

(2) 工学に関連した各種マグニチュードの間の関係

茨城大学工学部	正会員	○井上 京介
東京大学工学部	正会員	藤野 陽三
同		B.K.Bhartia
茨城大学工学部		橋間 洋子
同		吉田 靖夫

1. まえかき

マグニチュード・スケールには様々の種類のものが存在するか、工学に関係が深いものは周期数秒以下の地動振幅から決めるスケール, すなわち Richter のローカル・マグニチュード M_L , 気象庁マグニチュード M_J , 武村・小山ら¹⁾ の定義した実体波マグニチュード m_b^* などである。このうち, M_L は震央距離 Δ が数百 km 以内の地点における周期1秒前後のS波(水平動)振幅から, M_J は Δ が数百 km 以内の地点における周期数秒の地動(水平動)振幅から, また m_b^* は Δ が数 km 以内の地点における周期1秒前後のP波(上下動)振幅から, それぞれ求める。本論文では, 我国における強震加速度記録を用いて我国の160個の地震の M_L を金森ら²⁾ の方法により数値的に計算し, それを地震月報記載の M_J の値と比較し, さらに武村ら¹⁾ にならって新しいスケール M_{pe} , M_{ph} を定義して前記160個の地震のうち約40個の地震についてこれらの値を求め, それを M_L の値と比較したので, それらの結果を以下に報告する。

2. 強震記録から求めた日本の地震の M_L

金森ら²⁾ は強震加速度記録から数値的に M_L を計算する方法を示し, それを用いて米国の主要な地震の M_L を求めたか^{2), 3)}, 筆者ら⁴⁾ は前回, その方法を用いて, 港湾技術研究所の485成分の強震加速度記録から我国の143個の地震の M_L を求めた。それに引き続いて今回筆者らは, 前記のデータに土木研究所の強震加速度記録を加え^{5), 6)}, 合計624成分のデータから我国の1962年~83年における(前記の143個を含む)160個の地震の M_L を新たに計算した。なお, この160個の地震を, ①1地震に対し2地点以上で記録のとれたもの, ②1地震に対し1地点のみで記録のとれたもの, の2種類に分類し, それぞれをグループA, Bと名付けると, グループAは56地震416成分, グループBは104地震208成分である。さて M_L の計算の際, 次式

$$M_L = \log_{10} A - \log_{10}(A_0) \quad (1)$$

ここに A は Wood-Anderson 型地震計の振幅(mm)を用いて震央距離の補正を行なうか, この式で $\log_{10}(A_0)$ は $M_L=0$ の地震の記録振幅の距離減衰曲線を表わす。今回はこの $\log_{10}(A_0)$ とし, ① Richter⁷⁾ が表で与えた値(いわゆる Richter 曲線), ② (2)式で定義される関数, すなわち

$$\log_{10}(A_0) = -1.22 \log_{10}(\Delta + 30) - 0.41 \quad (2)$$

③ (3)式で定義される関数, すなわち

$$\log_{10}(A_0) = -0.0003d - 1.10 \log_{10}d - 0.77 \quad (3)$$

ここに d は震源距離(km)

の3通りの関数を採用した。このうち(2), (3)両式の関数形は以下のように求めた。すなわち, 地震の番号を i ($i=1, 2, \dots, N$), 地震 i の観測データの

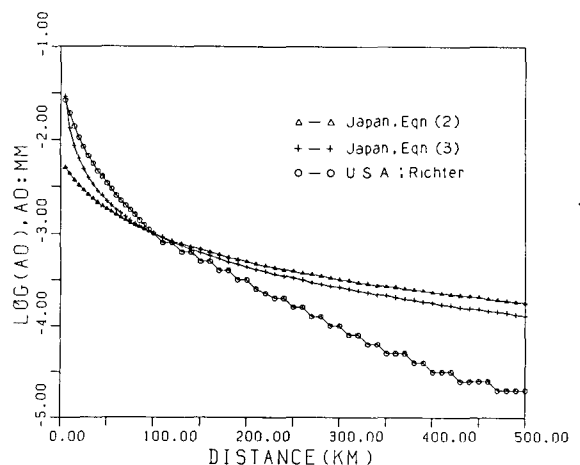


図1. 3種類の距離減衰曲線

番号を j ($j=1, 2, \dots, n_i$) とし、地震 i のデータ j から (1) 式により求まる M_L を M_{ij} 、地震 i の M_L の平均を $\bar{M}_i$ としたとき、次式

