

2章 既存杭の再利用技術の開発

これまでに蓄積されてきた膨大な建築ストックを再利用することが、厳しい財政事情、さらには環境問題の観点から、強く求められており、本章ではその対策のため、上部構造を建て替える場合等における既存杭等の下部構造物の再利用を検討する。

既存杭は、比較的大規模な建築物に利用されているが、再利用することの可能性は、あまり知られておらず、引抜き工事が行われているのが実情であった。それでも、環境負荷低減等のために、既存杭を再利用する機会が見られるようになりつつあるが、必ずしも、健全な状態とは言えないものもあり、再利用に適さない場合もあり得る。

これらの問題を解決するため、本章に示すような実施例や、必要な調査方法を公表することは、既存杭の再利用の適正な促進に資するものであり、再利用を計画する設計者や建築基準法上の建築確認を行う機関にとっても、有効なものであると考えられる。既存基礎の再利用技術が一般的になって行けば、新設の基礎工事が適切に行なわれるか否かで、将来、再利用時の工事費などに大きな影響を及ぼす事にも繋がる。この技術は、基礎施工の品質向上や適正化を一層進める意味においても、非常に大切な技術である。

2-1. 基礎杭の歴史

基礎杭に関する構造関係の技術基準は、平成 12～13 年に大幅に改正され、現行の主なものは、

- ・ 建築基準法(以下、「法」という。)第 20 条(構造耐力)、第 37 条(建築材料の品質)
- ・ 建築基準法施行令(以下、「令」という。)第 37 条(構造部材の耐久)、第 38 条(基礎)、第 93 条(地盤及び基礎ぐいの許容応力度)、第 94 条(許容応力度の補足)
- ・ 平成 12 年建設省告示第 1347 号(基礎の構造方法及び構造計算)
- ・ 平成 13 年国土交通省告示 1113 号(地盤及び基礎部材の許容応力度)
- ・ 「2001 年版建築物の構造関係技術基準解説書」

である。これらのうち、法及び令の各条文は、改正前と大差ないが、2つの告示は、昭和 46 年の旧建設省告示 111 号を改正して引き継ぐとともに、杭に用いるコンクリート・鋼材等の許容応力度を追加している。昭和 50 年住指発 2 号「負の摩擦力を考慮した杭の設計指針について」、昭和 59 年住指発 324 号で推奨された地震力に対する建築物の基礎の設計指針等は、適宜改正されて、「2001 年版建築物の構造関係技術基準解説書」等の現行基準に示されている。

基礎の構造計算の基本は、許容応力度計算であり、構造計算を要する建築物の場合は、長期及び短期に生じる力に対して基礎及び地盤に生じる応力度を求め、令第 93 条ならびに国土交通省告示第 1113 号に規定された地盤及び基礎部材の許容応力度以下であることを確認しなければならない。基礎の耐震設計に関しては、地下部分に生じる地震力を施行令第 88 条第 4 の規定に基づいて設定し、

地上部分の地震力と加算して、地下部分に生じる応力度を求めなければならない。大地震に対する地下部分(基礎を含む)に対する構造安全性の検討は特に規定されていない。

過去の建築の杭に関する技術基準には、法、令、国土交通省告示、建設省建築指導課長通達等があった(表2-1-1)。

表2-1-1 杭に関する被害、基準及び開発状況の変遷

西暦	年号	基礎の被害 (主に地震)	法、令、告示等	杭の開発状況
1910年頃まで	明43年頃まで			木杭等
1911年頃	大1年頃			ベデスタル杭 杭打ち工法
1912	大12	関東大震災(M7.9)		
1930頃	昭5頃			深礎工法
1948	昭23	福井地震(M7.1)		
1950	昭25		建築基準法・施行令制定 ・建築物が保有すべき構造性能に関する原則 建築物に対する地震力の規定 (水平震度0.2以上) ・基礎の構造設計の原則 ・地盤の許容応力度表および杭の許容支持力式(杭打ち式)	
1955頃	昭30頃			RC杭(JIS) 鋼管杭(JIS) オールケーシング工法 アースドリル工法 リバース工法
1964	昭39	新潟地震(M7.5) ・地盤の液状化による基礎の被害甚大		
1968	昭43	十勝沖地震(M7.9) ・盛土のすべりによる杭の被災	騒音規制法施行 ・市街地での杭打ち工事の規制	PC杭(JIS)
1967	昭44		建設省住宅局建築指導課長通達 ・杭体の許容応力度に関する取り扱いについて	
1971	昭46		建築基準法施行令改正 ・基礎が保有すべき構造性能に関する原則 ・良質地盤支持の原則 ・異種基礎併用の原則回避 ・柱のせん断補強の強化	拡底杭
			建設省告示111号 ・地盤調査の方法、並びにその結果に基づき地盤の許容応力度および基礎ぐいの許容支持力を定める方法	
1975	昭50		建設省住宅局建築指導課長通達 ・負の摩擦力を考慮したくいの設計指針について	
1976	昭51		振動規制法施行	
1978	昭53	宮城県沖地震(M7.4) ・既製コンクリート杭の頭部が破壊	建設省告示1623号 ・建設省告示111号、地盤の許容応力度、基礎ぐいの許容支持力を定める方法改正	
1981	昭56		建築基準法施行令改正 ・新耐震設計法(中小地震および大地震に対する上部構造の設計法) ・柱のせん断補強の再強化	
1982	昭57	浦河沖地震(M7.1) ・RC杭の頭部破壊		PHC杭(JIS)
1983	昭58	日本海中部地震(M7.7) ・地盤の液状化による既製コンクリート杭の破損、鋼管杭の移動、傾斜		大口径杭
1984	昭59		地震力に対する建築物の基礎の設計指針 ・中小地震に対する基礎の耐震設計法	
1995	平7	阪神・淡路大震災(M7.3)		
2000	平12		建築基準法改正 ・建築確認指定機関等の追加 建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律制定	

