

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8)応答の繰り返し回数を
考慮した加速度応答スペクトル——

昭和60年1月

建設省土木研究所
地震防災部・振動研究室

Copyright © 1984 fiscal year 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 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、複写は土木研究所長の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8)応答の繰り返し回数を 考慮した加速度応答スペクトル——

振動研究室	主任研究員	川 島 一 彦
	(現耐震研究室長)	
	研 究 員	田 村 敬 一
		相 沢 興
		高 橋 和 之

要 旨

地盤、土構造物のように強い履歴強度特性を有する材料に対しては、振動中にただ1回生ずる最大応答値よりも、ある程度の回数が継続して作用する応答値の方が強震時の耐震性を検討する上で重要と考えられる。そこで応答波形の繰り返し回数を考慮した加速度応答スペクトル $S_A(T, h, N)$ を新しく提案し、その特性を既応の強震記録をもとに検討、試算すると共に、繰り返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ が実用的に $\eta(T, h, N) = 1 / \{1 + a(T, h)(N - 1)\}$, $a = 80h / ((60h + 1) \times 0.0815 \times T^{0.349})$ として与えられることを示した。

キーワード：耐震設計，入力地震動，応答スペクトル

目 次

1. 応答の繰返し回数を考慮した加速度応答スペクトル	1
2. 解析に用いた強震記録	14
3. 代表的な強震記録に対する繰返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ の試算例	27
4. 繰返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ の推定法	44
4-1 繰返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ に及ぼす固有周期 T および 減衰定数 h の影響	44
4-2 繰返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ の推定法	45
5. 試 算 例	80
6. 結 論	89
参考文献	90
付属資料 繰返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ に及ぼす地震のマグニチ ュード, 震央距離, 地盤条件の影響	91

1. 応答の繰り返し回数を考慮した加速度応答スペクトル $S_A(T, h, N)$

構造物の応答は地震動の特性によって大きく変化するが、このような点を簡単に表わすために応答スペクトルが提案されている。応答スペクトルは、図 1.1 に示すように、固有周期 T (秒)、減衰定数 h を持つ線形 1 自由度系の基部に地震動が作用した場合に系に生じる最大応答として定義されており、1 自由度ではあっても地震動の強度および周期特性の両者とともに、ある場合には継続時間の特性をも考慮した構造物の最大応答を表わす指標として耐震設計では広く用いられている。一例として、1978 年宮城県沖地震により開北橋近傍地盤上で得られた強震記録（以下、開北橋記録と呼ぶ）および 1968 年豊後水道沖地震により板島橋近傍地盤上で得られた強震記録（以下、板島橋記録と呼ぶ）を作用させた場合の 1 自由度系の絶対加速度応答波形を主要な固有周期 T (秒) および減衰定数 h の組み合わせに対して計算すると図 1.2 および図 1.3 のようになる。こうした応答加速度波形のなかから最大応答加速度に着目し、これを対応する固有周期 T (秒) および減衰定数 h に対してプロットすると図 1.4 のような加速度応答スペクトルが得られる。

さて、加速度応答スペクトル $S_A(T, h)$ は固有周期 T (秒)、減衰定数 h の 1 自由度系に生じる最大応答値として定義されているが、耐震設計上構造物に生じる応答を表わす指標として最大応答値だけが適切な指標であろうか。たとえば、地盤・土構造物のように強い履歴強度特性を有する材料では、ただ 1 回の強い応答よりもむしろそのような強い応答が何回作用するかの方が、強震時の耐震性を検討する上では重要ではないかと考えられる。また、耐力に及ぼす荷重の履歴特性はまだ十分明らかにされていないが、RC 橋脚のようにねばりを期待して耐震設計しようとする部材に対しても基本的には主要動の繰り返しがねばりに強く影響すると考えられる。

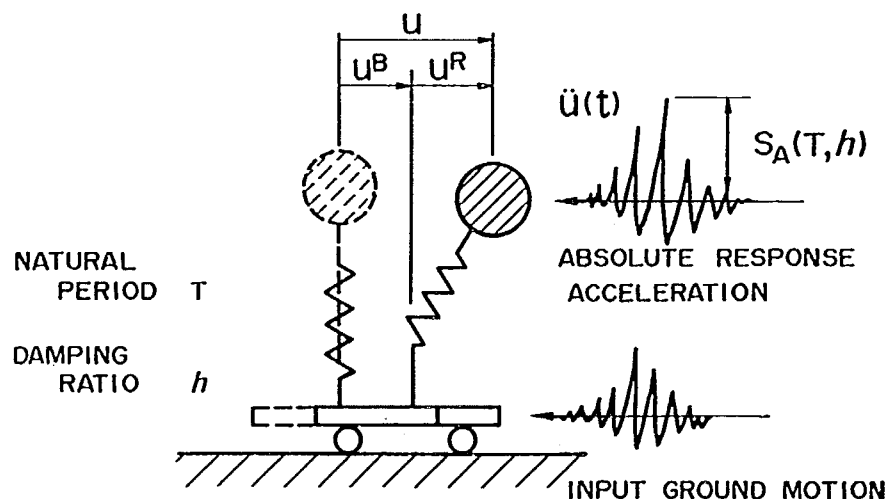


図 1.1 加速度応答スペクトル $S_A(T, h)$ の定義

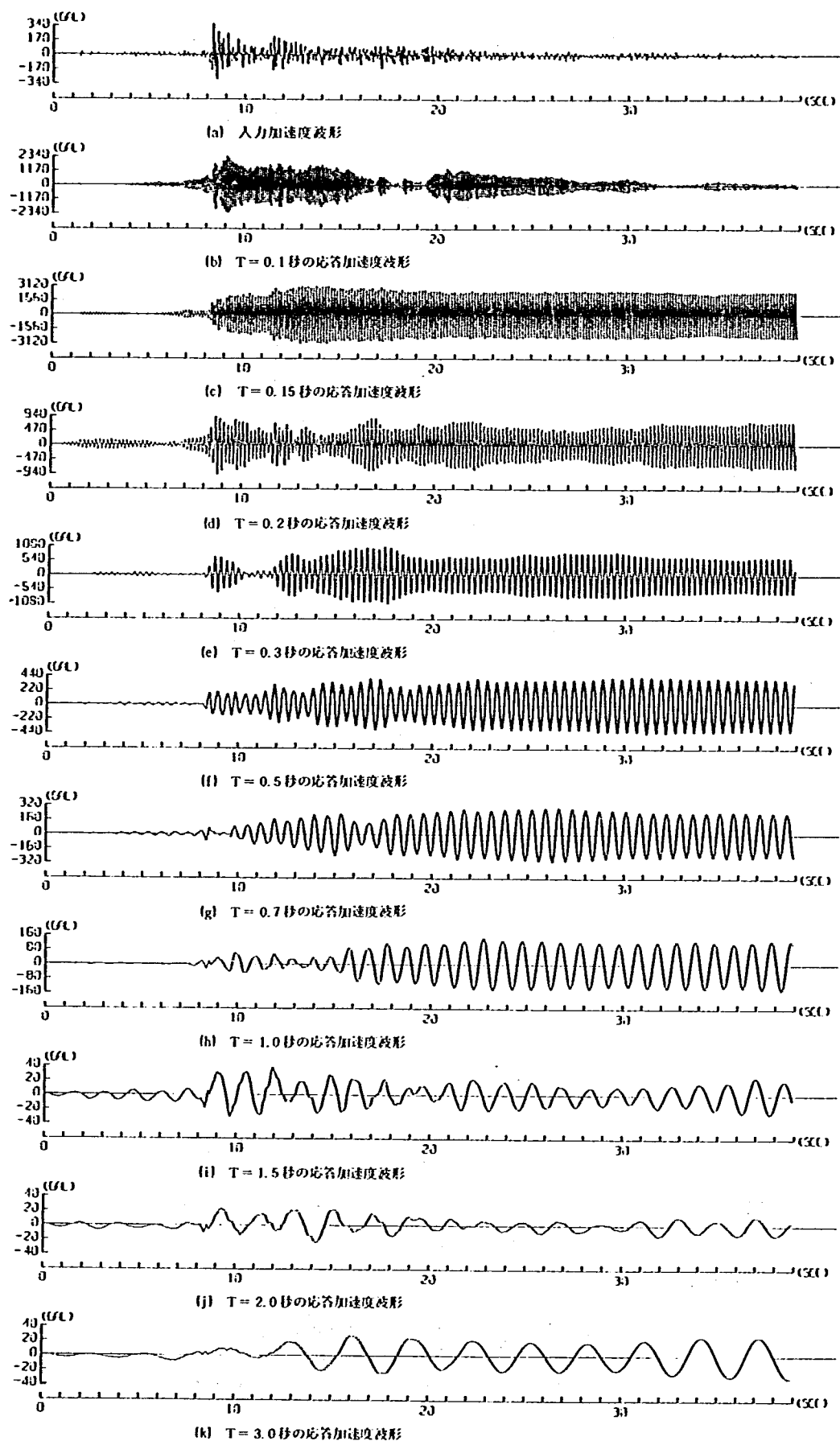


図 1.2(1) 減衰定数 $h = 0$ の 1 自由度系に開北橋記録 (LG 成分) が作用した場合の応答波形

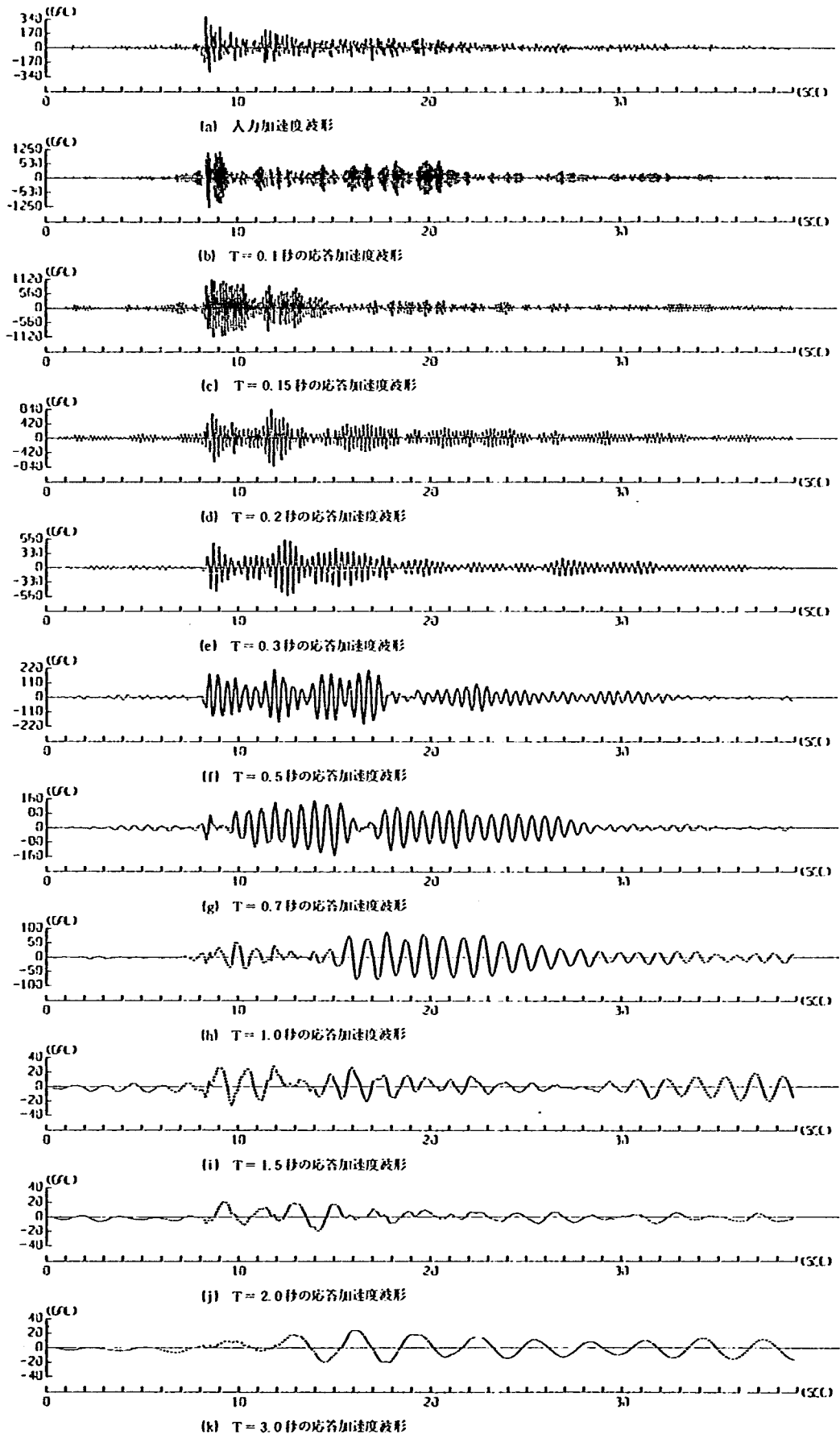


図 1.2(2) 減衰定数 $h = 0.02$ の 1 自由度系に開北橋記録 (LG 成分) が作用した場合の応答波形

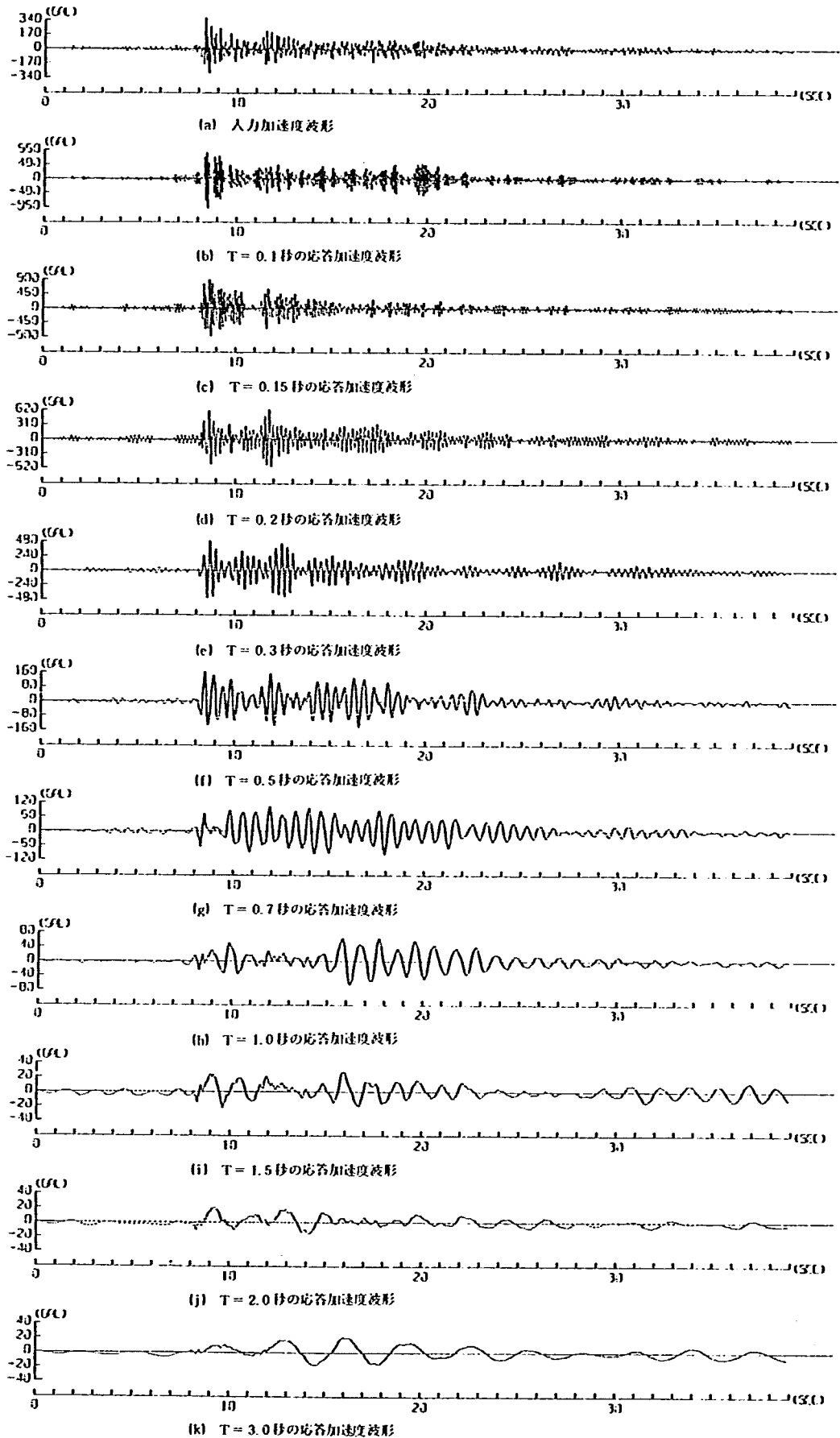


図 1.2(3) 減衰定数 $h = 0.05$ の 1 自由度系に開北橋記録 (LG 成分) が作用した場合の応答波形

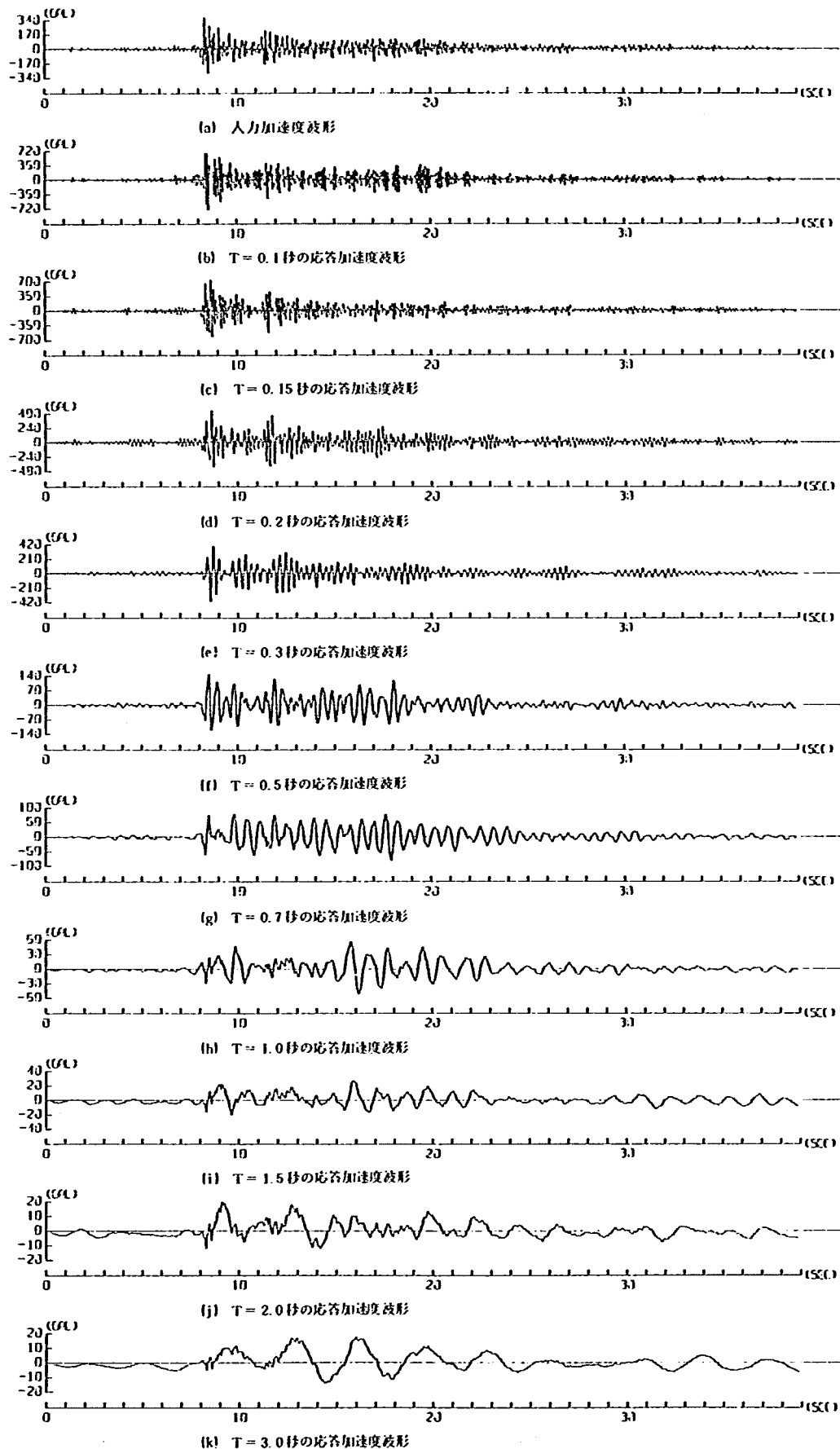


図 1.2(4) 減衰定数 $h = 0.1$ の 1 自由度系に開北橋記録 (LG 成分) が作用した場合の応答波形

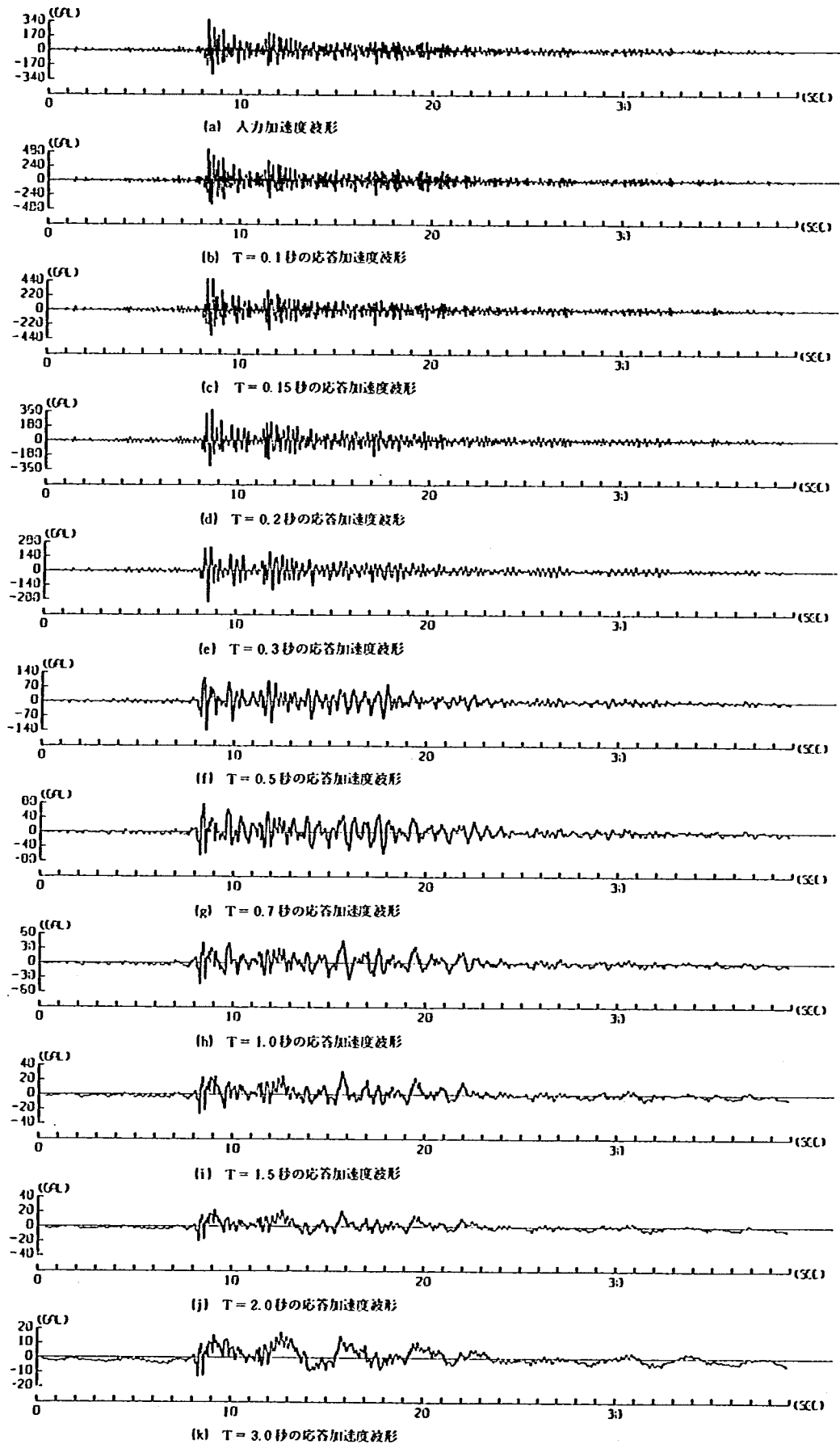


図 1.2(5) 減衰定数 $h = 0.3$ の 1 自由度系に開北橋記録 (LG 成分) が作用した場合の応答波形

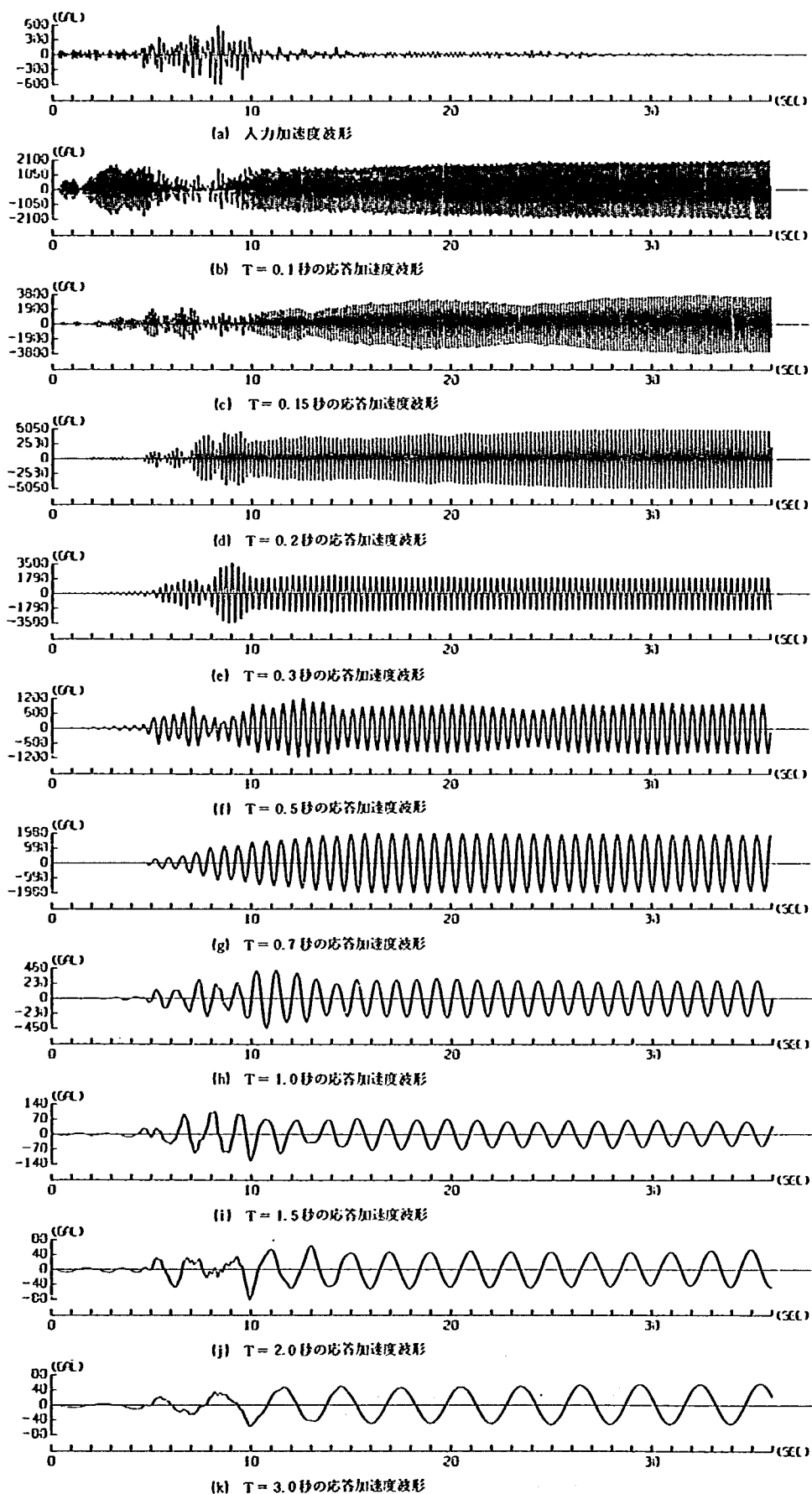


図 1.3(1) 減衰定数 $h = 0$ の 1 自由度系に板島橋記録 (LG 成分) が作用した場合の応答波形

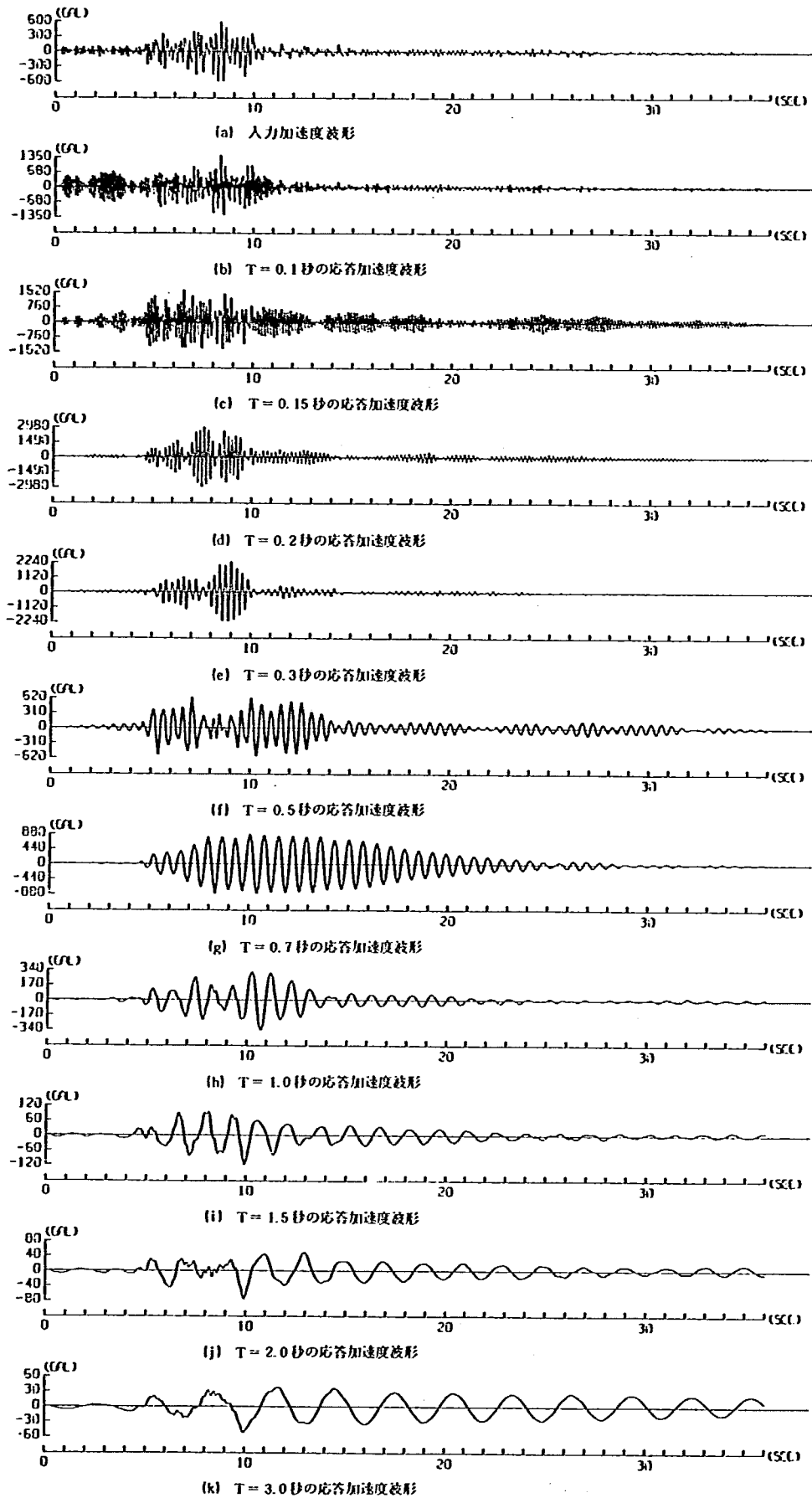


図 1.3(2) 減衰定数 $h = 0.02$ の 1 自由度系に板島橋記録 (LG 成分) が作用した場合の応答波形

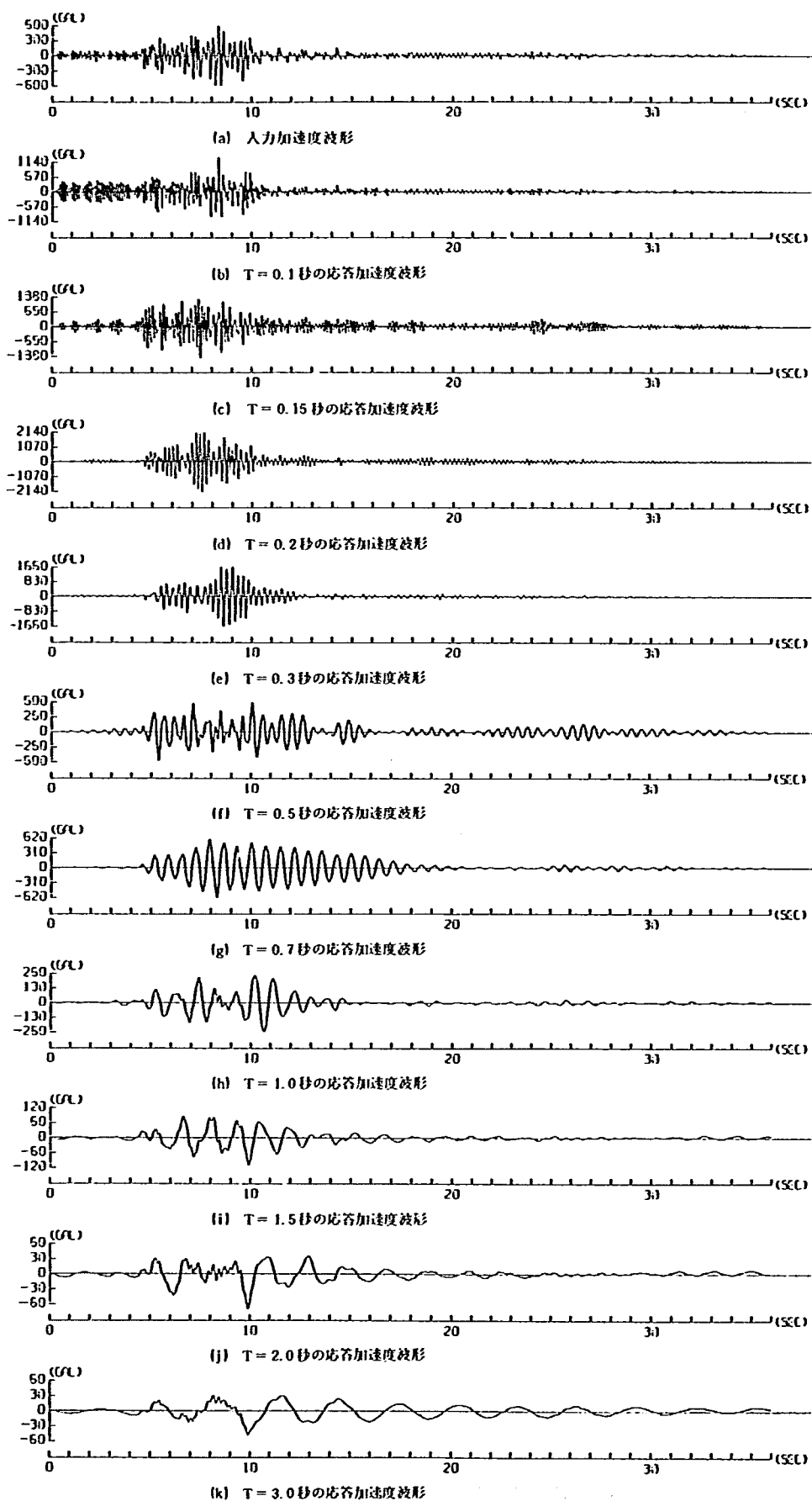


図 1.3(3) 減衰定数 $h = 0.05$ の 1 自由度系に板島橋記録 (LG 成分) が作用した場合の応答波形

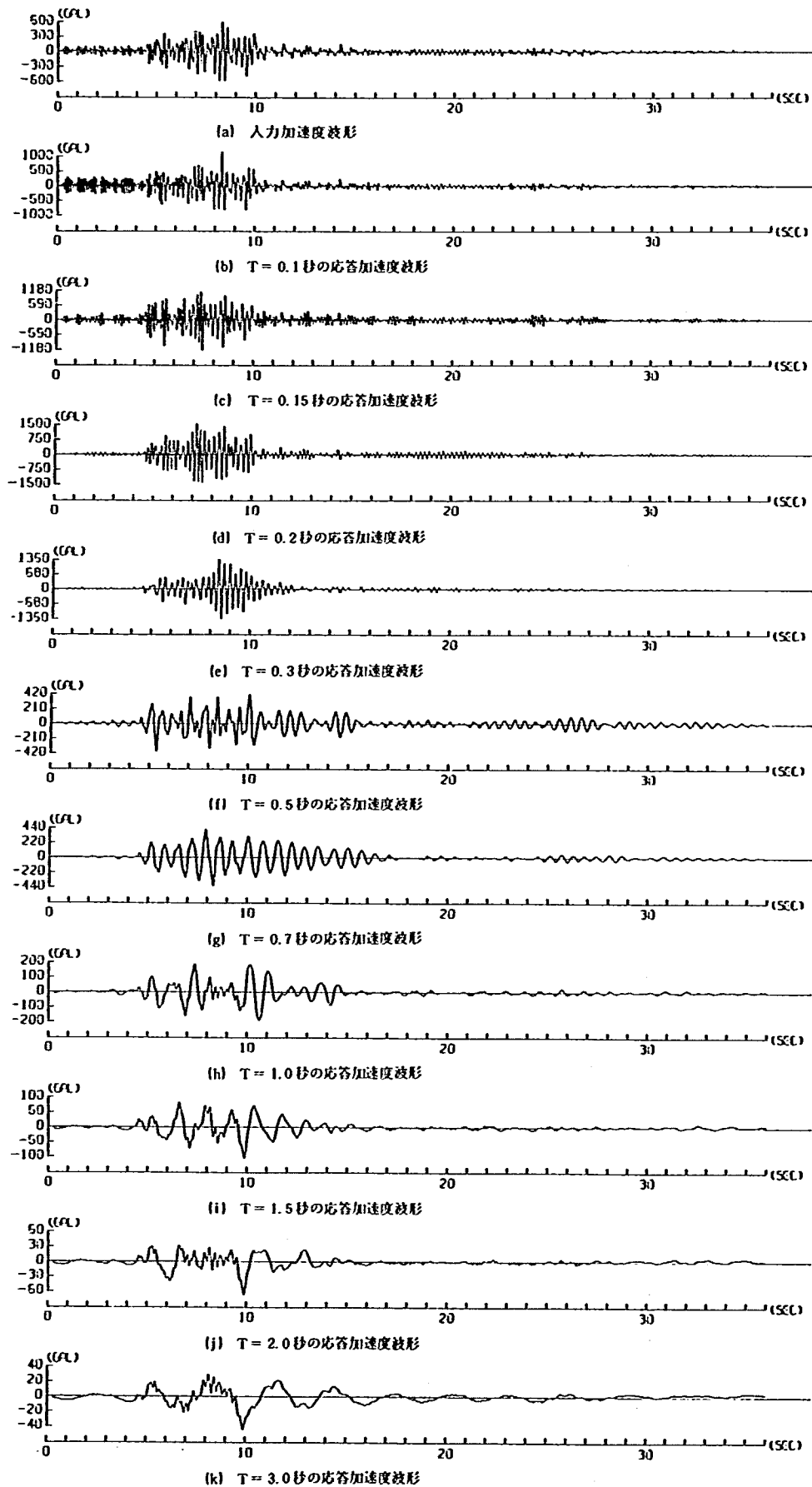


図 1.3(4) 減衰定数 $h = 0.1$ の 1 自由度系に板島橋記録 (LG 成分) が作用した場合の応答波形

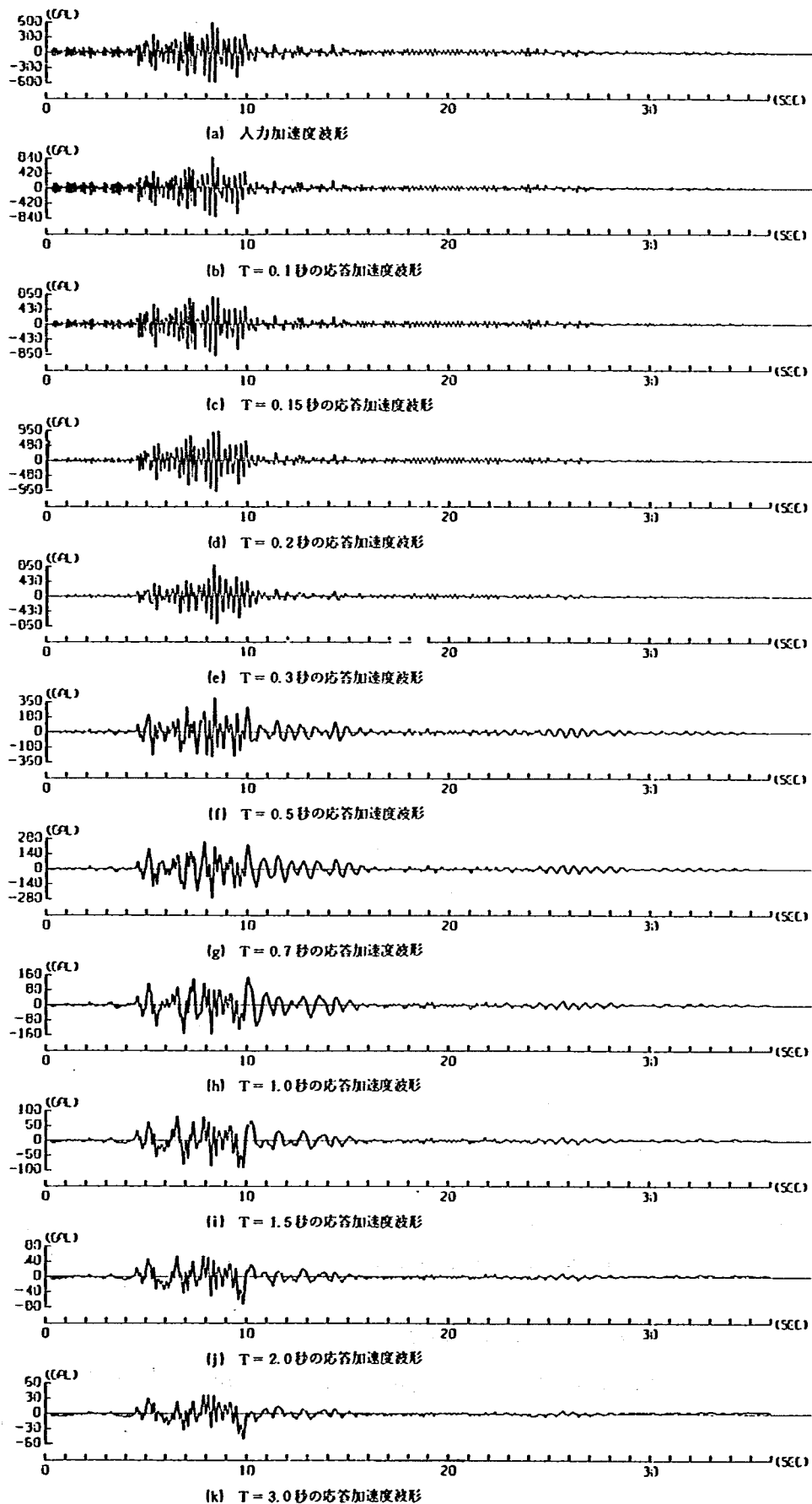


図 1.3(5) 減衰定数 $h = 0.3$ の 1 自由度系に板島橋記録 (LG 成分) が作用した場合の応答波形

以上のような点を考慮するため、ここではある一定以上の応答が何回作用するかに着目し、繰り返し回数を考慮した加速度応答スペクトルを提案する。すなわち、いま、図 1.1 に示す固有周期 T (秒)、減衰定数 h の 1 自由度系にある入力地震動が作用した場合の応答加速度が図 1.5 のようなになるとすると、応答の継続時間の中である一定以上の応答加速度が N 回生じるような加速度を繰り返し回数を考慮した加速度応答スペクトル $S_A(T, h, N)$ と定義する。ただし、繰り返し回数 N は 1 自由度系の絶対応答加速度波形が零線を切った瞬間から次に零線を切る瞬間までの間を 1 回とカウントするものとする。したがって、 $S_A(T, h, N)$ と一般の加速度応答スペクトル $S_A(T, h)$ の間にはその定義から当然次の関係が成り立つ。

$$S_A(T, h, 1) = S_A(T, h) \quad \dots\dots\dots (1.1)$$

式 (1.1) において、加速度応答スペクトル $S_A(T, h)$ は別途報告したように、地震のマグニチュード M 、震央距離 d 、地盤条件 GC_i が与えられれば次式により求めることができる。⁴⁾⁵⁾

$$S_A(T, h) = \xi(h) \times S_A(T, 0.05) \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

ここで、

$$\xi(h) = \frac{1.5}{40h + 1} + 0.5 \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

$$S_A(T, 0.05) = a(T, GC_i) \times 10^{b(T, GC_i)M} \times (d+30)^c \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

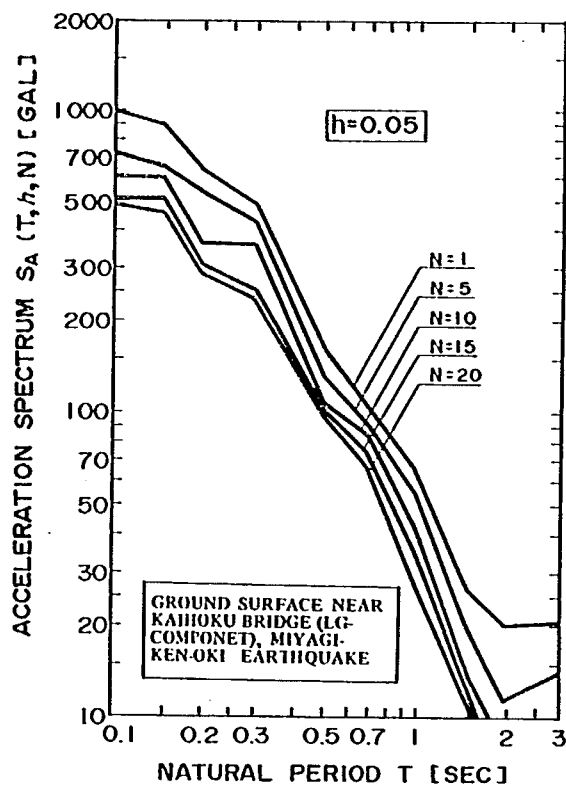
(係数 a, b, c は土研資料第 1993 号参照)

そこで、本報告では次式により繰り返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ を定義し、 $\eta(T, h, N)$ の実用的な推定式を開発することとした。

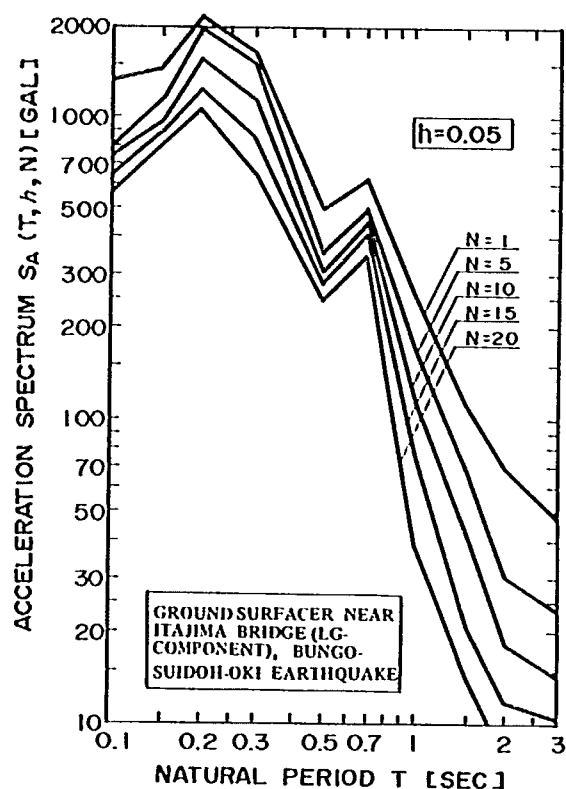
$$\eta(T, h, N) = \frac{S_A(T, h, N)}{S_A(T, h)} \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

繰り返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ が与えられれば、式 (1.2)、式 (1.5) より繰り返し回数を考慮した加速度応答スペクトル $S_A(T, h, N)$ を次式により推定することができる。

$$\begin{aligned} S_A(T, h, N) &= \eta(T, h, N) \times S_A(T, h) \\ &= \eta(T, h, N) \times \xi(h) \times \{a(T, GC_i) \times 10^{b(T, GC_i)M} \times (d+30)^c\} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (1.6)$$



(a) 開北橋記録



(b) 板島橋記録

図 1.4 開北橋記録および板島橋記録の加速度応答スペクトル $S_A(T, h, N)$

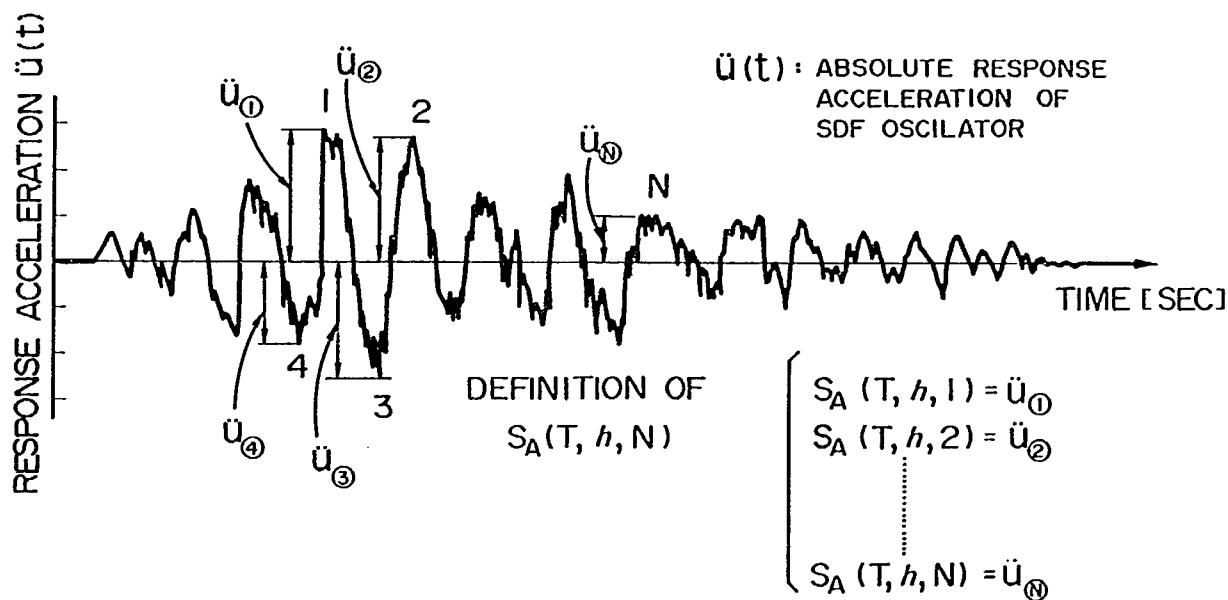


図 1.5 応答波形の繰り返し回数を考慮した加速度応答スペクトル $S_A(T, h, N)$ の定義

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日の越前岬沖地震（ $M = 6.9$ ）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60 km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 d 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12月6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 $1/12$ Hzを高振動数側の遮断振動数とする計器補正を加えた。また、地盤種別は道路橋示方書耐震設計編に従い、1種地盤、2種および3種地盤、4種地盤の3区分とした。ここではこれらを順にそれぞれ1種、2種、3種地盤と呼ぶこととする。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、土木研究所資料第 1993 号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

順	観測所名	記録名	地震順	地震名	地震発生年月日時分	M	深さ	震央距離
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

橋	観測所名	記録名	地震橋	地震名	地震発生年月日時分	M	深さ	震央距離
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	悦満橋	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