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{n_i} (\bar{M}_i - M_{ij})^2 \tag{4}$$

の値を最小にするように関数形を決めた。①～③の $\log_{10}(A_0)$ の関数形を図1に示す。図からわかるように、(2)、(3)両式の差は小さく、また Richter 曲線を用いた場合、(2)または(3)式を用いた場合に比べ近距離では M_L を過小に、遠距離では M_L を過大に評価する。図2に $\log_{10}(A_0)$ として(2)式を用いたときの上記160地震の M_L の計算値と、気象月報から引用した対応する M_J の値の関係を示す。両者の相関はあふむわ良く、回帰直線を求めると

$$M_L = 0.48 M_J + 3.57 \tag{5}$$

となった。

3. Benioff 型地震計記録から求めた M_{pz} , M_{ph}

武村ら¹⁾は WWSSN の Benioff 型地震計の P 液上下動の記録全体の最大振幅から決める m_B というマグニチュード・スケールを定義したか、本研究では武村らにならって以下に述べるように M_{pz} , M_{ph} というスケールを定義し、それを2で述べた日本のグループAの地震のうちの39個の地震、及び外国の5個の地震の計44個の地震に適用して、それらの M_{pz} , M_{ph} の値を求めた。すなわち

$$M_{pz} = \log_{10}(A_{pz}/T) + Q_{pz}(\Delta, h) \tag{6}, \quad M_{ph} = \log_{10}(A_{ph}/T) + Q_{ph}(\Delta, h) \tag{7}$$

ここで A_{pz} は Benioff 型地震計による記録上の上下動振幅の最大値を地震計倍率で割って地動振幅に直したもので、また A_{ph} は同じく水平動振幅の2成分合成値で、単位はいずれも μ (ミクロン)。

の両式により M_{pz} , M_{ph} を定義する。ここで Q_{pz} , Q_{ph} は Gutenberg ら⁸⁾ がグラフで与えた値をそのまま用いた

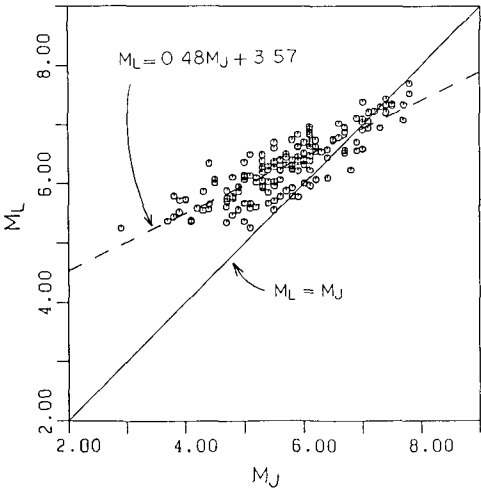


図2 M_J と M_L の関係 (160 地震)

