

Excel を用いた RC 造建築物の耐震診断と補強対策について

高谷 富也¹・村岡 正樹²

要旨：本研究は、一般的なソフトである Excel を用いて耐震診断手法を作成することにより、高価な耐震診断ソフトを用いることなく、誰でも簡潔な耐震診断を行えることを目的とする。また、診断後の耐震補強の提案を行い、耐震補強前と耐震補強後を比較することで、耐震補強の効果を明確にすることを目的とする。耐震診断方法は第 2 次診断法で行うこととする。また、耐震診断は建物の種類によって診断法が異なるため、本研究では RC 造建築物の耐震診断および診断後の耐震補強の提案を行う。

キーワード：耐震診断，耐震補強，Excel，第 2 次診断法

1. 序論

近年、1995 年の兵庫県南部地震や 2004 年の新潟県中越地震をはじめとした大きな被害をもたらす地震が発生し、非常に多くの建築物が被害を受けている。2007 年 7 月に起きた新潟県中越沖地震による建物については住宅全壊 953 棟、住宅半壊 726 棟などの被害が確認されている¹⁾。また、現在、宮城県沖・東海・東南海・南海地震等大地震がいつ発生してもおかしくない状況であるとともに、首都圏など何時何処で起こるか分からない直下型地震の発生も危惧されている。このような状況の中で、建築物の耐震診断・耐震改修の実施は緊急の課題となっている。現行の基準より以前に建てられた建築物の中には、その当時の基準によって設計されているため、必ずしも十分な耐震性能を保有しているとは言えないものがある。

耐震基準の有効性が認められたのは 1995 年 1 月に発生した兵庫県南部地震からである。6,400 人を超える人が犠牲となり、約 21 万棟の家屋が全半壊した。また、亡くなった人の 8 割弱が建築物の倒壊等による圧迫死であり、その 9 割が古い木造住宅であったと報告されている。建設省（現国土交通省）の建築震災調査委員会の報告によれば、現行の新耐震基準（1981 年施行）以前の建築物に被害が多く見られるものの、それ以降に建てられた比較的新しい建築物の被害の程度は軽く、現行の新耐震基準は概ね妥当であると判断される。

この教訓をもとに 1995 年 12 月に「建築物の耐震改修の促進に関する法律（耐震改修促進法）」²⁾が施行され、新耐震基準を満たさない建築物について積極的に耐震診断や耐震改修を進めることが定められた。また、2006 年 1 月に「改正耐震改修促進法」²⁾が施行され、大規模地震に備えて学校や病院などの公共の建築物や住宅の耐震診断・改修を早急に進めるため、数値目標を盛り込んだ計画の作成が都道府県に義務付けされるなど、現在、国をはじめ地方公共団体でも建築物の耐震診

断・耐震改修の推進について積極的な取り組みが行われている。

2. 目的と内容

本研究の目的は、一般的なソフトである Excel を用いて耐震診断手法を作成することによって、高価な耐震診断ソフトを用いることなく、誰でも分かりやすく簡潔な耐震診断ができるようすること、及び診断後の耐震補強の提案を行い、耐震補強前と耐震補強後を比較することで、耐震補強の効果を明確に分かりやすくすることである。

耐震診断は第 2 次診断法で行うこととする。また、耐震診断は建物の種類によって診断法が異なるため、本研究では RC 造建築物の耐震診断および診断後の耐震補強の提案を行うものとする。

内容としては、まず「2001 年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・改修設計指針適用の手引」等³⁾を通じて耐震診断法の手順を整理し、手始めに身近にある本校の 3 階建て RC 構造の図書館（昭和 48 年竣工）の耐震診断を行うとともに、その耐震補強について提案を行い、Excel を用いた耐震診断手法を作成する。次に、他の建物への適応させるためにマニュアル等を作成し、誰でも RC 造建築物の耐震診断が実施できるものとする。

本研究では、作成した Excel を用いた耐震診断手法によって診断された結果の妥当性を検討するため、ユニオンシステム株式会社の耐震診断ソフト⁴⁾を用い同時に RC 構造の図書館の耐震診断を行いその結果と比較した。また 2006 年 12 月に本校の建物に対する耐震診断⁵⁾が建築構造の業者によって耐震診断ソフト（DOC-RC/SRC）で行われたため、その結果とも比較する。

3. RC 造建築物の耐震診断について

3. 1 診断方法

RC 診断基準では、建物の耐震安全性を評価する指標

1 舞鶴工業高等専門学校 建設システム工学科 教授
2 舞鶴工業高等専門学校 専攻科 建設・生産システム工学専攻 2 年

として、各次数の診断法とも、次式で表される構造耐震指標 I_S を導入している。構造耐震指標 I_S は以下の式で表される。

$$I_S = E_0 \times S_D \times T \quad (1)$$

それぞれの指標である E_0 , S_D , T について説明すると、 E_0 とは保有性能基本指標を示し、建物が構造上持っている地震力に対する抵抗力を評価する指標であり、建物の強さと粘りの要素からなる指標である。 S_D とは形状指標を示し、建物平面形、立体形、剛性分布など耐震性能全般も及ぼす影響を指標によって定量化したものである。 T とは経年指標を示し、構造体が年月を経たことによる劣化および老朽化現象やコンクリートの中硬化や強度の低下といった材料の劣化を含め、構造的な耐震性能に及ぼす影響を評価する指標である。

