

既存杭利用の手引き
—現在と将来の利用に向けて—

平成 30 年 11 月

一般社団法人 日本建設業連合会
地盤基礎専門部会
杭の再利用促進 WG

はじめに

1980年代末から杭の再利用が行われるようになり、再利用技術の普及を図ることを目的として初版「既存杭利用の手引き（以下、初版と称す）」が旧（社）建築業協会 地盤基礎専門部会（（社）建築業協会は平成23年4月より（一社）日本建設業連合会に合併）により平成15年2月に発行された。初版の発行から15年が経過し、その間に超高層建物における既存杭の利用事例や、比較的耐震性能が劣る既存杭に対する水平力の処理方法などが発表され、再利用技術の適用範囲も広がってきている。既存杭を適切に利用できた場合の建設コスト・工期の削減効果は大きい。環境負荷低減効果としては、撤去・埋め戻し・新設杭の施工に伴う建設汚泥等の建設廃棄物の縮減が挙げられる。また、杭工事におけるCO₂排出量については、材料生成時の割合が多いため、リユースによるCO₂排出量削減効果も大きい。しかしながら、論文発表数やWG参加19社を対象とした実態調査から推測すると、既存杭の利用事例は少ないようである。近年の建替え工事では、既存杭と新設杭が干渉するケースが多いが、その状況は次世代・次々世代ではより一層深刻化し、既存杭を避けて新たに杭を打つ場所がなくなる状況も想像できる。一方で、今後の建替え案件では、既存杭が比較的新しく、支持性能・耐震性能が高く、また、施工報告書なども残されていれば、既存杭の利用は比較的行いやすい環境になっていくとも考えられる。国内外で環境問題に対する意識が高まる中、「持続可能な社会」の実現の一翼を担う建設業において、杭の再利用は積極的に推進していくべき課題の一つである。

これらの背景のもと、既存杭の利用によるメリットを分かりやすく伝え、再利用技術の普及および利用の促進を目的として、「既存杭利用の手引き」を改定することとした。主な改定内容は、

- ① 再利用事例、再利用技術の更新
- ② 手引きが対象とする杭種の範囲拡大（場所打ちコンクリート杭から既製コンクリート杭・鋼管杭まで広げる）
- ③ 検討フローの見直し
- ④ 再利用に向けた杭の計画と記録の保管
- ⑤ 既存杭利用による経済的効果の試算例の追加

である。改定内容④にある通り、本手引きでは、これから設計する杭の将来における利用促進も対象としており、副題に「一現在と将来の利用に向けて一」とつけた。本手引きの主な読み手としては設計者を想定としている。既存杭の利用に際しては、既存杭の種類、品質、入手可能な情報、利用の方法、新設建物と配置・レベルの関係、周辺環境との関係、工期・コスト・環境負荷低減への配慮など、多種多様な条件・状況が考えられる。そのため、再利用のメリットとデメリットを十分に把握した上で、関係者さらには建築主事等（場合によっては指定構造計算適合性判定機関も含む）と十分な協議を行いながら検討を進める必要があると考えられる。なお、利用しない杭の取り扱いについては、本手引きの対象範囲外とした。今後、本改定が再利用の促進につながることを望む。

2018年3月

地盤基礎専門部会 杭の再利用促進WG

2003年版 はじめに

昭和40年代前半から本格的に使用され始めた場所打ち杭は、その後の30年間に大口径杭、拡底杭、壁杭などの開発により、大きな支持力を負担することが可能となった。最近では、都市部の中高層以上の建物の場合には、1柱1本杭で大きな支持力が得られる上にコストが安く、低騒音・低振動の施工が可能であるという理由から、場所打ち杭（特にアースドリル工法による拡底杭）が採用されることが多くなっている。このような建物の建替えに当たって、場所打ち杭の解体には多大なエネルギーとコストを要するだけでなく、環境面においても今後大きな問題となることが予想される。また、その時期は切迫しており、近い将来必ず顕在化する問題であると考えられる。

一方で既存杭が健全な状態であり、耐久性に問題がない場合には、これを新築建物の杭として再利用できれば、コスト、工期、環境面などで大きなメリットがある。コスト、工期については言うまでもないが、環境問題に関しては、基礎のスリム化の一環として既存杭を再利用し、環境負荷の低減を図ることは、今後構造技術者に要求される重要な使命の1つになるものと思われる。このような環境問題への関心の高まりは、「建築工事に係る資材の再資源化などに関する法律（略称：建設資材リサイクル法）」の制定、経済産業省の「資源循環型住宅技術開発プロジェクト」の実施などにも現れている。また建築業協会は、日本建築学会などと共に「地球環境・建築憲章」で持続可能な循環型社会の実現に取り組むことを宣言している。

本手引き書は、このような社会情勢を鑑みて、建物の建替え時に既存杭を新築建物の基礎として再利用するための検討手順、検討項目および健全性や耐久性の調査技術に関する現状における知見の他、実際に再利用された事例を紹介することにより、再利用技術の普及を図るための提言としてとりまとめたものである。また、既存杭再利用が当然の検討課題として採り上げられる時期も遠い先のことではないと考えられるので、敢えて「既存杭再利用」というキーワードから「再」の字を削除し、「既存杭利用の手引き」とした。

この問題は、個々の建設業者における対応は勿論、建築業協会として、望ましくは行政サイドにも協力を仰ぎながら解決を図って行くことが肝要である。

「既存杭利用の手引き」作成関係委員
(会社名五十音順、敬称略、平成30年3月現在)

地盤基礎専門部会

主査	青木 雅路	(株)竹中工務店 技術研究所 地盤・基礎部門専門役
副主査	佐原 守	(株)大林組 技術研究所地盤技術研究部 上級主席技師
副主査	武居 幸次郎	鹿島建設(株) 技術研究所 建築構造グループ 長
委員	山口 克彦	(株)浅沼組 東京本店建築部品質管理室 課長
委員	西 正晃	(株)安藤・間 技術研究所建築研究第二部 主席研究員
委員	岸本 剛	(株)奥村組 技術研究所建築研究グループ 構造チームリーダー耐震構造担当
委員	森 利弘	(株)熊谷組 技術本部技術研究所 基盤技術研究室長
委員	森清 宣貴	(株)鴻池組 技術研究所建築技術研究第1グループ 主任研究員
委員	浅香 美治	清水建設(株) 技術研究所 建設基盤技術センター 地盤・基礎グループ グループ長
委員	井奥 貢	(株)銭高組 建築事業本部設計統轄部構造設計部 副部長
委員	長尾 俊昌	大成建設(株) 技術センター都市基盤技術研究部構造研究室 主幹研究員
委員	尻無濱 昭三	鉄建建設(株) 建築本部建築技術部 企画・開発部長
委員	川幡 栄治	東亜建設工業(株) 技術研究開発センター 建築技術グループリーダー
委員	古垣内 靖	東急建設(株) 技術研究所 基礎・構造グループ リーダー
委員	金子 治	戸田建設(株) 技術開発センター技術創造ユニット 主管
委員	新井 寿昭	西松建設(株) 技術研究所建築技術グループ 上席研究員
委員	梶野 実	(株)長谷工コーポレーション 建設部門第1技術部 チーフエンジニア
委員	古澤 顯彦	(株)ピーエス三菱 本社建築本部 建築部長
委員	中川 太郎	(株)フジタ 技術センター建築第二研究部 主任研究員
委員	野田 和政	前田建設工業(株) 建築事業本部建築部技術支援グループ 上級技師長
委員	宮田 勝利	三井住友建設(株) 建築本部建築技術部土質地下グループ 次長

杭の再利用促進WG

主査	石崎 定幸	大成建設(株) 技術センター都市基盤技術研究部構造研究室 主任研究員
副主査	矢島 淳二	東急建設(株) 建築本部プロジェクト推進部 専任部長
委員	関 敏宏	(株)浅沼組 技術研究所構造研究グループ 主任
委員	西 正晃	(株)安藤・間 技術研究所建築研究第二部 主席研究員
委員	勝二 理智	(株)大林組 技術研究所地盤技術研究部 主任
委員	宮澤 憲一	(株)奥村組 東日本支社建築設計部 課長代理
委員	宮田 章	鹿島建設(株) 技術研究所建築構造グループ 上席研究員
委員	遠藤 正美	(株)熊谷組 技術本部技術研究所基盤技術研究室 研究員
委員	森清 宣貴	(株)鴻池組 技術研究所建築技術研究第1グループ 主任研究員
委員	眞野 英之	清水建設(株) 建築総本部生産技術本部建築技術部 主査
委員	伊藤 仁	(株)銭高組 技術本部 技術研究所
委員	奥村 豪悠	(株)竹中工務店 技術研究所 地盤・基礎部 基礎構造グループ 研究主任
委員	川幡 栄治	東亜建設工業(株)技術研究開発センター 建築技術グループ リーダー

委員	福田 健	戸田建設(株) 技術開発センター 構造技術ユニット 研究員
委員	郡司 康浩	西松建設(株)技術研究所 建築技術グループ 主任
委員	梶野 実	(株)長谷工コーポレーション建設部門第1 技術部 チーフエンジニア
委員	波田地 正隆	(株)ピーエス三菱 本社建築本部設計部構造設計グループ
委員	丸 隆宏	(株)フジタ 建設本部建築エンジニアリングセンター建築技術部 上級主席コンサルタント
委員	宮田 勝利	三井住友建設(株)建築本部建築技術部 土質地下グループ 次長
委員	伊藤 彰	三井住友建設(株)建築本部建築技術部 土質地下グループ グループ長(平成 29 年 12 月まで)

「既存杭利用の手引き」
—現在と将来の利用に向けて—

目 次

1. 既存杭利用にあたって	1
(1) 対象とする杭種	
(2) 杭工法の開発状況および現状	
(3) 既存杭の利用状況について	
(4) 既存杭を利用した場合の効果	
(5) 既存杭を利用する上で予想される課題	
(6) 既存杭を利用しやすい条件	
2. 既存杭利用の検討手順	9
(1) 書類調査及び解体前の既存建物調査	
(2) 既存杭の予備調査（解体前）	
(3) 既存杭を利用した設計	
(4) 既存杭の本調査（解体後）・評価	
3. 書類調査及び解体前の既存建物調査	15
(1) 書類調査	
(2) 解体前の既存建物調査	
4. 既存杭の予備調査（解体前）	18
(1) 建物外周における予備調査	
(2) 建物内部における予備調査	
5. 既存杭を利用した設計	20
(1) 建築主事等への対応	
(2) 既存杭の利用方法	
(3) 設計上の検討項目	
(4) 既存杭の調査計画	
6. 既存杭の本調査（解体後）および技術	27
(1) 耐久性調査	
(2) 健全性調査	
(3) 支持力調査	
(4) 試験数量	
7. 再利用に向けた杭の計画と記録の保管	39
(1) 新設杭計画時の配慮事項	
(2) 再利用に有用な記録	
(3) 図書・記録の保管・引継ぎ方法	

8. 既存杭利用事例	4 5
9. 今後の課題	6 3

(1) 既存杭利用の実施例および調査・研究結果の蓄積と公表

(2) 杭の再利用を促進するための環境整備

(3) 杭の再利用を促進するための意識改革

付録 1 既存杭利用事例に関する文献調査

付録 2 既存杭利用による CO₂ 排出量の試算例

付録 3 既存杭利用による経済的効果の試算例

付録 4 既存杭の解体撤去・埋戻しに関する課題

付録 5 建築構造審査・検査要領 - 実務編 審査マニュアル - 2018 年版 (抜粋)

1. 既存杭利用にあたって

(1) 対象とする杭種

本手引きで対象とする杭種は、場所打ちコンクリート杭（場所打ち鋼管コンクリート杭を含む）、既製コンクリート杭、および鋼管杭（回転貫入杭も含む）とする。

利用の対象となる既存杭を明確にする意味で、既存杭の種類と利用の可能性について考えてみる。既存杭には、場所打ちコンクリート杭、既製コンクリート杭、鋼管杭、木杭などがある。適切に施工されたコンクリート系の杭については、特殊な環境下（例えば、温泉地などの強酸性を示す地盤）を除けば、直接空気に触れない地中に埋設されているため中性化が抑制されており、耐久性は高いと考えられる。場所打ちコンクリート杭は、一般的に径が大きく中実であることから、利用しない場合の解体・撤去のコストが高くなると考えられる。一方、近年のコンクリート強度や先端拡底率の増大、節付場所打ちコンクリート杭の開発、設計手法の高度化などにより、支持性能および耐震性能が高まり、利用できた際のメリットはより大きくなっていると考えられる。既製コンクリート杭については、場所打ちコンクリート杭と比較して比較的支持力が小さく、杭頭をカットするとプレストレスが抜けてしまうカットオフの問題が考えられる。しかしながら、施工記録が適切に残されていれば、工場生産のため杭体の性能・品質が安定していること、また、近年の大口径・高支持力化などにより、再利用により十分なメリットが得られる場合も多いと考えられる。そのことは、再利用に関する論文調査において、その実績が少なくないことから確認できる。鋼管杭については、腐食の問題を除けば耐久性の面での信頼性は高い。木杭は、地業に相当するものであり、構造部材である現在の杭としての利用は難しい。以上の理由から上記対象とする杭種を設定した。

(2) 杭工法の開発状況および現状

各杭工法（場所打ちコンクリート杭工法、既製コンクリート杭工法、鋼管杭工法）の開発状況および現状について、以下に示す。

①場所打ちコンクリート杭工法

図 1.1 に、わが国における場所打ちコンクリート杭工法の開発状況を示す。1954 年にフランスのベノト社からオールケーシング工法の一つであるベノト工法が導入されたことを契機に、アースドリル工法、リバーササーキュレションドリル工法を含めた 3 工法が揃った 1960 年代の半ば以降、場所打ちコンクリート杭工法が急速に普及することとなった。特に、1984 年のアースドリル拡底杭工法の開発で適用範囲が広がり、より多く使われるようになった。

②既製コンクリート杭工法

既製コンクリート杭工法は、1950 年代後半から 1960 年代にはディーゼルハンマを使用した打撃工法が普及していった。1956 年にはアースオーガが開発され、プレボーリング最終打撃工法として数多く使われるようになった。1966 年にはセメントミルクを根固め材として先端処理する埋込み杭工法が大阪で開発され、関西を中心に普及し始め、この工法は 1979 年、（財）日本建築センターによる指針の制定後、急速に普及していった。1977 年頃からは低公

害工法として埋込み杭工法が積極的に開発され、1980年には中掘り拡大根固め工法、1983年にはプレボーリング拡大根固め工法がそれぞれ初めて大臣認定を取得した。いずれの工法ともセメントによる根固め部を築造し、支持力を発現させる工法であった。その後、2000年の建築基準法改正を契機に杭先端支持力係数 α が250を超える高支持力杭の施工法が開発が進んだ。

③鋼管杭工法

鋼管杭工法は、当初は既製コンクリート杭と同様にディーゼルハンマによる打撃工法が普及し、騒音規制法（1968年）制定後に中掘り工法が開発が進み、1985年頃には中掘り根固め工法が主流となった。前述の既製コンクリート杭工法や鋼管杭工法においては、2000年代に入ると、杭先端支持力係数 α が600を超える高支持力杭工法が開発された。

ここで、図1.2に既製コンクリート杭の生産量・出荷量の推移を示す。平成2年をピークに減少しており、現在ではピーク時の約1/3となっている。バブル期に比べて、建設投資額自体の減少が推測されるが、工事量自体は投資額と同等に減少している訳ではない。また、図1.2に示す既製コンクリート杭の生産量や出荷量を実際に工事に使用された量として見ると、既製コンクリート杭の使用割合の低下が見られる。これは近年の高支持力杭の開発・採用による杭本数のスリム化等の影響も考えられ、高支持力杭の施工自体は増加していると推測される。一方、場所打ちコンクリート杭の場合には、実績に関する統計調査（（社）日本基礎建設協会にて会員会社のみによる実態調査あり）は実施されていないが、近年では高層、超高層建物、大スパン建物等の重量建物の供給増加により、場所打ちコンクリート杭の施工実績の増加と重量増による杭の大径化が推測される。

杭工法	1900	1920	1940	1960	1980	2000	2017
ペDESTAL		1912		1973			
深 礎			1930				
オールケーシング				1954			
アースドリル				1959	1984	拡底	拡底・多段拡径
BH				1960年頃			
リバース				1962	1971	拡底	

図 1.1 場所打ちコンクリート杭工法の開発および利用状況（旧手引き図 1.1 に加筆）

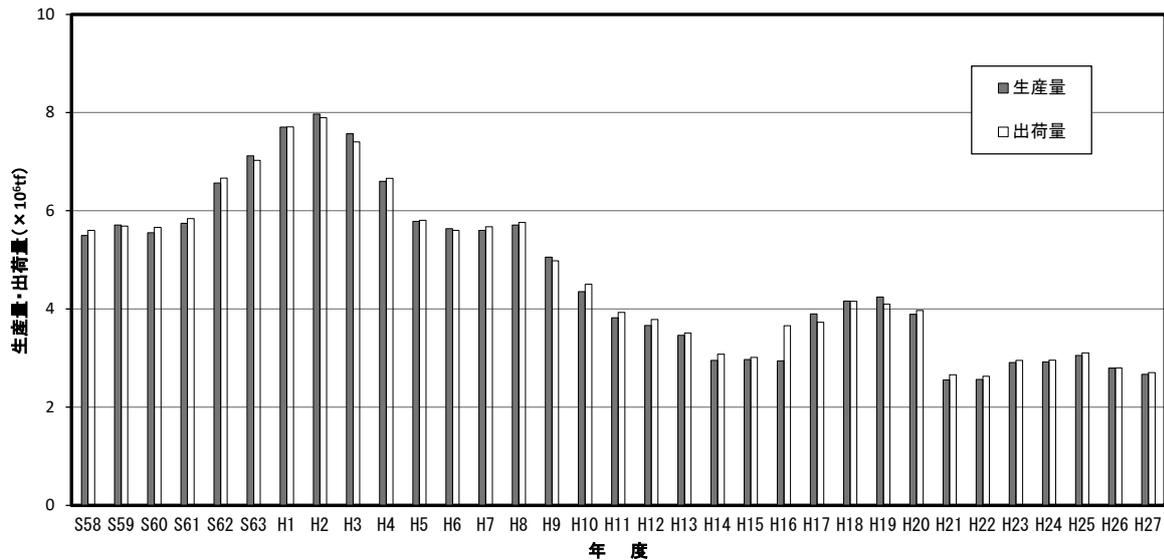


図 1.2 既製コンクリート杭の生産量・出荷量の推移 (COPITA 提供資料)

(3) 既存杭の利用状況について

「既存杭利用の手引き (平成 15 年 2 月)」の発行から 15 年経過し、様々な建物で既存杭の利用が行われてきている。

1995 年からの 20 年間に各種論文などで報告された既存杭の利用実績は 215 件 (同一建物含む) 挙がっており、このうち建物用途などが判明する 40 件の既存杭利用事例について詳細な調査を行った。調査結果は「付録 1 既存杭利用事例に関する文献調査 付録 1 - 1 概要」に示す。

ここでは調査結果の一例として、既存杭を利用した新築建物の竣工年について、各種論文 (40 件) の事例調査結果、更に「杭の再利用促進 WG」の参加 19 社の既存杭利用の実態調査結果 (2017.10 調査実施) を示す。

- 論文報告において、既存杭を利用した新築建物の事例件数は、1980 年代より増加傾向にあり、「既存杭利用の手引き (2003.02)」が発行された 2000 年代の 23 件をピークにむかえ、2010 年以降は、5 年の調査期間ではあるが、7 件の事例報告となっており、既存杭を利用した論文報告はやや減少傾向にある。(図 1.3)
- 「杭の再利用促進 WG」の参加 19 社による実態調査でも同様の傾向はみられるが、利用件数は上記の論文報告件数を大きく上回っており、既存杭利用の需要は一定数あるように思われる。(図 1.4)

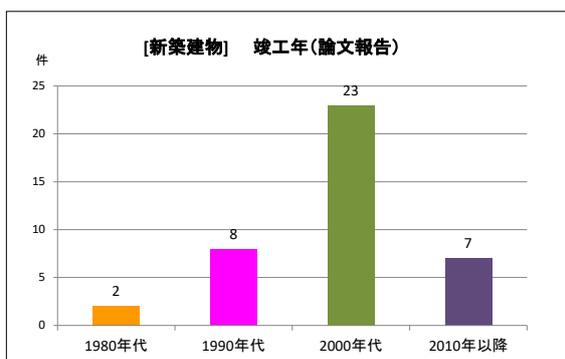


図 1.3 新築建物の竣工年 (論文報告)

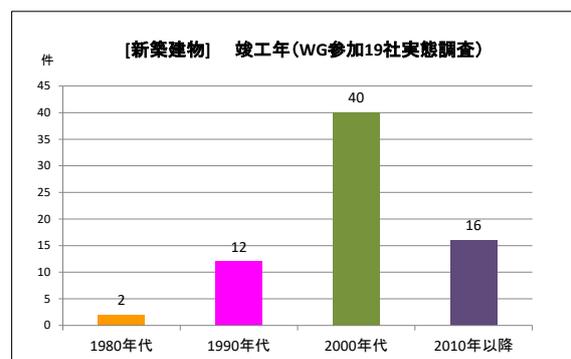


図 1.4 新築建物の竣工年 (参加 19 社実態調査)

(4) 既存杭を利用した場合の効果

既存杭を利用することによる効果として、資源の有効利用、解体に伴う廃棄物・騒音・振動などの環境負荷の低減、新設杭造成時に発生する掘削汚泥などの建設廃棄物の削減といった環境面における効果がある。環境に配慮することは、今後ますます建設業界に要求される社会的な課題であることから、積極的に既存杭の利用を検討することが望ましい。特に CO₂ 削減効果については、既存杭を利用することにより、既存杭を撤去し新たな杭を造成する場合に比べ、CO₂ 排出量が 5～7 割削減された事例^{1.1) 1.2)}もあり、大きな効果があることが示されている。CO₂ 排出量の試算例は巻末付録 2 に示してあるので活用されたい。

コスト、工期については、新設杭の造成だけでなく、既存杭の解体・撤去にも多くの費用や時間がかかるため、既存杭の利用により大きなコストダウンや工期短縮につながる可能性がある。後に示される再利用事例の一つについて具体的な効果を試算したところ、既存杭の利用によりコストが約 70% 削減、工期が約 70 日短縮されるといった大きな効果が確認された。この試算例は巻末付録 3 に示してあるので活用されたい。

上述の既存杭を利用した場合の効果は諸条件によって異なるが、一般に CO₂ 排出量とコストの削減効果は既存杭を多く利用するほど大きくなる。例えば新旧建物が同規模となる場合には既存杭の利用割合に応じた効果のイメージは図 1.5、1.6 のようになる。このような図を利用して、計画の早い段階で建築主などに杭の再利用のメリットを分かりやすく伝えることもできる。

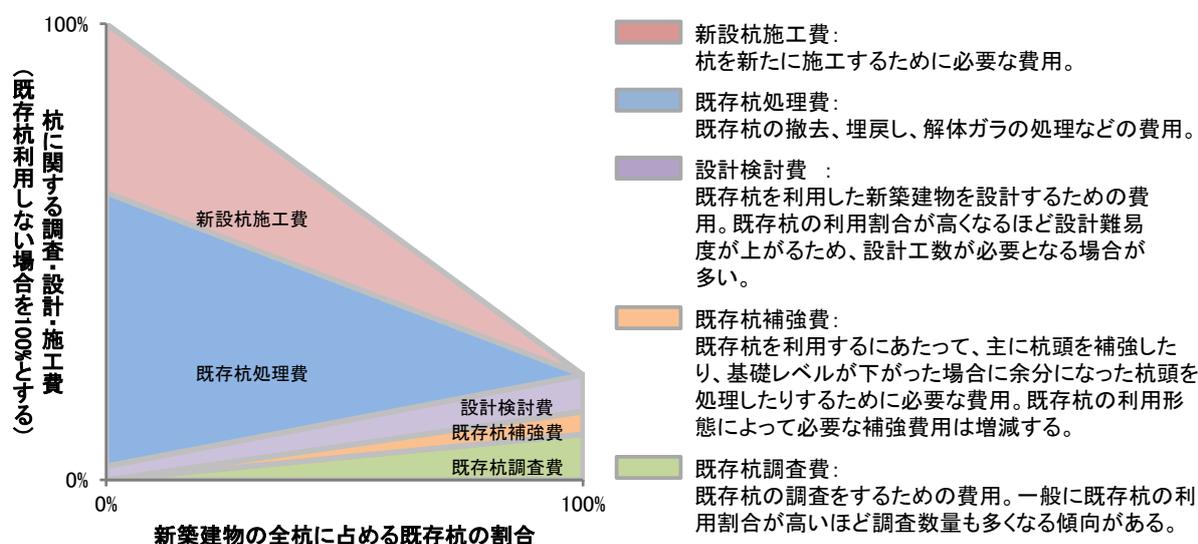


図 1.5 既存杭利用によるコスト削減効果のイメージ (新旧建物が同規模の場合)

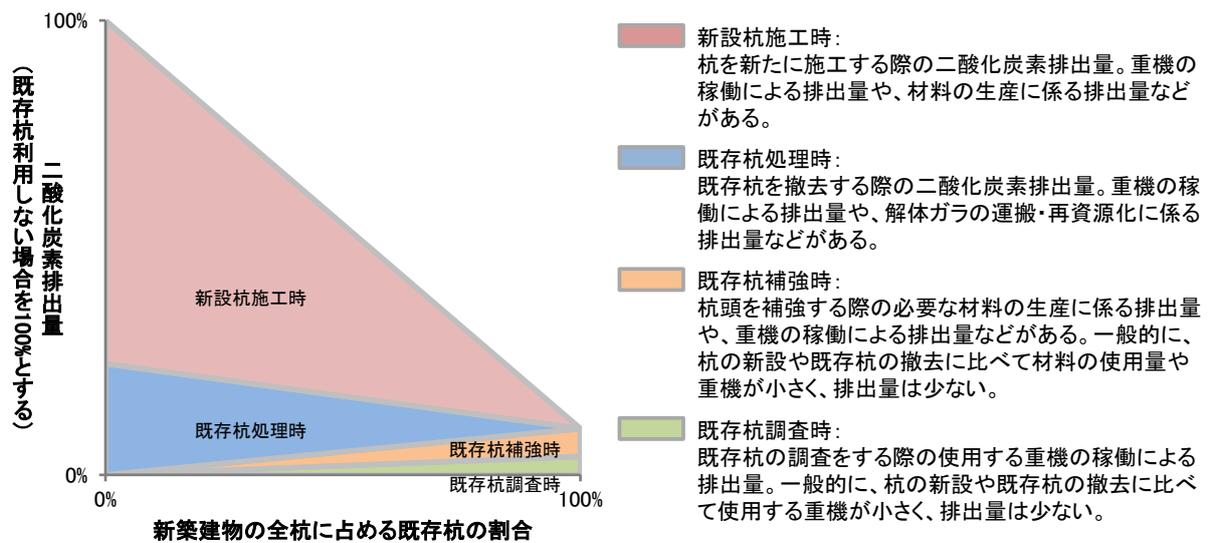


図 1.6 既存杭利用による CO₂ 排出量削減効果のイメージ (新旧建物が同規模の場合)

この他にも既存杭を利用することは既存杭の解体・撤去に伴う品質・施工上のリスクを回避できる効果がある。まず、既存杭を解体・撤去すると、応力開放による地盤の攪乱が避けられず、新設する杭の支持性能に対しても悪影響を及ぼす可能性がある。また、近年は充填性などの点から埋戻し材料に流動化処理土が用いられることが多いが、既存杭の撤去後の埋戻しにもリスクがある。孔内水や流入した地下水と流動化処理土やセメントスラリーが混合されることによる希釈^{1.3)} ^{1.4)} や、粘性土地盤における掘削泥土の孔底への堆積^{1.4)}、孔壁崩壊による表層土の流動化処理土への混入^{1.5)} など、地盤条件や施工方法によっては埋戻し土が予定の強度を発現しない事例が報告されている。加えて、埋戻し部に場所打ちコンクリート杭を新設する際に不具合が起こる要因のケーススタディが行われており、孔曲り等のリスクがあることが示されている^{1.6)} ^{1.7)}。

(5) 既存杭を利用する上で予想される課題

既存杭を利用する上で、計画・設計上で予想される主な課題には、以下に示すような項目が考えられる。

① 設計者としての考え方^{1.8)}

杭の再利用を計画する場合、新築建物の設計者は利用する既存杭も含めて設計責任を負うことを十分に認識して計画を進めることが重要である。

杭の再利用では、既存杭の本調査(解体後)により得られる既存杭の品質を把握する前に、その品質を想定して設計を行うことで、準備および計画期間を短縮するメリットが得られる。但し、後に実施する既存杭の本調査(解体後)によって、実際の品質と設計時に想定した品質との間に危険側の差異が生じると、設計に大幅な変更が必要になる。

設計の大幅な変更は、事業計画の初期にまでさかのぼる再設計(確認済証を取得済みの場合は計画変更申請)を伴う可能性が高く、事業の工期とコストに多大な影響を与える。設計者は、メリットだけでなくデメリットも含めて建築主に十分な説明を行って理解を得るとともに、大きな設計変更が発生しないよう、書類調査や必要に応じて行われる既存杭の予備調

査（解体前）の段階で、できるだけ既存杭の情報（打設された年月や施工方法・施工者など）を収集し、余裕をもった設計を進める必要がある。

②建築主対応

新築建物における既存杭の利用に当たっては、明確な目的や効果を明らかにすることによって、まずは建築主の理解を得ることが必要である。その際には、前節であげた利用効果に加え、当該建物の立地条件や施工上の制約などその建物固有の条件も加味した上で、既存杭利用の有効性を確認し、建築主に伝達することが重要である。一方、既存杭が予定した位置に存在しない場合や、好ましい状態でないなど、利用を断念せざるを得ない事態となることも考えられるため、そうした場合の対処方法や調査費用の分担などについても、建築主と事前に協議しておく必要がある。

建築主にとってかけがえの無い大切な財産となる新築建物に、既存杭を利用することについては、コスト・工期のように建築主に還元される実質的な効果は勿論、環境負荷の低減効果などについても積極的にアピールし、建築主側の理解を得る努力が必要である。

③法令上の取り扱いおよび建築主事等への対応

建築確認における既存杭の取り扱いについては、「建築構造審査・検査要領 一実務編 審査マニュアル 2018年版（付録5参照） 1.11 既存ぐいを用いた建築物の審査」に記載がある。具体的には、審査における留意事項として、（1）法第37条（建築材料の品質）の適合性、（2）法第20条への適合性、（3）既存ぐいを用いた場合の当面の扱い についての記述があるので、参照されたい。なお、法令上の取り扱いや審査要領については、再利用に関する研究や実績、既存杭利用の機運の高まりと共に改定される場合もあるので留意されたい。

一般的には確認済証、検査済証、図面、施工記録等が残っているかどうか、既存杭を利用する上で円滑な審査のために最も重要な要素であると考えられる。また、既存杭の各種調査項目や数量等については、確認申請時以前のできるだけ早い段階から、建築主事等との協議が必要である。

この種の問題に対しては、建築主、設計者および施工者と建築主事等が互いに協力しながら解決を図っていくことが重要である。

④既存杭の性能・品質

既存杭の利用に当たっては、その耐久性、健全性、支持力性能などを確認することが必要となる。コンクリートの圧縮強度や中性化などに関する耐久性は、上部構造に比べて有利な条件にある。施工不良や過去の地震被害などによる損傷状況は、現状、建物解体後に調査が行われることがほとんどである。今後は現状の技術に加えて、より簡便で信頼性の高い非破壊試験などの調査技術の開発が望まれる。また、鉛直支持力についても、反力杭を使用した載荷試験に代わるより簡便な支持力確認技術の開発が望まれる。調査技術の現状については、6章で詳しく述べることとする。

既製コンクリート杭の場合、その仕様は製造各社によって多少ばらつきがあるものの、JIS等で規格化されている部分は、図面に詳細な記載がない場合でも当時の規格から仕様を類推することができ、設計の際の参考になる。

⑤地震時水平力への対応

地震時の検討は、通達（昭和59年住指発324号）や告示（平13国交告示1113号）により明確化・義務化されてきたが、告示以前に施工された杭では水平力に対する検討がなされて

いない可能性もある。従って、既存杭利用の際には元設計で杭の耐震設計が行われているか否かを確認した上で、新築建物の水平力をどの程度既存杭に負担させるかなどを十分に検討し、水平耐力が不足する場合には、杭を増設するなどの対策が必要である。いずれにせよ、既存杭も杭頭の水平剛性に応じた水平力を負担することになるので、水平耐力が不足する場合には、何らかの補強や既存杭が大きな水平力を負担しないですむような杭頭接合部の工夫などが必要となる。

⑥新築建物の柱と既存杭の位置関係

一般に新築建物の柱と既存杭の位置は一致しない。また、既存杭の位置に新築柱を配置したとしても、新築建物の規模が既存建物よりも大きくなる場合には、既存杭だけでは全荷重を負担できずに杭を増設するなどの対応が必要になる。したがって、既存杭を利用しようとするれば、大きな偏心応力が発生するため、剛強な基礎梁やフーチング、耐力壁付梁を配置して処理する方法や、剛性の高いマットスラブで支持するなどの偏心応力の処理が必要となる。

(6) 既存杭を利用しやすい条件

既存杭利用の計画・検討を進めやすい条件があれば、既存杭の利用に取り組むかどうかを判断する際の参考とできる。そのような条件の例を、判断の根拠と対応させて表 1.1 に示した。

【参考文献】

- 1.1) 富田菜都美, 石崎定幸, 渡辺徹, 長尾俊昌, 河本慎一郎, 辰濃達; 超高層建物における既存場所打ち杭の再利用, 基礎工 vol.42, No.11, pp.58-61, 2014.11
- 1.2) 椿原康則, 山下清; 既存場所打ちコンクリート杭の再利用例と環境面での効果, 基礎工 vol.33, No.4, pp.39-42, 2005.4
- 1.3) 崎浜博史, 堀井宏謙, 八重樫光; 既存杭撤去後の掘削孔に埋戻された流動化処理度の品質調査, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.435-436, 2014.9
- 1.4) 崎浜博史, 堀井宏謙, 八重樫光, 西正晃; 既存杭撤去後の掘削孔に埋戻された泥水固化体の品質調査, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.447-448, 2015.9
- 1.5) 古垣内靖; 流動性と自硬性を有した埋戻し材の変形特性, 東急建設技術研究所報 No.37, pp.41-44, 2011.2
- 1.6) 桂豊; 既存杭と新設杭が干渉または近接し引き抜く場合, 埋戻しと障害を防ぐ方法, 建築技術, pp.150-151, 2016.8
- 1.7) 崎浜博史, 宮田勝利, 川幡栄治; 既存杭と干渉する位置における場所打ちコンクリート杭施工の留意点, 基礎工 vol.44, No.3, pp.33-36, 2016.3
- 1.8) 構造法令研究会: 既存杭等再使用の設計マニュアル(案), pp.3, 2008.11

表 1.1 既存杭利用の計画・検討を進めやすい条件の例

条件	関係者の理解を得やすい			手戻りリスク が低い	既存杭利用の 効果が大きい	構造計画上 既存杭を 利用しやすい
	建築主	設計者	施工者			
環境配慮重視の案件	○	○	○			
新旧建物の所有者が同じ	○					
建築主が新設杭に拘らない (コスト重視, 既存杭の実績重視)	○					
旧建物の施工会社が新築建物を設計 する場合	○	○	○			
平面規模と建物荷重が増加しない	○	○			○	○
既存杭撤去に多大な費用, 工期が必要 (大径長尺の場所打ちコンクリート杭等)	○	○	○		○	
既存杭処理によって新設杭の設計・ 施工が困難となる場合	○	○	○			
隣接構造物, 地中構造物等との関係 から既存杭利用が望ましい	○	○	○			
全体工程に余裕がある (十分な調査・検討期間がある)	○	○	○	○		
解体後に設計をはじめ	○	○		○		
既存杭の情報が多く信頼性が高い	○	○		○		○
杭施工時に不具合が発生しにくい地 盤・敷地		○		○		
杭頭が浅く既存杭の予備調査が容易		○		○		
新旧の杭心位置が重なる箇所が多 く, 軸力が増加しない場合		○			○	○
新設建物がマットスラブを想定して いる		○				○
既存杭に水平抵抗の検討がされてい る		○				○
床付けレベルが新旧建物で大きく異 ならない		○				○

2. 既存杭利用の検討手順

既存杭の利用促進を図るには、既存杭の性能確認のための調査法、既存杭の利用方法とそれに応じた設計法など個別の技術が明らかにされているとともに、計画・設計・施工がどのような関係にあるかなど既存杭利用のための検討手順も重要である。

2章では既存杭の利用に必要と思われる検討項目とその概要について述べ、各検討の詳細については、次章以降に述べる。図 2.1 は既存杭利用のための概略の検討フローを示し、各検討項目の右欄に、具体的に記載している章を示す。

既存杭の利用にあたっては、杭の仕様や地震履歴の確認が前提となる。すなわち、原則として検査済証があることおよび杭体の仕様が書類で確認できることが前提となる。

一般的な建替え計画は、建物解体前に設計が行われることが多い。そのため、既存杭利用の検討フローでは、解体前の既存杭の予備調査をもとに設計を行い、既存杭の本調査によりその妥当性を検証する手順としている^{2.1)}。解体後調査を、設計後に実施するように示しているが、既存建物解体中や解体後に設計するプロジェクトでは、本調査を構造設計前や構造設計と平行して実施も可としている。

また、既存杭の有効利用を図るには、工学的に無理のない設計および既存杭の確認事項を明らかにする必要がある。このため、既存杭を利用した基礎の設計に際しては、できるだけ早期に建築主事等と協議し、設計法や既存杭の確認事項についての合意をとることが肝要である。また、一度設計したとしても、既存杭の調査結果によっては設計変更もあり得るので、迅速な設計対応も必要となる。なお、必要な調査方法やその結果の妥当性の判断について、任意の技術評定を取得することも考えられる。任意の技術評定を取得する場合は、調査項目やその時期、妥当性の検証方法、評定を受ける範囲などについて関係機関と事前に十分調整しておくことが重要である。

既存杭を利用するにあたって必要となる検討項目を概観できるように図 2.1 のフローに沿って既存杭の予備調査段階までの検討項目を表 2.1 に、既存杭を利用した設計段階以降における検討項目を表 2.2 に示す。同表では各項目の重要度と、主たる担当者も示しており、ほぼ全ての項目で設計者の役割が重要となる。

なお、本手引きにおける耐久性・健全性の定義は以下のものとする。

耐久性：コンクリートの強度・中性化深さ、鋼材の強度・腐食の程度などの材料の性能を示すもの

健全性：杭配置、杭径、杭長、鉄筋径・本数、コンクリートの被り厚さ、鋼管厚みなどの設計図書で定められた位置・形状・寸法などの仕様に関するもの、および亀裂・破損などの損傷の有無を示すもの

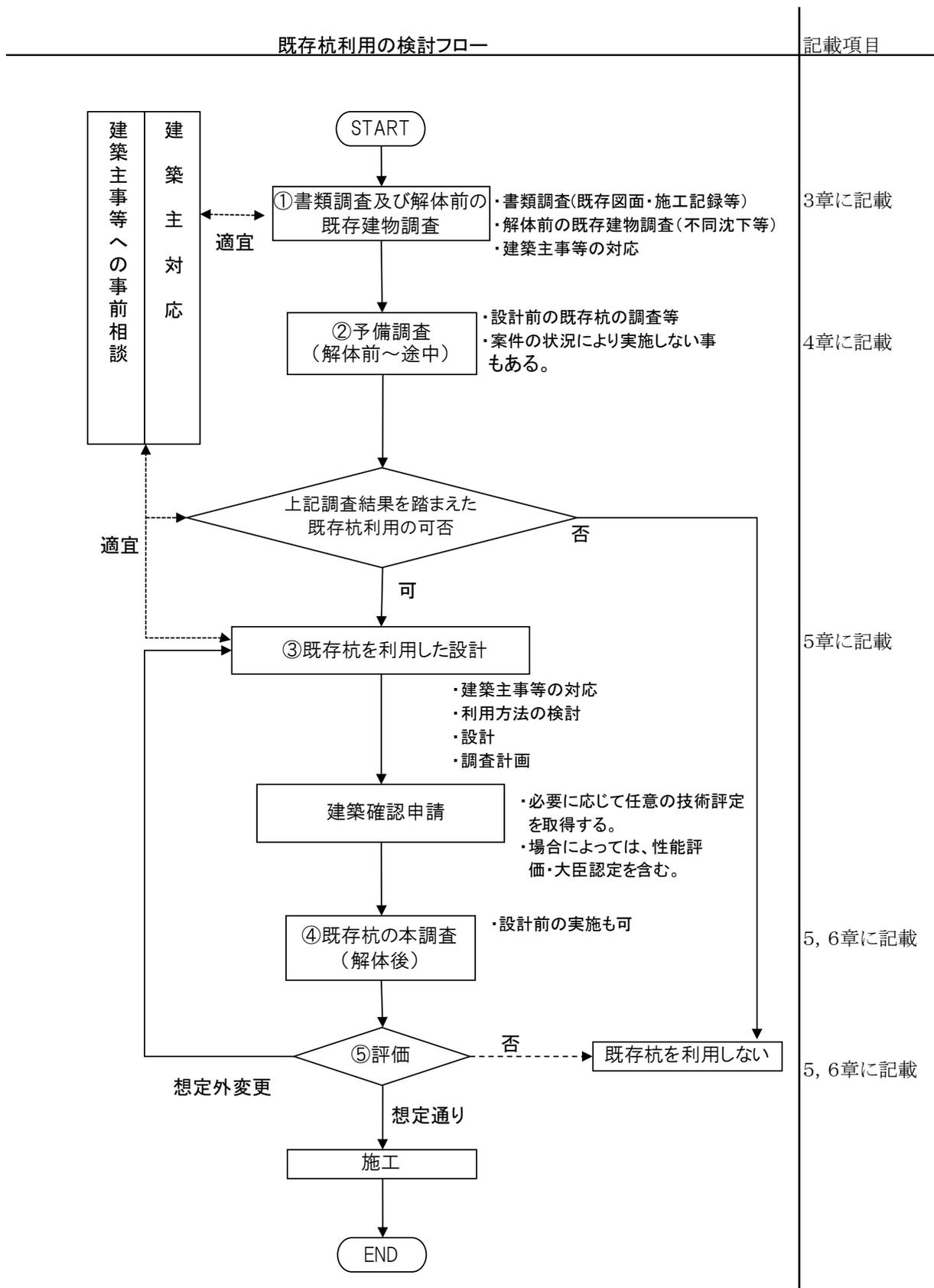


図 2.1 既存杭利用検討フロー

表 2.1 既存杭の予備調査段階までの検討項目

検討の流れ (手引きでの記載章節)	確認・検討・実施事項	重要度 ※	担当者			備考
			建築主	設計者	施工者	
建築主対応 1.(5)	既存杭を再利用することのメリット・デメリットに対する理解	◎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	調査結果が想定と異なる場合の工期、コストへの影響の理解	◎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	調査結果により再利用できない場合の調査費用の負担の合意	●	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	利用しない既存杭の取り扱いの協議	◎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
建築主事等への事前相談 1.(5), 5.(1)	できるだけ早期に建築主事等と協議する	●		<input type="checkbox"/>		
	検査済証を紛失した場合の扱い(台帳での確認)	○		<input type="checkbox"/>		
	既存杭の性能を仮定した設計についての了解, 建築確認の工程	●		<input type="checkbox"/>		
	既存杭調査項目, 調査数量, 調査結果報告時期	●		<input type="checkbox"/>		詳細は設計時
	調査結果が想定と異なる場合の対処方法, 設計方針	◎		<input type="checkbox"/>		
①書類調査 2.(1), 3.(1)	検査済証(検査を受けて発行されていること)	●	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		ない場合は再利用困難
	設計図書	●	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	竣工図面	◎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		設計上の不確定性減
	建設年, 杭工法, 地盤情報	◎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		不明の場合は詳細調査 ・検討が必要
	杭配置, 杭径, 杭長, 支持力	●		<input type="checkbox"/>		
	配筋, かぶり厚さ(場所打ちコンクリート杭)	●		<input type="checkbox"/>		
	杭材の種類, 継手の仕様, 杭頭部の仕様(既製杭)	●		<input type="checkbox"/>		
	材料強度(コンクリート, 鋼材)	●		<input type="checkbox"/>		
	水平抵抗力の検討の有無	○		<input type="checkbox"/>		
	施工記録, 各種試験結果	◎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		調査数量減
	個々の杭の出来形に関する記録	◎		<input type="checkbox"/>		調査数量減
	杭心・杭頭レベル測定結果, 偏心対処結果	○		<input type="checkbox"/>		設計上の不確定性減
	地震履歴	○		<input type="checkbox"/>		
	解体前の既存建物調査 3.(2)	不同沈下の有無(測量)	◎		<input type="checkbox"/>	
不同沈下に起因するひび割れ等の構造躯体劣化の有無(目視)		◎		<input type="checkbox"/>		
②既存杭の予備調査(解体前) 2.(2), 4., 5.(4)	予備調査の要否の検討 目的①:書類調査の信頼性確認, リスク回避(先行調査) 目的②:書類調査で得られない情報の取得(耐久性等)	●		<input type="checkbox"/>		
	杭体の健全性調査(杭配置, 杭径, 杭長)	○		<input type="checkbox"/>		
	杭体の耐久性調査(強度, 中性化, 腐食)	○		<input type="checkbox"/>		
	追加の地盤調査(支持層レベル, 地盤の化学的性質など)	○		<input type="checkbox"/>		
	書類調査等(と予備調査)の結果により既存杭利用の採否を判断	●	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		

