

建築物の診断、補修・改修、再生技術

住宅研究部 住宅生産研究室長 長谷川 直司
総合技術政策研究センター 評価システム研究室長 犬飼 瑞郎



1. はじめに

建築物の機能・性能は、その竣工時をピークとして、時間の経過とともに低下していくのが一般的である。途中で大地震や強い台風または火災による構造的な損傷を被ることは別として、物理的、化学的あるいは生物的な要因により、漸次低下していくのである。これを劣化という。しかしながら、劣化したことにより要求された機能・性能を発揮できなくなった建築物を取壊し捨てて、新しい建築物に建て替えるという、いわゆるスクラップアンドビルドの方法は今日、経済的にも社会的にも認められ難いものとなっている。少子高齢社会の定着は、建設労働者の量的、質的低下をもたらすという意味のほかに、特に公共では歳入の頭打ちと歳出における社会保障費の増大等といった財政制約のもと、新規公共建築事業の抑制が図られることが予想される。また、今日的な社会問題である資源の有限化の認識、建設廃棄物の抑制、地球環境保全問題などは、いずれも大量廃棄、大量建設にブレーキをかける方向に働いている。

2. スクラップアンドビルドからストックアンドリノベーションへ

良質な社会資本ストックとしての建築ストック形成とその維持保全は今後、建築に携わるすべての人びとにとって最重要なテーマとならざるを得ない。また一方で、建築物のユーザーや社会が、建築物に求める機能・性能は、ますます高度化し多様化している。より一層快適な居住性・IT環境、セキュリティや健康、いつまでも美しい外観と内装、極力メンテナンスフリーといった、竣工当時の機能・性能を超えるものがニーズとして出される。外壁仕上の剥落危険性防止とか雨漏りの防止といった基本的な機能・性能は当然クリアされているものという前提である。しかしこれらにしても経年劣化は免れず、高度な技術をもって診断、補修・改修すべきであるが、現状では技術の体系化さえ確立していないといつて過言ではない。ストックアンドリノベーションへの課題は多い。

ここで用語の整理をしておく。「修繕 (Repair)」という用語は、劣化した建築部材、部品 (建具、タイル・塗装等部分的なもの等) を“実用上支障のないレベル”まで回復させること。「補修 (Amendment)」は、時間の経過によって劣化した建築部位 (屋根、壁、はりなど) を“現状のレベル (現在)” から“実用上支障のないレベル”まで部分的に手直しすることをいう。「改修 (Improvement)」とは、初期レベル以上、つまり新築時よりレベルアップした状態まで機能・性能を持ち上げることを行う。さらに「改修」よりも高い水準にまで引き上げることを指す用語として「改良 (Modernization)」がある。建築ストックの資産価値を戦略的に向上させるような場合である。

3. 既存建築物の診断技術の現状と問題点

建築物の良好な環境と機能を経済的に維持し、建築物の長寿命化を図るためには今後の使用期間に対応した適切な補修・改修が重要となる。そのためには対処療法的に建築物を補修・改修するのではなく、建築物をいかに健全な状態に保つかの具体的な方策が必要となる。その方法として調査・診断の技術が位置付けられ、劣化現象などを定量的に把握し、評価するために調査・診断機器等が用いられている。しかし、建築物の調査・診断に機器類が本格的に使用されてからせいぜい40年程度の歴史であり、現在でも診断技術向上のため、機器の改良実験等が行われている状況である。鉄筋コンクリート建築物における代表的な劣化現象と、その診断技術の現状および問題点について表-1に示す。

4. 建築物の補修・改修技術の課題

次に補修・改修技術の進展と課題について展望してみたい。従来、補修・改修技術といった技術の研究開発は日の当たる場所にはなかったように思われる。建築生産技術開発といえば、新築のための技術開発ばかりが盛んで、できあがった建築物をどのように管理し保全していくか、いか