建築基準法では、昭和 25 年制定時から、法第 20 条で構造性能に関する原則が示され、当時の旧令第 36 条第 4 項「建築物の基礎は、その地盤の不同沈下又は凍上に対し構造耐力上安全なものとするべきものとする。」で基礎に関する原則が示されている。また、旧令第 93 条第 3 項「基礎杭の許容支持力は、荷重試験によって定める場合の外、それぞれ左の表の式によって計算した数値以下としなければならない。」において、杭の許容支持力を錘(おもり)の落下による杭打ち式から求めていた。

1971 年の建築基準法施行令改正にともない、基礎に関する原則は、令第 38 条第 1 項「建築物の基礎は、建築物に作用する荷重及び外力を安全に地盤に伝え、かつ、地盤の沈下又は変形に対して構造耐力上安全なものしなければならない。」ように改正された。さらに、同条第 2～4 項において、異なる構造方法による基礎の併用を原則禁止、良質地盤支持を原則、打込み時の安全性を確保することが追加され、旧令第 93 条第 3 項(杭の許容支持力の算定式)は削除された。それに代わって、昭和 46 年の旧建設省告示第 111 号によって、地盤および杭の許容支持力を求めるための算定式が示された。

1968 年に騒音規制法、1976 年に振動規制法が制定され、杭打ち工法が市街地でほとんど採用されなくなった。1978 年の宮城県沖地震による基礎杭の被害等を契機に、基礎の耐震設計の必要性が認識され、1984 年に「地震力に対する建築物の基礎の設計指針」が刊行された。また、これを推奨する旨の旧通達(昭和 59 年住指発 324 号)が、建設省住宅局建築指導課長から出された。

1981 年には、令が改正され、上部構造の耐震基準が大幅に強化されている。

2000 年には、法が改正され、特定行政庁の他に、指定確認検査機関等も建築確認を行うことができるようになり、また、性能を基盤とした規定が導入された。さらに、建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律が制定され、建築部材も、再利用が促進されているところである。

次に、杭の開発状況を表 2-1-1 右側に示す。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・低振動施工が可能となった。そのため、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。

上述のように、既存杭は、設計時の基準によって異なる設計がなされており、1984 年以前は水平力の検討をしていないので、このような既存杭を再利用するには、改めて現行基準に適合するように設計されなければならない。

2-2. 既存杭の再利用の事例

今回、既存杭を構造部材として再利用した物件について調査したところ、数例が確認されたので、主な事例 3 件を以下に示す。この 3 事例は、都市部の狭い敷地、杭の増し打ち、免震補強の 3 事例で、今後、再利用されそうな典型的な事例と思われる。

3 例とも、ほとんどの既存杭を再利用しているが、新設杭の増設も行っている。既存杭だけで、新築の上部構造を支えようとする例は、ほとんど見受けられなかった。

事例:1 事務所ビル

場 所 : 東京都 中央区

□既存建物 (事務所) 建物規模 : 地上8階、地下3階

杭 種 : 深礎杭

竣工年月日 : 昭和30年代

□新設建物 (事務所) 建物規模 : 地上11階、地下3階(既存利用)

杭 種 : 大口径深礎杭(軸径5m、拡底径6.5m)

【資料・文献 : structure No.49 1994.1】

<p>① 敷地・既存建物からの与条件</p> <p>既存建物が、敷地いっぱいを地下3階まで利用しており、深礎杭が柱ごとに地下23mの深さにまで打ち込まれている。</p> <p>→ 敷地(境界)制約条件をメリットに(既設地下躯体、杭の再利用)</p> <p>・既存杭は存置。地下外壁の山留壁利用。</p>
<p>② 地上新築部の計画に、大きな制約条件とならないか。</p> <p>・施主および設計者側の設計趣旨が損なわれることなく新ビルを計画する。</p> <p>・オフィスのインテリジェント化。</p> <p>→ 地上4本柱によるメガストラクチャー案の採用にて解決。</p>
<p>③ 再利用する杭体の強度・耐久性に、問題はないか。</p> <p>・既存建物は、昭和30年代の竣工。(新耐震以前)</p> <p>・既存地下3層は、新設構造体とは縁を切り、独立した建物扱い。</p> <p>・既存地上部の解体、地下部の継続利用。</p> <p>→ 問題なし</p>
<p>④ 環境への貢献が、期待できるのか。</p> <p>・既存地下躯体および杭の再利用。</p> <p>・地下2階の一部と地下3階のスペースを、デッドスペースとして地上解体物や建設廃材の埋設に有効利用。</p> <p>・トータルで在来工法とあまり変わらぬ建設コストで完成。</p> <p>→ 建設廃材の排出量削減。再利用による騒音、振動の抑制。省資源、省エネ。</p>

