

第30回地盤震動シンポジウム（2002）報告

小山 信*

第30回地盤震動シンポジウム（2002）「設計用地震動は工学的基盤で決められるか？—地盤震動研究を耐震設計に如何に活かすか（その1）—」が、日本建築学会地盤震動小委員会主催で2002年10月29日（火）9:30～17:30、建築会館ホールにて約170名の参加者を集めて開催された。

司会は午前の部：源栄正人（東北大学）・高井伸雄（北海道大学）、午後の部：前田寿郎（早稲田大学）、芝良昭（電力中央研究所）、総合討論：小林喜久二（竹中工務店）、野畑有秀（大林組）が担当した。

最初に、地盤震動小委員会主査の萩尾堅治（大成建設）より、30回を迎える本シンポジウムは、これまで地盤震動研究の動向を考慮しながら地盤震動研究と耐震設計実務の橋渡しとなるべく議論の場を設けてきたが、研究情報はシンポジウムを待たずとも入手可能である現状を鑑み、今後長期テーマの下で系統立てた内容を取り上げて焦点を絞ることによって、十分な検討と密度の濃い議論を期待してゆくことにした。手始めに昨年のシンポジウムでの意見に基づき「地盤震動研究を耐震設計に如何に活かすか」について、今後5年程度を目標に設計用入力地震動作成上の諸問題を取り上げて、地盤震動研究に基づく設計用入力地震動像をまとめてゆくこととした、との趣旨説明が行われた。

午前の部「現状と課題のレビュー」では、3編の話題提供があった。

加藤研一（鹿島小堀研究室）は、「改正建築基準法に至る地震外力の考え方」と題して、佐野利器による震度法の提案から改正建築基準法に至る地震外力の考え方の変遷をレビューした。被害地震の教訓や建築構造の変化に対する設計体系の再考など、地震に対する建築物の安全性確保を主眼としていたこれまでの法改正に対して、今回は「性能規定化」の推進を目的とし、工学的基盤における地震動が設定され、表層地盤応答、相互作用効果の考慮が可能となり、新たな知見の導入も容易になった

と同時に地表の伝達系の見積もりに十分な配慮が必要となった。そして、兵庫県南部地震以後のデータ・解析手法の蓄積・充実の成果を設計サイドに提示し、告示で規定された要素技術を吟味することが地盤震動小委員会の役割と考えると述べた。

川瀬博（九州大学）は、「地盤増幅特性の評価—研究成果から見た現状と課題—」と題して、最新の研究成果に基づいて直下の地盤構造（1，2，3次元）によるサイト増幅が強震動にもたらす影響、基盤レベル強震動に与える震源と地盤の影響について説明し、それらの影響を現行耐震設計パラダイムの中でいかに反映させるかについて紹介した。あるべき強震動の定義法として、入力レベルと建物耐力両者の過小評価の上に安全な建物が成り立ったこれまでのパラダイムから、実入力レベルと実建物耐力評価に基づいて安全性を保障する設計パラダイムへ移行するべきであると指摘し、実入力レベル評価のために、盆地係数・エッジ係数・表面波係数・断層係数を導入することを提案している。

山中浩明（東京工業大学）は、「工学的基盤での入力地震動評価のための深部地下構造の探査」と題して、地震基盤に至る深部地下構造の探査および工学的基盤での地震動評価における地盤モデル化について、問題点と今後の課題を紹介した。近年、文部科学省プロジェクトによる深部地下構造探査データの蓄積、微動アレイ探査で安価に1次元地下構造推定が可能、3次元構造を考慮した地震動シミュレーションが可能、となってきた状況を鑑み、今後個別建物の耐震設計のための地盤探査結果の蓄積と公開のための組織的仕組みの必要性、地下構造モデルのキャリブレーション結果の蓄積、地下構造マスターモデルの構築、の3つが必要であると指摘した。

