

2005年度第10回テクニカルフォーラム 議事録

- テーマ名：長周期地震動に対する超高層建物の安全性
- 講師： 齊藤 大樹氏（建築研究所 上席研究員）
- 日時： 2月 2日（木）17：30～20：00
- 場所： トリトンスクエア Z棟 4階フォーラム
- 参加者： 31名+事務局（別紙参照）

資料 「長周期地震動に対する超高層建物の安全性」

講演 17：30～18：50

東南海・南海地域を震源とする海溝型の大地震が近い将来に発生する可能性が指摘されており、その際には、厚い沖積層と盆地状の地下構造を有する東京、大阪、名古屋などの大都市において、数秒から十秒に卓越周期を持つ長周期地震動が発生すると考えられている。このとき、固有周期の長い超高層建物が長周期地震動と共振して、大きな揺れが発生する可能性がある。本講演では、長周期地震動を受ける超高層建物の地震時挙動の特徴や、国や学会における最近の取り組み、今後の研究課題等について紹介すると共に、解析ソフト STERA-3D が紹介された。

自由討議 19：00～20：00

コーディネータを大林組技術研究所専門役 江戸宏彰氏にお願いし、自由討議が進められた。

- Q. 今後の課題で超高層BCPの評価の話があったが、RC超高層マンションは耐震安全性以外に、変形を抑えて損傷を少なくなるよう設計している。修復性や使用性が重要に思う。建物は地震に対して大丈夫だけど補修コストがかかる。阪神大震災でも超高層は建物が残ったけど、残留変形が大きく修復にコストがかかった。エレベータも使えなくなった。残留変形の予測技術が重要である。
- A. 損傷とか使用性は超高層のみの問題では無く、病院や精密工場なども同じで、BCP評価をJSCAと一緒に作業している。地震発生30分後、3時間後、3週間後にどれだけ回復できるか、時間スパンでの事業継続性等の尺度、電気の回復、ガスの回復等時刻歴で書き並べる作業をしている。超高層マンションで実際どういう現象が起こって、回復するために時間がかかってコストもかかってというのを実際の設計者や住民の意見を聞いて分かりやすい形で整理しようとしている。
- Q. RC建物ではひび割れが入ると鉄骨より柔らかい周期になるが、その影響はどうか。

- A. かなり損傷を受けると周期は倍になる。今後分析の必要があるが、中小地震でも少しづつ周期が伸びて来る中で、長周期地震が来た場合、最初の想定とは違いもっと大きな応答が出るような結果となる。RC超高層の研究課題である。
- Q. 建物の足元で揺れているが、何故起こるのか。また、低層部と高層部とがセットバックした建物の場合はどうか。
- A. 一般的には基礎固定で入力しているので、建物の変形は基礎部からの相対変形になる。ここでは地面の動きまで入れて、加速度ではなく積分した変位波形まで入れないと揺れの大きさが出ない。加速度を単純に2回積分すると不確かさが生ずる。単純な積分ではなく補正して、古村先生の波で70~80cm位動く。神戸の海洋気象台の波は加速度波しかないので、変位波形は積分して求めたが、50cm位瞬間的に地面が揺れる。地面の加速度が800ガルの神戸の地震では50cm位の変位であり、100ガル位の長周期地震動では70cm位の変位で、ゆっくり大きく揺れる。セットバックについては、今のところ複雑な建物は避けて検討している。セットバックの場合はセットバックした部分で損傷が集中するようなことになる。
- Q. 基部の動きは後で足しているのか。
- A. 基礎固定で解いて後で基礎の変位を足している。
- Q. 神戸波の地面の揺れる振幅が50cmぐらいということだが、振動台で実験をする時20cmぐらいと記憶しているがどの状態からの積分値か。
- A. 50cmは私が積分した結果だが、零軸補正をする代わりに非常に長周期の1質点系建物の応答を求め、例えば周期20秒の質点系を揺らすと応答の変形が地面の揺れに大体一致する。順次周期を伸ばしても同じような変位波形になる値を見つけて地面の揺れを設定している。建物の減衰をどうするかで結果が変わるので、大きくはドリフトしてないと思うが、この結果が50cmであった。
- Q. 各部材の損傷は実験結果から予測をすることになるが、RC部材の実験では繰り返し数の多い実験が無い。600秒ぐらいの地震動となると繰り返し数が多くなると思うが、実験では順番に振幅を大きくしていき、せいぜい10~20サイクルぐらいである。塑性率2ぐらいで6分ぐらいに相当する繰り返しの実験はどこかでまとめて実験する必要があるのではないか。
- A. ご指摘の通りである。ただ、超高層の1階の柱は大きな軸力が作用するので、実験場で再現できるかは不可能である。柱は弾性になるように設計されているので問題が無いというが、繰り返されるとそうでもない。実験で確かめるのも諦めざるを得ない。接合部の梁の塑性化する状況は実大実験で確かめることが出来ると思う。静的な繰り返しではなく、動的に速度効果も考慮した繰り返し実験をe-Defenceで行いたいと思う。接合部のみを取り出してダイナミックに揺らすには境界の条件をどう設定するかが問題である。
- Q. 免震についてどう考えるか。免震自体は周期を伸ばす構造であり、長周期となり、1