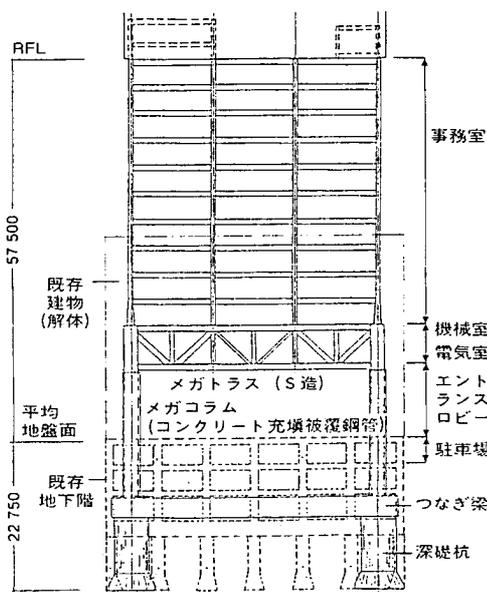


図2-2-1 断面図

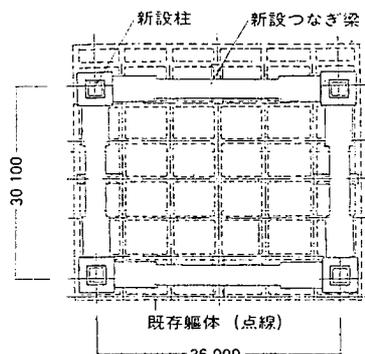


図2-2-2 基礎伏図

事例:2 事務所ビル

- 場 所 : 東京都 千代田区
- 既存建物 (事務所) 建物規模 : 地上 階、地下 階
杭 種 : 場所打ち杭(深礎工法)
竣工年月日 : 昭和 40 年代後半
- 新設建物 (事務所) 建物規模 : 地上 10 階、地下 3 階
杭 種 : 既存杭 14 本、新設杭 8 本
竣工年月日 : 1994 年以降

【資料・文献: 既存杭利用の手引き 平成 15 年 2 月 (社)建築業協会 基礎工 1996.8】

① 敷地・既存建物からの与条件
<ul style="list-style-type: none"> ・再利用する既存杭と、追加する新設杭の位置関係 → 厚さ 1.4m の新設マットスラブによる応力処理。 <p>設計上、既存杭は鉛直力のみを負担し、地震時の水平力は新設杭のみですべて負担できるものとした。</p>
② 地上新築部の計画に、大きな制約条件とならないか。
<ul style="list-style-type: none"> ・地上新築部の柱位置と、既存杭位置との対応。 → 厚さ 1.4m の新設マットスラブによる応力処理。
③ 再利用する杭体の強度・耐久性に、問題はないか。
<ul style="list-style-type: none"> ・急速載荷試験(スタナミック試験)の実施(自主的)。(既存杭と新設杭の沈下剛性差の確認) ・設計より行政庁に事前説明。 ・既存杭の調査実施(非破壊試験(IT)ほか、健全性、耐久性、支持力の調査試験) → 問題なし ・スタナミック試験により、既存杭と新設杭の沈下剛性に差がないことを確認。
④ 環境への貢献が、期待できるのか。
<ul style="list-style-type: none"> ・既存杭の再利用。 → 建設廃材の排出量削減。再利用による騒音、振動の抑制。省資源、省エネ。

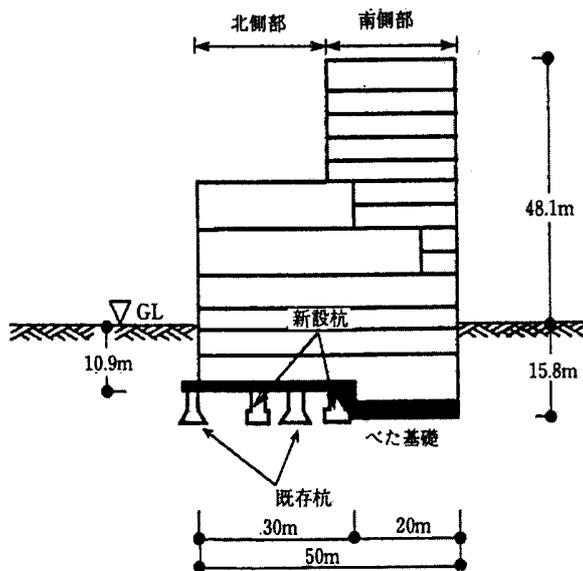


図2-2-3 杭の再利用の概要

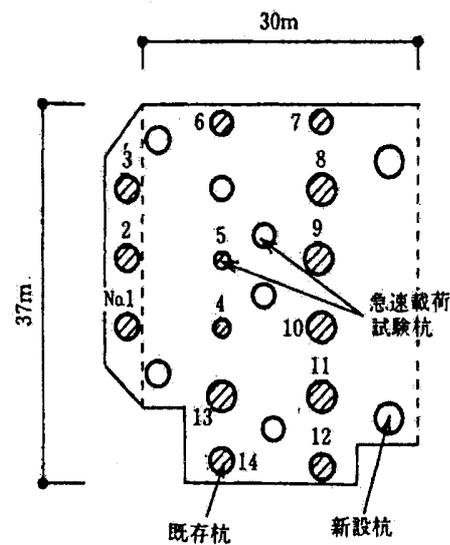


図2-2-4 杭配置図

事例:3 外務省本庁舎 耐震改修工事

場 所 : 東京都 千代田区 霞ヶ関

□既存建物(外務省本庁舎)

建 物 規 模 : 地上 8 階、地下 1 階(中央・南庁舎)、地上 8 階、
地下 2 階(北庁舎)

杭 種 類 : 手掘り拡底深礎杭(中央・南庁舎)、ペDESTAL杭(北庁舎)

竣工年月日 : 1970 年(中央・南庁舎)、1960 年(北庁舎)

□新設建物(外務省本庁舎)

建 物 規 模 : 地上 8 階、地下 1 階(中央・南庁舎)、地上 8 階、地下 2 階(北庁舎)

杭 種 類 : 既存杭+新設杭(場所打ちコンクリート杭)(中央・南庁舎)
新設杭(鋼管圧入杭+場所打ちコンクリート杭)(北庁舎)

