

(41) 地震時強震計作動状況の推定に関する一考察

建設省 土木研究所 正会員 吉見精太郎
 “ 正会員 佐々木 康
 “ 正会員 泉原 徹郎

1. まえがき

昭和62年3月現在、建設省及び関連公共機関が、全国291箇所の公共土木構造物において強震観測を実施している。土木研究所振動研究室では、気象庁震度 v を超える地震が発生した場合、あるいは、それ以下の地震動強さの地震でも、道路施設、ダム施設、河川施設など重要な土木構造物に被害をもたらす可能性があると判断される地震が発生した場合には、観測地点から記録の収集を行い、最大加速度の読み取り値を強震観測速報としてとりまとめている。しかしながら、強震記録の収集範囲は、気象庁震度を基に、経験的に決定しているのが現状である。そこで本文では、既往の地震による強震記録及び気象庁震度を用いて、地震規模（マグニチュード）及び気象庁震度により、強震計の起動する範囲及び強震記録の最大加速度を合理的に推定する方法について検討を行った結果を報告する。

2. 解析対象地震、強震記録及び気象庁震度

今回の検討には、1968年の豊後水道地震以降に科学技術庁国立防災科学技術センターより、強震観測速報として刊行された32地震を含む41地震の中で、震源深さが60km以浅であり、土木研究所において強震記録の得られている27地震について、最大水平加速度とマグニチュード、震央距離の関係を調べた。この27地震のマグニチュードは、 $M \geq 7.0$ が10地震、 $6.0 \leq M \leq 6.9$ が11地震、 $5.0 \leq M \leq 5.9$ が6地震である。また、気象庁震度とマグニチュード、震央距離の関係の検討には、上述した27地震を含む29地震を用いた。この29地震のマグニチュードは、 $M \geq 7.0$ が11地震、 $6.0 \leq M \leq 6.9$ が11地震、 $5.0 \leq M \leq 5.9$ が7地震となる。図-1に、これらの地震の震央位置を示す。同図より、今回の検討対象地震は太平洋沿岸に震央を持つ地震が多く、日本海側及び内陸の地震は少ない。検討の対象とした加速度値は、強震観測地点の地盤上に設置されたSMAC型強震計及び普及型強震計により得られた284記録のアナログ記録の最大値を、スケールを用いて読み取ったものであり、水平2成分の加速度のうち大きい方の値を用いている。図-2に、各地震毎の解析対象記録数を示す。ここで、最大水平加速度の区分を $\alpha_{max} < 25gal, 25gal \leq \alpha_{max} < 80gal, 80gal \leq \alpha_{max}$ としたのは、気象庁震度 iii と iv 及び iv と v の境界における最大水平加速度の参考値が、25gal及び80galとなっているためである。強震記録数は、地震のマグニチュード、発生位置及び強震計の配置密度によって異なるが、同図よりマグニチュードが大きくなると得られる記録数は多くなっている。また気象庁震度は、検討対象とした29地震により各地の気象庁観測所から発表されたものである。図-3に、これらの地震による震度 iii 以上の地点数を示すが、マグニチュードが大きいくほど震度 iii 以上の地点数は多くなる傾向がある。また、震度 v の強震を記録した地震は、大多数がマグニチュード6.6以上である。なお、今回の検討に用いた地震には、 $6.1 \leq M \leq 6.5$ の地震は含まれていない。

