

基盤岩中における観測地震動について

国立防災科学技術センター 正会員 木下繁夫

1. はじめに

地震防災対策の確立のためには、目的地域における強震動の予測が重要な基本作業の一つとして行なわれなければならない。首都圏を含む関東平野部を対象とした場合、地表地震動が震源特性と伝播経路の効果及びその地表付近の局所的振動効果との時間及び空間領域における“拡大込み”であるとの解釈に基づき、次の三項目が基本的な部分作業となるであろう。(1)関東平野部の地質学的基盤とみなされる古才礫層と、これと対する軟弱な堆積層の地域の構成と速度構造と明らかにすること。(2)想定震源域における震源特性と伝播経路効果と明らかにし、基盤層における入射波の特性と整理すること。(3)軟弱表層の固体波及び表面波に対する振動挙動と計算出来るようにすること。

現在、これらの問題に対する多くの成果が発表されているが、(2)に関しては、基盤層内における観測例が少なく、基盤層内の実測記録に基づき整理はなされていない。本報告は、防災センター名義地殻活動観測施設(IWT)及び下総地殻活動観測施設(SHM)において観測された加速度記録に基づいて、基盤内観測波の特徴と考察したものである。

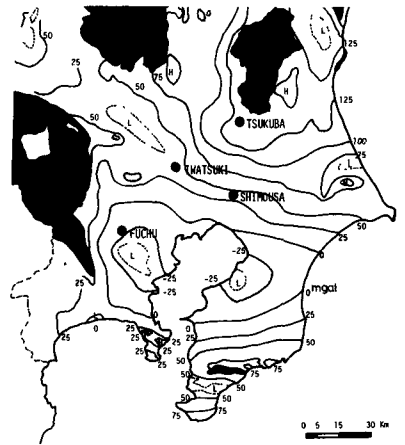


図1

2. 観測記録

関東平野において、地殻活動の観測を目的として基盤層内で振さくされた深井戸は四井ある(図1)。この内、防災センター名義(基盤まで2.8 km, 基盤層中0.7 km)及び下総(基盤まで1.6 km, 基盤層中0.8 km)では、平坦周波数域0.1-25 Hzの加速度観測を行っている。検振器の特性は、平度により多少変更されているが、固有振動数100 Hz、減衰定数0.6-0.7程度のカーブ型のものである。深井戸内の検振器から地表へのFM搬送及び増幅器・伝送系等を総合すると、S/N比は40 dBと多少上昇する程度となるため、高感度(最大0.5 gal)及び低感度(最大30 gal)の二系統で観測されている。

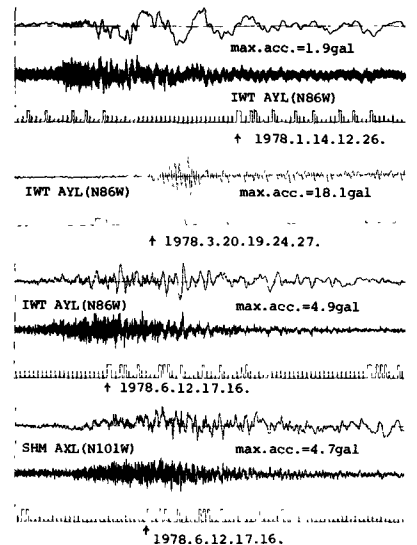


図2

図2は、1978年に観測された伊豆大高近海の地震(本震)、茨城県南西部の地震(M=5.5)及び茨城県沖地震(6月12日, 本震)の記録である。茨城県南西部以外の記録は、0.05 Hzとコーナー周波数として、-6 dB/oct. で減衰させた波形を付けた。ほぼ速度波に相当するものである。伊豆大高近海の地震において関東平野各地で観測された10秒前後のやや長周期の波は基盤層内において観測されている。

図3は、各観測点において観測された震源深さ100km以下の有感地震41個から求めたS波のみかけの速度である。北東方向に震源のある茨城県西部や福島県沖及び宮城県沖の方が、南西方向に震源域とすつ山梨県東部や伊豆半島周辺に比較して、地震の震源深さも大きく、みかけの速度も大きくでている。平均的に4km/sec程度である。

