

北海道大学大学院・工学研究科 学生会員 塩野計司

1. はじめに 合理的な耐震設計が成され得るための条件の一つは、強震動の特性の正確な把握にある。

従来の工学的地震研究は、地震動がS波によるものであるとの前提の元に進められてきた。しかし、近年のいくつかの研究は、強震記録に從來とは異なる観点からの検討をくわえ、表面波による地震動の存在を指摘している。(1),(2),(3) また、これらの指摘が、S波であるとの仮定を設けてきた、短かい周期にも反響することが注意される。一方、地震動の特性を考えるにあたっては、波の種類ごとの考察が必要である。これらの点が省みられるならば、波の種類はあらゆる周波数の範囲で問われなければならない。

強震記録に対する波の識別が速かに進められるべきである。

波の識別の問題は、波型区分と波群分離とに大別される。(4) 波群分離は線型フィルタリングの問題であり、また、波型区分の成果の上になされるべき性格を持つ。本研究では、より基本的な、波型区分を主題とした。

2. 資料と解析の方針 本研究で取り上げた記録は、建設省土木研究所を中心に行なわれている、地中地震動の観測によって得られたものである。(5) ハ丈島東方沖地震(1972.12.4, $M=7.2$, $H=66\text{ km}$)の川崎市浮島公園($\Delta \approx 300\text{ km}$)での記録を取り上げた(Fig. 1)。この観測点に着目した理由は、波型区分に際して不可欠な、地下構造がよく知られている点にある。(6) 観測点付近の地下構造をFig. 2に示した。

観測は、三成分および鉛直アレーという特徴を合わせ持つ点で注目される。それぞれの特徴を生かした場合に、どのような波型区分が可能か、また、結果相互をどのように位置づけるべきか考えることを、研究の目的の一つとした。

記録されている可能性のある波として、P・Sの固体波(鉛直入射)、Love・Rayleigh型の表面波を考えた。考察の対象とする波をこれらに限ることは地下構造を考慮した若干の考察によって、容易に妥当とされる。

解析する周波数の範囲は、地震計特性・アレー形状(地震計配置)・地下構造を考慮して、主に0.2-3.0 Hzとした。この範囲について考えるとき、 $V_s = 670\text{ m/sec}$ の地層を基盤と考えることが適当である。

3. 波型区分 記録の特徴(三成分・鉛直アレー)を考え、以下の諸性質を手掛りに、波型区分を進める。

i) 粒子軌跡 ii) 地表振幅特性 iii) 群速度分散 iv) 地中振幅分布
鉛直アレーの特徴は iv) 地中振幅分布の検討に生かされる。

3-1 粒子軌跡 水平面内での軌跡は、記録の全体にわたって、直線性の低いものであり、軌跡の方向性による波型区分は不可能だった。しかし、軌跡は特定の方向性を持たないことが明らかになった。上下・水平の振幅比・位相差の周波数に対する変化を手掛りに、Rayleigh波の存在について調べたが、その可能性を示す証拠は得られなかった。以上より、Rayleigh波の存在が否定されると考えられる。

3-2 地表振幅特性(地盤の増幅性) 地表記録のフーリエ・スペクトルをFig. 3に、各種の波の増幅性(計算値)をFig. 4に示した。水平成分の0.5 Hzに見られる卓越性、上下成分に顕著な卓越性のないことは

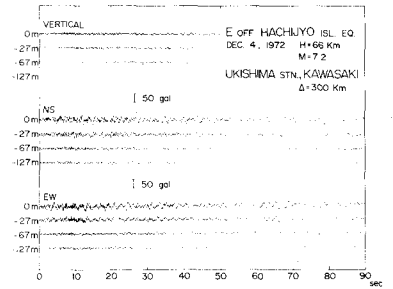


Fig. 1

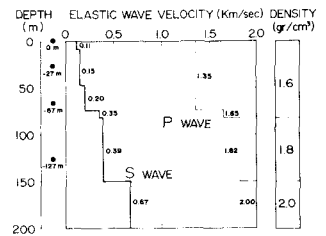


Fig. 2

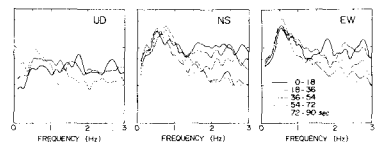


Fig. 3

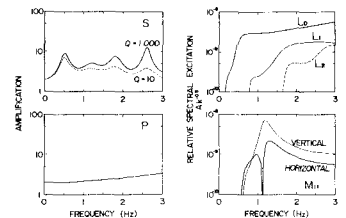


Fig. 4

それぞれの成分がS波およびP波によるものであることを示している。

3-3 群速度分散 記録のムービング・ウィンドウ・スペクトルと表面波のグループ・ディレイの計算値を比較した。記録の周波数成分の時間的变化は表面波の分散性から説明されるものではないことが明らかになった。地震動は表面波によるものではないと考えられる。

