



Title	地表の地震動に与える地盤の影響についての一考察
Author(s)	鏡味, 洋史; Kagami, Hiroshi
Citation	北海道大學工學部研究報告, 92, 129-139
Issue Date	1979-01-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41548
Type	departmental bulletin paper
File Information	92_129-140.pdf



地表の地震動に与える地盤の影響についての一考察

鏡味洋史*

(昭和 53 年 7 月 10 日受理)

A Study on the Effects of Ground Conditions on Seismic Strong Motions at the ground Surface

Hiroshi Kagami

(Received July 10, 1978)

Abstract

The effects of ground conditions on the seismic surface motions are discussed through an analysis of layered models for various ground conditions. The following two relations are pointed out. First, in case of softer ground, the surface motions have more influence to the amplification of waves in soil layers. Second, in contrast, in case of firm ground, subsoil effects are very small on the surface motions.

As an example of soft ground, amplification characteristics at several points in Sapporo City which is situated on a soft alluvium plain, are calculated. And it is shown that these amplification characteristics change widely from point to point.

These two relations are also ascertained by an analysis of strong motion records obtained at soft and firm grounds.

1. 緒 言

地表で観測される地震動の周期特性は震源から地表に至るまでの種々の特性、すなわち発震機構・伝播径路そして地表近くの地盤の特性をうけ複雑に変化しているものと考えられている。地表の地震動の周期特性に地盤の特性がどのように表われるかについて、同一地点で観測された地震動を比較してみると、地震によらず地盤の特性が顕著にあらわれる場合と、地震ごとに異なる特性を示し、地盤の特性が顕著にあらわれない場合とがあることが種々指摘されている。

日本においては、石本巳四雄の東京・横浜 10 数ヶ所における加速度地震計を用いた、地震の比較観測により各観測地点ごとに地震によらない特有の卓越する周期の存在することの指摘¹⁾以来、地震動にあらわれる地盤の卓越周期に関する研究は数多くなされている。なかでも同一観測点での多数の強震記録から地盤の増幅特性を見い出そうとした研究に、田中貞二・吉沢静代の研究²⁾、小林啓美・長橋純男の研究³⁾を挙げることができる。一方米国で観測された強震記録については地震によらない共通の卓越性は顕著でなく、地震ごとの性質が支配的であることが指摘されている⁴⁾。これらの違いは、従来地表の地震動の周期特性を考える場合、日本では地盤特性を主に、米国においては地盤特性よりはむしろ地震の発震機構・伝播径路を主に考えられてきたことに反

* 建築工学科耐震工学講座

映されていると言えよう。

本論では、地盤での地震波の増幅が地表での地震動の性質にどのような影響を与えるか、モデル化した地盤および実際の地盤についての解析を通じて議論し、さらに地盤構成の大きく異なる各地点で観測された強震記録との比較から考察を試みたものである。

2. 地表における地震動の周期特性

地表での地震動の周期特性を考える場合、地中に地震基盤を想定することによって、地震基盤に到達する地震波の性質と、地震基盤より上での地震波の増幅とに大別して考えることができよう。一般にある地震Eに対して、ある拡がりをもつ地域内の地震基盤に到達する地震波は場所によらずほぼ一定で $U_B(\omega, E)$ で表現することができよう。 ω は角振動数をあらわす。一方地盤での地震波の増幅特性は、地域内の場所ごとに、その地盤構成の違いにもとづいて異なると考えられ、地域内のある点Pに対して地震Eに無関係に増幅特性は $G(\omega, P)$ で表現することができよう。地盤の増幅特性は地震波の種類（P波・S波・表面波等）に対してそれぞれ求められるが、ここでは構造物の破壊の主たる原因となる主要動の水平動に主も関係の深いS波の増幅について考える。成層地盤でのS波の増幅特性の算定については2. 付に示す。ある地震Eのある点Pにおける地震動のスペクトル $U_s(\omega, P, E)$ は次式のように地震基盤に到達する地震波のスペクトル U_B と地盤の増幅特性 G との積で表わされる。

$$U_s(\omega, P, E) = G(\omega, P) \cdot U_B(\omega, E) \dots\dots\dots (1)$$

従って地震基盤に到達する地震波のスペクトル U_B の地震Eによる変化に比べ、地盤の増幅特性 G の場所Pによる変化の方が大きい場合には、地表の地震動のスペクトル U は地盤の増幅特性の場所による変化に大きく支配されることになる。一方逆に地盤の増幅特性の場所による変化が小さく、相対的に地震基盤に到達する地震波の地震による変化の方が大きい場合には、地表の地震動のスペクトルは地震基盤に到達する地震波の性質に相対的に大きく支配されることになる。このことを言いかえれば、地表の地震動の特性におよぼす地盤の影響は地盤の増幅率の大きさ、特性の場所による変化の度合に大きく支配されるということである。地盤での増幅率の大きさ、増幅特性の場所による変化の度合は、地盤構成の条件によって大きく異なってくる場所である。

S波の増幅率の大きさを大きく支配する要因は地震基盤と地盤の波動インピーダンス(密度とS波速度の積)の比で、インピーダンス比が小さく、すなわち地盤に比べ地震基盤のS波の速度が大きくなると増幅率の値は大きくなる。基盤上に均一な層がある場合には増幅率の最大値は $2/\alpha$ 倍 (α : 波動インピーダンス比) になり、一般に多層地盤では表層と基盤の間のインピーダンス比が関係し、基盤の速度を一定と考えるならば、表層のS波速度が支配的となってくる。

