

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——

昭和58年7月

建設省土木研究所
地震防災部・振動研究室

Copyright ©1983 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。

ま え が き

地震応答スペクトルに関しては現在までに各種の提案がなされているが、これらは一般に特定の減衰定数に対する値を与えるものであり、これ以外の減衰定数に対する地震応答スペクトルは、必要とされる減衰定数に近いスペクトル値を内外挿して求める必要がある。

本報告は、前に土研資料第 1841 号で提案した減衰定数による地震応答スペクトルの補正法を地震動の周期特性を考慮してより一般的に求める手法について検討した結果を報告するものである。

昭和 58 年 7 月

建設省土木研究所地震防災部振動研究室

主任研究員 川 島 一 彦

相 沢 興

高 橋 和 之

目 次

ま え が き

1 概 説	1
2 応答スペクトル比と地震動の周期特性の関係	2
3 応答スペクトル比の推定法	15
4 試 算 例	21
5 ま と め	27
参 考 文 献	28

第1章 概 説

地震応答スペクトルは、1自由度系で近似した構造物の最大応答を与える指標であると同時に、強度、周期、継続時間を包含した地震動の特性を表わす指標として、実務設計でよく用いられている。地震応答スペクトルに関しては現在までに各種の提案がなされているが、これらは一般に特定の減衰定数に対する値を与えるものであり、これ以外の減衰定数に対する地震応答スペクトルは、必要とされる減衰定数に近いスペクトル値を内外挿して求める必要がある。また、特定の減衰定数を指定して平均応答スペクトルもしくは、これを包絡する形で与えられた設計スペクトルをもとに動的解析を行う場合には、解析で必要とされる任意の減衰定数に対応するスペクトル値を求めなければならない。このような観点から、土研資料第1841号では、地震応答加速度スペクトルに及ぼす減衰定数の影響を我国で得られた206成分(表1-1、表1-2参照)の加速度地震記録に基づいて検討し、減衰定数5%の加速度応答スペクトル(絶対加速度応答スペクトル)をもとに任意の減衰定数の加速度応答スペクトル(絶対加速度応答スペクトル)を推定する手法を提案した。しかしながら、前回の検討では、減衰定数の小さい場合($h < \text{約} 0.01$) および固有周期が長く($T > \text{約} 2$ 秒)、かつ、減衰定数が大きい($h > \text{約} 0.2$)場合には回帰の精度が悪いため、推定式の適用除外とした。本報告は、地震動の周期特性に注目して上記結果を再検討し、より一般的な減衰定数による地震応答スペクトルの補正法を検討した結果についてとりまとめたものである。

第2章 応答スペクトル比と地震動の周期特性の関係

地震応答スペクトルに及ぼす減衰定数の影響を表わすため、前報告と同様に減衰定数 0.05 の加速度応答スペクトル (絶対加速度応答スペクトル) を基準とし、次式により応答スペクトル比 ξ_{sA} を定義する。

$$\xi_{sA}(T, h) = S_A(T, h) / S_A(T, 0.05) = \beta(T, h) / \beta(T, 0.05) \quad (2-1)$$

ここで、 $S_A(T, h)$ 、 $\beta(T, h)$ はそれぞれ固有周期 T [秒]、減衰定数 h の絶対加速度応答スペクトル [gal] および、これを入力地震動の最大加速度 $a_{\max}$ [gal] で割った加速度応答スペクトル倍率である。

前報告に示した通り、 $\xi_{sA}(T, h)$ は入力地震動の周期特性によって変化し、入力地震動の卓越周期近傍ではその他の固有周期の箇所と比較し、 $h > 0.05$ の場合には ξ_{sA} は小さくなり、また $h < 0.05$ の場合には ξ_{sA} は大きくなる⁴⁾。このように、同一の減衰定数に対する $\xi_{sA}(T, h)$ でも固有周期領域でみると、入力地震動の卓越周期近傍で $\xi_{sA}(T, h)$ が大きくなったり ($h < 0.05$ の場合)、小さくなったり ($h > 0.05$ の場合) する理由は、調和外力を受ける 1 自由度系の定常振動解から説明することができる⁴⁾。

そこで、入力地震動の周期特性を減衰定数 5% の入力地震動の加速度応答スペクトル倍率 $\beta(T, 0.05)$ で表わすこととし、式(1)の $\xi_{sA}(T, h)$ と $\beta(T, 0.05)$ の関係を主要な減衰定数 h に対して示した一例が図 2-1 である。ここで、解析に用いたのは前報告と同じ表 2-1、表 2-2 に示すように我国の地盤上 43 地点において土木研究所により観測、数値化された 206 成分の水平加速度強震記録である¹⁾。これによれば、 $h=0$ 、 $h=0.4$ 等ではややばらつきがあるが、全体として $\log \xi_{sA}$ と $\log \beta$ の間にはよい相関がある。そこで、いま両者の平均的な関係を求めることとし、図 2-1 の $\log \xi_{sA}$ を $\log \beta$ について区間平均した値 $\overline{\log \xi_{sA}}$ と $\log \beta$ の関係を求めた結果が表 2-3、図 2-2 である。これによれば、 $\log \beta$ の値が大きくなるとともに $h > 0.05$ の場合には $\overline{\log \xi_{sA}}$ は小さくなり、また反対に、 $h < 0.05$ の場合には $\overline{\log \xi_{sA}}$ は大きくなる。さらに、このような傾向は、 h が 0.05 から離れるに従って著しくなる。入力地震動の卓越周期近傍では入力地震動の加速度応答スペクトル倍率 β は当然大きな値をとる訳であるから、このような特性は上述した $\xi_{sA}(T, h)$ に対する入力地震動の卓越周期の影響をよく表わしているといえることができる。なお、応答スペクトル比に対する地盤種別の影響は加速度応答スペクトル倍率 β の形状を通して解析に考慮されていると考えることができる。

表2-1(1) 解析に用いた強震記録(地震別分類)

地震No	地震名	年月日時分	M	d	震源距離	記録名	観測所名
66005	松代付近	1966, 1.23, 20:15	5.1	0.0	11.6	905-B-4	落合橋
					11.6	905-C-2	"
66010	"	1966, 4.5, 17:51	5.4	0.0	7.6	905-B-18	"
					7.6	905-C-7	"
66016	"	1966, 5.6, 19:08	5.0	0.0	11.3	905-C-30	"
					11.3	905-B-49	"
66019	"	1966, 5.28, 14:21	5.3	0.0	13.5	605-GR-1	掘花ダム
66047	"	1966, 10.26, 3:04	5.3	0.0	13.3	905-B-186	落合橋
67004	金華山沖	1967, 1.17, 20:59	6.3	30.0	70.6	302-GR-3	開北橋
67033	北海道中部	1967, 7.5, 8:42	6.3	170.0	66.3	1302-GR-3	千代田橋
67054	千葉県中部	1967, 11.10, 3:19	5.3	80.0	41.6	101-GR-4	新葛飾橋
68012	宮崎県南西部	1968, 2.21, 10:45	6.1	0.0	40.6	205-GR-2	石瀬戸橋
68022	和歌山付近	1968, 3.30, 4:04	5.0	0.0	5.4	112-GR-8	紀ノ川大橋
68026	日向灘	1968, 4.1, 9:42	7.5	30.0	103.3	308-GR-2	板島橋
					136.0	205-GR-6	石瀬戸橋
					341.3	306-GR-1	妙見橋
68027	日向灘	1968, 4.1, 16:13	6.3	0.0	102.8	308-GR-3	板島橋
68036	北本州東方沖	1968, 5.16, 9:46	7.9	0.0	243.1	1302-GR-5	千代田橋
					316.3	1303-GR-1	新石狩大橋
					259.3	1304-GR-1	大湊毛橋
					155.1	1305-GR-1	幌満橋
68038	青森県東方沖	1968, 5.16, 19:39	7.5	40.0	172.5	1302-GR-7	千代田橋
					219.6	1303-GR-2	新石狩大橋
					74.0	1305-GR-3	幌満橋
					47.7	101-GR-9	新葛飾橋
68057	埼玉県中部	1968, 7.1, 19:45	6.1	50.0	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
					82.3	501-GR-29	東京湾(富津岬)
					72.3	901-GR-33	
					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
68059	大島東部	1968, 7.4, 9:34	5.2	100.0	46.6	503-GR-9	東京湾(観音崎)
					19.2	308-GR-4	板島橋
					18.4	308-GR-8	"
68066	愛媛県西沿岸	1968, 8.6, 1:47	6.6	40.0	19.2	308-GR-4	板島橋
68070	"	1968, 8.6, 13:21	5.3	40.0	18.4	308-GR-8	"
68090	千葉県中部	1968, 10.8, 9:50	5.3	70.0	45.1	106-GR-15	草加高架橋
					13.7	901-GR-37	
					47.0	503-GR-11	東京湾(観音崎)
					41.3	902-GR-26	西新井橋
					40.0	1108-GR-7	一ノ橋高架橋
69013	栃木県中部	1969, 4.9, 21:57	5.6	100.0	71.7	104-GR-12	新利根川橋
69032	岐阜県中部	1969, 9.9, 14:15	6.6	0.0	89.1	204-GR-3	新八幡橋
					85.5	319-GR-4	四徳大橋
					132.3	1001-GR-2	浜名大橋
70004	北海道南部	1970, 1.21, 2:33	6.7	50.0	62.8	1302-GR-10	千代田橋
					35.9	1305-GR-11	幌満橋

表 2-1(2) 解析に用いた強震記録(地震別分類)

地震No	地震名	年月日時分	M	d	震源距離	記録名	観測所名
70011	松代付近	1970, 4. 9, 1:44	5.0	0.0	24.3	905-B-266	落合橋
70021	宮崎県沖	1970, 7. 26, 7:41	6.7	10.0	84.9	205-GR-8	石瀬戸橋
					136.6	308-GR-11	板島橋
70031	秋田県南東部	1970, 10. 16, 14:26	6.2	0.0	23.2	301-GR-7	雄平橋
					154.9	304-GR-23	伊達橋
71002	愛知県沿岸沖	1971, 1. 5, 6:09	6.1	40.0	43.6	311-GR-6	豊浜大橋
					67.7	904-GR-4	新天竜川橋
71012	新潟県南西	1971, 2. 26, 4:27	5.5	0.0	26.2	102-GR-16	米山大橋
					42.2	202-GR-15	魚沼橋
					25.5	203-GR-27	横倉沢橋
71038	福島県沖	1971, 9. 8, 16:25	5.5	40.0	59.9	907-GR-60	平大橋
71040	千葉県北部	1971, 10. 11, 19:16	5.2	40.0	9.5	906-GR-12	
					16.0	1401-GR-1	利根川河口堰
73009	根室半島南東沖	1973, 6. 17, 12:55	7.4	40.0	208.4	1302-GR-11	千代田橋
73024	銚子付近	1973, 9. 30, 15:18	5.9	50.0	26.9	906-GR-17	
73025	銚子付近	1973, 10. 1, 23:16	5.8	60.0	33.3	906-GR-18	
73029	和歌山県西部	1973, 11. 25, 13:25	5.9	60.0	46.7	112-GR-25	紀ノ川大橋
73030	和歌山県中央部	1973, 11. 25, 18:19	5.8	60.0	42.0	112-GR-26	〃
74006	千葉県東部	1974, 3. 3, 13:50	6.1	60.0	41.3	206-GR-2	小見川大橋
					41.6	906-GR-19	
					33.3	1401-GR-4	利根川河口堰
74012	伊豆半島沖	1974, 5. 9, 8:33	6.9	10.0	115.0	503-GR-19	東京湾(観音崎)
74014	茨城県沖	1974, 7. 8, 14:45	6.3	40.0	81.2	206-GR-3	小見川大橋
					79.0	1401-GR-5	利根川河口堰
74015	栃木・茨城県境	1974, 8. 4, 3:16	5.8	50.0	28.3	101-GR-24	新葛飾橋
					23.6	104-GR-27	新利根川橋
					25.6	106-GR-27	草加高架橋
					64.5	206-GR-4	小見川大橋
					34.0	310-GR-26	平井大橋
					31.4	902-GR-38	西新井橋
					145.4	907-GR-83	平大橋
74016	岩手県北部	1974, 9. 4, 18:20	5.6	40.0	73.9	1401-GR-6	利根川河口堰
					46.2	105-GR-8	真崎大橋
74022	銚子付近	1974, 11. 16, 8:32	6.1	40.0	59.2	206-GR-6	小見川大橋
					55.9	906-GR-22	
					49.9	1401-GR-8	利根川河口堰
75002	千葉県北部	1975, 2. 8, 1:41	5.4	60.0	44.6	206-GR-8	小見川大橋
					20.2	901-GR-5	
75003	愛知・岐阜県境	1975, 3. 14, 22:56	5.3	50.0	52.8	109-GR-1	大平橋
					33.8	204-GR-28	新八幡橋
75015	福島沿岸	1975, 8. 15, 3:09	5.5	50.0	19.7	907-GR-94	平大橋
					11.3	609-GR-1	三保ダム
76004	山梨県東部	1976, 6. 16, 7:36	5.5	20.0	17.7	1004-GR-4	境川橋
					40.5	1005-GR-2	姥久保橋
					16.9	1006-GR-5	鶴川橋
					15.2	1009-GR-2	東名・酒匂川橋
76010	福島県沖	1976, 10. 6, 22:38	5.9	70.0	44.8	907-GR-98	平大橋
78001	伊豆・大島近海	1978, 1. 14, 12:24	7.0	0.0	70.3	503-GR-21	東京湾(観音崎)
78002	宮城県沖	1978, 2. 20, 13:36	6.7	50.0	84.2	302-GR-34	開北橋
78008	島根県中部	1978, 6. 4, 5:04	6.1	0.0	29.8	306-GR-7	妙見橋
					312.2	104-GR-36	新利根川橋
78012	宮城県沖	1978, 6. 12, 17:14	7.4	40.0	188.1	301-GR-13	雄平橋
					81.4	302-GR-35	開北橋
					164.6	907-GR-106	平大橋

