

基礎地盤コンサルタンツ欄 ○安田 進, 豊橋技術科学大学 河邑 真
 国鉄鉄道技研 中村 豊, 東京工大 大町達夫, 鹿島建設 三村長二郎

1. まえがき

1985年9月19日にメキシコの太平洋沿岸で発生した地震(Ms=8.1)により、海岸付近や内陸部で多くの被害が生じた。筆者達は土木学会の調査団の一員(地震と地盤関係担当)として約10日間現地調査を行ったが、その結果、構造物の被害が地盤特性に強く影響を受けていたと考えられるケースがいくつか見受けられた。特に、超軟弱地盤の地震応答や沈下特性に起因したメキシコ市の被害、砂地盤の液状化に起因したラサロカルデナス市の被害、段差の発生に起因したグスマン市の被害は特筆すべきものがあつた。本報告では前2者を別報では後者を扱い、現地で入手した情報に考察を加えて報告したい。

2. メキシコ(Mexico)市の被害と地盤

メキシコ市は標高約2200mの高地にあり、かつて火山湖の淵であった所を埋め立てて街が形成されている。このため、市の大半の地盤では埋立層の下位に火山灰による極めて軟弱な粘土層(含水比が200~500%)が堆積しており、常時から圧密沈下が大きな問題となっている。ただし、市の西部は火山岩から成る丘陵地となっているため、図-2に示したように、一般に地質的に湖沼地区、中間地区、丘陵地区の3地区に区分されている。

さて、今回の地震によりメキシコ市では建築物、上・下水道を中心に多くの被害を受けた。これらの被害は湖沼地区に限られていた(図-2に見られるように過去にも同様の地区で被害を受けてきている)。図-1からもわかるように震央から約400kmも離れているのにこれだけの被害を受けたのは驚異に値するが、湖沼地区の強震記録によると70~170gal程度の地表最大加速度でしかも卓越周期が2~4秒程度、継続時間も3分間近く続くものもあり、かなり強い地震動であつたようである。これに対し、丘陵地区では30~40gal程度の地表最大加速度しか生じてなく、いかに湖沼地区の増幅度が大きかったか物語っている。増幅度が大きかった理由としては、①地表面から約30mの深さまで表-1に示したようにVs=40~80m/秒といった超軟弱層が堆積していること、②基盤が盆状構造となっていること、などが挙げられる。なお、湖沼地区内でも被災、無被災建築物が隣接しており、建築物の被害には耐力や周期特性も大きな要因となっているようである。

建築物の被害として、上述したような振動によるもの以外に建物全体が沈下(最大で1m余り)したのも見受けられた。その実態および原因について現地ですべて聞いてまわつたが明らかにでき