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	震央距離
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	震央 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	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
14	68027	"	1968.04.01.16:13	6.3	0	82.2	702GR-1-1	細島港
15	68036	東北東方沖	1968.05.16.09:49	7.9	0	102.8	308-GR-3	板島橋
16	68038	青森県東方沖	1968.05.16.19:39	7.5	40	155.1	1305-GR-1	髙崎橋
						257.9	102GR-1-2	釧路港
						74.0	1305-GR-3	髙崎橋
17	68050	岩手県沖	1968.06.12.22:42	7.2	0	184.0	105GR-1-2	室蘭港
						187.1	201GR-1-2	青森港
18	68057	埼玉県中部	1968.07.01.19:45	6.1	50	190.9	302-GR-9	開北橋
						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

№	地震 №	地震名	年月日時分	M	深さ	震央距離	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	坂島港
						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
31	69032	岐阜県中部	1969, 09. 09, 14:15	6.6	0	85.5	319-GR-4	四徳大橋
						89.1	204-GR-3	新八幡橋
						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)
36	70021	宮崎県沖	1970, 07. 26, 07:41	6.7	10	51.9	702GR-1-4	細島港
						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	銅 路 港
						255.4	105GR-1-5	室 瀬 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	銅 路 沖	1972.05.11, 09:45	5.8	60	61.2	102GR-1-9	銅 路 港
51	720622	宮崎県沖	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	66.3	305GR-2-9	横浜港 (2)
						46.2	105-GR-8	真崎大橋
74	740920	釧路沖	1974.09.20.09:53	5.5	50	49.8	202GR-1-8	八戸港
						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

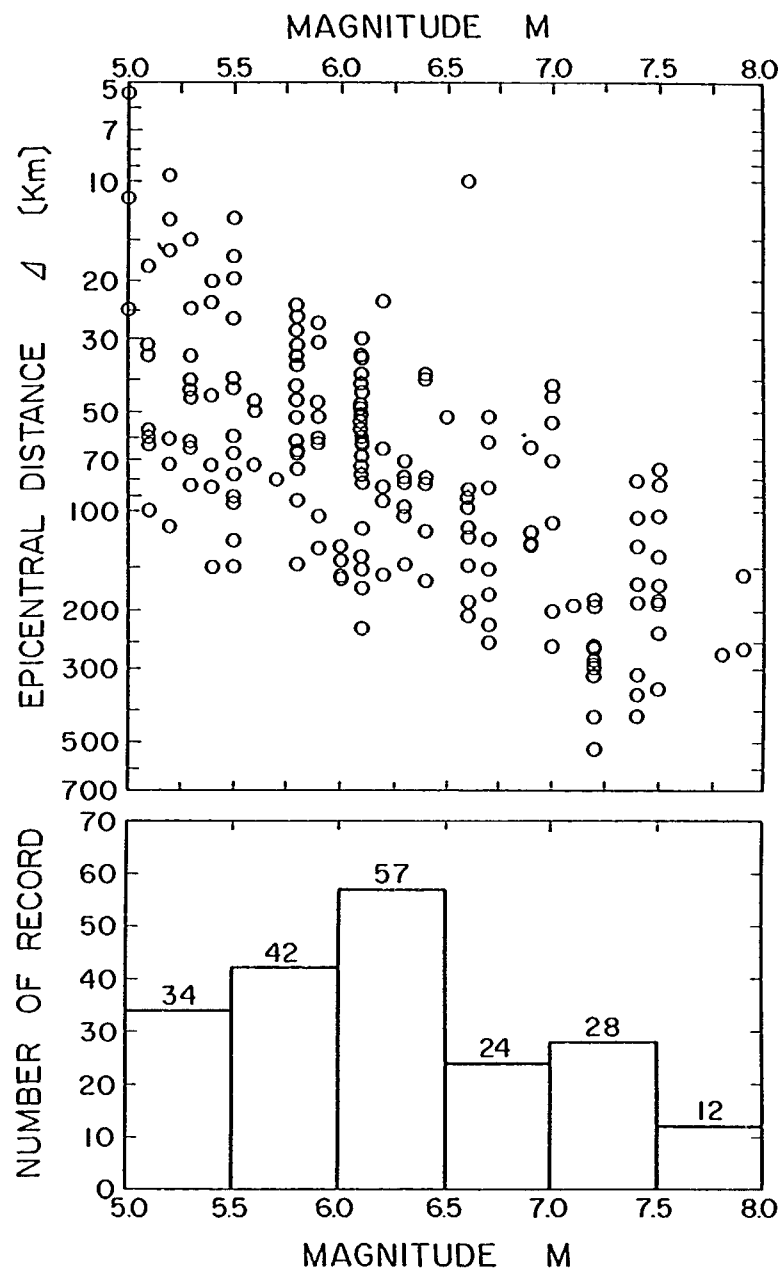
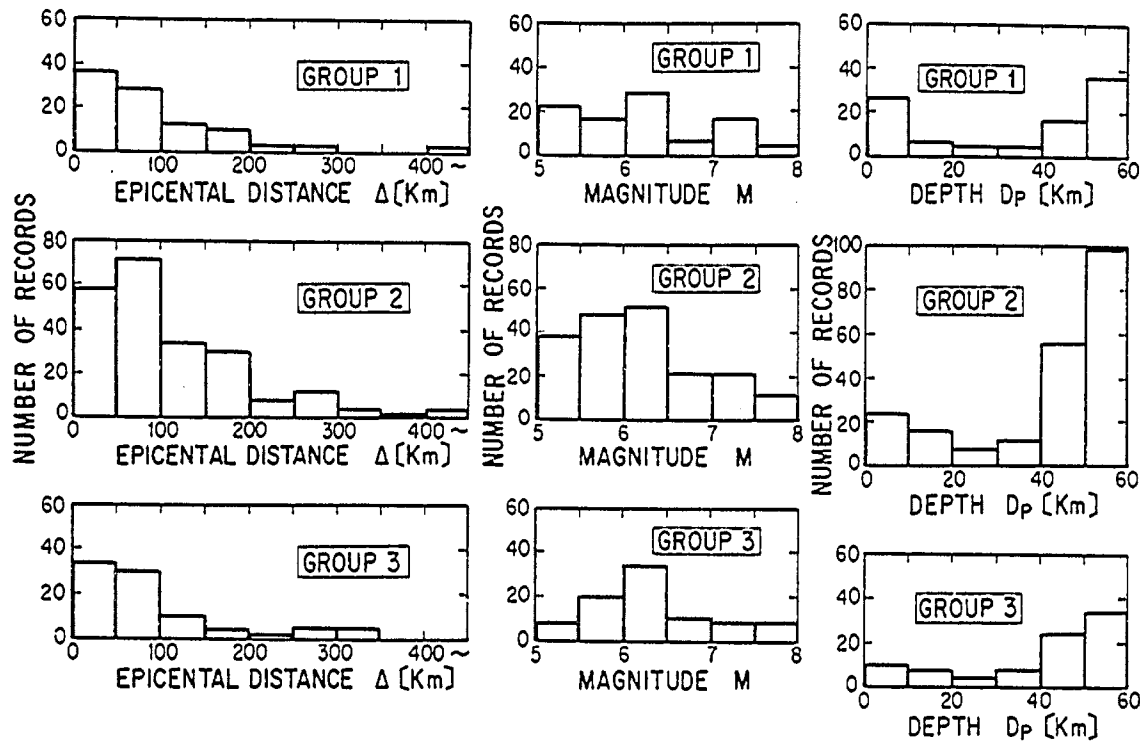


図 2.1 解析対象記録のマグニチュードおよび震央距離別分類



(a) 震央距離

(b) マグニチュード

(c) 震源深さ

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

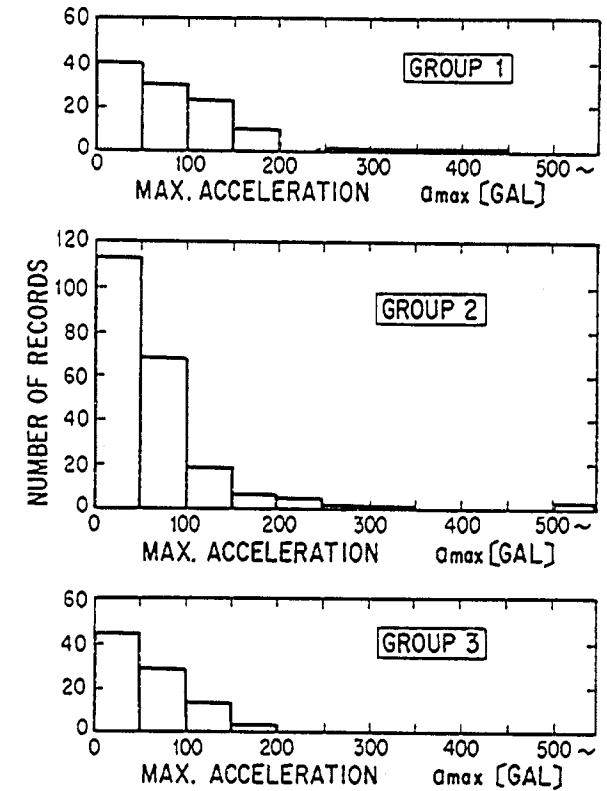


図 2.2 (2) 最大加速度の頻度分布

3. 代表的な強震記録に対する繰り返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ の試算例

1章で定義した繰り返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ を代表的な強震記録に対して試算した結果を以下に示す。対象としたのは表 3.1 に示す 5 種類 (各水平 2 成分) の加速度強震記録であり、繰り返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ が繰り返し回数 N によりどのように変化するかを示した結果が図 3.1 ($h = 0.05$ の場合) および図 3.2 である。ここで継続時間は有限であるため、応答の繰り返し回数にもある上限がある。そのため、この最大となる繰り返し回数 $N_{\max}$ を越えた場合には、図中に $S_A(T, 0.05, N)$ の値を示していない。繰り返し回数 N の最大値 $N_{\max}$ は表 3.2 に示す通りである。

$\eta(T, h, N)$ の値は、減衰定数 h および固有周期 T によって異なるが、当然ながら繰り返し回数 N の増加とともに単調に減少する。また、繰り返し回数 N による $\eta(T, h, N)$ の減少の度合いは、強震記録ごとに様ではない。

以上のような計算を表 2.1 に示した 2 @ 197 成分の強震記録に対して全て行い、これらを固有周期および減衰定数ごとに平均した結果が図 3.3 である。ただし、波形によっては継続時間の関係で繰り返し回数が非常に少ないものがあり、ある一定以上の繰り返し回数 N に対応する $\eta(T, h, N)$ を求められない場合がある。したがってこのような記録に対する $\eta(T, h, N)$ を平均しても意味のある結果が得られないことから、ここでは、ある繰り返し回数に相当する $\eta(T, h, N)$ が、200 記録以上ある場合に限り $\eta(T, h, N)$ の平均を示している。図 3.2 に示したように同一の T, h, N に対する $\eta(T, h, N)$ は強震記録ごとにかなり変化するが多数の記録についてこれらを平均すれば図 3.3 のように繰り返し回数 N に対して比較的なめらかな関係が得られる。

表 3.1 繰り返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ の試算に用いた強震記録

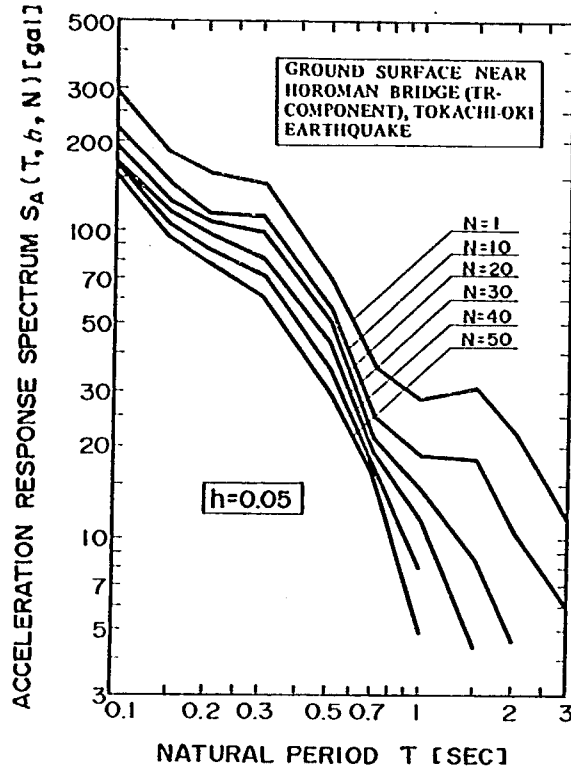
No	観測所名	地震名	震源位置			マグニチュード M	震央距離 d	成分	最大加速度 [gal]	継続時間 [sec]
		発生年月日	緯度	経度	深さ					
1	梶 満 橋	十勝沖(余震)	44° 25'	142° 51'	40km	7.5	74km	TR	71	30.0
2		1968. 5. 16						LG	95	30.0
3	板 島 橋	豊後水道沖	33° 18'	132° 23'	40km	6.6	10km	TR	608	36.7
4		1968. 8. 6						LG	596	36.0
5	開 北 橋	宮 城 県 沖	38° 09'	142° 10'	40km	7.4	81km	LG	367	38.9
6		1978. 6. 12						TR	418	38.9
7	釧 路 港	根室半島沖	42° 58'	145° 57'	40km	7.4	123km	EW	135	80.0
8		1973. 6. 17						NS	199	80.0
9	大船渡港	宮 城 県 沖	38° 09'	142° 10'	40km	7.4	105km	NS	197	58.0
10		1978. 6. 12						EW	224	58.0

表 3.2(1) 繰り返し回数Nの最大値 $N_{\max}$

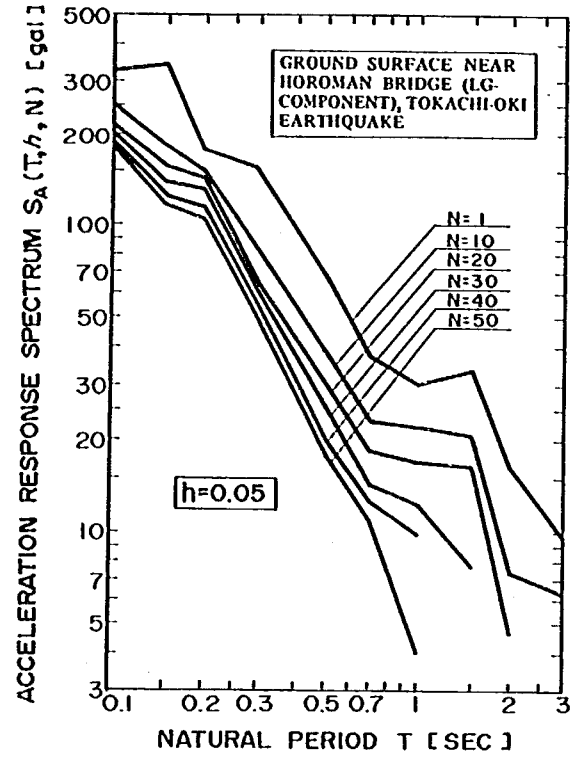
観測所名 (成分名)	減衰 定数	継続時間内での繰り返し回数 $N_{\max}$										継続時間 (秒)
		T=0.1	T=0.15	T=0.2	T=0.3	T=0.5	T=0.7	T=1.0	T=1.5	T=2.0	T=3.0	
梶 満 橋 (TR)	$h=0$	580	395	300	202	122	85	59	38	28	18	30.0
	$h=0.01$	581	393	302	201	122	85	59	38	28	18	
	$h=0.02$	577	393	296	207	125	89	59	38	28	18	
	$h=0.03$	573	383	294	207	129	89	59	38	28	18	
	$h=0.05$	563	379	294	201	127	89	67	36	28	18	
	$h=0.07$	549	377	290	203	129	93	69	40	30	18	
	$h=0.1$	521	376	288	207	136	100	71	36	28	22	
	$h=0.2$	485	362	286	213	156	120	99	62	50	36	
	$h=0.3$	473	368	294	228	174	150	135	94	66	54	
	$h=0.4$	455	366	312	250	200	188	159	116	104	70	
梶 満 橋 (LG)	$h=0$	581	396	300	202	121	86	61	40	36	27	30.0
	$h=0.01$	580	396	300	202	120	86	61	40	32	27	
	$h=0.02$	574	400	302	202	122	90	61	40	34	23	
	$h=0.03$	564	404	305	208	124	96	62	40	34	23	
	$h=0.05$	550	393	303	208	128	98	64	39	38	23	
	$h=0.07$	542	391	305	210	126	98	65	41	36	29	
	$h=0.1$	534	389	293	214	134	108	67	47	38	27	
	$h=0.2$	500	387	301	230	172	128	108	73	63	49	
	$h=0.3$	486	389	313	254	202	168	160	115	97	73	
	$h=0.4$	467	389	333	278	218	216	184	148	133	103	
坂 島 橋 (TR)	$h=0$	705	480	366	245	147	106	76	51	39	26	36.7
	$h=0.01$	675	483	368	244	144	106	76	51	39	24	
	$h=0.02$	637	469	364	250	146	110	76	51	41	24	
	$h=0.03$	575	453	358	254	148	114	76	55	44	26	
	$h=0.05$	529	427	352	256	144	118	80	54	50	22	
	$h=0.07$	499	415	350	266	140	122	88	58	62	26	
	$h=0.1$	458	405	349	262	142	126	102	64	72	22	
	$h=0.2$	400	383	331	256	154	146	130	108	90	68	
	$h=0.3$	387	356	327	278	184	180	168	140	124	106	
	$h=0.4$	371	357	327	286	218	190	186	156	150	132	
坂 島 橋 (LG)	$h=0$	692	473	362	241	143	104	74	52	41	24	36.0
	$h=0.01$	664	468	361	246	143	106	74	52	43	24	
	$h=0.02$	602	458	363	240	147	109	76	52	43	24	
	$h=0.03$	544	459	355	248	143	113	90	58	45	24	
	$h=0.05$	508	445	349	248	145	113	90	68	54	28	
	$h=0.07$	482	441	347	256	147	117	94	74	74	32	
	$h=0.1$	472	437	347	256	147	125	108	90	96	44	
	$h=0.2$	442	410	350	272	167	151	152	126	136	118	
	$h=0.3$	423	392	358	284	196	191	184	162	168	154	
	$h=0.4$	409	394	356	296	222	213	212	182	186	162	
開 北 橋 (LG)	$h=0$	754	513	385	258	158	115	80	55	42	23	38.9
	$h=0.01$	740	508	387	261	158	113	80	59	39	23	
	$h=0.02$	726	502	385	261	161	115	82	63	41	25	
	$h=0.03$	718	504	381	263	159	115	80	57	49	31	
	$h=0.05$	692	514	385	261	167	117	80	59	55	29	
	$h=0.07$	672	502	385	271	173	125	87	61	45	29	
	$h=0.1$	650	496	381	263	177	131	99	75	59	29	
	$h=0.2$	608	480	391	283	221	161	127	131	127	51	
	$h=0.3$	586	478	402	303	257	195	177	167	149	89	
	$h=0.4$	572	488	424	337	287	237	219	211	183	115	

表 3. 2(2) 繰り返し回数 N の最大値 $N_{\max}$

観測所名 (成分名)	減衰 定数	継続時間内での繰り返し回数 $N_{\max}$										継続時間 (秒)
		T=0.1	T=0.15	T=0.2	T=0.3	T=0.5	T=0.7	T=1.0	T=1.5	T=2.0	T=3.0	
開北橋 (TR)	$h=0$	753	513	380	257	156	110	78	51	39	27	38.9
	$h=0.01$	742	510	379	257	156	111	78	51	39	27	
	$h=0.02$	714	505	381	263	158	113	78	51	39	28	
	$h=0.03$	702	505	381	265	158	112	81	50	38	28	
	$h=0.05$	678	505	375	262	162	114	79	50	40	26	
	$h=0.07$	660	505	379	266	166	116	79	50	48	26	
	$h=0.1$	648	503	389	268	172	120	85	50	42	26	
	$h=0.2$	600	484	398	272	200	148	119	76	82	42	
	$h=0.3$	564	488	410	304	240	166	154	124	120	86	
	$h=0.4$	548	494	420	326	258	214	188	162	158	126	
釧路港 (EW)	$h=0$	1547	1048	791	527	316	221	158	107	85	60	80.0
	$h=0.01$	1303	958	766	526	311	218	161	107	85	58	
	$h=0.02$	1145	908	748	522	311	212	155	107	85	60	
	$h=0.03$	1061	874	736	514	313	212	157	109	83	60	
	$h=0.05$	961	800	702	494	313	210	156	111	87	65	
	$h=0.07$	859	758	670	488	300	202	152	115	92	71	
	$h=0.1$	791	710	628	474	296	204	152	111	100	79	
	$h=0.2$	673	614	570	448	296	200	158	120	101	105	
	$h=0.3$	629	582	544	446	300	208	172	136	127	121	
	$h=0.4$	595	556	522	436	316	238	180	148	150	153	
釧路港 (NS)	$h=0$	1542	1041	778	526	319	225	160	105	75	48	80.0
	$h=0.01$	1236	929	749	516	321	225	158	107	75	48	
	$h=0.02$	1072	857	727	511	317	217	153	107	72	46	
	$h=0.03$	992	819	697	506	317	213	153	106	74	45	
	$h=0.05$	878	749	663	497	297	211	153	104	72	45	
	$h=0.07$	788	727	641	485	301	207	149	104	74	45	
	$h=0.1$	730	683	603	467	301	201	155	110	76	51	
	$h=0.2$	606	575	529	435	269	197	159	120	95	75	
	$h=0.3$	562	547	489	413	269	205	163	126	112	89	
	$h=0.4$	540	516	477	409	299	219	181	138	114	101	
大船渡港 (NS)	$h=0$	1120	761	576	382	233	166	119	83	67	39	58.0
	$h=0.01$	1107	755	575	385	233	166	116	81	69	39	
	$h=0.02$	1089	743	576	383	233	165	120	81	71	45	
	$h=0.03$	1085	743	560	381	233	169	118	79	73	47	
	$h=0.05$	1046	724	556	377	239	173	122	83	77	47	
	$h=0.07$	1028	720	552	381	236	175	124	83	81	53	
	$h=0.1$	1002	716	544	386	244	177	130	84	77	59	
	$h=0.2$	912	698	554	400	280	208	180	156	125	151	
	$h=0.3$	848	678	548	432	320	266	238	210	191	191	
	$h=0.4$	820	678	572	460	354	304	272	254	250	225	
大船渡港 (EW)	$h=0$	1114	749	567	377	229	164	115	77	59	39	58.0
	$h=0.01$	1096	745	560	376	230	165	113	77	59	39	
	$h=0.02$	1082	735	554	374	229	165	114	77	58	39	
	$h=0.03$	1064	732	548	376	231	169	112	78	58	41	
	$h=0.05$	1036	718	552	372	231	169	112	78	60	45	
	$h=0.07$	1014	704	550	374	231	171	112	86	60	47	
	$h=0.1$	984	692	544	374	235	167	114	90	62	77	
	$h=0.2$	902	644	526	378	257	197	167	109	122	118	
	$h=0.3$	838	620	530	400	285	247	225	159	160	164	
	$h=0.4$	788	624	524	412	331	301	259	203	175	186	

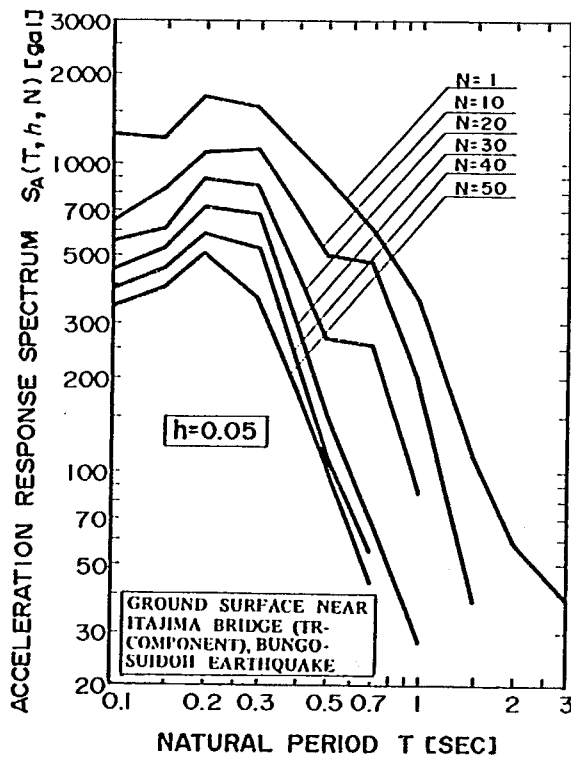


(a) TR成分

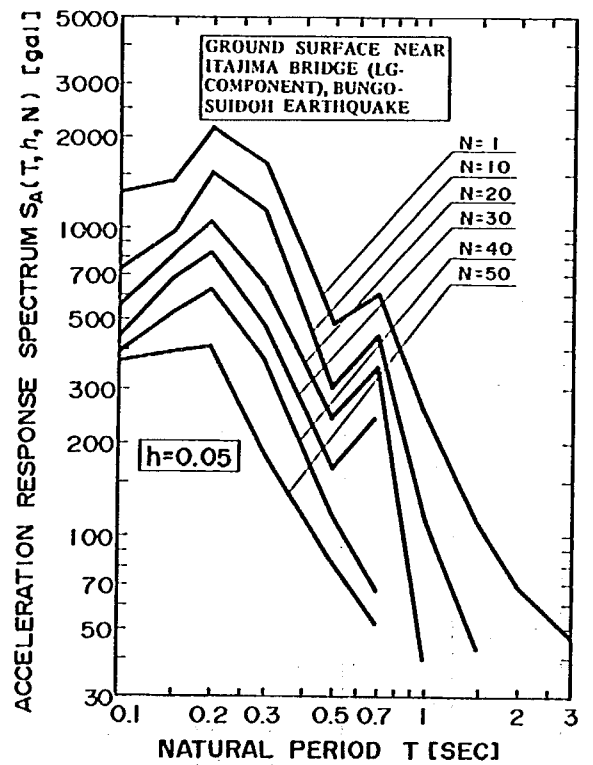


(b) LG成分

図3.1(1) 幌満橋記録に対する応答スペクトル $S_A(T, 0.05, N)$



(a) TR成分



(b) LG成分

図3.1(2) 板島橋記録に対する応答スペクトル $S_A(T, 0.05, N)$

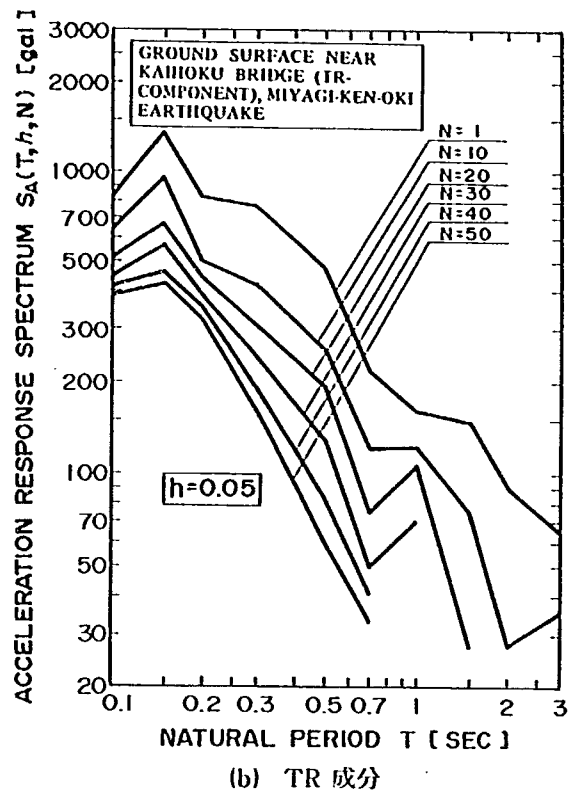
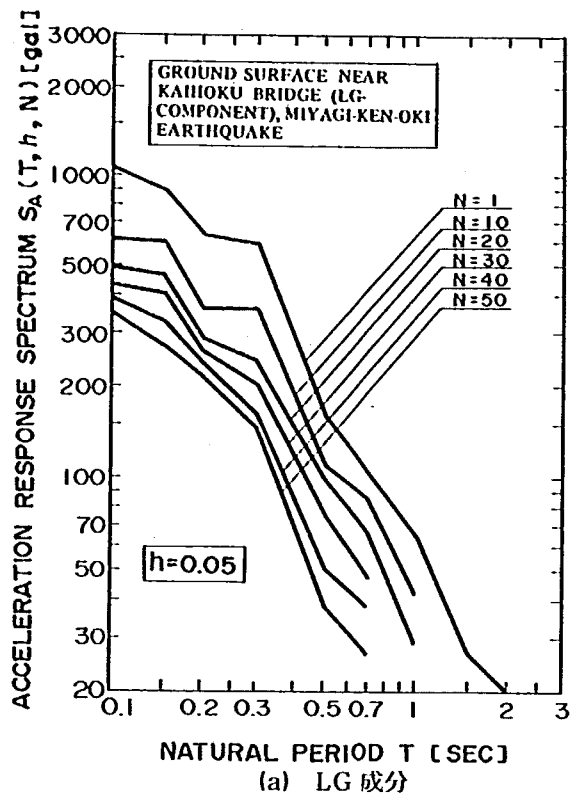


図 3.1 (3) 開北橋記録に対する応答スペクトル

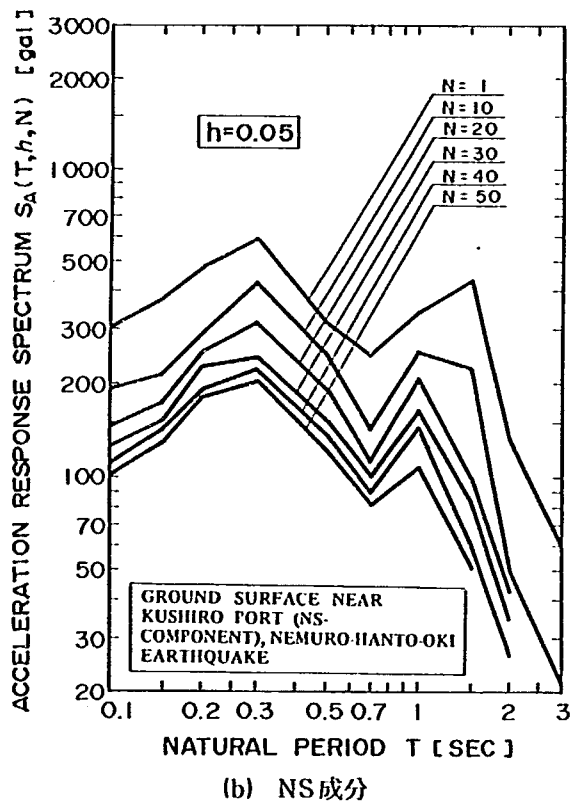
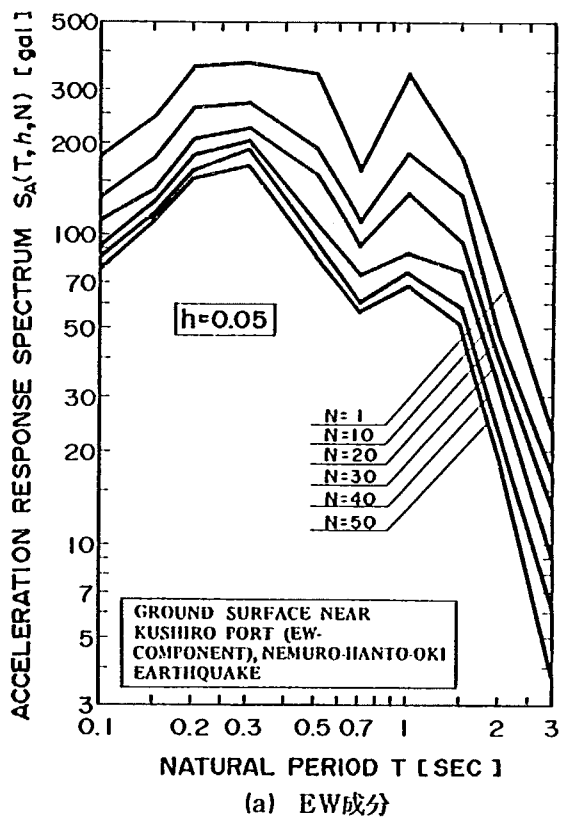


図 3.1 (4) 釧路港記録に対する応答スペクトル

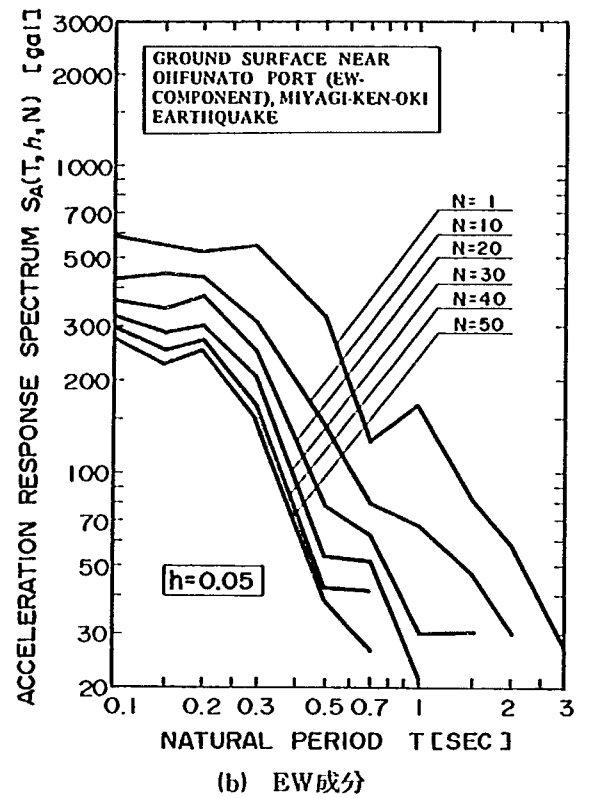
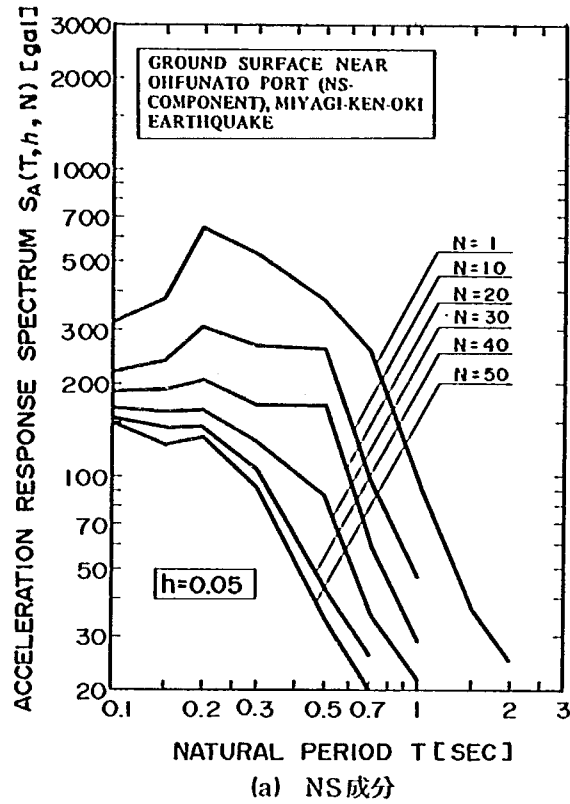
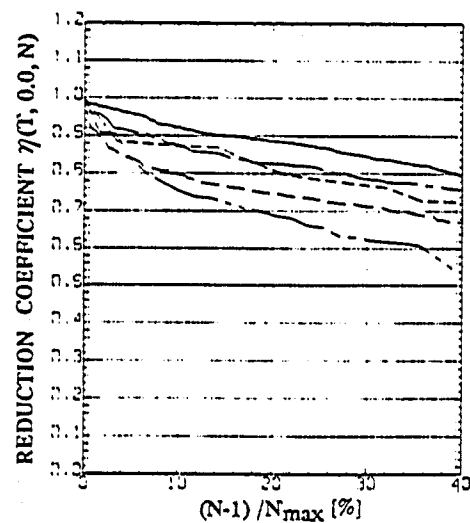
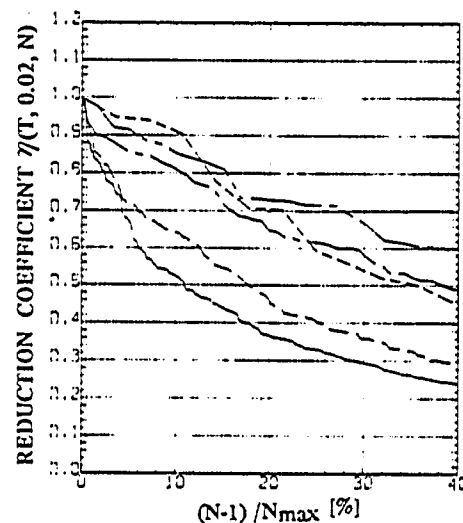


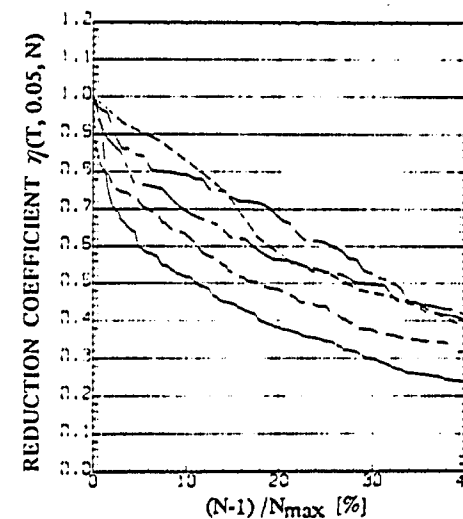
図3.1(5) 大船渡港記録に対する応答スペクトル



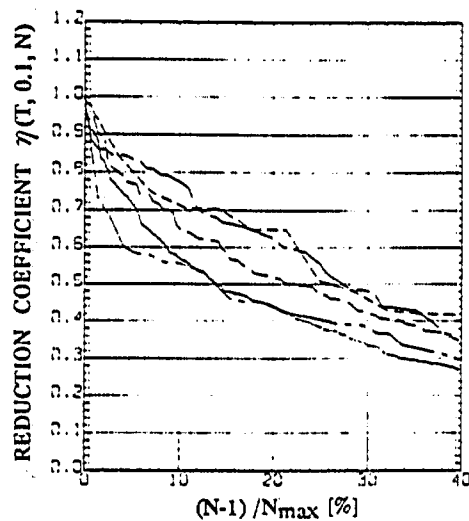
(a) $h = 0.0$ の場合



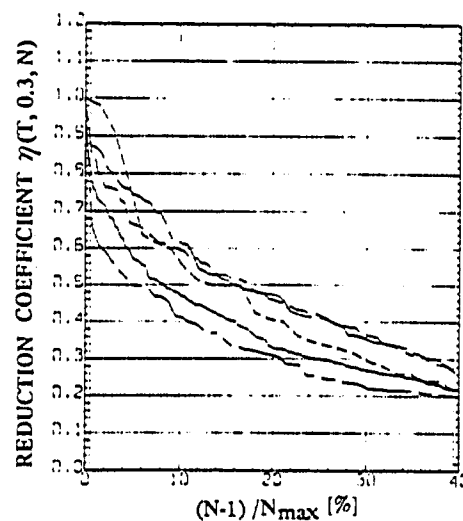
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

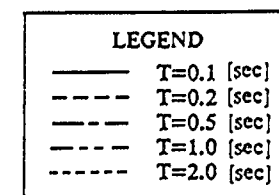
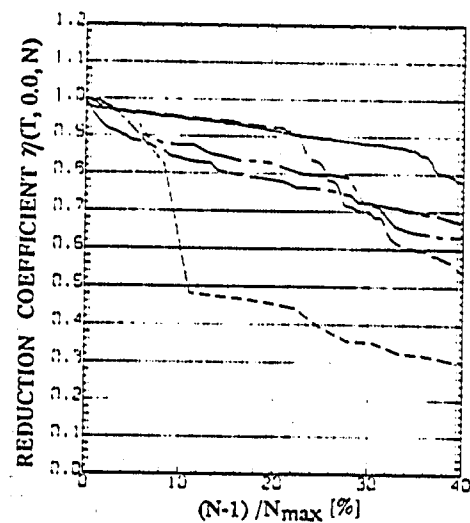
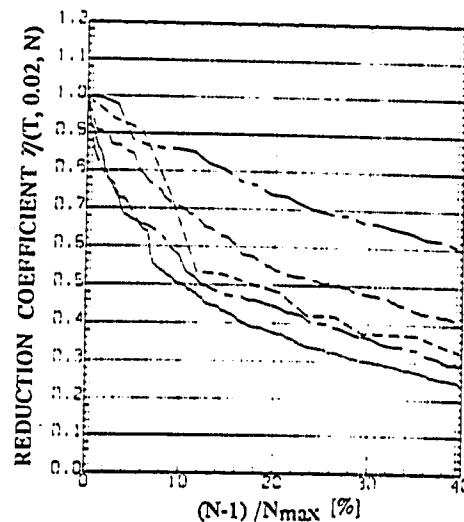


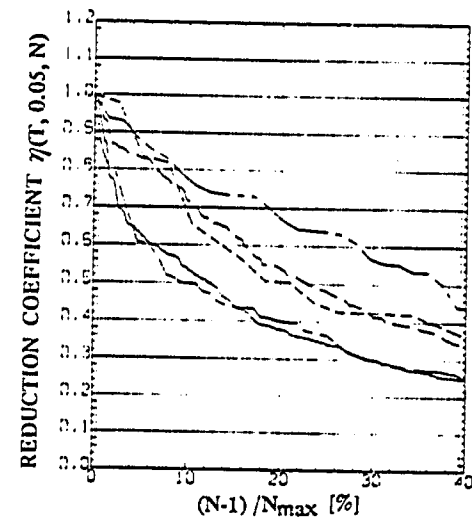
図 3.2(1) $\eta(T, h, N) \sim N$ の関係 (幌満橋記録の TR 成分の場合)



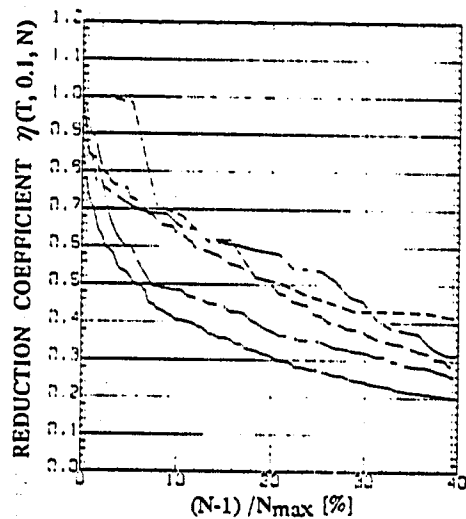
(a) $h = 0.0$ の場合



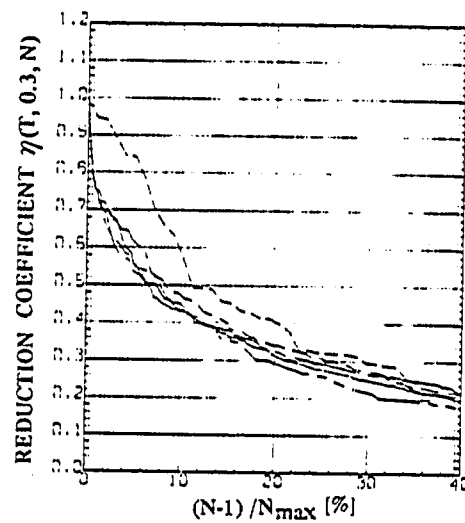
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

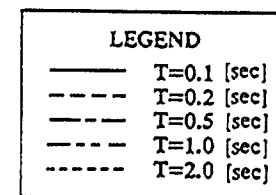
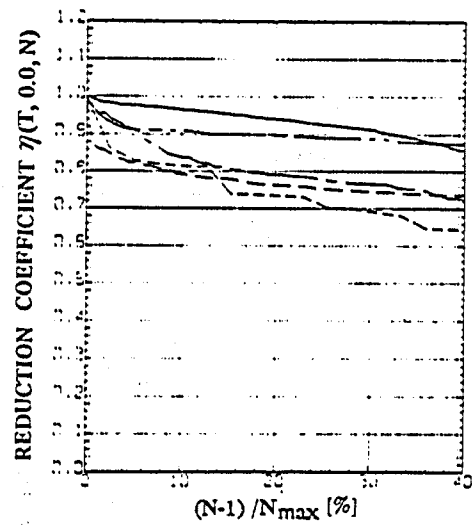
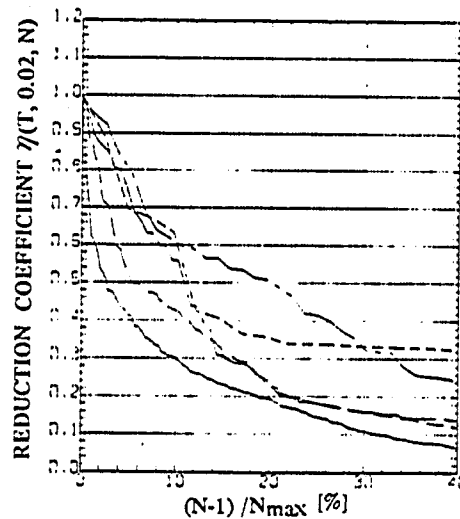


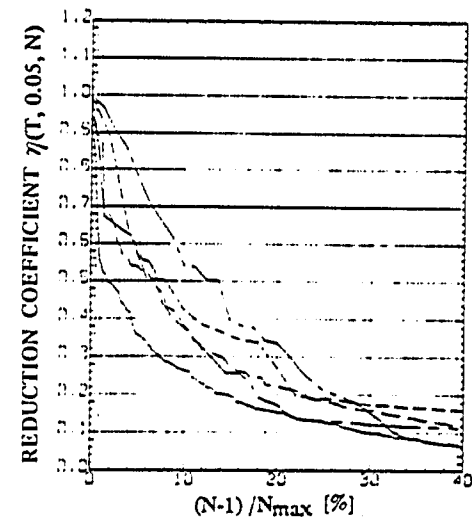
図 3.2 (2) $\eta(T, h, N) \sim N$ の関係 (幌満橋記録の LG 成分の場合)



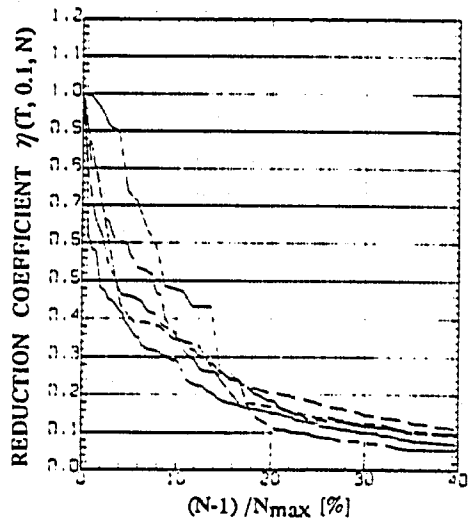
(a) $h = 0.0$ の場合



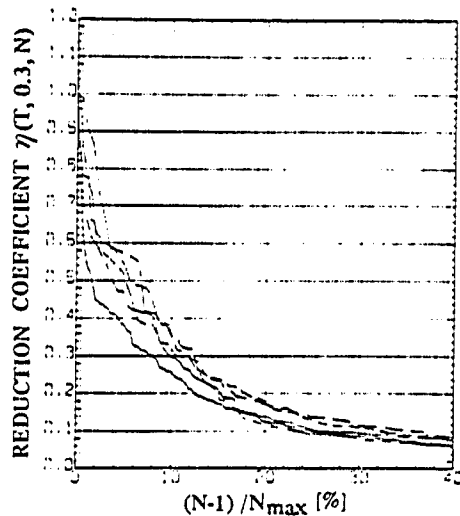
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

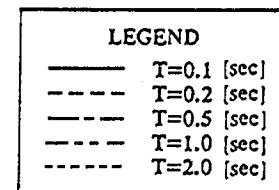
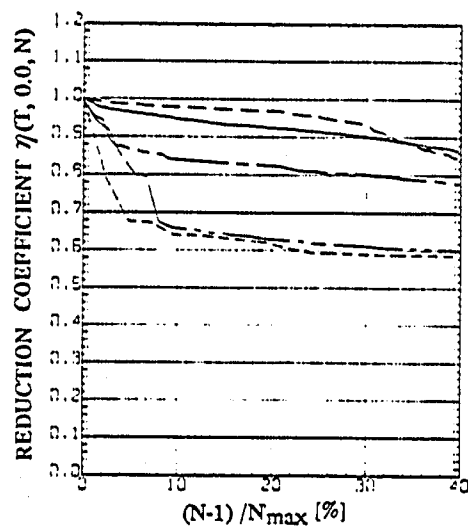
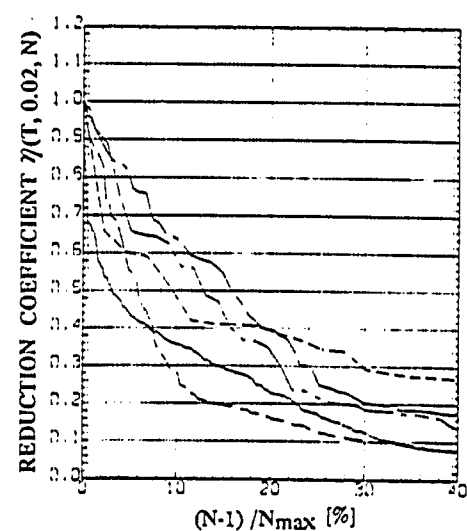


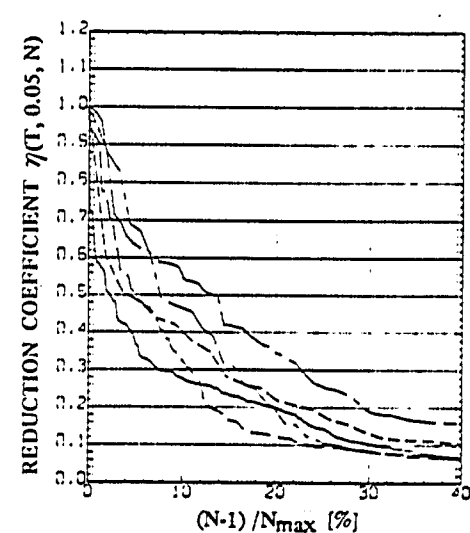
図 3.2(3) $\eta(T, h, N) \sim N$ の関係 (板島橋記録の TR 成分の場合)



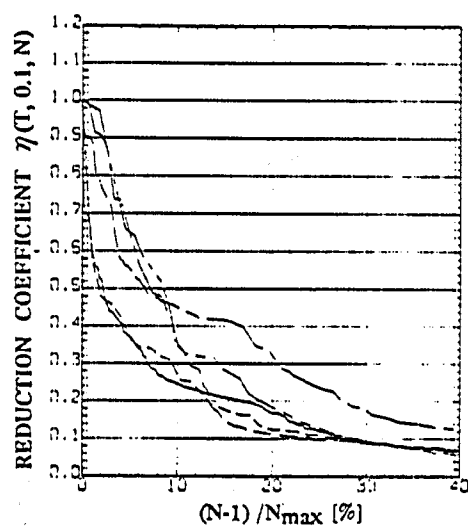
(a) $h = 0.0$ の場合



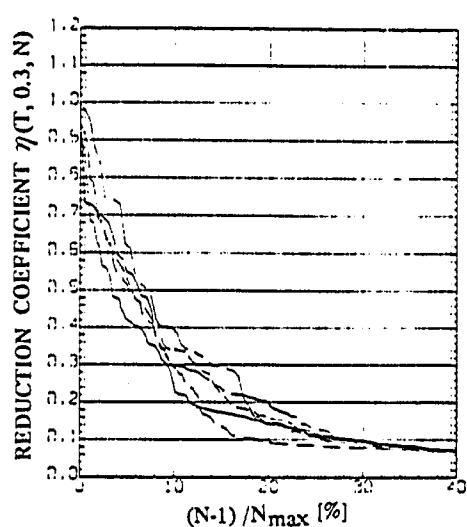
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

