

# 「建築構造計算の一層の適正化に資する工学的判断基準の明確化に関する研究」

## (平成23年度～平成24年度) 評価書 (事後)

平成25年 7月19日 (金)

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

耐震計算偽装事件以降、確認審査等の厳格化が図られており、確認審査や構造計算適合性判定、および構造計算の実務において、工学的な判断基準をより明確にすることが求められている。一方、建築物の構造計算を適正に進める上で欠くことのできない構造部材のモデル化や、構造性能評価に係わる新しい課題が今なお存在している。本研究では2年間で実施する研究に加えて、これまでに蓄積されてきた研究データや技術的知見を整理・検討し、実務に適した形の技術資料として提示することを目的として、社会的要請の高い課題を抽出して取り組む。工学的判断基準の明確化は、確認審査や構造計算適合性判定ばかりでなく構造計算の一層の適正化にも寄与するものであり、安全で適正な建築構造物の実現を求める国民の要請に応えるものである。

本課題は、既往の研究成果や建築基準整備促進事業で蓄積された知見に基づき、構造計算の基本に係わる事項について公平、中立的な観点から検討を行うものであり、民間企業が独自に取り組む技術開発とは性格が異なる。建築基準法に係わる技術資料整備を目的として、同様の研究を重複して実施している研究機関は他にない。また、研究成果は法令を補完する技術基準解説書等に盛り込む内容であり、国土技術政策総合研究所ではなく建築研究所が主体的に取り組むべき研究課題である。

#### (2) 研究開発の概要

確認審査や構造計算適合性判定、さらには構造計算の一層の適正化に寄与することを目的として、工学的な判断基準を明確にするため様々な課題について考え方や評価方法を整理して提示する。社会的要請は高いが十分に検討が進んでいない課題を抽出し、構造種別毎に4つのサブテーマに分かれて検討を行い、技術資料を整備する。

#### サブテーマ (1) RC 構造建築物の構造計算における判断基準の明確化

##### 1) RC 造非構造壁が取り付く柱梁剛接架構の復元力特性評価

柱梁架構と RC 造非構造壁間の構造スリットが構造性能に及ぼす影響を明確にすることを目的として、RC 造非構造壁が取り付く柱梁剛節架構の構面実験を行い、復元力特性 (剛性、耐力、変形性能、等) に関して既往の知見に基づく予測精度を検証し、技術資料として取りまとめる。

##### 2) 壁はり接合部の構造性能評価

RC 造の壁はり接合部の耐力に関して構造実験および解析に基づく検討を行い、従来の接合部せん断設計法を壁はり接合部に拡張することの妥当性も含めて検討する。また、建築学会 RC 規準では耐力壁の側柱に関する規定が変更され、柱せいが小さくなる (壁柱的な形状) 可能性があるため、耐力壁の変形性能に及ぼす影響や直交梁の主筋定着についても検討を行い、構造性能評価に係わる技術資料を取りまとめる。

##### 3) 有開口耐力壁の変形性能評価

曲げ降伏する有開口耐力壁 (複数開口 (大きさ、配置)、偏在開口、千鳥開口など) の変形性状や、開口補強方法に関する技術資料を構造実験等の結果に基づき検討し取りまとめるとともに、設計マニュアルを策定しその有効性について検証する。

- 4) ピロティ（最下階で壁抜けを有する連層耐力壁）周辺架構の条件設定  
ピロティ（最下階で壁抜けを有する連層耐力壁）における枠梁（壁脚部の梁）の梁せいや配筋条件が壁構面の耐力に及ぼす影響、および最下階と2階で柱断面が大幅に変わる場合の枠梁接合部内における応力伝達機構を実験、および解析結果に基づき検討し、技術資料として取りまとめる。また、現行技術基準解説書の付録では、ピロティ構造の設計の考え方（柱の軸力比や横補強筋量等）が示されているが、それを実現する配筋詳細等に関する技術的な知見を明らかにする。
- 5) 高強度材料を用いた鉄筋コンクリート造構造部材の強度、剛性及び変形能の評価方法に関する検討  
既往のRC造構造部材の実験結果から適切なデータを選定、収集し、強度、剛性及び変形能の評価精度に係わる知見を取りまとめて、既存または新たな評価方法が適正に運用されるための基盤を構築する。

