

## 1985年メキシコ地震災害調査

## —建築物に関連した落下物被害について—

- 1 はじめに
- 2 調査の概要
- 3 調査結果の単純集計
- 4 多変量解析手法による被害の検討
- 5 若干の考察
- 6 まとめ

望 月 利 男 \*  
 荏 本 孝 久 \*\*  
 渡 辺 朋 之 \*\*\*

## 要 約

1985年9月19日メキシコ地震 (M=8.1) では、首都メキシコ市において多数の建築物に倒壊・大破等の構造的な被害が発生した。一方、これらの構造被害とは別に近代的な中・高層建物の非構造部材の破損・落下が認められ、特に窓ガラスの被害が顕著に発生した。著者らは、構造被害が軽微な中・高層建物100棟について窓ガラスの被害調査を実施し、建築年数・用途・建築階数・構造・ファサードの形式等の建物の各特性と被害との関連性について、多変量解析手法である数量化Ⅱ類に基づいて統計的な検討を実施した。

その結果、地震時における建物の窓ガラスの被害に関する若干の情報を得ることができ、今後の地震防災対策上の教訓が得られた。

## 1 はじめに

1985年9月19日メキシコ地震 (M=8.1) においては、震源から約400km離れた首都メキシコ市において極めて多くの人的・物的被害が発生した。特に近代的な建築物を含む中・高層建物の倒壊・一部崩壊・大破等建物の構造的な被害による人的被害が多発し、約1万人? (推定)と言われる死者・行方不明者を出したことは、まだ記憶に新しいところである。これらの建物の構造被害については、数多くの調査報告書が公表されている。筆者らは、

メキシコ地震の被害調査を実施するにあたって、建物の構造被害とは別の観点から都市の市街地に存在する中・高層建物の落下物や窓ガラス等の被害に焦点をあてて調査を行った。

諸般の事情から十分な調査は実施し得なかったが、ここにその被害調査結果をまとめ、一応の参考資料とともに都市の震災予防ならびに防災対策上の観点からの教訓を得たいと考えた。

