

地震動特性における地盤構造上の問題点について

—清瀬市における深層地盤探査と地震観測—

中 川 恭 次
角 田 智 彦
瀬 尾 和 大

概 要

最近各所で地震動、常時微動に現われる長周期波動が問題とされているが、当研究所で観測された記録波形中にも周期1秒前後の長周期が卓越することが認められている。この現象を地盤構成に基づいて説明しようとすれば、従来のようなごく表層の地盤動特性を考慮するだけでは不十分であり、より深く地盤構造を探査する必要がある。本研究は、発破によって発生する波動の走時より上記の問題を解明しようとするものである。実験の結果、-350~380M に大きな境界層が確かめられた。また、最近2年間の地震観測記録および解析結果の代表例のいくつかを示した。

1. まえがき

当研究所内で小規模地震を対象として数年来地震観測を続けてきたが、地震観測の本来もつ意義について再検討することの必要性を痛感している。観測された地震動に寄与する要因としては、地震基盤を境にして、それ以深の地震動本来の特性と、基盤より上層の地盤の動的特性とに大別される。その中、後者は、その重要度から、あるいは現在の学問的、技術的レベルからみて、当面我々が取り上げ得る、また取り上げるべき問題であると考えられる。従来云われている地震動と常時微動との相関性の問題、あるいは最近、超高層建築物の発展に伴い重要視されはじめた長周期波動の問題も含めて、上記の地盤の動的特性によって説明がつかどうか、場合によっては地盤を更に深く掘り下げて再検討する必要がある。もし地盤の地震動に及ぼす影響が明らかになればその影響を取り除くことによって、地震動本来の特性を求めることも可能であろう。

2. 研究目的

上記の諸問題を解決するための手掛りとして、次の2点より検討を行なうこととした。

1) 発破による深層地盤探査

地震観測点付近の地盤構造を発破によって発生する波動の走時より求め、基盤とみなし得る境界層の設定もしくは推定を行なう。

2) 地震観測の継続

地表および地中(-10M, 20M, 180M)における地震動の同時記録を長期間に亘って行なう。また、微小地震・常時微動の観測も併せて行ない、地震動との関係を調べる。

以上の2点から得られた結果に基づいて、基盤の設定と地盤の動的特性についての総合的な判断を行なうことを目的とした。

3. 発破による深層地盤探査

3.1. 実験に関する諸元

- 1) 実験場所 清瀬市下清戸4-640 大林組技研内
- 2) 実験日時 昭和46年3月22日 22:05
- 3) 震 源 ダイナマイト10kgを孔底(-20M)に設置、塩ビケーシング孔中砂充填
- 4) 測 点 測点配置図を図-3.1に示す
- 5) 測定班 測定班の編成を表-3.1に示す

3.2. 測線付近の地形および地理的状況

図-3-2は研究所内に最近さく井された深井戸のさく泉図であるが、砂または砂礫と粘土との互層が-180Mにまで達し、この範囲に第3紀層は見当らない。

班名	測点No	測定成分	信 号	換振器	増中器	記録計	人 員	測定場所
発破							2 発破操作 作 合 員	研究所内
1	1~8	vertical	ショットマーク JJY 併用	弾性波 P.U.	弾性波 AMP	電 磁 オシロ	1	#
2	9~11	vertical radial	"	デオス ベース	NATIO IH	"	2	#
3	12~14	radial	"	I M V 高感度	速度型 3CH	"	2	畑地・ 農 道
4	15~20	"	JJYのみ	"	NATIO 新	デジタル R 250	2	団地内 道 路
5	21~23	vertical radial	"	"	新AMP	電 磁 オシロ	2	小中学 校 々 庭
6	24~26	radial	"	"	速度13CH IC AMP	デジタル 1761	2	畑地・ 農 道

