

既存鉄筋コンクリート造学校建築の耐震性能評価

田中輝明*・田房義彦**

Valuations of Aseismic Capacity on the School of Reinforced Concrete Structures

By Teruaki Tanaka* and Yoshihiko Tabusa**

Synopsis: Authors report valuations of aseismic capacity at the aseismic diagnosis and elasto-plastic response analysis of the school of reinforced concrete structures.

要旨: 本研究は、既存鉄筋コンクリート造学校建築に対し耐震診断及び弾塑性応答解析を行ない耐震性能を調査し検討を加えたものである。

1. はじめに

我国において過去約20年の間に新潟地震（1964年）、十勝沖地震（1968年）、宮城県沖地震（1978年）等の中～大規模な地震が発生し、一部の建築物に被害をもたらしている。特に十勝沖地震では、木造家屋の被害よりも中低層鉄筋コンクリート造の構造物が崩壊状態に至るまでの被害を受けている。その破壊にはX（エックス）型の亀裂が入るせん断破壊に代表されるように粘り（じん性又は変形能力）不足で崩壊した例が多い。今日までの耐震設計基準で設計された建築物の破壊原因は大きく分けると、次の5つに分けられる。

- ① 粘り（じん性又は変形能力）不足
- ② 接合部の欠陥
- ③ 剛心と重心のずれ（偏心）
- ④ 上下階の剛性率の急変
- ⑤ その他（施工者の技術未熟や不注意等）

以上の点を考慮して新しい耐震設計基準が昭和56年に施行されるに至った。また新耐震設計基準が適用されていない既存建築物に対しては「耐震診断」を行ない、必要とあれば耐震補強を行なおうという気運が近年特に高まってきている。「耐震診断」はその建物が老朽化してい

るか否かにかかわらず建物の耐震性能の診断を行ない来たるべき地震に備えておこうというものである。ここでは、学校建築の構造形式の特色に着目し、資料の得られた静岡県下の既存学校建築12棟について各耐震要素が耐震性能に及ぼす影響を検討する。学校建築では一般に建物が一文字型で、その大半が片廊下式の平面形状である（図1.1に平面プランの例を示す）。また平面形状が細長く、耐力壁の配置が一方向（梁間方向）に限られて方向による耐力差が明瞭である。そこで耐震性能の著しく劣る桁行方向について耐震診断（1次、2次、3次）及び弾塑性応答解析を行なって建物の有する変形性能・保有耐力、応答せん断力等を求めて、耐震性能を検討し、学校建築の耐震設計、耐震補強の方針を確立する目安としたい。

2. 耐震診断の方法

2.1 診断概要

構造体の耐震性能を表わす指標（Seismic Index of Structure）を構造耐震指標（ I_s ）という。この指標値は、水平力に対する建物の終局強度あるいはじん性性能が大きい程大きくなる。診断基準を定める I_s 値を求める方法としては、1次診断、2次診断、3次診断の3種類がある。何れも基本的な考え方は同じであるが次数が高くなるに従い、計算が詳しくなり信頼度も増してくる。 I_s 値は、耐震診断基準により、建物各階の梁間及び桁行方向それぞれについて(1)式により算定される。

*建築学科 教授
Professor, Division of Architecture

**建築学科 技術職員
Technical Staff

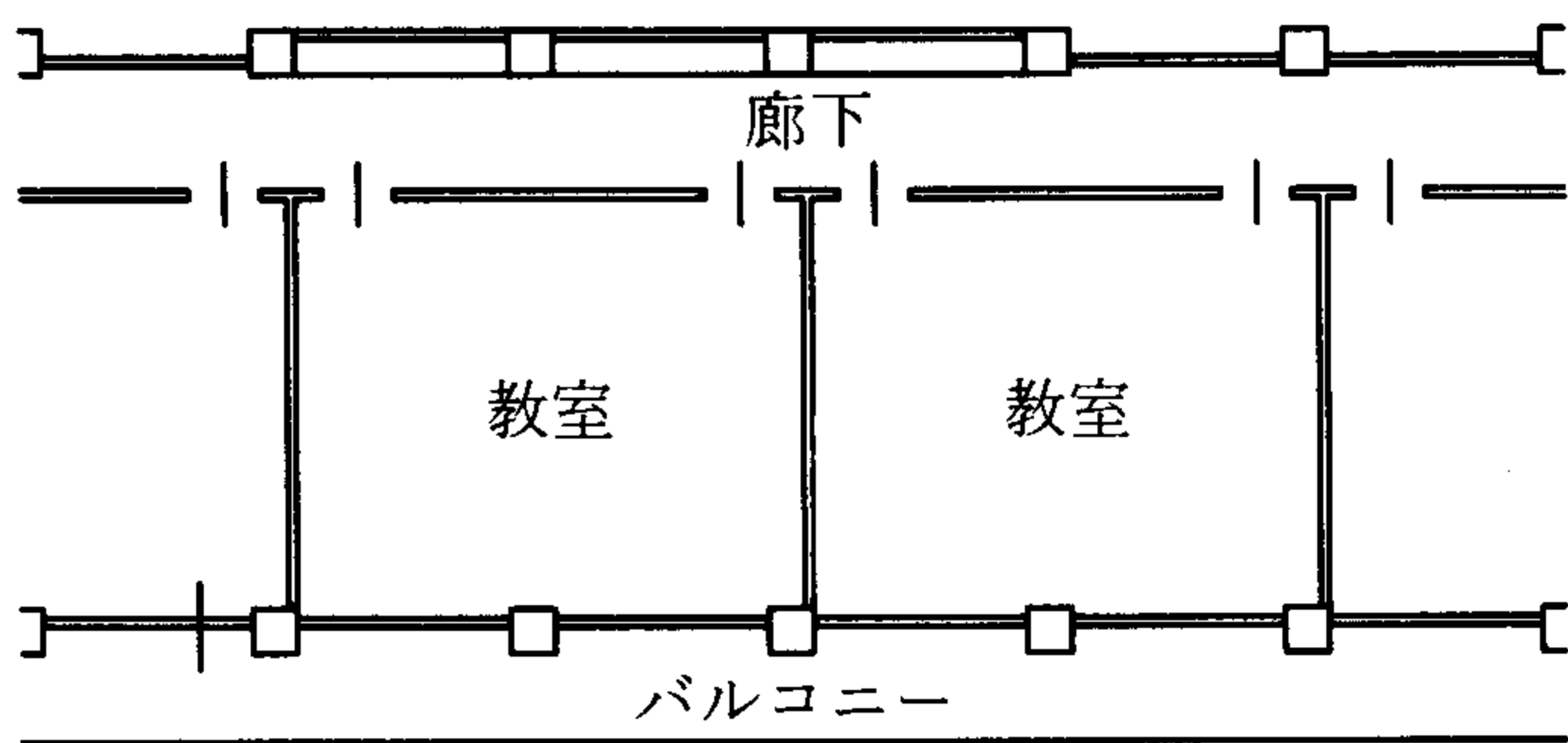


図1.1 平面プラン例

$$I_s = E_0 \times G \times S_D \times T \quad (1)$$

ここで E_0 : 保有性能基本指標

G : 地動指標

S_D : 形状指標 (構造計画指標)

T : 経年指標

I_s 値は、大きくなる程安全とみなされ過去の震害例を基に目標値を定めている。ここで保有性能基本指標 E_0 は(2)式で表わされ、建物の終局強度、破壊形式及びじん性性能により建物が保有する耐震性能を評価する指標であり、強度が大きく、又変形能力が大きい程大きな値となる。

$$E_0 = C \times F \quad (2)$$

ここで C : 強度指標

F : じん性指標

そこで壁の多い建物と、ラーメン構造の建物とに共通な耐震性能の尺度を与えるように定めて(2)式のように略算的に計算される。さらに、地動指標(G)、形状指標(S_D)、経年指標(T)を用いて略算的に計算される E_0 指標の修正を行なう。地動指標(G)は、その地域の地震活動度、その建物の地盤、地形の状態、基礎の条件などを加味してきめる。形状指標(S_D)は、建物の立体的な剛性のバランス、平面的な剛性のバランス等、構造計画の良否が建物の耐震性能に及ぼす影響を示すように算定する。経年指標(T)は、建物の経年変化がその判断の基準となる。すなわち、経年変化による材料強度の劣

化、不同沈下などによる構造損傷の発生程度などにより耐震性能が建物当初と比較してどの程度低下しているかを推定してきめる。

(1) 1次診断法

E_0 指標は、延床面積壁率及び柱率により略算される建物の終局強度で算出する。 S_D 指標及び T 指標は、 E_0 指標略算法のレベルに見合った簡便法より算出する。本法は、壁の多い建物に適した簡便法であり、壁の少ない建物に用いると、 E_0 指標が過小評価される傾向にある。

(2) 2次診断法

この方法は、梁の強度は十分大きいと仮定し、1次診断法よりやや詳細な略算法により柱と壁の終局強度を求めて E_0 指標を算定する。 S_D 及び T 指標についても1次診断法よりやや詳細な検討法を適用する。鉛直部材の強度の他にじん性も E_0 指標に反映されるので、じん性の高いラーメン構造をもつ建物等では、1次診断法を用いる場合より E_0 指標が大きくなる傾向にある。又1次診断法より結果の信頼性が高まるので、この方法の耐震指標を用いて耐震判定を行なう場合には1次診断法の場合より判定基準を下げて考える。

(3) 3次診断法

E_0 指標は、フレームの降伏型、壁の基礎回転なども考慮して算出する。 S_D 指標ならびに T 指標は2次診断法と同様に算出する。建物の特性が2次診断法よりさらに詳細に検討され、その結果の信頼性が上る。

2.2 調査概要

静岡県下の鉄筋コンクリートラーメン構造の既存学校建築の現況調査を行なった。調査対象は、地上3階建の12棟(内1棟は2階建)で、「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準」(財)日本建築防災協会に基づき、「鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断プログラム SCREEN Edition-2」及び「同 SCRN03」(財)日本建築防災協会、SPRC委員会)を用いて調査解析を行なった。対象とした12棟の平均床面積は1369.1 m²である。

