

# 第 29 回地盤震動シンポジウム

## 改正建築基準法の地震動規定を考える

### —地盤震動研究から見た限界耐力計算の評価と課題—

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 2001 年 10 月 31 日(水)9:30～17:45、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:山中浩明(東京工業大学)・高井伸雄(北海道大学)、午後の部:前田寿朗(早稲田大学)・小山信(建築研究所)、総合討論:川瀬博(九州大学)・小林喜久二(竹中工務店)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)より趣旨説明があり、地震動に関わる基準法の変遷を説明した後、従来の地震荷重レベルから規定されている工学的基盤の入力レベルを如何に考えるかが議論の一つのポイントとなると述べた。また基準法は社会とのバランスで定まるものであり、社会的合意形成の過程も議論のポイントとしたいと述べた。

午前の部は耐震規定の解説として、規定の概要、表層地盤の増幅、これまでの設計概念との対応に関して3題の講演があった。

緑川光正(建築研究所)は「改正基準法における耐震規定の考え方」と題して、構造関係規定の概要、限界耐力規定の概要、改正建築基準法の背景を説明した。今回の改正の特徴は、全体構成の変更、適用ルートが多様化、判断基準の明確化、建築基準法38条の廃止であり、今後の課題として適用範囲の明確化を示した。また耐震設計で時刻歴解析をしないことが前提条件であった背景を紹介した。この講演に対し、山中浩明(東京工業大学)は改正の際考慮した基準法の将来像の有無を質問したが、緑川は特にないが新しい技術の導入には建築主事の制度もあわせて検討してゆくことが必要だと述べた。

飯場正紀(建築研究所)は「改正基準法における地盤増幅の取り扱い」と題して、地震動と表層地盤増幅の考え方と設定方法を説明した。今後の課題として2層地

盤への置換の妥当性検証、地盤設定における個々の問題が全体に与える影響の把握、地震動を規定すべき地層の論議、海洋型と直下型の地震と地域係数との関係等を指摘した。植竹富一(東京電力)は長周期で一律2倍の増幅率は物理的な感覚とは異なると指摘した。これに対し飯場は BCJL2 等に合わせるように決めると回答した。

北村春幸(東京理科大学)は「設計実務から見た新規定」と題して、既往の設計用地震荷重との比較、兵庫県南部地震での被害建物の検討、限界耐力計算法の問題点を述べた。兵庫県南部地震の被害建物の調査から建物の変形能力には過度に期待せず、ある程度以上の  $D_s$  値は確保すべきだと指摘した。また限界耐力計算法の問題点として、長周期では入力スペクトルの低下が大きいため降伏せん断力係数の小さい建物の方が小さな応答変形になる例を紹介し、限界状態設計法は個々の設計法は正しいが全体でみるときに正しい判断ができていないのか疑問と述べた。

昼食休憩後、北川良和(慶應義塾大学)により「地盤震動研究と基準法改正」と題して特別講演があった。まず基準法の変遷と地盤震動小委員会の経緯について述べた後、過去において研究とのギャップ(もたえ)に悩みながら指針等を作成した事例を多く紹介した。一つの事例として新耐震設計法を取り上げ、 $R_t$  曲線が観測地震動の応答スペクトルから如何に決定されたか、地域係数がどのような経緯で作成されたかが紹介された。その中で地域係数が地震基盤での地域間の相対値として定義されていること、開放工学基盤はもともと原子力設計の分野で  $V_s=800\text{m/s}$  程度という定義があり、その半分として  $400\text{m/s}$  が N 値 50 とも対応するという理由だけで工学的基盤となった等、興味深い裏話もあった。研究者が物理に基づいて研究者の立場から安全な設計法を作ることがプッシュモデル、研究者が設計者の立場に

\*清水建設(株)

たって安心な設計法を作成するのがプルモデルとすると、プッシュモデル的な考えに加えて、プルモデル的な考え方がもたえの解消には必要との考えを述べた。

また最後に、全体の把握、自己の知見からベストなものを作る心がけ、重要度、経済性の考慮等をもたえ解消のポイントとして挙げ、結果的にはプロとしてもたえて勉強してゆくしかないまとめた。