表-3.1 測定班の編成

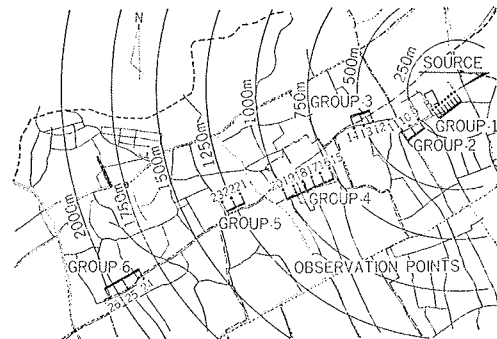
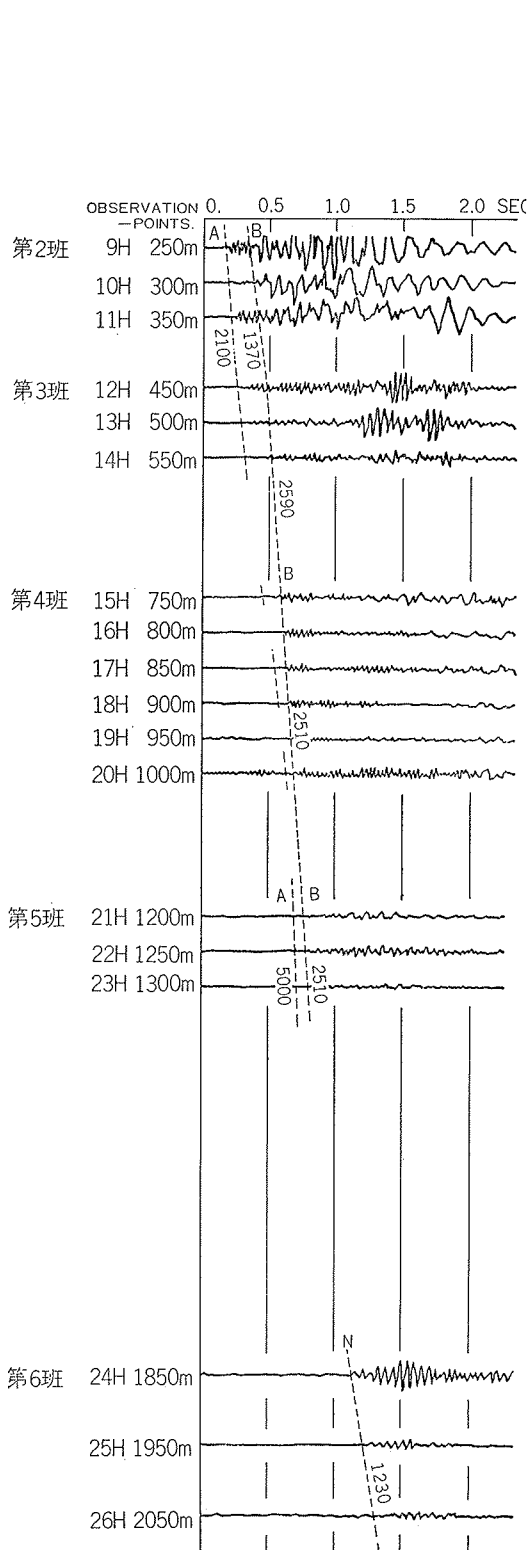


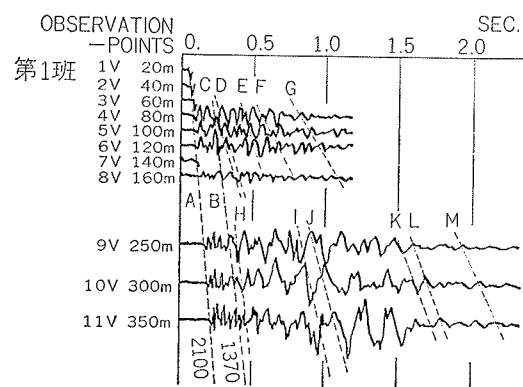
図-3.1 測点配置図



図—3.3

また測線付近の地形は概ね平坦であると云えるが、測線の北方約500~700Mには測線と平行に緩い傾斜の谷があり、川が流れている。また測点14と15の間には測線と直角方向に若干の起伏がある。

