

「長周期建築物の耐震安全性対策技術の開発」

（平成21年度～平成22年度）評価書（事後）

平成23年7月11日（月）

建築研究所研究評価委員会

委員長 深尾 精一

1. 研究課題の概要

（1）背景及び目的・必要性

2003年十勝沖地震における苫小牧での石油タンク火災を契機として、近い将来における長周期地震動による種々の構造物への影響が懸念されている。そのため、日本建築学会、土木学会や内閣府は、発生する可能性が高いとされる東南海地震等の大規模地震が発生した場合の、地震動予測や、各種構造物の地震時挙動について、損傷・被害の程度や、今後の課題等について検討し、その結果を公表している。

そのほか、文部科学省の首都直下・地震防災減災特別プロジェクトの中で、超高層建築物を対象として、その高層階での地震時挙動の解明を目指した実験も行われている。前述の様々な検討を踏まえて、一部の超高層建築物では、既に耐震補強を行った事例も増えつつある。（例えば、アンボンドブレースを用いたホテル建物、西新宿の超高層建築物の耐震改修など）

超高層建築物や免震建築物（ここでは長周期建築物と総称）は、海溝部に起こる巨大地震による長周期地震動を受けた経験が無く、入力地震動特性のみならず、上部構造の応答特性についても、大振幅レベルの観測記録などによる実証的検討が未だ乏しく、その地震時挙動については多くの不確定要素を包含している状況にある。

このような現状を背景に、本研究では、以下の3つのサブテーマを設定して検討している、すなわち、（1）設計用長周期地震動の評価手法の検討：現状では明確に規定されていない設計時における長周期地震動特性の評価手法について、既往の知見、観測記録、および強震動シミュレーション等により、地震タイプ（海溝型、地殻内地震等）や深い地盤構造等の地域性の影響に関する検討を行う。（2）長周期建築物の保有性能の把握：上部構造について、実測地震応答データの分析や、振動実験、周期の長い地震動を長時間受ける減衰定数の小さい建築物では、エネルギー評価に基づいた部材性能の確認が必要であり、応答解析などを実施し、その結果を参照しながら、想定地震動に対する建築物の耐震計算や応答低減方法について検討し、最終的に（3）周期建築物の耐震安全性向上技術：入力地震動評価と応答特性評価の両面を踏まえた、長周期建築物のための耐震安全性向上技術に関する提案を行う。

その結果、最新の研究知見を踏まえた、超高層建築物等の構造安全性能の確保が可能となり、社会生活の基本である構造へのより信頼度の高い安心を確保することができる、としている。

（2）研究開発の概要

震源と建設地点のサイト特性を考慮した長周期地震動の作成方法の提案や、構造実験等による超高層建築物や免震建築物（長周期建築物）の応答性状の解明と評価手法の開発および超高層建築物の構造性能向上や室内安全性確保に関わる検討を、以下のサブテーマを設定して実施している。

サブテーマ（1）設計用長周期地震動の評価手法の検討

現状では基準等に明確に規定されていない長周期地震動について、既往の知見、観測記録の分析、および強震動シミュレーション等により、地震タイプ（海溝型、地殻内地震等）や深い地盤構造等の地域性の影響等も考慮しうる評価手法の提案を行った。また、2棟の超高層建築物に地震計を設置し、平成23年東北地方太平洋沖地震では、長周期地震動が顕著に現れた強震記録を得ている。検討項目は以下の通りである。

- 1) 長周期地震動データの収集と分析
 - 2) 長周期地震動の平均的特性の検討
 - 3) 設計用長周期地震動の設定方法に関する検討
 - 4) 超高層建築物の強震観測の実施
- サブテーマ(2) 長周期建築物の保有性能の把握

減衰が小さく長周期地震動に共振して長く揺れる長周期建築物(超高層建築物および免震建築物)に対して、実測地震応答データの分析、多数回繰り返し実験に基づく部材のエネルギー吸収性能や劣化性状の確認を行い、それらの特性を取り入れた地震応答解析により長周期建築物の保有性能と応答特性について検討を行っている。検討項目は以下の通りである。

