

既存杭の撤去・埋戻しを考慮した地盤調査ガイドライン

2025年 2月

一般社団法人 建築基礎・地盤技術高度化推進協議会（ALLF）

③課題 既存杭撤去に伴う周辺地盤への影響検討委員会

はじめに

日本の多くの都市で、戦後の復興期から高度成長期に建設された建築物の建替えが始まっており、その数は今後、益々増加するものと考えられる。現在、既存建物の解体に伴って杭の撤去と撤去孔の埋戻しも同時に行われることが多い。杭（以下、既存建物の上屋を解体・撤去した場合の杭は既存杭）の撤去・埋戻しについては施工指針や品質管理規準が無く、既存杭撤去後における埋戻し部の品質が悪い場合、その後に構築される新設建物の杭（以下、新設杭）施工において偏心や傾斜などのトラブルに繋がる事例も生じている。既存杭撤去後における埋戻し部の現状およびトラブル例については、地盤工学会関東支部の研究委員会報告書「既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工」¹⁾に詳しく記載されている。

一方、既存杭の撤去・埋戻しに伴い、撤去孔の周辺地盤では原地盤に比べて N 値および剛性が低下する（以下、緩み）ことも一般社団法人 建築基礎・地盤技術高度化推進協議会（以下、ALLF）における調査の結果、明らかになってきた。緩みのメカニズムは現状では明確になっていないが、緩みが新設杭の構造性能に影響を及ぼすことは明白であり、既存杭に近接して新設杭の計画を行う場合にはこの緩みの性状についても調査し、把握した上で新設杭の設計・施工計画を立てる必要がある。

本ガイドラインは上記を鑑み、撤去予定の既存杭に近接する新設杭の計画に当たって、既存杭撤去孔の埋戻し部の性状に加え、既存杭の撤去・埋戻しに伴う地盤の緩みを把握するための地盤調査計画について取り纏めたものである。緩みに関してはこれまでに ALLF で実施した既存杭の撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響調査結果を踏まえ、地盤調査の方法、調査位置および調査数量などを提案している。ただし、ALLF で実施した調査数には限りがあり、地盤の種類・状態によって緩みの性状（緩みの範囲、原地盤からの N 値および剛性の低減係数など）は異なる可能性があること、また、すべての既存杭撤去・埋戻し方法について網羅的に調査を実施した訳ではないことから、今後、調査データの収集・蓄積・分析が望まれる。

本ガイドラインでは地盤調査計画に加え、新設杭の設計・施工に関する留意事項についても記載している。新設杭の設計は、既存杭撤去後における埋戻し部と周辺地盤の緩みの両者の性状を踏まえて行う必要がある。しかし、両者を考慮する評価方法が確立されていないことから、設計上の留意事項を本文に記載し、地盤調査結果を基に行った有限要素法および簡易計算法による検討例は付録として記載することとした。また、新設杭の施工に関しても埋戻し部と緩みの両者の影響が考えられるが、埋戻し部と新設杭が重なる場合を含め、新設杭と既存杭の平面位置関係に応じた施工計画上の留意事項として取り纏めた。

本ガイドラインでは、既に既存杭の撤去・埋戻しが行われた場合も対象としているが、新設杭と既存杭の位置関係が特定あるいは推定できることを前提としている。その意味で、既存杭に関して必要な情報は記録として残すとともに引き継いでいくことが重要となる²⁾。

なお、本ガイドラインの作成は、ALLF「既存杭撤去に伴う周辺地盤への影響検討委員会」の活動として行われた。地盤調査および有限要素法の一部は、「(国土交通省) 住宅生産技術イノベーション促進事業 2020 年度～2022 年度」の補助を受けて実施し、また、「(国土交通省) 総合技術開発プロジェクト 建築物と地盤に係る構造規定の合理化による都市の再生と強靱化に資する技術開

発」と連携して実施した。関係者の皆様には、多大なご支援をいただきました。深く感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) 地盤工学会関東支部：既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工，2022.6
- 2) 建築基礎・地盤技術高度化推進協議会：既存杭の利活用・処理における情報表示ガイドライン，2023.2

既存杭の撤去・埋戻しを考慮した地盤調査ガイドライン

一般社団法人 建築基礎・地盤技術高度化推進協議会 (ALLF)

③課題 既存杭撤去に伴う周辺地盤への影響検討委員会名簿

(会社名五十音順, 敬称略, 2025年2月現在)

主査	森 利弘 ((株)熊谷組)
幹事	青木 雅路 (元(株)竹中工務店, (一社)ALLF)
	山本 裕司 (基礎地盤コンサルタンツ (株))
アドバイザー	二木 幹夫 ((一財)ベターリビング)
委員	前嶋 匡 (旭化成建材 (株)), 本橋 悠 (旭化成建材 (株))
	崎浜 博史 ((株)安藤・間)
	植村 一瑛 (応用地質 (株)), 橋口 稔 (応用地質 (株)) (~2024.3)
	辻 靖彦 ((株)大林組)
	岸本 剛 ((株)奥村組)
	實松 俊明 (鹿島建設 (株))
	大田 孝 (基礎地盤コンサルタンツ (株))
	遠藤 正美 ((株)熊谷組)
	井上 波彦 (国立研究開発法人 建築研究所)
	西堀 義行 ((株)サムシング)
	小座間 琢也 (システム計測 (株))
	山本 伊作 ((株)地盤試験所), 根岸 利昌 ((株)地盤試験所)
	栗本 悠平 (清水建設 (株)), 福武 毅芳 (清水建設 (株)) (~2024.11)
	名和 義恭 (太洋基礎工業 (株)), 中田 寛 (太洋基礎工業 (株))
	土屋 富男 ((株)竹中工務店), 清塘 悠 ((株)竹中工務店)
	尻無濱 昭三 (鉄建建設 (株)), 大久保 光敏 (鉄建建設 (株))
	古垣内 靖 (東急建設 (株)), 張 媛 (東急建設 (株))
	阿部 秋男 ((株)東京ソイルリサーチ)
	辻 慎太郎 (東洋テクノ (株)), 山田 正毅 (東洋テクノ (株))
	田口 智也 (戸田建設 (株))
	西村 裕 ((株)トーヨーアサノ), 松江 繁尚 ((株)トーヨーアサノ)
	新井 寿昭 (西松建設 (株)), 郡司 康浩 (西松建設 (株))
	和田 昌敏 (日鉄建材 (株)), 古谷 浩平 (日鉄建材 (株))
	沼本 大輝 ((株)長谷エコーポレーション), 小島 康幸 ((株)長谷エコーポレーション)
	岡田 憲幸 (ホクコンマテリアル (株))
	高橋 順一 (前田製管 (株))
	今井 康幸 (丸五基礎工業 (株)), 松田 久嗣 (丸五基礎工業 (株))
	林 隆浩 (丸門建設 (株))
	木谷 好伸 (三谷セキサン (株))
事務局	沼田 俊輔 ((株)東京ソイルリサーチ), 平井 卓海 ((株)東京ソイルリサーチ) (~2024.3)

目 次

第1章 総則	
1.1 節 目的	1
1.2 節 適用範囲	1
1.3 節 用語の定義	3
第2章 既存杭の撤去・埋戻しに伴う周辺地盤の影響調査	
2.1 節 撤去・埋戻し方法の概要	4
2.2 節 周辺地盤および埋戻し部の調査事例	12
2.2.1 既往の調査事例	12
2.2.2 ALLFでの周辺地盤の調査事例	16
2.2.3 ALLFでの埋戻し部の調査事例	34
2.3 節 周辺地盤および埋戻し部の調査結果のまとめ	41
2.3.1 周辺地盤の調査結果のまとめ	41
2.3.2 埋戻し部の調査結果のまとめ	49
第3章 既存杭の撤去・埋戻しを考慮した地盤調査計画	
3.1 節 新設杭のための地盤調査フロー	51
3.2 節 緩み等地盤調査計画	54
3.2.1 調査手法の種類	54
3.2.2 調査位置の考え方	58
3.2.3 調査手法の選定	63
3.2.4 調査結果の整理	65
第4章 既存杭の撤去・埋戻しを考慮した新設杭設計・施工上の留意事項	
4.1 節 新設杭の設計フローおよび留意事項	68
4.1.1 新設杭の設計フロー	68
4.1.2 新設杭の設計時の留意事項	70
4.1.3 既存杭撤去孔周辺地盤の緩み等による液状化について	72
4.1.4 その他の留意事項	73
4.1.5 緩み等の評価方法	73
4.2 節 新設杭施工時における留意事項	74
4.2.1 新設杭の施工計画における基本事項	74
4.2.2 新旧杭位置別の新設杭施工時における留意事項	74
4.2.3 施工管理	79
第5章 残された課題	81

【付録】

付録 1	地盤調査計画の例	83
付録 2	ALLF で実施した地盤調査	88
付録 3	緩みの要因に関する考察	90
付録 4	既存杭撤去・埋戻し地盤における液状化可能性評価のための有効応力解析	94
付録 5	新設杭設計における地盤の緩み等の評価方法	103
付録 6	既存杭を含む敷地地盤における「軽微な変更」に関する検討	125
付録 7	日本建築学会技術報告集 「既存杭撤去・埋戻しに伴う緩み等の調査および地盤調査計画」	130

第1章 総則

1.1 節 目的

既存建物の解体に伴って杭（以下、既存建物の上屋を解体・撤去した場合の杭は既存杭）の撤去と撤去孔の埋戻しも同時に行われている。既存杭の撤去・埋戻しについては施工指針や品質管理規程が無く、撤去後における埋戻し部の性状は良くない事例があることが報告されている^{1.1.1)}。また、既存杭の撤去・埋戻しに伴い、撤去孔の周辺地盤では原地盤に比べて N 値および剛性が低下する（以下、緩み）ことが ALLF における調査の結果、明らかになってきた（第2章参照）。

上記を踏まえると、撤去・埋戻しを行う既存杭に近接して新設杭を計画する際には、一般的な杭の設計および施工計画に必要な地盤調査（以下、一般地盤調査）に加え、既存杭撤去・埋戻しによる周辺地盤への影響（緩み）および既存杭撤去孔の埋戻し部の性状を把握するための調査（以下、緩み等地盤調査）を実施し、新設杭の設計・施工に反映させる必要があると考えられる。本ガイドラインはそのための地盤調査計画を取り纏めたものであり、合わせて新設杭計画時における設計・施工上の留意点について記載している。

【参考文献】

1.1.1) 地盤工学会関東支部:既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工, pp.49-84, 2022.6

1.2 節 適用範囲

(1) 杭種

新設杭：既製杭（既製コンクリート杭，鋼管杭），

場所打ちコンクリート杭（場所打ち鋼管コンクリート杭を含む）

なお、既存杭の杭種については特定しない。

(2) 既存杭の撤去・埋戻し方法

既存杭の撤去方法は、直接引抜工法、縁切引抜工法および破碎撤去工法に分類される。また、既存杭撤去後における撤去孔の埋戻し方法は、杭を引抜きながら埋戻し材を注入（投入）する方法と引抜き後に埋戻し材を注入（投入）する方法に分類される。埋戻し部の性状および緩みの性状はこれらの撤去・埋戻し方法によっても異なることが想定される。また、緩みの性状はすべての既存杭撤去方法と埋戻し方法について網羅的に調査された訳ではなく、現状では緩みに及ぼす撤去・埋戻し方法の影響・程度は明確になっていないことから、すべての撤去・埋戻し方法を対象とする。なお、既存杭の撤去・埋戻し方法については文献 1.2.1) に詳しく記載されているので参照されたい。

(3) 新設杭と既存杭の位置関係

本ガイドラインで対象とする新設杭と既存杭の平面的な位置関係を表 1.2.1 に示す。

①と②は新設杭が既存杭撤去孔と重なる場合である。このうち、①は撤去孔が新設杭に包含される場合（完全重なり）であり、新設杭と撤去孔の杭心が一致しない場合も含まれる。②は新設杭が撤去孔と部分的に重なる場合であり、撤去孔が新設杭よりも大きい場合など、新設杭施工後において撤去孔埋戻し部の一部が残る場合は、②に含めることとする。①と②の場合は、撤去孔埋戻し部の性状による影響に加え、緩みの影響を大きく受ける可能性がある。

③と④は新設杭が撤去孔に近接する場合である。新設杭と撤去孔との間の距離 L が、緩み距離 W に新設杭径 d （軸部径）を加えた値未満となる場合（ $0 < L < W+d$ ）であり、新設杭が緩み領域と重なる場合（ $0 < L \leq W$ ）を近接Ⅰ、重ならない場合（ $W < L < W+d$ ）を近接Ⅱとする。緩み距離 W は原地盤の種類・状態や既存杭の撤去・埋戻し方法によっても異なることが予想される。新設杭と撤去孔との間の距離 L が $L \geq W+d$ となる場合には埋戻し部の性状に加え、緩みによる新設杭への影響は小さいと考えられる。

一方、深度方向の位置関係として、本ガイドラインでは新設杭の先端は既存杭の撤去・埋戻し深度よりも十分に深くし、新設杭の先端支持力が確保できる深度に計画することを原則としている。これは新設杭の先端支持力に影響すると考えられる既存杭先端部の緩みの性状が明らかでなく、新設杭の先端支持力は十分に確保しておく必要があると考えられるためである。

なお、既存杭のうち、再利用を計画する杭が、既存杭の撤去・埋戻しの影響を受ける恐れがある場合も本ガイドラインの対象とすることができる。

表 1.2.1 本ガイドラインで対象とする新設杭と既存杭の平面的な位置関係

① 完全重なり	② 部分重なり	③ 近接Ⅰ (緩み領域と重なる) $0 < L \leq W$	④ 近接Ⅱ (緩み領域と重ならない) $W < L < W+d$
<p>※新設杭と撤去孔の心が異なる場合を含む</p>			
<p>● : 新設杭 ○ : 既存杭撤去孔 ○ : 杭撤去に伴う緩み領域</p>			

【参考文献】

1.2.1) 地盤工学会関東支部:既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工, pp.18-41, 2022.6

1.3 節 用語の定義

既存杭：杭基礎の既存建物の上屋を解体・撤去した場合の杭。

撤去杭：既存杭の内，撤去される杭。

存置杭：既存杭の内，廃棄物としてではなく撤去せずにそのまま残しておく杭。

新設杭：既存建物を解体した後に新設建物を構築する場合の杭。

撤去方法：既存杭を撤去する方法の総称。

既存杭撤去孔：既存杭を撤去するために掘削された領域。単に撤去孔とも呼ぶ。

埋戻し方法：既存杭の撤去孔を埋め戻す方法の総称。

埋戻し部：既存杭撤去孔に埋戻し材を注入するなどして埋め戻した部分。

原地盤：既存杭の撤去・埋戻し工事に掛かる前の手を加えていない自然の堆積等によってできた地盤。

緩み：既存杭の撤去・埋戻しに伴い，撤去周辺地盤の N 値，剛性が原地盤に比べて低下する現象。

緩み領域：既存杭の撤去・埋戻しに用いるケーシング端からの緩みの範囲。

緩み距離 (W)：ケーシング端から緩み領域最外端までの最短距離。

緩み等：既存杭の撤去・埋戻しによる周辺地盤への影響（緩み）と埋戻し部の性状。

一般地盤調査：既存杭撤去の有無に関わらず行う，新設建物基礎の設計および施工計画に必要な地盤調査（地盤調査①と呼ぶ）。

緩み等地盤調査：地盤調査①とは別途に行う，既存杭撤去・埋戻しによる周辺地盤への影響（緩み）および埋戻し部の性状を把握するための地盤調査（地盤調査②と呼ぶ）。既存杭の有無や位置に関する資料調査・現地踏査を含む。

近接：既存杭撤去孔と新設杭の間の平面距離 L が，緩み距離 W に新設杭の軸径 d を加えた値より近い場合 ($0 < L < W + d$)。新設杭が緩み領域と重なる場合 ($0 < L \leq W$) を近接Ⅰ，重ならない場合 ($W < L < W + d$) を近接Ⅱと呼ぶ。

ケーシング径：既存杭の撤去に用いるケーシングの外径。

第2章 既存杭の撤去・埋戻しに伴う周辺地盤の影響調査

2.1節 撤去・埋戻し方法の概要

既存杭の撤去・埋戻しには、杭の撤去工程と撤去孔の埋戻し・攪拌工程の2工程があり、杭種や地盤条件、施工条件等を考慮し、撤去工法、埋戻し方法・攪拌方法を組み合わせて実施する。

(1) 既存杭の撤去・埋戻し方法の分類と組み合わせの例

既存杭の撤去方法は図 2.1.1 に示すように直接引抜工法、縁切引抜工法、破碎撤去工法の3工法に分類される^{2.1.1)}。直接引抜工法は、油圧ジャッキ等や多滑車、またはパイプロハンマを用いて既存杭を直接引き抜く工法である。縁切引抜工法は、既存杭の外周をケーシングで削孔し、地盤と既存杭の縁が切れた段階でケーシングを引き上げ、既存杭にワイヤーを巻き付けて引き抜く工法である。破碎撤去工法とは、全周回転式掘削機や多機能掘削機、二軸同軸オーガーケーシングを用いて既存杭を破碎、切断しながら撤去する工法である。

既存杭撤去孔の埋戻し方法は図 2.1.2 に示すように、埋戻し材、投入方法により分類される^{2.1.1)}。埋戻し材には、土、流動化処理土、貧配合セメントミルクなどがある。投入方法は、地上から投入する方法、専用バケット等を用いて地中に材料を投入する方法、トレミー管を用いて孔底から材料を打ち上げる方法等があり、既存杭の撤去方法、埋戻し材料の組み合わせにより投入方法を決定する。

埋戻し時の攪拌方法は図 2.1.3 に示すように、機械攪拌、エア攪拌、エアリフト攪拌等がある^{2.1.1)}。トレミー管を用いて泥水との置換による埋戻しを行う場合などでは、攪拌を伴わないこともある。

本章では既存杭の撤去工法の3工法のうち、多く採用されている縁切引抜工法と破碎撤去工法に着目し、工法の概要を記載したうえで、周辺地盤の緩みに関する調査結果を紹介する。各工法の詳細については地盤工学会「既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工」(2022)を参照されたい。

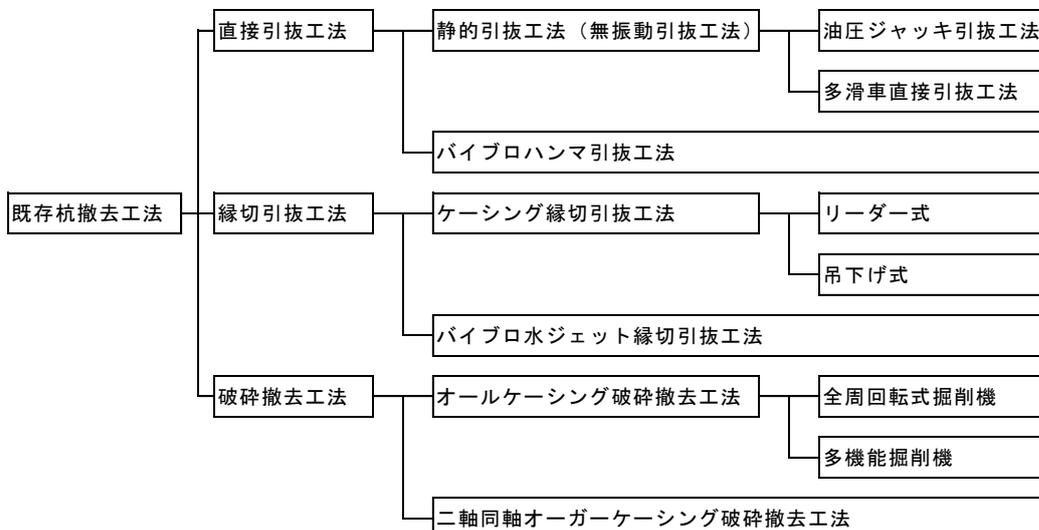


図 2.1.1 既存杭撤去工法の分類^{2.1.1)}

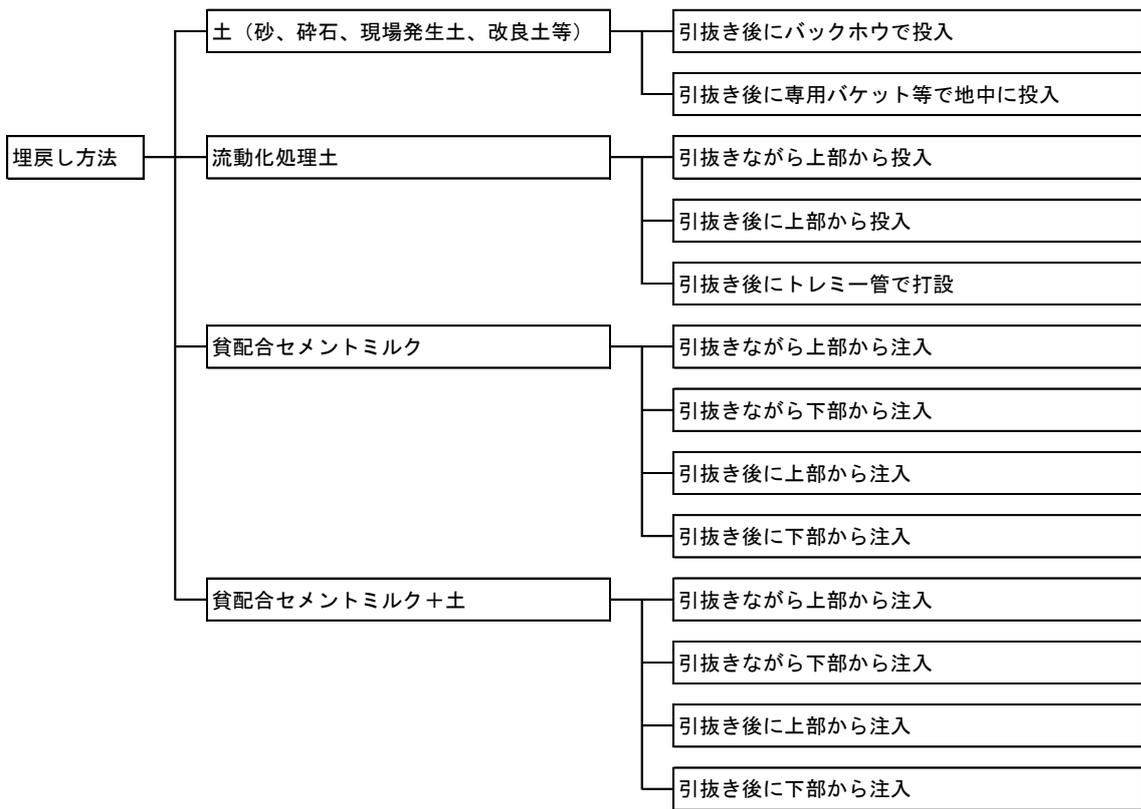


図 2.1.2 既存杭撤去孔の埋戻し方法の分類^{2.1.1)}

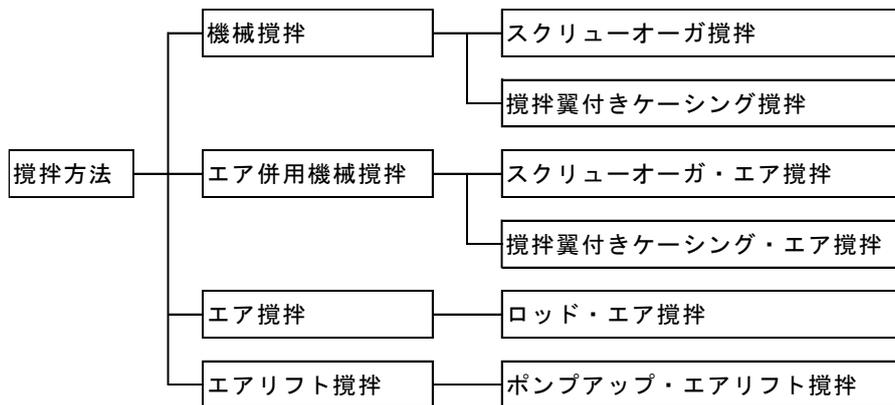


図 2.1.3 既存杭撤去孔埋戻し時の攪拌方法の分類^{2.1.1)}

既存杭の撤去方法，埋戻し方法，攪拌方法は図 2.1.1，図 2.1.2，図 2.1.3 の分類から選択し，組み合わせて実施する．既存杭撤去工法と埋戻し方法の組合せのうち，多く用いられている方法は以下の 3 つの組合せである．

- ・ケーシング縁切引抜工法+流動化処理土
- ・ケーシング縁切引抜工法+貧配合セメントミルク
- ・オールケーシング破碎撤去工法+流動化処理土
- (i) ケーシング縁切引抜工法+流動化処理土

撤去方法を「ケーシング縁切引抜工法」，埋戻し方法を「流動化処理土を引抜きながら上部から注入」を組み合わせた場合の施工手順の例を図 2.1.4 に示し，以下に概説する．攪拌は行わない．

- ①既存杭位置に合わせて施工機械をセットする．先端から水を噴射しながらケーシングを回転貫入し，撤去杭と周辺地盤の縁を切る．地盤と撤去杭の縁切りの状態は，撤去杭とケーシングの共回りの確認等で判断する．
- ②縁切り確認後，ケーシングを引き上げる．
- ③撤去杭にワイヤーを掛ける．
- ④流動化処理土を上部から注入する．
- ⑤既存杭を引き抜く．
- ⑥埋戻し完了

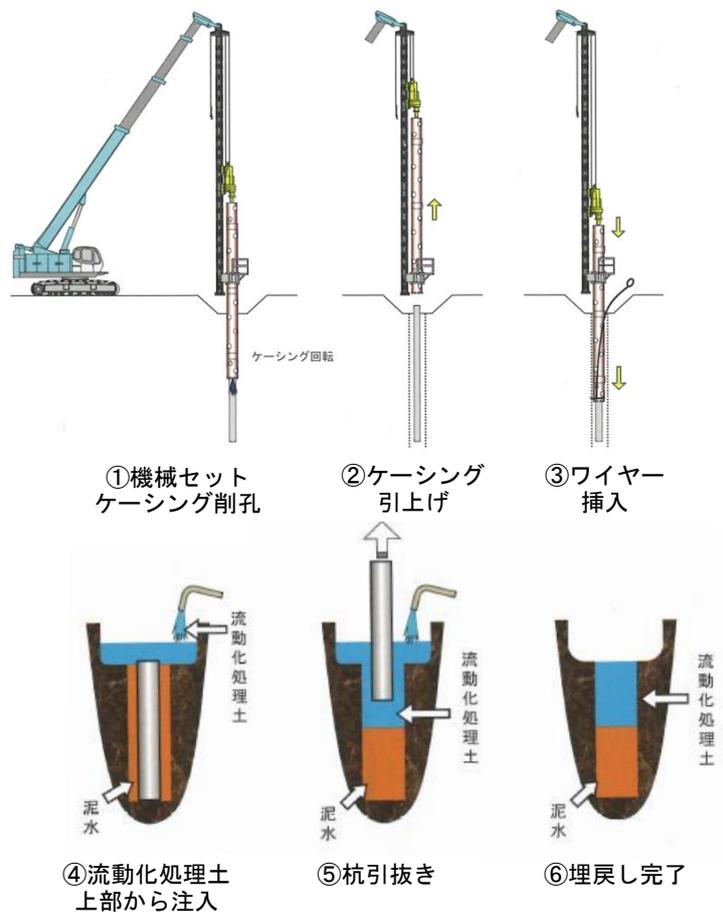


図 2.1.4 ケーシング縁切引抜工法+流動化処理土による撤去・埋戻しの施工手順の一例 2.1.1) を加筆・修正

(ii) ケーシング縁切引抜工法+貧配合セメントミルク

撤去方法を「ケーシング縁切引抜工法」、埋戻し方法を「貧配合セメントミルクを引抜き後に上部から注入」を組み合わせた場合の施工手順の例を図 2.1.5 に示し、以下に概説する。攪拌方法は「機械攪拌（スクリーオーガ攪拌）」である。

- ①既存杭位置に合わせて施工機械をセットする。先端から水を噴射しながらケーシングを回転貫入し、撤去杭と周辺地盤の縁を切る。地盤と撤去杭の縁切りの状態は、撤去杭とケーシングの共回りの確認等で判断する。
- ②縁切り確認後、ケーシングを引き上げる。
- ③撤去杭にワイヤーを掛ける。
- ④既存杭を引き抜く。
- ⑤貧配合セメントミルクを上部から注入する。
- ⑥埋戻し部が均一となるようスクリーオーガを用いて攪拌を行う。

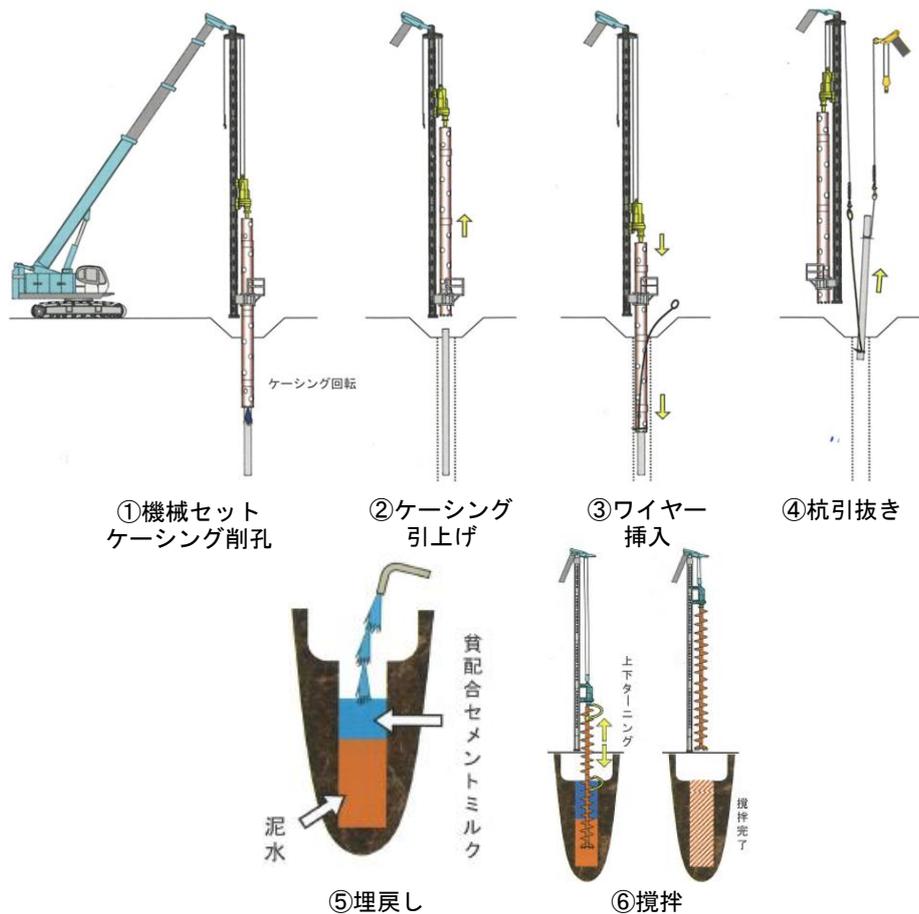


図 2.1.5 ケーシング縁切引抜工法+貧配合セメントミルクによる撤去・埋戻し・攪拌の施工手順の一例 2.1.1) を加筆・修正

(iii) オールケーシング破碎撤去工法+流動化処理土

撤去方法を「オールケーシング破碎撤去工法」、埋戻し方法を「流動化処理土を引抜き後にトレミー管で打設」を組み合わせた場合の施工手順を図 2.1.6 に示し、以下に概説する。

- ①施工機械を所定位置にセットし、ケーシングを地盤中に回転圧入する。
- ②ハンマーグラブ等で撤去杭を破碎・撤去する。
- ③所定の深度まで①～②を繰り返す、杭破碎・撤去を完了する。
- ④埋戻しに用いるトレミー管を設置する。
- ⑤トレミー管を用いて流動化処理土を撤去孔下部から打設する。
- ⑥流動化処理土の打設が完了後トレミー管を撤去する。
- ⑦ケーシングを撤去する。

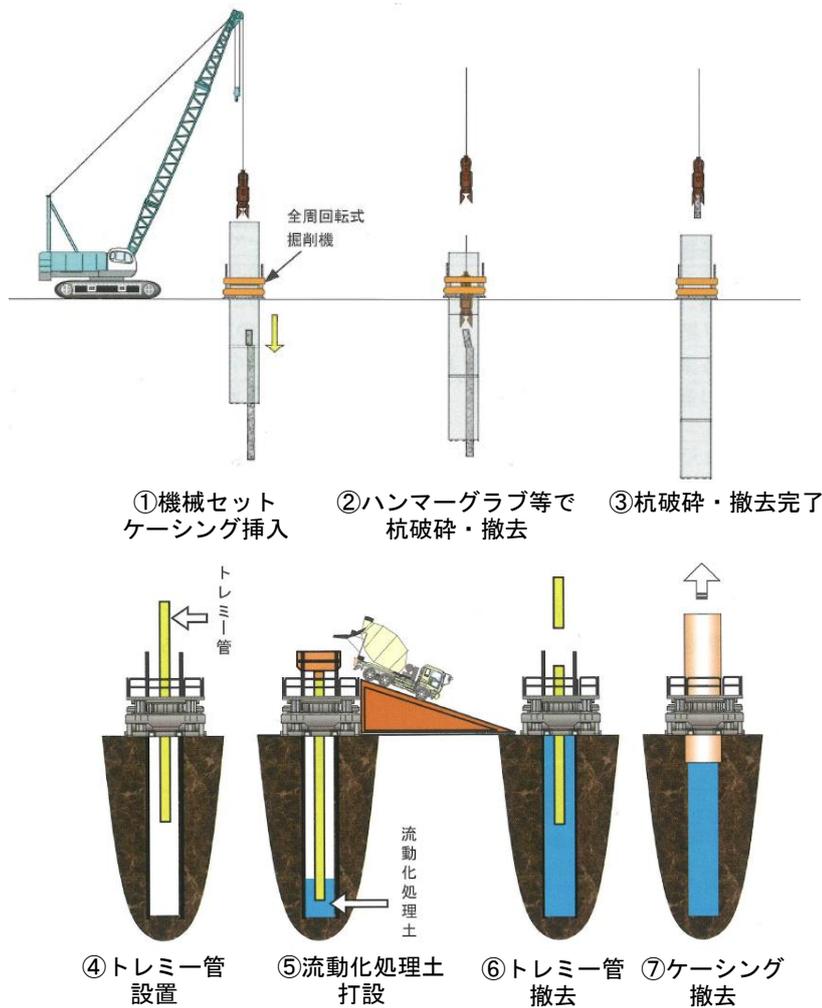


図 2.1.6 オールケーシング破碎撤去工法+流動化処理土による
撤去・埋戻しの施工手順の一例 2.1.1) を加筆・修正

いずれの工法も既存杭を効率的に撤去することだけでなく、周辺地盤をできるだけ乱さないような配慮が必要である。また、新設杭へ与える影響は、撤去による緩みだけでなく埋戻し部の性状も関係するため、撤去方法と埋戻し方法に加えて攪拌方法もセットで工法選定を行うことが重要である。

既存杭撤去孔の埋戻し部の強度および剛性は、新設杭の設計・施工上、原地盤と同等であることが望ましい。埋戻し部が原地盤よりも軟らかい場合は、新設杭施工時に孔曲がりや孔壁崩壊の発生や、新設杭の水平抵抗・鉛直支持力が低下する可能性がある。一方、原地盤より硬い場合は原地盤側に孔曲がりが生じやすくなると共に、新設杭の水平・鉛直ばねの増加により荷重が集中する可能性がある。特に新設杭が埋戻し部と原地盤にまたがる場合は、埋戻し部の物性の影響を大きく受けると考えられるため、剛性差が大きい場合には注意が必要である。また、周辺地盤への影響防止という観点からも密実に埋戻しを行うことが重要である。

このように、埋戻し部は出来るだけ原地盤と同等の強度・剛性であることが理想であるが、埋戻し部の性状にバラツキが大きく、原地盤は深度方向に異なる層が堆積しているため、安定した品質を確保した上で原地盤と同等に埋め戻すのは難しい。この点を十分に認識した上で、新設杭の設計・施工を行うことが重要である。

(2) 既存杭の撤去・埋戻しに関する施工・品質管理上の留意事項

既存杭の撤去・埋戻しに関する施工・品質管理上の留意事項を以下に示す。

a) 既存杭撤去に用いるケーシングの選定に関する留意事項

既存杭の撤去・埋戻しに用いるケーシングの選定においては、以下の事項に留意する。

- ・杭撤去に用いるケーシングの内径は既存杭径+200~300mm程度以上とすることが多いが、破碎撤去工法では最小径が1000~1500mm程度と既存杭径に比べて大きい場合がある。また、杭種や使用機材（破碎撤去工法のハンマングラブ等）のサイズによって必要な径が異なるのであらかじめ確認しておく。
- ・場所打ちコンクリート杭の拡底杭工法や、既製コンクリート杭の先端拡大根固め工法の場合は、先端の拡径部を撤去するか否かによって必要なケーシング径は変わる。
- ・場所打ちコンクリート杭では、施工時の表層ケーシング径が杭頭部の設計杭径より大きいため、杭頭部の実径が大きくなっている可能性がある。
- ・既存杭は施工時に1/100程度まで傾斜している可能性があるため、杭長が長い場合は、杭の傾斜を考慮してケーシング径を選定する必要がある。
- ・掘削機や揚重機、使用するケーシング径等の施工条件や、既存杭の径の条件によっては、平面的に複数に分割して既存杭を撤去する方法（分割施工）で対応する。この場合も、既存杭の施工精度や撤去に用いるケーシングの施工誤差などを考慮してケーシング径を選択する。

b) 埋戻し部の品質確保に関する留意事項

(i) ケーシング縁切引抜工法と流動化処理土を組み合わせた方法

- ・上部から投入する場合は、既存杭を引抜きながら注入できる。ただし、流動化処理土と撤去孔内の泥水が十分に混ざり合わず、分離する可能性や、流動化処理土が撤去孔底まで到達しない

- 可能性も考えられる。これらの問題を回避するには埋戻し材と泥水を攪拌することが望ましい。
- 流動化処理土の埋戻し時に攪拌を行う場合は、撤去孔内の泥水や土砂を考慮した配合とする。
- 流動化処理土は、投入前の比重・強度確認を確実に行うと共に、埋戻し後に未固結試料を採取することを検討する。また、ブリージングにも配慮した配合計画とする。

(ii) ケーシング縁切引抜工法と貧配合セメントミルクを組み合わせた方法

貧配合セメントミルクは、図 2.1.5 に示すように既存杭撤去後に注入する場合のほか既存杭引抜時に注入する場合があるが、注入するだけでは撤去孔内の泥水・泥土と貧配合セメントミルクが分離した不均質な状態であるため、これらを混合して全長に渡って攪拌する必要がある。埋戻し部の攪拌に関する留意事項を以下に示す。