表 2 - 2 (1) 解析に用いた強震記録 (観測点別分類)

NO.	観測所名	記 録 名	成分	地震NO	地 震 名	地震発生年月日時分	M	深さ	震 央 距 離	地盤 種別
1	落合橋(A)	905-GRA- 4	LG.	66005	松 代 付 近	1966, 1.23, 20:15	5.1	0	11.6	1
2		905-GRA- 4	TR.							
3		905-GRA-18	LG.	66010	松 代 付 近	1966, 4.5, 17:51	5.4	0	7.6	
4		905-GRA-18	TR.							
5		905-GRA-49	LG.	66016	松 代 付 近	1966, 5.6, 19:08	5.0	0	11.3	
6		905-GRA-49	TR.							
7		905-GRA-186	LG.	66047	松 代 付 近	1966, 10.26, 3:04	5.3	0	13.3	
8		905-GRA-186	TR.							
9	905-GRA-266	HA.	70011	松 代 付 近	1970, 4.9, 1:44	5.0	0	24.3		
10	905-GRA-266	HB.								
11	落合橋(B)	905-GRB- 2	E-W	66005	松 代 付 近	1966, 1.23, 20:15	5.1	0	11.6	
12		905-GRB- 2	N-S							
13		905-GRB- 7	E-W	66010	松 代 付 近	1966, 4.5, 17:51	5.4	0	7.6	
14		905-GRB- 7	N-S							
15		905-GRB-30	E-W	66016	松 代 付 近	1966, 5.6, 19:08	5.0	0	11.3	
16		905-GRB-30	N-S							
17	裾花ダム	605-GR- 2	N-S	66019	松 代 付 近	1966, 5.28, 14:21	5.3	0	13.5	
18		605-GR- 2	E-W							
19	開 北 橋	302-GR- 3	TR.	67004	金 華 山 沖	1967, 1.17, 20:59	6.3	30	706	1
20		302-GR- 3	LG.							
21		302-GR-34	LG.	78002	宮 城 県 沖	1978, 2.20, 13:36	6.7	50	84.2	
22		302-GR-34	TR.							
23		302-GR-35	LG.	78012	宮 城 県 沖	1978, 6.12, 17:14	7.4	40	81.4	
24		302-GR-35	TR.							
25	千代田橋	1302-GR- 3	TR.	67033	北海道中部	1967, 7.5, 8:42	6.3	170	66.3	
26		1302-GR- 3	LG.							
27		1302-GR- 5	TR.	68036	北本州東方沖	1968, 5.16, 9:46	7.9	0	243.1	
28		1302-GR- 5	LG.							
29		1302-GR- 7	TR.	68038	青森県東方沖	1968, 5.16, 19:39	7.5	40	172.5	
30		1302-GR- 7	LG.							
31		1302-GR-10	HA.	70004	北海道南部	1970, 1.21, 2:33	6.7	50	62.8	
32		1302-GR-10	HB.							
33		1302-GR-11	LG.	73009	根 室 半 島 南 東 沖	1973, 6.17, 12:55	7.4	40	208.4	
34		1302-GR-11	TR.							
35	新葛飾橋	101-GR- 4	LG.	67054	千葉県中部	1967, 11.10, 3:19	5.3	80	41.6	2
36		101-GR- 4	TR.							
37		101-GR- 9	TR.	68057	埼玉県中部	1968, 7.1, 19:45	6.1	50	47.7	
38		101-GR- 9	LG.							
39		101-GR-24	TR.	74015	栃木・茨城 県 境	1974, 8.4, 3:16	5.8	50	28.3	
40		101-GR-24	LG.							
41	石瀬戸橋	205-GR- 2	LG.	68012	宮城県南西部	1968, 2.21, 10:45	6.1	0	40.6	2
42		205-GR- 2	TR.							
43		205-GR- 6	LG.	68026	日 向 灘	1968, 4.1, 9:42	7.5	30	136.0	
44		205-GR- 6	TR.							

表2-2(2) 解析に用いた強震記録(観測点別分類)

NO.	観測所名	記 録 名	成分	地震NO.	地 震 名	地震発生年月日時分	M	深さ	震 距	火 災	地盤 種類
45	石瀬戸橋	205-GR-8	HA.	70021	宮 城 県 沖	1970, 7.26, 7:41	6.7	10	84.9		2
46		205-GR-8	HB.								
47	紀ノ川 大橋	112-GR-8	TR.	68022	和歌山付近	1968, 3.30, 4:04	5.0	0	5.4		2
48		112-GR-8	LG.								
49		112-GR-25	TR.	73029	和歌山県西部	1973, 11.25, 13:25	5.9	60	46.7		
50		112-GR-25	LG.								
51		112-GR-26	TR.	73030	和歌山県 中 央 部	1973, 11.25, 18:19	5.8	60	42.0		
52		112-GR-26	LG.								
53	妙見橋	306-GR-1	TR.	68026	日 向 灘	1968, 4.1, 9:42	7.5	30	341.3		3
54		306-GR-1	LG.								
55		306-GR-7	TR.	78008	島根県中部	1978, 6.4, 5:04	6.1	0	29.8		
56		306-GR-7	LG.								
57	板 島 橋	308-GR-2	TR.	68026	日 向 灘	1968, 4.1, 9:42	7.5	30	103.3		2
58		308-GR-2	LG.								
59		308-GR-3	TR.	68027	日 向 灘	1968, 4.1, 16:13	6.3	0	102.8		
60		308-GR-3	LG.								
61		308-GR-4	TR.	68066	愛知県西沿岸	1968, 8.6, 1:47	6.6	40	19.2		
62		308-GR-4	LG.								
63		308-GR-8	TR.	68070	愛知県西沿岸	1968, 8.6, 13:21	5.3	40	18.4		
64		308-GR-8	LG.								
65		308-GR-11	HA.	70021	宮 城 県 沖	1970, 7.26, 7:41	6.7	10	136.6		
66		308-GR-11	HB.								
67	新石狩 大橋	1303-GR-1	E-W	68036	北本州東方沖	1968, 5.16, 9:46	7.9	0	316.3		
68		1303-GR-1	N-S								
69		1303-GR-2	E-W	68038	青森県東方沖	1968, 5.16, 19:39	7.5	40	219.6		
70		1303-GR-2	N-S								
71	大衆毛橋	1304-GR-1	TR.	68036	北本州東方沖	1968, 5.16, 9:46	7.9	0	259.3		
72		1304-GR-1	LG.								
73	梶 満 橋	1305-GR-1	TR.	68036	北本州東方沖	1968, 5.16, 9:46	7.9	0	155.1		1
74		1305-GR-1	LG.								
75		1305-GR-3	TR.	68038	青森県東方沖	1968, 5.16, 19:39	7.5	40	74.1		
76		1305-GR-3	LG.								
77		1305-GR-11	HA.	70004	北海道南部	1970, 1.21, 2:33	6.7	50	35.9		
78		1305-GR-11	HB.								
79	新利根 川橋	104-GR-9	TR.	68057	埼玉県中部	1968, 7.1, 19:45	6.1	50	29.9		2
80		104-GR-9	LG.								
81		104-GR-12	TR.	69013	栃木県中部	1969, 4.9, 21:57	5.6	100	71.7		
82		104-GR-12	LG.								
83		104-GR-27	TR.	74015	栃木・茨城 県 境	1974, 8.4, 3:16	5.8	50	23.6		
84		104-GR-27	LG.								
85		104-GR-36	TR.	78012	宮 城 県 沖	1978, 6.12, 17:14	7.4	40	312.2		
86		104-GR-36	LG.								
87	草加 高架橋	106-GR-9	TR.	68057	埼玉県中部	1968, 7.1, 19:45	6.1	50	38.4		3
88		106-GR-9	LG.								

表 2-2(3) 解析に用いた強震記録(観測点別分類)

NO.	観測所名	記 録 名	成分	地震NO	地 震 名	地震発生年月日時分	M	深さ	震 央 距 離	地盤 種別
89	草加 高架橋	106-GR-15	TR.	68090	千葉県中部	1968, 10.8, 9:50	5.3	70	45.1	3
90		106-GR-15	LG.							
91		106-GR-27	TR.	74015	栃木・茨城 県 境	1974, 8.4, 3:16	5.8	50	25.6	
92		106-GR-27	LG.							
93	平井大橋	310-GR-15	LG.	68057	埼玉県中部	1968, 7.1, 19:45	6.1	50	48.7	2
94		310-GR-15	TR.							
95		310-GR-26	LG.	74015	栃木・茨城 県 境	1974, 8.4, 3:16	5.8	50	34.0	
96		310-GR-26	TR.							
97	東京湾 (富津岬)	501-GR-29	N-S	68057	埼玉県中部	1968, 7.1, 19:45	6.1	50	82.3	2
98		501-GR-29	E-W							
99	旧土研 千葉支所 (A)	901-GRA-33	N-S	68057	埼玉県中部	1968, 7.1, 19:45	6.1	50	72.3	1
100		901-GRA-33	E-W							
101		901-GRA-37	N-S	68090	千葉県中部	1968, 10.8, 9:50	5.3	70	13.7	
102		901-GRA-37	E-W							
103	旧土研 千葉支所 (B)	901-GRB-5	HA.	75002	千葉県北部	1975, 2.8, 1:41	5.4	60	20.2	1
104		901-GRB-5	HB.							
105	西新井橋	902-GR-25	LG.	68057	埼玉県中部	1968, 7.1, 19:45	6.1	50	41.6	3
106		902-GR-25	TR.							
107		902-GR-26	LG.	68090	千葉県中部	1968, 10.8, 9:50	5.3	70	41.3	
108		902-GR-26	TR.							
109		902-GR-38	LG.	74015	栃木・茨城 県 境	1974, 8.4, 3:16	5.8	50	31.4	
110		902-GR-38	TR.							
111	境川橋	1004-GR-1	LG.	68057	埼玉県中部	1968, 7.1, 19:45	6.1	50	48.8	1
112		1004-GR-1	TR.							
113		1004-GR-4	HA.	76004	山梨県東部	1976, 6.16, 7:36	5.5	20	17.7	
114		1004-GR-4	HB.							
115	姥久保橋	1005-GR-1	TR.	68057	埼玉県中部	1968, 7.1, 19:45	6.1	50	34.1	1
116		1005-GR-1	LG.							
117		1005-GR-2	HA.	76004	山梨県東部	1976, 6.16, 7:36	5.5	20	40.5	
118		1005-GR-2	HB.							
119	一ノ橋 高架橋	1108-GR-5	TR.	68057	埼玉県中部	1968, 7.1, 19:45	6.1	50	46.0	
120		1108-GR-5	LG.							
121		1108-GR-7	TR.	68090	千葉県中部	1968, 10.8, 9:50	5.3	70	40.0	
122		1108-GR-7	LG.							
123	羽田海底 トンネル	1109-GR-3	LG.	68057	埼玉県中部	1968, 7.1, 19:45	6.1	50	55.7	2
124		1109-GR-3	TR.							
125	東京湾 (観音崎)	503-GR-9	E-W	68059	大島東部	1968, 7.4, 9:34	5.2	100	46.6	1
126		503-GR-9	N-S							
127		503-GR-11	E-W	68090	千葉県中部	1968, 10.8, 9:50	5.3	70	47.0	
128		503-GR-11	N-S							
129		503-GR-19	E-W	74012	伊豆半島沖	1974, 5.9, 8:33	6.9	10	115.0	
130		503-GR-19	N-S							
131		503-GR-21	E-W	78001	伊豆・大島 近 海	1978, 1.14, 12:24	7.0	0	70.3	
132		503-GR-21	N-S							

