

RC造学校建築物の重要度係数による地震被害抑制効果に関する研究  
(その1 RC造学校建物モデルによる検討)

重要度係数 損傷度 RC造校舎  
時刻歴応答解析 補修費 2方向入力

准会員 ○市岡太一\*1 正会員 秋田知芳\*2  
正会員 稲井栄一\*3

1. はじめに

公共建築物(庁舎、学校、病院、集合住宅等)は大地震時における被害を最小限に抑え、地震直後から建築物が使用可能な状態であることが必要である。そのため、建設省告示第2379号「国家機関の建築物及びその付帯施設の位置、規模および構造に関する基準」に準じて、重要度係数を乗じて建築物の必要保有水平耐力を割増すことにより高い耐震性を確保することが行われる。しかしながら、建築物の計画段階において重要度係数を乗じたことによる被害の抑制効果を明示することはできず、適切な重要度係数を選択するための根拠がなく、費用対効果を明示できないという課題がある。既往の研究<sup>1)、2)</sup>では、地震地域係数と補修費の関係について検討されている。本研究は、重要度係数の違いによる補修費抑制効果を示すことを目的としている。重要度係数を1.0、1.25、1.5とした場合の検討用の建築物モデルを作成して、地震波を2方向入力し時刻歴応答解析を行い得られた結果から部材角により柱、梁、耐震壁の損傷度を定め補修費を算出して、重要度係数と補修費の関係を検討した。既往の研究<sup>1)、2)</sup>と異なる点は、重要度係数の観点から検討していること、対象建物の規模が大きいこと、2方向入力による解析結果から補修費を算出したこと、補修費の算定に耐震壁を含めたことである。

2. 検討方法

本研究では、最初に山口県内の既存建物を基にして重要度係数1.25に対応するI125モデルを作成した。次にI125モデルの部材断面を変更して、重要度係数1.0および1.5にそれぞれ対応するI100モデルおよびI150モデルを作成した。部材断面の変更は、各モデルが概ね同等の $Q_u/Q_{un}$ を確保できるように行っている。その後、各モデルの時刻歴応答解析を行い、部材角から損傷度を判定し、構造部材の補修費を算定して比較検討した。

3. RC学校建築物モデル

検討対象建物として杭基礎のRC造4階建ての学校建物を使用した。X方向に4.5m×13スパン、Y方向に8.425m、3.25m、8.425mの3スパンを有し、基礎上面からの高さは15.4mである。地震地域係数は0.8で、構造設計ルートはX、Y両方向ともルート3で設計されている。2階伏図を図1に示す。I125モデルをもとに大梁、柱の断面の大きさは変更せず主筋の本数

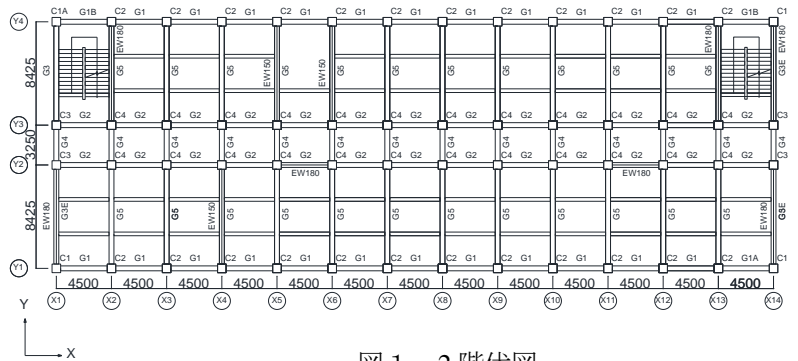


図1 2階伏図

表1  $Q_{un}$  と  $Q_u$  の一覧

(a) I100モデル

		Ds	Fes	$Q_{un}(kN)$	$Q_u(kN)$	$Q_u/Q_{un}$
X	PH	0.3	1	449	1150	2.6
	3F	0.35	1	4122	10529	2.6
	2F	0.35	1	8620	18847	2.2
	1F	0.35	1	11424	24948	2.2
Y	PH	0.4	1.5	898	2951	3.3
	3F	0.4	1	5496	27012	4.9
	2F	0.55	1	13545	48350	3.6
	1F	0.55	1	17952	64002	3.6