2. 付 成層地盤でのS波の増幅

地盤を Fig. 1 に示す水平多層構造にモデル化して考える。最下層は地震基盤として、それ以上は均質な層が無限に続くと考え。各層は水平な平行層で、各層内では材質は均質で、密度 ρ_K 、S波の伝播速度 V_K は一定であると仮定する。S波の伝播速度は歪度によら

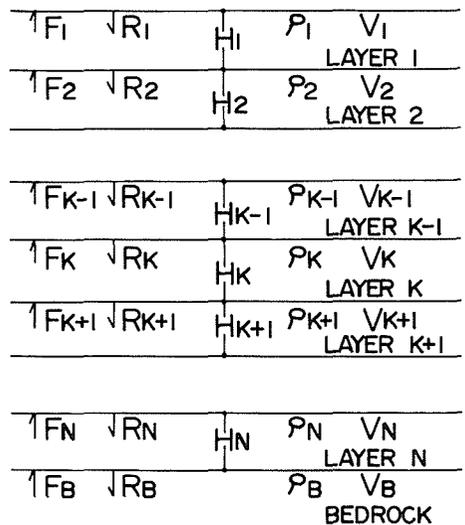


Fig. 1 Model of layered soil

ず一定とし、すなわち弾性範囲のみを扱う。減衰は地盤から地震基盤に逸散する減衰のみを考え、内部減衰は無視する。鉛直下方より地盤に入射するS波を考えると、入射したS波は各層の境界面で反射、透過を行ない、S波がいわゆる重複反射を行なうことにより地表に到達する地震波は増幅される。この現象は周波数領域で、また時間領域で計算することができる。以下にその概略を示す。

〔周波数領域での計算〕 地表での振幅 U_1 と基盤よりの入射波の振幅 F_B との関係はマトリックス法によれば次式のごとくなる⁵⁾。入射波としては角振動数 ω の正弦波を考えている。

$$U_1 = \frac{2 \cdot \omega \cdot \rho_B \cdot V_B \cdot \exp(i\phi)}{\{(\omega \cdot \rho_B \cdot V_B \cdot A_{11})^2 + (A_{21})^2\}^{1/2}} \cdot F_B \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに $\phi = \tan^{-1}(A_{21}/\omega \cdot \rho_B \cdot V_B \cdot A_{11})$ A_{11} , A_{21} は次式で表わされるマトリックスの要素であり、 $[a_K]$ をK層の層マトリックスと呼ぶ。

$$[A] = [a_N][a_{N-1}] \dots\dots [a_2][a_1]$$

$$[a_K] = \begin{bmatrix} \cos \omega \frac{H_K}{V_K}, & (\omega \rho_K V_K)^{-1} \cdot \text{SIN} \omega \frac{H_K}{V_K} \\ -(\omega \rho_K V_K) \cdot \text{SIN} \omega \frac{H_K}{V_K}, & \cos \omega \frac{H_K}{V_K} \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (3)$$

〔時間領域での計算〕 任意の波形をした入射波に対しては次式を用いて時間領域で求めることができる。

$$F_1(t) = \gamma_1 \cdot F_2(t - H_1/V_1) + \beta'_1 \cdot R_1(t - 2H_1/V_1)$$

$$R_1(t) = F_1(t)$$

$$\vdots$$

$$F_K(t) = \gamma_K \cdot F_{K+1}(t - H_K/V_K) + \beta'_K \cdot R_K(t - 2H_K/V_K)$$

$$R_K(t) = \beta_{K-1} \cdot F_K(t) + \gamma'_{K-1} \cdot R_{K-1}(t - H_{K-1}/V_{K-1})$$

$$\vdots$$

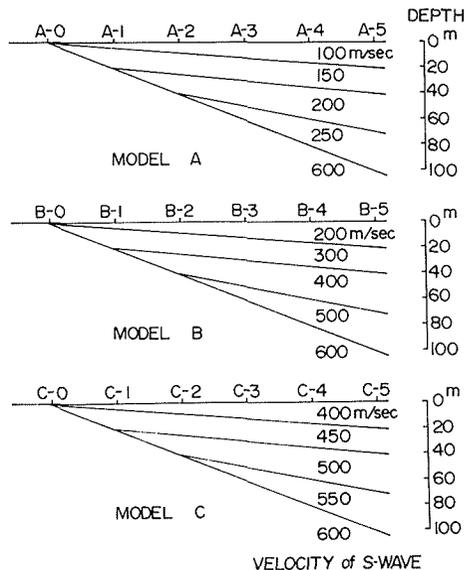
$$F_N(t) = \gamma_N \cdot F_B(t - H_N/V_N) + \beta'_N \cdot R_N(t - 2H_N/V_N)$$

$$R_N(t) = \beta_{N-1} \cdot F_N(t) + \gamma'_{N-1} \cdot R_{N-1}(t - H_{N-1}/V_{N-1}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

但し、 $\gamma_K = 2/(1 + \alpha_K)$, $\gamma'_K = 2/(1 + \alpha'_K)$, $\beta_K = (1 - \alpha_K)/(1 + \alpha_K)$, $\beta'_K = (1 - \alpha'_K)/(1 + \alpha'_K)$, $\alpha_K = (\rho_K \cdot V_K)/(\rho_{K+1} \cdot V_{K+1})$, $\alpha'_K = (\rho_{K+1} \cdot V_{K+1})/(\rho_K \cdot V_K)$ で表わされ γ を透過係数、 β を反射係数と呼ぶ。(4)においてすべての $F_K(t)$, $R_K(t)$ は時刻 t それ以前の $F_K(t)$, $R_K(t)$ で表わされ、 $F_B(t)$ を順次与えれば、 $F_K(t)$, $R_K(t)$ を順次求めることができる。

