

メキシコ地震 1985 から兵庫県南部地震 1995 の頃

A MEMORY OF THE 1985 MEXICO EARTHQUAKE AND THE 1995 KOBE EARTHQUAKE

瀬尾 和 大
Kazuoh SEO

Among a number of damaging earthquakes we have met during 1985 through 2000, the author will remind that the 1985 Mexico earthquake and the 1995 Hyogoken-nanbu (Kobe) earthquake would be the most impressive and the most important ones for our research works on engineering seismology and earthquake engineering. Because these two earthquakes brought us lots of important research aspects, such as (1) the importance of observing earthquake ground motions, (2) the importance of quick distribution of observed data to the related researchers, and (3) the importance of considering local site effects on earthquake motion. At the same time, we have found (4) the importance of international joint works to discuss individual local site effects among earthquake countries with different site condition.

1. はじめに

今、地盤震動シンポジウム 50 周年を迎えるにあたり地盤震動小委員会とともに歩んできた 1985 年から 2000 年までの 15 年間の振り返りとして^{表-2}。この間に経験させていただいた出来事を筆者なりに思い起こしてみると、この期間（実際には 1984 年から始まる 15 年間）は、それまでの先輩がたの尽力のお蔭で、地盤震動研究が一気に花開いた 15 年間であったことに思い至る。地盤震動研究は常にその間に発生した被害地震を抜きにして語ることはできないが、この 15 年間について云えば、国の内外に多くの被害地震が発生している中で、2つの被害地震、すなわち 1985 年メキシコ地震と 1995 年兵庫県南部地震の中にその当時の研究の特徴が非常によく現れているのではないかと考えている^{表-3}。

2. 1985 年から 2000 年の頃の地盤震動研究の動向

地盤震動シンポジウムを企画運営している地盤震動小委員会の主な役割は、日本建築学会の中にあつて、建築物の耐震設計に必要な設計用入力地震動に関する最新の知見を設計技術者に提供することにある。そのためには、地域のサイスシティや建設サイトの地盤条件を考慮して強震動を合理的に予測する必要がある、以前から地震学の専門家にも委員会メンバーに加わっていただき、工学と理学に跨る中間領域の研究情報交流に力を入れて来た経緯がある。このような活動の中で、地震観測記録や地盤調査データが実は他から与えられるものではなく、自ら取りにゆくべきものとの考えが次第に芽生え、定着してきたように思われる。このような考えはたびたび発生する被害地震によって少しずつ地道に培われたものであろうが、それと同時にエポックメイキングな出来事に

よって急速な展開をみる時もあるようで、それに思い当たるのはいつもかなり後になってからのようである。

地盤震動研究の動向を知る上においては、1984 年に米国サンフランシスコで開催された第 8 回世界地震工学会議 (8WCCEE) が正にそれであったように思われる。国際会議への参加はもちろん有意義なことであったが、それに付随してほかにも実に多くの貴重な体験をさせていただいた。一つは、後に ESG (Effects of Surface Geology on Seismic Motion) 研究グループを形成することになる研究仲間と共にサクラメントに赴き、当地の CDMG (California Division of Mines & Geology) の研究者と地震動予測のための研究プロジェクトが立ち上げられたことであった。もう一つは、研究室の仲間と El Centro 1940 や Taft 1952 など当時の耐震設計技術者にとっては三種の神器（もう一つは Hachinohe 1968）と呼ばれた著名な強震記録が観測された現場を訪問して当地の地盤環境を確認し、メキシコにも足を延ばして、メキシコ国立自治大学 (UNAM) のエステバ教授を訪問し、1965 年のメキシコ (オアハカ) 地震後に再建されたメキシコシティを見せていただいたことである。

後に述べる 1985 年メキシコ (ミチョアカン) 地震が発生したのはその翌年のことであり、末尾の年表^{表-3}にも見られるように、その後の 10 年間には国内と国外を含めて毎年のように被害地震が発生したため、国際共同研究や情報交流の機会は急速に増えていった。そしてこの間の地盤震動シンポジウム^{表-2}でタイムリーな研究課題が選定され、充実した議論が行われてきたのは、それらの被害地震によって得られた新たな知見がそのつど取り入れられてきたからであり、それらを相互に比較すること