(b) I125モデル

		Ds	Fes	$Q_{un}(kN)$	$Q_u(kN)$	$Q_u/Q_{un}$
X	PH	0.3	1	561	1317	2.3
	3F	0.35	1	6012	12053	2
	2F	0.35	1	10774	21574	2
	1F	0.35	1	14280	28558	2
Y	PH	0.4	1.5	1122	3151	2.8
	3F	0.4	1	6870	28843	4
	2F	0.55	1	16931	51627	3
	1F	0.55	1	22441	68241	3

(c) I150モデル

		Ds	Fes	$Q_{un}(kN)$	$Q_u(kN)$	$Q_u/Q_{un}$
X	PH	0.3	1	707	1597	2.3
	3F	0.35	1	6469	14545	2.2
	2F	0.35	1	13527	26036	1.9
	1F	0.35	1	17932	34473	1.9
Y	PH	0.4	1.5	1416	3460	2.4
	3F	0.4	1	8625	31517	3.7
	2F	0.55	1	21256	56418	2.7
	1F	0.55	1	28180	74699	2.7

A Study on the Effect of Earthquake Damage Mitigation of RC School Building with Different Importance Factor  
(Part1 Examination of RC School Building Model)

ICHIOKA Taichi, AKITA Tomofusa and INAI Eiichi

表 2 基礎梁断面表

Table with columns G1 to G6 and rows for foundation beam sections. It details dimensions (B x D) and reinforcement (e.g., 5-D25, 3-D25) for various sections across different models.

表 3 柱断面表 (a) I100 モデル

Table showing column cross-sections for the I100 model, categorized by floor (PH, 3, 2, 1) and direction (Dx, Dy). It lists reinforcement details for each section.

(b) I125 モデル

Table showing column cross-sections for the I125 model, categorized by floor (PH, 3, 2, 1) and direction (Dx, Dy). It lists reinforcement details for each section.

(c) I150 モデル

Table showing column cross-sections for the I150 model, categorized by floor (PH, 3, 2, 1) and direction (Dx, Dy). It lists reinforcement details for each section.

を一本減らし断面を変更した I100 モデル、大梁、柱の主筋の本数を一本増やし、柱せいと柱幅をそれぞれ 100mm、梁幅を 50mm 大きくして断面を変更し I150 モデルを作成した。各モデルの基礎梁、耐震壁の断面は同じである。各モデルの Ds 値、形状係数 Pes、必要保有水平耐力 Qun と層間変形角 1/100rad 時の保有水平耐力 Qu、Qu/Qun の比較表を表 1 に示す。各モデルの Qu/Qun の差は最大でも 2 割程度になっている。基礎梁の断面表を表 2 に、各モデルの柱、梁の断面表を表 3、4 に示す。耐震壁の断面表を表 5 に示す。

4. 時刻歴応答解析

4.1 解析計画

解析モデルには、部材を線材置換えし剛床を仮定した立体骨組モデルを用いた。立体骨組モデルの梁は、単軸バネで曲げとせん断をモデル化し、軸方向に関して剛床仮定により変形しないものとしている。柱と壁のモデルは MN モデルで軸方向と曲げのモデル化を行い、単軸せん断バネでせん断のモデル化を行った。解析モデルに 3 種類の地震動を組み合わせて入力し、時刻

表 4 梁断面表 (a) I100 モデル

Table showing beam cross-sections for the I100 model, categorized by floor (PH, 3, 2) and direction (Dx, Dy). It lists reinforcement details for each section.

(b) I125 モデル

Table showing beam cross-sections for the I125 model, categorized by floor (PH, 3, 2) and direction (Dx, Dy). It lists reinforcement details for each section.

(c) I150 モデル

Table showing beam cross-sections for the I150 model, categorized by floor (PH, 3, 2) and direction (Dx, Dy). It lists reinforcement details for each section.

表 5 耐震壁断面表

Table showing seismic wall cross-sections for models EW150, EW180, and EW180A. It lists wall thickness and reinforcement details.

