2017 メキシコ地震
被害調査報告

建築研究所　中村聡宏、小豆畑達哉

調査日程

日程	概要	カウンターパート
2017.11.28	AM: CENAPRED訪問とヒアリング PM: 現地調査 （中央部、ホテル周辺）	Carlos Gutierrez部長 Oscar Lopez部長 研究職員5名
2017.11.29	現地調査（南部）	Leonardo Flores氏 (CENAPRED) Luis Fernando Jerez氏
2017.11.30	現地調査（中央部）	Felipe Bennetts氏 (CENAPRED) Luis Fernando Jerez氏
2017.12.01	現地調査（中央部）	Victor Vargas氏 (CENAPRED) Luis Fernando Jerez氏
2017.12.02	現地調査（中央部）	
2017.12.03	資料整理等	
2017.12.04	メキシコ自治大学（UNAM)訪問	Sanchez Sesma教授（地震学） Alcocer教授
2017.12.05	JICA-メキシコ政府共催セミナー	

地震概要

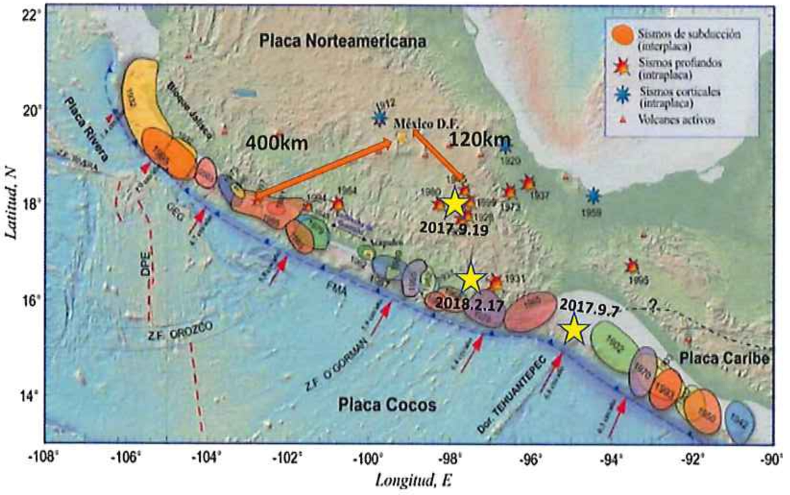
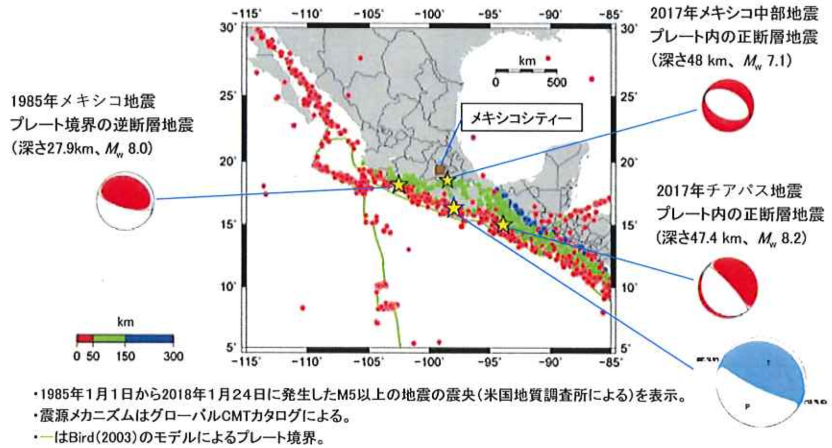


Figura 5.3. Localización y áreas de ruptura de los sismos más importantes ocurridos en México (Tomadade V. Kostoglodov y J. F. Pacheco, 1999).

