

強震動の継続時間*

吉田 弘**・勝又 護***

550.34

On the Duration of Strong Shaking of Destructive Earthquakes

H. Yoshida

(Seismological Division, J. M. A.)

M. Katsumata

(Meteorological Research Institute, J. M. A.)

Duration of strong shaking in destructive earthquakes is investigated using the seismograms of JMA-type Strong Motion Seismograph (Period: 6 sec, Magnification: 1, displacement).

Duration of strong shaking (τ sec) is defined as $T_2 - T_1$, where T_1 is the initial time at strong shaking and T_2 is the final time. The relation among τ and such factors as magnitude, epicentral distance and ground condition is examined.

Main results obtained are as follows:

1. Change in durations due to the epicentral distances is very small when the distance is less than 100km.
2. The relation between duration (τ) and magnitude (M) is given by the following equation:
$$\log_{10} \tau = -(2.02 \pm 0.33) + (0.45 \pm 0.07) M$$
3. Durations of acceleration over 50gal agree with the value obtained from the above equation.
4. Influence of ground condition on the duration is not clear.

§ 1. はじめに

強烈な地震動の継続する時間がおおよそどの位かということは、地震時の緊急対応、避難行動等を考える際の大きな関心事である。また、その継続時間は、地震動による各種の構造物等の破壊現象を究明する上で重要な要素の一つである。

強烈な地震動の継続する時間（以下主要動の継続時間という）に関して、既にいくつかの研究がなされている。たとえば、Gutenberg-Richter (1942, 1956), Housner (1965), 小林 (1971), Ohashi et al (1977)。しかし、これらは加速度型強震計で得られた記録を用い、地震動の比較的短周期成分を対象としたものであり、長周期の地震動を対象としたものはまだない。ここでは、気象庁型強震計（倍率：1倍、周期：6秒）で得られた変位記録について、主要動の継続時間とマグニチュード、震央距離、地盤条件などとの関係について調査した。

§ 2. 主要動の性質

主要動の始まり (T_1) の走時は Fig. 1 のようになる。この図で実線は震源の深 40km に対する S 波の走時で

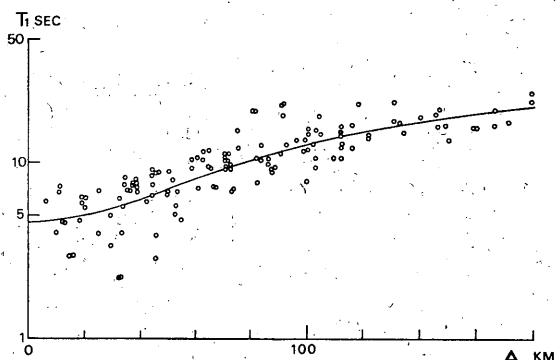


Fig. 1. Travel time of the initial time of strong shaking (T_1). Solid line indicates travel time for S wave (for focal depth 40km).

*Received May 30, 1976

**気象庁地震課

***気象研究所地震火山研究部

あるが、 T_1 は比較的良くこの曲線にのっている。このことや主要動の出現状況 (Fig. 2 参照) などから、ここでとりあつかう主要動は、大部分のものが S 波系統の実体波から始まっているとみることができる。

主要動の終了時について明確な定義を与えることは難しいが、Fig. 2 の実例にみられるように、優勢な振動の終了時 (T_2) を比較的容易にかつ客観的に指摘できることが多い。つまり、主要動は比較的急速に減衰し (特に、ここで主として対象とする近距離地震の場合には)、終末振動部との区別が可能であることが多い。しかし、地震記象は、発震機構、伝ば中の反射屈折、観測点付近の地盤条件等により著しく変化する。従って、地震記

象から主要動の始まり、あるいは終りを客観的に指摘することが困難な場合もある。このようなもの (約 2, 3 割程度) は今回の調査から除外した。Tab. 1 に今回の調査で使用した資料のマグニチュード別、震央距離別の度数分布を示す。(記録の 1 成分を 1 ケと算出)。

