

宮城県船岡地区の地震観測記録に基づく 堆積盆地内の地震動増幅特性について

鈴木 猛康¹・金子 誉²・鄭 志誠²・神山 眞³

¹正会員 工博 (株)熊谷組技術研究所土木耐震研究グループ (〒300-2651 茨城県つくば市鬼ヶ窪1043)

²正会員 工修 (株)熊谷組技術研究所土木耐震研究グループ (〒300-2651 茨城県つくば市鬼ヶ窪1043)

³正会員 工博 東北工業大学土木工学科 (〒300-22 宮城県仙台市太白区八木山香澄町35-1)

宮城県柴田町船岡地区の堆積盆地内の地震動の伝播特性を把握することを目的として、KASSEMのセンターアレーと強震アレーの一部を組み合わせることにより、宮城県船岡地区の地震観測アレー「船岡アレー」を構成している。1998年9月15日に発生したM=5.1の直下型地震の際、堆積盆地の中央部と境界部で観測された地震動を解析した結果、これまでの海洋型地震による盆地の地震応答とは異なった挙動が認められた。また、不整形な堆積盆地特有の地盤震動特性が、とくに盆地境界部で顕著に認められた。

Key Words : *sedimentary basin, earthquake observation, three-dimensional array, vertical / horizontal spectral ratio*

1. 観測地点の概要

宮城県柴田町船岡地区の堆積盆地内の地震動の伝播特性を把握することを目的として、KASSEM¹⁾のセンターアレーと強震アレーの一部を組み合わせることにより、宮城県船岡地区の地震観測アレーを構成している。宮城県柴田町は仙台市の南約25kmに位置しており、仙台市のベッドタウンとして近年発展を遂げている。船岡地区は阿武隈川と白石川の合流部に位置し、ここに周囲を丘陵で囲まれた3角形状の堆積盆地が形成されている。

センターアレーはこの盆地中央よりやや西側よりに構成されている。図-1にセンターアレーの配置を示す。一辺約400mの正三角形の頂点の地表および軟岩上面(約地表面下60m)に速度計を配置し、さらにその三角形のほぼ図心位置に、地表面から深さ400mの花崗岩に到達する深さまでの6点に速度計を配置し、これらにより平面ならびに鉛直方向の地震動の伝播特性を捉えることのできる3次元的なアレーを構成している。一方、盆地の北端に近い白石川の左岸付近ならびに盆地の南端には、それぞれ船岡北、船岡南観測サイトを設置し、両観測点とも加速度計を地表面に設置して、盆地境界部における不整形地盤固有の地震動の観測を行っている。また、船岡南観測点の約1km東南では盆地の外周を構

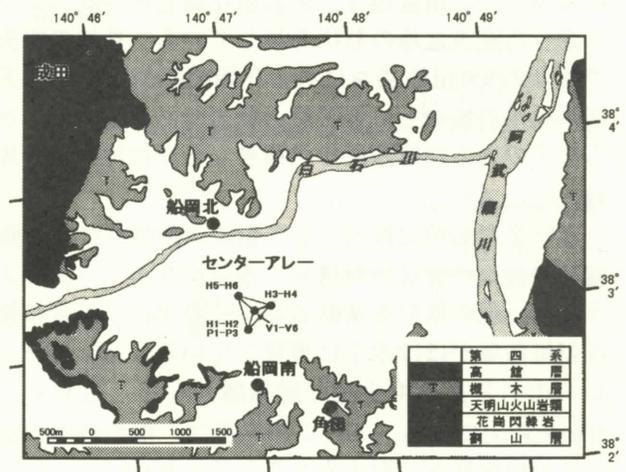


図-1 宮城県船岡地区の強震観測アレー

成する第三紀の軟岩層上の角田観測点が設置されており、さらに図の左上端に示す成田観測点はセンターアレーV地点の最下面を形成する花崗岩の露出地点で、岩盤の地震動を観測している。このように、センターアレーと4強震観測点で構成されるアレーは、堆積盆地に形成されている船岡地区の地震動を多面的に追跡できるように配置されており、これを称して「船岡アレー」と呼ぶことにする。