地震概要

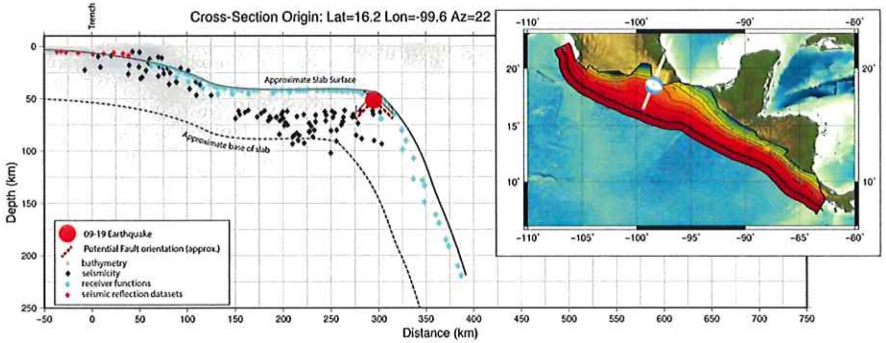
1985年9月19日メキシコ地震、2017年9月7日チアパス地震、2017年9月19日メキシコ中部地震の震源位置・震源メカニズム



・1985年1月1日から2018年1月24日に発生したM5以上の地震の震央（米国地質調査所による）を表示。
・震源メカニズムはグローバルCMTカタログによる。
・—はBird(2003)のモデルによるプレート境界。

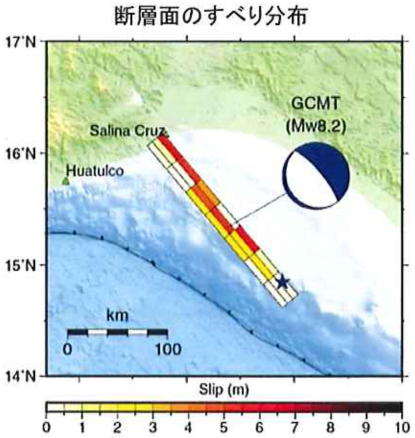
2017年9月19日メキシコ中部地震の位置と深さ断面図

（米国地質調査所HPより）



https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us2000ar20#executive
https://earthquake.usgs.gov/archive/product/general-text/us2000ar20-1505849559904/admin/1506098921824/mex_09.19.17_simple.jpg

