

土 木 研 究 所 資 料

最大地震動および地震応答スペクトルの推定法

——(その11)直交2方向の最大加速度特性——

平成4年8月

建設省土木研究所
地震防災部振動研究室

Copyright © (1992) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

最大地震動および地震応答スペクトルの推定法

——(その11)直交2方向の最大加速度特性——

Estimation of Peak Ground Motions and Earthquake Response Spectra

——(Part11) Maximum Acceleration Characteristics
along Two Orthogonal Axes——

振動研究室 室 長 常 田 賢 一
主任研究員 田 村 敬 一
深 田 秀 実

要 旨 最大地震動および地震応答スペクトルの推定法 ——(その11)直交2方向の最大加速度特性——

197組 (197×2成分) のSMAC型強震計記録をもとに、水平方向のある一方向成分の最大値と同時刻における直交方向成分との比を求め、地震動の直交成分を考慮することの影響について検討した。また、直交2成分の最大加速度の比、並びに両者がそれぞれ最大値をとる時間差などについて検討を行った。

その結果、直交2方向成分がそれぞれ最大加速度をとる時間差は平均的には1.80秒で、直交2成分が同時に最大値をとる頻度は低く、ある一方向成分が最大加速度をとる時刻における直交方向成分の加速度は、その最大加速度の30%程度であるという結論を得た。

キーワード：耐震設計，入力地震動，最大加速度

ま え が き

構造物の耐震計算においては、構造物の直交する水平2軸方向に同一規模の地震力を独立に作用させて検討を行うのが通常である。したがって、耐震計算上は、構造物に大きな影響を及ぼすある水平一方向成分のみを考慮すればよいことになる。この根拠は、直交2方向の地震力が同時に最大値をとる可能性は低いことにあるとされている。しかしながら、地震動のある一方向成分が最大値を示す時刻においても、一般に直交成分は0ではなく、ある値を有している。

このような観点から、本研究では197組（197×2成分）のSMAC型強震計記録をもとに、水平方向のある一方向成分の最大値と同時刻における直交方向成分との比を求め、地震動の直交成分を考慮することの影響について検討した。また、直交2成分の最大加速度の比、並びに両者がそれぞれ最大値をとる時間差、さらに、水平2成分の強震記録から任意の方向に沿う加速度時刻歴を算出し、時刻歴最大値の水平面内での最大と最小値の比、それらを与える角度の差について検討を行った。

平成4年8月

建設省土木研究所地震防災部振動研究室

室 長 常田 賢一

主任研究員 田村 敬一

深田 秀実

目 次

まえがき

1. 概 説	1
2. 解析に用いた強震記録	2
3. 地震動の直交 2 成分の特性	15
3.1 パラメータの定義	15
3.2 地震動の直交 2 成分の特性	15
4. 最大加速度の最大および最小値	35
4.1 パラメータの定義	35
4.2 最大加速度の最大および最小値	35
5. 結 論	40
参 考 文 献	41

1. 概 説

構造物の耐震計算においては、特殊な場合を除き、構造物の直交する水平 2 軸方向に地震力を独立に作用させて検討を行うのが通常である¹⁾。したがって、耐震計算上は、構造物に大きな影響を及ぼすある水平一方向成分のみを考慮すればよいことになる。一方、強震観測では一般に直交する水平 2 成分並びに上下 1 成分の加速度を計測するが、記録された水平成分は強震計の設置方向の加速度を表すに過ぎず、水平面内の最大値を与えるものではない。このような点を考慮して、川島らは 103 組 (103 × 2 成分) の SMAC 型強震計記録を用いて、最大加速度、最大速度および最大変位について水平 2 成分を合成した最大値は記録された水平 2 成分のうちいずれか大きい方より平均して 8 % 程度大きくなることを明らかにした^{2), 3)}。

前述したように水平 2 軸方向の耐震計算を独立して行うことの妥当性の根拠は、直交 2 方向の地震が同時に最大値をとる可能性は低いことによる。しかしながら、地震動のある一方向成分が最大値を示す時刻においても、一般に直交成分は 0 ではなく、ある値を有している。このような観点から、土岐は米国カリフォルニア州で観測された最大加速度が 60 ~ 70 gal 以上の強震記録を用いて、一方向の水平成分の最大加速度 X とその値を示す時刻における直交成分の加速度値 Y から $\sqrt{X^2 + Y^2} / X$ を算出し、最大加速度に及ぼす直交成分の影響について検討している⁴⁾。その結果によれば $\sqrt{X^2 + Y^2} / X$ の平均値は 1.06 である。すなわち、 $X = 1$ とすれば $Y = 0.35$ となることになる。

本研究では、マグニチュード 5 以上の 88 地震から得られた 197 組 (197 × 2 成分) の SMAC 型強震計記録をもとに、水平方向のある一方向成分の最大値と同時刻における直交方向成分との比の他に、直交 2 成分の最大加速度の比、並びに両者がそれぞれ最大値をとる時間差について検討した。さらに、ある一方向成分が最大値をとる時刻を中心とした時間窓を設定し、上記最大値と時間窓内における直交方向成分の最大値との比を算出し、時間窓の長さとも最大加速度の比の関係について検討した。また、水平 2 成分の強震記録から任意の方向に沿う加速度時刻を算出し、水平面内での時刻歴最大値の最大と最小値の比、それらを与える角度の差について検討した。

2. 解析に用いた強震記録

解析対象としたのは表2.1に示すように我が国の67観測地点(いずれも地盤上)において観測された2@197組の水平加速度強震記録(水平2成分)である。これらは表2.2に示すように、昭和38年3月27日の越前沖地震($M=6.9$)から昭和55年6月29日の伊豆河奈崎沖地震($M=6.7$)に至るまでの合計88回の浅発地震(震源深さ60km以浅)に際し、SMAC型強震計(SMAC-B, B₂, Q, D, E₂)により得られたものであり、建設省土木研究所および運輸省港湾技術研究所により数値化された記録である。これらが得られた地震のマグニチュード M および震央距離 Δ をプロットすると図2.1のようになる。これによれば、いわゆる大規模地震による近距離の記録は含まれていない。また197記録中57記録はマグニチュード6.0~6.5の地震により得られたものであり、7.0以上のマグニチュードの地震により得られた記録は40である。また、解析に用いた記録のうち最も大規模な地震は、昭和43年5月16日の十勝沖地震($M=7.9$)であり、昭和43年4月1日の日向灘沖地震($M=7.5$)、昭和43年5月16日の十勝沖地震の余震($M=7.5$)、昭和44年8月12日の北海道東部の地震($M=7.8$)、昭和47年12月4日の八丈島東方沖の地震($M=7.2$)、昭和48年6月17日の根室半島沖地震($M=7.4$)、昭和53年6月12日の宮城県沖地震($M=7.4$)等が、これに引続く規模の大きい地震である。

解析記録には数値化精度を考慮して1/3Hzおよび12Hzを、それぞれ、低振動数側および高振動数側の遮断振動数とする計器補正を加えた⁵⁾。また、地盤種別は道路橋示方書耐震設計編⁶⁾に従い、Ⅰ種地盤、Ⅱ種およびⅢ種地盤の3区分とした。Ⅰ種地盤、Ⅱ種地盤、Ⅲ種地盤ごとの記録数は、それぞれ、46、107、44記録である。図2.2は解析記録の震央距離、マグニチュード、震源深さおよび最大加速度の頻度を各地盤ごとに示したものである。

なお、解析記録の詳細については参考文献7)を参照していただきたい。

表 2.1(1) 解析に用いた強震記録

№	観測所名	記録名	地震 №	地震名	地震発生 年月日時分	M	深さ	震 源 距 離
1	土研旧千葉支所 (1)	901-GRA-4	630804	千葉県東方沿岸	1963, 08. 04, 20:43	5.1	40	31.2
		901-GRA-33	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	72.3
		901-GRA-66	74015	茨城県南西部	1974, 08. 04, 03:16	5.8	50	45.9
2	新天竜川橋	904-GR-1	650420	静岡県近海	1965, 04. 20, 08:42	6.1	20	47.5
		904-GR-4	71002	愛知県沿岸	1971, 01. 05, 06:09	6.1	40	67.7
3	落合橋 (1)	905-GRA-266	70011	松代近傍	1970, 04. 09, 01:44	5.0	0	24.3
4	開北橋	302-GR-1	66025	宮城県東方沖	1966, 06. 24, 06:52	5.1	60	61.9
		302-GR-3	67004	金華山沖	1967, 01. 17, 20:59	6.3	30	70.6
		302-GR-9	68050	岩手県沖	1968, 06. 12, 22:42	7.2	0	190.9
		302-GR-11	68062	宮城県東方沖	1968, 07. 05, 20:28	6.4	50	78.7
		302-GR-22	70026	宮城県沖	1970, 09. 14, 18:45	6.2	40	92.6
		302-GR-34	78002	"	1978, 02. 20, 13:37	6.7	50	84.2
		302-GR-35	78012	"	1978, 06. 12, 17:14	7.4	40	81.4
5	有明海堤防	801-GR-1	66051	有明海	1966, 11. 12, 21:01	5.5	20	12.9
		801-GR-2	68026	日向灘	1968, 04. 01, 09:42	7.5	30	233.7
6	伊達橋	304-GR-6	67004	金華山沖	1967, 01. 17, 20:59	6.3	30	144.5
		304-GR-13	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	227.0
		304-GR-14	68062	宮城県東方沖	1968, 07. 05, 20:28	6.4	50	162.6
		304-GR-21	70008	福島県沖	1970, 02. 15, 13:01	5.1	50	99.1
		304-GR-23	70031	秋田県南東部	1970, 10. 16, 14:26	6.2	0	153.3
		304-GR-26	71018	福島県沖	1971, 03. 22, 19:40	5.4	10	147.9
		304-GR-28	71021	宮城県沖	1971, 04. 05, 03:39	6.0	50	157.8
		304-GR-30	71038	福島県沖	1971, 09. 08, 16:25	5.5	40	122.9
		304-GR-32	72019	宮城県沖	1972, 09. 25, 18:27	5.5	50	147.0
		304-GR-33	72029	八丈島東方沖	1972, 12. 04, 19:16	7.2	50	517.2
7	新葛飾橋	101-GR-5	67057	茨城県沖	1967, 11. 19, 21:07	6.0	50	140.6
		101-GR-7	68018	千葉県中部	1968, 03. 07, 11:54	5.1	50	33.8
		101-GR-9	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	47.7
		101-GR-24	74015	茨城県南西部	1974, 08. 04, 03:16	5.8	50	28.3
8	鹿島試験所	906-GR-12	71040	千葉県北部	1971, 10. 11, 19:16	5.2	40	9.5
		906-GR-13	72001	千葉県北部	1972, 01. 04, 09:20	5.0	40	11.3
		906-GR-17	73024	銚子近海	1973, 09. 30, 15:18	5.9	50	26.9
		906-GR-18	73025	"	1973, 10. 01, 23:16	5.8	60	33.3
		906-GR-19	74006	千葉県東方沖	1974, 03. 03, 13:50	6.1	60	41.6
		906-GR-22	74022	銚子沖	1974, 11. 16, 08:32	6.1	40	55.9
9	石瀬戸橋	205-GR-2	68012	宮崎県南西部	1968, 02. 21, 10:45	6.1	0	40.6
		205-GR-6	68026	日向灘	1968, 04. 01, 09:42	7.5	30	136.0
		205-GR-8	70021	宮崎県沖	1970, 07. 26, 07:41	6.7	10	84.9
10	平大橋	907-GR-2	68015	福島県沖	1968, 02. 26, 05:00	5.4	50	84.5
		907-GR-31	69023	"	1969, 06. 23, 14:57	5.2	50	72.3
		907-GR-32	69024	"	1969, 07. 23, 22:14	5.5	40	76.9

表 2.1(2) 解析に用いた強震記録

No	観測所名	記録名	地震No	地震名	地震発生年月日時分	M	深さ	震距
10	平大橋	907-GR-39	70008	福島県沖	1970.02.15, 13:01	5.1	50	59.2
		907-GR-60	71038	"	1971.09.08, 16:25	5.5	40	59.9
		907-GR-83	74015	茨城県南西部	1974.08.04, 03:16	5.8	50	145.4
		907-GR-94	75015	福島県沖	1975.08.15, 03:09	5.5	50	19.7
		907-GR-106	78002	宮城県沖	1978.02.20, 13:37	6.7	50	219.9
		907-GR-108	78012	"	1978.06.12, 17:14	7.4	40	164.6
11	紀ノ川大橋	112-GR-8	68022	和歌山近海	1968.03.30, 04:04	5.0	0	5.4
		112-GR-25	73029	和歌山県中部	1973.11.25, 13:25	5.9	60	46.7
		112-GR-26	73030	"	1973.11.25, 18:19	5.8	60	42.0
12	妙見橋	306-GR-1	68026	日向灘	1968.04.01, 09:42	7.5	30	341.3
		306-GR-7	78008	島根県中部	1978.06.04, 05:04	6.1	0	29.8
13	板島橋	308-GR-2	68026	日向灘	1968.04.01, 09:42	7.5	30	103.3
		308-GR-3	68027	"	1968.04.01, 16:13	6.3	0	102.8
		308-GR-4	68066	愛媛県西部沿岸	1968.08.06, 01:17	6.6	40	10.0
14	幌満橋	1305-GR-1	68036	東北東方沖	1968.05.16, 09:49	7.9	0	155.1
		1305-GR-3	68038	青森県東方沖	1968.05.16, 19:39	7.5	40	74.0
15	新利根川橋	104-GR-9	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	29.9
		104-GR-23	72027	茨城県南西部	1972.11.06, 20:39	5.1	40	18.1
		104-GR-27	74015	"	1974.08.04, 03:16	5.8	50	23.6
		104-GR-36	78012	宮城県沖	1978.06.12, 17:14	7.4	40	312.2
16	草加高架橋	106-GR-9	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	38.4
		106-GR-21	72029	八丈島東方沖	1972.12.04, 19:16	7.2	50	312.6
		106-GR-27	74015	茨城県南西部	1974.08.04, 03:16	5.8	50	25.6
17	平井大橋	310-GR-15	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	48.7
		310-GR-18	72029	八丈島東方沖	1972.12.04, 19:16	7.2	50	301.0
		310-GR-26	74015	茨城県南西部	1974.08.04, 03:16	5.8	50	34.0
18	四徳大橋	319-GR-3	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	136.7
		319-GR-4	69032	岐阜県中部	1969.09.09, 14:15	6.6	0	85.5
		319-GR-5	71002	愛知県沿岸	1971.01.05, 06:09	6.1	40	150.5
19	東京湾(富津岬)	501-GR-29	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	82.3
		501-GR-74	72029	八丈島東方沖	1972.12.04, 19:16	7.2	50	262.0
		501-GR-81	74012	伊豆半島南部沿岸近海	1974.05.09, 08:33	6.9	10	123.2
20	西新井橋	902-GR-25	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	41.6
		902-GR-38	74015	茨城県南西部	1974.08.04, 03:16	5.8	50	31.4
21	境川橋	1004-GR-1	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	48.8
22	姥久保橋	1005-GR-1	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	34.1
		1005-GR-2	76004	山梨県東部	1976.06.16, 07:36	5.5	20	40.5
23	羽田海底トンネル	1109-GR-3	68057	埼玉県中部	1968.07.01, 19:45	6.1	50	55.7
24	東京湾(観音崎)	503-GR-17	72029	八丈島東方沖	1972.12.04, 19:16	7.2	50	258.8
		503-GR-19	74012	伊豆半島南部沿岸近海	1974.05.09, 08:33	6.9	10	115.0
		503-GR-21	78001	大島近海	1978.01.14, 12:24	7.0	0	70.3

表 2.1(3) 解析に用いた強震記録

№	観測所名	記録名	地震 №	地震名	地震発生 年月日時分	M	深さ	震 源 距 離
25	石 錠 橋	313-GR-2	68070	愛媛県西部沿岸	1968, 08. 06, 13:21	5.3	40	82.4
26	新 八 幡 橋	204-GR-3	69032	岐阜県中部	1969, 09. 09, 14:15	6.6	0	89.1
		204-GR-28	75003	愛知・岐阜県境	1975, 03. 14, 22:56	5.3	50	33.8
27	豊 浜 大 橋	311-GR-5	69032	岐阜県中部	1969, 09. 09, 14:15	6.6	0	145.9
		311-GR-6	71002	愛知県沿岸	1971, 01. 05, 06:09	6.1	40	43.6
28	西横堀高架橋	1201-GR-6	69032	岐阜県中部	1969, 09. 09, 14:15	6.6	0	188.7
29	雄 平 橋	301-GR-7	70031	秋田県南東部	1970, 10. 16, 14:26	6.2	0	23.2
		301-GR-13	78012	宮城県沖	1978, 06. 12, 17:14	7.4	40	188.1
30	米 山 大 橋	102-GR-16	71012	新潟県南西部	1971, 02. 26, 04:27	5.5	0	26.2
31	魚 沼 橋	202-GR-15	71012	新潟県南西部	1971, 02. 26, 04:27	5.5	0	42.2
32	鶴 川 橋	1006-GR-3	71029	山梨県東部	1971, 07. 23, 07:07	5.3	10	15.0
		1006-GR-5	76004	〃	1976, 06. 16, 07:36	5.5	20	16.9
33	利根川河口堰	1401-GR-1	71040	千葉県北部	1971, 10. 11, 19:16	5.2	40	16.0
		1401-GR-4	74006	千葉県東方沖	1974, 03. 03, 13:50	6.1	60	33.3
		1401-GR-5	74014	茨城県沖	1974, 07. 08, 14:45	6.3	40	79.0
		1401-GR-6	74015	茨城県南西部	1974, 08. 04, 03:16	5.8	50	73.9
		1401-GR-8	74022	銚子沖	1974, 11. 16, 08:32	6.1	40	49.9
34	真 崎 大 橋	105-GR-8	74016	岩手県北部沿岸	1974, 09. 04, 18:20	5.6	40	46.2
35	小 見 川 大 橋	206-GR-2	74006	千葉県東方沖	1974, 03. 03, 13:50	6.1	60	41.3
		206-GR-3	74014	茨城県沖	1974, 07. 08, 14:45	6.3	40	81.2
		206-GR-4	74015	茨城県南西部	1974, 08. 04, 03:16	5.8	50	64.5
		206-GR-6	74022	銚子沖	1974, 11. 16, 08:32	6.1	40	59.2
		206-GR-8	75002	千葉県北部	1975, 02. 08, 01:41	5.4	60	44.6
36	土研千葉支所(2)	901-GRB-5	75002	千葉県北部	1975, 02. 08, 01:41	5.4	60	20.2
37	東名・富士川橋	1002-GR-5	80008	伊豆半島付近	1980, 06. 29, 16:20	6.7	10	61.3
38	名 古 屋 港	404GR-1-1	630327	越前岬沖	1963, 03. 27, 06:34	6.9	0	127.0
		404GR-1-3	71002	愛知県沿岸	1971, 01. 05, 06:09	6.1	40	77.0
		404GR-1-4	75003	愛知・岐阜県境	1975, 03. 14, 22:56	5.3	50	24.3
39	釧 路 港	102GR-1-2	68036	東北東方沖	1968, 05. 16, 09:49	7.9	0	257.9
		102GR-1-4	680903	根室半島南東方沖	1968, 09. 03, 14:23	5.2	60	110.5
		102GR-1-6	69028	北海道東部	1969, 08. 12, 06:28	7.8	30	265.1
		102GR-1-7	70004	北海道南部地方	1970, 01. 21, 02:33	6.7	50	121.6
		102GR-1-8	71034	襟裳岬沖	1971, 08. 02, 16:25	7.0	60	201.7
		102GR-1-9	720511	釧路沖	1972, 05. 11, 09:45	5.8	60	61.2
		102GR-1-10	73009	根室半島沖	1973, 06. 17, 12:55	7.4	40	127.3
		102GR-1-11	73013	〃	1973, 06. 24, 11:43	7.1	30	192.4
		102GR-1-12	740125	十勝沖	1974, 01. 25, 04:13	6.0	40	127.3
		102GR-1-13	740920	釧路沖	1974, 09. 20, 09:53	5.5	50	66.7
40	小 名 浜 港	208GR-1-1	66009	茨城県東方沖	1966, 04. 03, 13:43	5.8	20	92.5
		208GR-1-2	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	170.4
		208GR-1-3	72029	八丈島東方沖	1972, 12. 04, 19:16	7.2	50	416.5