午後の部は議論編として、地盤震動研究からみた改正基準法の問題点と課題を議論した5題の講演があった。

森伸一郎(愛媛大学)は「改正建築基準法による表層地盤増幅の評価法における諸問題」と題して、地震力規定および表層地盤の増幅率の特徴とその問題点について述べた。問題点として2層地盤への置換に着目して、不均質地盤における2層地盤への置換妥当性、非線形化による不均質化への適用性、SHAKEによる検証の妥当性、工学的基盤の定義のあいまいさ、Gs評価2本立ての是非を指摘した。特に地盤調査に関しては、より詳しい調査をすれば余計な安全率を排除できるような具体的な仕組みが必要だと述べた。また告示に示された地盤の剛性と減衰の非線形性では増幅率を過小評価する可能性があることも問題点として指摘した。最後に建築主事、設計事務所、建設会社設計者のヒアリングを紹介し、今回の設計法は難しく理解が困難であること、認定された市販のプログラムがないと設計できないという意見が多くあったことを報告した。問題点はあるものの大きく前進した基準であるので、今後の継続的なフォローアップをしてどのように発展させるか考えてゆく必要があると述べた。

永野正行(鹿島建設)は「工学的基盤より深部の地盤増幅、2・3次元地盤の影響は無視できるか？」と題して、主に神戸に見られるような盆地端部の断層地形が地震動増幅に与える影響について、メカニズムと基本特性や国内の複数の断層地形を用いた増幅事例を述べた。その結果、盆地端部から堆積層厚程度離れた地点では、堆積層による一次固有振動数の5倍の振動数で3～5割ほど地震動が増幅されることを示した。最後に基準法への取り込み方法としてGsと同様工学的基盤のスペクトルに増幅係数をすべきではないかと述べた。この講演に対し林康裕(京都大学)は阪神淡路大震災では

断層地形による地震動増幅に関わらず建物被害が少ないことから逆に割り引く考えもあるのではないかと質問し、さらに増幅係数は建築耐震性全体のバランスを見ながら考慮すべきだとの意見を述べた。それに対して永野はその考えに賛成しつつ、研究で得られた知見はなるべく反映させるように考えてゆきたいと述べた。

野畑有秀(大林組)は「提案スペクトルは工学的基盤のスペクトルと見なせるか？」と題して、告示スペクトルから想定される地震の像と、工学的基盤スペクトル特性を決める要因として工学的基盤以深の堆積層による影響について述べた。告示スペクトル(極めて稀に発生する地震)は安中によるスペクトルの長周期域でみるとM8で震源距離30~40km、M7で10~15kmの地震に相当し、被害地震の激震領域内での地震動ではないこと、東京における一様ハザードスペクトルから求められる告示スペクトルの再現年は500~1000年程度になることを示した。また工学的基盤での地震動が地震基盤深さにより変化することを、関東平野の観測波や大都市での深層地盤の理論増幅率の検討を用いて報告した。工学的基盤の設定は単純に400m/s層とするのではなく、より深い地層でもインピーダンス比の強い境界面を考慮する必要があると述べた。最後に深部地盤構造の地域係数への反映、告示スペクトルが想定する地震動像の明示の必要性を指摘した。

久田嘉章(工学院大学)は「震源域の強震動特性からみて改正基準法の設計用入力地震動は妥当か？」と題して、震源近傍の強震動特性の紹介および告示スペクトルとの比較を行った。震源近傍の強震動をランダム位相、長周期パルス、大変形の3つのタイプにわけて紹介した。長周期パルスタイプの地震動は浅い地震で破壊伝播が向かってくる場合に発生し告示スペクトルをこえること、大変形タイプの地震動は短周期構造物には影響が少ないが長周期構造物には注意を要することを指摘した。またランダム位相の地震動に関しては基準法で対応可能と述べた。最後に長周期パルスを NEAR SOURCE FACTOR として設計に取り入れた UCB コードの紹介を行った。

境有紀(東京大学)は「地震動の破壊力から見た改正基準法による設計用入力地震動」と題して、告示スペクトルを建物破壊力の観点から評価した。まず地震動の破壊力を表す指標を実際の建物被害から推定し、1.2

～1.5秒の弾性応答スペクトルが建物被害率と大きな相関があることを指摘し、同周期帯域の平均応答スペクトル(等価周期応答)から求められる修正計測震度を定義した。告示スペクトルによる設計入力地震動の時刻歴波形がどのような破壊力を有するか、過去の被害地震の修正計測震度と比較検討した。その結果、1～6%の全壊率となる破壊力を有すること、修正計測震度は6弱で宮城沖地震の東北大の記録より大きく、兵庫県南部地震の海洋気象台の記録を下回ることを指摘した。

