

I—12 地震観測記録による地盤特性に関する一考察

北海道開発局土木試験所 正員 佐藤 昌志

” ” 吉田 統一

1. はじめに

北海道開発局（道路部門）では、昭和41年千代田大橋に強震計を設置して以来、その設置数は現在までに25ヶ所に至っている。静内橋、別海橋、釧網跨線橋、白鳥大橋にはそれぞれAJE301A型、JEP3010型、PTK130型、AJE306型の地中地震計が設置されており強震観測を行っている。

一般に地震応答解析を必要とする構造物においては、設計に資するための波形特性、最大加速度等の選定が重要な要因となる。北海道の場合は主に、太平洋沿岸において地震の発生頻度が高い地質構造を有すると共に、特に構造物架設地点の地層においては泥炭等の極軟弱層を含む場合が多いため、地震の発生源から工学的地震基盤（以下基盤という）、その基盤から地表に至るまでの波形伝般特性を把握しておくことは、耐震設計に際し有力な資料となることと考えられる。

この様なことから、上記の4ヶ所において得られたデジタル化済みの強震観測記録の波形解析（定常スペクトル解析）を行ない、基盤および地表の波形特性、地盤の伝達特性を検討した。また、地盤の伝達特性については、土の非線型特性を等価線形に置き換えた重複反射理論により釧網跨線橋を除く3ヶ所において理論計算を行ない実測値との比較検討を行なったので報告する。

2. 調査対象地震と強震計設置点の地盤

図-1に強震計設置点と観測地震の発生源の関係を示した。静内橋においては、7震源16成分（1日に2度観測されているものを含む）、別海橋は8震源16成分、釧網跨線橋は4震源8成分を検討の対象としている。白鳥大橋に関しては日本海中部地震の本震である。

図-2は白鳥大橋を除き、観測された地表の最大加速度を道路橋示方書（耐震設計編）の震央距離～最大加速度関係に準じプロットしたものである。また同図の右には基盤で得られた加速度を示した。静内橋で6～41 gal、別海橋で14～85 gal、釧網跨線橋においては1～3 galの加速度を記録している。

