

(50) 平野規模の堆積盆地におけるやや長周期地震動の増幅特性に関する数値解析

大成建設技術研究所 横山正義 岡本 晋 河村壮一

まえがき

1983年日本海中部地震により新潟市内では震央距離 270kmという遠距離にもかかわらず気象庁1倍変位計が振り切れたり、スロッシング現象により一部の石油タンクにおいて原油の溢流が生じた。

本稿では野田らによって再現された新潟での地動波形と比較的変位振幅の小さかった佐渡相川の地動波形を比較分析し、新潟堆積盆地の持つ増幅特性を考察・検討するものである。

相川、高田、寿都及び新潟のフーリエスペクトル特性

堆積層の厚い新潟と比較するために新潟に近い相川と高田及び震源に対して相川とちょうど反対側に位置する北海道寿都 (Fig.1 参照) の変位波形のフーリエスペクトルをFig.2 に示す。

Fig.2 に示される如く新潟NSは他の3地点のNS記録に対して概略的には1オーダー大きい振幅を示している。相川NS、高田NS、寿都NSの周期7秒から20秒のフーリエ振幅は概略同等である。

相川、高田、寿都の変位波形の相似性

Fig.3 に示す如く相川NSと寿都NSの変位波形には波形の類似性が認められる。フーリエスペクトルでは相川NSと強い類似性が認められた高田は、震央距離が相川より約100km大きいことの影響により表面波の分散がより顕著になり、波形の類似性はやや低くなるものの対応する位相は識別される。

以上の事実は、7~20秒の周期帯においては相川、高田の距離範囲あるいは寿都も含めて基盤上を伝わる共通の地震動を示唆するものと考えられる。

相川NSと新潟NSの波形特性の比較

Fig.4 に相川NS主要動400秒間の変位波形とそのフーリエ変換により求めた速度波形及び非正常スペクトルを示す。最大変位は約2.4cm、最大速度は1.4kineである。

Fig.5 に山田・野田らによって再現された新潟NSの地動¹⁾を相川NSと同様の表示で示す。最大変位は約33cm、最大速度は19kineである。相川NSの非正常スペクトルには震源での3つのマルチイベントに対応する3つの波群E1、E2、E3が識別される。第1波群、第2波群には周期15秒から9秒に変化する表面波の特徴を示す分散性が見られる。一方、新潟NSには相川NSに見られた表面波の特徴を示す分散性は現われず、周期10秒の帯域に振動成分が集中している。

相川NSと新潟NSの振動エネルギーの時間的消長を比較対比するために、非正常スペクトル図の等高線の峰線を重ねてFig.6 に図示する。相川NSと新潟NSは新潟堆積層の入力と応答の関係にあると仮定するとE1、E2付近の峰線の傾向より、新潟の堆積層は約10秒に共振周期を持つことが理解される。また、E3で相川の9.2秒の振動成分に反応しないことからこの共振周期は鋭い選択性を持つことが想定される。

やや長周期地震動に関連する新潟の地盤構造

新潟地方には石油探査を目的とした多くの地質調査データがある。著者はこれらのデータを整理し、Fig.7 に示す新潟堆積盆地の推定基盤深度図を作成した。

三条以北は南北70km、東西50kmの南北にやや長い堆積盆地であり、三条以南には北々東から南々西の方向に幅20kmの谷筋状の堆積層が長さ80kmに渡って続いている。各堆積盆地は深度4,000m~6,000mの基盤上に新第3紀堆積泥岩と第4紀の堆積層で構成されている。

新潟のやや長周期地震動に関連する基盤振動と地盤構造モデル及び数値計算結果

Fig.8 に相川と新潟の各鉛直面内の粒子軌跡を示す。相川ではRayleigh波の特徴である反車輪方向の回転

運動が見られるが、新潟では相川のような回転運動は見られず水平振動が顕著である。

新潟NSでの大変位を説明するためにFig.9に示す以下の波動の伝播形式を仮定する。

(イ) 上部マントル(Ⅳ)及び地殻(Ⅲ)を伝わるレイリー波の卓越

(ロ) 地殻上面を基盤とする堆積層(Ⅰ), (Ⅱ)内での重複反射にもとづくS波の増幅

上記の仮定の妥当性を検証するため以下の数値計算を行なう。

堆積層(Ⅰ), (Ⅱ)内の重複反射解析は本来2次元モデルへの斜め入射問題として取り扱うべきであるが、本稿では基本的な検討を行なうことを目的とし1次元モデルの鉛直入射問題に単純化する。また、堆積層への入力地動となる地殻上面でのcontrol motionは地殻(Ⅲ)より堆積層(Ⅱ)への入射波として評価すべきものであるが本解析では新潟直下の地殻上面の合成波は相川の地表の地動で近似できるものとする。

