地盤

第３回　地盤震動シンポジウム資料集

「地盤における観測地震波とその考察
－1974年伊豆半島沖地震について－」

1974.11.20

日本建築学会　構造標準委員会
振動分科会　地盤震動小委員会

第3回　地盤震動シンポジウム 資料集

目　　次

Ⅰ 講 演 梗 概

Ⅱ 観 測 資 料

第３回　地盤震動シンポジウム 資料集

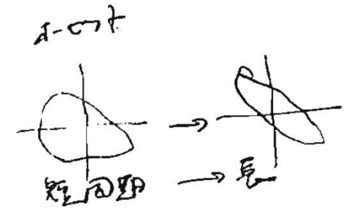
目　　　次

Ⅰ 講 演 梗 概

Ⅱ 観 測 資 料

I-1 伊豆半島沖地震（1974年5月9日）の地震観測資料について

東京工業大学　　小林 啓美



1. 地震観測資料について

伊豆半島沖地震について気象庁の資料によれば震源は次の通りである。

発震時　1974年5月9日　08時33分頃（日本標準時）

震源　　34.6° N　　138.8° N　　深さ　20Km

マグニチュード　　M＝6.8

この地震について行なはれた地震観測の資料を日本建築学会振動分科会地盤震動小委員会によって主として地盤震動の増巾性と地震動の性質を検討する目的で関係各機関より集められた。本資料に集録されたものは表－1に示す14ケ所の観測結果である。その測定点の位置はFig.1に示す如くである。

2. 震源距離による減衰について

観測資料より地表での最大加速度振巾の両成分の中大なる方をとり震源距離との関係を図示するとFig.2の如くなる。図中の点は相当に散っているが，次の点に着目することが出来よう。

図中の曲線は金井の減衰曲線で地震基盤における最大加速度振巾を周期1秒の場合について示したものである。この曲線は本図のプロットされた点に対してその下限を示すべきものであり，この曲線と点との比は地盤による増巾率を示すこととなろう。この様にして求めた増巾率は1ケ所だけを除いて4倍～1倍の範囲に入っている。観測された地盤の状況は種々であり，その卓越周期も区々である。最大加速度の値は短かい周期で定まることを考えればこの増巾率についてはうなづけよう。

3. 地盤の震動増巾率について

今回の集録された地震観測資料は地中地震計のものが多く，地盤性状について明らかなものが多い。観測結果について地中の記録と地表の記録についてのスペクトル比を求めれば地盤の増巾特性を知ることが出来る。又この結果について重複反射による増巾率と比較することも出来る。地盤資料の概要は，Fig.3に示したが，求められた増巾率は成層地盤の中を伝播するS波の重複反射として説明することが出来る。

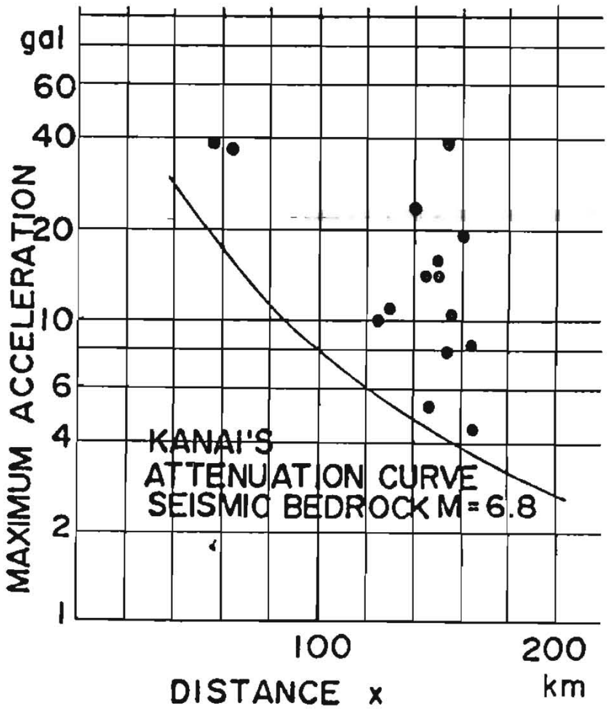


FIG. 2

4. やゝ長い周期の地震動について

今回の資料はすべて短周期地震計を用いた記録であるが，それにもかかわらずいづれの観測点でも2乃至4秒の周期の地震動が顕著に記録されている規模の大きな地震では長い周期の地震動が発生しやすい事は知られているが，今後の一つの問題点としてその性質を十分検討する必要がある。

TABLE - 1

PLACE		INSTRUMENT	DEPTH OF PIC-UP	IZUHANTOH-OKI EARTHQUAKE 1974 DISTANCE	MAX. ACC. OF GL (B1F)	
HAMAOKA	HM	DC-3	GL	62 km	31 gal NS	37 gal EW
SHIZUOKA	SZ	SMAC-B	B1F	57	39	26
YOKOHAMA OHKURAYAMA	YK		BF - 2 -20	124		10
HACHIOHJI	HC	TUSS	GL -14 -25	127	11	10
TOKYO 1 TOYOSU	TY	SERVO	- 2 -18 -38 -71	148	15	15
TOKYO 2 HIBIYA	HB	SERVO	- 1 -25 -50	147	12	14
TOKYO 3 HONGOH	HN	TUSS	B1F GL -82	151	11	10
TOKYO 4 TOSHIMA 5	TS	TUSS	BF -60	152	7	7
TOKYO 5 SHIINAMACHI	SN	SERVO	- 1 -27	146	10	10
TOKYO 6 MINATOKU	MN	KOKUSAI	GL -18 -27	145	11	14
TOKYO 7 MIDORIGAOKA	MD	MTDH-3C	GL	137	18	24
KAWAGUCHI	KW	TUSS	- 7 -14 -21 -30 -43 -60	160	9	
NARASHINO	NR	SERVO	- 3 -15 -30	164	4	
INAGE	IN	TUSS	GL - 4 -12 -24	162	8	8
ICHIHARA	IC	TUSS	GL -17 -43	153	39	39

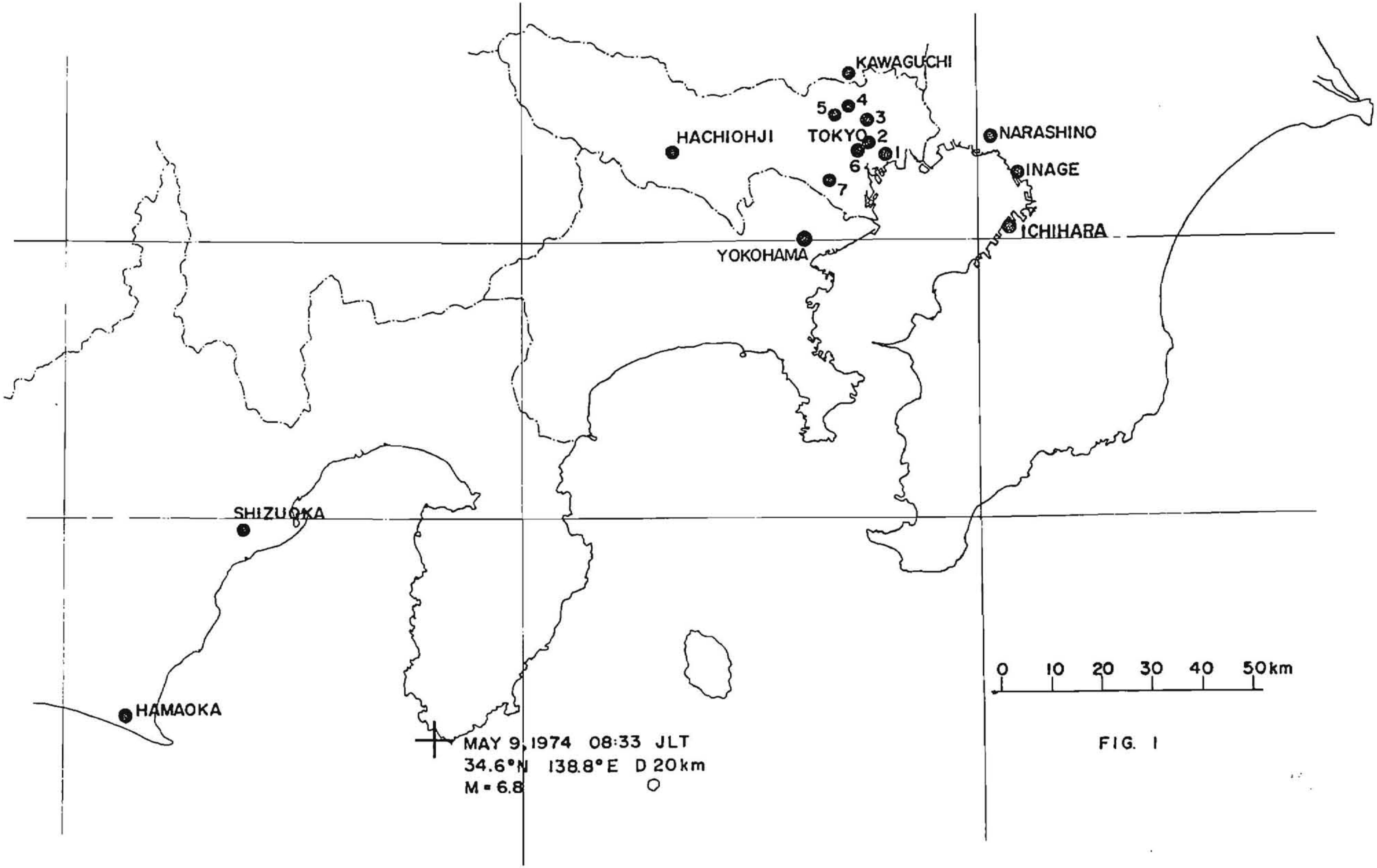

KAWAGUCHI
5
4
3
TOKYO
2
1
6
7
HACHIOHJI
NARASHINO
INAGE
ICHIHARA
YOKOHAMA
SHIZUOKA
HAMAOKA
MAY 9, 1974 08:33 JLT
34.6°N 138.8°E D 20km
M = 6.8
0 10 20 30 40 50km

FIG. 1

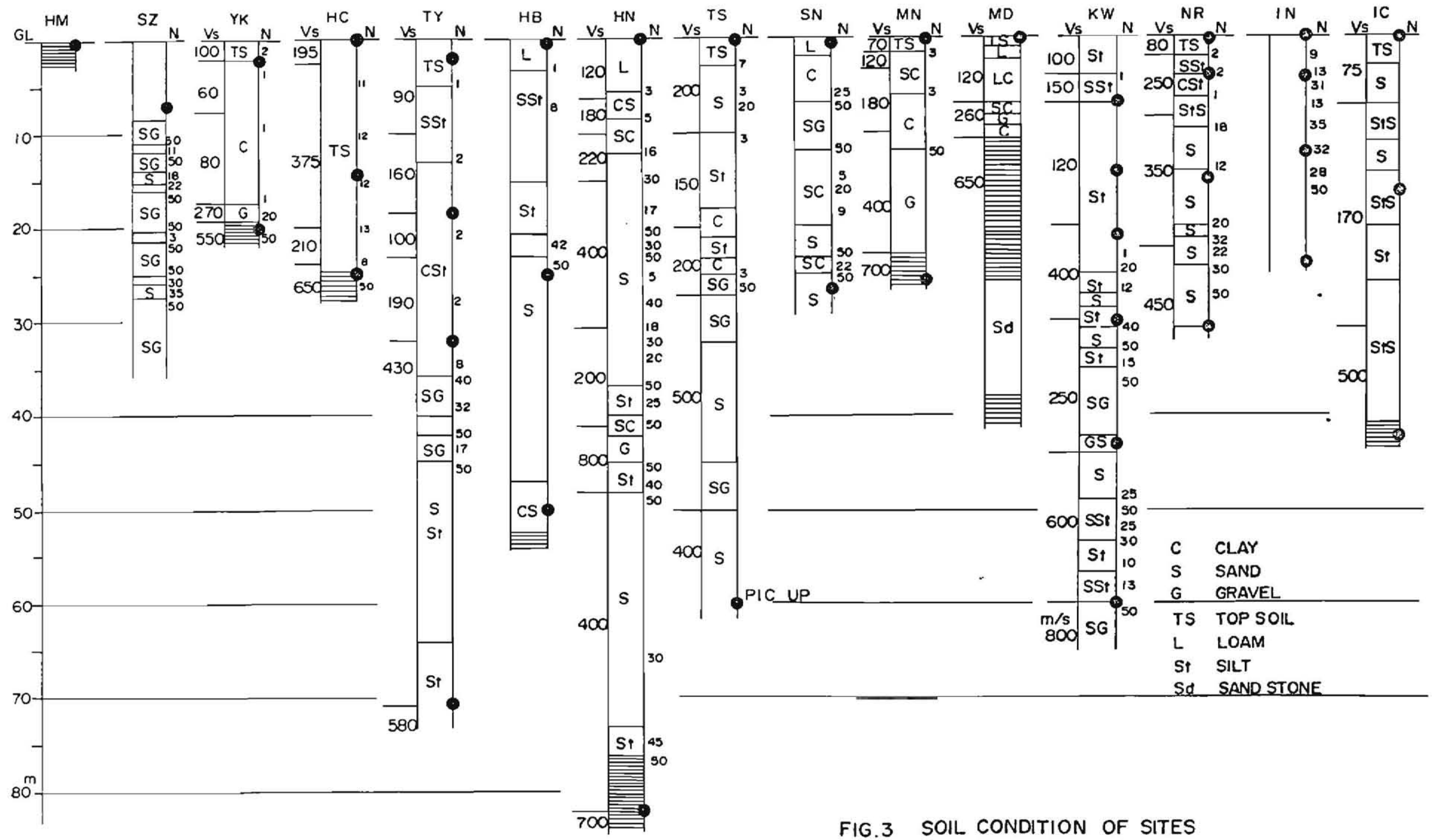


FIG.3 SOIL CONDITION OF SITES

Ⅰ-2 東京椎名町における地震観測結果とその検討

鹿島建設技術研究所　太田外氣晴

§1 まえがき

本敷地は東京山手の豊島台とよばれる洪積台地で，建物は高さ約49m，18階の純ラーメン構造からなるRC造である。この建物では骨組が完成し，15階迄の内外壁取付けの段階で振動実験を行なっている。[1)]

本報告では，伊豆沖地震の記録解析結果の他2例を参考として示し，更に振動実験結果と比較する。

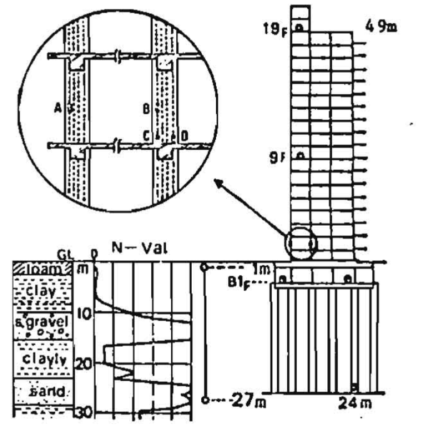


図1　建物概要と地震観測位置

§2 地盤・建物の概要および地震観測位置

敷地の地質層序は上から関東ローム，板橋粘土層，段丘礫層，上部東京層，下部東京層と続いており，この附近では東京礫層はない。

建物は[2)~6)]地上18階地下1階のRC造純ラーメン架構で，柱間は短辺方向が4.5m×3，長辺が3m×8である。地下部は短辺方向のみ両側に1スパンずつはね出しており，また耐震壁を各スパンに配置して剛強な構造としている。建物基礎は地階底盤面G.L.−7.1mからφ1.2mとφ1mのピアによりG.L.−24mの東京層に支持されている。建物の概要と地震計等の設置位置を図1に示す。

観測点は地盤と建物に大別される。地盤にはG.L.−1mとG.L.−27mの東京層に水平2成分のサーボ型加速度計が設置されている。建物内には3成分の加速度計を3個所に，ピア下端とB1階に上下用P.U.が各1台の合計16成分設置されている。また2階の柱主筋に4つの歪計が用いられ，測点合計は20成分でこれらを2台のデーターレコーダーで記録するようになっている。

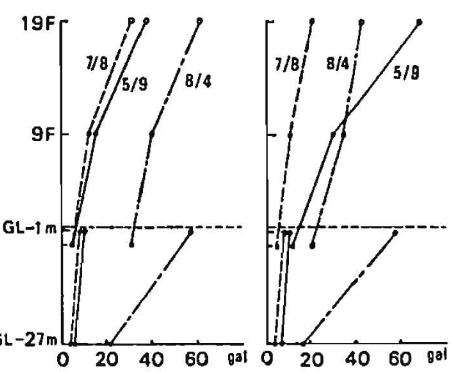


図2　最大加速度分布

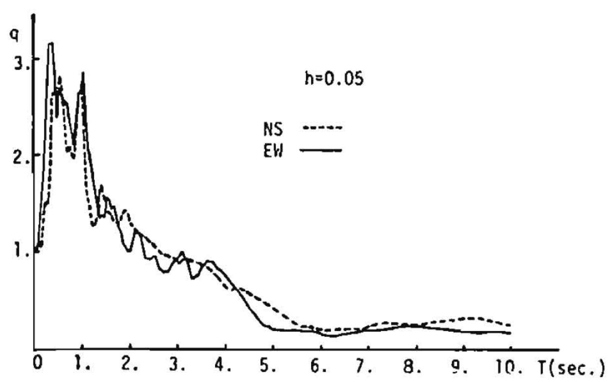


図3　地表の加速度応答スペクトル

§3 観測地震波の概要

地震は昭和49年4月～8月の3回分で，これらはいずれも中，小規模で震源深さもほぼ同程度である。震央距離は40～180kmで近地地震とやゝ遠地地震の両方が含まれている。

地震の諸元を表1に示す。伊豆沖地震の関係資料を資料集に示してあり，データの自動処理システムについても示す。

表1　観測地震の諸元

No	地震名称	西歴年月日	M	震源位置	深さ	震央距離	東京震度
1	伊豆半島沖	'74年 5月9日	6.9	138°48'E 34°36'N	20km	150km	Ⅲ
2	茨城県沖	〃 7月8日	6.25	141°24'E 36°24'N	20km	180km	Ⅲ
3	埼玉県東部	〃 8月4日	5.8	139°42'E 36° 6'N	20km	40km	Ⅲ

2) 最大加速度分布

地震時の最大加速度分布を図2に示す。支持層と地表の増巾倍率は遠地震が平均2倍強，近地地震が平均3倍強である。建物内の増巾率は同様に平均6.2倍と約2倍で地震の性質による応答の差がよく現われている。なお，建物地階は地表の1/1.7～1/2.7で1例のみ1/0.9である。

3) 地盤の振動周期

伊豆沖地震の地表の規準化加速度応答スペクトルを図3に示す(h=0.05)。NS，EW共に約1秒の成分が，

NSでは0.5秒，EWでは0.35秒と0.6秒の成分が大きなパワーを有する。更に長周期成分のパワーレベルは大きく，規準化加速度が1以下になる周期は約2ないし2.5秒である。3つの地震における地表（No.3地震はB1階）のフーリエスペクトルを比較して図4に示す。やゝ遠距離地震のNo.1，2は長周期成分が優勢で短周期成分がそれ程ではないのに比較して，近距離地震のNo.3はその逆である。

4) 建物の振動周期

建物の頂部19階における記録のフーリエスペクトルを図5に示す。1次の周期は地震により若干の差があるが，長辺0.8秒，短辺1秒が顕著である。

建物の最大加速度起生時の概略周期はNo.1，2地震では1次周期に，No.3地震では2次周期に近い。

5) 2階柱主筋の歪

各地震で測定された2階柱主筋の歪は$20 \sim 50 \times 10^{-6}$である。1例として伊豆沖地震における外柱(A)の記録例を6に示す。

§4 地震時の地盤震動性状

1) 地表の増巾特性

G.L.−27mと地表のクロススペクトルの平方根を図7に示す。NS，EW共通のピーク周期は0.45秒，0.26秒，0.2秒で，EWのみ0.31秒にピークがある。

図8には表2の条件による解析値を参考として示す。こ

表2 地層の伝達特性解析条件

No.	深さ (m)	η	Vs. base (m/s)	備考
1	27	0	360×2	
2	27	0.003	360×2	
3	27	0.003	360	巻末資料参照

れら計算値と観測値を比較すると，周期は0.31秒を除いてほゞ一致しているが1次のピークの高さが一致しない。これはこの種複雑な地層ではモデル化に際して無理な点が生

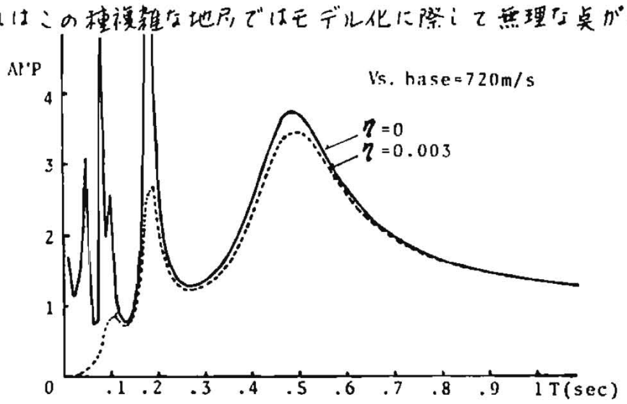


図8 地表層の増巾特性 -1m/-27m

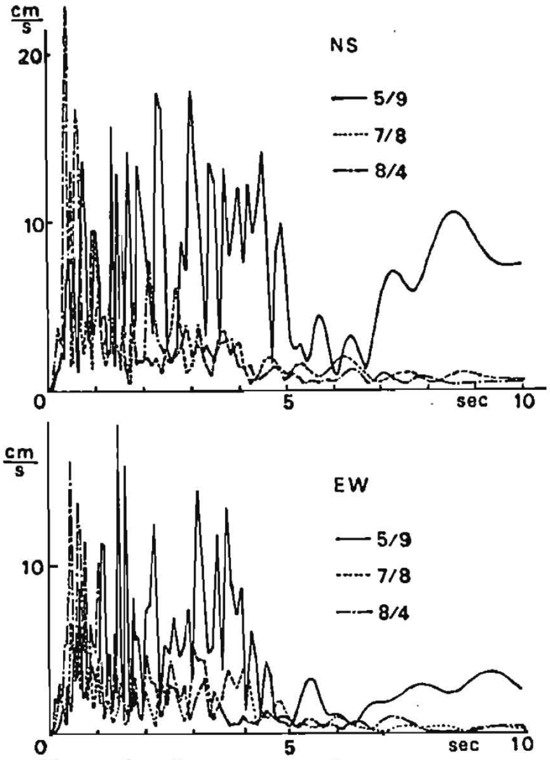


図4 各地震における地表のフーリエ スペクトル

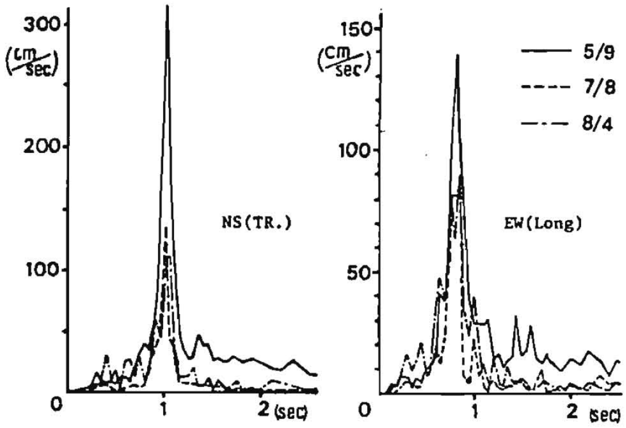


図5 19(R)階におけるフーリエ スペクトル

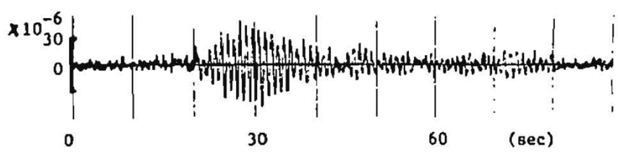


図6 外柱主筋の歪測定記録例（伊豆沖）

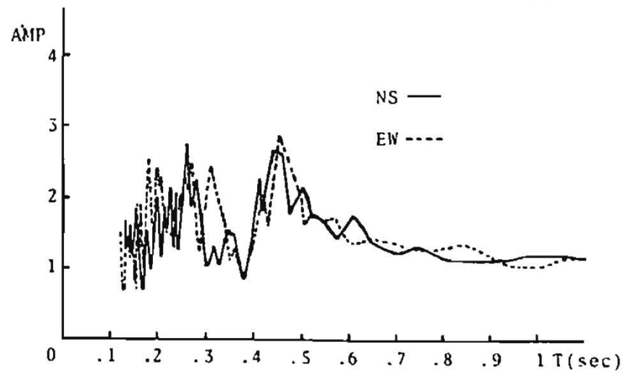


図7 クロススペクトル $\sqrt{-1m/-27m}$（伊豆沖）

じることを意味するものであり詳細な検討を要する。資料集に示す大倉山の例は単純な地層構成であるが極めて良い一致を示しているのと対象的である。

2) 地表の変位

伊豆沖地震におけるG.L.−1mの記録を周期14秒のハイパスフィルターに通し，2回積分して変位波形を求めて図9に示す。水平動は約10秒と3秒の成分が目立ち，上下動はこれに加えてより短周期が重なっている。

3) 各成分波のタイムヒストリー

地盤の水平動について数値フィルターにより表3に示す9つのバンドを通過させた加速度波形を求め図10に示す。

周期約4秒以下の短周期成分はすべてP波の初動より20秒程経過後ほぼ同時に発生しているが，9秒前後の波は初動より約30秒経過して伝わっている。地表と地中の各周期の波を重ねてみると，地表では約1秒以下の短周期と最長周期の成分が数倍に増巾されているが，その中間周期はそれほど増巾されていない。

§5 地震時における建物の振動性状

地震時における建物の振動特性を求めるため，B1階の記録を入力として取扱い，これ以上の建物内の伝達関数をフーリエスペクトルの比によって求め検討した。従って建物基礎と地盤の相互作用の問題は直接関係せず，主として上部構造のみ考えたことになっている。減衰定数もこの伝達関数から求め，一方各次の振動モードを求める際には，狭帯域の数値フィルター（零位相）を用いた。

1) 周期

上記の方法で求めた伝達関数を図11に示す。これによる周期は図5のスペクトルのピーク周期とは当然若干の差をもつ。表4にこれより求めた2次迄の周期を示す。

表4 伝達関数より求めた地震時の建物の周期(秒)

次数＼地震＼方向	EW(長辺)			NS(短辺)		
	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
1次	0.82	0.79	0.82	1.06	0.95	1.02
2次	0.25	0.25	0.25	0.31	0.30	0.30

2) 減衰定数

記録波形から各次のみかけの減衰定数を求めるには各種の方法が考えられるが，それぞれ一長一短があり決定的な方法はない。ここでは伝達関数から1次振動の減衰定数を$1/\sqrt{2}$法で求めた。但し伝達関数はHunning Window を用いてスムージングを行った。1例を図12に示す。減衰定数

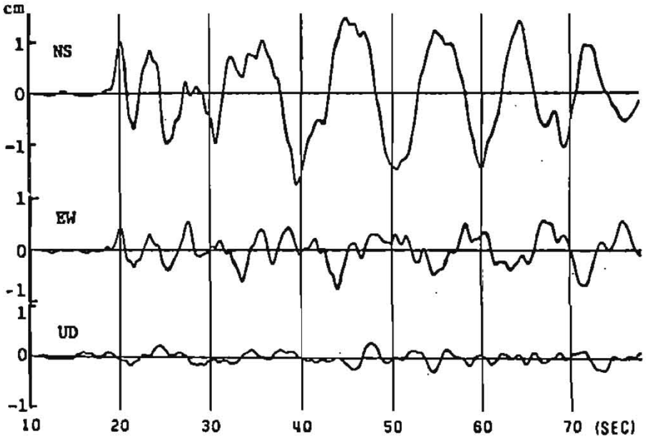


図9 地表の計算変位波形（伊豆沖）

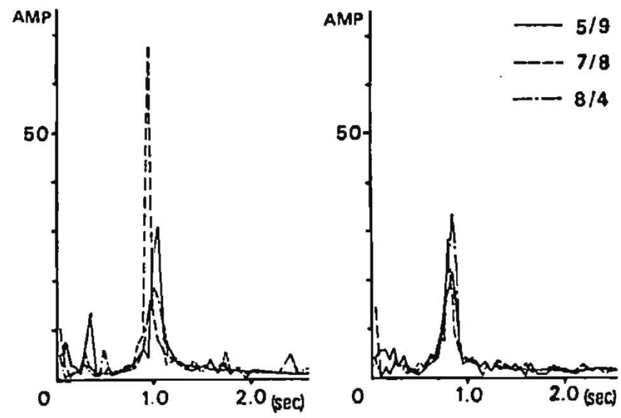


図11 建物の伝達関数

表3 B.P.F.のパスレンジ

No.	周期(秒)
1	0.25 ~ 0.5
2	0.5 ~ 0.7
3	0.7 ~ 0.9
4	0.9 ~ 1.25
5	1.25 ~ 1.9
6	1.9 ~ 2.6
7	2.6 ~ 4.5
8	4.5 ~ 7
9	7 ~ 10

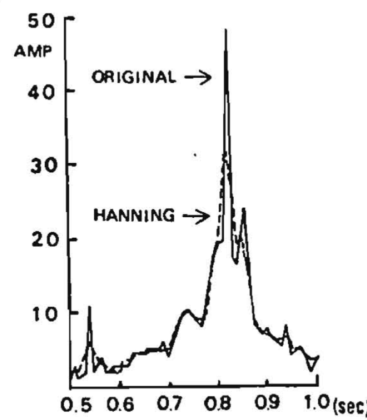


図12 伝達関数のスムージング

を求めた結果を表5に示す。

表5 地震時の建物のみかけの減衰定数(%)

次数＼地震＼方向	EW(長辺)			NS(短辺)		
	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
1次	1.4	1.9	1.8	0.9	1.3	2.8

（振動実験時；長辺3.1%，短辺1.5%）

3) 振動モード

振動モードは伝達関数より得られたピーク周期近くをバンドパスさせた波形より求めた。図13はその1例である。こうして求めた1，2次の振動モード

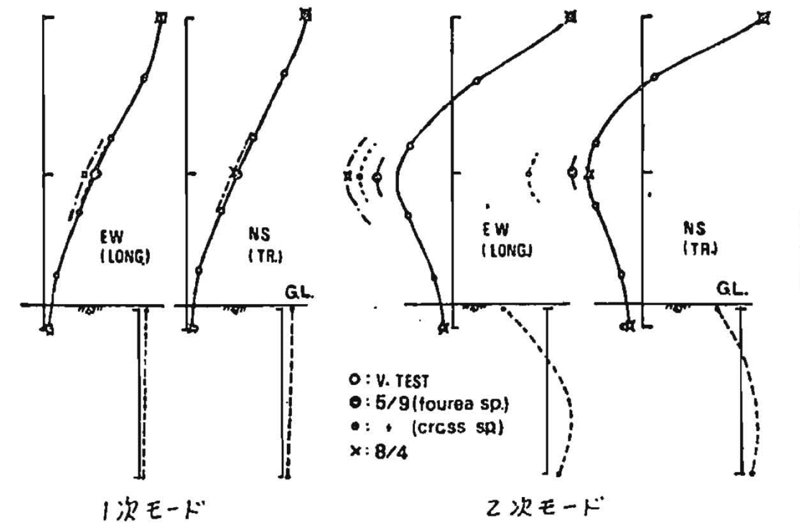


図14　1,2次の振動モード（含振動実験結果）

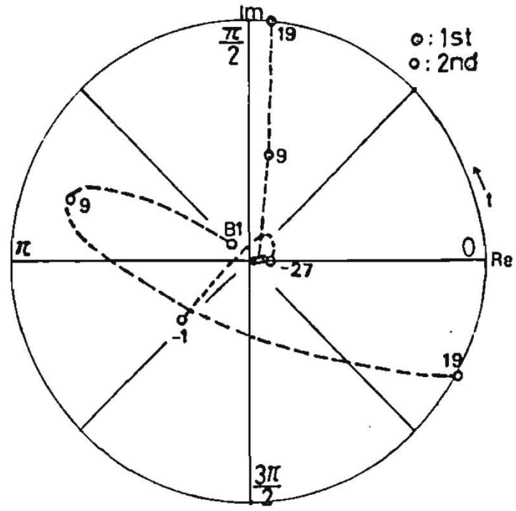


図15　EW(長辺)の位相角モード(伊豆沖)

を図14に示す。図中には振動実験で得られたモードも併記し，更に伊豆沖地震について G.L.−27m の記録とその他各測点とのクロススペクトルより得られたモードを参考値として示す。いずれの場合も基礎と地盤は建物上部に対してかなり位相差をもつがここでは詳細は略した。例として伊豆沖地震の場合のEW方向(長辺)の1,2次の位相を含む振動モードを図15に示す。

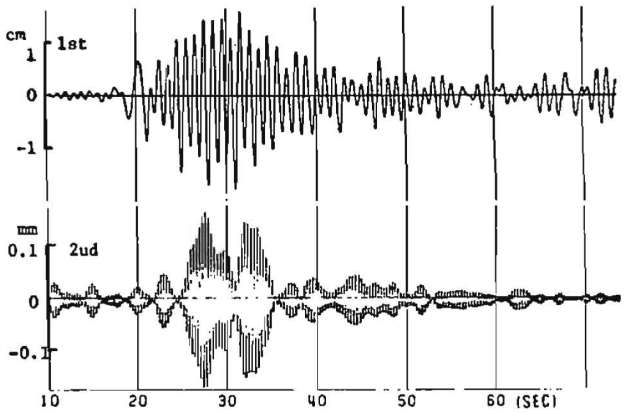


図13　1.2次振動の変位波形(伊豆沖.19F.NS)

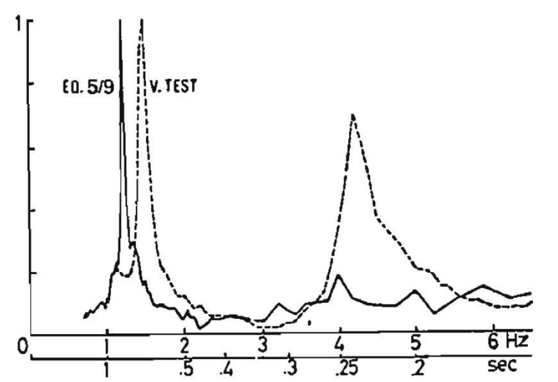


図16　共振曲線と伝達関数の比較(伊豆沖.19F.EW)

表6　振動実験に対する地震時の周期比

方向 / 地震	EW(長辺)			NS(短辺)		
	No.1	No.2	No.3	No.1	No.2	No.3
周期比	1.21	1.17	1.21	1.27	1.14	1.27
1次の α_{max}(gal)	37	30	32	67	20	23

§6　振動実験と地震観測の比較

1)　加速度レベル

振動実験時の加速度は1次周期で4〜5 gal，2次が約10 galである。これに対し伊豆沖地震では30〜60 galであるのでほぼ1桁の差がある。

2)　周期の変化

B1階と19階のフーリエスペクトル比の例を振動実験による共振曲線と比較して図16に示す。周期のずれが目立ち，また1次は良く一致する傾向を示すものの2次は入力の性状もあって地震ではあまり増巾されていない。

振動実験に対する地震時の周期比を1次振動について求め表6に示す。地震による若干の差はあるが，1次振動発生時の加速度レベルにほぼ対応して周期が伸びている。

この周期の伸びの原因としては i) P.C.カーテンウオールのずれ，ii)間仕切壁のあそびその他が考えられる。

3)　振動モード

すでに図14に地震記録から得られた値と比較して示したが，2次のモードは地震により又は解析法により大巾な差があり評価法の検討を要しよう。

4)　減衰定数の比較

前述の方法で減衰定数を求めた場合，No3の地震を除いて振動実験の結果（長辺3.1%，短辺1.5%）より小さく得られた。これは伝達関数を求める計算の仕方にもより妥当と考えられるが，計算法によっては大巾な差異を生ずるので今後の検討を要する。

§7 建物の地震動によるシミュレーション解析

この建物はわが国初の45mを越えるRC造の高層ビルで、設計の段階で大規模な実験・研究が行われ耐震設計がなされている。2)~6) 更に試行建設の意味が含められて建設されており完成後は特に入念な地震観測が行われている。このためこれらの記録が得られた段階でシミュレーション解析がなされ設計との対比が行われている。7),8) こゝではそのうちシミュレーション解析の一部を引用する。

1) 解析モデルと定数

解析モデルはロッキングする基礎の上に1階から19階(屋上)の質点をもつ系である。減衰定数は各部減衰系で、建物が$T=1$秒で$h=0.02$、地盤が同様に$h=0.1$である。コンクリートの剛性は現場におけるシリンダー試験の結果による1/3割線剛性を用いており、2次部材も考慮している。

2) シミュレーション解析

地震動のシミュレーション解析は伊豆沖地震と埼玉県東部地震の2例について行っている。B1階の波は基礎のスウェイを含む建物への入力波として取扱いこれを振動系に作用させている。

その結果の一部を図17, 18に示す。図17は図18より良好であるが、この理由は1次の減衰評価が2次のそれに比して良好であるものと考えられる。ちなみに各次の減衰は$h_1=\frac{0.024(T)}{0.025(L)}$, $h_2=\frac{0.066(T)}{0.066(L)}$, $h_3=\frac{0.112(T)}{0.109(L)}$, であり、2例共に極めて良くシミュレート出来ていることは適切な減衰評価がなされているといえよう。

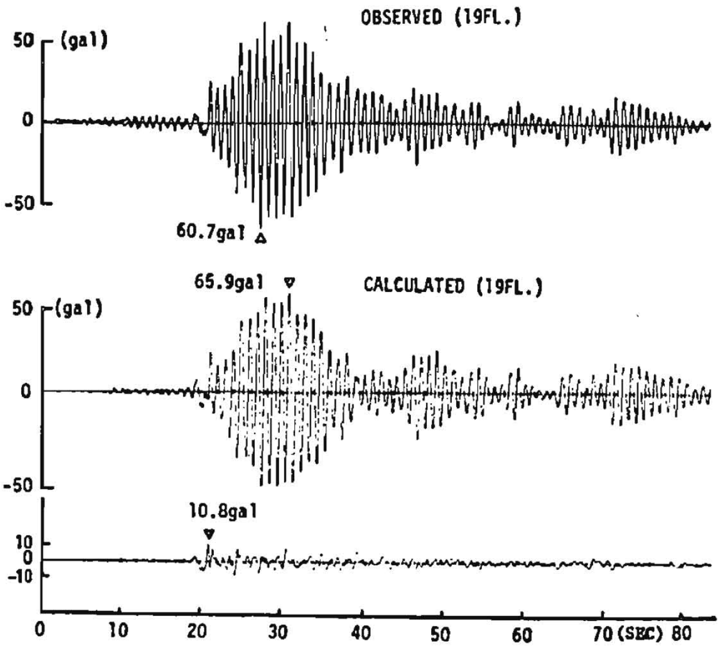


図17 伊豆沖地震の記録と解析波の比較(NS, 19F)

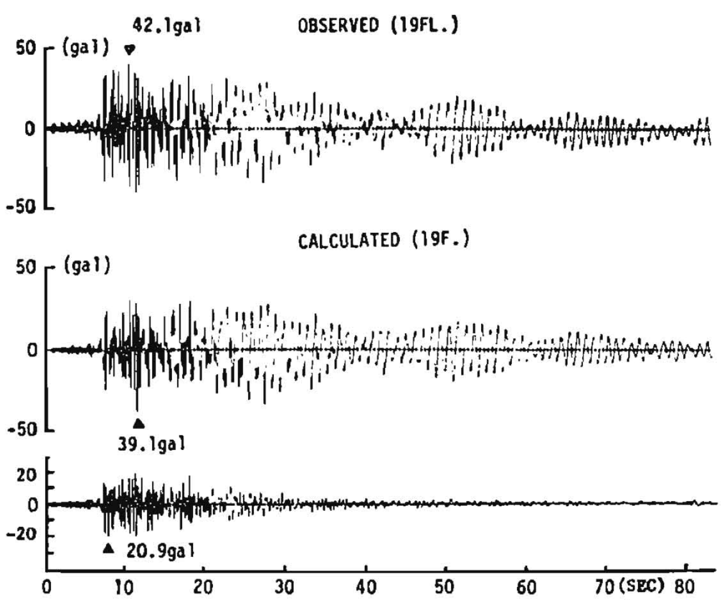


図18 埼玉県東部地震の記録と解析波の比較(NS, 19F)

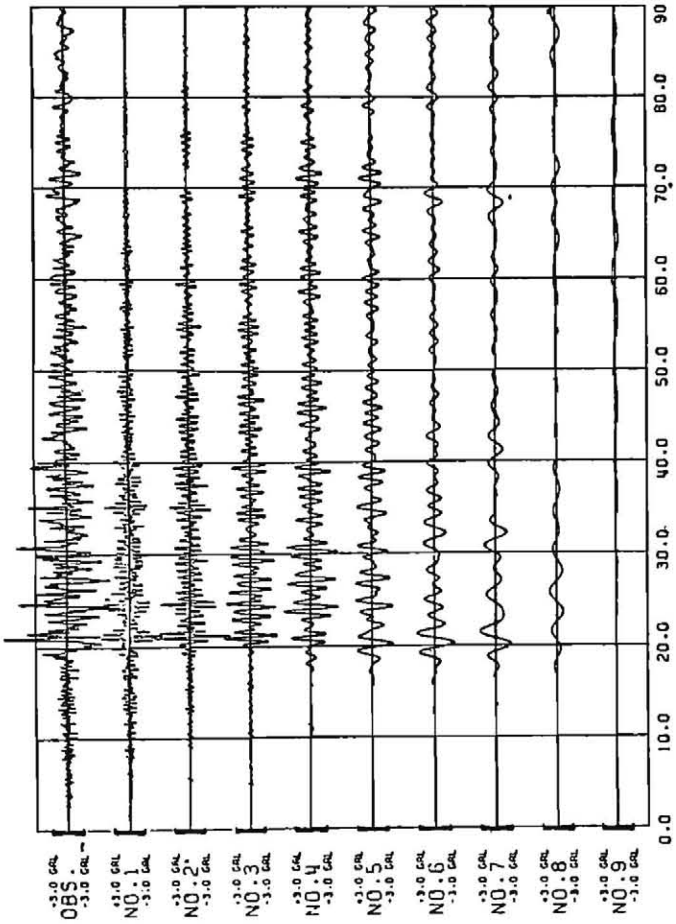
§8 むすび

3種の地震記録は震央距離が大きく異なるためその到来地震波の性質が全く異なっている。やゝ遠距離地震では長周期成分が優勢なため建物の応答は1次振動が主体で増巾率が大で、近距離地震では短周期成分が優勢なため2次振動でゆれ増巾率はそれほど大きくない。

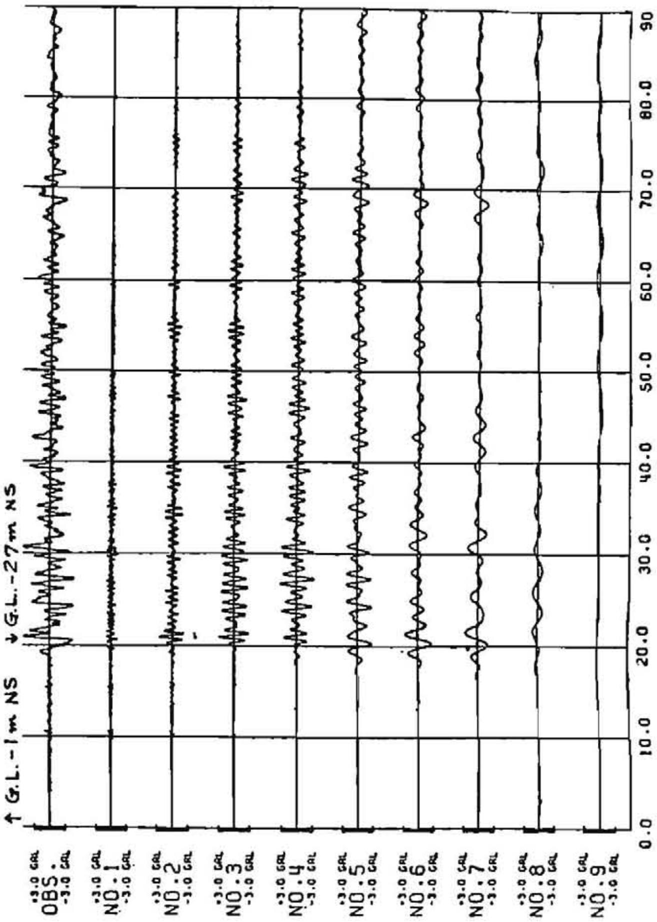
地盤の伝播波は0.45、1、3、9秒等の波が優勢であり、G.L.−27mからG.L.−1mの増巾は約1秒以下の短周期と9秒前後の長周期の増巾が目立つ。地表層の波動伝播の解析は速度層が複雑なため困難が伴う。

建物の振動実験と地震観測の結果を比較すると、1次周期は実験値の約1.2倍で振動モードは両者共良く一致しているが、2次モードは計算法による差が著しい。減衰定数は解析法によりかなりの差があり本報告の結果が最も小さく、パワースペクトルによる方法、位相曲線による方法等では実験値より大きい値が得られている。こゝに述べた数値は建物内部のみのデータという取扱法を考慮すれば実験値より小さい方が妥当性があるが、明確に結論づけるためには今後更に検討の必要がある。

本報告作成にあたっては、鹿島建設の武藤清博士、久田俊彦博士の御指導を得、また武藤研究室の津川恒久博士、清水



↑G.L.-1m NS　↓G.L.-27m NS



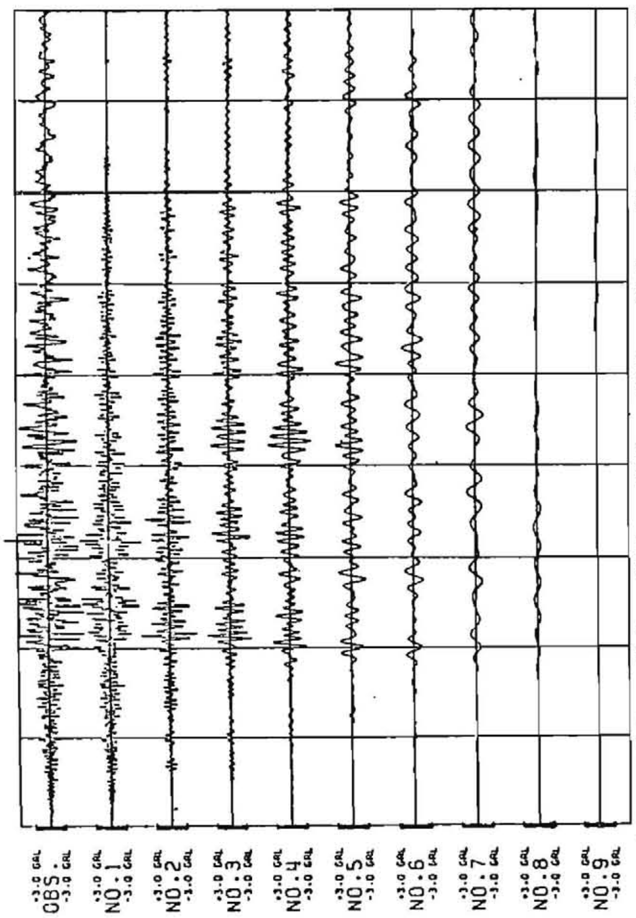


図10　地盤震動の各周期成分毎のタイムヒストリー　↑GL.-1m EW

弘道氏，鹿島建設技研の田羽正徳，越田洋，五十嵐克哉の諸氏の多大な御協力を得たものであり，こゝに厚く御礼申し上げます。

参考文献

1) 武藤清他4名：高層RC造椎名町アパートの振動実験と解析：日本建築学会昭和49年度大会号
2)～6) 二階盛他：RC造20階建ビルのR&D（その1～6），日本建築学会昭和47年度大会号
7) 武藤清他4名：高層RCアパートの地震観測とその解析（その2），日本建築学会昭和49年度関東支部研
8) 久田俊彦他3名：高層RCアパートの地震観測とその解析（その1），日本建築学会昭和49年度関東支部研

