

(27) 釧路市において実施した常時微動のアレー観測から推定した地盤特性と
地震観測記録のスペクトル特性の比較

佐藤工業(株) 正会員 末富 岩雄
〃 〃 中村 晋
〃 〃 吉田 望

1. はじめに 1993年釧路沖地震では地形・地質条件により釧路市内でも被害・アンケート震度が大きく異なった。釧路市における地震動増幅特性を明らかにするために、我々は常時微動のアレー観測を実施し、釧路市低地部におけるS波速度構造を推定した¹⁾。一方、ESG研究委員会では23地点における様々な機関による共同地震観測²⁾を1993年8月末より1995年3月まで実施した。観測期間中に、釧路市では約200もの有感地震があり、1994年北海道東方沖地震(M=8.1)など震度ⅠからⅥまでの貴重な記録が得られている³⁾。本研究では、我々が常時微動観測により推定した地盤モデルの増幅特性と、ESG研究委員会・地震観測部会による地震観測記録のスペクトル特性を比較する。

2. 北海道東方沖地震の観測記録の特性

1994年北海道東方沖地震で観測された最大加速度と震央距離の関係を図-1に示す。既往の距離減衰式⁴⁾と比較すると、観測値の方がかなり大きい。この傾向は他の経験式を用いた場合でも同様であり、M8クラスで震央距離が200km以上というのは回帰分析に用いたデータの範囲外であり注意を要するものの、北海道東方沖地震の大きな特徴である。●で示したのは、釧路市内の観測点であり、ESG研究委員会による共同観測では、低地部で15点、丘陵部で8点の計23点の内、17地点で北海道東方沖地震の記録を捉えた。これら釧路市内の観測点に限っても、地盤条件によりかなりの差が見られる。道路橋示方書の式は様々な地盤での平均値ではあるが、地盤種別による差よりも観測値の差はかなり大きい。ESG研究委員会による観測点はいずれも小学校等の建物内の観測点であり(特に、TTR、KCHは地下1階)、また地震計も様々である⁵⁾ことにより観測値の差が拡大されている可能性もある。

釧路市東部の観測点における最大加速度振幅、最大速度振幅、最大変位振幅、SI値(減衰5%)を図-2に示す。なお、図中の値は、0.1~30Hzのバンドパス・フィルター処理を行い、水平2成分を合成した値である。棒の高さはKMBを規準としたものである。丘陵上での最大加速度の方が低地での値よりも大きい。特に、1993年釧路沖地震で900galを越える最大加速度を示した釧路気象台での最大加速度は475galであり、共同観測地点のものよりも大きい。この丘陵地等沖積層が薄いところの方が低地部の沖積層が厚いところよりも最大加速度が大きくなる現象は、図-1において、2種地盤の値の方が3種地盤の値よりも大きいということから、釧路市に限ったことではないと考えられる。

一方、最大速度、最大変位、SI値については、最大加速度のような顕著な傾向は見られない。1993年釧路沖地震の際の釧路気象台および1994年三陸はるか沖地震の際の八戸測候所での最大速度振幅は30~40cm/s程度である。1995年兵庫県南部地震の際には、被害が小さい地点でも50cm/sを越え、被害が大きい地点では100cm/sを越えているようである。したがって、個々の建造物の被害は別として全体的な被害の大きさと対