※重要度 ●:必須 ◎:重要 ○:必要に応じて実施または有益な情報

表 2.2 既存杭を利用した設計段階以降における検討項目

検討の流れ (手引きでの記載章節)	確認・検討・実施事項	重要度 ※	担当者			備考
			建築主	設計者	施工者	
③ 既存杭を利用した設計 1.(5), 2.(3), 5.	全体工程の検討, 管理	●	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	施工者は設計施工の場合
	既存杭の利用方法(鉛直, 水平, その他)の検討	●		<input type="checkbox"/>		
	変形性能と耐力の確認(既存・新設杭の剛性差を考慮した変形挙動)	◎		<input type="checkbox"/>		
	安全限界時の検討	○	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	偏心への対応	◎		<input type="checkbox"/>		
	杭頭接合方法, 杭頭の補強方法の検討	●		<input type="checkbox"/>		
	既存杭の調査計画(調査項目, 調査数量, 工程)	●	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	調査結果が想定と異なる場合の対処方法	●	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
	新設杭の将来再利用に配慮した設計	○	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
④ 既存杭の本調査(解体後) 1.(5), 2.(4), 6.	杭体の健全性の確認(杭配置, 杭径, 杭長, 配筋, かぶり厚さ, 損傷等)	●		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	施工者は設計施工の 元請, または調査会社
	杭体の耐久性の確認(材料強度, コンクリート中性化, 鋼材腐食)	●		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	鉛直支持力, 水平抵抗力の調査	○		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
⑤ 評価	調査結果と設計の整合性の確認, 対処方法の検討	●	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	建築主事等への報告	●		<input type="checkbox"/>		
施工	既存杭の調査記録の保存, 引渡し	◎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
	全杭配置の記録, 新設杭施工記録の保存, 引渡し	◎	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
	建築主への記録保管の重要性の伝達(図書, 施工記録, 共用時記録)	◎	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

※重要度 ●:必須 ◎:重要 ○:必要に応じて実施

以下に、図 2.1 のフローに従い、既存杭利用のための検討項目について概説する。詳細については、次章以降を参照する。

(1) 書類調査及び解体前の既存建物調査

書類調査では、既存杭の利用の可能性を検討する。この検討は、検査済証の確認、設計図書、施工記録等から杭体の仕様を確認することである。特に検査済証、杭の仕様を確認できる設計図書あるいは竣工図などがそろわないと、再利用が困難となる。すなわち使用する全ての既存杭について、その仕様や使用された材料を調査により確認・証明する必要があるからである。このような書類調査の結果に基づき、既存杭と新設の基礎で建物を安全に支持するための既存杭の利用方法を検討する。また、書類調査結果については可能な限り、建築主に説明・報告するとともに、建築主事等に対しても報告しておくことよい。

書類調査における既存杭の具体的な検討確認項目は表 2.1 に示す。

(2) 既存杭の予備調査（解体前）

予備調査は、新築工事の設計を建物解体前や解体中に着手する場合、建物解体前に杭体を調査して、既存杭の品質等に関する情報を事前に得るために行う。

既存杭の調査を解体後に実施すると、設計の最終段階で調査結果が得られることになる。その際に、既存杭の性能が設計時に想定したものと大きく異なる場合、設計変更が必要となり、プロジェクト全体の工期、コストに大きな影響を及ぼす恐れがある。そこで、解体前に、既存杭利用の可否の判断及び設計を行わなければならない場合に、下記の目的で一部先行して調査を行う。

- ① 書類調査の信頼性確認（予備調査結果と書類調査結果の整合性等について確認）
- ② 耐久性等、書類調査で得られない情報の取得

予備調査は、既存建物解体前のため見えない既存杭を直接調査することであり、他の事前調査と比較して調査費用が高い。したがって、書類調査の結果より既存杭利用の可能性が高いと判断された場合に、建築主に費用を負担して頂くことの同意を得た上で行われる。

既存建物解体前に実施することから、既存建物の状況や地盤条件等により調査手法も限られるが、必要な範囲で、既存杭について調査を実施する。

調査項目は(4) 既存杭の本調査の中から、適宜抜粋にて実施することとなる。その内容や数量は、書類調査の結果を踏まえ既存杭の利用方法（「5. 既存杭を利用した設計」を参照）を念頭に置いて設定する必要がある。過去に大きな地震を被っている建物の場合は、この段階で健全性の項目について確認することが良い。

(3) 既存杭を利用した設計

既存杭を利用した設計では、以下のような項目について検討する。

○利用方法の検討

既存杭をどのように利用するかは、書類調査・既存杭の予備調査結果に基づき、既存建物設計時における杭に対する要求性能および既存建物供用時における杭に作用している応力状態などを考慮して決める。

また、既存杭の利用方法によっては、既存杭の調査や追加確認の項目・数・方法などが変わる可能性があるため、利用方法検討時点でこれらを決めるとよい。利用方法の詳細については、5章を参照されたい。

○設計上の検討項目

既存杭の利用方法に従って、現行の規基準による作用力に対して既存杭の安全性の検討、および既存杭と新設基礎で建物を安全に支持できることの確認を行う。既存杭の安全の検討では、その利用方法に応じて、鉛直支持力・水平抵抗力・杭体強度・沈下特性などを検討する。また、建物との接続（杭心ずれ、接合法）についても検討する。既存杭を利用した基礎の設計は、通常の設計と同様、支持力と変形性能について検討する。

設計上の検討項目は、5章を参照されたい。

○既存杭の調査計画の検討

既存杭の調査項目・方法・数は、既存杭の利用方法や既存杭に期待する応力の大きさなど新設建物基礎としての条件と、既存建物設計時の支持力や既存建物供用時における杭に作用している応力状態など既存建物基礎としての設計・利用条件を考慮して決める。既存杭に期待する応力が大きい場合ほど、確かな方法で、適切な数量を調査する必要がある。また、建物を設計するにあたり、既存の地盤調査が著しく古い場合や調査不足がある場合等は、妥当性の確認や調査不足を補う目的で地盤の追加調査を計画する事が望ましい。調査内容（調査項目・方法・数・時期等）は、建築主事等とも事前に協議しておくことよい。

（4）既存杭の本調査（解体後）・評価

建物解体後調査は設計時点の計画に基づき、既存杭に対して実施し、既存杭の耐久性や健全性等を全体的に把握する。

既存杭を調査・確認する項目としては、健全性・耐久性・支持力がある。詳細は6章を参照されたい。

支持力性能については、既存杭に期待する応力が旧建物荷重より小さい場合には、耐久性と杭体の健全性が確認できればよく、大きな支持力を期待する場合には支持力確認が必要になることもある。

これらの事を考慮して調査結果により、既存杭の安全性について評価し、再利用の可否について判断する。

また、この調査・確認により、設計上期待していた性能に満たない杭と判断された場合には、既存杭に期待する応力の低減や許容応力度を低減するなどの対策が必要となる。また、著しく性能が劣る場合には、その杭を利用しないという処置が必要になることもある。いずれの場合でも、設計変更となるため、迅速な設計対応が必要である。

【参考文献】

- 2.1) 構造法令研究会：既存杭等再使用の設計マニュアル（案），P3

3. 書類調査及び解体前の既存建物調査

書類調査及び解体前の既存建物調査では、既存杭利用の可能性を初期判断するための情報収集を行う。設計図書どおりに施工されていて、再利用時に求められる支持性能等に問題なければ、既存杭利用の可能性があると判断できる。

書類調査は、既存建物の設計図書や施工記録などの記載内容を確認することであり、これらから既存杭の性能や施工品質が把握できる。また、既存杭が施工されてから現在に至るまでの地震履歴等を調査し、現在の既存杭の健全性を評価する。解体前の既存建物調査は、不同沈下に起因する構造体のひび割れや傾斜、強酸性地盤などの化学的な性状に起因する地表付近のコンクリートの劣化などを目視等で調査することであり、既存杭が支持性能を現在において喪失していないことなどを確認する。

(1) 書類調査

書類調査では、既存杭の諸元や構造性能、施工状態などを、設計図書、構造計算書、施工記録などから調査する。特に、既存建物の検査済証は、既存杭が設計図書に基づいて適正に施工されたことを証明する重要な資料である。検査済証のない建築物については、確認済証に添付された図書に記載されている杭が、設計図書通りに施工されていることを施工記録や調査などによって実証する必要がある。そのため、建築主事等と対応を協議し、既存杭の調査項目や調査数量を増やすなどの対応をとり、必要に応じて性能評価機関の技術評定を受けること等を検討する。また、既存杭が施工されて現在に至るまでの地震履歴を調査しておくことも、既存杭の現在の状態を推測する上で重要である。書類調査における既存杭の調査項目を以下に示す。

① 設計図書

設計図書より調査すべき項目には、各杭種に共通する調査項目と固有の調査項目がある。主な調査項目は以下の通りである。

○各杭種に共通する調査項目

杭配置、施工方法、支持地盤、杭径、杭長（杭頭深度、杭先端深度）、鉛直支持力、など

○杭種に固有の調査項目

・場所打ちコンクリート杭（施工方法、コンクリート圧縮強度、鉄筋の種類、配筋、鉄筋のかぶり、杭頭部の仕様（接合方法）、など 場所打ち鋼管コンクリート杭においては、追加項目として鋼管の仕様（鋼管の種類、鋼管長、板厚）など）

・既製コンクリート杭（施工方法、杭材の種類、コンクリート圧縮強度、継手、杭頭部の仕様（カットオフの有無、接合方法）、など）

・鋼管杭（施工方法、鋼管の種類、板厚、継手、杭頭部（補強筋等）の仕様など、回転貫入杭においては、追加項目として杭先端部の羽根径や形状など）

② 構造計算書

構造計算書より調査すべき項目で重要なのは、杭の鉛直支持力と水平抵抗力である。杭の鉛直支持力では、支持力評価式、設計に用いている地盤定数、摩擦抵抗を考慮している深度

などを確認する。杭の水平抵抗力では、1984年の建設省住宅局建築指導課通達（昭59年住指発324号）、2001年の国土交通省告示（平13国交告1113号）を経て、地震力に対する杭の水平抵抗の検討が法制化された経緯があり、既存建物の設計年代や規模によって杭の水平抵抗が検討されていないケースもある。したがって、水平抵抗力検討の有無を確認した上で、水平抵抗が検討されている場合には、設計に用いている水平地盤反力係数や地盤の変形係数、地盤の非線形性考慮の有無などを確認する。

③ 施工記録

杭の施工報告書などの施工記録は、設計図書に記載されている杭の施工状況を推測する上で重要な資料である。調査計画の立案に際して、調査項目と調査数量をどのように選定するかを検討する際にも、施工記録の内容が考慮されるべきである。施工記録において、杭材料の納入記録、材料試験結果、継手の施工状況写真などは、杭体の出来形や健全性を示す資料となるが、杭の支持層到達を示す施工記録は特に重要である。各杭種における支持層到達を示す施工記録および杭の鉛直支持力を裏付ける施工記録として、以下の記録は特に重要である。

- ・ 場所打ちコンクリート杭・・・支持層確認時の土質サンプルまたは写真、支持層深度、杭先端深度の計測記録、孔壁測定記録、など
- ・ 既製コンクリート杭・鋼管杭（埋込み工法）・・・掘削抵抗電流値と深度との関係資料、セメントミルクの注入量記録、など
- ・ 既製コンクリート杭・鋼管杭（打撃工法）・・・打止め管理記録、など
- ・ 鋼管杭（回転貫入杭）・・・回転トルク値と深度の関係、など

④ 地震履歴等

既存杭が施工されてから、現在に至るまでの地震履歴を調査することは、現在の杭の健全性を推測する上で大切である。杭の水平抵抗力については、前記の通り、既存杭の設計年代や建物規模によって、地震力に対する杭の水平抵抗が検討されていないケースもあり、検討している場合でも中小地震動に対する検討しか実施されていないケースが多い。従って、設計時に考慮されている地震動を超えた強さの地震履歴を受けている杭については、杭体の損傷が懸念されるので、健全性調査の数量を増やすなどの対応によって、既存杭の健全性を慎重に評価しなければならない。既存杭が経験している地震履歴の中でも、液状化や側方流動を経験している杭については、特に注意が必要である。

また、地域によって高度成長期の工業用水の揚水などによって、大幅な地下水位の低下や広域地盤沈下を経験している地域がある。このような地域では、鋼管や鉄筋の腐食が深部に及んでいる可能性があるため、注意を要する。

(2) 解体前の既存建物調査

解体前の既存建物調査は、部分的な解体を伴わずに、建物の不同沈下の有無を確認する。不同沈下の主な原因は以下の通りである。

- ・杭の支持力不足（設計ミス、ネガティブフリクションの影響など）
- ・杭の健全性不良（杭先端の支持層への未到達、杭先端の出来形不良、地震による損傷、周辺環境の変化の影響など）

不同沈下の有無は、既存建物の外観調査と水準測量を行うことで確認する。その調査結果より既存杭利用の可能性を判断する^{3.1)}。以下に、外観調査と水準測量について簡潔に述べる。

外観調査とは、建物内外部の構造躯体のひび割れ、剥落、断面欠損等を確認し、構造躯体の劣化状況および不同沈下等による有害な損傷の有無を確認する調査である。地域性(温泉地など)や地盤特性で、地盤に強い酸性が懸念される場合は、地盤に近接する基礎躯体あるいは杭などのコンクリートが腐食(劣化)する可能性が高いと考えられる。そのため、コンクリートの腐食が予測される地域や地盤では、注意して外観調査を行う必要がある。

水準測量とは、建物外周の水準測量結果が竣工図書に対してどのように変化しているかの確認をする調査である。不同沈下に対する指標としては、日本建築学会の基礎構造設計指針^{3.2)}および小規模建築物基礎設計指針^{3.3)}や住宅紛争処理の参考となるべき技術的基準^{3.4)}などが挙げられる。ただし、竣工時のレベル計測記録が残っていない場合には、相対的なレベル差が施工誤差によるものか、竣工後の不同沈下によるものかの判断は難しい。その場合には、外観調査と合わせて不同沈下の有無を総合的に判断する必要がある。

各調査より、不同沈下が無いと判断された場合には、既存建物の長期の荷重に対する支持性能があったと考えられ、再利用ができる可能性があると考えられる。一方、不同沈下が確認された場合には、杭の支持性能に何らかの問題があると考えられ、再利用は困難と考えられる。

【参考文献】

- 3.1) 構造法令研究会：既存杭等再使用の設計マニュアル（案），pp19，2008.11
- 3.2) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，pp152，2001.10
- 3.3) 日本建築学会：小規模建築物基礎設計の手引き，pp254，2008.2
- 3.4) 国土交通省：住宅紛争処理の参考となるべき技術的基準，2000.7

4. 既存杭の予備調査(解体前)

書類調査は、既存建物の設計・施工記録や竣工後の地震等被災記録を確認するため、既存杭の現状に関する情報が少ない。また、解体前の既存建物調査は建物傾斜のように基礎構造全体の支持状況に関する情報を得ることができるが、既存杭個々の状態についての情報が少ない。既存杭利用を検討する際には、既存杭の現状に関する情報をできるだけ早い段階で直接得ることがリスク低減に有効であるとの観点から、既存建物解体前に予備調査を計画する。

予備調査を必要としない場合もある。例えば、解体後に設計時間が十分に確保されている場合、既存杭利用本数が少ない場合、階段下のように限定的に利用する場合、書類調査で確認された設計図書・施工記録等が矛盾せず書類の信頼性が高い場合などが挙げられる。また、建蔽率が高いなど建物外周に空地がないため予備調査する場所が確保できない場合などは、必要性があっても予備調査できない。このように個々の条件に応じて、予備調査の要否を判断する。

特殊な予備調査事例として、既存建物の隣接地(更地)に残っていた、同時期に施工された同種の既存杭で鉛直載荷試験を行って支持力特性を評価した事例が本手引きの「利用事例-3」に紹介されている。また、解体前に既存建物を反力に用いて既存杭を鉛直載荷試験した事例^{4.1)}がある。

予備調査は、既存建物解体前のため、非破壊で行う健全性調査が主になる。計画にあたり、既存杭へのアプローチを実情に合わせて検討することが重要であるので、建物外周の場合と建物内部の場合に分けて解説する。図4.1に予備調査の例を示す。

なお、予備調査に必要な費用は地盤調査と同様に建築主が負担するものであることから、調査の意義、必要性や内容を事前に十分に説明して、建築主の同意を得ておく必要がある。

(1) 建物外周における予備調査

建物外周に近い杭頭付近の地盤にボーリング孔を設けて磁気探査やボアホールレーダで既存杭健全性を調査する方法^{4.2)}と、地盤を掘削して杭頭を露出させる方法である。前者については6章を参照されたい。以下、後者について解説する。

調査対象の杭は、建物外周に駐車場など空きスペースがある場所近くの杭を選ぶことが多い。また、建物端部のように地震被害を受けている可能性のある杭を選ぶ場合もある。

掘削作業は、山留めをしながら、調査可能な空間が確保できるまで行う。地下水等はポンプで排水するが、地下水位が高い地盤では安全対策を十分に検討する。掘削範囲は、調査作業性を優先して決めるが、位置関係が分かるように、パイルキャップ等基礎部材端部も掘出すとよい。なお、地震や長期間降雨を受けないように、調査期間はできるだけ短くするとともに、天候の変化に留意する。

調査内容は、下記の健全性が中心になる。

- ①杭表面の形状(可能ならば杭径を推定)
- ②杭表面状態からひび割れ等損傷の有無
- ③杭深部の損傷の有無、杭長等

場所打ちコンクリート杭の場合は、電磁波レーダや電磁誘導を利用したかぶり厚さ測定

器を使う場合もある。また、既製コンクリート杭の場合は、杭体に付けられたマークが確認できたら記録しておく。調査方法の詳細は6章を参照されたい。

(2) 建物内部における予備調査

解体前で既存杭を直接目視できない場合であっても、建物内部から既存杭調査を行う方法がある。例えば、杭上に位置する基礎スラブ等で調査作業に支障がない場合には高周波衝撃弾性波に着目したインテグリティ試験^{4.3)}を利用できる。

また、鉄筋に触れないで小径コアを開けることが可能である場合に調査できる方法がある。例えば、ウォータージェットを利用して構築した空洞において、小型カメラを使った杭体表面目視による損傷確認、レーザー距離計等を使った杭径や中心位置の推定が実用的な精度で可能である^{4.4)、4.5)}。また、杭頭まで小径コアをあけられる場合、コア試料で強度確認、孔底にてインテグリティ試験を行うことなども可能である。

【参考文献】

- 4.1) 椿原康則、土屋富男：場所打ち杭再利用時の調査事例、基礎工、pp. 57-60、2011.2
- 4.2) 橋梁基礎構造の形状および損傷調査マニュアル（案）、建設省土木研究所共同研究報告書、整理番号第236号、1999
- 4.3) 永井哲夫、中村敏明、永野賢司：高周波衝撃弾性波法による杭基礎の健全性調査、地盤工学会誌、第61巻、第8号、pp. 26-29、2013
- 4.4) 掛谷誠、宮田章：都市部における地上構造物解体中の既存杭調査、日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、B-1、pp. 469-470、2013
- 4.5) 掛谷誠、宮田章：ウォータージェットを利用した杭頭目視調査、日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）、B-1、pp. 453-454、2014

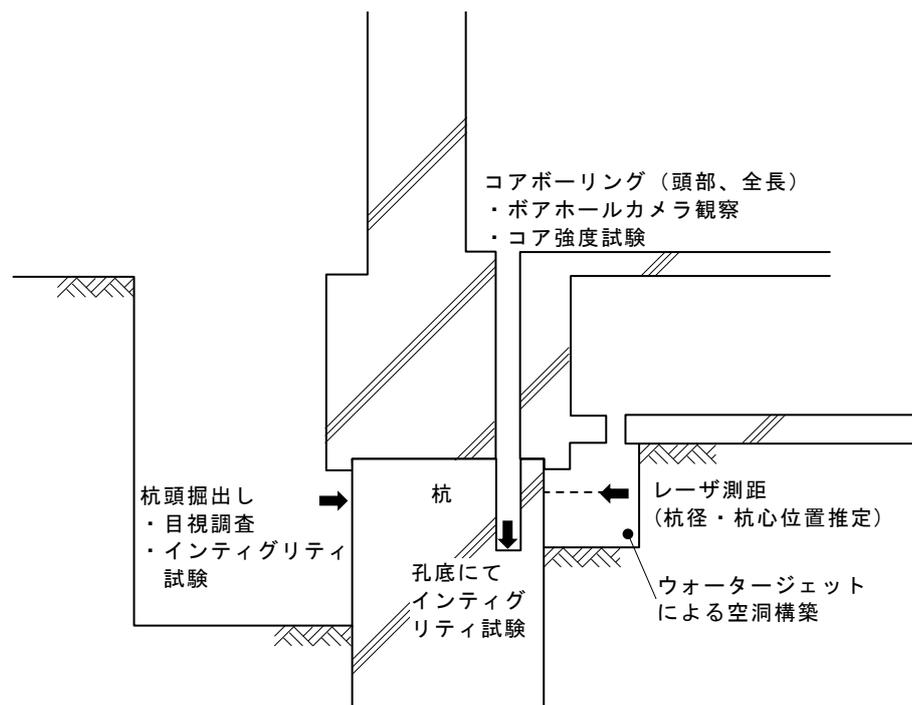


図 4.1 既存杭の予備調査に用いられる調査方法の例

5. 既存杭を利用した設計

既存杭を利用した設計を行うにあたっては、明確な目的や効果を明らかにすることによって、まずは建築主や建築主事等の理解を得ることが必要である。建築主事等とはできるだけ早期に折衝し、設計法や既存杭の確認事項についての合意を得ることが肝要である。

既存杭を新設建物の基礎として利用可能であるかどうかを判断するには、既存杭の諸元や仕様、杭の設置されている地盤条件などが明らかであり、現行の設計手法で検討できることが前提となる。そのためには、杭の諸元（杭径や杭長、ストレート杭か拡底杭など）や仕様（コンクリート強度、配筋や施工方法など）・地盤条件などが確認できる書類が保管されていることが望ましい。既存杭利用の可能性を検討するために必要となる書類としては、建物の確認申請時の検査済証、設計図書、施工記録、地盤調査報告書などがある。

保管されている書類は十分ではないが、利用できる可能性が高いと判断される場合には、既存杭の調査計画に、検討に必要な項目（例えば杭の諸元や仕様など）を得るために必要な調査を追加すれば良い。調査の結果によっては、既存杭が予定していた位置になかったり、好ましい状態でないなど、利用を断念せざるを得ない事態となることも考えられるため、そうした場合の対処方法についても、あらかじめ想定しておくことが望ましい。

既存杭の利用が可能と判断された場合には、その利用方法も含め、具体的な既存杭利用計画を立案することになる。既存杭の利用方法には幾つかの形態があり、それぞれの利用方法に応じて既存杭に期待する性能が異なるため、既存杭に大きな支持力や変形性能を期待した設計を行う場合には、そのための調査を実施する必要がある。

（1）建築主事等への対応

既存杭の利用を考えるとときは、以下の項目について事前に建築主事等と十分打合せをしておく必要がある^{5.1)}。また、必要に応じて調査計画書を提出する。

- ①既存杭の調査・試験項目、調査・試験方法、品質・強度の検証方法、調査数、調査時期
- ②不同沈下の有無の検証方法、およびなしと判断した理由
- ③杭体に損傷が認められたときの扱い
- ④構造計算における既存杭強度の余裕度の評価方法
- ⑤調査・検証結果が想定外の場合の対処方法

（2）既存杭の利用方法

新設する建物の規模や柱配置などが、旧建物と全く同一の場合には、既存杭全てを新設建物の基礎として採用することは可能と考えられるが、こうした事例はごく稀であろう。通常は、新設建物の規模や柱配置が旧建物とは異なると思われるため、すべての既存杭を利用するのは困難と思われる。そのため既存杭の利用に際しては、新設建物の杭配置を考慮して利用可能な杭を選定するとともに、その利用方法を十分に検討する必要がある。既存杭の利用方法としては、図 5.1 に示すような以下の方法が考えられる。

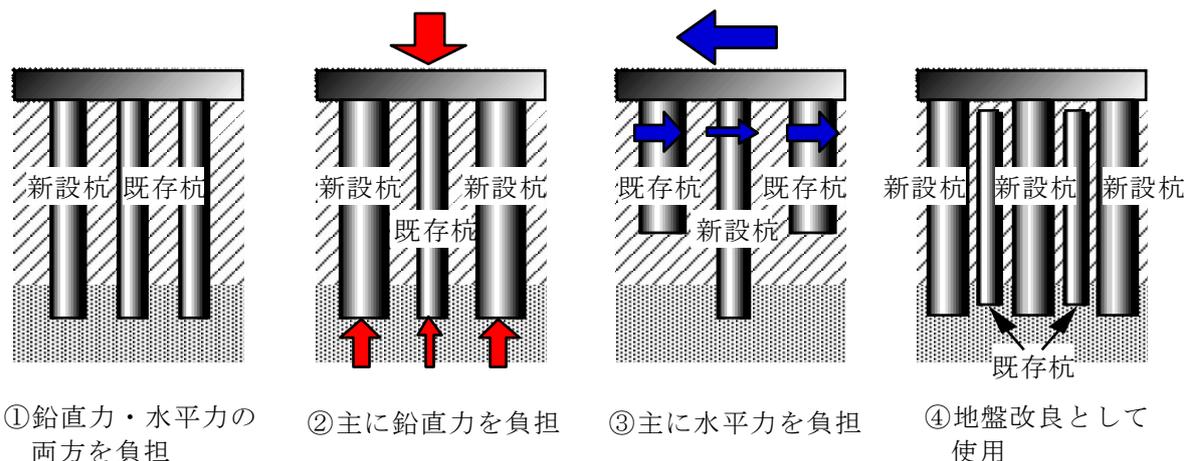


図 5.1 既存杭の利用方法

①鉛直力・水平力の両方を負担するものとして使用する方法

既存杭を新設の杭と同様、新設建物の杭として利用する方法である。既存杭の施工時期によっては水平力に対する検討がなされていない場合があるので注意が必要であるが、水平力に対する検討がなされていれば、必要耐力を満足する場合は、新設杭との併用は十分可能であると考えられる。

②主に鉛直力を負担するものとして使用する方法

既存杭に大きな水平抵抗が期待できない場合や、水平力に対する十分な検討が行われていない場合などが考えられる。鉛直支持力の算定については、基本的に支持力式による算定を行い、既存建物に作用している荷重や支持力式の算定値よりも大きな荷重を負担させたい場合に、載荷試験を実施する必要があると考えられる。また、鉛直力を負担させる既存杭の水平抵抗力については、水平力が作用しないディテールを採用したり、新設杭の水平力負担を大きくしたりするなどして、既存杭に作用する水平力が現行の設計方法で許容値以下となるような設計を行う必要がある。

③主に水平力を負担するものとして使用する方法

既存杭が摩擦杭や短杭で新設建物に必要な支持力が得られない場合や、新設杭の水平力に対する余力分として利用する場合などが考えられる。

④地盤改良として使用する方法

新設建物の杭としてそのまま使用するのではなく、地盤改良体としたり、地盤改良工法と組み合わせたりして使用する方法である。単独では既存杭を構造体としては利用することは難しいが、地盤改良工法と組み合わせることで地盤改良効果に期待する場合などが考えられる。例えば、パイルキャップ内に埋め込まれておらず、杭頭レベルが捨てコンクリート内やパイルキャップ底面位置で、杭頭部が無筋の既存杭に対して、既存杭周囲を高圧噴射系の地盤改良固化体で補強することによって、既存杭を使用した事例がある^{5.2)}。

実際の利用に際しては、①～④を組み合わせるなどして、適切な利用方法を選択することが重要である。

(3) 設計上の検討項目

既存杭を新設建物の杭として利用するためには、原則として、既存杭を現行の設計手法に当てはめ、その耐力や変形が算定できることが必要である。そのために設計上必要な検討項目は、以下と考えられる。

- ①杭体の健全性・耐久性
- ②鉛直支持力
- ③水平抵抗力
- ④変形性能と耐力
- ⑤偏心への対応
- ⑥杭頭接合部のディテール

① 杭体の健全性・耐久性

建物の供用期間中、基礎が健全であることは、既存杭だけでなく新設杭にも要求される性能である。しかしながら、既存杭の場合には、杭が施工されてから時間が経過しているという、新設杭とは決定的に異なる要因がある。このため、再利用時点において杭体の健全性と耐力が確保されていることが重要となる。ここで、杭体の健全性とは杭が設計通りの形状（杭径・長さ）で施工されていて損傷が無いことであり、耐久性とは杭体が所要の性能（強度・品質）を保っていることである。

既存杭に関連する記録（設計図書、構造計算書、施工記録、竣工図書、地盤調査報告書、など）が保存されていて、過去に大きな地震を受けておらず、既存建物の不具合（ひび割れや大きな変形）や不同沈下が生じていなければ、健全性の確認は書類上で可能であるが、耐久性については既存杭の調査を実施して確認することが望ましい。耐久性に関する調査は、6章で示すように、既存杭よりコンクリートコアを抜き取り、圧縮試験や中性化試験を行うのが一般的である。既存杭に関連する記録が無い場合や、健全性をより詳細に検討する場合には、耐久性の調査に加え、杭の健全性に関する調査を計画・実施すれば良い。

杭体の健全性と耐久性が確認され、利用に耐え得ると判断されれば、利用方法に応じて、②～⑥の項目について検討する。検討方法は、基本的には新設杭の場合と同様であるが、既存杭の利用方法によっては、いずれかの検討項目が不要となる（既存杭に鉛直支持力のみや水平抵抗力のみを期待する場合など）。また、各項目のディテール等は8章の既存杭利用事例や、その参考文献を参照のこと。

② 鉛直支持力

鉛直支持力については、既存杭が設置された時期と現在では、同一地盤条件における支持力の考え方に差があると思われるので、そうした場合には注意が必要となる。鉛直支持力算定における課題については、「建築構造審査・検査要領 ー実務編 審査マニュアルー 2018年版（付録5参照）」に記載されている。鉛直支持力は、国土交通省告示（平13国交告1113

号)を踏まえて評価するのが標準であり、同告示第五項には、打込み杭、セメントミルク工法による埋込み杭およびアースドリル工法等による場所打ち杭の鉛直支持力が示されている。一方、同告示第六項には載荷試験の結果に基づき定められた各係数 (α 、 β 、 γ) より鉛直支持力を評価する方法が示されているが、対象となる杭が所定の施工方法に則り施工されていることを示す必要があるため、施工記録の確認が重要である。ただし、長期荷重として既存杭が負担していたと思われる鉛直荷重以下とするなど配慮することで、支持力に関する特別な検討は不要とみなす考え方もある。

既存杭と新設杭の併用となる場合、両者に大きな性能差が生じることも考えられるが、例えば、既存杭の負担を低減するような新設杭の配置計画を行う、既存杭の耐力を割り引いて算定する、などの検討を行うことで、安全な設計を行うことが可能となる。

既存杭と新設杭の支持層が異なる場合や、既存杭を沈下抑止杭として利用する場合には、新設建物が異種基礎やパイルド・ラフト基礎などの併用基礎となる。その場合、既存杭単体の性能照査に加えて、基礎全体としての性能(支持性能・変形性能)の照査も重要となる。杭配置により新設杭と既存杭が近接し、杭間隔が日本建築学会「建築基礎構造設計指針」^{5.3)}にある目安値よりも小さくなる場合には、鉛直支持力・沈下量等の評価にあたって群杭の影響を慎重に検討する必要がある。また、支持層が傾斜しているような場合には、杭の支持層到達にも十分留意する必要がある。

③ 水平抵抗力

既存杭を利用する場合、既存杭の設計に水平力を考慮していないことも考えられる。再利用する場合は、現行法規による構造計算が原則であるため、既存杭にも水平力を考慮する必要がある。杭に作用する水平力により生じるせん断力・曲げモーメントに対する杭体の安全性の確認が必要である。既存杭に作用する応力が杭耐力以下となるように、杭の周辺地盤を地盤改良により補強する方法や新設杭と併用し、新設杭により多くの水平力を負担させる方法などが考えられる。また、各種論文(40件)の事例調査結果では、既存杭に水平力を負担させる場合、既存杭の施工時期によらず、既存杭の調査・検討結果が良好な場合には採用される傾向にある。

上記の鉛直支持力の検討と同様、杭間隔が小さい場合には、水平抵抗力・水平変位量等の評価にあたって群杭の影響を慎重に検討する必要がある。

④ 変形性能と耐力

新設杭と既存杭を併用する場合には、新設杭と既存杭の鉛直剛性や強度の差により、不同沈下を起こす可能性があるため、建物全体に対してバランスよく各杭を配置し、建物を支持する必要がある。新築建物が旧建物を上回る規模となる場合や群杭に該当する場合などでは、併用基礎と同様の基礎全体の変形挙動に対する検討を実施することが望ましい。

設計に用いる既存杭の耐力について、構造図・構造計算書の内容や杭メーカーの杭仕様を確認することで、算出・推定することが可能である。ただし、既存杭の予備調査(解体前)に基づいた設計の段階では、既存杭の本調査(解体後)の結果で想定した性能を満足しない場合も考えられるため、余裕をもった耐力にて設計を行うことが望ましい。また、現行法規では基礎構造の安全限界時の検討は義務化されていないが、超高層建物など規模によっては

検討を実施し、より高度な検証によって安全性を確認する方が望ましい。

⑤ 偏心への対応

既存杭と新設建物を接合する場合、新設建物の柱などの配置の関係から、既存杭心と柱心が一致しない場合が往々にして発生する。そうした場合には、一致しているもののみ再利用する計画とすることや、十分な剛性と耐力を保持したマットスラブ形式で一体化した基礎計画とすることなどの対応が考えられる。また、杭頭接合部のディテールによっては新設建物の基礎の補強や、場合によっては既存杭の杭頭部の補強が必要となることが考えられるので、平面計画の段階から補強方法を検討しておくが良い。

⑥ 杭頭接合部のディテール

既存杭を新設建物の杭として利用する場合、既存杭の水平力負担を低減するような新設杭の配置計画や既存杭に安全率を見込んだ設計が重要であるが、一方で、既存杭に想定した以上の外力が作用しないように配慮することも重要である。そのためには、既存杭の利用方法に応じた杭頭接合部のディテール選択が必要となる。

また、新設建物の床付け面が既存建物より深い場合などには杭頭部をはつることになる。その場合、杭頭が PC 杭や PHC 杭の場合には、カットオフにより杭天端付近ではプレストレスの損失が生じ、杭耐力が小さくなる。カットオフした既存杭を利用する場合には、例えば、杭基礎設計便覧^{5.4)}に基づいて耐力損失を考慮した設計を行うことが考えられる。

(4) 既存杭の調査計画

既存杭について十分な書類が残されている場合には、その情報に基づいて基礎の設計を行うことは可能である。しかしながらその場合でも、建物解体後には目視による既存杭の位置や杭径などの確認が行われ、さらには既存杭の耐久性、健全性を試験による客観的なデータで確認するのが一般的である。場合によっては支持力試験を行うこともある。従って、既存杭利用の具体的な計画に入る時点で、書類調査で得られた情報と既存杭の利用方法に応じて、既存杭の品質や性能についての調査計画を立案する。

既存杭についての調査は、その目的に応じて、

- ・コンクリート等材料の耐久性に関する調査
- ・形状や損傷の有無などの健全性に関する調査
- ・鉛直支持力や水平抵抗などの支持性能・変形性能に関する調査

に大別される。調査項目としては表 5.1 に示すものがある。それぞれの調査方法については 4 章および 6 章に述べるので、必要となる情報に応じて、どの調査を実施するのかを決定する。

既存杭の調査には時間や手間、費用がかかることから、調査項目、調査数に関しては十分に検討して決定する必要がある。また、調査によって不合格となり追加検討が必要となる場合もあり得ることから、調査の時期は既存杭を利用した設計検討後かつ既存建物および基礎解体に伴い速やかに実施することが必要である。

既存杭を基礎スラブごと、あるいは既存地下躯体ごと利用しようとする場合には調査方法が制限されたり、解体後の調査ができず調査数が限定されたりすることが予想されるため、

事前に建築主事等と協議して、調査方法、調査数量や調査に代わる詳細な解析の実施など必要な対処方法について合意を得ておくことが必要となる。

既存杭の調査とは別に新築建物の設計に必要な地盤調査が行われる。再利用を計画する既存部分においても地盤情報に不足があれば追加の地盤調査を計画する。必要に応じて杭支持層の不陸についても確認する。また、コンクリートの硫酸塩劣化の可能性を有する地盤では杭頭部より深い部分が影響を受けることも想定されるので^{5.5)}、地盤の化学的性質の調査^{5.6)}の必要性も検討する。

表 5.1 既存杭の調査項目

調査目的	調査対象	調査内容	対象となる杭種		
			場所打ち コンクリート杭	既製 コンクリート杭	鋼管杭
耐久性 調査	杭体コンクリート	コンクリートの圧縮強度	○	—	—
		中性化深さ	○	—	—
	鋼管	強度・腐食量	○	○	○
	杭体鉄筋	強度・腐食度	○	—	—
健全性 調査	杭頭部	位置, 杭径	○	○	○
		配筋, かぶり厚さ, 鋼管厚さ	○	○	○
		ひび割れ, 剥離, 変形等	○	○	○
	杭体	連続性, 断面変化	○	○	○
杭長		○	○	○	
支持力	杭体 (及び地盤)	杭の鉛直支持力	○	○	○
		杭の引抜き抵抗	○	○	○
		杭の水平抵抗, 水平地盤反力	○	○	○

① 既存杭の予備調査（解体前）の計画

既存杭の予備調査として建物解体前または解体中に既存杭を調査する場合には、調査項目、方法、調査数が限定され、調査単価が高くなるので、予備調査の目的、必要性和費用対効果を十分に勘案して計画する。予備調査に用いることのできる調査方法は4章に示した。予備調査を既存建物の供用中に行う場合には、建物の構造安全性に大きな影響を与えないように非破壊試験等の調査方法を用いる。

予備調査によって書類等の信頼性を確認するには、杭位置や杭径、杭長、コンクリート強度などの調査を行うことが考えられる。杭体を直接調査する場合には、耐久性についても確認することができる。書類調査の情報をもとに必要とする調査を計画する。既存建物が大きな地震を経験している場合には、地震力の影響を強く受けていそうな杭、例えば建物外周部の杭の健全性を先行して確認するとよい。

建物解体中の調査については、解体後調査の一部を先行して実施した再利用事例^{5.7), 5.8)}が報告されている。この場合は設計に必要な調査を建物解体中に効率よく実施することも目的の一つであることから、利用が想定される位置の杭を中心に適切にサンプリング調査する。状況が許せば、全長コアボーリングなど時間を要する調査を建物解体中に実施すると効率的である。

②既存杭の本調査（解体後）の計画

○調査項目

建物解体後における既存杭の調査項目・方法・数は、既存杭の利用方法や既存杭に期待する性能など新設建物基礎としての条件と、既存建物設計時の支持力や既存建物供用時における杭の応力状態など既存建物基礎としての設計・利用条件を考慮して計画する。

調査項目としては、既存杭に期待する支持力が既存建物の設計軸力より小さい場合には、杭体の健全性と耐久性が確認できればよく、大きな支持力を期待する場合には支持力確認が必要になることもある。また、既存杭に期待する性能が高い場合ほど、より確かな方法で、適切な数量を調査する必要がある。また、調査の項目・方法・数・時期は、建築主事等とも事前に連絡を取り了解を得るとよい。

○調査数

調査の数は、建物規模や重要度、残されていた書類などに応じて、設計者の判断で決定するのが原則である。6章には調査内容ごとに、近年の既存杭利用事例における調査数の実績とその目安を示したので、調査数設定の参考にされたい。

