

強震記録の波動論的考察

東北工業大学 正員 神山 真

1: まえがき 地震波には大別して実体波と表面波が存在する。このうち、従来の地震工学で考慮されてきたのは実体波のみである。震動の加速度、速度などのバブル量を求め、共振的観測の耐震性を論ずる限り、後のみよりの実体波と表面波の質的差違はなごうに思われよ。しかしながら、地震時の地盤及び土の応力、ひずみごうなバブル量と同様に表面波は実体波より数段危険な存在であり、従って、地震時の地盤変状を考察するに際しては地震動そのものの波動伝播特性にわたる基本的考察が極めて重要となる。著者は地震時における地盤及び土の応力、ひずみの詳細に因襲して、このことを既に指摘した¹⁾。

上記の観測から、一例として1968年十勝沖地震の際、八戸湾湾で記録されたSMAC強震記録²⁾に若干の波動論的考察を行なう。以下に報告する。尚、本文はLove波を中心として述べ、Rayleigh波はこゝて別々の機会に報告する。

2: 八戸湾湾SMAC実地盤における波動伝播特性の理論計算

1968年十勝沖地震の八戸湾湾SMAC強震記録²⁾に於ける表面波の存在は既に嶋³⁾によつて論ぜられていよ。しかし、嶋自身も認めていよごうに十分なroughな議論であり、殆ど比較レベル数kmの深さの地盤構造を考慮して論じていよ。是が特徴である。その後、群衆の調査により深さ400mごの深さの地盤構造が八戸SMAC実地盤に於いて明よさごにされていよ⁴⁾。ここでは、八戸SMAC強震記録²⁾に対して、この程度の深さごの地盤構造を考慮しよ場合の波動論的考察を行なう。特に本文では実体波としてS波が真下から入射するごわりのS波多重反射理論、表面波としてLove波に焦点を当てて比較考察する。

表-1は幾ごかの調査の實測に基いて得よんよ構造を総合して、決定しよ八戸SMAC実地盤における地盤構造モデルである。(周教授研の換尺結果⁴⁾、嶋の換尺結果、岡田⁵⁾の表面波を利用しよ弾性波探査結果を引用)

表-1の地盤構造モデルに対して、S波が真下から入射しよ場合のS波多重反射理論による増中度バブルを計算しよ結果がFig-1である。更に、同モデルに対してLove波の群速度分散曲線⁶⁾を基本モードL₀より高次のL₁モードごの求よ結果がFig-2である。また、この分散曲線を使用し、Love波の液中分散を求めよ結果がFig-3である。(液中分散の計算はHarkerider⁶⁾によよ。Love波の計算に於いて群速度極小となる周期と液中分散のピークとなる周期はほとんど一致する。

Fig-4は八戸SMAC記録(N-S成分)の最大加速度付近10秒間(30~40秒)をFourier解析して得よバブルである。

上ご求めよんよS波多重反射の増中度バブルとLove波の液中分散を比較するにピークとなる周期はほとんど一致する。(こゝには毎三、指漏さ

表-1 八戸SMAC実地盤構造モデル

層厚 (m)	S波速度 (m/sec)	密度 (g/cm ³)
2	100	1.8
2	160	1.8
6	195	1.9
2	380	2.0
1	200	2.0
4	375	1.6
1	200	1.6
10	430	1.6
8	270	1.7
144	370	1.9
180	690	2.0
20	1100	2.1
∞	2800	2.5

ていふことである。) (c) ピークとなる周期は Fig-4 の観測された SMAC 記録の Fourier スペクトルのピークとなる周期とよく一致する。この点、十勝沖地震のハブ SMAC 記録は波動論的問題は別として、ここを考慮してより深く程度で地盤構造の影響を受けていることはほぼ確定と思われ。以上述べたことから、S波多重反射、L0 以降のいずれでも、スパルツピークとなる周期を考慮して SMAC 記録を説明することは可能である。このことは逆読するに、既に示したような共振的現象が卓越性を議論するに、実体波が表面波が実質的差違はないうことを意味するといふ。