表 2.1(4) 解析に用いた強震記録

№	観測所名	記録名	地震№	地震名	地震発生年月日時分	M	深さ	震央距離
40	小名浜港	208GR-1-5	73014	茨城県沖	1973, 07. 20, 17:13	5.9	40	59.7
41	大船渡港 (1)	206GR-1-1	67004	金華山沖	1967, 01. 17, 20:59	6.3	30	95.7
		206GR-1-3	68062	宮城県東方沖	1968, 07. 05, 20:28	6.4	50	81.9
42	東京港 (品川)	303GR-1-2	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	51.0
		303GR-1-5	72027	茨城県南西部	1972, 11. 06, 20:39	5.1	40	56.0
		303GR-1-6	72029	八丈島東方沖	1972, 12. 04, 19:16	7.2	50	293.2
		303GR-1-8	74015	茨城県南西部	1974, 08. 04, 03:16	5.8	50	51.7
		303GR-1-9	75002	千葉県北部	1975, 02. 08, 01:41	5.4	60	44.9
43	鹿島港	301GR-1-2	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	113.4
		301GR-1-3	69017	鹿島灘	1969, 05. 13, 23:19	5.2	50	60.6
		301GR-1-5	71025	茨城県沖	1971, 06. 13, 13:06	5.3	40	42.5
		301GR-1-6	71040	千葉県北部	1971, 10. 11, 19:16	5.2	40	13.0
44	高知港	602GR-1-1	68026	日向灘	1968, 04. 01, 09:42	7.5	30	167.4
		602GR-1-2	68066	愛媛県西部沿岸	1968, 08. 06, 01:17	6.6	40	112.5
		602GR-1-3	68107	高知県東部	1968, 12. 11, 20:45	5.6	50	49.2
45	細島港	702GR-1-1	68026	日向灘	1968, 04. 01, 09:42	7.5	30	82.2
		702GR-1-2	68066	愛媛県西部沿岸	1968, 08. 06, 01:17	6.6	40	118.2
		702GR-1-3	69015	日向灘	1969, 04. 21, 16:19	6.5	10	51.4
		702GR-1-4	70021	宮崎県沖	1970, 07. 26, 07:41	6.7	10	51.9
		702GR-1-5	70023	"	1970, 07. 26, 16:10	6.1	10	52.4
		702GR-1-6	720622	"	1972, 06. 22, 00:29	5.4	10	72.8
		702GR-1-7	740131	"	1974, 01. 31, 16:04	5.7	20	80.0
		702GR-1-8	740627	"	1974, 06. 27, 13:49	5.3	20	45.8
46	室蘭港	105GR-1-2	68038	青森県東方沖	1968, 05. 16, 19:39	7.5	40	184.0
		105GR-1-4	70004	北海道南部地方	1970, 01. 21, 02:33	6.7	50	177.2
		105GR-1-5	71034	襟裳岬沖	1971, 08. 02, 16:25	7.0	60	255.4
		105GR-1-7	73009	根室半島沖	1973, 06. 17, 12:55	7.4	40	412.8
		105GR-1-9	751030	浦河沖	1975, 10. 30, 10:41	6.0	60	154.1
47	青森港	201GR-1-2	68038	青森県東方沖	1968, 05. 16, 19:39	7.5	40	187.1
		201GR-1-3	68050	岩手県沖	1968, 06. 12, 22:42	7.2	0	254.0
48	八戸港	202GR-1-2	68050	"	"	7.2	0	182.7
		202GR-1-4	690621	青森県東方沖	1969, 06. 21, 00:38	5.6	40	73.1
		202GR-1-5	70004	北海道南部地方	1970, 01. 21, 02:33	6.7	50	246.1
		202GR-1-8	74016	岩手県北部沿岸	1974, 09. 04, 18:20	5.6	40	49.8
49	横浜港 (2)	305GR-2-1	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	62.0
		305GR-2-5	71029	山梨県東部	1971, 07. 23, 07:07	5.3	10	63.7
		305GR-2-7	72029	八丈島東方沖	1972, 12. 04, 19:16	7.2	50	282.7
		305GR-2-9	74015	茨城県南西部	1974, 08. 04, 03:16	5.8	50	66.3
50	神戸港	504GR-1-2	69032	岐阜県中部	1969, 09. 09, 14:15	6.6	0	207.5
51	横浜港 (1)	305GR-1-3	71029	山梨県東部	1971, 07. 23, 07:07	5.3	10	61.0
		305GR-1-5	74012	伊豆半島南部沿岸近海	1974, 05. 09, 08:33	6.9	10	124.9

表 2.1(5) 解析に用いた強震記録

№	観測所名	記録名	地震№	地震名	地震発生 年月日時分	M	深さ	震 距 距離
52	衣 浦 港	403GR-1-1	69032	岐阜県中部	1969, 09. 09, 14:15	6.6	0	97.3
		403GR-1-2	71002	愛知県沿岸沖	1971, 01. 05, 06:09	6.1	40	55.9
		403GR-1-4	75003	愛知・岐阜県境	1975, 03. 14, 22:56	5.3	50	45.1
53	鹿 児 島 港	704GR-1-1	690918	屋久島近海	1969, 09. 18, 03:41	5.9	0	129.4
		704GR-1-2	70021	宮崎県沖	1970, 07. 26, 07:41	6.7	10	149.6
54	大 船 渡 港 (2)	206GR-2-1	70026	宮城県沖	1970, 09. 14, 18:45	6.2	40	64.6
		206GR-2-2	73028	"	1973, 11. 19, 22:02	6.4	50	39.6
		206GR-2-3	78012	"	1978, 06. 12, 17:14	7.4	40	104.5
55	酒 田 港	203GR-2-1	70031	秋田県南東部	1970, 10. 16, 14:26	6.2	0	84.6
		203GR-2-2	72014	山形県中部	1972, 08. 20, 19:09	5.3	20	39.9
56	四 日 市 港	405GR-2-1	71002	愛知県沿岸沖	1971, 01. 05, 06:09	6.1	40	74.3
		405GR-2-2	75003	愛知・岐阜県境	1975, 03. 14, 22:56	5.3	50	42.9
57	千 葉 港	302GR-1-2	73024	銚子近海	1973, 09. 30, 15:18	5.9	50	51.8
		302GR-1-3	75002	千葉県北部	1975, 02. 08, 01:41	5.4	60	23.3
58	田子の浦港	401GR-1-2	74012	伊豆半島 南部沿岸近海	1974, 05. 09, 08:33	6.9	10	63.6
59	久里浜港	306GR-1-2	72029	八丈島東方沖	1972, 12. 04, 19:16	7.2	50	257.6
60	塩 釜 港	207GR-2-1	72019	宮城県沖	1972, 09. 25, 18:27	5.5	50	88.4
		207GR-2-3	73028	"	1973, 11. 19, 22:02	6.4	50	113.7
		207GR-2-4	740505	福島県沖	1974, 05. 05, 23:19	5.5	40	94.6
		207GR-2-5	75005	"	1975, 04. 08, 15:27	5.9	30	102.9
61	苫小牧港	104GR-1-1	73009	根室半島沖	1973, 06. 17, 12:55	7.4	40	357.3
62	鹿 島 港	301GR-2-1	73014	茨城県沖	1973, 07. 20, 17:13	5.9	40	62.4
		301GR-2-2	73024	銚子近海	1973, 09. 30, 15:18	5.9	50	30.8
		301GR-2-3	73025	"	1973, 10. 01, 23:16	5.8	60	35.6
		301GR-2-4	74006	千葉県東方沖	1974, 03. 03, 13:50	6.1	60	43.4
		301GR-2-5	74014	茨城県沖	1974, 07. 08, 14:45	6.3	40	70.9
		301GR-2-6	74022	銚子沖	1974, 11. 16, 08:32	6.1	40	53.6
63	大 分 港	701GR-1-1	75001	熊本県北東	1975, 01. 23, 23:19	6.1	0	60.9
		701GR-1-2	75008	大分県中部	1975, 04. 21, 02:35	6.4	0	37.8
64	沼津変電所	NUMAZU	78001	大島近海	1978, 01. 14, 12:24	7.0	0	53.7
65	熱海変電所	ATAMI	78001	"	"	7.0	0	41.2
66	新岩田変電所	SHINIWATA	78001	"	"	7.0	0	108.5
67	白堀変電所	SHIROBORI	78001	"	"	7.0	0	44.7

表 2.2(1) 解析に考慮した地震

順	地震順	地震名	年月日時分	M	深さ	震央距離	記録名	観測所名
1	630327	越前岬沖	1963, 03. 27, 06:34	6.9	0	127.0	404GR-1-1	名古屋港
2	630804	千葉県東方沿岸	1963, 08. 04, 20:43	5.1	40	31.2	901-GRA-4	土研千葉支所(1)
3	650420	静岡近海	1965, 04. 20, 08:42	6.1	20	47.5	904-GR-1	新天竜川橋
4	66009	茨城県東方沖	1966, 04. 03, 13:43	5.8	20	92.5	208GR-1-1	小名浜港
5	66025	宮城県東方沖	1966, 06. 24, 06:52	5.1	60	61.9	302-GR-1	開北橋
6	66051	有明海	1966, 11. 12, 21:01	5.5	20	12.9	801-GR-1	有明海堤防
7	67004	金華山沖	1967, 01. 17, 20:59	6.3	30	70.6	302-GR-3	開北橋
						144.5	304-GR-6	伊達橋
						95.7	206GR-1-1	大船渡港 (1)
8	67057	茨城県沖	1967, 11. 19, 21:07	6.0	50	140.6	101-GR-5	新葛飾橋
9	68012	宮崎県南西部	1968, 02. 21, 10:45	6.1	0	40.6	205-GR-2	石瀬戸橋
10	68015	福島県沖	1968, 02. 26, 05:00	5.4	50	84.5	907-GR-2	平大橋
11	68018	千葉県中部	1968, 03. 07, 11:54	5.1	50	33.8	101-GR-7	新葛飾橋
12	68022	和歌山近海	1968, 03. 30, 04:04	5.0	0	5.4	112-GR-8	紀ノ川大橋
13	68026	日向灘	1968, 04. 01, 09:42	7.5	30	233.7	801-GR-2	有明海堤防
						136.0	205-GR-6	石瀬戸橋
						341.3	306-GR-1	妙見橋
						103.3	308-GR-2	板島橋
						167.4	602GR-1-1	高知港
						82.2	702GR-1-1	細島港
14	68027	〃	1968, 04. 01, 16:13	6.3	0	102.8	308-GR-3	板島橋
15	68036	東北東方沖	1968, 05. 16, 09:49	7.9	0	155.1	1305-GR-1	幌満橋
						257.9	102GR-1-2	釧路港
16	68038	青森県東方沖	1968, 05. 16, 19:39	7.5	40	74.0	1305-GR-3	幌満橋
						184.0	105GR-1-2	室蘭港
						187.1	201GR-1-2	青森港
17	68050	岩手県沖	1968, 06. 12, 22:42	7.2	0	190.9	302-GR-9	開北橋
18	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	227.0	304-GR-13	伊達橋
						47.7	101-GR-9	新葛飾橋
						29.9	104-GR-9	新利根川橋
						38.4	106-GR-9	草加高架橋
						48.7	310-GR-15	平井大橋
						72.3	901-GRA-33	土研千葉支所(1)
						136.7	319-GR-3	四徳大橋
						82.3	501-GR-29	東京湾(富津岬)
						41.6	902-GR-25	西新井橋
						48.8	1004-GR-1	境川橋
						34.1	1005-GR-1	姥久保橋
						55.7	1109-GR-3	羽田海底トンネル
						170.4	208GR-1-2	小名浜港
						51.0	303GR-1-2	東京湾(品川)

表 2.2(2) 解析に考慮した地震

No	地震No	地震名	年月日時分	M	深さ	震 源 距 離	記録名	観測所名
18	68057	埼玉県中部	1968, 07. 01, 19:45	6.1	50	113.4	301GR-1-2	鹿 島 港
						62.0	305GR-2-1	横 浜 港 (2)
19	68050	岩手県沖	1968, 06. 12, 22:42	7.2	0	254.0	201GR-1-3	青 森 港
						182.7	202GR-1-2	八 戸 港
20	68062	宮城県東方沖	1968, 07. 05, 20:28	6.4	50	78.7	302-GR-11	開 北 橋
						162.6	304-GR-14	伊 達 橋
						81.9	206GR-1-3	大 船 渡 港 (1)
21	68066	愛媛県西部沿岸	1968, 08. 06, 01:17	6.6	40	10.0	308-GR-4	板 島 港
						118.2	702GR-1-2	細 島 港
						112.5	602GR-1-2	高 知 港
22	68070	"	1968, 08. 06, 13:21	5.3	40	82.4	313-GR-2	石 鎚 橋
23	680903	根室半島南東方沖	1968, 09. 03, 14:23	5.2	60	110.5	102GR-1-4	釧 路 港
24	68107	高知県東部	1968, 12. 11, 20:45	5.6	50	49.2	602GR-1-3	高 知 港
25	69015	日向灘	1969, 04. 21, 16:19	6.5	10	51.4	702GR-1-3	細 島 港
26	69017	鹿 島 灘	1969, 05. 13, 23:19	5.2	50	60.6	301GR-1-3	鹿 島 港
27	690621	青森県東方沖	1969, 06. 21, 00:38	5.6	40	73.1	202GR-1-4	八 戸 港
28	69023	福島県沖	1969, 06. 23, 14:57	5.2	50	72.3	907-GR-31	平 大 橋
29	69024	"	1969, 07. 23, 22:14	5.5	40	76.9	907-GR-32	"
30	69028	北海道東部	1969, 08. 12, 06:28	7.8	30	265.1	102GR-1-6	釧 路 港
						85.5	319-GR-4	四 徳 大 橋
						89.1	204-GR-3	新 八 幡 橋
31	69032	岐阜県中部	1969, 09. 09, 14:15	6.6	0	145.9	311-GR-5	豊 浜 大 橋
						188.7	1201-GR-6	西横堀高架橋
						207.5	504GR-1-2	神 戸 港
						97.3	403GR-1-1	衣 浦 港
32	690918	屋久島近海	1969, 09. 18, 03:41	5.9	0	129.4	704GR-1-1	鹿 児 島 港
33	70004	北海道南部地方	1970, 01. 21, 02:33	6.7	50	121.6	102GR-1-7	釧 路 港
						177.2	105GR-1-4	室 蘭 港
						246.1	202GR-1-5	八 戸 港
34	70008	福島県沖	1970, 02. 15, 13:01	5.1	50	99.1	304-GR-21	伊 達 橋
						59.2	907-GR-39	平 大 橋
35	70011	松代近傍	1970, 04. 09, 01:44	5.0	0	24.3	905-GRA-266	落 合 橋 (1)
						51.9	702GR-1-4	細 島 港
36	70021	宮崎県沖	1970, 07. 26, 07:41	6.7	10	84.9	205-GR-8	石 瀬 戸 橋
						149.6	704GR-1-2	鹿 児 島 港
37	70023	"	1970, 07. 26, 16:10	6.1	10	52.4	702GR-1-5	細 島 港
38	70026	宮城県沖	1970, 09. 14, 18:45	6.2	40	92.6	302-GR-22	開 北 橋
						64.6	206GR-2-1	大 船 渡 港 (2)
39	70031	秋田県南東部	1970, 10. 16, 14:26	6.2	0	153.3	304-GR-23	伊 達 橋
						23.7	301-GR-7	雄 平 橋
						84.6	203GR-1-1	酒 田 港

表 2.2(3) 解析に考慮した地震

№	地震 №	地震名	年月日時分	M	深さ	震央距離	記録名	観測所名
40	71002	愛知県沿岸	1971.01.05, 06:09	6.1	40	67.7	904-GR-4	新天竜川橋
						150.5	319-GR-5	四徳大橋
						43.6	311-GR-6	豊浜大橋
						77.0	404GR-1-3	名古屋港
						55.9	403GR-1-2	衣浦港
						74.3	405GR-2-1	四日市港
41	71012	新潟県南西部	1971.02.26, 04:27	5.5	0	26.2	102-GR-16	米山大橋
						42.2	202-GR-15	魚沼橋
42	71018	福島県沖	1971.03.22, 19:40	5.4	10	147.9	304-GR-26	伊達橋
43	71021	宮城県沖	1971.04.05, 03:39	6.0	50	157.8	304-GR-28	〃
44	71025	茨城県沖	1971.06.13, 13:06	5.3	40	42.5	301GR-1-5	鹿島港
45	71029	山梨県東部	1971.07.23, 07:07	5.3	10	15.0	1006-GR-3	鶴川橋
						63.7	305GR-2-5	横浜港(2)
						61.0	305GR-1-3	横浜港(1)
46	71034	襟裳岬沖	1971.08.02, 16:25	7.0	60	201.7	102GR-1-8	釧路港
						255.4	105GR-1-5	室蘭港
47	71038	福島県沖	1971.09.08, 16:25	5.5	40	122.8	304-GR-30	伊達橋
						59.9	907-GR-60	平大橋
48	71040	千葉県北方	1971.10.11, 19:16	5.2	40	9.5	906-GR-12	鹿島試験所
						16.0	1401-GR-1	利根川河口堰
						13.0	301GR-1-6	鹿島港
49	72001	〃	1972.01.04, 09:20	5.0	40	11.3	906-GR-13	鹿島試験所
50	720511	釧路沖	1972.05.11, 09:45	5.8	60	61.2	102GR-1-9	釧路港
51	720622	宮城県沖	1972.06.22, 00:59	5.4	10	72.8	702GR-1-6	細島港
52	72014	山形県中部	1972.08.20, 19:09	5.3	20	39.9	203GR-1-2	酒田港
53	72019	宮城県沖	1972.09.25, 18:27	5.5	50	147.0	304-GR-32	伊達橋
						88.4	207GR-2-1	塩釜港
54	72027	茨城県南西部	1972.11.06, 20:39	5.1	40	18.1	104-GR-23	新利根川橋
						56.0	303GR-1-5	東京湾(品川)
55	72029	八丈島東方沖	1972.12.04, 19:16	7.2	50	517.2	304-GR-33	伊達橋
						312.6	106-GR-21	草加高架橋
						301.0	310-GR-18	平井大橋
						262.0	501-GR-74	東京湾(富津岬)
						258.8	503-GR-17	東京湾(観音崎)
						416.5	208GR-1-3	小名浜港
						293.2	303GR-1-6	東京湾(品川)
						282.7	305GR-2-7	横浜港(京浜)
						257.6	306GR-1-2	久里浜港
56	740505	福島県沖	1974.05.05, 23:19	5.5	40	94.6	207GR-2-4	塩釜港
57	73009	根室半島沖	1973.06.17, 12:55	7.4	40	412.8	105GR-1-7	室蘭港
						357.3	104GR-1-1	苫小牧港

表 2.2(4) 解析に考慮した地震

№	地震 №	地震名	年月日時分	M	深さ	震央距離	記録名	観測所名
57	73009	根室半島沖	1973, 06. 17, 12:55	7.4	40	127.3	102GR-1-10	釧路港
58	73013	"	1973, 06. 24, 11:43	7.1	30	192.4	102GR-1-11	"
59	73014	茨城県沖	1973, 07. 20, 17:13	5.9	40	59.7	208GR-1-5	小名浜港
60	73014	茨城県沖	1973, 07. 20, 17:13	5.9	40	62.4	301GR-2-1	鹿島港
61	73024	釧子近海	1973, 09. 30, 15:18	5.9	50	26.9	906-GR-17	鹿島試験所
						51.8	302GR-1-2	千葉港
						30.8	301GR-2-2	鹿島港
62	73025	"	1973, 10. 01, 23:16	5.8	60	33.3	906-GR-18	鹿島試験所
						35.6	301GR-2-3	鹿島港
63	73028	宮崎県沖	1973, 11. 19, 22:02	6.4	50	39.6	206GR-2-2	大船渡港 (2)
						113.7	207GR-2-3	塩釜港
64	73029	和歌山県中部	1973, 11. 25, 13:25	5.9	60	46.7	112-GR-25	紀ノ川大橋
65	73030	"	1973, 11. 25, 18:19	5.8	60	42.0	112-GR-26	"
66	740125	十勝沖	1974, 01. 25, 04:13	6.0	40	127.3	102GR-1-12	釧路港
67	740131	宮崎県沖	1974, 01. 31, 16:04	5.7	20	80.0	702GR-1-7	細島港
68	74006	千葉県東方沖	1974, 03. 03, 13:50	6.1	60	41.6	906-GR-19	鹿島試験所
						33.3	1401-GR-4	利根川河口堰
						41.3	206-GR-2	小見川大橋
						43.4	301GR-2-4	鹿島港
69	74012	伊豆半島 南部沿岸近海	1974, 05. 09, 08:33	6.9	10	23.2	501-GR-81	東京湾 (富津岬)
						115.0	503-GR-19	東京湾 (観音崎)
						124.9	305GR-1-5	横浜港 (1)
						63.6	401GR-1-2	田子の浦港
70	740627	宮崎県沖	1974, 06. 27, 13:49	5.3	20	45.8	702GR-1-8	細島港
71	74014	茨城県沖	1974, 07. 08, 14:45	6.3	40	79.0	1401-GR-5	利根川河口堰
						81.2	206-GR-3	小見川大橋
						70.9	301GR-2-5	鹿島港
72	74015	茨城県南西部	1974, 08. 04, 03:16	5.8	50	45.9	901-GRA-66	土研千葉支所(1)
						28.3	101-GR-24	新葛飾橋
						145.4	907-GR-83	平大橋
						23.6	104-GR-27	新利根川橋
						25.6	106-GR-27	草加高架橋
						34.0	310-GR-26	平井大橋
						73.9	1401-GR-6	利根川河口堰
						64.5	206-GR-4	小見川大橋
						51.7	303GR-1-8	東京湾 (品川)
						31.4	902-GR-38	西新井橋
73	74016	岩手県北部沿岸	1974, 09. 04, 18:20	5.6	40	46.2	105-GR-8	真崎大橋
						49.8	202GR-1-8	八戸港
74	740920	釧路沖	1974, 09. 20, 09:53	5.5	50	66.7	102GR-1-13	釧路港