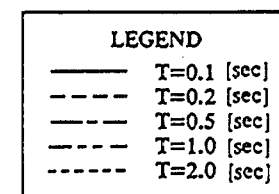
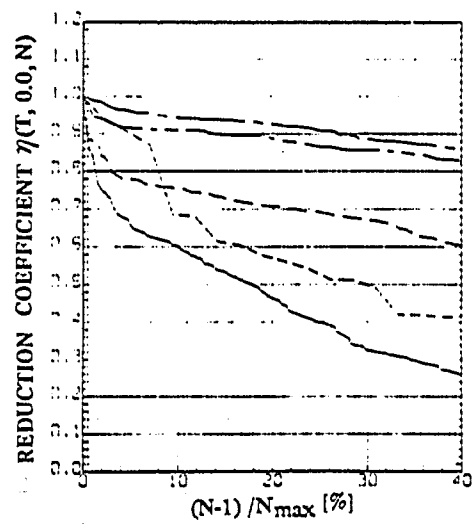
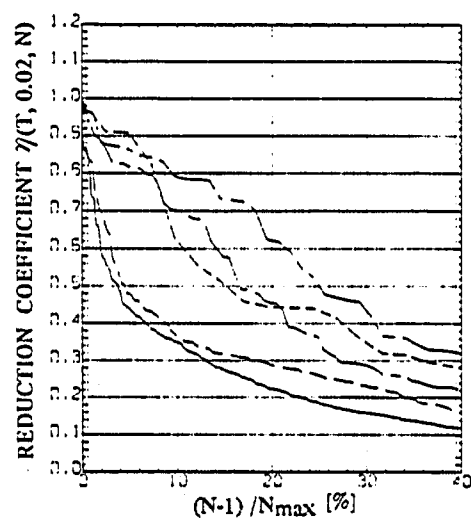


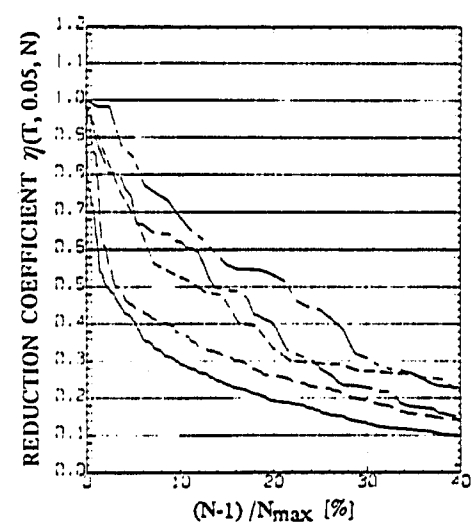
図 3.2 (4) $\eta(T, h, N) \sim N$ の関係 (板島橋記録の LG 成分の場合)



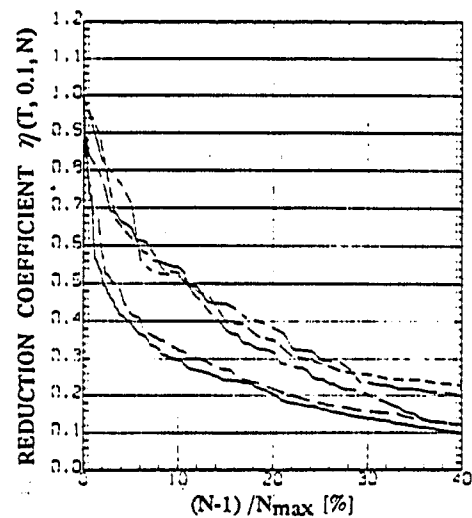
(a) $h = 0.0$ の場合



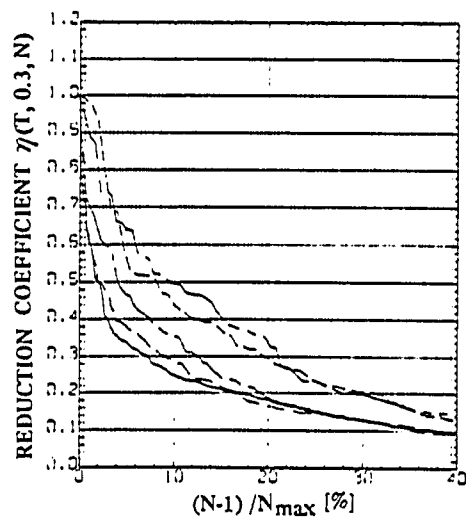
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

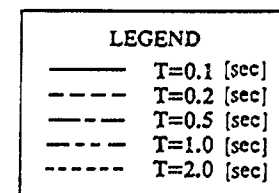
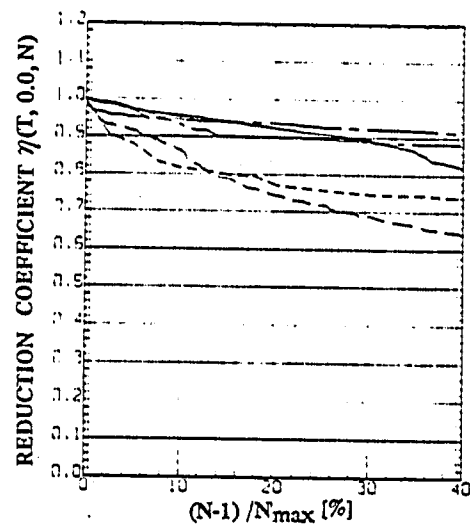
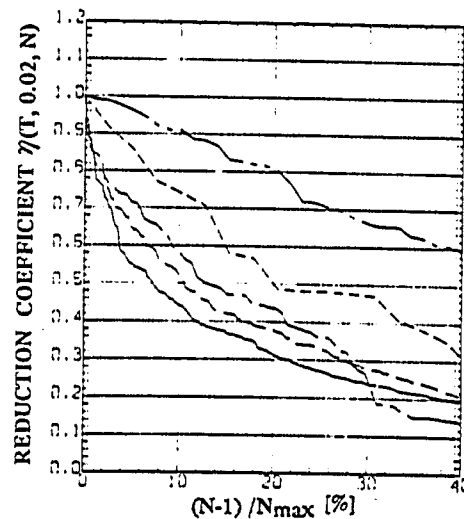


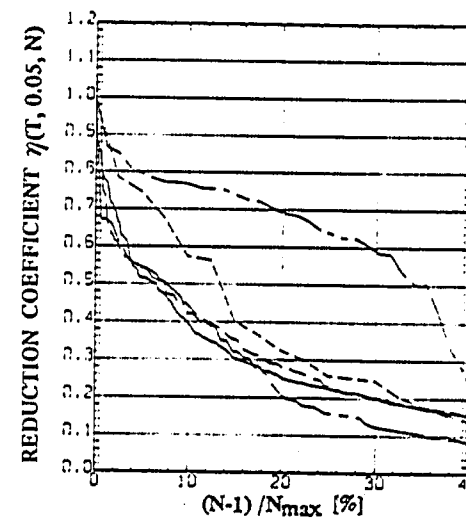
図 3.2(5) $\eta(T, h, N) \sim N$ の関係 (開北橋記録の LG 成分の場合)



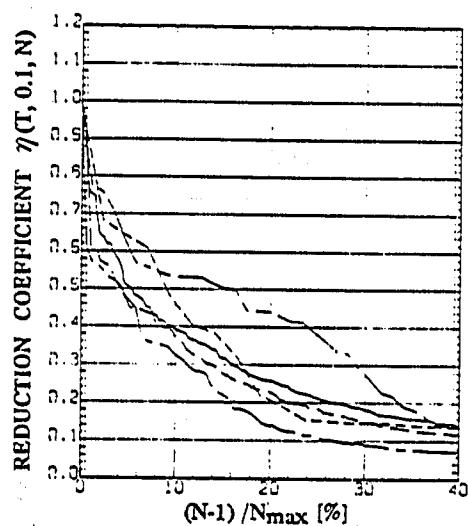
(a) $h = 0.0$ の場合



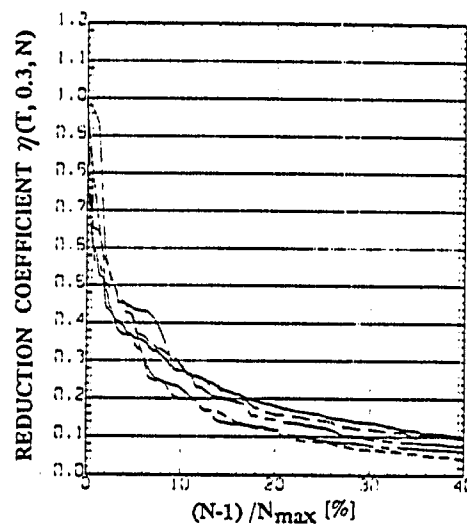
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

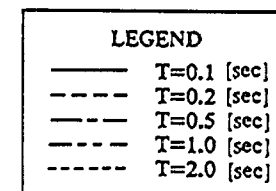
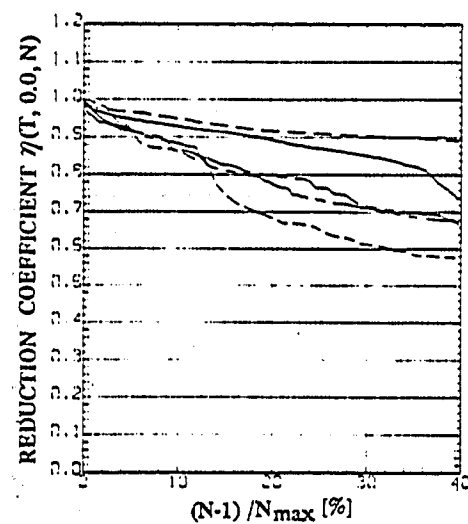
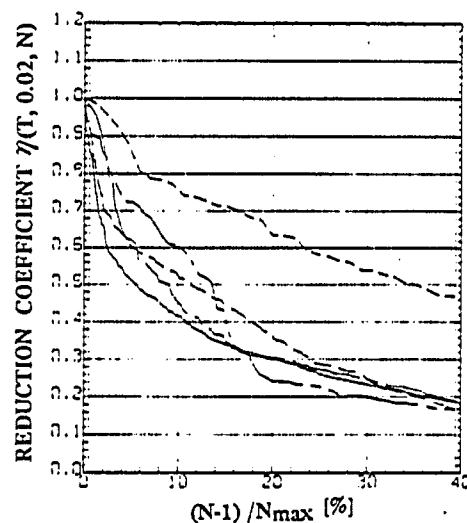


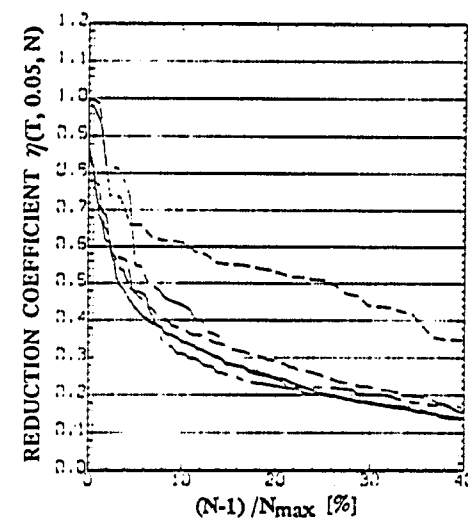
図 3.2(6) $\eta(T, h, N) \sim N$ の関係 (開北橋記録の TR 成分の場合)



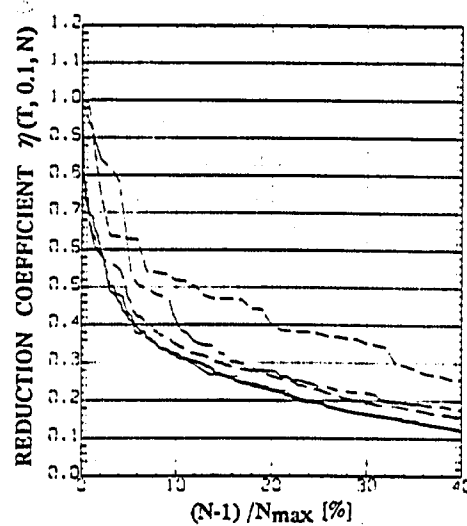
(a) $h = 0.0$ の場合



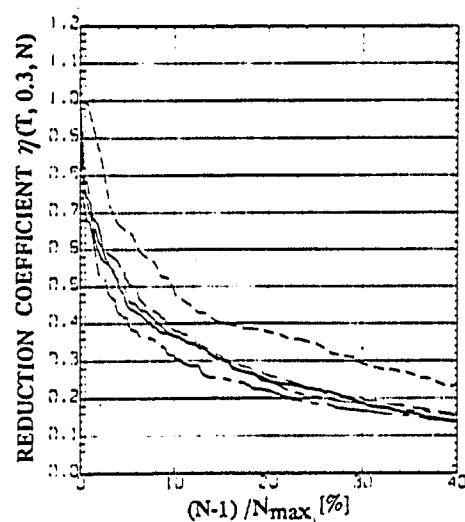
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

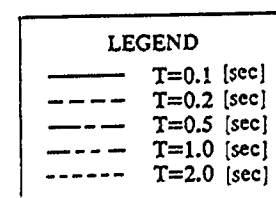
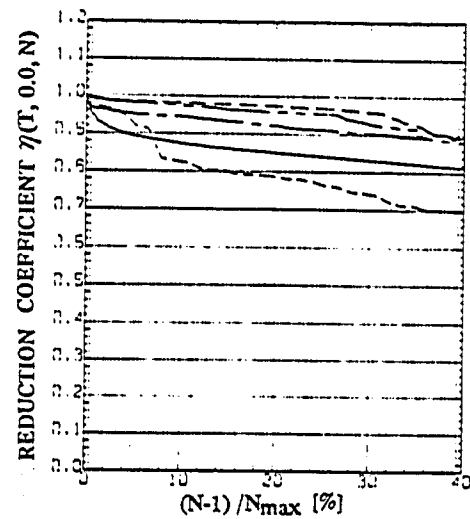
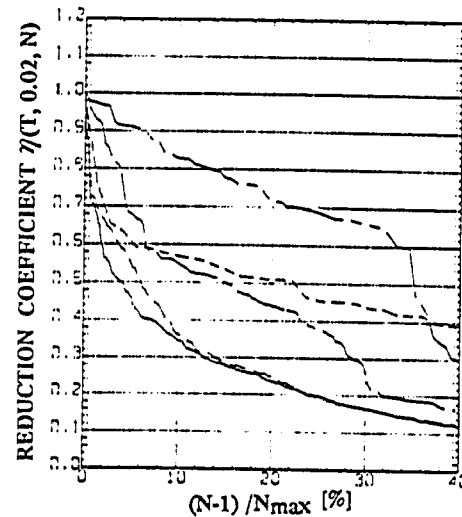


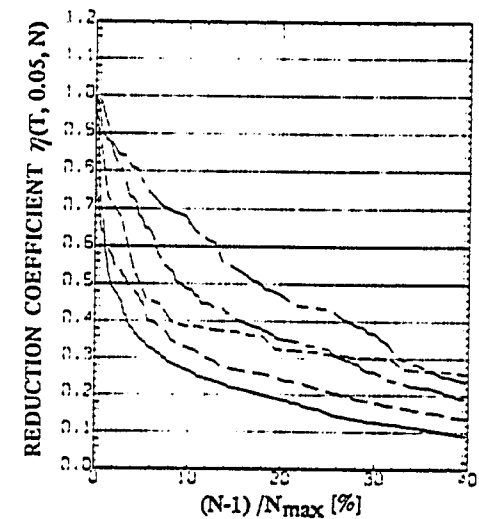
図 3.2(7) $\eta(T, h, N) \sim N$ の関係 (釧路港記録の EW 成分の場合)



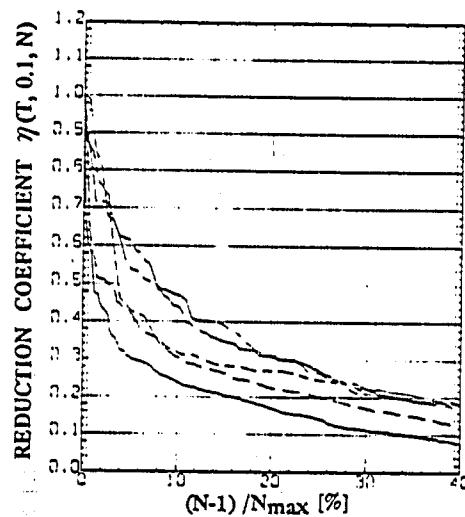
(a) $h = 0.0$ の場合



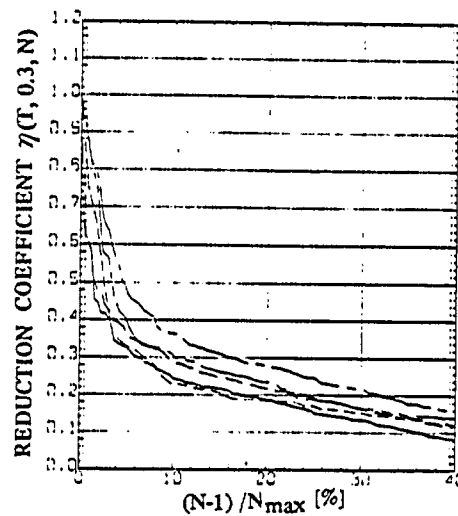
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

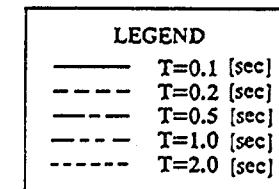
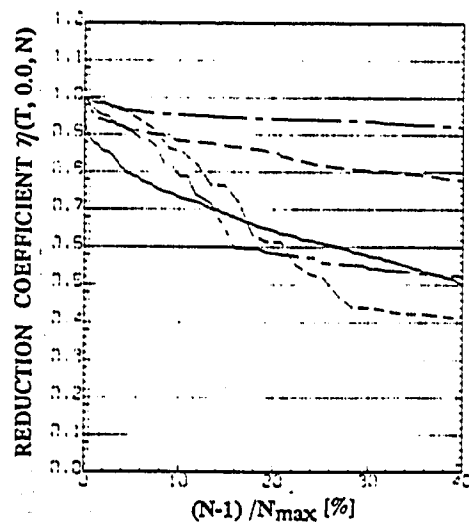
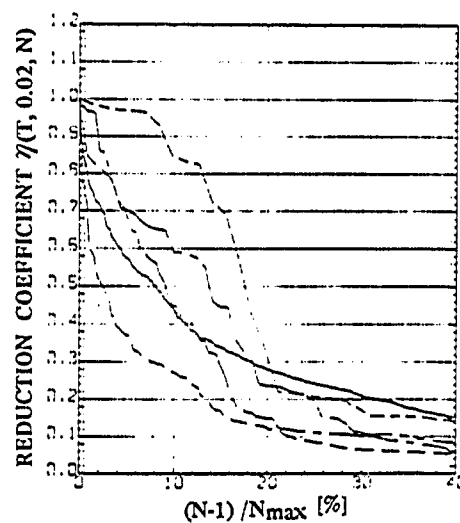


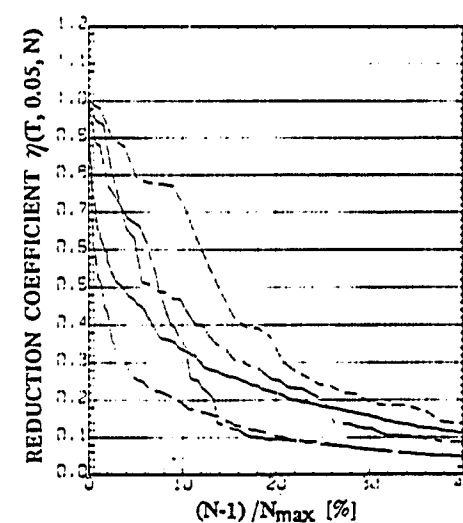
図 3.2(8) $\eta(T, h, N) \sim N$ の関係 (釧路港記録の NS 成分の場合)



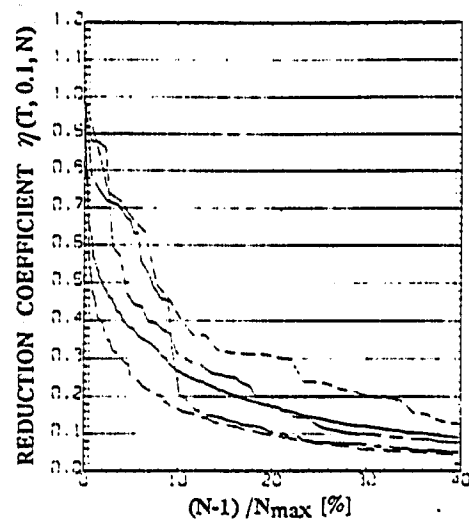
(a) $h = 0.0$ の場合



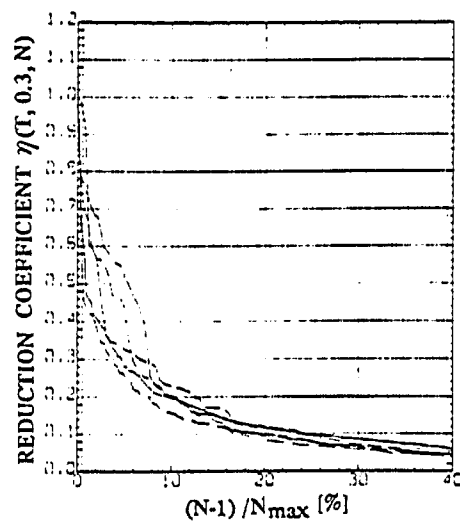
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

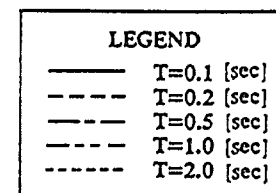
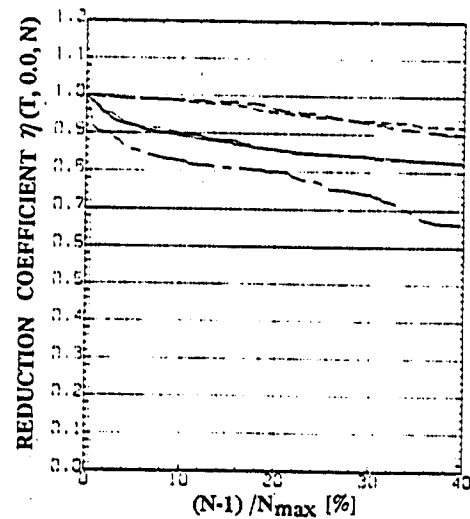
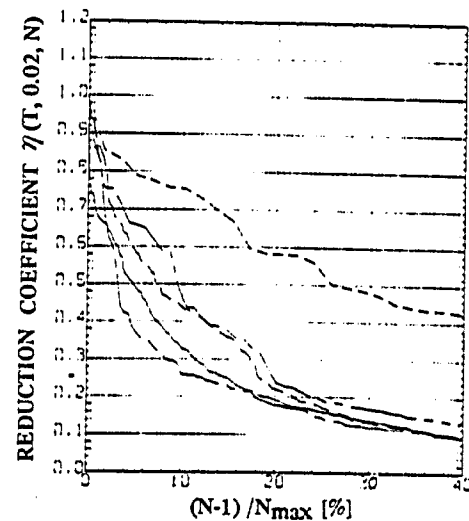


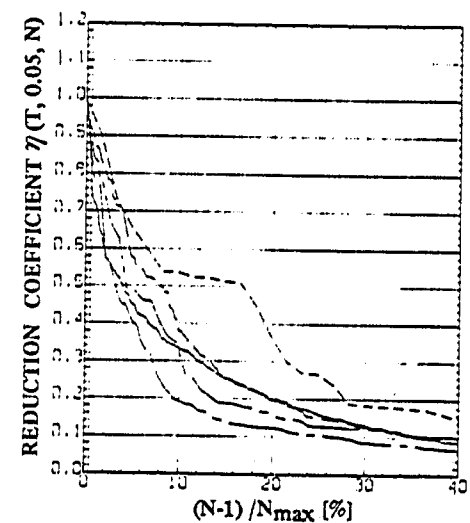
図 3.2(9) $\eta(T, h, N) \sim N$ の関係 (大船渡港記録の NS 成分の場合)



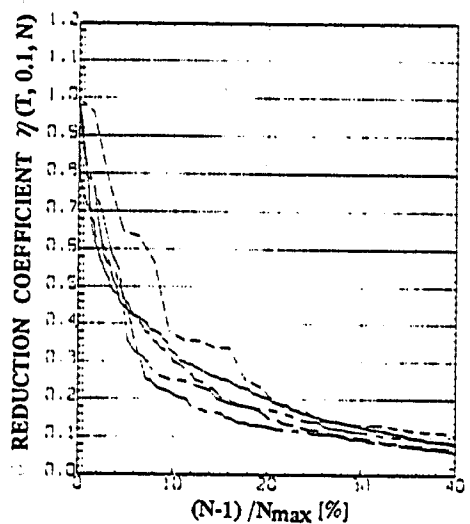
(a) $h = 0.0$ の場合



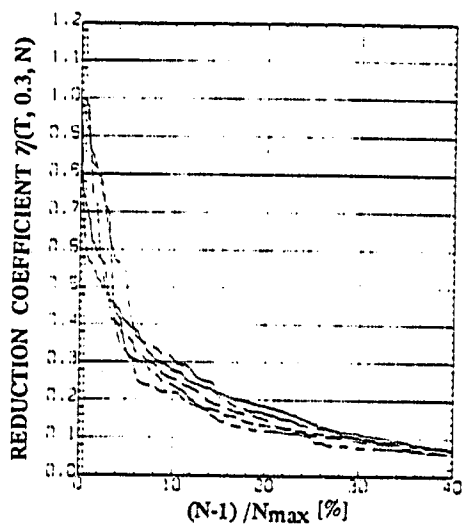
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

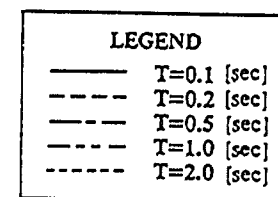


図 3.2 (0) $\eta(T, h, N) \sim N$ の関係 (大船渡港記録の EW 成分の場合)

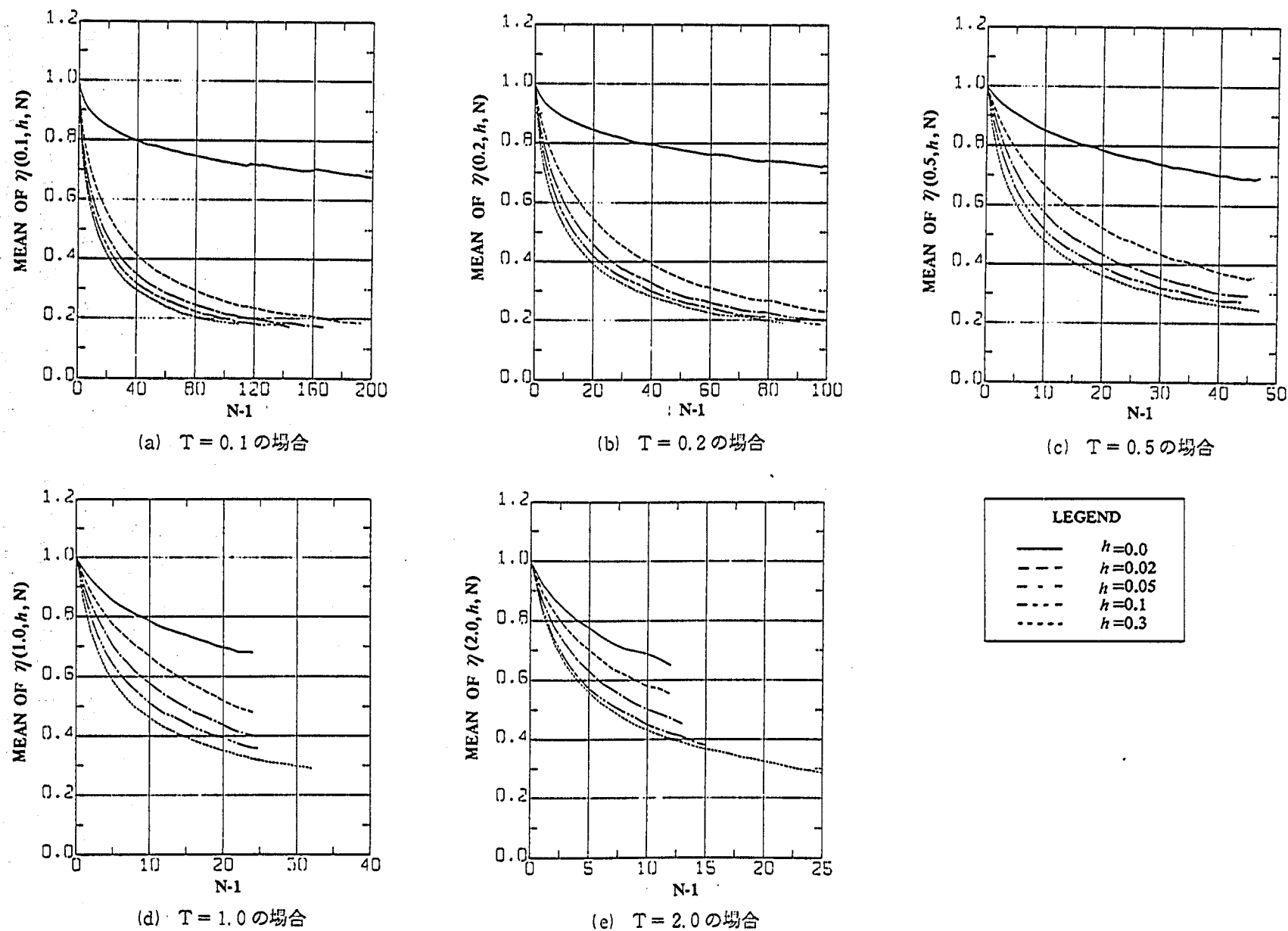


図 3.3 394 成分の強震記録に対する $\eta(T, h, N)$ の平均値

4. 繰り返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ の推定法

4.1 繰り返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ に及ぼす固有周期 T および減衰定数 h の影響

繰り返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ は基本的に繰り返し回数 N の増加とともに単調減少するため、いま、 $\eta(T, h, N)$ を次式で近似するものとする。

$$\eta(T, h, N) = \frac{1}{1 + a(T, h)(N - 1)} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

ここで、係数 $a(T, h)$ は固有周期 T および減衰定数 h ごとに定められる係数である。いま、式(4.1)のように $\eta(T, h, N) \sim N$ の関係をモデル化することの妥当性を検討するために、式(4.1)を次のように変形する。

$$\frac{1}{\eta} - 1 = a(T, h)(N - 1) \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

式(4.1)が $\eta(T, h, N) \sim N$ の関係を近似できるとすれば、式(4.2)より明らかなように、 $(1/\eta - 1)$ と $(N - 1)$ は係数 $a(T, h)$ を介して線形関係になければならない。この関係を表3.1に示した5種類(各水平2成分)の強震記録に対して求めた結果が図4.1である。これによれば、記録によっては多少線形関係からはずれるものもあるが、式(4.2)の関係をおおむね満足しているといえることができる。また、図4.1より係数 $a(T, h)$ を T, h ごとに定め、これを用いて式(4.1)により $\eta(T, h, N) \sim N$ の関係を求めた結果が図4.2である。図4.2を対応する図3.2の結果と比較すると両者はよく一致しており、式(4.1)の近似精度のよいことがわかる。

このように、式(4.1)により、係数 $a(T, h)$ を介して $\eta(T, h, N)$ を表わすものとするれば、主要な a に対する $\eta(T, h, N)$ は図4.3のようになる。

次に、係数 $a(T, h)$ が固有周期 T および減衰定数 h によりどのように変化するかを検討するために、 $\log a(T, h) \sim T$ 、および $\log a(T, h) \sim h$ の関係を示した結果が図4.4～図4.8である。ここで検討対象としたのは表2.1に示した5種類(水平2成分)の強震記録がある。これによれば、 $\log a(T, h) \sim T$ 、および、 $\log a(T, h) \sim h$ の関係は個々の強震記録ごとに比較的良好な特徴を有している。そこで、これらの関係を表2.1に示した394成分の記録に対してそれぞれを求め、これらの中央値(大きい方から並べた場合に中央に相当する値)、4分位値(大きい方から並べた場合に、全体の25%および75%に相当する値)、はずれ値(大きい方から並べた場合に、全体の0.5%および99.5%に相当する値)を示した結果が表4.1、図4.9である。ただし、前章に示したように継続時間が非常に短い波形に対しては計算された係数 $a(T, h)$ は意味を持たないため、繰り返し回数の最大値 $N_{\max}$ の40%に相当する繰り返し回数 N が2よりも小さい波形に対しては、中央値等の計算に考慮しないものとした。なお、このようにした場合の該当記録数は、表4.1に示した通りである。

図 4.8 によれば、係数 $\log a(T, h)$ の中央値は $h = 0$ の場合を除けば、いずれの減衰定数の場合にも固有周期 T が大きくなるとともに漸増する傾向があることがわかる。このような点を示すため、係数 $\log a(T, h)$ の中央値と T および h の関係を示した結果がそれぞれ図 4.10 および図 4.11 である。これより、以下の事項が指摘される。

- 1) 係数 $\log a(T, h)$ は固有周期 T の増大につれおおむね単調に大きくなる。
- 2) $h = 0$ の場合を除けば ($h < 0.01$ の場合)、いずれの固有周期に対しても減衰定数の増加による係数 $\log a(T, h)$ の増加の様子はおおむね同じである。

4.2 繰り返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ の推定法

上述した図 4.10 の特性より、減衰定数 $h = 0.05$ の場合について係数 $a(T, 0.05)$ と T の関係を次式より近似する。

$$\log a(T, 0.05) = \log \alpha_1 + \alpha_2 \log T \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

最小 2 乗法により係数 α_1, α_2 を定める式 (4.3) は次のようになる。

$$a(T, 0.05) = 0.0815 \times T^{0.349} \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

図 4.12 は図 4.10 に示した $\log a(T, 0.05)$ と式 (4.4) による近似式の一致度を比較したものである。

次に、減衰定数 5% の場合の係数 $a(T, h)$ ($a(T, 0.05)$) を基準として、係数 $a(T, h)$ を次式により正規化する。

$$\rho(T, h) = \frac{a(T, h)}{a(T, 0.05)} \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

表 4.1 より式 (4.5) の $\rho(T, h)$ を計算すると表 4.2, 図 4.13 のようになる。これによれば、 ρ は減衰定数 h により変化するが、 h が 0.2 以上で、かつ、固有周期 T が 2 秒以上の場合を除けば T による ρ の変化は小さい。しかしながら、一般に固有周期 T が 2 秒以上と長い土木構造物で減衰定数が 0.2 以上の場合は極めて稀であることを考慮し、ここでは、 $T \geq 2$ 秒、かつ、 $h \geq 0.3$ のデータは考慮しないものとした。このようにして、図 4.13 の結果を固有周期に対して平均した結果が図 4.14 である。これより、 $\rho(h)$ と h の関係を次式で近似した。

$$\rho(T, h) = \rho(h) = 80h / (60h + 1) \quad \dots\dots\dots (4.6)$$

図 4.14 には式 (4.6) の関係も示されており、これより、式 (4.6) の近似度が良好なことがわかる。

以上より、式 (4.4), (4.5), (4.6) を統合すると、係数 $a(T, h)$ は、次式により求めることができる。

$$a(T, h) = \rho(h) \times a(T, 0.05)$$

$$= \frac{80h}{60h+1} \times 0.0815 \times T^{0.349} \dots\dots\dots (4.7)$$

よって、式(4.7)を式(4.1)に代入することにより、繰り返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ を求めることができる。

図4.15は、式(4.1)および式(4.7)により求めた低減係数 $\eta(T, h, N)$ を代表的な固有周期および減衰定数に対して試算した結果を示したものである。

表 4.1(1) Log a の平均値 m , 標準偏差 σ , 中央値, 4 分位値およびはずれ値

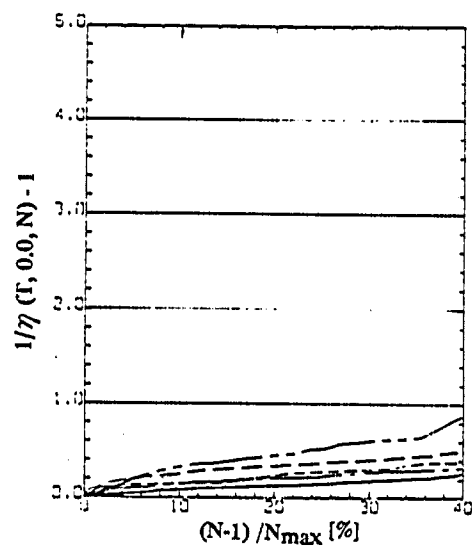
減衰 定数	固有 周期	平均値 m	標準偏差 σ	最小値	非超過確率 p					最大値	記録数
					$p=0.005$	$p=0.25$	$p=0.5$	$p=0.75$	$p=0.995$		
$h=0.0$	$T=0.1$	-2.583	0.4285	-3.983	-3.614	-2.855	-2.602	-2.324	-1.488	-1.242	394
	$T=0.15$	-2.475	0.4308	-3.694	-3.606	-2.763	-2.482	-2.177	-1.259	-1.434	394
	$T=0.2$	-2.411	0.4485	-3.697	-3.601	-2.703	-2.403	-2.134	-1.326	-1.059	394
	$T=0.3$	-2.231	0.4566	-3.498	-3.559	-2.549	-2.212	-1.922	-1.053	-1.012	394
	$T=0.5$	-1.972	0.3980	-3.161	-2.962	-2.207	-1.955	-1.727	-1.042	-0.767	394
	$T=0.7$	-1.790	0.3915	-3.101	-2.779	-2.037	-1.790	-1.530	-0.750	-0.450	394
	$T=1.0$	-1.629	0.3980	-2.802	-2.698	-1.899	-1.632	-1.359	-0.538	-0.296	394
	$T=1.5$	-1.444	0.3687	-2.738	-2.434	-1.683	-1.433	-1.220	-0.583	-0.374	393
	$T=2.0$	-1.308	0.3408	-2.644	-2.194	-1.529	-1.308	-1.085	-0.418	-0.312	390
	$T=3.0$	-1.119	0.3547	-2.108	-1.869	-1.320	-1.137	-0.908	-0.221	+0.989	376
$h=0.01$	$T=0.1$	-1.641	0.2915	-2.386	-2.424	-1.866	-1.680	-1.438	-0.712	-0.675	394
	$T=0.15$	-1.585	0.2622	-2.254	-2.282	-1.767	-1.595	-1.402	-0.824	-0.837	394
	$T=0.2$	-1.555	0.2528	-2.193	-2.188	-1.725	-1.571	-1.400	-0.886	-0.735	394
	$T=0.3$	-1.527	0.2511	-2.143	-2.285	-1.720	-1.531	-1.363	-0.856	-0.793	394
	$T=0.5$	-1.503	0.2445	-2.160	-2.124	-1.666	-1.513	-1.341	-0.827	-0.785	394
	$T=0.7$	-1.465	0.2603	-2.113	-2.109	-1.643	-1.488	-1.294	-0.713	-0.278	394
	$T=1.0$	-1.420	0.2988	-2.324	-2.196	-1.624	-1.433	-1.234	-0.635	-0.287	394
	$T=1.5$	-1.301	0.2902	-2.208	-2.097	-1.509	-1.313	-1.129	-0.579	-0.393	393
	$T=2.0$	-1.204	0.2940	-1.892	-2.055	-1.411	-1.197	-1.026	-0.513	-0.250	391
	$T=3.0$	-1.072	0.3345	-2.073	-1.917	-1.288	-1.079	-0.877	-0.270	+0.864	375
$h=0.02$	$T=0.1$	-1.525	0.3110	-2.304	-2.393	-1.765	-1.556	-1.316	-0.598	-0.284	394
	$T=0.15$	-1.455	0.2868	-2.112	-2.217	-1.656	-1.468	-1.276	-0.697	-0.439	394
	$T=0.2$	-1.412	0.2797	-2.004	-2.168	-1.616	-1.432	-1.237	-0.651	-0.384	394
	$T=0.3$	-1.366	0.2658	-1.977	-2.089	-1.555	-1.377	-1.197	-0.655	-0.654	394
	$T=0.5$	-1.348	0.2527	-2.065	-2.123	-1.535	-1.339	-1.180	-0.705	-0.686	394
	$T=0.7$	-1.326	0.2548	-1.945	-1.939	-1.449	-1.353	-1.160	-0.583	-0.205	394
	$T=1.0$	-1.301	0.2754	-2.078	-2.007	-1.491	-1.319	-1.127	-0.552	-0.314	394
	$T=1.5$	-1.197	0.265	-2.023	-1.901	-1.385	-1.213	-1.037	-0.508	-0.327	393
	$T=2.0$	-1.117	0.2653	-1.810	-1.784	-1.299	-1.138	-0.968	-0.458	-0.0638	391
	$T=3.0$	-0.998	0.3093	-1.906	-1.791	-1.202	-1.006	-0.820	-0.264	+0.721	376
$h=0.03$	$T=0.1$	-1.467	0.3185	-2.249	-2.343	-1.707	-1.495	-1.265	-0.574	-0.181	394
	$T=0.15$	-1.395	0.2961	-1.993	-2.241	-1.611	-1.402	-1.206	-0.620	-0.244	394
	$T=0.2$	-1.351	0.2912	-2.029	-2.069	-1.552	-1.380	-1.169	-0.537	-0.285	394
	$T=0.3$	-1.293	0.2795	-2.064	-1.987	-1.476	-1.305	-1.105	-0.504	-0.390	394
	$T=0.5$	-1.269	0.2636	-2.008	-2.101	-1.469	-1.259	-1.098	-0.615	-0.503	394
	$T=0.7$	-1.246	0.2586	-1.811	-1.931	-1.434	-1.268	-1.077	-0.505	-0.202	394
	$T=1.0$	-1.227	0.2705	-1.950	-1.946	-1.422	-1.247	-1.053	-0.471	-0.297	394
	$T=1.5$	-1.128	0.2603	-1.817	-1.787	-1.301	-1.139	-0.962	-0.433	-0.279	393
	$T=2.0$	-1.055	0.2632	-1.791	-1.644	-1.217	-1.075	-0.895	-0.354	-0.0748	391
	$T=3.0$	-0.939	0.2890	-1.849	-1.660	-1.127	-0.949	-0.776	-0.254	+0.613	376
$h=0.05$	$T=0.1$	-1.402	0.3192	-2.132	-2.283	-1.643	-1.430	-1.219	-0.586	-0.110	394
	$T=0.15$	-1.338	0.3014	-1.955	-2.157	-1.557	-1.357	-1.161	-0.573	-0.144	394
	$T=0.2$	-1.295	0.2967	-2.071	-1.983	-1.490	-1.326	-1.121	-0.509	-0.262	394
	$T=0.3$	-1.227	0.2934	-1.962	-1.978	-1.431	-1.249	-1.037	-0.402	-0.308	394
	$T=0.5$	-1.194	0.2741	-1.865	-2.032	-1.412	-1.205	-0.996	-0.366	-0.365	394
	$T=0.7$	-1.161	0.2660	-1.753	-1.904	-1.361	-1.180	-0.980	-0.382	-0.129	394
	$T=1.0$	-1.140	0.2736	-1.723	-1.816	-1.316	-1.150	-0.974	-0.446	-0.345	394
	$T=1.5$	-1.044	0.2546	-1.584	-1.768	-1.230	-1.051	-0.868	-0.318	-0.284	392
	$T=2.0$	-0.972	0.2648	-1.589	-1.663	-1.150	-0.980	-0.808	-0.294	+0.0365	391
	$T=3.0$	-0.845	0.2909	-1.528	-1.598	-1.036	-0.849	-0.683	-0.185	+0.550	378

表 4.1(2) Log a の平均値 m , 標準偏差 σ , 中央値, 4 分位値およびはずれ値

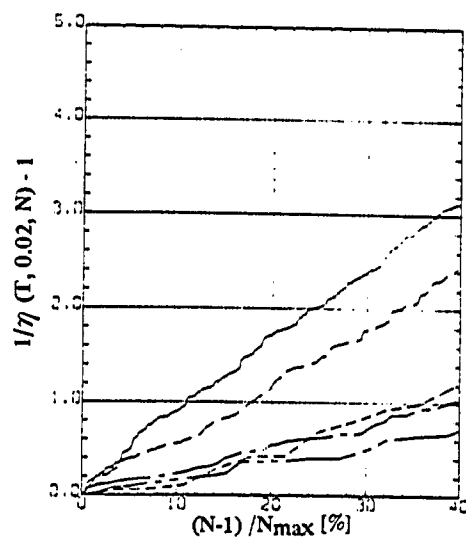
減衰 定数	固有 周期	平均値 m	標準偏差 σ	最小値	非超過確率 p					最大値	記録数
					$p=0.005$	$p=0.25$	$p=0.5$	$p=0.75$	$p=0.995$		
$h=0.07$	$T=0.1$	-1.365	0.3204	-2.089	-2.241	-1.608	-1.397	-1.168	-0.481	-0.0737	394
	$T=0.15$	-1.309	0.3034	-1.962	-2.154	-1.531	-1.324	-1.134	-0.567	-0.0755	394
	$T=0.2$	-1.264	0.2983	-2.058	-1.992	-1.472	-1.299	-1.092	-0.472	-0.227	394
	$T=0.3$	-1.194	0.3012	-1.885	-1.935	-1.398	-1.219	-0.987	-0.292	-0.229	394
	$T=0.5$	-1.156	0.2799	-1.804	-1.978	-1.376	-1.175	-0.969	-0.348	-0.322	394
	$T=0.7$	-1.120	0.2728	-1.726	-1.925	-1.325	-1.125	-0.946	-0.409	-0.136	394
	$T=1.0$	-1.090	0.2788	-1.723	-1.836	-1.277	-1.091	-0.922	-0.415	-0.281	394
	$T=1.5$	-0.996	0.2596	-1.613	-1.792	-1.196	-0.998	-0.814	-0.264	-0.242	393
	$T=2.0$	-0.923	0.2778	-1.591	-1.630	-1.117	-0.947	-0.745	-0.139	+0.0728	389
	$T=3.0$	-0.789	0.2964	-1.504	-1.568	-0.989	-0.796	-0.614	-0.0679	+0.759	379
$h=0.1$	$T=0.1$	-1.329	0.3201	-2.054	-2.154	-1.558	-1.359	-1.133	-0.454	-0.0488	394
	$T=0.15$	-1.282	0.3033	-1.970	-2.170	-1.510	-1.289	-1.105	-0.551	-0.0466	394
	$T=0.2$	-1.238	0.3011	-2.021	-2.038	-1.455	-1.260	-1.056	-0.445	-0.176	394
	$T=0.3$	-1.168	0.3051	-1.851	-1.936	-1.381	-1.197	-0.955	-0.229	-0.200	394
	$T=0.5$	-1.125	0.2860	-1.761	-1.904	-1.340	-1.152	-0.928	-0.256	-0.264	394
	$T=0.7$	-1.087	0.2801	-1.680	-1.862	-1.294	-1.104	-0.895	-0.265	-0.184	394
	$T=1.0$	-1.050	0.2857	-1.724	-1.761	-1.237	-1.062	-0.873	-0.303	-0.198	394
	$T=1.5$	-0.957	0.2718	-1.649	-1.747	-1.154	-0.956	-0.754	-0.146	-0.149	393
	$T=2.0$	-0.890	0.2811	-1.613	-1.637	-1.092	-0.910	-0.696	-0.0537	+0.0219	388
	$T=3.0$	-0.739	0.3026	-1.495	-1.562	-0.959	-0.758	-0.545	+0.0934	+0.542	383
$h=0.2$	$T=0.1$	-1.274	0.3145	-1.941	-2.055	-1.496	-1.310	-1.066	-0.335	-0.0342	394
	$T=0.15$	-1.240	0.2988	-1.884	-1.993	-1.453	-1.273	-1.060	-0.420	-0.0351	394
	$T=0.2$	-1.200	0.3013	-1.936	-2.042	-1.426	-1.220	-1.003	-0.350	-0.119	394
	$T=0.3$	-1.136	0.3086	-1.858	-1.935	-1.362	-1.171	-0.936	-0.231	-0.154	394
	$T=0.5$	-1.088	0.2931	-1.721	-1.943	-1.318	-1.109	-0.886	-0.216	-0.209	394
	$T=0.7$	-1.051	0.2890	-1.674	-1.868	-1.270	-1.070	-0.843	-0.161	-0.272	394
	$T=1.0$	-1.009	0.2922	-1.663	-1.866	-1.231	-1.019	-0.825	-0.242	-0.121	394
	$T=1.5$	-0.934	0.2928	-1.763	-1.794	-1.152	-0.938	-0.728	-0.0954	-0.0635	394
	$T=2.0$	-0.875	0.2988	-1.564	-1.728	-1.106	-0.899	-0.675	-0.00351	+0.0357	393
	$T=3.0$	-0.743	0.3053	-1.355	-1.519	-0.958	-0.771	-0.551	+0.109	+0.527	386
$h=0.3$	$T=0.1$	-1.251	0.3116	-1.917	-1.945	-1.467	-1.308	-1.042	-0.246	-0.0350	394
	$T=0.15$	-1.222	0.2990	-1.860	-1.940	-1.437	-1.269	-1.031	-0.316	-0.0565	394
	$T=0.2$	-1.187	0.3014	-1.837	-2.072	-1.425	-1.210	-1.001	-0.374	-0.107	394
	$T=0.3$	-1.131	0.3075	-1.815	-2.004	-1.369	-1.157	-0.924	-0.226	-0.115	394
	$T=0.5$	-1.083	0.2949	-1.697	-1.961	-1.312	-1.096	-0.885	-0.251	-0.188	394
	$T=0.7$	-1.050	0.2949	-1.701	-1.936	-1.276	-1.056	-0.865	-0.290	-0.256	394
	$T=1.0$	-1.011	0.2933	-1.655	-1.824	-1.230	-1.031	-0.808	-0.136	-0.0949	394
	$T=1.5$	-0.957	0.2937	-1.705	-1.755	-1.170	-0.975	-0.749	-0.0690	-0.1425	394
	$T=2.0$	-0.911	0.2958	-1.519	-1.780	-1.144	-0.932	-0.716	-0.0675	-0.0963	394
	$T=3.0$	-0.817	0.3096	-1.542	-1.649	-1.049	-0.849	-0.611	+0.102	+0.356	393
$h=0.4$	$T=0.1$	-1.238	0.3083	-1.888	-1.928	-1.451	-1.291	-1.019	-0.203	-0.550	394
	$T=0.15$	-1.213	0.3002	-1.863	-1.916	-1.430	-1.268	-1.011	-0.239	-0.0772	394
	$T=0.2$	-1.183	0.3011	-1.824	-2.001	-1.412	-1.216	-0.993	-0.324	-0.102	394
	$T=0.3$	-1.136	0.3077	-1.812	-2.039	-1.377	-1.157	-0.934	-0.264	-0.144	394
	$T=0.5$	-1.090	0.2976	-1.677	-1.941	-1.313	-1.103	-0.891	-0.254	-0.222	394
	$T=0.7$	-1.059	0.2962	-1.692	-2.002	-1.295	-1.059	-0.861	-0.268	-0.227	394
	$T=1.0$	-1.025	0.2931	-1.681	-1.833	-1.240	-1.042	-0.832	-0.200	-0.143	394
	$T=1.5$	-0.984	0.2940	-1.640	-1.779	-1.194	-1.000	-0.792	-0.168	-0.127	394
	$T=2.0$	-0.951	0.2908	-1.528	-1.752	-1.163	-0.966	-0.762	-0.148	-0.0557	394
	$T=3.0$	-0.888	0.3000	-1.560	-1.670	-1.110	-0.923	-0.695	-0.00999	+0.244	394

表 4.2 式 (4.5) の係数 $\rho(T, h)$

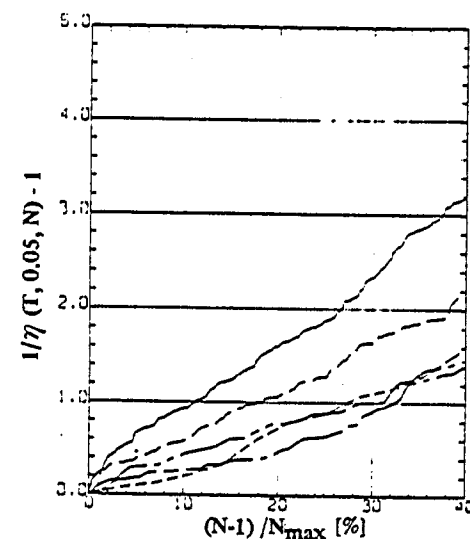
固有周期 〔秒〕	減 衰 定 数 h									
	$h=0.0$	$h=0.01$	$h=0.02$	$h=0.03$	$h=0.05$	$h=0.07$	$h=0.1$	$h=0.2$	$h=0.3$	$h=0.4$
$T=0.1$	0.067	0.649	0.748	0.861	1	1.079	1.178	1.318	1.324	1.377
$T=0.15$	0.075	0.578	0.774	0.902	1	1.079	1.169	1.213	1.225	1.227
$T=0.2$	0.084	0.569	0.783	0.883	1	1.064	1.164	1.276	1.306	1.288
$T=0.3$	0.109	0.522	0.745	0.879	1	1.072	1.127	1.197	1.236	1.236
$T=0.5$	0.178	0.492	0.735	0.883	1	1.072	1.130	1.247	1.285	1.265
$T=0.7$	0.245	0.492	0.671	0.817	1	1.135	1.191	1.288	1.330	1.321
$T=1.0$	0.330	0.521	0.678	0.908	1	1.146	1.225	1.352	1.315	1.282
$T=1.5$	0.415	0.547	0.689	0.817	1	1.130	1.245	1.297	1.191	1.125
$T=2.0$	0.470	0.607	0.695	0.804	1	1.079	1.175	1.205	1.117	1.033
$T=3.0$	0.515	0.589	0.697	0.794	1	1.130	1.233	1.197	1.000	0.843
平均値	—	0.557	0.722	0.855	1	1.099	1.184	1.259	1.277	1.268



