

# 1968年十勝沖地震における各地の変位について

東京大学生産技術研究所 正員 久保慶三郎  
 同上 正員 片山 恒雄  
 同上 正員 佐藤 暢彦

1. はじめに 設計、材料および建造技術のめざましい発展により、最近の建造物はより高く、より長く、より広くなる傾向にあり、その結果、固有周期はより長くなる傾向にある。通常、強震観測は加速度によつて行われているが、長周期構造物にとつては最大加速度よりもむしろ長周期のわずかの加速度振幅の方が大きく影響を及ぼす可能性もあろう。また、石油コンビナートにある野油タンクも巨大化しつつあり、その内容物の地震時の挙動は地震の変位振幅に密接な関係があるといわれている<sup>1)</sup>。今までほとんど地震を加速度という物理量でとらえることが多かったが、このような観点からして、一方では変位としてとらえることも重要であるといえる。筆者らは強震観測結果から変位波を求める方法についてすでに発表した<sup>2)</sup>が、この方法を用いて1968年十勝沖地震におけるいくつかの地点での強震記録から変位を計算した結果について述べる。

2. 地震と観測点 1968年5月16日に発生した十勝沖地震とその最大の余震における青森、八戸、室蘭、宮古の4箇所(八戸の余震の記録はない)の強震記録を用いた。両地震の諸元および各観測点の震央距離を表-1に示す。本解析に用いた記録は港湾技術研究所資料に記載されているデジタル値であり<sup>3)</sup>解析した時間区間は強震記録における主要動を含む30秒間とした(宮古の余震のみ25秒間)。観測点の地表層は青森ではN値が10前後の軟弱層が深さ23mまであり、その下はN値50をもつよこしまな浮石層となっている。八戸は深さ10mまでがN値10~20の軟弱層であり、その下はN値40~50の地盤となっている。室蘭は深さ14.5mに岩盤があり、その上は途中にN値15ほどの粘土層をはさんだ砂または砂礫層となっている。宮古は室蘭と類似しているが粘土層の下はすぐ岩盤になっており、その深さは10.1mである。これらの地点における卓越周期は土田らが成層地盤モデルより求めた結果、青森0.770秒、八戸0.241秒、室蘭0.229秒、宮古0.197秒となっており、地表層の軟弱度を表わす一つの尺度と考えられる。一方、十勝沖地震の強震記録に含まれる青森の3秒、八戸の2.5秒の卓越周期については多くの研究があるが、太田らの結果によると、岩盤までの深さ(青森約700m、八戸約400m)が3秒とか2.5秒にかなり密接に関連している<sup>4)</sup>なお、各観測地点における記録はSMAC-B<sub>2</sub>によるものであるため、各観測地点間での時刻の対応はついていないことに注意されたい。

3. 解析方法 加速度波形から変位波形に変換する筆者らの方法は、加速度記録の振幅読取り値にある範囲の幅をもたせ、その範囲内で速度振幅の2乗和を最小にするように加速度記録を修正し、その結果を時刻によつて2度積分して変位にするものである。加速度振幅にもたせる修正の幅はSMAC-B<sub>2</sub>について検討した結果、ほぼ最大加速度の1%に選べばよいことが判明した。本計算においても各加速度記録の最大加速度の1%として変位を求めた。また、得られた変位波形の周波数解析は図-1に示す伝達特性をもつデジタルバンドパスフィルタによるものであり、パワースペクトル密度はフィルタによつて描出された波形の振幅の2乗和をフィルタのバンド幅で割った値として表わした。

4. 解析結果 加速度記録はNS、EW両方向で与えられているが、さらに震央方向(R)とそれに直交する方向(T)に加速度記録を合成し、つぎ各観測点について4つの方向成分の速度と変位を計算した。各波の最大振幅と平均振幅(2乗平均の平方根)は表-1に一覧とし、変位波形は図-2に示す。表-1の変位のカッコ内の値は0.1Hz以上の振動数成分のみに対する値である。図-3

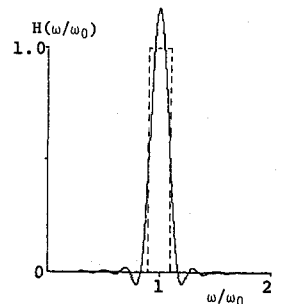


図-1 周波数解析に用いたデジタル・バンドパスフィルタの伝達特性

は種々の振動数を中心とする図-1のバンドパスフィルタによって抽出された変位波形の最大変位を示している。

5. 計算結果についてのまとめ 計算に適用した地震および観測地点の数が少ないため、定量的な性質の議論まではどうも差しえないが、本計算結果からみられる範囲での傾向について以下に示す。なお、変位波形の計算における誤差は長周期になるほど大きくなるため、以下の検討における変位は特に断り書きのない場合は0.1Hz以上の振動数成分つまり表-1のカッコ内の値について述べる。また、各観測点相互における振幅などの大きさの比較において、特に方向について指定しない場合は、N-S, E-W, R, Tの4方向の内の最大値をもってその地点の値とした。

