

東北工業大学 正会員 神山 眞  
 々 々 松川 忠司

## 1 はじめに

1995年兵庫県南部地震は戦後最大の被害をもたらしたが、このような甚大な被害をもたらされた原因について様々な議論がなされている。とりわけ、入力地震動の重要性から、取得された強震記録の特性について多くの見解が発表されている。筆者らはこれらの強震記録の最大地動の大きさや周波数特性の特徴もさることながら、記録にみられる地震波動特性に注目してきた。特に、非定常スペクトル解析を通じて表面波特有の分散性をピックアップするとともに、表面波が各種線状構造物の被害に重要な役割を演じたのではないかと疑いをもってきた。本文はこのような仮説を検証すべく、ポートアイランドの鉛直アレー強震記録を用いて主要動における短周期表面波の存在について論じたものである。

## 2 ポートアイランドの強震記録とその地震波動特性

図1はポートアイランドにおける地震計配置をボーリング柱状図とともに示したものである。図1に示すように同観測点では深さ0m、16m、32m、83mの各深さに水平2成分（NS、EW）、鉛直1成分の加速度計が鉛直アレーシステムを構成する形で配置されており、1995年兵庫県南部地震の本震の際に強震記録が取得された。図2は本震の際の各深さでの強震記録を代表例としてNS成分について示したものである。図2に明らかなように、深さ0mの最大振幅がそれ以深の最大振幅より小さくなると同時に、波形も大幅に異なっており、液状化に伴う非線形応答の痕跡が認められる。筆者らはこれらの記録に各種の解析を施し、非線形応答に伴う地震動特性を考察している<sup>1)</sup>。一方、地震波動特性を考察するには鉛直アレーシステムの特徴を生かして、各深さの記録についての相互相関解析が有効である。本文では相互相関解析に基づく地震波動の考察を中心に述べる。

図3は深さ83mの記録に対する各深さの相互相関係数を求めた結果をNS成分について示したものである。図3をみると、明らかに地下から地表にいたる波動伝播の性状が認められる。従って、この分析だけからでも、ここでこの強震動が下方からの実体波入射に支配されるものであることは疑いをいれない。しかし、この結果だけからは、ここでの強震動が全ての周期で、全ての時間にわたって実体波の下方からの伝播形態で支配されるとするのは早計である。何故なら、図3のような相互相関係数は記録時間にわたる平均的な相関関係のみを表現したものであり、周期別の非定常な相互相関を与えるものでないからである。その意味から非定常性を考慮した解析が必要である。図4は代表例として深さ83mのEW成分記録の非定常スペクトルを示したものである。これをみると、複雑な非定常特性が観察されるが、記録時刻15秒～20秒にかけて周期0.4～0.2秒付近で明瞭な正の分散性が認められる。この種の特徴はNS成分にも、他の深さの水平成分にもみられる。このような分散性は表面波の特徴であるから、この強震動には表面波の存在が推定されることになる。そこで、図3とは異なる周期別の相互相関解析を行った。図5は図4のような非定常スペクトルの各周期ごとのスペクトル振幅の時間変動から深さ83mと16mのNS成分の周期別相互相関係数を代表的周期についてプロットしたものである。これをみると、いくつかの周期では深さ83mから16mまでの伝達時間差は観察されず、むしろ水平方向の伝播特性を示している。このような周期別相互相関の解析結果も表面波の存在をさらに暗示している。ただし、図5のような相互相関解析も周期別の相関を明らかにするものであるが、あくまで定常的な分析である。そこで、さらに非定常な周期別相互相関を把握する試みとして各深さでの記録の非定常スペクトル振幅の時間変動を周期別に同時間軸でプロットした。これをNS成分の代表的周期について示したのが図6である。図6からスペクトル振幅の極大の出現時間を追跡することにより各観測点深さでの波動到達時間（群速度による伝播時間）が周期別に捉えることができる。これらを見ると、周期ごとに、時刻ごとに複雑な伝播形態が存在していることがわかる。つまり、明らかに実体波の下方からの伝播が認められる時と表面波による水平伝播が認められる時とが周期ごとに時刻ごとに複雑に変動している。例えば、図6のNS成

