

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)

地震地域係数 山口県 RC 造学校建物 準会員○黒瀬哲矢*1 準会員 岡村直樹*1 正会員 松原大輔*2
保有水平耐力 躯体費 荷重増分解析 正会員 秋田知芳*3 正会員 稲井栄一*4

1.はじめに

地震地域係数は、過去の地震記録等により得られた地震動の期待値の相対的な比を表す数値であり、1.0~0.7の数値として地域ごとに規定されている¹⁾。近年、地震地域係数1.0以外の地域でも大規模な地震が多数発生し、そのたびに新たな活断層が発見されることがある²⁾。自治体によっては、地震地域係数に係数を乗じて割増している地域もある。例えば、静岡県では想定される南海トラフ巨大地震等に備え、定められている地震地域係数の数値に1.2を乗じている³⁾。また、福岡市では倒壊等による人的被害を極小化し、都市機能の保全を図るという観点から、一定の区域において、平成20年以降に新しく建築される中高層の建築物について、地震地域係数の数値に1.25を乗じている⁴⁾。一方、山口県では地震地域係数は0.8とされており、様々な地震に対する被害が想定されているが⁵⁾、係数を乗じて割増すことはなされていない。

地震地域係数に係数を乗じて割増すとRC造建物のコンクリート及び鉄筋の使用量は増加するため、コストの増加につながる。既往の研究⁶⁾では、地震地域係数に係数を乗じて割増した際、同等の保有水平耐力を確保できるよう部材断面を変更し、部材断面に基づいて躯体費を算出して比較した。しかし、既存の建物を対象としているため、断面の種類が多く手間がかかり、検討は鉄筋の本数や径を変更したケースに限られた。そこで本研究では、断面の種類を減らしたRC造建物モデルを作成し、鉄筋の変更に加えて梁及び柱の断面の変更したケースも検討した。

2.RC 造学校建物モデル

検討対象建物として、既存のRC造3階建て学校建物をもとにRC造学校建物モデルを作成した。2階伏図を図1に、軸組図を図2、3に、各部材(柱、梁、耐震壁)の断面を表1~3に示す。既存の建物は、断面の種類が多く複雑なため、躯体費や修復費を算出する際に手間がかかる。この問題点に対応し、より多くのパターンを検討するため断面を統一してシンプルなものにした。具体的には、表1に示すように主筋の端部と中央を統一し、大梁をX方向ではG1、Y方向ではG2を主に使用し、一部G3、G1A、G2Aを使用した。柱はC1の1種類のみとした。RC造学校建物モデルは、X方向が8mの4スパン、Y方向が8.1m、5m、3.7mの3スパンで、基礎上面からの高さは11.35m(1階3.85m、2~3階3.75m)である。地震地域係数は0.8で、設計ルートはX方向がルート3、Y方向

がルート2-1である。本研究ではX方向のみを検討対象とした。保有水平耐力余裕度(必要保有水平耐力 Q_{un} に対する保有水平耐力 Q_u の比) Q_u/Q_{un} は層間変形角1/200radの時点で1.30となっている。

