

## (98) 地盤動特性を考慮した能登半島沖地震による 珠洲市の最大加速度に関する検討

財団法人大阪土質試験所 鶴来雅人\*  
金沢大学工学部 宮島昌克\*\*  
金沢大学工学部 北浦 勝\*\*

### 1 はじめに

1993年2月7日夜発生した1993年能登半島沖地震（マグニチュード6.6）では、輪島市で震度5、金沢市や富山市で震度4を記録したのを始め、東北地方から近畿地方にかけての広い範囲で地震を感じた。輪島市や金沢市では測候所、気象台などで記録が取れ、最大加速度なども判明している。しかし、震源に最も近く、被害の大きかった珠洲市には地震計が設置されておらず、最大加速度は不明である。そこで、アテニュエーション式等の既往の最大加速度の推定法を用いて珠洲市における最大加速度の検討を行った。

### 2 アテニュエーション式による検討

検討に用いたアテニュエーション式（いずれも沖積地盤を対象としたもの）および得られた最大加速度を表1に示す。アテニュエーション式ごとに珠洲市での最大加速度の推定値に違いはあるが、その値は200(gal)前後であろうと推定できる。同表には比較検討のため観測値が得られている輪島市（輪島測候所）、金沢市（石川県庁）での検討結果も併記した。これらのうちでは、現行の土研式が観測値と良く対応していると言える。

表1 解析に用いたアテニュエーション式と解析結果

提 案 者	アテニュエーション式	珠洲市	輪島市	金沢市	文献
建設省土木研究所（新）	$232.5 \times 10^{(0.313 \times M)} \times (\Delta + 30)^{-1.218}$	200gal	138gal	54gal	1)
建設省土木研究所（旧）	$59.0 \times 10^{(0.261 \times M)} \times (\Delta + 10)^{-0.886}$	170gal	88gal	38gal	2)
後藤・亀田・今西・橋本	$407.0 \times 10^{(0.160 \times M)} \times (\Delta + 30)^{-0.752}$	224gal	178gal	100gal	3)
佐伯・片山・岩崎	$32.1 \times 10^{(0.254 \times M)} \times \Delta^{-0.757}$	129gal	83gal	37gal	4)
観 測 値	—	なし	131gal	46gal	—

（表1中のMはマグニチュード， $\Delta$ は震央距離(km)を示す。）

### 3 大崎スペクトル<sup>5)</sup>による検討

#### 3.1 検討手法

大崎スペクトルにより $V_s=700$ (m/sec)程度の層でのスペクトルを規定し、模擬地震動を作成する。これを入射波として重複反射理論を用いて地表面での応答を求める。この際、武村ら<sup>6)</sup>による等価震源距離の概念を導入することにより断層の広がりやを考慮する。断層モデルは東京大学、京都大学の各観測所の報告から総合的に判断して設定した。重複反射理論の適用に必要な各層のせん断波速度 $V_s$ (m/sec)は以下に示す $N$ 値との関係式で算出した。

$$V_s = 80 \times N^{1/3} \text{ (砂質土)}$$

$$V_s = 100 \times N^{1/3} \text{ (粘性土)}$$

また、初期の減衰定数 $h$ は、

$$h = 0.017 + 0.0002 \times V_s^{7)}$$

より算出し、非線形特性として石原<sup>8)</sup>による砂、粘土の平均的な値を用いた。さらに、密度はボーリング調査で明らかな箇所ではその値を用い、不明の箇所ではせん断波速度 $V_s$ から適切と思われる値とした。

### 3.2 検討箇所

検討箇所は珠洲市では①野々江町，②正院保育所（珠洲市正院町），③浄化センター（珠洲市熊谷町），④熊谷中継ポンプ場（珠洲市熊谷町）の4地点である。このうち③浄化センターと④熊谷中継ポンプ場では液状化の発生が確認されている。図1に珠洲市での検討箇所の位置を，図2(1)~(4)に4地点のボーリング柱状図を示す。また，輪島市では測候所，金沢市では石川県庁である。