○想定と異なる調査結果への対応

既存杭の調査により、設計上期待していた性能に満たない杭と判断された場合には、既存杭に期待する性能や許容応力度を低減するなどの対策が必要となる。また、著しく性能が劣る場合には、その杭を利用しないという処置が必要になることもある。そうした場合の対処方法についても、あらかじめ想定しておくことが望ましい。

【参考文献】

- 5.1) 江寺雅文：既存基礎再使用における行政の対応，基礎工，Vol.39，No.2，pp.10-16，2011
- 5.2) 梅野岳，鈴木裕美：歴史的建築物の基礎の補強事例，基礎工，Vol.39，No.2，pp.61-64，2011
- 5.3) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，pp.327-348，2001
- 5.4) 日本道路協会：杭基礎設計便覧，pp.244-246，2015
- 5.5) 松下博通，佐川康貴，佐藤俊幸：地盤調査結果に基づくコンクリートの硫酸塩劣化地盤の分類，土木学会論文集E，Vol.66，No.4，pp.507-519，2010
- 5.6) 地盤工学会：地盤材料試験の方法と解説，2009
- 5.7) 檜原泰史：場所打ち杭の再使用事例，基礎工，Vol.39，No.2，pp.37-41，2011
- 5.8) 富田菜都美，石崎定幸，渡邊徹，長尾俊昌，河本慎一郎，辰濃達：超高層建物における既存場所打ち杭の再利用，基礎工，Vol.42，No.11，pp.58-61，2014

6. 既存杭の本調査（解体後）および調査技術

本手引きでは、建物解体前に設計を行うことを想定している（図 2.1 検討フロー参照）。書類調査及び既存杭の予備調査により既存杭の諸性能を想定した設計を行った場合には、利用する既存杭が実際にどのような状態であるかを把握して設計の妥当性を検証する必要がある。建物解体後に行う本調査は、設計において設定した諸性能を既存杭が有していることを確認することを目的として、利用する既存杭全体に対して、耐久性、健全性、支持力を目視あるいは各種試験により確認するものである。

既存杭の調査計画については 5 章を参照されたい。なお、本調査は、構造設計の前あるいは構造設計と並行して行う場合もある。

以下では建物解体後の既存杭の耐久性、健全性、支持力に関する調査項目及び試験法の概要を示す。

（1）耐久性調査

1) 調査項目と試験方法の概要

杭のコンクリートや鉄筋の経年による杭体材料の性状変化（主に強度）を調査するものである。主な調査項目を表 6.1 および以下に示す。

①コンクリート強度

調査項目：場所打ち杭のコンクリート強度

調査目的：コンクリート強度を調査し、新設建物の支持に必要な強度が確保できることを確認する。

試験方法：既存杭から、コアボーリングにより試料を抜き取って圧縮試験を実施し、必要強度が確保されているかどうかを確認する。試料採取のためのコアボーリングは、杭の中心付近で実施する。なお、深さ方向に対してはコア強度が増加傾向を示す^{6.1)}こと（杭頭部のコンクリートは深度が浅く、地下水位の状況などにより乾湿の影響を地中部に比べて受けやすい）から、最も強度が小さいと考えられる杭頭付近でコアボーリングを行って試料を採取し、強度試験を実施する。

より詳細に調査を行いたい場合や過去の施工において不具合がない（健全性調査の一環）ことを調査したい場合は、杭全長でコアを採取し強度調査を行うこともある^{6.2)}。杭全長コアボーリングを行う場合、杭長の確認もできるので通常杭先端深度までコアボーリングを行うが、地下水位深度が杭頭深度よりも浅い場合はボーリングを生じ、杭先端地盤を緩めてしまう可能性があるため、先端以浅でコアボーリングを止める必要がある。

試験数の目安：杭頭コア - 全数の 10%かつ 2 本以上を目安とする。また、圧縮強度試験数は 6 試料以上とする。

全長コア - 必要に応じて数量、本数を決める。

なお、JIS 規格品の既製コンクリート杭については、中性化深さも十分小さいと考えられるため^{6.3)}、施工記録によりコンクリート強度が確認できることを前提に、コンクリートの

圧縮試験は実施しないこととしている。一方で、その強度が不明等の理由により、コンクリート強度を試験により確認したい場合には、断面内で6～8等分に分割し、向かい合う2片を1組とした圧縮試験を行う方法がある^{6.4)}。

②コンクリートの中性化深さ^{6.5)}

調査項目：コンクリートの中性化深さ

調査目的：コンクリートのアルカリ状態を確認し、新設建物の使用期間中、鉄筋の錆の発生を抑止できることを確認する。これまでの経過年数とコンクリートが中性化した深さから、残りのかぶり厚さが中性化する期間が新設建物使用期間よりも長いことを確認する。

試験方法：杭頭を露出させ、杭頭側面の一部を研るなどして、フレッシュなコンクリート表面を露出させる。研った部分にフェノールフタレインの1%アルコール溶液を噴霧する。コンクリートのアルカリ状態が維持されている部分は赤紫色を呈し、中性化した部分は発色しない。コンクリート表面から発色境界線までの距離を、中性化深さとしてスケールで測定する。原位置で試験を実施できない場合には使用しない杭を研り、かぶり部分から適切な大きさの研り片を採取して室内試験を実施する。地下水位以深にあるコンクリート杭は二酸化炭素の供給が非常に少ないため、空気中に比べ中性化の進行は著しく遅いと言われる。杭頭部が条件的に最も厳しいことから、杭頭部のみ調査を行うことで良い。

試験数の目安：全数の10%かつ2本以上とする。また、中性化試験数は6試料以上とする。既製コンクリート杭の中性化深さはかぶり厚さに対して十分に小さい^{6.3)}ため省略可能とする。

③鉄筋の強度

調査項目：場所打ちコンクリート杭の鉄筋の強度

調査目的：場所打ちコンクリート杭の鉄筋の強度が設計図書で規定されている強度を保持していることを確認する。

試験方法：鉄筋は、腐食さえなければ経年劣化することはない。使用している鉄筋材料の強度を確認するため場所打ちコンクリート杭では、杭頭部の鉄筋から試験片を採取し、引張試験を行って引張強度を確認する。

試験数の目安：施工記録等においてJIS等材料の証明があることを前提に、鉄筋種類毎に1本以上が望ましい。

④鋼管杭の杭体の強度

調査項目：鋼管杭の杭体材料強度

調査目的：鋼管杭の材料が、設計図書に記されているものと同等であることを確認する。

試験方法：杭頭部の杭体より試験片を採取し、引張試験を行って引張強度を確認する。

試験数の目安：施工記録等においてJIS等材料の証明があることを前提に、1本以上が望ましい。

⑤鋼管杭の腐食量

調査項目：鋼管杭の腐食量

調査目的：鋼管杭の腐食量を計測し、再利用期間中の有効肉厚を決める資料とする。

試験方法：腐食量は、杭頭部において杭体の錆を落とし、最も薄い部分の肉厚をスケールで計測する。

試験数の目安：杭頭を露出できる杭は、全数調査を基本とする。杭本数が非常に多い場合は、目視で腐食量が多い杭を複数選定して、その最大値を腐食量としても良い。

表 6.1 耐久性調査の試験項目一覧

調査項目	①コンクリート強度	②コンクリートの中性化深さ	③鉄筋の強度	④杭体の強度	⑤杭体の腐食量
試験方法	圧縮試験	中性化試験	鉄筋引張試験	杭体試験片引張試験	腐食量
関連 JIS	JIS A1107-2002	JIS A1152-2002	JIS Z2241-1998	JIS Z2241-1998	—
試験概要	コアボーリングにより試料を採取。圧縮試験を実施	杭体側面を欠くか、側面よりコアを採取し、フェノールフタレイン溶液にて中性化深さを測定	杭頭部の鉄筋を採取し、引張試験を実施	鋼管杭の杭体から試験片を採取し、引張試験を実施	肉厚をスケール計測
調査数の目安	全数の 10%かつ 2 本以上		1 本以上	1 本以上	全数
対象杭種	場所打ちコンクリート杭			鋼管杭	

2) 耐久性試験の課題

杭のコンクリートは、土で覆われて湿潤状態にあるために二酸化炭素の供給が少なく、中性化の進行が気中に比べ非常に遅くなることなどが、既往の試験事例から明らかになっている。既製杭に関して、PHC 杭の化学的浸食による耐久性に関する調査結果^{6.3)}や鋼管杭の腐食に対する実測結果^{6.6)}が報告されており、コンクリートや鋼管の耐用年数に対する検討を行う際にこれらの知見を考慮しても良い。

また、地下躯体を既存杭と併せて再利用する場合、杭頭部分が露出されないことから既存杭のみを再利用する場合と調査数量が異なり、新しい調査方法の確立が望まれる。

場所打ちコンクリート杭では、杭体の性能は施工の影響を大きく受け、個々の案件で状況が異なることから、コンクリート強度などの調査は実施することが望ましい。1) で示した方法の他にも新しい試験方法も開発されている^{6.7)}ことから、適用性を十分考慮したうえで調査試験に用いても良い。中性化深さなどは今後試験事例などが増加すれば、これらのデータを有効に利用することが可能と考える。

(2) 健全性調査

既存杭が既存建物の設計図書に記された杭配置、杭径、杭長、配筋などの仕様（材料性能に関するものを除く）を有し、有害なひび割れなど損傷がないかについて調査を行う。

1) 調査項目と試験方法の概要

健全性に関する主な調査項目と調査方法を以下に示す。

a) 杭形状、位置、仕様に関する調査

- ・杭平面位置、杭頭深度－杭頭目視、測量、[鋼管杭]磁気探査^{6.8)}
- ・杭径、肉厚（中空杭）－杭頭目視、スケール計測、[場所打ちコンクリート杭]ボアホー

ルソナー

- ・杭長－インテグリティ試験（IT 試験等）、[場所打ちコンクリート杭]全長コア、[鋼管杭、場所打ちコンクリート杭]磁気探査
- ・杭傾斜－[既製コンクリート杭、鋼管杭]傾斜計、[既製コンクリート杭]杭頭端板の傾斜角
- ・配筋（鉄筋径・本数）－[場所打ちコンクリート杭]杭頭目視、スケール測定
- ・かぶり厚さ：[場所打ちコンクリート杭]杭頭目視、スケール測定

b) 杭体の損傷に関する調査

- ・ひび割れ－杭頭目視、インテグリティ試験（IT 試験等）、ボアホールカメラ
- ・杭体強度やコンクリートの充填性－[場所打ちコンクリート杭]全長コア採取（目視、強度試験）

なお、既製コンクリート杭における継手の健全性は現状では調査が困難である。

調査方法をまとめたものを表 6.2 に示す。調査方法は種々あるが、健全性調査の実績としては、ボーリング等を必要とせず杭頭部のみで調査が可能なもの（目視、スケール計測、インテグリティ試験（衝撃弾性波法（IT 試験等））がほとんどであり、その他の試験の実績は非常に少ない。例えば、近年の利用事例 40 件では、目視調査は過半数、インテグリティ試験（IT 試験等）はほぼ 2/3 で、全長コアボーリングは 1/3 で実施され、ボアホールカメラ、超音波測定、ボアホールソナー、磁気探査は数例行われていたが、傾斜計測定は行われていなかった。

基本的な調査についてやや詳細な説明を加えた。それ以外は、文献^{6.9)}^{6.10)}を参照されたい。調査時間などは、測定にかかる時間の目安であり、事前準備の時間は含んでおらず、

表 6.2 健全性調査の試験方法一覧（1）

試験方法	①杭頭目視調査	②ボアホールソナー ^{6.11)}	③インテグリティ試験（IT 試験） ^{6.12)}	④全長コアボーリング ⁶⁾
調査項目	杭配置、杭頭深度、杭径、中空杭の肉厚、配筋（鉄筋径、本数）・かぶり厚さ、腐食状況、杭頭のひび割れなど	杭径 損傷位置	杭長 損傷位置	杭長 コンクリート強度 (スラム沈殿状況)
試験概要	杭頭部においてスケールなどを用いて目視により、杭の諸元、健全性を確認する。	杭中央付近に設けたボーリング孔などに測定器を挿入し、P波を利用して孔壁からの反射波を測定する。	小型ハンマーなどを用いて低ひずみを生じさせ、杭長などを非破壊で確認する。	利用しない杭などを対象に、ボーリングマシンを用いて全長コアボーリングを実施する。
試験条件	・杭頭露出	・杭頭露出 ・測定器を挿入するためのボーリング孔が必要	・杭頭露出 (不可能な場合には、試験方法や結果評価の検討が必要)	・杭頭露出 ・コア抜きが必要 ・地下水位の確認 (水位が高い場合には、ボーリングによる地盤の攪乱を検討する必要あり)
調査時間 [*]	5～10分程度	1日	5分程度	杭長による
対象杭	場所打ちコンクリート杭 既製コンクリート杭 鋼管杭	場所打ちコンクリート杭	場所打ちコンクリート杭 既製コンクリート杭 鋼管杭	場所打ちコンクリート杭

表 6.2 健全性調査の試験方法一覧（2）

試験方法	⑤磁気探査 ^{6.8)}	⑥傾斜計測定 ^{6.13)}	⑦ボアホールカメラ ^{6.11)}
調査項目	杭長 杭配置	杭傾斜 切断位置	損傷位置・程度 杭長
試験概要	地盤のボーリング孔にセンサーを挿入し、鉄筋などの有無による磁気変化を測定する。	杭中空部に傾斜計を挿入し、杭の傾斜や損傷（切断）などを測定する。	CCDカメラなどを杭のボーリング孔に挿入して、ビデオなどに記録しながら杭内壁を観察する。
試験条件	<ul style="list-style-type: none"> ・杭に隣接して地盤に計測器を挿入するためのボーリング孔が必要。群杭に面して斜めのボーリング孔を設けると、杭位置の特定も可能。 ・地下埋設物が数多く点在する場合には測定が困難 	<ul style="list-style-type: none"> ・杭頭露出 ・杭中空部が空洞である（杭周固定液などが詰まっていない）こと 	<ul style="list-style-type: none"> ・ボーリング孔を空けられる、もしくは杭中空部が空洞である（杭周固定液などが詰まっていない）こと ・孔内を無水もしくは清水とできること
調査時間 [※]	1日	1日	1日
対象	鋼管杭 場所打ちコンクリート杭	既製コンクリート杭 鋼管杭	場所打ちコンクリート杭 既製コンクリート杭

※調査時間は、調査そのものの時間を示している。事前準備・段取り（ボーリング・コア抜きなど）時間、キャリブレーション等の時間は別途必要になる。

また杭の状態によっても大きく変化するので、それぞれの調査方法の資料を参考にする。原位置の状況や新たな調査法の開発などにより、この表に記した以外の試験方法を採用しても良い。

2) 代表的な健全性試験

a) 目視調査

調査項目：杭配置・杭頭深さ、杭径、配筋・かぶり厚さ、ひび割れ、腐食状況など

調査方法：掘削により杭頭の露出が可能な場合、設計図書を参考に杭心位置や杭頭深さを測定する。また、杭頭部の配筋状況（本数、ピッチ、鉄筋の腐食が問題ないレベルであることなど）や鋼管の腐食状況などを目視で確認し、必要に応じてスケールを用いて、鉄筋のピッチや最小かぶり厚さの測定を行う。測定結果をシートなどに記録し、保管する。

調査数の目安：全数調査を基本とするが、鉄筋のピッチやスケールを用いた最小かぶり厚さ測定などは必要に応じて調査数を決定する。

課題：調査位置は、掘削が可能な範囲（杭頭部）に限定される。

b) インテグリティ試験（IT 試験）

調査項目：杭長、損傷位置・程度

試験方法（原理）：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に低ひずみの衝撃弾性波を発生させる。波が杭体を伝播し、杭先端や損傷部などからの反射波を杭頭で測定することで、杭長および損傷位置と大まかな損傷程度を推定する。図 6.2 に IT 試験のシステム本体とテストハンマーを、図 6.3 に IT 試験の原理を模式図で示す。反射波は損傷位置以外に杭断面積が変化する部分や杭材

が変化する部分（既製コンクリート杭の継手など）でも生じる。

基礎スラブがある状態で建物内部から杭を調査する方法として、高周波衝撃弾性波に着目したインテグリティ試験がある^{6.15)}。一般的なIT試験と異なり、鋼製ハンマーで基礎スラブ等を打撃して反射波の到達時刻から距離を推測する方法である。従来、既存橋脚の形状探査に用いられていたが、最近は既存杭の損傷・杭長の調査に使われることがある。

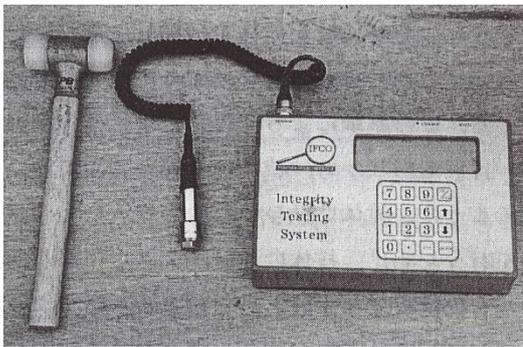


図 6.2 IT 試験の調査装置の本体と
テストハンマー^{6.14)}

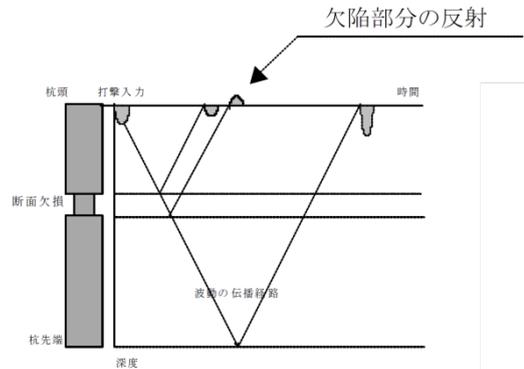


図 6.3 IT 試験の原理^{6.12)}

試験数の目安：全数調査が望ましいが、実施条件を考慮して設定。

特徴：杭頭で試験を実施することが可能である。簡易に、素早く評価することが可能である。

課題：解析には弾性波の伝播速度を仮定する必要があるが、これを求めるための杭材の縦弾性係数の設定の適不適が、杭長の推定など評価結果に影響を与える。

複数の損傷がある場合、下部の損傷からの反射波は検知しにくくなる。

ひび割れ幅など損傷程度の定量化にはまだ課題が多い。

調査精度に及ぼすその他の要因として、フーチングの存在や機器の設置場所、使用する機器の違いなどがある。これらに関しては、測定方法の事前検討や結果の補正などが必要となる。また、試験数や測定回数も調査精度に影響する。杭長が非常に長い場合は、減衰により明確な反射波が計測できない場合もある。

3) 健全性調査の課題

既存杭の健全性を評価する課題として、試験調査精度、試験数量、拡底形状の確認が挙げられる。以下では、試験調査精度と拡底形状の確認について述べ、試験数量については、(4)で詳述する。

a) 試験調査精度

杭の諸元や仕様など事前情報の有無が大きく試験精度に影響する。事前情報の不足を補うために試験を実施する場合にはブラインドテストとなることもあり、原位置状況と試験条件を照らし合わせて試験方法の選定や結果の評価方法を十分に検討する必要がある。特に実績の少ない試験方法を採用する場合には、研究成果などを参考に適用範囲などを設定するための事前調査が必要である。

b) 拡底形状の確認

アースドリル拡底杭工法が開発されて30年以上経過し、今後、拡底杭が再利用の対象になるケースが増えていくことが考えられる。そのため、所定の拡底形状で杭が造成されているかを確認することは重要な健全性調査となる。杭の断面形状を確認する調査方法としては、ボアホールソナーの利用が考えられる^{6.16)}。

(3) 支持力調査

1) 調査項目と試験方法の概要

調査項目：杭の鉛直支持力、沈下、杭の水平抵抗

調査方法：載荷試験により既存杭が有する支持力や荷重－変位関係を確認する。

調査数の目安：載荷試験を行った事例では1～2本としたものがほとんどである。

杭の鉛直支持力ならびに水平抵抗力を確認するための載荷試験には、表 6.3 に示す方法がある^{6.17),6.18)}

試験法としては、押し込み載荷試験が最も信頼性が高く望ましい。押し込み試験では基本的に反力杭や反力桁などが必要であり、費用が高額になることが多い。載荷時間は数時間以上要するのが普通である。

表 6.3 支持力調査の試験方法一覧

調査方法	試験基準
杭の押し込み載荷試験	JGS 1811-2002
杭の引抜き載荷試験	JGS 1813-2002
杭の急速載荷試験	JGS 1815-2002
杭の衝撃載荷試験	JGS 1816-2002
杭の水平載荷試験	JGS 1831-2002

急速載荷重試験は、重錘落下の打撃力を軟クッション材を介することで、載荷時間を延ばして杭頭に載荷する軟クッション重錘落下方式(図 6.4)などがある。反力杭や反力桁などの装置を必要とせず、狭隘な場所でも試験が可能である。その分、押し込み試験に比べ費用は安い。載荷時間は0.05～0.2秒程度のことが多く、動的効果が入るので補正を必要とするが、杭の荷重－沈下関係を直接得ることができる。軟クッション材の使用により、載荷時間として載荷による弾性波が杭体を5往復程度する時間を確保できるため、杭体に引張り応力が生じない。このことから、コンクリート杭など杭体の引張り耐力が小さい杭でも適用が可能である。一方、重錘落下を行うので、載荷に伴う振動が大きく、採用に当たっては近隣への影響を事前に検討する必要がある。杭長が非常に長い場合は必要な載荷時間が長くなり、クッション材の工夫では対応できず、後述の衝撃載荷試験と同じく振動解析が必要になる場合もある。

衝撃載荷試験は、杭頭付近にひずみ計と加速度計を取り付け、杭頭をモンケンなどで打撃した際の波形から波動解析により杭の支持力を求めるものである。載荷時間が0.01～

0.02 秒と短いため、杭体には引張応力が発生することから、鋼管杭など引張耐力が大きく打撃が可能な杭が主な対象となる。引張応力によりひび割れの生じる可能性がある場所打ちコンクリート杭に適用する場合は注意が必要である。急速載荷試験と同じく、載荷に伴う振動が大きいため、採用に当たっては近隣への影響を事前に検討する必要がある。

載荷試験における最大載荷荷重は、試験目的や試験杭の諸元、試験に用いた杭を再利用するか否かなどを勘案して決める。

水平載荷試験は、試験方法としては静的水平載荷試験^{6.18)}が一般的である。水平力に関しては基本的に杭頭付近の地盤性状で挙動が決まるので、既存杭で試験を行う必要性は比較的小さい。

現在までに報告されている文献によれば、既存杭利用に際して行った支持力調査は押込み試験が最も多く、次いで急速載荷試験が多く実施されている。水平載荷試験、衝撃載荷試験も少数ではあるが実施されている。引抜き試験について実施した事例はみられない。

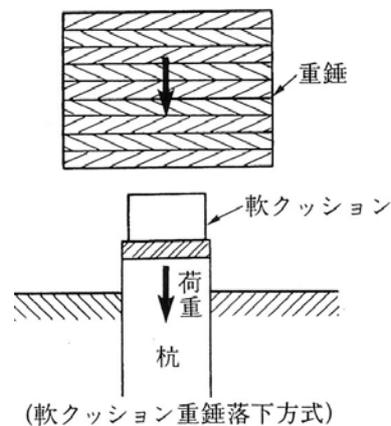


図 6.4 急速載荷試験方法^{6.17)}

2) 試験の評価方法

押込み試験においては、試験により得られる杭の長期許容支持力 (R_a) を地盤工学会基準等を参照して決定する^{6.17),6.19)}。

急速載荷試験では、計測値に静的抵抗成分の他に杭体の慣性力や地盤との粘性抵抗による動的抵抗成分が含まれるため、静的抵抗成分の荷重-変位量関係については、履歴減衰の抵抗因子を考慮した簡易マッチング法と除荷点法による評価^{6.19)}や1質点剛体振動モデルなどによる推定^{6.20)}が行われている。

3) 支持力調査の課題

載荷試験に際して、試験方法や計測計画の詳細は地盤工学会の基準に基づくのが一般的である^{6.17)}。いくつかある試験方法の選定や試験数については、既存図書による情報、工事の状況(敷地条件、工期、コストなど)や試験目的を考慮して決定する必要がある。特に試験数については、コストや工期に影響することから、十分な検討が必要である。また、拡底径の大きい場所打ちコンクリート拡底杭は支持力が極めて大きいため、載荷試験が事実上困難であるという課題がある。

(4) 試験数量

試験数量の決定に関しては、明確な根拠がないのが現状である。品質確保の面からは目視調査、インテグリティ試験などが比較的簡単に行える条件であれば健全性調査は全数調査が望ましいが、書類調査等の結果や実施条件を考慮して、試験数量を決定する必要がある。初版の改定にあたり、数量決定に資することを目的として、既存杭利用事例 40 件を対象に、本章で挙げた各調査の実施状況を集計・分析した（詳細は付録 1・2 を参照）。そのうち実施件数が多かった、耐久性調査（コンクリート圧縮強度試験、コンクリート中性化試験、鉄筋目視、鉄筋引張試験）、および健全性調査（杭頭目視、インテグリティ試験）の 6 試験について、調査数量の実態を図 6.5 に示す。ここでは事例を利用形態で 3 つに分類している。(a)圧縮強度試験、(b)中性化試験については、利用形態によらず全数の 10%程度である。(c)鉄筋目視、(e)杭頭目視、(f)インテグリティ試験については、杭のみ再利用する場合は全数調査しているが、地下躯体も再利用する場合は事例により差がある。(d)鉄筋引張試験については、利用形態によらず数量は少ない。

以上の実態を踏まえた調査数量の目安を表 6.4 に示す。耐久性調査のうち、コンクリートの圧縮強度や中性化深さについては、実績を確認して初版と同じ値（全数の 10%かつ 2 本以上、6 試料以上）とした。鋼管や杭体鉄筋の強度については、JIS 等材料の証明があることを前提に、確認のため 1 本以上実施することが望ましい。鋼管や杭体鉄筋の腐食といった耐久性の項目、杭径・配筋・有害なひび割れ有無・杭長といった健全性の項目については、基本は全数調査が望ましいが、地下躯体も再利用する場合は、調査可能な範囲など実施条件を考慮した上で、躯体の損傷が最小になるように調査数量を設定する。支持力調査については、必要に応じて実施する。また、数量は決して多くはないが、前記試験と同様に比較的よく実施される試験として、全長コアボーリングがある。採取したコアの観察や圧縮強度試験により杭全長に渡ってコンクリートの状態を確認できるほか、コア孔を利用してボアホールソナーやボアホールカメラといった調査も可能で、採取したコアやコア孔を利用して計測したヤング係数を用いてインテグリティ試験の伝播速度の較正も行うことができるため、積極的に実施することが望ましい(6.8), (6.21)など。

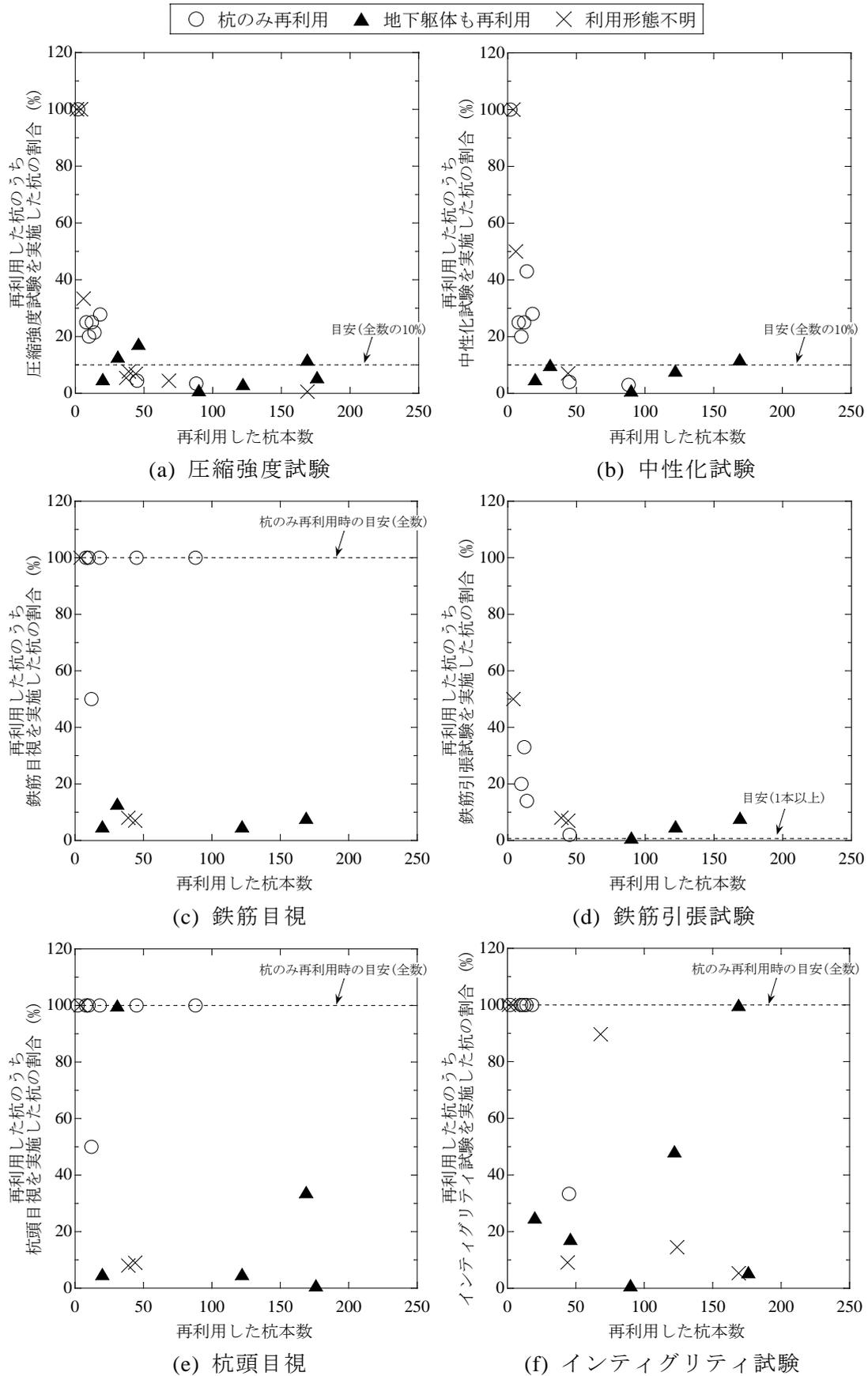


図 6.5 再利用した杭のうち調査を実施した杭の割合

表 6.4 調査数量の目安

調査目的	調査対象	調査内容	対象となる杭種			調査数量の目安
			場所打ち コンクリート杭	既製 コンクリート杭	鋼管杭	
耐久性	杭体	コンクリートの圧縮強度	○	—	—	全数の 10%以上かつ 2 本以上 (6 試料以上)
	コンクリート	コンクリートの中性化深さ	○	—	—	全数の 10%以上かつ 2 本以上 (6 試料以上)
	鋼管	強度	○	○	○	JIS 等材料の証明があることを前提に、確認のため 1 本以上が望ましい
		腐食量	○	○	○	全数が望ましいが、実施条件を考慮して調査数量を決定
	杭体鉄筋	強度	○	—	—	JIS 等材料の証明があることを前提に、確認のため 1 本以上が望ましい
		腐食度	○	—	—	全数が望ましいが、実施条件を考慮して調査数量を決定
健全性	杭頭部	位置、杭径	○	○	○	全数が望ましいが、実施条件を考慮して調査数量を決定
		配筋、かぶり厚さ、鋼管厚さ	○	○	○	全数が望ましいが、実施条件を考慮して調査数量を決定
		ひび割れ、剥離、変形等	○	○	○	全数が望ましいが、実施条件を考慮して調査数量を決定
	杭体	連続性、断面変化	○	○	○	全数が望ましいが、実施条件を考慮して調査数量を決定
		杭長	○	○	○	全数が望ましいが、実施条件を考慮して調査数量を決定
支持力	杭体 (及び地盤)	杭の鉛直支持力	○	○	○	必要に応じて実施
		杭の引抜き抵抗力	○	○	○	必要に応じて実施
		杭の水平抵抗力、水平地盤反力	○	○	○	必要に応じて実施

【参考文献】

- 6.1) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，p.403，2001
- 6.2) 河本慎一郎、辰濃達、富田菜都美、石崎定幸、渡邊徹、長尾俊昌、原順：超高層建物における既存場所打ち杭の再使用に関する調査，その1～3，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），B-1，pp.463-468，2013
- 6.3) 辻大二郎、黒田泰弘、小林利充、鹿毛忠継、榊田佳寛、清水昭之、親本俊憲、陣内浩：既製コンクリート杭の化学的浸食試験（その3 試験材齢18ヶ月における検討），日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），B-1，pp.379-380，2014
- 6.4) 国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所プロジェクト研究報告 No.4 住宅・社会資本の管理運営技術の開発，p.135，2006
- 6.5) 児島理士、勝ニ理智、藤井達、奥村豪悠、若井修一、青木雅路：築造後30年の場所打ちコンクリート杭の掘出し調査 その1～2，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），B-1，pp.565-568，2017
- 6.6) Osaki, Y. : Corrosion of Steel Piles Driven in Soil Deposits, Research Reports 81-04, Dept. of Architecture, Tokyo Univ., 1981
- 6.7) 皿井剛典：GoTEN（孔内局部載荷試験）を用いたコンクリート構造物の劣化調査・診断事例，基礎工，Vol.42，No.7，pp.91-93，2014
- 6.8) 建設省土木研究所，梶谷エンジニア：磁気探査を用いた橋梁基礎の形状調査法マニュアル（案），1999.3
- 6.9) 加倉井正昭：既存杭利用の発想の経緯と再利用における調査内容および調査技術，基礎工，Vol.39，No.2，pp.17-22，2011
- 6.10) 阿部秋男：杭体の健全性試験の動向、基礎工、Vol.41、No.8、pp.22-25、2013
- 6.11) 椿原康則、阿部秋男、山下清：場所打ちコンクリート杭の形状調査技術－ボアホールソナーの試適用一，日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸），B-1，pp.501-502，2002
- 6.12) 建築研究所：国土交通省総合技術開発プロジェクト「建設事業の品質管理体系に関する技術開発」報告書（建築分野編），付録-5.1 杭の健全性試験実施マニュアル，2001
- 6.13) 桂豊、社本康広、谷口勝利：兵庫県南部地震で被災した杭基礎の変形調査（その1：杭の傾斜測定装置），日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），B-1，pp.587-588，1996
- 6.14) 日本建築構造技術者協会：杭の工事管理チェックリスト，pp.77-78，1998
- 6.15) 永井哲夫、中村敏明、永野賢司：高周波衝撃弾性波法による杭基礎の健全性調査，地盤工学会誌，Vol.61，No.8，pp.26-29，2013
- 6.16) 椿原康則、阿部秋男、山下清：ボアホールソナーによる場所打ち杭の形状調査，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），B-1，pp.527-528，2004
- 6.17) 地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説〔第一回改訂版〕，2002
- 6.18) 地盤工学会：杭の水平載荷試験方法・同解説〔第一回改訂版〕，2010
- 6.19) 浦山千明、阪井由尚、沼上清、矢島淳二、三浦正悟：既存打込みPCパイルの再利用例，基礎工，Vol.33，No.4，pp.43-45，2005
- 6.20) 山下清、椿原康則、加倉井正昭、高橋賢司：深礎杭に対する急速載荷試験の実施例，基礎工，Vol.24，No.8，pp.94-97，1996
- 6.21) 檜原泰史：場所打ち杭の再使用事例，基礎工，Vol.39，No.2，pp.37-41，2011

7. 再利用に向けた杭の計画と記録の保管

前章までは過去に施工した既存杭を利用する場合について述べてきたが、現在施工している杭の再利用を検討する頃には状況を変えることが可能である。図 7.1 に示すように将来の資源循環型社会においては、既存杭を極力利用するなど既存の地下構造を継続的に利用して省資源と地盤環境の保全を図っていくことが望まれる。このような社会において、これから新設される杭を再利用しようとする際の検討が容易となるように、必要となる検討項目に対してあらかじめ配慮しておくことを提案したい。例えば、書類調査に対しては設計図書や施工記録を保管し引継ぐことで、また、杭の調査に対しては健全性や耐久性に対して計画時に配慮することなどで再利用しやすくなる。本章では、今後計画される杭が次世代において円滑に再利用されるために、その計画・施工段階、建物供用時において配慮すべき項目や残すべき記録とその保管・引継ぎ方法について示す。

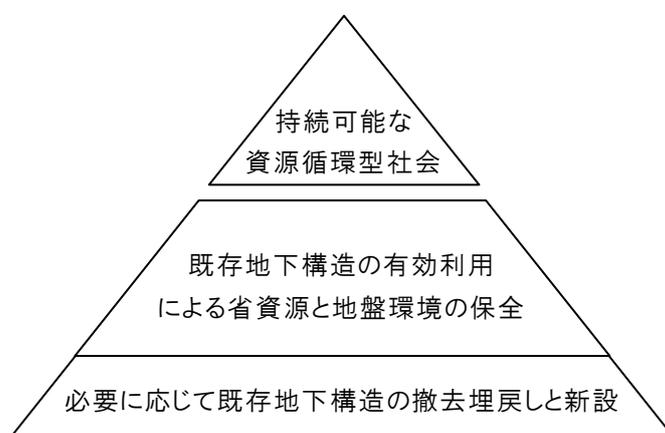


図 7.1 資源循環型社会を支える地盤と地下構造の持続的な利用

（1）新設杭計画時の配慮事項

計画時にはこれから新設する杭を将来再利用しやすいようにその性能や健全性、耐久性に対して配慮することが望まれる。

①支持性能に対する配慮

これから新築する建物に対して、将来の建替後の建物の規模が大きくなった場合や、同規模の建物であっても設計地震力が大きくなるなどした場合、耐力余裕度が少ないと鉛直荷重に対しては増杭、水平荷重には杭頭に特別な処置を要するなど、既存杭利用のメリットが少なくなる。基礎構造に対する要求性能レベルを高くするなど、耐力余裕度の高い杭を設計しておくことで、建替時に再利用方法の幅が広がり、構造計画が容易になる。

②耐久性に対する配慮

一般に地盤中の杭はコンクリートの中性化や鋼材の腐食等の劣化の進行度合いが気中比べて少ないことから過去に施工された杭の再利用が可能となっている。再利用時の耐久性をより確実にするために、耐久性の高い材料や調合のコンクリートを使用したり、鋼材の腐食代を多めに見込むことが考えられる。

また、地盤の化学的な性質等を調査して、材料の劣化が懸念される場合には、使用材料に配慮したり、防蝕を施したりすることで耐久性を確保することができる。コンクリートの場合は、土壌の pH、塩化物塩、硫酸塩による劣化、中性化に留意する必要がある。鋼材は土壌の比抵抗、酸素供給量、pH、バクテリア、化学的成分（炭酸ガス、亜硫酸ガス、硫化水素、アンモニア、塩化物塩、硫酸塩）、迷走電流が影響し腐食しやすくなる。

③特記仕様書での施工記録の指定

後述するように杭の再利用の検討において施工記録は重要である。杭の再利用にとって特に重要な施工記録を確実に残すために、その管理項目と頻度を設計図書に特記事項として明記しておくことが有効である。

（2）再利用に有用な記録

既存杭の調査は抜き取り調査となることが多いが、杭施工時において個々の杭の健全性を示す記録を残していれば、再利用時にも杭の健全性に対する信頼度が向上する。また、建物供用時に発生した事象の記録が残っていれば、再利用可否の検討時の参考情報となる。これら再利用の検討に有用な記録を示す。

①施工時の記録

a) 場所打ちコンクリート杭

場所打ちコンクリート杭のコンクリート打設後にその正確な形状を把握することは現在の技術では難しく、コンクリート打設前の孔壁測定結果が杭の出来形に最も近い情報となる。現状、試験杭では必ず孔壁測定を実施しているものの、その他の杭における孔壁測定の頻度は設計者の判断に委ねられているのが実情である。将来、杭の再利用を促進するためには、設計図書の特記事項に記載して、杭全数の孔壁測定を行い、記録を残しておくことが望ましい。

b) 既製コンクリート杭、鋼管杭

根固め部の実強度を全杭に対して把握することは現実的には難しいため、現時点では未固結採取試料の強度試験の頻度を増やすことが望まれる。また、プロセス管理の妥当性を裏付ける施工管理記録の作成・保管を確実に行う。

継ぎ杭の場合には、所定の杭位置に所定の杭材が建て込まれたことを、個々の杭の施工時に確認してそのまま記録として残すことで、再利用時にその杭全体の構成を確認することができる。そのためには第三者から見て信頼性の高い記録方法の検討が必要である。また、杭材のトレーサビリティとして製造工場まで遡ることは稀と考えられるが、それが可能であることが示されれば、打設された杭の信頼性向上につながると考えられる。

c) 杭頭部の出来形測定記録

杭頭部の位置、出来形の測定記録や施工誤差の許容値を上回った場合の処置の記録は、再利用を検討する際に信頼できる杭位置や杭頭部の出来形の情報となるため、杭の施工記録とともに保管しておく。

d) 竣工時の基礎レベルの測定

既存杭の支持性能を評価する際に、既存建物が健全に支持されてきたことが不同沈下の状況などから判断できれば、既存建物の設計軸力程度の支持性能を有していることの実証となる。その際、既存建物の不同沈下をより正確に評価するために、竣工時に最下階等において柱位置などにレベル測定のポイントを設け、初期値を測定して記録、保管しておくといふ。

②建物供用時の記録

建物供用期間中の記録としては、杭の健全性を直接にモニタリングすることが考えられる。杭のモニタリング技術については近年の大地震による被害を受けて技術開発の機運が高まりつつあり、現状の課題（検知された損傷が杭性能に及ぼす影響の評価、継続使用／補修の可否の判断、補修による性能回復の評価等）を解決できる計測・評価・対策をセットにした技術開発が望まれる。

杭のモニタリングに比べると、供用時の建物や敷地周辺に関する情報を記録することは現状でも可能である。建物引き渡し後のこととなるので元請施工会社から建築主に対して、記録すべき事象とその意義を十分に説明して記録の作成・保管を依頼することが必要となる。以下に、供用時に記録すべき項目とその記録から得られる情報を合わせて示す。

- ・ 建物の改修、増築、維持補修 : 建物荷重、振動特性の変化
- ・ 不同沈下等の不具合、地震被害 : 杭の損傷、沈下特性
- ・ 周辺の開発状況、地中構造物の新設 : 施工による地盤の緩み状況
- ・ 地盤環境（地下水位の変遷等） : 地中の杭の養生条件、塩害
- ・ 建物の微動観測 : 構造性能の経年劣化（杭の損傷を含む）

（3）図書・記録の保管・引継ぎ方法

将来の杭の再利用時に設計図書や杭の施工管理記録が利用できれば、多くの調査をせずとも杭の性能を生かした設計が可能である。ここでは、新築時の設計図書や施工記録が、その建物が取り壊されるまでの長期間にわたって保管され引継がれるための方策を示す。