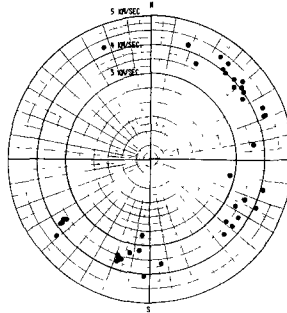


図3

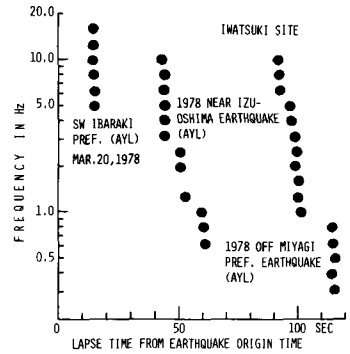


図4

3. フィルター・バンクによる特徴抽出

基礎名内における地震波の特徴と見出すため、古典的で符号と質する方法ではあるが、特徴と見出し易いバンドパスフィルタのバンクを用いた。使用したフィルタは、中心周波数が1/3 octaveで設定出来るもので、写像減衰定数の2.23、傾斜-40 dB/oct.のものである。図4は、図2における各観測の記録を用いたもので、各フィルタの出力のピーク時をプロットしたものである。遠方の地震では、数Hz程度以下に分散が顕著にみられる。ここでは、1Hzを越える波を対象として考察し、これ以下の波に関しては今後の課題とする。

図5は、比較的安定な出力を得る事が出来る中心周波数10Hzのバンドパスフィルタの出力を用いて、最大値の1/√2となる時間中とマグニチュード毎にプロットしたものである。後に述べるように、基礎名内における減衰は小さく、経路減衰の周波数依存性も顕著ではないから、震源の情報が期待出来る。試みに、マグニチュードに対する断層の長さとして3km/secの破断速度で割った継続時間と示した。その傾向に比較的良い対応がみられる。

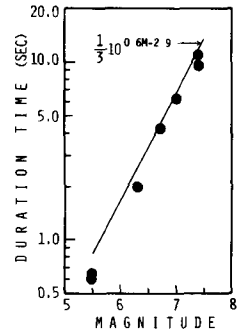


図5

図6において、 R_d は地震8成分についてフィルタの出力と指数形減衰と仮定して求めた減衰定数の平均値である。指数形減衰の仮定は工学的簡易さのためであり、特別な意味はない。また、三角印は、震研筑波山の記録を用いて、 coda トラッキングとそれらに突発波の基礎名内減衰と減衰定数へ書き直したものである。周波数に対する高域減少性や大局的な大まきの見積りは、モデル化に際して後に述べて思われる。また、 h_s は各観測の地表と108mとの同時観測から求めた卓越極の減衰定数であり、この場合は、表尺における1/2Qとみなせる。いくつかの報告にあるような高次減少性を示すが、基礎名内の減衰と比較して二桁の違いがみられる。

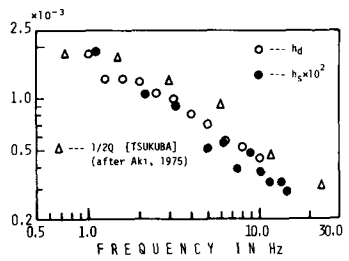


図6

図7は、図6の結果を用いて基礎名内の観測地震波の形状関数をモデル化したものである。低周波数域の方は1Hz程度が限度であるが、高周波数域の方はまだのぼることは可能と思える。図7において、主要高部の継続時間として、マグニチュード毎に図5の結果が使われる。主要高部の周波数特性は、図8に示すように顕著な特徴を示さないものが多いが、近距離の小

