

(79) 岩盤における地震動特性

-距離減衰特性と主軸特性-

(株)大林組技術研究所 正会員 ○江尻讓嗣

〃 正会員 小出忠男

〃 正会員 後藤洋三

1. まえがき

岩盤における地震動特性の把握を目的として、茨城県笠間市稲田の花崗岩岩盤において、1985年よりトリパタイトアレー観測を実施している。ここでは、この地震観測の概要と観測された加速度記録の主軸特性ならびに最大値の距離減衰特性等の諸特性について報告する。

2. 地震観測の概要

図-1には地震観測地点の位置を示す。

観測地点は、関東平野の北端に位置しており筑波山から北東へ約15kmのところにある。同地域には古くから花崗岩の採石場が多数あり関東平野中央部に比較して堆積層が薄く一部には花崗岩が露頭しているところも見られる。この地域の花崗岩類は稲田型花崗岩¹⁾の内の粗粒花崗岩体に分類されており約6000万年前の筑波山周辺への花崗岩の貫入により形成されたとされている。同地域の周辺には比較的近距离に、茨城県南西部、茨城県沖、千葉県北部などの地震活動の比較的盛んな地域がある。図-2には観測地点の位置関係を示す。観測点は笠間市街から西方へ約4kmの稲田地区にある。各観測点は一辺が約2.3kmのほぼ正三角形の頂点に位置しておりそれぞれIND, HID, SZKと称している。表-1には各観測地点の主要諸元を示す。また図-3には各観測地点のボーリング柱状図を示す。

INDでは花崗岩が露頭している。

HIDは地表から16mの深さまではマサ土、16mから28mまでは風化花崗岩、それ以深が花崗岩となっている。SZKは10mまでが表土で10mから48mまでがフォルフェルス、それ以深が花崗岩となっている。表-1に示すように地震計は3成分(NS,EW,UD)速度サーボ型加速度形で各観測点とも同質の新鮮な花崗岩内に設置されている。埋設深度はINDで5m、HIDで34m、SZKで50mである。各観測地点の地震計埋設深度における花崗岩の弾性波速度は $V_s=3500\text{-}3600\text{m/sec}$, $V_p=6000\text{-}6100\text{m/sec}$ である。