Fig-2 LOVE波群速度分散曲線

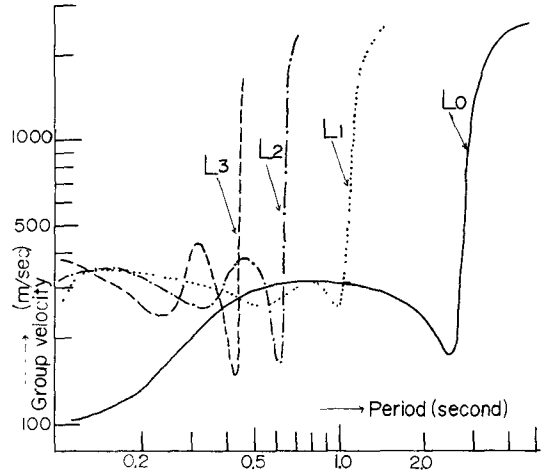
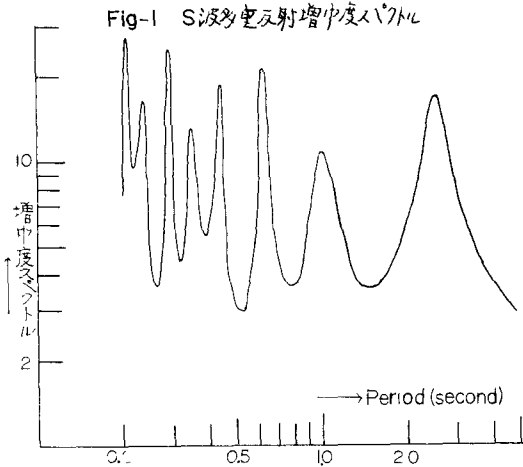


Fig 4 ハブ SMAC (S成分, 30-70 sec) Fourier スペクトル

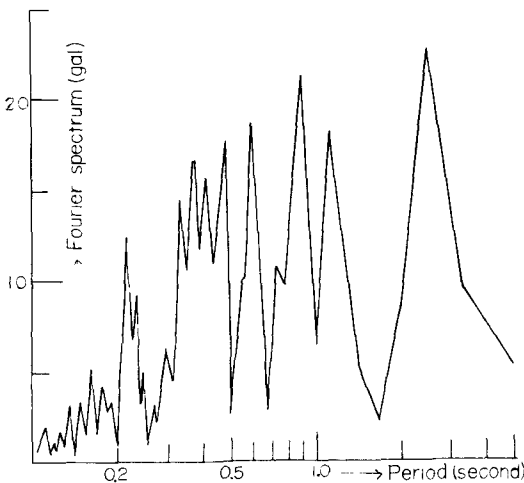
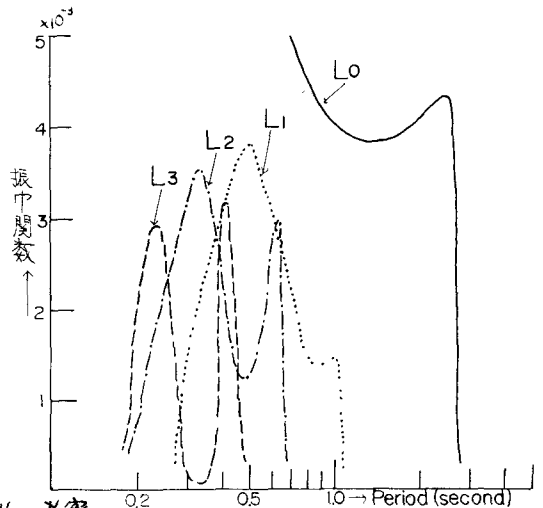


Fig-3 LOVE波振中数



3. マルチフィルターを用いたハブ SMAC 記録の解析と考察

以上述べたように一般の Fourier 解析によるスパルツの考察では SMAC 記録の波動論的特性は明瞭である。Fourier スペクトルや パーティクル 解析は瞬時スペクトルの把握には不適当であり、波動論的考察を行う上で重要なスパルツの経時的変遷を知るにはマルチフィルターによる解析が有効であることは既に報告した。本研究においてもハブ SMAC 記録に対してマルチフィルターを用いた解析を施した。Fig-5, Fig-6 は各々ハブ SMAC 記録 L-S 成分, E-成分に対して 20 秒から 60 秒までの 40 秒間を解析した結果である。(図に付されてくる実線はコンターであり、実線は後述のものである) これは最大値を 50 に正規化したスパルツ

