

既存杭の利用事例と活用効果

Examples of Using Existing Piles and Utilization Effects

引 田 真 規 子 宮 田 章

要 約

建物建替え時における既存杭利用は、コスト低減や工期短縮に加えて、産業廃棄物量・騒音・振動・CO₂排出量の削減による環境負荷低減がメリットとして挙げられる。一方で、既存杭の保有性能情報が設計に必要であるが、想定と大きく異なる状態で利用できない場合には大幅な設計の見直しが生じるなどのデメリットもある。既存杭利用は近年検討事例が増加しているものの、法令や学会規準などに明確なルールがなく、案件ごとに個別検討しているのが現状であり、過去事例は有力な参考資料となる。本報では、今後の既存杭利用案件における参考資料とすることを目的に、保有性能確認のために実施してきた健全性調査を中心とした既存杭利用事例を紹介するとともに、既存杭利用によるコスト・工期・CO₂排出量削減効果の試算例を基にした活用効果について報告する。

目 次

- I. はじめに
- II. 既存杭利用の考え方
- III. 既存杭利用事例
- IV. 既存杭の活用効果
- V. おわりに

I. はじめに

建物建替え時における既存杭利用は、循環型社会の基本となる3RのうちReduce・Reuseに資するもので、コスト低減や工期短縮に加え、産業廃棄物量・騒音・振動・CO₂排出量の削減による環境負荷低減にもつながる。既存杭利用は1980年代から実施事例の記録が残っており、2000年代に利用件数がピークに達し、その後一時やや減少傾向にあったものの一定数の実績がある¹⁾。2003年には、建築業協会から既存杭利用の検討手順・項目、調査技術に関する知見を周知するために「既存杭利用の手引き」が発刊されたほか、近年では国土交通省の総合技術開発プロジェクトでも既存杭利用促進を目的とするプロジェクトが稼働しており、再注目されている。中でも地震力に対する杭の検討が広く行われるようになった1990年代以降に建設された建物は、建替え時期を迎えつつあり、今後既存杭を利用したい案件は増加すると考えられる。既存杭利用では、法令や学会規準などに明確なルール

がなく、案件ごとに個別検討しているのが実情で、過去事例を蓄積し類似案件の参考とすることが重要である。本報では、既存杭利用の検討手順及び重要な検討項目の一つである健全性調査の事例を紹介するとともに、既存杭利用によるコスト・工期低減やCO₂排出量削減の効果を報告する。

II. 既存杭利用の考え方

Fig.1に既存杭利用の概略検討フローを示す。既存杭の利用検討の際はまず書類調査を行うため、原則として検査済証及び設計図書が必要となる。

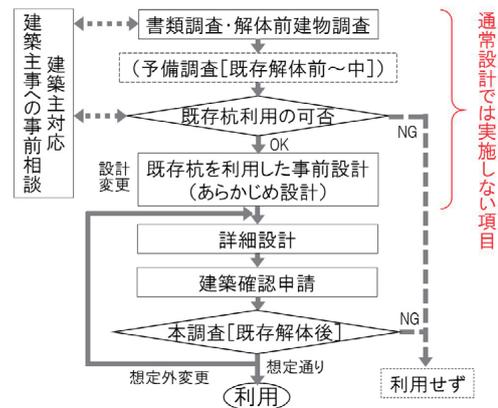


Fig.1 既存杭利用の概略検討フロー
(Flow Chart for the Use of Existing Piles)

キーワード：既存杭，健全性調査，インテグリティ試験，CO₂削減

Keywords：existing piles, soundness survey, integrity test, carbon dioxide reduction

設計図書どおりに既存杭が実際に存在しているか否かは、早期に入手すべき情報の一つである。また、実際の利用にあたっては、杭の仕様や建替え設計時点における地震履歴等に起因する損傷有無の確認のため、実杭の健全性調査が欠かせない。建替え計画は既存建物の解体前に設計が行われることが多く、適切な利用可否判断を行うために解体前に目視でコンクリート状態確認等の予備調査を行うことが望ましい。

既存杭を利用しない通常的设计と大きく異なる点は、既存杭を利用した事前設計（以下、あらかじめ設計）である。既存建物の解体完了前に設計をするため、既存杭の仕様・性能を仮定して設計を進めるが、信頼性が低い場合は余裕を持たせて杭径やコンクリート強度や支持力の低減を行う場合もある²⁾。解体前に信頼性の高い情報をどの程度集めて既存杭の仕様・性能を判断できるかが、その後の利用計画やあらかじめ設計の確度に大きな影響を与えることになる。

