

社会技術としての地震工学

「社会技術」、聞き慣れない言葉である。この言葉は、昨年、日本学術会議において提案され、現在、科学技術振興事業団において募集している研究プロジェクト

(<http://www.jst.go.jp/pub-t/>)に使われている言葉で、そこでは「社会が直面する諸問題の解決と社会における新たなシステムの構築に向け、自然科学のみならず社会科学や人文科学等の知見をも統合して従来の学問領域にとらわれない俯瞰的視点から研究を推進するもの」とされている。

現代社会が直面している多くの複雑な問題を思い起こすにつけ、これこそが今私たち科学技術に関わる者に求められているように思われてならない。逆に言うと、これまでこうした視点は今までの科学技術に欠落していたことであると言えよう。

地震工学を例に考えてみたい。私たちが目指すのは「安全な社会」ということに他ならない。当然、それを支援する科学技術としての「地震工学」が存在する。そして、その内容は、自然科学的知見に基づくハードウェアの耐震設計をスタートとして、地震動予測、ライフラインの問題、防災計画、復旧・復興など社会科学の内容を含むソフトウェアを含む問題にウイングを広げつつある。まさに、時代の要請・ニーズにしたがって社会技術への道を歩みつつあるのが現状であり、社会技術の典型分野と言うことが出来よう。

しかし、俯瞰的視点という点ではどうであろうか？ 地震工学

は経験工学であると言われる。耐震基準の変遷の歴史を振り返っても、被害地震の経験を元に改訂が行われることが一般的である。地震のたびに生じる新たな被害や問題をいわば「後追い」「もぐらたたき」的に解決してきた経験の集大成として地震工学が存在していると言っても過言ではないであろう。それはそれで貴重であるし、それこそが地震国日本が世界に誇る「地震工学」である、ということも出来る。ただ、俯瞰的視点、言い換えれば戦略的あるいは体系的視点ということも出来ようが、そういった視点で研究が進んできた分野ではない。

例えば、次に東京で起こる地震で何が起こるのか、毎日通勤している電車で何が起こるのか、神戸で経験されなかったラッシュアワー時であったならば何が起こるのか、知りたいと思っている市民は数多い。また、防災政策の立案や資産管理などのファイナンスに求められるリスクの定量的評価にあたっては、具体的なきめ細かいリスク情報は極めて高いニーズを有している。そういう観点から俯瞰的に考えた地震工学の姿が、「社会技術としての地震工学」の一つの姿であると考えられよう。少し考えてみると、今の地震工学はそれに答える体制にないことに気が付く。被害予測は、距離減衰式や建物の fragility 曲線に基づくことが多いが、それらは基本的に過去の地震における経験に基づくものであって、本質的に、過去は説明できても未来は予測できないものである。かたや、耐震設計においては、非線形動的解析

阿部雅人

東京大学大学院
助教授

など極めて高度な解析技術が駆使されているが、それらは、本能的には「設計の見切り」のための意思決定支援ツールとして研究され、発展してきたものであり、必ずしも「実際に何が起こるか」のRealityに答えるように意図されて出来たものではない。誤解を恐れず言えば、耐震設計はFictionの世界であり、仮想的な設計地震力に対して仮想的な構造物の保有性能を仮定する一種の社会的決め事である。したがって、耐震設計の観点からは「想定地震動が来る限りは大丈夫」という答えしかあり得ず、それがこれまでの安全神話に結びつき、また、神話が崩れた後ではその裏返しの建設業界への不信となって表れている。

次に、社会科学的側面に目を向けて見よう。地震や構造物の応答という自然現象に、何らかの社会・経済的な現象が重なって初めて災害となるわけであるから、社会や経済の状態が如何にあるかによって当然災害は変わり得る。ご承知のように、今日の社会は産業革命以来とも言われる大変革期にあり、特に、情報化の進展は目を見張るばかりである。それに伴うグローバル化によって、世界は緊密にリンクされつつある。都市機能は大きく情報に依存するから、その停止の影響は極めて甚大となりえよう。また、大経済都市である東京が大損害を受ければ、緊密にリンクされた諸外国、特に経済規模の小さい国には致命的な影響を与えることも十分想定される。しかしながら、それらはすべて人類が未経験のことであるから、「実際に何が起こるか」に答えるためには、何らかの社会・経済予測を行う必要がある。ま