図-3には、強震計設置地盤の地層図、

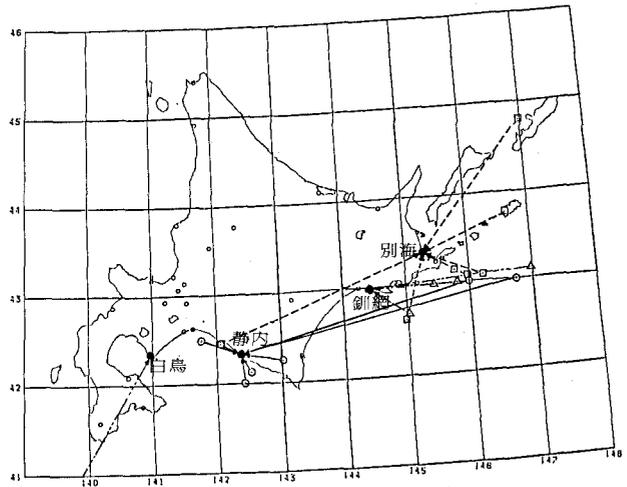


図-1 解析地震発生源図

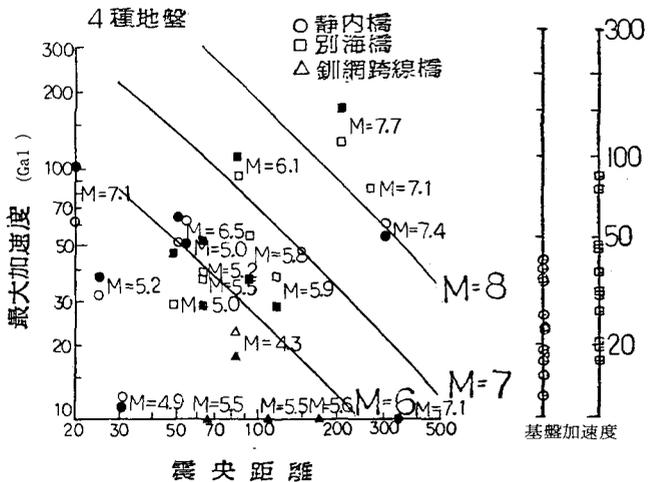


図-2 △～最大加速度図

図-3 強震計設置点地層図

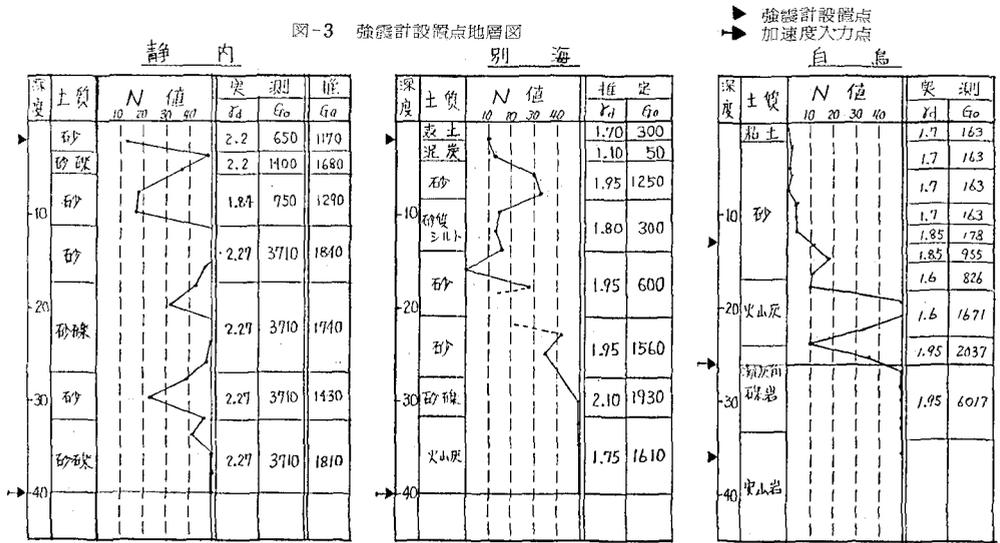


図-4には各地層のG/Go~r曲線を示した。静内は沖積砂地盤でN値から推定する限り比較的良好な地盤であるが、別海では厚層2mの泥炭を含んでおり、白鳥でN値の小さい層は埋立土となっている。rd, Go, G/Go~r曲線は静内、白鳥で実測値が得られているが、別海は参考文献1), 2)により推定したものである。