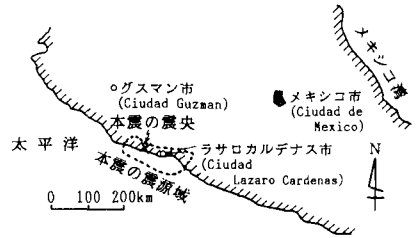


図-1 調査箇所位置図

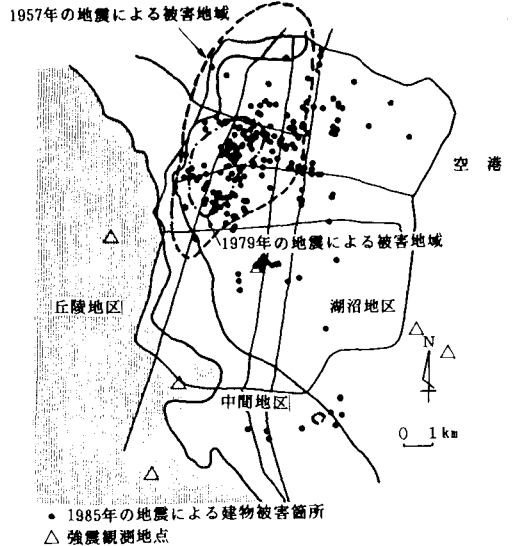


図-2 メキシコ市の被害と地盤区分³⁾

表-1 ラテンアメリカンタワーでのVs²⁾

ENGINEERING PHYSICAL PROPERTIES OF SUBSOIL MATERIALS L.A.T. SITE				
DEPTH m	CLASSIFICATION	Wn %	Vs m/sec	
5.55	FILL	55	77.5	
9.15	BECERRA	85	117	
15.80	SILTY CLAY I	300	42	
18.50	CLAYEY SILTY SAND	42	83	
19.80	SILTY CLAY II	320	56	
23.65	SILTY CLAY III	200	62	
27.20	SILTY CLAY IV	273	62	
29.10	SILTY CLAY Va	248	78	
33.50	SILTY CLAY Vb	300	78	
38.20	TARANGO SAND I	42	150	
41.55	TARANGO SILTY CLAY Ia	174	88	
41.95	WHITE VOLCANIC GLASS	30	110	
45.25	TARANGO SILTY CLAY Ib	174	94	
47.70	TARANGO CLAYEY SAND Ia	168	140	
	TARANGO SAND II		238	

Depth numbers indicate bottom of layer

なかったため、過去の地震による実測例を図-3に示しておく。この実測に関しZeevaert³⁾は地震によって沈下し、さらに骨格構造が破壊してその後圧密沈下が激しくなると述べている。

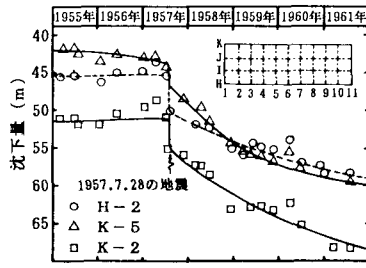


図-3 1957年の地震での沈下³⁾

3. ラサロカルデナス (Lazaro Cardenas) 市での液状化

震源域内の強震記録によると、岩盤上で140~170 gal程度の地表最大加速度が生じている。それにもかかわらずあまり多くの被害が生じなかったのは、道路や集落が海岸段丘上などの堅い地盤上に存在していたことが主な原因と言えよう。唯一、ラサロカルデナス市だけは図-4に示されるように沖積低地上に街が発達し、建築物、橋梁、工場施設等かなりの被害を受けた。特に河口付近に造られた工業団地では液状化に起因した被害も生じた。

図-5は最も河口にある Fertimex 社の敷地での噴砂とクラックの発生箇所を示している。この液状化により、レールや水路の蛇行・沈下、直接基礎建物の床の沈下などの被害を受けた。ただし、工場建設前の1979年の地震時に図-5に示されるような液状化が生じたため、タンク等の構造物では対策としてクイ基礎が用いられており、それらは今回被害を受けなかった。

図-5に示したA-A'線上の断面図で液状化簡易判定(道路橋示方書の方法による)を行ってみると図-6となり、液状化発生区域では地下水位以下の沖積砂層の一部が液状化したものと推測される。

