

## 2005 年福岡県西方沖地震における地震動強さの定量的評価

|         |      |       |
|---------|------|-------|
| 東京大学大学院 | 学生会員 | ○福永勇介 |
| 東京大学大学院 | 学生会員 | 阿部慶太  |
| 東京大学大学院 | 学生会員 | 井筒剛司  |
| 東京大学大学院 | 正会員  | 小長井一男 |

## 1. はじめに

日本では気象庁の設置している震度計（全国に 574 地点）、防災科学技術研究所が約 25km の間隔で設置している強震計（K-NET<sup>[1]</sup>, 全国 1035 地点）などが計測震度・強震波形の観測及び一般公開を行っている。しかしながら 2005 年 3 月 20 日の福岡県西方沖地震で全半壊 173 棟、負傷者 9 名の被害を出し、事実上の全島避難となった玄界島では地震計が設置されていなかった。そのため、10 時 53 分に起こった本震の観測記録はなく、島の集落密集地域で地震動レベルがどの程度であったかを直接的に知ることは出来ない。また、島における地震動の定量的評価を、海を隔てた観測地点の記録から間接的に行うことにも無理がある。

本論文では福岡県西方沖地震による福岡市中央区及び西区玄界島での最大地動速度を、それぞれ墓石の竿石、空調の室外機の滑動距離を基に定量的に推定・評価することを試みる。中央区に関しては K-NET の FKO006 福岡（福岡市中央区天神 5-1-23）での波形データを解析して得られる摩擦係数-地動速度スペクトルとの比較・検討を行う。

## 2. 地動速度の推定

## 2.1 墓石及び室外機の滑動距離の調査

墓石及び室外機の調査は地震発生から 6 日目の 3 月 25, 26 日に実施した。調査地域は墓石に関しては福岡市中央区の呉服町、天神、唐人町、志賀島である。玄界島には墓地がなかったため室外機で代用を試みた。

## 2.2 地動速度と滑動距離の関係

本論文では、地震時に受ける慣性力が底面に加わる最大静止摩擦力を超越することで墓石の竿石部分もしくは室外機が滑動を始めると仮定した。簡単のため、残留変位の向きにのみ滑るとし、最大静止摩擦力と動摩擦力が等しいとした。

その運動エネルギーは滑動時の動摩擦力の行う仕事と等しいと仮定すれば、エネルギー保存則より地動速度  $v$  を次のように表すことができる。

$$\begin{aligned}\frac{1}{2}mv^2 &= \mu' mg \delta \\ \Leftrightarrow v &= \sqrt{2\mu' g \delta}\end{aligned}\quad (1)$$

ここで  $\mu'$  は動摩擦係数、 $g(\text{cm/s}^2)$  は重力加速度で、 $\delta(\text{cm})$  は残留変位である。 $\mu'$  は対象と同素材のものを現場で採取し、複数回の簡易的な計測により平均値を求めた。

## 2.3 推定地動速度

表 1 に、調査によって得た計測値と(1)より概算して求めた地動速度を示す。福岡市内では 40[kine]～90[kine]となり、玄界島では 100[kine]～150[kine]と大きくなっている。 $\mu'$  を過大評価しているために求めた地動速度も大きくなっている可能性は払拭できず、議論の余地はあるが以上のような方法で地動速度を簡易的に求めることが出来ると考えられる。最大地動速度はこの  $v$  以上あったものと思われる。

## 3. 強震波形を用いた解析

FKO006 から得られた加速度記録を用いて線形加速度法<sup>[2],[4]</sup>により質点の滑動解析を行った。静止及び動摩擦係数の値を仮定すると、質点は慣性力が最大静止摩擦力を超過した時、即ち、

$$m\ddot{u}_g \geq \mu mg \quad (2)$$

の時滑動し始める。滑動後、

$$m\ddot{u} \pm \mu' mg = -m\ddot{u}_g \quad (3)$$

地盤に対する質点の相対速度の向きが正の時：+

負の時：-

に基づいて運動し、その後、地盤振動中に質点が静止した場合、以下の二つの場合分けを行う。

キーワード 地震動、摩擦、滑動、数値解析、地動速度の推定

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学大学院生産技術研究所小長井研究室 03-5452-6098 ext.57250

）慣性力 > 最大静止摩擦力の場合

(3)を用いる

）慣性力 < 最大静止摩擦力の場合

$$m\ddot{u} = 0 \quad (4)$$

ここに、 $m$ ：質点の質量、 $\ddot{u}$ ：質点の相対加速度、 $\ddot{u}_g$ ：地盤の加速度、 $\mu$ ：質点の静止摩擦係数である。