NO.	PASS RANGE(sec)
1	0.25 ～ 0.5
2	0.5 ～ 0.7
3	0.7 ～ 0.9
4	0.9 ～ 1.25
5	1.25 ～ 1.9
6	1.9 ～ 2.6
7	2.6 ～ 4.5
8	4.5 ～ 7.0
9	7.0 ～ 10.0

I-3 稲毛海岸埋立地に杭支持された建物の地震動観測

大成建設㈱ 技術開発部　河村壮一

序　比較的浅い埋立軟弱層を有する地盤と，そこに杭支持された建物に於て，自然地震動の多元同時観測を続け，現在迄に６０例余りの中小地震動の加速度記録を採取した。これらの実測記録を分析して，観測対象地盤及び建物・杭系の振巾及び周期特性を把握すると共に，それらの質点系置換連成モデルを用いて観測地震動を入力とする地震応答計算を行い，かなり実状に合う解析のできる事を確認した。

§１ 地盤・建物概要　当地盤は稲毛海岸埋立地の比較的陸寄りに位置し，埋立深さは約４ｍである。その土質及びＮ値分布は，前掲資料[1] Fig.2に示す如く，一部にシルト又は粘土層を含むが砂質土が主体であり，埋立層内で１０以下であるＮ値は，旧海底面で凸となる傾向を示しつつ漸増し，17～18ｍでは５０に達する。

建物は，地上７階，一部塔屋２階で地下はなく，長辺（Ｙ）方向５５.９ｍ，短辺（Ｘ）方向１３.６ｍ，軒高１８.９ｍのプレキャストコンクリート造共同住宅である。構造的には長辺方向が壁式ラーメン，短辺方向が連層耐震壁から成り，基礎はφ350及びφ400のＰＣ杭を計１３２本，ＧＬ－１２ｍ迄打込んである。(Fig.1, Fig.2)

§２ 地震動観測体制　地震計設置位置は，Fig.1及びFig.2に示す如くで，構造物系列と地盤系列の２系列から成る。前者は，建物屋上階，１階，建物直下のＧＬ－４ｍ（旧海底面），－１２ｍ（杭先端），−24ｍの５点，後者は地表面以下，前者と同じ深さの４点で合計９点，各々水平２成分上下１成分を有し，全体で２７成分の加速度記録を測定している。このほか建物屋上階では３成分の速度記録も同時にとっており，総計３０成分である。観測は1971年12月に開始した。

§３ 観測地震動概要　現在迄に観測された地震動は６０例余りに上り，震度ⅠからⅣが含まれている。このうち震度Ⅲの地震の最大加速度は，建物屋上階で３９.８gal 自由地表面で２６.６gal，GL-24ｍで6.5gal であった。震央は大半が茨城県や千葉県にあり，震央距離100Km以内のものが７０％を占める。また，震源深さの頻度は，Fig.13に示すように，１００Km以浅のものが９０％を占め，特に，５０Km近辺が最も多い。横軸に震央距離，縦軸に震源深さをとって震源位置を示すとFig.14の如くである。Fig.15は気象庁発表の千葉に於ける体感震度と，稲毛に於ける地表面最大加速度の関係を，図中の曲線及び点線で示す河角博士による震度－地表面最大加速度関係式と比較したもので両者は良く対応している。波形例をFig.3に示す。

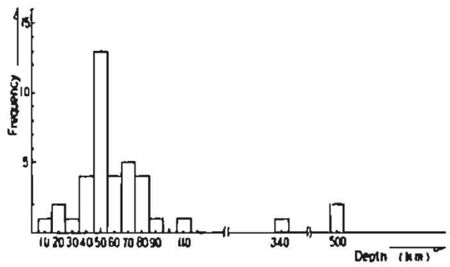


Fig.13 震源深さの頻度

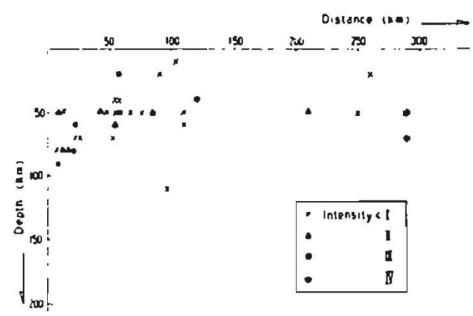


Fig.14 震央距離と震源深さ

§４ 加速度振巾特性　1973年12月以来の15例の観測記録について，各観測点の最大加速度の比率を建物１階を基準として表わし，その平均及び標準偏差を求めると，Fig.16の如くである。特徴的な点を列挙すると，1) 水平動に於て旧海底面から上の増巾が著しく，特に，自由地盤のそれが大である。　2) 地表面は１階に対して1.5倍程度である。　3) 地中では構造物系列と地盤系列とで殆ど差がない。　4) 建物内部での増巾度は短辺（Ｘ）方向で 2.5倍，長辺（Ｙ）方向で３倍近く，上下動（Ｚ）では1.4倍程度である。増巾度をGL-24ｍを基準として表わせば，水平動につき建物屋上階で約７倍，自由地表面で３～４倍であり，上下動は約２倍である。

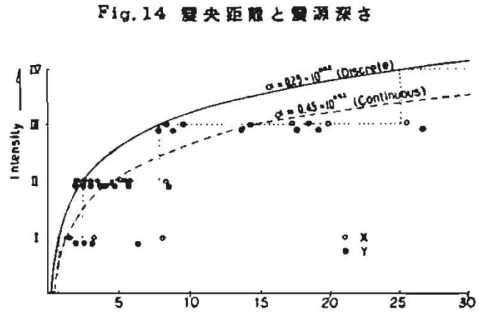


Fig.15 地表面最大加速度と震度

同時刻に於ける各観測点の振巾を結ぶ加速度時歴モードは，前掲

Fig. 4 に示す如くで，図中太線が地盤系列を，細線が構造物系列を示している。図は右方へ0.1 sec 間隔の経過を表わす。地盤系列と構造物系列は，表層で差が見られるが，地中深部ではほぼ同様な動きをしている。また，構造物系列の振動形には，1次形のほかに2次・3次形も多く見られ，旧海底面から上での増巾が著しい事が指摘される。

上下動最大加速度を水平動最大加速度に対してプロットすると1973年10月迄の40例余りにつきFig.17の如くである。上下動の水平動に対する平均的な割合を求めると，地表面では約30％であるが，GL-24mでは約60％という大きな値となっている。

§5. 周期特性　Fig.5～7及び9～11に掲げる伊豆半島沖地震のフーリエスペクトル解析と対比して，Fig.18及び19に，東京湾に震央を有する震度Ⅲの地震のフーリエスペクトルとその比を示す。他の地震記録の解析結果も併せ検討すると，建物頂部に於ける卓越周期は，短辺（X）方向で0.28～0.32 sec，長辺（Y）方向で0.34 sec と近接した値となっている。また，自由地表面では0.2 sec，0.14 sec 等の短周期成分が卓越するのに対し，GL-12mや-24mでは，0.48～0.50 secという比較的長い周期成分が優勢である。

伊豆半島沖地震では震央距離が，160Km程度と大きい為か，地表面に於ても0.5 sec，0.8 sec，1.0 secという，やや長い周期成分の方が卓越しており，計器感度が急激に低下している2～3 sec 近辺でもピークが見られる。屋上階/GL-24mのスペクトル比の卓越周期は両測点間の系の伝達特性を示すと考えられるが，この周期が屋上階の記録に優勢となっている。地表面/GL-24mのスペクトル比は，1次周期と見られる，0.3 secよりも，0.14 sec のピークの方が大きい。この周期は，地表面/GL-4mのピークでもあり，埋立表層に於ける，短周期成分加速度の増巾の著しい事を示している。

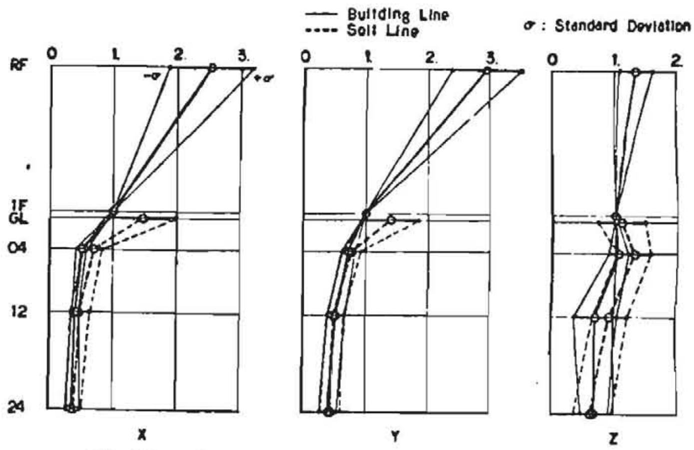


Fig.16 平均的最大加速度分布　（1F standard）

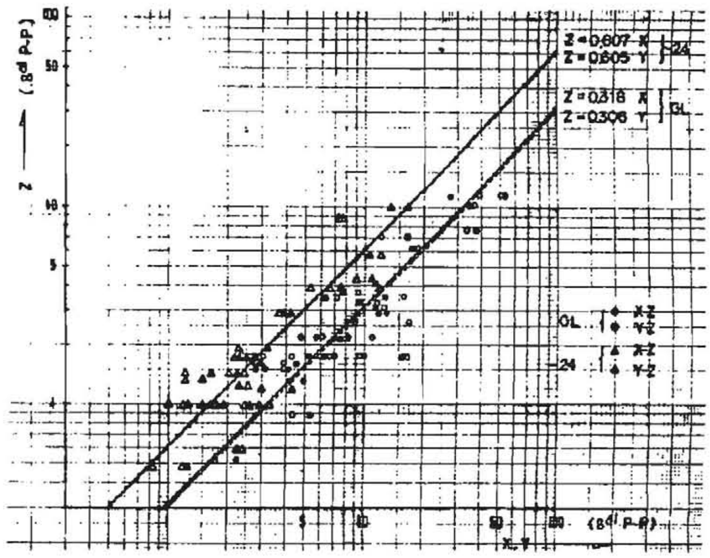


Fig.17 上下動加速度対水平動加速度

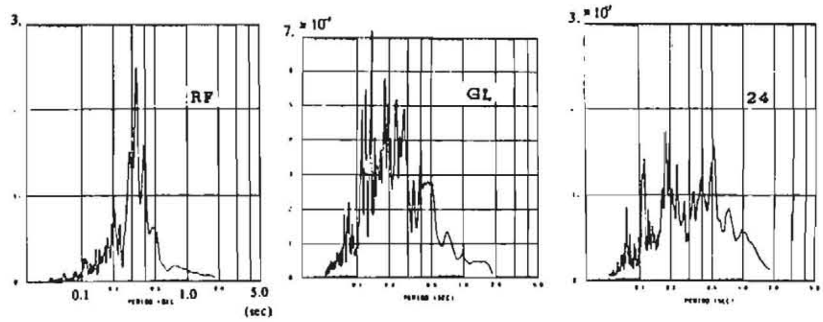


Fig.18 フーリエスペクトル No.20(1973.03.27)－Y

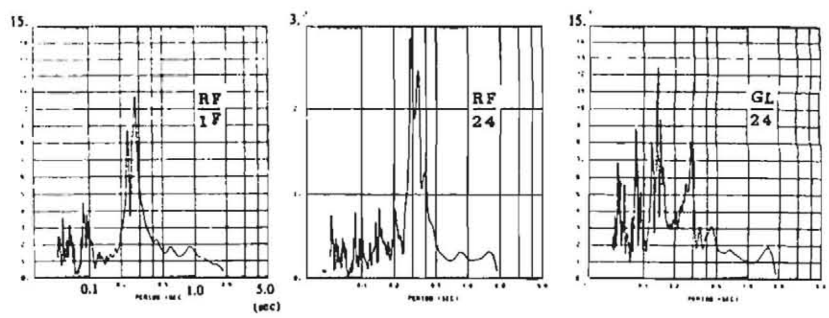


Fig.19 フーリエスペクトル比 No.20(1973.03.27)－Y

Fig.8，12 及び Fig.20，21は，記録を数個の区分に分割して求めた移動フーリエスペクトルと，測点間のスペクトル振巾の比である。同一地震記録でも，後半に至る程長周期側が卓越する事，及びスペクトル比で表わされる周期伝達特性は，この程度の地震では殆ど変化が見られない事が指摘される。Fig.22 は，GL－24m，－12m，－4m，1階から屋上階に至る伝達特性の平均的なパターンを示したもので，伝達距離が長くなる程卓越周期が伸び，且つ増巾度が大きくなる様子が明らかである。

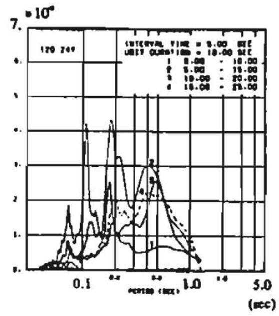


Fig.20 移動フーリエスペクトル

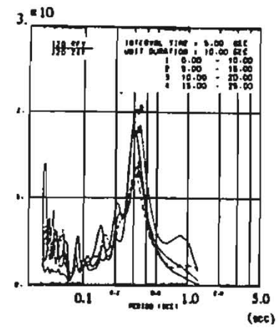


Fig.21 移動フーリエスペクトル比

ほぼ同一レベルにある建物1階と自由地表面とのフーリエスペクトル比は，Fig.23 に示すように，基礎変位を含む建物周期を境として，短周期側では地表面の加速度レベルが1階より平均して2～3倍高く，長周期側ではほぼ同じレベルにある。前述の最大加速度比率も考え併せると，地表面の短周期成分の大きな加速度が，建物にそのまま作用することは，当建物・地盤の様な組合せに関してはないと見てよい。

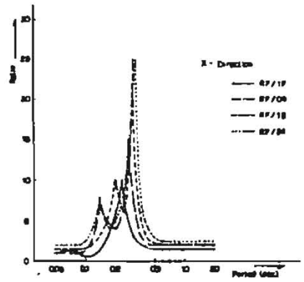


Fig.22 伝達特性のパターン

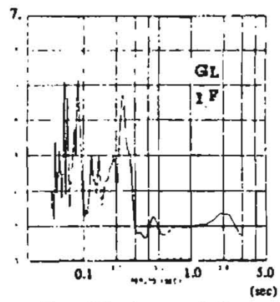


Fig.23 地表面と1階

地震時の基礎変形（Sway，Rocking）の割合を，強制振動実験とモデル解析から求めた基礎固定時の建物の固有周期，屋上階と1階の地震動記録のスペクトル比から求めたRockingを含む周期，そして屋上階の地震動記録のスペクトルから求めたSway-Rockingを含む周期の3者の比から概算し，強制振動実験結果の値と併せてTABLE2 に掲げる。短辺（X）方向では，地震時に於けるSway率が強制振動実験時よりずっと大きい点が注目されるが，これは加振位置の相違により，根入れ部分の見付面積の大きいこの方向で，拘束効果に差が現れたものと考えられる。

TABLE 2 Sway及びRockingの割合

	固有周期 (sec)			変形率 (%)					
				地震時			強制振動実験時		
	基礎固定	ROCKING	SWAY, ROCKING	SWAY	ROCKING	建物	SWAY	ROCKING	建物
短辺	0.19	0.23	0.32	48 (137)	17 (47)	35 (100)	29 (64)	27 (61)	44 (100)
長辺	0.24～0.26	0.27	0.34	37 (74～64)	13～5 (26～9)	50～58 (100)	38 (68)	6 (11)	56 (100)

GL－24mの加速度記録のうち，震央距離約20Kmと50Kmの地震動のせん断力係数応答スペクトルをFig.24 に，また震央距離160Km程度の伊豆半島沖地震のせん断力係数，速度，変位応答スペクトルをFig.25 に示す。最大加速度は19，減衰定数はh=0.03，0.05，0.07の3種類とした。遠距離地震ほど長周期側で卓越する傾向があり，この為，せん断力係数が1.0を下まわる限界周期も同様な傾向を呈する。

§6 加速度記録の速度・変位変換

観測加速度記録をフーリエ変換を用いて積分し，速度及び変位波形を作成すると共に，

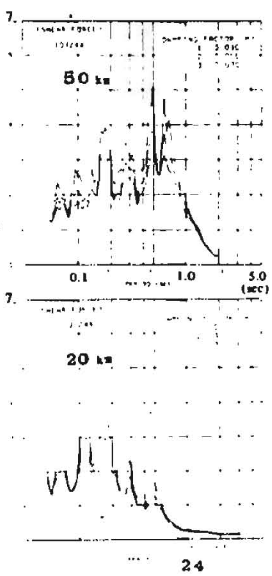


Fig.24 せん断力係数スペクトル

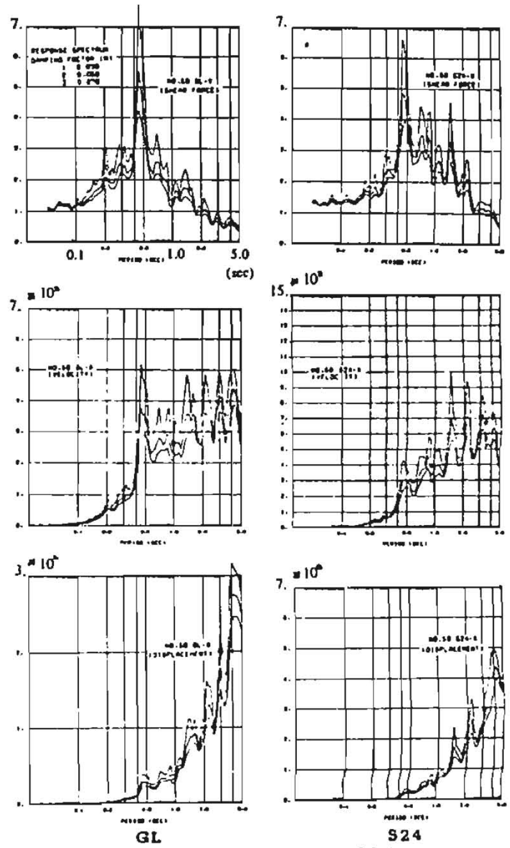


Fig.25 伊豆半島沖地震応答スペクトル

歪度の検討を行った。ただし，変換に際しては，長周期成分の誤差を取り除くため，T＝3.0 sec の High-Pass Filter をかけている。Fig.26 に観測速度波形と積分速度波形の対応を示す。Fig.27 は，伊豆半島沖地震の速度・変位波形であり，地表面での最大速度は 0.7 ～ 0.8 kine，最大変位は 0.16 ～ 0.19 cm であった。地盤のせん断歪は 10^{-5} のオーダーであり，この程度の歪では殆ど剛性低下はないと言えよう。

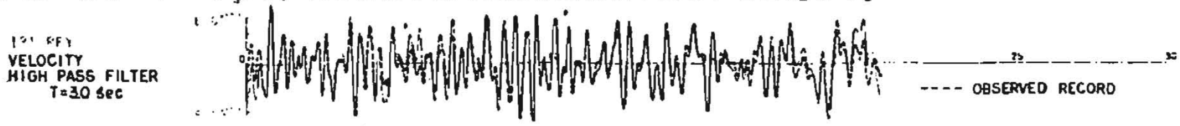


Fig.26 積分速度波形と観測速度波形の対応

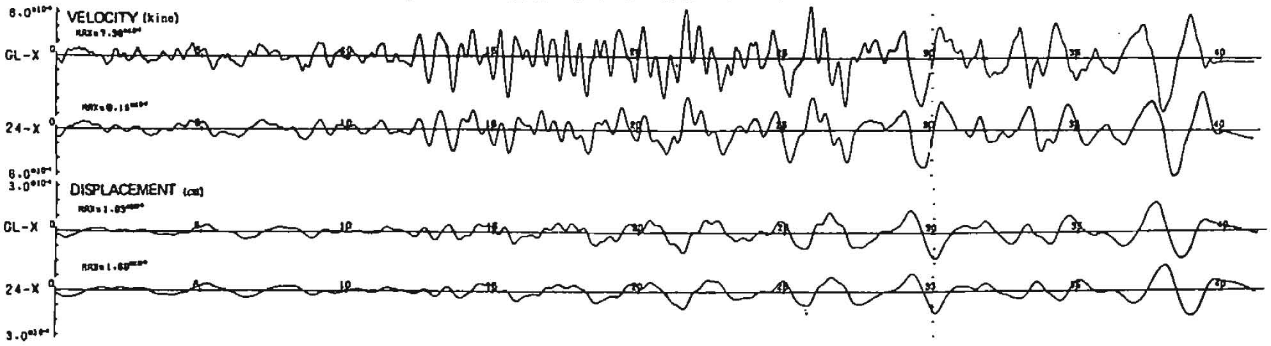


Fig.27 伊豆半島沖地震変換速度変位波形

§7. 地盤の減衰定数　　地盤系列の測点のある地盤を対象として，質点系置換モデルを作成し，固有振動特性を求めると，Fig.28 の如くであった。周期的には地震動観測記録のフーリエ解析結果とほぼ一致している。このモデルを用いて GL-24 m の観測地震動を入力とする応答計算を行い，地表面の応答加速度波形と入力波形のフーリエスペクトル比が実測値と近似するような各次の減衰定数を求めると，TABLE 3 の如く，1 次で 8.5 ％と大きく，高次で減少するという結果を得た。この時の応答波と観測波との対応は Fig.30 に示す如くで，かなり良く近似していると言うことができる。

§8. 建物・杭・地盤連成系モデル　　Fig.31 に示す連成系モデルを用いて，GL-12 m の杭先端位置の観測地震動を入力とする地震応答解析を行い，Fig.32 のように最大加速度について，かなり良い対応を得た。

TABLE 3 地盤減衰定数

	1st	2nd	3rd	4th
h	8.5 %	1.85	1.90	1.15

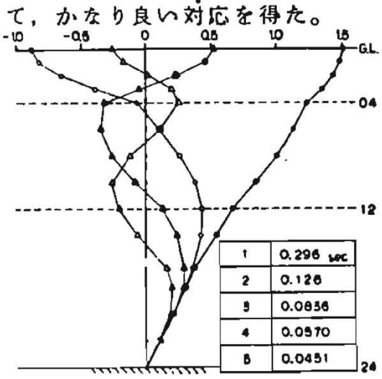


Fig.28 地盤固有振動特性

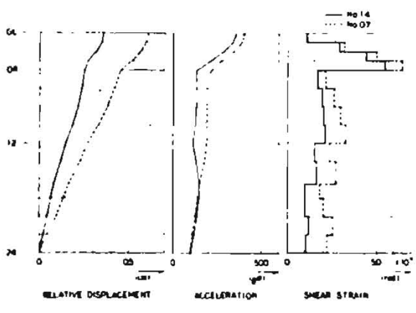


Fig.29 地盤最大応答値

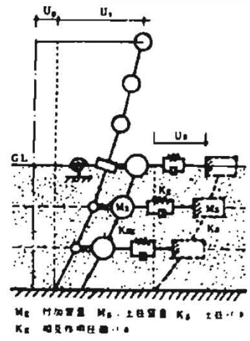


Fig.31 連成モデル

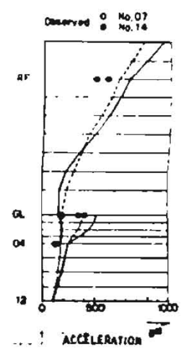


Fig.32 連成応答値

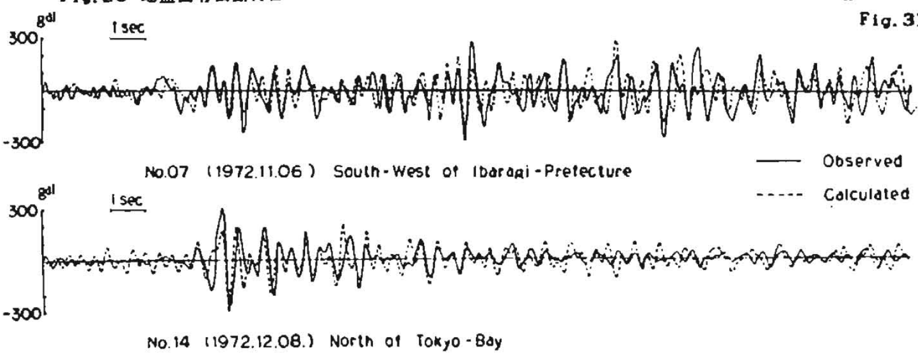


Fig.30 地表面での観測波形と応答計算波形の比較

御指導戴いている東京大学梅村教授・大沢教授・青山助教授に感謝します。

〔参考文献〕

1) 河村「稲毛海岸埋立地に杭支持された建物に於ける観測結果」1974，地盤震動シンポジウム

2) 山田，河村，萩尾「埋立軟弱地盤に建つ杭支持建物の地震動観測と解析」1974，建築学会北陸大会梗概集

第3回　地盤震動シンポジウム
地盤震動小委員会　1974.11.20

I-4　東海道新幹線沿線の強震記録

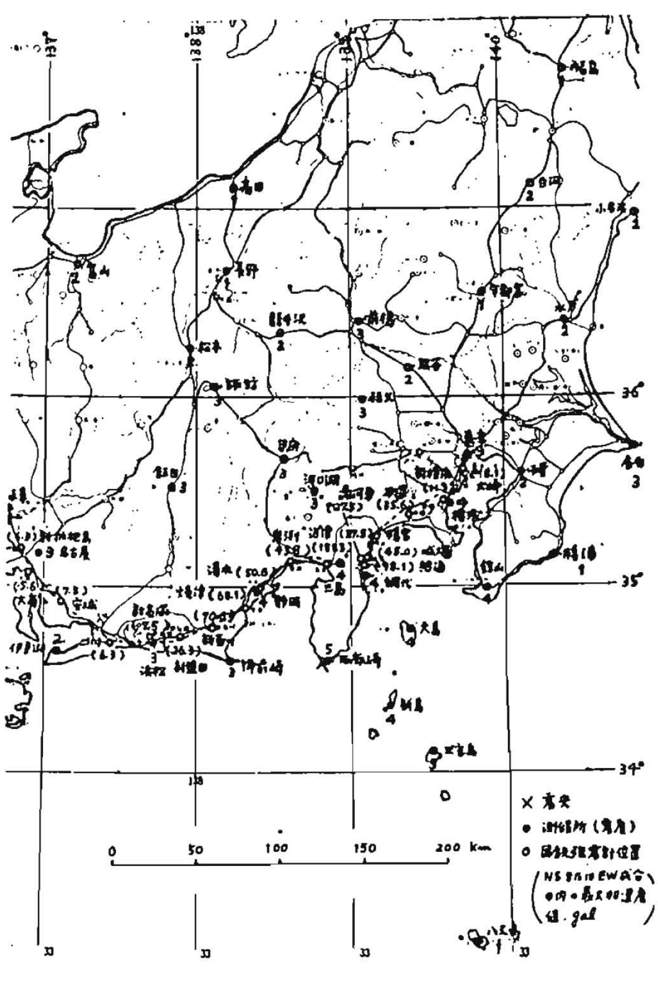
藤原俊郎

1　はじめに　1974年十勝沖地震のとき、震央から約50Km以上離れていた国鉄の線路は震害を受けなかつた。しかし東海道新幹線沿線の主として変電所構内の地盤上に、列車制御用感震器と併置されていた強震計は全数28台の内その約2/3が作動して地動を記録した。これらの記録の中には最大200ガルに及ぶ大きい加速度値を示したものもあつたが、上述のように被害はなくて一部の線区で2～3時間の列車停止あるいは徐行するにとどまつた。新幹線の焼津市内で地震直後軌道狂いが発見されてむら直しがおこなわれたが、この狂い量も保守目標値を僅か超えた程度で地震が原因と断定することはできなかつた。記録された各地点の波形は地盤の相違による影響をよく示しており、その結果を震害を受けた南伊豆の地盤に適用して若干の検討をおこなつたので以下に報告する。

2　強震記録　表ー1に記録からの読み取り値を示した。沼津の181ガル（倍率補正をすると225ガル）が、この地域の震度4から考えても特に大きい。震度分布と最大加速度値との対比は図ー1に示したが、熱海の98ガルもやや大きい。湯河原は熱海に隣接した地点であるが、この地点は27ガルにすぎない。熱海が平常一般に他より高い加速度を与えて列車をよく停めるので、比較のため湯河原の測点を設けたのであつたが、両者の最大加速度値の相異は設置地盤の硬軟の差異を示していると見てよさそうである。一般に震央距離のあまり異ならない同一震度域内でも、その最大加速度比は2程度異るといわれているが、ここでは3以上異つた地点を生じた。

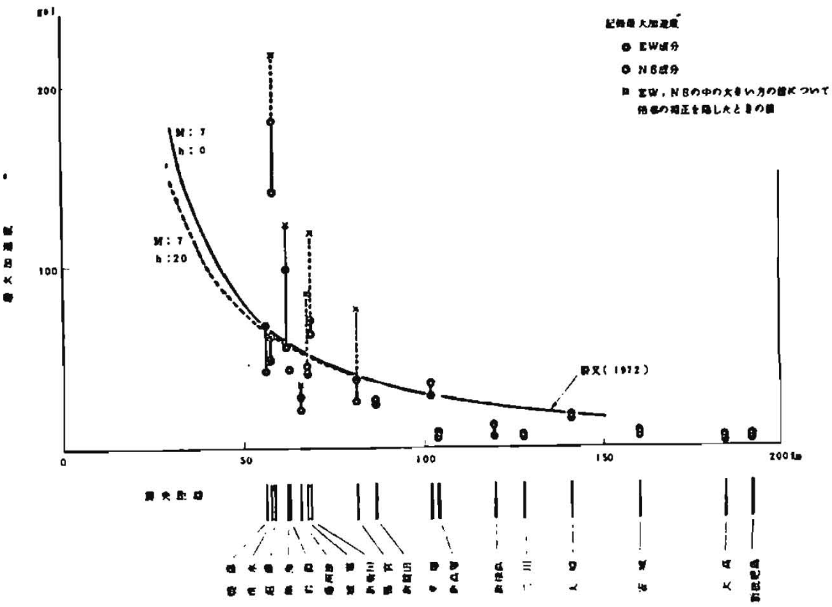
表ー1　地震動最大加速度とその周期

地点名 (G.L)	NS成分 最大加速度 gal	NS成分 周期 sec	EW成分 最大加速度 gal	EW成分 周期 sec	UD成分 最大加速度 gal	UD成分 周期 sec
大崎	18.1	0.68	15.6	0.60	6.3	0.47
新横浜	6.3	0.40	11.9	0.70	5.0	0.36
平塚	28.8	0.62	35.6	0.43	8.8	0.28
鴨宮	37.5	0.20	26.3	0.10	8 1	0.40
城堀	41.3	0.14	45.0	0.28	13.8	0.22
湯河原	27.5	0.26	21.3	0.24	6.3	0.24
熱海	98.1	0.28	55.6	0.29	20.0	0.21
沼津	140.6	0.29	181.3	0.28	25.6	0.13
岩淵	−	−	43.8	0.88	31.9	0.37
清水	50.6	0.40	48.1	0 28	11.9	0.28
焼津	68.1	1.09	42.5	0.57	14 4	0.25
新菊川	70.6	0.18	62.5	0.18	13 8	0.19
新磐田	25.0	1.04	26.3	1 09	6 3	0.90
新高塚	7.5	0.56	6.3	0.60	6 3	0.20
二川	6.3	0.28	6.3	0.30	1 3	0.18
安城	7.5	1.40	6.3	0.30	1.3	0.20
大高	2 5	0.40	5.6	0.30	1 9	0.30
新枇杷島	5 0	0.70	6.3	0.58	−	−
新米原	4.4	0 38	5.0	0 58	0.6	0.20
五個荘	1.3	0.90	0 6	0.50	−	−



図ー1　震度および最大加速度分布

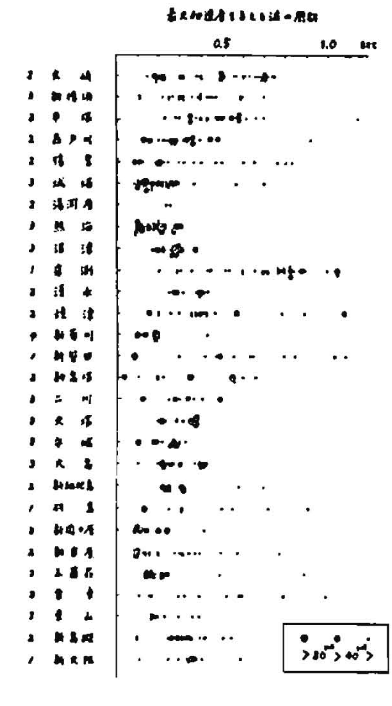
3　加速度波形と地盤　前節の内容を図－2にまとめた。図上に例えば勝又(1972)によるマグニチュード7、震源の深さ0および20㎞の最大加速度－震央距離曲線を引いて見ると、前述の沼津および熱海の他にも新菊川などが平均より大きい加速度を示していることがわかる。一方岩淵および新蒲原などが小さい加速度を示す。この地震のマグニチュードは6.9、震源の深さ10㎞とされているから、この判定は適当と考えられる。



図－2　最大加速度と震央距離との関係

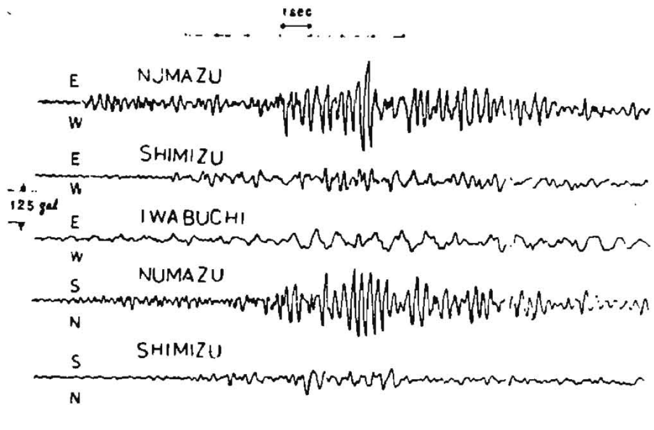
この標準とした曲線から特にはづれた地点の地盤はどうであろうか。図－3は各地点における過去の地震の最大加速度値を与える波の周期の分布を示す。地名の左端の数字は地質の硬軟の概略を示し軟弱地盤1、沖積地盤2、洪積地3および岩盤4を意味する。地震は比較的小さいのが多いことは留意しなければならないが、一般に硬地盤では短周期が、軟地盤では長周期が卓越するといえよう。

従つて例えば沼津、清水および岩淵の順に、その周期は表－1よりそれぞれ0.28～0.29，0.28～0.40および0.88であり、その地盤はそれぞれ洪積・沖積および軟弱を示す。これらの地点の記録波形は図－4に示すように、地盤の影響が顕著である。



図－3　地震動の最大加速度を与える波の周期の地点別分布、Apr. 1969～May 1974

振巾については発震機構にも関係するので一概には言えないが、一般に比較的近距離の地震では硬地盤の加速度で大であり、遠距離については軟地盤の加速度が決して小さくないことが、例えば岩淵における過去の記録などからも言えそうである。



図－4　地盤別強震記録の例

4　むすび　前節までに得られた結果をこの地震の被害地域に適用するために、家屋の倒壊率と墓石の転倒から推定された地動加速度を地形図上に記入して見ると、被害地の岩盤上では400ガルを超える加速度を示し、海岸線の入江ではうすい沖積層の増巾も考えられるが、家屋の被害は入間、西子浦および石廊崎に見られるように、必ずしも加速度最大でなくむしろ速度最大の地盤に生じたとも見える。（鉄道技術研究所　主任研究員）

第３回　地盤震動シンポジウム
地盤震動小委員会　1974.11.20

Ⅰ-5 伊豆半島沖地震の断層

村井
松田時彦

伊豆半島沖地震（M 6.9）に伴って石廊崎付近の断層が変位し，その両側の地盤に喰違いが生じた。この断層の性質・形態・意義などについて紹介する。

位置・分布　主な地震断層の位置を図1に示す。主要な断層（石廊崎中央断層）は石廊崎集落と入間集落内を通った。主な被害地はさらに北西の妻良・子浦・落居・伊浜の各集落まで達したが，上記の主要断層はそれらの集落までは追跡されなかった。わずかに妻良の南西と子浦の入口（図1のSとK）に地震断層が見出されただけであった。石廊崎付近では，主断層のほかにそれとほゞ平行する2つの地震断層が認められた。なお，これらのほかに当地域には多数の既存断層面や節理面があり，それらのいくつかは今回の地震時に振動により開閉運動を行った形跡があった。

断層面の傾斜・変位量　表1に示すように地震断層はいずれもほゞ北西－南東の走向をもち，一般に急傾斜であるが，主要断層（石廊崎中央断層）の主要部では南傾斜である。いずれの地震断層も右ずれ変位を示した。図2は主要断層に沿う両側地盤の喰違い量の分布を示したものである。石廊崎集落のやゝ北西方に断層変位の最高（右ずれ約45cm）がある。右ずれ変位のほかに垂直変位成分をも伴っていたが，それは断層線の主要部では南側の相対的隆起（約20cm）である。

断層運動　上記の断層変位は本震の時に大部分生じたが，石廊崎集落の人々が気がついたところによると，余震の著しかった本震後1～2日中にも断層変位が進行した。その量は本震時の変位の数分の1（数cm）程度である。岩石中の断層面上には北東側地盤が相対的に斜め南東へ水平面と約30°の角度をなして移動したことを示す断層条線が数ヶ所で観察された。図3は石廊崎集落東端で観察されたやゝ複雑な断層条線の例である。この図から断層運動の軌跡を復原すると図4のようになる。地震波解析からは断層変位（約1m）が終了するまでに要した時間は1～2秒程度と推定されている。

断層線の形態　基盤岩が露出している所では断層面やその変位が直接観察された。断層面はシャープな平面であり，そこに幅1～2cmの断層粘土帯をもっていた。断層粘土帯の周辺には多くの場合幅数十cm以下の軽微な岩石破砕部があった。土壌に被われた地表では断層線は雁行亀裂帯としてあらわれた。雁行亀裂帯の幅は数mで，その中に右ずれ性の雁行配置をする数本の亀裂をふくみ，全体として右ずれ変位を示した。石廊崎集落では亀裂帯の北縁に主亀裂があり，その南側の地面の破壊が著しかった。これは断層面が垂直でなくやゝ南へ傾斜していることによると思われる。亀裂帯の幅は土壌の厚さに関係があるらしい。石廊崎集落での1例では両者はともに1mであった。入間集落は断層の直上に位置しているが，砂地が厚いため上記のような亀裂帯は認められなかった。

活断層としての性格　石廊崎中央断層は地形的に明瞭な断層地形に沿っており，そのことから地震前にそれが活断層であることがわかっていた。山稜や谷の屈曲の様子から，第四紀後期の最近までの数十万年間にこの断層が右ずれに合計200～300mほど動いてきたことがわかる。それは今回の地震時の変位と同じむきであり，今回の地震がこの断層の全変位量を約0.5m増加させた。上記の事実および断層地形の新鮮度から考えて，この断層は現在まで平均1000年につき数十cmの割合で右ずれ変位を行ってきたと見られるので，今回のような地震も平均1000年に1回程度発生させてきたと推定される。

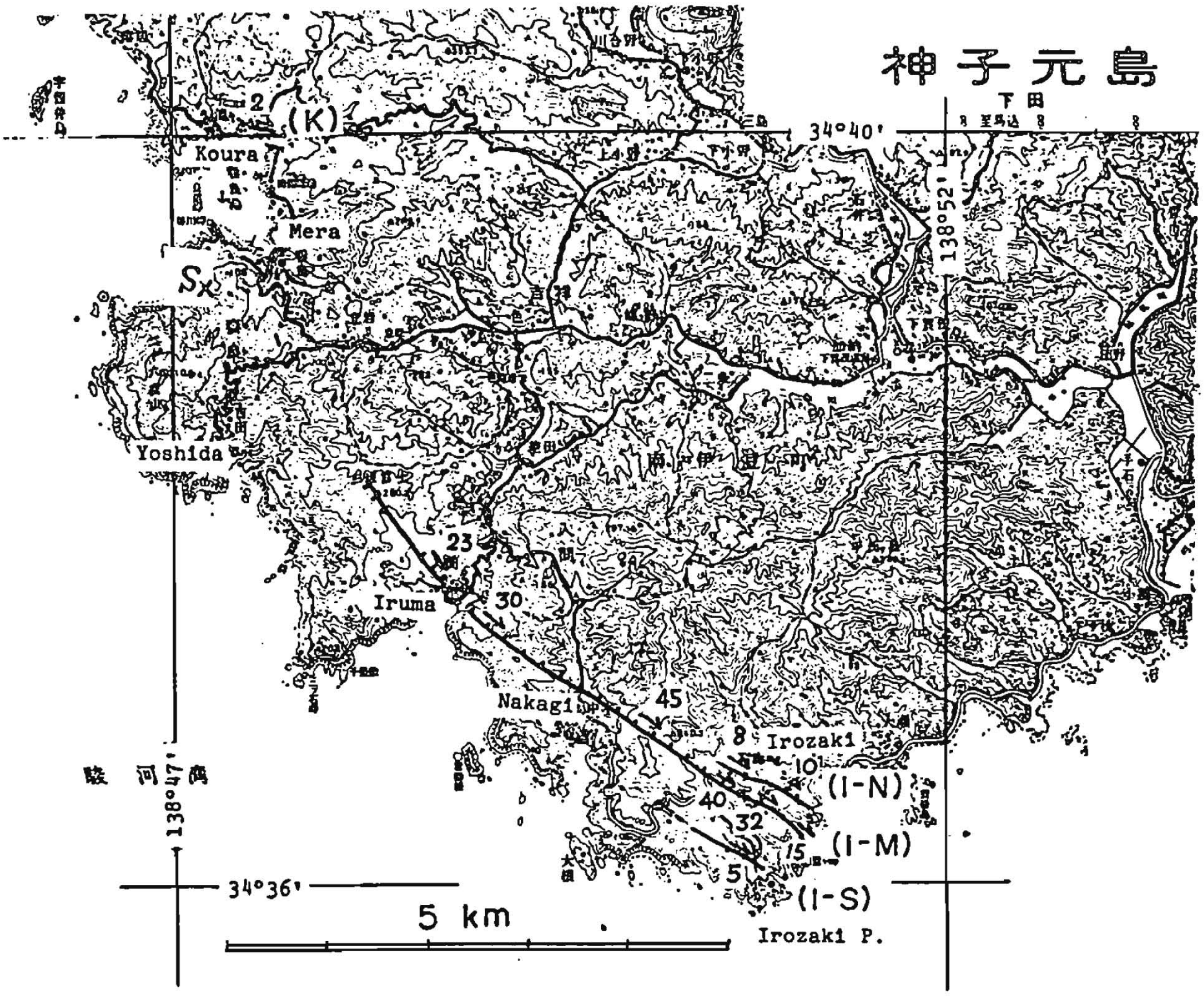


図1. 伊豆半島沖地震の地震断層. I－M：石廊崎中央断層, I－N：石廊崎北断層, I－S：石廊崎南断層, K：子浦断層. 数字は右ずれ変位量（cm）.

	地震断層	一般走向	傾斜	長さ	変位	
					よこずれ	たてずれ
1	石廊崎中央断層	N55°W	主要部 75°S~90° 西部 75°N	5.5km （石廊崎東海岸 ー三坂富士西肩）	右ずれ 最大45cm	南側隆起 25cm
2	石廊崎北断層	N55°W 80°N	80°N	1 km+ （石廊崎部落北東）	右ずれ 10cm	南側隆起 5cm
3	石廊崎南断層	N55°W	87°N	1 km+ （ジャングルパーク付近）	右ずれ 5cm	微少
4	子浦断層	N75°W	70°S	0.1 km （子浦入口神社）	右ずれ 2cm	北・南 1cm

表 1. 伊豆半島沖地震の地震断層

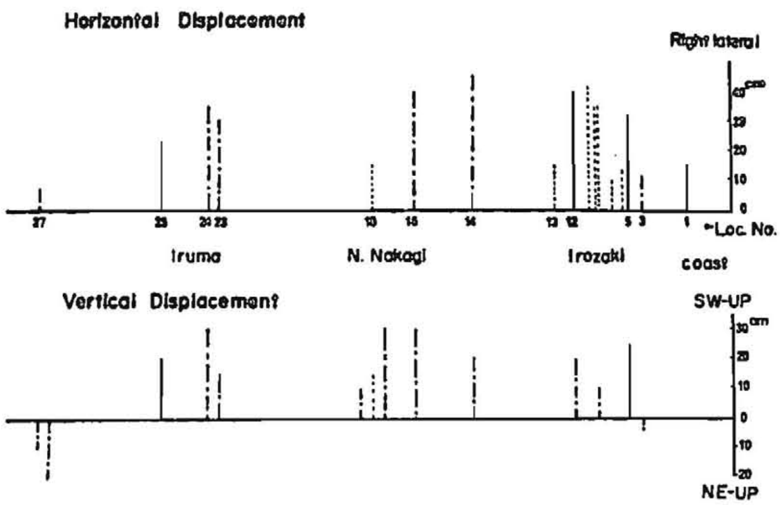


図2　石廊崎中央断層に沿う地震変位量。
実線：基盤岩での測定値
鎖線：土壌のある地表での測定値
点線：地表の構造物での測定値

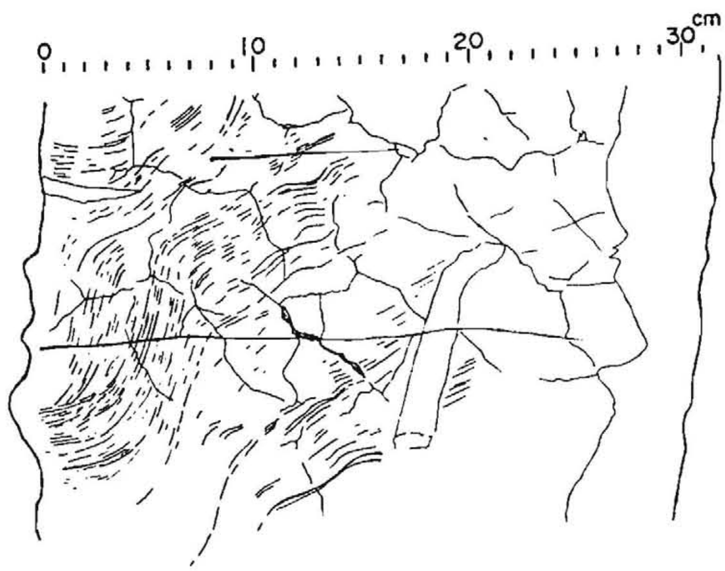


図3　今回の地震変位によって生じた断層条線の1例（石廊崎稲葉氏宅うら）
右ずれで新たに現出した断層鏡面を北側からみたスケッチ。

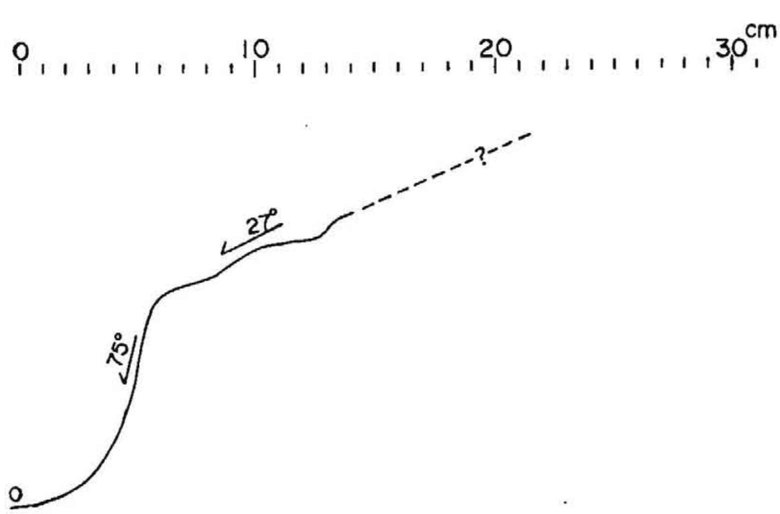


図4　図3の断層条線から求められた地震時の断層運動の軌跡。断層運動の前半部の軌跡は図3からは不明。

文　献

松田磐余・田村俊和，1974，1974年伊豆半島沖地震の地震断層とそれにともなう被害．地学雑誌 83, pp. 270–276.

