

硬質岩盤における地震観測について

江尻 讓嗣 菊地 敏男
後藤 洋三

Seismic Observation on Hard Rock

Joji Ejiri Toshio Kikuchi
Yozo Goto

Abstract

The authors have carried out seismic observation at three sites on granite rock (S-wave velocity greater than 3,000 m/s) at the Inada district of Kasama City in Ibaragi Prefecture since 1985 to gain an understanding of the characteristics of earthquake motions of hard rock. This paper reports on the contents of this seismic observation and the characteristics of observed earthquake records. The characteristics are (1) the records observed simultaneously at the three sites are similar with regard to accelerograms and spectra, and (2) the horizontal peak acceleration and vertical peak acceleration are in the ratio of 1:0.7.

概 要

硬質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 ($V_s > 3,000 \text{ m/s}$) に、昭和57年より地震計を順次設置し、昭和60年より3観測点にて地震観測を実施している。この報告は、地震観測の概要と観測記録に見られる特徴について述べたものである。観測記録の特徴として、(1) 3観測点における同時観測記録は、波形・スペクトル特性が類似している。(2) 水平最大加速度と鉛直最大加速度の比は、1:0.7程度となり、比較的鉛直成分の最大加速度が大きいことなどがわかった。

1. まえがき

近年、地下発電所、地下備蓄タンクなどに代表される重要大型構造物の岩盤内立地が増加している。

岩盤内の構造物は一般に地上に建設される構造物に比べて耐震性に優れていると経験的に言われているが、上記のような重要構造物の岩盤内立地が実用化されるためには、岩盤における地震動の性質や構造物の挙動について、さらに定性的かつ定量的な検討を進め、岩盤内構造物の耐震安全性を検証してゆくことが不可欠である。

以上のような観点から、硬質岩盤における地震動の特性を把握することを目的として、茨城県笠間市稲田の花崗岩岩盤 ($V_s > 3,000 \text{ m/s}$) に地震計を設置し、昭和57年より地震観測を実施している。

地震計は、昭和57年から59年にかけて、毎年1台ずつ

設置され、昭和60年から3観測点にて地震観測が行なわれている。このように比較的近接した複数の地点に地震計を配置したのは、一般に地震記録には観測点に固有の局所的な地形の影響が含まれることから、1地点の観測記録のみから地震動の特性を評価することに問題があることや、同一地震を複数の観測点で観測することにより、1地点の観測では得られない情報（例えば、地震波の伝播方向や伝播速度）が得られるためである。

この報告では、この硬質岩盤における地震観測の概要と観測された地震記録に見られる特徴について述べる。

2. 地震観測の概要

2.1. 地震観測地点

図-1に、地震観測地点の位置を示す。

観測地点である茨城県笠間市稲田は、関東平野の北端

に位置しており、筑波山から北東へ約 15 km 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、花崗岩岩盤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、岡田¹⁾や高橋²⁾の研究によると、稲田型花崗岩の内の粗粒花崗岩体に分類されており、約 6,000 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。

また、同地域の周辺には、比較的近距离に、茨城県南西部、千葉県北部、茨城沖などの地震活動の盛んな地域があり、多数の地震の発生が期待される。

2.2. 観測点配置

図-2 に、観測点の位置関係を示す。

観測点は、笠間市街から西方へ約 4 km の稲田地区に配置されている。各観測点は、1 辺が約 2.5 km のほぼ正三角形の頂点に位置しており、それぞれ IND (稲田石材採石場内)、HID (緋田石材採石場跡地内)、SZK (寿々木氏所有耕地内) と称している。

IND と SZK を結ぶ線は、ほぼ南北方向である。

表-1 に、各観測点の主要諸元を示す。

2.3. 観測点の地盤概要

各観測点の地盤概要を図-3 (a), (b), (c) に示す。

IND は、未風化の花崗岩が露頭しており、深さ 15 m までのボーリング調査結果から、P 波速度が、5,700 m/s 以上、S 波速度が、3,300 m/s 以上で、深さ方向の岩質の変化は少ない。地震計は、深さ 5 m の地点に埋設されており、その位置での P 波、S 波速度は、それぞれ 6,100 m/s、3,600 m/s である。

HID では、深さ 16 m までは、強風化の花崗岩 (マサ土) となっており、ボーリングコアは、岩塊としての形状は留めているが、手圧によってほとんどが砂状となる状態である。しかし、S 波速度を見ると 600 ~ 900 m/s と比較的速く軟岩に相当する値を持っている。16 m から 28 m の間は、S 波速度が、1,000 m/s ~ 1,600 m/s の風化花崗岩となっている。

28 m 以深は、P 波、S 波速度が、それぞれ 6,000 m/s、3,600 m/s の未風化の花崗岩である。地震計はこの花崗岩内に設置されており、深さは地表から 34 m である。