① 保管・引継ぐべき図書・記録

保管して引継ぐべき設計図書、施工記録を表 7.1 に示す。同表では、杭の再利用を計画する上で必須の図書・資料、杭の設計上の性能・品質を確認できる図書・資料、杭の施工の妥当性を確認できる記録、及び個々の杭の品質を裏付ける記録に分類して示した。杭の施工状況の記録は、施工管理チェックシート等に記録されて、杭の施工報告書一式に含まれるものとした。受入検査記録や材料の強度試験結果、元請のみで行う施工管理の記録は杭の施工報告書とは別の記録となる場合があるので、個々に記載している。ここに示した施工記録まで

保管、引継がれていれば、再利用時の調査は耐久性等の確認を目的とした調査に限定でき、調査数量の合理的な削減につながると考えられる。

② 保管期間

杭の再利用を行うには図書や記録が建物の存続期間にわたって保管、引き継がれることが必要であるが、法規上、図面、構造計算書は作成から15年間、完成図は引渡しから10年間で、それ以上の保存義務はない。平成17年の国土交通省告示第468号^{7.1)}は、元請で基礎ぐいの施工記録を保存することとしているが、保存期間は各社で定めることとなっている。その後策定された一般社団法人全国建設業協会による「基礎杭工事の施工における全建自主ルール」^{7.2)}では、埋込み工法による既製コンクリート杭工事を対象として、施工記録の保存期間を瑕疵担保期間以上、建物解体までの期間とすることが望ましいとしている。これらに対応して元請施工各社では、他の杭工法も含めて杭の施工報告書の保存期間を建物解体までか永久保存扱いとしている場合が多いと思われる。しかし、施工報告書以外の施工管理の記録まで含まれているとは限らず、これらが逸散してしまう恐れがある。したがって、前述の保管・引継ぐべき施工記録についても、その保存期間を建物解体までか永久保存扱いとして、施工報告書と一緒に保存することが必要である。

③ 長期保存技術

工事図書や施工記録等の長期保存方法については、電子データの長期保存のための国際規格であるISO 11506に準拠したデジタルマイクロフィルム技術が実用化されている^{7.3)}。電子データをデジタルイメージ化し、マイクロフィルム等とデジタル媒体に並行作成（二重記録）することで、証拠価値と利便性を備えた長期の保存・管理を行うことができる。既に、竣工図書を電子化及びデジタルマイクロフィルム化する情報管理サービスが利用可能となっており、利用している施工会社もある。

④ 図書・記録の保管・引継ぎ方法

a) 元請による保管

元請施工会社では、作業所で作成される文書は竣工時にデジタルデータ化され、社内外のデータサーバーで保管されている。保管の対象が杭の施工報告書のみとなっている場合はこれに加えて、先に挙げた保管・引継ぐべき図書・記録も永久保存する。

b) 建築主による保管

建築主が図書・記録を保管していれば、前施工の元請に限らずそれらを利用でき、杭の再利用を広く進めるうえでは都合がよい。建築主にとっても将来物件のコスト抑制の一助となりうることから、建築主に対して図書・記録の長期保管を竣工時に依頼する。建築主側で情報が行方不明となったり、図面関係のみ保管されて施工記録の情報が破棄されたりしないように、図面だけでなく、施工管理情報も一体となった形としてデジタルデータとともに建築主に引き渡すことが重要である。また、土地建物の売却時には、購入者に図書・記録一式を引き渡すように、注意喚起しておくことも必要である。

表 7.1 保管・引継ぐべき図書・記録

性質	種別	図書・資料・記録
杭の再利用を計画する上で必須の図書・資料	建築確認関係	・検査済証（中間検査・完了検査）
	図面関係	・杭の位置、仕様、使用材料を特定できる図面（竣工図が望ましい） 杭伏図、基礎伏図、杭断面図、杭・基礎リスト
杭の設計上の性能・品質を確認できる図書・資料	図面関係	・設計図面一式
	地盤調査関係	・ボーリング（土質）柱状図、地層断面図 ・地盤調査報告書一式
	構造計算関係	・基礎の設計 ・構造計算書一式 ・評定資料、大臣認定資料
杭の施工の妥当性を確認できる記録	施工記録	・杭の施工報告書一式 （施工管理チェックシート等の施工状況の記録を含む） ・工事監理者検査記録
個々の杭の品質を裏付ける記録	施工記録 【共通】	・杭頭検査記録（杭心実測値等）、不具合対応記録 ・載荷試験の記録（ある場合）
	施工記録 【場所打ち（鋼管）コンクリート杭】	・鉄筋、鋼管の受入検査記録 ・鉄筋、鋼管のミルシート、鉄筋のタグプレート ・鉄筋籠配筋検査記録 ・支持層深さと土質標本との整合確認記録 ・超音波孔壁測定記録 ・安定液、泥水の管理記録 ・スライム処理の実施記録 ・コンクリート打設管理記録 ・コンクリート強度試験成績書
	施工記録 【既製コンクリート杭】	・既製コンクリート杭の受入検査記録 ・鋼管のミルシート ・支持層深さと土質標本との整合確認記録 ・杭毎の使用杭材製造番号の記録 ・継手の施工管理記録 【打撃工法】 ・打止め管理記録 【埋込み工法】 ・注入液の配合、プラント計量記録、流量計の記録 ・施工管理装置（電流値、積分電流値等）の記録 ・注入液の強度試験成績書 ・未固結採取試料の強度試験成績書
	施工記録 【鋼管杭】	・鋼管杭の受入検査記録 ・鋼管杭のミルシート ・使用施工機械諸元 ・杭毎の使用杭材製造番号の記録 ・継手の施工管理記録 【打撃工法】 ・打止め管理記録

性質	種別	図書・資料・記録
		<p>【埋込み工法】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 注入液の配合、プラント計量記録、流量計の記録 ・ 施工管理装置（電流値、積分電流値等）の記録 ・ 注入液の強度試験成績書 ・ 未固結採取試料の強度試験成績書 <p>【回転貫入工法】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 施工管理装置（回転トルク、押込み力等）の記録

【参考文献】

- 7.1) 国土交通省告示第 468 号
- 7.2) 一般社団法人全国建設業協会：基礎杭工事の施工における全建自主ルール，2016.4
- 7.3) 社団法人日本建設業連合会：建築工事における書類・図面の電子化／保存ガイドライン（第2版），2012.3

8. 既存杭利用事例

ここでは、既存杭の利用事例として、付録1-1概要の付表1.1にある40事例の内から場所打ちコンクリート杭の建物に関して5件（アースドリル工法、深礎工法、オールケーシング工法）、既製コンクリート杭の建物に関して2件（PC杭）、杭頭接合方法の例について1件紹介する。初版の改定に伴い、事例番号5～8を追加した。表8.1に各事例の特徴となる項目についての一覧を示す。

また、各事例のより詳細な説明については、上記の付表に記載がある引用元となる文献より参照されたい。

表 8.1 各事例の特徴

事例 番号	付表 1.1 事例 No.	杭種	新築 規模 増減	現地調査・試験				設計			
				健全性	耐久性	支持力	備考	鉛直力 負担	水平力 負担	終局時 検討	備考
1	6	場所打ち コンクリート杭	12F 増	○	○	×		○	○	—	
2	5	場所打ち コンクリート杭	10F —	○	○	○	急速載荷 試験	○	×	—	沈下性状の 検討
3	10	場所打ち コンクリート杭	10F 増	○	○	○	急速載荷 試験	○	○	○	沈下性状の 検討
4	8	既製 コンクリート杭	—	○	—	○	急速載荷 試験	○	×	—	
5	15	既製 コンクリート杭	4F 増	○	○	×	杭の曲げ 試験	○	○	×	
6	29	場所打ち コンクリート杭	22F 増	○	○	×		○	×	○	超高層
7	37	場所打ち コンクリート杭	23F 増	○	○	○	鉛直載荷 試験	○	○	○	超高層 沈下予測 杭頭半剛接合
8	25	場所打ち コンクリート杭	9F 増	○	○	×		○	○	○	杭頭半剛接合

註 ー:不明

(1) 利用事例－1^{8.1)}

新設建物	: 事務所・マンション複合ビル (地上 12 階・地下 1 階・竣工 1994 年)
既存建物	: 倉庫 (地上 7 階・竣工 1974 年)
建設地	: 東京都
既存杭	: 場所打ちコンクリート杭 (アースドリル工法)
杭本数	: 既存杭 58 本 (再利用 45 本)、新設杭 45 本
調査項目と方法および数	: 表 1.2 参照

建設地は図 8.1 に示すように軟弱な粘性土が厚く堆積している。既存杭解体は、地盤変状の発生、鉄筋やコンクリート等産業廃棄物の増量をもたらすため既存杭利用を検討した。建築主は既存杭利用に理解を示し、検査済証・設計図書・施工写真一式を設計者に提供した。なお、既存建物を設計・施工した建設会社は新設建物の設計者が所属する建設会社と異なる。

基本設計の段階で建築主事等に説明し、数回の折衝を経て既存杭利用の承認を得た。この時に、①新設建物の構造計画、②既存杭の調査計画書、③既存建物の検査済証、④既存杭施工工事写真集を提出している。

杭諸元を表 8.2 に、杭伏図を図 8.2 にそれぞれ示す。既存杭と新設柱との平面位置が異なるため、厚さ 1.8m の耐圧盤で柱軸力を受けることにした。鉛直支持力及び水平支持力がバランスよく分布するように、新設杭を配置した。

既存建物設計時における既存杭の長期許容鉛直支持力は 3.8MN、長期軸力は 3.2MN であった。既存杭利用にあたり、長期許容鉛直支持力を 3.2MN と安全側に低減した。この支持力低減によって、既存杭の品質低下が既存杭調査で確認された場合にも対応できると設計者は判断した。また、新設杭の長期許容鉛直支持力は、既存杭と同じ 3.2MN とした。

既存杭は鉛直力だけでなく剛性比に応じて水平力も負担させた。既存杭の杭頭処理は、主筋をはつり出して耐圧盤へ 40d (d は主筋径) 定着させた。使用しない既存杭は図 8.3 に示す杭頭処理を行った。

既存杭の調査計画を表 8.3 に示す。既存建物が他社施工であるので、設計者としては既存杭全数を調査したかったが、工期の制約があったため、早期に解体・掘削される領域にある既存杭 (図 8.4 参照) を集中的に調査した。全長コアボーリングはインティグリティ試験の検証データとして用いる杭長確認の他に、杭先端地層、杭体コンクリートの充填性・ひび割れ等の確認も行なった。新設建物の杭頭レベルは既存建物より深いので、利用する全既存杭で杭頭確認を実施した。なお、既存杭 2 本を選び、鉄筋の形状・寸法・位置等を詳細に計測した。中性化試験はフェノールフタレイン溶液を杭頭に噴霧する方法によった。

表 8.2 杭諸元

	既存杭	新設杭
杭径(m)	1.4	1.4
杭頭深度⇔杭先端深度(GL-m)	3.0⇔17.2	8.2⇔17.2
主筋	18-D35	18-D29
杭頭部フープ筋	19φ-@200	D13-@150

表 8.3 既存杭調査計画

目的	部位	内容	数量	調査した既存杭*
健全性	杭長	全長コアボーリング	1本	ア
		インテグリティ試験	15本	ア、イ、ウ、オ
	杭頭	鉄筋本数、かぶり等	45本	利用する全既存杭
		鉄筋径、鉄筋間隔等	2本	ウ
耐久性	コンクリート	圧縮強度試験	2本(12試料)	ア、イ
		中性化試験	2本(2試料)	ウ
	鉄筋	引張り試験	1本(3試料)	エ

* 調査した既存杭は図 8.4 に記号を記載して示す

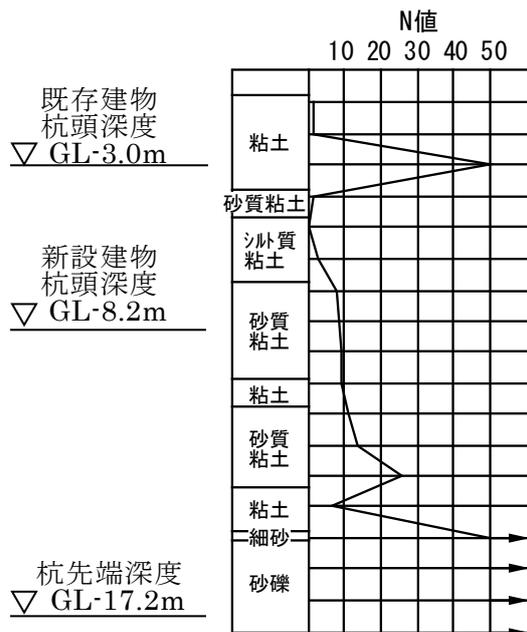


図 8.1 土質柱状図

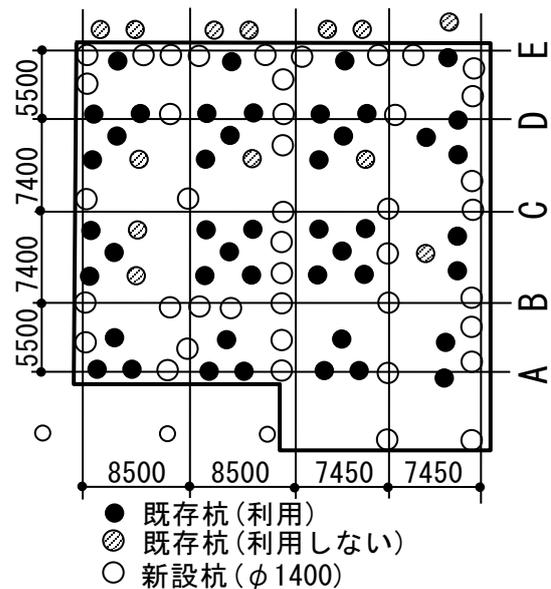


図 8.2 杭伏図

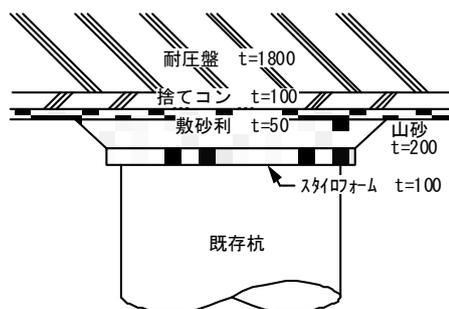


図 8.3 使用しない既存杭の杭頭処理

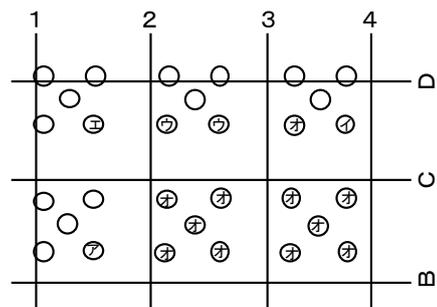


図 8.4 調査した既存杭

(2) 利用事例－2^{8.2)}

新設建物 : 事務所ビル (地上 10 階・地下 3 階・竣工 1995 年)

既存建物 : - (竣工 1972 年)

建設地 : 東京都

既存杭 : 場所打ちコンクリート杭 (深礎工法)

杭本数 : 既存杭 14 本 (全数再利用)、新設杭 8 本

調査項目と方法および数 : <1994 年調査>

- ①健全性・杭長 インティグリティ試験 →14 本(全数)
 全長コアボーリング →3 本
- ②耐久性 (杭頭部) コンクリートの中性化試験 →6 本
 コンクリートの圧縮強度試験 →3 本(18 試料)
 鉄筋の引張り強度試験 →2 本(6 試料)
- ③支持力 (沈下剛性) 急速載荷試験 →既存杭 1 本、新設杭 1 本

本建物の基礎は、既存杭に新設杭を増打ちして、柱に対する杭の偏心に対処するため全ての杭頭を厚さ 1.4m のマットスラブで一体化した構造である。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全て負担できるものとした。既存杭の利用にあたり設計が建築主事等と調整した上で健全性・耐久性・支持力の調査試験を行った。建築主事等から杭の載荷試験を促す指導は特に無かったが、既存杭は新設杭より沈下剛性が大きいことが考えられ、既存杭利用の初期の物件で研究的観点から設計者側の提案として、通常の鉛直載荷試験より簡易な急速載荷試験 (スタナミック試験) を各 1 本の杭に対して実施した。その結果、本建物では長期許容支持力レベルにおける杭径を考慮した既存杭の沈下剛性は、新設杭と差がないことが判明した。なお、インティグリティ試験は、調査時に全ての杭頭が露出した状態にあったので、全数調査を行っている。

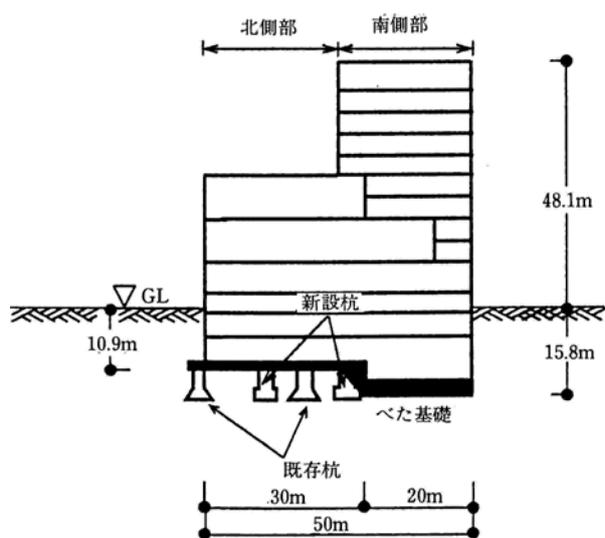


図 8.5 新設建物概要

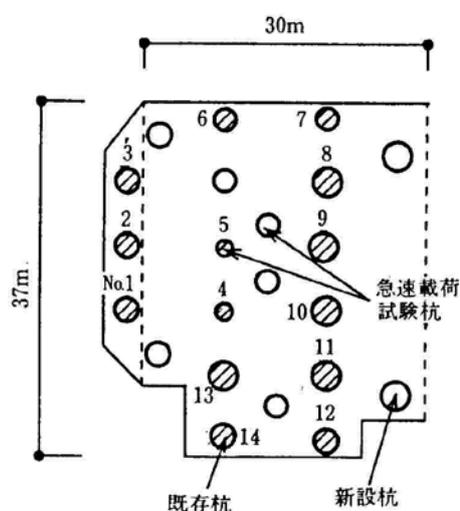


図 8.6 杭配置図

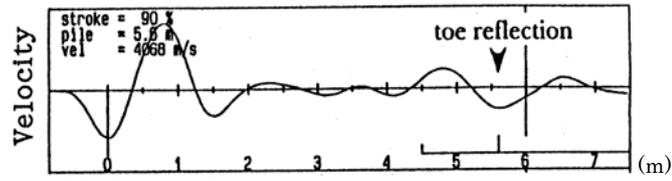
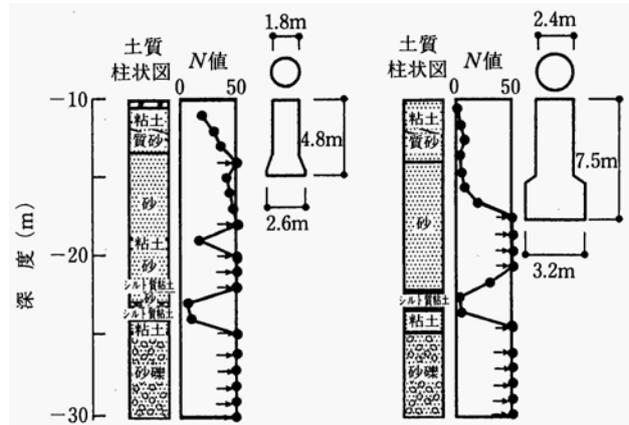


図 8.7 インティグリティ試験結果



図 8.8 急速載荷試験状況



(a)既存杭

(b)新設杭

図 8.9 地盤・杭概要

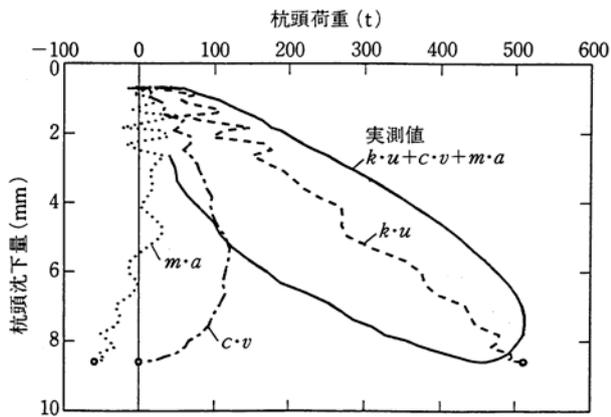


図 8.10 急速載荷試験結果
(既存杭の荷重-沈下関係)

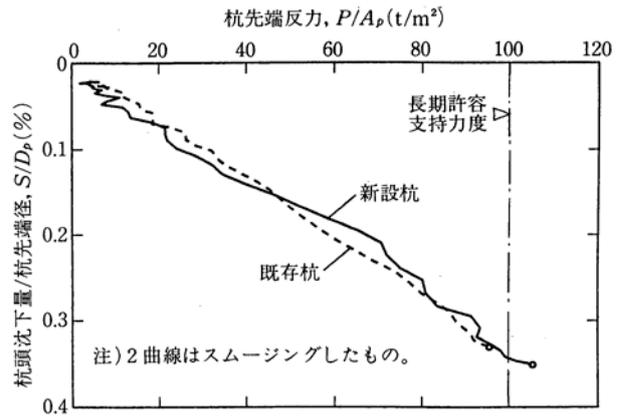


図 8.11 急速載荷試験結果
(推定された静的挙動)

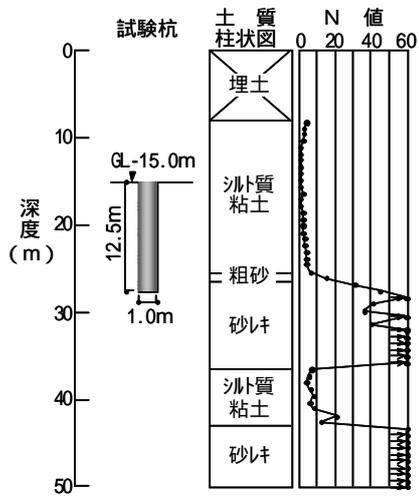


図 8.14 地盤・杭概要

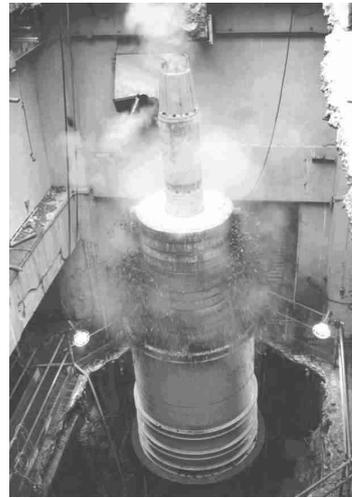


図 8.15 既存杭の急速载荷試験状況
(1,000、杭長 12.5m、杭頭ハル GL-15m)

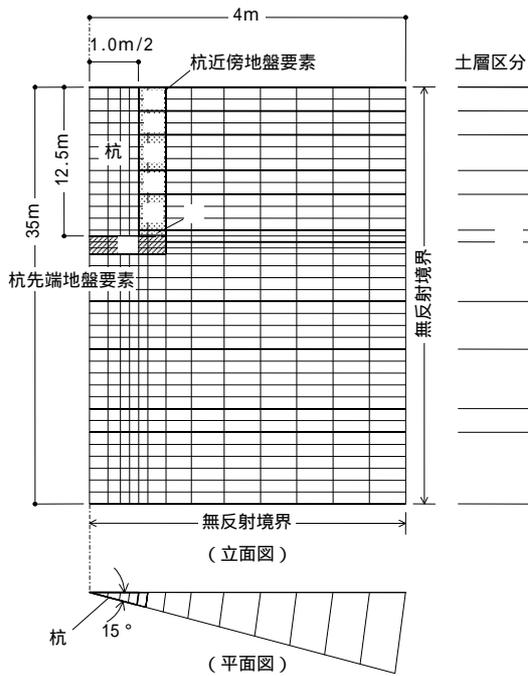


図 8.16 FEM モデル図

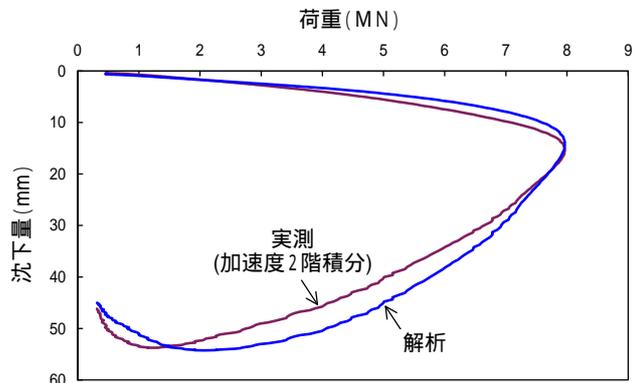


図 8.17 シミュレーション結果

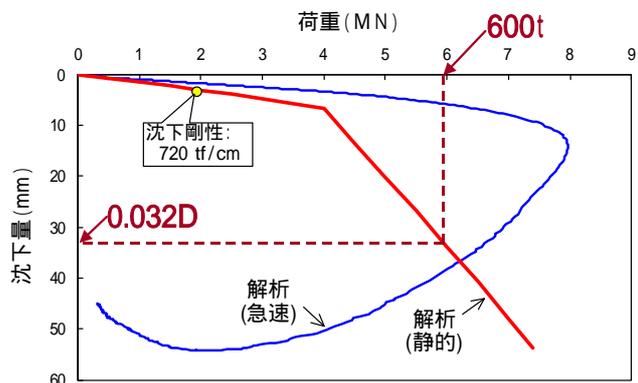


図 8.18 推定された荷重～沈下曲線
(設計支持力：600t)

(4) 利用事例－4^{8.4)}

新設建物 : 工場 (竣工 1999 年)
 既存建物 : - (竣工 1970 年~1979 年)
 建設地 : 茨城県
 既存杭 : 既製コンクリート杭 (PC 杭)、
 杭本数 : 既存杭 1,328 本 (全数再利用)、
 新設杭 (場所打ちコンクリート杭: φ 1,200) 279 本

調査項目と方法および数 : <1997 年調査>

- ①健全性・杭長 インテグリティ試験→2本 (施工年: 1970年、1979年)
 ……杭頭側面より軽打
- ②支持力 (長期設計支持力) 急速載荷試験 →既存杭 2 本 (同上)

本建物 (工場) は、既存建物の施工年が複数のブロックにわたる、平面的に大規模なものであり、建物重量は既存と新設でほぼ同等である。新設建物における既存杭の地震時変動軸力はかなり小さいものと推定された。既存杭利用に当たっての調査・試験に関しては、基本的には設計者側からの提案が採用されたが、既存杭 (PC 杭) の杭頭部の定着鉄筋が貧弱なため、水平耐力は全て新設杭を打設して負担させるように建築主事等から指導を受けた。既存のパイルキャップおよび基礎梁はそのまま残し、その上にマットスラブを敷いて基礎全体を一体化したので、上部構造解体に伴う既存杭への影響は殆ど無いと考えられる。既存杭の長期設計支持力を確認するために、施工年の最も古い既存杭と最も新しい既存杭で急速載荷試験を行った。載荷は 4 本群杭のパイルキャップ上から行っており、群杭効果による支持力低下も考慮されたものとなっている。

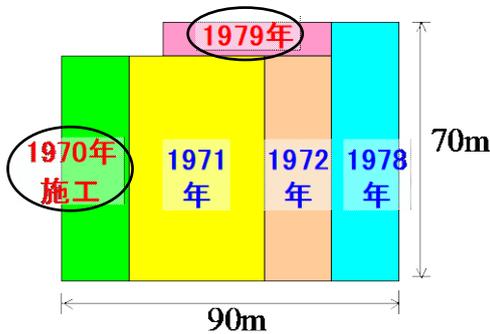


図 8.19 施工年による区分け
 (○ : 調査杭の施工年)

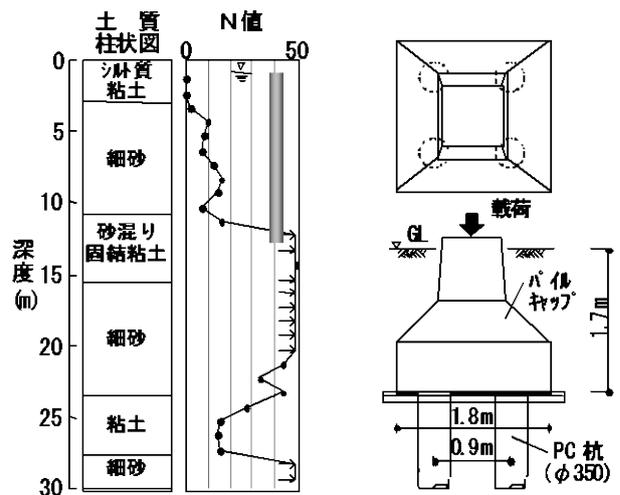


図 8.20 地盤・杭概要

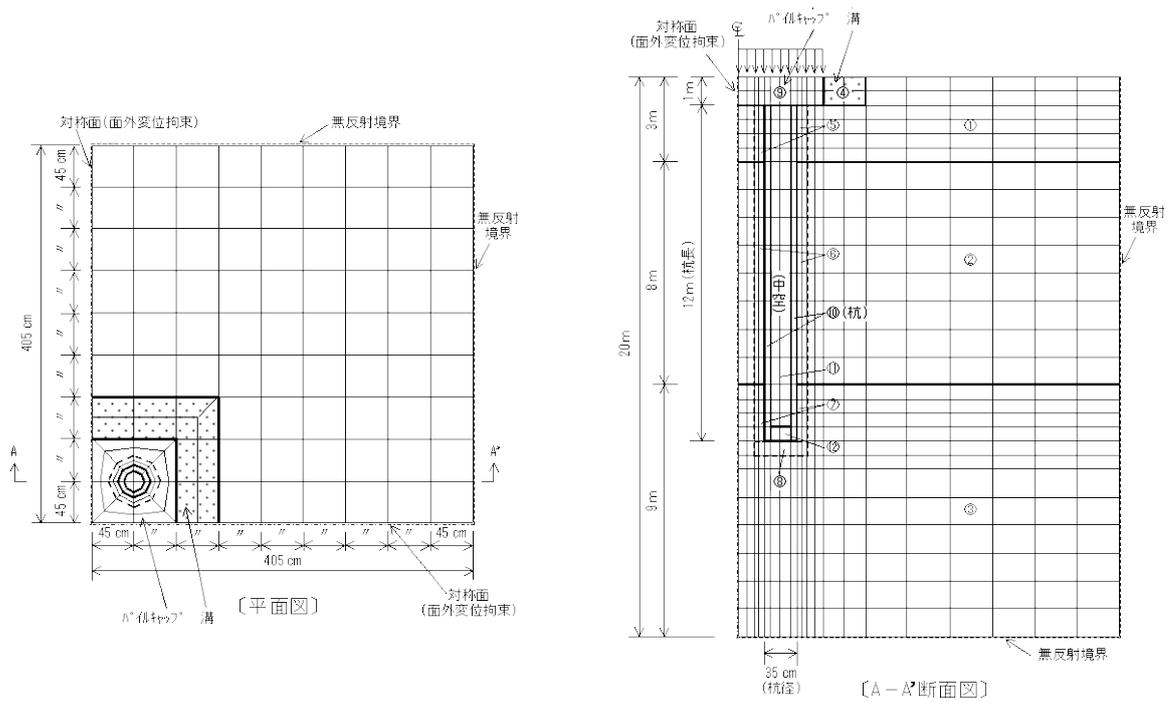


図 8.21 FEM モデル図 (1/4 モデル)

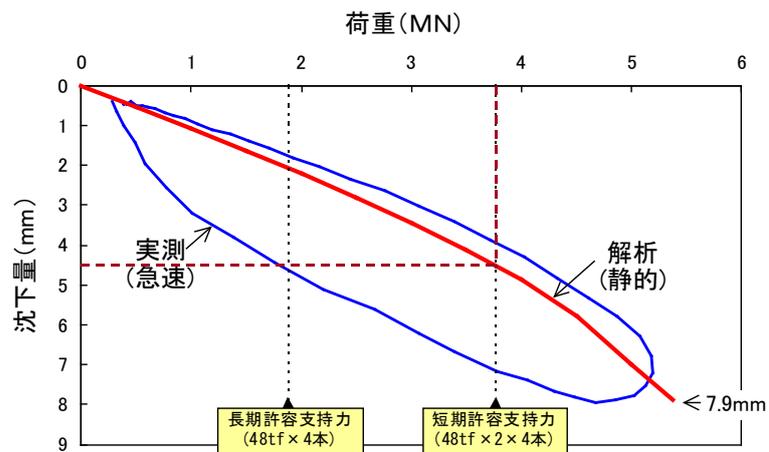


図 8.22 推定された荷重～沈下曲線 (4 本群杭)

(5) 利用事例－5^{8.5)}

新設建物 : 包装工場 (S造・地上4階・竣工2004年)

既存建物 : 製缶工場 (S造・地上1階・竣工1983年)

建設地 : 神奈川県

既存杭 : 既製コンクリート杭 (PC杭)

杭本数 : 既存杭 583本 (再利用分)

調査項目と方法および数 :

- | | |
|------|----------------------------|
| ①健全性 | 目視調査 → 41本 |
| | インテグリティ試験 → 21本 |
| ②耐久性 | コンクリートの中性化試験 → 12本 |
| | コンクリートの圧縮強度試験 → 3本 (12供試体) |
| | 杭の曲げ試験 → 3本 |
| | PC鋼棒の引張強度試験 → 2本 (6供試体) |

本建物は、既存の基礎を最大限に利用するために、既存の柱スパンを考慮した計画のものである。また、杭だけでは無く基礎も含めて再利用する計画がなされている。

再利用するにあたって、設計図書の調査を行い、再利用が可能であるか判断している。今回は、杭施工記録の最終打撃時の貫入量・リバウンド量を確認し設計支持力が満足しているかを判断している。健全性の調査では、目視調査およびインテグリティ試験を行っている。また、施工記録との照合のため杭を掘り出している。耐久性の調査では、掘り出した杭にて中性化試験・圧縮試験・杭の曲げ試験 (図 8.25) と PC 鋼棒の引張強度試験を行っている。ここでの調査対象杭は、再利用をしない基礎で調査を行っている。また、鉛直載荷試験については施工記録により鉛直耐力は問題無いと判断し行っていない。杭の曲げ試験結果 (図 8.26、図 8.27) より、剛性・耐力ともに規格値とほとんど差が見られず、使用上問題ないと判断している。設計上の配慮として、試験にて既存杭が規格値と同等以上の耐力があることを確認した上で、杭の性能のばらつきを考慮し、設計用耐力を 30% 低減している。また、既存建物から規模が増大することによる地震時の既存杭の安全性に対しては、1階の床をフラットスラブ構造とし新設杭を配置することにより、既存杭に作用する地震時の応力が設計用耐力以下となるよう計画している。

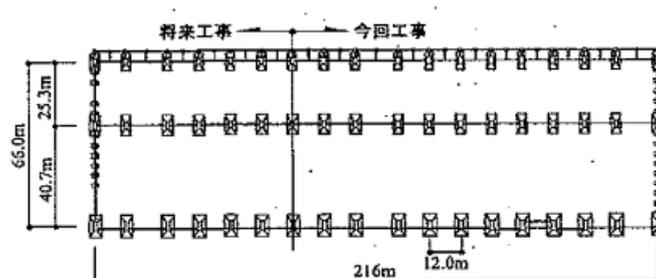


図 8.23 既存基礎部伏図

表 8.4 調査項目・目的方法

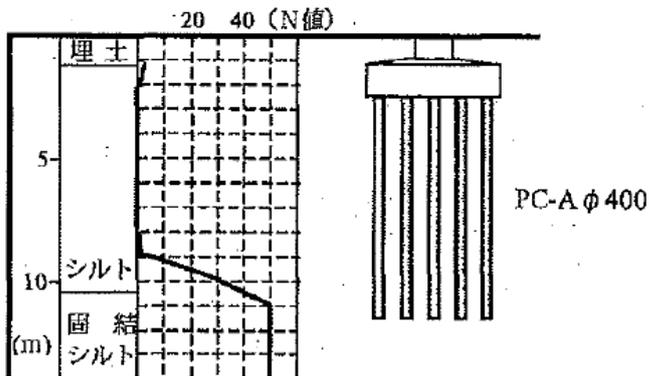


図 8.24 地盤と既存杭の状況

調査項目	調査目的	調査方法
① 中性化試験	耐久性能の確認	フェノールフタレンを噴霧した。
② 圧縮強度試験及びヤング係数測定試験	物理的性能の確認	杭よりコア(φ50×100)を採取し、JISに準じて実施した。
③ PC鋼材の引張試験		杭より採取したPC鋼材をJISに準じて実施した。
④ 曲げ試験		引抜き杭の曲げ試験をJISに準じて実施した。尚、有効プレストレス量をひずみゲージにより、簡易的に測定した。

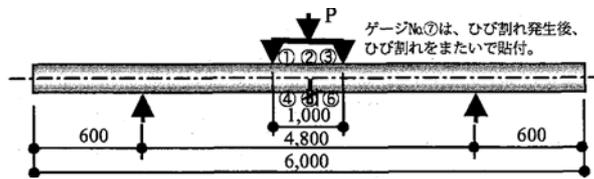


図 8.25 曲げ試験の载荷方法

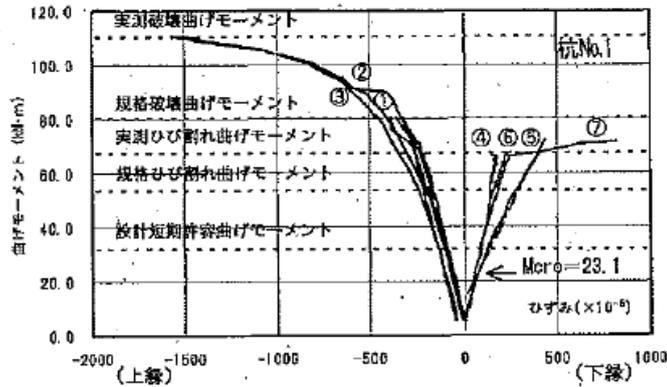


図 8.26 曲げモーメント-ひずみ線図

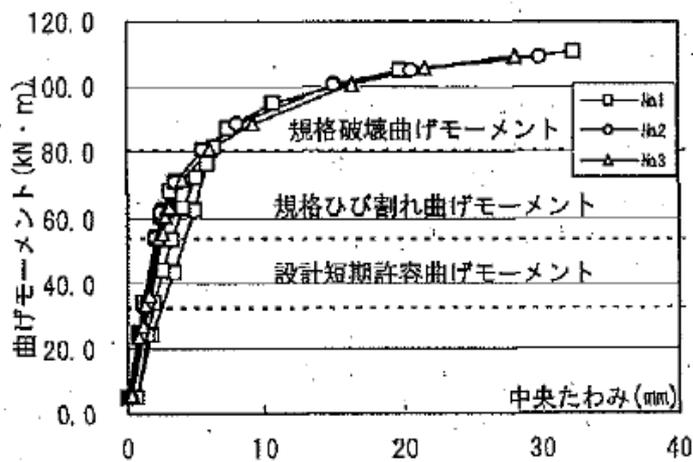


図 8.27 曲げモーメント-中央たわみ線図

(6) 利用事例－6^{8.6)}

新設建物 : 事務所、共同住宅 (S 造(CFT)・地上 22 階、地下 1 階・竣工 2008 年)

既存建物 : 事務所 (SRC 造・地上 11 階、地下 1 階・竣工 1972 年)

建設地 : 東京都

既存杭 : 場所打ちコンクリート杭 (アースドリル工法)

杭本数 : 既存杭 36 本 (再利用 12 本)、新設杭 18 本

調査項目と方法および数 :

- | | |
|----------|----------------------------|
| ① 健全性・杭長 | 杭の位置・形状確認調査 →6 本 |
| | インテグリティ試験 →13 本 (再利用杭は全数) |
| ② 耐久性 | コンクリートの圧縮強度試験 →3 本 (9 供試体) |
| | コンクリート中性化試験 →3 本 (3 供試体) |
| | 鉄筋腐食度調査 →3 本 (3 供試体) |
| | 鉄筋引張強度試験 →4 本 (21 供試体) |

超高層建物の基礎計画に際して、既存杭を避けて新設杭を配置することを原則としているが、密集する既存杭の状況を踏まえて、工期短縮および環境配慮の目的から、一部の既存杭を利用している事例である。

図 8.28 に新設建物基準階伏図・軸組図を、図 8.29 に既存杭と新設杭の配置を示す。表 8.5 に新設建物の杭の設計クライテリアを示す。利用する既存杭は鉛直圧縮力のみを負担し、地震時水平力および引抜き力はすべて新設杭にて負担する計画としている。したがって、既存杭の鉄筋は新設躯体に接続していない。ただし、既存杭は建物の地震時変位に伴う強制水平変位を受けても鉛直支持力の保持が可能であることを確認している。ここで「鉛直支持力の保持が可能」とは、杭頭部分に曲げヒンジが生じたとしても杭中間部にはヒンジが生じないこと、かつせん断破壊が生じないことである。既存杭の耐力算定に用いる材料強度は、コンクリートの圧縮強度を 50%とし、鉄筋の引張強度を 80%として検討している。当該敷地の地盤状況を既存杭・新設杭の姿図とともに図 8.30 に示す。地震時の引抜き力に抵抗する新設杭では、支持層に深く貫入して引抜き抵抗を確保している。

表 8.6 に既存杭の調査項目・内容・数量を示す。調査は既存建物地下躯体解体後、新設建物の床レベルまで掘削が完了した時期に行っている。再利用する杭の約半数は既存フーチングを残す状態であったため、インテグリティ試験以外の調査は主として再利用しない杭で実施している。インテグリティ試験は、露出した杭頭にて実施しているが、杭頭が露出しない箇所については、図 8.31 に示すように既存フーチング上面から杭頭まで削孔した孔底で実施している。また、打撃方法はハンドハンマーによる軽打を基本としているが、打撃方法の違いによる差異を確認するため、スプリングの反発力を利用したオートハンマーも併用している。採用した弾性波速度は、健全な場所打ちコンクリート杭の一般的な値である 3,800m/sec と設定している。図 8.32 にインテグリティ試験波形を示す。インテグリティ波形は、既存杭 T-9 (b) を除いて既存杭 T-1(a)のように先端反射波がほぼ同深度で確認されている。ハンドハンマーとオートハンマーによる顕著な差異も確認されていない。一方、既存杭 T-9 では先端反射が明確ではなく、深度 3m 付近に中間反射が確認され、以深においても繰返し反射が認められることから、当該杭の健全性に疑問があると判断し、追加調査で健全性が高いと判断された隣接既存杭を利用することに設計変更して対応している。