No	Date	Name of Earthq.	Epicenter (deg.)		Depth (km)	Ms	ML	Mpz	Mph
			lat (N)	long (E)					
1	1968.04.01	Hyuganada	32.5	132.3	37	7.7 (MOS)	7.3	6.4	6.6
2	1968.05.16	Tokachi-Oki	40.9	143.4	9	7.9 (USCS), 8.2 (MOS)	7.7	7.1	7.4
3	1968.05.16	Tokachi-Oki (Aftershock)	41.5	142.8	26	7.5 (MOS)	7.2	6.9	7.1
4	1968.06.12	Iwateken-Oki	39.0	142.9	31	7.0 (USCS)	7.2	6.6	6.7
5	1968.07.01	Saitama Center	36.0	139.3	68	—	6.6	6.1	6.3
6	1968.08.05	Ehime West Coast	33.3	132.3	48	6.5 (MOS)	7.0	6.2	6.3
7	1968.10.08	Chiba Center	35.6	140.1	73	—	6.2	5.5	5.7
8	1969.09.09	Gifu Middle	35.8	137.1	29	8.8 (MOS), 6.0 (USCS)	6.8	5.9	6.0
9	1970.01.20	Hokkaido South	42.5	143.0	25	6.4 (USCS), 6.7 (MOS)	6.9	6.5	6.7
10	1970.04.01	Iwate Coast	39.8	141.9	75	—	6.2	5.8	6.0
11	1971.01.04	Arichi Offshore	34.5	137.1	44	5.8 (MOS)	6.9	5.4	5.6
12	1971.07.22	Yamanashi East	35.5	139.0	48	—	6.3	5.4	5.5
13	1971.08.02	Erimosaki Offshore	41.4	143.4	45	7.1 (MOS)	7.1	6.6	6.8
14	1972.02.29	Hachijojima	33.4	141.0	50	7.3 (MOS)	7.1	6.7	6.9
15	1972.03.19	Aomori East	40.8	142.0	72	6.3 (MOS)	6.5	6.1	6.3
16	1972.12.04	Hachijojima	33.3	140.8	62	7.4 (MOS)	7.0	6.6	6.8
17	1973.03.27	Tokyo Bay	35.5	140.0	65	—	5.9	5.6	5.9
18	1973.05.17	Newuro Penn Offshore	43.1	145.7	41	7.7 (NEIS), 7.8 (MOS)	7.4	6.7	7.0
19	1973.11.19	Miyagi Offshore	39.0	141.9	56	6.5 (MOS)	6.6	6.2	6.4
20	1974.05.08	Izu-Hantoo-Oki	34.6	138.8	20	6.5 (NEIS), 7.0 (MOS)	6.6	6.1	6.2
21	1974.08.03	Saitama East	36.0	140.0	57	5.8 (MOS)	6.2	5.8	6.0
22	1975.03.14	Aichi Gifu	35.3	136.8	60	5.0 (MOS)	6.2	5.4	5.6
23	1976.06.15	East Yamashi	35.5	139.1	47	5.1 (MOS)	6.2	5.4	5.6
24	1977.06.08	Miyagi Offshore	38.6	141.6	74	5.2 (MOS)	6.4	5.7	5.7
25	1977.12.16	Ibaraki Offshore	36.7	141.1	53	5.4 (NEIS), 5.2 (MOS)	6.4	5.6	5.9
26	1978.01.14	Izu-Onshima-Oki	34.8	139.3	60	6.7	6.3	6.4	6.5
27	1978.02.20	Miyagi Offshore	38.8	142.3	60	6.4	6.2	6.2	6.2
28	1978.03.07	Chiba Offshore	32.0	137.6	441	6.5	7.2	6.3	6.4
29	1978.05.16	Aomori East Coast	41.1	141.1	41	5.5	6.2	6.0	6.3
30	1978.05.23	Tanegashima	33.1	130.1	160	6.2	6.5	6.3	6.4
31	1978.06.12	Miyaziken-Oki	38.2	142.0	49	6.2	6.5	6.3	6.4
32	1978.07.04	Miyagi North	32.7	131.2	125	5.3	6.8	5.9	6.0
33	1978.08.13	Tokyo Bay North	36.0	140.1	157	—	5.8	5.3	5.8
34	1978.12.06	Kunashiki Island	4.4	141.9	60	6.4	7.1	6.9	7.2
35	1979.07.13	Selonaikai West	33.9	131.9	74	5.7	6.9	5.7	5.9
36	1980.06.29	Izu-Hantoo-Oki	34.8	139.3	19	6.4	6.6	5.9	6.1
37	1980.09.23	Ibarakiken Nanseibu	36.0	139.8	88	4.8	6.2	5.4	5.6
38	1980.09.24	Chibaiken Nanbu	35.5	140.2	69	5	6.2	5.9	6.1
39	1981.01.23	Hokkaido South	42.5	142.2	110	6.4	6.9	6.3	6.5
40	1986.06.28	Parkfield	35.9	-120.4	16	—	5.9	5.7	6.1
41	1971.02.09	San Fernando	34.4	-118.4	9	6.5 (NEIS)	6.4	6.4	6.5
42	1979.10.15	Imperial Valley	32.9	-115.5	5	7.5 (Abc)	6.4	5.9	6.1
43	1976.02.04	Qualemaia	15.3	-89.2	5	7.5 (Abc)	6.9	6.5	6.7
44	1964.03.28	Alaska	61.1	-147.5	23	8.4 (Abc)	7.3	7.3	7.5

