

余震多発時の震度決定 —1995年兵庫県南部地震の場合—

Seismic Intensity Determination of Ceaselessly Succeeding Aftershocks

—A case of the 1995 Southern Hyogo Prefecture Earthquakes—

(Received December 11, 1995; Accepted March 21, 1996)

有本敏雄

Toshio Arimoto

§ 1 はじめに

気象庁では、震度観測を1991年4月1日から順次体感から計測震度計による観測に移行した。大阪管区気象台管内の計測震度観測は、1994年4月1日より一斉に開始された。

計測震度計で測定された震度は、10秒毎に自動的に算出され「ケイソク」電報として大阪管区気象台（以下：地震津波予報中枢）に自動送信され、ETOS（地震津波監視装置）に取り込まれるシステムとなっている。1995年1月17日に発生した「兵庫県南部地震」においても、通信障害等となった震源に近い一部の官署を除いて震度が自動送信された。

兵庫県南部地震では、短時間に数多くの余震が発生したことから、リアルタイムに全ての余震を決定することは出来ず、余震観測は暫定的な対応とならざるをえなかった。

各地の震度も同様で、余震自体が全て検出されていない。計測震度計も1つの地震に対して複数の「ケイソク」電報を発信することから、どの「ケイソク」電報がどの地震に対応するのか「ケイソク」電報のみでの振り分けはままならず、振り分けが可能なもののみ各地の震度を暫定決定して情報発表せざるをえなかった。

本震から3週間ほど経った2月10日頃には、本震直後の余震もほぼ精密検測が終了し震源決定された。また、リアルタイムで入電しなかった一部官署の「ケイソク」電報も全てがETOSに取り込まれた。

これに伴い、計測震度計の10秒毎の震度データを使った個々の余震に対応する各地の震度決定および暫定的に情報発表していた各地の震度の総点検が可能となった。

このことから、計測震度計の10秒毎の震度データを

使って、体感震度時代には出来なかった過去に遡っての各地の震度決定を試みたのでその手法と結果を報告する。

なお、この作業によって、暫定的に決定していた有感余震数よりも81個（42%増）新たに有感余震を決定することが出来た。これらの結果は気象庁としての最終決定として採用されることとなった。

