

既存建築ストック再生・活用のための構造技術

福山 洋¹

¹独立行政法人建築研究所 構造研究グループ (〒305-0802 茨城県つくば市立原1)

既存建築物の有効活用のためには、水平方向や上下方向の二戸一改修のような構造躯体の改造を含む空間の拡大が望まれるが、これらは建築物の構造性能を低下させることとなる。そこで、本研究では、空間拡大やリニューアル改造に不可欠となる、梁せい低減技術、壁開口補強技術、梁貫通孔補強技術、および、床のたわみや振動性状の改善技術を取り上げ、構造性能を低下させずこれらを可能とする新しい技術提案を行い、構造実験を通してその妥当性を検証した。本稿では、これらの技術開発の背景、内容、および結果について報告する。

キーワード 既存建築物, 空間拡大, 梁せい低減, 壁開口補強, 梁貫通孔補強

1. はじめに

(1) 空間拡大の要求

これまで、1960年代前半までに建設された集合住宅の多くは、取り壊され再び同じ場所に新たな集合住宅を建設するという、いわゆるスクラップアンドビルド方式による更新が行われてきた。しかしながら、従来型の開発・発展がもたらした地球温暖化をはじめとするさまざまな環境問題が指摘される現在、建て替えにより新たな住空間を再生していくという方針は転換が求められ、少なくとも既存建築物を活かし、その改造により新たな住空間を構築するという考え方も併用していくことの必要性が認識されるようになってきた。ここで、既存建築物の再生・活用にあたっては、住まいに対する住まい手からのさまざまな要求を充足する必要があるが、そのひとつに「空間拡大」があげられる。

一般に、既存の集合住宅は、面積的な狭さに加え天井高の低さに因る空間的な狭さを有しており、これが現代の人々が求めている住空間のイメージと大きくかけ離れている。そこで、面積的な狭さを解消するために、例えば既存の戸境壁に開口を設け、横方向へ導線を広げるといった方法が考えられる。一方、空間的な狭さの解消については、例えば、床を撤去したり床の一部に開口を設けて吹き抜けにすることで、高い階高が確保され空間的な広がりを実感することができる。1階であれば基礎梁のせいを低減して床の位置を下げることで同様な効果を得ることが可能である。また、梁下寸法が極めて小さいため空間的な狭さを感じさせ、背の高い人は頭を打つ危険性があるような場合には、梁の下部を削って梁せいを小さくし梁下寸法を拡大することで、図1に示すように、危険を回避するとともに空間の広がりを実感することができる。



(a) 梁せい低減前

(b) 梁せい低減後

図1 梁下寸法の低さと梁せい低減による効果

(2) 空間拡大が構造性能へ及ぼす影響

以上のようなことを実現するためには、耐力壁や床を撤去する、耐力壁や床の一部に開口を設ける、大梁や基礎梁のせいを低減させる、といった改造が必要となるが、それらは構造耐力上主要な部分の構造性能を低下させることにつながる。例えば、耐力壁は主要な耐震要素であるが、開口を設けるとその剛性や水平抵抗力が低下する。また、耐力壁を撤去するとその壁が負担していた分だけ建築物の水平抵抗力が低下する上に、各部材の負担する応力のバランスが崩れてくる。床は、鉛直荷重を支え使用上の支障となるようなたわみや振動を抑えることに加え、地震時等に生じる水平力を各構面に伝達させる役割を持つため、そこに大きな開口を設けることは、床が水平力を各構面に一様に伝達できるとする剛床の仮定が成立しなくなる可能性がある。また、梁を撤去したりそのせいを低くするような改造は、もともと梁が有していた剛性と強度を損なうことを意味する。このような改造を行うためには、改造後の構造特性に適した(当初とは異なる)構造モデルで再度構造解析を実施し、構造安全性

を確認する必要がある。しかしながら、これまではこれらのような改造に必要となる技術および評価方法に関する知見が蓄積されていなかったことから、構造耐力上主要な部分に手を付けるような改造はほとんど実施されておらず、むしろタブーとして見られるような状況であった。