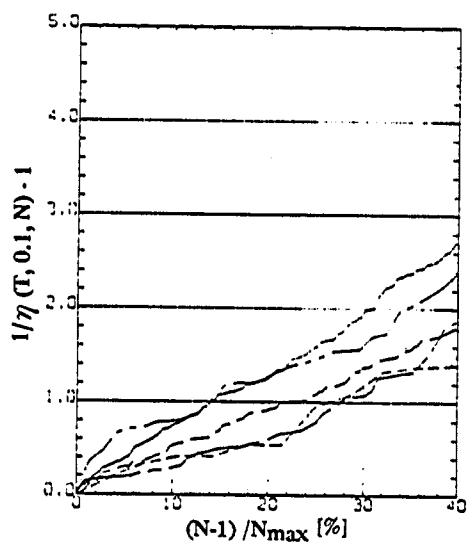
(a) $h = 0.0$ の場合



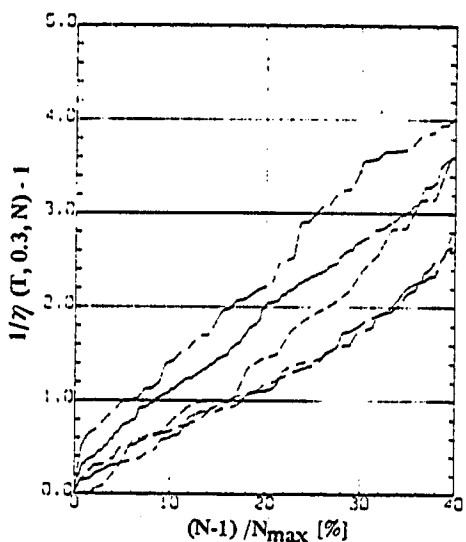
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

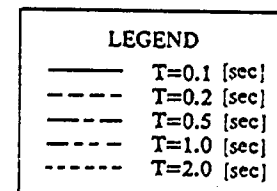
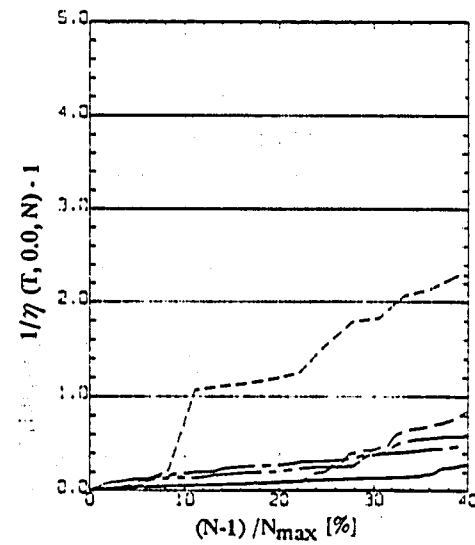
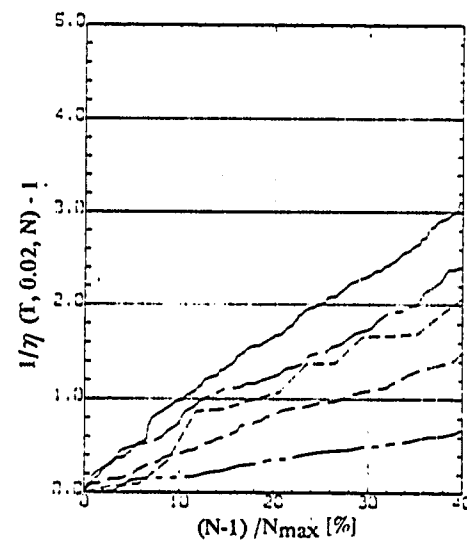


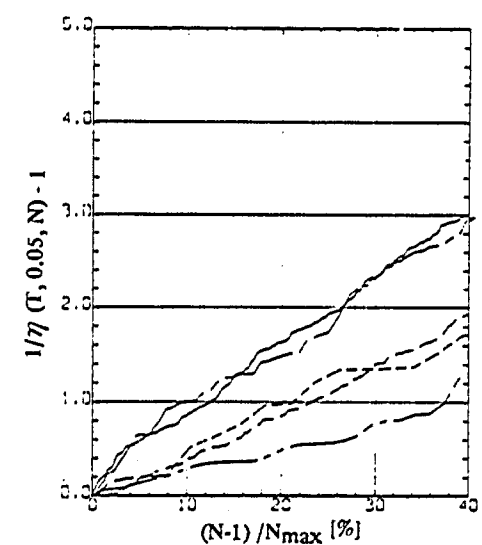
図 4.1 (1) $\frac{1}{\eta} - 1 \sim N$ の関係 (帆満橋記録の TR 成分の場合)



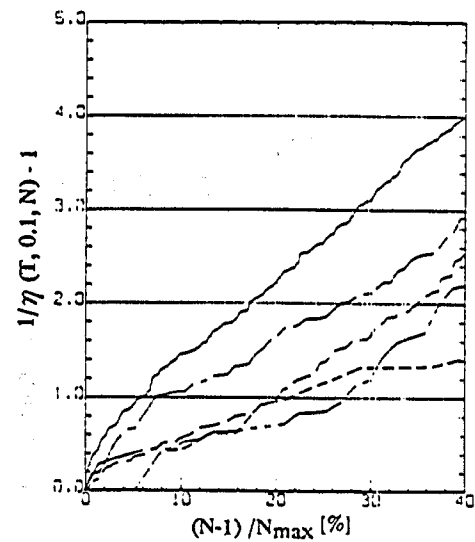
(a) $h = 0.0$ の場合



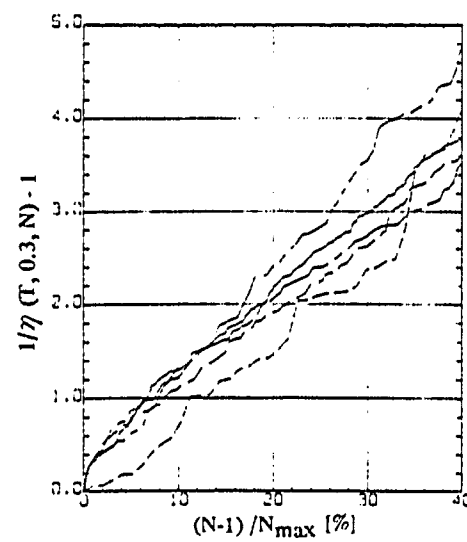
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

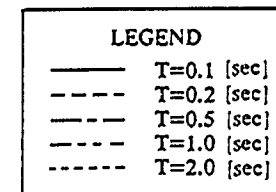
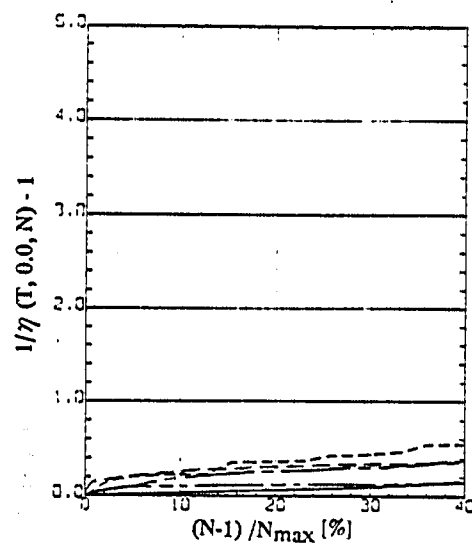
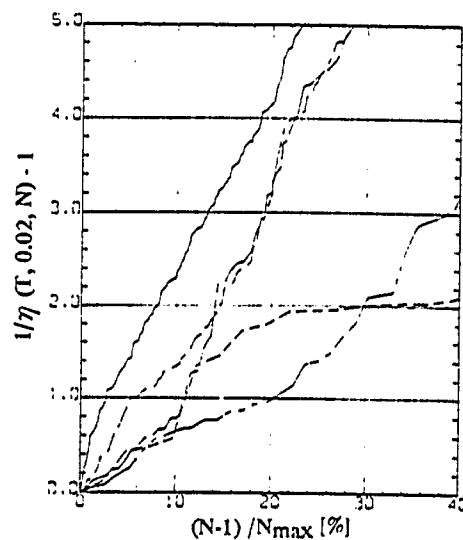


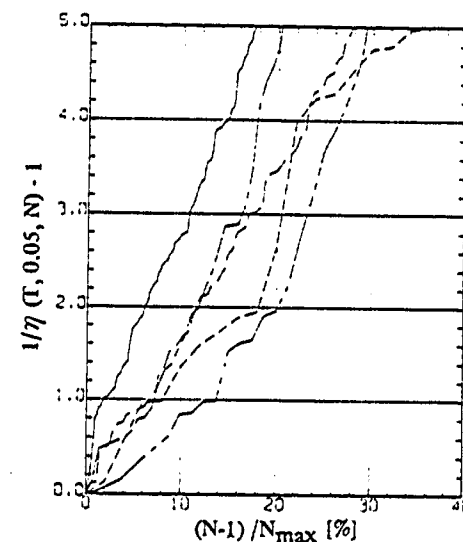
図 4.1(2) $\frac{1}{\eta} - 1 \sim N$ の関係 (幌満橋記録の LG 成分の場合)



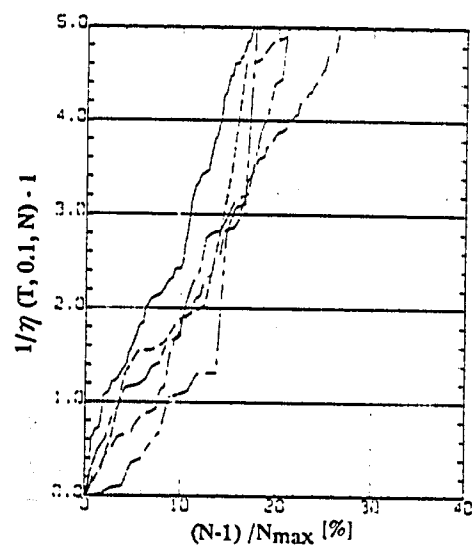
(a) $h = 0.0$ の場合



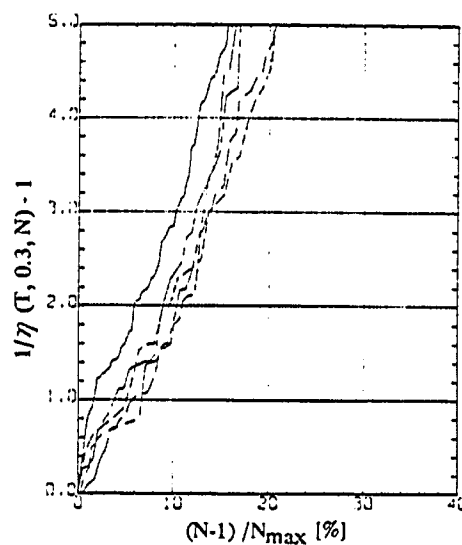
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

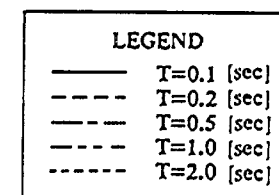
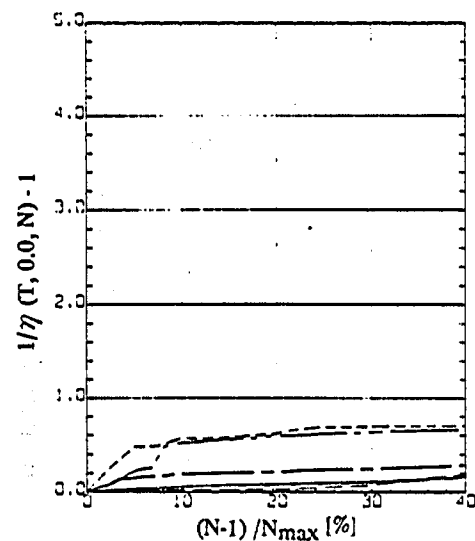
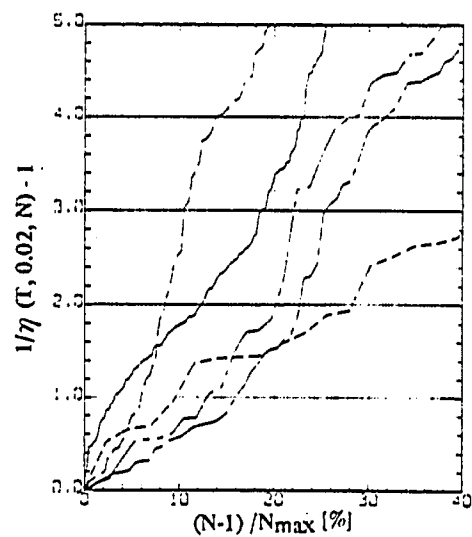


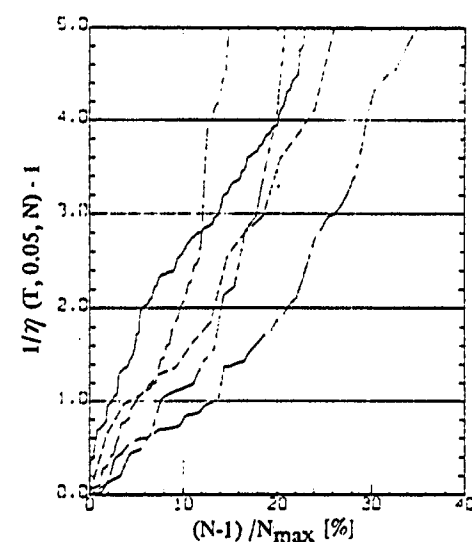
図 4.1 (3) $\frac{1}{\eta} - 1 \sim N$ の関係 (板島橋記録の TR 成分の場合)



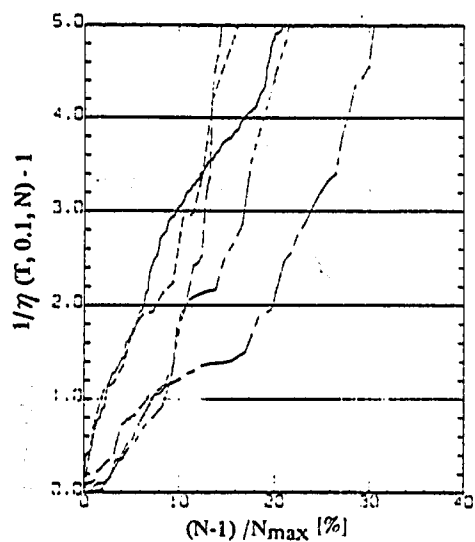
(a) $h = 0.0$ の場合



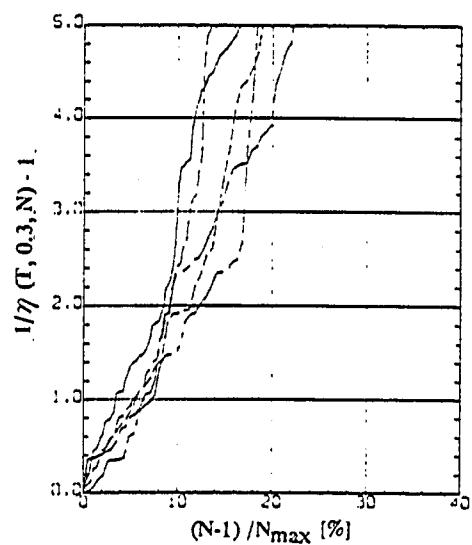
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

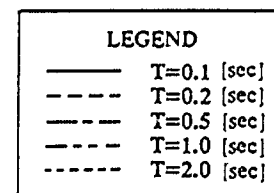
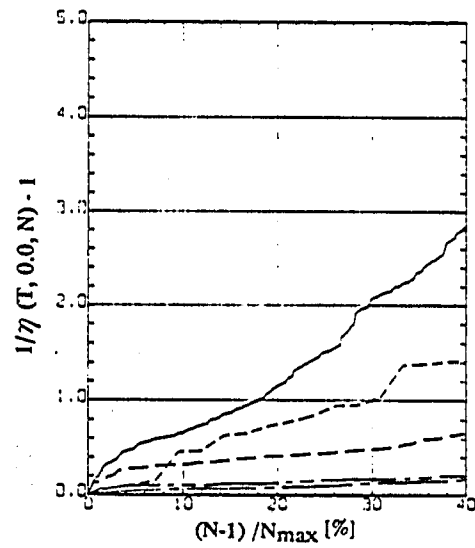
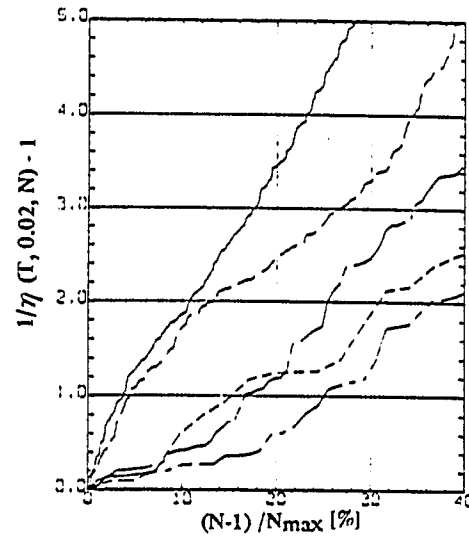


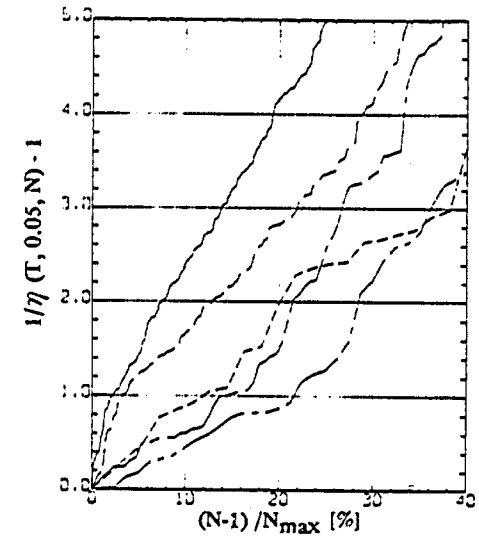
図 4.1(4) $\frac{1}{\eta} - 1 \sim N$ の関係 (板島橋記録の LG 成分の場合)



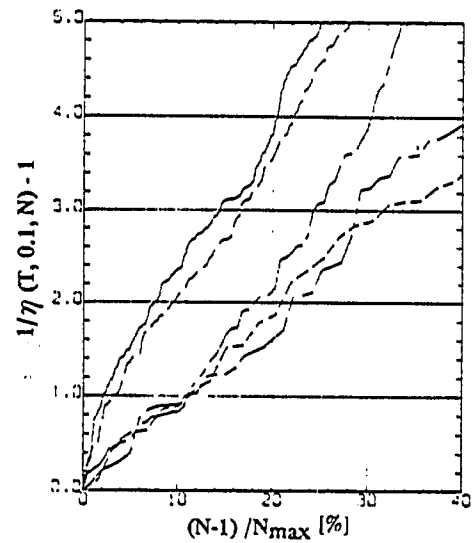
(a) $h = 0.0$ の場合



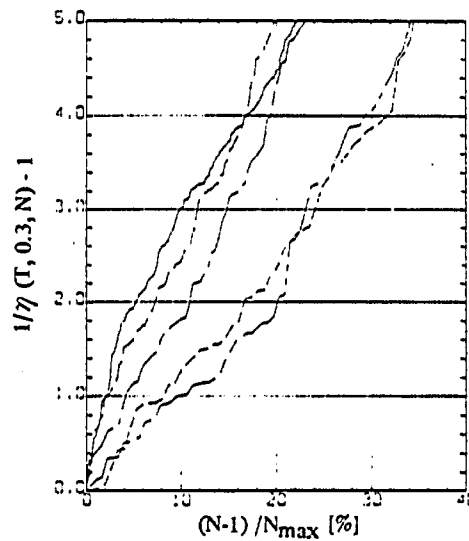
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

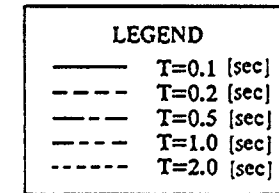


図 4.1(5) $\frac{1}{\eta} - 1 \sim N$ の関係 (開北橋記録の LG 成分の場合)

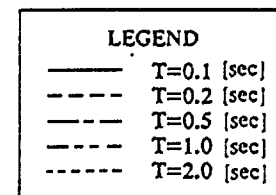
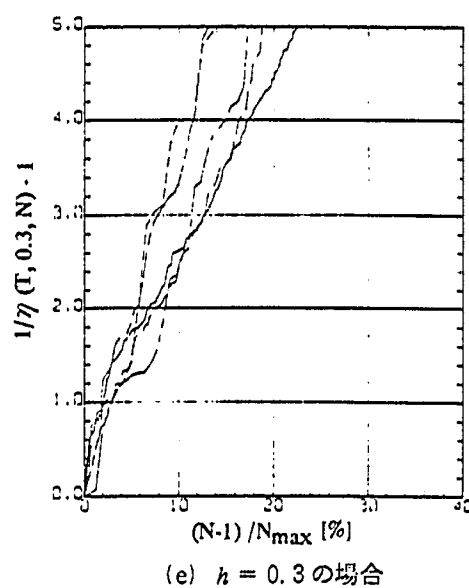
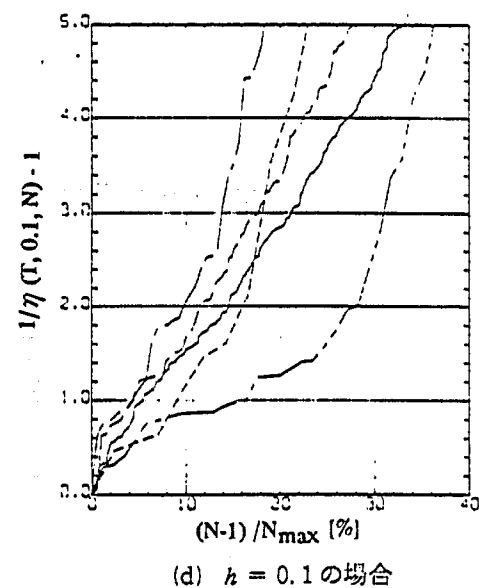
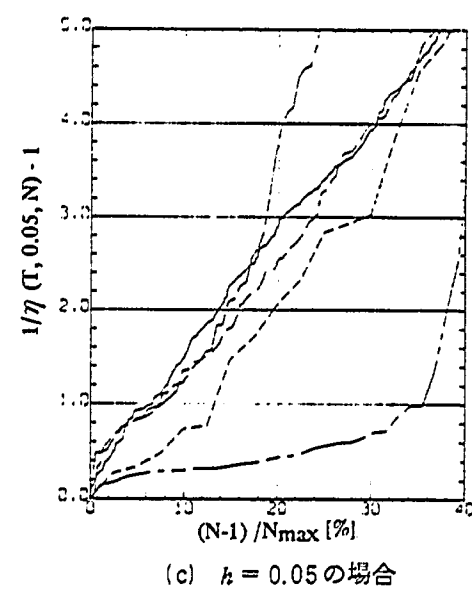
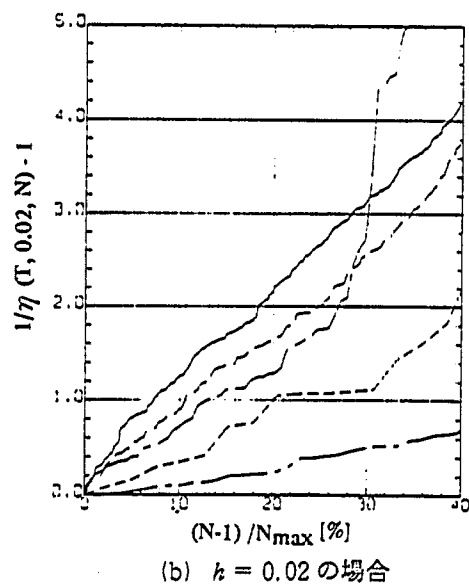
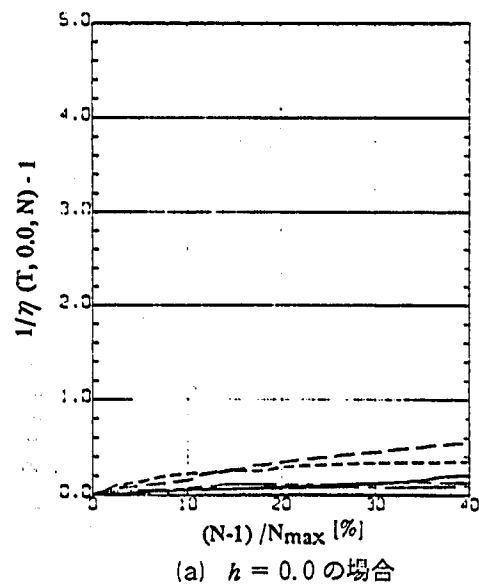
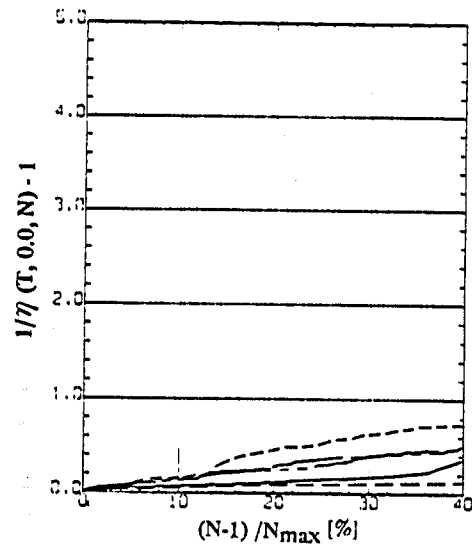
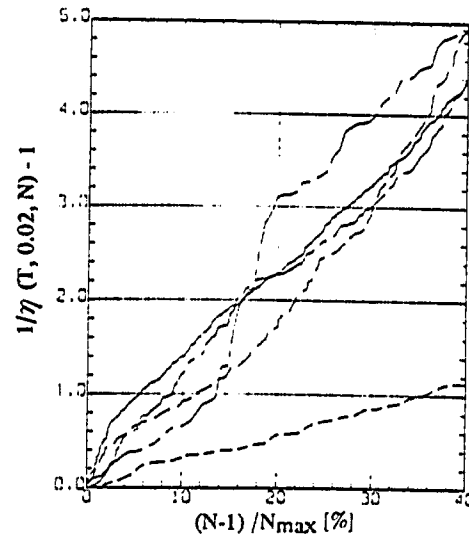


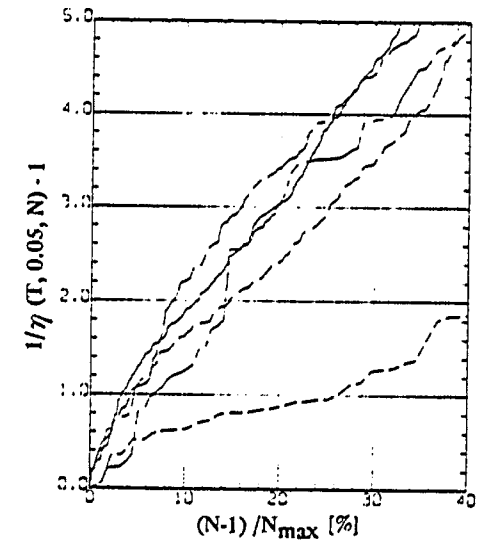
図 4.1(6) $\frac{1}{\eta} - 1 \sim N$ の関係 (開北橋記録の TR 成分の場合)



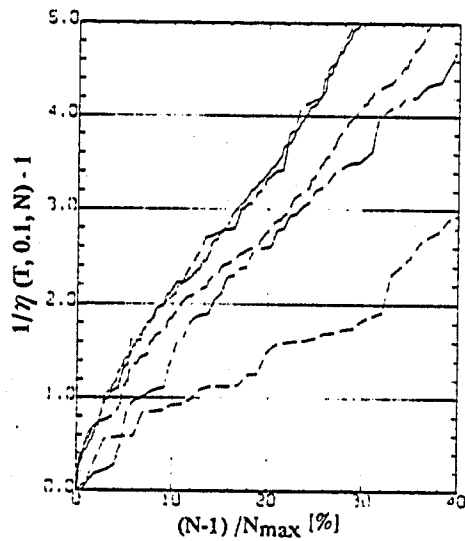
(a) $h = 0.0$ の場合



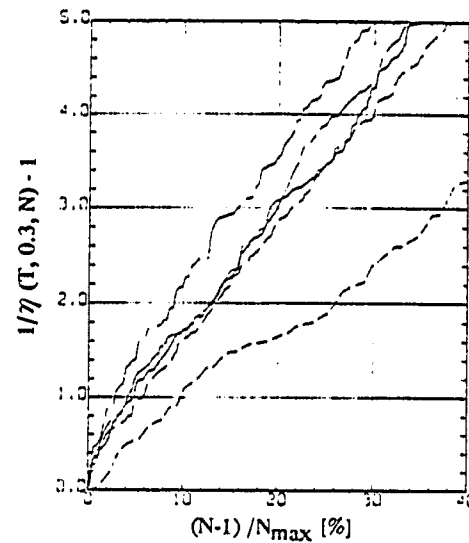
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

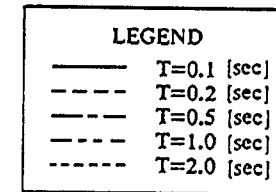
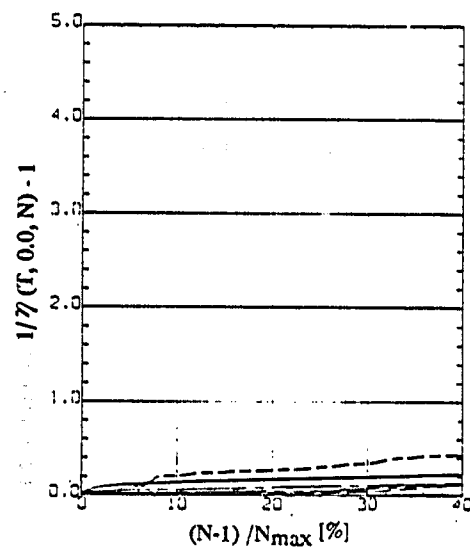
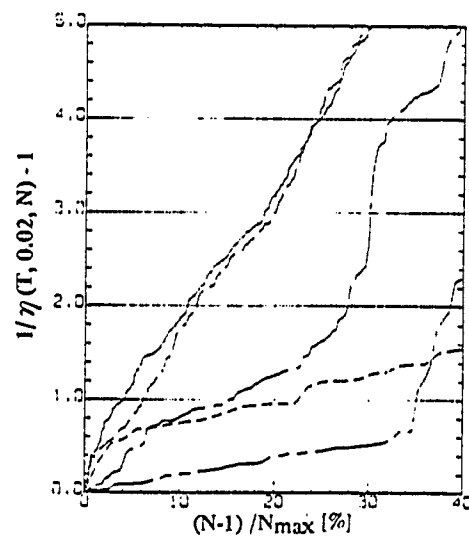


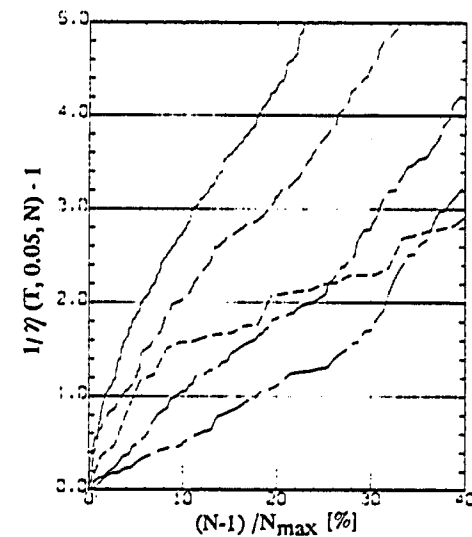
図 4.1 (7) $\frac{1}{\eta} - 1 \sim N$ の関係 (釧路港記録の EW 成分の場合)



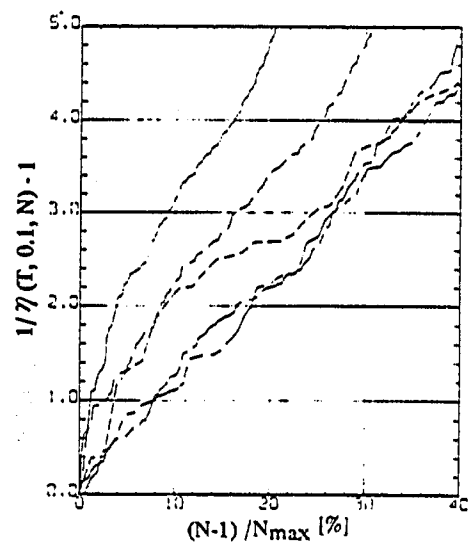
(a) $h = 0.0$ の場合



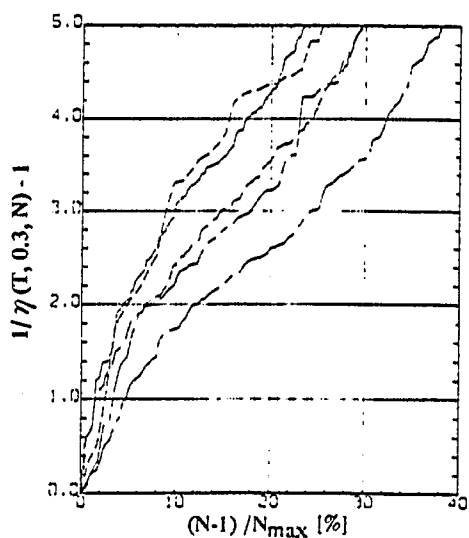
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

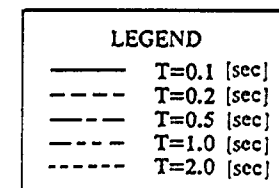
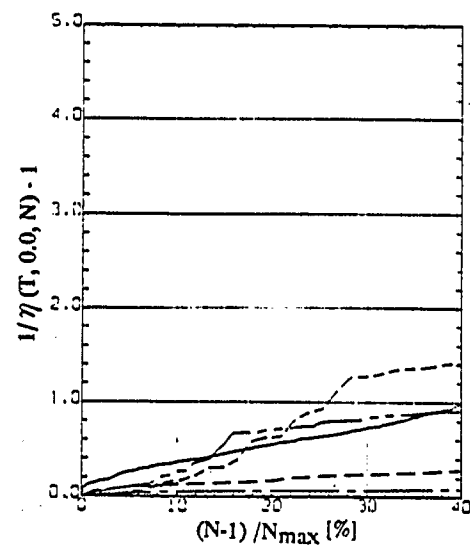
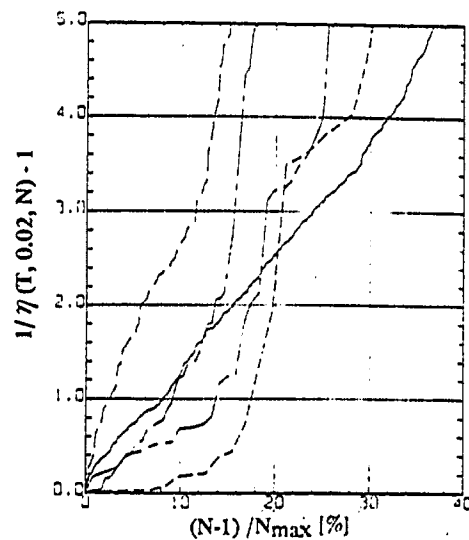


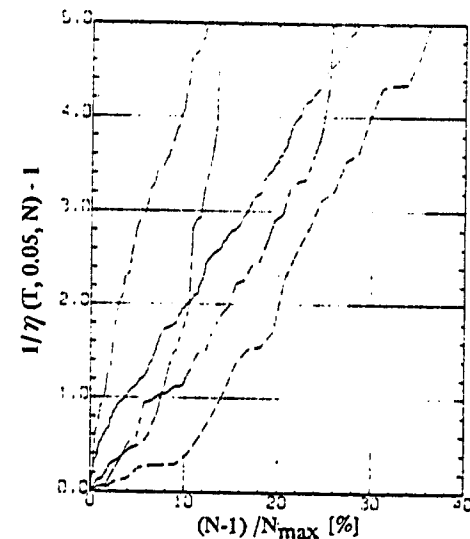
図 4.1(8) $\frac{1}{\gamma} - 1 \sim N$ の関係 (釧路港記録の NS 成分の場合)



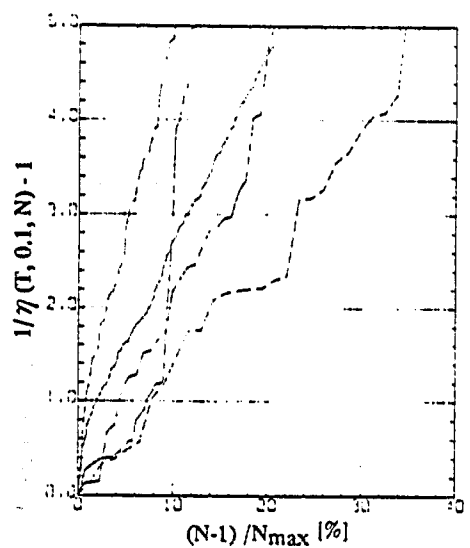
(a) $h = 0.0$ の場合



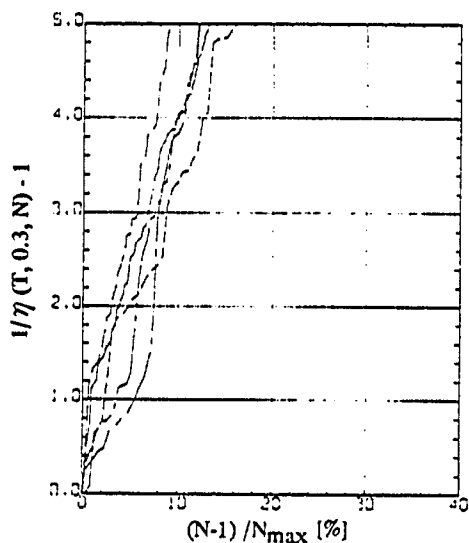
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

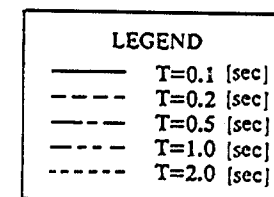
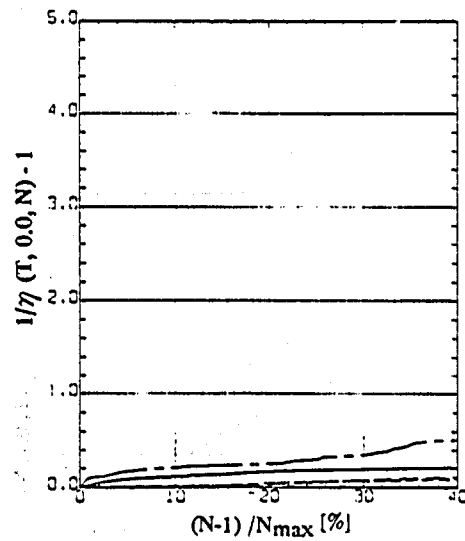
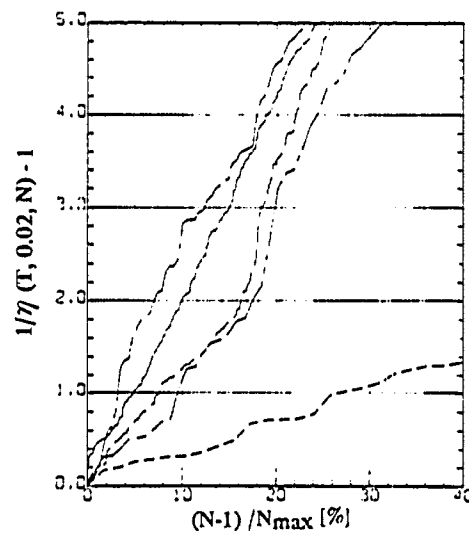


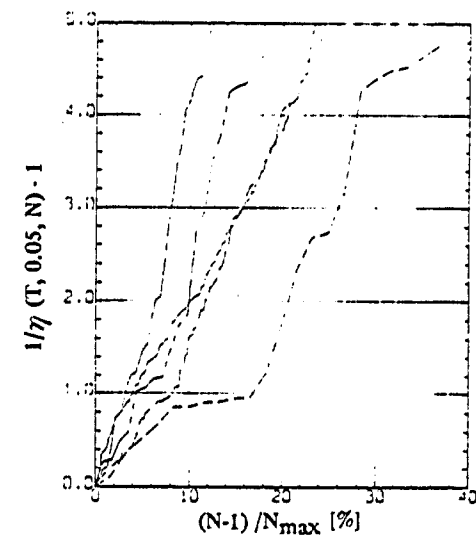
図 4.1(9) $\frac{1}{\eta} - 1 \sim N$ の関係 (大船渡港記録の NS 成分の場合)



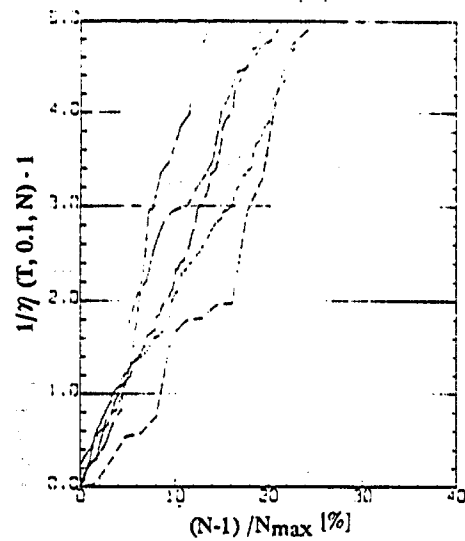
(a) $h = 0.0$ の場合



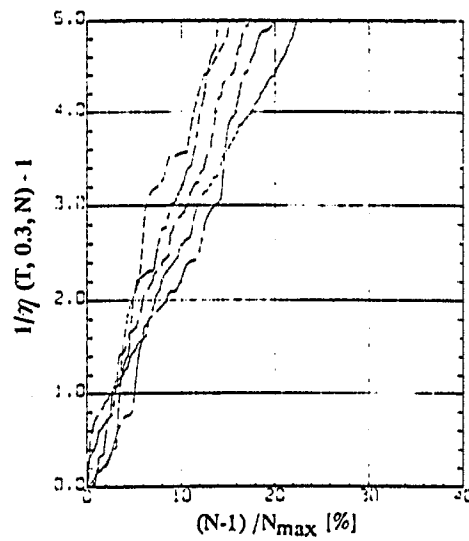
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

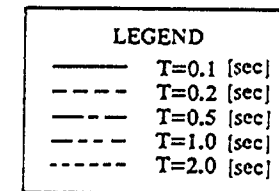
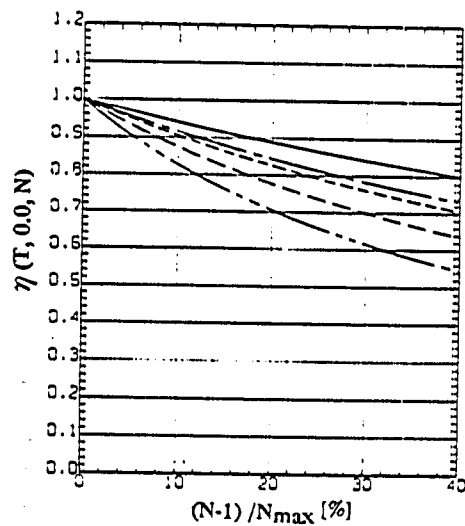
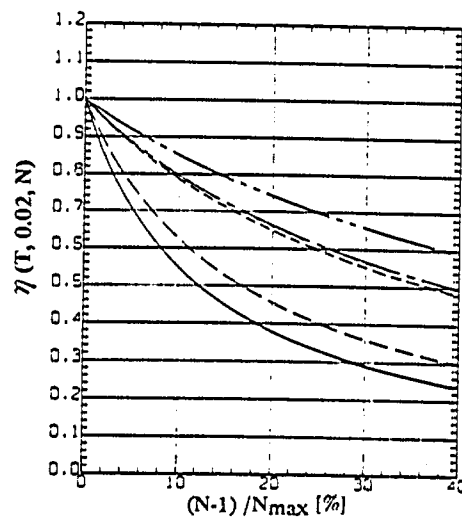


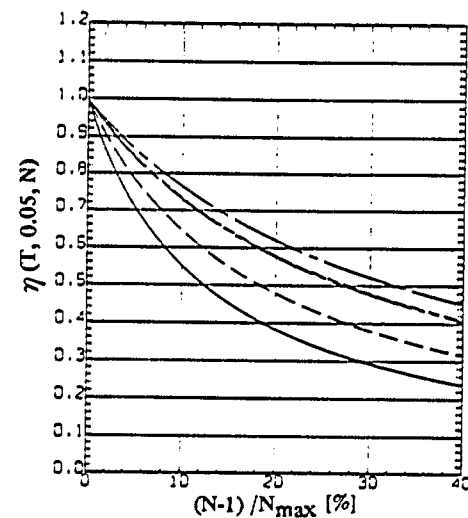
図 4.1 (10) $\frac{1}{\eta} - 1 \sim N$ の関係 (大船渡港記録の EW 成分の場合)



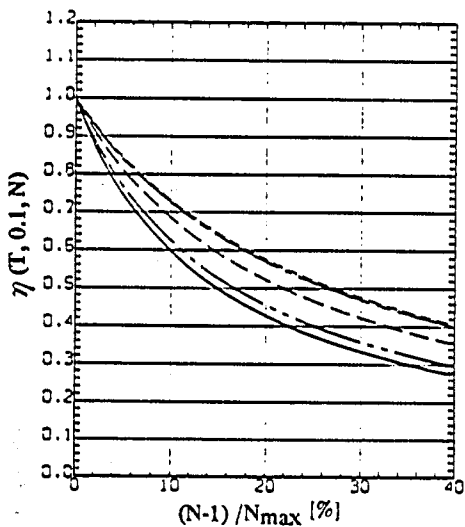
(a) $h = 0.0$ の場合



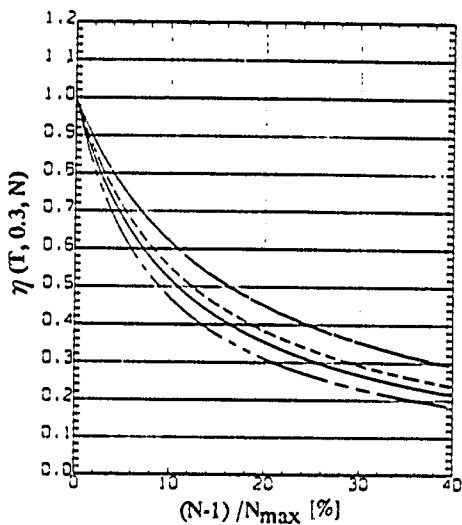
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

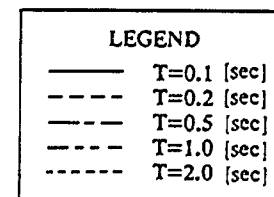
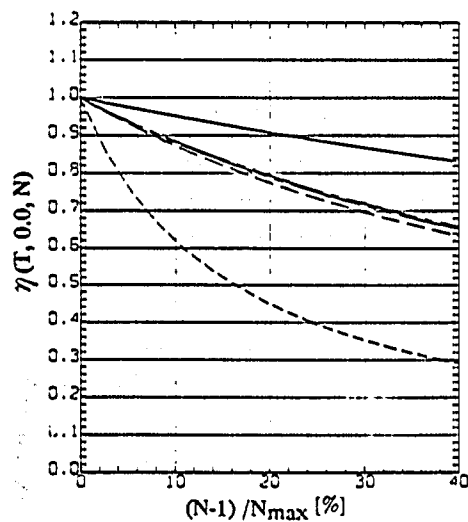
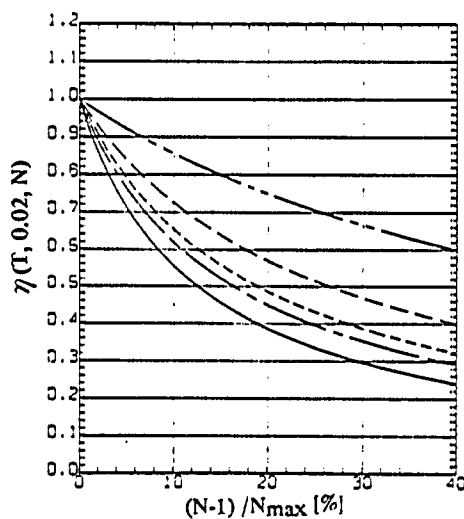


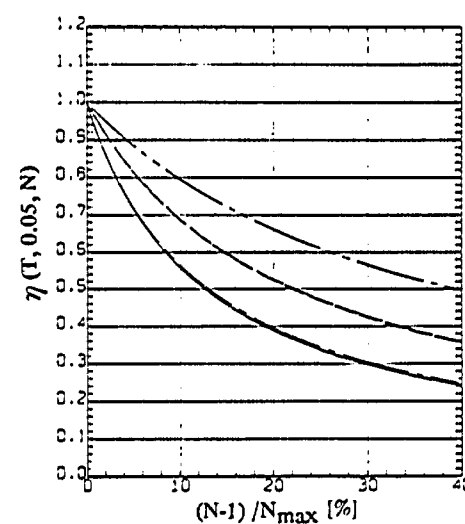
図 4.2 (1) 式 (4.2) の試算例 (幌満橋記録の TR 成分の場合)



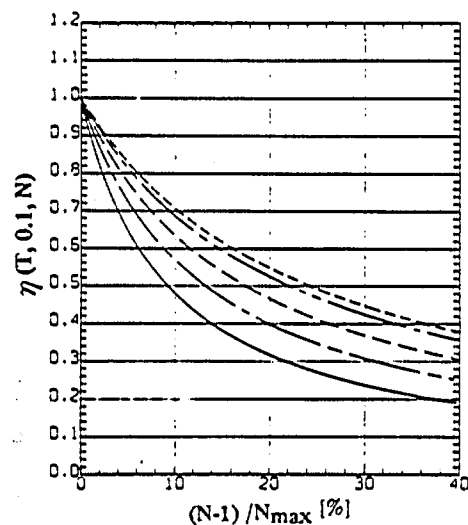
(a) $h = 0.0$ の場合



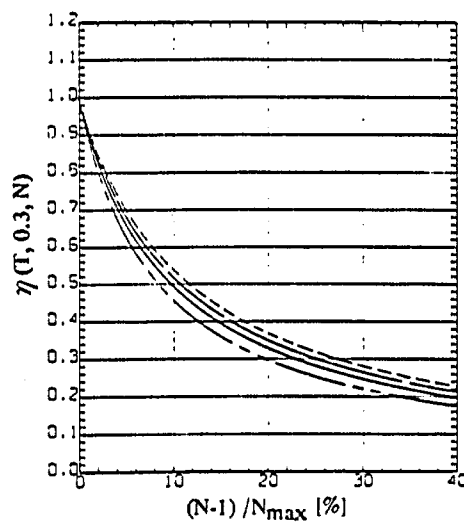
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

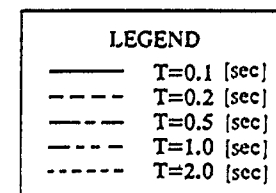
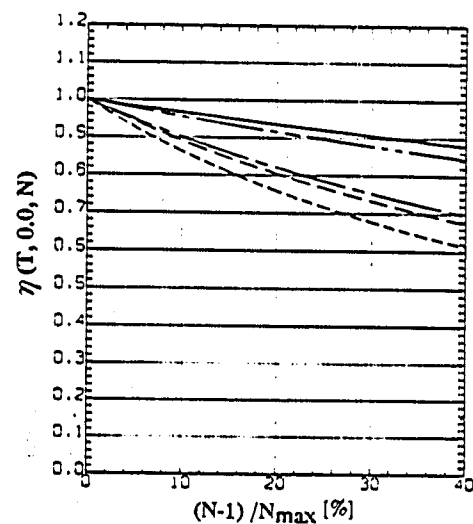
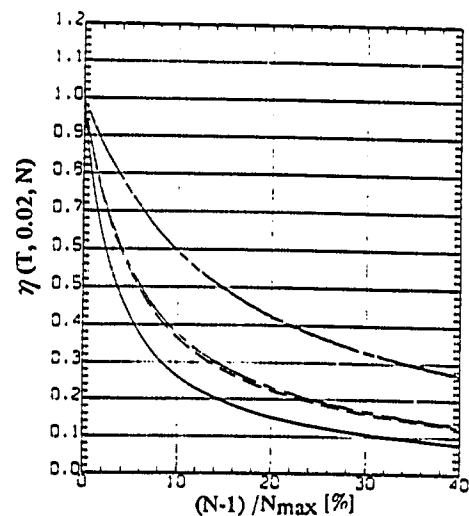


