

港 湾 技 研 資 料

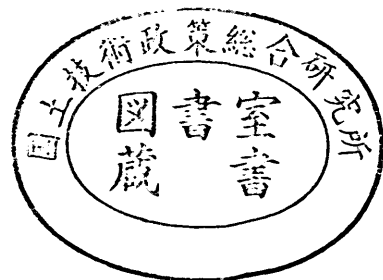
TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 486 July 1984

沿岸地域における基盤の最大加速度期待値の推定

北	澤	壮	介
上	部	達	生
檜	垣	典	弘

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. まえがき	3
2. 地震危険度とその計算手法	4
3. 地震資料	10
4. 基盤の最大加速度の距離による減衰	13
5. 基盤における最大加速度期待値と再現期間	16
5.1 計算手法	16
5.2 計算結果	19
6. 最大加速度の設計への適用	27
6.1 最大加速度と設計震度の関係	27
6.2 非破壊確率を考慮した最大加速度の設定について	27
7. まとめ	29
8. あとがき	29
参 考 文 献	29
主要記号表	31
付録-A 1884年以前の地震資料	33
付録-B 基盤における最大加速度期待値と再現期間の関係	41
付録-C 各地点の最大加速度データと回帰係数	107
付録-D 各種耐震設計基準における設計震度の地域区分	119
付録-E 重要度係数と非破壊確率	133

Expected Values of Maximum Base Rock Accelerations along Coasts of Japan

Sosuke KITAZAWA*
Tatsuo UWABE**
Norihiro HIGAKI***

Synopsis

Expected values of the maximum base rock accelerations along coasts of Japan were calculated. 190 points in the coastal area in Japan which include all of the specially designated major and the major ports (129 ports) were selected. The earthquake data in the vicinity of Japan in and after 1885, which are most reliable were used. The maximum base rock acceleration at each point was calculated using Noda and Uwabe's formula which gives the maximum base rock acceleration by the magnitude of an earthquake and the distance. And the expected maximum accelerations at the base rock for the return period were calculated using the extreme value distribution. It is necessary to pay attention to the fact that the expected maximum base rock accelerations discussed here is not equal to the seismic coefficient for the current design of the port and harbour facilities.

Appendixes show the regional division of the design seismic coefficient for the various design manuals, and the quantitative relationship between importance factor and probability of collapse of structures.

* Former member of Earthquake Disaster Prevention Laboratory, Structures Division
** Chief of Earthquake Disaster Prevention Laboratory, Structures Division
*** Member of Earthquake Disaster Prevention Laboratory, Structures Division

沿岸地域における基盤の最大加速度期待値の推定

北 澤 壮 介*
上 部 達 生**
檜 垣 典 弘***

要 旨

日本の沿岸地域における基盤の最大加速度期待値を推定した。特定重要港湾、重要港湾（計129港）を含む沿岸地域の190地点を対象とした。用いた地震資料の期間は信頼性をもっとも高いと考えられる1885年から1981年までの97年間とした。基盤の最大加速度とマグニチュード、距離の関係式は野田・上部のものをを用い、対象とした期間の地震に対して各地点の基盤の最大加速度を計算した。これに基づいて極値統計理論により各地点について基盤における最大加速度期待値と再現期間の関係を求め、結果を図化した。ここで示した基盤における最大加速度期待値は直接に設計震度と結びつかない点注意が必要である。付録として各種耐震設計基準における設計震度の地域区分を比較検討した結果と、重要度係数と非破壊確率との関係について検討した結果を示した。

1. まえがき

港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁾によると、設計震度は次式により求めることとされている。

$$\text{設計震度} = \text{地域別震度} \times \text{地盤種別係数} \times \text{重要度係数} \quad (1)$$

地盤種別係数は建設予定地点の第4紀層の厚さ、土の種類により決まるものであり、重要度係数は構造物の重要度に応じて決定されるものである。地域別震度は各地域の地震危険度に基づいて定められたものであり、港湾施設に対する現行の地域別震度は河角の再現期間75年の最高震度期待値分布図²⁾を参考にして定められている。地震危険度とは、設定された期間内に、ある地域に、ある強さの地震が来襲する危険度を確率または確率に等価な指標で表したものである³⁾である。通常の港湾施設は(1)式の設計震度により耐震設計されているが、構造物の振動特性を考慮し、地震応答解析等により地震時の挙動について検討を加え、その耐震性を確かめた場合には(1)式による静的な震度法によらなくてもよいとされている。ま

た、大規模な重要構造物についてはその耐震性の検討を地震応答解析により実施することが望ましいとされている。この地震応答解析を行う場合には入力地震の最大加速度の値を適切に設定する必要がある。

昭和53年日本海中部地震における液状化による秋田港の港湾施設の被害の経験から、液状化に関してこれまでよりさらに詳細に検討する手法が作成されつつある。この詳細検討では地盤の地震応答計算が行われることとなっており、計算では基盤における最大加速度の期待値が必要とされている。ここで言う基盤とは岩盤あるいはN値が50以上の洪積砂層、砂れき層を指す。

最大加速度の期待値に関する過去の研究成果の代表的なものとしては先に述べた河角の最高震度期待値分布図がある。これには日本で標準的と考えられる地盤における最大加速度の期待値がある再現期間に対して示されている。この分布図は、有史以来1949年までの342の大地震の資料に基づいて求められたものであるが、近代的な地震観測が始まる以前の地震資料は、現時点からみると、信頼性の点で限界があると考えられる。また、基盤

* 前構造部 地震防災研究室
** 構造部 地震防災研究室長
*** 構造部 地震防災研究室

における最大加速度の期待値は示されていない。

一方、地震学の分野では、最近、宇津による1885年に降に発生した地震の再調査⁴⁾や気象庁による1926年から1960年に発生した地震の震源要素（震源の位置あるいは断層面の位置と大きさ）の再決定⁵⁾などが行われ、より信頼性の高い過去の地震の震源要素とマグニチュードが求められている。また、河角の研究後30年余りの期間に数多くの地震が日本各地で発生している。さらに、地震工学の分野でも、最近約20年間の間に、諸機関により強震観測網が整備されて多くの強震記録が蓄積されてきている。これらの強震記録に基づいて最大加速度の距離による減衰特性に関する研究も進んでいる。

このような状況をふまえて、本報告では、日本の沿岸地域における基盤の最大加速度の期待値を推定している。まず、最初に計算手法の概要を述べ、次に、ここで使用した地震資料の内容と、基盤の最大加速度の距離による減衰について示し、基盤における最大加速度期待値と再現期間の関係性を求めている。求められた最大加速度について、設計震度との関係についてふれ、さらに、最大加速度の期待値の計算の際に求められる非破壊確率を考慮した地盤最大加速度の考え方についても検討している。付録として、地震資料、計算に用いた最大加速度データ、基盤の最大加速度期待値と再現期間の関係の図を示す。また、この報告に関連して、各種耐震設計基準における設計震度の地域区分についてと、重要度係数と非破壊確率についても検討したので、これも付録として示してある。

2. 地震危険度とその計算手法

過去に発生した地震の資料に基づいて、全国の沿岸地域における地震危険度の計算を行った。

地震危険度とは、1.において述べたように目標とする期間内に、ある地域に、ある強さの地震が来襲する危険度を確率または確率に等価な指標で表したものである。この報告では地震危険度とは再現期間と基盤の最大加速度期待値の関係を示すこととする。構造物の耐震設計においては、パイプラインなどのように相対変位も重要な検討項目となる場合もあるが、大部分の構造物では加速度に基づく地震外力に対する安全性が検討されている。それゆえ、本報告では、地震危険度の計算において、地震動の強さの指標として最大加速度を採用し、表層の地盤条件を考慮しなくてもよいように、基盤における最大加速度とする。以下の検討では再現期間と基盤の最大加速度期待値との関係により、沿岸地域の各地点の地震危

険度を示している。なお、ここでは、地震発生の周期性は考慮されていない。

地震危険度の計算手法の概要を、図-1に従って説明する。

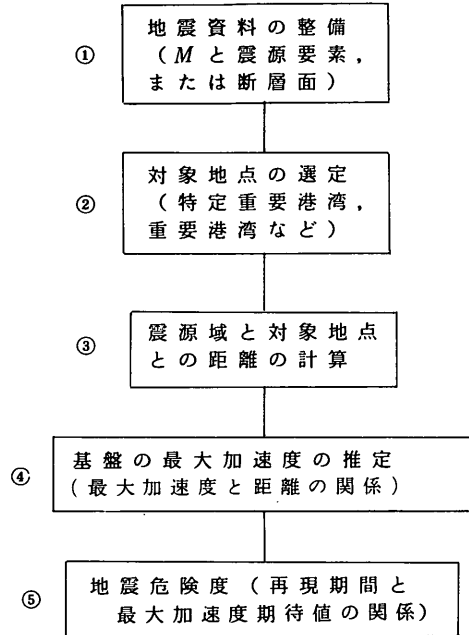
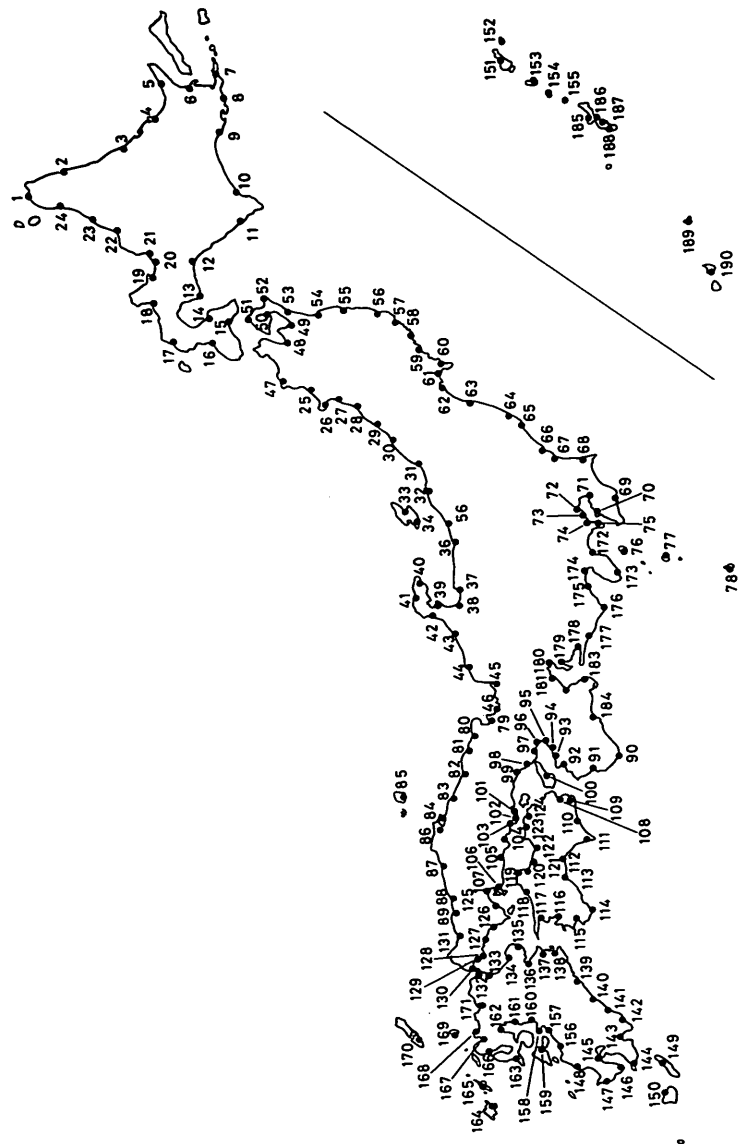


図-1 計算手法の概要

- ① 有史以来1981年までに日本およびその付近で発生したおもな地震の震源要素（震源の位置、あるいは断層面の位置と大きさ）、およびマグニチュード（以下、 M で表す）を文献により調査し、地震資料を整備する。
- ② 地震危険度の計算を行う地点を全国の沿岸地域から選定し、その地点の緯度、経度を求める。本報告では、図-2と表-1に示す特定重要港湾と重要港湾(計129港)を含む190地点を対象地点とした。対象地点の選定にあたっては、全国の沿岸地域にほぼ一様に分布するように留意した。
- ③ 各対象地点について、各地震の発生場所との距離を計算する。距離としては、後述するように、震央距離、実効距離、断層面距離などがある。
- ④ 多くの強震記録を整理解析して求められた基盤の最大加速度の距離による減衰を表す曲線を、③の結果に適用して、各地震によって生じたと考えられる基盤の最大加速度を推定する。
- ⑤ ④で推定した基盤の最大加速度と対象とした期間（地震資料の年数）とから、地震危険度(再現期間と基盤の最大加速度期待値の関係)を求める。地震危険度



図一2 対象地点の位置

表一 対象地点の位置

番号	港名	東経(度)	北緯(度)
1	稚内港	141.68	45.42
2	枝幸港	142.64	44.94
3	紋別港	143.37	44.37
4	網走港	144.28	44.03
5	宇登呂漁港	145.00	44.12
6	標津漁港	145.20	43.70
7	根室多布港	145.57	43.37
8	霧釧路勝港	145.13	43.08
9	釧路勝港	144.37	43.00
10	十浦河小港	143.32	42.28
11	浦河小港	142.78	42.16
12	苫小牧港	141.62	42.63
13	室蘭港	140.97	42.35
14	森館港	140.58	42.13
15	函館差港	140.73	41.80
16	江差港	140.20	41.92
17	瀬棚港	139.85	42.48
18	岩内港	140.56	43.07
19	小樽港	141.02	43.18
20	石狩湾新港	141.30	43.22
21	石狩港	141.35	43.25
22	留萌港	141.63	43.95
23	羽幌港	141.70	44.38
24	天塩港	141.74	44.89
25	能代港	140.00	40.22
26	船川港	139.85	39.88
27	秋田港	140.15	39.75
28	本荘港	140.02	39.38
29	酒田港	139.83	38.90
30	加茂港	139.73	38.76
31	岩船港	139.43	38.18
32	新両港	139.07	37.93
33	両津港	138.45	38.07
34	小泊港	138.28	37.97
35	柏崎港	138.53	37.37
36	直江津港	138.25	37.18
37	魚津港	137.39	36.82
38	伏木富山港	137.12	36.77
39	七尾港	136.97	37.05
40	飯田港	137.26	37.44
41	輪島港	136.90	37.39
42	福浦港	136.73	37.08
43	金福港	136.60	36.60
44	福井港	136.13	36.22
45	敦賀港	136.07	35.65
46	和歌山港	135.58	35.48
47	深田港	139.94	40.64
48	青森港	140.73	40.82
49	野辺港	141.13	40.87
50	大湊港	141.18	40.27

つづく

表一 対象地点の位置 (つづき)

番号	港名	東経 (度)	北緯 (度)
5 1	大間港	1 4 0.9 0	4 1.5 3
5 2	尻屋崎港	1 4 1.4 5	4 1.4 2
5 3	むつ小港	1 4 1.3 8	4 0.9 3
5 4	八戸港	1 4 1.5 3	4 0.5 3
5 5	久慈港	1 4 1.8 3	4 0.1 8
5 6	宮古港	1 4 1.9 7	3 9.6 3
5 7	釜石港	1 4 1.9 0	3 9.2 7
5 8	大船渡港	1 4 1.7 3	3 9.0 5
5 9	気仙沼港	1 4 1.5 9	3 8.9 0
6 0	女川港	1 4 1.1 7	3 8.4 4
6 1	石巻港	1 4 1.2 7	3 8.4 0
6 2	塩釜港	1 4 1.0 5	3 8.3 2
6 3	相馬港	1 4 0.9 7	3 7.8 3
6 4	久浜港	1 4 1.0 1	3 7.1 5
6 5	小浜港	1 4 0.9 0	3 6.9 5
6 6	日立港	1 4 0.6 2	3 6.4 8
6 7	大洗港	1 4 0.5 7	3 6.3 0
6 8	鹿島港	1 4 0.6 8	3 5.9 2
6 9	興津港	1 4 0.2 5	3 5.1 3
7 0	木更津港	1 3 9.9 2	3 5.3 8
7 1	千葉港	1 4 0.1 2	3 5.5 8
7 2	東京港	1 3 9.7 7	3 5.6 3
7 3	川崎港	1 3 9.7 5	3 5.5 0
7 4	横浜港	1 3 9.6 3	3 5.4 7
7 5	横須賀港	1 3 9.6 7	3 5.2 8
7 6	元町港	1 3 9.3 0	3 4.7 5
7 7	三池港	1 3 9.5 4	3 4.0 8
7 8	八重根港	1 3 9.7 3	3 3.1 3
7 9	舞鶴港	1 3 5.3 2	3 5.4 5
8 0	久美浜港	1 3 4.8 7	3 5.6 2
8 1	柴山港	1 3 4.6 7	3 5.6 5
8 2	鳥取港	1 3 4.1 8	3 5.5 3
8 3	赤碓港	1 3 3.6 6	3 5.5 1
8 4	赤境港	1 3 3.2 5	3 5.5 5
8 5	西郷港	1 3 3.3 3	3 6.2 0
8 6	松江港	1 3 3.0 5	3 5.4 6
8 7	久手港	1 3 2.5 0	3 5.2 0
8 8	浜田港	1 3 2.0 5	3 4.8 7
8 9	益田港	1 3 1.8 3	3 4.6 9
9 0	袋井港	1 3 5.7 8	3 3.4 7
9 1	文里港	1 3 5.3 6	3 3.7 3
9 2	和歌山港	1 3 5.1 5	3 4.2 2
9 3	阪南港	1 3 5.2 5	3 4.3 7
9 4	堺北港	1 3 5.4 7	3 4.5 8
9 5	大阪港	1 3 5.4 3	3 4.6 5
9 6	尼崎港	1 3 5.4 0	3 4.7 0
9 7	神戸港	1 3 5.2 0	3 4.6 7
9 8	東播磨港	1 3 4.8 5	3 4.7 0
9 9	姫路港	1 3 4.6 3	3 4.7 8
1 0 0	洲本港	1 3 4.9 0	3 4.3 4

つづく

表-1 対象地点の位置 (つづき)

番号	港名	東経(度)	北緯(度)
101	岡山港	134.10	34.60
102	宇野港	133.97	34.50
103	水島港	133.72	34.50
104	福山港	133.43	34.42
105	尾道糸崎港	133.10	34.38
106	呉港	132.55	34.23
107	広島島港	132.48	34.35
108	小松島港	134.65	34.00
109	橋川港	134.60	33.87
110	浅室川港	134.38	33.58
111	津知港	134.15	33.27
112	高須崎港	133.57	33.53
113	須崎港	133.30	33.40
114	あしり港	132.95	32.76
115	片島港	132.68	32.9
116	宇和島港	132.55	33.22
117	八幡浜港	132.42	33.45
118	松山港	132.68	33.83
119	今治港	133.02	34.07
120	東予港	133.12	33.95
121	新居浜港	133.27	33.97
122	三坂川港	133.57	34.02
123	坂出港	133.85	34.32
124	高松港	134.05	34.35
125	岩国港	132.23	34.20
126	徳山港	131.80	34.05
127	三田尻港	131.58	34.03
128	宇部港	131.23	33.95
129	小野田港	131.17	33.97
130	関門港	130.93	33.93
131	萩港	131.40	34.41
132	北九州港	130.90	33.88
133	刈田港	131.00	33.80
134	高田港	131.42	33.58
135	大分空港	131.74	33.47
136	別府港	131.52	33.27
137	津久見港	131.87	33.07
138	佐伯港	131.90	32.97
139	細島港	131.65	32.43
140	高宮港	131.53	32.12
141	宮崎港	131.45	31.88
142	油津港	131.40	31.57
143	志布志港	131.12	31.47
144	志布志泊港	130.70	31.01
145	大鹿島港	130.57	31.58
146	指宿港	130.65	31.24
147	平川崎港	130.20	31.33
148	平川内港	130.20	31.85
149	西之表港	130.98	30.73
150	宮浦港	130.53	30.41

つづく

表-1 対象地点の位置 (つづき)

番号	港名	東経(度)	北緯(度)
151	瀬名	129.50	28.38
152	湾	129.94	28.33
153	亀徳	129.03	27.74
154	和泊	128.66	27.40
155	与論	128.40	27.03
156	水俣	130.38	32.20
157	八代	130.57	32.50
158	三本	130.47	32.60
159	熊渡	130.20	32.45
160	本池	130.60	32.78
161	三住	130.42	33.00
162	の江	130.22	33.19
163	崎江	129.87	32.75
164	福江	128.85	32.70
165	青方	129.07	32.97
166	佐世	129.73	33.15
167	伊万	129.83	33.30
168	唐津	129.97	33.47
169	郷ノ	129.70	33.73
170	巖原	129.28	34.18
171	博多	130.40	33.60
172	熱海	139.08	35.10
173	下田	138.95	34.67
174	田子	138.70	35.13
175	清水	138.50	35.03
176	御前	138.23	34.60
177	浜名	137.60	34.68
178	三河	137.33	34.77
179	衣浦	136.97	34.88
180	名古	136.88	35.08
181	四日	136.63	34.95
182	津松	136.52	34.70
183	鳥羽	136.85	34.48
184	尾鷲	136.22	34.07
185	運天	128.00	26.27
186	金武	127.90	26.33
187	中城	127.93	26.23
188	那覇	127.68	26.23
189	平良	125.28	24.80
190	石垣	124.15	24.33

を求める方法としては、後述するように a) 両対数軸上で線型回帰分析を行う方法、および b) 極値統計理論を用いる方法の 2 つを採用し、この 2 つの方法について検討した。

3. 地震資料

地震学においては、ほとんどの大地震が繰り返し同じ地域に起こるといえることがほぼ定説となっていることから、過去に発生した地震に基づいて各地域の地震危険度を推定することができる。地震危険度の推定においては、構造物に被害を与えるような地震は特定の地域についてみるとまれにしか発生しないため、できる限り長い期間の地震資料を用いることが望ましい。また、当然ではあるが、精度の良い、信頼性の高い地震資料を用いる必要がある。

日本では、599 年の大和の地震以後、各種の文献などに数多くの地震に関する記述があり、これらは理科年表や宇佐美による表にまとめられている。しかしながら、日本における計器による近代的な地震観測の歴史は、約 100 年程度であり、それ以前の地震の震源位置やマグニチュードは後年に推定されたものであるから、その精度は限界があると考えられる。また、これらの値を推定できない地震も数多くある。さらに、古い時代ほど、あるいは人口分布が疎であった地域ほど、記録もれが多いと考えられ、このような地震資料をそのまま計算に用いると、発生した地震数の点で地震危険度を過小に評価することになる。したがって、できる限り長い期間の地震資料を用いることが望ましいといっても、計器による地震観測が実施されてきたこの 100 年間の地震資料とそれ以前の地震資料を同一レベルで議論することはできない。

一方、計器による近代的な地震観測が始まってからの約 100 年という期間は、発生頻度が少なく再現期間の長い地震に関しては必ずしも十分であるとはいえないが、この期間の地震資料で日本国内の各地域の地震活動のようすは十分に反映されていると考えられる。また、最近の 100 年間の中でも古い時期のデータには精度の悪いものもかなりあるものの、最近の 100 年以前のデータに比較すればその信頼性は高いと考えられる。

以上に述べたことを考慮して、本報告では、信頼性が高いと考えられる 1885 年から 1981 年までの 97 年間の地震資料に基づいて、日本全国の沿岸地域の地震危険度を計算した。1884 年以前の地震資料は最近の 97 年間の地震資料と比較して地震のマグニチュード、震源の位置の精度が悪いので両者を区別して考えるが、地震資料の期間の短さを補うため、以下の検討では 1884 年以前の

約 1200 年間の地震資料についても検討することとした。数十年から 100 年に 1 回発生するような地震がたまたまこの約 100 年間のデータからもれているということはないかどうか、あるいは、数百年から 1000 年に 1 回しか発生しない非常にまれな地震がたまたまこの約 100 年間に発生したということはないかどうか、といったことを 1884 年以前の約 1200 年間の地震資料によって検討することとした。

日本付近の地震資料をまとめたいわゆる地震カタログには、気象庁の地震月報、理科年表、宇佐美の被害地震総覧⁶⁾、宇津の表⁴⁾をはじめ数多くのものがある。これらの現在利用できる地震カタログのおおの性格については、文献 7) に述べられている。本報告では、これらのうち最も新しい研究成果であり、現時点で最も信頼できると考えられる地震カタログを採用した。すなわち、1885 年から 1980 年までの 96 年間については、宇津の表⁴⁾に、1981 年については、気象庁の地震月報⁸⁾に従った。また、1884 年以前については、宇佐美の被害地震総覧⁶⁾に従った。

宇津の表は、1885 年から 1980 年までの日本で有感であった M 6 以上の地震と M 6 未満の被害地震を再調査してまとめたものであり、収録されている地震は 1743 個である。この表においては、1926 年から 1960 年までの大部分の地震は、最近気象庁により再決定された震源とマグニチュードが示されている地震月報別冊第 6 号に、1961 年以降の大部分の地震は地震月報に従っている。さらに、この表には、日本で有感で M 6 以上であるが地震月報や地震月報別冊には載っていない地震（あるいはマグニチュードが与えられていない地震）も多数含まれている。

宇津の表には、気象庁のマグニチュード以外のマグニチュード (Gutenberg の表面波マグニチュード, Seismicity of the Earth のマグニチュード, Seismicity of the Earth の 1953—1965 のマグニチュード, モーメントマグニチュード) が示されている地震が、85 個ある。文献 9) によると、これらのマグニチュードは、気象庁マグニチュードに比べて平均的に 0.15～0.3 大きいことが示されている。したがって、地震危険度の計算には、この差を取り除いた気象庁マグニチュードに相当する値を用いた。

また、震源の深さが、vs, s, d などと示されている地震については表 2 に示すように、それぞれの記号の意味する深さの範囲の中間値を仮定して計算に用いた。

大地震に伴って発生する前震や余震については、これらを単独の地震として扱うと地震危険度を過大に評価す

ることになるため、本震と前震や余震とを合わせて1つの地震とみなし、本震と前震や余震による最大加速度の中の最大値のみを、地震危険度の計算に用いた。原則として、本震の前後1か月内に本震の震源に近い場所で発生した地震の前震あるいは余震と判断した。

宇津の表に示された地震被害の程度と地震の数を表-3に、被害の程度の基準を表-4に示す。表によると、

表-2 震源の深さの仮定値

期 間	記号	意 味	計算における仮定値
1885 }	vs	0~15km程度	7km
1925	s	数十km程度	40km
*	d	100km以上	100km
1926 }	vs	30km未満	15km
1944	s	30~60km	45km
1945 }	vs	30km未満	15km
1952	s	30~100km	65km
1953 }	s	50km未満	25km
1956			

* : 1926年以降で宇津が定めたものを含む

表-3 被害の程度と地震の数 (宇津の表による)

被害 M	M						計
	M<5.6	5.6≤M<6	6≤M<7	7≤M<8	8≤M		
1	$\frac{96}{(34)}$	47	74	24	5	246	
2	$\frac{30}{(13)}$	9	45	15	2	101	
3	2	5	31	22	1	61	
4			5	8	2	15	
5			2	5	1	8	
6				2	2	4	
7				1	1	2	
計	128	61	157	77	14	437	

() の数字は、松代群発地震を示す。

表-4 被害の程度 (宇津の表による)

1	壁や地面にき裂が生じる程度の微小被害(火山など特殊な場所の地割れなどは除く)。
2	家屋の破損、道路の損壊などが生じる程度の小被害。
3	複数の死者または複数の全壊家屋が生じる程度(ただし4には達しない)。
4	死者20人以上または家屋全壊1千戸以上(ただし5には達しない)。
5	死者200人以上または家屋全壊1万戸以上(ただし6には達しない)。
6	死者2千人以上または家屋全壊10万戸以上(ただし7には達しない)。
7	死者2万人以上または家屋全壊100万戸以上。

M 5.6 未満の被害地震の数は128個と多く、特殊な地震である松代群発地震を除いても81個である。しかしながら、これまでに発生したM 5.6 未満のほとんどの地震が無被害であったことや、表-5に示す被害を与えた地震でも被害の程度は2個の地震を除いて1または2と小さく、M 5.6 未満の地震が港湾構造物の安定性に大きな影響を与えることはないと考えられる。被害の程度が3である地震は、1961年2月2日に新潟県の長岡付近で発生したM 5.2の地震と1968年2月に新島近海で発生した群発地震の1つであるM 5.0の地震である。前者は文献6)によると局発被害地震で、被害域の中心から約2km離れるとほとんど被害がなく、また一般に屋根が重く耐震用の斜材を使っていない家が多かったために被害が大きかったと考えられている。後者は、同じく文献6)によると、被害は、式根島で住家全壊2、半壊4、道路損壊4、神津島で住家一部破損1、山(崖)崩れ6にすぎず、被害の程度が3とはいうもののほとんど2に等しい。

また、1968年3月30日に和歌山港付近で発生したM 5.0の地震では、和歌山港の地盤上でSMAC 強震計により、上下成分405Gal、EW成分258Galの最大加速度が観測されたが、構造物には全く被害がなかったという例もある。

このような点を考察すると、港湾構造物の地震時の安定性という観点からは、M 5.6 未満の地震を無視してもよいと考えられる。

地震月報から引用した1981年のM 5.6以上の地震は25個である。

1885年から1981年までの地震のうち、断層面が推定されているM 7.4以上の11個の大地震については、震源位置に代わって表-5に示す断層パラメータを用いた。表に示した断層パラメータの意味は、図-3に示すとおりである。濃尾地震では、表-5に示した3つの断層面が動いたと考えられている。

ところで、地震の発震機構に関する研究では、断層面の位置が緯度、経度の数値で示されているものは少なく、地図上に図示されている程度のものが多い。したがって、表に示した断層パラメータの一部は、著者らがそれぞれの文献9~19)に示されている図から数値を読み取ったものである。関東地震や1973年根室半島沖地震などについては、表-5の断層パラメータと少し異なる断層パラメータが示されている文献20~22)、あるいは複数の断層面からなる断層パラメータが示されている文献23、24)もあったが、ここではこれら断層パラメータを採用していない。

表一五 断層面のパラメータ

年	月	日	時	分	地震名	断層面上の基準点 P						断層面			マグニチュード	文献
						緯度 (度)	経度 (度)	深さ (km)	X座標 (km)	Y座標 (km)	長さ L (km)	幅 W (km)	傾斜角 δ°	長さ軸の方向 N φ° E		
1891	10	28	6	38	濃尾地震 ①	35.5	136.7	0	55	15	55	15	90°	145°	8.0	10)
						35.5	136.7	0	0	15	25	15	90°	107°	8.0	
						35.5	136.7	0	0	15	25	15	90°	163°	8.0	
1923	9	1	11	58	関東地震	35.3	140.1	25	0	0	95	25°	294°	7.9	11)	
1933	3	3	2	30	三陸地震	40.15	143.67	71	0	0	185	100	45°	180°	8.1	12)
1944	12	7	13	35	東南海地震	33.9	136.6	30	60	40	120	80	10°	216°	7.9	13)
1946	12	21	4	19	南海道地震	33.3	135.5	30	60	40	120	80	10°	220°	8.0	13)
1952	3	4	10	22	十勝沖地震	42.9	144.4	35	0	0	130	100	20°	220°	8.2	14)
1964	6	16	13	01	新潟地震	38.40	139.26	12	40	15	80	30	56°	189°	7.5	15)
1968	5	16	9	48	十勝沖地震	40.84	143.22	33	75	50	150	100	20°	156°	7.9	16)
1969	8	12	6	27	北海道東方沖	43.44	147.82	41	90	42.5	180	85	16°	220°	7.8	17)
1973	6	17	12	55	根室半島沖地震	42.7	146.0	33	30	50	60	100	27°	230°	7.4	18)
1978	6	12	17	14	宮城県沖地震	38.15	142.40	25	30	80	30	80	20°	190°	7.4	19)

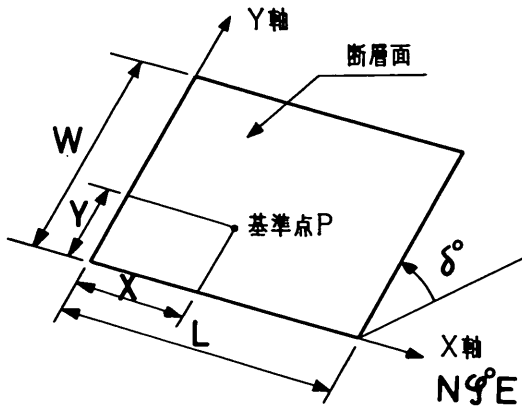


図-3 断層のパラメータ

次に、1884年以前の地震資料について述べる。宇佐美の被害地震総覧には、1884年以前についてみると、288個の被害地震が収録されている。しかしながら、震央の位置とマグニチュードとが示されており最大加速度の推定を行うことのできる地震は、186個である。これらの地震では、震源の深さが一切示されていないので、すべて震源の深さを0kmとして計算を行った。したがって、1884年以前については、各地震による最大加速度を大きめに推定しているものと考えられる。1884年以前の地震資料は、付録-Aに示してある。

4. 基盤の最大加速度の距離による減衰

ある地点における地震動の最大加速度は、一般に、地震のエネルギーが大きいほど（マグニチュードが大きいほど）大きく、地震が発生した地域からの距離が短いほど大きい。したがって、ある地点の基盤における最大加速度は、通常、地震のマグニチュードと地震が発生した地域からの距離の関数として与えられる。最大加速度の距離による減衰特性については、種々の研究成果があるが、ここでは基盤の加速度について求められているものを示す。なお、これらの関係式のもととなったデータには、かなり大きなばらつきがあることに注意しておく必要がある。

(1) 野田・上部による関係²⁵⁾

野田・上部は、港湾地域強震観測網（主としてSMAC-B2強震計）で得られた岩盤上の地震記録の最大加速度、および地盤上で得られた地震記録から地盤の応答計算により求めた基盤における最大加速度を整理して、図-4に示す基盤の最大加速度、実効距離、マグニチュードの関係を求めた。ここでいう基盤とは、岩盤あるいはN値50以上の洪積砂れき層である。また、実効距離とし

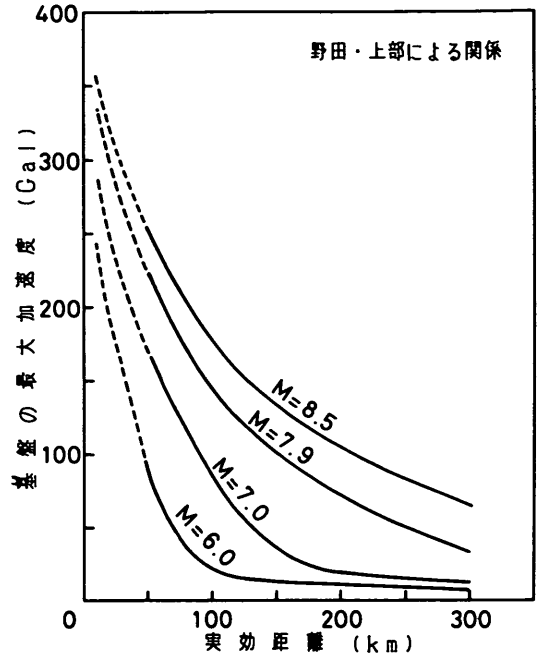


図-4 野田、上部の関係

ては、断層面が求められている地震では断層面からの距離を、余震域のわかっている地震では余震域の面積と等しい平面的な広がりをもつ球体を震源域と考えてその縁からの距離を、震源の位置とマグニチュードのみがわかっている地震ではマグニチュードから決まる半径を有する球状の震源域を仮定してその縁からの距離をそれぞれ採用している。球状の震源域の半径は、勝又²⁶⁾により、余震域の面積等の既応の研究結果をふまえて、次のように表されている。

$$\log r_e = 0.5 M - 2.25 \quad (2)$$

ただし、 r_e : 震源域の半径 (km)

M : マグニチュード

なお、野田・上部による関係では、最大加速度には上限があるとする考え方にに基づき、震源域の縁での最大加速度は、マグニチュードによらず400Galとしている。

野田、上部による関係は、港湾地域の地震防災対策に必要な最大加速度の推定にしばしば用いられている。^{27,28)}

(2) 東北地方に対する上部の式²⁹⁾

上部は、加速度の距離による減衰に地域的に差があると考えて、東北地方で観測された加速度記録（18地点で得られた44の強震記録）に限定して、基盤の最大加速度とマグニチュード、断面距離の関係を次式のように求めた。用いられた記録は、いずれも岩盤あるいは硬地盤

で得られたものであり、SMAC強震計あるいは電磁式強震計によるものである。

$$\log_{10} a = 3.159 + 0.234M - 1.478 \log_{10} R \quad (3)$$

ただし、 a ：最大加速度 (Gal)

M ：マグニチュード

R ：断層面距離 (km)

なお、この回帰式の重相関係数は0.727、実測値と推定値との比の常用対数の標準偏差は0.283である。この関係を図-5に示す。

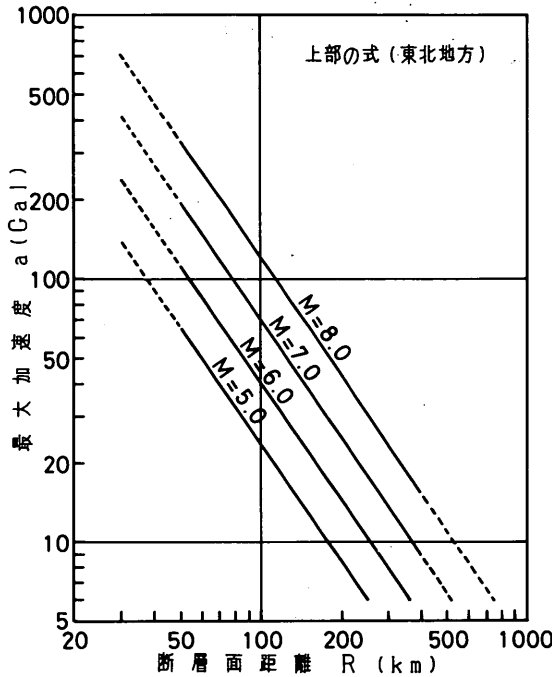


図-5 東北地方の最大加速度と断層面距離の関係

また、上部は、基盤の最大加速度の距離による減衰に地域特性があることを、東北地方と伊豆地方との比較により示した。1980年伊豆半島東方沖地震の強震記録についての田中ほか³⁰⁾の報告に示されている岩盤上の強震記録の最大加速度と断層面距離の関係を、東北地方について得られた関係と比較したものが図-6である。上部は、この図より、伊豆地方の岩盤上の強震記録は東北地方のそれよりかなり小さく、両者の差は、それぞれの地域性を反映したものであると述べている。

(3) 道路橋示方書の式³¹⁾

「道路橋示方書・同解説」には、建設省土木研究所や港湾地域強震観測網をはじめとする諸機関により国内の地盤上で観測された強震記録(主としてSMAC強震計に

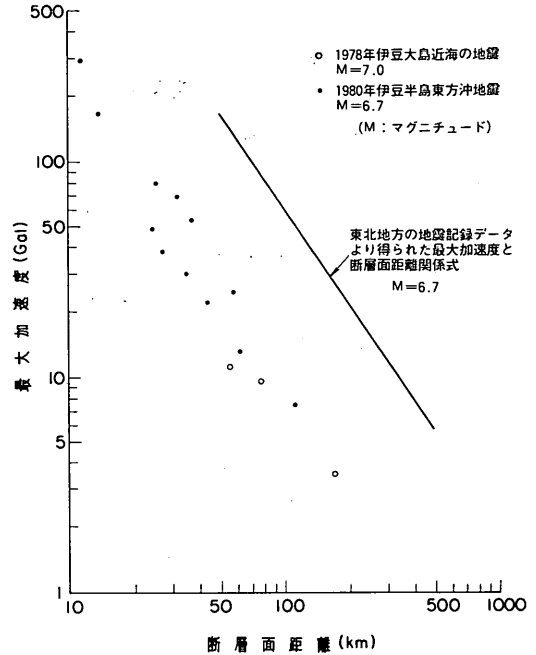


図-6 1980年伊豆半島東方沖地震の最大加速度と断層面距離の関係

よる)を、地盤種別ごとに整理解析した結果が示されている。

第1種地盤に対しては、29の強震記録から、次式に示す最大加速度、震央距離、マグニチュードの関係が得られている。第1種地盤とは、第三紀以前の地盤(以下岩盤と称する)、または岩盤までの地層(洪積層、沖積層の締まった砂層、砂れき層、玉石層を含む)の厚さが10m未満の地盤をいい、前述の基盤にほぼ対応している。

$$a = 46.0 \times 10^{0.208M} \times (L + 10)^{-0.686} \quad (4)$$

ただし、 a ：最大加速度 (Gal)

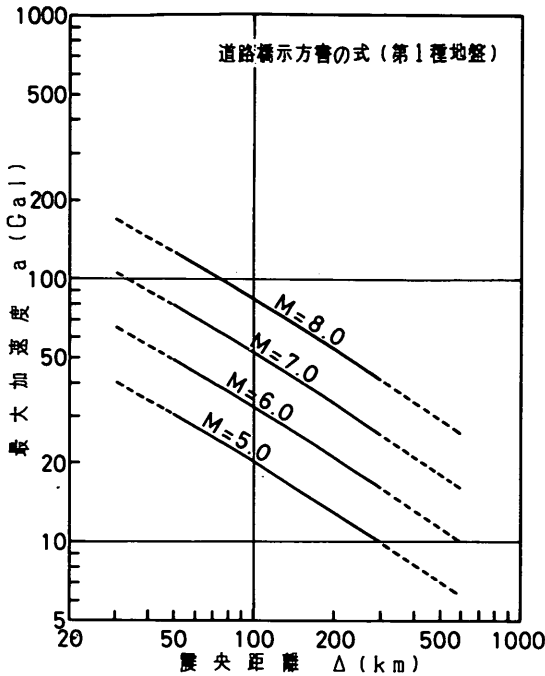
M ：マグニチュード

L ：震央距離 (km)

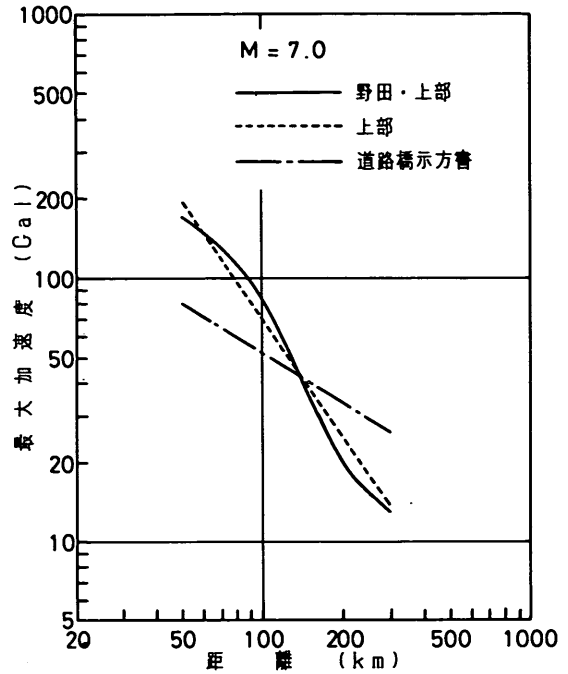
なお、この回帰式の重相関係数は0.48、標準偏差は0.561である。この関係を図-7に示す。

上に示した3種の最大加速度の距離による減衰特性は用いた強震記録のデータや距離のとり方が異なっているため、加速度の推定値にも差がある。 M 6.0、7.0および7.9について、これらの比較を図-8~10に示す。ただし、ここでは、それぞれの関係における距離のとり方の違いは、考慮していない。

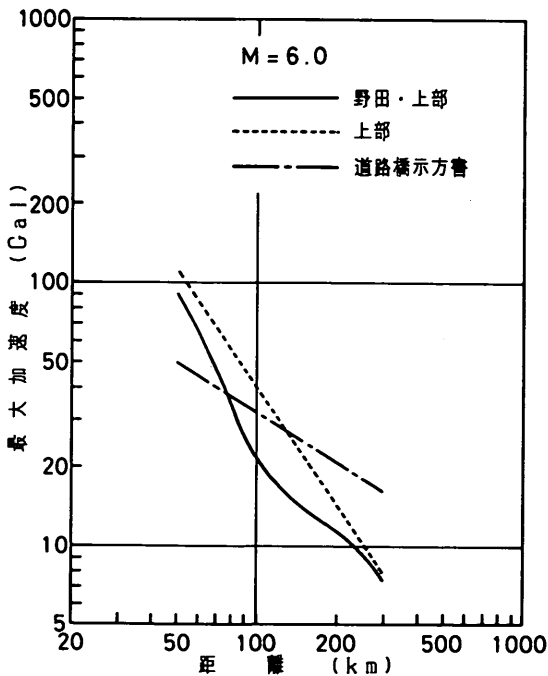
M 6.0では、東北地方に対する上部の式が野田・上部による関係よりも全般に大きな加速度を与えている。ま



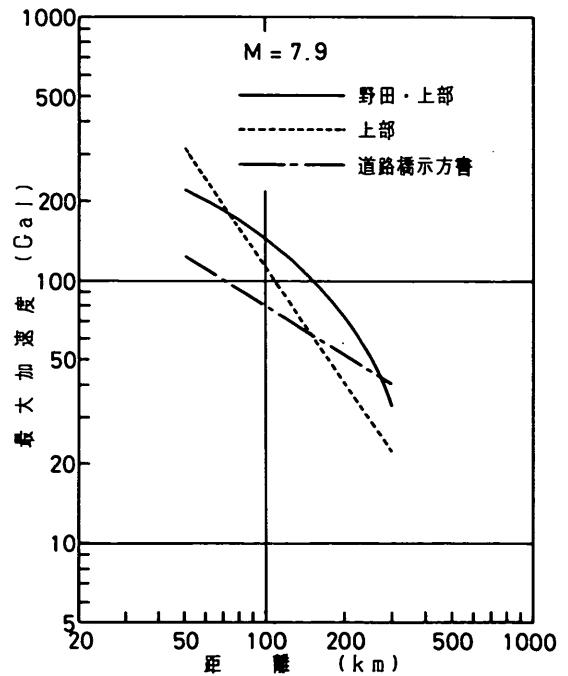
図一七 道路橋示方書の最大加速と震央距離の関係



図一九 加速度の距離による減衰の比較 (M=7.0)



図一八 加速度の距離による減衰の比較 (M=6.0)



図一〇 加速度の距離による減衰の比較 (M=7.9)

た、道路橋示方書の式は、他の2つの関係に比べて、震源付近で加速度が小さく、遠方では加速度が大きくなっており、距離による加速度の変化が少ない。

M=7.0では、野田・上部による関係と上部の式はほぼ同じ加速度を与えているのに対し、道路橋示方書の式は、距離が140 km以下では小さめの加速度を、140 km以

上では大きめの加速度を示している。

$M=7.9$ では、野田・上部による関係が、他の2つの式よりも全般に加速度が大きくなっている。

以上述べたように、最大加速度の距離による減衰を表す関係は各種報告されている。また最大加速度の距離による減衰を表す関係には地域特性が反映されたものを用いるのが望ましいが、本報告では、次に述べるような理由により、(1)の関係を用いて計算を行った。

- ① (2)の関係式は、地域特性を反映している点で(1)よりも優れていると考えられるが、他の地域について同様の研究がなされていない現状では、この式を用いることはできない。
- ② (3)の関係式は、全国を対象としたものとしては用いられた強震記録の数が少なく、相関性もあまりよくないと考えられる。
- ③ どの関係式を用いるかによって、当然、計算される加速度の値は異なるが、地震危険度を相対的に評価する場合には、その差は比較的小さいものと予想される。
- ④ (1)の関係は、全国各地域における大地震時の地盤加速度の推定や既設構造物の耐震性評価における最大加速度の推定にしばしば用いられている。

5. 基盤における最大加速度期待値と再現期間

5.1 計算手法

2. で述べたように、再現期間と基盤の最大加速度期待値の関係を求める方法として、a) 両対数座標上で線型回帰分析を行う方法、およびb) 極値統計理論を用いる方法の2つを採用した。

(1) 両対数座標上で線型回帰分析を行う方法

各地震に対して推定された基盤の最大加速度にソーティングを施し、大きいほうから順位 m をつける。各最大加速度の再現期間 T_{Rm} (年)は、次式により計算した。

$$T_{Rm} = K / m \quad (5)$$

ただし、 K は対象期間(地震資料の年数)である。

ここでは、構造物の一般的な耐用年数に比べてあまり短い再現期間に対応する最大加速度期待値を求めても有益ではないこと、および最大加速度の小さいデータまで含めると線型回帰分析では相関が悪くなることを考慮して、第1位から第10位の最大加速度を用いた。第1位から第10位の最大加速度の再現期間は、それぞれ97年から9.7年になる。

次に、次式により線型回帰計算を行い、係数 A と B を求めた。

$$\log T_R = A + B \log a_B \quad (6)$$

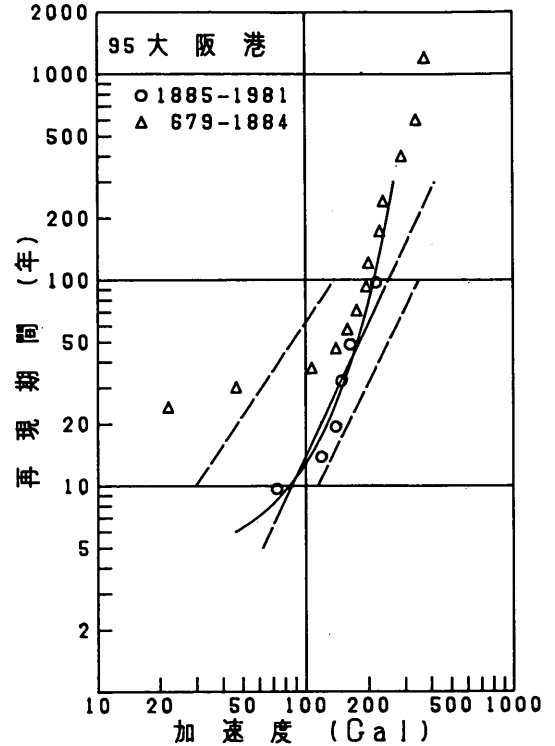


図-11 再現期間と最大加速度期待値の関係(大阪港)

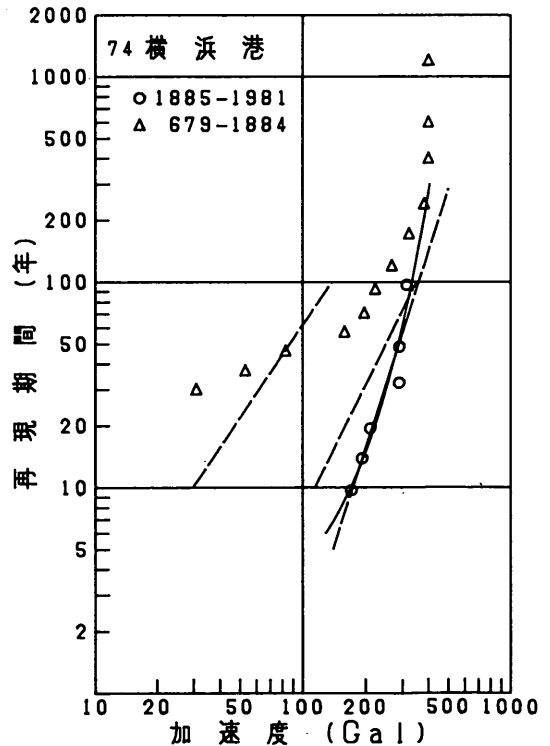


図-12 再現期間と最大加速度期待値の関係(横浜港)

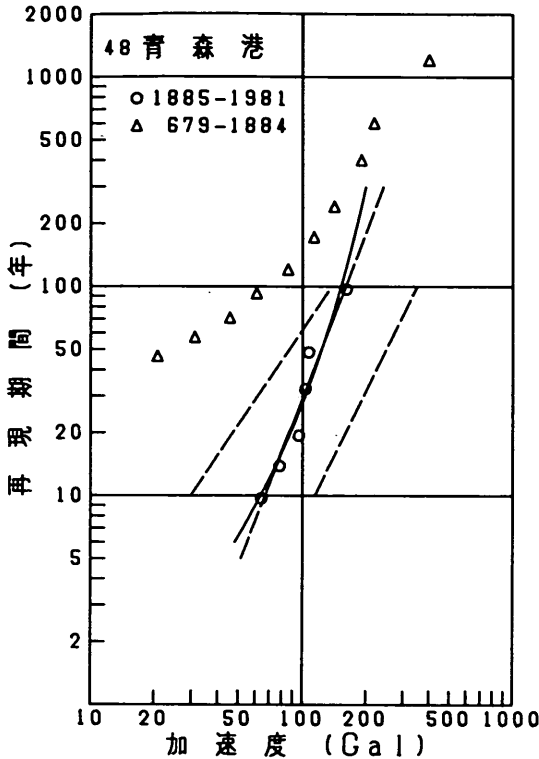


図-13 再現期間と最大加速度期待値の関係 (青森港)

