

# 強震計記録による地震動最大加速度の統計的解析

東京大学生産技術研究所 正員 片山 恒雄

## 1. ま え が き

本報文は日本で得られた強震計記録の最大加速度値を統計的に検討し、耐震設計に用いる地震力設定のための基礎的資料を提供しようとするものである。構造物に作用する地震動の激しさを表わす指標として、地震時の地表面加速度の最大値が適当であるかどうかに関しては多くの疑問がある。実際には、最大加速度をあたえる波の周期や加速度の極値分布、さらに記録全体としての周期特性などが重要であることは明らかであるが、本報文では、あえて最大値のみに注目して検討している。

## 2. 解析の対象とした記録

一般に強震記録は水平2成分、鉛直1成分を含んでいるが、水平方向の最大加速度値を表わす量として、水平2方向のそれぞれの最大値  $a_1$ 、 $a_2$  の平均値  $a$  を用いた。

$$a = \frac{1}{2}(a_1 + a_2) \quad (1)$$

解析に用いた記録の総数は、水平方向に関しては330組の  $a_1$  と  $a_2$ 、鉛直方向に関しては320個の  $a_v$  である。これらの最大加速度値は1963年から1970年に日本周辺に発生した46個の地震から得られたものであり、表-1にこれらの地震のマグニチュードおよび震源の深さの分布を示す。表-2は330個の水平方向平均最大加速度  $a$  の分布を震央距離の範囲別に示したものである。震央距離100 km以上および最大加速度50 gal未満の記録がそれぞれ全体の69%および84%を占めており、近距離で大加速度の記録が相対的に少ないことがわかる。

表-1 46地震のマグニチュードおよび震源の深さの分布

		Focal Depth (km)				Total
		0-29	30-99	100-199	200-500	
Magni- tude	5.1-5.4	4	2	0	0	6
	5.5-5.9	4	3	1	0	8
	6.0-6.4	4	9	1	0	14
	6.5-6.9	4	6	1	0	11
	7.0-7.4	1	0	0	1	2
	7.5-7.9	1	4	0	0	5
Total		18	24	3	1	46

## 3. 最大加速度、マグニチュード

### および震央距離の関係

地震動の最大加速度をマグニチュードと震央距離(または震源距離)を用いた経験式で表わす試みは多くなされている。地震波の発生源は点ではなく、震源は地中に生ずるすべりの出発点を表わすものと考えられるから、震源・震央距離が変量としてどの程度の意味を持つかには議論の余

表-2 震央距離の範囲別に表わした水平方向平均最大加速度値の分布

		Average Acceleration (gal)						Total
		0-9	10-49	50-99	100-149	150-199	200-	
Epicentral Distance (km)	0-49	0	17	13	2	0	1	33
	50-99	13	44	10	1	0	1	69
	100-149	9	38	6	1	1	0	55
	150-199	18	33	4	1	0	1	57
	200-	62	44	5	2	3	0	116
Total		102	176	38	7	4	3	330

地があるが、ここでは2つの異なる形の経験式を最小二乗法により決定した。求められた式は

$$\log_{10} \bar{a} = 0.982 - 1.290 \log_{10} \Delta + 0.466M \quad (2)$$

および

$$\log_{10} \bar{a} = 2.308 - 1.637 \log_{10} (R+30) + 0.411M \quad (3)$$

となり、上式において  $\Delta$  (km) は震央距離、 $R$  (km) は震源距離、 $M$  はマグニチュードであり、最大加速度の単位は  $\text{gal}$  である。式(3)のカッコ内の数値 30 は相関係数が最大となるように定められた。式(2)に対する標準偏差は 0.328、相関係数は 0.708 であり、式(3)に対してはそれぞれ 0.246、0.607 である。震央付近での記録が相対的に少ないことなどの理由で、この場合には、震源深さの影響を無視した経験式(2)の方が良い結果をあらわしている。