- 攪拌方法は、図 2.1.7 に示すように、①スクリーオーガなどによる機械攪拌、②エア攪拌（エアブロー）、③エアリフト攪拌、④エア併用機械攪拌がある。文献 2.1.1) では①～③の単独使用では混合が不十分であることが多いが、④の機械攪拌にエア攪拌を併用したエア併用機械攪拌はある程度の効果が認められることが報告されている。
- 上部または下部いずれから貧配合セメントミルクを注入した場合も、攪拌が不十分な場合は注入側と逆側（上部注入では下部、下部注入では上部）の固化不良や強度低下が生じる可能性がある。
- 攪拌を行う場合は、撤去孔内の沈殿した土砂や泥水の状態を考慮した配合計画とする。また、品質確認のため、埋戻し後の未固結試料の採取を検討する。

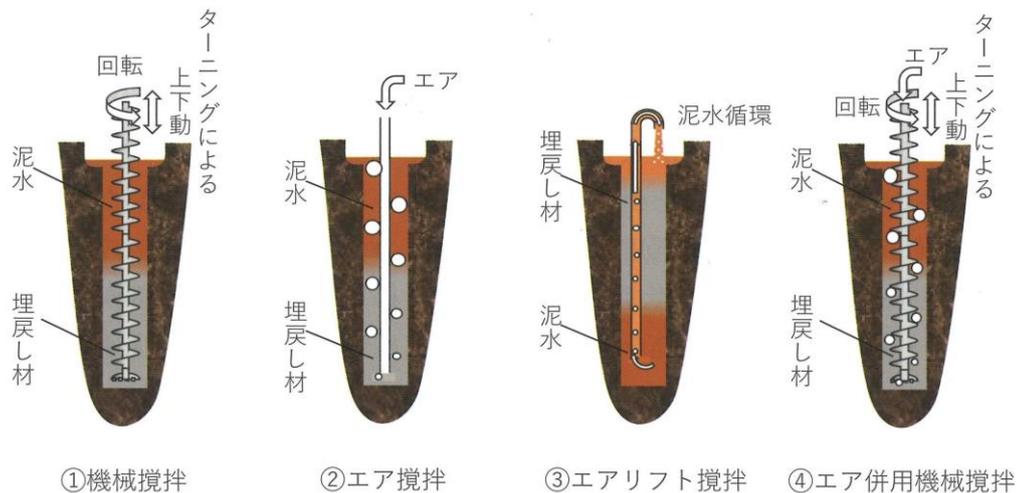


図 2.1.7 ケーシング縁切引抜工法における埋戻し材と泥土・泥水の攪拌方法例^{2.1.2)}

(iii) オールケーシング破砕撤去工法と流動化処理土を組み合わせた方法

オールケーシング破砕撤去工法では、図 2.1.6 に示すように、ケーシング内の既存杭と土砂を完全に撤去し、トレミー管を用いて流動化処理土を孔底から打設する。この場合、比較的安定した埋戻し部を構築できる。ただし、以下に示すように、流動化処理土の品質や打設前の配合設定、打設時の施工管理に留意する必要がある。

- ・流動化処理土は、投入前の比重・強度確認を確実に行うと共に、埋戻し後の未固結試料も採取することを検討する。埋戻し後に新設杭を施工するなど再掘削を行う必要がある個所は、掘削不可能にならないように強度の上限値を設けるのが望ましい。また、ブリージングにも配慮した配合計画とする。
- ・既存杭の撤去時には、埋戻し材料の強度不足の要因となる孔底の泥土を取り除く。
- ・打設時に流動化処理土が分離しないよう打設時間に注意する。また、流動化処理土は水や泥水と混ざると強度低下するため、トレミー管を用いる。流動化処理土の比重は泥水(安定液)との差が小さいため、トレミー管の貫入量はコンクリートより深い 3m～5m 確保する^{2.1.3)}。

【参考文献】

2.1.1) 地盤工学会関東支部：既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工，pp.18-48，2022.6

2.1.2) 地盤工学会関東支部：既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工，p.52，2022.6

2.1.3) 地盤工学会関東支部：既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工，p.82，2022.6

2.2 節 周辺地盤および埋戻し部の調査事例

2.2.1 既往の調査事例

既存杭の撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響に関する参考文献一覧を表 2.2.1 に示す。このうち、代表的な事例として表 2.2.1 の文献 No.1, No.15 および No.16 の 3 事例を紹介する。

なお、既存杭撤去孔の埋戻し部に関する既往の調査事例については、「既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工」^{2.2.1)}を参照されたい。

表 2.2.1 既存杭の撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響に関する参考文献一覧

No.	発行年	出典	タイトル	著者	頁
1	2002	地盤工学会：第 37 回地盤工学研究発表会発表講演集	SCP 工法の締固め効果と杭施工に伴う地盤の緩みに関する研究	木村匡他	pp.1099-1100
2	2009	地盤工学会：第 44 回地盤工学研究発表会発表講演集	遠心実験における残置杭が新規杭の周面摩擦力と先端抵抗力に及ぼす影響	田村修次 他	pp.1157-1158
3	2016	地盤工学会：第 51 回地盤工学研究発表会発表講演集	既存杭撤去後の安定液置換による埋戻し処理の事例報告	古垣内靖 他	pp.1197-1198
4	2016	地盤工学会：第 51 回地盤工学研究発表会発表講演集	杭基礎の引抜孔が周辺地盤の動的挙動に及ぼす影響の解析的検討	納庄一希 他	pp.1201-1202
5	2017	地盤工学会：第 52 回地盤工学研究発表会発表講演集	既存杭引抜孔への充填材が周辺地盤に与える効果に関する数値解析	納庄一希 他	pp.723-724
6	2017	地盤工学会：第 14 回地盤工学会関東支部発表会予稿集	構造物基礎の引抜孔が原地盤の静的・動的挙動に及ぼす影響の解明	佐藤昭孝 他	—
7	2018	地盤工学会：第 53 回地盤工学研究発表会発表講演集	既存杭抜跡地盤の埋戻し処理と周辺地盤の沈下挙動に関する解析的検討	川原知也 他	pp.867-868
8	2005	日本建築学会：日本建築学会大会学術講演梗概集	杭撤去に伴う周辺地盤の挙動：その 1 地盤移動	田中俊平 他	pp.705-706
9	2005	日本建築学会：日本建築学会大会学術講演梗概集	杭撤去に伴う周辺地盤の挙動：その 2 地盤物性	松元秀樹 他	pp.707-708
10	2018	土木学会：土木学会第 73 回 年次学術講演会講演概要集	既存杭引抜孔の充填材が周辺地盤に与える影響評価	川原知也 他	pp.255-256
11	2018	土木学会：平成 30 年度土木学会関西支部年次学術講演会概要集	杭基礎の引抜孔に対する充填材が周辺地盤に作用する影響の数値解析	川原知也 他	III-8
12	2018	日本材料学会：第 13 回地盤改良シンポジウム論文集	既存杭引抜孔への埋戻し処理と周辺地盤への影響に関する解析的検討	川原知也 他	pp.405-408
13	1997	総合土木研究所：基礎工，Vol.25, No.287	既存構造物の撤去に伴う場所打ち杭構築工法の現状	尾身博明	pp.36-41
14	1997	総合土木研究所：基礎工，Vol.25, No.287	既存杭撤去工法の現状 -建築工事の場合-	亀田龍吉 他	pp.21-29
15	2003	全国地質調査業協会連合会：技術 e-フォーラム 2003	電気式静的コーン貫入試験を用いた杭引き抜きに伴う地盤への影響評価の一考察	太田雅之 他	—
16	1972	コンクリートポールパイル協会：コンクリートパイル，No.4	大口 PC くい施工法と支持力に関する研究報告	吉倉忍	pp.8-30

(1) 文献 No.1

サンドコンパクションパイル工法（SCP 工法）による締固め改良地盤において，改良工事後に杭工事が行われた場合，杭周辺地盤に緩みが生じる懸念から，地盤調査を行った事例である．なお，本事例は杭撤去・埋戻しに伴うものではないが，地盤調査は締固め地盤に加えて原地盤（締固め地盤改良を未実施の地盤）においても実施しているので，参考となる事例である．

試験地盤と施工および試験深度の概要を図 2.2.1 に示す．試験地盤は深さ 4m 程度まで浚渫土砂（シルト質細砂），以深は沖積層の砂質土，粘性土で構成される．また，本研究では杭工事を想定したアースドリルによる掘削（径φ1000mm，深さ 5m）が行われた．

試験位置図を図 2.2.2 に示す．試験は，アースドリルによる掘削前に 2 箇所，掘削後に掘削孔壁より 0.2m，0.5m，0.8m，1.5m 離れた位置でスクリーウエイト貫入試験（旧スウェーデン式サウンディング試験）が実施されている．

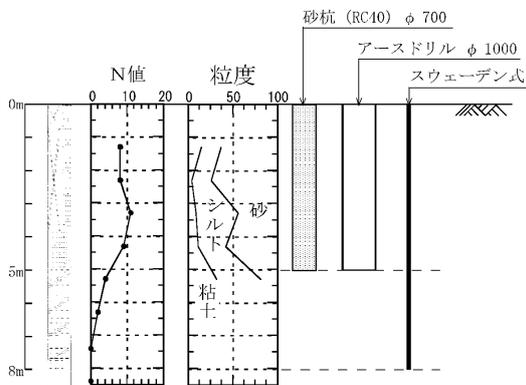


図 2.2.1 試験地盤と施工および試験深度の概要

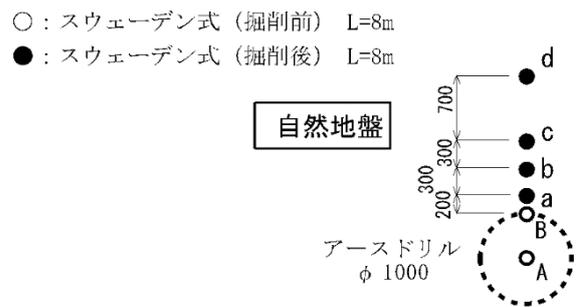


図 2.2.2 掘削と試験の位置関係

掘削前後におけるスクリーウエイト貫入試験による換算 N 値は，掘削後に低下する傾向が見られた．また，図 2.2.3 に示す掘削孔壁からの離隔と換算 N 値の比率（掘削後／掘削前）を見ると，自然地盤では掘削孔壁から 0.5m までは換算 N 値が低下するが，0.8m を超えると低下は見られない結果となっている．

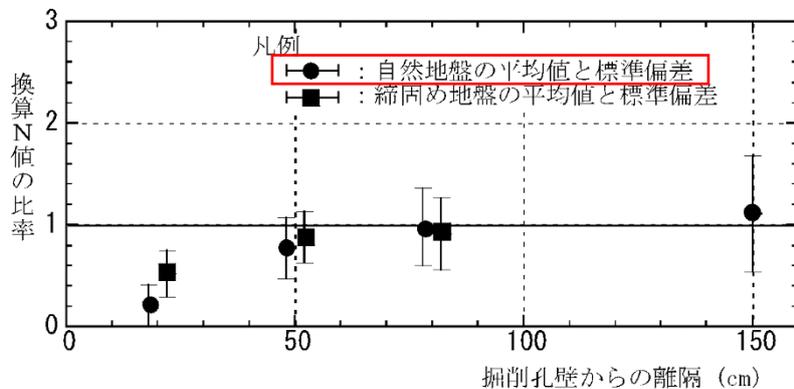


図 2.2.3 掘削孔壁からの離隔と換算 N 値の比率（掘削後／掘削前）

(2) 文献 No.15

本事例は、既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響を確認するために、電気式コーン貫入試験（CPT）を実施した事例である。

試験地盤は、沖積層の砂質土、粘性土で構成される。撤去対象杭は、杭径φ400mm、長さ27mの杭（杭種は不明）で、杭撤去にはφ600mmのケーシングを用い、水ジェットを併用した回転削孔により縁切り、杭撤去された。なお、杭撤去後の孔内は、セメントベントナイト液が注入されている。

試験位置図を図 2.2.4 に示す。電気式コーン貫入試験（CPT）は、杭心を基準とした距離 1m、2m、4m、8m の 4 箇所において、杭の撤去前後に実施された。

試験結果より、CPT の先端抵抗は、距離 1m および 2m の砂質土層（As1）で低下が見られ、最大値から約 7 割まで低下していた（図 2.2.5 参照）。

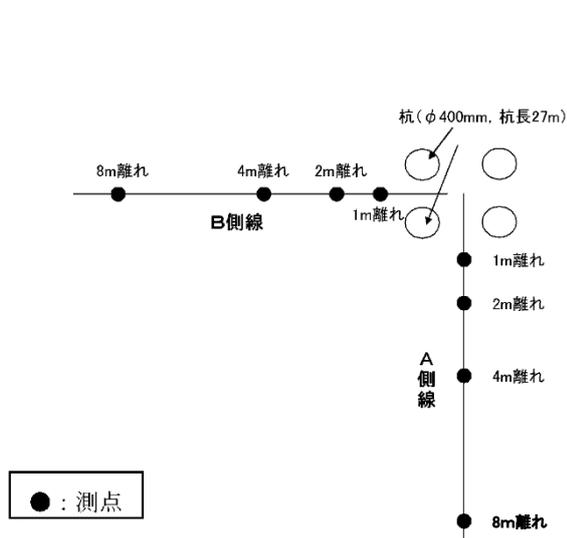


図 2.2.4 撤去対象杭と CPT の位置

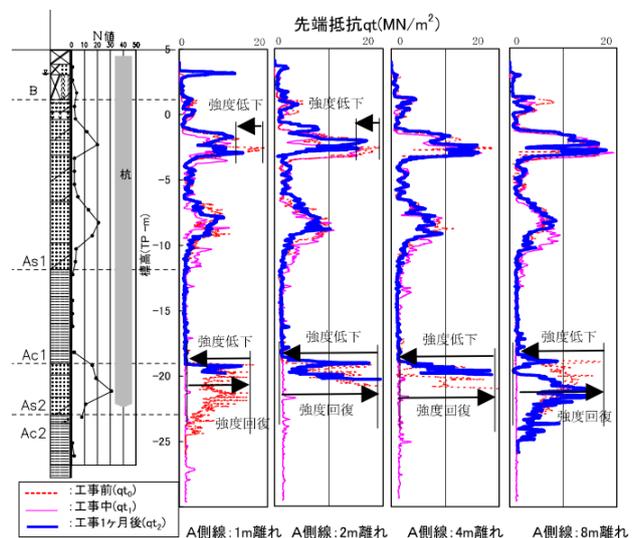


図 2.2.5 電気式静的コーン貫入試験結果

(3) 文献 No.16

本事例は、杭の鉛直載荷試験後に周辺地盤への影響を確認するために地盤調査が実施された事例である。ただし、本事例は杭撤去・埋戻しに伴うものではない。

試験地盤は深さ 15m まで砂質土を主体とし、深さ 7m 以浅は N 値 30 以下、以深は N 値 30 以上となる。また、対象となる杭は杭径 ϕ 1000mm、杭長 10m である。

試験位置図を図 2.2.6 に示す。地盤調査は、鉛直載荷試験後に杭から距離 0.5m の 3 箇所標準貫入試験が行われた。

地盤調査の結果、原地盤の No.9 地点に比べ、杭の近傍では N 値の低下が確認され、緩みが生じていることが判明した (図 2.2.7 参照)。

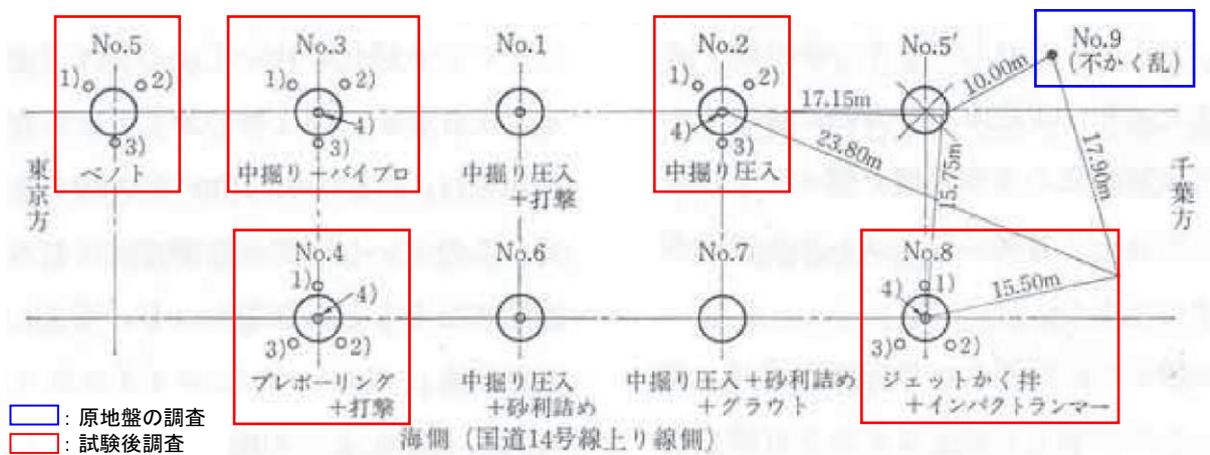


図 2.2.6 撤去対象杭と SPT の位置 (文献に加筆)

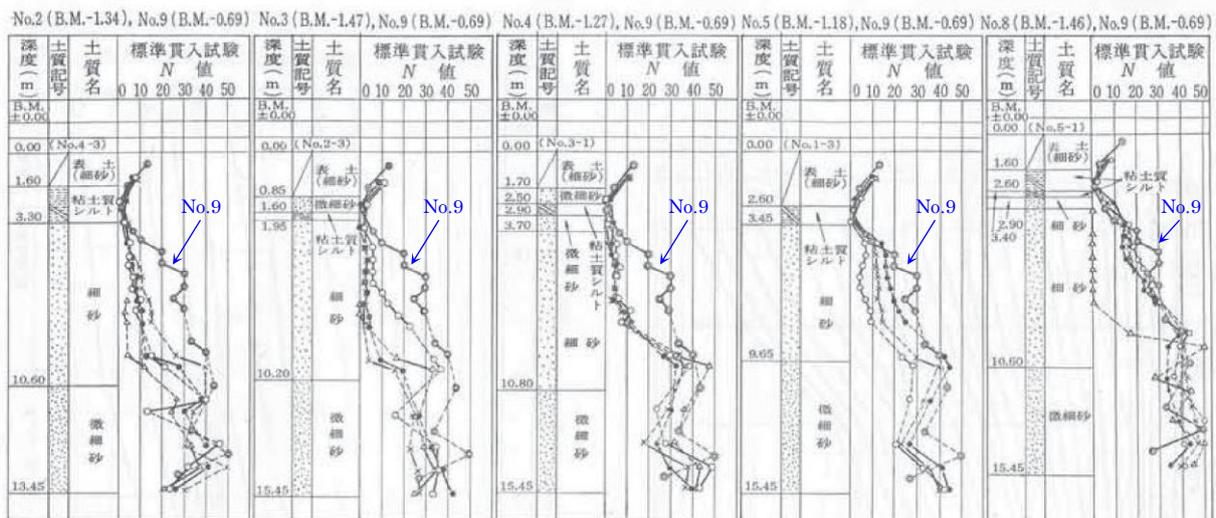


図 2.2.7 各撤去杭における SPT 結果 (文献に加筆)

2.2.2 ALLF での周辺地盤の調査事例

既存杭の撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響を確認するための調査として、杭の撤去・埋戻しが行われた地盤を対象に、地盤調査を5サイトで実施した。既存杭の撤去・埋戻しおよび地盤調査の一覧を表2.2.2に示す。同表の一部は、「住宅生産技術イノベーション促進事業^{※1}」と総合技術開発プロジェクト「建築物と地盤に係る構造規定の合理化による都市の再生と強靱化に資する技術開発^{※2}」として実施したものである。

地盤調査として、標準貫入試験（以下、SPT）や電気式コーン貫入試験（以下、CPT）等のサウンディング、原位置試験（孔内載荷試験やPS検層）、乱れの少ない試料を用いた一軸圧縮試験、表面波探査、その他調査（微動アレイ探査、羽根付きコーン貫入試験（以下、HCPT）、スクリュードライバースOUNDING試験（以下、SDS）、埋戻し部の調査）を撤去前後において実施した。

以降より、単杭および複数杭の撤去を対象とした地盤調査事例を紹介する。さらに、総合技術開発プロジェクトが実施した既存杭の撤去前後の微動アレイ探査の事例（サイトNo.5）も紹介する。地盤調査結果の詳細は付録2に記載の「既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響検討を行うための地盤調査 実施成果とりまとめ報告書」を参照されたい。

表 2.2.2 既存杭の撤去・埋戻しおよび地盤調査の一覧

サイト No.	調査地	調査時期 杭撤去から調査までの期間	撤去対象杭		杭撤去・埋戻し方法			対象地盤	調査項目							
			(i) 杭径 (ii) 杭長 (m)	杭種	撤去ケーシング径 (mm)	撤去方法	埋戻し方法		SPT	CPT	原位置	一軸圧縮	表面波	埋戻部	その他 ^{※6}	
1	埼玉県草加市	2019/11 2021/11 ^{※1} 4~7週間 約2年後	(i) 0.4 (ii) 36.9	既製杭 (PHC杭)	700	ケーシング 縁切引抜工法	上部より流動化処理土 ^{※3}	沖積低地	○		○	○		○		
2	千葉県船橋市	2019/10 1週間	(i) 0.3 (ii) 16	既製杭 (PHC杭)	600		上部より流動化処理土 ^{※4}	洪積台地			○					
3 ^{※1}	埼玉県加須市	2020/12 ~2021/1 1~4週間	(i) 0.5 (ii) 26	既製杭 (SC杭)	770		上部より流動化処理土 ^{※4}	沖積低地	○	○		○		○	b	
4 ^{※1}	茨城県稲敷市	2020/10 ~2021/1 1~6週間	(i) 0.5 (ii) 12	既製杭 (PHC杭)	780		上部より流動化処理土 ^{※4}	沖積低地	○	○	○		○	○	b・c	
	茨城県稲敷市	2021/7 ~2021/9 20~28週間	(i) 0.7 (ii) 13~15	既製杭 (SC杭)	1060 1460		上部より流動化処理土 ^{※4}	沖積低地	○	○	○	○		○	b	
	茨城県稲敷市	2022/7 ~2022/9 1~3週間	(i) 0.5 (ii) 12	既製杭 (PHC杭)	1500		オールケーシング 破砕撤去工法	下部より流動化処理土 ^{※5}	沖積低地	○	○				○	
5 ^{※2}	福岡県福岡市 (馬出)	2021/12 8~12週間	(i) 0.8 (ii) 15	場所打ちコンクリート杭	1500	ケーシング縁切引抜工法	上部より山砂投入	沖積低地	○	○	○		○	a・b		

※1：住宅生産技術イノベーション促進事業（国土交通省）

※2：総合技術開発プロジェクト（国土技術政策総合研究所）

※3：上部より流動化処理土を自然落下+攪拌あり

※4：上部より流動化処理土を自然落下+攪拌なし

※5：トレミー管を用いて下部より流動化処理土+攪拌なし

※6：その他は「(a)微動アレイ探査」, 「(b)羽根付きコーン貫入試験」, 「(c)スクリュードライバースOUNDING試験」である。

(1) 単杭の撤去・埋戻しによる影響調査事例

1) サイト No.1 埼玉県草加市^{2.2.2)}

調査地の地盤構成と既存杭の概要，調査位置図を図 2.2.8 に示す．調査地は沖積層の砂質土層と粘性土層が 30m 程堆積し，沖積層下部は N 値 30 以上の洪積層の砂質土層で構成される．撤去対象杭は，杭径 ϕ 400mm，杭長 36.9m で，撤去工法はケーシング縁切引抜工法である（表 2.2.3）．

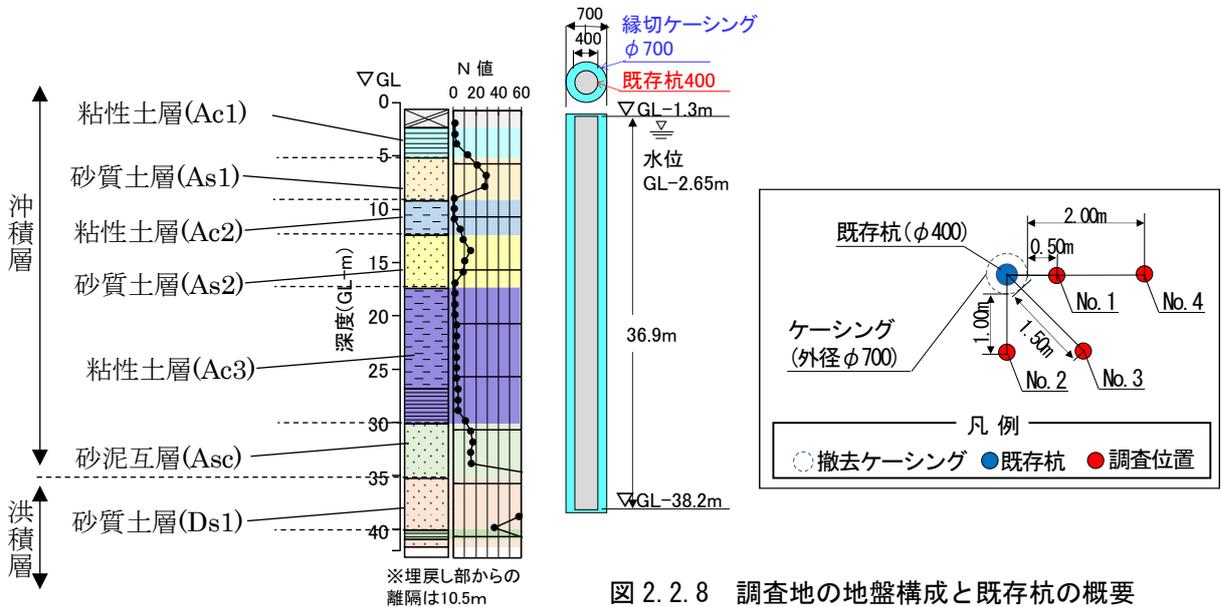


図 2.2.8 調査地の地盤構成と既存杭の概要

表 2.2.3 撤去対象杭の仕様

杭径 (mm)	ケーシング径 (mm)	杭長 (m)	杭の種類	施工方法
400	700	36.9	既製コンクリート杭	打込み杭工法

a) 標準貫入試験 (SPT)

SPT の N 値分布図を図 2.2.9 に示す．砂質土層 (As1) で N 値の低下が見られ，ケーシング端に近い程 N 値が小さい傾向が見られた．なお，2 年後の再調査でも原地盤相当の数値への回復は見られなかった^{2.2.3)}．

b) 孔内载荷試験

試験結果を図 2.2.10 に示す．試験は，距離 0.5m と距離 2.0m の深度 7m (As1)，14m (As2) で実施した．距離 2.0m の変形係数 E_m は 10000~15000 kN/m² を示したが，距離 0.5m では 2300~3600 kN/m² を示し，ケーシングに近い方が小さい結果となった．

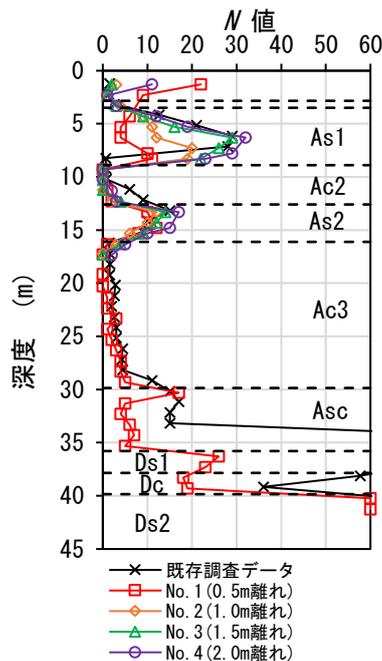


図 2.2.9 SPT 結果

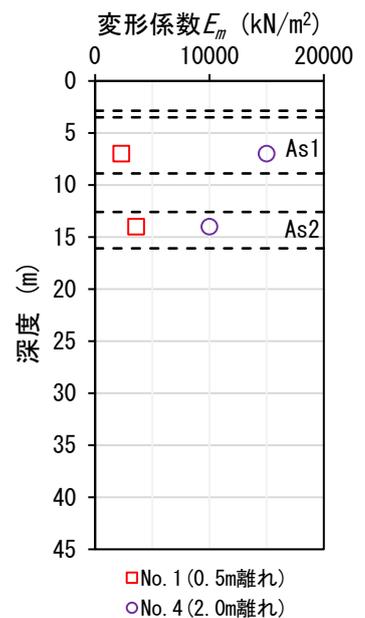


図 2.2.10 孔内载荷試験結果

2) サイト No.2 千葉県船橋市^{2.2.4)}

調査の概要を図 2.2.11 に示す。調査地は表層から洪積地盤であり、ローム層、粘性土層、砂質土層が約 14m 堆積し、その下部は N 値 30 以上の砂質土層で構成される。撤去対象杭は、杭径 ϕ 300mm、杭長 16m で、撤去工法はケーシング縁切引抜工法である (表 2.2.4)。

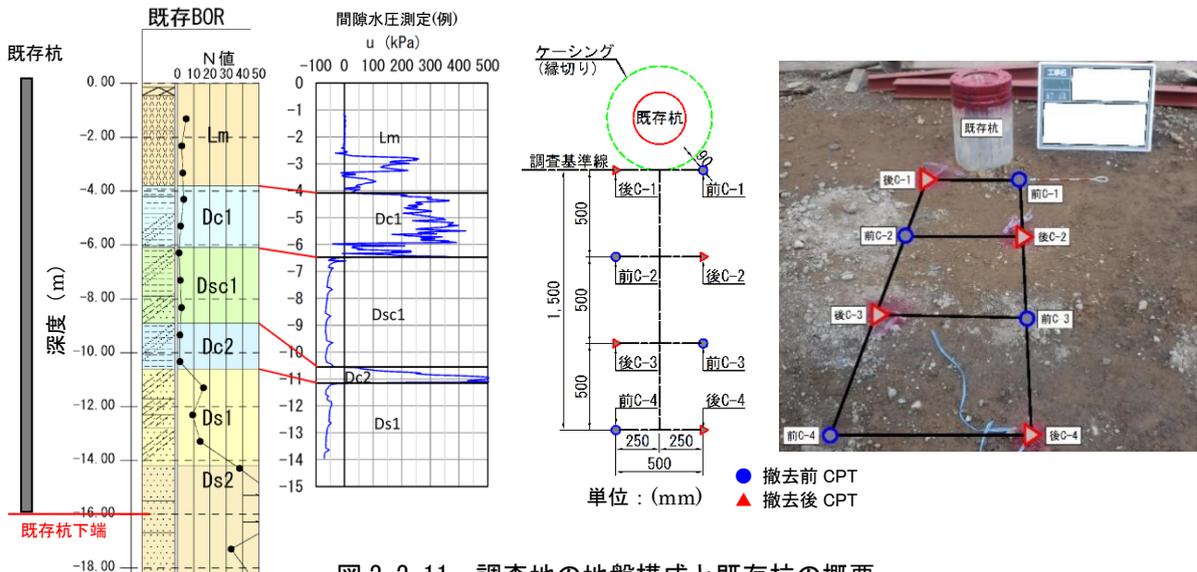


図 2.2.11 調査地の地盤構成と既存杭の概要

表 2.2.4 撤去対象杭の仕様

杭径 (mm)	ケーシング径 (mm)	杭長 (m)	杭の種類	施工方法
300	600	16	既製コンクリート杭	埋込杭工法

a) サウンディング試験 (CPT)

CPT の深度分布図を換算 N 値として、図 2.2.12 に示す。ケーシング端から 0.09m 離れた地点では、ローム層 (Lm)、粘性土層 (Dc1) および砂泥層 (Dsc1) で、杭撤去後の換算 N 値が低下した。一方、0.5m、1.0m、1.5m 離れの換算 N 値は、砂泥層 (Dsc1) で低下が見られたが、ローム層 (Lm) や粘性土層 (Dc1) では低下が見られなかった。

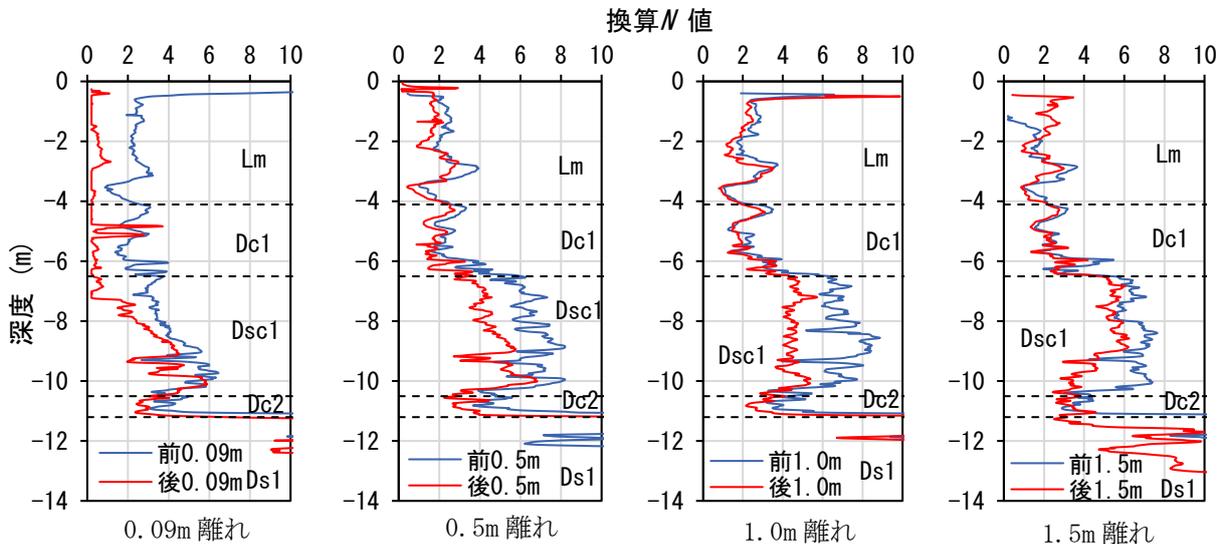


図 2.2.12 CPT 結果

3) サイト No.3 埼玉県加須市 2.2.5), 2.2.6)

調査地の地盤構成と既存杭の概要, 調査位置図を図 2.2.13 に示す. 調査地は沖積層の砂質土層と粘性土層が約 20m 堆積し, これらの下部は N 値 30 前後の沖積礫質土層で構成される. 既存杭は, 杭径が $\phi 500\text{mm}$, 杭長が 26m で, 撤去方法はケーシング縁切引抜工法である (表 2.2.5).

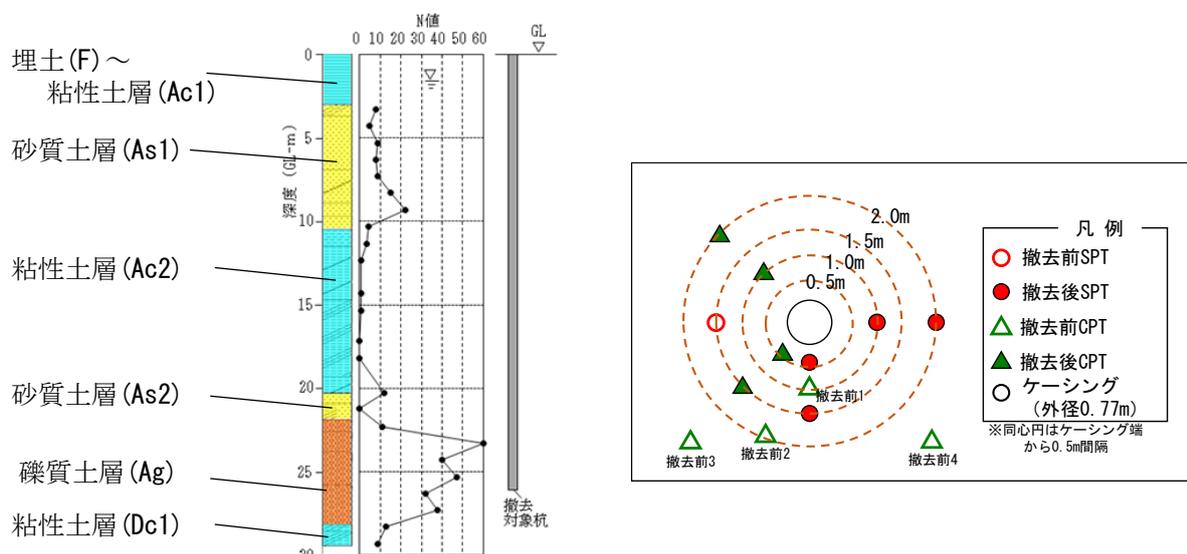


図 2.2.13 調査地の地盤構成と既存杭の概要

表 2.2.5 撤去対象杭の仕様

杭径 (mm)	ケーシング径 (mm)	杭長 (m)	杭の種類	施工方法
500	770	26	既製コンクリート杭	埋込杭工法

a) 標準貫入試験 (SPT)

SPT の N 値深度分布図を図 2.2.14 に示す. 砂質土層 (As1) の 0.5m 離れの位置で N 値の低下が見られた. 標高-20m 以深の砂質土層 (As2) や礫質土層 (Ag) は N 値のバラツキが大きい, 礫質土層 (Ag) の 0.5m 離れや 1.5m 離れは全体的に低下傾向にあった.

b) サウンディング試験 (CPT)

CPT の深度分布図を換算 N 値として, 図 2.2.15 に示す. 杭撤去前後の換算 N 値で比較すると, 撤去前の砂質土層 (As1) は 5~25 に分布しており, 撤去後の 0.5m 離れでは換算 N 値が 5 前後まで低下した. 一方, 粘性土層 (Ac2) の換算 N 値は, 撤去前後で大きく変化しなかったが, 0.5m 離れおよび 1.0m 離れの下部で低下が見られた.

c) 一軸圧縮試験

粘性土層 (Ac2) を対象に実施した一軸圧縮試験の結果を図 2.2.16 に示す. 一軸圧縮強さや変形係数は, ケーシング端からの距離に応じて低下する傾向が一部で見られたが, 標高-20.5m では撤去後の方が大きい値を示した.