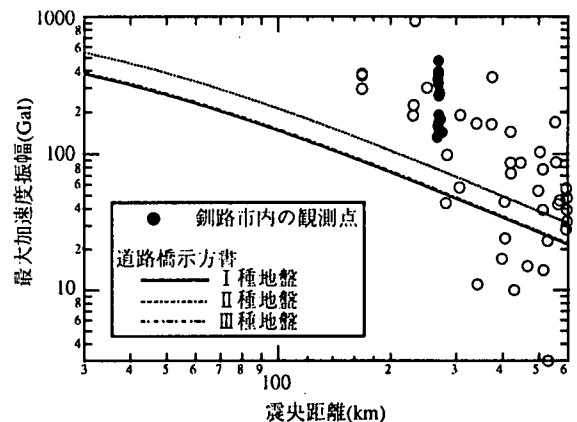


図-1 1994年北海道東方沖地震における最大加速度の距離減衰特性

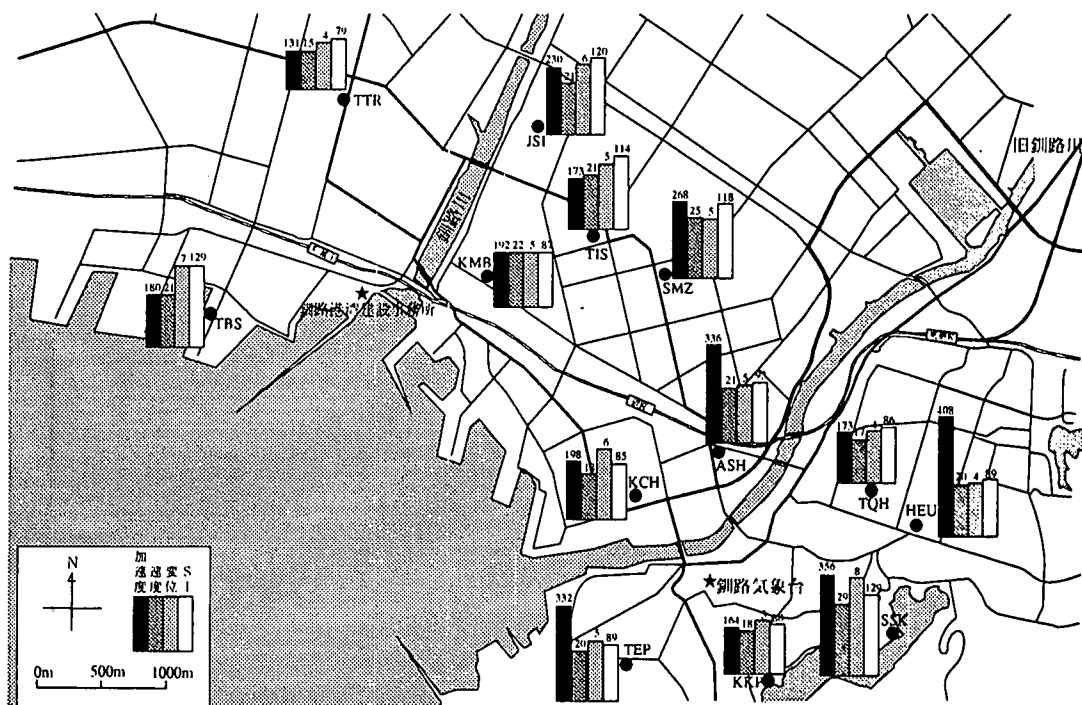


図-2 釧路市東部の観測点の北海道東方沖地震における特性値の比較
(棒の高さはKMBを基準にしたものである)

応は、最大加速度よりも最大速度の方がよく対応し、最大加速度が同程度であっても被害には大きな差が生じるものと考えられる。また、釧路気象台では $V_s=150\text{m/s}$ 以下の層（火山灰）が5m程度存在しており⁹⁾、丘陵上といえども、表層と基盤のコントラストが大きいために、地震動は大きく増幅され得るであろう。このような地点は他にも存在すると考えられ、例えば1994年Northridge地震の際のTarzanaも同様のメカニズムではないかと思われる。

3. KMBにおけるS波速度構造の推定

我々は常時微動のアレー観測により美原～木場地区のS波速度構造の推定を行った⁹⁾。同様に、我々が担当した地震観測地点KMBでも常時微動のアレー観測（半径20m）を実施している。得られた位相速度分散曲線と推定地盤モデルを図-3に示す。宮腰らによる我々よりもアレー径が大きい微動観測の結果⁷⁾によれば、深度約100mに $V_s=780\text{m/s}$ の浦幌層があるということなので、浦幌層を $V_s=800\text{m/s}$ の基盤とした。この層まで考慮することにより、観測値と理論値はよく対応する。次に述べるスペクトル特性も同様である。我々が行った他の常時微動観測地点についても、浦幌層のS波速度を800m/sとすることで改善されると思われ、今後検討を行う予定である。

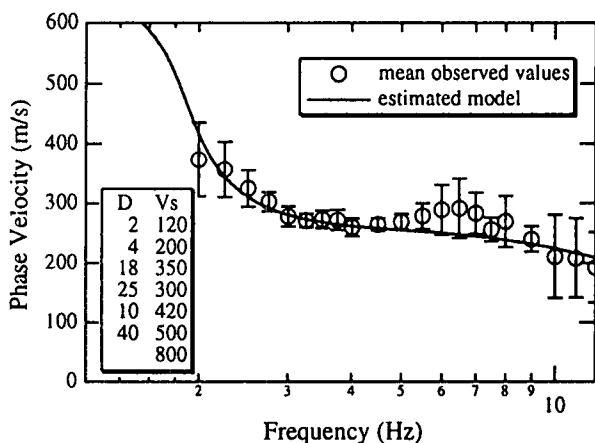


図-3 KMBにおける位相速度分散曲線

4. 低地部の観測点のスペクトル特性

表-1 地震観測地点のS波速度構造モデル

1994年3月までに複数の地震で観測されており、かつ北海道東方沖地震の記録が得られている低地部東部の5地点（ASH, SMZ, TIS, KMB, JSI）での観測記録のベクトル・フーリエ・スペクトル⁹⁾を図-4に示す。解析区間はTrifunac¹⁰⁾による継続時間（加速度時刻歴の累積自乗和の値が5%を越えてから95%を越えるまでの時間であり、