歴応答解析を行う。履歴モデルには武田モデルを用い、減衰定数は瞬間剛性比例で 5% としている。X 方向に入力する (X) 入力、Y 方向に入力する (Y) 入力、X・Y 両方向に同時に入力する (XY) 入力の 3 つの解析を告示波、既往波でそれぞれ行い、(X) 入力の X 方向の解析結果と (XY) 入力の X 方向の解析結果、(Y) 入力の Y 方向の解析結果と (XY) 入力の Y 方向の解析結果を比較する。

## 4.2 入力地震動

本解析で使用した地震動は既往波 2 波 (EL CENTRO 波 NS、EL CENTRO 波 EW) と告示波 1 波 (EL CENTRO 位相) の計 3 波である。既往波では EL CENTRO 波 NS を 1.489 倍、EL CENTRO 波 EW を 1.354 倍して速度 50cm/s に基準化した。告示波は第二種地盤の増幅率をかけたものである。各モデルの 1 次固有周期は I100、I125、I150 それぞれ 0.218s、0.218s、0.207s である。I100 と I125 は断面の大きさが同じであるため 1 次固有周期も同じとなった。

## 4.3 解析結果

図 2 に最大層間変形角の分布を示す。X 方向の結果を見ると PH 階、3 階、2 階、1 階の順に値が大きくなり PH 階、3 階では値は低く各モデルでそれほど変わらないのに対して、1 階では値が大幅に増加し各モデルの差も大きくなっている。告示波 (X 方向) での最大層間変形角は、I100 モデルは 1/100rad 程度、I125 モデルは 1/200rad 程度、I150 モデルは 1/250rad 程度となり I100、I125、I150 モデルの順に値が小さくなっている。Y 方向の値は、X 方向の値に比べて小さく告示波では 1/800rad、既往波では 1/5000rad 程度で各モデルの差、(Y) 入力と (XY) 入力の差はほとんど見られない。また、各モデルとも (X) 入力、(Y) 入力の値より (XY) 入力の値のほうが大きい。

## 5. 補修費の算定

### 5.1 構造部材の補修費の算定法

時刻歴応答解析で得られた柱、梁の部材角に基づいて部材の損傷度を判定した後、部材の損傷度に応じて補修費を算定する。設定した部材角、損傷度、ひび割れ幅、補修費の対応関係を表 6 に示す。ひび割れ幅と損傷度の対応関係は文献 3) を、柱の部材角とひび割れ幅の対応関係は文献 4)~7)、梁の部材角とひび割れ幅の対応関係は文献 8) および 9) を参考にしている。耐震壁の損傷度と補修費の対応関係は文献 10) を参考にしている。本論では耐震壁の補修費は柱、梁の補修費の 3 倍とした。柱・梁・耐震壁の補修費の算定は表の最小値と最大値に対して行い、各部材の補修費を合計することで全体の補修費を算定した。部材の損傷度が両端で異なる場合は大きい方を採用し損傷度を決定した。また、柱の損傷度は一方向入力 (X) および (Y) の場合は X 方向、Y 方向の解析結果の大きい方を採用し、耐震壁の損傷度は周囲の柱の損傷度と同等とみなした。

### 5.2 補修費の算定結果

告示波 EL CENTRO 波における (XY) 入力の I100、I125、I150 モデルの Y4 通り、X1 通りのヒンジ図および部材の損傷度を図 3 に示す。Y4 通りの I100 モデルでは 1 階、2 階の多くの柱、梁で曲げ降伏が発生している。部材の損傷度は概ね 1 階がⅢ、2 階がⅡ、3 階と PH 階がⅠとなっている。I125 モデルでは 1 階の柱と 2 階の柱で曲げ降伏が発生しており 2 階の柱での一部にも曲げ降伏が見られる。部材の損傷度は概ね 1 階がⅢ、2 階が