表 - 1 診断技術の現状と問題点

項目	現 状	問 題 点
①中性化	中性化深さは、フェノールフタレン試薬による診断技術として評価手法を含めて確立している。	・調査は破壊方法のため試験ヶ所の制約、試験跡の躯体の補修が必要となるためサンプリング数が限定される。 ・構造体の寿命推定に中性化寿命説と腐食ひび割れ寿命説があり、何れを採用するかによって投資額に差異が生ずる。
②鉄筋腐食	非破壊・破壊検査として一応診断技術は確立されている。	・非破壊検査の場合、腐食している可能性の推定はできるが、鉄筋の断面欠損の判断は困難である。
③ひび割れ	ひび割れは目で確認でき、測定方法、評価基準は一応確立されている。	・挙動するひび割れの計測には時間と費用がかかり、しかも補修後に近傍に新規のひび割れが発生するなど確実に要因を特定するのが難しい。
④漏水	診断技術としては未だ確立されたものがないため漏水場所に応じた非破壊調査が行われている。	・コンクリート内の水の動きをどう把握するかが問題である。施工方法、納まり、材料劣化など漏水位置の特定は困難な場合が多い。
⑤強度劣化	非破壊・破壊検査として、評価手法を含めて診断技術として確立されている。	・強度は、測定面の状態、形状・寸法等に左右され、技術者の技量によっても測定値に差異が生ずることがある。
⑥大たわみ	載荷、振動法など診断技術としては確立されている。	・載荷荷重によるクリープ現象か構造体の欠陥（断面不足、配筋不良等）によるものかの判断には時間と費用が嵩む。
⑦表面劣化	目視と試験機器を使用する診断技術として確立されている。	・表面に表われる現象のため、安易に判断されることが多い。原因を究明するためには内部状況の調査も必要である。 ・汚れの評価（美観スケール等）手法が必要。
⑧凍害	調査方法、評価手法は診断技術として確立されている。	・コンクリートの質（配合、打込、養生、加水の有無等）と設計要素によりかなり左右される。

に長持ちさせていくかなどという技術は顧みられることはなかった。教育の場でも法律の世界でも同様であった。時代がスクラップアンドビルドからストックアンドリノベーションにパラダイムシフトした今日、早急な課題解決が求められている分野である。

一般的に、建築物の改修工事に関する課題としては以下の事項が考えられる。(1) 躯体の劣化状態を考慮して改修工法を選定する手法を開発する。(2) 改修によって向上すべき性能を実現できるようにする。(3) 改修材料および工法の性能を評価できるようにする。(4) 改修工事に対する責任体制を明確にする。

補修・改修工事は、建築物の耐用年数の間に数回実施されることもあることを考えると、補修改修材料・構工法の耐久性の評価を行うことが不可欠であるとともに、補修改修構工法には躯体保護の機能が要求されることも多いので、防水性、剥落安全性などの要求される性能を必ず実現できるようにすることが大切である。

ここで例として、建築物の外壁の補修・改修についてみると、この問題を考えるに当っては、これまでの耐久性研究の成果を踏まえると同時に、以下の事項について新しい発展を目指す必要がある。(1) 補修・改修に用いる材料、構工法自体の耐久性について明確にする。(2) 仕上げ構法

と躯体とを複合して取り扱い、外壁改修の躯体の耐久性に及ぼす効果について明確にする。従来、建築物の耐久性は、構造体と仕上げ部分、すなわち躯体と仕上げ構法とに分けて研究され、それぞれについていくつかの知見が明らかになってきている。またそれぞれについて診断、補修技術が提案されてきている。しかし、現実の建築物の外壁の改修について考える時、少なくとも躯体の表層部と外壁仕上げ構法とを複合して総合的に扱う必要がある。

外壁について特に取上げたので、外壁構法に要求される性能について確認しておく。概括的には、大きく安全性、居住性（防水性）および耐久性の三つに分類できる。このなかで安全性に関する諸々の性能ならびに防水性能に関するものは、通常の建築物では不可欠のものであり、必ず具備すべきものである。耐久性とは、安全性、居住性その他性能項目の時間に伴う低下傾向のことであるが、これを評価するには典型的な劣化現象について経時的に予測する方法が必要である。多くの劣化現象では、適切に補修することにより無害化できるものがある。また、コンクリートの中性化のような一部の劣化現象は漸次不可逆的に進行し、補修・改修はその速度を小さくするだけのものもある。一方、一部の劣化現象は、その部材を交換しない限り回復できないものがある。以上のように劣化現象を現実の環境下