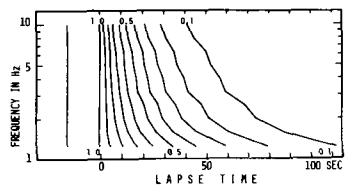


図7

地震では、高周波域に顕著なピークの現われるものがある。

図7は、データ数の不足のため、平均的なものとしてまとめられているが、本来は、マグニチュードと震源距離と

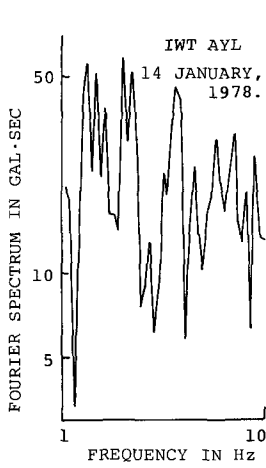


図8-1

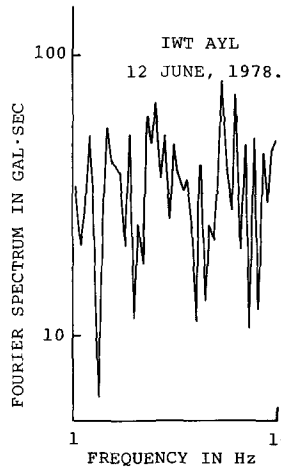


図8-2

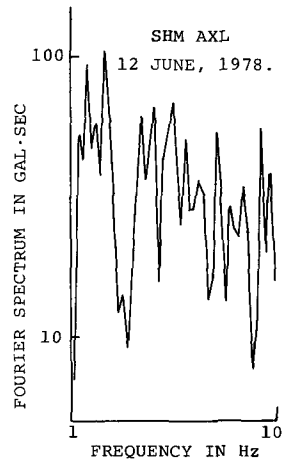


図8-3

用いてスケリング出来るように整理すべきものである。図8についても同様のことが言える。

4. 非減衰速度応答スペクトル

フィルタ・バンクでは、1秒以上の波長について思うよりの整理が出来る。ここでは、耐震工事の通例として、速度応答スペクトルを用いて整理する。減衰は非減衰とする。使用した地震記録は、震源深さ60km以下、震源距離400km以下の11地震のもので、マグニチュードは5.5以上とした。岩槻及び下総における記録の平均応答スペクトルである。図9にこれを示す。

図9において、距離による標準化はしていないが、マグニチュードの増加とともに応答スペクトルの中心振幅は長周期側へ移動していくことがわかる。試みに、ピーク周期をマグニチュード毎に単純にプロットしたものが図10である。この図だけから判断すれば、マグニチュード8程度の地震では、3秒前後程度の応答スペクトルの中心振幅が予想される。

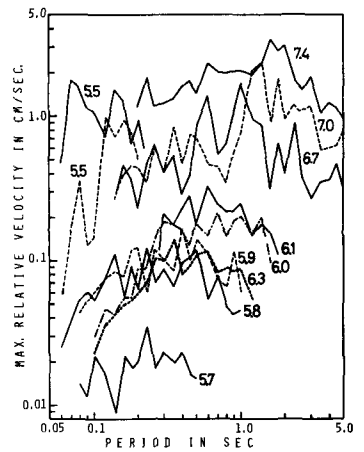


図9

図9は、基盤名内における観測波の応答スペクトルであり、基盤名内射波のそれではない。必要とされるのは、入射波の応答スペクトルであるから、観測波の応答スペクトルから何らかの方法でこれを推定せねばならない。図11に宮城県沖地震における岩槻及び下総の速度応答スペクトルを示す。下総の結果は、水平成分を合成して、岩槻のAYL方向へ合成した波の速度応答スペクトルである。全体としては良く似ているが、所々に谷が来ていっているのが目立つ。

地震で得られた地震記録を用いて基盤名内射波の推定を行う場合には、重複反射理論に従って計算するのが普通に行われる方法であろう。ここで

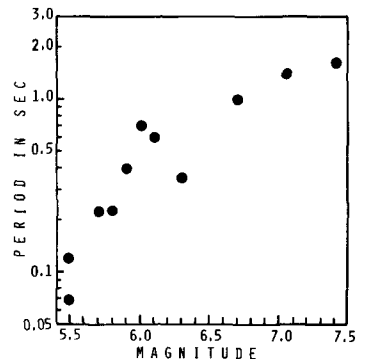


図10

多重反射理論に従って、基盤層内における入射波に対する観測波の波動伝達特性を考へる。図12は、推定された速度構造⁽²⁾を用いて計算した周波数特性である。減衰は $Q=50$ とし、垂直入射を仮定している。電震の位置は、入射波に対する地表観測波の波動伝達関数の対応する極と比較して、高周波側へ移動する。図11の1/初以上に述べた大きな谷は、図12の零長に相当するものである。図13は、1978年3月7日の東海沖深発地震における岩槻の記録のフーリエスペクトルである。図中に示した零長が図12-2における零長に相当する。従って、基盤内入射波の応答スペクトルを簡単に近似すれば、伝達関数の零長に相当する谷をうめて、スペクトル指中を半分にするだけでよい。減衰の補正は、図6のような周波数依存性が適当と思える。その大きさと1/初以上の波については今後の課題である。