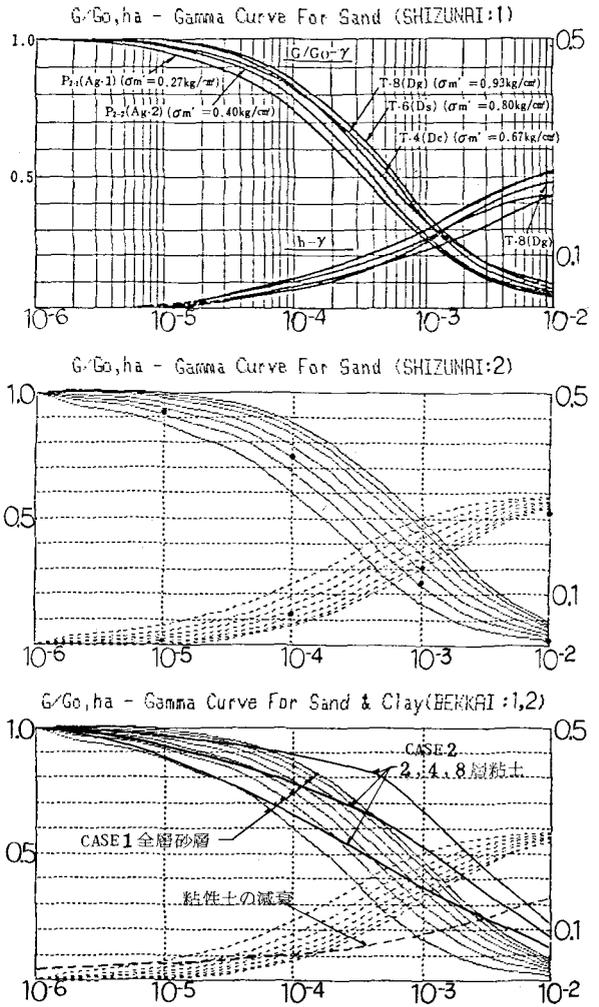
3. 解析検討事項

- ① 静内, 別海町, 白鳥大橋における解析地盤特性の検討
- ② 観測された記録の定常スペクトル解析及び地盤の伝達特性
- ③ 観測記録の解析値、理論解析値との比較検討

②においては、定常フーリエスペクトルにて解析を行なった後、帯域周波数を0.3 Hzとしてパーゼンウィンドウを用いスペクトルの平滑化を行なっている。また基盤から地表までの周波数伝達特性(Tr(w))は以下の式-1を定義とし求めている。

$$Tr(w) = F_s^*(w) / F_B^*(w) \quad (式-1)$$

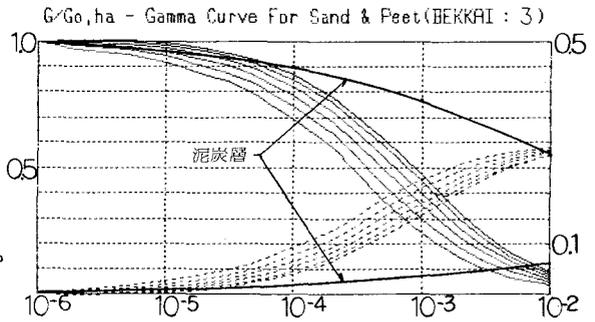
但し $F_s^*(w)$, $F_B^*(w)$ は平滑化された表層および基盤(強震計の設置されている位置)の定常フーリエスペクトルである。



4. 解析結果

① 静内, 別海橋, 白鳥大橋における地盤特性の検討

白鳥大橋: 図-5(1)に当地点で観測された1.3m橋軸方向のフーリエスペクトルおよび1.3m~2.6m間における地盤の周波数伝達特性を示した。図-5(2)は図-3および図-4の物性値を用い1.3mにおけるそれらを解析したものである。伝達周波数のピーク点は比較的良く一致している。



静内橋: 図-6(1)に観測記録

録で得られた基盤および地表(2m)の波形スペクトル、周波数伝達特性を示した。図-6(2)は解析値で上から順にcase 1: 実測された土の非線形特性、Go, rdを用いた場合、case 2: Go, rdは実測値を用い非線形特性を推定した場合、case 3: 上記の物性値をすべて推定した場合について示したものである。

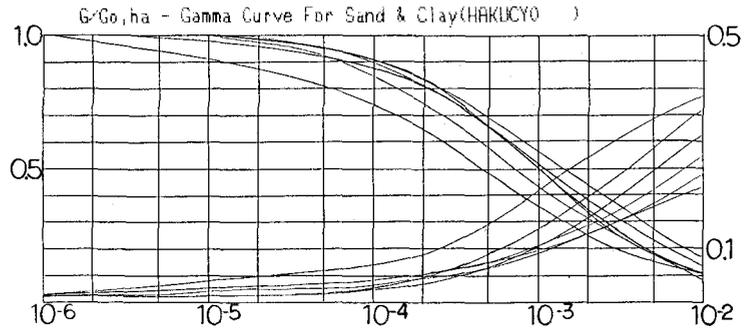
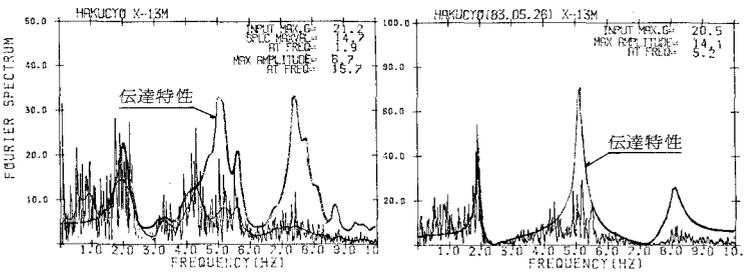