松田時彦・山科健一郎，1974，1974年伊豆半島沖地震の地震断層．地震研究所研究速報 14, pp. 135–158.

村井　勇・金子史朗，1974，1974年伊豆半島沖地震の地震断層，とくに活断層および小構造との関係．地震研究所研究速報 14, pp. 159–203

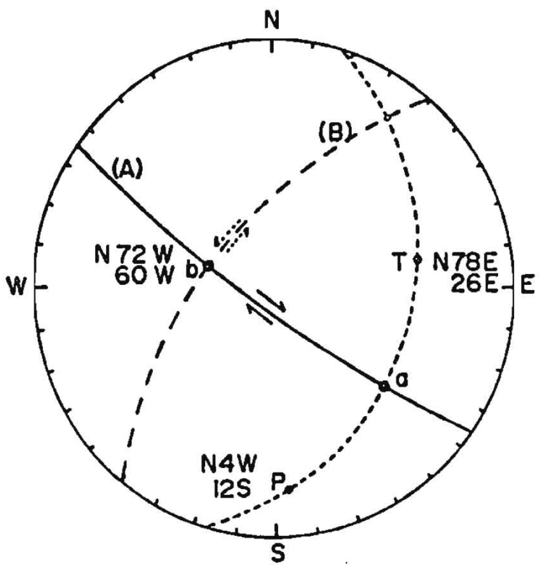


図5　伊豆半島沖地震の地震断層の方位と変位のむきから求められた地殻応力の方位
P：最大圧縮主応力軸
T：最小圧縮主応力軸

平均変位速度 S		実　例	変位地形
A	1 ～ 10 m/10^3 y	中央構造線 阿寺断層 丹那断層	明　瞭
B	0.1 ～ 1 m/10^3 y	福島断層 深谷断層 千屋断層	
C	0.01 ～ 0.1 m/10^3 y	深溝断層	やゝ不明瞭

表2　活断層の第四紀後期における平均変位速度。
石廊崎中央断層の平均変位速度は 0.1～1 m / 10^3 y.

（地震研究所　助教授）

I-6 工学における地震観測の窓

後藤典俊・太田裕

1 はじめに

地震を観測して得る情報量は計測システムの特性，記録されたデータの状態等の各種の条件によって制約されているのが実情である。地震学者，石本巳四雄は「器械は自然に向かって開かれた窓であり，また眼である」と言った。自然現象は多くの事実をたえず物語っているはずである，ある時には大げさに，またある時には控え目に。われわれは，それを窓を通して見るという作業を行っているのである。地震を観測する場合には相手が自然の現象であり，それがかなり気まゝであるがために，われわれが見ようとしている窓の枠からはみ出すという例を見ることがしばしばある。大地震を待てばなかなか記録がとれず，小地震の観測を行って早く何らかの成果を上げようとあせれば大きな地震で記録上の振巾がスケールアウトするという経験をするのである。何年，あるいは何十年をかけても大地震を観測しようという話は効率が悪くてなかなか実らず，実行にうつすのは非常に困難なことである。その意味においては，現在わが国において強震計が配置され大地震を観測できる状態にあるということ自体は大きく評価されるべきことである。

初期の地震学は，地震を観測する，すなわち観測の「窓」を開くということにあった。わが国において地震の観測が行われはじめたのは明治時代のはじめであり，当初は体感で観測（人間地震計？）もなされたらしいが，器械による観測が行われるようになり，ここに地震学の根がおろされたわけである。ようやく地震観測の窓が開かれたのである。当時の地震計というのは，例えばU字管に入っている水銀の上面にプーリーを介してバランスのとれた錘をふれるようにして，地震によって動揺する水銀の最高位置が記録できる地震計等創意工夫に満ちたものであった。そのときの「窓」のイメージは，正体不明の地震をとにかく測る手段を「窓」を通して求め得たという積極的な意味を持っていたにちがいない。

以後地震計は改良に改良を重ね，地震計の理論が確立して観測技術も進歩し，それに伴い地震現象の理解も徐々に進み「窓」は拡大され質的量的変遷をたどって今日にいたっている。しかし，観測の窓が拡大され，地震への理解が進めば進むほどまだまだカバーしきれない観測上の多くの問題点が残っていることに気がつくのである。したがって，今日においては「窓」は光を採り入れる有難いものというよりは，むしろ枠があって自然現象を広範囲に見ることをさえぎる障害になっているというイメージに変化してきている。また，観測の窓ということばの内容も，単に地震計の特性という意味のみならず，観測の目的意識にかかわる観測装置の選定，地震計の配置等観測計画についての問題点も今日においては大きな比重をしめているように思われる。

ここでは，とくに工学および関連分野における地震観測の現状を分析してその問題点を指適し，観測の窓がどのように拡大されてゆくべきかを考えてみたい。

観測
2 地震工学における技術的変遷

工学における地震観測がいかにあるべきかを考えるにあたって，工学以学外の分野をも含めた観測技術の変遷と現在の技術的レベルについてながめてみよう。

日本では1950年頃から爆破地震の観測がはじまり，エレクトロニクスが地震観測に導入されはじめた。電磁式の換振器の出力が増巾器によって増巾され，データレコーダーに記録されるというシステムが，おもに人工地震の研究分野で発達し，移動観測が容易に出来るようになった。1960年ころからはトランジスターの増巾器が実用になり，その後トランジスター，集積回路の発達により100 dB以上の利得をもち，しかもきわめて小型の増巾器を作ることも可能となった。

増巾器によって増巾された出力は小型のデータレコーダーに記録され，その信号は何時でも再生し適当な方法

で解析できるようになり，その高密度な記録媒体と電気的にくり返し再生できるということでその応用範囲は飛躍的に増大した。 一方，可視記録をとる電磁オシログラフは多成分観測には簡便であり，摩擦がないので広い周波数範囲の記録をすることができ，光学的に倍率が上げられることもあって広く使われている。 また，日本では長い間煤書き式の地震計が使われてきた。 記録線が細いという大きな特徴のために，磁気記録式地震計が普及した今日でもなお存在価値があるように思われるが，煤を扱うという保守上の問題があってか気象庁の変位型一倍強震計ではインク書きレコーダーを使用するようになった。 煤書き，インク書き，スタイラス書き等のペン書き方式の記録計は，紙送り，ペンの共振・摩擦で短周期の特性に限界はあるが，目的によっては波形が目に見えて取扱いが簡便なことでSMACをはじめとして長期間観測には多く用いられている。 これらは解析時には不便なこともあるが，モニター用記録計としては貴重である。

換振器について見れば，固有周期1秒以下の短周期の電磁式のものはコンパクトで，地中にも埋設出来るようなものもすでに使用されており，最近ではサーボ型地震計のように振子自体は動かさないように電気的に制御して振動量を測定するといった方式のものもある。 この方式は強震地動の測定，とくにスペースの少ない地中強震観測をする場合にはうまい方法かも知れない。

エレクトロニクスの目覚しい進歩に伴い，計測器の超小型化，低消費電力長時間記録が可能となり，ついに数千米におよぶ深海底における地震観測も行われるようになった。 深海底における観測の試みは1937年頃よりEwingらアメリカのLamont研究所のグループによって始められ，以後長期間自動記録装置を備えた海底地震計の開発も行われている。 また，海底電線によって陸上局に連結された海底地震観測所を開発し，California沖150 km，深度約4000 mの海底で1966年以来連続的に地震観測を行っている。 日本においても磁気記録方式海底地震計の開発が進められている。 震源域に近ずいた強震観測を行うことは，今日ではもはや技術的には夢ではない。 また，地震計の小型化にともなって地中地震観測も比較的容易に行われるようになり，岩槻では国立防災科学センターによって深さ3500 mの地下での地震観測が行われているほどである。 強震計の地中観測も，技術的には今や容易になってきたと言えよう。

近年，高速で容量の大きな電子計算機が普及し，詳しい解析は地震波形を数値化しデジタル計算することが多くなった。 一方，計算機のハードウェアの発達に伴って，計算機が計測制御に使用されるようになりミニコンピューターの普及もいちじるしいものがある。 ミニコン制御による地震のオンラインデジタル観測も試みられており高精度の広帯域地震観測への道が開かれた。 また，テレメーター，既設電話回線の利用で遠隔観測も可能になっている。

3 地震観測の現状

わが国における地震観測の現状はどうなっているであろうか。 その対象としている地震の大きさ，地震計の配置等についてながめてみよう。

<u>気象庁1倍変位型強震計による観測</u>　全国100余りの気象台・測候所に地震観測点があり，1倍変位型強震計が設置されている。 地震計の配置されている場所は基盤岩上と見なされる所もあれば，沖積層地盤上等さまざまであるが，全国に100台以上の1倍変位計がその他感度の高い地震計とともに平均的に分布しており地震計の規格も統一されている。 地震計の特性としては1倍変位計は機械式地震計で感度1倍，固有周期は水平動6秒，上下動5秒である。 記録計は煤書きドラムであったがインク書きドラムに変更され日常観測が行われている。 その他，高倍率の地震観測も行われており，磁気ドラム遅延装置，データレコーダーなども使用されている。

<u>大学における地震観測</u>　大学における常時地震観測は，初期の頃は大学構内や近郊の手近なところに観測所が設けられたが，高感度地震計や長周期地震計の観測が行われるようになると，ノイズの小さい所あるいは地震活動の活発なところを求めて新しい観測所が設けられるようになった。 また，地震予知研究計画に基いて，

各地に微小地震観測所が設けられ，微小地震の震源，マグニチュードの決定，seismicityや発震機構の研究などが行われている。近年機械式の地震計から，高感度の電磁式地震計，長周期地震計，さらには無線あるいは有線による遠隔記録地震計も日常観測に用いられるようになってきた。記録方式も煤書き式，インク書き式，ブロマイド，マイクロフィルム，磁気テープ等が用いられている。一般に大学での地震観測は高倍率で初動から記録する方式が多く，大地震の観測は手薄でありそこまで手がおよんでいない現状である。一方，大きな地震から小さな地震までダイナミックレンジの広い地震観測システムの開発やミニコン制御の観測システム開発の試みなどの研究も行われている。

工学の分野における地震観測　地震工学の分野で一般に行われている観測として，地表および構造物における強震観測および地中における弱震観測がおもなものとしてあげられよう。1951年標準強震計試作委員会が組織されてまもなく，SMAC型，DC型強震計が製作された。強震測定委員会の努力によりその設置台数は大巾に増えて，現在全国で数百台の強震計が設置されている。しかし，その設置の地理的分布は東京をはじめとする大都市に集中する傾向がある。土木関係の強震観測では計画的配置がなされているようであるが，建築関係では大都市の建物に集中しすぎている感がある。1973年根室半島沖地震の際，根室に強震計がなく，1974年伊豆半島沖地震の際，伊豆半島に1台の強震計も置かれていなかったという事は，強震計の大都市集中の裏面を見せられているようでもある。

工学における地震観測とはいったい何なのかを考えてみよう。地震という自然現象を観測するに際して，工学と理学に区別するのは本来おかしな事である。これは地球物理学的地震観測ではカバーしていない大地震の主要動部分を工学的目的のため必要にせまられて観測しだしたという動機があるのではないだろうか。その意味においては，大地震の主要動を観測する窓が工学の分野で開かれたということであり画期的なことである。その後，地震工学および関連の分野における進歩とともにその窓が拡大されてきた。しかし，それは主として観測点の数が増えたという量的拡大であり，大地震の主要動さえ観測すればよいという安易さが次第に目立つようになってきたのが現状である。一方では地中地震計による観測，多点観測等三次元的観測への努力が払われているのは事実である。しかし，地中観測は中震あるいは弱震観測でありいまだ地中強震観測は行われるにいたってない。やがて工学の分野でも地震の初動部分の解析も必要となり遅延記録装置も必要となるであろう。また，ある広がりを有する地域としての耐震 ―― 面の耐震 ―― ，あるいはある1つの建物の耐震 ―― 点の耐震 ―― を考える場合はとくに多点の強震計に絶対時刻または相互間に共通の刻時（コモンタイム）があることも重要なことであろう。

4　現状における地震観測の窓

観測の窓を規定する要素としては計器の特性に関するものとして地震計の倍率・SN比（ダイナミックレンジ）・周波数特性，記録のduration（P波初動，記録継続時間）・時間精度（サンプリング間隔・刻時），地震計の保守などがあり，その他地震計の配置計画，計算機にかけるまでのデータ処理などがあげられる。

ここに，現在広く用いられている地震計で工学的目的に利用可能なものの代表的なものから気象庁1倍変位型強震計（JMA-S），地中観測に用いられるTUSS型加速度計およびSMACを例にとってしらべてみよう。

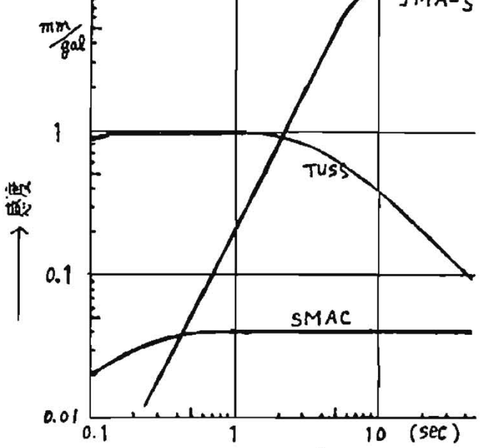


Fig.1　加速度感度特性

地震計の特性について　加速度計としての感度特性を図示するとFig.1のようになる。JMA-Sは変位計であるが加速度計

と見なしたときの特性である。

JMA-S (機械式変位計)

変位計感度	:	10 mm/cm
制振度	:	V=8 (h≃0.6相当)
固有周期	:	水平動T=6 秒
		上下動T=5 秒
紙送り速度	:	3cm/min (0.5 mm/s)
変位振巾上限	:	30mm

TUSS型電磁式地中加速度計

加速度感度	:	1〜3 mm/gal
減衰定数	:	h=10〜20
固有周期	:	T=0.3〜0.2 秒

SMAC型強震加速度計(B1型)

加速度感度	:	0.04 mm/gal
減衰定数	:	h=1.0
固有周期	:	T=0.1 秒
紙送り速度	:	1 cm/s
記録範囲	:	10〜1000 gal
スターター始動	:	10 gal

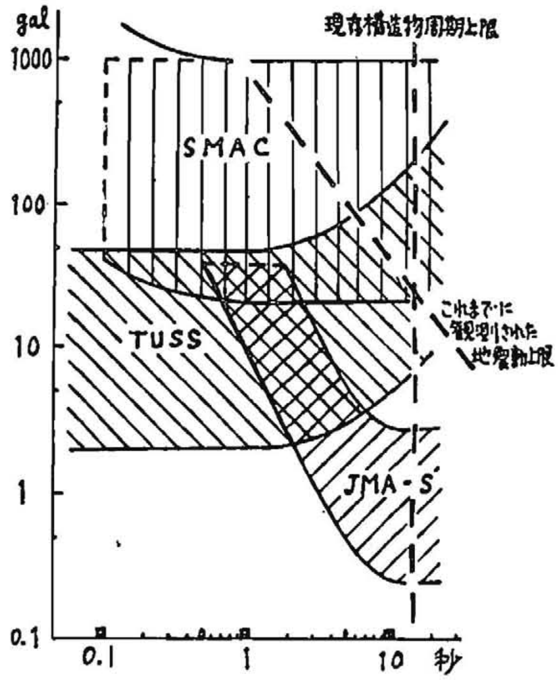


Fig.2 地震の大きさに対する窓

これらの地震計はどの位の最大加速度の地震を記録できるかの目安として，地震計の守備範囲とこれまでに観測された大地震の振巾，既存構造物の固有周期の上限とを，たて軸に加速度をとって図示したのがFig.2である。対象とする地震の下限は記録線の太さ，ペン圧，摩擦，ペンの共振，紙送り速度等を考慮して適当に設定したものである。ここではTUSS型地震計の感度を1 mm/gal として示してある。記録紙上の振巾の下限は，SMAC 0.8mm，TUSS 2mm，JMA-S 2.5mm ととってある。最大振巾がこの程度の地震記録は波形解析に十分耐えるかどうかは疑問である。より高感度の地震計と併置してその信頼限界を確かめるべきであろう。Fig.2の図中これまでに観測された地震動上限の破線は確かな値を示すものでなく，これまでに観測された数少ない値からやゝ長周期成分へ延長しただけであり必ずしも地震動の上限を意味するものではない。これはむしろ今後研究されなければならない未開拓な領域であり図の破線は，これを対象とした地震観測の窓を開こうという一つの目安である。長周期側ではSMACの感度では不十分であり現在の観測システムではカバー出来ていない重要な部分である。今後やゝ長周期の地震入力を考えるときぜひとも窓が拡大されるべき領域である。JMA-Sは現存の観測網のうちではその領域の一部を受持っている貴重な窓である。SMACは振子としては広い周期の範囲で強震動をカバーできているのであるから，その記録計をダイナミックレンジの広いものに改良することにより窓は飛躍的に拡大するであろう。

記録の数値化

SMAC等のアナログの可視記録は，その多くは目で読取りが行われている。SMACリーダーという性能の良い読取機があるにしても人力で波形を数値化するのは労の多いことであり，他に手段があれば避けたい作業である。最近強震計に磁気テープ記録が実用されてきたのは，AD変換器の利用を考えたものであろうがテープノイズのためSN比の向上にはならないであろう。現在の data recorder のSN比は40dB程度である。むしろ，online digital recording を考えるべきであろう。ダイナミックレンジの大きい，しかもデジタル記録がとれるという事は大きなメリットである。

地震計の配置

Fig. 2の地震計の窓は同一の場所にこれだけの窓が開かれているという図ではない。それぞれの窓が，ばらばらに配置されていると考えるべきである。数百台設置されているというSMACの設置点についてみると，岩盤上での観測が非常に少ないことが目立つ。建築関係の強震計の分布は民間の協力が多いという事があってか大都市，建物の中に集中しすぎておりその保守の悪い観測点もかなりあるようである。強震計はビルのお稲荷さんではないのである。また，建物の中で多点観測を行う場合でも，さらに相互間に共通の刻時を入れたり，建物の周囲のfree field にも観測点を置くことにより，さらに一段と工学的に利用価値が増し「窓」は一層拡大されるはずである。ちなみに，アメリカの強震観測では民間が建物の中に強震計を置き，NOAA が周囲のfree field を受持ち両者をセットにした多点観測のパターンができているようである。わが国での現状の配置はあまりにも近視眼的であると言わざるを得ない。

5 観測の窓拡大への展望

標準地震観測点　観測の窓は最新の技術導入による新システムの開発により大きく拡大する事は事実であるが，それ以前の段階で現在の観測態勢でも窓拡大のための問題点は多い。周波数範囲，振巾の範囲を広くカバーできるような各種の地震計をそろえて観測し，また全国で実用されている各型の地震計を1台ずつ置き，較正および同時観測を行う地点が少くとも1ケ所はあるべきであろう。工学における地震の観測方法のあり方を1つのモデル地点で実際の観測を通じて追究していくという提案である。個々の観測では，地震波の解析は time frequency の解析のみに終ることが多いようであるが，これは地震を vibration として見ているということにほかならない。3次元的に地震を観測して，その space frequency を observable にするという視点を持つことも重要でありこれら2つがあってはじめて地震を波動としてとらえることが出来るのであって，これらの問題は標準地震観測点ともいうべき拠点を設けて，多点観測の配置計画をも含めた研究が行われる必要がある。

また，地震予知研究と呼応して，地震が起りそうだと疑われる地域があれば，緊急移動強震観測を組織できる態勢を整え，より震源に近づいた強震観測を行い5年でも10年でも観測を続けるという努力が払われるべきである。さらに進んで，日本のような沖合に大地震が多い事情を考慮して，海底強震観測をも真剣に考えられるべき問題であろう。これらの観測を通じて工学における地震への理解が進み窓はさらに拡大されてゆくはずである。

オンラインデジタル観測の提案　現在分布している強震計がやがて計画的に再配置されるべきであるとしても，強震計群の中から何台かを差別し，その記録をデジタル記録にするということを考えてみよう。現在の強震計から電気的出力を出すことは容易に行うことができるであろう。これを増巾したえずAD変換を行い，遅延回路を通してデジタルの磁気記録器に接続し，スターター始動で記録開始するというシステムを提案する。遅延回路は MOS ICのシフトレジスターを用いたものがすでに実用されている。AD変換器は12 bit 程度のものが実用的であるが，より bit 数の少いAD変換器を多小工夫して16 bit のデータを作ることも考えられる。12 bit あるいは16 bit のデジタル観測が行われるようになれば Fig. 2の SMAC の下限がより小さい方に延び守備範囲が拡がる。12 bit の場合，最大を1000 gal として 1 digit 0.25 gal であるからその20倍の 5 gal max. 程度の地震から，また16 bit では 1 digit 0.015 gal であるから 0.3 gal 程度の振巾から守備範囲に入れることができる。すなわち，16 bitのデータであれば有感地震の範囲は楽に1つのレコーディングシステムに記録されるだけの巾を持つことになる。このシステムは強震観測にエレクトロニクスを持ちこんだもので常時電力を消費するという点で強震時の停電対策および測定器自体の耐震を新しく考慮しなければならない。電源についてはバッテリーを商用電源で充電させながら使用する事で解決されるとしても，測定器自体が大地震時に対して十分耐震的であり安定に作動出来るように工夫することも必要であろう。これらの記録システムは強震計設置点またはその近傍に置かれる簡便な方法であり，スタータ作動時から時間をさかのぼって広い範囲の地震（大地震から小地震まで）が数値化された状態で記録されるのが特徴である。従来の記録システムはそのまま保存されモニター記録として有効に使われることになる。これらのデジタルレコーディング

システムはさらに電話回線を通じて拠点観測所に集められ遠隔集中観測を行うことも技術的には考えられるが，これについてはもっと後の段階で検討されるべきことであろう。

さらにもう一つの提案がある。AD変換器とミニコンを組み合わせたオンラインデジタル観測である。この方式についてはすでに小さな地震ではあるが観測を試みた経験を持っている。逐次データをとり込みながらあらかじめ記憶させた地震の性質を参照させる演算を行い地震を判別し，その初動部分をさがして記録することが出来る。その他，地震の記録すべき長さの判断等の演算を行いながら計算機のメモリーまたは外部記憶装置に地震波のデータ，時刻等を記録してゆくことも可能である。ここで，ミニコン制御によるオンライン地震観測の例を紹介する。このシステムはHITAC 10を用いており，3つの観測点の振巾レベルの .AND. をとって地震の判別を行った例である。CH5は岩盤それ以外は地盤の地中および地表で，同一地点の深さ50m（CH.1~3），20m（CH4），地表（CH.6）である。これは強震観測用のシステムではない。強震観測であれば地震の判別はより容易に行うことができるのである。このシステムは換振器のダイナミックレンジ，計測器の電源と耐震に対策を施せばそのまゝ強震観測へ応用することができよう。

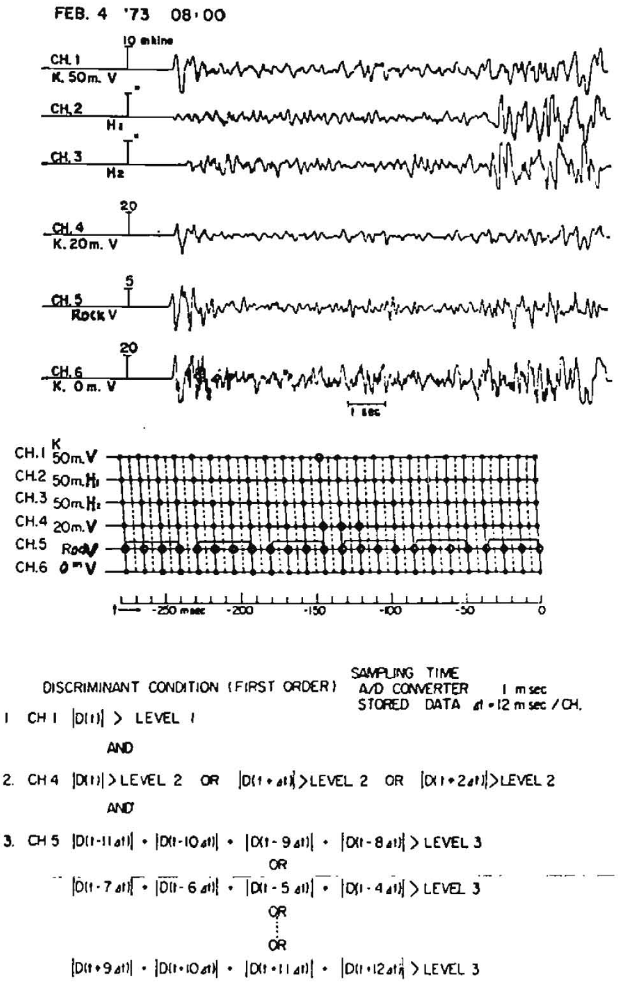


Fig.3 ミニコンによるオンラインデジタル観測の例
（地震波形はデジタルデータをミニコンでDA変換しXYレコーダで記録させたものである。）

6 おわりに

地表での強震観測と地中での弱震観測では対象とする地震の大きさがくい違うという点については，これまでの地中観測での窓を包含した形の強震まで観測可能な地中強震計の開発によって解決されていくべきであろう。SMACについていえば，やゝ長周期の地震動成分の解析を目的とするとき感度が低くすぎるようである。ここでは，比較的小さな地震を観測し大地震時の推定をするという方法とあくまで大地震を観測するという方法が，観測の守備範囲の広いデジタル観測の開発によって調和されていくべきであるという提案が行われてきた。

また，現行の観測システムにおいても，あり得べき観測計画，観測システムの検討など，工学における地震への理解に必要な基礎的な問題点を観測を通じて研究する拠点観測の提案も行われた。過去においては，やゝもすれば構造物のみを対象とした強震観測が進められ，構造物以外の観測は地震屋にまかせたいという傾向があった。しかし，今日では総合的な強震動の観測は工学の分野に課されている使命というべきであろう。建物のみならず周囲の free field における観測，岩盤上の観測，移動強震観測，地中強震計の開発，海底強震計の開発等，震源域から構造物にいたるまでの間にどのように強震計が再配置がなされ，どのような観測システムが開発されなければならないかを考える，今はその時期ではないだろうか。

おわりに，われわれの研究室の鏡味洋史氏には，原稿作成以前の段階から時と所をかまわず熱心に議論していただき非常に得るところが多かった。ここに感謝の意を表します。

I-7 直下型地震とその考察

森岡敬樹

まえがき　構造物の耐震設計において重要な要素である入力地震波の問題に関して，筆者らは過去の烈強震記象に着目し，これらを解析・検討することにより問題解明の手がかりを得ようとしている。これまでに扱った地震は1923年の関東大地震をはじめ，いずれも東京・本郷で旧式の変位計によって観測されたものである。

東京を襲う烈強震としては，関東大地震などのように震原を太平洋側にもつ海洋型と呼ばれるものと，いわゆる直下型と言われ，震原を東京直下或いはその付近にもつものとが知られている。

ここでは直下型に属する1894年東京付近の強震と，1922年のいわゆる浦賀水道強震について地動を照介し，その性質について検討しようとするものである。

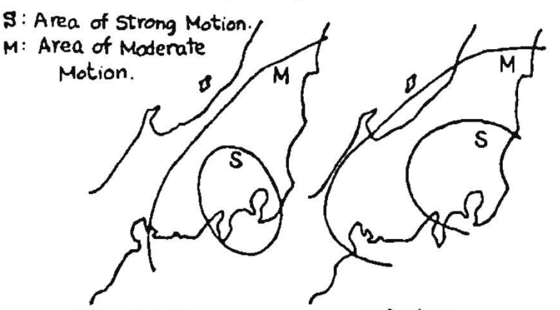
1．原地震記象

i）浦賀水道強震（1922年4月26日，M＝6.9）

震原は最近の研究によると三浦半島先端付近とされている。被害は横浜，横須賀および木更津等で大きかった。また，東京では当時新形式とされていた鉄骨レンガ造のビルディングが丸の内界隈に建て始められていた。海上ビルは1919年に完成していたが，他の丸の内ビル，日本郵船ビル，東京会館等のビルはいずれも完成寸前の状態であったため，この地震により多少の被害があった。とくに丸の内ビルは2階および3階の外壁に著るしい亀裂を生じた。観測は田中館式地震計により行われた。この地震計の記録方式は直線書きで，回転ベルト型記録装置に描かれた。

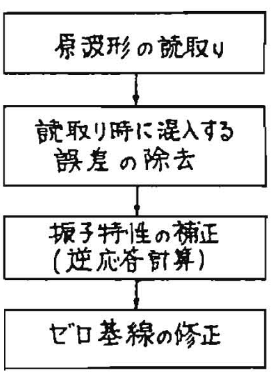
ii）東京強震（1894年6月20日，M＝7.5）

震原は江戸川河口付近の陸地であると言われており，とくに葛飾および江東地区において土蔵やレンガ造家屋および煙突が被害を蒙った。[*1)] 観測はユーイング式強震計によって行われ，震央から観測地の本郷まではわずか10数Kmである。なお，この円盤記象は世界で初めての強震観測結果である。また，原記象による水平動最大変位は，ほゞ東西方向に全振巾73mmである。



2．実地動の算定

これら過去の大地震記象は，すべてが特に制振器をもたない変位計により観測されたものであるから，これらより実際の地動を算定するには図．1に示すような手順で行なう。なお，ユーイング式強震計の場合，記録は円盤上に円孤書きで描かれるため，この円盤記象の読取りには，特にそのために製作した読取装置を使用した。[*2)]



図．1

3．結果とその考察

i）実地動

前項の手順に従って算定した浦賀水道強震の水平動N－S方向成分の加速度，速度および変位波形を図．2 A，BおよびCにそれぞれ示してある。また，同図Dには計算変位波形のチェックのために原読取り波形と比較してある。同様に図．3がE－W方向成分で，図．4は上下動成分である。この解析方法によれば，最大加速度値は各成分ともに約100 gal である。従来，上下動の最大加速度値は，水平動のそれの約半分と言われているが，この地震の場合，上下動の最大加速度値は水平動の合成最大加速度値の約75％に達している。やはり直下地震記象であるEl Centro（1940）の記象の場合，この値は約65％となる。直下型地震に対しては上下動の加速度をいま少し大きく評価する必要があると思われる。

図．5 A，BおよびCには東京強震の加速度，速度および変位波形をそれぞれ示した。これらの図によれ

ば。強い地動はわずか3秒程度で終り．とくに変位波形は単純で直下型地震特有の形状である。

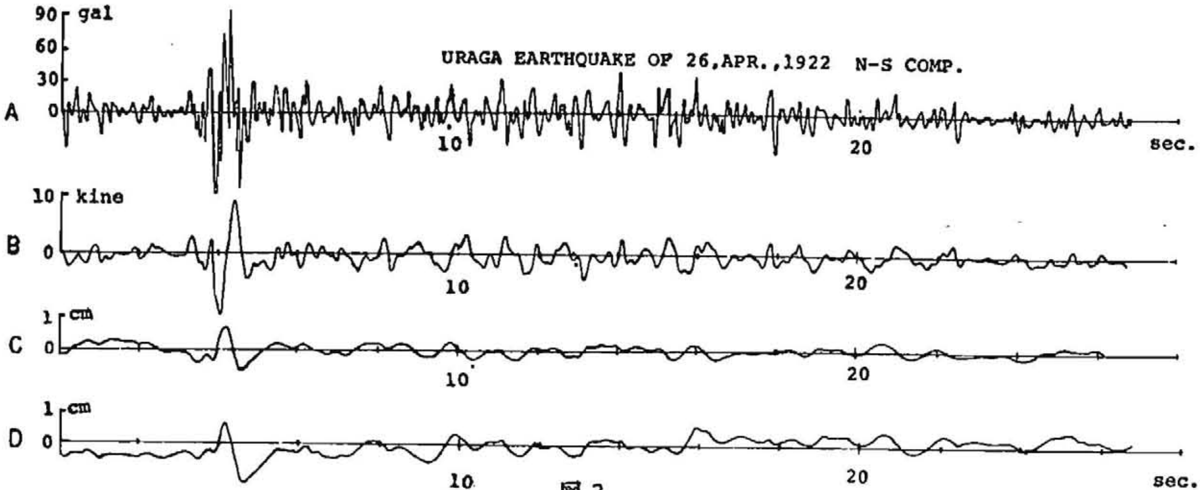


図.2

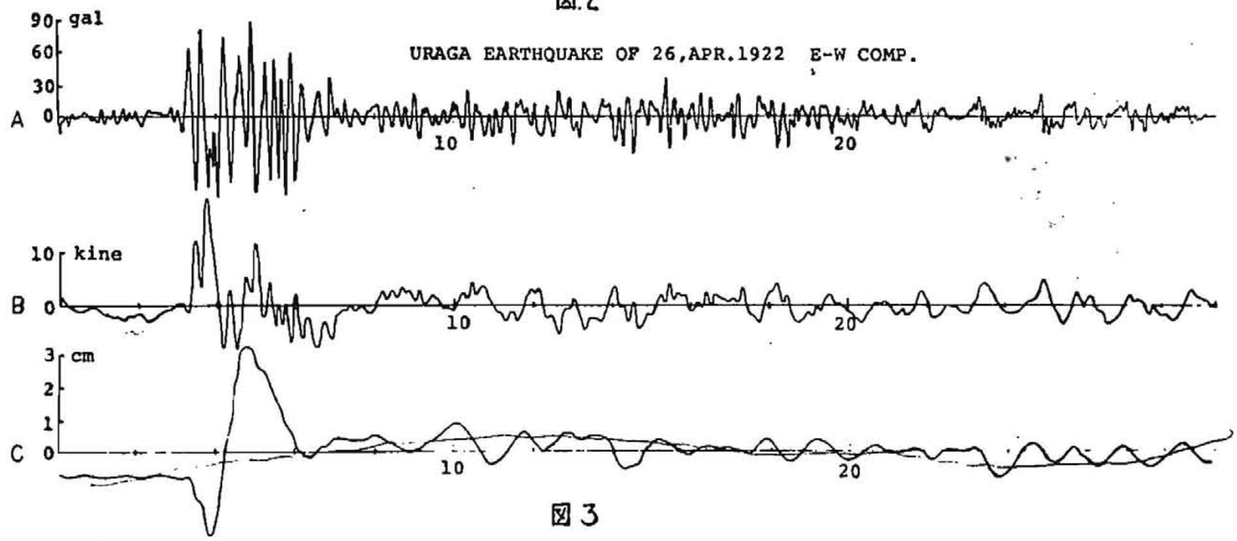


図3

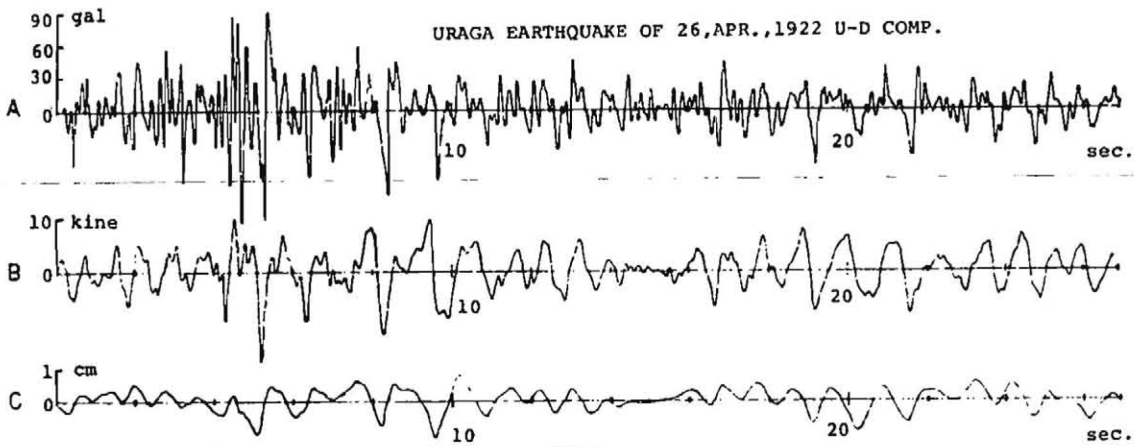
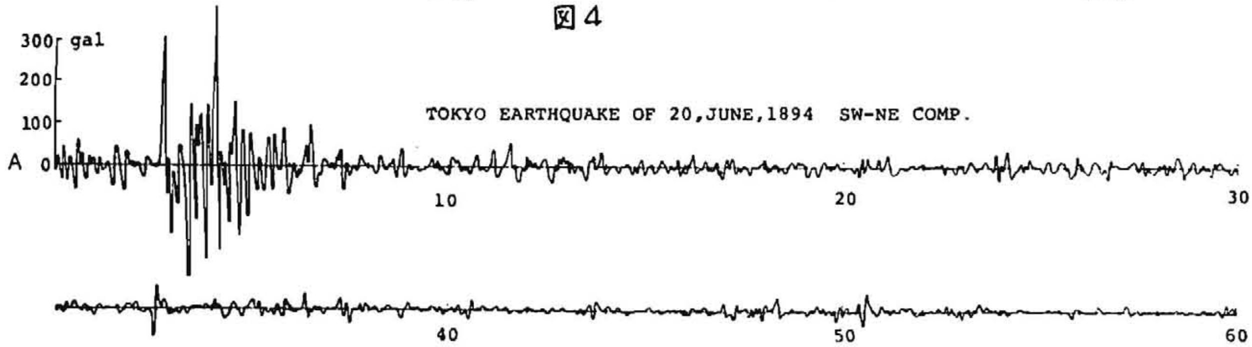
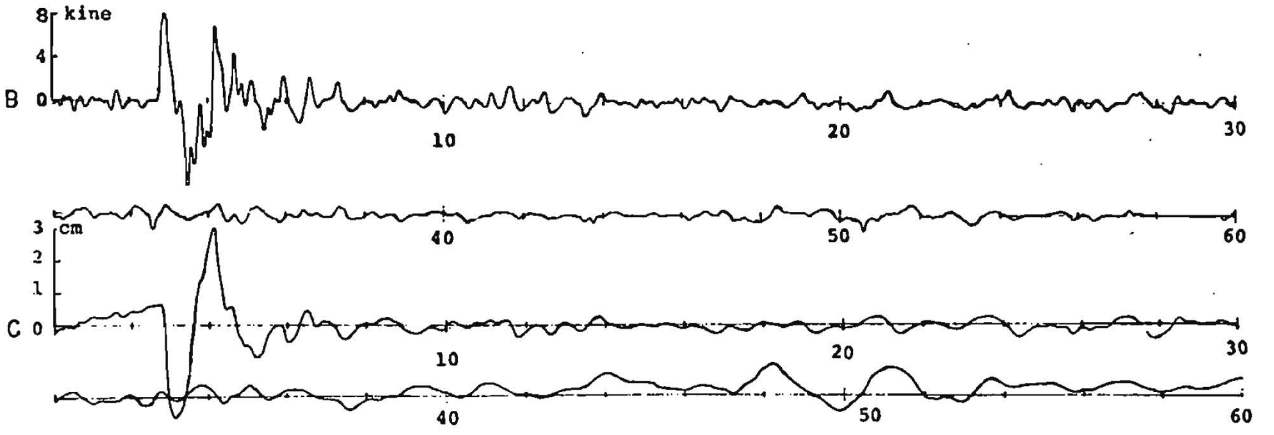


図4





図．5

ii）周期特性

地震動の周期特性を検討するには応答スペクトルを用いるのが便利である。こゝで取扱った地震動は，その強さがまちまちなので，結果の比較が便利なようにスペクトル計算においては地動最大加速度を330 gal と仮定した。図．6，7 および 8 には浦賀水道強震の水平動N－S方向成分，E－W方向成分および上下動成分の加速度，速度および変位スペクトルをそれぞれ示した。　図．9 は東京強震 SW-NE方向成分のスペクトルである。

これらのスペクトルの形状は概して相似で，ピーク周期は 0.2～0.3秒，0.4～0.45秒 および 1～1.5秒と，長周期では 6～8 秒である。

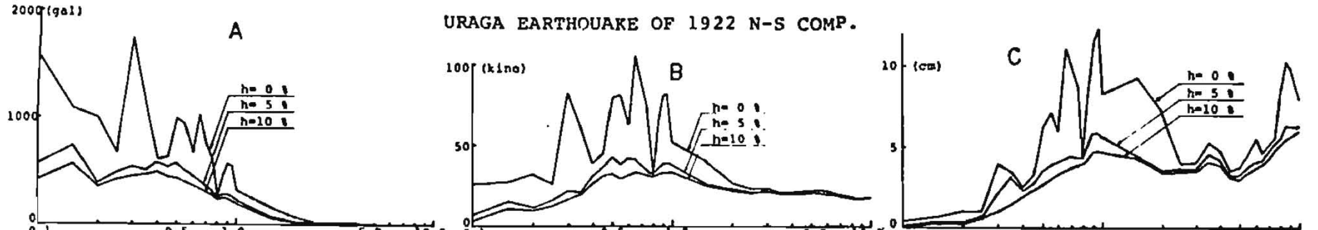


図.6

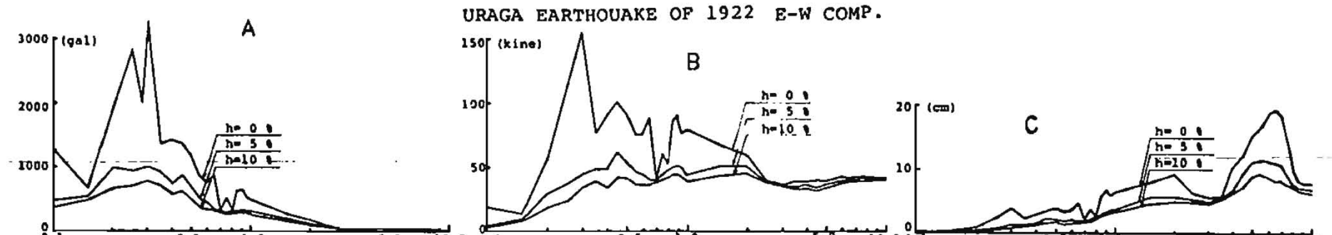


図.7

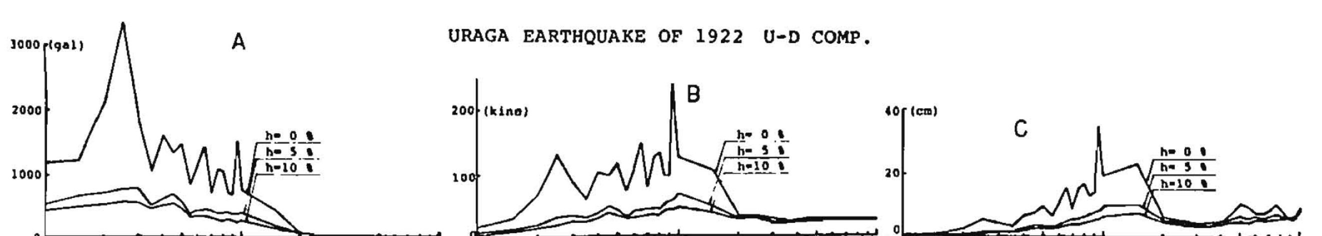


図.8

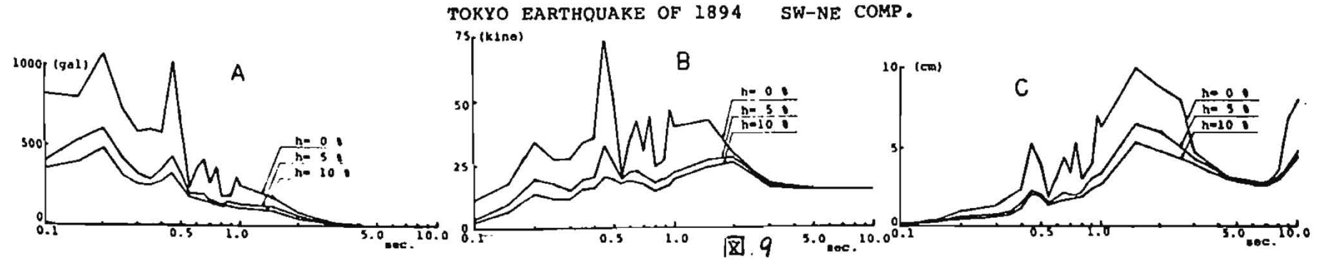


図.9

iii) 地震動の時間的経過状況

地震動初動から時間とともに加速度値が変化する状況を実効値(Root Mean Square)で示したのが図10であり，各地震ごとに，また同一地震においてその成分ごとに異った様相を呈しているのがよく判る。とくに比較のために示した関東大地震[*3)]の場合は，相次ぐ余震の影響によりその実効値は高い値を保持し，他の地震とは全く型式の異なる地震であることが判る。これに対して東京強震の場合は，時間とともに値は急激に減少しており，強い地震動は極めて短時間のうちに終っていることを示している。この様子を詳しく調べるために，実効値の最大値を100%としてその後の変化状況を表わしたのが図.11である。実効値が100%から50%に減少するまでの時間(Half Value Period)は，東京強震の場合が最も短かく18秒，浦賀水道強震N-S成分が37秒，相模中部地震では50秒，関東大地震の場合は別格でどの程度の値になるかは明らかでない。

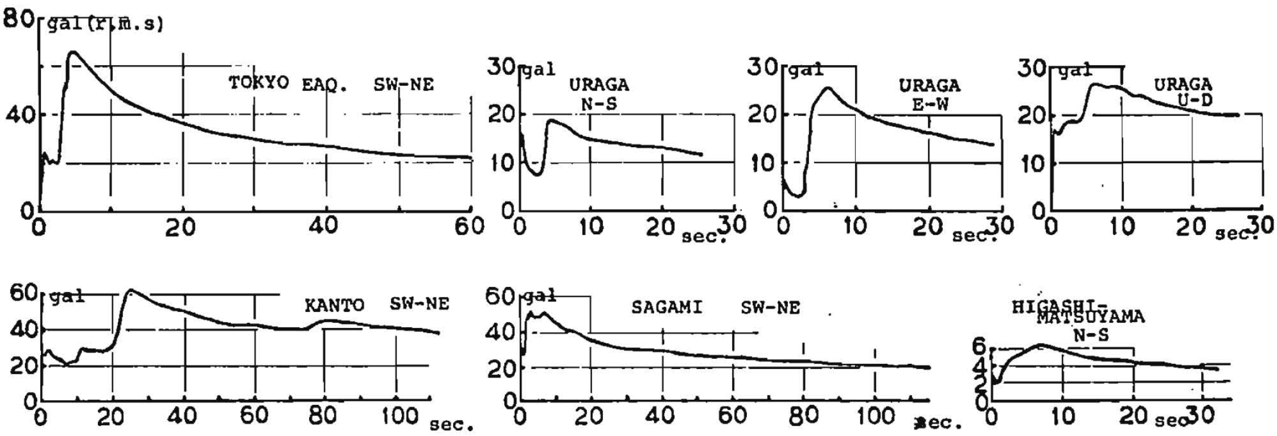


図. 10

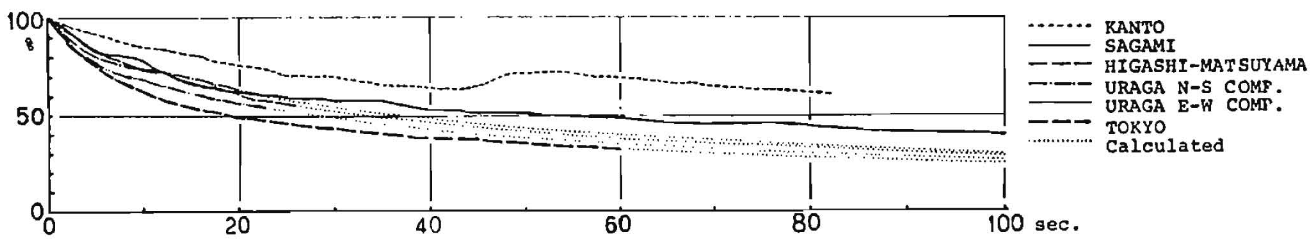


図. 11

むすび

東京を襲う烈強震のうち，東京付近あるいは東京湾直下に発生した代表的な大地震の地動を求めた結果，これらはいずれも主要動部分が短かく単純な変位波形を示し，いわゆる直下型地震特有の様相を呈することが明らかになった。しかしながら短い主要動部分に大きな加速度を有するものもある。

とくに直下型地震の場合，上下動の加速度がかなり大きいと考えられるので注意が必要である。また，加速度が最大値を有する波の周期は0.2～0.3秒と比較的短周期であるが，変位においては1秒～1.5秒に卓越したピークを有する。これら直下型に属する各強震動の強さの時間的経過状態をみると，海洋型の関東大地震の場合とは全く型式が異なることが判明した。

謝辞

この研究は早大 那須信治博士および同大学院 柏葉正雄君との共同研究によるものです。また，竹内盛雄，古藤田喜久雄，風間了の諸先生をはじめ内藤記念館の皆様より貴重なアドバイスを戴きましたことを記し，末筆ながらここに謝意を表します。

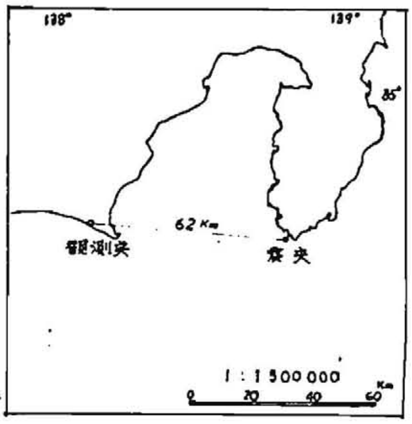
文献 *1) 大森房吉「地震学講話」
*2) 那須，森岡「烈強震の地動(4)」建築技術 NO.259
*3) 那須，森岡，柏葉「大地震動の数値化と解釈(その2)，(その3)」48年度建築学会大会号

II-1　1974年伊豆半島沖地震の静岡県浜岡町における観測結果

建設省建築研究所国際地震工学部
第1耐震工学室　渡部　丹，村田洋治

○ 地震計の仕様

名称	DC-3型　強震計　（保坂振動計器製）	
形式	加速度計，3成分（水平2成分，上下1成分）	
総合感度	12.5 Gal/mm　（記録紙上）	
振子	振動数；	10 Hz.
	減衰；	h = 1
記録装置	記録範囲；	10 ~ 500 Gal.
	記録紙；	スタイラス・ペーパー
	送り速度；	10 mm/SEC.
スターター	形式；	上下動振子（電気接点式）
	周期；	0.3 SEC.
	設定感度；	10 Gal.