ただし、 T_r は再現期間 (年)、 α_B は基盤の最大加速度 (Gal) である。回帰計算において第 1 位から第 10 位の 10 個の加速度のすべてを用いると、対数軸上では短い再現期間に点が密に分布し、短い再現期間に対応する加速度を重要視した結果になってしまう。したがって、ここでは、第 1, 2, 3, 5, 7, 10 位の 6 個の加速度について回帰計算を行った。

計算結果の例を図-11~13に示す。図中の○印が回帰計算に用いた点であり、図中の直線が回帰直線である。また、再現期間 100 年と 10 年の間に示されている 2 本の破線は、すべての地点の計算結果における標準偏差の範囲を表している。

図中の△印は、地震資料の年数の短さを補うための参考資料として、1884 年以前の地震資料について計算した結果である。図には、再現期間 1206 年から約 24 年に相当する第 1, 2, 3, 5, 7, 10, 13, 17, 21, 26, 32, 40, 50 位の加速度をプロットしてある。

これらの図では、直線が右に寄っているほど地震危険度が高く、また直線の傾きが大きいほど再現期間に対する加速度期待値の変化が小さいことを表している。

また、大部分の地点では、1884 年以前の地震による加速度期待値は、最近の 97 年間の地震によるものに比べ

てかなり小さい。しかし、大阪や横浜などでは、他の地域に比べて、再現期間の比較的長い部分で、両者の差は小さい。これは、両地域では、大地震については記録もれが少ないためと考えられる。一方、再現期間が短いところでは 1884 年以前の地震による加速度期待値はかなり小さくなるが、これは比較的小規模の地震が記録からもれているためと考えられる。

(2) 極値統計理論による方法

水文統計や風速、波高の生起確率を考慮した推定にしばしば用いられている極値統計理論により、再現期間と基盤の最大加速度の関係を求めた。この方法は、生起確率の分布型を仮定して超過確率、非超過確率を求めようとするものである。ここで用いた方法は、波高の推定に用いられている Petruaskas・Aagaard の方法³²⁾ とほぼ同様である。

まず、各地震に対して推定された基盤の最大加速度にソーティングを施し、大きいほうから順位 m をつける。ここでは、(1) の線型回帰分析と異なりデータ数を増しても下位のデータの影響を受けにくいので、第 1 位から第 20 位の最大加速度を用いた。これらのデータから、次式により非超過確率を計算する。

$$P(\alpha_B < X_m) = 1 - \frac{m}{N+1} \quad (7)$$

ただし、 X_m は大きいほうから m 番めの最大加速度、 N は最大加速度のデータ数で、ここでは $N=20$ である。

分布関数としては、次に示す二重指数分布、および Weibull 分布の指数 k を 0.75, 0.80, 1.00, 1.10, 1.25, 1.50, 2.00 と 7 通りに変えたものを当てはめ、重相関係数により適合度の最も良いものを各地点ごとに選択した。

二重指数分布

$$P(\alpha_B < X) = \exp\{-\exp\{-\frac{X-B}{A}\}\} \quad (8)$$

Weibull 分布

$$P(\alpha_B < X) = 1 - \exp\{-\left(\frac{X-B}{A}\right)^k\} \quad (9)$$

分布関数の当てはめには、 $\tau_0 = (X-B)/A$ と変換し、 X と τ_0 の関係を次のように線型化して、回帰係数 A 、 B を推定した。

$$X = A\tau_0 + B \quad (10)$$

最大加速度の再現期間 T_r は、次式により求められる。

$$T_r = \frac{K}{N} \frac{1}{1 - P(\alpha_B < X)} \quad (11)$$

ただし、 K は対象期間 (年) である。

計算の手順は、次のとおりである。

- ① 式(7)により、非超過確率を計算する。
- ② 次式により、変換確率 τ_v を計算する。

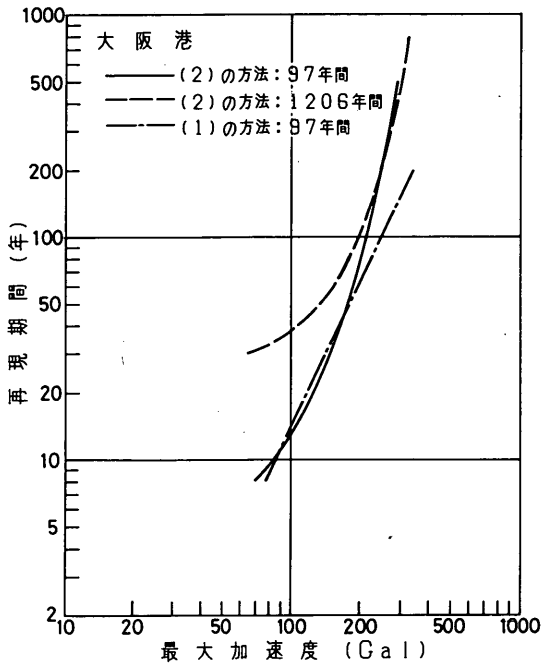


図-14 地震危険度の計算結果の比較 (大阪港)

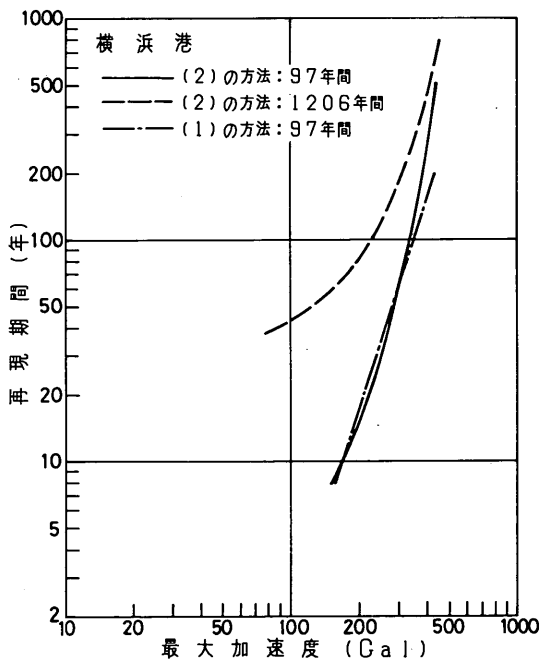


図-15 地震危険度の計算結果の比較 (横浜港)

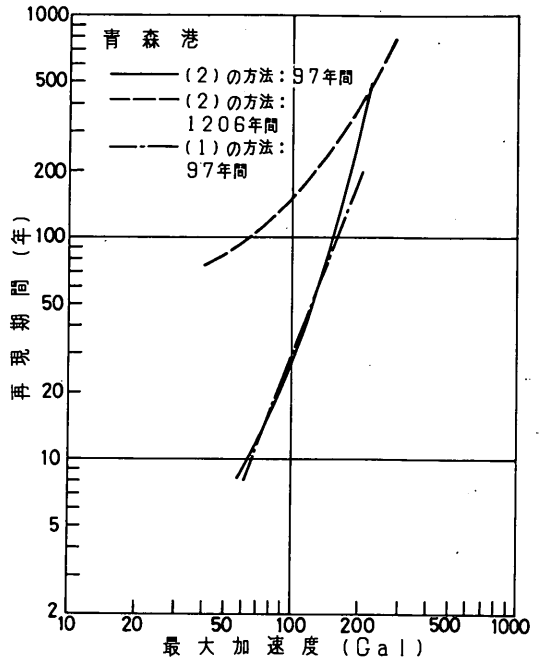


図-16 地震危険度の計算結果の比較 (青森港)

二重指数分布

$$\tau_v = -\ln\{-\ln P(\alpha_B < X)\} \quad (12)$$

Weibull 分布

$$\tau_v = [-\ln\{1 - P(\alpha_B < X)\}]^{1/K} \quad (13)$$

- ③ 式(10)により回帰分析を行い、係数 A 、 B を推定する。

- ④ 所要の再現期間に対する最大加速度期待値を求めるためには、式(1)により非超過確率を求め、式(12)と式(13)により変換確率 τ_v を計算し、式(10)を用いる。

この方法による地震危険度の計算結果を、大阪、横浜、青森の各港について、(1)と比較して示したものが、図-14~16である。図には、最近の97年間の地震資料に基づく(1)と(2)の方法による計算結果、および1884年以前の1206年間の地震資料に基づく(2)の方法による計算結果を示してある。

図からわかるように、97年間の地震資料についてみると、再現期間10年から100年の範囲においては、(1)と(2)の方法による最大加速度の差はほとんどなく、どちらの方法によっても良いと考えられる。しかし、(1)の方法では、再現期間100年以上においても直線を単純に延長すると最大加速度もどんどん大きくなり、これは、3.3で述べたように、この報告での最大加速度には上限があるとする考え方とは矛盾している。したがって、再現期間100年以上に対して(1)の方法による結果を適用するには、問題があると考えられる。

これに対して、(2)の方法によると、再現期間100年以上で最大加速度がある値に漸近する傾向が認められ、最大加速度に上限があるとする考え方と一致する。

また、最近の97年間の地震資料に基づく結果と、1884年以前の1206年間の地震資料に基づく結果とが、再現期間が長くなると近づいてくるのがわかる。1884年以前の地震資料には地震の記録もれが存在するものの、数100年以上の長い再現期間に対応するような大地震になれば記録もれがほとんどないと推定できるから、このような長い再現期間における1884年以前の地震資料に基づく結果は真実に近いと考えられる。両者の最大加速度が一致してくる再現期間は、地点によって異なり、大阪では70～100年、横浜では200～300年、青森では300～400年であるが、これは、大阪、横浜、青森の順に地震の記録もれが少ないと考えれば説明がつく。

したがって、最近97年間の地震資料による地震危険度の計算結果から再現期間100年以上についても最大加速度を推定するには、(2)の方法がよいと考えられる。

5.2 計算結果

(1) 計算結果

5.1の(1)と(2)の方法によって対象とした全地点について基盤における最大加速度期待値と再現期間の関係を計算した。対象とした全地点について得られた結果を付録一Bに示す。また、過去97年間の各地点における第1位から第20位の最大加速度、および(1)と(2)の方法による回帰係数、相関係数、Weibull分布の指数 k の値を付録一Cに示す。付録一Cの表でWeibull分布の指数の値が示されていないのは二重指数分布のほうが適合度のよかった場合である。

(2) 沿岸地域の地震危険度の地域差

以上の計算結果より沿岸地域の地震危険度の地域差を検討する。ここでは、再現期間100年の各地点の最大加速度期待値の計算結果について検討する。地域差をみるのに最大加速度期待値そのものを各地点について表示するのは全体を把握しにくい。一方、沿岸地域だけであるので、コンターを描くことも難しい。そこで、ここでは区分された地点の数がほぼ等しくなるように最大加速度期待値により5区分にわけることとした。各区分の最大加速度期待値の値と区分された各地点を図一17に示す。この図から読みとれる沿岸地域の地震危険度の概要および地震危険度を考える際に参考すべき事項について以下に述べる。

a) 北海道

北海道周辺で発生する地震は、太平洋側の日本海溝沿いに集中しており、この地域では、1952年の十勝沖地

震($M 8.2$)、1973年根室半島沖地震($M 7.4$)、1968年十勝沖地震($M 7.9$)などの $M 7 \sim 8$ クラスの大地震が発生している。内陸部の地震は、日高地方と阿寒、弟子屈付近に少し見られるほかはほとんどない。日本海側では、数は少ないが、留萌沖に $M 6 \sim 7$ 程度の地震が発生することがあり、1884年以前においては、積丹半島付近にも地震が発生している。日本海側のその他の地域とオホーツク海沿岸地域ではほとんど地震がなく、あっても比較的震源が深く、その影響は小さい。また、国後島付近で発生する地震の震源も比較的深い。

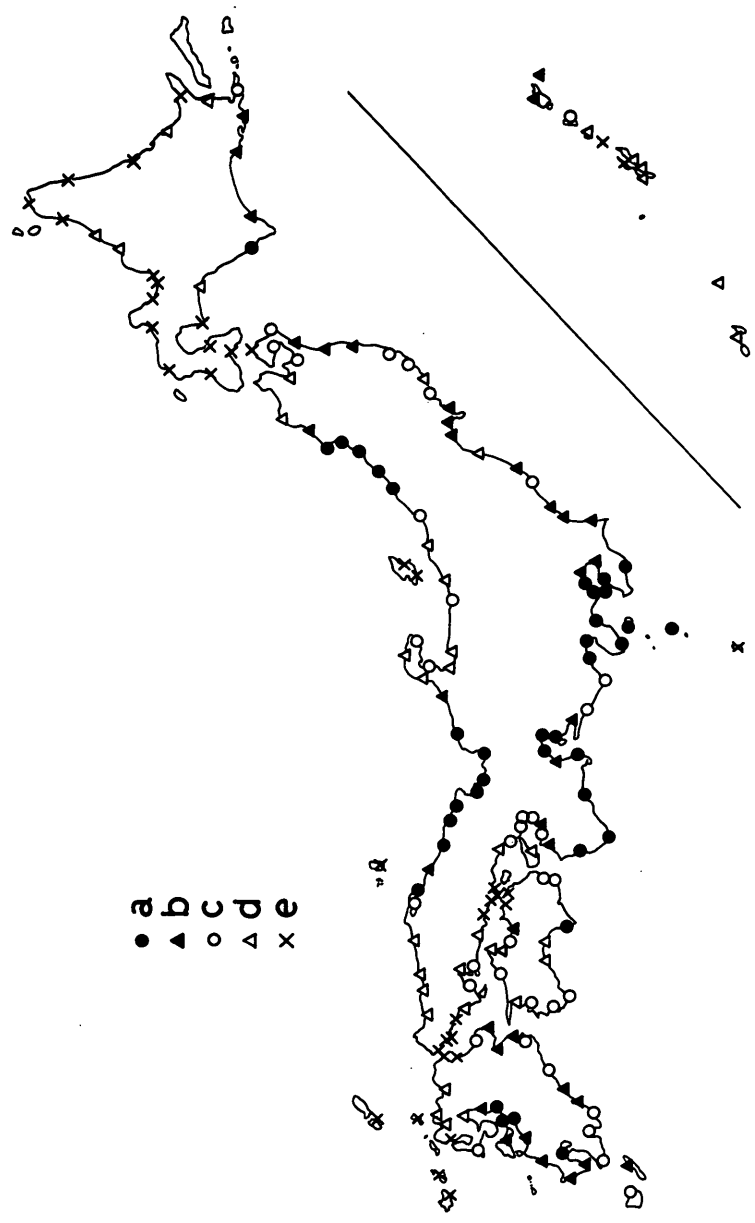
したがって、北海道における地震動の加速度期待値は、根室市から日高支庁にかけての太平洋岸で最も大きく、aまたはbクラスである。胆振支庁および渡島支庁では沿岸近くで発生する地震はなく、日本海溝沿いの大地震の影響を受けるものの、加速度期待値は比較的小さく、d～eクラスである。網走から知床半島、標津にかけての地域は、国後島付近や阿寒、弟子屈付近の地震、および太平洋側の大地震の影響を受けるが、太平洋岸に比べて期待値は小さく、d～eクラスである。日本海側のうち留萌地方を除く地域と網走以北のオホーツク海沿岸地域は、地震動の加速度期待値が小さく、地震に対して安全な地域と考えられる。ただし、積丹半島付近については、1884年以前に地震が発生していることを無視できないと考えられる。

b) 第一港湾建設局管内

秋田県から石川県にかけての日本海側の地域は、全体的に太平洋側に比べると地震の数が少ない。これらの地域で相対的に地震が多いのは、秋田県南部の内陸部と男鹿半島である。これらの地震は、震源が近いため沿岸地域に大きな加速度を与えると考えられるが、その発生頻度は太平洋岸に比べると小さい。したがって、秋田県および山形県の沿岸地域では、加速度期待値は長い再現期間を考えるとかなり大きくa～bクラスとなるが、短い再現期間では低い区分になる。

新潟県から富山県にかけての日本海沖では、この100年間においては1964年の新潟地震($M 7.5$)を除いて $M 6$ 以上の地震は発生しておらず、新潟県北部や佐渡の加速度期待値は小さい。内陸部では、新潟県南部と長野県北部に、 $M 5 \sim 6$ 程度の地震が時々発生しており、新潟県南部から富山県の日本海沿岸地域では、これらの地震の影響を受け、加速度期待値はc～dクラスである。石川県では能登半島でたまに $M 6$ 程度の地震が発生するほかはほとんど地震がない。

福井県では、福井市にとって直下型地震であった1948年の福井地震($M 7.3$)や岐阜県西南部に発生した1891



- a
- ▲ b
- c
- △ d
- × e

図一七 地震危険度の区分 (再限期間100年)

年の濃尾地震 ($M 8.0$) をはじめとする地震、および京都府北部や兵庫県北部の地震の影響を受けるため、加速度期待値は大きく、 $a \sim b$ クラスである。

c) 第二港湾建設局管内

青森県から茨城県にかけての東北地方の太平洋岸沖は、日本でも最も地震の多い地域である。これらの地域では、1933年の三陸沖地震 ($M 8.1$)、1968年十勝沖地震 ($M 7.9$)、1978年宮城県沖地震 ($M 7.4$) などの大地震が発生しているのを始め、 $M 6$ クラスの地震は多数発生している。一方、これらの沖合で発生する地震の数に対して東北地方内陸部の地震は非常に少ない。したがって、沿岸地域にとっては、地震の震源が比較的遠いことから再現期間が長い場合の加速度期待値は関東地方南部沿岸に比べると小さい。しかし、地震にみまわれる頻度は非常に高い。

関東地方においては、茨城県沖に発生する $M 6 \sim 7$ クラスの多くの地震、1923年の関東地震 ($M 7.9$) をはじめとする相模トラフ沿い (房総半島南東沖を含む) の地震、茨城県南部から千葉県中北部、東京都などの内陸に発生する $M 6$ 程度の地震があり、関東地方の沿岸地域の加速度期待値は大きく $a \sim b$ クラスである。また、神奈川県では、これらの地震に加えて、伊豆半島付近で発生する多くの地震の影響も受ける。

青森県の日本海側や津軽海峡に面した地域ではほとんど地震がないが、秋田県の地震や太平洋沖の地震の影響を受け、加速度期待値は $c \sim d$ クラスである。

d) 第三港湾建設局管内

京都府から島根県の日本海側をみると、この約 100 年間に、京都府では 1927 年の丹後地震 ($M 7.3$)、鳥取県では 1943 年の鳥取地震 ($M 7.2$) という大地震が、沿岸に発生している。これらの地震は、日本海沿岸に数百年から 1000 年に 1 回起こる大地震といわれている。また兵庫県の北部では $M 6 \sim 7$ 未満の地震が、鳥取と島根の県境付近や島根県の内陸部では時々 $M 5 \sim 6$ クラスの地震が発生している。しかし、その他にはほとんど地震はない。京都府や兵庫県北部では、若狭湾で発生する地震の影響を受けることもある。

京都府から島根県に至る日本海沿岸地域における加速度期待値は、ほとんどの地点で $a \sim b$ クラスと大きい方が再現期間を短くとると低い区分になる。これは、計算に用いた最近約 100 年間の地震資料の中に、数百年に 1 回と考えられる地震が含まれているためであり、このような発生頻度の低い地震の影響を過大に評価していると考えられる。

紀伊半島から四国沖は、巨大地震の発生するところで

あり、最近 100 年間には、1944 年の東南海地震 ($M 7.9$)、1946 年の南海地震 ($M 8.0$) が発生している。また、和歌山県の紀伊水道に面した沿岸では、 $M 5 \sim 6$ 程度の地震がよく発生する。したがって、和歌山県の沿岸における加速度期待値は、 $a \sim b$ クラスと大きい。

大阪府から広島県に至る大阪湾と瀬戸内海の沿岸、および香川県と愛媛県の瀬戸内海沿岸は、ほとんど地震のない地域であり、広島県西南の安芸灘に $M 7$ クラスの地震が発生する程度である。

大阪湾沿岸地域では、紀伊半島沖の巨大地震により大きな影響を受けるほかに、奈良県西部に発生する $M 6$ クラスの地震や京都府や兵庫県の日本海側の地震の影響を受け、加速度期待値は b 、 c クラスである。

岡山県および香川県の瀬戸内海に面した地域は、紀伊半島沖の巨大地震、京都府から鳥取県にかけての日本海側の地震の影響を受けるほかはほとんど地震がなく、加速度期待値は d 、 e と小さい。

広島県および愛媛県の瀬戸内海沿岸では、安芸灘の地震および紀伊半島沖の巨大地震の影響を受け、加速度期待値はほぼ c 、 d クラスである。

徳島県から高知県の東南部にかけての沿岸では、紀伊半島から四国沖に発生する地震の影響を受け、加速度期待値は c クラスと比較的大きい。

高知県の中部から西南部の沿岸および愛媛県の豊後水道に面した地域では、内陸部には地震がないが、紀伊半島から四国沖に発生する地震や宮崎県沖の日向灘に発生する地震の影響により、加速度期待値はほぼ c 、 d クラスである。

e) 第四港湾建設局管内

山口県は、日本海沖および東部の伊予灘で時々 $M 6$ クラスの地震が発生するほかは、ほとんど地震がない。したがって、加速度期待値は全般に小さく、 d 、 e クラスである。東部の広島県と接する地域では、安芸灘の地震の影響を受けるためにやや加速度期待値が大きいが、それでも c 、 d クラスである。

福岡県から長崎県に至る周防灘から日本海および東シナ海に面した地域は、地震の少ない地域である。この約 100 年間においては、長崎市西方に発生した 1922 年の $M 6.9$ の地震、福岡県西部沿岸に発生した $M 5 \sim 6$ クラスの地震以外には被害を及ぼすような地震は発生していない。したがって、これらの地域の加速度期待値は小さく、ほぼ d 、 e クラスである。また、佐賀県の有明海に面した地域も d クラスである。対馬、壱岐、五島列島などにおいては、さらに加速度期待値が低く、地震に対して安全な地域といえる。

大分県では、豊後水道に面した地域や内陸部で、1975年大分県中部地震(M 6.4)のように、時たまM 6クラスの地震が発生することがある。また、宮崎県沖の日向灘は地震活動が比較的活発で、1968年の日向灘地震(M 7.5)などのM 7クラスの地震が発生する地域である。宮崎県内陸部には、比較的震源の深い地震や、宮崎県と鹿児島県境でM 5クラスの地震が、時たま発生する。したがって、大分県および宮崎県の沿岸地域の加速度期待値からみるとb, cクラスである。

鹿児島県では、桜島の大噴火に伴って発生した1914年のM 7.1の地震のほかは、大きな地震がないが、宮崎県境や南西部で時たまM 5~6クラスの地震が発生する。また、種子島の西方から南方沖にかけての地域では、M 6~7クラスの地震がよく発生する。したがって、鹿児島県では、これらの地震や宮崎県沖の日向灘の地震の影響を受けるため、加速度期待値はそれほど小さくなく、ほぼa~cクラスである。

熊本県では、最近の約50年間は全くといってよいほど地震が発生していないが、その前の約50年間をみると、沿岸部および内陸部でM 6クラスの地震が時々発生しており、これらの地震は震源が近いため、計算では大きな加速度が得られる。また長崎市西方では1922年にM 6.9の地震が発生している。したがって、熊本県沿岸部の加速度期待値は、長崎県や佐賀県などに比べて大きくa~cクラスである。

鹿児島県の奄美諸島では、奄美大島の東方沖で1901年と1911年の2回にわたってM 7.5とM 8.0の大地震が発生しているほか、M 6クラスの地震がかなり多く発生している。このため、奄美大島や喜界島での加速度期待値はほぼb~cクラスであり、徳之島、沖永良部島、与論島と南へゆくほど期待値は小さくなり、与論島ではeクラスである。

f) 第五港湾建設局管内

静岡県東部の伊豆半島から伊豆大島、三宅島にかけての地域では、1930年の北伊豆地震(M 7.3)、1974年伊豆半島沖地震(M 6.9)、1978年伊豆大島近海地震(M 7.0)などのM 7クラスの地震のほか、M 5~6クラスの地震がしばしば発生しており、地震活動が活発である。また、静岡県、愛知県、三重県の太平洋沖は、巨大地震が繰り返し発生することが知られている。最近100年間においても三重県沖では、1944年の南海地震(M 7.9)が発生している。また、1884年以前には、静岡、愛知両県沖で、1096年の永長地震(M 8.4)、1498年の明応地震(M 8.6)、1854年の安政東海地震(M 8.4)などの巨大地震が発生している。したがって、最近97年間

の地震資料に基づく静岡県西部の加速度期待値がやや低くcクラスとなっているからといって、この地域の地震危険度が低いことを意味しているわけではない。

次に、東海地方の沿岸、および内陸についてみると、静岡県の駿河湾沿岸や内陸には、時たまM 6クラスの地震が発生している。また、愛知県では1945年の三河地震(M 6.8)を除いて地震がないが、1891年の濃尾地震(M 8.0)をはじめ岐阜県南部の地震の影響を受ける。三重県南部には、1899年にM 7.0の地震が発生している。

以上述べたことから明らかにように、静岡県から三重県にかけての太平洋沿岸地域の加速度期待値はほぼa~bクラスと大きく、地震危険度の高い地域といえる。

g) 沖縄県

沖縄島およびその周辺には大規模な地震が少なく、地震活動はあまり活発ではない。最近97年間においては、沖縄島南東沖に最大でM 6.8程度の地震が数回発生しているほかは、影響の少ないかなり離れた沖合に発生する程度であり、加速度期待値はほぼd, eクラスである。また、この地域の地震の震源の精度は悪く、度単位でしか与えられていないものが多い点に注意する必要がある。

先島諸島においては、この100年間に時々M 6~7クラスの地震が発生している。1771年には、この地域に津波により大きな被害を与えた八重山地震(M 7.4)が、石垣島南方沖に発生している。また、台湾東方沖は地震活動の活発な地域であり、この地域で発生する地震のうち1966年のM 7.8の地震のように先島諸島に近いところで発生すると先島諸島はその影響を受ける。したがって、先島諸島の西部に位置する石垣島などでは、加速度期待値は沖縄諸島よりも少し大きく、dクラスである。一方宮古島では、地震が沖合で発生していることから期待値は小さくdクラスである。

(3) 従来の研究結果との比較

従来の種々の研究結果の紹介と相互比較は服部の報告³³⁾に詳しく示されている。ここでは、種々の研究成果のうち代表的と考えられる河角の結果²⁾、後藤・亀田の結果³⁴⁾、服部の結果³³⁾について示し、本報告の結果と比較してみる。

河角は最大加速度期待値を次のように与えている。まず、歴史地震の被害の記録からその地域の気象庁震度階における震度を定め、次に示す地震の規模と震度分布との関係式を用いて、震央と地震の規模を推定する。

$$e' = \left(\frac{100}{d}\right)^2 e^{Mk - 0.00183(d-100)} \quad (d > 100 \text{ km}) \quad (14)$$

$$I = M_k + 2 \log_{10} \left(\frac{r_0}{r} \right) + 0.0384 (\log_{10} e) (r - r_0) \quad (d \leq 100 \text{ km}) \quad (15)$$

ここに、 I : 気象庁震度階の震度

d : 震央距離 (km)

r : 震源距離 (km)

r_0 : $d = 100$ km における震源距離

M_k : 河角のマグニチュードで $d = 100$ km における震度

次に対象とした 599 年から 1949 年までの 342 個のすべての地震による全国各地 (緯度経度 30 分ごとの格子点) の震度を上式により逆に定め、震度 5 以上の震度別地震回数を求める。

これを記録期間の長さで割ると震度と頻度の関係が得られ、この関係からある再現期間に対する震度 I_0 を求める。そして、石本式加速度計による東京の本郷での観測値による次式により、標準的な地盤の加速度 α を推定する。

$$\alpha = 0.45 \times 10^{0.5 I_0} \quad (16)$$

この加速度 α の分布を再現期間 75 年、100 年について示したものが、図-18、19 である。図-18 からわかるように、河角マップでは、古くから発展していたために大地震の記録もれが少ないと考えられる近畿地方や関東地方の加速度が大きく、東北地方の太平洋岸では、これまでの強震観測結果から現在一般に考えられているよりも加速度が小さい。

後藤、亀田は過去の地震資料の不備を補うために確率モデルを採用している。地震の発生は独立事象で、ある期間における地震資料は Bernoulli の試行列の実現値とし、この試行における生起確率により各期間での地震危険度を加重評価している。ここでは地震加速度を次式で表している。

$$x(t) = \beta f(t; \tau) g(t) \quad (17)$$

ここに、 $x(t)$: 地震加速度

$g(t)$: 平均値 0、分散 1 なる無次元定常確率過程

$f(t; \tau)$: 継続時間に関するパラメータ τ を

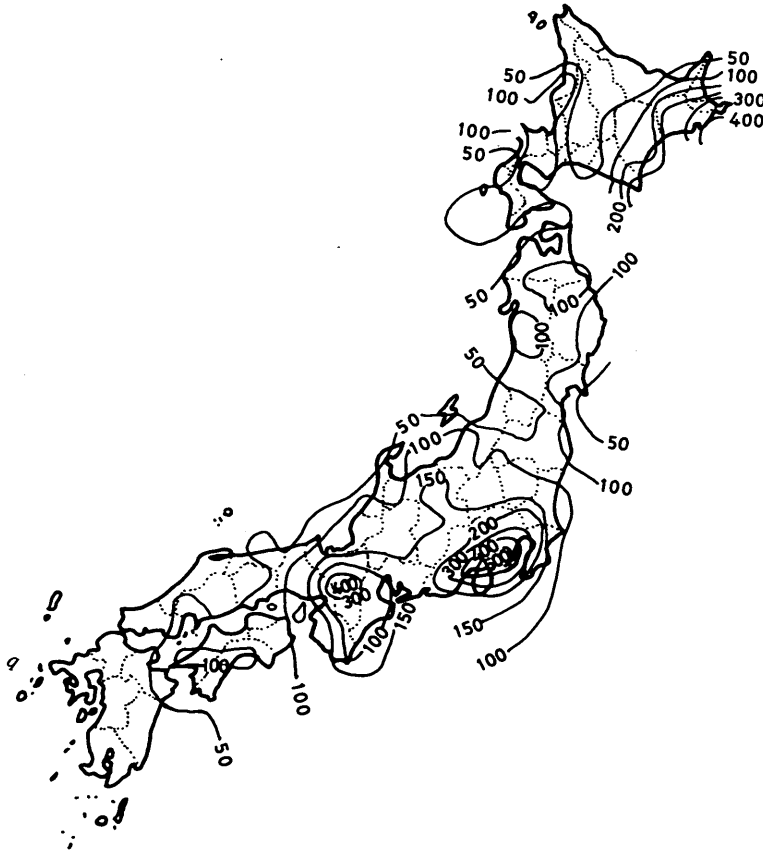


図-18 河角による最大加速度期待値 (再現期間 75 年)

再現期間 = 100年
地盤上

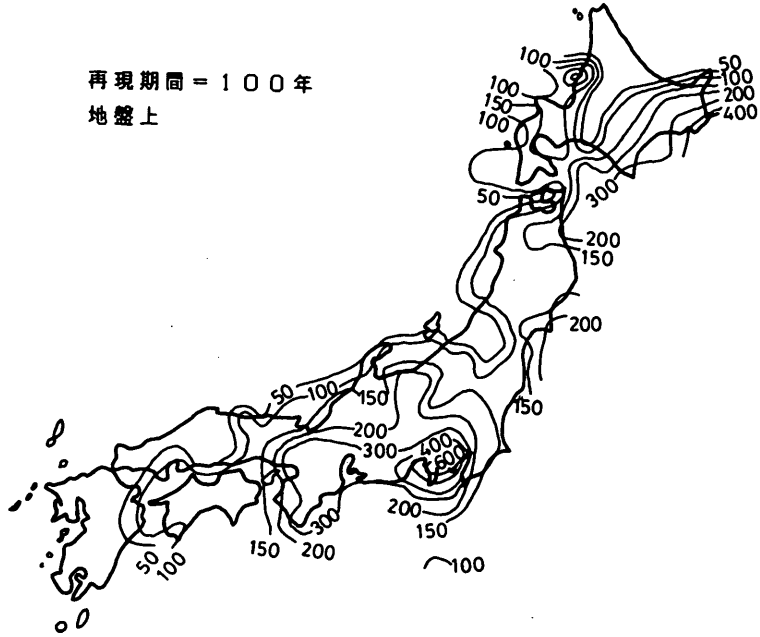


図-19 河角による最大加速度期待値(再現期間100年)

含む確定時間関数

β : 加速度次元の定数

β に寄与する震度別平均加速度は次のように与えている。

$$\alpha_v = 50 T_0^{-1.316} \quad (18)$$

$$\alpha_{vI} = 96 T_0^{-1.316} \quad (19)$$

$$\alpha_{vII} = 140 T_0^{-1.316} \quad (20)$$

ここに、 $\alpha_v, \alpha_{vI}, \alpha_{vII}$: 震度 V, VI, VII における平均加速度 (Gal)

T_0 : 卓越周期 (s)

これらの関係式から将来のある期間における最大加速度の確率分布を与え、これから最大加速度の期待値を求めている。図-20には T_0 が 0.5 s, 再現期間75年の場合を示す。図-18と20を比較すると、図-18の場合には東京と京都の地震危険度がほぼ同じなのに対して、図-20の場合には京都での地震危険度が東京に比べて小さくなっている。また、中国地方中部、九州の東海岸沿いの地方、東北地方中部の海岸地方において、図-20の地震危険度のほうが図-18より大きくなっている。

服部は最大加速期待値を次のように与えている。まず、地震資料については、1885年～1973年の期間のものを用いている。この期間の地震資料のうち気象庁によって震源要素が発表されている1926年以降の地震資料がも

っとも信頼度が高いと考え、1885年～1925年の地震資料については信頼度が1926年以降に比較しておとると考えて、1926年～1973年のエネルギー累積曲線に一致するように1885年～1925年に発生した地震のマグニチュードを修正し、検討に用いている。

最大加速度の距離による減衰は次式で示す金井によるもの³⁵⁾を用いている。

$$\alpha = 10^{0.61M - (1.66 + \frac{3.60}{r}) \log_{10} r + (0.167 - \frac{1.83}{r})} \cdot \frac{1}{T_0} \quad (21)$$

ここに、 α : 基盤の最大加速度 (Gal)

M : マグニチュード

r : 震源距離 (km)

T_0 : 卓越周期 (s)

②式を用いて各地の基盤の最大加速度を求め、次にこれらを用いてGumbelの漸近分布より最大加速度期待値を計算している。計算結果を図-21に示す。再現期間100年について基盤における最大加速度の期待値が示されている。図-21は基盤上の最大加速度であるので図-20の地盤の最大加速度と直接に比較できない。両者の概略の差としては次のとおりである。岐阜県西部から滋賀県東部にかけての地域の地震危険度については、図-21の場合には東京より大きくなっているが、図-20の場合には東京と等しくなっている。また、中国地方中部、九州の佐賀から鹿児島にかけての地域、和歌山県南部、北海

再現期間 = 75年
地盤上

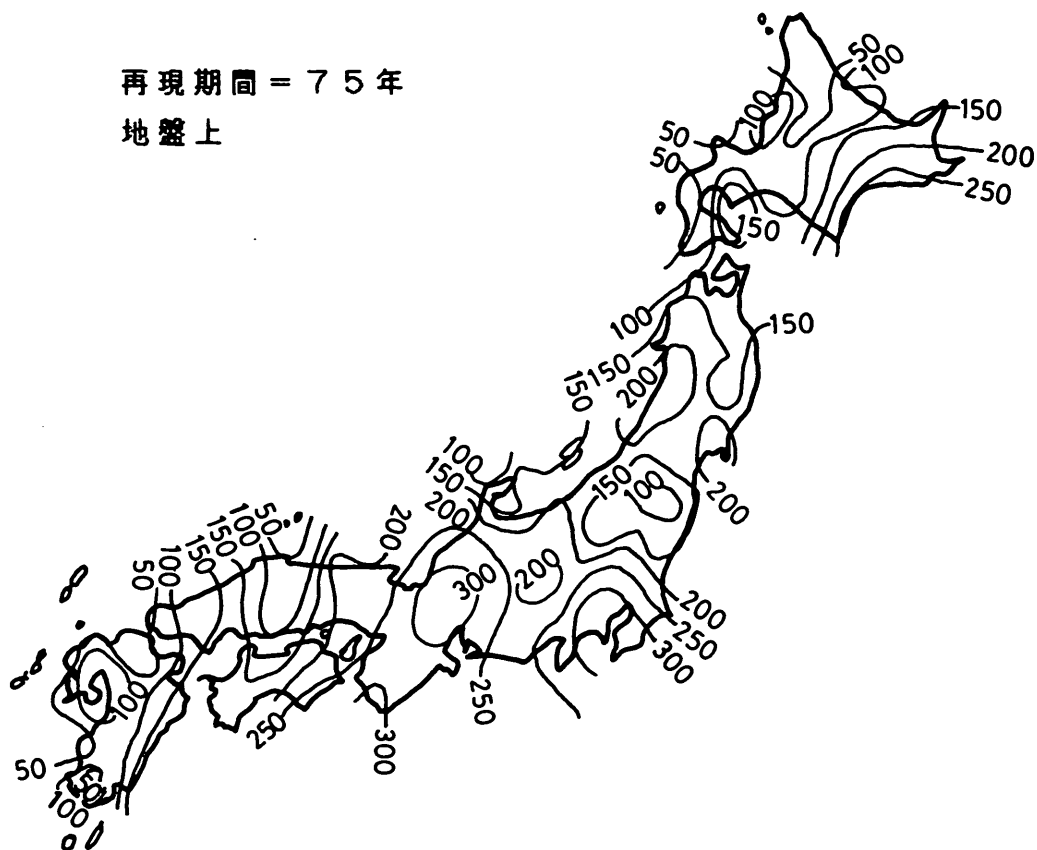


図-20 後藤，亀田による最大加速度期待値（再現期間75年）

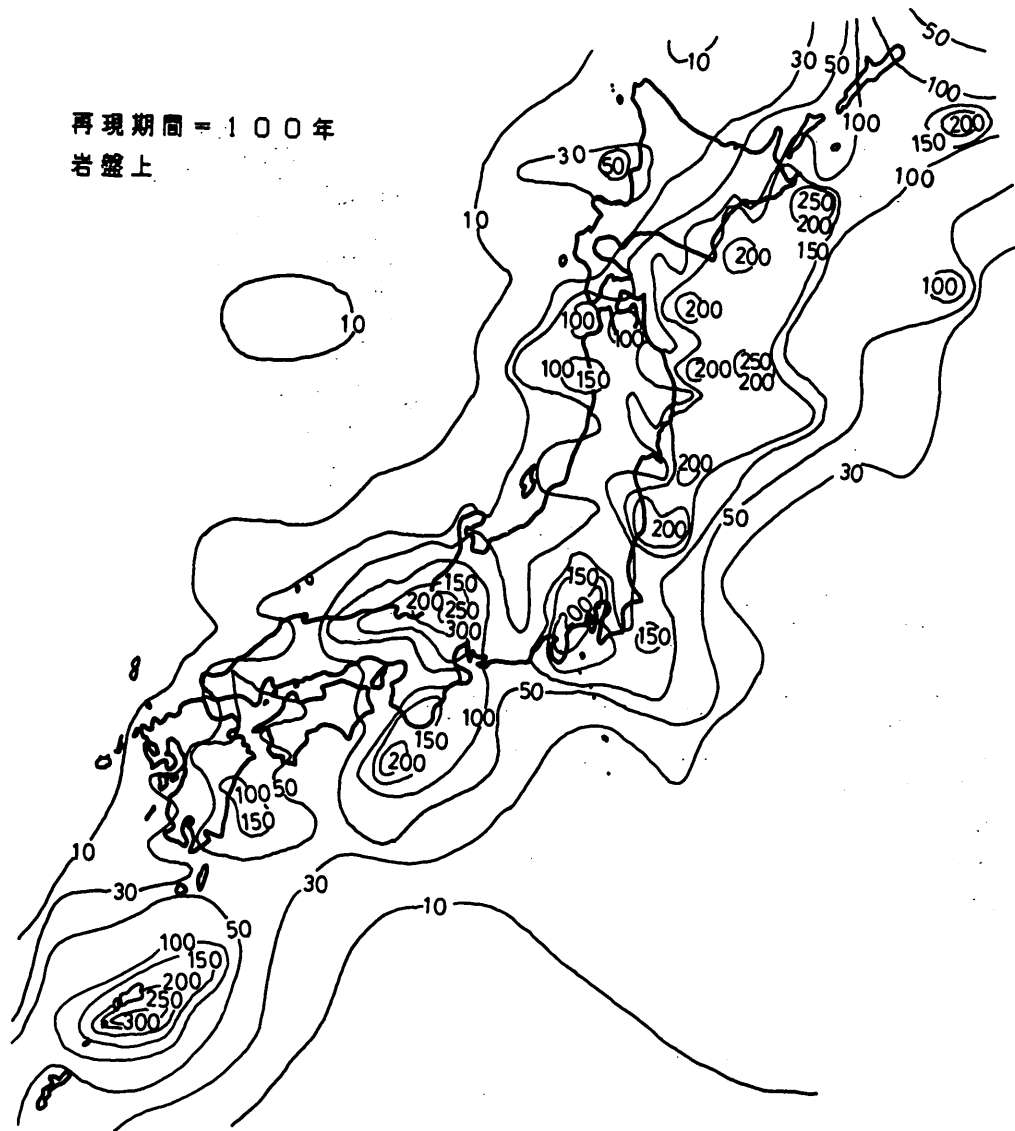


図-21 服部による最大加速度期待値 (再現期間100年)

道の留萌支庁では図-21のほうが図-20より地震危険度が小さくなっている。

次に、以上の過去の研究結果と今回の結果を比較してみる。図-17の本報告の結果は基盤の最大加速度で再期間が100年の場合であるので図-21と直接比較できる。図-17の最大加速度期待値のほうが図-21のそれよりも全体的に大きい値を示している。これは主に用いた最大加速度とマグニチュード、距離の関係式の違いによるものと考えられる。また、最大加速度期待値の数値そのものを別にして、沿岸地域の相対的な地震危険度の地域差をみると、今回の結果は、後藤、亀田の結果である図-20の場合とほぼ似た傾向を示している。

6. 最大加速度の設計への適用

6.1 最大加速度と設計震度の関係

ここで検討しているのは基盤における最大加速度であるので、直接これが設計震度には結びつかない。基盤における最大加速度から設計震度を求めるには次の2つのプロセスを経る必要がある。

- i) 基盤における最大加速度より地表加速度を求める。
- ii) 最大加速度と設計震度の関係式から設計震度を求める。

ここで i) は 1. の設計震度を与える(1)式の地盤種別係数と関係している。現行の設計基準では基盤に相当する地盤種別係数は0.8であるので、この値で計算されたものは基盤における設計震度となる。

ii) の最大加速度と設計震度の関係については、現状では設計での使用が広く認知されるほど十分に議論された関係式は与えられていない。過去の地震被災事例と現行の設計法による安定計算により、設計震度と最大加速度とは1対1に対応しないと指摘され、重力式、矢板式係船岸については地盤最大加速度と作用震度（地震時に構造物に外力として作用したと考えられる震度）の関係式が次に示すように与えられている。²⁵⁾

$$e = \frac{1}{3} \left(\frac{\alpha}{g} \right)^{1/3} \quad (\alpha \geq 200 \text{ Gal}) \quad \text{22}$$
$$= \frac{\alpha}{g} \quad (\alpha < 200 \text{ Gal})$$

ここに、 e : 作用震度

α : 地盤最大加速度 (Gal)

g : 重力加速度 (980 Gal)

この関係式は構造物の被害をまったく許容しないという立場から決められたものであり、地盤最大加速度から作用震度を求める場合の上限值（もっとも安全側）を与えるものである。したがって、22式から与えられる作用震

度より小さい設計震度で設計された構造物で当然被災すべきものであった構造物が無被災であった事例も過去の被災事例にはいくつか認められている。

以上示したように、基盤における最大加速度から設計震度を求めるためには、まず地表加速度を求め、これより地盤加速度と設計震度の関係から設計震度を求める必要がある。このようにここで与えた基盤における最大加速度から直接設計震度を求めることができないので、この点十分配慮が必要である。

6.2 非破壊確率を考慮した最大加速度の設定について

港湾の施設の技術上の基準・同解説第2編11.5によれば、「地震の活動度、地震動の特性、地盤における地震動の増幅特性等の調査を行って設計震度を定める場合には(1)式によらなくてもよい」とされている。そこで、重要な構造物の場合には、過去の大地震や発生が予想されている地震の中から構造物の建設地点に最も大きな影響を与えると考えられる地震を想定し、その地震による最大加速度を推定して設計震度を定めることが、しばしば行われている。しかしながら、この方法によると、既往最大の加速度を与えることになり、このようにして求めた設計震度を用いることは、地震時にこそその機能を十分に発揮しなければならない耐震ベースや津波防波堤などに対しては適切な設計であっても、その他の一般の施設にとっては、安全側ではあるが、必ずしも合理的な設計とはならないと考えられる。

そこで5.において計算した沿岸地域の各地点の地震危険度を港湾施設の設計に利用する方法の1つとして、構造物が耐用年数内にある最大加速度以上の地震に遭遇する確率（ここでは、構造物の破壊確率と呼ぶ）を考慮して最大加速度を設定することが考えられる。すなわち、構造物耐用年数と破壊確率（または非破壊確率）を与えて、建設地点の最大加速度期待値と再現期間の関係から、設計の対象とすべき最大加速度を求める方法である。この方法の概略を図-22に示す。

構造物の耐用年数を T (年)、地震動の再現期間を T_R (年) とすれば、 T 年間に再現期間 T_R 年の地震動が発生しない確率（非破壊確率） q は、次式で求められる。

$$q = \left(1 - \frac{1}{T_R} \right)^T \quad \text{23}$$

この関係を q をパラメータとして図示すると図-23のようになり、 T と T_R は両対数グラフ上でほぼ直線となる。

また、地震動の再現期間 T_R と基盤の最大加速度 α_B との関係は、5.で示したように各港湾あるいは建設地点ごとに求めることができる。

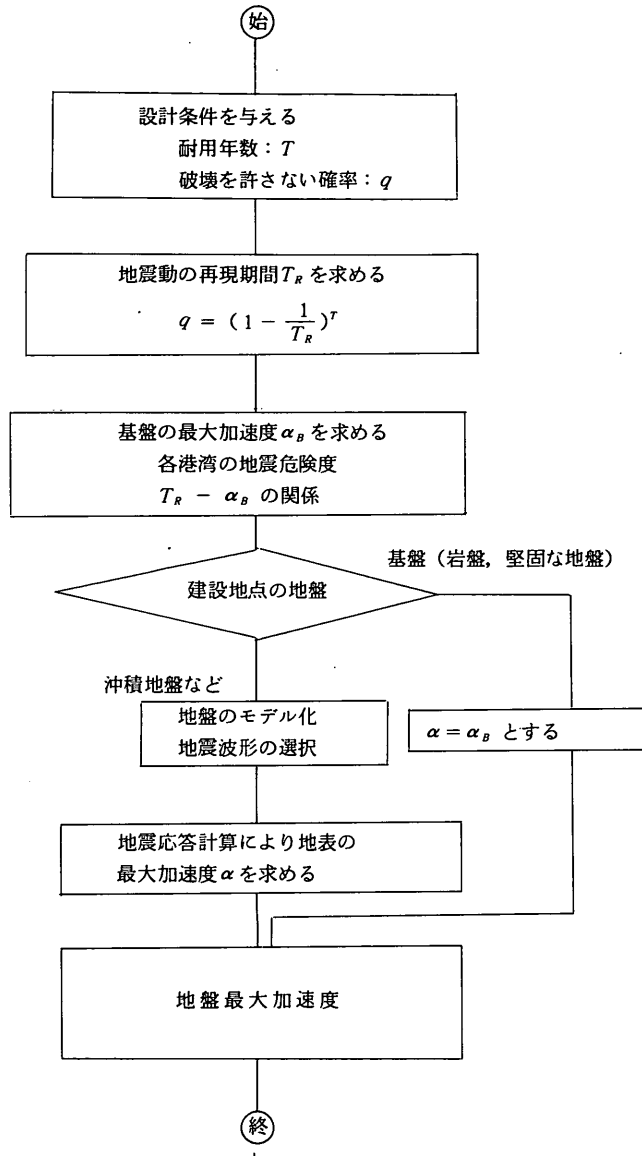


図-22 非破壊確率を考慮した地盤最大加速度の算出法

したがって、構造物の設計にあたって、設計者が耐用年数 T と耐用年数内に破壊を許さない確率(非破壊確率) q を決めれば、図-22から設計の対象とすべき地震動の再現期間 T_R が得られる。 q は、現行の設計震度の決め方における重要度係数に相当するものであり、重要な構造物ほど大きな値を採用すればよい。次に、構造物が建設される地点での地震動の再現期間 T_R と最大加速度との関係から、設計の対象とすべき地震動の最大加速度 α_B が推定できる。

構造物が、工学的に基盤とみなせるような堅固な地盤

や岩盤上に建設される場合には、この値 α_B をそのまま入力最大加速度とすればよく、沖積地盤などの場合には地盤を適切にモデル化し、適切な入力地震波形を用いて、地盤の地震応答計算を行い、地表あるいは海底面での最大加速度を求めればよい。

このような地盤最大加速度の決め方は合理的であると考えられるが次のような問題点も含んでいる。

- ① 構造物の耐用年数や非破壊確率の定め方について、明確な基準がない。
- ② 地震危険度の計算に用いた地震資料の年数の短さ、

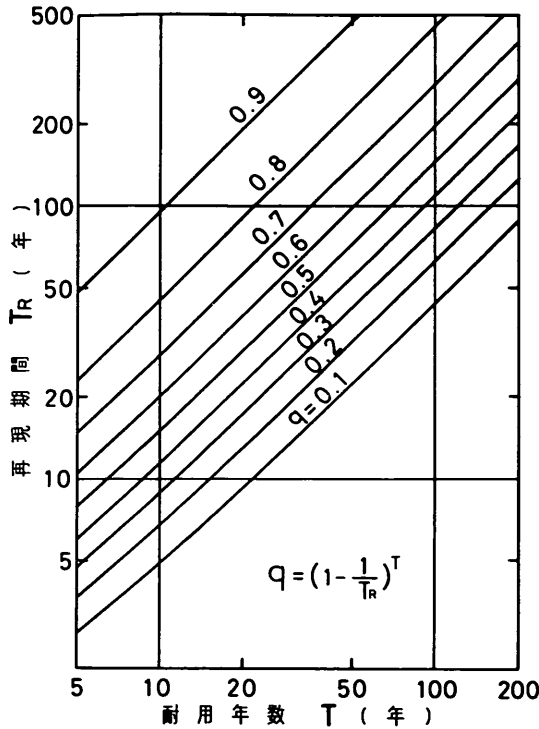


図-23 耐用年数と再現期間の関係

震源位置やマグニチュードの精度の劣る資料の存在、加速度の距離による減衰のばらつきなどを考慮すると、ここに示した手法の詳細さと推定された加速度の精度とが調和しているかどうかの検討が不十分である。

したがって、ここで述べた方法により地盤最大加速度を設定する場合には、以上の問題点について十分検討を行う必要がある。

7. まとめ

日本の沿岸地域の特定重要港湾、重要港湾(計 129 港)を含む 190 地点の基盤の最大加速度期待値について検討した。主要な検討結果は以下のとおりである。

(1) 有史以来 1981 年までの地震に関する資料から、ここで用いる地震資料としては信頼性ももっとも高いと考えられる 1885 年から 1981 年までの 97 年間のものを選択した。1885 年から 1980 年までの 96 年間については宇津による地震資料、1981 年については気象庁の地震月報によることとした。

(2) 基盤の最大加速度とマグニチュード、距離の各種関係式を検討し、ここでは野田・上部のものが妥当であると判断した(図-4)。

(3) (1)、(2)に基づいて極値統計理論により対象とした

各地点について基盤における最大加速度期待値と再現期間の関係を推定し、結果を図化した(付録-B, C)。

(4) 従来の研究結果と比較すると本報告の最大加速度期待値は全体的に大きい傾向を示している。地震危険度の相対的な地域差は後藤、亀田の結果とはほぼ一致した傾向を示した。

(5) 本報告で示した基盤における最大加速度期待値は直接設計震度と結びつかない点注意が必要である。

(6) 非破壊確率を考慮した最大加速度の 1 つの設定方法を示した。

8. あとがき

6. においても述べたが、本報告で得られた基盤における最大加速度期待値は直接設計震度に結びつかない。ここでの検討結果をふまえて、設計震度の信頼性をさらに高めるためには、以下の事項が今後の課題として残されている。

(1) 地表層における地震動の増幅と地盤種別係数との定量的な関係を明らかにすること。

(2) 各形式の構造物に対する最大加速度と作用震度との関係を、被災事例の解析などにより明らかにすること。

(3) (1)と(2)の結果をふまえて、設計震度の値そのものについての検討を行うこと。

(4) 地域別震度の地域区分において、地震危険度以外に考慮すべき要因について、整理し検討を行うこと。

なお、本研究をとりまとめるにあたり、有意義な討議をしていただいた、土田肇構造部長、野田節男耐震構造研究室長、稲富隆昌振動研究室長、大堀晃一設計基準研究室長、外山進一自動設計研究室長、井合進構造部主任研究官に感謝します。

参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説、第 1 編、第 11 章 地震及び地震力、日本港湾協会、1979 年、pp. 2-165 ~ 2-171。
- 2) Kawasumi, H.: Measures of Earthquake Danger and Expectancy of Maximum Intensity Throughout Japan as Inferred from the Seismic Activity in Historical Times, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, Vol. 29, 1951, pp. 469 ~ 482。
- 3) 亀田弘行：耐震工学における確率統計的方法—主として地震危険度の評価について—, 土と基礎, Vol. 25, No. 11, 1977 年, pp. 43 ~ 49。
- 4) 宇津徳治：日本付近の M 6.0 以上の地震および被害地震の表：1885 年 ~ 1980 年, 地震研究所彙報,

- Vol. 57, 1982年, pp. 401~463.
- 5) 気象庁：改訂日本付近の主要地震の表（1926年～1960年），地震月報別冊第6号，1982年。
 - 6) 宇佐美竜夫：資料日本被害地震総覧，東京大学出版会，1975年。
 - 7) 宇津徳治：いくつかの地震カタログに基づく最近100年間の日本付近の大地震の起こり方，地震 地震学者と地質学者との対話，東海大学出版会，1980年，pp. 3~15。
 - 8) 気象庁：地震月報
 - 9) 宇津徳治：各種マグニチュード間の関係，地震研究所彙報，Vol. 57, 1982, pp. 465~497。
 - 10) 三雲健，安藤雅孝：濃尾地震の解析的再現，科学，Vol. 45, No. 1, 1975年，pp. 50~58。
 - 11) Matsuura M., Iwasaki, T., Suzuki, Y., and Sato, R.: Static and Dynamical Study on Faulting Mechanism of the 1923 Kanto Earthquake, *J. Phys. Earth*, Vol. 28, 1980, pp. 119~143。
 - 12) Kanamori, H.: Seismological Evidence for a Lithospheric Normal Faulting—the Sanriku Earthquake of 1933, *Phys. Earth Planet. Interiors*, Vol. 4, 1971, pp. 289~300。
 - 13) Kanamori, H.: Tectonic Implications of the 1944 Tonankai and the 1946 Nankaido Earthquakes, *Phys. Earth Planet. Interiors*, Vol. 5, 1972, pp. 129~139。
 - 14) 笠原稔：1952年十勝沖地震の断層モデル，地震学会講演予稿集，1975, No. 2, p. 90。
 - 15) Abe, K.: Re-Examination of the Fault Model for the Niigata Earthquake of 1964, *J. Phys. Earth*, Vol. 23, 1975, pp. 349~366。
 - 16) Kanamori, H.: Focal Mechanism of the Tokachi-Oki Earthquake of May 16, 1968: Contortion of the Lithosphere at a Junction of Two Trenches, *Tectonophysics*, Vol. 12, 1971, pp. 1~13。
 - 17) Shimazaki, K.: Nemuro-Oki Earthquake of June 17, 1973: A Lithospheric Rebound at the Upper Half of the Interface, *Phys. Earth Planet. Interiors*, Vol. 9, 1974, pp. 314~327。
 - 18) Abe, K.: Tsunami and Mechanism of Great Earthquakes, *Phys. Earth Planet. Interiors*, Vol. 7, 1973, pp. 143~153。
 - 19) 瀬野徹三，須藤研，江口孝雄：1978年6月12日宮城県沖地震の発震機構（初報），地震予知連絡会会報，第21巻，1979, pp. 10~12。
 - 20) 金森博雄，安藤雅孝：関東大地震の断層モデル，関東大地震50周年論文集，東京大学地震研究所，1973年，pp. 89~101。
 - 21) Ando, M.: A Fault-Origin Model of the Great Kanto Earthquake of 1923 as Deduced from Geodetic Data, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, Vol. 49, 1971, pp. 19~32。
 - 22) 多田堯：根室半島沖地震による地殻変動と断層モデル，地震第2，第27巻，1974年，pp. 120~128。
 - 23) 相田勇：1944年東南海地震津波の波源モデル，地震研究所彙報，Vol. 54, 1979年，pp. 329~341。
 - 24) Seno, T., Shimazaki, K., Somerville, P., Sudo, K., and Eguchi, T.: Purpose Process of the Miyagi-Oki, Japan, Earthquake of June 12, 1978, *Phys. Earth Planet. Interiors*; Vol. 23, 1980, pp. 39~61。
 - 25) 野田節男，上部達生，千葉忠樹：重力式岸壁の震度と地盤加速度，港湾技術研究所報告，第14巻，第4号，1975年，pp. 67~111。
 - 26) 勝又護：地震動の最大加速度の推定，驗震時報，第37巻第3号，1975年，pp. 67~111。
 - 27) 北澤壮介，松垣典弘，野田節男：沖繩県および奄美諸島の大地震時における地盤加速度，港湾技研資料 No. 396, 1981年9月。ほか
 - 28) 土田肇ほか：港湾・海岸施設耐震性調査手法について，港湾技研資料，No. 336, 1980年6月。
 - 29) 上部達生：東北地方太平洋沿岸地域の基盤における地震動——釜石湾口防波堤の設計用入力地震動——，港湾技研資料，No. 412, 1982年3月。
 - 30) 田中貞二，坂上実，大沢胖，吉沢静代：1980年伊豆半島東方沖地震および同群発地震の加速度強震記録と最大加速度データ，地震研究所彙報，Vol. 55, 1980年。
 - 31) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，1980年。
 - 32) 高橋智晴，金子大二郎ほか：波浪に関する拠点観測五ヶ年統計（昭和45~49年），港湾技研資料，No. 234, 1916年3月。
 - 33) Hattori, S.: Regional Distribution of Presumable Maximum Earthquake Motions at the Base Rock in the Whole Vicinity at Japan, *Bull. of International Institute of Seismology and Earthquake Engineering*, Vol. 14,

1976, pp. 47~86 .

