

第 36 回地盤震動シンポジウム(2008)報告

野畑有秀*

1. はじめに

第 36 回地盤震動シンポジウム「度重なる被害地震から設計用入力地震動を考える - 新・入力地震動作成手法の使い方と検証(その 2) - 」が日本建築学会構造委員会振動運営委員会地盤震動小委員会の主催により、2008 年 12 月 9 日 10:00-17:00 に建築会館ホールにて開催され、およそ 180 名の参加者があった。

司会は、午前の部を神野達夫(広島大学)と高井伸雄(北海道大学)が、午後の部を岩田知孝(京都大学)と飛田潤(名古屋大学)が、総合討論を前田寿朗(早稲田大学)と吉村智昭(大成建設)がそれぞれ担当した。主旨説明の後、午前中に「最近の被害地震の地震動の解釈」と題して話題提供が 5 題、午後、特別講演の後、「新・入力地震動作成手法の概要と適用例」と題して 5 題の話題提供があり、その後、「設計用入力地震動に求められるもの」と題して総合討論を行い、最後にまとめが行われた。

2. 主旨説明：加藤研一(地盤震動小委員会主査/鹿島建設)

地盤震動小委員会では、地震とサイトを特定したシナリオ型強震動予測手法に関する刊行物を 2008 年度中に出版する予定である。本シンポジウムは「新・入力地震動作成手法の使い方と検証(その 2)」と題して昨年に引き続きシナリオ型強震動予測を設計にとりこむ重要性とその課題について議論する場として企画し、あわせて 2008 年も岩手・宮城内陸地震、岩手県沿岸北部の地震など被害地震が頻発しており、こうした地震の地震・地震動の解釈を通じ、現状で評価可能なこと、課題として残ることの整理も重要と考え、本シンポジウムの主題として取上げたことが報告された。なお、刊行物に関しては、当初「ガイドライン」と題して出版する計画であったため、パブリックコメントを募集したことが説明され、その意見の中には好意的なものもあったが、厳しい意見もあったことが述べられた。本日の総合討論では是非そのような意見を活発に交換しあう場としたいことが述べられた。最後に地盤震動小委員会のマニフェストの紹介とともに今後の活動方針を示し主旨説明の挨拶とした。

3. 最近の被害地震の地震動の解釈

3.1 岩手・宮城内陸地震の活断層に関する知見(越谷 信/岩手大学)

2008 年 6 月の岩手・宮城内陸地震においては奥州市衣川区餅転から一関市巖美町落合に至る地域で西傾斜逆断層の地表地震断層が出現した。本地震断層の出現した地点は遠地実体波の解析により得られた断層面上のすべりの大きな領域と調和的であるが、地表に現れた変位はおおむね 40cm 以下で、同解析で求められた数 m オーダーのすべり量と比べて著しく小さいことが述べられた。本地震の震源域の北部に位置する出店断層は第三紀中期に東西方向の引張応力場で正断層を形成した後、逆断層として再活動した断層であり、本地震の地震断層も同様な形成状態であると考えられ複雑な地層構造を示している。このような地域における活断層の評価には、変動地形学と地震学の総合的研究が重要であるとの指摘が行われた。久田(工学院大)から、M7.2 の浅い地震において地表面断層の痕跡が小さいのはこのような地形では一般的なのかどうかの質問があり、この地域での特殊性だとは考えられるが、この傾向が一般的なのかどうかは今後の課題であると述べられた。

3.2 岩手・宮城内陸地震の地震動に関する知見(青井 真/防災科学技術研究所)

2008 年 6 月の岩手・宮城内陸地震は、震度観測網の少ない地域で発生した地震にもかかわらず、幾つかの観測点で震度 6 強が観測された。震源近傍の観測点を除けば全体的に平均的な地震動強さであったことが距離減衰式との対応から確認された。震源インバージョンで得られた震源過程では、破壊開始点から南方に向けて破壊し、破壊開始点から南 8~9km 付近で最大滑りが生じていることが示された。強震記録で特徴的なものは、一関西の地表の上下動であり 3866gal が観測されている。本記録において下向きは 1 g 程度であり明らかに上向きに非対称で大きくなっている。また振幅のみならず周期的にも非対称になっていることが示された。このような記録は過去にも観測されており、その解釈として極表層部の地盤が粒状体的に振舞うトランポリン効果で説明が可能となることが説明された。また、地中の記録と地表の記録をもとに表層地盤の増幅を比較すると弱震時では水平上下とも同じような増幅となっているが、強震時には、水平は地盤の非線形効果で増幅は抑えられ、上下動に関しては非線形効果は小さくなく結果として水平動に比べ上下動が大きくなったという解釈が示された。