次モードで振動するので、2重の苦しみとなり、免震神話がおかしくなるのではないか。また現状では免震装置は安定領域で設計されているが、それ以上のハードニングやバックリングなどその辺まで研究を進めないといけないのではないか。

- A. 学会の免震ワーキングで長周期成分を入力した免震構造を解析している。実際の免震構造では擁壁があり、クリアランスを超えると擁壁に当たる。安定領域を超えて変形する前に擁壁に当たる。擁壁に当たれば瞬間的に加速度が生じ、室内の家具が倒れたり損傷する。その検討はしている。超高層免震はまだ検討の対象に入っていない。大切な問題である。
- Q. 杭頭半固定が最近はやっており、高層にも使われてきている。超高層で杭と剛接合であってもひび割れ等により完全に剛でなくなる。この場合の固定度の影響をどう考えていけば良いのか。
- A. 超高層から離れるが、耐震壁の下部とか杭を引張で持たせるのが大変なので杭頭を切り離して浮き上がらせる方法がある。一種の免震効果であり、杭頭を弱くして浮き上がりを期待するところがある。長周期地震動が来たとき、免震化により一層大きく揺れることが可能性としてある。杭の半剛接とか、杭頭免震はそれを考慮して設計すれば可能であり、今後広がっていくのではないか。
- Q. 残された課題にあった有効入力に関係してくると思うが、今は上部構造のみの解析であるが、地盤も考慮した解析をすれば分かってくるのではないか。
- A. 解析が3次元でそれっぽく見えると信じてしまいます。実際の強震記録での揺れのデータを集めるのが基本である。その結果を下に信頼性のあるシミュレーションをして、その結果をビジュアル化して一般の人に見せるのが正しい。
- Q. 米国では強震観測でのデータを強制的に集める体制があると聞いているが、日本ではなかなか提供されない。国の主導で集めることが出来ないか。
- A. 情報を簡単に出せるようなインセンティブを与える社会の仕組みが必要である。例えば地震計を付けた建物は地震保険が安くなるとか、評定でプラスポイントが付くとかのシステムがあれば良い。米国では確認申請時に数%かは地震観測費用に割り当てている。建物の性能をモニタリングして施主やユーザーに教えていくというのは地震のみではなく、環境の話を含めて、今後の方向であり、情報開示が必要となる。
- C. (事務局) 当コンソーシアムの研究会で「建築モニタリング研究会」があり、建築の健全性の診断の材料を作ろうとしている紹介があった。
- Q. 国の所有している建物は耐震性が高く作ってあるが、来るべき大地震のための観測網があるのか。
- A. 公共建物を対象とした観測網は建築研究所が持っている。超高層ではなく、全国の市庁舎を中心とした地震観測ネットワークである。K-netのような地表ではなく、建物の上と下、余裕があれば傍の地表と地下の杭である。この観測で全国60~80位の建物がある。B-netと呼ぼうとしている。これに超高層を加えたいと思っている。民間では維