表 2-2(4) 解析に用いた強震記録(観測点別分類)

NO.	観測所名	記 録 名	成分	地震NO	地 震 名	地震発生年月日時分	M	深さ	震 央 距 離	地盤 種別
133	新八幡橋	204 - G R - 3	TR.	69032	岐阜県中部	1969, 9.9, 14:15	6.6	0	89.1	1
134		204 - G R - 3	LG.							
135		204 - G R - 28	HA.	75003	愛知・岐阜 県 境	1975, 3.14, 22:56	5.3	50	33.8	
136		204 - G R - 28	HB.							
137	四徳大橋	319 - G R - 4	TR.	69032	岐阜県中部	1969, 9.9, 14:15	6.6	0	85.5	2
138		319 - G R - 4	LG.							
139	浜名大橋	103 - G R - 2	LG.	69032	岐阜県中部	1969, 9.9, 14:15	6.6	0	132.3	
140		103 - G R - 2	TR.							
141	雄 平 橋	301 - G R - 7	HA.	70031	秋田県南東部	1970, 10.16, 14:26	6.2	0	23.2	2
142		301 - G R - 7	HB.							
143		301 - G R - 13	TR.	78012	宮 城 県 沖	1978, 6.12, 17:14	7.4	40	188.1	
144		301 - G R - 13	LG.							
145	伊 達 橋	304 - G R - 23	HA.	70031	秋田県南東部	1970, 10.16, 14:26	6.2	0	154.9	1
146		304 - G R - 23	HB.							
147	豊浜大橋	311 - G R - 6	HA.	71002	愛知県沿岸沖	1971, 1.5, 6:09	6.1	40	43.6	2
148		311 - G R - 6	HB.							
149	新天竜 川橋	904 - G R - 4	HA.	71002	愛知県沿岸沖	1971, 1.5, 6:09	6.1	40	67.7	3
150		904 - G R - 4	HB.							
151	米山大橋	102 - G R - 16	HA.	71012	新潟県南西	1971, 2.26, 4:27	5.5	0	26.2	1
152		102 - G R - 16	HB.							
153	魚 沼 橋	202 - G R - 15	HA.	71012	新潟県南西	1971, 2.26, 4:27	5.5	0	42.2	1
154		202 - G R - 15	HB.							
155	横倉沢橋	203 - G R - 27	TR.	71012	新潟県南西	1971, 2.26, 4:27	5.5	0	25.5	
156		203 - G R - 27	LG.							
157	平 大 橋	907 - G R - 60	HA.	71038	福 島 県 沖	1971, 9.8, 16:25	5.5	40	59.9	2
158		907 - G R - 60	HB.							
159		907 - G R - 83	TR.	74015	栃木・茨城 県 境	1974, 8.4, 3:16	5.8	50	145.4	
160		907 - G R - 83	LG.							
161		907 - G R - 94	HA.	75015	福 島 沿 岸	1975, 8.15, 3:09	5.5	50	19.7	
162		907 - G R - 94	HB.							
163		907 - G R - 98	HA.	76010	福 島 県 沖	1976, 10.6, 22:38	5.9	70	44.8	
164		907 - G R - 98	HB.							
165	907 - G R - 108	TR.	78012	宮 城 県 沖	1978, 6.12, 17:14	7.4	40	164.6		
166	907 - G R - 108	LG.								
167	旧鹿島 試験所	906 - G R - 12	HA.	71040	千葉県北部	1971, 10.11, 19:16	5.2	40	9.5	2
168		906 - G R - 12	HB.							
169		906 - G R - 17	E-W	73024	銚 子 付 近	1973, 9.30, 15:18	5.9	50	26.9	
170		906 - G R - 17	N-S							
171		906 - G R - 18	E-W	73025	銚 子 付 近	1973, 10.1, 23:16	5.8	60	33.3	
172		906 - G R - 18	N-S							
173		906 - G R - 19	E-W	74006	千葉県東部	1974, 3.3, 13:50	6.1	60	41.6	
174		906 - G R - 19	N-S							
175	906 - G R - 22	E-W	74022	銚 子 付 近	1974, 11.16, 8:32	6.1	40	55.9		
176	906 - G R - 22	N-S								

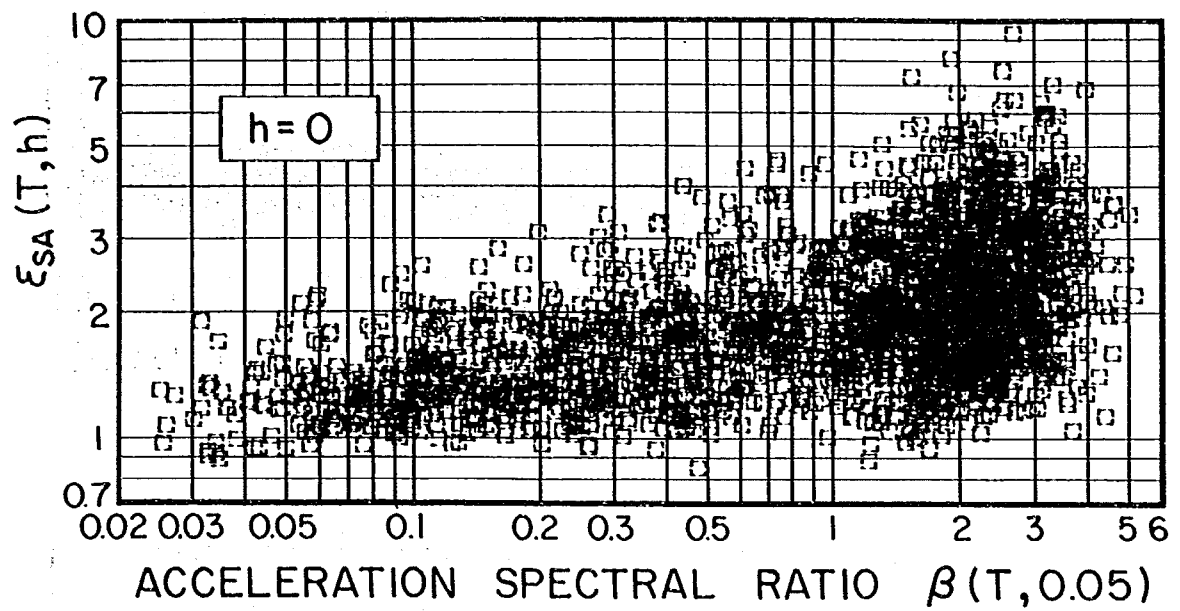
表 2-2 (5) 解析に用いた強震記録 (観測点別分類)

NO.	観測所名	記 録 名	成分	地震NO.	地 震 名	地震発生年月日時分	M	深さ	震 央 離 距離	火 災 離 距離	地盤 種類
177	利根川 河口堰	1401 - G R - 1	HA.	71040	千葉県 北部	1971, 10.11, 19:16	5.2	40	16.0	3	
178		1401 - G R - 1	HB.								
179		1401 - G R - 4	TR.	74006	千葉県 東部	1974, 3.3, 13:50	6.1	60	33.3		
180		1401 - G R - 4	LG.								
181		1401 - G R - 5	TR.	74014	茨 城 県 沖	1974, 7.8, 14:45	6.3	40	79.0		
182		1401 - G R - 5	LG.								
183		1401 - G R - 6	TR.	74015	栃木・茨城 県 境	1974, 8.4, 3:16	5.8	50	73.9		
184		1401 - G R - 6	LG.								
185		1401 - G R - 8	TR.	74022	銚 子 付 近	1974, 11.16, 8:32	6.1	40	49.9		
186		1401 - G R - 8	LG.								
187	小見川 大橋	206 - G R - 2	HA.	74006	千葉県 東部	1974, 3.3, 13:50	6.1	60	41.3	3	
188		206 - G R - 2	HB.								
189		206 - G R - 3	HA.	74014	茨 城 県 沖	1974, 7.8, 14:45	6.3	40	81.2		
190		206 - G R - 3	HB.								
191		206 - G R - 4	HA.	74015	栃木・茨城 県 境	1974, 8.4, 3:16	5.8	50	64.5		
192		206 - G R - 4	HB.								
193		206 - G R - 6	HA.	74022	銚 子 付 近	1974, 11.16, 8:32	6.1	40	59.2		
194		206 - G R - 6	HB.								
195		206 - G R - 8	HA.	75002	千葉県 北部	1975, 2.8, 1:41	5.4	60	44.6		
196		206 - G R - 8	HB.								
197	真崎大橋	105 - G R - 8	TR.	74016	岩手県 北部	1974, 9.4, 18:20	5.6	40	46.2	1	
198		105 - G R - 8	LG.								
199	大 平 橋	109 - G R - 1	HA.	75003	愛知・岐阜 県 境	1975, 3.14, 22:56	5.3	50	52.8		
200		109 - G R - 1	HB.								
201	三保ダム	609 - G R - 1	HA.	76004	山梨県 東部	1976, 6.16, 7:36	5.5	20	11.3		
202		609 - G R - 1	HB.								
203	鶴 川 橋	1006 - G R - 5	HA.	76004	山梨県 東部	1976, 6.16, 7:36	5.5	20	16.9	1	
204		1006 - G R - 5	HB.								
205	東名・酒 匂川橋	1009 - G R - 2	HA.	76004	山梨県 東部	1976, 6.16, 7:36	5.5	20	15.2		
206		1009 - G R - 2	HB.								

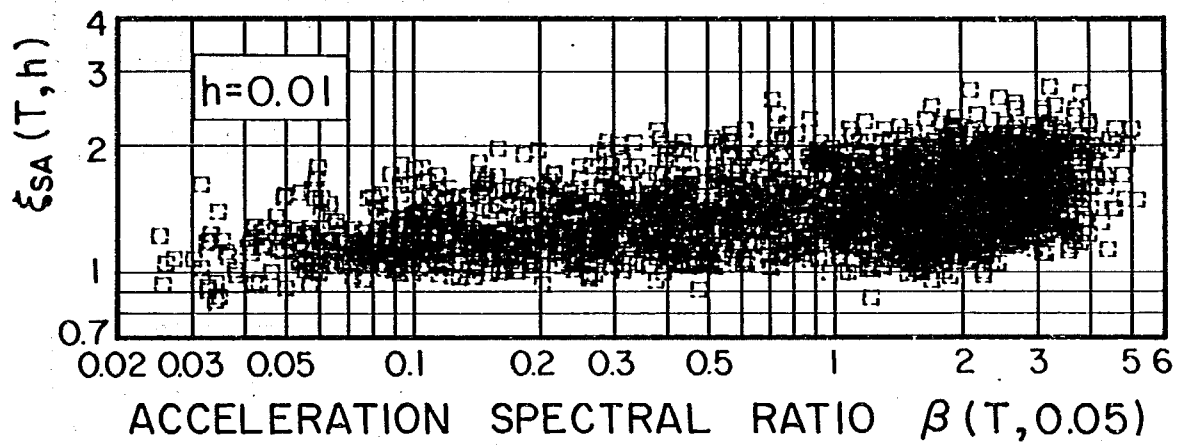
表 2-3 $\beta(T, 0.05)$ の値に応じた $\log \xi_{SA}$ の区間平均値 ($\overline{\log \xi_{SA}}$)

