

1999年メキシコ・テウアカン地震におけるプエブラ市地震被害調査

Earthquake Damages in Puebla City due to the Tehuacan Earthquake, Mexico on June 15th, 1999

正木 和明

Kazuaki MASAKI

On June 15th, 1999 earthquake of Tehuacan of magnitude 6.7 occurred in the central region of Mexico. The epicenter was located approximately 20km SW of Tehuacan city. The earthquake caused 17 deaths and 197 casualties in villages in the state of Puebla and Oaxaca. In the city of Puebla (state capital), many historical churches and structures were damaged. The author surveyed the damages in the Puebla city three months after the earthquake. The detail of the damages are shown in this report.

1. 序

1999年6月15日、メキシコ中央部テウアカン(Tehuacan)においてM6.7、深さ60-80kmの地震が発生した。この地震により死者17名、負傷者197人、家屋全壊2,458の被害が発生した。震央から120km離れたプエブラ市では教会で多くの被害が発生した。プエブラ市(Puebla)にはコロニアル風建造物が多く、今回被害を受けた歴史的な地域は世界遺産にも指定されており、その被害は重大である。1999年9月9日現地を訪れ被害を調査した。すでに、被害の復旧が始まっていたが、その様子と、被害原因について報告する。

2. 今回の地震の概要

太平洋海嶺の東にはココスプレートが存在する。プレート運動は活発であり、メキシコ太平洋沿岸において北米大陸下に沈降する。このプレートの沈み込みによってメキシコ太平洋沿岸部では多くの地震が発生する。死者2万人を出した1985年のメキシコ地震、リゾートホテル倒壊による死者30名を出したコリマ地震等は記憶に新しい最近の地震である。

プレートの沈み込み角度は小さく、火山フロントは太平洋岸から大陸内部に300kmも入りメキシコ中央高原を形成している。その東端にメキシコ最高峰のオリサバ火山(5,699m)があるが、この火山の位置はメキシコ湾岸に近い。

低い角度で潜り込むプレートの運動によって、プエブラ州から南方のオアハカ州にかけては地震が多発する。1864年以来今回の1999年の地震を含めMが6.5以上の地震は11個発生している(Ramirez, et al, 1999)。震源が深いので大きな被害に至る地震は少ないが1973年8月28日の地震では死者500名、負傷者1,600人を記録している(Chavez-Garcia, et al, 1994)。

今回の地震はこのオリサバ火山(Oriyaba)の南80kmで発生した。マグニチュードは6.7であったが、震源の深さが60-80kmと深かったことが幸いし、規模の割りには被害は比較的少なかった。図1に震央を示す。

震源から20km離れた強震計で記録された最大加速度は約100ガルであったが、被害が大きかったプエブラ市では、基盤上で58ガル、堆積地盤上で279ガルが記録されている。表2にプエブラ市で観測された最大加速度を示す。また、図2にハバナ広場で記録された加速度波形を示す。

被害は震源域周辺でアドベ造の住宅に多く出た。し

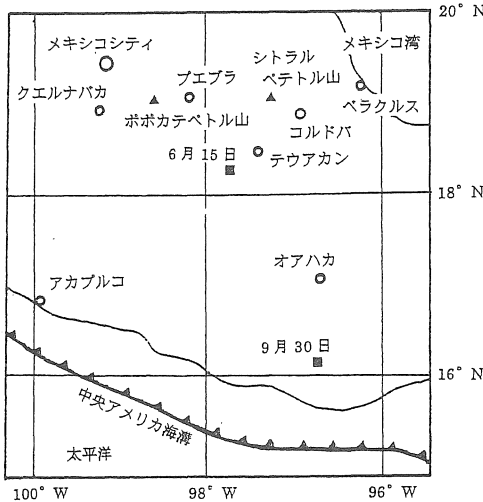


図1 1999年6月15日Tehuacan地震(M6.7)の震央

表1 地震諸元¹⁾

発震時刻	1999年6月15日15時42分
震央(Ramirez他)	北緯 18.20 度 西経 97.40 度
(菊地)	北緯 18.33 度 西経 97.39 度
深度(Ramirez他)	60~80km
(菊地)	71km
マグニチュード	6.7