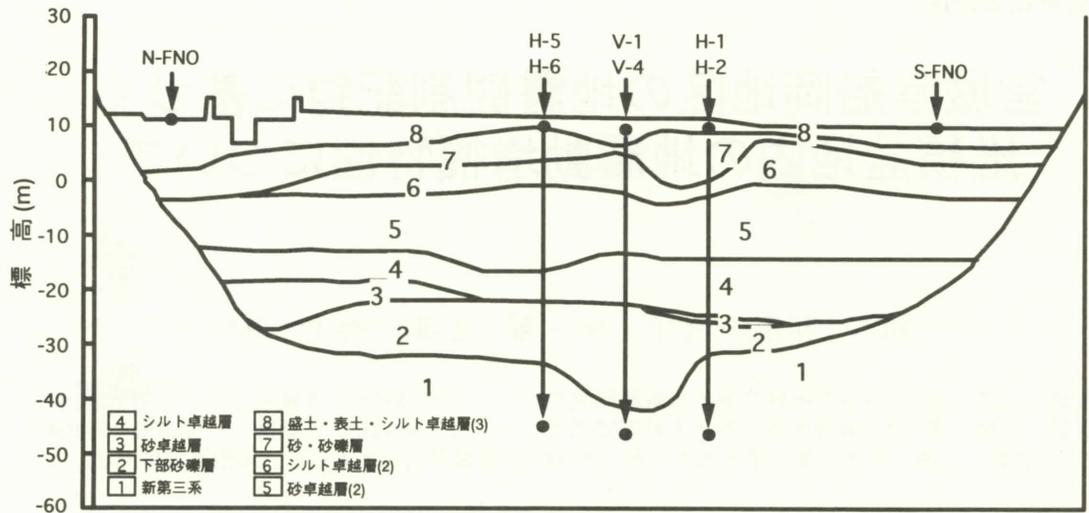


図-2 宮城県船岡地区の堆積盆地の表層地盤構造

2. 対象地域の地形・地質

船岡アレーのある宮城県船岡地区の堆積盆地の東には阿武隈川が流れており、さらにその東には割山隆起体が南北に走って丘陵を形成している。また盆地の南北ならびに西側は、第三紀の軟岩層である槻木層で構成される比較的低い丘陵で囲まれている。船岡地区の堆積盆地は、阿武隈花崗岩体のレベルが下がった陥没盆地の形状を呈している。盆地の中央で最深約500mの深さにある花崗閃緑岩ならびに天明山火山岩類の上に第三紀の軟岩である槻木層、さらにその上方に第四紀の洪積層ならびに沖積層が堆積している^{2),3)}。

図-2に船岡北観測点から船岡南観測点に至る直線上の盆地の表層地盤構造の推定図を示す。図のように第三紀の軟岩を基盤としてその上に不整合に第四紀堆積層がほぼ水平に堆積している。センターアレーのある盆地中央部で堆積層がもっとも厚く、50mを超えている。またこの場所は、他の地点と比べて沖積層厚が急変するところでもある。

これまでの地震観測ならびに常時微動の結果^{3), 4), 5), 6)}より、船岡地区の堆積盆地の地盤震動特性に関して以下のような知見が得られている。

(1) ローカルな表面波が発生し、これが盆地境界で反射を繰り返してビート状の波動の繰り返しとなる盆地特有の地盤震動特性を呈する。

(2) 角田観測点 (KKD) を分母とし、センターアレー地表観測点を分子とするスペクトル比として与えられる増幅特性は、常時微動の水平上下スペクトル比と比較的良好な対応を示す。