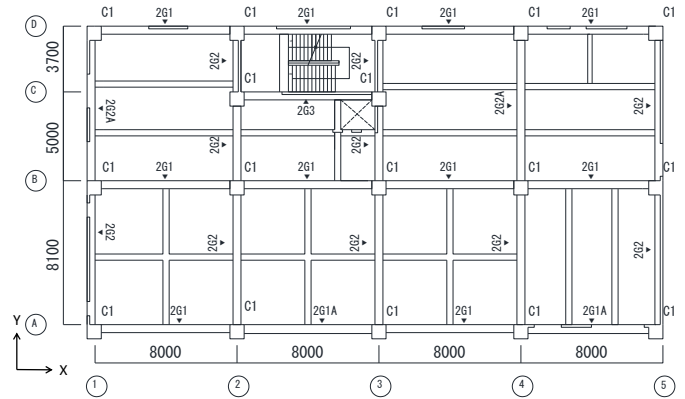


図1 2階伏図

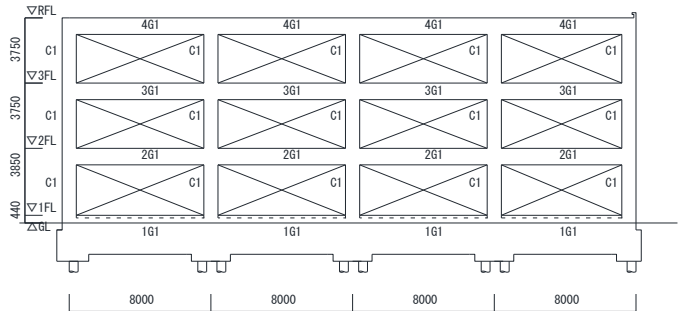


図2 B通り軸組図

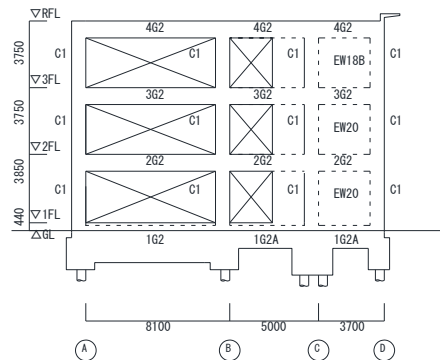


図3 3通り軸組図

表1 梁断面表

		G1	G2	G3	G1A	G2A	
R階	B×D	45×95	45×95	45×95	-	-	
	上端筋	4-D25	5-D25	3-D25	-	-	
	下端筋	4-D25	4-D25	3-D25	-	-	
	スタラップ	3-D10@150	3-D10@150	3-D10@150	-	-	
3階	B×D	45×95	45×95	45×95	-	45×100	
	上端筋	一段	5-D25	5-D25	5-D25	-	5-D25
		二段	1-D25	-	2-D25	-	2-D25
	下端筋	一段	4-D22	4-D25	4-D25	-	5-D25
		二段	4-D22	4-D25	4-D25	-	5-D25
	スタラップ	4-D13@200	4-D13@200	4-D13@200	-	4-D13@200	
2階	B×D	45×95	45×95	45×95	50×100	45×100	
	上端筋	一段	5-D25	5-D25	6-D25	5-D25	
		二段	1-D25	-	2-D25	2-D25	2-D25
	下端筋	一段	4-D25	4-D25	4-D25	6-D25	5-D25
		二段	4-D25	4-D25	4-D25	6-D25	5-D25
	スタラップ	4-D13@200	4-D13@200	4-D13@200	4-D13@200	4-D13@200	
基礎梁	B×D	45×180	45×180	45×180	-	45×100	
	上端筋	一段	5-D25	5-D25	5-D25	-	5-D25
		二段	2-D25	2-D25	2-D25	-	2-D25
	下端筋	一段	5-D25	5-D25	5-D25	-	5-D25
		二段	1-D25	1-D25	1-D25	-	1-D25
	スタラップ	8-D13@200	8-D13@200	8-D13@200	-	8-D13@200	

表2 柱断面表

		C1	
3階	B×D	80×80	
	主筋	16-D25	
	フープ	X方向	4-D13@100
		Y方向	2-D13@100
2階	B×D	80×80	
	主筋	16-D25	
	フープ	X方向	4-D13@100
		Y方向	2-D13@100
1階	B×D	80×80	
	主筋	16-D25	
	フープ	X方向	4-D13@100
		Y方向	2-D13@100

表3 耐震壁断面表

	EW20	EW18A	EW18B	EW15
厚さ	200	180	180	150
縦筋	D13@100ダブル	D10.13@150ダブル	D10.13@200ダブル	D10.13@150シングル
横筋	D10.13@150ダブル			