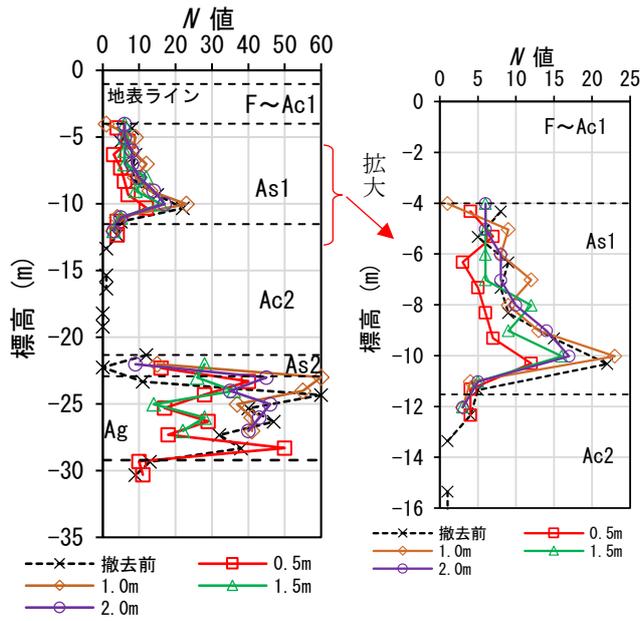


図 2.2.14 SPT 結果

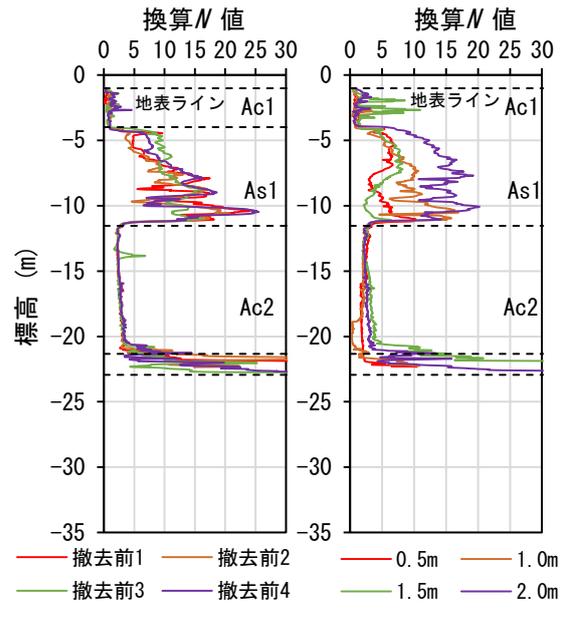


図 2.2.15 CPT 結果

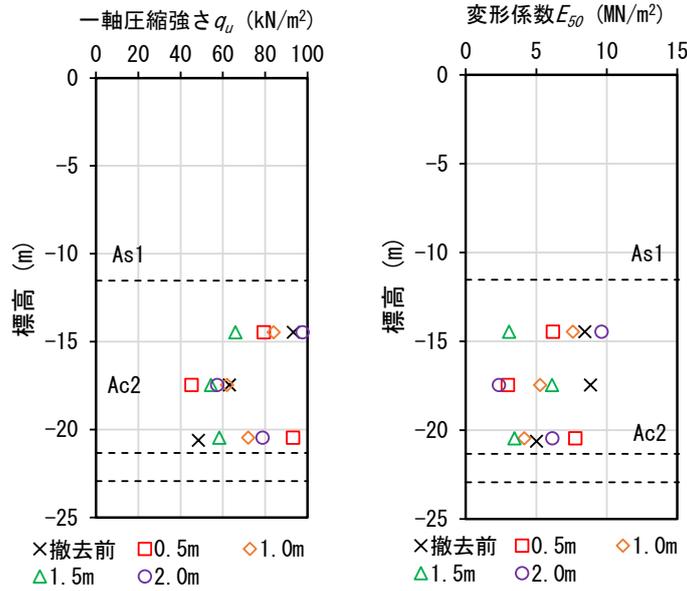


図 2.2.16 一軸圧縮試験結果

4) サイト No.4 茨城県稲敷市 (2020年) 2.2.7), 2.2.8), 2.2.9)

調査地の地盤構成と既存杭の概要, 調査位置図を図 2.2.17 に示す. 調査地は利根川沿いの沖積低地に位置し, 沖積砂質土層が主体である. 地盤構成は, 上部から埋土層, 砂質土層 (As1: N 値 5~10, As2: N 値 10~30), 粘性土層 (Ac1: N 値 0) 等で構成される. 撤去対象杭の仕様を表 2.2.6 に示す. 撤去対象杭は, 杭径 ϕ 500mm, 杭長 12m, 撤去方法はケーシング縁切引抜工法を用いた.

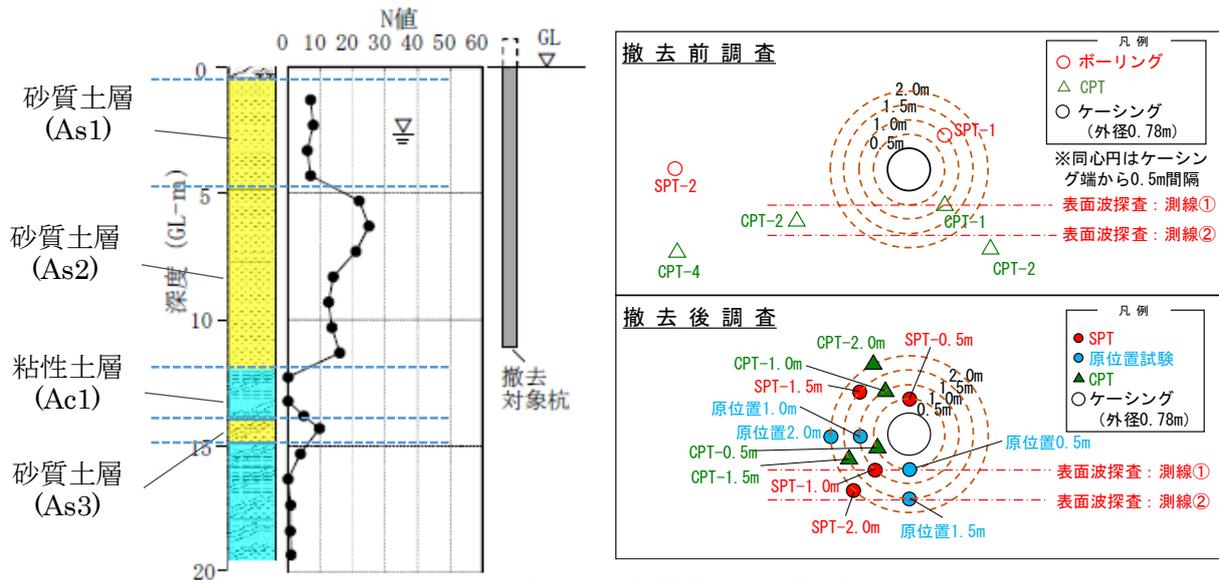


図 2.2.17 調査地の地盤構成と既存杭の概要

表 2.2.6 撤去対象杭の仕様

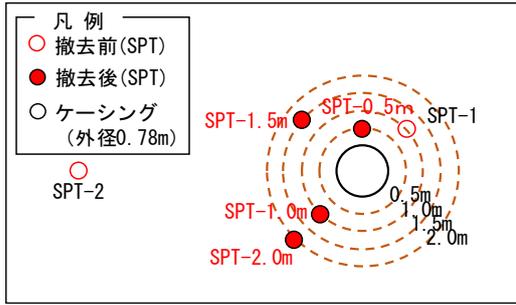
杭径 (mm)	ケーシング径 (mm)	杭長 (m)	杭の種類	施工方法
500	780	12	PHC 杭(C 種)	埋込杭工法

a) 標準貫入試験 (SPT)

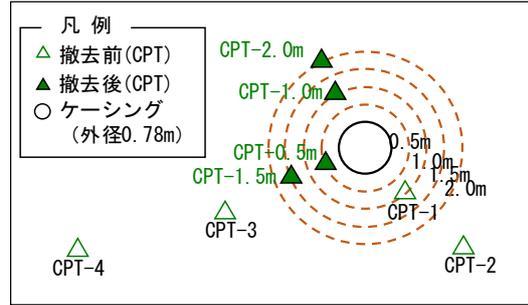
SPT の N 値深度分布図を図 2.2.18 に示す. 砂質土層 (As2) を見ると, 撤去前調査の N 値は 10~25 程度であるが, 撤去後調査の距離 0.5m の N 値は 10 以下まで低下した. 撤去後の N 値は, ケーシング端に近い程大きく低下し, 離れるほど撤去前の結果に近づいた. 撤去杭の先端深度 (12m) 以深の粘性土層 (Ac1) や砂質土層 (As3) では, N 値の低下が見られなかった.

b) サウンディング (CPT)

CPT の深度分布図を換算 N 値として, 図 2.2.19 に示す. 撤去前調査の換算 N 値分布は, 4 箇所ともに, 概ね同程度であった. 撤去後調査における砂質土層 (As2) の換算 N 値は, ケーシング端に近い距離 0.5m と 1.0m が 5~10 程度まで低下し, 距離 1.5m と 2.0m についても 15 前後とやや低下した. また, 砂質土層 (As1) の距離 0.5m や 1.0m でも換算 N 値の低下が見られた. 既存杭先端以深については, 変化が見られなかった.



SPT の調査位置



CPT の調査位置

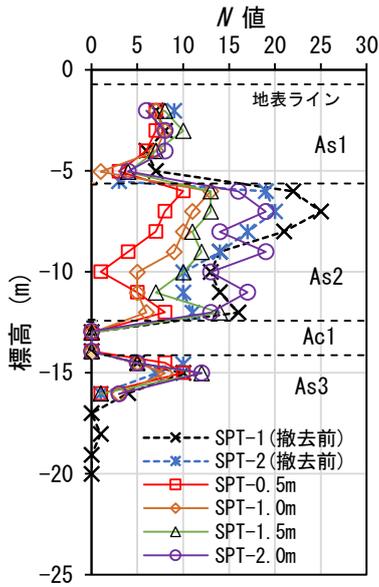


図 2.2.18 SPT 結果

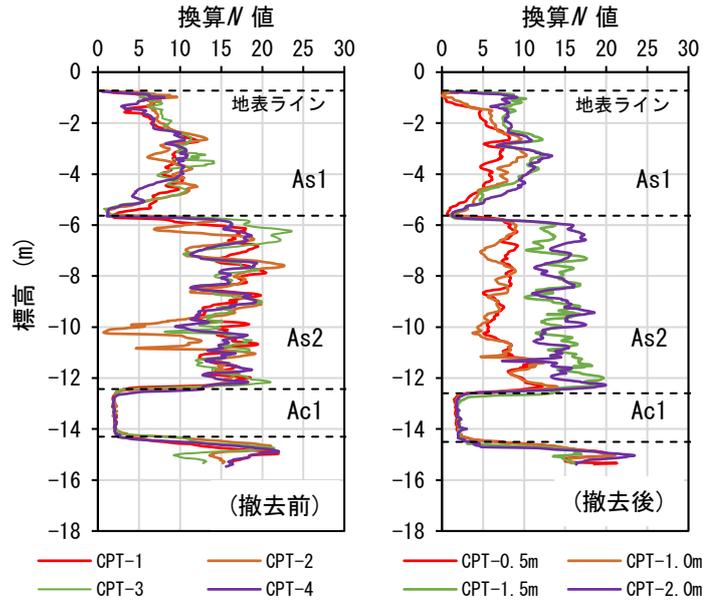
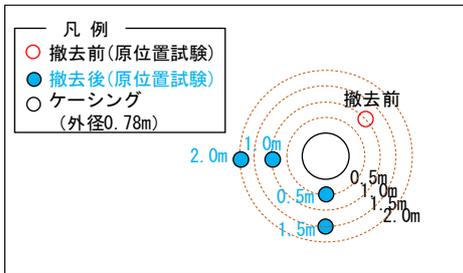
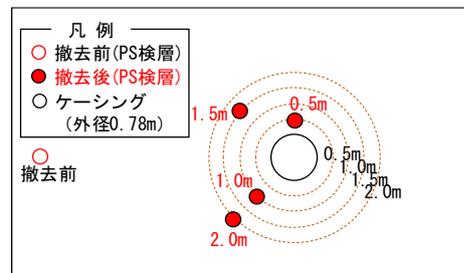


図 2.2.19 CPT 結果



孔内載荷試験の調査位置



PS 検層の調査位置

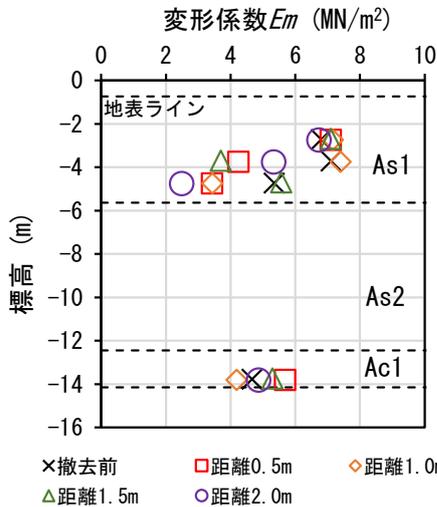


図 2.2.20 孔内載荷試験による変形係数

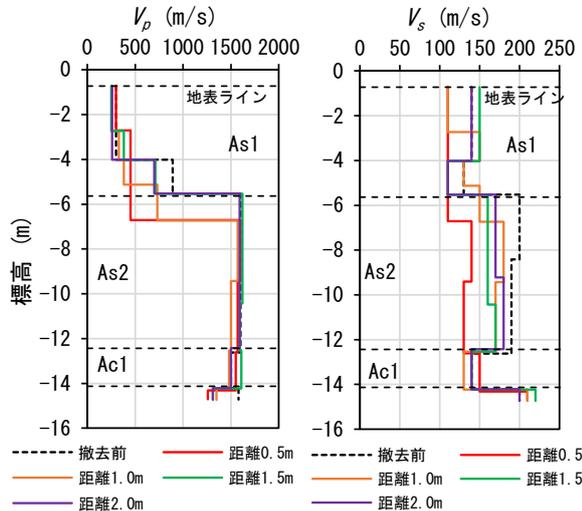


図 2.2.21 PS 検層結果

c) 原位置試験（孔内載荷試験，PS 検層）

孔内載荷試験の結果を図 2.2.20 に示す．対象土層は砂質土層（As1）と粘性土層（Ac1）で，4 深度（2m，3m，4m，12m）において実施した．撤去後の変形係数は，深度 2m の As1 層や Ac1 層で変化が見られないが，As1 層の深度 3，4m では撤去前に比べて低下した．ただし，ケーシング端からの距離に応じた低下傾向は不明瞭であった．

PS 検層の結果を図 2.2.21 に示す． V_s に着目すると，撤去後調査の As2 層において，全調査地点で低下が見られた．特に，距離 0.5m の As2 層では，撤去前の $V_s=200\text{m/s}$ 程度に対し， $V_s=100\sim 150\text{m/s}$ まで低下した．

d) 一軸圧縮試験

深度 11.70～13.55m 付近に分布する粘性土層（Ac1）を対象に（図 2.2.22），乱れの少ない試料を採取し，一軸圧縮試験を実施した．試料の採取位置は，図 2.2.17 に示した原位置試験と同じ地点である．1 地点毎に 3 供試体の試験を行い，その平均値を表 2.2.7 に示した（一軸圧縮強さとケーシング端からの距離の関係図は図 2.3.7，変形係数 E_{50} とケーシング端からの距離の関係図は図 2.3.8 参照）．表 2.2.7 を見ると，ケーシング端からの距離に応じた一軸圧縮強さの低下傾向は見られなかった．変形係数については，距離 1.0m 以外では低下しているが，一軸圧縮強さと同様に，ケーシング端からの距離に応じた低下傾向はやや不明瞭である．

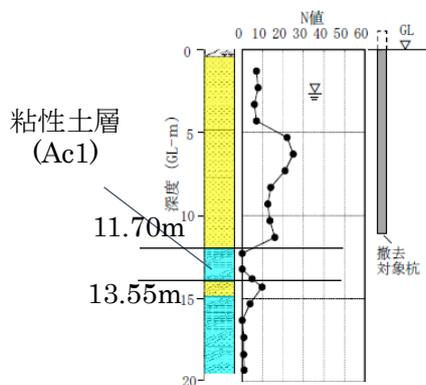


図 2.2.22 粘性土の分布

表 2.2.7 一軸圧縮試験結果（平均値）

項目	位置	撤去前	撤去後			
		前10	後05	後10	後15	後20
湿潤密度	g/cm^3	1.61	1.64	1.65	1.63	1.64
含水比	%	61.5	56.5	54.0	58.4	57.9
一軸圧縮強さ	kN/m^2	49.8	58.4	46.1	59.5	52.3
破壊ひずみ	%	2.38	5.27	2.09	2.76	3.84
変形係数 E_{50}	MN/m^2	4.7	1.7	5.7	4.0	2.7

e) 表面波探査

表面波探査は、図 2.2.23 に示す 2 測線を対象に、既存杭の撤去前後で実施した。センサー（固有振動数 4.5Hz の速度計）16 台を 0.5m 間隔で設置して、かけやにより 16 台のセンサー設置位置近傍の地表面を順次打撃する「高密度表面波探査」を実施した。

図 2.2.24 に測定結果を示す。表面波探査結果から推定される S 波速度の杭撤去による影響は、PS 検層結果ほど明瞭ではない。撤去対象杭に近い側線①と、より離れた側線②の結果においても、明瞭な差は見られなかった。これは、測定時に発生する表面波が平面的には同心円状に広がるために、局所的な地盤剛性の違いを検出しにくいことが要因と考えられる。また、表面波探査と PS 検層の S 波速度は同程度となる部分も見られるが、合致しない部分も見られた。

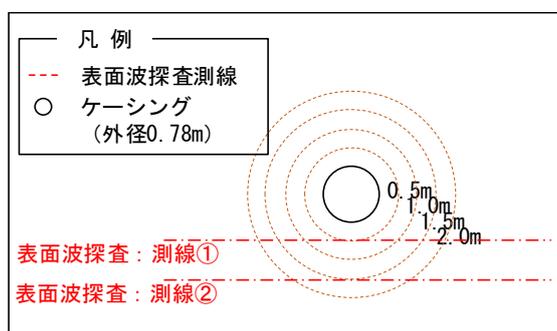


図 2.2.23 表面波探査位置図

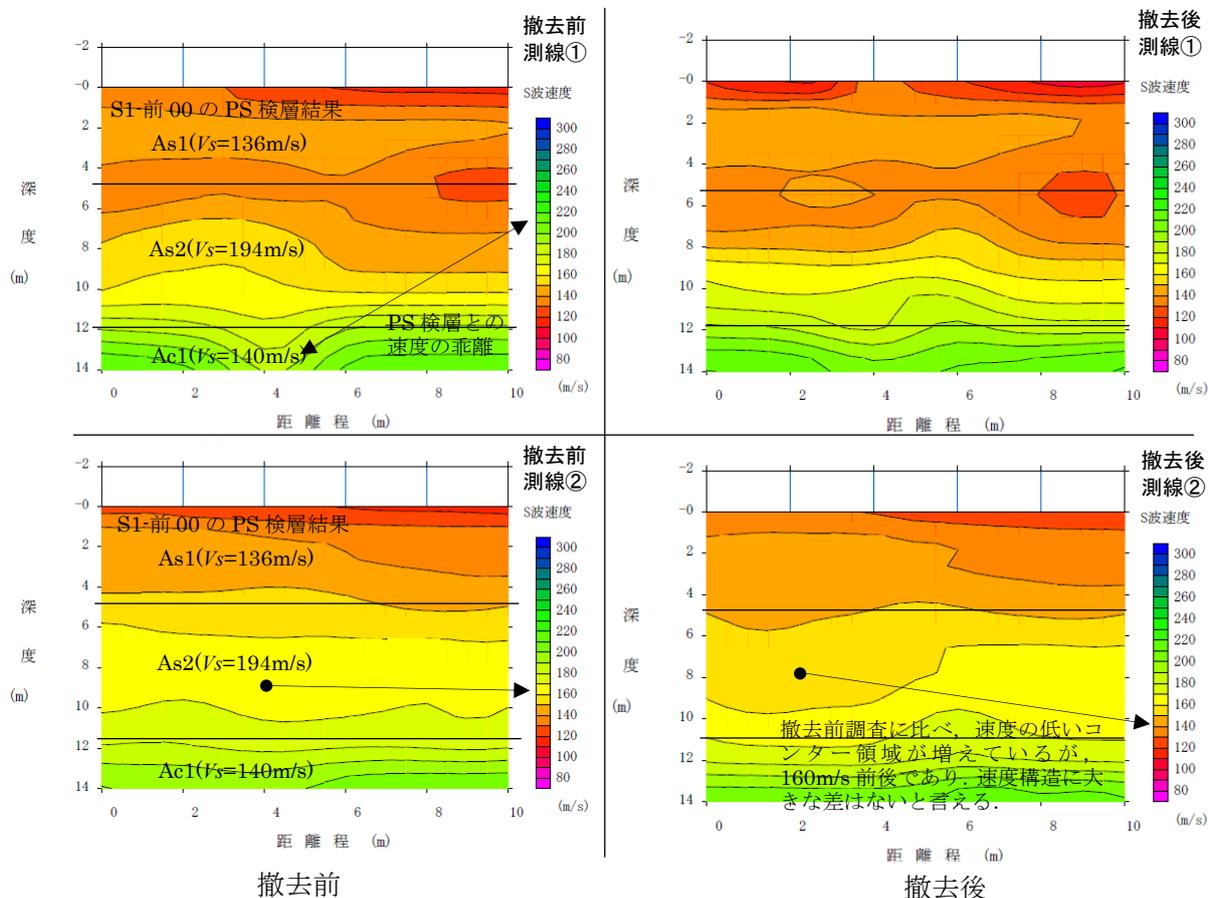


図 2.2.24 表面波探査結果 2.2.9)

5) サイト No.4 茨城県稲敷市 (2021 年) 2.2.10), 2.2.11)

調査地の地盤構成と既存杭の概要, 調査位置図を図 2.2.25 に示す. 地盤構成は, 稲敷市 (2020 年) と同様である. 撤去対象杭は, 杭径 ϕ 700mm, 杭長 15m であり, 撤去方法はケーシング縁切引抜工法を用いた (表 2.2.8).

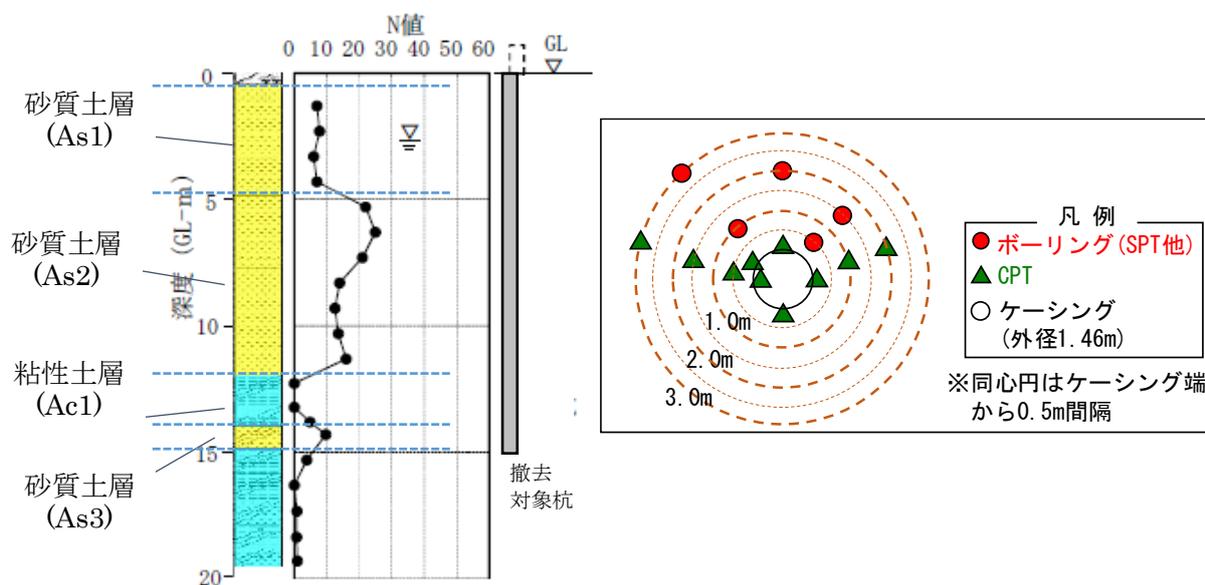


図 2.2.25 調査地の地盤構成と既存杭の概要

表 2.2.8 撤去対象杭の仕様

杭径 (mm)	ケーシング径 (mm)	杭長 (m)	杭の種類	施工方法
700	1460	15	SC 杭	埋込杭工法

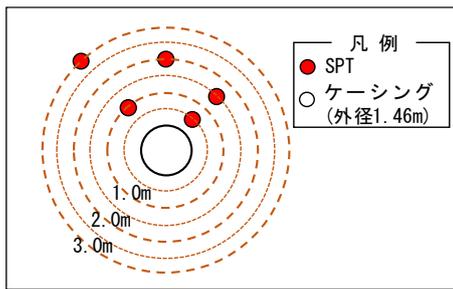
a) 標準貫入試験 (SPT)

SPT の N 値深度分布図を図 2.2.26 に示す. 粘性土層 (Ac1) は乱れの少ない試料を採取したため SPT を実施していない. また, 参考に 2020 年に実施した稲敷の撤去前調査の N 値分布を図 2.2.27 に示す. 杭撤去後の SPT は, 0.5m および 1.0m 離れの砂質土層 (As2) 下部で 5~15 程度となり, 他地点より小さい値を示した.

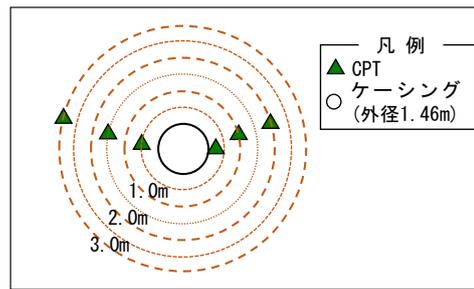
b) サウンディング (CPT)

CPT の深度分布図を換算 N 値として, 図 2.2.28 に示す. SPT と同様に, 2020 年の稲敷の撤去前調査の換算 N 値分布を図 2.2.29 に示した. 砂質土層 (As2) の 0.2m, 0.5m および 1.0m の換算 N 値は, 2.0m および 3.0m 離れに比べて低下が見られた. また, 砂質土層 (As1) は, 0.2m 離れで低下しているが, その他の地点は概ね一致した傾向を示した.

図 2.2.30 は, 杭撤去後で 0.2m 離れの位置で複数箇所実施した結果である. 砂質土層 (As2) や砂質土層 (As3) では換算 N 値のばらつきが見られた. 特に, 地点 D の砂質土層 (As2) の換算 N 値は, 他地点と異なり, 全体的に小さい値を示した. 換算 N 値のばらつきについては, 地盤そのもののばらつきや, 撤去ケーシングの攪乱による影響などが考えられる.



SPT の調査位置



CPT の調査位置

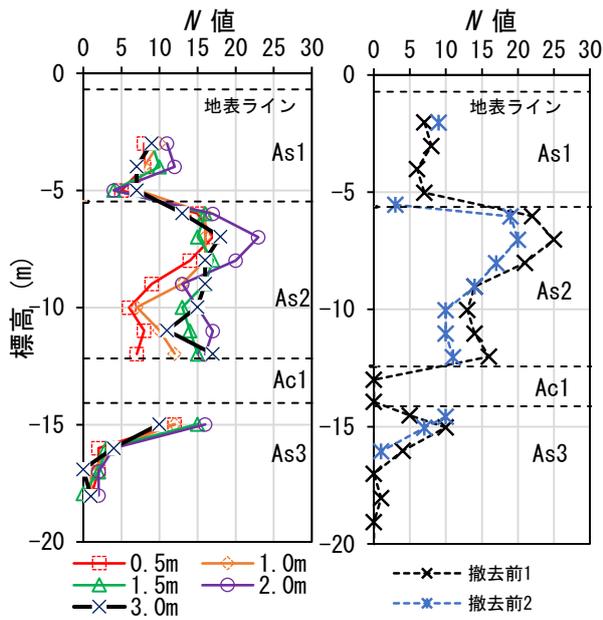


図 2.2.26 SPT 結果

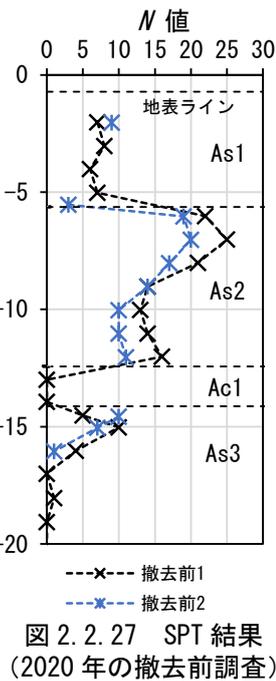


図 2.2.27 SPT 結果 (2020 年の撤去前調査)

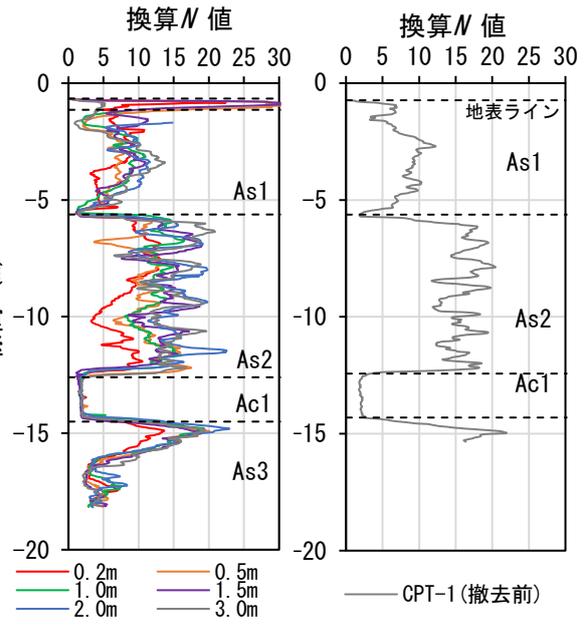


図 2.2.28 CPT 結果

図 2.2.29 CPT 結果 (2020 年の撤去前調査)

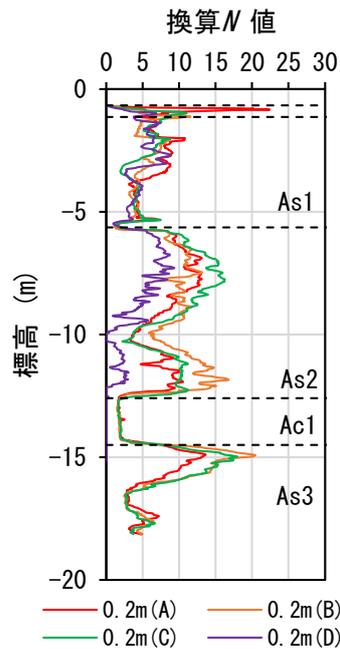
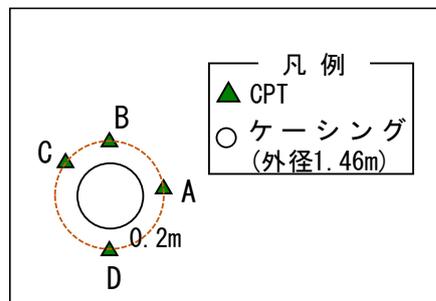


図 2.2.30 0.2m 離れで実施した CPT 結果



c) 原位置試験（孔内载荷試験，PS 検層）

孔内载荷試験の結果を図 2.2.31 に，PS 検層結果を図 2.2.32 に示す．孔内载荷試験および PS 検層はボーリング孔で実施し，孔内载荷試験は粘性土層（Ac1）を対象とした．PS 検層は深度 5m までダウンホール法で，以深はサスペンション式で実施した．孔内载荷試験の変形係数は，0.5m 離れで $E_m=2,500 \text{ kN/m}^2$ 程度を示し，他の地点より小さい値を示した．PS 検層による S 波速度は，0.5m 離れの砂質土層（As1 および As2）が，他の地点に比べて小さい値を示した．

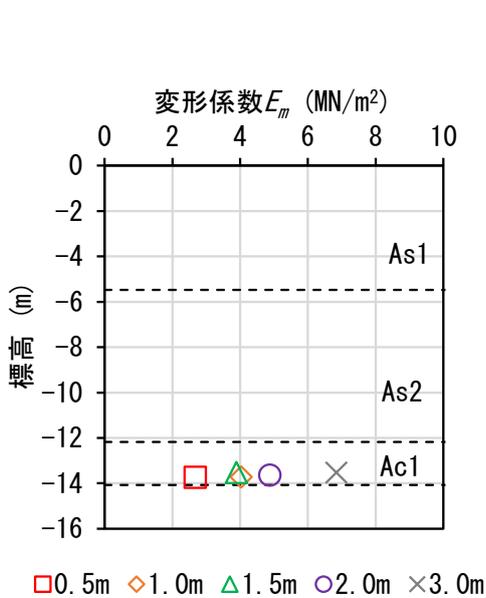


図 2.2.31 孔内载荷試験結果

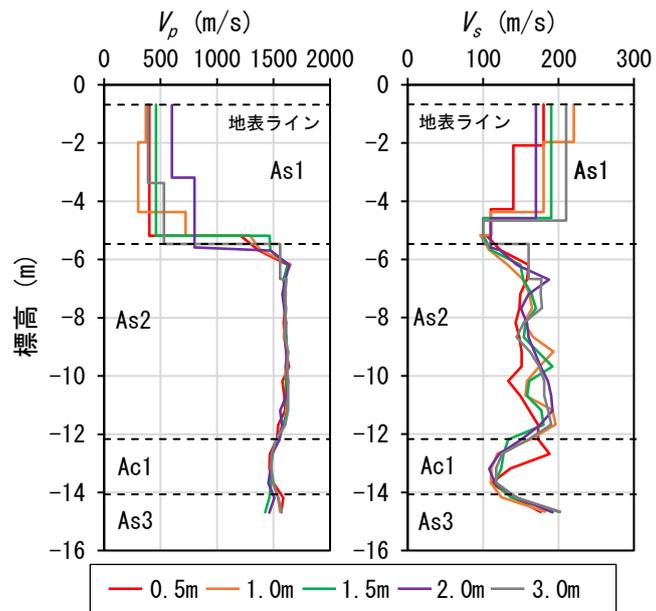


図 2.2.32 PS 検層結果

d) 一軸圧縮試験

SPT を実施した地点の粘性土層（Ac1）を対象に（図 2.2.33），杭撤去後に乱れの少ない試料を採取し，一軸圧縮試験を実施した（一軸圧縮強さとケーシング端からの距離の関係図は図 2.3.7，変形係数 E_{50} とケーシング端からの距離の関係図は図 2.3.8 参照）．一軸圧縮強さは，40～60kN/m² 程度を示し，ケーシング端からの距離に応じた変化は見られなかった（表 2.2.9）．

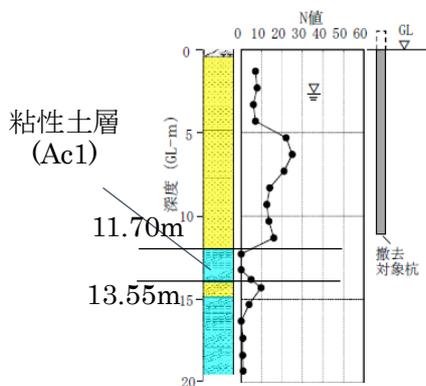


図 2.2.33 粘性土の分布

表 2.2.9 一軸圧縮試験結果（平均値）

項目	位置	撤去後				
		0.5m	1.0m	1.5m	2.0m	3.0m
湿潤密度	g/cm ³	1.62	1.63	1.63	1.63	1.62
含水比	%	56.63	60.70	60.93	61.17	60.00
一軸圧縮強さ	kN/m ²	62.87	53.70	60.10	40.77	62.50
破壊ひずみ	%	4.02	3.77	2.05	2.61	2.02
変形係数 E_{50}	MN/m ²	3.07	3.43	4.67	3.30	5.80

6) サイト No.4 茨城県稲敷市 (2022 年) 2.2.12)

調査地の地盤構成と既存杭の概要, 調査位置図を図 2.2.34 に示す. 地盤構成は, 稲敷市 (2020 年), 稲敷市 (2021 年) と同様である. 撤去対象杭は杭径 $\phi 500\text{mm}$, 杭長 12m であり, 撤去方法はオールケーシング破砕撤去工法を用いた (表 2.2.10).

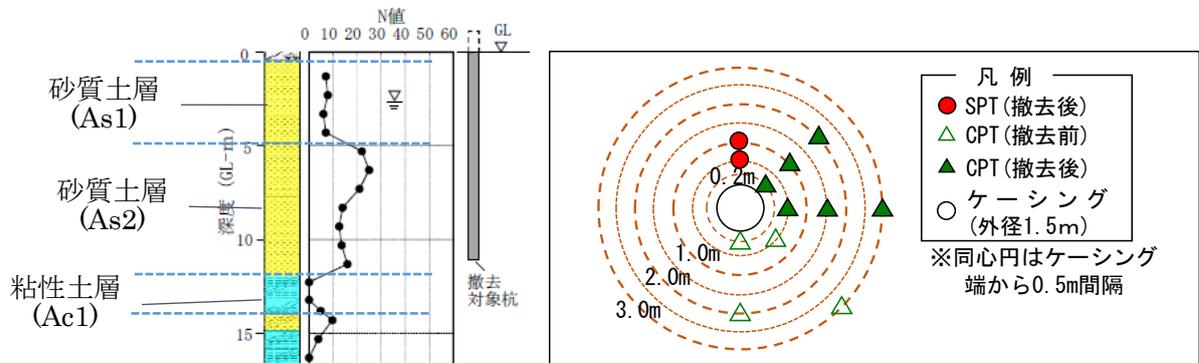


図 2.2.34 調査地の地盤構成と既存杭の概要

表 2.2.10 撤去対象杭の仕様

杭径 (mm)	ケーシング径 (mm)	杭長 (m)	杭の種類	施工方法
500	1500	12	PHC 杭(A 種)	埋込杭工法

a) 標準貫入試験 (SPT)

SPT は杭撤去後に 2 箇所まで調査したが, 距離による違いは見られなかった (図 2.2.35, 図 2.2.36).

b) サウンディング (CPT)

CPT の深度分布図を換算 N 値として, 図 2.2.37~図 2.2.38 に示す. 0.2m 離れの砂質土層 (As1) では, 換算 N 値が杭撤去前より増加した. これは杭撤去時の全周回転式掘削機 (寸法 2.9m \times 3.4m) の重量による接地圧が作用した影響が考えられる. 下部の砂質土層 (As2) は, 0.2m および 0.5m 離れでは, 杭撤去により換算 N 値が低下する傾向が見られた.