昼食休憩後、瀬尾和夫（東京工業大学）による特別講演「地震動予測に地下深部構造はなぜ必要か？」が行われ、地震動の複雑さと複雑さの中の秩序、それらに影響を与

* 国土交通省国土技術政策総合研究所

える深部地下構造と地下構造調査の重要性が示された。同じ震源から供給された同じ観測点の地震記象が複雑であっても互によく似ているのは伝播経路にあたる地下構造の影響と考えられ、地下構造の理解無しには地震動予測はできないこと、サイト固有の地震動特性には当該地点の地盤構造が果たす役割が大きいこと、これらの影響を考慮せずにエルセントロ、タフト、八戸などの既往地震記録が設計に用いられることの問題点、などが改めて指摘された。

午後の部「具体例で考える」では、4編の話題提供があった。

久田嘉章（工学院大学）は、「免震病院を対象とした入力地震動の策定例」と題して、静岡県駿東郡長泉町に建設された静岡県立静岡がんセンターの設計に際して想定した東海地震による地震動予測を紹介した。震源近傍強震動には長周期パルス波や地表断層による大変位が発生し、免震建築が必ずしも有効ではないため、長周期地震動に影響を及ぼす深部地下構造を調査し、経験的手法・半経験的手法、および理論的手法による地震動評価を行い、それをもとに構造的・機能的安全性の確認を実施した。Forward directivity 効果による長周期パルス波が免震構造に最も影響することを確認した上で、経験的な震源パラメータやそれによって作成された強震動には、考慮されるべき結果のばらつきが無視される可能性があることを指摘した。

早川崇（大崎総合研究所）は、「名古屋における強震動予測事例」と題して、愛知県設計用入力地震動研究協議会が名古屋地域の設計用入力地震動作成プロジェクトで実施した強震動予測を紹介した。予測では、確率論的想定地震の考えを採用、最も可能性の高いシナリオとなるような断層パラメータを設定、濃尾平野の3次元堆積盆地モデルを完成させた。予測結果は、断層破壊特性や3次元盆地構造により名古屋市内でもやや長周期地震動の大きさが変化することを示し、3次元地下構造モデル化の重要性を指摘するとともに、断層破壊過程のシナリオに関しては必要に応じて可能性のある複数のケースを想定することも重要と考えられると述べた。

武村雅之（鹿島小堀研究室）は、「過去の地震被害事例からみた地盤増幅の影響」と題して、1923年関東地震に関して東京中心部（旧15区）の震度の再評価結果と揺れの強さと地盤との関係を検討し、古地形や表層地質、

深さが30～50m以内の表層地盤構造と震度分布が明瞭な相関を持つことを示した。また、関東地震で下町低地の軟弱地盤上では振動周期の長い木造住家の被害が大きく山の手台地の硬質地盤上では逆に振動周期が短い土蔵の被害が大きかったという話は、火災による消失の影響や安政江戸地震の被害傾向と比較して不自然であると推察していると述べた。

境有紀（東京大学）は、「構造物の応答から見た設計用地震動の決め方」と題して、基盤をせん断波速度400m/s程度と800m/s程度の層に設定したときの地表地震動を等価線形時刻歴地震応答解析により作成し、これを入力地震動とした一自由度系およびフレーム構造の地震応答解析を行って、基盤として設定するせん断波速度の違いが構造物の地震応答に与える影響について検討した結果を紹介した。基盤をせん断波速度800m/s程度の層とした場合の地表面における応答スペクトルは、長周期成分だけでなく建築頻度の高い中低層建物に最も影響を及ぼす1～2秒程度においても400m/s程度の層とした場合を大きく上回り、その差は建物応答層間変形角にして2～3倍になると述べた。

以上の話題提供後に、総合討論が行われた。

はじめに司会より、討論の論点として、①設計用入力地震動を工学的基盤で決める場合のメリットとデメリット、②地震基盤で設定する場合、何が問題となるのか、③震源から地盤全体をモデル化して入力地震動を設定することは、実務として妥当なのか、が示された。