(A) 最大振幅について 本震における速度の最大振幅は青森、八戸で約40kine、室蘭約30kine、宮古で6kineであり、変位については青森20cm、八戸、室蘭約10cm、宮古約1cmとなった。図-3によると、青森のT方向と八戸のR, T方向においては卓越した振動数があり、青森においては0.316Hz、八戸においては0.398Hzがそれぞれ最大振幅を与えていると考えられるが、その他の地点、方向においてはあまり特定の振動数という傾向がみられない。

(B) 変位波形について 図-2の変位波形によると、余震の宮古を除けばR方向の方がT方向よりも長周期の成分が多く含まれていることがみられる。表-1の変位平均振幅のカッコの外と内との比をとってみれば、0.1Hzより高い振動数成分が、R方向では全体の振動数成分の4~7割程度であるのに対し、T方向では7~10割程度

表-1 地震および各観測地点の最大振幅(max.)と平均振幅( $\sigma$ )

Earthquake	Station Record No. Epicent.D.	Component	Acceleration (gal)		Velocity (kine)		Displacement (cm)	
			max.	$\sigma$	max.	$\sigma$	max.	$\sigma$
MAIN SHOCK Origin Time 9h49m, May 16, 1968 Epicenter 40.7°N 143.7°E Depth 0km M=7.9	AOMORI S-235 243km	N-S	208.	44.3	37.6	10.5	18.7 (19.4)	4.52 (4.44)
		E-W	177.	42.7	23.9	9.35	23.6 (12.6)	7.99 (4.42)
		Radial	174.	42.7	25.4	9.43	23.9 (12.8)	8.17 (4.53)
		Tan.	211.	44.3	38.3	10.4	18.8 (19.5)	4.43 (4.36)
	HACHINOHE S-252 188km	N-S	223.	40.8	32.5	7.79	12.4 (9.03)	4.16 (3.30)
		E-W	183.	45.1	39.3	9.01	20.4 (10.4)	7.26 (3.39)
		Radial	183.	45.2	39.6	9.11	21.0 (10.5)	7.49 (3.45)
	MURORAN S-234 290km	N-S	199.	42.8	31.6	4.70	13.7 (8.47)	3.57 (2.34)
		E-W	133.	40.6	15.5	4.42	7.73 (5.73)	2.80 (2.13)
		Radial	190.	45.5	29.1	5.34	15.4 (9.31)	4.22 (2.84)
		Tan.	154.	37.5	16.6	3.58	5.72 (3.68)	1.74 (1.30)
	MIYAKO S-236 188km	N-S	111.	33.4	5.57	1.32	1.37 (1.16)	0.466 (0.376)
E-W		94.3	27.5	3.83	1.09	1.41 (0.967)	0.417 (0.316)	
Radial		123.	28.1	4.09	1.13	1.21 (0.814)	0.442 (0.316)	
Tan.	115.	32.8	5.83	1.26	1.08 (0.987)	0.328 (0.322)		
AFTERSHOCK Origin Time 19h39m, May 16, 1968 Epicenter 41.4°N 143.3°E Depth 40km M=7.5	AOMORI S-264 218km	N-S	64.5	19.7	9.30	2.55	2.83 (2.06)	0.932 (0.769)
		E-W	81.8	21.7	9.17	2.34	3.48 (2.27)	0.865 (0.574)
		Radial	82.9	22.0	9.19	2.45	3.68 (2.40)	0.954 (0.638)
	MURORAN S-241 218km	N-S	89.2	19.7	5.40	1.35	1.70 (1.07)	0.554 (0.343)
		E-W	73.9	17.2	5.06	1.62	2.31 (1.77)	0.873 (0.638)
		Radial	80.1	17.9	5.16	1.60	2.34 (1.66)	0.985 (0.629)
	MIYAKO S-271 226km	Tan.	72.4	19.0	4.73	1.36	1.26 (1.06)	0.520 (0.366)
		N-S	88.1	20.7	3.20	0.795	0.859 (0.717)	0.277 (0.211)
		E-W	73.6	17.4	3.23	0.914	2.71 (0.975)	1.13 (0.486)
		Radial	101.	21.2	3.06	0.752	0.626 (0.465)	0.188 (0.150)
Tan.	73.0	16.8	3.88	0.995	2.90 (1.10)	1.30 (0.567)		

The values in parentheses are the results for components with frequency greater than 0.1Hz.