震央位置と観測点

○ 観測点

中部電力浜岡原子力発電所敷地内　国見山

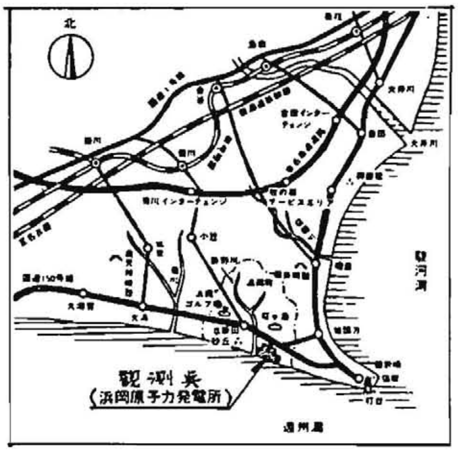
○ 観測位置

地表　（GL. −20~30cm の砂岩上に強震計基礎を直接設置）

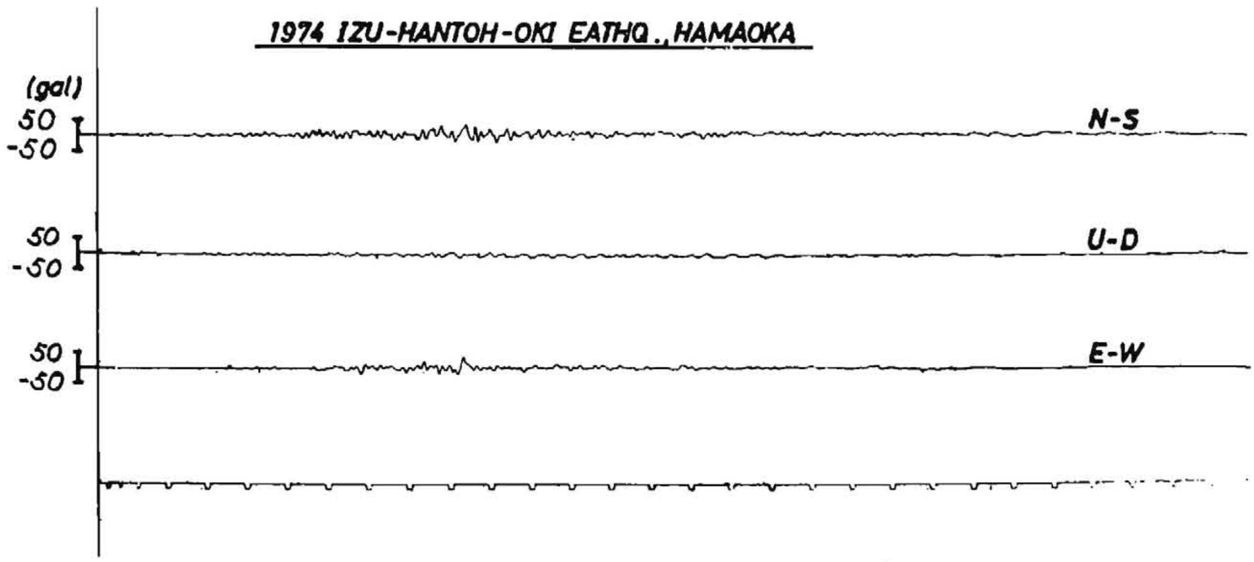
○ 記録読取の方法

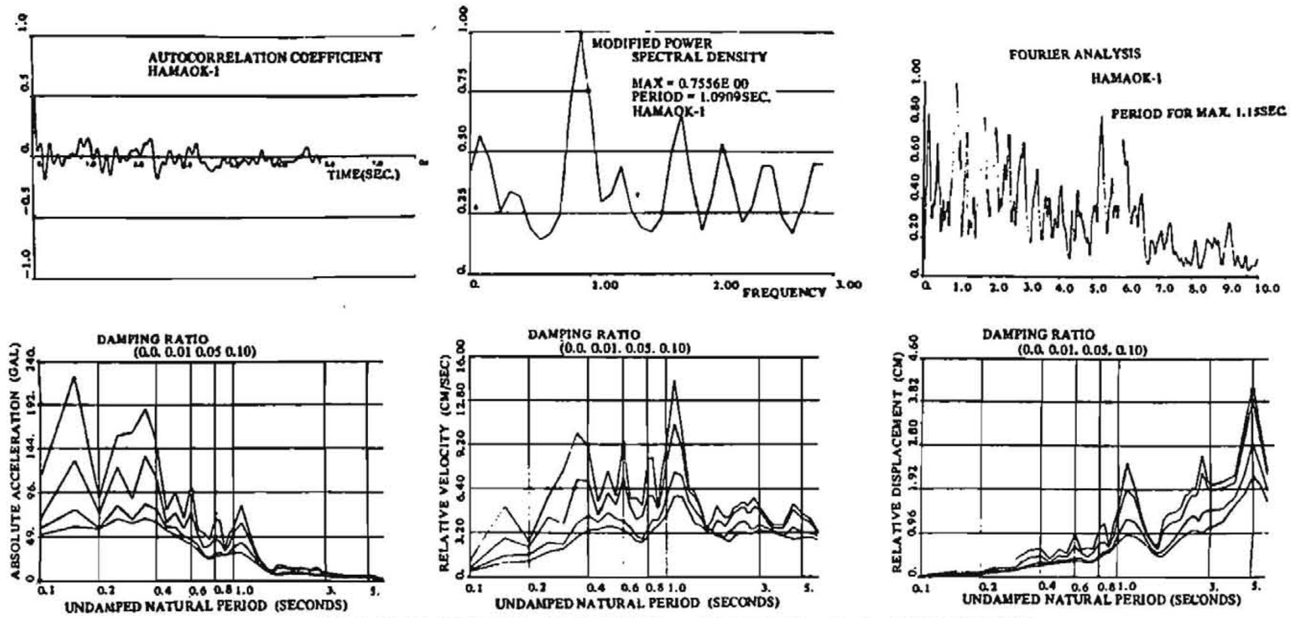
使用読取装置；SMAC・リーダー　（江藤電気製）

サンプリング・タイム；0.02 SEC.

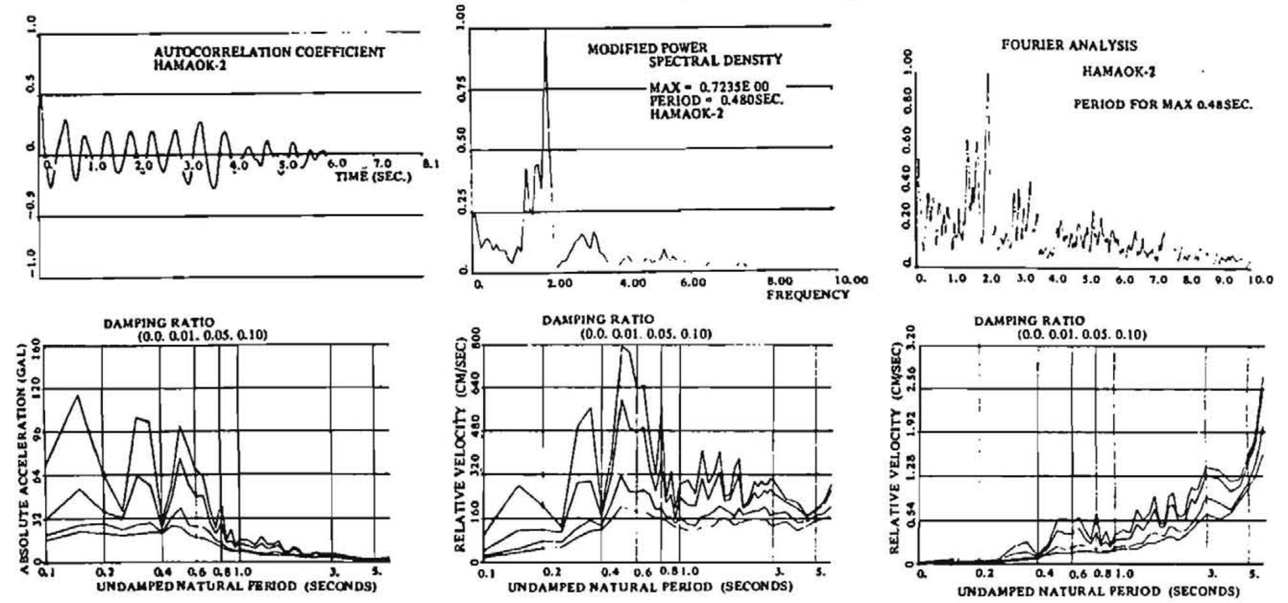


観測点附近図

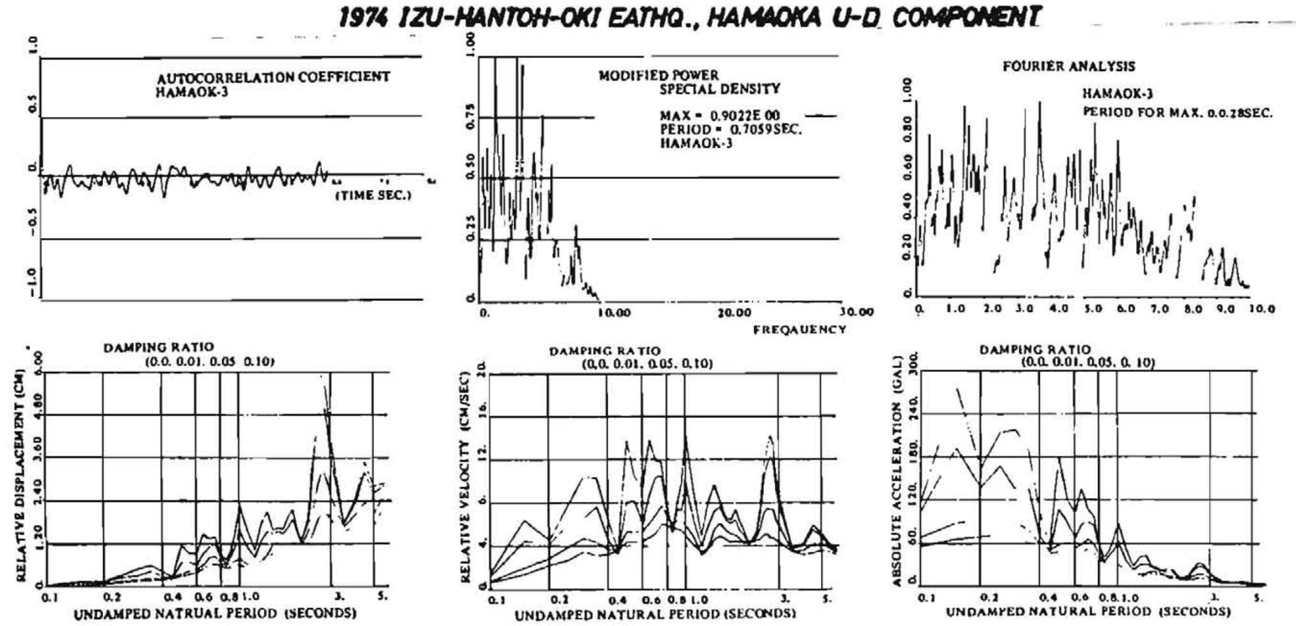




1974 IZU-HANTOH-OKI EATHQ., HAMAOKA N-S COMPONENT



1974 IZU-HANTOH-OKI EATHQ., HAMAOKA U-D COMPONENT

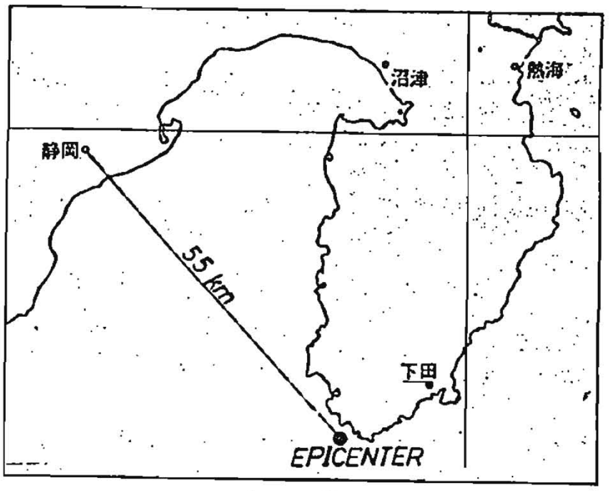


1974 IZU-HANTOH-OKI EATHQ., HAMAOKA E-W COMPONENT

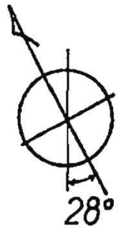
II-2 静岡県庁舎における観測結果

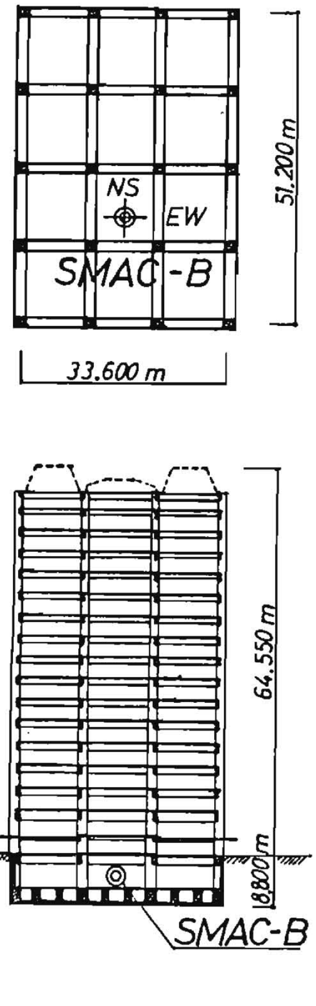
日建設計

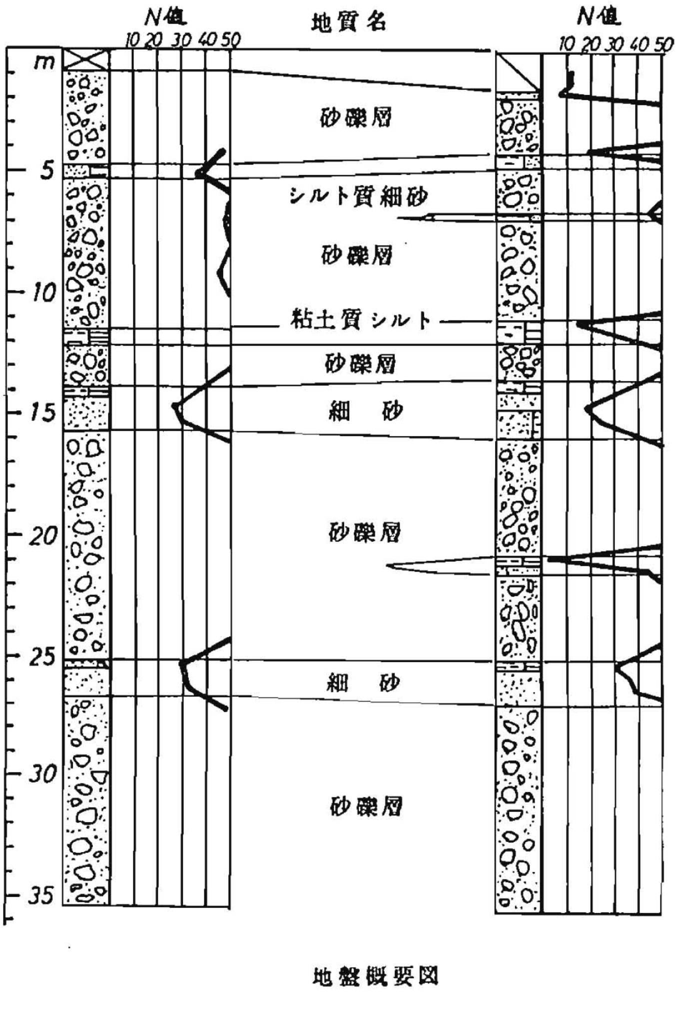
地震年月日	1974年5月9日
換振器および記録型式	SMAC－B型
ピックアップ	加速度計
	固有振動数　10Hz
	減衰　h＝1　空気式
記録型式	ダイヤ針ペン書き式
設置場所	静岡県庁舎　地下1階床



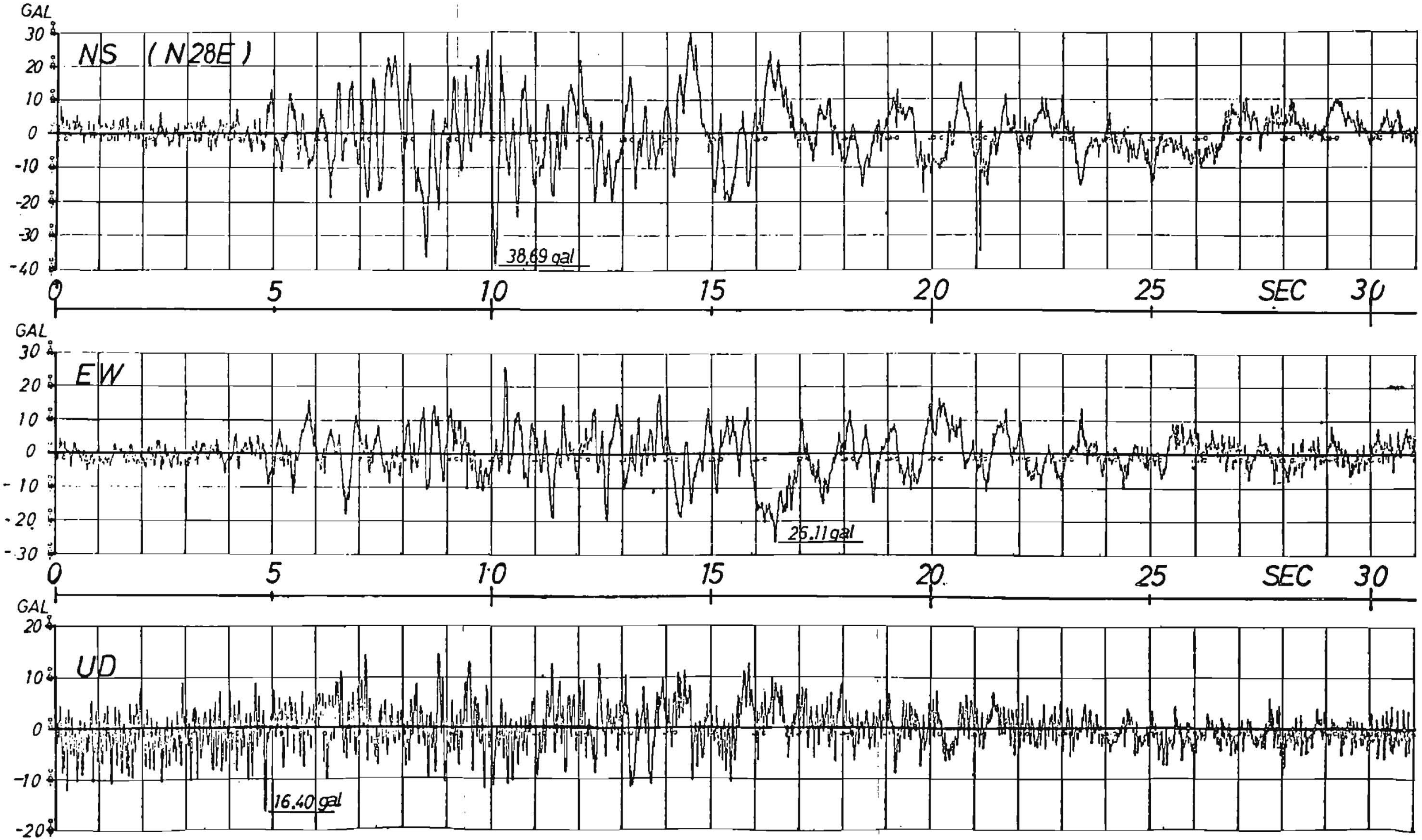
震源との関係





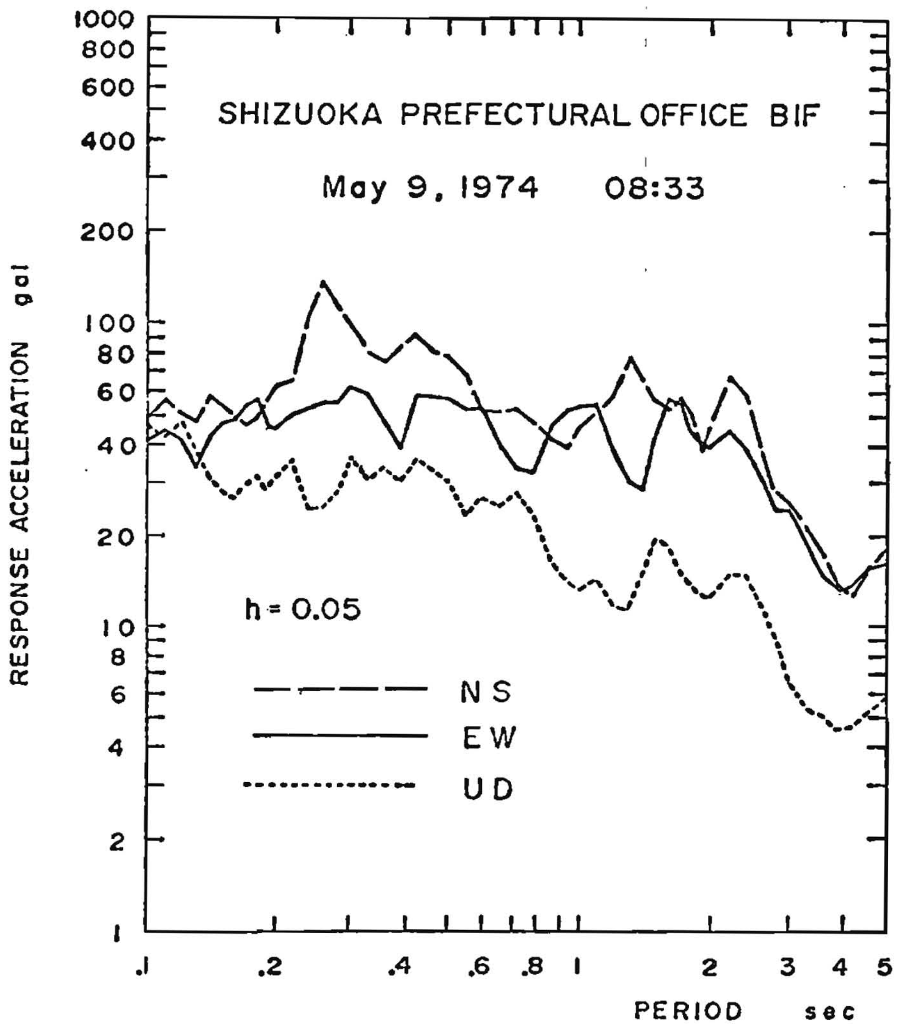


地盤概要図

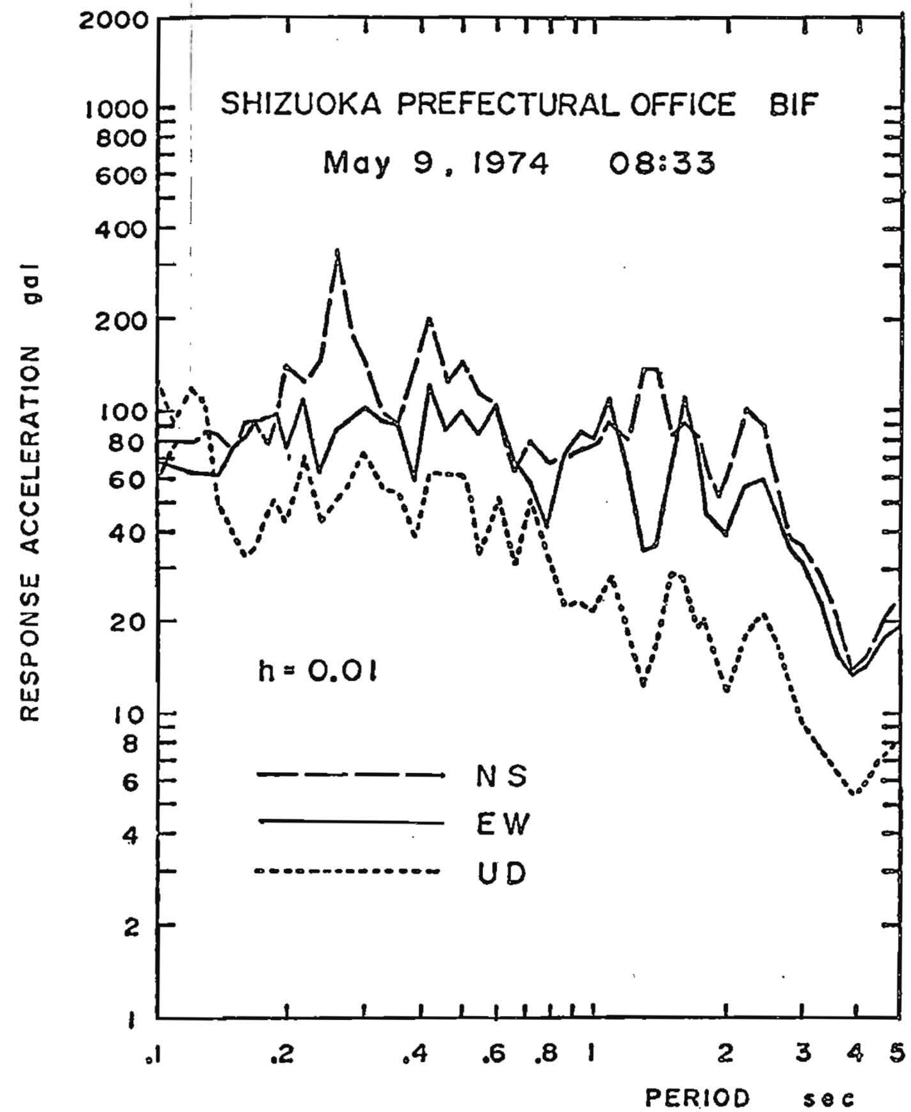


加速度波形

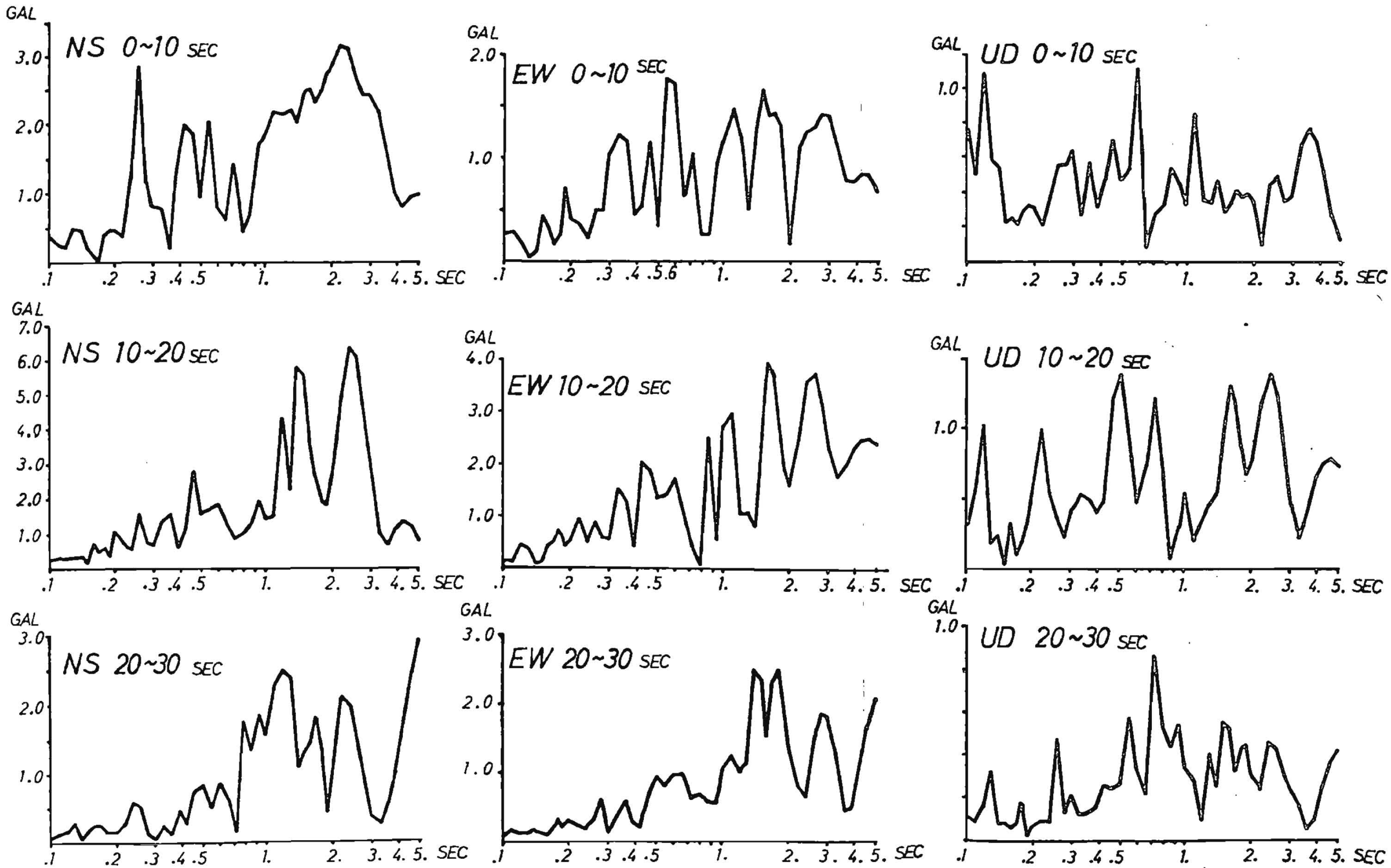
（ディジタル化および補正は東工大小林研究室）



RESPONSE SPECTRA



RESPONSE SPECTRA



FOURIER SPECTRA

II-3 横浜市大倉山における観測結果

鹿島建設技術研究所 太田外気晴

1. 地震計

加速度計P.U.； 3成分（固有周期0.3秒）1台
（電磁型） 2成分（ 〃 〃 ）4台
1成分（ 〃 〃 ）2台

増巾器： トランジスタI.C.混成による自動感度切換装置付き（3段階）

記録計； スクラッチ レコーダー

但し一部の計器は目下観測準備中

2. 観測場所

神奈川県横浜市港北区太尾町字観音谷941

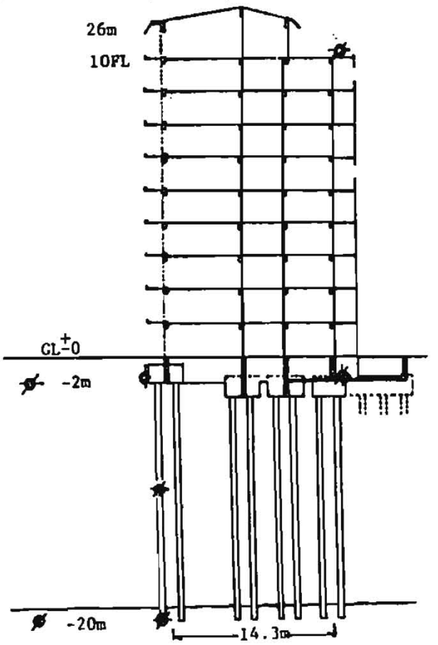
3. 解析記録

記録の数；9成分，記録の長さ90秒，サンプリング間隔：0.02秒

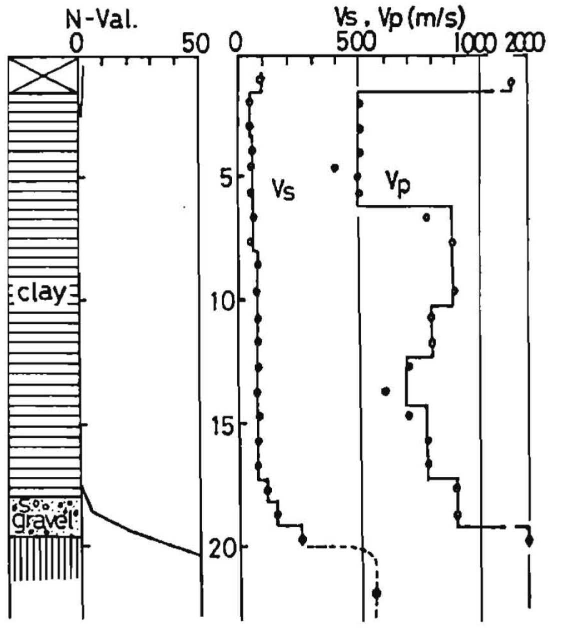
4. スペクトル解析

i) 応答スペクトル
速度スペクトル（$h=0.05$），加速度，変位スペクトル（省略）

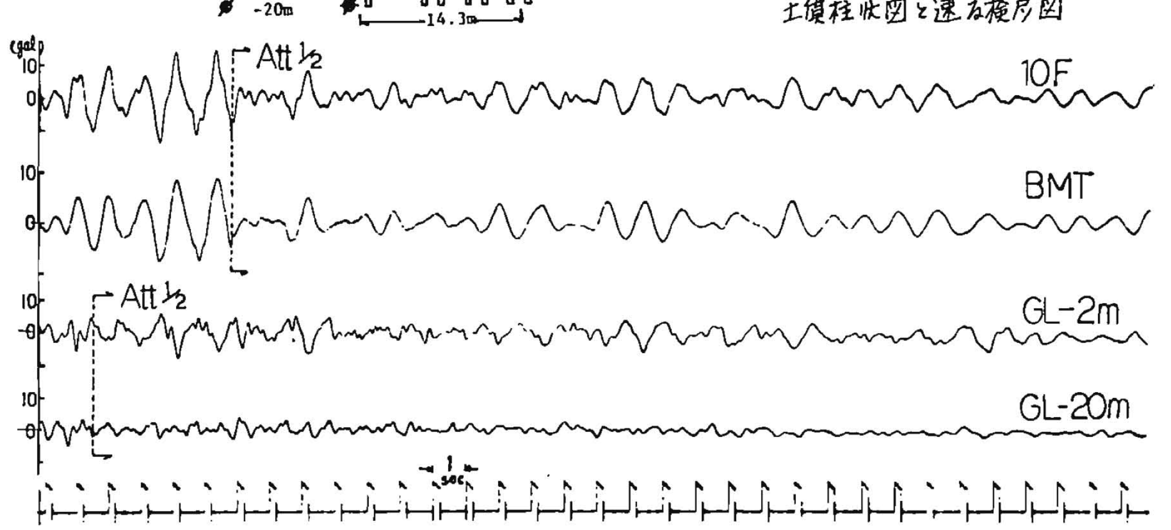
ii) フーリエ スペクトル
・速度応答スペクトルの最終値による（省略）
・スペクトル振巾比（得られた結果にHunning Window を使用，但しここでは不使用）



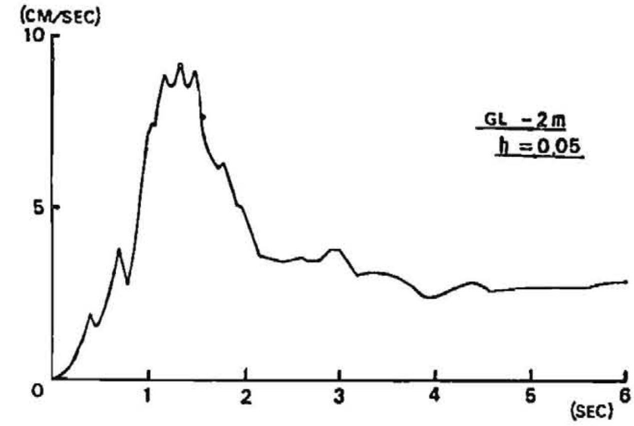
建物概要と地震計配置図

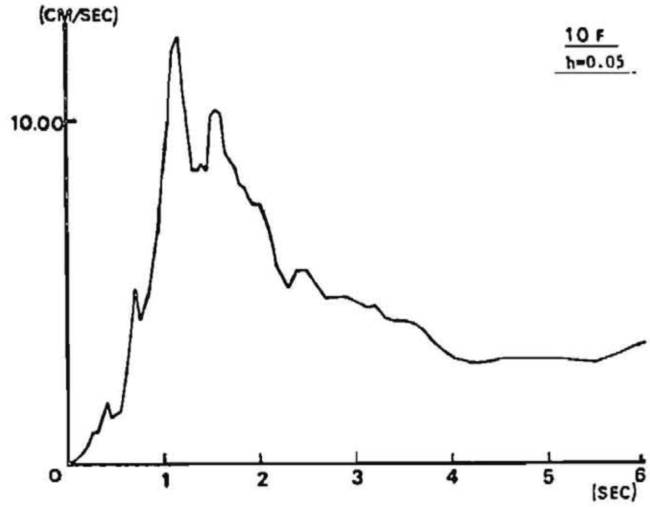


土質柱状図と速度検層図

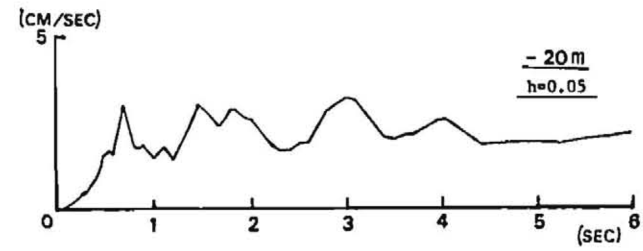


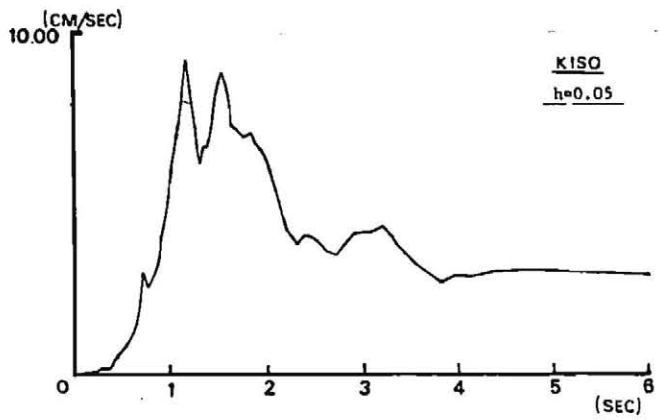
記録波形例（EW方向）

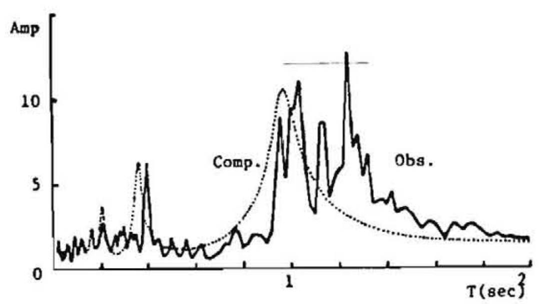




各記録の速度応答スペクトル







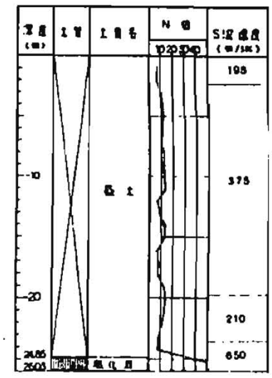
速度応答スペクトルの比$\left(\frac{-2m}{-20m}\right)$と増巾スペクトル

II-4 館町（八王子）における観測結果

早稲田大学理工学研究所

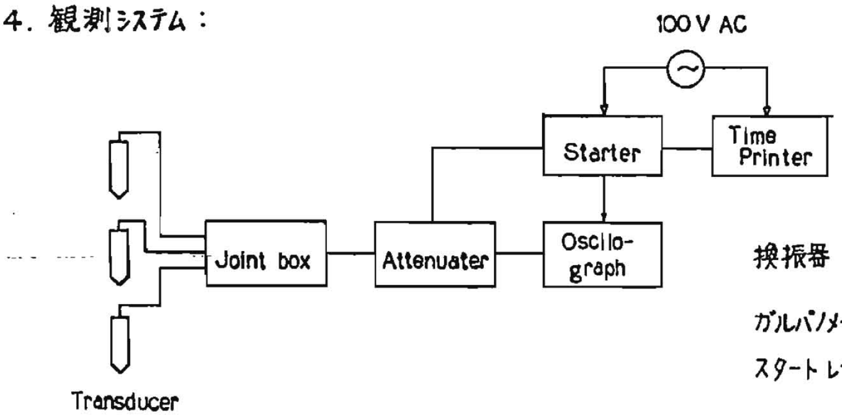
1. 観 測 地： 東京都八王子市館町1097他 日本住宅公団館町団地敷地内

2. 観測地の地盤状況： 右図



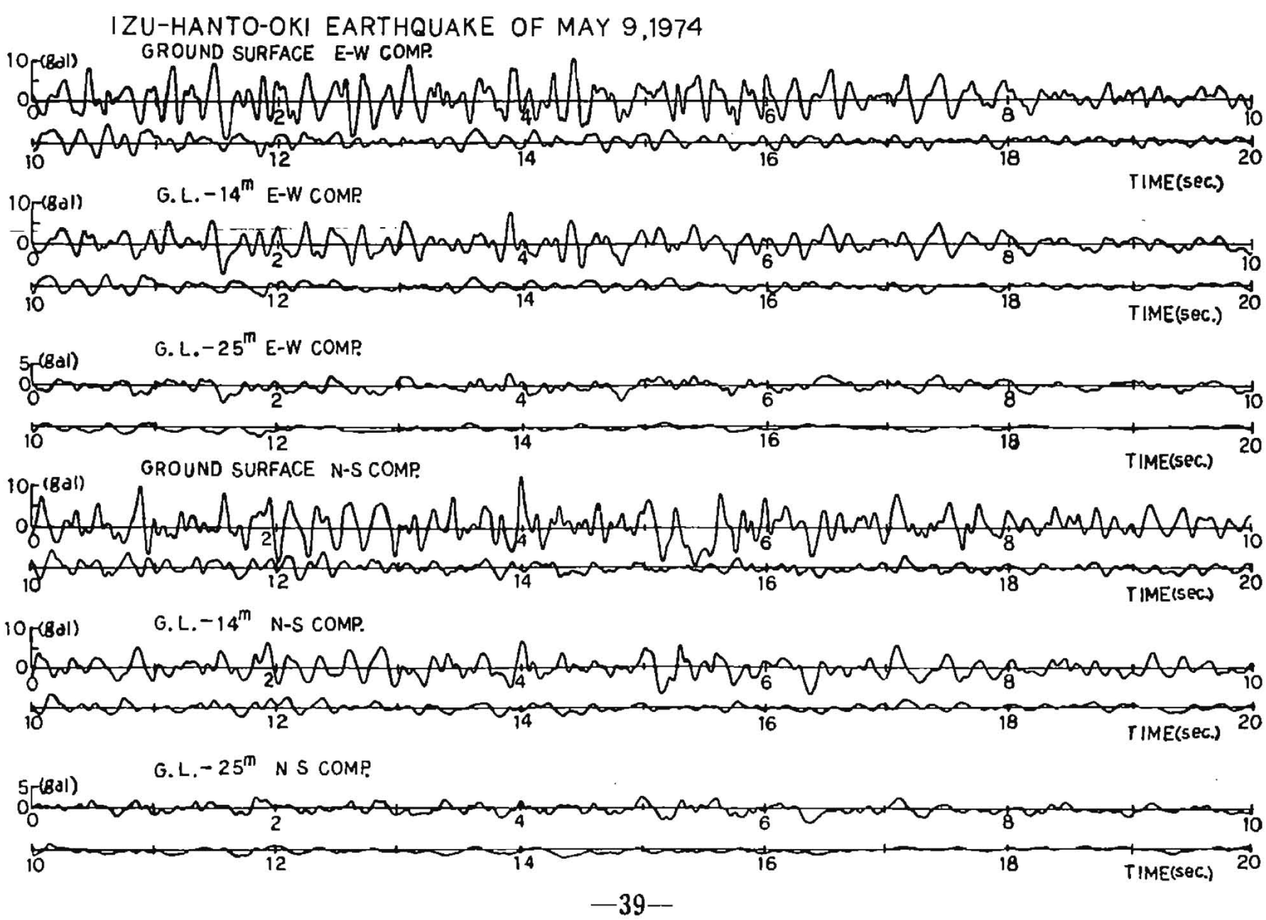
3. 観測深度： 地表面，G.L.－14 m および G.L.－25 m 水平動２成分

4. 観測システム：

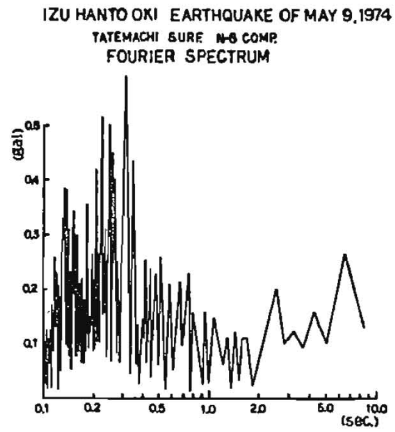


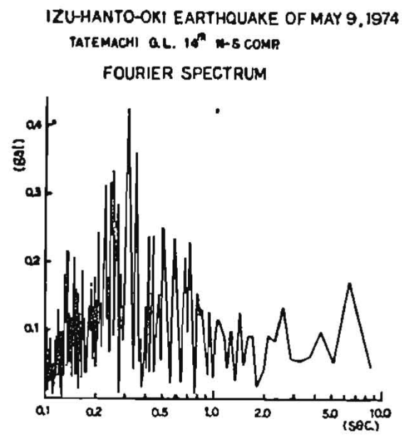
換振器	動コイル型加速度計（f_0＝5 Hz） TUSS型	 （保坂）
ガルバノメータ	100 C	（三栄）
スタートレベル	1 gal	

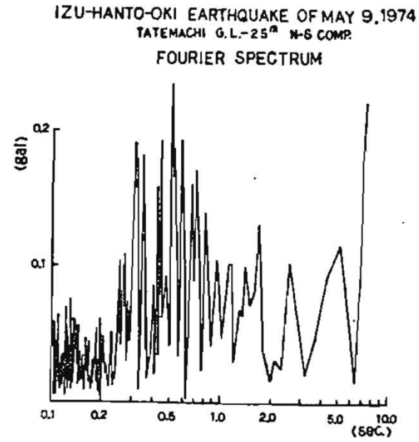
5. 観測結果

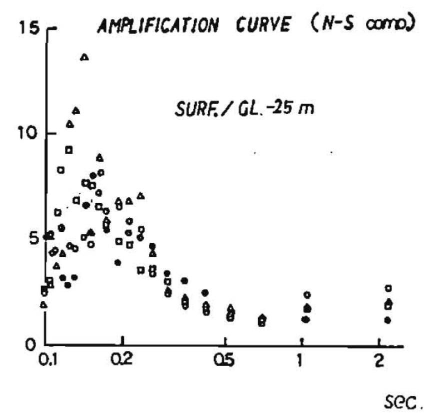


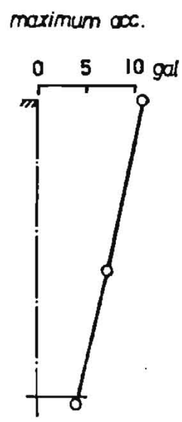
6. 解析結果

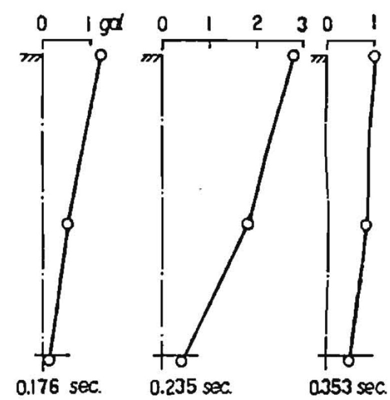

IZU HANTO OKI EARTHQUAKE OF MAY 9, 1974
TATEMACHI SURF. N-S COMP.
FOURIER SPECTRUM
(gal)
(sec.)