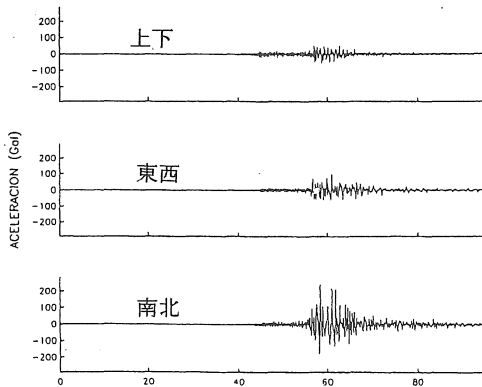


図2 Puebla 市 La Habana における強震記録

かし、北西に110km離れたプエブラ市では多くの教会に被害が出た。以下に被害の概要を示す。

- 人的被害：死者17人、負傷者197人
地滑りにより鉱山や石切り場で多数の人が閉じこめられた。

表2 プエブラ市最大加速度

記号	観測地点	地盤条件	南北	東西	上下
BHPP	B. Honda	玄武岩スコリア	59gal	58gal	33gal
CAPP	C. de Abastos	軟弱地盤	73	103	45
PBPP	Nicolas Bravo	地盤	102	123	64
PHPU	La Habana	軟弱地盤	279	105	56
SRPU	San Ramon	不明	131	216	71
UAPP	Universidad	硬い地盤	95	109	64

表3 被害概要

死者	17人
負傷者	197人
被災者	20,000人
住宅被害	14,026棟 (内全壊 2,458棟) 2階ブロック造大破 44棟 RC集合住宅 2棟
学校	1,000棟 (内大破 12棟)
病院	9棟
電気	数時間停電
ガス	数時間ガスもれあり
水道	微小被害
下水道	なし
電話	いくつかの地域で数時間停止
火事	なし
労働	20%減
被害総額	75,000,000米ドル=81億円

- 家屋の被害：アドベ造りの住宅で壁に亀裂が入ったものが多く、14,026棟が被害を受け、その内2,458棟が全壊。
- その他の建物：学校の被害約1,000、病院被害9等公共物建物の被害が目立つ。教会など歴史的建造物の被害多数に注目。
- ライフライン：電気、ガスに被害があったが数時間で回復した。電話は一部の地域で不通話となった。水道に微小被害があったが下水道にはなかった。火事もなかった。
- 社会的損失：プエブラ市の労働の20%が減少した。被害額は7,500万ドルにあがると見積もられている。
- 緊急対応：緊急対応は住民が行なったが、2、3時間後には国家緊急プランDN-III-Eによって軍隊がこれに加わった。

3. プエブラ市街被害調査

3・1 被害全体

プエブラ市はプエブラ州の州都で、メキシコ市の南東110kmに位置する。西には、標高5,452mのポボカテトル火山（メキシコ第2位の標高）と同5,286mのイスタクシワトル火山がそびえ、北には同4,446mのマリンチェ火山がある。これらの火山に囲まれた盆地にあり、市の中心部は火山噴出物と河成堆積物の互層からなる地盤が分布する。標高は2,000mであり、気候は温暖である。1530年代のはじめにスペイン征服者により建設された都市で、コロニアル風の歴史的建造物が多い。このため、ソカロを中心とする歴史的保存地域は世界遺産に指定されている。

図3に市街中心部を示す。縦横に走る街路によって区切られ、ブロックにはコロニアル風の組積造2階建ての建造物が建っている。壁の厚さは50-70cmもあり、地震に対しては耐力がありそうである。RC造は中心街にはあまり見られない。多くの教会があり、中心部だけで50程度の教会がある。