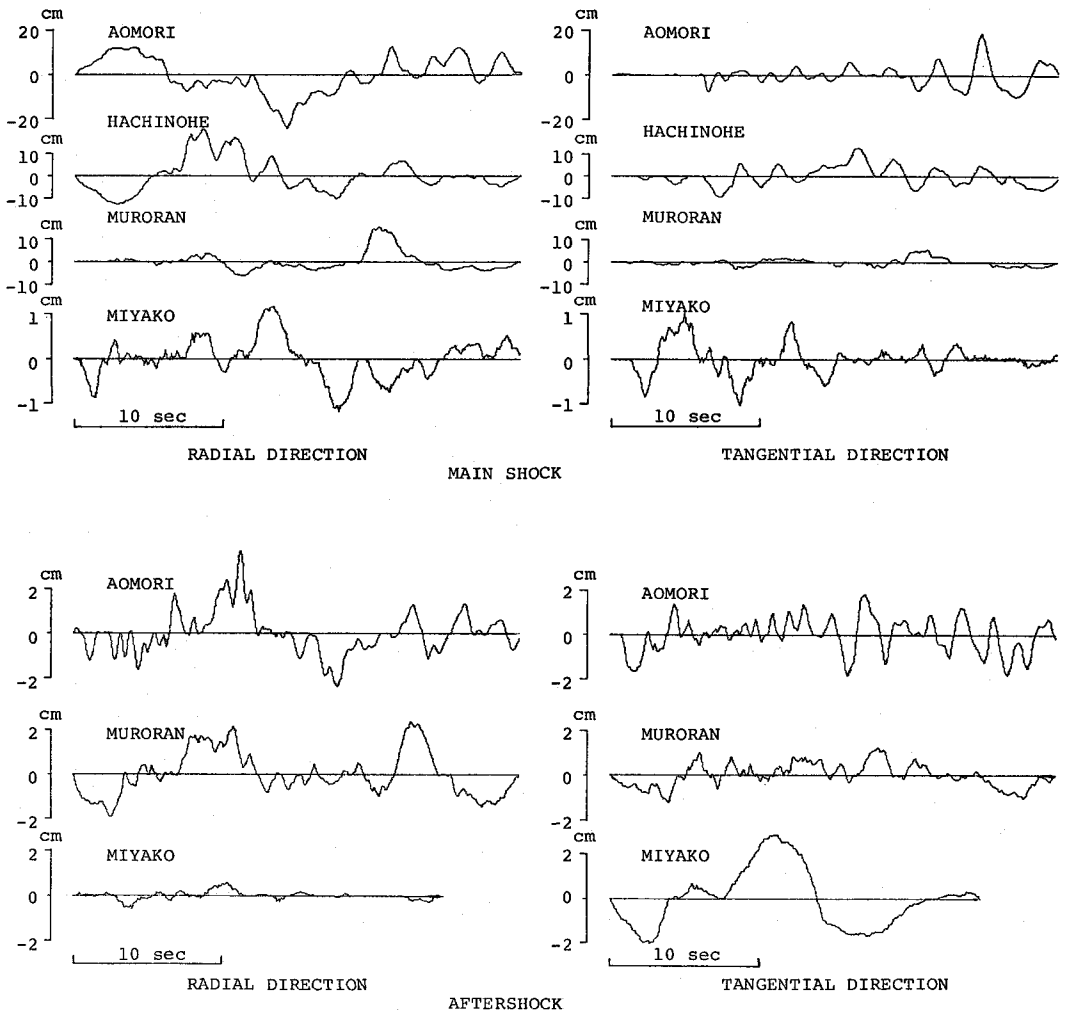


図-2 各観測地点の変位波形

度という差がある。いいかえれば0.1 Hzより低い振動数成分がT方向よりもR方向の方が多く含まれる可能性が高いことを示している。また、室蘭の本震の変位波形のみ最初から20秒位のところに10<sup>cm</sup>程度のパルス的な波形が現われているのも特徴である。

(C) マグニチュード・震央距離との関係について 表-1の平均振幅の本震に対する余震の比を表-2に示す。震央距離と振幅からマグニチュードを推定する坪井の式を用いて上記の比を求めた結果も表-2に示す。振動方向による比の相違は宮古のT方向変位以外は小さく、一般に加速度、速度、変位の順に比は小さくなっている。しかし、宮古のT方向の変位は本震よりも余震の方が大きく、比の大きさの順も加速度よりも変位の方が大きいという現象も起っている。坪井の式による推定の比はいずれも実測値との対応がよくない。

表-2 本震に対する余震の平均振幅の比

Station	Component	Accel.	Vel.	Displ.	*
AOMORI	Radial	0.51	0.26	0.14	0.48
	Tan.	0.44	0.23	0.16	
MURORAN	Radial	0.39	0.30	0.22	0.65
	Tan.	0.51	0.38	0.28	
MIYAKO	Radial	0.76	0.67	0.47	0.35
	Tan.	0.51	0.79	1.76	