更に ）の場合、再び(2)を満たした時に滑動し始め、以降地盤が静止する迄同様の操作を繰り返し、質点の残留変位  $\delta$  を求める。

この解析方法により、動摩擦係数が静止摩擦係数に等しい場合、又、半分の場合で、夫々、残留変位  $\delta$ 、推定地動速度  $v$  を静止摩擦係数  $\mu$  によるスペクトルとして表し、計測結果も併せてプロットした。それを図 1、図 2 に示す。

図 1、図 2 共に、静止摩擦係数が 0.25 以上では残留変位が 0 となっている。しかし、現場で簡易的に計測した静止摩擦係数は一部を除いて 0.36 を上回っており、これらのスペクトル図上では残留変形が 0 になってしまう。これは、静止摩擦係数の計測方法の不備や質点の鉛直方向の運動を考慮していない事等が理由として考えられる。

ここで、FKO006 から得られた加速度記録を K-NET のサイトからダウンロード出来る SMDA を用いて中心周波数 0.1[kHz]、減衰定数 0.6321 として積分し最大地動速度を求めたところ、NS 方向で 54.5[kine]、EW 方向で 27.1[kine] となり、若干値が異なるものの動摩擦係数を静止摩擦係数の半分とした場合の速度の最大値と概ね一致する。

よって、今後の課題として、正確な静止摩擦係数と動摩擦係数の計測、一次元振動台を用いた墓石の振動挙動の実験を行う必要がある。

表 1 各地域での計測結果および推定地動速度

|     | 静止摩擦係数 | 残留変位(cm) | 推定地動速度(kine) |
|-----|--------|----------|--------------|
| 呉服町 | 0.563  | 4        | 66.5         |
|     | 0.563  | 2.2      | 49.3         |
|     | 0.563  | 1.8      | 44.6         |
|     | 0.532  | 3.25     | 58.2         |
| 唐人町 | 0.368  | 5        | 60.0         |
|     | 0.368  | 2        | 38.0         |
|     | 0.368  | 6.8      | 70.0         |
|     | 0.368  | 5.5      | 63.0         |
| 志賀島 | 0.249  | 4.8      | 48.4         |
|     | 0.637  | 3.2      | 63.2         |
|     | 0.637  | 4.6      | 75.8         |
|     | 0.637  | 2.3      | 53.6         |
|     | 0.637  | 3.6      | 67.0         |
| 天神  | 0.591  | 6        | 83.4         |
|     | 0.591  | 4        | 68.1         |
|     | 0.591  | 7        | 90.1         |
| 玄界島 | 0.380  | 15.1     | 106.0        |
|     | 0.380  | 16.1     | 109.5        |
|     | 0.380  | 23.4     | 132.0        |
|     | 0.380  | 32.3     | 155.1        |
|     | 0.380  | 23.1     | 131.1        |
|     | 0.380  | 22.4     | 129.1        |
|     | 0.380  | 19.4     | 120.2        |

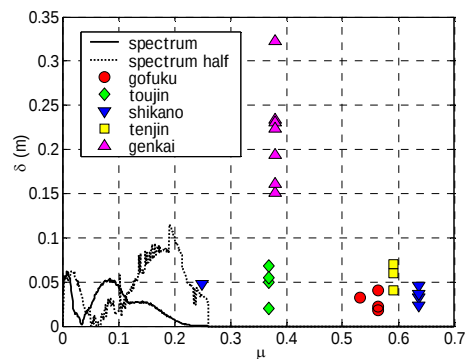


図 1 NS 方向の  $\mu-\delta$  関係

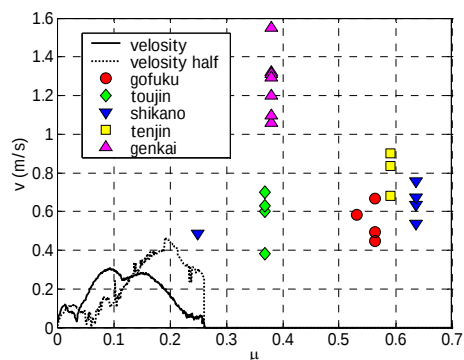


図 2 NS 方向の  $\mu-v$  関係

## 参考文献

- [1] Kyoshin Network:< <http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>>
- [2] Anil K. Chopra(1995):Dynamics of structures, Prentice-Hall, Inc.
- [3] 林康裕、北原昭男、平山貴之、鈴木祥之:2000 年鳥取県西部地震の地震動強さの評価  
<[http://www.archi.kyoto-u.ac.jp/~hayashi/paper/tottori\\_ajj548.pdf](http://www.archi.kyoto-u.ac.jp/~hayashi/paper/tottori_ajj548.pdf)>
- [4] 大崎順彦(1994):新・地震動のスペクトル解析入門、鹿島出版会