

第 10 章

結論

10.1 まとめ

本稿では、主に建築研究所第4期中長期計画（平成28～令和3年度）期間に実施された技術開発について取り纏め、既存中低層鉄筋コンクリート造建築物の機能性を向上させることで、既存ストック活用を促進するための技術開発結果について報告した。各章で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 本研究で想定している改造時のあと施工アンカーの使用手法例【第2章】
 - ① 既存建物の床スラブを付け替えることで、居住性能や環境性能を高めることが可能である。また、住戸のみではなく施設併用型の住宅においては、施設部分の用途変更など積載荷重を変える改修が可能になり、住棟活用のバリエーションを増やすことができる。
 - ② 隣り合わせた2住戸の既存戸境壁（耐力壁）を撤去し1住戸として、水平方向への面積規模拡大やエレベーターの増設に合わせた住棟内共用廊下の新設などを目的とし、団地の資産向上を図る。面積規模拡大によるファミリー向けの住宅やバリアフリー住宅の供給や集会所等への用途変更(コンバージョン)などを図ることも可能である。
- (2) あと施工アンカーを端部定着に用いたスラブ試験体の構造性能評価【第3章】
 - ① 実験室のスラブ試験体の長期載荷実験において、端部定着にあと施工アンカーを用いた場合と通常のRC定着を用いた場合の6年間におよぶ長期載荷実験の結果、それぞれの接合方法の違いによる顕著な違いは見られなかった。また、最終的な破壊性状を確認するために実施した終局載荷実験においては、過大な変形が生じた際に端部接合部であと施工アンカー定着部のコンクリートの掻き出し破壊が生じたが、スラブ全体の脱落等は起きなかった。
 - ② 実建物におけるスラブ試験体の長期載荷実験では、実験室の試験体と同様に接合方法による顕著な違いは見られなかった。また、最終的な破壊性状の確認では、端部接合部において著しい破壊はなく、スラブ全体としても脱落等は生じなかった。
 - ③ 端部接合部部分のあと施工アンカー筋の破壊性状を確認するためにスラブ端部を模した試験体を用いて曲げ実験を実施した結果、スラブ試験体で用いたあと施工アンカーの定着長さであと施工アンカー筋の鉄筋降伏が起こることが確認された。スタブ側に拘束する鉄筋がないと鉄筋降伏後に群でのコーン状破壊を示しており、拘束鉄筋の必要性について確認された。設計値としての比較を行うと許容応力度レベルではコーン破壊となっている試験体も終局状態では鉄筋降伏を示しており、確認されたコーン破壊は、鉄筋降伏による変形に伴っているコーン破壊と推察される。計算上ではあるが、終局時に降伏していることから靱性を担保することが出来ていると考えられる。

- ④ RC造床スラブを増設する場合、通常のRC定着を用いた場合とあと施工アンカーを用いた場合で、大きな違いはないことから、2辺固定以上で一般的な使い方を想定したスラブであれば、あと施工アンカーによる増設が可能であると考えられる。
- (3) 既存壁式構造物において下階壁面内に施工される接着系あと施工アンカーの引張特性【第4章】
- ① T型試験体に施工したあと施工アンカーについて、下部壁の外付け梁補強がなく、埋め込み長さを $12d_a$ とした場合には、浅部コーン破壊を伴う付着破壊が発生したが、梁補強がある場合や、埋込長さを $20d_a$ とした場合には鉄筋降伏が先行する破壊モードとなった。
- ② 壁内に定着するあと施工アンカーの耐力について既往の評価式を準用して評価したところ、安全側の評価となるものの、コーン破壊強度の評価や付着破壊強度の評価におけるへりあき等の影響考慮した付着強度について、過小評価している可能性が示唆された。
- ③ あと施工アンカーの埋め込み部におけるアンカー筋の付着応力分布は、荷重レベルが小さい範囲では、付着応力は施工面側に偏っているのに対し、荷重レベルが大きくなるにつれてアンカー筋先端側に付着応力が偏っていく傾向が見られた。
- ④ あと施工アンカーの抜け出し変形について、鉄筋の伸び変形だけでなく、異種材料間のすべりや周辺コンクリートの変形に起因する変形が生じる。埋め込み長さが短く、コーン状ひび割れや付着ひび割れが生じやすい試験体の方が、その割合が大きい。
- ⑤ 実際の壁式構造物に施工されたあと施工アンカーについても、実験室で確認されたアンカーの性能と同等の性能があることが確認された。
- (4) 壁式架構における新設開口設置に伴う補強部材の構造性能【第5章】
- ① 短辺耐力壁実験及び長辺耐力壁実験より、あと施工アンカーについて、いずれの試験体でも、付着応力は付着強度には到達しておらず、付着破壊は生じていない。したがって、今回の埋め込み長さを確保した曲げ補強筋に接着系あと施工アンカーを適用することは有効であるといえる。
- ② 骨格曲線を評価する際の剛性低下率については、引張側から2列目の主筋の降伏時曲げモーメントを用いた場合、引張側から3列目の主筋の降伏時曲げモーメントを用いた場合、そして引張側部材中央の主筋の降伏時曲げモーメントを用いた場合と3通りで検討を行ったが、これらの違いが荷重変形関係に与える影響は僅かであり、どの手法も実験の挙動を概ね捉えた。
- ③ 壁梁実験より、補強を行った壁梁の荷重変形関係の骨格曲線はここで検討した方法により概ね精度よく安全側に評価できた。なお、曲げ終局強度は精算法を用いて既存壁梁と補強部壁梁を分割して算定している。