$a/10^{0.466M}$

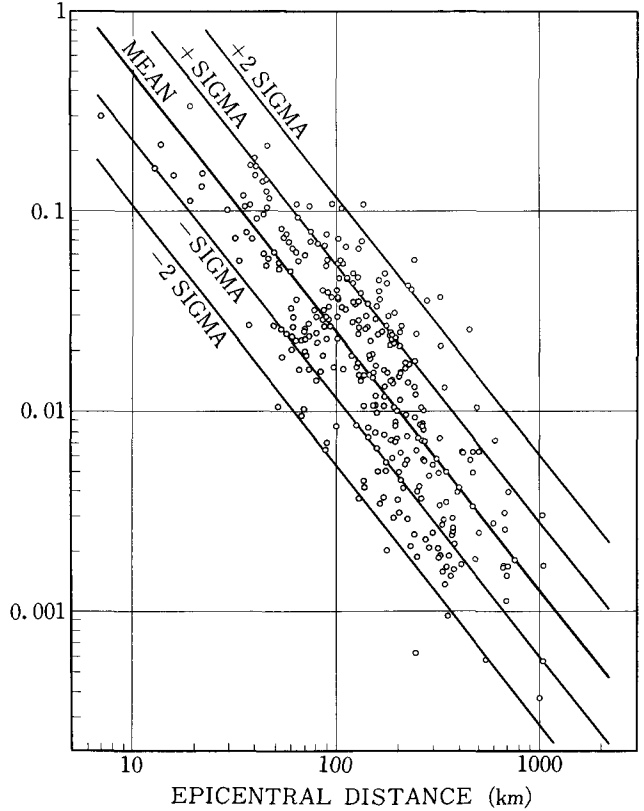


図-1 推定式(2)を中心としたデータ点のバラツキ

式(2)の推定曲線を中心とした実際のデータ点のバラツキを図-1に示す。図-1には、±σおよび±2σの線も示されている。図-2は、実記録から式(1)により求められた最大加速度値と式(2)によりマグニチュードと震央距離をあらえて算出された  $\bar{a}$  との比を横軸にとり、 $a/\bar{a}$  の超過確率を示したものである。図-2から、式(2)を用いて水平加速度の最大値を推定した場合、実際の最大加速度が推定値の2倍または3倍を越える確率がそれぞれ15%および5%程度であることがわかる。

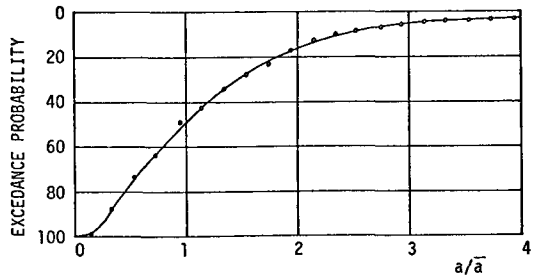


図-2 推定式(2)を用いた場合の  $a/\bar{a}$  の超過確率

1971年サンフェルナンド地震 ( $M = 6.6$ ) で記録された多くの最大加速度値の解析から

$$\bar{a} = 18400 R^{-1/2} \quad (4)$$

なる関係が得られている (N.C. Donovan, 5th WCEE, Paper No. 155, 1973)。図-3には、

式(4)の直線と式(2)に  $M = 6.6$  を代入して得られた直線が示されている。式(4)の  $R$  は震源距離とみなされる量であり、式(2)は震央距離を変数として整理されたものであるから、これらを同一の横軸で表示するのは必ずしも適当ではないが、少くとも平均的な最大加速度を考えるかぎり両者の一致は極めて良い。図-3にはさらに、 $M = 6.6$ 、地盤の卓越周期を  $0.2 \sim 0.6$  秒としたときの金井式(金井清, 日本地震工学シンポジウム, 1966)による地表面加速度の範囲も示されている。工学的な当否は別にして、金井式による加速度の推定値は強震計記録の最大加速度値から平均的に推定される値よりもかなり大きめの値をあたえることがわかる。

日本の陸上に発生する被害地震の規模は通常  $6.5$  から  $7.5$  程度であり、震源の深さは  $10$  km内外のものが多い。いま、 $R = 10$  を式(3)に代入すれば、震央付近での最大加速度の推定式として

$$\log_{10} \bar{a}_0 = -0.312 + 0.411M \quad (5)$$

が得られ、 $M = 6.5 \sim 7.5$  の範囲に対して

	平均	平均 + $\sigma$
$M = 6.5$	230 gal	510 gal
$M = 7$	370 gal	810 gal
$M = 7.5$	590 gal	1300 gal

となる。式(3)を求めるために用いた資料には、近距離の記録が少ないことに注意すべきである (GAL) が、上掲の平均的最大加速度の値は、過去の地震被害の調査から推定された震央付近での最大加速度の値の範囲と比較的良好の一致を示している(岡本舜三, 「耐震工学」)。

#### 4. 鉛直・水平最大加速度の比

強震計記録の鉛直方向最大加速度と式(1)による水平方向最大加速度の比の分布を320組のデータについて整理し、図-4に示した。図-5は同じ結果を、縦軸に超過確率をとって確率分布の形で示したものである。鉛直・水平最大加速度の比は平均して  $0.43$  である。水平方向最大加速度は水平2成分記録のそれぞれの最大値の平均として定義されていることに注意されたい。一般に、設計において鉛直方向の地震力を考慮する場合には、水平方向の設計震度の  $1/2$  の鉛直方向設計震度をとることが多いが、図-5によれば、鉛直方向の最大加速度が水平