で一層の理解の向上が図られてきたからである。1985年メキシコ地震や ESG 研究を経験した当時の地盤震動小委員会では、委員会活動の成果も海外に向けて発信する必要があるのではないかと議論があり、1989年の地盤震動シンポジウム『微動の工学的利用について—その現状と可能性—』の資料集増補版³⁾に英文解説を追加し、1993年には地盤震動小委員会設立20周年の記念出版『地震動と地盤条件』⁷⁾を英文で刊行するなどの試みもあった。以下では1985年メキシコ地震と1995年兵庫県南部地震に注目して、その当時とくに議論された幾つかのことがらについて思い起こしてみたい。

3. 1985年メキシコ地震

1985年9月に発生したメキシコ地震はわが国の地震工学の研究者にとっては一大事であった。それは軟弱地盤で知られるメキシコ盆地に被害が集中したこと、得られた強震記録がいち早く公開されたこと、それによって地震動特性と地盤条件や建築被害との関係が注目されたことにあるが、わが国から700人以上とも云われる多数の調査団が派遣されたことからその関心の高さを伺い知ることができる。公的には国際協力事業団(JICA)と建設省建築研究所が積極的に働いて、被災建物の耐震補強等の技術移転に貢献し、UNAM構内にメキシコ地震防災センター(CENAPRED)を開設している。また現地調査の成果は、各関連学会が調査報告会を開催して公開し²⁾、翌年の地盤震動シンポジウム³⁾にも反映されている。

地震直後には、地震被害の特徴としてなぎさ現象(被害が盆地端部に集中する傾向)や長周期地震動のことが注目されていたが、現地調査を通じて東京首都圏の長周期地震動の問題とは性質を異にしていることが次第に明らかになった。それは主に微動測定における卓越周期が場所によって簡単に変化することから、ごく表層の軟弱地盤が長周期成分を励起していることが推察されたことに依っている。他の調査グループと同様に、筆者らの研究グループでもメキシコ盆地を横断する微動測定を行い、盆地の地盤卓越周期分布図を作成して、建物の被害分布を比較的よく説明できることを確認している。UNAMのローゼンブルース教授は測定結果と共に高感度の微動測定機材にたいへん興味を示されていたが、当初は微動を極微小地震と誤解されていたようであった。また、メキシコ盆地の微動に現れる長周期成分の中に人工的振動源に伴う常時微動(金井微動)と脈動が混在していることも、連続観測による微動の日変化と地下鉄の運行状況や気圧変化との関係を調べることによって確かめることができた。わが国の調査団の努力によって、微動研究の重要性は海外でも広く認知されるようになり、その後カリフォルニア・スタンフォード大学で開催された第4回サイスマック・ゾネーション(Seismic Zonation)国際会

議⁵⁾では微動研究だけのセッションが設けられたことも指摘しておきたい。因みにこの国際会議は、シアトル・ワシントン大学のシェリフ教授による造語 Seismic Microzonation と共に、1972年から不定期で開催されている国際会議のことである。また、1989年には地盤震動シンポジウム³⁾でも『微動の工学的利用』をテーマに取り上げている。

それはともかく、サイトの地盤特性が強震記録に強く反映されることが海外の研究者に広く認められるようになったことは1985年メキシコ地震によるところが非常に大きいと思われる。地震の前年に準備されていた ESG 研究はメキシコ地震によって一段と拍車がかかり、その後のカリフォルニア・ターキーフラットと神奈川県足柄平野での地震動予測(blind prediction)へと繋がってゆくことになり、ESG研究は京大防災研・入倉孝次郎教授や東大地震研・工藤一嘉助教授のリーダーシップによって大いに盛り上がった⁴⁾⁶⁾。