## 2 調査の概要

当初は、落下物をガラスとそれ以外に分けて調

\* 東京都立大学都市研究センター

\*\* 東京都立大学都市研究センター(非常勤研究員)・神奈川大学工学部

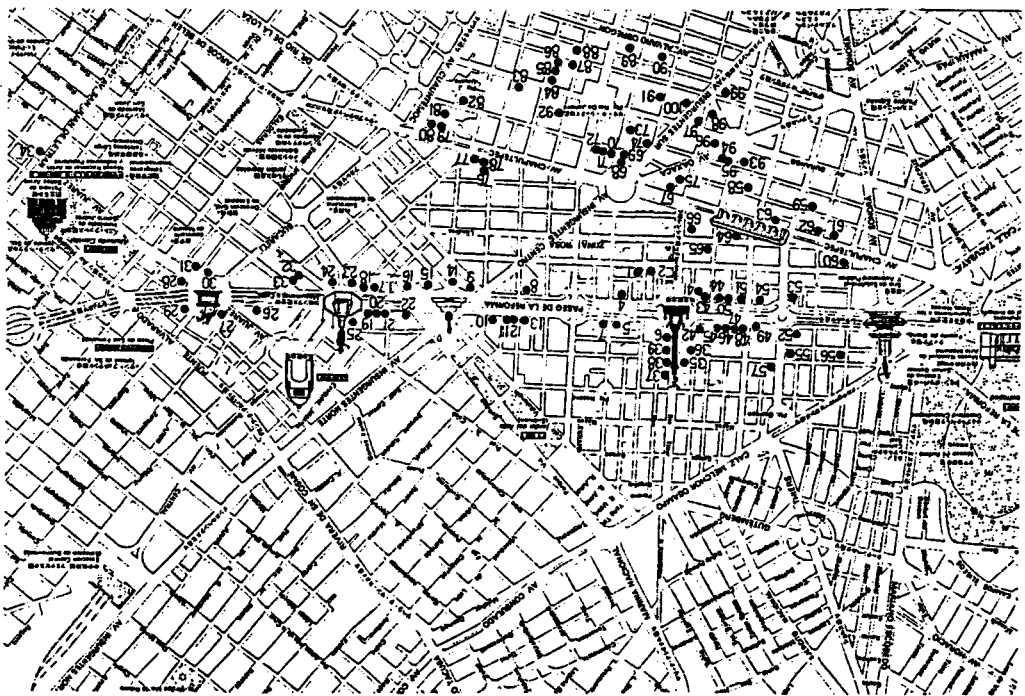
\*\*\* 前田建設工業 技術研究所

查しようと考えていたが、当地の建物には広告塔、大きな看板などが、ほとんど無く、また、外壁はコンクリート・ブロック・レンガなどで、我が国の建物とは異なるため、主に窓ガラスの被害に限定した。目的は・いわゆる東海地震が発生したとして、主都圏の大都市で、最も問題となるであろうと考えられ、人命への影響の観点から言われているビル落下危険物に関する情報をうることにある。調査対象建物は中・高層（低層は、あまりにも数が多く、たとえ落下しても影響は小さい）とし、大体10層程度以上の高層は、全数的にピックアップした。より低層の建物、9～6層は、できるだけランダムになるよう選択した。ただし、調査目的から、いずれも構造被害なし、あるいはあっても軽微な建物に限定した。ただし、効率上、外観上およびナビゲータ（大多数の建物調査に協力してくれたのは、現地の構造技術者、UNAM出身で、現地の建物については、実に博学であった）の知見を参考にした。調査地区は図一に示す市のセントロとその周辺の被害多発地区である。調査した建物は100棟である。調査は、建物構造、

建築年次、階数、窓等の開閉方式で、聞き込み、ビデオ、写真を主体とした。サッシュ材料、国定方式については、充分ディテールまで調べ得たとはいえない。しかし、建築年代、外観上、現地技術者・カタログなどからおおよそ情報はえられたと考えている。なお、調査建物の位置図を図一に示しておく。また、調査建物の一覧表と被害例の写真を付録に示す。

### 3 調査結果の単純集計

表一は筆者が調査した建物層数の内訳である。調査地区には、当然、表にない低層建物は極めて多数ある。また、表の比較的低層の建物数も膨大である。したがって、それらについては、極く一部調査したに過ぎないが、注目されるのは、中高層建物の階層分布である。我が国では、RCからSRCへなどの構造上の理由・消防関連など諸法規面から、層数にピーク（集中性）が表われるが、メキシコ市では表のように、正に満遍なく層数が散らばっていることである。調査建物の中にはな



図一 落下物調査地区 1～100: 調査建物

いが、聞くところによれば、主に経済的な理由により、遂時建増、増築が構造上無計画に行なわれる場合もあると言われ、これが多分、建物同志が相互にぶつかり合い、互いを壊し合った一つの理由であろう。

表-1 調査建物棟数分布

階数	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21~25	44
棟数	7	7	7	7	4	8	4	12	6	9	3	7	8	2	3	5	1

表-2 建物築後年数とガラス落下程度

落下程度 築年数	なし	小	大	小計
-10年	19棟 (52.8%)	7 (19.4)	10 (27.8)	36 (100)
11-20年	11 (31.4)	11 (31.4)	13 (37.2)	35 (100)
21-年	8 (27.6)	12 (41.4)	9 (31.0)	29 (100)
小計	38 (38.0)	30 (30.0)	32 (32.0)	100 (100)

注) なし：外観上落下認められず、小：数枚程度の落下、大：落下著しい(少なくとも10枚〈個所〉以上)

表-2に建物建築年代でガラス落下の関係を示す。筆者の一人(望月)は、東京でビル落下危険物の調査体験があるし、地震時の落下物調査の報告を幾つかに見られるが、建築年代により、サッシュの種類、性質、取り付け工法が変わり、新しい建物のそれ程落下し難いのは良く知られている。表からもそれは認められるが、表の分類に従えば、最近の10年とその以前に大別される。ただ、100棟中62棟に落下が認められること、それも32棟が落下度大とは予想外の高い比率である。最近10年の題物でも、約半数近くに落下が認められ、1/4近くが大というのだから、この調査結果をそのまま公表するには、メキシコと日本の建物構造上の相違等を考慮したとしても多分に抵抗感さえあった。この現象を如何に解釈したらよいだろうか。