一方、測線付近の道路事情については、測線の北側約400Mと南側約500Mに夫々測線と平行にやや交通

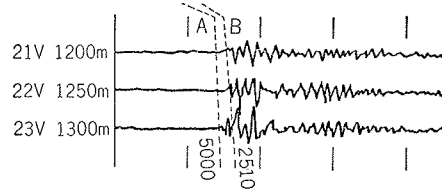


量の多い道路が通っている。また測点20と21の中間と測点26の西側には測線と直角方向に同程度の道路がある。測線周辺は畑地が大部分を占めており、実験を行なった22時前

後は、上記の道路を走行する車両が多少あった程度で、他に測定を妨げる雑振動は殆どなかったものと思われる。

3.3. 実験結果

記録中のJJY信号とショット・マークによって各班の測定記録の時刻統一を行ない、得られた波形群のpaste upを図—3.3に示す。本研究ではまず波動の初動付近のみに注目することとし、ここには約2秒間の記録を示した。第2班および第5班ではvertical方向およびradial方向の2成分記録波形よりparticle orbit



を描き、初動P波とSV波の判別を行なった。

次に図—3.4、図—3.5には一部の測点における発破記録波形のフーリエ・スペクトルを示した。また実験後、各班毎に常時微動の測定を行ない、発破記録波形との対比を試みた。図—3.6~図—3.8は代表的な測点における常時微動のradial成分、図—3.9~図—3.11はvertical成分である。

一方、図—3.3のpaste upに基づいて図—3.12のような走時曲線を作成した。図中、AはP波、BはSV波の走時曲線であると考えられるが、P波の走時に関しては疑問の点も多く、今後より詳細な検討を要する。尚、震源から数10M付近の走時曲線は以前に同一地盤で行なった板叩き試験の結果をそのまま採用したものである。

さて、本実験では単一の震源しか取り得なかった関係上、地盤がすべて平行層であるとの仮定に頼らざるを得ないが、図—3.13に示すような地盤構造が結果として得られた。

3.4. 考察

まず発破記録波形と常時微動との周期特性の比較によって次のことが判明した。すなわち、すべての測点の発破記録波形に生ずる0.06秒のピークは発破特有の周期であるが、これとは別に各々の測点において、ごく表層の地盤を刺激したとみられる0.1~0.2秒のピークが存在する。(尚、測点25は唯一の例外でピークがない) また、常時微動の特性をみる限りでは測点17の地盤は測点3よりも測点25の地盤の方に似ている。一方、図-3.3に関しては前述のように表-3.1の測定班の第3班から第4班にかけてP波の走時が思わしくない。

以上のことを考え合せると、第3班から第4班にかけて層構造上大

きな変化(層の傾斜、不連続等)があるのではないかと推察される。そうなれば、図-3.13にも手直しが要求されることとなるが、とりあえずここでは深さ350~380Mを基盤と推定し、350M以浅の地盤の増幅特性の計算を行ない、結果を図-3-14に示した。

0.0	表土	赤土
1.0		
6.3		
	玉石混り砂利	
22.4		
28.0	粘土混り砂利	
30.0		
	砂利混り砂	
45.0		
	粘土混り砂利	
	砂	利
71.0		
	砂質粘土	
86.0		
	軽石、粘土、細砂	
90.0		
	砂質粘土	
98.0		
	砂	利
106.0		
	砂質粘土	
110.6		
	粘土混り細砂	
113.4		
	砂質粘土	
118.0		
	砂	
128.0		
	粘土、貝混り細砂	
135.0		
	砂質粘土	
148.0		
	粘	土
151.0		
	貝混り砂質粘土	
155.5		
	砂質粘土	
160.0		
	粘	土
164.0		
	砂	利
174.0		
	粘	土
180.0		