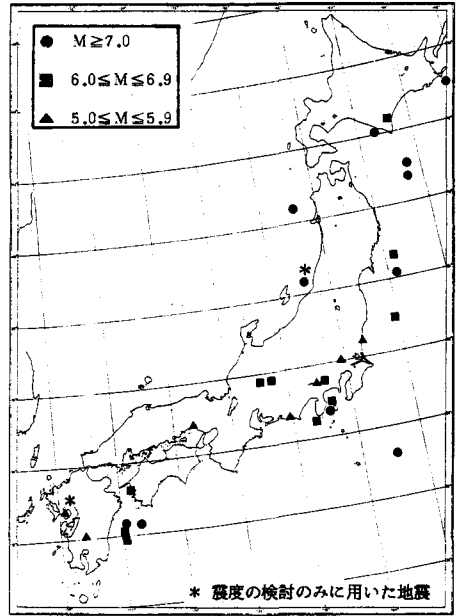


図-1 解析対象地震の震央位置

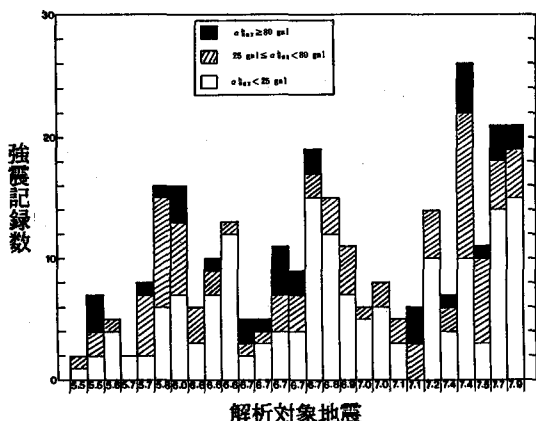


図-2 解析対象地震の強震記録数

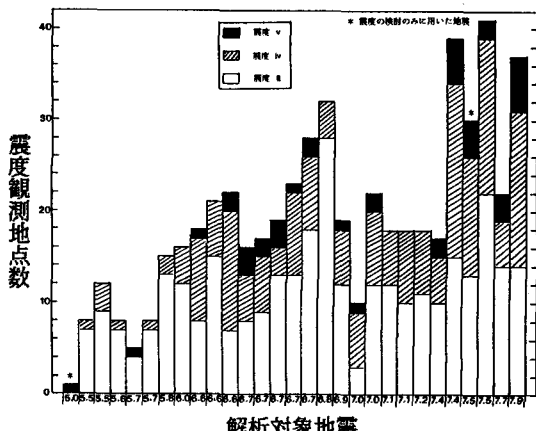


図-3 解析対象地震の震度観測地点数

3. 最大水平加速度とマグニチュード、震央距離の関係

図-3に、検討対象とした27地震により強震記録の得られた最遠地点の震央距離 Δ (km)とマグニチュード M の関係を示す。同図より、若干のバラツキはあるものの、マグニチュードが大きい程遠い地点でも強震計は起動している。そこで、 $\log \Delta$ を M の線形回帰式 $\log \Delta = aM + b$ で表すものとし、すべての観測地点を用いて回帰分析を行ない一般式及び各々のマグニチュードにおいて最遠地点の震央距離が最大である観測地点を用いて回帰分析を行って限界式を求めた。

一般式 : $\log \Delta = 0.331M + 0.202$ (強震計起動) … (1) 式

限界式 : $\log \Delta = 0.303M + 0.436$ (強震計起動) … (2) 式

(2) 式は (1) 式を包絡しており、両式の差は最大で30km程度であり、 M が大きくなるほど両式は一致する傾向があり明確な相違はない。よって、強震計の起動範囲の推定には、安全側を見込んで限界式を用いることとした。図-5は、強震計が起動する最遠地点、 $a_{max} \geq 25 \text{ gal}$ となる最遠の地点及び $a_{max} \geq 80 \text{ gal}$ となる最遠の地点について、各レベルでの震央距離とマグニチュードの限界式を示す。これによると、一般的にマグニチュードが大きい程遠い地点で記録が得られており、加速度レベルが高くなる程、観測地点までの震央距離は小さくなっている。 $a_{max} \geq 25 \text{ gal}$ 及び $a_{max} \geq 80 \text{ gal}$ での限界式は、それぞれ (3) 式及び (4) 式である。