- ④ せん断要素実験より、各試験体の固着強度を比較するとサンダーがけによって目荒らし処理されているものが比較的、固着強度が高いことが確認された。また固着強度は同じ試験体においてもばらつきが大きく、この原因としては、固着強度は目荒らしの施工精度に大きく左右されることが挙げられる。また、各種合成構造設計指針は実験の各試験体においておおよそ下限値を、耐震改修設計指針はおおよそ上限値を与えている。
- (5) 新設開口設置に伴い補強された壁式架構の構造性能【第6章】
- ① 1F層せん断力-全体変形角関係から耐力壁の構造芯を壁せいの中心とするB-2モデルは実験値を安全に評価し、重心とするB-1モデルは実験値を精度よく評価することがわかった。
- ② せん断形状係数を1.2とするB-1モデルと比較してせん断形状係数を応力度法およびエネルギー法により算定したB-1-a, B-1-bモデルは初期剛性がやや低くなる結果となったが損傷個所や耐力に関してほとんど違いは見られなかった。
- ③ 変動軸力を考慮したB-1Neモデルでは、長辺耐力壁に圧縮の変動軸力が加わる正載荷時は耐力が上昇し、長辺耐力壁に引張の変動軸力が加わる負載荷時は耐力が減少した。これを実験値と比較すると、正載荷時において変動軸力を考慮しないB-1モデルと比較し剛性・耐力ともにより精度良く評価できる結果となった。
- ④ 壁構造芯を重心とし、変動軸力を考慮するB-1Neモデルが実験値と比較した際、最も精度良く評価できる結果となった。
- ⑤ 1本柱単軸ばねモデルおよびMSモデルを用いた擬似立体解析、3本柱単軸ばねモデルを用いた立体解析を比較した結果、1本柱単軸ばねモデルを用いた擬似立体解析が実験値を最も精度良く評価できる結果となった。
- (6) RC造共同住宅を対象とした躯体改造計画と解析検討【第7章】
- ① 対象建物の桁行方向モデルについて、開口付き耐力壁のモデル化手法の違いが解析結果に与える影響を比較した。結果として、1枚の開口付き耐力壁とした場合は、複数の無開口耐力壁および壁梁とした場合に比較して架構の最大耐力と剛性は小さめに、各層間変形は大きく評価される。なお、どちらのモデルにおいても、ベースシア係数0.75以上であり十分高い耐震性能を有している。
- ② 対象建物の張間方向モデルについて、直交方向部材による曲げ戻し効果を適切に評価するため構面の両端にピン接合柱（ピン柱）を設定した。モデルは①ピン柱を剛とした場合 ②ピン柱に直交部材の曲げ戻し効果を考慮した場合 ③ピン柱を設定しない場合 の主に3つである。ピン柱を設定することで必要保有水平耐力に対して十分な保有水平耐力を有した結果となったが、ピン柱を設定しないモデルの場合は保有水平耐力が小さく、実際の地震挙動を考慮すると過小評価であると考えられる。また、ピン柱を剛とした場合は下層階に変形が集中し、せん断変形が卓越した挙動である

ことに對し、その他のモデルは各階の変形が概ね等しく曲げ変形が卓越した挙動であることを確認した。なお、ピン柱に曲げ戻し効果を考慮した場合のモデルについては、耐力壁中心位置に設定する曲げばねの評価範囲を直交壁付き耐力壁とした場合と面内壁のみとした場合の2通りで検討したが、前者は実際の断面を重複して算定するため、剛性を僅かに過大評価した。