4. あとがき

まえがきでも述べたように、本報告は土木学会のメキシコ地震調査団として調査を行った結果の一部を示したものである。

団長の東大生研片山恒雄教授他、御協力をいただいた関係各位に感謝する次第である。

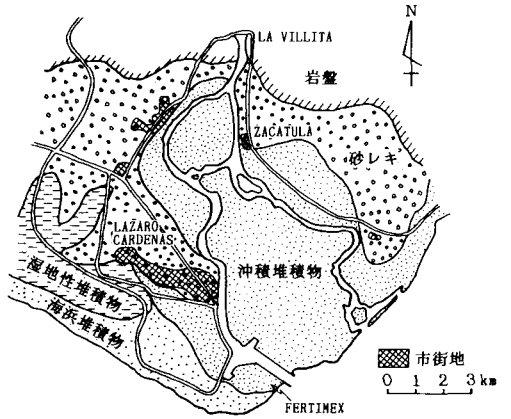


図-4 ラサロカルデナスの地質図⁴⁾

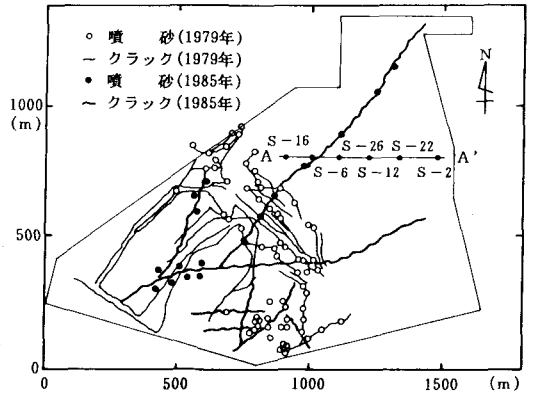


図-5 Fertimex 社での液状化状況⁵⁾

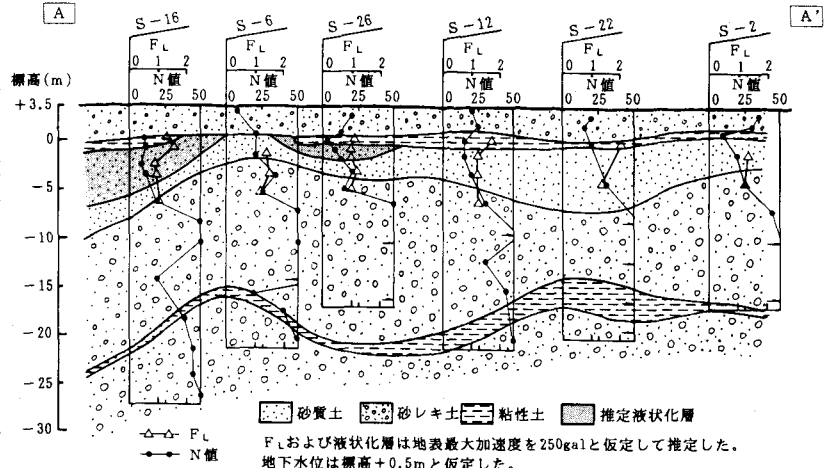


図-6 A線に沿った土層断面図⁶⁾と液状化解析結果

5. 参考文献 1) Inst. de Ing. de la Univ. Nacional Autonoma de Mexico: EL Temblor del 19 Septiembre de 1985 y sus Efectos en las Construcciones de la Ciudad de Mexico, 1985. 2) L.Zeevaert: Strong Ground Motions Recorded during Earthquakes of May 11th and 19th, 1962 in Mexico City, Bul. of the Seismic Soc. of America, 54-1, 1964. 3) L. Zeevaert: Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions, Van Nostrand Reinhold Comp., 1972. 4) J. Meyer C.: Antecedentes, Reunion Nacional de Mecanica de Suelos, Soc.Mexicana de Mec. de Suelos, 1982. 5) G. Lopez R.: Cimentaciones, 同上 6) Jose L. Lara A: Estratigrafia y Propiedades, 同上

鹿島建設㈱ ○三村長二郎, 基礎地盤コンサルタンツ㈱ 安田 進
 東京工大 大町達夫, 豊橋技術科学大 河邑 真, 国鉄鉄道技研 中村 豊

1. まえがき

別報²⁾で示したように、1985年9月19日に発生したメキシコ地震(Ms=8.1)により、メキシコ市や震源域を中心に建築物等に多くの被害が生じた。その他に、報道がほとんど行われなかったがかなりの被害を受けた街として震央から約200km北西に位置するグスマン(Guzman)市が挙げられる。特にここでの被害は地盤に段差が発生したことによるものが主であり、特異な現象であった。

筆者達は土木学会の調査団の一員(地震動と地盤関係担当)として現地を訪れ、調査を行ったので以下に報告したい。

2. グスマン市付近の地形、地質と被災状況

グスマン市はメキシコ市と同様に高地(標高約1500m)の盆地に発達した街である。周囲にいくつかの火山を配し、カルデラ状の地形を呈している。図-1に示すように市街地はこのカルデラの東の縁に沿って発達しており、東側には急な斜面が隣接している。また、地質図によるとカルデラの縁によくみられるように地下には正断層が存在するようである。ただし、図-1は1/5万の地形図上に1/20万の地質図を拡大して描いたため、断層の位置は不正確である。

