

平成13年芸予地震によって被害を受けたRC建物南構面 中柱の破壊に関する一考察

大田和彦*, 中原啓文**

Research on the Failure of the Middle Column in the South Plane of the Damaged Reinforced Concrete Building by the 2001 Geiyo Earthquake

Kazuhiko OHTA* and Hirofumi NAKAHARA**

Synopsis

Through the research on the failure of the middle column in the south plane of the damaged reinforced concrete building by the 2001 Geiyo Earthquake, this report describes the structural design problems to be paid attention in the reinforced concrete buildings.

1. はじめに

本論文では、2001年3月24日午後3時28分に発生した芸予地震によって被災した沖美町役場庁舎の被害調査結果¹⁾と、同建物において最も被害が顕著であった南構面中柱の破壊に関して考察した内容²⁾を述べている。

2. 建物概要

沖美町役場庁舎は、震源から約28km西北西に位置し、西能美島西岸の切り立った崖の頂部を整地して建てられている。建物配置図を図1に示す。被災したA棟は、1966年(昭和41年)建設の鉄筋コンクリート造2階建て塔屋2階の庁舎である(平成8

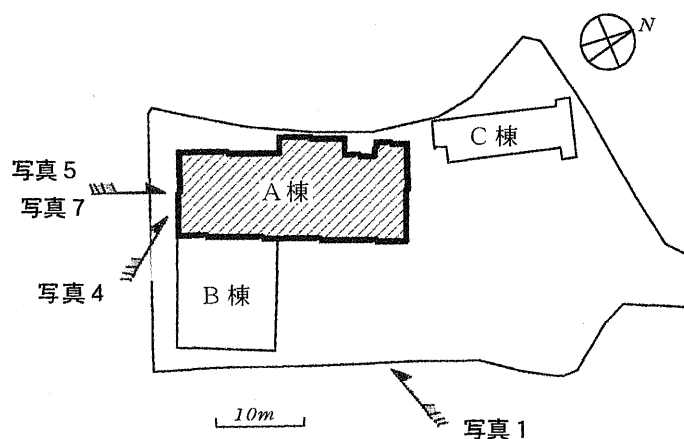


図1 沖美町庁舎建物配置図

* 近畿大学工学部建築学科

Department of Architecture, School of Engineering,
Kinki University

** 玉川大学

Tamagawa University



写真1 沖美町庁舎全景



写真2 三高支所庁舎



写真3 コンクリート壁のせん断ひび割れ



写真4 被災建物南面

年に外壁改修)。B棟(昭和60年と平成11年に増築)は鉄骨造で、ALC板の開口隅角部に損傷が見受けられた。写真1に建物の全景を示す。

建物A棟は、役場庁舎として使用され、延床面積：565.684m²の建物である。長辺方向の構造形式は、南北方向7スパンのラーメン構造、短辺方向の構造形式は、南構面のみ2スパンになっているが、東西方向1スパンラーメン(一部耐震壁)になっている。また、基礎構造形式は独立フーチング基礎である。

3. 建物の被害状況

本庁舎から4.5km北の三高支所は、同一設計の建物であったが、無被害であった(写真2)。三高支所に設置されていた強震計は震度5強(地動最大加速度、NS407Gal、EW361Gal)を観測しているため、本庁舎は、震度6弱以上の地震動を受けたものと推定される。図2、図3に建物の平面図ならびに各柱・壁の被災度判定結果を示す。また、図4に建物の立面図を、

図5に2階梁伏せ図を示す。一方、柱、梁の主筋には、19φ、せん断補強筋には9φが使用され、せん断補強筋間隔は、あばら筋で300mm間隔、帯筋で250mm間隔となっている。詳細は文献1)を参照。

被災建物は、柱・壁のひび割れ状況から、ほぼ東から西に向けて大きな力を受けたようである。建物北側では、コンクリート壁が多く設けられていたため、コンクリート壁面に多数のせん断ひび割れが観察された(写真3)が、柱の損傷程度は比較的小さかった。一方、建物南側では、南面中柱を始めとして、盛り土と切り土の境界付近などで柱の損傷が特に目立った。これは、建物南側では地盤が盛り土であったため切り土の建物北側に比べて地動の増幅率が大きくなり、しかも建物南側の1階は事務室、2階は会議室に当てられていてコンクリート壁部が南面2階にしか設けられていなかったために、建物南側では大きな水平変位が生じたためと思われる。コンクリートの壁部2カ所からのコア抜き圧縮強度試験結果は、8.37N/mm²、