(3) 常時微動と地震観測記録は比較的良好に一致する。

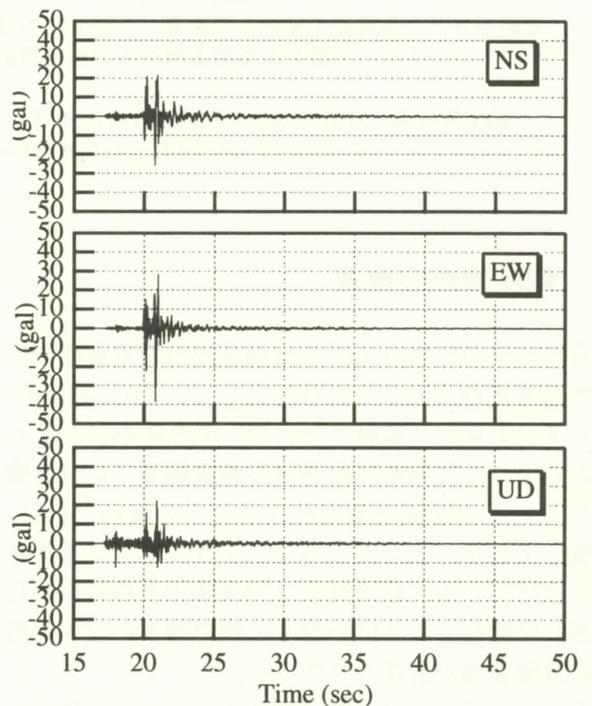


図-3 成田 (NRT) 観測地点の加速度記録

3. 観測記録

検討の対象とした地震記録は、1998年9月15日宮城県南部 (北緯38.3° , 東経140.8°) を震央とする M=5.1, 深さ約10kmの直下型地震によって船岡アレーで観測された記録である。図-3に花崗岩の GL. -25mにおける成田観測点 (NRT) の加速度波形を示す。図は震源に近い岩盤の地震動を代表するが、主要動の継続時間は1, 2秒で、また高周波数成分の卓越した波形であり、谷全体の卓越振動数1Hz程度の成分はほとんど含まれていない。

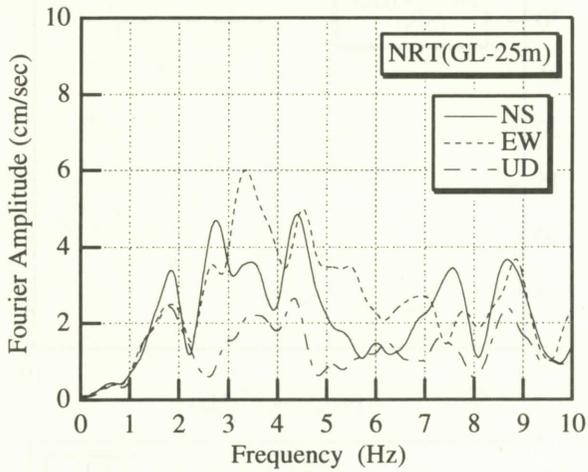


図-4 フーリエスペクトル (NRT)

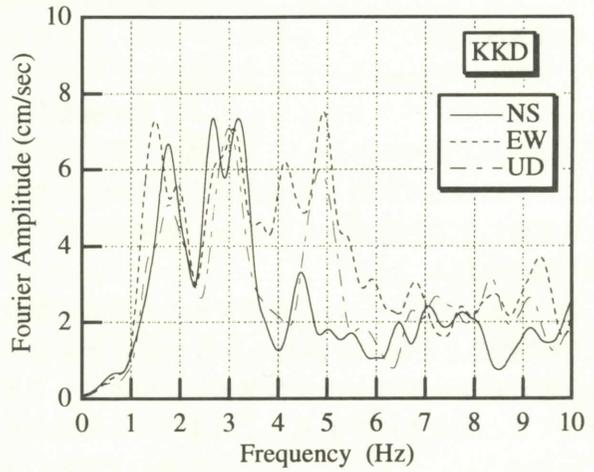


図-5 フーリエスペクトル (KKD)