持管理費がかかるので、何故付けなければいけないのかと施主に言われ、途中から維持管理をしないで止まっているのが結構ある。メンテナンス代は建築研究所で持つからデータを一緒に使おうと共有化の相談を始めたところである。強震観測ネットワークに超高層が加わっていく方向に進めば良いと思っている。

- Q. 大地震の発生ごとに新しい知見が生まれ告示が出る。長周期成分で超高層建物や中高層建物が倒れた経験を持っていない。また、解析と実際の実害は仮定の設定により異なる。長周期地震が発生したとき、どのような被害が予測されるのか。
- A. 解析と実際は違いがあり、地震を作る方法からばらつきが大きい。地震のばらつきは建物の応答のばらつきと比べると、10倍から100倍の違いがある。差分法で細かくメッシュを切って地震動を作ると、短周期の波が出てこない。短周期を作るには過去にその場所で観測された小さい地震の短周期成分を重ね合わせて作り、差分法で作った長周期の波と重ね合わせてハイブリッド法と言っている。古村波は長周期の建物が良く揺れるが、低い建物を揺らす成分が入っていない。東海、東南海、南海地震が起これば、まず、震源地近くの低い建物が壊れ、離れたところの長周期建物が揺れる。怖いのは震源地近くの低い建物である。地面の下の地盤とか杭とかはまだ分からないところが多いが、上部構造は実験結果も多く、ある程度真の挙動に近くなっている。
- Q. 稀に起きる地震を数回経験した後、極めて稀に起きる地震の影響を見る場合、STERAでの解析では、各部材は健全として扱うのか、ひび割れがありとするのか。
- A. 続けて入力するしかない。コンクリートは弾性域が無いので本当の初期周期とは何か。ちょっとした地震でも周期が伸びる。コンクリートのモデル化は折れ線で近似している。小さな地震後に大きな地震があった場合といきなり大きな地震が入った場合ではSTERAでは多分同じ結果となる。その違いを見分けるほどには、今の段階でのモデルは出来ていない。
- Q. 今後の方向として実大試験を強調されているが、長周期成分と実大試験とは何か思惑があるのか。
- A. RC構造ではひび割れ幅、鉄骨構造では亀裂いわゆる損傷の進展状況は実大と縮小では異なる。また、実験ではいつもスケール効果が問題になる。ダイナミックな入力があったときに縮小ではマスが少なくなる分、慣性力も小さくなり、その影響を考慮しなければいけない。縮小により修正しなければならない要因が増え、実際と離れていく。特にひび割れ、損傷、座屈などは実際を基本にする必要がある。超高層建物の縮小実験である程度分かっているので、次は実大かなというところがある。三木にE-defenceという振動台が出来たので、実大を行うチャンスが訪れたかなと思う。
- Q. 長周期で重要と思うポイントは何か。
- A. 対象の建物のデータは提供してくれるが、建物の名前は分からないようにして欲しいと言う。この問題が重要であれば、ちゃんと検証し、隠すことは無い。実際に建っている建物を皆で協力して良くする方向に向けることが大切である。建築研究所は学で

もなく、官でもなく、民でもない。その間を繋ぐ存在である。間を取り持ってコーディネートし、良い方向に進めば良いと思う。長周期問題や超高層問題は施主の理解とか、民間の協力が必要である。

- Q. STERA-3D は入力も優しく簡単に使えそうだが、このソフトは使わせてくれるのか。
- A. 超高層を解くには工夫が必要なので、皆さんに配っているのは 18 階でスパンが 18 \* 18 スパンぐらいの規模が解けるものを配布している。ご興味のある方はメールを頂ければ商売に使わない条件でデモ版を配布する。ソースモジュールはいずれ公開するが今のところは実行ファイルを付けてである。