そこで、(独)建築研究所は、重点研究課題「既存建築ストックの再生・活用手法に関する研究」において、(独)都市再生機構と「既存賃貸住棟の改造技術の体系化」に関する共同研究を実施し、空間改造を行う上で最も基本的な条件と考えられる「空間改造を行った後も元の部材の構造性能を確保する」ために必要となる技術開発を行った。この方針は、各構面の構造バランスができるだけ当初から変わらないように配慮することで、さまざまな課題を部材単位で考えられるようにするものである。本稿では、共同研究において検討された空間改造技術のアイデアとそれらに関する研究成果の概要について紹介する。

2. 空間拡大リニューアル改造に当たって必要となる構造面からの検討課題の抽出

空間拡大リニューアル改造を行う場合に、設計において構造安全性の面から検討が必要となる項目を主として壁式構造を対象に検討した。なお、ここでは、「1. はじめに」に示した住まい手が求めるような空間改造を実現するための技術の他に、リニューアル改修に伴って必要となる梁のあと抜き貫通孔補強技術や、古い建物でよ

く見られるような床のたわみや振動障害などを改善するための技術についても検討した。その結果、①梁せい低減技術、②耐力壁の開口補強技術、③梁のあと抜き貫通孔補強技術、④床のたわみや振動性状の改善技術、⑤あと施工アンカーの長期構造性能、が開発を要する項目として抽出された。

ただし、⑤のあと施工アンカーについては、2008年度から実施されている建築基準整備促進事業の一環として検討が行われているため、本研究においては扱っていない。また、本研究においては耐震補強に関する問題とは切り分け、空間拡大を伴うリニューアル改修に関する課題のみに着目するために、まずは、耐震性能を満たしている建築物として、1960年代前後に多く建設された壁式構造の集合住宅を対象として検討を行うこととした。本検討の結果は、さまざまな提案がなされてきている耐震補強技術と組み合わせることで、将来的には耐震性能を満たしていない中高層の建築物にも反映できるものと考えている。

3. 梁せい低減技術

大梁や基礎梁のせいを、梁の剛性と強度を維持しつつ低減させるために、既存梁の下部を一部切断した後に、梁の横に鉄筋コンクリート造もしくは鉄骨造の梁を設けて既存梁と一体化させる方法について検討を行った。

研究の対象は日本住宅公団(現(独)都市再生機構)の壁式鉄筋コンクリート造 65-5N-3K-3 型標準住棟とし、スパンと断面が最大となる梁(以後、既存梁という)を