$\beta(T, 0.05)$ の範囲	$\overline{\beta}(T, 0.05)$	$\overline{\log \xi_{SA}}$										データ数
		$h=0.0$	$h=0.01$	$h=0.02$	$h=0.03$	$h=0.05$	$h=0.07$	$h=0.1$	$h=0.2$	$h=0.3$	$h=0.4$	
$2.68 < \beta$	3.25	0.402 (0.1706)	0.215 (0.0817)	0.136 (0.0502)	0.0808 (0.02881)	0 (0)	-0.0615 (0.01830)	-0.134 (0.0345)	-0.279 (0.0538)	-0.355 (0.0611)	-0.401 (0.0644)	255
$1.44 < \beta \leq 2.68$	1.99	0.345 (0.1762)	0.171 (0.0836)	0.104 (0.0535)	0.0605 (0.03196)	0 (0)	-0.0436 (0.02105)	-0.0910 (0.04011)	-0.183 (0.0715)	-0.231 (0.0833)	-0.258 (0.0872)	691
$0.774 < \beta \leq 1.44$	1.12	0.290 (0.1433)	0.154 (0.0812)	0.0948 (0.05243)	0.0542 (0.03218)	0 (0)	-0.0358 (0.02250)	-0.0736 (0.04581)	-0.145 (0.0879)	-0.174 (0.1044)	-0.183 (0.1082)	290
$0.416 < \beta \leq 0.774$	0.563	0.251 (0.1441)	0.149 (0.0861)	0.0916 (0.05412)	0.0527 (0.03263)	0 (0)	-0.0356 (0.02208)	-0.0743 (0.04456)	-0.136 (0.0828)	-0.145 (0.1035)	-0.131 (0.1124)	227
$0.223 < \beta \leq 0.416$	0.305	0.199 (0.1186)	0.125 (0.0760)	0.0790 (0.05035)	0.0467 (0.02968)	0 (0)	-0.0344 (0.02140)	-0.0689 (0.04287)	-0.107 (0.0832)	-0.0902 (0.10260)	-0.0539 (0.11203)	214
$0.120 < \beta \leq 0.223$	0.165	0.162 (0.1007)	0.103 (0.0692)	0.0664 (0.04696)	0.0392 (0.02862)	0 (0)	-0.0264 (0.02276)	-0.0496 (0.04788)	-0.0576 (0.09476)	-0.0166 (0.12120)	0.0379 (0.13728)	164
$0.0645 < \beta \leq 0.120$	0.0929	0.135 (0.0889)	0.089 (0.0615)	0.0558 (0.04219)	0.0318 (0.02592)	0 (0)	-0.0198 (0.02018)	-0.0317 (0.04485)	-0.00230 (0.09477)	0.0689 (0.12454)	0.142 (0.1390)	136
$0.0346 < \beta \leq 0.0645$	0.0516	0.111 (0.0915)	0.0709 (0.06535)	0.0429 (0.04560)	0.0232 (0.02915)	0 (0)	-0.0121 (0.02278)	-0.0134 (0.04820)	0.0434 (0.11168)	0.139 (0.1403)	0.232 (0.1474)	65
$\beta \leq 0.0346$	0.0268	0.0702 (0.08859)	0.0357 (0.06944)	0.0170 (0.04927)	0.0065 (0.03324)	0 (0)	0.00188 (0.03220)	0.0246 (0.05794)	0.167 (0.0100)	0.301 (0.1197)	0.407 (0.1310)	18

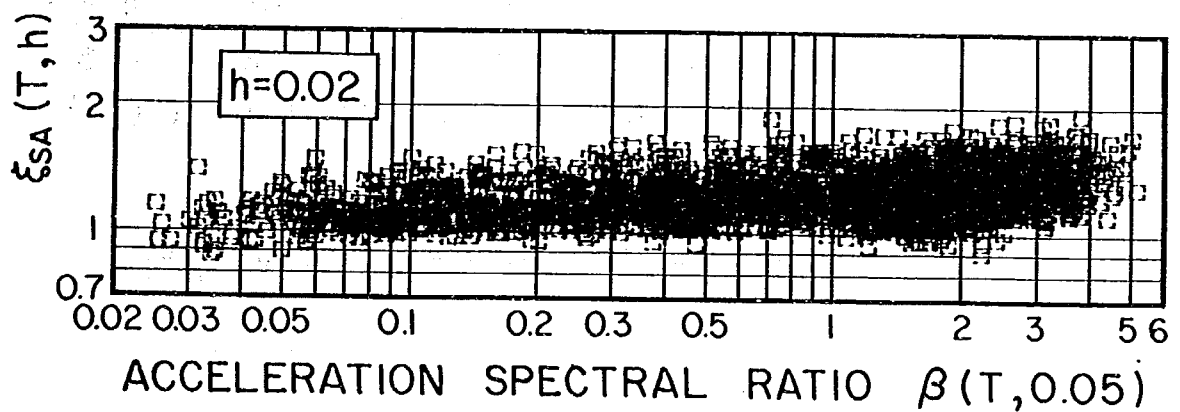
注) () 内は標準偏差 σ を示す。



(a) $h = 0$

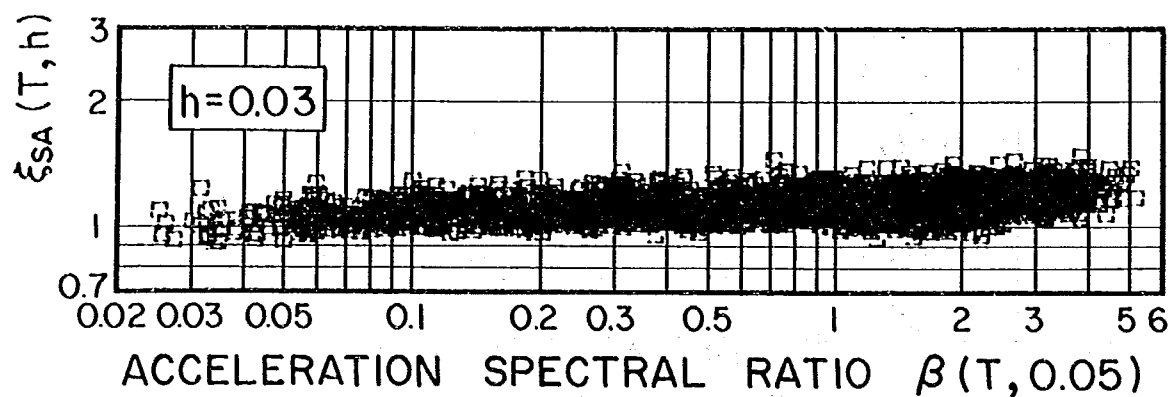


(b) $h = 0.01$

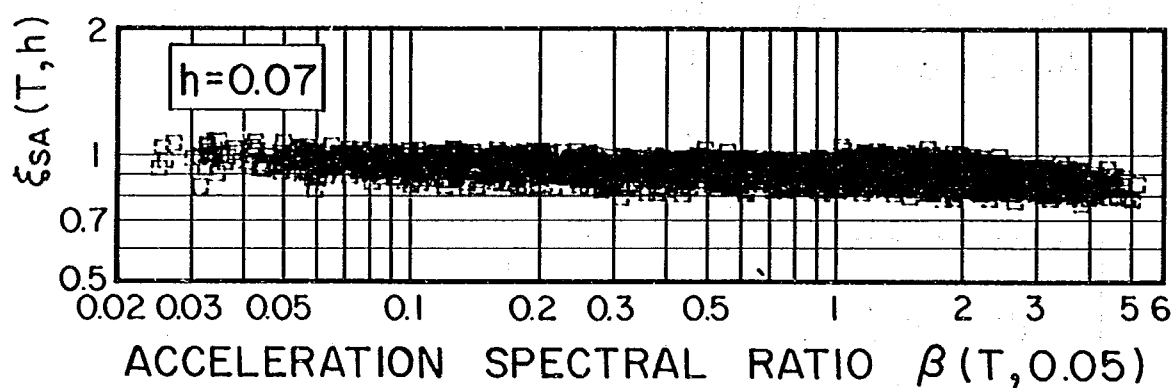


(c) $h = 0.02$

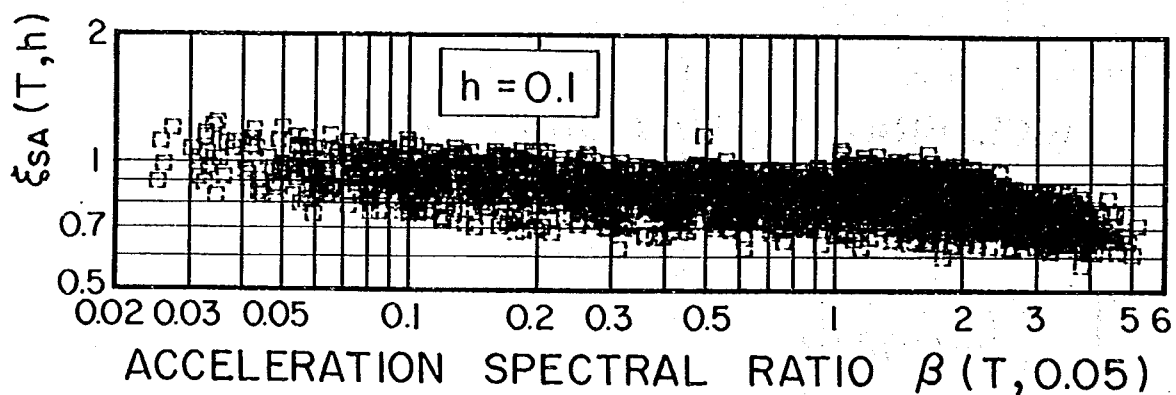
図2-1(1) 206成分の強震記録に対する $\xi_{SA}(T, h) \sim \beta(T, 0.05)$ の関係