SZK は、深さ 10 m までが、関東ロームからなる表土で、S 波速度は、

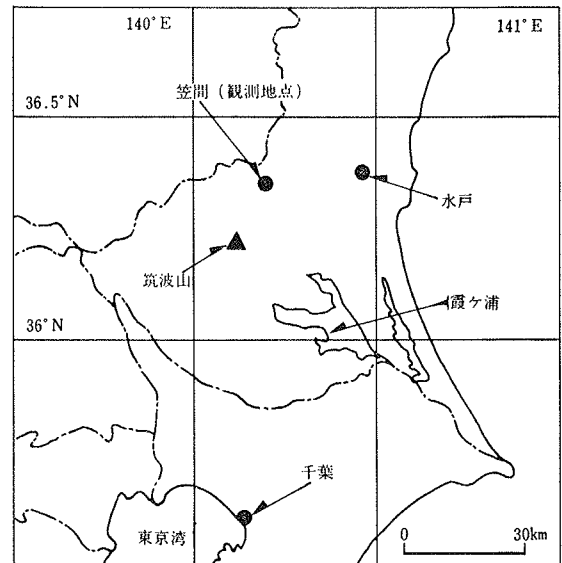


図-1 観測地点位置図

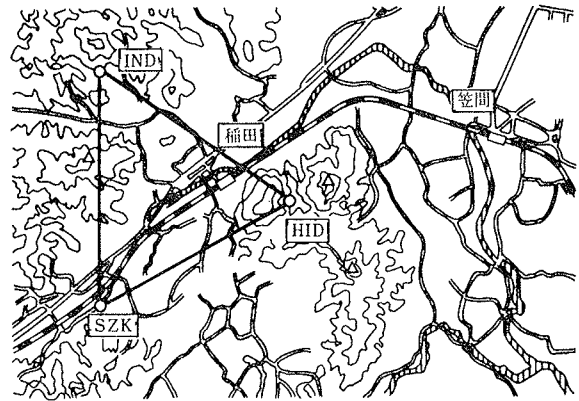


図-2 観測点位置

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間 2.243km IND~SZK間 2.466km HID~SZK間 2.215km
	北 緯	36° 22' 36"	36° 21' 57"	36° 21' 16"	
	地震計埋設深度(-m)	5.	34.	50.	
地 震 計	速度サーボ型加速度計				測定 3 ch
測 定 方 向	ch 1...X (NS 方向)・ch 3...Z (UD 方向) ch 2...Y (EW 方向)				
測 定 開 始 年・月	1983(S.57) 11.19	1983(S.58) 9.11	1984(S.59) 9.1		
地震計埋設深度位置の岩盤物性	単位体積重量 (g/cm ³)	2.64	2.65	2.65	ほぼ同程度の岩盤と考えて良い。 また、顕微鏡観察による鉱物組成も類似しており、3地点の岩体は連続した同一岩体と考えられる。
	P 波 速 度 (m/s)	6,000	6,000	6,000	
	S 波 速 度 (m/s)	3,600	3,600	3,500	
	剛 性 率 (kg/cm ³)	3.49×10 ⁵	3.50×10 ⁵	3.31×10 ⁵	
	一軸圧縮強度 (kg/cm ²)	1,491	1,870	908	

表-1 観測点主要諸元

120~300 m/s とやや遅い。

10 m から 48 m の間は、砂岩~砂質粘板岩のホルンフェルスとなっている。ホルンフェルスのP波、S波速度は、それぞれ 650 m/s~6,000 m/s, 480 m/s~3,500 m/s と広い範囲に分布しており、深さとともに速度が速くなっている。ホルンフェルスのRQDは、平均で40%でクラックが比較的多い。48 m 以深は、未風化の花崗岩となっており、P波、S波速度は、それぞれ 6,000 m/s, 3,500 m/s である。地震計は、深さ50 mの未風化の花崗岩内に設置されている。

表一にまとめて示したように、地震計の設置位置での岩盤物性は、3観測点とも良く一致しており、これら観測点は同一の花崗岩岩盤にあるものと思われる。

また、首都圏基盤構造研究グループ³⁾は、東京夢の島と茨城県筑波山を結ぶ約70 kmの測線上において2回の夢の島爆破実験を実施し、その結果から東京夢の島で、深さ約2.5 kmにあるP波速度、S波速度がそれぞれ、5,600 m/s, 2,900 m/sの基盤が、北東に向かい徐々に浅くなり筑波山付近で露出していることを明らかにしている。

地震計を設置した花崗岩岩盤は、弾性波速度の値や位置的に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。