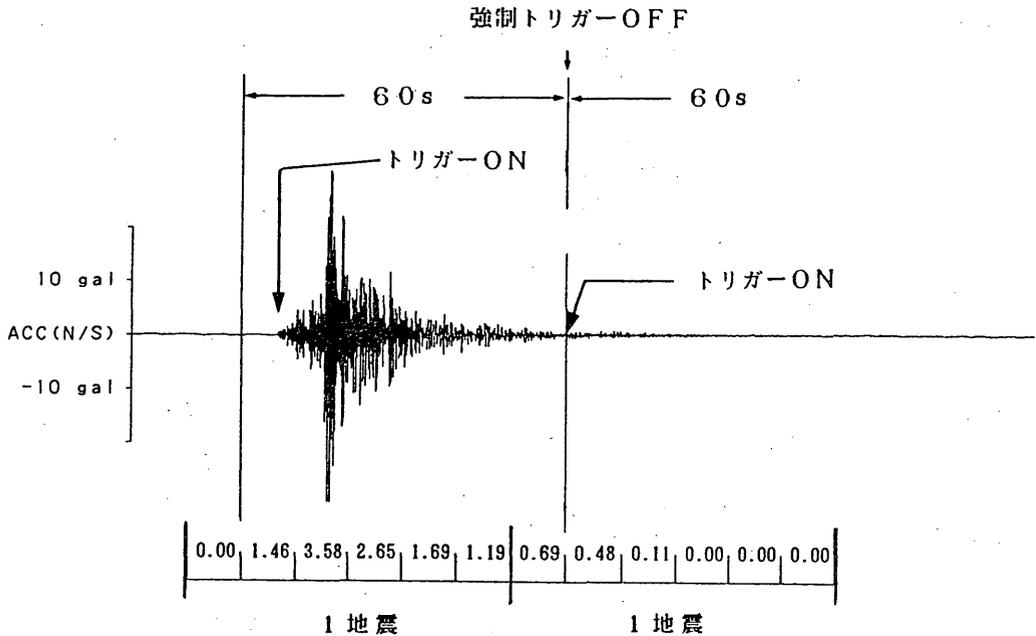
§ 2. 計測震度計の10秒毎の震度について

計測震度計では、時刻の正10秒で区切られた10秒毎の震度を算出し、トリガーON（地震発生）となった10秒間ブロックの前10秒ブロックを含む6ブロックを1地震とし、各ブロックの最大震度をその1地震の計測震度として（第1図）、また、1地震の10秒毎の各ブロックの震度を3ケタの小数2位までの震度値として通報（第2図）している。これらのデータが各地の震度として地震津波予報中枢に「ケイソク」電報として入電しETOSに取り込まれる。ただし、計測震度計は震度の算出・記録と送信が主な機能であり地震の区別はしてくれない。そのため、各地震に対応する各地の震度の決定は人による作業を必要とする。

§ 3. 震度決定のための作業経過

計測震度計の10秒毎の震度データを使って、各余震に対する各官署の震度の決定を行った手順を以下に述べる。

- 1) 通信障害等で自動送信されなかった「ケイソク」電報を再送要求によってETOSに取り込む。
- 2) ETOSに取り込んだ「ケイソク」電報を編集して、各官署の計測震度計の10秒毎の震度データを官署毎、時間順に並べ替える。第1表に大阪の例を示す。
- 3) 余震の暫定決定では、本震に次ぐ余震は第2表のように暫定2、暫定3、暫定4のようになっている。その後の精密検測によって本震から暫定2との間に3個、暫定2と暫定3の間に2個、暫定3と暫定4の間に1個の地震が決定された。



第1図 トリガー判定と計測震度計の関係図

この余震決定をもとに、各余震に対する各官署の震度を決定するための表が第3.1表、第3.2表である。

4) 第3.1表と第3.2表は、縦軸に震源から近い順に気象官署、横軸に時間順に並べ替えた10秒毎の各官署の震度をプロットしたもので、上の部分に決定された暫定余震と追加余震の発震時間、マグニチュード、震央地名そして決定した各地の震度を示したものである。

まず、各余震毎にPS走時を計算しP波の予想到達時刻を目処に余震と余震の区別を行い、10秒毎の震度データを地震毎に区分けして線引きする。

(— — — の線で地震毎に震度を区切る)

次に、S波予想到達時刻と最大震度の出現時刻を比較して見る。

第3.1図、第3.2図、第3.3図は、追加地震①、追加地震②、追加地震③のPS走時曲線と最大震度が出現した10秒期間との比較を示したものである。

これによると最大震度の出現時刻は、S波の予想到達時刻とほぼ一致していることがわかる。

そしてSの予想到達時刻と最大震度の出現時刻を比較しながら、該当する地震の最大震度を選出決定する。第3.1・2表において、○で囲ったものが採用した震度である。

暫定的に情報発表していたものについては、この結果と照合し最終決定とした。

5) この余震に伴う各地の震度再決定作業は1月24日の余震まで必要であった。1月25日以降の各地の震度分布は、緊急震源決定により地震情報として発表していたものと同じものとなり震度の再決定作業は不要となった。

6) 1月17日5時56分から6時3分の間はETOSに地震波形が収録されず、この間の余震決定が出来なかった。この間、神戸の10秒毎の震度データでは、震度Ⅱ=1回、震度Ⅰ=6回記録されているが詳細不明で地震無しとした。また、神戸の10秒毎の震度データでは、上記以外にも5時51分震度Ⅱ、5時52分震度Ⅱ、6時28分から8時16分の間震度Ⅰ=6回の未決定震度があるものの、それに該当する地震がないためノイズ扱いとした。

§ 5. まとめ

最大震度の出現時間は、PS走時からみると第3図のようにほぼS波の予想到達時刻と一致していた。余震と計測震度データとの対応は良かった。第4表のように、この作業によって、1月24日までの有感余震数は191個となり、それまで暫定的に決定していた有感余震数と比べ81個(42%増)多く決定することが出来た。