の経時的変遷であり、周期別にみたエネルギーの時間的分布図である。図中に、Fig-4のFourierスペクトルはFig5に示されて一記録N-S成分の30~50秒間を解析したものであり、Fig4とFig5の違一は歴然である。Fig5, Fig6の解析結果をみると、スペクトルにおいてピークとなる時刻も周期によって異なることと明瞭に識別される。しかも、その異時性はかなり規則的である。このこと自体、ここで記録されて一記録は周期によって、SMAC类に到達する時刻の異なる性質、即ち分散性を有していることと他ならぬ。波動論的により、実体波には分散性は米えらぬから、当然のことながら、この記録は表面波的特性を有していることとなる。

ところで、Fig5のN-S成分とFig6のE-W成分の解析結果を比較すると、いずれも分散性がみられるが、その規則性は若干異なる。記録自体をみてもN-S成分は短周期(0.2~0.6秒)の有勢であるのに対し、E-W成分は周期1.0秒付近が強く表われている。このことは解析結果にも濃ゆい時間的推移とともに顕著に認められる。周知の如くに1968年十勝沖地震の震源は八戸のほぼE-W方向に位置する。よって単純な解釈を行えば、ハPSMAC記録におけるN-S成分はLove波を、E-W成分はRayleigh波を記録し易いということができる。この解釈は既に³⁾行なわれ、震源方向とSMAC計の記録方向の分散性、及び不均変地盤中の波動伝播の複雑

Fig 5 ハPSMAC(N-S)マルチフィルター解析結果

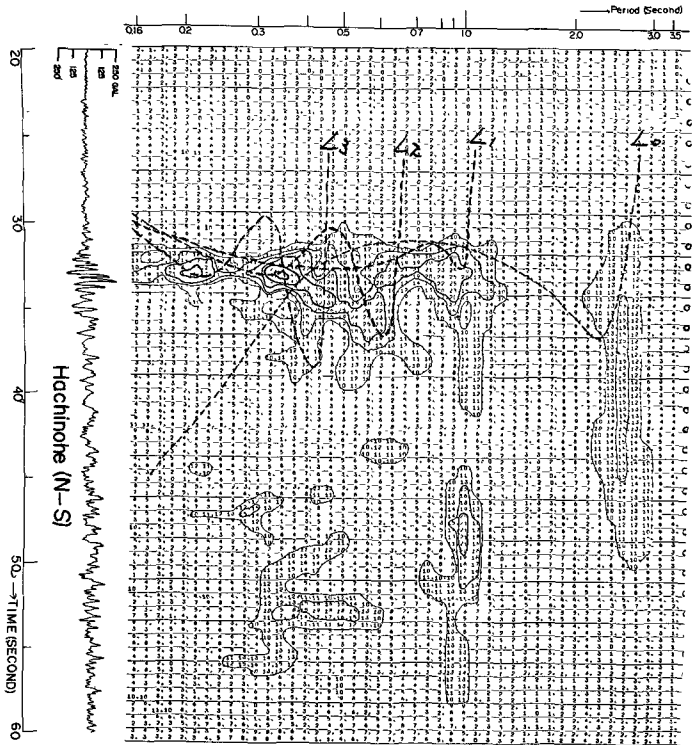
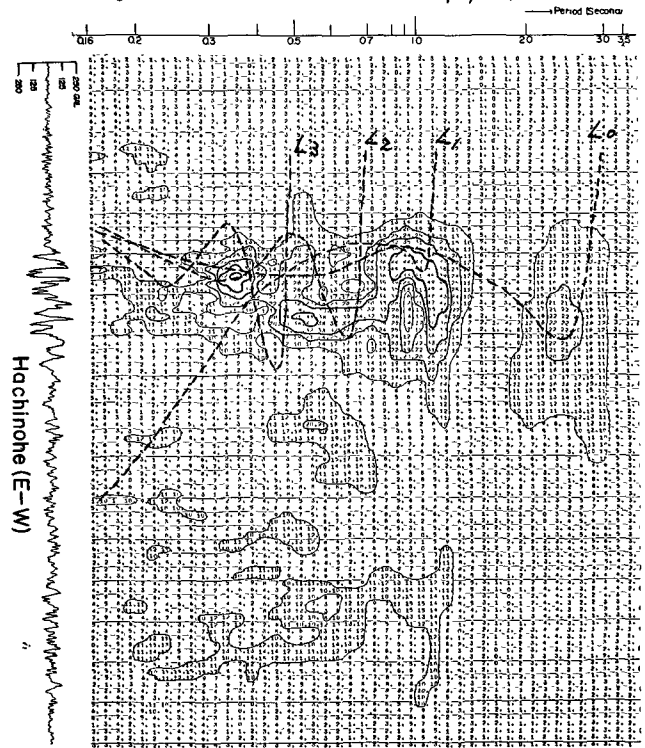