久田：深層地盤の影響を盆地・エッジ・表面波係数として決める作業は、どのように進めたら良いと考えているか。

川瀬：予測・検証のプロセスを踏むことで、コンセンサスが得られるラインが見えてくる。作業としては、各盆地構造での応答を相対化することで、平均的ラインが見えてくる。

深い地盤・断層の影響が大きいこと、合理的設計に必要であることを国民（設計者）が認めることから始まる。永野（鹿島建設）：兵庫県南部地震の際の神戸大学50cm/s、震災の帯150cm/sの3倍の差を、盆地係数として設計に持ち込むのが正しい方向と考えるのか。

川瀬：説明可能な設計パラダイムに移行することによって、事実であれば入れるべきである。提案している種々の係数を掛け合わせることで8倍位になるが、掛け合わ

せるボトムラインのレベルは、現行の工学的基盤地震動の1/3程度に低減できると考える。

宮崎（ダイナミックデザイン）：設計用地震動を画一的・統一的に決める必要は無いのではないか。現行設計基準は手続き上の約束だけであり、実設計はそれだけでは完結しない。そのためにも、設計に要する色々な情報を入手・利用できるような環境が必要であり、本シンポジウムはその観点から重要である。

宮崎：鳥取県西部地震の震源と神戸市域と同じ盆地構造で計算したシミュレーション結果で450cm/sの値が推定されていたが、その波形はどのようなものか。

川瀬：あくまでも想定の話である。しかし、兵庫県南部地震の鷹取で記録された150cm/sが最大であるとの保証は無い。アスペリティーが浅いところに位置して大きなすべりが生じたならば、150cm/s×3倍（盆地係数）で450cm/sの最大振幅も考えられる。

司会：改正基準法で長周期側の振幅が、従来の50cm/sを超えて80cm/sとなっている。実設計においては経済性の観点からぎりぎりの設計をしなければならないと考えるが、その上で更なる安全性を確保するような設計者のフィロソフィーを加えることは可能なのか。設計者の心構えを聞かせてほしい。

宮崎：設計者としては、最低ライン（基準）を満たした上で自分の思想・思いを導入・反映することでやりがい・生甲斐が生じてくる。自主性を生かせる体系であるには、基準法は最低基準でなければならない。

大越（日本設計）：性能設計に移行するにあたり、確率的な評価を取り入れて地震動を検討したが、地域によって再現期待値のばらつきが大きくまとまらなかった。一方で超高層建築物設計に際して活断層の地震動だけを考慮した場合は、20cm/s、50cm/sの6から7割といった小さな設計用地震動とすることが可能である。そのような小さい地震しか想定されない地点の場合に、本当に小さな地震動としても設計は大丈夫なのか？実務者として疑問を感じ、適正かどうか判断しかねるので、既往3波による従来の検討法が残されている。

川瀬：兵庫県南部地震の地震動は、エッジ効果・盆地効果を含んだ地震動である。新耐震設計基準に従っている1981年以降の建物の場合、この地震動による被害が1%以下であったので現行設計クライテリアをすべての地点にあてはめることは過大であると言える。例えば、東京と福岡についてすべての活断層や海溝地震を考慮して確率で地震動を比較すると、福岡は10分の1になる。地域係数は0.8であるので、実態を反映していない。

実際には普通に設計・建設されることで水平耐力の50%は付与できると思うので、地域係数の最低レベルは0.5まで低減することが可能と考える。

川瀬：現行の設計基準は、設計者にとってカンファタブルであるか。

宮崎：今くらいであれば、どちらでもない。心情として、基準法を設計の拠所としたいくない。無くなってしまえば、ばらつきは生じるであろうが、設計者が真剣に考えて判断するようになるので良いではないか。

大越：告示案を作る際、基準法での全国一律のレベルを下げて条令で地域特性に対処することも考えられた。しかし、実際には企業誘致に不利に働き、自治体としては消極的になる。基準法改正により工学的基盤で地震動を規定した結果、第三種地盤に高層建築物を立てようとすると応答値が大きくなるため見送りとなったケースがあった。結果的に、危ない場所への建設を抑制する効果があった。