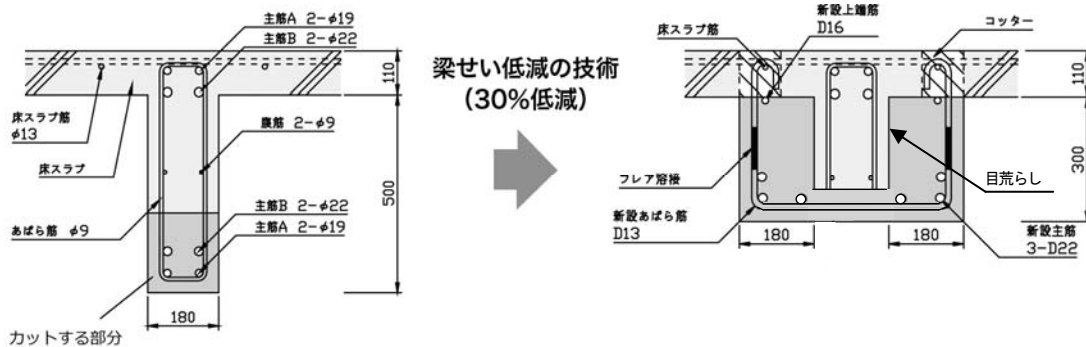


図2 RCによる梁せい低減補強の例

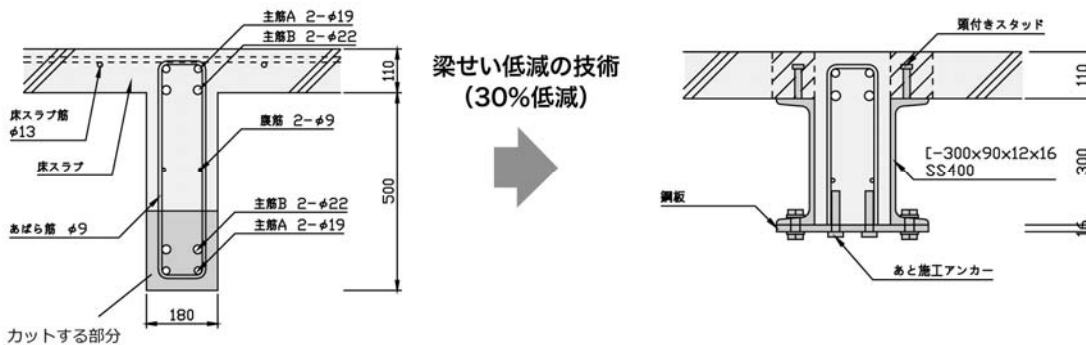


図3 鉄骨による梁せい低減補強の例

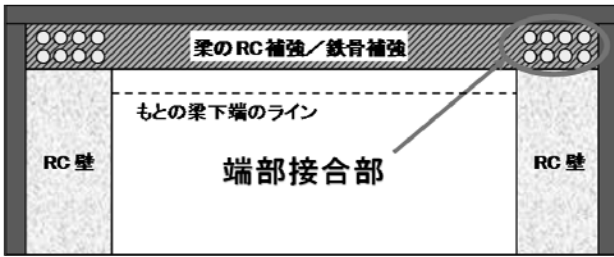


図4 梁せい低減のためのRC梁による補強
または鉄骨梁による補強と端部接合の概念図



(a)あと施工アンカーによる接合方法
(b) PC 鋼棒の圧着による接合方法

図5 補強梁の端部接合方法 (ひばりヶ丘実験住宅の例)

対象とした。この既存梁の寸法は、 $180 \times 500\text{mm}$ 、スラブの厚さは 110mm であるが、その梁下寸法を確保するために既存梁の下部を 200mm 切断することとした。しかしながら、切断しただけでは梁の強度および剛性が低下するため、当初の設計とは応力条件が異なることとなり、再度構造解析を行って必要な補強等を行う必要が生じる。そこで、本研究では、切断前と同等の耐力と剛性を確保するための補強方法を開発することとした。ここで検討された補強方法は、切断した梁の側面に RC 梁 (図 2) もしくは鉄骨梁 (図 3) を施工し、既存梁と一体化した梁を形成するというものである。

(1) RC 梁による補強方法の詳細

この補強方法では RC の梁を既存梁の両側に施工するが、補強後の下端筋は新たに設置し、上端筋には既存梁の上端筋をそのまま用いる。あばら筋は新たに配筋し、床スラブ筋と緊結し、補強梁のせん断補強に用いる。新設のあばら筋とスラブ筋の緊結に際しては、床スラブに

一定の間隔でコッターとなる穴を設けて施工する。施工性を考慮し、 90° に折り曲げた新設あばら筋は側面でフレア溶接して形成する。これらと、既存部の梁および新設部に設けた引張鉄筋により、一体化した新たな梁を形成させ、耐力および剛性を確保する。