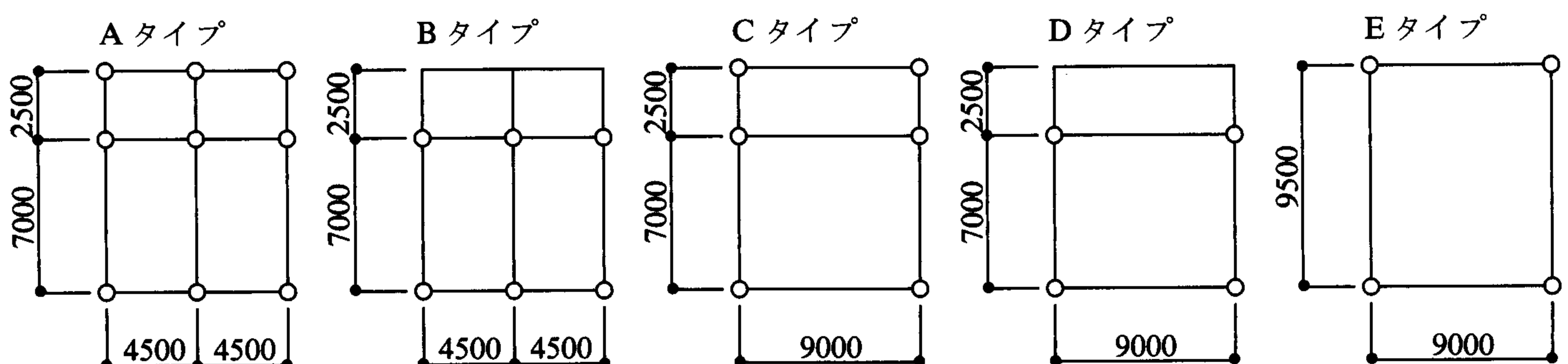


図2.1 1教室あたりの架構分類

表2.1 調査建物の諸量

Case	全長 (m)		階	階高 (m)	階数	延床面積 (m ²)	総重量 (t)	架構 分類
1	桁行	54.00	3	4.0	12.5	2088.0	2252.4	C
	梁間	9.65	2	4.0				
			1	4.5				
2	桁行	43.20	3	3.8	12.1	1440.0	1460.0	C
	梁間	10.03	2	3.8				
			1	4.5				
3	桁行	46.90	3	4.0	12.0	968.7	1255.5	D
	梁間	6.90	2	4.0				
			1	4.0				
4	桁行	9.10	3	4.0	12.0	625.5	763.8	A
	梁間	20.00	2	4.0				
			1	4.0				
5	桁行	50.25	3	3.9	12.3	1386.9	1745.6	C
	梁間	9.20	2	3.9				
			1	4.5				
6	桁行	63.05	3	3.9	12.2	1901.1	2394.1	B
	梁間	10.05	2	3.8				
			1	4.5				
7	桁行	44.00	3	3.75	12.1	950.4	1172.1	A
	梁間	7.20	2	3.8				
			1	4.55				
8	桁行	44.00	3	3.75	12.1	1254.0	1546.6	A
	梁間	9.50	2	3.8				
			1	4.55				
9	桁行	55.16	3	3.9	12.2	1659.9	2047.0	A
	梁間	9.50	2	3.9				
			1	4.4				
10	桁行	44.66	3	3.9	12.2	1343.7	1657.2	A
	梁間	9.50	2	3.9				
			1	4.4				
11	桁行	66.00	3	3.7	12.0	2403.9	2670.6	B
	梁間	7.20	2	3.8				
			1	4.5				
12	桁行	13.50			7.9	406.5	325.0	E
	梁間	9.50	2	3.7				
			1	4.2				

表2.2 各階重量・偏心率・剛重比変化率・保有せん断力・保有せん断力係数

Case	階	各階重量 (t)	偏 心 率	剛重比変 化率	保有せん断力 (t)		保有せん断力係数	
					2 次	3 次	2 次	3 次
1	3	751.10	0.07	1.03	1586.1	234.9	2.11	0.31
	2	730.40	0.07	1.97	3351.1	620.7	2.26	0.42
	1	770.90	0.06	1.03	5253.3	1268.6	2.33	0.56
2	3	480.00	0.01	1.03	563.3	93.3	1.17	0.19
	2	450.00	0.01	0.97	1211.7	185.2	1.30	0.20
	1	530.00	0.00	1.38	1877.0	321.2	1.29	0.22
3	3	384.20	0.12	1.13	395.9	298.1	1.03	0.78
	2	435.40	0.01	0.89	1094.4	838.4	1.33	1.02
	1	435.40	0.01	0.87	2053.2	1588.8	1.64	1.27
4	3	236.00	0.12	1.23	526.5	247.4	2.23	1.05
	2	247.30	0.01	0.81	1202.0	721.2	2.49	1.49
	1	280.50	0.02	1.05	1920.6	1866.7	2.52	2.44
5	3	543.80	0.02	0.94	800.5	525.5	1.47	0.97
	2	600.90	0.02	1.07	1715.0	1012.1	1.50	0.88
	1	600.90	0.02	1.15	2922.4	1917.4	1.67	1.10
6	3	746.70	0.02	0.98	1117.8	496.4	1.50	0.67
	2	823.70	0.03	1.03	2175.0	1103.5	1.39	0.70
	1	823.70	0.01	1.16	3552.4	2082.2	1.48	0.88
7	3	348.50	0.01	0.90	478.8	433.2	1.37	1.24
	2	411.80	0.02	1.10	1048.3	902.4	1.38	1.19
	1	411.80	0.02	1.23	1792.2	1596.4	1.53	1.36
8	3	459.80	0.10	0.77	569.8	364.8	1.24	0.79
	2	543.40	0.01	0.29	1197.0	893.7	1.19	0.89
	1	543.40	0.04	0.68	2360.2	2036.9	1.53	1.32
9	3	608.60	0.00	1.92	895.0	596.4	1.47	0.98
	2	719.20	0.00	1.09	1962.9	1300.6	1.48	1.00
	1	719.20	0.03	0.81	3677.6	2513.6	1.80	1.23
10	3	492.60	0.03	0.87	1202.7	862.4	2.44	1.76
	2	582.20	0.05	1.15	3463.0	1937.4	2.29	1.80
	1	582.20	0.05	1.11	4270.0	2649.6	2.58	2.20
11	3	846.20	0.02	1.01	1037.3	938.3	1.23	1.11
	2	862.80	0.02	0.99	1916.9	1727.6	1.12	1.01
	1	961.50	0.02	1.24	3093.8	2802.5	1.16	1.05
12								
	2	162.50	0.00	2.39	121.3	98.2	0.75	0.61
	1	162.50	0.00	0.43	654.5	631.4	2.01	1.94

表2.3 保有性能基本指標(E_0)と構造耐震指標(I_s)

Case	階	保有性能基本指標(E_0)			構造耐震指標(I_s)		
		1 次	2 次	3 次	1 次	2 次	3 次
1	3	1.28	0.78	0.20	1.04	0.66	0.15
	2	0.79	0.53	0.22	0.64	0.45	0.17
	1	0.62	0.52	0.31	0.50	0.45	0.24
2	3	0.54	0.25	0.15	0.49	0.22	0.14
	2	0.34	0.10	0.08	0.31	0.09	0.07
	1	0.28	0.13	0.09	0.25	0.11	0.07
3	3	0.77	0.87	0.78	0.66	0.76	0.68
	2	0.52	0.63	0.67	0.45	0.55	0.59
	1	0.50	0.75	0.69	0.43	0.66	0.60
4	3	1.52	1.71	1.15	1.37	1.25	0.84
	2	1.08	1.05	0.77	0.97	0.94	0.69
	1	0.85	0.87	0.83	0.77	0.78	0.75
5	3	0.90	1.20	0.61	0.81	1.12	0.57
	2	0.52	0.61	0.39	0.47	0.57	0.36
	1	0.43	0.58	0.46	0.39	0.54	0.43
6	3	0.95	0.95	0.44	0.81	0.86	0.40
	2	0.54	0.35	0.34	0.46	0.32	0.31
	1	0.48	0.33	0.41	0.41	0.30	0.37
7	3	1.10	1.08	0.81	0.99	0.96	0.72
	2	0.61	0.55	0.58	0.55	0.49	0.52
	1	0.49	0.61	0.58	0.44	0.49	0.46
8	3	0.71	0.83	0.59	0.64	0.70	0.50
	2	0.33	0.45	0.37	0.29	0.38	0.31
	1	0.43	0.75	0.74	0.38	0.63	0.62
9	3	0.83	2.64	0.62	0.83	2.46	0.58
	2	0.48	1.42	0.40	0.48	1.33	0.38
	1	0.54	0.71	0.58	0.54	0.66	0.53
10	3	1.52	2.72	1.13	1.52	2.54	1.05
	2	0.79	1.37	0.76	0.79	1.28	0.71
	1	0.72	0.92	1.00	0.72	0.86	0.93
11	3	0.84	1.11	1.06	0.79	1.01	0.96
	2	0.51	0.80	0.63	0.48	0.73	0.57
	1	0.44	0.44	0.51	0.41	0.36	0.46
12							
	2	1.19	1.62	1.45	1.19	1.21	1.08
	1	1.08	1.64	1.64	1.08	1.22	1.22