津波波形インバージョンによる2017年チアパス地震の断層モデル

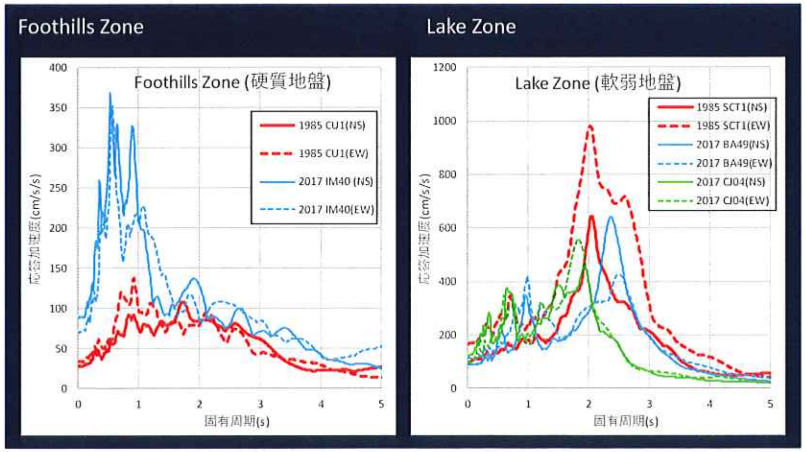


プレート内地震，北東傾斜の高角正断層
約6 mの最大すべり，Mw=8.2

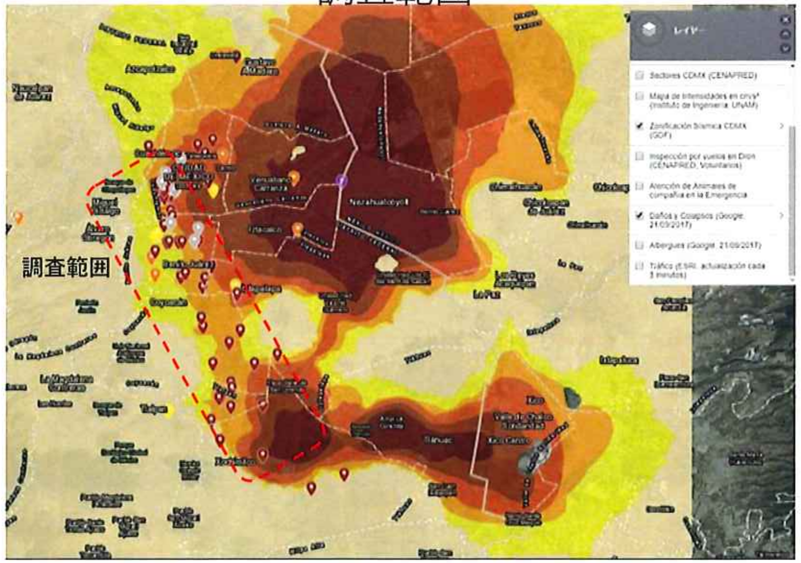
Adrinano, Fujii, et al. (2017, PAGEOPH)より

強震動

1985年メキシコ地震と2017年メキシコ中部地震の比較



調査範囲



https://cenapredmx.maps.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=3b89ea9bc2cc4f20affb802abcdcaeab

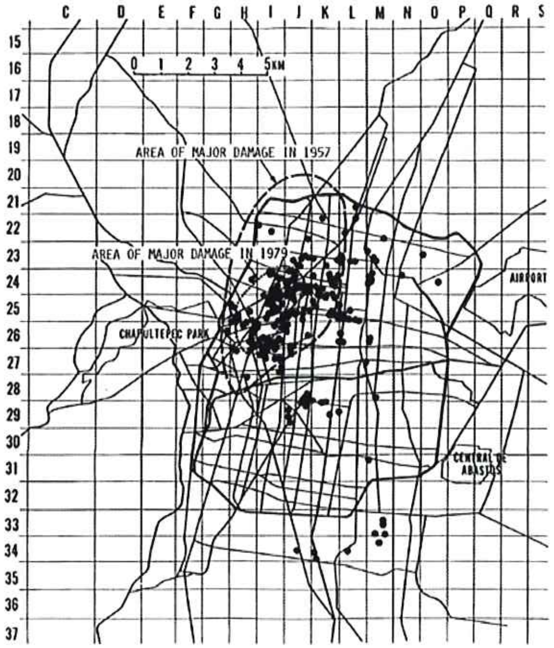
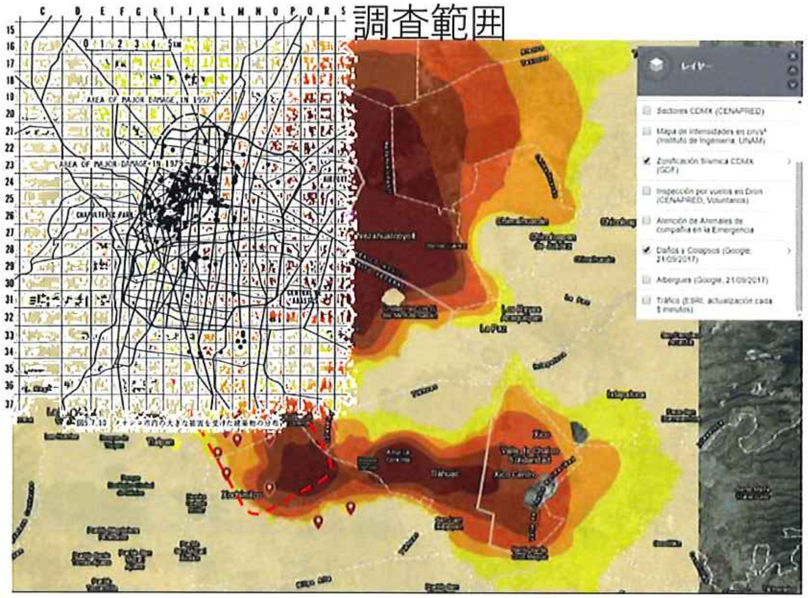


