	DJ5	DJ6
	○	●	○	○	○	○	○	○	○

備考：○作動している計器、●故障している計器（'89/3/15現在）

参考文献

- 1)佐藤暢彦・片山恒雄:地震動と地盤ひずみの観測,生産研究,35巻9号,1983年9月。
- 2)佐藤暢彦・片山恒雄・ジ・サムソド・ファルジ・ユ・デー:地震動と地盤ひずみの観測(II),生産研究,36巻9号,1984年9月。
- 3)地震動の工学的距離相関特性に関する実証的研究,昭和60年度科学研究費補助金(一般研究A)研究成果報告書,研究代表者 片山恒雄,1986年3月。
- 4)Katayama, T and N. Sato: Strong-Motion Records of the Chibaken-Toho-Oki Earthquake of December 17, 1987, Bulletin of Earthq. Resistant Structure Research Center, No. 21, March, 1988.
- 5)Farjoodi, J. and T. Katayama: Application of Dense Seismograph Array Data to Evaluate Engineering Properties of Strong Ground Motions, 第7回日本地震工学シンポジウム, 1986年12月。
- 6)Katayama, T, J. Farjoodi and N. Sato: Measurement of Seismic Ground Strain by a Dense Seismograph Array, Proc. 8WCEE, July, 1984.
- 7)N. Sato, T. Katayama, M. Nakamura, T. Iwamoto, and N. Ohbo: Observation of Seismic Ground Motion and Buried Pipe Strain in a Very Dense Seismometer Array, Proc. 9WCEE, March, 1989.

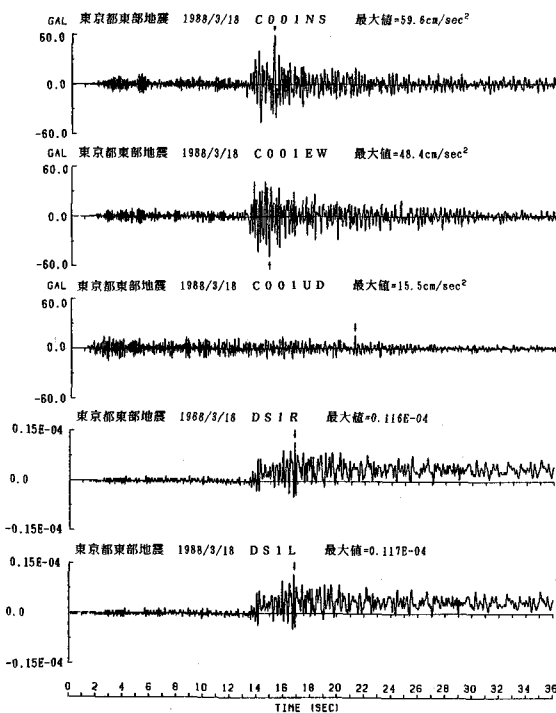


図-3 東京都東部地震(1988/3/18)の加速度記録とひずみ記録

表-2 地震記録一覧表(1982年から1989年3月までの最大加速度20 cm/sec²以上)

