

第 34 回地盤震動シンポジウム
設計用入力地震動作成指針に向けて
—地盤震動研究を耐震設計に如何に活かすか(その 5:総括)—

早川 崇*

表記シンポジウムが、日本建築学会地盤震動小委員会の主催で 2006 年 11 月 30 日(水)9:30～17:40、建築会館ホールにて約 210 名の参加者を集めて開催された。司会は午前の部:飛田潤(名古屋大学)・高井伸雄(北海道大学)、午後の部:小山信(国土技術政策総合研究所)・佐藤吉之(竹中工務店)、総合討論:久田嘉章(工学院大学)・岩田知孝(京都大学)が担当した。

最初に、地盤震動小委員会主査の川瀬博(九州大学)より趣旨説明があった。過去 5 年間の地盤震動シンポジウムの概要を述べた後、その総括として地盤震動小委員会で作成中の「設計用入力地震動作成指針」に関する概要説明があった。80 年代以降大きく前進した、不均質な震源断層モデルと不均質な三次元地下構造モデルが考慮された、震源特定・サイト特定のシナリオ型強震動予測を基本とした指針となることが紹介された。

午前の部はモデル構築・予測手法の現状と課題の解説として、シナリオ地震の設定、震源・伝播経路・サイト特性のモデル化、強震動予測の手法と検証に関して、7 題の講演があった。

加藤研一(鹿島建設)は「シナリオ地震の設定」と題して、シナリオ地震の基本的な考え方、選定方法、設定方法を説明した。近年の観測記録を紹介して海溝型、内陸地殻内地震、スラブ内地震で地震動の特性が異なることを指摘し、想定される地震のタイプの特徴を反映させたサイト波の重要性を指摘した。また告示スペクトルは非シナリオ地震に相当し、告示スペクトルにより最低限の耐震性能を確保して、さらにサイト波で建設地固有の地域特性を加味することが望まれると述べた。

芝良昭(電力中央研究所)は「震源モデルの与え方」と題して、特性化震源モデルの意義、考え方、設定手順(レシピ)を紹介した。震源モデルでは、破壊過程を模擬することにより、構造物の大きな破壊力となる指向性パルス波を表現することが可能であるが、その反面多くの震源パラメータを設定する必要があり、利便性が損なわれること、震源パラメータには一意に決められないことが多く複数ケースの検討が必要であること、等の問題点も指摘した。また短周期地震動の生成領域とアスペリティ位置の関係に関しては今後の課題であると述べた。

佐藤智美(清水建設)は「伝播経路モデルの考え方」と題して、統計的グリーン関数法や経験的グリーン関数法に用いる Q 値および統計的グリーン関数法に用いる経時特性モデルに関して紹介した。 Q 値の設定には地震タイプ、地域性、想定地震までの距離を考慮することの必要性を指摘した。特に内陸地殻内地震では、震源距離が 100km を超えた場合、幾何減衰が小さくなり、その結果大きな Q 値を与える必要があることを述べた。経時特性モデルに関しては多く用いられる Boore のモデルと散乱理論に基づくモデルの紹介があった。Boore のモデルでは距離が 100km を超えると海溝型地震で継続時間が過小評価となるため、時刻歴波形の最大値が過大評価となる点を指摘した。

藤原広行(防災科学技術研究所)は「地下構造モデルの与え方」と題して、防災科学技術研究所における日本全域を対象とした工学的基盤から地震基盤までの深部地盤のモデル化の取り組みを紹介した。全国モデルの作成には広域をカバーする地質構造と物性値構造の関係構築が重要であると指摘した。日本のさまざまな場所で実施された音波探査による P 波速度構造は、

*清水建設 (株)

堆積環境が同じ地域であれば位置にかかわらず深度のみに依存することを指摘し、地質構造から P 波速度構造を構築する案を紹介した。

釜江克弘(京都大学)は「用いるべき強震動予測手法」と題して、半経験的手法、理論的手法、ハイブリッド法に関して紹介した。最も高精度な面的で広帯域な強震動予測手法は、長周期成分の震源放射特性や断層面上で変化するグリーン関数の正確な表現が可能なハイブリッド法であると述べた。また M8 クラスの巨大地震の強震動予測に有効な2段階ハイブリッド法に関して紹介した。

野畑有秀(大林組)は「結果の検証方法」と題して、ハイブリッド法による強震動予測結果の検証方法に関して紹介した。ハイブリッド法では物理モデルが導入可能であるが設定すべきパラメータが多く、計算結果に幅がある可能性が高いため、結果の検証が重要であると述べた。検証は非常に難しいが、個々のパラメータの妥当性の確認と既往の調査研究(最大加速度やスペクトルの距離減衰式、震度)等の比較の必要性を挙げた。