層分類	S波速度 (m/s)	層厚(m)				
		ASH	SMZ	TIS	KMB	JSI
表土	120	2	2	2	2	4
最上部層	200	6	6	5	4	2
上部細礫層	350	9	17	18	18	16
中部泥層	300	9	24	27	25	32
下部礫層	420	0	11	13	10	20
釧路層群	500	0	10	20	40	40
浦幌層群	800	—	—	—	—	—

本検討では40秒前後であった）とした。観測点に近い場所でのボーリング・データに基づき、表-1に示すように定めた層構造から求めた伝達関数を合わせて示す（S波速度はすべてKMBと同じ値を用い、減衰は全層とも5%とした）。いずれの地点でも最も振幅が大きい北海道東方沖地震本震の記録の卓越振動数は、弱震動でのスペクトルに比べて低周波数側に移っており、地盤の非線形の影響が見られる。KMBについては、1994年8月31日(M=6.5)、1994年10月9日(M=7.3)など釧路での震度がⅣ、Ⅴの記録も図示している。KMBでは他の地点に比べ地盤の非線形化は顕著ではないが、概ね震度Ⅳ以上（KMBで20gal以上）で、それより小さい地震のスペクトルに比べて卓越振動数が低くなっている。

伝達関数の卓越周波数と地震観測記録の卓越周波数はよく対応している。また、川瀬・佐藤¹¹⁾は、釧路気象台でのボアホール記録を用いて、複数の地点で弱震動データのスペクトル比による増幅特性評価を行っている。重複しているサイトJSI, TISについては川瀬らによる増幅特性の卓越周波数と本研究で評価した伝達関数の周波数特性とよく対応している。ASHについては、1994年北海道東方沖地震の非定常スペクトルを分析した結果、3Hzでは他よりも長い時間大きなパワーが続いており、3Hzの成分は地盤の増幅の影響であると指摘されている¹²⁾。これについてもよく対応しており、常時微動のアレー観測に基づくS波速度構造モデルは概ね妥当であると思われる。しかしながら、SMZにおけるPS検層結果¹³⁾によれば、上部細礫層、中部泥層のS波速度はもう少し小さく、また下部礫層、釧路層群は極薄いか存在しないようである。中間層のS波速度が小さくなって基盤が浅くなっても、観測記録の周波数特性を説明できるので、常時微動のアレー観測の結果と合わせて各層のS波速度について再検討する必要がある。

5. おわりに まだ増幅特性の評価（基盤地震動の評価）を行っていないので詳細な議論はできないが、常時微動のアレー観測に基づくS波速度構造モデルが概ね妥当であること、北海道東方沖地震の記録に地盤の非線形化の影響が見られることがわかった。今後、S波速度構造を修正して地盤の増幅特性の評価を行い、S波速度・減衰の詳細な評価を行い、さらに地盤の非線形化によるそれらの物性の変化について検討を行う予定である。

本研究においては、ESG研究委員会・地震観測部会による観測記録を使用した。観測に努力されたメンバー各位および観測点を提供していただいた釧路市の関係機関に感謝の意を表します。また、ボーリング柱状図を提供していただいた釧路市下水道部のご好意に感謝いたします。

参考文献

- 1) 末富岩雄他；釧路市緑ヶ岡～美原地区における常時微動アレー観測により求めた浅層地盤構造、第9回日本地震工学シンポジウム，pp.151～156，1994年12月
- 2) ESG研究委員会；釧路市における共同強震動観測データ集Ⅰー，1994年9月
- 3) ESG研究委員会；釧路市における共同強震動観測ー1994年北海道東方沖地震ー，1995年5月
- 4) 強震観測事業推進連絡会議；強震速報No.44，1994年12月
- 5) 日本道路協会；道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，1990年2月
- 6) 建設省建築研究所；釧路地方気象台敷内地盤調査結果，JSEEP NEWS，No.136，pp.56～60，1994年5月
- 7) 宮腰研他；微動探査法による釧路市の地下構造の推定，文部省科学研究費試験研究(B)研究成果報告書，