3-4 地中振幅分布(振動形) フーリエ・スペクトルを用い、各深度の地表に対する振幅比・位相差を検討した。NS成分の場合をFig. 5に示した。図には、S波の計算値を併せた。観測と計算はよく一致している。EW成分の場合も同じ特徴が見られた。上下成分ではP波の計算値に一致した。水平・上下の各成分がそれぞれ、地盤内での反射の定常状態にあるS波・P波から構成されていると考えられる。

i)~iii)およびiv)についての検討から、地震動はS波(水平)・P波(上下)によるものであることが明らかになった。各性質についての検討結果は互いに矛盾するものではない。

4. 考察 本研究で行なった液型区分では、地中振幅分布の検討によって得たものは、すでに三成分記録によって得られていた結果に、新たに付け加えられた証拠の一つに過ぎないとの評価をされるものかも知れない。このことは、液型区分における鉛直アレー観測の必要性を問う問題に発展する。鉛直アレーの設置が困難であることから、当然の疑問である。しかし、三成分記録が常に区分を十分果たしてきたかも知れなくてはならない。これに対する答は否定である。例えば、1968年十勝沖地震の八戸港湾での記録では、地盤の増幅性からはS波と結論される、周期2.5秒の成分も、粒子軌跡・群速度分散の面からはRayleigh波と見ることが妥当とされる。もしも、この地震がアレー観測されていたとしたら、事情はどう変化するだろうか。実際に地中振幅分布を計算し、この点を検討した。二つの波(S・M₁₀)の振動形の違いは著しく(Fig. 6)、三成分観測の記録の検討から得たものとは異質な、重要な手掛りの一つが得られることへの期待は大きい。

5. おわりに 三成分地震計からなる鉛直アレー観測の記録を液型区分し、水平・上下の各成分がそれぞれ、S波・P波によるものであることを明らかにした。また、地中振幅分布を検討することの、液型区分上の意義について考察し、液型区分の問題における鉛直アレー観測の重要性を確認した。

三成分・鉛直アレーのいずれもが水平面内の波の伝播性を捉えられないのは自明である。水平面内の伝播性からの検討も、当然考慮されるべきであり、そのために必要な水平アレー観測についての考察を今後の課題の一つにしたい。特に、液型区分上の有効性・システム設置の実現性を鉛直アレーに関連させ考えたい。

本研究で取り上げた地震(特に水平成分)に見られる大きな特徴に、単一の波(S波)によって構成されるにもかかわらず、断層の運動時間(30秒程度と推定される)に比較してはるかに長い継続時間を持つこと、また、その間に周波数成分の変化が著しいことがある。これらの現象を理解するためには、考察が基盤面以深での地震波の挙動に向けられなければならない可能性も認められる。今後、さらに検討を加えたい問題である。

文末ではあるが、記録を分けて下さった、土木研究所・振動研究室の御好意に厚くお礼申し上げます。本研究を進めるにあたっては、指導教官・太田 裕教授を始めとする研究室の方々の有益な助言を頂いた。記して厚くお礼申し上げます。

文献(1) 嶋 悦三(1970) 3RD日本地震工学シンポジウム講演集, 277-284. (2) Trifunac, M. D. (1971) Bull. Seism. Soc. Am., 61, 343-356. (3) 中山 貞(1974) 13TH地震工学研究発表会講演概要, 41-44. (4) 堀野 訂司(1978) 6TH地震動シンポジウム資料集(日本建築学会) 31-38. (5) 土木研究所振動研究室(1976) 土木研究所資料1103号. (6) 太田 裕・嶋 悦三(1969) 川崎市の震災予防に関する基礎的調査報告書13-17.

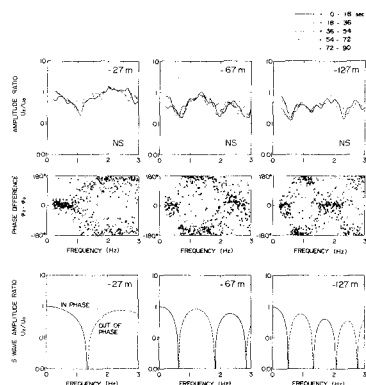


FIG. 5

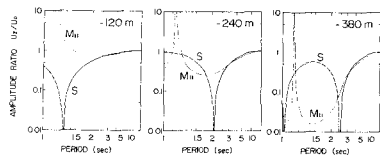


FIG. 6