(2) 鉄骨梁による補強方法の詳細

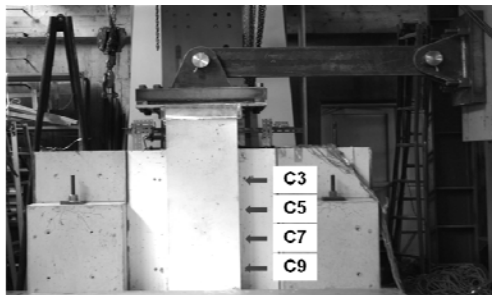
この補強方法では鉄骨の梁を既存梁の側面に設置する。その鉄骨には、溝形鋼 ($C-300 \times 90 \times 12 \times 16$ (SS400)) を用い、頭付きスタッドを用いて床スラブと接合する。梁下部には鉄骨と既存梁の一体性と剛性を確保するために鋼板を配し、鉄骨とは高力ボルト、既存梁とはあと施工アンカーで接合する。本補強では、耐力と剛性は主に鉄骨と床スラブで確保させるという考え方を採用している。

(3) 端部接合方法

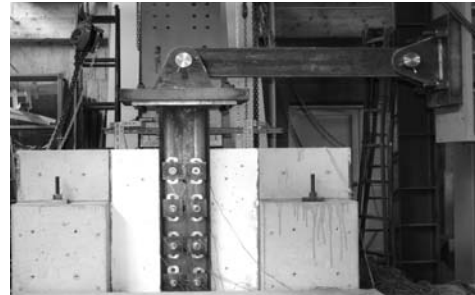
補強梁の端部では、図 4 のように補強部分に生ずる応力を端部接合部で確実に既存の RC 壁に伝達させる必要がある。そこで、あと施工アンカーによる接合方法 (図 5 (a)) と PC 鋼棒の圧着による接合方法 (図 5 (b)) が考案された。

以上の補強方法の効果を調べるために、実大スケールの試験体を用いた梁の曲げせん断実験^{1)~3)}と、端部接合部のモデルを用いた構造実験⁴⁾ (図 6) を行った。その結果、RC 梁による補強および鉄骨梁による補強の何れの方法も、既存梁の曲げ耐力、せん断耐力および剛性を確保できることが確認され、耐力の評価も RC 梁の場合は既往のせん断や付着割裂破壊の評価方法が、鉄骨梁の場合は合成構造指針の評価方法が適用できることが分かった。

また、補強梁端部接合部の応力伝達メカニズムが検討され、あと施工アンカーによる接合では、中間部のアンカーがせん断力に、中間部のアンカーの余剰せん断力と最外縁のアンカーがモーメントに抵抗するとして接合部の耐力を求めることができることを、また、PC 鋼棒の圧着による場合は、せん断力とねじりモーメントが同時に生じるとしたときのせん断応力度が、導入応力度 \times 摩擦係数を超えないという条件で評価が可能であることを示した。



(a) RC 梁をあと施工アンカーで接合した場合



(b) 鉄骨梁を PC 鋼棒で圧着接合した場合

図6 増設梁—壁接合部の構造実験 (試験体では加力のために、梁は 90 度回転して鉛直に配置されている)