表4 モデル表

	0.8	地震地域係数Z		
		0.9	1.0	
		N:鉄筋本数増	D:鉄筋径増	DN:鉄筋径・本数増
断面寸法変更なし	原設計	N1	D1	-
梁せい5cm増	-	N2	D2	-
梁幅5cm増	-	N3	D3	-
梁せい・梁幅5cm増	-	N4	D4	-
梁幅・柱せい5cm増	-	N5	D5	DN5
梁せい・柱せい5cm増	-	N6	D6	DN6

表5 梁G1 変更部分断面表 (■: 変更部分)

		原設計	N2	D5	DN6	
		G1	G1	G1	G1	
R階	B×D	45×95	45×100	50×95	45×100	
	上端筋	4-D25	5-D25	4-D29	5-D29	
	下端筋	4-D25	5-D25	4-D29	5-D29	
	スタラップ	3-D10@150	3-D10@100	3-D10@100	3-D10@100	
3階	B×D	45×95	45×100	50×95	45×100	
	上端筋	一段	5-D25	5-D25	5-D29	5-D29
		二段	1-D25	2-D25	1-D29	2-D29
	下端筋	一段	4-D25	5-D25	4-D29	5-D29
		二段	4-D25	5-D25	4-D29	5-D29
	スタラップ	4-D13@200	4-D13@150	4-D13@150	4-D13@150	
2階	B×D	45×95	45×100	50×95	45×100	
	上端筋	一段	5-D25	5-D25	5-D29	5-D29
		二段	1-D25	2-D25	1-D29	2-D29
	下端筋	一段	4-D25	5-D25	4-D29	5-D29
		二段	4-D25	5-D25	4-D29	5-D29
	スタラップ	4-D13@200	4-D13@150	4-D13@150	4-D13@150	
基礎梁	B×D	45×180	45×185	50×180	45×185	
	上端筋	一段	5-D25	5-D25	5-D29	5-D29
		二段	2-D25	3-D25	2-D29	3-D29
	下端筋	一段	5-D25	5-D25	5-D29	5-D29
		二段	1-D25	2-D25	1-D29	2-D29
	スタラップ	8-D13@200	8-D13@150	8-D13@150	8-D13@150	

表6 柱変更部分断面表 (■: 変更部分)

		原設計	N2	D5	DN6	
		C1	C1	C1	C1	
3階	B×D	80×80	80×80	85×85	85×85	
	主筋	16-D25	16-D25	20-D25	20-D25	
	フープ	X方向	4-D13@100	5-D13@100	5-D13@100	5-D13@100
		Y方向	2-D13@100	3-D13@100	3-D13@100	3-D13@100
2階	B×D	80×80	80×80	85×85	85×85	
	主筋	16-D25	16-D25	20-D25	20-D25	
	フープ	X方向	4-D13@100	5-D13@100	5-D13@100	5-D13@100
		Y方向	2-D13@100	3-D13@100	3-D13@100	3-D13@100
1階	B×D	80×80	80×80	85×85	85×85	
	主筋	16-D25	16-D25	20-D25	20-D25	
	フープ	X方向	4-D13@100	5-D13@100	5-D13@100	5-D13@100
		Y方向	2-D13@100	3-D13@100	3-D13@100	3-D13@100

3. 検討方法

2章で述べた RC 造学校建物モデルを原設計とし、地震地域係数 0.8 に 1.125、1.25 をそれぞれ乗じて割増し、地震地域係数 0.9、1.0 相当とした。それぞれについて原設計と同等の保有水平耐力を確保できるよう部材断面を変更し、荷重増分解析を行い Qu/Qun を算出した。