- 34) 後藤尚男, 亀田弘行: 地震時における最大地動の確率論的研究, 土木学会論文集, 159号, 1965, pp. 1~12 .
- 35) Kanai, K. and Suzuki, T.: Expectacy of the Maximum Velocity Amplitude of Earthquake Motions at Bed Rock, *Bull. of Earthq. Res. , Inst. , Vol. 46, 1968. .*

主要記号表

e : 作用震度
 $f(t; \tau)$: 継続時間に関するパラメータ τ を含む確定時間関数
 g : 重力加速度
 $g(t)$: 平均値 0, 分散 1 になる無次元定常確率過程
 I : 気象庁震度階の震度
 K : 対象期間 (地震資料の年数)
 M : 気象庁のマグニチュード
 M_h : 河角のマグニチュード

m : 最大加速度データの大きいほうからの順位
 N : 最大加速度のデータ数
 q : 非破壊確率
 R : 断層面距離 (km)
 r : 震源距離 (km)
 r_o : 震央距離 100 km における震源距離 (km)
 r_e : 震源域の半径 (km)
 r_v : 変換確率
 T_o : 卓越同期 (s)
 T_R : 再現期間 (年)
 X_m : 大きいほうから m 番めの最大加速度
 $x(t)$: 地震加速度
 a : 加速度 (Gal)
 a_B : 基盤の最大加速度 (Gal)
 β : 加速度次元の定数
 Δ : 震央距離 (km)
 ν : 重要度係数

● 付録一 A 1884年以前の地震資料
(宇佐美の被害地震総覧による)

番号	発震時			地名	震源		マグニチュード
	年	月	日		経度 °E	緯度 °N	
1	679			筑紫	130.50	33.50	6.70
2	684	11	29	土佐・南海・東海・西海	134.00	32.50	8.40
3	701	5	12	丹後	135.40	35.70	7.00
4	715	7	4	遠江	137.90	35.10	6.40
5	715	7	5	三河	137.40	34.80	6.70
6	734	5	18	畿内	136.10	34.30	7.00
7	745	6	5	美濃	136.60	35.50	7.90
8	762	6	9	美濃・飛騨・信濃	137.30	35.60	7.40
9	818			関東諸国	139.30	35.20	7.90
10	827	8	11	京都	135.75	35.00	6.70
11	830	2	3	出羽	140.10	39.80	7.40
12	841			信濃	138.00	36.20	6.70
13	841			伊豆	138.90	35.10	7.00
14	850			出羽	139.90	39.00	7.00
15	857	4	4	出羽	140.60	40.30	7.00
16	863	7	10	越中・越後	138.10	37.10	7.00
17	868	8	3	播磨・山城	134.80	34.80	7.10
18	868	7	13	三陸沿岸	143.80	38.50	8.60
19	878	11	1	関東諸国	139.30	35.50	7.40
20	880	11	23	出雲	133.20	35.40	7.40
21	887	8	2	越後	138.10	37.50	6.50
22	887	8	26	五畿七道	135.30	33.00	8.60
23	887	8	26	信濃北部	138.10	36.60	7.40
24	922			紀伊	136.70	33.80	7.00
25	938	5	22	京都・紀伊	135.80	34.80	6.90
26	976	7	22	山城・近江	135.80	34.90	6.70
27	1038	1	30	紀伊	135.60	34.30	6.70
28	1070	12	1	山城・大和	135.80	34.80	6.40
29	1091	9	28	山城・大和	135.80	34.30	6.20
30	1096	12	17	畿内・東海道	137.50	33.00	8.40
31	1099	2	22	南海道	135.50	33.00	8.00
32	1177	11	26	大和	135.80	34.70	6.20
33	1185	8	13	近江・山城・大和	136.10	35.30	7.40
34	1241	5	22	鎌倉	139.40	35.10	7.00
35	1257	5	9	関東南部	140.90	35.20	7.00
36	1317	2	24	京都	135.80	35.10	6.70
37	1325	12	5	近江北部	136.10	35.60	6.70
38	1331	8	15	紀伊	135.20	33.70	7.00
39	1360	11	22	紀伊・摂津	136.20	33.40	7.00

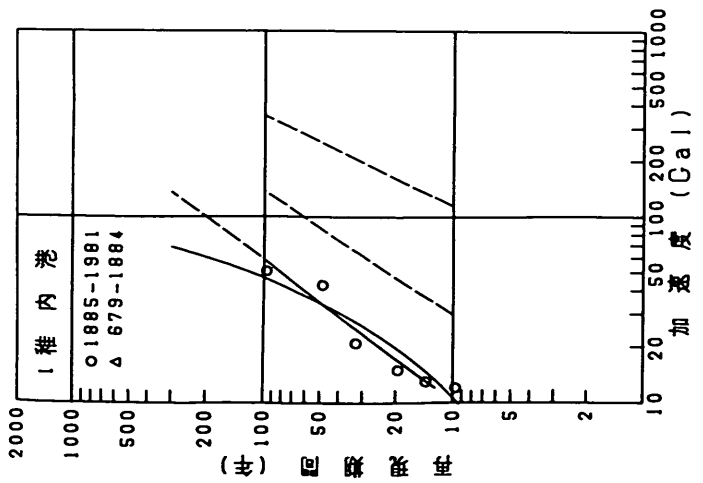
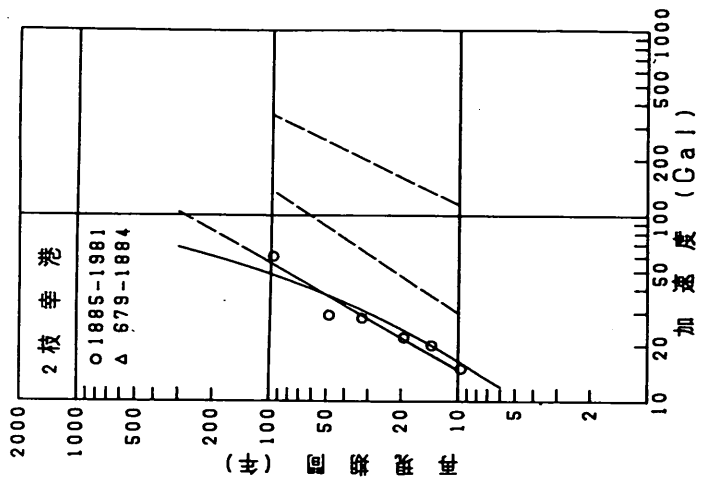
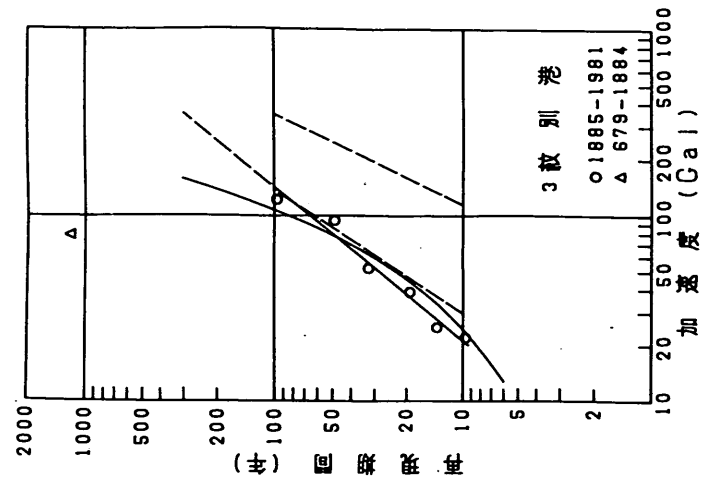
番号	発震時			地名	震源		マグニチュード
	年	月	日		経度 °E	緯度 °N	
40	1361	8	3	畿内・土佐・阿波	135.00	33.00	8.40
41	1403			紀伊	136.50	33.70	7.00
42	1408	1	21	紀伊・伊勢	136.90	33.80	7.00
43	1423	11	23	羽後	140.10	39.20	6.70
44	1433	11	7	相模	139.50	34.90	7.10
45	1433	11	7	会津	139.80	37.70	6.70
46	1449	5	13	山城・大和	135.75	35.00	6.40
47	1494	6	19	奈良	135.70	34.60	6.40
48	1498	9	20	東海道全般	138.20	34.10	8.60
49	1502	1	28	越後南西部	138.20	37.20	6.90
50	1510	9	21	摂津・河内	135.60	34.60	6.70
51	1520	4	4	紀伊	136.30	33.60	7.00
52	1579	2	25	摂津	135.50	34.70	6.20
53	1586	1	18	畿内・東海・東山	136.80	36.00	7.90
54	1589	3	21	遠江・駿河	138.20	34.80	6.70
55	1596	9	4	豊後	131.70	33.30	6.90
56	1596	9	5	京都・畿内	135.75	34.85	7.00
57	1597	9	10	豊後	131.60	33.30	6.40
58	1605	2	3	東海・南海	134.90	33.00	7.90
59	1611	9	27	会津	139.70	37.50	6.90
60	1611	12	2	三陸沿岸・北海道東岸	144.50	39.00	8.10
61	1614	11	26	越後・高田	138.00	37.50	7.70
62	1615	6	26	江戸	139.70	35.70	6.40
63	1616	9	9	仙台	142.00	38.10	7.00
64	1619	5	1	肥後・八代	130.60	32.50	6.20
65	1633	3	1	相模・駿河・伊豆	139.20	35.20	7.10
66	1639			越前	136.20	36.10	6.10
67	1640	11	23	加賀大聖寺	136.20	36.40	6.70
68	1644	10	18	羽後本荘	140.10	39.40	6.90
69	1646	6	9	陸前	141.70	37.70	7.60
70	1648	6	12	相模	139.20	35.20	7.10
71	1649	3	17	伊予	132.40	33.70	6.80
72	1649	7	30	武蔵	139.75	35.70	7.10
73	1649	9	1	江戸・川崎	139.70	35.50	6.40
74	1659	4	21	岩代	139.80	37.20	6.70
75	1662	6	16	山城・大和・河内	136.00	35.25	7.80
76	1662	10	31	大隅	132.00	31.70	7.60
77	1666	2	1	越後西部	138.20	37.10	6.40
78	1667	8	22	八戸	141.60	40.60	6.40

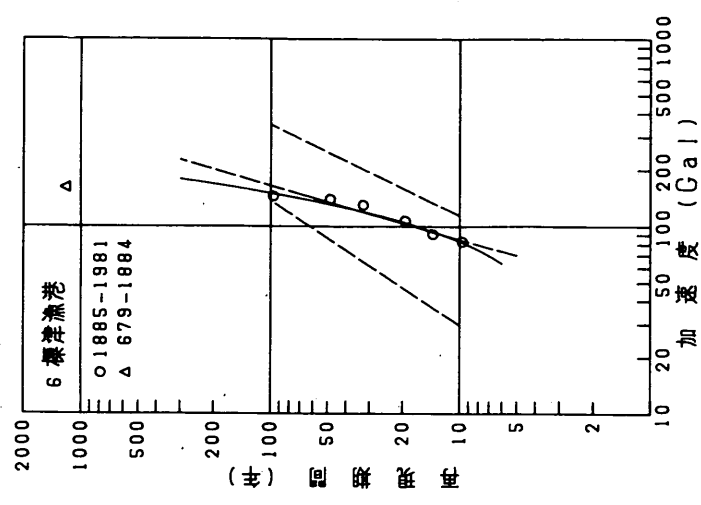
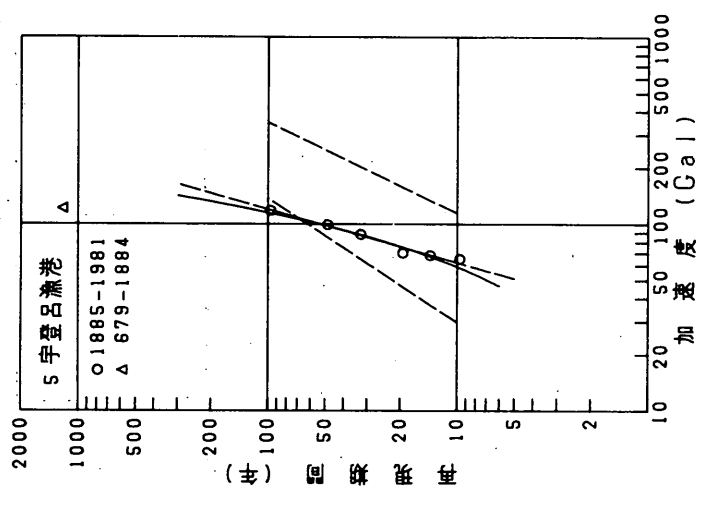
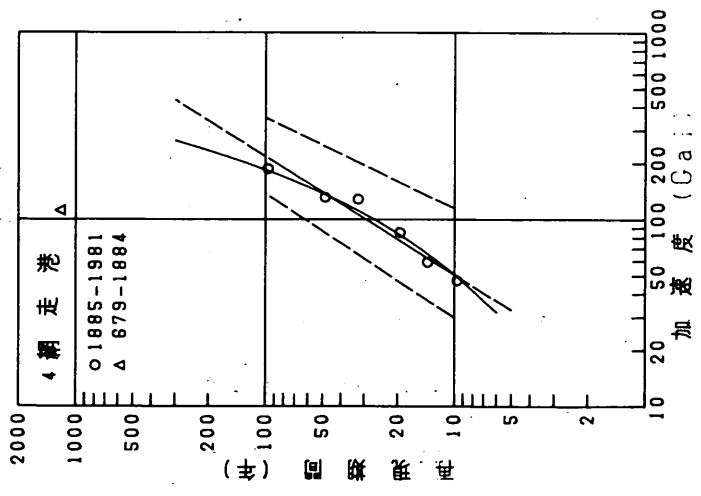
番号	発震時			地名	震源		マグニチュード
	年	月	日		経度°E	緯度°N	
79	1670	7	21	相模	139.20	35.40	6.40
80	1674	4	15	八戸	141.60	40.60	5.90
81	1675	4	4	八戸	141.60	40.60	5.90
82	1676	7	12	石見	131.70	34.40	6.60
83	1677	4	13	陸中	144.00	40.00	8.10
84	1677	11	4	常陸	141.50	37.00	7.40
85	1678	10	2	陸中	142.30	38.60	7.40
86	1683	6	17	日光	139.60	36.70	6.40
87	1683	6	18	日光	139.65	36.75	7.30
88	1683	10	20	日光	139.70	36.80	6.80
89	1686	1	4	伊予	132.30	34.00	7.00
90	1686	10	3	遠江・三河	137.40	34.45	7.00
91	1691			加賀大聖寺	136.30	36.30	6.20
92	1694	6	19	能代地方	140.20	40.20	7.00
93	1697	11	25	相模・武蔵	139.60	35.50	6.90
94	1703	12	31	江戸・関東諸国	139.80	34.70	8.20
95	1704	5	27	津軽	140.00	40.40	6.90
96	1706	10	21	江戸	139.80	35.60	6.60
97	1707	10	28	五畿七道	135.90	33.20	8.40
98	1710	10	3	伯耆・美作・因幡	133.70	35.40	6.60
99	1711	3	19	伯耆・美作・因幡	133.70	35.30	6.60
100	1711	12	20	讃岐中部	134.00	34.30	6.70
101	1714	4	28	信濃大町	137.80	36.70	6.40
102	1715	2	1	美濃大垣	136.60	35.40	6.20
103	1717	5	13	花巻	142.40	39.40	7.60
104	1718	8	22	信濃	137.90	35.30	6.40
105	1718	10	5	信濃飯山	138.40	36.90	6.20
106	1723	12	18	筑後	130.40	33.20	6.20
107	1725	5	29	日光	139.60	36.75	6.60
108	1725	6	17	加賀小松	136.40	36.40	5.90
109	1725	8	14	信濃	138.10	35.80	6.10
110	1725	11	8	肥前長崎	129.80	33.00	6.20
111	1729	8	1	能登・佐渡	137.60	37.60	6.90
112	1731	10	7	岩代	140.60	37.90	6.60
113	1735	4	6	日光	139.60	36.75	5.90
114	1736	4	30	仙台	140.80	38.30	6.20
115	1739	8	17	南部	142.30	40.70	7.10
116	1741	8	28	津軽・佐渡	139.40	41.60	6.90
117	1749	5	25	伊予宇和島	132.60	33.20	6.75

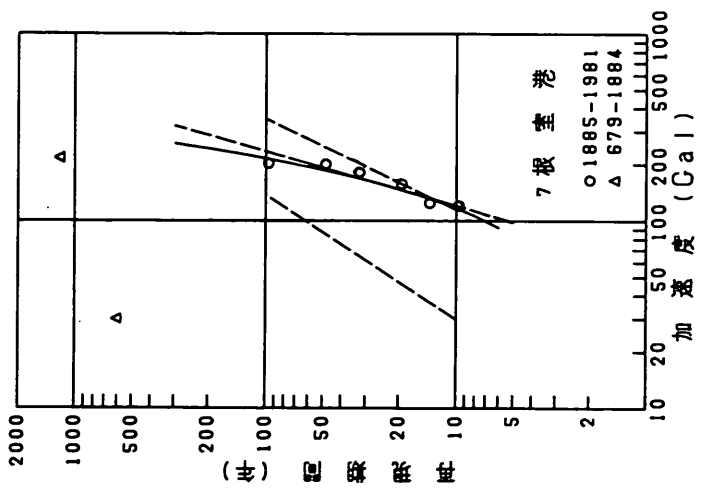
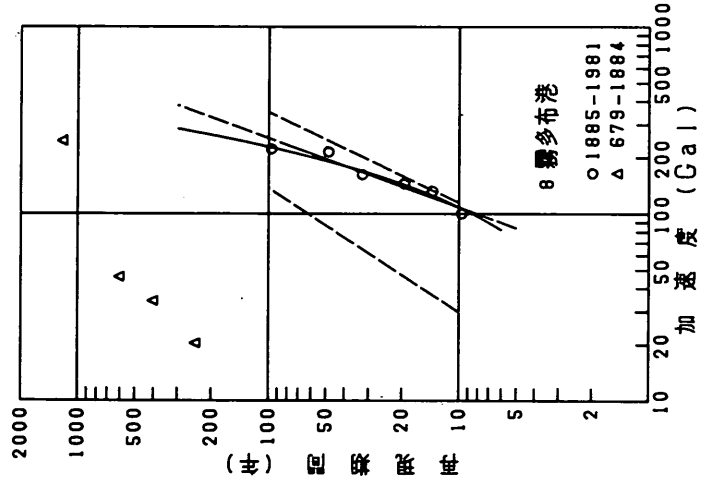
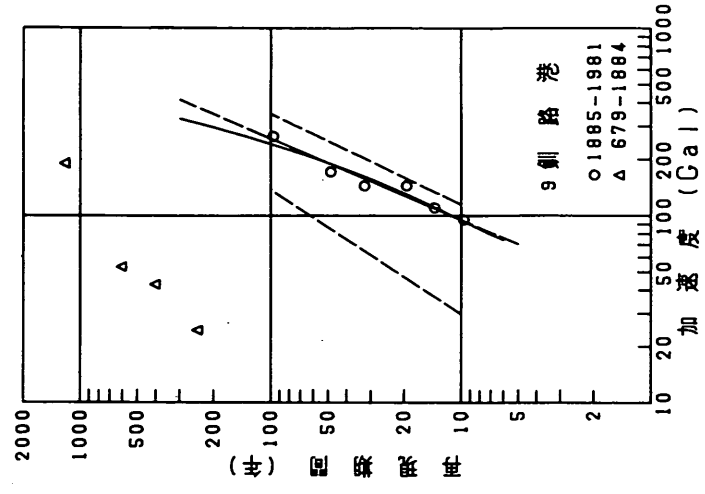
番号	発震時			地名	震源		マグニチュード
	年	月	日		経度 °E	緯度 °N	
118	1751	3	26	京都	135.40	35.00	6.40
119	1751	5	20	越後・越中	138.10	37.10	6.60
120	1755	4	21	日光	139.60	36.75	6.20
121	1762	3	29	越後	139.00	37.80	5.90
122	1762	10	31	佐渡	138.70	38.10	6.60
123	1763	1	29	陸奥八戸	142.50	41.00	7.40
124	1763	3	11	陸奥八戸	143.50	40.50	7.75
125	1766	3	8	津軽	140.60	40.80	6.90
126	1769	8	29	豊後	132.00	32.30	7.40
127	1770	5	27	陸中盛岡	142.00	38.60	7.40
128	1771	4	24	八重山・宮古両群島	124.30	24.00	7.40
129	1772	6	3	陸前・陸中	142.70	39.30	7.40
130	1778	2	14	石見	132.70	34.60	6.60
131	1780	6	29	ウルップ島	151.20	45.30	7.00
132	1782	8	23	相模・武蔵	139.20	35.20	7.30
133	1784	8	29	江戸	139.80	35.60	6.10
134	1789	5	10	阿波	134.50	32.90	7.40
135	1792	5	21	雲仙岳	130.30	32.80	6.40
136	1792	6	13	後志	140.60	43.50	6.90
137	1793	2	8	西津軽	139.95	40.85	6.90
138	1793	2	17	陸前・陸中	142.10	38.25	7.10
139	1799	6	29	加賀	136.60	36.60	6.40
140	1801	5	26	上総	140.10	35.30	6.50
141	1802	12	9	佐渡	138.30	37.70	6.60
142	1804	7	10	羽後	139.95	39.05	7.10
143	1810	9	25	羽後	139.90	39.90	6.60
144	1812	4	21	伊予松山	132.50	33.80	6.90
145	1812	12	7	武蔵・神奈川	139.65	35.45	6.60
146	1815	3	1	加賀小松	136.50	36.40	6.20
147	1819	8	2	伊勢・美濃・近江	136.30	35.20	7.40
148	1821	12	13	岩代	139.50	37.40	6.10
149	1823	10	23	陸中岩手山	141.10	40.00	5.90
150	1826	8	28	飛騨大野郡	137.30	36.20	6.20
151	1828	5	26	長崎	129.90	32.60	5.90
152	1828	12	18	越後	138.90	37.60	6.90
153	1830	8	19	京都	135.70	35.00	6.40
154	1831	11	14	肥前	130.30	33.20	6.10
155	1833	5	27	美濃西部	136.60	35.50	6.40
156	1833	12	7	羽後・越後・佐渡	139.15	38.90	7.40

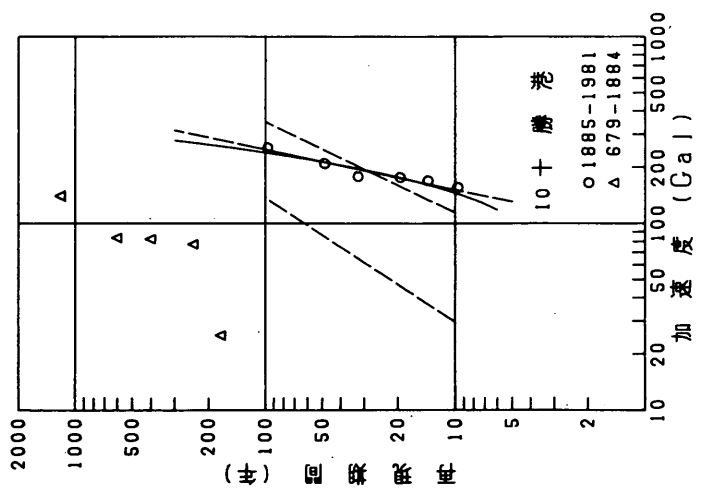
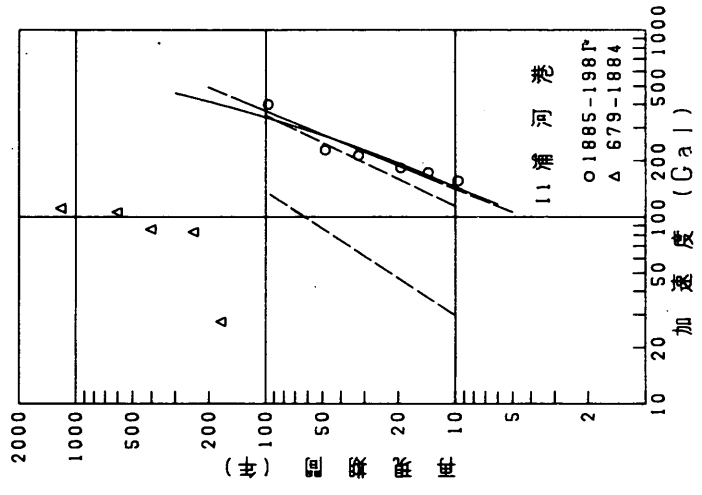
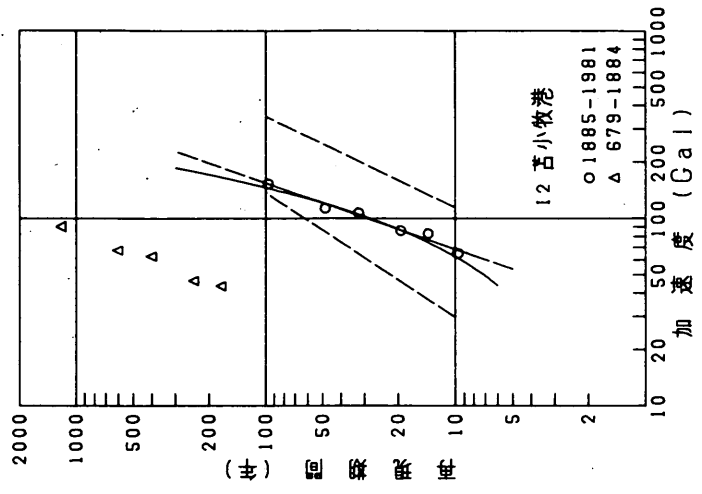
番号	発震時			地名	震源		マグニチュード
	年	月	日		経度 °E	緯度 °N	
157	1834	2	9	石狩	141.40	43.30	6.40
158	1835	7	20	仙台	141.90	37.90	7.60
159	1841	4	22	駿河	138.50	35.00	6.40
160	1843	3	9	小田原	139.20	35.25	6.30
161	1843	4	25	釧路・根室	146.00	42.00	8.40
162	1847	5	8	信濃北部	138.20	36.70	7.40
163	1848	1	10	筑後	130.40	33.20	5.90
164	1848	1	13	津軽	140.60	40.70	5.90
165	1853	1	26	信濃北部	138.10	36.50	5.90
166	1853	3	11	小田原付近	139.10	35.30	6.50
167	1854	7	9	伊賀・伊勢・大和	136.00	34.75	7.60
168	1854	12	23	東海・東山	137.80	34.00	8.30
169	1854	12	24	畿内・東海・東山	135.00	33.00	8.60
170	1854	12	26	伊予西部	132.10	33.40	7.00
171	1855	11	11	江戸および付近	139.80	35.65	7.20
172	1856	8	23	日高・津軽・南部	143.50	40.50	7.75
173	1857	7	14	駿河	138.20	34.80	6.40
174	1857	10	12	伊予・安芸	132.70	33.90	6.90
175	1858	4	9	飛騨・越中・加賀・越前	137.20	36.50	6.80
176	1858	4	9	加賀・越前	136.30	36.20	6.90
177	1858	4	23	信濃松代	138.20	36.60	5.90
178	1859	1	5	石見	131.80	34.70	5.90
179	1859			武威・岩槻	139.70	35.90	5.90
180	1859	10	4	石見	131.90	34.70	5.90
181	1861	10	21	陸中・陸前・磐城	141.10	38.55	6.40
182	1864	3	6	播磨・丹波	134.80	35.00	6.40
183	1872	3	14	石見・出雲	132.00	34.90	7.40
184	1874	2	28	天塩	141.60	43.90	5.90
185	1880	2	22	横浜	139.75	35.40	6.00
186	1881	10	25	北海道	147.30	43.30	6.50

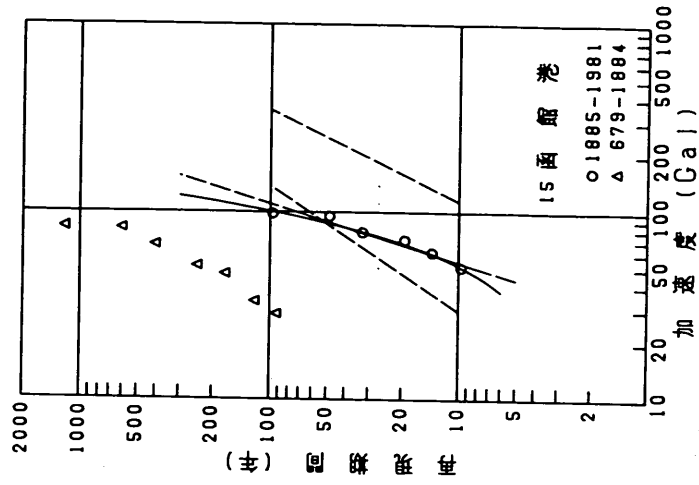
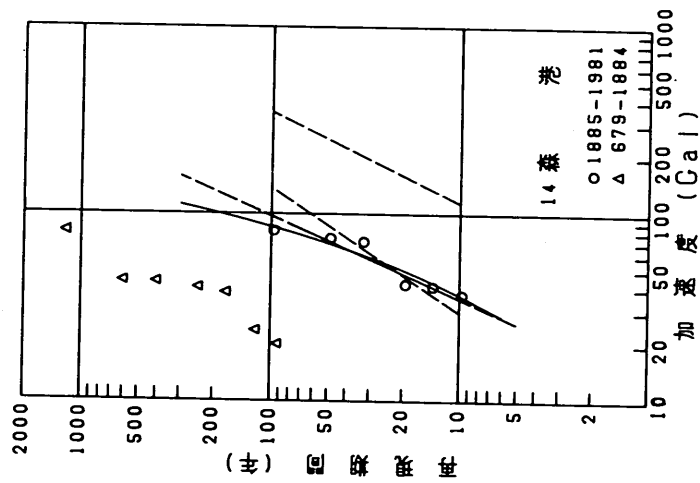
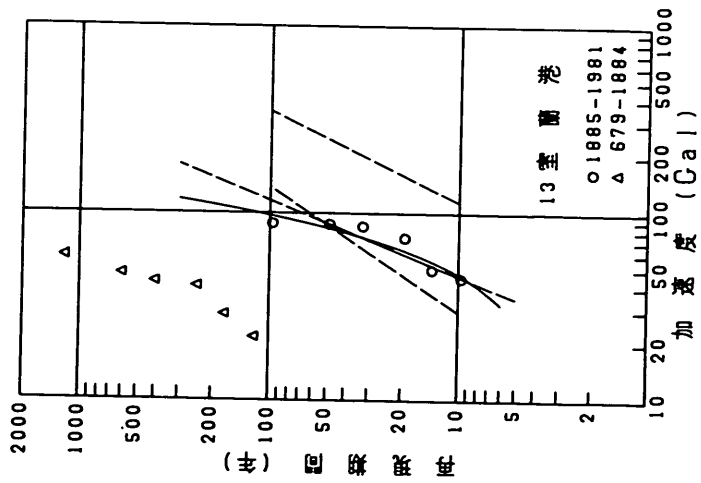
● 付録－B 基盤における最大加速度期待値と
再現期間の関係

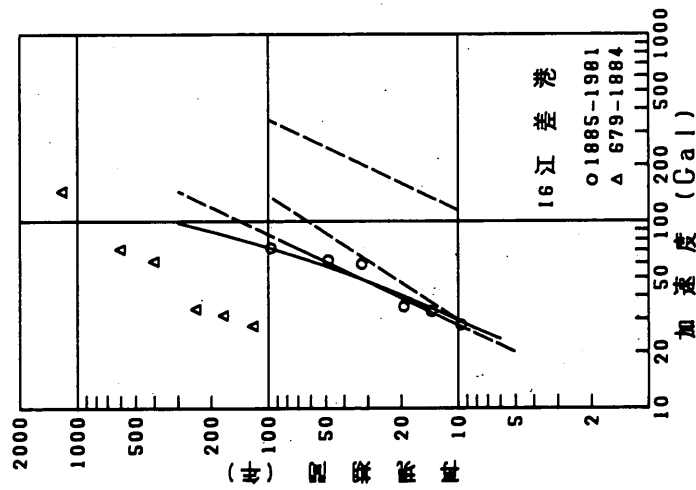
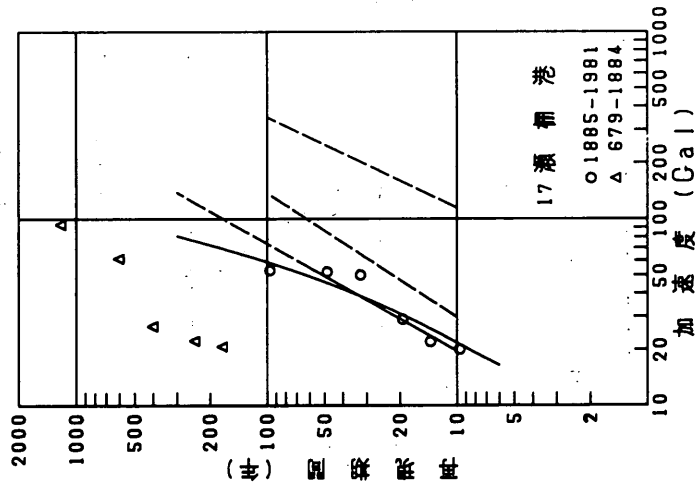
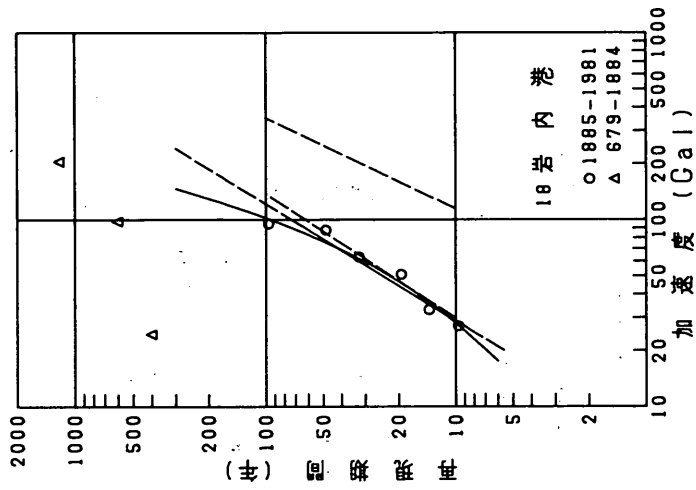


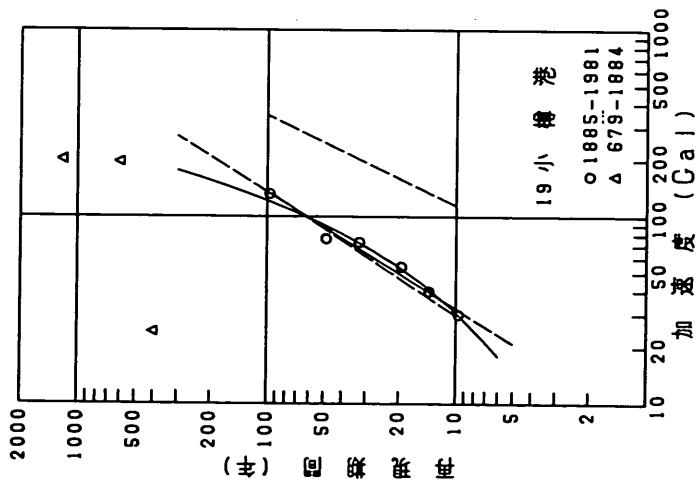
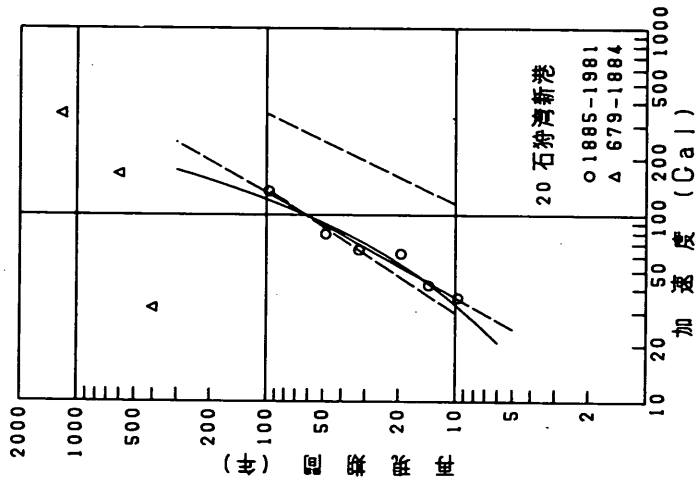
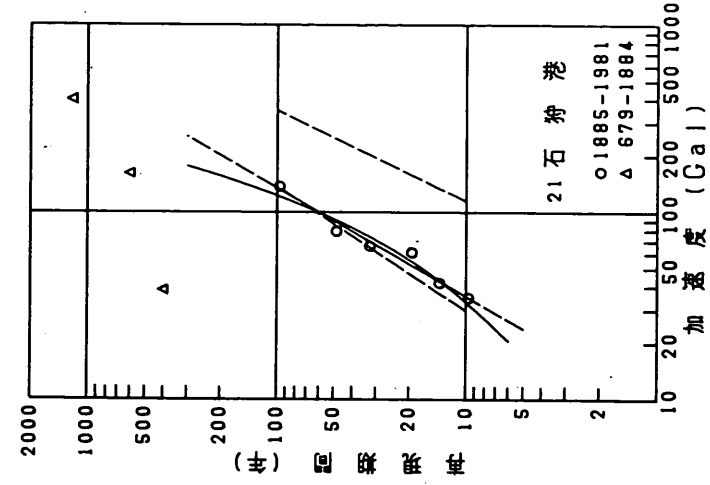


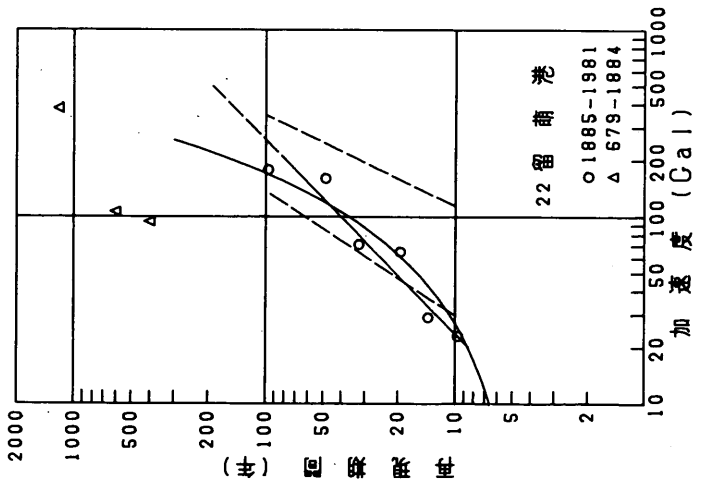
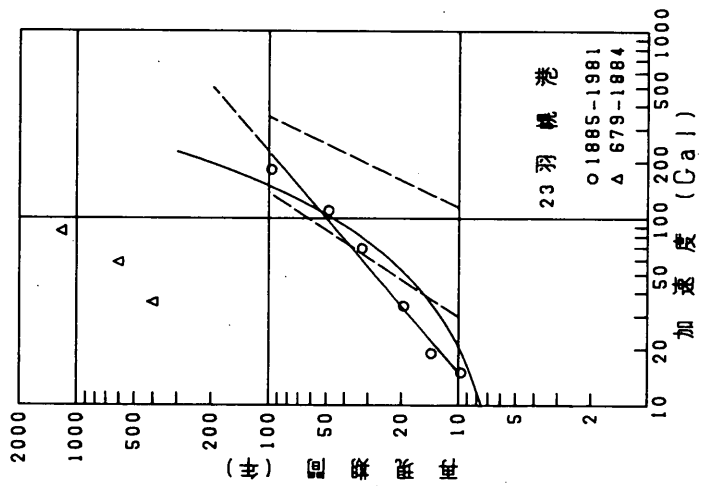
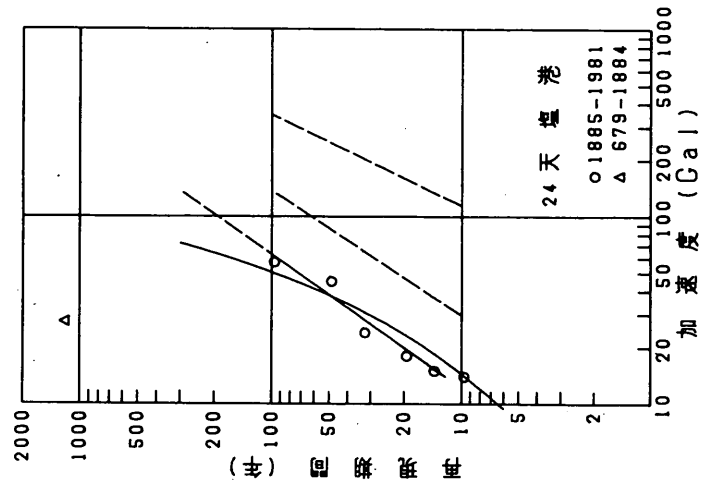


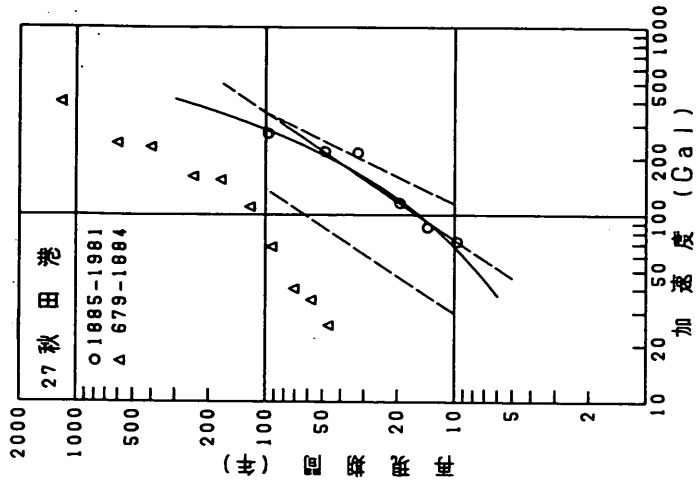
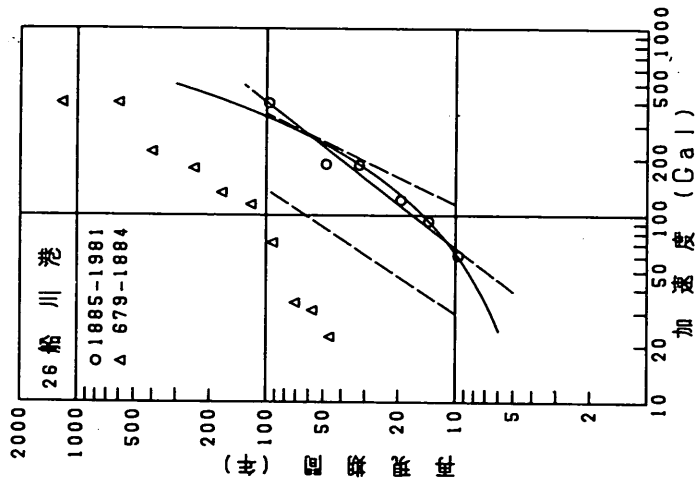
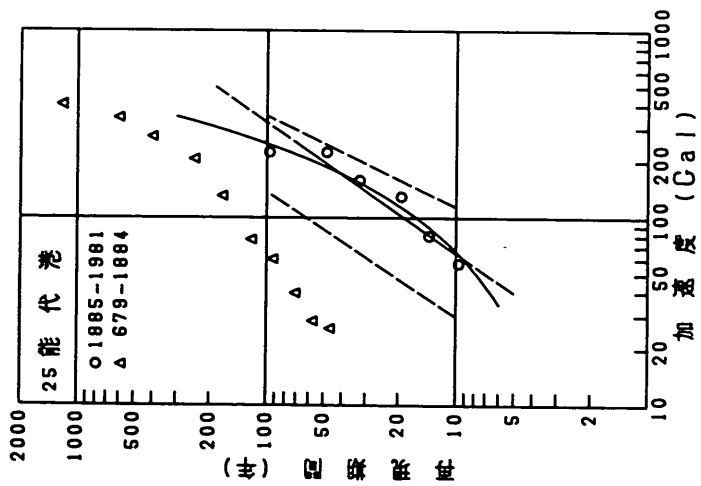


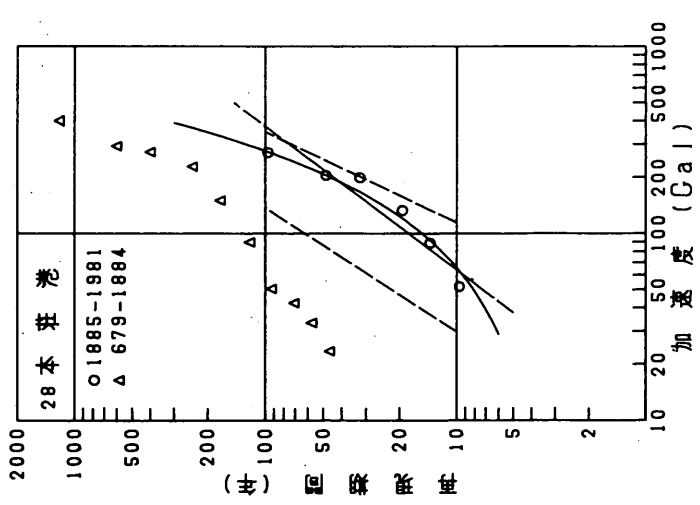
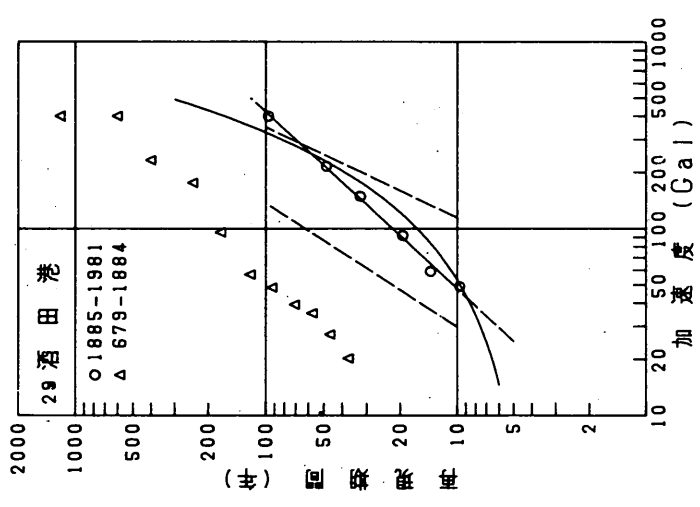
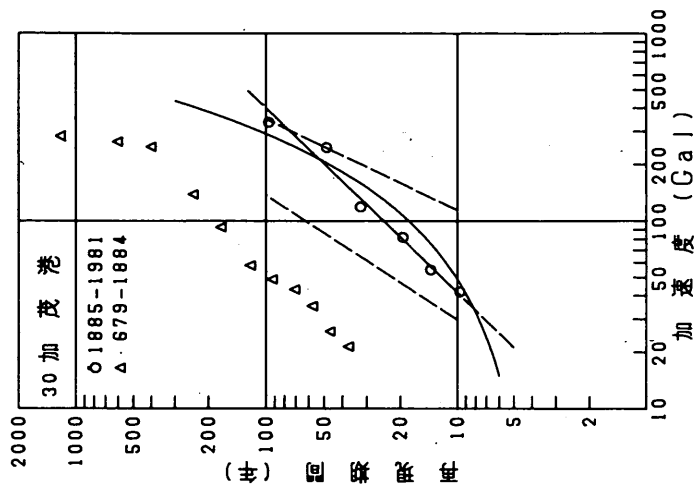