Ⅲ. 既存杭利用事例

1. 当社の既存杭利用事例

既存杭利用の社内事例を Table 1 に示す。全て場所打ちコンクリート杭で 1970～1980 年代に竣工した既存建物が大半であり、解体前～解体後のいずれか若しくは全てのフェーズで健全性調査を実施している。場所打ちコンクリート杭は既製杭に比べ直径の大きいケースが多く撤去が困難であったことが利用につながった。各事例の特徴を以下に述べる。①は7階建の倉庫を14階建の複合施設に建替えた事例である。②では、地上11階建の既存建物を地上21階建の超高層建物に建替えた点が特徴として挙げられる³⁾。③は拡底深礎杭で支持された建物で、柱位置などの平面位置が新設建物と既存建物で重なったため、既存杭を活用した事例である⁴⁾。④も拡底深礎杭であるが、杭基礎と直接基礎の併用基礎であった点と、地下躯体解体中にコアボーリングと地下ピット下の掘削を利用した既存杭の健全性調査を行った点が特徴である⁵⁾。⑤は建物供用中に既存杭調査を実施した事例、⑥は約65mの長い既存杭を利用した事例で、今後建替えが多く予想され

る1990年代に竣工した建物の利用事例である。次節以降に解体前調査を実施した⑤・⑥の概要を述べる。

2. 建物供用中に既存杭調査を実施した事例（事例⑤）

(1) 既存杭利用の計画

本事例は既存杭を多数利用する計画であったため、杭の状況があらかじめ設計における仮定から外れると、プロジェクト進行に大きく影響する。このため、あらかじめ設計前の建物供用中に予備調査として既存杭3本の杭頭調査を行い、その結果に基づき設計を進めた。

既存杭利用計画案を Fig.2 に示す。調査した杭はピット内部への侵入が困難な場所を避け、杭に大きな荷重が作用していると考えられる隅角部に近い箇所を選定し、建物内部から調査を実施した。

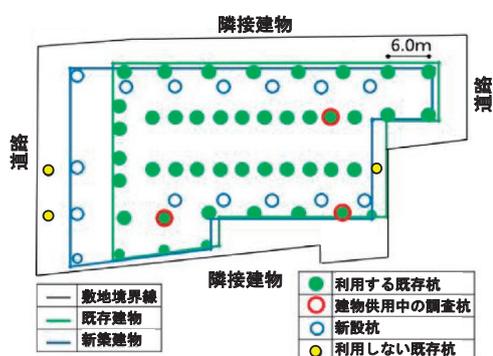


Fig.2 既存杭利用計画

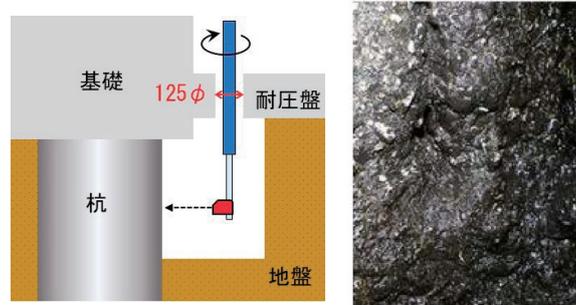
(Utilization Plan for Existing Piles)

(2) 建物供用中の既存杭調査概要

調査では、ウォータージェットを用いて杭頭目視及び杭頭形状測定による杭径推定を実施した^{6),7)}。Fig.3 に調査断面及び杭体表面を、Fig.4 に杭頭形状計測平面及び杭径推定結果を示す。従来の既存杭調査は、あらかじめ設計後の地下構造解体中若しくは解体後に杭頭を露出させてから行われていた。本技術は、既存耐圧盤にφ125の孔を開けてウォータージェットノズルを取り付けたプローブを降ろして杭周地盤