Table 1に1次元重複反射モデルの地盤物性値を示す。地盤の物性値は工藤らの論文³⁾の値を参考にして定めた。モデルNIG1は新潟堆積盆地の西側のやや深い部分を代表する平均的地層モデルで基盤深度は6.0kmである。モデルNIG2は新潟堆積盆地の東側のやや浅い部分を代表する平均的地層モデル²⁾で基盤深度は4.5kmである。本解析地盤のひずみは 5×10^{-5} 程度であり、このひずみレベルでは地盤の履歴減衰は一般に小さい範囲に有る。本解析では地盤の減衰定数は $h = 0.02$ とする。

Fig.10に基盤面に対する地表の伝達関数を示す。

小さい地盤減衰を採用しているために計算された伝達関数は狭帯域に鋭いピークを持つ形状を示している。

Fig.11のモデルにより計算された地表変位波形をFig.12に示す。

モデルNIG1による計算地表変位は卓越周期15秒、最大変位振幅21cm、同じくモデルNIG2では卓越周期11秒、最大変位振幅17cmとなる。モデルNIG2による計算変位波は新潟NSの周期9~13秒のバンドパスフィルター波(最大値は20cm)と比較的良好対応を示している。なおNIG2の計算値は工藤が新潟市内のSMAC強震計の加速度記録の積分によりもとめた最大変位18cm、卓越周期10秒~12秒の変位波形³⁾とも比較的良好対応を示している。

総合的な評価ではモデルNIG2は新潟NSの周期10秒前後の振幅特性を良く表現していると判断される。なお、今回の解析では、実測値に比べ波動の後半部が減衰しにくい傾向が現われているが、この点については斜め入射の重複反射問題として逸散減衰を評価する等、今後の検討課題としたい。

まとめ

地殻を伝わるレイリー波による基盤面の振動により深さ約5,000 mの表層のせん断1次振動が励起されたと考えると新潟での周期10秒の大きな振幅がうまく説明できる。震央距離約270kmの遠方の地震により、深さ5,000 mの表層のせん断1次振動が明瞭に励起される点は、周期10秒前後の地動を評価する上で新しい知見を与えるものであると考える。

謝辞 気象庁1倍変位計記録のデジタルデータは鳥取大学 工学部 野田茂助教授より借用致しました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 山田善一, 野田 茂, 嶋田三朗, 吉田隆治: 振り切れた1倍強震計記録の修復波形による長周期応答スペクトル, 土木学会論文集, No.386/I-8 1987年10月
- 2) 勘米良亀齡他編, 日本の地質, 岩波書店 岩波講座地球科学15, 1980, P 159
- 3) 工藤一嘉, 坂上実: 1983年 日本海中部地震による石油タンク被害と地震動の特徴について, B.E.R.I., Vol.59, 1984, P 370

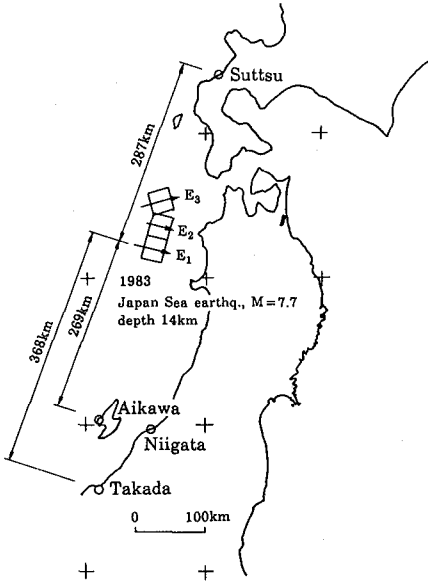


Fig.1 Locations of the source area and the observation sites.