表 2.2(5) 解析に考慮した地震

№	地震 №	地震名	年月日時分	M	深さ	震央距離	記録名	観測所名
75	74022	銚子沖	1974, 11. 16, 08:32	6.1	40	55.9	906-GR-22	鹿島試験所
						49.9	1401-GR-8	利根川河口堰
						59.2	206-GR-6	小見川大橋
						53.6	301GR-2-6	鹿島港
76	75001	熊本県北東	1975, 01. 23, 23:19	6.1	0	60.9	701GR-1-1	大分港
77	75002	千葉県北部	1975, 02. 08, 01:41	5.4	60	44.6	206-GR-8	小見川大橋
						20.2	901-GRB-5	土研千葉支所(2)
						44.9	303GR-1-9	東京港(品川)
						23.3	302GR-1-3	千葉港
78	75003	愛知・岐阜県境	1975, 03. 14, 22:56	5.3	50	33.8	204-GR-28	新八幡橋
						45.1	403GR-1-4	衣浦港
						42.9	405GR-2-2	四日市港
						24.3	404GR-1-4	名古屋港
79	75005	福島県沖	1975, 04. 08, 15:17	5.9	30	102.9	207GR-2-5	塩釜港
80	75008	大分県中部	1975, 04. 21, 02:35	6.4	0	37.8	701GR-1-2	大分港
81	75015	福島県沖	1975, 08. 15, 03:09	5.5	50	19.7	907-GR-94	平大橋
82	751030	浦河沖	1975, 10. 30, 10:41	6.0	60	154.1	105GR-1-9	室蘭港
83	76004	山梨県東部	1976, 06. 16, 07:36	5.5	20	40.5	1005-GR-2	姥久保橋
						16.9	1006-GR-5	鶴川橋
84	78001	大島近海	1978, 01. 14, 12:24	7.0	0	70.3	503-GR-21	東京湾(観音崎)
						53.7	NUMAZU	沼津変電所
						41.2	ATAMI	熱海変電所
						108.5	SHINIWATA	新岩田変電所
						44.7	SHIROBORI	白堀変電所
85	78002	宮城県沖	1978, 02. 20, 13:37	6.7	50	84.2	302-GR-34	開北橋
						219.9	907-GR-106	平大橋
86	78008	島根県中部	1978, 06. 04, 05:04	6.1	0	29.8	306-GR-7	妙見橋
87	78012	宮城県沖	1978, 06. 12, 17:14	7.4	40	81.4	302-GR-35	開北橋
						164.6	907-GR-108	平大橋
						312.2	104-GR-36	新利根川橋
						188.1	301-GR-13	雄平橋
						104.5	206GR-2-3	大船渡港(2)
88	80008	伊豆半島付近	1980, 06. 29, 16:20	6.7	10	61.3	1002-GR-5	東名・富士川橋

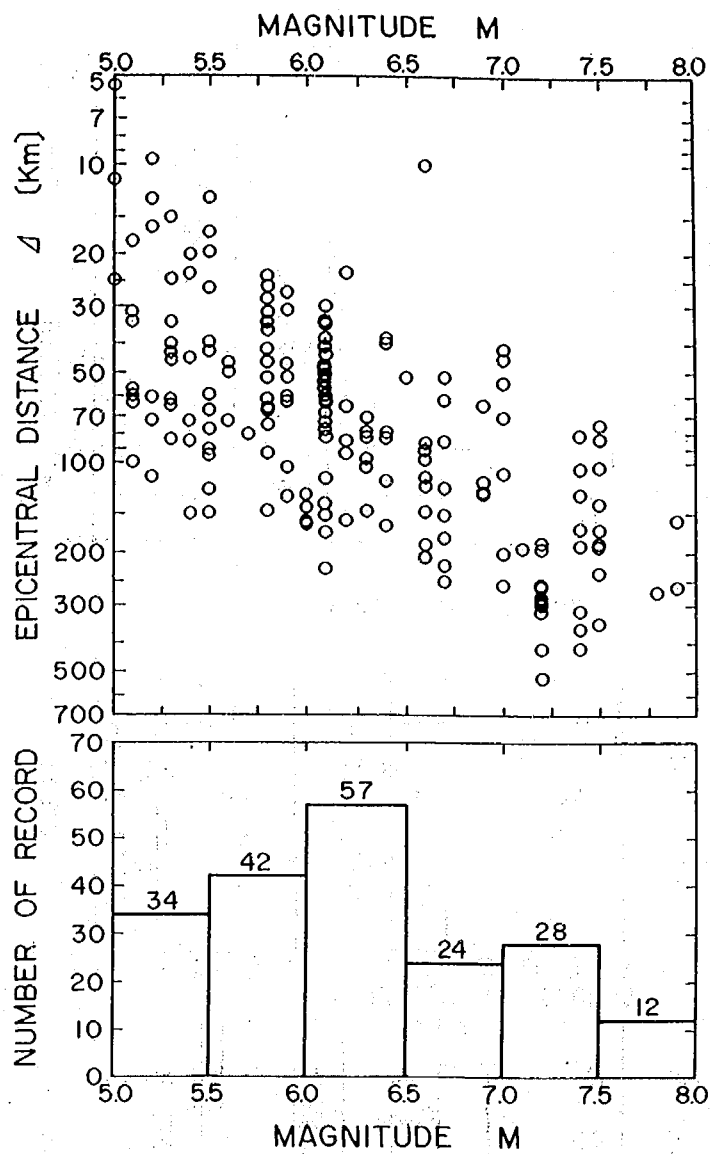


図 2.1 解析対象記録のマグニチュードおよび震央距離別分類

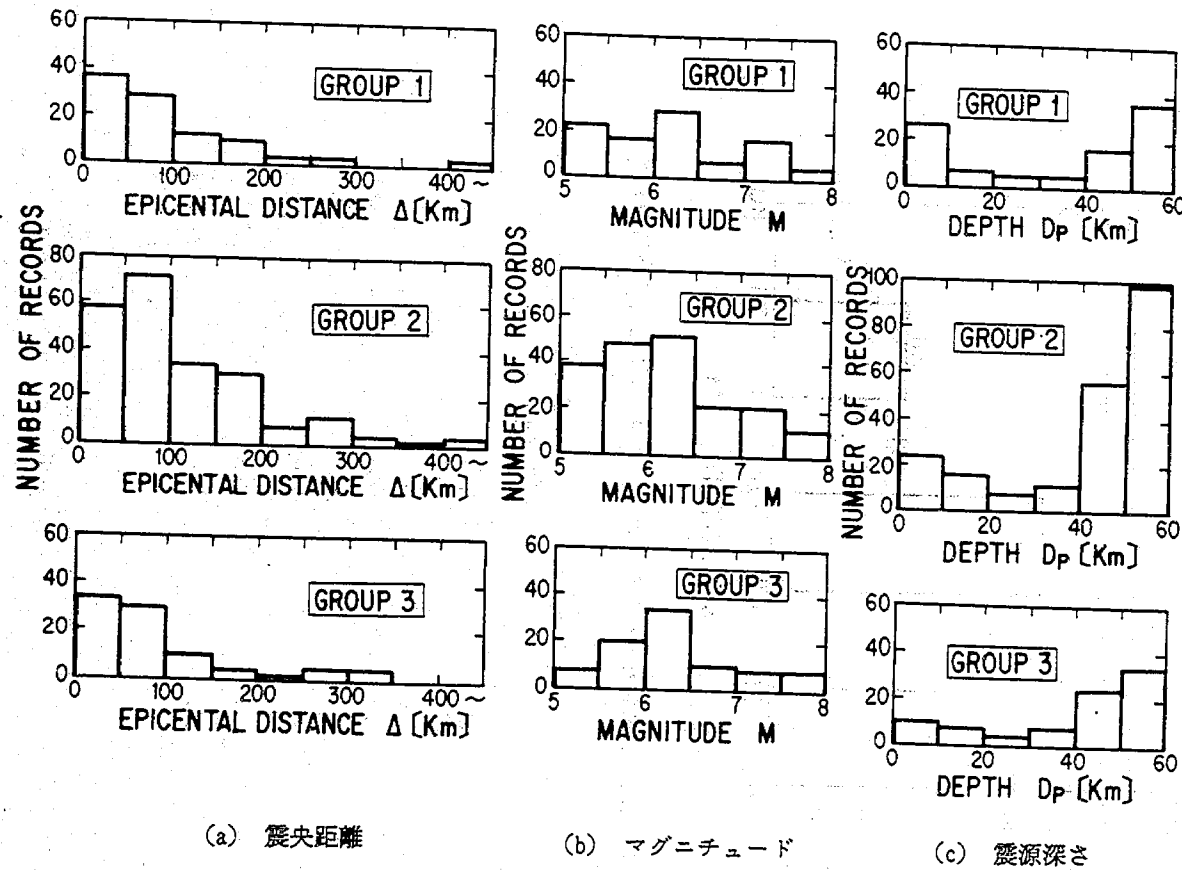


図 2.2(1) 解析対象記録のマグニチュード、震央距離および震源深さ別の分類

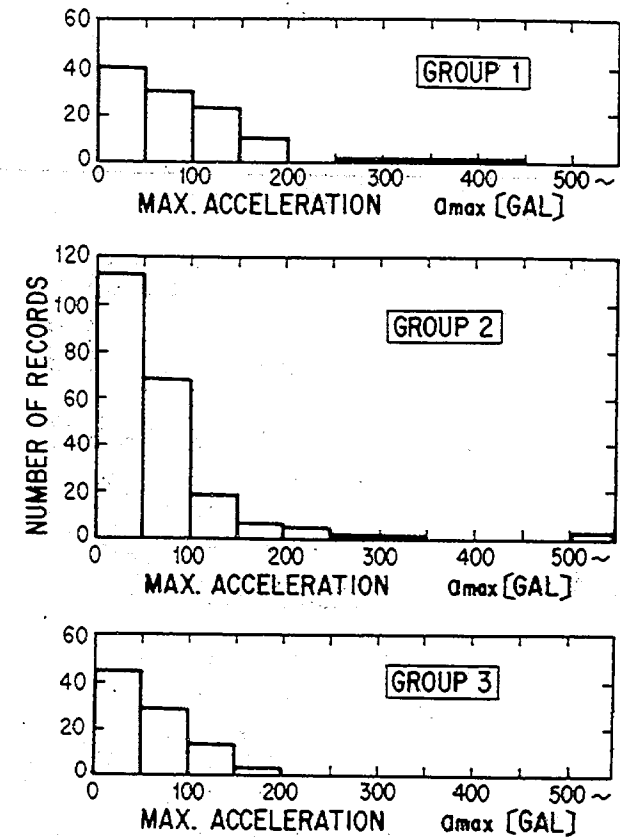


図 2.2(2) 最大加速度の頻度分布

3. 地震動の直交 2 成分の特性

3.1 パラメータの定義

強震計の設置方向にあたる水平 2 成分の直交座標軸を x, y 軸とし、これを水平面内で図 3.1 に示すように任意の角度 θ だけ回転させた座標軸を X, Y 軸とする。いま、 x および y 軸に沿う加速度を、それぞれ、 $a_x(t)$ および $a_y(t)$ とすれば、 X および Y 軸に沿う加速度 $a_x(t, \theta)$ および $a_y(t, \theta)$ は次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} a_x(t, \theta) &= a_x(t) \cos \theta + a_y(t) \sin \theta \\ a_y(t, \theta) &= -a_x(t) \sin \theta + a_y(t) \cos \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.1)$$

図 3.2 に示すように、 $a_x(t, \theta)$ の最大値およびその時刻を、それぞれ、 $a_{x, \max}(\theta)$ および $T_x(\theta)$ とし、時刻 T_x の $a_y(t, \theta)$ の値を $a_{y, m}(\theta)$ とする。また $a_y(t, \theta)$ の最大値およびその時刻を、それぞれ、 $a_{y, \max}(\theta)$ および $T_y(\theta)$ とする。ここで、 $a_{x, \max}(\theta)$ に対する $a_{y, m}(\theta)$ の比 $\alpha(\theta)$ を次式により定義する。

$$\alpha(\theta) = a_{y, m}(\theta) / a_{x, \max}(\theta) \dots\dots\dots (3.2)$$

また、 $T_x(\theta)$ と $T_y(\theta)$ の時間差を $\tau(\theta)$ と定義する。

$$\tau(\theta) = |T_x(\theta) - T_y(\theta)| \dots\dots\dots (3.3)$$

次に、座標変換後の直交 2 成分の最大加速度の比 $\beta(\theta)$ を次式により定義する。

$$\beta(\theta) = a_{y, \max}(\theta) / a_{x, \max}(\theta) \dots\dots\dots (3.4)$$

さらに、時刻 $T_x \pm T_w / 2$ 間における $a_y(t, \theta)$ の最大値を $a_{y, p}(\theta, T_w)$ とし、 $a_{y, p}(\theta, T_w)$ と $a_{x, \max}(\theta)$ の比を $\mu(\theta, T_w)$ と定義する。

$$\mu(\theta, T_w) = a_{y, p}(\theta, T_w) / a_{x, \max}(\theta) \dots\dots\dots (3.5)$$

$\mu(\theta, T_w)$ は、その定義より、 $T_w = 0$ の場合は $\alpha(\theta)$ に一致し、また T_w を十分に長くすれば $\beta(\theta)$ に一致する。

3.2 地震動の直交 2 成分の特性

各強震記録について θ を 5° から 180° まで 5° ごとに变化させて、パラメータ $\alpha(\theta)$ 、 $\tau(\theta)$ および $\beta(\theta)$ を算出した。 $\mu(\theta, T_w)$ については、まず、 T_w を固定した上で θ を变化させ、次に T_w を变化させた。各パラメータについてこのようにして求めた 36 個の値から平均値、最大値および最小値を求めた。ただし、 $\alpha(\theta)$ 、 $\beta(\theta)$ および $\mu(\theta, T_w)$ については、1 を超えるデータは平均値等の計算から除外することとした。以上のようにして算出した平均値、最大値および最小値を、例えば、 $\alpha(\theta)$ の場合には、それぞれ、 α_{MEAN} 、 α_{MAX} および α_{MIN} とする。他のパラメータについても、同様に、 τ_{MEAN} 、 β_{MEAN} 、 $\mu_{\text{MEAN}}(T_w)$ 等を求めた。

図 3.3 ～ 図 3.5 は、 α_{MEAN} 、 τ_{MEAN} 、 β_{MEAN} と地震のマグニチュード M 、震央距離 Δ との関係を、全データ並びに各地盤種別ごとに示したものである。図 3.3 によると、いずれの地盤種別についても、 α_{MEAN} は 0.15 ～ 0.5 の間に分布しており、 M もしくは Δ との系統的な関係は見い出せない。図 3.4 によると、 M もしくは Δ が大きくなると、 τ_{MEAN} の値も大きくなる傾向が見られる。この傾向は、いずれの地盤種別についても同様である。図 3.5 によると、 β_{MEAN} については、概ね、0.5 ～ 0.95 の間にデータが分布しており、地盤種別ごとでも M もしくは Δ との顕著な傾向は認められない。

197組の強震記録について、 α_{MEAN} 、 α_{MAX} および α_{MIN} の頻度分布を全データおよび各地盤種別ごとに示すと、図3.6～図3.8のようになる。 α_{MEAN} 、 α_{MAX} および α_{MIN} のいずれについても、全データと各地盤種別ごとの頻度分布は類似している。また、 α_{MEAN} については0.2～0.3、 α_{MAX} については0.9～1.0、 α_{MIN} については0～0.01の値をとるものが多い。

図3.9～図3.11に、 τ_{MEAN} 、 τ_{MAX} および τ_{MIN} の頻度分布を全データおよび各地盤種別ごとに示す。 τ_{MEAN} については、0～0.5秒の値をとるものが最も多い。一方、5秒以上の値になるものも比較的多い。 τ_{MAX} については、5秒以上の値をとるものが多い。特に、Ⅲ種地盤では、5秒以上のデータが多い点特徴的である。 τ_{MIN} については、0～0.2秒の値が最も多く、これは、全データ、各地盤種別とも同様である。

図3.12～図3.14に、 β_{MEAN} 、 β_{MAX} および β_{MIN} の頻度分布を全データおよび各地盤種別ごとに示す。 β_{MEAN} は、0.8～0.9の値をとるものが多い。これは、全データ並びに各地盤種別のいずれについても同様である。 β_{MAX} は、全データ並びに各地盤種別とも、0.98～1.0の値をとる場合が多い。 β_{MIN} は、Ⅰ種地盤については0.6～0.7、それ以外については0.7～0.8の値をとる場合が多い。

各強震記録について求めた α_{MEAN} 、 α_{MAX} 、 α_{MIN} 、 τ_{MEAN} 、 τ_{MAX} 、 τ_{MIN} 、 β_{MEAN} 、 β_{MAX} および β_{MIN} のそれぞれについて、197組の全解析記録に対する平均値および標準偏差を表3.1～表3.3に示す。 α_{MEAN} の平均値は、0.31であり、ある水平一方向成分が最大値を示す時刻には、それと直交する成分の値は、平均的には、上記最大値の30%程度であることがわかる。また、 τ_{MEAN} の平均値は、1.80秒であり、通常の土木構造物の固有周期並びに耐震設計上考慮すべき地震動の卓越周期を勘案すると、平均的には、直交2方向成分の最大値を耐震設計上同時に考える必要性は低いものとみなせる。

μ_{MEAN} 、 μ_{MAX} および μ_{MIN} の計算例として1968年愛媛県西部沿岸地震による板島橋記録および1978年宮城県沖地震による開北橋記録の場合を、それぞれ、図3.15および図3.16に示す。ここで、 $\mu(\theta, T_w)$ を計算するための時間窓 T_w は0秒から4秒まで0.1秒ピッチで変化させた。 T_w の増加に対する μ_{MEAN} 、 μ_{MAX} および μ_{MIN} の増加状況はそれぞれ異なるが、いずれも T_w がある長さ以上になると一定値に収束していく状況がわかる。

図3.17～図3.19に全解析対象記録に対する μ_{MEAN} 、 μ_{MAX} 、 μ_{MIN} の平均値および標準偏差と時間窓 T_w の関係を示す。 T_w の増加に伴う各パラメータの増加状況に着目すると、 μ_{MEAN} および μ_{MIN} については、 $T_w = 1$ 秒付近まで大きく増加した後漸増傾向を示すのに対して、 μ_{MAX} は $T_w = 0.5$ 秒付近まで増加した後はわずかに増加するにとどまっている。 $T_w = 0$ 秒のときの μ_{MEAN} 、 μ_{MAX} および μ_{MIN} の平均値は、パラメータの定義より、それぞれ表3.1に示した α_{MEAN} 、 α_{MAX} および α_{MIN} の平均値に一致する。また、 T_w を十分に長くすればパラメータ μ は β に一致するが、 $T_w = 4$ 秒の場合には $\mu_{\text{MEAN}} = 0.78$ 、 $\mu_{\text{MAX}} = 0.98$ 、 $\mu_{\text{MIN}} = 0.63$ （いずれも平均値）であり、 μ_{MAX} 以外については表3.3に示したパラメータ β の平均値を下回っている。これは、例えば図3.9に示したように、直交2成分がそれぞれ最大値をとる時間差が $T_w = 4$ 秒（片方向には2秒）よりも大きい場合があるためである。