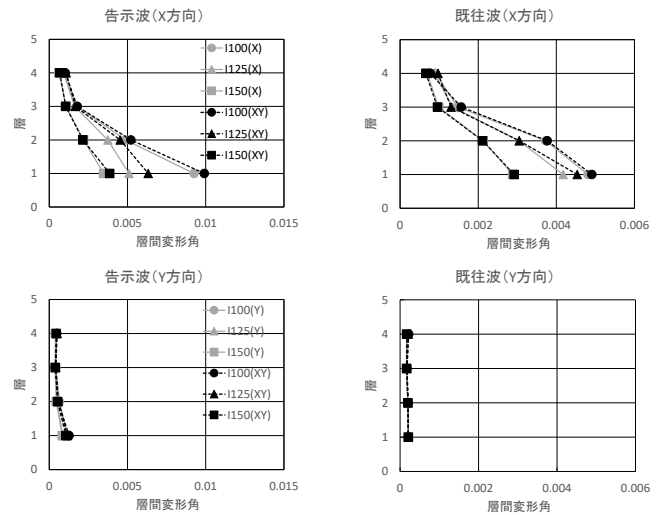
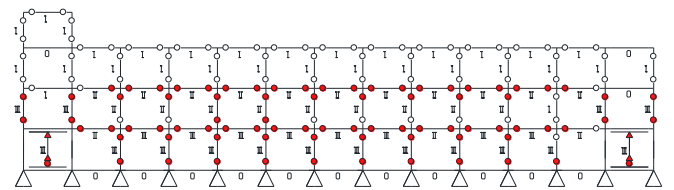
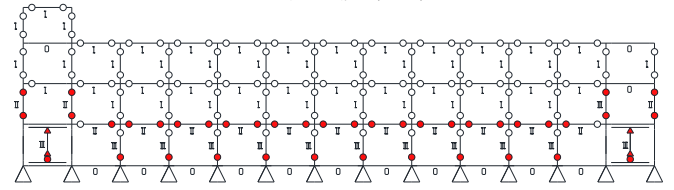


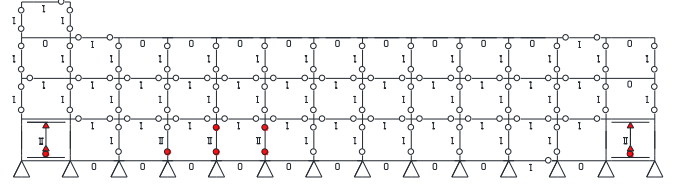
図 2 最大層間変形角



I100 告示波 (XY)

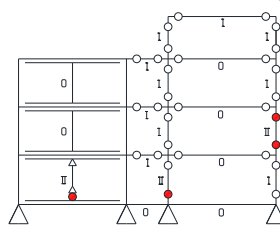


I125 告示波 (XY)

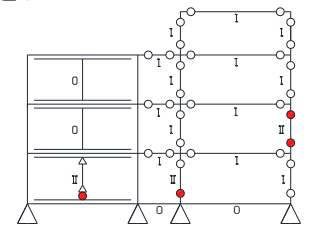


I150 告示波 (XY)

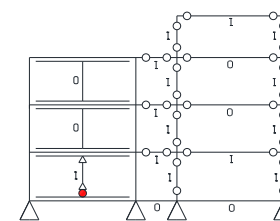
(a) Y4 通り



I100 告示波 (XY)



I125 告示波 (XY)



I150 告示波 (XY)

- : 曲げひび割れ
- : 曲げ降伏
- △ : せん断ひび割れ
- ▲ : せん断降伏

(b) X1 通り  
図 3 ヒンジ図

表 6 損傷度、部材角、補修費

損傷度	状態	ひび割れ幅	部材角(柱)	部材角(梁)	柱、梁補修費(万円)	壁補修費(万円)
I	使用	0.2mm以下	曲げひび割れ	曲げひび割れ	1~5	3~15
II	修復1	0.2~1.0mm程度	曲げ降伏	曲げ降伏	5~10	15~30
III	修復2	1.0~2.0mm程度	1/200rad以上	1/150rad以上	20~40	60~120
IV	安全	2.0mmを超える	1/67rad以上	1/75rad以上	80~100	240~300

II、3階とPH階がIとなっている。I150モデルでは1階の柱のみ曲げ降伏が見られる。部材の損傷度は概ね1階がII、その他の階がIとなっている。X1通りではI100、I125モデルの1階、2階で曲げ降伏が発生しているが他は曲げひび割れである。耐震壁の損傷度については部材角から損傷度を算定できないため耐震壁周辺の柱の損傷度を参照している。損傷度はI150、I125、I100の順に大きくなっている。補修費の算定結果を表7に示す。補修費はI100モデルが最も高く、I125モデル、I150モデルと順に低くなり、重要度係数が大きいほど補修費が抑制されることが分かる。告示波と既往波では告示波のほうが補修費は高くなった。また、(X)、(Y)入力による補修費と(XY)入力による補修費を比べると、同じ地震動でも(X)(Y)入力と(XY)入力では(XY)入力の解析結果のほうが補修費は高くなった。ただしI150モデルでは柱、梁、耐震壁の損傷度が比較的小さいため(X)、(Y)入力と(XY)入力の解析結果で補修費の大きな差は出なかった。