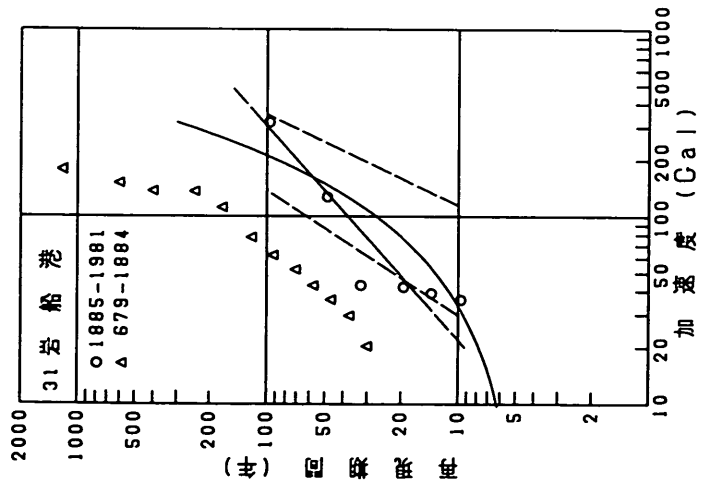
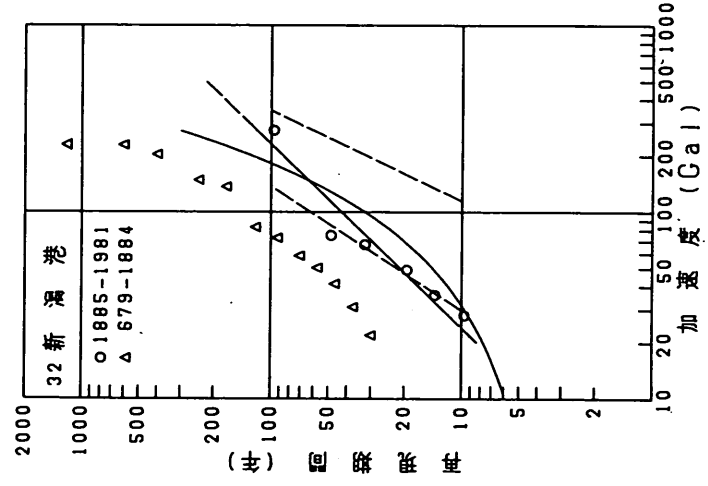
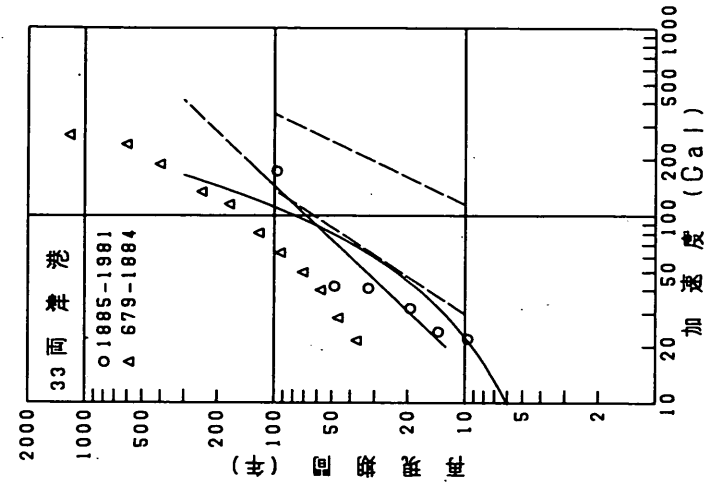


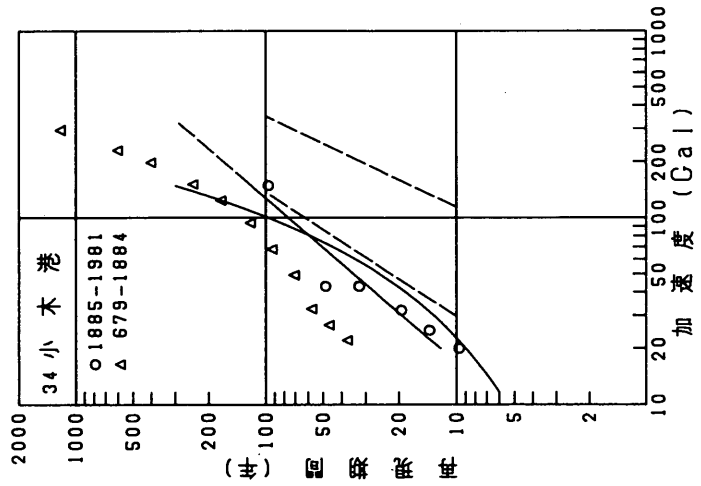
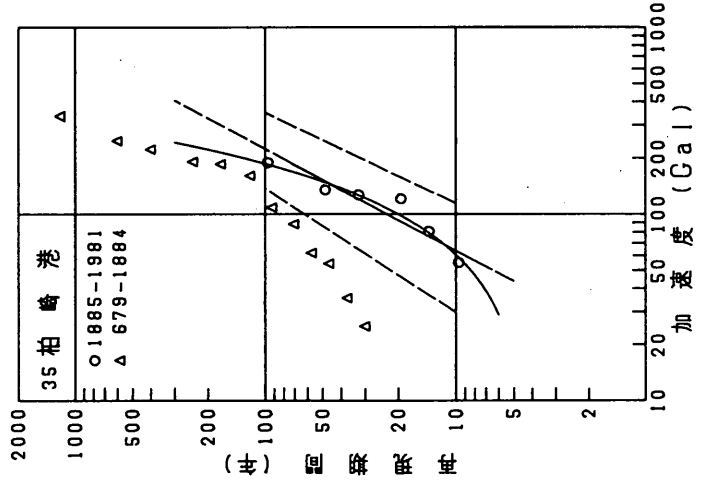
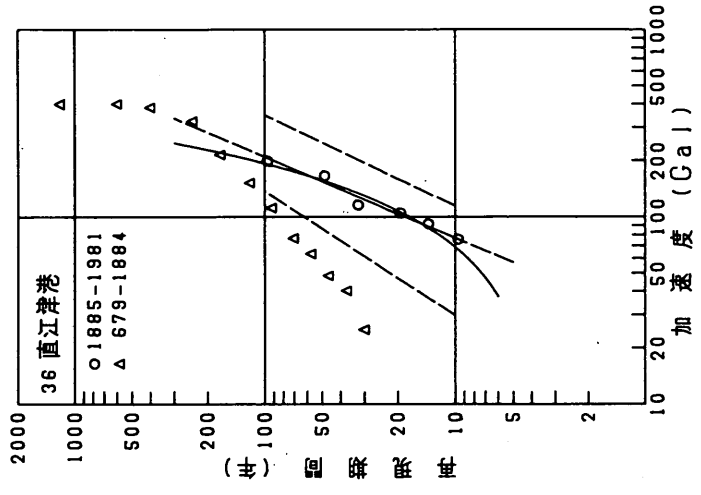


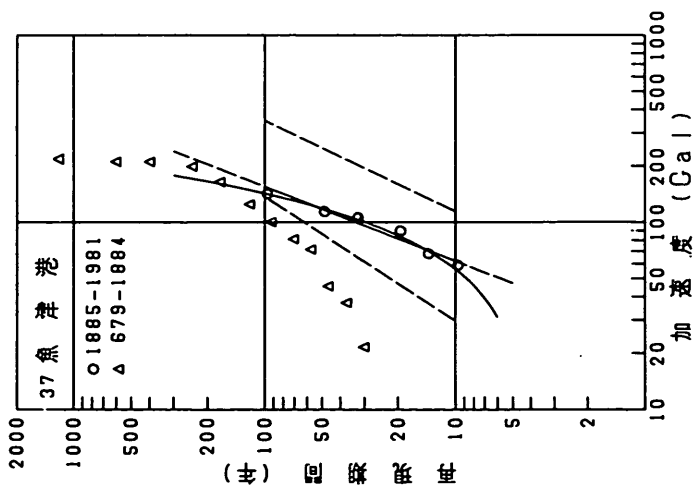
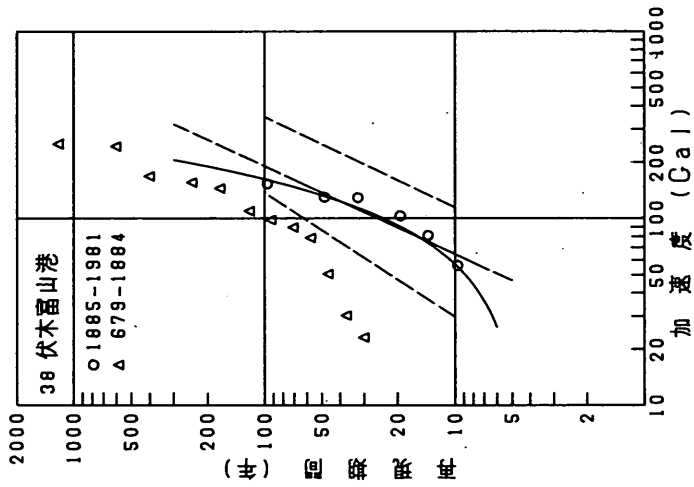
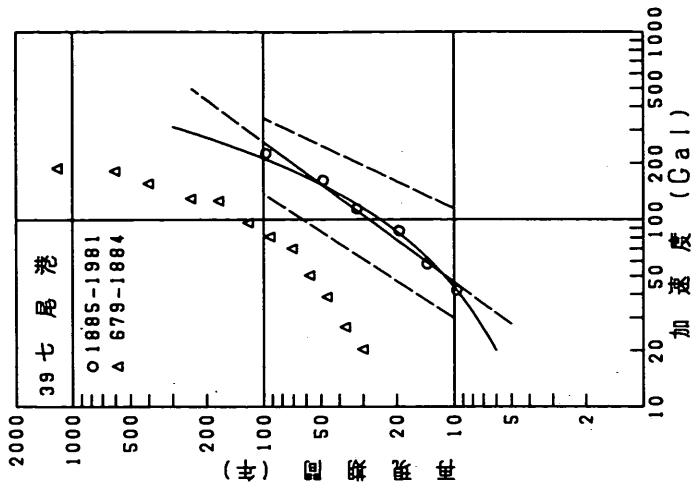


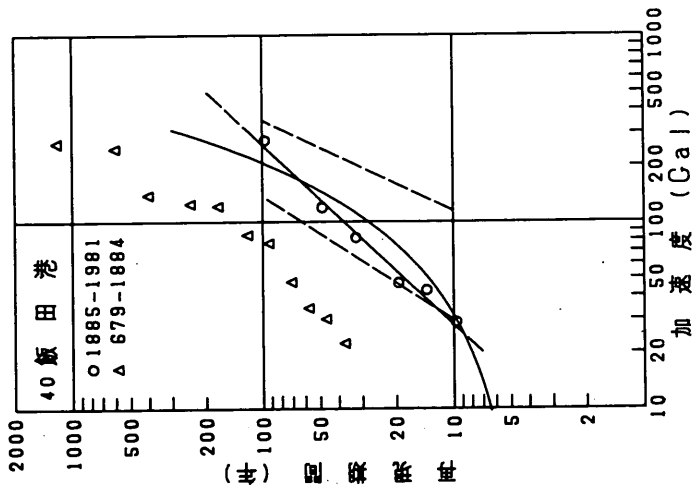
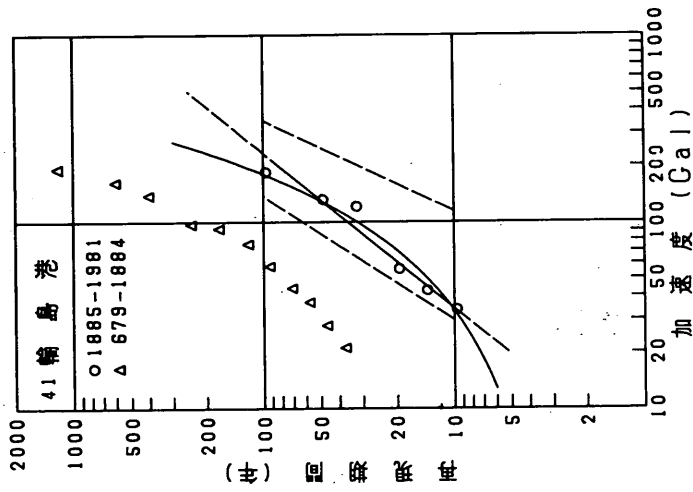
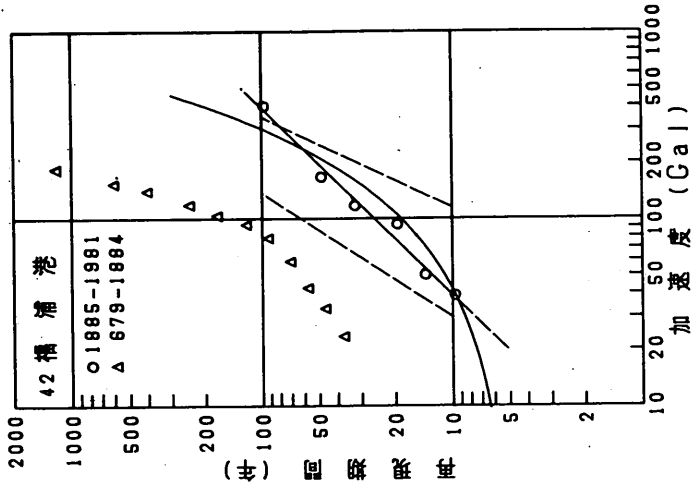


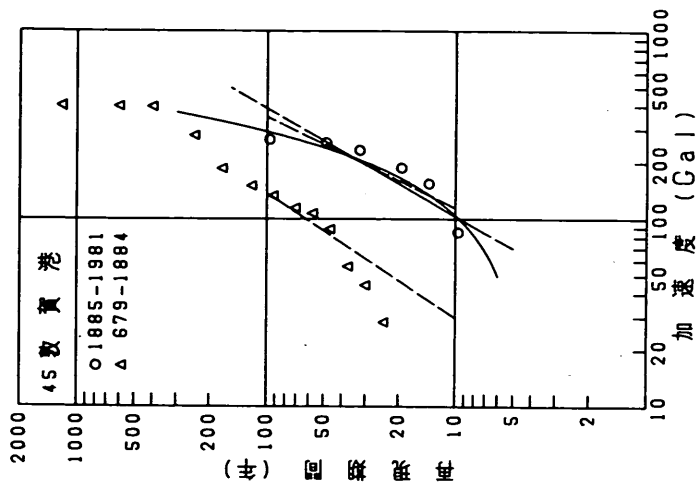
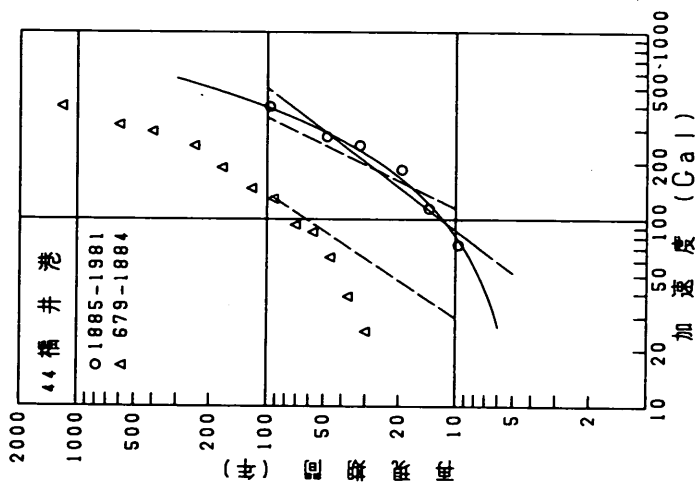
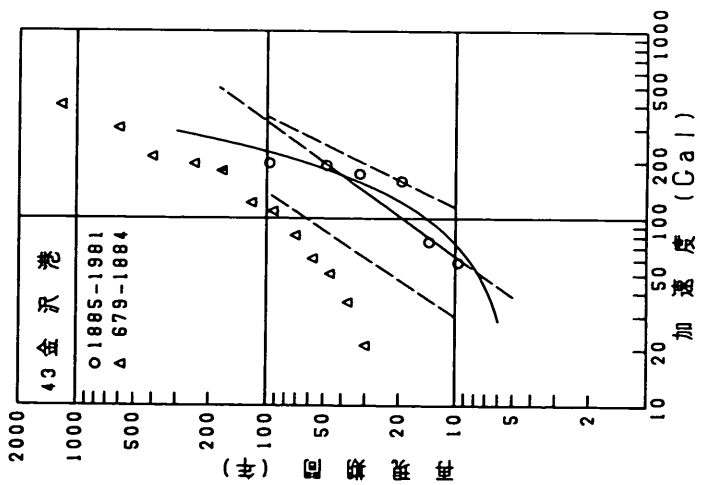


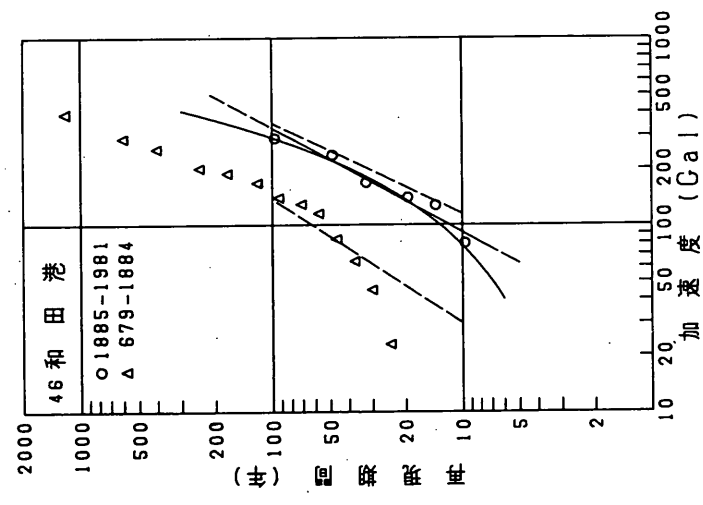
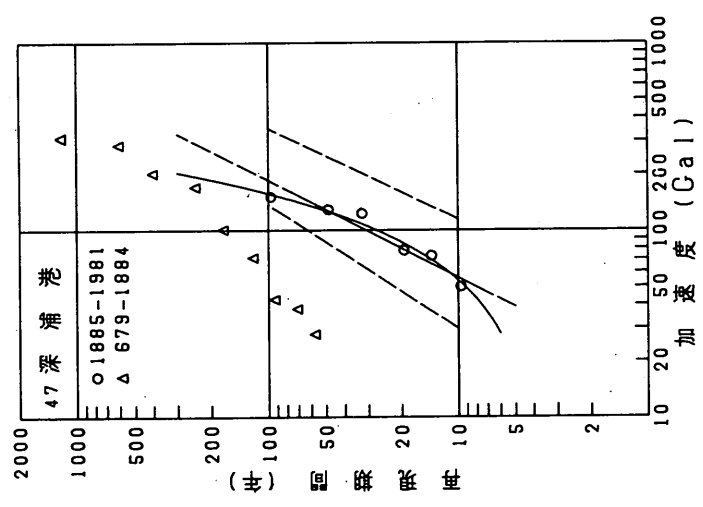
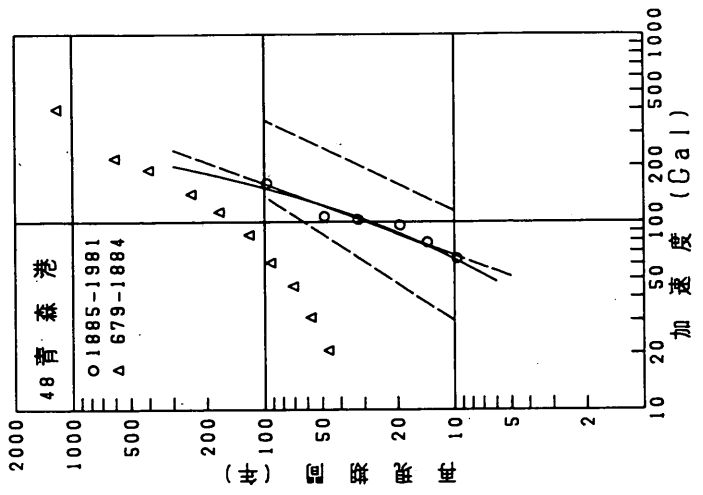


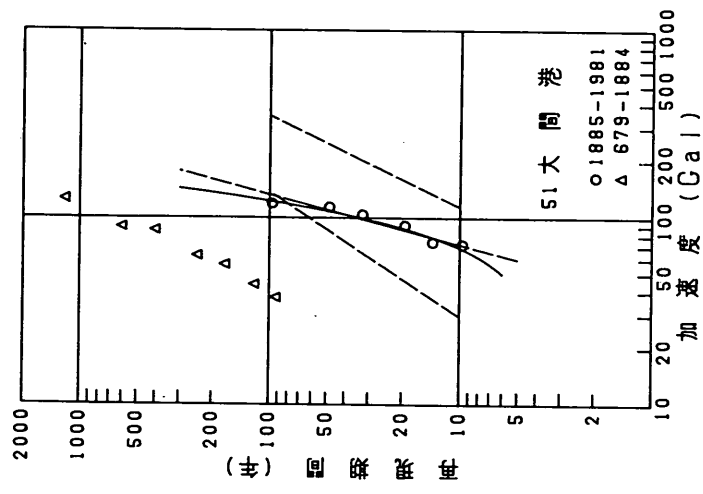
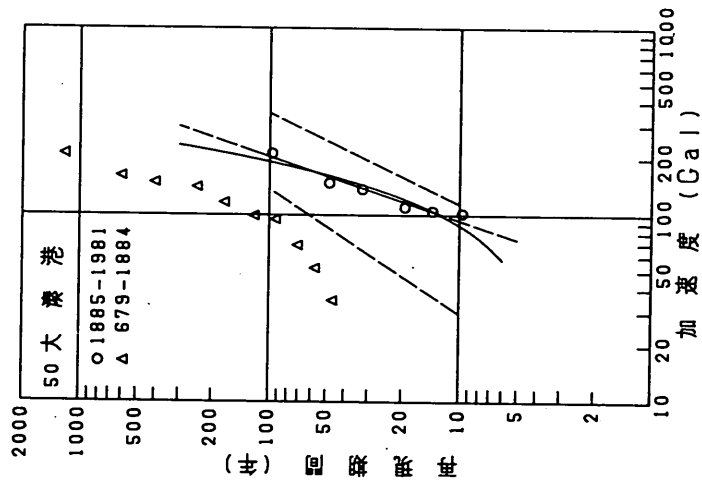
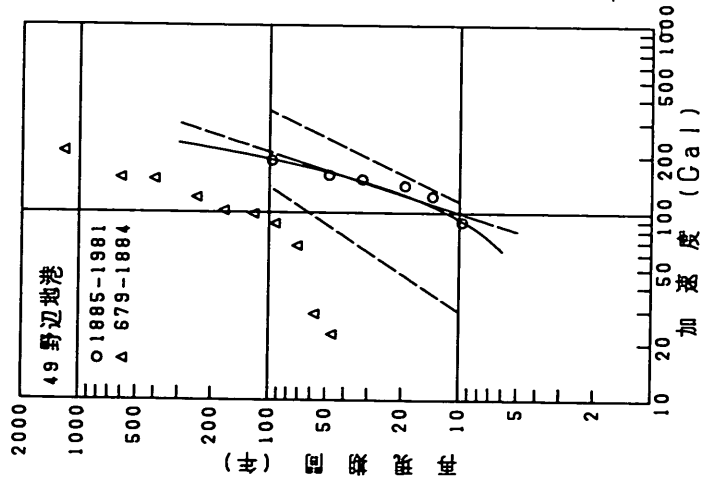


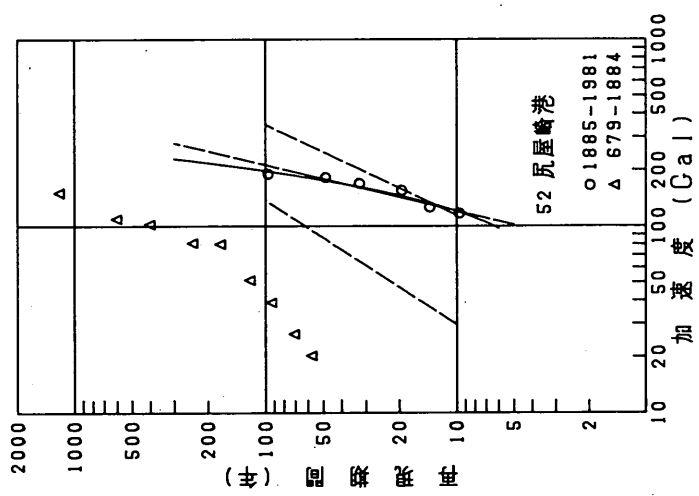
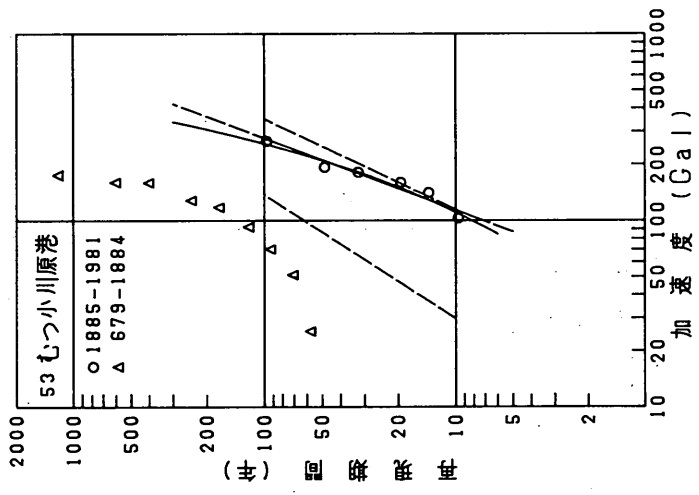
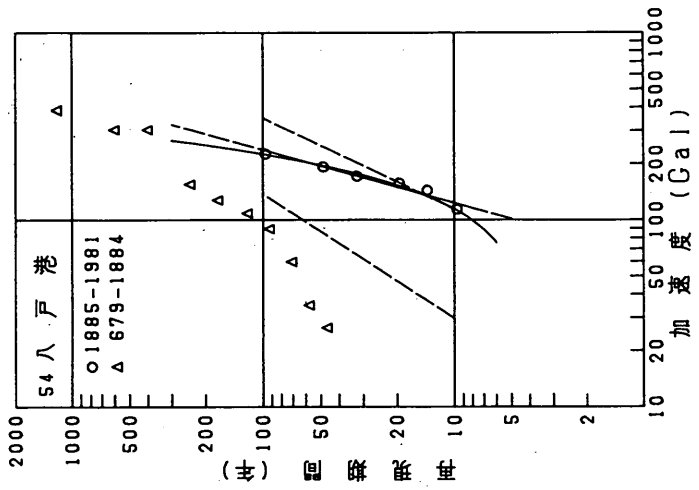


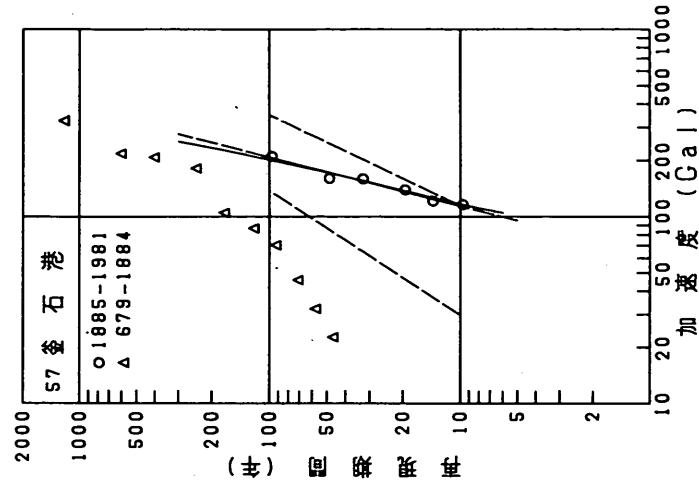
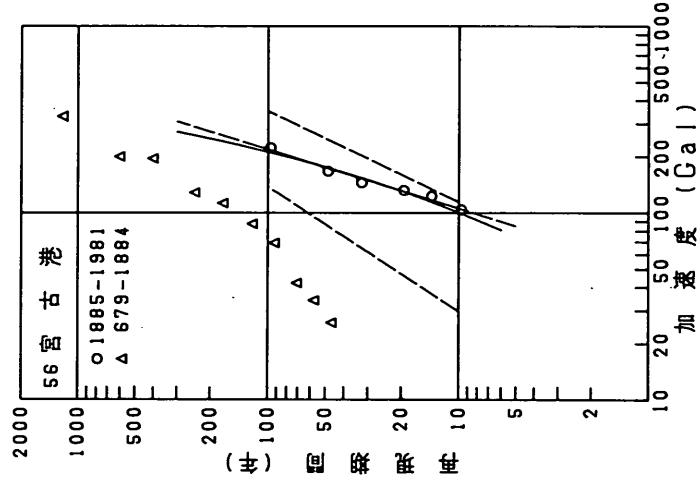
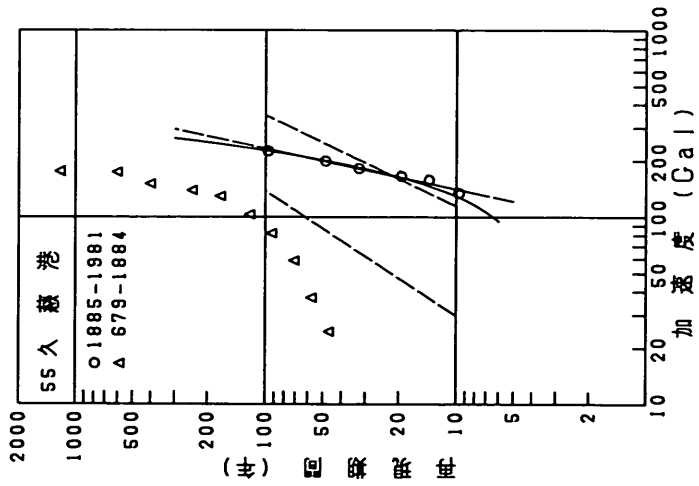


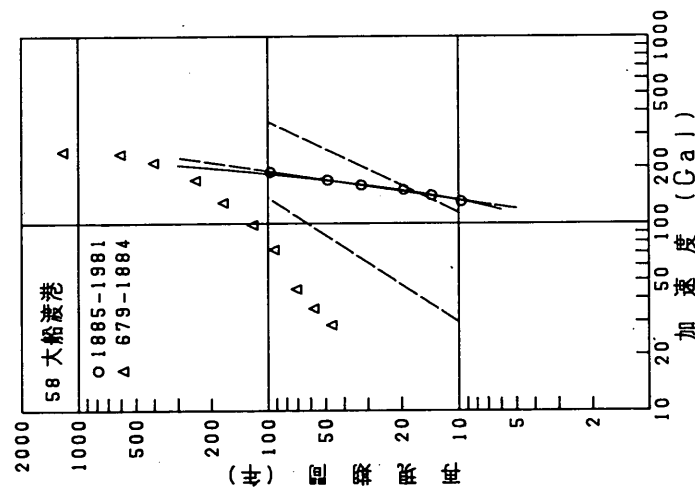
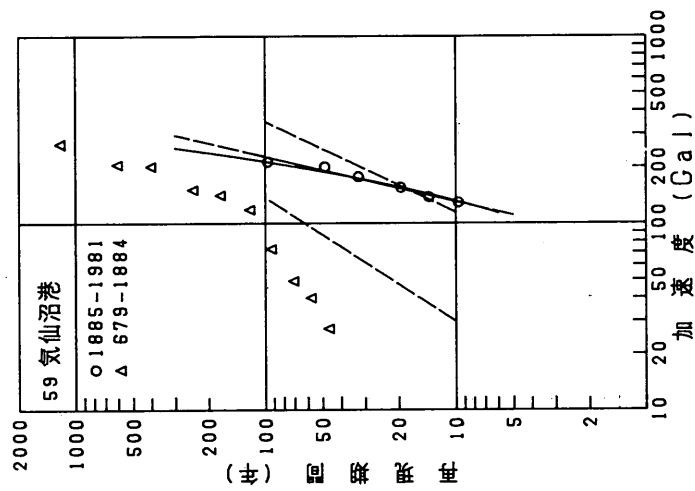
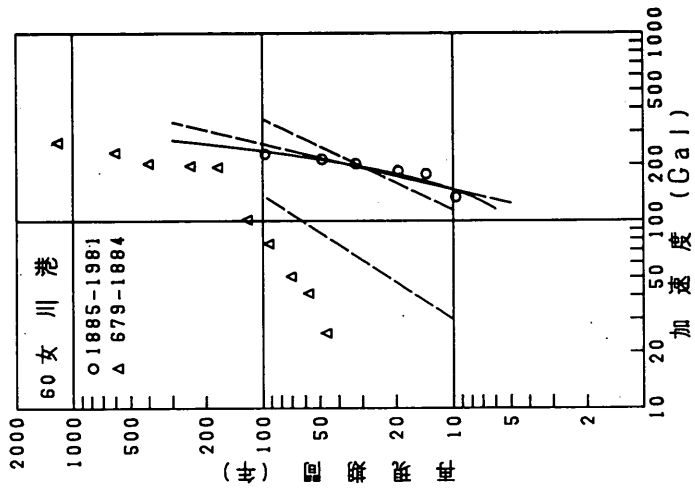


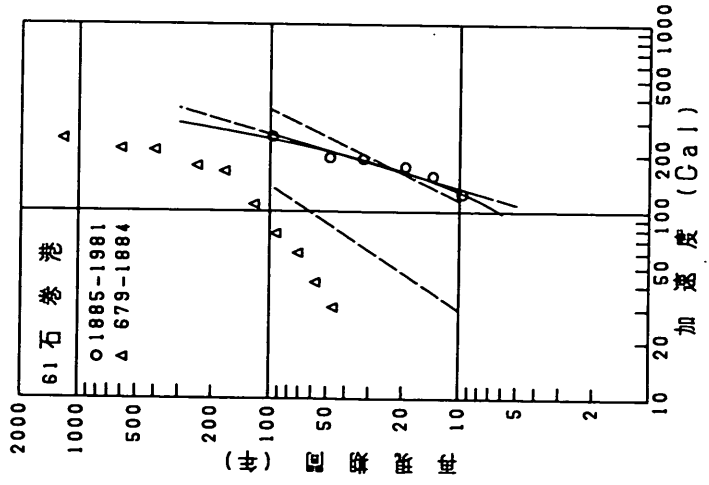
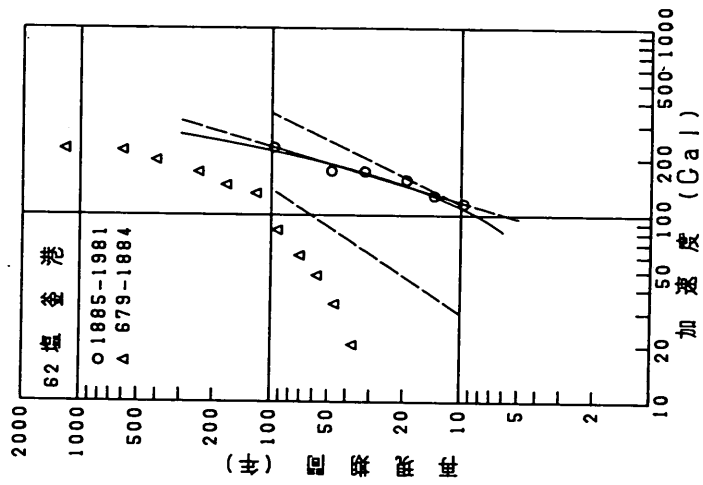
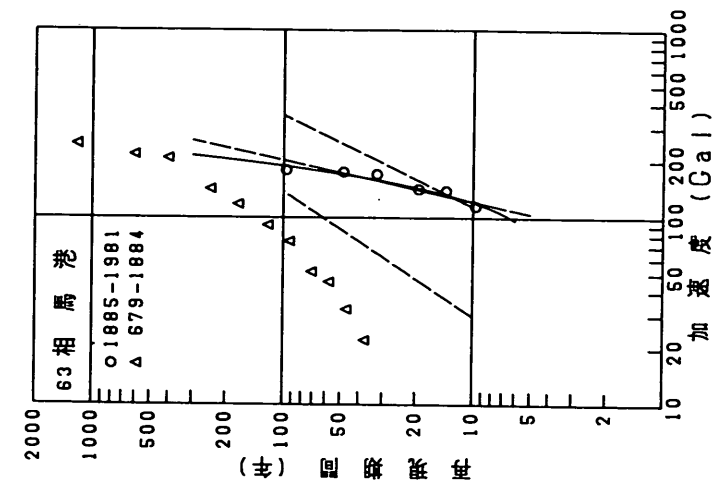


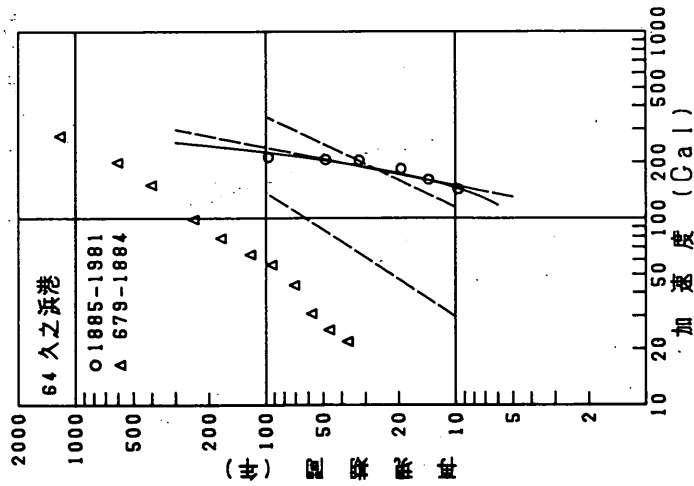
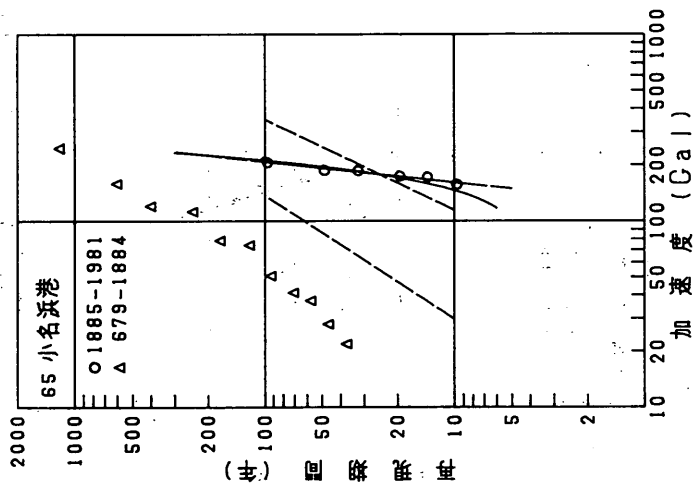
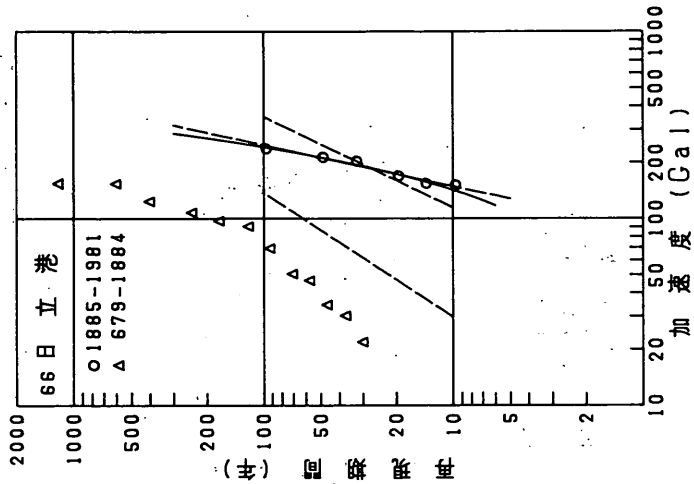


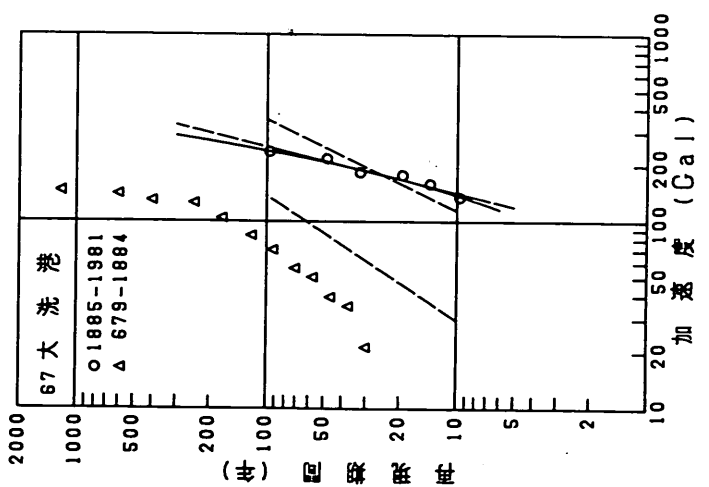
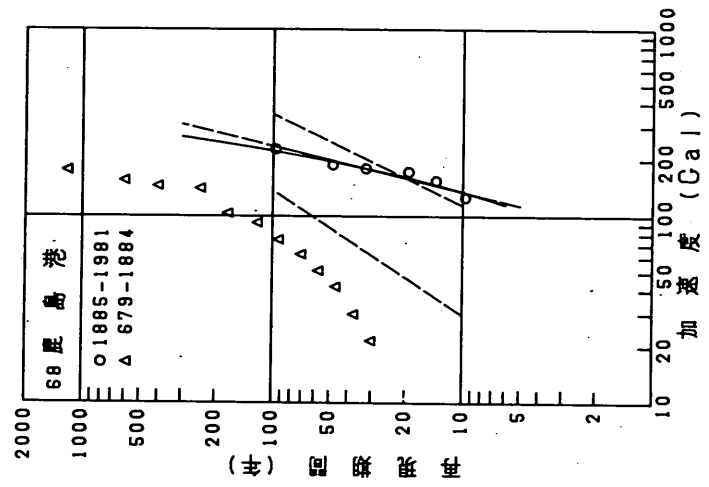
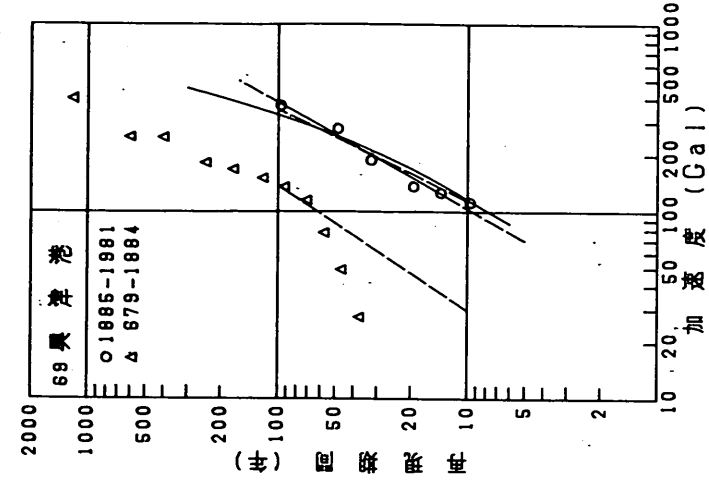


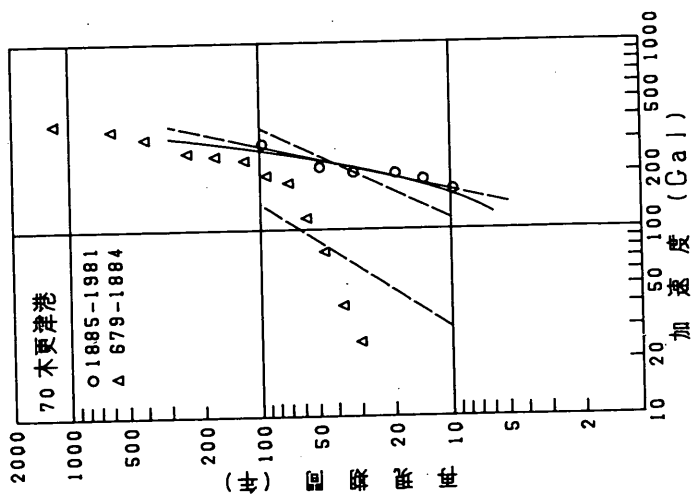
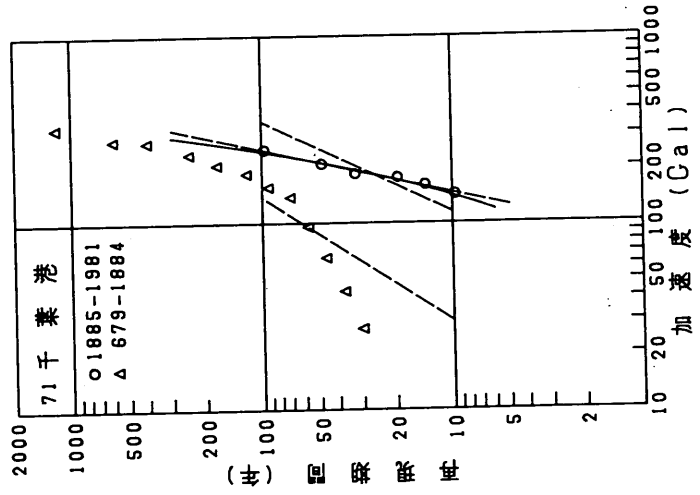
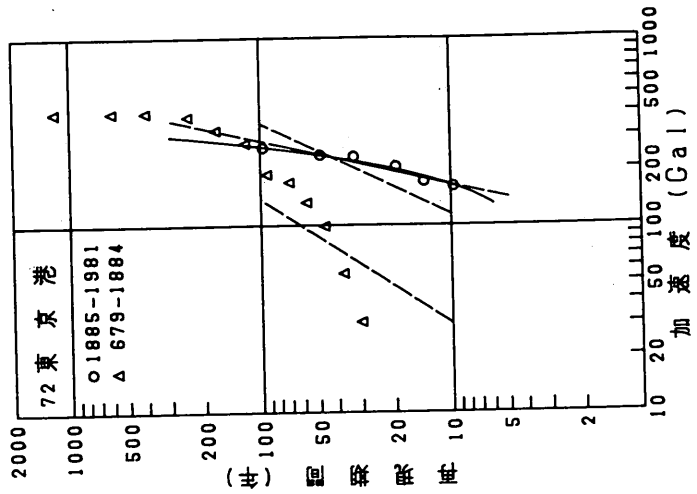


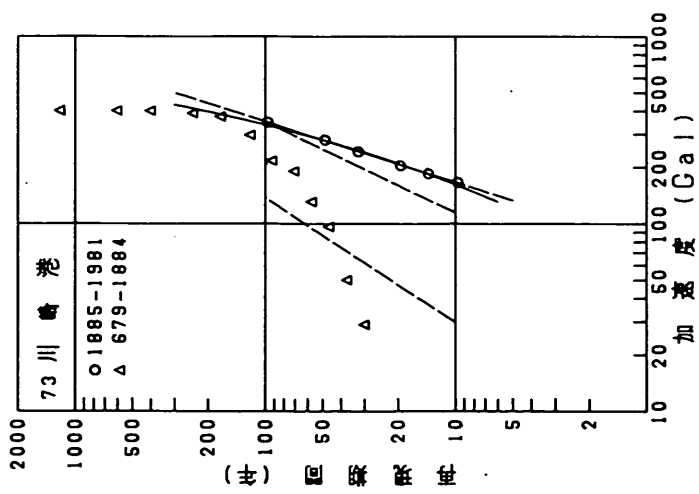
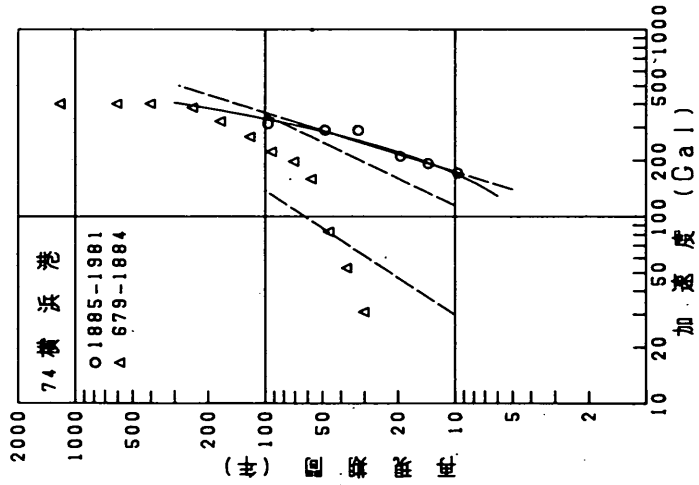
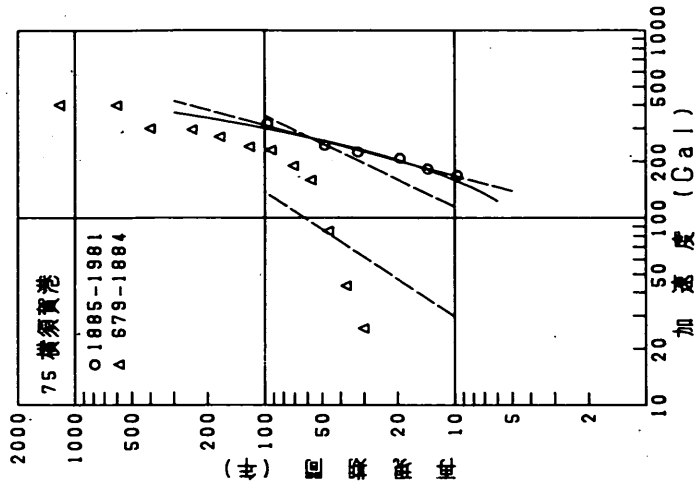


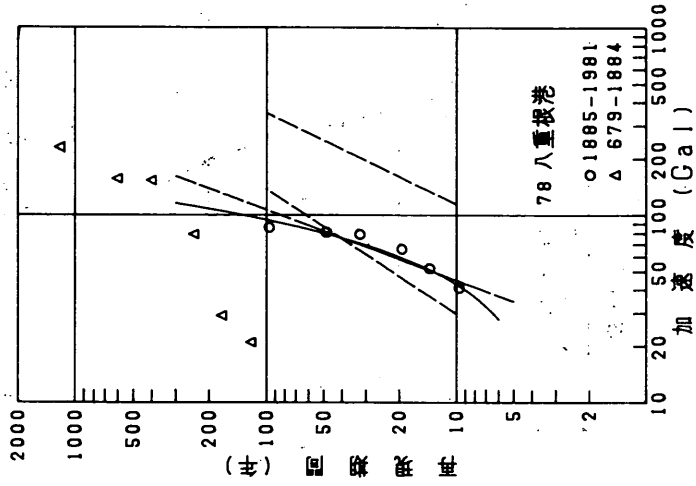
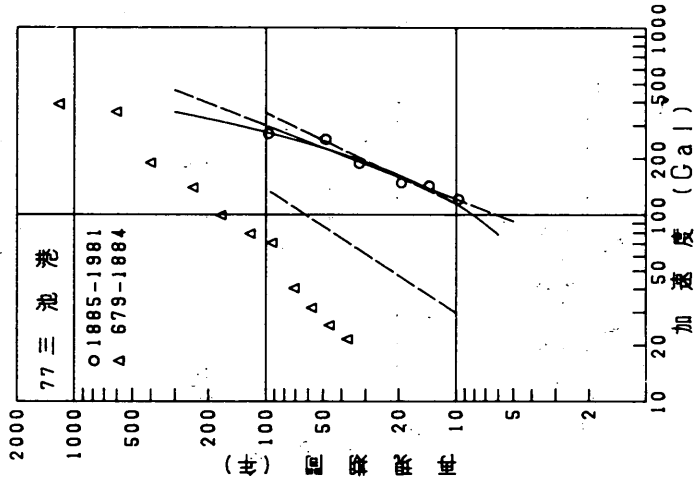
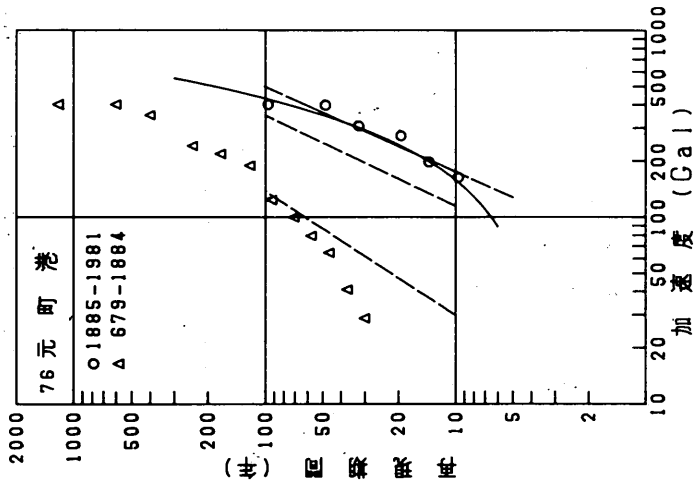