表2.4 柱率・壁率・柱壁率・平均せん断応力度

Case	階	延床面積 (m ²)	総重量 (t)	柱率 (cm ² /m ²)	壁率 (cm ² /m ²)	柱量 (cm ² /t)	壁量 (cm ² /t)	柱壁率 (cm ² /m ²)	柱壁量 (cm ² /t)	平均せん断応力度 (kg/cm ²)
1	3	232.0	751.1	16.1	100.0	4.9	30.8	116.1	35.8	27.87
	2	464.0	1481.5	9.7	50.2	3.0	15.7	60.0	18.8	53.19
	1	2088.0	2252.4	16.6	25.1	15.3	23.3	41.7	38.7	25.83
2	3	160.0	480.0	23.4	45.7	7.8	15.2	69.1	23.7	42.19
	2	320.0	930.0	8.4	24.8	2.9	8.5	33.3	11.4	87.26
	1	1440.0	1460.0	4.6	17.0	4.6	16.8	21.7	21.4	46.60
3	3	107.6	384.7	153.0	0.0	42.9	0.0	153.0	42.9	23.28
	2	215.3	820.1	92.2	0.0	24.2	0.0	92.2	24.2	41.27
	1	968.7	1255.5	71.8	0.0	55.4	0.0	71.8	55.4	18.04
4	3	72.5	236.0	125.0	98.3	38.5	30.2	223.8	67.8	14.54
	2	145.0	483.3	53.7	69.0	16.1	20.7	122.8	16.1	27.14
	1	652.5	763.8	35.8	46.2	30.6	39.3	81.8	69.9	14.2
5	3	154.1	543.6	231.0	3.5	65.5	0.9	234.9	66.5	15.02
	2	308.2	1144.6	111.0	3.7	29.9	1.0	114.8	29.9	32.34
	1	1386.9	1745.6	77.8	1.8	61.8	1.4	79.7	63.3	15.79
6	3	211.2	746.7	96.2	87.5	27.2	24.7	183.8	52.0	19.23
	2	422.5	1570.4	48.1	43.7	12.9	11.7	91.9	12.9	40.44
	1	1901.1	2394.1	33.4	35.2	26.5	28.0	68.6	54.5	18.34
7	3	105.6	348.5	202.0	0.0	61.3	0.0	202.4	61.3	16.31
	2	211.2	760.3	101.0	0.0	28.1	0.0	101.2	28.1	35.57
	1	950.4	1172.1	67.4	0.0	54.7	0.0	67.4	54.7	18.27
8	3	139.3	459.8	146.0	24.9	44.3	7.5	171.3	51.9	19.26
	2	278.7	1003.2	73.2	1.7	20.3	0.4	74.9	20.8	48.03
	1	1254.0	1546.6	41.8	18.7	33.9	15.1	60.5	44.0	20.37
9	3	184.4	608.6	17.7	6.4	5.3	1.9	24.1	7.3	136.40
	2	368.9	1327.8	88.5	6.4	24.6	1.8	95.0	26.4	37.86
	1	1659.9	2047.0	56.2	12.7	45.6	10.3	69.0	55.9	17.86
10	3	149.3	492.6	168.0	58.4	51.0	17.7	226.7	68.7	14.55
	2	298.6	1074.9	84.1	23.2	23.3	6.4	107.3	29.8	33.53
	1	1343.7	1657.2	60.4	15.7	49.0	12.7	76.1	61.7	16.20
11	3	267.1	846.2	137.0	39.7	43.3	29.5	231.1	72.9	13.71
	2	534.2	1709.0	72.5	46.3	22.6	14.4	118.8	37.1	26.92
	1	2403.9	2670.6	46.3	35.5	41.7	32.0	81.9	73.8	13.54
12	2	67.8	162.5	211.0	0.0	88.0	0.0	211.1	88.0	11.35
	1	406.5	325.0	0.0	79.7	0.0	99.6	79.7	99.6	10.03

表3.1 最大応答量と固有周期

Case-1									
								固有周期=0.49(sec)	
階	絶対変位(cm)	層間変位(cm)	せん断力(t)	せん断力係数	転倒モーメント(t・m)	速度(cm/s)	加速度(cm/s ²)	塑性率 ₁	塑性率 ₂
3	-3.19	0.74	160.40	0.21	499.20	-7.45	222.1	2.10	0.18
2	-2.82	1.16	310.16	0.21	896.77	8.56	230.8	5.56	0.40
1	-1.74	1.74	462.59	0.20	1732.85	14.45	229.1	4.73	0.64
Case-2									
								固有周期=0.69(sec)	
階	絶対変位(cm)	層間変位(cm)	せん断力(t)	せん断力係数	転倒モーメント(t・m)	速度(cm/s)	加速度(cm/s ²)	塑性率 ₁	塑性率 ₂
3	-6.08	1.16	155.40	0.33	368.22	9.38	333.6	3.42	0.47
2	-5.09	2.45	272.25	0.29	703.61	19.80	290.1	6.72	0.89
1	-2.79	2.79	381.33	0.26	1451.62	19.01	304.7	3.92	1.08
Case-3									
								固有周期=0.30(sec)	
階	絶対変位(cm)	層間変位(cm)	せん断力(t)	せん断力係数	転倒モーメント(t・m)	速度(cm/s)	加速度(cm/s ²)	塑性率 ₁	塑性率 ₂
3	-1.67	0.38	125.65	0.32	382.09	-8.18	333.1	1.65	0.24
2	-1.29	0.99	240.46	0.29	946.16	-15.76	-307.7	4.95	0.60
1	-0.31	0.31	317.58	0.25	1865.62	4.50	-291.4	1.84	0.37
Case-4									
								固有周期=0.57(sec)	
階	絶対変位(cm)	層間変位(cm)	せん断力(t)	せん断力係数	転倒モーメント(t・m)	速度(cm/s)	加速度(cm/s ²)	塑性率 ₁	塑性率 ₂
3	-4.74	0.88	61.64	0.26	149.33	-9.48	264.5	2.96	0.23
2	-3.98	1.96	114.93	0.23	350.08	14.23	243.7	6.55	1.71
1	-2.10	2.10	167.76	0.21	599.72	15.20	260.4	5.54	1.18
Case-5									
								固有周期=0.31(sec)	
階	絶対変位(cm)	層間変位(cm)	せん断力(t)	せん断力係数	転倒モーメント(t・m)	速度(cm/s)	加速度(cm/s ²)	塑性率 ₁	塑性率 ₂
3	1.92	0.13	140.81	0.27	465.17	-4.21	288.9	1.08	0.05
2	1.82	0.68	257.79	0.23	1467.71	-6.63	-249.8	4.41	0.26
1	1.15	1.15	375.51	0.21	3152.39	-12.92	-214.5	6.18	0.42
Case-6									
								固有周期=0.63(sec)	
階	絶対変位(cm)	層間変位(cm)	せん断力(t)	せん断力係数	転倒モーメント(t・m)	速度(cm/s)	加速度(cm/s ²)	塑性率 ₁	塑性率 ₂
3	-6.66	1.11	187.56	0.25	397.29	7.94	262.4	4.75	0.34
2	-5.76	2.33	364.41	0.23	1102.97	-13.45	242.8	8.68	0.66
1	-3.58	3.58	480.92	0.20	2346.49	-21.43	232.3	9.95	0.60

Case-7

固有周期=0.43(sec)

階	絶対変位(cm)	層間変位(cm)	せん断力(t)	せん断力係数	転倒モーメント(t・m)	速度(cm/s)	加速度(cm/s ²)	塑性率 ₁	塑性率 ₂
3	-3.32	0.27	77.88	0.22	213.26	4.27	228.8	2.15	0.10
2	-3.10	1.15	166.54	0.21	674.09	-8.07	229.6	9.57	0.43
1	-1.99	1.99	241.95	0.20	1464.17	13.08	223.3	6.53	0.55

Case-8

固有周期=0.83(sec)

階	絶対変位(cm)	層間変位(cm)	せん断力(t)	せん断力係数	転倒モーメント(t・m)	速度(cm/s)	加速度(cm/s ²)	塑性率 ₁	塑性率 ₂
3	-9.08	1.72	191.65	0.41	511.79	13.20	421.9	11.97	0.63
2	-7.45	3.41	352.78	0.35	1551.04	22.17	369.7	14.52	1.20
1	-4.34	4.34	512.70	0.33	3195.99	-25.28	299.4	8.23	0.88

Case-9

固有周期=0.44(sec)

階	絶対変位(cm)	層間変位(cm)	せん断力(t)	せん断力係数	転倒モーメント(t・m)	速度(cm/s)	加速度(cm/s ²)	塑性率 ₁	塑性率 ₂
3	-4.20	0.76	154.28	0.25	331.26	5.42	257.3	8.87	0.37
2	-3.50	1.69	297.39	0.22	1136.81	-12.45	255.9	15.28	1.19
1	-1.90	1.90	452.14	0.22	2300.38	11.87	261.9	8.56	1.11

Case-10

固有周期=0.49(sec)

階	絶対変位(cm)	層間変位(cm)	せん断力(t)	せん断力係数	転倒モーメント(t・m)	速度(cm/s)	加速度(cm/s ²)	塑性率 ₁	塑性率 ₂
3	-6.12	1.40	201.95	0.29	397.82	7.76	302.8	17.34	0.50
2	-4.85	2.25	356.67	0.26	1124.39	13.10	257.4	22.80	0.83
1	-2.68	2.68	458.05	0.22	2207.58	-17.27	238.1	15.76	0.72

Case-11

固有周期=0.52(sec)

階	絶対変位(cm)	層間変位(cm)	せん断力(t)	せん断力係数	転倒モーメント(t・m)	速度(cm/s)	加速度(cm/s ²)	塑性率 ₁	塑性率 ₂
3	-4.26	0.19	173.25	0.22	475.17	-4.33	228.7	1.03	0.08
2	-4.09	1.15	341.91	0.21	1239.61	-7.94	214.1	5.50	0.71
1	-2.94	2.94	442.77	0.18	1832.96	17.32	213.8	8.17	1.30

Case-12

固有周期=0.22(sec)

階	絶対変位(cm)	層間変位(cm)	せん断力(t)	せん断力係数	転倒モーメント(t・m)	速度(cm/s)	加速度(cm/s ²)	塑性率 ₁	塑性率 ₂
3									
2	-1.02	0.30	35.88	0.45	111.09	-7.44	454.3	1.52	0.12
1	-0.72	0.72	65.89	0.42	303.91	-12.85	387.3	2.07	0.25