た、それにあたっては予測の精度・不確定性も併せて定量的に示す必要があろう。

以上、述べたことは、「実際に何が起こるか」に答えるためにどのような「情報を作り出す」べきか、ということを中心に俯瞰したものである。さらに、それに立脚した高度な「情報を利用する」方法も、当然、社会技術の一部と捉えられよう。例えば、公共セクターとして既存不適格建物を更新・補強する方法はどうあるべきか、外資系企業が東京のリスクを如何にヘッジして投資するべきか、個人として地震に如何に備えればよいのか、などである。これらは、個別問題に対応して多くの研究や実践が既になされているが、上述の「実際に何が起こるか」という予測が高い精度で可能となれば、俯瞰的かつ統一的な解決法が、十分な説得力を持って現実的に提案できるのではないかと思う。また、逆に、「情報を利用する」立場から、「情報を作り出す」側に、「こういう情報があればもっと良い対策が可能なのだが」、などのフィードバックも可能となろう。

このように、地震工学は、ハードウェア設計重視の姿勢から、社会と直に向き合いその要請に答えるために自らのあり方を常に見直す姿勢に移行することが、自然な発展形なのではないかと思われてならない。そういった方向で研究を行っている研究者や研究グループも増えつつあることは誠に心強い。しかし、この移行はもちろん容易なことではないし、個人の力、個別の努力だけで解決可能な問題ではない。地震工学会は、是非とも、社会

の要請を常にくみ上げ、そういう社会の要請に正面から答える 場に育って欲しいと願っている。

IASCをご存知でしょうか？

4年に一度のオリンピック開催年に開かれる世界地震工学会議の主催学会は、IAEEです。このIAEEの official journal が、Earthquake Engineering and Structural Dynamics(EESD) であることはよく知られているかと思えます。

このEESDは同時に、IASCのofficial journal でもあります。非常に幅広い分野の会員から構成されている日本地震工学会の皆様の中には、IASCになじみのない方もいらっしゃるかと考え、この国際学会を紹介させていただきます。

IASCは、International Association for Structural Controlの頭文字をとった略称で、1994年に設立されました。日本語では、「国際構造制御学会」と呼ばれています。既に、IASCは2回の世界会議と3回の国際ワークショップ(うち1回のワークショップはIASC正式発足の1年前に開催)を開いています。

第1回の世界構造制御会議が1994年に米国パサデナで、第2回の世界会議が1998年に京都で開催され、来年2002年の4月にはイタリアのコモ湖で第3回が予定されています。国際構造制御ワークショップは、1993年ハワイ、1996年香港、2000年パリで開催されました。

現在の会長は三代目で、イタリア・パビア大学のF. カシティ教授です。初代会長はカリフォルニア工科大学のG.W.ハウズナー名誉教授、二代会長は京都大学の小堀鐸二名誉教授です。

IASCの本拠はカリフォルニアにおかれ、初代のハウズナー会

長以来ずっと、南カリフォルニア大学のS.F.マスリ教授がSecretary General です。個人的なことになりますが、私、二代会長の小堀先生のもと Executive Secretary を務めさせていただきました関係で、マスリ教授とは数え切れないほどのメールのやりとりと、米国あるいは日本で会合をもち、親しい間柄となりました。

さてこの構造制御ですが、建築土木構造物を対象とした地震や風に対する応答制御を意味する総称です。建築分野では、近年、地震時・強風時の応答制御は、パッシブ型・アクティブ型を問わず、さまざまなかたちで実用化が推し進められており、いまや高層建物においては、なんらかの応答制御機構が採用されるのが「当たり前」というような状況になってきています。33

応答や地震動を計測し、これらのデータを反映させて、コンピュータを頭脳として制御装置に与えるべき制御入力を決定する方式のアクティブ型の制御では、いかに大地震への対応を行うかが課題とされてきていました。この問題に対しては、このところセミアクティブ制御が有望視されています。セミアクティブ制御は、わずかなパワー供給によって制御装置の物理的性質を変化させることで効果的な制御を実現しようとするものです。アクティブ構造制御という舞台上、地震時の構造安全性の付与に、強化に中心的な役割を担うものと期待されています。