本検討では、主筋の径を太くする、主筋の本数を増やす、大梁の梁せい、梁幅を大きくする、柱せいを大きくすることを組み合わせる部材断面を変更した。部材断面の変更により、表4に示す15個のモデルを設定した。モデル名のDは鉄筋の径を変えた場合(D25からD29)、Nは主筋の本数を変えた場合(1本増加)を表す。モデル名の2は梁せいを5cm増、3は梁幅を5cm増、4は梁幅・梁せいを5cm増、5は梁幅・柱せいを5cm増、6は梁せい・柱せいを5cm増とした場合をそれぞれ表す。表5及び表6にN2、D5、DN6の大梁G1と柱C1の断面変更部分を示す。なお、接合部のせん断終局強度と梁の必要付着長さを確保するため鉄筋を変更していない箇所がある。また、それぞれのモデルについて柱と梁のせん断余裕度が原設計に比べ小さい部材についてはせん断補強筋を適宜増加させた。荷重増分解析は、市販の一貫構造計算プログラムを用い、最大層間変形角が1/50radに達した時点で解析を終了した。層間変形角1/200rad、1/100rad、1/50rad時点の保有水平耐力余裕度について検討する。

4. 解析結果

荷重増分解析によって得られた層せん断力-層間変形角の関係を図4に示す。層せん断力は、原設計に比べ、どの階においても他の全てのモデルで大きな値となっている。層間変形角1/200rad、1/100rad、1/50rad時でのB通りヒンジ図(原設計、N2、D5、DN6)を図5に示す。層間変形角1/200rad時では、部材の降伏は少ないが、層間変形角1/100rad、1/50rad時では大半が降伏している。層間変形角1/200rad、1/100rad、1/50rad時のQu/Qunの算定結果を表7に示す。Qu/Qunは各階同じ数値となっているため、各モデルにつき1つ示している。どの層間変形角時においてもQu/Qunは、原設計と比べて同等若しくはそれ以上である。層間変形角1/200rad時のN1、N3、D1はやや小さい値となっているが、1/100rad、1/50rad時では、原設計の1.40と比べて同等以上となっている。