3・2 教会の被害例

表4に被害を受けた教会の建造年、被害場所、被害程度を示す（Julio Cuenca, 1999）。46の教会の被害が調査されているが、無傷はわずか3棟である。無傷の3棟のうち、ひとつは閉鎖され、44の教会が立ち入り禁止になっている。

被害は、入り口付近の壁の崩落、屋根の崩落、丸屋根の崩落、2～3階建ての鐘つき塔の崩落、建物側壁の剥落等の被害にとどまり、教会全体が構造的破壊を受けたものは少ない。

写真1は最も大きな被害（被害程度5）を受けたサン・ヘロニモ(San Jeronimo)教会の被害例である。17世紀に建造された石組積造の教会である。鐘塔部分の側壁が崩落し、柱に縦方向の亀裂が見られる。壁の崩落の危険性があるのか木枠で保護されている。塔倒壊の可能性があるため、歩道は通行禁止となっている。この他、教会の屋根全体、丸屋根、側壁にも被害が見られた。

写真2、3は被害程度5と判定されたラ・コンパニア(La Compania)教会である。1578年に建造された石組積造であり、鐘塔部分は5階建てとなっている。塔に縦方向に亀裂が入り倒壊の危険性があるため、鉄骨で倒壊防止工事がなされている。窓枠には木枠がはめら



写真1 San Jeronimo 教会鐘塔の被害

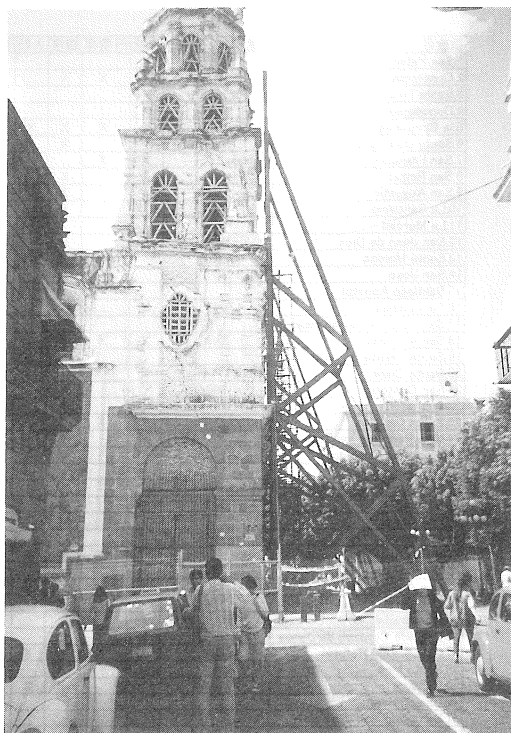
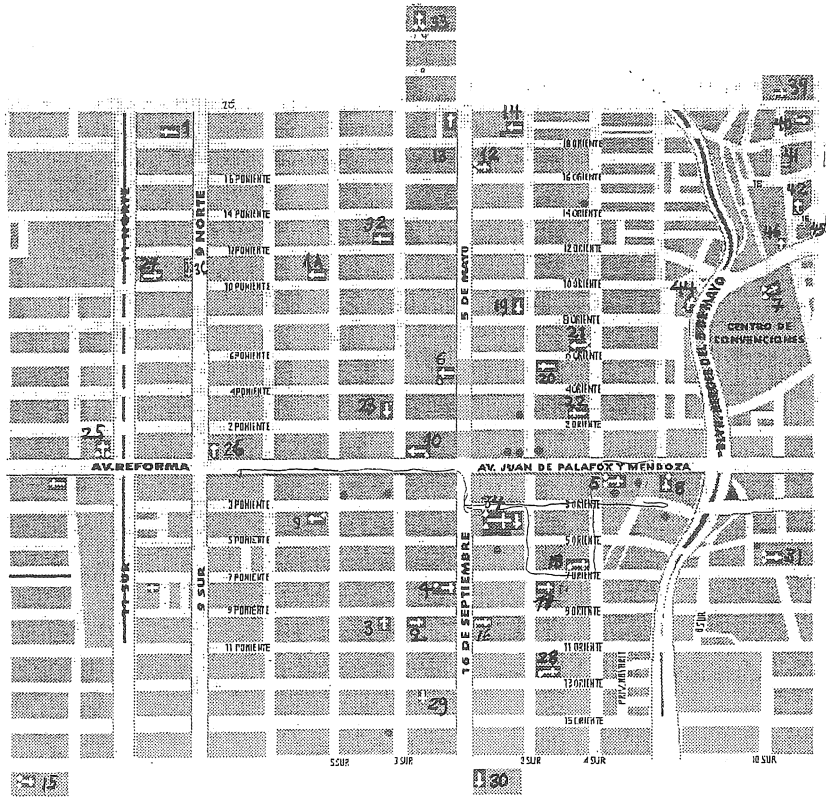