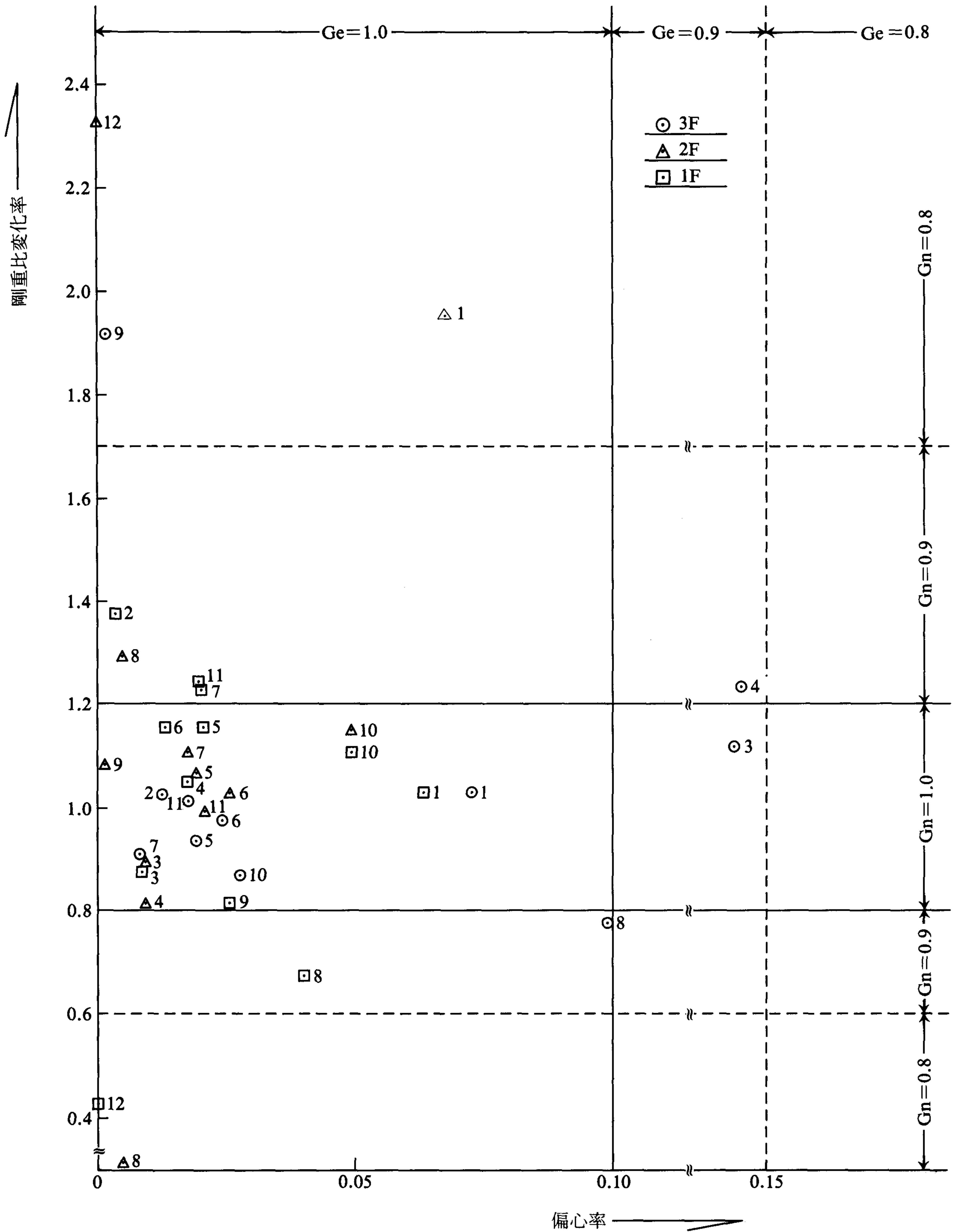


図4.1 偏心率と剛重比変化率

現在までのいわゆる文部省規格の学校建築では、廊下を含む1教室当りの床面積はほとんど85 m²位であり、これを構造的な柱配置で分類すると図2.1のようなA~Eの5タイプに分類され、耐震性能を調査する上で興味ある結果となった。表2.1に調査建物の諸量を示す。

2.3 調査結果

2.2に基づき解析した結果を表2.2~表2.4に示す。

3. 弾塑性応答解析

3.1 解析概要と結果

対象とした建物12棟を3質点系（内1棟は2質点系）に置換し弾塑性応答解析（Tri-Linear型）を行なった。表3.1にその結果を示す。地震波は、HACHINOHE 1968 N-Sを使用した。

4. 耐震性能評価

4.1 偏心率と剛重比変化率

表2.2で剛重比は、建物の水平剛性を建物重量で除した値であり、偏心率は、建物の重心と剛心との偏心距離と建物幅との割合である。偏心率は、建物平面形状での不整形及び耐震壁の偏った配置に起因し、建物の振れ、変形の割合を評価できる。剛重比変化率は、建物の立・断面形状の不整形に起因し、各階に於ての他の階の変形に対する割合に補正係数 β ($\beta=(N-1)/N$, ただしNは支える床の数とし、最上層の場合は $\beta=2.0$ とする)を乗じた値である。これで、特定の階へのエネルギーの集中度を評価する。剛重比変化率と偏心率は過去の災害データから安全域を決めグレードで評価する（グレード1.0を良好として表わす）。図4.1は偏心率と剛重比変化率をグレード別にプロットしたものである。剛重比変化率は0.6以下及び1.7以上、偏心率は0.15以上では安全性に疑問がありグレード0.8となる。調査した建物では11.4%が剛重比変化率でグレード0.8に属する。偏心率では、一文字型の学校建築という特殊性から0.15以上のものはない。偏心率と剛重比変化率が共にグレード1.0に属する、いわゆる構造計画上優れていると見なされる建物は、対象建物中に65.7%が含まれている。

4.2 強度指標(C)とじん性指標(F)と保有せん断力(Q)

建物の吸収エネルギーは、強度指標(C)・じん性指標(F)・保有せん断力(Q)の関係で評価される。これを示すと図4.2のような概略図で表わせる。この図から部材の耐力と変形能力の平面・立面上のバランスと力の流れがどの様になっているか、建物の破壊がどの様に進行していくか、又一部の部材に破壊が起った後どの様に水

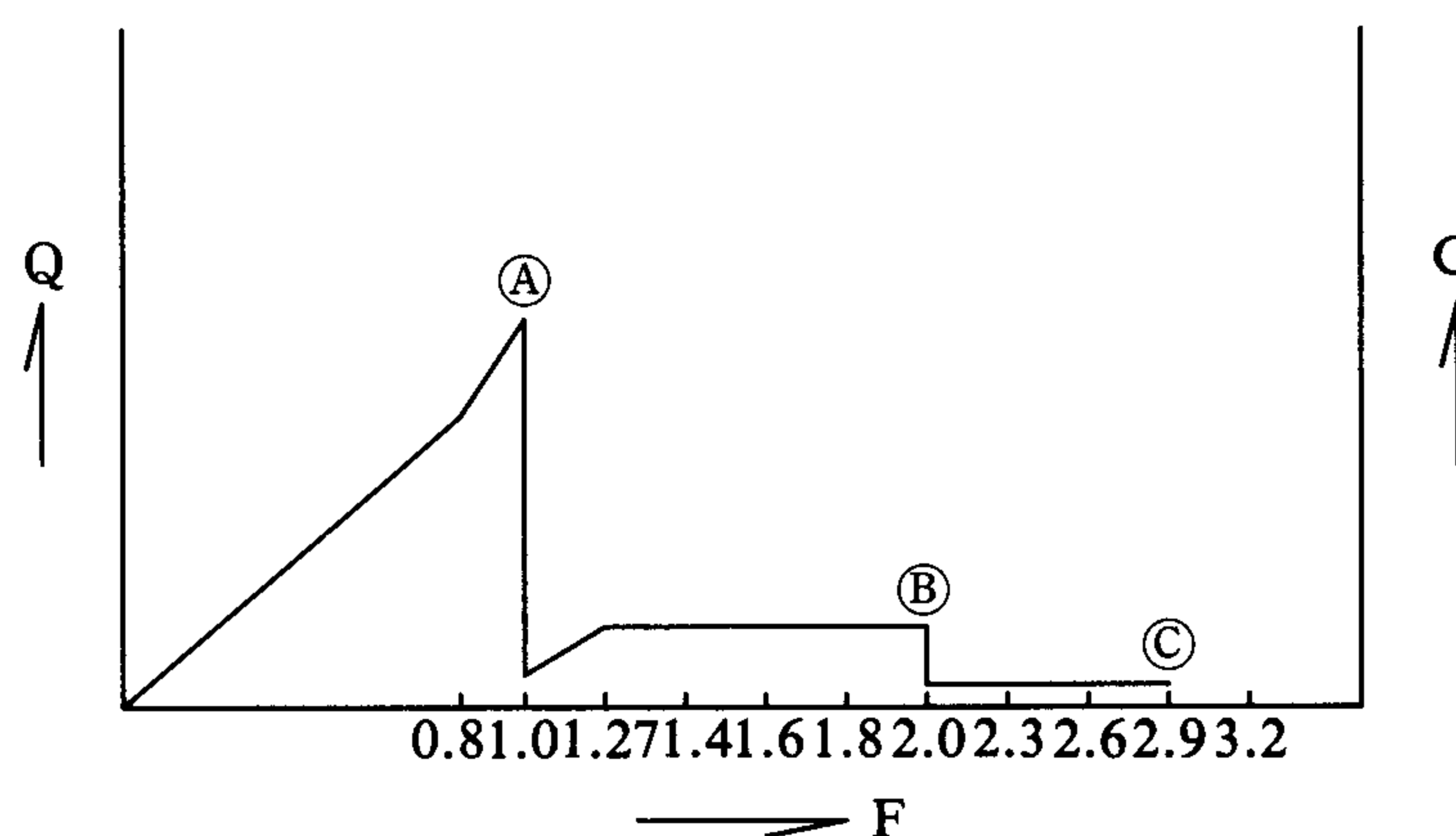


図4.2 強度指標(C)とじん性指標(F)の概略図

平力・軸力双方の力の流れが変化するか、等を知ることができる。図4.2の強度指標とじん性指標の関係概略図で建物の破壊過程をみてみると、A点では比較的変形の少ない段階でせん断部材が破壊を生じ耐力を失ない、その時点でいったん耐力の低下を生じる。しかしB点に至るまで他のじん性部材が耐力を保持し、最後にこのじん性部材が降伏するに至るC点まで建物は変形能力を保持していることがわかる。この様な検討を行なえば、構造耐震指標値だけで機械的に耐震判定を下すのではなく、総合的な判断を下すことができ、又補強計画へつなげることもできる。強度指標(C)、じん性指標(F)の関係を分類すると、図4.3に示す如くほぼ9タイプに分類することができ、タイプ別に次のような性状を示している。