47770	K6	T1705	46568		
地点番号 最大震度		日時		分 秒	
M08180	P007	R1070	R2022		
最大加速度		周期		80gal以上継続秒 250gal以上継続秒	
S000445	S637508	S348333			
A	B	C	D	E	F
★3数字づつ10秒毎の最大震度を小数第2位まで通報					
A=	46分40秒~46分50秒間の最大震度	0.00			
B=	// 50秒~47分00秒	//	4.45		
C=	47分00秒~ // 10秒	//	<u>6.37</u>		
D=	// 10秒~ // 20秒	//	5.08		
E=	// 20秒~ // 30秒	//	3.48		
F=	// 30秒~ // 40秒	//	3.33		

ケイソク コウ

47770	K6	T1705	46568	M08180	P007	R1070	R2022
S000445	S637508	S348333					
C/////	C/////	C/////					
KS///	CS///	R3///	R4///				
KSX///	KSY///	KSZ///					
MX06173	MPX007	47015	PX007				
MY08180	MPY007	47016	PY007				
MZ03322	MPZ///	47008	PZ///				
DD9501	コウ	=					

第2図 「ケイソク」電報説明図

第1表 17日5時46分から53分までの大阪で計測した10秒毎の震度データを時間順に並べたもの

OSAKA	00~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	S
17D05H46M	----	----	----	----	----	----	
17D15H47M	4.12	4.35	3.97	3.11	3.21	2.92	
17D05H48M	2.68	2.26	2.41	1.87	1.59	1.67	
17D05H49M	1.19	1.32	1.39	1.35	0.89	0.76	
17D05H50M	1.64	0.91	0.57	1.70	1.34	1.08	
17D05H51M	0.44	0.41	0.48	0.16	0.05	----	
17D05H52M	1.26	0.16	0.87	----	----	----	
17D05H53M	----	----	2.23	1.16	0.37	----	

こうした作業は、体感震度時代には出来なかったことであり、計測震度計の有効性が証明された。一方、一部の官署で計測震度が自動送信されなかったことから、計測震度計の強化や通信手段の二重化等の改善が望まれる。

なお、ここで求めた震度は、気象庁としての最終決定として採用されることとなった。

謝 辞

ETOSに入った各官署の「ケイソク」電報を10秒毎の震度データとして官署毎に時間順に並べ変えるプログラムを和歌山地方気象台の石井嘉司氏に作成して頂いた。また、P S走時計算は大阪管区気象台予報課の山根通氏作成のプログラムを使用させて頂いた。震度決定作業

第2表 再験測によって決定された余震の発震時刻と
マグニチュード及び震央地名
(★=本震 ☆=暫定決定していた余震)

1995年1月17日			
★本震 1	05h46m51.8s	M7.2	淡路島
追加①	05h49m14.6s	M4.6	大阪湾
追加②	05h49m35.1s	M4.5	大阪湾
追加③	05h49m48.8s	M4.7	兵庫県東部
☆暫定 2	05h50m23.9s	M5.2	兵庫県東部
追加④	05h51m05.2s	M4.1	淡路島
追加⑤	05h51m47.5s	M4.4	大阪湾
☆暫定 3	05h52m07.3s	M4.4	兵庫県東部
追加⑥	05h52m40.2s	M3.6	淡路島
☆暫定 4	05h53m11.6s	M4.9	兵庫県東部
追加⑦	05h54m04.1s	M3.9	兵庫県東部
追加⑧	05h54m30.2s	M4.2	大阪湾

や本報告において大阪地震火山課竹内副主任技術専門官
にご指導を頂いた。

なお、本報告文は1995年12月19日に行われた「平成7
年度大阪府気象研究会」に「兵庫県南部地震の余震に関
する計測震度計の10秒データを使った震度の決定」と題
して発表したものを、さらに検討し加筆したものである。
加筆にあたり気象庁地震予知情報課岸尾調査官、細野主
任技術専門官にご指導頂いた。この場を借りてお礼申し
上げる。

文 献

地震火山部 (1992): 90型震度計について。測候時報第
59巻第1号, 1-35

第3.1表 10秒毎の震度データによる震度決定表
 (○で囲った数字が採用した震度, 小数第1位を4捨5入して使用
 の区切りをつけている)