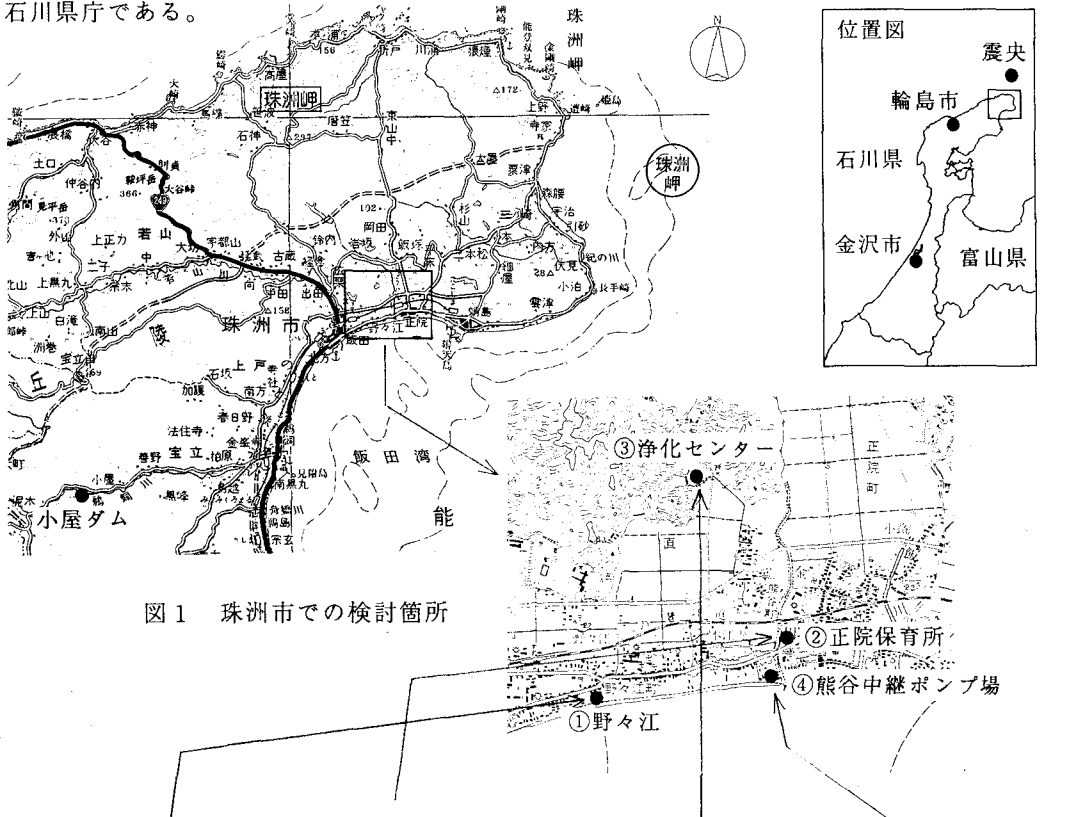
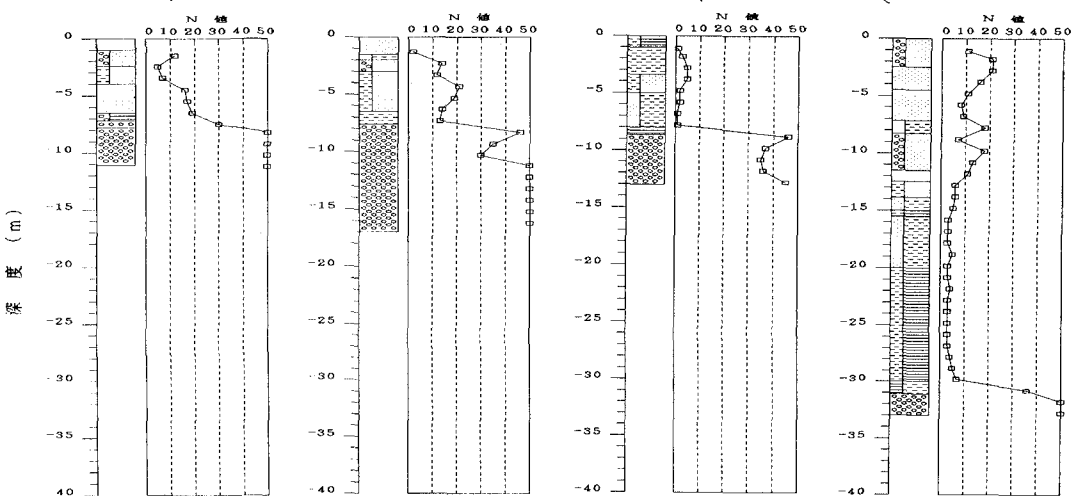