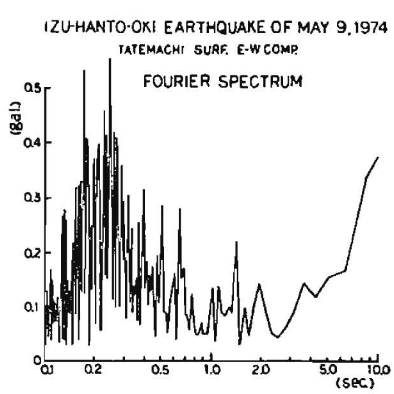

IZU-HANTO-OKI EARTHQUAKE OF MAY 9, 1974
TATEMACHI G.L. 14m N-S COMP.
FOURIER SPECTRUM
(gal)
(sec.)

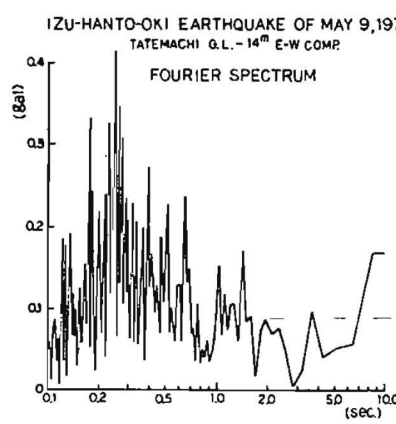

IZU-HANTO-OKI EARTHQUAKE OF MAY 9, 1974
TATEMACHI G.L.-25m N-S COMP.
FOURIER SPECTRUM
(gal)
(sec.)

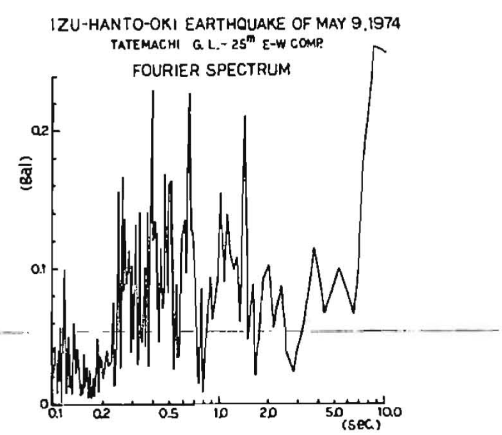

AMPLIFICATION CURVE (N-S comp)
SURF./GL.-25 m
sec.

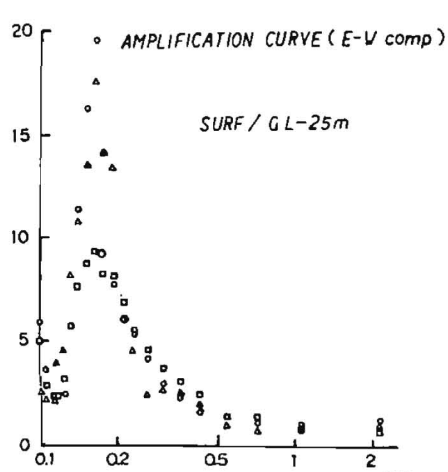

maximum acc.
0 5 10 gal

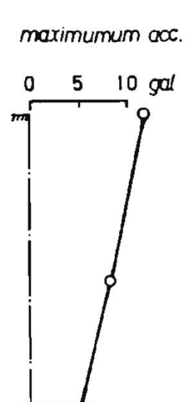

0 1 gal
0 1 2 3
0 1
0.176 sec.
0.235 sec.
0.353 sec.

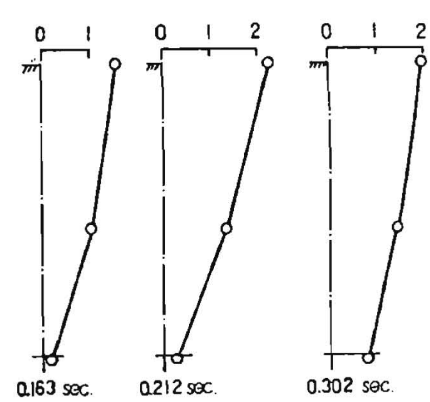

IZU-HANTO-OKI EARTHQUAKE OF MAY 9, 1974
TATEMACHI SURF. E-W COMP.
FOURIER SPECTRUM
(gal)
(sec.)

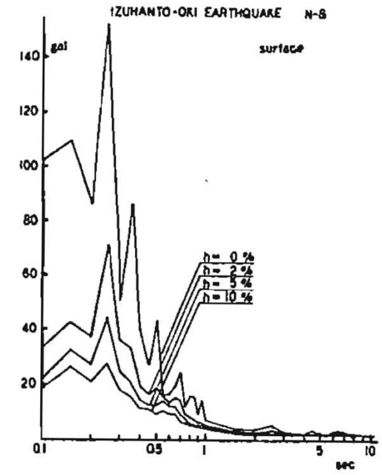
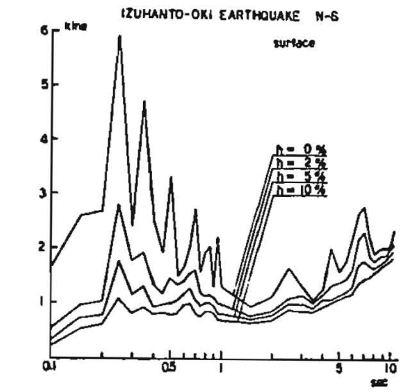
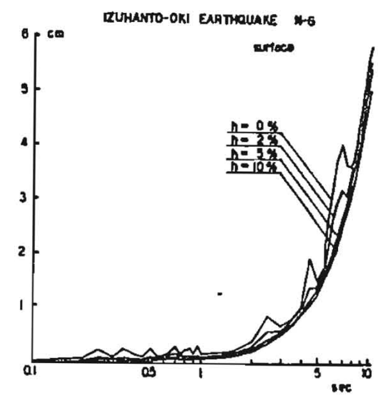
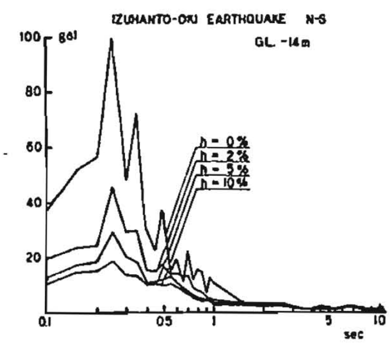
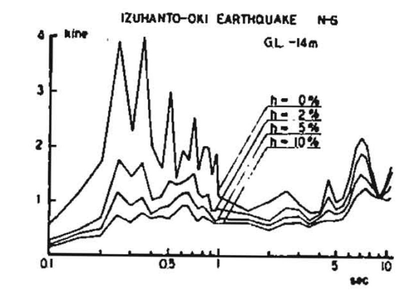
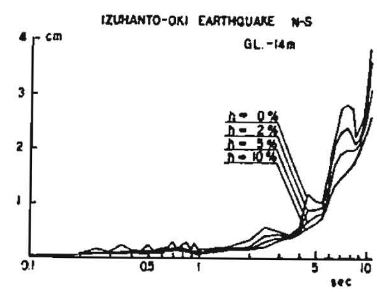
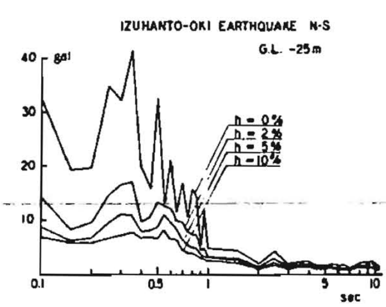
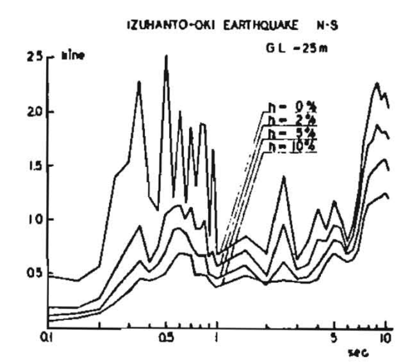
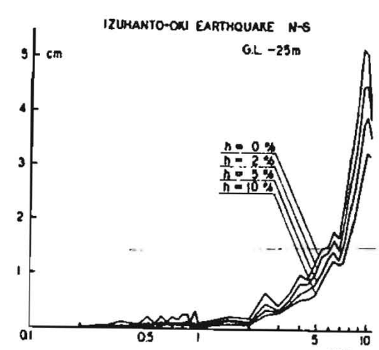
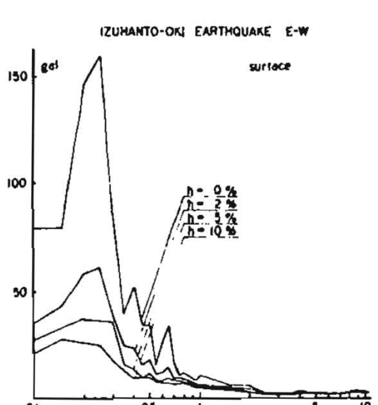
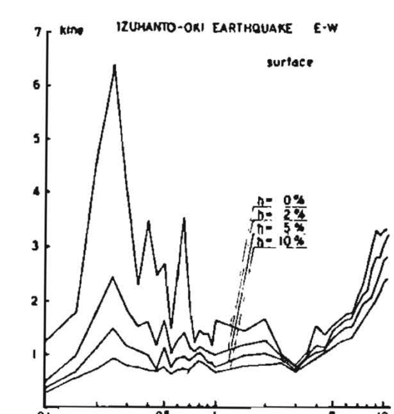
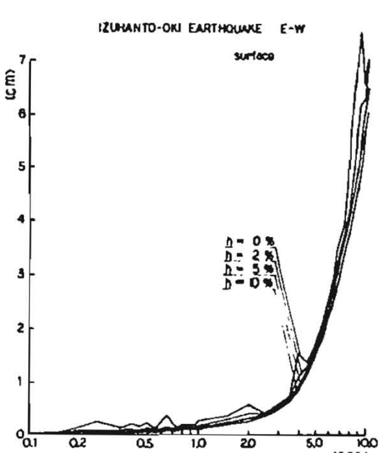

IZU-HANTO-OKI EARTHQUAKE OF MAY 9, 1974
TATEMACHI G.L.-14m E-W COMP.
FOURIER SPECTRUM
(gal)
(sec.)

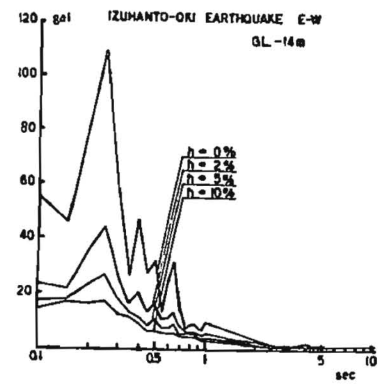

IZU-HANTO-OKI EARTHQUAKE OF MAY 9, 1974
TATEMACHI G.L.-25m E-W COMP.
FOURIER SPECTRUM
(gal)
(sec.)

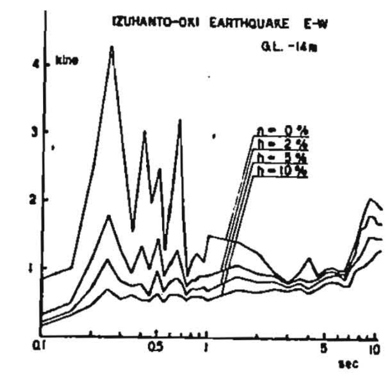

AMPLIFICATION CURVE (E-W comp)
SURF/GL-25m
sec.

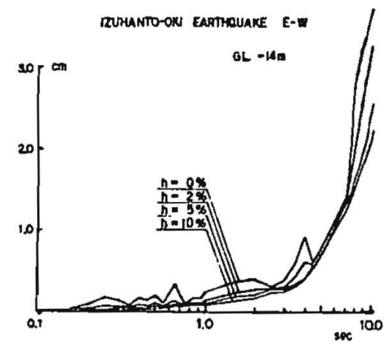

maximumum acc.
0 5 10 gal

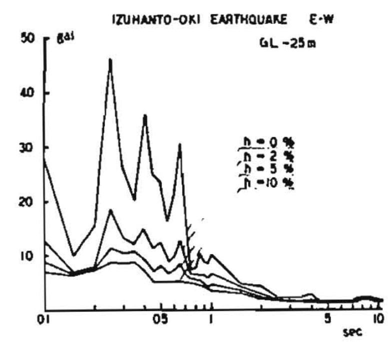

0 1
0 1 2
0 1 2
0.163 sec.
0.212 sec.
0.302 sec.

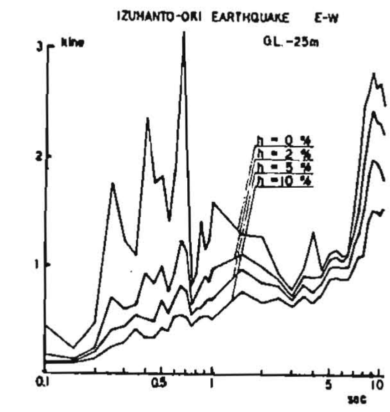

IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE N-S
surface
gal
h= 0 %
h= 2 %
h= 5 %
h= 10 %
sec

IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE N-S
surface
kine
h= 0 %
h= 2 %
h= 5 %
h= 10 %
sec

IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE N-S
surface
cm
h= 0 %
h= 2 %
h= 5 %
h= 10 %
sec

IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE N-S
G.L. -14m
gal
h= 0 %
h= 2 %
h= 5 %
h= 10 %
sec

IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE N-S
G.L. -14m
kine
h= 0 %
h= 2 %
h= 5 %
h= 10 %
sec

IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE N-S
G.L. -14m
cm
h= 0 %
h= 2 %
h= 5 %
h= 10 %
sec

IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE N-S
G.L. -25m
gal
h= 0 %
h= 2 %
h= 5 %
h= 10 %
sec

IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE N-S
G.L. -25m
kine
h= 0 %
h= 2 %
h= 5 %
h= 10 %
sec

IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE N-S
G.L. -25m
cm
h= 0 %
h= 2 %
h= 5 %
h= 10 %
sec

IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE E-W
surface
gal
h= 0 %
h= 2 %
h= 5 %
h= 10 %
sec

IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE E-W
surface
kine
h= 0 %
h= 2 %
h= 5 %
h= 10 %
sec

IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE E-W
surface
(cm)
h= 0 %
h= 2 %
h= 5 %
h= 10 %
(SEC.)

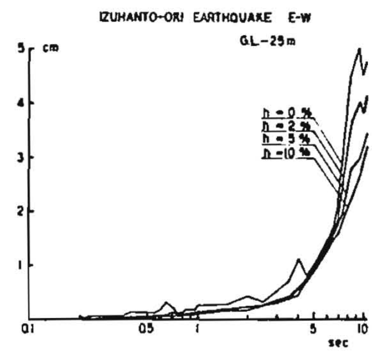

IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE E-W
GL -14m
gal
h = 0%
h = 2%
h = 5%
h = 10%
sec


IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE E-W
GL -14m
kine
h = 0%
h = 2%
h = 5%
h = 10%
sec


IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE E-W
GL -14m
cm
h = 0%
h = 2%
h = 5%
h = 10%
sec


IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE E-W
GL -25m
gal
h = 0%
h = 2%
h = 5%
h = 10%
sec


IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE E-W
GL -25m
kine
h = 0%
h = 2%
h = 5%
h = 10%
sec


IZUHANTO-OKI EARTHQUAKE E-W
GL -25m
cm
h = 0%
h = 2%
h = 5%
h = 10%
sec

II-5 豊洲における観測結果

清水建設研究所　　横田治彦

1. 地震観測概要

1) 地震名　　1974年伊豆半島沖地震

2) 発震時　　1974年5月9日午前8時33分

3) 震　央　　伊豆半島沖（34.6°N, 138.8°E）－20 km

4) 規　模　　顕著（M 6.8）　東京震度3

5) 観測地　　東京都江東区豊洲

6) 換振器および記録型式

地中地震計

サーボ型加速度計，固有振動数5 Hz

周波数特性を図－2にしめす。

記録装置

電磁オッシログラフ

7) 地中地震計設置位置

GL－2m，－18m，－38m，－71m

各深度とも　S－N，E－Wの水平2成分

8) 観測地盤概要

図－3に土質柱状図とS波速度の分布をしめす。

2. 観測結果

1) 約71秒間の記録を0.02秒きざみで数値化した。

2) 地震記録の長周期成分は，振動計の特性により感度が落ちるが，ここではその補正はしていない。

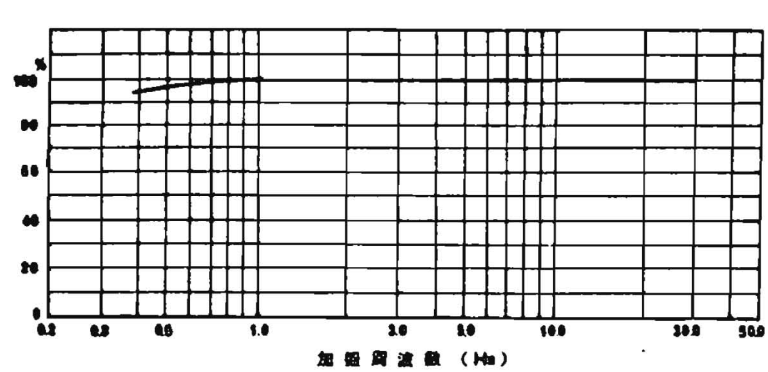
図－4に観測波形をしめす。

3) 図－5に各観測波のパワースペクトル密度をしめす。

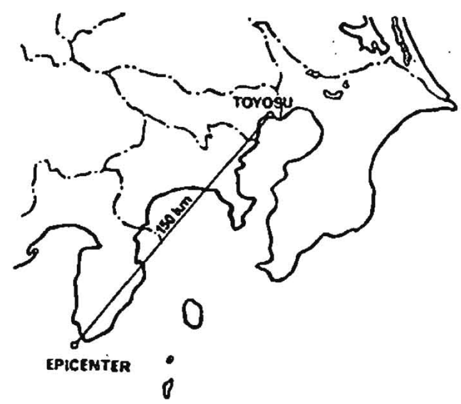
自己相関関数の長さは観測波形の5分の1

Hunning Window　使用

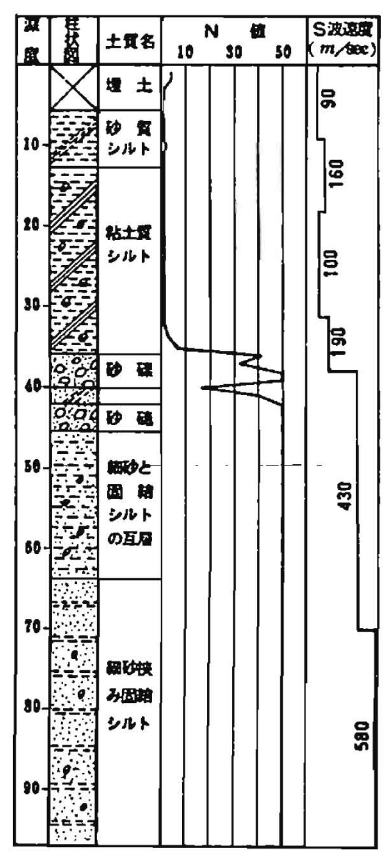
4) 図－6に各観測波のフーリエスペクトルをしめす。



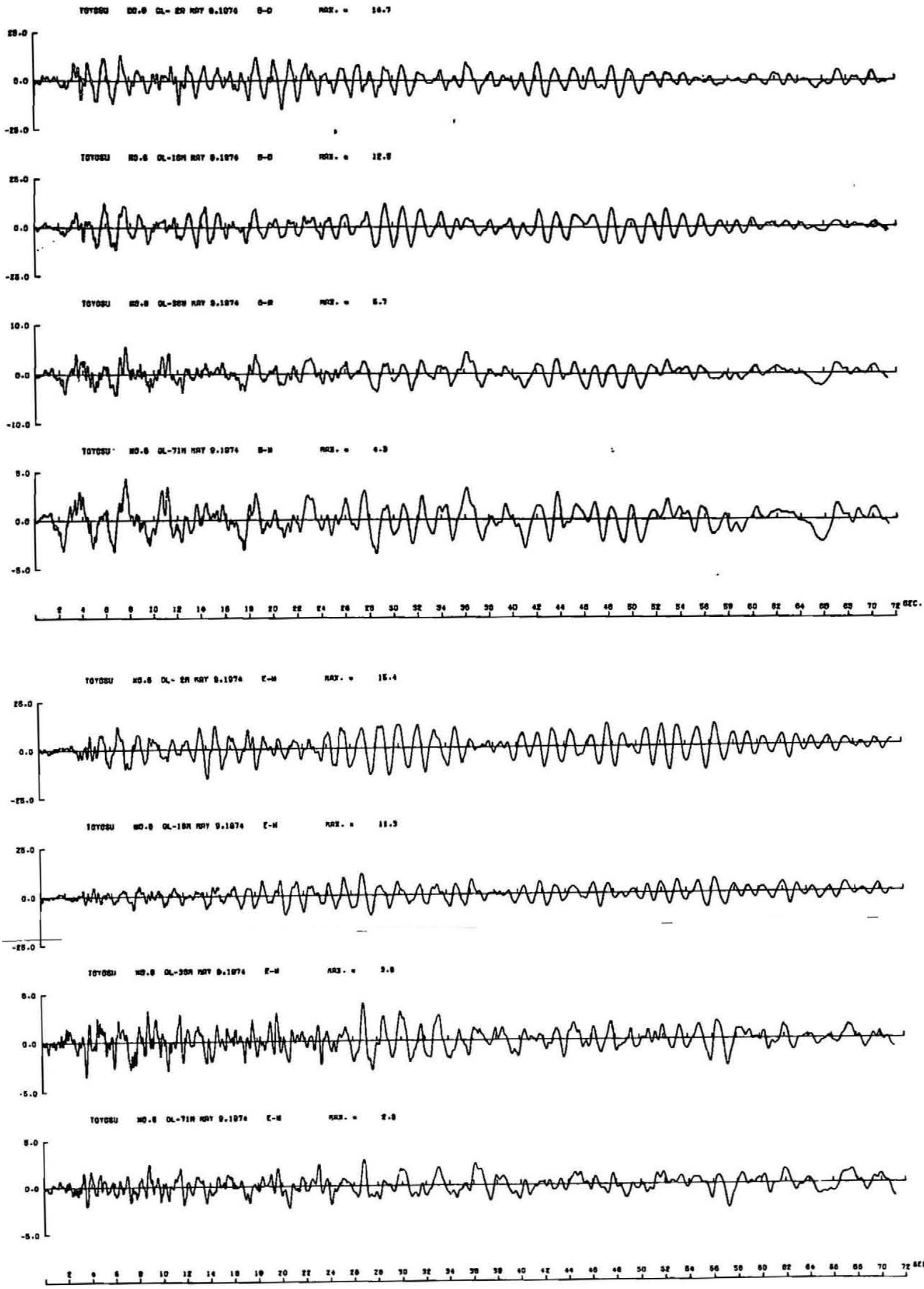
図－2　地震計の周波数特性



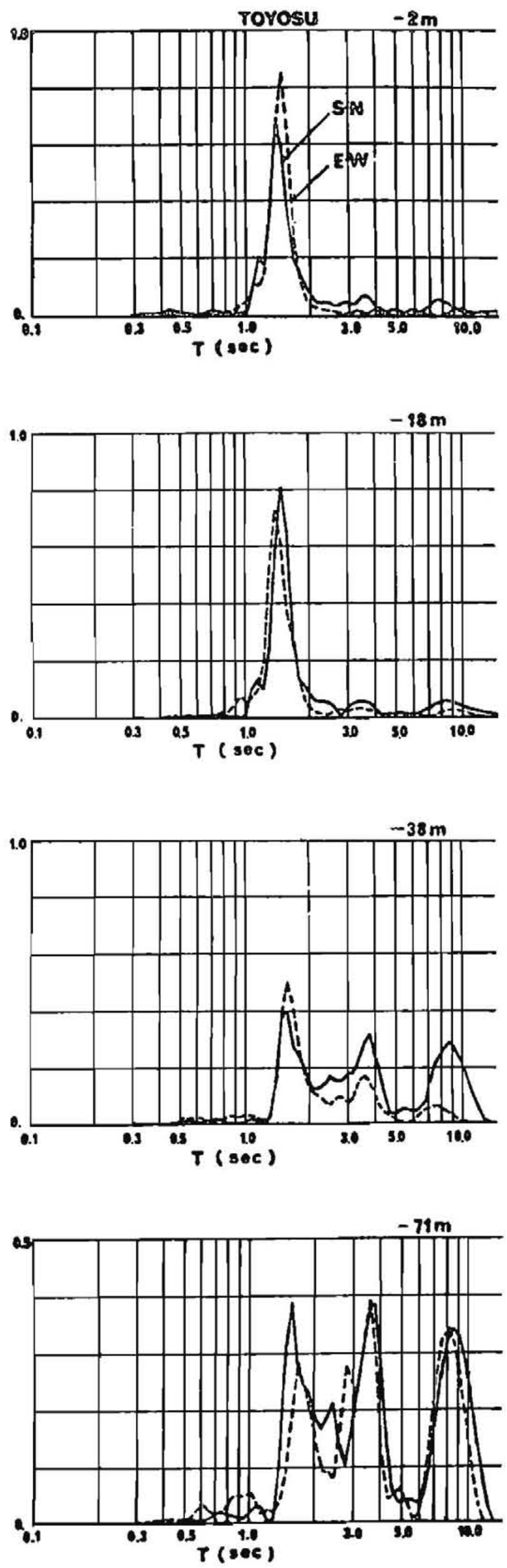
図－1　震央と観測地



図－3　観測地盤の土質柱状図とS波速度分布



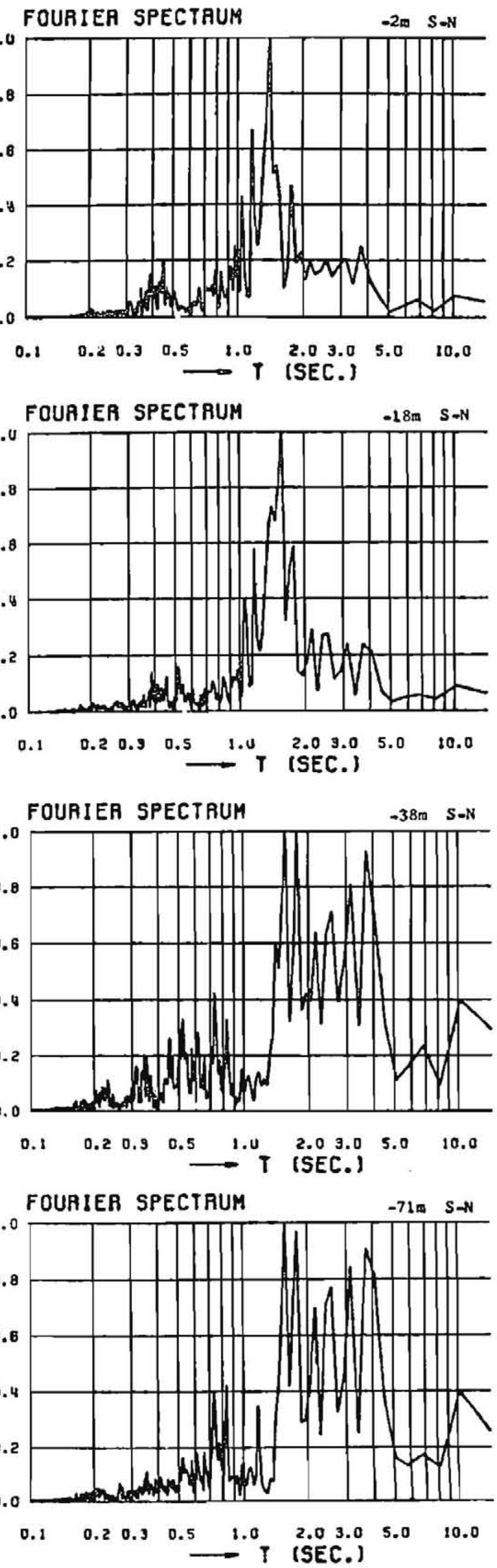
図－4　観測波形



図－5　観測波のパワースペクトル密度

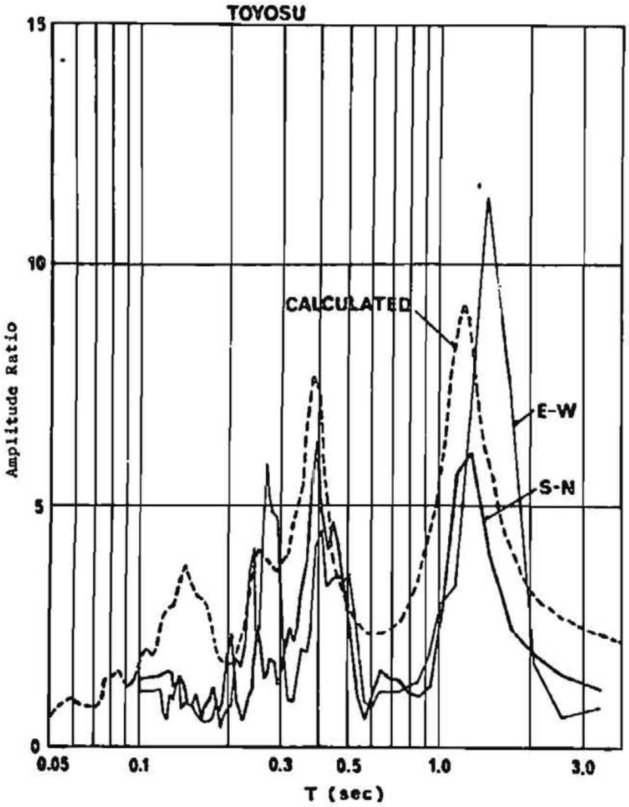
実線　S－N方向

破線　E－W方向

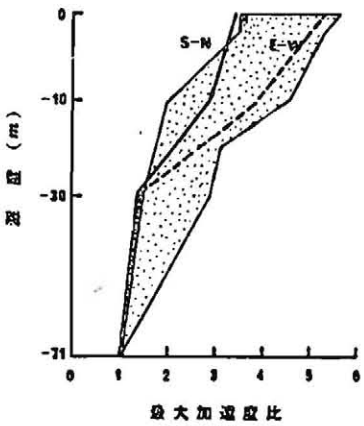


図－6　観測波のフーリエスペクトル

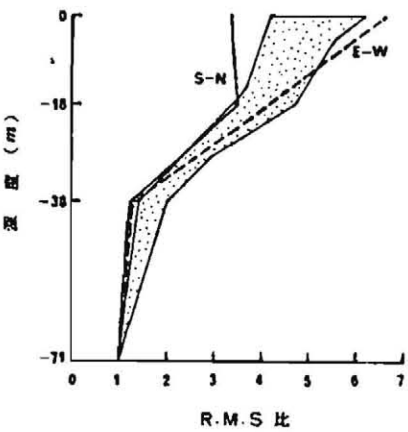
（S－N方向）



図－9　GL－71mと地表間の周波数伝達関数



図－7　最大加速度比（過去の5地震と比較）



図－8　2乗平均の比（過去の5地震と比較）

5)　図－7 に観測地震波の最大加速度比をしめす。点を打った部分は，過去に観測された5地震の結果で，実線と破線は伊豆半島沖の場合である。

6)　図－8 には観測地震波の2乗平均の比をしめす。最大加速度の比とほぼ同じ傾向をしめすが，2乗平均の比の方がばらつきが少なくなる。

3.　解析結果

図－9 に GL－71m と－2mとの観測波を用いて，2点間の周波数伝達関数を求めた結果をしめす。計算にあたって，伝達関数を入力と出力のクロススペクトルと入力のパワースペクトルの比として求めた。図中に破線でしめすのは，Haskel の方法を用いて，GL－71mと地表の間の伝達関数を求めた理論値で，地盤の内部減衰を振動数と無関係に4％とした場合である。これらの結果は良い対応をしめしている。

伊豆半島沖地震の特徴として，土丹層中での観測波に長周期成分が多く含まれていることがあげられる。豊洲で過去に観測した地震に関してみると，土丹層で3秒以上の卓越周期をもった地震は伊豆半島沖地震がはじめてであり，その意味で興味深い。

II-6 日比谷における観測結果

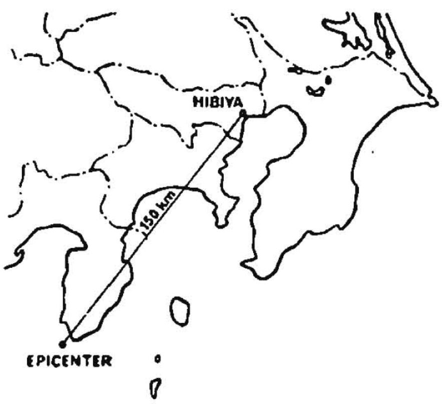
清水建設研究所 横田治彦
渡辺弘之

1. 地震観測概要

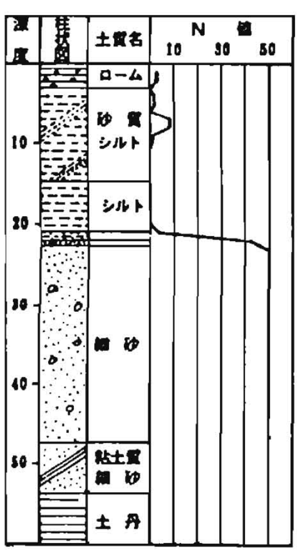
1) 地震名 1974年伊豆半島沖地震
2) 発震時 1974年5月9日午前8時33分
3) 震央 伊豆半島沖(34.6°N, 138.8°E)
4) 規模 顕著(M 6.8) 東京震度3
5) 観測地 東京都千代田区内幸町
6) 換振器および記録型式
   地中地震計 サーボ型加速度計(f = 5Hz)
   記録装置 電磁オッシログラフ
7) 地中地震計設置位置
   GL−1m, −25m, −50m (水平2成分)
   −50mのみ1成分
8) 観測地盤概要 図−2に柱状図をしめす。

2. 観測結果

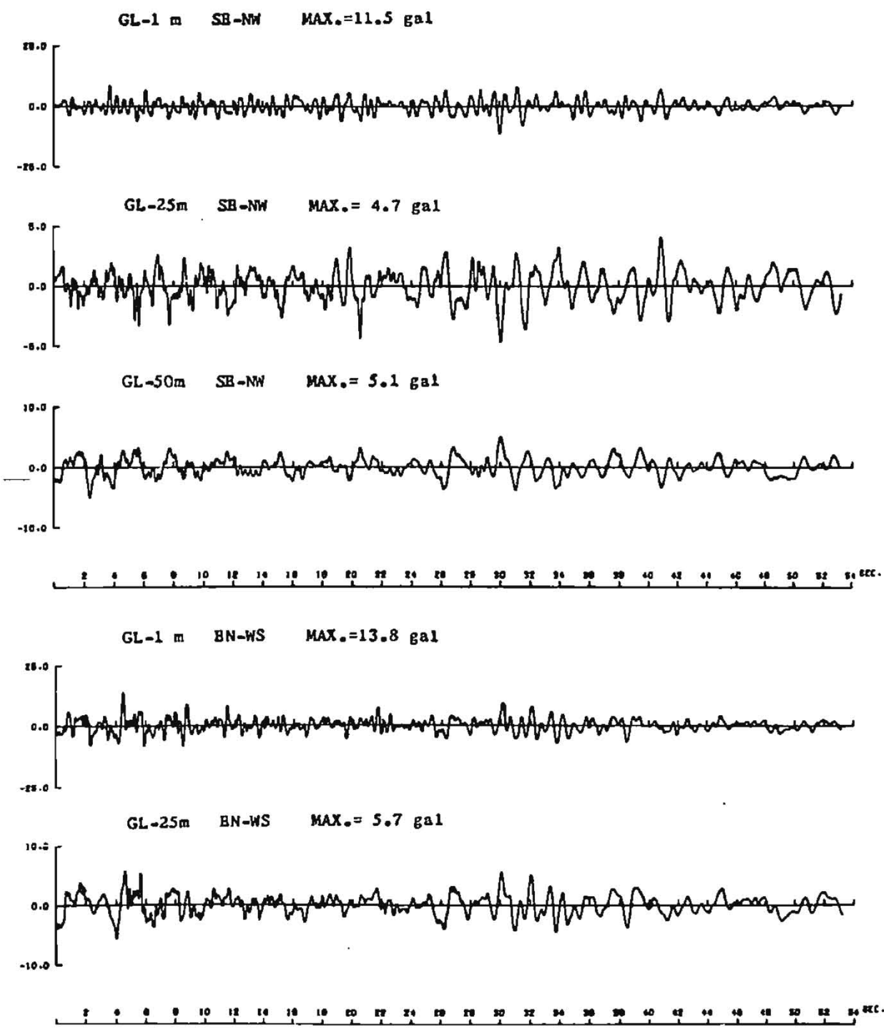
1) 約53秒間の記録を0.02秒きざみで数値化図−3に観測波形をしめす。
2) 図−4に観測波のパワースペクトル密度をしめす。自己相関関数の長さは記録の5分の1。Hunning Window 使用。
3) 図−5にフーリエスペクトルをしめす。
4) 図−6に GL−50m と地表間の周波数伝達関数をしめす。
   実線は観測波からの計算結果
   破線は Haskel の方法を用いて計算した理論値
   (減衰定数は振動数に無関係に2%とした)



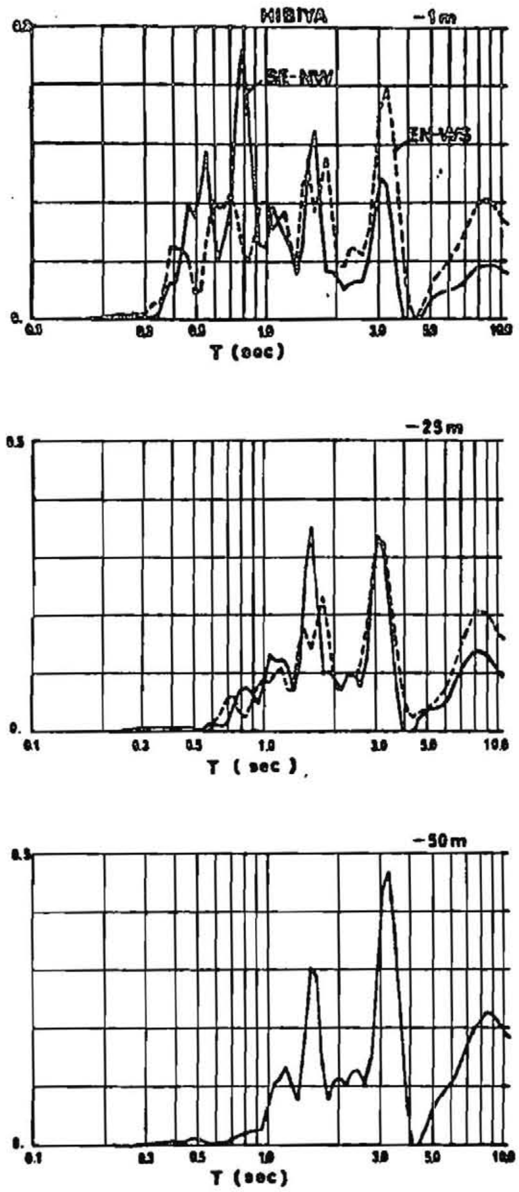
図−1 震央と観測地



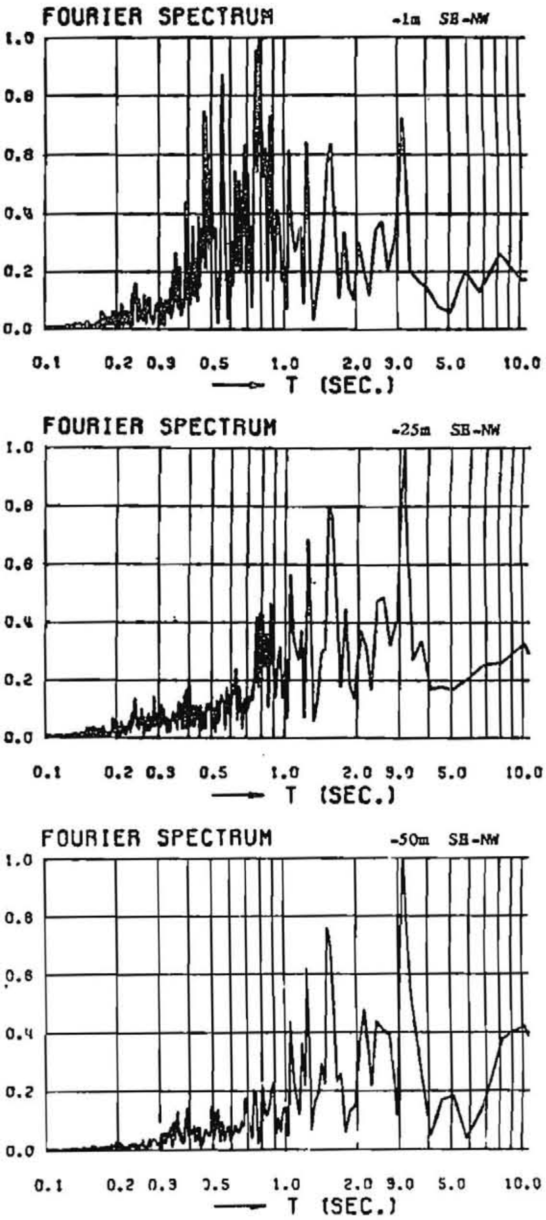
図−2 観測地盤の土質柱状図



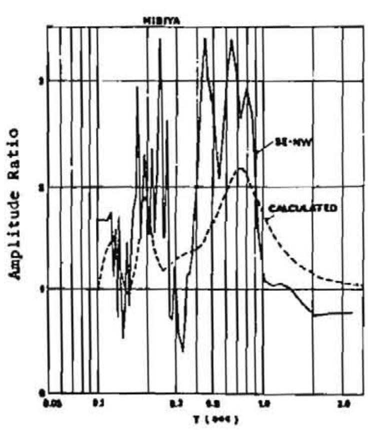
図−3 観測波形



図－4 観測波のパワースペクトル密度



図－5 観測波のフーリエスペクトル（SE−NW）



図－6 GL−50mと地表間の周波数伝達関数

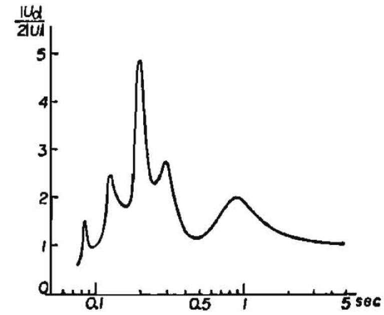
5） 観測結果より土丹層で観測された波のパワースペクトルは，豊洲における観測波のスペクトルと良く対応していることがわかる。豊洲と日比谷は約 3.7 km 離れているが，この程度の距離でかつ土丹層中においては観測波形の周波数成分はかなり類似しているものと思われる。

しかしながら，地表の観測結果のスペクトルは２地点で全く異なっており，表層地盤の特性の相違を物語っている。

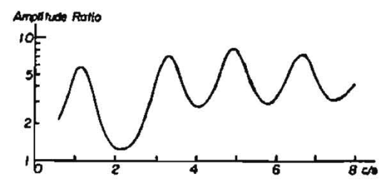
Ⅱ-7 東大地震研究所における観測結果

東大地震研究所 { 強震計観測センター
大　沢　研　究　室

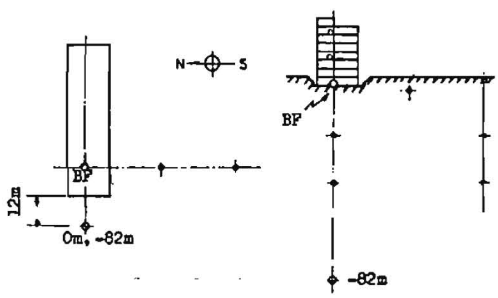
1. 観測場所　東京都文京区弥生１－１．東大地震研究所敷地および建物内
2. 観測位置　地表（－0.5 m），建物地下１階床，地中－82.0 m．
3. 地震計　電磁型直結式加速度計．換振器：TUSS 型（f_0= 5.0 c/s，h >10），記録器：電磁オッシロ．（ガルバ 100 C）．記録感度：0.39～0.77 mm/gal，綜合特性：1～15 c/s 平坦，0.25 c/sで－15%．
4. 解析記録　解析区間：25.4 sec（フーリエ），27.6 sec（パワー），サンプリング間隔：Δt = 0.0124 sec．
5. スペクトル解析
   1) フーリエスペクトル
      a. Original スペクトル
      b. Smoothed スペクトル（長さ 4.0 sec の記録波形に，Hunning Window をかけた場合にスペクトルがうける平滑化効果と同等な平滑化を周波数領域で行なったもの）
   2) パワースペクトル
      自己相関々数の最大ラグ　4.0 sec，Hunning Window 使用
6. 地盤の増巾特性（S波の重複反射．Modified 速度分布．Q = 20）
   1) 増巾度スペクトル、－82 m を基盤と仮定．
   2) 増巾度スペクトル比、観測されたスペクトル振巾比との比較のため、理論曲線に同等な平滑化を施したもの．