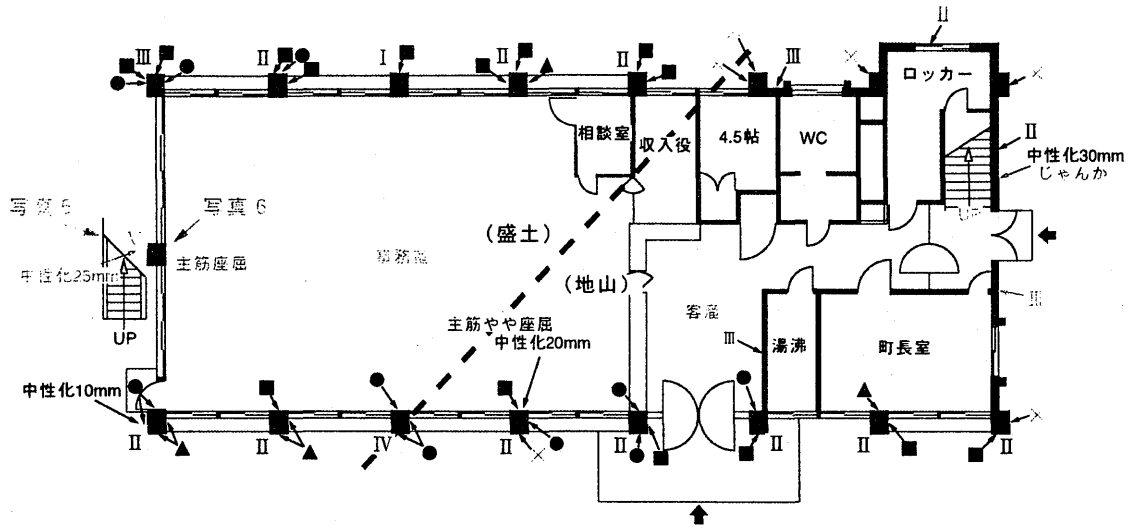


図2 1階平面図と柱及び壁の損傷度

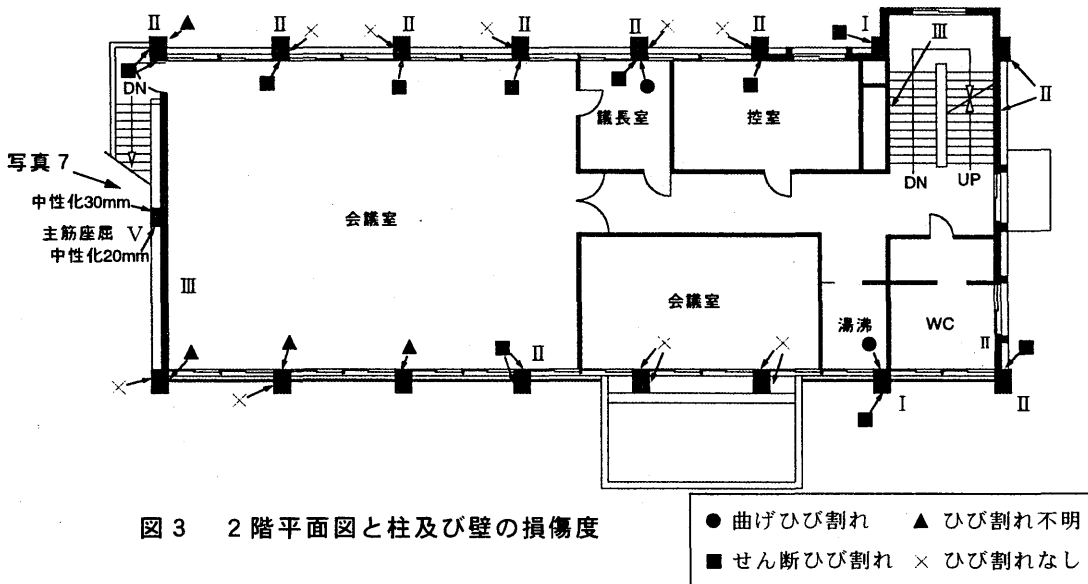


図3 2階平面図と柱及び壁の損傷度

21.5N/mm²であり、躯体の一部はコンクリート強度が十分でなかったことを伺わせる結果になっている。しかし、不同沈下は最大で36mm程度であり、不同沈下が被災建物の被害を拡大したとは考えにくい。