#### サブテーマ（2） 鉄骨造建築物の構造計算における判断基準の明確化

- 1) 偏心接合等の複雑な鉄骨造接合部の設計法  
体育館等の柱において、ブレースが柱に平面的、立体的に偏心して接合される場合や、梁が斜め方向から取り付く鋼管柱-H形梁接合部等複雑な接合となる鉄骨造建築物の接合部に関して、振動台実験等による検証実験を行い、接合部の設計式や詳細資料等の検討を行なう。
- 2) STKR柱を用いた鉄骨造建築物の柱梁耐力比に関する耐震安全性評価法  
STKR柱を用いた鉄骨造建築物の保有水平耐力計算を行う場合、各節点での柱梁耐力比を1.5以上とする規定が設けられている。柱梁耐力比が1.5未満であり、かつ45°方向地震入力を受ける新築建物や既存不適格建物の耐震安全性を限界耐力計算やエネルギー法によって評価する方法を検討し、技術資料および設計マニュアルを策定する。
- 3) 鉄骨造梁端部の保有耐力接合の計算法と塑性変形性能評価法  
鉄骨造建築物の梁端部の保有耐力接合の計算で、梁ウェブのモーメント伝達効率を考慮した場合に、接合部係数が規定値以下になる場合の塑性変形性能の評価方法を検討する。また、梁の横座屈挙動に関して、コンクリートによる合成梁の場合の横座屈に対する補剛効果を検討する。これらを技術資料として取りまとめる。

#### サブテーマ（3） 木造建築物の構造計算における判断基準の明確化

- 1) 木造建築物の木材基準・長期性能等  
一般に流通する品質のスギ製材及びスギ集成材に対する長期載荷試験を実施し、既往の荷重継続時間調整係数の適用性について確認する。また、柱-土台接合部のめり込みに関して実験的な検証を行い、構造安全性について確認する。
- 2) 木造建築物の設計法等  
木質フレームと耐力壁併用時の変形挙動に関して実験および解析的検討を行い、木質フレームに要求される構造性能について明らかにする。平面および立面的不整形建物を対象とした解析的検討を行い、平面的不整形建物のくびれ部分や立面的不整形建物（主にスキップフロア構造）に要求される構造性能について検討し設計法としてまとめる。

#### サブテーマ（4） 基礎構造と地盤の構造計算における判断基準の明確化

- 1) 回転貫入杭の水平抵抗性能の評価  
回転貫入杭は住宅関係で近年使用が急増しているが、その水平抵抗については、施工時の杭周囲地盤の乱れによる影響が考えられることから、実験等に基づいた回転貫入杭の水平抵抗性能の評価を行い、技術資料として取りまとめる。
- 2) 地盤改良を実施した敷地の評価  
深層混合処理工法あるいは浅層混合処理工法によって部分的に地盤改良を実施した住宅敷地について解析的検討を行い、敷地全体の長期荷重に対する性状評価を合理的に行うための技術資料として取りまとめる。

### 3) 杭基礎の耐震性能評価

上部構造に対応する杭基礎の性能規定化に向けて、地震時外力の検討や現状の杭の性能を評価するとともに、杭の終局状態の違いが上部構造の応答に与える影響についても検討を行う。

### 4) 工学的基盤の傾斜が表層地盤の加速度増幅率 $G_s$ に与える影響の評価

限界耐力計算法の表層地盤による加速度増幅率  $G_s$  の評価に係わる工学的基盤の傾斜に関して、常時微動特性を利用した評価方法について検討し、傾斜の度合いの確認方法や表層地盤増幅への影響を評価する方法について取りまとめる。