- ① せん断部材の破壊後、せん断強度指標(C)が0.1程度以下に急減する。変形能力は1/250（層間変形）程度。
- ② ①と同じ様な性状であるが、C=0.2程度以上を有する。
- ③ せん断部材の強度と曲げ部材の強度がほぼ等しい。曲げ部材はじん性に富む。
- ④⑤ せん断部材が支配的な構造であるが、最大強度に達する以前に一部ぜい性部材の破壊を生じる。④に於ては、特にじん性が極端に小さいと考えてよい。
- ⑥⑦ せん断部材が支配的な構造である。最大強度に達すると同時に一部ぜい性部材の破壊が生じる。
- ⑧⑨ 曲げ部材の保有強度が支配的な構造を持つものである。⑧に於ては、若干のぜい性部材・せん断部材を含む事に注意を要する。

この内①③④はせん断破壊形部材の保有耐力が建物耐力に支配的な特性を持つ建物、②⑦はぜい性部材の保有耐力が支配的な建物、⑤⑥⑧⑨は曲げ部材の保有耐力が支

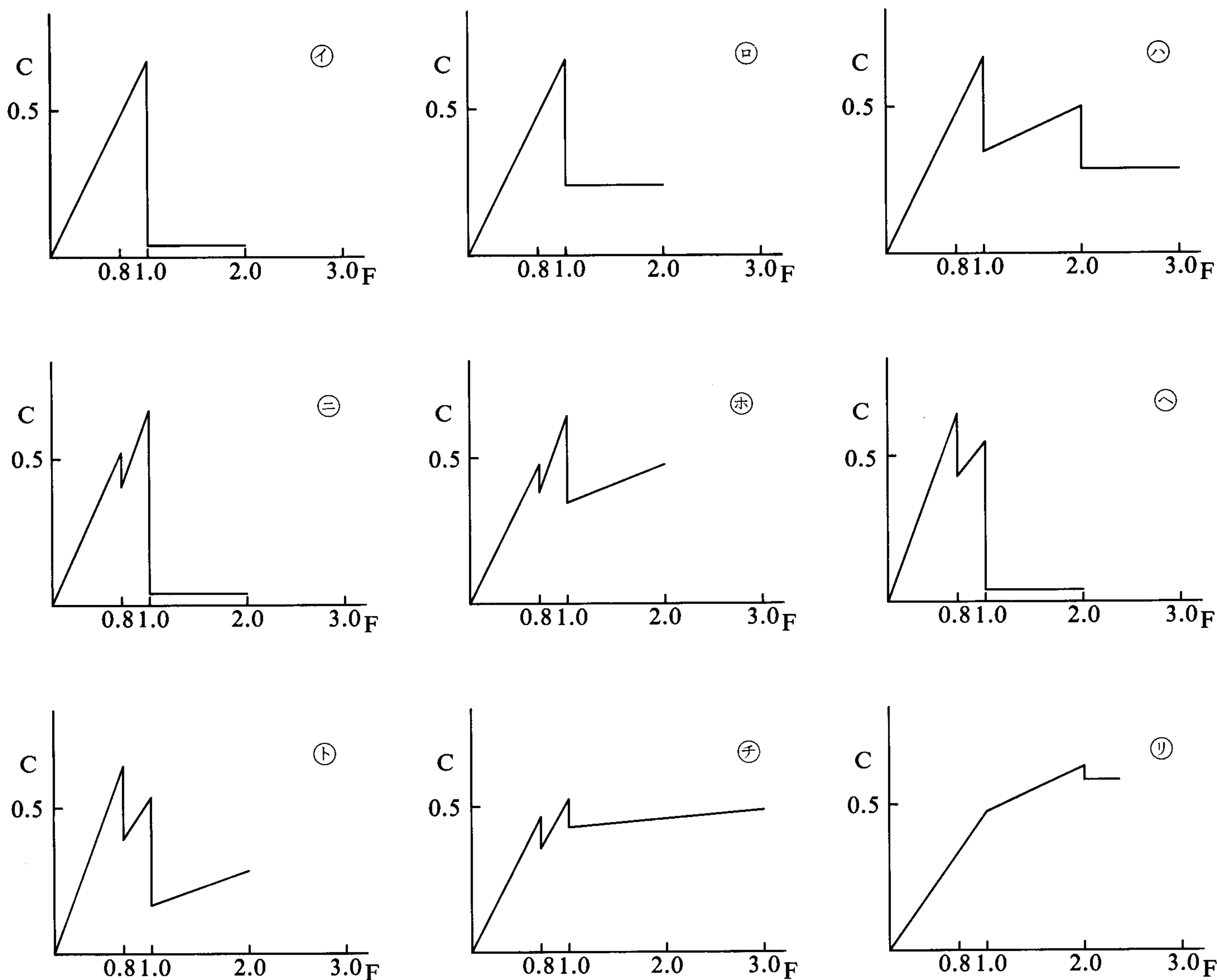


図4.3 強度指標(C)とじん性指標(F)の分類

配的な建物である。耐震診断では、建物の安全性は終局耐力とじん性指標の関数により評価されるが、一般的には、いくつかのじん性の異なる構造部材の中で最もじん性の小さい部材の破壊をもって被害と認識されるので、タイプ㊶～㊿に属する建物の場合の様に、ぜい性部材を有する建物では早い時期に被害をこうむることになる。従って建物の耐震性能は耐震診断値のみによる判断には、必しも妥当性はなく、慎重な検討を必要とする。図4.4は、調査建物の2次診断、3次診断の強度指標(C)とじん性指標(F)の関係を示している。表4.1は各建物の強度指標(C)とじん性指標(F)の関係を分類したものである。今回の調査建物においては、2次診断、3次診断共に83.3%がせん断部材支配型の建物であるが3次診断では、曲げ部材のじん性の影響があらわれている。2次診断の I_s 値が0.7(耐震性能上安全であると考えられる最小値)以上の建物は㊶㊷㊸㊿の分類に含まれ、3次診断の I_s 値が0.6(耐震性能上安全であると考えられる最小値)以上の建物は㊶㊷の分類に含まれる。

4.3 2次・3次診断の構造耐震指標値(I_s)と柱壁率

図4.5は、柱壁率と構造耐震指標値(I_s)との関係を示したものである。柱率は、柱の全断面積を延べ床面積で除した値、壁率は、耐震壁のみならず、厚さ10cm以

表4.1 構造耐震指標(I_s)・強度指標(C)とじん性指標(F)及び架構分類

Case	$_2I_s$ 値	分 類	$_3I_s$ 値	分 類	タイプ (1教室)
1	0.45	へ・ト	0.24	ハ	C
2	0.11	イ・ハ	0.07	イ	C
3	0.66	イ	0.60	ハ	D
4	0.78	イ・ハ	0.75	ハ	A
5	0.54	へ・ト	0.43	ハ	C
6	0.30	へ・ト	0.37	ハ	B
7	0.49	イ・ハ	0.46	ロ	A
8	0.63	イ	0.62	イ	A
9	0.66	チ	0.53	イ・ハ	A
10	0.86	へ・ト	0.93	イ・ハ	A
11	0.36	へ	0.46	リ	B
12	1.22	イ	1.22	イ	E