診断方法としては「2001年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説」⁹⁾に基づいて、耐震診断を行う。手順としては、まず予備調査を行い設計図書の内容確認により建築物が設計図書どおりかどうかを概観し、診断内容（診断の必要性や診断レベル：第1次診断／第2次診断／第3次診断）を判断する。

診断次数が高くなればなるほど、その結果の信頼性は上がるが、それだけ評価方法も複雑化する仕組みとなっている。それぞれについて説明すると、第1次診断法は柱や壁の量から略算される建物の強度を基準に診断する手法である。これは壁の多い建物に適した簡便法で壁の少ない建物は、危険度が過小評価されたり、壁の強度が分からない部分は、実態よりも安全と判定してしまう傾向にある。また、手計算などによる短時間の計算でも十分に対応可能な評価法である。

次に、第2次診断法は柱と壁の強度と靱性を考慮して耐震性能を算出する手法である。第1次診断より精密な判定法であり、第1次診断では考慮しなかった、柱と壁の鉄筋量も入れて構造解析し、終局強度・破壊形式・靱性能を求めてから、詳細な検討を行う方法である。最も多く採用される診断法で、信頼性の高い結果となる。

続いて、第3次診断法は柱・壁に加えて梁の強度も考慮し、建物の保有水平耐力⁷⁾（地震力のような横方向の力に対する建物の耐力）を求める最も厳密な判定法である。防災の拠点になるような重要な建物は、信頼性が上がる第3次診断法で行われている。

RC 構造物の耐震性の判定は、構造耐震指標 I_S とこれに対応する構造耐震判定指標 I_{S0} を用いて

$$I_S \geq I_{S0} \quad (2)$$

であれば「安全（想定する地震動に対して所要の耐震性を確保している）」とし、そうでなければ耐震性に「疑問あり」とする。構造耐震判定指標 I_{S0} の求め方は、階の位置に係らず次式で求める。

$$I_{S0} = E_S \times Z \times G \times U \quad (3)$$

それぞれの指標である E_S , Z , G , U について説明すると、 E_S とは耐震判定基本指標で、方向に係らず各次数によって決められている値を基準とする。それぞれ第1次診断用では $E_S=0.8$ 、第2次診断用では $E_S=0.6$ 、第3次診断用では $E_S=0.6$ となっている。また、 Z とは地域指標で、その地域の地震活動度を想定する地震動の強さによる補正係数を表している。 G とは地盤指標で、表層地盤の増幅特性、地形効果、地盤と建物の相互作用などによる補正係数を表している。 U とは用途指標で、建物の用途などによる補正係数を表している。

耐震診断後に耐震設計を行い耐震性能が十分でない判断された建築物に対して補強方法の検討を行い、耐震性向上案を提示する。

3. 2 第2次診断法の適用

第2次診断は、梁よりも、柱、壁などの鉛直部材の破壊が先行し、これにより構造物の耐震性能が支配される建物（柱崩壊型建物）の耐震性能を簡略的に評価することを目的として開発された診断手法である。ここで想定している柱崩壊型の構造特性は、1981年以前に建設された既存鉄筋コンクリート造建築物では最も一般的と考えられる特性であるためその適用性が最も高い診断手法である。第2次診断法では、想定建造物の構造特性から、梁、スラブは剛強と考え計算では考慮しないが、柱、壁の強度にはコンクリートのみでなく、鉄筋の影響も考慮し、部材の強度、形状寸法から靱性を評価することにより、第1次診断法よりも計算精度の改善を図っている。診断法の中でも、現在この第2次診断法が最もよく利用されている。本研究では第1次診断ほど簡易的でなく、第3次診断ほど複雑でないこの第2次診断法を用いて耐震診断を行うものとする。まず手始めに身近にある本校の図書館の耐震診断を耐震診断基準書⁹⁾にある例題や耐震診断の報告書などを参考に行う。

手順としては「2001年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説」⁹⁾に基づいて行った。はじめに、予備調査を行い設計図書と建物の照合を行うなどの内容確認を行った。各階の図書館の図面は Fig.1, Fig.2, Fig.3 に示す。

Fig.1 は図書館1階の図面である。1階は壁が少ない構造になっている。外周部の壁も半分近く窓でできている。また、内部の壁も耐震壁でない雑壁が多い。Fig.2 は図書館2階の図面である。1階と同様に壁が少ない構造になっている。外周部の壁は半分近く窓のある壁である。また、内部にはほとんど壁が配置されていない。Fig.3 は図書館3階の図面である。他の階に比べ壁が多い構造になっている。図中の右半分が大講義室になっており、部屋中央部には柱が無い。

予備調査が終わると次に構造耐震指標 I_S を式(1)を用いて求めるため各指標である E_0 , S_D , T を求める. 計算の手順は Fig.4 に示すとおりである. 計算するための軸方向は横方向を X 軸, 縦方向を Y 軸とし計算を行った.