この表からわかるように、マグニチュードの大きい地震を近距離で観測した資料の数は、まだ非常に少ない。この調査の対象となったものは、大部分が M 6.5~7.0 の地震に関する資料である。最も重要である大地震の近距離に関する部分については、資料の蓄積をまっけて更に調査を進めたい。

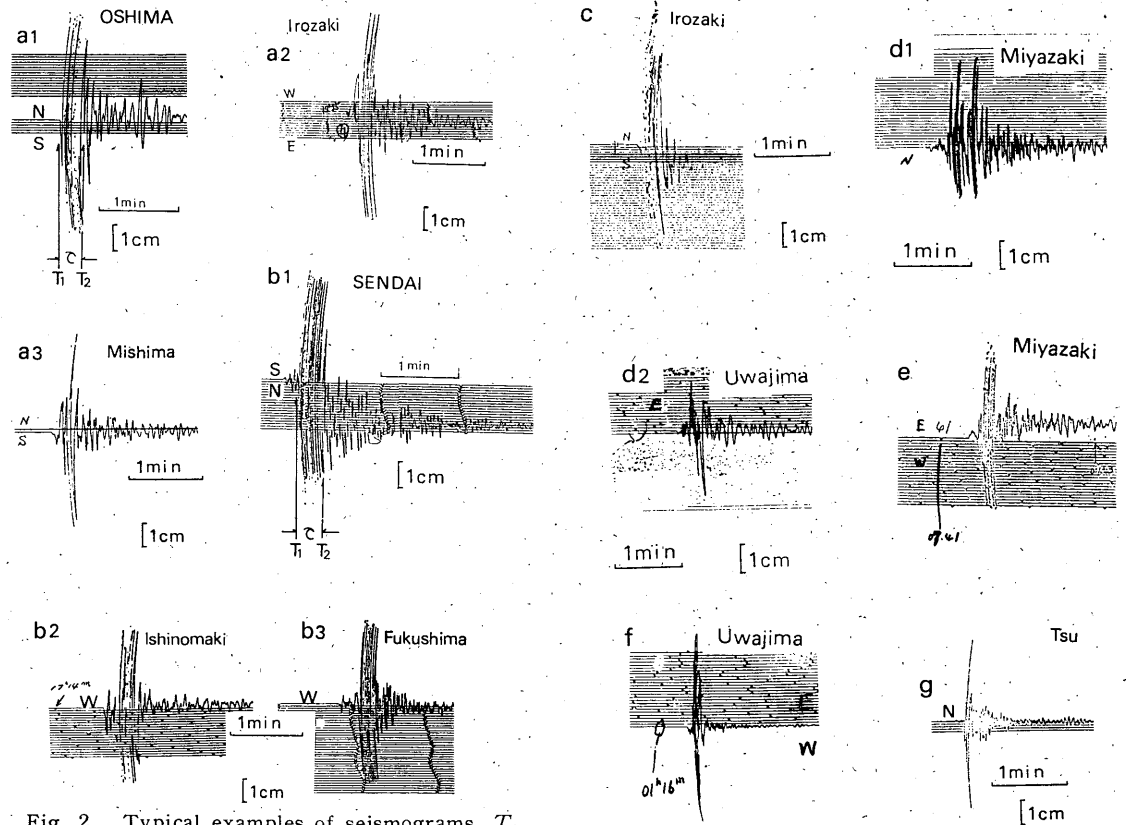
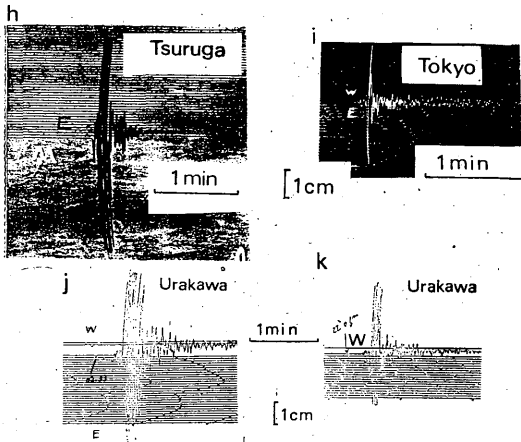


Fig. 2. Typical examples of seismograms. T_1 and T_2 indicate the initial time of strong shaking and final time, respectively.