2.4. 観測システム

図-4に観測システムを示す。

地震計は、3成分(NS, EW, UD)の速度サーボ型加速度計である。加速度記録は、観測と同時に、強震計内で、A-D変換され、カートリッジ型デジタルテープに、デジタル値の形で記録される。記録テープを定期的に回収し、所内の専用再生処理装置で再生し、ミニコンにより記録の解析を行なう。

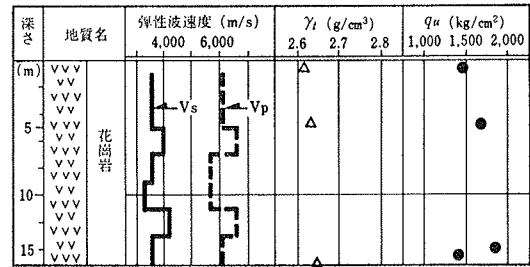
この強震計の特徴は、デジタル値が記録されること、内蔵の水晶時計をもとに観測時点での絶対時刻が記録されること、停電後も40分間は、内蔵のバッテリーにより稼動可能なこと、遅延装置により地震波の頭から記録がとれることなどである。

なお、サンプリング時間間隔は、0.005秒、トリガーは、鉛直成分(UD)が0.5galで起動するように設定されている。

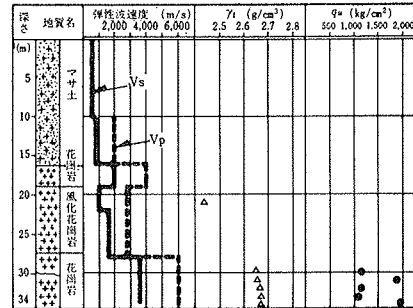
3. 観測記録に見られる特徴

図-5には、昭和60年10月4日21時26分に茨城・千葉県境で発生したM=6.0の地震(水戸で震度Ⅲ)の際に、3観測点で観測された加速度波形を示す。

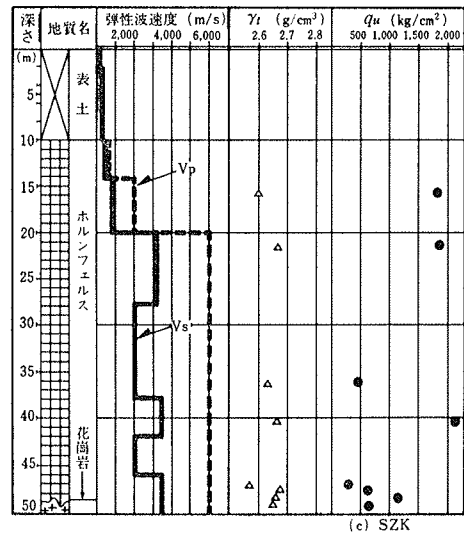
震源深さは、78 km, 震源距離、震央距離は、それぞれ、約95 km, 約53 km である。



(a) IND



(b) HID



(c) SZK

図-3 ボーリング柱状図 (c) SZK

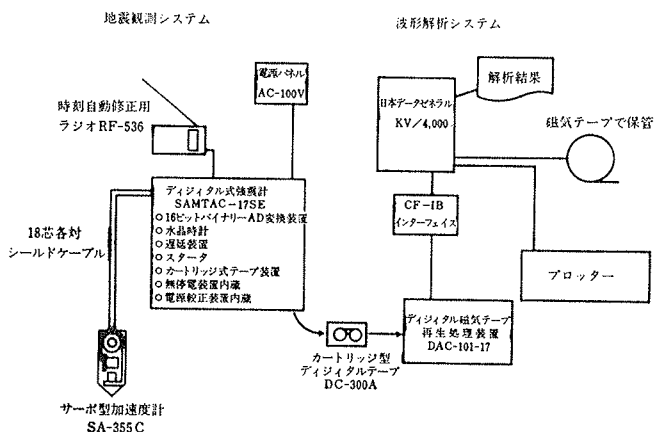
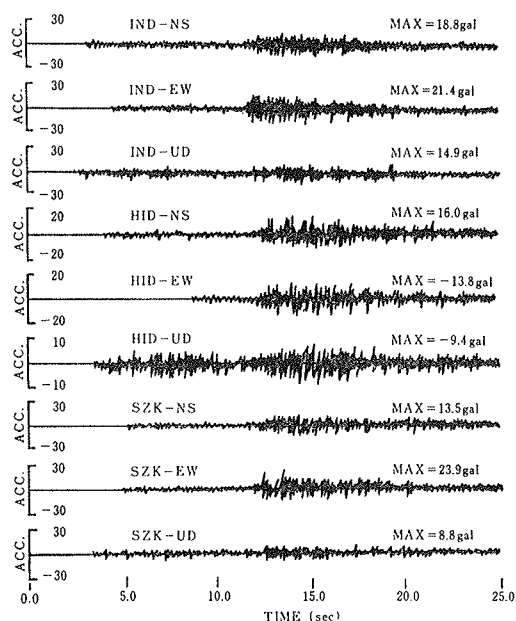
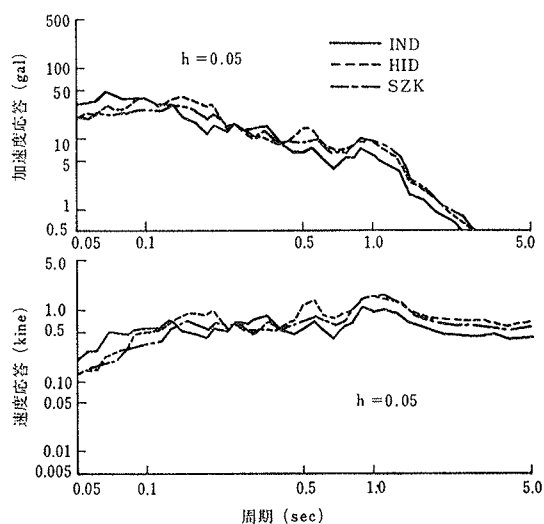