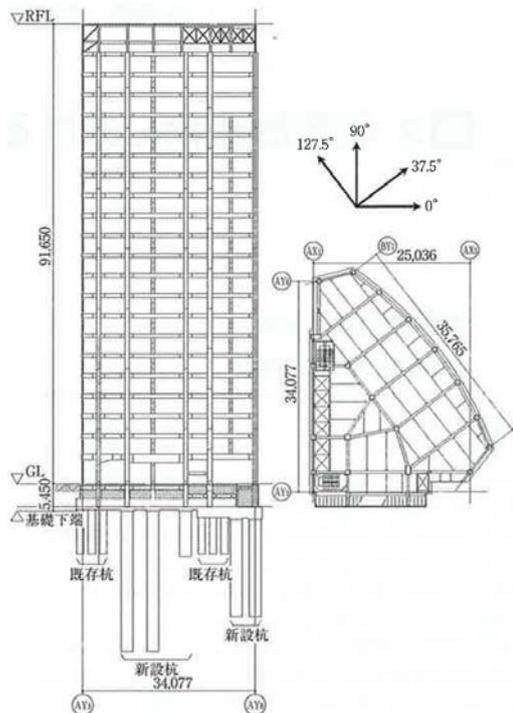


図 8.28 新設建物基準階伏図・軸組図

表 8.5 杭の設計クライテリア

	長期	レベル 2 地震時	
		支持力	水平力
新設杭	長期支持力	圧縮: 極限支持力以内	曲げ・せん断・終局耐力以内
		引抜: 極限引抜抵抗力以内	
既存杭	以内	圧縮: 極限支持力以内	負担しない
		引抜: 負担しない	ただし、鉛直支持力保持性能のみ検討

表 8.6 既存杭の調査項目・内容・数量一覧

調査項目	調査内容	調査数量	備考
杭の位置・形状確認調査	杭径, 鉄筋本数, ピッチ, かぶり厚さの実測	6 本	再利用する杭 2 本, 再利用しない杭 4 本
コンクリート圧縮強度試験*	杭頭-1.0m 部分よりコンクリートコアを採取, 圧縮強度の確認	9 試料	3 試料/杭 (再利用しない杭 3 本)
コンクリート中性化試験	フェノールフタレイン溶液噴霧後目視確認	3 ケ所	1 ケ所/杭 (再利用しない杭 3 本)
鉄筋腐食度調査	杭頭をはつり, 鉄筋を目視確認	3 ケ所	1 ケ所/杭 (再利用しない杭 3 本)
鉄筋引張強度試験*	杭頭よりサンプルを採取, 主筋・帯筋の引張強度の確認	主筋: 9 試料 帯筋: 12 試料	再利用する杭 2 本, 再利用しない杭 2 本
健全性調査	IT による杭体健全性の確認, 杭長の推定 (参考)	12 本+1 本	再利用する杭すべて

*材料試験は公的機関で行った。

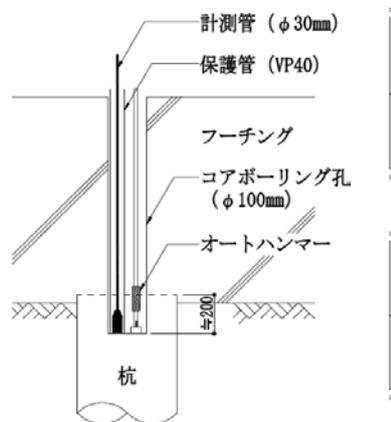


図 8.31 ボーリング孔内でのインティグリティ試験概要

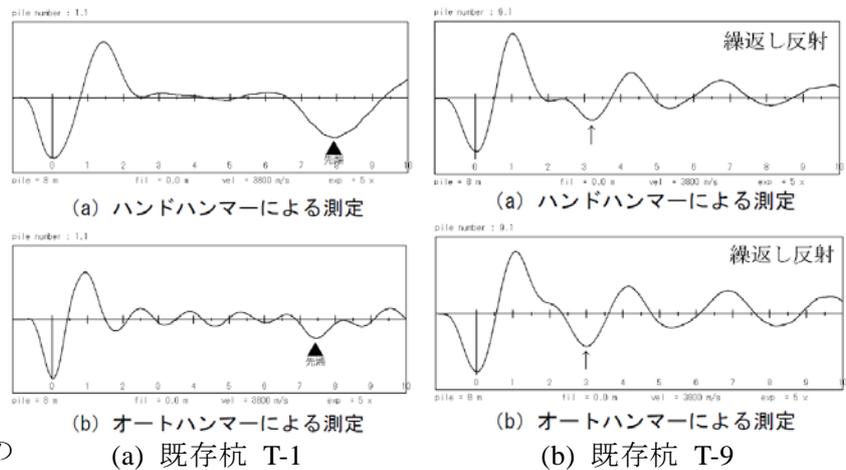


図 8.32 インティグリティ試験波形

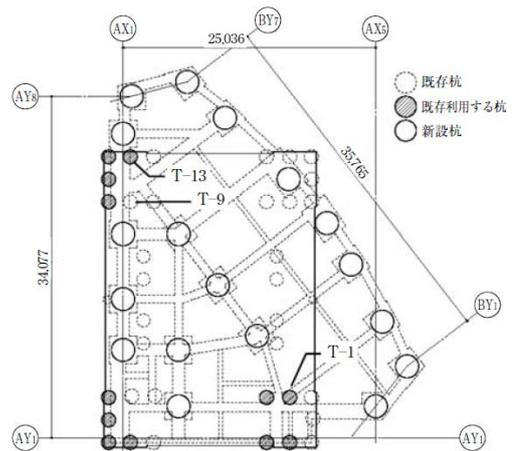


図 8.29 既存杭と新設杭の配置

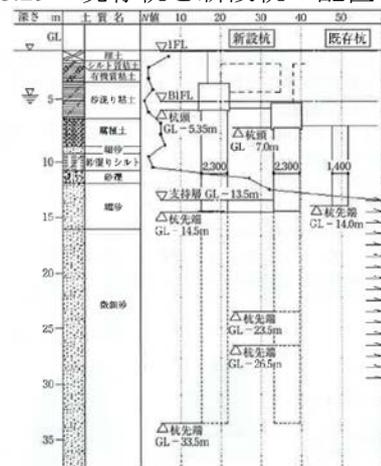


図 8.30 地盤状況と杭姿図

(7) 利用事例－7^{8.7)}

新設建物 : 事務所・教育施設・店舗 (図 8.33 参照・竣工 2013 年)
既存建物 : 事務所 (S 造+SRC 造・地上 18 階・地下 3 階・塔屋 2 階・竣工 1983 年)
建設地 : 東京都
既存杭 : 場所打ちコンクリート杭 (オールケーシング工法)
杭本数 : 既存杭 236 本 (再利用 169 本)、新設杭 99 本
調査項目と方法および数 : <2009 年調査>

- | | |
|-------------|--|
| ①健全性・杭長 | インテグリティ試験 →169 本(再利用杭全数)
全長コアボーリング →2 本 |
| ②耐久性 (杭頭部) | コンクリートの中性化試験 →18 本
コンクリートの圧縮強度試験 →18 本
鉄筋の引張強度試験 →11 本 |
| ③支持力 (沈下剛性) | 押し込み試験 →既存杭 2 本 |
| ④その他 | 検査済証、既存設計図書等の確認 |

新築建物は旧建物を上回る規模となるため、既存杭に加えて新たな杭を施工し、新築杭と既存杭により建物を支持する基礎構造である。また、同建物の直下には 2 本の地下鉄が運行しており、既存杭の利用は施工コスト削減、工期短縮、環境負荷軽減のほか、既存杭撤去による地下鉄への影響を防止するなどのメリットを有している。

規模増大により既存杭への荷重増加が予測されるため、事前に既存杭の性能について鉛直載荷試験を含む詳細な調査を行い、実施設計に反映できる工程で計画されている。解体前に既存図書等により既存杭が適切に設計・施工が行われたこと、最下階の外壁のひび割れ調査や床レベル計測により、杭の沈下による不同沈下が発生していないことを確認し、解体中および解体後に健全性・耐久性・支持力の各種調査を行っている。

設計方針として、既存杭の利用を想定した基礎計画を行い、既存杭と新築杭の両者が鉛直、水平力共に負担する方針である。杭が負担する水平力を軽減するため、免震や軽量コンクリートの採用により作用荷重の低減を図り、既存杭への水平力分担を低減するため、既存杭に杭頭半剛接合を適用し、新築杭には剛接合としている。杭頭接合部のディテールを分けることで、既存杭には全水平力の 1/3 程度しか負担させなかった。支持力について、鉛直載荷試験の結果とコンクリートの設計基準強度から決まる支持力を比較し、また性能評価機関との協議にて経年劣化による低減を考慮したものを設計用支持力と定めている。地震時の検討について、設計クライテリアを表 8.9 に示す。損傷限界時および安全限界時の検討を実施している。安全限界時の終局耐力に対する余裕度は曲げ・軸力共 1.2 以上、せん断 1.5 以上 (図 8.36) を確保している。図 8.37 に解析モデルを示す。地盤バネは群杭による水平地盤反力係数の低減を考慮し、既存杭の杭頭は半剛接合であるため、回転ばねを設定している。その他、群杭効果によって沈下量が大きくなると考えられるため、基礎の沈下検討を行っている。図 8.38 より高層部エリアで沈下量が大きくなるが、過大な不同沈下は生じないこと、設計クライテリア(1/1500)を満足することが確認されている。

再利用による環境負荷軽減の観点から CO₂ 排出量の試算を行っている。本計画と全て新築杭にて計画した場合を比較した結果、本計画の CO₂ 排出量は全て新築杭で計画した場合の約 1/2 になると試算されている。

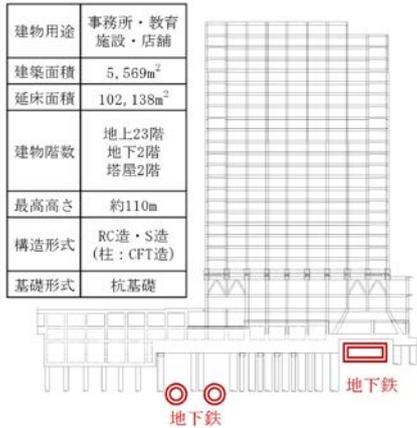


図 8.33 新築建物概要

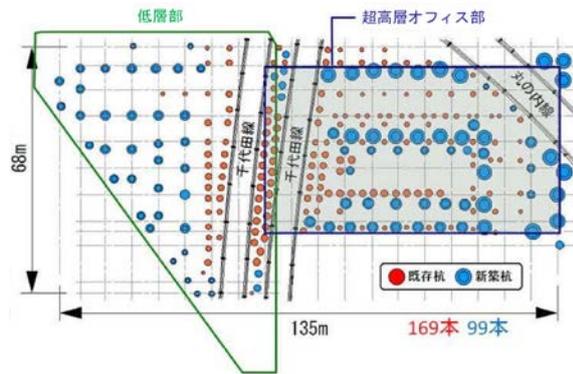


図 8.34 杭配置図

表 8.7 既存杭の仕様

杭種	場所打ちコンクリート杭 ベント工法 (オールケーシング工法)
先端形状	直杭 (非拡底)
杭径	φ1000 ~ φ2000 (7種)
杭先端深度	GL-45m
杭本数	236本
杭施工年	1980年 (2009年調査時で約29年経過)

表 8.8 新築杭の仕様

杭種	場所打ちコンクリート杭 アースドリル工法 (一部、オールケーシング工法)
先端形状	拡底杭 (一部、直杭)
杭径	φ1200 (1700) ~ φ2800 (4400) (7種)
杭先端深度	GL-45m
杭本数	99本

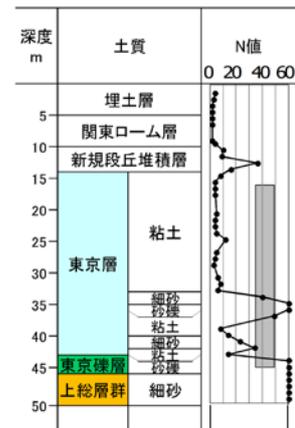


図 8.35 地盤概要

表 8.9 設計クライテリア

損傷限界の検討	安全限界の検討
稀に発生する地震動 CB=0.11 K=0.2	極稀に発生する地震動 自由地盤変形を累加 CB=0.165, K=0.3
短期許容耐力以内	終局耐力に対する 安全余裕度 曲げ・軸力 1.2以上 せん断 1.5以上

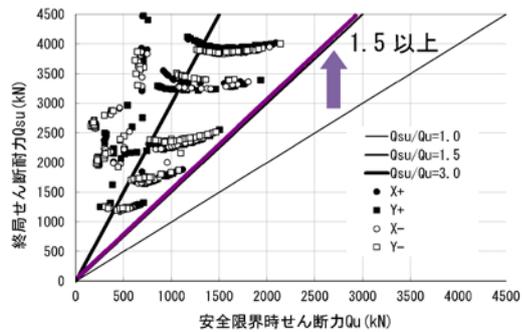


図 8.36 既存杭の安全限界時余裕度

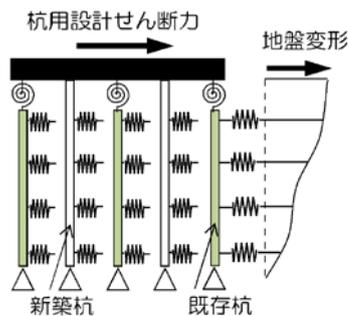


図 8.37 解析モデル

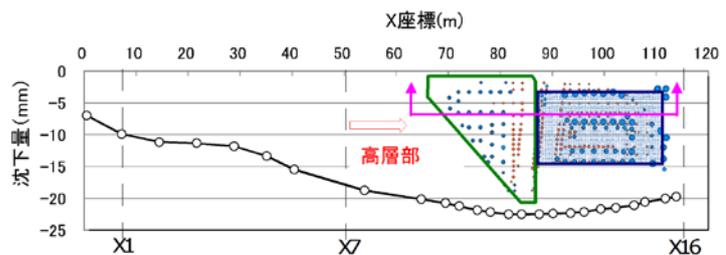


図 8.38 基礎の沈下分布

(8) 利用事例－ 8.8)

新設建物：事務所兼倉庫 (RC造・地上9階・竣工2007年)

既存建物：事務所兼倉庫 (RC造・地上5階・竣工1978年)

建設地：東京都

既存杭：場所打ちコンクリート杭 (アースドリル工法)

杭本数：既存杭10本 (再利用分)、新設杭16本

調査項目と方法および数

- | | |
|------------|------------------------|
| ①健全性・杭長 | 目視・インテグリティ試験 →10本 (全数) |
| ②耐久性 (杭頭部) | コンクリート圧縮試験 →2本 (6供試体) |
| | コンクリート中性化試験 →2本 (6供試体) |
| | 鉄筋引張強度試験 →2本 (6供試体) |
| ③支持力 | 既存設計図書・現行評価式で評価 |

新築建物は、地上5階建ての建物を支持していた杭 (既存杭) と新設杭を併用し、地上9階建ての建物を支持しようとする基礎構造である。(図 8.39～40 参照)

既存杭の調査としては、耐久性・健全性調査を実施し、支持力と水平耐力に関しては既存設計図書や現行設計式で評価されている。調査の結果、既存杭の杭長は想定内であり (図 8.41 参照)、有害な劣化や損傷は生じていないと判断できたため、既存杭を新築建物に再利用しても問題ないと判断されている。

大きな設計方針として、既存杭には圧縮力と水平力のみを負担させ、引張力は負担させないことにされている。鉛直方向の検討では、杭沈下ばねと上部構造との一体解析により、各杭に作用する長期・短期の軸力が許容値以下であることが確認されている。また、地盤ばねと杭・基礎梁を連成したハイブリット法に基づく沈下解析を実施し、長期的に作用する荷重に対して基礎に有害な損傷を与える沈下は生じないと判断されている。

水平方向の検討では、既存・新設杭共に地震時の損傷低減を目的として、杭頭半剛接合が採用されている。杭頭半剛接合では、杭頭接触面の面積調整により、新設杭に既存杭よりも多くの水平力が作用するように調整されている。更に、大地震時の検討では、地震時慣性力の他に地盤変位による荷重も考慮して検討が行われている。(図 8.42 参照) 検討の結果、参考として示されている杭頭剛接合の場合と比較して、杭頭半剛接合を採用したことにより、杭頭部の曲げモーメントが低減され、許容値以下に抑えられていることが確認されている。

(図 8.43 参照)

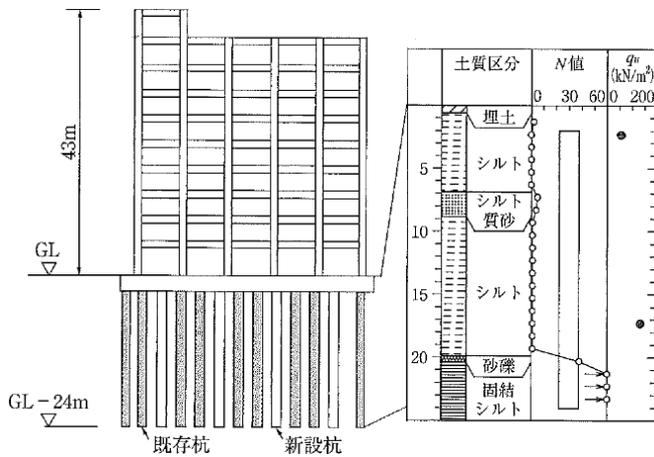


図 8.39 建物および地盤の概要

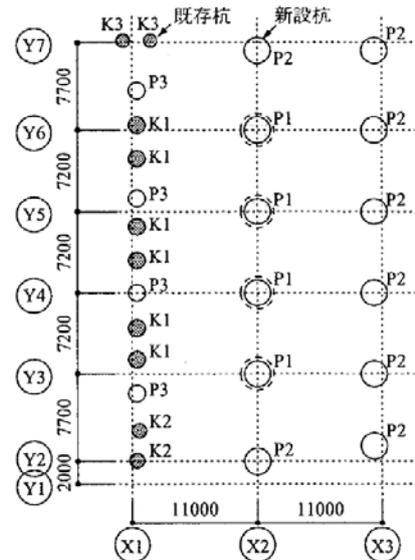


図 8.40 杭伏図

表 8.10 杭リスト

種別	杭符号	軸部径 (mm)	先端径 (mm)	主筋			フープ				
				径・鋼種	本数			径・鋼種	ピッチ (mm)		
					上部	中間	下部		上部	中間	下部
新設杭	P1	2300	2900	D32 (SD390)	52	52	42	U12.6 (SBPD1275/1420)	125	125	250
	P2	2300	-		48	48	38		125	125	250
	P3	1500	-		32	32	28		125	125	250
既存杭	K1	1500	-	D25 (SD295)	28	14	14	D16 (SD295)	150	300	300
	K2	1300	-		22	11	11		150	300	300
	K3	1200	-		20	10	10		150	300	300

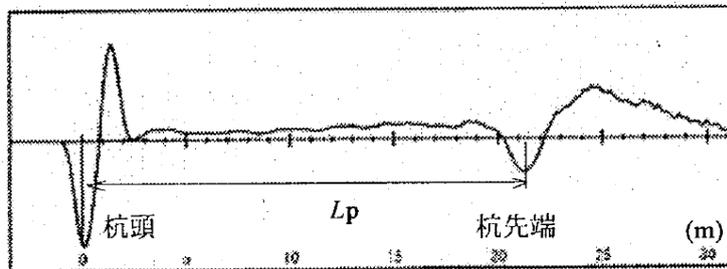


図 8.41 健全性調査結果の一例 (インティグリティ試験)

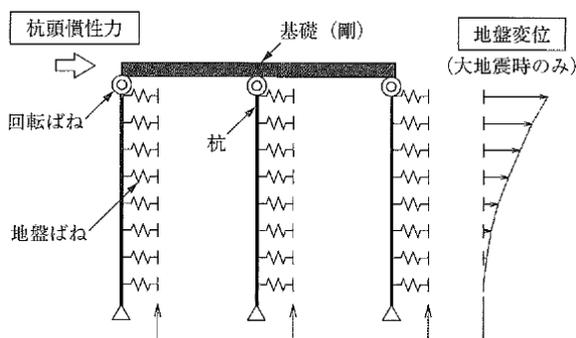


図 8.42 地震時検討モデルの概念

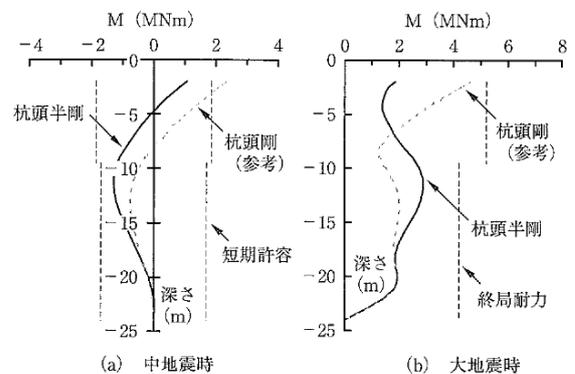


図 8.43 検討結果の一例

【参考文献】

- 8.1) 犬飼瑞郎：建築物の既存鉄筋コンクリート造基礎杭の再利用について，コンクリート工学，pp.3-8，2003
- 8.2) 山下清、椿原康則、加倉井正昭、高橋賢司：深礎杭に対する急速載荷試験の実施例，基礎工，8月号，pp.94-97，1996
- 8.3) 木林長仁、河野隆史：阪急ファイブにおける既存杭・地下構造体の再利用，基礎工，6月号，pp.82-86，1997
- 8.4) 椿原康則、山下清：急速載荷試験による既存PC群杭の支持力評価，第34回地盤工学研究発表会，pp.1507-1508，1999
- 8.5) 藤田超司、杉本裕志：PCパイルを含む既存基礎の再利用（その1）構造計画の事例，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.569-570，2004
- 8.6) 辻泰一、角田光正、宮田章：超高層建築物における既存杭利用（その1）既存杭利用の概要と構造設計，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.565-566，2007
- 8.7) 河本慎一郎、富田菜都美：超高層建物における既存場所打ち杭の再使用に関する調査その1 調査概要，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.463-464，2013
- 8.8) 堀井良浩、長尾俊昌：杭頭半剛接合を適用した既存杭の再利用事例，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.343-344，2006

9. 今後の課題

本章では、今後解決が望まれる課題として「既存杭利用の実施例および調査・研究結果の蓄積と公表」、「杭の再利用を促進するための環境整備」、「杭の再利用を促進するための意識改革」の3項目について述べる。

(1) 既存杭利用の実施例および調査・研究結果の蓄積と公表

新しい建物の計画に際して既存杭の利用を検討する際、類似する既存杭利用の実施例は大いに参考になる。したがって、既存杭利用の実施例や調査・研究結果を蓄積・公表し、工学的、技術的に不明な点を明らかにしていくことが、既存杭利用を普及させ、さらには調査項目や調査数量の適正化につながるものと考えられる。8章には、様々な杭種や建物規模、あるいは設計クライテリアの既存杭利用事例（8例）を掲載しているので参考にされたい。付録1には、公表されている論文等より、建物用途などが判明している40件の既存杭利用事例について分析し、既存杭の調査項目や調査数量の実態を明らかにしている。

耐久性、健全性、支持力等の調査技術についても、なお一層精度高い調査方法の開発が望まれる。特に、近年一般的に施工されている場所打ちコンクリート杭の拡底杭や既製コンクリート杭の高支持力杭のように、杭先端を大きく拡径掘削することにより大きな支持力を期待する杭については、この形状を正確に評価することが必要となるため、ボアホールソナー等による断面形状推定技術の精度向上が期待される。また、建物の供用期間中には大小の地震を受けることも予想されるため、これに伴う杭の損傷を定量的に評価できるモニタリング技術も重要である。

(2) 杭の再利用を促進するための環境整備

既存杭の利用を検討する際、設計資料や施工記録等の資料不足に直面し、杭の再利用を断念しなければならないことが多い。耐久性、健全性、支持力等の調査技術がいかに向上したとしても、再利用の対象となる全ての杭の性能を調査によって把握し、地盤深部における杭の状態を正確に推測することには限界がある。

今回の改定では、副題に「現在と将来の利用に向けて」と題して、これから施工する杭について、将来新しい建物の建て替える際にも問題なく利用できるよう新たに章（7章）を設け、保管・引き継ぐべき設計図書や施工記録を杭種ごとに示し、その保管・引継ぎ方法を提案している。杭を設計する際には、支持性能や耐久性に対して配慮することなどを提案し、杭を施工する際には、通常の施工管理項目に加えて、場所打ちコンクリート杭においては孔壁測定など杭先端拡底形状を評価できる項目を全数で実施すること、既製コンクリート杭においては根固め部の未固結試料の採取頻度を増やすことなどを提案している。また、杭の施工記録の保管・引継ぎ方法としては、引き継ぐべき具体的な設計図書・資料・施工記録などを示し、元請や建築主の相互努力を提案している。

これらを実施していく場合、多少のコストアップとなることも予想されるが、杭が再利用できた場合のコスト低減、工期短縮、環境負荷低減の効果は大きい。付録2には、既存杭が利用できた場合のCO₂排出削減量の試算例を示しているので参考にされたい。新設杭を施工する際、コンクリート材料生成時に発生するCO₂排出量が非常に多いため、杭の再利用はCO₂排出量の削減に直結する効果が期待できる。付録3には既存杭利用による経済効果の試

算例として、コストや工期に及ぼす効果を試算している。既存杭が利用できた場合は、既存杭の調査費はかかるものの、既存杭を一度撤去し、新設杭を新たに施工する必要がなくなるため、コストおよび工期の低減効果は非常に大きい。一方で、杭を撤去した後に新設杭を施工する場合、埋戻し土の固化不良などの問題が多数報告されている。付録4には、既存杭の解体撤去および杭孔の埋戻しに関する工学的影響や新設杭施工時における施工リスク、既存杭撤去に伴う環境的影響についても言及している。

杭の再利用の恩恵は建築主や社会全体が受けること、その効果についても、多少のコストアップとなる項目を踏まえても、十分に還元される効果が期待できることを周知し、一度乱してしまった地盤は決してもとには戻らないという事実を再認識し、杭の再利用を促進するための環境整備を早急に進める必要がある。

(3) 杭の再利用を促進するための意識改革

近年、特に都市部では新設杭と既存杭との干渉に関する問題は頻繁に発生し、近い将来、既存杭撤去後の埋戻し地盤ばかりでもともと存在していた自然地盤がなくなるような時代がそう遠からず訪れることが予想される。「持続可能な社会」の実現の一翼を担う建設業において、新しい建物を建設するたびに杭をスクラップ&ビルドする時代から早急に脱却し、杭の再利用率を上げることは杭の設計や施工に関わる技術者としての喫緊の課題である。建設業全体が、「建物の長寿命化」や環境への負荷を最小限に抑えた「3R(リデュース・リユース・リサイクル)」に向かう将来社会において、杭だけ取り残されることは許されない。

新築建物の杭の設計に際して、既存杭に遭遇した時、「当時の杭は耐震性が低いから」とか「当時の施工精度は現在より劣るから」などという理由で、既存杭の利用を検討から外して設計を進めることが多い。しかし、最近施工した杭、現在施工している杭、今後施工する杭については、耐震性や施工精度だけを理由に杭の再利用を検討から外すことはできない。

まず杭の設計や施工に関わる技術者自らが意識改革し、設計者の立場、施工者の立場で既存杭の利用について今何ができるかを考え、社会に広くアピールしていかなければならない。

今の時代を生きる私たちが、私たちの子供や孫の世代から誇れる杭を設計・施工し、その設計図書や施工記録を滞りなく次の世代に引き継ぎ、次回の建替えの際には「この杭は自分たちが設計・施工したものだからどうぞ再利用してください」と自信を持って発言していく決意が必要である。

付録1 既存杭利用事例に関する文献調査

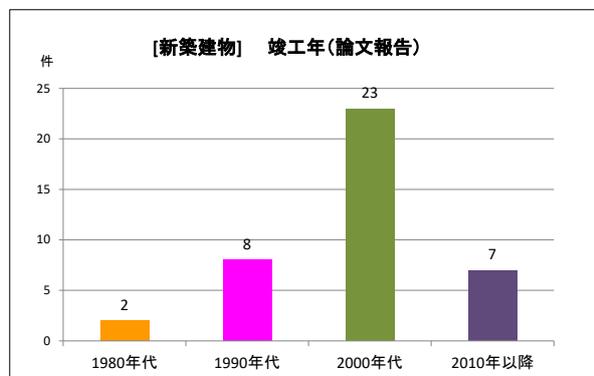
付録1-1 概要

「既存杭利用の手引き（平成 15 年 2 月）」の発行から 10 年以上経過し、様々な建物で既存杭の利用が行われてきている。

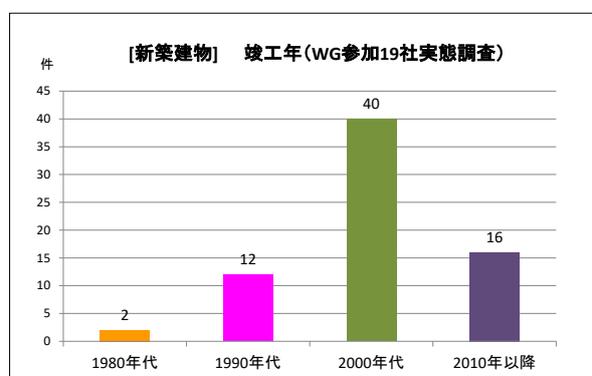
1995 年からの 20 年間に各種論文などで報告された既存杭の利用実績は 215 件（同一建物含む）にも挙がっており、このうち建物用途などが判明する 40 件の既存杭利用事例について詳細な調査を行った。既存杭利用事例一覧を年代別に建物概要項目を付表 1.1、設計に関する項目を付表 1.2、既存杭調査に関する項目を付表 1.3 に示す。また、これらの既存杭利用事例の各項目について分析結果を以下に示す。

① 建築竣工年に関する分析

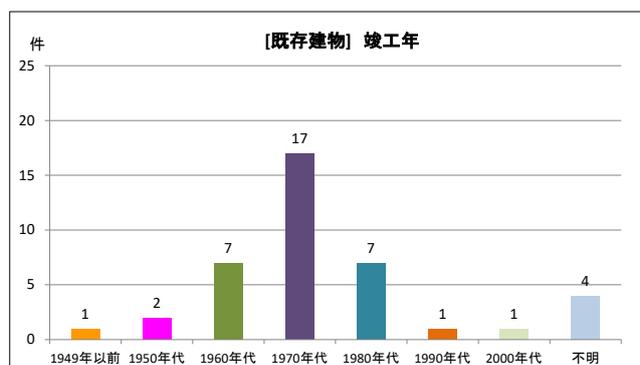
- 論文報告において、既存杭を利用した新築建物の事例件数は、1980 年代より増加傾向にあり、「既存杭利用の手引き(2003.02)」が発行された 2000 年代の 23 件をピークにむかえ、2010 年以降は、5 年の調査期間ではあるが、7 件の事例報告となっており、既存杭を利用した論文報告はやや減少傾向にある。（付図 1.1(1)）
- 本 WG「杭の再利用促進 WG」の参加 19 社による実態調査（2017.10 調査実施）でも同様の傾向はみられる。参考までに利用件数は上記の論文報告件数を大きく上回っている。（付図 1.1(2)）
- 杭の再利用された既存建物の竣工年は最も古いもので 1933 年となっており、1970 年代に建てられた建物の杭を再利用している事例が最も多い。（付図 1.2）



付図 1.1(1) 新築建物の竣工年（論文報告）



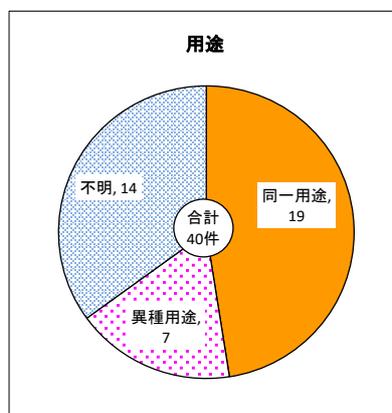
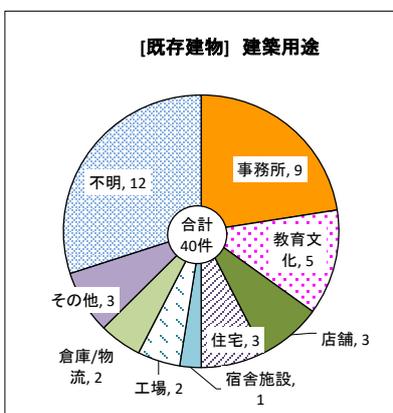
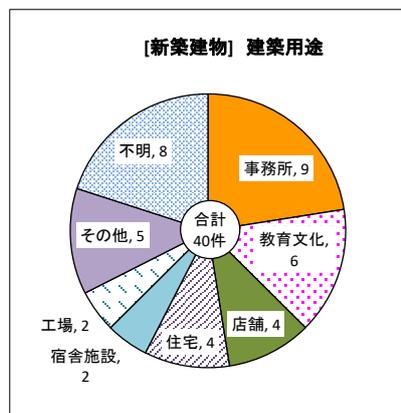
付図 1.1(2) 新築建物の竣工年（19社実態調査）



付図 1.2 既存建物の竣工年

② 建築用途に関する分析

- ・建物用途別では新築、既存建物とも事務所、教育文化施設、店舗、住宅の順に既存杭の利用率が多い。(付図 1.3)
- ・同一用途における既存杭の利用事例は、73% (19 件/26 件中) と異種用途 27% (7 件/26 件中) に対して倍以上となっている。(不明 14 件を除く) (付図 1.4)

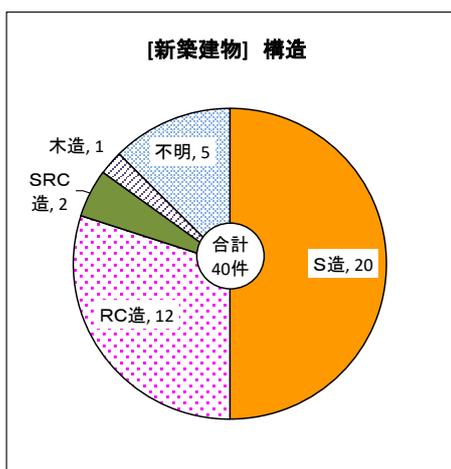


付図 1.3 建物用途

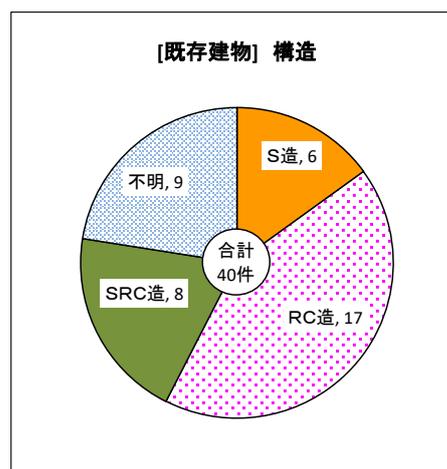
付図 1.4 既存－新築の建物用途

③ 建物構造種別に関する分析

- ・新築建物の構造種別は、S 造（鉄骨構造）→RC 造（鉄筋コンクリート造）→SRC 造（鉄骨鉄筋コンクリート造）の順に多い。(付図 1.5)
- ・既存建物の構造種別は、RC 造→SRC 造→S 造の順に多く、約 30 年前の建築構造別の時代背景を反映している。(付図 1.6)



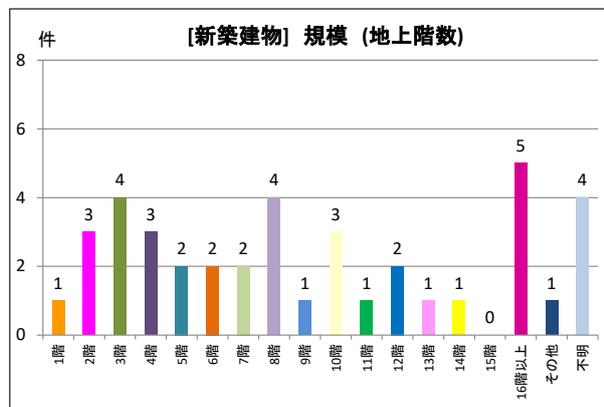
付図 1.5 新築建物の構造種別



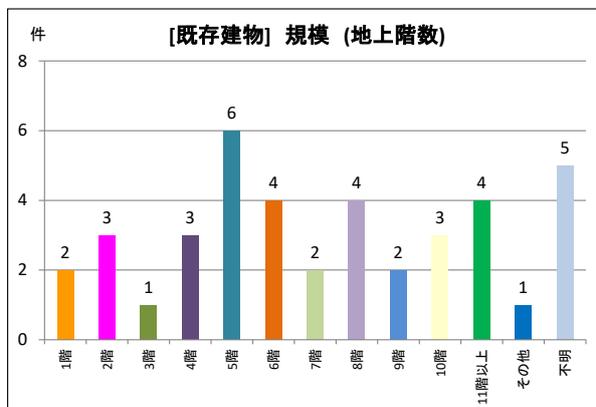
付図 1.6 既存建物の構造種別

④ 建物規模（地上階数）に関する分析

- ・新築建物の階数規模では、中低層建物（2階～10階）に既存杭の利用事例が多い。（付図 1.7(1)）
- ・既存建物の階数規模では、中層建物（5階～8階）の既存杭の利用事例が多い。（付図 1.7(2)）



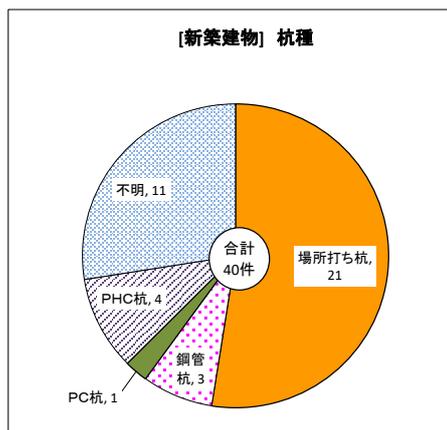
付図 1.7(1) 地上階数の規模（新築建物）



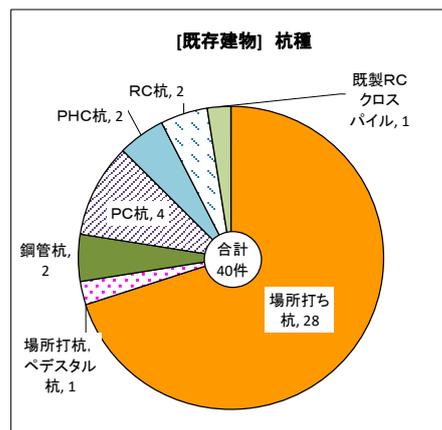
付図 1.7(2) 地上階数の規模（既存建物）

⑤ 杭種に関する分析

- ・新築建物においては、不明 11 件を除くと場所打ち杭が 72%（21 件/29 件中）と大半を占める。（付図 1.8）
- ・利用された既存建物の杭種は、場所打ち杭が 70%（28 件/40 件中）と大半を占める。また、RC クロスパイルやペDESTAL 杭など現在はほとんど採用のない杭種の利用もわずかに確認される。（付図 1.9）



付図 1.8 杭種（新築建物）

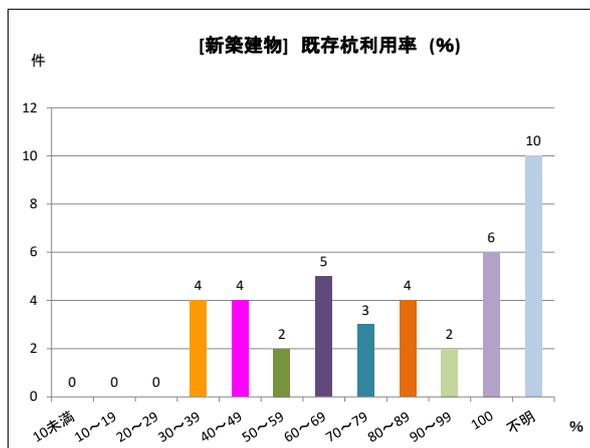


付図 1.9 杭種（既存建物）

⑥ 既存杭利用率

「既存杭利用率」とは、「新築建物で利用した既存杭の本数」を「既存建物の全杭本数」で除した値を示す（既存杭利用率＝利用本数÷既存杭全本数）。

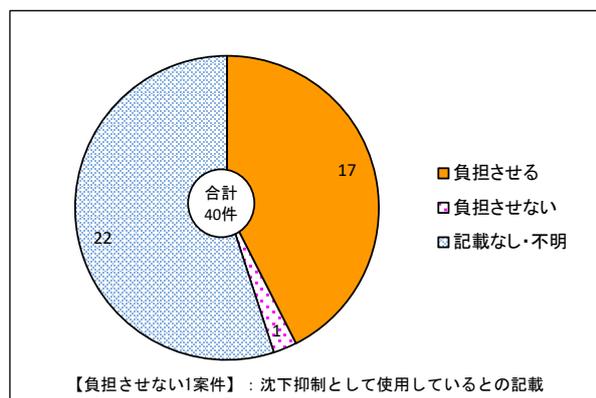
- ・新築建物で全ての既存杭本数（既存杭利用率 100%）を再利用した事例は 6 件あり、平均では半数以上の本数の既存杭を再利用している。（付図 1.10）



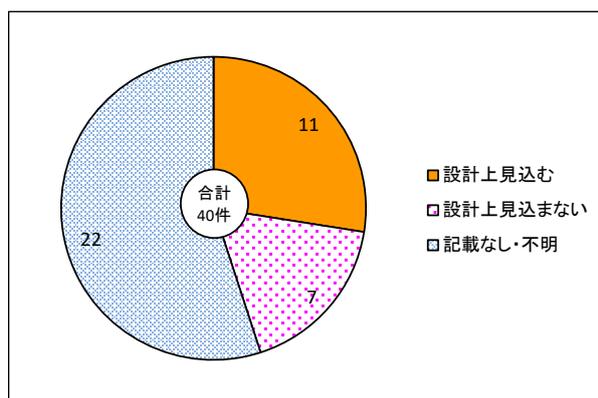
付図 1.10 再利用された既存杭の比率

⑦ 設計実績

- ・鉛直力に対して言及のある案件（18/40 件中）では、既存杭に鉛直力を負担させている場合が 17 件と殆どであった。沈下抑制として利用するという案件が 1 件あった。（付図 1.11）
- ・水平力に対して言及のある案件（18/40 件中）では、その半数以上の 11 件で水平力を設計上見込んだ既存杭の検討を行っており、それらの建物では地下階が新旧建物で同一である場合が多い。（付図 1.12）

