

## アメリカ合衆国における構造物と地盤の相互作用の研究の動向

Developments in Study of Soil-Structure Interaction in U.S.A.

小長井 一 男\*

Kazuo KONAGAI

## はじめに

10月7日から10月27日までカリフォルニア州内の耐震工学関係の研究機関を訪問すべく渡米した。カリフォルニア大学サンディエゴ校(UCSD)および同校に付属するScripps海洋研究所を基点とし、カリフォルニア大学バークレー校(UC, Berkeley), U.S. Geological Survey(USGS), カリフォルニア工科大学(CALTEC), 南カリフォルニア大学(USC)を訪問し、これらの研究機関で主に構造物と地盤の動的相互作用について第一線で活躍している研究者と研究情報、今後の研究動向についての意見の交換を行うことが今回の調査の目的である。Scripps海洋研究所の野上博士のお世話でUCSDの管理するアパートに居を定め、日本の9月の長雨で湿った体を乾かす。翌週よりの調査の行程はおよそ以下のとおりである。

## U.C. Berkeley (10月11~12日)

10月11日、U.C. Berkeleyを訪れる。Chopra教授に段取りを整えていただきFenves助教授、Wilson教授、R. B. Seed助教授、H. B. Seed教授と懇談。翌日、同校のRichmondキャンパスで耐震工学関係研究グループのディレクターであるBertero博士と懇談し同キャンパス内の実験設備を見学する。

## U.S.G.S. (10月13日)

CALTECに隣接するUSGSを訪問。Director of Heaton博士、Mori博士らと懇談。相互作用、地盤振動に及ぼす地形の影響について意見の交換を行った後、サンアンドリュース断層付近を中心とした地震観測システムの説明を受ける。

## CALTEC (10月14日)

J.L. Beck助教授、J.F. Hall助教授と相互作用の今後の進展を含んだ幅広い話題についてdiscussionを行った後、G.W. Housner, P.C. Jennings, R.F. Scott教授らと懇談。午後Scott教授、Beck助教授および両博士のドクターコースの学生を前にプレゼンテーションをする機会を得る。その後Centifuge(遠心力荷重装置)など実験施設を見学。

## U.C. San DiegoおよびScripps海洋研究所

(10月17日~20日, 10月24日~26日)

\*東京大学生産技術研究所 第1部

週明けの17日UCSDを訪問。野上博士、Plestrey教授、Luco教授に段取りをとっていただき、Dept. Applied Mechanicsのセミナーでプレゼンテーションをする機会をえる。この期間中、UCSDの実験施設等見学したほか地震観測で有名なImperial Valleyを訪れる。

## U.S.C. (10月23日)

ロサンジェルスダウンタウンに近い南カリフォルニア大学を訪問。土木工学科のディレクターAgabian教授、Masri, Anderson, Wellford教授らと懇談。Masri教授の案内でアクティブコントロールによる構造物の制震のアイデアの実験装置を見学。

## 考え方さまざま

何人かの研究者と意見の交換を行っていて興味深く感じたものの一つは構造物と地盤の相互作用に影響を与える地形に対する認識が私の考えていたそれと、寸法上かなり異なることである。

U.C. BerkeleyのSeed教授の第1印象は自分の考えを極めてはっきりと言い切る人ということである。理路整然と話されているのだが、日本人的な表現に慣れた私の感覚からみるといささか強すぎるくらいの響きがある。Seed教授との対談は、教授が常に抱いておられる問題意

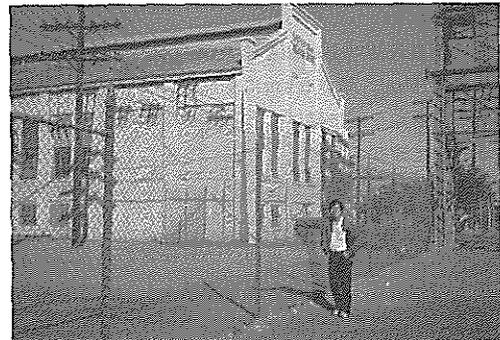


写真1 エルセントロ変電所

「人類が初めてキャッチした強震の正体」として有名なエルセントロ地震波が記録された記念すべき場所であり、現在もこの地下室に古ぼけた強震計が置かれている。この変電所のある町エルセントロは、インベリアルバレーという谷にあるが、谷とはいっても両側の山が見えないくらい広大な大平原である。

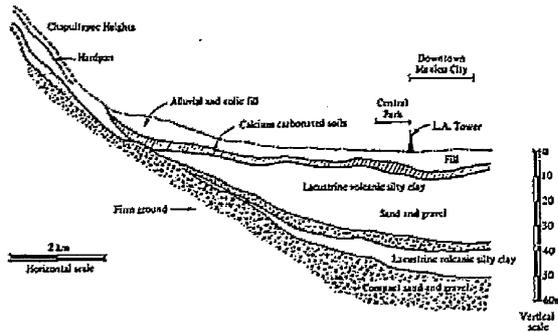


図1 メキシコ市周辺の地盤状況(Seed教授らの報告書より抜粋、もともとは、Zeevaertによる報告書(1972)中にあったもの。縦、横の寸法が大幅に異なることに注意)