分の周期0.36秒の例を参考にすれば、記録時刻14秒付近の伝播では深さ83mから順に浅くなるに従いスペクトル振幅の極大の出現時間が遅くなっており、下方からの実体波伝播を示しているのに対して、記録時刻17秒付近では各深さでのスペクトル振幅の極大が同時に出現しており、表面波伝播の性状を示している。このような実体波、表面波の混在した複雑な伝播性状はNS成分の周期0.49秒にも認められるし、他の成分についても同様である。

以上から、ここでの強震動が周期ごとに時刻ごとに複雑に変動する実体波と表面波の混在により構成されていることは断定してよいと思われる。特に、短周期の表面波の存在は非正常スペクトルにおける分散性と鉛直アレーにおける同時到達の確認という異なった二つの面から支持されるものであり、疑う余地がないと考えられる。ここでの観測点が想定される震源断層から2 km程度程度の範囲内という near field での条件下であるにもかかわらず短周期の表面波が存在していること、しかもいわゆる「あと揺れ」部分ではなく主要動の真ただ中に短周期表面波が存在することは驚くべきことである。今後、これらの短周期表面波が地震被害に及ぼした影響を明らかにすることは重要な課題であろう。

(参考文献) 神山：1995年兵庫県南部地震で得られた強震記録の波動特性、科研費試験研究(B)報告書(1996、March)

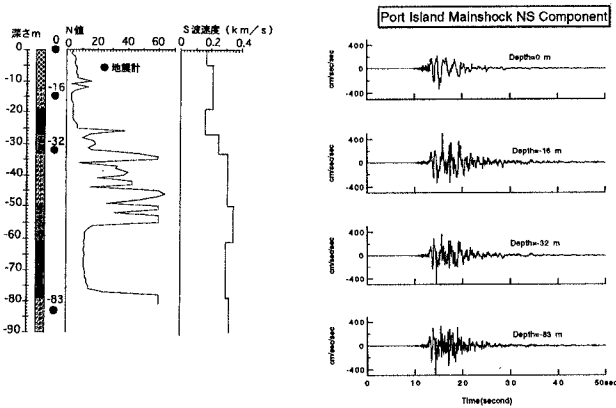


図1 地震計配置

図2 各深さの強震記録 (NS成分)

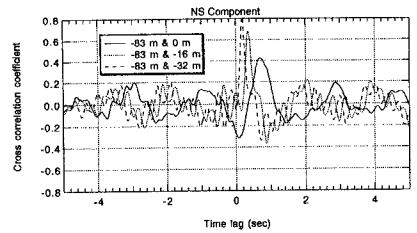


図3 相互相関係数 (NS成分)

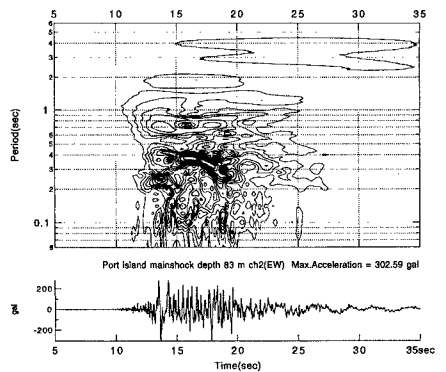


図4 非正常スペクトル (深さ83m, EW成分)

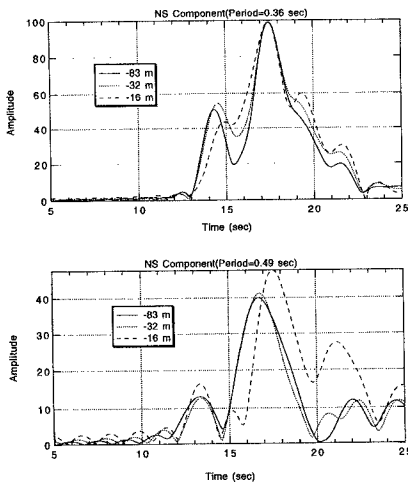


図6 各深さの非正常スペクトル振幅の同時時間軸プロット

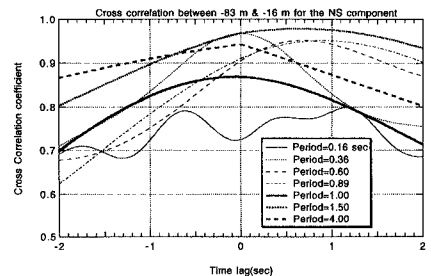


図5 非正常スペクトル振幅の相互相関係数