図5.7.10 メキシコ市内の大きな被害を受けた建築物の分布

日本建築学会：1985年メキシコ地震災害調査報告、1987

調査範囲



https://cenapredmx.maps.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=3b89ea9bc2cc4f20affb802abcdcaeab

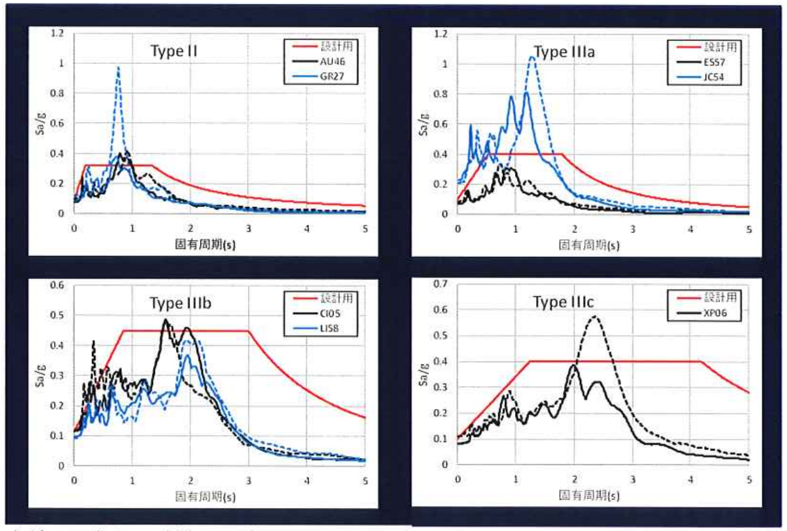
調査建物

※本資料で報告するもの

6km

観測点名称	地盤区分
AU46	II
CI05	IIIb
ES57	IIIa
GR27	II
JC54	IIIa
LI58	IIIb
XP06	IIIc

加速度応答スペクトル



実線: NS成分、破線: EW成分

建物1

- RC造2階建て建物
- 1985年以前の設計

建物2

- RC造７階建て建物
- 1960年代の設計
- 隣接する建物は衝突による被害

建物3,4

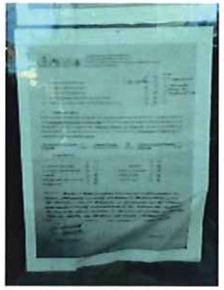
10FRC

4FRC

- 倒壊した建物の多くは1985年以前の古い設計
- 上層階が崩壊する事例も多くみられる
- すでに除去が進んでおり、衝立等により詳細な調査が難しい事例も多い。

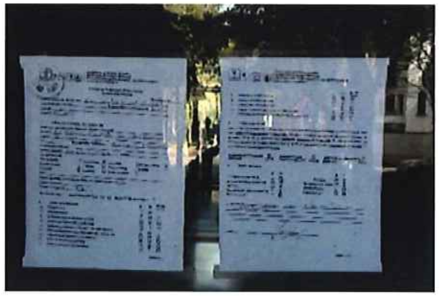
建物5 (12FSRC)

建物6



応急危険度判定結果：黄色（非構造壁のひび割れ等）

建物7(9FRC)