No.	地震記録				震央位置		深さ (km)	Mag.	震央 距離 (km)	最大加速度 CO-1m. (cm/s²)			埋設管 最大歪 x10⁻⁶	記録 時間 (s)	備考
	年月日時分秒	北緯	東経		東経	E-W				N-S	U-D				
1	82 7 23 23 24 30	36 11	141 57		30	7.0	178	28.6	26.2	12.4	323	茨城県沖			
2	83 2 27 21 14 33	35 56.2	140 9.3		72	6.0	35	47.9	55.5	13.0	15.5	182	茨城県南部		
3	83 5 21 19 46 46	35 17.4	140 24.7		49	5.0	46	17.2	18.1	15.2	4.3	114	千葉県東東方沖		
4	83 8 8 12 48 16	35 31.1	139 1.5		22	6.0	99	15.4	14.6	5.6	5.4	199	神奈川-山梨県境		
5	83 12 30 11 30 53	35 40.5	140 45.0		52	5.3	58	11.5	15.0	6.0	4.2	100	鎌子付近		
6	84 1 1 18 4 47	33 37.2	136 50.5		388	7.3	374	25.3	24.3	12.7	7.0	223	東海運はるか沖		
7	84 1 17 20 14 16	36 26.9	141 14.8		43	5.6	138	13.9	17.5	6.9	3.5	76	茨城県沖		
8	84 3 6 11 19 3	29 20.4	139 12.3		452	7.9	705	22.5	28.1	8.4	10.1	348	馬島近海		
9	84 12 17 23 49 59	35 35.8	140 3.5		78	4.9	5	22.1	23.9	40.6	6.8	63	千葉県中部		
10	85 6 8 1 29 11	35 32.3	140 14.9		64	4.8	16	27.3	29.7	12.6	6.9	64	千葉県中部		
11	85 10 4 21 26 5	35 52.1	140 9.5		78	6.1	28	58.5	82.0	23.6	18.8	165	茨城県南部		
12	85 11 6 0 31 0	35 21.3	140 14.4		63	5.0	32	75.6	71.4	28.0	14.4	80	房総半島南部		
13	86 2 12 11 59 58	36 25.0	141 5.0		44	6.1	125	15.4	14.4	5.1	4.2	140	茨城県沖		
14	86 6 24 11 53 29	34 49.4	140 43.2		73	4.5	105	53.5	40.4	21.7	15.2	245	房総半島南東沖		
15	87 4 7 9 41 45	37 17	141 54		37	6.6	245	11.8	16.8	6.7	197	福島県沖			
16	87 4 10 19 59 54	36 8	139 52		57	5.1	61	15.1	12.9	13.9	7.8	78	茨城県南西部		
17	87 6 30 18 17 21	36 12	140 6		55	5.1	65	20.8	33.5	12.0	6.2	68	茨城県南西部		
18	87 12 17 11 8 27	35 21	140 29		58	6.7	46	215.8	326.1	122.2	54.2	282	千葉県東東方沖		
19	87 12 17 11 15 14	35 3	140 5		70		84	17.2	21.3	16.1	6.7	64	千葉県東東方沖		
20	87 12 17 14 7 18	35 18	140 29		48	4.6	50	23.9	13.7	9.4	4.9	44	千葉県東東方沖		
21	87 12 17 15 30 7	35 3	140 5		50		64	22.5	30.4	17.9	5.7	39	千葉県東東方沖		
22	88 1 5 10 9 17	35 24	140 28		43	4.3	41	40.7	40.9	9.4	12.5	39	千葉県東東方沖		
23	88 1 7 15 57 7	35 20	140 27		41	4.8	44	12.4	16.5	5.4	3.7	44	千葉県東東方沖		
24	88 1 16 20 42 20	35 22	140 27		53	5.2	42	54.6	97.9	20.4	15.9	81	千葉県東東方沖		
25	88 1 18 19 37 24	35 35	139 56		31	4.1	17	19.1	26.1	9.2	4.3	34	東京湾		
26	88 3 18 5 34 45	35 40	139 39		99	6.0	42	48.4	59.6	15.5	18.1	138	東京都東部		
27	88 4 16 2 21 2	35 21	140 34		51	4.0	51	16.7	6.5	5.0	4.3	32	千葉県東東方沖		
28	88 8 12 14 15 8	35 06	139 54		68	5.3	61	46.2	35.0	12.3	12.0	70	千葉県南部		
29	89 2 19 21 27 21	36 00	139 55		54	5.6	46	55.3	49.3	25.1	13.5	118	茨城県南西部		
30	89 3 6 23 39 56	35 42	140 44		61	5.9	57	27.4	28.7	13.1	9.5	141	千葉県北部		
31	89 3 11 16 12 33	35 55	140 35		42	4.9	54	41.3	22.0	16.1	6.5	51	茨城県南部		