さて、グスマン市では地震により家屋(大半がアドベやレンガ造の1階建て)や教会、上・下水道、道路が多くの被害を受けた。また、東側の斜面で1箇所崩壊が生じた。図-2には水道管の被害箇所を示すが、特にI-I'線上に被害が集中している。現地の人のお話によると、この線に沿って地割れが生じたとか、断層が発生したとのことであったが、筆者たちが踏査した感じでは、西側部分が40~50cm程度沈下して段差が生じたと言った方がよいと感じられた。この段差上の建物や道路はほとんど被害を受けていた。

3. 常時微動測定による地盤構造の推定

グスマン市では大きな構造物もなく、ボーリング資料もないため、地盤構造を推定するために図-2に示した東西に横切る測線上で常時微動観測を行ってみた。使用した微動計は日本から持参したもので、直交3成分の振子はいずれも固有周期1秒であるが、電氣的に周期を調整し5秒計として使用できるようにしたものである。

測定結果のうち水平成分のスペクトルをまとめて図-3に示す。この図から、各測定における微動は3秒ないし4秒のやや長周期成分と、1秒以下の短周期成分から成り、両者の強度や比率は地点間でかなり異なっていることがわかる。すなわち、やや長周期成分はP1(岩盤斜面上)からP4までの測点でほぼ同程度の振幅レベルであり、P6から西部で振幅が急増している。やや長周期成分は比較的深い地盤構造と密接な関連があ

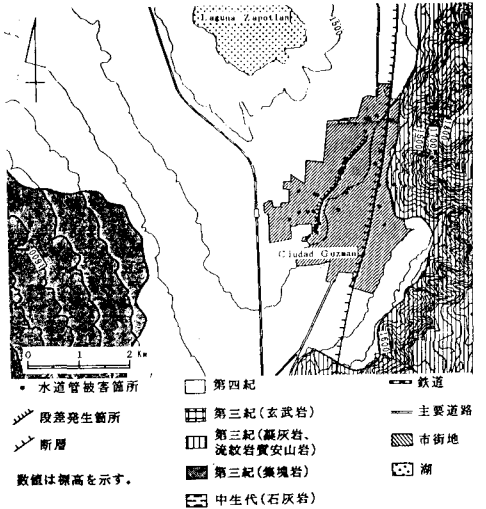


図-1 グスマン市付近の地形、地質

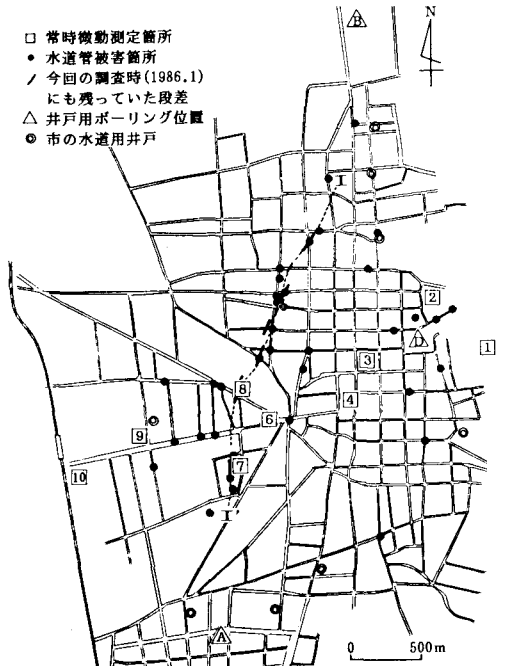


図-2 グスマン市の水道、地盤被害箇所

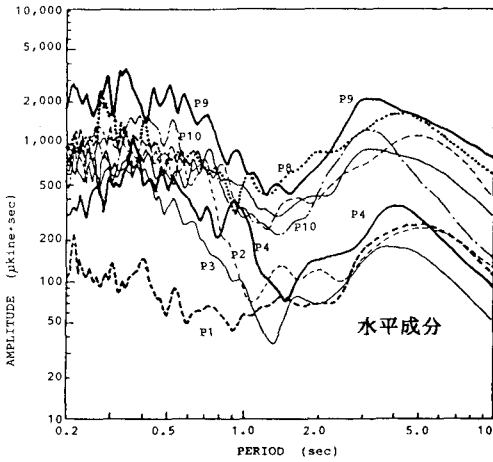


図-3 全地点の微動速度のフーリエスペクトル
 ため、堆積層の厚さ(基盤の深さ)は東→西へと急増し、特にP6付近(つまり段差の生じた付近)より西で厚くなっていることが推察される。