もう一つ、個人的なことを加えさせていただくと、このメキシコでの地震時サイト特性の研究はメキシコの宗主国でありながら地震経験の少ないスペインの研究者にも注目されることとなり、わが国の研究者がメキシコで何をしてきたのか紹介するようにと筆者に要請があった。そして1990年にグラナダ大学においてメキシコ地震についての集中セミナーを実施したところ、さらにわが国の研究者との継続的な研究情報交流を求められたため、1992年にはマドリッドで第10回世界地震工学会議(10WCEE)が開催された機会に、日・西の研究者による地域交流会をグラナダ大学で開催し、10WCEEに参加しておられたわが国の研究者にも多数参加していただいた。この交流会は地盤震動小委員会が建築学会年次大会時に開催している地域交流会からヒントを得たものであったが、この研究交流ではその後も微動観測やS波探査などのフィールドワークを共同で実施し、途中からUNAMの研究者も加わって、日・西・墨で交互に国際ワークショップを行って現在に至っている。

以上のような多岐にわたるメキシコ地震関連の調査研究の中で特に印象に残ったことがらについて、写真と図表を用いて以下に提示しておきたい。

4. 1995年兵庫県南部地震

メキシコ地震から10年後に発生した1995年兵庫県南部地震は、地震災害研究に携わるわが国の研究者にとってはメキシコ地震以上の衝撃であった。地震の直後には情報が混乱していて、神戸・阪神地域からは情報がまったく入らず、一体何が起きているのか訳が判らなかった。建築学会の中では個別調査自粛の話もあったが、どうしても我慢できずに4日後、阪急電車で西宮北口から被災地に入った。最初の1日で、新幹線高架橋の崩壊

現場や神戸市東灘区の阪神高速3号神戸線の転倒現場、そして国道2号線沿いの戸建て住宅や木造アパートが軒並み圧壊した様子を見たことで、頭の中はすでにパニック状態に陥っていた。新幹線や高速道路といった最先端のインフラ施設の被災状況は無残というよりは無様で、地震力に抵抗した痕跡が全く認められず、これまで学んできた耐震工学や地震工学が一体何だったのか判らなくなってしまう¹²⁾。

被害調査がひと段落してから学会等の場では、震災の帯（被害の激しい地域が帯状に分布）の原因は直下の活断層によるものか地形効果によるものか、衝撃的な構造物被害の原因はごく短周期のパルスによるものか上下動の影響か、などの議論が盛んに行われていた。さらに、地震動の大きさが設計能力を超えているのではないかとの立場から“過大入力”という用語もしばしば耳にした。これらの問題は簡単には結論が得られるものでもなかったもので、地盤震動シンポジウムはこの兵庫県南部地震を検証するために4年（4回）を費やすこととなった⁸⁾。議論を重ねるうちに、兵庫県南部地震は何も特別の地震ではなく、震源が非常に近かったために地震動も大きく、耐力の弱い構造物が徹底的に破壊されたことが解かってきた。特に1997年の3回目の地盤震動シンポジウムでは、建築構造の専門家をお願いして、地震動入力の問題ばかりでなく、建築構造の方にもまだまだ不明の点が多く残されていることについて講演していただいた。この3回目なしに兵庫県南部地震の総括はできなかつたであろうと今でも思っている。

ところで兵庫県南部地震の直後にも多くの研究者が一致協力して、建築学会近畿支部が主導する建築物の被害調査とは別に、表層地盤のサイト特性が地震動に及ぼす影響についての調査研究が進められた。これには10年前のメキシコ地震で培われた研究方法が役立っていたのではないと思われる。この兵庫県南部地震においても被害地域で観測された強震記録が関西地震観測協議会（関震協）によって即座に公開されたため、強震記録を用いた研究は活発に行われ、とりわけ地震の発生メカニズムや震源モデルを用いた強震動予測の研究が著しく進展することとなった。また科学技術庁防災科学技術研究所はわずか1年後にK-NETと称する全国1000点の強震観測網を敷設して観測記録を一般に公開し、気象庁も震度計を全国展開して、人体観測から計測震度に切り替えたことも兵庫県南部地震後の特筆すべきことであった。

ついでながら筆者がこの兵庫県南部地震の調査研究の中で特に印象に残った点についても少し触れさせていただきたい。その一つは、地下構造探査のために大阪北港を震源とする爆破実験が実施された際、六甲山・ポートアイランド間で観測した記録に、六甲山の壁に撥ね返