3.3 中越沖地震の震源モデルに関する知見 (堀川晴央/産業技術総合研究所)

2007年新潟県中越沖地震における震源モデルに関しては未だ統一の見解が得られておらず、現在までの知見についてのレビューが報告された。最初に当該地域の地下構造の複雑さに触れ、地震の概要について説明がなされた。余震分布は大きく見ると、北東側と南西側で分けられ、南西側は南東傾斜の傾向が、北東側は北西傾斜の傾向が見られる。次に断層面内の滑り分布をもとめた6の例を紹介した。いずれの震源モデルにおいてもすべりの大きなところは3-4個ほど存在するが、その位置に関しては各々異なっており、定性的な傾向は一致しているが、定量的な傾向は一致しているとはいえない。これらの結果は、インバージョン等に用いた観測記録が複雑な地下構造にフィルターされているため、震源像が明瞭には得られ難いこと、余震分布も含め観測点の配置が偏っていること等に起因していることが説明され、今後地盤の影響等を的確に評価し、より明瞭な震源モデルを得る必要があることが報告された。

3.4 中越沖地震の地震動シミュレーション (釜江克宏/京都大学)

新潟県中越沖地震について経験的グリーン関数法と3次元地下構造モデルに基づいた差分法を用いてシミュレーションした結果について報告された。用いた震源モデルはアスペリティを特性化した震源モデルで、余震分布に基づく地震調査研究推進本部の南東傾斜の断層面をもとにフォワードモデリングで評価している。経験的グリーン関数法の結果は概ね良い対応は示すものの一部でアスペリティの寄与が上手く説明できていない。そこで当該地域の褶曲構造をモデリングした3次元地下構造モデルを用いてシミュレーションを行った。その結果、振幅は合わないが観測波形にある3つのパルスの再現ができることを示し、今後より精度の高い地盤モデルをもとにシミュレーションすることの必要性を指摘した。岩田(京大)は、パルスを説明するには震源・伝播・地盤のいずれかを調査すればよいのかのコメントをもとめ、振幅としては、深さ2kmから上の堆積層で増幅が大きくなっており、そこから上の堆積層の影響が大であるとは考えられるが、細かな検討していないため研究課題として残る旨の回答があった。

3.5 最近の被害地震で発生した地震動の性質と被害の対応(境有紀/筑波大学)

2008年に発生した岩手宮城県内陸地震、岩手県沿岸北部地震の二つの地震における震度6弱以上となった強震観測点・震度観測点の半径200m以内の建物被害の状況を調査した結果を周辺写真とともに報告された。岩手宮城県内陸地震では17地点、岩手沿岸北部地震では10観測点を調査した。建物棟数が100件以上と統計的に有意な観測点もあったが、全体的に震度の割には大きな被害は見られなかったことが述べられた。その要因については、地震動の成分として、短周期が卓越し被害に影響を及ぼす周期帯の地震動強さが小さかったことが考察された。さらに、強震記録が公開されない震度観測点において、地表最大加速度PGAと計測震度から、応答スペクトルを推定する方法を提案し、検討結果を報告した。その結果、周期1-2秒の領域の推定は精度良くもとまることを示した。この関係をもとに、今回の地震で震度6強を観測した栗原市や奥州市のスペクトルを推定したところ被害と層間のよい周期1-2秒の地震動強さが小さく、大きな被害がでなかったことの説明と対応が見つかることが示された。

4. 特別講演「やや長周期地震動と超高層ビル」:太田外気晴(足利工業大学総合研究センター)



2003年十勝沖地震を契機にクローズアップされたやや長周期地震動に関して過去40余年に亘る研究の足跡を、近年の研究を交え紹介し、超高層ビル黎明期から現在までの設計入力地震動と構造物の耐震性に関わる話題についての講演が行われた。最初に「柔剛論争」の議論から、構造物の設計に供する強震記録の日本で最初の数値化についての話題から始まり、強震記録に関しては、関東地震における復元記録に関しても言及し、K-NET、KiK-netが整備された現在でも過去の大地震の記録の有効性が指摘された。さらには、日本における主要な平野におけるやや長周期地震動について述べるとともに、海溝型地震の予測事例