- a 1 Oshima (Δ : 10km, M : 7.0 Near Izu Oshima, Jan. 1978)
- a 2 Irozaki (Δ : 25km, " ")
- a 3 Mishima (Δ : 48km, " ")
- b 1 Sendai (Δ : 112km, M : 7.5 Off Miyaigi Pref., June 1978)
- b 2 Ishinomaki (Δ : 83km " ")
- b 3 Fukushima (Δ : 155km " ")

- c Irozaki (Δ : 6 km, M : 6.9 Off Izu Pen., May)
- d 1 Miyazaki (Δ : 112km, M : 7.5 Off Miyazaki Pref., Apr. 1968)
- d 2 Uwajima (Δ : 104km " ")
- e Miyazaki (Δ : 60 km, M : 6.7 Off Miyazaki Pref., July 1970)
- f Uwajima (Δ : 18 km M : 6.6 Near Uwajima, Aug. 1968)
- g Tsu (Δ : 67 km, M : 6.1 Near Atsumi Pen., Jan. 1971)



- h Tsuruga (Δ : 32km, M : 6.9 Echizen-misaki, Mar. 1963)
- i Tokyo (Δ : 44km, M^* : Midlde of Chiba Pref., Sep. 1956)
- j Urakawa (Δ : 38km, M : 6.7 Near Urakawa, Jan. 1970)
- k Urakawa (Δ : 20km, M : 6.9 Near Urakawa, Sep. 1968)

$M \backslash \Delta$	≤ 50	≤ 100	≤ 150	≤ 200
6.0	1			
1	11	2		
2	6	1		
3				
4	2			
5	1			
6	3	8	3	3
7	4	6	1	1
8				
9	5	11	6	
7.0	10	10	8	
1				
2				
3		2		
4		2	3	2
5		4	9	1
6				
7				
8				
9				5

Tab. 1. Number of data used in this study, classified by magnitude (M) and epicentral distance (Δ : km).

* M : $6\frac{3}{4} \sim 7$ (Gutenberg による)

§ 3. 主要動の継続時間とマグニチュード、震央距離、地盤条件との関係

1) 主要動の継続時間と震央距離との関係

主要動の始まりの時期 (T_1) と終りの時期 (T_2) との差 ($T_2 - T_1$) を主要動の継続時間 (τ , 秒) とし, τ と震央距離 (Δ , km) は Fig. 3-a に示すようになる。

Ohashi et al. (1977, (5) 式参照) は両者の間にゆるい関係 (Δ が倍になると τ は約 1.3 倍となる) を認めているが, Fig. 3-a をみるとかなりのバラツキを示すが, τ は Δ により大きな系統的变化を示さないことが分か

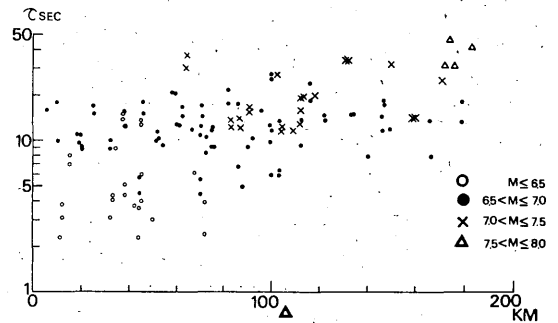


Fig. 3-a Relation between duration (τ) and epicentral distance (Δ).