において、時間軸で押えることが耐久性を評価することになるのである。

5．既存杭の再利用技術

建築物の再生には、既存杭が再利用される場合もある。以下では、既存杭が再利用された事例とその技術について述べる。

既存杭とは、おおまかに、工事現場でコンクリートを打設して敷設する場所打ち杭と、あらかじめ工場で製作した既製杭に分類される。1900年前半には、無筋のペDESTAL杭が使用され始めたが、まだ支持力は小さかった。その後、大口径杭、拡底杭などが開発され、大きな支持力を負担することが可能となった上に、工事現場での低騒音・低振動が可能となった（図-1）。そのため、鉄筋コンクリート造基礎杭は、都市部の中高層建築物にも多く用いられるようになった。

今後予想される多くの建築物の解体時に、既存杭を除却すれば、その工事に伴い、コストや環境負荷が増大し、更には、地盤に空洞が出来ることから、周辺地盤を变形させるおそれもある。しかし、既存杭の中に、健全な状態であり、耐久性も保持しているものがあることは十分に考えられ、それらを再利用すれば、経済性、環境面に効果がある。

〔1〕既存地下構造部材の再利用の実態調査

建物の建替え計画が発生した場合、その多くは既存の杭を残したまま、或いは、新設杭の施工上障害となる既存杭のみを撤去することにより、新設地業工事の施工を行っているのが実情のようである。

今回、既存鉄筋コンクリート造杭を本設地業として再利用した物件について調査したところ、1990年以降で6件が確認された。

〔2〕既存杭の性能調査技術

既存杭を再利用するにあたっては、現状の既存杭の性能を把握する必要がある。そのためには、竣工時の設計方針、

施工方法や竣工後の劣化状況を調査しなければならない。竣工時の設計方針、施工方法については、設計図書、構造計算書、施工記録が保存されていれば、調査可能である。竣工後の劣化状況については、地盤中に施工されている既存杭の場合、把握しにくい。以下に示す方法で性能を調査することも可能である。

耐久性調査方法

杭の耐久性を調査するため、コンクリート強度・劣化、鉄筋の強度・腐食を調査する方法に、以下のものがある。

1) 目視調査

かぶりコンクリートをはつり取って、鉄筋の腐食状態、コンクリートかぶり厚さを調査する。

2) 強度試験

コアボーリングによりコンクリート試料を抜き取り、コンクリート圧縮試験を行う。また、鉄筋試験片を抜き取り、強度試験を行う。その他、シュミットハンマーによるコンクリートの非破壊試験も有効である。

3) 中性化試験

コンクリートは打設当初、強アルカリ性であるが、長期間使用するうちに、炭酸ガスにより表面から中性化するため、コンクリート中の鉄筋が錆びやすくなる。その中性化が進展した深さを測定する。測定用試料は、通常、杭から採取したコンクリートコアであるが、杭表面からドリルで孔を開け、その時に生じるコンクリート粉を利用することもできる。

健全性調査方法

既存杭の健全性を調査する方法を以下に示す（表-2）。調査項目は、杭の長さ、径、損傷位置などである。

1) 目視調査

目視調査では、掘削により杭頭が露出可能な場合、杭心位置や杭径などをスケールにより測定する。また、杭頭部の配筋状況や最小かぶり厚さの測定も可能である。本調査は、目視によるため、他の調査方法と比べて、信頼性・客

杭工法	年代					
	西暦 1900	1920	1940	1960	1980	現在
ペDESTAL		■	■	■	■	
深礎			■	■	■	■
オルケーシング				■	■	■
アースドリル					■	■ (拡底)
リバース					■	■ (拡底)

図-1 場所打ち杭工法の開発年代

観性が高い。

2) インテグリティ試験

インテグリティ試験は、杭施工時の品質管理のために開発され、杭長など構造諸元の調査に用いるものであり、地震などで被災した既存杭の損傷調査にも適用できる。これは、杭頭部にセンサーを設置し、杭頭を小型のハンマーで軽打して、杭体を伝搬する弾性波が損傷位置や断面変化位置から反射されるのを計測し、それらの位置を判定する手法である。