(d) $h = 0.03$

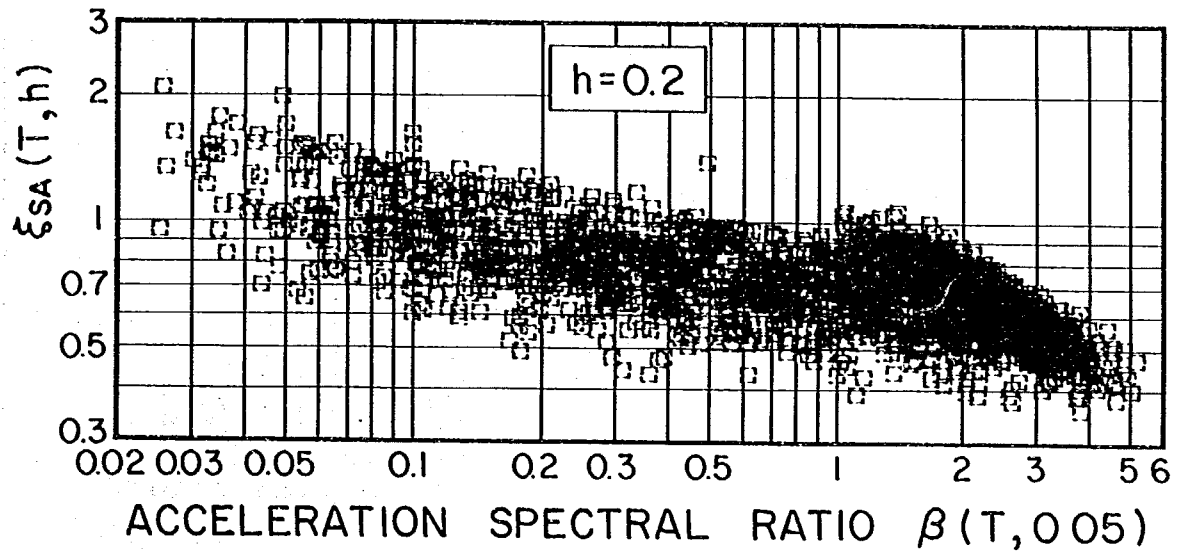


(e) $h = 0.07$

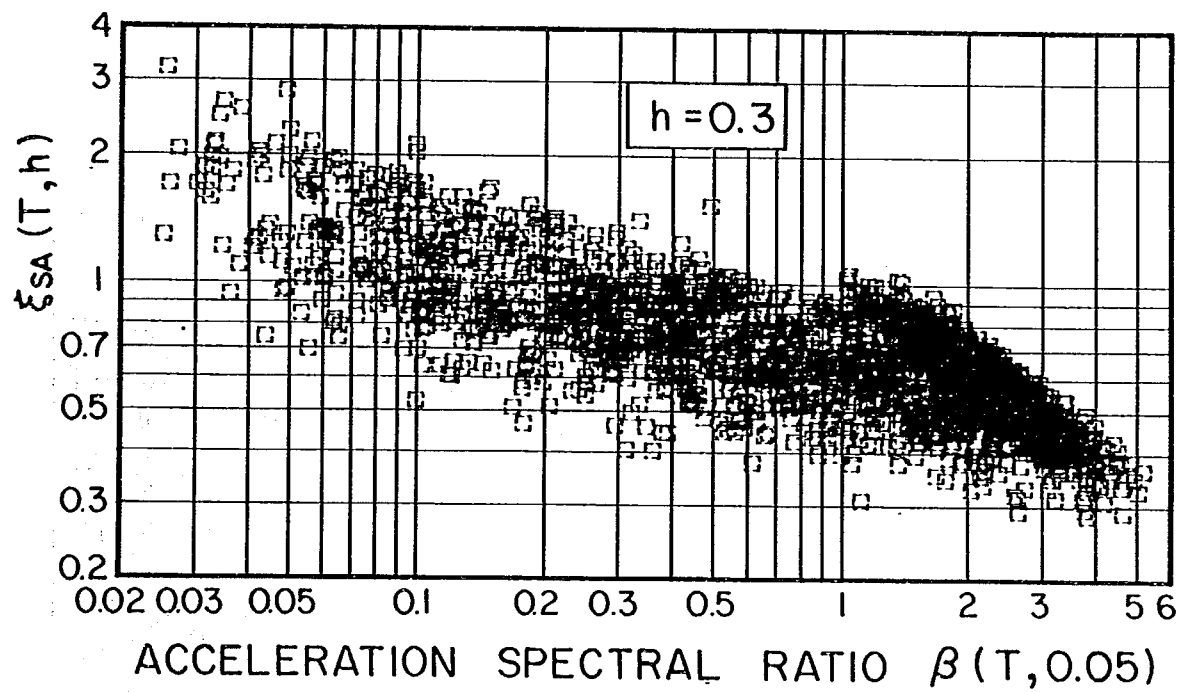


(f) $h = 0.1$

図2-1(2) 206成分の強震記録に対する $\xi_{SA}(T, h) \sim \beta(T, 0.05)$ の関係



(g) $h = 0.2$



(h) $h = 0.3$

図 2 - 1 (3) 206 成分の強震記録に対する $\xi_{SA}(T, h) \sim \beta(T, 0.05)$ の関係

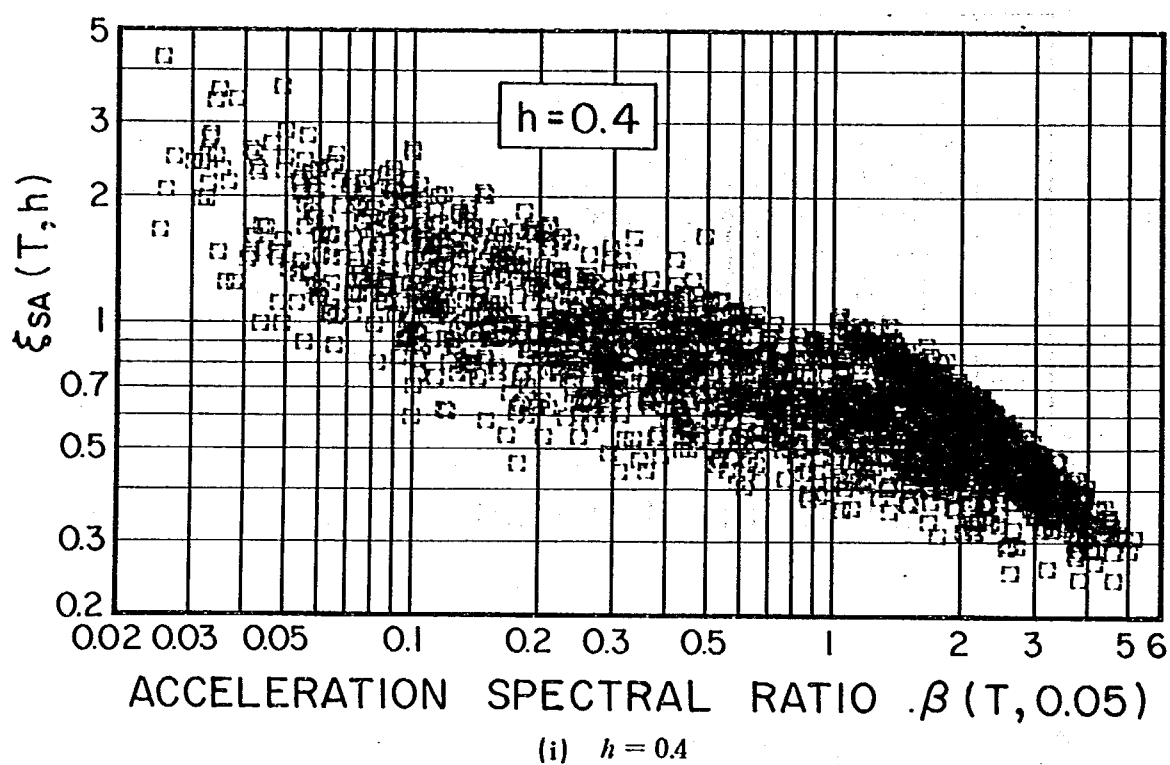


図2-1(4) 206成分の強震記録に対する $\xi_{SA}(T, h) \sim \beta(T, 0.05)$ の関係

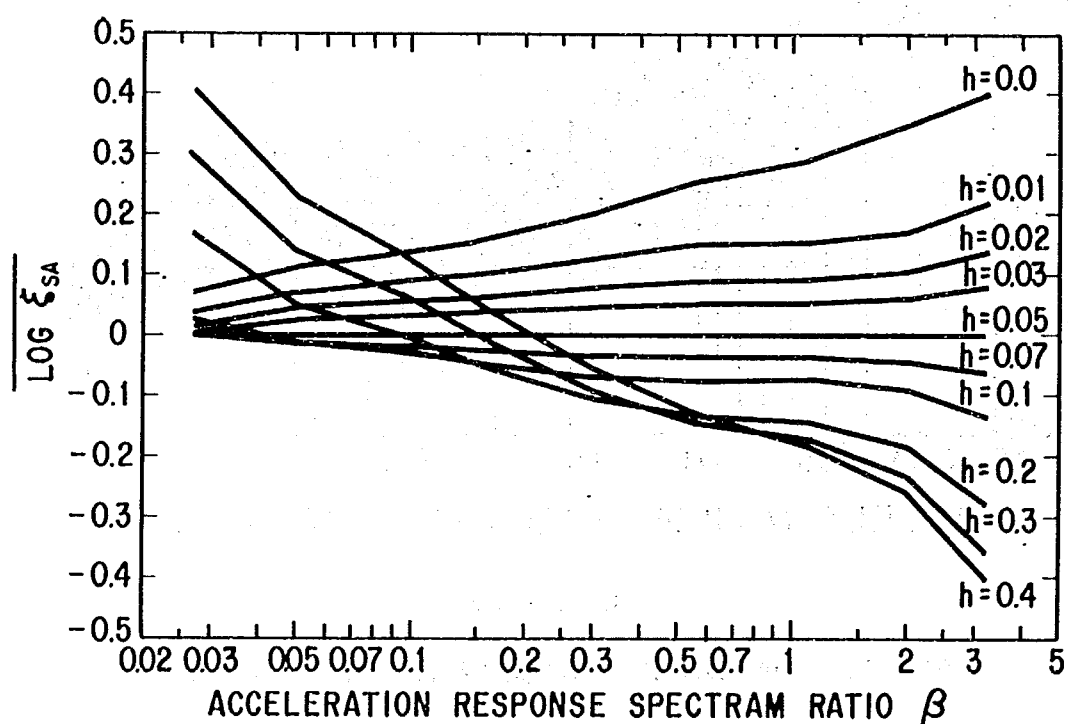


図2-2 図2-1を区間平均して求めた $\log \xi_{SA}(T, h) \sim \log \beta(T, 0.05)$ の関係

第3章 応答スペクトル比の推定法

いま、図2-1の関係を固有周期 T および減衰定数 h ごとに次式で回帰する。

$$\log \xi_{SA}(T, h) = \log a(T, h) + b(T, h) \cdot \log \beta(T, 0.05) \quad (3-1)$$

最小自乗法により係数 $a(T, h)$, $b(T, h)$ を定め、式(3-1)による $\log \xi_{SA}(T, h)$ と $\log \beta(T, 0.05)$ の関係を求めた結果が表3-1, 図3-1である。ある固有周期 T_0 に対する加速度応答スペクトル倍率 $\beta(T_0, 0.05)$ の値には、上限と下限があるため、図3-1では、206成分に対する $\log \beta(T_0, 0.05)$ の平均値を中心に、これに標準偏差の1倍を加減した範囲に対して、式(3-1)の $\log \xi_{SA}$ を示している。これによれば、 $\log \xi_{SA}(T, h) \sim \log \beta(T, 0.05)$ の関係は固有周期ごとに多少変化しているが、それぞれの β の範囲を考えれば、全体として固有周期に関係なく1つの関係で近似できることがわかる。したがって、式(3-1)の関係を改めて次のように固有周期によらず減衰定数ごとに回帰することとした。

$$\log \xi_{SA}(T, h) = \log a(h) + b(h) \log \beta(T, 0.05) \quad (3-2)$$

最小自乗法により係数 $a(h)$, $b(h)$ を定めると表3-2のようになる。また、これより $a(h) \sim h$, $b(h) \sim h$ の関係を示すと図3-2のようになる。表3-2の係数 $a(h)$, $b(h)$ をもとに、式(3-2)で近似した $\log \xi_{SA}(T, h) \sim \log \beta(T, 0.05)$ の関係を示すと図3-3のようになり、上記の回帰式が図2の特徴をよく表わしていることがわかる。

ここで、式(3-2)の係数 $a(h)$, $b(h)$ は h の関数として次式で近似できる。

$$a(h) = \frac{1.5}{40h+1} + 0.5 \quad (3-3)$$

$$b(h) = \frac{1}{300h+6} - 0.8h \quad (3-4)$$

式(3-3), (3-4)による $a(h)$, $b(h)$ の近似値は前出の表3-1, 図3-2に示しており、これより両式による近似の精度が良いことがわかる。

以上より、加速度応答スペクトル倍率 $\beta(T, 0.05)$ (減衰定数5%)が与えられれば、応答スペクトル比 $\xi_{SA}(T, h)$ は次式により求めることができる。

$$\xi_{SA}(T, h) = \left\{ \frac{1.5}{40h+1} + 0.5 \right\} \times \beta(T, 0.05)^{\left\{ \frac{1}{300h+6} - 0.8h \right\}} \quad (3-5)$$

ただし、ここで注意しなければならないのは、式(3-5)では、 $h \rightarrow \infty$ となると、 $a(h) \rightarrow 0.5$, $b(h) \rightarrow -\infty$ となり、 $\xi_{SA}(T, h) \rightarrow 0$ となるが、式(1-1)で定義した応答スペクトル比 $\xi_{SA}(T, h)$ は $h \rightarrow \infty$ となっても0とはならない点である。すなわち、 $h \rightarrow \infty$ の場合には、 $\beta(T, h)$ は固有周期 T にかかわらず1.0に漸近するから、式(1-1)より

$$\lim_{h \rightarrow \infty} \xi_{SA}(T, h) = 1/\beta(T, 0.05)$$

となる。したがって、式(3-2)の係数 $a(h)$, $b(h)$ は $h \rightarrow \infty$ の場合には本来それぞれ1.0, -1.0に漸近する性格のものでなければならない。実際に大きな h に対して式(3-2)の係数

$a(h)$, $b(h)$ を求めると表3-3のようになり、このような特性を備えていることがわかる。表3-3の値と式(3-3), (3-4)により近似した係数 $a(h)$, $b(h)$ を比較した結果が図3-4である。これによれば、 $h < 0.5$ 程度の場合には式(3-3), (3-4)による近似度が良好であるが、これ以上 h が大きくなると式(3-3), (3-4)による近似ができないことがわかる。しかしながら、一般には $h > 0.5$ の条件での動的解析は稀であることを考慮して式(3-3), (3-4)を用いることとしたものである。したがって式(3-5)は $h > 0.5$ の場合には適用できないことに注意しなければならない。

なお、前報告では減衰定数が約0.01以下、および、固有周期が約2秒以上で、かつ、 $h > 約0.2$ の場合を除き、応答スペクトル比 $\xi_{SA}(T, h)$ は固有周期 T によらず、次式で与えられるとした。²⁾⁴⁾

$$\xi_{SA}(h) = 0.983 \times (h/0.05)^{-0.270} \quad (3-7)$$

ここで、今回求めた式(3-5)の右辺第1項($a(h)$)と式(3-7)の $\xi_{SA}(h)$ を比較すると、図3-5のようになり、両者は非常によく一致している。式(3-5)の右辺第1項のみを用いるということは、式(3-5)において $\beta(T, 0.05) = 1.0$ としたことに他ならない。式(3-5)では $\beta(T, 0.05) \approx 1.0$ の場合には右辺第2項の影響は小さいが、 $\beta(T, 0.05) \gg 1.0$ もしくは $\beta(T, 0.05) \ll 1.0$ となるにつれてこの項の影響が現われてくる。前報告(土研資料1841号)において減衰定数が非常に小さい場合および固有周期が長い場合に式(3-7)が適用できなかったのはこのような理由によると考えることができる。