された反射波が見事に記録されていたことであった。この六甲山系の強固な鉛直の壁は、地震の際に現れた『震災の帯』とも深く関係しているのではないかと思われた。もう一つは、地震で被災した構造物の被害方向が決してでたらめではなく（ほとんど例外なく）、一連の震源断層の北東側では北西方向に、震源断層の南西側では南東方向に、構造物が倒壊や移動を起こしていたことである。このような現象を説明できる最も単純な震源モデルは、両者の中央に点震源を置いた右横ずれのダブルカップルを考えれば良いのであろうが、その当時すでに研究上の主流となっていた移動震源モデルによってそのような現象の説明がはたして可能だったのかどうか、今でも疑問に感じている次第である。ほかにも筆者らのグループでは、地震動の強さや周期特性を地下深部の構造モデルによって説明しようとしたもの、微動測定やアンケート調査を手段として地震動強さの分布を説明しようとしたもの、阪神高速の転倒メカニズムを解明しようとしたもの、新耐震の施行（1981年）を挟んで建設された2棟の集合住宅に着目し、それらの被害程度の違いを構造解析によって確認しようとしたもの、淡路島北淡町における救助活動の動態調査を地域に密着して行おうとしたもの等々、多岐に亘る研究課題に取り組み悪戦苦闘していた¹¹⁾¹²⁾。

それはそれとして、兵庫県南部地震で一番気がかりだったのは、鉄道や道路の復旧が非常に速かったのに対して被災者の住宅の再建が遅々として進まず、仮設住宅が最長で5年間も存在し続けたことである。地震による直接の死者は5,500人であったが、その後、避難所や仮設住宅の中で亡くなった間接的な死者を含めて6,434人という公式記録（確定報）が残されている。最近では6,434人という数字だけが一人歩きを始め、その内訳を知ろうとする人が少ないことに危惧を感じている次第である。

以上のような多岐にわたる兵庫県南部地震関連の調査研究の中で特に印象に残ったことがらについて、写真と図表を用いて以下に提示しておきたい。

5. おわりに

1985年から2000年までの15年間における地盤震動研究をふり返り、特に記憶に残っていることを述べさせていただいた。今から考えると、なぜあれほどムキになってフィールドワークに取り組めたのか不思議な気がしている。これら2つの地震災害の中には地盤震動に関わる基本的な課題がまだまだ埋もれていると思われるので、今後とも大切にして戴ければと願っている。幸いにも地盤震動シンポジウム資料集は地盤震動小委員会のご配慮によってネット公開されているので、ぜひともご参照・ご活用願いたい。末尾ながら、これまで共に調査研究を行ってきた多くの研究仲間や委員会諸氏、文献を参照させていただいたご関係各位に深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 日本建築学会地盤震動小委員会：メキシコ地震を探る－日本の事例と比較して－，日本建築学会第14回地盤震動シンポジウム，1986.7.11.
- 2) 日本建築学会：1985年メキシコ地震災害調査報告，1987.2.25.
- 3) 日本建築学会地盤震動小委員会：微動の工学的利用について－その現状と可能性－ <増補版 英文解説付>，日本建築学会第17回地盤震動シンポジウム，1989.7.13.
- 4) National Symposium on Effects of Surface Geology on Seismic Motion, JWG on ESG, 1989.12.6-7.
- 5) The 4th International Conference on Seismic Zonation, Vol.II, Stanford Univ., 1991.
- 6) 竹内吉弘 (研究代表者)：地震動に与える表層地盤の影響に関する総合的研究，平成4年度文部省科学研究費(総合研究A)研究成果報告書，1993.3.
- 7) The Architectural Institute of Japan(AIJ)：Earthquake Motion and Ground Conditions, 1993.9.1.
- 8) 日本建築学会地盤震動小委員会：1995年兵庫県南部地震で試された地盤震動研究(その1~4)，日本建築学会第23~26回地盤震動シンポジウム，1995.-1998.
- 9) 日本建築学会：1995年兵庫県南部地震災害調査速報，1995.3.31.
- 10) 藤原悌三 (研究代表者)：平成7年兵庫県南部地震とその被害に関する調査研究，平成6年度文部省科学研究費(総合研究A)研究成果報告書，1995.3.
- 11) 瀬尾和夫：平成7年兵庫県南部地震(阪神大震災)の被害とその対応について [第1~4報]，東京工業大学第53~69回工学地震学・地震工学談話会，1995.-1999.
- 12) 瀬尾和夫：私の研究遍歴－工学地震学から社会地震学へ，東京工業大学第113回工学地震学・地震工学談話会，pp.9-21，2010.2.6.