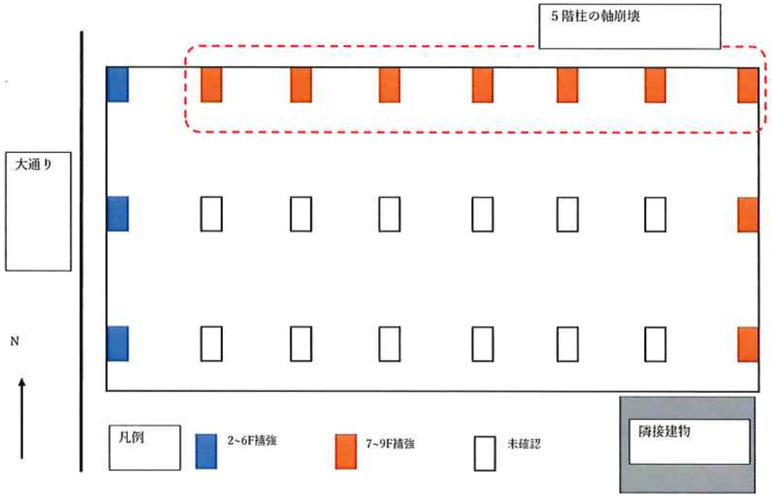


応急危険度判定結果：緑（非構造壁のひび割れ等）

地盤変状が見られたが、地震によるものかは不明である。

建物８(9FRC)

建物８(9FRC)



建物８(9FRC)

建物9

- 1974年建設、フラットスラブ
- 1985年地震で組積壁にクラックが入った程度→1985年緊急告示に対応した補強

PMFSEL96-3, Rehabilitation of existing reinforced concrete buildings in mexico city, 1996

免震建物

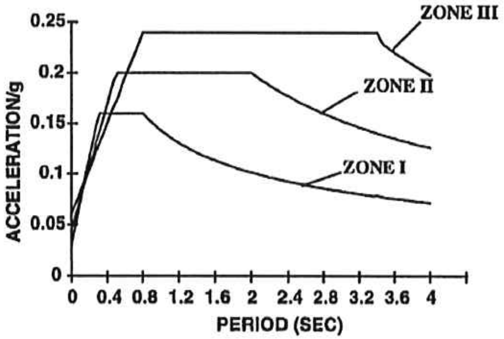
- 2016年に建設された中間層免震建物
- 下層（PC造、ショッピングモール）と上層（S造、ホテル）の間に免震層が設けられている。
- 免震層には鉛プラグ入り積層ゴムを使用
- 設計で想定する免震層最大変形は30cm
- 今回の地震で、5cm程度の変位（周囲の痕跡より）
- 免震建物は市内に１棟

制振建物

- 粘弾性ダンパーによる耐震改修を行っている事例
- メキシコシティでは免震よりも適用事例は多い。

規基準変遷

- 1942年に耐震基準を初めて制定(ベースシア係数0.025、病院は0.05)
- 1957年（地盤種別、建物用途、構造種別による区分の導入、逆三角形分布、許容応力度）、1966年（動的解析法（モーダルアナリシス）の採用、地盤種別、建物用途、構造種別による区分の見直し）、1977年（終局設計法の導入、地盤種別、建物用途、構造種別による区分の見直し、靭性係数Qの導入）に改訂を行った。



規基準変遷

- 1985年の地震を受け、同年10月に緊急基準が公布された。ベースシア係数が約1.5倍に増大され、靭性係数は上限が6から4に制限された。実質の要求性能は2〜3倍になったと思われる。
- RC構造に関しては、柱の最小径は30cmとなり、せん断補強筋間隔も厳しくなった。主筋についても、間隔が15cm以下となり、補強筋径も#3以上とされた。
- 強度低減係数はQ=2の時に脆性部材で0.75から0.5に、靭性部材で0.85から0.6に低減された。
- 簡易静的解析による評価が適用できる範囲は13mから8.5mとなった。