Fig 6 ハPSMAC(E-W)マルチフィルター解析結果



性を考慮すれば、必ずしも上のようなならず、 $N-S$ 成分、 $E-W$ 成分の各々の Love 波、Rayleigh 波の混在を決定するのが妥当であろうが、傾向として議論する限り、 $N-S$ 成分、 $E-W$ 成分は各々の Love 波、Rayleigh 波が強いであろうことは、直観上思われる。

さて、ここで問題となるのは Fig.5, Fig.6 のマルチモード解析結果から見る分散性が先に求めた Love 波の理論分散特性ほどの程度で説明されることである。ここで考えてみる地盤深さ(大体400m)での分散特性からこれを厳密に考察することは現在の表面波伝播の知識からではなかなか困難である。と云うのは、表面波伝播方向での地盤構造の不連続性の波動伝播へ及ぼす影響は理論的にも未解決な要素が多々からである。確かに地震学で行なわれてるような地殻レベルの深さを考えて、分散特性を論ずる場合、震源と観測位置に大きな方向構造を仮定して入る波はなっていないであろう。ここで考えてみる地盤深さでは、そのまゝ上の方法を適用できることは明白である。(十勝沖地震の震源はハブSMAC(震の震央距離は約180km)であり、その距離にかたは400mの深さの地盤構造の不連続性は維持されるかと推定される。)

表面波伝播へ及ぼす地盤構造の不連続の影響については今後の課題として、ここでは、一つの等価的解釈として、表-1に示した地盤構造モデルがハブSMAC(震)の震源方向に向かっている距離 Δ のところで連続して入るとする。そして、Love 波が震源からハブSMAC(震)に向かっている途中において、この距離 Δ 付近から、先に求めたような Fig.5 の Love 波の分散関係が主になり、この SMAC 記録に表われていると仮定する。Fig.5, Fig.6 にあける記録は因みに $\Delta = 2 \text{ km}$ としたときの理論的に予想される Love 波の群速度分散関係である。既に述べたように群速度が極小となる周期は低中および中周期である。すなわち、このタイプの波は中および高周期は群速度が直線、交差である。これを参考にしてハブSMAC 記録から見る分散関係は $\Delta = 2 \text{ km}$ としたときの理論分散による、全体にかなり良く説明される。なお、 $N-S$ 成分にあける短周期(0.2~0.6秒)の高次モードの Love 波の存在は明確に指摘される。一方、 $E-W$ 成分にあける周期1.0秒付近の複雑な分散性は Love 波の分散特性による説明では不明瞭である。これは Rayleigh 波の分散特性を参考して良好に説明される。(これは別に報告する。) 以上から、既にふんだまのようにならぬ成分、 $E-W$ 成分は Love 波、Rayleigh 波の混在をみながら、各々、Love 波、Rayleigh 波の効力が強いと云う記録成分別の傾向は分散関係の考察からみると、矛盾なく了解される。

以上から、最も重要な定量的解釈は今後の課題として、少なくとも定性的にはハブSMAC 記録の主要動が深さ400m 程度の地盤構造の影響を受けた表面波であることは確定と思われる。地震動の主要動が表面波であることは前提に立てば、本文でふんだまのよう表面波伝播へ及ぼす水平方向の地盤構造不連続の影響の解明を急務として、今後の重要な課題であると考える。

最後に、日頃、貴重な地震記録を提供されてる運輸省港湾技術研究所の皆様へ感謝致します。

(参考文献)

- 1) 神山: 「地震時における地盤の応力、ひずみの評価について」 第9回上項工学研究発表会 (1974)
- 2) 土田: 「1968年十勝沖地震とその余震の港湾地域における地震記録」 港湾技術資料 No.80 (1969)
- 3) 山崎: 「地震地動に見る表面波成分」 第3回日本地震工学シンポジウム (1970)
- 4) 藤原: 「地震波推定のための地下構造調査」 鉄道技術研究報告 No.743 (1971)
- 5) 大沢: 「1968年十勝沖地震におけるハブ港湾の地震記録と地盤特性」 文部省災害科学研究班報告 (1972)
- 6) Harbrider: 「Surface Waves in multilayered elastic media」 Bull. Seis. Soc. Am. 54 (1964)
- 7) 神山: 「マルチモード理論による地震記号の解析」 工学会東北支部技術研究発表会 (1974)