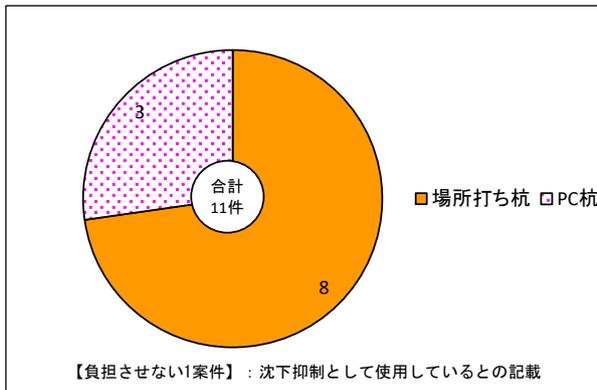


付図 1.11 既存杭の鉛直力負担について

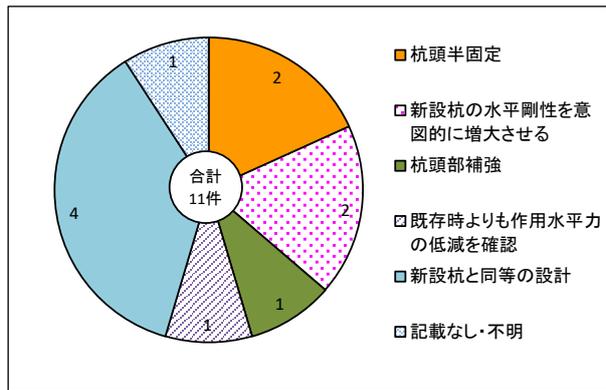


付図 1.12 既存杭の水平力負担について

- ・水平力を設計上見込んだ検討を行っている既存杭（11 件）は、その約 3/4 の 8 件が場所打ち杭であったが、少数ながら既製コンクリート杭である事例も見られた。（付図 1.13）
- ・水平力を設計上見込んでいる場合の配慮等に関しては、既存杭に対して作用する水平力の低減や一部補強などの工夫を行っている場合が 6 件と多かった。既製コンクリート杭に関しては、杭頭部補強や新設杭に水平力を多く負担させる工夫をしている案件がある一方、新設杭と同等の検討を行っている案件も 1 件あった。（付図 1.14）

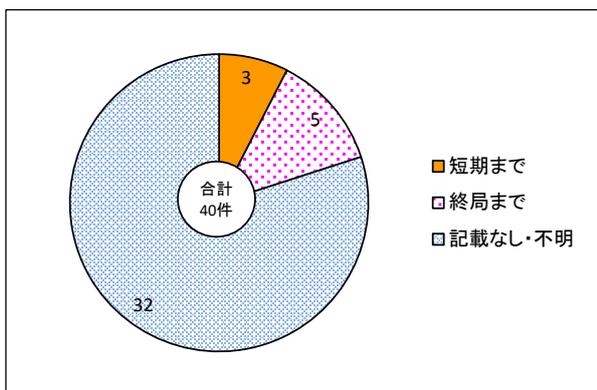


付図 1.13 水平力を設計上見込んでいる既存杭の種類について

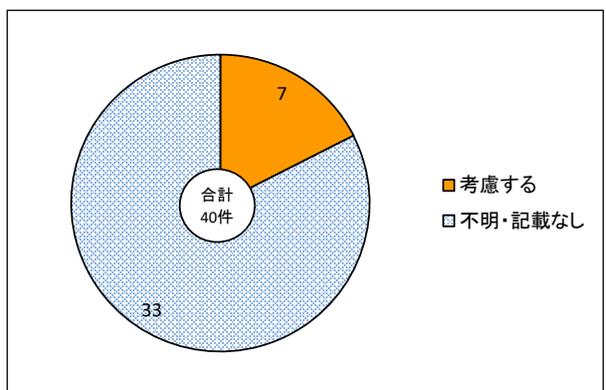


付図 1.14 水平力を設計上見込んでいる場合の配慮

- ・設計クライテリアに対して言及のある案件（8/40 件中）では、その約 6 割の 5 件で終局耐力を算定し、終局時の荷重が終局耐力を超えていないことを確認する設計を行っていた。また、終局までの設計を行っている杭は全て場所打ちコンクリート杭であり、そのほとんどが通達（昭和 59 年住指発 324 号）以前に打設された杭であった。（付図 1.15）
- ・既存杭再利用の際に何らかの低減係数を考慮している案件は、全体の 2 割程度（7/40 件中）であった。（付図 1.16）



付図 1.15 設計クライテリアについて



付図 1.16 低減係数について

付表 1.1 既存杭利用事例一覧（建物概要）

- :記載がなく判断できないもの、 × :記載はないが実施していないと判断できるもの、 ? :記載はないが想定できるもの

事例No.	新築建物・杭情報										既存建物・杭情報										備考	参考文献					
	竣工年月	場所(都道府県)	建築用途	構造(RC, SRC, S)	規模(地上/地下)	建築面積(m ²) (延床)	杭種	工法	軸部径(m)	掘径(m)	長さ(m) (-先端深さ)	本数(本) (内既存杭利用)	竣工年月	建築用途	構造(RC, SRC, S)	規模(地上/地下)	建築面積(m ²) (-延床)	杭種	工法	軸部径(m)			掘径(m)	長さ(m) (-先端深さ)	本数(本)		
1	1988	-	-	S	7/B0	266	-	-	-	-	18(8)	1976	-	RC	5/B0	102	-	場所打杭	アースドリル	1.2	-	(-18)	8	1980年代に著者が初めて遭遇した既存杭利用実例と再利用における調査内容、調査技術	加倉井正昭:既存杭利用の発想の経緯と再利用における調査内容および調査技術、基礎工、Vol.39, No.2, pp.17-22, 2011.02		
2	1989	-	-	SRC	8/B1	460	-	-	-	-	21(7)	1976	-	上部RC下部SRC	5/B0	450	-	場所打杭	オールケーシング	1.2~1.5	-	(-21)	7	1980年代に著者が初めて遭遇した既存杭利用実例と再利用における調査内容、調査技術	加倉井正昭:既存杭利用の発想の経緯と再利用における調査内容および調査技術、基礎工、Vol.39, No.2, pp.17-22, 2011.02		
3	1990	-	-	RC	1/B2	875	-	-	0.5	-	(-26~-48)	137(137)	1962	-	RC	6/B1	2,150	-	鋼管杭	打込み杭	0.5	-	(-26~-48)	137	1980年代に著者が初めて遭遇した既存杭利用実例と再利用における調査内容、調査技術	加倉井正昭:既存杭利用の発想の経緯と再利用における調査内容および調査技術、基礎工、Vol.39, No.2, pp.17-22, 2011.02	
4	1993	東京都中央区	事務所	S	11/B3	-	場所打ち杭	深礎	5	6.5	(-22.75)	53(497)	?1955	事務所	-	8/B3	-	場所打ち杭	深礎	-	-	(-22.75)	49	・地下階は既存利用 ・地上階は地上4本柱によるメガストラクチャーの採用	大館瑞部:建築物の既存鉄筋コンクリート造基礎杭の再利用について、コンクリート工学、Vol.41, No.11, pp.3-8, 2003.11		
5	1995	東京都千代田区	事務所ビル	-	10/B3	?1850	場所打	深礎	2.4	3.2	7.5	22(14)	1972	-	-	-	-	場所打杭	深礎	1.8	2.6	4.8	14	既存杭の健全性および既存杭と新設杭の沈下剛性の差異を把握するため深礎杭に対して急速載荷試験を実施した例 ・鉛直力のみ負担、基礎スラブ=1.4mに接合	山下清 他:深礎杭に対する急速載荷試験の実施例、基礎工、Vol.24, No.8, pp.94-97, 1995.08 建設業協会:既存杭利用の手引き、pp.22-23, 2003.02 大館瑞部:建築物の既存鉄筋コンクリート造基礎杭の再利用について、コンクリート工学、Vol.41, No.11, pp.3-8, 2003.11		
6	1994	東京都	事務所・マンション複合ビル	-	12/B1	-	場所打ち杭	アースドリル	1.4	-	9(-17.2)	90(45)	1974	倉庫	-	7/B0	-	場所打ち杭	アースドリル	1.4	-	14.2(-17.2)	58	・既存建物の設計・施工の建設会社と新設建物の設計者の建設会社と異なる ・既存杭の鉛直は低減、新設杭も既存杭と同様に低減 ・鉛直と水平とも利用	建設業協会:既存杭利用の手引き、pp.20-21, 2003.02 大館瑞部:建築物の既存鉄筋コンクリート造基礎杭の再利用について、コンクリート工学、Vol.41, No.11, pp.3-8, 2003.11		
7	1996	兵庫県芦屋市	高速道路橋脚	RC	-	-	-	-	-	-	25	?1961	高速道路橋脚	-	-	-	-	場所打杭	-	1.5	-	23.97~24.27	25	西村真二 他:被災した場所打ち杭の急速載荷試験による健全度の判定(阪神3号線芦屋入路)、基礎工、Vol.24, No.9, pp.46-51, 1996.09 西村真二 他:急速載荷試験法による再利用杭の支持力確認試験について(阪神高速3号線復旧工事)、地盤工学会、第31回大会、pp.1627-1628, 1996.07	スナガツ試験の実施を中心に、震災により被災した場所打ちコンクリートの健全度の判定		
8	1999	茨城県	工場	-	-	-	場所打ち杭	アースドリル	1.2	-	-	1607(1328)	1970~1979	-	-	-	-	PC杭	打込み	0	-	-	1328	・鉛直のみ利用	建設業協会:既存杭利用の手引き、pp.26-27, 2003.02		
9	1997	秋田県	車両検査坑	-	-	-	PC杭	-	-	-	-	-	1968	-	-	-	-	PC杭	-	0.4	-	-	-	-	秋田新幹線の車両基地における検査坑において、在来線の狭軌対応から新幹線の標準軌対応へ検査坑を再施工する際における杭の再利用検討 杭頭部には鋼管を設置し、無収縮モルタルを注入することによって既存杭と一体化。既存杭中空部には中詰コンクリート打設。	吉田彦三郎 他:PC杭再利用のための杭頭補強方法、土木学会、東北支部大会、pp.602-603, 1995	
10	1998	大阪府大阪市	店舗	S(CFT)/SRC/RC	10+1/B3	4,878(44,335)	場所打杭	(掘底杭)	1.2~2.0	-	15.5(20.3)	790	1971	店舗	SRC	8/B3	-	場所打杭	ベト(オールケーシング)	1.0, 1.2	-	12.5	?157	構造計画における既存構造物の取扱い方、および試験による既存杭の沈下性状確認に関する内容 ・既存地下構造物、基礎梁を再利用 ・新設杭を太くし水平力負担率を高める	木林長仁 他:阪急ファイブにおける既存杭・地下構造物の再利用、基礎工、Vol.25, No.6, pp.82-86, 1997.06 橋原康則 他:急速載荷試験による既存場所打ち杭の支持力評価、地盤工学会(JGS)、第33回大会、pp.133-134, 1998.07 梅野岳 他:既存地下躯体の再利用一現状と課題、基礎工、Vol.33, No.4, pp.10-13, 2005.04 建設業協会:既存杭利用の手引き、pp.24-25, 2003.02		
11	2002	東京都台東区	集合住宅	SRC	19/B2	548(10,602)	場所打ちコンクリート杭	アースドリル、CD工法、CT工法	1.6~1.8	2.6~3.1	18.6(-33)	35(23)	1989	事務所	-	14/B2	-	場所打ち杭	アースドリル	1.0~2.0	2.1~3.1	18(-33)	23	被圧水を抑えた重安定液にてアースドリル(CD工法、CT工法を併用)にて施工した事例 ・新設杭は既存杭との間隔から既存地下部梁間スパンのほぼ中央部に設けた	森統一 他:既存地下躯体を残した高被圧水下でのアースドリル杭被圧抑え重安定液工法の開発、日本建築学会AJJ(大会梗概集)、No.20262, pp.523-524, 2001.09 森統一 他:高被圧水化でのアースドリル杭施工の工夫事例、基礎工、Vol.30, No.10, pp.42-48, 2002.10 竹本信義:高被圧水下でのアースドリル杭施工と既存建物を残した地下計画、建築技術、No.637, pp.148-152, 2003.02		
12	2002(調査)	-	事務所	RC	3/-	-	-	-	-	-	6(6)	1979	事務所	RC	4/-	-	-	場所打ち杭	アースドリル	0.9~1.0	-	-	10	6	・築後23年経過した建物の建替えにあたって、既存杭を再利用した事例	伊勢本昇昭 他:既存杭再利用のための耐久性調査、地盤工学会(大会)、No.664, pp.1327-1328, 2007.07 伊勢本昇昭 他:既存杭再利用のための耐久性調査、基礎工、Vol.39, No.2, pp.69-72, 2011.02	
13	2004	東京都千代田区	庁舎	-	8/B1, B2	-	鋼管杭	圧入	-	-	-	-	1970, 1960	庁舎	RC	8/B2	-	場所打杭 ベテスタル杭	手掘り深礎	-	-	-	-	-	-	既存杭の再利用の実態と性能調査技術の整理、検討手順フロー案 竣工時設計方針の参考となるように、現行基準、基準の変遷を示し、既存杭再利用事例、性能調査および再利用時のフローを示す 免震レトロフィット(北庁舎、中央、南庁舎の2棟)	二本幹夫 他:既存鉄筋コンクリート造基礎杭の再利用技術-その1 概要、日本建築学会AJJ(大会梗概集)、No.20338, pp.675-678, 2004.07 二本幹夫 他:既存鉄筋コンクリート造基礎杭の再利用技術-その2 既存杭の調査事例、日本建築学会(AIJ)、No.20339, pp.677-678, 2004.07 二本幹夫 他:既存鉄筋コンクリート造基礎杭の再利用技術-その3 概要、日本建築学会(AIJ)、No.20312, pp.623-624, 2005.09 阿部秋男 他:既存鉄筋コンクリート造基礎杭の再利用技術-その4 健全性の調査・診断技術、日本建築学会(AIJ)、No.20313, pp.625-626, 2005.09 大館瑞部 他:既存鉄筋コンクリート造基礎杭の再利用技術-その5 再利用の検討方法、日本建築学会(AIJ)、No.20314, pp.627-628, 2005.09 大館瑞部 他:既存鉄筋コンクリート造基礎杭の再利用技術-その6 歴史的建築物への適用、日本建築学会(AIJ)、No.20184, pp.367-368, 2007.07 大館瑞部:既存杭の再利用に向けた法制度と行政の動向、基礎工、Vol.33, No.4, pp.6-9, 2005.04 大館瑞部:建築物の既存鉄筋コンクリート造基礎杭の再利用について(事例IV)、コンクリート工学、Vol.41, No.11, pp.3-8, 2003.11
14	2003	東京都世田谷区	体育館	RC	2/B0	-	-	-	-	-	(169)	1974	体育館	RC	2/B0	-	-	PCパイル	打込工法	0.35	×	?10~14(-14~-15)	186	186	沼上清 他:体育館増改築工事における既存PCパイルのリサイクル利用:(その1)杭再利用の経緯と杭打ち記録の分析、日本建築学会AJJ(大会梗概集)、No.20277, pp.553-554, 2003.09 矢島淳二 他:体育館増改築工事における既存PCパイルのリサイクル利用:(その2)鉛直支持力特性の評価、日本建築学会AJJ(大会梗概集)、No.20278, pp.555-556, 2003.09 阪井由尚 他:体育館増改築工事における既存PCパイルのリサイクル利用:(その3)水平抵抗と健全性の評価、日本建築学会AJJ(大会梗概集)、No.20279, pp.557-558, 2003.09 浦山千明 他:既存打込みPCパイルの再利用例、基礎工、Vol.33, No.4, pp.43-46, 2005.04 持田悟 他:基礎構造物の耐久性に関する実態調査報告書、(社)建設業協会 地盤基礎専門部会 基礎構造物の耐久性WG、事例シートNo.21, pp.8, 28, 2006.03		
15	2004	神奈川県	包装工場	S	4/B0	8,340(30,434)	PHC杭	打撃	-	-	-	1192(583)	1983	缶工場	S	1/B0	(15,000)	PC杭	打撃工法	0.4	×	8.6(-11)	7583	7583	構造計画の事例紹介 既存基礎33台も再利用 ・杭は鉛直・水平荷重に対して原設計以下、かつ十分な安全率を確保 ・新設杭も打撃工法とし沈下性状に留意 ・基礎解体せず、杭と一体で再利用	藤田超司 他:PCパイルを含む既存基礎の再利用:(その1)構造計画の事例、日本建築学会AJJ(大会梗概集)、No.20285, pp.569-570, 2004.07 杉本裕志 他:PCパイルを含む既存基礎の再利用:(その2)既存PCパイルの性能検証、日本建築学会AJJ(大会梗概集)、No.20286, pp.571-572, 2004.07 杉本裕志 他:既存杭を含む既存基礎の再利用事例、基礎工、Vol.33, No.4, pp.47-50, 2005.04 杉本裕志 他:一つの基礎で条件の異なる二世代の建物を支える、基礎工、Vol.656, pp.156-157, 2004.09 持田悟 他:基礎構造物の耐久性に関する実態調査報告書、(社)建設業協会 地盤基礎専門部会 基礎構造物の耐久性WG、事例シートNo.2, pp.8, 5, 2006.03	
16	2004	-	-	S 免震	8/B1	?1,159	場所打	アースドリル	1.1	×	9.3~10.8(-16)	772(68)	1971	-	RC	6/B1	?1,159	場所打ち杭	アースドリル	1~1.25	×	(-16)	73	73	橋原康則 他:既存場所打ちコンクリート杭の健全性調査例、日本建築学会AJJ(大会梗概集)、No.20331, pp.661-662, 2010.09 土屋富男 他:建築基礎における既存場所打ち杭の再利用事例、地盤工学会JGS、Vol.59, No.642, pp.6-9, 2011.07 土屋富男 他:建物基礎における既存杭再利用の事例、地盤工学会JGS、Vol.61, No.667, pp.6-9, 2013.08 橋原康則 他:場所打ち杭再利用時の調査事例、基礎工、Vol.39, No.2, pp.57-60, 2011.02		
17	2004	東京都台東区	店舗	S	4/B0	(1,450)	場所打	アースドリル	1.0~1.3	1.4	24	13(8)	1990	店舗	S	2/B0	(800)	場所打杭	BH工法	1.2	-	-	24	8	8	既存杭と新設杭を併用して2階建てから4階建てに建替えた建築物の例 ・新設杭と柱は既存杭の負担面積を半減するように既存杭の中間位置に配す	鈴木裕美 他:既存杭の再利用例、基礎工、Vol.33, No.4, pp.56-59, 2005.04
18	2004	京都府京都市	宿泊施設	RC	3/B0	(1,796)	PHC杭 C-A種	拡大根固め	0.6	-	14~16	?102(88)	1966	宿泊施設	RC	4/B0	(1,583)	既製RCクロスパイル	打込み杭	0.3	-	-	14	?88	?88	既存建物を解体し、先行して隣地の仮設基礎の上で構築した新築建物を21m移動させた新築曳家工事 に、部分的に既存杭を再利用している ・既存杭の鉛直耐力は現行の打込み杭支持力方式による ・水平力は新設杭ですべて負担する	築谷裕也 他:既存杭を利用した新築建物の曳家工事、基礎工、Vol.33, No.4, pp.60-64, 2005.04 北条裕郎 他:(社)日本建築構造技術者協会、既存地下構造再利用の設計事例と方策、事例シートNo.9, pp.2-10, 2013.11
19	?2004(発表)	-	美術展示施設	RC	2/B1	(1,200)	-	-	-	-	-	-	-	共同住宅	-	5/B0	-	RCパイル	打撃工法	0.35	×	-	10	113	113	差分法によるマッチング解析と衝撃載荷試験による波形の比較し耐力330kNを得た。	土屋博訓 他:既存杭を再利用した基礎設計:衝撃載荷試験による調査、日本建築学会AJJ(大会梗概集)、No.20284, pp.567-568, 2004.07
20	2003	東京都中央区	店舗	S	5/B1	35.38(170.42)	場所打ち杭	BH	0.8	-	(-25)	8(8)	1963	-	S	5/B1	35.96(203.84)	場所打ち杭	BH	0.8	-	(-25)	8	8	既存杭、地下躯体の再利用 ・既存杭、既存地下躯体を全て再利用 ・杭基礎耐力が既存建物と比較し確認	秋山猛 他:既存杭、既存地下壁を利用した基礎、建築技術、Vol.656, pp.152-153, 2004.09 梅野岳 他:既存地下躯体の再利用一現状と課題、基礎工、Vol.33, No.4, pp.10-13, 2005.04	

○:記載がなく判断できないもの、×:記載はないが実施していないと判断できるもの、?:記載はないが想定できるもの

事例No.	新築建物・杭情報											既存建物・杭情報											備考	参考文献		
	竣工年月	場所(都道府県)	建築用途	構造(RC, SRC, S)	規模(地上/地下)	建築面積(m ²) (延床)	杭種	工法	軸部径(m)	拡底径(m)	長さ(m) (-:先端深さ)	本数(本) (内既存杭利用)	竣工年月	建築用途	構造(RC, SRC, S)	規模(地上/地下)	建築面積(m ²) (-:延床)	杭種	工法	軸部径(m)	拡底径(m)	長さ(m) (-:先端深さ)			本数(本)	
21	2004(調査)	-	-	S	7/B1	-	-	-	-	-	37(37)	1979	-	RC	6/B1	-	-	場所打ち杭	ベント	1.2~1.5	-	22	37	・建築主の要望により、築後25年経過した建物を地下壁および基礎部の地下躯体を含む全ての既存杭を再利用した事例 伊勢本昇昭 他:既存杭再利用のための耐久性調査、地盤工学会(大会)、No.664、pp.1327-1328、2007.07 伊勢本昇昭 他:既存杭再利用のための耐久性調査、基礎工、Vol.39、No.2、pp.69-72、2011.02		
22	2006	千葉県市川市	共同住宅	RC	8/B0	-	既製杭	中掘り拡大根固めSTJ工法	-	-	-	162(124)	-	社宅	RC	5/B0	-	既製杭	PHC	-	-	-	200	・ベターリビング評定 日刊建設工業新聞 2005.06.21		
23	2006(調査)	-	学校施設	S	4/B0	-	既製コンクリート杭	-	-	-	(-1)	1983	学校施設	RC	4/B0	-	-	場所打ち杭	アースドリル	0.8	-	28	-	・築後23年を経過した学校施設の建替えに当たって、新築杭と干渉する既存杭1本について再利用した事例 伊勢本昇昭 他:既存杭再利用のための耐久性調査、地盤工学会(大会)、No.664、pp.1327-1328、2007.07 伊勢本昇昭 他:既存杭再利用のための耐久性調査、基礎工、Vol.39、No.2、pp.69-72、2011.02		
24	2006	-	事務所・店舗	S(CFT)	13/B1	-	場所打	-	-	-	46(46)	1968	事務所	SRC	8/B1	-	-	場所打ち杭	-	1	×	29.1	46	弾性波速度の原位置簡易測定 橋原康則:既存杭のIT試験に用いる弾性波速度の原位置測定方法、日本建築学会AIJ(大会梗概集)、No.20203、pp.405-406、2009.08 土屋富男 他:建築基礎における既存場所打ち杭の再利用事例、地盤工学会JGS、Vol.59、No.642、pp.6-9、2011.07 土屋富男:建物基礎における既存杭再利用の事例、地盤工学会JGS、Vol.61、No.667、pp.6-9、2013.08 橋原康則 他:場所打ち杭再利用時の調査事例、基礎工、Vol.39、No.2、pp.57-60、2011.02 新築新築建物への既存杭再利用上の留意点等に関する調査項目(八)巻末資料3.3-1 既存杭再利用事例:事例番号 No.24、pp.67、2009.03 北条 稔郎 他:(社)日本建築構造技術者協会、既存地下構造再利用の設計事例と方策、事例シートNo.15、pp.2-16、2013.11		
25	2007	東京都港区	事務所兼倉庫	RC	9/B0	1,100(7,949)	場所打	-	1.5~2.3	2.9	22(-24)	26(10)	1978	事務所	RC	5/B0	-	場所打ちコンクリート杭	アースドリル	1.2~1.5	-	22	-	新設杭と既存杭を併用した設計事例および耐久性調査結果 ・既存杭には圧縮力と水平力を負担させ、引張力を負担させない ・基礎構造全体が現行の技術基準を満足する ・新設杭のみで水平力を負担可能 ・既存杭の強度や剛性は低減していない 堀井良浩 他:杭頭半剛接合を適用した既存杭の再利用事例、日本建築学会AIJ(大会梗概集)、No.20172、pp.343-344、2006.07 堀井良浩 他:既存杭の再利用時における杭頭半剛接合の適用事例、日本建築学会AIJ(技術報告集)、Vol.13、No.25、pp.81-84、2007.06 堀井良浩 他:既存場所打ち杭の再利用事例—杭頭半剛接合の適用—、基礎工、Vol.39、No.2、pp.33-36、2011.02		
26	2007	東京都	庁舎	S	6/B0	(16,800)	-	-	-	-	-	(823)	1933	庁舎	SRC	6~7/B0	4,118(23,726)	場所打ち杭	マルチベテスタル	0.6~0.75	×	7.34、3~5	1262	旧建物の一部を保存 ケーシング径0.43m、杭径と杭長は調査結果 渡邊徹 他:昭和初期に建設された建築物基礎の構造性能、日本建築学会AIJ(大会梗概集)、No.20225、pp.449-450、2008.09 梅野岳 他:歴史的建築物の基礎の補強事例、基礎工、Vol.39、No.2、pp.61-64、2011.02		
27	2007	東京都新宿区	宿泊施設	RC,S	14/B1	(21,230)	場所打	アースドリル	-	-	20	?145(?122)	1978	宿泊施設	SRC	14/B1	(20,947)	場所打杭	ベント	1.0~2.0	-	19.1	?122	既存杭の再使用における手法がある程度確立できたことから、本事例において本格的に採用した ・負担重量の分散を考慮し支持層を同一とする新設杭を併用 ・上部架構は限界耐力計算、基礎は使用・損傷・安全限界時の安全性を確保 ・鉛直支持力は強度低減率を評価して決定 経原泰史:場所打ち杭の再使用事例、基礎工、Vol.39、No.2、pp.37-41、2011.02 構造法令研究会:既存杭等再使用の設計マニュアル(案)、既存杭再使用事例:B工事、pp.45-65、2008.01		
28	2006	東京都	学校講義室他	S	3/B0	(1,429)	-	-	-	-	-	(20)	1970年代前半	駐車場・事務室・倉庫	RC	1/B0	(419)	場所打ち杭	-	-	-	-	16	20	・施工者不明 構造法令研究会:既存杭等再使用の設計マニュアル(案)、既存杭再使用事例:E工事、pp.91-124、2008.01	
29	2008	東京都港区	事務所兼共同住宅	S(CFT)	22/B1	1,243.94(18,392.5)	場所打	-	2.3	×	(-14.5~33.5)	?30(12)	1972/5	テナント	SRC	11/B1	(6,854.35)	場所打ちコンクリート杭	アースドリル	0.8~1.4	×	(-14)	36	既存杭と新設杭を併用した新設超高層建物の設計事例、新ビル低層部は杭と地下躯体を再利用 ・既存杭は鉛直圧縮力のみを支持する・鉄筋は新設躯体に接続していない ・強制水平変位を受けて杭頭の曲げヒンジは許容、杭中間部のヒンジとせん断破壊が生じないことを確認 ・材料強度を低減して耐力を算定、設変対応として隣接既存杭利用を予め検討 ・再利用しない既存杭は応力を伝達しない杭頭処理 辻一 他:超高層建築物における既存杭利用:(その1) 既存杭利用の概要と構造設計、日本建築学会AIJ(大会梗概集)、No.20283、pp.565-566、2007.07 角田正他:超高層建築物における既存杭利用:(その2) 既存杭調査の項目と調査結果概要、日本建築学会AIJ(大会梗概集)、No.20284、pp.567-568、2007.07 飯島正他:超高層建築物における既存杭利用:(その3) インテグリティ試験結果、日本建築学会AIJ(大会梗概集)、No.20285、pp.569-570、2007.07 辻一 他:超高層建築物における既存場所打ち杭の再利用、基礎工、Vol.39、No.2、pp.29-32、2011.02 構造法令研究会:既存杭等再使用の設計マニュアル(案)、既存杭再使用事例:C工事、pp.67-79、2008.01		
30	2008	-	物販施設	S	5/B1	-	×	×	×	×	×	-	工場	-	-	-	-	場所打ち杭	-	1	-	30	約200	・既存杭を再利用せずに残置 ・圧密沈下、増加荷重、沈下測定 梅本浩一 他:既存杭が残存した地上に建てられた直接基礎建物の沈下挙動、日本建築学会AIJ(大会梗概集)、No.20340、pp.679-680、2008.09		
31	2009	東京都千代田区	鉄道高架橋	RC	2層	-	場所打	BH	0.8	-	6	?175(135)	1950	鉄道高架橋	RC	1層	-	RC杭	-	0.3	-	4.6	?135	東北縦貫線建設工事における既設高架橋を利用する際に適用した基礎杭補強方法の概要と、設計法および適用時の施工実績 ・地表面に基礎スラブを設置して、既設フーチング前面の水平抵抗力を向上 ・基礎スラブを小径杭で固定し、水平力を負担させる 藤原貢士 他:東北縦貫線建設工事における既設高架橋の利用事例、基礎工、Vol.、No.、pp.49-52、2011.02		
32	2010	香川県坂出市	発電施設	S	3/B0	53×47.5	鋼管	先端拡底	0.9~1.2	-	(-60以深)	88(39)	1971	発電施設	S	3/B0	-	鋼管杭	打込み杭	0.6	-	56	68	火力発電所のリプレースにおいてタービン建屋のうち既設鋼管杭を利用した建屋基礎設計について紹介 ・既設鋼管杭の健全性を確認したうえで最適な基礎形式、杭仕様、杭配置を検討 ・既存杭は1階スラブの荷重を直接負担、新設杭は柱・基礎から伝達される鉛直荷重を負担 ・柱近傍、地中梁下の既存杭は再利用しない ・水平力はすべて新設杭に負担させる 宮住勝彦:既設鋼管杭の再利用事例、基礎工、Vol.39、No.2、pp.42-45、2011.02		
33	2011	-	-	S(CFT)	16/B2	-	場所打	深礎	2.8~3.4	-	4.5	52(31)	1973	-	SRC	10/B3	-	場所打杭	深礎	1.4~2.8	1.8~3.6	4	56	既存深礎の再利用事例を紹介 ・既存深礎は鉛直力のみ負担 ・既存深礎にも水平力を分担させる応力計算を行い安全性を確認 宮田章 他:既存深礎の活用、基礎工、Vol.38、No.1、pp.91-93、2010.01		
34	?2007(発表)	東京都	共同住宅	RC	10/B0	-	-	-	-	-	29(18)	2000年代前半	集合住宅	RC	9/B0	-	-	場所打杭	-	1.0~1.6	-	14	18	既存杭を再使用するための検討手順、検討内容および事例について建築確認の事例に基づき説明 ・既存杭の鉛直と水平を低減 ・鉛直と水平とも利用 江寺雅文:既存基礎再使用における行政の対応、基礎工、Vol.39、No.2、pp.10-16、2011.02 構造法令研究会:既存杭等再使用の設計マニュアル(案)、既存杭再使用事例:A工事、pp.39-44、2008.01		
35	2007	-	戸建住宅	木造	2/B0	265	小口径鋼管	回転圧入	0.14	-	6.5	?46(17)	-	事務所	S	2/B0	-	PHC杭	-	0.3	-	10.0	19	既存の鉄骨造2階建の事務所倉庫兼住宅の移転跡地に2世帯住宅を新築するケースにおいて、既存PHC杭を再利用した事例 ・ベタ基礎と既存の土間・地中梁・PHC杭および小口径鋼管とはそれぞれ分離されており、単に支持力を確保し、建物の不同沈下を防止する役割を期待 ・地震時の水平力は小さく、省略 大友彰 他:戸建住宅での既存PHC杭の再利用事例、基礎工、Vol.39、No.2、pp.46-48、2011.02		
36	2011	-	事務所・店舗	RC、一部S,SRC	29/B3	1,454(41,648)	場所打杭	アースドリル	拡底部2.9軸部2.1	3.5~4.2	(-56以深)	203(176)	1970	-	SRC	9/B2	-	場所打杭	-	1.0	-	7.5	195	中高層建物の建設にあたり、既存建物の場所打ちコンクリート杭を再利用するために既存杭の健全性調査を行った結果 ・新築建物の基礎の設計は既存杭の調査結果に基づいて実施 ・地下部分の荷重を既存杭に伝達する柱を新設し、既存杭で地下部分、新設杭で地上部分を支持させる ・既存杭と新設杭を一体として鉛直荷重、水平荷重に対して検討、設計 ・80%の既存杭の本数で成立するように新設杭を設計 ・新設杭は拡底部により既存杭の水平力分担を低減 ・基礎底がやや浅くなるため既存の杭と基礎スラブを再利用 ・既存杭は沈下剛性に見合う抵抗分のみを評価したため、載荷試験を実施しなかった 島野幸弘 他:中高層オフィスビルにおける既存場所打ち杭の再利用事例、基礎工、Vol.39、No.2、pp.53-56、2011.02 土屋富男 他:建築基礎における既存場所打ち杭の再利用事例、地盤工学会JGS、Vol.59、No.642、pp.6-9、2011.07 土屋富男:建物基礎における既存杭再利用の事例、地盤工学会JGS、Vol.61、No.667、pp.6-9、2013.08		
37	2013	東京都	複合施設	RC,S,CFT	23*2/B2	5,569(102,138)	場所打	アースドリル、一部オールケーシング	1.2~2.8	1.7~4.4	(-45)	268(169)	1983(1980)	事務所	S,SRC	18*2/B3	(57,486)	場所打ち杭	ベント(オールケーシング)	1~2	×	(-45)	236	河本慎一郎 他:超高層建築物における既存場所打ち杭の再使用に関する調査:その1 調査概要、日本建築学会AIJ(大会梗概集)、No.20232、pp.463-464、2013.08 渡邊徹 他:超高層建築物における既存場所打ち杭の再使用に関する調査:その2 健全性・耐久性に関する調査結果、日本建築学会AIJ(大会梗概集)、No.20233、pp.465-466、2013.08 富田菜都美 他:超高層建築物における既存場所打ち杭の再使用に関する調査:その3 鉛直載荷試験、日本建築学会AIJ(大会梗概集)、No.20234、pp.467-468、2013.08 河本慎一郎 他:超高層建築物における既存場所打ち杭再使用の事例 その1 設計概要、日本建築学会AIJ(大会梗概集)、No.20215、pp.429-430、2014.09 富田菜都美 他:超高層建築物における既存場所打ち杭再使用の事例 その2 沈下予測、日本建築学会AIJ(大会梗概集)、No.20216、pp.431-432、2014.09 富田菜都美 他:超高層建築物における既存場所打ち杭の再利用、基礎工、Vol.42、No.11、pp.58-61、2012.11		
38	2014	-	-	地上S,地下RC	6/B3	825	-	-	-	-	4(4)	1981	-	RC	10/B2	835	場所打ち杭	手掘深礎	1.8	3	8(-18)	?22	?新規に増し杭はしていない 掛谷誠 他:都市部における地上構造物解体中の既存杭調査、日本建築学会AIJ(大会梗概集)、No.20235、pp.469-470、2013.08			
39	2014	?東京都	立体駐車場	S	-	100	場所打	-	1.1	×	?26(-27.9)	?6(2)	1985	事務所	RC	6/B1	-	場所打ち杭	-	1.3,1.5	×	?26(-28.2)	?9	全長コアでは杭長23.5m 寺本博紀 他:狭小敷地における既存杭の水平力も負担させた再利用、日本建築学会AIJ(大会梗概集)、No.20362、pp.723-724、2014.09		
40	2016	-	-	地上S,地下RC	12/B1	940	場所打	-	-	-	-	?59(44)	1989	事務所	地上SRC,地下RC	10/B1	1,035	場所打ち杭	-	-	-	12.65(-17)	?47	設計前に杭頭調査実施 掛谷誠 他:ウォータージェットを利用した杭頭目視調査、日本建築学会AIJ(大会梗概集)、No.20227、pp.453-454、2014.09		

付表 1.2 既存杭利用事例一覧（設計に関する項目）

事例 No.	設計に関する項目				設計で参考にした図書
	鉛直支持力の設計に関する具体的な考え方	水平力の設計に関する具体的な考え方	設計クライテリアに関する具体的な考え方 (損傷限界までの設計か、終局限界までの設計か)	低減係数等に関する具体的な考え方	
1	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
2	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
3	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
4	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
5	既存杭は、鉛直力のみ負担	新設杭で全て負担	記載なし	記載なし	記載なし
6	先端支持層の評価をやり直し、長期許容支持力を低減させる。新設杭の長期許容支持力は、既存杭と同等とした。	剛性比に応じて水平力を負担させる	記載なし	記載なし	記載なし
7	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
8	鉛直力のみを既存杭で負担させる	新設杭で全て負担させる(行政指導による)	記載なし	記載なし	記載なし
9	記載なし	杭頭処理:杭頭を鋼管にて補強し、剛接合とした。	記載なし	記載なし	記載なし
10	急速載荷試験から、ばねを求めて既存杭と新設杭の鉛直力分担率を算定。新設杭の杭径を太くして、負担率が大きくなるようにしている。	新設杭での負担が大きくなるように、杭径を大きくしている。	終局までの設計	記載なし	記載なし
11	記載なし	記載無し	記載無し	記載無し	記載無し
12	記載なし	記載無し	記載無し	記載無し	記載無し
13	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
14	押込み試験及び急速載荷試験の結果を踏まえ、施工当時の杭材設計強度(PC/パイル)を考慮して決定。	水平載荷試験から地盤の水平地盤反力係数を評価し、杭の水平耐力を確認した。	記載無し	記載無し	地盤工学会編:「杭の鉛直交番載荷試験方法・同解説、第2編杭の押込み試験、第6編杭の急速載荷試験」、2002年5月 地盤工学会編:「杭の水平載荷試験方法・同解説」、1993年10月 その他、学術論文(詳細は、本編を参照のこと)
15	既存スパン内に新設柱を設け既存杭の耐力以下に納まるようにした。	各柱間を3分割するよう新設杭を配置するところにより既存の杭の水平分担率を30%程度になるよう計画した。	試験結果よりひび割れが存在しても短期許容曲げモーメント程度まではひび割れ発生前と同等の曲げ剛性を有していることを確認。鉛直・水平荷重に対して原設計以下で、かつ十分な安全率を確保する。	既存杭の性能のばらつきを考慮し設計用耐力を30%低減した。	建築業協会(2003):既存杭利用の手引き
16	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
17	新設杭及び上部柱は既存杭の負担面積を半減するように配置。支持力は東京都建築士事務所協会「建築構造設計指針」を参考。結果、支持力の上限值で決定。	既存杭と新設杭は杭頭部変形が同じと仮定して水平力を分担する。杭頭とマットスラブは剛接合。	曲げモーメントとせん断力が短期許容応力度による耐力以下であることを確認した。	記載なし	東京都建築構造行政連絡会監修:「建築構造設計指針」、2001年 建築業協会:「既存杭利用の手引き」、平成15年2月
18	設計当時の支持力計算式より鉛直支持力を算定。それにより当初設計の約85%相当に低減。	既存杭頭部に杭頭補強筋を設けることができないことから、地震時水平力は新設杭ですべて負担。	記載なし	記載なし	記載なし
19	沈下対策として利用	杭頭を固定としない 水平力を負担させない	記載なし	記載なし	記載なし
20	建物重量を小さくなるよう計画。	新設建物による応力が既存建物と比較し小さくなっていることを確認。	記載なし	記載なし	記載なし
21	記載なし	記載無し	記載無し	記載無し	記載無し
22	記載なし	記載無し	記載無し	記載無し	記載無し

事例 No.	設計に関する項目				設計で参考にした図書
	鉛直支持力の設計に関する具体的な考え方	水平力の設計に関する具体的な考え方	設計クライテリアに関する具体的な考え方 (損傷限界までの設計か、終局限界までの設計か)	低減係数等に関する具体的な考え方	
23	記載なし	記載無し	記載無し	記載無し	記載無し
24	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
25	使用材料や鉄筋量が設計当時の構造規定を満足していたため、新設杭と同等として再利用。基礎構造全体として設計当時の技術基準を満足する計画。既存杭には圧縮力と水平力を負担させ、引張力を負担させない設計。設計当時の技術基準により支持力を算定。	杭頭半剛接合を適用し、地震時応力を低減。耐力は設計当時の技術基準により算定。但し、水平力に関しては、新設杭のみでも負担できるように、新設杭を設計した	終局限界までの設計	記載なし	建設省住宅局指導課、日本建築センター:「地震力に対する建築物の基礎の設計指針」1984年9月 東京都建築士事務所協会:「建築構造設計指針」2001年 日本建築学会:「建築基礎構造設計指針」2001年 建設業協会:「既存杭利用の手引」 国土省住宅局建築指導課他監修:2007年版建築物の構造関係技術基準解説書(2007年6月) その他、学術論文(詳細は、本編を参照のこと)
26	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
27	鉛直支持力は既存杭、新設杭共に行政指導値(2500Ap)を採用した。	配筋の判明している既存杭と新設杭ですべての水平力を負担する。ただし、マッドスラブの検討には配筋の不明な既存杭も考慮した。	終局限界までの設計	調査結果等により、強度低減率 $\alpha=0.69$ とした。	1)既存杭等再使用の設計マニュアル(案) 2)既存杭利用の手引き 土質工学会編:「土質工学における化学の基礎と応用」、土質基礎工学ライブラリー15 東京都都市計画局編集:「建築物の耐震診断システムマニュアル(鉄筋コンクリート造)」 建築・設備維持保全推進協会(BELOA):「不動産投資・取引におけるエンジニアリング・レポート作成に係わるガイドライン」、2001年 その他、学術論文(詳細は、本編を参照のこと)
28	記載なし	記載なし	記載なし	調査結果等により、強度低減率 $\alpha=0.65$ とした。	1)既存杭等再使用の設計マニュアル(案) 日本エネルギー経済研究所計量分析ユニット編:「エネルギー・経済統計要覧2007年版」 東京都都市計画局編集:「建築物の耐震診断システムマニュアル(鉄筋コンクリート造)」 日本建設機械化協会建設業部会施工技術活性化分科会:「建設工事における二酸化炭素[CO2]排出量の算定」
29	既存杭は鉛直(圧縮)支持力のみ負担する計画。鉛直支持力は、平成13年国土交通省告示第1113号に準拠して算定。	既存杭では水平力は負担しない。	既存杭は終局耐力以内である。	調査結果等により、強度低減率 $\alpha=0.73$ とした。	(財)国土開発技術研究センター・建築物耐久性向上技術普及委員会編:「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術(1986年6月)」 構造法令研究会:「既存杭等再使用の設計マニュアル(案)」 その他、学術論文(詳細は、本編を参照のこと)
30	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
31	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
32	支持力は基礎構造設計指針より算定、極限支持力は載荷試験結果を用いた。既存杭は1Fスラブの荷重を負担し、その他は新設杭にて負担する。	新設杭のみで負担	記載なし	記載なし	記載なし
33	既存深礎は鉛直力のみ負担する計画。長期許容支持力は東京都建築士事務所協会の建築構造設計指針により算定し、許容値を2/3に低減。	新設深礎がすべて負担する設計。	記載なし	記載なし	建設業協会:「既存杭利用の手引」 東京都建築士事務所協会:「建築構造設計指針(2001年)」 東京都都市計画局:「建築物の耐震診断システムマニュアル(鉄筋コンクリート造)」(平成元年12月)
34	記載なし	記載なし	記載なし	調査結果等により、強度低減率 $\alpha=0.85$ とした。	東京都都市計画局編集:「建築物の耐震診断システムマニュアル(鉄筋コンクリート造)」 建設教土木研究所:「橋梁基礎構造の形状および損傷調査マニュアル(案)」 構造法令研究会:「既存杭等再使用の設計マニュアル(案)」
35	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
36	1)同規模への立替(建物重量は減少) 新設杭は荷重のバランスをとるために設置。既存杭は鉛直載荷試験により支持力の増加を評価した。	記載なし	記載なし	記載なし	1)既存杭利用の手引き
37	現行式より算定し、強度低減率 α を考慮、載荷試験結果以下の支持力とした	接合状況に固定度を設定、水平力分担率を調整	損傷限界および終局限界までの設計	鉛直:設計マニュアル(案)による強度低減率 $\alpha=0.9$	1)既存杭等再使用の設計マニュアル(案) 2)既存杭利用の手引き
38	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
39	既存構造図記載の支持力、告示および建築構造設計指針における支持力式のうち最小のもの0.7倍に設定	既存は新耐震以降の設計で、水平力を考慮した設計と判断。新設杭のみで水平力を負担した場合、新設杭と既存杭で水平力を負担した場合の2ケースを検討。	損傷限界までの設計	鉛直:0.7倍は設計者の配慮?	1)既存杭利用の手引き
40	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし

付録1-2 既存杭の調査数量の実態

(1) はじめに

試験数量の決定に関しては、明確な根拠がないのが現状である。品質確保の面からは目視調査、インテグリティ試験などが比較的簡単に行える条件であれば健全性調査は全数調査が望ましいが、書類調査等の結果や実施条件を考慮して、試験数量を決定する必要がある。改定にあたり数量決定に資することを目的として、付録1-1で挙げた既存杭利用事例40件を対象に、初版では網羅的に挙げていた調査方法(付表1.4)の実施状況を集計・分析した。

付表1.4 初版で紹介された既存杭の調査方法一覧

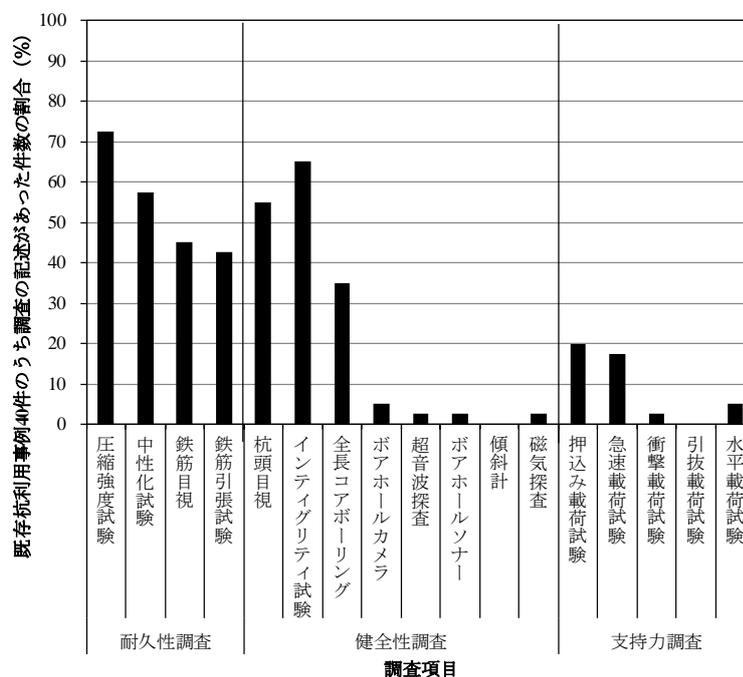
分類	No.	調査方法	調査項目	試験概要
耐久性調査	1	コンクリート圧縮強度試験	コンクリート強度	杭からコアボーリングにより試料を採取して圧縮試験を実施し、必要強度が確保されているか確認する。
	2	コンクリート中性化試験	コンクリートの中性化程度	杭をはつり、かぶり部分から適切な大きさのはつり片を採取して、フェノールフタレインの1%アルコール溶液を噴霧する。コンクリート表面から着色境界線までの距離を、中性化深さとしてスケールで測定する。
	3	鉄筋目視	鉄筋の腐食	杭頭部のコンクリートをはつり取って鉄筋表面を露出させ、目視により腐食状況を観察する。
	4	鉄筋引張試験	鉄筋の引張強度	杭から試験片をサンプリングして引張強度試験を実施し、必要強度が確保されているか確認する。
健全性調査	1	杭頭目視	杭配置、杭頭深さ、杭径、配筋・かぶり	スケールなどを用いて目視により、杭の健全性を確認する。
	2	インテグリティ試験	杭長(推定)、損傷位置	小型ハンマーなどを用いて低ひずみを発生させ、杭長などを非破壊で確認する。
	3	全長コアボーリング	施工杭長、スライム沈殿状況	利用しない杭などを対象に、ボーリングマシンを用いて全長コアボーリングを実施する。
	4	ボアホールカメラ	損傷位置・程度、杭長	CCDカメラなどを杭のボーリング孔に挿入して、ビデオなどに記録しながら杭内壁を観察する。
	5	超音波探査	損傷位置、施工不良	ボーリング孔などに測定器を挿入し、超音波伝播速度を利用して計測する。
	6	ボアホールソナー	杭径、損傷位置	ボーリング孔などに測定器を挿入し、P波を利用して弾性波を測定する。
	7	傾斜計	杭傾斜、切断位置	ボーリング孔などに傾斜計を挿入し、杭の傾斜や損傷(切断)などを測定する。
	8	磁気探査	杭長、杭配置	地盤のボーリング孔にセンサーを挿入し、鉄筋などの存在によって発生する磁気変化を測定する。
支持力調査	1	押込み/急速/衝撃載荷試験	鉛直支持力	地盤工学会基準：JGS 1811-2002, 1815-2002, 1816-2002 (杭の押込み/急速/衝撃載荷試験方法)
	2	引抜載荷試験	引抜抵抗力	地盤工学会基準：JGS 1813-2002 (杭の引抜き試験方法)
	3	水平載荷試験	水平抵抗力	地盤工学会基準：JGS 1831-2010 (杭の水平載荷試験方法)

(2) 既存杭調査の実施件数

既存杭利用事例40件のうち、調査の記述があった件数の割合を付図1.17に示す。図より、杭頭目視のような簡便に実施可能な試験であっても件数が少ない結果となっているが、これは、文献では記述を省略したのか、あるいは利用形態を考慮して実施しなかったのか(例えば、杭だけでなく地下躯体も再利用する場合は、躯体の損傷回避を優先して杭頭を露出させないことも考えられる)は定かではない。

耐久性調査については、どの試験も比較的よく実施されている。これは、新築建物の供用期間を通じて、既存杭の耐久性が新設杭同様に保たれる必要があることから、既存杭の経年劣化に関する関心が高いためと推察される。また、耐久性調査は、供試体を採取すれば実施

可能であるということも、要因の一つと考えられる。健全性調査については、試験によって実施件数に差があり、杭頭目視とインティグリティ試験、全長コアボーリング以外はほとんど実施されていない。杭頭が露出すれば、杭頭目視やインティグリティ試験を実施するのは容易であるが、そのほかについては、杭体や杭近傍地盤のボーリングが必要で手間と費用がかかるため、採用されないケースが多いと推察される。その中でも、全長コアボーリングの実施件数が多いのは、採取したコアの観察や圧縮強度試験により杭全長に渡ってコンクリートの状態を確認できるほか、コア孔を利用してボアホールソナーやボアホールカメラといった調査も可能で、コア孔を利用して計測したヤング係数を用いてインティグリティ試験の伝播速度の較正も行うことができる等、得られる効果が大きいためと考えられる。支持力調査については、耐久性や健全性の調査に比べ実施件数は少ないが、実施にかかる手間と費用が非常に大きいためと考えられる。



付図 1.17 耐久性・健全性・支持力調査の実施件数

(3) 既存杭の調査数量

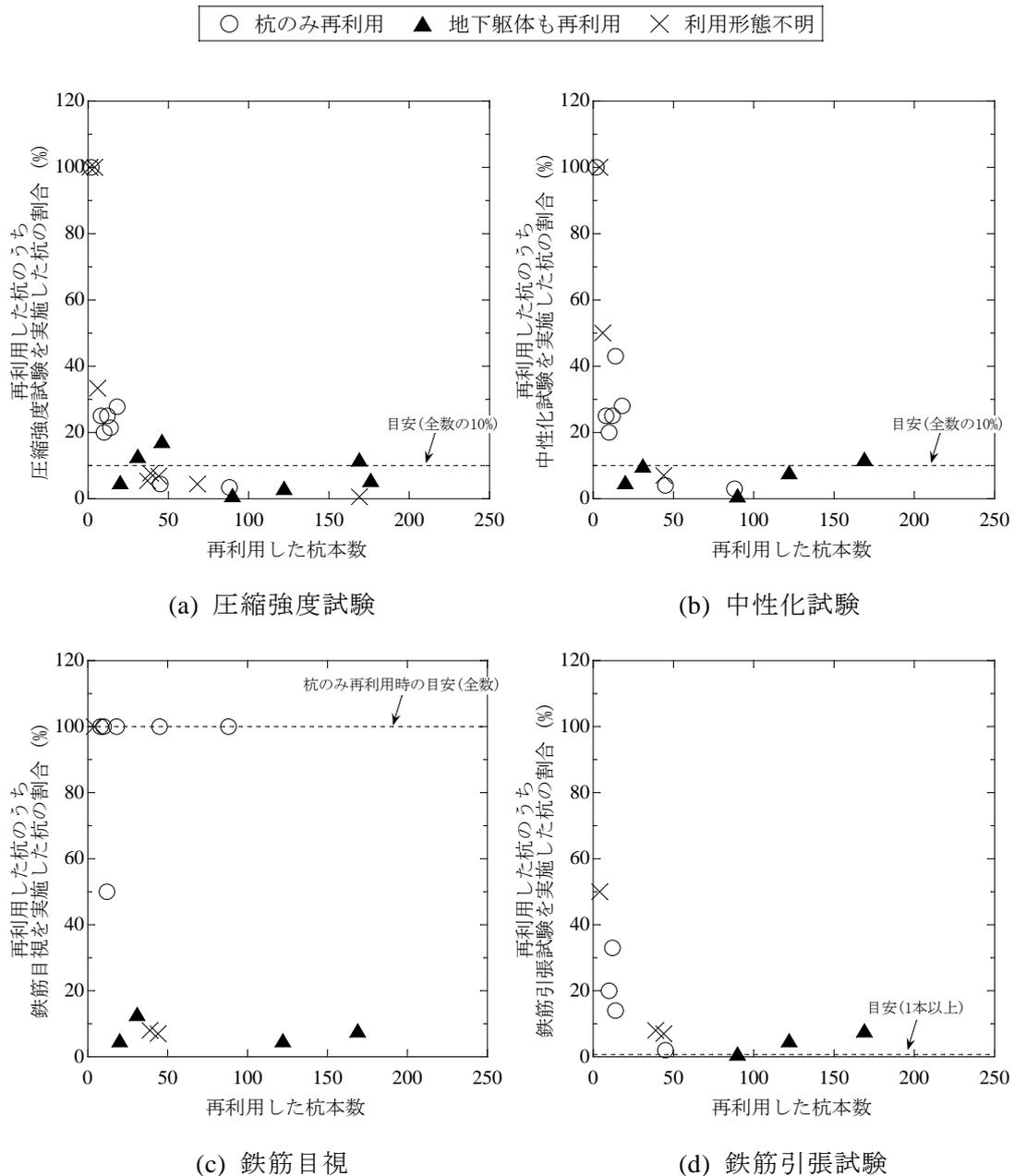
次に、実施件数の多かった調査のうち、耐久性調査（圧縮強度試験、中性化試験、鉄筋目視、鉄筋引張試験）、および健全性調査（杭頭目視、インティグリティ試験、全長コアボーリング）の7試験について、再利用した杭のうち調査を実施した杭の割合（以下、調査割合と称する）を調査した。支持力調査は実施件数が少ないことから、本数量調査からは除外した。

① 耐久性調査

圧縮強度試験と中性化試験の調査割合を付図 1.18(a), (b)に示す。どちらも、再利用本数が少ないと調査する杭本数は多くなり、全数調査する事例もある。再利用本数が多くなると、全数の 10%程度となる事例が多くなり、調査杭本数が 5 本以下の事例が約 9 割を占める。これについては、技術的に調査可能な杭本数に限界があった、コスト・工期を勘案して最小限

の調査杭本数とした、初めから抜き取り調査として計画した、など様々考えられるが、詳細は不明である。また、調査杭1本あたり概ね3体の試料を採取している。

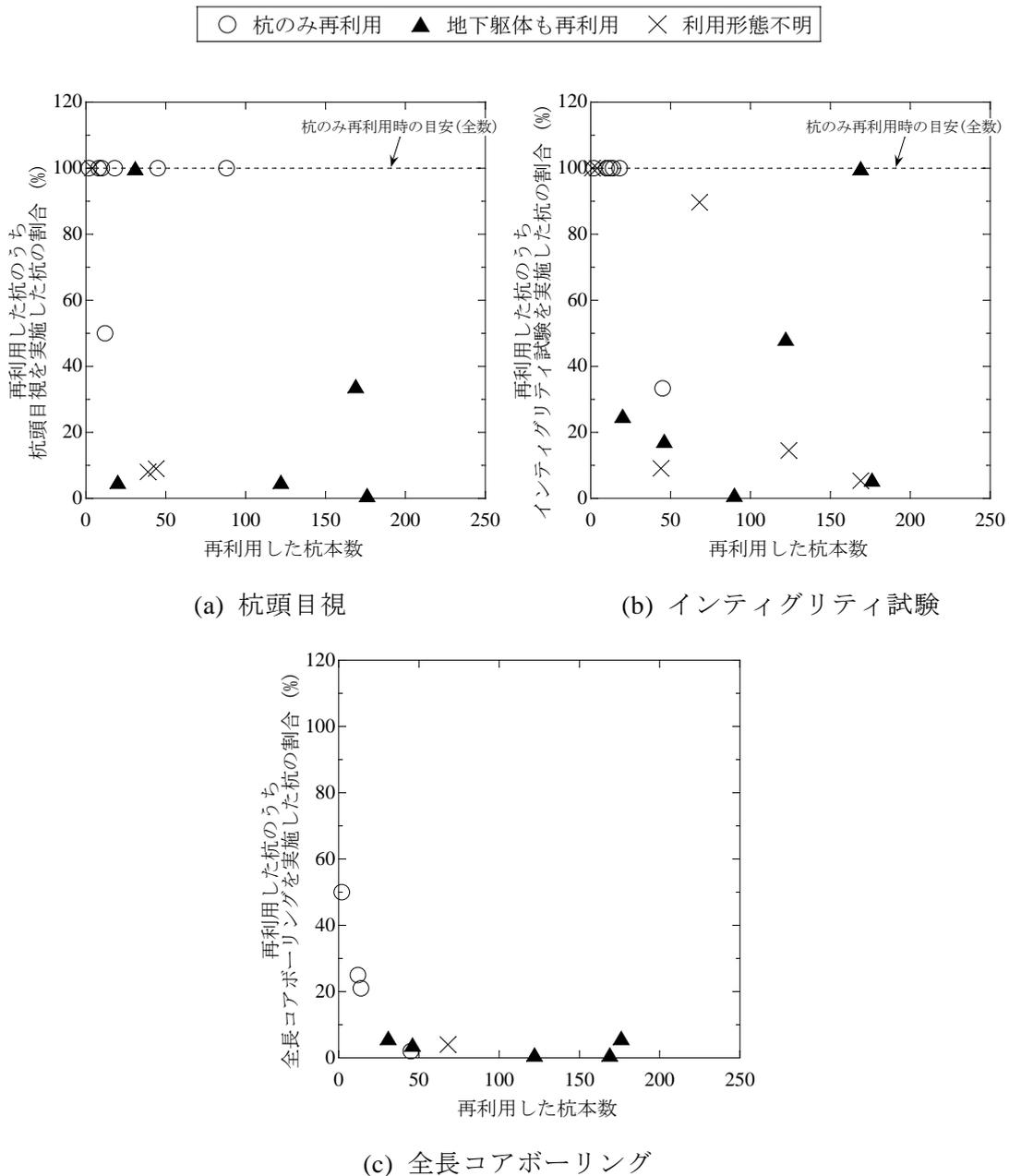
続いて、鉄筋目視と鉄筋引張試験の調査割合を付図 1.18(c), (d)に示す。鉄筋目視について、杭のみ再利用する場合には全数調査を実施する事例が多いが、地下躯体を解体して杭頭が露出することに加え、試料採取を必要とせず安価に実施できるためと考えられる。鉄筋引張試験については、前述した圧縮強度試験、中性化試験と同様に、調査杭本数が5本以下の事例が約9割を占める。また、調査杭1本あたり概ね3体の試料を採取している。



付図 1.18 再利用した杭のうち調査を実施した杭の割合（耐久性調査）

②健全性調査

杭頭目視、インテグリティ試験および全長コアボーリングについて、調査割合を付図 1.19 に示す。杭頭目視とインテグリティ試験について、杭のみ再利用する場合には全数調査を実施する事例が多いが、地下躯体の解体により杭頭が露出し、試験を実施し易いためと考えられる。地下躯体も再利用する場合には試験の実施が困難になるため、杭頭目視の調査杭本数は少なくなるが、インテグリティ試験については半数から全数近く調査する事例もある。全長コアボーリングについては、どの事例でも調査杭本数は少なく、数本程度である。



付図 1.19 再利用した杭のうち調査を実施した杭の割合 (健全性調査)

付録1-3 既存杭の耐久性について

(1) 場所打ちコンクリート杭および既製コンクリート杭の耐久性

地中にあるコンクリート系の杭の耐久性は、大気に暴露される上部躯体に比べ、良好な可能性が高いと考えられる。改定にあたり、その耐久性の実態把握を目的として、付録 1-1 の冒頭で述べた既存杭の利用実績 215 件（同一建物含む）のうち、耐久性試験結果に関する記述があった文献について、試験結果を集計・分析した。対象とした文献は付表 1.5 に示す通りであり、付録 1-1 と 1-2 で対象とした利用事例 40 件の一部が含まれている。

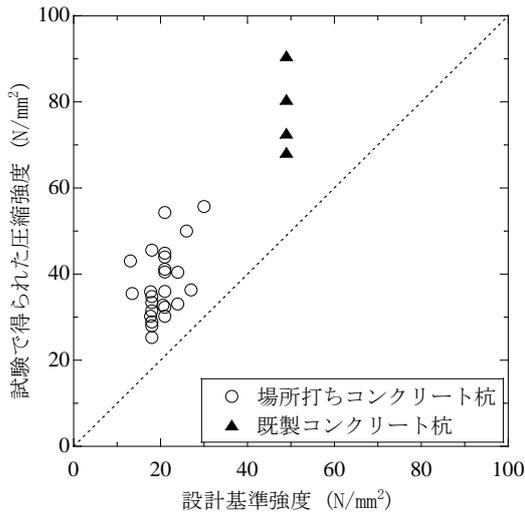
試験で得られた杭体コンクリートの圧縮強度と設計基準強度を比較し、付図 1.20 に示す。図より、場所打ちコンクリート杭、既製コンクリート杭のどちらも値にばらつきはあるものの、設計基準強度を上回ることを確認できる。

続いて、中性化深さと経過年数の関係を付図 1.21 に示す。大半の結果は試験で得られた最大値であるが、場所打ちコンクリート杭については一部、平均値の結果も含まれている。また、「中性化が見られない」等とのみ記述されているケースは、値をゼロとした。比較のため、大気中における中性化深さの進展予測式^{付 1.23)}による値（水セメント比 60%）も併せて示しており、調査時の経過年数が明らかでない文献については、新築建物と既存建物の竣工年の差を経過年数とした。図より、場所打ちコンクリート杭の値はばらつきが大きい、予測値を下回ることを確認できる。既製コンクリート杭の値は、場所打ちコンクリート杭に比べ非常に小さく中性化はほとんど進展していないが、遠心成型により緻密な構造となるためと考えられる。

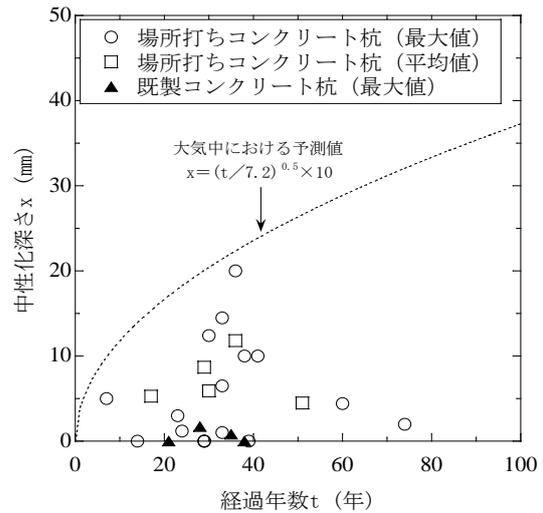
次に、試験で得られた場所打ちコンクリート杭の杭主筋、および既製コンクリート杭の PC 鋼材の降伏点と引張強さについて、JIS の規格値と比較して付図 1.22-1.23 に示す。図より、場所打ちコンクリート杭、既製コンクリート杭のどちらも規格値を上回ることを確認できる。また、同様の強度試験である付図 1.20 のコンクリート圧縮強度試験結果と比較して、ばらつきが小さいが、調合するコンクリートと異なり、鉄筋や PC 鋼材は工場製品であり品質が安定しているためと考えられる。

付表 1.5 場所打ちコンクリート杭および既製コンクリート杭の耐久性調査結果の一覧（記述が無い項目は“-”）

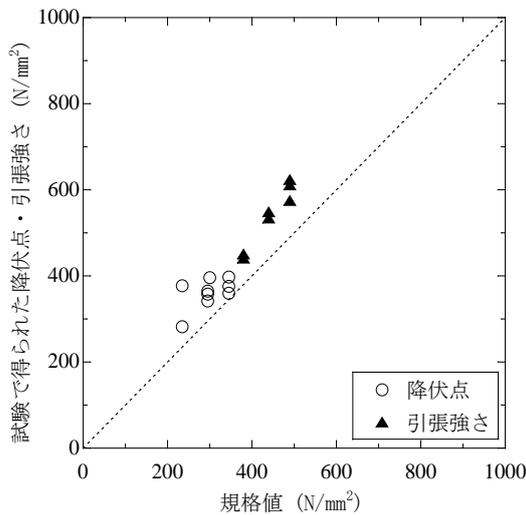
事例 No.	基礎情報		建物情報			圧縮強度			中性化深さ				鉄筋引張試験						参考文献 No.	
	杭種	工法	新築竣工	既存竣工	経過年数	設計値	試験値	偏差	予測値	試験値	偏差	備考 []は文献での記述	材質	降伏点(N/mm ²)			引張強さ(N/mm ²)			
						N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm	mm			規格値	試験値	偏差	規格値	試験値		偏差
12	場所打ちコンクリート杭	アースドリル	2002	1979	23	18	33.4	4.4	17.9	3	-	最大(数mm)	-	-	-	-	-	-	-	1.1
13	場所打ちコンクリート杭	アースドリル	2004	1965	39	-	29.6	1.7	23.3	0	-	[認められず]	SR24	235	282	2.3	380	441	-	1.2
16	場所打ちコンクリート杭	アースドリル	2004	1971	33	18	34.8	6.7	21.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.3
17	場所打ちコンクリート杭	BH	2004	1990	14	24	33.1	1.1	13.9	0	0	最大	-	-	-	-	-	-	-	1.4
21	場所打ちコンクリート杭	ペノト	2004	1979	25	18	28.9	4.3	18.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1
23	場所打ちコンクリート杭	アースドリル	2006	1983	23	21	44	0.7	17.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1
25	場所打ちコンクリート杭	アースドリル	2007	1978	29	18	31.5	1.3	20.1	0	-	最大	SD295	295	358	7.9	440	549	8.8	1.5
26	場所打ちコンクリート杭	ペデスタル	2007	1933	74	-	73.5	18.6	32.1	2	-	最大[基礎梁と同程度]	-	-	-	-	-	-	-	1.6
27	場所打ちコンクリート杭	ペノト	2007	1978	29	21	36	8.2	20.1	0	-	[進行しておらず]	SD345	345	-	-	490	624	31.8	1.7
28	場所打ちコンクリート杭	-	2006	1973	33	17.7	30.2	-	21.4	14.5	-	最大(平均7.2mm)	SD35	345	397	-	490	611	-	1.8
29	場所打ちコンクリート杭	アースドリル	2008	1972	36	20.6	32.8	4.3	22.4	20	-	最大	SD295A	295	342	10.7	440	534	14.2	1.9
33	場所打ちコンクリート杭	-	2011	1973	38	18	28	1.2	23	10	3.7	最大(平均1.7mm)	-	-	-	-	-	-	-	1.1
34	場所打ちコンクリート杭	-	2007	2000	7	30	55.7	3.3	9.9	5	0.9	最大(平均3.4mm)	-	-	-	-	-	-	-	1.11
36	場所打ちコンクリート杭	-	2011	1970	41	27	36.3	-	23.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.12
37	場所打ちコンクリート杭	ペノト	2013	1983	30	21	44.9	5.2	20.4	12.4	-	最大(平均1.5mm)	SD295	295	365	15.1	440	-	-	1.13
38	場所打ちコンクリート杭	深礎	2014	1981	33	21	30.2	-	21.4	6.5	-	最大	SD345	345	376	-	490	575	-	1.14
39	場所打ちコンクリート杭	-	2014	1985	29	21	40.5	-	20.1	0	-	[見られず]	SD345	345	360	-	490	-	-	1.15
-	場所打ちコンクリート杭	-	-	1960	33	17.7	35.9	2.3	21.4	1	-	最大	-	-	-	-	-	-	-	1.16
-	場所打ちコンクリート杭	オルケーシク [®]	-	1972	29	18	25.3	2.8	20.1	8.7	2.6	平均	-	-	-	-	-	-	-	1.1
-	場所打ちコンクリート杭	オルケーシク [®]	-	1965	36	18	45.6	2.8	22.4	11.8	3.9	平均	-	-	-	-	-	-	-	1.1
-	場所打ちコンクリート杭	アースドリル	-	1984	17	24	40.4	3.8	15.4	5.3	2	平均	-	-	-	-	-	-	-	1.1
-	場所打ちコンクリート杭	深礎	-	1970	41	13.5	35.5	4.9	23.9	10	1.6	最大(平均8mm)	-	-	-	-	-	-	-	1.1
-	場所打ちコンクリート杭	-	-	1978	24	21	32.3	3.9	18.3	1.2	-	最大(平均0.4mm)	SD30	300	396	19.4	-	-	-	1.1
-	(上)場所打ちコンクリート杭,(下)米松杭	-	-	1924	60	13.1	43.1	0.3	28.9	4.4	1.2	最大(平均2.4mm)	SR24	235	377	-	380	451	-	1.17
-	場所打ちコンクリート杭	ペノト	-	1960	51	26	51.4	5.4	26.6	4.5	3.8	平均	-	-	-	-	-	-	-	1.18
-	場所打ちコンクリート杭	アースドリル	-	1986	30	21	54.3	7.5	20.4	5.9	2.4	平均	-	-	-	-	-	-	-	1.19
14	既製コンクリート杭	打込み	2003	1974	29	49	80.6	-	20.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2
15	既製コンクリート杭	打撃	2004	1983	21	49	90.7	6	17.1	0	-	[見られず]	PC鋼棒	1275	1427	55	1420	1478	29	1.21
18	既製コンクリート杭	打込み	2004	1966	38	-	87.3	4.7	23	0	-	最大	-	-	-	-	-	-	-	1.22
-	既製コンクリート杭	-	-	1967	35	49	72.7	8.5	22	0.8	-	最大(平均0.3mm)	材質不明	-	-	-	-	1398	43.8	1.1
-	既製コンクリート杭	-	-	1974	28	49	68.3	5	19.7	1.7	-	最大(平均1.0mm)	PC鋼線	-	-	-	1520	1562	70.9	1.1



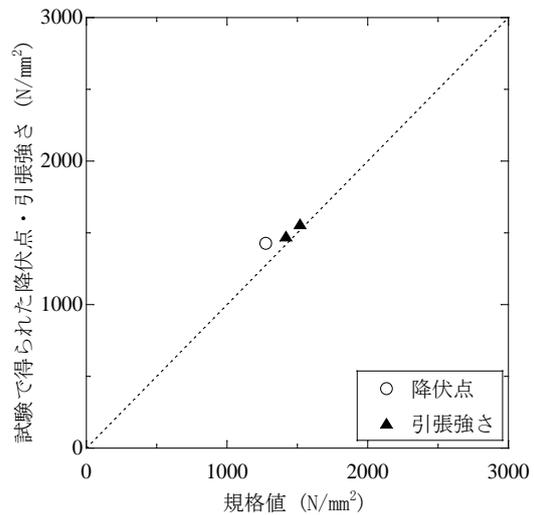
付図 1.20 杭体コンクリートの圧縮強度



付図 1.21 杭体コンクリートの中性化深さ



付図 1.22 場所打ちコンクリート杭の杭主筋の降伏点・引張強さ



付図 1.23 既製コンクリート杭のPC鋼材の降伏点・引張強さ

(2) 鋼管杭の耐久性

鋼管杭は、腐食に対する検討が必要である。一般に自然地盤では、鋼材の腐食進行速度はさほど大きくないことが報告されており、通常、鋼管の板厚に腐食代を考慮することで対処している。鋼管杭の腐食に対する実測結果は、大崎^{付 1.24)}によって 10 年間に及ぶ腐食の実測結果が報告されている。建築基礎構造設計指針^{付 1.25)}では、年間両面腐食率として、実測の平均値に標準偏差の 2 倍を加えた値 (0.0206mm) を採用し、腐食の進行速度を一定と仮定すると、50 年で 1mm、100 年で 2mm となる。腐食率が経過年数とともに急減することを考慮すると、実際の腐食率はこれらの値よりかなり小さいと考えられることから、腐食代として 1mm 程度をとれば十分としている。腐食代については、建築・土木の各基準によって差異があり、一般的に 1~2mm と規定されているが、最近では腐食調査が蓄積され特殊環境を除い

て1mm（耐用年数100年）に移行している^{付1.26}。ただし、温泉地、産業廃棄物による埋土、薬品工場の跡地などで、地盤や地下水が強い酸性を呈する場合や迷走電流の影響が無視できない場合には、腐食の進行速度が速まることが懸念され、注意を要する。

鋼管杭の再利用に際しては、杭頭部の鋼管の肉厚測定等によって、腐食の進行状況を確認することが望ましい。調査結果に基づく肉厚実測値からさらに腐食代1mm程度を考慮し、鋼管杭の断面性能を評価すべきであると考えられる。

【参考文献】

- 付1.1) 伊勢本昇昭：既存杭再利用のための耐久性調査，基礎工，Vol.39，No.2，pp.69-72，2011.2
- 付1.2) 二木幹夫，伊勢本昇昭，持田悟，阿部秋男，犬飼瑞郎：既存鉄筋コンクリート造基礎杭の再利用技術 その1 概要，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.675-676，2004.7
- 付1.3) 椿原康則，土屋富男：既存場所打ちコンクリート杭の健全性調査例，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.661-662，2010.7
- 付1.4) 鈴木裕美，小山智子：既存杭の再利用例，基礎工，Vol.33，No.4，pp.56-59，2005.4
- 付1.5) 堀井良浩，小野森司，長尾俊昌，石澤賢史：既存場所打ち杭の再利用事例—杭頭半剛接合の適用—，基礎工，Vol.39，No.2，pp.33-36，2011.2
- 付1.6) 渡邊徹，鈴木裕美，西川泰弘，梅野岳，内山晴夫：昭和初期に建設された建築物基礎の構造性能，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.449-450，2008.7
- 付1.7) 檜原泰史：場所打ち杭の再使用事例，基礎工，Vol.39，No.2，pp.37-41，2011.2
- 付1.8) 構造法令研究会：既存杭等再使用の設計マニュアル(案)，既存杭再使用事例E工事，pp.91-124，2008.1
- 付1.9) 角田光正，辻泰一，宮田章，矢島英明，小山博司，岩本直之，田中伸治，飯島正敏：超高層建築物における既存杭利用（その1）既存杭利用の概要と構造設計，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.565-566，2007.7
- 付1.10) 宮田章，吉貝滋，村松匡太，井上智晶：既存深礎の活用，基礎工，Vol.38，No.1，pp.91-93，2010.1
- 付1.11) 江寺雅文：既存基礎再使用における行政の対応，基礎工，Vol.39，No.2，pp.10-16，2011.2
- 付1.12) 島野幸弘，澤井祥晃，内田明彦，椿原康則：中高層オフィスビルにおける既存場所打ち杭の再利用事例，基礎工，Vol.39，No.2，pp.53-56，2011.2
- 付1.13) 河本慎一郎，辰濃達，富田菜都美，石崎定幸，渡邊徹，長尾俊昌，原順：超高層建物における既存場所打ち杭の再使用に関する調査 その1 調査概要，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.463-464，2013.8
- 付1.14) 掛谷誠，宮田章：都市部における地上構造物解体中の既存杭調査，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.469-470，2013.8
- 付1.15) 寺本博紀，金子治：狭小敷地における既存杭の水平力も負担させた再利用，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.723-724，2014.9
- 付1.16) 真野英之，淵本正樹：施工後30年以上経過した場所打ち杭の性状調査，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1031-1032，1995.7
- 付1.17) 中島拓，山崎和夫：60年を経過したコンクリート杭の性状 《旧中川水文の基礎杭調査結果より》，セメント・コンクリート，No.453，pp.2-11，1984
- 付1.18) 石井雄輔，西山高士，山下清，桑原文夫：昭和30年代に築造されたベノト杭の掘出し調査（その1）掘出し調査の概要，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.405-406，2012.9

- 付1.19) 児島理士, 勝二理智, 藤井達, 奥村豪悠, 若井修一: 築造後 30 年の場所打ちコンクリート杭の掘出し調査 (その 1) 外観の調査および鉄筋の調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.565-566, 2017.7
- 付1.20) 浦山千明, 阪井由尚, 沼上清, 矢島淳二, 三浦正悟: 既存打込み PC パイルの再利用例, 基礎工, Vol.33, No.4, pp.43-46, 2005.4
- 付1.21) 杉本祐志, 藤田超司: 既存杭を含む既存基礎の再利用事例, 基礎工, Vol.33, No.4, pp.47-50, 2005.4
- 付1.22) 築谷朋也, 楠本隆: 既存杭を利用した新築建物の曳家工事, 基礎工, Vol.33, No.4, pp.60-64, 2005.4
- 付1.23) 岸谷孝一: 鉄筋コンクリートの耐久性, 鹿島出版社, 1963
- 付1.24) Y.Osaki: Corrosion of Steel Piles Driven in Soil Deposits, Research Reports 81-04, Dept. of Architecture, Tokyo Univ., 1981
- 付1.25) 日本建築学会編: 建築基礎構造設計指針, 第 6 章 杭基礎, 6.2 節 杭の種類と性能, 6.7 節 杭体の断面設計, 2001.10
- 付1.26) 鋼管杭・鋼管矢板技術協会編: 鋼管杭 その設計と施工, 第 6 編 腐食及び防食, 2009.4

付録2 既存杭利用によるCO₂排出量の試算例

(1) はじめに

既存杭の利用は、建設コストの削減及び工期の短縮に貢献する他に、環境負荷を低減する効果が大きいと考えられる。解体及び新設杭施工による環境負荷には、産業廃棄物（コンクリートがら、鉄筋、汚泥等）、振動、騒音の発生に加え、CO₂の排出がある。CO₂排出量の削減は京都議定書（平成9年採択）において義務付けられており、パリ協定（平成27年採択）において途上国を含めたすべての国で、温室効果ガス削減の目標を提出し実施することになっている。よって、建設業界においても重要な使命であると言える。

以下に、既存杭の解体及び新設杭の施工に伴って発生するCO₂排出量を試算した結果を示し、既存杭利用の環境負荷低減効果の基礎データとする。解体及び杭の施工時に発生するCO₂の主な発生源は、施工機械等が使用する軽油、灯油、都市ガス、電力である。その中でも特に多く使用されているのが軽油であることから、施工機械は使用する燃料が軽油のものを想定した。記載された数値に関しては、実状に即して各自設定を行い計算を行う事とする。（試算に使用した場所打ちコンクリート杭、PHC杭には特に関連はなく、汎用性の高い物を各々設定した。）

使用した軽油からCO₂排出量に換算する計算式は、環境省が示している温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル（平成28年）に記載の下式による。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量}(\text{tCO}_2) = \text{燃料使用量}(\text{kL}) \times \text{単位発熱量}(37.7(\text{GJ/kL})) \\ \times \text{排出係数}(0.0187(\text{tC/GJ})) \times 44/12$$

(2) 場所打ちコンクリート杭解体時に発生するCO₂排出量の試算

全回転型オールケーシング掘削機によって約60m³の杭（直径1.8m、長さ23mの場所打ちコンクリート杭を想定）を解体し、処分場へ搬送、再資源化する。解体する杭は多数本あることとして、杭1本当たりのCO₂排出量を計算する。

① 杭の撤去工事（全回転型オールケーシング掘削機、スキッド式φ2000）

- ・ 機関出力^{付2.1)}： 143(kW)
- ・ 燃料消費率^{付2.1)}： 0.104(L/kW-h)
- ・ 撤去能率： 半切り掘削(8m/d)と想定
- ・ 燃費： 143×0.104=14.872(L/h)
14.872×6.50=97(L/d) （1日の作業時間6.50h想定）
- ・ 使用軽油量： 97×23×2/8=558(L)
- ・ CO₂排出量： 0.558×37.7×0.0187×44/12=1.442(tCO₂)

② 杭の撤去工事（クローラクレーン90t）

- ・ 機関出力^{付2.1)}： 184(kW)
- ・ 燃料消費率^{付2.1)}： 0.076(L/kW-h)
- ・ 燃費： 184×0.076=13.984(L/h)
13.984×5.83=82(L/d) （1日の作業時間5.83h想定）
- ・ 使用軽油量： 82×23×2/8=472(L)

- ・ CO₂ 排出量： $0.472 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44/12 = \underline{1.220}(\text{tCO}_2)$
- ③杭の撤去工事（バックホウ 0.45m³）
- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 60(kW)
 - ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.153(L/kW-h)
 - ・ 燃費： $60 \times 0.153 = 9.180(\text{L/h})$
 $9.180 \times 6.27 = 58(\text{L/d})$ （1日の作業時間 6.27h 想定）
 - ・ 使用軽油量： $58 \times 23 \times 2 / 8 = 334(\text{L})$
 - ・ CO₂ 排出量： $0.334 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44/12 = \underline{0.863}(\text{tCO}_2)$
- ④解体材処理、分別（バックホウ 1.0m³）圧搾機
- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 116(kW)
 - ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.153(L/kW-h)
 - ・ 燃費： $116 \times 0.153 = 17.748(\text{L/h})$
 $17.748 \times 6.27 = 111(\text{L/d})$ （1日の作業時間 6.27h 想定）
 - ・ 使用軽油量： $111 \times 23 \times 2 / 8 = 638(\text{L})$
 - ・ CO₂ 排出量： $0.638 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44/12 = \underline{1.649}(\text{tCO}_2)$
- ⑤処分場への搬送（ダンプトラック 10t）
- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 246(kW)
 - ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.043(L/kW-h)
 - ・ 燃費： $246 \times 0.043 = 10.578(\text{L/h})$
 - ・ 処分場までの距離： 片道 20(km) と仮定（往復搬送）
 - ・ 走行時間： $20 \times 2 / 40 = 1.00(\text{h})$ （平均走行速度 40km/h 想定）
 - ・ 必要台数： $60 \times 2.3 / 10 = 13.8 \rightarrow 14$ 台
 - ・ 総走行時間： $14 \times 1.00 = 14.00(\text{h})$
 - ・ 使用軽油量： $14.00 \times 10.578 = 148(\text{L})$
 - ・ CO₂ 排出量： $0.148 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44/12 = \underline{0.383}(\text{tCO}_2)$
- ⑥処分場での再資源化
- ・ CO₂ 排出量単位^{付 2.2)}： 2.28(kgCO₂/t)（現場外処理）
 - ・ CO₂ 排出量： $2.28 \times 60 \times 2.3 / 1000 = \underline{0.315}(\text{tCO}_2)$
- ①+②+③+④+⑤+⑥
- ・ CO₂ 排出量： $1.442 + 1.220 + 0.863 + 1.649 + 0.383 + 0.315 = \underline{5.872}(\text{tCO}_2)$

以上より、全回転型オールケーシング掘削機によって約 60m³の杭（直径 1.8m、長さ 23m の場所打ちコンクリート杭）を解体する際の CO₂ 排出量は、杭一本あたり 5.872(tCO₂)と算定される。

（3）場所打ちコンクリート杭造成時に発生する CO₂ 排出量の試算

アースドリル掘削機によって約 60m³の杭（直径 1.8m、長さ 23m の場所打ちコンクリート杭を想定）を造成する。造成する杭は多数本あることとして、杭 1 本当たりの CO₂ 排出量を計算する。