3. S波の増幅特性と地盤構成との関係

地盤構成の相違が、S波の増幅特性におよぼす影響について、地盤構成の相違をモデル化して考察を行なった。モデル地盤は Fig. 2 に示す3種類の地盤を想定し、地震基盤までの深度が、それぞれ0, 20, 40, 80, 100 mの位置の増幅率について考察した。地震基盤のS波の伝播速度はいずれの場合も600 m/secとした。地盤構成の条件によって、A・B・Cの3つのTypeの地盤構成を考えた。A-Typeは軟弱な沖積層が最上層に存在する場合を想定しており、最上層のS波の伝播速度は100 m/secとした。B-Typeの地盤は



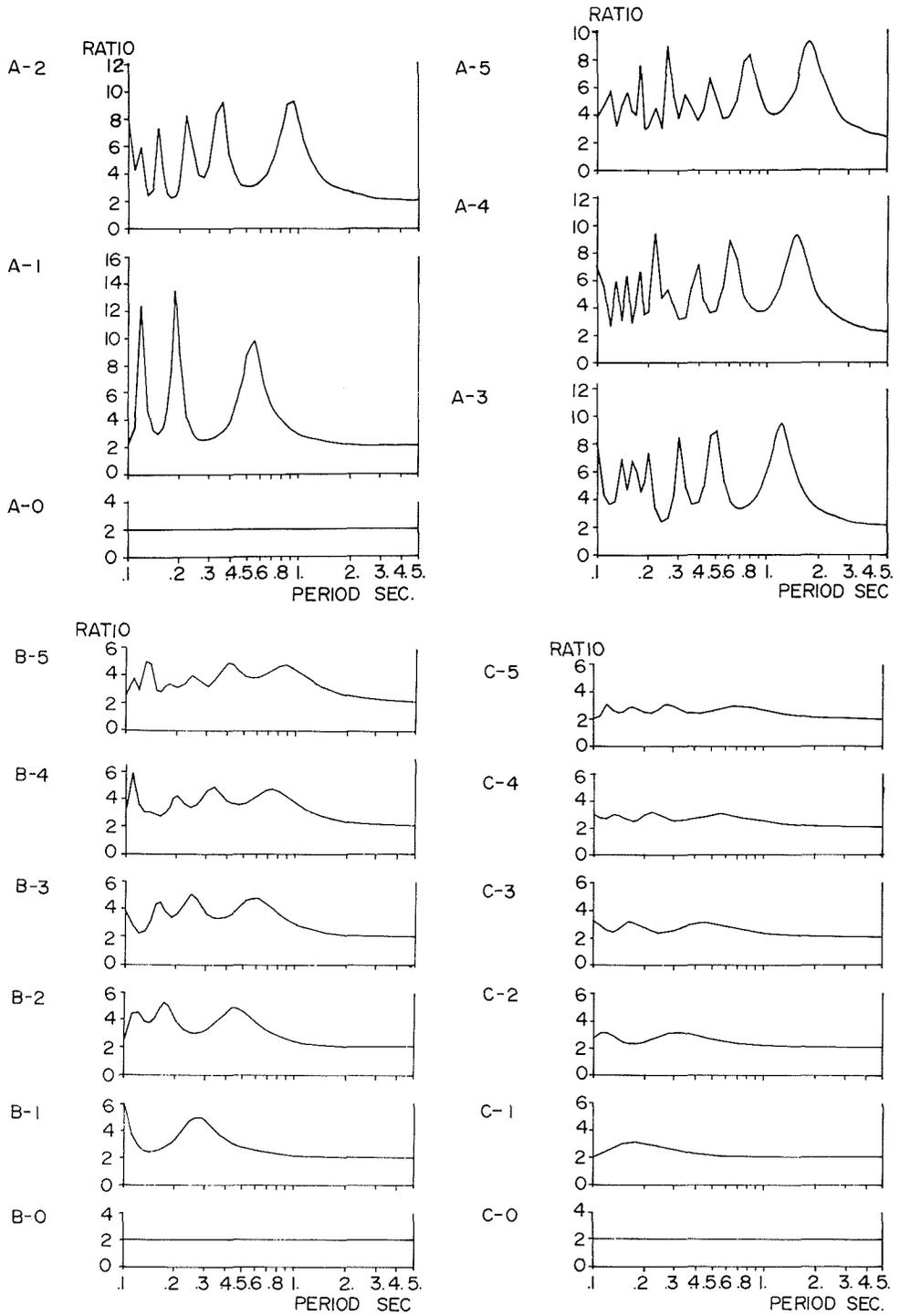


Fig. 3 Amplification characteristics of model layers

最上層が洪積層よりなる場合を想定し、速度は 200 m/sec とした。C-Type の地盤は軟弱な地盤が存在せず、地表付近においても堅固な層のある場合を想定し、速度は 400 m/sec とした。表層から地震基盤に至る中間層の S 波速度はいずれの場合も深度とともに増大するモデルを仮定した。