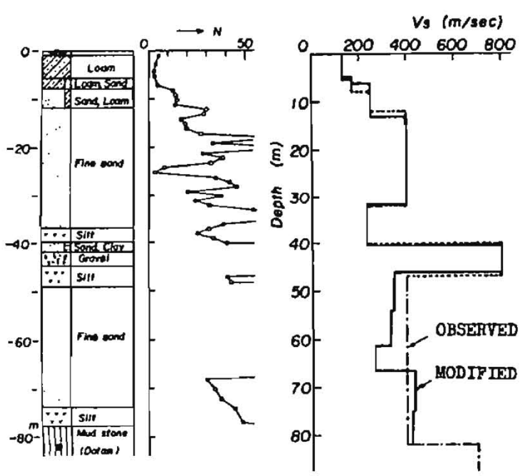
増巾度スペクトル



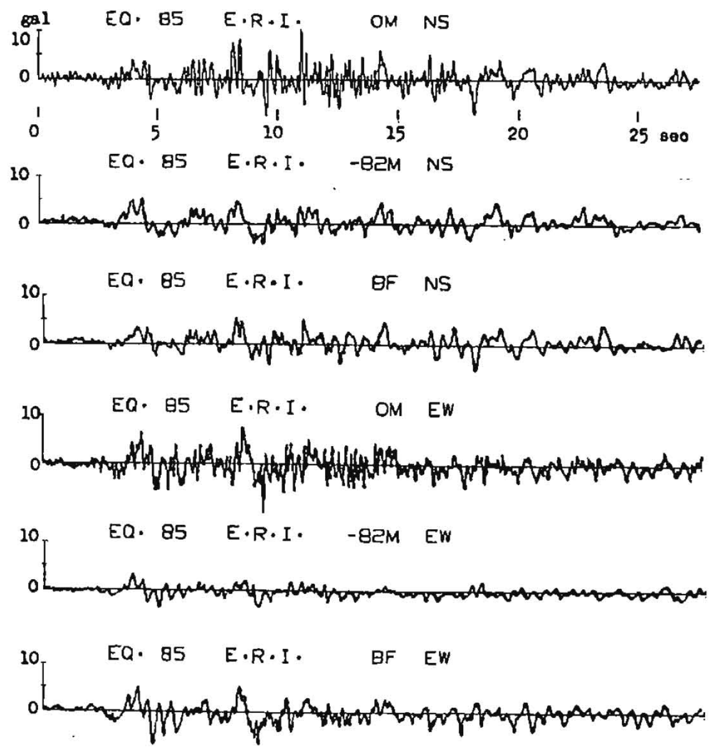
増巾度スペクトル比（0m/-82m）



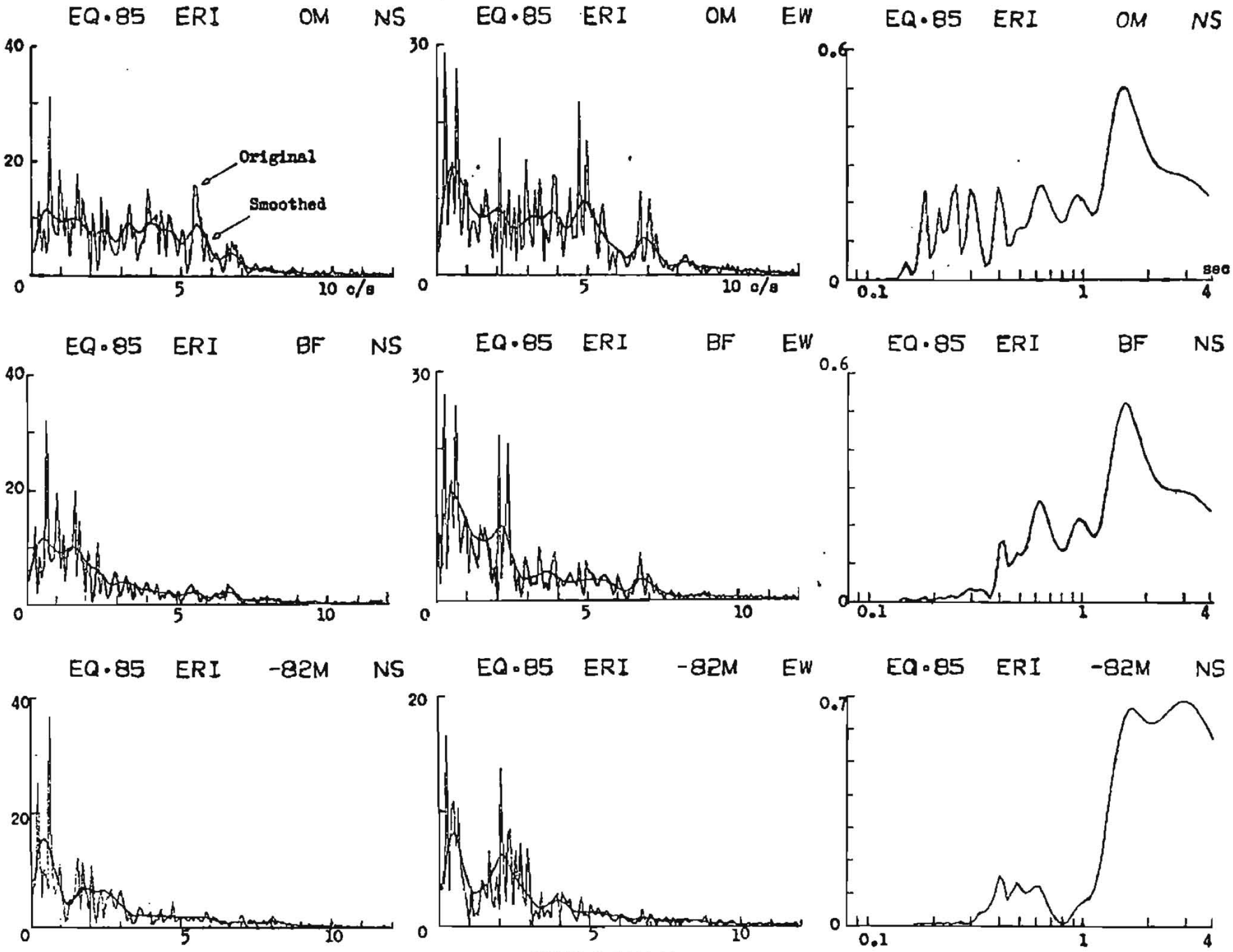
観　測　位　置



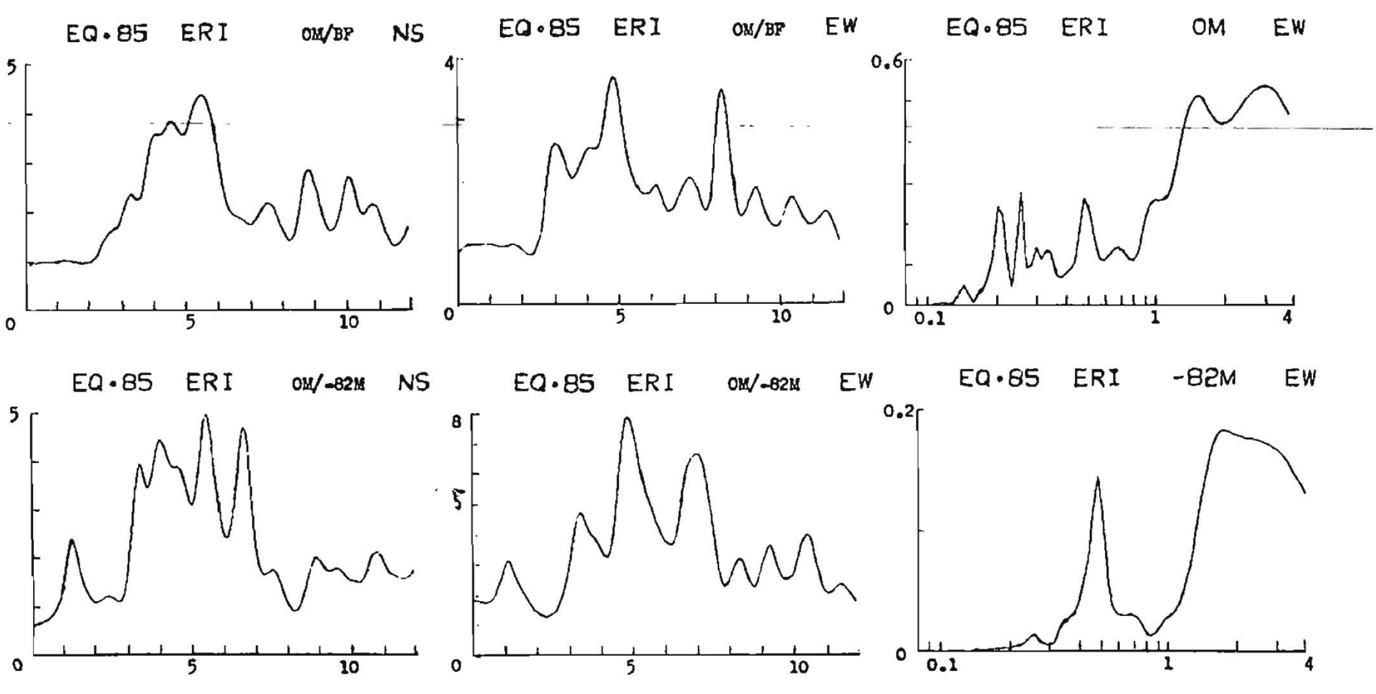
土質柱状図，N値分布，S波速度分布



記　録　波　形



FOURIER SPECTRA FOURIER SPECTRA POWER SPECTRA



FOURIER AMPLITUDE RATIOS FOURIER AMPLITUDE RATIOS POWER SPECTRA

II-8 日本住宅公団豊島5丁目市街地住宅戸棟における観測結果

建設省建築研究所　杉村義広

1. 観測地概要　観測地は東京都北区豊島5丁目にある日本住宅公団市街地住宅敷地内であり，震央との関係および付近の案内図は図-1，図-2 に示す通りである。

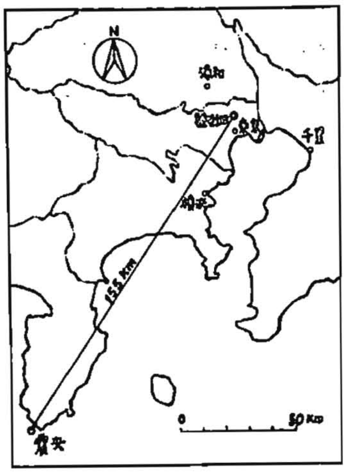


図-1 観測地と震央

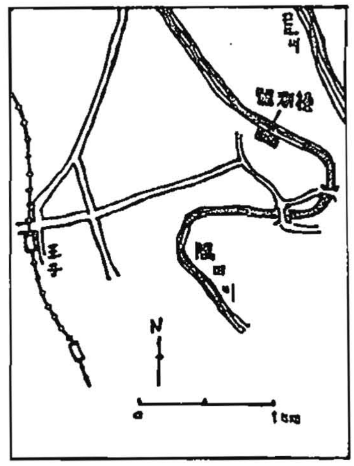


図-2 観測地付近案内

2. 地盤概況および地震観測体制　観測地付近の代表的土質柱状図および弾性波測定結果を図-3に示す。地表から約20mが沖積層とみられるが，この付近は地層の厚さに多少の変化があり，支持ぐい（PC 700φ）も23~27mの範囲で使用されている。換振器および記録型式は次の通りである。

地中	：保坂振動製	TUSS型(5Hz)	6台
くい中	：同　上	同　上	6
建物内	：同　上	MTDH-1C	1
		MTDH-3C	6
		MTDV-3C	2

記録：三栄測器製 100-A型電磁オシログラフ 3台

3. 観測波形例　観測された加速度波形のうち，GL-60mおよび建物底部におけ

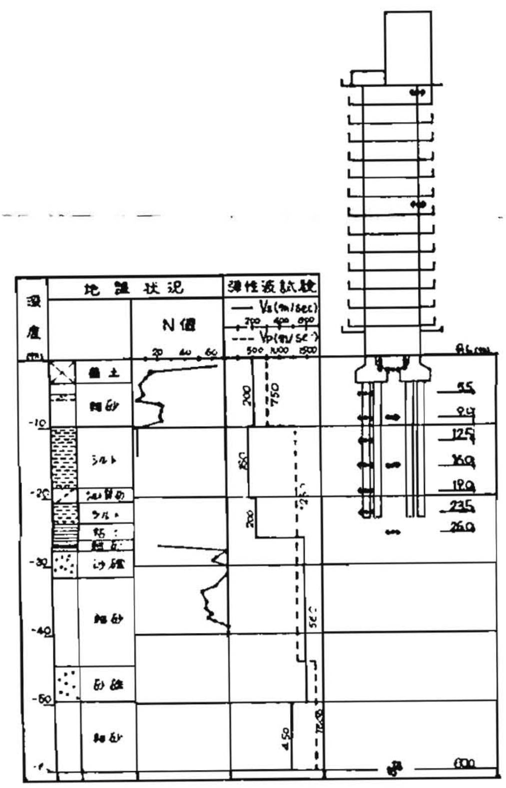


図-3 地盤状況および観測位置

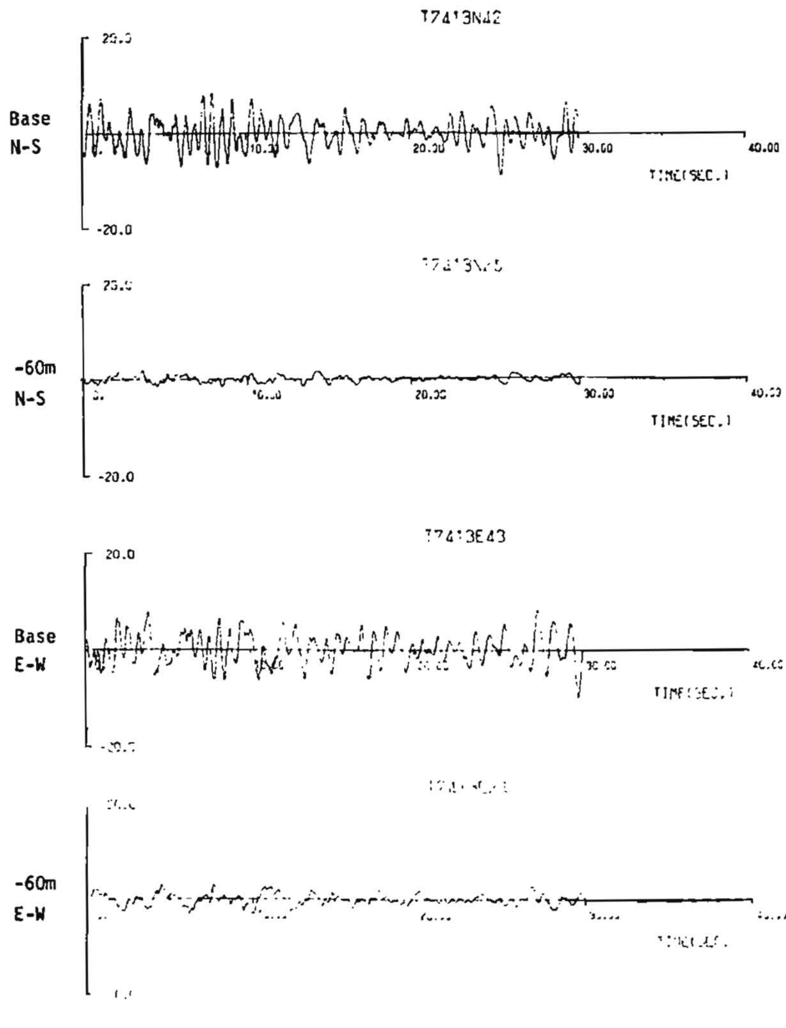


図-4 観測記録例 (単位 gal)

る各水平2成分の主要動付近30秒間の記録を図-4 に示す。同区間内の最大値は GL-60^m で N-S 成分 1.9 gal, E-W 成分 3.1 gal であり，建物底部で N-S 成分 8.8 gal，E-W 成分 10.9 gal となっており，いずれも E-W 成分の方が大きい。

4. 簡単な解析結果　図-4の記録波形についてのパワースペクトルを図-5に示す。ただし，これらの図は平均化されたもので修正パワースペクトルとして表わされている。GL-60^m の結果にみられるように，かなり低周波数の成分が含まれていることがここでの特徴である。図-6は建物底部とGL-60^{m}とのスペクトルの比を，図-7はN-S方向について原波形から読みとった最大加速度値の分布状況を示す。なお，常時微動測定の結果として当建物の固有周期は短辺方向（N-S）で 0.73^{sec}（並進），0.63^{sec}（ねじれ），長辺方向（E-W）で 0.52^{sec}（並進）付近にあることが認められている。

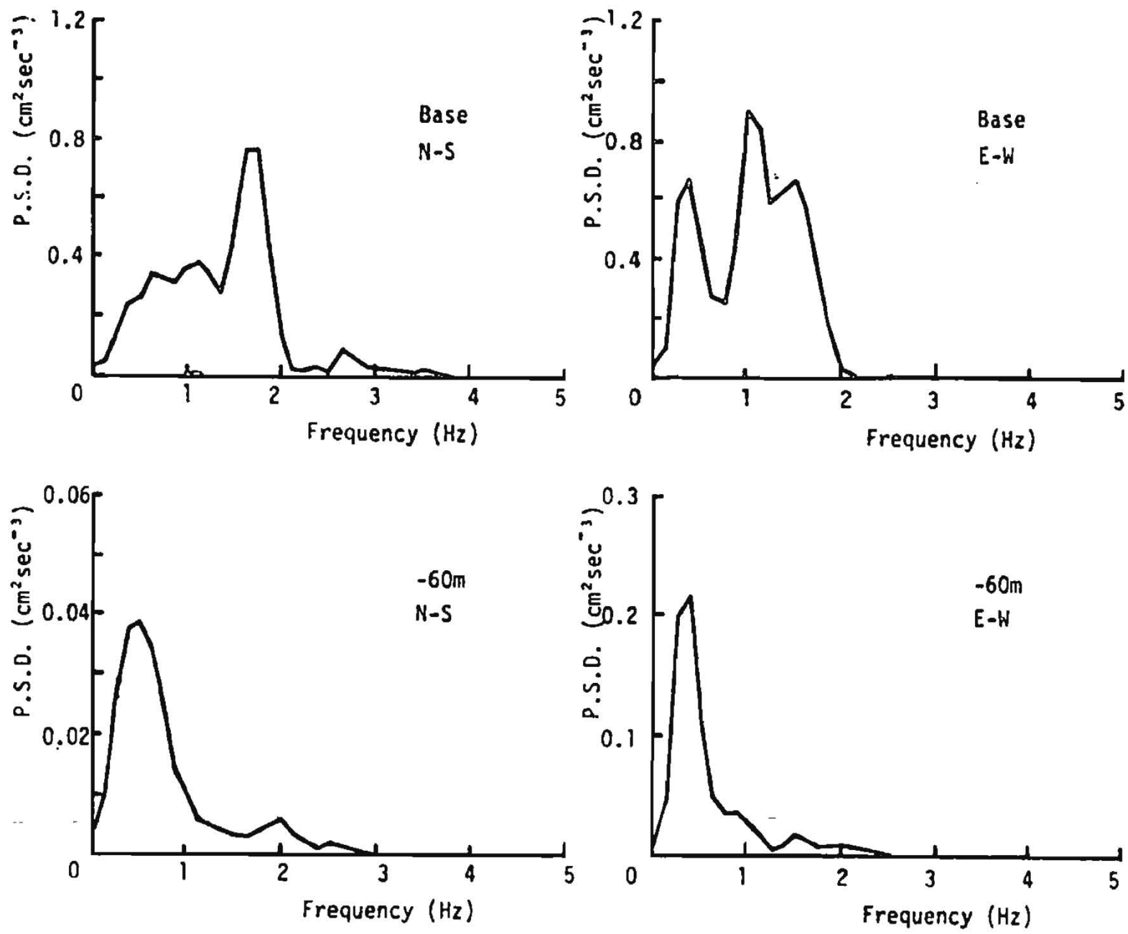


図-5　POWER SPECTRA

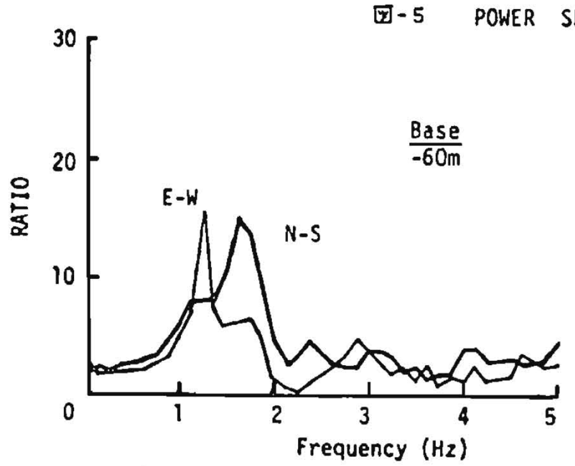


図-6　SPECTRAL RATIO

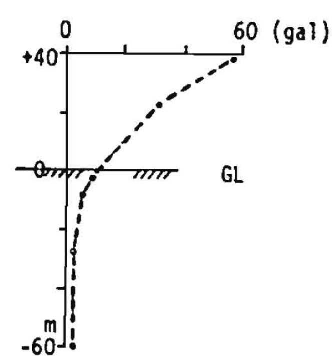


図-7
MAXIMUM ACCELERATION

II-9 東京椎名町における観測結果

鹿島建設技術研究所 太田外氣晴

1. 地震計

加速度計P.U.: 3成分3台
(サーボ型) 2成分3台
1成分1台
特性は直線部分0.3〜30HZ, 0.1Hzで90%

増巾器: トランジスタI.C.混成による. 自動感度切換1段階

動歪計: 4成分

記録計: データーレコーダー14チャンネル2台

2. 観測場所

東京都豊島区南長崎6−3−2

3. 観測記録

記録の数; 20成分, 記録の長さ; 90秒, サンプリング間隔; 0.02秒

4. スペクトル解析

i) フーリエスペクトル

○速度応答スペクトルの最終値による(場合によりF.F.T.使用)

○スペクトル振巾比(前出の詳述報告にその一部を示す. 得られた結果にHunning Windowを使用)

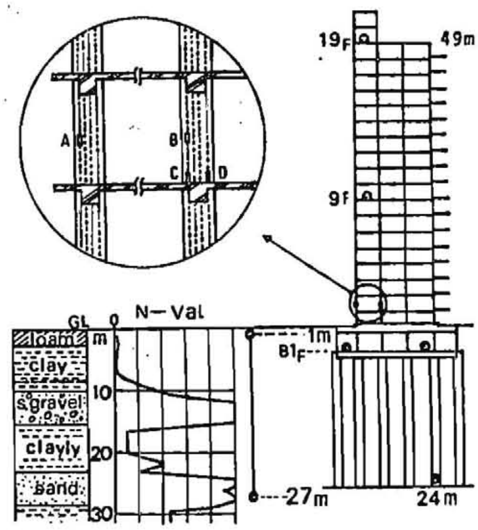
ii) 応答スペクトル

○加速度, 速度, 変位スペクトル(h=0.05, h=0.1, ここでは省略. 前出の詳述報告にその一部を示す)

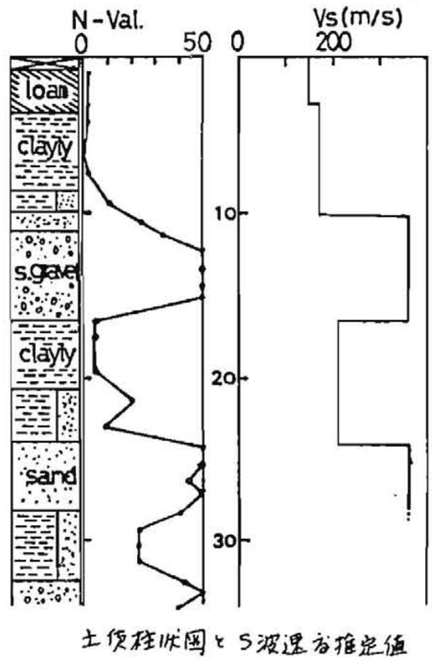
iii) パワースペクトル

・パワースペクトル(自己相関々数の長さ; 10秒, 周期成分; 0.04〜20秒, ここでは省略)

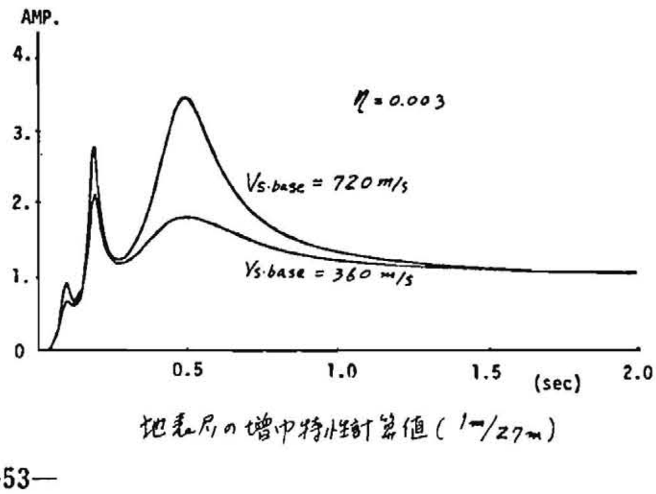
○クロススペクトル(前出の詳述報告にその一部を示す. ここでは省略)



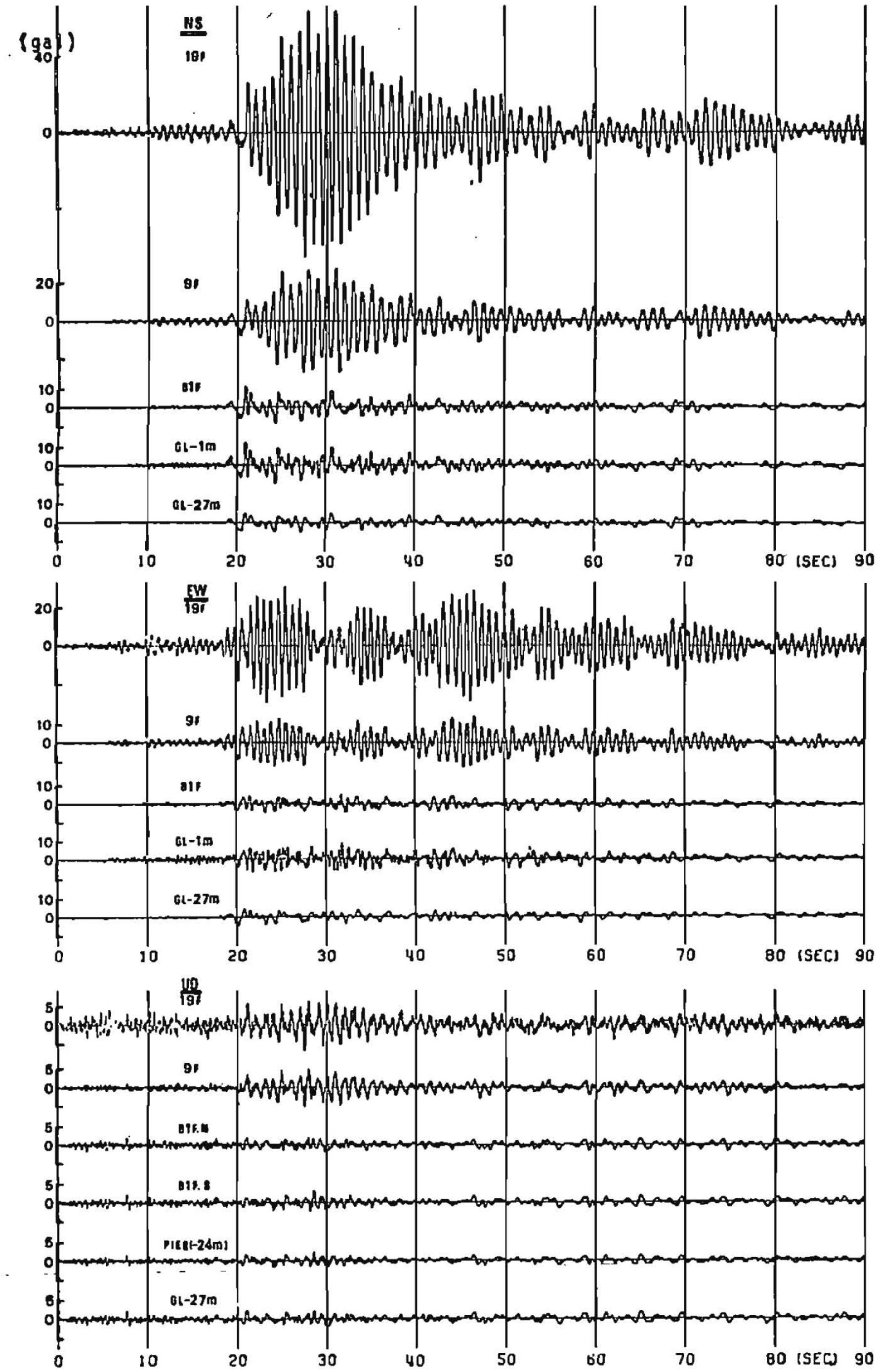
地盤・建物概要と地震計配置図



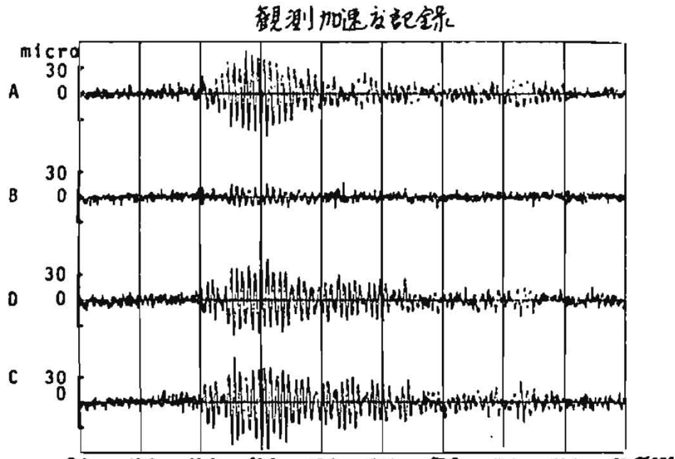
土質柱状図とS波速度推定値



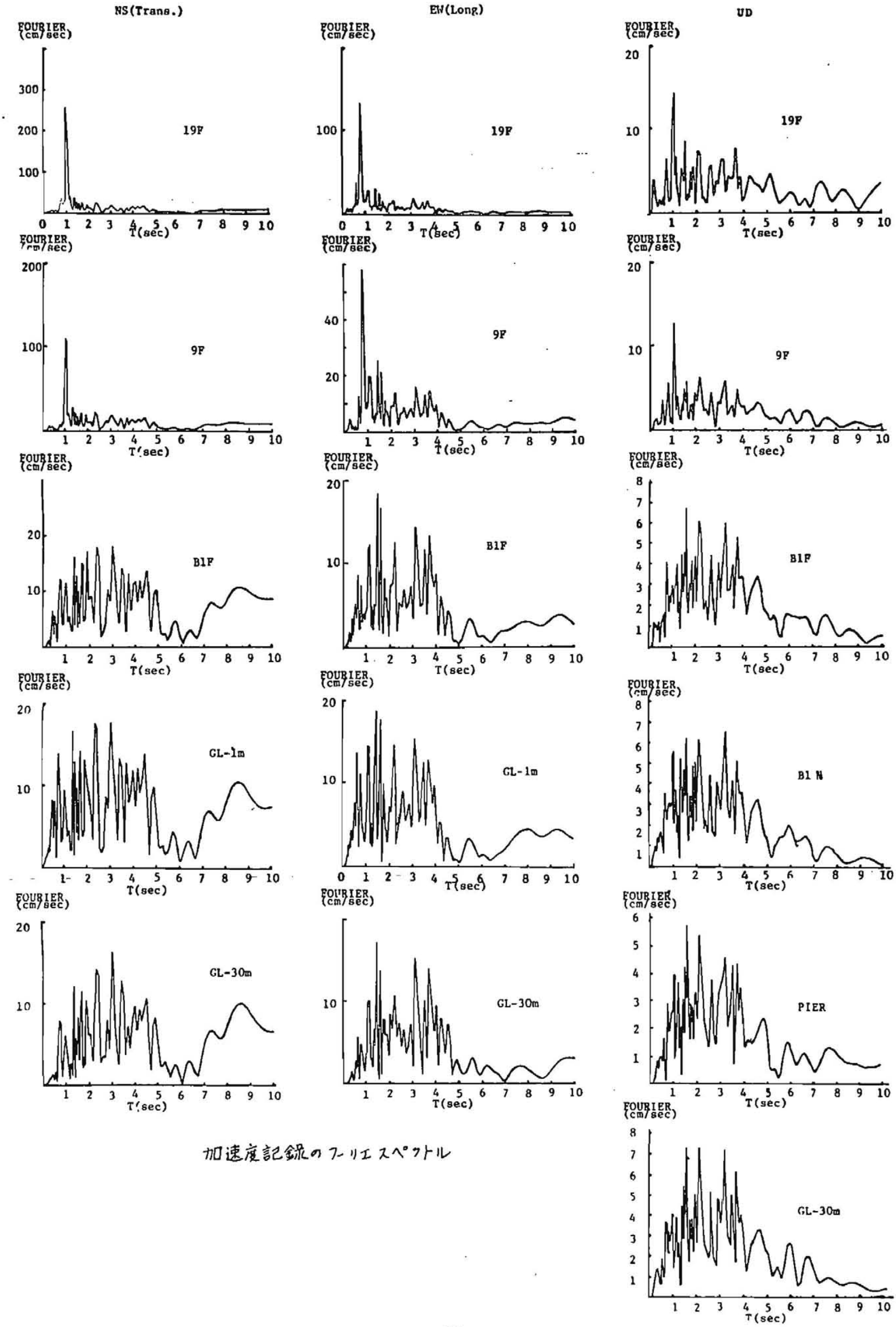
地表面の増巾特性計算値(1m/27m)



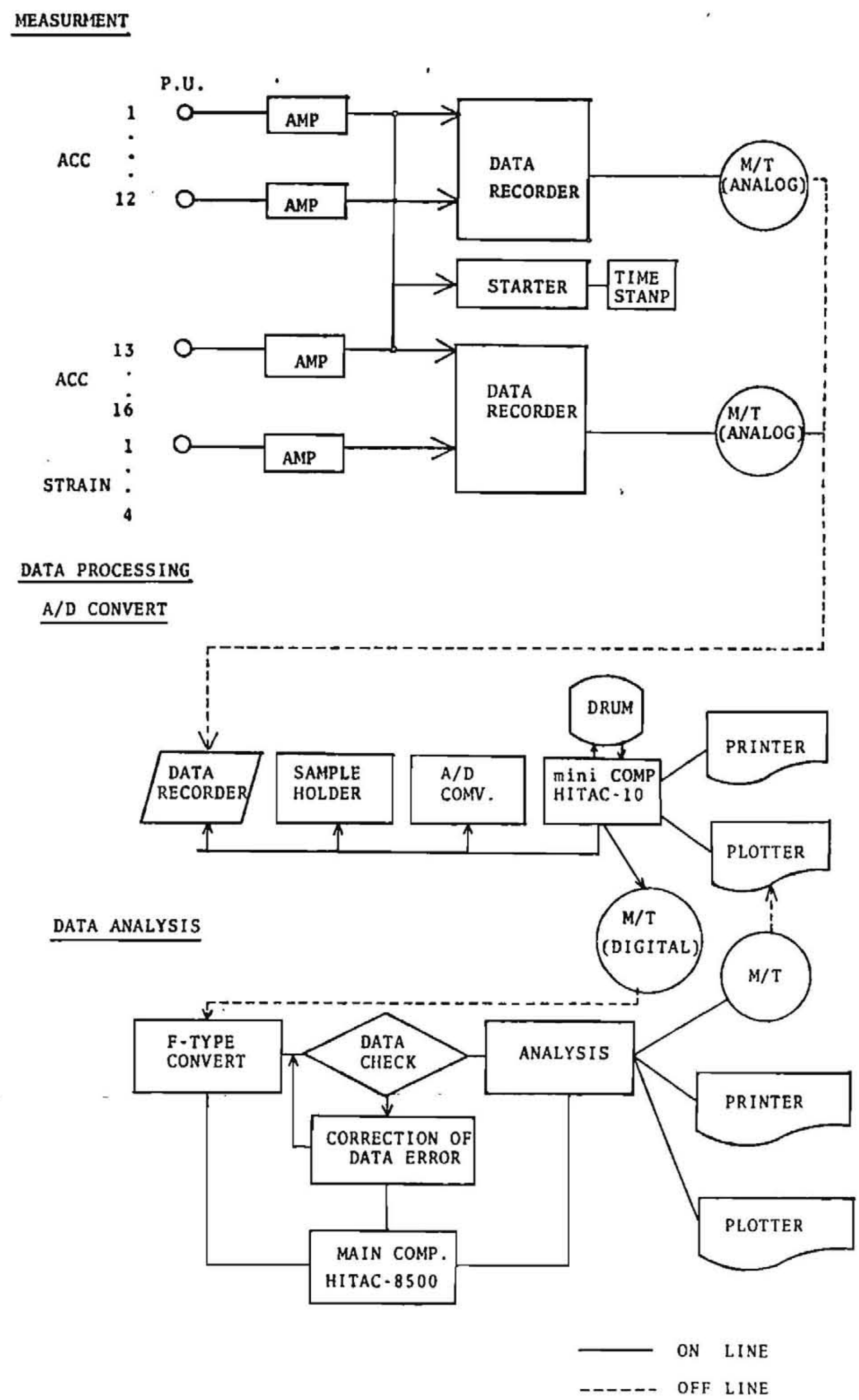
観測加速度記録



観測歪記録



加速度記録のフーリエスペクトル



BLOCK DIAGRAM OF DATA PROCESSING SYSTEM

II-10 東京港区における観測結果

角田智彦　瀬尾和大
大林組　技術研究所

1. 地震観測概要

1.1　所在地：東京都港区。

1.2　観測位置：地表，−18Mおよび−26.5Mの水平2成分。（図−1参照）

1.3　観測開始年月：昭和47年9月

1.4　観測結果：観測総数36回，震度階IIIが5ケ，IVが2ケ。（図−2参照）

1.5　換振器および記録形式：

地中地震計はチタパリ型加速度計，記録計は電磁オシログラフ（ガルバ−G100C），記録計起動感度は1.0 galに設定。

2. 地盤状況

地盤の様子は図−1(a)の土質柱状図に示すように表層より粘土層，砂礫層，土丹層と続きN値は第2層の−12.45Mより50以上となる。動的試験としては弾性波試験と常時微動の観測を行った。前者の結果としては図−1(b)，(c)のような走時曲線が得られ図−1(d)の構造モデルを設定した。後者の結果は図−2，3に示すフーリエスペクトル解析で図−2は長周期変位計（T_0＝5.0 sec）による地表の水平NS，EW成分でいづれの場合もT＝1.0〜2.0 secが卓越している。図−3は地中加速度計による地表，地中の解析結果で表層の卓越周期と思われるT＝0.1〜0.3 secに至る短周期成分が顕著である。表層近ぼうの周期特性については これらの観測結果とS波重複反射理論とはよく一致するが1.0 sec以上の長周期に関しては情報が不足のため未解決である。

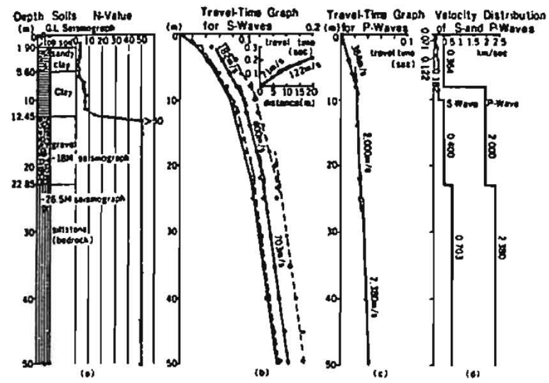
3. 過去の地震について

今回報告する伊豆沖地震の性格を明確にするために過去に観測，解析した内容を簡単に説明する。

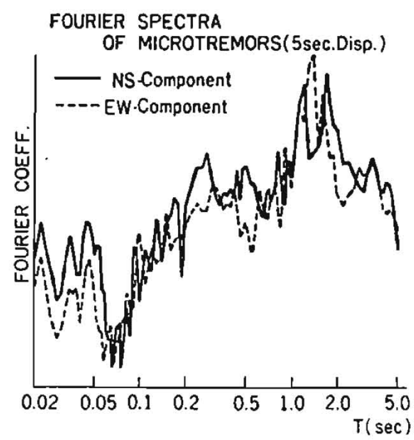
3.1　地盤の増巾率：GL−18M以浅の表層地盤については常時微動，微少地震，中地震共に4.5〜8倍程度の増巾を示しS波重複反射理論による計算値の5.0倍（T＝0.3 sec）とよい対応を示している。

3.2　震度階と最大加速度値：NS，EW成分を区別なしにプロットしてみた。（図−4参照）

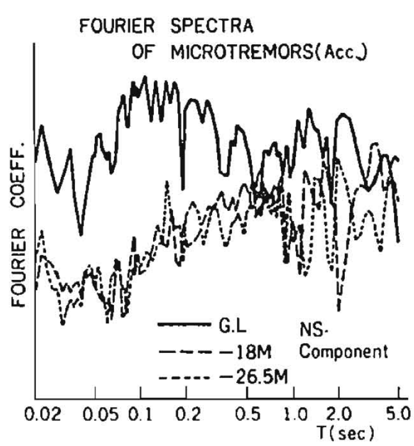
震度階がIII以下の資料が殆んどで，各深度について の資料を最小自乗法による回帰曲線で求めたが震度階毎のブロックとよく一致するのは地表面よりむしろ地中の値である。



図−1　地盤の諸常数。

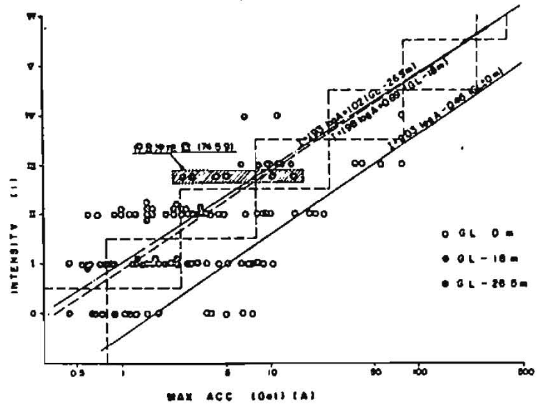


図−2　常時微動時の周期特性。（その1）

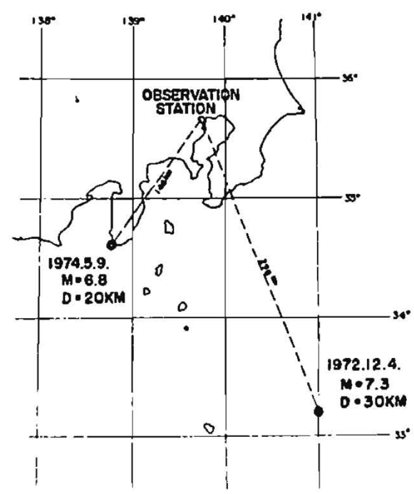


図−3　常時微動時の周期特性（その2）

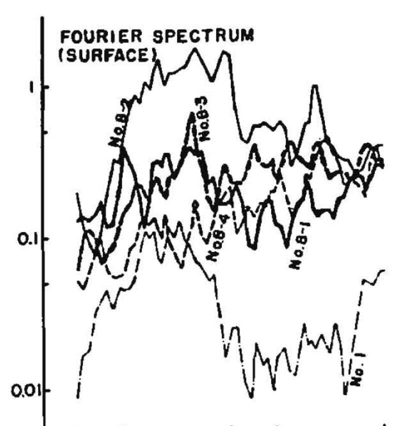
3.3　代表的地震波：過去に観測された地震中最も大きなものとして1972年12月4日の八丈島沖地震を紹介する。M＝7.3，震央距離298KM，震源深さ30KM，観測点との位置関係を図－5に示す。東京における震度Ⅳ，観測地点での最大加速度値は地中で11gal，地表で78gal程度である。その他特徴的なこととして継続時間が長く3分間以上も観測された。解析はフーリエスペクトル解析を行ったが観測におけるスターター設定時間が30秒単位となっているため結果は30毎の結果である。（図中，NO.8－1，～8－4がその意味を表わす。なおNO.1は他の微少地震の解析結果である。）NO.8－1，2の記録については0.1～0.3secの短周期成分が卓越しておりNO.8－3，4の波形については1.0～2.0secという長周期が卓越している。波形全体を眺めてNO.8－1，2は主要動部分で4，5では変位動が優勢となる。



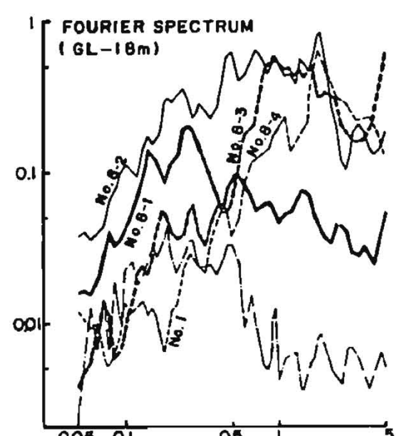
図－4　震度階と最大加速度。



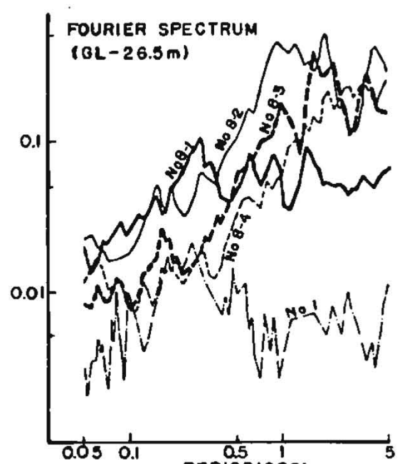
図－5　震源と観測地点。



図－6　地震時の周期特性。（その1）



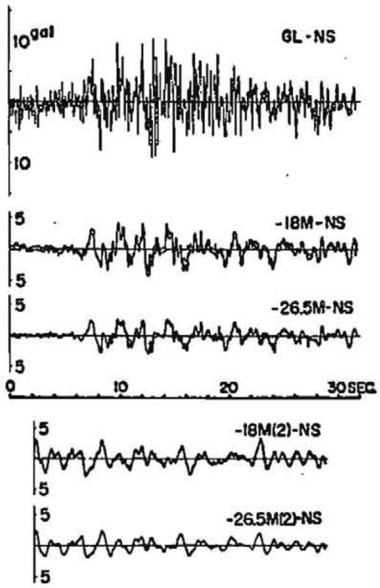
図－7　（その2）



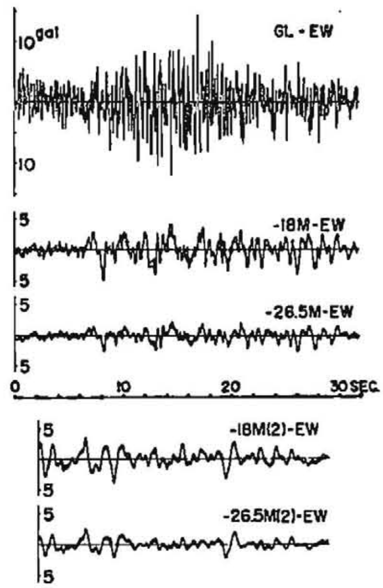
図－8　（その3）

4. 伊豆沖地震について

4.1　震源その他：震央距離その他地震に関する数値は図―5に示しておいた。観測波形は図―9(a)，(b)に示すように継続時間約57 sec であるが地表成分は減衰が大きく30 sec の記録だけに止めておいた。その他波形を見た上での特徴は主要動部分に地中，地表に共通して約3.0 sec の長周期成分が認められる。



図―9a　記録地震波。（その1）



図―9b　（その2）

4.2　解析結果：表―1に各測点，各成分の最大値，RMS値および―265Mを基準とした増巾率を示しておいた。この結果を見ると過去に得られたものと似た性格をもっている。次に震度階と最大加速度値の関係は前出の図―4中に図示しておいたが若干小さい値となっている。また理論値との対応と云うことで速度レスポンス（T＝1.0 sec，h＝1.0）によって最大速度振巾を算定してみると―265M，NS成分で0.225 cm/s，EW成分で0.162 cm/sとなる。今理論計算を金井式で常数を図―5の値で計算すると0.72 cm/sとなりこの場合も観測値が小さめの値を示している。

	成分	測点	MAX Gal	RMS Gal	Max/RMS	Max Ratio	RMS Ratio
0 ～ 30 sec	NS	G.L	10.40	2.754	3.78	3.49	2.79
		-18.0	4.35	1.300	3.35	1.46	1.32
		-26.5	2.98	0.988	3.02	1.00	1.00
	EW	G.L	14.50	3.156	4.59	5.51	3.96
		-18.0	5.05	1.369	3.69	1.92	1.72
		-26.5	2.63	0.797	3.30	1.00	1.00
30～57 sec	NS	-18.0	3.33	1.066	3.12	1.42	1.28
		-26.5	2.34	0.836	2.80	1.00	1.00
	EW	-18.0	3.97	1.160	3.42	1.56	1.60
		-26.5	2.55	0.724	3.52	1.00	1.00