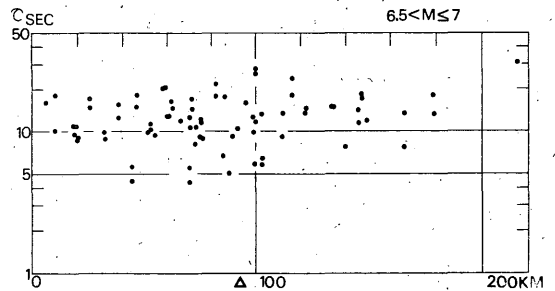


Fig. 3-b. Relation between duration (τ) and epicentral distance (Δ) showing the data for $6.5 < M \leq 7.0$ only.

る。Fig. 3-a のうちから、資料数の最も多いマグニチュードが 6.5 から 7.0 までの地震のみを選び出し同様な図を作ると Fig. 3-b のようになる。この図によれば、 τ が Δ にほとんど無関係であり、近距離ではほぼ一定であることがわかる。

2) 主要動の継続時間とマグニチュードとの関係

Fig. 3-b から $\Delta \leq 100$ km の範囲では τ は Δ に関係しないと仮定して、 τ とマグニチュード (M) との関係についてみると Fig. 4 のようになる。大きなバラツキは

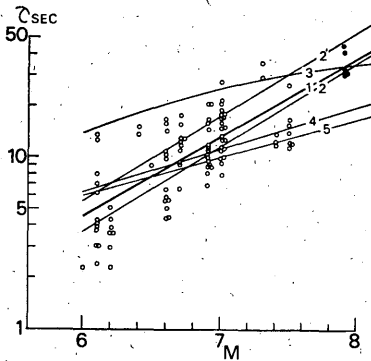


Fig. 4. Duration (τ) versus magnitude (M). Open circle: epicentral distance less than 100km, solid circle: epicentral distance about 200km. Number on curve indicates to the following equations, respectively.

- 1 $\log_{10} \tau = -(2.02 \pm 0.33) + (0.45 \pm 0.07) M$
(Present study)
- 2 $2' \log_{10} \tau = -0.0088 + 0.5 M - 1.82$
(小林, 1971)
- 3 $\tau = 11 M - 52$ (Housner, 1965)
- 4 $\log_{10} \tau = 1/4 M - 0.7$ (Gutenberg-Richter 1942)
- 5 $T_a = 2.08 \times 10^{-2} \times 10^{0.274 M} \times \Delta^{0.394}$
($\Delta = 100$ km). (Ohashi et al., 1977)

あるが、一応 τ と M との関係は $\log_{10} \tau = a + bM$ の形であらわすと

$$\log_{10} \tau = -(2.02 \pm 0.33) + (0.45 \pm 0.07) M \quad (1)$$

($\Delta \leq 100$ km)

となる。

Fig. 4 に 1 で示す直線は、(1)式により求められたものである。また、 Δ が前記の範囲より著しくはずれているが(約 250 km)、1968 年の十勝沖地震 ($M 7.9$) の資料 (5 ケ、Fig. 4 の黒丸) を追加し、同様な係数を求めると

$$\log_{10} \tau = -(2.10 \pm 0.34) + (0.46 \pm 0.06) M \quad (2)$$

となり(1)式とほぼ同じ結果が得られる。(2)式によれば、 $M=6$ で約 5 秒、 $M=7$ で 13 秒、 $M=8$ で 38 秒となる。 τ のバラツキを考慮に入れても $M=8$ で τ は 60 秒を超えることはないと推定される。

3) 地盤の影響

地盤の性質と τ との関係についてみると、Fig. 5 に示すようになる。地盤の分類としては一般に広く行なわれているように岩盤から軟弱地盤へと地盤条件を 4 段階に分類した(気象官署に関する分類は気象庁(1972)参照)。

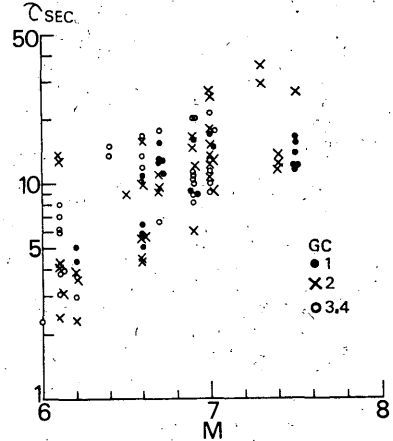


Fig. 5. Relation between duration (τ) and ground condition (GC).