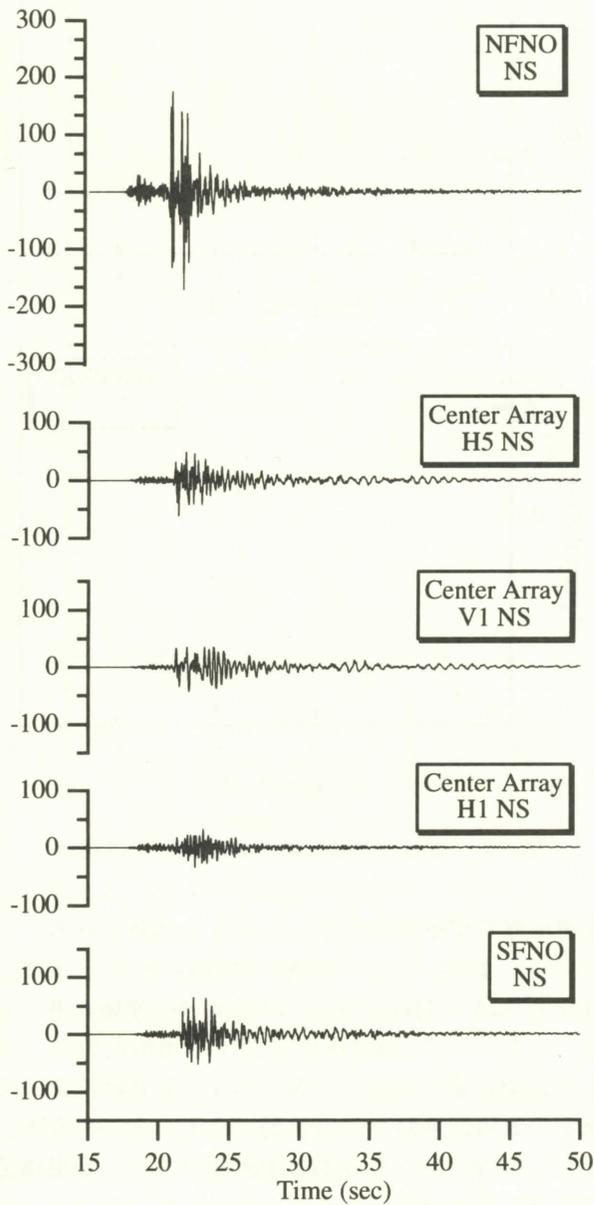


図-6 堆積盆地の地表面加速度時刻歴波形 (NS成分)

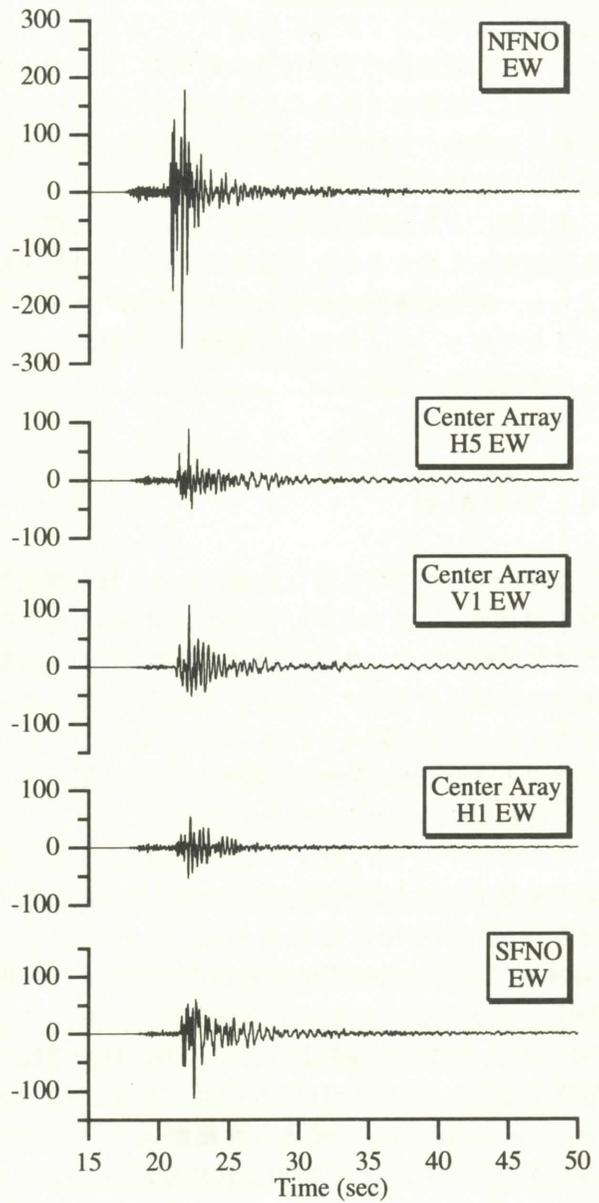


図-7 堆積盆地の地表面加速度時刻歴波形 (EW成分)