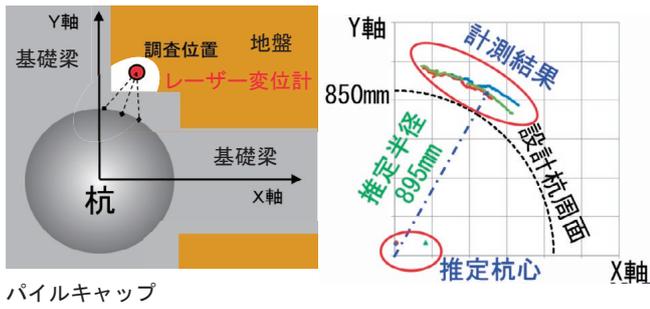
Table 1 既存杭利用事例
(Example of Using Existing Piles)

事例	既存竣工年	新築竣工年	杭工法	既存杭最大杭径	杭深さ (GL-)	利用した既存杭 / 全既存杭	健全性調査時期		
							解体前	解体中	解体後
①	1974	1994	アースドリル (ストレート)	1.4m	17m	45本 / 58本 = 78%		○	
②	1972	2005	アースドリル (ストレート)	1.4m	14m	12本 / 38本 = 32%			○
③	1973	2011	深礎 (拡底)	3.6m	16m	31本 / 56本 = 55%			○
④	1981	2014	深礎 (拡底)	3.0m	15m	4本 / 24本 = 17%		○	
⑤	1989	2016	リバース (ストレート)	1.7m	18m	44本 / 47本 = 94%	○		○
⑥	1994	2020	リバース (拡頭拡底)	3.0m	65m	14本 / 18本 = 78%	○	○	○



(1) 調査断面 (2) 杭体表面

Fig.3 調査断面及び杭体表面
(Survey Section and Pile Surface)



(1) 形状計測平面 (2) 杭心・杭径の推定結果

Fig.4 形状計測平面及び推定結果

(Top View of Shape Measurement and Estimated Result)

を掘削・排土して、撮影用カメラで既存杭外周を目視できるため、供用中の建物でも既存杭を調査可能である。また、杭頭形状測定では、上述のプロープにレーザー変位計を設置して小径孔から地中に降ろし、変位計の向きを等速回転させ、杭体表面までの距離を時々刻々測定することで場所打ち杭の杭径・杭心位置を推定する。Fig.4(2)より、設計図書とほぼ同じ杭体が存在することをあらかじめ設計前に確認することができた。なお、調査終了後は排出された土にセメントを混合して埋め戻すため調査後にはφ125の孔の跡しか残らず、調査後に建物を解体しない場合でも建物の継続利用が可能となる。

3. 長尺の既存杭を利用した事例（事例⑥）

(1) 既存杭利用の計画

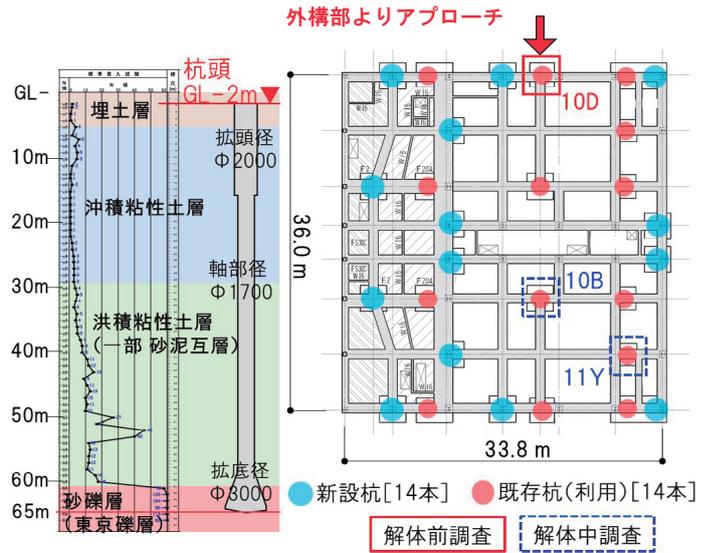
Fig.5に地盤及び既存杭概要と建替後の基礎伏図を示す。対象建物は、1994年に竣工した鉄骨鉄筋コンクリート造建物で、既存杭は耐震設計が行われている場所打ちコンクリート杭である。杭長は約65mと撤去が困難で、新旧建物の平面規模と重量が同程度であるため利用を検討することとなった。本事例では、杭径約1700mmの既存杭を14本利用し、ほぼ同サイズの場所打ちコンクリート杭を14本新設した。