図-4には2階建ホテルの2階フロアで測定した微動スペクトルを示すが、0.4秒付近にピークを示している。図-3によるとこのような短周期成分はP1以外の地点でほぼ同程度のレベルであるため、地震動そのものが建物の被害に与えた影響は、市内の各地点で大差がなかったのではないかと推察される。したがって、逆に特にI-I'線上に建物の被害が多かった原因は、上述の段差による強制変形に起因していると言えよう。

4. 段差が生じた理由の考察

常時微動測定結果による地盤構造の推察に加え、井戸の掘削時の状況、地質図などの情報から東西方向の地層断面図として図-5のようなものが考えられる。まず、基盤がかなり深く、メキシコ市と同様に基盤が盆状構造になっていたことが、市全体に被害が多かった(周囲の他の街ではあまり被害なし)ことに関係していると思われる。また、段差が生じた理由は地下の正断層に起因しているのではないかと考えられる。つまり、この断層のために西側は東側に比べて地表面が低くなり、その上に火山灰が堆積してゆく過程で西側が低湿地になり易く、地下水の汲み上げや地震動などによって沈下し易い土性となっていたのではないかと考えられる。また、カルデラの陥没の進行にともなって、火山灰層内にも断層が生じていたことも考えられる。なお、この線の延長(図-2のB)にある高校では地震と関係なく陥没が発生したことがあったり、また、昔からの言い伝えでこの線上では“地盤が割れている”という話もあるようである。

5. あとがき

本調査にあたり、土木学会のメキシコ地震調査団(団長は東大生研片山恒雄教授)の関係者各位にお世話になった。また現地では Augustin Naitoh 氏に案内していただき、図-5の作成にあたっては国土庁粉倉克幹氏に御教示いただいた。これらの方々に感謝する次第である。

6. 参考文献 1) 安田他:1985年メキシコ地震による被害と地盤の関係(その1), 本講演概要集, 1986.

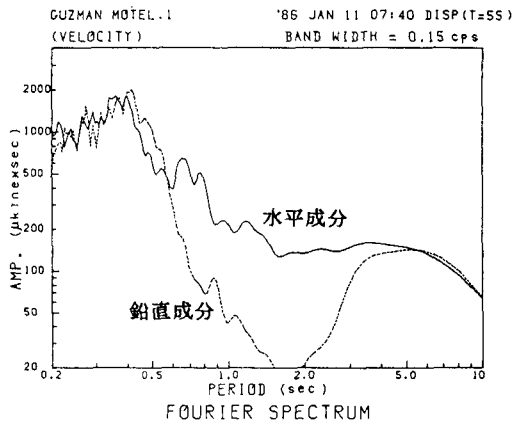
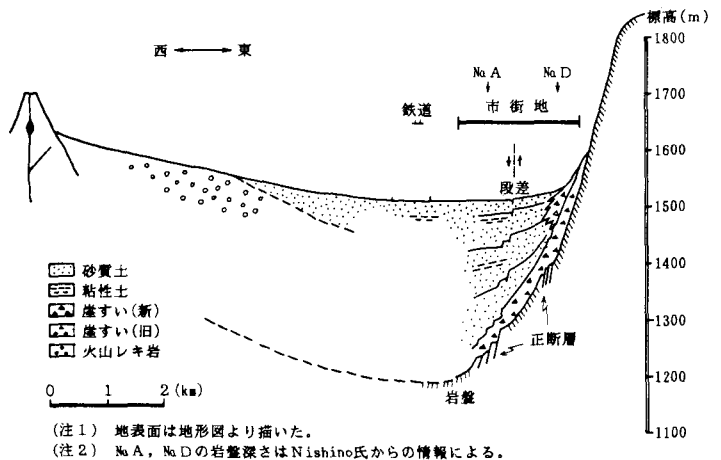


図-4 建物上でのフーリエスペクトル



(注1) 地表面は地形図より描いた。
 (注2) No. A, No. Dの岩盤深さはNishino氏からの情報による。

図-5 グスマン市の推定地層断面図