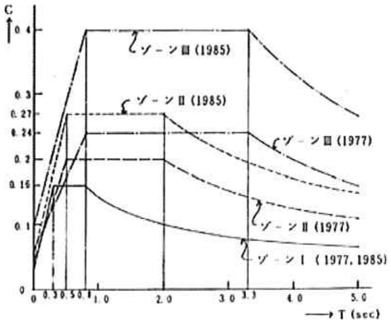


図2.5.2 ベースシア係数（1977年度版および1985年度版）

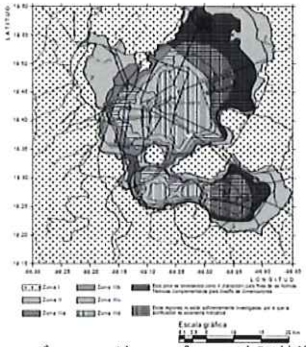
日本建築学会：1985年メキシコ地震災害調査報告、1987

規基準変遷

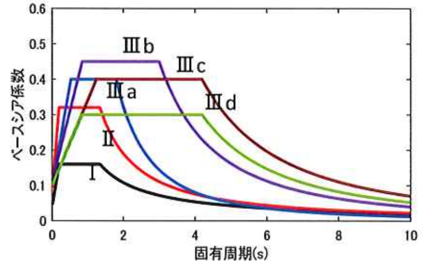
- 1987年に改訂された。
- ベースシア係数はSoft: 0.4、transition: 0.32、hill:0.16とされた。
- 重要構造物（Group A)については、重要度係数が1.3から1.5に引き上げられた。
- 靭性係数は、Seismic Behavior Factorと名前を変え、最も小さい靭性係数を全層にわたって採用することを規定した。
- 付録には、地盤と建物の動的相互作用を考慮した解析について記載された、ここでは、地盤の固有周期が考慮される。また、基礎の設計に関しても地震被害に基づいて規定された。
- 強度低減係数（保証設計）が強化された。せん断部材は0.8から0.5に、曲げ圧縮部材では0.85から0.6となった。

規基準変遷

- 2004年に改訂された（最新版）
- 地盤種別について見直しが行われ、ZoneI (硬質)、ZoneII(Transition)、ZoneIII(Soft Soil)に分類され、ZoneIIIはさらに細かく4つに分類される（計6分類）
- それぞれの地盤に対してベースシアが規定されている。



ゾーニングマップ(2004改訂基準)



損傷を許容する場合、さらに靭性係数Qを乗じる
オーバーストレングスファクターの解釈については今後調査予定

- 2017年12月に、耐震補強・改修に関する基準（Rehaviritation Standard)および各種構造に関する緊急規準（Reconstruction Standard)が施行された。

CENAPREDヒアリング

- 応急危険度判定はCENAPREDで実施した。大学の学生を主体として、チェックシートを用いて建物の応急危険度を判定し、それらをATRASマップ上に落とし込んだ。学生は必ずしも構造力学的な知識を持っているわけではないため、誤った判定を行っている可能性はある。それらについては、今後精査する予定である。
- **約300棟の建物を調査し、うち40棟程度の建物が倒壊していることを確認した。**倒壊した建物の80-90%は1985年以前に設計された建物である。また、全体の40%程は１階に剛性の低い層を有するピロティ構造である。
- 建物規模としては、**5~7階建ての建物が多かった。また、地盤条件としては、ZoneIII-aに属する建物の被害が多く確認されている。**
- 1985年以降の建物でも一部倒壊が報告されているが、基準を満たす設計が行われていなかったり、基準が対象としていない特殊な構造である場合がほとんどである。