(2) 健全性の段階調査

既存杭利用にあたり、設計図書や施工記録の整合性確認や、確度の高い杭仕様や強度の情報を得るため、解体前と解体中には一部の既存杭に対し、また解体後には利用する全14本に対し健全性調査を行った。Table 2に調査項目一覧を示す。

解体前調査では既存杭利用の可否判断のための情報収集として、構造計算書や施工管理記録の書類調査のほか、建物外構部からアプローチ可能であった杭1本（Fig.5, 10D）について、杭外周地盤を掘削して目視による杭頭のコンクリート状態確認（Photo 1(1)）、鉄筋探査によるかぶり厚さ・ピッチ測定、インテグリティ試験（Table 2ではIT試験と表記）による杭長及び損傷の有無の確認を行った。

杭頭主筋かぶり厚さ・ピッチ測定は、Photo 1(1)に示した杭頭上部・杭頭中部・杭頭下部でRCレーダを用いて実施し



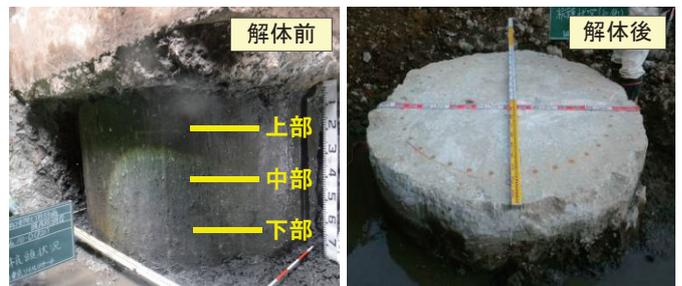
(1) 地盤概要・既存杭仕様 (2) 基礎伏図

Fig.5 地盤概要・既存杭仕様・建替後の基礎伏図
(Soil Profile, Existing Pile Shape and Foundation Plan after Rebuilding)

Table 2 既存杭の調査項目一覧
(Survey List of Existing Piles)

調査部位	調査項目	調査時期			解体後調査杭数
		解体前	解体中	解体後	
杭頭	コンクリート状態（目視）	○	○	○	14本(全数)
〃	かぶり厚さ・ピッチ（鉄筋探査）	○	○	○	〃
全長	杭長（IT試験）	○	○	○	〃
〃	損傷の有無（IT試験）	○	○	○	〃
杭頭	コンクリート圧縮強度		○	○	2本
〃	コンクリート中性化		○	○	〃
〃	鉄筋引張強度		○	○	1本
〃	鉄筋腐食状況		○	○	〃
〃	杭径		○	○	〃
〃	鉄筋材質		○	○	1本
〃	鉄筋径・本数・ピッチ（目視）		○	○	14本(全数)

(○：実施した調査)



(1) 解体前コンクリート状態確認 (2) 解体後杭径測定

Photo 1 調査状況（10D杭）
(Survey State of Existing Piles)

た。Fig.6 に測定結果を示す。杭頭主筋かぶり厚さは 250～270mm（平均値 263mm），杭頭主筋のピッチは 160～200mm（平均値 178mm）であると推定され，設計図書とよく対応していた。

解体中調査では，杭 2 本（Fig.5, 10B・11Y）のパイルキャップを一部撤去し，解体前調査項目に加えコンクリートや鉄筋を採取して材料性能試験を行い，所定の強度以上であることを確認した。鉄筋腐食調査は，杭頭部から採取した主筋と杭頭はつり後に露出した主筋および帯筋について目視により判定を行った。主筋腐食状況の評価は，文献 8）の鉄筋腐食度評価基準を用いた。評価段階のうち発錆状況がグレードⅡ「表面に点さびが広がって生じている状態」以下であることを合格の基準としたが，調査した全ての鉄筋がグレードⅠ「腐食がない状態，または表面にわずかなさびが生じている状態」を満足していた。解体前・解体中調査結果より，杭径やコンクリート強度の低減が不要であると推定され，あらかじめ設計の確度向上に資するデータを取得できた。