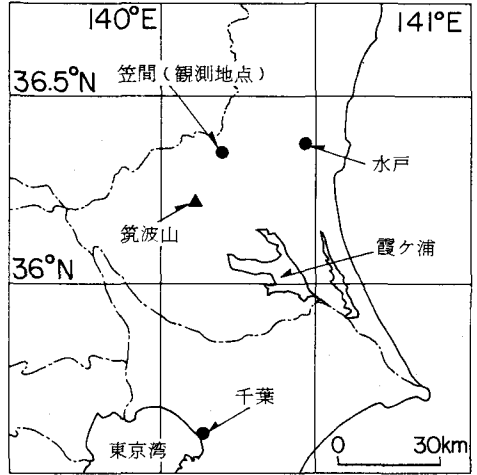


図-1 観測地点

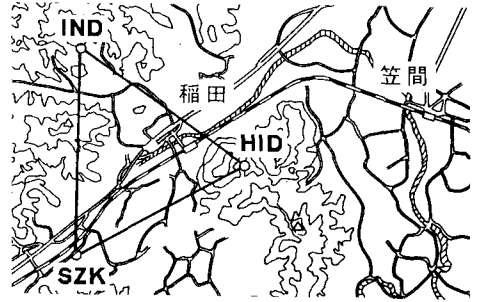


図-2 観測点配置

表-1 観測点主要諸元

| 項目 | | IND | HID | SZK | 備考 |
|----------------|-----------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------------------|
| 観測地点位置 | 東経 | 140° 12'15" | 140° 13'31" | 140° 12'18" | IND-HID 2.243km |
| | 北緯 | 36° 22'36" | 36° 22'36" | 36° 22'36" | |
| 地震計埋設深度(-m) | | 5. | 34. | 50. | HID-SZK 2.215km |
| 地震計 | | 速度サーボ型加速度計 | | | SZK-IND 2.466km |
| 測定方向 | | NS, EW, UD | | | ほぼ同程度 の岩盤 と考 えて 良い |
| 測定開始年・月 | | 1982 | 1983 | 1984 | |
| 地震計埋設深度位置の岩盤物性 | 密度(g/cm^3) | 2.64 | 2.65 | 2.65 | |
| | $V_R(\text{m/s})$ | 6,100 | 6,000 | 6,000 | |
| | $V_s(\text{m/s})$ | 3,600 | 3,600 | 3,500 | |
| | | | | | |

首都圏基盤構造研究グループが実施した東京夢の島と筑波山を結ぶ約70kmの測線を有する2回の夢の島爆破実験²⁾から、夢の島で深さ約2.5kmにあるVs, Vpがそれぞれ2900m/sec, 5600m/secの基盤が北東に向かい徐々に浅くなり筑波山村近で露出していることが明らかになっている。地震計を設置した稲田の花崗岩岩盤は位置的にも弾性波速度の面からも上述の結果と良い対応を示すことからこの基盤に相当するものと考えられる。

3. 地震観測記録

1993年3月までに約200地震が観測されているが、マグニチュードMが3.5以上かつ震源距離Xが200km以下で水平2成分の内1成分でも最大加速度が5galを越えているという条件で延べ78地震、520波を解析用として選択した。図-4には78地震の震央分布をまた図-5にはM-Xの分布を示す。両図からわかるように、M6以下、X50km以上の記録が大部分を占めており、その中でもM5前後、X50~100kmの記録の大部分が茨城県南西部または茨城県沖に発生した地震のものである。図-6には1987年千葉県東方沖地震(M=6.7, X=128.4km)の際に3観測点で同時観測された加速度記録のEW成分の時刻歴と絶対加速度応答スペクトル(h=0.05)を示す。

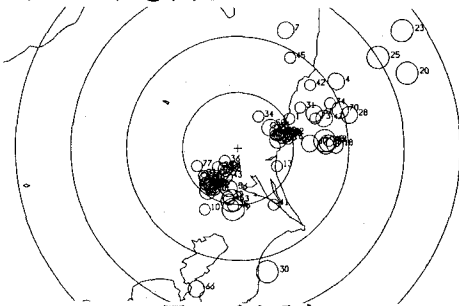


図-4 震央分布

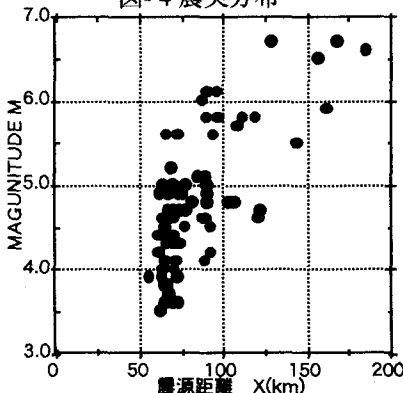


図-5 M-X分布(78地震)