表1. 各地震の各マグニチュードの値

。また丁は最大振幅を与える周期を表わすか、今回は便宜上、上下動、水平動ともに $T=1\text{sec}$ と仮定した。 M_{pz} 、 M_{ph} の計算に際しては、1地震当たり平均して十数個所の観測点における地震計記録紙(マイクロ・フィルムから拡大焼付したものを)を用い、その上で最大振幅の値を直接読みとった。表1に上記の各地震の M_L 、 M_{pz} 、 M_{ph} の値を示す。ここにNo.1~39の日本の地震の M_L は、 $\log_{10}(A_0)$ として(2)式を用いて計算したものである。またNo.40~43のアメリカの地震の M_L は金森ら^{2),3),9)}によった。(No.43のGuatemala地震の M_L は、Seismoscopeの記録からの推定値⁹⁾である。)次に M_L と M_{pz} 、 M_{ph} の値を比較する。これらは周期1秒前後の実体波振幅から決めるという点で共通しており、通常の建造物の固有周期が1秒以下であることを考えると工学の立場からは特に重要なスケールである。図3、4に M_L と M_{pz} 、 M_{ph} の関係を示す。かなりバラツキはあるが、これらの間には良い相関があると言える。回帰直線は日本の39個の地震について、それぞれ

$$M_{pz} = 0.89 M_L + 0.11 \quad (8)$$

$$M_{ph} = 0.86 M_L + 0.51 \quad (9)$$

となり、いずれも直線の傾きかゝりに近いことがわかる。またアメリカの4つの地震については、いずれも M_L に対し M_{pz} 、 M_{ph} の値が日本の平均値よりも相対的に大きい。次に(8)、(9)両式の応用の一つとして、表1のNo.44のAlaska地震($M_s=8.4$)の M_{pz} 、 M_{ph} の値をこれらの式に代入すると、どちらの式からも同地震の M_L の推定値が約8.1と求まる。この値は M_L の上限値と考えられる。ちなみに金森ら⁹⁾の推定した米国西海岸の地震の M_L の最大値は、1906年San Francisco地震の7/4である。

4. あとがき

主に日本の地震について、強震加速度記録から M_L の値を計算しそれを M_J の値、およびBeni-off型地震計記録から求めた M_{pz} 、 M_{ph} の値と比較した。今後さらに多くのデータを使ってこれらのスケールの間の回帰式の信頼性を向上させると共に、これらのスケールの工学への応用に關して多方面から検討してゆきたい。

5 謝辞

本研究で用いた土木研究所の強震加速度記録のデータは、京都大学工学部の杉戸真太氏^{5),6)}よりお借りしたものである。またBeni-off型地震計の記録紙の収集にあたり、山谷敦氏(東電設計)ほか多くの方々に御協力を頂いた。ここに各氏に感謝の意を表する。なお本研究は、昭和59年度文部省科学研究費自然災害特別研究(1) No.59020012(代表・藤野陽三)による予算で行なわれた。

6. 参考文献

- 1)武村・小山(1980):地震学会講演予稿集No.2, p.96
- 2)Kanamori et al.(1978). B.S.S.A Vol.68, No.2
- 3)Jennings et al.(1983). B.S.S.A Vol.73, No.1
- 4)藤野他(1983) 地震学会講演予稿集No.1, p.274
- 5)恒川他(1985):才18回地震工学研究発表会講演概要(投稿中)
- 6)京都大学SLG(1984):Research Report No.84-ST-03
- 7)Richter(1958):Elementary Seismology
- 8)Gutenberg et al.(1956):Ann Geofis Vol.9
- 9)Jennings et al(1979):B.S.S.A Vol.69, No.4

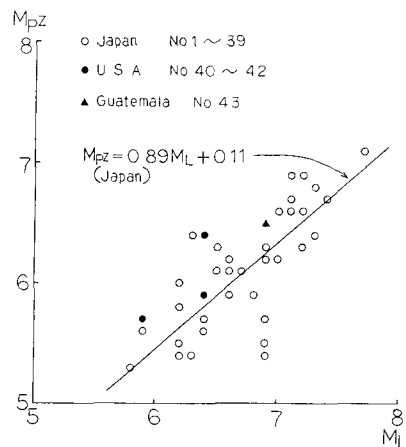


図3. M_L と M_{pz} の関係 (43地震)

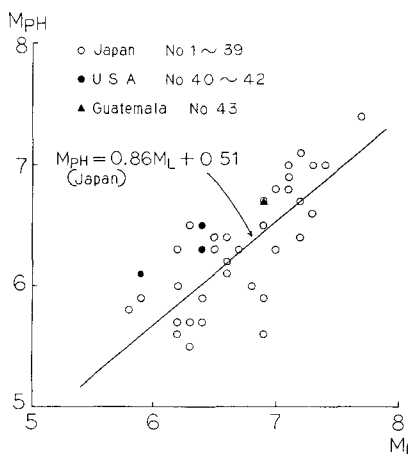


図4. M_L と M_{ph} の関係 (43地震)

土木学会第40回年次学術講演会（昭和60年 9 月）