### 5) 液状化予測手法と液状化対策工法についての検討

地盤の液状化に関する情報を表示する場合に必要な知見を得ることを目的に、液状化予測手法の妥当性についての検討、地盤情報と被害状況及び液状化対策工法に関する情報を収集、整理する。

### 6) 宅地擁壁の排水性能に関する検討

宅地擁壁の排水性能の信頼性向上を目的として、透水用砂利層を設けない透水マット単独施工法の排水性能を明確にするため、試験体を用いた排水実験を実施し、排水性能データの収集、現状施工法との性能比較、および透水マットの合理的な施工方法に関する検討を行い、技術資料として取りまとめる。

## (3) 達成すべき目標

### サブテーマ (1) RC 構造建築物の構造計算における判断基準の明確化

- i) RC 造非構造壁が取り付く柱梁剛接架構の復元力特性評価に関する技術資料
- ii) 壁はり接合部の復元力特性評価に関する技術資料
- iii) 有開口耐力壁の変形性能評価に関する技術資料
- iv) 最下階で壁抜けを有する連層耐力壁周辺架構の条件設定に関する技術資料
- v) データベースの枠組み原案

### サブテーマ (2) 鉄骨造建築物の構造計算における判断基準の明確化

- i) 偏心接合等の複雑な鉄骨造接合部の設計法に関する例示資料集及び技術資料
- ii) STKR 柱を用いた鉄骨造建築物の耐震安全性評価と補強設計法に関する技術資料
- iii) 鉄骨造梁端部の塑性変形性能評価と梁の横座屈挙動に関する技術資料

### サブテーマ (3) 木造建築物の構造計算における判断基準の明確化

- i) 木質材料の基準強度や荷重継続時間の調整係数などの各種調整係数に関する技術資料
- ii) 併用構造や不整形建物等も含めた木質構造の構造設計法に関する技術資料

### サブテーマ (4) 基礎構造と地盤の構造計算における判断基準の明確化

- i) 回転貫入杭の水平抵抗性能評価に関する技術資料
- ii) 地盤改良を実施した敷地の長期荷重に対する性状評価のための技術資料
- iii) 杭基礎の耐震性能評価に関する技術資料
- iv) 工学的基盤傾斜の影響評価に関する技術資料
- v) 液状化予測手法と液状化対策工法に関する技術資料
- vi) 透水マットを用いた宅地擁壁の排水性能に関する技術資料

## (4) 達成状況

### サブテーマ (1) RC 構造建築物の構造計算における判断基準の明確化

#### 1) RC 造非構造壁が取り付く柱梁剛接架構の復元力特性評価

スリットの有無を変数とする 2 体の構面試験体に対する実験を行い、目標とする復元力特性に関する技術資料を取りまとめた。スリット無しの場合はスリット有り試験体の 2 倍以上の耐力となることが示されたが、最大耐力後の耐力劣化は大きい。一方、スリット有り試験体では耐力劣化が少なくじん

性能に富む復元力特性を示したが、最大耐力は架構として計算した値の約 1.7 倍となり、スリット閉塞前にも壁が試験体の強度に寄与していることを確認した。本課題については、RC 造非構造壁を構造計算に合理的に算入できるような設計法の構築を目指して引き続き研究を進めていく。

## 2) 壁はり接合部の構造性能評価

RC 造の壁はり接合部耐力に関して、スラブと直交壁による壁梁主筋拘束の効果が期待される領域に鉄筋を定着する場合には、通常の柱梁接合部のコア内定着と同等と見なすことが可能で、従来の柱梁接合部せん断設計法を壁はり接合部に拡張して適用できることを確認した。これらの成果は技術資料として取りまとめた他、成果の一部は日本建築学会「壁式構造配筋指針・同解説」の改定原稿へ反映した。

## 3) 有開口耐力壁の変形性能評価

有開口耐力壁の構造実験と解析的検討を実施し、開口横の各壁板および側柱に形成されるせん断抵抗機構を仮定した新たなせん断強度算定式によって、有開口耐力壁のせん断強度を概ね精度よく算定できることを検証した。また、有開口壁の変形性状について実験データの整理を行い、曲げ降伏先行形の有開口耐力壁は破壊モードに係わらず無開口耐力壁より最大せん断強度時の変形性能が低下することを確認した。これらの成果は技術資料として取りまとめた他、成果の一部は「建築物の構造関係技術基準解説書」の改定原稿に反映した。