### 5.3 補修費の比較

補修費の算定結果の比較を図4に示す。最大値で比較すると告示波ではI100モデルに比べてI125モデルは20%減、I150モデルは60%減、既往波ではI100モデルに比べてI125モデルは40~50%減、I150モデルは60%減となった。最小値で比較すると告示波ではI100モデルに比べてI125モデルは30%減、I150モデルは80%減、既往波ではI100モデルに比べてI125モデルは50~70%減、I150モデルは80%減となった。平均的には告示波ではI100モデルに比べてI125モデルは25%減、I150モデルは70%減、既往波ではI100モデルに比べてI125モデルは50%減、I150モデルは70%減となった。

表7 補修費

告示波 2方向入力(XY)							既往波 2方向入力(XY)							
I100							I100							
	IV	III	II	I	0	金額		IV	III	II	I	0	金額	
柱	1	60	40	71	0	1551~3255	柱	0	47	20	103	2	1143~2595	
梁	0	21	57	113	142	818~1975	梁	0	0	73	80	180	445~1130	
壁	0	4	19	3	9	519~1065	壁	0	4	4	1	4	24	267~570
合計	1	85	115	187	150	2888~6295	合計	0	51	94	187	206	1855~4295	
万円							万円							
I125							I125							
柱	0	51	18	103	0	1213~2735	柱	0	12	15	143	2	459~1345	
梁	0	0	50	135	148	385~1175	梁	0	0	34	113	186	283~905	
壁	0	4	12	11	6	453~1005	壁	0	4	1	4	24	267~570	
合計	0	55	80	249	154	2051~4915	合計	0	16	50	260	212	1008~2820	
万円							万円							
I150							I150							
柱	0	1	20	150	1	270~990	柱	0	0	3	162	7	177~840	
梁	0	0	13	159	161	224~925	梁	0	0	7	119	207	154~665	
壁	0	0	4	20	9	120~420	壁	0	0	2	3	28	39~105	
合計	0	1	37	329	171	614~2335	合計	0	0	12	284	242	370~1610	
万円							万円							
告示波 1方向入力(X)(Y)							既往波 1方向入力(X)(Y)							
I100							I100							
柱	0	53	42	77	0	1347~2925	柱	0	45	8	103	16	1043~2395	
梁	0	6	69	111	147	576~1485	梁	0	0	71	70	192	425~1060	
壁	0	4	2	18	9	324~810	壁	0	0	4	0	29	60~120	
合計	0	63	113	206	156	2247~5220	合計	0	45	83	173	237	1528~3575	
万円							万円							
I125							I125							
柱	0	41	4	126	1	966~2310	柱	0	0	9	147	16	192~825	
梁	0	0	46	138	149	369~1150	梁	0	0	32	98	203	258~810	
壁	0	4	0	21	8	303~785	壁	0	0	0	9	25	27~135	
合計	0	45	50	285	158	1637~4255	合計	0	0	41	254	244	477~1755	
万円							万円							
I150							I150							
柱	0	0	0	167	5	167~835	柱	0	0	0	156	16	156~780	
梁	0	0	9	155	169	200~885	梁	0	0	5	113	215	138~615	
壁	0	0	0	18	15	54~270	壁	0	0	0	9	24	27~135	
合計	0	0	9	340	189	421~1970	合計	0	0	5	278	255	321~1530	
万円							万円							