- 1) 超高層鉄筋コンクリート建築物の部材、架構の保有性能の把握
- 2) 超高層鉄筋コンクリート建築物の応答特性評価
- 3) 免震建築物の応答特性評価
- 4) 超高層鉄骨造建築物の部材、接合部の要求性能と保有性能の把握

サブテーマ(3) 長周期建築物の耐震安全性の向上技術の提案

長周期地震動に対する長周期建築物の耐震安全性向上を目的に、構造的な損傷を低減するための補強技術の開発、室内安全性評価および対策技術の検討、家具・什器の移動・転倒評価手法の検討と避難行動への影響、および人的被害の評価手法の検討を行っている。検討項目は以下の通りである。

- 1) 超高層鉄筋コンクリート造建築物の構造的な損傷を低減するための強度型補強技術の検討
- 2) 長周期振動台によるキャスト付き機器の耐震対策技術の検討
- 3) 室内の家具・什器の移動・転倒評価手法および避難行動への影響の検討

(3) 達成すべき目標

- ・設計用長周期地震動作成手法(案)のまとめおよび適用例の作成
- ・長周期地震動に対する超高層建築物等の構造性能評価法(案)の作成に資する資料の収集

(4) 達成状況

サブテーマ(1)では、多数の観測記録に基づき長周期地震動のスペクトル性状及び時刻歴特性の両者を考慮する新たな設計用長周期地震動の評価手法の提案している。また、提案手法を適用するために必要な、各地域について評価したサイト係数および長周期地震動に関する評価事例と超高層、免震各建築物の応答評価結果などについて建築研究資料第127号(平成22年12月刊行)で公表している。

国交省では、これらの成果に基づいて「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案」を公表した。(平成22年12月)本試案に対する意見募集(パブリックコメント)が実施され、国交省により提出された多数の意見への対応についての検討作業が実施されている。

巨大地震の起こり方(地震の連動)や、評価地震動のばらつき等、さらに建築物の設計クライテリアなども勘案した地震動評価のため、強震動データの拡充、各種評価方法との整合、強震動評価指標などについての継続検討が今後引き続き必要であるが、後継課題においてこれらの課題の検討も設定されている。

さらに、本課題終了時に発生した平成23年東北地方太平洋沖地震及びその大規模余震による地震動データを用いて提案手法の検証等を行い、より信頼度を高めていく必要がある。

以上のように、今後のさらなる提案手法の検証、見直し作業は必要であるが、近い将来に起きる可能性が高い巨大海溝地震における長周期地震動評価手法の作成という、1番目の目標は十分に達成されている。

サブテーマ(2)では、架構部材実験による超高層建築物の保有耐力計算時の梁端降伏ヒンジの形成、スラブ筋の影響に関する検討、多数回の繰り返し加力を受ける構造部材の力学性状の解明と復元力モデルの構築に関する検討、各種免震部材(免震支承、ダンパー)の多数回繰り返し実験による、それぞれのエネルギー

一吸収性能の違いの確認、および鉄骨造超高層建築物において長周期地震動による塑性変形の増大を解析と実験で確認している。これらは国交省建築基準整備促進事業における長周期地震動関連課題において今後実施予定の構造実験等を通して構造設計クライテリアの検討など、同事業にて今後実施予定の超高層建築物等の構造性能評価手法の確立に資する有用な基本技術資料である。

また、新たな関連課題において、平成 23 年東北地方太平洋沖地震及びその余震における建築物の地震時挙動の調査、分析を行い、本課題の成果の検証を行うこととしている。