## 4) ピロティ（最下階で壁抜けを有する連層耐力壁）周辺架構の条件設定

柱断面が切り替わるピロティ階柱梁接合部について実験および解析的検討を行い、配筋条件および靱性を確保するための設計法を提案した。また、最下階柱梁の梁せいをパラメータとして壁板のスリップ破壊性状と梁の応力状態の関係性を明らかにするための実験を行い、ピロティ階直上の壁やピロティ柱の強度を十分に発揮させるための柱梁の設計法を提案した。これらの成果は技術資料として取りまとめ、成果の一部は「建築物の構造関係技術基準解説書」の改定原稿に反映した。

## 5) 高強度材料を用いた鉄筋コンクリート造構造部材の強度、剛性及び変形能の評価方法に関する検討

既往の RC 造構造部材の構造実験結果から適切なデータを選定、収集し、技術基準解説書に記載されている強度や剛性の評価式の精度について検討し、データベースの書式作成と枠組み構築を行った。

## サブテーマ (2) 鉄骨造建築物の構造計算における判断基準の明確化

### 1) 偏心接合等の複雑な鉄骨造接合部の設計法

複雑な鉄骨造接合部のディテールについて設計事例の収集、整理を行い、梁が偏心接合される場合やスチフナで補剛された柱、梁部材の実験から耐震性能を明らかにし、新たな設計法を提示した。また、ブレース端部のディテールが異なる引張ブレース付骨組の静的載荷実験と振動台実験を行い、ディテールの違いが応答変形や損傷に及ぼす影響が大きいことを明らかにして、技術資料として取りまとめた。収集した鉄骨造接合部のディテールから設計、製作上の留意点等を取りまとめ、建築研究資料 No. 143「鉄骨造建築物の接合部ディテール例示資料集」として公表した。

### 2) STKR 柱を用いた鉄骨造建築物の柱梁耐力比に関する耐震安全性評価法

柱梁耐力比が 1.5 未満である STKR 柱を用いた鉄骨造建築物の耐震安全性について検討するため、45 度方向からの地震入力を受ける立体骨組モデルの地震応答解析を実施し、0 度方向からの地震入力に比べて柱の損傷が大きくなることを確認した。また、柱の全塑性耐力を低減すれば平面的な解析手法によっても概ね安全側に評価できることを明らかにし、エネルギー法等によってこのような地震応答や損傷評価を行う方法について技術資料として取りまとめた。

また、前課題 (H21~22) で提案した柱梁耐力比が 1.5 未満の既存不適格建物の柱を鋼板等で補強する方法について、具体的な計算手順や施工方法についてさらに検討を加え、「STKR 柱補強設計・施工マニュアル」として取りまとめた。当該マニュアルは日本建築センターの「冷間成形角形鋼管設計・施工マニュアル」の付録に掲載される予定である。

### 3) 鉄骨造梁端部の保有耐力接合の計算法と塑性変形性能評価法

接合部係数が規定値以下になる場合について柱梁接合部の載荷実験を行い、接合部係数が規定値よりやや小さい場合にもある程度の塑性変形能力を保持していることを確認した。また、コンクリートによる合成梁が梁の横座屈挙動に及ぼす影響を実験および解析的に検討し、コンクリート合成梁は一定の横座屈補剛効果があることを確認した。これらの成果を技術資料として取りまとめた。

#### サブテーマ (3) 木造建築物の構造計算における判断基準の明確化

##### 1) 木造建築物の木材基準・長期性能等

一般に市場で流通する品質のスギ製材及びスギ集成材に対する長期載荷試験を実施し、既往の荷重継続時間調整係数の評価式で概ね評価できることを確認した。また、土台として使用されることの多い樹種について柱-土台接合部のめり込みクリープ実験と高速載加実験を実施し、めり込み基準強度を上回る圧縮力に対しても安全上問題となる現象が生じないことを確認した。これらの成果を技術資料として取りまとめた。