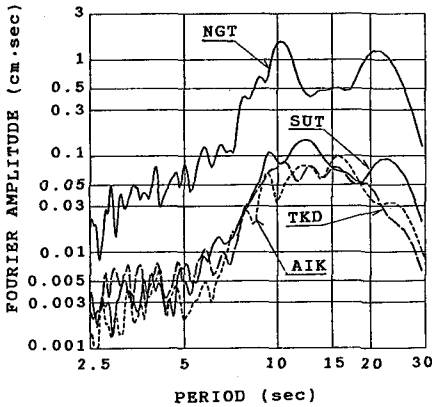


Fig.2 Fourier Spectra of displacement seismogram.

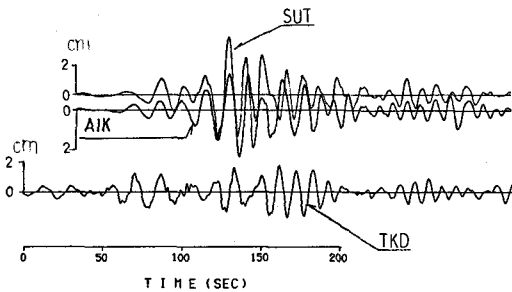


Fig.3 Similarity of wave form at Aikawa NS is demonstrated with Suttsu NS

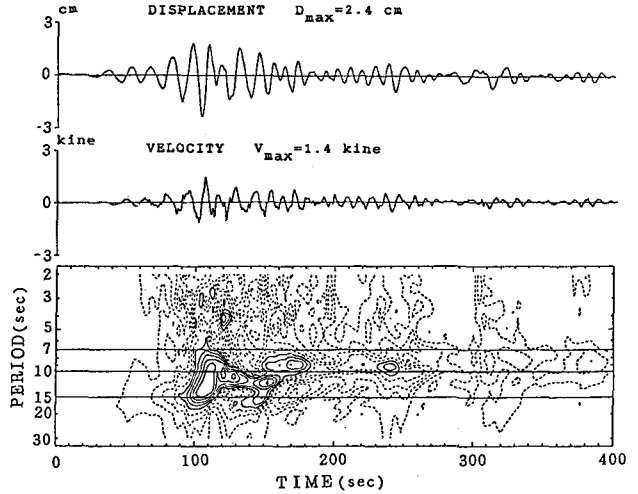


Fig.4 Ground motions observed at Aikawa NS in Niigata pref. by the JMA type displacement meters

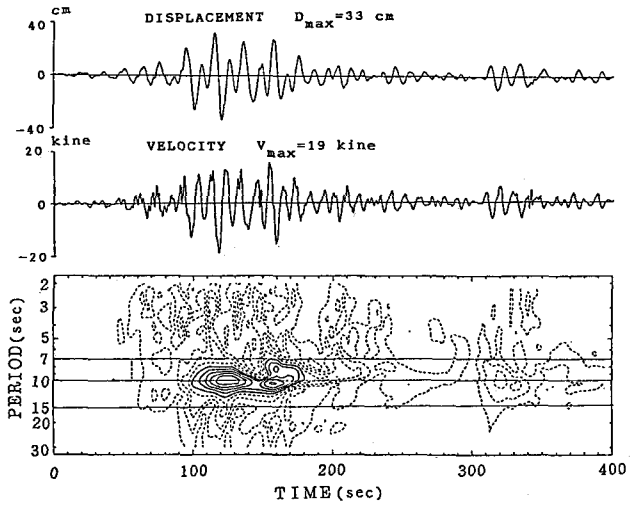


Fig.5 Ground motions at Niigata NS based on the mended seismogram by Noda et al.

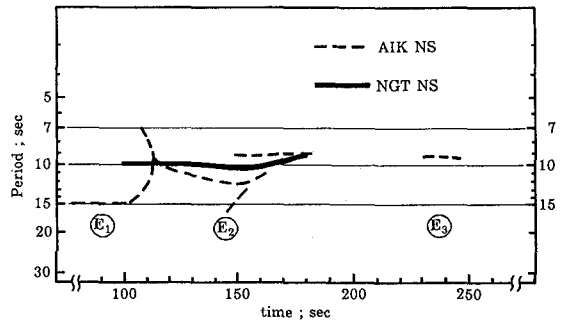


Fig.6 Comparison of crest line movement in the evolutionary power spectra at Aikawa NS and Niigata NS

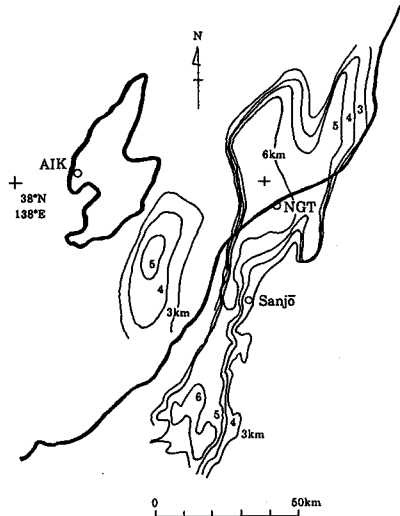


Fig.7 Estimated basement depth of the Tertiary in Niigata pref.