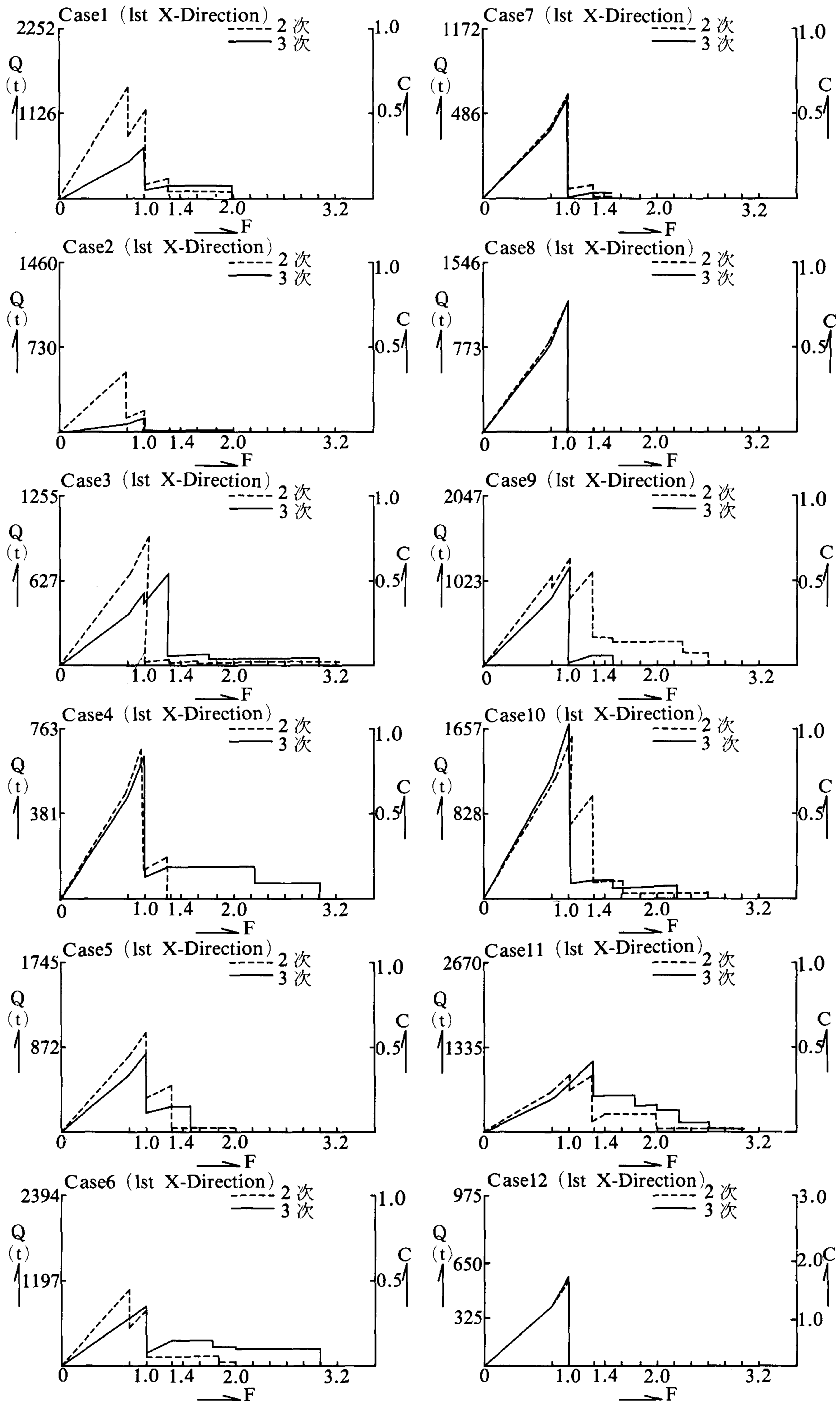


図4.4 2・3次診断に於ける強度指標(C)とじん性指標(F) (1階について)

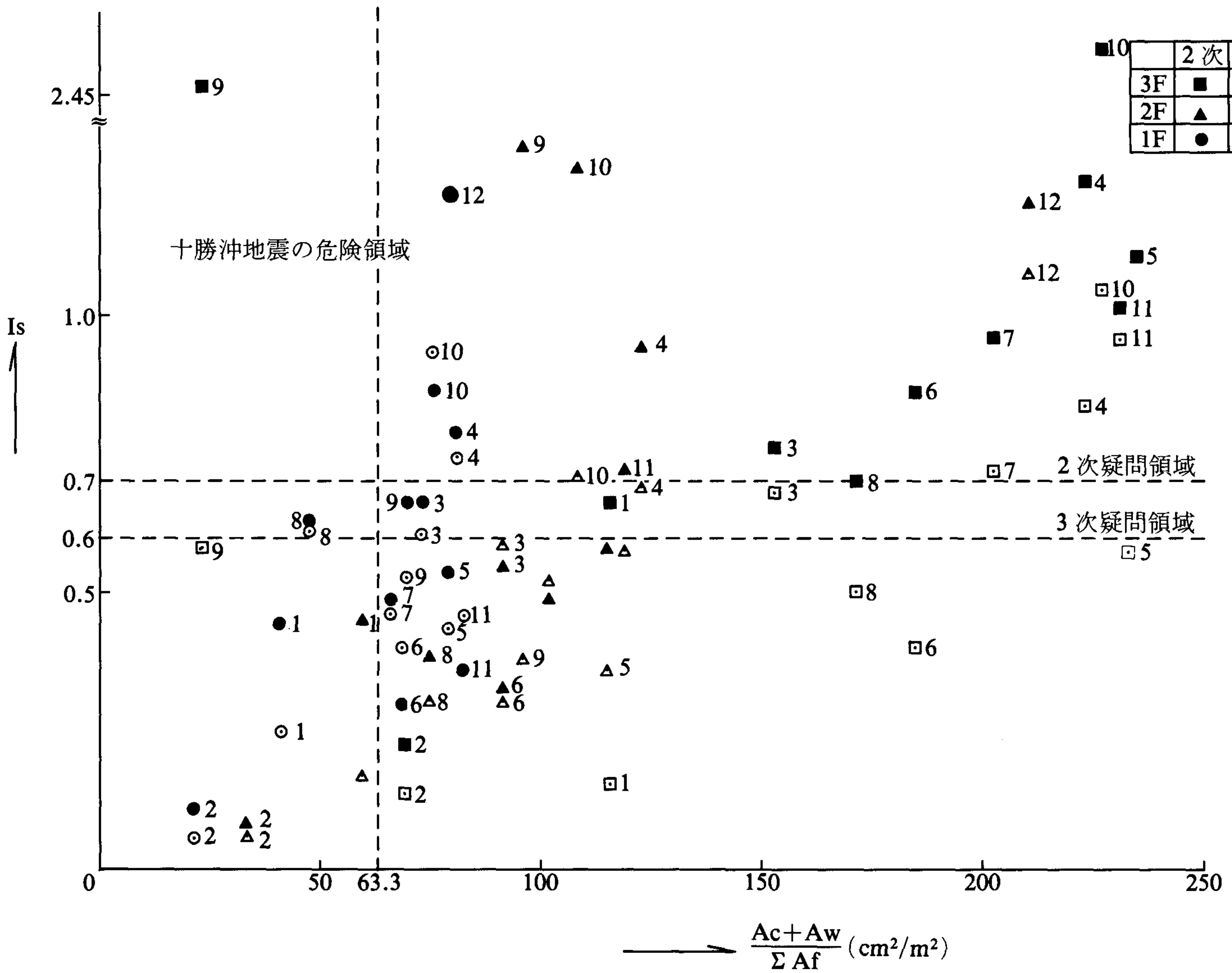


図4.5 2次, 3次診断に於ける構造耐震指標(Is)と柱壁率

上の雑壁も含む全壁断面積を床面積で除した値であり、何れも建物強度の一つの重要な指標となり得るものである。ここで、両側に柱をもつI形断面の耐震壁の柱部分断面積は壁率の算定に加えられている。柱壁率は、柱率と壁率との和である。柱壁率の1階での平均値は66.7 cm²/m²となる。1968年十勝沖地震に於いて被害にあった建物の調査から危険領域に入る柱壁率は63.3 cm²/m²以内であり、2次診断のIs値で安全性疑問領域はIs=0.7以下、3次診断による安全性疑問領域はIs=0.6以下であった。今回の調査で耐震的に最も劣ると思われる1階について柱壁率、Is値を調べてみると、柱壁率では、2次診断、3次診断共に25.0%が危険領域に含まれる。3次診断のIs値疑問領域及び柱壁率の危険領域に含まれるものは16.7%、2次診断のIs値疑問領域及び柱壁率の危険領域に含まれるものは25.0%である。柱壁率は大きい、Is値が低いものは、偏心率、剛重比変化率が大きくなる為である。

4.4 平均せん断応力度と壁率

平均せん断応力度は、建物に建物重量と等しい水平力が作用した場合、即ち水平せん断力係数を1.0と仮定した時の全ての柱及び壁のせん断応力度の平均値であり建物の保有強度を推定するものである。建物に存在する壁のせん断強度は、柱のせん断強度に比較して非常に大きい。壁率と平均せん断応力度の関係から耐震性能を判断する方法として志賀敏夫博士の提案した志賀マップがある。これに於ける危険領域は、壁率30 cm²/m²以下、平均せん断応力度12 kg/cm²以上である。図4.6は、調査建物の1階の平均せん断応力度と壁率を志賀マップにプロットしたものであり、危険領域に8棟(66.7%)が入っている。調査建物の1階の平均せん断応力度の平均値は19.6 kg/cm²である。