最初にこれら 3 種のモデル地盤について、地震基盤までの深さの異なる 5 地点ずつ合計 15 地点の増幅特性を周波数領域で求めて Fig. 3 に示した。縦軸の増幅率の値は各図とも同じスケールで示した。A-O, B-O, C-O の場合は地震基盤が露頭している地点であり、増幅率は入射波の周期に無関係に入射波振幅の 2 倍となることから図中に 2 倍として示した。A-Type の地盤構成の場合、増幅率のピークは 10 倍以上となり、かつ各ピークは非常に顕著である。また谷の部分の増幅率は 2 倍であるので、増幅率の周期に対する変動は 2~10 倍と大きい。またこのことは場所により、同じ周期に対する増幅率が 5 倍変動することを示している。B-Type の地盤構成の場合増幅率のピークは 5 倍程度であり、増幅率の変動量としては 2~3 倍である。さらに C-Type の地盤構成の場合の増幅率のピークは 3 倍程度であり、谷の部分の増幅率である 2 倍に比べて、その差は少なくこのような地盤では場所による増幅率の変化は明瞭にあらわれない。以上のごとく増幅率の場所による変動は地盤構成により大きく異なり、A-Type の地盤構成のように軟弱な層のある場合には増幅率のピークは大きく、かつその変動が大きくあらわれることを示している。

次にこれら増幅特性に大きな差異を有する 3 種類の地盤について地震波が鉛直下方から地盤に入射したとき地盤の増幅特性がどのように地表の地震動特性に表われるかについて考察を進める。地震基盤からの入射波として次の 2 種類の地震波を用い、各地盤について地表の地震動を時間領域で求め比較することにした。用いた地震波は Taft (USA) における 1952 年の地震の NS 成分の記録および、釧路気象台における 1965 年の地震の N 21°W-S 21°E 成分の記録から、それぞれの観測点の地盤での S 波の増幅による部分を除去した地震基盤に到達した地震波で、2 つの地震波の周期特性は相互に大きく異なっている。これらの地震波が各地盤に入射した場合の各地盤の地表の応答波形を時間領域で求め、さらにそれらのスペクトルを Fig. 4 に示した。実線は Taft

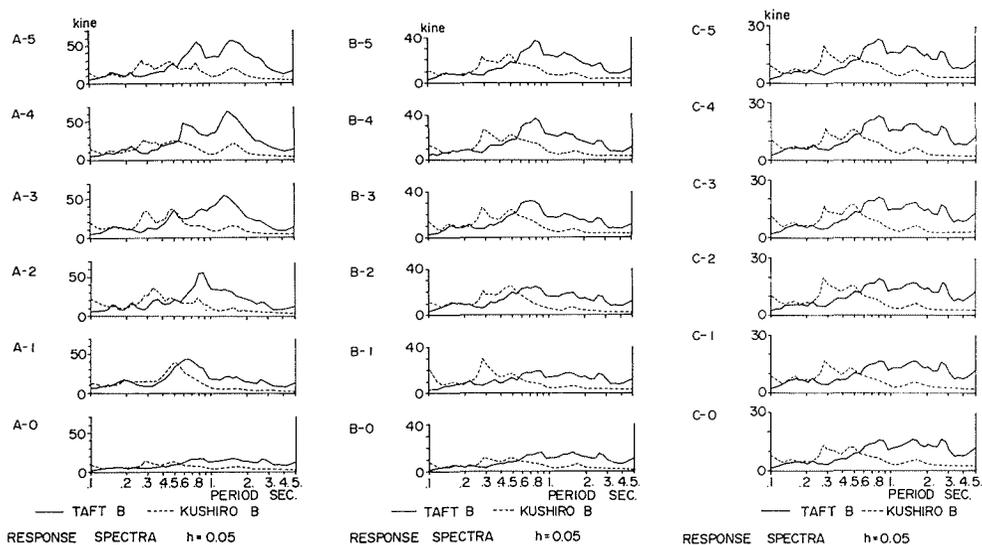


Fig. 4 Representation of response spectra of ground motions in each model

の場合を、破線は釧路の場合を示している。応答スペクトルの減衰定数はいずれも $h = 0.05$ である。A-Type の地盤構成の場合、地震基盤までの深さにより応答スペクトルの形状が大きく異なり、ピークとなる周期も大きく異なる。2つの地震波に対して各地点ごとに同じ周期にピークが見られ、地盤の増幅による影響が非常に顕著に見られる。B-Type の地盤構成の場合、各地点の応答スペクトルの変化はA-Type の場合に比べやや少ない。また同一地点の異なる地震の応答スペクトルを比べると地震波の違いによる差が大である。C-Type の地盤構成の場合各地点の応答スペクトルの変化は非常に少なく、C-O（地震基盤の露頭）の場合の応答スペクトルとほぼ同じ形状を各地点で示す。一方各地点とも入射する地震波による差が明瞭である。以上のことをまとめて、A-Type のような軟弱な地盤においては地盤での増幅による影響が大きく、入射する地震波の特性の差異は地表の地震動の特性にあまり大きくあらわれないことを示している。また逆にC-Type のように堅固な地盤においては、地盤での増幅特性による影響は大きくなく、地表の地震動の特性は、相対的に地震基盤から入射する地震波の特性に大きく支配されることを示している。