##### 2) 木造建築物の設計法等

木質フレームと耐力壁併用時の変形挙動に関する振動実験及び静的加力実験を行い、耐力壁と併用する木質フレームには、負担重量に相当する要求スペクトルを超える荷重変形性能が必要となることを明らかにした。平面的、立面的不整形建物に対する地震応答解析を実施し、平面的不整形建物のくびれ部分のせん断変形を許容範囲に収めるためには、通常的设计に加えてくびれ部分の許容面内せん断耐力を 1.96kN/m 以上とする必要があることを示した。また、立面的不整形建物の大地震時の構造安全性を確保するためには、通常的设计に加えて検討が必要となるスキップ柱の本数やスキップ面直交梁とスキップ柱接合部の終局引張耐力等に関する新たな規定を提案した。これらの成果は技術資料として取りまとめた他、不整形建物に関する成果の一部は「建築物の構造関係技術基準解説書」の改定原稿に反映した。

#### サブテーマ (4) 基礎構造と地盤の構造計算における判断基準の明確化

##### 1) 回転貫入杭の水平抵抗性能の評価

小口径回転貫入鋼管杭に対する水平載荷実験を実施し、水平地盤反力、水平地盤反力係数について検討し、回転貫入杭の水平抵抗性能を明らかにした。これらの成果は技術資料として取りまとめた他、成果の一部は「建築物の構造関係技術基準解説書」の改定原稿に反映した。

##### 2) 地盤改良を実施した敷地の評価

深層混合処理工法を中心とした地盤改良、地盤補強工法について資料収集および検討を行い、杭状の場合、支持力算定に杭の計算式が利用されているが SWS 試験から得られる換算 N 値を用いて地盤評価を行うことの問題点を明らかにした。また、浅層混合処理工法及び置換等により表層地盤の強度を高める工法について検討した。これらの成果を技術資料として取りまとめた。

##### 3) 杭基礎の耐震性能評価

既製コンクリート杭の杭体耐力に関する載荷実験データの収集を行うとともに、東北地方太平洋沖地震で被災した杭基礎の発生応力について検討を行い、耐震設計がなされていない場合、杭頭固定条件では杭体性能を上回る場合があることを確認した。これらの成果を技術資料として取りまとめた。

##### 4) 工学的基盤の傾斜が表層地盤の加速度増幅率 $G_s$ に与える影響の評価

基盤が平坦なサイト、傾斜しているサイトで微動計測を実施し、工学的基盤の傾斜の有無を判断するための指標として微動 H/V スペクトルを用いる方法について検討した。基盤が平坦であることの一つの指標として、基盤深さの 3~6 倍の範囲で H/V ピーク周期の空間的な変動係数が 0.1 以内であることを提示し、工学的基盤傾斜の有無を判断するための指標として有効であることを確認した。これらの成果は技術資料として取りまとめた他、成果の一部は「建築物の構造関係技術基準解説書」の改定原稿に反映した。

##### 5) 液状化予測手法と液状化対策工法についての検討

戸建て住宅を対象に、SWS 試験結果から得られる換算 N 値と SWS 試験孔からの採取試料より得られる

細粒分含有率、および地下水位計測結果から液状化予測を行う方法について検討を行い、概ね適用可能であることを確認した。これらの成果を技術資料として取りまとめた。

6) 宅地擁壁の排水性能に関する検討

透水マット単独の新施工法と現状施工法の実大試験体による排水実験を実施し、新施工法は実用化可能な性能を有していることを確認した。これらの成果を技術資料として取りまとめた。