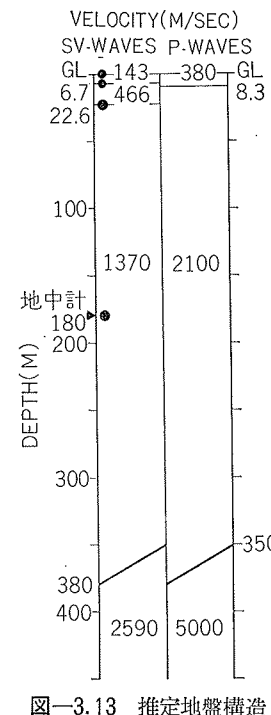


図-3.13 推定地盤構造

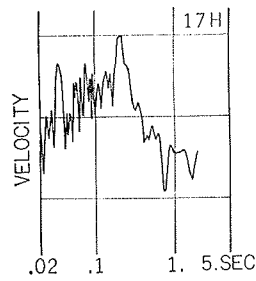


図-3.4

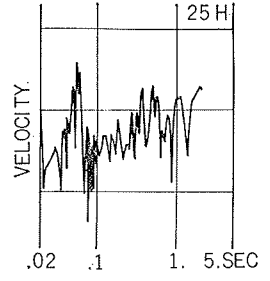


図-3.5

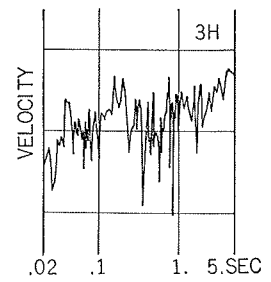


図-3.6

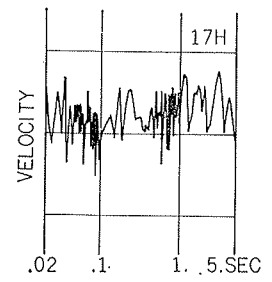


図-3.7

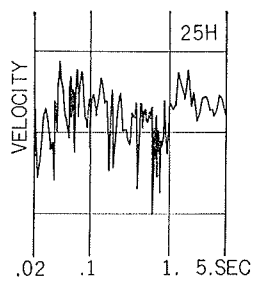


図-3.8

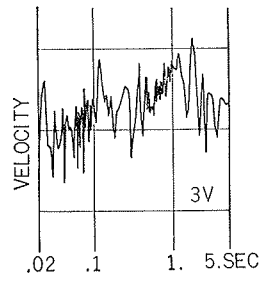


図-3.9

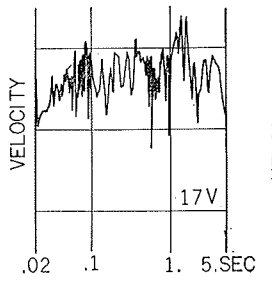


図-3.10

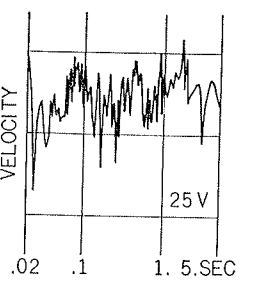


図-3.11

図-3.2 さく泉図

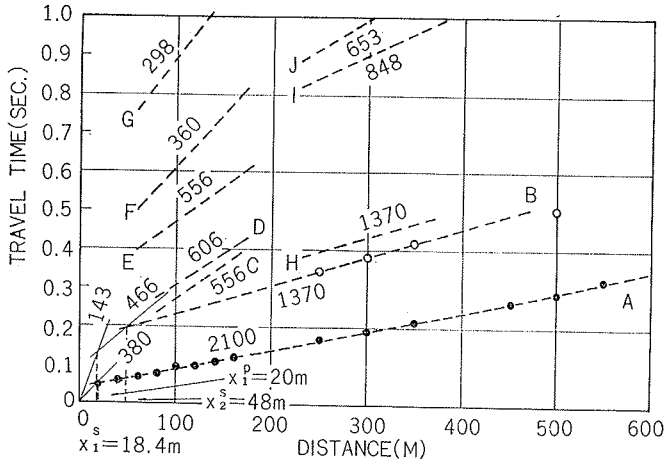


図-3.12 走時曲線

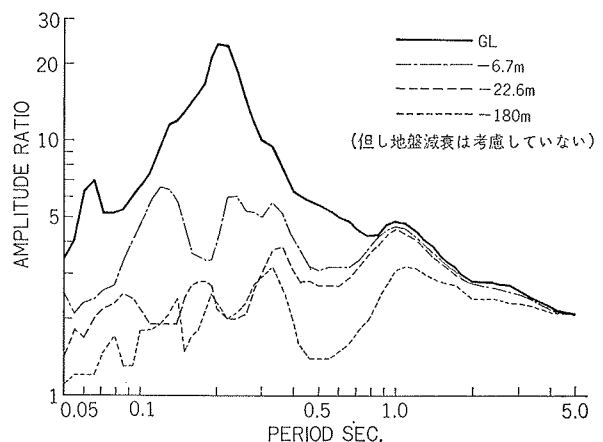


図-3.14 地盤の増幅特性

4. 地震観測

我々が今回、研究の対象としたのは地盤に限っており地下180M、20M、10Mのボーリング孔および地表面に地中地震計を埋設した。観測を行うに際してどの程度の地震を対象にするかで地震計、観測システムが異なるが、小中地震の観測はスターターによる方式をとり震度0～3程度のレベルの記録採取を目標とし、また或る期間だけは常時微動と同等レベルの微少地震観測を集中的に行った。

4.1. 観測システム

微少地震、小中地震観測システムの概略を図—4.1に示す。微少地震観測は記録計(データレコーダー)の連続送りをしモニター用記録計を併用しながら地震波の採取を行った。期間は昭和46年10月25日から11月13日までの約3週間である。後述するアリューシャン列島における核爆発の資料もこの期間のものである。小中地震観測のスターターピックはボーリング孔中10Mの地震計を兼用しスタート感度は加速度0.5ガル、記録紙の送り速度10cm/s、記録時間は30秒とした。

