

長周期地震動に伴う棟間衝突に関する一考察
その1 : 1985年メキシコ地震を教訓にして

正会員 ○太田 外氣晴*¹ 正会員 磯部 大吾郎*²
同 井上 智広*³ 同 松枝 富士雄*⁴

1985年メキシコ地震 メキシコ盆地 埋め立て軟弱地盤
やや長周期地震動 棟間衝突 進行性破壊

1. まえがき

巨大地震の発生が想定されている日本では、やや長周期地震動と高層ビルの応答の再評価が必要である。1985年メキシコ・ミチオアカン地震 Ms8.1 では、震央距離約400kmの極端な埋め立て軟弱地盤のメキシコ市で大被害が発生して世界を驚愕させた。この大被害を改めて見直し、日本における今後の教訓になる点を検討したい。

そこでメキシコ盆地の地盤と地震動特性、及びトラテロルコ団地の14階建て集合住宅 Nuevo Leon(N. Leon)を再調査し、倒壊現象の解析的な再現を試みる。この時、3連棟建物の棟間衝突の問題等に直面する。ここではそれらの問題を追及して、今後の参考に供するものである。

2. 地盤と地震動

メキシコ市は海拔約2240mにあり、メキシコ谷が火山活動でせき止められて、大テスココ湖が形成されていた。1521年、湖中にあったアステカ帝国の首都テノチティランは、スペイン軍に占領された。湖は大規模埋め立てにより約1800万人の大都市となり、地震被害を受けた。

メキシコ市では、丘陵地、旧湖地帯、中間地帯の3分割の地盤区分であった。1985年地震の後に地盤区分が見直され、市の中心部と南部は、地震前には不連続と考えられていたが、現在は連続的に分類されている(図1)。

1985年地震の後、強震観測点は約100点となり、主要点における5地震の平均スペクトル比(対メキシコ大UNAM)を図1に示す。同図には、本研究で注目される観

測点や、建物 N. Leon の位置も示されている。同図から各地点のピーク周期 T_p と UNAM に対するスペクトル振幅 SA が判る。市中心部に近い SCT の T_p は約2秒であるが、市の東部の T_p は3~5秒で、SA は市中心部の数倍もある。

メキシコ盆地の表層地盤と主要地点を図2に示す。N. Leon では、本震時における強震記録はない。しかし表層軟弱地盤の深さが同程度の SCT の記録は、図1, 3のように卓越周期 $T_p \approx 2$ 秒で、図1では両地点の SA も同程度である(図3には日本の限界耐力計算法の値も併記)。そこで N. Leon には、SCT の観測記録を与えることとする。SCT の観測記録の水平成分は NS, EW であるが、震央からの地震波が建物との角度に応じた方向変換を実施する。西部丘陵地の UNAM や Tacubaya における水平最大加速度は28~44Galであった。SCT, EW の記録はフィルターが