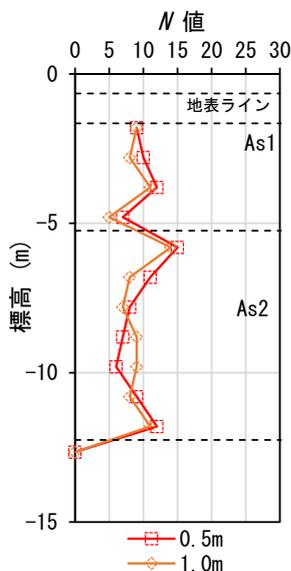


図 2.2.35 SPT 結果

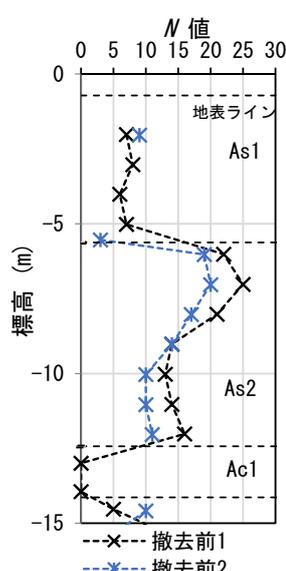


図 2.2.36 SPT 結果 (2020 年撤去前調査)

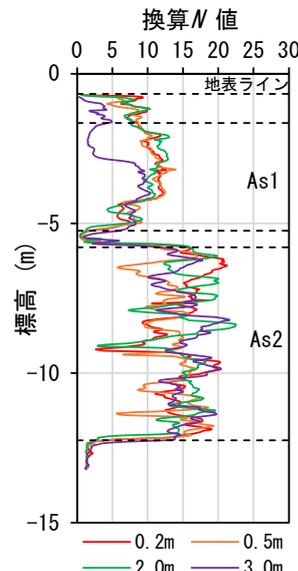


図 2.2.37 CPT 結果 (撤去前)

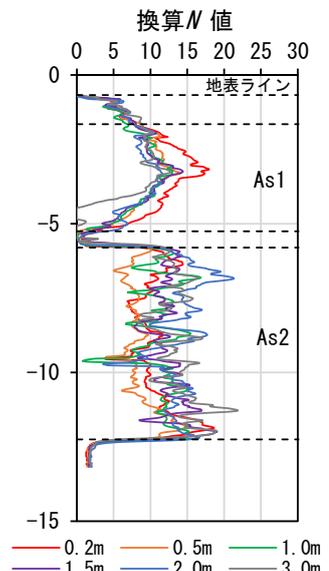


図 2.2.38 CPT 結果 (撤去後)

7) サイト No.5 福岡県福岡市（馬出） 2.2.13)

調査地の地盤構成と既存杭の概要，調査位置図を図 2.2.39 に示す．調査地の地盤は沖積層の砂質土層と粘性土層が約 13m 堆積し，これらの下部には *N* 値 10~30 程度の洪積砂礫層，さらにその下部には砂岩または頁岩が分布している．撤去対象杭の仕様を表 2.2.11 に示す．撤去対象杭は杭径 φ 800mm，杭長 15m であり，撤去方法はケーシング縁切引抜工法を用いた（表 2.2.11）．

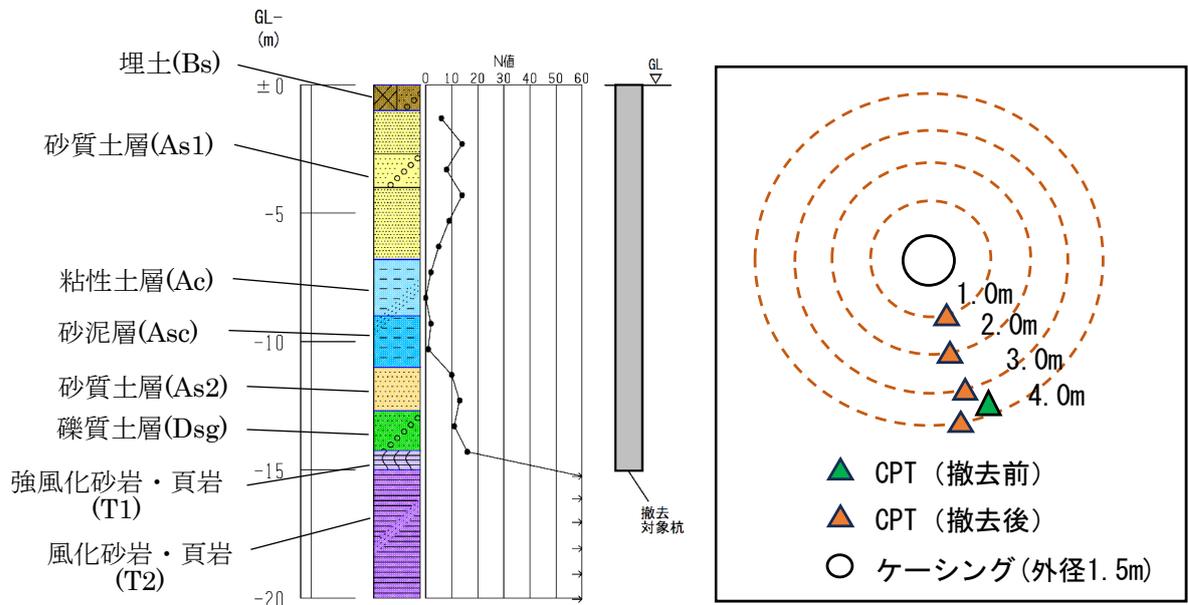


図 2.2.39 調査地の地盤構成と既存杭の概要

表 2.2.11 撤去対象杭の仕様

杭径 (mm)	ケーシング径 (mm)	杭長 (m)	杭の種類
800	1500	15	場所打ちコンクリート杭

a) サウンディング (CPT)

CPT の深度分布図を換算 *N* 値として図 2.2.40~図 2.2.41 に示す．撤去後の調査は，ケーシング端から 1.0m, 2.0m, 3.0m, 4.0m で実施したが，どの地点も大きな差が見られなかった．

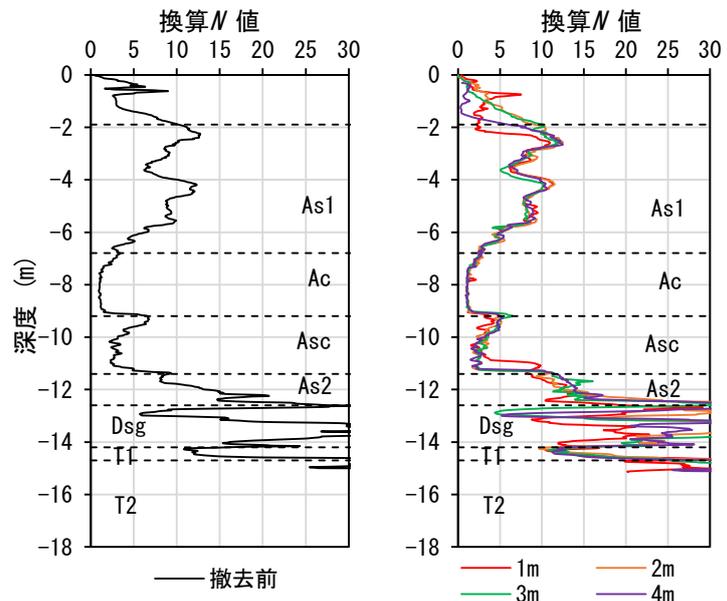


図 2.2.40 CPT 結果 (撤去前) 図 2.2.41 CPT 結果 (撤去後)

(2) 複数杭間の調査事例

(1) で報告した事例は、既存杭 1 本を撤去し、その周辺の地盤を調査したものである。ここでは、複数杭の撤去を対象にした調査結果を示す。

1) サイト No.1 埼玉県草加市^{2.2.2)}

調査地の地盤構成と既存杭の概要を図 2.2.42 に示す。調査地の地盤、既存杭は、前述のサイト No.1 草加と同様である (表 2.2.12)。

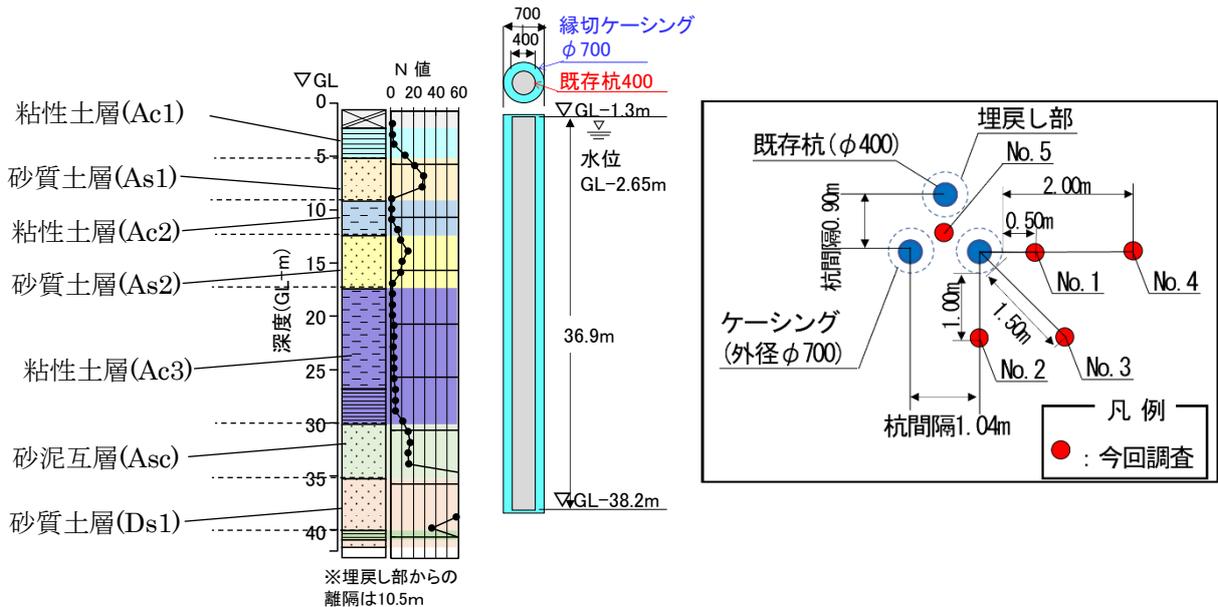


図 2.2.42 調査地の地盤構成と既存杭の概要^{2.2.2)}

表 2.2.12 撤去対象杭の仕様

杭径 (mm)	ケーシング径 (mm)	杭長 (m)	杭の種類	施工方法
400	700	36.9	既製コンクリート杭	打込み杭工法

a) 標準貫入試験 (SPT)

SPT の結果を図 2.2.43～図 2.2.44 に示す。図 2.2.43 は既存杭 1 本に対する結果であり、ケーシングに近いほど N 値が小さくなる傾向を示した。図 2.2.44 は既存杭 3 本杭の間の結果で、深度 19m 付近までは、ほとんどが N 値 0 を示し、また No.1～No.4 地点との地層の繋がりが不明瞭で、層区分ができなかった。これは、撤去に使用したケーシングによる攪乱の影響とも考えられる。

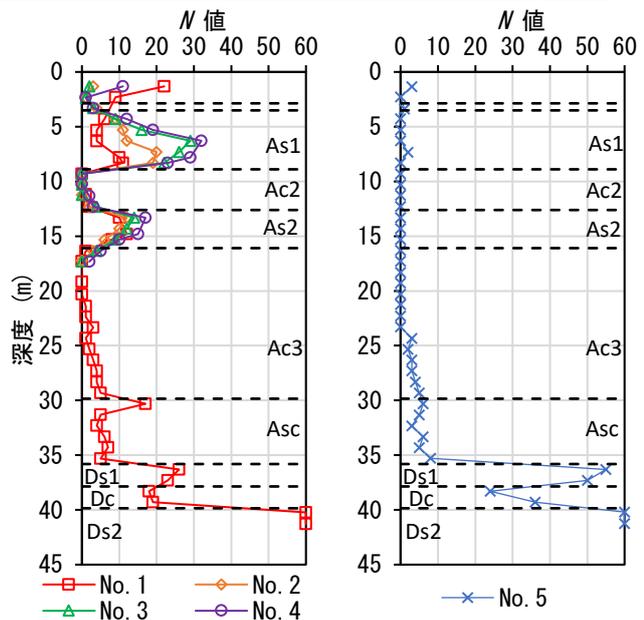


図 2.2.43 SPT 結果 (既存杭 1 本の結果)

図 2.2.44 SPT 結果 (既存杭 3 本間の結果)

2) サイト No.4 茨城県稲敷市 (2021 年) 2.2.10)

杭撤去 2 本の相互の影響を確認するための調査を実施した。調査地は前述のサイト No.4 稲敷市 (2021 年) と同様で、既存杭と調査位置の関係図を図 2.2.45 に、既存杭の概要を表 2.2.13 に示す。

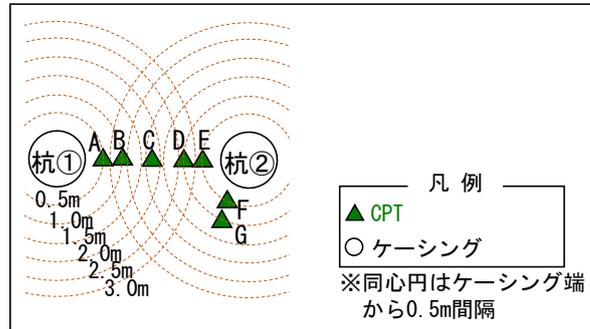


図 2.2.45 調査地の地盤構成と既存杭の概要

表 2.2.13 撤去対象杭の仕様

杭	杭径 (mm)	ケーシング径 (mm)	杭長 (m)	杭の種類	施工方法
杭①	700	1460	13	SC 杭	埋込杭工法
杭②	700	1060	15	SC 杭	埋込杭工法

a) サウンディング (CPT)

調査位置は、杭①から 0.5m (A)、1.0m (B)、1.9m (C)、2.7m (D)、3.2m (E) と、杭②近傍の 0.5m (F) および 1.0m (G) に配置した。杭①と杭②の間の CPT 結果を換算 N 値として図 2.2.46 に、杭②周辺での CPT 結果を図 2.2.47 に、2020 年の稲敷の撤去前調査結果を図 2.2.48 に示す。砂質土層 (As2) に着目すると、換算 N 値はいずれの地点でも低下し、特に杭②に近いほど小さい値を示したが、2 本の杭撤去による相互影響は確認できなかった。

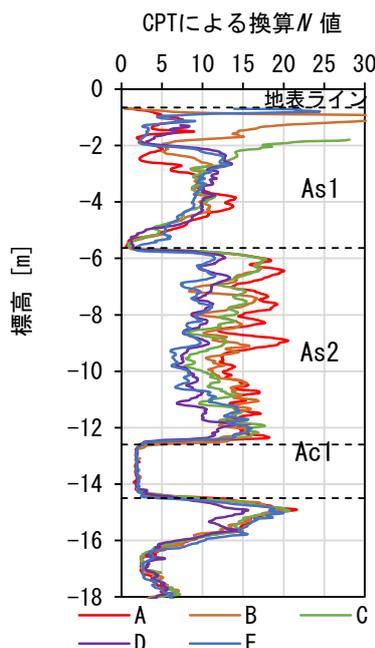


図 2.2.46 杭①と杭②の間での調査結果

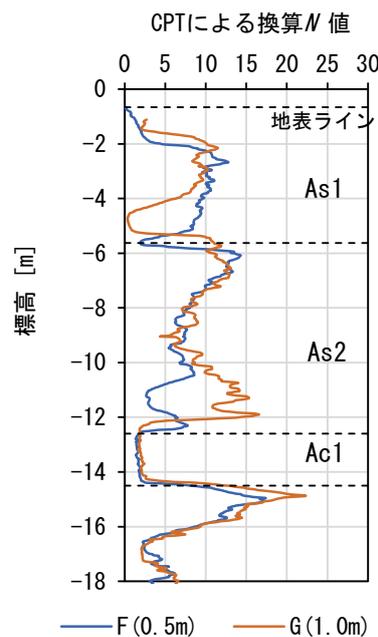


図 2.2.47 杭②周辺の調査結果

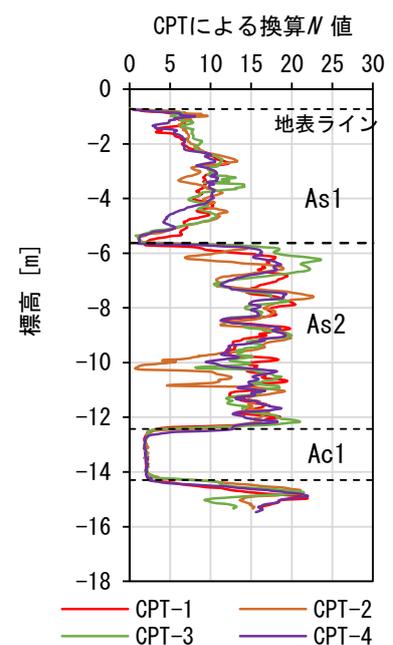


図 2.2.48 撤去前調査結果 (2020 年)

(3) 微動アレイ探査の調査事例 (サイト No.5 福岡県福岡市 (馬出)) 2.2.14)

サイト No.5 では、総合技術開発プロジェクトが複数杭を引き抜いた地盤を対象に、既存杭の撤去前後に微動アレイ探査を実施した。ここでは微動アレイ探査の概要を示す。調査地の地盤構成は前述のサイト No.5 福岡県福岡市と同様である。既存杭と地盤の概要を図 2.2.48 に示す。撤去対象杭は、杭径約 $\phi 800\text{mm}$ 、杭長約 15m の場所打ちコンクリート杭である (表 2.2.14)。

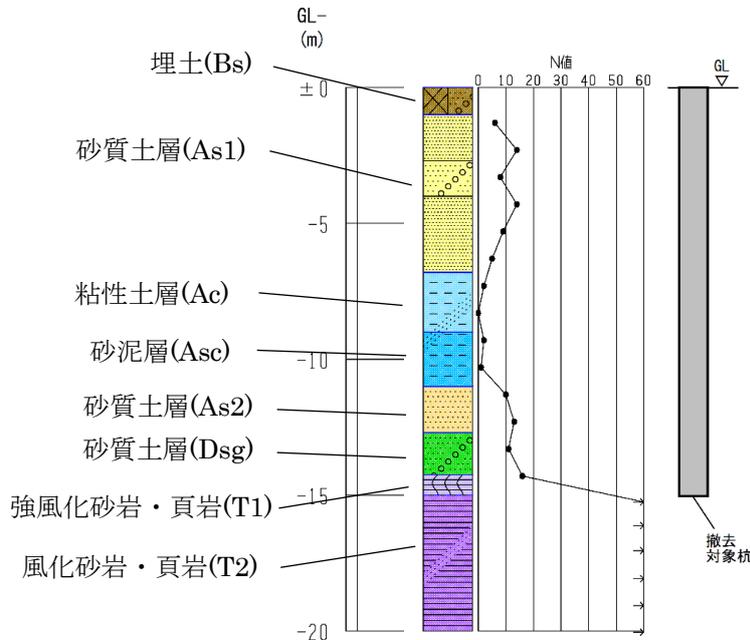


表 2.2.14 撤去対象杭の仕様

杭径 (mm)	800
ケーシング径 (mm)	1500
杭長 (m)	15
杭の種類	場所打ちコンクリート杭

図 2.2.48 調査地の地盤構成と既存杭の概要

微動アレイ探査とは、複数の微動計を用いて同時測定を行い、周波数ごとに位相速度が異なる表面波特有の性質 (分散性) を利用して、地盤の S 波速度構造を推定する方法である。図 2.2.49 に撤去対象杭 (図中緑丸) と微動アレイ探査の配置図を示す。アレイの形状は、杭撤去前後ともに直線 (6 点×間隔 0.25m) および中心 1 点を持つ 5 角形 (等価半径 1m, 2m, 4m, 7m, 15m) とした。図 2.2.50 に示す既存杭の撤去前後の PS 検層結果等をもとに、湿潤密度や P 波速度を仮定した上で、探査アレイ直下の地盤の平均的な S 波速度構造を推定した。

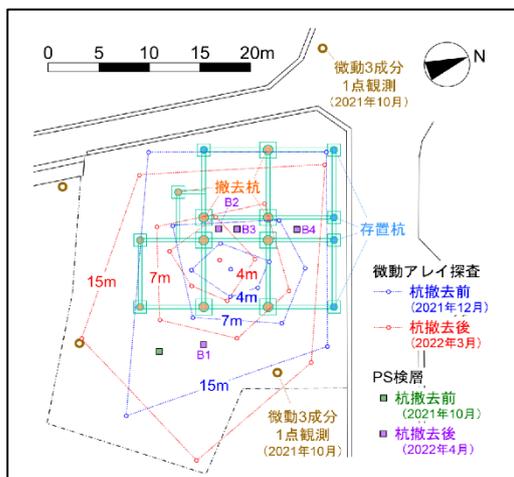


図 2.2.49 対象敷地と基礎伏図および杭撤去前後の PS 検層位置と微動観測点

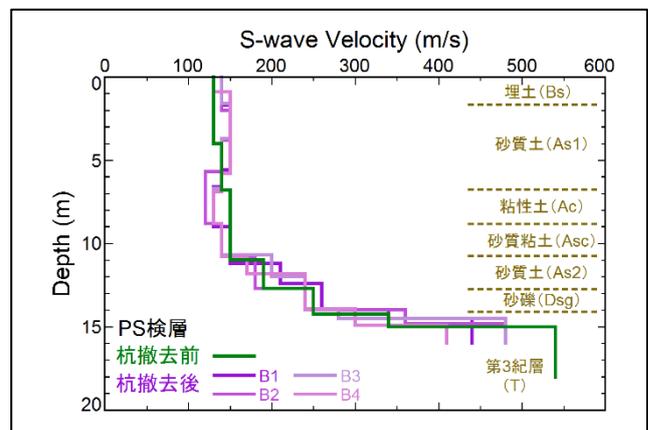


図 2.2.50 杭撤去前後の PS 検層結果に基づく地盤の S 波速度構造

既存杭の撤去前後に微動アレイ探査で観測された分散曲線と、それをもとに推定した探査半径直下の S 波速度構造から求めた理論分散曲線を図 2.2.51 に示す。また、微動アレイ探査による推定 S 波速度構造を図 2.2.52 に示す。

図 2.2.51 より、撤去前後で分散曲線に差が見られ、さらに推定 S 波速度構造によれば、地表付近の埋土 (Bs) で高く、砂質土層 (As1) の下部で V_s の低下が見られた。なお、表層の V_s の方が高い、つまり深度方向に速度逆転層が分布する場合、レイリー波の高次モードが卓越する場合があるが、同図はレイリー波の高次モードまで考慮した解析結果である。

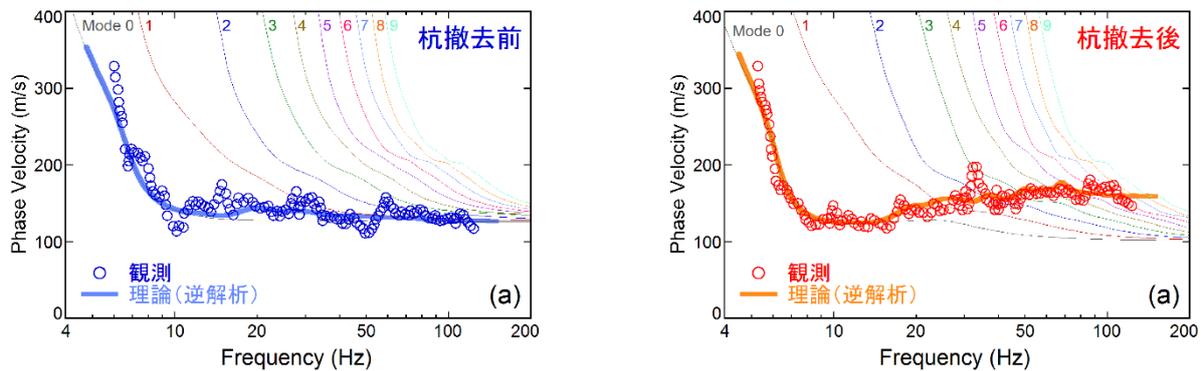


図 2.2.51 既存杭撤去前後の観測・理論分散曲線 (文献 2.2.14) に加筆)

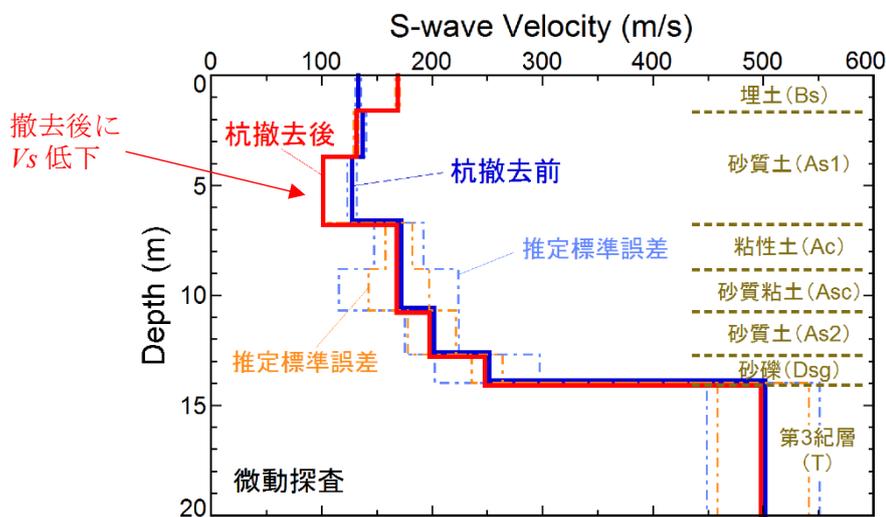


図 2.2.52 既存杭撤去前後の微動探査に基づく地盤の推定 S 波速度構造 (文献 2.2.14) に加筆)

2.2.3 ALLF での埋戻し部の調査事例

実施した杭撤去・埋戻しに伴う地盤調査では、撤去杭の周辺地盤だけでなく埋戻し部の調査を行っている事例がある。表 2.2.15 に埋戻し部調査を行った事例および杭撤去孔の埋戻し方法の概要を示す。

表 2.2.15 埋戻し部の調査事例および杭撤去孔の埋戻し方法の概要

サイト No.	調査地	調査時期	撤去対象杭		撤去ケーシング径 (mm)	撤去工法	埋戻し方法 (材料, 投入方法, 攪拌有無)	対象地盤
			杭径 (mm) ・ 杭長 (m)	杭種				
1	草加	2019/11 2021/11	400 ・ 36.9	既製杭 (PHC 杭)	700	ケーシング縁切引抜工法	流動化処理土, 上部より自然落下, 攪拌あり	沖積低地
3	加須	2020/12 ～ 2021/1	500 ・ 26	既製杭 (SC 杭)	770		流動化処理土, 上部より自然落下, 攪拌なし	沖積低地
4	稲敷 (2020)	2020/10 ～ 2021/1	500 ・ 12	既製杭 (PHC 杭)	780		オールケーシング破碎撤去工法	流動化処理土, トレミー管, 攪拌なし
	稲敷 (2021)	2021/7 ～ 2021/9	700 ・ 15	既製杭 (SC 杭)	1460			
	稲敷 (2022)	2022/7 ～ 2022/9	500 ・ 12	既製杭 (PHC 杭)	1500			

※サイト No.は表 2.2.2 と同じである。

(1) サイト No.1 埼玉県草加市^{2.2.2), 2.2.15)}

既存杭撤去・埋戻しの概要を以下に示す。

- ・撤去対象杭：既製杭 (PHC 杭), 杭径 400mm, 杭長 36.9m
- ・撤去工法：ケーシング縁切引抜工法 (ケーシング外径 700mm)
- ・埋戻し材・方法：流動化処理土, 上部より自然落下, 攪拌あり (攪拌プレート)

地盤および既存杭の概要を図 2.2.53, 撤去・埋戻しの施工手順を図 2.2.54, 埋戻し部の調査結果を図 2.2.55 に示す (一軸圧縮強さの材齢：約 4 週)。埋戻し部の N 値および一軸圧縮強さは上部の方が小さく, 深度 24m 以浅では N 値はほとんどゼロで一軸圧縮強さも 25kN/m^2 以下であった。深度 24m 以深は深度方向に大きくなるが, 杭撤去最下部の深度 37m 付近は一軸圧縮強さが低下しており, 攪拌用プレートによって下の方まで流動化処理土を到達させている効果は認められるものの, 上部と最下部では強度発現が不十分であることが確認された。

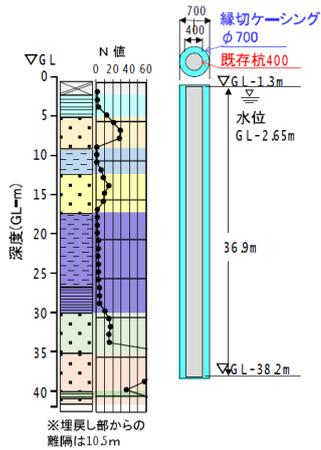
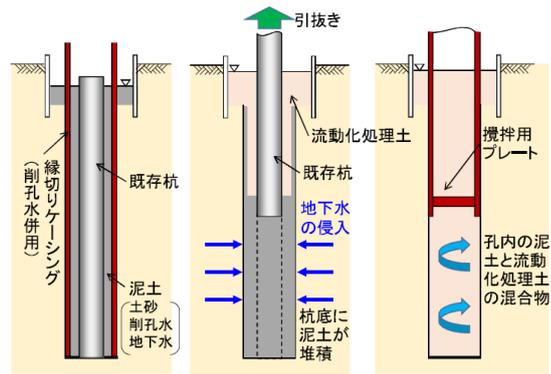


図 2.2.53 地盤および既存杭の概要



(a) 縁切り時 (b) 引抜き時 (c) 攪拌混合

図 2.2.54 撤去・埋戻しの施工手順

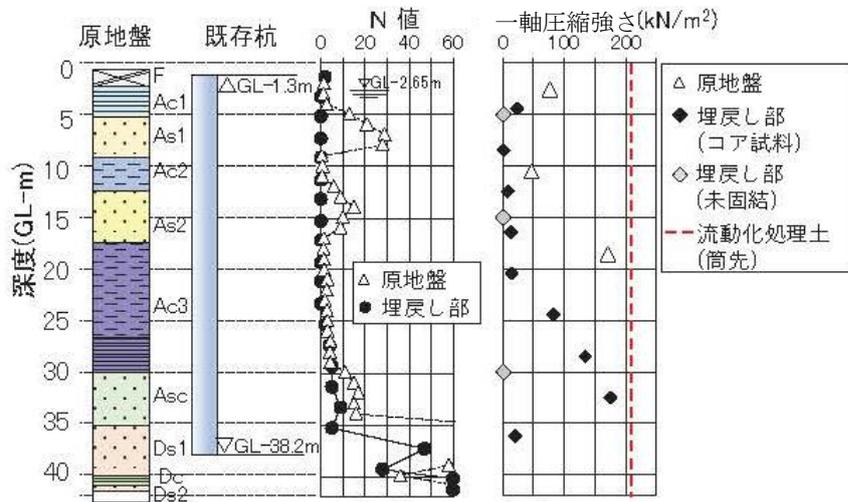


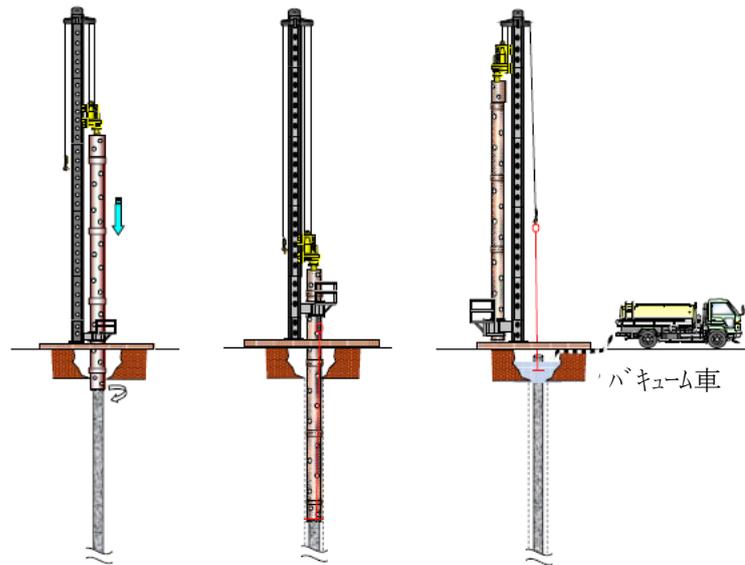
図 2.2.55 地盤・既存杭の概要および埋戻し部の調査結果

(2) サイト No.3 埼玉県加須市 2.2.16)

既存杭撤去・埋戻しの概要を以下に示す。

- ・撤去した杭：既製杭（SC杭），杭径 500mm，杭長 26m
- ・撤去工法：ケーシング縁切引抜き工法（ケーシング外径 770mm，内径 690mm）
- ・埋戻し材・方法：流動化処理土，上部より自然落下，攪拌なし
- ・流動化処理土の一軸圧縮強さ：計画強度 150kN/m²（受入検査 361kN/m²）

撤去・埋戻しの施工手順を図 2.2.56，地盤・既存杭の概要，および埋戻し部の調査結果を図 2.2.57 に示す（一軸圧縮強さの材齢：4 週）。埋戻し部の N 値および一軸圧縮強さは全体的に小さく，上部よりも下部になるに従って強度が小さくなる傾向が得られている。深度 15m 以深では未固化の流動化処理土が堆積し，上部から投入された流動化処理土が下方まで十分に到達していないことが確認された。



- (1) 機械据付・ケーシング削孔 (2) ケーシング先端へのワイヤ取付け・再挿入・引上 (3) 流動化処理土投入・杭引上げ

図 2.2.56 撤去・埋戻しの施工手順

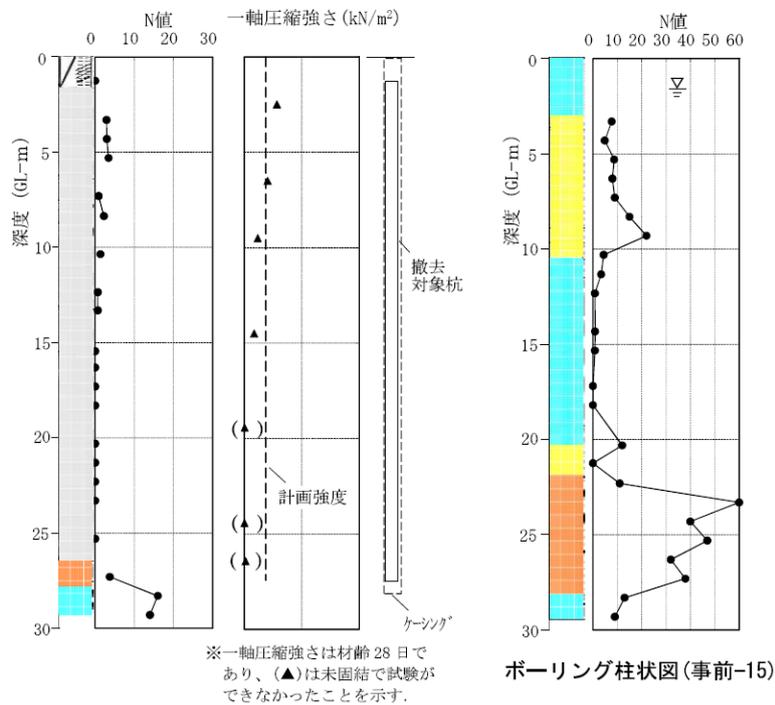


図 2.2.57 埋戻し部の調査結果

(3) サイト No.4 茨城県稲敷市 (2020 年) 2.2.16)

既存杭撤去・埋戻しの概要を以下に示す.

- ・撤去した杭：既製杭 (PHC 杭), 杭径 500mm, 杭長 12m
- ・撤去工法：ケーシング縁切引抜工法 (ケーシング外径 780mm, 内径 690mm)
- ・埋戻し材・方法：流動化処理土, 上部より自然落下, 攪拌なし
- ・流動化処理土の一軸圧縮強さ：計画強度 100kN/m² (受入検査 346kN/m²)

地盤および既存杭の概要を図 2.2.58, 埋戻し部の調査結果を図 2.2.59 に示す (撤去・埋戻しの施工手順は図 2.2.56 と同様, 一軸圧縮強さの材齢: 4 週). 埋戻し部の性状は, 上部 (9m 以浅) の流動化処理土は固化しており一軸圧縮強さは計画強度を上回っている. 一方, 深度 9m 以深の *N* 値はほぼゼロで, 未固化の状態であった (非常に緩い砂が堆積).

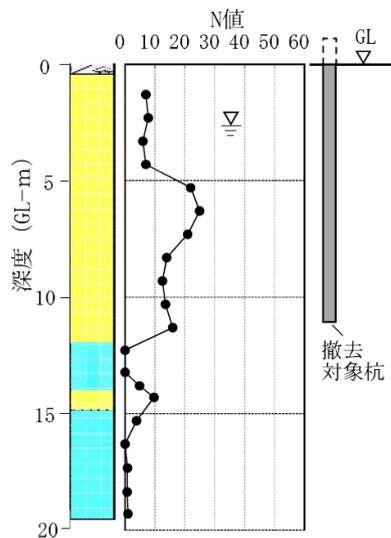


図 2.2.58 地盤および既存杭の概要

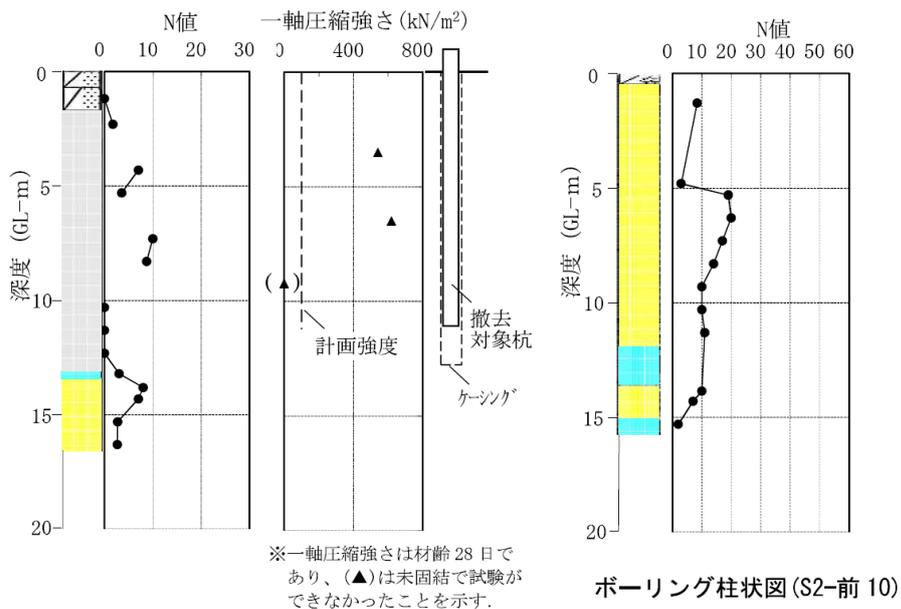


図 2.2.59 埋戻し部の調査結果

(4) サイト No.4 茨城県稲敷市 (2021 年)

既存杭撤去・埋戻しの概要を以下に示す。

- ・撤去した杭：既製杭 (SC 杭), 杭径 700mm, 杭長 15m ※図 2.2.60 中の反力杭 1
- ・撤去工法：ケーシング縁切引抜工法 (ケーシング外径 1460mm, 内径 1290mm)
- ・埋戻し材・方法：流動化処理土, 上部より自然落下, 攪拌なし

地盤および既存杭の概要を図 2.2.60, 埋戻し部の調査結果を図 2.2.61 に示す (撤去・埋戻しの施工手順は図 2.2.56 と同様, 一軸圧縮強さの材齢:約 6 ヶ月). 埋戻し部の性状は, 上部 (8.5m 以浅) の流動化処理土は固化しており N 値 10 程度, 一軸圧縮強さ (深度 5m 付近) は 193kN/m^2 と大きな値を示している. 一方, 深度 8.5m 以深の埋戻し部の N 値はほぼゼロ, 一軸圧縮強さも非常に小さな値で, 既存杭撤去・埋戻し方法が同じ稲敷市 (2020 年) と同様の傾向が得られた.