表―1　最大加速度と増巾率

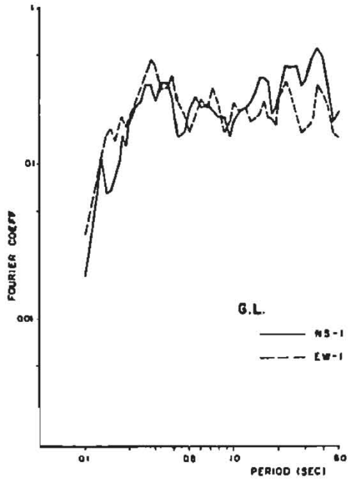
図―10，11，12はそれぞれの深さにおける約30 sec 間のフーリエスペクトルを求めたもので地表のものと地中のものが明らかに異っている。従来の資料では微少地震では地表，地中共に共通したパターンで長周期成分が殆んどなく短周期（T＝0.2 sec）が顕著な場合，又は前出の八丈島沖のパターンが一般的であった。然し今回の結果では長周期のレベルは各深さ共殆ゞ一定で短周期成分は地表成分にのみ存在し地中成分には主要動部分の時でさえ認められない。このことは図―13，14の計算すなはち地表および―18.0Mの値を―26.5Mの値で除した結果を見るとより明確で GL/26.5M では短周期部分で約20倍，長周期部分で1倍となっている。一方―18.5／―26.5Mでは全周期にわたってほゞ2倍位で地中での挙動は単純である。最后に平面的な挙動を知る目的で水平2成分を合成した。但し加速度波形を使用したゝめ不必要に変動している。図―15は―18M測点の軌跡を追ったもので記録紙上の経過時間32.0―37.5 sec（図―9a，bの下より2段目の頭の部分）を示し図中の数字は経過時間を示す。参考のために前出の八丈島沖地震の同一測点の軌跡を図―16に示す。図中NO. 8―4は記録紙上2分経過后の部分を図―15と同様に5 sec 間解析したが非常に動きが激しい。

5. あとがき

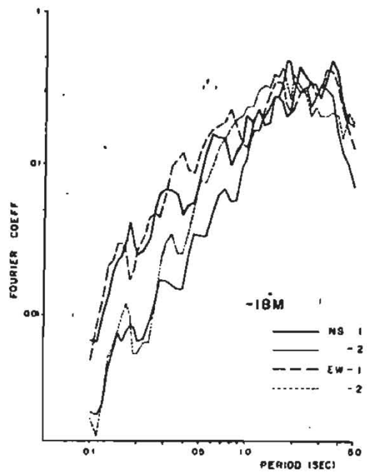
我々の観測地点に限って特徴的な事項を挙げると，

i，地表層の卓越周期は従来の常時微動測定，地震観測結果等とよく一致する。

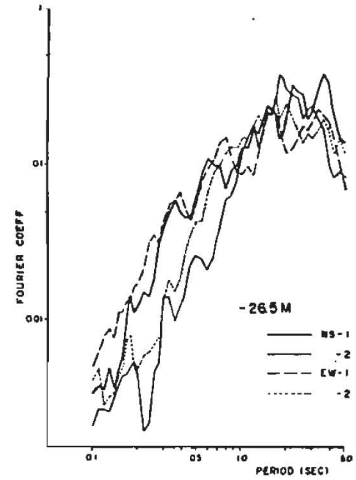
ii，地震動初期に短周期成分が少くそのため地中と地表の比が20と云う大きな値を示す。反面長周期成分については地表，地中共に過去に観測したよりも長い成分を確認した。



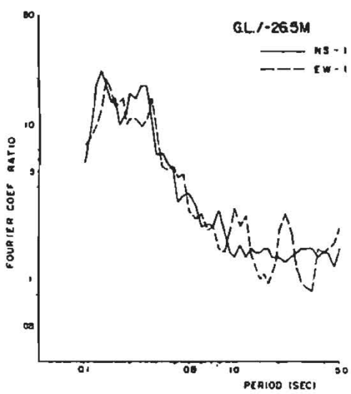
図－10　地震時の周期特性（その4）



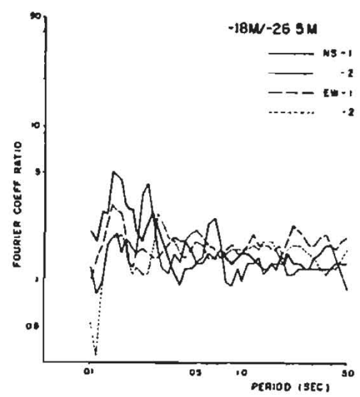
図－11　（その5）



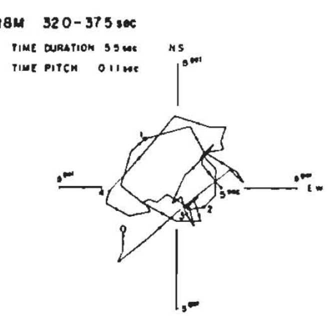
図－12　（その6）



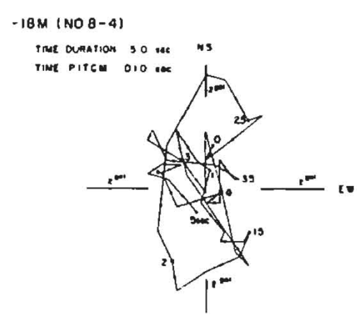
図－13　スペクトル比。（その1）



図－14　（その2）



図－15　水平動軌跡。（伊豆沖地震）



図－16　水平動軌跡　（八丈島沖地震）

Ⅲ-11 東京都　目黒区緑ヶ丘（東京工業大学）における観測結果

東京工業大学　小林研究室
小林　啓美・佐間野　隆憲

1. 地震計および記録型式

地震計および記録機の構成は次の通りである。

a　換振器　　保坂振動計器製作所製
ＭＴＤＨ－３Ｃ　３成分
固有周期　０.２８５ sec.
減衰係数　臨界減衰
感　度　　１.０８ Volt／kine（直結）

b　記録器　　三栄測器製
１００Ａ型電磁オシログラフ
ガルバノメーター　５０Ｂ型
刻時　　　１秒（ＪＪＹ）
紙送り速度　１０ mm／sec.

c　記録の数値化　江藤電機製
ＳＭＡＣ用カーブトレーサー
分解能　振巾について０.０１ mm
　　　　時間について０.０１ sec

2. 測定場所と地盤条件

地震観測は東京都目黒区緑ケ丘　東京工業大学　緑ケ丘１号館　地階土間において行なった。建築物の配置，ボーリング孔，観測点などの位置を Fig. 1 に示す。又図中に示した位置におけるボーリング柱状図を Fig. 2 に示す。この柱状図より表層より表土，ローム，ローム質粘土，礫混り砂質粘土，砂礫の層序で８.７０ｍまで続き以下は固結粘土，シルト岩，　砂混り，砂岩シルト岩と非常に固い層が続いている。観測点の建物は鉄筋コンクリート造地上５階，地下１階（殆ど地上に出ている）で固有周期はＮＳ，ＥＷとも約０.３ sec である。基礎はシルト岩に杭で支持している。

3. 地震観測結果

地震記録はスターター使用の為初動は不

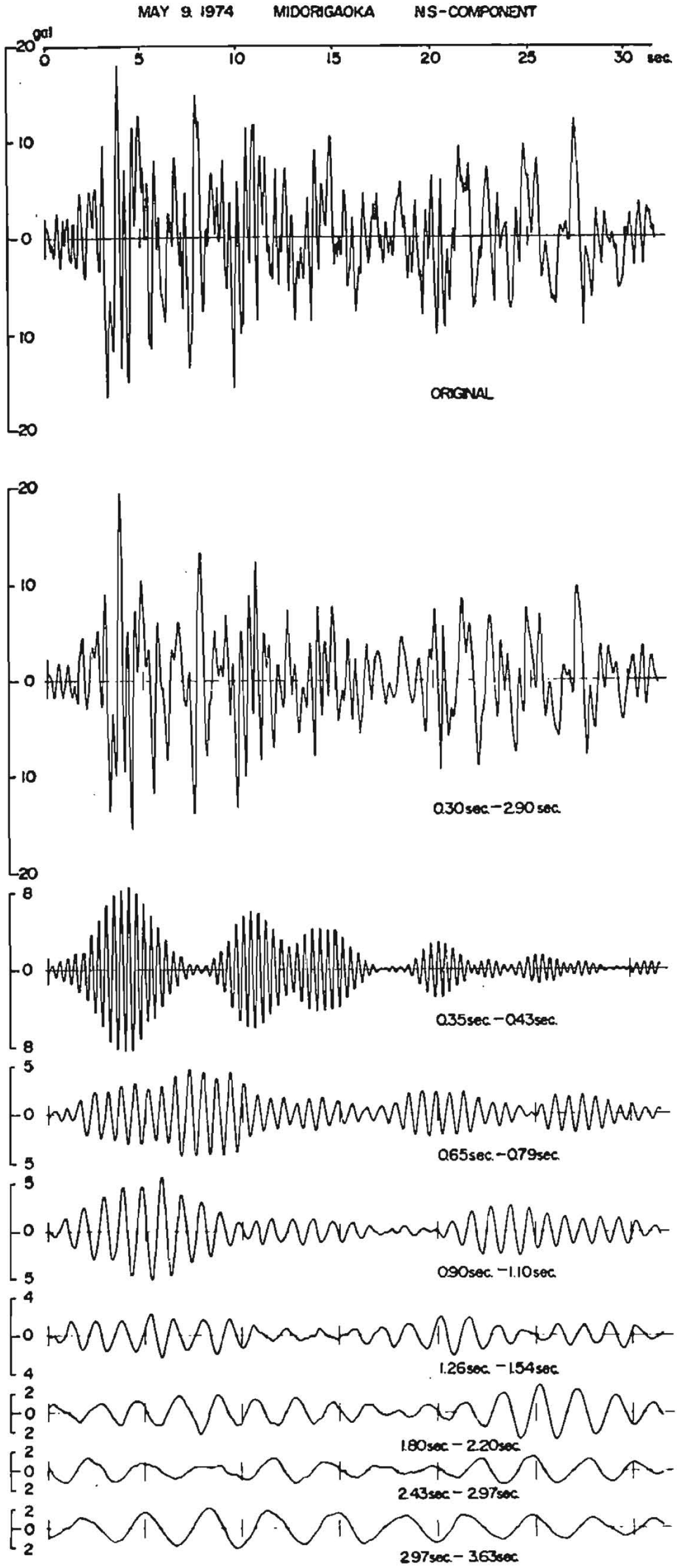


Fig. 3

明である。NS，EW，UDの各成分30秒間の加速度記録をFigs. 3～5に示す。 各図は最上段が加速度記録で，以下0.30～2.90秒，0.35～0.43秒，0.65～0.79秒，0.90～1.10秒，1.26～1.54秒，1.8～2.2秒，2.43～2.97秒，2.97～3.63秒 周期帯を通すバンド・パス・フィルターによって，他の周期成分を除いた加速度記録を示す。

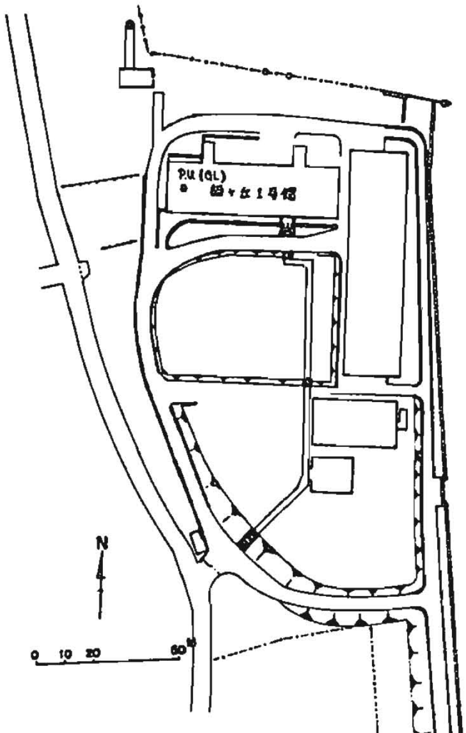


Fig.-1

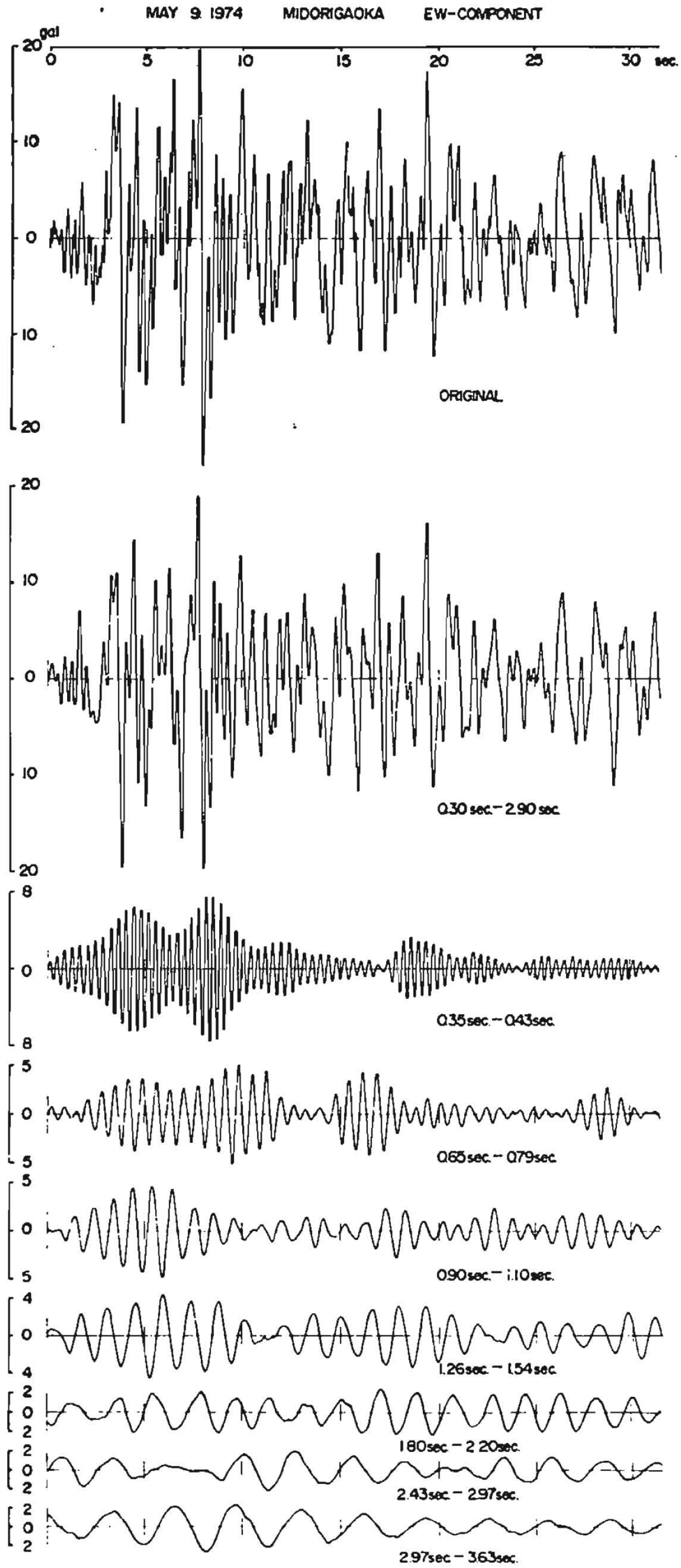


Fig. 4

4. 解析結果

Figs. 6，7にレスポンス・スペクトル（速度スペクトル，h＝0.05）．Figs. 8，9にフーリエ・スペクトル，Figs. 10〜12に0.65〜0.79秒，0.90〜1.10秒，2.97秒〜3.63秒周期帯の水平動のパーティクル・オービットを示す。これらはいずれも震源方向に対して直角方向成分が卓越していることを示している。

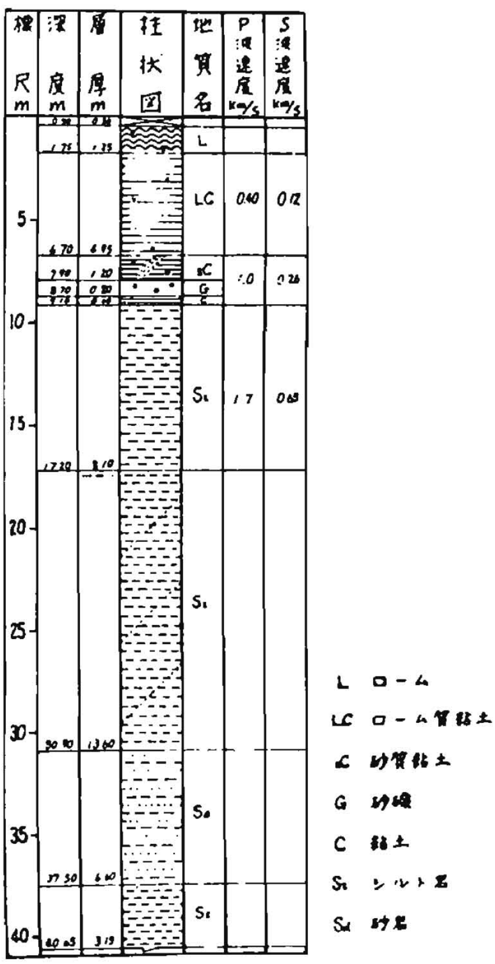


Fig.－2

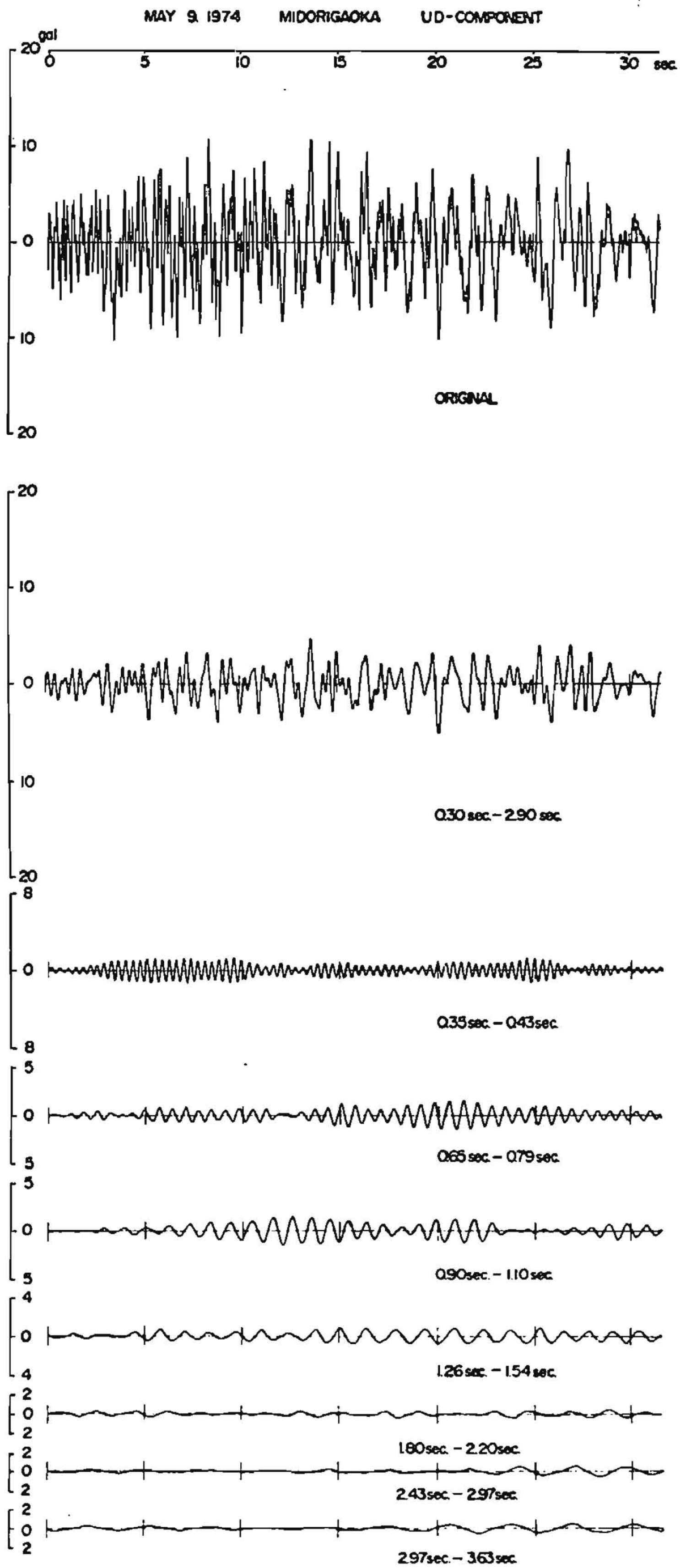


Fig. 5

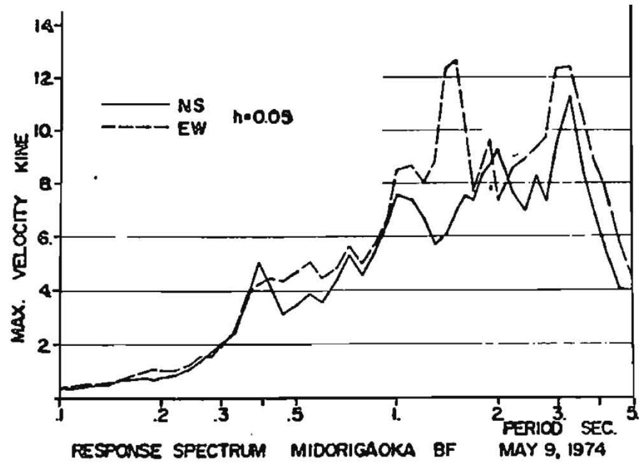


Fig. 6

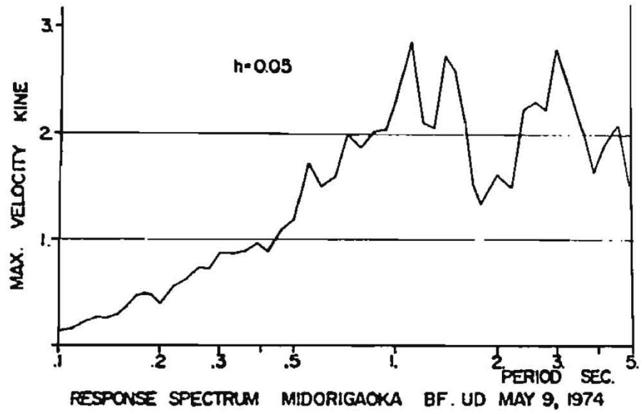


Fig. 7

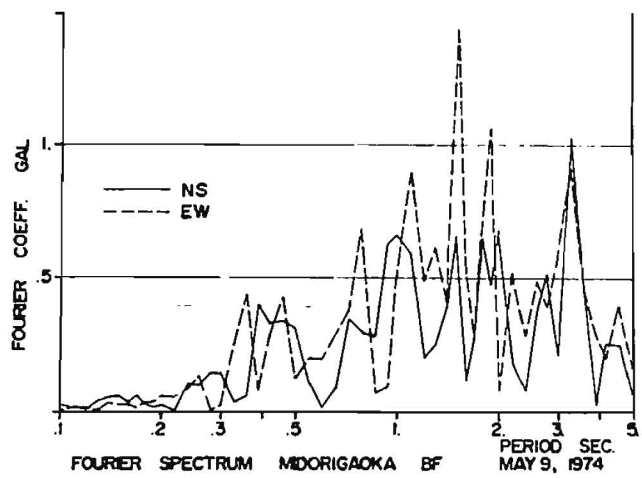


Fig. 8

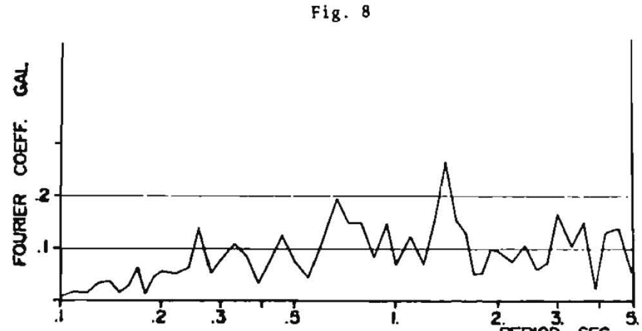


Fig. 9

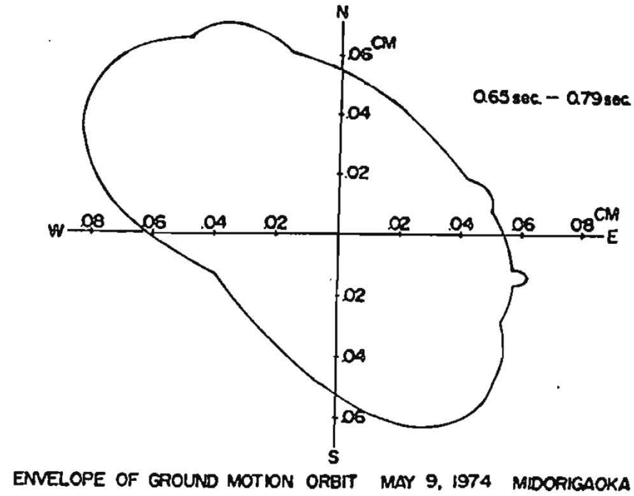


Fig. 10

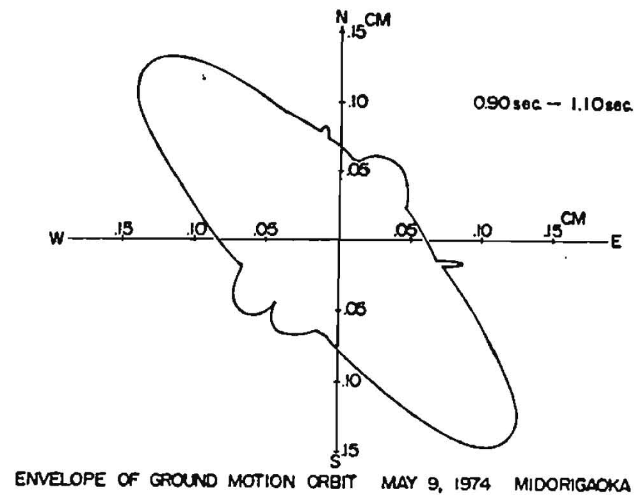


Fig. 11

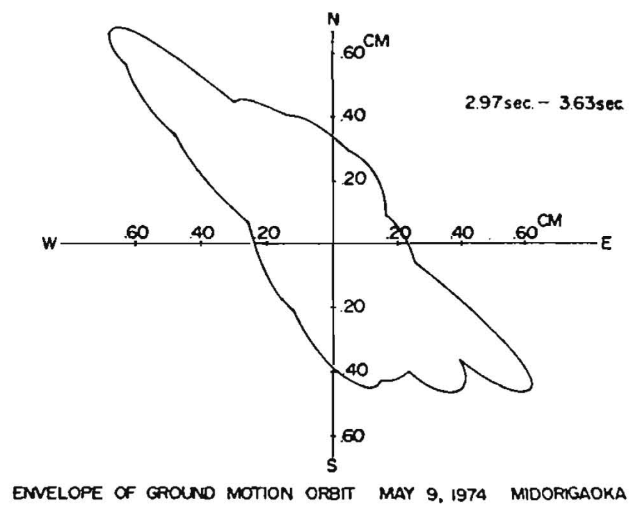


Fig. 12

II-12 川口市における観測結果

建設省建築研究所　松島　豊
同　岩下元一

1．換振器および記録型式

地中地震計（ピックアップ）
保坂振動計器製　ＴＵＳＳ型加速度計
固有振動数　５Hz

2．記録装置

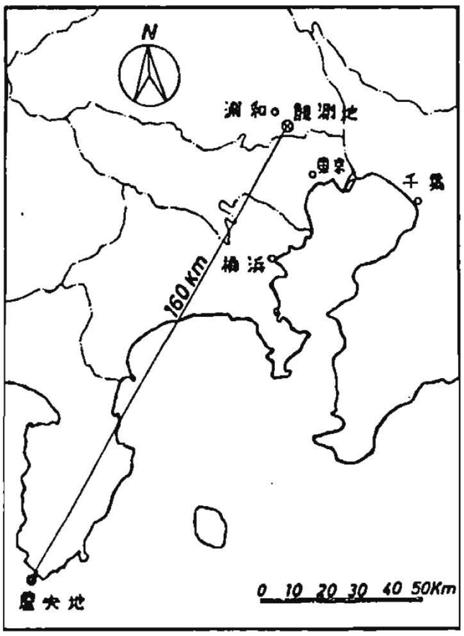
三栄測器製　１００－Ａ型
電磁オシログラフ

3．設置場所

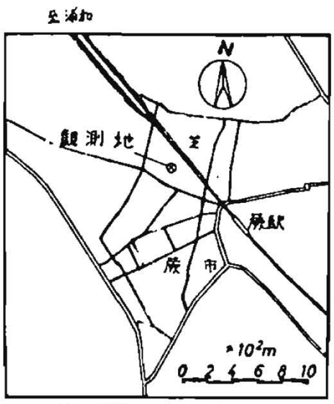
川口市芝園団地第７号住宅敷地内
（所在地　埼玉県川口市大字芝字広面２８７１－１）

4．データ処理と解析

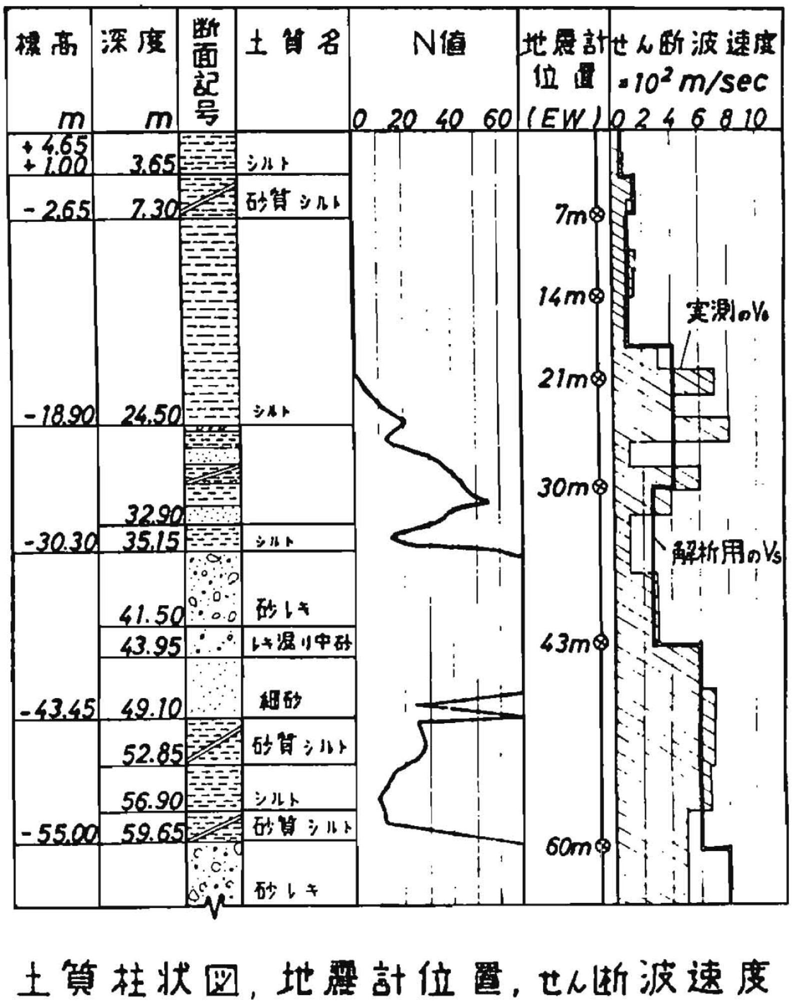
- 解析記録
  地中６個所（ＥＷ方向），記録長さ：主要動約２４秒，サンプリング間隔：０．０１秒
- スペクトル解析（解析長さ：２０秒）
  パワースペクトル（自己相関関数長さ：４秒，Tukey and Hamming による平滑化）
  スペクトル振巾比（パワースペクトルの平方根を使用）
- 最大加速度比とＲ．Ｍ．Ｓ．比
- 地盤の周波数特性（理論）



震央地と観測地

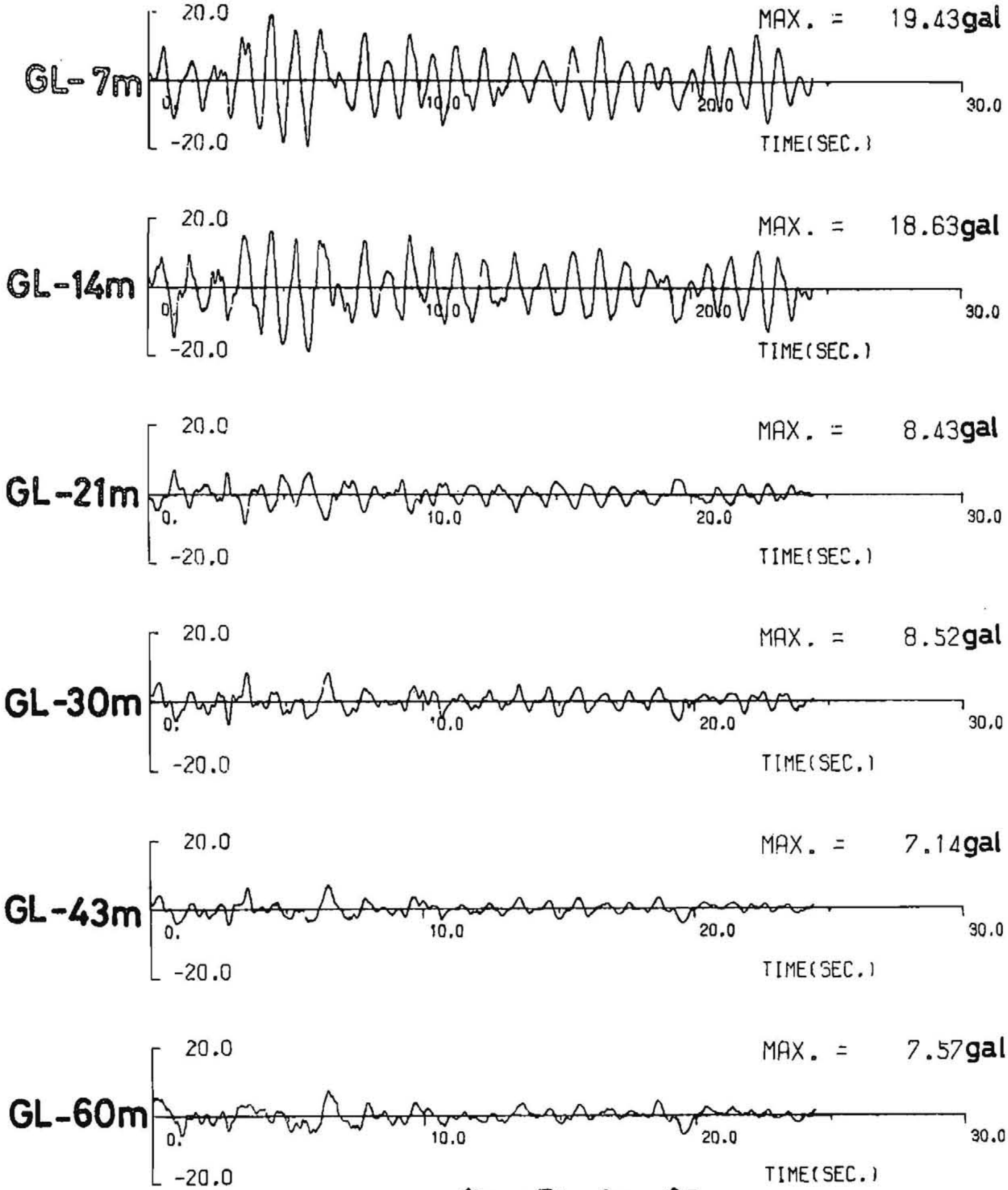


観測地詳細

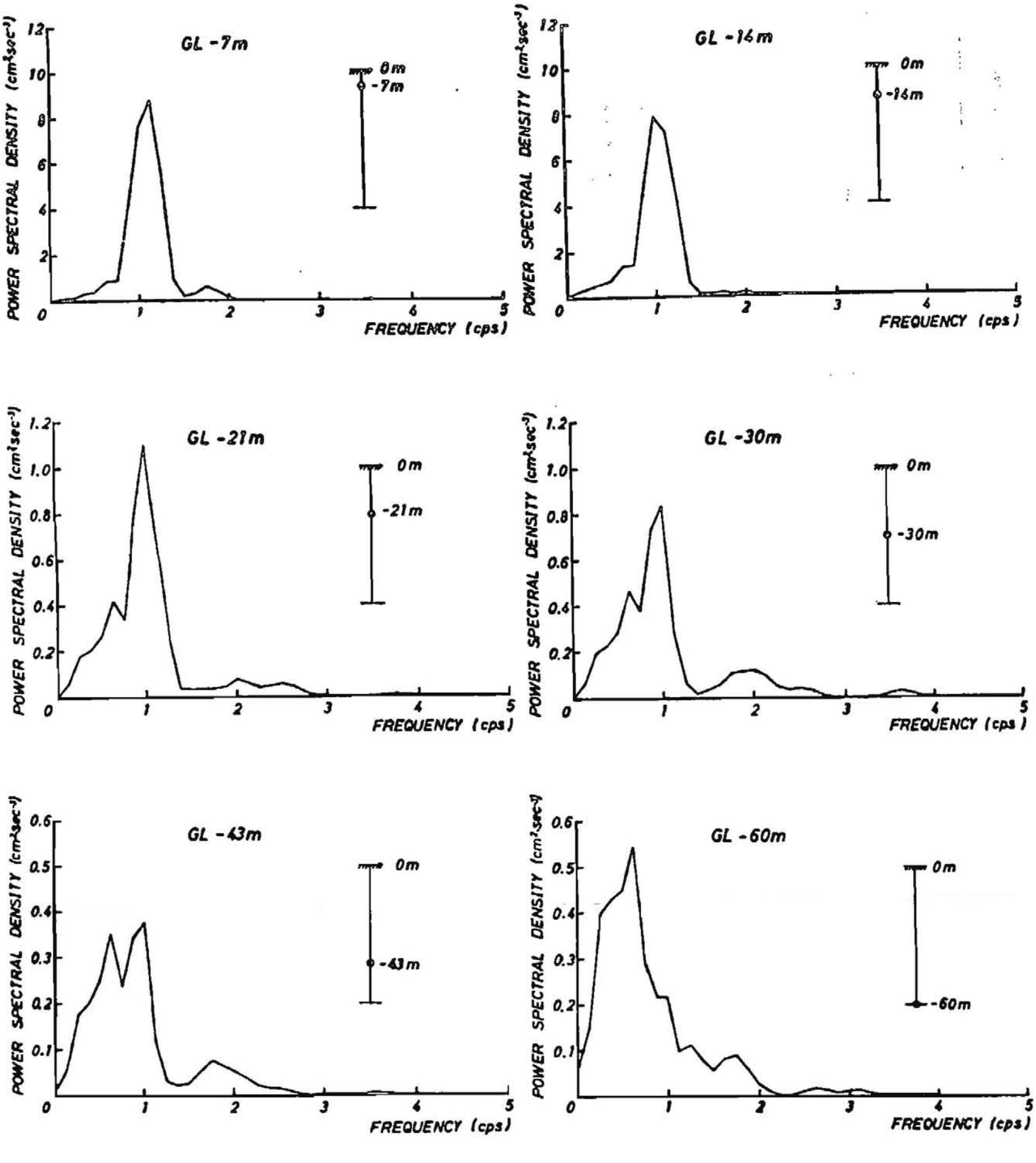


土質柱状図，地震計位置，せん断波速度

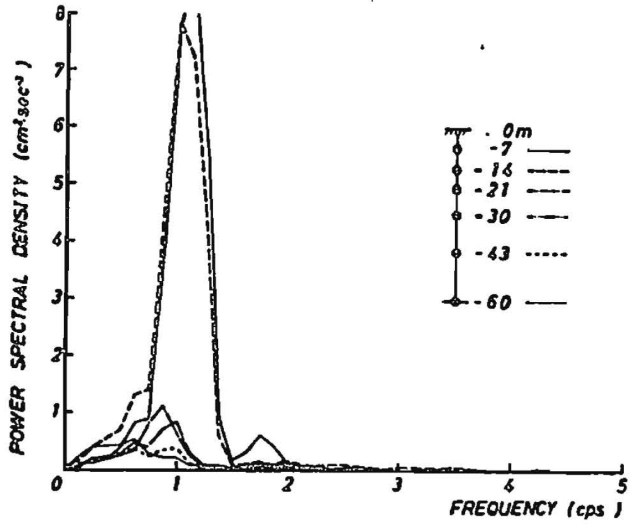
IZUHANTOUOKI1974



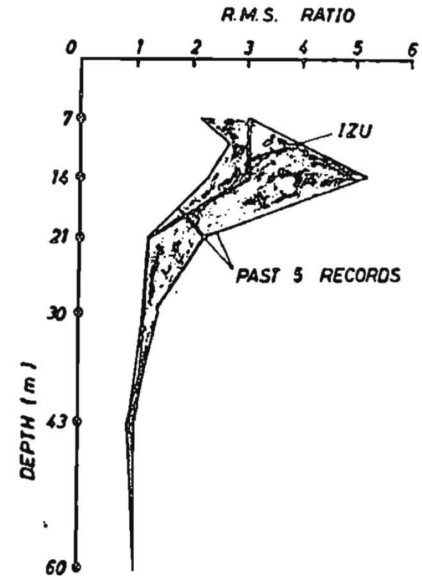
観測記録



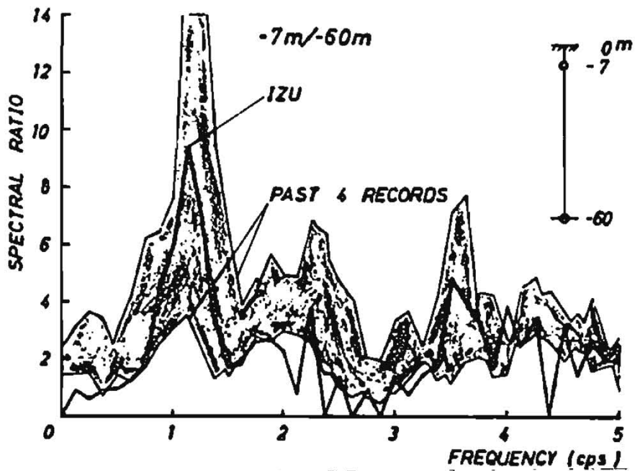
POWER SPECTRA



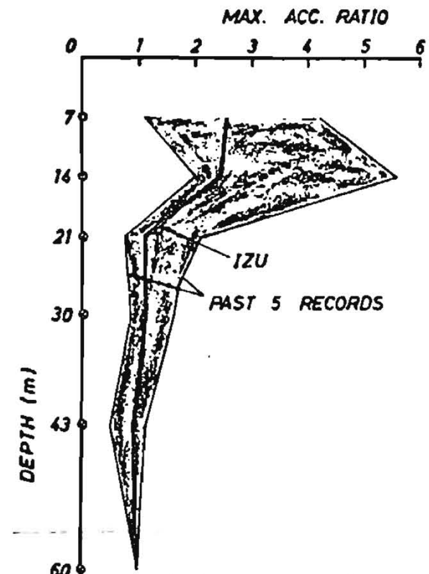
POWER SPECTRA



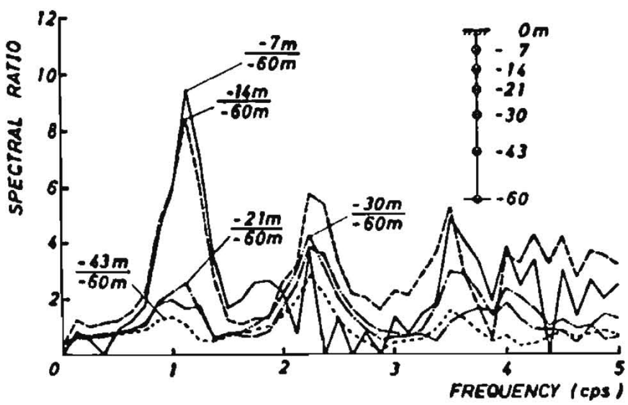
R.M.S. RATIO



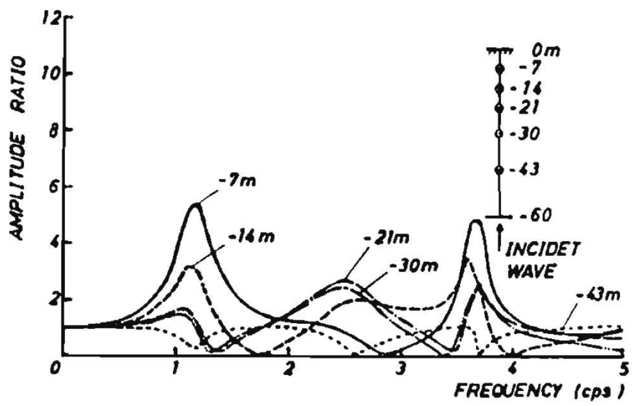
SPECTRAL RATIO



MAX. ACC. RATIO



SPECTRAL RATIO



FREQUENCY RESPONSE FUNCTION

II-13 習志野における観測結果

日大田治見研究室

換振器および記録計

サーボ型地震計（加速度計）

・特性は図4参照

データレコーダー

設置場所

日本大学理工学部習志野校舎5号館および周辺地盤

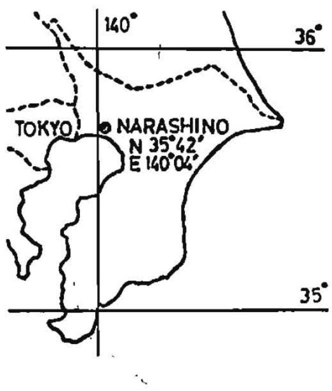


図 1 観測点の位置

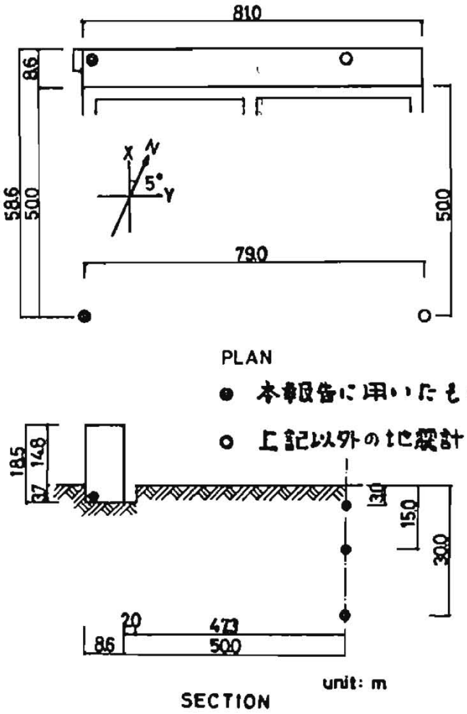


図 2 地震計の配置

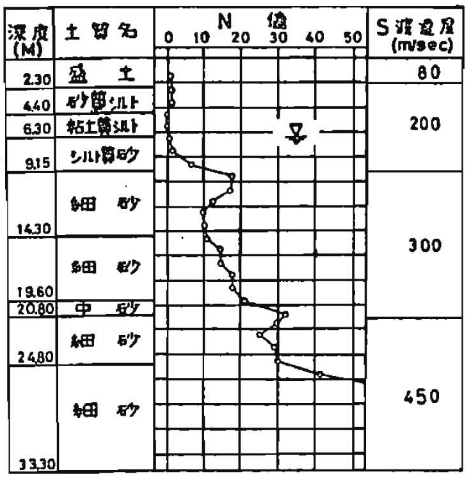


図 3 土質柱状図

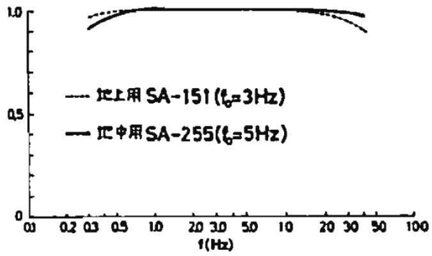


図 4 地震計周波数特性

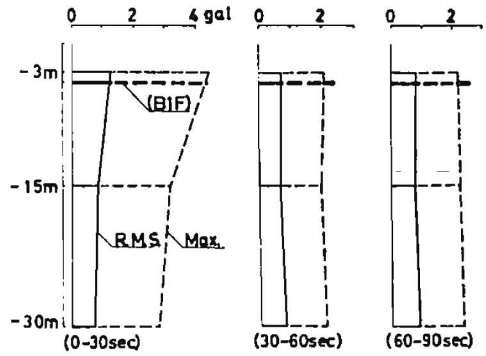


図 5 高さ方向加速度分布

表 観測点の相関係数 $\overline{f_1 f_2}/\sqrt{\overline{f_1^2}\cdot\overline{f_2^2}}$

f_1	f_2	0~30 sec	30~60sec	60~90sec
BIF	- 3m	0.810	0.910	0.961
BIF	-15m	0.875	0.929	0.955
BIF	-30m	0.632	0.782	0.804
- 3m	-15m	0.859	0.933	0.946
- 3m	-30m	0.529	0.681	0.716
-15m	-30m	0.794	0.884	0.896