竣工年月日 : 平成 15 年 3 月

【資料・文献:国土交通省 平面形状の異なる二つの建物を基礎部で一体化した 免震レトロフィット】

<p>① 敷地・既存建物からの与条件</p> <p>・地震災害時に必要となる機能(災害応急対策活動拠点)を確保する。 → 免震レトロフィットの採用</p>
<p>② 地上新築部の計画に、大きな制約条件とならないか。</p> <p>・免震レトロフィットであり、特になし。</p>
<p>③ 再利用する杭体の強度・耐久性に、問題はないか。</p> <p>・北庁舎の既存杭はペDESTAL杭となっており、杭の支持能力が不明なため 新設杭(鋼管圧入杭)により対応。</p>
<p>④ 環境への貢献が、期待できるのか。</p> <p>・既存杭の再利用。 → 建設廃材の排出量削減。再利用による騒音、振動の抑制。省資源、省エネ。</p>

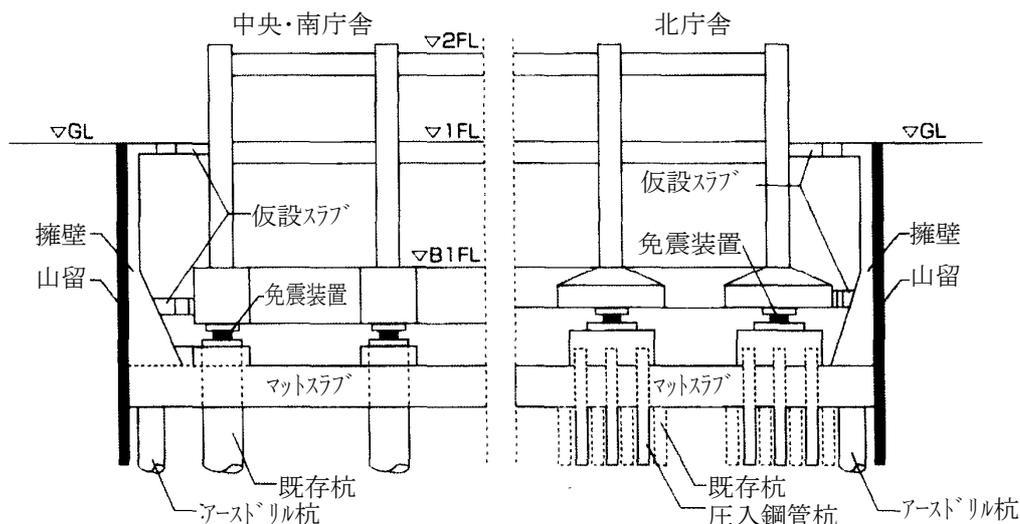


図2-2-5 新旧杭の配置図

2-3. 再利用技術

1) 調査法

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、把握しにくいですが、以下に示す方法で性能を調査することも可能である。

(1) 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2-3-1)。調査項目は、杭の長さ、径、損傷位置などである。

表2-3-1 主な健全性調査一覧

試験方法	目視調査	インテグリティ	ボアホールカメラ
調査項目	杭配置、杭径等	杭長、損傷位置	損傷位置・程度
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。	杭内部に開けたボーリング孔にCCDカメラ等を挿入し、杭内側から損傷を調査する。
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)	杭内部にボーリング孔

i) 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・客観性が高い。

ii) インテグリティ試験

低ひずみの弾性波を利用して杭の健全性を検査する方法は、インテグリティ試験、ローストレイン法試験などと呼ばれており、杭に対する非破壊試験法のひとつである。この試験法は最初にヨーロッパで実施されたこともあり、現在の試験法や試験器の開発もヨーロッパを中心に行われている。測定装置の例を写真 2-3-1 に示す。また、図 2-3-1 に試験の概要を示す。ハンドハンマーの打撃により発生した弾性波は、杭先端で反射する。この反射波の到達時刻から、杭長を推定する。杭に断面欠損やクラックなどの異常箇所があれば、その部分からも弾性波が反射することから、異常箇所を検出することができる。



図2-3-1 測定装置の例

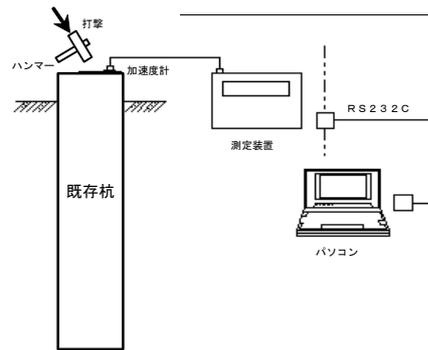


図2-3-2 試験方法の概要

健全性試験では、記録波形の横軸は時間軸で表す場合もあるが、反射の位置からその反射が生じる深度を直接読みとれるように長さに換算して表示するが多い。縦軸は加速度波形を積分して速度波形にして示すことが一般的である。

再利用を検討する杭が場所打ち杭であれば、新設のものと同様な評価が可能である。これに対して、既製コンクリート杭では、打設後長い時間を経ているため、大きな周面摩擦抵抗の影響で、長い杭では明瞭な検査結果が得られない場合も考えられる。このような場合でも、全数調査を行えば波形の特徴や差違などを相互に評価することにより、ある程度の判断が可能である。

既存杭の上部にスラブや構造物が存在する状況で検査を行う場合には、上部構造の影響が測定結果に含まれる。このため測定時には、少なくともセンサーを杭体に直接設置する必要がある。上部構造の影響は解析的な方法によって除去することになる。また、2台のセンサーを深度の違う位置に設置して、それぞれのセンサーで記録される波形の位相差を利用することにより、上部構造の影響をキャンセルして、下部からの反射を抽出する測定方法もある。

iii) ボアホールカメラを用いた杭体の観察

ボアホールカメラを用いた観察方法は、杭体を掘削機で削孔し、CCD (Charge Coupled Device) カメラ等を孔内に挿入して杭体の出来具合およびクラックなどの損傷状況を内部からリアルタイムに直接測定器のモニターにより観察する方法で、画像データは記録装置に記録される。