について紹介がなされた。これらの事例等を踏まえて、平野におけるやや長周期地震動の距離減衰特性を示した。最後に建物応答の話題に移り、ベースシア係数の下限値についての指摘が行われた。高層建築物構造設計指針では、やや長周期地震動が明らかでない時代から、ベースシア係数に下限値を設けており、現在の知見からみると下限値を設けたことが良かった点、今後その下限値をどのように見直していくかの意見が述べられた。約 1 時間の講演ののち、加藤より、「過去の歴史を振り返って、地震・地盤震動研究の進んだこと、また今後評価すべき課題は何か？」との問いかけあり、地盤震動小委員会は建築学会のなかで地震・地震動研究の分野を牽引してきた過去があること、今後もそのような活動を続けて地盤震動研究が発展することを期待している旨の回答が行われた。

5. 新・入力地震動作成手法の概要と適用例

5.1 地盤震動研究を活かした設計用入力地震動作成法（川瀬 博 / 京都大学）

地盤震動小委員会がとりまとめ 3 月初旬に発行予定である刊行物「最新の地盤震動研究を活かした強震波形の作成法」の作成方針についての概要の報告が行われた。最初に、設計震度に対する梅村博士の文献を引用し、適切な地震動波形がないことより決定したということであって、近年の強震記録の蓄積・強震動予測法が発展した現在では、より積極的に強震波形を利用することを否定しているものではないことを紹介した。また、超高層ビル等の動的設計においては、関東地震の東京をイメージし、入力地震動レベルの相場観（入力で 50cm/s、減衰 5% 応答で 100m/s）が長年形成されてきたが、兵庫県南部地震以降の観測記録結果よりその相場観がぐずれかけているのが現状であることを指摘した。さらに、今回刊行する強震波形の作成法では基本的に 震源特定・サイト特定の予測 - 特定性原則、客観的事実に即した情報に基づき忠実に地震動予測 - 現実性原則、予測に対して設計者判断で設計クライテリアを設定すること - 分離性原則の 3 原則を前提としていることを紹介し、本刊行物が、シナリオ型の予測手法を使う場合の予測手法の選択及びそのパラメーターの設定法に標準的なものを示すガイドラインを示したものであることを強調した。最後に田治見先生が 1983 年にレビューした設計用地震動の評価手法の手順を紹介し、本刊行物でようやくそのスタートラインに立つことができたと述べた。

5.2 新潟県中越沖地震に関する適用例（野津

厚 / 港湾空港技術研究所）

2007 年新潟県中越沖地震を例として、刊行物の予測手法に則し内陸地殻内地震への適用の紹介が行われた。最初に、観測記録を再現できるようにチューニングした震源モデルによる評価を紹介した後、刊行物の評価手法に即した評価で予測した事例が示された。ここで用いる予測手法は経験的なサイト特性を用いた統計的グリーン関数法である。震源近傍での観測点での記録に基づくサイト増幅特性の評価を行い、柏崎と寺泊ではそのサイト増幅特性に大きな違いがあることを示した。チューニングは観測されたパルス周期とその発現時刻に基づきアスペリティサイズと位置が決定された。このようにチューニングされた震源モデルから評価されたシミュレーション波形は観測波形と良い一致を示すことが示された。一方、チューニングしない「作成法」に基づく予測波でもサイト増幅特性の適切な評価により、ほぼ再現できることが示された。松島（清水建設）は、発生した地震に関して地震モーメント M_0 はその値を用いるが「作成法」で M_0 の推定はどのようにしているのかの問いにレシピに準拠し断面面積から推定すると答えた。また司（構造計画）からは、応力降下量に関する質問と本評価法と推本レシピとの関係についての質問が、保井（戸田建設）からは滑り速度関数についての質問があった。

5.3 宮城県沖地震に関する適用例（大野 晋 / 東北大学）

海溝型地震への適用例として 1978 年宮城県沖地震の強震動シミュレーションの結果について報告された。地盤モデルとしては、幾つかの機関で調査公表されたモデルをもとに再構成された 3 次元地盤モデルをチューニングしたものを観測点直下の 1 次元成層地盤として用いている。震源モデルに関しては地震調査研究推進本部が用いた震源モデルそのものと、既往の研究成果をもとに強震記録を説明できるようにより小さなアスペリティを設定したモデルの 2 ケースとした。その結果、地震調査推進本部の震源モデルでは、観測波に見られる初動のパルスが再現できないことが示された。これらのことから、本地震においては、震源の特殊性を考慮する必要があることを指摘した。加藤からは、このような特殊性は海溝型プレート境界地震の特徴なのか？ 地域の特殊性なのかの質問があり、1978 年宮城県沖地震ではその傾向があったということを確認しているのみで、一般的な結論は難しく、今後、より多くの地震を検討し評価する必要があることが回答された。また釜江か

ら用いた震源モデルについて再確認の質問があった。

5.4 十勝沖地震についての震源モデルの検討 (渡辺基史 / 清水建設)