1. Rock 2. Diluvium 3. Alluvium(except 4) 4. Soft alluvium

Fig. 5 からわかるように、 τ と地盤の性質との間にはあまり明りょうな関係は見出せない。ただし、 M が 6~6.5 位の地震で震源が浅い場合、地盤条件が、3、4 の観測点で τ がやや大きくなる場合があるようにみえる。

§ 4. 加速度記録による結果との比較

変位記録から得られた今回の結果と、加速度記録から得られている結果とを比較してみる。加速度記録から得られた結果はそれぞれ次のようになっている。

$$\text{小林(1971)} \log_{10} t_a = -0.0088 \alpha + 0.5 M - 1.82 \quad (3)$$

(t_a : α ガル以上の加速度が継続する時間)

$\alpha = 70$ について Fig. 4 の 2, $\alpha = 50$ について Fig. 4 の 2'

$$\text{Housner (1965)} \tau = 11 M - 52 \quad (\text{Fig. 4 の 3}) \quad (4)$$

(主要動の継続時間の最大値)

$$\text{Gutenberg-Richter (1942)} \log_{10} \tau = 1/4 M - 0.7 \quad (\text{Fig. 4 の 4}) \quad (5)$$

$$\text{Ohashi et al. (1977)} T_a = 2.08 \times 10^{-2} \times 10^{0.274 M} \times \Delta^{0.394} \quad (\text{Fig. 4 の 5}) \quad (6)$$

(T_a : 最大加速度の 1/2 以上の加速度の継続する時間)

(T_a については $\Delta = 100$ km とした)。

これらにより得られた直線を Fig. 4 に示した。

今回得られた(1)式による τ は、小林が求めた α が50~70ガルの場合の継続時間を示す線の間にはいっており、両者は比較的良好に一致している。また、Fig. 4で τ の上限をとった場合、主要動の継続時間の上限について求められた Housner の結果とほぼ一致する。Gutenberg-Richter (1942) が求めた τ [(1954)の結果は更に小さな値を示す] および Ohashi et al. が求めた T_a についてみると、両者とも今回得られたよりも全体として小さな値となっている。

§ 5. 結 論

気象庁型強震計(倍率1, 周期6秒)の記録について、 $M 6$ 以上の地震の主要動の継続時間を調査した結果は次のようである。

1) 震央距離が100 kmまでの範囲では、主要動の継続時間は震央距離にあまり関係しない。

2) マグニチュード6.0~7.5、震央距離約100 kmの範囲で求めた主要動の継続時間(τ)とマグニチュード(M)との関係は

$$\log_{10} \tau = -(2.02 \pm 0.33) + (0.45 \pm 0.07) M$$

となり、この関係式はマグニチュード8程度、震央距離200 km程度まで拡張できるものと思われる。この結果と加速度記録から得られている結果とを比較すると、50ガル以上の加速度の継続時間と比較的良好な近似を示す。

3) 主要動の継続時間(τ)に及ぼす地盤の影響は、あまり明瞭でない。

参 考 文 献

- Gutenberg, B. and C. F. Richter (1954); Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration, Bull. Seism. Soc. AM., 44, 163~191.
- 小林芳正 (1971); 地盤災害の諸現象とその機構, 鉄道技術研究報告, No. 744, 1~47.
- 気象庁 (1972); 気象庁地震観測官署の地盤調査, 験震時報, 37, 113~115.
- Housner, G. W. (1965); Intensity of Earthquake Ground Shaking near the Causative Fault, Proc. of the Third World Conference on Earthquake Engineering, Vol. I, p III, 94~111.
- Ohashi, M., T. Iwasaki, and S. Wakabayashi (1977); Statistical Analysis of Strong motion Acceleration Records, 9th Joint Meeting, U. S. -Japan Panel on Wind and Seismic Effects, U. J. N. R.