で地震毎

追加① 05H49M14.6S M4.6 大阪湾 II神戸 豊岡 I大阪 姫路 和歌山 京都 徳島 鳥取 彦根 境 呉
 追加② 05H49M35.2S M4.5 大阪湾 III神戸 II京都 I大阪 姫路 和歌山 徳島 高松 豊岡 岡山 鳥取
 追加③ 05H49M48.8S M4.7 兵庫県東部 IV神戸 II大阪 岡山 彦根 I姫路 和歌山 京都 徳島 舞鶴 豊岡 津山 鳥取 境 上野
 暫定2 05H50M24.0S M4.9 兵庫県東部
 追加④ 05H51M05.2S M4.1 淡路島
 追加⑤ 05H51M47.5S M4.4 大阪湾
 暫定3 05H52M07.4S M4.4 兵庫県東部
 II神戸 I大阪 姫路 和歌山 京都 豊岡
 IV神戸 III岡山 II京都 徳島 大阪 彦根 和歌山
 姫路 豊岡 多度津 高松 米子 鳥取 境 I舞鶴
 高知 福山 津山 呉 潮岬 室戸岬 松江 上野 伊良湖
 II神戸
 III神戸 I大阪 姫路 和歌山 京都 豊岡
 岡山 和歌山

HHmm SS~SS	0549 0010	1020	2030	3040	4050	5060	0550 0010	1020	2030	3040	4050	5060	0551 0010	1020	2030	3040	4050	5060	0552 0010	1020	2030	3040	4050	5060	
神戸	0.73	0.68	(2.19)	0.83	(2.76)	(4.11)	1.86	0.51	(4.76)	4.39	2.18	1.13	0.87	(2.06)	0.20	1.56	0.63	(2.46)	2.25	(3.04)	0.85			(0.97)	0.91
大阪	1.19	1.32	(1.39)	1.35	(0.89)	0.76	(1.64)	0.91	0.57	(1.70)	1.34	1.08	0.44	0.41	0.48	0.16	0.05		(1.26)	0.16	(0.87)				
姫路			(0.51)		(1.21)		(0.72)			(1.80)	1.08								(0.55)						
和歌山	0.37	0.55	(0.77)	0.55	(1.01)	0.55	(0.91)	0.45		(1.81)	1.63	1.12	0.55	0.41	0.20				(0.58)	(0.58)	0.20				
京都	0.64	0.37	0.37	(1.49)	0.45	0.37	(2.03)	(1.47)	0.41	0.29	(1.84)	0.93	0.33		0.45					(0.99)	(1.28)	0.20			
徳島	1.01	0.93	0.70	(0.70)	0.58	(0.80)	0.29	(0.82)	0.33	0.04	(2.21)	2.18	1.36	0.89	0.20										
舞鶴	0.11				0.05			(1.10)			0.54	(1.26)	0.48												
高松	0.72	0.72	0.37	0.24	0.15		(0.61)	0.09	0.33		0.20	(1.54)	1.13	0.51	0.04										
豊岡	2.32	2.18	1.34	1.52	(1.74)	1.36	(1.07)	(1.36)	1.17	0.70	1.07	(2.10)	1.61	1.08	0.80	0.61	0.15		0.04	(0.95)	0.41	(0.58)	0.37		
岡山				0.09	0.20		(0.55)	0.15	(1.81)		1.36	(2.93)	1.35	0.24						0.09		(1.08)	0.64		
津山									(0.55)		0.09	(1.27)	1.35												
鳥取	0.78	0.93	0.66	0.29	0.11	(0.76)	0.05	(0.63)	(1.22)	0.63	0.48	0.41	(2.41)	2.08	0.71	0.20	0.25								
多度津													(1.50)	1.23	0.24		0.09								
彦根	1.36	1.22	0.89	0.81	0.41	(0.78)	0.20	0.20	(1.71)	1.23	0.63	0.25	(1.89)	1.06	0.33										
潮岬													(0.67)	0.29											
福山	0.09										0.20		(0.93)	0.58											
室戸岬													(0.72)	0.29											
米子													(1.52)	1.04											
高知													(0.77)	1.18	0.24										
境	2.13	1.78	1.57	1.34	1.43	1.07	(1.03)	0.72	0.33	0.37	(0.82)	0.64	0.45	0.37	(1.65)	1.28	0.75	0.20	0.29						
松江		0.73	0.25	0.29											(0.60)	0.33									
呉	1.41	1.36	1.12	0.77	0.80	0.15	(0.55)	0.04								(0.64)	0.61	0.09	0.37						

