

第 28 回地盤震動シンポジウム  
震源近傍の強震動と設計用入力地震動  
トルコ・コジャエリ地震、台湾・集集地震の経験を踏まえて

梅村 恒\*

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 2000 年 11 月 2 日(木)9:30~17:30、建築会館ホールにて約 180 名の参加者を集めて開催された。司会は午前の部:加藤研一(鹿島建設)・荻本孝久(神奈川大学)、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:久田嘉章(工学院大学)・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、昨年のトルコ・コジャエリ地震、台湾集集地震を対象として、震源過程、強震動特性、構造物被害に関する情報の整理を行い、それらの知見をどのようにして設計用地震動に反映してゆくかを探りつつ討議を行いたい、との趣旨説明があった。

午前の部では、両地震の震源過程、強震動特性に関する情報の整理と分析及び現行の地震動特性の設定法との対応に関して、6 題の話題提供があった。

岩田知孝(京都大学)は「トルコ・コジャエリ地震と台湾・集集地震の震源過程と震源近傍地震動」と題して、2 地震の震源過程の推定結果を示し、兵庫県南部地震の場合と比較した。破壊進行方向に発生する速度パルス波が、アスペリティーサイズと密接な関係があること、震源の不均質性については、過去の地震による相似則の延長上にあること、またコジャエリ地震では局所的に S 波速度を超える速度で破壊が伝播した可能性があることを指摘した。

工藤一嘉(東京大学)は「トルコ・コジャエリ地震に見られる強震観測点及び被災地の地下構造と強震動特性」と題して、コジャエリ地震の余震観測の結果を報告した。また常時微動測定に基づいて地下構造の推定を行った。被災地での S 波構造の推定方法としては微動アレー観測が最適であると述べ、地盤震動特性が被害状況に対して大きな影響を与えたことを指摘した。

佐藤智美(清水建設)は「台湾・集集地震の強震動特性と地盤震動」と題して、常時微動測定に基づいて推定した深部 S 波速度構造について紹介した。特に、被害が集中した地域では基盤が深く、長周期地震動の増幅が大きいことを指摘した。

大野晋(鹿島建設)は「経験式とトルコ・コジャエリ、台湾・集集地震の強震動」と題して、これらの地震に対する既往の経験式、特に距離減衰式の適用性について検討を行った。集集地震の北部とコジャエリ地震では短周期域の地震動に対する説明能力が低下したことを示し、長周期域の地震動が発生したアスペリティーと異なる領域で短周期域が発生した可能性を指摘した。また、断層が地表に現れた場合に長周期が励起される現象については別途検討が必要であると述べた。

源栄正人(東北大学)は「トルコ・コジャエリ地震の強震動特性と構造物被害」と題して、地震動と構造物の被害に関して整理、検討を行った。大破、倒壊した建物は 1976~1985 年に建てられた 5~8 階建の RC 造建物が多かったこと、またトルコの建物の耐震性能は日本のものよりかなり小さいことを指摘した。コジャエリ地震では震災の帯が見られたが、地震動の破壊力のレベルは兵庫県南部地震のものよりも小さかったと述べた。

林康裕(京都大学)は「台湾・集集地震の活断層近傍における建物被害」と題して、地震動特性と建物被害との関係について述べた。兵庫県南部地震の例との比較を行い、また地盤・建物連成系の動的相互作用効果を考慮した検討の必要性を指摘した。

午後の部では、今後の地震に対する耐震性能について、設計用地震動を考えていく上で震源近傍の地震動をどう捉えて行くべきか、という課題に関する 6 題の話題提供があった。

中田高(広島大学)は「活断層調査と震源評価」と題して、活断層情報を利用するための課題について述べ

た。活断層の変位によって断層上の構造物が被害を受けた事例を示し、活断層情報の活用によってこのような被害を軽減させることができると述べた。さらに活断層の基礎的研究の重要性について述べ、活断層法導入の必要性を強調した。