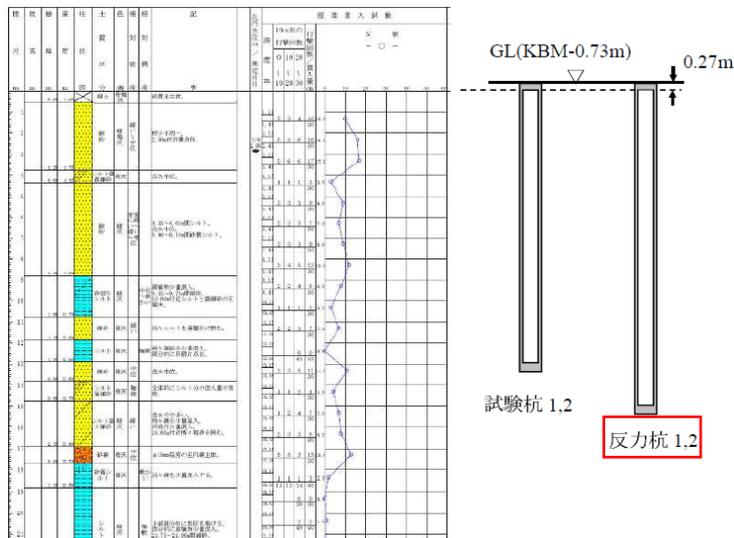
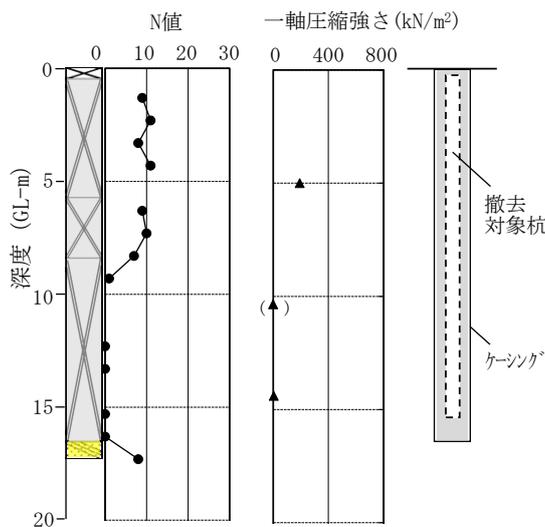


図 2.2.60 地盤および既存杭の概要



※一軸圧縮強さは材齢約6ヶ月であり、(▲)は未固結で試験ができなかったことを示す。

図 2.2.61 埋戻し部の調査結果

(5) サイト No.4 茨城県稲敷市 (2022 年) 2.2.17)

既存杭撤去・埋戻しの概要を以下に示す.

- ・撤去した杭：既製杭 (PHC 杭), 杭径 500mm, 杭長 12m
- ・撤去工法：オールケーシング破碎撤去工法 (ケーシング外径 1500mm)
- ・埋戻し材・方法：流動化処理土, トレミー管を使用, 攪拌なし

地盤概要を図 2.2.62, 埋戻し部の調査結果を図 2.2.63 に示す. 埋戻し部の性状は, N 値 (材齢 2 週) は 3~10 で原地盤の N 値 (5~15) に近い値が得られた. また, 一軸圧縮強さ (材齢 4 週) は 300~500kN/m² と大きな値を示しており, ばらつきはあるものの比較的安定した埋戻し部が構築できている.

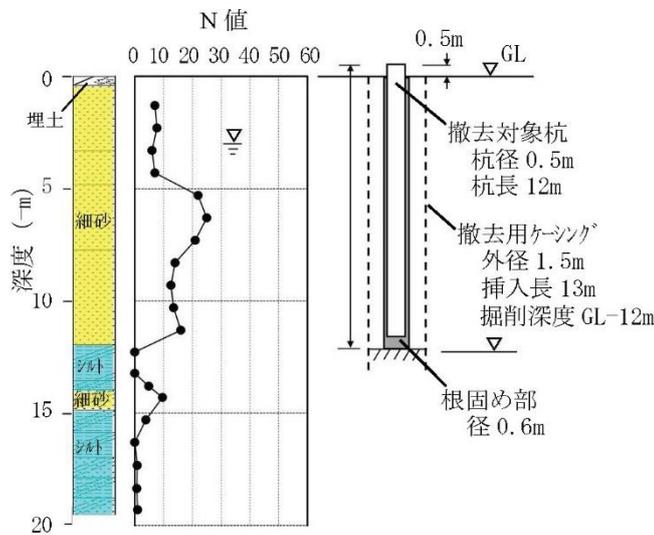
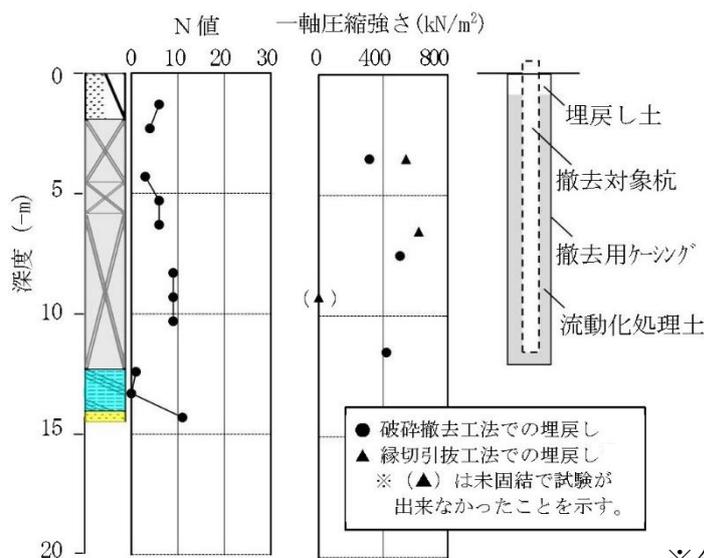


図 2.2.62 地盤および既存杭の概要



※今回の調査結果：●

図 2.2.63 埋戻し部の調査結果

【参考文献】

- 2.2.1) 地盤工学会関東支部:既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工, pp.49-84, 2022.6
- 2.2.2) 青木雅路他:既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その1):沖積地盤における調査結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.641-642, 2020.9
- 2.2.3) 青木雅路他:既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その11):既存杭撤去2年後における調査結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.529-530, 2022.9
- 2.2.4) 水澤良介他:既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その2):洪積地盤における調査結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.643-644, 2020.9
- 2.2.5) 本橋悠他:既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その7):ボーリング孔を利用した調査結果(埼玉加須地区), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.567-568, 2021.9
- 2.2.6) 大田孝他:既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その8):サウンディング(CPT)を利用した調査結果(埼玉加須地区), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.569-570, 2021.9
- 2.2.7) 遠藤正美他:既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その4):ボーリング孔を利用した調査結果(稲敷金江津地区), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.561-562, 2021.9
- 2.2.8) 沼本大輝他:既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その5):サウンディング(CPT および SDS)を利用した調査結果(稲敷金江津地区), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.563-564, 2021.9
- 2.2.9) 阿部秋男他:既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その6):探査技術を利用した調査結果(稲敷金江津地区), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.565-566, 2021.9
- 2.2.10) 根岸利昌他:既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その9):稲敷金江津地区における追加調査結果(サウンディング調査), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.525-526, 2022.9
- 2.2.11) 大田孝他:既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その10):稲敷金江津地区における追加調査結果(ボーリング調査結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.527-528, 2022.9
- 2.2.12) 平井卓海他:既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その14):破碎撤去工法における杭撤去に伴う周辺地盤への影響調査結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.575-576, 2023.9
- 2.2.13) 秦樹一郎他:既存杭を含む敷地における建築物の設計法構築に向けた実験および解析検討(その13):既存杭撤去の影響を受けた地盤物性把握のための調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.547-548, 2023.9
- 2.2.14) 新井洋他:既存杭を含む敷地における建築物の設計法構築に向けた実験および解析検討(その14):既存杭撤去の影響を受けた地盤の微動探査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.549-550, 2023.9
- 2.2.15) 清塘悠他:既存杭撤去埋戻しの施工事例と室内配合試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.551-552, 2021.9
- 2.2.16) 森利弘他:既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その3):地盤調査方法の比較計画と杭撤去埋戻し部の調査結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.559-560, 2021.9
- 2.2.17) 森利弘他:既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その13):破碎撤去工法による杭撤去と埋戻し部の調査結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.573-574, 2023.9

2.3節 周辺地盤および埋戻し部の調査結果のまとめ

2.3.1 周辺地盤の調査結果のまとめ

(1) 単杭撤去における地盤の影響評価^{2.3.1), 2.3.2)}

既存杭（単杭）撤去による地盤の影響評価として、地層区分毎に N 値（換算 N 値）や各種試験結果の代表値を求め、下式に示す既存杭撤去前と撤去後の比率から低減係数を算出した。低減係数の算出方法を以下に示す。

1. ボーリングおよびサウンディングの結果から地層区分を行った。
2. N 値、換算 N 値の平均値を地層毎に求め、地層境界や礫当たり等の影響を排除するため、平均値から $\pm 2\sigma$ (σ : 標準偏差) を外れる値を異常値として除外し、再度平均値を算出した。
3. N 値のデータ数が 5 点未満の地層は、ばらつきを考慮して、低減係数の算出から除外した。
4. 各種試験結果（一軸圧縮強度など）は、試験結果をそのまま用いた。
5. 低減係数は下式を用いて算出し、ケーシング端からの距離と低減係数の関係図を整理した。

$$\text{低減係数} = \frac{\text{撤去後調査における各層の平均}N\text{値（換算}N\text{値）または各種試験結果の代表値}}{\text{撤去前調査における各層の平均}N\text{値（換算}N\text{値）または各種試験結果の代表値}}$$

(i) SPT および CPT によって評価した低減係数（全データ）

図 2.3.1 に SPT および CPT による低減係数とケーシング端からの距離の関係を示し、低減係数が 1.0 を示す線と累乗近似曲線を示した。図 2.3.1(a)には全調査データをプロットし、図 2.3.1(b)には距離ごとの全データの平均値と標準偏差 2σ の範囲を示した。ケーシング端から距離 2m の範囲はデータがばらついているが、累乗近似曲線や平均の分布は距離に応じて増加する傾向を示した。低減係数が 1.0（緩み無し）を示す距離は 2.0~3.0m となり、ケーシング端に近いほど低減係数は小さくなった。

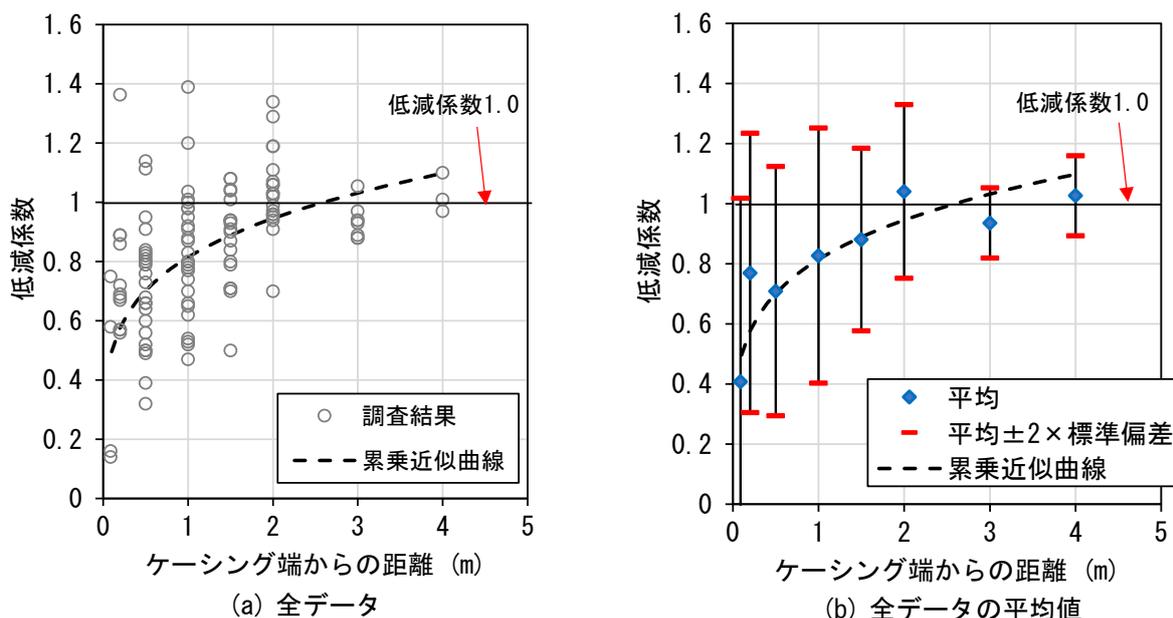


図 2.3.1 SPT および CPT による低減係数とケーシング端からの距離の関係

(ii) SPTおよびCPTによって評価した低減係数（土質別）

図 2.3.1 で示した低減係数について、土質毎（粘性土・砂質土・礫質土）に分類してプロットしたものを図 2.3.2 に示す。粘性土は沖積粘性土と洪積粘性土、砂質土は N 値 10 未満と N 値 10 以上で区分した。また、図 2.3.3 は、図 2.3.2 の横軸の距離をケーシング径で除算した値とした図である。また、それぞれのグラフの近似線は、全低減係数に対する累乗近似として示した。図 2.3.2 によると、低減係数の値はケーシング端の近傍で小さく、一部の沖積粘性土（図中○）や砂質土（図中□）を除くと、0.2m 離れの低減係数は 0.5~0.7 を示した。また、ケーシング端から離れるに従い、低減係数の値は大きくなり、低減係数が 1.0（緩み無し）を示す距離は 2~3m となった。図 2.3.3 によると、低減係数が 1.0（緩み無し）に近づく位置としては、ケーシング径の 2.5 倍付近と読み取れたが、実距離による分布（図 2.3.2）と大差は見られなかった。なお、凡例+（サイト No.2, 洪積粘性土）は、ケーシング端距離 0.1m で調査した事例で、撤去ケーシングの挿入による影響により地盤が乱れた可能性があるため、ここでは参考扱いとした。

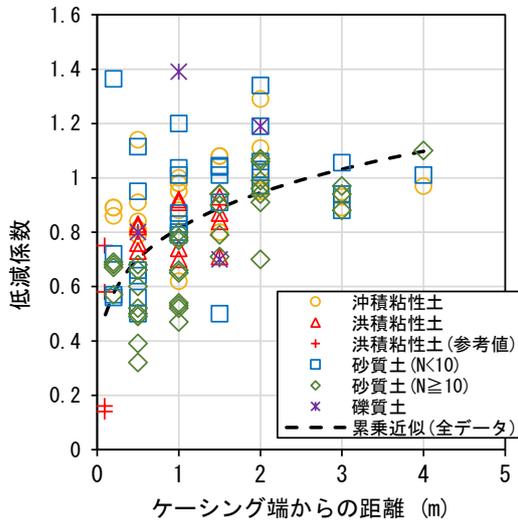


図 2.3.2 SPT および CPT による低減係数の関係

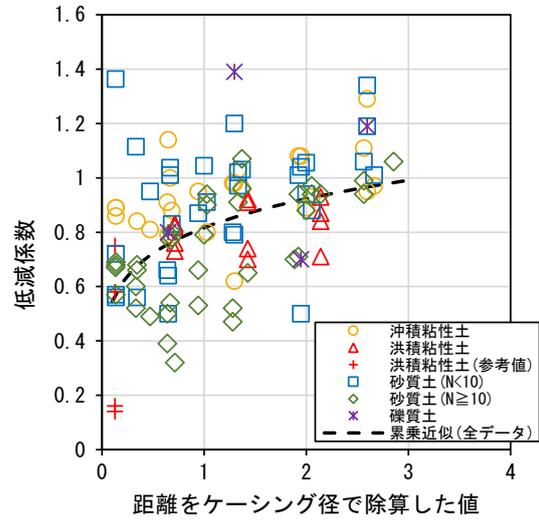


図 2.3.3 SPT および CPT による低減係数の関係
(横軸をケーシング径で無次元化)

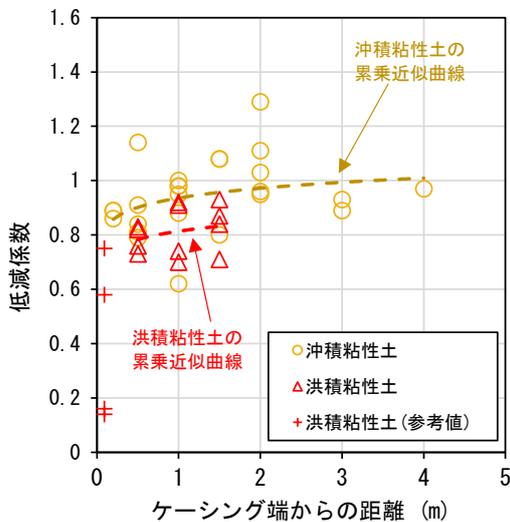


図 2.3.4 土質別の低減係数の関係（粘性土）

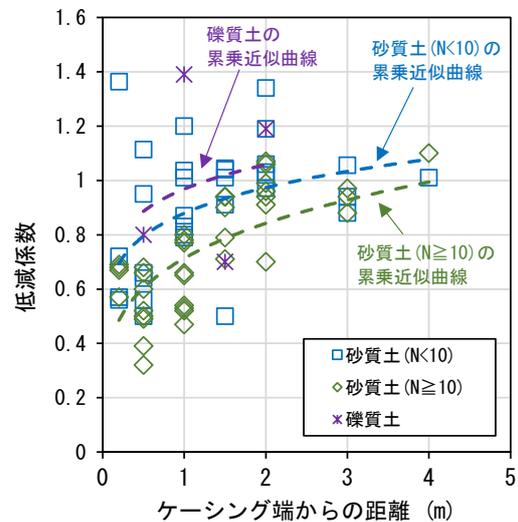


図 2.3.5 土質別の低減係数の関係（砂・礫質土）

図 2.3.4 および図 2.3.5 は、図 2.3.2 で整理した SPT および CPT の結果を土質別に分類した図であり、図 2.3.4 は粘性土について、図 2.3.5 は砂質土についてプロットした。砂質土と粘性土の違いによる低減係数の傾向としては、ケーシング端近傍を見ると、砂質土の低減係数の方が小さい値を示した。また、同じ土質であっても低減係数の近似曲線で比較すると、粘性土では洪積粘性土が、砂質土では N 値 ≥ 10 の砂質土が下側に分布し、低減係数の値が小さくなる傾向を示した。図 2.3.5 には礫質土の結果もプロットしたが、プロット数が 4 点でばらつきも大きかった。

(iii) 各種試験 (q_u , E_{50} , E_m , V_s) によって評価した低減係数

図 2.3.6 に、全試験データの各種試験結果（一軸圧縮試験による一軸圧縮強さ q_u および変形係数 E_{50} 、孔内載荷試験による変形係数 E_m 、PS 検層によるせん断波速度 V_s の二乗）の低減係数を示した。なお、 V_s は、 $G=\rho V_s^2$ の関係式より、せん断弾性係数に換算することができるため、変形係数等の変形特性と同次元での評価とするために V_s^2 による評価とした。

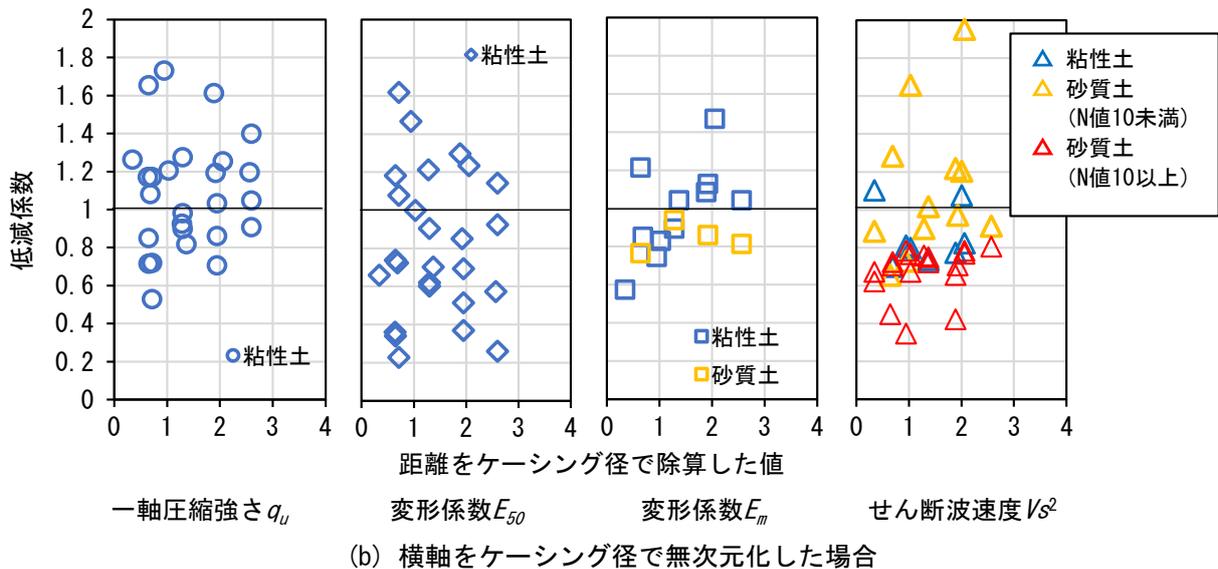
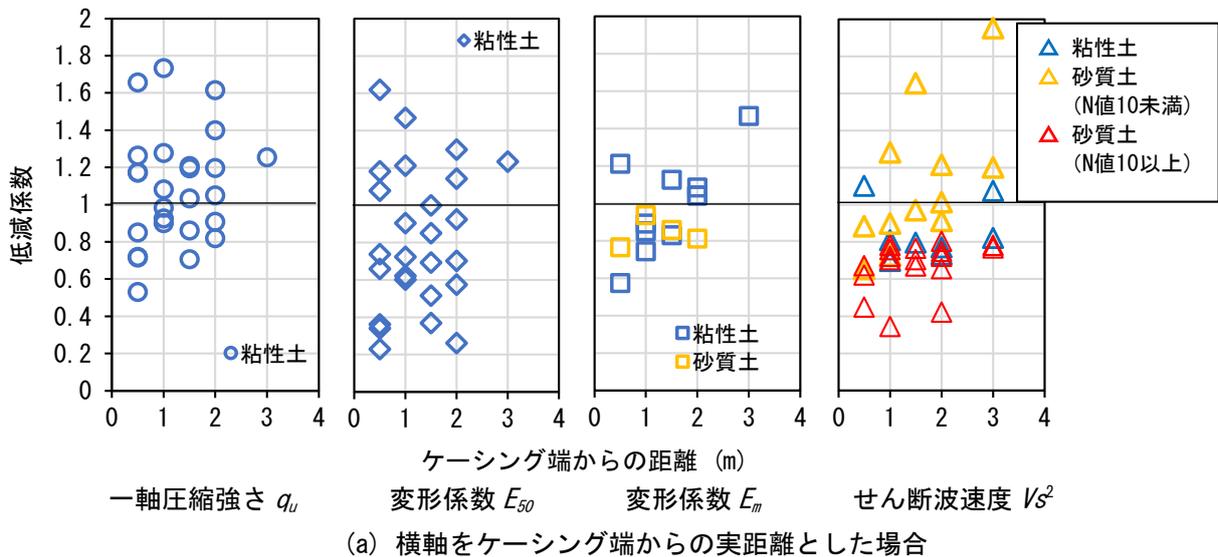


図 2.3.6 各種試験結果による低減係数とケーシング端からの距離

図 2.3.6 による一軸圧縮強さ q_u の低減係数は、概ね 0.8~1.2 程度の範囲に分布し、距離と強度低下の関係性は見られなかった。変形係数 E_{50} の低減係数は 0.2~1.6 とばらつきが大きい、孔内載荷による粘性土の E_m はケーシング端に近いほど低下する傾向を示した。 V_s^2 による評価は粘性土では変化が見られないが、 N 値 10 以上の砂質土では低減係数が 1 以下となり、剛性低下が見られた。図 2.3.6(b)には距離をケーシング径で除算した結果を示したが、図 2.3.6(a)の実距離との差異は見られなかった。

図 2.3.7~図 2.3.10 に同一地盤（稲敷（2020 年，2021 年））での試験結果の比較を示す。図 2.3.7 の一軸圧縮強さ q_u は、距離に応じた代表値の変化が小さく、同一距離における結果のばらつきが大きい箇所も見られた。図 2.3.8 の変形係数 E_{50} は、2020 年ではケーシング端からの距離 1.0m を除き、撤去前よりも低下していた。また、2021 年ではケーシング端に近いほど、 E_{50} が低下する傾向が見られた。図 2.3.9 の孔内載荷試験による変形係数 E_m は、全実施地点・深度の結果をプロットした。砂質土層（As1）の E_m は深度毎に異なり、深度 3m と 4m では E_m の低下が見られた。粘性土層（Ac1）は、2021 年は低下傾向を示すが、2020 年は低下傾向が見られず、同じ地層でも異なる傾

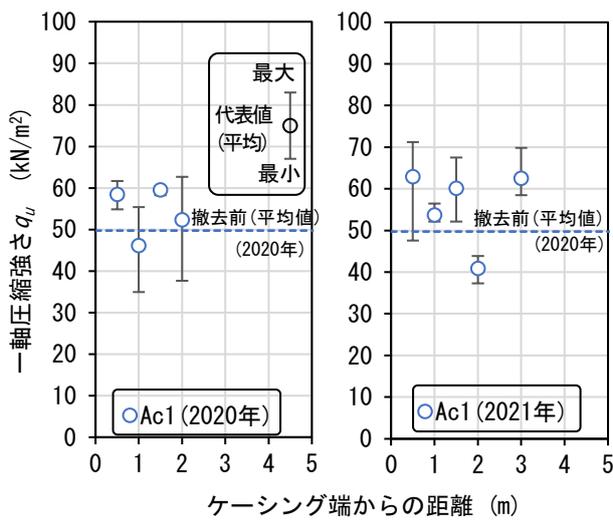


図 2.3.7 一軸圧縮強さの比較（稲敷）

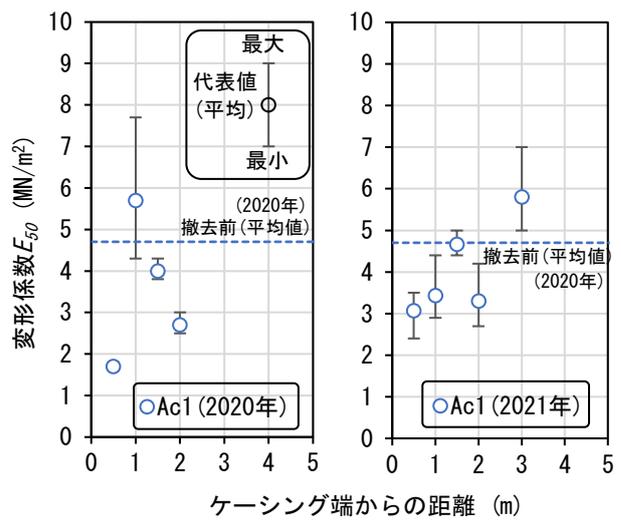


図 2.3.8 変形係数 E_{50} の比較（稲敷）

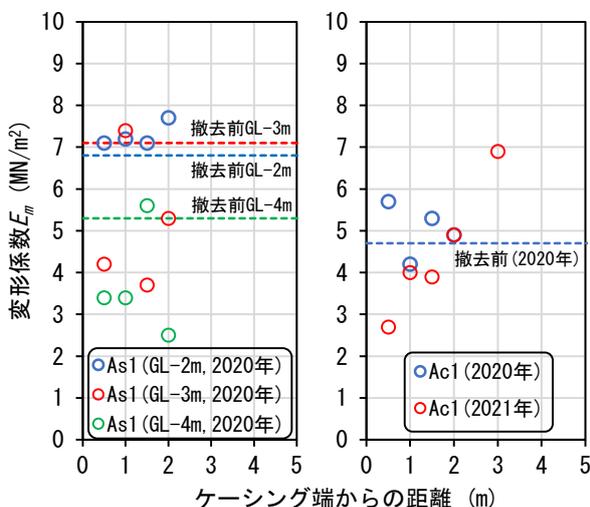


図 2.3.9 変形係数 E_m の比較（稲敷）

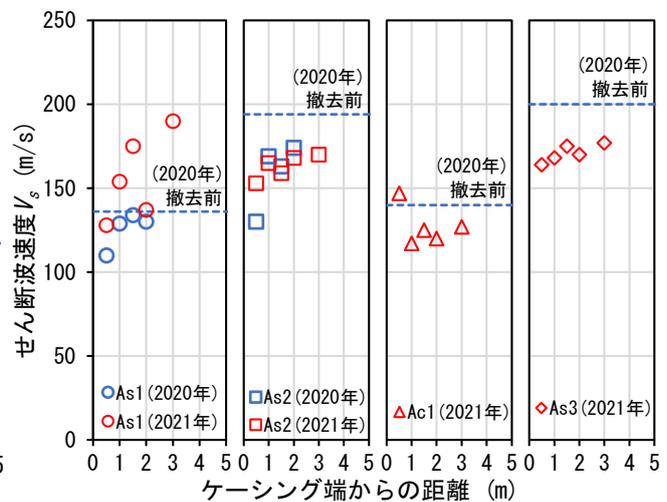


図 2.3.10 せん断波速度 V_s の比較（稲敷）

向が見られた。図 2.3.10 のせん断波速度 V_s は、砂質土層 (As1, As2, As3) と粘性土層 (Ac1) が対象で、砂質土層は全体的に低下傾向を示したが、粘性土層は低下傾向が見られなかった。

(iv) 各種試験結果を踏まえた土質毎の適用性と留意事項

ALLF で実施した各種試験結果より、土質毎の試験方法の適用性と留意事項を表 2.3.1 に示す。

表 2.3.1 土質毎の試験方法の適用性と留意事項

	砂質土		粘性土	
	適用性※1	留意事項	適用性※1	留意事項
N 値 (SPT)	◎	・ばらつきはあるが、全体的に低下傾向は明瞭.	◎	・ばらつきはあるが、全体的に低下傾向は明瞭. ・低い N 値の土層での感度に注意が必要.
換算 N 値 (CPT)	◎	・ばらつきはあるが、全体的に低下傾向は明瞭. ・高い N 値の土層での感度に注意が必要.	◎	・ばらつきはあるが、全体的に低下傾向は明瞭.
一軸圧縮強さ q_u (一軸圧縮試験)	-	-	○	・距離に応じた変化が見られず、ばらつきは大きい.
変形係数 E_{50} (一軸圧縮試験)	-	-	○	・低下傾向が見られたが、一部で撤去前よりも増加した.
変形係数 E_m (孔内載荷試験)	○	・試験深度によって結果が異なるが、撤去前より低下が見られた.	△	・調査範囲 (調査年) によって結果が異なるが、低下傾向が見られた結果もあった.
せん断波速度 V_s (PS 検層)	○	・低下傾向が見られた.	△	・低下傾向を把握しにくい.
せん断波速度 V_s (表面波探査)	△	・局所的な地盤剛性の変化を把握しにくい.	△	・局所的な地盤剛性の変化を把握しにくい.
せん断波速度 V_s (微動アレイ)	△	・局所的な地盤剛性の変化を把握しにくい.	△	・局所的な地盤剛性の変化を把握しにくい.

※1) ◎：適用性が高い ○：適用性はある △：適用性は低い -：原則、適用不可

(v) 撤去工法別の低減係数

表 2.2.2 に示すサイト No.4 の稲敷市では、3 年間で複数の既存杭撤去と地盤調査を実施してきた。撤去工法別の低減係数を図 2.3.11 に示し、稲敷地盤の砂質土層上部(As1)と砂質土層下部(As2)に区分して整理した。既存杭の撤去工法は、2020 年および 2021 年はケーシング縁切引抜工法、2022 年はオールケーシング破砕撤去工法である。撤去ケーシング径は 2020 年が 780mm, 2021 年が 1060 mmと 1460mm, 2022 年が 1500mm である。図 2.3.11 の砂質土層 (As1) では、縁切引抜工法はケーシング径によらず、ケーシング端から離れるに従い、低減係数は右肩上がりに 1.0 に近づく傾向を示した。一方、破砕撤去工法(図中△)は、距離 0.2m や 0.5m 付近の低減係数が 1.0 以上を示した。ケーシング外周面の近傍において、低減係数が 1.0 より大きくなった要因としては、既存杭撤去時の全周回転式掘削機(寸法 2.9m×3.4m)の重量(約 260kN)による上載荷重が作用した影響が考えられる。図 2.3.11 の砂質土層 (As2) では、両工法ともに、ケーシングから離れるに従い低減係数が増加した。低減係数が 1.0 となる距離は、両結果ともに 2.0m 付近となった。なお、破砕撤去工法は 1 事例の結果であり、今後データの蓄積が必要と考えられる。

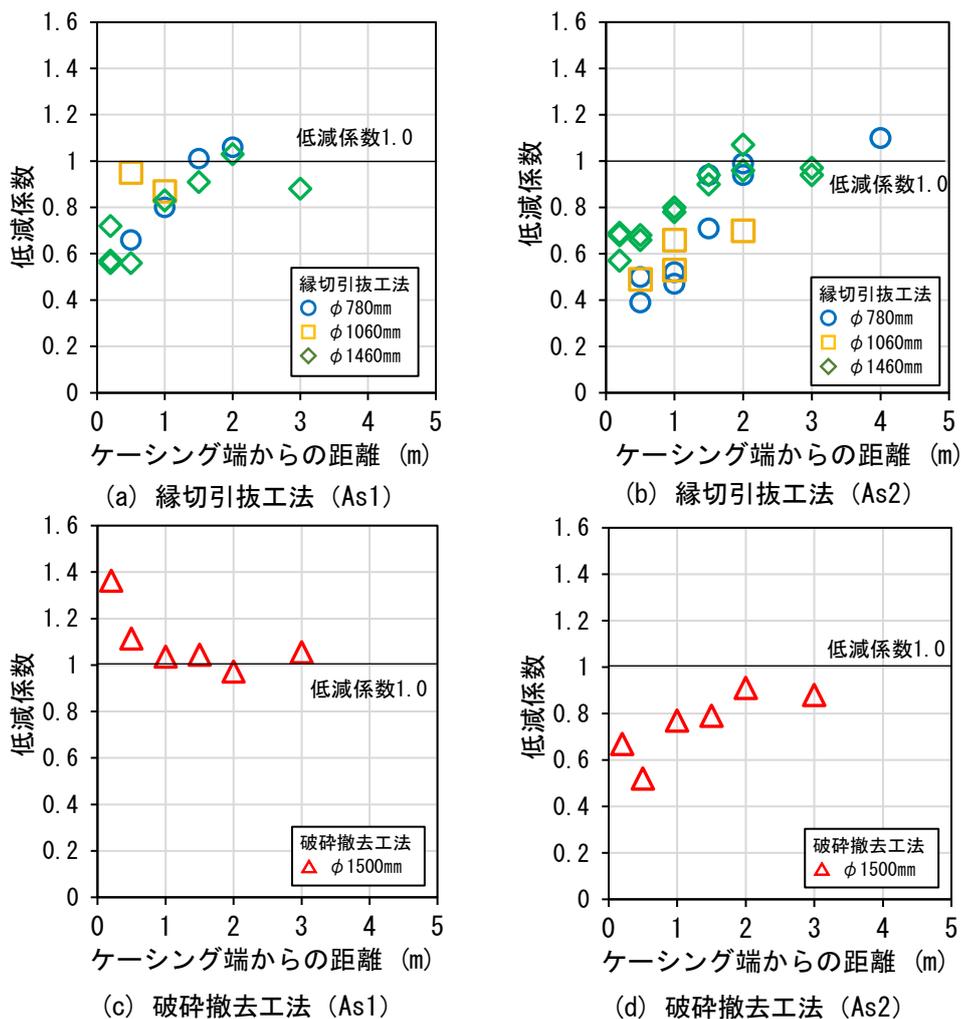


図 2.3.11 工法別の低減係数 (SPT および CPT)

(2) 複数本杭による地盤の影響評価

サイト No.1 草加市の撤去した 3 本杭の中央部での調査 No.5 では、深度 19m 付近までの大部分が N 値 0 を示し、また No.1~No.4 地点との地層の繋がりが不明瞭で、地層の区分が困難であった(図 2.3.12)。図 2.3.13 に No.5 地点の粒度を示し、参考として No.3 地点も併記した。No.5 地点の層区分ができなかった部分は、No.3 地点と比較して細粒分が 10~20%以上増え、粒度組成が変わっていた。この要因として、3 本の既存杭と No.5 の距離はケーシング端から約 0.25m と近接しているため、撤去ケーシングによる地盤の攪乱や埋戻し材の浸透などの影響が挙げられた。したがって、上述の既存杭の撤去・埋戻しに伴う周辺地盤の緩みとは異なる要因と考えられる。

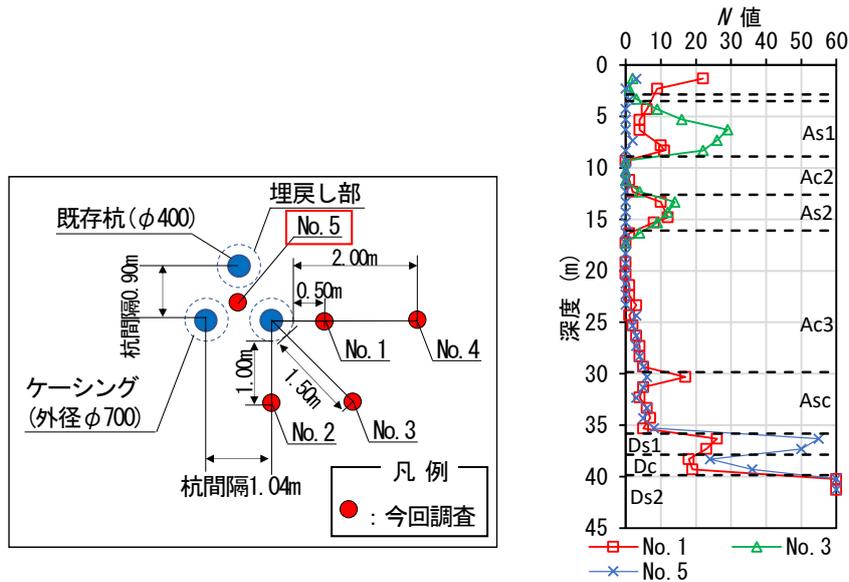


図 2.3.12 調査地の地盤構成と既存杭の概要 (2.3.3)を加筆・修正

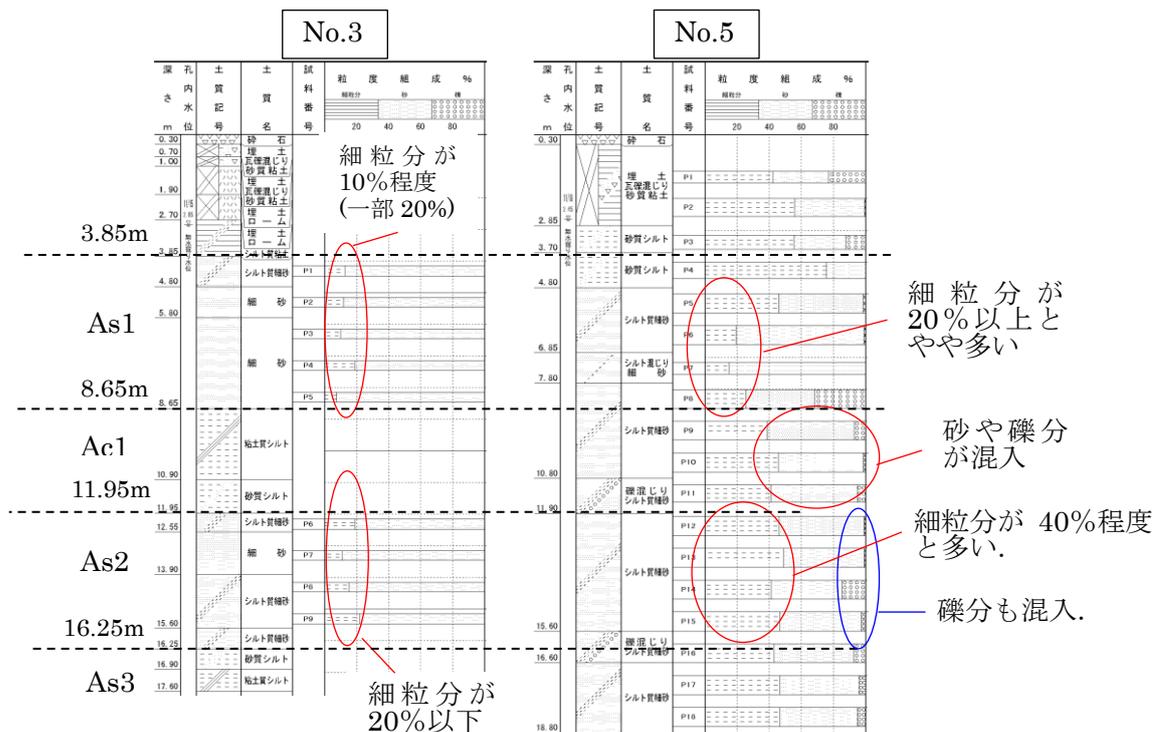


図 2.3.13 粒度の比較 (No. 3 地点と No. 5 地点)