現在、杭体の観察に利用されているボアホールカメラには、数種類あり、それらは概ね3つのタイプ、BIP システム (Borehole Image Processing System)、BSM 方式 (Borehole Scanner System typeM)、PIC 方式 (Profile Inspection Camera) のいずれかに属している。

(2) 耐久性調査法

既存杭等の耐久性に関する調査項目としては、コンクリートの圧縮強度、劣化状況、および鉄筋の引張り強度、腐食状況が考えられる。試験方法としては、目視による調査、採取した試料による試験の他、原位置における非破壊試験がある。その中で、主要な調査項目および標準的な試験方法を以下に示すが、原位置の状況によって、標準的な試験法の採用が難しい場合には、別の試験法を採用しても良いものとする。いずれの方法による場合であっても、試験体の選定は、再利用する杭の全体の状況を評価し得ることに留意する。

i) コンクリート

① 圧縮強度

場所打ち杭の場合には、コアボーリングにより採取した供試体（ ϕ 100mm、高さ 200mm）による圧縮試験を実施し、必要な強度が確保されていることを確認する。コンクリートコアは、主筋に当たらないように杭中心付近で、条件の不利な杭頭部付近から採取する（場所打ち杭のコンクリート強度は、通常上載圧の影響により深度と共に増加傾向を示す）。

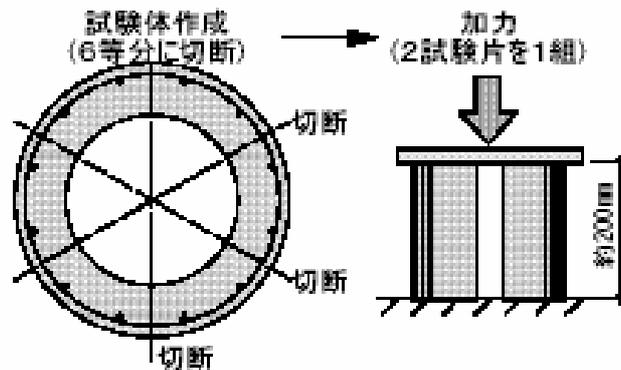


図2-3-3 既製コンクリート杭の圧縮試験方法

JIS 製品である既製コンクリート杭の場合、再利用に当たって必要とする強度を JIS の基準強度以下とするときには、圧縮強度に関しては試験を実施しなくても再利用可能とする。既存杭の諸元が不明等の理由により圧縮強度を確認する必要がある場合には、肉厚部からの供試体の採取が難しい点や遠心成形時の影響を避けるために、図2-3-3に示すように、断面内で6~8等分に分割し、対角する試験片を1組とした圧縮試験を行なう方法がある。

試験数の目安としては、構造図等が保存されており、杭の設計基準強度が明らかな場合には、全数の10%かつ2本以上とし、圧縮強度供試体数は各3試料以上とする。構造図等が保存されておらず設計基準強度が不明な場合には、大幅に試験数量を増加する必要があるが、いずれにしてもできるだけ早い段階で関係者との協議を行ない、性能評価上の問題とならないような準備が大切である。

② 中性化

新たに露出させた杭頂部を清掃した後、フェノールフタレインのアルコール溶液(1%)を噴霧し、コンクリート表面から着色境界線までの距離を、中性化深さとして測定する。原位置で試験できない場合には、杭頂部の外周部から、幅 50mm、高さ 50mm、深さ(半径方向)100mm 程度のサンプルを乾式のハンドカッターで採取するか、杭外周面から水平コアボーリングにより同様な試料を採取して室内試験を実施する。

試験数量の目安としては、圧縮強度試験と同様に全数の10%かつ2本以上とし、中性化試験数は6試料以上とする。なお、中性化試験を原位置で実施する場合には、2本以上の杭を対象とする。

ii) 鉄筋

杭鉄筋(主筋)の引張試験は、原則として材種不明の場合および目視調査により鉄筋の腐食が確認された場合に実施する。試験用のサンプルは、主筋の径毎に杭1本から3本を1組として採取する。

(3) 支持力調査法

支持力に関する調査項目は、

- ① 鉛直支持力
- ② 水平支持力
- ③ 変形性能(沈下・引抜き・水平)

などがある。既存杭に期待する負担荷重によって、支持力に関する適切な調査項目を選定し、載荷試験を実施する。変形性能については、載荷試験を実施することにより確認することが可能である。

i) 鉛直支持力

基本的には、地震時の変動軸力を含めて既存杭が支持した実績以下の荷重であれば、載荷試験等の特別な試験は不要であると考えられるが、既存建築物の使用中に沈下等の変状あった建物あるいは前述のIT試験による杭の健全性評価が困難な場合などでは、載荷試験による支持力の確認が必要である。また、地盤沈下の激しかった地域あるいは大きな地震を経験した地域などでは、健全性試験の結果を踏まえて載荷試験の実施を考慮する。また、既存杭の施工時期と現在とでは、同一地盤条件でも鉛直支持力の考え方に差があるので注意が必要である。

既存杭に実績以上の荷重を負担させる場合にも、支持力の確認が必要となる場合がある。鉛直支持力を確認するための載荷試験は、引抜き試験も含め表 2-3-2 および図 2-3-3 に示すとおりである。押し込み試験では、既存建築物を利用して載荷試験を実施する場合には、反力杭を必要とする従来の試験と比較してコストや工期の面で有利であり、また、狭隘な場所でも試験が可能な急速載荷試験が採用された事例もある。