保有性能基本指標 E_0 は各層, 各軸方向に強度指標 C と靱性指標 F を柱と壁より計算し求める. 形状指標 S_D と経年指標 T は「2001年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説」⁶⁾にある分類表により各指標を求め算出する. 耐震性を判断するための構造耐震判定指標 I_{S0} を式(3)により求めると本校の図書館の場合 $I_{S0}=0.7$ である. 計算した構造耐震指標 I_S と構造耐震判定指標 I_{S0} を式(2)を用いて耐震性能を判断する.

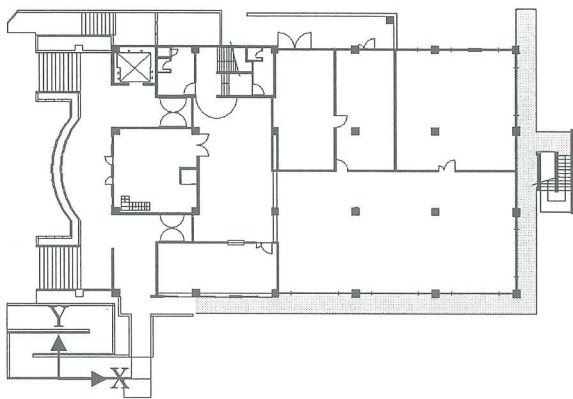


Fig.1 First floor plan of library building

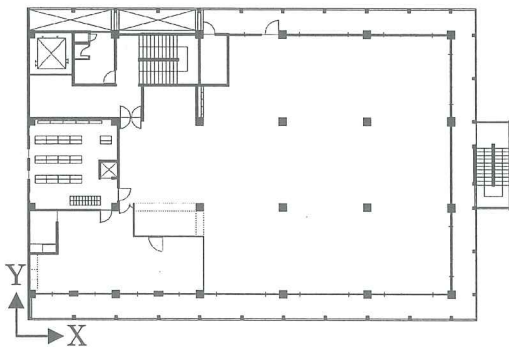


Fig.2 Second floor plan of library building

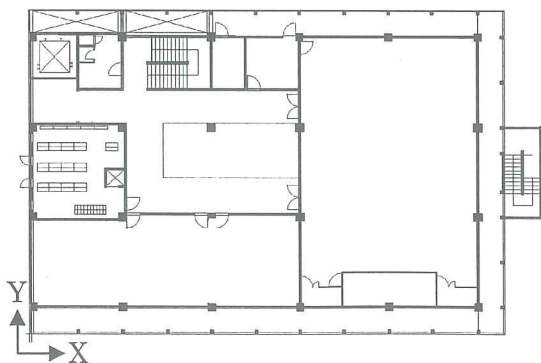


Fig.3 Third floor plan of library building

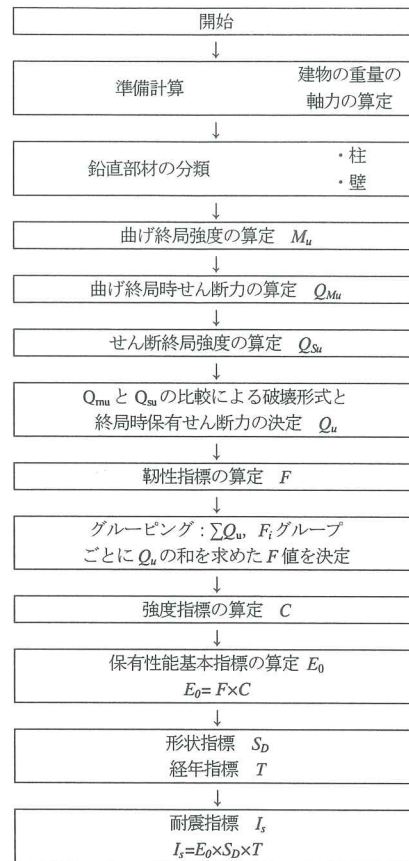


Fig.4 Calculation procedure of seismic index of structure I_S

3.3 Excelによる計算

本校の図書館の図面より必要なデータを選び,前項に示したとおりの手順で計算を行った. 計算はすべてExcelにより行うことで, 図書館以外のRC建築物への対応も考慮し, 同時に手順等のマニュアルを作成している. 最終的には手順通りに行えば誰でもRC建築物の耐震診断が実施できるものとする.

