

表1 主要柱断面表

		C2	C4
1階	B×D	80×80	70×70
	主筋	16-D25	12-D25
	フープ	2-D13@100	2-D13@100

表2 主要梁断面表

		G3		G5		
		両端	中央	両端	中央	
R階	B×D	40×80		40×80		
	上端筋	一段	-		-	
		二段	3-D25		4-D25	
	下端筋	3-D25		4-D25		
	スタラップ	2-D10@150		2-D10@150		
3階	B×D	40×80		40×80		
	上端筋	一段	1-D25	-	2-D25	
		二段	-	4-D25	-	4-D25
	下端筋	-	4-D25	-	4-D25	
	スタラップ	2-D10@150		2-D13@150		
2階	B×D	45×85		45×85		
	上端筋	一段	2-D25	-	2-D25	-
		二段	5-D25	4-D25	5-D25	
	下端筋	4-D25		4-D25		
	スタラップ	2-D13@150		2-D13@150		

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			

4. 検討方法

X 方向に関しては、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 を検討した。Y 方向に関しては、ルート 2-1 で設計されるため、壁厚を変更し、ルート 2-1 判定式(後述の表7参照)を用いて検討した。

本検討では、部材断面の変更には主筋の径を太くする、または主筋の本数を増やして部材断面を変更した。部材断面の変更により、主筋の径を太くした model-Z0.9D、主筋の本数を増やした model-Z0.9N、主筋の径を太くし、かつ本数を増やした model-Z1.0DN の3つのモデルを設定した。モデル名の Z は地震地域係数を表し、D は鉄筋の径を変えた場合、N は主筋の本数を変えた場合を表す。原設計は model-Z0.8、地震地域係数のみ変更したものは model-Z0.9、model-Z1.0 とした。主要部材の断面変更部分を表4、5に示す。model-Z0.9D では、柱と梁の主筋の径を D25 から D29 に、model-Z0.9N では柱と梁の主筋を1本増加させた。model-Z1.0DN では、柱と梁の主筋の径を D25 から D29 にし、かつ1本増加させた。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増加させた。荷重増分

解析に用いる外力分布は Ai 分布に基づいて設定し、最大層間変形角が 1/30rad に達した時点で解析を終了した。原設計では、層間変形角 1/200 rad 時点を保有水平耐力としているが、ここでは、層間変形角 1/100 rad、1/50 rad 時点の保有水平耐力についても検討する。Y 方向に関しては、地震地域係数 0.9、1.0 相当の場合について壁厚を 10mm ずつ増やしルート判定値の検討を行った。

表4 柱変更部分断面表(■: 変更部分)

		model-Z0.8	model-Z0.9D	model-Z0.9N	model-Z1.0DN
1C2	B×D	80×80	80×80	80×80	80×80
	主筋	16-D25	16-D29	20-D25	20-D29
	フープ	2-D13@100	3-D13@100	3-D13@100	3-D13@100
1C4	B×D	70×70	70×70	70×70	70×70
	主筋	12-D25	12-D29	16-D25	16-D29
	フープ	2-D13@100	3-D13@100	3-D13@100	3-D13@100

表5 梁変更部分断面表(■: 変更部分)

		model-Z0.8		model-Z0.9D		model-Z0.9N		model-Z1.0DN		
		両端	中央	両端	中央	両端	中央	両端	中央	
2G3	B×D	45×85		45×85		45×85		45×85		
	上端筋	一段	5-D25	4-D25	5-D29	4-D29	5-D25	5-D25	5-D29	5-D29
		二段	2-D25	-	2-D29	-	3-D25	-	3-D25	-
	下端筋	4-D25		4-D29		5-D25		5-D29		
	スタラップ	2-D13@150		3-D13@150		3-D13@150		3-D13@150		
2G5	B×D	45×85		45×85		45×85		45×85		
	上端筋	一段	2-D25	-	2-D29	-	3-D25	-	3-D29	-
		二段	5-D25		5-D29		5-D25	6-D25	5-D29	6-D29
	下端筋	4-D25		4-D29		5-D25		5-D29		
	スタラップ	2-D13@150		3-D13@150		3-D13@150		3-D13@150		

5. 保有水平耐力

荷重増分解析によって得られた model-Z0.8、model-Z0.9D、model-Z0.9N、model-Z1.0DN の層せん断力-層間変形角の関係を図4に示す。層せん断力は、どの階においても model-Z0.8 よりも model-Z0.9D、model-Z0.9N、model-Z1.0DN の方が大きな値となっている。