急速載荷試験には 2 通りの載荷方式がある。ひとつは、軟クッション重錘の落下方式であり、杭頭部に設置したクッション材を介して、重錘の落下による打撃力を荷重として載荷する方法である。他の一つは、反力体慣性力方式であり、杭頭に載せた反力体を特殊な推進剤の燃焼ガス圧力で急速に押し上げて慣性力を発生させ、その慣性反力を荷重として載荷する方法である。特に前者の方法は、重錘の落下高さを変えた繰返し載荷を行うことにより、多サイクル方式の載荷試験が可能であり、試験法としての今後の発展が期待される。後者については、火気類の使用となるので、関係機関の許可を取り、関連規則に十分注意する。なお、試験方法の詳細については、地盤工学会“杭の鉛直載荷試験方法・同解説”が参照となる。



図2-3-4 鉛直支持力に関する試験方法

表2-3-2 鉛直支持力に関する試験方法

試験名称	荷重の性質	載荷時間	加力方法	反力装置
押込み試験	静的載荷	数十分～十数時間	油圧ジャッキ	反力杭、載荷梁
急速載荷試験	動的載荷	0.1～0.2秒	燃焼ガス圧、軟クッション重錘	なし
引抜き試験	静的載荷	数十分～十数時間	油圧ジャッキ	反力杭、載荷梁

ii) 水平支持力

水平載荷試験は、原則として再利用する既存杭が水平力を負担するように計画されている場合に、実施の必要性について検討する。水平載荷試験は、既存杭に限らず実際の杭頭接合条件や軸力の影響を考慮した試験が難しいため、試験結果から水平地盤反力係数を逆算し、計算によって支持性能を確認することを基本としている。したがって、杭の水平支持力に支配的な表層部の地盤構成（杭頭部から杭径の約 5 倍の深さまでの地盤）が比較的均質な状態の場合や、既存杭の配置などの制約条件から試験杭として利用しにくい場合には、極力水平支持力に影響する地盤定数を調査することで代替することも考えられる。

水平載荷試験を実施する場合の条件は、“静的で、軸力が作用しない状態”での試験を標準とし、杭頭条件は自由で、一方向載荷試験を基本とする。原則として、試験杭は本設杭として再利用しない杭から選定するが、再利用せざるを得ない場合には、杭体への損傷や支持性能に影響を与えないことを考慮した荷重を計画する。試験の詳細は、地盤工学会“杭の水平載荷試験方法”が参照となる。

2) 再利用の設計計画

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、検討手順のフローを図2-3-5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。

① 事前検討

事前検討では、既存杭の再利用の可能性を検討する。この検討では、既存杭の性能を設計図書で確認し、設計図書どおりに施工されているかどうかを検査済証で確認する。ここで検討する主な項目を以下に示す。

- (1) 設計図書、(2)検査済証、(3)建築年、等

② 既存杭を利用した基礎の設計

既存杭を利用した基礎の設計では、既存杭の鉛直支持力、水平支持力等の性能を考慮して、新設の建物を安全に支持できるかどうかを検討する。

既存杭の鉛直支持力、水平支持力等の性能は、現行基準により、新たに求める。特に、古い基準で設計されている場合、設計図書で支持力等が検討されていないこともあるが、再利用時には、現行基準に適合するように設計する。

