

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

山口県 RC造校舎 保有水平耐力
躯体費用 地震地域係数 断面変更

準会員○松原大輔*1 正会員 秋田知芳*2
正会員 稲井栄一*3

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ふ観点から、一定の区域において、これから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。本研究では地震地域係数に係数を乗じて割増し、原設計と同等の保有水平耐力を確保できるよう

にRC造建物の部材断面を変更した。また、部材断面に基づいて躯体費を算出して比較した。

2.山口県の被害想定

山口県にはM7以上の地震を起こす活断層がいくつか存在し、中でも安芸灘断層帯、周防灘断層帯、菊川断層帯の3つの断層帯は、今後30年以内の地震発生確率が最も高い部類に分類されている⁶⁾。中でも予想震度が大きい菊川断層帯は予想最大震度7であり、震度6弱以上の揺れが予想されるエリアは5市とされ県全体の面積の10.8%と想定されている。揺れによる半壊は13294棟、全壊は2613棟と想定されている⁵⁾。海溝型地震では、17世紀以降から現在までに安芸灘~伊予灘~豊後水道の領域でM6.7~M7.4の地震が6回発生しており、この領域で今後30年以内に地震が発生する確率は40%程度となっている。予想最大震度は6弱であり、震度6弱以上の揺れが予想されるエリアは3市町とされ県全体の面積の0.1%と想定されている。揺れによる半壊は3020棟、全壊は20棟と想定されている。南海トラフで発生する地震でも県内の瀬戸内海沿岸の15市町は、著しい地震災害が生じるおそれがあるとされている⁶⁾。

3.検討対象建物

検討対象建物として、杭基礎のRC造3階建ての学校建物を使用した。X方向に4m、8m、8m、8mの4スパン、Y方向に8.1m、5m、3.7mの3スパンを有し、基礎上面からの高さは11.35m(1階3.85m、2~3階3.75m)である。2階伏図を図1に、軸組図を図2、3に、各部材(柱、梁、耐震壁)の主要断面を表1~3に示す。地震地域係数は0.8で、設計ルートはX方向はルート3、Y方向はルート2-1で設計されている。杭は20mの既製コンクリート杭で、上杭にSC杭、下杭にPHC杭を使用している。長さは上杭9m、下杭11mで、径は500φまたは600φである。X方向に関して、Ds値は0.3、形状係数Fesは1.0、必要保有水平耐力Qunに対する保有水平耐力Quの比 Q_u/Q_{un} は層間変形角1/200radの時点で1.32となっている。

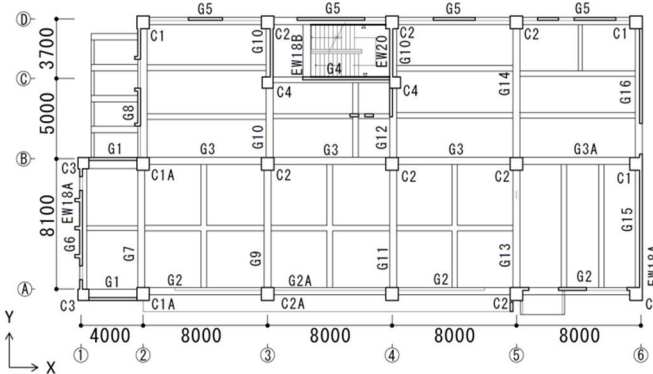


図1 2階伏図

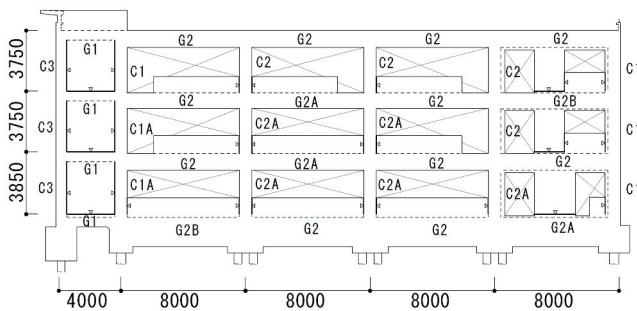


図2 B通り軸組図

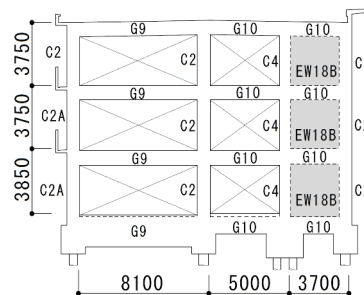


図3 3通り軸組図

表1 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

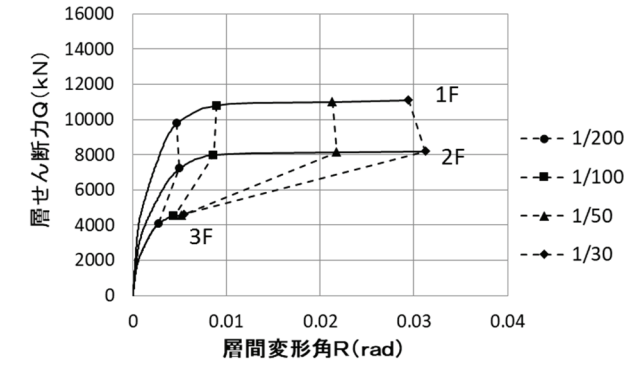
荷重増分解析によって得られた model-Z0.8、model-Z0.9D、model-Z0.9N、model-Z1.0DN の層せん断力-層間変形角の関係を図4に示す。層せん断力は、どの階においても model-Z0.8 よりも model-Z0.9D、model-Z0.9N、model-Z1.0DN の方が大きな値となっている。