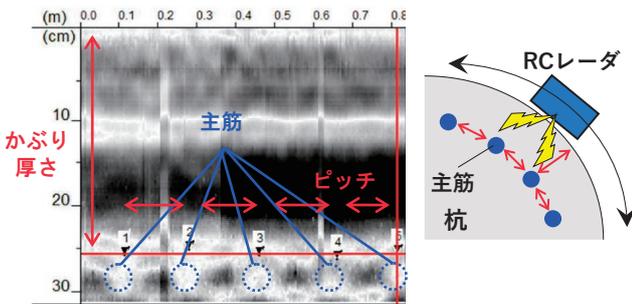


Fig.6 かぶり厚さの測定結果
(Measurement Result of Cover Thickness)

解体後調査では，パイルキャップを完全に撤去し，杭頭を全面露出させた状態で調査を実施した。杭径（Photo 1(2)）や鉄筋径・ピッチ・本数については利用する既存杭全 14 本に対して調査を行い，設計仕様における規格を満足する結果が得られた。コンクリート圧縮強度は，解体中に加え解体後にも杭頭 2 箇所からコアを採取して圧縮試験を実施し，設計基準強度の 24N/mm² を大きく上回る結果（39.6～42.7N/mm²）が得られた。これらから，予備調査（解体前・中）を基に実施したあらかじめ設計の信頼性が再確認できた。

（3）長い杭への IT 試験の適用⁹⁾

杭頭から杭深さ方向の調査が可能な方法として IT 試験がある。IT 試験では受振器を杭頭部近傍に設置し，ハンマで杭頭部を杭先端に向かって打撃して反射波を測定し，杭の損傷有無や杭長を評価する。健全な杭であれば反射波が杭先端付近で生じ，杭の途中で損傷等がある場合はその箇所でも反射波が発生する。IT 試験における一般的な杭長の

適用範囲は 60m 以下とされているが¹⁰⁾，本事例の既存杭は杭長が約 65m あり，明確な先端反射が得られない可能性があった。そこで，試験に用いるハンマや杭頭部の状態を変えて試験を実施し，結果を比較した。

解体前調査の 10D では，基礎梁が未解体であったため杭頭付近を一側面のみ掘削し（Photo 1(1)），杭側面からプラスチック製ハンドハンマで打撃を与えた。解体中調査の 10B 及び 11Y ではパイルキャップを部分的にはつり，10B では杭頭を 90 度程度，11Y では 180 度程度露出させて大型ハンマで上面から打撃した（Photo 2）。



Photo 2 解体中の IT 試験（11Y 杭）
(Integrity Test under Demolition State)

Fig.7 に解体前・解体中に実施した IT 試験結果を示す。10B 及び 10D では先端反射が不明瞭であるものの，杭先端深度以浅に損傷を示す下向きの反射は確認されず，当該杭の健全性は高いと推定された。先端反射不明瞭の要因として，長尺であるため杭体中を伝播する弾性波の減衰が大きくなったことや，未解体のパイルキャップからの反射波が重ね合わされた可能性が挙げられる。11Y では GL-64.2m で先端反射が確認されており，杭頭を 180 度程度露出させた効果と推察する。

解体後調査ではパイルキャップを全て撤去し，杭頭を全面露出した状態で大型ハンマを用いて上面から打撃した。Fig.8 に解体後の試験結果を示す。解体前・中調査では先端反射が不明瞭であった 10D では GL-66.6m に，10B では GL-63.0m に先端反射が確認できた。また，11Y では解体中調査と同等の深度で先端反射が確認された。施工管理記録による掘削深度は GL-65.3～65.4m であり，IT 試験において反射深度を算出する波動伝播速度が杭周辺地盤の影響を受け数%変化すること¹⁰⁾を考慮すると，杭が先端まで損傷なく造成されていると考えられる。

以上より，パイルキャップを 180 度程度以上撤去し，大型ハンマで大きな打撃力を与えることで，適用範囲を超えた長い杭でも先端反射を確認することができた。ただし，今回調査対象とした既存杭は軟弱地盤中に造成されており，杭周辺地盤による打撃エネルギーの減衰が小さかったことも良好な結果が得られた一因と考えられるため，今後も異なる地盤条件での計測データを蓄積していきたい。