被害が最も大きかった建物南面(写真4)の中柱の破壊状況を写真5～写真7に示す。1階の柱はせん断破壊していて、主筋が露出し座屈していた。また、コンクリートの中性化は25mm程度進行していた。一方、この柱の2階脚部は大きく損傷し、柱脚部が屋内側にずれ込んでいて、コンクリートを取り除くと主筋は座屈していた。また、コンクリートの中性化は20～30mm程度進行していた。

4. 耐震診断について

この柱の破壊原因を推察する前に、沖美町役場庁舎

の耐震診断結果を表1と表2に示す。表中の*印の付いた数値はIs値が構造耐震判別指標Isoに達していないことを示している。コンクリートのコア抜き圧縮試験では、設計強度を大きく下回る結果も得られているが、ここでは、コンクリート強度を設計基準強度の18N/mm²として診断している。また、1966年(昭和41年)に建設された建物であるが、劣化、亀裂などの問題は診断では考慮していない。診断の結果は、南北方向が安全性に疑問ありと診断されたが、東西方向は1階部分が安全とは言えない程度の診断であった。それでは、なぜ南面中柱に大きな被害を生じたのであろうか。

5. 南面中柱の破壊について

最初に、1階中柱のせん断破壊については、以下の

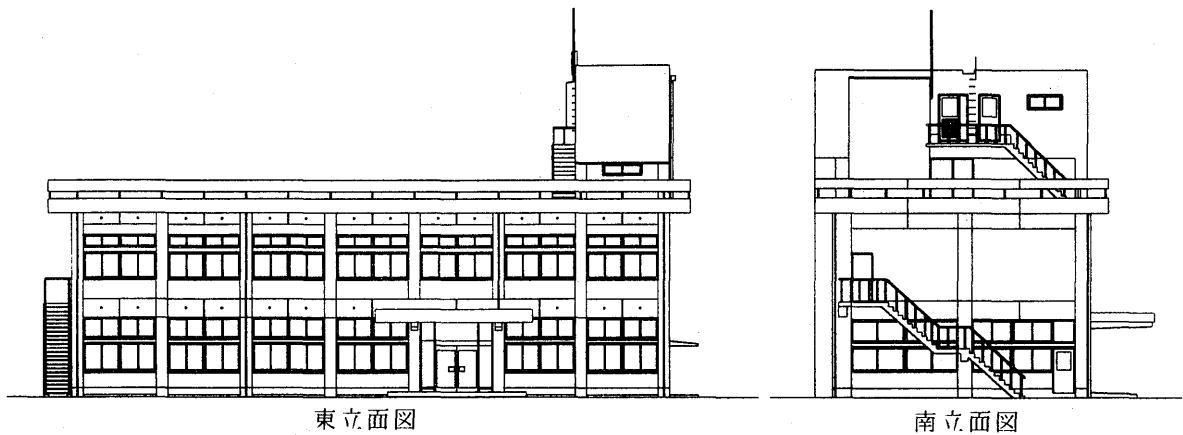


図4 立面図

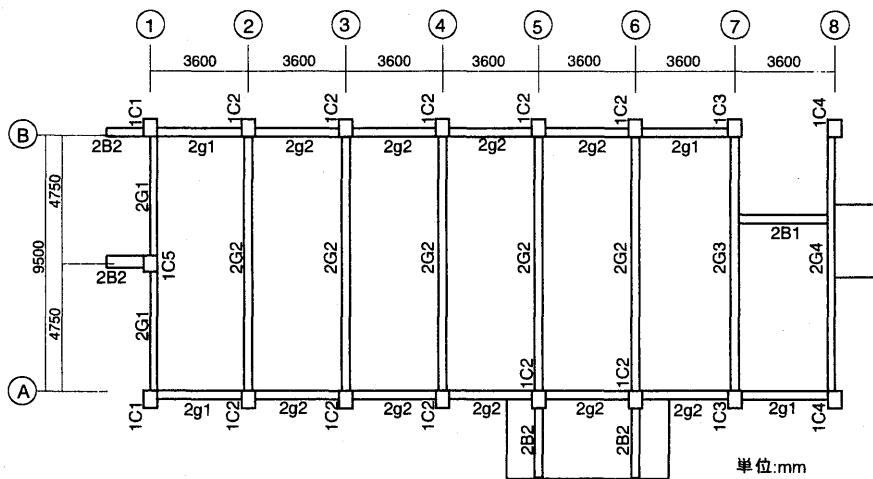


図5 2階梁伏せ図

表1 沖美町役場庁舎A棟の1次耐震診断結果

構造耐震判別指標 $I_{so} = E_s \cdot Z \cdot G \cdot U = 0.8 \cdot 0.90 \cdot 1.00 \cdot 1.20 = 0.86$								
方向	階	C	F	TYPE	E_0	SD	T	I_s
東西	2F	1.31	1.0	W	1.38	1.00	0.80	1.10
	RC	0.75	1.0	C				
	1F	0.41	1.0	W	0.81	1.00	0.80	0.64*