簡単に説明するとまず準備計算として Fig.5 のように各階面積, 重量を計算し, それを用いて Fig.6 のように柱軸力を算定した. 次に柱と壁を分類し靱性指標 F と強度指標 C を求めるため, Fig.7, Fig.8 のように柱と壁の強度, 終局変形や降伏変形など求める. 極脆性柱と判断された柱は耐震診断基準⁶⁾に従い計算する. 分類は独立柱, 両柱付き壁, 片柱付き壁, 柱なし壁などである.

先の計算で求めた靱性指標 F と強度指標 C を3つのグループにグループ分けし保有性能基本指標 E_0 を求める.

形状指標 S_D と経年指標 T は「2001年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説」⁶⁾にある分類表により各指標を求め算出する. 次いで Fig.9 の

	G	H	I	J	K	L	M	N
1								
2	建物重量							
3		階	床面積	延べ床面積	単位重量	各階重量	重量和	
4			A(m ²)	Σ A(m ²)	(kN/m ²)	W(kN)	Σ W(kN)	
5		F	4096	4096	12	491.52	491.52	
6		3	546.01	586.97	12	6552.12	7043.64	
7		2	546.01	1132.98	12	6552.12	13595.76	
8		1	511.16	1644.14	12	6133.92	19729.68	
9								
10								
11								
12								

Fig.5 Calculation of self weight in building

	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	
1																
2	柱軸力	3階				2階				1階						
3		柱位置	支配面積	荷重	柱軸力	柱位置	支配面積	荷重	柱軸力	柱位置	支配面積	荷重	柱軸力			
4			A(m ²)	12*A(kN)	N(kN)		A(m ²)	12*A(kN)	N(kN)		A(m ²)	12*A(kN)	N(kN)			
5		A1	9	108	108	A1	9	108	216	A1	9	108	324			
6		A2	18	216	216	A2	18	216	432	A2	18	216	648			
7		A3	18	216	216	A3	18	216	432	A3	18	216	648			
8		A4	18	216	216	A4	18	216	432	A4	18	216	648			
9		A5	27	324	324	A5	18	216	540	A5	18	216	756			
10		A6	9	108	108	A6	9	108	216	A6	9	108	324			
11		B1	18	216	216	B1	18	216	432	B1	18	216	648			
12		B2	36	432	432	B2	36	432	864	B2	36	432	1296			
13		B3	36	432	432	B3	36	432	864	B3	36	432	1296			
14		B4	49.5	594	594	B4	36	432	1026	B4	36	432	1458			
15						B5	36	432	864	B5	36	432	1296			
16		B6	31.5	378	378	B6	18	216	594	B6	18	216	810			
17		C1	18	216	216	C1	18	216	432	C1	18	216	648			
18		C2	36	432	432	C2	36	432	864	C2	36	432	1296			
19		C3	36	432	432	C3	36	432	864	C3	36	432	1296			
20		C4	49.5	594	594	C4	36	432	1026	C4	36	432	1458			
21						C5	36	432	864	C5	36	432	1296			
22		C6	31.5	378	378	C6	18	216	594	C6	18	216	810			
23		D1	9	108	108	D1	9	108	216	D1	9	108	324			
24		D2	18	216	216	D2	18	216	432	D2	18	216	648			
25		D3	18	216	216	D3	18	216	432	D3	18	216	648			
26		D4	18	216	216	D4	18	216	432	D4	18	216	648			
27		D5	27	324	324	D5	18	216	540	D5	18	216	756			
28		D6	9	108	108	D6	9	108	216	D6	9	108	324			
29																

Fig.6 Axis force of RC-column

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
60		1階												
61		柱位置	柱形式	N	D	b	A	鉄筋本数	引張り鉄筋本数	h0	ag	at	Nmax	Nmin
62										mm	mm ²	mm ²	N	
63		A1	1C _{2A}	324000	550	550	302500	10	4	3000	3871	1548.4	76841.24	-133
64		A2	1C _{2A}	648000	550	550	302500	10	4	3000	3871	1548.4	76841.24	-133
65		A3	1C _{2A}	648000	550	550	302500	10	4	3000	3871	1548.4	76841.24	-133
66		A4	1C _{2A}	648000	550	550	302500	10	4	3000	3871	1548.4	76841.24	-133
67		A5	1C ₅	756000	550	550	302500	10	4	3000	3871	1548.4	76841.24	-133
68		A6	1C _{2A}	324000	550	550	302500	10	4	3000	3871	1548.4	76841.24	-133
69		B1	1C ₁	648000	550	550	302500	12	6	3000	4645.2	2322.6	7950449	-15975
70		B2	1C ₁	1296000	550	550	302500	12	6	3000	4645.2	2322.6	7950449	-15975
71		B3	1C ₁	1296000	550	550	302500	12	6	3000	4645.2	2322.6	7950449	-15975
72		B4	1C ₃	1458000	550	600	330000	12	6	3000	4645.2	2322.6	8527949	-15975
73		B5	1C ₁	1296000	550	550	302500	12	6	3000	4645.2	2322.6	7950449	-15975
74		B6	1C ₄	810000	550	600	330000	10	4	3000	3871	1548.4	8261624	-133
75		C1	1C ₁	648000	550	550	302500	12	6	3000	4645.2	2322.6	7950449	-15975
76		C2	1C ₁	1296000	550	550	302500	12	6	3000	4645.2	2322.6	7950449	-15975
77		C3	1C ₁	1296000	550	550	302500	12	6	3000	4645.2	2322.6	7950449	-15975
78		C4	1C ₃	1458000	550	600	330000	12	6	3000	4645.2	2322.6	8527949	-15975
79		C5	1C ₁	1296000	550	550	302500	12	6	3000	4645.2	2322.6	7950449	-15975
80		C6	1C ₄	810000	550	600	330000	10	4	3000	3871	1548.4	8261624	-133
81		D1	1C _{2A}	324000	550	550	302500	10	4	3000	3871	1548.4	76841.24	-133
82		D2	1C _{2A}	648000	550	550	302500	10	4	3000	3871	1548.4	76841.24	-133
83		D3	1C ₂	648000	550	550	302500	12	5	3000	4645.2	1935.5	7950449	-15975
84		D4	1C ₂	648000	550	550	302500	12	5	3000	4645.2	1935.5	7950449	-15975
85		D5	1C ₅	756000	550	550	302500	10	4	3000	3871	1548.4	76841.24	-133
86		D6	1C _{2A}	324000	550	550	302500	10	4	3000	3871	1548.4	76841.24	-133
87														