表 3.1 α_{MEAN} , α_{MAX} , α_{MIN} の平均値および標準偏差

	平 均 値	標 準 偏 差
α_{MEAN}	0.31	0.068
α_{MAX}	0.83	0.131
α_{MIN}	0.011	0.009

表 3.2 τ_{MEAN} , τ_{MAX} , τ_{MIN} の平均値および標準偏差

	平 均 値	標 準 偏 差
τ_{MEAN} [s]	1.81	2.44
τ_{MAX} [s]	3.26	4.32
τ_{MIN} [s]	0.42	0.78

表 3.3 β_{MEAN} , β_{MAX} , β_{MIN} の平均値および標準偏差

	平 均 値	標 準 偏 差
β_{MEAN}	0.80	0.097
β_{MAX}	0.98	0.016
β_{MIN}	0.68	0.134

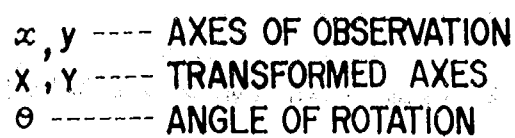
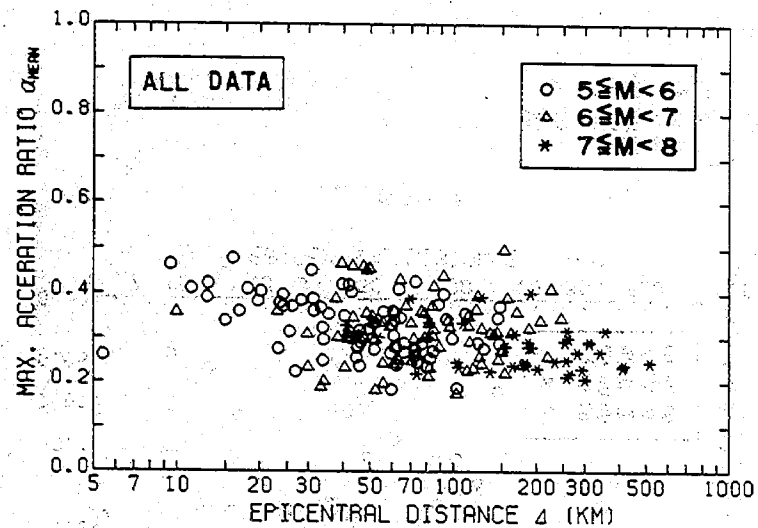
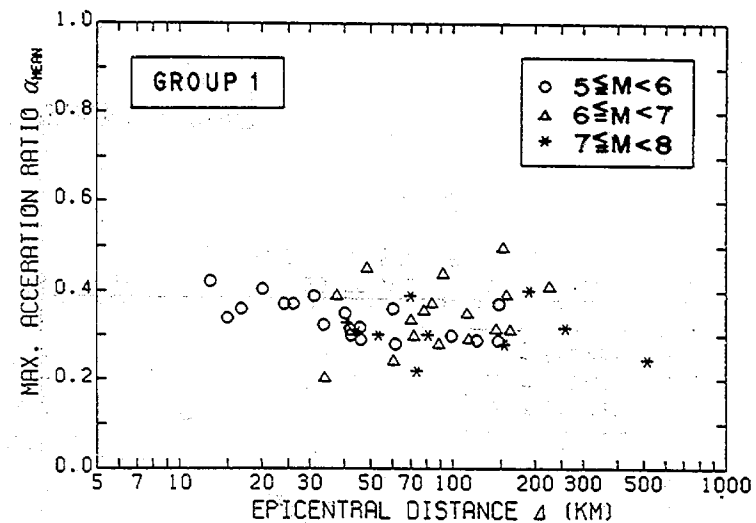


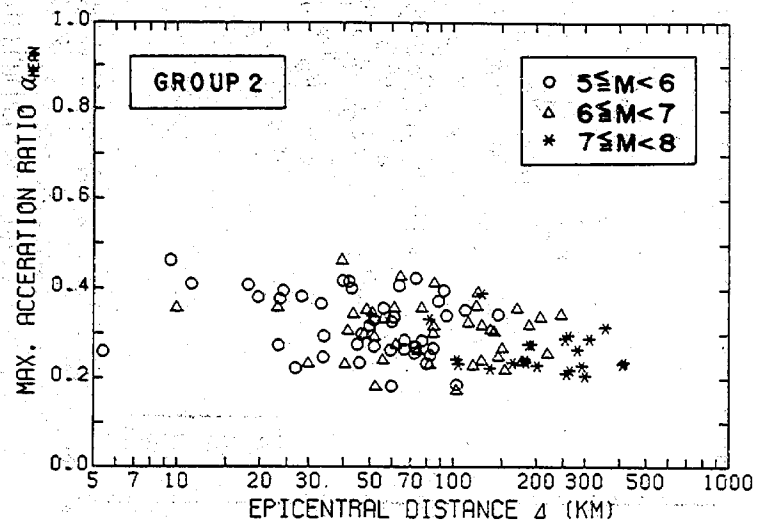
図 3.2 直交 2 成分の極大値の関係



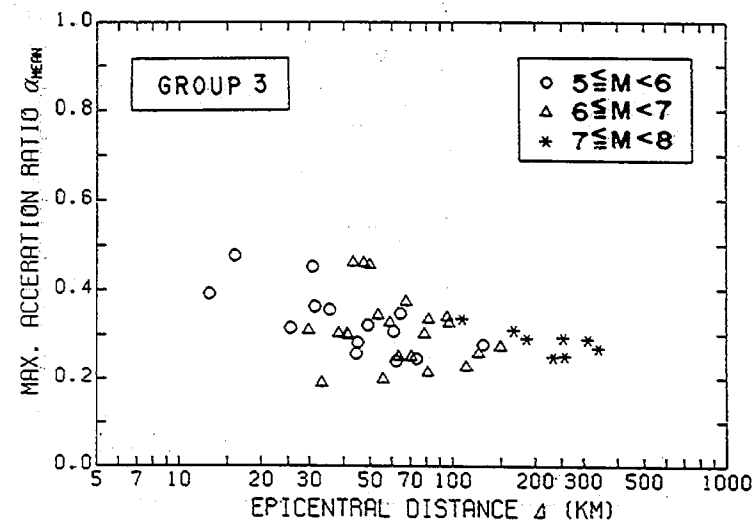
(a) 全データ



(b) I種地盤

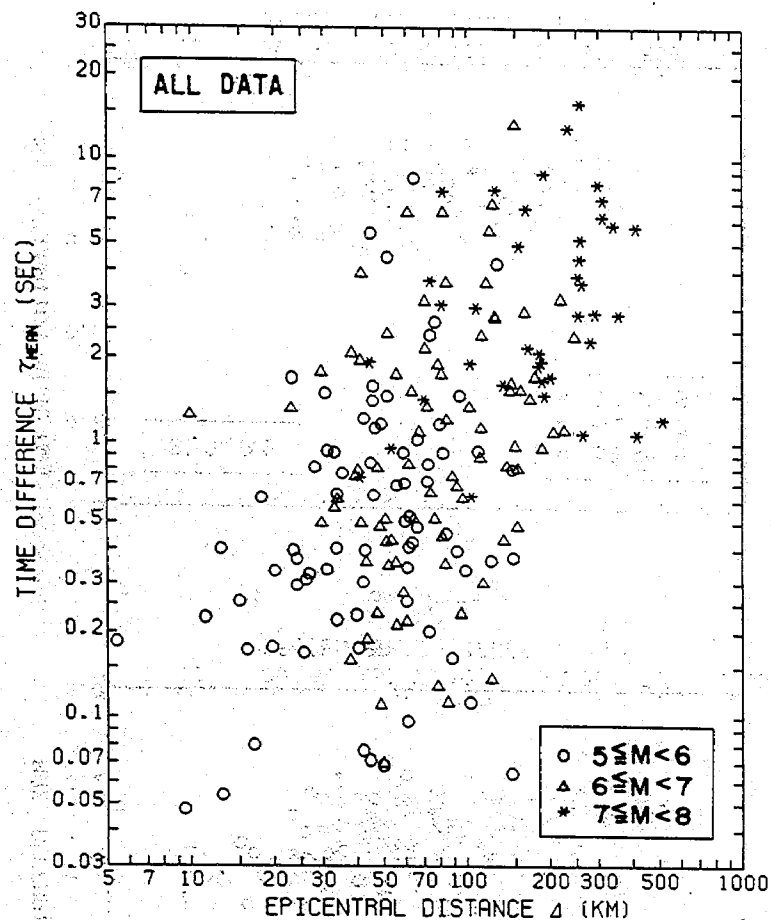


(c) II種地盤

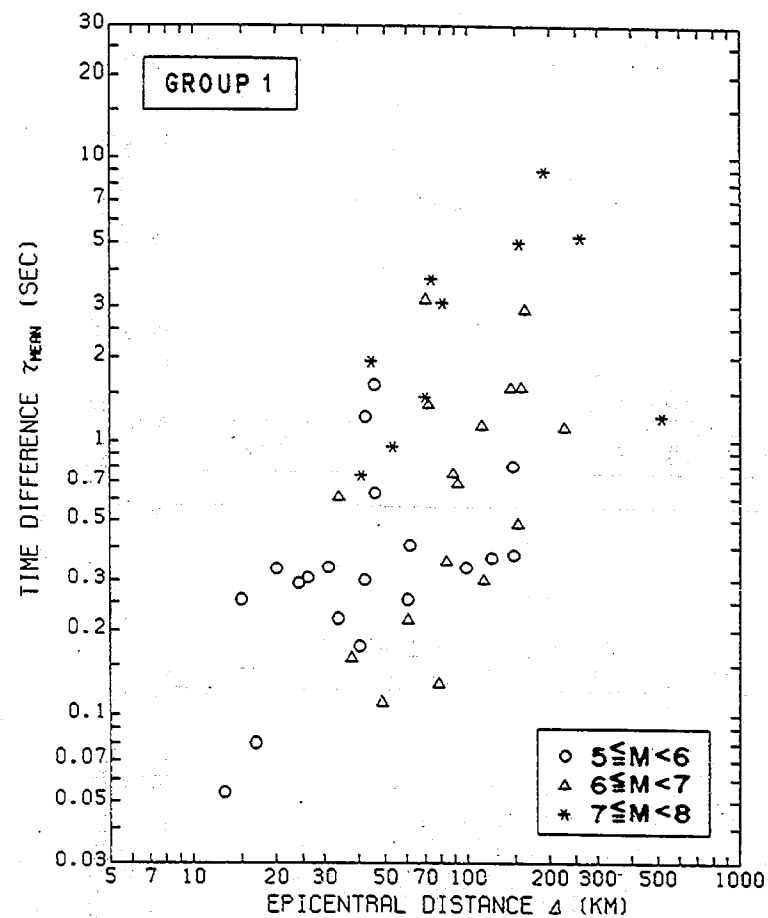


(d) III種地盤

図 3.3 α_{MEAN} とマグニチュード M , 震央距離 Δ の関係

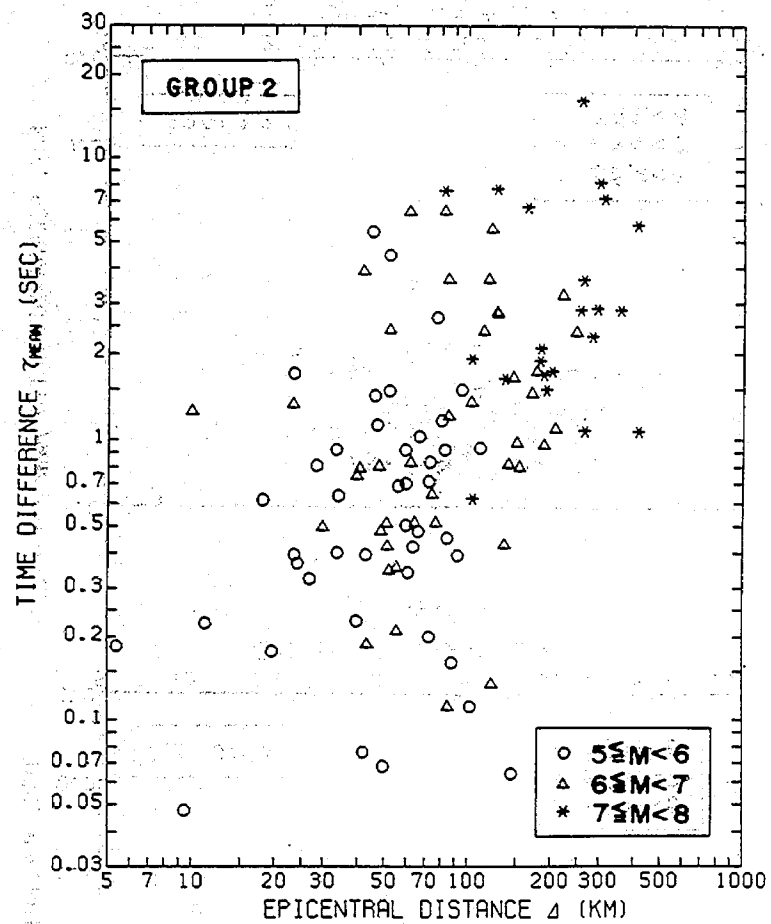


(a) 全データ

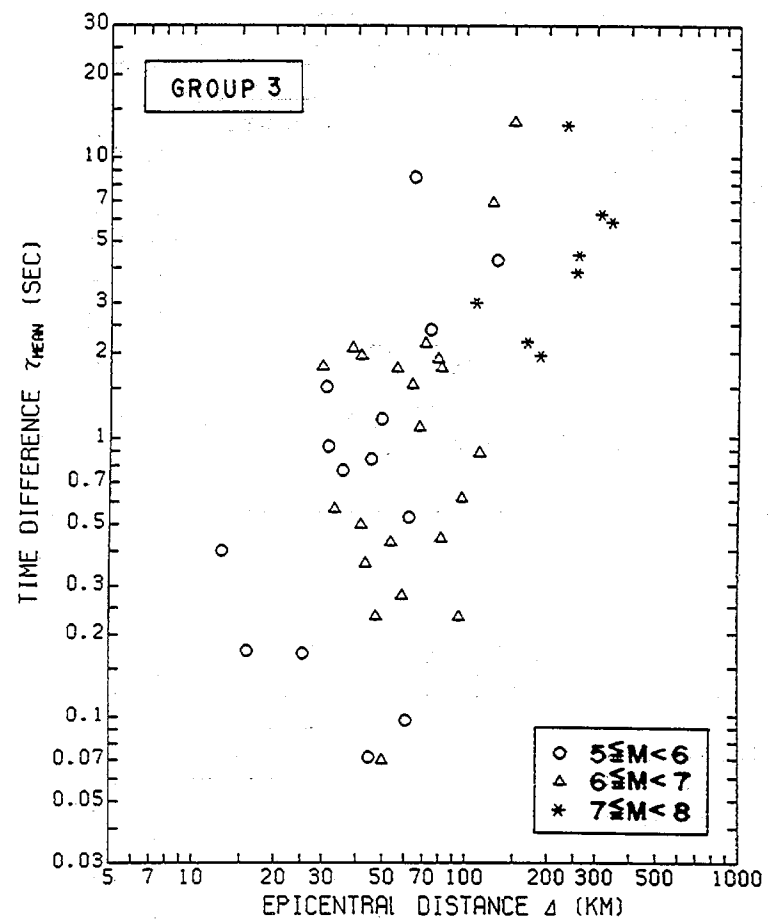


(b) I種地盤

図3.4(1) τ_{MEAN} とマグニチュード M 、震央距離 Δ の関係

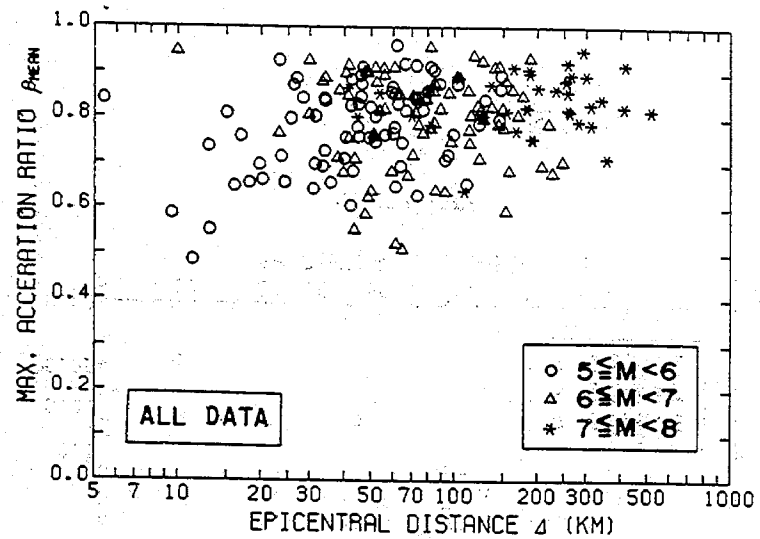


(c) II種地盤

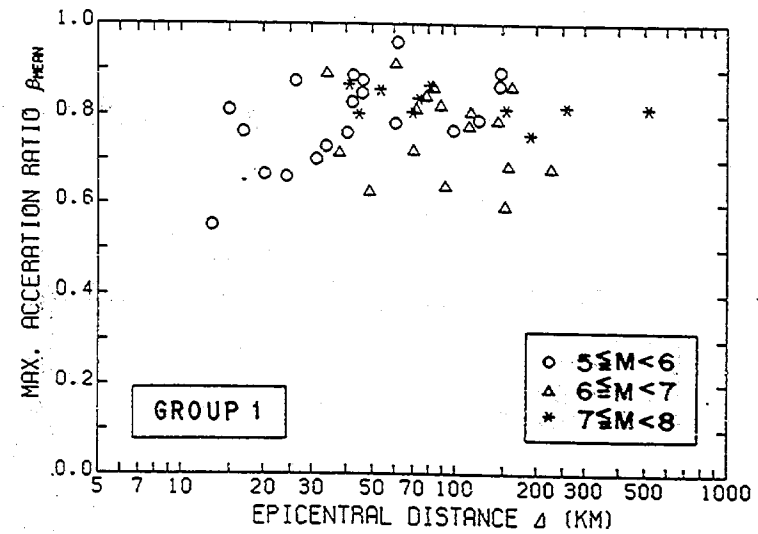


(d) III種地盤

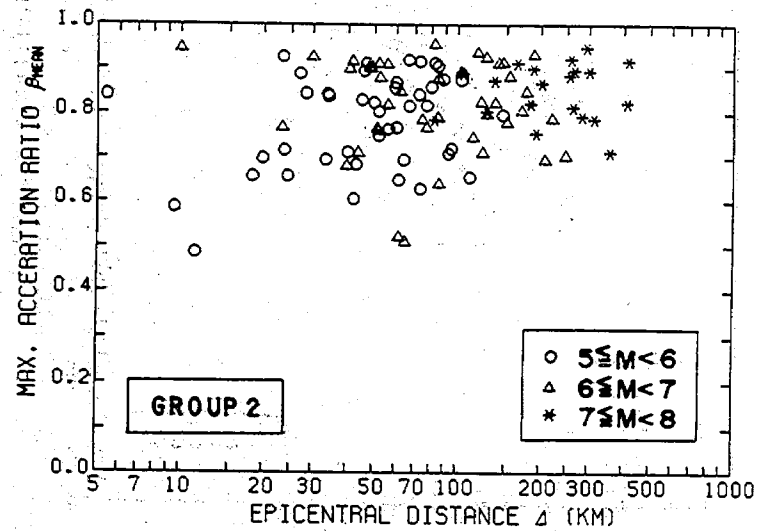
図 3.4(2) τ_{MEAN} とマグニチュード M , 震央距離 Δ の関係