武村雅之(鹿島建設)は「日本列島における震源断層のスケーリングと近傍での地震動及び被害」と題して、強震動予測に関する経験的手法と理論的手法の比較考察を行った。現段階では断層モデルに基づく複雑な手法を用いても、経験的に作成した距離減衰式による評価以上には予測精度が向上しないことを指摘し、精度向上のためにはアスペリティーの条件などのインナーパラメータに関する情報の蓄積が必要であると述べた。

川瀬博(九州大学)は「震源近傍における入力地震動評価」と題して、震源域の強震動の特徴と、建物に被害をもたらす地震動の特性について説明した。強震動地震学の面では多くの事実が解明されているが、明らかにされた事実を建物の耐震設計に反映させるという課題に関しては研究が遅れていると強調した。現行設計法の入力地震動は小さ過ぎるが、想定レベルをはるかに超えた兵庫県南部地震に耐えたのは、耐力が設計より過大であったことによると指摘し、現実と乖離した設計法を見直す必要があると述べた。

境有紀(東京大学)は「過大な地震力を受ける建物の応答と破壊力の指標」と題して、台湾での調査に基づいて、強震記録が観測された地域の被災度を調べ、地震動の破壊力指標について述べた。建物モデルの地震応答解析は、被害の小さいケースに関してはわずかに被害率を過大評価する事を示した。また、集集地震では0.7秒から1.0秒の弾性応答によって建物被害を再現できる事を示し、破壊力の指標としては周期の2倍～3倍の帯域のスペクトル強度が適当であると述べた。

曾田五月也(早稲田大学)は「断層近傍で発生する地震動の作用を受ける耐震・制震・免震建物の耐震安全性の検討」と題して、断層近傍で観測されるパルス性地震動に対する建物の最大変形について検討した。免震建物、超高層建物だけでなく、一般のRC造建物でも長周期パルスによって過大変形に至る可能性があることを述べた。

宮崎光生(ダイナミックデザイン)は「震源近傍の地震動に対して免震構造は対応可能か?」と題して、設計

者の立場から、震源近傍の強震動に対する免震構造設計に関する見解を述べた。震源近傍地震動を伝播地震動と断層運動地震動に大別し、伝播地震動については現在の免震技術で対応可能であると述べた。10m以上の変位が生じる断層運動地震動に対しては、長周期パルスのみに対応する事は可能だが、その場合伝播地震動に対しては効率の悪い設計となる事を指摘し、断層運動地震動が発生する地域でも伝播地震動を考慮する必要があるだろうか、と問題を提起した。

以上の講演の後、日本での耐震設計において、台湾・トルコの2地震をどう考えるか、また地震動の破壊力をどう定義するべきか、という問題に関して、総合討論が行われ、以下の質疑応答がなされた。

久田:トルコ・コジャエリ地震や台湾・集集地震での経験を日本で参考にすべきか、コメントを頂きたい。

武村:震源近傍のデータが少ないので、単純に台湾とトルコの例だけで議論するのはどうか。これらの地震では短周期のパワーが小さく、M8クラスの地震では被害が小さい、と結論づけられてしまうが、濃尾地震で大きな被害が出たことを考えれば危険である。

岩田:日本で参考にすべき地震動がどうか、という点と賛成できないが、不均質な震源の特性は過去の地震の延長上にあることがわかり、参考になる。被害に関しては、これまでにM7クラスの地震で観測された記録の方が被害に結び付くのは事実であるが、地下構造の影響を評価して地震基盤レベルで比較しなくてはいけない。

中田:今回の地震に関しては断層の調査を行っていないが、地表に出てきた活断層から得られる情報を何に使えるか、ということを考えている。地震学の立場からは、断層が見えなくても地震動を起こせる、ということになるが、見えている範囲での断層の情報を利用する方法があるはず。

久田:地震の破壊力の指標としては何がよいだろうか。

境:指標として使われてきた最大速度では、構造物被害を十分に説明できない。破壊力の指標を決める目的としては、気象庁の震度階のように、地震が発生した時にそれがどのような地震なのかを速報的に発表できるよう