Fig.7 Resistant force calculation of column and wall

	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ
1											
2											
3		×方向		3.9	7800						
4	壁の位置	1	2	3	4	5	6	7	9	10	
5	種類	W2	W5	W2	W2	W8	W8	W2	W5A	W5A	W2
6		両側柱	両側柱	片側柱	柱なし	柱なし	柱なし	柱なし	両側柱	両側柱	柱なし
7	壁鉄筋直径(mm)	9	9	9	9	13	13	9	13	13	
8	壁長(mm)	4400	4400	3400	2000	2600	4400	3200	6000	6000	4800
9	帯筋間隔(mm)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
10	縦本数	22	22	17	10	13	22	16	30	30	
11	横本数	1	1	1	1	2	2	1	1	1	
12	柱鉄筋直径(mm)	22	22	22	22	22	22	22	22	22	
13	横本数	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	
14	柱の数	2	2	1	0	0	0	0	2	2	
15											
16	at(mm ²)	154	154	77	0	0	0	0	154	154	
17	Σαw(mm ²)	198	198	153	90	338	572	144	390	390	300
18	σsy(N/mm)	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295
19	σwy(N/mm)	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295
20	N(φ)	486000	648000	324000	0	0	0	0	972000	972000	
21	lw(mm)	3600	3850	2800	2000	2600	4400	3200	5450	5450	4800
22	wMu(N/mm)	1143486000	1534744750	580391000	26550000	129623000	371228000	67968000	3209804750	3209804750	152928000
23											
24	Fc(N/mm)	21	21	21	21	21	21	21	21	21	
25	h(mm)	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800	3800
26	ΣA(mm ²)	16720000	16720000	12920000	7600000	9880000	16720000	12160000	22800000	22800000	18240000
27	be	4400	4400	3400	2000	2600	4400	3200	6000	6000	4800
28	Pte(%)	0.000795455	0.000795455	0.00066609	0	0	0	0	0.000427778	0.000427778	
29	ah(mm ²)	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171
30	s(mm)	200	200	200	200	200	200	200	200	200	
31	Fse	0.000194318	0.000194318	0.000251471	0.0004275	0.000328846	0.00019432	0.0002672	0.0001425	0.0001425	0.0001781
32	σwy	295	295	295	295	295	295	295	295	295	295
33	σ0e	0.025103306	0.033471074	0.028027682	0	0	0	0	0.027	0.027	
34	ie	3600	3850	2800	2000	2600	4400	3200	5450	5450	4800
35	hw0	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700
36	M/Q	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700	5700
37	M/QI	1.295454545	1.295454545	1.676470588	2.85	2.192307692	1.29545455	1.78125	0.95	0.95	1.11
38	Dsu	7744021184	8295075433	4967577523	120741894	1789670226	393996175	24436441	1639636134	1639636134	44892600

Fig.8 Resistant force calculation of RC-wall

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2			EO x		EO y			
3			1	0.644115	1	0.690029		
4			2	1.930342	2	0.976987		
5			3	1.915617	3	1.916222		
6								
7			Sd x		Sd y			
8			1	1	1	0.9		
9			2	0.8	2	0.64		
10			3	1	3	0.9		
11								
12			T	0.8				
13								
14			Iso	0.7				
15								
16			Is x		Is y			
17			1	0.515292	NG	1	0.496821	NG
18			2	1.235419	OK	2	0.500217	NG
19			3	1.532494	OK	3	1.37968	OK
20								