図-4は成田観測点(NRT)における加速度記録のフーリエスペクトル、図-5は角田観測点(KKD)の加速度記録のフーリエスペクトルを、それぞれバンド幅0.4のParzenウィンドウで処理したものである。どちらのスペクトルにも1Hzより低い振動数成分はほとんど認められない。また図から明らかなように、成田観測点に対して角田観測点では、盆地内の地震動によると思われる1~5Hzの振動数成分の増幅が認められる

図-6および図-7は、堆積盆地の地表面に配置したH3観測点を除く5観測地点の地表面加速度の時刻歴波形を、配置した位置関係(上方が北)を考慮してまとめたものである。これまでも確認されていたように、センターアレーの記録の主要動の後には明らかにビート状の波形が見られ、盆地の北方境界の基盤傾斜部で反射され、形成された波動が、盆地中央に向かって水平に伝播していることがわかる。一方、盆地南の境界付近の船岡南(SFNO)観測点では、境界部であるのにもかかわらず、やや長周期の地震動が比較的長く継続しており、船岡北観測点とは特性が異なっている。

本地震による観測記録の特徴は、通常地震では応答がもっとも大きくなる盆地中央部の加速度振幅よりも、盆地境界部における加速度振幅の方が大きいことであり、とくに船岡北観測地点(NFNO)で、この傾向が顕著である。

4. 解析結果

盆地中央と北端ならびに南端における地盤震動特性の相違を示すため、V1, NFNO, SFNO各地点の地震動増幅特性を、角田(KKD)観測点に対する盆地内の各地点のスペクトル比によって代表させて示すことにした⁵⁾。図-8にはこのようにして求めたスペクトル比のNS成分を、図-9および図-10にはそれぞれEW, UD成分を示した。

センターアレーV1地点では、水平動の1次の卓越振動数成分である約1Hzより5次までの振動数成分の増幅⁷⁾が明瞭に認められる。これに対してNFNOならびにSFNOでは、盆地の1次のせん断振動成分に小さなピークは見られるが、それよりも5Hzを超えるような振動数成分での地震動の増幅が顕著であり、とくにSFNOのNS方向の6Hzと9Hzの成分、EW方向の9Hzの成分の増幅が大きい。一方SFNOでは、5Hz以上の高周波数成分だけでなく、約2Hzにも高いピークが認められ、観測地点周辺の