(3) 地盤調査で得られた知見

(i) 単杭撤去時の影響

- ・緩みの影響範囲は、既存杭撤去時のケーシング端からの離れが 2~3m 程度の位置まで及んでいる可能性がある。
- ・ケーシング端付近での N 値や換算 N 値の平均値は、50%程度にまで低下している可能性がある。
- ・既存杭の撤去前後の地盤調査は SPT および CPT が第一に有効と考えられる。
- ・原位置試験および室内試験は、粘性土では一軸圧縮試験による変形係数 E_{50} 、砂質土としては孔内載荷試験による変形係数 E_m もしくは PS 検層によるせん断波速度 V_s が有効といえる。ただし、同一地層の中でもデータのばらつきが見られたため、試験数を増やすなどして評価することが望ましい。

(ii) 複数杭撤去時の影響

- ・複数杭撤去時（サイト No.4：茨城県稲敷市）における周辺地盤の緩みの影響範囲が相互に干渉するような位置での調査結果からは、定性的な傾向を確認することができなかった。今後、データの蓄積を行い、複数杭撤去時の相互影響を評価することが望まれる。
- ・群杭配置のように杭間隔が狭い 3 本杭の中央部で行った地盤調査（サイト No.1：埼玉県草加市）では、既存杭撤去前の地盤性状と異なることが示された。ただし、この結果は、既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤の緩みに加えて、撤去ケーシングによる地盤の攪乱や埋戻し材の浸透なども要因と考えられる。

(iii) 既存杭撤去工法の影響

- ・既存杭の撤去工法別に見ると、ケーシング縁切引抜工法と同様に、オールケーシング破碎撤去工法においても地盤の緩みが確認された。ただし、1 ケースの調査であるため、今後、データの蓄積が望まれる。

2.3.2 埋戻し部の調査結果のまとめ

既存杭撤去工法と埋戻し方法の組合せとして、以下の2つの組合せに対する埋戻し部の調査を行った。

- ・ケーシング縁切引抜工法+流動化処理土（3 サイト，4 か所）
- ・オールケーシング破碎撤去工法+流動化処理土（1 サイト，1 か所）

各サイトにおける杭撤去工法および埋戻し方法の概要を表 2.3.2 に示す。

表 2.3.2 杭撤去孔の埋戻し方法の概要

サイト No.	調査地	撤去対象杭		撤去ケーシング径 (mm)	撤去工法	埋戻し方法 (材料, 投入方法, 攪拌有無)	対象地盤
		杭径 (mm) ・ 杭長(m)	杭種				
1	草加	400 ・ 36.9	既製杭 (PHC 杭)	700	ケーシング 縁切引抜 工法	流動化処理土, 上部より自然落下, 攪拌あり	沖積 低地
3	加須	500 ・ 26	既製杭 (SC 杭)	770		流動化処理土, 上部より自然落下, 攪拌なし	沖積 低地
4	稲敷 (2020)	500 ・ 12	既製杭 (PHC 杭)	780		流動化処理土, 上部より自然落下, 攪拌なし	沖積 低地
	稲敷 (2021)	700 ・ 15	既製杭 (SC 杭)	1460			
	稲敷 (2022)	500 ・ 12	既製杭 (PHC 杭)	1500	オールケーシ ング破碎撤去 工法	流動化処理土, トレミー管, 攪拌なし	

※サイト No.は表 2.2.2 と同じである。

埋戻し部調査結果のまとめを以下に示す。

(1) ケーシング縁切引抜工法+流動化処理土

今回実施したケーシング縁切引抜工法による既存杭の撤去・埋戻しに用いたのは流動化処理土であったが、上部からの注入のみで攪拌しない場合（加須，稲敷（2020），稲敷（2021））は流動化処理土が下部に到達せず、また、機械攪拌のみを行った場合（草加）も上部および最下部が固化せず、いずれの事例も強度発現が不十分な傾向が得られた。

(2) オールケーシング破碎撤去工法+流動化処理土

オールケーシング破碎撤去工法は、ケーシング内の既存杭と土砂を完全に撤去し、周囲がケーシングで保護された状態で、孔底から埋戻し材を打設することが可能である。今回実施した埋戻し部の調査のうち、オールケーシング破碎撤去工法+流動化処理土を用いたケース（稲敷（2022））は、比較的安定した埋戻し部を構築できることが確認された。ただし、1 現場のみの調査結果であり、2.1 節に示す流動化処理土の品質管理や打設前の配合設定、打設時の施工管理に留意する必要がある。

以上、埋戻し部については、既往の調査結果^{2.3.4)}を含め、既存杭の撤去孔を均質に埋戻すのは難しく深度方向にもばらつく場合が多いため、埋戻し部の調査を行い、新設杭の設計・施工に反映させることが望ましい。

【参考文献】

- 2.3.1) 大田孝他：既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その12)：ケーシング縁切引抜工法による周辺地盤への影響評価，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.571-572，2023.9
- 2.3.2) 平井卓海他：既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その14)：破碎撤去工法における杭撤去に伴う周辺地盤への影響調査結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.575-576，2023.9
- 2.3.3) 青木雅路他：既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その1)：沖積地盤における調査結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.641-642，2020.9
- 2.3.4) 地盤工学会関東支部：既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工，pp.49-84，2022.6

第3章 既存杭の撤去・埋戻しを考慮した地盤調査計画

3.1 節 新設杭のための地盤調査フロー

新設建物の下部に既存杭や既存杭撤去孔の埋戻し部（以下、既存杭等）がある場合、新設杭の設計と施工を行う上で、第2章で示した既存杭撤去・埋戻しに起因した影響を考慮する必要がある。

新設杭を計画する上で、特に考慮すべき情報は、既存杭撤去孔埋戻し部の性状、撤去・埋戻しによる周辺地盤の緩み、新設杭と既存杭等との位置関係が考えられ、地盤調査等にてこれらを確認することになる。本節では、既存杭等がある場合の地盤調査フローとその調査を計画する上での注意点を合わせて述べる。

図 3.1.1 に、既存杭の撤去・埋戻しを考慮した新設杭のための地盤調査フローを示す。この地盤調査フローは、日本建築学会「建築基礎設計のための地盤調査計画指針」（2009）に示された「建設計画と地盤調査の流れ」^{3.1.1)}に既存杭等を有した場合を考慮し、加筆・修正したものである。なお、4.1 節に新設杭の設計の観点からの詳細フローを示している。

一般の新設建物では、図 3.1.1 の左列の建設計画の段階（新設杭の計画、設計、施工）に応じて同図の中央列に示す地盤調査を実施する。この調査は既存杭等の有無に関わらず新設杭の設計および施工計画に必要な調査であり、ここでは一般地盤調査（以下、地盤調査①）と呼ぶ。さらに、新設建物の下部に既存杭等を有する場合には、地盤調査①とは別に、同図の右列に示す既存杭の撤去・埋戻しの影響を調べる緩み等地盤調査（以下、地盤調査②）を行う。

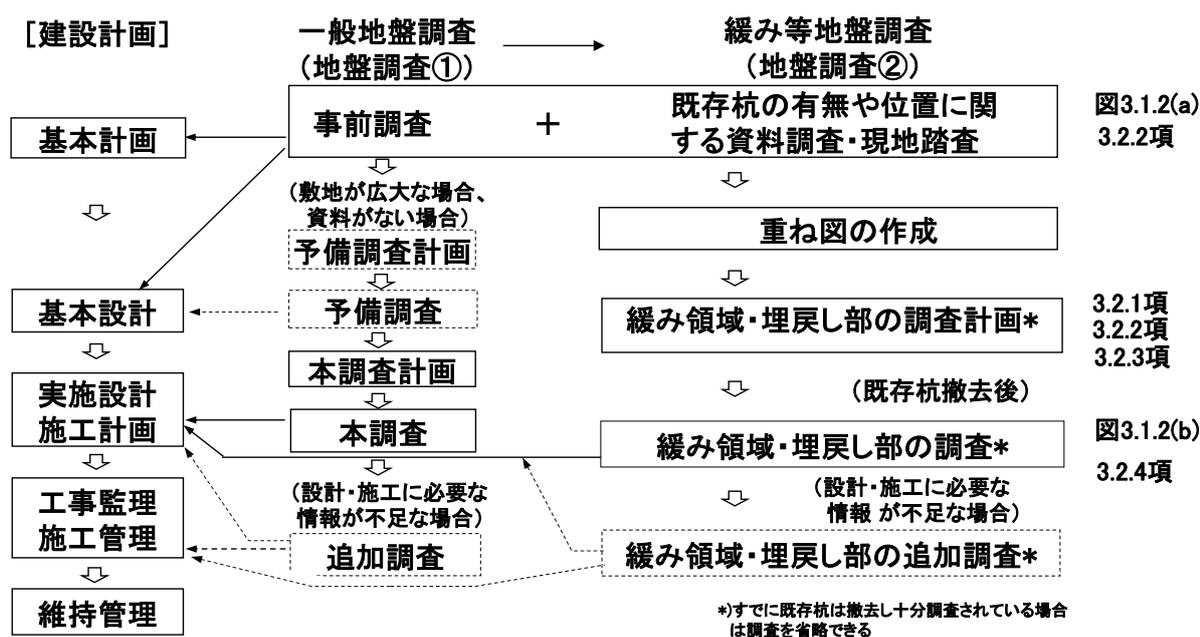


図 3.1.1 既存杭の撤去・埋戻しを考慮した新設杭のための地盤調査フロー—3.1.1)に加筆・修正

地盤調査②では、地盤調査①の事前調査に基づいた新設杭の基本計画と、敷地内（新設建物の下部）の既存杭等の資料調査や現地踏査より、新設杭と既存杭等の重ね図を作成する。既存杭の資料調査・現地踏査は、既存建物の設計図書・施工記録や上屋解体後の現地での調査から既存杭の有無や位置を確認する。既存杭が撤去されている場合は、既存杭撤去時の施工計画や施工記録を合わせて確認する。

既存杭位置を仮定した重ね図を基に、新設杭と既存杭等との位置関係より、既存杭の撤去・存置を決定し、撤去する杭を対象に緩み領域・埋戻し部の調査を計画する。緩み領域・埋戻し部の調査は、新設杭と既存杭の平面的な位置関係が表 3.1.1 に示す①～③の場合は新設杭と緩み領域が重なることから必須とする。一方、④近接Ⅱのように新設杭が緩み領域に重ならない場合は、省略することも可能とする。ただし、建物の下部に緩み部分があることに対する評価や、新設建物構築後の調査は困難で将来の建替えや増改築を考慮すると、表 3.1.1 にあてはまる場合には既存杭と新設杭との位置関係にとらわれずに既存杭撤去時に調査することが望ましい。具体的な調査計画の内容については、3.2 節に示す。調査結果に基づき基礎の設計を行い、新設杭の設計や施工に必要な情報が不足する場合は、緩み領域・埋戻し部等の追加調査を行う。

表 3.1.1 本ガイドラインで対象とする新設杭と既存杭の平面的な位置関係（表 1.2.1 を再掲載）

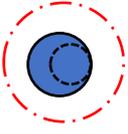
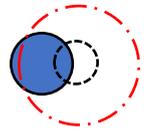
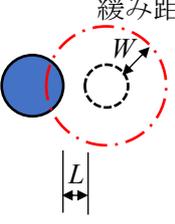
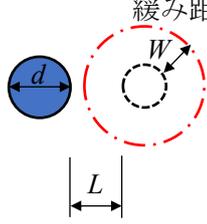
① 完全重なり	② 部分重なり	③ 近接Ⅰ (緩み領域と重なる) $0 < L \leq W$	④ 近接Ⅱ (緩み領域と重ならない) $W < L < W + d$
 <p>※新設杭と撤去孔の心が異なる場合を含む</p>		 <p>緩み距離 W L</p>	 <p>緩み距離 W d L</p>
<p>● : 新設杭 ○ : 既存杭撤去孔 ○ : 杭撤去に伴う緩み領域</p>			

図 3.1.2 に既存杭と新設杭との重ね図の撤去対象杭の見直し例を示す。図 3.1.2(a)は資料調査に基づく既存杭と新設杭の重ね図、図 3.1.2(b)は実測に基づいた重ね図である。この例では、実測による既存杭の位置が仮定した位置とずれていたため、一部の杭を撤去杭から存置杭に見直した。

既存建物のローカルな位置情報で推定された既存杭の位置は、新設杭との位置関係を正確に追うことが難しい。さらに、設計図書に示された杭の位置は、既存杭の施工時の施工誤差（杭心ずれや杭先端深度のずれ）などが反映されてないことが多い。そのため、地盤調査②では、既存杭撤去時もしくは既存建物解体時の杭頭露頭時に正確な位置情報を取得し、再度重ね図を作成した上で、新設杭の仕様、既存杭の取扱い（撤去・存置）や緩み領域を見直すことを基本とする。

既存杭がすでに撤去されている場合で、「国家座標」^{3.1.2)}による絶対座標で表示されている場合

は、情報を正確に得ることができる。重ね図の作成に当たってはどのような資料による情報なのか、その確からしさ(情報源)の把握が重要となる(例えば3.1.3)。

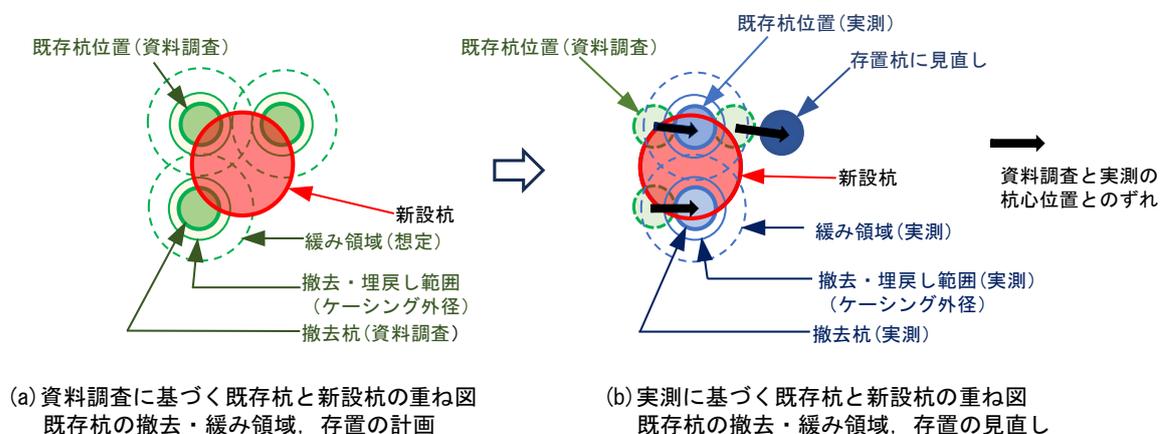


図 3.1.2 既存杭と新設杭との重ね図（撤去対象杭の見直し例）

新設杭の計画がない状況では、既存杭の位置が把握されないまま、既存杭を撤去する可能性があるが、原地盤と埋戻し部の判別が困難なため、位置や形状を容易に特定できない可能性が高くなる。その結果、埋戻し部の性状や緩みの調査が困難となり、将来新設杭を計画する上で既存杭撤去・埋戻しの影響を把握することができなくなる。既存杭を撤去する際は、新設杭の計画の有無に関わらず、既存杭および既存杭撤去・埋戻し部の位置と形状を把握・記録することが必須と考える^{3.1.3)}。

【参考文献】

- 3.1.1) 日本建築学会：建築基礎設計のための地盤調査計画指針，p.7，2009.11
- 3.1.2) <https://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/kokkazahyo.html#riyou>
- 3.1.3) 建築基礎・地盤技術高度化推進協議会：既存杭の利活用・処理における情報表示ガイドライン，2023.2

3.2 節 緩み等地盤調査計画

本節では、地盤調査②として行う既存杭撤去による周辺地盤の緩みとその影響（緩み領域の範囲や原地盤と比較した時の N 値等の低下割合）や埋戻し部の性状を把握するための調査を計画する場合の基本的な考え方について示す。

なお、既存杭撤去の有無に関わらず新設建物の基礎杭設計および施工計画に必要な地盤情報を得るために行う地盤調査（地盤調査①）の計画は、「建築基礎設計のための地盤調査計画指針 第3版^{3.2.1)}」、「地盤調査の方法と解説（2012年度版）^{3.2.2)}」や「改訂3版地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために^{3.2.3)}」が参考になる。

3.2.1 調査手法の種類

ALLFでは、第2章に示したように2019年～2022年に地盤調査②を実施し、既存杭の撤去・埋戻しによる影響等について検討してきた。この時の地盤調査手法は、以下の①～⑤に示すとおりであり、これらの調査実績を参考として地盤調査②に用いる地盤調査手法と得られる主な情報を表3.2.1に整理した。なお、適用性の評価は、ALLF内での判断であり、通常的地盤調査に用いる場合の各調査手法の優劣や調査精度等について評価したものではないことに注意が必要である。

①ボーリング孔を利用したサウンディング・原位置試験

標準貫入試験（SPT）

PS 検層

孔内載荷試験

②ボーリング孔を利用しないサウンディング

電気式コーン貫入試験（CPT）

スクリュードライバーサウンディング（SDS）^{注1), 3.2.4)}

羽根付きコーン貫入試験（HCPT）^{注2), 3.2.5)}

③物理探査や計測技術を用いた調査

表面波探査

微動アレー探査

④室内土質試験

一軸圧縮試験

⑤その他の調査・試験

地表面変位測量（既存杭撤去時に計測）

サンプリング（室内土質試験用の試料採取）

注1) SDS : 特許番号 第5320081号 他 特許権者 ジャパンホームシールド(株), 末政直晃 他

注2) HCPT : 特許番号 第6532637号 特許権者 (株)東京ソイルリサーチ

表 3.2.1(1) 地盤調査②に用いられる地盤調査手法と得られる主な情報の例

①ボーリング孔を利用したサウンディング・原位置試験				
地盤調査手法	得られる 主な情報	情報の取得、評価等 に対する適用性 ^{※1}		備考 (適用範囲、注意点、コスト、工期 等)
		地盤の緩み	埋戻し部	
標準貫入試験 (SPT)	N 値	◎	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ JIS A 1219 に規定 ・ 軟弱粘性土のような低いN値を示す土質に対する感度が課題となる。 ・ 測定間隔 1m (試験区間 0.3m)。(試験及び掘削の工夫により 0.5m 間隔での試験も可能。) ・ ボーリングの掘削費用に加え、試験費用が必要。土質により異なるが、0.7~1 万円/回程度^{※2} (試験 1 回当り)。
地盤の弾性波 速度検層 (PS 検層)	S 波速度	○	—	<ul style="list-style-type: none"> ・ JGS 1122 に規定 ・ サスペンション法とダウンホール法があり、現地条件に合わせた手法選択が必要。 ・ 地盤の緩み評価には、サスペンション法の方が適していると考えられる。 ・ 測定間隔 1m。 ・ 地盤の剛性や強度として評価する場合、V_s^2による評価を行うなどの配慮が必要。 ・ ボーリングの掘削費用に加え、1 孔 20m 当り 30 万円程度^{※3}。
孔内载荷試験	変形係数	○	○	<ul style="list-style-type: none"> ・ JGS 1531, JGS 3531, JGS 3532 に規定 ・ 試験は任意深度実施。 ・ 削孔時に孔壁を乱さない注意が必要。 ・ 先行削孔後に深度方向に連続して試験を行うことは向かない。 ・ 緩み (N 値等の低下) に対する感度が十分に確保できているか課題となる。 ・ 地盤の緩みは、载荷面 (孔壁) の奥行方向の影響も受ける。 ・ ボーリングの掘削費用に加え、試験 1 回当り 6~7 万円程度^{※2}。
<ul style="list-style-type: none"> ・ 本表に示す原位置試験や検層等を実施する場合には、ボーリングによる掘削孔が必要。 ・ 掘削径は、試験実施項目等に応じて決定する(φ66~116)。 ・ ボーリング孔を利用するため、地盤の硬軟、土質区分や試験深度を問わずに原位置試験等が可能。 ・ ボーリングの掘削費用は、土質、掘削径により異なるが、1~2 万円台/m 程度^{※2} (機械等運搬費・とりまとめ費用・各種経費等は含まない)。 ・ 掘削速度も土質により異なるが、3~7m/日程度^{※3}が目安 (機械の設置等は含まない)。 				

※1) ◎: 適用性が高い ○: 適用性はある △: 適用性は低い —: 原則、適用不可

※2) 参考資料「積算資料, 経済調査会, 2023 年 7 月号」

※3) 参考資料「全国標準積算資料 (土質調査・地質調査), 全国地質調査業協会連合会, 2020 年 9 月」

表 3.2.1(2) 地盤調査②に用いられる地盤調査手法と得られる主な情報の例

②ボーリング孔を利用しないサウンディング				
地盤調査手法	得られる 主な情報	情報の取得、評価等 に対する適用性 ^{※1}		備考 (適用範囲、注意点、コスト、工期 等)
		地盤の緩み	埋戻し部	
電気式コーン 貫入試験 (CPT)	コーン貫入抵抗- q_c , 周面摩擦抵抗- f_s , 間隙水圧- u (換算 N 値)	◎	△	<ul style="list-style-type: none"> ・JGS 1435 に規定 ・測定間隔 20mm. ・SPT より軟弱な地盤に対する感度は高い. ・締まった砂質土や砂礫など N 値が大きい地盤では、貫入不能となる場合がある. ・1m 当り 1 万円/m 程度^{※2}. ・深度 20m 程度の調査では、1 日で 4 地点程度の調査も可能.
簡易動的コーン 貫入試験	N_d 値 (換算 N 値)	○	△	<ul style="list-style-type: none"> ・JGS 1433 に規定 ・測定間隔 100mm. ・打撃貫入用のハンマーの質量が 5kg であり、深い深度に対する適用は困難. ・1m 当り 0.3~0.65 万円/m 程度^{※2}.
スクリー ウエイト 貫入試験 (SWS)	N_{sw} , W_{sw} (換算 N 値)	◎	△	<ul style="list-style-type: none"> ・JIS A 1221 に規定 ・旧スウェーデン式サウンディング試験 ・測定間隔 250mm. ・1m 当り 0.55 万円/m 程度^{※2}.
ポータブル コーン 貫入試験	コーン貫入抵抗- q_c	○	△	<ul style="list-style-type: none"> ・JGS 1431 に規定 ・測定間隔 100mm ・適用深さは、3~5m 程度 ・1m 当り 0.3 万円/m 程度^{※2}.
機械式コーン 貫入試験	コーン貫入抵抗- q_c , 周面摩擦抵抗- f_s	◎	△	<ul style="list-style-type: none"> ・JIS A 1220 に規定 ・測定間隔 (連続貫入時) 50mm 以下 (不連続貫入時) 200mm 以下 ・1m 当り 1 万円/m 程度^{※2}.
スクリー ドライバー サウンディング 試験 (SDS)	補正荷重- W , 補正トルク- T (換算 N 値)	◎	△	<ul style="list-style-type: none"> ・特許設定あり ・測定間隔 250mm ・戸建て住宅での適用実績多数 ・試験費用、時間は SWS と同等程度.
羽根付きコーン 貫入試験 (HCPT)	軸力, 回転数, 回転トルク (換算 N 値)	○	△	<ul style="list-style-type: none"> ・特許設定あり ・測定間隔 20mm ・N 値 10 以下の地層に対して、HCPT による換算 N_h 値と実測 N 値の相関性が低下するため、利用には N 値 10 以上を推奨. ・現時点で現場適用事例が少ない.
<ul style="list-style-type: none"> ・地盤にコーンを貫入させるため、硬質な地盤での適用が不可となる。このため、埋戻し部の調査での「適用性は低い」と評価しているが、貫入が可能な場合は、「適用性はある」となる。 ・ボーリング孔を利用したサウンディングに比べ、試験費用・現場工期は低減する。 				

※1) ◎：適用性が高い ○：適用性はある △：適用性は低い -：原則、適用不可

※2) 参考資料「積算資料，経済調査会，2023年7月号」

※3) 参考資料「全国標準積算資料（土質調査・地質調査），全国地質調査業協会連合会，2020年9月」

表 3.2.1 (3) 地盤調査②に用いられる地盤調査手法と得られる主な情報の例

③物理探査や計測技術を用いた調査				
地盤調査手法	得られる 主な情報	情報の取得、評価等 に対する適用性 ^{※1}		備考 (適用範囲、注意点、コスト、工期 等)
		地盤の緩み	埋戻し部	
表面波探査	S波速度	△	—	<ul style="list-style-type: none"> 狭い範囲(延長)の調査では、十分な測定精度が確保できない。 測定する波の伝播経路を明確にできない。 現場測定費は、45万円程度^{※3}/1測線
常時微動	固有周期	△	—	<ul style="list-style-type: none"> 得られる固有周期からは、地盤の緩みを確認できる可能性があるが、具体的な強度の評価はできない。 現場測定費は、14万円程度^{※3}/1地点
微動アレー探査	S波速度	△	—	<ul style="list-style-type: none"> アレー設置範囲の平均的な水平地盤構造を示しており、特定点における値としての評価は困難。 現場測定費は、10万円程度^{※3}/1アレー
<ul style="list-style-type: none"> 敷地全体の既存杭を撤去した場合のように、「面的」に広い範囲で地盤の緩み影響が想定される場合に適用可能と考えられる。 埋戻し部に対する調査手法としては、不適。 				
④室内土質試験				
地盤調査手法	得られる 主な情報	情報の取得、評価等 に対する適用性 ^{※1}		備考 (適用範囲、注意点、コスト、工期 等)
		地盤の緩み	埋戻し部	
物理試験(一式)	各種試験値	—	○	<ul style="list-style-type: none"> 地盤の緩み等の直接評価はできないが、SPTやCPTの結果の解釈を行う時の重要な情報となる。 埋戻し部の均一性評価では、粒度分布の違いによる評価も可能。
一軸圧縮試験	一軸圧縮強さ 変形係数	○	◎	<ul style="list-style-type: none"> 一軸圧縮試験による一軸圧縮強さ (q_u) もしくは、変形係数 (E_{50}) による評価。 試験は、原則、粘性土を対象に実施。 1試験当たり1万円程度^{※2}/2供試体。
<ul style="list-style-type: none"> 標準貫入試験もしくは、乱れの少ない試料のサンプリングにより得られた試料を用いて実施 				
⑤その他の調査・試験				
地盤調査手法	得られる 主な情報	情報の取得、評価等 に対する適用性 ^{※1}		備考 (適用範囲、注意点、コスト、工期 等)
		地盤の緩み	埋戻し部	
地表面変位測量 (既存杭撤去時)	変位量	△	△	<ul style="list-style-type: none"> ターゲット(目印)の設置 変位基準点(固定点)の設置 水平方向変位 (X・Y方向) の測定
サンプリング	—	○	○	<ul style="list-style-type: none"> 室内土質試験に供する試料採取 採取試料の目視確認 土質地盤→サンプラーによる採取 改良土→コアパック等による採取 コア採取率の記録を残す 2.5~4万円/本程度^{※2}。

※1) ◎: 適用性が高い ○: 適用性はある △: 適用性は低い —: 原則、適用不可

※2) 参考資料「積算資料, 経済調査会, 2023年7月号」

※3) 参考資料「全国標準積算資料(土質調査・地質調査), 全国地質調査業協会連合会, 2020年9月」

3.2.2 調査位置の考え方

地盤調査②では、表 3.2.1 に示した地盤調査手法を参考にして現地条件等に適した調査手法を選定すると共に「調査地点、調査深度（掘進長）、試験実施深度、試験数量等」を検討する必要がある。また、撤去する既存杭近傍（地盤の緩みの影響範囲内）にある新設杭の計画箇所全てで実施することが理想的であるが、実務においては、最低限として既存杭の撤去位置に最も近い（撤去の影響を最も受けると考えられる）新設杭の周辺で実施することとする。以下の（1）～（5）に調査地点等選定の基本的な考え方を示す。

（1） 調査エリアの設定（図 3.2.1 参照）

- 1) 地盤調査②は、基礎（杭）の設計で地盤条件が同じと考えられるエリア毎に分けて地盤調査計画を立案する。
- 2) 着目する地盤条件の主な観点は、以下の通り。
 - ①地盤区分（土質）の違い
 - ②層厚の違い（地層の傾斜）
 - ③N 値等の大きさの違い 等

（2） 撤去する既存杭と新設杭の位置関係（図 3.2.1 参照）

- 1) 撤去する既存杭に近接した新設杭の位置関係を確認する「重ね図」は、既存杭位置の実測に基づいて作成し、既存杭撤去の影響を受けると考えられる新設杭を抽出する。
→「新 1, 新 5, 新 9, 新 11」が影響を受ける新設杭。
- 2) 地盤条件が同一と判断したエリア内で複数の新設杭が既存杭撤去の影響を受ける場合、新設杭と撤去する既存杭の距離が最も近い（地盤の緩みの影響を最も受けると考えられる）既存杭周辺での地盤調査計画を優先的に立案する。
→「新 5」が撤去する既存杭に最も近い。
→地盤調査計画は、撤去する既存杭に近接した全ての新設杭を対象に実施してもよい。

（3） 緩み影響範囲の調査地点の配置（図 3.2.2 参照）

- 1) 緩み影響範囲の調査は、撤去した既存杭とその影響範囲内に設置予定の新設杭の付近で行う。
- 2) 地盤調査の下端深度は、既存杭撤去時に用いたケーシングの下端位置より深い深度を目標とする。
→撤去時のケーシング径程度以上の掘進長を確保するようにする。
- 3) ボーリング等の調査位置は、撤去時に用いたケーシング端を基準とする。
→調査位置の検討では、撤去時のケーシング位置の管理・記録が重要であり、調査計画者と施工者（既存杭撤去）との情報共有・引継ぎが必要となる。
- 4) ボーリング等の調査位置を設定するための基本的な考え方は、以下の通り。
 - ①撤去後調査の地点数は、ケーシング端からの離れが異なる「2 地点以上」で実施する。

- ②1 地点目は、既存杭撤去による緩み（ N 値等の低下）の影響が大きいケーシング端からの離れが 0.5m 地点に配置する。
- 地盤調査位置がケーシング端に近い場合、調査孔が傾いた場合に「埋戻し部」の地盤情報を取得する可能性もある。従って、地盤調査時には、調査孔の鉛直性に注意が必要となる。
- ③2 地点目は、緩み（ N 値等の低下）の影響が低いと考えられるケーシング端からの離れが 2.0m 地点に配置する。
- ALLF で実施した調査事例（2 章参照）では、緩みの影響範囲は、ケーシング端から 2m～3m 程度となる結果が得られている。
- 2.0m 地点において既存杭撤去の影響があるか否かを判断する。
- 既存杭・撤去ケーシング径が今回の調査事例より大きい場合や新設杭の計画位置によっては、ケーシング端から 3.0m 離れた地点を 2 地点目としてもよい。
- ④緩み影響範囲内で N 値等の低減傾向を詳細に把握しようとする場合は、「0.5m～2.0m 間」に調査地点を追加することが望ましい。
- 追加する調査地点数は、2 地点程度が現実的である。
- ⑤地盤調査②は、一般的な地盤調査よりも狭い範囲で複数の調査を実施するため、地盤調査による影響が、他孔に及ばないような配慮・注意が必要となる。
- 図 3.2.2 に示すように調査地点を直線状に配置しないなど。
- ⑥既存杭の撤去時に、周辺地盤（地表面）の変状が広い範囲で確認された場合や、撤去する既存杭の杭径やケーシング径が ALLF の調査事例よりも明らかに大きい場合（ALLF で実施した調査時の最大ケーシング径は、 $\phi 1.5\text{m}$ ）などは、ケーシング端からの離れが 2.0m 地点よりも遠い地点にも調査地点を配置するか否かの検討をすることが望ましい。
- 5) 撤去前調査には、既存の地盤調査結果や地盤調査①の結果を用いてよい。ただし、敷地内で地盤条件が大きく変化しているような場合は、地盤調査②位置に対応したエリア毎の調査結果を用いるか、追加で撤去前調査を行う。（図 3.2.1 参照）
- (4) 調査土層区分毎のデータ個数
- 1) 原位置試験等を実施する深度および測定間隔は、日本工業規格（JIS）や地盤工学会基準（JGS）等に規定されている深度間隔以上で実施することを原則とする。なお、測定間隔を密にして試験を実施してもよいが、他深度で実施する試験の影響を受けていないことが必要である。
- 例) 標準貫入試験：1m 間隔での試験が一般的。
- 1 回の試験に要する試験長は 0.5m。
- 連続して試験を行うと 1m 当たり 2 回の試験も可能（試験個数の確保に有効）。
- 2) 低減係数の評価は、地層区分毎に行う（図 3.2.3 参照）。
- 3) 低減係数の評価時にデータのバラツキを考慮した代表値を設定することができるよう、撤去前調査・撤去後調査共に地層区分毎の取得データ個数が 5 個以上となるよう調査地点を増

やすなども検討する（標準貫入試験やCPTなどのサウンディング試験の場合）。

→地層区分毎に得られている試験等のデータ個数が少なくても得られた値が調査地付近で過去に行われた試験結果等と同様の傾向を示しているなど、技術的判断によりバラツキが少ないと考えられる場合は、データ個数にこだわらなくてもよい。

4) 地層区分毎に取得目標とする各調査位置でのデータ個数は、撤去前後の調査で同程度にすることが望ましい。

5) 調査深度は、原地盤の確認および緩み状況の確認のためケーシング下端深度からケーシング径以上を調査する（図 3.2.2 参照）。

(5) 埋戻し部の調査

1) 埋戻し部の調査は、埋戻し部の中心部を調査地点とすることが望ましい。ただし、トレミー管を用いて流動化処理土を打設する場合等は、トレミー管撤去時に埋戻し部が攪乱等の影響を受ける懸念があるため調査位置に配慮する。

2) 調査深度は、撤去された杭の下端の原地盤の土質および締め具合（ N 値等）が確認できる深度までとする。

→埋戻し部は、コア採取による確認を行うとともに原地盤は、標準貫入試験（1m 間隔）による確認や、サンプリング試料を用いた室内土質試験（一軸圧縮試験等）、サウンディング試験を行うことにより、先端部の緩み状況も把握することができる。

3) 埋戻し日と試験実施日の記録を行い、流動化処理土等の打設日・打設経過日数が分かるようにする。なお、埋戻し材にセメント系の材料を用いる場合、調査時期・試験日は原則、材齢 28 日とする。また、コア採取は、若材齢時ではなく試験日の直前に行うのが望ましい。