4. 表層が軟弱な沖積層よりなる地盤の増幅特性 —— 札幌市の場合 ——

前章のモデルのA-Type の地盤では地表の地震動の特性に地盤の増幅特性が大きくあらわれることを示したが、このような地盤は軟弱な沖積層が厚く堆積している地盤に対応している。日本の大都市の大多数がこのような沖積層より成る海岸平野や盆地に立地している。たとえば代表的な沖積平野として関東平野・濃尾平野・大阪平野・越後平野・石狩平野などを挙げられよう。いずれの平野も地表附近は沖積の粘土層・砂層などより成りS波の伝播速度も 100 m/sec 前後である。このような地盤では増幅特性の場所による変化も大きく、また増幅度も大きいため、地表の地震動の特性に与える地盤の影響は入射波の特性による影響よりも大であると考えられ、このような地盤では地表の地震動について考える場合地盤の増幅特性のみでもある程度理解できることを示している。

そこでこのような地盤の一例として札幌市の場合をとりあげてみる。札幌市は石狩平野南部に位置し、市街地は豊平川扇状地から北部の低湿地へと拡がっている。この地域の基盤と考えられる新第三紀の層は南から北へに向けて傾斜し、北部ではその深度は 100 m を越えている。いま Fig. 5 に示すほぼ南北に沿う断面について考えてみる。市内のボーリング資料⁹⁾から断面図を作成すると Fig. 6 の下段に示すようになる。多数のボーリング資料のうちから新第三紀層まで達する深いもの 17 本を選らんだ。表層はおおむね軟弱な沖積層より成っており、その層厚は南から北へと増大している。

S波の増幅特性を大きく支配する、各層のS波の伝播速度については適切な実測値が得られなかったため、S波の速度を他の土質的諸指標から求める実験式⁷⁾を用いることとした。この実験

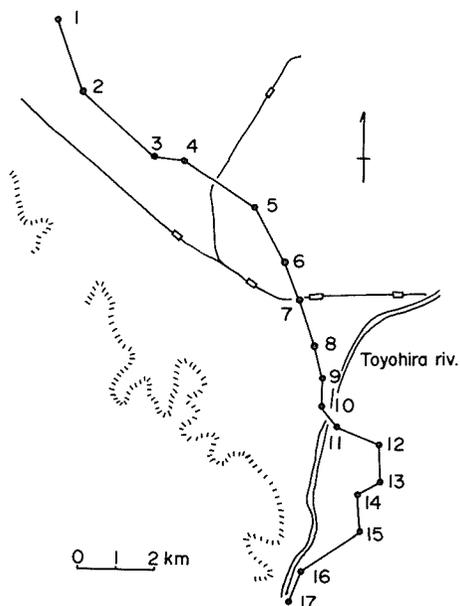


Fig. 5 Location of surveyed points

式は多数のS波の実測値から一般化した林の数量化理論I類によって求められたもので、N値・深度・地質時代・土質区分等からS波速度を推定する式である。ここではN値の記載のないボーリング資料が多かったためN値を除いた次式を用いた。

$$V_s = 85.01 \times H^{0.241} \times \begin{pmatrix} 1.000 \text{ (沖積)} \\ 1.434 \text{ (洪積)} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1.000 \text{ (粘土)} \\ 1.240 \text{ (砂)} \\ 1.545 \text{ (砂礫)} \end{pmatrix} \text{ (m/sec)} \dots\dots\dots(5)$$

断面上の17点についてボーリング柱状図より、上式を用いてS波速度を推定した。表層の速度は60~200 m/secとなり、大半が100 m/sec前後である。新第三紀層については600 m/secとした。

