

1985年9月19, 20日メキシコ地震調査報告

勝 俣 英 雄 表 佑 太 郎

Report on the September 19 and 20, 1985 Mexico Earthquakes

Hideo Katsumata Yutaro Omote

Abstract

On September 19 and 20, 1985, earthquakes of magnitudes 8.1 and 7.5, respectively, struck the Pacific coast of Mexico near Lázaro Cárdenas City. These earthquakes caused extensive casualties and damage to buildings in Mexico City, located about 350 km distant from the epicenter, although the maximum acceleration of the earthquake around the epicenter was not so severe in comparison with the order of magnitude.

Researchers of Ohbayashi Corporation Technical Research Institute investigated Mexico City one month after the shocks and reported herein are trends of damage distribution in the urban area of the city and typical damage patterns of reinforced concrete buildings.

It was strongly impressed upon the investigators how much careful earthquake-resistant design and strict quality control of construction works are needed.

概 要

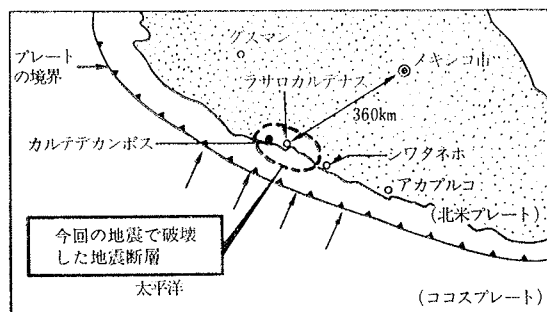
1985年9月19,20日にメキシコの太平洋沿岸ラサロカルデナス市付近を震源として、M=8.1および7.5の巨大地震が発生した。この地震は、震央域での地動最大加速度がそのマグニチュードに比較してそれ程大きなものではないにもかかわらず、震源から約350km北東に離れたメキシコ市に多数の死者と建物崩壊を含む被害を与えた点に特徴がある。

大林組技術研究所では地震発生約1箇月後に研究員を現地に派遣し、地震・耐震関連の情報収集と建物被害全般の実状を調査した。この報告では特に、メキシコ市街地付近に限られた地域における被害分布の傾向を、建物階数別および被害度ランク別に整理し、さらに被害が多かった鉄筋コンクリート造建物について特徴的な被害形態を分類して示し、被害原因について若干の考察を加えた。地震入力も含めた入念な耐震設計と施工時の品質管理とが特に重要であることが痛感された。

1. はじめに

1985年9月19日早朝、メキシコ連邦共和国の太平洋岸ラサロカルデナス市付近を震源とするマグニチュード8.1の地震が発生し、翌20日夕方にもマグニチュード7.5

の余震が生じた(図一1参照)。震央付近は比較的軽微な被害にとどまったが、震央から約350kmも離れたメキシコ市では大きな被害が生じた。死者は約5,500人、倒壊建物は約400棟で、最終的な数字はまだ増える模様である。(株)大林組では、技術研究所から研究員2名を10月16~30日にわたり現地に派遣し、被害の実情調査および地震・耐震関連の情報収集に努め、地震災害に関する有益な教訓を得た。なお、この調査は文部省派遣「自然災害科学研修班」(団長 和泉正哲 東北大学教授)の調



図一1 1985年メキシコ地震関連地図

	発生時刻 (現地時間)	マグニ チュード	緯 経 度	震源深さ	備 考
本 震	'85.10.19 (07:17)	M=8.1	18.266N 102.748W	35km	メキシコ市南西 350km
最大余震	'85.10.20 (19:38)	M=7.5	17.801N 101.651W	—	同 上

表一1 地震の概要

査活動に協力したものである。また、当技術研究所では同時に政府派遣の第2次地震専門家チームにも参加した。

2. 地震・耐震関係の情報収集

2.1. 地震の概要

地震の概要を表-1に示す。震源はメキシコ側とアメリカ側の発表で異なるが、図-1の破線で囲まれた領域の地震断層が破壊したと考えられている。プレートテクトニクス理論によれば、今回の地震は太平洋側から北東方向に動くココスプレートが、メキシコやアメリカが乗っている北米プレートの下にもぐり込むときに蓄積されたエネルギーが解放された現象であると説明できる。今回の震源付近は過去200年以上も巨大地震が起こっていない「空白域」であり¹⁾、メキシコ自治大学はカリフォルニア州サンディエゴ大学と協力して地震観測網の整備に努めていた。

震源付近の強震記録例²⁾を図-2に示す。約55秒付近で再び振幅が増えており、二つの地震がほぼ同時に起き

たとの説が有力である。

メキシコ市南部丘陵地および市街地の地動記録例³⁾を図-3に、その加速度応答スペクトルを図-4に示す。スペクトルは丘陵地のものが当技術研究所の振動研究室で、市街地のものがメキシコ自治大学で計算されたものを示す。地動記録は最大加速度が丘陵地 39 gal、市街地 168 gal で、過去の最大値(図-3では破線で示す)をかなり上回っている。また、市街地の記録は正弦波状の波が22秒間継続するかなり特異なものである。スペクトルのピークは丘陵地 0.8~2 秒、市街地 2~3 秒の周期に生じている。市街地のものは長周期領域に大きなパワー(最大値が 1,000 gal に達する)があり、中高層建物などの長周期構造物や、塑性変形によって耐震性能を確保す