	RC	0.55	1.0	C				
南北	2F	0.25	1.0	W	0.66	1.00	0.80	0.53*
	RC	0.89	1.0	C				
	1F	0.16	1.0	W	0.54	1.00	0.80	0.43*
	RC	0.53	1.0	C				

TYPE : W : 壁, C : 柱

ように推察してみた。建物南面には、屋外階段が設けられていたが、中柱の地上2m程度の位置から片持ち梁をせり出し、片持ち梁は、階段の踊り場部分を支持

していた。また、図6は説明のために誇張して示しているが、建物南面2階にはコンクリート壁が設けられていたため、地震荷重による水平変位は主に1階部分



写真5 南面1階中柱のせん断破壊（屋外側）



写真6 南面1階中柱のせん断破壊（屋内側）



写真7 南面2階中柱の被害

に生じたものと考えられる。このとき、1階西側の階段スラブは筋交いの役割を果たし、1階中柱の片持ち梁を介して、中柱に強制変形を与え、屋外側では写真5に示すような中柱のせん断破壊を生じさせたものと考えられる。一方、屋内側では、片持ち梁はなく、代わりに腰壁の存在が中柱の変形を拘束するので、中柱

は開口部の無目下部から腰壁上部にかけてせん断破壊を起こしたものと考えられる（写真6）。また、コンクリート強度の値 8.37N/mm^2 は、この柱の近くの壁から採取されたものであるため、中柱のコンクリート強度も低いものであった可能性が高く、このことも破壊要因の一つであったと思われる。

次に、2階中柱の破壊について述べる。被災建物の偏心率は、耐震診断の結果から約 0.13 程度である。しかも、図2に示すように、建物北側は切り土、南側は盛り土になっていたため、被災建物は、南構面側で大きく変形を生じたことが想像できる。また、南面中柱には南北方向の直交梁がないために（図5）、南北方向の水平力に対して柱梁接合部位置での曲げに対する拘束力は小さく、2階中柱脚部での曲げモーメントは他の柱に比べて大きくなっていったと思われる。しかも、2階中柱脚部の耐力は、かぶり厚さが 11mm 程