大野晋(東北大学)は「経験的スペクトル評価法による平均波の作成」と題して、既存の応答スペクトルの経験式と時刻歴波形の算定方法を紹介した。この方法ではシナリオ型の強震動予測と比較して平均的に期待される予測結果が得られ、その結果地震規模と距離が決められた場合の相場を簡単に把握できることが利点であると述べた。また指向性パルス波の影響を補正する係数があり、パルス波の影響が大きいと予想される地点における補正の必要性を指摘した。

昼食休憩後、入倉孝次郎(愛知工業大学)により「強震動地震学の発展の歴史とレシピへの展開」と題して特別講演があった。震源のモデル化レシピの開発経緯、考え方、今後の課題に関して紹介があった。レシピは料理レシピと同じで、細かく規定するのではなく使用する人に裁量の余地を持たせるように配慮したこと等、開発者としての気持ちを述べた。特性化震源モデルではアスペリティ内で均質な破壊を仮定しているように誤解されがちだが、実は不均質な破壊であり、理論的手法で短周期の強震動を計算する場合は過小評価に注意が必要との指摘があった。現在の地震防災にかかわる課題として、巨大地震の被害対策が兵庫県南部地震の被

害経験にのみ基づいて策定されていること、緊急地震速報では強震動予測に点震源を仮定していること、等を述べた。

午後の部は予測結果の不確定性および構造物からみた予測結果として、東海地震等巨大災害への対応特別調査委員会への提供波(以後、提供波)の同一平野内での比較や、構造物の応答解析、強震動予測の不確定性に関する講演があった。

吉村智昭(大成建設)は「予測強震動の手法・モデルによる違い」と題して提供波の比較を行った。大阪平野では南海地震における此花での予測結果を比較して、最大速度が予測した機関によって倍半分違っていることを紹介した。また提供波のうち共通波と呼ばれる予測波の応答スペクトルを告示スペクトルと比較して、共通波では平野毎および地震毎に固有の卓越周期が長周期で認められることを指摘した。また標準3波(EL CENTRO NS, TAFT EW, HACHINOHE NS, 50cm/s 基準化)とも比較して、共通波は標準3波とは違い、周期2秒以上で告示スペクトルを超えることを指摘した。

関口春子(産業技術総合研究所)は「海溝型巨大地震の微視的震源パラメータの変動がもたらす予測地震動のばらつき」と題して、想定南海地震の強震動予測において微視的な震源パラメータを変動させた場合の予測結果の変動に関して紹介した。関口はマルチスケール不均質震源モデルと大阪平野の複雑な三次元地下構造モデルを用いて三次元有限差分法により強震動予測を行った。その結果、破壊開始点の変動が最も強震動予測の変動を起こし、強震動予測においては非常に重要なパラメータであると述べた。また、不均質断層モデルの作成に用いる乱数を変えると地震動の予測結果が倍半分程度変動することを紹介した。

森川信之(防災科学技術研究所)は「観測記録とシミュレーションに基づくばらつきの検討」と題して、シミュレーションに基づく震源モデルの不確定性による地震動のばらつきと観測記録のばらつきの検討を紹介した。シミュレーションに基づく検討では、アスペリティ位置、アスペリティ強度(平均すべり量の比)、破壊伝播速度の3つのパラメータを変動させて強震動予測の面的なばらつきと比較した。破壊開始点はアスペリティ下端中心で固定しているため、アスペリティ位置が変わると破壊開

始位置も変化している。その結果、周期1秒以下ではアスペリティ位置が、周期1秒以上では破壊伝播速度がばらつきに大きく影響する結果が得られた。また観測記録のばらつきから、地下構造を完全に把握できれば、強震動予測のばらつき標準偏差は0.15前後まで小さくなる可能性を示した。

北村春幸(東京理科大学)は「巨大地震に対する建築物の耐震性能」と題して、提供波における長周期地震動の入力地震動としての特性と超高層建物の耐震性能に関して述べた。超高層建物の検討用地震動として標準的に用いられるEL CENTRO NS, HACHINOHE EW, JMA KOBE NSを提供波と比較した結果、速度応答スペクトルSVは特定の周期を除いてほぼ同程度であるが、エネルギースペクトルVEは1.5~2倍程度大きいことを示した。超高層建物の応答解析では標準波に比べ提供波は大きな累積塑性変形倍率を示すことから、これまで検討が十分でなかった累積損傷値に対する耐震安全性の検証が必要であることを指摘した。加藤は既存建物の余裕度はどの程度かと質問した。それに対して北村は、兵庫県南部地震での被害等から超高層建物の塑性率は2以上と考えられるが、どこまで耐えられるかは把握できていないと答えた。また3秒以上でパワーのない地震波で設計された建物は今後耐震性能を確認してゆく必要があると述べた。