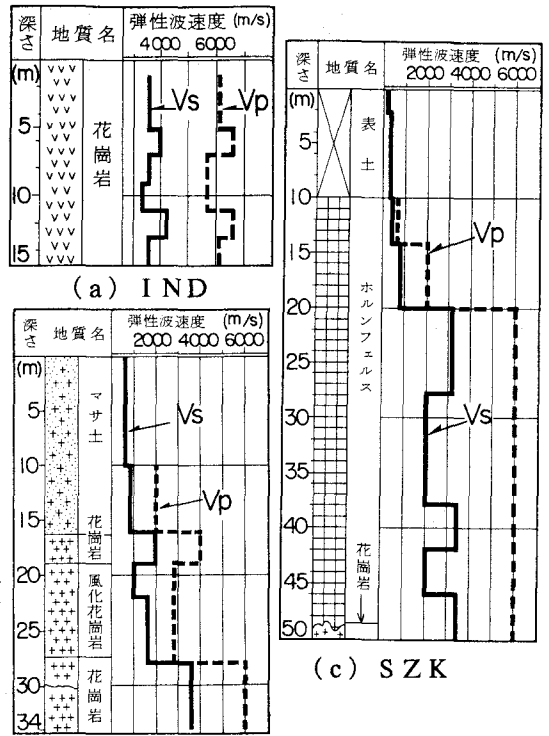


図-3 ボーリング柱状図

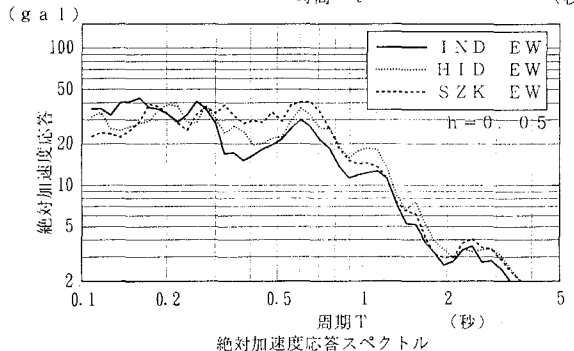
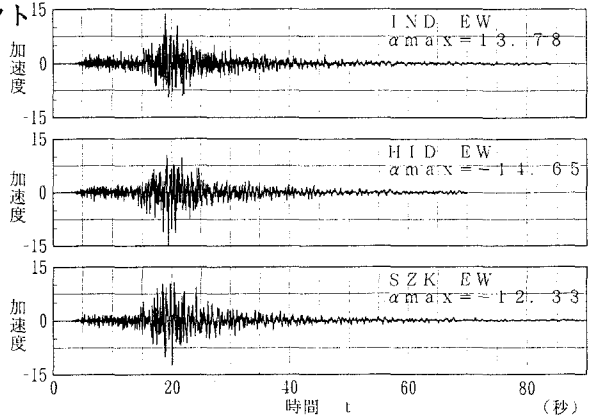


図-6 地震観測例

$$\begin{aligned}
 \text{水平} \quad & \text{EQ1 } \log AH_{\max} = 0.24M - 1.87\log X + 3.34 + 0.23P \\
 & \text{EQ2 } \log AH_{\max} = 0.22M - \log X - 0.0029X + 2.13 + 0.23P \\
 \text{鉛直} \quad & \text{EQ1 } \log AV_{\max} = 0.25M - 1.51\log X + 2.48 + 0.21P \\
 & \text{EQ2 } \log AV_{\max} = 0.23M - \log X - 0.0015X + 1.71 + 0.21P
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

P = 0 ; 非超過確率50%

P = 1 ; 非超過確率84%

4. 地震動の諸特性

(1) 主軸方向最大加速度の距離減衰特性

加速度記録の水平2成分を用いて水平面内の主軸の方向を求めその方向への合成波を作成した。主軸は加速度振幅のRMS値が最大となる主軸である。このようにして求めた178個の合成波の最大加速度について回帰分析により式(1)に示すアテニュエーション式を作成した。鉛直(UD)成分については、144個の観測値をそのまま用い同様のアテニュエーション式を作成した。観測点別の記録の区分はしていない。アテニュエーション式は、一般的な式EQ1と距離Xに関する項を幾何減衰項と粘性減衰項に分離した式EQ2の両者を求めた。観測値の両式に対するばらつきは同程度であるが、EQ1は近距離において加速度が過大評価される傾向があるので以下EQ2を中心に述べる。図-7には、最大主軸方向の最大水平加速度の観測値とアテニュエーション式(EQ2)との比較を示す。図-8(a)(b)には既往の岩盤におけるアテニュエーション式(渡部³⁾, 田村⁴⁾, 金井⁵⁾)と今回求めた式の比較を示す。水平については、ほぼ既往のアテニュエーション式の平均値を示す。鉛直については、距離減衰の勾配が緩やかである。