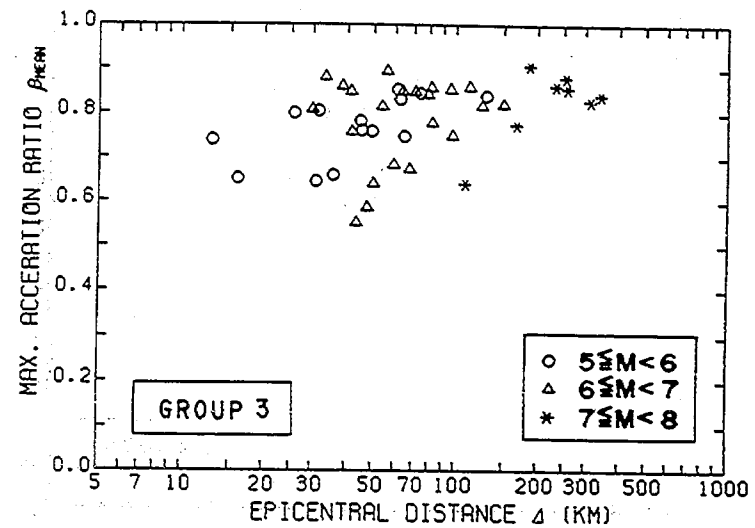
(a) 全データ



(b) I種地盤

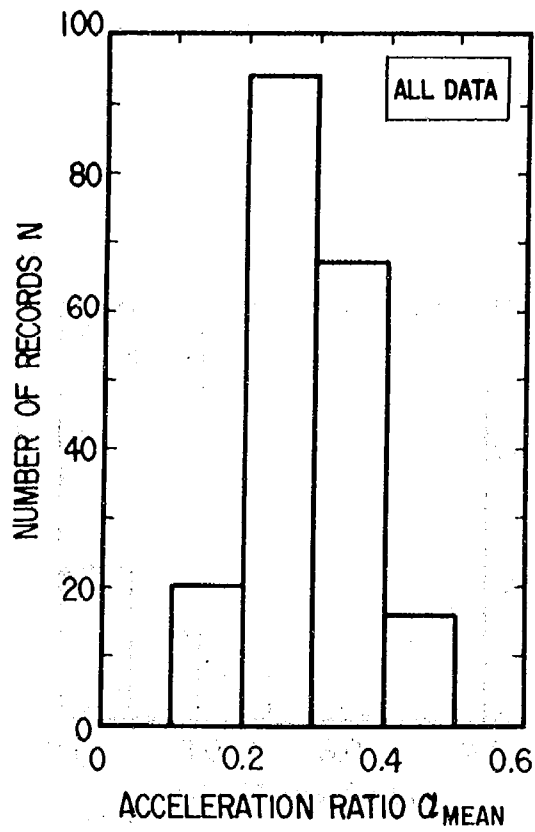


(c) II種地盤

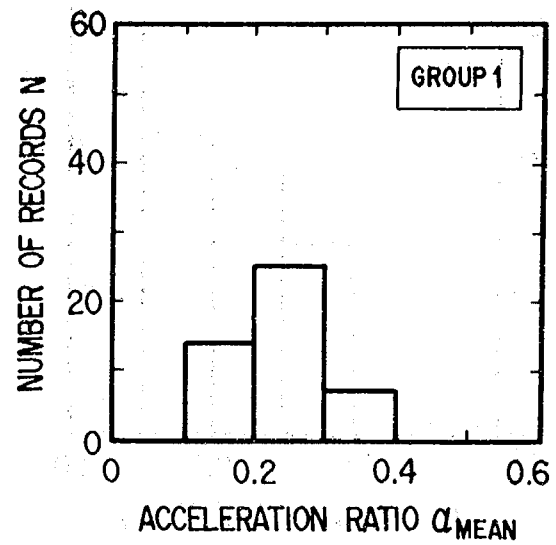


(d) III種地盤

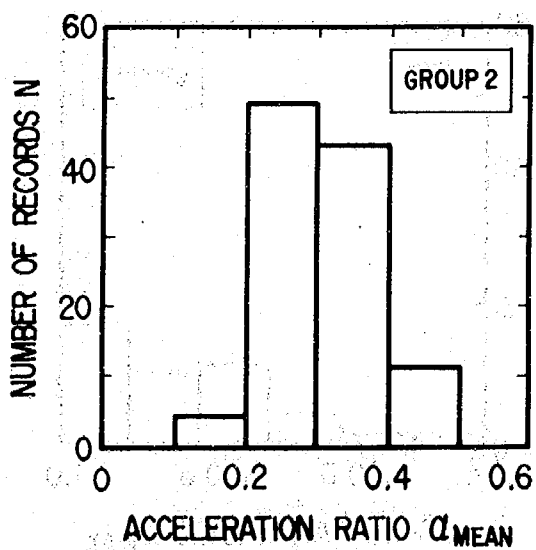
図3.5 β_{MEAN} とマグニチュード M , 震央距離 Δ の関係



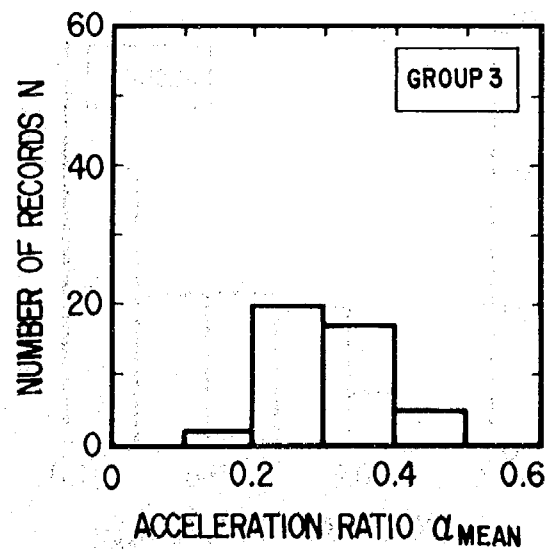
(a) 全データ



(b) I 種地盤

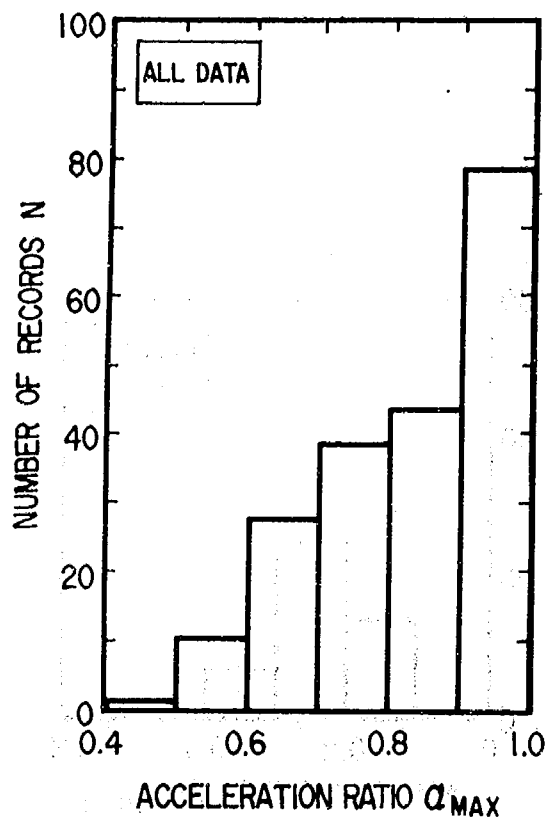


(c) II 種地盤

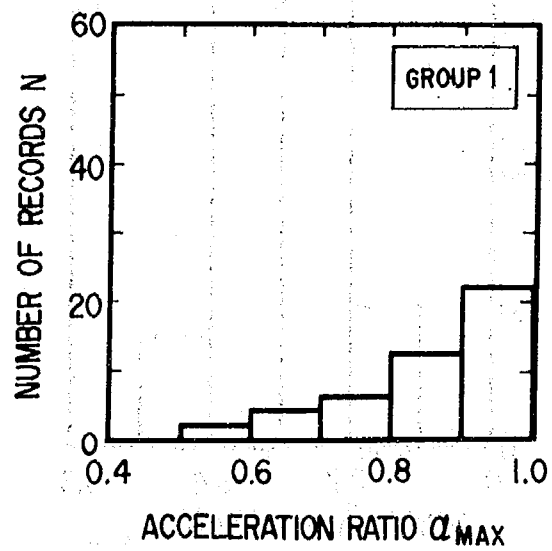


(d) III 種地盤

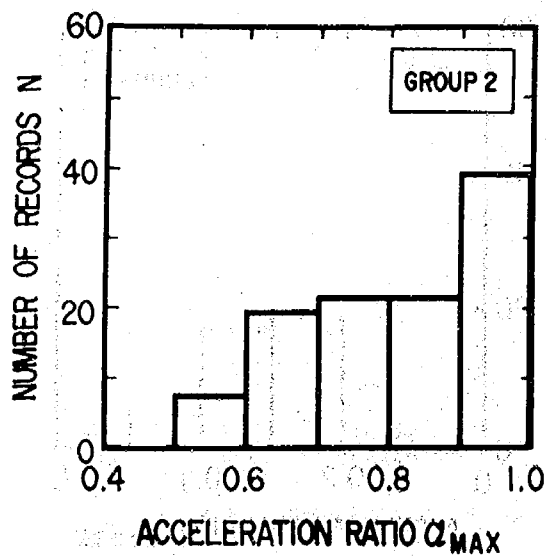
図 3.6 α_{MEAN} の頻度分布



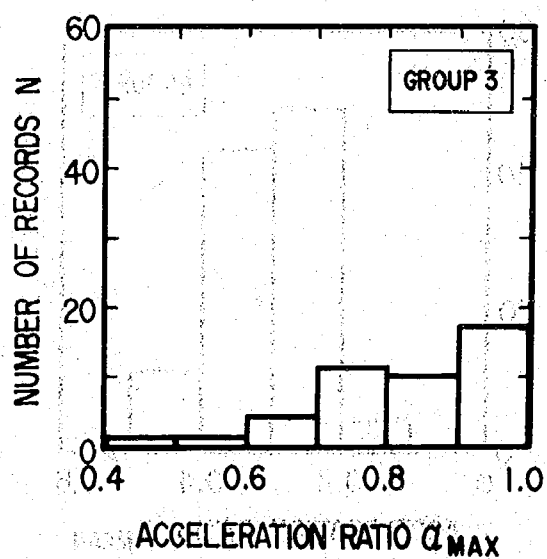
(a) 全データ



(b) I種地盤

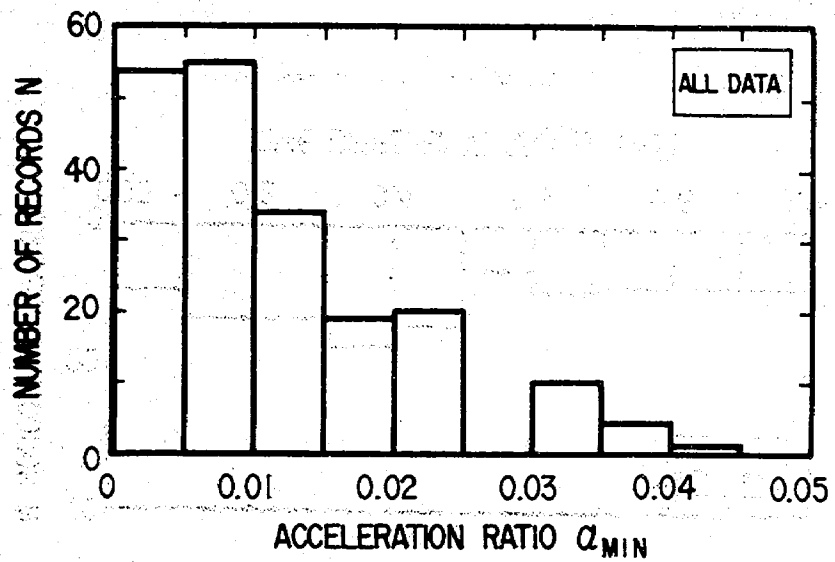


(c) II種地盤

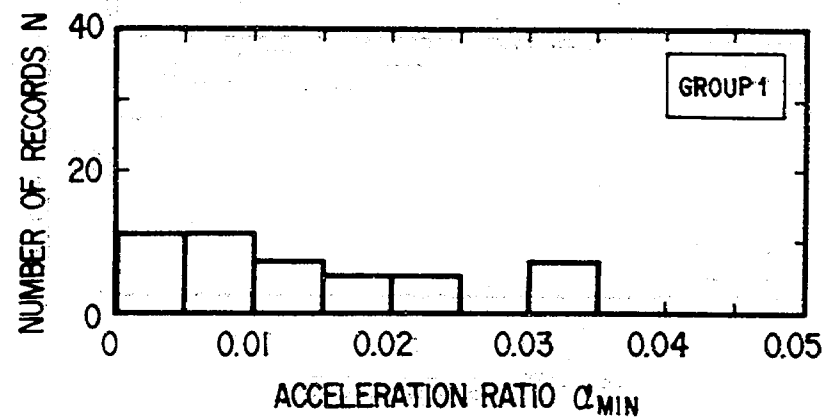


(d) III種地盤

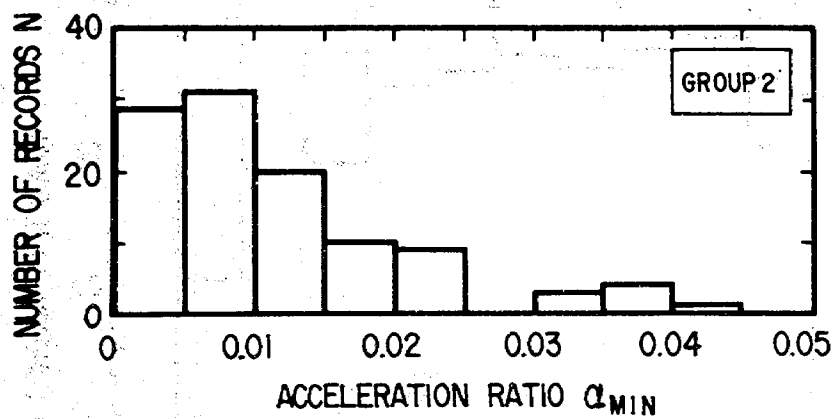
図 3.7 α_{MAX} の頻度分布



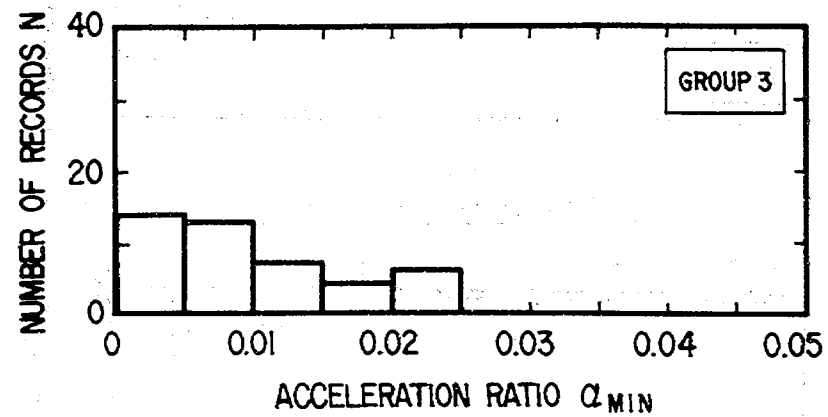
(a) 全データ



(b) I種地盤

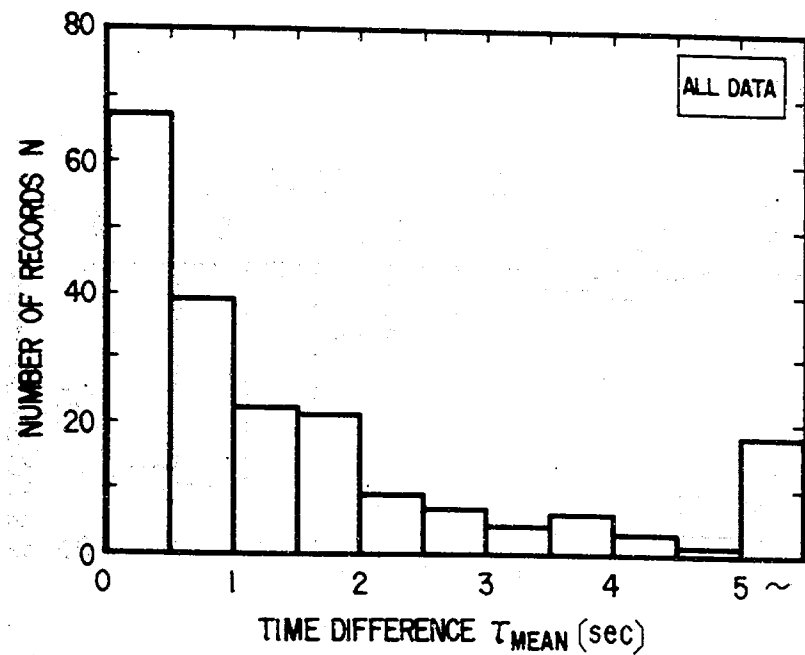


(c) II種地盤

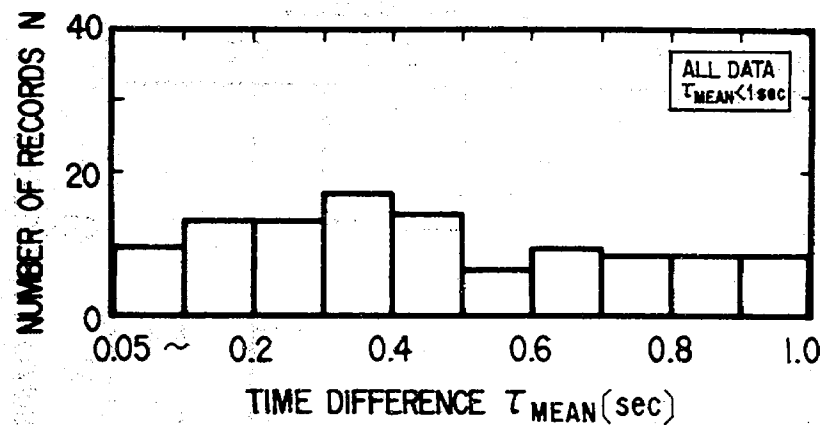


(d) III種地盤

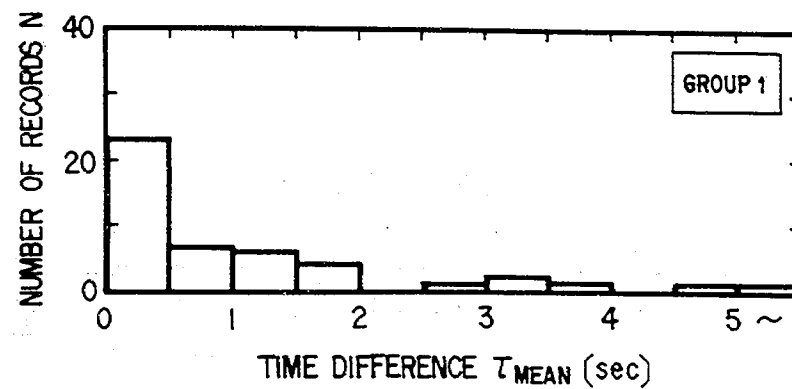
図 3.8 α_{MIN} の頻度分布



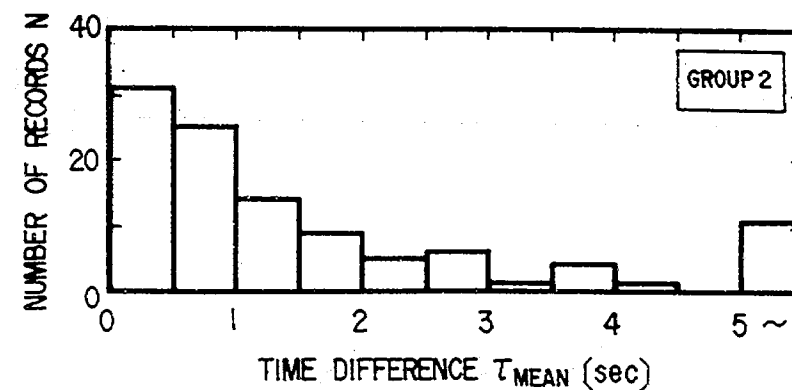
(a) 全データ



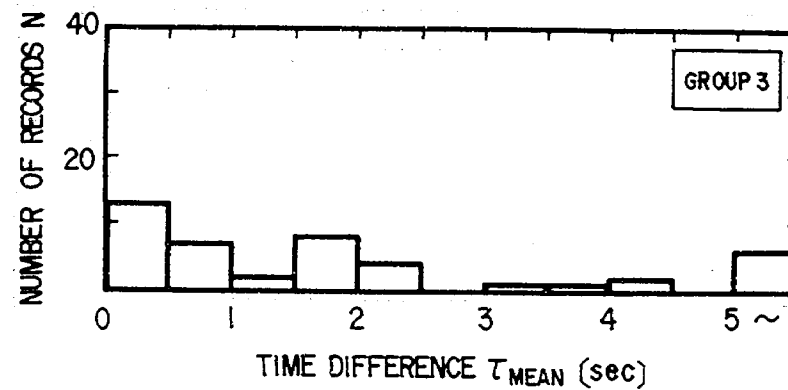
(b) 全データ (1秒未満の区間を拡大)