以上の講演の後、強震動予測の課題および現在作成中である「設計用入力地震動作成指針」の課題や要望に関して総合討論が行われた。まず、久田は本日の発表を簡単にレビューしたあと、強震動予測と指針への課題、指針に期待するもの、の2点に関して議論を求めた。久田は中越地震等の震源を特定しにくい地震はシナリオ地震として考慮すべきかと会場に質問した。加藤は、重要な建物ではできるだけシナリオ地震として扱ったほうがよいが、現状の技術レベルでは実務で使えるほどシナリオが組めないで、告示スペクトルによる耐震設計と併用したほうがよいと述べた。丸橋奈々子(名古屋工業大学)、は加藤のフローチャートに対して、シナリオ地震が設計上クリティカルかどうかの判断は、弾性ではなく弾塑性スペクトルで判断すべきと述べた。北村は、クリティカルかどうかの判断だけなら、建物の終局時の

減衰を10~20%と大きく見積もれば弾性スペクトルでも判断できると述べた。久田は、実務における設計用入力地震動作成の現状を境茂樹(間組)に質問した。境は、まず指針への感想として、細かく規定された指針ではないこと、近年の研究の解説が充実していることが好印象であると述べた。また提供波でWOS地点周辺の予測波を見ると、釜江波は4秒で卓越しているのに対して関口波は6~8秒とピーク周期が違っており、設計者としては悩むポイントで、異なる原因を質問した。関口は用いている地下構造モデルは異なるがそれが原因ではなく、断層モデルの違いと考えられると答えた。また釜江も同じ原因を指摘し、今後断層モデルと卓越周期の関係を検討する必要があると述べた。入倉は釜江が用いた地震調査推進本部による南海地震の震源モデルに関して補足した。同断層モデルは統計的グリーン関数法で算定した地震動が過去の南海地震の震度分布を説明することで検証されたモデルであり、長周期域における断層モデルの有効性は十分ではなく、今後検討する必要があると述べた。植竹富一(東京電力)からは、用いるモデル、例えば地下構造モデルの検証はどのようにすればよいかという質問が寄せられた。藤原は、J-SHISの地下構造モデルはまだ地震波で検証ができていない、今後、研究者が個々に地下構造モデルを作成するのではなく、全員で作りにくくシステムが必要だと述べた。山中浩明(東京工業大学)は、関東平野、濃尾平野、大阪平野では地盤による固有周期が説明できる三次元地下構造モデルは存在すると付け加えた。太田外気晴(足利工業大学)は、北村の発表に対して、提供波に対する既存の高層建物の安全性はおおむね大丈夫との結論であるが、被害を受ける建物が本当に無いのか精査する必要があると述べた。また新築だけではなく既存建物の耐震改修の必要性が説明できる指針作りをする必要があると述べた。これに対して北村は、大きな被害を受ける建物が実際に存在するか否かの精査は現時点では実施していないので、今後検討を進める必要があると述べた。また現状では耐震安全性が懸念される古い建物のリニューアルにおいて耐震改修への投資が少ないことを指摘し、指針は耐震改修の後押しとなると思うと述べた。市村隆幸(和田建築技術研究所)は、地震動の専門化でも難しいサイト波の作成を設計者が判断することは困難である。設計者としては、指針

はサイト波作成のお墨付きを与えるものであって欲しいと述べた。川瀬は、サイト波が自動的に一意に決められるような指針ではなく、震源とサイトを特定した地震動を考えることによって耐震安全性の高い建物が増えることを目指した指針だと述べた。また設計者には本指針を契機としてできるところから始めていただき、最終的には共通認識としてサイト波の相場観ができるような状況にしたいと述べた。翠川(東京工業大学)は、設計者には設計入力地震動はお役所から与えられるもので自分たちが考えるものではないと考えている人に対して、指針は啓蒙を促すものであって欲しいと述べた。また指針は、いろいろな状況に応じた地震動策定のメニューを充実させて欲しいとも述べた。川瀬は内陸地震のように発生頻度が低いが強烈な地震動となる地震に対する対応は今後議論をつめて行きたいと述べた。

最後に地盤震動小委員会幹事の山中が本シンポジウムのまとめを述べた。各ステップで個々の問題はまだ存在しているものの、震源とサイトを特定したサイト波作成の大きな道筋はできており当委員会ではこの流れを普及させてゆきたいと述べた。また指針は 2008 年度中には刊行したいと述べた。

(文中敬称略)