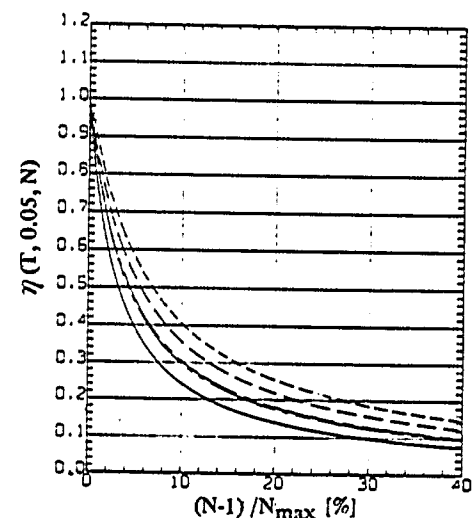
図 4.2 (2) 式 (4.2) の試算例 (帆満橋記録の LG 成分の場合)



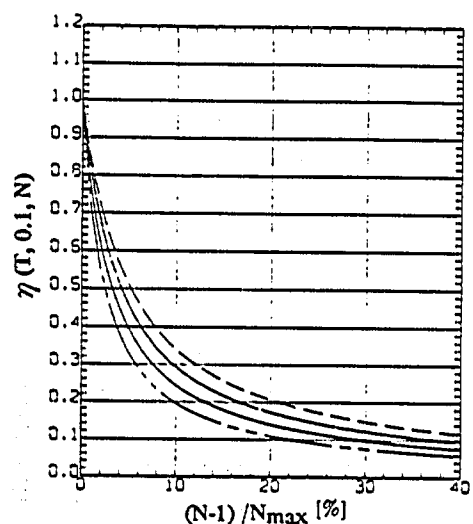
(a) $h = 0.0$ の場合



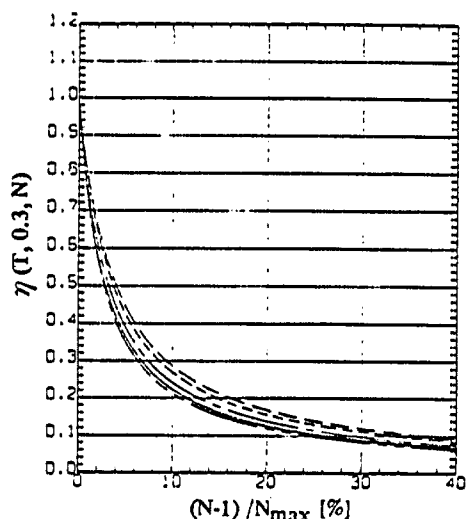
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

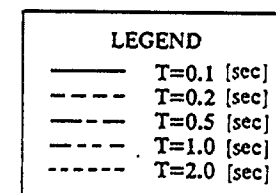
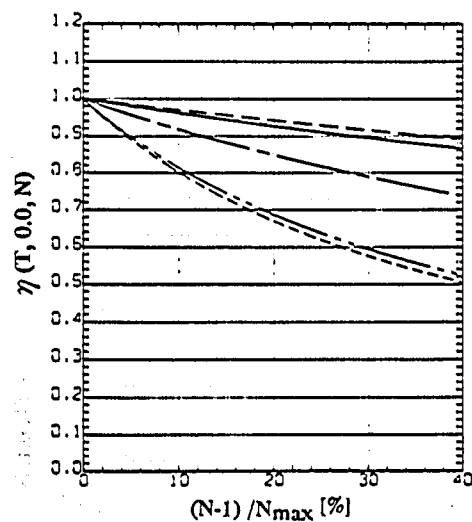
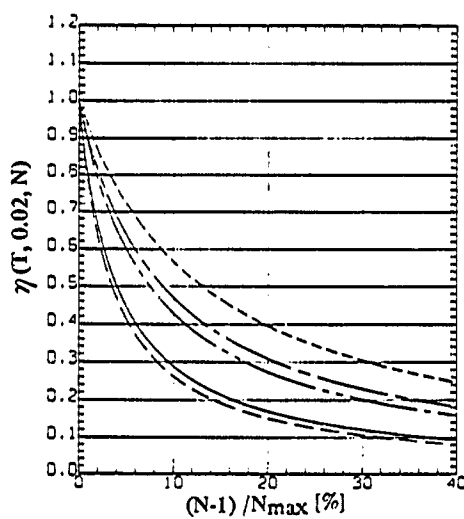


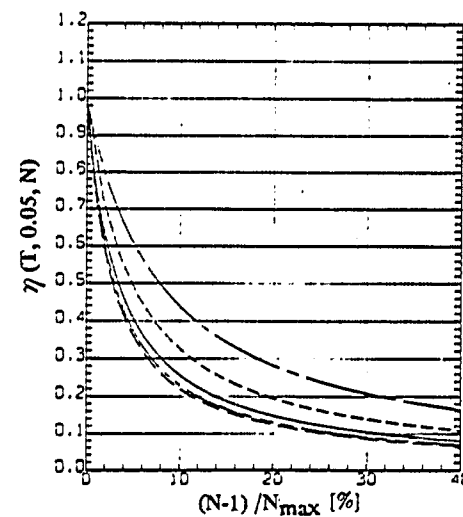
図 4.2 (3) 式 (4.2) の試算例 (板島橋記録の TR 成分の場合)



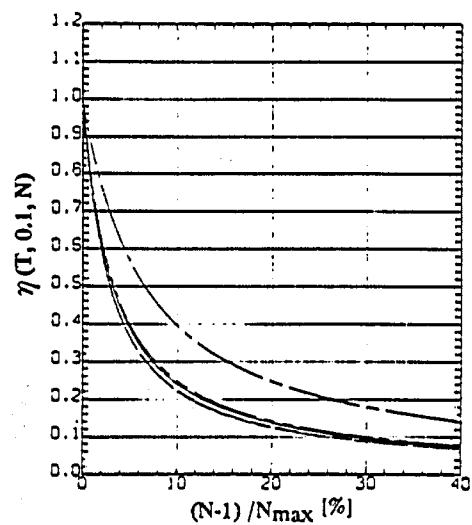
(a) $h = 0.0$ の場合



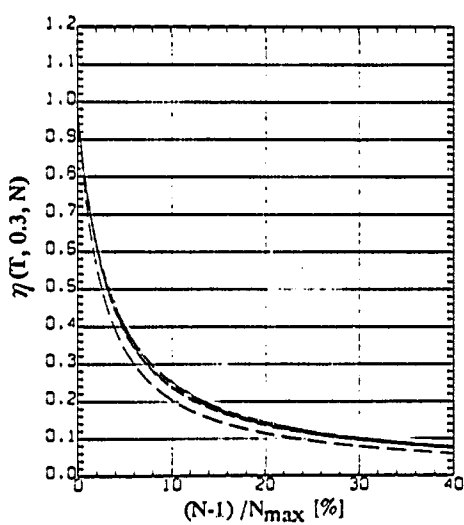
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

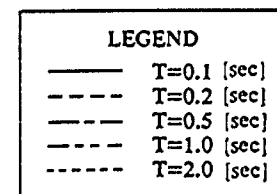
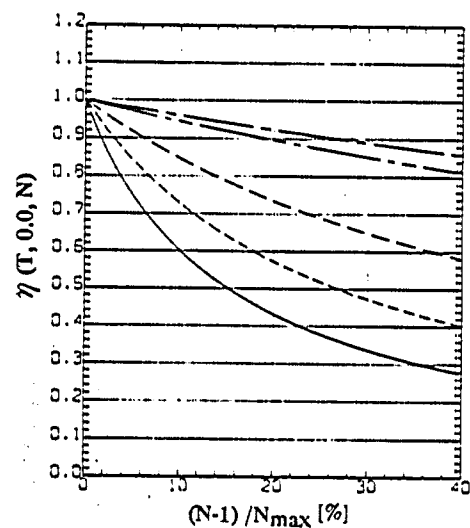
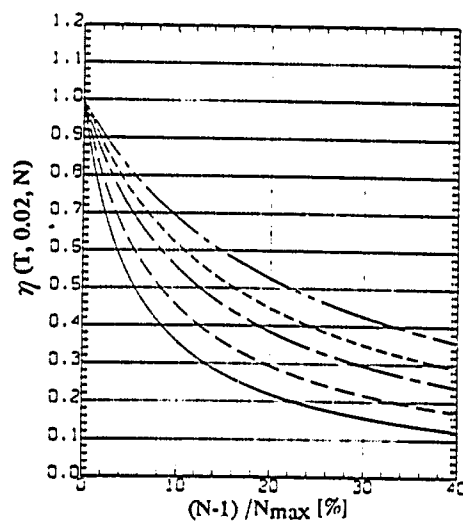


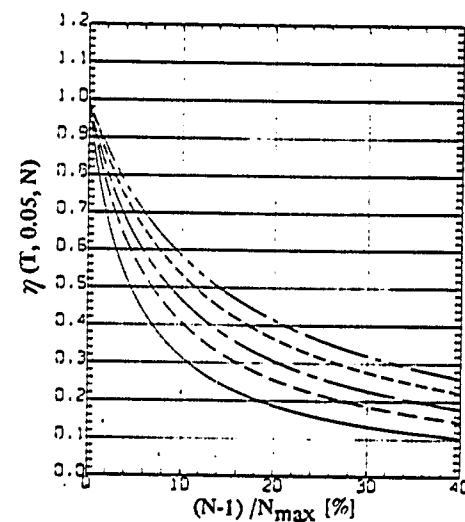
図 4.2(4) 式 (4.2) の試算例 (板島橋記録の LG 成分の場合)



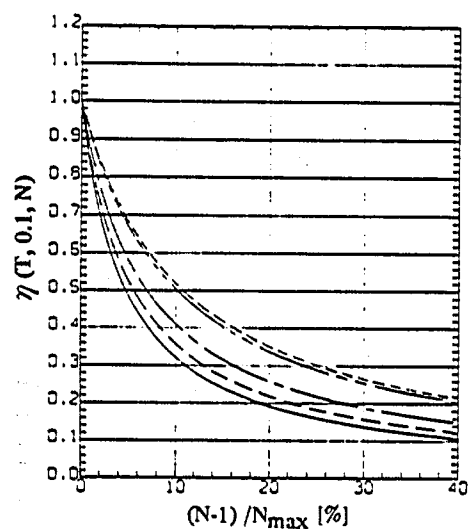
(a) $h = 0.0$ の場合



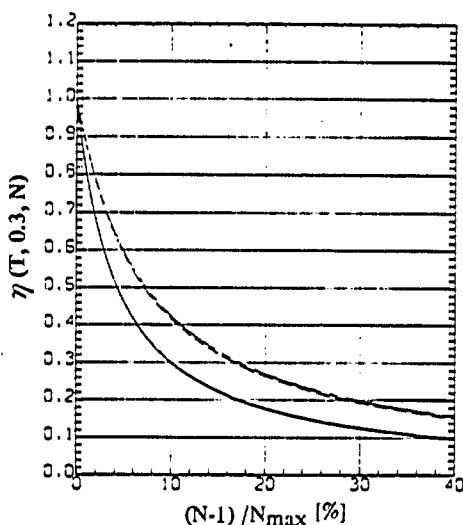
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

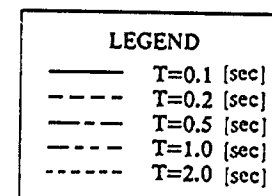
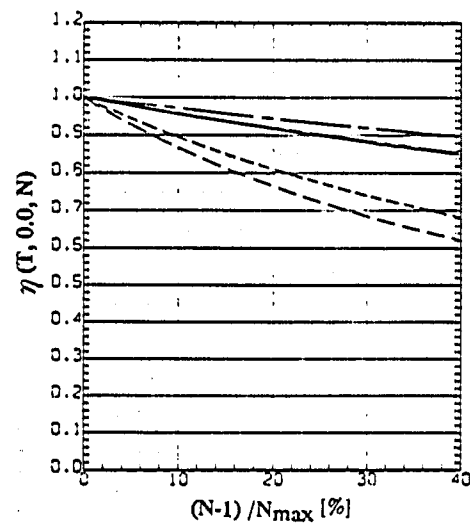
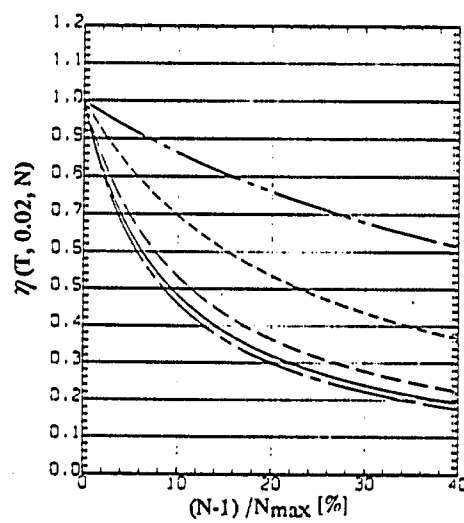


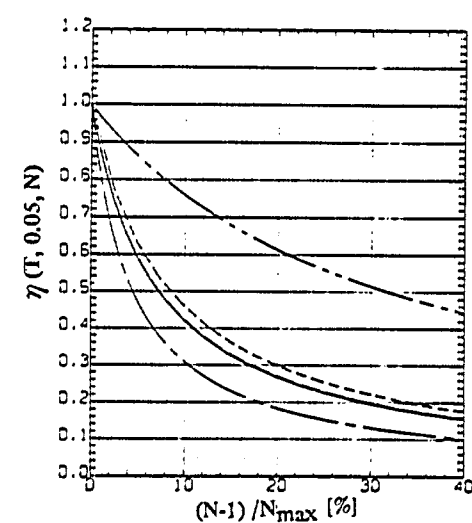
図 4.2 (5) 式 (4.2) の試算例 (開北橋記録の LG 成分の場合)



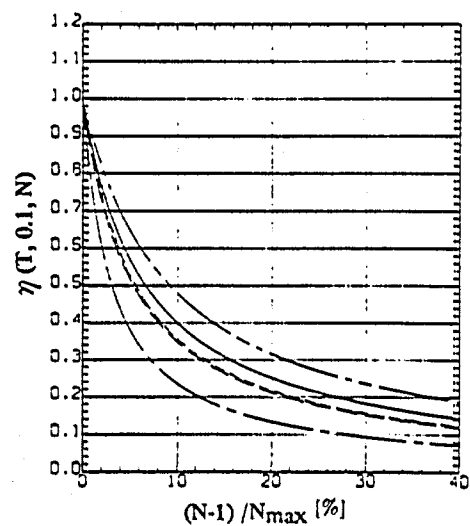
(a) $h = 0.0$ の場合



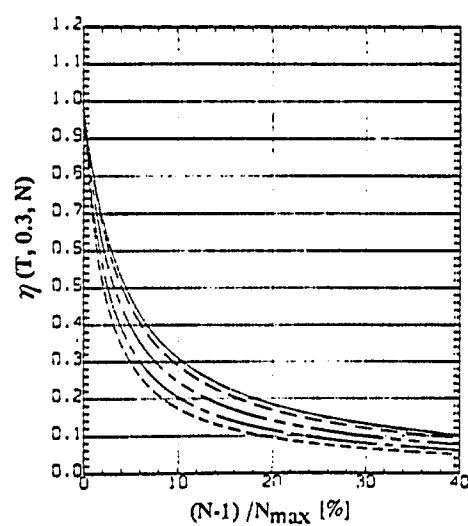
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

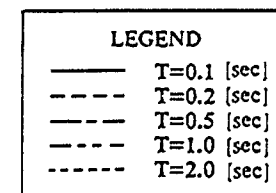
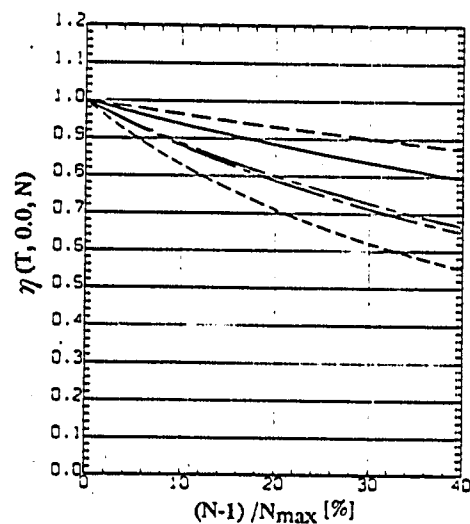
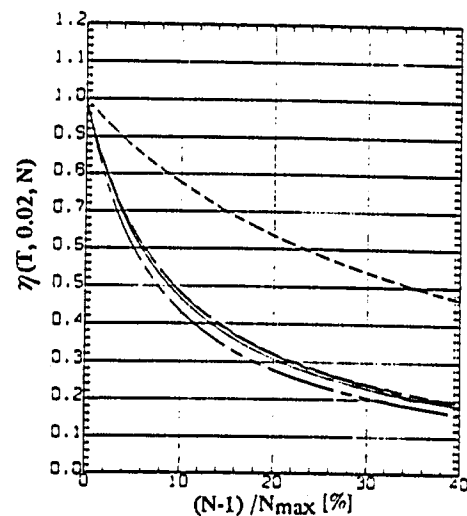


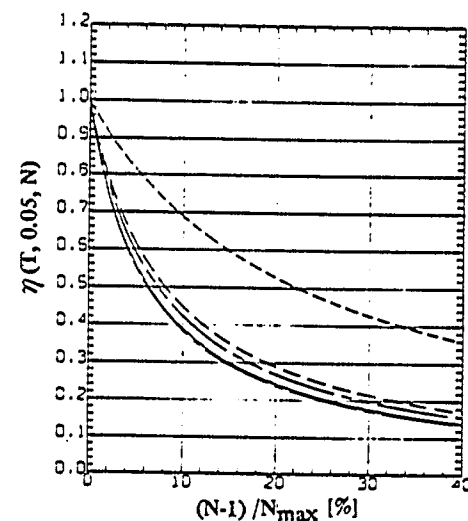
図 4.2(6) 式 (4.2) の試算例 (開北橋記録の TR 成分の場合)



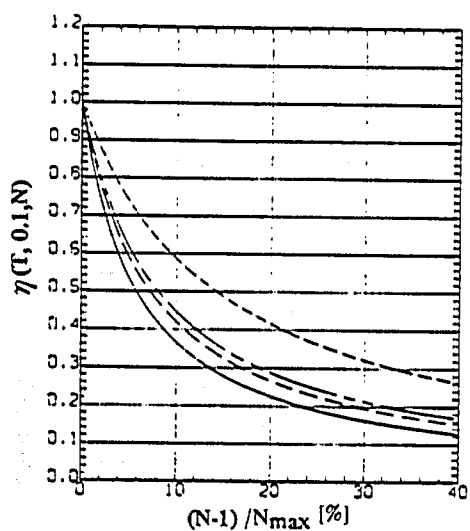
(a) $h = 0.0$ の場合



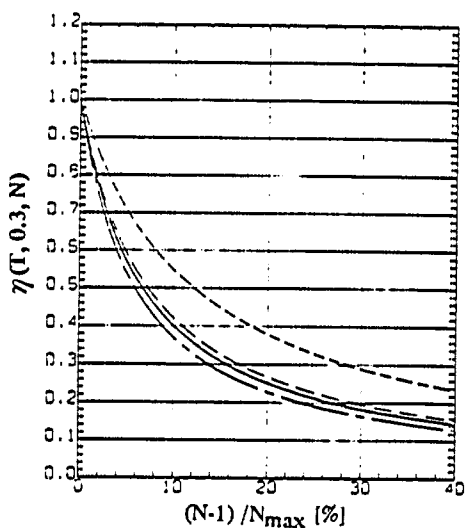
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

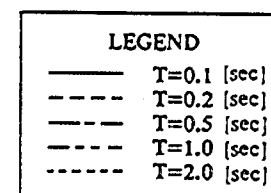
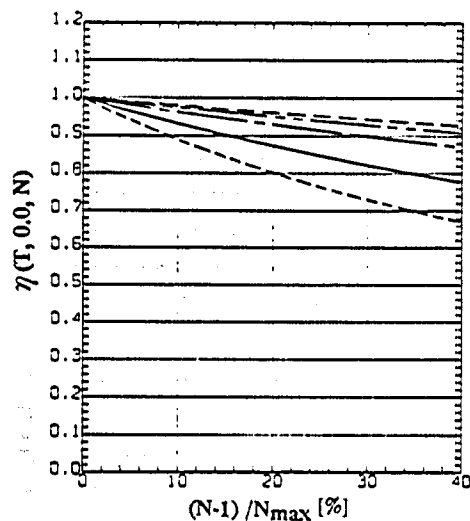
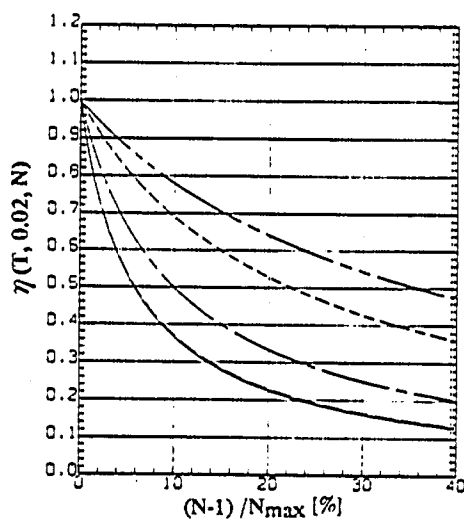


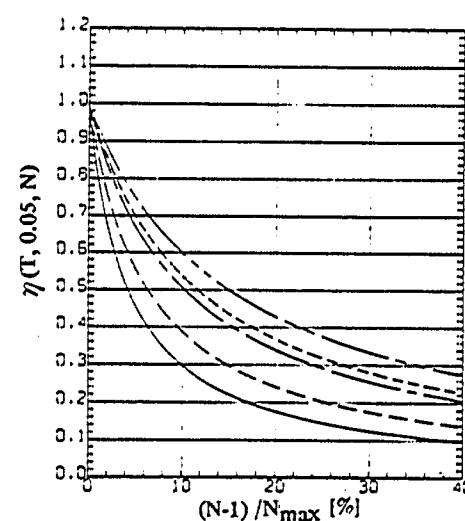
図 4.2(7) 式 (4.2) の試算例 (釧路港記録の EW 成分の場合)



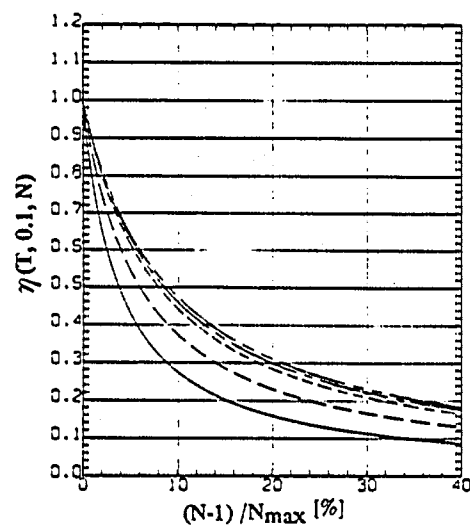
(a) $h = 0.0$ の場合



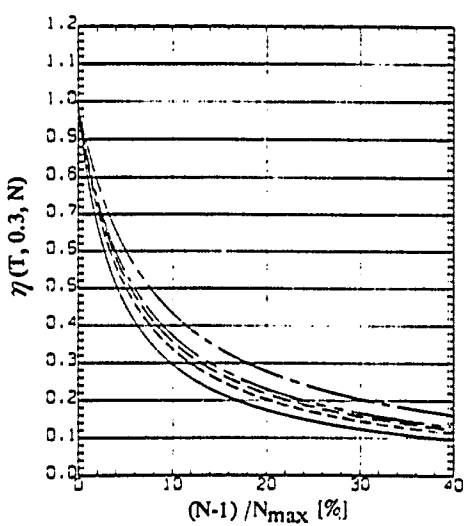
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

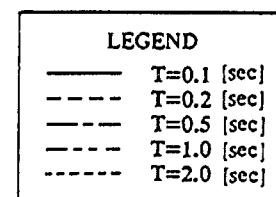
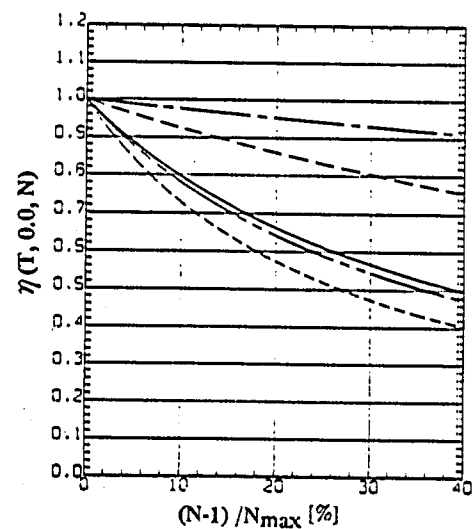
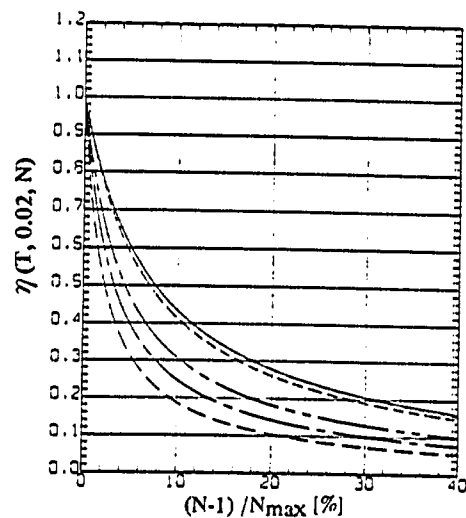


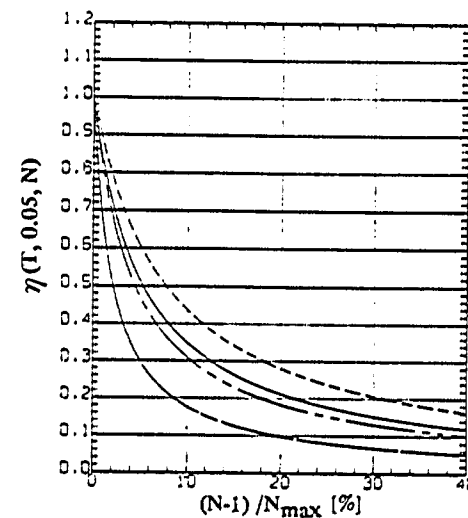
図 4.2(8) 式 (4.2) の試算例 (釧路港記録の NS 成分の場合)



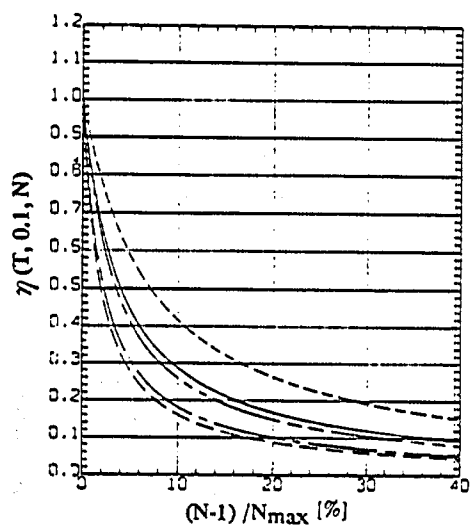
(a) $h = 0.0$ の場合



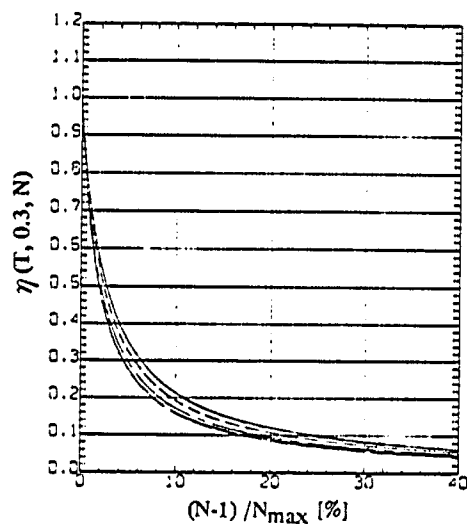
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

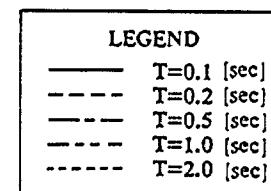
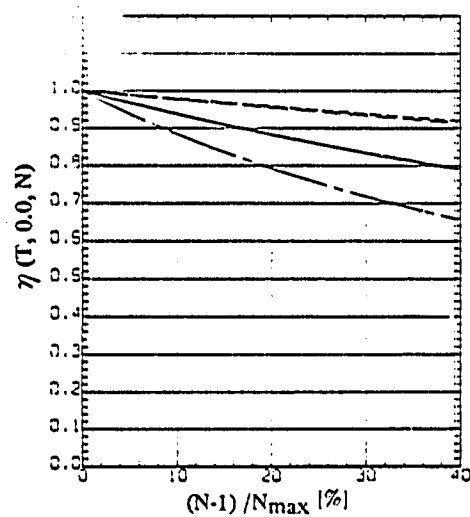
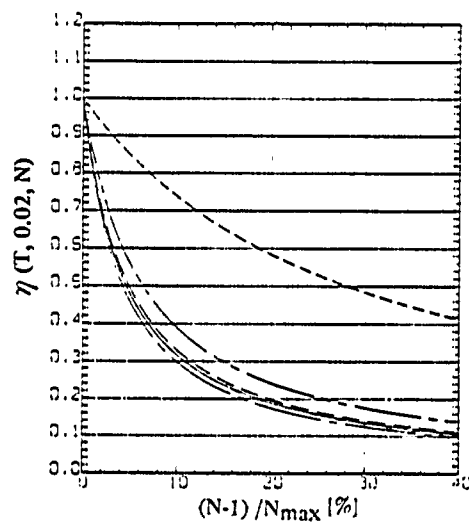


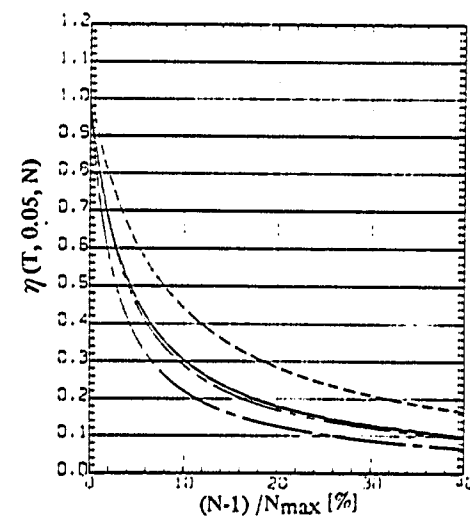
図 4.2(9) 式 (4.2) の試算例 (大船渡港記録の NS 成分の場合)



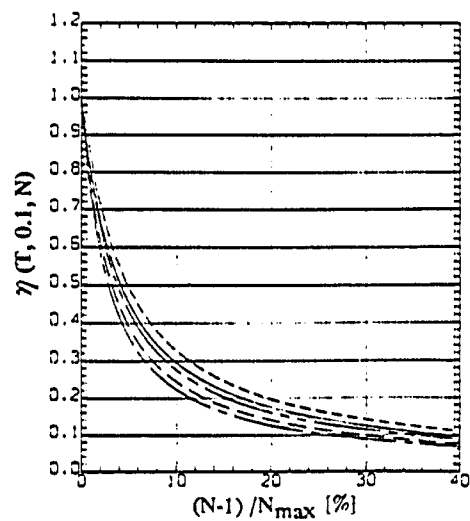
(a) $h = 0.0$ の場合



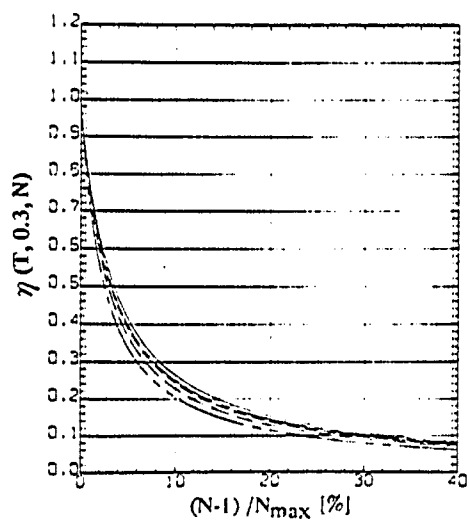
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

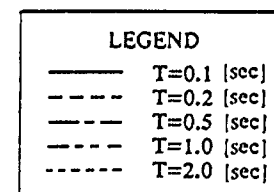


図 4.2(0) 式 (4.2) の試算例 (大船渡港記録の EW 成分の場合)

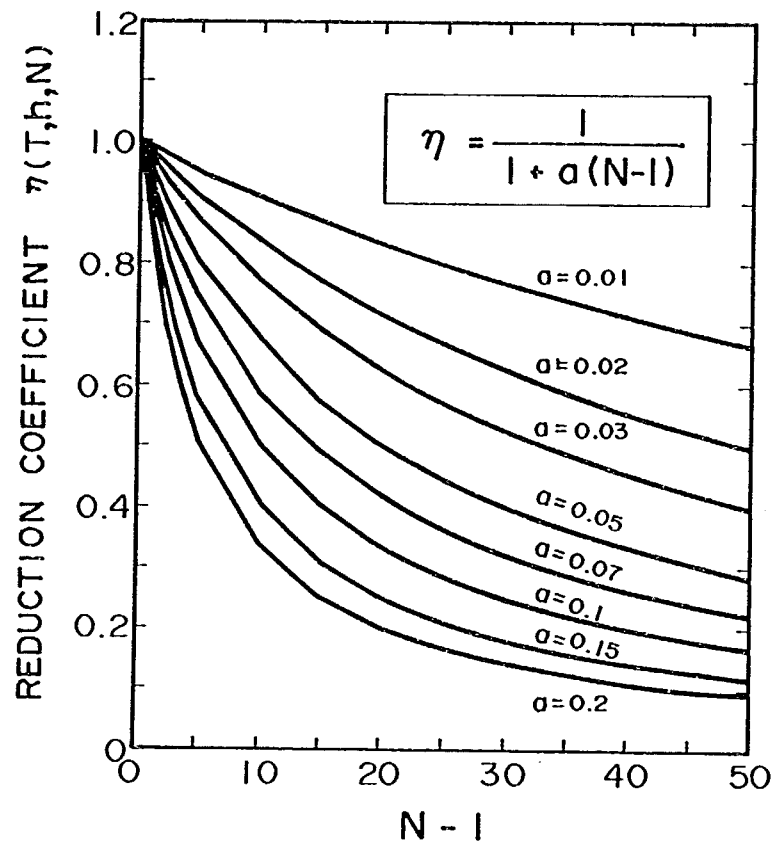
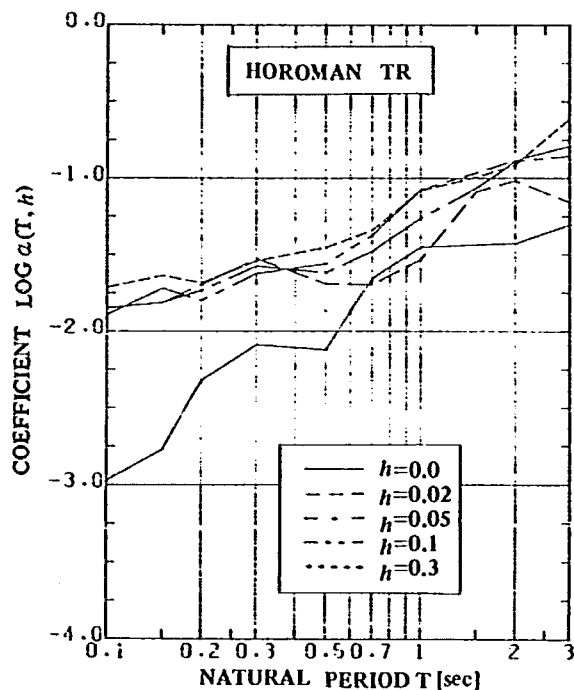
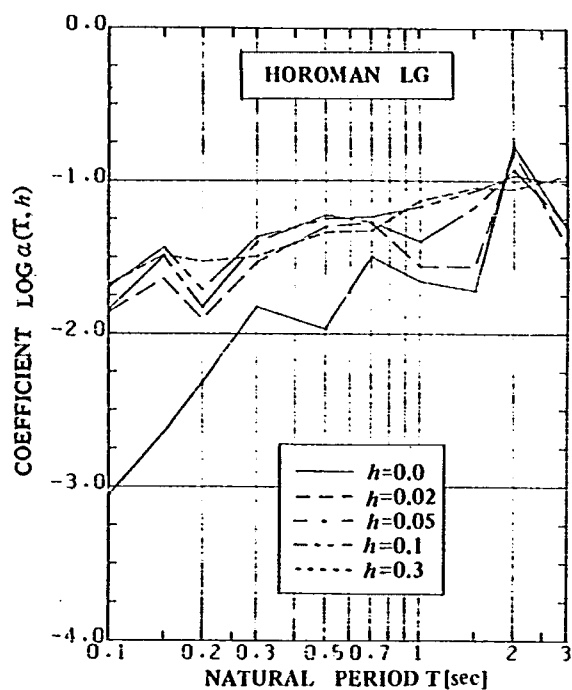


図 4.3 式 (4.1) により $\eta \sim a$ の関係

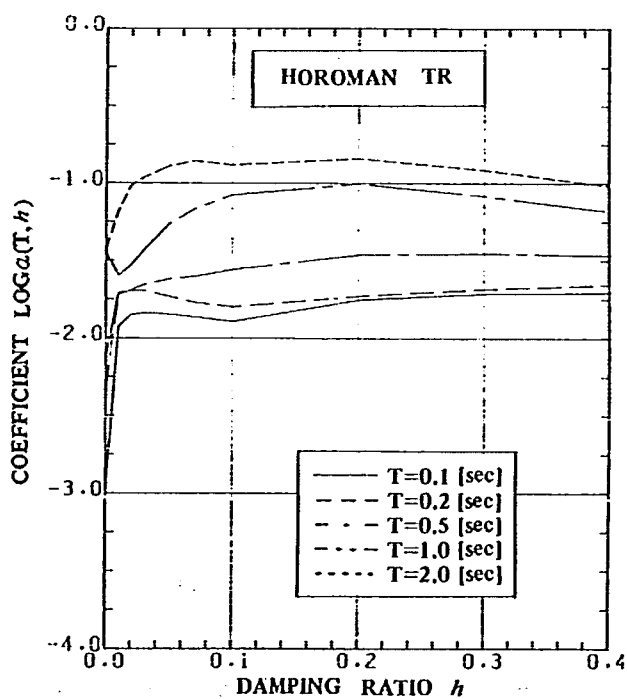


(a) TR 成分

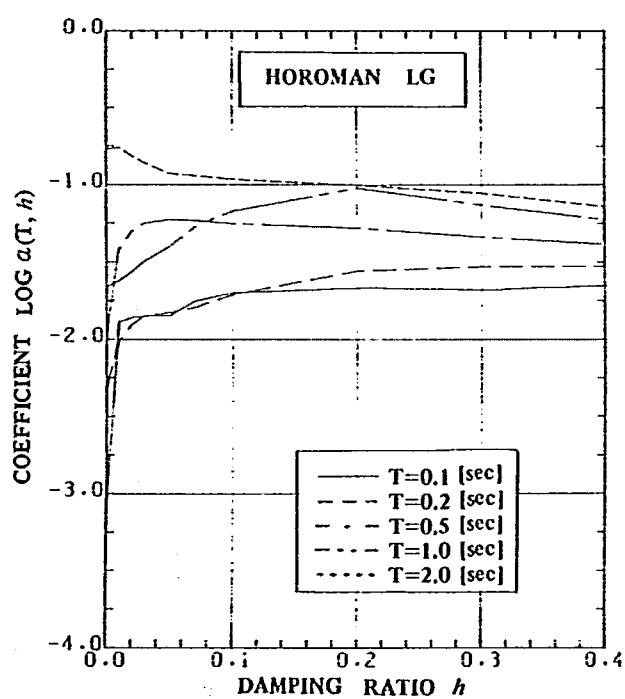


(b) LG 成分

図 4.4(1) $\log a \sim T$ の関係 (梶満橋記録の場合)

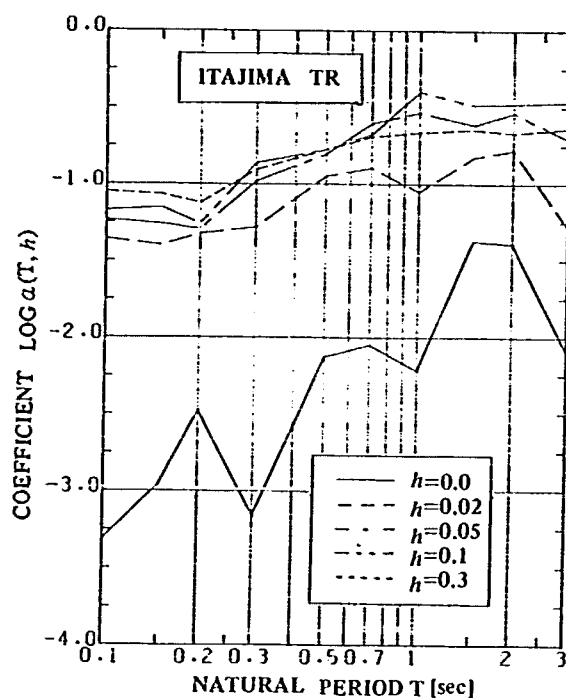


(a) TR 成分

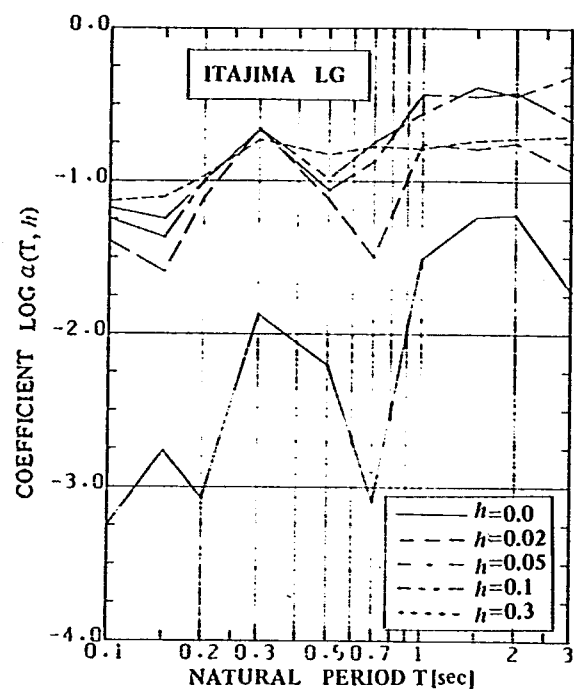


(b) LG 成分

図 4.4(2) $\log a \sim h$ の関係 (梶満橋記録の場合)

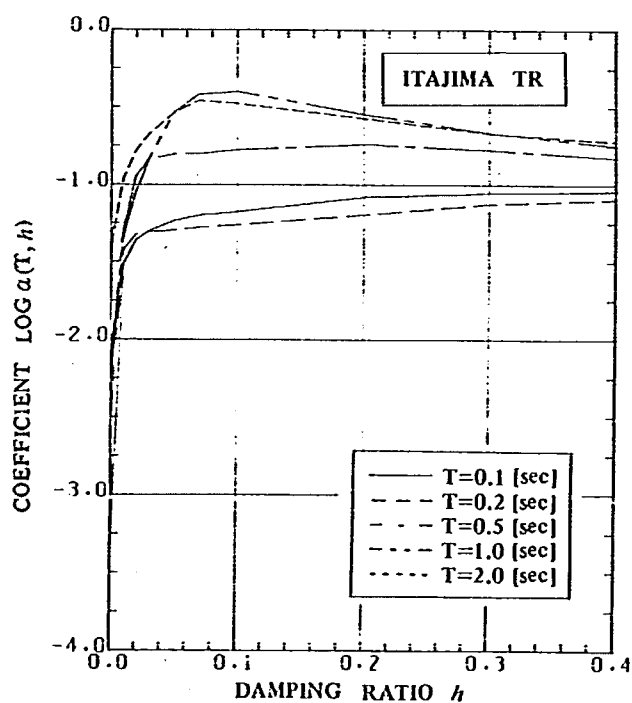


(a) TR 成分

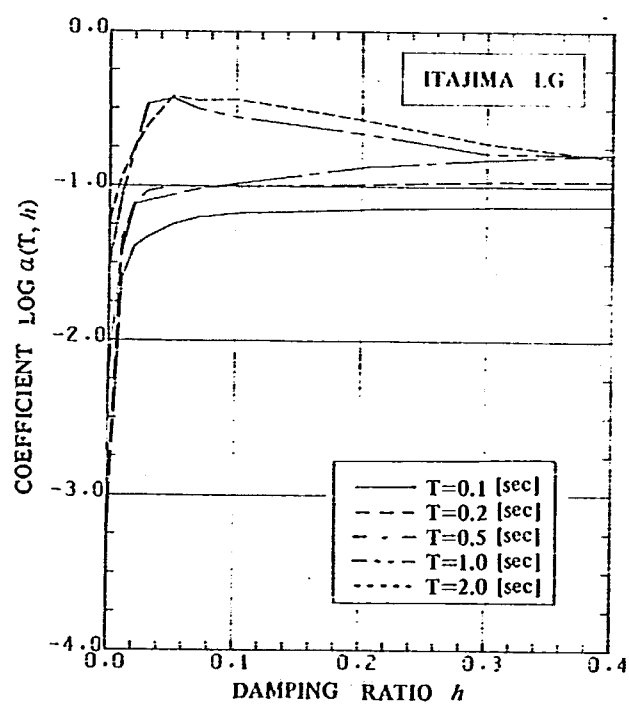


(b) LG 成分

図 4.5(1) $\log a \sim T$ の関係 (板島橋記録の場合)

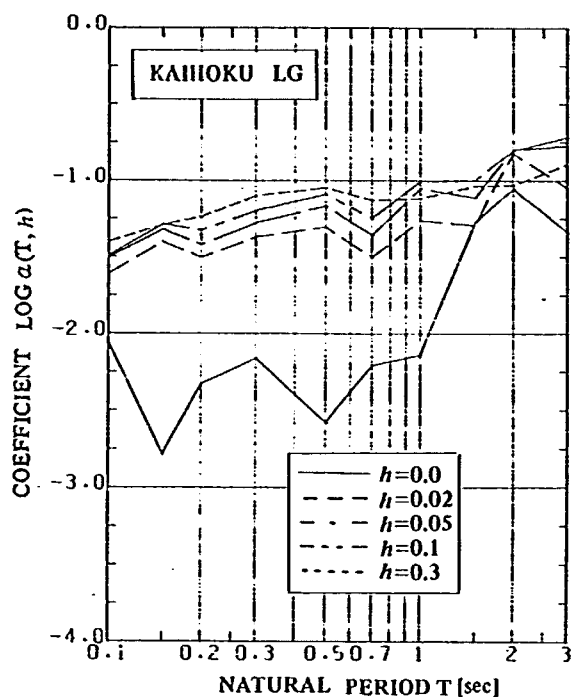


(a) TR 成分

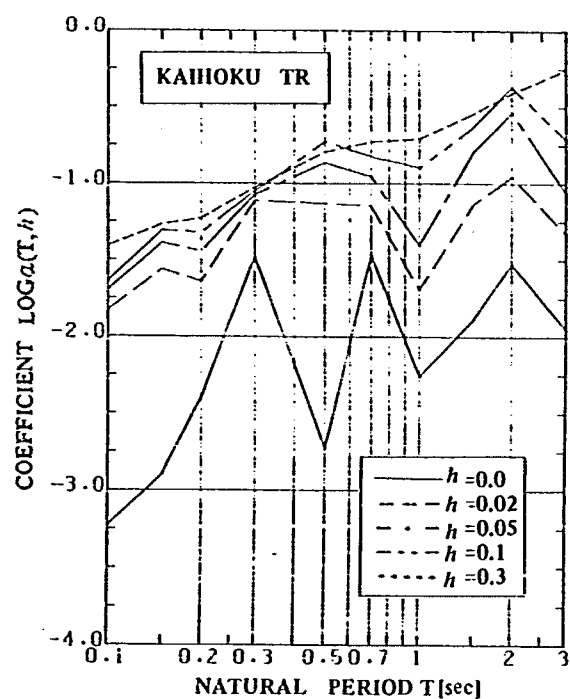


(b) LG 成分

図 4.5(2) $\log a \sim h$ の関係 (板島橋記録の場合)

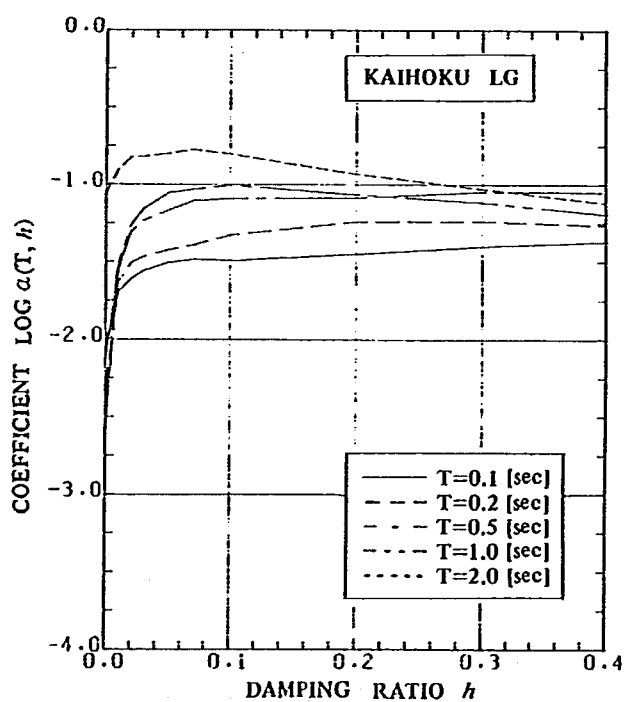


(a) LG 成分

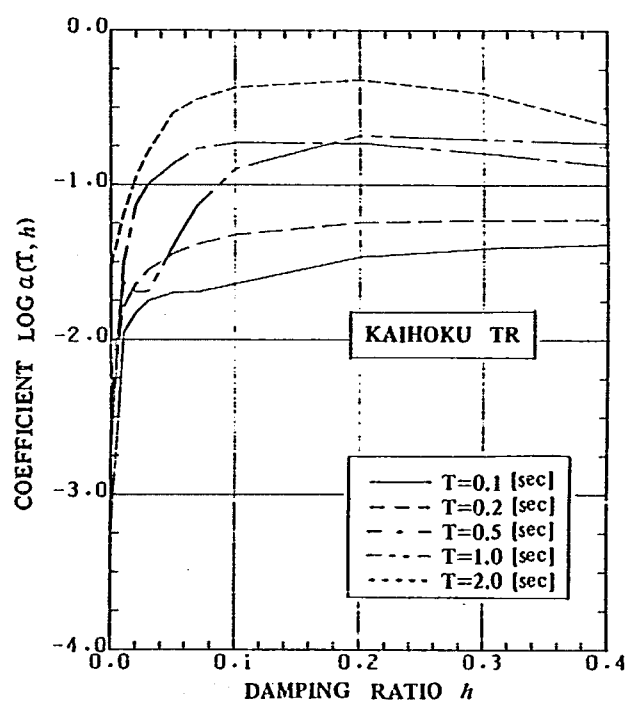


(b) TR 成分

図 4.6(1) $\log a \sim T$ の関係 (開北橋記録の場合)