- ③ 張間方向の戸境耐力壁に連層の新設開口を設けた場合を想定して改造後の構造性能評価を行い改造前と比較した。本章では構面に剛のピン柱を設定した張間方向モデルを基に改造後のモデルを作成している。開口設置に伴い建物全体のせん断力が低下するが、その減少分のほとんどは開口を設置した構面のせん断力減少分である。また、新設開口を設けた影響により弱い構面から強い構面へ構面間でせん断力の受け渡しが行われているため、この際にスラブがせん断破壊するか否かを既往の研究(7.6-1)に従い確認し、場合によってはスラブを補強する必要がある。
 - ④ 必要保有水平耐力に対する保有水平耐力の比率は開口設置前の張間方向において1.8程度であり非常に高い値となっている。開口設置後においても1.5程度となっており、必要保有水平耐力を十分満足することが確認された。このことから元々高い保有水平耐力を有している壁式RC造住宅の張間方向の耐力壁に新設開口を設置することは適切な補強を行う場合、保有水平耐力上問題はないと思われる。なお、今後張間の新設開口が桁行方向の構造性能に与える影響を検討する必要がある。
- (7) あと施工アンカーを用いて躯体改造を行った場合の施工実験【第8章】
- ① コンクリートコア抜き工事では、後工程におけるアンカー工事における穿孔位置にも留意し位置を調整する必要がある。新設開口工事は、電動ハンマーを使用したため、騒音・粉塵が発生するので、より低騒音の工法が望ましいが、工程の効率化とともに今後の課題である。貫通ボルト設置では、今回は、専用の型枠を作成して貫通ボルトが孔の中央の位置となるようにした。ある程度の精度を確保するため、確立した施工方法・管理方法が必要である。
 - ② アンカー工事では、計画した場所に既存鉄筋が干渉しアンカーが打てない状況を想定し、開口幅を100mm広げた。しかし、この場合においても下向きの1本の埋込み長さ20da穿孔中に既存鉄筋に干渉したため、アンカー位置をずらした。位置は7.5da以内及び壁柱打設後にかぶり厚さを確保できる位置とした。埋め込み長さが長いため、既存鉄筋に干渉する可能性が高いことに今後十分注意する必要がある。事前調査を入念に行う必要がある。干渉した穿孔は無機系注入式(JCAA工法認証品)で補修した。
 - ③ あと施工アンカーの施工について、あと施工アンカー強度指定申請ガイドラインに準じて、適切な品質管理体制のもと実施した。検査については、外

観検査(目視検査, 計測検査, 接触打音検査), 注入量検査, 埋込深さ検査, 充填状況検査の各検査を実施した。

- ④ 非破壊引張検査における上向きアンカー試験を除き, 所要の基準を満たした.上向きアンカー試験については, あと施工アンカーに固定用の楔を取り付けていたことにより, 拘束付着試験が出来なかった.このため, 楔を打ち込まないアンカーの固定方法を提案した。
- ⑤ 充填状況検査については, 参考に, 電磁パルス法による充填不良状態の検査を行った.電磁パルス法による検査は, 正規施工に対して明らかな充填不良を検出することは可能であるが, 本工事における検査のように, 実建物で実際にあるような正規施工が無い場合やコンクリート躯体が目荒しされた状態の場合などで明確な評価には課題がある。

(8) 躯体改造のための構造設計指針【第9章】

- ① UR 壁式賃貸住宅躯体改造設計指針に基づき, 今回得られた知見を反映させることを目的として, 適用範囲に小規模一体増改築を追加するとともに, 安全性の確認において保有水平耐力計算に基づく設計法について提案を行った。

10.2 今後の課題

本稿では、特にスラブの増設や、戸境壁への新設開口設置といった躯体改造に対する評価技術について検討した。既存ストックをさらに有効活用していくためには、そのほかにもスラブの付け替えやEV増設、供用廊下の新設など様々なニーズがあるため、個々の技術やそれらを併用した場合の構造性能評価方法について検討を進めるとともに、様々な躯体改造に対応できる柔軟な制度設計を検討する必要がある。

増改築部分の床面積が建築物の延べ面積の1/20かつ50m²以内の小規模増改築の場合は、既存部分は「構造耐力上の危険性が增大しない」ことを確認すればよいが、構造耐力上の危険性が增大しないことを確認する方法として、本稿においては保有水平耐力計算に基づく方法を提案したが、適用範囲を絞ったうえで構造計算を必要としない仕様規定により判定する方法が望ましいと考えられ、今後検討していく必要がある。

また、躯体改造に有用なあと施工アンカーについては、関連告示が改正され、鉄筋コンクリート造等の部材と構造耐力上主要な部分である部材との接合に用いるあと施工アンカーについて強度指定を行うことができるようになった。耐震補強においては様々な材料・構造形式による補強方法が提案されてきており、今後、それらのうち躯体改造にも有用な技術を活用していくため、あと施工アンカーと同様に強度指定が行えるような枠組みについて検討する必要がある。