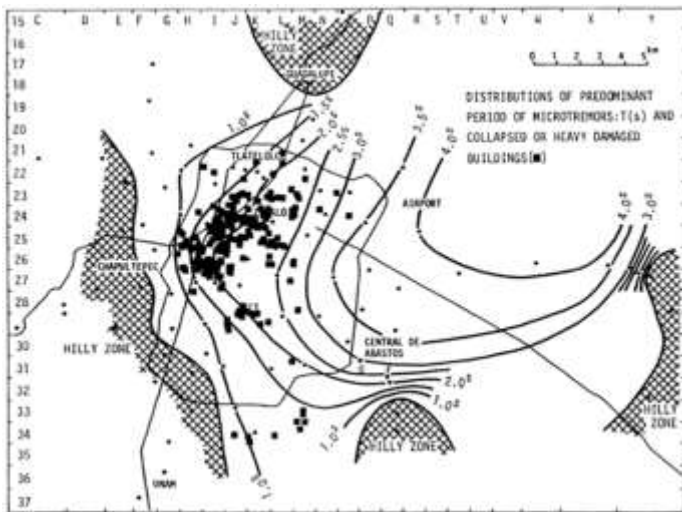


図-1 微動測定から求めたメキシコ盆地の卓越周期分布と1985年メキシコ地震の被害分布。1)~3) 主な被害はメキシコシティ中心部の卓越周期2秒前後の地域に集中していた。微動に現れた卓越周期は短い距離の間でも急激な変化が認められた。空港よりも東側の地域は特に脆弱で、真意のほどは確かではないが、夕方に放置しておいた重機が空朝壁没して消えていたという話も聞かれた。

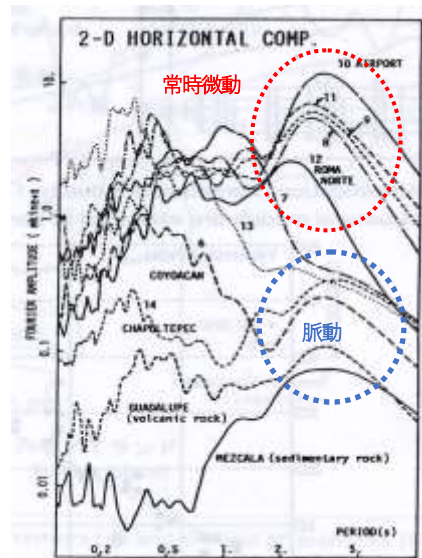


図-2 メキシコ盆地における微動のスペクトル特性。長周期微動でも軟弱地盤では人工的振動源に起因する常時微動が卓越し、硬質地盤では自然条件に起因する脈動が認められる。



写真-1 被害が甚大なトラテロコ(TLATELOLCO)団地。15階建てRC造アパートは途中から折れて倒れた。左の写真は当時の写真週刊誌 Focus からの引用によるもので、3連のアパートのうちの2棟に注目している。右の写真は奥の1棟が倒壊を免れた様子を撮影したものである。3)

写真-2 グアダルーベ(GUADALUPE)寺院裏手の岩盤露出地域。居住者の体験談によれば、地震を全く感じず地震があったことさえ知らなかった由。3)

写真-3 メキシコ国立自治大学(UNAM)の強震観測点は溶岩流の上に立地。体験談によれば、地震は感じたが被害が出るような大地震とは思わなかった由。3)