以上の講演の後、改正建築基準法の問題点と今後の課題に関して総合討論が行われた。はじめに地盤震動小委員会の川瀬博(九州大学)より、限界耐力計算の問題点、適用上の留意点、今後の改善方向の3つに分けて論点の紹介と説明があった。限界耐力計算法の問題点としては、与条件としての  $Co \cdot Rt$ の是非、荒削りな表層地盤の増幅評価を、適用上の留意点としては液状化への適用性、耐震性の総合判断の必要性、今後の改善方向としては震源近傍の強震動の評価、深部地盤の評価を指摘した。今回の改正で表層地盤の増幅に関しては観測事実と結びつけたが、耐震性に関しては建物余力と入力レベルがともに想定より過大であった兵庫県南部地震の被害事実が反映されていないとの意見を述べた。

久田嘉章(工学院大学)はUCBのNEAR SOURCE FACTORのように断層近傍の強震動特性がなぜ今回の改正基準法で取り入れられなかったのか、またやや長周期地震動はなぜ基準法に反映されないのかと質問した。前者の質問に対して緑川光正(建築研究所)は地域係数で考慮すべきものになると考えられるが、今回の改正基準法では地域係数は変えないことが前提条件であったと説明した。また後者の質問に対して北川良和(慶應義塾大学)はやや長周期地震動は告示スペクトルの長周期域に考慮されているが、十分でないのは基準法が最低基準であるからであろうと述べた。

山中浩明(東京工業大学)は多くの人がSHAKEを用いている現状を指摘したうえで、改正建築基準法において表層地盤の増幅計算が手計算で可能なように簡略化する必要性を質問した。これに対し飯場正紀(建築研究所)は法律を作成する側から地震動の時刻歴解析は複雑でチェックしにくいので止めて欲しいという要望

があった背景や、計算手順を明確にするため具体的な式を書く必要があったことを理由として挙げた。

緑川光正(建築研究所)は表層増幅効果に関して法令で全て設計できるわけではないので、様々な問題点を地盤震動小委員会等で広めることが建築学会の役目であり、設計者にも有用であるとの意見を述べた。

北川良和(慶應義塾大学)は工学的基盤での地震波や表層の増幅効果を細かく決めると設計者の裁量の余地がなくなるとを例にあげ、研究者または設計者の立場からどのように考えて法律を作成すべきかと質問した。これに対し萩尾堅治(大成建設)は研究者あるいは委員会の立場からは全体のつながりとバランスが重要であるとし、性能設計は本来自由に設計可能であるはずが現実には検証ルートがかなり固定化されえているという矛盾があり、今後全体体系を考え直す必要があると述べた。

渡辺和明(大成建設)は本来自由に設計可能な性能設計の方向とは現在矛盾している印象を受けたとし、より実務者の想像力が働かせられる体制づくりをして欲しいと述べた。北川良和(慶應義塾大学)は設計者に対する信頼感や恣意的な設計の防止などのバランスから現在の設計体系が決まっており、そのバランス感覚が重要だと述べた。緑川光正(建築研究所)は法令には決める必要があるのに対して技術的には決めないほうがよいという根本的な矛盾があること指摘し、矛盾の解消には制度から変える必要があるが、現在の社会制度や体制のもとで作成したのが、今回の基準法であるとの認識を述べた。林康裕(京都大学)は設計者と技術者との間の乖離を減らすためには新耐震基準に立ち返って考える必要があり、立ち返ることにより正しい方向に向かうことができると述べた。また中には公に話難いこともあるだろうが、現在の技術背景をより広めてゆく必要があるとも述べた。

平島新一(新建築構法研究所)は品確法における耐震評価の実務にもとづいて、限界耐力計算法の使用状況および所感を述べた。関東では70～80件の評価を実施しているが1件だけ限界耐力計算法での設計があったこと、個人的にはコスト削減のため限界耐力法が悪用される危惧があることを述べた。また実務から得た実感として、限界耐力設計法の問題点の存在、市販の構造計算ソフトの欠如から普及にはまだ時間が必要であると

も述べた。大越俊男（日本設計）は技術者による性能評価が統一されなければ性能設計が国民に受け入れられないので、ある程度基準は厳密に定義されるべきだと述べた。また基準には採用されていない新しい耐震技術に関しては建築学会が出版物として設計者に広めて欲しいと述べた。瀬尾和大（東京工業大学）はシンポジウムの議論を通じて地盤震動小委員会がよりよいものを提案すべきであると述べた。また改正建築基準法では38条の廃止にもかかわらず、工学的基盤より深い地盤の増幅評価に関しては表層地盤に比べて評価が遅れている点を指摘した。

最後に地盤震動小委員会幹事の山田真（早稲田大学）が、各講演のキーポイントの指摘をおこない、地盤震動小委員会による耐震設計法の考え方や評価法を発信することが今後望まれており、重要であるとまとめた。

（文中敬称略）