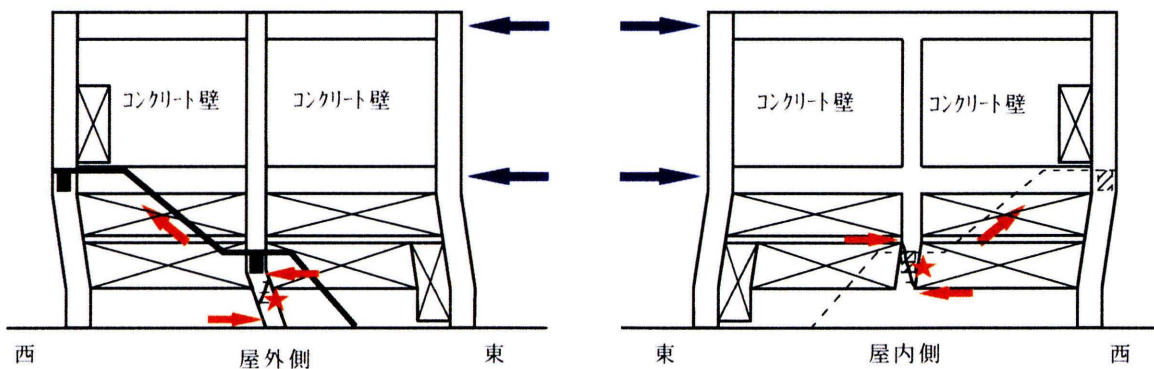


図6 南面1階中柱のせん断破壊メカニズム

表2 沖美町役場庁舎 A 棟の2次耐震診断結果

構造耐震判別指標 $I_{s0}=E_s \cdot Z \cdot G \cdot U=0.6 \cdot 0.90 \cdot 1.00 \cdot 1.20=0.64$										
方向	階	C	F	TYPE	E_o	SD	T	I_s	CT・SD	
東西	2F	1.16	1.00	SM	1.11	0.90	1.00	1.00	0.27	
	RC	0.40	2.30		[1.08]			[0.97]	[0.97]	
	1F	0.76	1.00	SM	0.76	0.90	1.00	0.69	0.69	
	RC				[0.76]			[0.69]	[0.69]	
南北	2F	(0.25)	(0.80)	(ZC)	(0.49)	1.00	1.00	(0.49)*	(0.62)	
		<0.36>	<1.00>	<SC>	<0.61>			<0.61>*	<0.61>	
		0.36	1.00	SM	0.63			0.63*	0.44	
	RC	0.59	1.27	M	[0.63]	[0.63]*	[0.44]			
		1F	(0.15)	(0.80)	(ZC)	(0.42)	1.00	1.00	(0.42)*	(0.53)
			<0.28>	<1.00>	<SC>	<0.53>			<0.53>*	<0.51>
		RC	0.53	1.00	SM	0.53	0.53*	0.53		
			[0.53]	[0.53]*	[0.53]					
TYPE :		ZC:極脆性柱								
:		SM:せん断柱・せん断壁・曲げ壁・曲げ柱								
:		SC:せん断柱 M:曲げ壁・曲げ柱 MC:曲げ柱								
() :		極脆性柱を考慮した場合の値								
< > :		せん断柱を考慮した場合の値								
[] :		CTSD \geq 0.3を満足する値								

度で丸鋼を使用し中性化も進行していたことから相当低下していたものと考えられる。それゆえ、2階中柱脚部は損傷を起こし、南北方向の直交梁の不在のために、屋内側にずれ込んで破壊したものと考えられる。

6. 立体骨組静的弾性解析方法と結果

上述の仮説のうち、1階中柱について屋外階段の影響と2階コンクリート壁の影響を検証するために、建物を剛床仮定の立体骨組モデルに置換し、基礎は地中梁で連結されたピン支点とした静的弾性解析を行った。外力は A_i 分布が等分布荷重に比較的近い形状を示すので、ここでは、屋外梁位置と2階梁位置にそれぞれ 1000kN の荷重を東の方から短辺方向に加えて解析を行った。剛域長さは、直交する部材のフェイス面とし、今回は腰壁及び垂れ壁の影響は考慮していない。また、屋外階段はトラス材として扱い、2階の節点と中柱との節点はピン節点とし、地盤に対してはローラー支持とした。階段の断面は平均断面を用いた。一方、コンクリート壁は文献 3) に基づいてせん断ブレース置換した。解析は、階段、コンクリート壁ともにある場合、階段のみを取り外した場合、コンクリート壁のみを取り外した場合、階段もコンクリート壁も取り外した場合の4通りについて実施した。

図7と図8に、南構面骨組の解析結果を示す。図7は柱のせん断力分布図を、図8は、骨組の変形分布図を示している。また、各図(a)は階段もコンクリート壁もある場合であり、各図(b)は階段のみを取り外した場合、各図(c)はコンクリート壁のみを取り外した場合、各図(d)は階段もコンクリート壁も取り外した場合をそれぞれ示している。

図7から、屋外階段が設けられている場合は、南面1階中柱の下部に大きなせん断力が生じることがわかる。仮に階段を取り除くと、1階中柱下部のせん断力は、階段を取り除かない場合のおよそ半分程度に低減する。一方、図8から、2階コンクリート壁の存在は、1階部分に変形を集中させる傾向にあるが、2階部分の変形を大幅に減少させるとともに全体の変形を抑制する効果があることがわかる。

7. まとめ

南構面中柱の破壊は、建物が旧基準で施工されていた上に、長い年月の間に荒天強風時に巻き上げられた瀬戸内海の海水をかぶることによって、コンクリートの中性化が進行し、建物部材の耐力が相当低下していたことが主因であると思われるが、1階中柱のせん断破壊要因に関してはそれ以外に構造計画上の問題点