一応、構造被害はあっても軽微な建物に限定したつもりである。建物は、RC造が主体、確かに壁はコンクリートブロックかレンガ、よってあるレベル以上の地震力で純ラーメン化する。そのような状態に至る層間変化は、長柱構造だから1/200以上であろう。しかし、我々が調べた建物の多くは、少なくとも外壁が大きく被害をうけているわけではない。従って、それ程大きな層間変形は生じていないものと考えられる。そして、現地のサンケン・デ・メヒコなどから入手したサッシュの取り付け方法と我が国のそれが少なくとも比較的最近の通常建物に関する限り、違いを見出すことはできなかった。

日本の地震でのガラス落下に関する調査報告で、統計的に有意な数を調べたものは少ない。しかし、筆者らが知る限り、10%を越える被害率は無いようである。メキシコの建物の話にまた、戻るが、いわゆる帳壁が一応健全なら、それ程剛性が低いとは考え難いのだが(望月ほかは、トルコで実測している)。これは議論のあるところだろう。恐らく、初期も含めて剛性は低いという人の方が多いと思われるが、明確ではない。今後、資料等の分析により検討を加える必要がある。

表-3は建物層数とガラス落下の程度との関係

表-3 建物階数とガラス落下程度

落下程度 階数	なし	小	大	小計
-9階	9棟 (32.1%)	9 (32.1)	10 (35.8)	28 (100)
10-16階	13 (30.2)	13 (30.2)	17 (39.6)	43 (100)
16-階	16 (55.1)	8 (27.6)	5 (17.2)	29 (100)
小計	38 (38.0)	30 (30.0)	32 (32.0)	100 (100)

注：明らかに高層(16階以上)では落下なしの比率が高く、大は低い。それ以下の層では有意な差はない。

であり、表-4はその内訳である。築後10年以内の16層以上の建物は13棟中、3棟しかガラス落下を生じていない。さらに、落下大は1棟のみであるから、調査数が少ない(調査地域は、前述したように都心であるが、絶対数それ自体が少ない。

表-4 建物築後年数・階数とガラス落下の有無

	落下 階数	無	有
	-10年	-9階	3棟 (60.0%)
10-15		6 (33.3)	12(4+8) (66.7)
16-		10 (74.0)	3(2+1) (26.0)
11-20年	-9	2 (20.0)	8(3+5) (80.0)
	10-15	4 (31.0)	9(5+4) (69.0)
	16-	5 (42.0)	7(3+4) (58.0)
21-年	-9	4 (31.0)	9(5+4) (69.0)
	10-15	3 (25.0)	9(4+5) (75.0)
	16-	1 (25.0)	3(3+0)* (75.0)

\* (落下小+落下大)

表-5 アイテム・カテゴリー表

アイテム	カテゴリー	内容
建築年数	1 新しい	-9年
	2 中間	10-24年
	3 古い	25-年
建物用途	4 事務所	-
	5 その他	ホテル・銀行・共同住宅他
建物階数	6 低い	-9階
	7 中間	10-19階
	8 高い	20-
構造	9 RC造	-
	10 S造	-
ファサード	11 カーテンウォール形式	-
	12 その他	-
外的基準	A 被害無	落下なし
	B 被害小	数枚程度の落下
	C 被害大	落下著しい(10枚<個所>以上)

その中で、構造被害をうけている建物を除外して(いる)が、設計、施工上の配慮はうかがえる。

#### 4 多変量解析手法による被害の検討

本節では、以上の調査結果に基づくデータを用いて建物の特性と窓ガラスの被害の関係について多変量解析手法である数量化Ⅱ類を用いて検討を実施した。

ここでは、外的基準として建物の窓ガラスの被害程度とし「被害無」、「被害小」および「被害大」とし、説明変数としては「建築年数」・「建物用途」・「建築階数」・「構造」および「ファサード」の5項目とした。設定したアイテム・カテゴリー表を表-5に示しておく。

調査建物は前述したごとく100棟であり、これらの調査建物のデータ構造を明確にするために、設定した各アイテムである建築年数・建物用途・建築階数・構造およびファサードについての単純集計結果を図-2~図-7に示しておく。図より、建築年代は築後25年程度までの建物がほぼ均等に分布し、最も古いものは築後40年程度である。また、建物用途としては、事務所建物が圧倒的に多く、次いでホテル・銀行・共同住宅などである。建築階数は6階~25階建程度で、特に17~18棟建程度までの建物は前述したごとく比較的均等に分布している。建物の構造は、ほとんどがRC造建物であり、ファサードについてはカーテンウォールCW形式の建物が約半分程度を占めている。また外的基準である窓ガラスの被害については被害無・被害小および被害大の建物が各々等分に分布していることがわかる。