図1 珠洲市での検討箇所



(1) ①野々江 (2) ②正院保育所 (3) ③浄化センター (4) ④熊谷中継ポンプ場

図2 検討箇所のボーリング柱状図

### 3.3 検討結果

検討結果を表2に示す。

表2 大崎スペクトルによる検討結果

	珠洲市				輪島市	金沢市
	野々江町	正院保育所	浄化センター	中継ポンプ場	測候所	県庁
観測値	なし	なし	なし	なし	131gal	46gal
解析結果(地表)	285gal	282gal	208gal	117gal	121gal	34gal
解析結果(基盤)	63gal	63gal	63gal	63gal	34gal	9gal

これより、輪島市、金沢市では観測値との対応の良いことがわかる。また、珠洲市の岩盤での加速度の大きさは63(gal)と計算されたが、これは珠洲市の中心部から南西約11(km)の地点にある小屋ダム(図1参照)基礎で得られた記録とはほぼ合致しており、ほぼ妥当な値と言える。一方、珠洲市の地表面での結果を比較すると、120~280(gal)程度と結果に大きな差が生じた。この理由は以下のように考えられる。

(1) ①野々江町と②正院保育所

両地点はいずれも沖積層が約7(m)と薄く、*N*値も10~15程度と比較的堅い地盤であり(図2(1),(2)参照)、1/4波長法による地盤の卓越周期はそれぞれ0.15(sec)、0.18(sec)である。一方、入射波の卓越周期は0.1~0.2(sec)である。したがって、この地点では共振作用により地表面加速度が大きくなったものと思われる。

(2) ④熊谷中継ポンプ場

この地点は海岸沿いであり、沖積層が約30(m)と厚く、地表から12(m)付近までは*N*値が10~15程度であるが、それ以深には*N*値が3程度の軟弱な層が存在している(図2(4)参照)。この地点での各層上面での最大加速度、各層の最大ひずみのいずれも鉛直方向分布を、図3および図4に示す。また、入射波および第11層上面(最大加速度の最も大きい層)と地表面での加速度波形を図5に示す。これより、第11層上面では180(gal)近い加速度が発

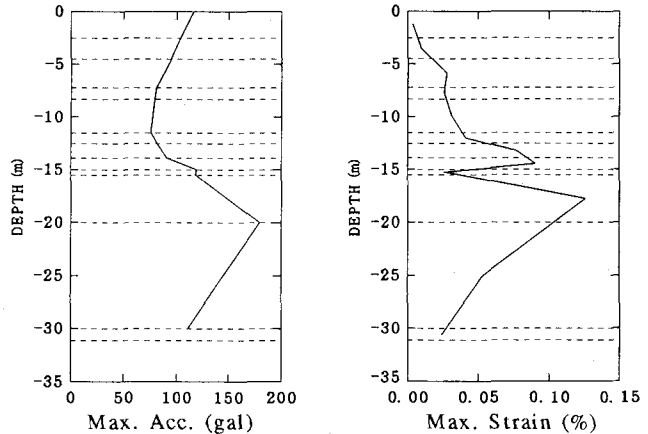
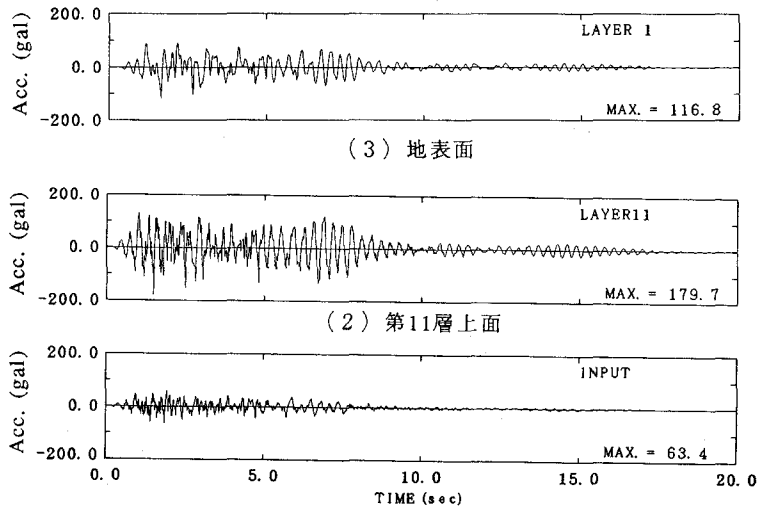