写真2 La Compania 教会の塔被害。
窓は木枠で補強されている。

図3 Puebla市中心街の地図。世界遺産にも指定されているコロニアル風の町並みである。番号は表4の教会名に対応している。



教会名	建設年	外陣	屋根	円屋根	鐘塔	入口	被害度	備考、被害状況
1.San Pablo	1967?		X					2 屋根亀裂
2.Concordia	1679		X	X	X			2 屋根亀裂
3.Santa Ines	1663		X					2 屋根亀裂
4.Concepcion	1593	X	X					3 縦亀裂
5.la Compania	1578	X	X	X	X	X		5 水平亀裂
6.Santo Domingo	1534				X			1 入口亀裂
7.San Francisco	1555-1918		X	X				2 屋根円上亀裂
8.San Roque	1656-1981		X		X			3 塔被害
9.San Augustin	1546				X			4-5 崩壊塔閉鎖
10.La Santisma	1670				X			1 天井剥離閉鎖
11.La Merced	1598							1 無被害
12.San Juan de Dios	XVII-1998				X			2 塔被害
13.Santa Monica	XVIII							1 無被害
14.San Jose	1628-XVII							1 閉鎖
15.Santiago Apostol					X			1 塔被害
16.Capuchinas	1704?		X					2 屋根亀裂
17.San Juan de Letran Hosp	1707		X					1 閉鎖
18.San jeronimo	XVII	X	X	X	X			5 縦亀裂
19.Santa Teresa de Avila		X						1 閉鎖
20.Santa Clara	1642,1714		X					1 天井亀裂
21.San Cristobal	1604				X			1 閉鎖、十字架落下
22.San Pedro					X			1 閉鎖、天井湿気
23.Santa Catalina	1750,XVII		X	X				2 屋根亀裂
24.Ntro Padre de los Trabajos								1 天井湿気
25.Virgen de Guadalupe	1722	X						1 入口天井亀裂
26.San Marcos	1590							1 天井湿気
27.Sagrado Corazon de Maria								1 閉鎖、無被害?
28.Soledad	1731				X			3 閉鎖、塔亀裂
29.Los Gozas								1 閉鎖
30.El Carmen	1548							1 閉鎖
31.Santo Angel de Analco	1619,1627				X	X		3-4 閉鎖、対角線亀裂
32.Santa Rosa	1740		X					1 縦亀裂
33.San Antonio	1620	X	X	X		X		4-5 縦亀裂
34.Catedral	1646				X			1 塔表面亀裂
35.Ntra.SradelSagradoCorazon	1967?							1
36.Sagrado Corazon de Jesus	1947		X					1 縦亀裂
37.Ntra.Sra.del Refugio	1882?	X	X	X	X	X		4-5 水平亀裂
38.Santa Ines					X			1 閉鎖、塔被害
39.Calvario					X	X		1 閉鎖、塔被害
40.San Juanito					X			1 閉鎖、塔被害
41.Sanatorio San Jose								1 閉鎖
42.Santa Cruz	1714,1744				X			2 閉鎖、入口亀裂
43.Balvanera								1 閉鎖
44.Dolores		X	X	X	X	X		2 入口亀裂
45.Macarena								1 閉鎖
46.Cirinero								1 閉鎖