表3-1 式(3-1)の係数 $a(T, h)$ および $b(T, h)$

固有周期 T (秒)	係 数	減 衰 定 数 h									
		0	0.01	0.02	0.03	0.05	0.07	0.1	0.2	0.3	0.4
0.1	a	1.956	1.219	1.103	1.048	1	0.982	0.983	1.004	1.022	1.034
	b	0.270	0.243	0.169	0.108	1	-0.095	-0.224	-0.496	-0.651	-0.750
0.15	a	1.731	1.187	1.080	1.036	1	0.992	0.996	1.047	1.056	1.061
	b	0.374	0.285	0.199	0.125	1	-0.113	-0.264	-0.581	-0.727	-0.815
0.2	a	1.777	1.260	1.144	1.075	1	0.959	0.926	0.900	0.904	0.923
	b	0.305	0.223	0.154	0.098	1	-0.084	-0.193	-0.445	-0.594	-0.702
0.3	a	1.974	1.404	1.233	1.128	1	0.936	0.875	0.774	0.747	0.739
	b	0.126	0.099	0.066	0.044	1	-0.060	-0.134	-0.297	-0.420	-0.508
0.5	a	1.958	1.460	1.267	1.148	1	0.908	0.821	0.691	0.652	0.644
	b	0.149	0.089	0.062	0.038	1	-0.031	-0.076	-0.214	-0.329	-0.420
0.7	a	1.857	1.437	1.258	1.144	1	0.906	0.814	0.668	0.617	0.605
	b	0.108	0.052	0.039	0.023	1	-0.021	-0.049	-0.158	-0.255	-0.345
1.0	a	2.086	1.535	1.302	1.165	1	0.897	0.793	0.634	0.583	0.574
	b	0.214	0.120	0.074	0.043	1	-0.037	-0.084	-0.217	-0.322	-0.405
1.5	a	1.918	1.511	1.299	1.169	1	0.897	0.797	0.631	0.580	0.572
	b	0.160	0.103	0.066	0.041	1	-0.031	-0.076	-0.212	-0.323	-0.403
2.0	a	1.794	1.445	1.262	1.148	1	0.894	0.783	0.608	0.556	0.550
	b	0.117	0.072	0.045	0.029	1	-0.030	-0.077	-0.217	-0.327	-0.402
3.0	a	1.907	1.555	1.338	1.193	1	0.863	0.726	0.512	0.450	0.448
	b	0.138	0.098	0.068	0.042	1	-0.041	0.097	-0.261	-0.375	-0.446
全 体	a	1.979	1.440	1.254	1.140	1	0.911	0.824	0.694	0.655	0.647
	b	0.167	0.071	0.044	0.026	1	-0.022	-0.052	-0.150	-0.239	-0.316

表 3-2 式(3-2)の係数 $b(h)$, $b(h)$ およびこれを式(3-3),
(3-4)で近似した場合の係数 $a(h)$, $b(h)$

減衰定数 h	式(5-2)の係数		式(5-3, 5-4)で近似した場合	
	$a(h)$	$b(h)$	$a(h)$	$b(h)$
0	1.98	0.167	2.00	0.167
0.01	1.44	0.071	1.57	0.103
0.02	1.25	0.044	1.33	0.067
0.03	1.14	0.026	1.18	0.043
0.05	1	0	1.00	0.008
0.07	0.911	-0.022	0.895	-0.019
0.1	0.824	-0.052	0.800	-0.052
0.2	0.694	-0.150	0.667	-0.157
0.3	0.655	-0.239	0.615	-0.230
0.4	0.647	-0.316	0.588	-0.312

表 3-3 式(3-2)の係数 $a(h)$ および $b(h)$ を減衰定数の大きい場合($h > 0.5$)に対して求めた結果($h \leq 0.4$ の場合の係数 $a(h)$, $b(h)$ は表 3-2 参照)

h	$a(h)$	$b(h)$	$\frac{R(h)}{\sigma(h)}$
0.5	0.652	-0.379	0.588 (0.105)
0.7	0.675	-0.474	0.928 (0.102)
1	0.714	-0.570	0.956 (0.094)
5	0.917	-0.881	0.996 (0.043)
7	0.945	-0.919	0.998 (0.033)
10	0.966	-0.949	0.999 (0.023)
50	0.998	-0.997	1.000 (0.003)
100	0.999	-0.999	1.000 (0.002)

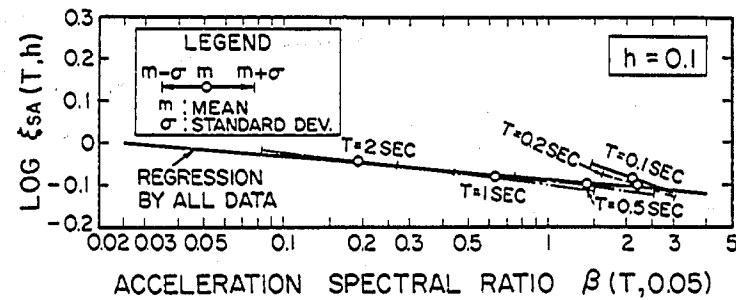
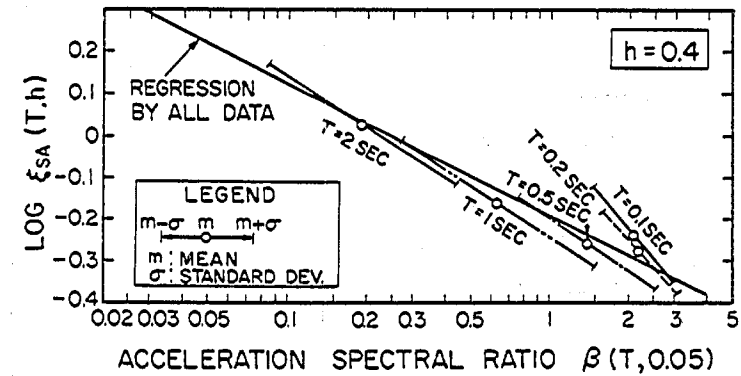
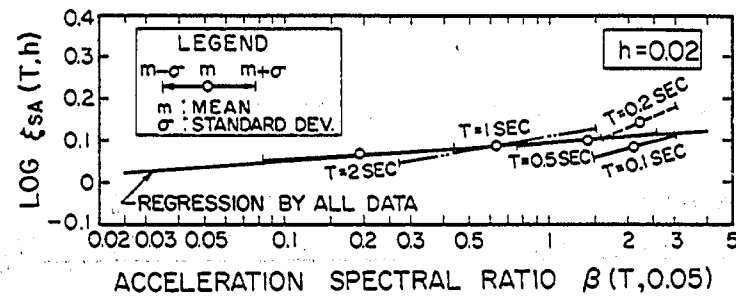
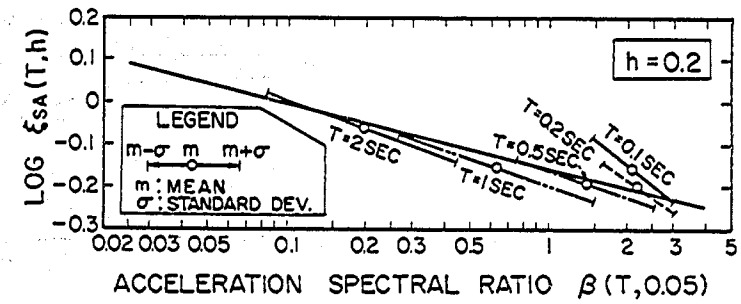
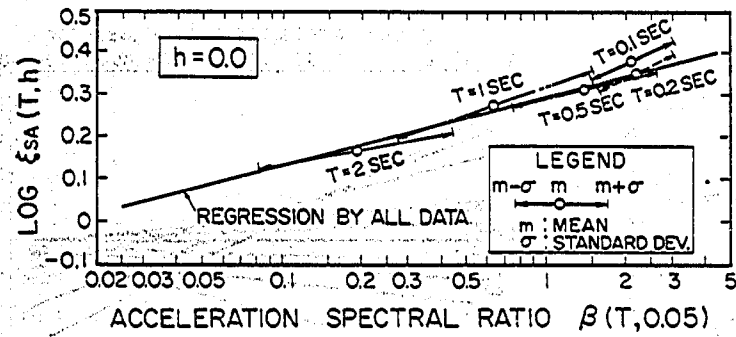


図3-1 式(3-1)による $\xi_{SA}(T,h) \sim \beta(T,0.05)$ の関係

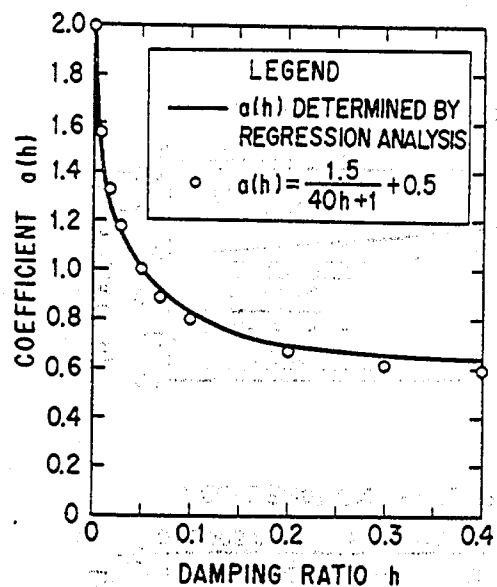


図3-2 式(3-2)の係数 $a(h)$ および $b(h)$

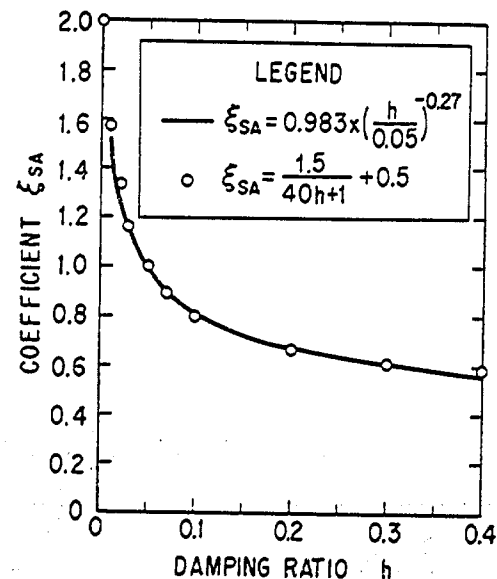
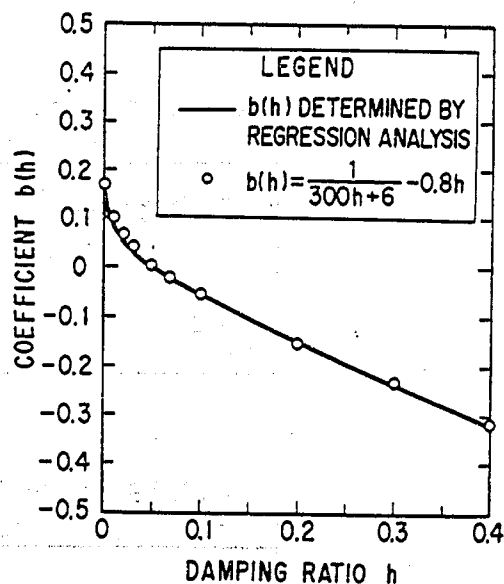