\* by Tsuboi's Formula;  $M=1.73\log\Delta+LogA-0.83$

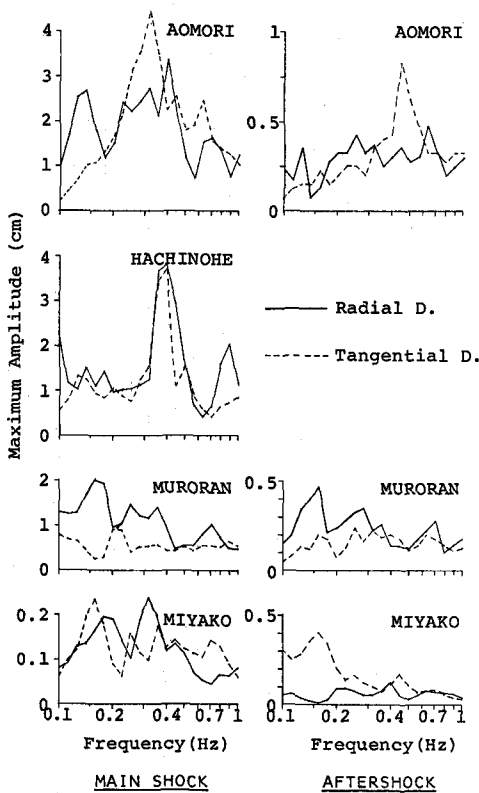


図-3 振動数別の変位最大振幅

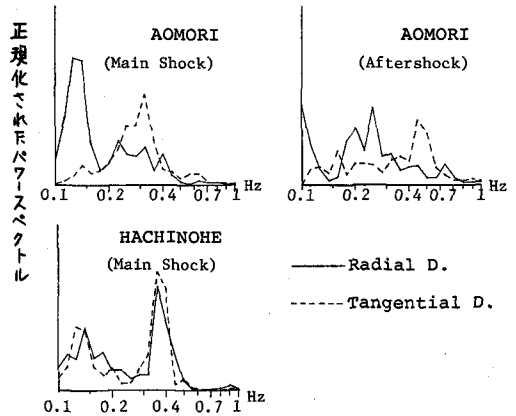


図-4 正規化されたパワースペクトル密度

(D) 振動数特性について 図-3の最大振幅図にも観測地点別の特徴が現われている。直交する2方向においてほとんど同じ特性を示しているのはハチノヘのみであり、その他の観測地点では方向によって特性が異なる。すなわち、ハチノヘはいずれも卓越する振動数約0.4 Hz、青森ではT方向のみ約0.32 Hzが卓越しているがR方向にはとびぬけて大きな変位振幅を与える振動数はみられない。室蘭、宮古も青森のR方向に類似している。また、図-3の本震と余震とを比較すると、大局的にはよく似ている。ただ、明瞭なピークを与える振動数については余震より

も本震の方が小さくなる傾向にある。例えば青森のT方向では余震の0.45 Hzが本震においては0.32 Hzとなっており、同様に宮古のR方向の0.4 Hzが0.32 Hzと小さくなっている。以上のことはパワースペクトル図からも推定されることであり、図-4にその1例を示す。

(E) 地盤と振幅との関係について 地震動は地震の規模、伝播経路、地表層など多くの因子に支配されるため、地盤のみの効果を抽出することは困難である。本震における青森とハチノヘはほぼ同じ伝播方向にあるが、青森の方が震央距離が長い。したがって、ハチノヘと青森の地動の大きさへ地盤が及ぼす効果については表-1の値以上にあると考えられる。室蘭、宮古については伝播方向も震央距離も異なるため簡単に比較することは疑問であるが、一応これらの効果を無視すれば、余震の宮古のT方向以外は地盤が軟かいまたは基盤(岩盤)まで深いほど地動は大きくなり、加速度、速度、変位の順でその効果は大きくなる傾向がみられる。

- 1) 山本、清水：地震波の長周期成分が長周期構造物におよぼす影響、建築技術、1974年6月
- 2) 久保、佐藤：地震観測記録から変位波に変換する一方法、第4回日本地震工学シンポジウム講演集132、1975年11月
- 3) 土田、倉田、須藤：港湾技術資料、No.80、1969年6月
- 4) 土田、上部：港湾技術研究所報告、第11巻第4号、1972年12月
- 5) 鏡味、太田他7名：やや長周期微動の観測と地震工学への適用 - 第4報 - 1968年十勝沖地震のSMAC型強震計記録との比較 -、昭和51年度地震学会春季大会講演予稿集337、No.1、1976年5月