都 市 (人口(万人))	死 亡 (人)	行方不明 (人)	負 傷 (人)	被害家屋 (棟)
メキシコ市(1,700)	5,500以上	3,500~5,000	30,000	1,132
グスマン(10)	27	—	550	550
ラサロカルデナス(20)	6	—	213	400
シワタネホ(?)	0	—	?	4~5

表-2 メキシコ各地の災害の概要

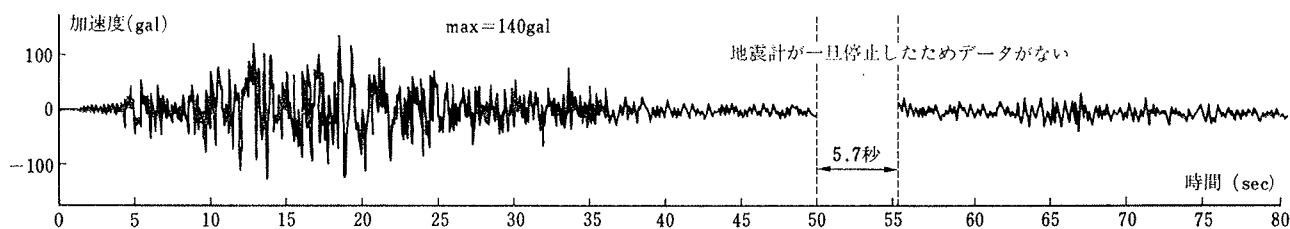
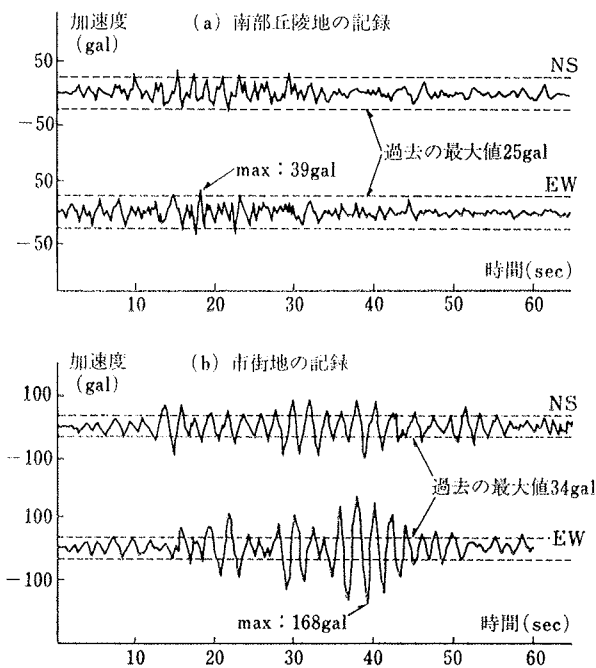


図-2 震源付近(カルテペデカンポス)の地動



注) 記録が取れた地点は図-5中に示した。

図-3 メキシコ市における地動記録

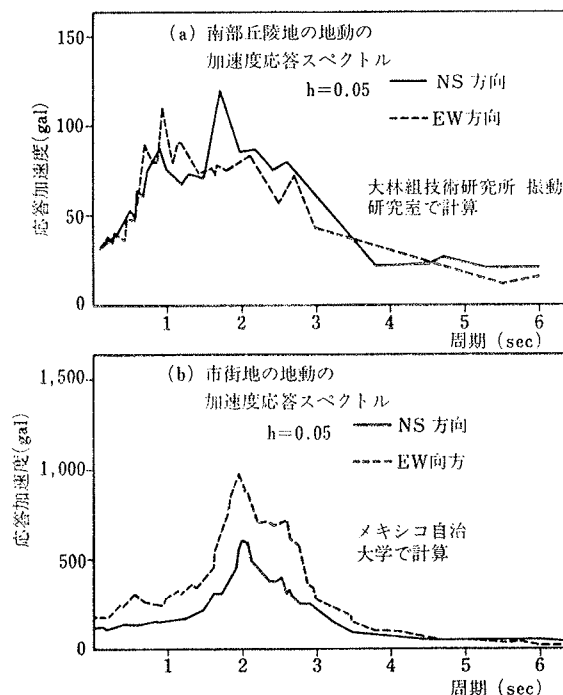


図-4 メキシコ市の地動の加速度応答スペクトル

るような大地震時には固有周期が伸びる構造物，などにとっては厳しい地震波である。

2.2. 災害の概要

9月25日の公式発表⁹⁾によるメキシコ各地の災害の概要を表-2に示す。メキシコ市に被害が集中していることがわかる。なお，最終的な数字は不明であり，災害の実状はもっと大きかったと思われる。