特性化震源モデルを用いた強震動評価においてはマグニチュード8クラスの海溝型地震に対しては、必ずしも適切な予測結果が得られない。その点を考慮して、周期数秒～10秒の予測精度の向上、即ち強震動予測レシビの高度化を目指し、単純化(特性化)することの問題点を明確にするため、種々のパラメーターが強震動にどのように与えるか検討した。その結果、2003年十勝沖地震においては、破壊伝播の複雑さが支配的な要因であることが示された。破壊伝播の複雑さをモデル化する手続きとして、破壊伝播速度と断層面のすべり量とは良く対応していることから、アスペリティの位置や破壊開始点からの距離に応じて破壊開始時間を遅らせるという特性化モデル改良案を作成し、それを取り込んで予測を行った結果、改善効果が認められたことが報告された。今後、他の地震でも同じ傾向があるのかどうか、さらには破壊伝播の複雑さを適切に表現するパラメーターの分析を行いレシビの向上を図りたい旨の報告があった。三宅(東大)からは、周期数秒の落ち込みは観測点によって見られない地点がある。その点に関してのコメントを求めた。強震波形を最も特徴づける要因(例えば指向性パルス)が場所によって異なる点にあるものと考えられるとの回答があった。久田からは、指向性パルスに関するコメントがあった。

5.5 上町断層について想定される地震動(大西良広 / 地域地盤環境研究所)

大阪府は2007年に自然災害総合防災対策の検討が行われ、地震被害想定の結果が公表されている。その中で上町断層から発生する地震は、大阪直下に位置しているためその影響が大きいことが示された。一方、上町断層から発生する地震に関しては、大阪府の他に中央防災会議、産業技術総合研究所が各々独自に評価を行っている。ここでは、大阪府の評価結果を中心に、中央防災会議と産業技術総合研究所とどのようにパラメーターが異なるのかを交えて報告がなされた。三機関とも震源モデルの設定に関して各々異なっており、さらには評価手法も異なる方法を用いているため、結果として差異が生じているが示された。また、破壊シナリオによって地震動強さの分布が異なることを示した。また、大阪府の検討では、平成8

年の検討と同様にゾーン毎の「想定標準地震動」を評価している。周期2秒以上はばらつきが大きいと、周期0.2～2秒での応答スペクトルで平均+1にもっとも近い地震動を選んでそのゾーンの代表地震波としている旨報告された。松島は、機関により断層幅の設定に差が生じる理由を確認し、地震発生層の設定による差が主な原因であることが回答された。また、釜江は2秒以上がばらつく理由を確認し、震源の設定のばらつきによるものが大きい旨の回答があった。

6. 総合討論「設計用入力地震動に求められるもの」

最初に司会の方から「最近の被害地震の地震動の解釈」と出して話題提供のあった午前の5題について概要を要約し、会場よりあらためて確認事項や質問事項があるかどうかを求めた。久田は、中越沖地震の発表において強震動レシビでよく説明できるとのことだが、北西傾斜でも南東傾斜のどちらでも説明できる件に関して震源なのか地盤なのかを含め再度説明をもとめた。釜江は、当初波からみて指向性パルスが卓越した北西傾斜としたが、余震分布より南東傾斜となったため、レシビの枠組みの中ではあるが、短周期レベルを大きめに設定して観測波のパルスを説明した旨の回答があった。ただし振幅に関しては地下構造による影響が強い旨の回答を行った。石井(清水建設)は、北西傾斜では指向性の影響が強いが、南東傾斜でもラディエーションの影響の有無等より注意深く検討する必要があるのではないかと意見した。加藤は、ポイントソースで考えれば南東傾斜でも北西傾斜でもラディエーションは変わらず、指向性効果で振幅が異なることをコメントした。次に、地表面断層と地震断層の話題に移り、釜江から岩手宮城内陸地震も前もって地震断層は判別できるのか?また、わからないのであれば特定できない地震としてどこまでを予測できるのか?等の質問があり、越谷は、本地震について事前の予測が可能かどうかは、ノーマークであったので分からないが、地形の痕跡がない山地は難しいこと、また地質断層と地震断層が整合していないこともあり、今後、地質ではわからなくても反射・屈折法探査の結果や重力異常などの物理探査や、さらには火山を含めた温度分布等を総合して判断していく必要あるだろうことを意見として述べた。

次に司会の方から、午後の話題「新・入力地震動作成手法の概要と適用例」と題して話題提供のあった午前の5題について概要を要約すると同時に、パブリックコメントにおける意見、「今後、設