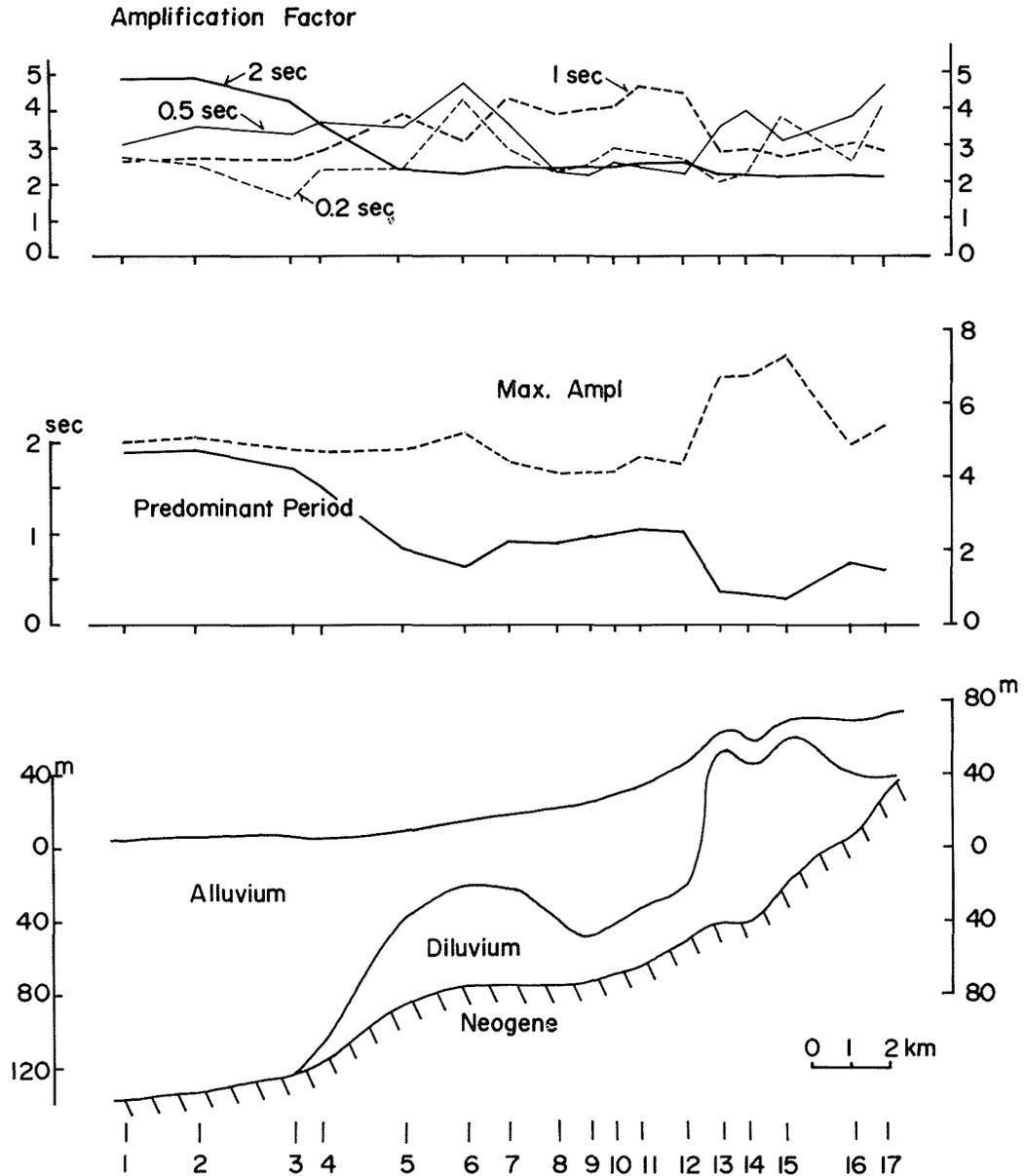


Fig. 6 Soil profile in Sapporo and calculated amplification characteristics

このようにしてS波構造を求めた17地点についてS波の増幅特性を周波数領域で求めた。減衰については内部粘性減衰を考慮しQ-Valueで10と仮定した。各地点の増幅特性から卓越周期および最大増幅率の変化を図示すればFig. 6のごとくなる。卓越周期は0.4~2.0秒と場所により大きく、地盤構成と対応して変化しているのがわかる。最大増幅率については4~7倍と変化している。次に増幅率を各周期ごとに見てみる。周期ごとに各点の増幅率を結んでFig. 6に示す。周期別に見た場合、地盤構成による増幅特性の変化がさらに顕著に見られる。

このような地盤においては、増幅特性の場所による変化が大きく地震時の地表で観測される地震動が場所によって大きく異なり、地盤の増幅特性を大きく反映することが考えられる。さらにこれらの増幅特性から地表で観測されるであろう地震動の周期特性をある程度推定することができ、構造物の耐震設計のための地震入力を考える上で有用であろう。

5. 地表で観測された地震動の周期特性と地盤との関係

5. 1 増幅特性が大きくあらわれる場合

地表における地震動の特性に地盤での増幅特性がおよぼす影響は地盤での増幅度が大きいほど、言い換えれば地表層に軟弱な層の存在する場合ほど、その影響が大きいことは前章までに述べたとおりである。したがって軟弱な地盤上で観測された地震記録には地盤の増幅特性にもとづく特性を多く含んでいると考えられる。そこでこれらの関係について実際に日本で観測された強震記録についてみる。同一地点で多数の強震記録が得られている地点として釧路気象台・広尾町役場・八戸港の3地点を選んだ。いずれもSMAC型強震計による記録であり、用いた地震記録はTable-1に示す地震であり、マグニチュードM=5.1からM=7.9(1968年十勝沖地震)までの地震を含んでいる。各記録の速度応答スペクトルを求め各地点ごとに比較してみると、これらの地震はそれぞれマグニチュード、震源位置、各観測点までの震源距離など異なる地震であるが、3つの地点について各地点ごとにスペクトルの形状が似ている。釧路気象台の場合については0.2~0.3 sec.に顕著なピークを有する。また広尾町役場の場合も同様に短周期に顕著なピークを有する。一方八戸港の場合は両者の場合とスペクトルの形状が異なり、長い周期での卓越したピークが見られる。このように3地点について、それぞれの地点でスペクトルに共通性がみられるこ

Table 1 List of strong motion records

	Date	Epicenter		Depth	Distance	Magnitude	Max. Acc.	
							NS	EW
Kushiro	Nov.15,1961	42.7°N	145.6°E	60Km	119Km	6.9	110gal	111gal
	Feb.21,1962	42.8	145.2	80	101	6.2	113	167
	Apr.23,1962	42.2	143.9	60	115	7.0	466	248
	Jul.18,1962	42.6	145.2	60	99	5.9	87	83
	Jun.23,1964	43.0	146.5	80	189	6.9	84	109
	Oct.26,1965	44.1	145.7	160	228	6.8	272	118
	Nov. 4,1967	43.5	144.4	20	59	6.8	285	357
Hiroo	Oct.26,1965	44.1	145.7	160	323	6.8	189	135
	Sep.19,1967	43.0	145.1	110	200	5.9	97	64
	May.16,1968	40.7	143.6	0	220	7.9	299	307
	Sep.21,1968	42.0	142.8	80	96	6.9	163	138
	Oct. 9,1968	41.8	142.7	60	96	6.2	140	185
	Jan.21,1970	42.4	143.1	50	54	6.7	604	547
Hachinohe	May.16.1968	40.7	143.6	0	188	7.9	232	181
	Jun.12,1968	39.4	143.1	0	190	7.2	37	31
	Sep.21,1968	42.0	142.8	80	205	6.9	35	29