図-5~(1)

図-5~(2)

case 1は実測値を用いていることから解析波形特性、周波数伝達特性はおおよそ合っているものと考えられる。case 2は土の非線形特性を推定したものであるが、case 1とおおよそ同じ傾向を示し、他の入力加速度の算定例でも同様の結果を得ている。従ってGoが適確に推定できれば良好な結果を得得るものと考えられる。



別海橋: 図-7(1)には図-6(1)と同様のものである。図-7(2)は解析値で土の非線形特性およびGo, rd等の物性値はすべて推定したものである。case 2: 地盤をすべて砂層を考えた場合、case 2: 泥炭層、シルト層を粘性土と考えた場合、case 3: 泥炭層以外を砂質層、泥炭のGo/G, h~r曲線を図-4のBEKKAI 3 (文献2)によった場合である。case 1, 2において解析した地盤の周波数伝達特性については大きな差はないものと考えられるが、観測値で最大加速度を与える4 Hz付近の増幅特性に微妙な差があることから解析値における最大加速度はcase 1で72 gal, 2で126 galと大きな差がでていた。また両caseとも実測値との整合性は得られていない。これに対しcase 3で層厚2m程の泥炭特性を考慮することにより地盤の周波数伝達特性は大きく異なり増幅のピークを与える周波数、並びに増幅度は比較的観測値に近い結果を与えている。この様なことから泥炭等の極軟弱層を含む地盤での波形特性を理論的に求めるにはその物性値、特性について注意を払う必要がある。

② 観測された記録の定常スペクトル解析および地盤の伝達特性

図-8(1)~(3)に静内橋, 別海橋, 釧網跨線橋におけるフーリエスペクトルの平均値を示した。個数は両者2橋に関しては16成分、釧網については8成分である。また同図中には、震央距離、マグニチュード、地震の伝播経路等、基盤の加速度、波形特性に関係する要因は無視したもとの各周波数ごとの不偏分散を求めた後、t

図-6~(1)

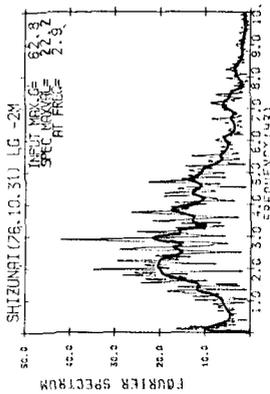


図-6~(2)

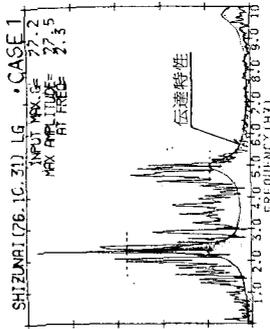


図-6~(1)

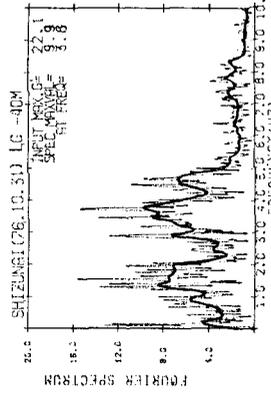


図-6~(2)

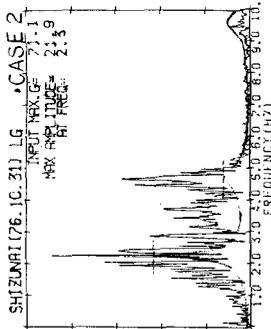


図-7~(1)