学問的な研究領域としても、いま構造制御は、特にアクティブ

西谷章

早稲田大学教授

構造制御は、制御工学の本家とも言えるIEEEの会議や American Control Conference の会議等において、制御工学における主要分野のひとつとして完全に認知され始めています。最近の、これらの会議でも、構造制御に関する特別セッションが設けられたり、9月にメキシコで開かれたIEEEの会議では、構造制御関連の研究者に論文審査委員会への参加を積極的に求めたりするような状況となっています。

はなしが前後しますが、2000年の第3回国際ワークショップのさいに、IASCの理事会が開催され、カシアティ教授が小堀前会長から会長を引き継ぎました。その後、理事も交替し、新体制となっています。日本からは、東京大学の藤野陽三教授と私が理

事となりました。

IASCへのWWW サーバーは、
http://cwis.usc.edu/dept/civil_eng/structural/welcome.html
です。このホームページをご覧戴き、Timely Information をクリックすると

Third World Conference on Structural Control（第3回世界構造制御会議）のアナウンスが見られます。

また、この世界会議の専用のホームページとして、
<http://www.3wcsc.jrc.it>
があります。コモの案内も含めてご覧になれます。
是非、ご覧ください。

2001年度日本建築学会大会の地震動関連セッションとPD

9月22日から24日にかけて、東京大学本郷キャンパスにおいて日本建築学会大会が開催されました。日本地震工学会会員の中にも出席された方がたくさんいらっしゃるでしょうし、またパネルディスカッションの報告等も建築雑誌においてなされると思われまので、ここでは単に個人的なメモあるいは感想として、出席されなかった方へのご参考程度の小文を寄せたいと思います。

前田寿朗

早稲田大学助教授

今年度の地震動に関するセッションは、「震源・伝播特性」、「地震動シミュレーション」、「地震動特性評価」、「地震動および地盤特性」、「設計用地震動」、「室内被害」、「被害予測」、「鳥取県西部地震」、「震度・地震動分布」、「地震危険度評価」、「被害早期検知」の一群と、「表層地盤同定」、「地盤分類・ゾーニング」、「地盤非線形・深い地盤構造」、「不整形地盤」の一群に分類されています。昨年度が、「地震被害」、「地震防災システム」、「地震危険度評価」、「地震動」、「地震動特性と評価」、「地盤震動（副題多数）」であったのに比べて、セッションタイトルが細分化され、地盤震動関連が一群としてまとめられてわかりやすくなった反面、梗概集の構成において2つの群が離れてしまい不便でもありました。また、昨年度に比べて震源モデルを用いた差分等による地震動シミュレーションの数が減り、建物の被害予測と表層地盤の同定が増えたように感じられます。なお、昨年度は台湾

集集地震とトルコ・コジャエリ地震といった外国の地震が主だった地震であったのに対し、今年度は鳥取県西部地震が主要な検討対象とされています。

地震動関連のパネルディスカッションとして、「新施行令・告示を学術的立場から評価する（荷重運営委員会）」、ならびに「地域と地震防災—新しい世紀における地震防災の方法論を求めて—（災害委員会）」が催されました。「新施行令・告示を学術的立場から評価する」は、固定・積載荷重、積雪荷重、風荷重、地震荷重、荷重の組み合わせという5つの主題の下に、主題解説および質疑討論が行われました。おおよそ好意的に評価できるとされた点として、50年再現期待値のように荷重強さの客観的指標化がなされる傾向であり、また応答としての荷重効果ではなく地震動のような荷重強さが規定された点が挙げられています。逆に評価されない点として、応答の計算法に対する柔軟性が小さいこと、ならびに限界状態設計法の煩雑さが挙げられています。法令がミニマムリクアイアメントを定めたものであるとしても、より合理的な検討を奨励するためには、荷重・建物・経済等の地域性を反映した自治体の政令等による指定や、地震保険の掛け金の差別化等の何らかの仕掛けが必要との意見が多く見られました。さらに、地震荷重が建築学会荷重指針に含まれたのが1993年からであり、そのために地震荷重小委員会が作ら