とから、この共通性が地盤の特性を反映している可能性が大きいと考えられる。個々のスペクトルには地盤の特性の他に、地震基盤に到達する地震波の特性をも含んでいると考えられるが、これらの地震基盤に到達する地震波の特性は、地震によりそれぞれ異なると考えられることから、スペクトルの平均値を各地点ごとに求めることによりスペクトルの共通部分、すなわち地盤の増幅特性を強調することができよう。これらのスペクトルの平均値を求め Fig. 7 に示す。釧路の場合 0.3 sec. に顕著なピークを有する。図中の点線は地盤の増幅率を弾性波探査の結果⁹⁾から計算したもので両者は良く一致している。広尾の場合も 0.22 sec. に顕著なピークを有しており地盤の増幅特性を表わしていると考えられる。八戸の場合は 1.0, 2.6 sec の 2 つのピークが見られる。点線は弾性波探査の結果⁹⁾から求めたもので良い一致を示している。また 2.5 秒の卓越周期はやや長周期の微動観測によっても確かめられているところである¹⁰⁾。以上 3 地点について、強震記録には地震ごとに变化しない共通の性質が見られ、この共通の性質は、地盤に関係するものであり、地盤での S 波の増幅特性で説明できることが判った。これら 3 つの地点はいずれも最上層の S 波速度が 100 m/sec 前後で、前章のモデルの A-Type に対応する。

5. 2 増幅特性が大きくあらわれない場合

3. で述べたように表層および地盤が堅固になるにしたがって、地盤と地震基盤との S 波速度のコントラストが弱くなり、その結果増幅度が減じ増幅特性が地表の地震動の特性に反映させる度合いが減ずると考えられる。このことは岩盤上あるいは比較的堅固な地盤上で観測された地震動の特性を調べることにより明らかにすることができよう。強震記録が多数得られており、かつ地盤が堅固な地点を日本で選び出すことはむづかしい。米国西海岸地方の地盤は日本の沖積平野の地盤と比べて一般に堅固である。そこで強震記録が多数得られかつ地盤の堅固な地点として Ferndale, El Centro

の 2 地点を選らび強震記録の周期特性を調べた。解析に用いた強震記録は Table-2 に示す地震である。マグニチュードの知られていない地震もあるが 5.5~6.6 の範囲で、先の 3 地点の記録の場合ほどマグニチュードに差はない。Ferndale は San Francisco の北北西約 360 km の海岸近く

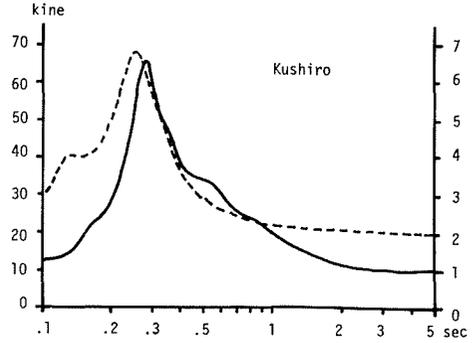


Fig. 7 (a)

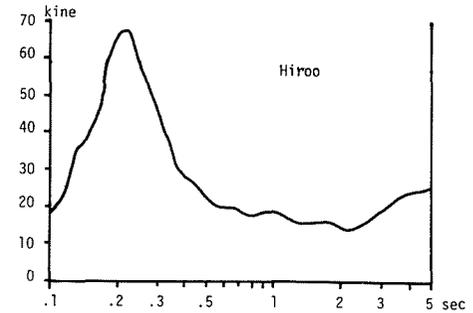


Fig. 7 (b)

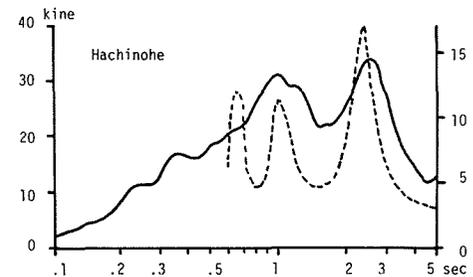


Fig. 7 (c) Meam response spectra(full line) and amplification characteristics (broken line)

Table 2 List of strong motion records

Site Name	Date	M	Maximum Acceleration	
			NS gal	EW gal
El Centro	Dec. 30, 1934	6.5	274	310
	May. 18, 1940	6.3	439	283
	Feb. 09, 1956		34	52
	Apr. 08, 1968	6.5	133	59
Ferndale	Sep. 11, 1938	5.5	149	94
	Feb. 09, 1941	6.6	65	43
	Oct. 07, 1951		116	114
	Sep. 22, 1952	5.5	56	78
	Dec. 21, 1954		161	202

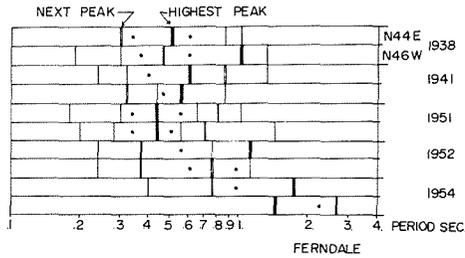


Fig. 8 (a)