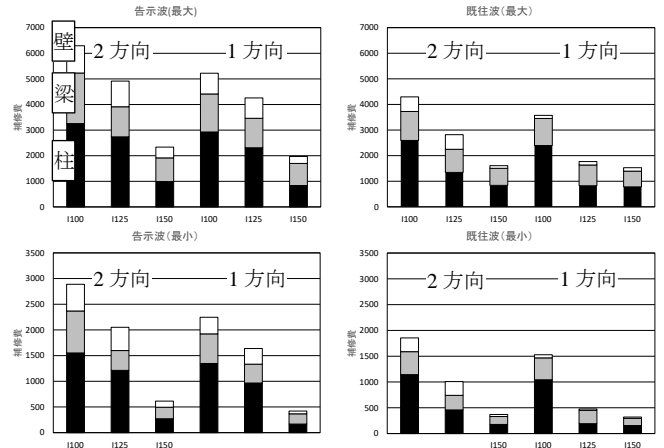


図4 補修費の比較

## 6. まとめ

異なる重要度係数におけるRC造建築物モデルの時刻歴応答解析を行い、部材ごとに損傷度を判定して補修費の算定をし、検討を行った。以下の知見を得られた。

- 1) 方向別入力と2方向同時入力では、同時入力のほうが補修費は大きくなるが、I150モデルのように損傷度が小さい場合には補修費に大きな差が出なかった。
- 2) I100、I125、I150モデルの順番に費用が抑えられ、告示波(XY)ではI100モデルの補修費は2888~6295万円、I125モデルの補修費は2051~4915万円、I150モデルの補修費は614~2335万円となった。
- 3) 重要度係数1.5では補修費の抑制効果が顕著となり重要度係数1.0の場合に比べて補修費を60%~80%削減できた。

### 参考文献

- 1) 黒瀬哲夫、岡村直樹、松原大輔、秋田知芳、稲井栄一：地震地域係数の違いが山口県のRC造学校建物の躯体費および補修費に及ぼす影響に関する研究(その1 RC造学校建物モデルの躯体費の算定)、日本建築学会中国支部研究報告集第42巻、pp.295-298、2019.3
- 2) 岡村直樹、黒瀬哲夫、松原大輔、秋田知芳、稲井栄一：地震地域係数の違いが山口県のRC造学校建物の躯体費および補修費に及ぼす影響に関する研究(その2 RC造学校建物モデルの補修費の概算)、日本建築学会中国支部研究報告集第42巻、pp.299-302、2019.3
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価型指針(案)・同解説、pp.61-69、2004.1
- 4) 文野正裕、幸村信行、前田匡樹、壁谷澤寿海：軸方向変形拘束を受けるRC梁部材の挙動に関する実験研究、コンクリート工学年次論文報告書、Vol.21, No.3、pp.517-522、1999.7
- 5) 永山憲二、文野正裕、鄭文淑、前田匡樹、田才晃、長田正至：柱部材の損傷状態に基づく震災RC造建築物の残余耐震性能評価 その2 残留ひび割れ幅と部材変形の関係、日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、pp.453-454、2001.9
- 6) 王健男、岸本一蔵、大野義照：鉄筋コンクリート柱の残留曲げひび割れ幅の評価、コンクリート工学年次論文集、Vol.29, No.3、pp.145-150、2007.7
- 7) 南口真一、岸本一蔵：曲げとせん断を受けるRC造柱の曲げひび割れ幅算定式、日本建築学会構造系論文集、第77巻 第681号、pp.1709-1716、2012.11
- 8) 高橋典之、高橋絵里、中埜良昭：鉄筋コンクリート部材のひび割れ量推定モデルの検証、コンクリート工学年次論文集、Vol.31, No.2、pp.859-864、2009.7
- 9) 宿澤暁、中川翔太、高橋之：曲げとせん断を同時に受ける鉄筋コンクリート造梁のひび割れ間隔とひび割れ幅、日本建築学会東海支部研究報告書、第55号、pp.177-180、2017.2
- 10) 中島康策、衣笠秀行、古賀一八、小峯克彦：耐久性・修復性を考慮したRC構造物の性能評価型耐震設計法の構築(その2 補修費用算定式の提案)、日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)、pp.983-984、2003.9

\*1 山口大学工学部感性デザイン工学科 学生  
 \*2 山口大学大学院創成科学研究科 講師・博士(工学)  
 \*3 山口大学大学院創成科学研究科 教授・博士(工学)

Student, Dept. of Architectural Design and Eng., Faculty of Eng., Yamaguchi Univ.  
 Lecturer, Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ, Dr. Eng.  
 Prof, Graduate School of Sciences and Technology for Innovation, Yamaguchi Univ, Dr. Eng.