## 2. 研究評価委員会（分科会）の所見とその対応（担当分科会名：構造分科会）

### (1) 所見

- ① 2年間の研究開発期間における成果としては、その目標を十分に達成している。構造計算における工学的判断基準のような地道な研究も、独法建研に期待されている大きな役割の一つである。
- ② 達成目標として「技術資料の作成」といった形式的なものではなく、もっと具体的に設定することが望ましい。
- ③ 事後評価は、当初の”研究開発の具体的計画”に書かれていたことが実施できたかどうかを判断することであるとすると、ほとんどの項目において「・・・を検討し、技術資料として取りまとめる」となっているが、例えば技術基準類への適用を目標とするなど、もう少し具体的な成果について計画しておくべきではないか。
- ④ 研究成果の発表状況も十分である。短い時間で査読付き論文も発表されている。外部機関との連携による成果も十分である。むしろ査読付き論文のファーストオーサーに建築研究所担当者の名前が少ないので、論文に対する建築研究所の寄与率がわかる資料があったほうがよい。
- ⑤ 結論が得られたものは技術基準解説書などに反映されている。研究成果は実際の設計に生かされることが重要であり、検討途中の段階であっても知見の範囲で公開することを望みたい。
- ⑥ 研究成果が、終局限界に偏っている。設計に対する判断基準とすれば、損傷限界、1次設計時レベルの資料も必要と考える。
- ⑦ それぞれの項目に対して丁寧に検討されたことは評価できる。特にRC造非構造壁の問題は構造設計の本質に関わることであり、今後の研究継続を望みたい。杭の耐震性能の研究がやや遅れている印象を受ける。

### (2) 対応内容

#### 所見②、③に対する回答

達成目標については、今後、より具体的に研究成果（アウトプット）を記述するよう努めて参りたい。また、技術基準等への適用を研究目標とすることについては、研究成果の活用（アウトカム）は常に意識しながら研究を進めているが、建築研究所の守備範囲を超えるものもあること、技術基準等の刊行時期と研究期間が必ずしも一致しないことなどの外的要因もあるため、課題説明資料のようにアウトプットとアウトカムに分けて整理することとしている。

#### 所見④、⑤に対する回答

建築基準整備促進事業に関連する研究では事業主体である大学や民間の研究者、大学院生をファーストオーサーとする論文が多いのは事実であるが、その様な研究でも共同研究として建築研究所の研究担当者が研究の方向付けや研究作業を分担しており、成果達成に大きく貢献している。一方、発表論文リストには上げていないが、アウトカムとして技術基準等へ反映するための作業は建築研究所の研究担当者が主体的に行っており、研究上の役割分担を十分に果たしている。今後、研究成果を建築研究資料等へまとめると共に、審査論文への投稿も進めて参りたい。

また、研究の途中経過については、建築研究所の研究実績報告や建築学会等への論文提出など随時公表をしているが、建築研究所のホームページ等で進捗状況を公表することも考えて参りたい。

#### 所見⑥に対する回答

本研究では主として保有水平耐力計算を対象に課題を設定してきた事情もあり、設定目標が建築構造物の終局性能を指向したものが多くなっている。性能設計、損傷制御の観点からの研究が必要であることはご指摘のとおりであり、平成 25 年度から実施している研究課題（庁舎・避難施設等の地震後の継続使用性評価手法の構築）の中で取り組んでいる研究テーマもある。ちなみに、平成 19～22 年度の研究課題（災害後の建築物の機能の維持・早期回復を目指した技術開発）の中でも性能設計、損傷制御に係わる研究を実施してきた。

#### 所見⑦に対する回答

構造計算における RC 造非構造壁の扱いについては本研究を契機として取り組み始めたテーマであり、スリットを切らない設計も選択肢となるような設計法にまとめて行くことを目標として、平成 25 年度以降も引き続き取り組んでいる。

杭の耐震設計は構造設計全般に係わる大きな問題であるが、杭の耐震性能を適切に評価する上で必要となる技術情報を引き続き整備して参りたい。

### 3. 全体委員会における所見

この研究は、建築確認の審査や構造計算適合性判定の手続きのためだけではなく、建築物の構造的な特性を明確にするというためにも必要な研究である。個々の項目に対しても丁寧に検討されており、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。

### 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。