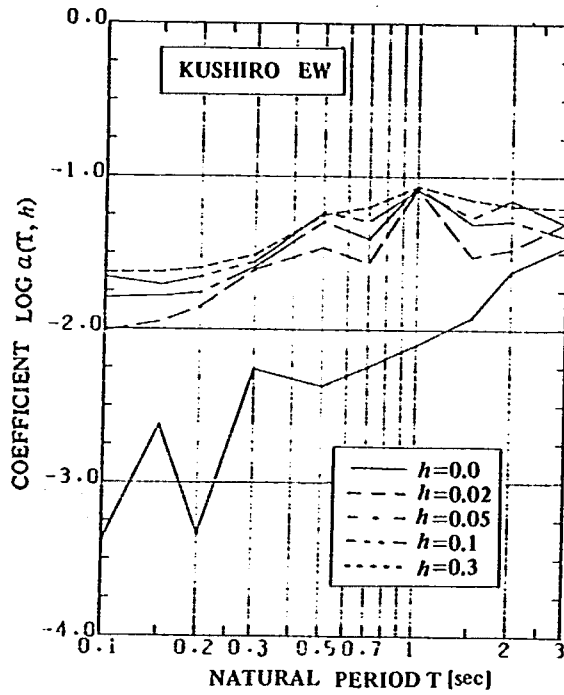


(a) LG 成分

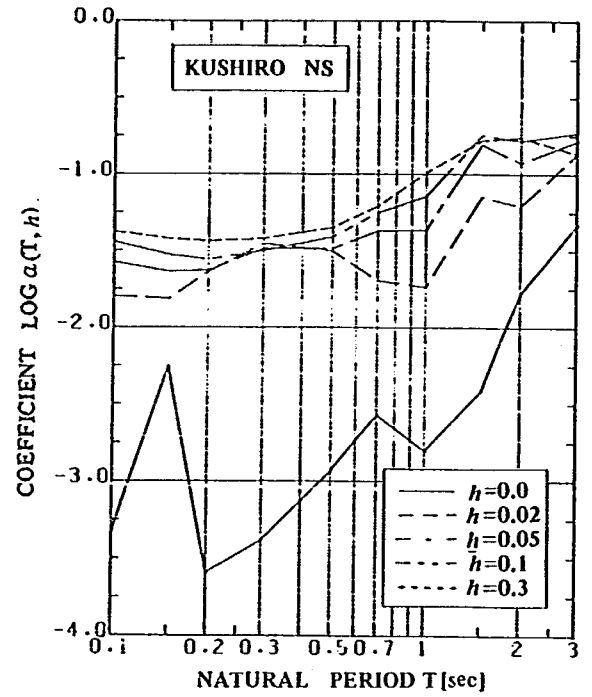


(b) TR 成分

図 4.6(2) $\log a \sim h$ の関係 (開北橋記録の場合)

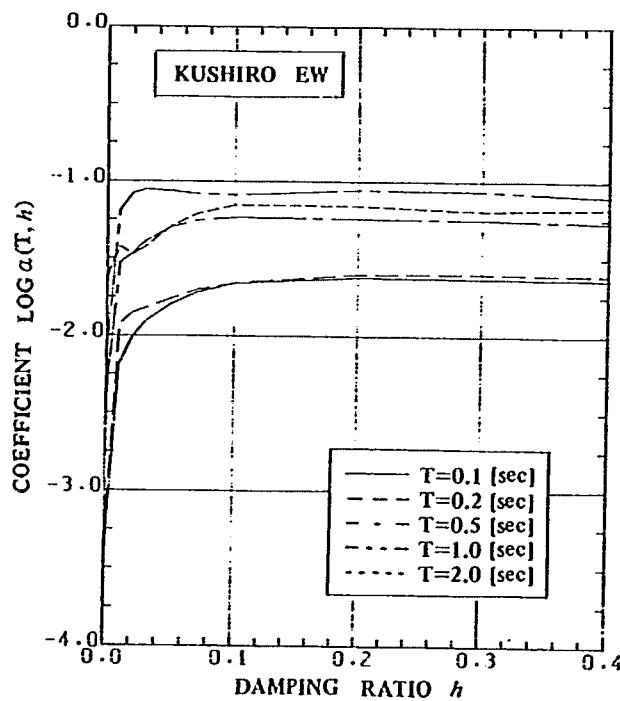


(a) EW成分

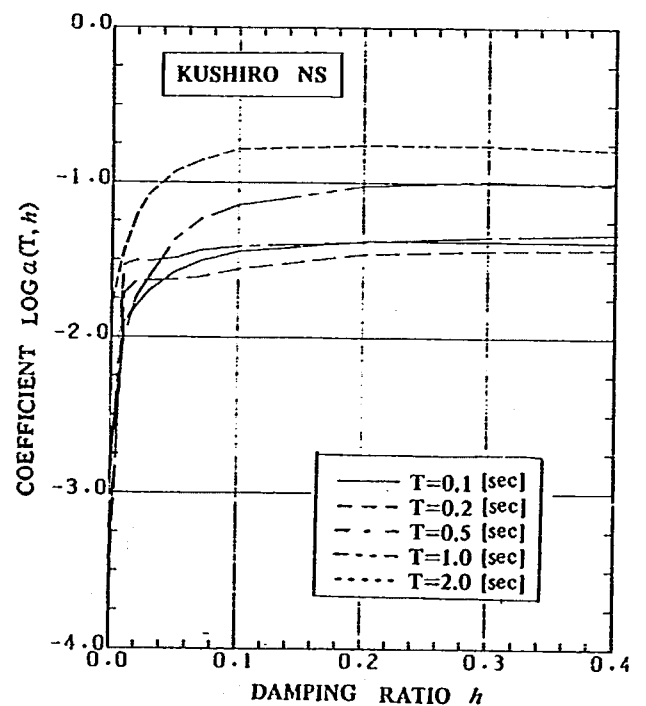


(b) NS成分

図 4.7(1) $\log a \sim T$ の関係 (釧路港記録の場合)

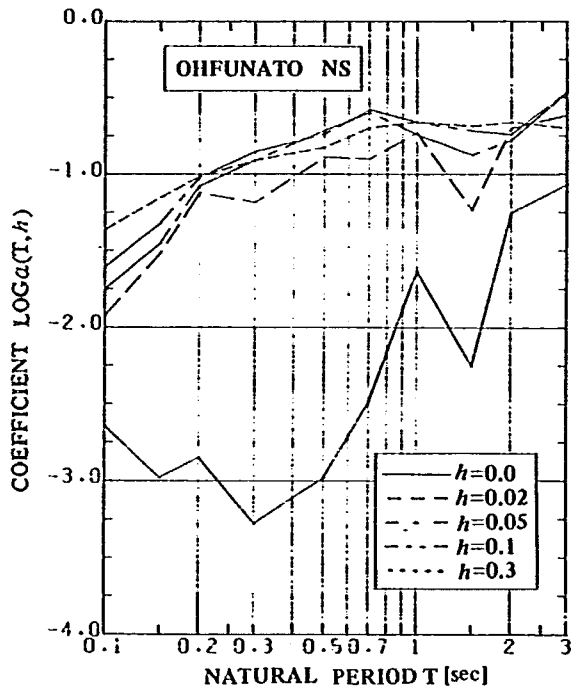


(a) EW成分

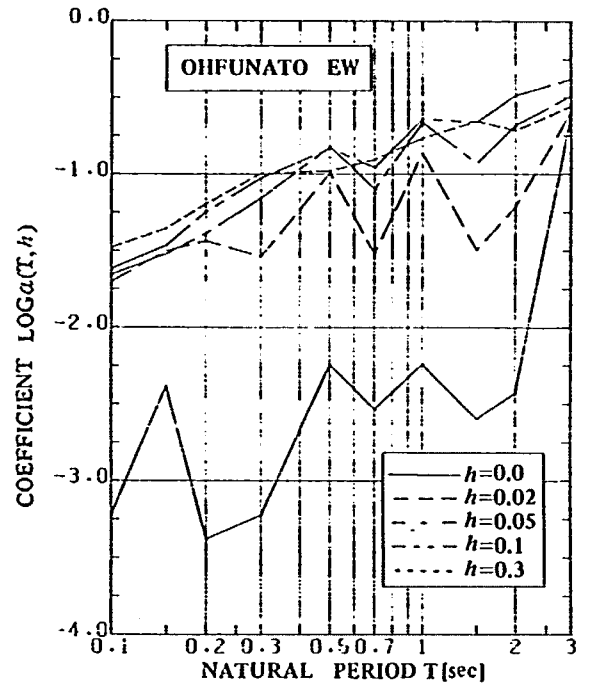


(b) NS成分

図 4.7(2) $\log a \sim h$ の関係 (釧路港記録の場合)

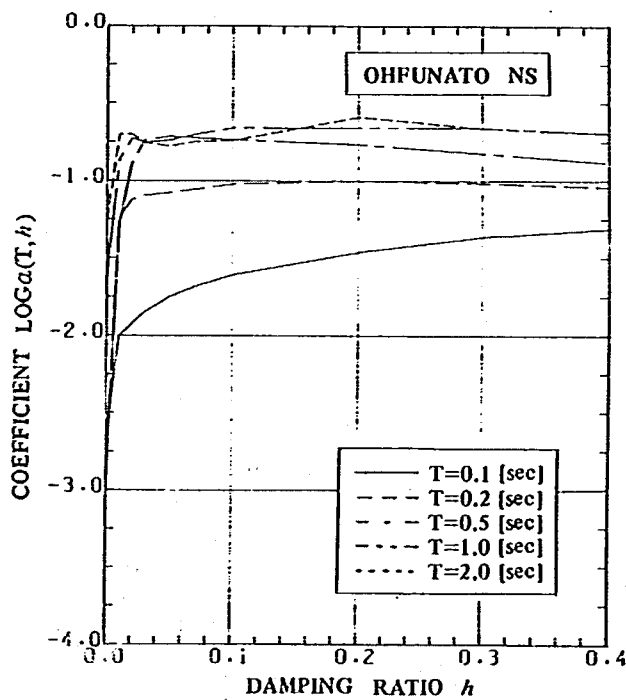


(a) NS 成分

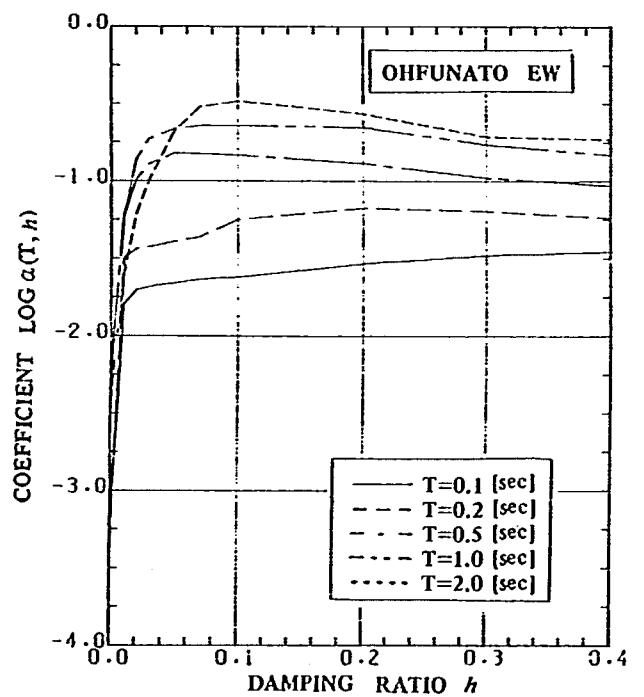


(b) EW 成分

図 4.8(1) $\log a \sim T$ の関係 (大船渡港記録の場合)

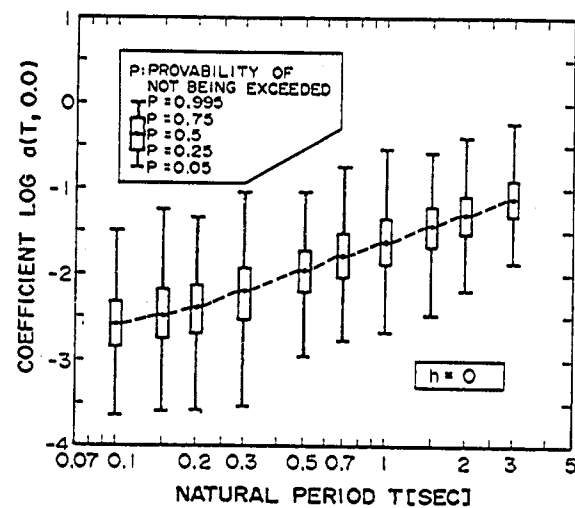


(a) NS 成分

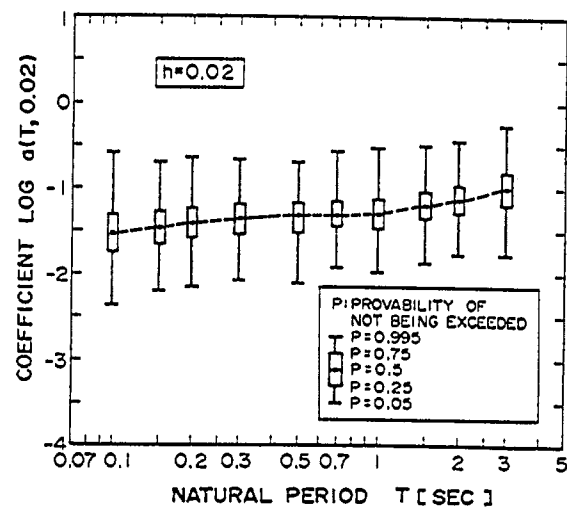


(b) EW 成分

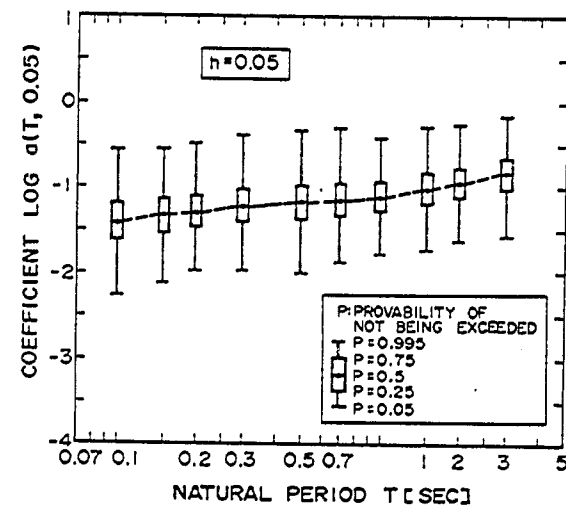
図 4.8(2) $\log a \sim h$ の関係 (大船渡港記録の場合)



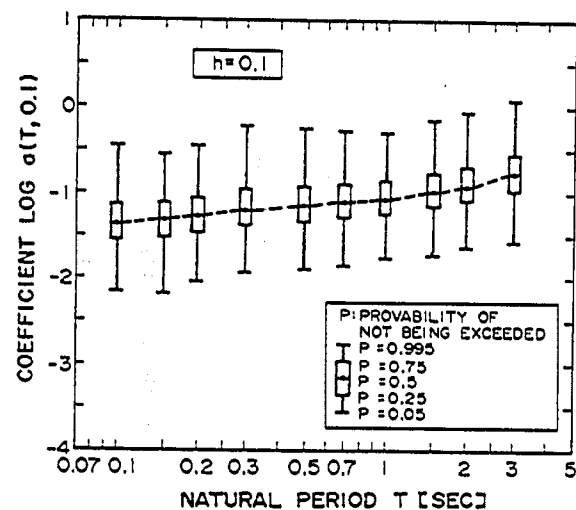
(a) $h = 0.0$ の場合



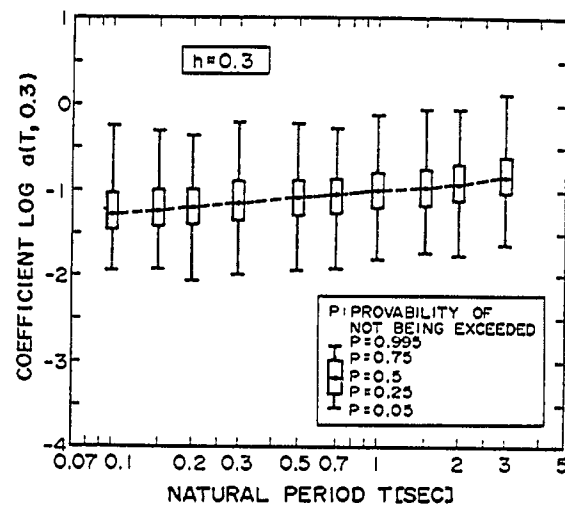
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合



(e) $h = 0.3$ の場合

図 4.9 $\log a$ と中央値, 4分位値 およびはずれ値

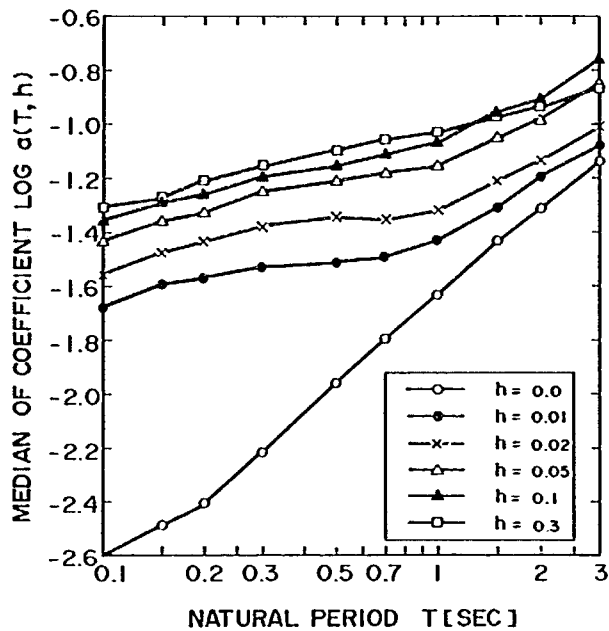


図 4.10 $\log a(T, h) \sim T$ の関係

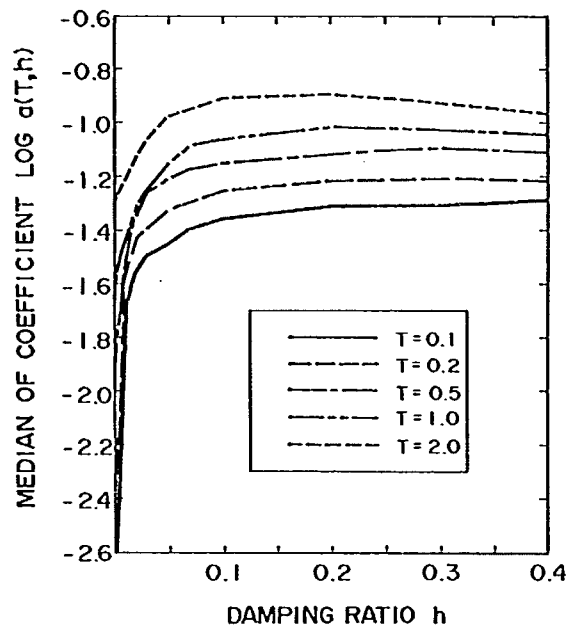


図 4.11 $\log a(T, h) \sim h$ の関係

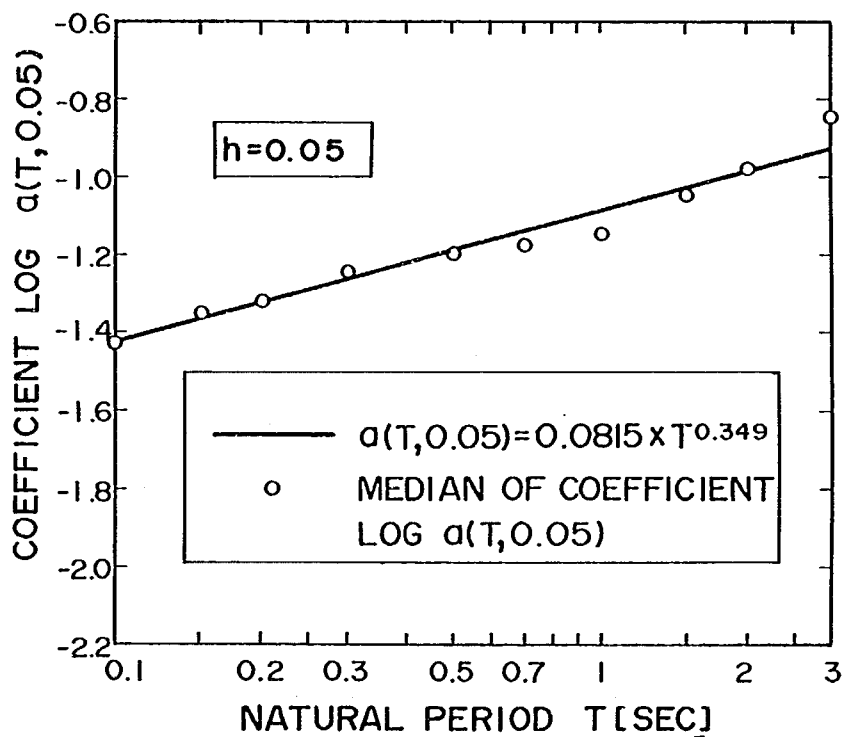
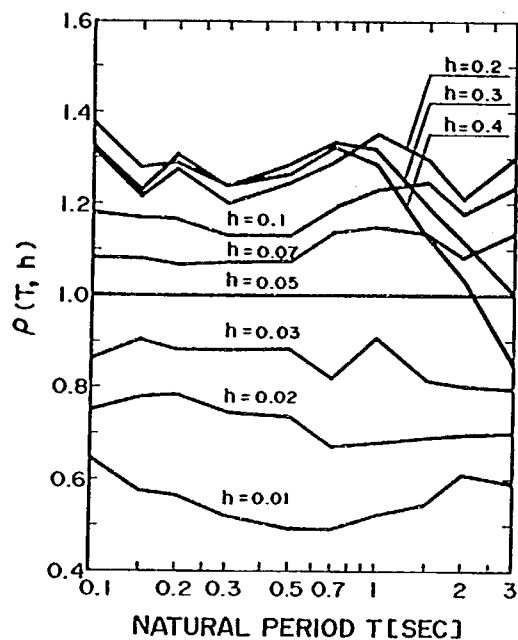
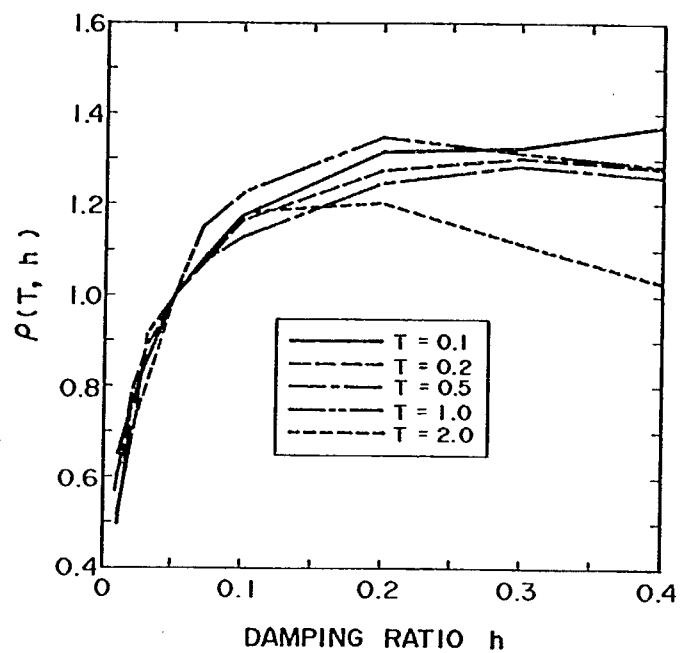


図 4.12 係数 $a(T, 0.05)$ と式 (4.4) による近似式の比較



(a) $\rho(T, h) \sim$ 固有周期 T の関係



(b) $\rho(T, h) \sim$ 減衰定数 h の関係

図 4.13 $\rho(T, h) \sim T \sim h$ の関係

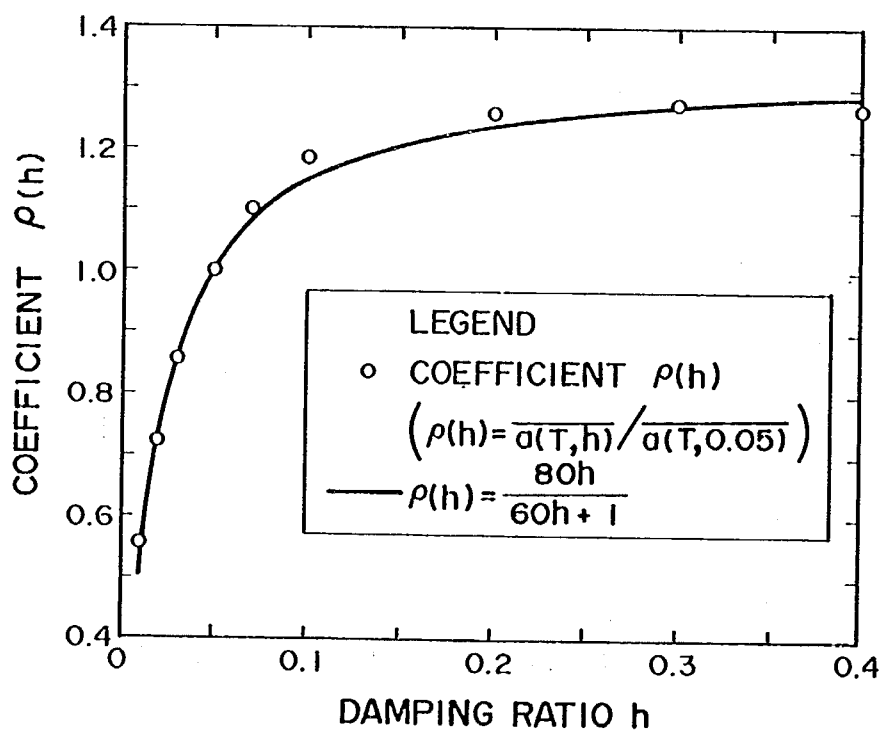
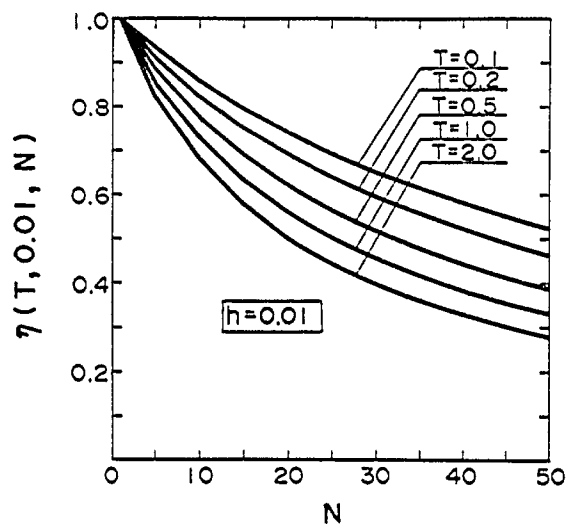
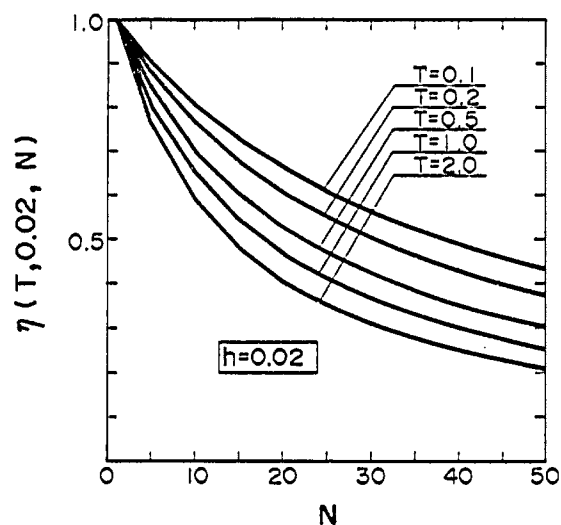


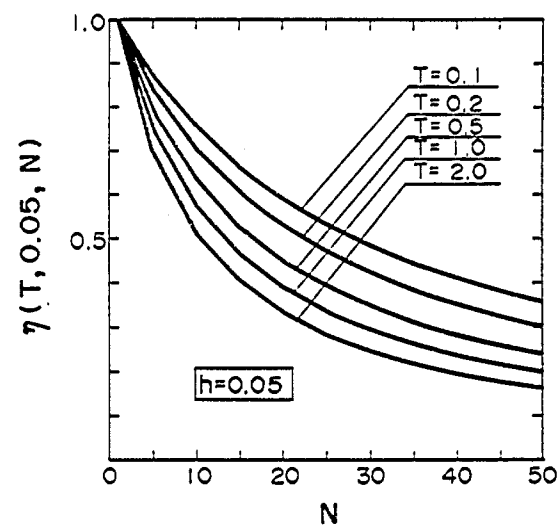
図 4.14 係数 $\rho(h) \sim h$ の関係



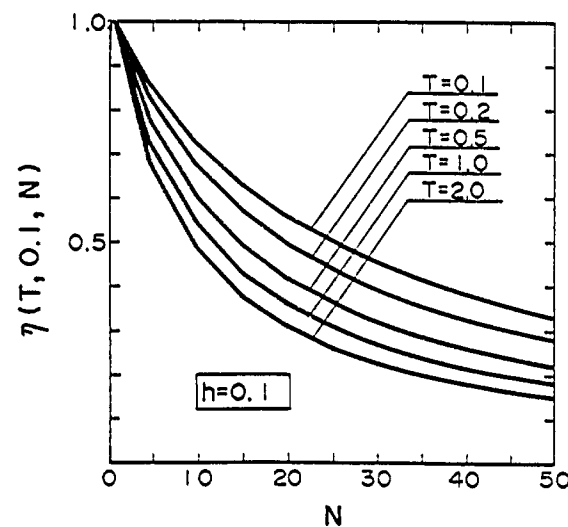
(a) $h = 0.01$ の場合



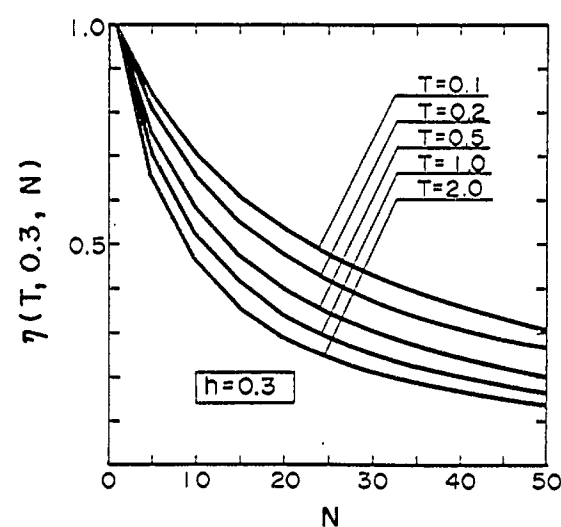
(b) $h = 0.02$ の場合



(c) $h = 0.05$ の場合



(d) $h = 0.1$ の場合

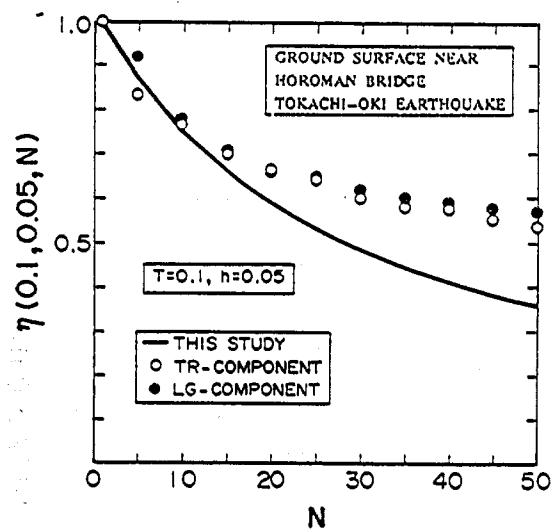


(e) $h = 0.3$ の場合

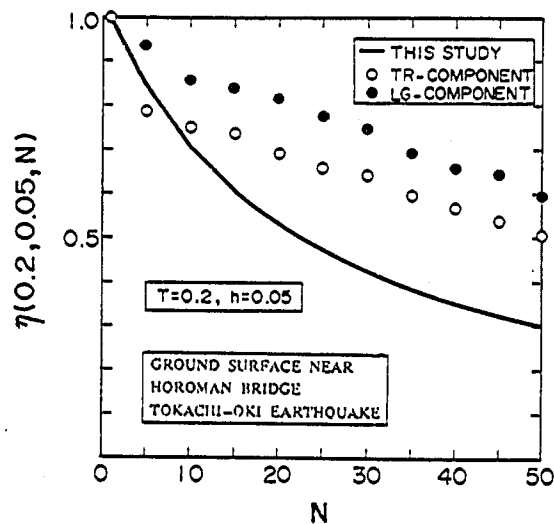
図 4.15 式 (4.7) による低減係数 $\eta(T, h, N)$ の試算例

5. 試 算 例

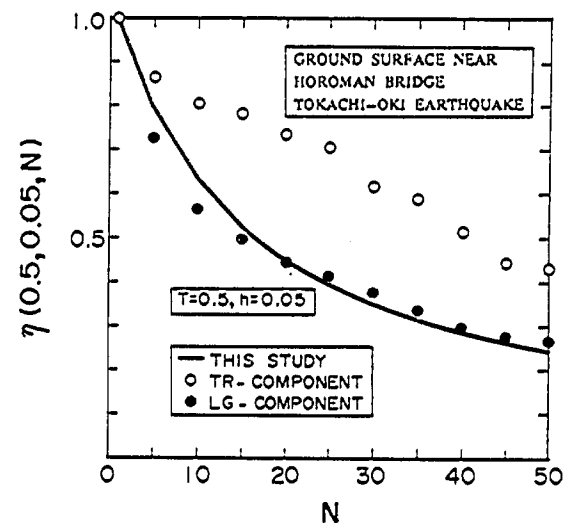
式(4.1)および式(4.7)を用いて代表的な強震記録に対して低減係数 $\eta(T, h, N)$ を求め、これを実際に応答スペクトルから求めた値と比較した結果が図5.1～図5.5である。ここで、対象としたのは表3.1に示した強震記録であり、いずれも減衰定数 $h=0.05$ の場合を示している。これに対して、開北橋記録の場合を例に取り、減衰定数が0.02, 0.1, 0.3と変わった場合の影響を示した結果が図5.6～図5.8である。個々の記録についてみると、式(4.1)および式(4.7)で予測した低減係数は実測値と多少異なる場合もあるが、全体としては、繰返し回数による応答スペクトルの低減の様子をよく示しているといえることができる。



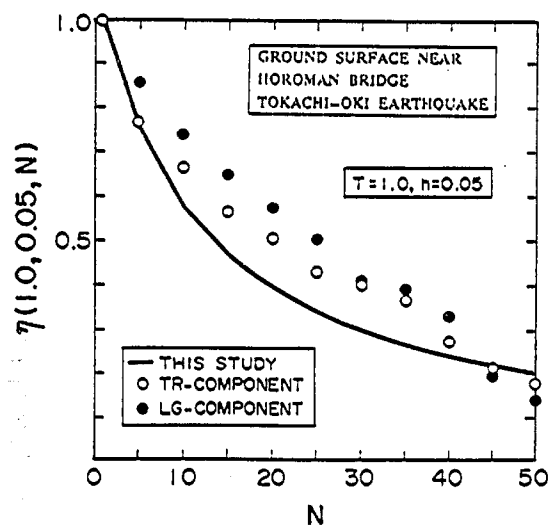
(a) $T = 0.1$ 秒の場合



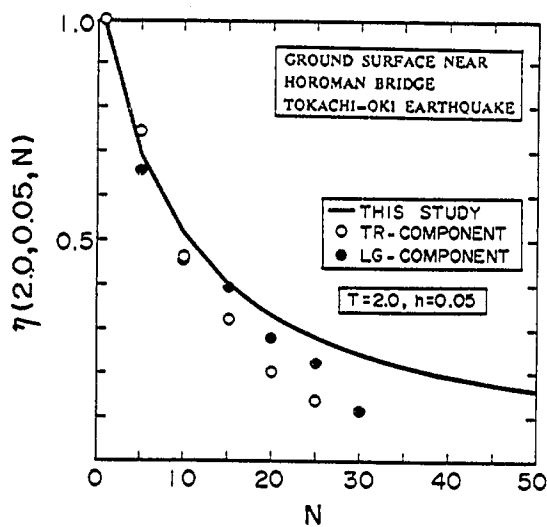
(b) $T = 0.2$ 秒の場合



(c) $T = 0.5$ 秒の場合

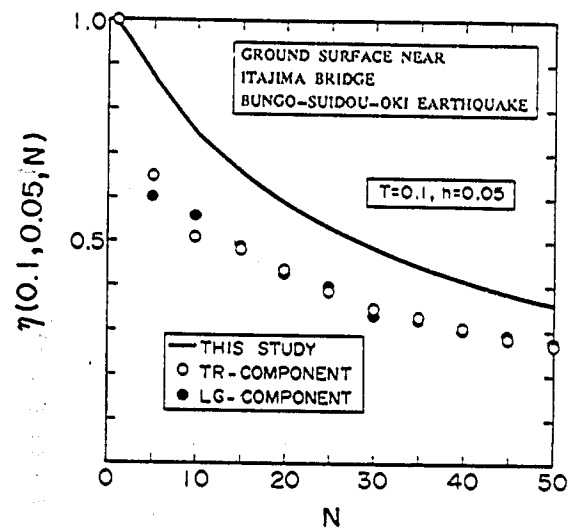


(d) $T = 1.0$ 秒の場合

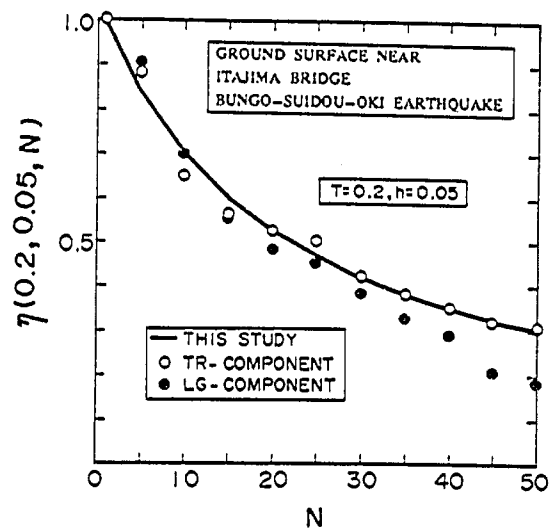


(e) $T = 2.0$ 秒の場合

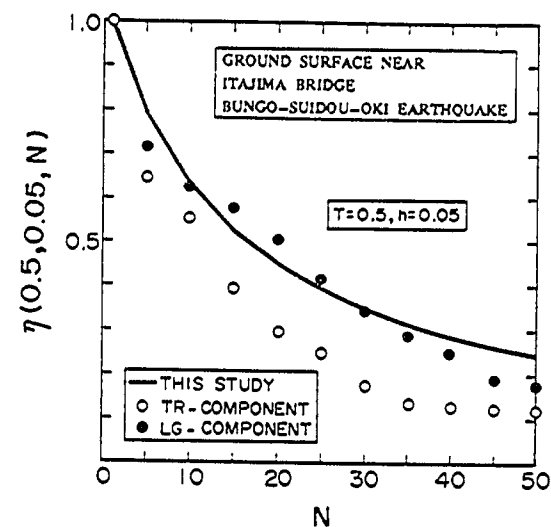
図 5.1 式 (4.1), (4.7) による低減係数と実測値との比較 (幌満橋記録の場合, $h = 0.05$)



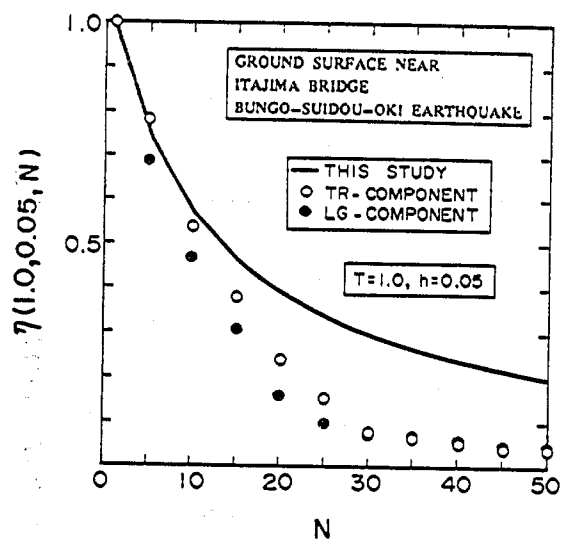
(a) $T = 0.1$ 秒の場合



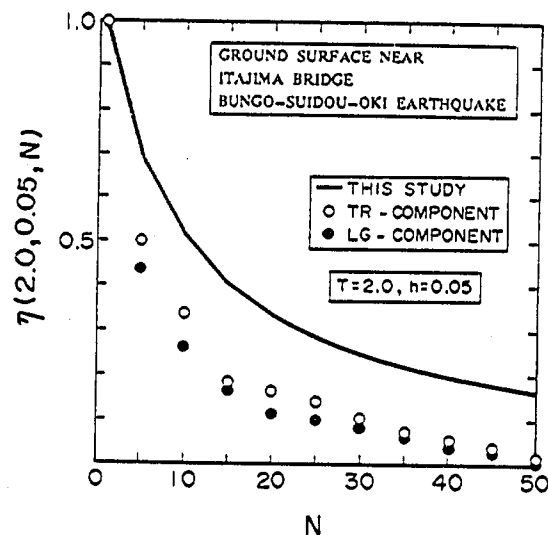
(b) $T = 0.2$ 秒の場合



(c) $T = 0.5$ 秒の場合

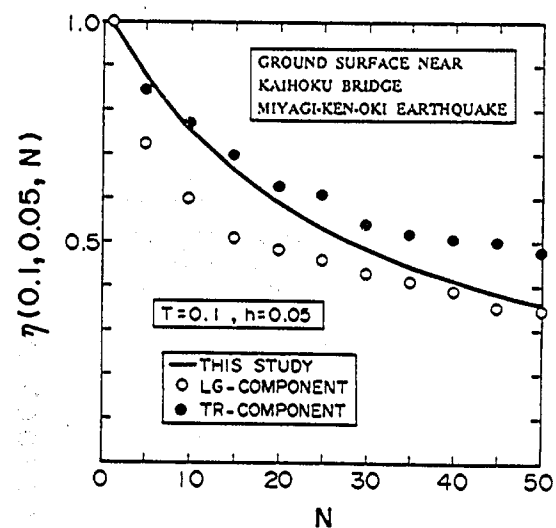


(d) $T = 1.0$ 秒の場合

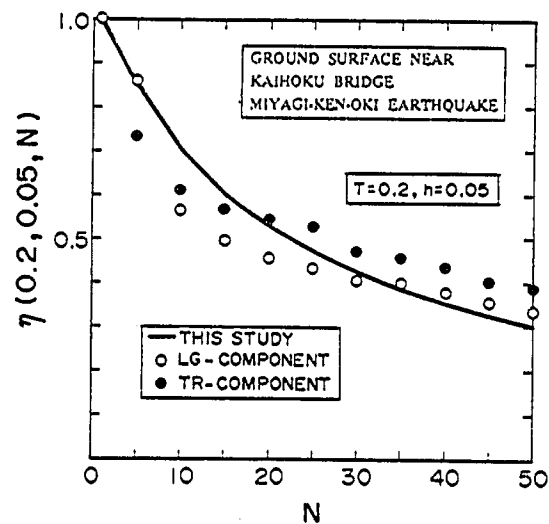


(e) $T = 2.0$ 秒の場合

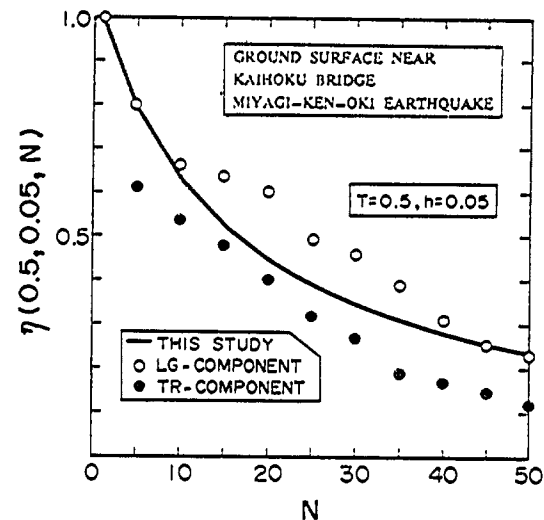
図 5.2 式 (4.1), (4.7) による低減係数と実測値との比較 (板島橋記録の場合, $h = 0.05$)



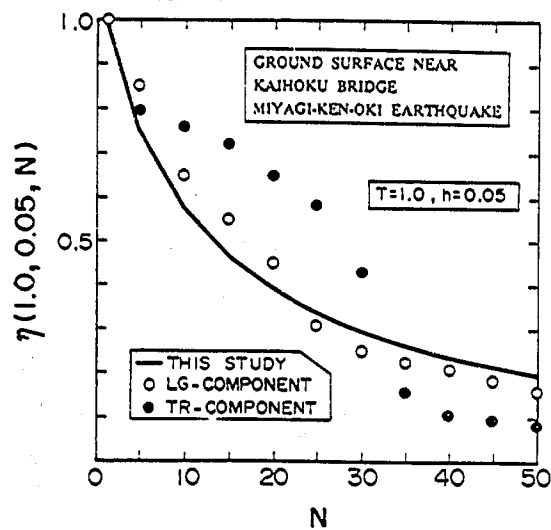
(a) $T = 0.1$ 秒の場合



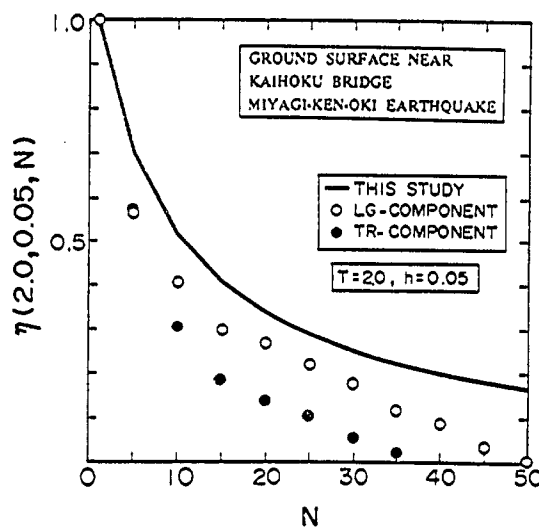
(b) $T = 0.2$ 秒の場合



(c) $T = 0.5$ 秒の場合

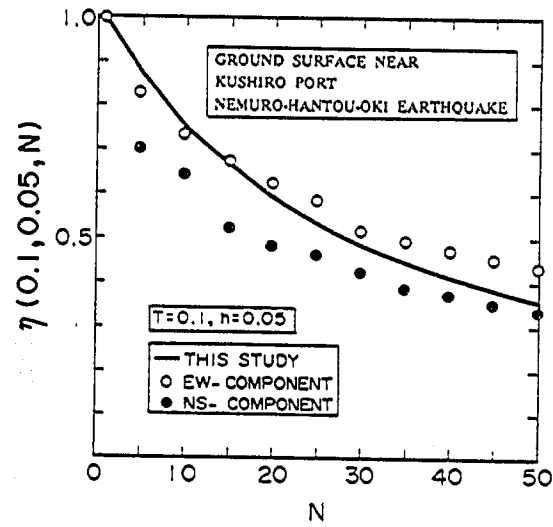


(d) $T = 1.0$ 秒の場合

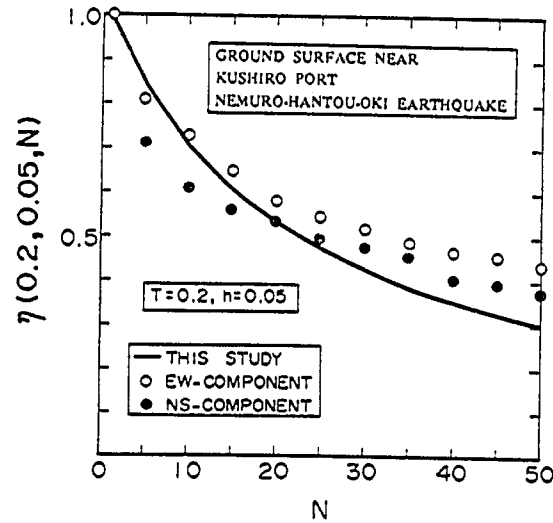


(e) $T = 2.0$ 秒の場合

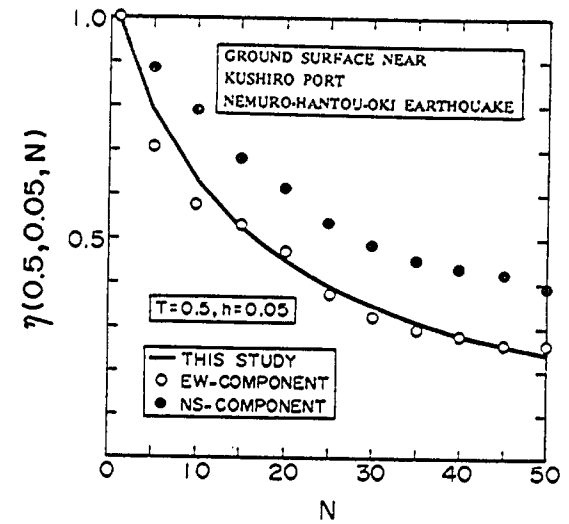
図 5.3 式 (4.1), (4.7) による低減係数と実測値との比較 (開北橋記録の場合, $h = 0.05$)



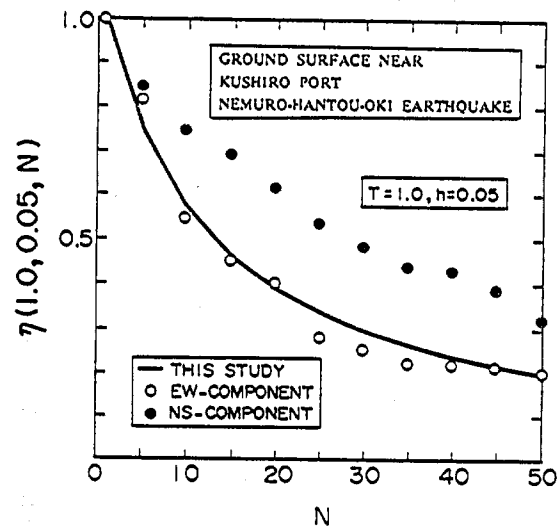
(a) $T = 0.1$ 秒の場合



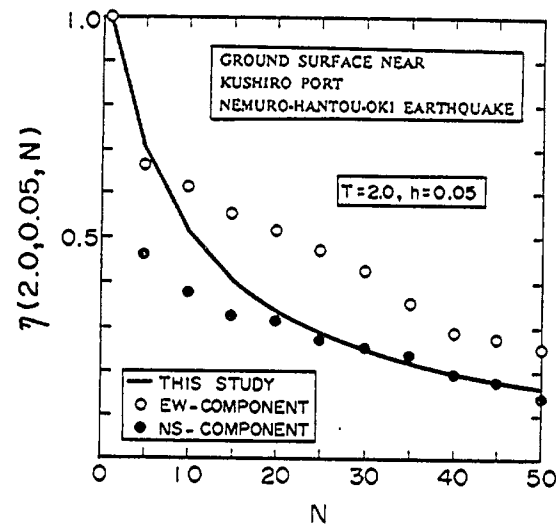
(b) $T = 0.2$ 秒の場合



(c) $T = 0.5$ 秒の場合

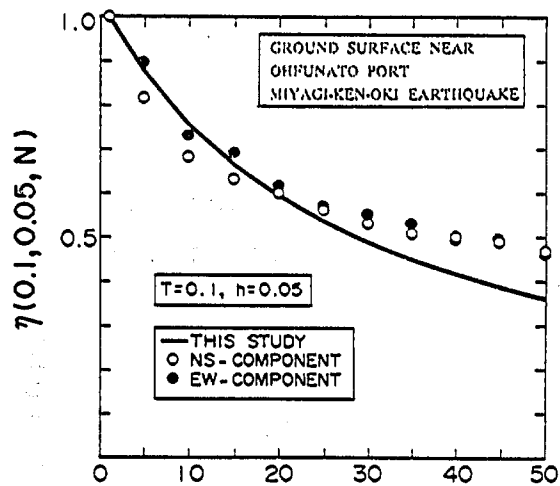


(d) $T = 1.0$ 秒の場合

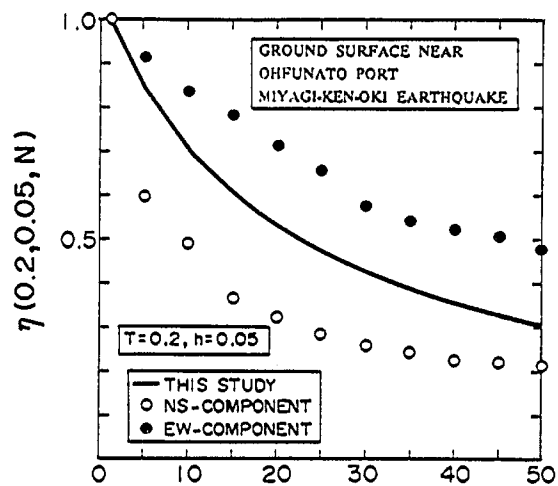


(e) $T = 2.0$ 秒の場合

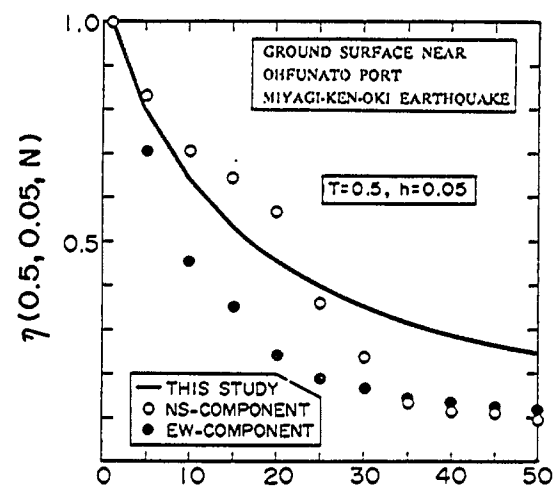
図 5.4 式 (4.1), (4.7) による低減係数と実測値との比較 (釧路港記録の場合, $h = 0.05$)