一方、外的基準に対するアイテム・カテゴリーのクロス集計表と各アイテム・カテゴリー間のクロス集計表を各々表-6、表-7に示しておく。また同表中には比率も併記した。

以上の結果、外的基準に対する各アイテム・カテゴリーのクロス集計では、第1、第3および第5アイテムにおいて、外的基準との比較的明瞭な対応が認められる。また、各アイテム・カテゴリー間のクロス集計結果より調査建物に対するアイテ

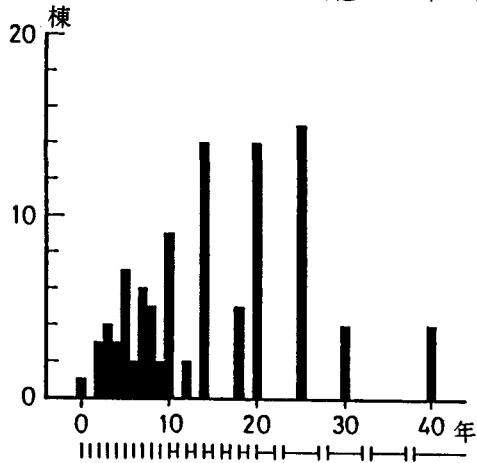


図-2 建築年数の分布

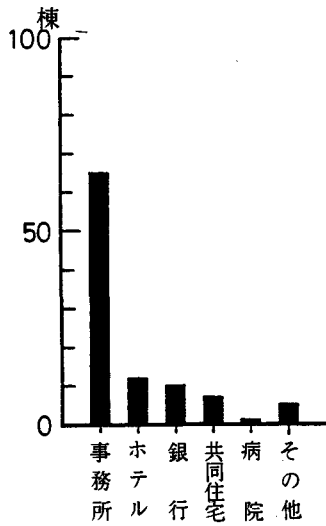


図-3 建物用途の分布

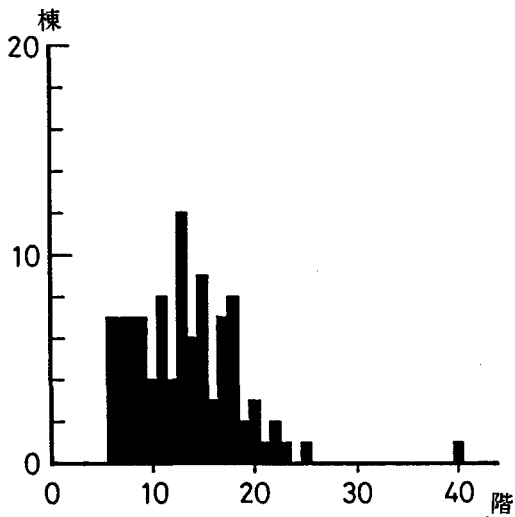


図-4 建築階数の分布

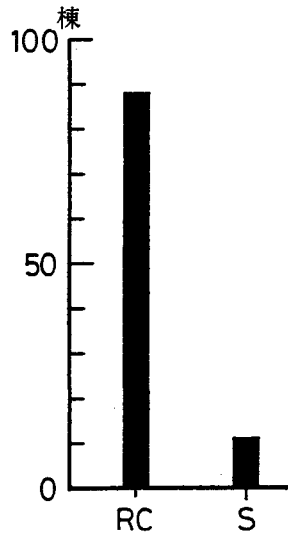


図-5 構造の分布

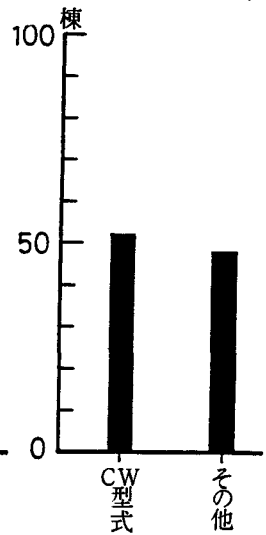


図-6 ファサードの分布

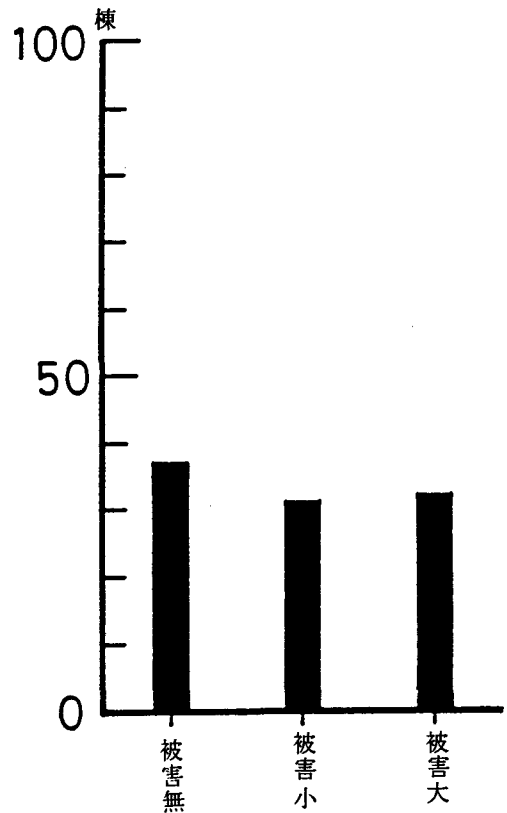


図-7 外的基準の(被害程度)の分布

表-6 外的基準とアイテム・カテゴリー間の  
クロス集計表

	I-1			I-2			I-3			I-4			I-5		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
被害無 A	37	18	15	4	26	11	8	23	6	29	8	27	10		
被害小 B	31	5	15	11	19	12	10	19	2	29	2	12	19		
被害大 C	33	8	16	8	25	7	10	21	1	31	1	13	19		
小計	31	46	23	70	30	28	63	9	89	11	52	48			
合計	100棟			100棟			100棟			100棟			100棟		

表-7 アイテム・カテゴリー間のクロス集計表

	I-1			I-2		I-3			I-4		I-5		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
I 1	1	31	0	0	21	10	4	23	4	25	6	20	11