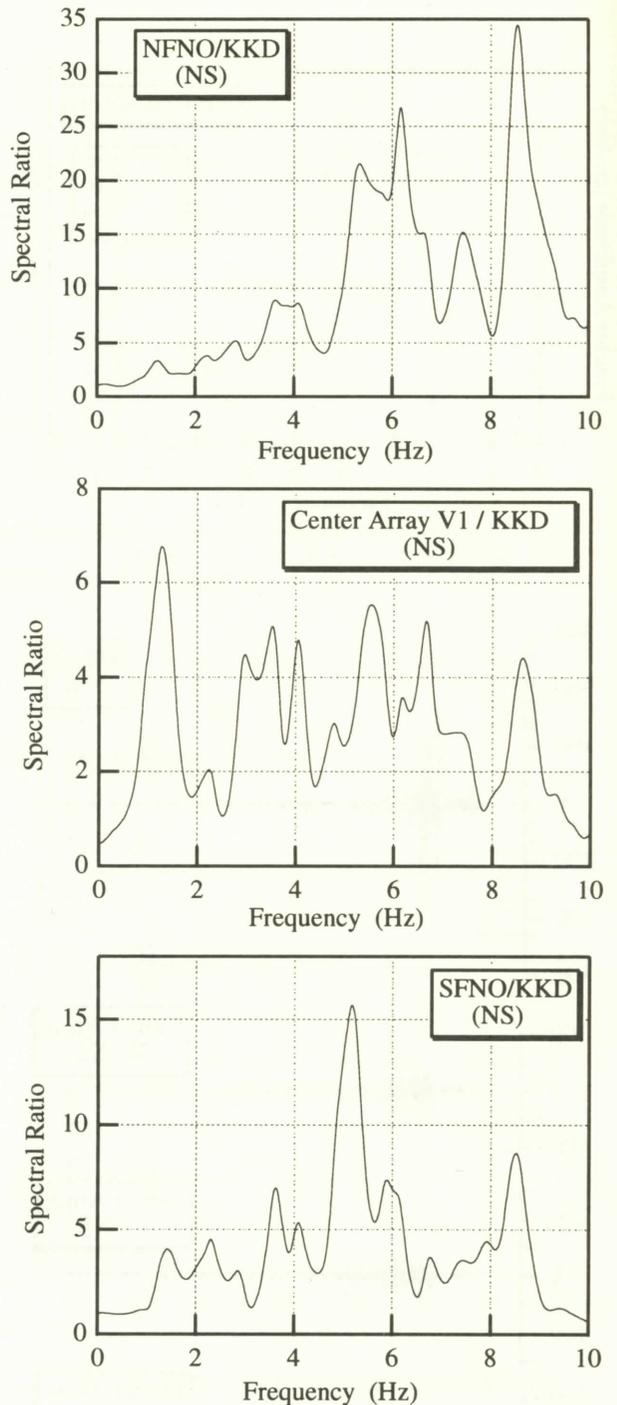


図-8 盆地内表層地盤の増幅特性(NS成分)

表層地盤の卓越震動を示していると判断される。

一方、鉛直(UD)成分の増幅に着目すると、SFNOでは5~7Hzに存在するUD成分の増幅が著しいが、このピークはNS成分に関する増幅特性のピークと完全に重なるので、NS方向の水平動によって発生する傾斜地盤特有の震動であることがわかる。しかしSFNOではこの傾向は顕著でなく、基盤構造が盆地の南北で異なることを意味している。