メキシコ市における建物被害の概要を表-3に示す。建設年別の集計では，設計基準が改定された1957，76年で分けられている。1957~76年の基準は比較的甘く，多くの建物が被害を受けたと言われている。また，火災の発生件数は通常より多かったと報告されている⁵⁾もの，大火災に結びついたのはホテルレヒス（写真-1）など数件であった。

メキシコ市のライフライン系統の被害を表-4にまとめて示す。水道と国際電話の被害が大きかった。

2.3. メキシコ市の地盤

メキシコ市街は湖の埋立地上に形成された。盆地状の硬質基盤上に10~60mの軟弱層（N値=0，含水率40

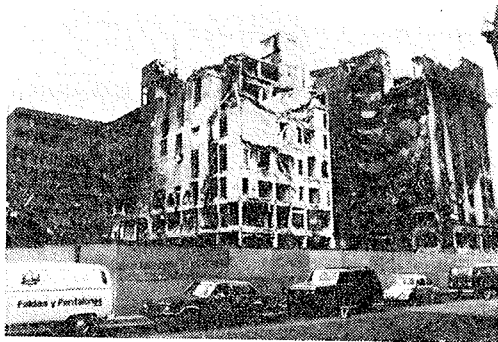


写真-1 火災があった建物（ホテルレヒス）

階数別	建築年度別	構造別	
階数	棟数	建築年度	棟数
~5	101	~1957	69
6~10	134	'57~'76	149
11~15	27	'76~	47
15~	3		
		RCフレーム	143
		Sフレーム	10
		RCFスラブ	85
		レンガ造	17
		他	10

全半壊265棟の内訳。被害率を表わすものではない。

表-3 メキシコ市の建物被害概要

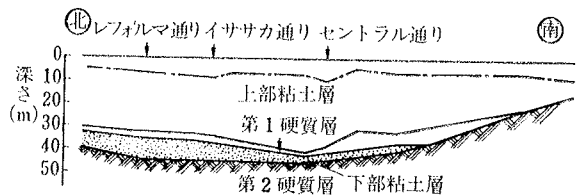
項目	被害	備考
電気	9/19地震直後：全市停電 " 正午：1/3 "	変電所に被害なく復旧が速い。
水道	約500箇所で漏水。	断水地区へ給水車が出動。
ガス	被災家屋内の配管からガス漏れ。火災に至ることはまれ。	都市ガスはなく，建物ごとにガスタンクまたはボンベがある。
電話 テレックス	長距離・国際電話は不通。市内電話はすぐ復旧。	国際電話担当の電話局が被災したため。
交通機関	無被害 一部道路は地盤沈下。	建物解体・復旧工事のための通交止めの道路が多い。

表-4 メキシコ市のライフラインの被害概要

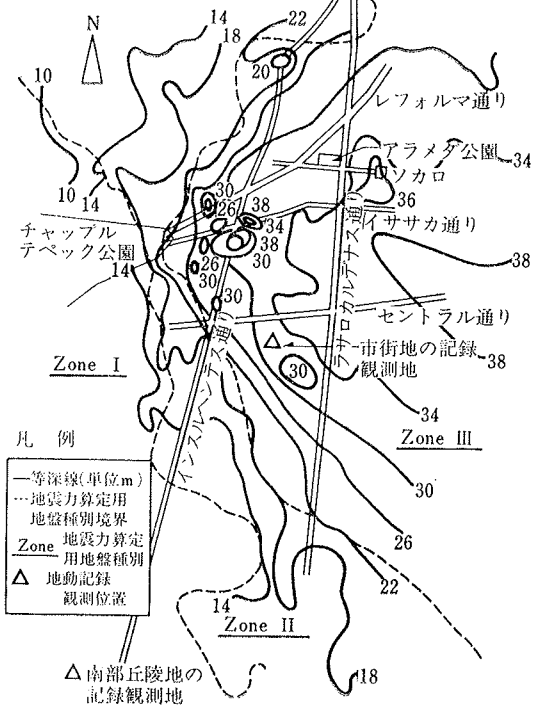
%の場合もある)が乗っており，地盤沈下が年10cmのオーダーで進むことも多い。地盤の断面と硬質基盤の等深線⁶⁾を図-5に示す。盆地上の軟弱地盤によって長周期の地震波が増幅され，特異な地動記録が得られたと考えられている。また，被害は等深線が22~34mの地域に集中しており⁶⁾，地盤と建物被害との密接な関係が示されている。

2.4. メキシコ市の耐震規定

メキシコ市では建物設計用地震力を図-6のように定



(a) ラサロカルデナス通りに沿った地層断面図



(b) 第1硬質地盤の等深線
(地震力算定時の地盤種別，図-3に示した)
(地動記録の観測位置も書き込んだ。)