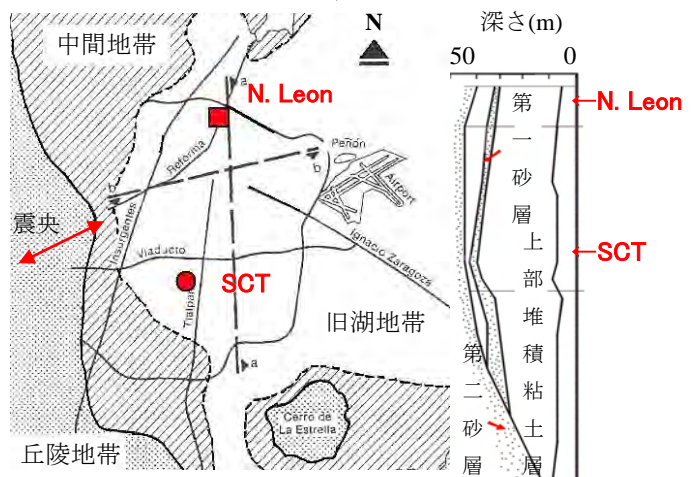


図2 メキシコ市の表層地盤(UNAMによる)と主要地点

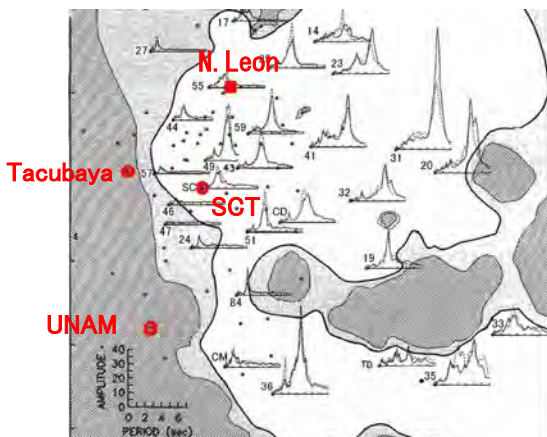


図1 メキシコ市の地盤区分と平均スペクトル比¹⁾に加筆

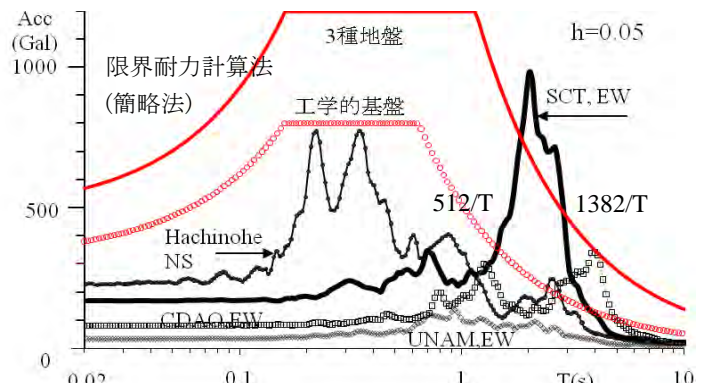


図3 SCT その他強震動の加速度応答スペクトル S_A ²⁾に加筆

施され、約 162Gal(元記録は 168Gal)となった。

3. 対象建物の概要

メキシコ市内の多数建物の 1 次周期 T_1 が各団体で測定された。それらを纏めて図 4 に示す。これらは日本建築学会の調査団、その他によっている³⁾。実線は、大半の建物の T_1 がこの範囲にあるとされている。階数 $N \sim T_1$ の関係式と日本の類似の式⁴⁾も示す。日本の建物の T_1 よりメキシコのそれはかなり長い。その理由は、メキシコの耐震設計荷重が日本のそれより小さいことによる。例えば周期 2.0 秒でのベースシヤ係数 C_B は、日本の約 1/2.7 である(地震後に改定され、従来の 1.67 倍)。これら構造物の種別や方向は区別されていない。図 4 の 2 つの印は、市中心部の東側と西側に区分した带状地域が主である。

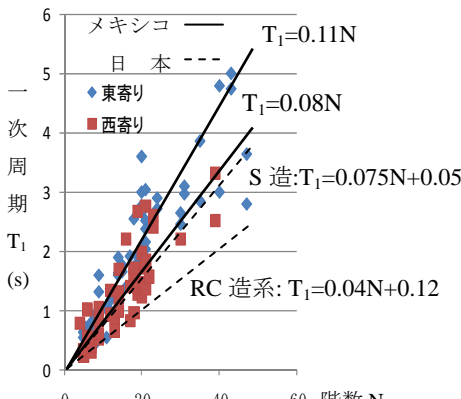


図 4 階数 N と 1 次周期³⁾に加筆 写真 1 類似建物の傾斜



建物 N. Leon の軒高は 39.1m, 幅は 12.5m, 長さは 10cm のエキスパンション ジョイント 2 か所を含めて全長 160m で、同形式の建物は Type-C と呼ばれる。これらの建物 9 棟は、地震後に各々の NS, EW, 振れの T_1 と減衰定数 h が測定されている。それら建物の NS, EW の平均 T_1 を表 1 に示し、N. Leon の西 270m にある Chihuanua の T_1 を表 2 に示す。表 1 によれば、NS, EW の T_1 は夫々 1.14 秒、1.73 秒と得られているが、3 連棟の間での相違は最大 10% である。 h の平均値は、NS: 4.05%, EW: 4.15% である。