司会：本日のシミュレーション結果に関する印象や感想は？

鱒沢（横川設計）：静岡県長泉町の例は、M8クラス地震が想定される地域で長周期地震動が卓越す地盤条件の地点において医療機器への影響を減少させるために免震建物を設計することになり、長周期成分を含んだ入力地震動を想定して設計する必要性があった。個別に設計者がこのような必要性を判断できるか、それに伴うコスト増への施主と設計者のコンセンサスが得られるか、そこがポイントと考える。

司会：今回のような入力設定方法は時間・コスト、必要な知識も増えてくる。今後深層地盤を考慮するようになると、設計者はどのように対処することになるか。

鱒沢：多くの最新の情報、手法についてゆく必要性を感じる。面的地盤構造情報が入手しやすければ、設計にかかるコスト・時間を短縮できるであろう。

宮崎：静岡の例では、想定地震動のレベルは厳しいながらも処理可能な範囲に地震動が収まっている。想定した地震動にバイアスが掛かっていないのか。富士川河口地震の方が大きいことは無かったのか。

久田：もう少し厳しい地震動もあったが、何波か計算したものの平均的なものである。富士川断層（M7.8）で7mすべる地震が想定されているが、断層を海側へ伸ばす必要があり東海地震の震源域に含まれてしまう。東海地震の断層の浅い部分は、富士川断層よりも近い部分に

あり、より厳しくなると考える。

高坂（梓設計）：設計用入力地震動は、地表面で設定すべきだ。これまでの税金を使って実施した研究成果を公開し、クライアントが危険性を意識して、設計者が専門家として助言して、サイトを選ぶ環境を作るべきだ。設計用入力地震動は社会的な意味を有するものである。断層や工学的基盤から上の表層地盤に設計者個人のフィルターが掛かって恣意的に決めることは危険性が増すと考える。

大越：上部構造設計者が本日の議論を理解することはほとんど困難。米国では、設計用入力地震動は **Geotechnical Engineer** が決めている。日本でも専門家、**Geotechnical Engineer** を育てる必要がある。

武村（鹿島）：そうなれば研究者にとってありがたい。これまで設計に最低基準が必要と思いついで議論しているが、将来は必要ないかもしれない。

宮崎：設計基準不要論に賛同する。基準法があることは、アンカンファタブルである。現状は設計ツールや手法までがんじがらめになっている。束縛の無い社会となることを希望する。

萩尾：本来の性能設計であるならば、規定は不要である。そこを目指してゆくならば、一挙に飛躍はできないが現行にこだわらなくて良いのではないか。地盤震動小委員会のこれからの5年間の活動で、このギャップを繋ぐことを考えたい。集約すると、①基準地震動の位置付けの見直し。種々の係数を掛けるベースとなる基準地震動を、地域ごとに再評価する。②これまでの知見を、皆が利用できるようにコンパイルする。ことが重要と考える。

瀬尾：設計者個人の判断で入力地震動を設定するようになると、さらに説明責任を問われることになる。そのような状況では、地盤震動研究がベースにあってその成果・情報をデータベースとして整理して皆が使えるようにする必要がある。

最後に、地盤震動小委員会幹事の山田真（早稲田大学）が、これまでの地盤震動諸研究は現象の説明と理解を目指して要素技術による吟味を行ってきた。表現南部地震以後地下構造の解明が進み、地下構造モデルのデータベース化やそれを用いたシミュレーションとディバイズ、さらに地下構造マスターモデルの構築、地下構造に応じた解析手法・ツールの開発、大地震記象の再解釈、等がこれからの地盤震動研究で必要と考える。また入力レベルの過小評価と構造物耐力の過小評価の上に成り立っていた安全を見直すことも必要である。表層地盤につい

ては、相互作用小委員会とのジョイントも考えてゆく必要がある。今後、地盤震動研究を耐震設計に生かしてゆくようにシンポジウムを積み重ねて成果を出してゆきたい、と結んだ。

（文中敬称略）