4.5 保有せん断力と応答せん断力

建物が、ある地震動を受けた時に生ずるせん断力、すなわち応答せん断力をその建物の保有せん断力で除した値を倍率とする。

$$\text{倍率} = \text{応答せん断力} / \text{保有せん断力} \quad (3)$$

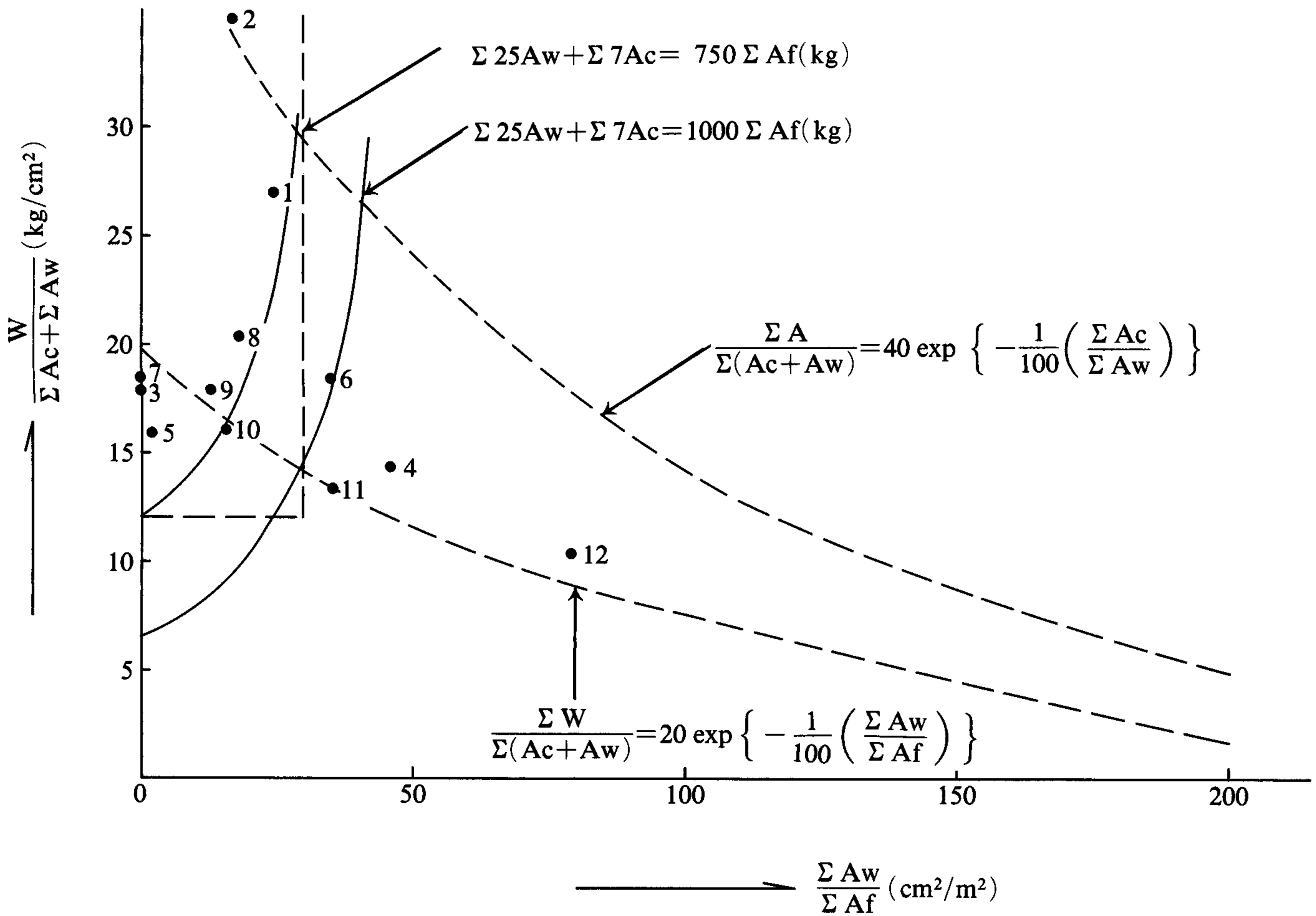


図4.6 平均せん断応力度と壁率（1階について）

応答せん断力が保有せん断力より小さい時は安全であり、応答せん断力が保有せん断力を越えた時、即ち倍率が1.0を超えた時は危険である。「HACHINOHE HARBOR 1968 N-S」（最大加速度224.06 gal）の地震波を使用して応答せん断力を求め建物別に応答せん断力と保有せん断力の関係を表わしたものが図4.7である。1棟（Case 2）以外はすべて保有せん断力が応答せん断力を上回っている。これには今後、建物のモデル化（今回は3質点系）、建物と地盤の相互作用（地盤の塑性化）、地盤に適した地震波の選択等の考慮が必要であると考えている。

4.6 耐震診断値

構造耐震指標値 I_s は、1次(${}_1I_s$)、2次(${}_2I_s$)、3次(${}_3I_s$)でそれぞれの観点に差があるが、次数が高くなるに従い精度が高くなり評価値は小さくなる。図4.8に各建物の ${}_1I_s$ 値、 ${}_2I_s$ 値、 ${}_3I_s$ 値をまとめた。 I_s 指標値による耐震性能の良否は、1968年十勝沖地震の被害調査から ${}_1I_s < 0.9$ 、 ${}_2I_s < 0.7$ 、 ${}_3I_s < 0.6$ では疑問とされている。 ${}_1I_s$ で疑問領域内に入る建物は、1階91.7%、2階83.3%、3階63.6%、1階、2階、3階では80.0%、 ${}_2I_s$ では、1階75.0%、2階58.3%、3階27.3%、1階、2階、3階

では51.4%、 ${}_3I_s$ では、1階58.3%、2階75.0%、3階54.5%、1階、2階、3階では62.9%である。図4.9に1教室の架構分類と ${}_2I_s$ 、 ${}_3I_s$ の関係をプロットした。調査建物の I_s 値と架構タイプ別との関係では、 ${}_2I_s$ 値は、Eタイプが最も大きく続いてA、D、C、Bタイプの順になる傾向があり、 ${}_3I_s$ 値は、Eタイプの建物が最も大きく続いてA、D、B、Cの順になる傾向がある。ただしEタイプは1棟であるので定量的な事はいえない。

5. まとめ

既存の鉄筋コンクリート造学校建築について、耐震診断を通じて様々な角度から検討を加えた。対象とした建物は12棟と数が少なく定量的な事はいえないが、耐震診断による構造耐震指標値(I_s)は低い値となり、1次診断で80.0%、2次診断で51.4%、3次診断で62.9%の建物が耐震性能に疑問がもたれるという結果になった。耐震診断法は、1981年に施行された新耐震設計法に準じて、それ以前の設計法で設計された建物の検討であるから、良好な結果を得る事はできないが、既往の設計法の問題点を浮び上らせたといつてよい。既往の設計法は強度設計法でありじん性の配慮が無かったので、壁の量が少な