(2) 水平・鉛直最大加速度の比

図-9には、露頭岩盤の観測点INDで観測された64地震の水平・鉛直最大加速度の比と幾何的な入射角φの関係を示す。鉛直最大加速度は、S波主要動部の値である。φが大きいく程、遠距離かつ比較的浅発の地震による値を示している。この図から、水平・鉛直最大加速度の比の全観測値の平均は、0.7程度であるが、入射角φが大きくなる程、その比が大きくなる傾向が見られる。これは、S波主要動部での鉛直動にSV波が卓越していることを示唆しているものと思われる。

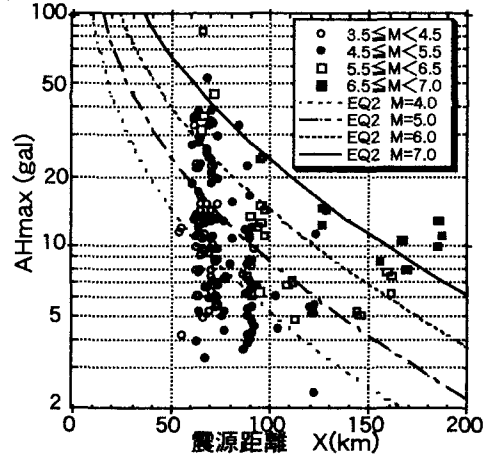


図-7 AHmax距離減衰

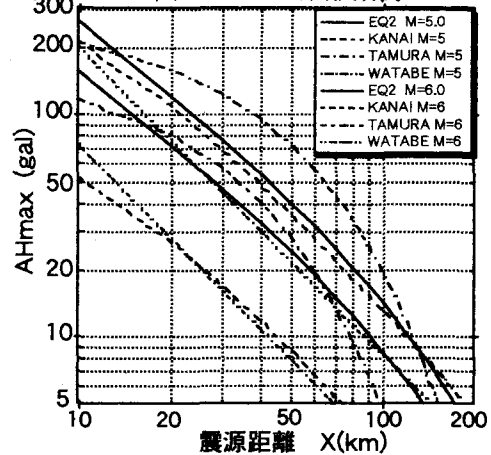


図-8 (a)各種距離減衰式の比較(水平)

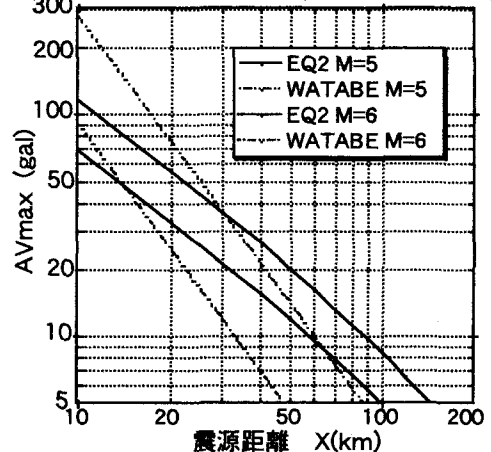


図-8 (b)各種距離減衰式の比較(鉛直)

(3) 3観測点における水平最大加速度の相異

図-10(a)には、INDとSZKで同一地震で観測された水平加速度の比を示す。両観測点間の距離が数kmであるにもかかわらずINDは平均で約1.5倍程SZKよりも観測値が大きい傾向が見られる。このINDの観測値が相対的に大きい傾向は、測点HIDに対してもほぼ同じである。INDは露頭岩盤であるがHID、SZKにはそれぞれ34m、50mの風化花崗岩または変成岩からなる表層地盤がある。そこで、INDの観測波形(2E)を入力としてS波重複反射理論によりHID、SZK測点の加速度計埋設深度での応答波形を求めた。図-10(b)には、6地震についてのINDとHIDまたはSZKの最大加速度比の観測値と解析値を示す。入射角が広角であるにもかかわらず遠距離で比較的大きな地震では、観測値と解析値が良く一致している。近距離小地震になると観測値と解析値の差が大きくなる。このことは表層地盤の存在だけでなく、ある特定の波長の波に影響する地形等の局所的な不整形性に一因があるものと思われる。