図-5 メキシコ市の地盤

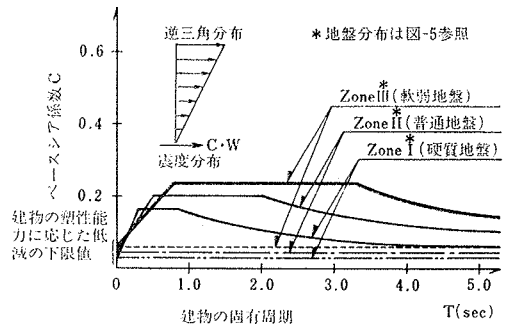


図-6 メキシコ市における設計用地震力

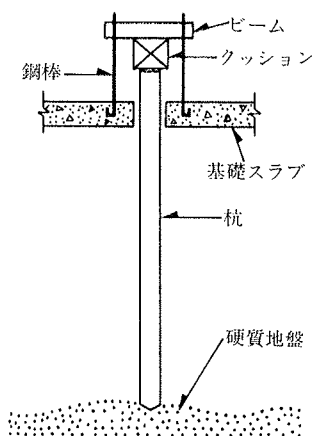


図-7 ヨーク基礎

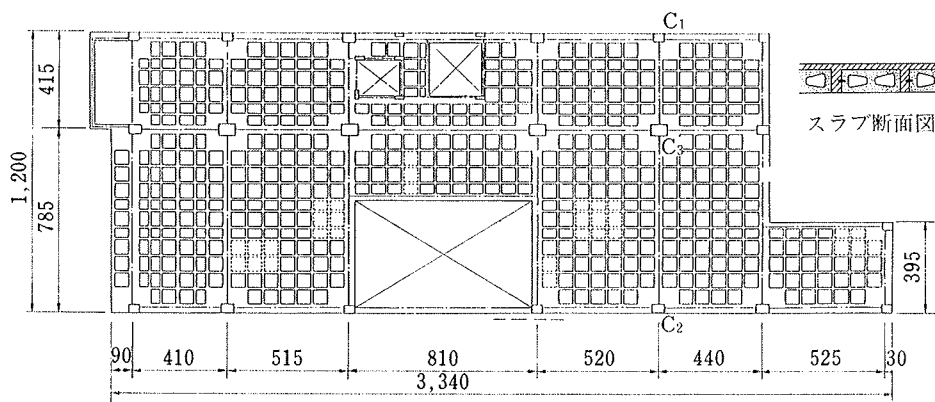


図-8 メキシコの代表的建物の床伏図

めている⁷⁾。すなわち、地盤種別や建物の固有周期と塑性変形能力に応じて地震力が決まり、耐震設計の理念は進んでいる。しかし、地震力の大きさは過去の地震の経験をもとに設定されており、今回の地震に対しては小さすぎたと言われている。地震の1箇月後には緊急耐震規準が公布され、地震力の大きさをそれまでの約2倍に引き上げ、さらに詳細な検討が加えられている。

2.5. メキシコ市の建物の特徴

構造形式は、超高層建物が鉄骨造で、中高層建物のほとんどが鉄筋コンクリート造である。以下、主に鉄筋コンクリート造建物について述べる。

2.5.1. 基礎 地盤沈下に対処するため、フローティング基礎やヨーク基礎などの工夫をこらすことが多い⁸⁾。ヨーク基礎(図-7)はクッションの厚みを変えて不同沈下を修正するのだが、耐震性能はよくないと言われている。

2.5.2. スラブ ロサプラナスと呼ばれるフラットスラブに、中空ブロックなどが埋め込まれた形式が多用されている(図-8)。スラブの重量が低減できると言われ、不同沈下には有利であるが、梁の強度は低くなる。

2.5.3. 柱 図-8に示す建物(鉄筋コンクリート造9階建)の1階の柱の諸元を表-5に示す。軸方向応力度が80 kgf/cm²を超える、全主筋比が3%より大きい、帯筋比が0.2%未満である、など耐震性能が悪い柱の典型である。これは柱断面が小さいことが原因である。一般にメキシコ市の建物の柱は、断面が小さく、この他に、帯筋の90度フックや主筋の四隅の集中配筋(たばね鉄筋)なども考えると、耐震性能が悪いものが多いと思われる。

2.5.4. コンクリート 日本からの他の調査団の報告によれば⁵⁾、圧縮強度は200~300 kgf/cm²あって問題はほぼないと思われる。また、被災建物のコンクリート片を持ち帰り、当技術研究所の化学研究室で成分分析を行

柱(5通り)	C 1	C 2	C 3
寸法 mm	450×350	550×400	700×550
軸方向応力度* kgf/cm ²	69	91	80
全主筋比 %	3.3	3.3	2.1
帯筋比 %	0.20	0.16	0.13

*注: 単位床面積あたりの重量を1.2t/m²として計算

表-5 柱の諸元 (図-8の建物の1階の柱)

なった結果、①骨材の吸水率などの性質は日本のものと類似している、②単位セメント量が多めで、スランプが大きいコンクリートである、③セメント分にCaOが少なく、石こうが多いなどが明らかになった。

3. メキシコ市の建物被害調査

3.1. 調査方法

メキシコ市の被害が甚大であったので、筆者らの調査はメキシコ市のみ限定し、他の地域は別の調査団の活躍に期待することとした。調査地域を図-9に示す。

調査は被害マップを作ることを目的としたので、建物の外観上の被害を目視で観察し、被害度、構造種別、および階数の記録を行なって多くの建物を見ることに努めた。なお、一部の建物については階高、スパン、配筋な