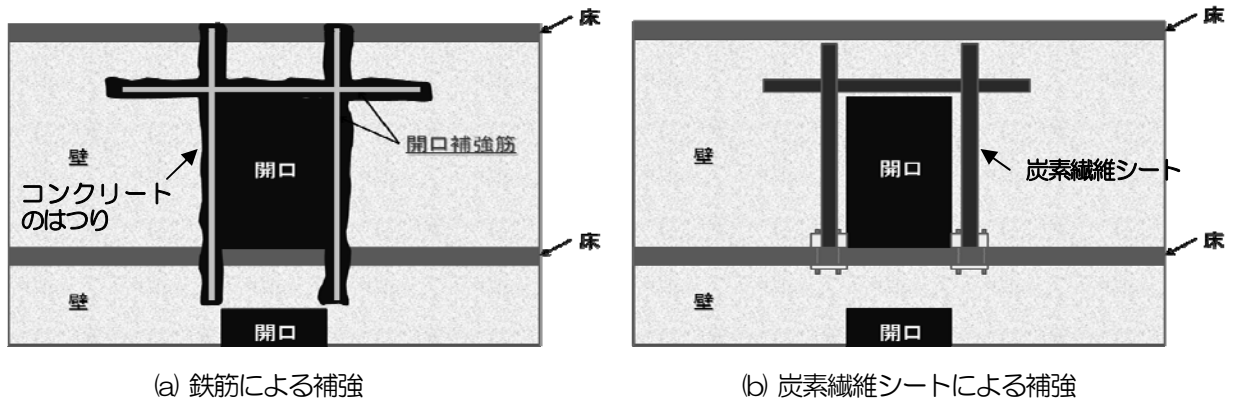


図7 耐力壁の開口補強技術

4. 耐力壁の開口補強技術

耐力壁に開口を設ける際に、通常の開口補強筋を設けるためには、図7(a)のようにかなり広範囲のコンクリートを一旦はつるの必要があり現実的でないため、開口補強筋の代わりにあと施工が可能な炭素繊維シート（CFシート）を用いる図7(b)のような方法の可能性について検討を行った。

CFシートの端部定着はシートの必要定着長さの規定に従うが、鉛直方向に貼り付けるシートの下端部は定着金物を用いてスラブに定着する⁵⁾ものとしている。また、既存の壁横筋の開口側端部は折り曲げ定着としている。

このような開口補強方法について、開口横の壁をモデル化した断面100×600mm、高さ1200mmの壁試験体を用い、開口補強の種類（鉄筋、CFシート）、開口補強量、CFシート貼り付け方法（片面、両面）を変動因子として、一定軸力下の逆対称モーメント形式の載荷実験を行った⁶⁾。CFシートの量は、建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」により算定された鉄筋の開口補強筋と引張剛性が同等となるような量としている。

この実験より、図8に示すように、壁の曲げに起因する開口部の鉛直縁張力に対して、壁の両面をCFシートで補強すると、同じ軸剛性の鉄筋補強の場合と同等の剛性でかつ同等以上の耐力を発揮し、開口補強方法として有効であることが確認された。

せん断抵抗機構はアーチ機構よりもトラス機構に依存せざるを得ない。そこで、トラス機構をより強く形成させるために既存のせん断補強筋に加えてCFシートを開孔部横に配する。このシートは梁に閉鎖型に巻き付けるのが理想であるが、スラブがある場合には困難なことから、スラブ下の梁の側面に金物を用いて定着されている。なお、開孔の上下には、開孔周りに発生するひび割れの拡幅を抑えることと、トラス機構を成立させる主筋の付着の役割を担わせるために、CFプレートおよびCFシートを材軸方向に配している。

このようなあと抜き貫通孔補強のせん断耐力への効果を確認するために、既存中層建物の最上階の梁を想定した、断面400mm×625mm、せん断補強筋比0.11%の実大

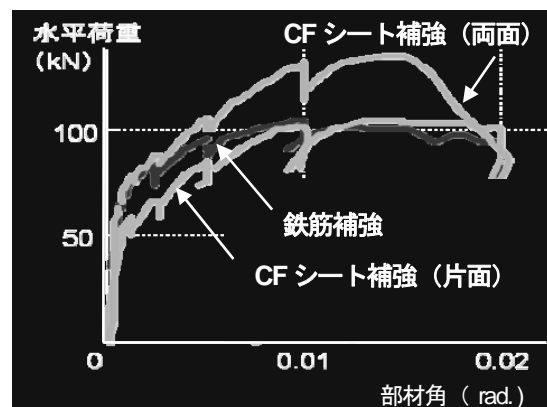


図8 耐力壁の開口補強実験の結果

5. 梁のあと抜き貫通孔補強技術

リニューアル改修の設備配管工事によって必要となる大梁や基礎梁のあと抜き貫通孔を、炭素繊維シートとその端部定着金物および炭素繊維プレートをを用い、あと施工で補強する方法（図9）について検討を行った。ここでは、既存のせん断補強筋が1本切断される場合も想定して、補強効果の評価方法を検討した。