(c) I種地盤

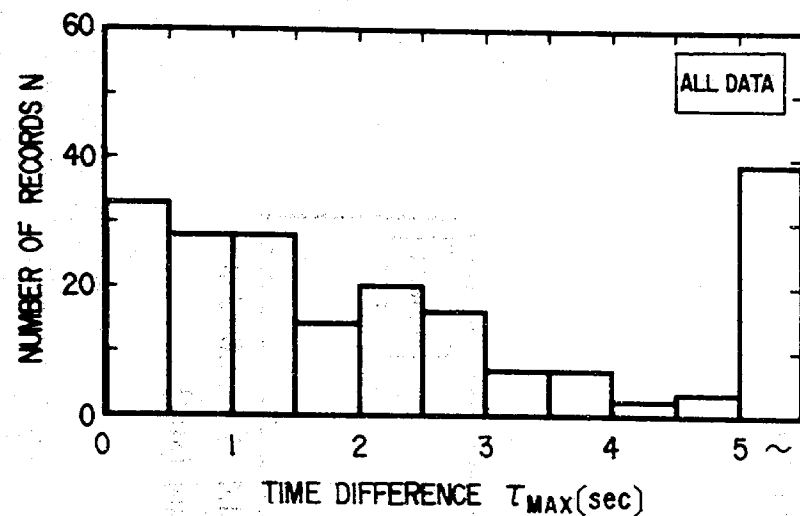


(d) II種地盤

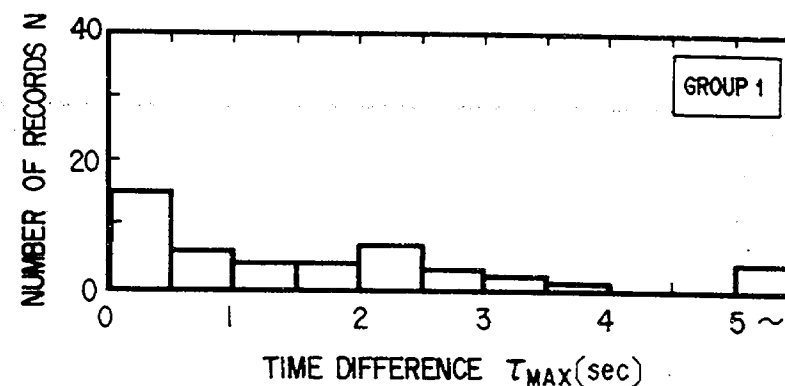


(e) III種地盤

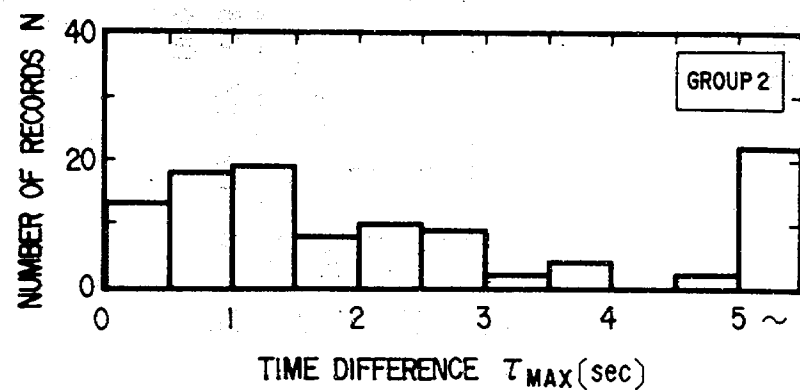
図 3:9 τ_{MEAN} の頻度分布



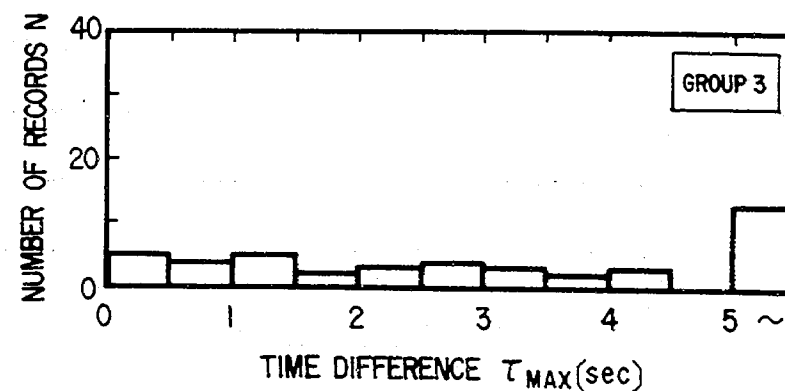
(a) 全データ



(b) I種地盤

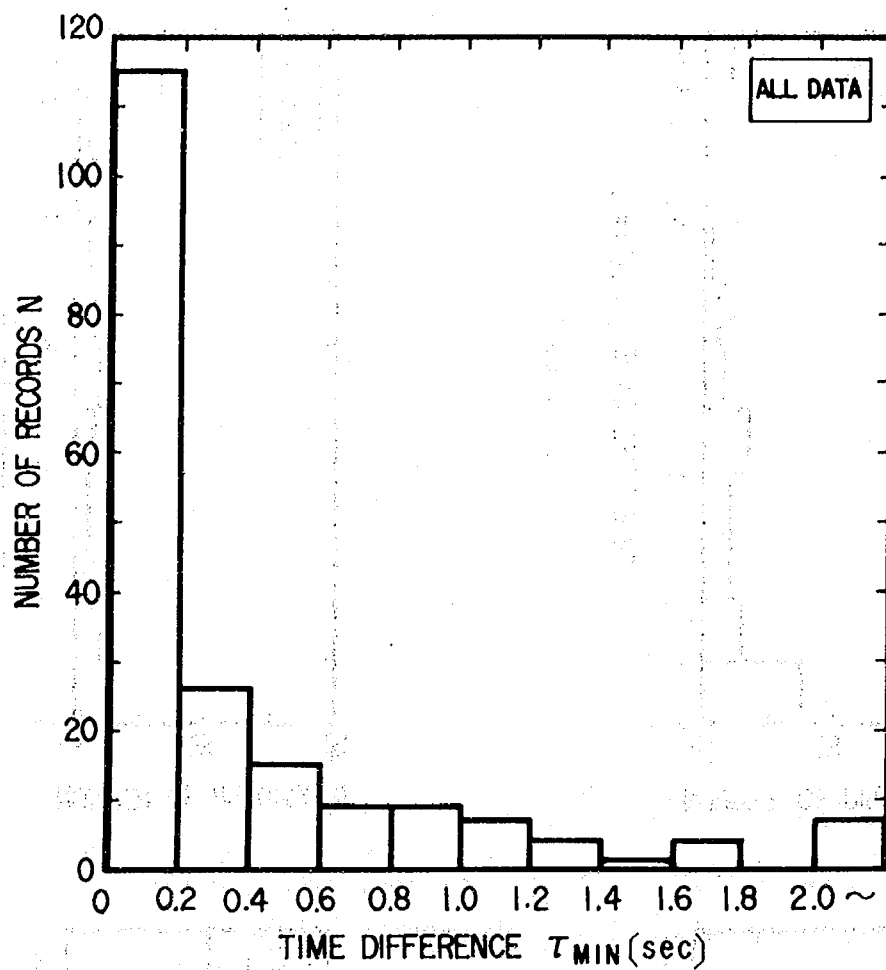


(c) II種地盤

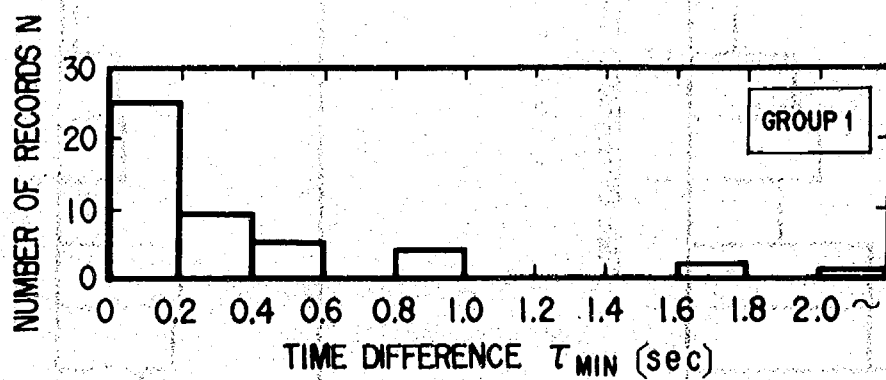


(d) III種地盤

図 3.10 τ_{MAX} の頻度分布

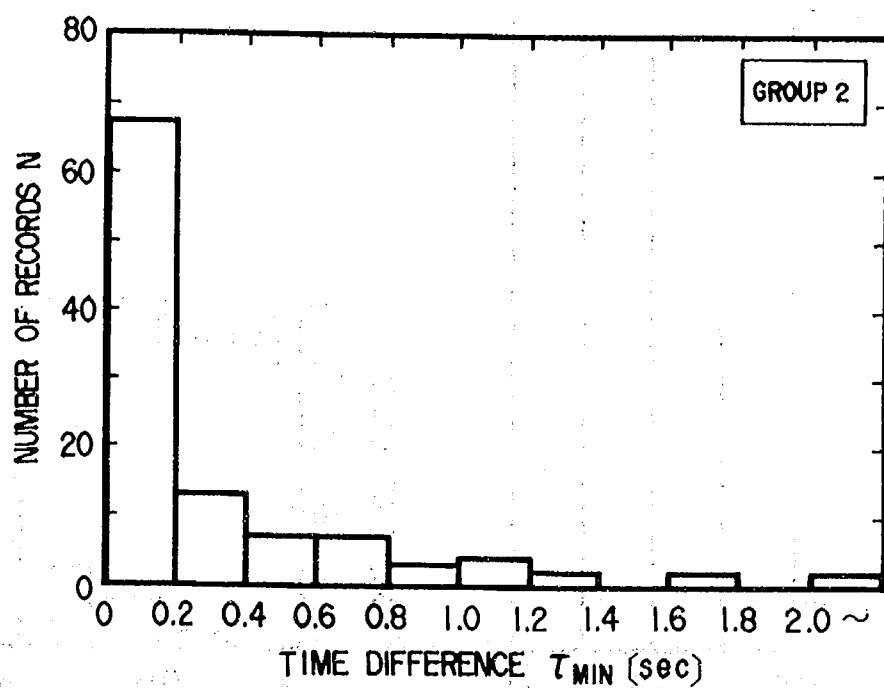


(a) 全データ

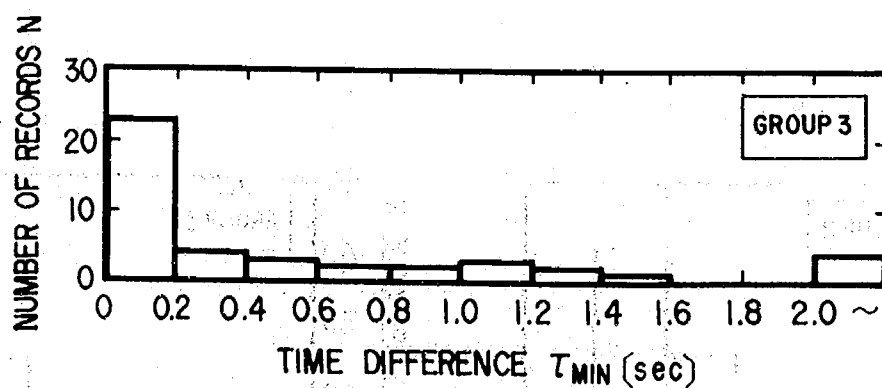


(b) 1種地盤

図 3.11(1) τ_{MIN} の頻度分布

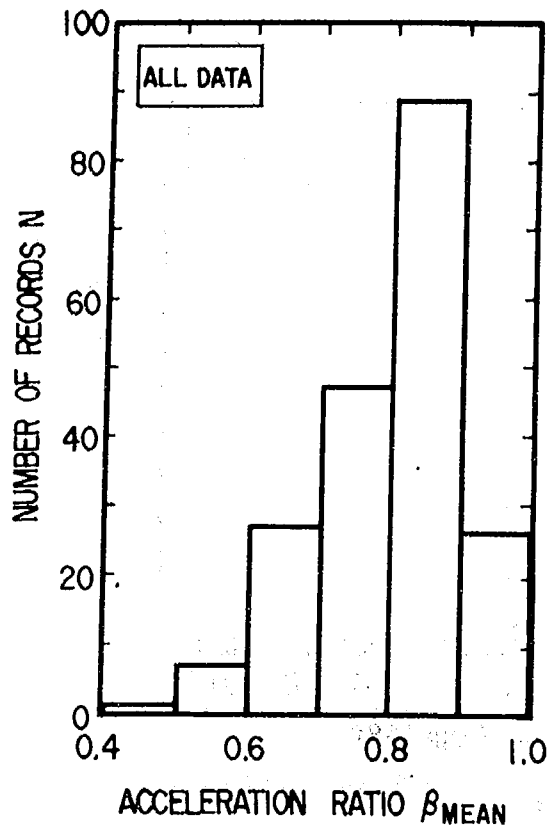


(c) II種地盤

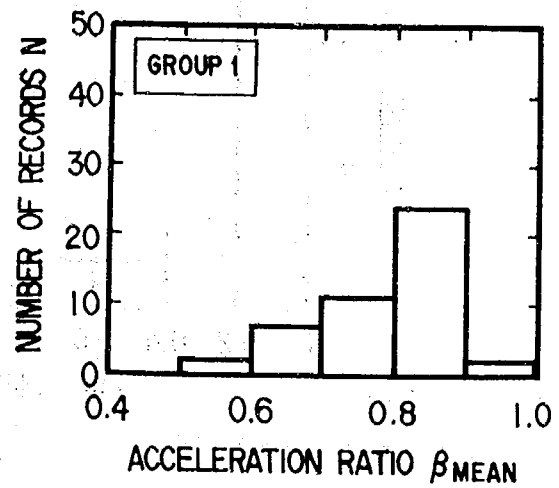


(d) III種地盤

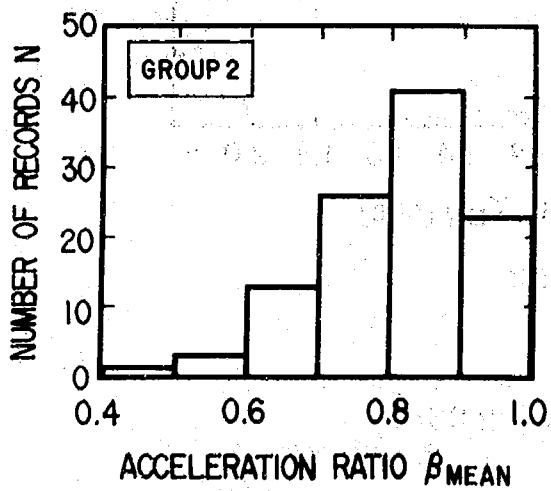
図 3.11(2) τ_{MIN} の頻度分布



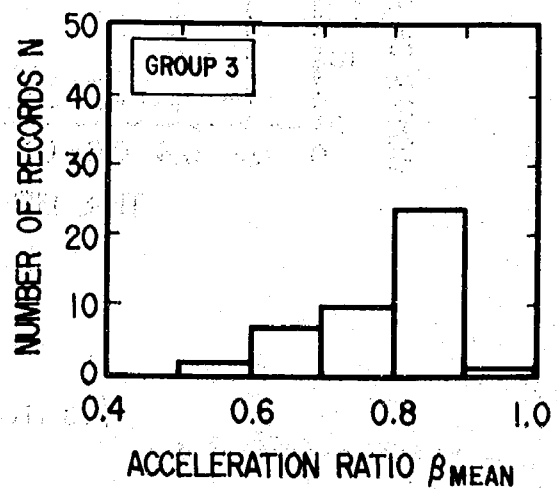
(a) 全データ



(b) I 種地盤

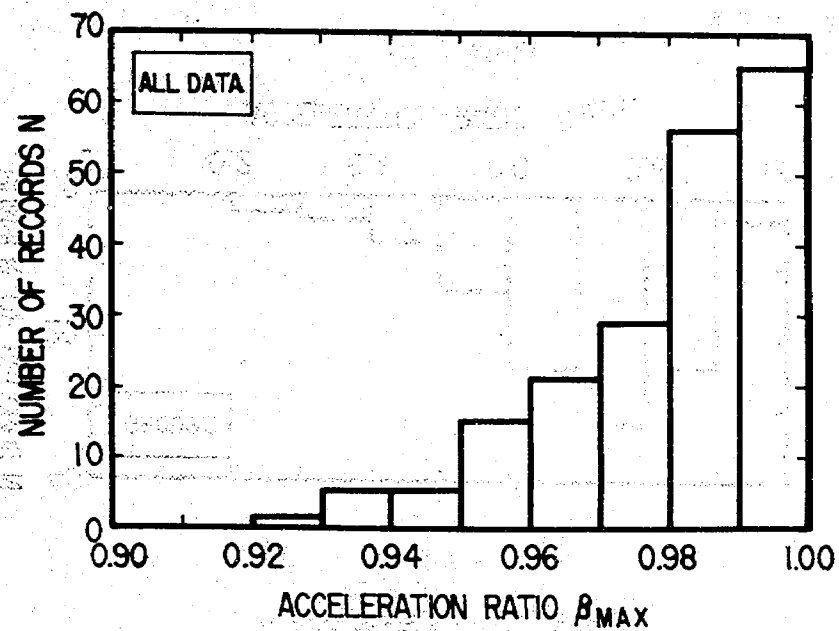


(c) II 種地盤

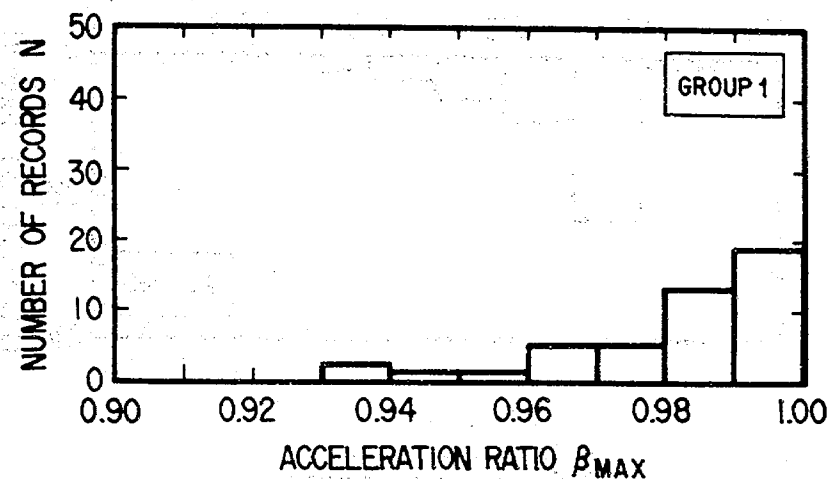


(d) III 種地盤

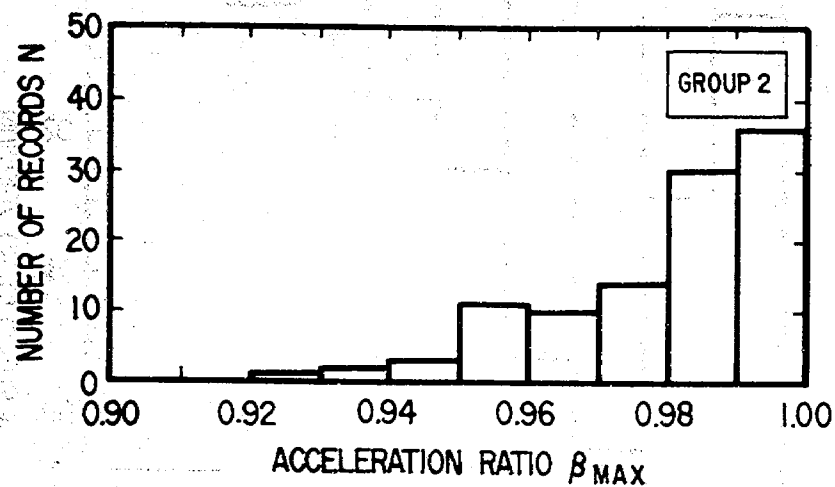
図 3.12 β_{MEAN} の頻度分布



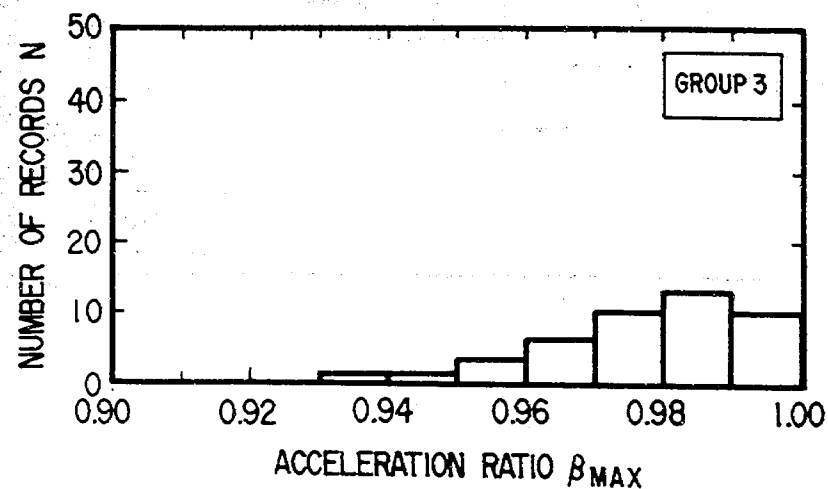
(a) 全データ



(b) I種地盤

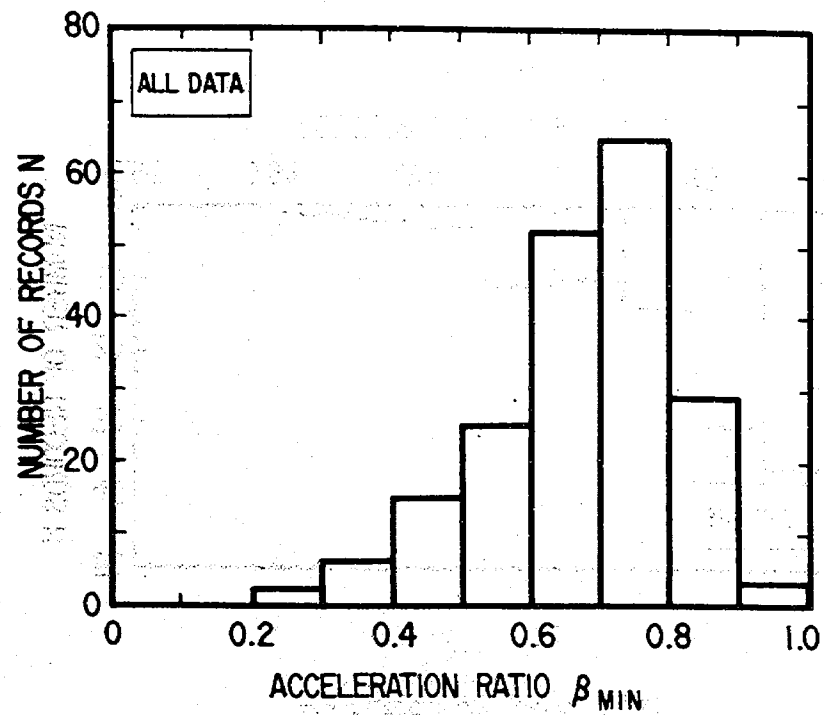


(c) II種地盤

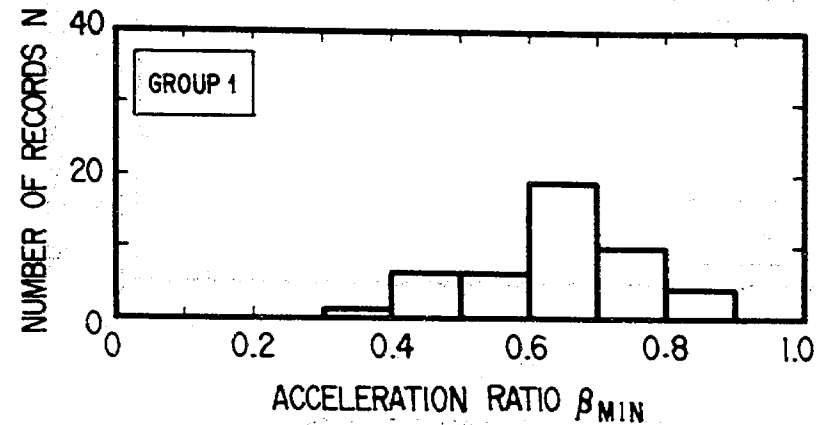


(d) III種地盤

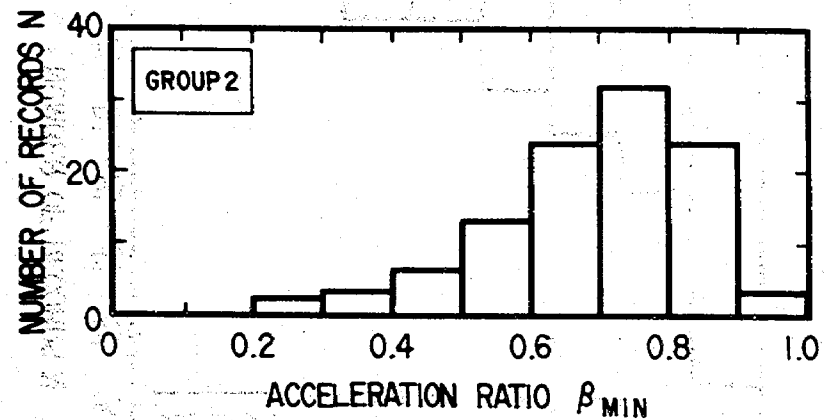
図 3.13 β_{MAX} の頻度分布



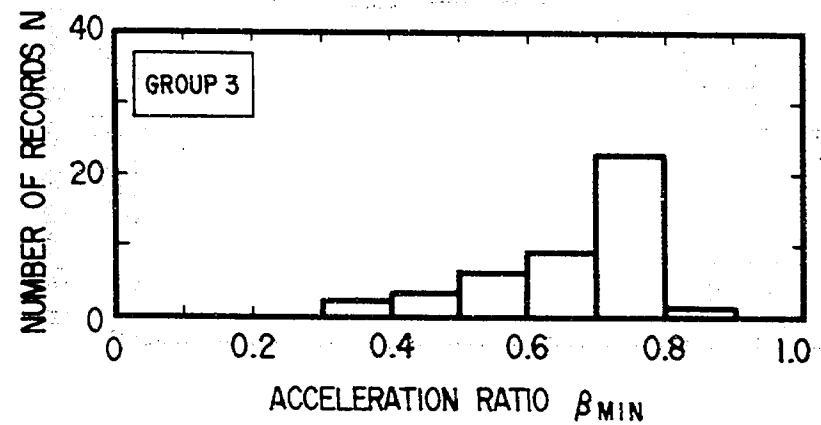
(a) 全データ



(b) I種地盤



(c) II種地盤



(d) III種地盤

図 3.14 β_{MIN} の頻度分布

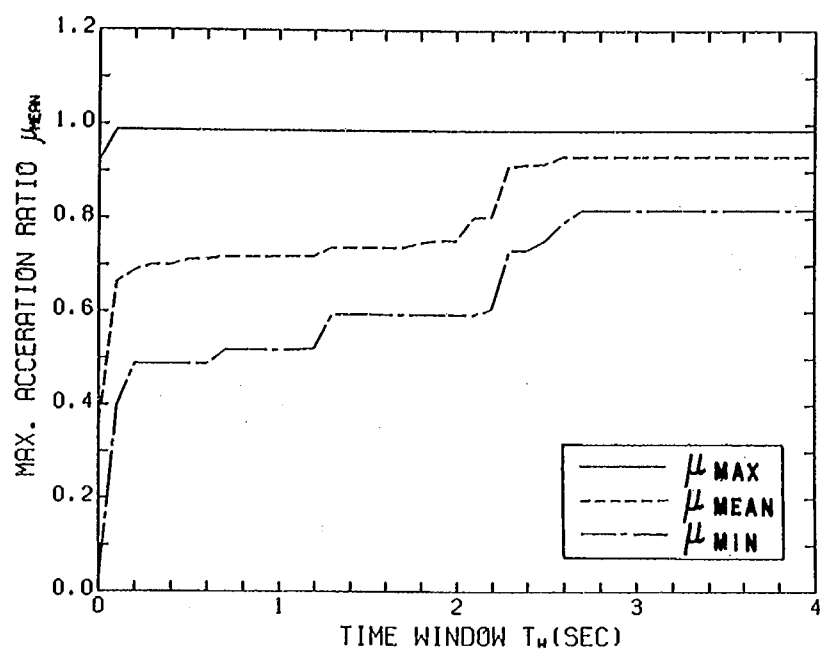


図 3.15 板島橋記録の μ_{MEAN} , μ_{MAX} および μ_{MIN} と T_w の関係

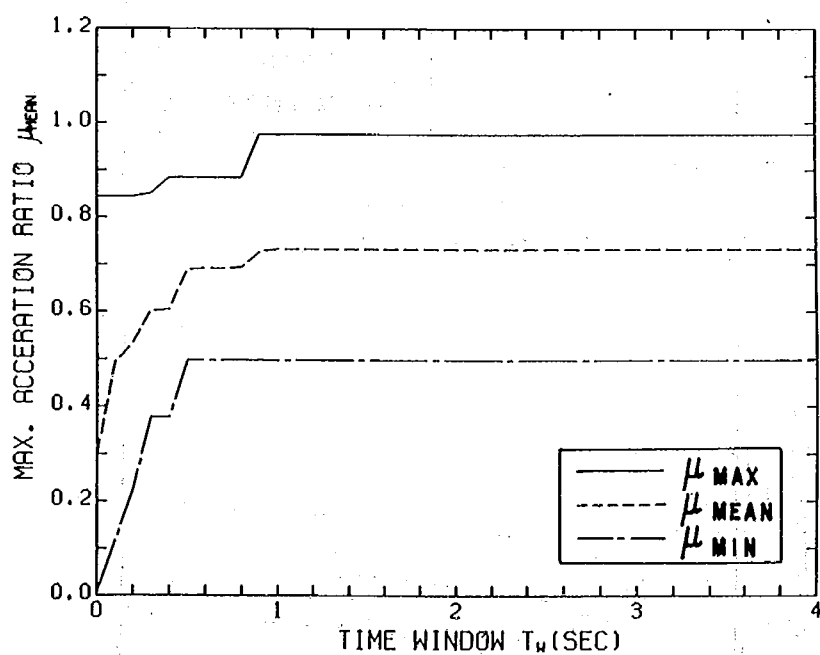


図 3.16 開北橋記録の μ_{MEAN} , μ_{MAX} および μ_{MIN} と T_w の関係

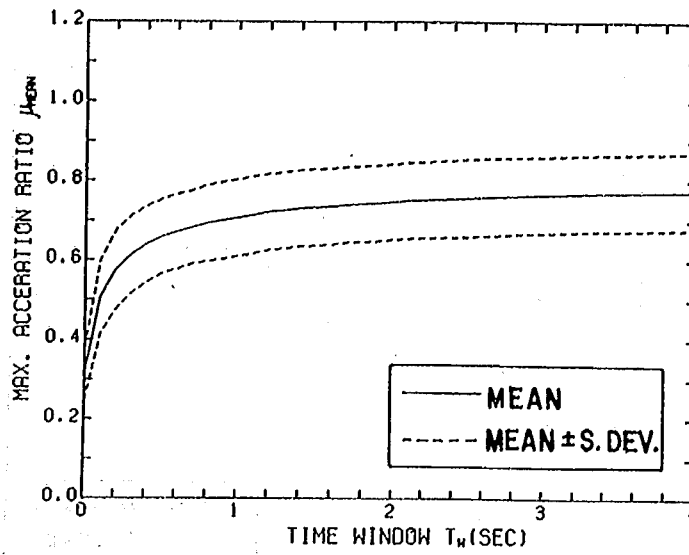