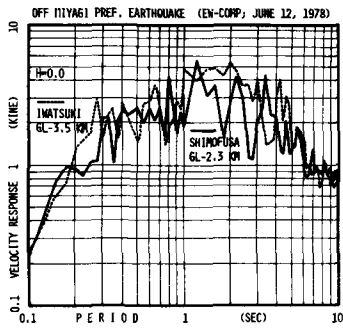


図11

5. 最大加速度

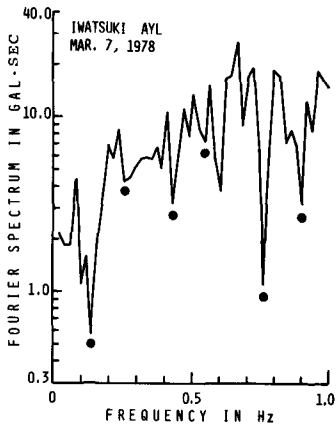
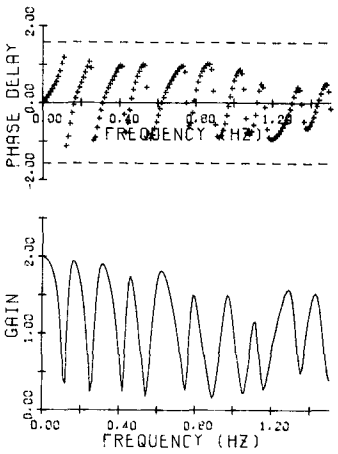
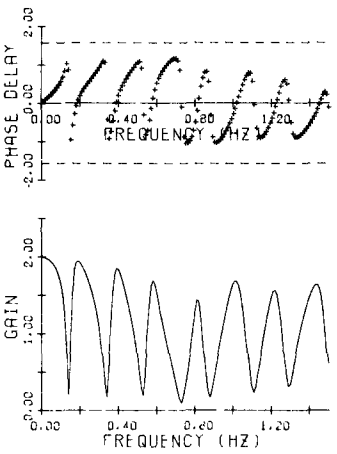


図12-1

図12-2

図13

最大加速度に図12は、議論出来る程データが少ない。参考のため、図14に得られた最大加速度と震源距離の関係をプロットした。

謝辞

岩槻及び下総両施設における加速度記録の使用に際して、地震防災研究室長 高橋末男氏及び伊藤健治氏にお世話になった。ここに記し、深く感謝いたします。

参考文献

- (1) 石井基裕 "関東平野の基盤" 石油技術協会誌, 27巻第6号, B6和37年10月, pp.405-430
- (2) K. Aki and B. Chouet "Origin of coda waves: Source, Attenuation, and Scattering Effects" Journal of Geophysical Research, Vol. 80, No. 23, August 10, 1976, pp. 3322-3342
- (3) 松田時彦 "三石断層から発生する地震の規模と周期について" 地震, 1, 28 pp. 269-280
- (4) Yamamizu, F. and N. Goto "Direct measurement of seismic velocities in deep soil deposits" Proceedings of the Japan Earthquake Engineering Symposium, 1978

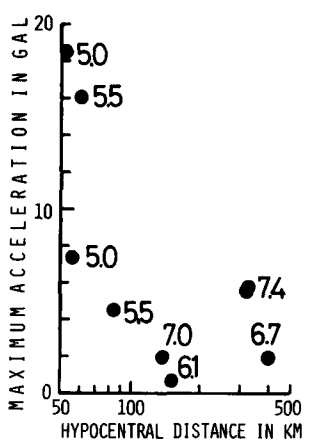


図14