③ 確認申請

建築確認を必要とする場合、既存杭を利用した基礎の安全性等について、現行基準への適合性を

確認する。

④ 施工段階

設計図書どおりに施工されているかを確認する。新規に必要とする基礎、杭等を施工する。

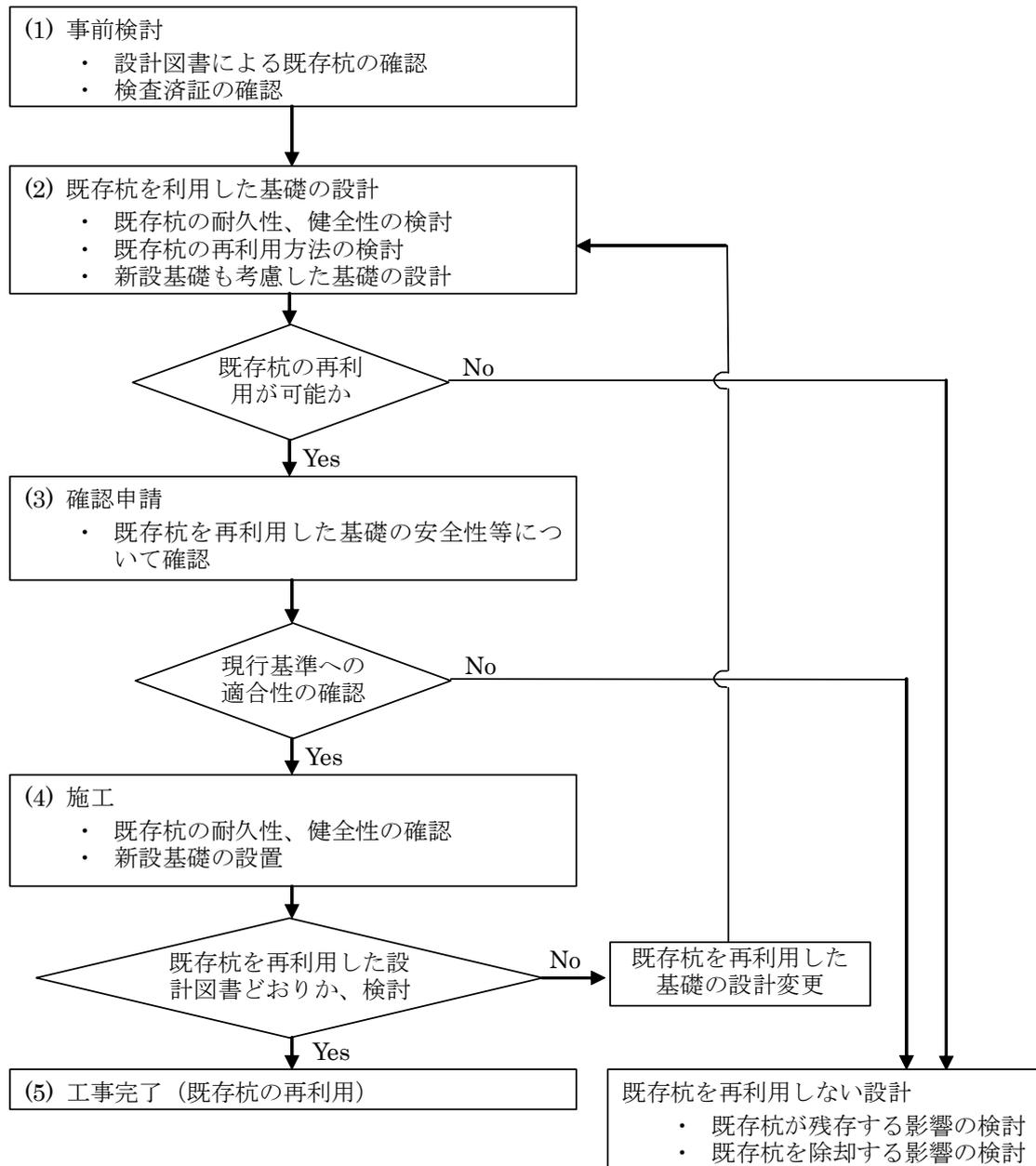


図2-3-5 既存杭再利用のフロー

3) 再利用時の施工上の留意点

既存杭には、パイルキャップ、耐圧スラブ等、上部構造体と接合する治具が取り付けられていたり、杭自体にプレストレスが導入されている場合がある。これらを不用意に取り外すと、杭に過大な応力が生じ、ひび割れを発生させることがあり得る。

このような損傷を防止しながら、解体工事や新築の施工を進められるように、あらかじめ検討することが必要となる。

4) 地下躯体の再利用

地下躯体の利用形態を以下の4分類で整理してみた。

- a. 地下躯体全体を再利用する
- b. 地下躯体の一部を再利用する
- c. 地下躯体の部材の一部を再利用する
- d. 地下躯体を地業とし見なし再利用する

このうち、cとdの利用形態が最も多いと予想できるが、今後の方向としては、aの用途変更(コンバージョン)を念頭においた再利用や、既存建物の免震改修に伴う地下躯体の関する補強技術等の開発が期待される。

都市の密集市街地では、敷地一杯に既存建物が建てられており、その地下躯体を解体して新たに計画される建物も、敷地一杯に建てたくなる。この様な場合、既存の地下外壁や基礎梁を山止め壁代わりに利用しその内部に新たな地下躯体を築造することも多い。このように仮設材代わりに地下躯体を使用する例は、比較的多いと推測される。

最近増えつつある免震改修については、公表された事例が比較的多いが、いわゆる再利用事例は僅かであった。公表事例は、比較的規模の大きく、高層建物の為、評定機関の審査を受けたものが多いなど、多少の偏りが懸念される。

密集市街地の繁華街では、敷地境界ぎりぎりに建った商業ビルが軒を連ねて建てられており、解体工事や改築工事も散見されることから、実際には地下躯体を再利用した事例は相当数にのぼっているものと推測される。公表件数が少ない背景には再利用に当たって生じる行政との折衝結果や、利用躯体の劣化状況や材料強度について、どの程度調査・把握し、残存寿命についてどのように考えたか等の技術的な判断に、公表し難いファクターも含まれる場合が多いと推測される。地下躯体の再利用技術の更なる研究開発が望まれるところであり、多くの事例発掘と積極的な公表を訴えたい。

地下躯体は、杭基礎等とは異なりコンクリート躯体を室内側では目視観察ができる為、事例の中ではコンクリートコアを採取しての圧縮強度試験や中性化試験に加え、鉄筋をはつり出し調査により腐食状況を観察したものもある。そして、コンクリート躯体にアルカリ付与材を塗布した事例が1件報告されているが、上部構造の場合と同様に、仕上げの更新程度で特別な中性化抑止対策までは施さないのが一般的と推測される。

5) 再利用技術の適用例

適用例1

調査は、東京都内のオフィスビル解現場において実施した。この現場では既存杭を利用する計画は無いが、打設後30年以上使用されてきた古い既存杭の耐久性を調べる目的で杭を撤去する前に調査を実施した。

調査対象杭は、昭和40年代に打設されたアースドリル工法による場所打ちコンクリート杭である。設計資料より杭長は15m、杭径は1400mm、主筋はD22が20本配置されている。調査対象杭について以下の項目について調査を実施した。

- ① 杭頭調査(杭径、コンクリートかぶり、鉄筋位置)
- ② 杭の健全性試験(IT 試験)
- ③ 杭コンクリートの圧縮強度試験
- ④ 杭コンクリートの中性化試験
- ⑤ 杭鉄筋の引張強度試験
- ⑥ 杭周辺地盤の化学的試験

(1)杭頭調査

杭頭における杭径、鉄筋の配置、コンクリートのかぶり厚さを測定した結果を図2-3-6に示す。杭径や鉄筋配置、かぶり厚さは設計緒元を満足していた。また、原位置で実施した中性化判定結果は、杭外周部から鉄筋部までのコンクリートが、フェノールフタレイン溶液による化学反応を示していることから、中性化は認められないと判断される。