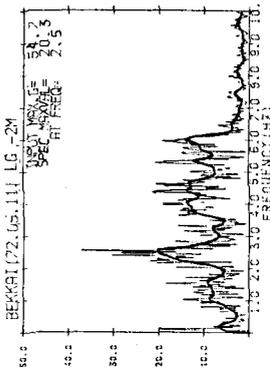


図-7~(2)

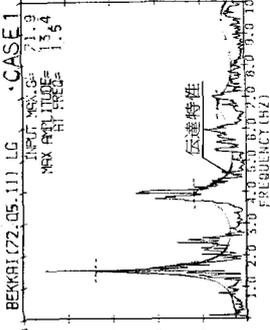


図-7~(1)

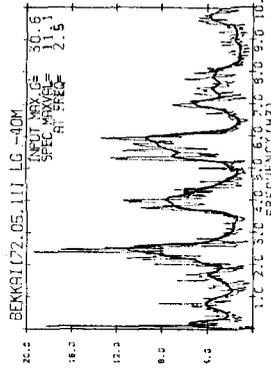


図-7~(2)

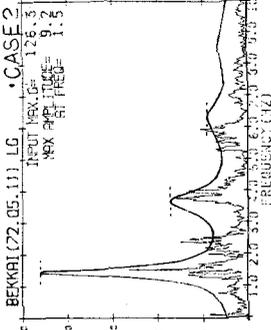


図-7~(1)

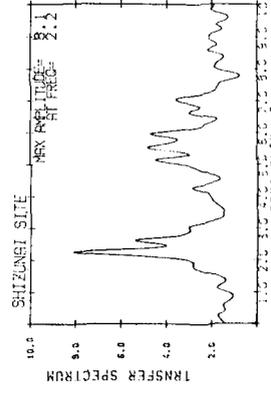


図-7~(2)

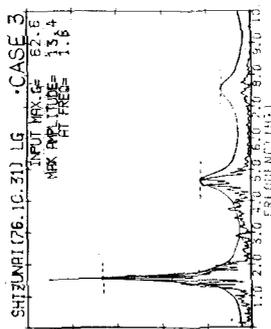


図-7~(1)

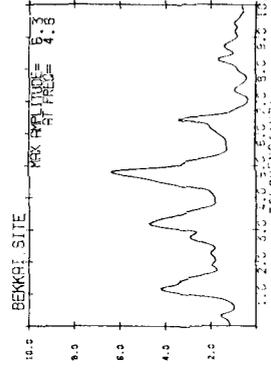


図-7~(2)

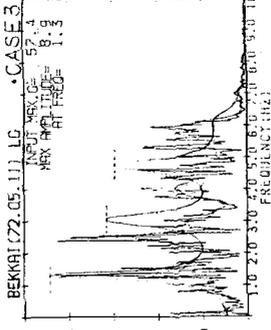


图-8~(1)

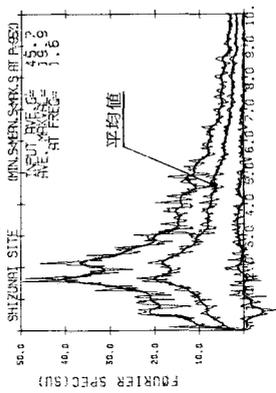


图-8~(2)

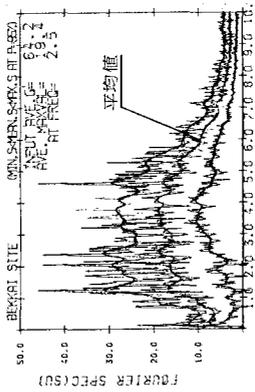


图-8~(3)