一般に、梁にあと抜き貫通孔を設ける場合、開孔部ではコンクリートの圧縮ストラットが形成されないため、



図9 梁のあと抜き貫通孔補強の方法

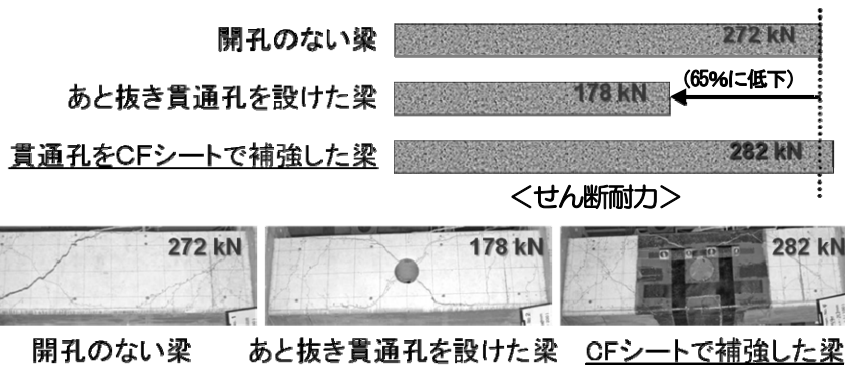


図 10 梁のあと抜き貫通孔補強によるせん断耐力の向上効果

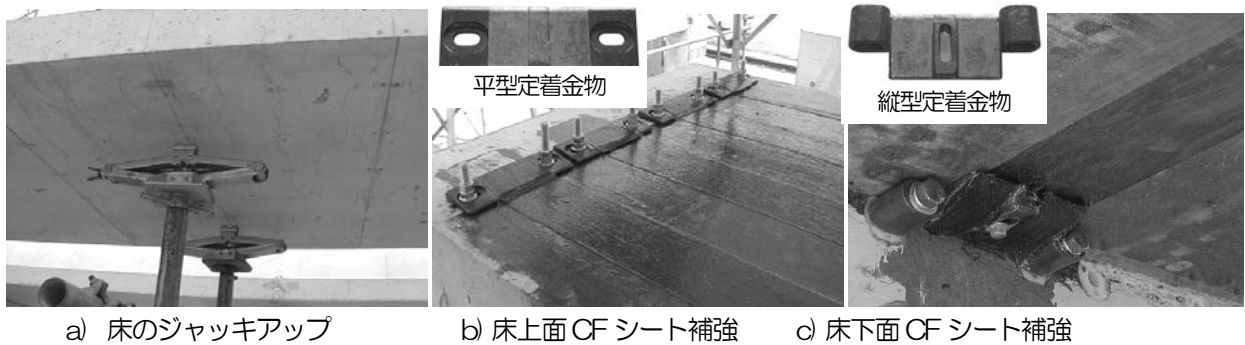


図 11 床のCFシート補強方法

梁を用いた逆対称モーメント形式の曲げせん断加力実験を行った⁷⁾。変動因子は、貫通孔の有無と貫通孔補強の有無である。その結果、図 10 に示すように、あと抜き貫通孔を設けることにより梁のせん断耐力は 65%に低下すること、および、あと抜き貫通孔を端部定着金物を用いた CF シートで補強することにより、無開孔梁と同等以上のせん断耐力まで回復できることがわかった。

6. 床のたわみ・振動性状の改善技術

既存建築物の床は比較的厚さが薄く、既にひび割れが生じている場合も多い。そのため、端部の固定度が小さくなっており、このことがたわみの大きさと上下方向への揺れやすさの原因となっている。このような床をジャッキアップした後に CF シートで補強することにより、低下した床の端部固定度を増大させ、たわみと振動性状を改善する方法について検討を行った。