地震時の地盤震動特性評価のための微動の活用に関する研究, pp.163~166, 1994年3月

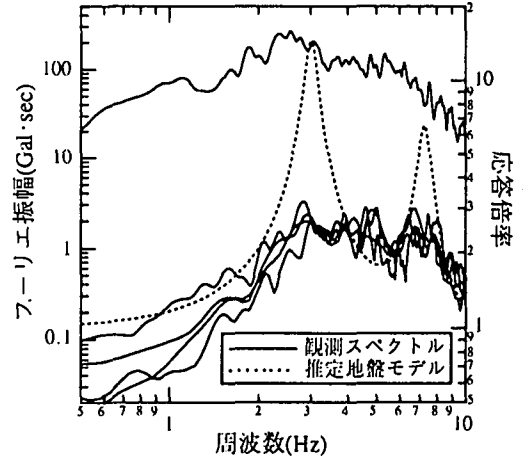
8)中村晋;ベクトルスペクトルによる水平地震動の周波数特性評価の提案,土木学会第49回年次学術講演会, pp.1392~1393, 1994年9月

9)Trifunac,M.D. and A.G.Brady; A study on the duration of strong earthquake ground motion, B.S.S.A. No.65, pp.581-626, 1975

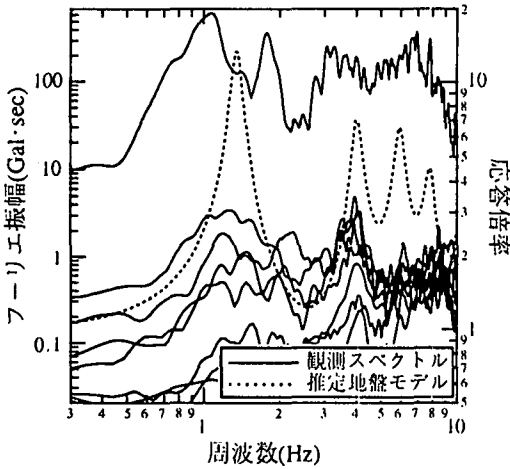
10)川瀬博・佐藤智美;ESG研究委員会による弱震動データを用いた釧路市における地盤増幅特性の検討,地球惑星科学関連学会1995年合同大会予稿集, p.602, 1995年3月

11)佐藤吉之・長能正武;釧路市旭小学校における1994年北海道東方沖地震記録のスペクトル特性について,地球惑星科学関連学会1995年合同大会予稿集, p.155, 1995年3月

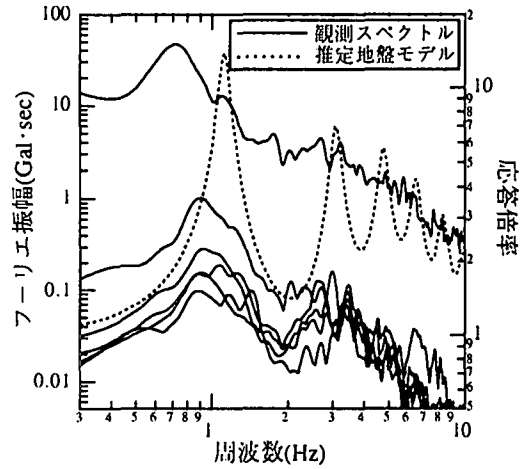
12)片岡俊一;釧路市鉄北地区の地盤震動特性—ESG釧路共同強震観測グループの活動から—,土木学会第50回年次学術講演会, 1995年9月(投稿中)



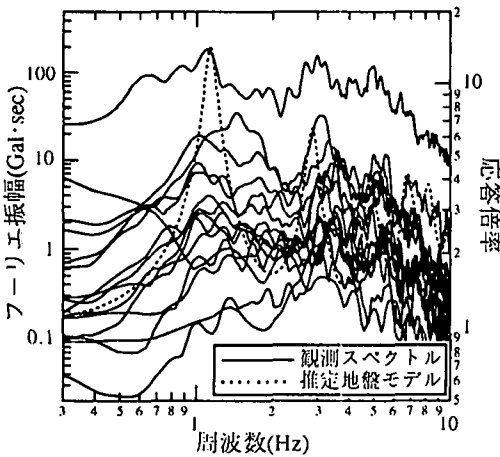
(a) ASH



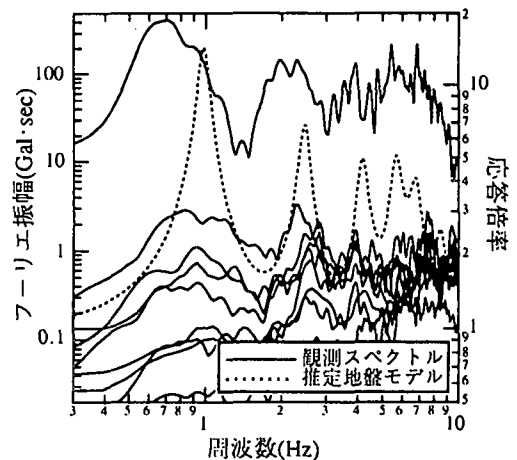
(b) SMZ



(c) TIS



(d) KMB



(e) JSI

図4 地震観測記録のベクトル・フーリエ・スペクトル