I 2	2	46	0	33	13	14	29	3	43	3	22	24	
I 3	3	23	16	7	10	11	2	21	2	10	13		
I 4	4			70	0	19	43	8	62	8	38	32	
I 5	5			30	9	20	1	27	3	14	16		
I 6	6				28	0	0	28	0	8	20		
I 7	7				63	0	61	2	39	24			
I 8	8				9	0	9	5	4				
I 9	9							89	0	45	44		
I 10	10							11	7	4			
I 11	11									52	0		
I 12	12									0	48		

アイテム		カテゴリー		例数	-1.0	0	1.0	
建築年数	1	新しい	—9年	31		■		偏相関係数 $\sigma = 0.281$
	2	中間	10—24	46			■	
	3	古い	25—	23			■	
建物用途	4	事務所	—	70				$\sigma = 0.011$
	5	その他	ホテル・銀行 他	30				
建物階数	6	低い	—9階	28		■		$\sigma = 0.096$
	7	中間	10—19	63			■	
	8	高い	20—	9			■	
構造	9	RC造	—	89				$\sigma = 0.229$
	10	S造	—	11	■			
ファサード	11	CW型式	—	52		■		$\sigma = 0.295$
	12	その他	—	48			■	
外的基準	A	被害無	落下無	37		■		
	B	被害小	数枚程度	31			■	
	C	被害大	10枚以上	33			■	

表-8 解析結果

ム・カテゴリー間のデータ構造がより明確となるものと思われる。

以上の調査データにより、数量化Ⅱ類の方法を用いて解析した結果を図一8に示した。この結果、外的基準に対する偏相関係数が最も高いアイテムは「ファサード」であり、次いで「建築年数」・「構造」および「建築階数」の順である。「建築用途」についてはあまり有意な影響は認められない。

そして、外的基準に示されるごとく「被害無」は負(-)であり「被害小」・「被害大」では正(+)となり、+側に大きいアイテム・カテゴリーほど被害に大きく影響を及ぼすことが考えられる。