- ①掘削（アースドリル掘削機）
- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 124(kW)
 - ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.093(L/kW-h)
 - ・ 作業能率： 1日1本 (1.0d)
 - ・ 燃費： $124 \times 0.093 = 11.532$ (L/h)
 $11.532 \times 5.90 = 68$ (L/d) (1日の作業時間 5.90h 想定)
 - ・ 使用軽油量： $68 \times 1.0 = 68$ (L)
 - ・ CO₂ 排出量： $0.068 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44/12 = \underline{0.176}$ (tCO₂)
- ②掘削、建込（ラフテレーンクレーン 50t）
- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 257(kW)
 - ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.088(L/kW-h)
 - ・ 燃費： $257 \times 0.088 = 22.616$ (L/h)
 $22.616 \times 6.00 = 136$ (L/d) (1日の作業時間 6.00h 想定)
 - ・ 使用軽油量： $136 \times 1.0 = 136$ (L)
 - ・ CO₂ 排出量： $0.136 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44/12 = \underline{0.352}$ (tCO₂)
- ③掘削、建込、打設（発動発電機：プラント 125kVA、鉄筋加工 60kVA、打設時 45kVA）
- ・ 機関出力^{付 2.1)}： $117 + 57 + 42 = 216$ (kW)
 - ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.145(L/kW-h)
 - ・ 燃費： $216 \times 0.145 = 31.320$ (L/h)
 $31.320 \times 6.00 = 188$ (L/d) (1日の作業時間 6.00h 想定)
 - ・ 使用軽油量： $188 \times 1.0 = 188$ (L)
 - ・ CO₂ 排出量： $0.188 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44/12 = \underline{0.486}$ (tCO₂)
- ④レディーミクストコンクリート打設（トラックミキサ 4.25m³）
- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 213(kW)
 - ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.059(L/kW-h)
 - ・ 燃費： $213 \times 0.059 = 12.567$ (L/h)
 - ・ プラントまでの距離： 片道 5(km) と仮定（往復搬送）
 - ・ 走行時間： $5 \times 2 / 40 = 0.25$ (h) (平均走行速度 40km/h 想定)
 - ・ 必要台数： $60 \times 1.08 / 4.25 = 15.2 \rightarrow 16$ 台
(コンクリート割増補正：10%[~φ1200]、8%[φ1300~]と設定)
 - ・ 総走行時間： $16 \times 0.25 = 4.00$ (h)
 - ・ 使用軽油量： $4.00 \times 12.567 = 50$ (L)
 - ・ CO₂ 排出量： $0.050 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44/12 = \underline{0.129}$ (tCO₂)
- ⑤排出土処理（バックホウ 0.45m³）
- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 60(kW)
 - ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.153(L/kW-h)
 - ・ 燃費： $60 \times 0.153 = 9.180$ (L/h)
 $9.180 \times 6.27 = 58$ (L/d) (1日の作業時間 6.27h 想定)
 - ・ 使用軽油量： $58 \times 1.0 = 58$ (L)
 - ・ CO₂ 排出量： $0.058 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44/12 = \underline{0.150}$ (tCO₂)

⑥掘削残土搬出（ダンプトラック 10t）

- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 246(kW)
- ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.043(L/kW-h)
- ・ 燃費： $246 \times 0.043 = 10.578$ (L/h)
- ・ 処分場までの距離： 片道 20(km) と仮定（往復搬送）
- ・ 走行時間： $20 \times 2 / 40 = 1.00$ (h) （平均走行速度 40km/h と想定）
- ・ 必要台数： $60 \times 1.8 / 10 = 10.8 \rightarrow 11$ 台
- ・ 総走行時間： $11 \times 1.00 = 11.00$ (h)
- ・ 使用軽油量： $11.00 \times 10.578 = 116$ (L)
- ・ CO₂ 排出量： $0.116 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44 / 12 = 0.300$ (tCO₂)

⑦場所打ちコンクリート杭材料

- ・ 環境負荷原単位^{付 2.3)}： 374.5(kgCO₂/m³) （高炉 B 種、Fc=30N/mm² 想定）
- ・ CO₂ 排出量： $374.5 \times 60 \times 1.08 / 1000 = 24.268$ (tCO₂)

①+②+③+④+⑤+⑥+⑦

- ・ CO₂ 排出量： $0.176 + 0.352 + 0.486 + 0.129 + 0.150 + 0.300 + 24.268 = 25.861$ (tCO₂)

以上より、アースドリル掘削機によって約 60m³の杭（直径 1.8m、長さ 23m の場所打ちコンクリート杭）を造成する際の CO₂ 排出量は、杭一本あたり 25.861(tCO₂)と算定される。

（4）PHC 杭解体時に発生する CO₂ 排出量の試算

オーガケーシング杭抜工法によって杭材料約 4m³の杭（直径 0.6m、コンクリート断面積 0.1442m²、長さ 28m の PHC 杭を想定）を解体し、処分場へ搬送、再資源化する。解体する杭は多数本あることとして、杭 1 本当りの CO₂ 排出量を計算する。

①杭の撤去工事（油圧伸縮ジブ型クローラクレーン 50~55t）

- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 158(kW)
- ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.076(L/kW-h)
- ・ 撤去能率： 20m/d と想定
- ・ 燃費： $158 \times 0.076 = 12.008$ (L/h)
 $12.008 \times 5.90 = 71$ (L/d) （1 日の作業時間 5.90h 想定）
- ・ 使用軽油量： $71 \times 28 / 20 = 99$ (L)
- ・ CO₂ 排出量： $0.099 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44 / 12 = 0.256$ (tCO₂)

②杭の撤去工事（クローラクレーン 90t）

- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 184(kW)
- ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.076(L/kW-h)
- ・ 燃費： $184 \times 0.076 = 13.984$ (L/h)
 $13.984 \times 5.83 = 82$ (L/d) （1 日の作業時間 5.83h 想定）
- ・ 使用軽油量： $82 \times 28 / 20 = 115$ (L)
- ・ CO₂ 排出量： $0.115 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44 / 12 = 0.297$ (tCO₂)

③杭の撤去工事（バックホウ 0.45m³）

- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 60(kW)
- ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.153(L/kW-h)
- ・ 燃費：
 $60 \times 0.153 = 9.180$ (L/h)
 $9.180 \times 6.27 = 58$ (L/d) （1日の作業時間 6.27h 想定）
- ・ 使用軽油量： $58 \times 28 / 20 = 81$ (L)
- ・ CO₂ 排出量： $0.081 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44 / 12 = \underline{0.209}$ (tCO₂)

④解体材処理、分別（バックホウ 1.0m³）圧搾機

- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 116(kW)
- ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.153(L/kW-h)
- ・ 燃費：
 $116 \times 0.153 = 17.748$ (L/h)
 $17.748 \times 6.27 = 111$ (L/d) （1日の作業時間 6.27h 想定）
- ・ 使用軽油量： $111 \times 28 / 20 = 155$ (L)
- ・ CO₂ 排出量： $0.155 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44 / 12 = \underline{0.401}$ (tCO₂)

⑤処分場への搬送（ダンプトラック 10t）

- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 246(kW)
- ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.043(L/kW-h)
- ・ 燃費：
 $246 \times 0.043 = 10.578$ (L/h)
- ・ 処分場までの距離： 片道 20(km) と仮定（往復搬送）
- ・ 走行時間：
 $20 \times 2 / 40 = 1.00$ (h) （平均走行速度 40km/h 想定）
- ・ 必要台数：
 $4 \times 2.5 / 10 = 1.0 \rightarrow 1$ 台
(2.5t/m³=PHC 杭単位体積重量 2.6t/m³-PC 鋼棒分 0.1t/m³)
- ・ 総走行時間：
 $1 \times 1.00 = 1.00$ (h)
- ・ 使用軽油量：
 $1.00 \times 10.578 = 11$ (L)
- ・ CO₂ 排出量：
 $0.011 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44 / 12 = \underline{0.028}$ (tCO₂)

⑥処分場での再資源化

- ・ CO₂ 排出量単位^{付 2.2)}： 2.28(kgCO₂/t) （現場外処理）
- ・ CO₂ 排出量：
 $2.28 \times 4 \times 2.5 / 1000 = \underline{0.023}$ (tCO₂)

①+②+③+④+⑤+⑥

- ・ CO₂ 排出量：
 $0.256 + 0.297 + 0.209 + 0.401 + 0.028 + 0.023 = \underline{1.214}$ (tCO₂)

以上より、オーガーケーシング杭抜工法によって約 4m³の杭（直径 0.6m、断面積 0.1442m²、長さ 28m の PHC 杭）を解体する際の CO₂ 排出量は、杭一本あたり 1.214(tCO₂)と算定される。

（5）PHC 杭施工時に発生する CO₂ 排出量の試算

クローラ型 3 点式杭打機によって杭材料約 4m³の杭（直径 0.6m、コンクリート断面積 0.1442m²、長さ 28m の PHC 杭を想定）を施工する。施工する杭は多数本あることとして、杭 1 本当りの CO₂ 排出量を計算する。

①掘削（クローラ式杭打機ベースマシン、直結三点支持式、全装備重量 100～110t）

- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 123(kW)
- ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.085(L/kW-h)
- ・ 作業能率： 1日2本 (0.5d)
- ・ 燃費：
 $123 \times 0.085 = 10.455$ (L/h)
 $10.455 \times 6.20 = 65$ (L/d) (1日の作業時間 6.20h 想定)
- ・ 使用軽油量： $65 \times 0.5 = 33$ (L)
- ・ CO₂ 排出量： $0.033 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44/12 = \underline{0.085}$ (tCO₂)

②掘削、建込（クローラクレーン 90t）

- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 184(kW)
- ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.076(L/kW-h)
- ・ 燃費：
 $184 \times 0.076 = 13.984$ (L/h)
 $13.984 \times 5.83 = 82$ (L/d) (1日の作業時間 5.83h 想定)
- ・ 使用軽油量： $82 \times 0.5 = 41$ (L)
- ・ CO₂ 排出量： $0.041 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44/12 = \underline{0.106}$ (tCO₂)

③掘削、建込（発動発電機：プラント 300kVA）

- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 248(kW)
- ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.145(L/kW-h)
- ・ 燃費：
 $248 \times 0.145 = 35.960$ (L/h)
 $35.960 \times 6.20 = 223$ (L/d) (1日の作業時間 6.20h 想定)
- ・ 使用軽油量： $223 \times 0.5 = 112$ (L)
- ・ CO₂ 排出量： $0.112 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44/12 = \underline{0.290}$ (tCO₂)

④PHC 杭運搬（トレーラ 32t 積）

- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 235(kW)
- ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.075(L/kW-h)
- ・ 燃費：
 $235 \times 0.075 = 17.625$ (L/h)
- ・ 工場までの距離： 片道 30(km) と仮定（往復搬送）
- ・ 走行時間：
 $30 \times 2 / 40 = 1.50$ (h) (平均走行速度 40km/h 想定)
- ・ 換算必要台数：
 $28 / 10 = 2.8 \rightarrow 3$ ピース (PHC 杭運搬長 10m 想定)
 $3 / 8 = 0.375$ (台) (トレーラ積み本数 8(ピース/台)想定)
- ・ 換算走行時間：
 $0.375 \times 1.50 = 0.563$ (h)
- ・ 使用軽油量：
 $0.563 \times 17.625 = 10$ (L)
- ・ CO₂ 排出量：
 $0.010 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44/12 = \underline{0.026}$ (tCO₂)

⑤排出土処理（バックホウ 0.45m³）

- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 60(kW)
- ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.153(L/kW-h)
- ・ 燃費：
 $60 \times 0.153 = 9.180$ (L/h)
 $9.180 \times 6.27 = 58$ (L/d) (1日の作業時間 6.27h 想定)
- ・ 使用軽油量：
 $58 \times 0.5 = 29$ (L)
- ・ CO₂ 排出量：
 $0.029 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44/12 = \underline{0.075}$ (tCO₂)

⑥掘削残土搬出（ダンプトラック 10t）

- ・ 機関出力^{付 2.1)}： 246(kW)
- ・ 燃料消費率^{付 2.1)}： 0.043(L/kW-h)
- ・ 燃費： $246 \times 0.043 = 10.578$ (L/h)
- ・ 処分場までの距離： 片道 20(km) と仮定（往復搬送）
- ・ 走行時間： $20 \times 2 / 40 = 1.00$ (h) （平均走行速度 40km/h と想定）
- ・ 必要台数： $(0.75/2)^2 \times \pi \times 28 \times 1.8 / 10 = 2.23 \rightarrow 3$ 台 （掘削径 750 φ）
- ・ 総走行時間： $3 \times 1.00 = 3.00$ (h)
- ・ 使用軽油量： $3.00 \times 10.578 = 32$ (L)
- ・ CO₂ 排出量： $0.032 \times 37.7 \times 0.0187 \times 44 / 12 = 0.083$ (tCO₂)

⑦PHC 杭材料

- ・ 環境負荷原単位^{付 2.3)}： 1160.9(kgCO₂/m³) （PC コンクリート杭想定）
- ・ CO₂ 排出量： $1160.9 \times 4 / 1000 = 4.644$ (tCO₂)

①+②+③+④+⑤+⑥+⑦

- ・ CO₂ 排出量： $0.085 + 0.106 + 0.290 + 0.026 + 0.075 + 0.083 + 4.644 = 5.309$ (tCO₂)

以上より、クローラ型 3 点式杭打機によって約 4m³ の杭（直径 0.6m、断面積 0.1442m²、長さ 28m の PHC 杭）を施工する際の CO₂ 排出量は、杭一本あたり 5.309(tCO₂)と算定される。

(6) まとめ

以上より、既存杭を解体し、同じ大きさの新設杭を施工する場合、下表に記載の量の CO₂ を排出する結果となった。

付表 2.1 CO₂ 排出量 (tCO₂)

	場所打ちコンクリート杭 (φ 1800, 23m 1本) (杭材料 60m ³ , 杭体積 60m ³)	PHC 杭 (φ 600, 28m 1本) (杭材料 4m ³ , 杭体積 8m ³)
解体時	5.872 [機械 5.872(100%)]	1.214 [機械 1.214(100%)]
新設時	25.861 [機械 1.593(6%) + 材料 24.268(94%)]	5.309 [機械 0.665(13%) + 材料 4.644(87%)]
解体時 + 新設時	31.733 [機械 7.465(24%) + 材料 24.268(76%)] [解体 5.872(19%) + 新設 25.861(81%)]	6.523 [機械 1.879(29%) + 材料 4.644(71%)] [解体 1.214(19%) + 新設 5.309(81%)]
杭材料 (1.0m ³) あたり	0.529 [機械 0.124 + 材料 0.405] [解体 0.098 + 新設 0.431]	1.631 [機械 0.470 + 材料 1.161] [解体 0.304 + 新設 1.327]
杭体積 (1.0m ³) あたり	0.529 [機械 0.124 + 材料 0.405] [解体 0.098 + 新設 0.431]	0.816 [機械 0.235 + 材料 0.581] [解体 0.152 + 新設 0.664]

場所打ちコンクリート杭と PHC 杭ともに、解体時よりも新設時の方が CO₂ 排出量が多くなる結果となった。

新設時の CO₂ 排出量は、施工する機械によるもの（機械要因）と、材料生成時に生じるも

の(材料要因)とに分けられるが、材料要因のCO₂排出量が、場所打ちコンクリート杭とPHC杭ともに全体の90%程度と非常に大きな割合を占めることが分かった。

機械要因のCO₂排出量は、場所打ちコンクリート杭とPHC杭ともに、解体時の方が新設時よりも大きい値を示すことが分かった。これは、同数量の杭部材であっても、新設時よりも解体時の方が、より多くの作業時間を要することに起因する。

解体時と新設時を総合して考えても、機械要因によるCO₂排出量よりも材料要因のものが非常に大きな割合を占め、新設時のCO₂排出量が全体の80%程度を示していることから、新設する杭体の材料数量によるCO₂排出が大きな影響を与えていることが分かった。

杭材料(1.0m³)あたりのCO₂排出量は、PHC杭の方が場所打ちコンクリート杭よりも3.1倍程度、杭体積(1.0m³)あたりのCO₂排出量としては1.5倍程度多い結果となっている。これは、単位体積あたりの施工速度やコンクリート強度差などの影響が出ていると考えられる。ただし、一般的には同支持力においてPHC杭の方が場所打ち杭よりも細径となる場合が多いので、杭工法によるCO₂排出量を比較する際には注意が必要である。

以上の試算結果より、既存杭の利用は環境負荷を低減する効果が非常に大きいことが分かった。

【参考文献】

付 2.1) 日本建設機械施工協会：平成 28 年度版 建設機械等損料表

機械の1日の作業時間は、表中の「運転時間／運転日数」より設定。

付 2.2) 土木学会：コンクリートの環境負荷評価(その2)，コンクリート技術シリーズ 62，2004

付 2.3) 日本建築学会：建物のLCA指針，2013

付録3 既存杭利用による経済的効果の試算例

本手引きの「利用事例-1」を例にして、既存杭を利用しない場合と利用する場合の基礎施工計画を検討し、コストや工期に及ぼす影響を試算した。既存杭利用決定後の調査や利用方法は「利用事例-1」を参照されたい。

本事例の建物規模（約 32m×32m）の場合、新築建物の柱芯に新設杭を設けようとする、付図 3.1 に示すように既存杭が干渉するので、既存杭撤去後に新設杭の造成を行わなければならない。既存建物では柱を 2～5 本の杭で支持していたが、柱を杭 1 本で支持させれば施工数量を減らすことができるものの、新設杭径が大きくなる。一方、既存杭を利用した上で不足する支持力分を補う程度の新設杭を造成する場合は付図 3.2 の杭伏図になり、新設杭の径は既存杭と同じにできる。

杭施工手順は付図 3.3 に示すように計画しており、それぞれの場合で下記の特徴がある。

○新設杭のみの場合

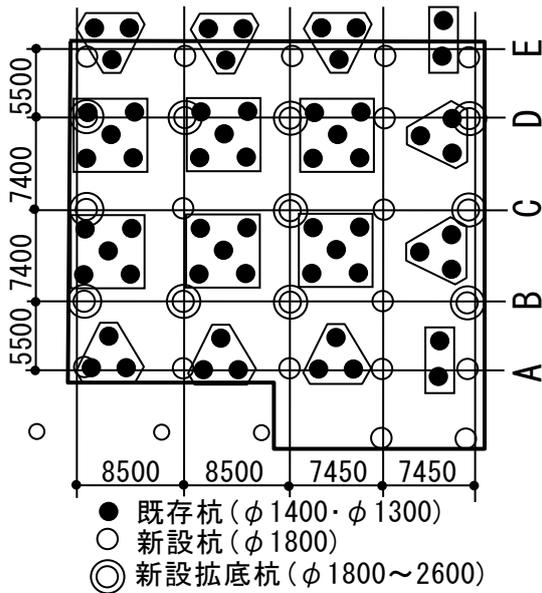
既存杭を利用しないので、新築建物の柱芯にアースドリル(ED)杭又は ED 拡底杭を造成する。新設杭が既存杭に干渉又は近接する位置では、回転式オールケーシング工法（CD 工法）を使って既存建物の基礎・杭を撤去した後に、新設杭を造成しなければならない。既存杭に干渉しない場所については、CD 工法により既存建屋基礎だけを削孔後に埋め戻して新設杭を築造する。なお、CD 機は周囲に空間を必要とするため、掘削底に本体を据えることができない。

○既存杭利用の場合

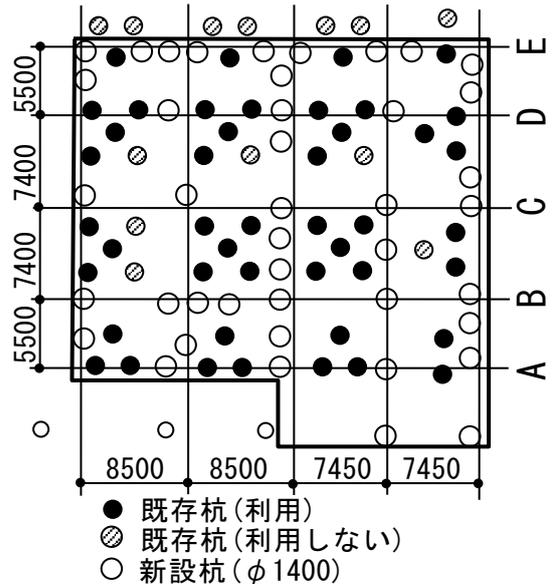
ソイルセメント山留め壁を施工後、既存建物基礎をすべて解体用重機で撤去し、基礎下端（GL-3m）まで掘削する。掘削底に ED 機を降ろして、新設杭を造成する。

コスト比較は、付図 3.4 に示すように既存杭利用の場合を 100%とする比率で整理した。図中の CD 杭には撤去費も含む。既存杭利用の場合では、調査費が 12%を占めている。一方、新設杭のみの場合では、CD 工法による既存建物基礎・既存杭撤去に既存杭利用の約 2.5 倍のコストがかかる。また、新設する ED 杭のコストも既存杭利用の約 1.5 倍になる。したがって、既存杭を使わない新設杭のみの場合は既存杭利用の場合と比較して、約 3.6 倍のコストが必要となる。

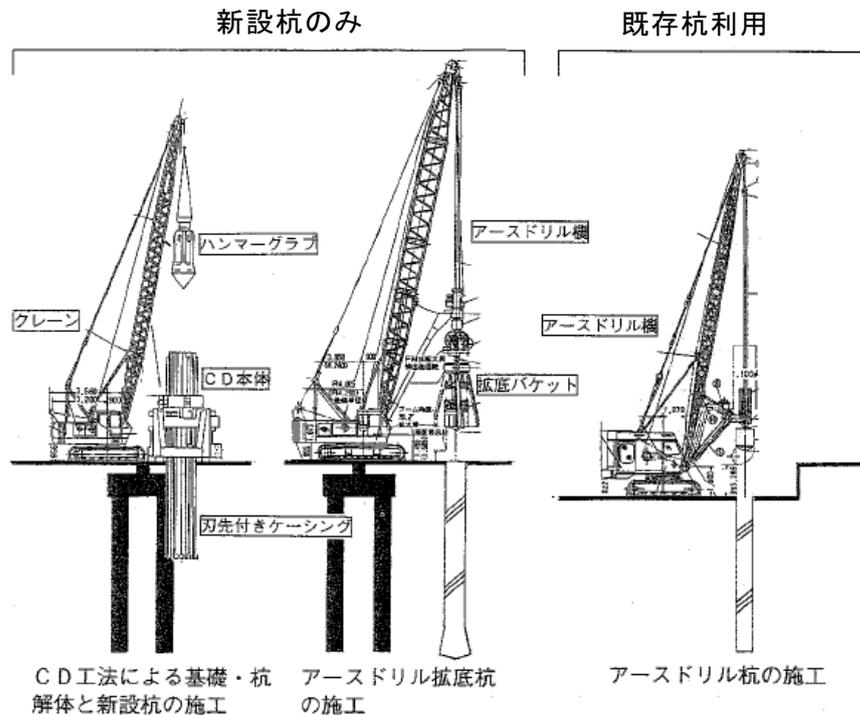
次に、工程の比較を付図 3.5 に示す。この図では地上解体工事からの経過月数で表示している。既存杭利用の有無にかかわらず、山留め・基礎解体・掘削はほぼ同じである。新設杭のみの場合には、地上解体後に CD 工法を使って干渉する基礎と杭を解体し、7 か月目に新設杭を施工する。その後、山留め壁・基礎・杭の解体撤去にかかると同時に山留め工事・掘削工事に入るので、基礎工事は 13 か月目から始まる。一方、既存杭利用の場合には、CD 工法による解体がほぼなくなるので、基礎工事開始時で比較すると、70 日程度は工期を短縮できる。



付図 3.1 新設杭のみの場合の杭伏図



付図 3.2 既存杭利用する場合の杭伏図



付図 3.3 杭施工手順

<新設杭のみ>

基礎・躯体	CD杭	ED杭
47	248	64
計 359%		
基礎・躯体	調査費	
48	40	12
計 100%		
ED杭		

<既存杭利用>

付図 3.4 コスト比較

月数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
<新設杭のみ>														
解体工事	地上							山留め壁・基礎・杭						
杭・躯体工事			CD杭			ED杭		基礎						
山留め工事			山留め壁					構台						
掘削工事			1~3次											
<既存杭利用>														
解体工事	地上		70日短縮											
杭・躯体工事	山留め壁・基礎		ED杭		基礎									
山留め工事			山留め壁			構台								
掘削工事			1次		2・3次									

付図 3.5 工程比較

付録4 既存杭の解体撤去・埋戻しに関する課題

ここでは既存杭の解体撤去後に生じる杭孔の埋戻しに関する工学的影響について、既往研究等を基に整理する。また、既存杭撤去に伴う環境的影響についても言及する。

(1) 既存杭撤去に関する工学的影響

既存杭を撤去する際には、杭の体積に相当する孔が発生する。既存杭が場所打ちコンクリート杭など比較的大口径の杭の場合には、埋戻し材料として、発生土のうち良質なものを、発生土にセメント系改良材を添加したものや山砂などが用いられる。また、通常この埋戻しはバックホーなどを用い、施工地盤より埋戻し材料を孔内に投入する方法によっている。また、比較的小径で短い杭の場合には、杭を抜いた直後に山砂などを地上から投入することや杭を抜く際に貧強度モルタルを充填することにより、地盤に緩みができるだけ発生しないような施工を行っている。しかし、このような埋戻し方法では、埋戻し材が沈降・固化する過程で、沈下などのリスクがある。また、ローム地盤などの場合には、杭を抜いてもある程度地山が自立するため、杭を抜いた孔の表層のみ埋め戻して、空孔の状態としておく場合も多い。

近年では、沈下などのリスクを低減しより確実な埋戻しを行うために、工場において泥水とセメント系固化材等を混練した流動化処理土や、掘削用安定液等に固化材（セメント系等）を混入する泥水固化による埋戻しも多くなっている。しかしながら、流動化処理土や泥水固化による既存杭撤去後の埋戻し性状に関する実際の調査では、埋戻し土の強度不足などの固化不良が報告されている^{付4.1)~付4.3)}。また、流動化処理土による既存杭撤去後の埋戻し性状に関する調査では、一軸圧縮強度と変形係数の関係を保持しつつも実強度はばらついていることが報告されている^{付4.4)}。

このように、現状の撤去埋戻し工法に関しては地盤沈下などのリスクがあるだけでなく、既存杭を抜いた箇所の地盤条件は地山とは異なり決して原地盤のように戻らないため、地盤ばねの評価や新設杭の施工上問題が生じる。既存杭を撤去した後の孔は一般的には、地山より緩い状態となっている。このような場所に新たに杭を施工する場合には、孔曲がりや孔壁の崩壊、セメントミルクやコンクリートの食い込み量が増えるなどの現象が生じる。既存杭を抜いた箇所が地山より硬くなっている場合でも、施工時に杭心ずれや孔曲がりなどのトラブルが発生する場合もある。

また、山留め壁を設けて掘削工事を行う場合には、既存杭撤去後の杭孔の影響により山留め壁の受働側の抵抗が低下し、山留め壁の変形が大きくなるなど、周辺地盤や建物にも影響を及ぼすことが考えられる。

以上のように、既存杭を抜いた箇所の地盤条件は地山の状態と異なるため、既存杭を撤去した際には上記のような様々な問題が生じる恐れがあり、適切な撤去・埋戻し工法の開発が求められる。特に、新設杭と干渉しない既存杭を無計画に撤去することは、建物の品質低下を招くものと思われる。また、埋め戻した杭孔だけでなく、その周辺地盤も既存杭撤去時の重機などの影響によって乱されることが多い^{付4.5)~付4.6)}。

一方、杭の撤去技術には各種の方法があり、重機が敷地内に配置可能ならば時間と費用をかければほとんどの杭は撤去可能とあってよい。特に、ロックオーガーや全周回転式オールケーシング工法を用いれば、既存杭を解体しながら既製杭や場所打ちコンクリート杭の施工

も可能であり、地盤の緩みを生じさせることも比較的少ないと思われる。ただし、ロックオーガーなどはコストや工期がかかる上、振動・騒音・粉塵などが発生する。したがって、既存杭の撤去が可能であるからといって上記のような工法を採用するのには限界があるものと思われる。

初版では実例までは示されていなかったが、既存杭撤去後の埋戻しに関する調査・研究が進んだことによって、埋戻しの不具合が顕在化し始めてきた。現状の施工方法でも不具合が頻発するという訳ではないが、埋戻しの施工管理は新設杭施工ほど入念に行われているとは必ずしも言えないのが実状である。今後は埋戻しについてもしっかりと管理して品質向上に努めるべきである。

(2) 既存杭撤去が環境に与える影響

わが国の環境アセスメントでは、事業に先だって環境への影響を予測・調査することが謳われている。特に、環境影響評価法においては必ず環境アセスメントを実施しなければならない事業（第一種事業）を定めており、これらの事業を行う際には、事前に環境アセスメントを実施しなければならない。

第一種事業とは、海岸の埋め立て、道路の建設、空港の建設、ダム建設、鉄道建設、発電所建設、都市開発など環境影響評価法によって定められた、規模が大きく・少なからず環境に影響を与えることが予想されるものである。

このような社会環境のなか、建設産業も少しずつその建設形態を変えつつある。すなわち、建物を解体し、新しく建物を構築するという「スクラップ&ビルド」の考え方から、「建物の長寿命化」および環境への負荷を最小限に抑えた「3R(リデュース、リユース、リサイクル)」の考え方へ変わりつつあるといえよう。これは、今までの建設行為が環境に負荷を与えてきた反省の一つの現れである。

例えば、上部躯体に関しては耐震診断を行い、必要に応じて耐震ブレースや免震装置の設置による補強を行うことにより、建物を長く使っていこうとしている。これも、“建物を建て替えばよい”という行為から脱却した考え方の一例である。

調査・診断により既存杭の耐久性・健全性を確認し、状態に応じて補強などを行えば、既存杭を利用することは工学的に充分可能である。以上のように、既存杭を利用する提案は時代に即した合理的な考えに基づいていることは容易に理解できよう。

また、既存杭を解体撤去し新たに杭を構築することは、既存杭の解体撤去及び新設杭の施工の2工程が必要となる。工程が延びることに加え、既存杭の撤去工事や新設杭工事に伴い廃棄物・残土、騒音・振動、機械によるCO₂・消費エネルギーの増大を招き、環境にも多大な負荷を与えているといえよう。これは、地球規模の環境破壊にも繋がる要因の一つでもある。CO₂の発生量の試算例については付録2に示す。

既往文献では、建物解体から新築までを通して地盤振動を実測した事例の中で、既存PC杭の撤去時や新設場所打ちコンクリート杭の施工時における地盤振動の増大について報告されている^{付4.7)~付4.8)}。CO₂削減については、東京と大阪での2件の既存杭利用事例を基に、どちらの場合も既存杭利用によってCO₂排出量が約7割の減少となったことが報告されている^{付4.9)}。また、大規模な超高層建物への建替えにおける既存杭利用事例として、CO₂削減効果が3912tとなり約52%の削減と試算されたことが報告されている^{付4.10)}。

建物が大規模化・大深度化する中で、杭基礎もますます太径・長尺化すると思われる。先に述べたように、現在手間と時間をかければ既存杭の撤去は可能である。また、将来的には、太径・長尺杭対応の解体工法も開発されよう。一方、施工時に地山に緩みが発生する事や地盤ばねの評価など、解決できていない問題点も多い。また、杭孔が不透水層を貫通するとその上下の地下水が混じる場合もあり、地下水の性質が変わってしまう懸念もある。

今後、環境問題が叫ばれる中、建設産業においても廃棄物の発生はできる限り抑制(リデュース)すべきであり、利用できるものは利用するというリユース(再利用)の考え方は重要となってくる。このような社会環境状況の中、基礎分野についても再利用を図るべく努力をすべきではなかろうか。その1つの試みとして、既存杭の利用(リユース)という考え方がある。また、既存杭を撤去し、より確実な埋戻しを行うためにセメント系固化材を用いた埋戻しを行うことは、環境負荷の増大にも繋がるとの考えもある。環境負荷の低減の一手段としても既存杭利用が望まれる。

【参考文献】

- 付 4.1) 崎浜博史, 宮田勝利, 川幡栄治: 既存杭と干渉する位置における場所打ちコンクリート杭施工の留意点, 基礎工 3月号, pp.33-36, 2016
- 付 4.2) 崎浜博史, 堀井宏謙, 八重樫光: 既存杭撤去後の掘削孔に埋戻された流動化処理土の品質調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.435-436, 2014
- 付 4.3) 崎浜博史, 堀井宏謙, 八重樫光, 西正晃: 既存杭撤去後の掘削孔に埋戻された泥水固化体の品質調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.447-448, 2015
- 付 4.4) 古垣内靖: 流動性と自硬性を有した埋戻し材の変形特性, 東急建設技術研究所報 No.37, pp.41-44, 2011
- 付 4.5) 田中俊平, 鈴木康嗣, 宮田章, 松元秀樹: 杭撤去に伴う周辺地盤の挙動: その1 地盤移動, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.705-706, 2005
- 付 4.6) 松元秀樹, 田中俊平, 鈴木康嗣, 宮田章: 杭撤去に伴う周辺地盤の挙動: その2 地盤物性, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.707-708, 2005
- 付 4.7) 中沢楓太, 豊嶋学, 瀬戸山春輝, 沼上清: 軟弱地盤における建物の解体・新築工事に伴う地盤振動, 地盤工学研究発表会発表講演集, pp.2167-2168, 2014
- 付 4.8) 中沢楓太, 沼上清: 沖積粘性土地盤における建物解体・新築工事中の地盤振動計測, 環境地盤工学シンポジウム, pp.41-46, 2015
- 付 4.9) 椿原康則, 山下清: 既存場所打ちコンクリート杭の再利用例と環境面での効果, 基礎工 4月号, pp.39-42, 2005
- 付 4.10) 富田菜都美, 石崎定幸, 渡邊徹, 長尾俊昌, 河本慎一郎, 辰濃達: 超高層建物における既存場所打ち杭の再利用, 基礎工 11月号, pp.58-61, 2014

1.11 既存ぐいを用いた建築物の審査

(1) 法第37条（建築材料の品質）の適合性審査

5 建築物の基礎（基礎ぐいを含む）及び主要構造部に使用する指定建築材料は、法第37条に基づき平12建告第1446号の第1第四号の鉄筋及び第七号のコンクリートについて、同条に規定する規格に適合することが規定されている。ただし、既存ぐいの場合においては、平成28年6月1日施行の平12建告第1446号の改正により現に存する建築物又は建築物の部分（法第37条又は法第40条違反建築物又はその部分を除く）に使用されている建築材料については法第37条の規定は適用されないことになったため適用除外となる。

10 (2) 法第20条への適合性

① 令第38条（基礎）

基礎及び基礎ぐいは、令第38条及び平12建告第1347号第1において、具体的な構造方法（仕様）規定が定められており、基礎ぐいについては、次の構造又は同等以上の支持力を有することとされている。このほか、既存ぐいを除き法第37条第一号の指定建築材料の適用がある。

15 ア) 場所打ちコンクリートぐい

- ・主筋として6本以上の異形鉄筋を用い帯筋と緊結する。
- ・主筋の断面積の合計は、ぐい断面積の0.4%以上とする。
- ・コンクリートは、JIS A5308-2003に適合すること（法第37条第一号）。

イ) 高強度プレストレストコンクリートぐい

20 JIS A5337-1995に適合すること。

ウ) 遠心力鉄筋コンクリートぐい

JIS A5310-1995に適合すること。

エ) 鋼管ぐい

- ・ぐいの肉厚は6mm以上、かつ、ぐい直径の1/100以上とする。
- 25 ・JIS A5525-1994に適合すること。

② 令第93条（地盤及び基礎ぐい）

基礎ぐいの許容支持力は、平13国交告第1113号に適合しなければならないため、本告示の規定上、既存ぐいの許容支持力の算定においては以下の課題がある。

30 ア) 基礎ぐいの許容支持力を求めるための地盤調査の方法は同告示第1に規定されているが、既存ぐいの支持層や支持力について、どのような方法によって判断すべきか。

これについては、これまで存在していた建築物の荷重を支えていた既存ぐいの支持力は、上部構造に不等沈下による有害な変形や亀裂が発生していなければ、有効であり建築基準法に適合しているとみなすという考え方がある。これを改正後の構造計算で確認することにより適合を確認する。

35 イ) 今後も通常の耐用年数程度について、新設ぐいと同等の支持力を担保するために、ぐい体の劣化状況等の調査を行う必要がある。このことについては、上部構造の増築の際の既存建築物部分の調査と同様に、コア等の採取による中性化や鉄筋の腐食状況を調査し、評価する。

40 基礎ぐいの許容支持力の算定については、同告示第5により、適切な先端支持層への貫入とぐい体の施工等を条件とした支持力算定式を用いるか、ぐい体ごとに載荷試験を用いる方

法が規定されている。既存ぐいを用いる場合において、支持力算定式を用いる条件等が明確でない場合には、ぐい体の載荷試験を実施することとなる。同告示第6の規定により、載荷試験を行い、各係数（ α 、 β 、 γ ）を算出して支持力を計算する方法もあるが、個々のぐいの支持力等を確認する必要がある既存ぐいには適さないと考えられる。

- 5 う) 同告示が制定される以前（平成12年以前）は、基礎ぐいに対する水平力の構造計算が規定されていなかったが、本告示においてぐい体の短期許容応力度が規定されたことに伴い法的な要求事項とされた。よって、これ以前の既存ぐいについては、ぐい体ごとの接合部や構造計算に見合った先端支持条件（支持層への貫入など）、ぐい頭部の固定条件、地盤の水平抵抗等を確認した上で、ぐい体に対する水平力の構造計算を行わなければならない。
- 10 また、許容応力度計算上、ぐい体の鋼材（令第90条）やコンクリート（令第91条）の許容応力度、令第74条のコンクリートの強度等の確認も必要となる。

(3) 既存ぐいを用いた場合の当面の扱い

15 既存ぐいを利用した建築物においては、「(2) 法第20条への適合性②令第93条（地盤及び基礎ぐい）」に記載した課題の解決が必要となり、現在、様々な機関で実績や研究が進められている。法令基準に関わる関係機関やJCBAが関わって発刊されたものではないが、構造法令研究会編集「既存杭等再使用の設計マニュアル（案）2008年」等も発刊されている。ただし、本書を審査に用いるには、上記の法令上の課題が解決されていない部分があるので注意が必要である。今後、課題が検証されて具体的な法令上の扱いが基準として定められれば、一般的な扱いとして

20 上記の図書等を参考とした審査も可能になるものと考えられる。

以上から、現状においては、法令・基準に照らして確認審査で判断するには多くの課題があることから、やむをえず既存ぐいを利用する状況が生じた場合には、以下の①又は②のいずれかの方法で取り扱う。

25 ① 特定行政庁において、個々の規定に照らして法令に適合することの判断を行い、既往の実績や参考資料等を元に、法適合性の判断を行った上で設計に用いる。

② 任意の技術評定の取得

30 法令と同等以上に余裕を確保した安全性の判断を行うことを目的として、必要な調査方法やその結果の妥当性の判断を行うものとして適切な任意の技術評定の取得がされたものは審査において採用する方法もある。この任意の技術評定については、これらの既存ぐいを用いた建築物の評定を取得する方法と当該基礎ぐいのみについて評定を取得する方法があるので、評定機関等に事前相談をされたい。

また、設計者及び建築主事等においては、その評定の扱いについて当該建築物の申請の判定を行う適判機関と事前調整を十分に行う必要があることに留意する。

35 なお、現在、任意の技術評定では、以下のような条件により評定を行っている（（一財）ベターリビングの評定の事例）ので、以下にそのフローを参考に掲載する。

1.11 既存ぐいを利用した建築物の審査

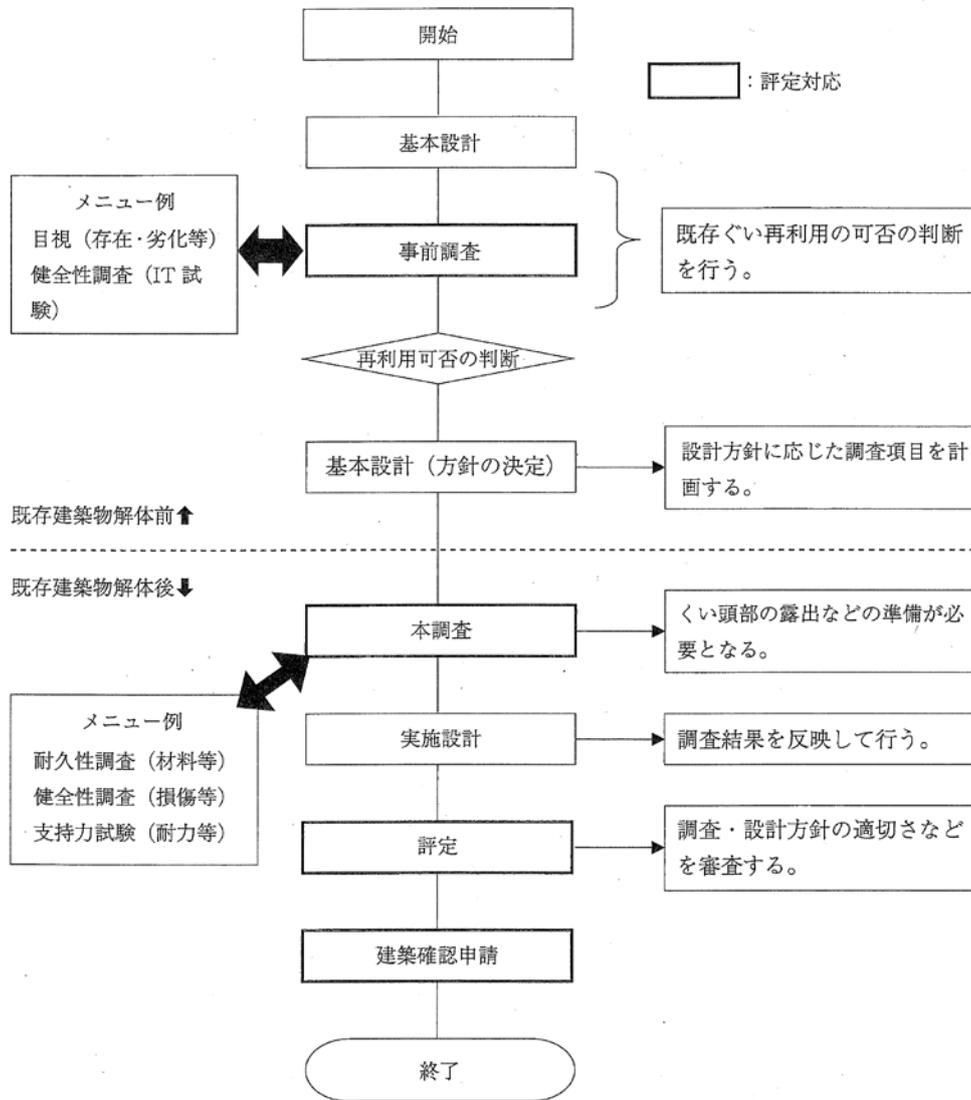


図1.11-1 評価業務のフローの例（既存ぐい再利用のための調査・試験・評価業務）

一般社団法人日本建設業連合会『地盤基礎専門部会講演会』資料、2015年、p8