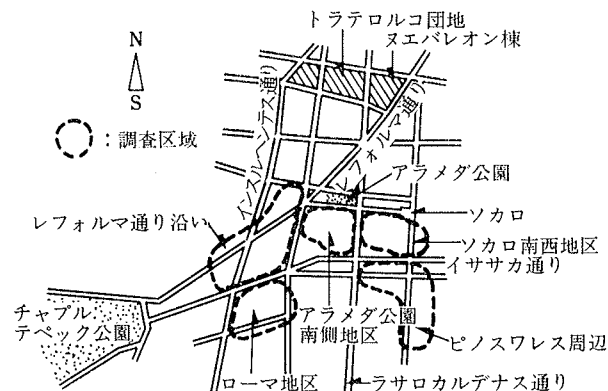


図-9 メキシコ市内の調査地域

凡例 被害度

- A 崩壊
- B 一部崩壊
- C 変形大、ひびわれ大
- D ひびわれ小、ガラス被害
- E 内部の軽微な被害および無被害
- ← は同じ建物を示す。
- m : 地下鉄の駅
- < > は通りの名前を示す。

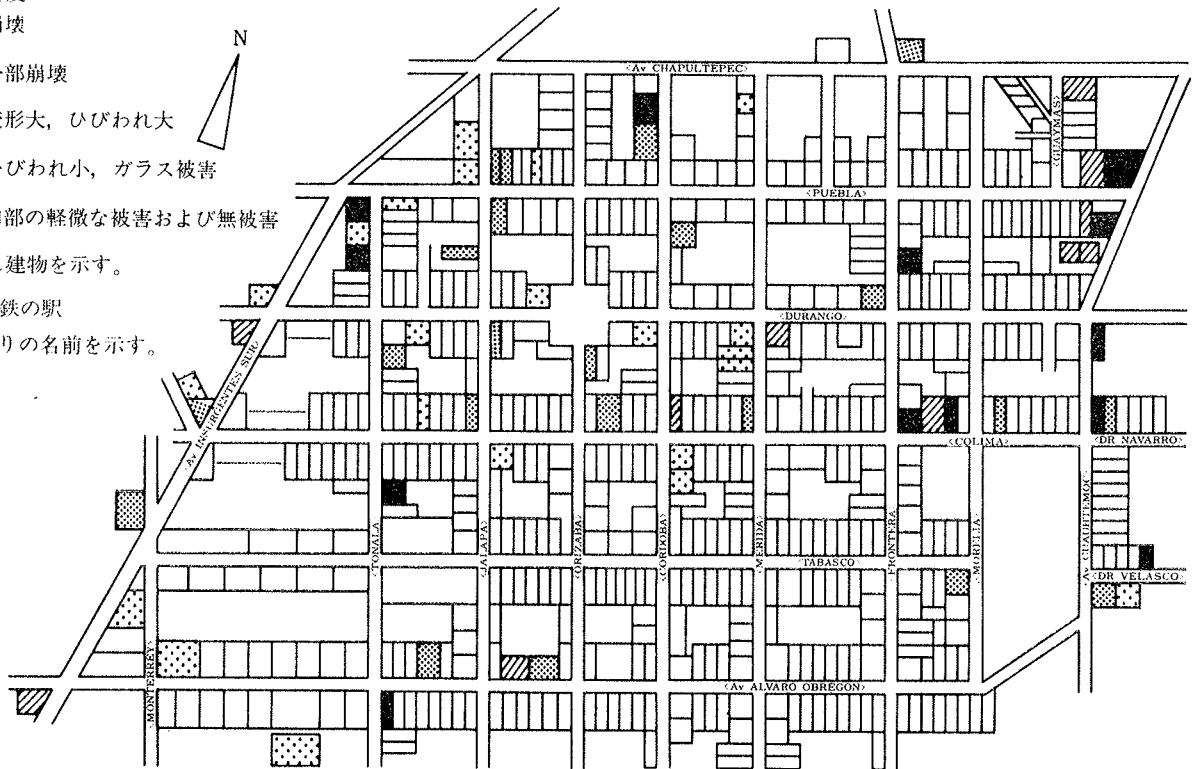


図-10 被害マップ

どを実測し、近隣住民や管理者に対するインタビューも実施した。

3.2. 全数調査と被害率

アラメダ公園南側地区およびローマ地区は建物すべてを調査し、耐震工学上、貴重なデータである被害率を算定することができた。全数調査において1棟あたりの調査時間は1分程度であったが、1街区(500~700m四方)すべてには8~10時間を要した。全数調査結果から作った被害マップの例を図-10に示す。この図は被害度に着目したもので、無被害の建物が相当数あることがわかる。地震後1箇月たった時点での調査であるので、軽微な被害は補修され、そのため実際より小さく被害度の判定を下した可能性もある。しかし、「壊滅的被害」という表現は不適當で、調査中、市民生活への後遺症を見ることはほとんどなかった。