従って、ファサードがカーテンウォール形式では無く、建築年代が古く、建築階数が高いRC造建物に被害が大きく発生しているものと考えられる。

以上メキシコ地震における建物の窓ガラスの被害について若干の検討を実施した。メキシコ市の建物は、建築材料・構造や耐震規程のコードが日本の建物の場合とは異っているため、この結果を直接かつ単純には日本の建物にフィールドバックさせることはできないが、基本的な傾向については十分配慮すべき教訓的内容が含まれているものと思われる。

## 5 若干の考察

この調査結果については、なお一層の慎重な配慮が必要であろう。例えば、建物構造形式や振動特性などについても具体的な検討を行うことは今後の課題であると考えている。また実質的にそう数は多くないと考えてはいるが、構造被害が外観上はないもののメキシコ人技術者の見落しのため、構造被害ありの建物の混入の恐れはないとは言え

ない。さらに、このような事態が我が国の少なくとも、10層以上の(中)高層ビルで頻発するとは考えにくい。しかし各地で行われている被害想定の中には、楽観的過ぎるところもあり、注意を喚起したい。

## 6 まとめ

1985年9月19日のメキシコ地震によるメキシコ市の建物の窓ガラスの被害に関する調査を実施し、若干の検討を実施したその結果、なお一層十分な検討と慎重な配慮を必要とするものに一応以下に示す結果が得られた。

- i) 構造上の被害が無いかあっても軽微と判定された調査建物100棟中、62棟に窓ガラス落下が認められ、そのうち32棟が落下度大で極めて高い被害率が認められた。被害と建物との関係については、建物の建築年代、高さなどに影響が認められた。
- ii) 調査建物100棟に対して、窓ガラスの被害程度に関する検討と多変量解析手法である数量化Ⅱの方法で検討した結果、被害程度に対する寄与度はファサード、建築年代、建築階数が高く、ファサードはカーテンウォール形式ではない場合、建築年代は古い程、建築階数は高い程、被害程度が高くなる結果が得られた。
- iii) メキシコ市における中・高層建物の窓ガラスの被害について調査を実施・若干の分布を試みた。その結果、メキシコ市においては極めて高い被害率を示した。この結果は、直接日本の建物の地震時の被害想定に適用するには問題があるものの、今後の地震防災、被害想定には十分配慮する必要があると思われる。

## Key Words (キー・ワード)

MEXICO Earthquake (メキシコ地震), Damage of Building (建物被害), Window Glass (窓ガラス),  
Statistic Analysis (統計解析), Quantification Method II (数量化Ⅱ類)