Fig. 9 Seismic index of structure Is calculation result

ようにそれぞれ求めた指標を式(1)に代入し構造耐震指標 I_s を求め式(2)により耐震性を評価した。

以下に、本研究で作成した Excel ファイルと耐震診断ソフトとの違いについて示す。

1) 壁の取り扱いについて

Excel による計算では壁厚 12cm 以下の壁を保有性能基本指標 E_0 に考慮した。耐震診断ソフトでは壁厚 12cm 以下の壁は荷重のみ考慮した。

2) 窓の取り扱いについて

Excel による計算では簡略化のため窓のある壁は壁無しとして計算した。耐震診断ソフトによる計算では窓のある壁も計算している。

3) 荷重の取り扱いについて

Excel による計算では備品等の荷重は考慮していない。柱別に床面積を分配して計算を行うために柱の位置によってはほぼ同じ値となる場合がある。耐震診断ソフトでは柱別に床面積を分配した荷重の他に備品による荷重(各階約 5%程度)も考慮して計算している。

4. 耐震診断の結果

4. 1 図書館の診断結果

本研究により行った図書館の耐震診断結果を Table 1 に示しておく。

Table 1 I_s values by Excel

	I_s (X 軸方向)		I_s (Y 軸方向)	
F1	0.52	NG	0.50	NG
F2	1.24	OK	0.50	NG
F3	1.53	OK	1.38	OK

式(2)により構造耐震判定指標 $I_{50}=0.7$ より構造耐震指標 I_s が大きければ OK (安全) であり、小さければ NG (耐震性に疑問あり) となる。

結果として、1階は X 軸方向と Y 軸方向ともに NG となっている。2階は X 軸方向は OK であるが Y 軸方向は NG となっている。3階部分は X 軸方向と Y 軸方向ともに OK である。

まず 1階について、Fig. 1 より X 軸方向と Y 軸方向ともに壁が少ない事が分かる。また X 軸方向の外壁はほぼ窓であり耐震壁として機能していない。Excel の計算では簡略化のため窓のある壁は、耐震壁として機能していないものとして省いて計算した。Y 軸方向の壁は両柱付き壁になっていないので耐震性は低い。また壁自体も薄いものが多い。以上より、X 軸方向、Y 軸方向ともに耐震性は低くなったと考えられる。

次に 2階について Fig. 2 より Y 軸方向の中心の 2つの軸には壁がまったく無いだけでなく、全体的に壁が少ないことが分かる。以上のことより、Y 軸方向の耐震性は低くなったと考えられる。しかしながら、X 軸

方向の耐震性は高くなった。その理由として 1 階より荷重が少ないことと、図中左側の壁が耐震壁として機能していることが考えられる。

一方、3階については Fig. 3 より柱の無いところがあるものの耐震性に問題は無かった。その理由としては、最上階なので他の階に比べ荷重が少ないためと考えられる。

本研究により行った図書館の第 2 次耐震診断の妥当性を見るため耐震診断ソフトにより行った耐震診断結果との比較を行う。また、2006 年 12 月には舞鶴高専の建物の耐震診断報告が行われたので、その結果もあわせて比較する。Table 2 は耐震診断ソフトによる診断結果について示したものである。また、Table 3 は専門業者による診断結果について示したものである。

Table 2 I_s values by Union system software

	I_s (X 軸方向)		I_s (Y 軸方向)	
F1	0.52	NG	0.64	NG
F2	0.73	OK	0.65	NG
F3	1.82	OK	1.28	OK

Table 3 I_s values by Structural engineer

	I_s (X 軸方向)		I_s (Y 軸方向)	
F1	0.49	NG	0.64	NG
F2	0.75	OK	0.66	NG
F3	2.27	OK	1.45	OK

比較の結果、Table 2、Table 3 に示す耐震診断ソフトと専門業者の診断結果はほぼ近い値となった。本研究で行った診断と耐震診断ソフトの診断において 1 階部分の X 軸方向、Y 軸方向ともに構造耐震判定指標 $I_{50}=0.7$ を下回り NG となっている。また 2 階部分では X 軸方向はともに OK であり、値に違いが出ている。Y 軸方向もともに NG となっている。3 階部分も多少の違いはあるものの、X 軸方向、Y 軸方向についても $I_{50}=0.7$ を上回り OK となっている。

本研究との診断結果の違いの理由としては、壁の扱いと窓の扱いと荷重の分配の違いが挙げられる。窓の扱い方の違いは、本研究では簡略化のため窓のある壁はすべてないものとして計算した。耐震診断ソフトによる計算では窓のある壁の計算も行った。軸力計算時の荷重の分配方法の違いは、本研究では柱別に床面積を分配し計算したため柱の位置によってはほぼ同じ値となった。耐震診断ソフトでは柱別に床面積を分配した荷重の他に備品による荷重を考慮して計算している。また、Table 1 において 2 階の X 軸方向で $I_s=1.24$ 、Table 2、Table 3 ではそれぞれ $I_s=0.73$ 、 $I_s=0.75$ と差が出ていることについては、Excel による計算では壁厚 12cm 以下の壁を保有性能基本指標 E_0 に考慮するのに対し、耐震診断ソフトでは壁厚 12cm 以下の壁は荷重のみ考慮してい