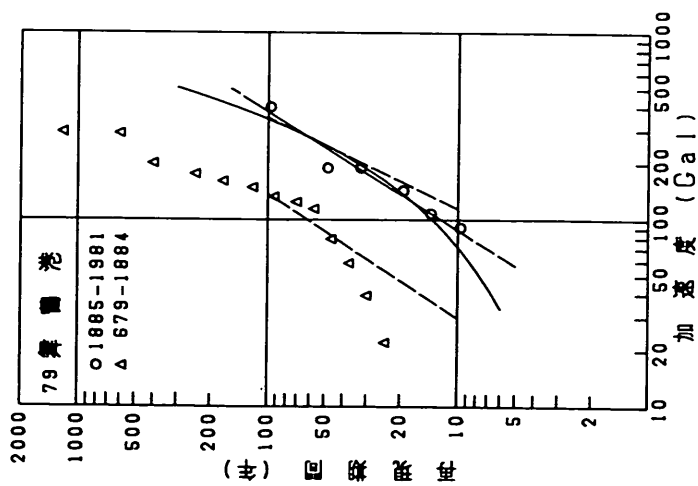
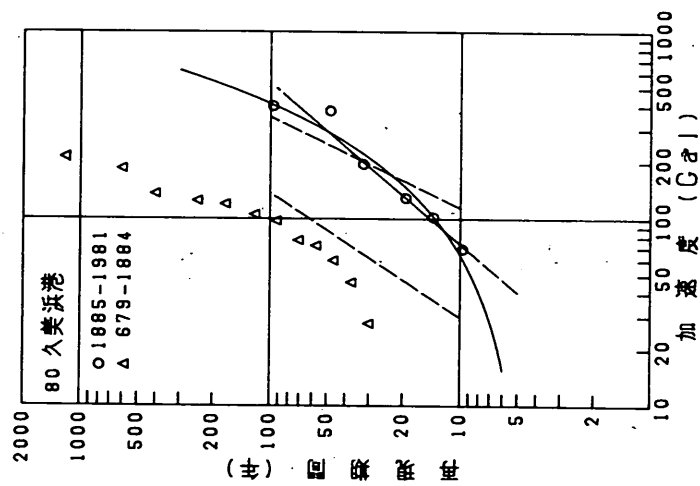
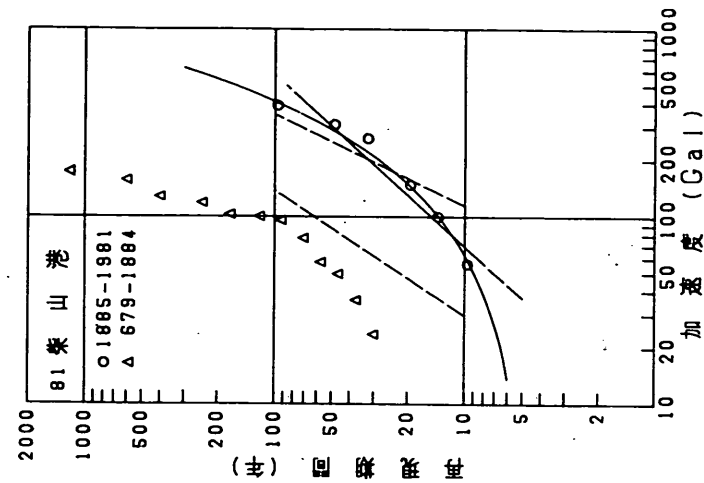


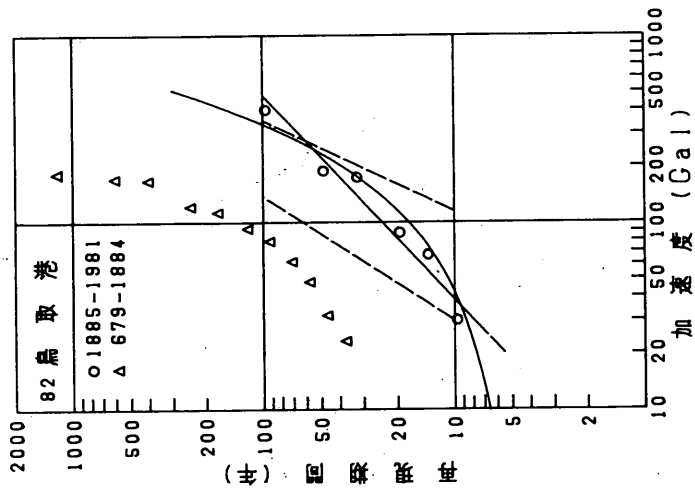
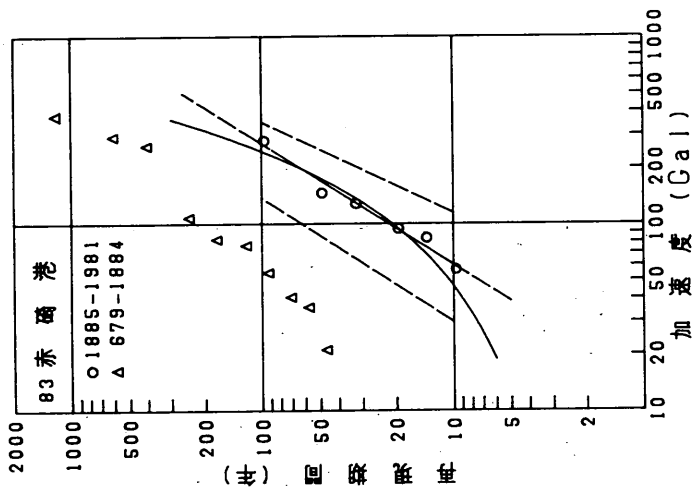
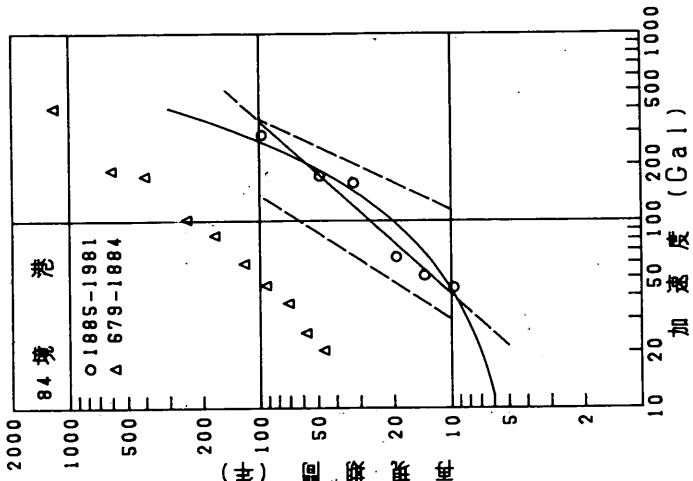


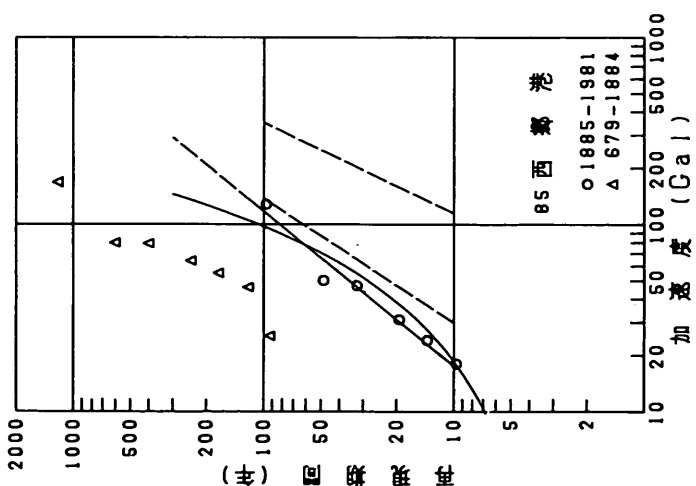
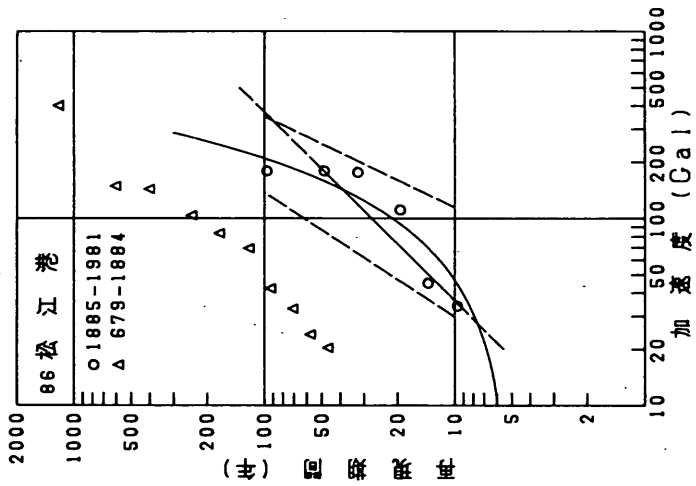
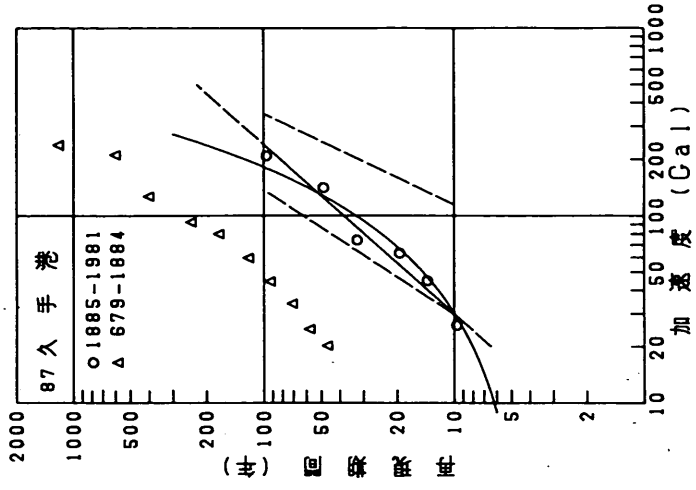


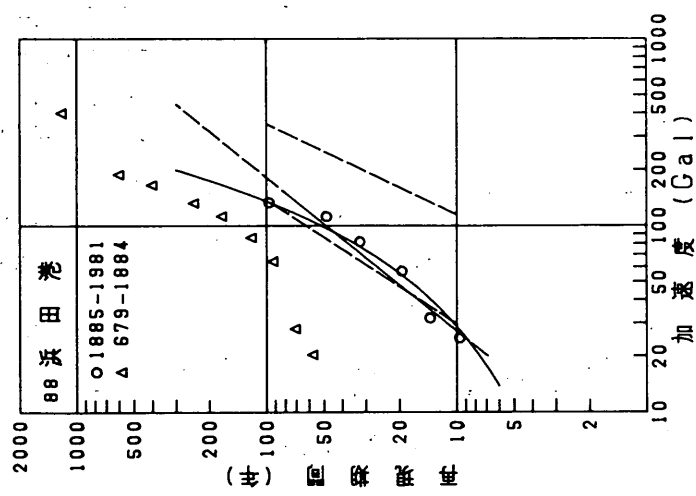
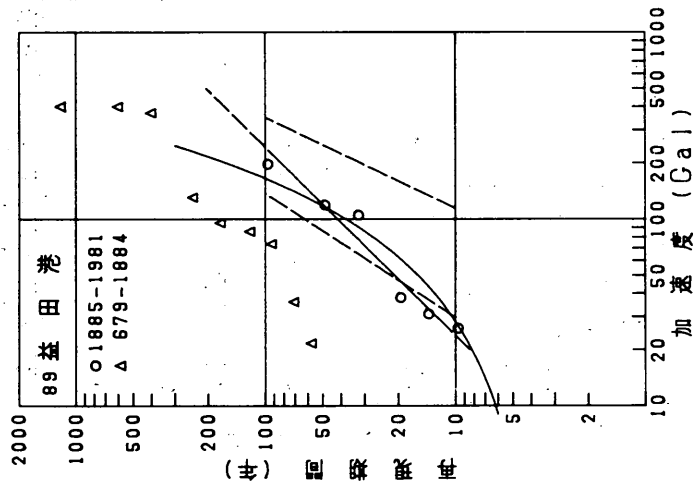
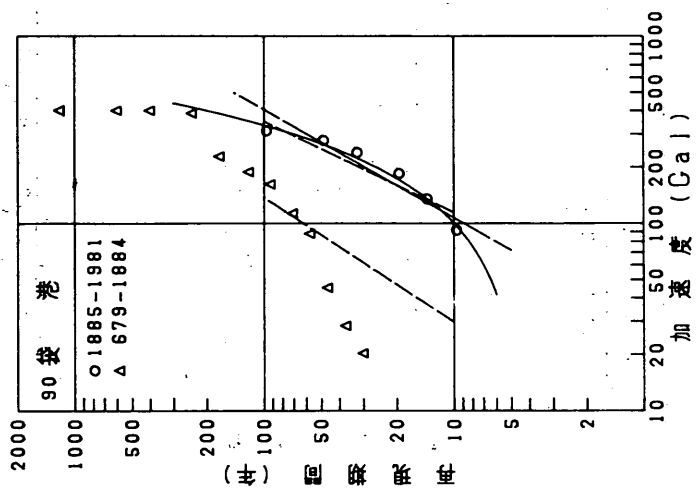


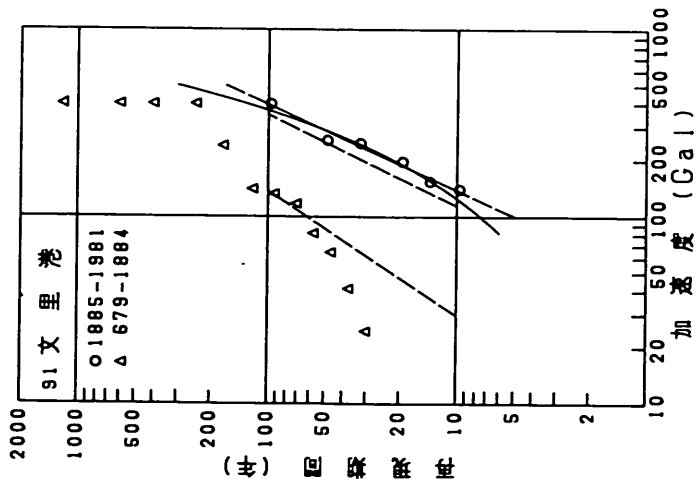
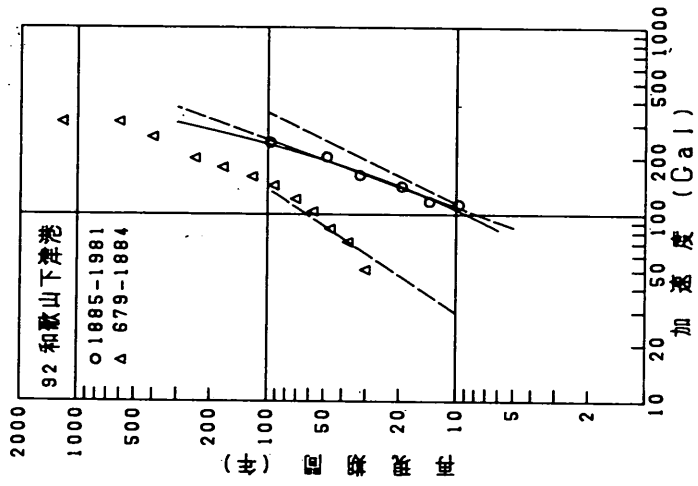
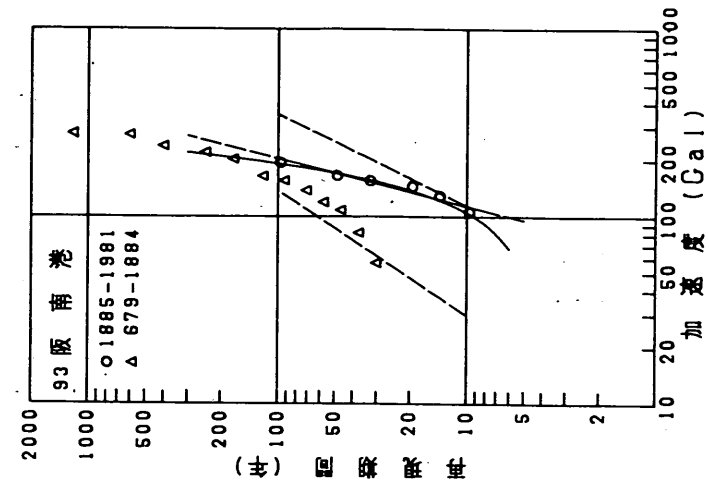


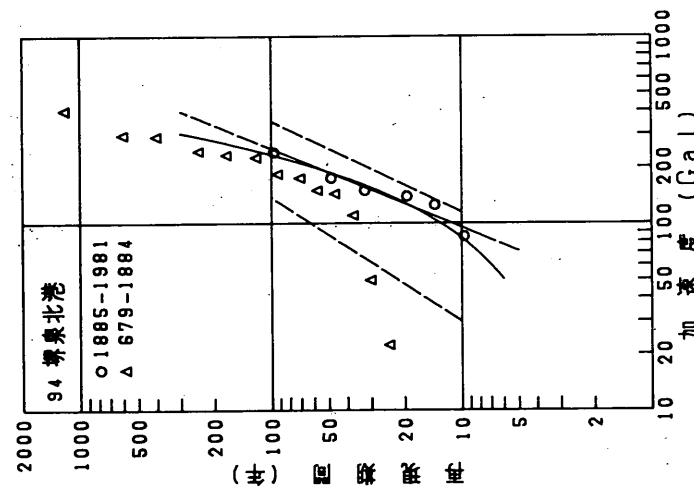
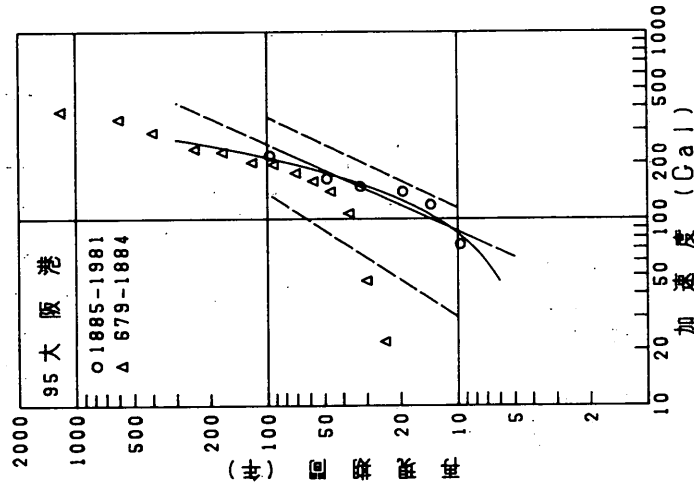
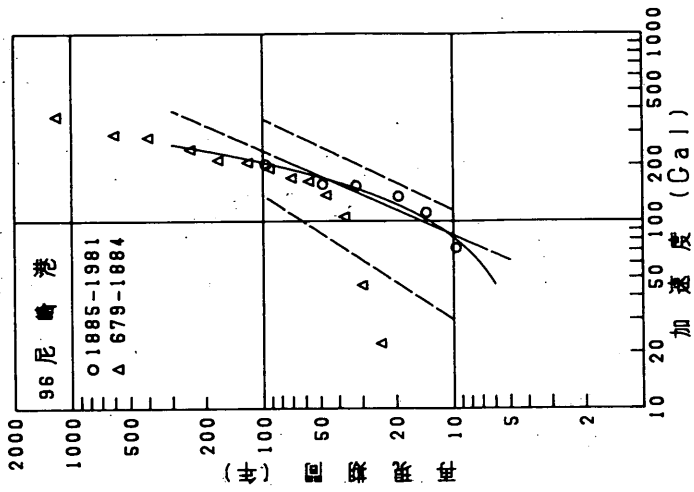


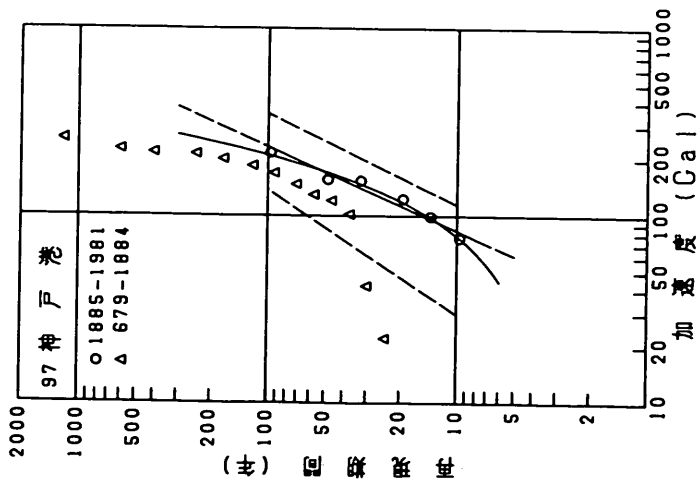
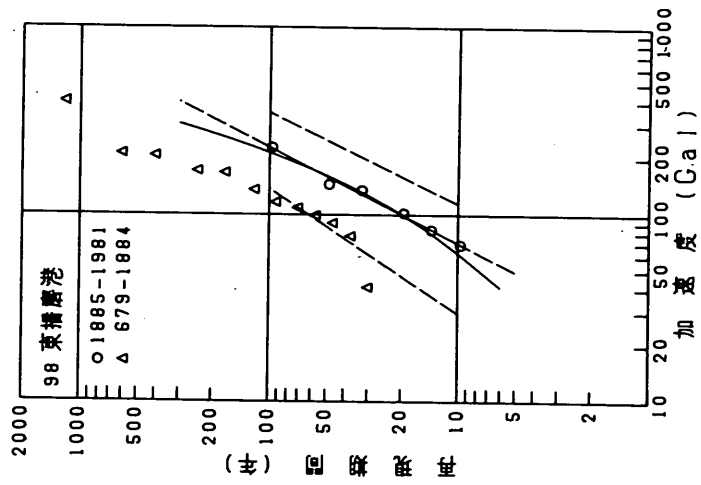
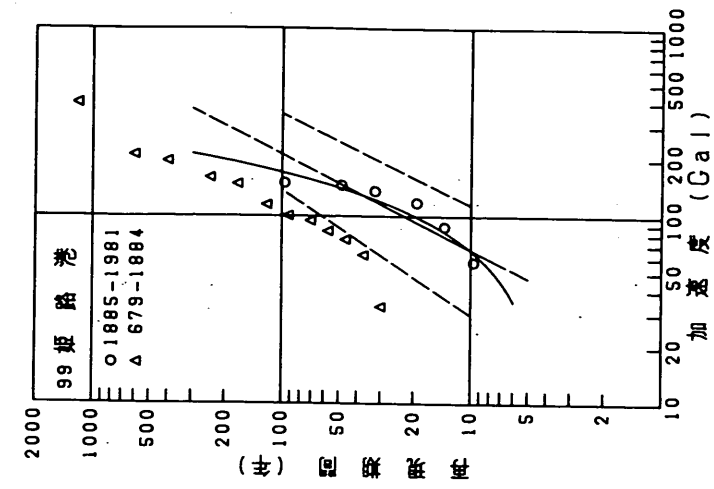


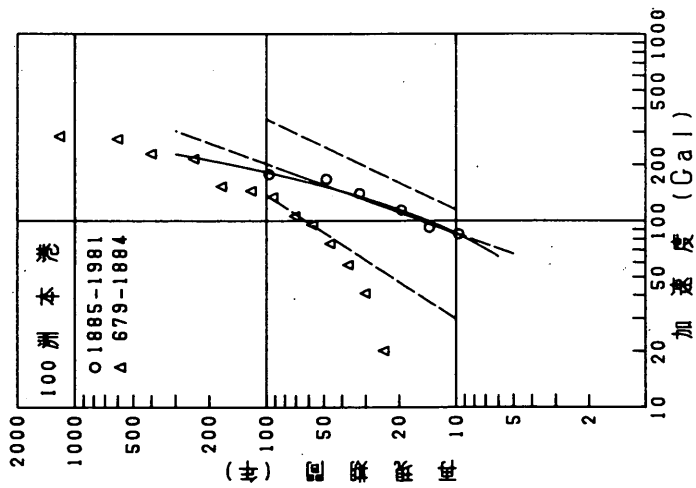
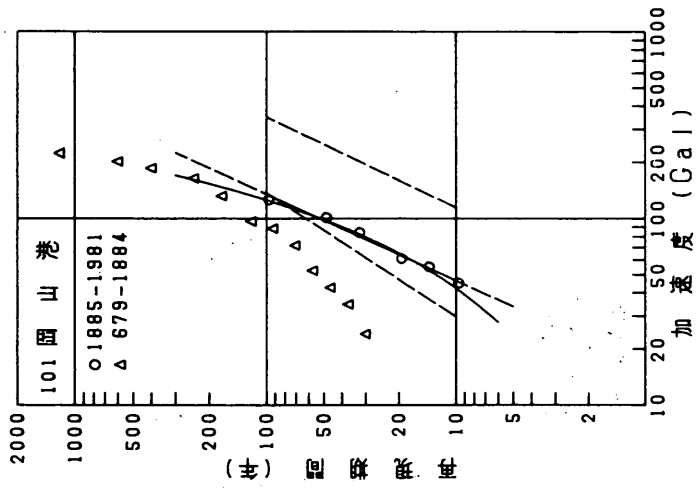
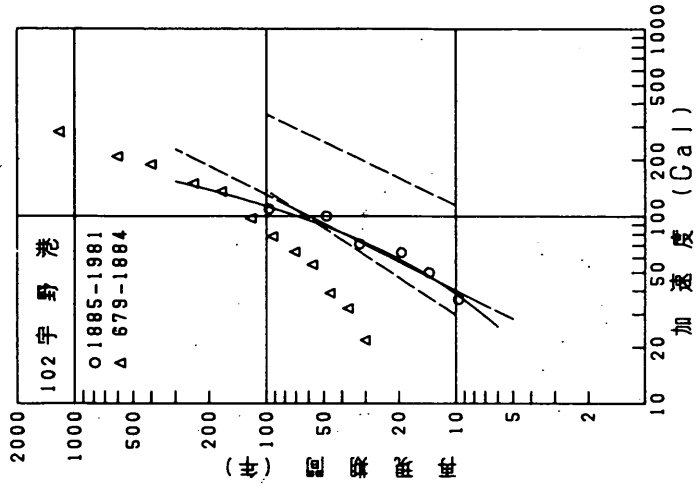


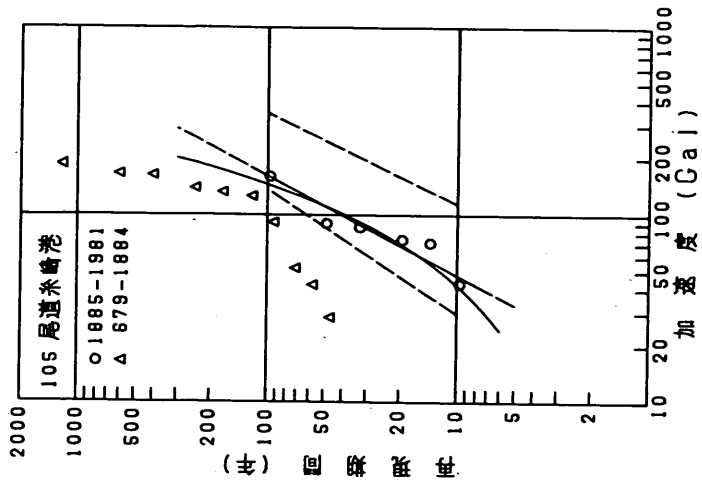
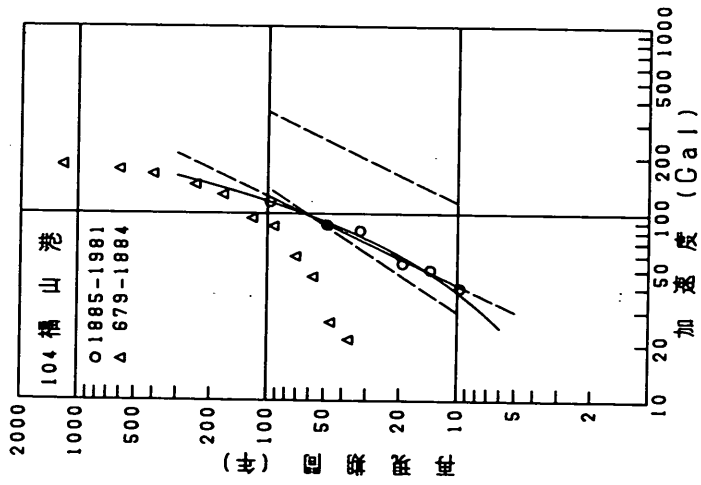
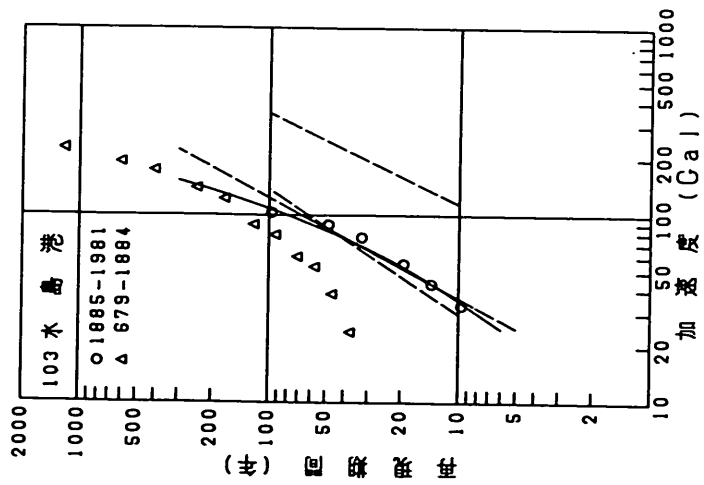


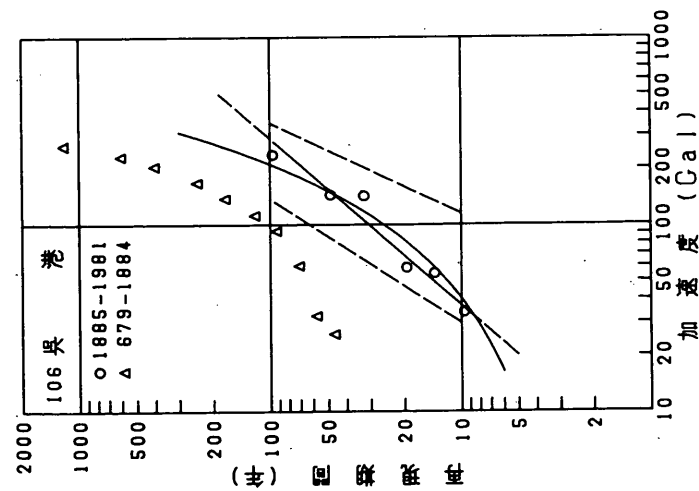
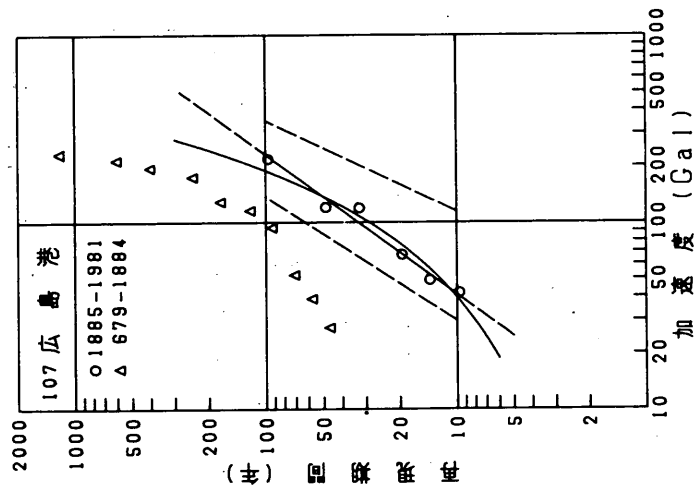
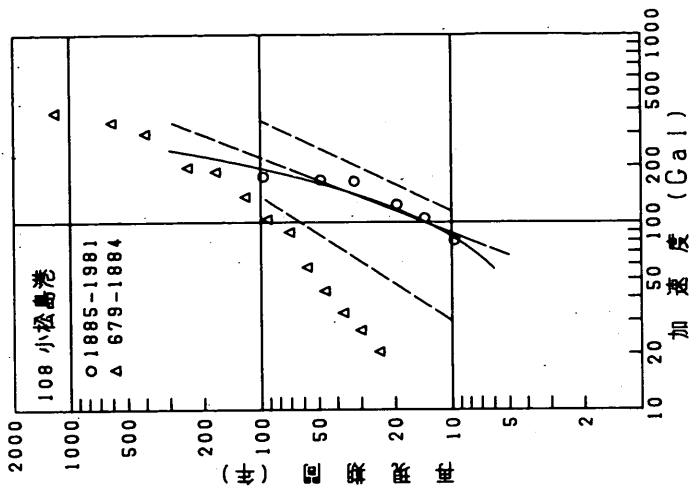


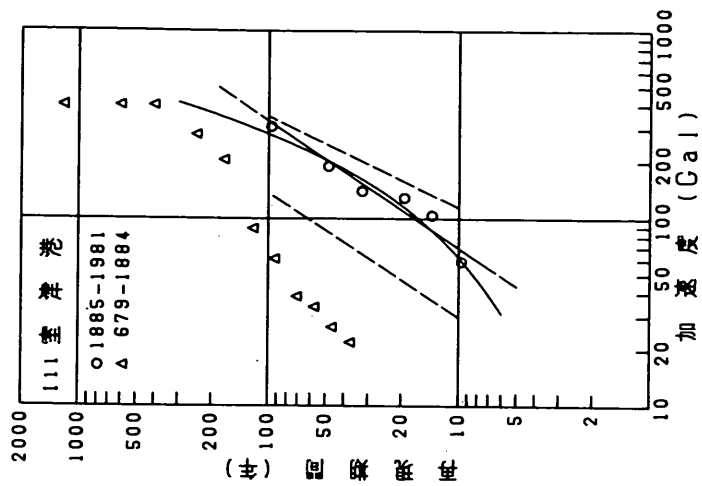
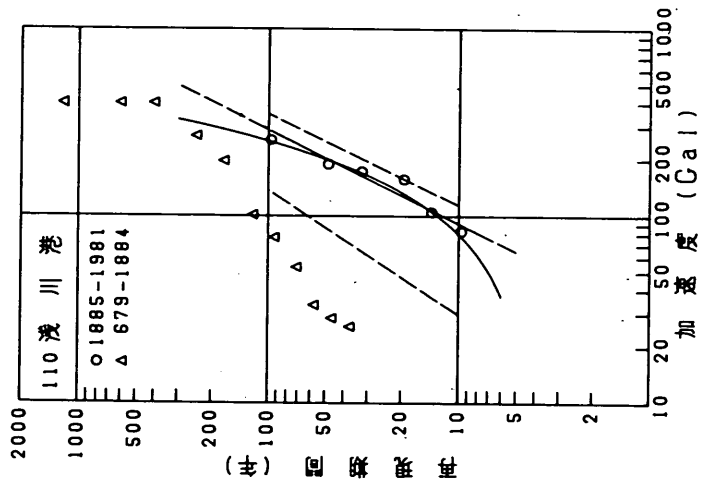
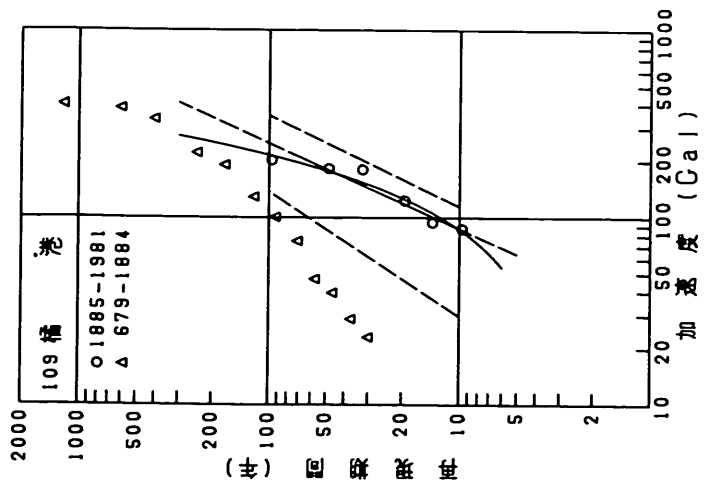


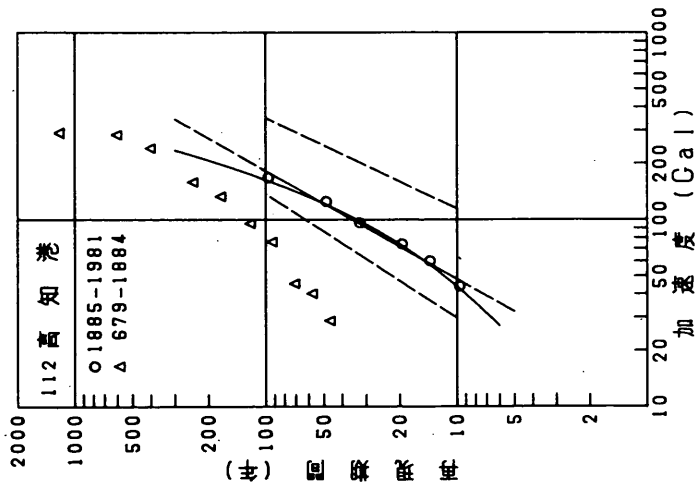
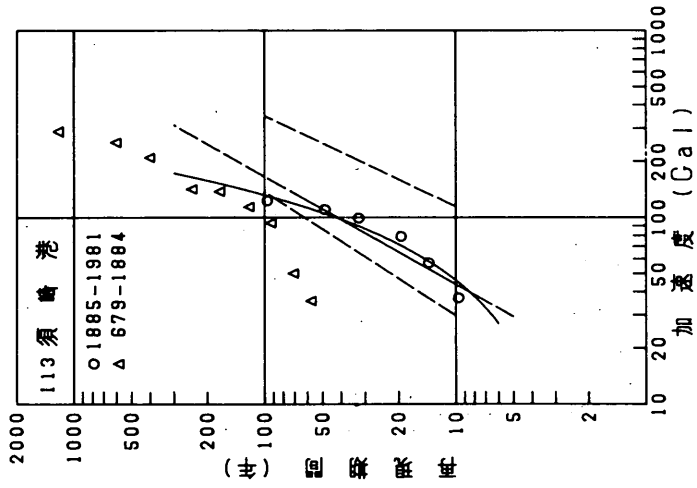
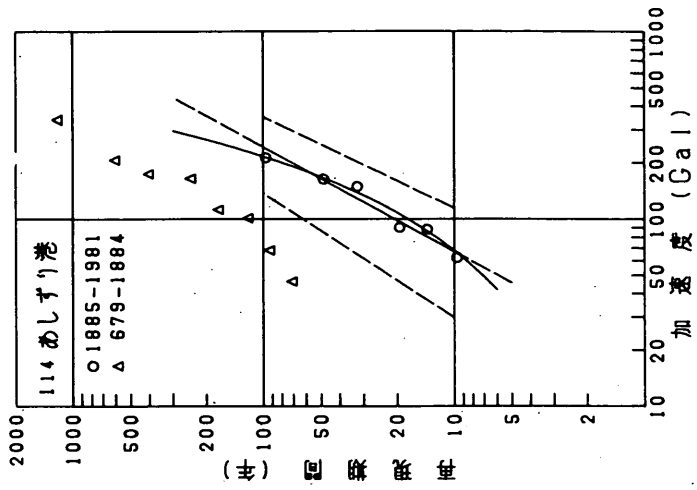


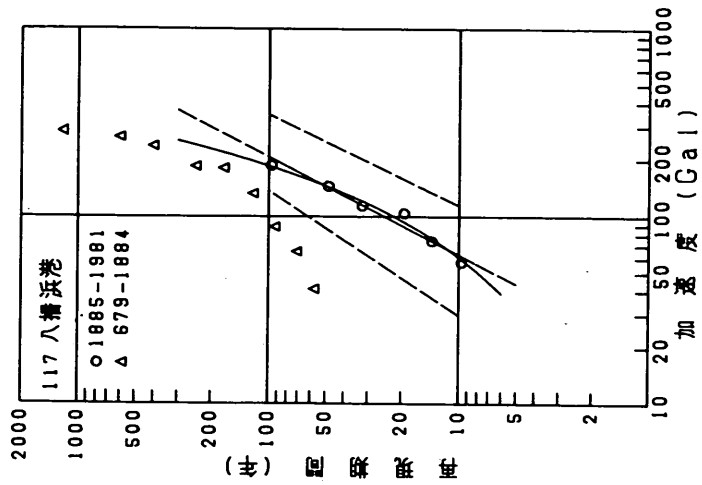
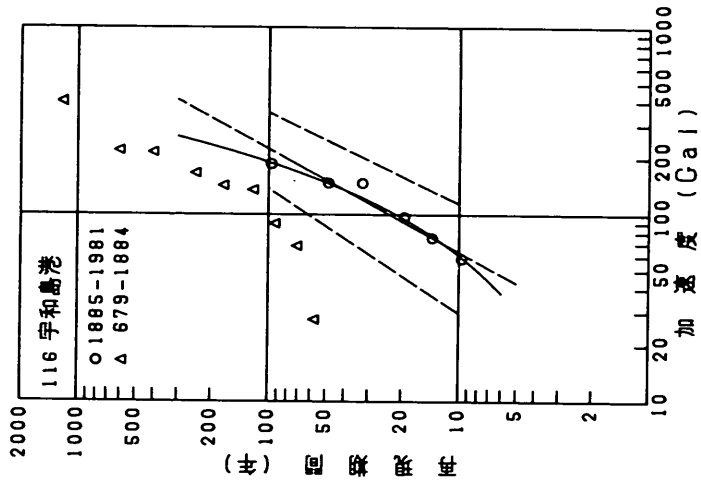
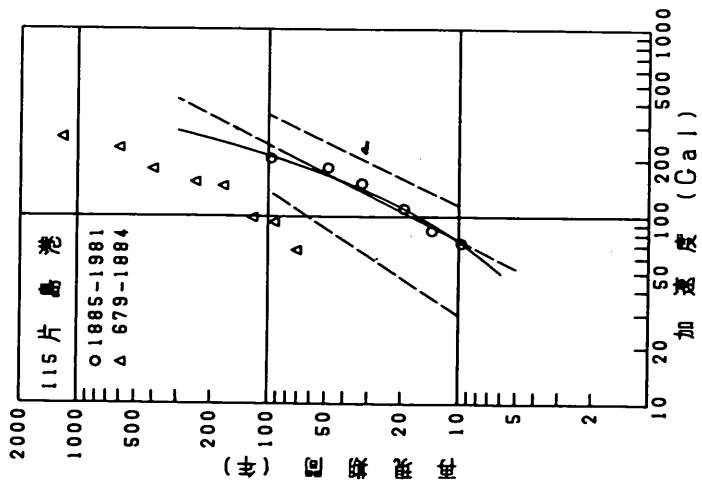


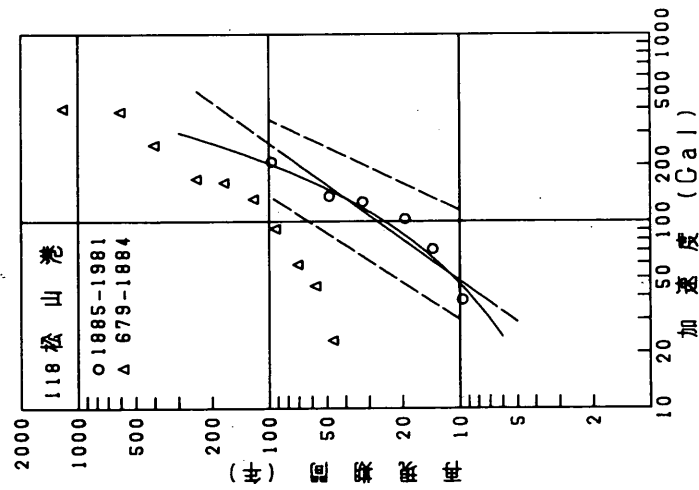
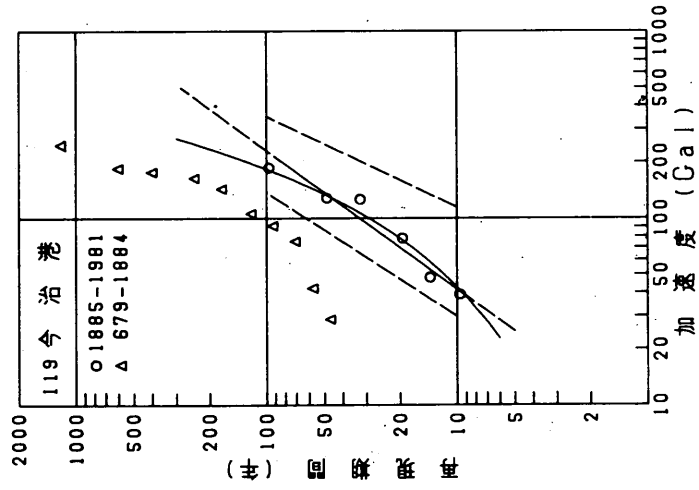
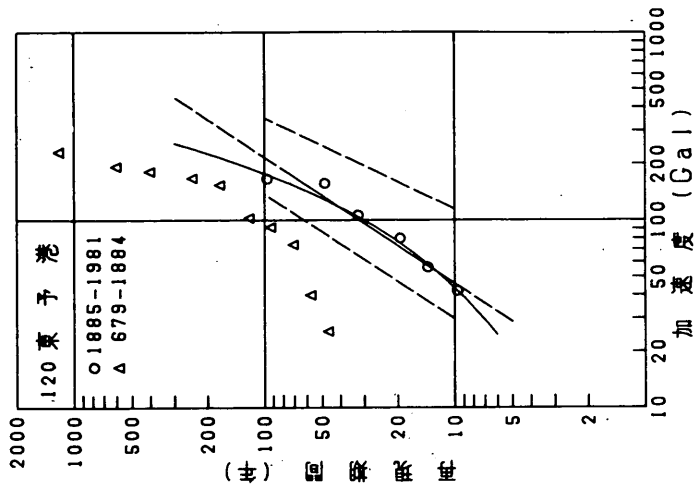


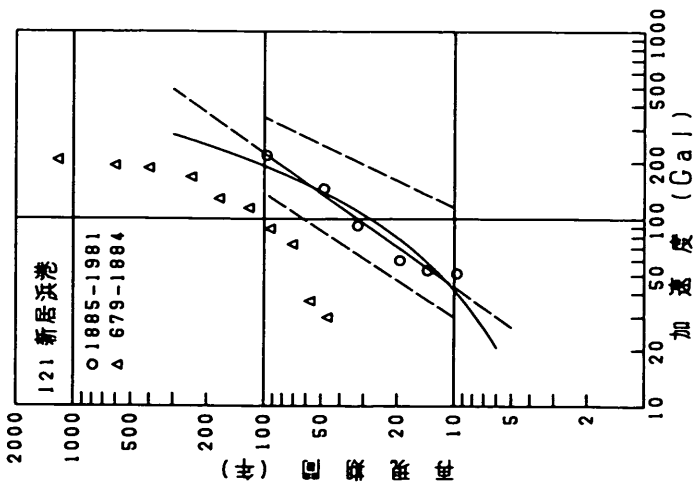
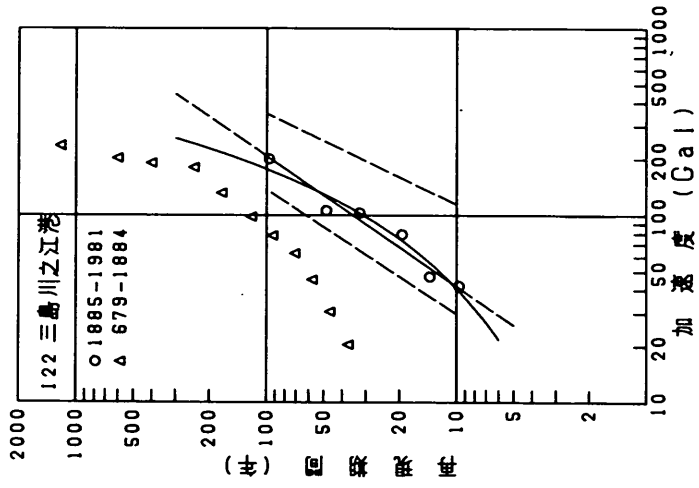
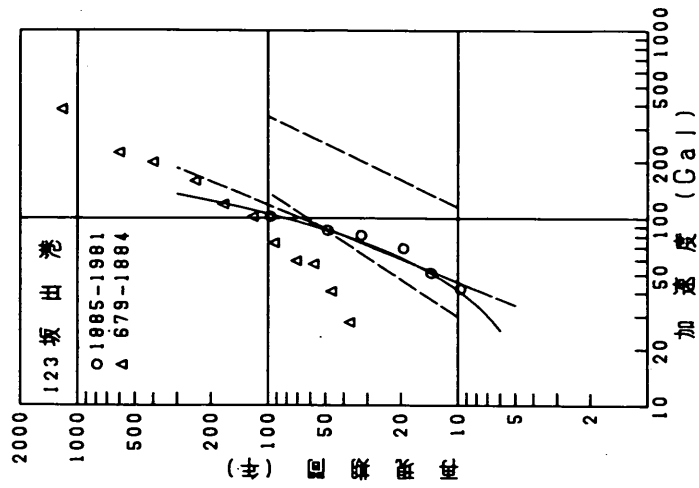


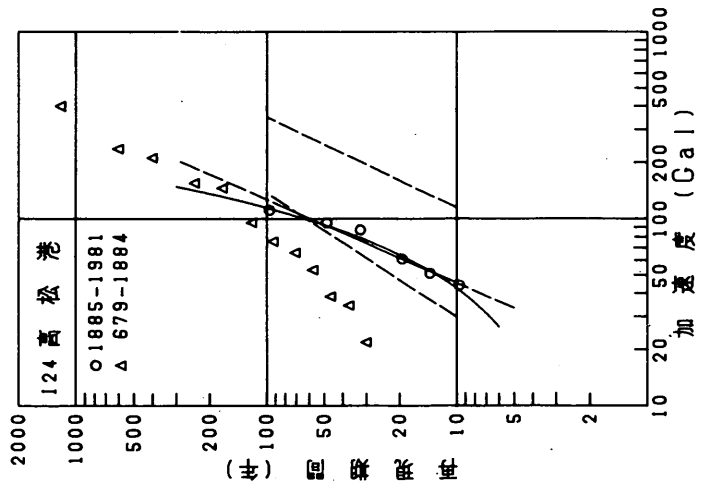
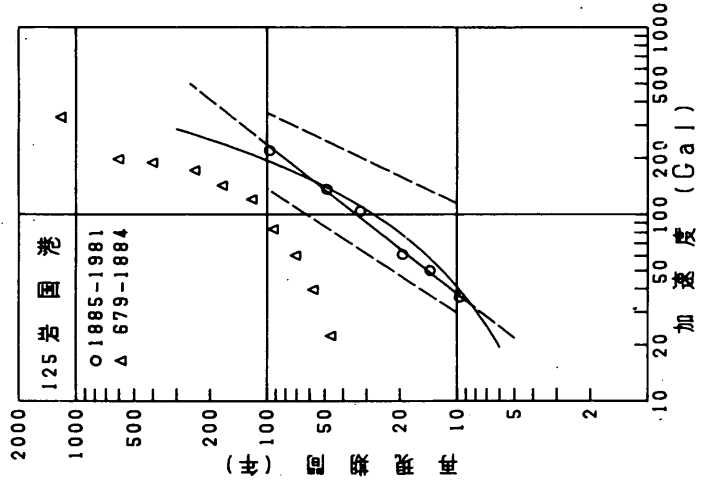
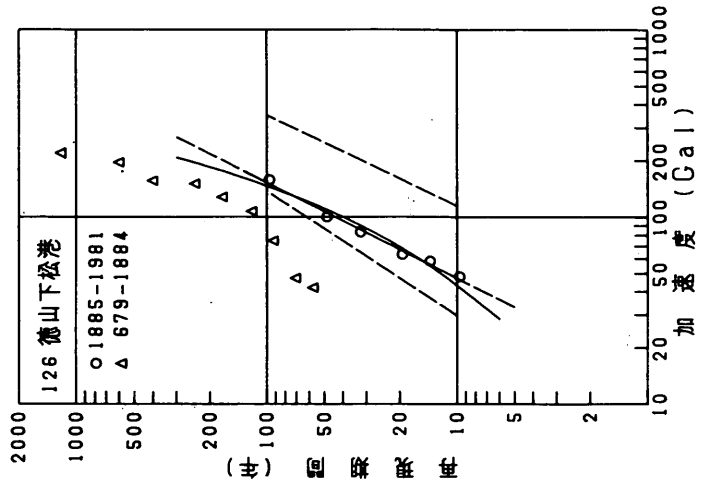