付表 調査建物一覧表

番号	建築年度	用途	階数	構造	ファサード	被害程度	備考
1	10年	ホテル	12	RC		小	プレジデントホテル, 4-6F外壁タイル被害大
2	3年	事務所	13	RC		小	メキシコ側でチェック済
3	15年	ホテル	15	RC		大	
4	5年	事務所	21(+1)	S		なし	
5	5年	事務所	21	S	CW型式	なし	
6	7年	ホテル	8	RC	CW型式	なし	シェラトンホテル, 内部壁等ひびわれあり
7	7年	事務所	9	RC	CW型式		
8	3年	ホテル	15	RC	CW型式	なし	コンチネンタルホテル
9	15年	ホテル	15	RC		小	外壁材被害あり
10	15年	事務所	20	S		大	
11	10年	事務所	17(-1)	RC	CW型式	小	
12	15年	事務所	18(+2)	RC	CW型式	なし	
13	15年	銀行	18	RC	CW型式	小	メヒカノ銀行
14	18年	銀行	19	RC	CW型式	小	インターナショナル銀行
15	21年	事務所	7	RC	CW型式	なし	
16	19年	事務所	19(+2)	RC	CW型式	大	12F以下の外壁モルタル剥離
17	15年	事務所	13	RC	CW型式	小	外壁タイル剥離
18	22年	事務所	18	RC	CW型式	小	外壁と床スラブの接合部にひびわれ
19	11年	銀行	17	RC	CW型式	なし	フレミ銀行
20	約4年	事務所	20(+2)	S	CW型式	なし	建設中(低層部)
21	25年	事務所	15	RC		小	
22	34年	事務所	15	RC		大	外壁タイル剥離あり
23	15年	ホテル	25	S		なし	
24	20年	事務所	18			大	
25	1950年代	事務所	14	RC	CW型式	大	
26	約4年	事務所	15	RC	CW型式	大	政府関係(セクレタリア)
27	43年		20	S		小	
28	1960年代		14	RC		なし	
29	25年	銀行	12	RC	CW型式	大	構造被害もありそう
30	1950年代	銀行	13	RC	CW型式	大	
31	1950年代	事務所	11	RC	CW型式	大	構造被害は少なそう
32	1962年	事務所	8	RC		大	短柱被害(せん断), 天井材落下
33	1956年	事務所	43	S	CW型式	小	ラテンアメリカタワー
34	約3-4年	ホテル	13	RC		なし	外壁にせん断されつ(レンガ部分), 補修中
35	4年	ホテル	13(+2)	RC	CW型式	なし	外壁はレンガ部にせん断ひびわれ
36	20年	事務所	11	RC	CW型式	なし	外壁仕上げモルタル剥離あり
37	10-11年	事務所	9	RC	CW型式	なし	外壁仕上げモルタル剥離あり
38	11年	事務所	8	RC		なし	外壁仕上げモルタル剥離あり(4-5F)
39	27年	ホテル	8	RC	CW型式	なし	シェラトンホテル, 外壁仕上げ材剥離
40	9年	銀行	18	S	CW型式	なし	
41	27年	事務所	11	RC	CW型式	なし	パンアメリカ
42	5-6年	銀行	18	S	CW型式	なし	
43	29年	事務所	14	RC	CW型式	なし	
44	1950年代	事務所	14	RC	CW型式	小	
45	5年	事務所	22	S	CW型式	なし	建設中の建物(近日オープン)
46	1970年	事務所	17(+1)	RC	CW型式	なし	一部外壁材剥離(側面, 12F)
47	20年	事務所	10	RC	CW型式	なし	
48	15年	事務所	15(+2)	RC	CW型式	なし	
49	1960年	事務所	23	S	CW型式	なし	
50	5年	事務所	16	RC	CW型式	なし	

注) CW:カーテンウォール



付表 調査建物一覧表(つづき)

番号	建築年度	用途	階数	構造	ファサード	被害程度	備考
51	1950年代	事務所	13	RC	CW型式	小	
52	約 2年	事務所	18(+3)	RC	CW型式	なし	
53	1970年代	事務所	16(+2)	RC	CW型式	なし	
54	約 2年	事務所	16	RC	CW型式	なし	
55	約 7年	銀行	15	RC	CW型式	なし	
56	10-12年	ホテル	13(+2)	RC		小	外壁仕上げ材剥離
57	約10年	事務所	9	RC	CW型式	大	
58	約 7年		12(+1)	RC		なし	外壁せん断キレツ
59	17-20年	事務所	8	RC		大	
60	25年	事務所	10	RC		小	政府関係
61	約 7-8年	事務所	14	RC	CW型式	なし	鋼体とカーテンウォールは別構造
62	約 6-7年	事務所	10	RC	CW型式	大	外壁仕上げモルタル剥離
63	15-20年	事務所	7	RC		大	内部補修中
64	15年	事務所	11(+2)	RC		大	
65	約 6-7年	ホテル	14	RC		大	外壁撤去(中層部)
66	約8-10年	ホテル	11(+1)	RC		大	GF柱頭被害大
67	約 7-8年	事務所	13	RC		大	天井落下, 外壁仕上げモルタル剥離
68	約 7-9年	事務所	11	RC	CW型式	大	
69	16-25年	共同住宅	7	RC		小	外壁タイル剥離
70	約15年	事務所	7	RC	CW型式	大	柱頭部天井仕上げ剥離
71	約 8年	事務所	9	RC		小	政府関係(セクレタリアート)
72	約 5年	共同住宅	13	RC		小	外壁仕上げモルタル剥離あり(下-中央)
73	約12年	事務所	13	RC		小	構造被害あり(低層の柱梁接合部)
74	15-20年	事務所	6	RC		大	外壁仕上げモルタル剥離
75	約 3年	事務所	11	RC		大	公共建物。天井材落下。裏側大破
76	約40年	事務所	6	RC		小	スチールサッシ, 硬化パテ
77	約40年	事務所	7	RC		小	スチールサッシ
78	建設中	事務所	12(+1)	RC		大	建設中の建物(構造被害もあり)
79	21年	事務所	6	RC		なし	市役所分室
80	約5-10年	事務所	9	RC		なし	厚生省
81	20-30年	共同住宅	6	RC		小	
82	約20年	病院	13	RC		なし	構造被害軽微, 柱にせん断キレツあり
83	40-50年	共同住宅	6	RC		大	解体予定
84	20-30年	共同住宅	8(+1)	RC		大	解体予定
85	20-30年	共同住宅	7	RC		小	解体予定
86	約20年	共同住宅	9(+1)	RC		小	
87	15年	事務所	11(+1)	RC		小	建設中の建物, 柱被害もあり(下層)
88	20年	事務所	17(+1)	RC		小	通産省分室, 外壁レンガ被害あり(中層)
89	15年	事務所	17(+1)	RC	CW型式	大	通産省分室, 建物傾斜, 内部被害大, 解体予定
90	20年	事務所	10	RC		大	水理資源省
91	2年	銀行	15	RC	CW型式	小	外壁仕上げ材剥離, 構造被害軽微
92	5年	事務所	17	RC	CW型式	小	外壁仕上げ材剥離
93	10年	事務所	17	RC	CW型式	なし	内部補修中
94	15年	銀行	9(+1)	RC	CW型式	小	
95	15年	事務所	13	RC	CW型式	大	魚業省
96	15年		8(+1)	RC		大	
97	25年	事務所	7	RC		大	
98	10年		18	RC	CW型式	大	外壁仕上げ材剥離
99	30年	事務所	6	RC		なし	
100	30年	事務所	6	RC		小	