ることに起因するものと考えられる。そのため各表に見られる構造耐震指標 I_s となったものと考えられる。

4. 2 耐震補強の提案について

耐震診断結果より図書館1階はX軸方向Y軸方向ともに NG となっているので、それぞれの軸方向に Fig. 10 のように壁を新たに配置または増幅し補強する。

図中に見られる太線の場所が補強箇所である。図書館2階はY軸方向側が NG となっているので壁を増幅し補強する。また、X軸方向も Table 3 に示す I_s の値が 0.75 であり構造耐震判定指標 $I_{50}=0.7$ の値に近いので1箇所に壁を配置し Fig. 11 のように補強する。図中に見られる太線の場所が補強箇所である。

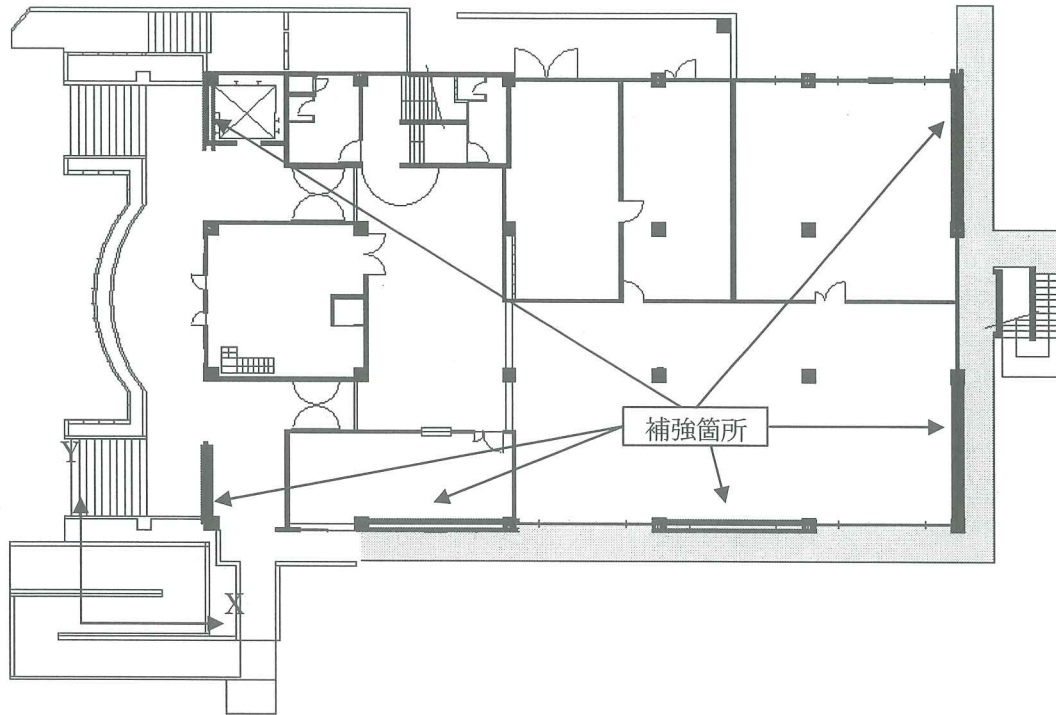


Fig.10 First floor plan of library drawing reinforced with RC-walls

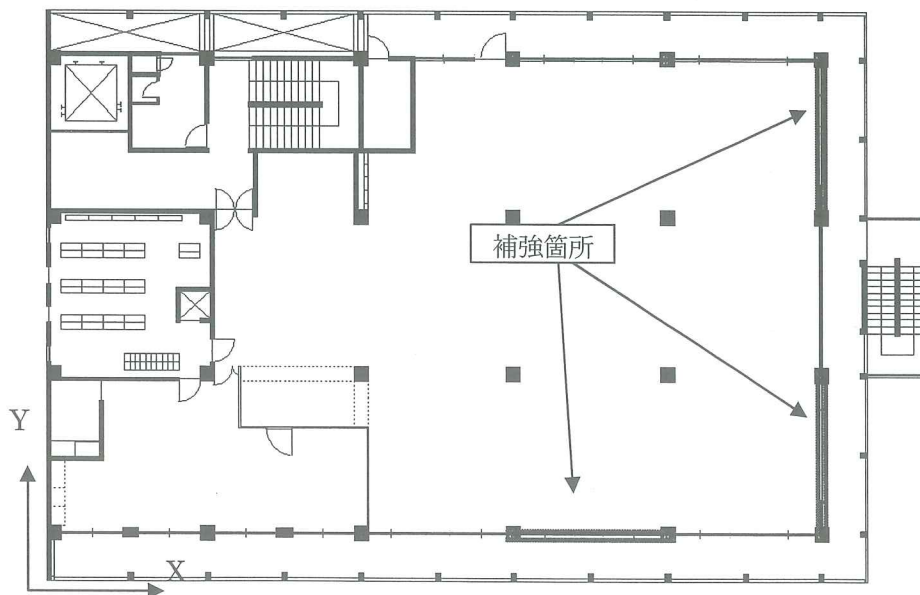


Fig.11 Second floor plan of library drawing reinforced with RC-walls

前述のような補強案で補強を行った場合の診断結果を以下に示す。Table 4 は本研究による補強後診断結果について、Table 5 は耐震診断ソフトによる補強後診断結果について、Table 6 は専門業者による補強後診断結果について示したものである。

本研究による補強後診断結果はすべての階の結果は Table 4 のように構造耐震判定指標 $I_{50}=0.7$ の値以上となり OK となっている。なお、2階の X 軸方向は補強前の $I_s=1.24$ となっているが、これは保有性能基本指標 E_0 のグループ分けの際、に生じる靱性指標 F に起因するものと考えられる。耐震診断ソフトの補強後診断結果もすべての階の結果は Table 5 のように $I_{50}=0.7$ 以上となり OK となっている。同じく専門業者の補強後診断結果もすべての階の結果は Table 6 のように $I_{50}=0.7$ 以上となり OK となっている。なお、3階の X 軸、Y 軸方向の増減については補強により重心や剛心位置が変化することにより、ねじれ等の影響が現れたものと考えられる。

比較すると大きな違いは無いものの多少のずれが見られる。考えられる原因としては、前述したとおり、壁の扱い、窓の扱い及び荷重の分配の違いが考えられる。

4. 結論

本研究は、一般的なソフトである Excel を用いた耐震診断手法を作成することによって、高価な耐震診断ソフトを用いることなく、誰にでも分かりやすく簡潔な耐震診断が行えるようにし、診断後の耐震補強の提案を行い、耐震補強前と耐震補強後を比較することで補強効果を明らかにした。

その結果として以下のことが分かった。

1. 本研究による計算結果と耐震診断ソフトの計算結果では、合否は同じであったが多少の差がある。
2. 耐震補強した場合においても同様に本研究による計算結果と耐震診断ソフトの計算結果には多少の差がある。
3. 耐震補強前と耐震補強後とで比較することで耐震補強の効果が明確になった。

今後の研究としては Excel による耐震診断における窓の扱いと荷重の分配に関する部分を修正して精度を向上させること。及び補強効果を分かりやすくするために、動的解析を通じて、応

答結果を表示する必要がある。

Table 4 I_s values for reinforced library building (Excel)