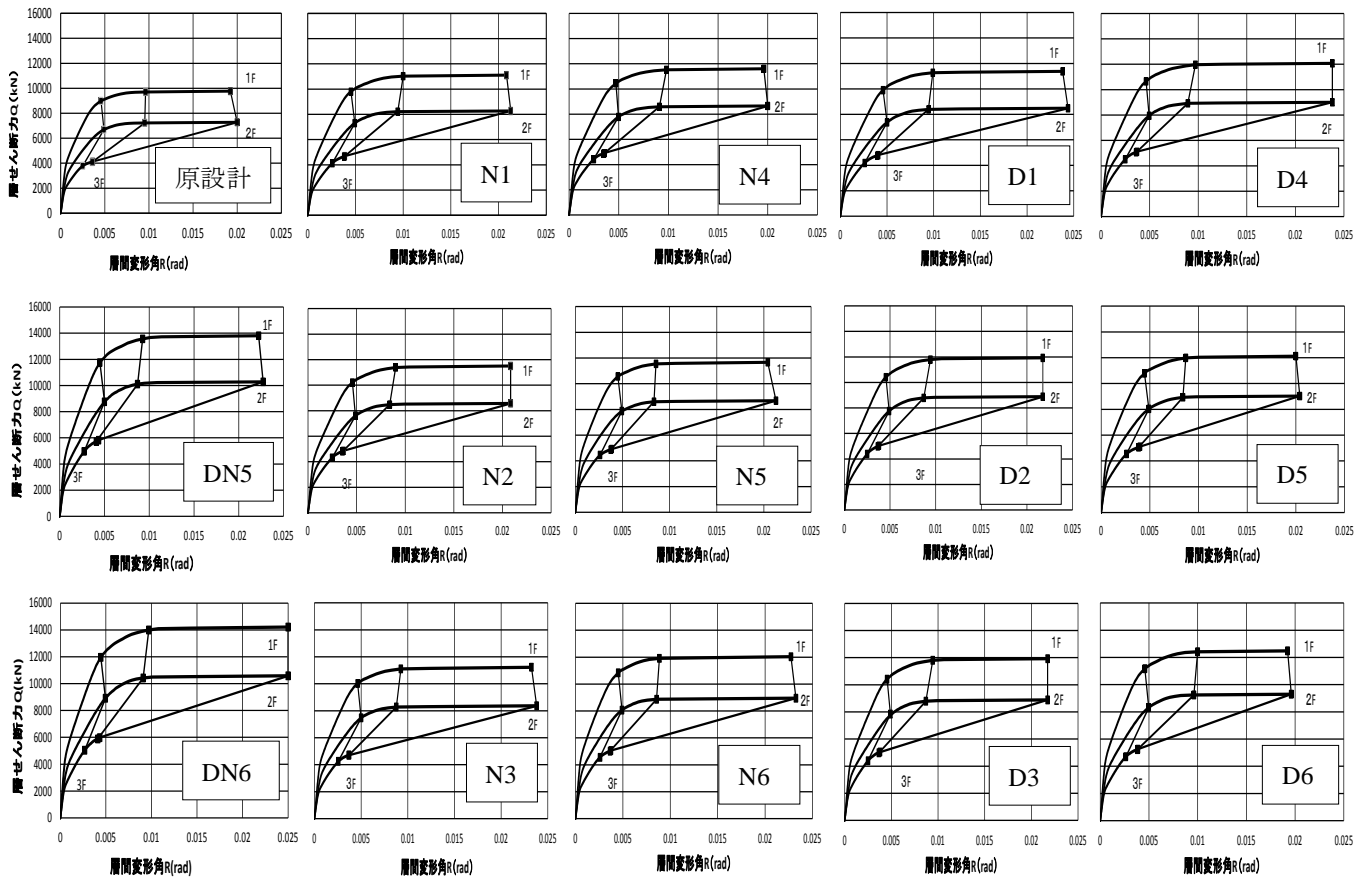
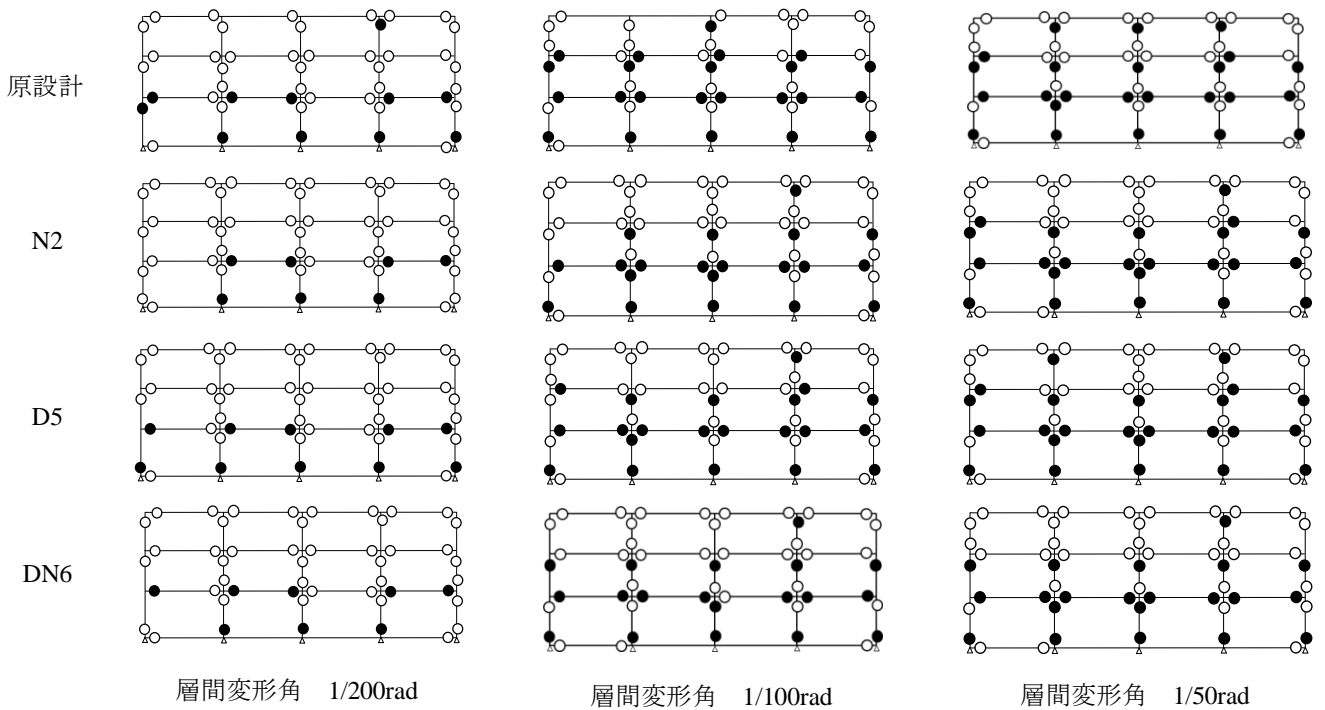