識を積極的にぶつけてこれ、かなり白熱したものとなった。

対談が進んで話が表層地盤の震動と地形の関係に及んだときSeed教授は「あなたは表面波というもの信じますか。」と唐突に質問してきた。そしてメキシコ地震に関連して表面波の研究が盛んに行われていることに触れ、図1のような絵を画いてこう言った。「何人かの研究者がこのように起伏にとんだ地層を示し表面波の影響について論じているが、この絵は水平方向に対し深さ方向の縮尺が著しく拡大されている。実際の地形はこうになる。」と薄紙を敷いたような表層地盤の絵をかかれた。このような減衰の大きい表層地盤の中で水平方向にこれだけの長い距離を、表層地盤とこれを支持する基盤との力学的なやりとりを前提とした表面波が伝わることを議論する意義を問われたのである。日本国内の小規模な溺れ谷に形成された沖積地盤と異なる、このように広がった表層地盤の振動に与える地形の影響については私自身、研究の経験がなく、適切にコメントできる立場にない。しかしSeed教授のこの言葉には私の脳裏に妙に引っかかって離れないものがある。

大規模な表層地形の影響といえばUSGSのHeaton博士も幅数10km、深さ5kmにも及ぶロサンジェルス盆地の地形の震動を例に挙げ、さまざまな地震動を長周期成分に絞って観察すると、どの波形もみごとに相似形となり、表層の地形の影響を強く受けている可能性のあることを示された。これらの波形は地形の寸法が大きいせい、その周期が驚異的に長い。これほどの長周期の波動そのものが耐震工学上に大きな意味をもつものとは考えられないが、日本とは異なる規模の大きな表層地盤の震動の特徴を物語っているようで、それなりに興味深いものがある。

Seed, Heaton両博士とも地盤と構造物の動的相互作用の研究の重要性には懐疑的な考え方を漏らされている。事実アメリカでこの分野の研究は、数値計算によるものが圧倒的に多く、両博士の感想は、こうした研究が著し

く先行し、さらにこれが商品として用いられるに至った場合、現実の構造の被害に何が支配的な要因か原点に立ち返って検討する努力がともすれば失われがちであることを感じての苦言であろうと思われる。相互作用に限らず耐震工学の研究はまず現象の観察から始まるが、その形態やこれを支配する要因は、構造形式を特定しても実に多種多様である。数値解析の発展そのものは望ましいものであるが、研究が進む過程で幾つかの事例が典型的に整理され、この枠のなかで支配的でないと考えられる要素が慣習的に切り捨てられていることに留意しないと、その付けは大地震にまとめて払われるのかもしれない。

私が感じた地形の大きさに対する認識の違い、これに伴う解析対象の捉えかたの差は国土の大きさに大いに関係するものであろう。CALTEC, UCSDでのプレゼンテーションの折、私は構造物の大きさに較べむやみに大きくない範囲で緩やかな地形変化があった場合、構造物の応答特性に意外に大きい変化が現れる可能性に触れたが、雄大な無限に広がった成層地盤を対象としている相互作用の研究者には、違ったスケールの枠からみた新鮮な話題として受け止められたようである。

#### Technical Tourの余韻

20日の滞在期間中に20人以上の研究者に会い、この紙面で紹介しきれないほど興味深い話題が数多くあった。こうした懇談の中でたびたび、Technical Tour to Chiba Experiment Stationの感想を聞くことができた。本所の耐震構造研究グループを中心に1988年の8月2日に生研千葉実験所の諸施設の見学ツアーが実施された。折しも台風が接近し天候には恵まれなかったもののこのツアーには第9回世界地震工学会議(9WCEE)に参加すべく世界各地から来日していた研究者約130名が参加した。私が生研から来たことを話すと、なまずのマークのついた靴(9WCEEのとき参加者に配られたもの)からこのときの資料を取り出して「貴方の研究室ではこれを展示したのか。」「天候はtropical(ひどかったということか?)、内容はすばらしかった。」「非常に有益な示唆を得た。」「機会があればもう一度訪れたい」等々……。私自身はこのツアーの事務的なお手伝いをしたに過ぎないが、それなりに神経を使ったこともあり、こうした感想を聞くことは、何か報われたという思いがして、なかなか心地よいものであった。このツアーに陰に日向に御協力頂き、ご苦労された所内、所外の多くの方々にもこの言葉をお伝えして改めてお礼申し上げたい気持ちである。

最後に、旅費の大半を支給してこのような機会を与えてくれた三好財団、東京大学生産技術研究奨励会およびASCEのAnnual Conventionのまゝで多忙な時間を割いてくださったアメリカ合衆国の各研究機関の皆様から感謝いたします。

(三好研究助成報告書 1988年11月21日受理)