4.2. 観測結果

解析を行った記録資料をまとめて表—4.1に示す。No.1～3は東京震度Ⅱ程度のもの、No.4～6は微少地震観測中に採取されたものである。No.1～3の解析は得られた記録紙上のアナログ波形を自動追跡装置で電圧変換しさん孔紙テープにA-D化した。読み取りサンプリング時間0.01秒、解析時間30秒でフーリエ・スペクトルを求めた(図—4.2～4.4)。No.4,5の資料はデータレコーダーから直接A-D化して求めた(図—4.5)。

4.3. アムチトカ地下核実験による人工地震動

前述のように微少地震観測中の昭和46年11月7日にアリューシャン列島アムチトカ島で5メガトン水爆実験が行われた。我々の観測システムでも記録出来たので解析を試みた。地下180Mの地震計は直結型であるため感度不足で10M、地表面の地震計に変化が認められた。地震動継続時間は約5分で初動時刻は前もって発表されていた到達時間とほぼ一致した。解析は微少地震データと同様であるが波形を初動部分より80秒毎に3つの部分に区切り(図—4.6)それぞれについてスペクトルを求めて重ね合せた(図—4.7)。

4.4. 考察

色々の距離の大小さまざまな地震動(人工地震を含む)に共通して現われる周期成分は0.2秒と0.8秒である。両者とも地盤特有の性質を示しているものと思われる。0.2秒成分は地表面近くで特に強調されるが、0.8秒成分は地表面、180Mのいづれにも認められる。

従って0.8秒成分については180M以深の地盤を含めた性質を反映していると考えられる。

一方、地震動と常時微動の特性を対比させるために地震観測点近くの地表面で常時微動の測定を行った。その結果、図—4.8に示すように表層地盤の特性である0.2秒は顕著に認められるが、地震動にみられた0.8秒成分のレベルは低い。この事から当地盤においては常時微動には深層の地盤特性は反映されにくいものと思われる。

5. あとがき

以上の一連の実験で以下の事柄が明らかとなった。

- 1) 地震基盤をG-L-350M以深の層と考える。
- 2) 地震時の地表面卓越周期は0.2秒および0.8秒、—180M卓越周期は0.8秒が顕著にみられる。
- 3) 一方、3.4で述べた地盤増幅特性からは0.2秒および1.0秒が卓越周期として得られ、上記の観測値と対応するものと思われる。