X 方向の保有水平耐力の算定結果を表6に示す。表6中の Qu 比率は model-Z0.8 の Qu に対する各モデルの Qu の比率である。Qu 比率と Qu/Qun は各階同じ数値となっているため、まとめて示している。層間変形角 1/200 rad 時の Qu/Qun は、model-Z0.9D で 1.30、model-Z0.9N で 1.29、model-Z1.0DN で 1.26 となっており、model-Z0.8 とほぼ同じであるがやや小さい値となっている。一方、層間変形角 1/100 rad、1/50 rad 時では、model-Z0.9D で 1.53、1.56、model-Z0.9N で 1.47、1.50、model-Z1.0DN で 1.54、1.61 となっており、model-Z0.8 の値に比べて大きい値となっている。

層間変形角 1/200 rad、1/100 rad、1/50 rad 時での model-Z0.8、model-Z0.9D、model-Z0.9N、model-Z1.0DN のヒンジ図を図5に示す。層間変形角 1/200 rad 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。

Y 方向のルート 2-1 判定式の算定結果を表7に示す。地域係数 0.9 の場合には、壁厚を 40 mm 増やした時に地震地域係数 0.8 と同等の値が得られた。地震地域係数 1.0 の場

合には、壁厚を 40 mm 増やした時に地震地域係数 0.9 の壁厚を増やさない時と同等の値が得られた。

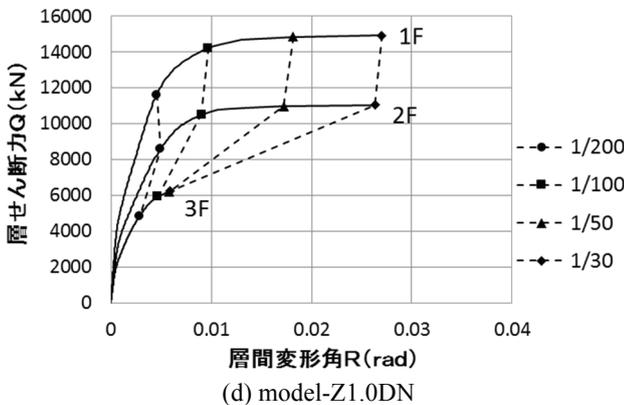
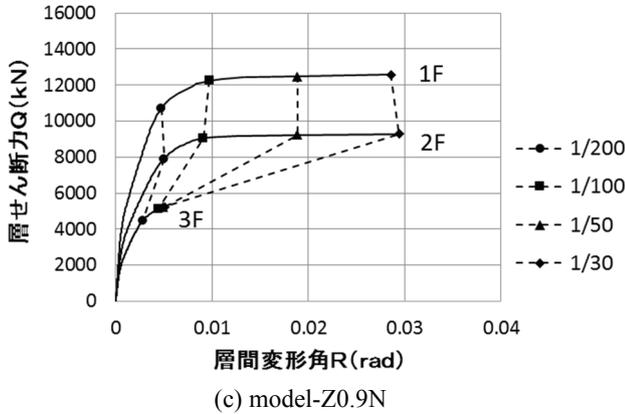
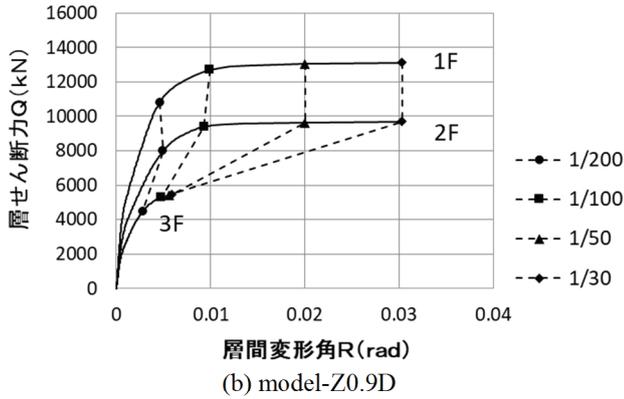
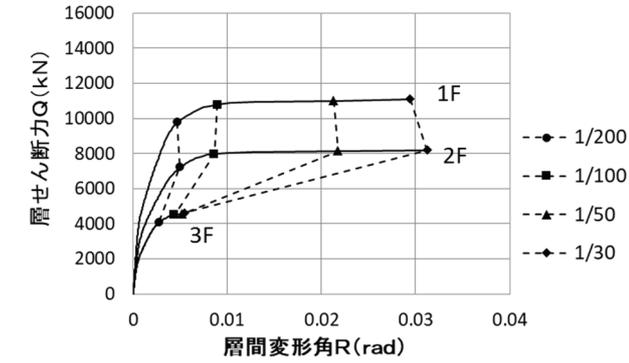