Table 1 Underground structure models
(a) Average structure model of Niigata deposit with relatively deep basement; model NIG1

NIG1	H; m	Vs; m/s	ν	γ ; t/m ³
① Quaternary	1500	700	0.43	2.0
② Tertiary	4500	1700	0.26	2.3
③ Upper Crust	—	3500	0.24	2.5

(b) Average structure model of Niigata deposit with relatively shallow basement; model NIG2

NIG2	H; m	Vs; m/s	ν	γ ; t/m ³
① Quaternary	1000	700	0.43	2.0
② Tertiary	3500	1700	0.26	2.3
③ Upper Crust	—	3500	0.24	2.5

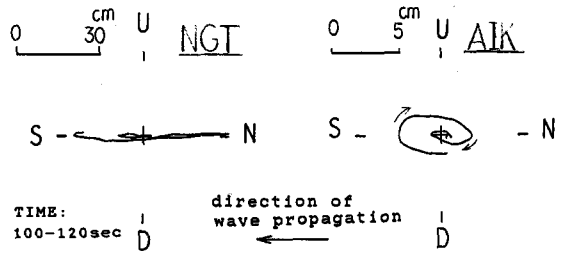


Fig.8 Particle orbits in the vertical plane at Niigata and Aikawa

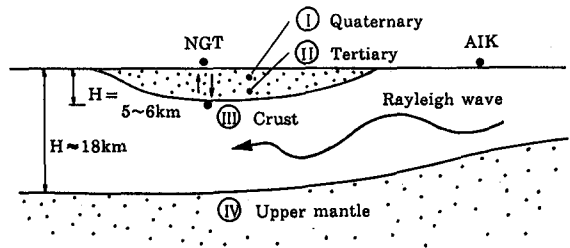


Fig.9 Schematic model of wave propagation explaining the amplification in NS direction at Niigata site in the 1983 Japan Sea earthquake

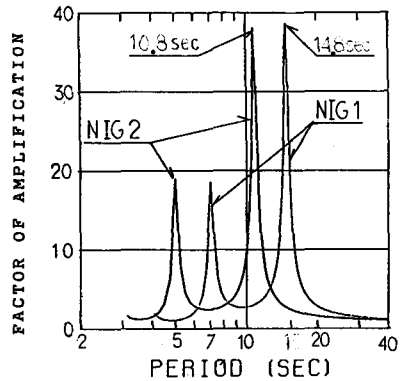


Fig.10 Estimated transfer function at Niigata site by the multi-reflection theory

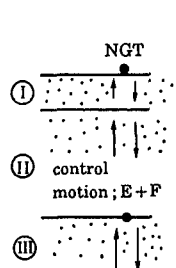


Fig.11

Multi-reflection model at Niigata site

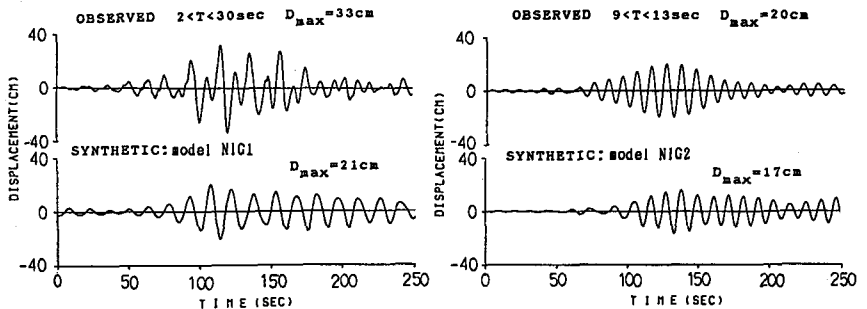


Fig.12 Synthetic seismogram at Niigata obtained by assuming the waves are mostly composed of multi-reflection in the deposit