図4 層せん断力 - 層間変形角関係



○ : 曲げひび割れ ● : 曲げ降伏

図5 B 通りヒンジ図

表 7 保有水平耐力余裕度の算定結果

層間変形角	1/200rad時	1/100rad時	1/50rad時
Z	model	Qu/Qu _n	Qu/Qu _n
0.8	原設計	1.30	1.40
0.9	N1	1.26	1.41
	N2	1.30	1.45
	N3	1.24	1.39
	N4	1.30	1.43
	N5	1.31	1.43
	N6	1.36	1.50
	D1	1.28	1.46
	D2	1.32	1.50
	D3	1.32	1.50
	D4	1.32	1.48
	D5	1.34	1.49
	D6	1.40	1.55
1.0	DN5	1.31	1.51
	DN6	1.35	1.58

表 8 躯体費

Z	model	型枠	コンクリート	鉄筋	合計	増加額
0.8	原設計	498	1435	781	2715	—
0.9	N1	498(1.00)	1435(1.00)	927(1.19)	2862(1.05)	146
	D1			951(1.22)	2886(1.07)	170
	N2	504(1.01)	1459(1.02)	935(1.20)	2899(1.07)	184
	D2			961(1.23)	2925(1.08)	210
	N3	501(1.01)	1497(1.04)	939(1.20)	2937(1.08)	222
	D3			958(1.23)	2956(1.10)	241
	N4	507(1.02)	1524(1.06)	946(1.21)	2978(1.10)	262
	D4			966(1.24)	2998(1.11)	283
	N5	503(1.01)	1518(1.06)	943(1.21)	2965(1.10)	249
	D5			963(1.23)	2985(1.11)	269
	N6	507(1.02)	1480(1.03)	956(1.23)	2944(1.08)	229
	D6			961(1.23)	2949(1.09)	234
1.0	DN5	503(1.01)	1518(1.06)	1041(1.36)	3063(1.13)	348
	DN6	507(1.02)	1480(1.03)	1039(1.35)	3027(1.11)	311

単位:万円 () は原設計に対する倍率

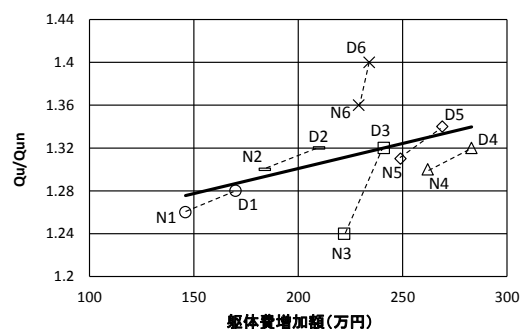


図 6 Qu/Qu_n と躯体費増加額 (地震地域係数 0.9)