にする、ということを考えている。過去の気象庁震度階では震度 7 を発表するために構造物被害の調査が必要で、兵庫県南部地震では発表が遅れたために被害が拡大した。改正された現在の気象庁震度階でも十分ではないと考えている。破壊力指標の速報的な用途を考えるなら、建物の情報を考慮する必要がある。

曾田：破壊力指標としてデマンドスペクトルを使うことも考えられる。デマンドスペクトルは建物の情報を含まないが、これと建物の特性を比較して被害を判断することができる。

林：何に使うのかをはっきりさせることが重要。速報のための一般の人にわかりやすい地震動指標としては、スペクトルの形では不便。

久田：震源近傍の入力地震動の上限をどう考えたら良いか。

宮崎：神戸で 150 カイン近い地動最大速度が観測され、当時は 200 カイン程度が上限といわれたが、集集地震では 400 カイン程度の地動最大速度が観測された。地震が起こる度に考えられていた上限を越えてしまい、設計者としては困る。どの程度を上限と考えれば良いか。

川瀬：現状ではデータが不十分なので明確ではないが、現在の観測体制で 10 年程度記録が蓄積されれば、滑り速度の上限を押えて地動の最大速度を見積もることができるかと楽観している。どの地点での最大速度なのか、が重要である。鳥取では基盤で 40 カイン程度、神戸に入力されれば 200 カイン程度になるが、このような浅い所での断層破壊を考慮する必要があるかどうか検討する必要がある。このような話題は構造物の研究者と強震動の研究者が共同で研究を行う必要があるが、構造物の研究者は経験則による方法に逃げ込んでいる。今後観測記録の蓄積によって地震動の最大値を押えることができると考えているが、構造物に関しては、その耐力の上限、下限について明確にされるとは思えない。

曾田：耐力、変形性能を補うために、荷重－変形関係のループをどのように膨らませるか、ということ在设计者が工夫していくべき。

武村：設計者の側からは、地震学者の提示する地震動は大き過ぎて設計できない、といわれるが、実際には建物の余力が大きく、設計者が隠し財産を持っているよう

な感じである。構造設計者の方から、将来の方向性を示してもらいたい。境：設計では最小配筋など、地震外力以外の要因で耐力が決まることがあり、その場合は余力の隠し財産ではなく実耐力が大きくなっている。これを考慮して応答解析を行えば、被害を良く予測できる。

滝口克己(東京工業大学)：低層建物では余剰耐力が大きい場合もある。しかし、P- 効果によって不安定になることなどを考えて耐力を余分に要求する場合も多いと考えられる。安定性をどこまで保証できるか、という議論が必要である。

宮崎：耐力があると応答加速度は大きくなるので、耐力だけを確保する設計は合理的ではない。設計者が隠し財産を持っているといわれる根拠として、神戸での 150 カイン程度の地震動に対して被害が小さい、ということがあると思われるが、実際に 150 カインの地動が建物に入力された、という証拠は挙げられていない。

久田：どこで、どのような地震を考えれば良いのか、という設計者の要望に対して、コメントを頂きたい。

中田：断層の位置、傾き、長期的な滑り速度などの情報は活断層地図に盛り込むことができるが、これらの情報を強震動予測に結び付けるには課題が残る。

太田外氣晴(足利工業大学)：濃尾地震の断層についての検討は為されているか。また、国府津－松田断層などの目前といわれる M8 クラスの地震動についてどう考えたらよいだろうか。

久田：将来の M8 クラスの地震動に関しては大きな問題で、次回以降の検討課題となるだろう。

最後に、地盤震動小委員会幹事の山田真(早稲田大学)が、台湾・トルコの地震の経験が理論的・経験的手法にどのように反映されたのか整理し、どのようにして今までの経験に加えて行くか検討すること、またこれらの地震の破壊力をどう評価したらよいのか考えていくことが重要であるとまとめた。また地盤震動小委員会でも、断層情報を今後どのように使っていくか、研究成果を設計の実務にどのように反映させるか、ということが課題になると述べた。

(文中敬称略)