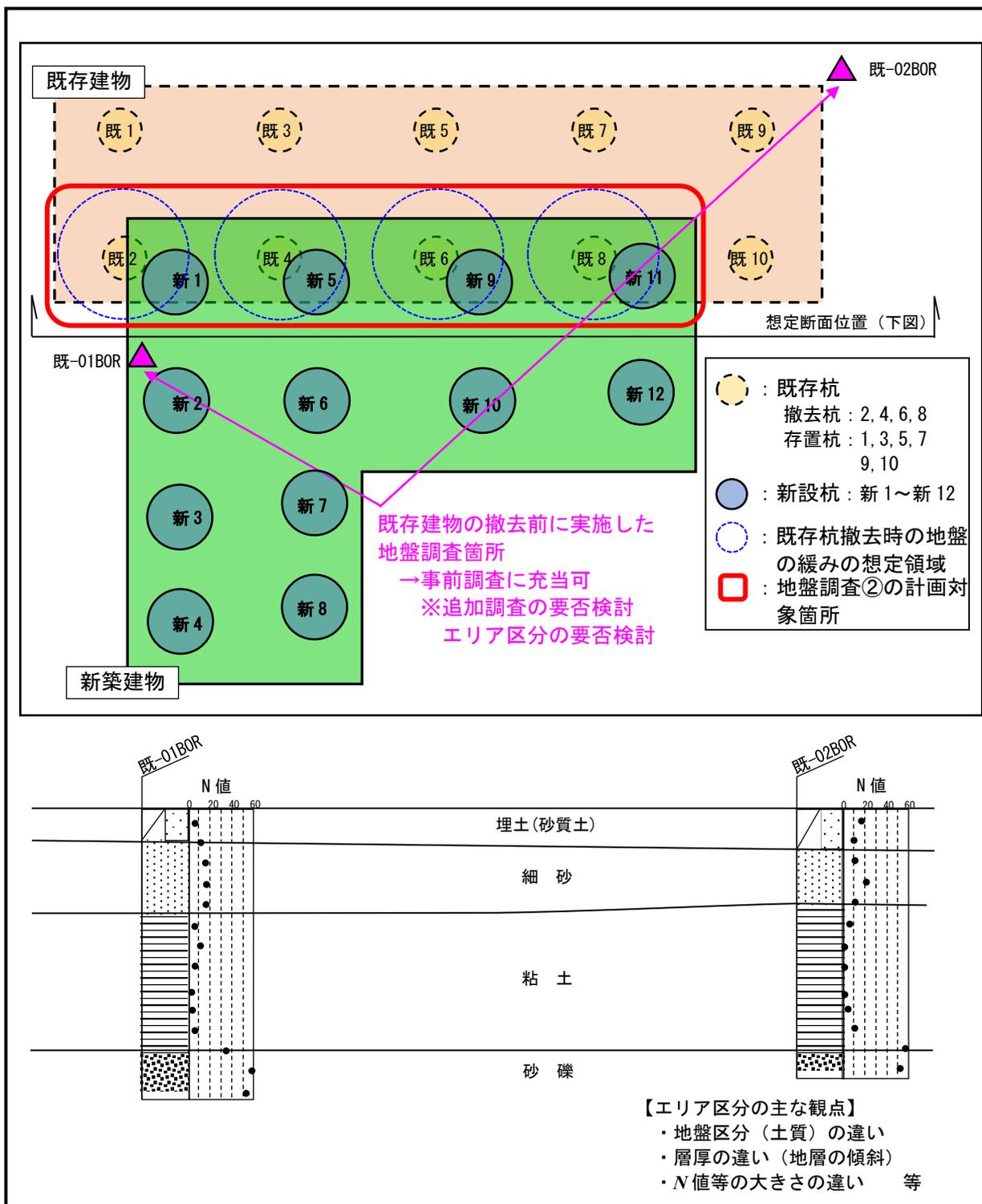


図 3.2.1 地盤調査の計画箇所の考え方イメージ

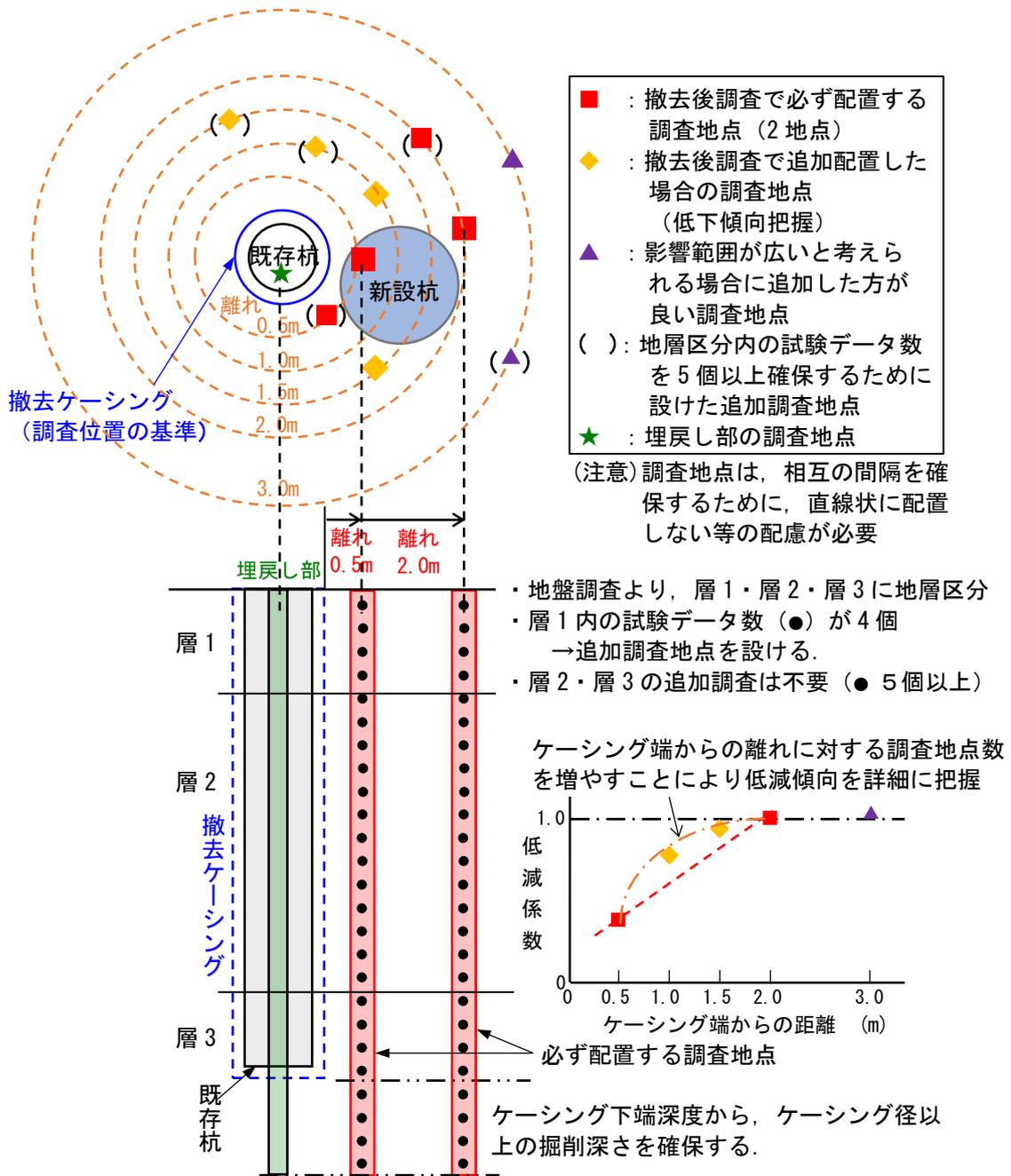


図 3. 2. 2 撤去後調査地点の配置イメージ

3.2.3 調査手法の選定

既存杭撤去による周辺地盤の緩みの影響を検討するためには、地層区分（地盤区分）を確認した上で既存杭の撤去前後における地盤の緩みの状態の変化を適切に評価可能な調査手法を選定することが重要である。また、撤去前調査と撤去後調査で同じ手法を用いることが望ましい。

また、既存杭埋戻し部の性状を把握するには、埋戻し部（埋戻し材）を対象とした調査により埋戻し部の充填状況や物理特性、強度等の深度分布を確認することが重要である。なお、埋戻し部の調査は、「既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工^{3.2.6)}」に詳しく記述されており、そちらを参照していただきたい。

地盤調査②に用いる地盤調査手法の選定は、表 3.2.1 を参考にすることができる。以下に、既存杭撤去による周辺地盤の緩みとその影響を把握するための地盤調査に着目し、調査手法の選定に際しての主な着眼点を(1)～(5)に示す。

(1) 地盤の硬軟

- 1) 地盤が硬質の場合、調査用コーンを目標とする深度まで地盤に貫入できず必要な情報を得ることができない場合がある。このような地盤が主体となる場合は、ボーリングによる掘削を必要とする地盤調査手法を選定する必要がある。
- 2) 地盤が軟弱な場合、SPT を用いると得られる N 値が「0（自沈）、1」というように低い値を示し地盤の緩みによる N 値等の低下を評価できない可能性が高いため、静的な貫入試験（例えば、CPT）やその他の試験（例えば、一軸圧縮試験）と併用することが望ましい。

(2) 既存杭撤去による影響範囲（撤去する杭の位置、本数の考慮）

- 1) 撤去する既存杭の位置と本数により、新設杭が単杭撤去のみの影響を受けるのか、それとも、複数杭の影響を受けるのか、もしくは、敷地全体での影響があるのか等の条件も地盤調査手法の選定で考慮が必要となる。
- 2) 単杭撤去もしくは複数杭撤去（2～3 本程度）の影響を評価する場合は、ボーリング（標準貫入試験）やサウンディングの選定が現実的となる。敷地全体については、これまでの調査事例では評価を行うことが難しいため、その都度の検討が必要となる。

(3) 調査深度

- 1) 撤去する既存杭が長い場合、地盤調査深度も深くなる。各手法で調査可能な深度を考慮して選定する必要がある。
- 2) ボーリング孔を利用する場合、深さに対する支障は、ほとんどないが、ボーリング孔を利用しないサウンディングでは、貫入力・想定反力等により調査深度に限界がある。

(4) 調査期間（調査時期）

- 1) 地盤調査は、調査点数や調査深度により数日から数週間を必要とする。上屋解体後や既存杭撤去後に必要な地盤調査期間を確保する。
- 2) 一般にボーリングを伴う地盤調査は、ボーリング孔を利用しないサウンディング調査に比べ調査期間が長くなる。例えば、深度 15m の調査を 4 地点で実施する場合、ボーリング孔を

利用すると最低でも1週間～10日間程度を必要とするが、CPTでは、1～2日程度での調査が可能である。

(5) 地層区分毎の試験データ個数

- 1) 地盤調査データには、“ばらつき”が含まれることを考慮すると、試験で得られる地層区分毎のデータ個数は多い方が望ましい。
- 2) 地盤評価に十分な試験データ個数を得られるか否かも地盤調査手法の選定では重要となる。
- 3) 試験等より得られる地層区分当りのデータ個数が少ない場合は、同じ地盤条件となる複数の調査地点を設定し、取得するデータ個数を確保することが求められる。

3.2.4 調査結果の整理

地盤調査②の結果整理は、地層区分毎に行い、緩みの評価は、式(3.2.1)に示す「低減係数」により行う。低減係数を求めるための地盤調査手法は、撤去前調査と撤去後調査で同じ手法を用いることが望ましい。

$$\text{低減係数} = \frac{\text{撤去後調査結果より評価した任意の地層区分の代表値}}{\text{撤去前調査結果より評価した任意の地層区分の代表値}} \quad (3.2.1)$$

※撤去前調査と撤去後調査の地盤調査手法は同一手法とする。

※代表値は、地層区分毎に設定する。

※代表値は、 N 値の平均値（換算 N 値）や各種試験結果とする。

※代表値の算出過程では、データのバラツキを考慮し、異常値を除外する。

(1) 代表値の算出

SPTより求めた N 値もしくはサウンディングより求めた換算 N 値を例に代表値（異常値を除いた平均値）算出の考え方を以下に示す。

1) 地盤調査結果より、評価対象の地層区分を行う。

2) 区分した地層毎に平均 N 値（平均換算 N 値）や標準偏差を算出する。

※試験で得られる各層のデータ個数が5個以上となるように調査地点を設定する（増やす）のが望ましい。

※区分した地層内に含まれる全データを評価対象とする。

3) 『平均値 $\pm 2\sigma$ （ σ ：標準偏差）』を超過する値を“異常値”として除外する。

※明らかに異常値と考えられる値は、2)の段階で評価者の技術的判断で除外しても良い。

例) N 値=20前後を示す層のデータに、 N 値=1のデータが含まれている。

4) 除外データを除いた上で、再度、平均 N 値（平均換算 N 値）を算出し代表値とする。

5) 撤去前調査と撤去後調査での代表値より、式(3.2.1)を用いて“低減係数”を求める。

※低減係数は、小数点以下第3位を四捨五入し、小数点以下2桁で示す。

※敷地内で地盤が変化している場合、同一地盤とみなせる範囲ごとに調査を行う。

(2) 低減係数と既存杭撤去による影響を示す関係図

撤去後調査地点毎（ケーシング端からの距離が同じ地点の集合）の低減係数を求めた後は、図3.2.3に示す「(3)地層区分毎の低減係数の整理図の例」を参考に低減係数の評価を行う。以下に評価の流れを示す。

1) ケーシング端を基準とし調査地点までの離れ（実距離）を横軸、低減係数を縦軸とした関係図を作成する。

2) 得られた関係図より任意曲線で低減係数低下想定曲線（直線でもよい）を作成する。

3) 低減係数低下想定曲線より、以下の①、②を設定する。

①ケーシング端部付近での低減係数を設定する。

②低減係数が「1.0」となるケーシング端からの離れを設定する。

※ALLFによる調査^{3.2.7)~3.2.15)}では、ケーシング端部付近で「0.5程度」の低減係数を示すとともに、ケーシング端からの離れが2m~3m程度になると既存杭撤去による地盤の緩みの影響（緩み（N値等の低下））が見られなくなる傾向を確認している。

※ケーシング内部は、低減係数の評価対象としない。

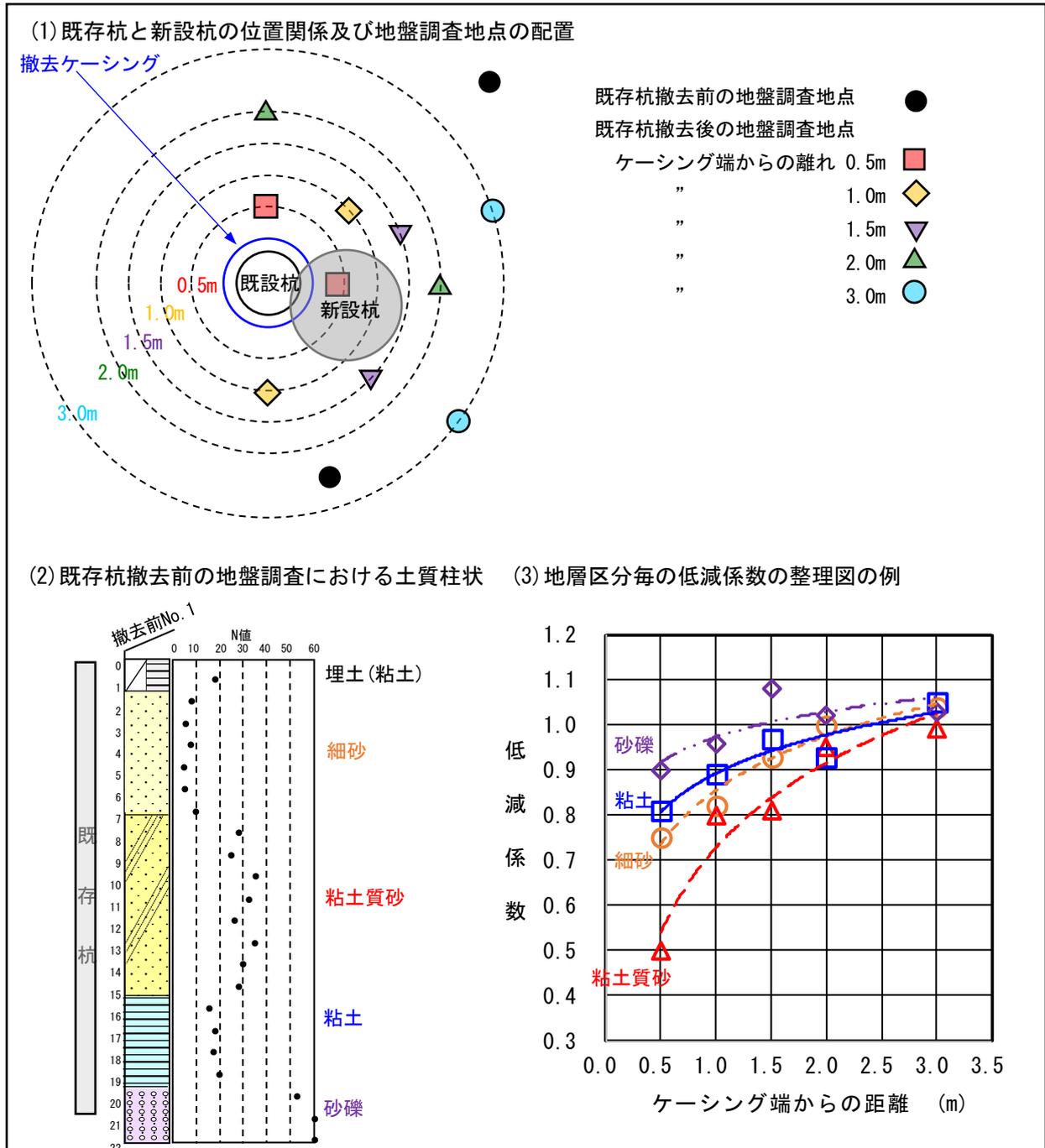


図 3. 2. 3 低減係数の整理図の例

【参考文献】

- 3.2.1) 日本建築学会：建築基礎設計のための地盤調査計画指針 第3版，2009.11
- 3.2.2) 地盤工学会：地盤調査の方法と解説（2012年度版），2012.11
- 3.2.3) 全国地質調査業協会連合会：改訂3版地質調査要領 効率的な地質調査を実施するために，2015.9
- 3.2.4) 大和：トルク計測を加えた新しいスウェーデン式試験法（SDS試験），地盤工学会誌，Vol.64，No.1，pp.37-38，2016.1
- 3.2.5) 穴井他：羽付きコーンを利用した新しいサウンディング試験の開発（羽付きコーン貫入試験：HCPT），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.405-406，2021.9
- 3.2.6) 地盤工学会関東支部：既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工，pp.6-17，2022.6
- 3.2.7) 青木他：既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響（緩み）に関する研究（その1）：沖積地盤における調査結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.641-642，2020.9
- 3.2.8) 水澤他：既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響（緩み）に関する研究（その2）：洪積地盤における調査結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.643-644，2020.9
- 3.2.9) 遠藤他：既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響（緩み）に関する研究（その4）：ボーリング孔を利用した調査結果（稲敷金江津地区），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.561-562，2021.9
- 3.2.10) 沼本他：既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響（緩み）に関する研究（その5）：サウンディング（CPTおよびSDS）を利用した調査結果（稲敷金江津地区），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.563-564，2021.9
- 3.2.11) 本橋他：既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響（緩み）に関する研究（その7）：ボーリング孔を利用した調査結果（埼玉加須地区），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.567-568，2021.9
- 3.2.12) 大田他：既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響（緩み）に関する研究（その8）：サウンディング（CPT）を利用した調査結果（埼玉加須地区），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.569-570，2021.9
- 3.2.13) 根岸他：既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響（緩み）に関する研究（その9）：稲敷金江津地区における追加調査結果（サウンディング調査），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.525-526，2022.9
- 3.2.14) 大田他：既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響（緩み）に関する研究（その10）：稲敷金江津地区における追加調査結果（ボーリング調査結果），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.527-528，2022.9
- 3.2.15) 山本他：既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響に関する研究 地盤調査手法の違いによる結果の差異，第56回地盤工学研究発表会講演集，p.12-6-5-05，2021.7

第4章 既存杭の撤去・埋戻しを考慮した新設杭設計・施工上の留意事項

4.1節 新設杭の設計フローおよび留意事項

4.1.1 新設杭の設計フロー

既存杭の撤去・埋戻しによる地盤の緩み等を考慮した新設杭の設計を行うためには、「既存杭の利活用・処理における情報表示ガイドライン」(ALLF)に示された以下の情報等が必要となる。情報が無い場合は、地盤調査②(図3.1.1, 緩み等地盤調査)を実施して情報を取得する必要がある。

既存杭が存置：既存杭の位置, 活用方法などの資料

既存杭が撤去済：撤去時期, 撤去孔の位置, 撤去・埋戻し方法, 埋戻し部の強度・剛性,
撤去孔周辺地盤の緩みの性状

図4.1.1に新設杭の設計フローを示す。

1) 既存杭の有無や位置に関する資料調査・現地踏査

敷地において過去に杭が施工された履歴があるかどうかを調査する。過去に杭が施工された履歴が無ければ地盤調査①(図3.1.1, 一般地盤調査)の結果を基に新設杭を設計する。杭が存置されている場合は、既存建物の竣工図や計算書, 杭の施工記録などが必要となる。また、杭に関する軽微な変更の履歴を確認し、資料が無ければ、杭の水平施工偏心量は概ね100mm以内と考えてよい。杭が撤去済の場合は、杭頭位置が実測できず、竣工図等の情報のみに基づいて設計することになるので、撤去孔径や充填材などを慎重に想定する。

2) 既存杭と新設杭の重ね図の作成(杭の重なりまたは近接の確認)

既存杭の杭種, 杭径, 位置と計画している新設杭との位置関係を確認するための重ね図を作成する。この段階で、新設杭の性能に影響する可能性のある既存杭を撤去するか、新設杭を偏心させて既存杭を存置するか、あるいは既存杭を再利用するかの計画を立てる。ただし、既存杭の位置等が実測されている場合を除き、施工誤差や特に長尺の既製杭の場合は、地中での傾斜も考慮した余裕のある計画とすることが望ましい。

3) 既存杭の撤去・埋戻し方法の検討(要求性能に適合した撤去・埋戻し工法の選定)

既存杭の種類や杭径などを考慮して杭の撤去・埋戻し方法を解体業者とともに策定する。個々に撤去すると地盤の緩み範囲が広がる群杭をまとめて撤去する場合や、埋戻し部の充填性が特に重要となる場合には、オールケーシング破碎撤去工法の採用も検討する。

4) 地盤調査②の計画

既存杭の撤去の位置や撤去工法が決まったら、地盤調査②を計画する。既存杭が撤去済の場合は、既存の情報から作成された重ね図を基に調査位置を確定する。

5) 緩み等を反映した新設杭の設計

地盤調査②の実施時の可否を検討し、実施可能であれば、その結果を基に新設杭を設計する。

設計段階で地盤調査②が実施できない場合は、既往の調査資料などを参考に地盤の緩み等を想定して新設杭を設計する。その際、緩み等の想定に関してはある程度幅を持たせた検討（あらかじめの検討）を行っておくことが望まれる。

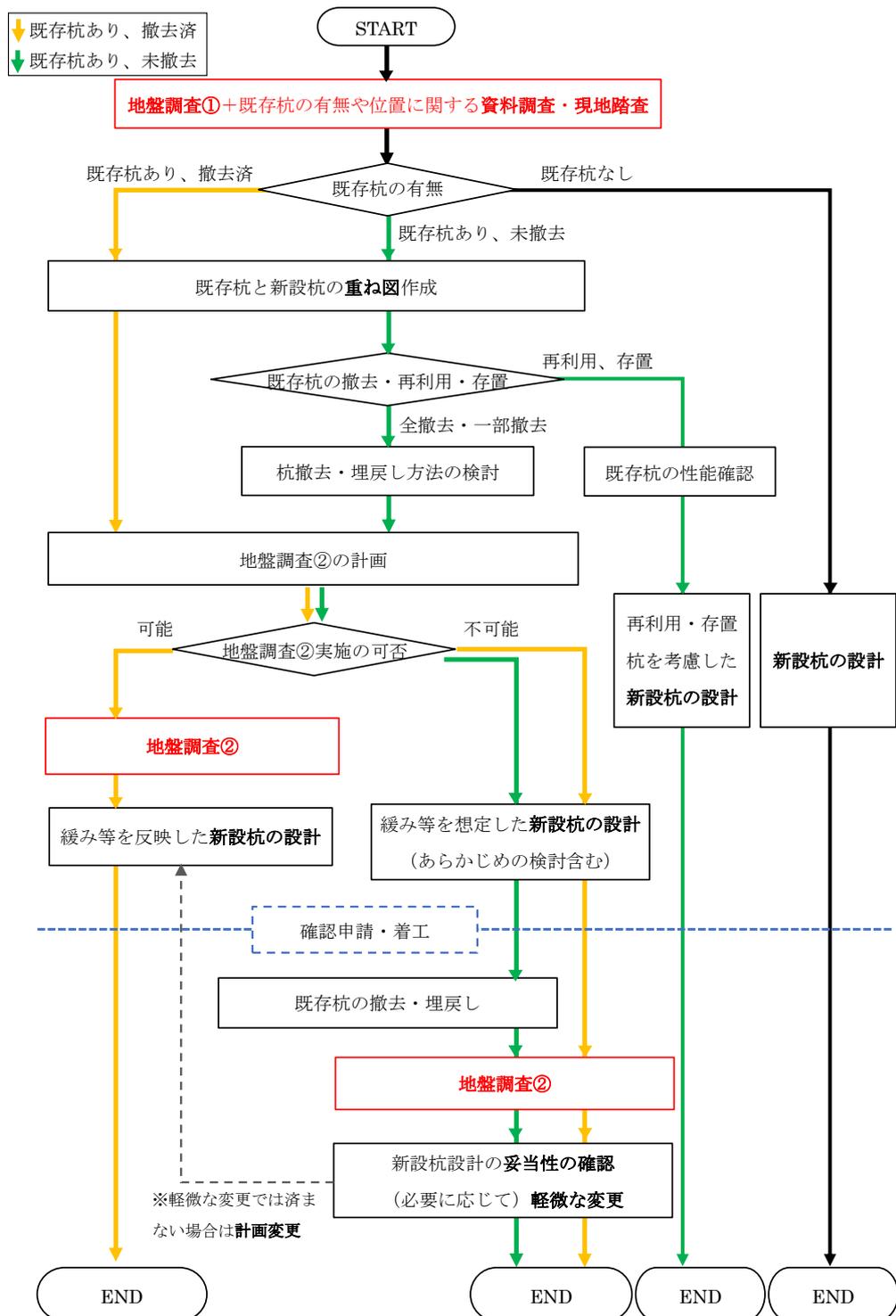


図 4.1.1 設計フロー

6) 新設杭の設計の妥当性の確認（必要に応じて）軽微な変更

着工後に杭撤去工事を行う場合や、撤去済みではあるが地盤調査②が実施できなかった場合は、着工前に策定した撤去計画および地盤調査②の調査計画に基づいて撤去孔周辺地盤の緩みと埋戻し部の充填性を調査する。その結果と新設杭の設計時における想定（あらかじめの検討）を比較し、設計の妥当性を確認する。設計時の想定を外れた場合は、軽微な変更で対応する。上部構造への影響が無視できない等で軽微な変更では対応できない場合は、上部構造を含めた再設計を行うか、緩み等の影響を小さくするための地盤改良や追加杭なども含めた基礎の設計を行い、計画変更する。なお、現状では、あらかじめの検討や軽微変更に関しては取り扱いが定まっていないため、特定行政庁や指定確認検査機関と協議が必要となる（付録6参照）。

4.1.2 新設杭の設計時の留意事項

ALLFにおけるケーシング縁切引抜工法による既存杭の撤去・埋戻しに伴う周辺地盤の緩み状況の地盤調査を実施した結果、沖積砂質土層は深さに依らず、撤去に使用したケーシング端から2～3mの範囲で地盤の緩みが確認された。また、緩みの傾向は、調査件数は少ないものの、介在する沖積粘性土層や洪積粘性土層等の調査においても確認された。オールケーシング破碎撤去工法においても、沖積砂質土層は同様の緩みの傾向が観測されている（2章参照）。さらに、経年（撤去2年後）による緩み量の変化を調査したところ、ほぼ変化がないという結果が得られている。

既存杭撤去後に新設杭を設計する際には、上記の結果を考慮し、既存杭撤去孔と新設杭の位置関係によってその影響を慎重に検討する（表4.1.1参照）。例えば、杭の許容支持力や鉛直剛性を低減することや、水平地盤反力係数を低減して建物全体の杭の負担せん断力のバランスを確認する。新設杭近傍に存置杭やしっかり充填された撤去孔がある場合には、想定以上に杭の水平剛性が高くなる場合があるので、慎重に影響を考慮する。さらに、必要に応じて地盤変形の増加の影響を考慮した応答変位法等によって杭応力を算出して安全性を確認する。

ただし、既存杭の撤去・埋戻しに伴う周辺地盤の緩みの程度や緩み領域等に関する知見は、限られた地盤条件で得られた結果であり、調査地とは異なる地盤や異なる杭種、ケーシング径の違いによる緩みの影響に関しての情報は乏しい。そのため、新設杭の設計者は地盤調査②を行うか、地盤調査②が着工前に実施できない場合は、設計時に想定した緩みの妥当性を着工後に行う地盤調査②で検証し、必要があれば軽微な変更等を行うなどの慎重さが求められる。

新設杭の先端支持力を確保するために、新設杭を既存杭の撤去・埋戻し深度より深く構築する場合には、支持層の層厚が十分であることを確認する。既存杭を撤去した後の埋戻し方法は2章に記載の通りであるが、既往の調査では、特に深部での未充填が多数報告されており、新設杭を既存杭の撤去・埋戻し深度より浅く構築する場合には、先端支持力や鉛直剛性の低下を考慮する。その際、杭の性能の根拠となる撤去孔に充填した材料の性能を明示するとともに、充填方法および充填状況の確認方法を指定することが必須である。山砂等を撤去孔に投入する工法は、充填性や地盤として

の強度・剛性が評価できない可能性が高い。流動化処理土を投入する工法においても、先端部が未固結となる事例も報告されているので充填性の確認は必須となる。

表 4.1.1 撤去杭と新設杭の位置関係による課題

分類	平面的な位置関係	課題（検討項目）
①完全重なり		<ul style="list-style-type: none"> ・水平剛性：杭周辺地盤の緩み評価必要 ・杭先端：既存杭と同深度または浅い場合は杭先端地盤の緩み評価必要 ・埋戻し部：施工性の検討 ・液状化：撤去孔周辺地盤の緩みによる局所的な液状化の検討（液状化の影響は大）
②部分重なり （半分存置される場合もある）		<ul style="list-style-type: none"> ・水平剛性：地盤の緩みと埋戻し部の剛性評価必要（方向による差異の評価が必要） ・杭先端：同上 ・埋戻し部：施工性の検討および埋戻し部の充填性管理が必要 ・液状化：同上
③近接 I （緩み領域と重なる） $0 < L \leq W$		<ul style="list-style-type: none"> ・水平剛性：同上 （方向による差異の評価が必要） ・杭先端：同上 ・埋戻し部：同上 ・液状化：同上（液状化の影響は中）
④近接 II （緩み領域と重ならない） $W < L < W + d$		<ul style="list-style-type: none"> ・水平剛性：同上 （方向による差異の評価が必要） ・杭先端：考慮不要（拡底杭や根固め部が緩み領域にかかる場合は考慮） ・埋戻し部：埋戻し部の充填性管理が必要 ・液状化：同上（液状化の影響は小）

※施工性の検討は 4.2 節を参照

既存杭を再利用する場合でも、杭の断面情報に加えて、杭体の健全性の確認も必須となる。既存杭を健全な状態のままで再利用するためには、既存躯体の解体方法も事前に十分検討する。また、再利用の際は、新設杭よりも鉛直剛性が高くなる影響^{4.1.1)~4.1.4)}も考慮して、新築躯体を慎重に設計する必要がある。

存置する既存杭の取扱いは、「既存地下工作物の取扱いに関するガイドライン（2020）」^{4.1.5)}および、2021年9月に環境省から発出された通知^{4.1.6)}を参考とする。

撤去本数が少ない場合には、既存杭の撤去・埋戻しによる地盤の緩みは撤去孔周辺地盤に限られ、敷地地盤全体の剛性に及ぼす影響は小さいと判断されるので、敷地における模擬地震動に対する影響は無視してもよい。ただし、敷地全面に既存杭があり、既存杭の撤去・埋戻しによる地盤の緩みが無視できないと判断した場合には、慎重に検討する。

4.1.3 既存杭撤去孔周辺地盤の緩み等による液状化について

地盤調査①に基づき液状化判定をした結果、「液状化の可能性が無い」と判定された地盤でも、既存杭の撤去・埋戻しによる地盤の緩みを考慮して液状化判定を行うと「液状化の可能性はある」と判定される可能性がある。そこで、既存杭撤去孔周辺の緩み領域で液状化に至る可能性と、緩み領域で液状化に至った場合の緩み領域周辺地盤に及ぼす影響を検証するために、3次元有限要素法を用いた動的有効応力解析を実施した。詳細は付録4に示すが、以下に解析で得られた知見を記載する。また、緩みによる液状化の新設杭への影響を表4.1.2に示す。

- ・緩み領域の液状化抵抗が低下し、液状化に至るような条件であった場合には、周辺地盤が液状化の可能性の低い地盤であっても緩み領域で液状化に至る。
- ・緩み領域の液状化によって上昇した過剰間隙水圧が緩み領域周辺地盤に伝播し、周辺地盤、特に複数の撤去部に囲まれた範囲で液状化に至る可能性がある。

表 4.1.2 新設杭に及ぼす液状化の影響

分類	水平剛性・水平支持力	鉛直剛性・鉛直支持力
①完全重なり	液状化の程度によって適切に低減する	液状化部分の摩擦の効果を無視する
②部分重なり	液状化による低減に加え、近接	液状化部分の摩擦の効果を無視+
③近接 I	程度による埋戻し部の性状も適	地盤の緩み+埋戻し部の状況を考
④近接 II	切に考慮して低減する	慮して低減する

ただし、上記解析は、既存杭の撤去・埋戻しによる緩みで液状化抵抗が低下するという仮定で行っており、緩みの影響による液状化抵抗の低下の度合いが正確に判明しているわけではないことに注意が必要である。

細粒分含有率が35%以下の飽和砂地盤や、粘土分含有率が10%以下、または塑性指数が15以下

の埋立地盤や盛土地盤では慎重に検討することが望ましい。

4.1.4 その他の留意事項

設計時に設定した地盤の緩みの妥当性を判断するためには、3章に記載の方法を参考に地盤調査②を計画することになるが、地盤調査②の費用は発注者に負担してもらうことになるので、調査の必要性を十分に説明して理解してもらう。また、地盤調査②の調査時期や、調査結果に伴い軽微な変更や計画変更の手続きが必要になる可能性も考慮して、発注者や施工業者と事前に綿密なスケジュールの調整を行うことが必要となる。

4.1.5 緩み等の評価方法

現状では、設計手法を確立するために必要となる既存杭の撤去・埋戻しに伴う地盤の緩み等の実測データが十分とは言えず、設計者に判断を委ねている状況となっている。付録5に、有限要素法（FEM）による地盤の緩み等を考慮した場合の水平抵抗力および周面摩擦ばねの評価例や、簡易計算による水平剛性および周面摩擦ばねや先端地盤ばねの評価例を記載する。

【参考文献】

- 4.1.1) 鬼塚充明, 長尾俊昌, 井上波彦, 大島隆司, 岩佐和史, 早川哲生: 載荷履歴を受けた場所打ちコンクリート杭の沈下剛性(その1)分析方法と結果の概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.427-428, 2022.9
- 4.1.2) 長尾俊昌, 鬼塚充明, 井上波彦, 大島隆司, 岩佐和史, 早川哲生: 載荷履歴を受けた場所打ちコンクリート杭の沈下剛性(その2)分析方法の考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.429-430, 2022.9
- 4.1.3) 岡田憲幸, 青木雅路, 林隆浩, 小林彰彦: 載荷履歴を受けた既製コンクリート杭の沈下剛性(その1)支持層厚さの影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.431-432, 2022.9
- 4.1.4) 林隆浩, 青木雅路, 岡田憲幸, 小林彰彦: 載荷履歴を受けた既製コンクリート杭の沈下剛性(その2)載荷履歴による沈下剛性の考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.433-434, 2022.9
- 4.1.5) 日本建設業連合会(日建連): 既存地下工作物の取扱いに関するガイドライン, 2020.2
<https://www.nikkenren.com/kenchiku/kizonchika.html>
- 4.1.6) 環境省: 第12回再生可能エネルギー等に関する規制等の総点検タスクフォースを踏まえた廃棄物の処理及び清掃に関する法律の適用に係る解釈の明確化について(通知) 環循適発第2109301号他, 2021.9.30
<https://www.env.go.jp/content/900532450.pdf>

4. 2 節 新設杭施工時における留意事項

4.2.1 新設杭の施工計画における基本事項

既存杭撤去により撤去孔の周辺地盤は緩む恐れはあるものの、周辺地盤の緩み自体は既製コンクリート杭・場所打ちコンクリート杭とも、新設杭施工への直接の影響は少ない。ただし、新設杭と既存杭の位置関係が表 1.2.1 に示す「②部分重なり」や「③近接 I」の場合には、孔曲りや孔壁崩壊等のトラブルが多く発生していることから、新設杭と既存杭の平面的な位置関係や深さ方向の状況を把握した上で、施工計画を立てる。施工計画の立案に関しては、「既存杭の利活用・処理における情報表示ガイドライン」^{4.2.1)} も参考となる。

(1) 重ね図の作成

既存杭の位置図と新設杭の伏図の重ね図を作成し、各々の位置を把握する。この時、既存杭は設計位置ではなく、実際に施工された位置でなければならない。また、既存杭の撤去・埋戻しを行った場合は、撤去に用いたケーシングの外径円を既存杭撤去孔として重ね図に記載し、場所打ちコンクリート杭や既製コンクリート杭の拡径部（拡底部・拡大根固め部）が干渉する場合は、拡径部径も考慮した径（以下、本節では検討対象径 d ）で対処方法を検討する。その際、新設杭と既存杭（以下、新旧杭）およびケーシングの施工精度も考慮する。

(2) 情報の収集

既存杭撤去孔や埋戻し部の近傍、または重なる位置で新設杭を施工する場合には、撤去杭や埋戻し部に関する情報をできるだけ収集することが重要である。新旧杭の位置関係のみならず、既存杭撤去前後の地盤調査資料、敷地内の地中障害物の有無、既存杭に関連する取残し物の有無、埋戻し部の出来栄えや強度分布または N 値などは、新設杭の設計だけでなく施工に関しても必要な情報である。

4.2.2 新旧杭位置別の新設杭施工時における留意事項

新設杭の施工の可否は、地表面付近における新設杭の検討対象径 d （拡径部を有する場合には検討対象径 d' ）に、鉛直度や位置ずれの施工精度を考慮して判断する。

(1) 完全重なりの場合

図 4.2.1 に新設杭が既存杭撤去孔を包含している完全重なりの場合の概念図を示す。

a) 既製コンクリート杭の場合

新設杭の掘削面内に既存杭撤去孔が包含される場合は、ケーシングを新設杭心にセットし、先行掘りを行う。この時のケーシング外径が、新設杭の通常施工掘削径以下、または新設杭の掘削径がケーシング外径より大きいのが当該工法掘削径の許容範囲内であれば、当該工法の施工指針に基づいた施工となる。既存杭撤去から連続して新設杭施工を行う場合は、撤去孔の埋戻し部の強度は、杭打機の安定度が確保できる程度でよく、新設杭が確実に掘削できるように発生土等で埋め戻しておく方法もある。

b) 場所打ちコンクリート杭の場合

新設杭の掘削面内に既存杭撤去孔が包含される場合で埋戻し部に強度が大きい部分があると、通常施工の掘削では、埋戻し部を避けるように新設杭の掘削孔が原地盤側へ孔曲りする。また、埋戻し部の強度が小さい場合や弱部があると、原地盤側を避けるように新設杭の掘削孔が孔曲りする。そのため、油圧ジャッキ、スイングジャッキまたは全周回転式掘削機を用いて、ケーシング下端面が埋戻し部下端面から 1m 程度原地盤に根入れできる長さになるよう計画することが望ましい。写真 4.2.1 にケーシング建込み機械を示す。

また、工期と費用を考慮し、新設杭の杭径以下のケーシングによる先行掘り（誘導掘削）を行う方法もある。なお、この際の埋戻し材料は、新設杭の施工性を考慮し、発生土で埋め戻しておく場合が多い。

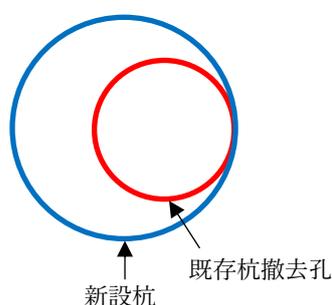


図 4.2.1 新設杭と既存杭撤去孔が完全重なる場合の概念図



写真 4.2.1 ケーシング建込み機械^{4.2.2)}

(2) 接している場合または部分重なる場合

図 4.2.2 に新設杭と既存杭撤去孔がおおよそ接している場合の概念図を、図 4.2.3 に新設杭と既存杭撤去孔の一部が重なっている場合の概念図を示す。

a) 既製コンクリート杭の場合

両者が接している、または部分重なる場合は、埋戻し部の強度の影響が大きい。埋戻し部の強度が大きい場合や強固な部分があると、埋戻し部を避けるように新設杭の掘削孔が原地盤側にずれる傾向がある。また、埋戻し部の強度が小さい場合や弱部があると、埋戻し部側にずれる傾向があ