次に問題点としては以下の事柄があげられる。

- 1) 常時微動で卓越する長周期成分 $T=5.0$ 秒の説明およびその地震時での評価、即ち大規模の地震時にこの成分が強調される恐れがあるかどうか。
- 2) 地震時の地盤増幅特性と深層地盤探査より得られた推定地盤構造の増幅特性とが定量的な面でまで一致するかどうか。

尚、今後の研究課題としては以下の事を考えている。

- 1) 深層地盤探査による資料中の表面波部分に着目し、地盤弾性定数のより正確な把握を期す。
- 2) 常時微動に生ずる長周期成分の発生原因の究明。
- 3) 地震時の増幅率の定量的評価。
- 4) 地震サイスミシティおよびスペクトルの推定。

最後に、実験に関して助言を賜った京都大学防災研究所、吉川宗治博士、実験に援助を戴いた当研究室諸氏、測定に場所を提供された清瀬市の方々に厚く謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 中川恭次地 基礎周辺地盤の振動分布に関する研究(大林組技研所報1971)
- 2) 井上 宇胤 地震探鉱法
- 3) 畠山 勉 関東平野における物理探鉱の総合的研究(物理探鉱Vol. 17 s 39.6)
- 4) 岡田 広 弾性波による八戸市の基盤探査(地震学会 s 46)

地震動特性における地盤構造上の問題点について・中川・角田・瀬尾

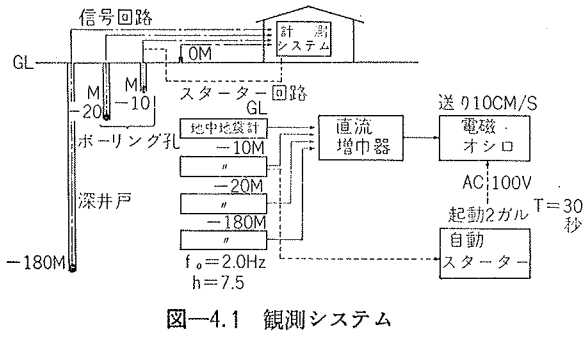


図-4.1 観測システム

No	記録方式	年・月・日-時:分	測点	震源	深さ	距離	備考
1	スターターによる記録	45.1.29-15:03	GL -10m	鏡子附近 35°08' N 141°00' E	60	171	東京地方 震度 II
2	"	46.1.29-15:35	GL -10 -180	茨城県南西部 36°03' N 139°47' E	90	36	"
3	"	46.2.3-16:50	-10 -180	山梨県南東部 M=4.2 35°27' N 138°57' E	20	71	"
4	テープレコーダによる連続記録	46.10.26-12:50	-10	不明	---	---	---
5	"	46.10.26-18:20	"	水戸附近	---	---	局発
6	"	46.11.7-7:06	GL -10 -20	アリューシャン列島 アムチトカ島 51°28' N 179°06' E	---	4760	地下核爆発
7	観測点: 東京都清瀬市下清戸		35°47' N 139°32' E				