全数調査結果を階数と被害度に着目して表-6に、これから算出した被害率を表-7に示す。調査棟全数を母数にとると、被害度D以上(外観上、どこかに被害がある)は12%程度、被害度C以上(構造体の被害)は8%

地区	ローマ地区						アラメダ公園南側地区						
	A	B	C	D	E	計	A	B	C	D	E	計	
建物階数	1~3	2	2	1	1	318	324	0	0	1	2	197	200
	4~6	1	5	3	6	155	170	3	1	2	14	168	188
	7~9	4	5	7	8	10	34	2	4	5	10	17	38
	10~13	1	1	8	4	5	19	1	2	5	12	6	26
	14~	0	0	0	2	1	3	0	1	4	2	1	8
計	8	13	19	21	489	550	6	8	17	40	389	460	

表-6 全数調査結果の集計

単位：棟

地区	ローマ地区						アラメダ公園南側地区					
	A	B	C	D	E	計	A	B	C	D	E	計
被害度	A	B	C	D	E	計	A	B	C	D	E	計
* 調査全数	1.5	2.4	3.5	3.8	88.8	100.0	1.3	1.7	3.7	8.7	84.6	100.0
** 1~3階	0.6	0.6	0.3	0.3	98.2	100.0	0.0	0.0	0.5	1.0	98.5	100.0
** 4~6階	0.6	2.9	1.8	3.5	91.2	100.0	1.6	0.5	1.1	7.4	89.4	100.0
*** 7~階	8.9	10.7	26.8	25.0	28.6	100.0	4.2	9.7	19.5	33.3	33.3	100.0

* 母集団を各地区ごとの調査棟全数とした。

** 母集団を各地区ごとの1~3階または4~6階の建物とした。

*** 母集団を各地区ごとの7階以上の建物とした。

単位：%

表-7 被害率

前後であり、被害度は小さく、図-7の印象と対応する。しかし、7階以上の建物に着目すると、約半数に何らかの被害(被害度D以上)が生じ、約3割に構造体の被害(被害度C以上)がある。地震波の卓越周期が長かったので、固有周期が長い高層建物の被害が増えたと思

われる。また、建物の局部が壊れて固有周期が伸び、そのために地震入力が増え、全体の破壊につながった場合もあると考えられる。

3.3. 代表的被害パターン

鉄骨造の建物は、メキシコ市には少なく、また倒壊した例も多くない。一方、鉄筋コンクリート造建物の被害例は多く、耐震工学上の貴重な教訓も見られたので、この報告では鉄筋コンクリート造建物の被害パターンのみ述べる。

3.3.1. パンケーキ状崩壊 柱が完全に壊れ、スラブ間のすき間がほとんどなくなって、いわゆる「パンケーキ」状に崩壊したケースである。

写真一2は全階にわたってパンケーキ状に崩壊した例で、地震後1箇月たった調査時点でも地震直後の状況を残していた。しかし、パンケーキ状崩壊で最も多く見られたのは、写真一3に示すように最上階から数えて1～3階部分が崩壊した事例である。この原因として、①屋上に倉庫などを増築したため重量超過となった、②上層階の柱断面が極端に小さくなっていた、ことなどが考えられている。崩壊部分が外側1スパン、隅角部など平面的に偏在する場合も多かった。

3.3.2. 柱の破壊 鉄筋コンクリート柱が圧縮またはせん断で壊れたケースである。破壊がさらに進行すると3.3.1.のパンケーキ状崩壊に結びつく。

写真一4はせん断破壊の例である。帯筋は密であるが腰壁がついて柱の内法高さが短くなったため、せん断破壊したと思われる。また、主筋に沿った付着ひび割れが見られる。写真一5は圧壊した例である。かぶり部分のコンクリートが剝落し、帯筋がほどけていた。帯筋の端部が90度フックであったため、帯筋がほどけ、コンクリートの拘束ができずに破壊したと思われる。



写真一2 パンケーキ状崩壊
(片付けもなされていない)

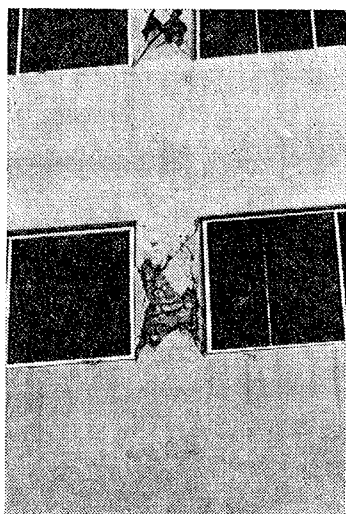


写真一3 上層部のパンケーキ状崩壊
(カーテンなどが垂れ下がっている)

3.3.3. 柱梁接合部の破壊 柱梁接合部のコンクリートが壊れた例で、柱や梁は健全なまま残ることも多い。

写真一6はその一例で、柱梁接合部には拘束筋が配されておらず、コンクリートが剝落して柱や梁の応力を伝達することができない。接合部破壊の原因として、拘束筋が配筋されていないこと、および接合部の大きさが主筋径に対して小さいこと、などが考えられている。