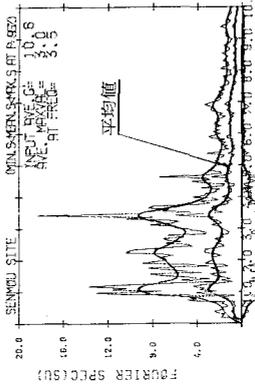


图-9~(1)

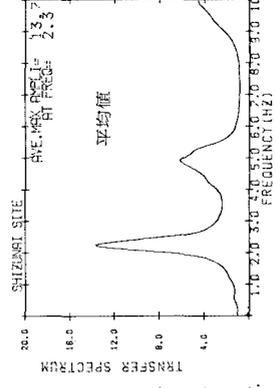
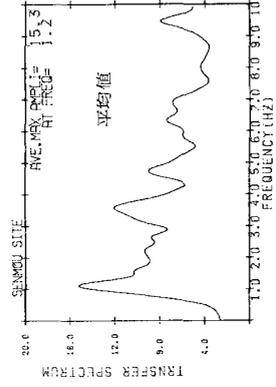
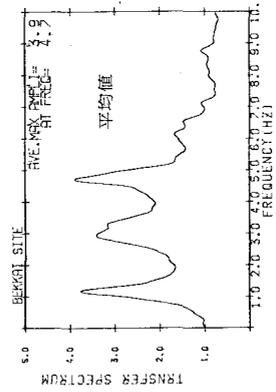
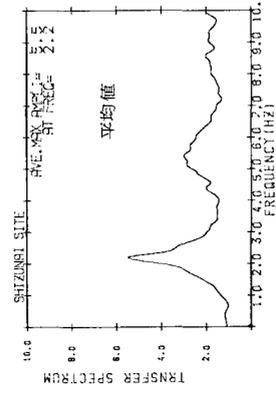
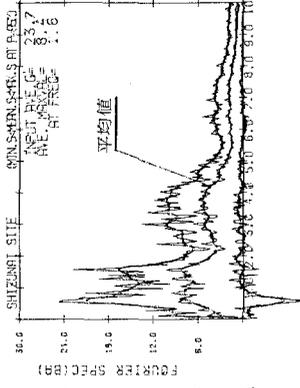
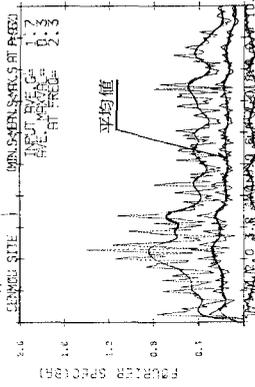
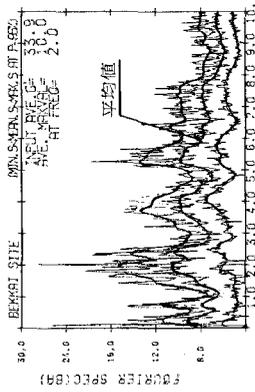
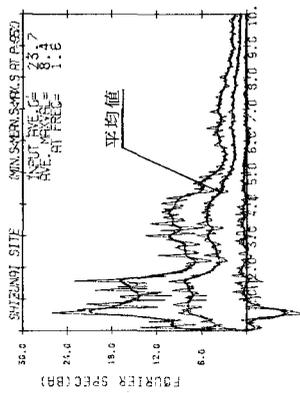
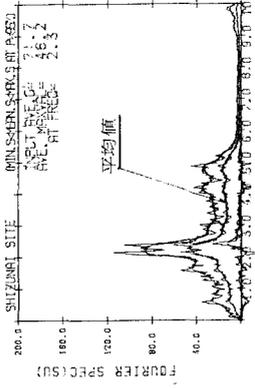
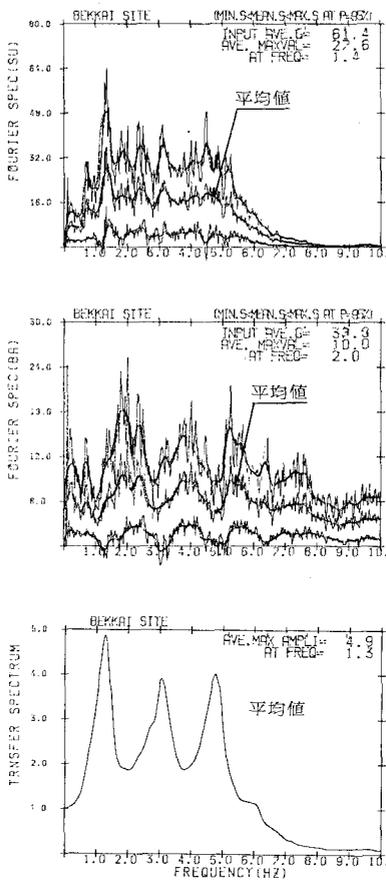