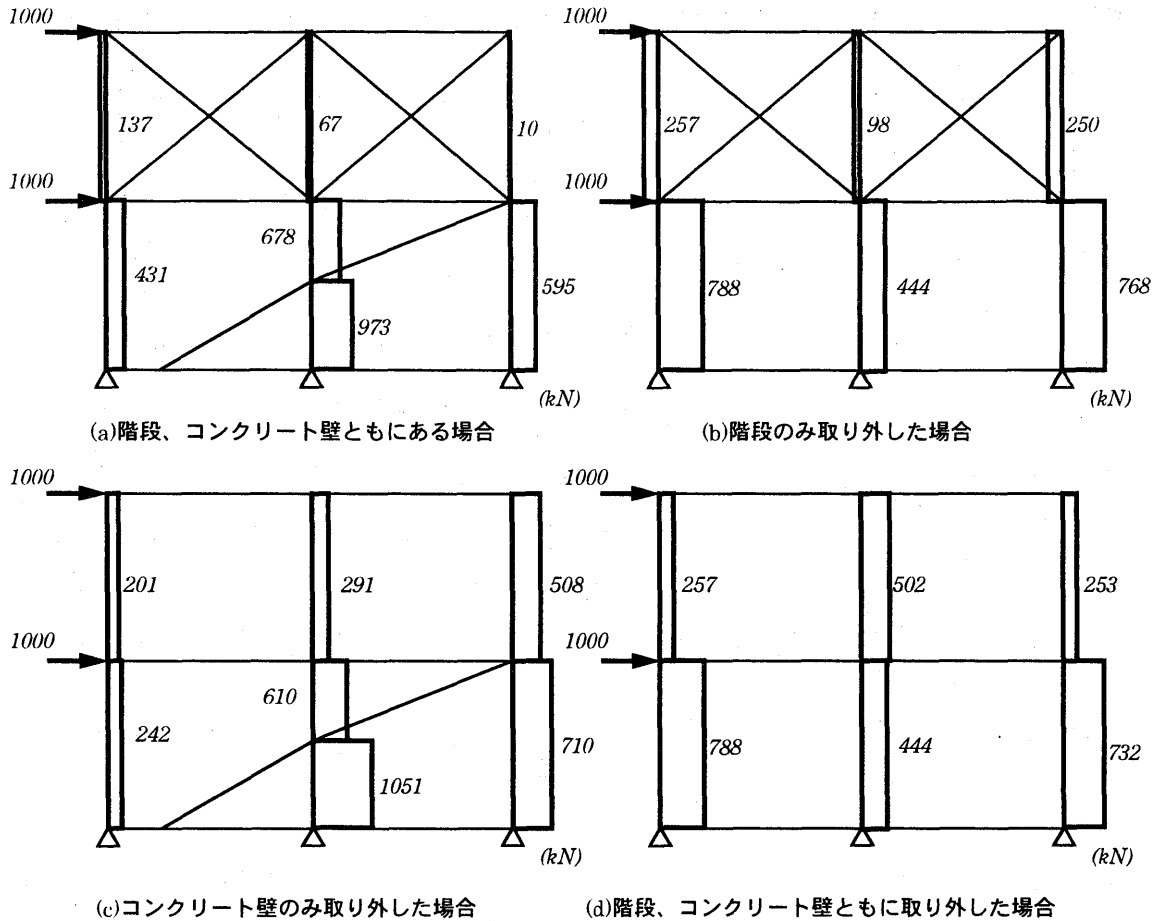


図7 南構面柱のせん断力分布

もあったことを見逃すことはできない。すなわち、上述の考察で述べたように、1階中柱のせん断破壊は、中柱の地上2mの位置からせり出している片持ち梁に屋外階段を取り付けてしまったことが、1階中柱下部に強制変形を生じさせ、せん断破壊を起こさせたものと推察される。今回の解析は、弾性解析ではあるが、中柱とは別に階段の鉛直荷重を受け持つ柱を取り付けていれば、中柱の負担せん断力はかなり低減される結果になるので、今回の震災で受けた被害のように中柱は激しく破壊することはなかったと推察される。

一方、2階中柱柱脚の破壊要因として直交梁の存在の有無を取り上げたが、本来の部材耐力を持つ建物であれば、これが破壊要因になることは通常あり得ないと思われる。しかし、本建物では部材耐力が相当低下していた上に、切り土と盛り土の整地の上にコンクリート壁が切り土側に多く配置されていたので、建物全体がねじれ振動を起こし、建物南側では相当な変形が生じたことが容易に想像され、このような悪条件が重なったことが被害を大きくしたものと思われる。この