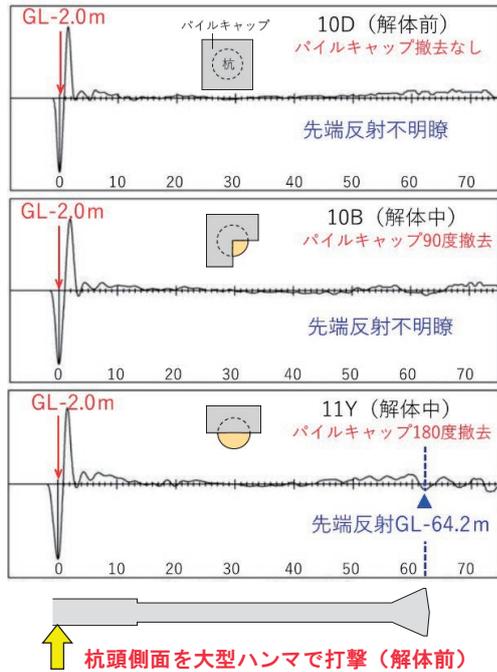


Fig.7 解体前・解体中の IT 試験結果
(Integrity Tests before and during Demolition)

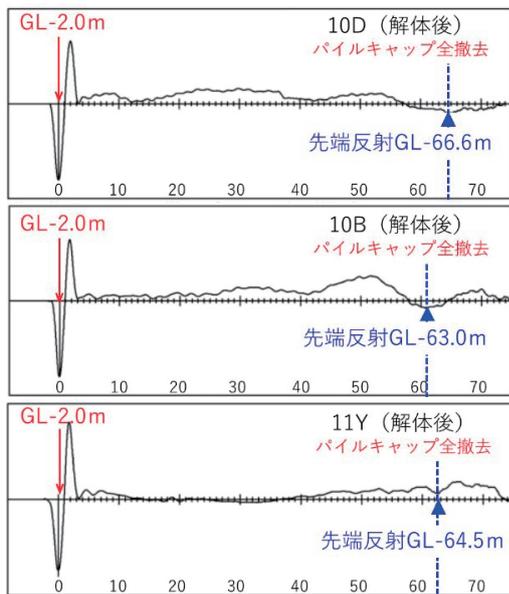


Fig.8 解体後の IT 試験結果
(Integrity Tests after Demolition)

IV. 既存杭の活用効果

既存杭利用のメリットとして、コスト低減や工期短縮、CO₂ 排出量の削減による環境負荷低減が挙げられる。本章では、前述の事例⑥における活用効果を述べる。

1. コスト・工期の低減

Table 3 に既存杭利用による施工数量・工期削減効果を示す。事例⑥では、既存杭 14 本を利用し、ほぼ同サイズの場所打

Table 3 既存杭利用の施工数量・工期の削減効果
(Reduction Effect of Using Existing Piles)

	既存杭利用なし	既存杭利用	削減効果
既存杭撤去	8ヶ所	0ヶ所	
新設杭施工	28本	14本	▲14本
工期（杭関連）	11.9ヶ月	3.4ヶ月	▲8.5ヶ月

ち杭 14 本を新設した。既存杭を利用しない場合、28 本の杭を新設することになり、また新設杭に干渉する位置にある既存杭を撤去する必要があった。この施工費削減と工期短縮により、杭工事関連コストを 75%削減することができた。

2. CO₂ 排出量削減効果

文献 1) に基づき、既存杭の撤去から新設杭施工までに発生する CO₂ 排出量の試算例を示す。本検討では、新設杭に干渉する既存杭を 8 本撤去して杭を 28 本新設したケースについても排出量を算出し、結果を比較した。

CO₂ 排出量は、杭撤去並びに施工に用いる重機と処分場での再資源化の際に生じる排出量とコンクリート材料の製造過程における排出量を加算して求めた。重機からの CO₂ 排出量は、機関出力・燃料消費率・作業に要する日数から燃料使用量を求め、式(1)に基づき算出した。

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ 排出量}(\text{tCO}_2) = & \text{燃料使用率}(\text{kL}) \times \text{単位発熱量}(37.7(\text{GJ}/\text{kL})) \\ & \times \text{排出係数}(0.0187(\text{tCO}_2/\text{GJ})) \times 44/12 \quad \dots (1) \end{aligned}$$

処分場での杭体再資源化による CO₂ 排出量はコンクリート 1t あたり 2.28 kgCO₂、コンクリート材料からの CO₂ 排出量はセメント 1m³ あたり 374.5 kgCO₂ とした¹⁾。