図-9~(2)



分布に従うと仮定して95%の確率でスペクトルの信頼区間をもとめたものである。仮定分布の検定は行っていない。この点においては多分に問題を含んでおりスペクトル値も負になることが生ずるが、波形特性の定性的傾向は把握できるものとする。

以上の仮定で類推すると、静内の基盤で記録された周波数特性ではおおよそ1.6 Hz、4.0 Hzにピークを有する。0.5 Hzでの分散は大きい傾向を示している。別海での特性においては2, 4, 5.5 Hz付近にピークを有し、周波数全般的に分散は静内に比較して小さい。鋼網基盤での平均フーリエスペクトルはホワイトノイズの様相を示しているが周波数全域において分散が大きい。伝達特性では静内で2.2, 5.3 Hz、別海1.1, 3.0, 4.7 Hz、鋼網1.1, 3.5 Hz付近でそれぞれピークを示している。

③観測記録の解析値、理論解析値との比較検討

図-9(1), (2)に基盤に観測波を入力し理論解析値として得られた地表(2m)での平均フーリエスペクトルおよび伝達特性を示した。解析において土の物性、非線形特性は静内では②で述べたcase 1、別海でcase 3を用いている。静内での観測値との比較では伝達特性において増幅のピーク点を与える周波数はおおよそ合致しているものの地表のフーリエスペクトルを見る限り3.0~5.0 Hzにおいて増幅特性の一致が得られていない様である。理論解析値に関する地表の最大加速度の平均は約7.2 g a lで観測値の1.5倍となっている。別海に関しては伝達特性、地表のフーリエスペクトル特性とも良くなっている。また最大加速度の平均においても0.96倍に近い値を示している。

5. ま と め

- ①地盤の応答解析においてGoが適確に推定されれば、土の非線形特性を類推したものによっても比較的良好的な結果を得られる。また北海道特有の泥炭層に関しては、これを他の土質に置換した場合問題があり、数多くの泥炭に関する動的特性を把握しておく必要がある。
- ②観測記録デジタルのデータが少ないため、分布特性の仮定に非常に問題を含むが、鋼網を除き、静内、別海橋における基盤のフーリエスペクトルのピーク値を与える周波数には、一定の規則性があることが認められた。
- ③観測記録波形の解析および解析値との比較については、地盤の物性値、特性を適確に把握すれば、かなり良い精度で地盤特性を求めることが可能であることが判明した。但し前述した通り観測記録(デジタル記録値)が少ないことから今後A/D変換の推進を行っていくもとの、マグニチュード、震源等の要因を加味し、この種の解析を進めて行きたい。また③の結果より他の地表のみで得られた観測記録から基盤加速度等を推定し、地震規模、地震発生特性(地震モーメント等)等を考慮した中で耐震設計に資する資料の作成を進めるつもりである。

《参考文献》

- 1) 土木研究所資料1778号 「地盤の地震時応答特性の数値解析法」
- 2) 土質工学会北海道支部技術報告集第22号 「1981年日高地方西部地震による盛土基層の応答解析例」
- 3) 白鳥大橋地盤応答解析報告書 昭和58年2月 その他