図 3.17 μ_{MEAN} と T_W の関係

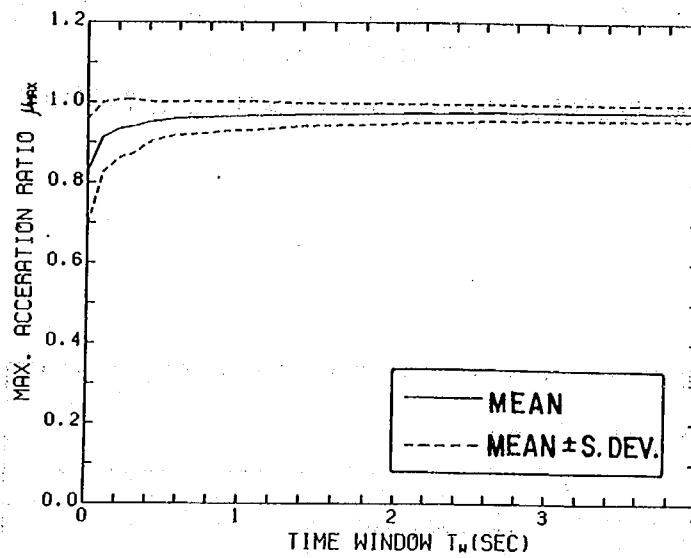


図 3.18 μ_{MAX} と T_W の関係

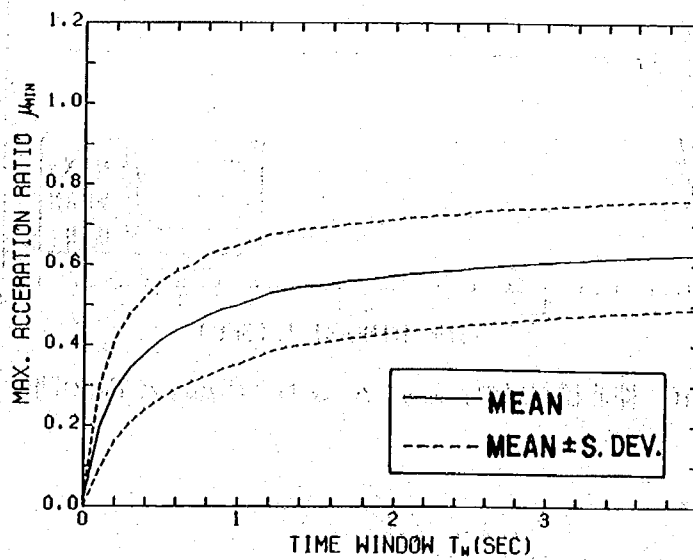


図 3.19 μ_{MIN} と T_W の関係

4. 最大加速度の最大および最小値

4.1 パラメータの定義

水平2成分の強震記録1組から、図3.2に示すように座標変換して求めたX軸に沿う最大加速度を $a_{x,max}(\theta)$ とし、 θ を 5° から 180° まで 5° ごとに变化させて求めた $a_{x,max}(\theta)$ のうち、最大のものを $a_{max,max}$ 、そのときの θ を θ_{max} とする。また、最小の $a_{x,max}(\theta)$ を $a_{max,min}$ 、そのときの θ を θ_{min} とする。ここで、 $a_{max,max}$ に対する $a_{max,min}$ の比 r を次式により定義する。

$$r = a_{max,min} / a_{max,max} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

また、 θ_{max} と θ_{min} の角度差 η を次式により定義する。

$$\eta = |\theta_{max} - \theta_{min}| \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

4.2 最大加速度の最大および最小値

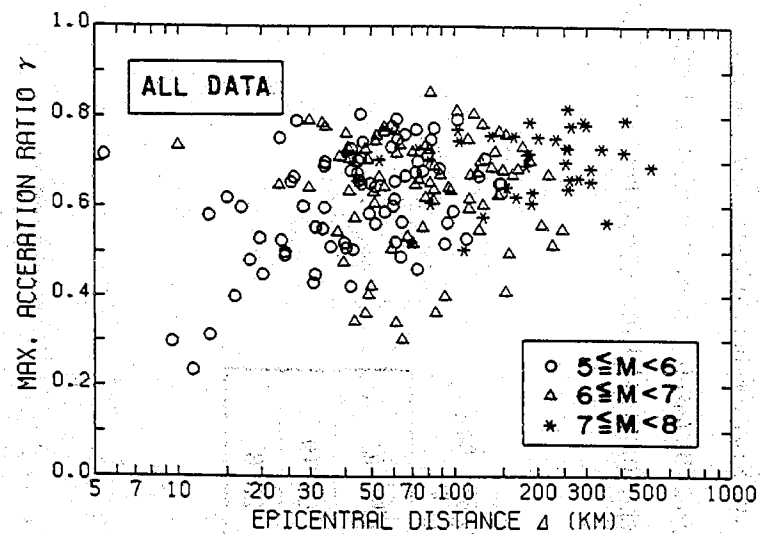
図4.1および図4.2は、それぞれ、 r 、 η と地震のマグニチュード M 、震央距離 Δ との関係を全データ並びに各地盤種別ごとに示したものである。 r および η は、それぞれ、 $0.2 \sim 0.8$ および $20^\circ \sim 140^\circ$ の間に分布しており、いずれについても M もしくは Δ との系統的な関係は認められない。

図4.3並びに図4.4に、それぞれ、 r 並びに η の全データおよび各地盤種別ごとの頻度分布を示す。 r の頻度分布はⅠ種地盤については $0.6 \sim 0.7$ にピークがあり、Ⅱ種地盤およびⅢ種地盤では $0.7 \sim 0.8$ にピークがあるという差があるものの、全般的にはいずれの地盤種別についても r の頻度分布形状は類似している。 η の頻度分布は、いずれの地盤種別についても 80° 付近を中心として広く分布している。

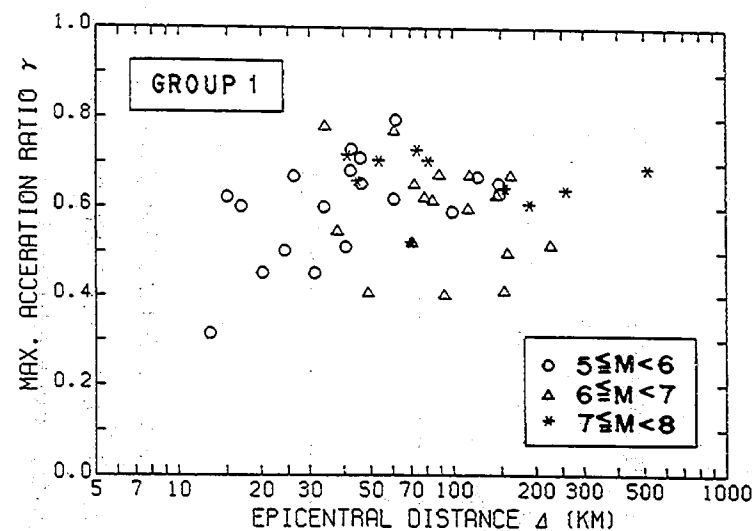
各強震記録について求めた r および η のそれぞれについて、197組の全解析対象記録に対する平均値および標準偏差を求めると、表4.1に示すようになる。 η の平均値は 79.0° であり、水平面内の合成最大加速度の最大値と最小値は、概ね直交する方向において生じ、最小値は平均的に最大値の65%程度であることがわかる。

表4.1 r 、 η の平均値および標準偏差

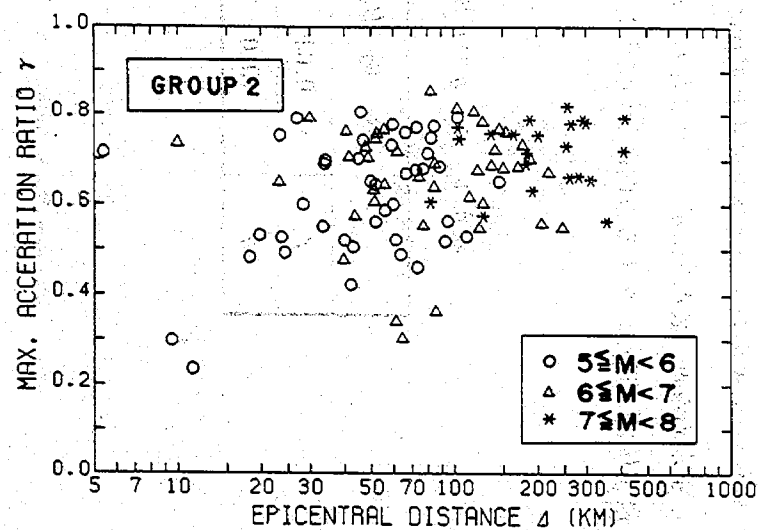
	平 均 値	標 準 偏 差
r	0.64	0.119
η	79.0°	26.6°