表4 調査された教会一覧。番号は図3に対応している。

外陣:Nave
 屋根:Boveda
 円屋根:Cupla
 鐘塔:Torres
 入口:Fachada
 xは「被害あり」を示す。

無被害は3棟、閉鎖18棟、44の教会で立ち入り禁止となっている。



写真3 La Compania 教会鐘塔転倒防止工事



写真6 RC4階集合住宅の1階部分の倒壊

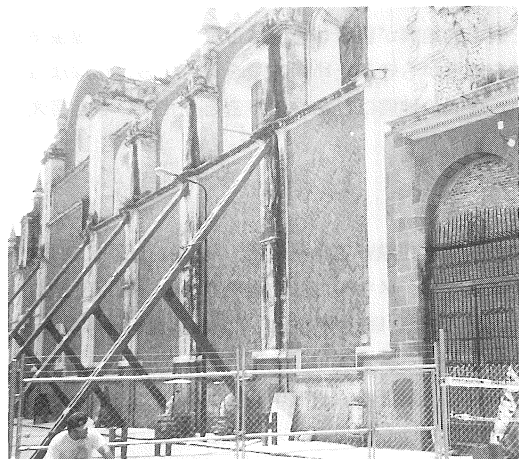


写真4 La Compania 教会側壁転倒防止工事

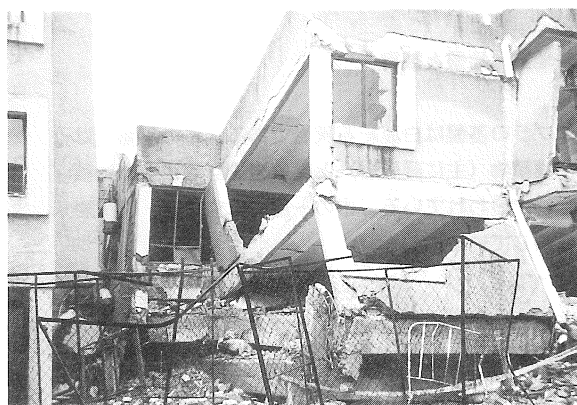


写真7 写真6の隣の住宅（1、2階が崩落）



写真5 石組積造住宅の屋根飾りの落下

れ、崩落を防止している。

写真4はラ・コンパニア教会の側壁部分であり、やはり倒壊の危険性があり、鉄骨で補強されている。道路は通行禁止となっている。

3・3 建物被害

写真5は石積組積造の2階建て住宅の被害である（50 oriente通り）。2階屋根の飾りが一部崩落し、下に駐車していた車が押しつぶされた。このような飾りによる建物修飾は多く見られ、この建物以外にも、プエブラ大学校舎等、他にも被害が見られた。

写真6は鉄筋コンクリート4階建ての集合住宅の被害例である（30 oriente 615番地）。1階部分が完全に崩壊し3階建てに見える。押しつぶされた乗用車の残骸が見える。写真左部分には壁が剥がれ落ち、室内が剥出しになっている様子が見られる。また、建物側

壁にはたくさんの亀裂が見られる。背後の棟も同様に1階部分が完全に崩壊している。

柱の寸法は30cm×30cmであり、28φの主筋が4本入っている。帯筋は30cm間隔で入っている。建物全体が北方向に20cm変位している。この辺りでは、強震記録から200~220galの最大加速度であったと推定されている。