図3-5 式(3-3)の $a(h)$ と式(3-7)の比較

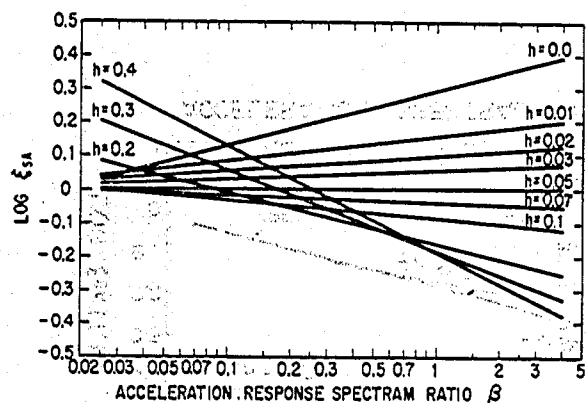


図3-3 式(3-2)による $\xi_{SA}(T, h) \sim \beta(T, 0.05)$ の関係

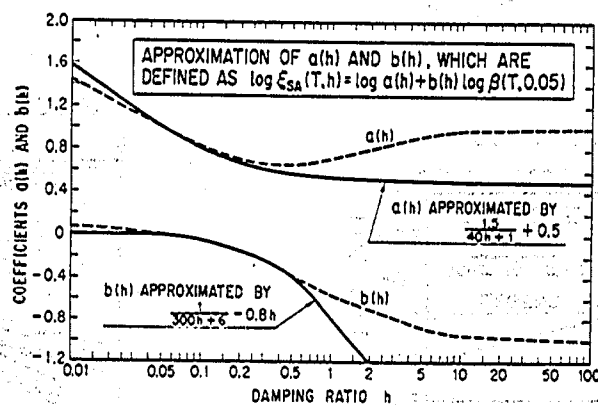


図3-4 減衰定数 h が大きい場合の $a(h)$, $b(h) \sim h$ の関係

第 4 章 試 算 例

前述した 206 成分の水平成分強震記録をもとに式 (3-5) の適用性を以下に検討する。式 (1-1) の応答スペクトル比 $\xi_{SA}(T, h)$ を個々の記録ごとに計算し、これの常用対数の平均 $\overline{\log \xi_{SA}}$ を 206 成分について求めると、表 4-1、図 4-1 のようになる。

ここで、 $\bar{\xi} = 10^{\overline{\log \xi_{SA}}}$ と示すことにする。一方、表 4-2、図 4-2 は 206 成分の平均加速度応答スペクトル倍率 $\bar{\beta}(T, h)$ を示したものである。いま、図 4-2 の $\bar{\beta}(T, 0.05)$ (減衰定数 0.05 の場合) を用い、主要な h に対して式 (3-5) から $\xi_{SA}(T, h)$ を計算すると表 4-3、図 4-3 のようになる。図 4-3 には図 4-1 に示した 206 成分に対する応答スペクトル比の平均値 $\bar{\xi}_{SA}$ および前回提案した式 (3-7) の値 (ただし、 $h=0$ の場合および固有周期 $T \geq 2$ 秒の場合は式 (3-7) 適用除外であるとしたので、これらのケースはともに示していない) を比較のために示している。これによれば、式 (3-5) の推定式は 206 成分に対する応答スペクトル比の平均値 $\bar{\xi}_{SA}(T, h)$ とよく一致しており、式 (3-5) が妥当であることを示している。

最後に、各種の減衰定数 (ここでは、 $h=0, 0.02, 0.1, 0.3$ の 4 種類とした) に対する $S_A(T, h)$ スペクトルを強震記録から直接計算し、これを式 (3-5) および式 (3-5) の第 1 項のみで近似した場合の結果と比較した一例が図 4-4、4-5 である。ここで、対象記録は 1968 年日向灘沖地震 ($M=7.5$) による板島橋近傍地盤上の強震記録および 1978 年宮城県沖地震 ($M=7.4$) による開北橋近傍地盤上の強震記録の 2 種類とした。これによれば、減衰定数 $h=0$ の場合には、強震記録から直接計算した、 $S_A(T, 0)$ スペクトルは固有周期領域での変化が大きく、こうした箇所では式 (3-5) との差が大きくなる場合もあるが、全体としては、式 (3-5) は各種の減衰定数に対して実際に計算で求めた S_A スペクトルとよく一致しているといえることができる。

表 4-1 206 成分に対する応答スペクトル比の常用対数 ($\log \xi_{SA}(T, h)$) の平均値 $\overline{\log \xi_{SA}(T, h)}$ から求めた $\bar{\xi}_{SA}(T, h) = 10^{\overline{\log \xi_{SA}(T, h)}}$

減衰定数 h	$\bar{\xi}_{SA}$									
	$T=0.1$	$T=0.15$	$T=0.2$	$T=0.3$	$T=0.5$	$T=0.7$	$T=1.0$	$T=1.5$	$T=2.0$	$T=3.0$
0.0	2.39	2.32	2.26	2.14	2.07	1.86	1.89	1.59	1.48	1.41
0.01	1.46	1.48	1.50	1.50	1.50	1.44	1.45	1.34	1.28	1.25
0.02	1.25	1.26	1.29	1.29	1.29	1.26	1.26	1.20	1.17	1.15
0.03	1.13	1.14	1.16	1.16	1.16	1.14	1.14	1.11	1.09	1.09
0.05	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.07	0.915	0.908	0.898	0.900	0.899	0.906	0.913	0.930	0.940	0.943
0.1	0.832	0.817	0.796	0.801	0.801	0.814	0.825	0.871	0.889	0.899
0.2	0.695	0.661	0.635	0.637	0.644	0.668	0.700	0.811	0.869	0.910
0.3	0.631	0.600	0.566	0.567	0.585	0.617	0.676	0.848	0.952	1.03
0.4	0.593	0.563	0.531	0.530	0.561	0.605	0.690	0.920	1.07	1.20

表 4 - 2 206 成分の平均加速度応答スペクトル倍率 $\bar{\beta}$

減衰定数 h	平均加速度応答スペクトル倍率 $\bar{\beta}$									
	$T=0.1$	$T=0.15$	$T=0.2$	$T=0.3$	$T=0.5$	$T=0.7$	$T=1.0$	$T=1.5$	$T=2.0$	$T=3.0$
0.0	6.094	6.011	5.891	4.839	3.784	2.621	2.172	0.895	0.470	0.254
0.01	3.421	3.526	3.635	3.195	2.602	1.905	1.478	0.699	0.382	0.216
0.02	2.872	2.942	3.059	2.706	2.196	1.643	1.221	0.598	0.338	0.193
0.03	2.577	2.631	2.720	2.421	1.948	1.478	1.075	0.538	0.310	0.173
0.05	2.235	2.273	2.312	2.066	1.649	1.276	0.906	0.462	0.276	0.159
0.07	2.024	2.048	2.061	1.845	1.467	1.145	0.805	0.418	0.254	0.146
0.10	1.819	1.827	1.814	1.631	1.291	1.017	0.707	0.379	0.233	0.135
0.20	1.488	1.469	1.426	1.281	1.007	0.803	0.561	0.325	0.213	0.126
0.30	1.338	1.316	1.264	1.132	0.894	0.720	0.517	0.321	0.223	0.136
0.40	1.252	1.232	1.179	1.052	0.843	0.686	0.510	0.336	0.242	0.154

表 4 - 3 式 (3 - 5) の試算例

h	T		0.1	0.15	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.0
	係数 a, b		β									
	$a(h)$	$b(h)$	ξ_{SA}	ξ_{SA}	ξ_{SA}	ξ_{SA}	ξ_{SA}	ξ_{SA}	ξ_{SA}	ξ_{SA}	ξ_{SA}	ξ_{SA}
0.0	2.00	0.167	2.29	2.29	2.30	2.26	2.17	2.08	1.97	1.76	1.61	1.47
0.01	1.571	0.103	1.71	1.71	1.71	1.69	1.65	1.61	1.56	1.45	1.38	1.30
0.02	1.333	0.0673	1.41	1.41	1.41	1.40	1.38	1.36	1.32	1.27	1.22	1.18
0.03	1.182	0.0426	1.22	1.22	1.22	1.22	1.21	1.19	1.18	1.14	1.12	1.09
0.05	1.0	0.00761	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00	0.999	0.994	0.990	0.986
0.07	0.895	-0.019	0.881	0.881	0.881	0.882	0.886	0.891	0.897	0.908	0.917	0.926
0.1	0.80	-0.0522	0.767	0.766	0.767	0.770	0.779	0.790	0.804	0.833	0.856	0.881
0.2	0.667	-0.145	0.593	0.592	0.591	0.600	0.620	0.644	0.677	0.746	0.804	0.871
0.3	0.615	-0.230	0.511	0.510	0.507	0.520	0.548	0.581	0.629	0.735	0.827	0.939
0.4	0.588	-0.312	0.457	0.455	0.453	0.469	0.503	0.544	0.606	0.748	0.879	1.04