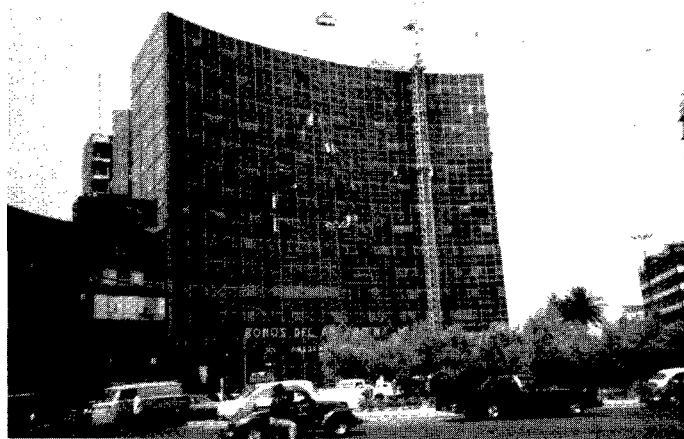


写真1. No.25 約25年前築のRC造14階建ての  
事務所(大)



写真2. No.26 約4年前築のRC造15階建ての政府  
関係の事務所(大)



写真3. No.32 約25年前築のRC造11階建ての  
事務所(大)



写真4. No.32の細部



写真5. No. 60 17~20年前築のRC造8階建ての事務所(大)



写真6. No.71 約15年前築のRC造7階建ての事務所(大)

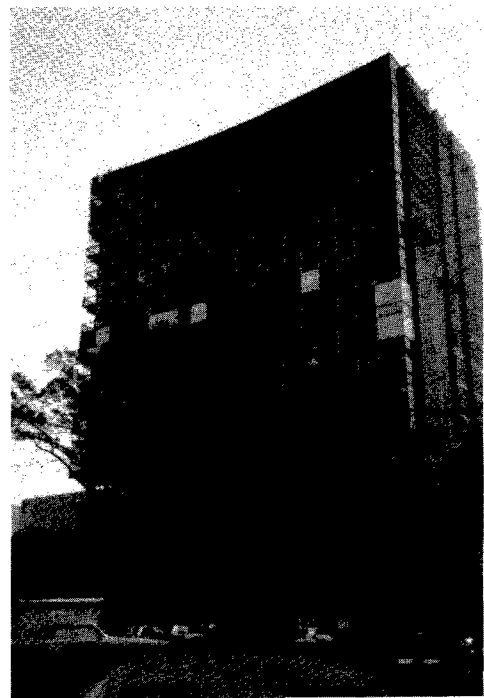


写真7. No. 92 2年前築のRC造15階建ての銀行(小)



写真8. No.96 約15年前築のRC造13階建ての  
政府建物(大)



写真9. No.97 約15年前築のRC造8階建ての  
事務所(大)