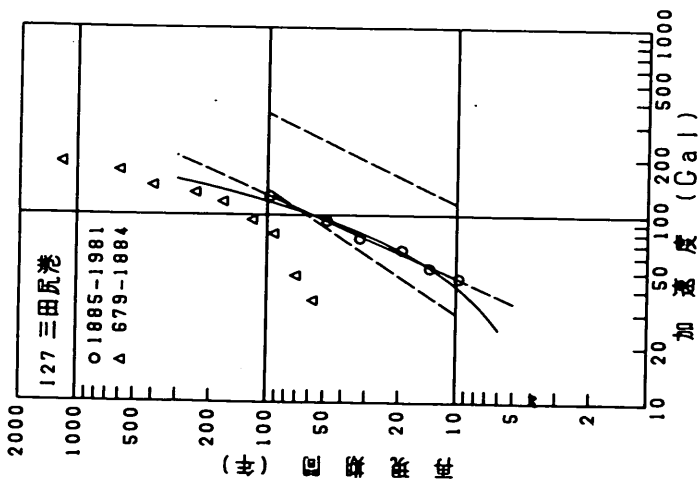
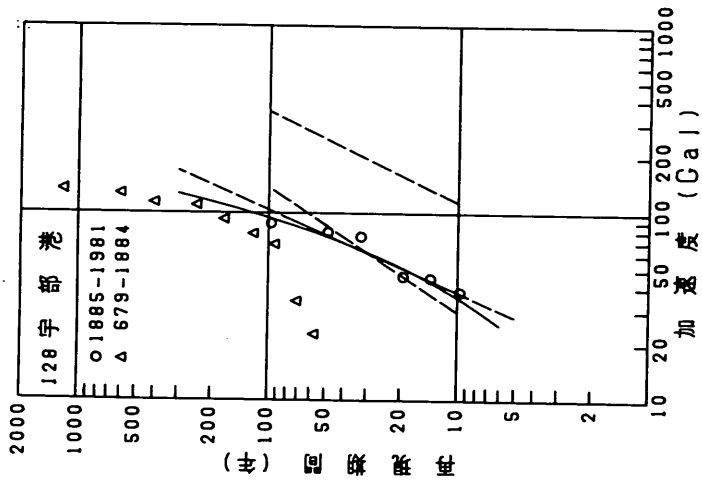
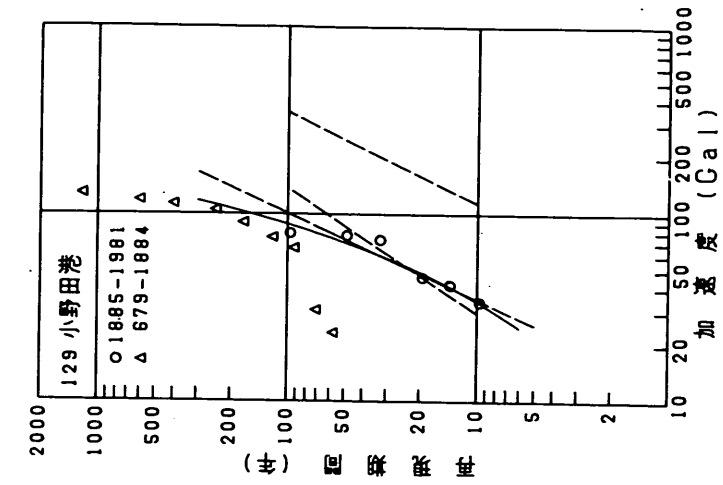


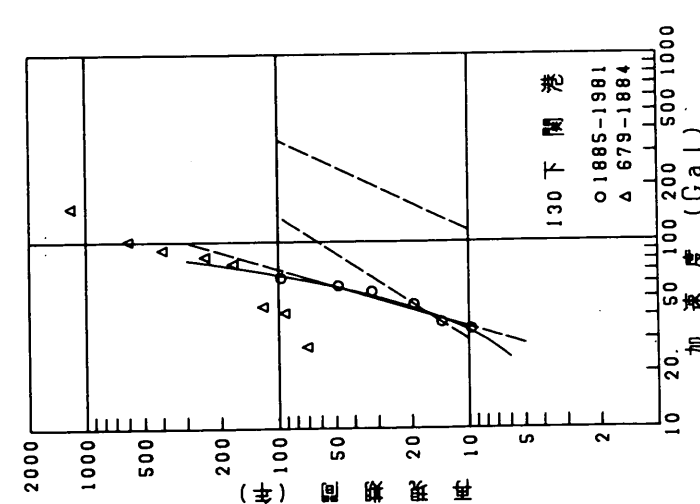
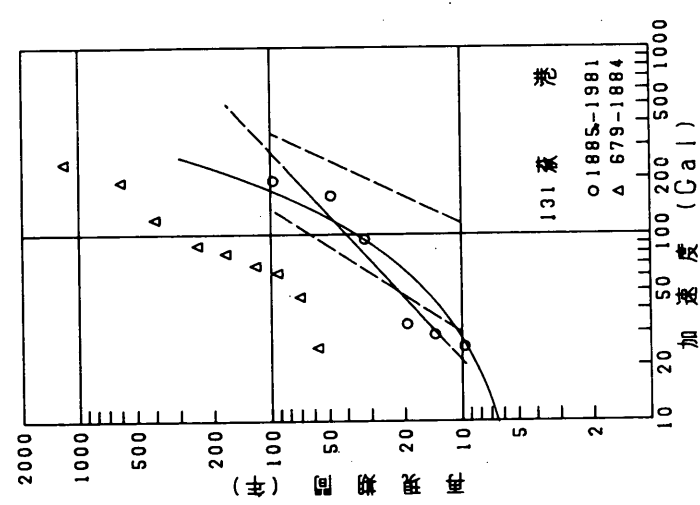
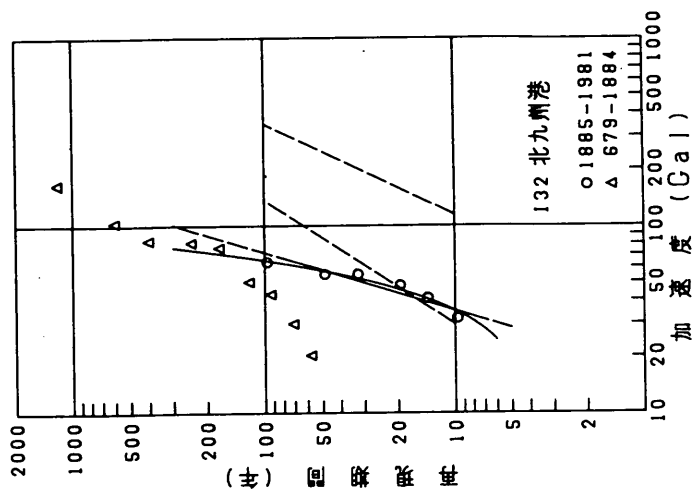


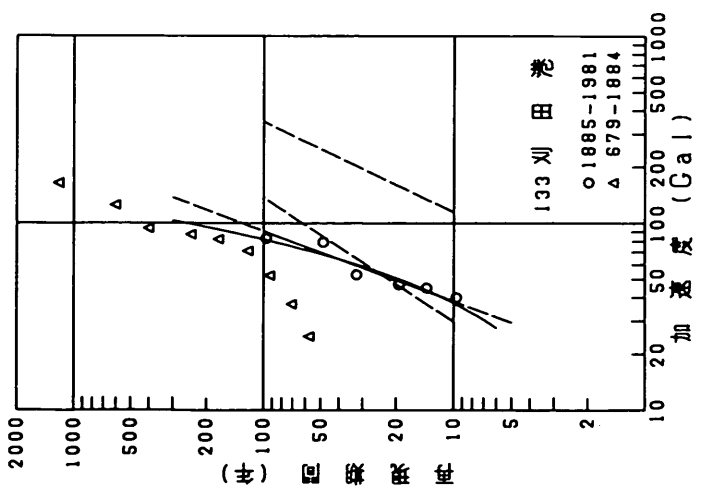
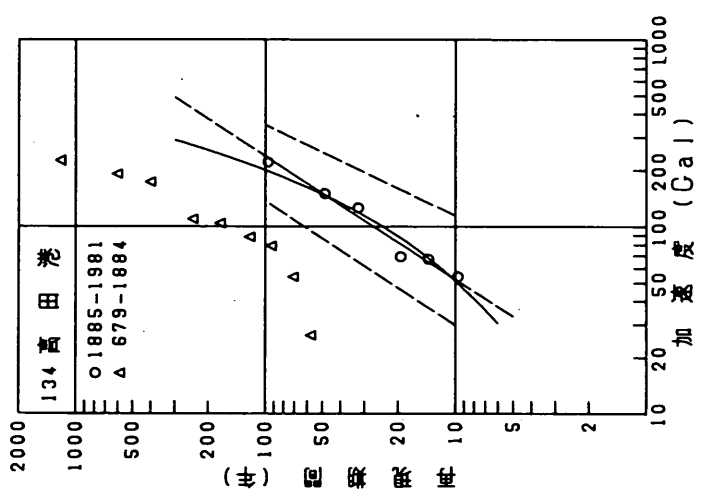
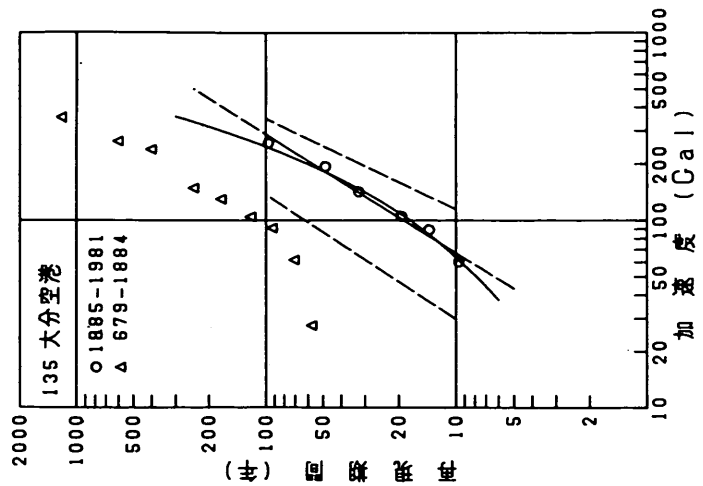


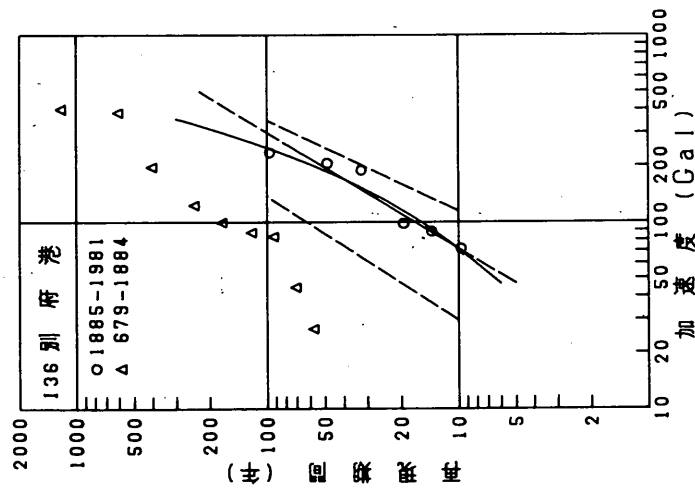
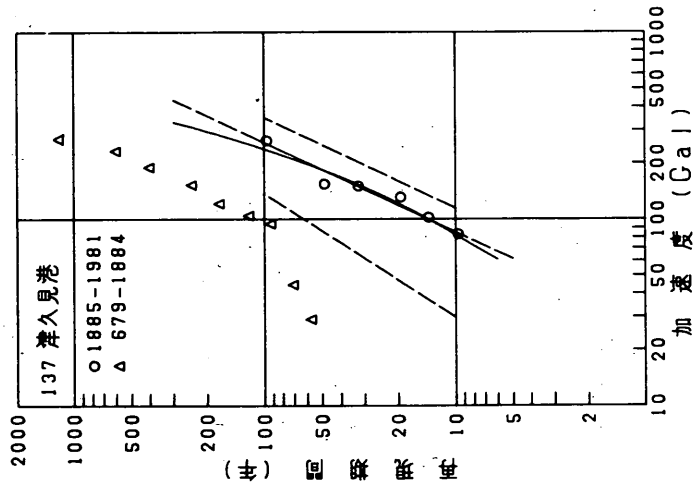
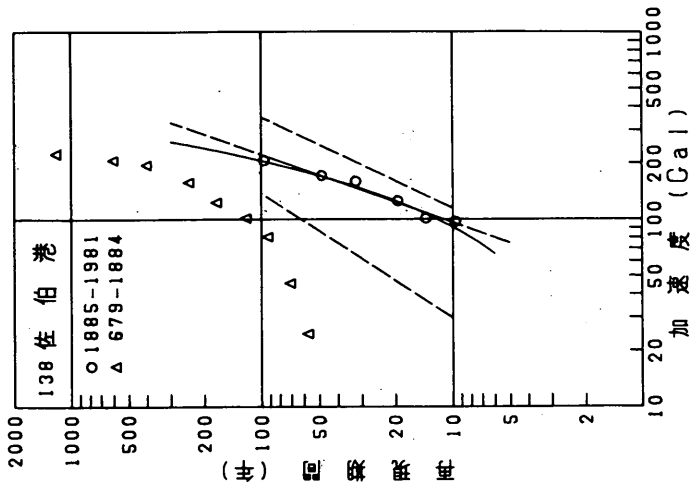


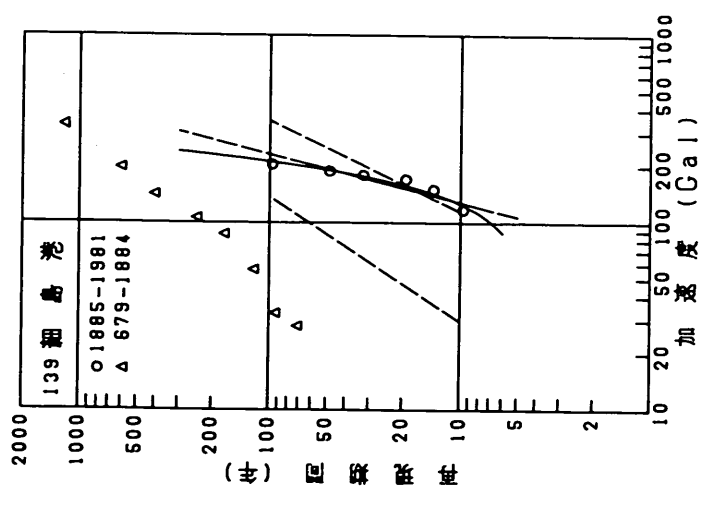
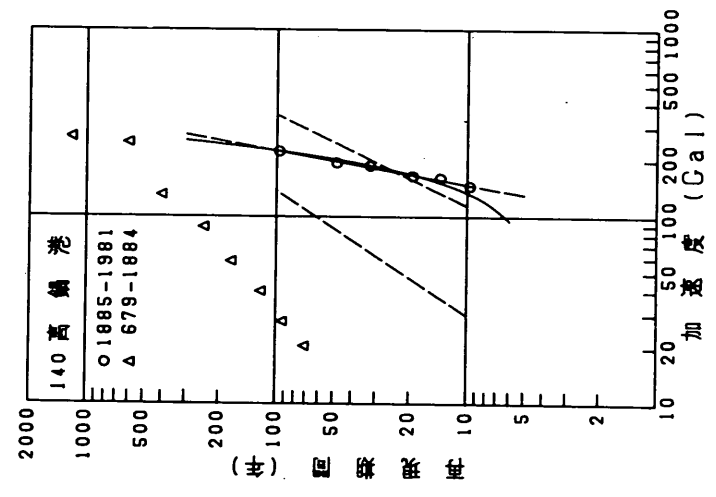
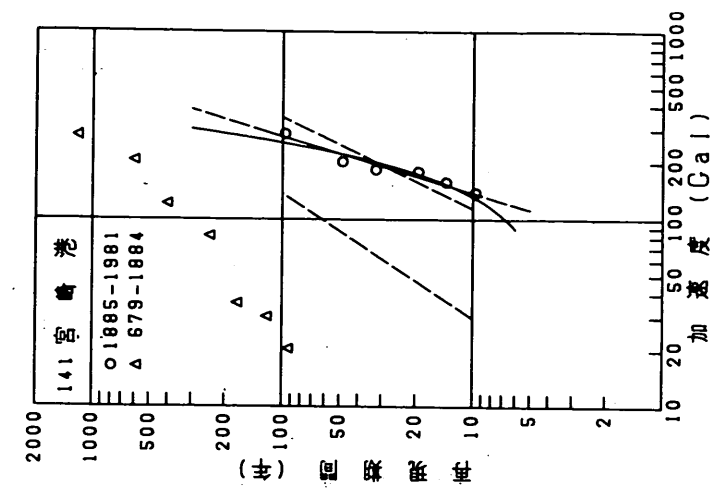


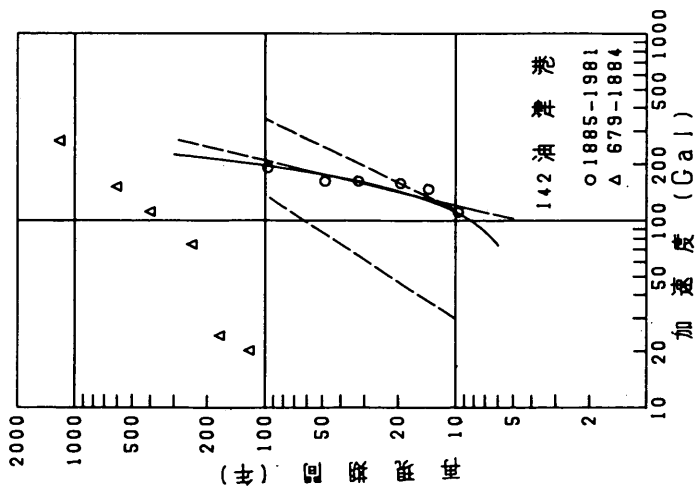
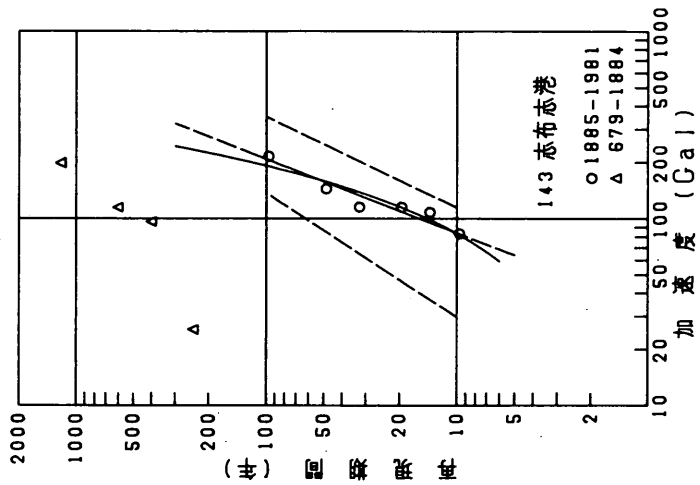
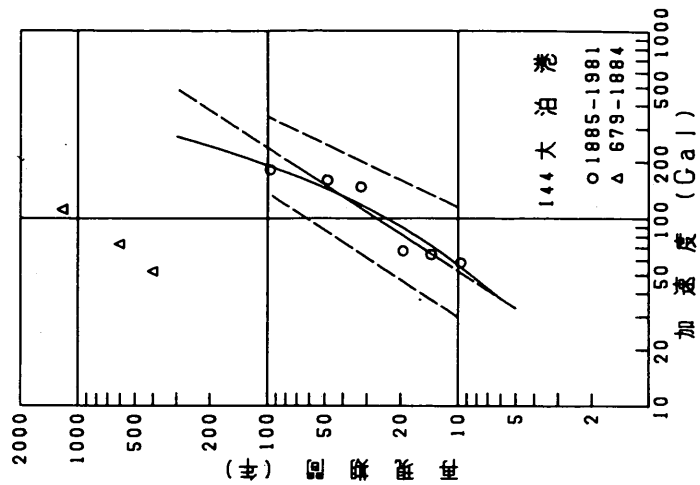


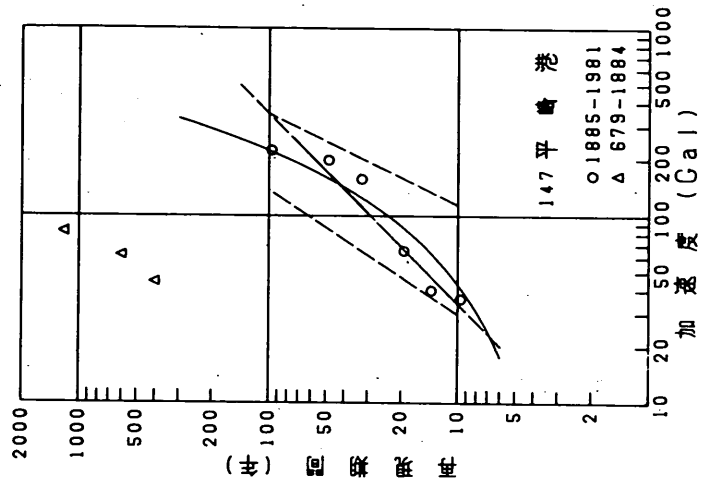
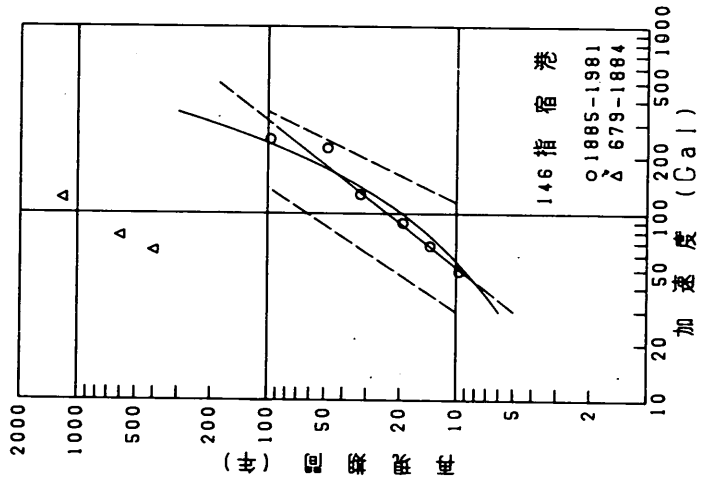
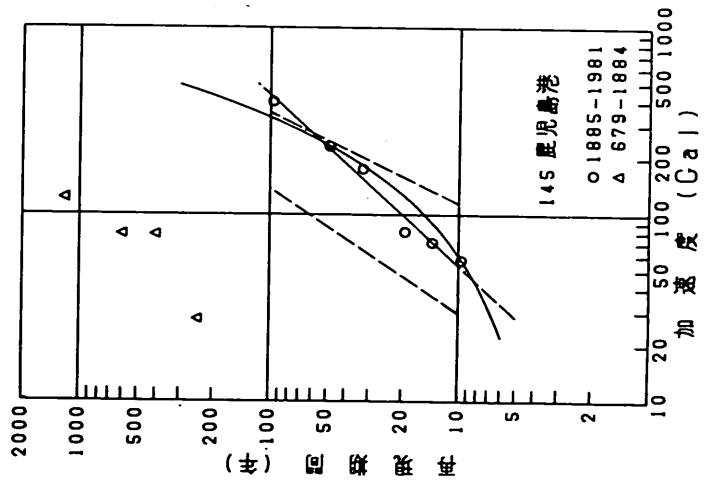


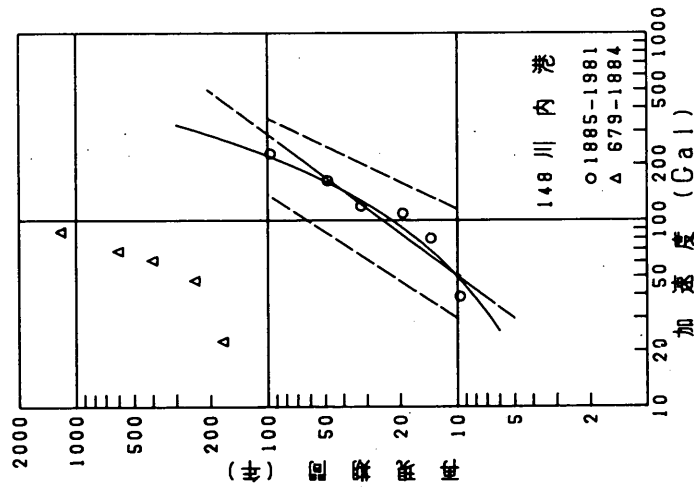
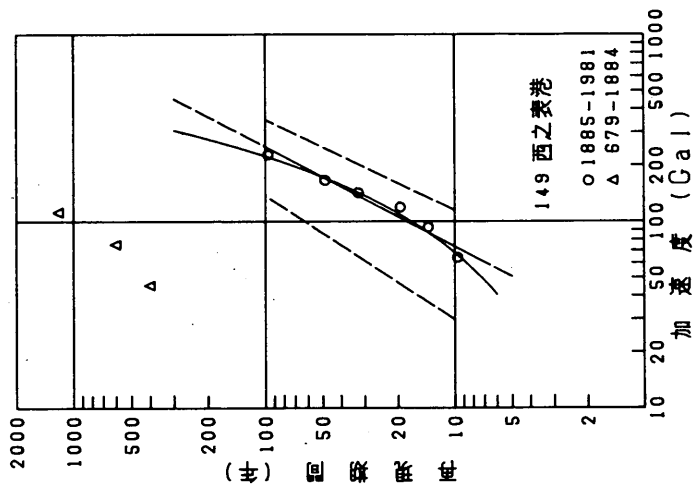
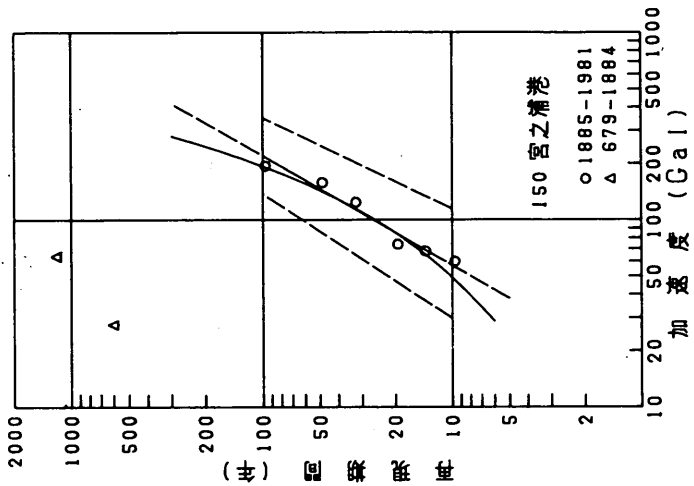


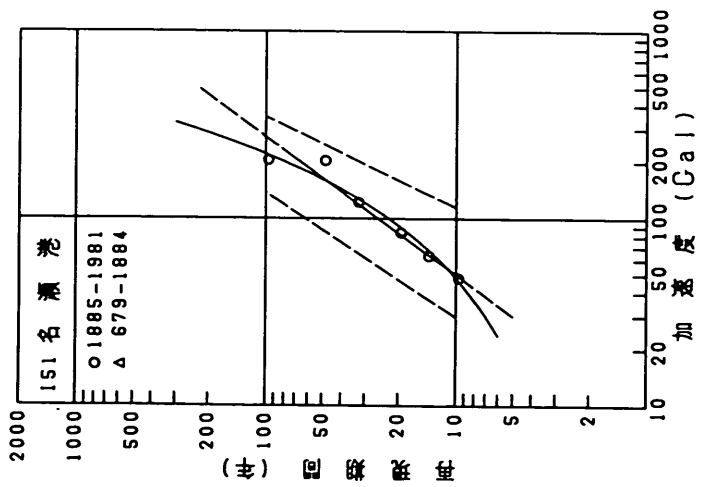
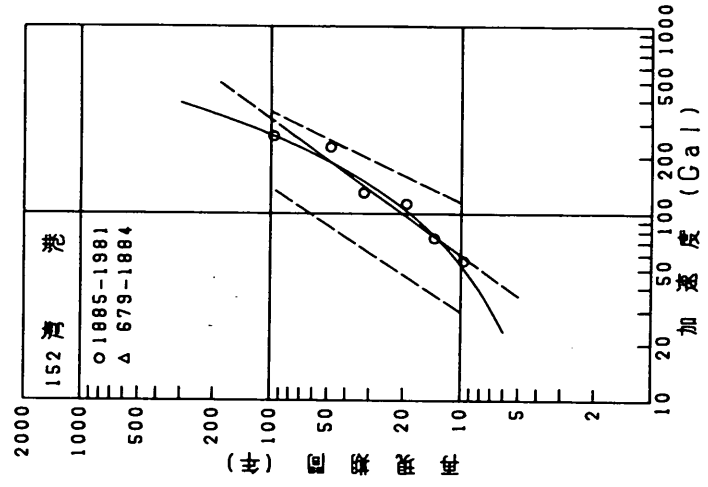
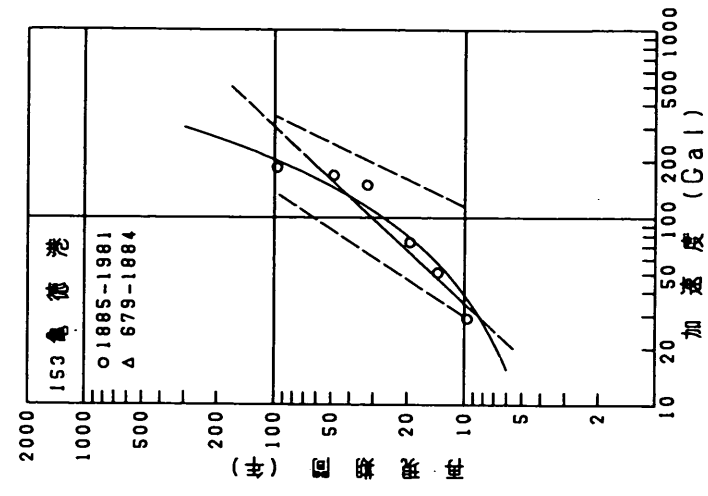


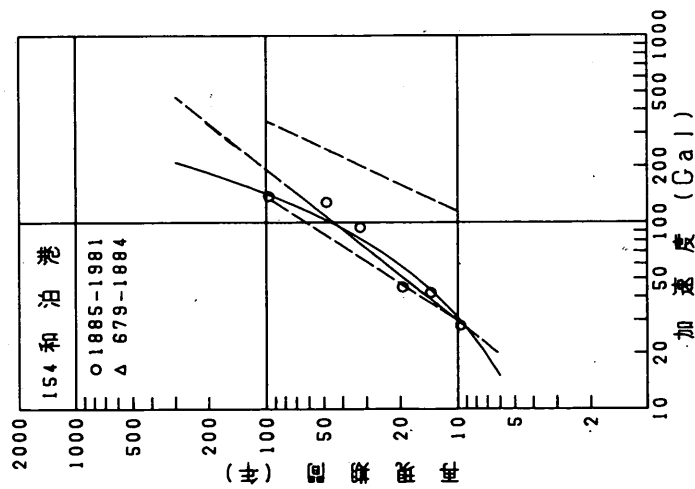
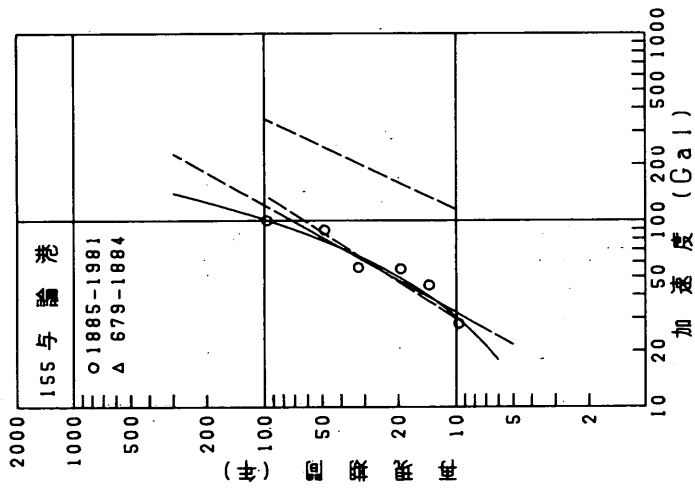
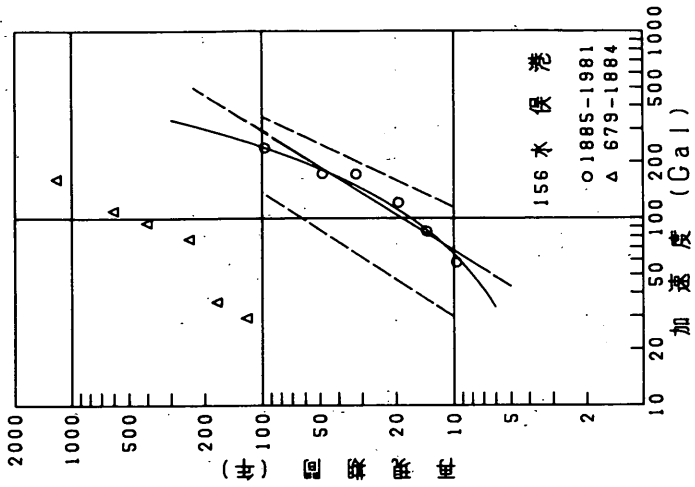


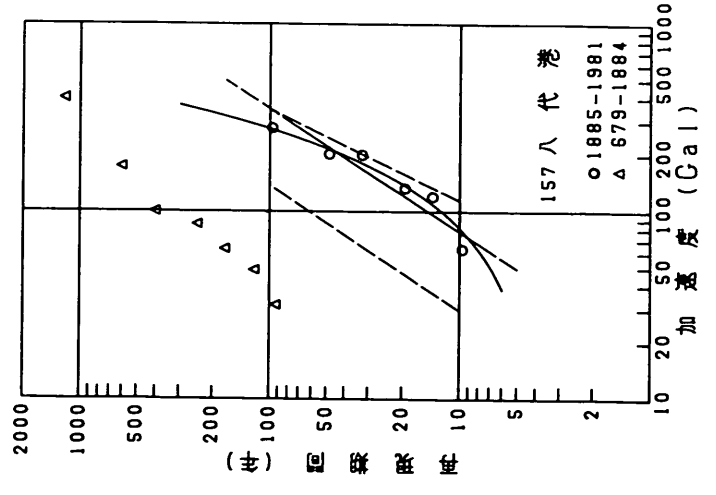
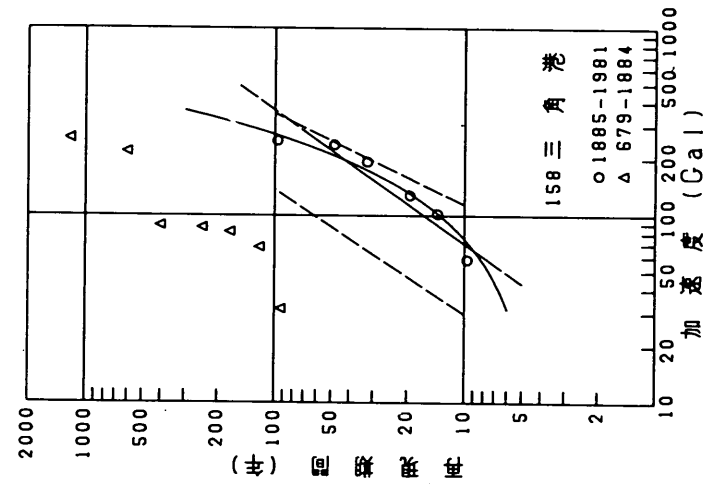
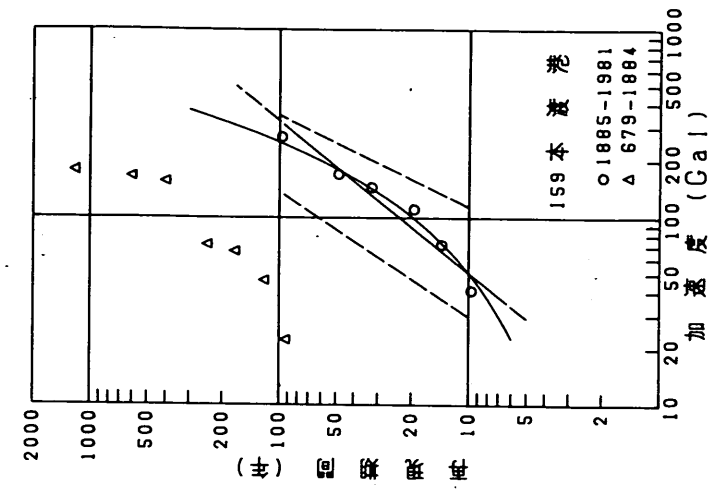


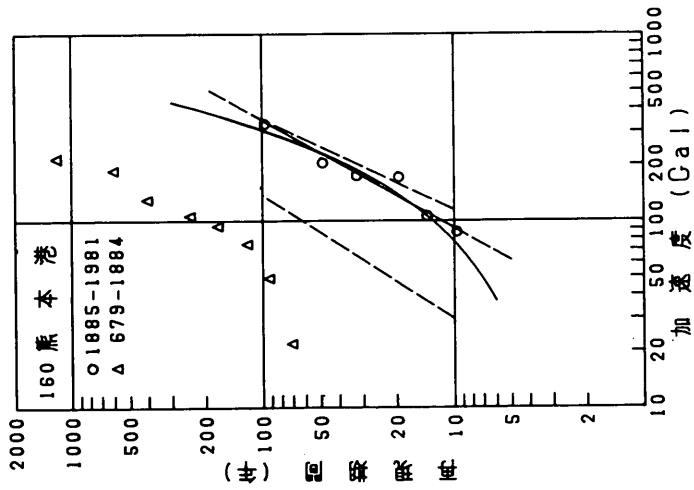
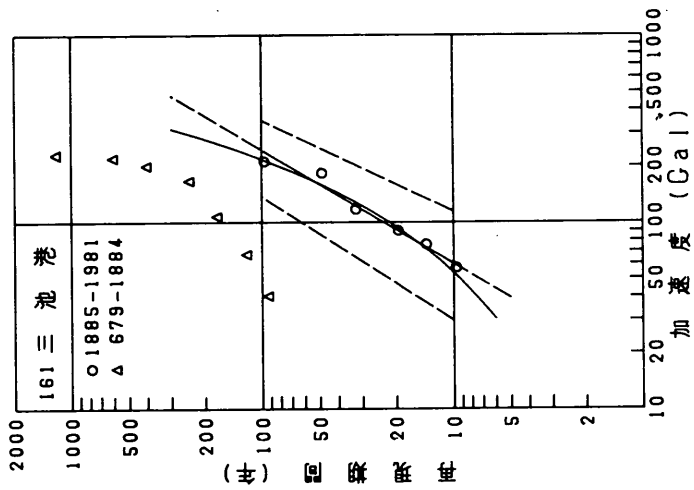
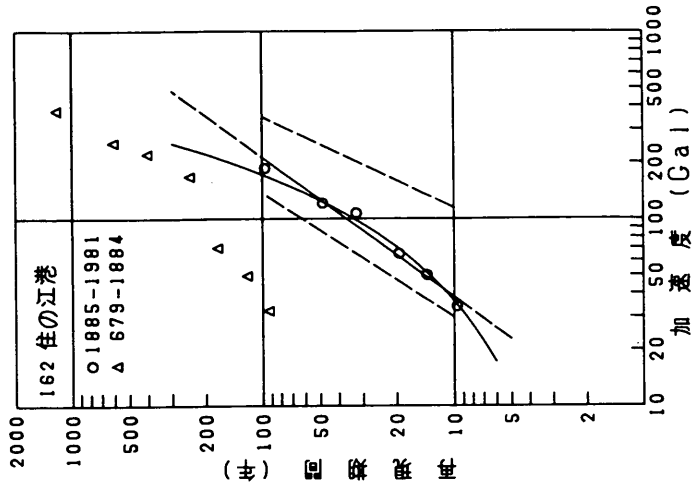


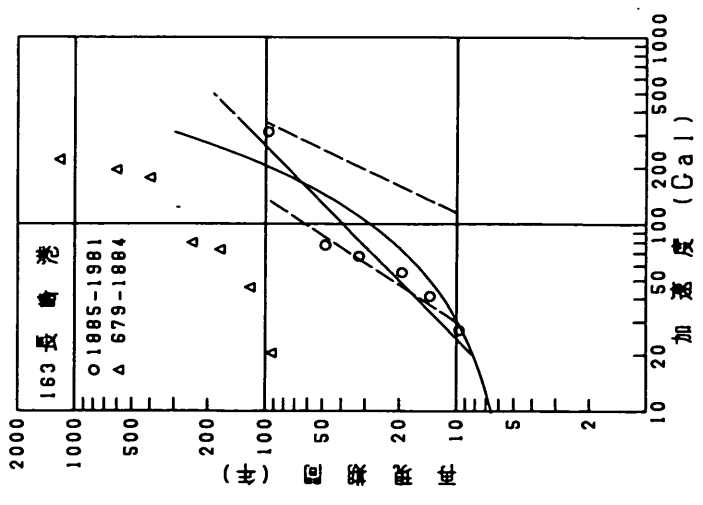
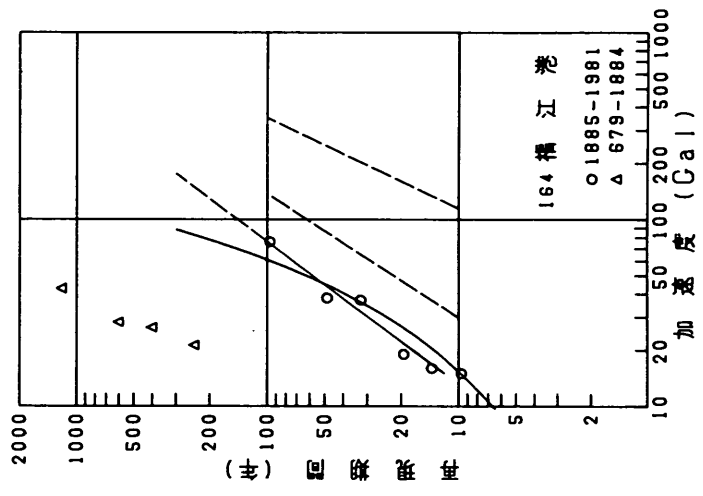
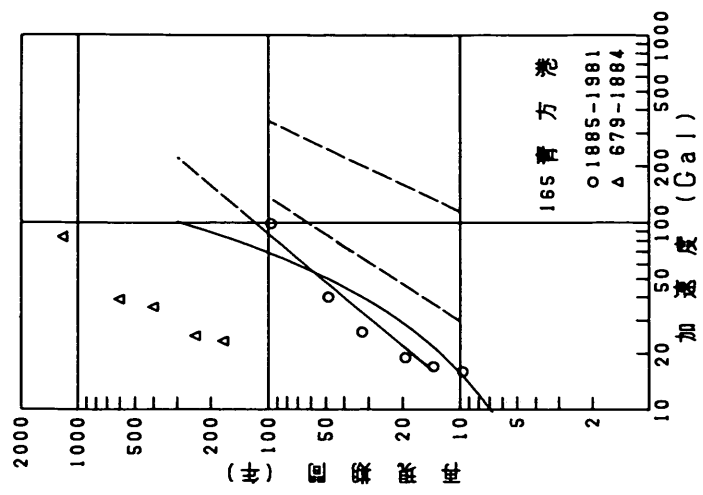


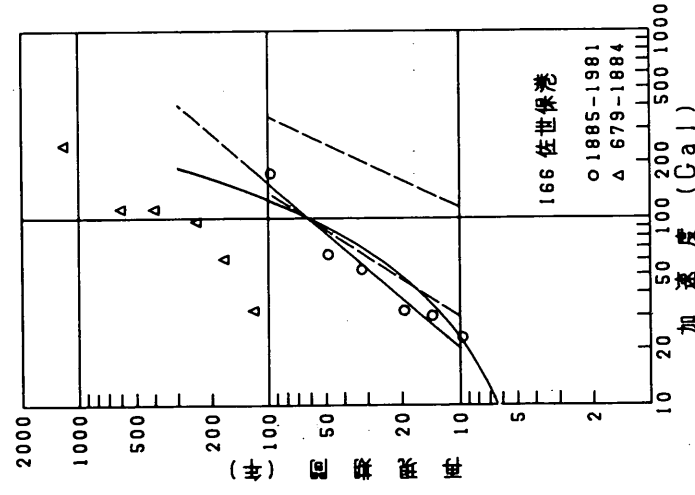
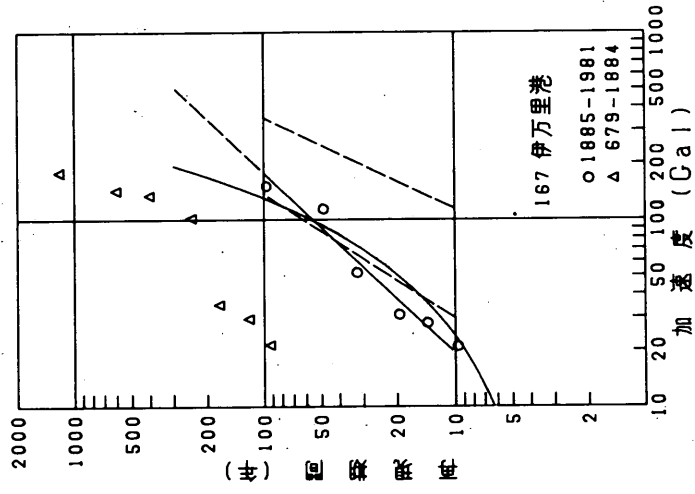
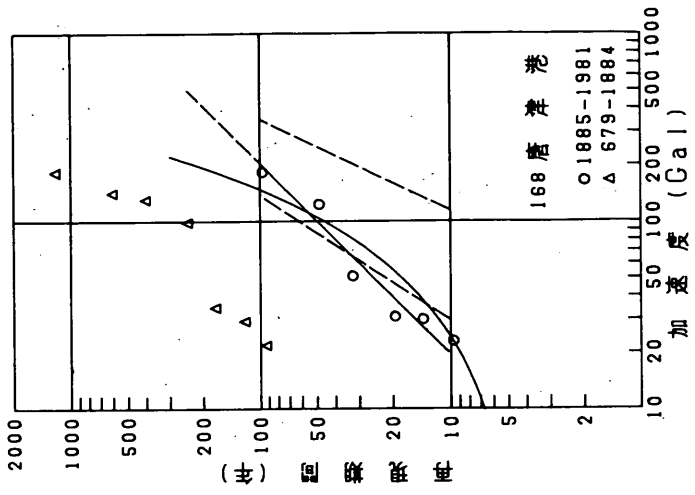


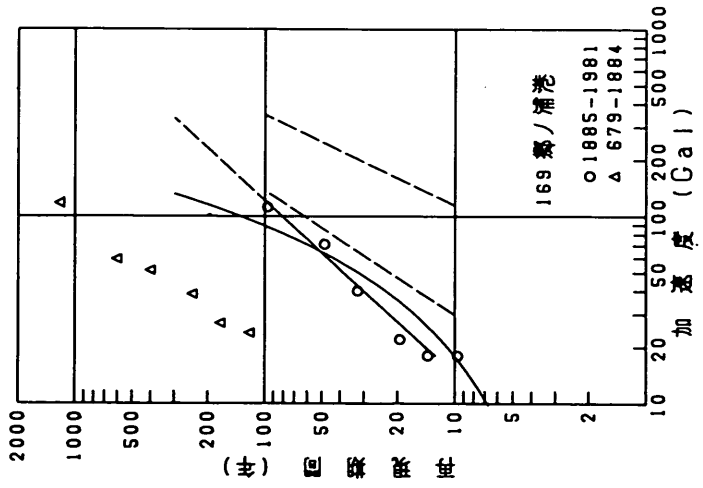
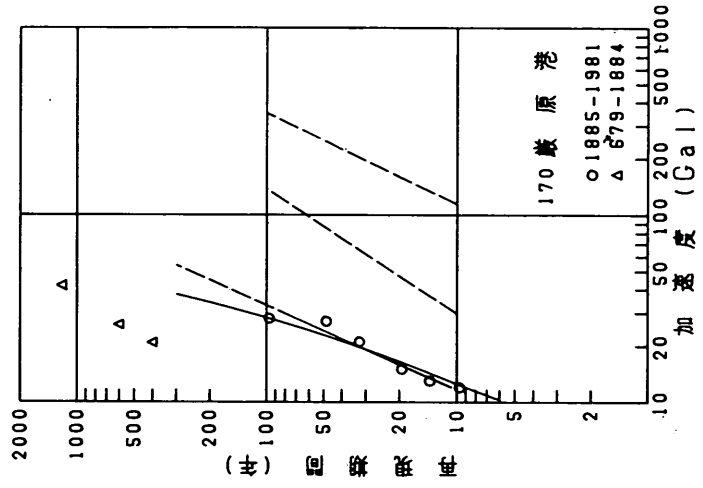
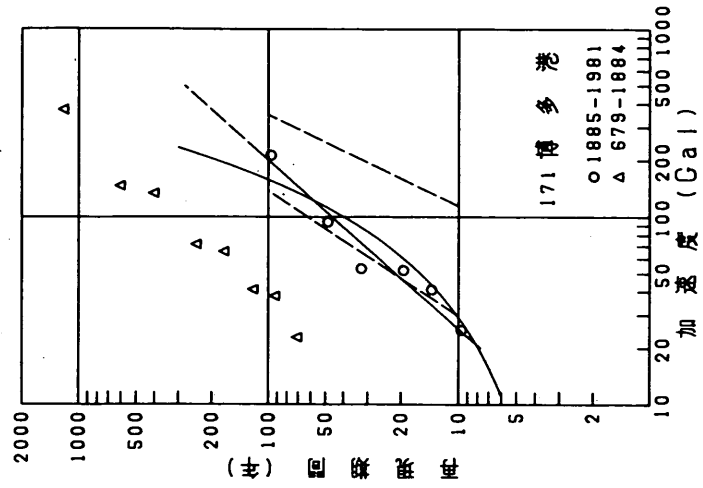


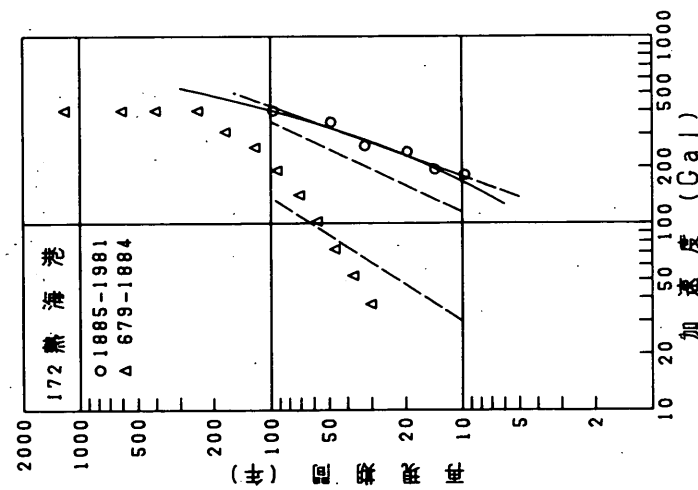
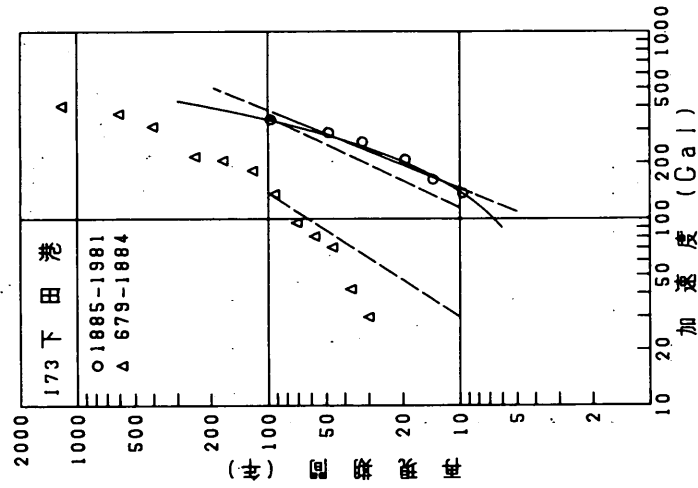
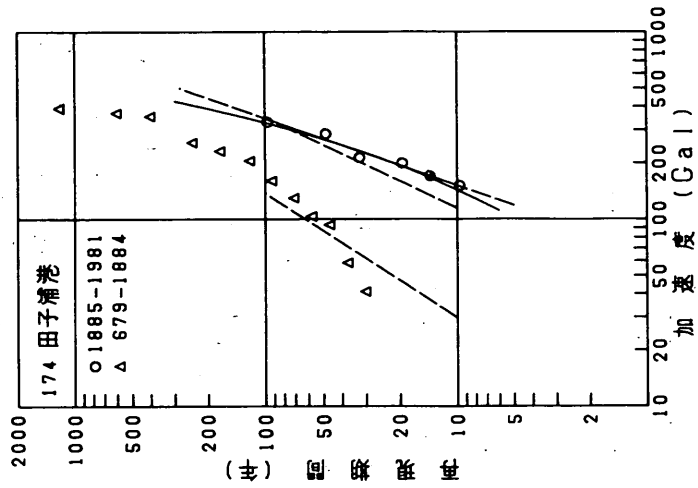