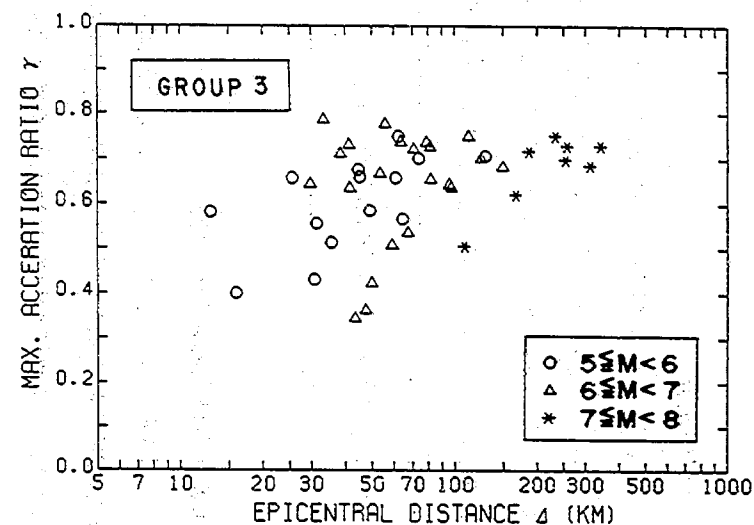
(a) 全データ



(b) I種地盤

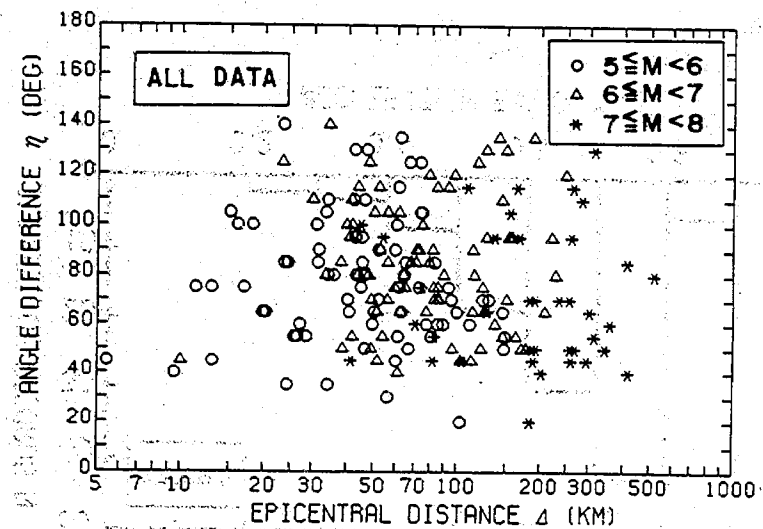


(c) II種地盤

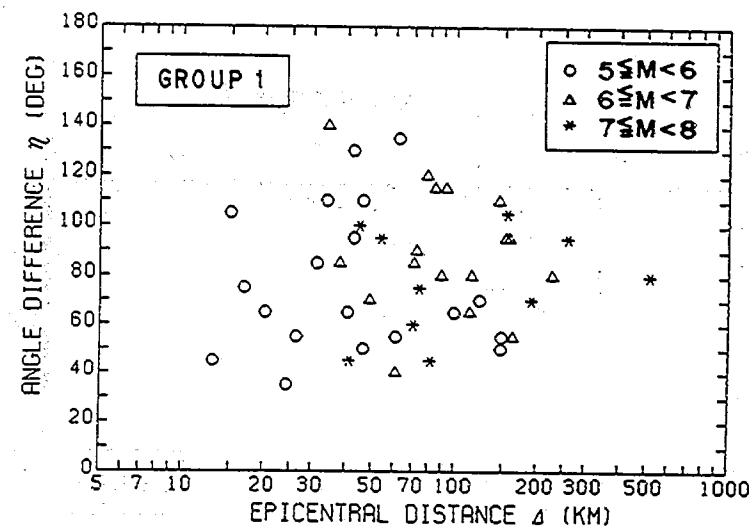


(d) III種地盤

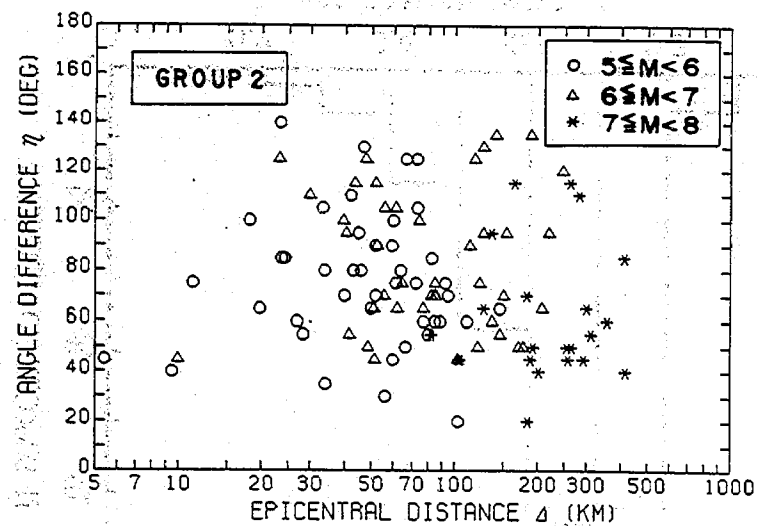
図4.1 γ とマグニチュードM, 震央距離 Δ との関係



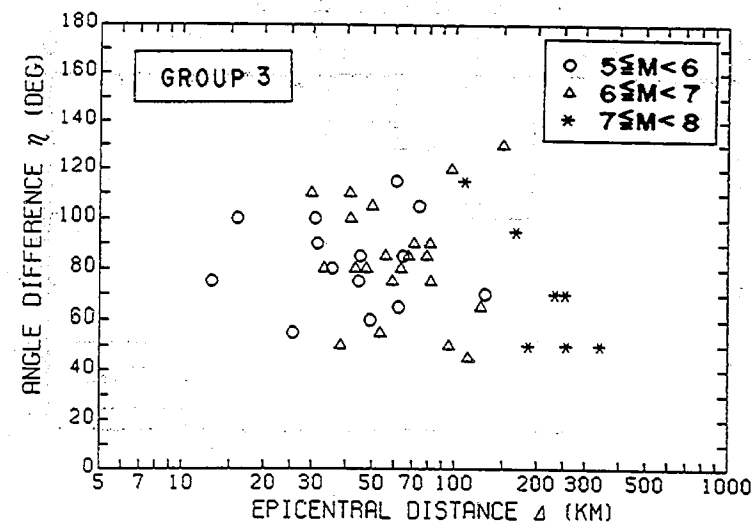
(a) 全データ



(b) I種地盤

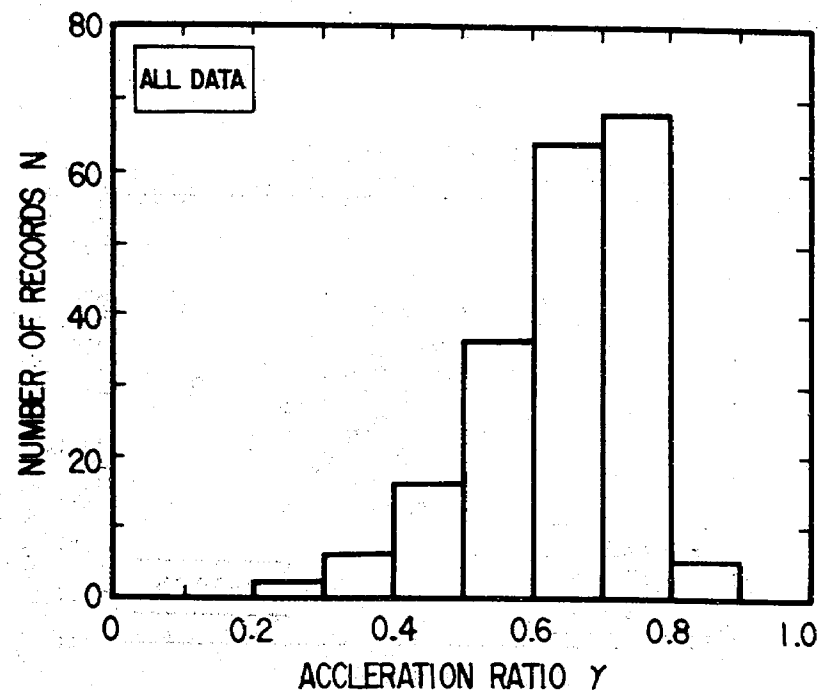


(c) II種地盤

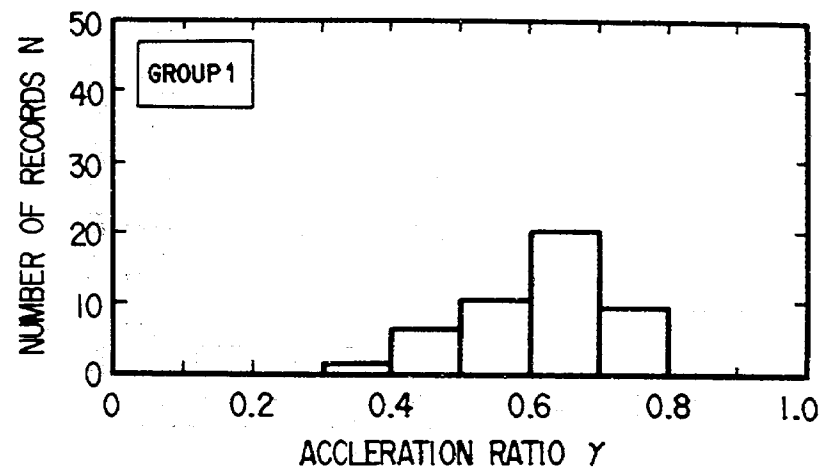


(d) III種地盤

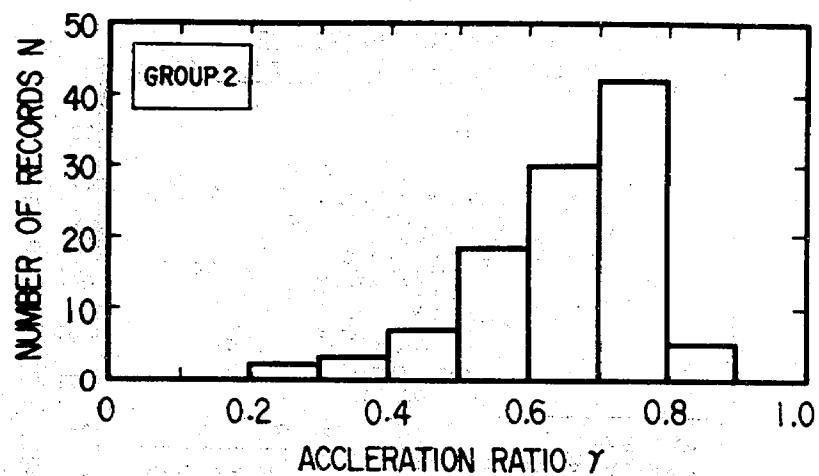
図4.2 η とマグニチュード M , 震央距離 Δ との関係



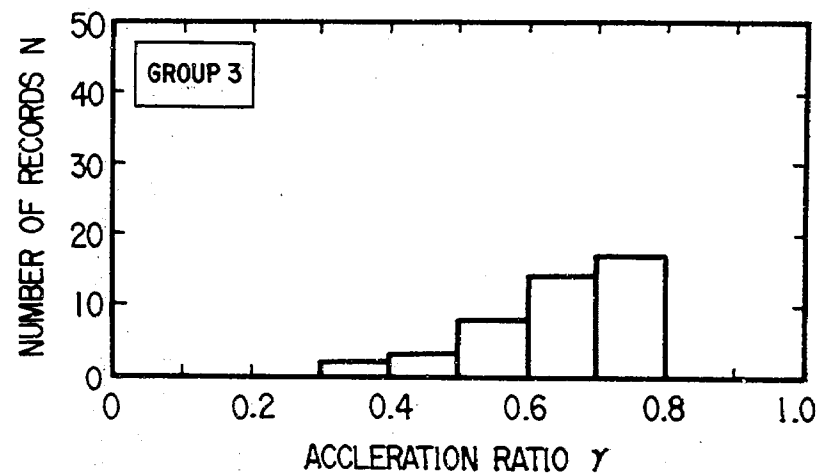
(a) 全データ



(b) I種地盤

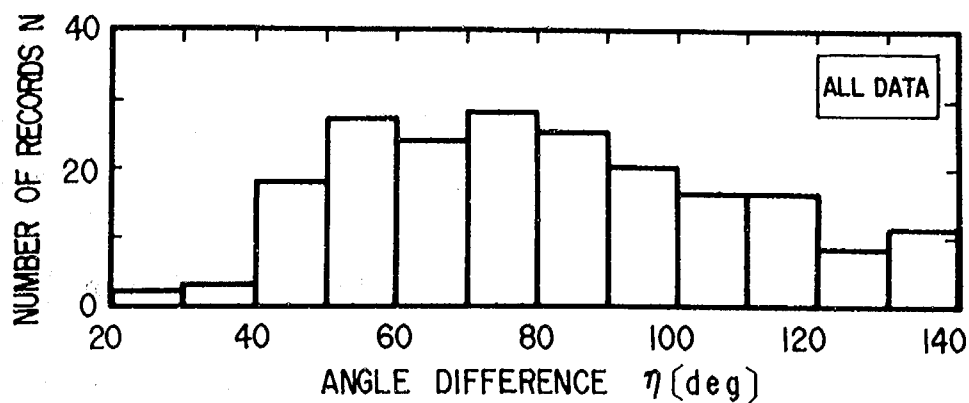


(c) II種地盤

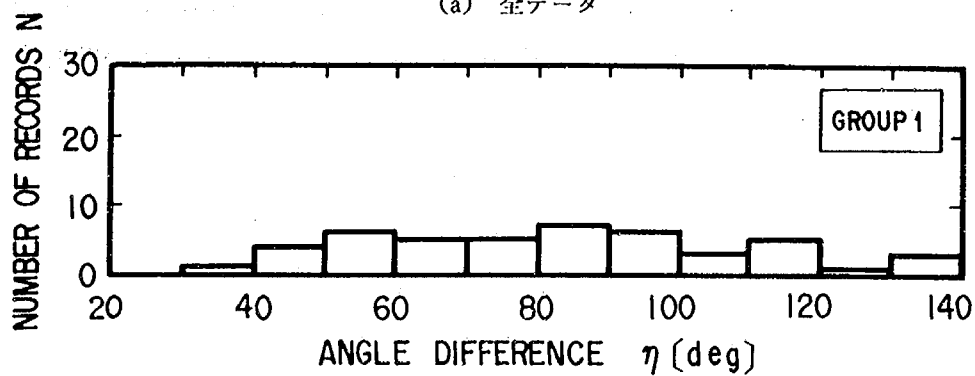


(d) III種地盤

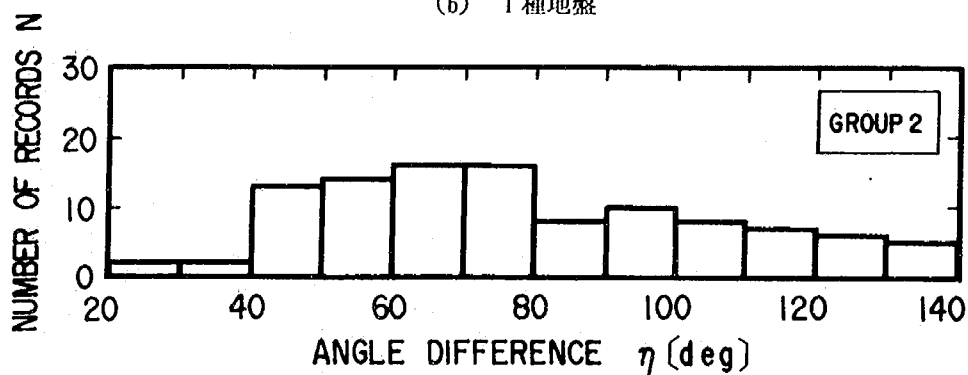
図 4.3 γ の頻度分布



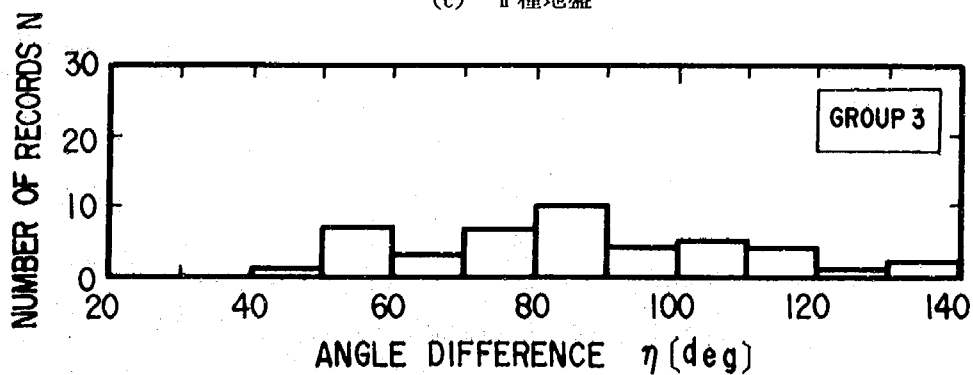
(a) 全データ



(b) I種地盤



(c) II種地盤



(d) III種地盤

図4.4 η の頻度分布

5. 結 論

197 組 (197 × 2 成分) の水平成分 SMAC 型強震計記録をもとに、直交 2 方向の最大加速度の特性、また、水平面内で合成した最大加速度の変動特性について検討した。本検討から得られた主要な結論は以下のとおりである。

- 1) 強震記録のある一方向成分が最大加速度をとる時刻における直交方向成分の加速度は、平均的には上記最大加速度の 30 % 程度である。
- 2) 直交 2 方向成分がそれぞれ最大加速度をとる時間差は、0.1 ~ 1.0 秒程度の比較的短い場合も多いが、平均的には 1.80 秒であり、直交 2 成分が同時に最大値をとる頻度は低いものとみなせる。
- 3) 水平面内で合成した最大加速度の最大値と最小値は、概ね直交する方向において生じ、最小値は、平均的には最大値の 65 % 程度である。

参 考 文 献

- 1) 土木学会編：動的解析と耐震設計，第1巻，技報堂出版，平成元年
- 2) 川島一彦，相沢 興，高橋和之：最大地震動および応答スペクトルの推定式に及ぼす地震記録の水平2成分合成の影響，土木学会論文報告集，第329号，昭和58年
- 3) 川島一彦，相沢 興，高橋和之：最大地震動及び地震応答スペクトルの距離減衰式，土木研究所報告，第166号，昭和60年
- 4) 土岐憲三：構造物の耐震解析，技報堂出版，昭和56年
- 5) 川島一彦，高木義和，相沢 興：数値化精度を考慮したSMAC-B₂型強震計記録の計器補正法および変位計算法，土木学会論文報告集，第325号，昭和57年
- 6) 日本道路協会：道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説，平成2年
- 7) 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

最大地震動および地震応答
スペクトルの推定法

—(その11)直交2方向の最大加速度特性—

I S S N 0 3 8 6 - 5 8 7 8
土木研究所資料第3130号
平成4年8月 (1992年)
常田 賢一, 田村 敬一
深田 秀実

要 旨

197組(2成分)のSMA C型強震計記録をもとに,水平方向のある一方向成分の最大値と同時刻における直交方向成分との比を求め,地震動の直交成分を考慮することの影響について検討した。その結果,直交2方向成分がそれぞれ最大加速度をとる時間差は平均的には1.80秒で,直交2成分が同時に最大値をとる頻度は低く,ある一方向成分が最大加速度をとる時刻における直交方向成分の加速度は,その最大加速度の30%程度であるという結論を得た。

キーワード:耐震設計,入力地震動,最大加速度



郵便はがき

41円切手
をはって
下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
地震防災部振動研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料 第3130号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏名



土木研究所資料第3130号



最大地震動および地震応答スペクトルの推定法

—(その11)直交2方向の最大加速度特性—