写真7は写真6から50m南西に離れた場所に建つ同構造の住宅の被害例である。1階、2階部分が完全に崩壊し、2階建てに見える。3階部分もほぼ崩壊し、4階部分がかろうじて原型をとどめている。柱の剪断による倒壊ではなく、床部分における柱の継ぎ足し部分で破壊していることが注目される。左に建つ住宅は崩壊していない。この建物から、1階部分はピロティ形式で、駐車場として設計されていたようである。

4. 地質・地盤と被害

プエブラの基盤は白亜紀石灰岩である。この基盤岩は火山堆積物(主に凝灰岩)と凝灰岩を互層に含む沖積堆積物で覆われている。市の一部には玄武岩、凝灰岩が露頭している。

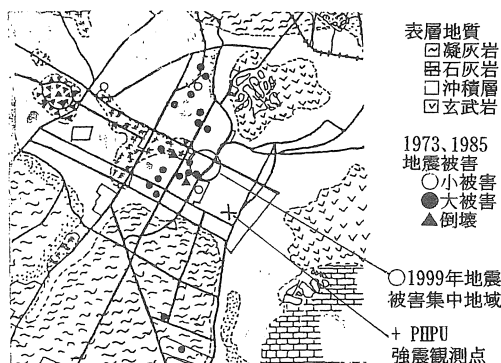


図4 Puebla市の地質と1973, 1985年地震被害地点

ハンマー落下法による屈折法地震探査によると(Chavez-Garcia, et al. 1996)、堆積層は2層からなり、第1層はS波速度200m/s、第2層は450m/sである。

プエブラ市は1973年、1985年の地震で被害を受けている。図4に被害を受けた地域を示す。被害は市の中心街に集中している。今回の地震被害は、市中心街の教会に集中している。倒壊したRC4階住宅も中心街にある。この辺りの地盤は、凝灰岩を含む沖積層である。沖積層厚は分からないが、S波速度が200m/sとすると、かなり軟弱な地盤と言える。強震記録も今回被害が集中した地域の南東2kmで南北279gal、東西105gal上下56galを記録している。

害が集中した地域の南東2kmで南北279gal、東西105gal上下56galを記録している。

5. まとめ

今回の地震による死者は17名であり、メキシコでは1年に1度程度の被害地震であった。アドベやブロック造建物に全壊が多く出たが、RC建造物の全壊は2棟にとどまっている。ただし、学校構造物に多くの被害が出たことは今後の課題として残る。構造設計上の問題があるのかもしれない。教室にある明かり取入れと換気のために設置された大きな窓が構造上、強度不足になっている可能性がある。

今回の地震で注目されることは、歴史的建造物に大きな被害が出たことである。プエブラは世界遺産に指定された都市である。住民の安全もさることながら歴史的遺産を地震から守ることも大切である。京都や奈良を破壊的地震が襲う可能性は否定できない。国宝や重文を地震から守るための方策を考えておかねばならない。今回の地震はひとつの警告を与えていると言える。

謝辞

メキシコ大学(UNAM)工学研究所、Javier LERMO, Julio CUENCA研究員、メキシコ国防防災センター(CENAPRED)のOscal LOPEZ研究員には、地震被害資料・写真を提供いただいた。お礼申し上げます。

本研究は、財団法人日東学術振興財団による海外派遣助成金の援助を受けた。

参考文献

- 1) Ramirez, J., Pujol, S., and Miller, J.: Tehuacan, 6/15/1999, Earthquake, EERI Report, 1999, in press
- 2) Chavez-Garcia, F. J., Cuenca, J., Lermo, J., and Mijares, H., Seismic microzonation of the city of Puebla, Mexico, Proc. of 3rd Int. Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, April 2-7, St. Louis, Missouri, Vol. II, pp. 545-548, 1996
- 3) Cuenca Julio, :private letters, 1999
- 4) 松田磐余、あべ木紀男、正木和明、荏本孝久: メキシコの地震について、関東学院大学経済学部総合学術論叢、自然・人間・社会、第28号、pp. 173-179, 1999

(受理 平成12年3月18日)