$\log \Delta = 0.375M - 0.243$ ($a_{max} \geq 25 \text{ gal}$) … (3) 式

$\log \Delta = 0.538M - 1.728$ ($a_{max} \geq 80 \text{ gal}$) … (4) 式

(2) 式によると、強震計が起動するのは、 $M=6.0$ で $\Delta=180 \text{ km}$ 、 $M=7.0$ で $\Delta=360 \text{ km}$ 、 $M=8.0$ で $\Delta=720 \text{ km}$ であると推定でき、マグニチュードが1.0大きくなると、強震計起動範囲は2倍となる。また、 $a_{max} \geq 25 \text{ gal}$ の最大水平加速度が発生する範囲は (3) 式より、 $M=7.0$ で $\Delta=240 \text{ km}$ 以内の地点であり、また $a_{max} \geq 80 \text{ gal}$ の最大水平加速度が発生する範囲は (4) 式より、 $M=7.0$ で $\Delta=110 \text{ km}$ 以内の地点であると言える。

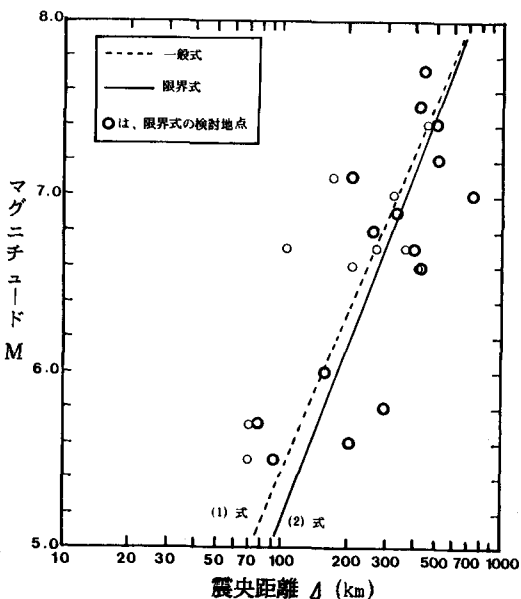


図-4 一般式と限界式の比較 (強震計起動)