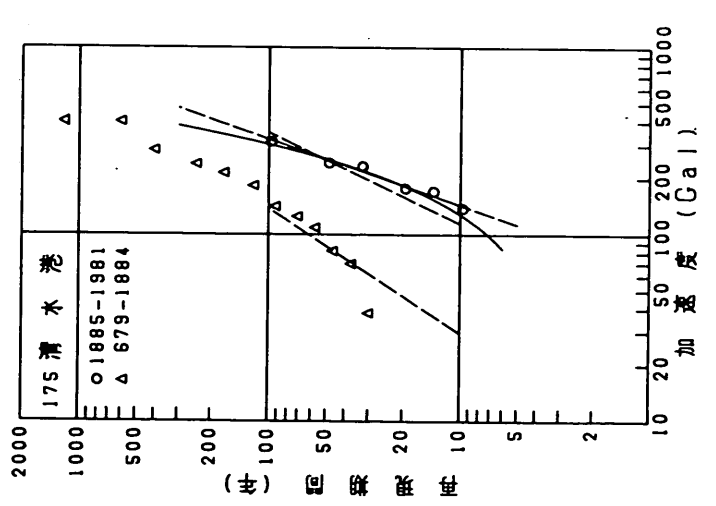
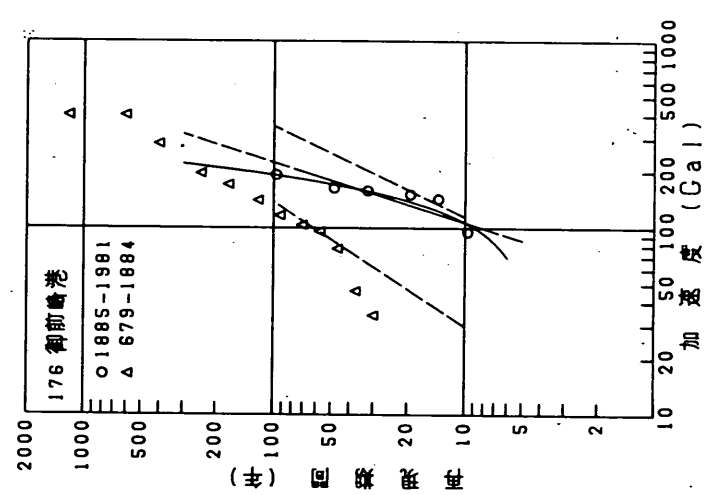
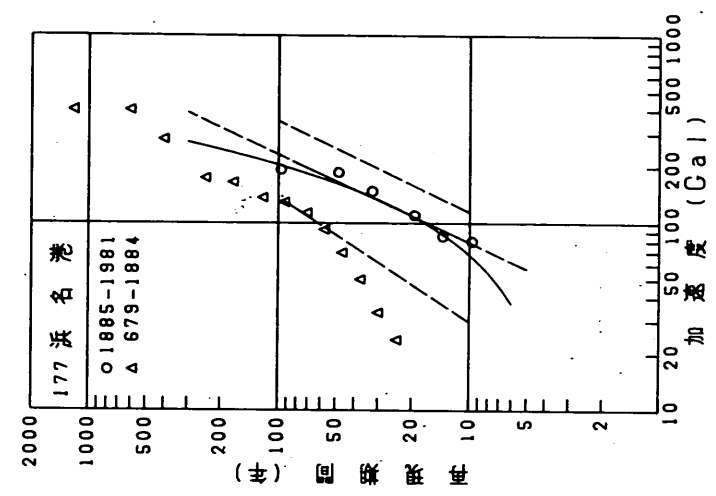


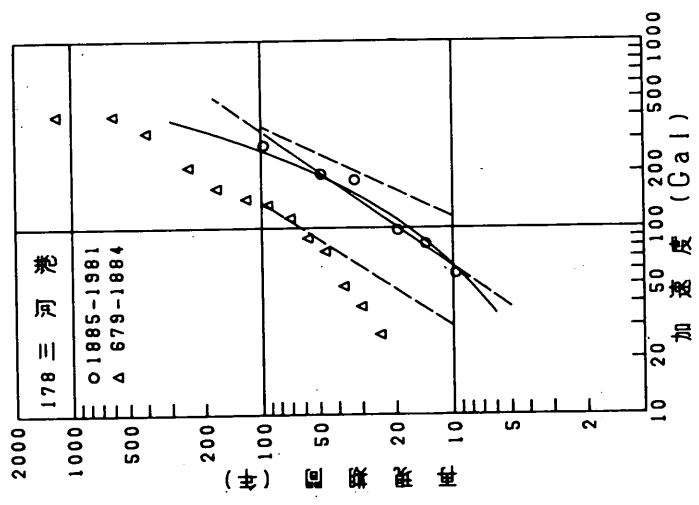
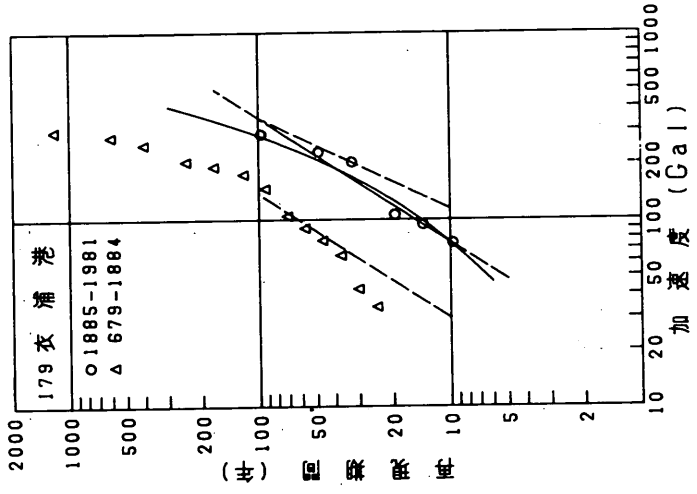
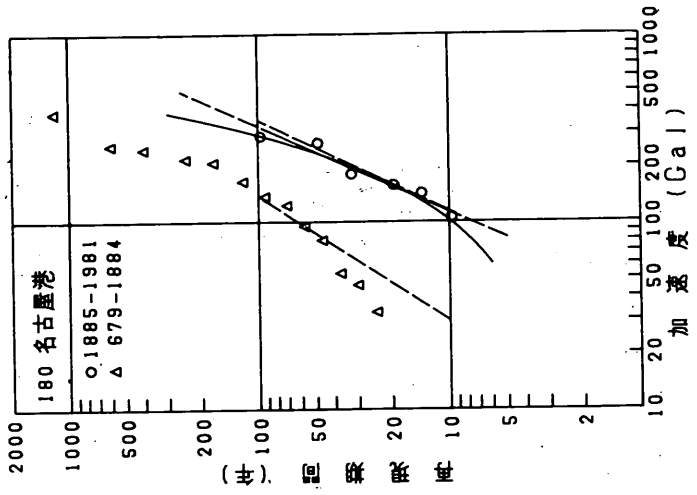


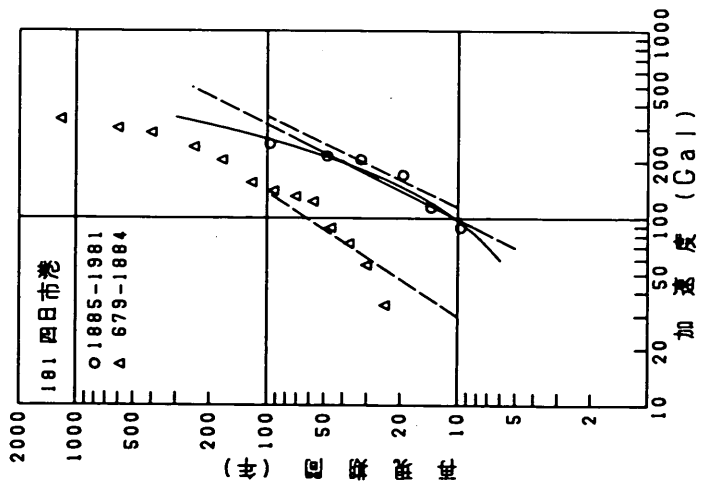
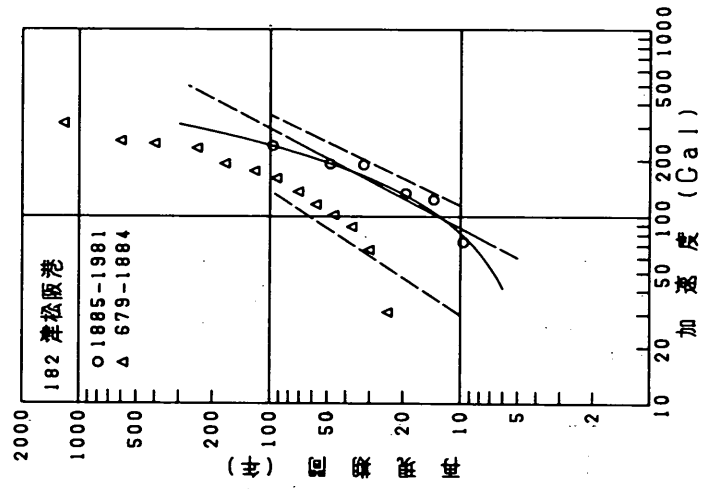
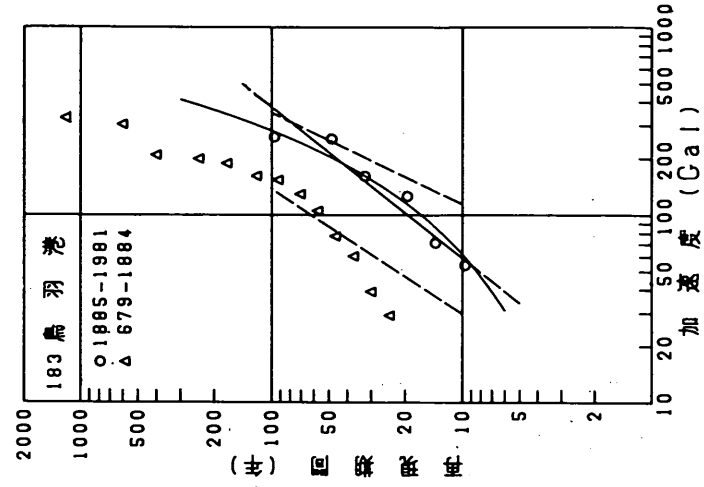


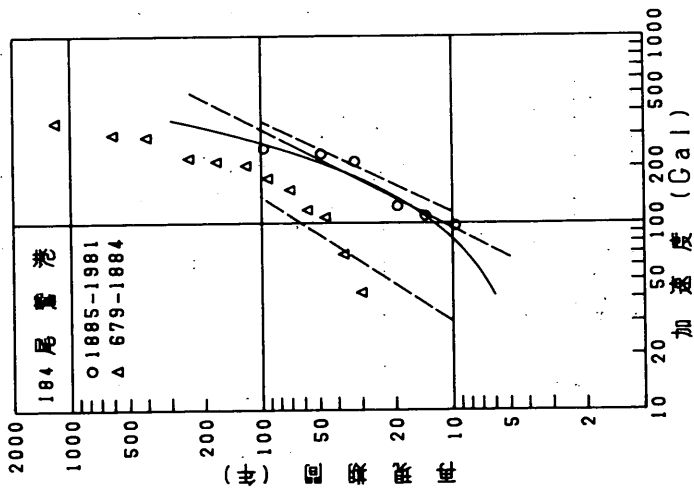
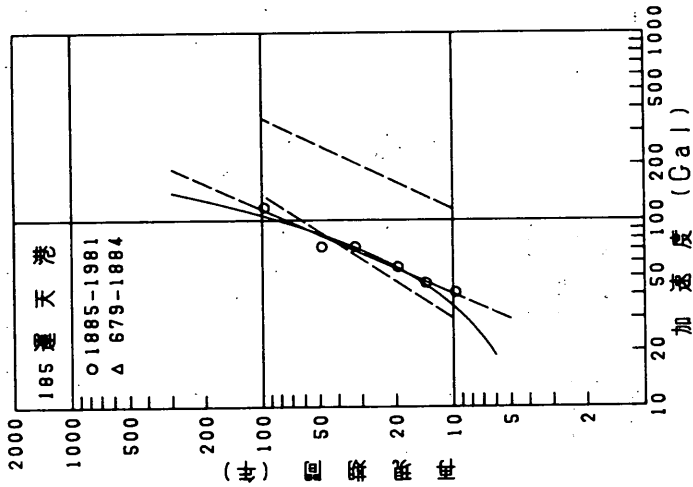
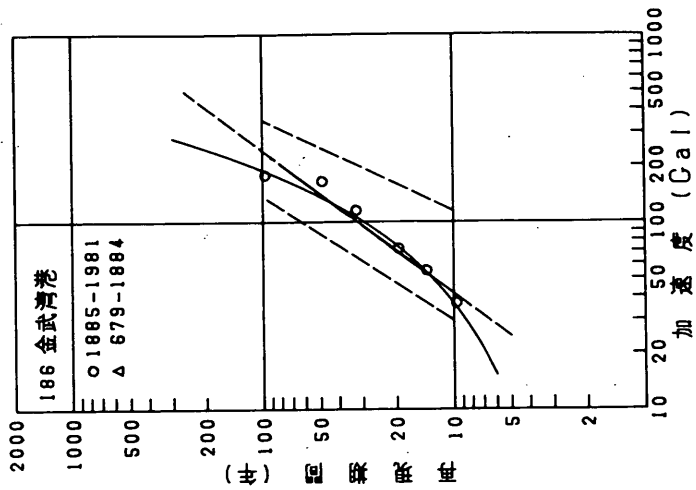


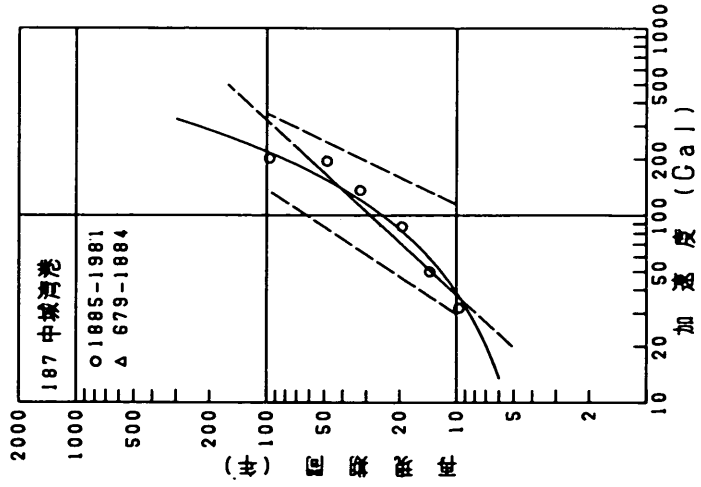
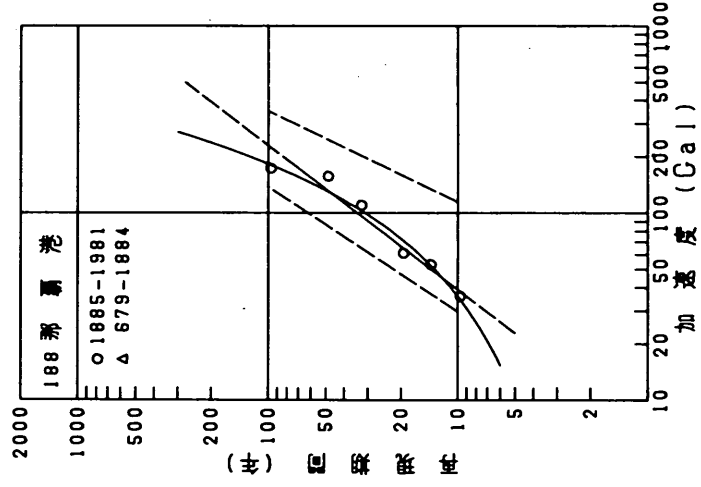
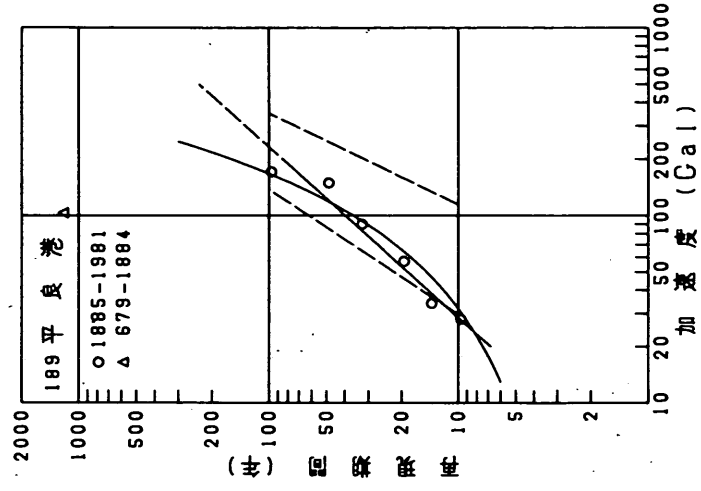


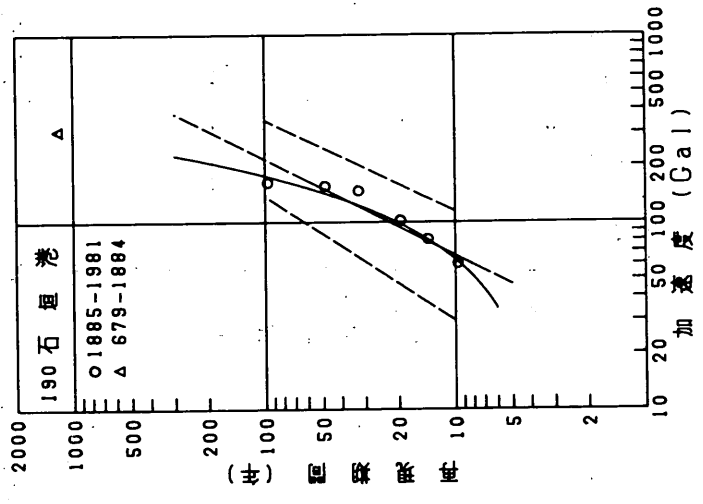












● 付録－C 各地点の最大加速度データと
回帰係数

地 点 名	最 大 加 速 度 (Gal)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 稚内港	51	43	21	17	15	13	13	13	12	12	12	11	11	10	10
2 枝幸港	60	29	28	25	22	20	20	19	16	15	15	15	15	15	14
3 纹别港	122	94	52	40	39	26	25	23	23	22	21	21	21	20	20
4 網走港	186	131	128	104	85	80	59	51	49	47	44	42	41	41	36
5 宇登吕渔港	118	99	88	80	70	68	68	68	66	65	59	56	53	51	50
6 榎津室多港	145	140	130	111	107	94	91	91	85	83	81	80	76	72	71
7 根室多港	202	200	181	161	157	132	124	122	122	120	116	107	101	99	97
8 霧網布港	222	214	162	152	145	144	132	126	103	100	100	99	94	94	93
9 釧路港	265	171	144	144	144	123	110	108	106	95	92	91	87	85	82
10 十勝港	254	209	178	178	176	172	169	161	159	156	150	148	129	124	120
11 浦河小港	400	228	213	184	183	183	173	164	158	156	150	148	143	143	130
12 苫小圃港	153	113	107	89	86	84	83	78	73	65	57	55	55	48	47
13 室蘭港	88	87	85	79	74	58	50	46	46	45	45	40	39	38	35
14 森路港	81	74	71	59	42	42	41	40	38	37	37	36	35	33	31
15 函館差港	98	95	78	71	71	67	61	55	54	51	51	51	43	42	41
16 江差港	72	62	59	38	35	33	33	32	31	28	28	28	28	28	28
17 洞内港	53	52	50	37	29	23	22	22	22	20	20	20	19	19	19
18 岩内港	95	88	63	63	51	37	33	29	28	27	27	21	21	20	20
19 小樽港	132	76	73	73	54	49	40	36	32	30	24	24	23	23	20
20 白石新港	134	79	65	62	62	56	42	40	39	36	28	26	24	24	23
21 石狩湾新港	137	79	66	62	61	56	42	40	40	35	28	26	24	24	24
22 留萌港	178	160	71	68	65	34	29	27	24	23	17	17	17	16	16
23 羽幌港	182	110	69	58	34	19	19	17	17	15	15	15	14	14	14
24 天塩港	57	45	24	22	18	18	15	15	15	14	14	14	13	12	12
25 能代港	224	224	159	141	130	124	80	69	64	57	50	49	45	44	44
26 船川港	400	188	186	156	121	97	93	83	62	61	53	49	47	43	36
27 秋田港	272	218	215	136	116	99	86	76	74	72	62	62	53	52	41
28 本荘港	271	205	199	143	133	123	89	81	67	52	44	42	42	37	37
29 酒田港	400	216	149	129	92	84	59	59	53	49	47	43	42	38	36
30 茂船港	336	247	119	103	82	73	55	45	45	42	41	41	39	37	34
31 加路港	318	127	43	42	42	41	39	37	37	36	35	34	32	28	28
32 岩手港	274	75	67	59	49	37	36	36	29	28	28	28	27	27	27
33 西津港	173	42	41	36	32	25	24	22	22	22	21	21	21	20	20
34 小泊港	149	43	43	39	32	28	25	24	22	20	20	20	20	20	20
35 柏崎港	189	135	127	124	121	110	81	71	56	55	49	42	40	34	33
36 江津老港	199	166	116	115	105	94	92	90	87	76	67	64	64	48	46
37 伏木富山港	142	114	106	104	90	79	68	64	64	59	50	48	46	35	35
38 七尾港	153	130	129	111	103	92	81	62	59	56	56	34	31	30	29
39 飯田港	226	162	114	91	87	72	58	51	51	42	39	33	31	31	28
40 輪島港	273	119	82	80	47	47	43	42	38	29	26	23	21	21	19
41 福山港	185	132	121	91	56	45	43	40	34	34	26	23	21	21	20
42 福浦港	400	167	117	102	93	84	50	44	40	39	32	31	30	28	27
43 福井港	197	192	173	173	158	153	75	70	61	58	53	50	47	45	39
44 金井港	400	276	248	221	184	180	114	103	74	73	58	45	45	42	41
45 敦賀港	265	254	232	199	187	167	154	109	105	85	82	73	70	64	60
46 和田港	291	236	158	152	140	128	127	103	90	80	77	53	52	49	44
47 深浦港	151	129	123	112	78	74	73	63	58	50	48	44	42	34	33
48 青森港	161	107	103	99	96	95	78	67	64	64	59	56	56	55	55
49 野辺地港	189	158	150	142	139	134	122	96	91	89	82	78	76	68	66
50 大湊港	213	148	137	136	110	107	105	105	104	102	98	74	74	72	66

					(1) 両対数軸上の線型回帰分析			(2) 極値統計理論		Weibull	
16	17	18	19	20	係数 A	係数 B	相関係数	係数 B	係数 A	相関係数	分布の指数
9	9	8	0	0	-.324089	1.31254	.963894	4.31657	9.77285	.938494	0.75
14	14	14	13	13	-1.03216	1.73868	.966177	10.8983	8.54279	.935807	0.75
20	19	19	18	18	-.600238	1.20708	.984845	9.93931	22.2749	.947633	0.75
35	35	35	32	31	-1.68998	1.57911	.975216	27.2944	35.8016	.990354	0.75
49	47	45	42	39	-5.27705	3.50016	.985903	41.404	24.4098	.990545	1.00
69	65	59	55	55	-5.70989	3.47619	.95495	51.6277	40.9297	.989289	1.25
96	95	93	90	78	-6.17053	3.44768	.937821	79.8054	49.4285	.983208	1.10
93	86	81	72	71	-4.49614	2.7016	.960524	70.8543	52.0573	.984101	1.00
79	75	71	68	64	-3.5509	2.30169	.972853	69.146	39.3988	.980015	0.75
118	117	117	107	106	-9.12449	4.64343	.962513	101.893	56.8343	.976775	1.25
129	118	111	100	100	-4.14995	2.3958	.94732	110.834	52.6535	.945544	0.75
45	42	41	41	38	-4.19373	2.82904	.986679	36.2643	36.3633	.989914	1.00
34	34	34	31	29	-3.14174	2.48747	.87563	23.9107	30.3141	.963906	1.25
28	28	28	27	26	-2.51502	2.27049	.939922	25.8719	16.144	.972714	0.80
40	38	38	34	32	-4.59925	3.2301	.963649	29.2213	29.6269	.991377	1.25
27	25	24	21	21	-1.98403	2.06464	.960105	22.0561	11.5104	.966828	0.75
19	18	16	16	16	-1.24365	1.73717	.922953	15.227	9.95474	.951598	0.75
20	19	18	18	18	-1.33668	1.60117	.963154	15.067	19.8971	.981817	0.75
20	20	20	19	19	-1.41641	1.60139	.986764	14.8891	24.4343	.983906	0.75
22	22	21	21	21	-1.76538	1.77534	.97931	17.7353	23.6223	.981689	0.75
22	22	21	21	21	-1.67824	1.72746	.982045	17.5229	24.018	.980741	0.75
16	16	16	16	15	-.325275	.964106	.957112	1.82695	38.6013	.955264	0.75
14	14	14	14	14	1.26123E-03						
12	12	12	11	11	-.527646	1.40607	.973243	8.2601	9.63511	.947255	0.75
43	41	36	33	30	-1.59468	1.43327	.938164	24.7821	60.7568	.976955	0.80
35	35	33	29	27	-1.33606	1.2798	.984615	14.8822	73.7207	.971937	0.75
39	37	35	32	32	-1.74869	1.47284	.958385	29.6634	58.3358	.985303	0.75
36	35	33	31	31	-1.35279	1.30253	.942632	17.5376	70.3898	.988296	0.80
33	29	29	26	26	-.776314	1.05758	.997703	5.31089	73.5492	.961211	0.75
33	32	30	28	28	-.648521	1.01773	.987332	6.70695	65.0598	.953363	0.75
26	25	24	23	23	-.173755	.875628	.912653	2.34209	47.6558	.838108	0.75
26	26	24	24	23	-.401168	1.01596	.960254	5.5075	40.2994	.84902	0.75
20	19	18	18	18	-.254705	1.04378	.920254	6.87286	23.8741	.818156	0.75
20	19	19	19	18	-.396134	1.13801	.944731	9.01775	21.096	.851201	0.75
33	33	28	27	26	-2.30622	1.83265	.934115	13.3601	63.2011	.97997	1.10
37	29	28	28	27	-3.3546	2.30745	.985249	22.2921	62.3942	.986873	1.10
34	32	27	26	25	-3.51977	2.52008	.977442	16.065	52.1395	.993892	1.25
28	28	26	25	24	-2.84407	2.12463	.928802	7.78106	63.6555	.980871	1.25
28	23	23	21	20	-1.22746	1.33619	.989366	14.3017	45.3433	.993588	0.75
19	19	18	18	18	-.499649	1.03599	.992786	1.0178	47.1033	.932341	0.75
19	18	18	16	16	-.848563	1.20258	.973655	7.80853	39.4827	.985149	0.75
23	22	22	21	19	-.585895	.996898	.989743	-3.35881	69.9693	.934244	0.75
35	27	26	25	23	-1.49468	1.38833	.863477	1.31108	93.0476	.949335	1.25
41	33	32	22	21	-1.55202	1.31478	.963241	9.50216	105.207	.990318	0.80
60	52	46	46	43	-2.51062	1.74213	.878647	16.8462	113.432	.979333	1.25
42	39	37	37	31	-2.52382	1.79652	.974323	28.4666	71.7373	.993885	0.80
33	28	27	26	21	-2.35256	1.91939	.954939	15.2711	51.8911	.98671	1.10
51	49	47	42	42	-3.79956	2.63176	.965606	43.403	29.4738	.979991	0.80
66	66	59	59	55	-5.17719	3.09132	.936643	44.9926	61.0544	.983566	1.25
60	53	52	46	45	-4.79641	2.94155	.972898	39.1572	63.2322	.976007	1.25

		最 大 加 速 度 (Gal)														
地 点 名		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5 1	大 同 港	119	114	104	96	91	81	74	73	73	72	67	66	64	57	53
5 2	尻 崎 港	190	182	169	163	155	135	126	126	121	117	116	115	110	104	103
5 3	む つ 小 港	266	193	181	177	160	149	141	126	105	103	103	100	95	91	91
5 4	八 戸 港	225	192	171	170	157	156	144	135	134	114	102	97	87	83	81
5 5	五 久 港	225	199	182	175	165	164	158	143	140	134	128	118	102	101	101
5 6	六 官 港	223	167	145	140	132	127	123	115	105	104	99	91	90	89	83
5 7	七 釜 港	210	160	159	156	139	128	121	120	119	116	115	114	114	112	111
5 8	八 大 港	188	170	160	154	151	143	141	141	140	131	130	130	130	127	123
5 9	九 氣 港	213	200	177	161	155	148	138	137	130	129	128	128	127	126	126
6 0	0 女 港	227	213	202	198	185	181	178	164	147	134	132	131	130	123	122
6 1	1 石 港	251	194	191	179	174	168	155	142	128	124	118	118	106	104	104
6 2	2 壘 港	229	172	171	157	154	135	127	126	119	115	114	109	89	86	82
6 3	3 相 港	179	175	170	158	142	142	139	128	122	115	114	113	113	109	99
6 4	4 久 港	212	206	204	194	184	170	161	155	144	143	140	139	131	126	120
6 5	5 小 港	206	187	186	175	174	173	172	166	164	157	144	132	129	118	116
6 6	6 日 港	236	213	203	197	169	162	154	154	152	151	134	132	131	122	121
6 7	7 大 港	236	217	183	181	177	167	159	153	138	135	132	127	123	123	122
6 8	8 大 港	228	188	180	175	173	155	155	144	143	126	125	124	124	123	121
6 9	9 興 港	367	277	188	172	136	134	126	120	120	112	108	107	106	104	103
7 0	0 水 港	288	215	201	199	199	190	185	169	164	163	142	141	139	132	131
7 1	1 千 港	247	207	183	182	175	167	160	155	152	142	140	133	122	122	120
7 2	2 東 港	260	237	232	228	205	177	171	171	166	161	157	153	152	149	144
7 3	3 川 港	347	280	242	220	204	201	185	177	177	166	159	156	147	145	137
7 4	4 横 港	314	290	289	266	210	198	192	187	185	171	170	144	138	136	134
7 5	5 横 港	318	244	224	215	208	187	182	179	169	168	163	156	153	142	130
7 6	6 横 港	400	397	307	283	272	199	197	187	167	163	157	127	112	110	94
7 7	7 三 港	271	253	188	180	148	144	143	128	122	121	121	114	110	93	83
7 8	8 八 港	86	81	79	72	66	57	52	48	45	41	39	38	33	31	30
7 9	9 八 港	400	189	189	153	143	111	108	101	93	91	84	51	50	50	38
8 0	0 久 港	400	377	196	179	129	115	102	76	72	69	51	45	31	30	27
8 1	1 架 港	391	310	261	217	148	102	100	72	62	56	55	37	26	25	22
8 2	2 架 港	400	188	174	160	88	76	67	52	44	30	21	21	21	20	20
8 3	3 赤 港	278	146	128	94	94	91	84	74	58	57	38	31	28	28	28
8 4	4 赤 港	288	173	159	159	64	56	51	47	45	44	43	39	34	34	18
8 5	5 西 港	128	50	47	38	31	29	24	19	18	18	18	18	16	13	13
8 6	6 松 港	179	179	176	140	111	76	45	42	41	34	32	28	25	20	17
8 7	7 松 港	209	141	74	67	63	45	45	37	30	26	23	22	22	21	21
8 8	8 浜 港	133	112	82	72	57	34	32	30	29	25	25	24	23	20	19
8 9	9 浜 港	197	119	105	39	38	37	31	31	27	26	26	25	23	22	19
9 0	0 袋 港	312	277	239	231	185	151	135	127	108	92	89	68	67	64	59
9 1	1 文 港	400	256	247	202	197	169	154	146	144	140	130	129	110	104	104
9 2	2 里 港	242	203	162	147	141	135	117	115	115	113	112	112	90	90	88
9 3	3 和 港	194	165	155	152	145	133	129	123	108	106	98	91	89	75	75
9 4	4 阪 港	239	174	149	148	139	131	125	110	92	85	67	65	55	54	53
9 5	5 堺 港	218	164	149	141	140	138	119	111	80	73	70	63	61	60	59
9 6	6 大 港	201	157	154	147	135	135	111	111	72	72	71	66	64	64	55
9 7	7 尼 港	216	156	154	146	123	118	99	94	76	76	74	62	59	56	54
9 8	8 神 港	228	145	135	107	102	90	83	83	79	69	59	58	57	44	41
9 9	9 姫 港	150	146	136	129	118	103	88	77	60	57	52	51	44	43	41
1 0 0	0 洲 港	177	167	140	122	114	113	92	91	89	85	81	76	75	74	72

					(1) 両対数軸上の線型回帰分析			(2) 極値統計理論			Weibull
16	17	18	19	20	係数 A	係数 B	相関係数	係数 B	係数 A	相関係数	分布の指数
50	48	46	46	45	-6.0032	3.76994	.956081	35.2948	41.8884	.990947	1.50
101	101	97	95	84	-7.43187	4.05236	.94501	83.7247	47.0086	.986662	1.25
89	88	84	82	77	-4.32461	2.59077	.971529	76.6611	49.3548	.989039	0.80
79	76	71	66	65	-6.36317	3.52249	.976362	44.9513	86.0489	.989348	1.50
101	98	96	82	74	-8.87407	4.59649	.986286	67.5697	76.2572	.991711	1.50
82	79	79	78	76	-5.41425	3.17008	.988769	74.8691	37.2091	.991573	0.80
106	105	105	102	102	-6.88519	3.83389	.982959	101.992	22.7518	.983742	0.75
121	119	116	115	110	-12.8357	6.50837	.99586	109.664	30.7606	.994451	1.25
120	117	109	105	105	-7.77388	4.14784	.984089	105.826	35.7044	.986803	1.00
116	115	113	111	111	-7.91014	4.11159	.902423	91.0065	69.3015	.97926	1.50
100	99	98	95	92	-6.35808	3.46458	.965706	83.8301	58.6048	.987959	1.00
81	80	77	77	76	-6.0128	3.38952	.977262	68.1985	55.7739	.987473	1.10
98	98	94	91	87	-8.47889	4.54595	.924669	78.1325	52.7588	.987482	1.50
115	115	115	114	112	-9.69123	4.91616	.913379	95.7092	62.0418	.981176	1.50
115	112	109	109	108	-18.7843	8.96743	.974098	83.1822	73.7758	.968792	2.00
119	116	114	112	112	-8.79624	4.51188	.981069	104.974	49.8486	.990591	1.10
119	115	115	115	114	-7.76337	4.07176	.973822	107.063	43.6409	.991367	1.00
119	119	119	110	110	-7.71808	4.09261	.955966	107.473	38.3477	.986663	1.00
101	101	98	96	96	-2.5601	1.76631	.985664	79.3929	56.82	.963468	0.75
126	126	120	112	107	-8.36549	4.23775	.951589	102.308	67.6764	.97912	1.25
119	117	115	112	112	-8.35178	4.32621	.990744	108.089	44.2056	.992773	1.00
144	138	118	113	112	-8.4403	4.2598	.95845	101.925	77.1079	.981832	1.50
134	129	125	124	123	-5.8592	3.08815	.999587	121.486	58.5599	.997041	0.80
131	131	128	126	122	-6.09424	3.16745	.949414	108.64	82.0706	.978411	1.00
119	115	113	113	109	-7.22594	3.6995	.989484	105.693	71.2663	.987508	1.10
94	85	85	82	79	-3.91938	2.19524	.946881	55.2843	137.298	.986319	1.10
76	73	70	68	65	-4.28519	2.53795	.975726	63.28	70.3536	.986565	1.00
28	27	26	26	25	-3.40036	2.6633	.915687	18.807	31.1621	.983633	1.25
34	31	30	30	28	-2.07453	1.58204	.976031	24.1	73.0317	.971062	0.75
25	24	24	22	21	-1.16354	1.16017	.97178	3.53672	93.2938	.978147	0.75
22	20	20	18	17	-1.01269	1.09359	.957731	1.77782	93.3504	.989218	0.75
17	17	17	17	17	-4.450844	.914192	.978098	-8.55347	78.6013	.967839	0.75
23	20	16	15	15	-1.7474	1.54281	.987247	12.0867	52.9872	.978622	0.75
17	17	14	14	14	-7.736448	1.07972	.976965	4.18187	59.8056	.971169	0.75
12	12	12	11	11	-5.00777	1.20801	.982931	4.87526	21.1367	.930122	0.75
16	16	16	16	15	-5.50052	.993113	.875732	-4.15784	70.4483	.951162	1.00
18	16	15	14	14	-6.30696	1.10498	.983246	3.76341	40.6776	.970559	0.75
19	17	16	16	15	-7.44353	1.21577	.965723	10.2502	28.5503	.983501	0.75
19	18	18	17	17	-3.362696	.990555	.975069	4.36372	36.7906	.942396	0.75
56	35	33	30	30	-2.51021	1.72997	.94765	12.9344	117.348	.991048	1.10
80	80	69	64	57	-3.68036	2.18661	.987552	68.9373	81.7628	.984722	0.80
87	86	81	80	61	-4.66015	2.77568	.990801	75.6981	44.0133	.987082	0.80
73	66	64	54	51	-7.12754	3.95322	.969167	22.6303	96.9698	.994138	2.00
53	53	52	50	40	-3.70769	2.37971	.963856	36.6449	64.7326	.984401	1.00
45	45	45	42	37	-3.16318	2.15256	.928106	23.7963	77.873	.981979	1.25
42	42	40	40	37	-3.2746	2.22067	.92622	24.3431	74.7822	.979506	1.25
48	43	42	40	37	-3.30573	2.24207	.976357	28.2826	66.538	.991925	1.10
40	38	38	38	35	-2.62825	1.9626	.994159	36.0467	40.6937	.989884	0.75
40	37	32	30	29	-2.59937	1.97568	.874748	16.6137	63.6187	.972842	1.25
72	64	63	61	59	-4.21845	2.69828	.971865	55.5329	41.8404	.990508	1.00

		最 大 加 速 度 (Gal)														
地 点 名		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
101	岡山港	126	101	84	73	61	56	55	54	48	45	43	41	34	32	31
102	山野港	109	100	71	68	64	53	50	41	41	36	34	34	33	33	30
103	水尾港	103	89	76	62	55	51	43	38	34	33	32	31	30	30	29
104	福山港	115	87	81	80	54	54	50	46	42	40	36	32	31	31	25
105	尾道港	160	90	86	81	74	72	71	60	44	43	34	33	30	30	29
106	糸島港	236	144	142	80	59	57	55	42	36	34	34	34	33	31	29
107	小松港	218	120	119	73	67	55	49	47	46	42	37	36	32	29	27
108	八幡島港	175	168	165	135	124	120	105	97	89	80	74	63	63	61	60
109	小幡港	202	182	180	158	123	119	94	89	88	87	85	79	69	66	60
110	浅川港	254	189	173	169	157	107	105	103	85	83	81	72	43	41	39
111	深室港	309	190	140	130	129	105	104	88	60	59	58	52	49	41	39
112	高須港	168	125	96	81	74	64	60	55	49	44	43	41	39	32	28
113	須崎港	123	110	99	94	79	63	57	54	51	37	36	36	33	31	30
114	あしり港	212	163	149	163	90	89	88	78	74	62	60	57	54	53	46
115	片島港	204	182	150	133	110	94	84	83	77	72	66	65	63	60	60
116	宇和島港	186	147	147	107	97	91	75	72	60	58	55	50	47	43	41
117	和嶺港	187	145	114	112	104	104	74	67	65	57	57	54	47	46	42
118	八松山港	208	136	127	112	103	71	71	53	39	38	37	36	34	32	31
119	今治港	186	128	126	102	75	58	48	48	44	39	39	35	34	31	29
120	子居港	166	157	106	86	80	62	56	52	48	42	41	36	34	29	29
121	新居浜港	218	145	92	84	60	60	53	52	51	51	39	33	30	29	27
122	坂之江港	200	106	103	90	79	63	47	47	43	42	39	33	32	31	27
123	三坂出港	102	86	81	69	69	60	51	47	44	42	42	30	30	29	28
124	高岩港	111	95	87	77	61	56	51	50	49	44	38	38	34	28	27
125	岩田山港	219	136	104	103	61	53	50	49	43	36	35	33	33	32	31
126	岩田山港	158	100	83	81	63	63	58	57	51	48	46	43	40	40	35
127	宇野田港	126	93	75	72	65	54	52	51	51	46	44	42	33	32	26
128	三宇野港	88	79	75	65	46	46	45	40	38	38	29	29	29	29	27
129	小野田港	79	77	73	60	46	45	42	38	35	34	30	27	27	27	27
130	下関港	64	58	54	50	46	46	37	35	35	34	29	29	29	28	26
131	萩港	194	161	94	33	33	32	29	29	25	25	25	24	24	20	19
132	北九州港	64	55	55	54	48	48	41	36	36	32	32	31	30	30	26
133	刈田港	83	79	53	51	47	45	45	43	41	40	37	37	35	32	29
134	刈田港	221	150	126	83	69	68	67	59	56	54	50	50	41	40	38
135	大分港	259	194	142	117	105	92	89	82	68	60	56	53	45	44	44
136	別府港	235	206	189	129	98	94	89	88	88	72	66	66	60	54	53
137	津久見港	263	154	150	144	131	106	102	88	83	83	77	74	70	70	69
138	津久見港	206	171	159	136	125	119	101	101	97	97	83	78	77	77	71
139	津久見港	204	188	179	173	170	158	150	144	138	117	117	113	108	108	98
140	高宮港	223	194	187	184	165	164	161	155	153	146	145	119	112	102	101
141	高宮港	286	203	184	131	180	161	158	151	143	139	133	133	118	115	97
142	志布志港	191	162	162	161	158	158	147	117	111	111	110	98	95	85	73
143	志布志港	215	144	115	115	115	113	108	106	102	83	82	79	77	68	67
144	志布志港	182	160	147	117	67	65	64	63	59	58	57	48	46	45	42
145	大鹿港	400	231	175	117	81	76	71	64	59	57	57	55	51	50	45
146	指宿港	249	223	126	90	89	71	67	56	54	49	47	45	45	44	43
147	平川港	223	198	157	76	65	62	40	38	38	36	36	34	33	32	32
148	内之川港	227	163	119	112	109	96	80	44	40	39	39	39	38	36	34
149	西之宮港	227	166	142	128	119	115	93	90	66	64	61	48	48	47	45
150	宮之浦港	194	158	124	80	74	73	68	63	62	60	37	37	36	36	36

					(1) 両対数軸上の線型回帰分析			(2) 極値統計理論			Weibull
16	17	18	19	20	係数 A	係数 B	相関係数	係数 B	係数 A	相関係数	分布の指数
29	27	25	23	23	-2.59237	2.15497	.994033	23.2934	27.8006	.996635	0.80
26	26	25	24	23	-2.14488	1.9605	.964287	21.679	24.8574	.990166	0.80
27	25	23	23	23	-1.91828	1.87307	.973206	22.3633	19.6607	.992465	0.75
24	24	24	22	21	-2.40834	2.10639	.987524	20.3643	20.0964	.990253	0.80
27	25	21	20	20	-2.17156	1.88942	.945382	18.7633	34.4101	.97422	0.80
26	23	23	23	22	-.756637	1.12041	.973301	10.5557	45.6754	.970911	0.75
25	23	21	21	21	-1.15507	1.33493	.986563	13.6209	40.0946	.975047	0.75
59	59	56	54	53	-3.82957	2.48559	.919198	42.9435	55.1732	.978091	1.10
55	55	50	50	49	-3.26709	2.19921	.943917	38.3677	64.6256	.982048	1.10
38	37	36	35	33	-2.92391	2.00236	.960097	16.1481	85.8098	.986429	1.10
36	34	32	25	24	-1.72161	1.47722	.970096	23.671	59.0483	.987503	0.75
28	26	26	25	24	-1.89833	1.72383	.994058	22.9815	32.0712	.99791	0.75
29	29	28	28	26	-1.84093	1.73096	.927408	19.0385	37.3073	.982015	1.00
46	44	43	40	35	-2.26951	1.79068	.976699	33.8811	49.3854	.976038	0.80
58	58	52	42	37	-2.67656	1.96182	.975211	42.3193	46.0825	.99006	0.80
41	41	38	38	37	-2.27117	1.81737	.963664	31.0743	43.3236	.990572	0.80
41	40	40	36	31	-2.4483	1.91953	.97894	32.1375	41.8311	.991177	0.80
27	26	26	24	24	-1.28598	1.35961	.944157	18.762	42.2145	.988753	0.75
26	24	24	24	23	-1.17619	1.34481	.968233	17.9603	37.7536	.9887	0.75
26	25	24	24	23	-1.46741	1.48541	.966888	19.9616	35.833	.986981	0.75
27	27	26	25	21	-1.28857	1.39887	.980635	15.4948	40.3117	.976227	0.75
25	24	24	24	22	-1.32967	1.43741	.977074	17.0946	36.4251	.980333	0.75
26	24	24	24	23	-3.01594	2.42205	.957516	17.311	32.2277	.990738	1.10
27	27	27	25	24	-2.71104	2.24028	.976984	19.7892	31.2704	.992594	1.00
27	27	24	23	23	-.97689	1.25392	.997224	14.2506	41.1218	.978371	0.75
26	24	22	21	20	-2.2706	1.95586	.993826	25.0489	27.7359	.982601	0.75
23	22	22	21	21	-2.77858	2.26929	.99696	17.6244	33.3343	.990171	1.00
27	27	26	25	22	-2.59828	2.27912	.952718	22.2049	19.6802	.979734	0.80
27	26	25	25	24	-2.37837	2.18527	.933984	22.0454	18.007	.972027	0.80
26	24	24	21	20	-4.01546	3.24819	.967336	18.0368	19.9322	.990178	1.25
19	19	18	18	18	-.184096	.894564	.96189	2.51946	38.8005	.921781	0.75
25	25	25	21	21	-3.96454	3.21092	.939117	16.1183	23.5773	.983755	1.50
29	28	27	24	23	-3.20582	2.65881	.956491	23.4506	19.3474	.975468	1.00
37	34	33	32	32	-1.60767	1.51807	.985948	25.2682	40.0492	.981265	0.75
44	43	43	42	36	-1.88127	1.57799	.990733	31.3751	49.4475	.994334	0.75
49	45	44	43	42	-1.99064	1.60998	.954482	40.7524	47.7419	.981369	0.75
67	64	62	62	57	-3.02969	2.08727	.974361	55.4624	41.5903	.979153	0.75
70	65	63	63	59	-4.47703	2.76253	.983565	54.9479	49.6928	.996414	1.00
84	84	78	77	74	-7.22488	3.90251	.910783	43.7527	96.6005	.988787	2.00
99	98	81	76	74	-11.0585	5.5532	.993725	47.9052	101.98	.985241	2.00
94	88	84	67	63	-6.13298	3.33168	.96851	47.8241	113.862	.981429	--
71	71	65	61	61	-7.66879	4.16518	.880161	29.0181	96.6401	.973333	2.00
65	60	48	47	46	-3.85787	2.52657	.955566	49.0437	47.1104	.963417	1.00
41	40	39	37	37	-1.60659	1.51639	.938358	32.687	36.4804	.969194	0.75
41	38	37	34	31	-.889761	1.0953	.989695	12.9143	72.5382	.955319	0.75
43	40	39	38	36	-1.18285	1.27496	.978106	23.4592	49.1749	.961128	0.75
31	27	26	26	26	-.5105	.987239	.950745	11.5264	48.2467	.95453	0.75
31	27	27	27	27	-1.24167	1.31811	.94513	19.7169	46.0485	.985597	0.75
44	43	40	39	39	-2.48382	1.86835	.978338	32.2486	51.9684	.992485	0.80
32	31	28	28	26	-1.99613	1.7061	.979862	23.852	38.6733	.986672	0.75

		最 大 加 速 度 (Gal)														
地 点 名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
151	名瀨港	205	203	122	119	84	69	63	54	50	48	48	46	38	33	32
152	名瀨港	259	226	129	117	113	95	74	66	65	56	53	38	34	30	29
153	名瀨港	185	168	149	109	74	65	51	33	30	29	28	26	25	24	24
154	名瀨港	138	128	94	60	45	43	42	34	32	28	27	25	24	22	20
155	名瀨港	100	89	56	56	55	48	45	32	28	28	27	25	25	25	24
156	名瀨港	238	173	172	157	121	93	85	60	60	58	55	51	50	49	47
157	名瀨港	278	202	200	179	133	133	120	104	98	63	61	58	55	53	52
158	名瀨港	250	238	193	168	128	128	102	93	71	58	54	53	53	46	46
159	名瀨港	268	170	145	118	111	85	72	65	65	41	41	36	35	32	32
160	名瀨港	330	204	174	174	171	113	106	104	92	87	75	58	54	46	45
161	名瀨港	211	183	117	117	90	79	76	74	58	57	54	50	44	38	32
162	名瀨港	186	121	107	66	65	65	50	42	36	34	34	29	28	24	23
163	名瀨港	311	77	67	59	55	50	41	41	30	27	25	24	24	23	23
164	名瀨港	76	38	37	27	19	17	16	15	15	15	14	13	13	13	13
165	名瀨港	99	40	26	23	19	17	17	16	16	16	15	15	15	14	14
166	名瀨港	174	64	53	46	32	30	30	26	23	23	21	20	19	18	18
167	名瀨港	151	114	52	47	31	31	28	26	26	21	21	20	19	18	18
168	名瀨港	183	123	51	44	31	31	30	26	24	23	21	19	18	18	18
169	名瀨港	112	71	40	24	22	19	18	18	18	18	17	16	16	16	15
170	名瀨港	28	27	21	15	15	14	13	13	13	12	12	12	12	12	11
171	名瀨港	213	94	53	53	52	41	41	34	32	25	25	25	24	23	22
172	名瀨港	400	348	259	258	241	214	194	193	185	181	165	150	150	133	130
173	名瀨港	338	288	257	208	207	203	162	147	145	137	135	134	127	119	93
174	名瀨港	330	286	213	199	199	178	170	168	158	151	148	135	128	128	122
175	名瀨港	313	241	231	179	176	175	170	156	149	138	123	108	107	101	95
176	名瀨港	192	163	158	153	151	149	143	119	107	95	92	85	83	81	80
177	名瀨港	193	186	148	118	110	86	85	85	84	80	68	46	42	42	40
178	名瀨港	277	194	180	99	97	90	82	67	65	57	55	54	53	51	48
179	名瀨港	287	230	203	117	106	96	94	80	76	75	70	70	68	67	66
180	名瀨港	287	264	180	169	157	148	142	127	108	106	103	89	77	70	68
181	名瀨港	249	215	206	189	170	139	114	105	90	89	81	75	73	71	70
182	名瀨港	239	191	189	135	133	126	123	100	94	73	70	59	56	51	48
183	名瀨港	260	254	161	128	126	120	71	70	67	54	49	47	42	42	38
184	名瀨港	251	234	213	139	123	118	109	107	105	97	85	64	49	45	43
185	名瀨港	117	72	72	60	56	52	46	43	43	41	33	32	23	22	22
186	名瀨港	178	165	115	82	72	61	55	42	37	37	32	30	26	23	22
187	名瀨港	202	195	136	93	87	59	50	50	44	32	30	29	28	25	23
188	名瀨港	173	157	110	90	61	58	53	45	39	36	30	25	25	25	23
189	名瀨港	171	149	90	71	57	47	34	30	28	28	27	26	25	24	21
190	名瀨港	163	156	147	108	102	84	81	75	63	60	58	55	50	43	42