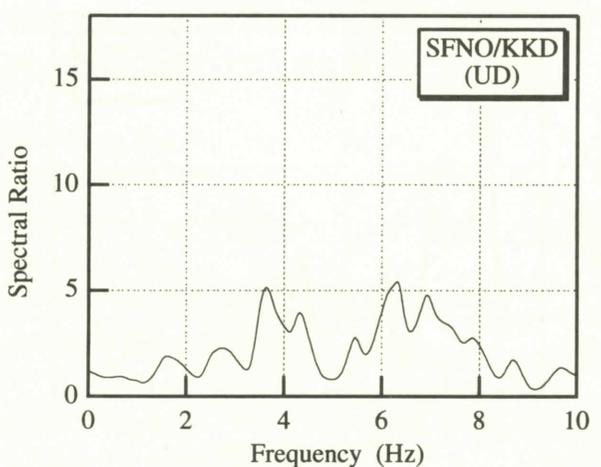
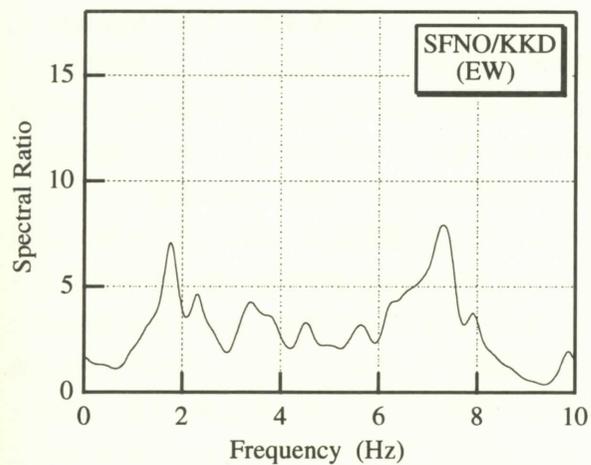
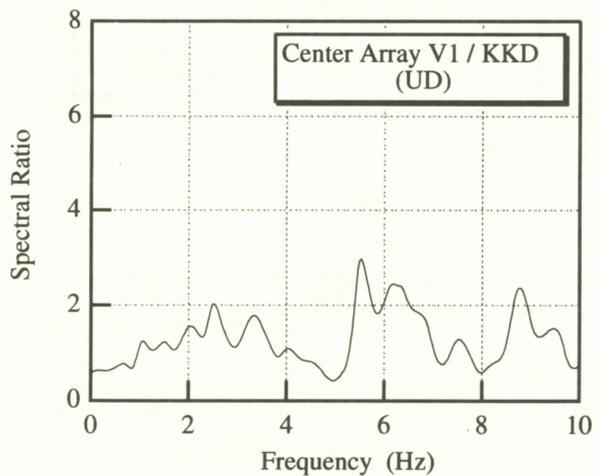
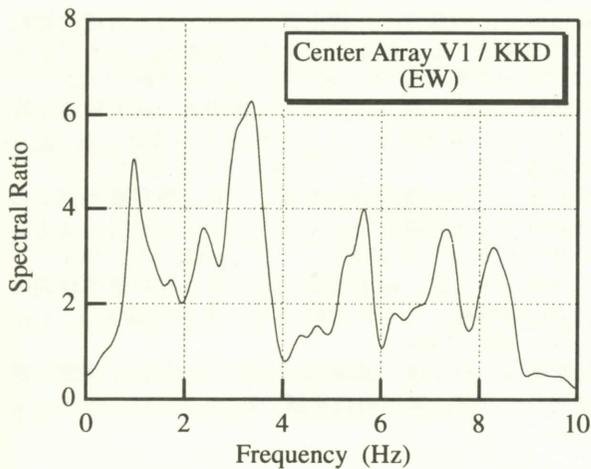
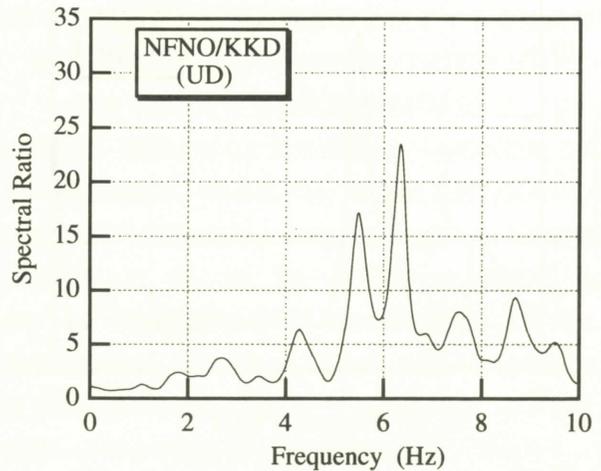
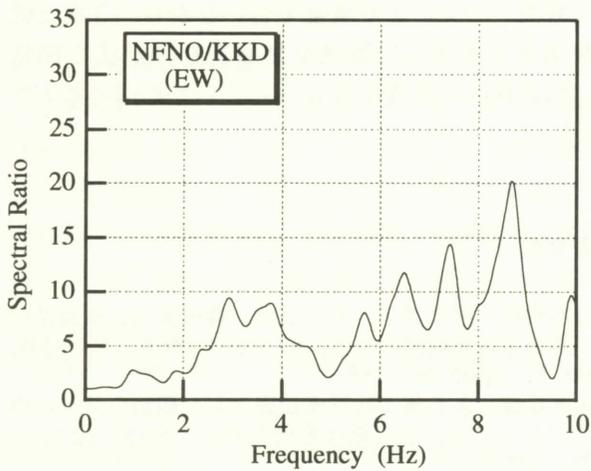