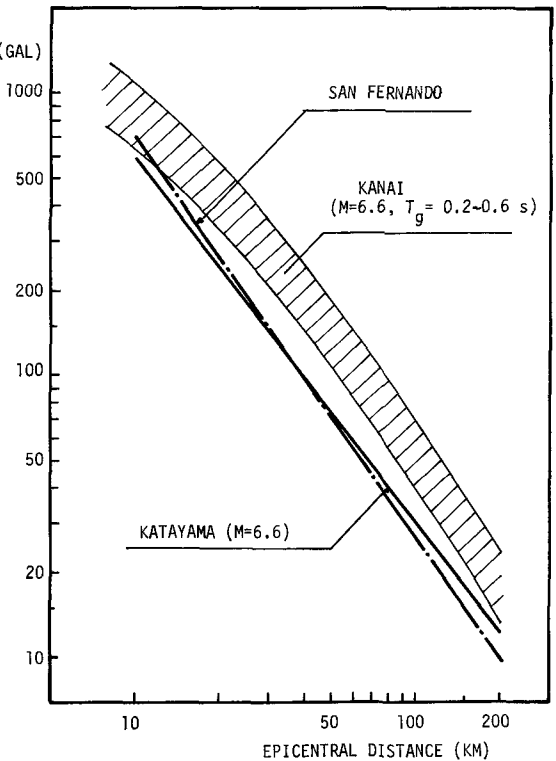


図-3 サンフェルナンド地震および金井式による最大加速度値との比較

方向最大加速度の1/2を越える確率はかなり小さく約20%であることがわかる。また、鉛直・水平最大加速度比と震央距離の関係を調べるために、比較的小規模の地震と中規模の地震について、異なる震央距離の範囲ごとに $a_v/a$ の平均値と標準偏差を求めた結果を表-3に示す。従来、震央距離が小さくなるほど鉛直方向の最大加速度が水平方向加速度にくらべて相対的に大きくなると言われているが、表-3からは特にそのような傾向は認められないようである。

### 5. むすび

解析に用いた資料に、震央距離が小さく加速度値の大きな記録が相対的に少ないこと、および記録地点の地盤条件の差異を無視した巨視的な解析であることなどに十分注意する必要はあるが、少なくとも水平方向最大加速度の平均的な値の推定には式(2)を用い、さらに平均値からのバラツキに対しては図-2に示される超過確率を考慮することにより、耐震設計に使用する設計外力を検討することが可能である。

例えば、「本州四国連絡橋耐震設計指針(案)(1972年9月)」によれば、100年あたり1~2回の発生が予想されるマグニチュード8、震央距離150 km程度の地震を対象として、平均的地盤上で230 galの最大水平加速度を考え、地表面から20~30 mの深さの下部構造支持地盤上での設計加速度を180 galと設定している。式(2)に $M=8$ 、 $\Delta=150$ を代入すれば、 $\bar{a} \approx 80$  galとなる。設計加速度決定の基本となるのは、地表面で230 galの最大加速度であり、図-2から、 $230/80 \approx 2.9$ に対して超過確率は6%程度と推定される。また、式(3)によれば、230 galという最大加速度の値は、 $M=6.5$ 程度の地震の震央付近での平均的な最大加速度に相当していると考えられる。

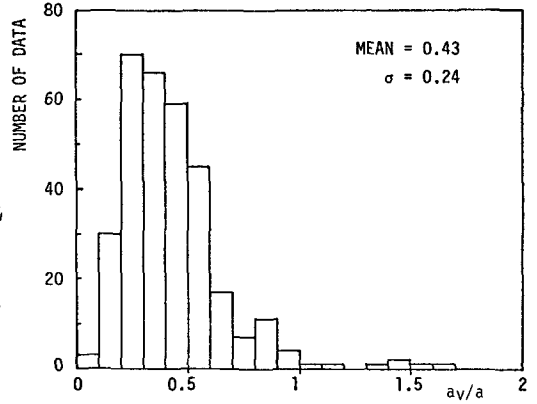


図-4  $a_v/a$ の分布

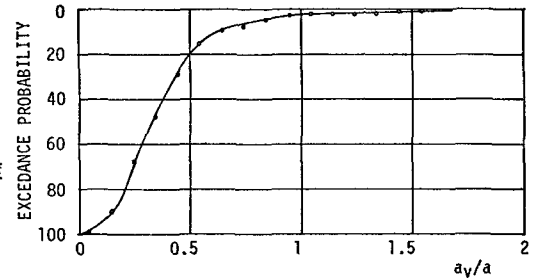


図-5  $a_v/a$ の超過確率

表-3 鉛直・水平最大加速度の比と震央距離の関係

		$5.5 \leq M < 6.5$			$6.5 \leq M < 7.5$			Total Data Set		
		N	$\bar{a}_v/\bar{a}$	$\sigma$	N	$\bar{a}_v/\bar{a}$	$\sigma$	N	$\bar{a}_v/\bar{a}$	$\sigma$
$\Delta$ (km)	0-49	16	0.36	0.10	2	--	--	34	0.35	0.21
	50-99	43	0.43	0.18	14	0.40	0.09	67	0.44	0.21
	100-149	21	0.42	0.23	25	0.38	0.15	53	0.40	0.20
	150-199	19	0.44	0.21	26	0.41	0.25	55	0.45	0.31
	200-	16	0.48	0.30	39	0.49	0.22	111	0.45	0.25
Total		115	0.43	0.21	106	0.43	0.20	320	0.43	0.24

$\Delta$  = Epicentral distance

N = Number of data

$\bar{a}_v/\bar{a}$  = Average ratio

$\sigma$  = Standard deviation