5. 躯体費

建築数量積算基準⁷⁾に従い、コンクリート、型枠、鉄筋の数量を算定し、2018年10月の建設物価⁸⁾により単価を掛けて躯体費を算定した。対象部材は、柱、大梁、小梁、床板、耐震壁とした。各モデルの躯体費の算定結果を表8に示す。型枠費用は1~2%、コンクリート費用は2~6%増加している。鉄筋費用の増加率の平均値は、N1~N6で21%、D1~D6で23%、DN5~DN6で36%である。躯体費全体の増加率の平均値は、N1~N6で8%、D1~D6で9.3%、DN5~DN6で12%である。躯体費の増加額の平均値は、N1~N6で215万円、D1~D6で235万円、DN5~DN6で330万円である。

また、地震地域係数 0.9 のモデルに関して層間変形角 1/200rad 時の Qu/Qu_n と躯体費増加額の間を関図 6 に示す。図 6 中の実線は近似直線を、破線は鉄筋の径を変えた場合 (D) と主筋の本数を変えた場合 (N) で断面の大きさが同じもの (モデル名の数字が同じもの) 同士を結んだものを表している。近似直線より躯体費増加額が大きくなると Qu/Qu_n が大きくなる傾向が見て取れる。破線を見ると N に比べて D では、躯体費増加額が大きくなるとともに Qu/Qu_n も大きくなり、破線はいずれも右上がりとなっている。また、破線 N3-D3 と破線 N6-D6 の傾きは、その他に比べて大きくなっていることが分かる。

6. まとめ

地震地域係数に係数を乗じて割り増し、原設計と同等の保有水平耐力を確保できるよう部材断面を変更した各モデルについて比較し、以下の知見が得られた。

- 1) どの層間変形角時においても Qu/Qu_n は、原設計と比べて同等若しくはそれ以上である。層間変形角 1/200rad 時の N1、N3、D1 はやや小さい値となっているが、1/100rad、1/50rad 時では、原設計と比べて同等以上となっている。
- 2) 地震地域係数 0.9 場合、躯体費は 5~11%増加し、地震地域係数 1.0 場合、躯体費は 11~13%増加した。

- 3) 層間変形角 1/200rad 時の Qu/Qu_n と躯体費増加額の間では、躯体費増加額が大きくなると Qu/Qu_n が大きくなる傾向があった。
- 4) 鉄筋の径を変えた場合 (D) と主筋の本数を変えた場合 (N) で断面の大きさが同じもの同士を比較すると、躯体費増加額が大きくなり、Qu/Qu_n も大きくなった。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所、建築研究所監修：2015年版建築物の構造関係技術基準解説書、pp.296-308、2015.6
- 2) 一般財団法人土地総合研究所 (地震地域係数について) <http://www lij.jp/news/research_memo/20161101_13.pdf>
- 3) 静岡県公式 HP 「静岡県地震地域係数 (Zs) を義務化します」 <http://www.pref.shizuoka.jp/kenmin/km320/kensasitu/documents/zs_gaiyouban.pdf>
- 4) 福岡市 HP 「警固断層に着目した建築物の耐震対策 (条例化) について」 <<http://www.city.fukuoka.lg.jp/data/open/cnt/3/19664/1/kego-danso-taisaku.pdf>>
- 5) 山口県 HP 「地震被害想定調査結果の概要」 <<http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cmsdata/8/0/2/802657047247c36fb9947fff1cc3ac15.pdf>>
- 6) 松原大輔、秋田知芳、稲井栄一：3階建て RC 造学校建物の躯体費と地震地域係数に関する研究、日本建築学会中国支部研究報告集、pp.285-288、2018.3
- 7) 建築コスト管理システム研究所、日本建築積算協会編集：建築数量積算基準・同解説、2017.7
- 8) 建設物価調査委員会：建設物価 2018年10月号

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

Student, Dept. of Perceptual Sciences and Design Eng., Faculty of Eng., Yamaguchi Univ.
 Graduate Student, Graduate school of Sciences and Technology for Innovation, 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.