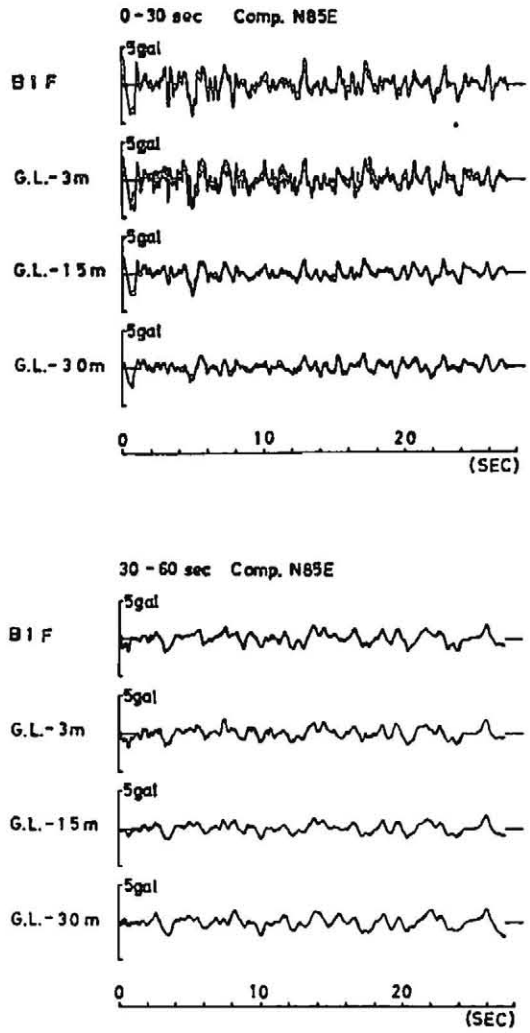


図 6 記録波型

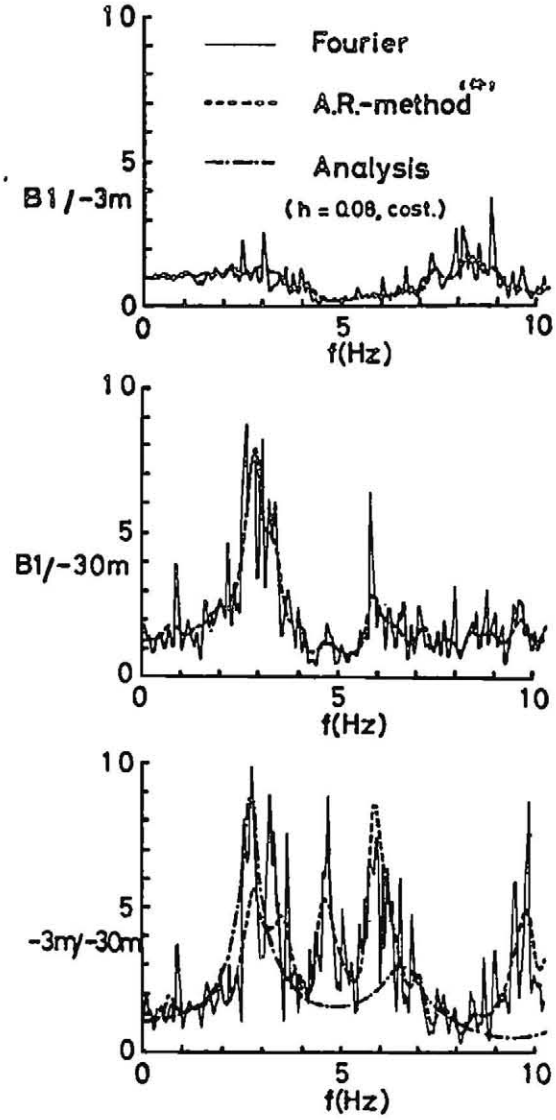


図 8 Frequency Response Ratio (0 ~ 30sec)

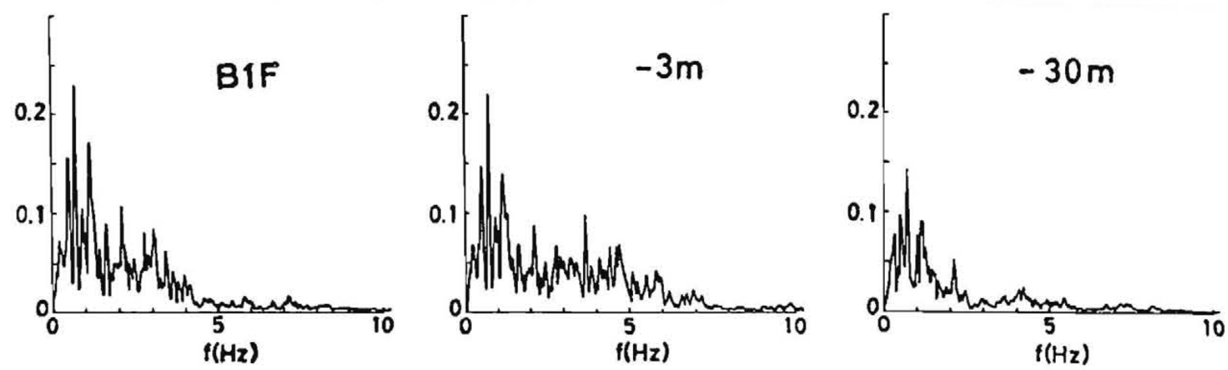


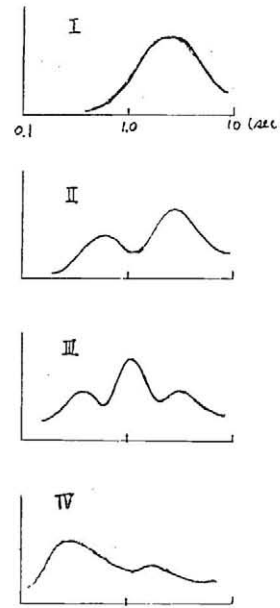
図 7 Fourier Spectra(0~30sec)

(*) A.R－method は Auto Regressive method の 略
赤池弘次 他 『ダイナミックシステムの統計的解析と制御』 参照

メモ

75/1/14 (田治見)

記号	地名	T_G (sec)	H (m)	最大加速度比 (表層の上下) 3.0 2.0			優勢の方向 (最下P.U.より)	長周期 (sec)	P.U.の種類	スペクトルの型 (最下P.U.より)
HM	浜岡		砂岩				NS		SHAC	III
SZ	静岡		砂礫				NS		SHAC	II
YK	大倉山	1.1	20		○					
HC	八王子	0.2	25		○		EW	8.9 8.8	TUSS	IV
TY	豊洲	1.2	38	○				8.1~8.6 3.6~3.8	Servo	I
HB	日比谷	0.7	20		○			8.9 3.3	Servo	I
HN	本郷	0.2	多り,12			○	NS		TUSS	II
TS	豊島	1.0(?)	28	○			EW	2.7 2.1	TUSS	I
SN	椎名	0.5	互層			○		8.9 3.1	Servo	I
MN	港	0.2	12	○				3.6 2.2	ヤタバリ	I
MD	緑ヶ丘		9				EW	3.2	MTDH	I
KW	川口	1.0	25		○			3.7 1.6	TUSS	I
NR	習志野	0.3	漸増			○		3.4, 2.0	Servo	I
IN	稲毛	0.3	漸増			○	NS	2.5 0.7~0.9	TUSS	III
IC	市原	0.7	30		○		NS	2.0	TUSS	II



スペクトルの型

II-14　稲毛海岸埋立地に杭支持された建物に於ける観測結果

大成建設 ㈱ 技術開発部　　河村壮一

観測場所　：　千葉県千葉市高洲1丁目14番
　　　　　　　パイロットハウス9号棟及びその近傍地盤

使用計器　：　換振器……加速度測定用　　建物内：$T_0=0.33$ sec，　地盤中：$T_0=0.20$ sec
　　　　　　　　　　　速度測定用　　建物屋上階のみ：$T_0=5.0$ sec
　　　　　記録装置…電磁オシログラフ

当観測は，東京大学工学部梅村研究室，東京大学地震研究所大沢研究室と共同で行っているものである。

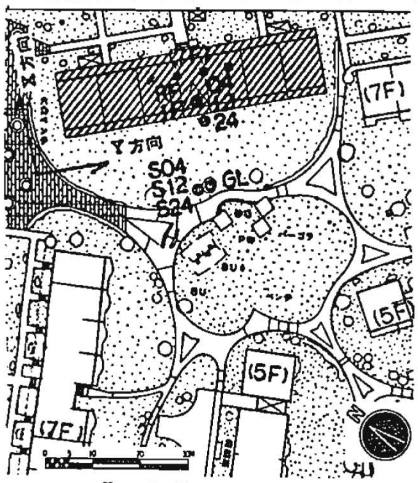


Fig.1　平面配置図

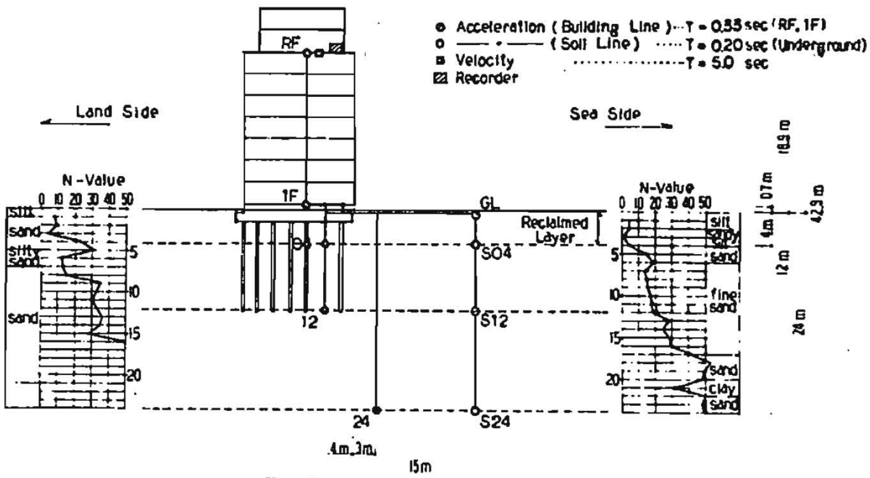


Fig.2　断面配置図

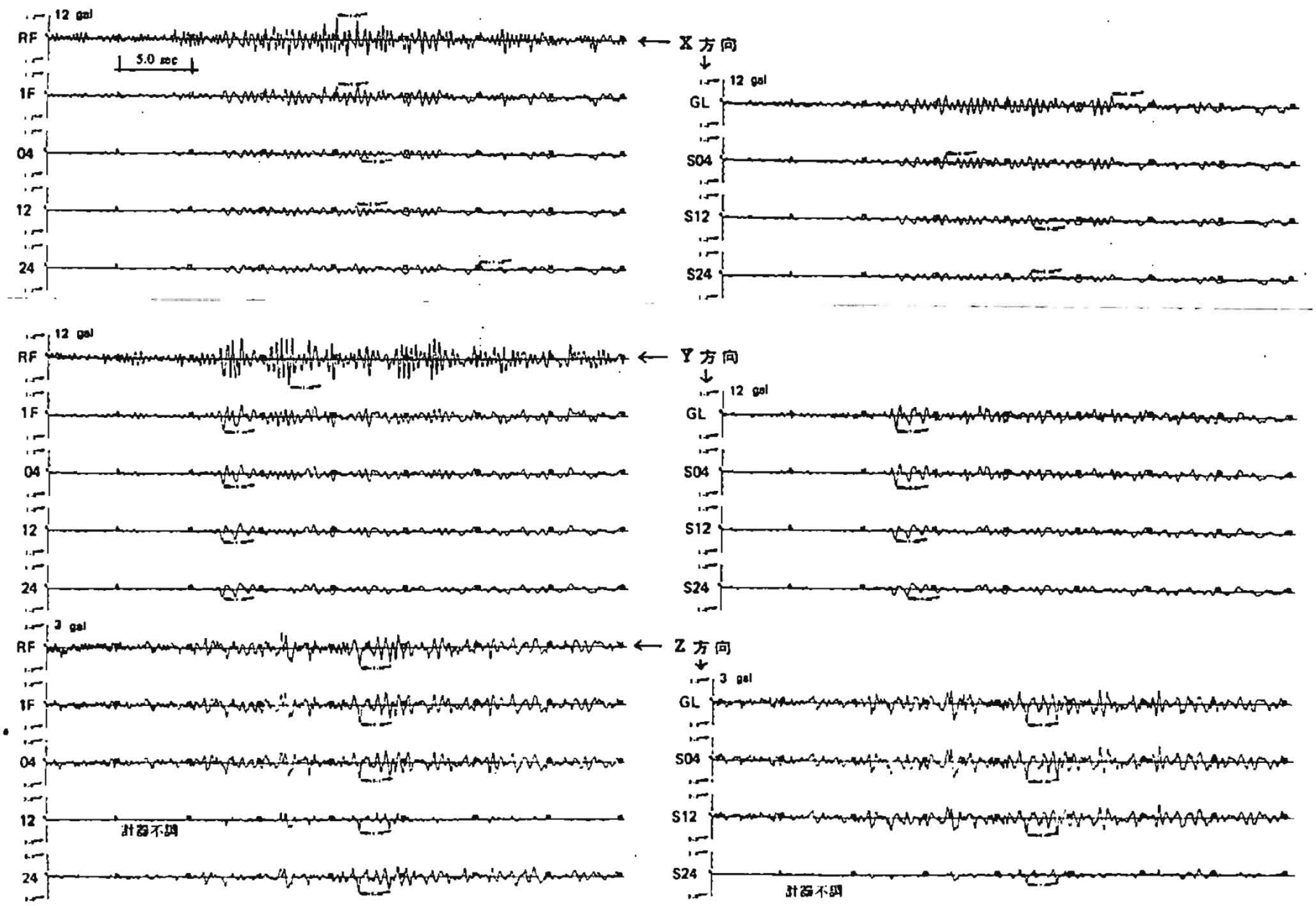


Fig.3　1974.05.09　伊豆半島沖地震観測波形

TABLE 1 最大振巾（速度，変位：積分値）

		BUILDING LINE			SOIL LINE			
		ACC.	VEL.	DISP.		ACC.	VEL.	DISP.
		gal	kine	cm				
X	RF	12.5	0.859	0.217				
	1F	6.00	0.713	0.215	GL	6.22	0.736	0.193
	04	2.91	0.478	0.113	S04	3.86	0.606	0.166
	12	2.88	0.535	0.134	S12	3.28	0.583	0.144
	24	3.18	0.616	0.169	S24	2.60	0.533	0.138
Y	RF	14.5	126	0.215				
	1F	7.41	0.915	0.204	GL	7.55	0.795	0.155
	04	5.81	0.711	0.134	S04	6.94	0.720	0.149
	12	4.80	0.659	0.147	S12	4.46	0.610	0.145
	24	4.39	0.630		S24	4.22	0.612	0.145
Z	RF	2.50						
	1F	2.38			GL	2.58		
	04	2.17			S04	2.51		
	12	1.55			S12	2.07		
	24	2.03			S24	1.08		

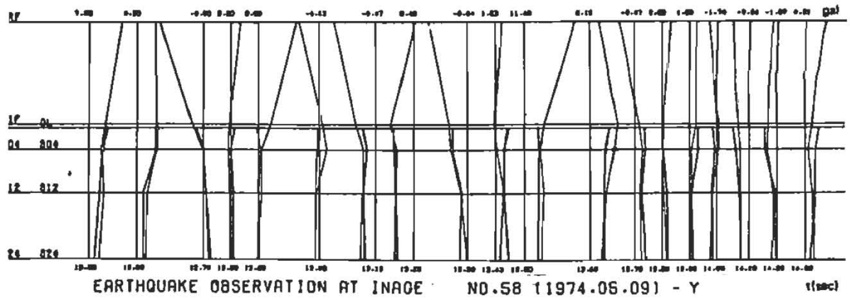


Fig.4 加速度時歴モード

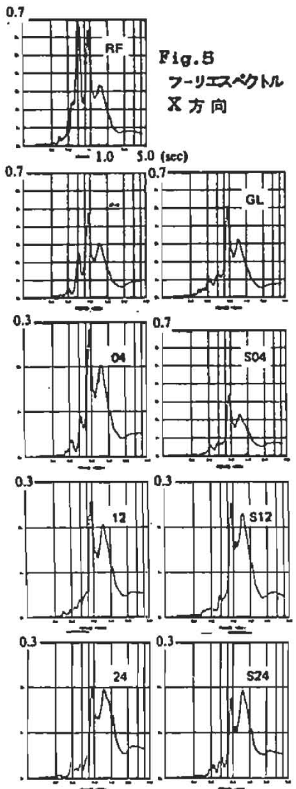


Fig.5 フーリエスペクトル X方向

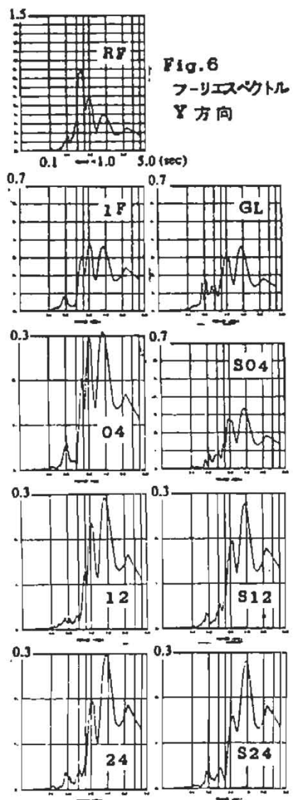


Fig.6 フーリエスペクトル Y方向

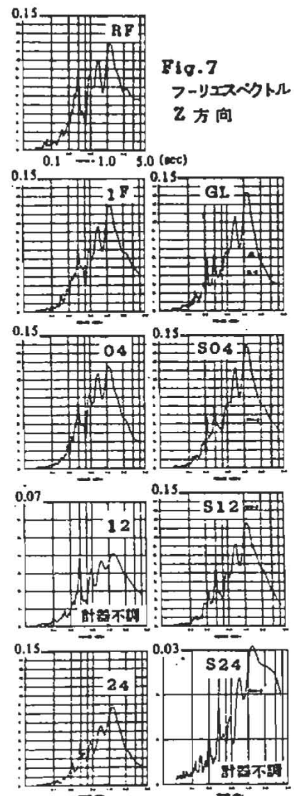


Fig.7 フーリエスペクトル Z方向

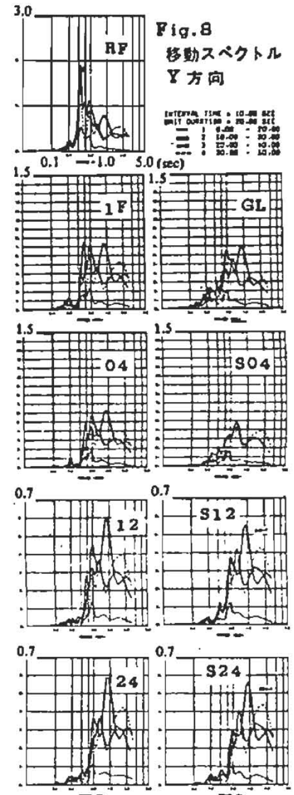


Fig.8 移動スペクトル Y方向

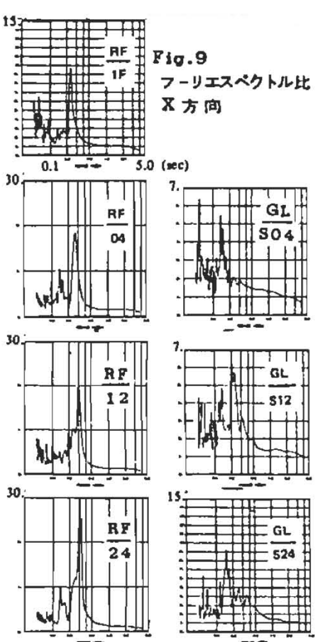


Fig.9 フーリエスペクトル比 X方向

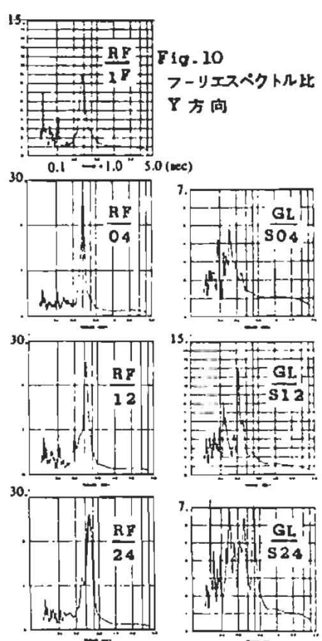


Fig.10 フーリエスペクトル比 Y方向

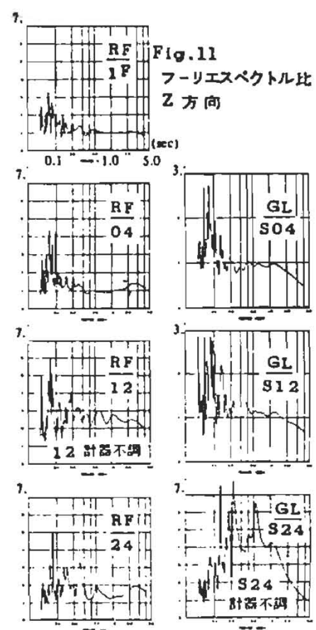


Fig.11 フーリエスペクトル比 Z方向

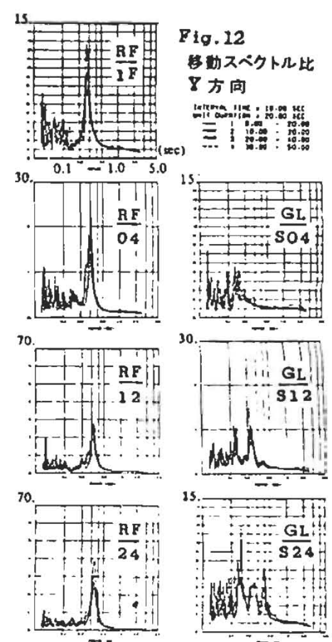


Fig.12 移動スペクトル比 Y方向

II-15 千葉県市原市における観測結果

東京大学地震研究所　　大沢研究室

1. 地震計

加速度計（Tuss型）　3成分　（固有周期 0.2秒）　3台

　　　　　　　　　　2成分　（　〃　）　2台

変位計　1成分　（固有周期 5.0秒）　5台

データーレコーダー　（18チャンネル）　周波数変調方式

増巾器　　トランヂスタI．C．混成による自動感度切換装置付き（3段階）

地震計の総合特性は，0.1～1.0秒でほぼ一定である。（4秒で約1/2に減少）

2. 観測場所

千葉県市原市千種海岸1番地　極東石油工業(株)千葉製油所

3. 解析記録

記録の数　6成分，　サンプリング間隔　0.02秒，　記録の長さ　140秒

（Part 1：0～23秒　　Part 2：23～61秒　　Part 3：61～121秒）

4. スペクトル解析

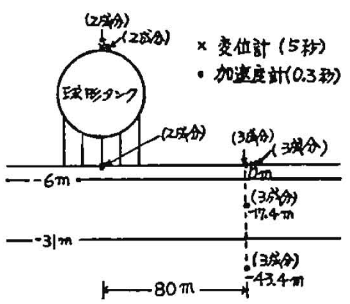
i）フーリエ　スペクトル　（0～12 c/s）

- 生のスペクトル
- 平滑化したスペクトル
- スペクトル振巾比（平滑化したスペクトルを使用）

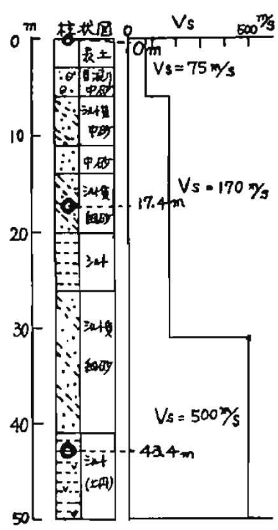
ii）パワー　スペクトル　（0.08～4.0秒）

- スペクトル*（自己相関関数の長さ：4秒，Hunning Window を使用）

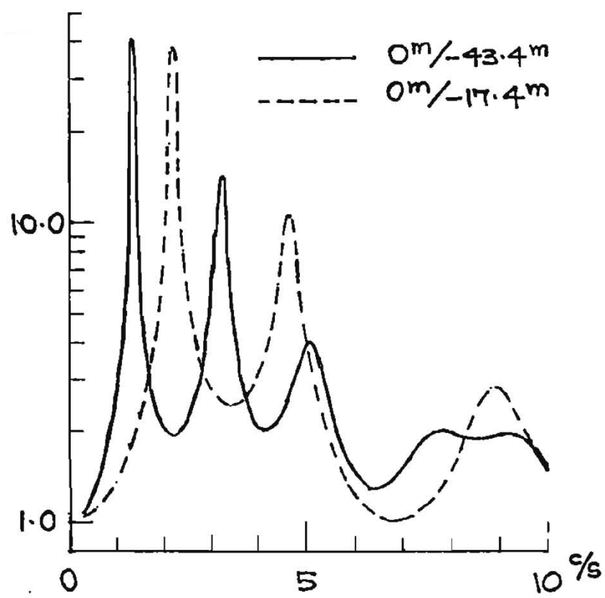
* ここではパワーの平方根を用いた。



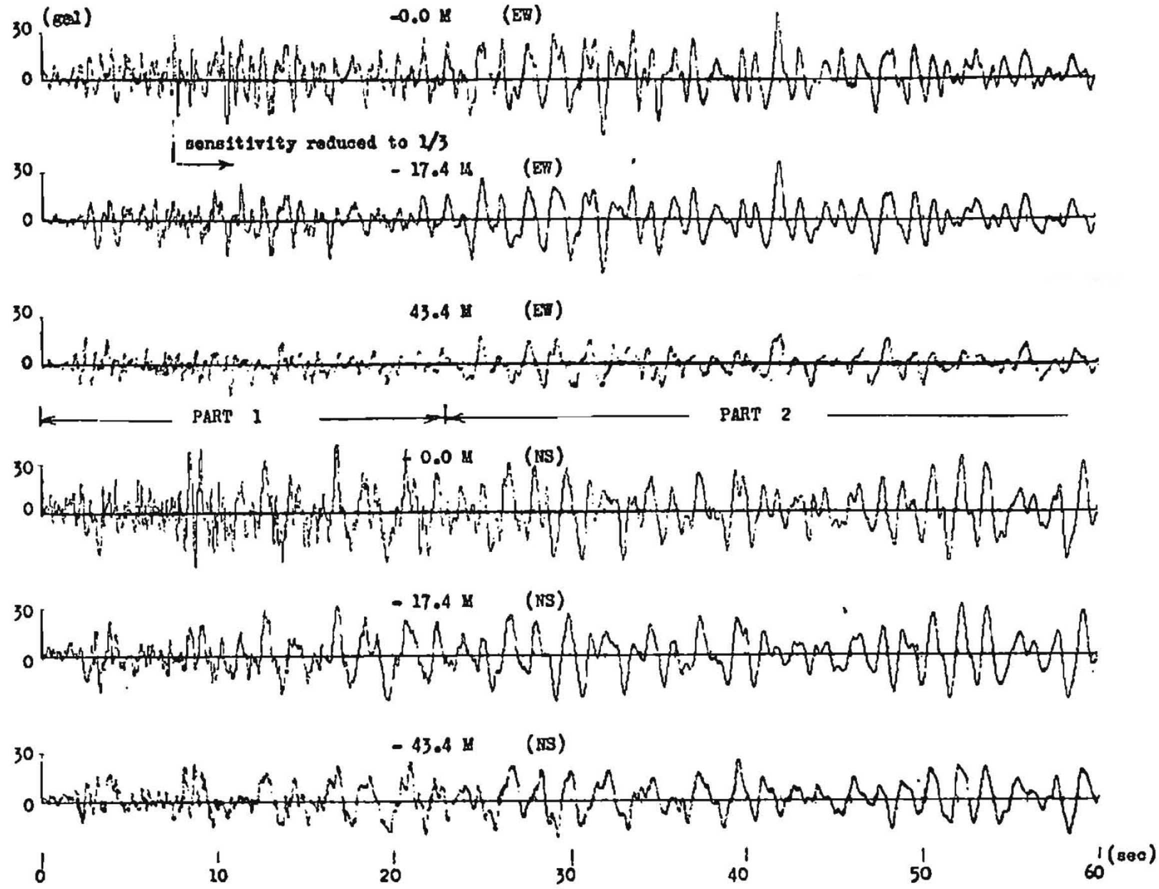
地震計配置図

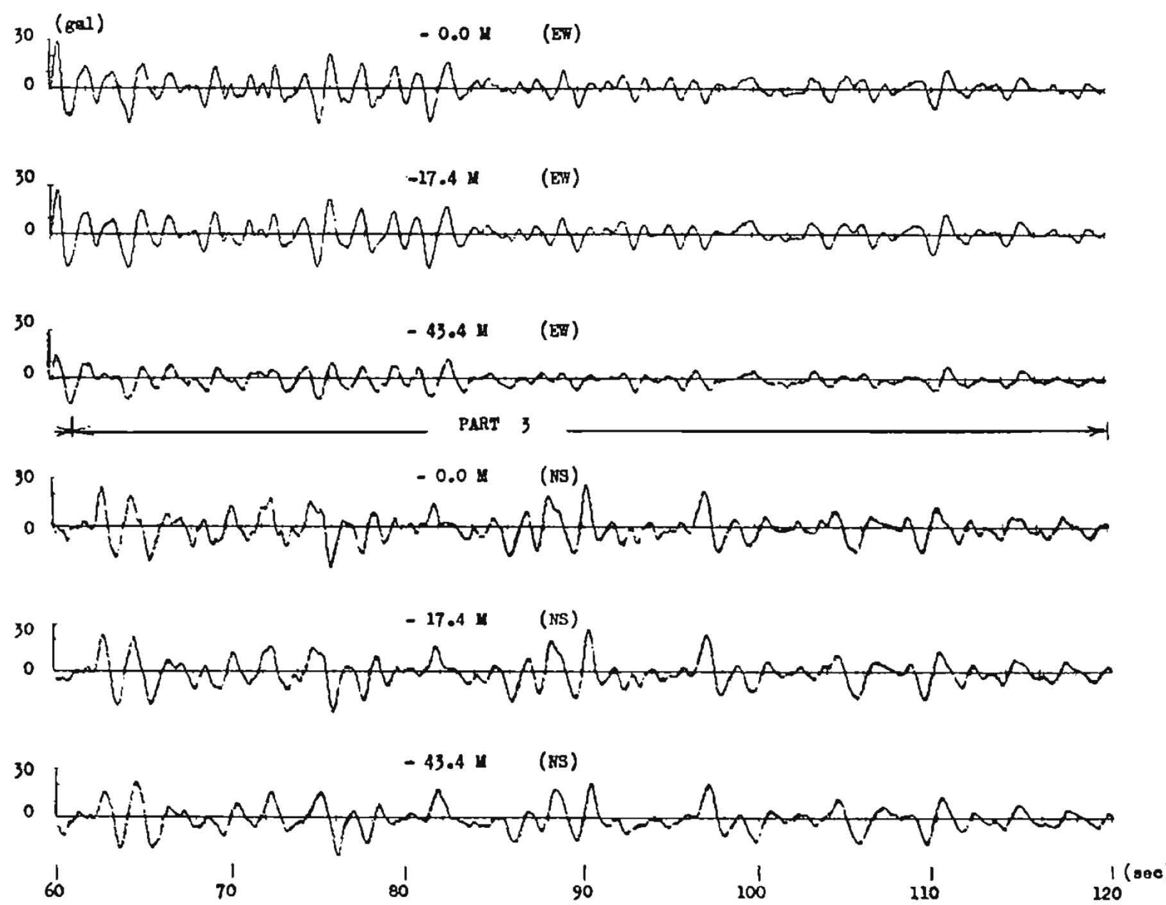


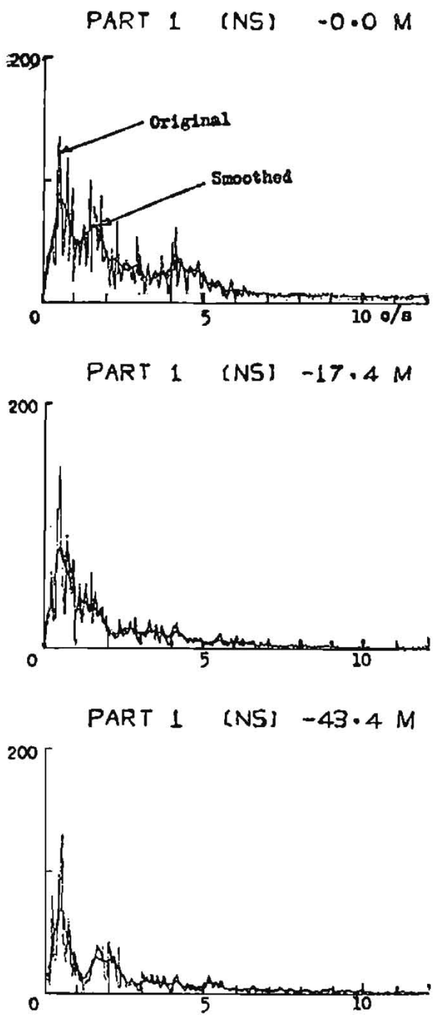
柱状図



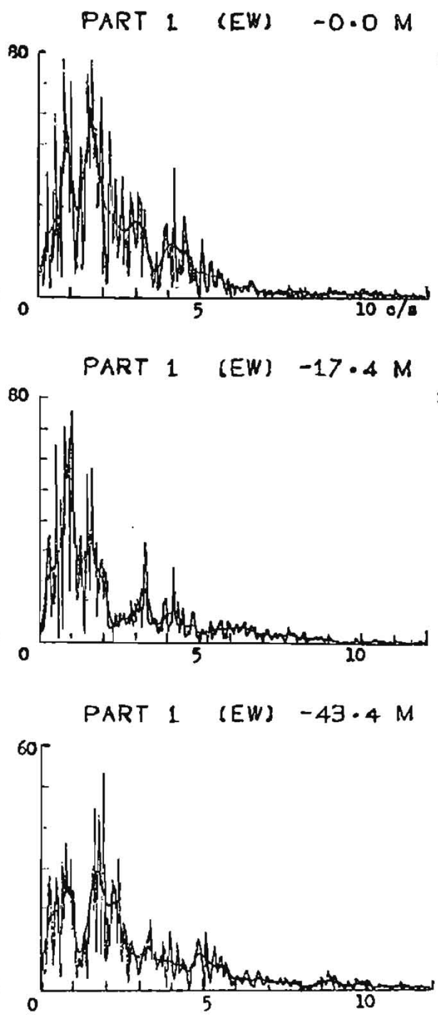
地盤の増巾特性（計算値）


30 (gal)
0
-0.0 M (EW)
sensitivity reduced to 1/3
- 17.4 M (EW)
43.4 M (EW)
PART 1
PART 2
0.0 M (NS)
- 17.4 M (NS)
- 43.4 M (NS)
0
10
20
30
40
50
60
(sec)

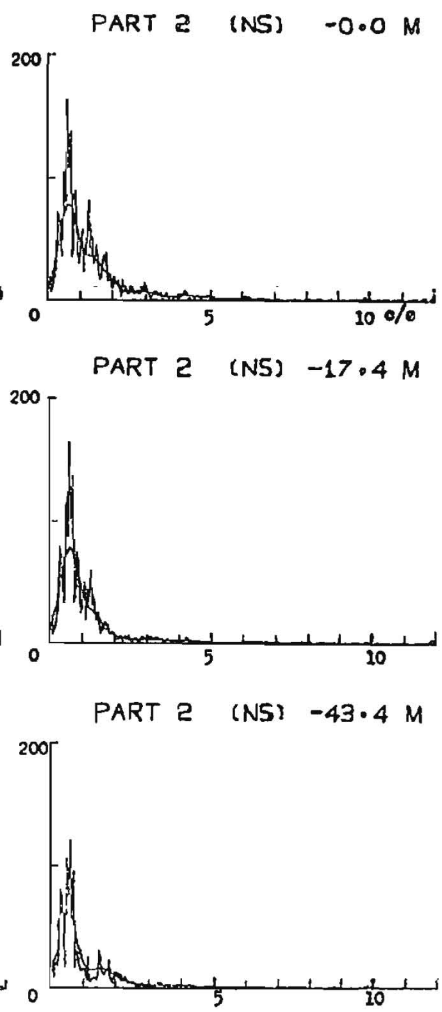

30 (gal)
0
- 0.0 M (EW)
-17.4 M (EW)
- 43.4 M (EW)
PART 3
- 0.0 M (NS)
- 17.4 M (NS)
- 43.4 M (NS)
60
70
80
90
100
110
120
(sec)



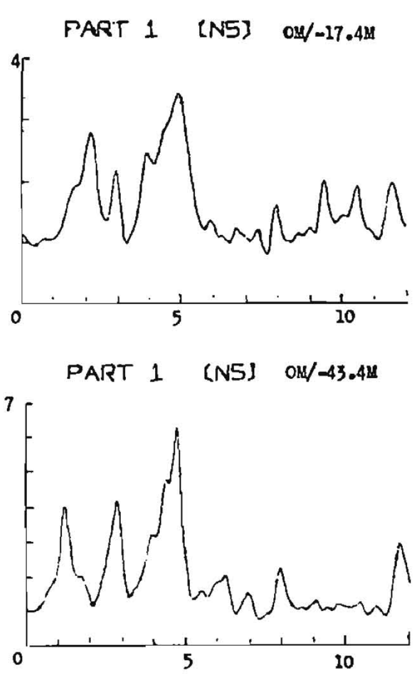
FOURIER SPECTRA



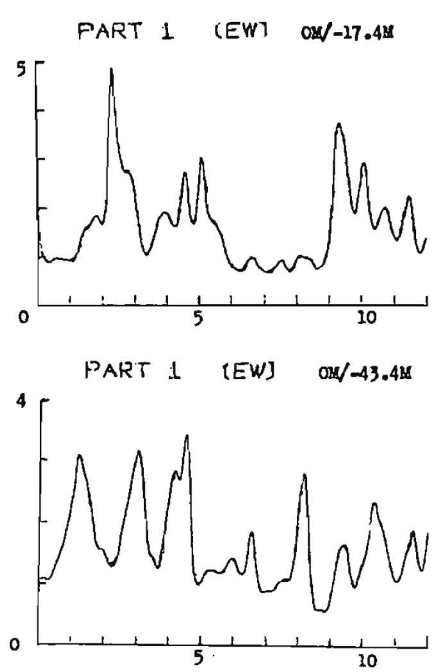
FOURIER SPECTRA



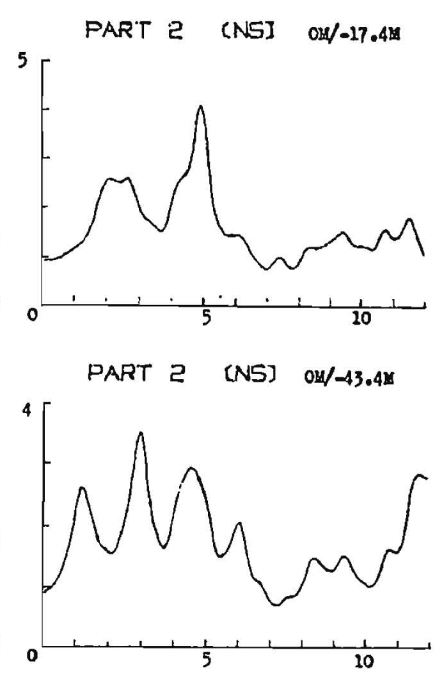
FOURIER SPECTRA



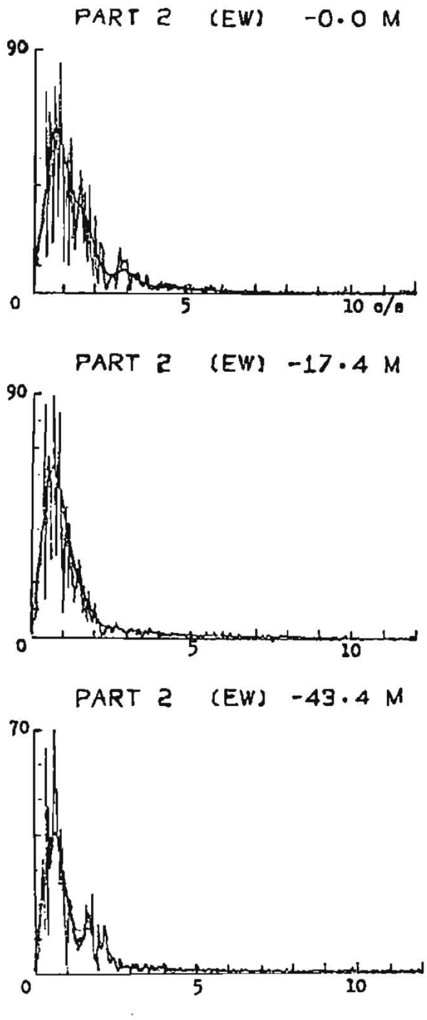
FOURIER AMPLITUDE RATIOS



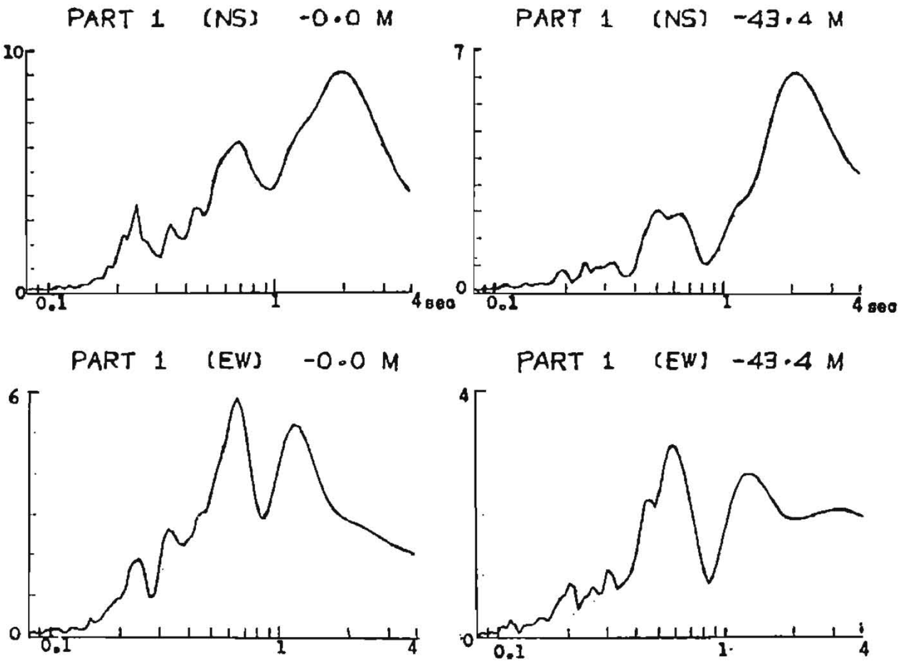
FOURIER AMPLITUDE RATIOS



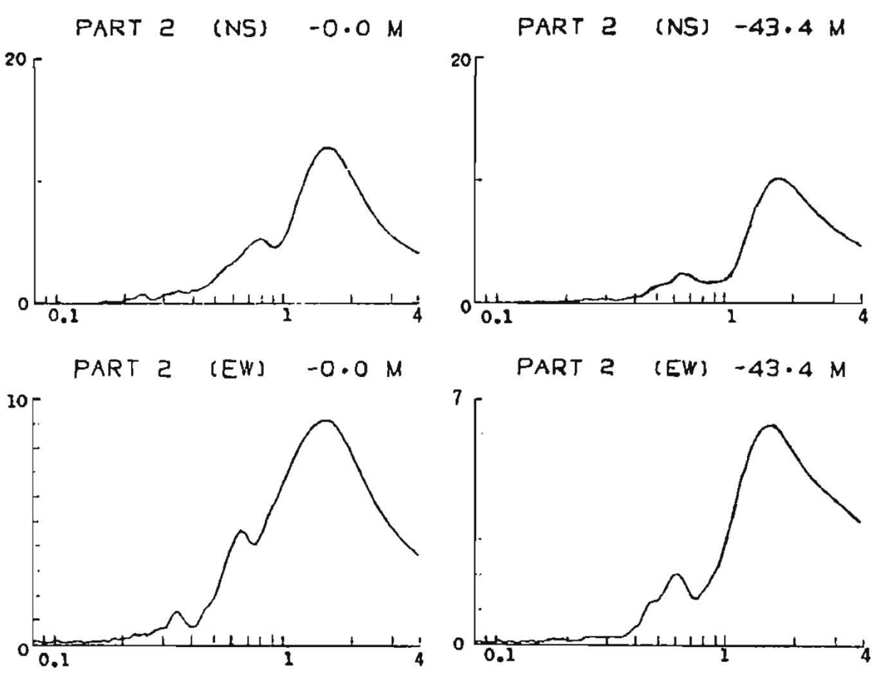
FOURIER AMPLITUDE RATIOS



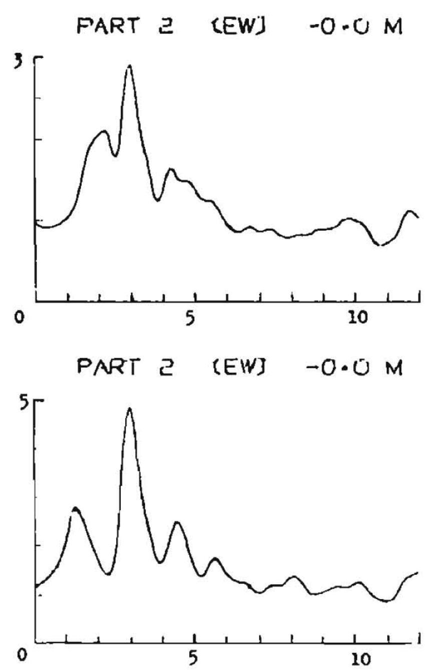
FOURIER SPECTRA



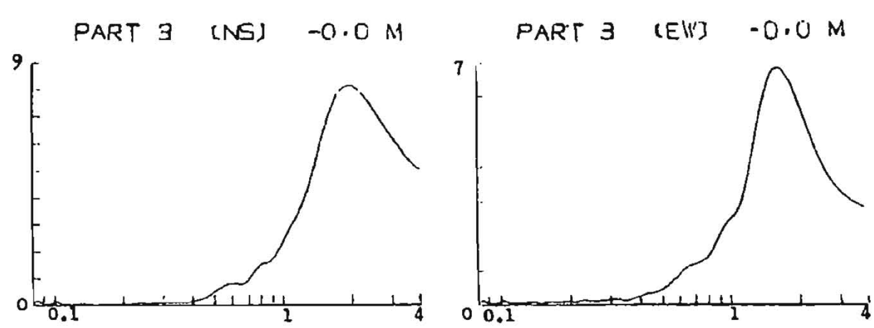
POWER SPECTRA



POWER SPECTRA



FOURIER AMPLITUDE RATIOS



POWER SPECTRA