★洲本：本震後～07h00mの間は欠測、07h00m～08h14mの間は体感。奈良：本震後～05h52mの間は欠測。~~~~下線は不明震度

第3.2表 10秒毎の震度データによる震度決定表

(○で囲った数字が採用した震度, 小数第1位を4捨5入して使用の区切りをつけている)

で地震毎

暫定4 05H53M11.7S M4.9 兵庫県東部

IV神戸 II大阪 和歌山 奈良 京都 舞鶴 豊岡 岡山 彦根

I姫路 徳島 津山 高松 多度津 鳥取 堺 上野 伊良湖

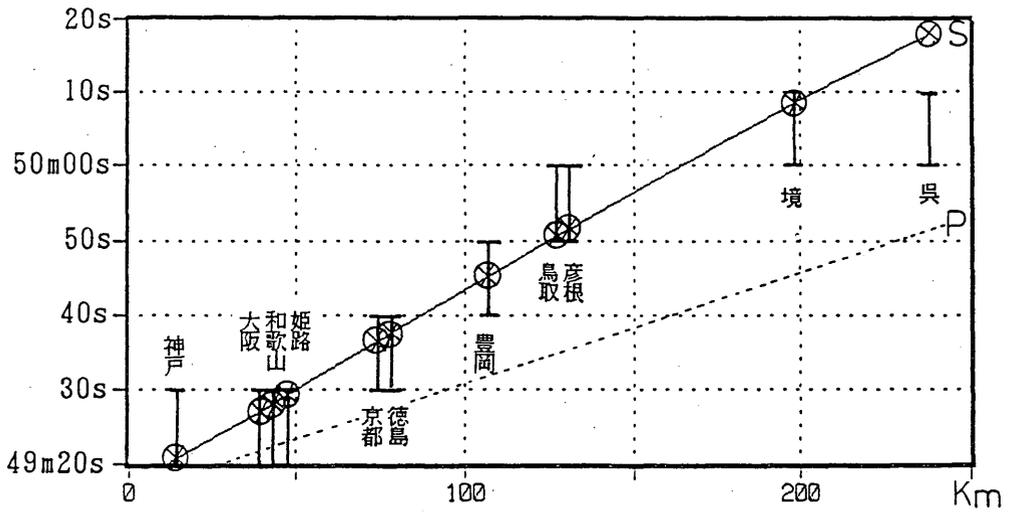
追加㉚ 05H54M04.2S M3.9 兵庫県東部

II神戸

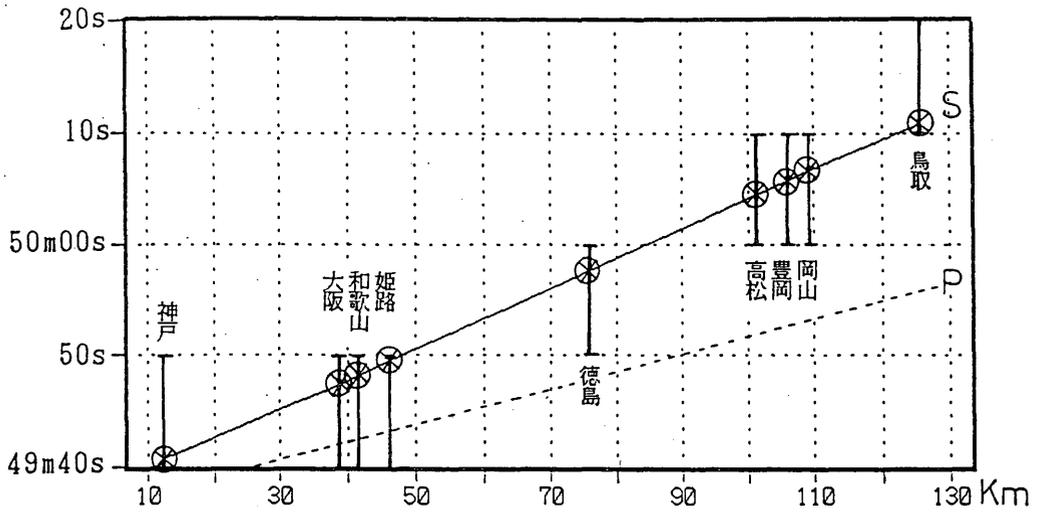
追加㉓ 05H54M30.3S M4.2 大阪湾

II神戸 I姫路

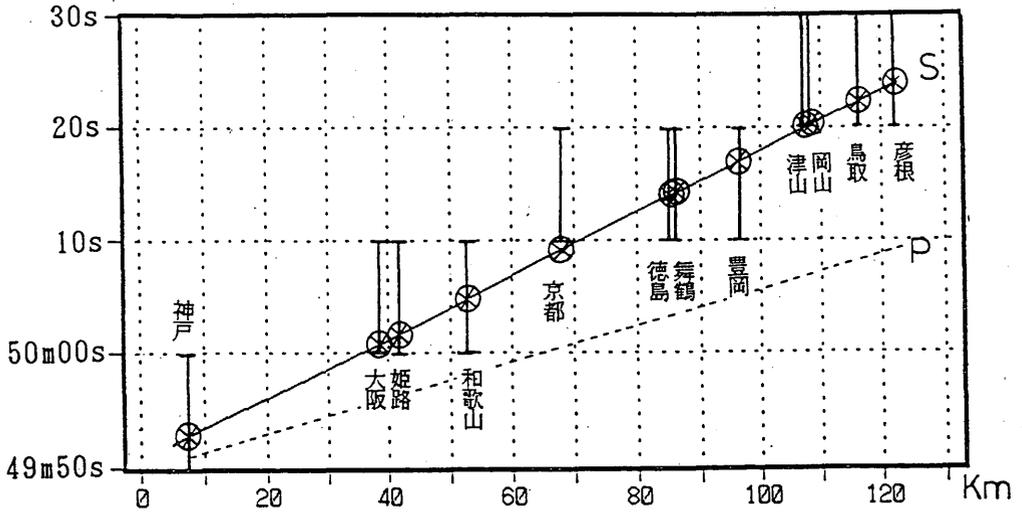
HHmm SS~SS	0553 0010	1020	2030	3040	4050	5000	0554 0010	1020	2030	3040	4050	5000
神戸		(4.40)	2.70	1.56	0.76	0.29	1.20	(1.96)	0.29	(2.25)		
大阪			(2.23)	1.16	0.37							
姫路			(1.45)	0.04							(0.67)	
和歌山			(1.96)	1.17	0.75							
奈良			1.48	(2.43)	1.52	0.89	0.55					
京都			0.33	(2.20)	0.61	0.04						