CENAPREDヒアリング

- **耐震補強した建物では、被害はほとんど確認されなかった。**1棟だけ、部分的な補強を行ったオフィスビルにおいて、部分崩壊した事例がある。
- 高層建築物では大きな被害は確認されていない。30階建建物において、S造建築物と隣接するRC造建築物の間のエキスパンションジョイントでの被害は報告されている。
- 2004年に建設された建物で、オフィスから工場に用途変更された建物が倒壊した事例がある。ただし、この建物は地震発生の２０～４０分後に突然崩壊した。違法滞在する中国人が働く工場であり、設計詳細は確認できていない。
- そのほかにも4棟ほどで、地震後ある程度の時間が経過したのちに突然崩壊した事例が確認されている。いずれも1985年以前の設計であると考えられるが、なぜそのような事象が起きたかはわかっていない。（youtubeにいくつか動画あり）

CENAPREDヒアリング

- 構造図面については、入手が基本的には困難である。設計図面がある場合もあるが、構造図面がない場合は多い。特に、大きな被害を受けている建物はそのような図面を備えていない場合が多い。
- メキシコの構造技術者協会？（SMIE）でも独自の被害調査を行ったことが報告されている。
  http://www.smie.org.mx/
  https://www.google.com/maps/d/embed?mid=1PXMeBskK1rA21-C4A2zKUa87-7k&ll=19.384810196030436%2C-99.06890251386716&z=13
- 下記サイトにて、設計基準のPDFが公開されている。州ごとに決められている。設計基準は、1985年の地震の直後に緊急措置が取られた後、1987年に改訂された。さらに、2003年の地震の被害を受けて2004年に改訂され、これが現行の最新版となっている。
  下記サイトの右側メニューのReglamentosu De Construccion > Ciudad De Mexico
  http://www.smie.org.mx/informacion-tecnica/reglamentos-construccion-mexico.php

UNAM訪問

Sesma教授

Alcocer教授

UNAM訪問(Sesma 教授)

- 1985年当時は10個程度のステーションがあり、地震を記録している。Michocan地震を含む、M6.9～8.1の規模の地震の記録を収集分析し、設計用応答スペクトルの修正案が考えられている。2017年では70のステーションがある。
- SoftSoilであるSCT観測点の記録では、2017年よりも1985年のほうが高い応答スペクトルとなる。一方で、Firm GroundであるCU観測点では、1985年に比べて2017年のほうが大きな応答スペクトルとなった。
- 2017年の地震で、HillZoneのTP13では、速度は設計用スペクトルと同等であるが、加速度は設計用よりも小さくなっている。Transition ZoneにあたるDX37では、1Hz付近での増幅が大きい。Lake ZoneにあたるNZ31では、長周期動が若干みられるがそれほど大きくない。
- 設計用加速度応答スペクトルについては、特に短周期側での勾配を大きくする（始点を高く設定する）ことが必要ではないかと考えている。

UNAM訪問(Alcocer教授)

- Building Recoganization and Rehabuilitation のための活動を行っている。Reconstruction Committee を設立した。志賀マップに代表されるような簡易な方法での診断方法を検討している。
- メキシコシティには、27万棟のビルがある。そのうち、耐震改修が行われているは10%にも満たないと推察される。まずは建物やライフラインの性能についての調査を行いたい。学校建物は5万棟ほどあり、これから改修される動きはある。そのほかにも戸建て住宅が18万棟はあり、それらまでカバーするのはすぐには難しい。
- Rehabilitation Standardが本日査読対応を終えたので、公開される予定である。また、各種構造の新たなBuilding Codeも近日中に公開される。（未確認）
- 今回の問題は、迅速かつ正確な応急危険度判定が行えなかったことにあり、今回のStandardでは、皆が統一して評価できるように配慮している。
- メキシコシティでは、免震よりもダンパーのほうが好まれている。特に座屈拘束ブレース
- 耐震改修に関する補助金については、Principle costは政府が支給し、Increse cost (Option)は住民が負担するような仕組みを考えている？

今後の予定

- 建築学会とも連携しつつ、地震動特性と建物被害との関係、耐震基準の有効性、耐震補強の効果等について、さらなる検討、分析を実施する。
- 耐震改修の促進等、当地における今後の防災対策の動向について、情報入手を継続して行う。