ように考えていくと、我々がここから学び取るべきことは、構造計画上の鉄則ではあるが、ねじれ振動をなるべく生じさせない耐震要素の適切な平面配置に心がけなければならないということであろう。もちろん建物を切り土と盛り土のような固い地盤と柔らかい地盤の境界上にやむを得ず建てなければならない場合は特に留意しなければならないことは言うまでもない。

参考文献

- 1) 2000年鳥取県西部地震および2001年芸予地震被害調査WG報告書、日本コンクリート工学会、2002年3月
- 2) 近年の被害地震におけるコンクリート構造物の耐震性能評価に関する研究会報告書・論文集、日本コンクリート工学会、pp.87～pp.94、2004年7月
- 3) Super Build/SS1-改訂版解説書(計算編)、ユニオンシステム

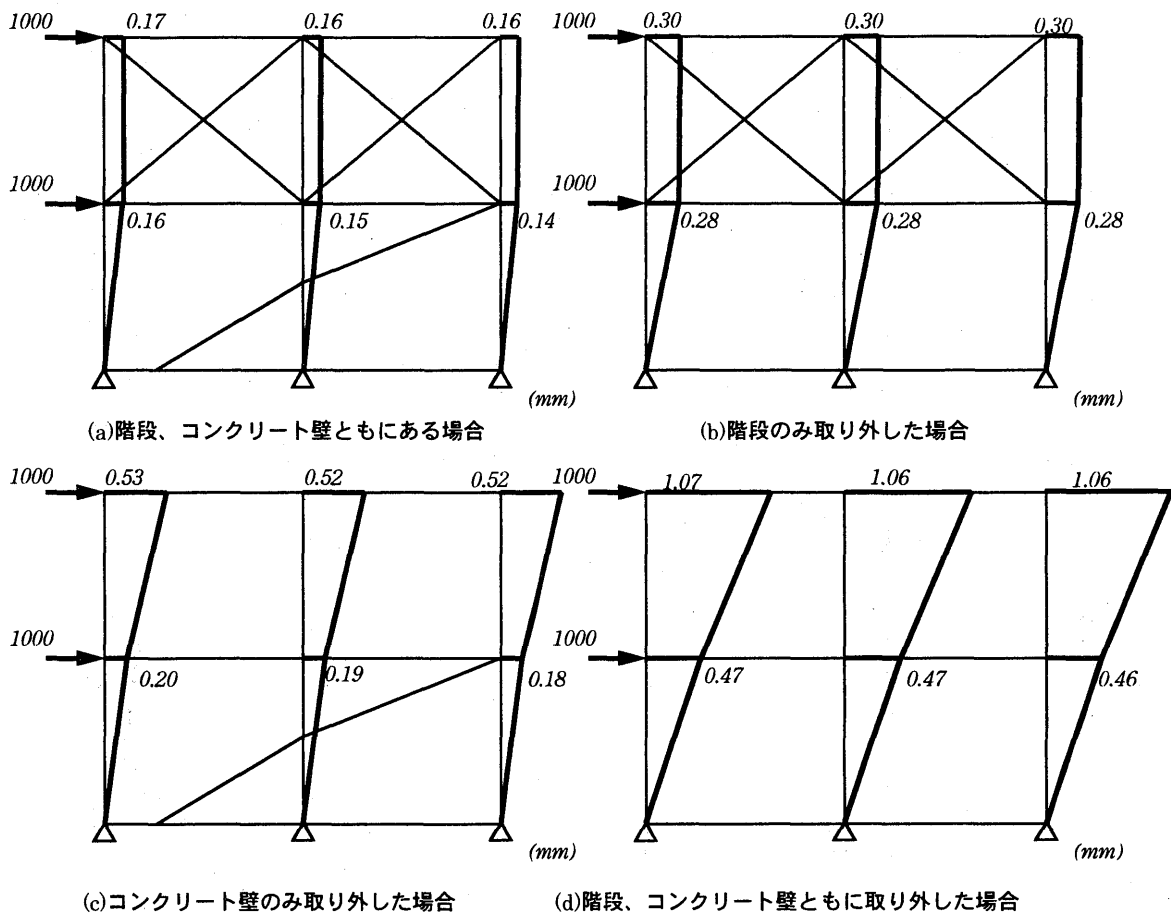


図8 南構面の変形分布