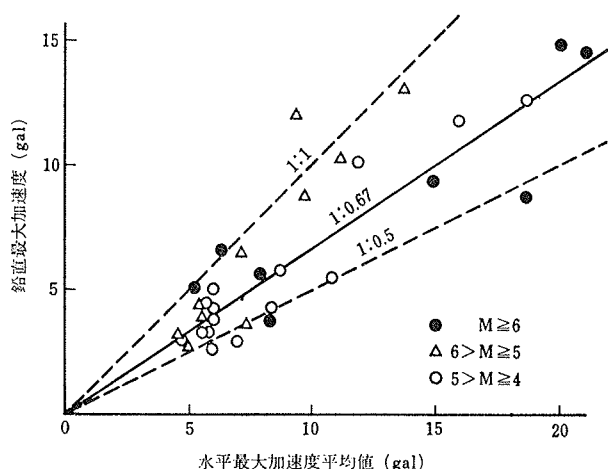
図-4 観測システム



図一五 加速度波形



図一六 応答スペクトル(NS成分)



図一七 水平・鉛直最大加速度の関係

最大加速度は、水平成分で、15~20 gal 程度、鉛直成分で、9~15 gal 程度であり、3 観測点ともほぼ等しい値となっている。また、波形の包絡線の形状や波形中に高振動数成分が卓越する傾向も良く似ている。

鉛直成分の加速度波形は、P 波部分の振幅がやや大きいことに特徴がある。

図一六には、同記録の NS 成分の加速度応答スペクトルと速度応答スペクトルを示す。減衰定数 h は、いずれも 5% である。加速度応答スペクトルは、0.2 秒以下の周期でほぼフラットになり、高振動数成分が卓越する傾向が見られる。速度応答スペクトルは 0.2 秒以上の周期でほぼフラットになる。3 観測点とも、スペクトルの形状・振幅が良く似ていることがわかる。

図一七には、水平 2 成分の最大加速度の平均値と鉛直成分の最大加速度の関係を示す。

水平・鉛直成分の最大加速度比が 1:0.5 から 1:1 の範囲内に、ほとんどの記録が分布しており、平均的には 1:0.7 程度で、比較的鉛直成分の最大加速度が大きいことがわかる。

4. おわりに

この報告では、硬質岩盤における地震観測の概要と観測記録に見られる特徴について述べた。

3 観測点で同時観測された記録は、波形・スペクトル特性が類似していること、鉛直成分の最大加速度は、水平 2 成分の最大加速度の平均値の 7 割程度であることなどがわかった。水平・鉛直成分の最大加速度比については、平均値に対するバラツキが大きいため、今後、マグニチュード、震源距離、震源深さなどのパラメータとの関連から整理を進めてゆくつもりである。

また、 $V_s > 3,000$ m/s の基盤に相当する岩盤での観測記録には、震源から観測点までの地震波の伝播経路の単純さから震源特性が強く反映されていると思われる。

したがって、この地震観測で得られた記録は、震源機構を検討する上でも貴重な資料となるものと考えられる。

今後、さらに観測記録の蓄積に務め解析を進めて行く予定である。なお、末尾ではあるが、地震観測用の土地を提供して下さいの方々に、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岡田, 下田, 柴田: 茨城地方花崗岩類の岩石化学的研究, 東京教育大学地質鉱山研究報告, No. 3, (1954), pp. 197~203
- 2) 高橋: 筑波地方の花崗岩類の地質, 地質学雑誌, Vol. 88, (1982), pp. 177~184
- 3) 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