れたとの発言もあり、歴史的経緯に見る地震荷重の特殊性を垣間見たようで興味深く感じられました。

「地域と地震防災－新しい世紀における地震防災の方法論を求めて－」は、鳥取県西部地震および芸予地震における地震被害調査と地域活動、首都圏における地震被害想定、北海道の地域特性と地震防災、地域の地盤特性と地震防災－仙台地域を中心として－の5主題の下に、主題解説および質疑討論が行われました。これらの解説を聞いて感じられるのは、地域における防災上の強さと災害のインパクトの多様性です。社会的には、地方の過疎地における災害のインパクトの強さがあり、一方首都圏には関東地震により想定される兵庫県南部地震の10倍以上の復興費や、膨大ながれき処理等の問題、さらには首都圏への情報の一極集中に伴う二次的な被害の重要性があります。また、住宅の耐震性には、自然環境の影響や構法への嗜好が強く反映されています。地震動の特徴については、中小河川が山間部から抜ける扇状地付近での地震動増幅、急傾斜地に発達し

た市街地での擁壁被害と地盤被害のポテンシャル、丘陵地の地震動の顕著な増幅が具体的に示され、工学的基盤の選択により増幅特性がかなり異なる可能性も挙げられました。

「地域と地震防災－新しい世紀における地震防災の方法論を求めて－」では、地震調査研究推進本部による地震動予測地図に関する話題が取り上げられ、4年後に1kmメッシュで計測震度に関する確率論的地図が地震動予測マップとして発表される予定とのことです。また、それに先立って、糸魚川－静岡構造線と宮城県沖地震を対象として、1kmメッシュでの計測震度地図や基盤での時刻歴が発表される予定があるそうです。

以上、各研究内容には踏み込まずにおおよその雰囲気伝えることを念頭において作成したもので、発表をされた方についても失礼ながら何の参照もせずに、私なりに捉えた内容を述べさせていただきました。内容に不正確な点もあるかと存じますが、趣旨に鑑みてご容赦いただければと思います。

地震工学とのおつきあい

盛川仁

東京工業大学
大学院 助教授

平成13年度より会誌委員会の委員を仰せつかっています。今号では委員の自己紹介とともにメインに所属している学会における地震工学に関する最近の研究動向をご報告する、という企画です。メインに所属する学会ってどういう意味でしょうか？そういう位置づけの学会が地震工学会以外に存在するという前提で企画すること自体、地震工学会のありかたについて考えさせられる気もします。しかしここでは、そういう本質的な議論は棚に上げてお供えでもしておいて、すぐに忘れてしまうことにしましょう。いずれにしても、自分自身の専門に近い分野でどういう問題が話題になっているのか、ということについて私見を述べさせていただくことにします。こういうときに日頃の勉強不足がたたって恥ずかしい思いをするのですが、おかしな記述がありましたらなば、それは全て私の不勉強と誤解に帰するものです。関係者の方には、ご容赦いただくとともにご指摘をいただければ幸いです。

私はこれまで比較的縁が薄いように見える2つの分野で研究をすすめてきました。1つは確率論に基づくスペクトル解析や時系列解析に関する研究、もう1つは微動を用いた地盤構造の推定とその手法の開発です。前者については主として、IASSAR(<http://www.ish.dtu.dk/iassar/>)が主催して4年に1回開催されるICOSSAR(<http://www.ish.dtu.dk/iassar/ICOSSAR.htm>)という国際会議でその傾向を知ることができます。また後者に関しては

地震学会(<http://wwwsoc.nacsis.ac.jp/ssj/>)を中心として活動してきました。

地震工学に関わる確率論的な研究というのは、広範にわたって簡単にまとめるのは難しいのですが、地震工学に関係するテーマとしては、信頼性解析、地震危険度解析、構造同定、制御、不規則振動論といった内容を挙げるすることができます。今年開催されたICOSSAR

(<http://www.colorado.edu/engineering/ICOSSAR/>)でもこれらに関する発表が多数を占めていました。日本の土木学会の全国大会では、「安全性・信頼性」といういかにも確率論です、というセッションには、なぜか、かつてほど多くの投稿がないために、ひとつのセッションとして独立させることが難しい場合もあるようです。しかし、ICOSSARを見ていると必ずしもこの種の研究への興味が失われてしまったわけではないことがわかります。