図4 層せん断力 - 層間変形角関係

表6 保有水平耐力の算定結果

(a)層間変形角 1/200rad 時

model	階	Qun[KN]	Qu[KN]	Qu比率	Qu/Qun
Z0.8	3F	3067.8	4074.7	-	1.32
	2F	5439.1	7224.3		
	1F	7361.2	9777.1		
Z0.9	3F	3451.3	4039.4	-	1.17
	2F	6119.0	7161.7		
	1F	8281.3	9692.7		
Z0.9D	3F	3451.3	4499.0	1.11	1.30
	2F	6119.0	7976.5		
	1F	8281.3	10795.1		
Z0.9N	3F	3451.3	4455.3	1.10	1.29
	2F	6119.0	7899.0		
	1F	8281.3	10690.2		
Z1.0	3F	3834.8	4074.3	-	1.06
	2F	6798.9	7223.5		
	1F	9201.5	9776.1		
Z1.0DN	3F	3834.8	4846.1	1.19	1.26
	2F	6798.9	8591.9		
	1F	9201.5	11628.0		

(b)層間変形角 1/100rad 時

model	階	Qun[KN]	Qu[KN]	Qu比率	Qu/Qun
Z0.8	3F	3067.8	4497.6	-	1.46
	2F	5439.1	7974.0		
	1F	7361.2	10791.8		
Z0.9	3F	3451.3	4508.2	-	1.30
	2F	6119.0	7992.8		
	1F	8281.3	10817.3		
Z0.9D	3F	3451.3	5293.0	1.18	1.53
	2F	6119.0	9384.2		
	1F	8281.3	12700.3		
Z0.9N	3F	3451.3	5106.6	1.13	1.47
	2F	6119.0	9053.7		
	1F	8281.3	12253		
Z1.0	3F	3834.8	4503.1	-	1.17
	2F	6798.9	7983.7		
	1F	9201.5	10804.9		
Z1.0DN	3F	3834.8	5931.0	1.32	1.54
	2F	6798.9	10515.3		
	1F	9201.5	14231.1		

(c)層間変形角 1/50rad 時

model	階	Qun[KN]	Qu[KN]	Qu比率	Qu/Qun
Z0.8	3F	3067.8	4558.4	-	1.48
	2F	5439.1	8081.8		
	1F	7361.2	10937.6		
Z0.9	3F	3451.3	4570.7	-	1.32
	2F	6119.0	8103.7		
	1F	8281.3	10967.3		
Z0.9D	3F	3451.3	5405.3	1.18	1.56
	2F	6119.0	9583.3		
	1F	8281.3	12969.8		
Z0.9N	3F	3451.3	5204.2	1.14	1.50
	2F	6119.0	9226.7		
	1F	8281.3	12487.2		
Z1.0	3F	3834.8	4572.4	-	1.19
	2F	6798.9	8106.7		
	1F	9201.5	10971.4		
Z1.0DN	3F	3834.8	6187.9	1.35	1.61
	2F	6798.9	10970.8		
	1F	9201.5	14847.6		