図-9 盆地内表層地盤の増幅特性 (EW成分)

図-10 盆地内表層地盤の増幅特性 (UD成分)

図-11には盆地内3観測地点における水平EW成分と上下成分との水平/上下スペクトル比を示した。センターアレーV1地点に関しては、スペクトル比は図-9に示したEW成分に関するV1/KKDとほぼ同様であり、常時微動の水平/上下スペクトル比と同様に、表層地盤の増幅特性を近似していることがわかる。

一方、NFNOやSFNOでは、水平/上下スペクトル

比は2Hzより低い振動数成分で大きなピークを有しており、図-8あるいは図-9では顕著ではなかった表層地盤のローカルな水平方向の増幅特性が顕在化していると考えられる。したがって盆地境界部付近では、傾斜基盤の存在によって上下動成分を伴った複雑な地盤震動が顕著となり、その結果、水平成分の増幅は、あまり顕著ではないことがわかった。

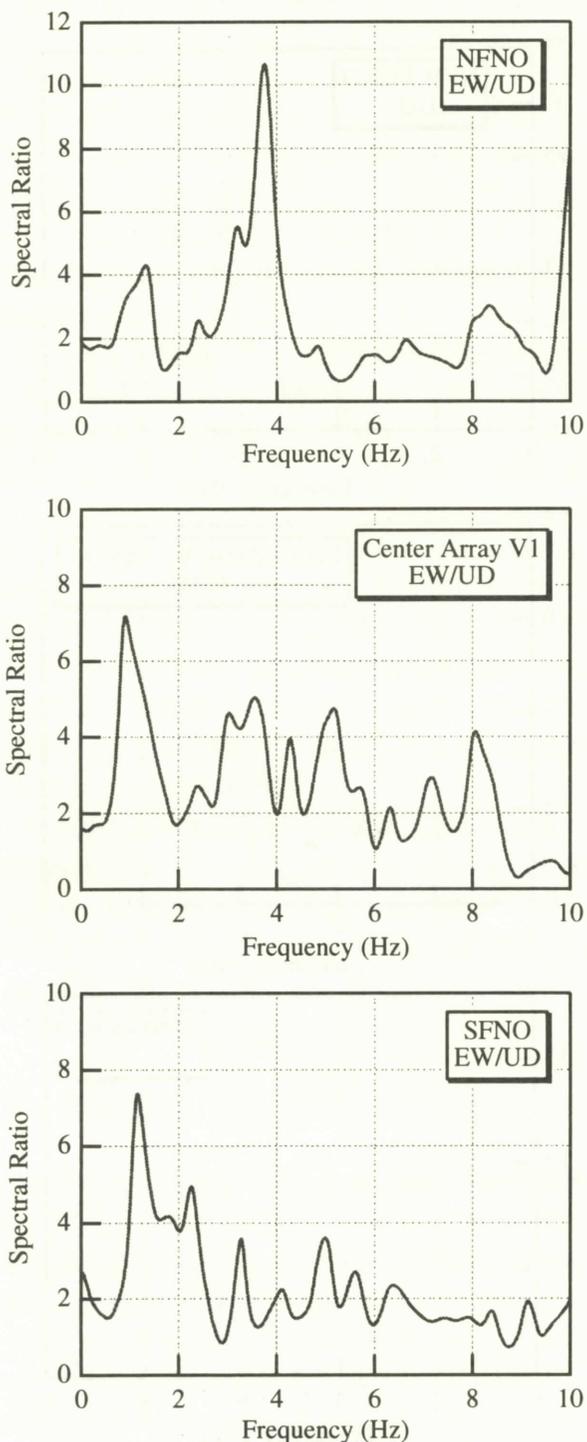


図-11 水平/上下スペクトル比

5. まとめ

本論文では、1998年9月15日に船岡アレーで観測された堆積盆地内の地震動記録を用いて、堆積盆地特有のローカルな地震動増幅特性を紹介し、考察を加えた。まだ3次元的な解析によって、各地点の地

震動を推定できるところまでには至っていないが、今後観測データによる検証を行いながら、3次元的地盤構造を考慮した簡便な地盤震動推定法を開発し、船岡地区の地震防災に役立てられればと考えている。

参考文献

- 1) 清水昭男, 阿部健一, 荒川信弘, 森田栄治, 渡辺弘行 : 熊谷組地震観測システム KA SSEM の概要, 熊谷技報, No.36, pp.85-96, 1985.
- 2) 鈴木猛康, 金子誉 : 熊谷組強震アレー観測システムのテレメータ化, 熊谷組技術研究報告, No.56, pp.119-125, 1997.
- 3) 粕田金一, 阿部健一, 神山真, 松川忠司 : 堆積盆地における水平アレー観測システムと観測例, 土木学会第47回年次学術講演会, 第一部, pp.784-785, 1992.
- 4) 阿部健一, 嶋田剛, 粕田金一, 神山真, 柳沢栄司 : 高密度アレー観測記録による位相速度の考察, 第7回日本地震工学シンポジウム, pp.475-479, 1986.
- 5) 鈴木順一, 神山真, 松川忠司 : アレー地震観測による増幅特性と常時微動 H/V スペクトルの相関, 土木学会第53回年次学術講演会, 1-B, pp.442-443, 1998.
- 6) 吉田勝, 神山真, 鈴木猛康 : 不整形地盤の地震観測と地震応答解析, 土木学会第53回年次学術講演会, 1-B, pp.448-449, 1998.
- 7) 鈴木猛康, 田中港 : 観測地震波を用いた表層地盤の動的物性の同定, 熊谷組技術研究報告, No.53, pp.11-17, 1994.