ここで、既存杭撤去時と新設杭施工時に検討する項目を以下に挙げる。

A. 既存杭撤去時

- ①杭の撤去工事（全回転オールケーシング掘削機、クローラークレーン、バックホウ）
- ②解体材処理、分別（圧搾機）
- ③処分場への搬送（ダンプトラック）
- ④処分場での再資源化

B. 新設杭施工時

- ①掘削・建込（アースドリル掘削機、ラフテレーンクレーン）
- ②打設（トラックミキサ）
- ③掘削残土の処理・排出（バックホウ、ダンプトラック）
- ④コンクリート材料

事例⑥の杭工事における CO₂ 排出量を上記に基づき試算すると、CO₂ は既存杭撤去時よりも主に新設杭施工時に発生しており、既存杭を利用する場合は、新設杭 14 本の施工の

みで約 700t、既存杭を利用しない場合は、既存杭 8 本の撤去並びに新設杭 28 本施工の合計で、約 1500t も排出されることが確認された。本建物と同等規模の上部躯体工事における CO₂ 排出量¹¹⁾とあわせた総排出量を Fig.9 に示す。これより、既存杭利用による CO₂ 削減効果が大きいことがわかる。

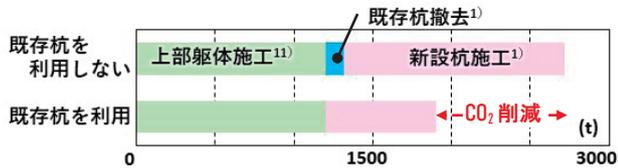


Fig.9 CO₂ 排出量の試算結果
(Estimated Result of Carbon Dioxide Emissions)

V. おわりに

本報では、今後の既存杭利用における参考資料とすることを目的に、健全性調査を中心とした既存杭利用事例を紹介するとともに、既存杭利用の活用効果を示した。

近年、国や学協会で既存杭の利用促進に向けた活動が行われつつあり、今後検討案件が増加することが予想される。一方で、法令や学会規準などが定められておらず、案件ごとに対応を決定しなくてはならないため、検討期間を確保できず利用を断念するケースも少なくない。また、これまでの事例は場所打ちコンクリート杭が主であったが、近年施工数が増加している既製杭は、健全性調査法や新設躯体との接合方法が場所打ちコンクリート杭とは異なるなどの課題もある。今

後も継続して利用事例の蓄積や課題解決のための要素技術開発に向けた取り組みを行いたい。

参考文献

- 1) 日本建設業連合会；既存杭利用の手引き－現在と将来の利用に向けて－，2018.
- 2) 宮田章ほか；既存杭利用における許容支持力の低減，日本建築学会大会学術講演梗概集，2013.8，pp.471-472.
- 3) 辻泰一ほか；超高層建物における既存場所打ち杭の再利用，基礎工，2011.2，pp.29-32.
- 4) 宮田章ほか；既存深礎の活用，基礎工，2010.1，pp.91-93.
- 5) 掛谷誠ほか；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，2013.8.
- 6) 掛谷誠ほか；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，2014.8.
- 7) 宮田章ほか；既存杭の杭径及び杭心の推定，日本建築学会大会学術講演梗概集，2014.9.
- 8) 日本建築学会；鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針（案）・同解説，1997.
- 9) 引田真規子ほか；既存長尺杭の再利用に向けた健全性調査，第55回地盤工学研究発表会，2020.
- 10) 建設省土木研究所ほか；インテグリティ試験を用いた橋梁基礎の損傷調査法マニュアル（案），1999.3.
- 11) 日本建設業連合会；2017年度CO₂排出量調査報告書，2018.

Examples of Using Existing Piles and Utilization Effects

Makiko Hikita and Akira Miyata

Using existing piles for rebuilding has the advantages of not only reducing costs and shortening the construction period but also reducing the environmental load by reducing industrial waste, noise, vibration, and carbon dioxide emissions. Demand for using existing piles has increased in recent years. However, the soundness and mechanical performance of existing piles are necessary for designing, and there is a disadvantage in that the designer has a lot of responsibility.

Regarding the procedure for using existing piles, there are no clear rules in laws, regulations, and academic standards, and no standard method has been established. Therefore, it is effective to refer to past cases.

This report introduces examples of soundness surveys, which are an important procedure in using existing piles, and introduces a soundness survey that can be carried out in a building in service. In addition, we report an example of a test calculation of carbon dioxide emissions in the demolition of existing piles and the construction of new piles.