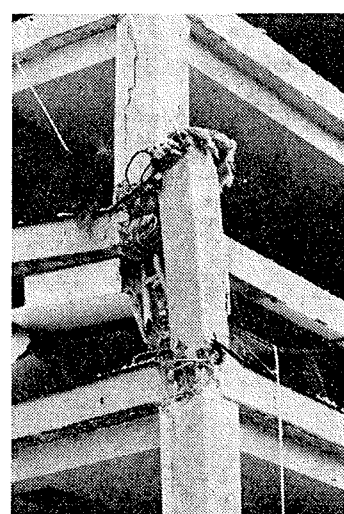
3.3.4. 外壁レンガの落下とガラスの破損 メキシコ市では壁をレンガで作ることが多く、それが落下した事



写真一4 柱のせん断破壊
(付着ひび割れが見える)



写真一5 柱の圧壊
(帯筋がほどけている)



写真一6 柱梁接合部の破壊
(接合部に拘束筋がない)

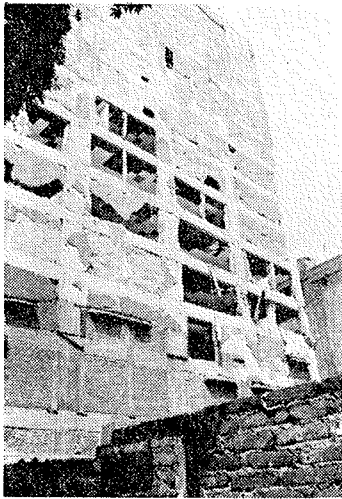


写真-7 壁レンガの落下
(仕上げも剝落)



写真-8 建物の沈下
(左側の道路より90cm沈下)

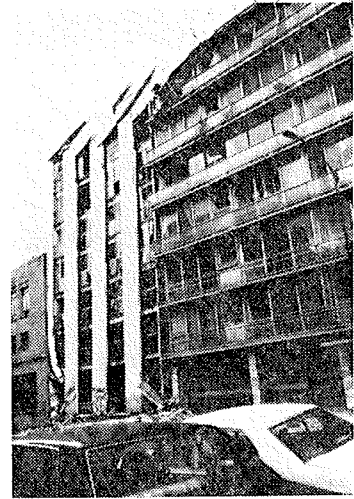


写真-9 衝突による倒壊
(左側の建物の7階から折れた)

例である(写真-7)。壁の破壊によって急激な剛性変化が生じ、剛重比や偏心率が悪化して建物全体の破壊を招いた場合もある。

また、近代的なサッシであってもガラスが破損した例があった。

3.3.5. 沈下・傾斜 メキシコ市では常に地盤沈下が起こっており、建物の沈下や傾斜が地震によるものであるか判断しにくい。写真-8は地震によって約90cm沈下した例で、建物の傾斜も生じていた。

3.3.6. 衝突 市街密集地では隣棟間隔をほとんど取らない(10数cm以下)ため、建物同士が接触・衝突しやすい。極端な場合、写真-9に示すように、衝突により一方の建物の上部が他方の建物の上に倒壊した。

3.4. 被害建物例 (トラテロコ団地)

トラテロコ団地のヌエバレオン棟は鉄筋コンクリート造14階建てで、北側2棟と南棟がエキスパンションジョイントで接続されていたが、北側2棟が倒壊して多数の死者を出した。一方、南棟は構造部材の部分的損傷にと



写真-10 ヌエバレオン棟 (トラテロコ団地)

どまった。写真-10は調査時点での南棟の状況である。写真右手に倒壊した2棟を片づけた跡が見える。図-11に簡単な実測に基づく各階平面図を示す。上層階の柱は小さく、7階の柱の軸方向応力度が75kgf/cm²になる