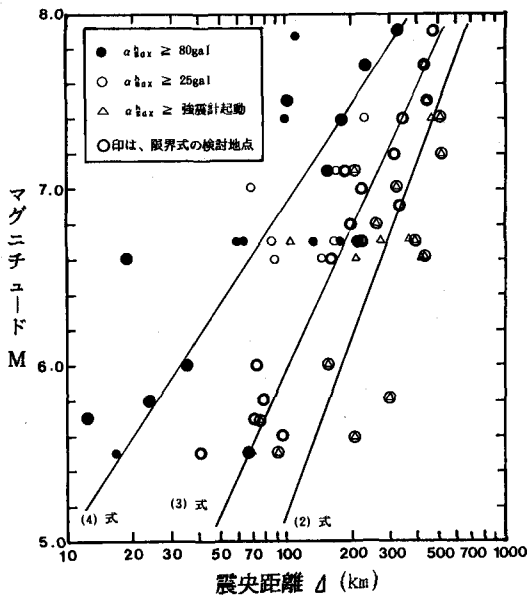


図-5 最大水平加速度とマグニチュード、震央距離の限界式

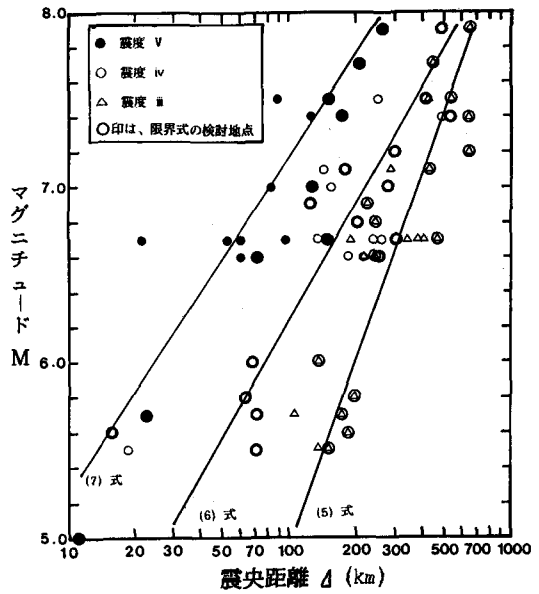


図-6 気象庁震度とマグニチュード、震央距離の限界式

4. 気象庁震度とマグニチュード、震央距離の関係

検対象とした29地震について、気象庁震度Ⅲ、Ⅳ、Ⅴを記録した最遠地点の Δ と M の関係を図-6に示す。同図より、 $\alpha_{max} \sim M$ 、 Δ の関係と同様に、 M が大きくなるほど同一震度の震央距離は大きくなり、また震度が大きいほど発生範囲は小さいと言える。最大水平加速度と同様な手法で、各震度階における $M \sim \Delta$ の限界式を求めると次式を得た。

$$\log \Delta = 0.282M + 0.607 \quad (\text{震度 III}) \dots (5) \text{式}$$

$$\log \Delta = 0.451M - 0.817 \quad (\text{震度 IV}) \dots (6) \text{式}$$

$$\log \Delta = 0.522M - 1.754 \quad (\text{震度 V}) \dots (7) \text{式}$$

図-6に示した限界式によると、震度Ⅳの勾配が他と異なっているが、これはマグニチュード6.6以上の地震によるデータがそれ以下の地震によるデータに比べて多いためであると考えられる。

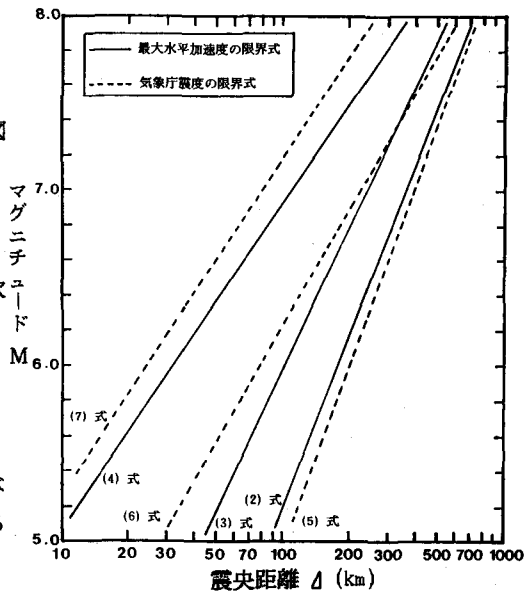


図-7 最大水平加速度と気象庁震度の限界式の比較

5. 最大水平加速度と気象庁震度の比較

図-7に、今回求めた最大水平加速度の限界式及び気象庁震度の限界式を示す。同図より、強震計起動と震度Ⅲ、 $\alpha_{max} \geq 25\text{gal}$ と震度Ⅳ、 $\alpha_{max} \geq 80\text{gal}$ と震度Ⅴの間には、よい対応が認められる。また、(5)式で表される震度Ⅲの限界式と、(2)式で表される強震計起動の限界式との差は、最大で30km程度でほぼ一致しておりおおむね震度Ⅲの地震動強さの揺れで、強震計が起動すると予測することができる。なお、4章で述べたように、震度Ⅳの限界式(6)式の勾配は他の限界式の勾配と異なっており、(6)式については、さらに検討を要すると思われる。

6. 既往の研究事例との比較

既往の研究事例の中で、川島・相沢・高橋による水平加速度の距離減衰式¹⁾のうち、全地盤共通式：

$\alpha_{max} = 365.3 \times 10^{0.268M} (\Delta + 30)^{-1.182}$ において、

$\alpha_{max} = 25\text{gal}$, 80gal としたときのM- Δ 式をそれぞれ(8)式及び(9)式とし、図-8中の破線で示し、今回の検討により求め得た $\alpha_{max} \sim M$, Δ の限界式と比較してみた。

$$\Delta = (14.612 \times 10^{0.268M})^{0.846} - 30 \quad \dots (8) \text{ 式}$$

$$\Delta = (4.566 \times 10^{0.268M})^{0.846} - 30 \quad \dots (9) \text{ 式}$$

これより、強震計起動レベルでの限界式(2)式が $\alpha_{max} = 25\text{gal}$ の(8)式とほぼ等しく、また $\alpha_{max} \geq 80\text{gal}$ の限界式(4)式と $\alpha_{max} = 80\text{gal}$ の(9)式は大きく異なっている。この差異の原因は、本検討により求めた限界式と川島らの式とでは、式の形状が異なるとともに、最大加速度値は、数値化、計器補正後の値であること、重回帰分析を行っていること、限界式ではなく平均的な式であることなどが考えられる。