この試験方法では、ハンマーによる振動が伝達される範囲を限定することにより、調査の精度が向上するので、通常は、フーチングや上部構造を切り離し、杭頭を露出させることが多い。

3) アコースティック・エミッション (AE) 法

AE法では、コンクリートにひび割れが生じた場合に、何らかの外力が加わることにより、ひび割れが進展したり、ずれた時に発生する弾性波をAEセンサーで計測する。センサーを複数設置することにより、損傷位置も推定できる。

4) ボアホールカメラを用いた損傷調査

ボアホールカメラを用いた損傷調査では、せん孔機械を用いて杭内部に孔を開け、その孔内にCCDカメラ等を挿入し、孔壁の亀裂等をカメラ映像で調査する。

載荷試験

載荷試験により、既存杭の鉛直支持力、水平耐力、沈下剛性を調査することができる。調査する内容により、試験方法が開発されている。既存杭を再利用する場合には、狭隘な場所でも実施することもあるため、急速載荷試験が実施されたこともある。

3) 杭の再利用に当たっての検討手順と検討項目

既存杭の再利用には、性能調査の他に、新設建物を支持する耐力が十分かどうかについても、検討する必要がある。以下では、主な検討項目を挙げ、検討手順をフローに示した。既存杭を再利用しない場合には、別途、既存杭が残存する影響や既存杭を除却する影響などについても検討を要する。

再利用の検討では、どのような杭が地中に設置されているのかということが、事前に把握できることが最も重要である。既存杭の種類、諸元、特性等は、竣工時の設計図書

及び検査済証が保存されていれば、ほぼ把握することができる。そのため、図 - 2に示す検討手順のフローは、既存杭の竣工時の設計図書及び検査済証が保存されていることを前提とした。

6. おわりに

建築ストックの、調査・診断による現状 (FACT) の評価と、あるべき状態 (REQUIREMENT) を明確にし、その差 (DIFFERENCE) を埋める技術とその改善・体系化が、ストックアンドリノベーションの今日、大きく求められている。

表 - 2 主な健全性調査法一覧

試験方法	目視調査	インテグリティ	ボアホールカメラ	AE
調査項目	杭配置、杭径等	杭長、損傷位置	損傷位置・程度	損傷位置、施工不良
試験方法	杭頭から露出させたところを、目視により健全性を調査する。	ハンマーにより杭を振動させ、その反射波をセンサーで計測し、杭長、損傷位置を計測する。	杭内部に開けたボアホールに孔に CCD カメラ等を挿入し、杭内側から損傷を調査する。	杭周辺または杭内部にセンサーを挿入し、超音波伝搬速度を利用して計測する。
試験条件	掘削可能な範囲まで	できれば、杭頭露出(ハンマーの振動が伝わる範囲を限定する必要有り)	杭内部にボアホール	杭周辺または杭内部にボアホール

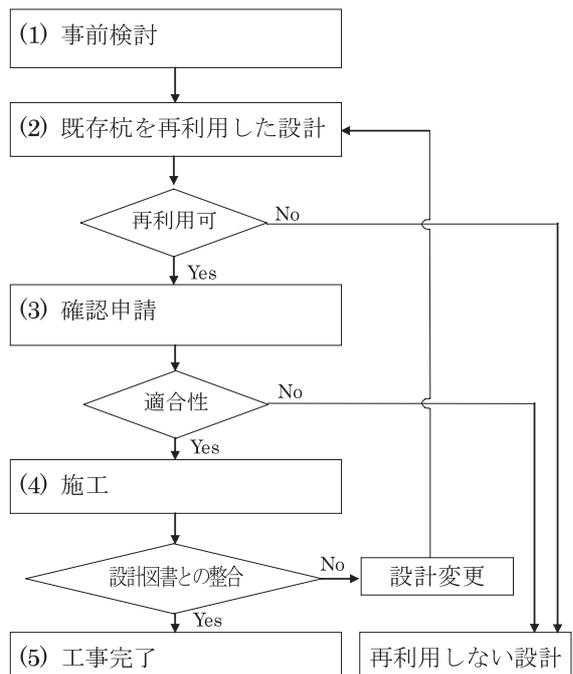


図 - 2 既存杭再利用のフロー