サブテーマ（3）では、多数回繰り返し荷重時および損傷が予想される RC 造超高層建築物の構造部位に対する炭素繊維および鉄板による補強対策の有効性について構造実験により確認、および構造体各部の応答解析に基づく床応答時刻歴データに基づいて、従来の想定を超える長周期地震動が作用した場合の家具・什器などの挙動の推定手法や居住者の負傷可能性および安全確保の方法に関して、解析、実験の両方からそれぞれさまざまな検討を行い、技術資料のとりまとめを行っている。

このように、構造性能評価方法のみならず、室内安全確保対策などの観点からも、さまざまな検討を行っており、前記（3）の 2 番目の目標についても十分に達成しているものと判断する。

2. 研究評価委員会（分科会）の所見と建築研究所の対応（担当分科会名：構造分科会）

（1）所見

- ①ここ数年来、国内で精力的に進められてきたいわゆる長周期問題に、総合的に取り組んだ研究で、特にサブテーマ（1）「設計用長周期地震動」は、すでに成果を得ているが、今回の東北地方太平洋沖地震のデータを活用して、さらに説得力のある答えを出すように研究開発を進めてほしい。
- ②超高層を含む長周期構造物については、未だ本当に巨大な地震動を受けた経験がなく、その際の挙動は分かっていない。そのような状況（巨大地震動）に面した際の挙動を解明するためには多方面からの研究が必要で、この一つとして本研究は高く評価できる。今後は、この成果をどのように反映させるか、また全てが解明された訳ではないので、未解明の課題についても継続して研究を行って欲しい。また、現行の設計法・スペクトルなどにこだわることなく、新しい提案などがなされることが期待される。
- ③設計用地震動については、今後社会的に強い関心が持たれている東海・東南海・南海 3 連動地震についても検討し公表する必要がある。告示スペクトルを上回るサイト波については、その扱い方・考え方を含めて提示することが望まれる。
- ④研究成果を、建築行政の土俵に挙げ、既存および新築の建築物に対し、対策を早急に具体化すべきである。
- ⑤地震動評価結果の幅について、社会にわかりやすい説明が必要である。高層建築物の安全性レベルのあり方については、社会とともに判断する姿勢も必要である。

（2）対応内容

所見①に対する回答

今年度開始の重点研究「長周期地震動に対する超高層建築物等の応答評価技術の高度化」（平成 23-24 年度）にて、東北地方太平洋沖地震による観測記録を用いた検証および提案手法の改善案等の検討を行います。

所見②に対する回答

長周期地震動だけでなく、さまざまな地震、建築物を対象とした設計用地震動の構築についての検討も必要と考えます。設計用地震動の基本的な考え方の整理も行います。

所見③に対する回答

連動地震動など従来の設計で想定していたものを上回る地震動も対象としていく必要があり、そのために、超高層建築物等のより高い応答レベルでの挙動なども考慮しながら検討を進めます。

所見④に対する回答

国交省が行いました「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案」に対する意見募集の結果も踏まえて、今年度の基準整備補助事業において新たな長周期地震動に関する課題が実施されています。新規課

題でもこの事業との共同研究を進め、提案の改善により対策が早急に実施されるべく必要な検討を進めます。
所見⑤に対する回答

地震動はばらつきのきわめて大きいもので、その情報を一般に理解されることが重要であり、設計用地震動の設定根拠を明確にしていくことが必要であると考えます。

3. 全体委員会における所見

いわゆる長周期問題について総合的に取り組んだ研究で、設計用長周期地震動の評価手法の提案等成果があがっており、本研究で目指した目標を達成できたという分科会の評価を支持し、全体委員会の評価としたい。

なお、東海・東南海・南海三連動地震について社会的にも強い関心を持たれており、本課題に関しては東日本大震災のデータも活用してさらに研究開発を進めてもらいたい。また、地震動の評価については社会に対してわかりやすく説明する必要があることから、建築研究所としてもその点を検討してもらいたい。

4. 評価結果

- A 本研究で目指した目標を達成できた。
- B 本研究で目指した目標を概ね達成できた。
- C 本研究で目指した目標を達成できなかった。