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。

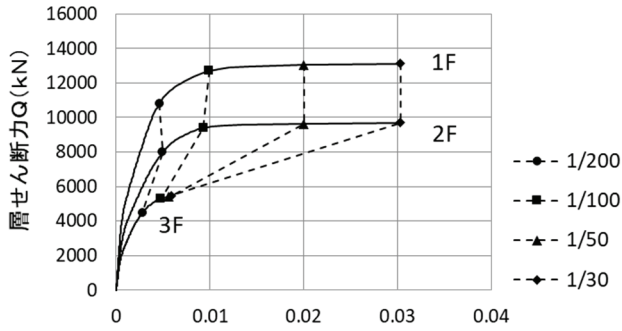
層間変形角 1/200 rad、1/100 rad、1/50 rad 時での model-Z0.8、model-Z0.9D、model-Z0.9N、model-Z1.0DN のヒンジ図を図5に示す。層間変形角 1/200 rad 時では、部材の降伏は少ないが、層間変形角 1/100rad、1/50rad 時では大半が降伏している。

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

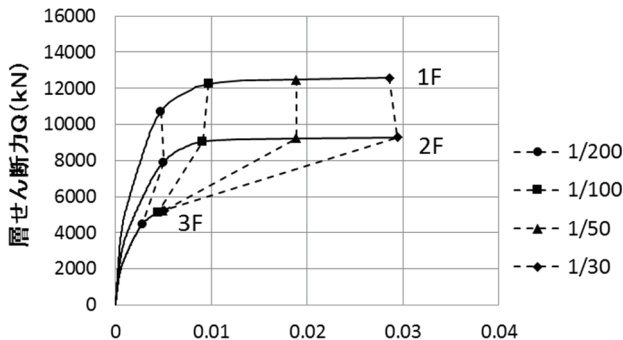
合には、壁厚を 40 mm 増やした時に地震地域係数 0.9 の壁厚を増やさない時と同等の値が得られた。



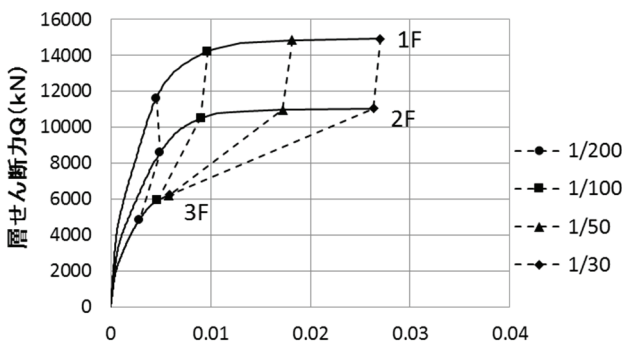
(a) model-Z0.8



(b) model-Z0.9D



(c) model-Z0.9N



(d) model-Z1.0DN

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		

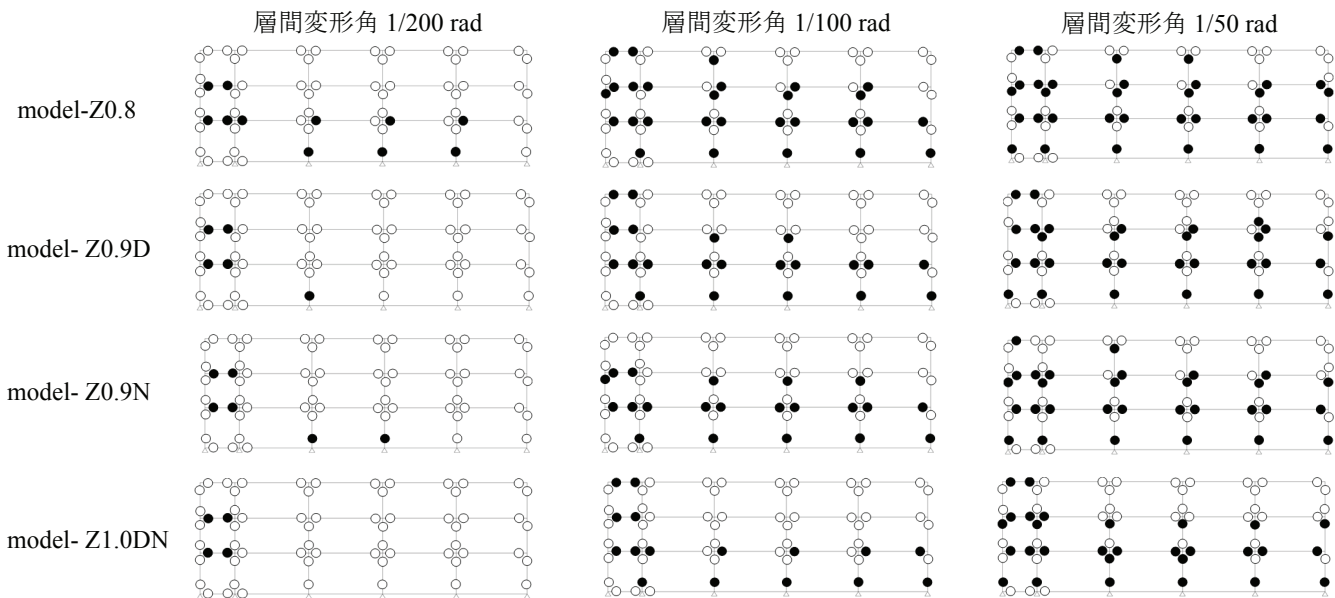


図5 B通りヒンジ図

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.