床のたわみと振動性状を改善するための補強は、図 11 に示すように、まずジャッキアップにより床のたわみを補正し、その状態で床の上下に CF シートを貼り付け、樹脂が十分硬化した後にジャッキダウンするという方法である。なお、床に発生しているひび割れへの樹脂注入などは行っていない。床上面のシート端部の定着には、あと施工アンカーのせん断力で定着力を伝達させる平型定着金物を用い、床下面のシート端部の定着には、あと施工アンカーの引張力で定着力を伝達させる縦型定着金物を用いる。何れも、CF シートの端部は金物に折

り返す形で定着されている。

このような補強方法について、厚さ 130mm、内法スパン 4500mm の両端固定一方方向スラブ 3 体 (S-1, SR-2, SR-3) を用いて、その効果の確認実験を行った^{8)、9)}。実験では、まずそれぞれの中央に集中荷重を加え、除荷した際の残留たわみが内法スパンの 1/250 程度となるようにひび割れを発生させた。この時の残留ひび割れ幅は、床上面端部で 0.5~0.7mm、床下面中央で 0.15~0.2mm であった。この状態から、S-1 はそのまま無補強、SR-2 は床の上面のみ CF シートで補強、SR-3 は床の上面と下面を CF シートで補強した。

これらの補強による床の固有振動数の変化が表 1 のとおり計測されている。中央集中荷重によってひび割れを発生させ、除荷した後の各床の固有振動数は健全時の約 58%に低下し、揺れやすくなった。それが上面補強を施すことで健全時の 73%まで、上下面補強を施すことで健全時の 92%まで固有振動数が回復し、振動性状が大幅に改善された。

その後、床中央部の最大モーメントが、住宅用積載荷重が等分布で作用した際の中央部モーメントと同等とな

表 1 固有振動数の測定結果

| | S-1 無補強 | SR-2 上面補強 | SR-3 上下面補強 |
|-----|--------------|--------------|--------------|
| 健全時 | 21.5Hz | 21.9Hz | 21.6Hz |
| 劣化時 | 12.5Hz (58%) | 12.5Hz (57%) | 12.5Hz (58%) |
| 補強時 | — | 16.0Hz (73%) | 19.8Hz (92%) |