計者が積極的に入力地震動を作成する良い規範になるのでは「設計用入力地震動と予測地震動は異なり、建物の特性・重要度を鑑みて設計入力地震動を作成すべき」「一つの考え方で入力地震動を作成すると、そこが建物にとっての弱点になる」等を紹介し、設計用入力地震動に関わる意見を求めた。最初に、宮崎（ダイナミックデザイン）から設計では時間的な問題等の制限があるために、すぐにこのような手法に基づく予測地震動を取り込むのは難しいが、将来的にはぜひとも取り組んでいくべき方向であり、現時点でその芽をつぶすのはよくないとのコメントがあった。次にパブリックコメントを出した一人として丹羽（鹿島建設）は、設計用行為の中のひとつとして設計用入力地震動は位置付けられるものであり、現行案では設計の枠組みとしての視点が欠けていると思う。地震動予測で終わるのであれば、地震学会や日本地震工学会から出版することで、土木を含めた各種構造物を考えるとにも使えるものができる。また地震動予測と地震動評価とは異なり、予測結果だけに留まらないことに注意が必要である。さらに予測は外してもよいが、設計での外力の大きさは外すことはできないと意見を述べた。それに対して、川瀬は、土木学会においては2000年にレコメンデーションが出ており、設計にあたっては活断層を考慮することが義務付けられてきているのに対し、建築の方は1995年以降の土木の設計の考え方の変更についていっていない。その点に関しては、新耐震で設計された建物の被害が少なかったために、どうして構造物が壊れるかにきちんと対応してこなかった点に原因があることを指摘した。一方、動的解析に使用する入力地震動に関しては、学会出版の荷重指針においても、動的解析を推奨しているが、入力動作成に関しての解説は建築学会にないことを指摘した。本刊行物は、これに対応する意味で、記載事項に従って作成していけば、ある程度適切かつ標準的に強震動波形の作成が可能になることを意図したものである。また予測だけでは無責任だという指摘に関しては、現行の設計が既往波を使用していることを考えれば、現時点での適切な震源、適切なサイト特性を考慮した結果の予測波を用いることは多少外れたとしても社会に対して十分な責任をとっているものと考えられるのではないかと答えた。さらに、今後地震動予測結果が設計に役立つかどうかは、受け止める側の力量により決まること述べ、地震動予測しただけで設計ができるとはしていないことを説明した。

また、野津は、土木では活断層から発生する予

測地震動を推奨している点、港湾構造物の設計用入力地震動では震源・伝播特性・サイト特性を考慮して評価すべきであるという指針が出版されていることを紹介した。また、話題提供で紹介したようにサイト特性は数10倍も違うことがあるため、その差を考慮しないで設計することは問題であることを改めて指摘した。告示のただし書きにもサイト波についての記述がある以上、建築学会も予測地震動で評価するという方向にいくのではないかと補足した。丹羽は、決して否定的な意見をいったわけではなく前向きに作成すべき立場であること述べ、そのためには、設計用の枠組みの視点をより重視した方が良い刊行物になるとの意見を述べた。北川（山口福祉文化大）は、現在の研究レベルの50%のことを記述すれば実務でも使える。キャリブレーションやシミュレーションという言葉が入るようでは、実務適用は難しい。また予測は経済性を考えなくてもよいが、設計では経済性を考える必要があるため単純でないことを指摘した。また太田は、建築学会だけでなくより学際的な活動が重要なこと、また経済性の観点も含めることが重要なことを述べた。

加藤は、大阪の上町断層の研究会では設計者も含めて入力地震動についての検討を行っているようだが、このような大きなレベルの地震動に対して設計者はどのように思っているかを質問した。一般の設計に関しては、やや長周囲帯の地震動レベルがあがることに抵抗があることや実務と研究レベルでは温度差があることが述べられた。

7. まとめ（山中浩明 / 地盤震動小委員会幹事 / 東京工業大学）

午前・午後の話題提供、特別講演の概要を説明した後、刊行物に関する意見として次のようにまとめた。今回の刊行物は、シナリオ型強震動予測を行うに際してのパラメーターを含め標準的な方法についての記述がなされている。シンポジウムの内容を聞いてみると、まだまだ地震動を予測する際には各種のチューニングが重要であることを認識せざるを得ない。そのようなチューニングを行っていくことで地域性・地震の特殊性を考慮することができより良い評価手法になっていくものと思われる。ただし、そのためには一步一步の積み重ねが重要である。今回の地盤震動小委員会の刊行物は、そのスタートラインとなるものであると信じていることを述べた。最後に、講演者・参加者への感謝と今後の委員会の活動への支援をもとめて閉会の挨拶とした。