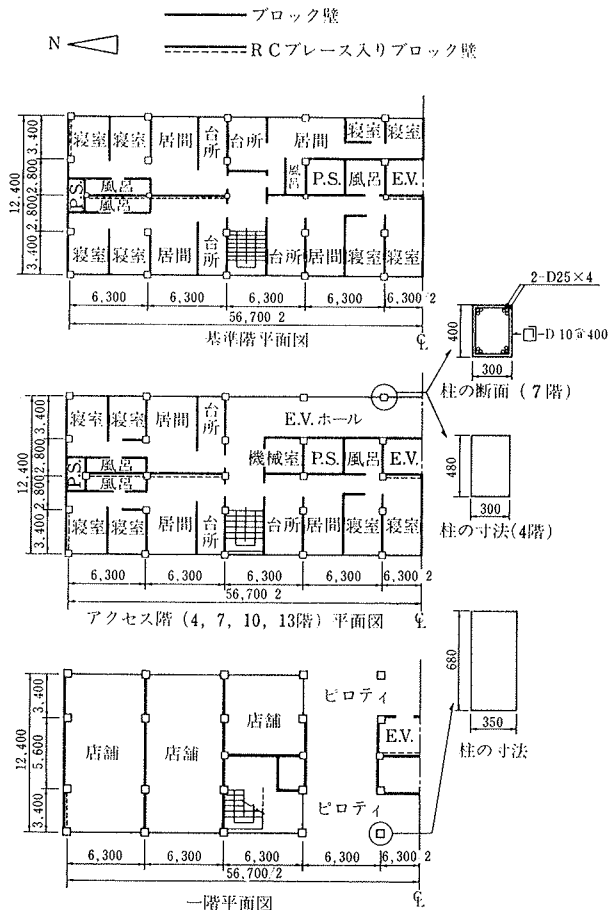


図-11 ヌエバレオン棟各階平面図

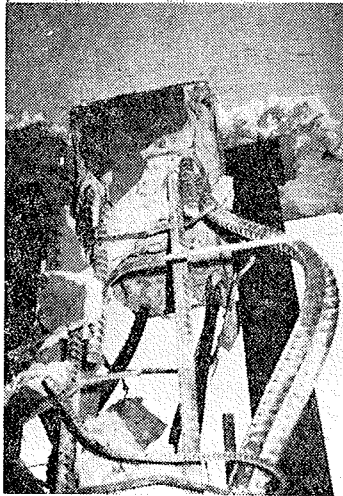


写真-11 7階エレベーターホールの柱
(鋼管2本で応急補強)

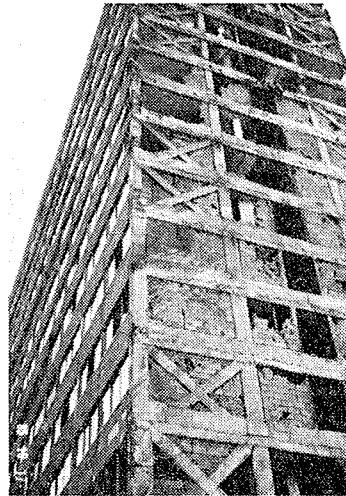


写真-12 梁間方向の妻壁
(ブロックの壁も一部落下)



写真-13 間仕切りブロック壁
(鉄筋径は13mm程度)

もの（建物の単位面積あたりの重量を 1.2t/m^2 として計算）もある。一方、梁間・桁行両方向に壁やブレースが多く配置され、建物の水平抵抗力は小さくないと思われる。基礎はヨーク基礎が設置されていた。

以下、この建物の被害箇所を数例紹介する。

7階エレベーターホールの柱：コンクリートの剝落および主筋の座屈が生じていた。軸力保持のため鋼管で応急補強がされていた。帯筋が90度フックのため、ほどけたことが破壊の原因の一つである。また、主筋が束ねられて四隅に配筋されていた。この方法は、施工が容易でしかも鉄筋を節約することができて経済的であるが、付着割裂破壊を生じやすく、耐震的ではない。

梁間方向の妻壁（写真-12）：メキシコ市ではブロックやレンガの壁の面外脱落防止のためにブレースを設ける。この建物では、ブレース直下の柱の損傷が著しく、ブレースが地震応力を負担したと思われる。なお、ブレース配置の構造計画上の配慮には疑問がある。

間仕切りブロック壁（写真-13）：ブロック3段（約70cm）ごとに鉄筋が1本配筋されているだけで、ブロックの脱落が起こりやすいと思われる。

4. おわりに

今回、大規模な地震被害が発生した原因として、建物設計時に想定した以上の地震力が建物に加わったこと、メキシコ市の特殊な地盤条件、および配筋詳細の配慮不足などが考えられる。耐震設計と施工の品質管理には十分な注意が払われなければならない。

謝 辞

和泉正哲東北大学教授、他、文部省、国際協力事業団、

日本建築学会などからの派遣団の諸先生、派遣員の方々、およびホテル日航プロジェクトの赤尾副所長、通訳の八木裕子嬢、他、現地の方々の御指導・御協力に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) S. K. Singh, L. Astiz and J. Hauskov: Seismic Gaps and Recurrence Periods of Large Earthquakes along the Mexican Subduction Zone, A Reexamination. Bull. of the Seismological Society of America, (Jun. 1981)
- 2) J. G. Anderson, J. Prince, et. al: Preliminary Presentation of Accelerogram Data from the Guerrero Strong Motion Accelerograph Array, Michoacan-Guerrero, Mexico, Earthquakes of 19 and 20 September, 1985, (Oct. 1985)
- 3) J. Prince et. al: Accelerogramas en Ciudad Universitaria del Sismo del 19 de Septiembre 1985, (Sept. 1985, in Spanish)
- 4) 在メキシコ日本大使館: メキシコ地震 (1985. 10. 2)
- 5) 日本建築学会メキシコ地震調査団: 1985年メキシコ地震災害調査 速報, (1986. 1)
- 6) メキシコ政府 (三菱商事英訳): Results of the Earthquakes of September 19 and 20, 1985, in the Construction of Mexico City—Preliminary Information
- 7) Provisions for Earthquake Resistant Design in Mexico(1977), Earthquake Resistant Regulations, A World List-1984
- 8) R. J. Marsol: The Lacustrine Clays of the Valley of Mexico, International Clay Conference (1975)