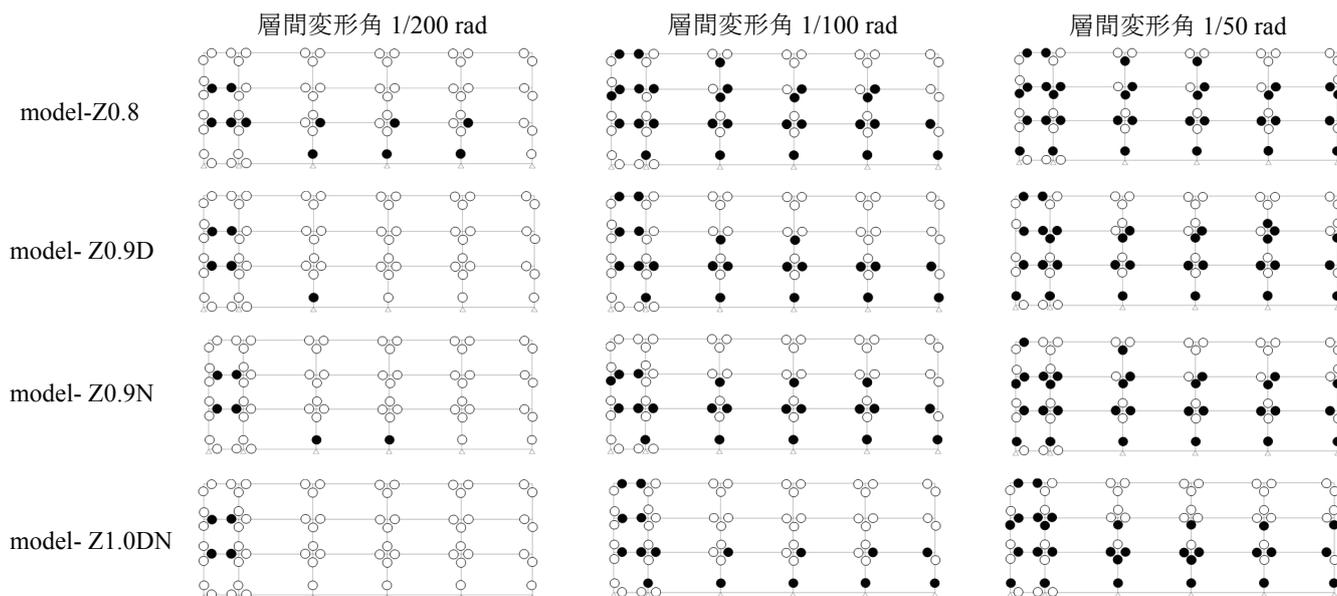


図5 B通りヒンジ図

表7 ルート2-1判定式算定結果

z	壁厚	ルート2-1判定式※			ΣAw [×10 ³ mm ²]	ΣAw 増加率[%]
		1F	2F	3F		
0.8	-	0.96	1.06	1.86	11475	-
0.9	-	0.85	0.94	1.64	11475	-
	+10mm	0.87	0.96	1.69	12118	6.0
	+20mm	0.90	0.98	1.74	12841	12.0
	+30mm	0.92	1.00	1.78	13404	17.0
	+40mm	0.94	1.03	1.82	14047	22.0
1.0	-	0.77	0.85	1.49	11475	-
	+10mm	0.79	0.87	1.53	12118	6.0
	+20mm	0.81	0.89	1.57	12841	12.0
	+30mm	0.83	0.91	1.61	13404	17.0
	+40mm	0.86	0.93	1.64	14047	22.0

※(Σ2.5Aw + Σ0.7Ac)/ZWAi ≥ 0.75

Aw: 耐力壁の水平断面積

Ac: 柱及び耐力壁以外の壁の水平断面積

Z: 地震地域係数

W: その階が支える建築物重量

6. 躯体費

建築数量積算基準⁷⁾に従い、コンクリート、型枠、鉄筋の数量を算出し、2017年12月の建設物価⁸⁾により単価をかけて、躯体費の概算を行った。対象部材は、柱、大梁、小梁、床板、耐震壁とした。各モデルの躯体費を比較した結果を表8に示す。model-Z0.8に対する、鉄筋の費用の増加率は、model-Z0.9Dで21%、model-Z0.9Nで13%、model-Z1.0DNで27%である。躯体費全体では、model-Z0.9Dで5%、model-Z0.9Nで3%、model-Z1.0DNで6%となっている。model-Z0.9Dとmodel-Z0.9Nを比べると、鉄筋の径を太くするより、本数を増やした方が躯体費は若干抑えられている。

表8 躯体費

	コンクリート	型枠	鉄筋	合計
model-Z0.8	1498	488	647 -	2633 -
model-Z0.9D			785 (1.21)	2771 (1.05)
model-Z0.9N			729 (1.13)	2715 (1.03)
model-Z1.0DN			819 (1.27)	2805 (1.06)

単位: 万円 ()は現建物に対する倍率

7. 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な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。

- 地震地域係数 0.9 の場合、主筋の径を太くする、または主筋の本数を増やすことで、地震地域係数 1.0 の場合、主筋の径を太くする、かつ主筋の本数を増やすことで原設計と同等の保有水平耐力を確保できた。
- 層間変形角 1/200 rad 時では、各モデルの Qu/QuN の値は原設計に対してやや小さい値となったが、層間変形角 1/100rad、1/50rad 時では、各モデルの Qu/QuN の値は原設計に対して大きい値となった。
- 地震地域係数 0.9 場合の費用は躯体費全体で 3~5%増加し、地震地域係数 1.0 場合の費用は躯体費全体で 6%増加した。

参考文献

- 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
- 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>
- 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/kensaitu/documents/zs_gaiyouban.pdf>
- 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>>
- 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>>
- 地震調査研究推進本部 HP
<http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/chugoku-shikoku/p35_yamaguchi.htm>
- 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、pp227、2017.7
- 建設物価調査委員会：建設物価 2017年12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 Perceptual Sciences and Design 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.