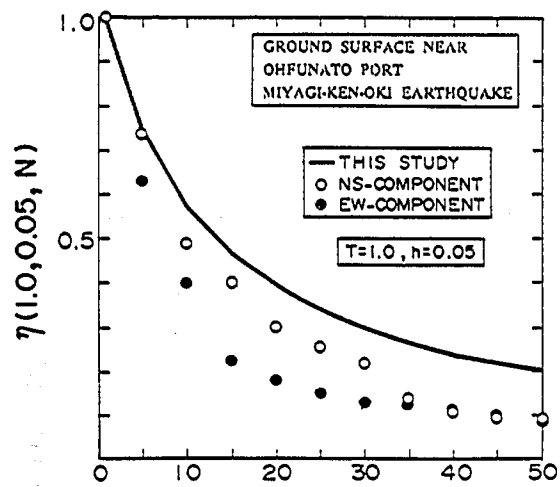
(a) $T = 0.1$ 秒の場合



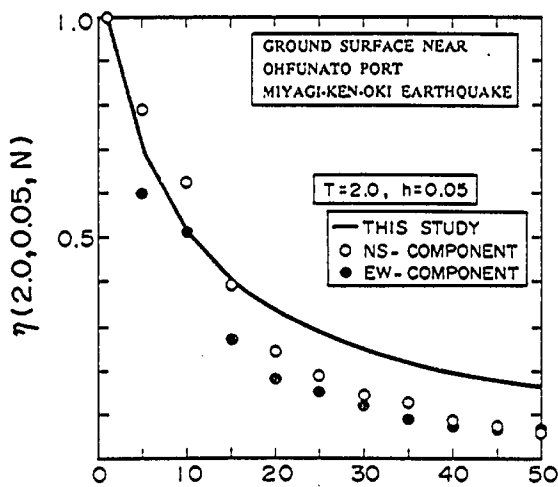
(b) $T = 0.2$ 秒の場合



(c) $T = 0.5$ 秒の場合

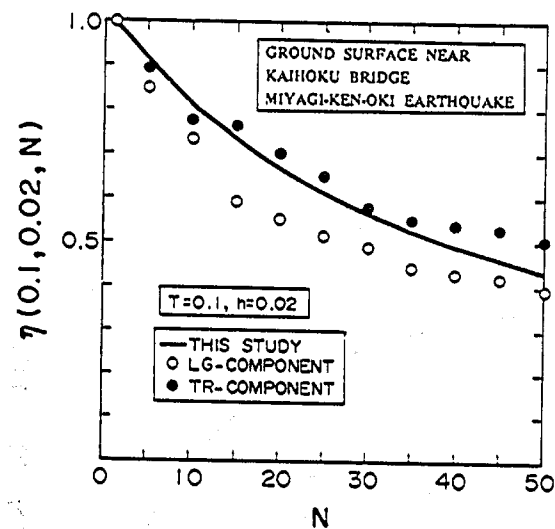


(d) $T = 1.0$ 秒の場合

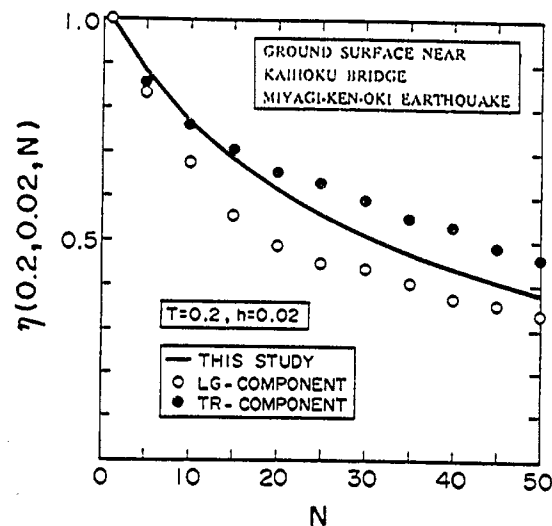


(e) $T = 2.0$ 秒の場合

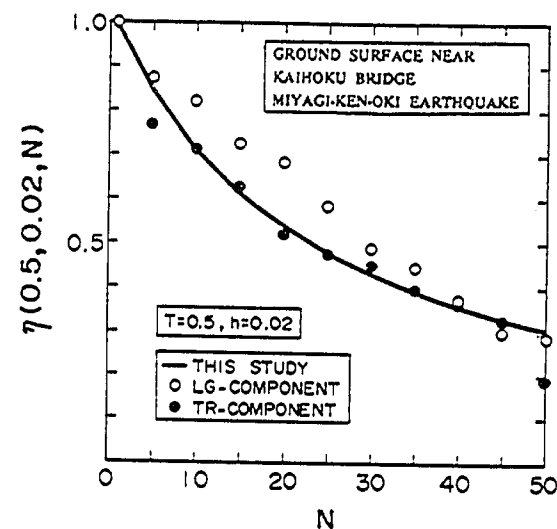
図 5.5 式 (4.1), (4.7) による低減係数と実測値との比較 (大船渡港記録の場合, $h = 0.05$)



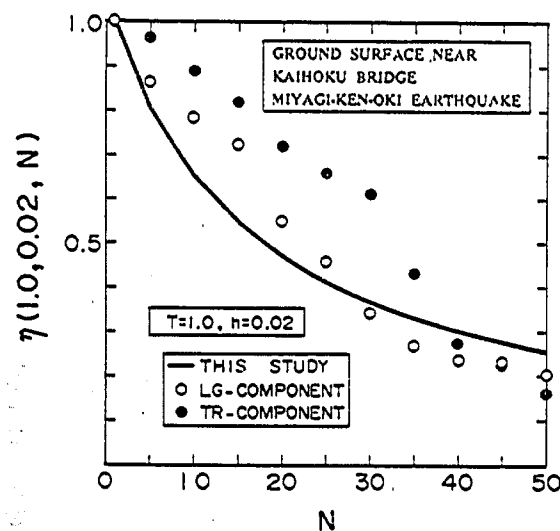
(a) $T = 0.1$ 秒の場合



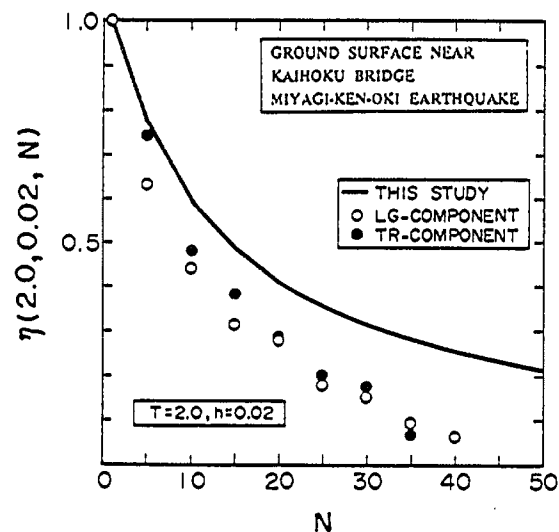
(b) $T = 0.2$ 秒の場合



(c) $T = 0.5$ 秒の場合

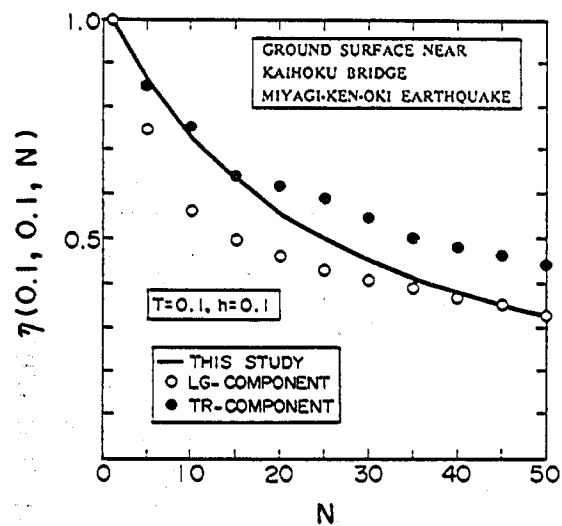


(d) $T = 1.0$ 秒の場合

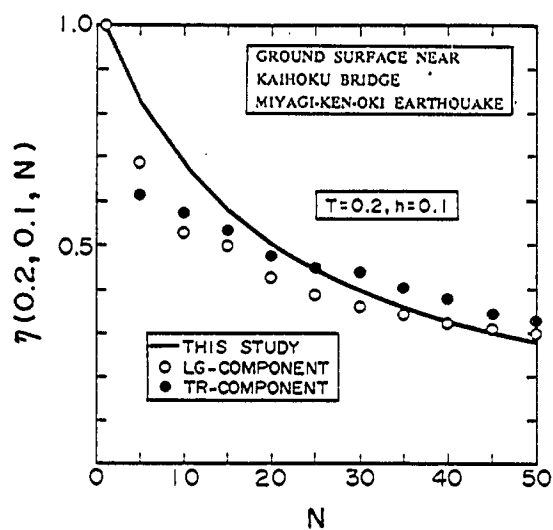


(e) $T = 2.0$ 秒の場合

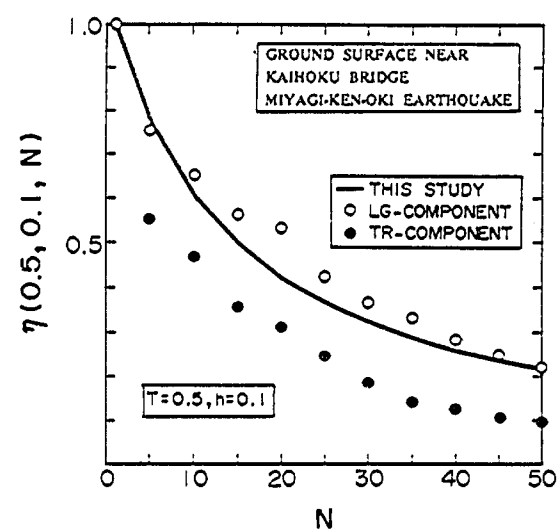
図 5.6 式 (4.1), (4.7) による低減係数と実測値との比較 (開北橋記録, $h = 0.02$ の場合)



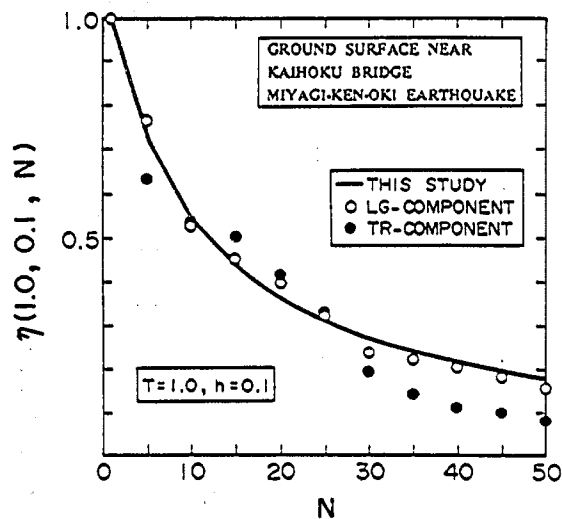
(a) $T = 0.1$ 秒の場合



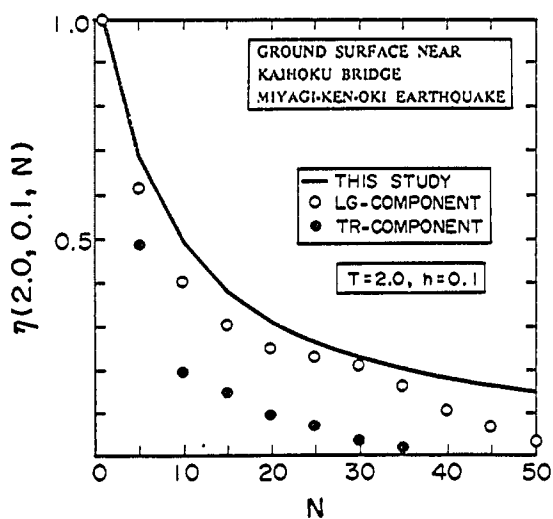
(b) $T = 0.2$ 秒の場合



(c) $T = 0.5$ 秒の場合

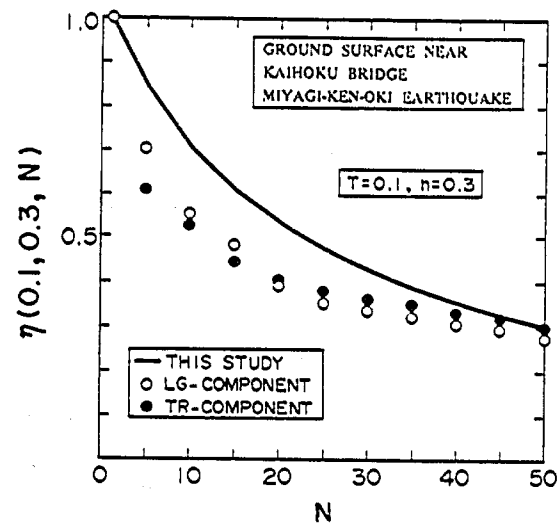


(d) $T = 1.0$ 秒の場合

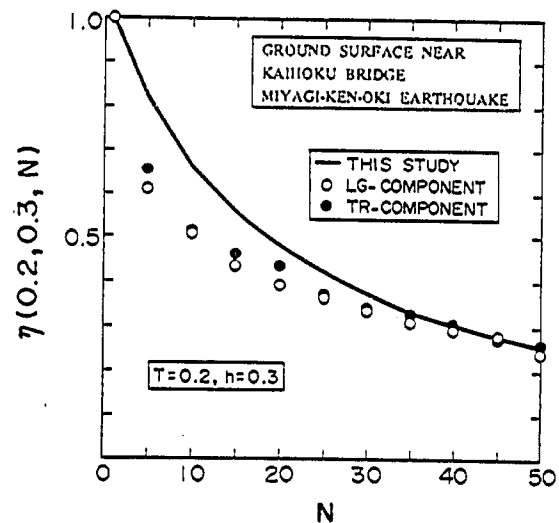


(e) $T = 2.0$ 秒の場合

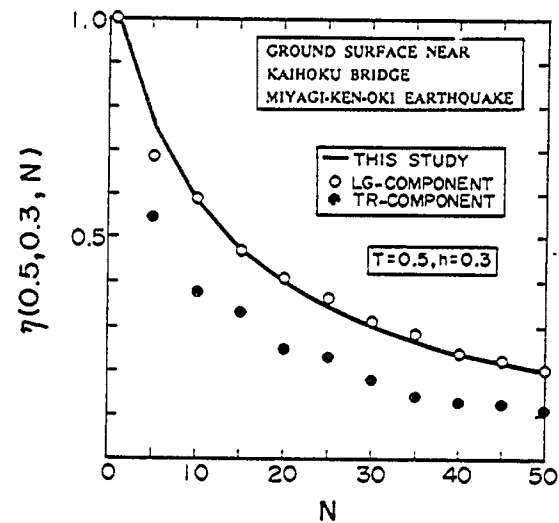
図 5.7 式 (4.1), (4.7) による低減係数と実測値との比較 (開北橋記録, $h = 0.1$ の場合)



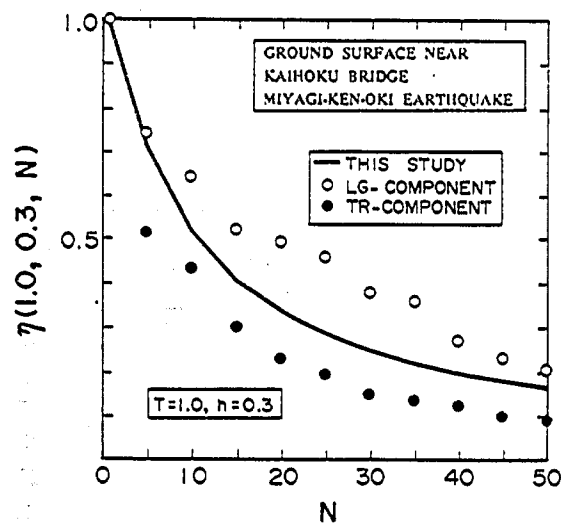
(a) $T = 0.1$ 秒の場合



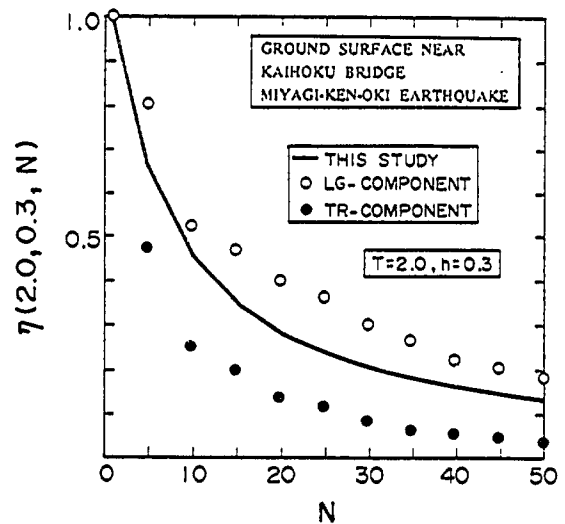
(b) $T = 0.2$ 秒の場合



(c) $T = 0.5$ 秒の場合



(d) $T = 1.0$ 秒の場合



(e) $T = 2.0$ 秒の場合

図 5.8 式(4.1), (4.7)による低減係数と実測値との比較 (開北橋記録, $h = 0.3$ の場合)

6. 結 論

土構造物のように強い履歴強度特性を有する材料に対しては、振動中にただ1回生ずる最大の応答値よりも、ある程度の回数継続して作用する応答値の方が強震時の耐震性を検討する上では重要と考えられることから、本報告では、応答の繰返し回数を考慮した加速度応答スペクトル $S_A(T, h, N)$ を新しく提案し、その特性を検討するとともに、繰返し低減係数 $\eta(T, h, N) \equiv S_A(T, h, N) / S_A(T, h, 1)$ が実用的に、式(4.1)および式(4.7)により与えられることを示した。

参 考 文 献

- 1) 建設省土木研究所振動研究室：最大地震動および地震応答スペクトルの推定法 — (その1) 水平2成分合成の影響 — ，土木研究所資料，第1765号，昭和57年3月。
- 2) 建設省土木研究所振動研究室：最大地震動および地震応答スペクトルの推定法 — (その2) 地震応答加速度スペクトルに及ぼす減衰定数の影響 — ，土木研究所資料，第1841号，昭和57年7月。
- 3) 建設省土木研究所振動研究室：最大地震動および地震応答スペクトルの推定法 — (その3) 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開発 — ，土木研究所資料，第1864号，昭和57年11月。
- 4) 建設省土木研究所振動研究室：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3月。
- 5) 建設省土木研究所振動研究室：最大地震動および地震応答スペクトルの推定法 — (その5) 減衰定数による地震応答加速度スペクトルの補正式の開発 — ，土木研究所資料，第2001号，昭和58年7月。
- 6) 建設省土木研究所振動研究室：最大地震動および地震応答スペクトルの推定法 — (その6) 上下方向の最大地震動および加速度応答スペクトルの距離減衰式 — ，土木研究所資料，第2038号。
- 7) 建設省土木研究所振動研究室：最大地震動および地震応答スペクトルの推定法 — (その7) 地震動加速度の継続時間の推定法 — ，土木研究所資料，第2118号，昭和59年3月。

付 属 資 料

繰り返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ に及ぼす地震のマグニチュード M , 震央距離 d , 地盤条件の影響

繰り返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ に及ぼす地震の マグニチュード M , 震央距離 d , 地盤条件の影響

1. 係数 $\rho(T, h)$ に及ぼす地震のマグニチュード, 震央距離, 地盤条件の影響

式(4.5)で定義した係数 $\rho(T, h)$ が地盤のマグニチュード M , 震央距離 d , 地盤条件 GC_i によりどのように変化するかを検討するために, 表 2.1 に示した 394 成分について $\rho(T, h)$ を求め, これと M , d , GC_i の関係を示した結果が付図 1 である。これによれば, 係数 $\rho(T, h)$ は M , d , GC_i によって顕著な変化を示さない。

2. 係数 $a(T, 0.05)$ に及ぼすマグニチュード, 震央距離, 地盤条件の影響

係数 $\log a(T, 0.05)$ が地震のマグニチュード M , 震央距離 d , 地盤条件 GC_i によりどのように変化するかを検討するために, $\log a(T, 0.05) \sim d$, $\log a(T, 0.05) \sim M$ の関係を地盤種別ごとにプロットした結果が付図 2 である。これによれば一般に $\log a(T, 0.05)$ は d および M の増加とともに減少する傾向が認められる。しかしながら, 解析に用いた強震記録の $M \sim d$ 自身にも 2 章に示したようにある一定の関係があるため, 2 度数 M , d による $\log a(T, 0.05)$ の変化は, 上述したように単純なものとは考えられない。そこで, ここでは重回帰分析により $\log a(T, 0.05)$ と M , d の関係を求めることとし, 両者の関係を次の回帰式により表わすこととした。

$$a(T, 0.05) = e_1(T, GC_i) \times 10^{e_2(T, GC_i) M} \times (d + 30)^{e_3} \dots\dots\dots (付 1)$$

$\log a(T, 0.05)$ と M , d の回帰式として上式を仮定したことには特別の理由はないが, 地震動の距離減衰式を参考に定めたものである。

表 2.1 に示した 394 成分の強震記録を重回帰分析し, 式(付 1)の係数を定めると付表 1 のようになる。付図 3 は, これらをプロットしたものである。

式(付 1)を用いて, 代表的な M および d に対して係数 a を計算した結果が付図 4 である。また, 式(付 1)による係数 a を用いて繰り返し低減係数 $\eta(T, h, N)$ を $N = 10 \sim 50$ に対して試算した結果が付図 5 である。

次に, 式(付 2)の精度を次式より定義する。

$$U_a = \frac{a^{OB}(T, 0.05)}{a^P(T, 0.05)} \dots\dots\dots (付 2)$$

ここで, OB , P はそれぞれ実測値から求めた係数 a および式(付 1)により求めた係数 a を示す。

$\log U_a$ が M および d によってどのように変化するかを示したのが付図 6 であり, これによれば, $\log U_a$ は, M , d によって大きく変化しないことがわかる。また, 付表 2 は $\log U_a$ の標準偏差を示したもので

ある。

式(付1)による係数 $a(T, 0.05)$ を用いて代表的な M , d に対して繰り返し低減係数 $\eta(T, 0.05, N)$ を求めた結果が付図7である。また、式(付2)と同様により、次式により、式(付2)を用いた場合の $\eta(T, 0.05, N)$ の精度を定義した。

$$U_{\eta} = \frac{\eta^{OB}(T, 0.05, N)}{\eta^P(T, 0.05, N)} \dots\dots\dots (付3)$$

$\log U_{\eta}$ の平均値および標準偏差を求めると付図8のようになる。

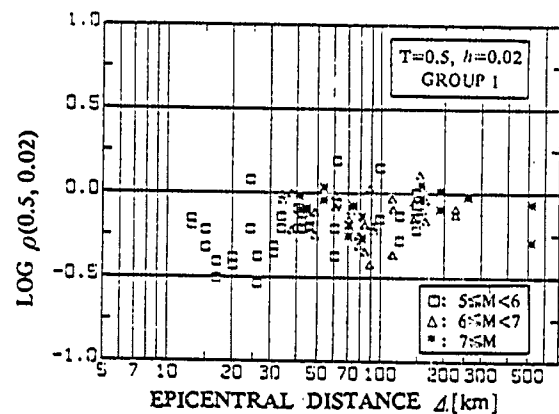
最後に、付図9, 10は、上記の手法により宮城県沖地震による開北橋周辺記録($M=7.4$, $d=81\text{km}$)および豊後水道沖地震による板島橋周辺記録に対する($M=6.8$, $d=10\text{km}$)に対する $\eta(T, 0.05 \sim N) \sim N$ の関係を求め、これを実測の結果と比較したものである。全体として両者はよく一致しているといえることができる。

付表1. 式(付1)の係数 $e_1(T_k, GC_i)$, $e_2(T_k, GC_i)$ および $e_3(T_k, GC_i)$

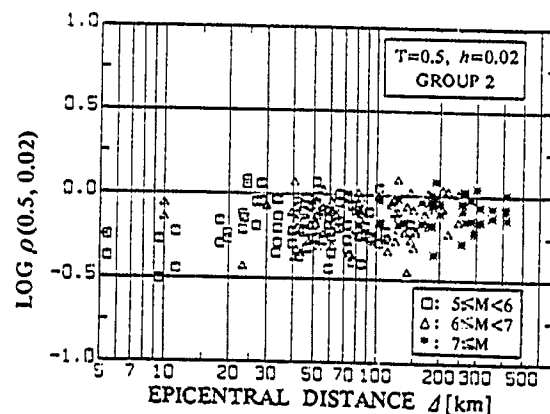
	GROUP 1			GROUP 2			GROUP 3			R (σ)
	e_1	e_2	e_3	e_1	e_2	e_3	e_1	e_2	e_3	
$T=0.1$	10.70	-0.165	-0.712	1.654	-0.182	-0.235	0.2039	-0.0403	-0.226	0.9793 (0.2472)
$T=0.15$	12.27	-0.201	-0.576	1.647	-0.171	-0.240	0.2309	-0.0359	-0.255	
$T=0.2$	8.810	-0.180	-0.548	1.916	-0.150	-0.316	0.5083	-0.0492	-0.352	
$T=0.3$	7.413	-0.172	-0.504	1.594	-0.0688	-0.485	0.4937	-0.0450	-0.330	
$T=0.5$	1.645	-0.0976	-0.393	0.9833	-0.0619	-0.384	0.3480	-0.0739	-0.157	
$T=0.7$	3.079	-0.127	-0.412	0.6879	-0.0489	-0.342	0.3411	0.00963	-0.381	
$T=1.0$	2.382	-0.127	-0.332	0.4661	-0.00332	-0.394	0.5358	-0.129	-0.0351	
$T=1.5$	0.5933	-0.0853	-0.121	0.9318	-0.0411	-0.363	0.8185	0.0157	-0.558	
$T=2.0$	0.4369	-0.0491	-0.117	0.6717	-0.0618	-0.203	1.082	-0.0784	-0.287	
$T=3.0$	0.9963	-0.157	-0.102	0.8732	-0.152	0.0696	0.6882	-0.113	0.000045	

付表 2. $\log U_a$ の平均値 $\overline{\log U_a}$ および標準偏差 $\sigma_{\log U_a}$

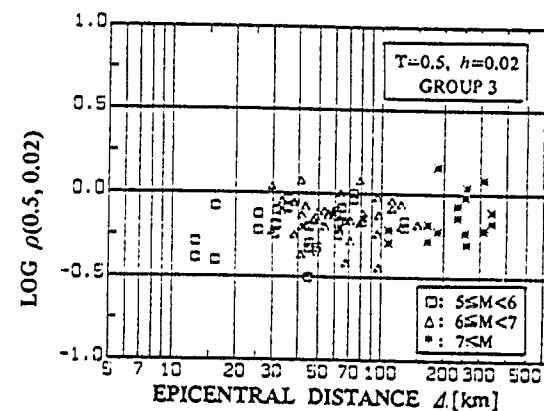
	減衰数 h	固 有 周 期 T (秒)									
		0.1	0.15	0.2	0.3	0.5	0.7	1	1.5	2	3
$\overline{\log U_a}$ ($\times 10^{-2}$)	0.0	-35.71	-31.17	-29.24	-18.01	4.669	19.54	33.52	42.39	48.87	54.83
	0.01	4.309	3.593	2.191	-1.863	-2.674	-2.250	0.1593	2.489	4.968	5.321
	0.02	1.766	2.392	2.364	0.03869	-1.349	-2.456	-2.040	-1.354	-0.4379	-1.445
	0.03	0.6219	1.421	1.441	0.4133	-0.4487	-1.447	-1.618	-1.410	-1.276	-2.507
	0.05	0.05378	0.08669	0.06048	-0.08803	0.02576	-0.01974	0.01686	0.02175	-0.02562	-0.2313
	0.07	0.1830	-0.5208	-0.4754	-0.3510	0.2686	0.5237	1.409	1.236	1.401	1.790
	0.1	0.8347	-0.7620	-0.7931	-0.6554	0.4438	0.9376	2.533	2.176	1.842	3.706
	0.2	2.509	-0.4080	-0.7611	-1.313	0.2910	0.6950	2.738	0.5792	-0.6901	-0.6240
	0.3	3.419	0.08235	-0.9218	-2.139	-0.5461	-0.6301	1.164	-3.068	-5.730	-9.548
	0.4	4.012	0.2161	-1.196	-3.342	-1.913	-2.157	-0.8469	-6.484	-10.41	-1.746
$\sigma_{\log U_a}$	0.0	0.4477	0.4398	0.4523	0.4731	0.3986	0.3889	0.3852	0.3705	0.3404	0.3433
	0.01	0.2490	0.2329	0.2375	0.2488	0.2461	0.2593	0.2905	0.2849	0.2943	0.3274
	0.02	0.2564	0.2370	0.2359	0.2373	0.2380	0.2444	0.2655	0.2511	0.2605	0.2987
	0.03	0.2609	0.2390	0.2382	0.2389	0.2401	0.2384	0.2556	0.2414	0.2539	0.2783
	0.05	0.2602	0.2406	0.2365	0.2418	0.2424	0.2347	0.2466	0.2263	0.2451	0.2709
	0.07	0.2592	0.2419	0.2352	0.2448	0.2437	0.2357	0.2449	0.2261	0.2522	0.2715
	0.1	0.2566	0.2422	0.2366	0.2458	0.2455	0.2374	0.2461	0.2349	0.2516	0.2694
	0.2	0.2497	0.2373	0.2353	0.2453	0.2451	0.2396	0.2485	0.2532	0.2647	0.2777
	0.3	0.2456	0.2349	0.2343	0.2436	0.2435	0.2434	0.2479	0.2549	0.2638	0.2844
	0.4	0.2417	0.2351	0.2342	0.2437	0.2454	0.2443	0.2491	0.2552	0.2605	0.2777



(a) 1 種地盤

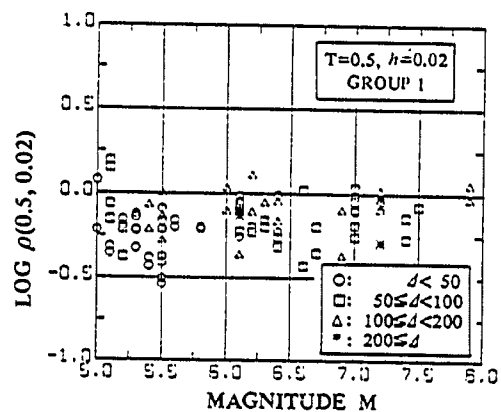


(b) 2 種地盤

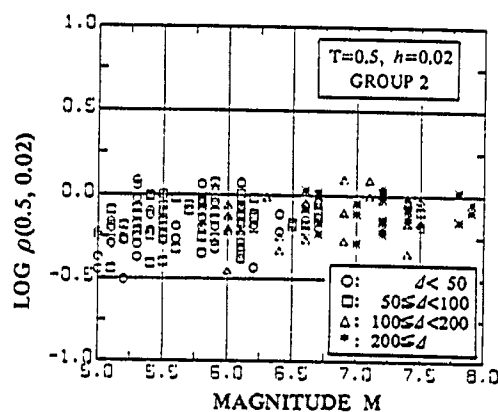


(c) 3 種地盤

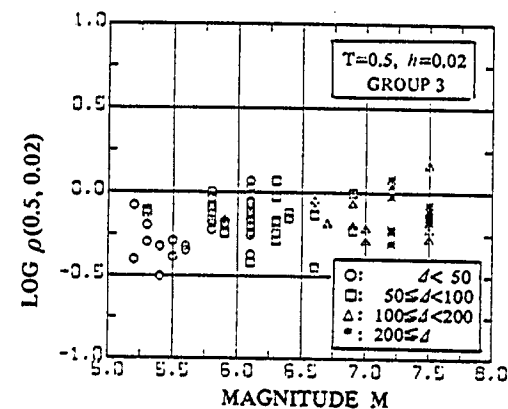
(1) $\log \rho \sim \Delta$ の関係



(a) 1 種地盤



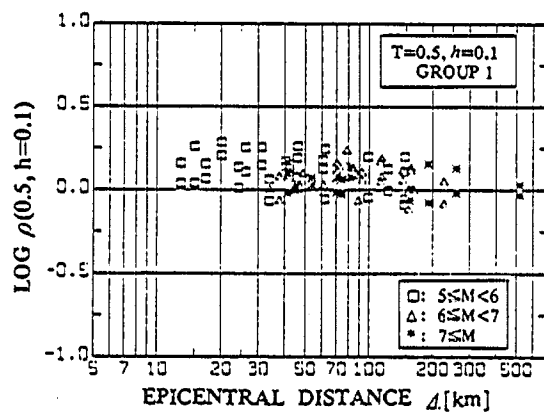
(b) 2 種地盤



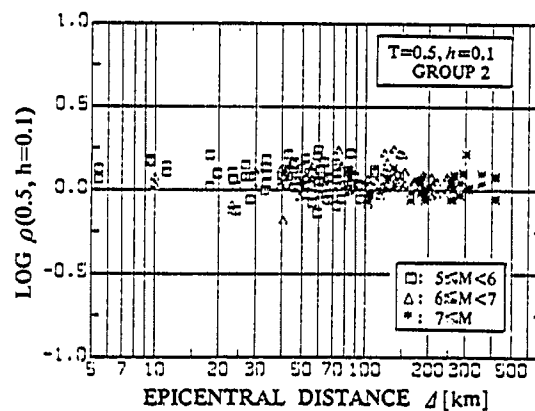
(c) 3 種地盤

(2) $\log \rho \sim M$ の関係

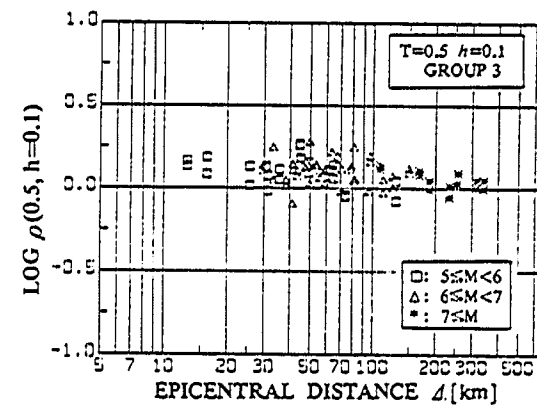
付図 1(1) $\log \rho$ に及ぼす M , Δ , GC_i の影響 ($T = 0.5$ 秒, $h = 0.02$ の場合)



(a) 1 種地盤

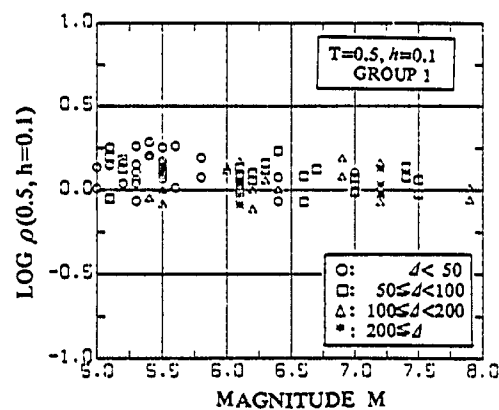


(b) 2 種地盤

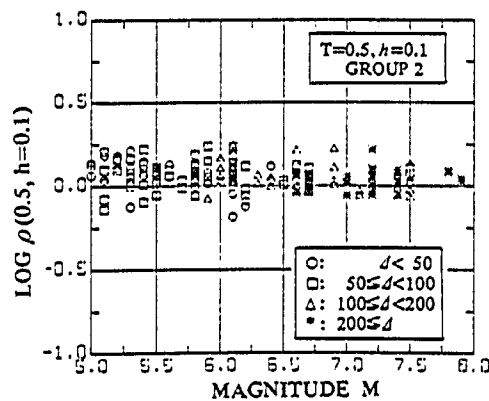


(c) 3 種地盤

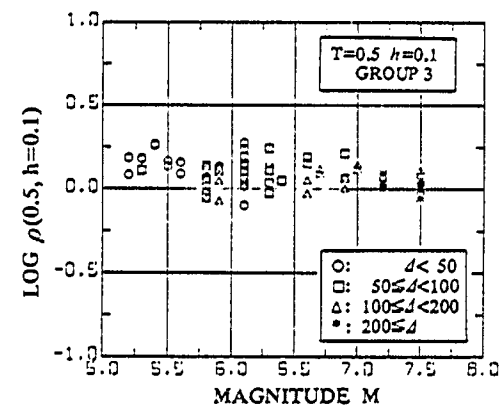
(1) $\log \rho \sim \Delta$ の関係



(a) 1 種地盤



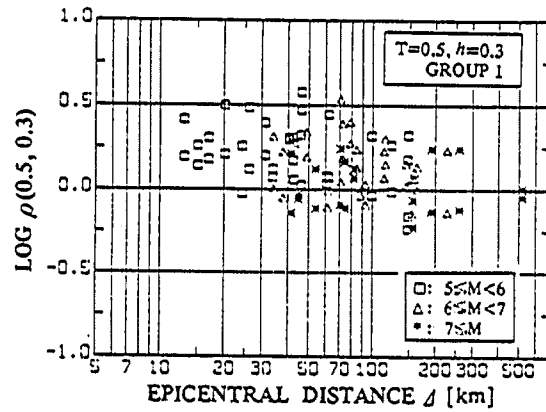
(b) 2 種地盤



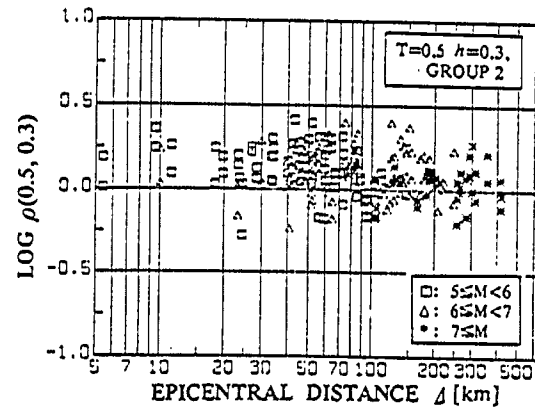
(c) 3 種地盤

(2) $\log \rho \sim M$ の関係

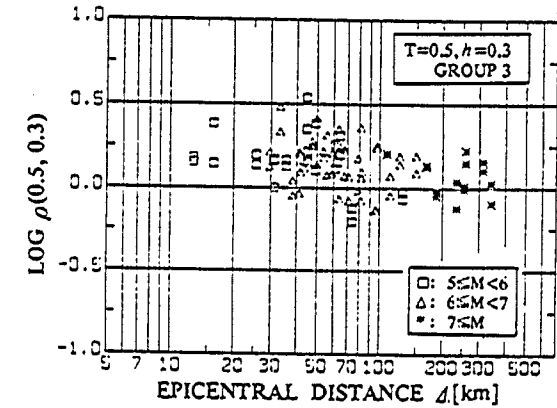
付図 1(2) $\log \rho$ に及ぼす M , Δ , GC_i の影響 ($T = 0.5$ 秒, $h = 0.1$ の場合)



(a) 1種地盤

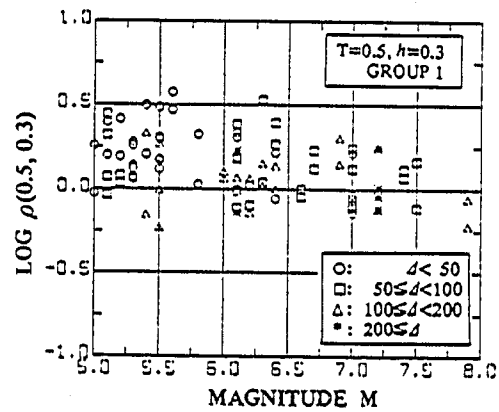


(b) 2種地盤

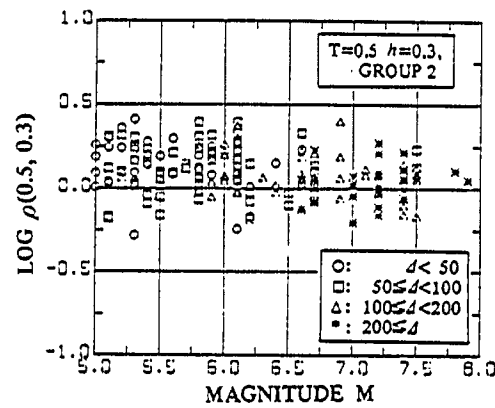


(c) 3種地盤

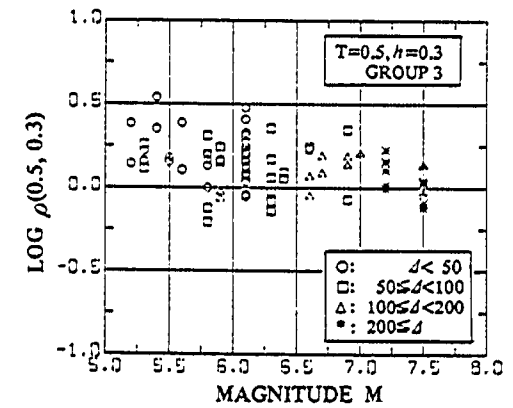
(1) $\log \rho \sim \Delta$ の関係



(a) 1種地盤



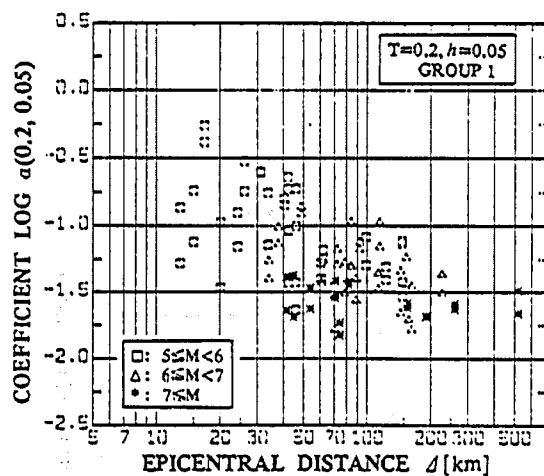
(b) 2種地盤



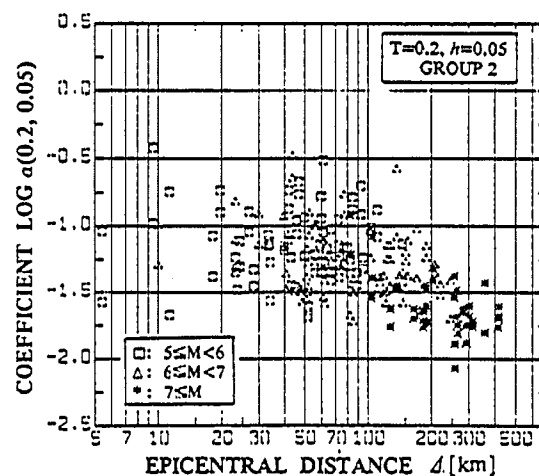
(c) 3種地盤

(2) $\log \rho \sim M$ の関係

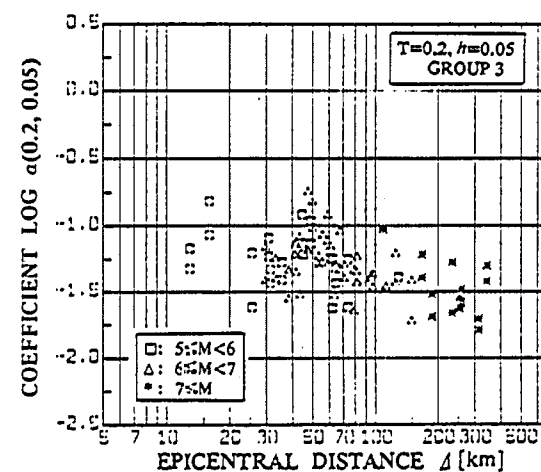
付図 1(3) $\log \rho$ に及ぼす M , Δ , GC_i の影響 ($T = 0.5$ 秒, $h = 0.3$ の場合)



(a) 1 種地盤

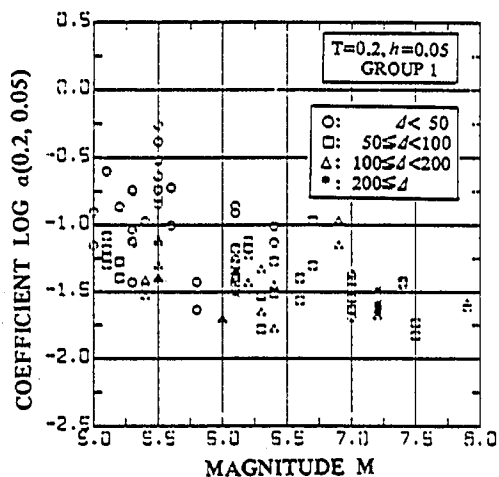


(b) 2 種地盤

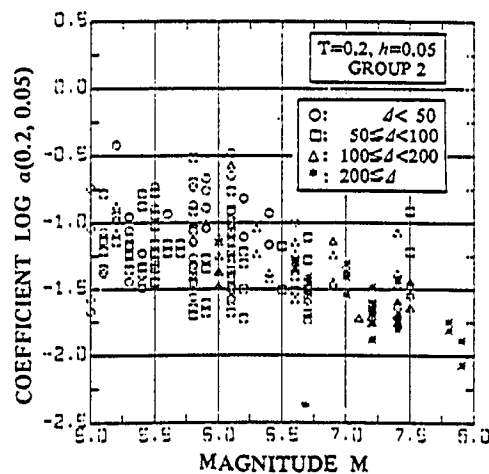


(c) 3 種地盤

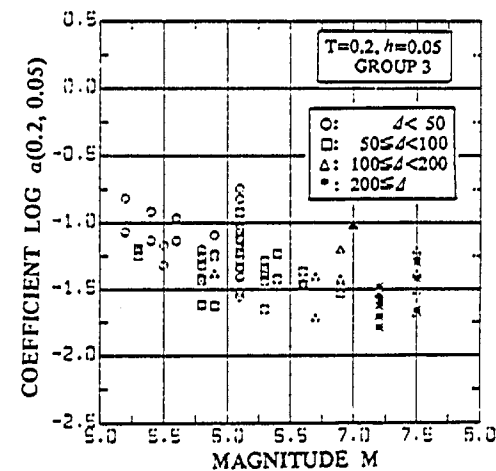
(1) $\log a \sim \Delta$ の関係



(a) 1 種地盤



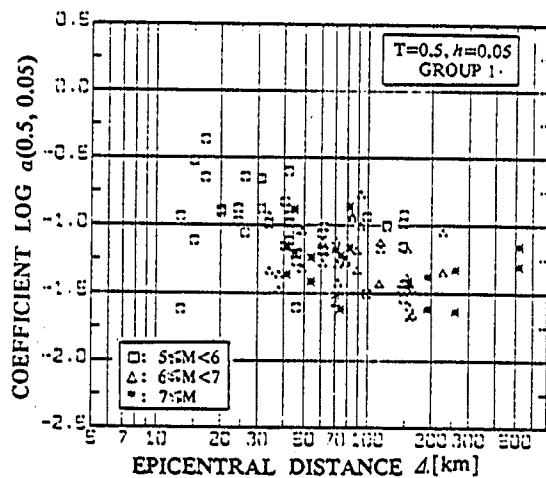
(b) 2 種地盤



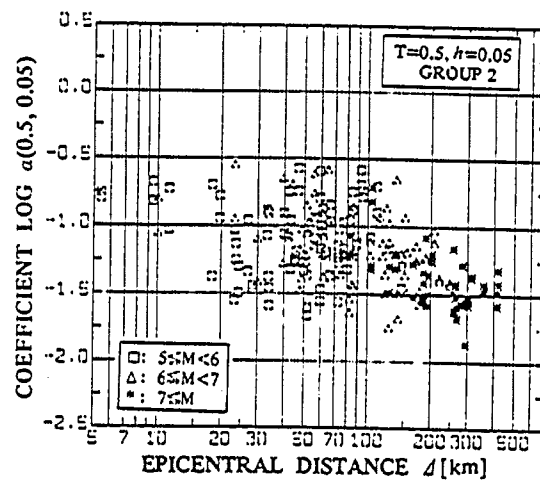
(c) 3 種地盤

(2) $\log a \sim M$ の関係

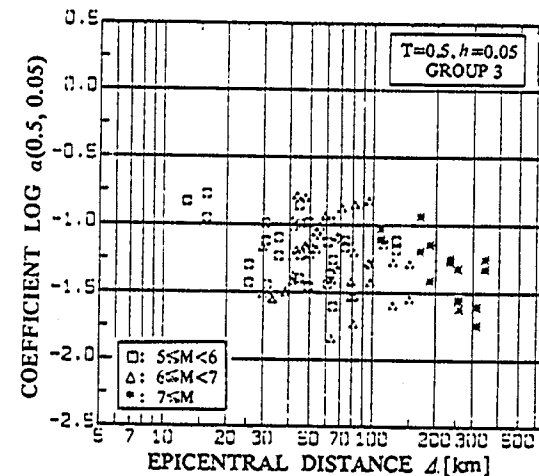
付図 2(1) $\log a$ に及ぼす M , Δ , GC_i の影響 ($T = 0.2$ 秒, $h = 0.05$ の場合)