表-4.1 地震波一覧表

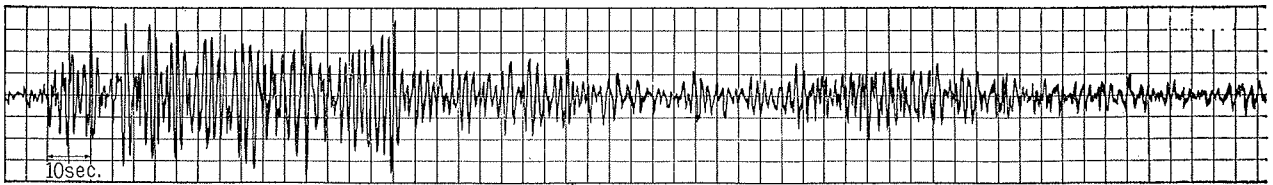


図-4.6 アムチトカ核実験地震波記録(GL-10M) 46.11.7 AM7:06:32

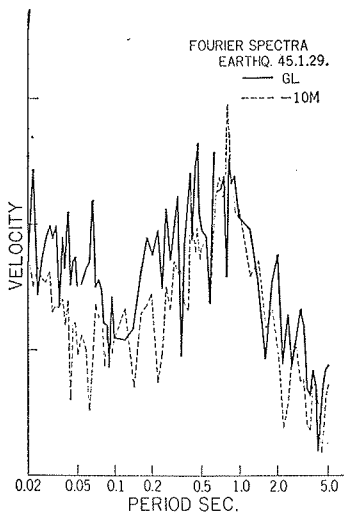


図-4.2 小地震周期特性

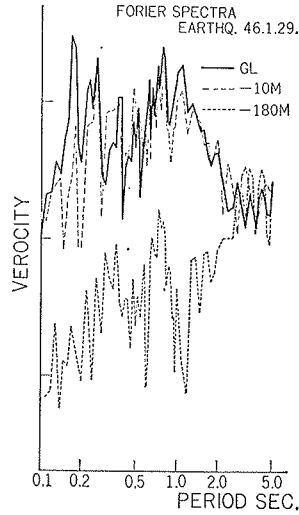


図-4.3 小地震周期特性

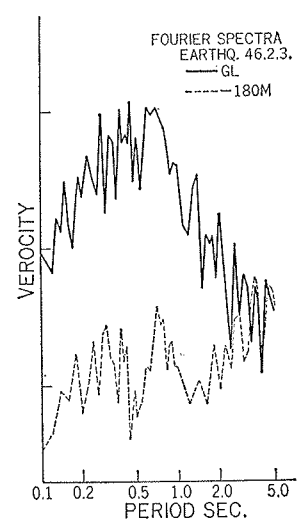


図-4.4 小地震周期特性

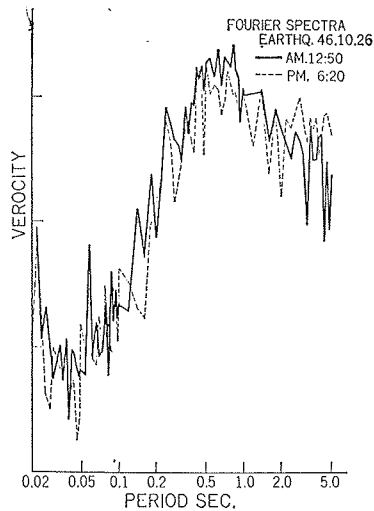


図-4.5 微小地震周期特性

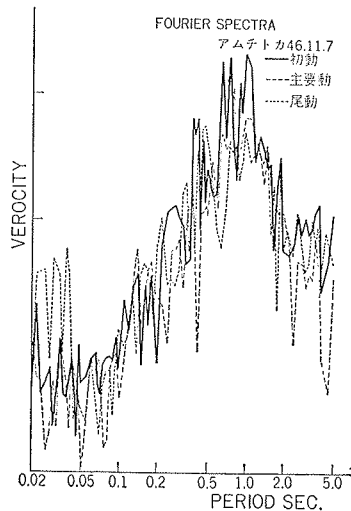


図-4.7 アムチトカ資料

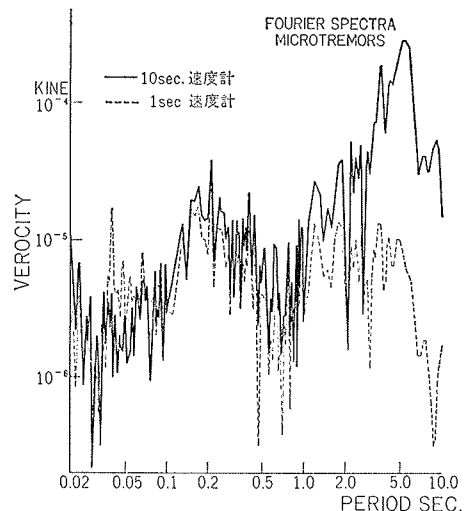


図-4.8 常時微動周期特性