ただ、この分野はどういうわけか若い研究者の新規参入が少なく、かつて若かった人がそのままずっと続けているという雰囲気もなくありません(奥歯にものが挟まったような言い方ですが、別に誰かに気兼ねをしているというわけではありません)。私くらいの世代の者が将来にわたっても若手だと言われ続けるといった状況は、研究の発展という観点からはあまり健康的ではないと思います。

「安全性・信頼性」のセッションがあまり盛況ではないわりに

は、アメリカの雰囲気伝わってきたのか日本においても、最近、確率論の出る幕が多くなってきたようです。特に、原子力などの重要構造物の設計においては、入力地震動までも含めて確率論的手法に基づいて進めるという方針が打ち出されつつあるからのようです。これまで、天の声にしたがって決定されていたある種のパラメータに対して、国民の誰もが納得できるような何らかの理論的根拠を与えようという意向があるものと考えられます。しかし、地震(特にプレート内地震)のように再現期間が1000年のオーダーの現象を100年足らずのデータに基づいて統計的に処理し、しかも分布の裾のほうの小さな確率を取り扱わざるを得ない、という状況は純粋な学問としてはいささか悩ましい部分があることは否めません(だからといって、代替案が示せないのでもうしようもないのですが...)

次は、微動に関する研究、というか、地震学会における工学的な研究として、どのような研究がなされているかというお話です。今年の地球惑星科学関連学会のプログラムを見てみると、強震動・地震災害、地盤構造・地盤震動といったセッションでは工学分野からの参加者も多いようです。特に、断層モデルも含めた強震動に関する情報は、地震学会を通して伝わってくるものがもっとも速くて正確であると思っています。

地震が発生するとたちまち震源解が発表されるのが当たり前のようになってきましたが、そのようなリアルタイム処理に近い解析法やより精度の高い断層モデルを得るための手法について、

さらなる検討がすすめられています。また、地盤震動についても大規模な3次元数値解析が現実的になってきており、より大規模な計算をするための手法の提案や新しい超大型計算機の計画についても報告されています。3次元の大規模な計算ではやや不利だと考えられていた境界要素法も効率的な手法が開発されて勢いを取り戻しつつあります。

地盤構造の推定については、比較的少ない費用で根性さえあればある程度の精度で構造を推定することができる微動探査法が様々な場所で適用されています。ただ、理論的にわかることとわからないことの区別がハッキリしてきたこと、新しい解析法の提案はあまりないことなどから、手法の適用例が中心となっています。解析法の提案はどちらかというと物理探査学会で発表されているのかもしれませんが。ただ、微動だけだとある程度以上の精度を得るのは難しいため、屈折法や重力値とあわせて解析するといった提案もされています。

非常に限られた字数と能力のなかで、近況をお伝えすることの難しさを存分に味わうことができました。確率のお話のところで若い研究者が少ないような気がする、と云うことを述べましたが、単に問題点としてそれを指摘するだけでは今後の発展はありません。そこで、地震工学にかかわる若手の研究者同士で互いに高めあおうという趣旨で(かなり昔から)活動している「若手地震工学研究者の会」という組織の存在をご紹介して、この小文を閉じさせていただきたいと思います。若手に乞うご期待!

(編集後記)

Newsletter も今号で3号となります。今号は夏休みにかかっていた関係で、執筆者はすべて会誌編集委員会の委員です。我々委員をしている者の自己紹介を兼ねる意味で(必ずしも直接的な自己紹介ではありませんが)、研究活動の状況、興味関心をもっていること、最近関わっている活動等について記事を書きました。本会は非常に多様なバックグラウンドをもつ方々によって構成されていますので、編集委員会のメンバーを認識していただくための良い機会かと思えます。今回執筆していない委員の原稿も今後掲載する予定です。次号では、連続シリーズとする予定の企画を開始します。また、本会のNewsletterにふさわしい名称の公募をアナウンスいたします。今後ともよろしくお願い申し上げます。最後に、編集委員ばかりの執筆でありながら、発行が遅くなりましたことをお詫びいたします。

(会誌編集委員会・西谷)