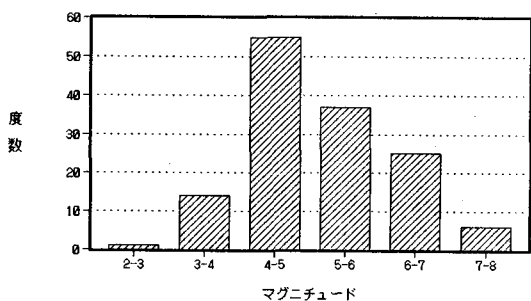


図-4 (a) 観測記録のマグニチュードの分布

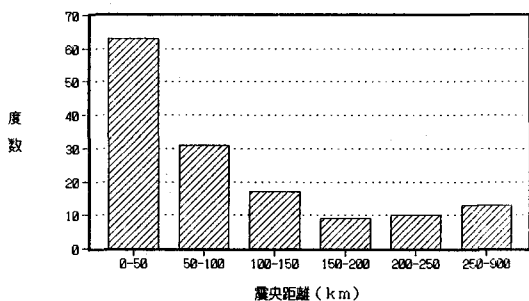


図-4 (b) 観測記録の震央距離の分布

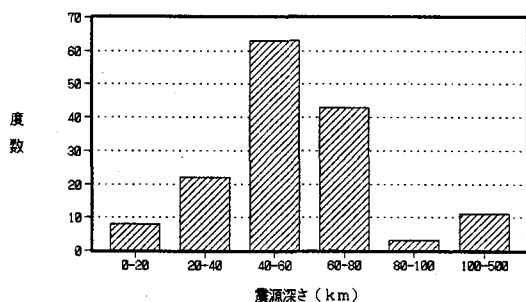


図-4 (c) 観測記録の震源深さの分布

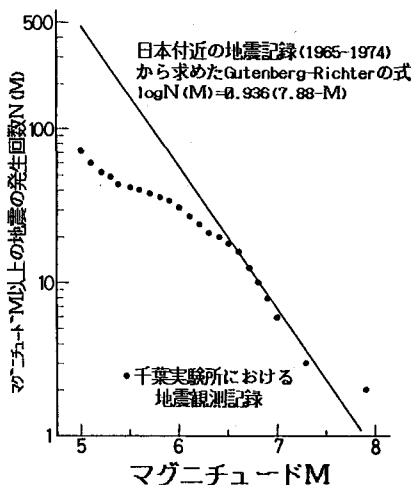


図-5 宇津によるG-R式と千葉実験所における観測記録の比較

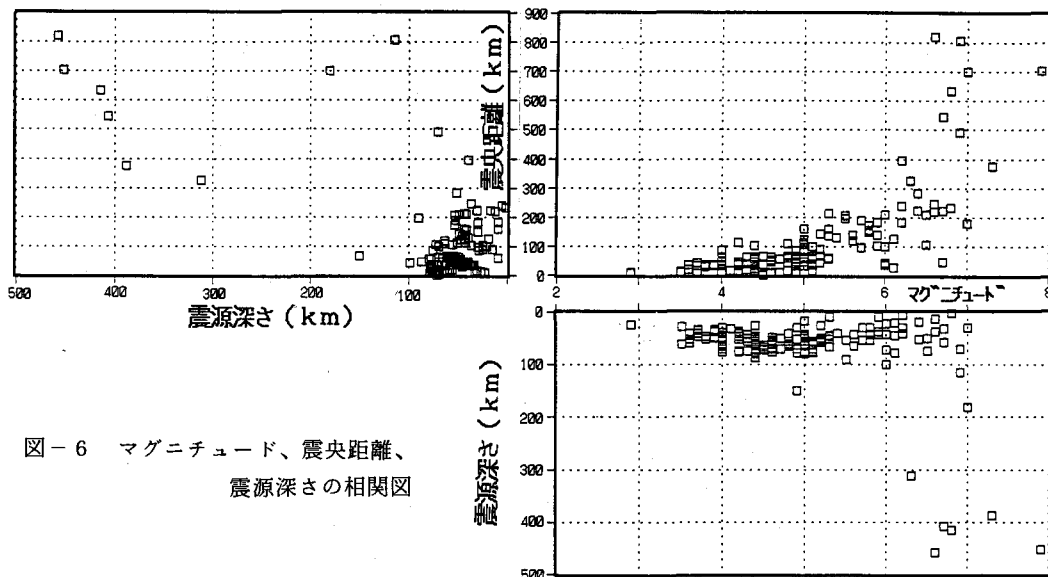


図-6 マグニチュード、震央距離、震源深さの相関図