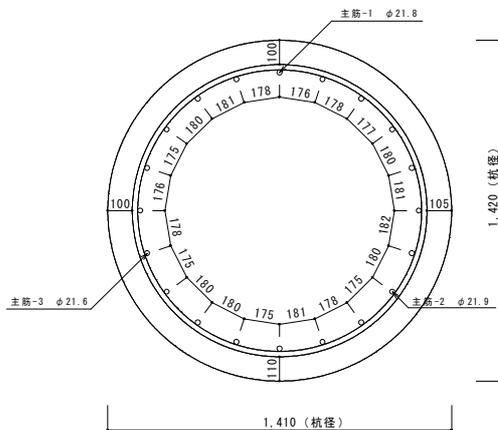


図2-3-6 杭頭調査の結果

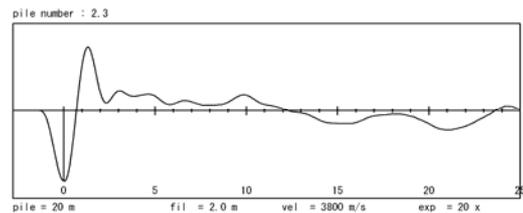


図2-3-7 杭の健全性試験結果

(2)杭の健全性試験

健全性試験で得られた測定波形を図2-3-7に示す。この波形は、先端反射が明瞭であり、先端反射以浅に損傷を示すよう中間反射は認められず、杭体は健全であると判断される。

(3)コンクリートの圧縮強度試験および中性化試験

コンクリートコアの圧縮強度試験結果は、表2-3-3 に示すとおりである。圧縮試験結果によると、同一杭体から採取した2供試体の圧縮強度は、ほぼ同様な値を示しており、平均値は30N/mm²である。コンクリートコアの中性化は認められなかった。

表2-3-3 コンクリートの圧縮強度

採取杭番号	供試体番号	圧縮強度 N/mm ²
No.2	1	-
	2	27.9
	3	31.2

(4)杭鉄筋の引張強度試験

鉄筋強度試験結果を表2-3-4 に示す。試験結果によると全ての主筋の引張り強さは均一な値を示している。

表2-3-4 鉄筋の引張強度

供試体番号	主筋(SR24 D22)	
	降伏点 N/mm ²	引張強さ N/mm ²
1	282.4	440.8
2	284.8	440.8
3	279.2	440.8

(5)地盤の科学的試験

地盤の化学的試験(pH 試験および硫酸イオン濃度試験)結果を、表2-3-5 に示す。化学的作用によるコンクリート構造物の侵食に関する基準は、表2-3-6 に示すような基準を設定している例が欧米でみられる。これによると、土の硫酸塩含有量が、2mg/g 以上の場合にコンクリートに対して侵食性があると判定されている。今回の試験結果は、硫酸塩含有量が 0.35~0.51mg/g 程度であり、この値を表2-3-6 を適用して評価すると、本調査地盤は硫酸塩によるコンクリートへの侵食性は極めて低いものと判断される。また、pH 試験結果では、弱アルカリ性を示している。

表2-3-5 杭周辺地盤の科学的性質

試料番号	GL-0.5	GL-2.5	GL-4.0
含水比w%	121	153	160
pH	7.6	7.3	7.5
硫酸塩含有量mg/g	0.40	0.35	0.51

表2-3-6 DIN4030 による浸食性の判定基準

測定項目		弱侵食性	強侵食性
1	酸度	20以上	-
2	硫酸塩 (mg/kg)	2,000~ 5000	5,000以上

適用例2

調査した集合住宅は、昭和36年に埼玉県内で建築された4階建て鉄筋コンクリート造壁式構造である。既存杭の種類は、1辺が300mmの三角節杭であり、杭長は5.4mである。

杭頭が露出したあと、三角節杭のうち、30本についてインティグリティ試験を行った。その後、引き抜かれた杭から、直径100mmのコンクリートテストピースを材軸と直行方向にコア抜きし、コンクリートの圧縮試験及び中性化試験を行った。また、鉄筋を長さ約300mm切り取り、引張試験を行った(図2-3-

8)。

その結果、コンクリートの圧縮試験及び鉄筋の引張試験は、施工時の設計強度を上回り、コンクリートの中酸化は、1mm程度と小さかった。

インテグリティ試験によると、半数以上の 24 本の杭において、ひび割れが深さ1～2mで観測され、残りの 6 本においては、ひび割れが観測されなかった。杭が引き抜かれた後に、ひび割れを目視で確認したところ、ひび割れを観測した 24 本のうち 11 本において、観測と同じ深さでひび割れを確認した。ひび割れが観測されなかった 6 本に、ひび割れは確認できなかった。このことから、インテグリティ試験により、ある程度正確に、ひび割れを観測できると思われる。なお、約半数の杭において、ひび割れが生じていたのは、上部構造の除却工事中の作業も一因と考えられる。



図2-3-8 三角節杭の目視検査

2-4. 今後の課題

既存杭の再利用に必要な今後の課題を、以下に示す。

① 調査技術の改革

ボーリング技術、レーダー探査法等も活用した現状よりも深い探査距離の確保。

低コストかつ短期間で実施可能な調査法。

② 施工に対応した構造設計技術

地下躯体解体中に確認される杭仕様に応じて、設計変更可能な迅速な構造設計技術

既存杭と新設柱の芯ずれ対策、既存杭との接続法

③ 施工記録の蓄積と公開

再利用を念頭に置いた施工記録の蓄積

再利用実績の公開

④ 新技術

既存杭の健全性に関するモニタリング技術

水平力を負担できない既存杭の耐震補強技術や杭頭処理技術