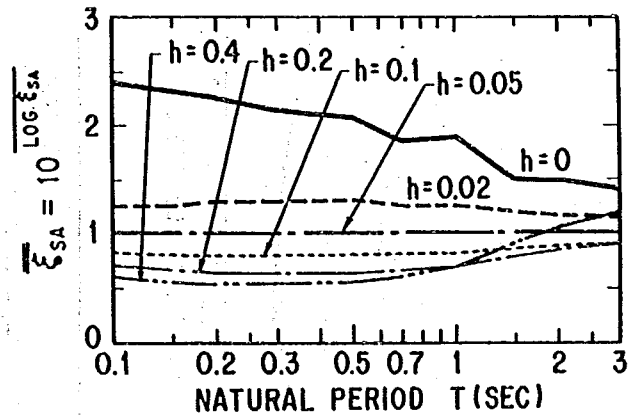


図 4 - 1 206成分に対する $\xi_{SA}(T, h)$
の平均値 $\overline{\xi}_{SA}(T, h)$

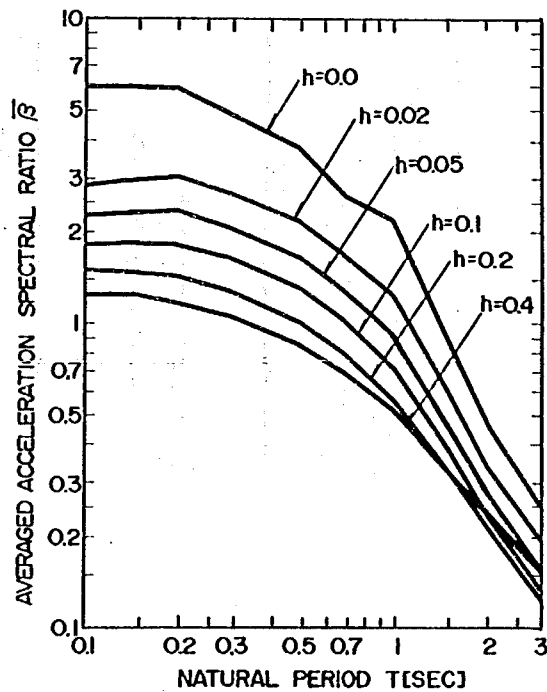


図 4 - 2 206成分の平均加速度応答
スペクトル倍率 $\overline{\beta}(T, h)$

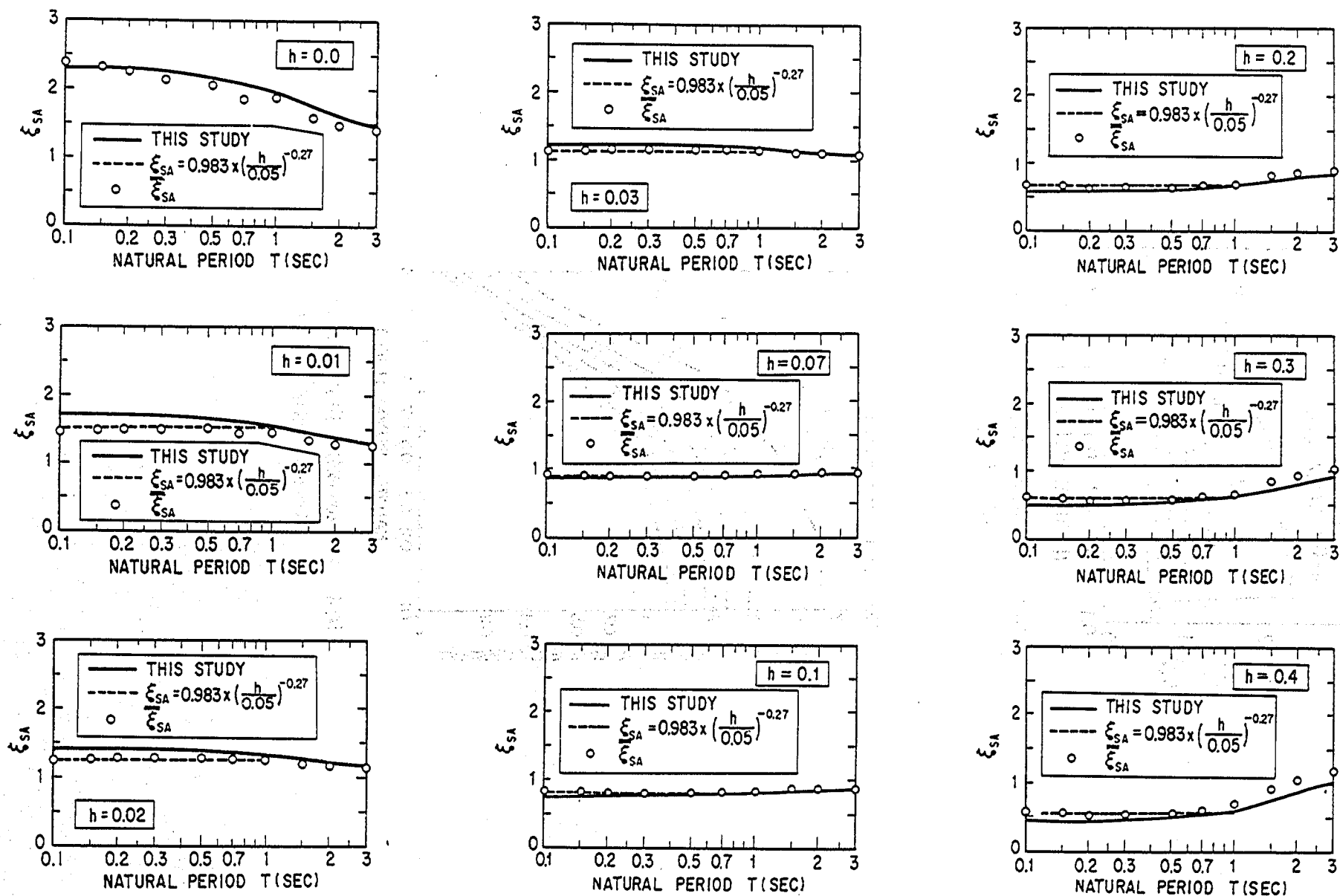
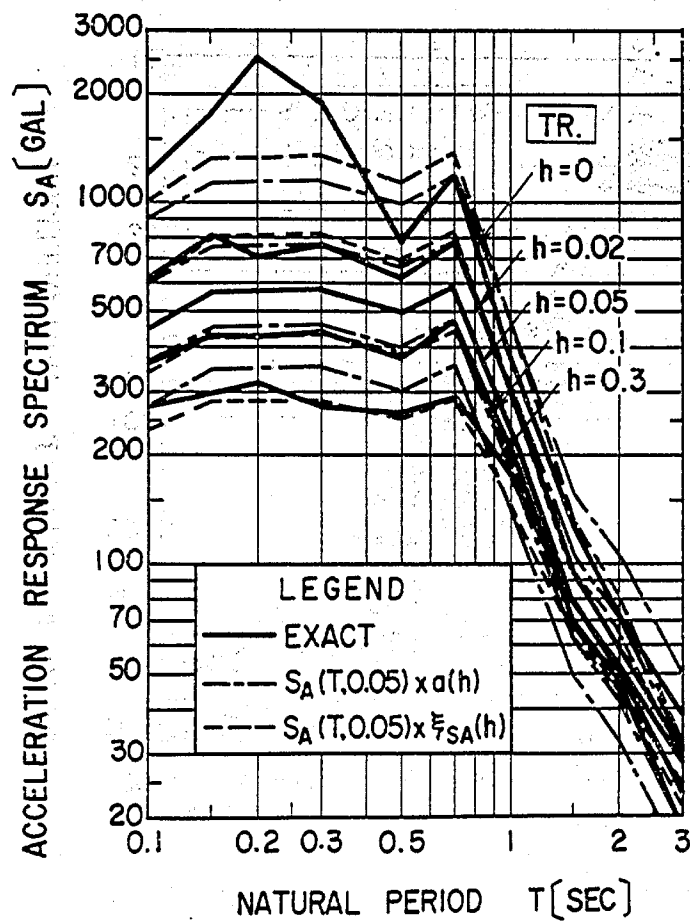
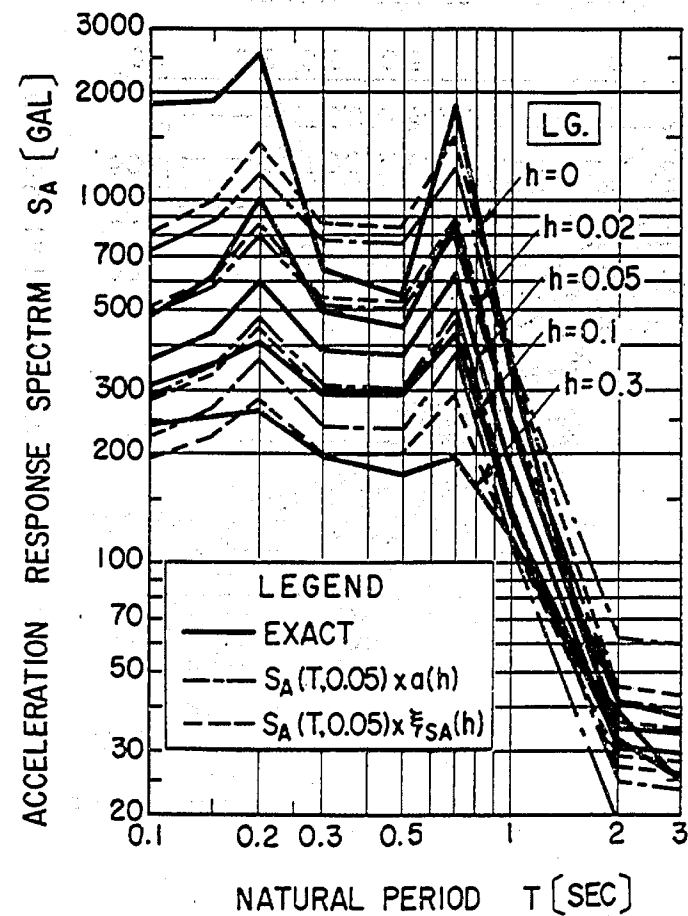


図4-3 図4-1の $\xi_{SA}(T, h)$ と式(3-5)の比較例

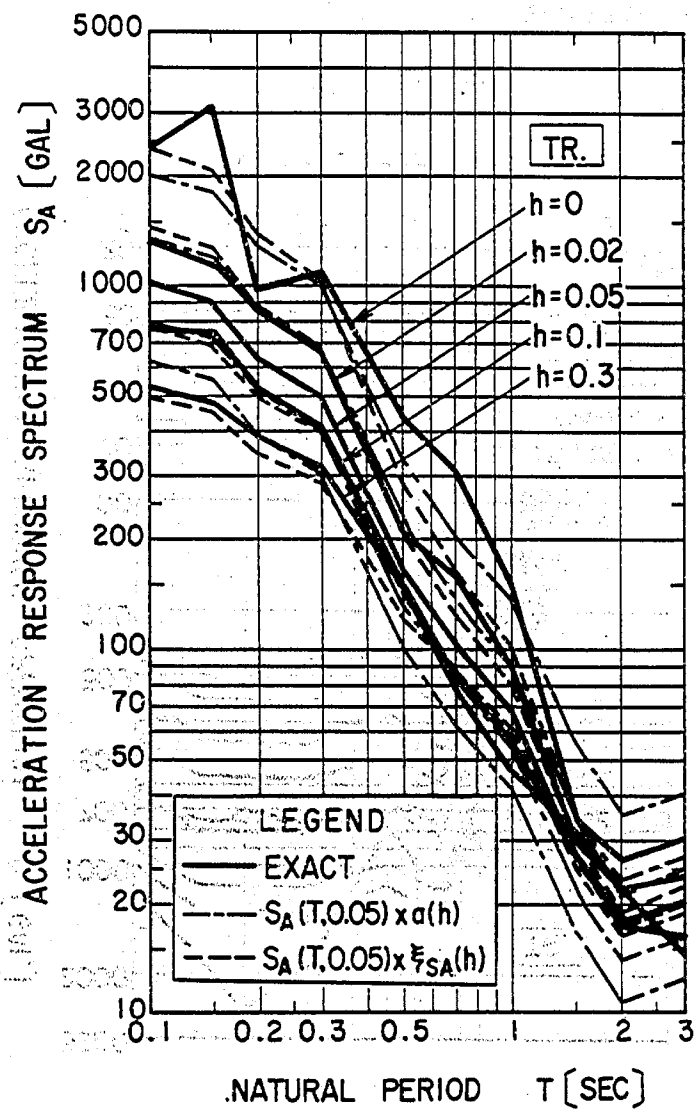


(a) 橋軸直角方向成分

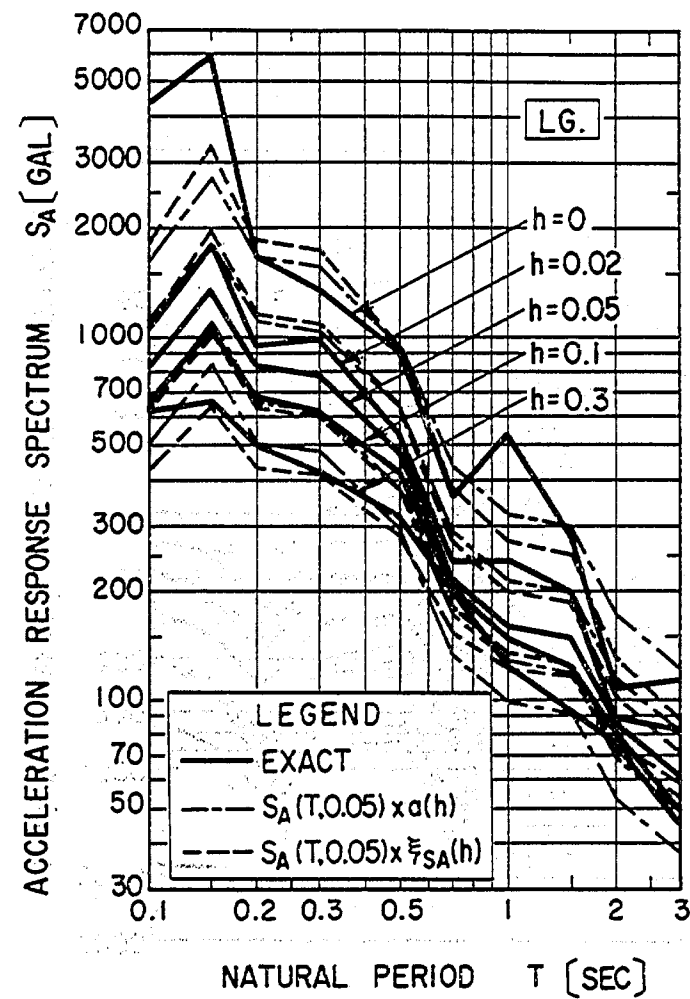


(b) 橋軸方向成分

図4-4 板島橋周辺地盤上強震記録(1968年日向灘沖地震)に対する試算例



(a) 橋軸直角方向成分



(b) 橋軸方向成分

図 4 - 5 関北橋周辺地盤上強震記録 (1978 年宮城県沖地震) に対する試算例

第 5 章 ま と め

我国の地盤上で観測された 206 成分の強震記録をもとに、地震応答スペクトルに及ぼす減衰定数の影響を加速度応答スペクトル倍率で表わした地震動の周期特性に着目して検討し、応答スペクトル比の平均値 $\bar{s}_A(T, h)$ が、式 (3-5) により与えられること、また、前報告 (土研資料第 1841 号) で提案した式 (3-7) は式 (3-5) の右辺第 1 項に相当していることをそれぞれ示した。

参 考 文 献

- 1) 建設省土木研究所：土木構造物における加速度強震記録，土木研究所彙報，NO.1～NO.8，vol. 32～38，40.
- 2) 川島一彦，相沢興，高橋和之：地震応答スペクトルに及ぼす減衰定数の影響，土木学会論文報告集，vol. 335，1983.
- 3) 川島一彦，相沢興，高橋和之：最大地震動および地震応答スペクトルの統計解析，第6回日本地震工学シンポジウム，1982.
- 4) 建設省土木研究所：最大地震動および地震応答スペクトルの推定法——（その2）地震応答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，1982.

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—

キーワード:

応答スペクトル, 設計地震力, 平均スペクトル

ISSN 0386-5878
土研資料第2001号
昭和58年7月(1983年)

川 島 一 彦
相 沢 興
高 橋 和 之

要旨 本報告は、前に土研資料第1841号で提案した減衰定数による地震応答スペクトルの補正法を地震動の周期特性を考慮してより一般的に求める手法について検討した結果を報告するものである