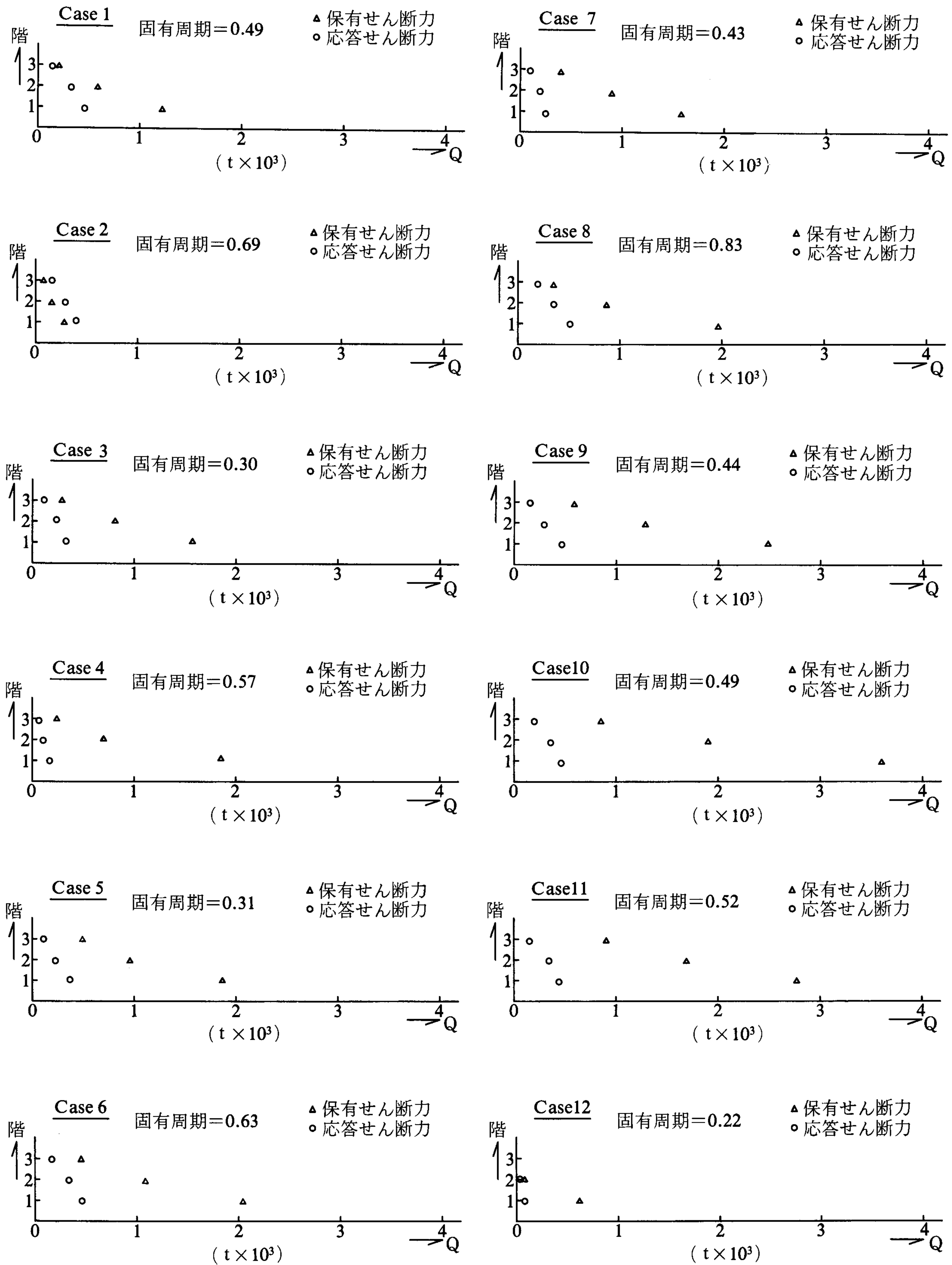


図4.7 応答せん断力と保持せん断力

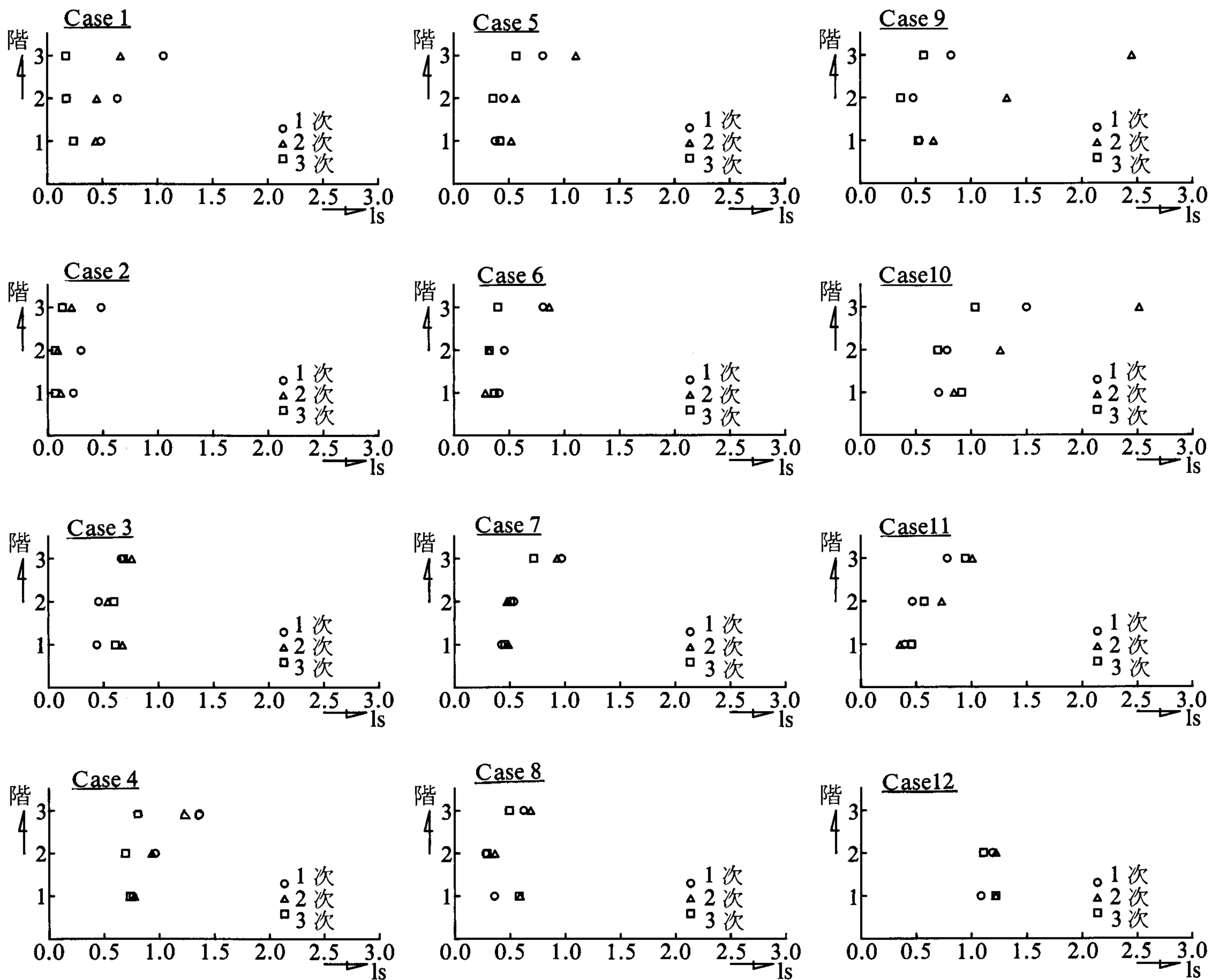


図4.8 各次構造耐震指標(I_s)の比較

くても対処が可能であった。今回、構造耐震指標値(I_s)が低い値となるのは壁の量が少なく、柱断面が小さい建物であり、これらの建物のじん性の欠如が著しい。柱壁率が小さく耐震性能が劣っている建物の他の原因は、学校建築の計画そのものの問題であろう。文部省規格の学校建築は過去に於いて片廊下式の一文字型が標準とされてきた。この形式は、梁間方向には十分な耐力壁が設けられるが、桁行方向は壁が無く、地震時には架構だけが抵抗する要素となる。強度の他、じん性も要求される新耐震設計法では当然耐震性能が疑問視される建物となるであろう。これらの耐震性能が疑問視される建物にあつては、何らかの方法で現在の技術、研究の成果に見合うべき処置がとられなければならない。有効な耐震要素を増設する方法として、壁や筋違による補強方法が考えられる。何れにしても耐震性能の向上を計る必要がある。静岡県では、予想される東海大地震のために、既存建築物の耐震診断が数多く行なわれているが、東海地方に限

らずこの機会に少なくとも建設年度の古い既存建物の耐震診断を行なって耐震性能の再検討を行なう必要がある。

(原稿受付 昭和59年9月30日)

参考文献

- 1) 財団法人日本建築防災協会, 「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・改修設計指針付解説」, 1981.
- 2) 財団法人日本建築防災協会, SPRC委員会, 「鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断プログラムSCREEN Edition-2」, 1980.
- 3) 財団法人日本建築防災協会, SPRC委員会, 「鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断プログラムSCRNφ3」, 1982.
- 4) 日本建築学会, 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」; 1982.
- 5) 株式会社竹下一級建築士事務所, 「各種学校建築物設計図書」.
- 6) 佐藤立美, 手越義明: 「既存鉄筋コンクリート造

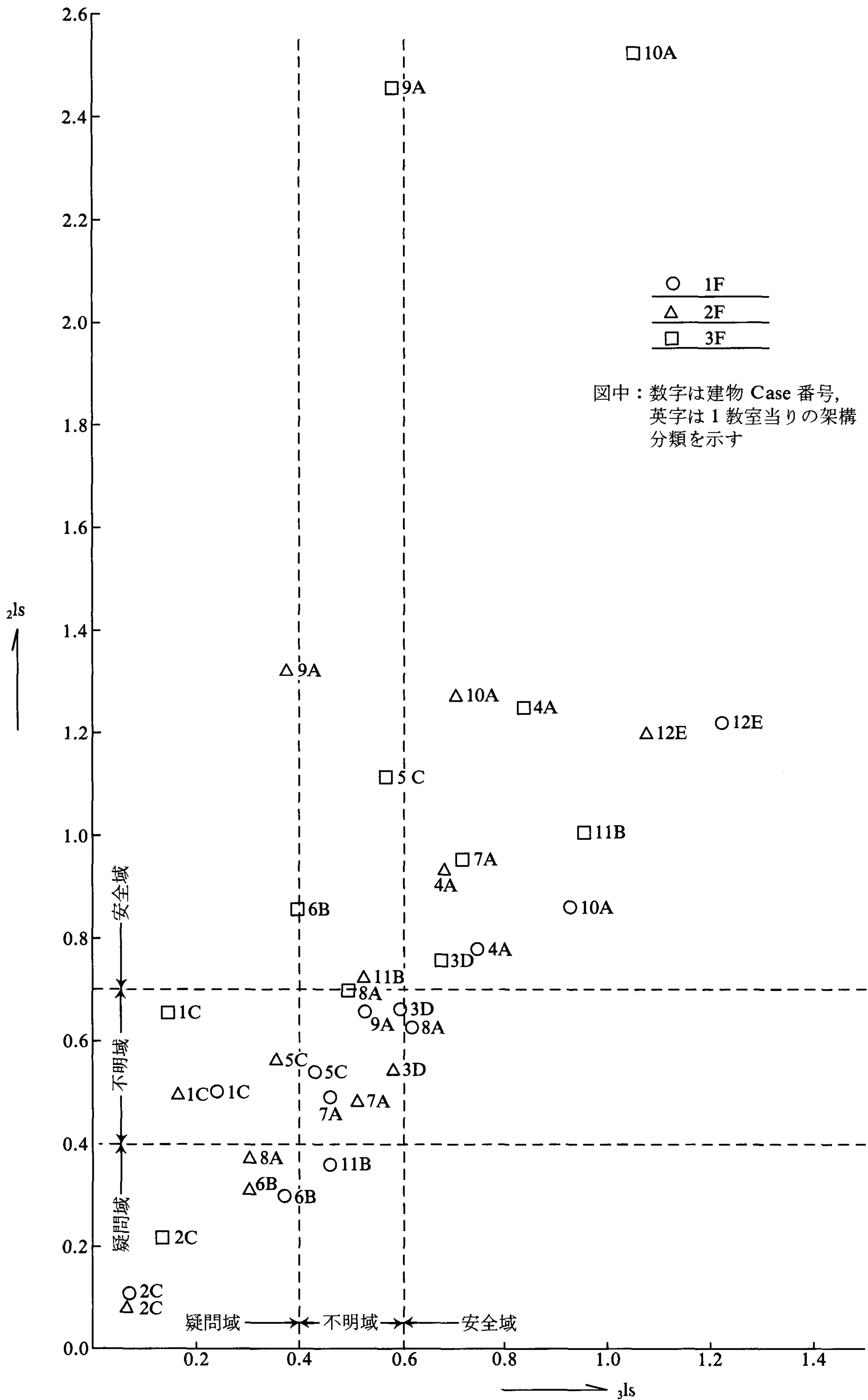


図4.9 2次, 3次の構造耐震指標値(I_s)

- 建築物の耐震性能について（その1）既存建物の保有耐震性能の現況」, 広島工業大学研究紀要（第16巻）, 昭和57年3月.
- 7) 佐藤立美, 手越義明: 「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震性能について（その2）既存建物の構造特性について」, 広島工業大学研究紀要（第16巻）, 昭和57年3月.
- 8) 田中輝明, 田房義彦, 横店秀利: 「既存鉄筋コンクリート造学校建築の耐震補強」, 日本建築学会大会学術講演梗概集（構造系）, 昭和59年10月.
- 9) 将田幸江, 原雅子: 「既存学校建築物の耐震性能評価（その1）」, 昭和56年度国土館大学工学部建築学科卒業論文.
- 10) 鈴木義明, 岸徳彦: 「既存建物の耐震性能評価（その2）」, 昭和57年度国土館大学工学部建築学科卒業論文.
- 11) 木元創, 山田隆市, 山下宏昭, 北山真弓: 「既存建物の耐震性能評価（その3）」, 昭和58年度国土館大学工学部建築学科卒業論文.
- 12) 梅村魁: 「鉄筋コンクリート建物の動的耐震設計法・続（中層編）」, 技報堂出版, 1982.
- 13) 武藤清: 「構造物の動的設計」, 丸善, 1968.