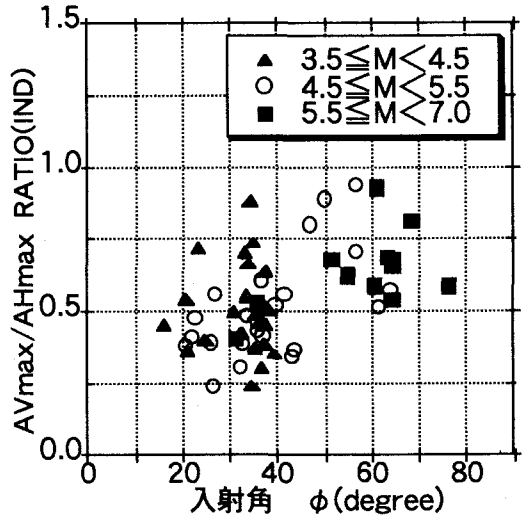


図-9 AVmax/AHmax比
と入射角φの関係

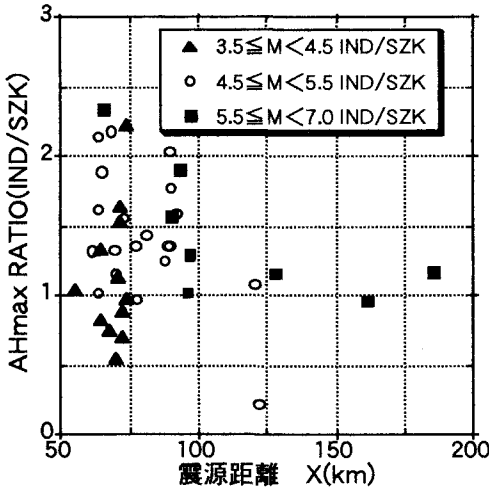


図-10(a) AHmax比距離減衰

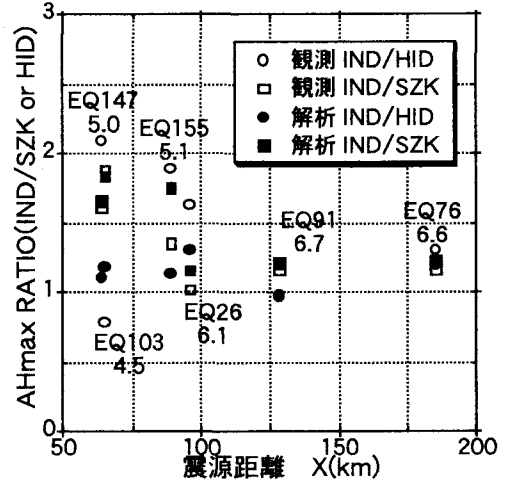


図-10(b) 観測値と重複反射解析値との比較

<参考文献>

- 1) 高橋: 筑波地方の花崗岩類の地質, 地質学雑誌, Vol.88, 1982, P.177-184
- 2) 首都圏基盤構造研究グループ: 東京の基盤構造 その5, 地震学会講演予稿集, NO.2, 1979, P.187
- 3) 渡部他: 設計用模擬地震動に関する研究 (その1), 建築学会論文報告集, 1981, NO.303, P.41-51
- 4) 田村他: 岩盤地帯の地震動の最大加速度について, 第15回地震工学研究発表会, 1979, P.181-184
- 5) Kanai et al: Expectancy of the Maximum Velocity Amplitude of Earthquake Motions at Bed Rock, 東大震研彙報, Vol 46, 1968 p.663-666