また、栗林・龍岡による(10)式で表される液状化の限界式²⁾を図中の二点鎖線で示す。

$$\log \Delta = 0.77M - 3.6 \quad \dots (10) \text{ 式}$$

(10)式を用いると、Mが7.5以下では液状化の発生限界が(10)式で示される震度vの発生限界以下であるのに対し、Mが7.5以上では震度vの発生限界を越えている。両者の勾配が異なるのは、液状化現象が地震動強度だけでなく地震動継続時間の影響等を受けるためと考えられる。

7. まとめ

本検討により得られた主要な事項は、以下のようにまとめられる。

- 1) 既往の地震による強震記録の重回帰分析より、強震計が起動する最遠の震央距離は、M=6.0で180km、M=7.0で360km、M=8.0で720km程度であり、マグニチュードが1.0大きくなると、強震計の起動範囲は2倍となる。
- 2) 強震計が起動する最遠の震央距離は、震度iiiが発生する最遠の震央距離とほぼ等しい。
- 3) 強震計が起動する震央距離、最大水平加速度25gal以上が得られる震央距離及び最大水平加速度80gal以上が得られる震央距離は、(2)式、(3)式、(4)式及び表-1に示す通りであり、震度iii、iv、vが発生する震央距離は(5)式、(6)式、(7)式及び表-2に示す通りである。

今後とも、データの蓄積を図るとともに、各限界式の有効性についてさらに検討を行う必要がある。

参考文献 1) 建設省土木研究所：最大地震動および地震応答スペクトルの推定法-(その4)最大加速度、速度、変位および加速度応答スペクトルの距離減衰式の再検討-、土木研究所資料第1993号、昭和58年3月。

2) Kuribayashi, E and F. Tatsuoka: Brief review of liquefaction during earthquakes in Japan, Soils and Foundations, Vol.15, No.4, 1975.

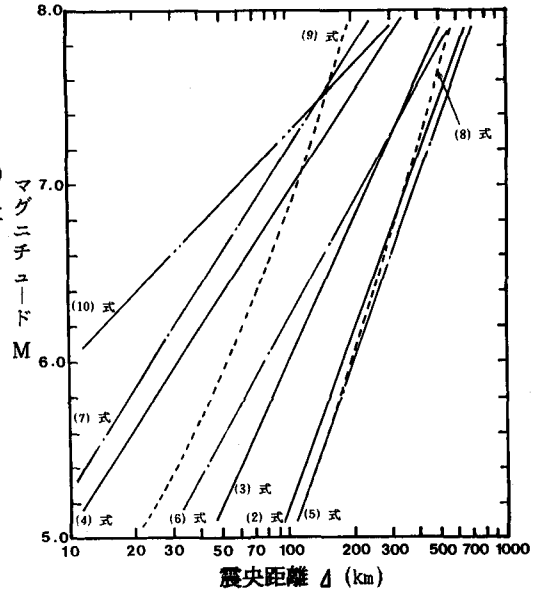


図-8 既往研究事例との比較

表-1 最大水平加速度の限界震央距離

M	Δ (km)		
	強震計起動	25gal	80gal
5.0	90	40	10
6.0	180	100	30
7.0	360	240	110
8.0	720	570	380

表-2 気象庁震度の限界震央距離

M	Δ (km)		
	iii	iv	v
5.0	100	30	10
6.0	200	80	20
7.0	380	220	80
8.0	730	620	260