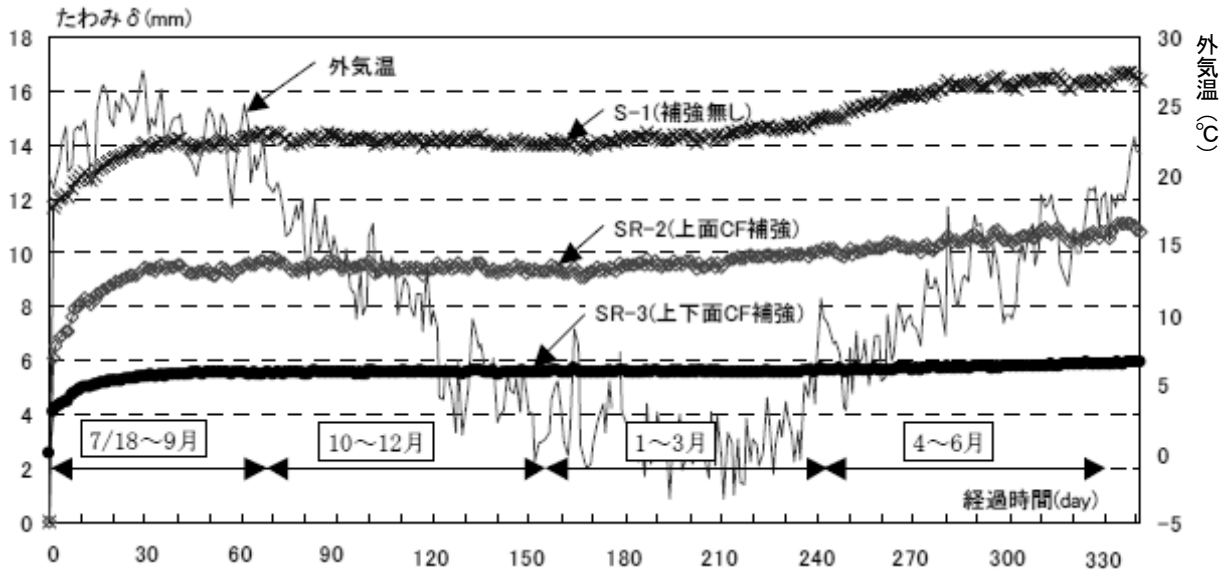


図 12 長期載荷試験結果

るように中央に集中載荷する方法で長期載荷試験を行った。その結果、図 12 に示すようにシートで補強することにより、載荷直後のたわみは S-1 に比べて SR-2 が約 1/2、SR-3 が約 1/3 に低下された。また、その後のたわみの進行は約 1 ヶ月で緩やかになる傾向にあり、1 年経過時のたわみ増大倍率は、無補強 (SR-1) が約 1.4 倍、上面補強 (SR-2) が約 2.0 倍、両面補強 (SR-3) が約 2.0 倍であった。なお、長期載荷後の固有振動数は若干低下したが、載荷前とほぼ同等であった。

7. おわりに

本稿では、改修を行う際にも改造前の元の部材の構造性能を維持できるような技術として「梁せい低減技術」、「壁開口補強技術」、「梁貫通孔補強技術」、および「床のたわみ・振動性状の改善技術」に関する研究成果を紹介した。しかしながら、空間改造の選択肢としては、部材の剛性や耐力といった構造性能を変化させるような方法もあり得る。もちろんその場合には、構造計算を再度一からやり直す必要があるが、より大胆な空間改造を実現できる可能性がある。

今後、住まい手からのさらなる多様な要求を適切に充足できるように、より自由度の高い空間改造技術およびその構造性能評価技術が開発され、実用化されることが大いに望まれる。

謝辞：本報告は、既存賃貸住棟の改造技術の体系化に関する共同研究で検討した空間改造技術のアイデアおよびそれらに関する研究の現状について紹介したものである。関係各位に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日比野陽, 勅使川原正臣, 福山洋, 井上芳生, 村瀬広導, 川西泰一郎: 既存RC 梁の梁せい低減に対する補強方法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.97-100, 2008-9
- 2) 日比野陽, 勅使川原正臣, 福山洋, 井上芳生: 既存壁式鉄筋コンクリート造建物の梁性低減に対する補強方法, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, pp.253-258, 2009
- 3) 日比野陽, 勅使川原正臣, 福山洋, 井上芳生, 村瀬広導, 川西泰一郎: 鉄筋コンクリート・鉄骨並列合成梁の曲げ終局強度, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.201-202, 2009-8
- 4) 田内浩喜, 日比野陽, 勅使川原正臣, 井上芳生: 外付け壁梁と壁の接合部耐力, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.31, No.2, pp.259-264, 2009
- 5) 中村洋行, 鈴木英之, 福山洋, 高橋茂治, 上田正生: 鉄筋コンクリート部材の補強を目的とした連続繊維シート定着金物の開発-定着金物の性能と実大損傷梁のせん断補強への適用-, 構造工学論文集Vol.54 B, 日本建築学会, 2008.3
- 6) 石川星児, 楠浩一, 田才晃: 耐力壁に設けた施工開口の炭素繊維シートを用いた開口補強に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.33-34, 2009-8
- 7) 中村洋行, 鈴木英之, 福山洋, 上田正生: 連続繊維シートと鋼管により開孔補強された既存梁のせん断耐力評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.3, pp.1627-1632, 2007
- 8) 高橋茂治, 福山洋, 鈴木英之, 中村洋行: 定着金物を用いた連続繊維シートによる劣化スラブの補強効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.481-486, 2008
- 9) 高橋茂治, 福山洋, 藤本効, 岸本剛, 中村洋行, 加藤貴久, 鈴木英之: 定着金物を用いた連続繊維シートによる劣化スラブの補強効果 (その2 両端固定スラブの固有周期と長期たわみ), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.725-726, 2009-8