					(1) 両対数軸上の線型回帰分析			(2) 極値統計理論			Weibull
16	17	18	19	20	係数 A	係数 B	相関係数	係数 B	係数 A	相関係数	分布の指数
29	23	21	20	19	-1.31062	1.35933	.966854	17.8875	46.4606	.977991	0.75
28	26	24	20	20	-1.44158	1.3745	.973172	16.2327	56.4939	.987858	0.75
21	20	20	20	20	-.639431	1.06238	.936224	9.8047	44.3808	.970715	0.75
19	18	18	18	17	-.812693	1.23125	.959316	11.2796	30.0576	.974895	0.75
20	17	16	16	16	-1.62199	1.7394	.949776	14.1006	23.7644	.983937	0.80
41	32	32	30	30	-1.85541	1.56274	.958713	23.8166	59.0387	.984005	0.80
46	39	37	35	32	-1.89169	1.5283	.940661	20.4987	84.5077	.989421	1.00
43	32	30	29	29	-1.59888	1.40592	.936214	13.4897	84.8408	.985297	1.00
28	27	24	23	23	-1.11402	1.23892	.968019	15.8662	53.9186	.994392	0.75
43	34	31	31	30	-2.38793	1.72811	.968016	24.6721	76.9335	.986381	0.80
30	27	26	26	25	-1.9176	1.6417	.983371	24.8601	43.9917	.990611	0.75
22	21	19	19	19	-1.11887	1.34018	.988018	12.5663	36.4043	.988666	0.75
22	20	20	20	19	-.338877	.96741	.949557	.0906464	46.8415	.852278	0.75
13	13	12	12	12	-.462949	1.30944	.979334	7.40077	12.2352	.936278	0.75
13	13	13	13	13	-.263181	1.15634	.958178	6.40152	14.3458	.865696	0.75
16	16	16	16	15	-.477433	1.13327	.975472	5.12179	27.522	.901895	0.75
17	16	15	15	15	-.330692	1.03622	.978121	5.28872	28.5614	.943744	0.75
18	17	16	16	15	-.26427	.980163	.971897	2.51206	33.1934	.924722	0.75
15	14	13	13	13	-.252013	1.0807	.978758	5.51327	19.0849	.917155	0.75
11	11	11	11	10	-1.3684	2.22047	.967254	9.80617	4.21668	.960206	0.75
21	20	20	18	18	-.561053	1.11274	.970385	6.74547	34.5049	.913206	0.75
127	124	123	120	113	-4.98964	2.66053	.982965	113.307	78.6321	.99313	0.80
92	84	83	79	78	-4.18104	2.3957	.978499	65.4134	99.6257	.992664	1.00
120	110	99	98	88	-5.07925	2.78869	.985044	100.868	61.7399	.988216	0.80
87	82	79	67	66	-5.15087	2.8508	.988348	62.3224	87.9874	.991241	1.00
79	71	65	59	53	-5.33168	3.12071	.867577	24.8862	96.2186	.977442	2.00
40	38	36	35	35	-3.04139	2.13082	.963747	24.5116	59.6485	.982954	1.00
46	45	38	35	34	-1.48016	1.38264	.979885	28.1823	52.9435	.980725	0.75
51	50	48	44	43	-1.822	1.50227	.971773	39.254	55.4658	.977524	0.75
63	61	60	48	47	-3.47136	2.17842	.971863	42.3347	82.3131	.989949	1.00
67	66	64	63	45	-2.92956	1.97118	.93143	44.1842	73.1516	.979933	1.00
44	41	40	40	36	-2.6382	1.87717	.936662	21.734	80.0937	.989611	1.00
35	35	34	32	31	-1.20415	1.24488	.951954	23.5499	58.7806	.979595	0.75
42	40	40	38	34	-2.75854	1.90364	.947922	23.9175	80.7148	.979624	1.00
20	18	16	16	16	-2.54679	2.20968	.983708	12.2097	31.0327	.984306	1.00
19	16	15	14	14	-1.11797	1.30884	.967459	10.1111	40.9198	.987086	0.75
17	15	14	14	13	-.688248	1.07204	.94687	7.42057	48.3482	.980649	0.75
22	16	15	13	13	-1.06338	1.29784	.969962	10.3916	39.403	.987924	0.75
21	20	19	18	17	-.60075	1.09986	.974142	8.37853	36.2486	.972951	0.75
38	37	30	30	27	-2.54469	1.94545	.930847	20.5835	57.1681	.985727	1.00

● 付録－D 各種耐震設計基準における設計震
度の地域区分

付録一D 各種耐震設計基準における
設計震度の地域区分

港湾構造物における地域別震度の地域区分を図-D.1に示す。これは、本文の1.にも述べたように、図-18に示した河角の研究³⁾による再現期間75年の最大加速度期待値の分布図(いわゆる河角マップ)を参考にして定められたものである。港湾構造物に対して、3地区に区分された設計震度が初めて示されたのは、港湾工事設計要覧(昭和34年6月)であり、その後、港湾構造物設計基準

(昭和42年4月)を経て、現行のものとなった。その間北海道の留萌支庁、宮崎県、大分県については第3地区から第2地区へ、それぞれ地域区分の変更が行われている。また、沖縄県の地域別震度は、沖縄県が河角マップに含まれていないので、他地域を参考にして定められたものである。

港湾の施設の技術上の基準のほかに、何らかの形でおのこの構造物の設計震度の地域区分を定めている設計基準や指針などには、次のようなものがある。

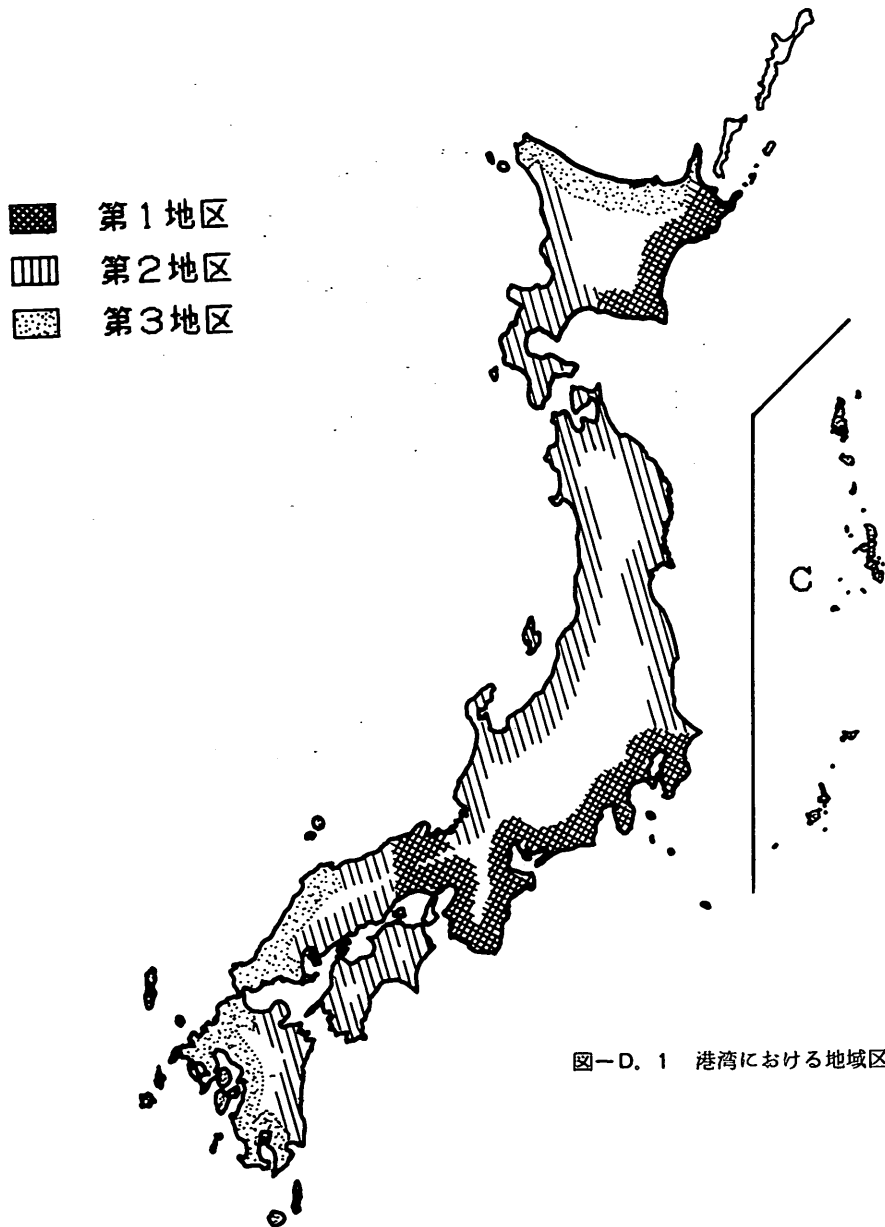
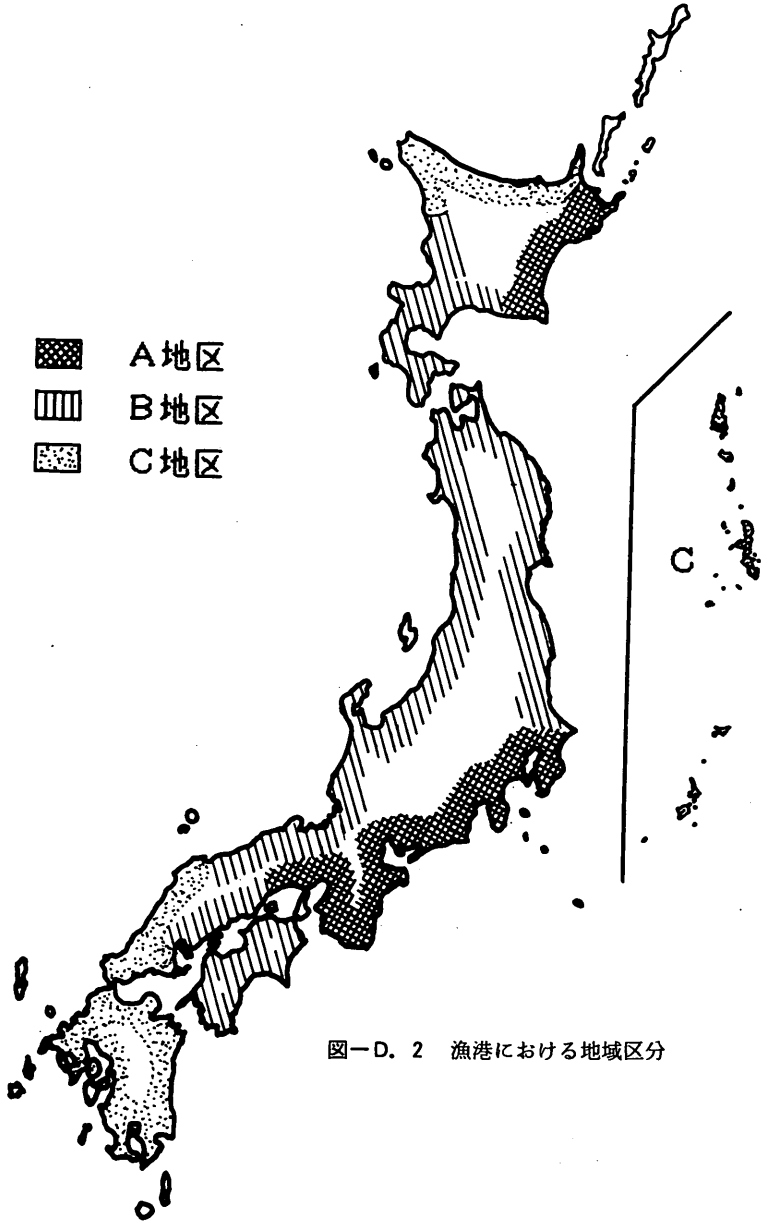


図-D. 1 港湾における地域区分

- (1) 漁港構造物標準設計法¹⁾
- (2) 道路橋示方書・同解説²⁾
- (3) 河川管理施設等構造令および同施行規則^{3, 4)}
- (4) 建築基準法施行令^{5, 6)}
- (5) 高圧ガス設備等耐震設計基準⁷⁾
- (6) 地下貯油施設技術基準(案)⁸⁾
- (7) 石油パイプライン技術基準⁹⁾
- (8) 沈埋トンネル耐震設計指針(案)¹⁰⁾

- (9) 第2次改訂ダム設計基準¹¹⁾
- (10) 土地改良事業計画設計基準¹²⁾
- (11) 国鉄建造物設計標準^{13, 14)}
- (12) 海洋鋼構造物設計指針(案)¹⁵⁾

以下に、これらの地域区分について、港湾との比較も交えながら述べる。ただし、地域別震度や地域による補正係数の値は、地盤種別係数や重要度係数などとも関連しているために、単純な比較は困難である。したがって、



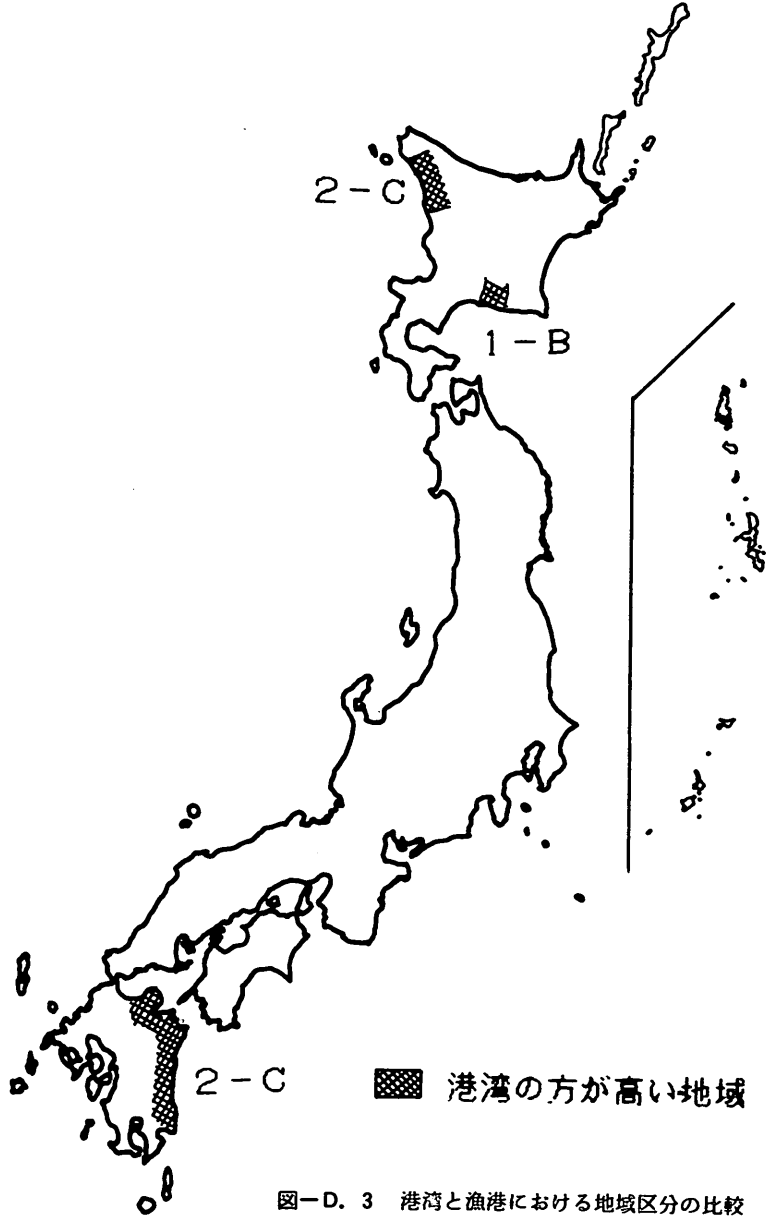
図一D. 2 漁港における地域区分

ここでは、地域区分のみについて述べることにする。また、比較をわかりやすくするために、港湾の地域区分は1, 2, 3で、他種構造物の地域区分はA, B, Cで表示することにする。

(1) 漁港

漁港における地域区分を図-D. 2に、港湾との比較を図-D. 3に示す。図からわかるように、港湾と漁港とは、地域区分がほぼ等しい。異なっているのは、北海道

の地域区分の境界付近の地域、および大分県と宮崎県である。北海道におけるちがいは、地域区分の境界線が港湾と漁港とで少し異なっている程度である。また、漁港では九州を一律にC地区としているのに対し、港湾では大分県と宮崎県を第2地帯に区分している。これらの差異のほとんどは、港湾の地域区分が順次改訂されてきたために生じたものであり、最初は、地域区分の差はほとんどなかったと考えられる。



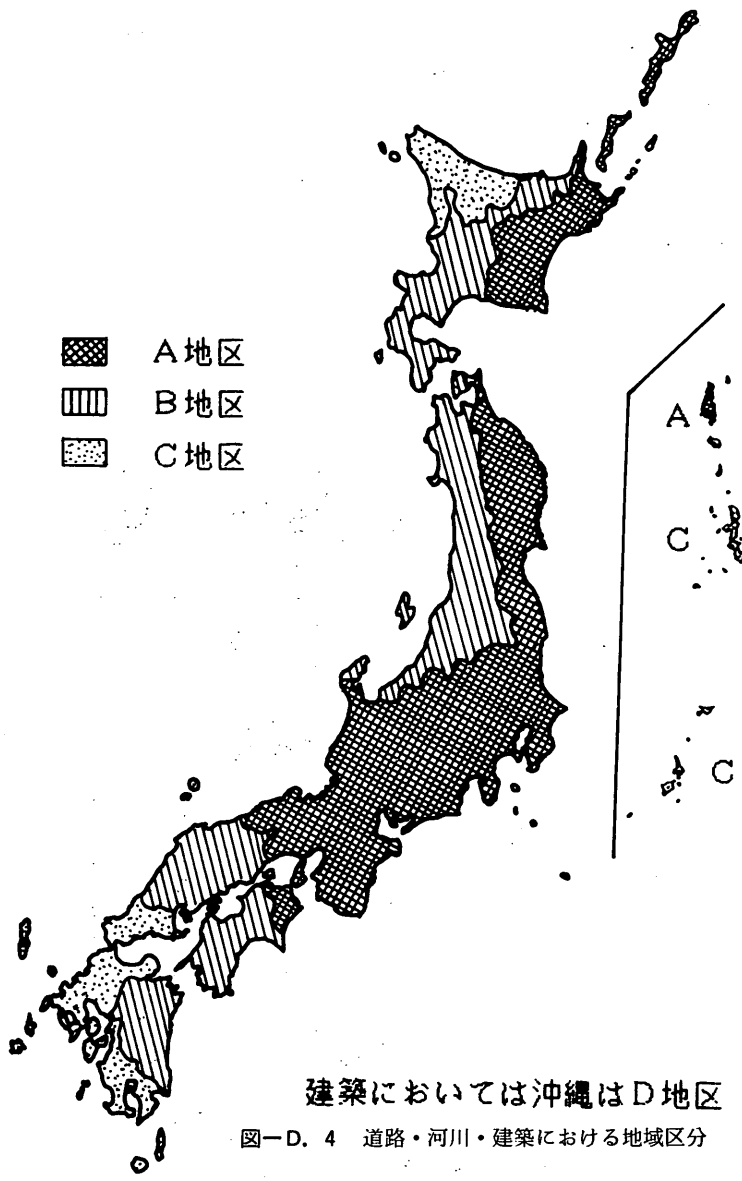


表-D. 1 港湾と道路・河川・建築における地域区分の比較

道路ほか 港湾	A	B	C
1	対角線	なし	なし
2	東北地方太平洋沿岸 北陸取東 北島四国東岸	対角線	北海道留萌支庁 大分県国東半島
3	鹿児島県名瀬市、大 島郡	北海道網走支庁南部 島根県市	対角線

(区分順位の等しいものは省略)

(2) 道路・河川・建築

道路、河川、および建築における地域区分を図-D. 4に、港湾との比較を図-D. 5と表-D. 1に示す。これらの3つの基準における地域区分は、比較的新しく、図-D. 6に示す建設省の新耐震設計法(案)の地震動強度の地域区分を参考にして定められたものである。ただし、建築においては、沖縄県はCよりも低いDに区分されている。

港湾と比較すると、港湾のほうが高いランクになっている地域は、北海道の留萌支庁と大分県の国東半島である。一方、港湾のほうが低いランクになっている地域は、北海道の網走支庁の南部、青森県から茨城県までの太平洋岸、富山、石川、福井の各県、鳥取県の東部、島根県、四国の東岸、熊本県、鹿児島県の奄美諸島であり、かなり広い地域に及んでいる。特に大きな違いは、港湾では第2地区である東北から関東地方に至る太平洋岸、およ

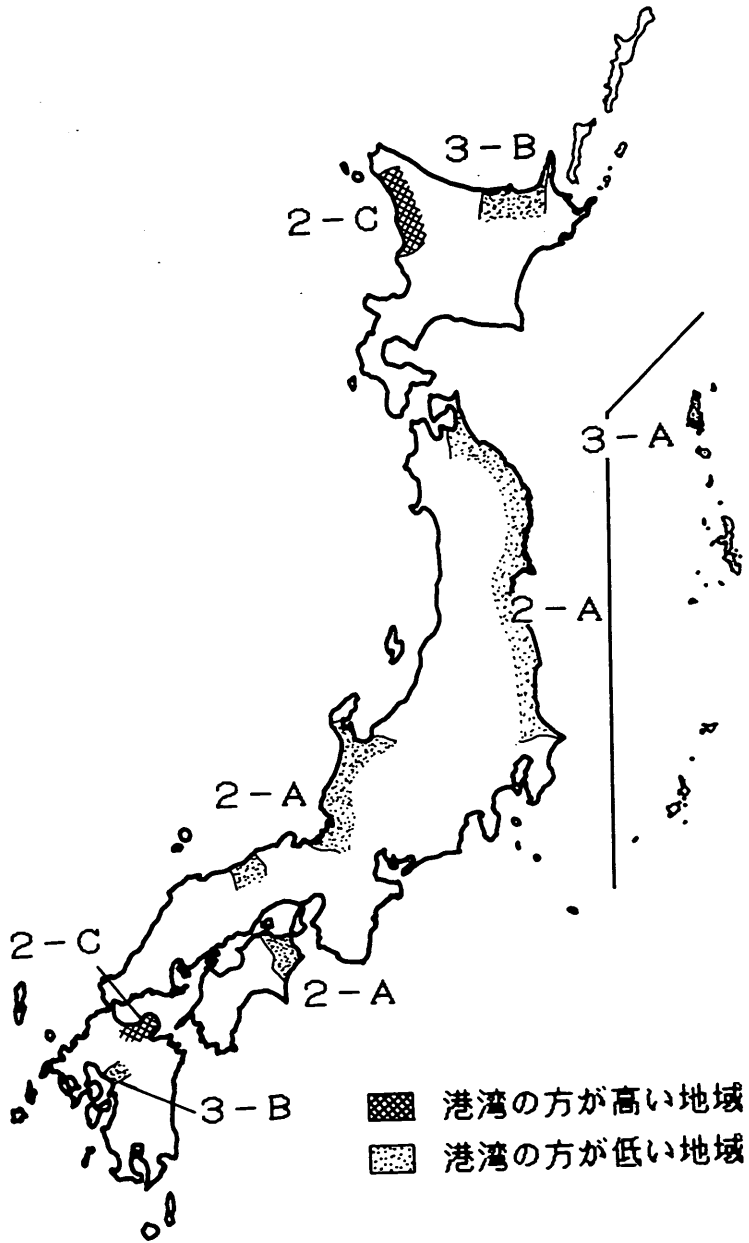


図-D. 5 港湾と道路・河川・建築における地域区分の比較

び第3地区である奄美諸島が、いずれもA地区に区分されていることである。

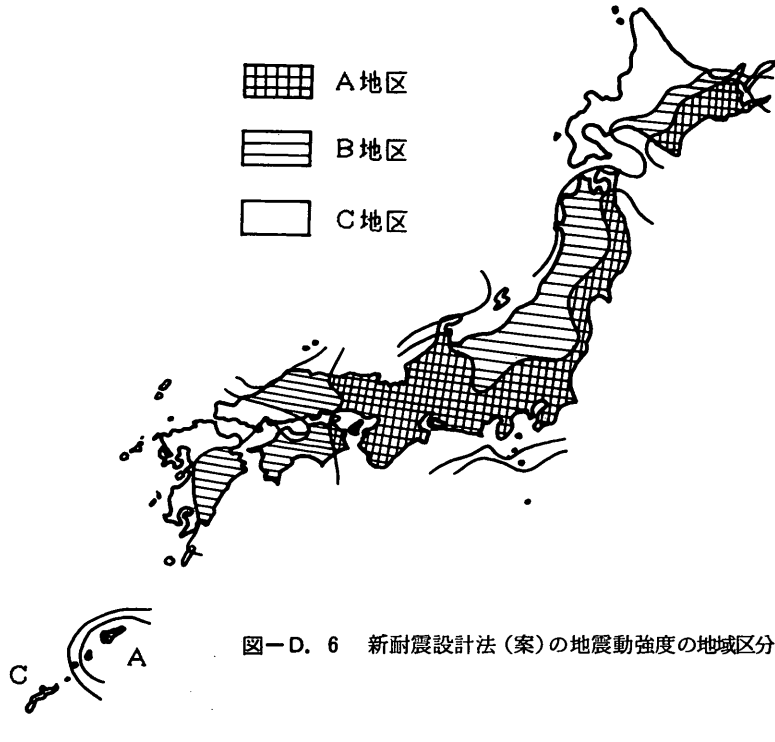


図-D. 6 新耐震設計法(案)の地震動強度の地域区分

(3) 高圧ガス設備

高圧ガス設備における地域区分を図-D.7に示す。これは、BとC地区については前述の道路などと全く同じであるが、道路などのA地区が特AとA地区に2分割されている。特A地区は、大規模地震対策特別措置法により地震防災対策強化地域に指定されている地域、および

神奈川県に残りの地域、東京都、埼玉県、愛知県、三重県である。

(4) 地下貯油施設

地下貯油施設の地域区分は、図-D.6に示した建設省の新耐震設計法(案)の地震動強度の地域区分を、行政区分を考慮せずにそのまま用いたものである。

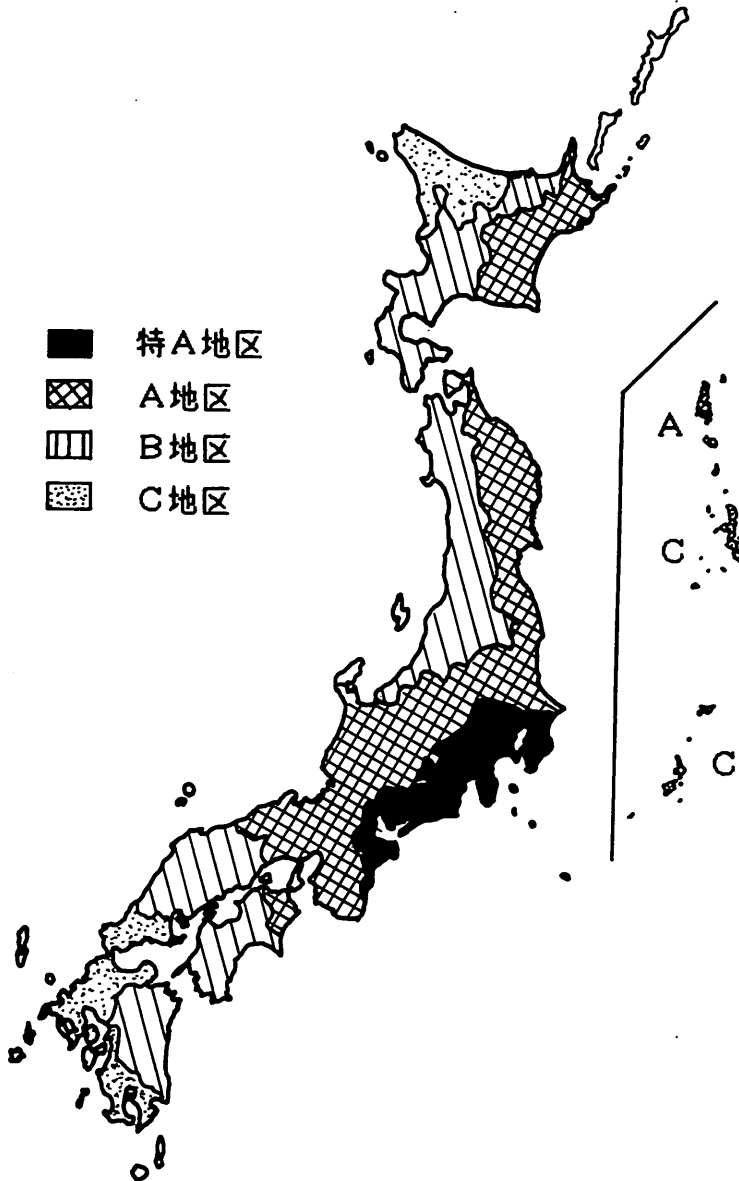


図-D.7 高圧ガス設備における地域区分

(5) 石油パイプライン・沈埋トンネル

石油パイプラインと沈埋トンネルの地域区分を図-D. 8に、港湾との比較を図-D. 9に示す。これは、現在の道路橋示方書・同解説の耐震設計編の前身に当たる道路橋耐震設計指針に示されたものと同じものである。

港湾と比較すると、港湾のほうが高いランクになっている地域は、北海道の留萌支庁の北部・日高支庁の北

部、知床半島の東南岸、兵庫県の西部、および宮崎県の南端である。一方、港湾のほうがランクの低い地域は、北海道の網走支庁の南部、岩手県中部から茨城県までの太平洋岸、福井県の若狭湾に面した地域、高知市付近である。港湾との最も大きな違いは、道路など同様に、東北から関東にかけての太平洋岸がA地区に区分されていることである。

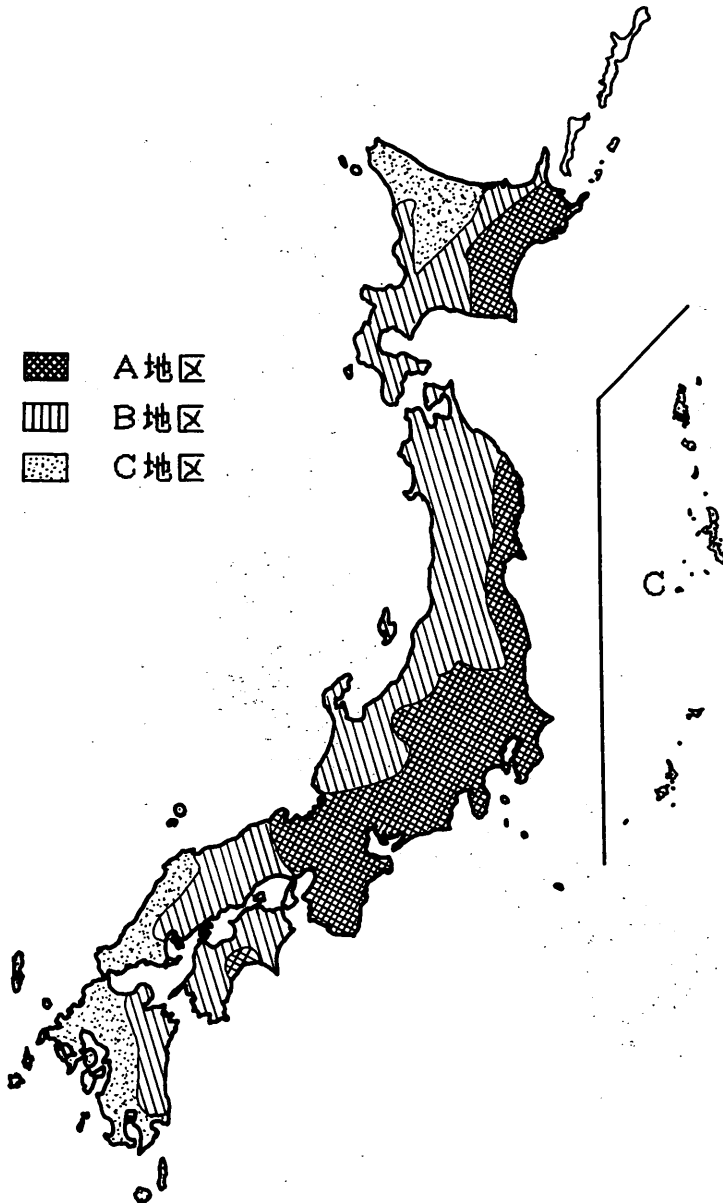


図-D. 8 石油パイプライン・沈埋トンネルにおける地域区分

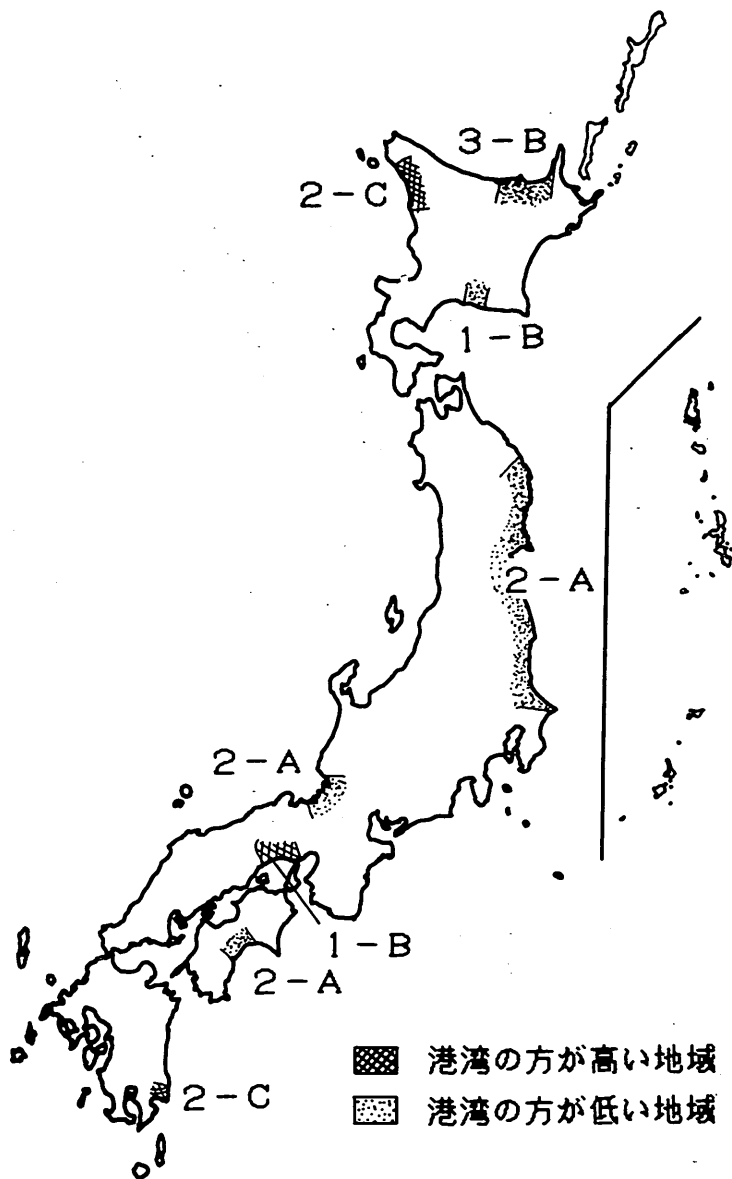


図-D. 9 港灣と石油パイプライン・沈埋トンネルにおける地域区分の比較

(6) ダム

ダムについては、前記の(3)の基準に規定されているほかに、(9)と(10)の基準に(3)の基準とは異なる地域区分が示されており、これを図-D.10 に示す。ダムで

は、全国をA、Bの2つの地域に区分しているのので、港湾と直接に比較することはできないが、A地区の範囲がかなり広い。

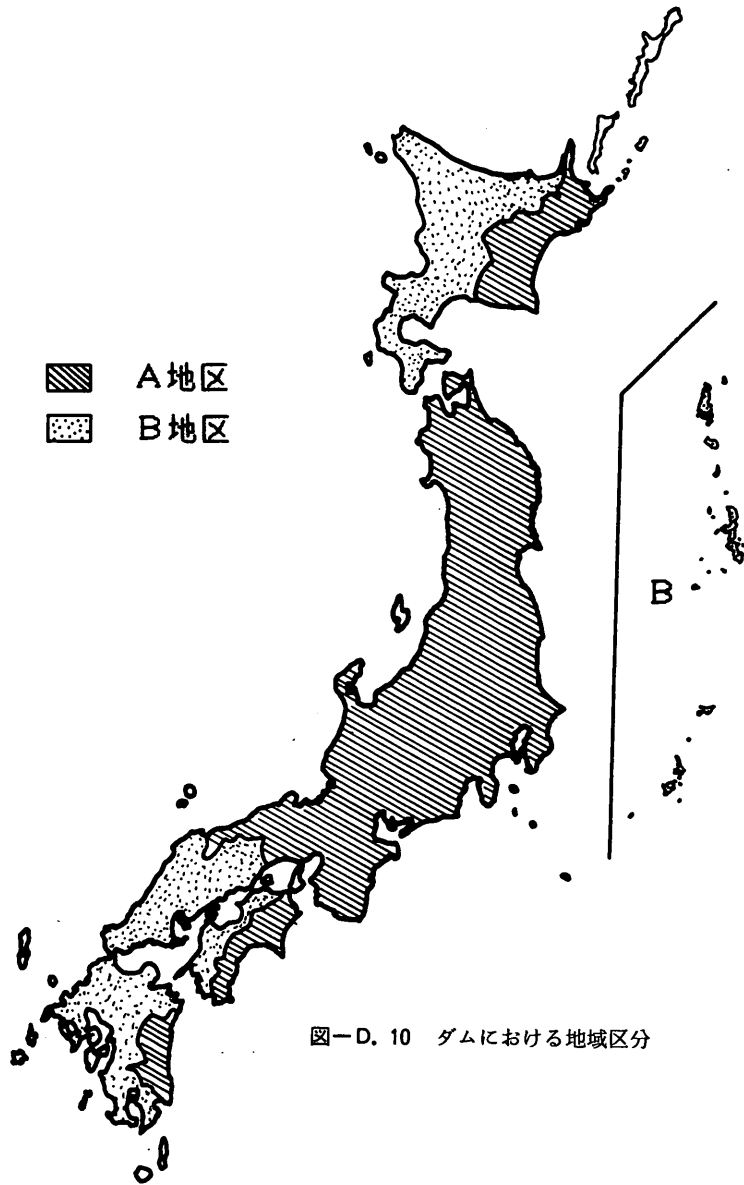


図-D.10 ダムにおける地域区分

(8) 海洋構造物

海洋構造物の地域区分を表一D. 2に示す。表には明確な地域区分は示されていないが、他の多くの基準と同様に、東北地方の太平洋岸はA地区に区分されている。また、港湾を含む多くの基準と異なり、近畿地方をB地区に区分している。

表一D. 2 海洋構造物における地域区分

A	関東、東北（太平洋側） 中部、北海道（太平洋側）
B	A、C以外の地方
C	中国（日本海側）、北海道（北部） 九州（除 大分、宮崎）

参 考 文 献

- 1) 全国漁港協会：漁港構造物標準設計法 1976年改訂版，1976年。
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，1980年。
- 3) 河川管理施設等構造令研究会：解説・河川管理施設等構造令，日本河川協会，山海堂，1978年。
- 4) 河川管理施設等構造令施行規則の規定に基づき強震帯地域等を定める件，建設省告示第1715号，1981

- 年10月16日。
- 5) 建築基準法施行令，昭和25年政令第338号，1950年11月16日。
- 6) 建築基準法施行令の規定に基づきZの数値， P_r 及び A_r を算出する方法並びに地盤が著しく軟弱な区域として特定行政庁が指定する基準を定める件，建設省告示第1793号，1980年11月27日。
- 7) 高圧ガス設備等耐震設計基準，通商産業省告示第515号，1981年10月26日。
- 8) 土木学会エネルギー土木委員会：地下貯油施設技術指針（案），土木学会，1980年。
- 9) 石油パイプライン事業の事業用施設の技術上の基準の細目を定める告示，通商産業省，運輸省，建設省，自治省告示第1号，1973年9月28日。
- 10) 土木学会沈埋トンネル耐震設計研究委員会：沈埋トンネル耐震設計指針（案），土木学会，1975年。
- 11) 日本大ダム会議：第2次改訂ダム設計基準，1978年。
- 12) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準設計ダム，農業土木学会，1981年。
- 13) 土木学会鋼鉄道橋設計標準に関する研究委員会：国鉄建造物設計標準解説，土木学会，1983年。
- 14) 土木学会コンクリート鉄道構造物設計標準に関する研究委員会：国鉄建造物設計標準解説，土木学会，1983年。
- 15) 土木学会海洋構造物に関する調査研究委員会：海洋構造物設計指針（案）解説，土木学会，1973年。

付録一 E 重要度係数と非破壊確率

付録一 E 重要度係数と非破壊確率

現行設計法においては、表一 E. 1 に示すように構造物をその重要度に応じて、特定、A～C級の4つに区分し、重要度係数（1.5～0.5）を用いて設計震度の割増しと低減を行っている。しかしながら、重要度を高くするとどの程度非破壊確率が大きくなるのかということは明らかでない。また、同じ重要度を採用すれば、地域区分によらず第1地区でも第3地区でも構造物の非破壊確率が等しくなるのかどうか明らかではない。

そこで、ここでは本文の5. で得られた地震危険度の計算結果に基づいて非破壊確率と重要度係数の関係について検討を行った。ここでは非破壊確率と重要度係数の関係の考え方について述べることを主眼としている。そこで以下の議論では単純な計算で求められる両対数座標軸上で再現期間の基盤の最大加速度期待値の線型回帰分析を行う方法により検討を行う。以下の検討では、重要度係数と非破壊確率の関係の1つの考え方として次のような仮定をした。

- ① 重要度の高い構造物とは、その非破壊確率を大きくしなければならない構造物である。
- ② 重要度が等しい構造物は、建設地点の地震危険度にかかわらず、その非破壊確率は等しい。
- ③ 最大加速度と設計震度とは正比例する。
- ③の仮定は、重要度係数の検討を単純化するためのものである。

ところで、本文の図一23から明らかのように、非破壊確率を大きくするという事は、構造物の耐用年数は与えられるもので変わらないから、設計の対象とすべき地震動の再現期間が長くなるということの意味する。重要度が普通である構造物の非破壊確率 q_1 、建設しようと

する構造物の非破壊確率を q_2 とし、それぞれに対応する地震動の再現期間を T_{R1} 、 T_{R2} （年）とすると、本文の式(23)より次の関係が得られる。

$$\frac{T_{R2}}{T_{R1}} = \frac{1 - q_1^{1/T}}{1 - q_2^{1/T}} \quad (1)$$

式(1)は、重要度が普通の構造物に対して、そうでない重要度の構造物を建設する際に考慮すべき再現期間の倍率を示している。重要度の高い構造物の場合には、式(1)の値は1以上に、低い構造物の場合には1以下になる。

かりに、重要度が普通である構造物の非破壊確率を $q_1 = 0.5$ （これは、耐用年数50年の構造物を再現期間75年の地震動に対して設計することに相当する）として、重要度に応じて非破壊確率 q_2 を変化させた場合の再現期間の倍率を式(1)により計算した結果を表一 E. 2 に示す。重要度はI～Vの5段階、それぞれの非破壊確率は0.7、0.6、0.5、0.4、0.3とし、構造物の耐用年数が25、50、75、100年の場合について計算した。表からわかるように、再現期間の倍率は、耐用年数にかかわらず重要度すなわち非破壊確率ごとにほぼ一定値とみなせる。このことは、本文の図一23の両対数グラフ上で、 q をパラメータとする線がほぼ平行であることから明らかである。したがって、以下に述べることは、構造物の耐用年数とは無関係に成立することになる。

次に、地震動の再現期間が表一 E. 2 に示した倍率で変化した場合、加速度がどのように変わるのかについて検討する。ここでは検討を容易にするために、地震動の再現期間と最大加速度の関係として、本文の5. で示した両対数グラフ上の直線で表される式(6)を用いることと

表一 E. 1 現行設計法における重要度係数

構造物の種類	構造物の性格	重要度係数
特定	A級構造物の性格のうち①～③の程度が著しいもの	1.5
A 級	① 構造物が被害を受けた場合、多くの人命・財産の損失を与えるおそれのあるもの ② 防災復興に重要な役割を果たすもの ③ 有害物または危険物を取り扱う構造物で、被害を受けた場合に人命または財産に重大な損失を与えるおそれのあるもの ④ 構造物が被害を受けた場合、関係地域の経済・社会活動に重大な影響を及ぼすもの ⑤ 構造物が被害を受けた場合、復旧にかなりの困難が予想されるもの	1.2
B 級	特定、A級及びC級以外のもの	1.0
C 級	特定及びA級以外の小規模な構造物で容易に復旧が可能なもの	0.5

する。いま、再現期間 T_{R1} , T_{R2} 年に対応する加速度期待値をそれぞれ a_1 , a_2 Gal とすると、次式が得られる。

$$\log T_{R1} = A + B \log a_1 \quad (2)$$

$$\log T_{R2} = A + B \log a_2 \quad (3)$$

式(3)-式(2)より

$$\log \frac{T_{R2}}{T_{R1}} = B \log \frac{a_2}{a_1} \quad (4)$$

となる。ここで、加速度期待値の倍率を $a_2/a_1 = \nu$ とし、式(4)を書きかえると

$$\nu = (T_{R2}/T_{R1})^{1/B} \quad (5)$$

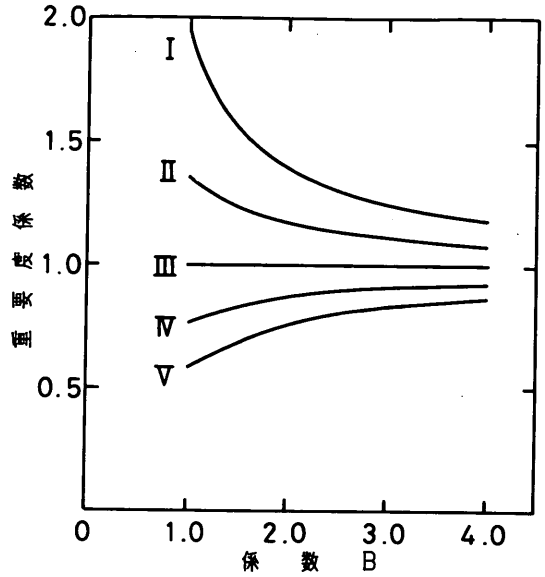
となる。式(5)は、再現期間の絶対値とは無関係に再現期間の倍率と回帰係数 B のみによって、加速度期待値の倍数が定まることを示している。再現期間の倍率は、前述したように、非破壊確率を与えると構造物の耐用年数とは無関係に定まるものであるから、加速度期待値の倍率 ν は係数 B のみによって決まることになる。最大加速度と設計震度とが正比例すると仮定すると、加速度期待値の倍率 ν はそのまま重要度係数とみなすことができる。

表一.E. 2 再現期間の倍率

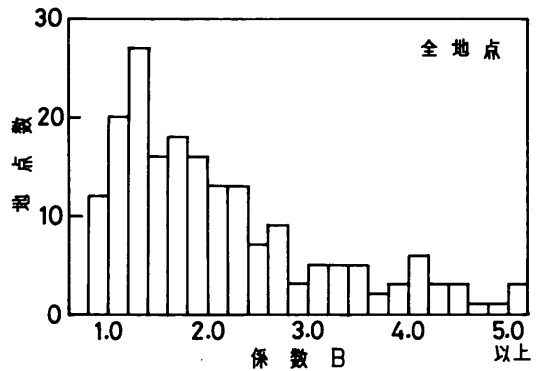
重要度	非破壊確率 q_2	耐用年数 T			
		25年	50年	75年	100年
I	0.7	1.930	1.937	1.939	1.940
II	0.6	1.352	1.354	1.355	1.356
III	0.5	1.000	1.000	1.000	1.000
IV	0.4	0.760	0.758	0.758	0.757
V	0.3	0.582	0.579	0.578	0.577

重要度係数と係数 B との関係を図一.E. 1 に示す。図より、係数 B が小さいと非破壊確率のちがいでによる加速度倍率の差が大きく、逆に係数 B が大きくなると加速度倍率は1に近づいてくるのがわかる。これは、係数 B の値が小さいほど、すなわち地震危険度を表す回帰直線の傾きが小さいほど、再現期間のわずかな変化に対する最大加速度期待値の変化が大きいということと同じ意味である。

ところで、実際の係数 B がどの範囲にあるのかを示したものが、図一.E. 2 および図一.E. 3 である。図一.E. 2



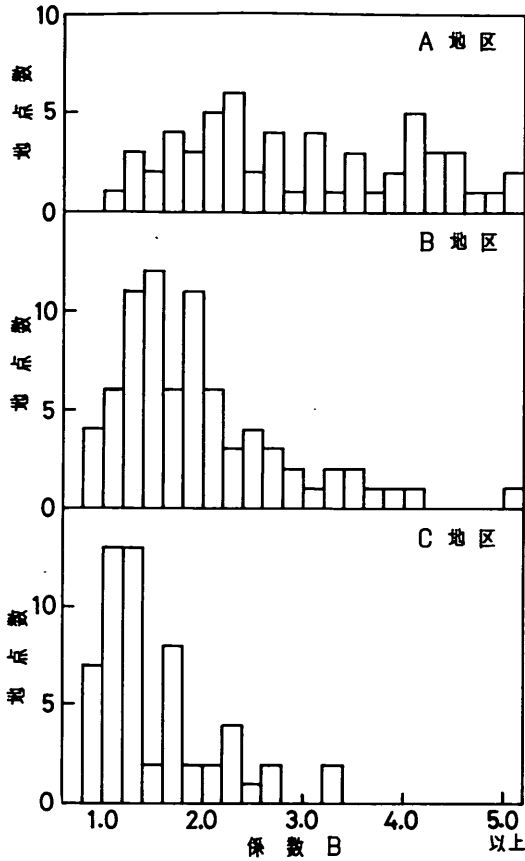
図一.E. 1 重要度係数と係数 B との関係



図一.E. 2 係数 B の分布 (全地点)

表一.E. 3 重要度係数

重要度 B	全国	A地区	B地区	C地区
	I	1.9	2.8	1.7
II	1.4	1.3	1.5	1.7
III	1.2	1.1	1.2	1.3
IV	1.0	1.0	1.0	1.0
V	0.85	0.9	0.85	0.8
	0.75	0.8	0.7	0.65



図一E.3 係数Bの分布(地域区分ごと)

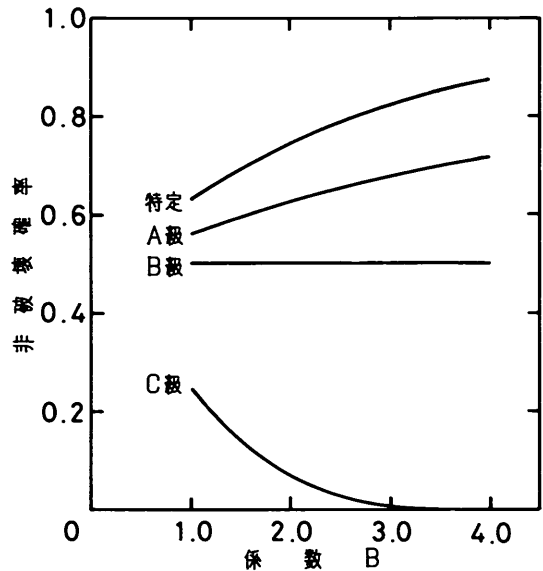
は計算した全地点について示したものであり、大部分の地点の係数Bは1.0～3.0の範囲にある。これらの係数Bを1つの数値で代表させるとすれば、ほぼ中央値にあたる1.9程度が適当と考えられる。また、図一E.3は全国を地震危険度の高い順にA, B, Cと3区分したときの3地域の係数Bの分布を示したものである。図からわかるように、A, B, Cの順に分布の山が右寄りにあり、地震危険度の高い地域ほど係数Bが大きいう傾向が認められる。ほぼ中央値にあたる値で各地域区分ごとに係数Bを代表させるとすれば、A, B, Cそれぞれの地区に対して、2.8, 1.7, 1.3が適当と考えられる。

これらの値を採用した場合の重要度係数を重要度別に示したものが、表一E.3である。全国に一律の係数Bを用いた場合には、重要度係数は1.4～0.75であるが、地区別に係数Bを決めると、地震危険度の高いA地区では1.3～0.8と重要度係数の範囲が小さく、C地区では1.7～0.65とその範囲が広い。A～C地区の基準となるそれぞれの加速度に表一E.3に示す重要度係数をかけた値を対象に設計を行えば、同じ重要度の構造物の非破壊

確率は等しくなるはずである。

次に、表一E.1に示した現行設計法における重要度係数の定量的な評価を行った。前述の考えにに従って、現行の重要度係数と非破壊確率との関係を示したものが、図一E.4である。図より、それぞれの重要度係数に相当する非破壊確率は、係数Bによってかなりの範囲で変化することがわかる。

全地点および各地域区分を代表する係数Bに対応する非破壊確率を表一E.4に示す。表よりわかるように、重要度C級の構造物の非破壊確率は、他の重要度に比べてかなり小さい。



図一E.4 現行設計法における非破壊確率と係数Bの関係

表一E.4 現行設計法における非破壊確率

重要度係数	非破壊確率			
	全国	A地区	B地区	C地区
特定 1.5	0.73	0.79	0.71	0.66
A級 1.2	0.61	0.65	0.60	0.58
B級 1.0	0.50	0.50	0.50	0.50
C級 0.5	0.07	0.01	0.10	0.18

港 湾 技 研 資 料 No.486

1 9 8 4 ・ 7

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発 行 所 運輸省港湾技術研究所
 横須賀市長瀬3丁目1番1号

印 刷 所 ㈱ 伊 東 印 刷 所

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.