図3 最大加速度の鉛直分布 図4 最大ひずみの鉛直分布



(1) 入射波  
図5 加速度波形

生しており、その上の第10層で最大ひずみが0.1(%)を越えていることがわかる。第10層は $N$ 値が3(せん断波速度は約100(m/sec))と軟弱であり、せん断弾性係数が小さいために大きなひずみが発生したと思われる。したがって、地盤の非線形性による剛性低下が起り、地表面での加速度が小さくなっているものと考えられる。また、地表面での加速度波形を見ると、長周期成分が卓越していることがわかる。一方、①野々江町や②正院保育所では比較的堅い地盤であるために、各層に発生するひずみは最大でも0.03(%)程度で、大きな剛性低下が生じなかった。このために最大加速度の低下も見られなかったものと考えられる。

### (3) ③浄化センター

この地点は④熊谷中継ポンプ場からかなり内陸部に入った位置にあり(図1参照)、沖積層が約9(m)と浅いが、 $N$ 値が5以下の軟弱な地盤である(図2(3)参照)。ここでも④熊谷中継ポンプ場と同様、最大ひずみが0.1(%)を越える層があり、地盤の非線形性による剛性低下が起り、地表面加速度が①野々江町や②正院保育所より小さくなっている。

以上の検討より、沖積層厚と地盤の堅さが地震応答に大きな影響を及ぼすことが判明した。なお、模擬地震動を作成する際に乱数の発生を伴うが、この乱数の初期値を変えた解析の結果でも同様の傾向が得られている。

## 5 おわりに

能登半島沖地震で震源に最も近く、被害の大きかった珠洲市における最大加速度等の検討を行った。その結果、次の成果が得られた。

- ①アテニュエーション式による検討より、各式によって最大加速度の推定値のばらつきが大きい、200gal前後であろうと推定できる。
- ②大崎スペクトルによる検討では、地盤の特性により地震応答が大きく異なることが明らかとなった。すなわち、沖積層が薄く比較的堅い地盤では入力地震動との共振により地表面加速度が大きくなるが、軟弱な地盤では地盤の非線形性による剛性低下が起り、地表面での加速度が小さくなり長周期成分が卓越した波形となる。

なお、大崎スペクトルによる検討で用いた断層モデルは東京大学、京都大学の各観測所の報告を総合的に判断して設定したが、これらの報告は暫定的なものである。したがって、断層モデルについてさらに詳細な検討をする必要がある。最後に、データの収集にご協力していただいた金沢大学工学部池本敏和氏をはじめとする関係各位に感謝します。

### <参考文献>

- 1)川島, 相沢, 高橋: 最大地震動および地震応答スペクトルの距離減衰式, 土木研究所報告, 第166号, 1985.
- 2)建設省土木研究所: 新耐震設計法(案), 土木研究所資料, 第1185号, 1977.
- 3)後藤, 亀田, 今西, 橋本: 強震記録の補正効果を考慮した地震動パラメータの統計的性質, 第5回日本地震工学シンポジウム論文集, 1978.
- 4)佐伯, 片山, 岩崎: わが国の地盤上で得られた加速度記録の特性, 土木学会第32回年次学術講演会, 1977.
- 5)大崎: 原子力発電所設計用の基準地震動評価に関するガイドライン, ORI研究報告, (株)大崎研究所, 1984.
- 6)武村, 池浦, 大野, 太田: 距離減衰式を用いた震源近傍での強震動の評価法, 第21回地震工学研究発表会講演概要, 1991.
- 7)土岐: 新体系土木工学 11 構造物の耐震解析, 技報堂出版, p. 80, 1981.
- 8)石原: 土質動力学の基礎, 鹿島出版会, p.197, p.199, 1976.

\* 財団法人大阪土質試験所 (〒550 大阪市西区西本町3-1-23)

\*\* 金沢大学工学部土木建設工学科 (〒920 金沢市小立野2-40-20)