(a) 1種地盤

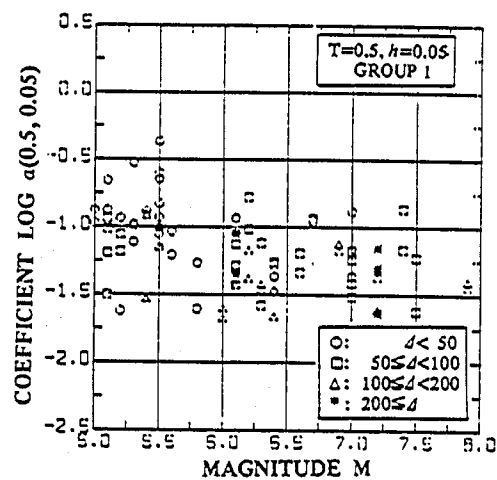


(b) 2種地盤

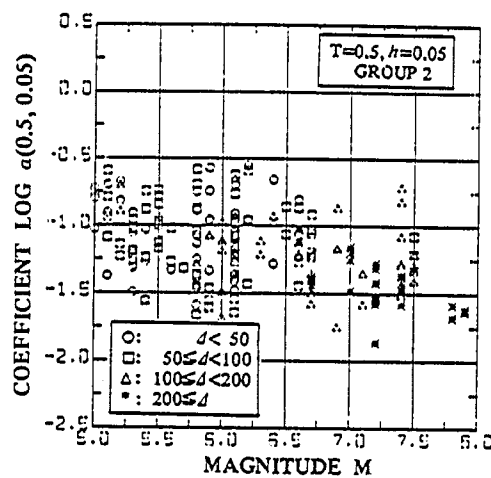


(c) 3種地盤

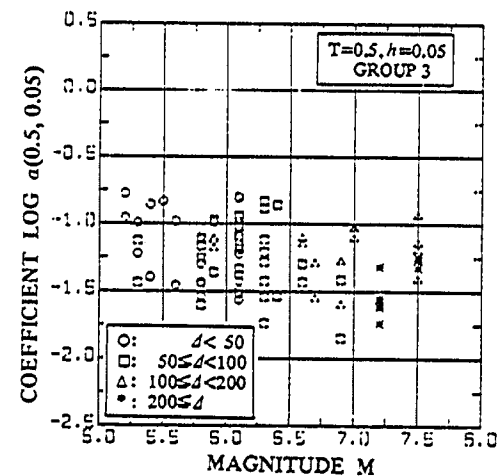
(1) $\log a \sim \Delta$ の関係



(a) 1種地盤



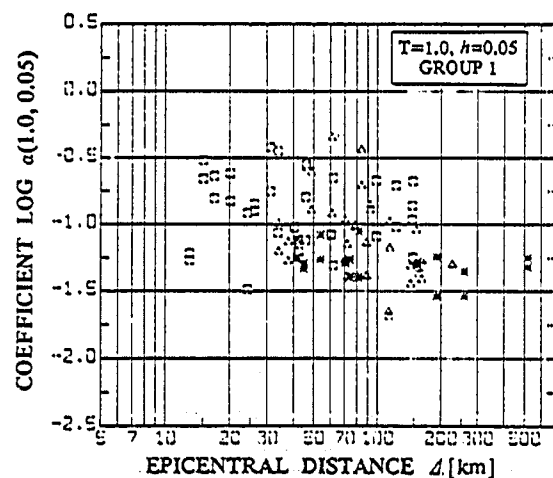
(b) 2種地盤



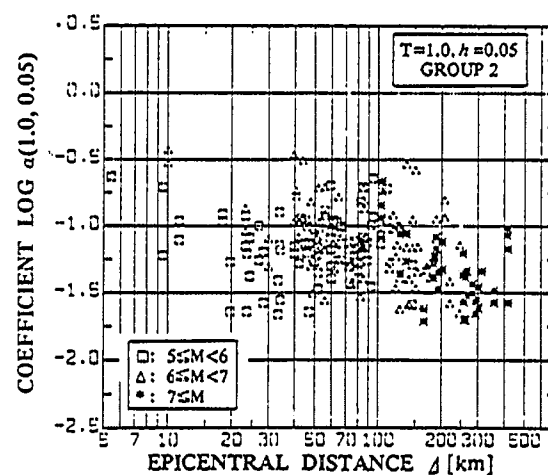
(c) 3種地盤

(2) $\log a \sim M$ の関係

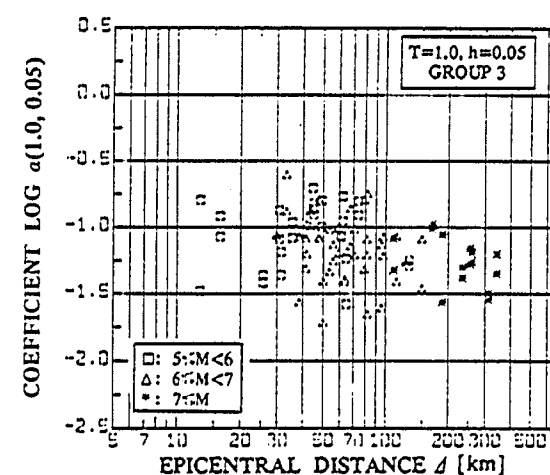
付図 2(2) $\log a$ に及ぼす M , Δ , GC_i の影響 ($T = 0.5$ 秒, $h = 0.05$ の場合)



(a) 1 種地盤

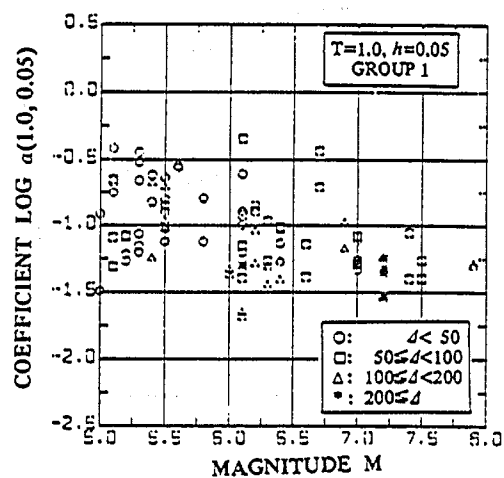


(b) 2 種地盤

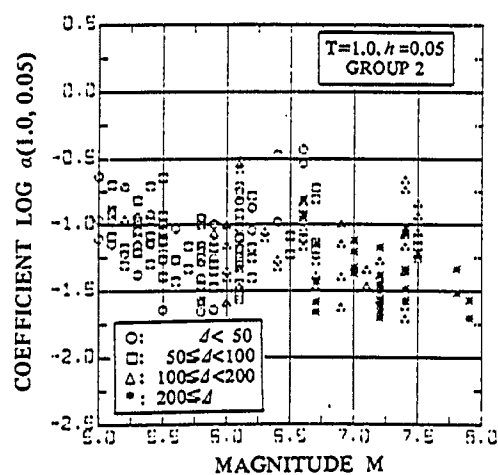


(c) 3 種地盤

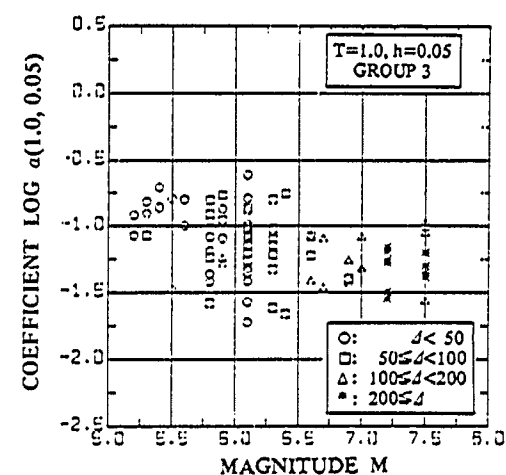
(1) $\log a \sim \Delta$ の関係



(a) 1 種地盤



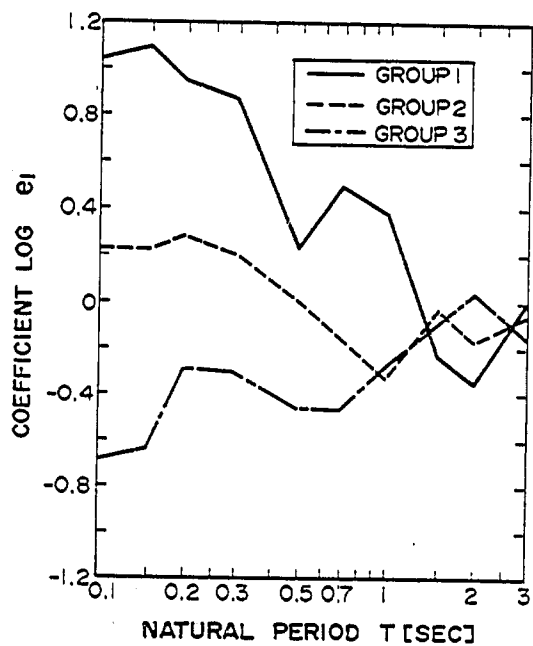
(b) 2 種地盤



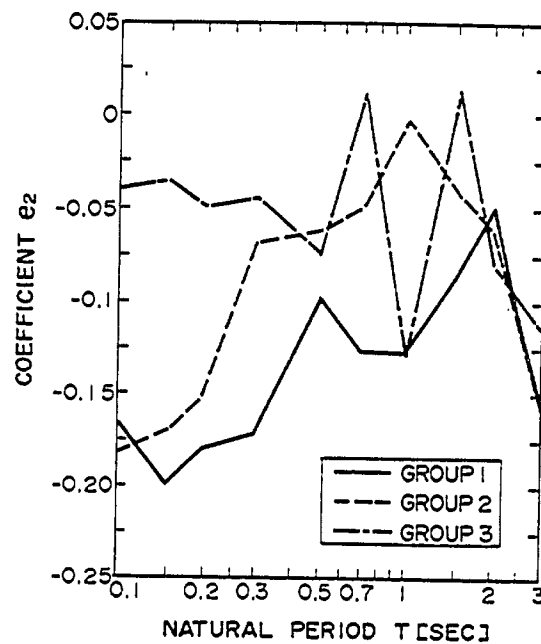
(c) 3 種地盤

(2) $\log a \sim M$ の関係

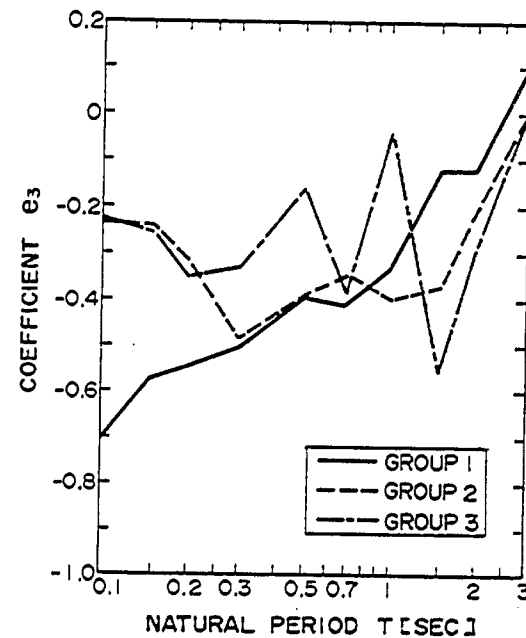
付図 2 (3) $\log a$ に及ぼす M , Δ , GC_i の影響 ($T = 1.0$ 秒, $h = 0.05$ の場合)



(a) 係数 $e_1(T_k, GC_i)$

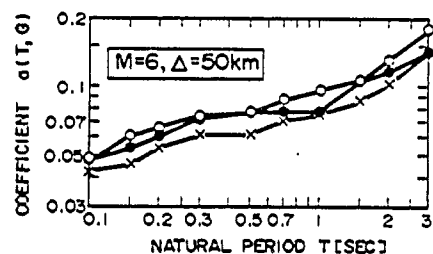


(b) 係数 $e_2(T_k, GC_i)$

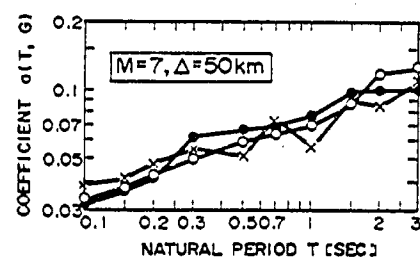


(c) 係数 $e_3(T_k, GC_i)$

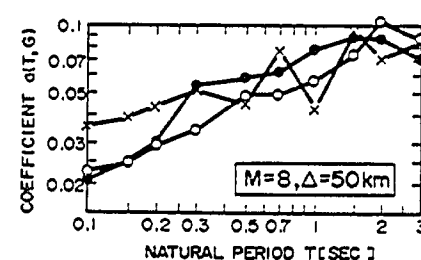
付図3 式(付1)の係数 $e_1(T_k, GC_i)$, $e_2(T_k, GC_i)$ および $e_3(T_k, GC_i)$



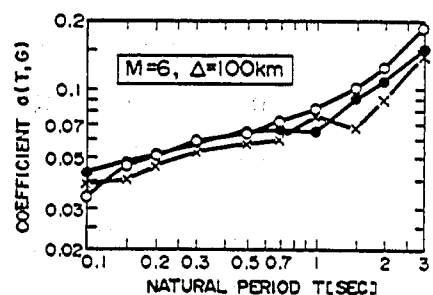
(a) $\Delta = 50 \text{ km}$



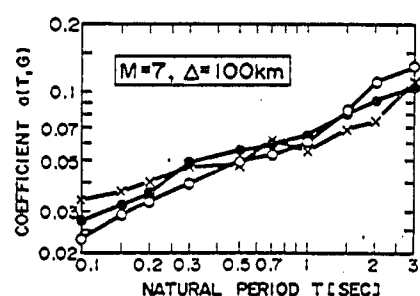
(a) $\Delta = 50 \text{ km}$



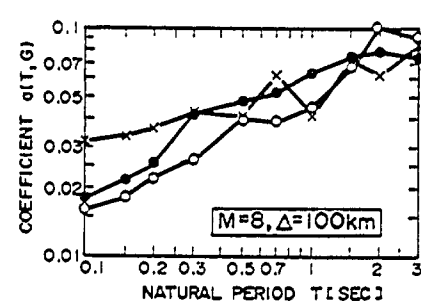
(a) $\Delta = 50 \text{ km}$



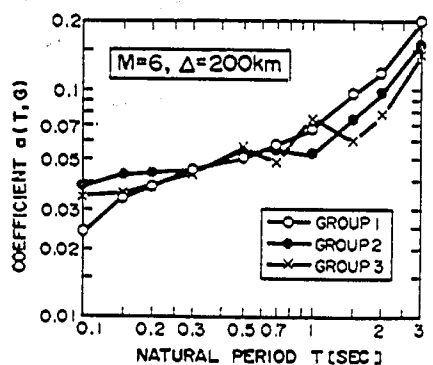
(b) $\Delta = 100 \text{ km}$



(b) $\Delta = 100 \text{ km}$

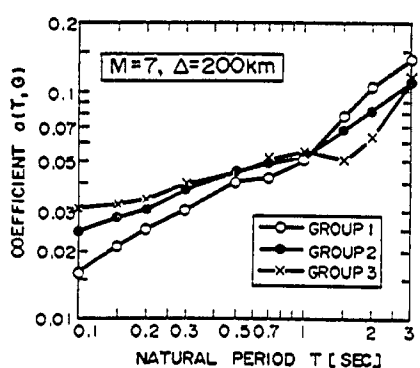


(b) $\Delta = 100 \text{ km}$



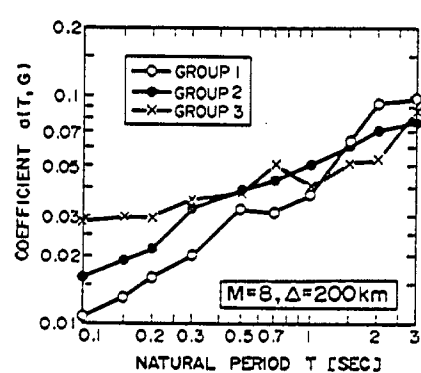
(c) $\Delta = 200 \text{ km}$

(1) $M = 6$ の場合



(c) $\Delta = 200 \text{ km}$

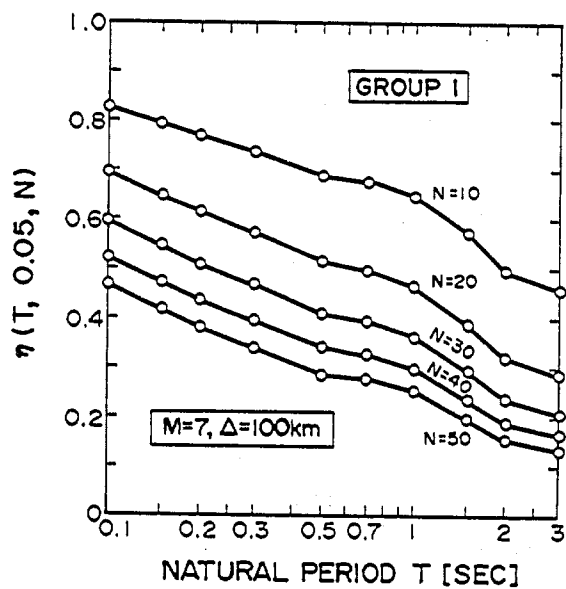
(2) $M = 7$ の場合



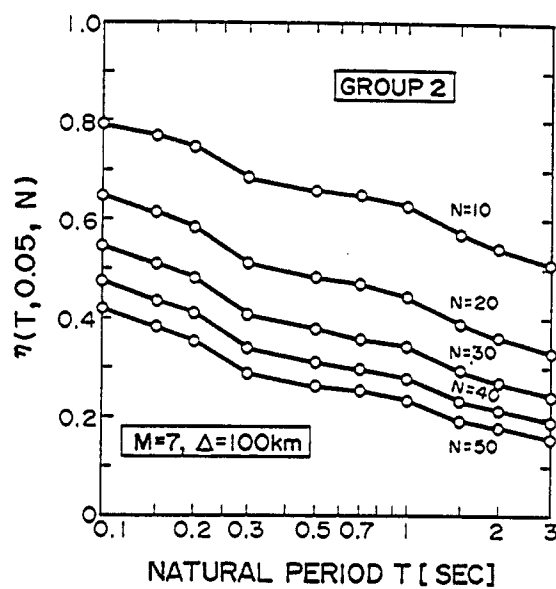
(c) $\Delta = 200 \text{ km}$

(3) $M = 8$ の場合

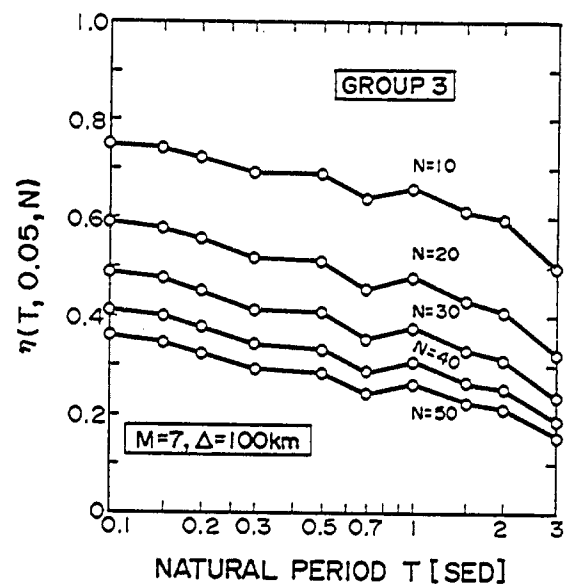
付図4 式(付1)による係数 a の比較



(a) 1種地盤

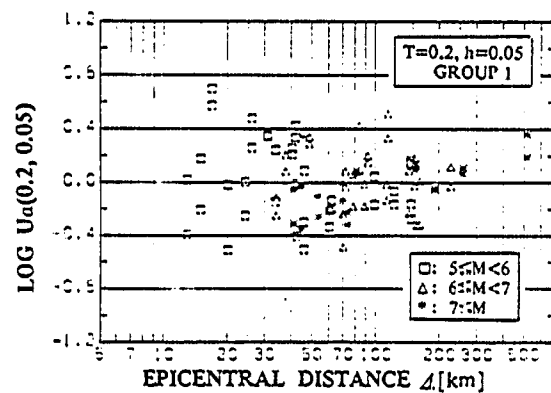


(b) 2種地盤

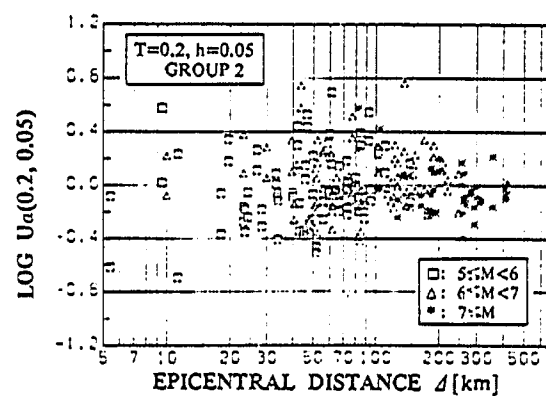


(c) 3種地盤

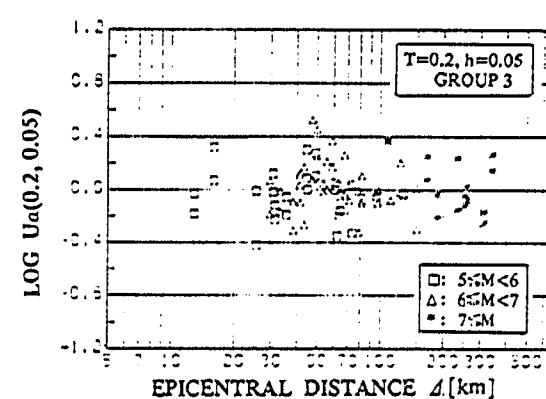
付図5 $\eta(T, 0.05, N) \sim T \sim N$ の比較例 ($M=7, \Delta=100\text{ km}$ の場合)



(a) 1種地盤

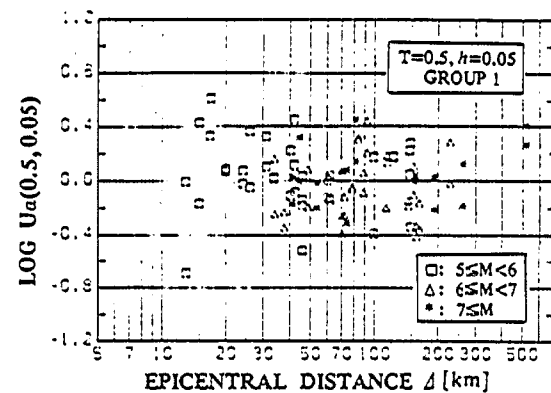


(b) 2種地盤

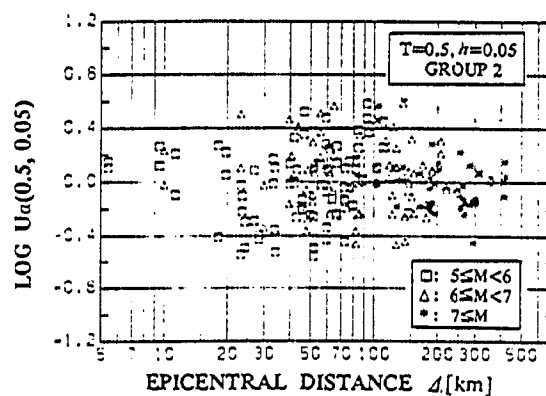


(c) 3種地盤

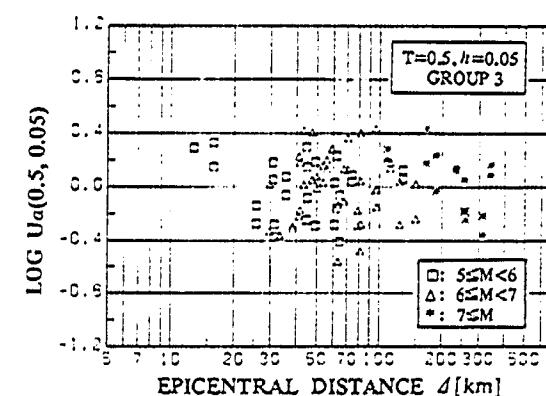
(1) $T = 0.2$ 秒, $h = 0.05$ の場合



(a) 1種地盤



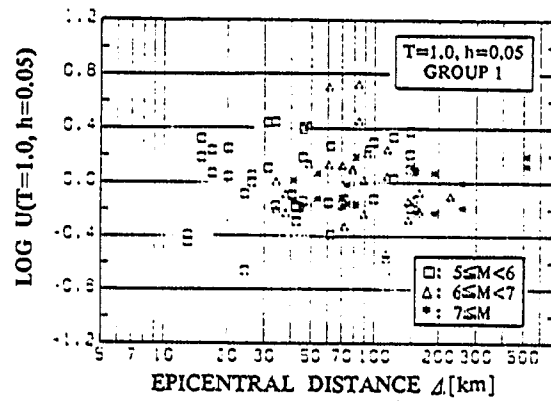
(b) 2種地盤



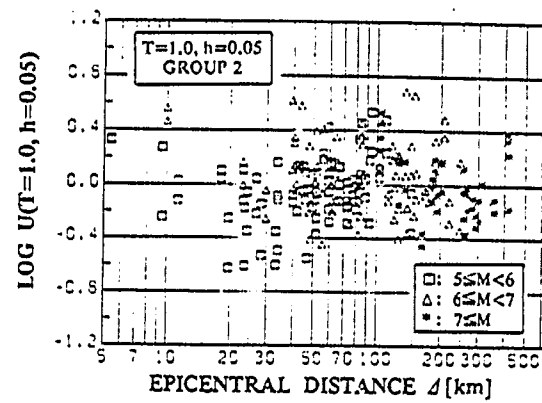
(c) 3種地盤

(2) $T = 0.5$ 秒, $h = 0.05$ の場合

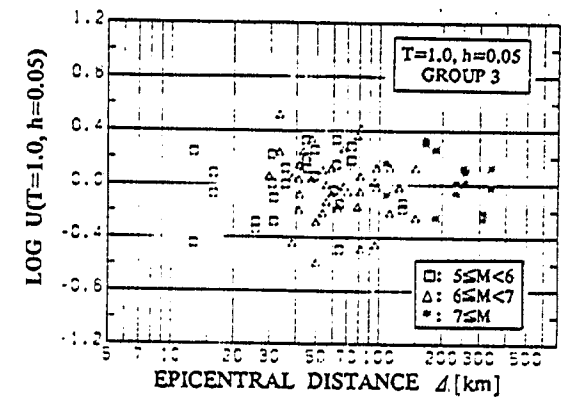
付図 6(1) $\log U_a \sim M \sim \Delta$ の関係



(a) 1 種地盤



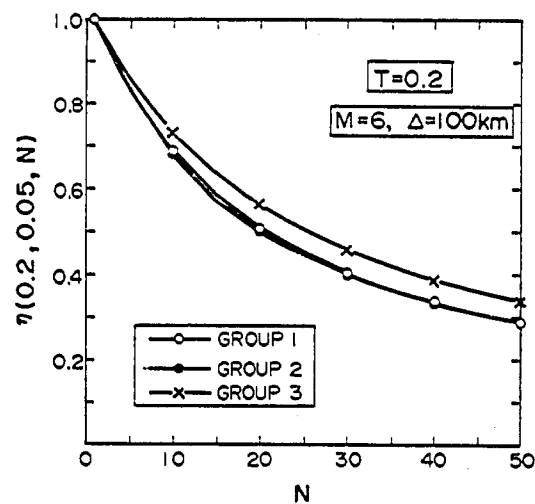
(b) 2 種地盤



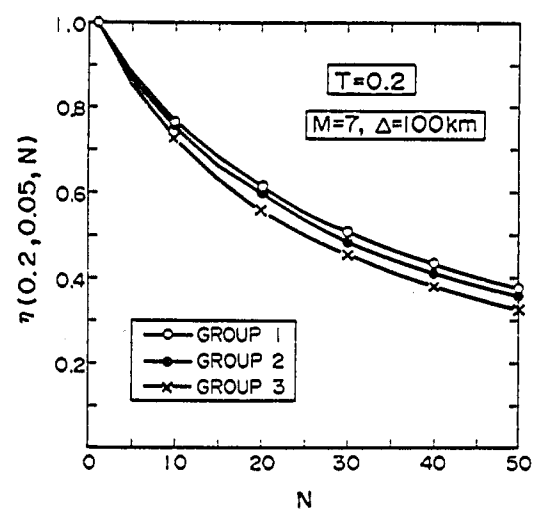
(c) 3 種地盤

(3) $T = 1.0$ 秒, $h = 0.05$ の場合

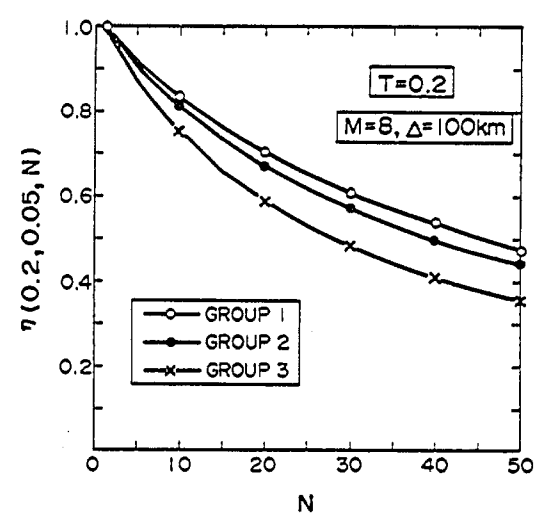
付図 6(2) $\log U_a \sim M \sim \Delta$ の関係



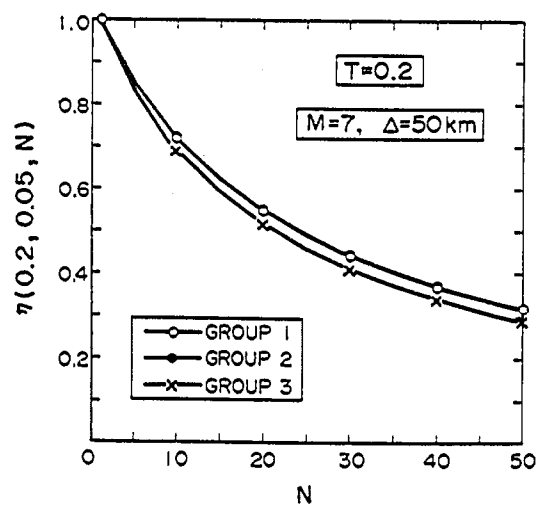
(a) $M=6$, $\Delta=100\text{ km}$



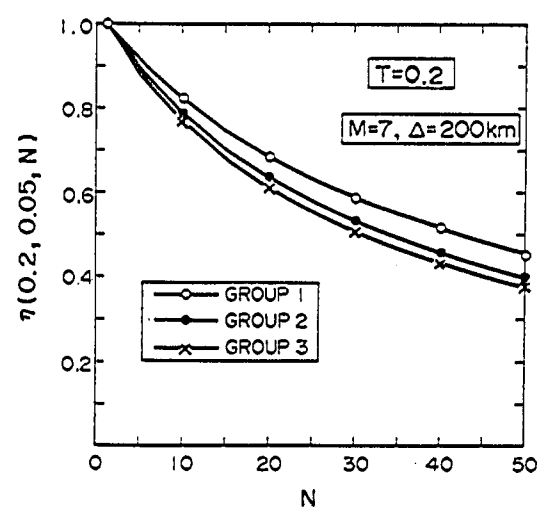
(b) $M=7$, $\Delta=100\text{ km}$



(c) $M=8$, $\Delta=100\text{ km}$

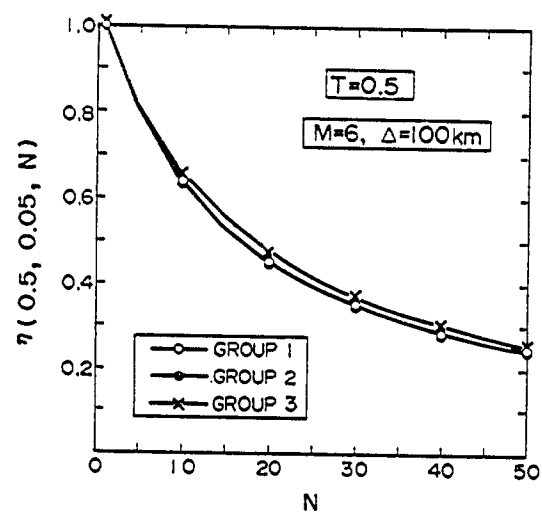


(d) $M=7$, $\Delta=50\text{ km}$

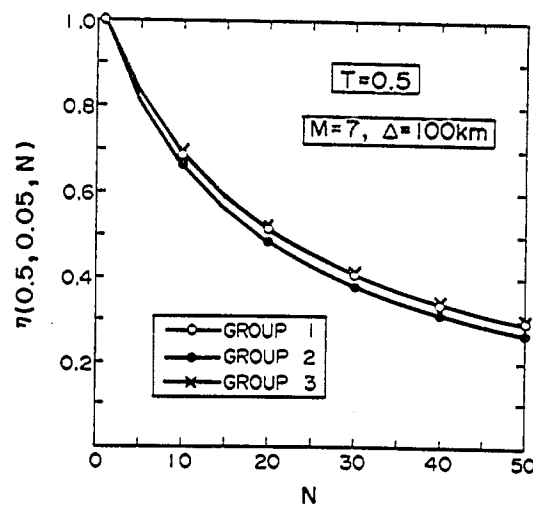


(e) $M=7$, $\Delta=100\text{ km}$

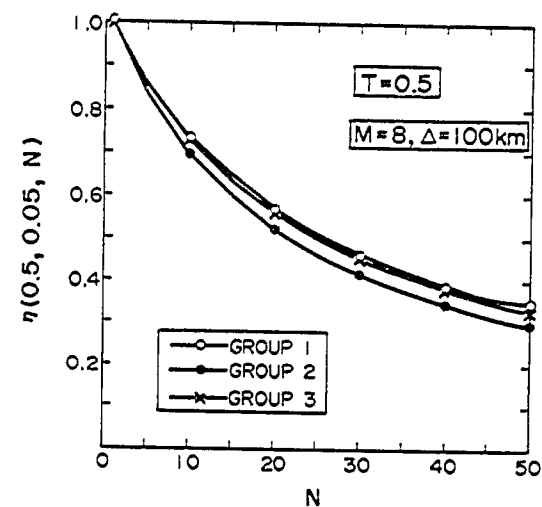
付図 7(1) 代表的なマグニチュード、震央距離に対する η の試算例 ($T=0.2$, $h=0.05$ の場合)



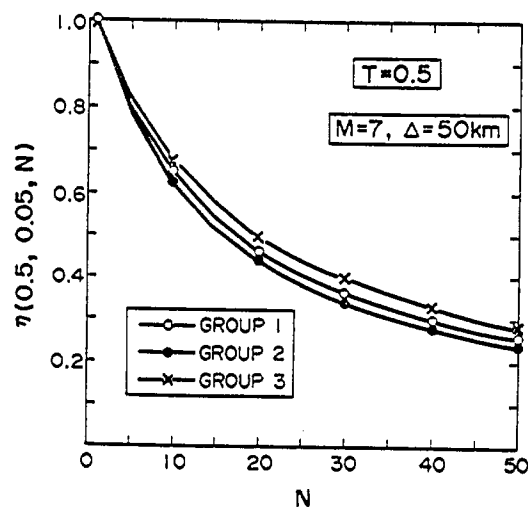
(a) $M=6$, $\Delta=100\text{ km}$



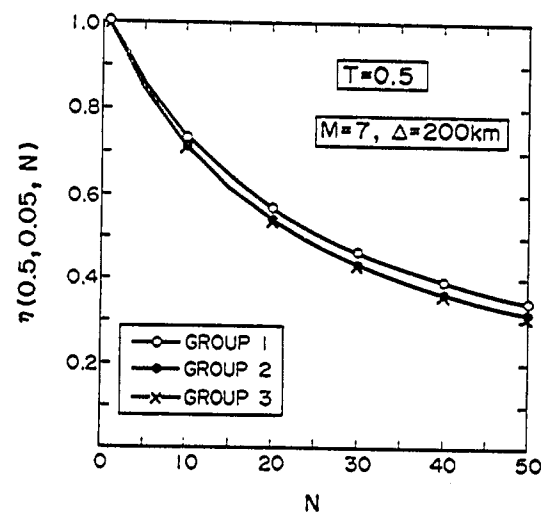
(b) $M=7$, $\Delta=100\text{ km}$



(c) $M=8$, $\Delta=100\text{ km}$

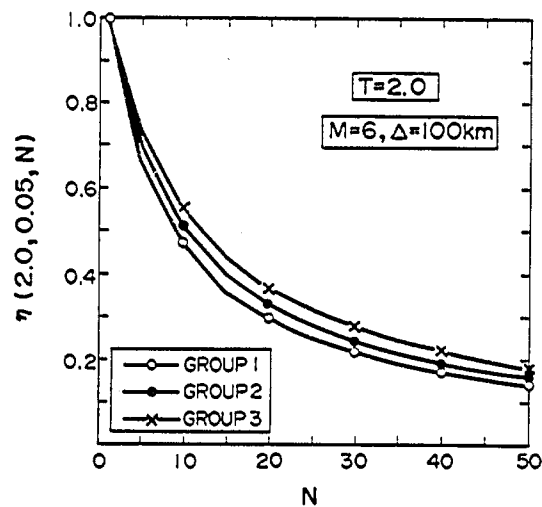


(d) $M=7$, $\Delta=50\text{ km}$

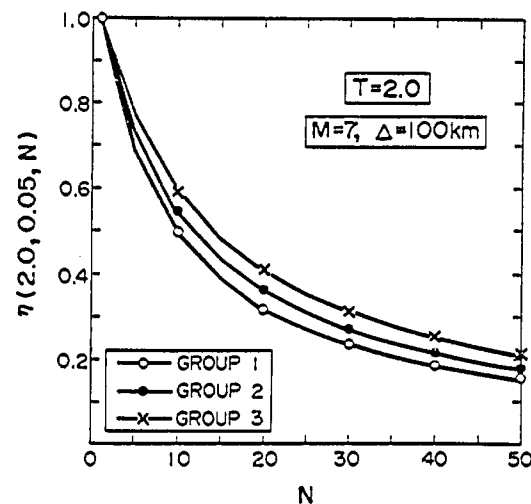


(e) $M=7$, $\Delta=200\text{ km}$

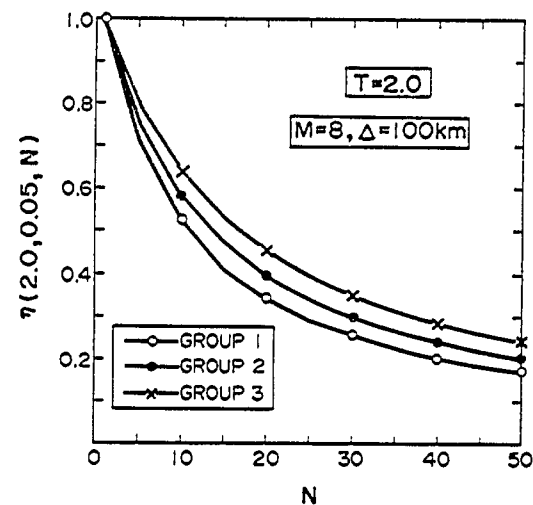
付図 7 (2) 代表的なマグニチュード，震央距離に対する η の試算例 ($T=0.5$, $h=0.05$ の場合)



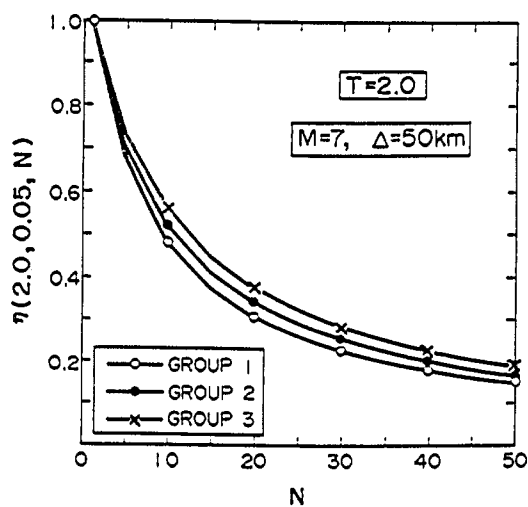
(a) $M=6$, $\Delta=100\text{ km}$



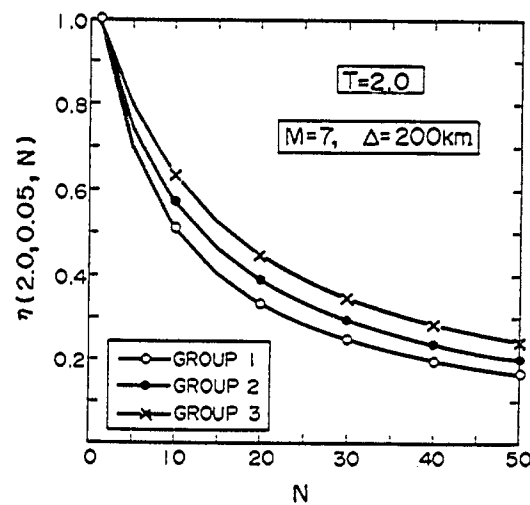
(b) $M=7$, $\Delta=100\text{ km}$



(c) $M=8$, $\Delta=100\text{ km}$

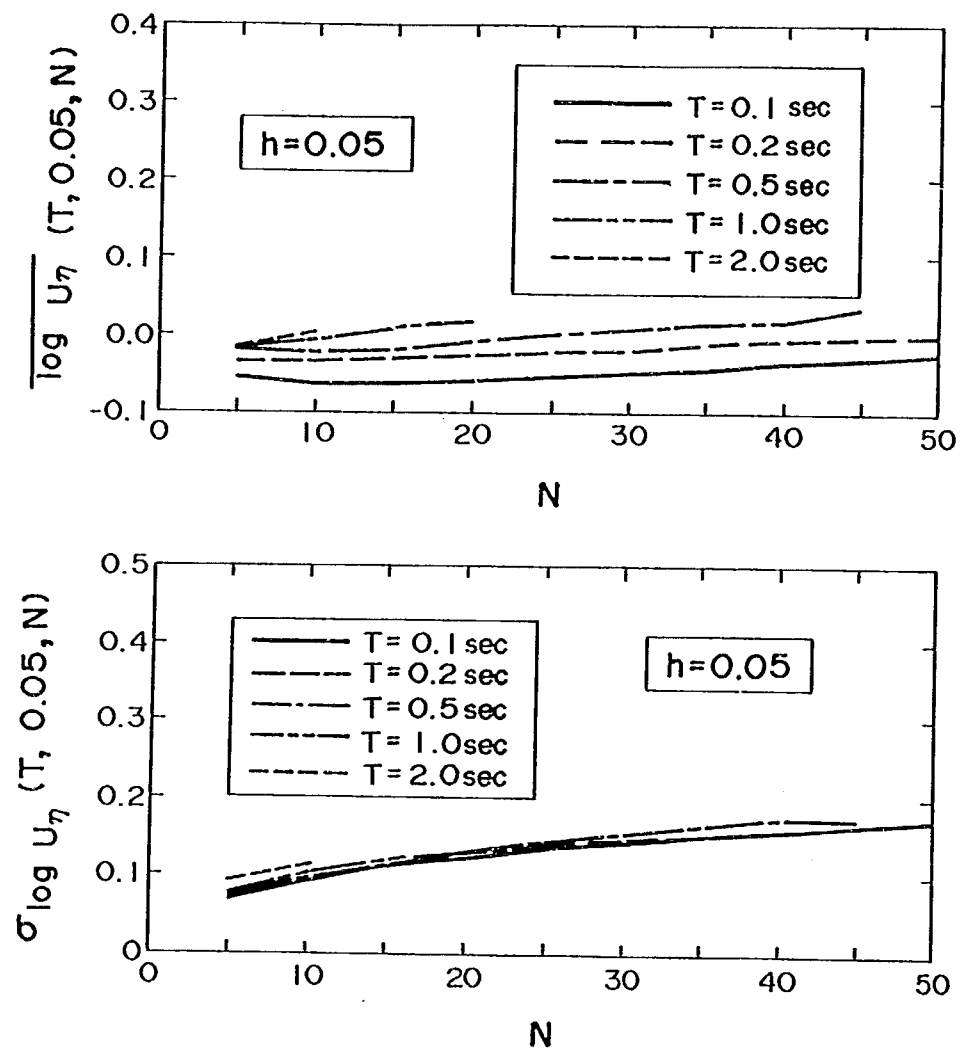


(d) $M=7$, $\Delta=50\text{ km}$

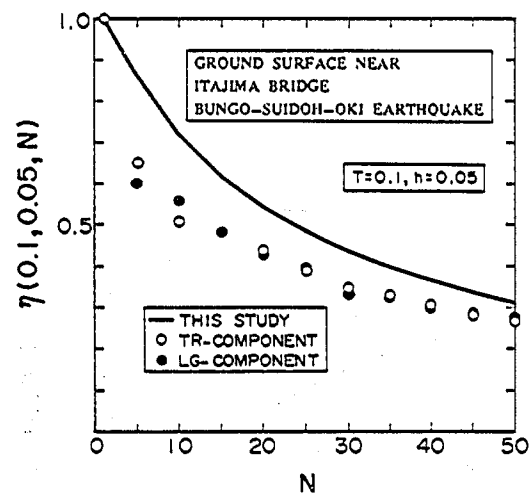


(e) $M=7$, $\Delta=200\text{ km}$

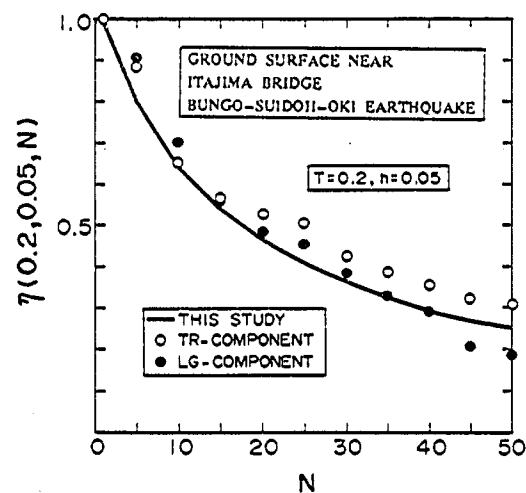
付図 7 (3) 代表的なマグニチュード、震央距離に対する η の試算例 ($T=2.0$, $h=0.05$ の場合)



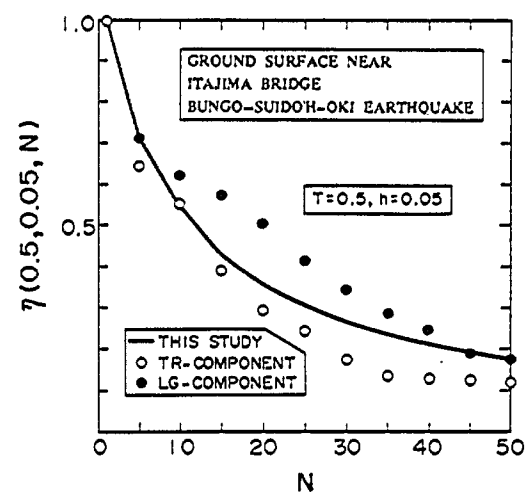
付図8 $\log U_\eta$ の平均値 $\overline{\log U_\eta}$ および標準偏差 $\sigma_{\log U_\eta}$



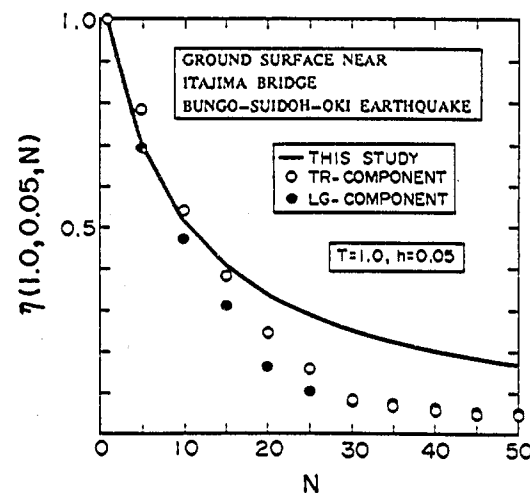
(a) $T = 0.1$ 秒の場合



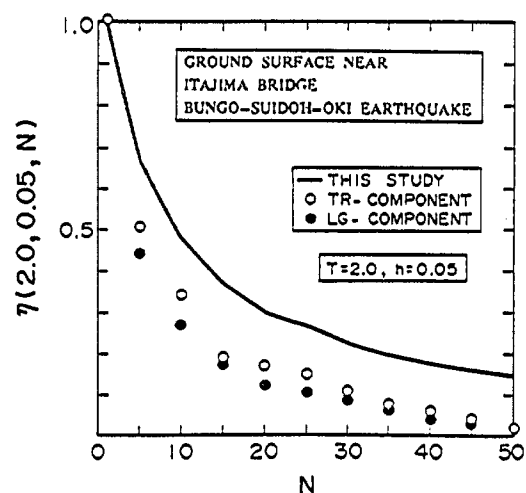
(b) $T = 0.2$ 秒の場合



(c) $T = 0.5$ 秒の場合

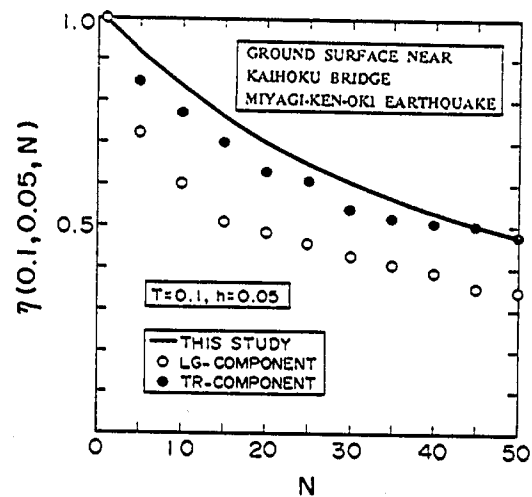


(d) $T = 1.0$ 秒の場合

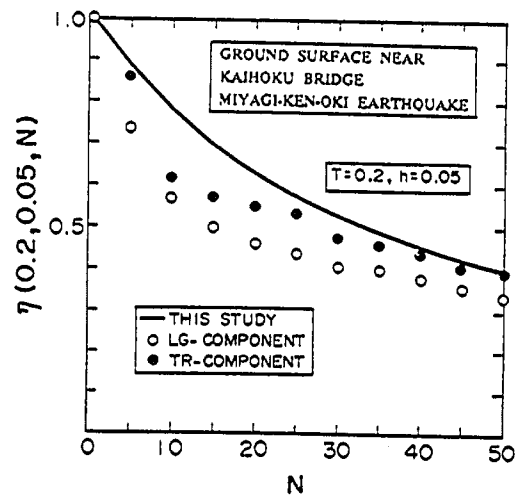


(e) $T = 2.0$ 秒の場合

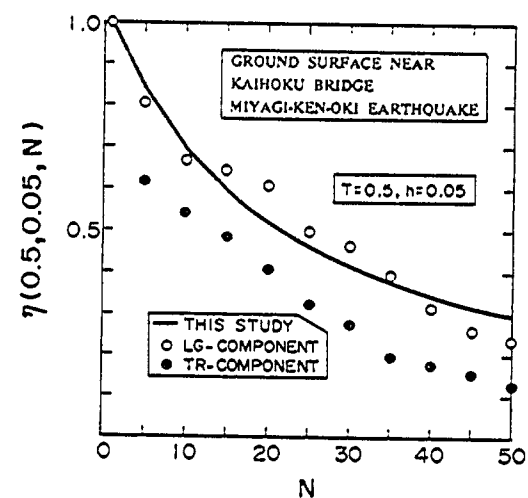
付図9 式(4.1), (4.7)による低減係数と実測値との比較(板島橋記録の場合, $h = 0.05$)



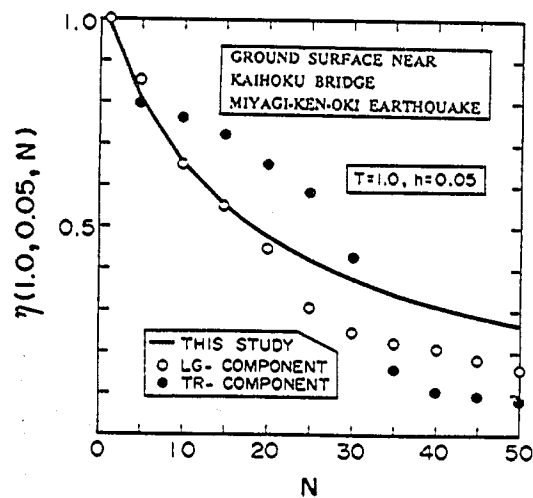
(a) $T = 0.1$ 秒の場合



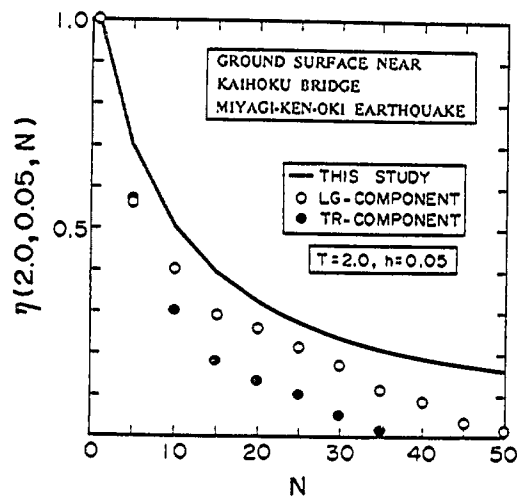
(b) $T = 0.2$ 秒の場合



(c) $T = 0.5$ 秒の場合



(d) $T = 1.0$ 秒の場合



(e) $T = 2.0$ 秒の場合

付図10 式(4.1), (4.7)による低減係数と実測値との比較(開北橋記録の場合, $h = 0.05$)

最大地震動および地震応答スペク

ISSN 0386-5878

トルの推定法

土研資料第2156号

—(その8)応答の繰り返し回数を考慮した

昭和59年3月

加速度応答スペクトル—

川島一彦, 田村敬一,

相沢 興, 高橋和之

キーワード 耐震設計, 入力地震動, 応答スペクトル

要 旨

地盤, 土構造物のように強い履歴強度特性を有する材料に
対しては, 振動中にただ1回生ずる最大応答値よりも, あ
る程度の回数が継続して作用する応答値の方が強震時の耐震性を検討
する上で重要と考えられる。そこで応答波形の繰り返し回数を考慮し
た加速度応答スペクトル $S_A(T, h, N)$ を新しく提案し, その特性を既
応の強震記録をもとに検討, 試算すると共に, 繰り返し低減係数 η
(T, h, N) が実用的に $\eta(T, h, N) = 1 / (1 + a(T, h)(N - 1))$, $a =$
 $80h / ((60h + 1) \times 0.0815 \times T^{0.349})$ として与えられることを示した。

郵便はがき

40
円切
手
を
は
っ
て
下
さ
い

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所

地震防災部振動研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No.176

No.176

配布先氏名

配布先住所

○



土木研究所資料第2156号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印

土研資料第2156号

最大地震動および地震応答スペクトル
の推定法(その8)