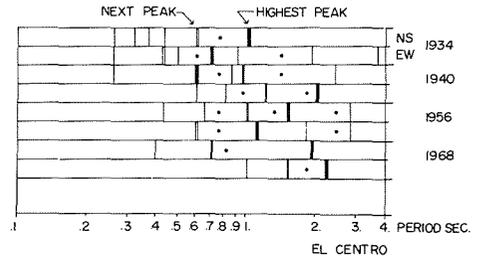


Fig. 8 (b) Peak periods in response spectra

に位置しており、表層は更新世の泥岩・砂岩より成りその層厚は500 mで以深は鮮新世の砂岩より成っている¹¹⁾。ここで5つの強震記録の速度応答スペクトルを求めてみると、それらの形状は地震ごとに大きく異なり、また同じ地震についても成分間で大きく異なる。Fig. 8(a)は各スペクトルのピークの周期を示したもので、最大値を与えるものを3本線で、2番目の値を示すものを2本線で示した。またスペクトルで顕著な谷となる周期を●印で示した。この図から明らかなように、どの地震にも共通にあらわれるピーク周期を見つけることはできない。さらに1つの地震では顕著なピークとなるにもかかわらず他の地震で谷となる周期も見られる。Ferndaleの場合表層は泥岩・砂岩で硬質であり、3章で示したモデルのC-Typeに近いものと考えられる。したがって地表で観測される地震動に地盤の特性があまり反映されず、個々の地震の特性が大きくあらわれ、地震ごとに異なる特性を示すものと考えられる。

一方El CentroはLos Angelesの南西約250 kmのメキシコに近い平野に位置している。地盤構成はR. B. Matthiesen et alによれば表層は約30 mの層厚を有し、S波速度は160 m/sec第2層で850 m/secと推定している¹²⁾。El Centroで観測された4つの地震8成分の速度応答スペクトルを求め比較してみると、スペクトルの形状はやはり地震によって大きく異なり、共通のピークを見出すことは難しい。Fig. 8(b)はピーク周期をまとめ図示したものであり、この場合も共通の顕著なピークは見られない。表層のS波速度の推定値160 m/secと層厚30 mとから卓越周期を求めると0.75 secが得られるが、この周期は各スペクトルのピークと必ずしも一致しない。したがってEl Centroの場合も表層地盤の影響が地表の記録にあまり顕著に表われていないと考えられる。この地盤は3章に示したモデルのB-Typeに近いものと考えられる。

6. 結 言

本論は地震基盤に到達する地震波の性質と地盤でのS波の増幅との両者が、地表の地震動の性質におよぼす影響を地盤構成の差異に関連づけて考察を試みたものである。

モデル化した地盤の解析から沖積層の厚く堆積しているような地盤については、地盤での増幅度が大きく、場所による変化も大きいため、地表の地震動の特性に与える影響は地盤の増幅特性の方が大きく支配的である。一方逆に堅固な地盤では増幅度が小さく、地表の地震動の特性に地盤の特性が余りあらわれず、相対的に地震基盤に到達する地震波の性質が大きくあらわれることがわかった。また札幌の地盤を例にとり、地盤条件の違いが増幅特性に大きく表われることを示した。

次に、これらのことを地表で記録された強震記録について考察し、軟弱な地盤における強震記録には、それらのスペクトルに観測点ごとに地震によらない共通の特性が見られ、その特性がS波の増幅で説明できることがわかった。一方比較的堅固な地盤で観測された強震記録にはこの

ような明瞭な関係がみられないことがわかった。

以上地表で観測される地震動の性質について、地中に地震基盤なるものを考え、震源から地震基盤に至る間の特性と、地盤での増幅特性に二分して考え、どちらが第一義的に地表の地震動の性質に大きく関与するかという問題を地盤構造と関連づけて議論し、上記の結論を得たが、地表の地震動の性質をより詳細に調べていくためには両者を一貫して考えていかなければならないのは言うまでもない。

本論中、札幌市の断面図作成、増幅特性の計算については昭和 52 年度卒論生有滝幸夫君によるところが大である。記して謝意を表したい。計算は北海道大学大型計算機センター FACOM 230-75 (課題番号 1001 FL 0233) によった。

参 考 文 献

- 1) 石本巳四雄：東京大学地震研究所彙報, 12 (1934), pp. 234-248.
- 2) 田中貞二, 吉沢静代：第 4 回日本地震工学シンポジウム論文集 (1975), pp. 161-168.
- 3) 小林啓美, 長橋純男：日本建築学会論文報告集 240 (1976), pp. 79-92.
- 4) F. E. Udwadia and M. D. Trifunac : Bull. Seism. Soc. Am.63 (1973), pp. 1227-1253.
- 5) N. A. Haskell : Bull. Seism. Soc. Am. 43 (1953), pp. 17-34.
- 6) 高宮庄一, 藤村成夫, 吉村敬一：道立寒地建築研調査研究報告 30 (1970) pp. 1-104, 31 (1970) pp. 1-72.
- 7) 太田裕, 後藤典俊：物理探鉱, 29 (1976), pp. 252-261.
- 8) 田治米鏡二, 岡田広, 小柳敏郎：北大地球物理学研究報告, 15 (1966), pp. 91-109.
- 9) 文部省特定研究 (代表者：大沢胖)：1968 年十勝沖地震における八戸港湾の強震記録と地盤特性, (1972) pp. 1-30.
- 10) 坂尻直巳, 成瀬聖慈, 竹内文朗, 吉川賢一, 後藤典俊, 太田裕：地震 2, 27, (1974), pp. 338-351.
- 11) Earthquake Engineering Research Institute and National Oceanic and Atmospheric Administration Cooperative Programs : Study of Strong Motion Instrument Locations in Northern California. (1971) pp. A1~A15.
- 12) R. B. Matthiesen, C. M. Duke, D. J. Less and J. C. Fraster : UCLA Report 64-15 (1964).