徳島				(1.35)	1.12							
舞鶴			0.48	(1.93)	0.76							
高松					(1.13)	0.04						
豊岡				0.09	(2.15)	1.20	0.15					
岡山				0.45	(1.75)	0.51						
津山				0.61	(1.26)	0.20						
鳥取				0.11	(1.13)	1.04	0.33	0.11				
多度津						(0.70)	0.29					
彦根				0.16	(1.65)	1.59	0.37	0.05				
境							0.15	(1.05)	0.15			



第3.1図 P・S走時曲線と最大震度出現時刻との比較
 (斜線はP・S走時曲線, Iで示した所が最大震度出現時刻 05H49M14.6S M4.6大阪湾)



第3.2図 P・S走時曲線と最大震度出現時刻との比較
 (斜線はP・S走時曲線, Iで示した所が最大震度出現時刻 05H49M35.1S M4.5大阪湾)



第3.3図 P・S走時曲線と最大震度出現時刻との比較
 (斜線はP・S走時曲線, Iで示した所が最大震度出現時刻 05H49M48.8S M4.7兵庫県東部)

第4表 日別有感余震回数比較表

1995年1月

数 \ 日	17	18	19	20	21	22	23	24	計
暫定有感余震数	62	17	13	6	5	2	4	1	110
追加した有感余震数	42	1	9	6	10	4	6	3	81
有感余震合計	104	18	22	12	15	6	10	4	191