	I_s (X 軸方向)		I_s (Y 軸方向)	
F1	0.76	OK	0.74	OK
F2	1.24	OK	0.82	OK
F3	1.53	OK	1.38	OK

Table 5 I_s values for reinforced library building (Union system software)

	I_s (X 軸方向)		I_s (Y 軸方向)	
F1	0.82	OK	0.79	OK
F2	0.79	OK	1.00	OK
F3	1.83	OK	1.28	OK

Table 6 I_s values for reinforced library building (Structural engineer)

	I_s (X 軸方向)		I_s (Y 軸方向)	
F1	0.76	OK	0.74	OK
F2	0.79	OK	1.11	OK
F3	2.11	OK	1.92	OK

参考文献：

- 1) 気象庁ホームページ 地震情報 (<http://www.jma.go.jp/jp/quake/>).
- 2) 株式会社インテグラルホームページ (<http://www.integral.co.jp/>).
- 3) 財団法人 日本建築防災協会, 2001 年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・改修設計指針適用の手引, 2001.
- 4) ユニオンシステム株式会社 (<http://www.unions.co.jp/>).
- 5) 株式会社山崎設計, 舞鶴工業高専耐震診業務図書館棟耐震診断調査報告書, 2006.
- 6) 財団法人 日本建築防災協会, 2001 年改訂版既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準同解説, 2001.
- 7) 財団法人 日本建築防災協会, 2001 年版 限界耐力計算の計算例とその解説, 2001.

(2007. 11. 16 受付)

EARTHQUAKE-PROOF DIAGNOSIS AND ITS REINFORCEMENT COUNTERMEASURE OF RC-BUILDING STRUCTURE

Tomiya TAKATANI and Masaki MURAOKA

ABSTRACT : Earthquake-proof diagnosis and reinforcement countermeasure of RC building structure, which was built by old earthquake resistant design standard, are conducted in this study. There are three earthquake-proof diagnosis methods for a reinforced concrete building structure. The purpose of this study is to make a simple manual of the earthquake-proof diagnosis method for RC building structure and also simulate a structure vibration against earthquake ground motion.

Key Words: Earthquake-proof diagnosis, Seismic reinforcement, Excel, Second seismic diagnostics of RC-building structure