一方表 2 によれば、中央棟に対する他棟の周期比は、最大 25% である。極軟弱な埋め立て地盤のメキシコ盆地では、地盤沈下に適応できるよう摩擦杭が多用される。

しかし、N. Leon は前の地震で建物が不同沈下をしたので、支持杭が増設された。このように同一仕様で設計施工されても、地震や地盤・杭構造の相違により、ある程度周期の変動がある。その例として、地震の後に傾斜した

表 1 Type-C(14 階建て)の T_1 に関する平均周期(秒)⁵⁾を整理

建物の方向	NS 長辺 L			EW 短辺 T			
	棟の No*	1	2	3	1	2	3
9 建物平均		1.18	1.07	1.18	1.76	1.73	1.72
$iT_1/2T_1$		1.10	1.00	1.10	1.02	1.00	0.99
平均		1.14			1.73		

*:3 棟中の 2 が中央棟、1 が北棟と想定。振れの平均:1.49 秒

表 2 Type-C の代表 Chihuanua の周期特性⁵⁾を整理

建物の方向	NS 長辺 L			EW 短辺 T			
	棟の No	1	2	3	1	2	3
Chihuanua		1.39	1.11	1.13	1.94	1.63	1.77
$iT_1/2T_1$		1.25	1.0	1.02	1.19	1.0	1.09

14 階の建物の例を写真 1 に示す。同写真によれば、建物は左(長辺方向)に少し傾斜して、1 階が被害を受けていた。その前の地震とは、1979 年ゲレロ地震 $M_s7.6$ である。

被害率は、日本建築学会の A~C 地区(市中心部)の結果を集計して図 5 に示す。同図から 14 階が最大で、その周期は表 1 によれば 1.14~1.73 秒で、図 3 の $T_p=2$ 秒に近い。従って、建物は進行性破壊をしたものと推定される。

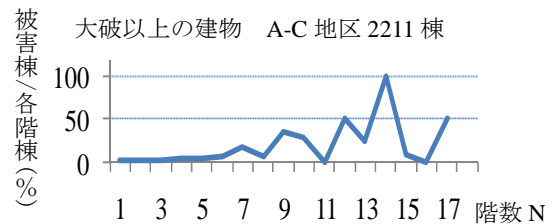


図 5 建物階数と被害率(日本建築学会の結果を集計)²⁾

4. 結び

1985 年メキシコ地震で、やや長周期地震動により倒壊した 3 連棟建物の棟間衝突を議論するため、地盤と地震動の性質を再確認した。また、建物の周期特性を求めた結果を整理して、被害建物と地震動の関係を明らかにした。14 階等の建物は、進行性破壊をしたと考えられる。

参考文献: 1) E. Reinoso, & M. Ordas: Spectral Ratios for Mexico City from Free-Field Recordings, Earthquake Spectra, Vo. 15, No.2, 1999, 2) 太田外氣晴:メキシコ地震の被害と地盤震動、第 14 回地盤震動シンポジウム、1986.7 に加筆、3) 田中礼治、他 3 名:メキシコ地震(1985 年)におけるメキシコ市内の RC 造建物被害調査に関する研究、日本建築学会構造系論文集 1989.4(学会、小林啓美、鹿島建設) 4) 太田外氣晴:地震荷重、新建築学体系 35, 荷重・外力、彰国社、pp.201-276, 1991 年 5) TERCERA REUNION DE LA COMISION TECNICA ASESORA, 1986.4

*1 足利工業大学総合研究センター 工博

*2 筑波大学大学院准教授 博(工)

*3 NHK 制作局 科学環境番組部

*4 (株)橋梁コンサルタント

*1: Collaborative Research Center, Ashikaga Inst. of Tech., Dr. Eng.

*2: Dept. of Eng. Mech. and Energy, Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.

*3: Science Programs Division, Japan Broadcasting Corporation

*4: Kyoryo Consultants Ltd.