る。その対策として、あらかじめ設置しておいた逃げ心との距離を測定する等による掘削部材の偏心量の測定や傾斜計等による傾斜量を管理しながら通常よりも低速で掘削を行う、または既存杭以深まで新設杭の掘削径以下のケーシングによる先行掘りを行って誘導孔を設けてから通常施工を行う、などの計画とする。

b) 場所打ちコンクリート杭の場合

通常より長いケーシングを使用する。ケーシングの建込み方法は、油圧ジャッキ、スイングジャッキまたは全周回転式掘削機を用い、ケーシング下端面が埋戻し部下端面から 1m 程度原地盤に根入れできる長さになるよう計画することが望ましい。

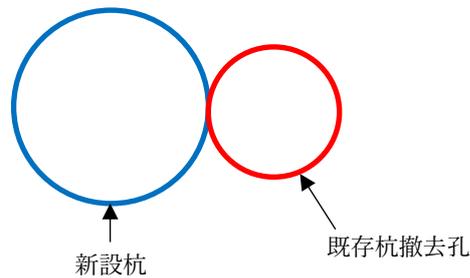


図 4.2.2 新設杭と既存杭撤去孔がおおよそ接している場合の概念図

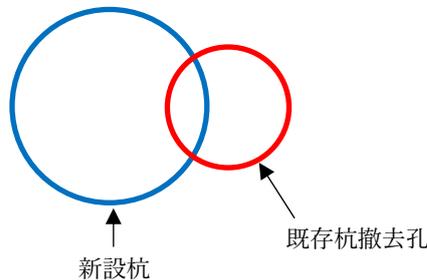


図 4.2.3 新設杭と既存杭撤去孔が部分重なりの場合の概念図

(3) 近接 I (新設杭が緩み領域と重なる) の場合

a) 既製コンクリート杭の場合

図 4.2.4 に新設杭と既存杭撤去孔の位置関係が近接 I (表 1.2.1 参照) の場合の概念図を示す。新

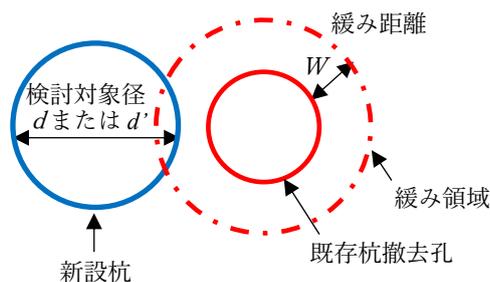


図 4.2.4 新設杭と既存杭撤去孔の位置関係が近接 I の場合の概念図

設杭位置が緩み領域と重なる場合は、既存杭撤去による地盤の緩みがあると撤去孔側に新設杭の掘削心先が偏る場合がある。このずれを防止するために、先行掘り用のケーシングや剛性の高い掘削部材を用意しておき、状況により併用施工できるように計画する。

b) 場所打ちコンクリート杭の場合

地盤の緩みの程度や新設杭と既存杭撤去孔の距離により掘削時に崩壊が生じることが懸念される場合は、油圧ジャッキ、スイングジャッキまたは全周回転掘削機を用いてケーシングの建込みを行う計画とする。

(4) 近接Ⅱ（新設杭が緩み領域と重ならない）の場合

図 4.2.5 に新設杭と既存杭撤去孔の位置関係が近接Ⅱ（表 1.2.1 参照）の場合の概念図を示す。これは距離 L が $W+d$ （または d' ）より小さい場合であるが、新設杭と既存杭撤去孔との間の距離が緩み距離 W 以上となることから、既製コンクリート杭・場所打ちコンクリート杭ともに通常施工が可能な場合が多い。ただし、施工深度が深く新旧杭の施工精度（鉛直度 1/100）を考慮した時に杭先端付近で近接Ⅰとなる恐れがある場合は、近接Ⅰとして計画する。

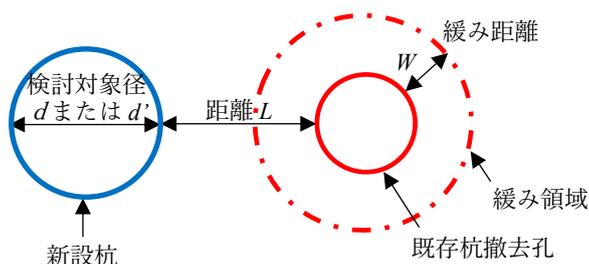


図 4.2.5 新設杭と既存杭撤去孔の位置関係が近接Ⅱの場合の概念図（ $W < L < W+d$ ）

(5) 既存杭撤去孔の中に新設杭を施工する場合

図 4.2.6 に既存杭撤去孔が新設杭を包含している場合の概念図を示す。この場合は、既製コンクリート杭・場所打ちコンクリート杭ともに、撤去孔が適切に埋戻されていることが前提となる。埋戻し部が堅固に固化している場合は、硬い地盤用の施工部材で先行掘削するなどの対策を施す。一方、埋戻しが不十分で弱部や未固化部が存在すると、新設杭掘削孔の壁面が確保されない、または

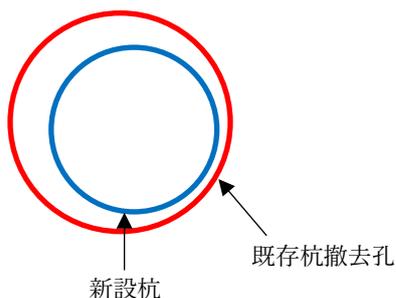


図 4.2.6 既存杭撤去孔が新設杭を包含している場合の概念図

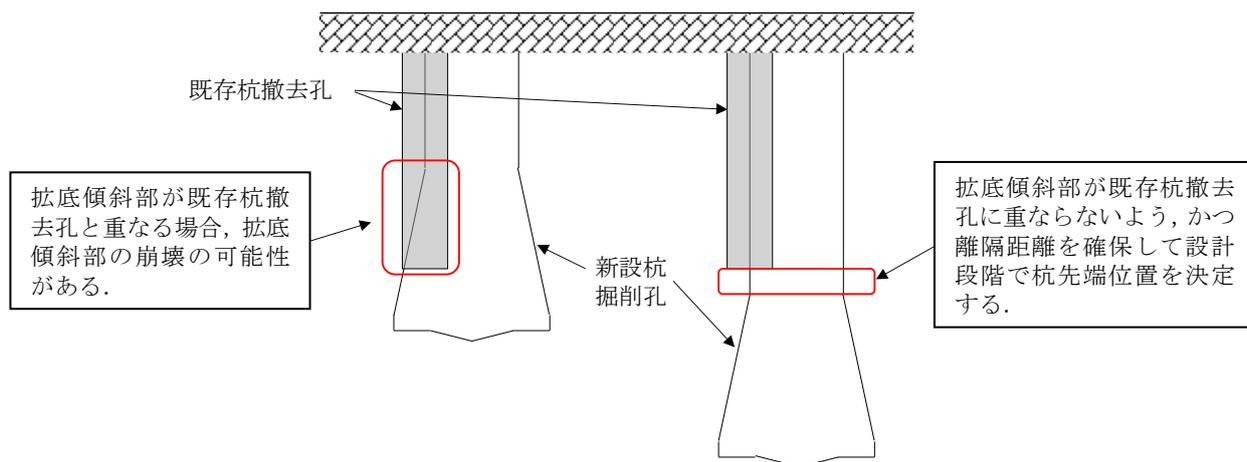


図 4.2.8 杭先端位置に関する場所打ちコンクリート膨底杭の留意事項

(7) 既製コンクリート杭の認定内容の確認について

既製コンクリート杭では、認定工法を採用している場合が多い。既存杭撤去後の新設杭打設について、認定工法の施工指針で言及している工法もあるが、所定のものからの掘削径の拡大、杭先端余掘り長さの変更、拡大根固め工法から全長拡大径でのストレート掘削への変更等、状況によっては対処方法が記載されていない場合がある。その場合は監理者等と協議となるが可能な限り構造的な検証等を実施する。

4.2.3 施工管理

(1) 既製コンクリート杭の施工管理

既存杭撤去孔と新設杭の位置関係によっては、原地盤での掘削とは異なり、異常な掘削電流値を示す場合がある（電流値が過度に大きくなる、あるいは極端に小さくなるなど）。特に支持層確認の管理を掘削電流値で行う場合は撤去孔深度より深く掘るなどにより、原地盤であることを確認する項目を事前に決めておくことが重要である。掘削電流値は施工の重要なエビデンスなので、既存杭等が原因で通常の施工データと異なる場合は「既存杭の影響による旨」を施工記録に記載するなどの対応をとる。

また、埋戻し部の硬軟により新設杭の掘削心がずれる場合があるので、新設杭掘削時には掘削ロッドのずれや傾斜を通常より細かい頻度で計測しながら施工管理を行う、あるいは孔曲り対策用の機材を用いるなどの対策をする。図 4.2.9 に孔曲り対策用機材の例を示す。

既存杭撤去孔の埋戻し状態が不良な場合、埋戻し部に空洞が生じている場合がある。この場合も、掘削電流値などのエビデンスを残し、その旨を施工記録に記載する。また、埋戻し状況により新設杭施工時に、根固め液や杭周固定液が逸液する場合は、根固め液や杭周固定液の増量や混和剤(材)の使用等逸液防止を実施する必要がある。



剛性を高めた短尺ロッド



掘削先端から受ける力(ずれる力)を掘削孔壁へ効率よく分散し、全周面より反力を得るケーシング付き掘削機材

図 4.2.9 孔曲り対策機材の例^{4.2.3)}

(2) 場所打ちコンクリート杭の施工管理

既存杭撤去孔と新設杭の位置関係によっては、埋戻し部の硬軟により掘削時の孔曲りや孔壁の崩壊が生じる可能性がある。ずれや傾斜の測定頻度を上げ、施工状況も施工記録に詳細に記載する。

また、流動化処理土や貧配合セメントミルクによる埋戻し部と干渉する際は、埋戻し材のセメント分が安定液中へ溶け込むことによる安定液の劣化が生じるため、安定液の経時変化を日々確認する必要がある。

埋戻し部に空洞が生じている場合は、通常より長いケーシングを用いてもケーシング引抜き後に空洞部にコンクリートが流入し、安定液を巻き込んだ脆弱なコンクリート部が生じる場合や余盛り不足が生じる可能性があるため慎重な施工が必要である。

アースドリル工法による施工時において、掘削時の孔曲りが生じた際、アースドリル掘削機にて修正掘削を行う場合が多いが、その際はケリーバへの負担が大きくなり、破損する恐れもあるため、新規掘削区間を短くする、あるいは掘削トルクの上限を定めるなど、適切な施工方法を立案することが重要である。

【参考文献】

- 4.2.1) 建築基礎・地盤技術高度化推進協議会：既存杭の利活用・処理における情報表示ガイドライン，2023.2
- 4.2.2) 地盤工学会関東支部：既存杭の撤去埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工，p.118，2022.6
- 4.2.3) 木谷好伸：既製コンクリート杭の施工上の留意事項，基礎工，Vol.50，No.10，pp.17-22，2022.10

第5章 残された課題

本ガイドラインは、既存杭の撤去・埋戻しを行った地盤に、新設杭を計画する場合に考慮すべき地盤調査の追加事項を、関連する新設杭の設計・施工上の留意事項と合わせて示したものである。

既存杭の撤去・埋戻しに伴う埋戻し部とその周辺地盤の緩みに関する調査事例はほとんど無い。本ガイドライン作成に当たっては、国土交通省の助成事業^{注1)}を受けて、既存杭撤去工事に伴う埋戻し部と周辺地盤の緩みに関する地盤調査を実施した。調査結果と関連して実施した解析結果から、下記の成果が得られた。

- 1) 既存杭撤去に伴い周辺地盤は、地盤や撤去工法の違いも考えられるが緩む可能性がある。
- 2) 埋戻し方法は、撤去工法に応じて、攪拌方法も含めていろいろな方法が提案されている。しかし、均質に埋め戻すのは難しい場合が多い。埋戻し部の調査を行い、新設杭の設計・施工に反映させることが望ましい。
- 3) 既存杭の撤去に伴い緩んだ周辺地盤と原地盤との違いを新設杭の設計に反映させる必要があるかの解析的検討を行い、参考となる知見を得た。
- 4) 新設杭が、杭撤去に伴う緩み領域や埋戻し部に重なりまたは近接した位置に計画された場合、設計上のリスクや施工上のトラブルの可能性はある。

これらの成果に基づき、「既存杭の撤去・埋戻しを考慮した地盤調査ガイドライン」をまとめた。本書は下記の5章の構成で作成された。各章の記載内容と残された課題を示す。

第1章「総則」では、目的、適用範囲、用語の定義を示している。本書の適用範囲として、新設杭と既存杭が平面上で重なるあるいは近接している場合を対象とし、新設杭は既存杭の撤去・埋戻し深度よりも十分に深く計画することを原則としている。そして、新設杭と既存杭撤去孔間の距離 L が、 $L < W + d$ (W : 緩み距離, d : 新設杭の軸部径) の場合を重なりや近接する場合と定義している。実施した調査では、緩み距離 W は2~3mとなっている。緩み領域は、既存杭の仕様、地盤条件、撤去工法等によっても異なると考えられる。今後、緩み領域の検討条件の決め方や精度の検証が望まれる。

第2章「既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響調査」では、撤去・埋戻し方法の概要を示し、実施した周辺地盤と埋戻し部に関する調査結果とその傾向を示した。標準貫入試験以外の調査方法でも、換算 N 値として同様に緩みの程度を評価できることを示している。周辺地盤の緩みに関しては、地盤種別や撤去工法の違い、 N 値や変形係数等の地盤定数ごとの整理も示している。今後、地盤種別（沖積・洪積、砂質土・粘性土）や異なる撤去工法での同様な調査を実施し、緩みの傾向把握のより充実が望まれる。

第3章「地盤調査計画」では、既存杭の撤去・埋戻しを考慮した地盤調査として、地盤調査フローと撤去杭近傍の地盤調査のポイントと留意事項を示した。既存杭が撤去された敷地地盤は、原

地盤と異なる可能性があることから、一般的な地盤調査（地盤調査①）の他に、既存杭撤去に伴う地盤の緩みの程度を把握する地盤調査「緩み等地盤調査（地盤調査②）」を行うこととし、緩み等地盤調査（地盤調査②）の地盤調査位置、方法、調査結果の整理方法を提案している。今後この考え方に対する地盤条件、既存杭の種類や深度、撤去・埋戻し方法の影響等に関する適用性のさらなる検証が望まれる。

第4章「新設杭設計・施工上の留意事項」では、緩み領域を考慮した新設杭の設計の考え方や設計フローと留意事項ならびに施工計画における考え方と留意事項を示した。

設計に関する対応として、既存杭撤去孔に重なるあるいは近接した場合の新設杭は、周面摩擦や水平抵抗、場合によっては液状化の有無において、埋戻し部や緩み領域の影響を考慮することが必要となる。ただし、設計段階では既存杭が未撤去の場合や地盤調査②が実施できない場合もある。

「あらかじめの検討」や「軽微な変更」も考慮した設計フローを示している。また、参考として条件を限定した場合であるが、解析的検討結果に基づく影響度合いも付録5に示している。今後、周辺地盤の緩みに対する地盤条件、既存杭の種類や深度、撤去・埋戻し方法の影響等に関するさらなる検討や適用性の検証が望まれる。また、地盤の緩みに対する新設杭の鉛直や水平支持性能への影響を現場載荷試験による検証も今後の課題と考えられる。既存杭の撤去・埋戻し地盤における「あらかじめの検討」や「軽微な変更」は未整備である。現状考えられる留意事項は付録6を参照されたい。

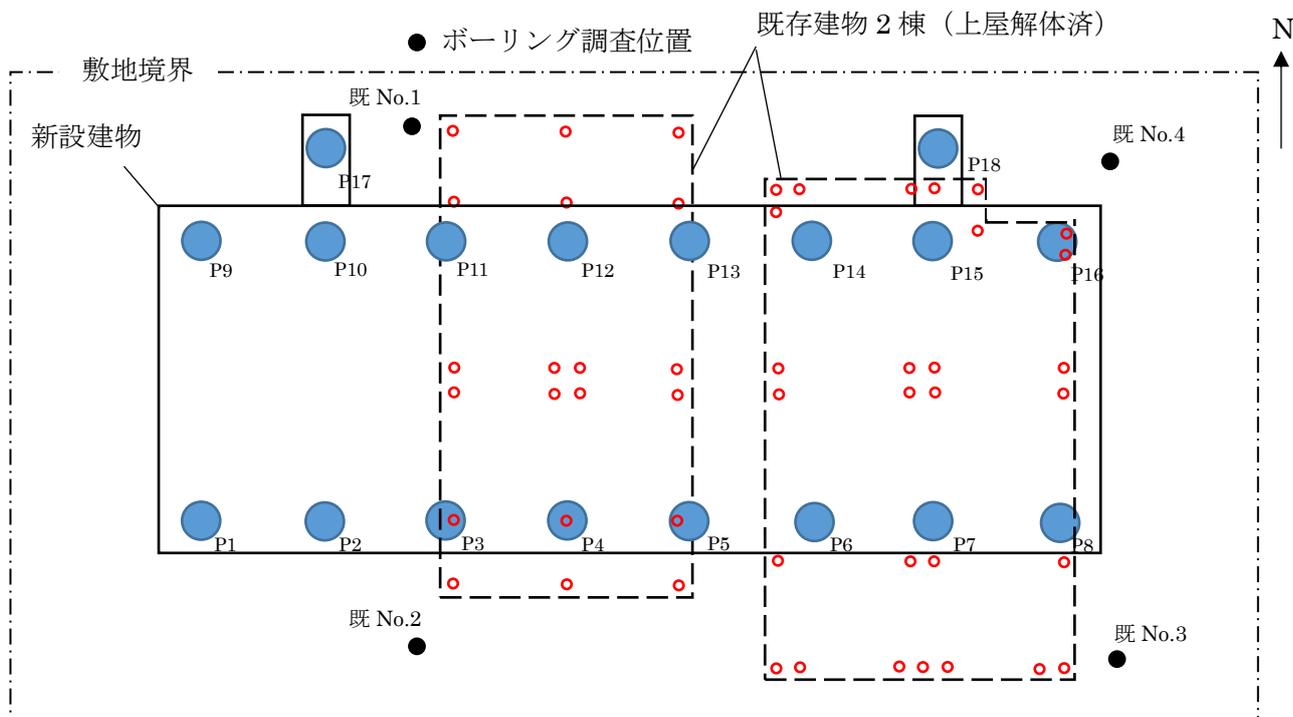
施工に関する対応として、周辺地盤の緩み自体は新設杭施工への直接の影響は少ないと考えられることから、表1.2.1で示した完全重なり・部分重なりや近接Ⅰの場合に、施工計画の検討で位置関係を把握し対処方法を検討することとしている。対処方法としては、先行掘りや通常より長いケーシングの使用等が提案されている。ただし、過去の施工時のトラブル事例は、既存杭の撤去方法や埋戻し部の状況が不明な地盤での対応が多い。今後、既存杭の撤去・埋戻し状況を含む地盤情報との対応を考慮したトラブルの把握と対処方法の検証が望まれる。

第5章「残された課題」では、上記の通り、第1章から第4章の実施内容の成果と残された課題を示した。既存杭撤去・埋戻しに関しては、まだ、不明解な点が多くガイドラインを作成できるだけの知見が集まっていないとの意見もある。ただし、実際の工事で対応が必要な場合が多々生じていることから、現状の成果をまとめるとともに、使用に当たっての注意事項として残された課題を記載した。

注1) 令和2年度～令和4年度 住宅・建築生産性向上促進事業（うち、住宅生産技術イノベーション促進事業）「建築物の建て替えに伴う基礎杭の引き抜き処理地盤の評価技術に関する開発」提案代表者 ALLF 会長 中井正一 一般社団法人建築基礎・地盤技術高度化推進協議会（ALLF）

付録 1 地盤調査計画の例

杭基礎による既存建物 2 棟の解体撤去を行い，新設建物を 1 棟計画する（付図 1.1 参照）．既存建物の上屋のみ解体済で，解体時に既存杭の平面位置を確認している．新設杭の設計に際しての地盤調査計画を以下に示す．



付図 1.1 既存杭と新設杭の重ね図（○：既存杭，●：新設杭）

1. 計画概要

- ・新設建物

用途：共同住宅，階数：地上 12 階

- ・新設杭

杭種：場所打ちコンクリート杭（拡底杭），軸径 2.2m（共通），本数 18 本
支持杭とし，既存杭下端深度より新設杭の先端深度は十分に深くする．

- ・既往の地盤調査

既往ボーリング調査有り（付図 1.1 に示す既 No.1～既 No.4 の 4 本）

代表ボーリング柱状図を付図 1.2 に示す．

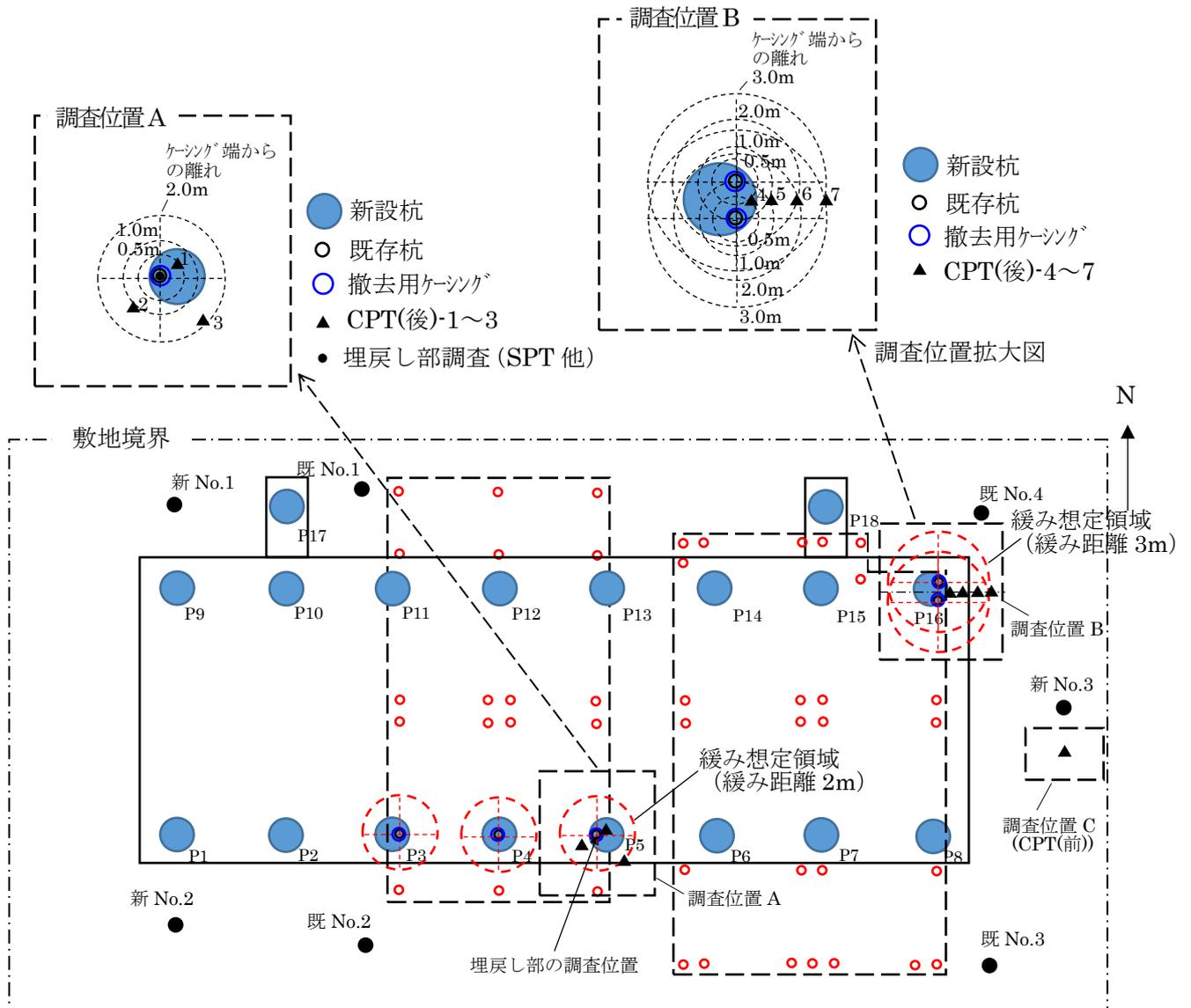
当敷地の地層構成はほぼ水平成層であり，また，液状化発生の可能性は低い結果となっている．

- ・既存杭調査

既存建物の設計図書有り

杭種：既製コンクリート杭（PHC 杭），杭径 0.5m，杭長 9.5m，本数 48 本，摩擦杭

- i) 新設杭と重なる既存杭は撤去する。重なり判断として、新設杭と既存杭の施工鉛直精度 (1/100) を考慮する。
- ii) 緩みによる N 値の低下により、細砂層においては液状化発生の可能性が生じる。新設杭の設計、敷地の地盤性状および敷地外に大きな影響を与える可能性があるため、上記 i) の既存杭を除き、存置する。



付図 1.3 地盤調査位置と既存杭の撤去・存置の区別 (○: 撤去, ●: 存置)

4. 既存杭の撤去・埋戻し方法の計画

既存杭の径と長さおよび既往ボーリング柱状図を考慮し、以下の計画とした。

- ・撤去方法：ケーシング縁切引抜工法，撤去用ケーシング径 0.8m
- ・埋戻し方法：既存杭引抜後にスクリーオーガを挿入して、オーガ先端からセメントミルクを注入し、スクリーオーガ上下のターニングによる機械攪拌を行う。

埋戻し部の目標強度 200~500kN/m²

5. 緩み等地盤調査（地盤調査②）の計画

既存杭の平面位置は、上屋解体時に確認している。

5.1 緩み等の想定

- ・緩み：ケーシング端からの離れ 0.5m で低減係数 0.5
 ケーシング端からの離れ 2m で低減係数 1.0（既存杭 1 本撤去の場合）
 ケーシング端からの離れ 3m で低減係数 1.0（既存杭 2 本撤去の場合）
 なお、緩みの影響範囲（緩み距離 2m または 3m）は、ALLF で実施した調査事例での値 2.0m～3.0m を参考に想定した。
- ・埋戻し部：一軸圧縮強さ 200～500kN/m²

5.2 緩み等の調査位置と方法

調査地点は既存杭の撤去本数を考慮し、以下の 3 地点とした。調査位置を付図 1.3 に、調査方法を付表 1.1 に示す。緩みの調査方法は工程を踏まえ、短時間で調査できる電気式コーン貫入試験（CPT）とした。また、埋戻し部の調査方法は乱れの少ない試料のサンプリング（3 深度）による一軸圧縮試験とし、サンプリングを実施しない深度では標準貫入試験（SPT）を行うこととした。

- ・調査位置 A（新設杭 P5 位置（既存杭 1 本撤去））
- ・調査位置 B（新設杭 P16 位置（既存杭 2 本撤去））
- ・調査位置 C（撤去前調査として、緩みの影響が及ばない地点）

付表 1.1 調査方法

調査項目	調査位置		調査方法	調査深度*1	
緩みの影響	A	撤去用ケーシングからの離れ 0.5m	電気式コーン貫入試験（CPT）	CPT(後)-1	13m
		撤去用ケーシングからの離れ 1.0m		CPT(後)-2	11m
		撤去用ケーシングからの離れ 2.0m		CPT(後)-3	11m
	B*2	撤去用ケーシングからの離れ 0.5m		CPT(後)-4	13m
		撤去用ケーシングからの離れ 1.0m		CPT(後)-5	11m
		撤去用ケーシングからの離れ 2.0m		CPT(後)-6	11m
		撤去用ケーシングからの離れ 3.0m		CPT(後)-7	11m
	C（撤去前調査）			CPT（前）*3	13m
埋戻し部の強度	A	埋戻し部の中央	標準貫入試験（SPT） 一軸圧縮試験	13m (サンプリング深度 3,6,9m)	

*1：調査深度は撤去用ケーシングの下端深度である 11m とした。ただし、離れ 0.5m の CPT は 2m 深い 13m とした。また、埋戻し部の中央では埋戻し下方の原地盤の土質確認を行うため、深度 13m とした。

*2：調査位置 B では既存杭 2 本撤去のため、離れ 3.0m を追加した。

*3：調査時期は、CPT(後)と同じ。

6. 地盤調査②の結果確認

6.1 緩みによる細砂層の低減係数

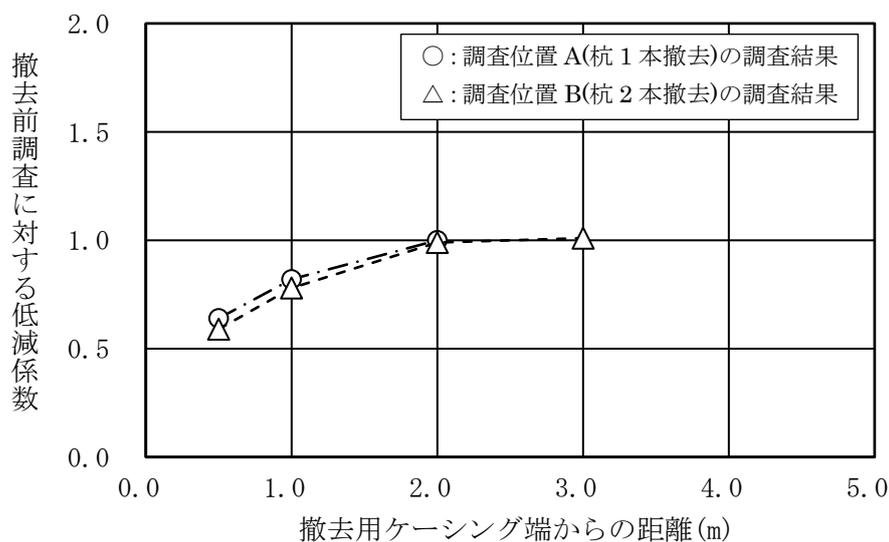
調査位置 A（既存杭 1 本撤去）および B（既存杭 2 本撤去）において実施した CPT の調査結果から、地層区分（細砂層）の低減係数を下式で算定し、付図 1.4 により以下の確認を行う。

$$\text{低減係数} = \frac{\text{撤去後調査における細砂層の平均換算 } N \text{ 値 (CPT(後))}}{\text{撤去前調査における細砂層の平均換算 } N \text{ 値 (CPT(前))}}$$

- ・ 離れ 0.5m における低減係数が 0.5 以上であること
- ・ 低減係数が 1.0 となるケーシング端からの離れ（距離）が 2m または 3m 以内であること

6.2 埋戻し部の強度

想定した強度（200～500kN/m²）であることを確認する。



付図 1.4 ケーシング端からの距離と低減係数の関係（想定図）

付録2 ALLF で実施した地盤調査

ALLF では、令和元年度に実施した「草加」・「船橋」での地盤調査以降、令和4年度までに「5 サイト・8回」の地盤調査を行った。これまでに実施した8回の地盤調査概要を付表2.1に示す。各調査時の調査内容・調査地点の配置・調査結果等の詳細は、別途の「既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響検討を行うための地盤調査 実施成果とりまとめ報告書」を参照されたい。次ページに報告書の目次を示す。

付表2.1 ALLFで実施した地盤調査概要

調査年度	調査サイト	調査区分 (撤去前/撤去後)	調査内容と主な調査手法 1)地盤の緩み影響評価 2)埋戻し部の性状評価	備考
令和元年 (2019)	草加	— 撤去後	1): BOR 2): BOR	・撤去前調査は、既存建築物設計時の地盤調査結果を利用 (調査敷地は会員企業より提供)
	船橋	撤去前 撤去後	1): CPT	-
令和2年 (2020)	稲敷	撤去前 撤去後	1): BOR, CPT等 2): BOR	【補助金 および 総プロ連携】 ・調査のために試験杭(4本)設置 ・撤去前調査は杭設置前に実施 ・試験杭1本を撤去 ・総プロで杭の載荷試験を実施
	北川辺 (加須)	撤去前 撤去後	1): BOR, CPT等 2): BOR	【補助金】 ・各種試験用に杭を設置してあるサイトを借りて実施
令和3年 (2021)	稲敷 (2回目)	— 撤去後	1): BOR, CPT等 物理探査	【補助金】 ・R2の設置杭のうち3本を撤去
	草加 (2回目)	— 撤去後	1): BOR	【補助金】 ・杭撤去・埋戻し後の変化確認
令和4年 (2022)	稲敷 (3回目)	撤去前 撤去後	1): BOR, CPT等	【補助金】 ・新たに試験杭を設置 ・過去の試験の影響のない箇所で実施
	福岡	撤去前 撤去後	1): BOR, 物理探査	【総プロ連携・公募発注】 ・建物解体時に実施

BOR：ボーリングおよびボーリング孔を利用した原位置試験・サンプリング・室内試験等

CPT：電気式コーン貫入試験

CPT等：CPTに加えSDS・HCPT等のサウンディング試験

SDS スクリュードライバー・サウンディング試験

HCPT 羽根付きコーン貫入試験

補助金：住宅生産技術イノベーション促進事業の補助金を申請・受領して実施

総プロ：国土交通省総合技術開発プロジェクト

「建築物と地盤に係る構造規定の合理化による都市の再生と強靱化に資する技術開発」

既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響検討を行うための地盤調査 実施成果とりまとめ報告書

目次

第1章 実施内容

第2章 地盤調査結果

- 2.1 令和元年度（2019） 草 加
- 2.2 令和元年度（2019） 船 橋
- 2.3 令和2年度（2020） 稲 敷
- 2.4 令和2年度（2020） 北川辺（加須）
- 2.5 令和3年度（2021） 稲 敷
- 2.6 令和3年度（2021） 草 加
- 2.7 令和4年度（2022） 稲 敷
- 2.8 令和4年度（2022） 福 岡

巻末資料-1	令和元年度	草 加	撤去後調査 / (調査案件A)
巻末資料-2	令和元年度	船 橋	撤去前調査・撤去後調査 / (調査案件B)
巻末資料-3	令和2年度	稲 敷	撤去前調査・撤去後調査 / (調査案件C)
巻末資料-4	令和2年度	北川辺（加須）	撤去前調査・撤去後調査 / (調査案件D)
巻末資料-5	令和3年度	稲 敷	撤去後調査 / (調査案件C2)
巻末資料-6	令和3年度	草 加	撤去後調査 / (調査案件A2)
巻末資料-7	令和4年度	稲 敷	撤去前調査・撤去後調査 / (調査案件C3)
巻末資料-8	令和4年度	福 岡	撤去後調査 / (調査案件E)

付録3 緩みの要因に関する考察

既存杭撤去工法のうち、ALLFでは代表的な縁切引抜工法に分類されるケーシング縁切引抜工法および破碎撤去工法に分類されるオールケーシング破碎撤去工法を対象に撤去孔周辺地盤の調査を行った。その結果、周辺地盤に緩みが生じることが確認された。

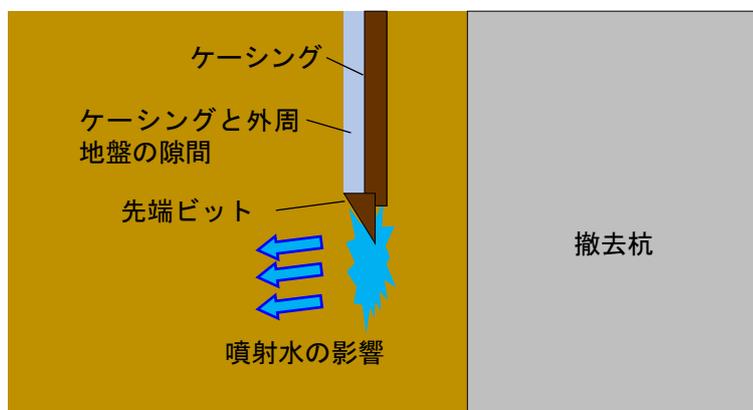
以下、両工法の施工工程ごとに緩みが発生する要因について整理した。

(1) ケーシング縁切引抜工法

ケーシング縁切引抜工法により周辺地盤の緩みが発生する要因を、2.1節「撤去・埋戻し方法の概要」図2.1.5で示した施工手順に対応させて整理した。

①ケーシング削孔時

ケーシング削孔時には付図3.1に示すように、ケーシング先端から水を噴射している。この噴射による水圧変化が周辺地盤へ影響を与えている可能性がある。また、ケーシング先端の外周部には削孔用のカッタービットなどが設けられており、ケーシング外面から削孔範囲までには隙間ができる。ケーシングが貫入されている場合でも周辺地盤が掘削側（撤去杭側）に変位可能な状態である。なお、ケーシングには撤去杭を確認するための孔が開いており、地下水の遮水効果はないため、ケーシング内外の地下水位は同じと考えられる。さらにケーシング内に地下水と共に土砂が流入することで、周辺地盤を緩める可能性もある。



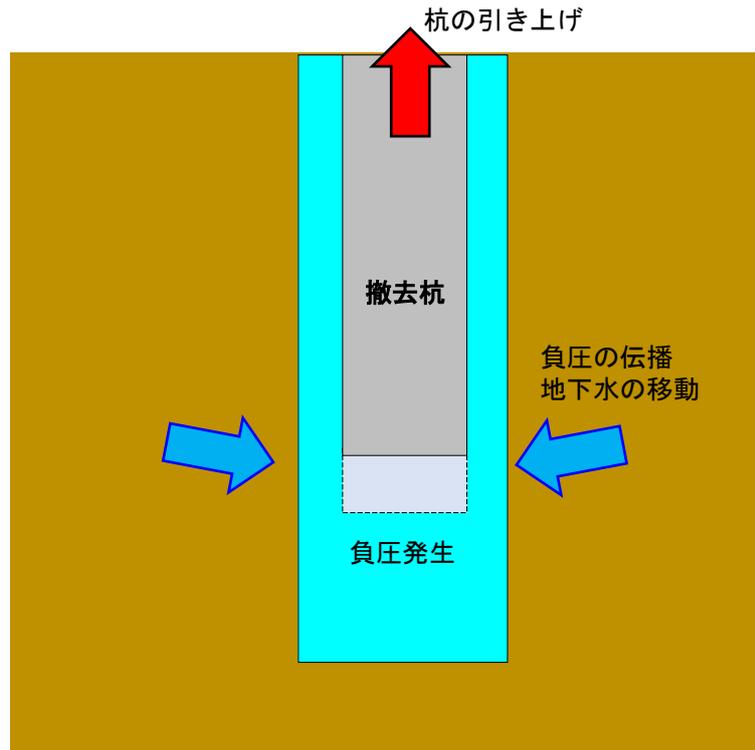
付図 3.1 ケーシング削孔時における緩みの要因

②ケーシング引上げ時

撤去孔を保護していたケーシングを引き抜くと、孔壁を保護する要素がなくなるため、応力解放によって孔壁および周辺地盤が変位し、地盤の緩みが生じる可能性がある。

④撤去杭の引抜き時

撤去杭を引き上げる際に、孔内泥水に負圧が発生していることが考えられる（付図3.2）。この負圧によって周辺地盤の地下水を吸い込むことで地下水の移動が起こる。土粒子も移動するため、密度が低下（緩み）する可能性もある。



付図 3.2 撤去杭引き上げ時における緩みの要因

⑤～⑥埋戻し，攪拌時

機械攪拌等により周辺の地下水を巻き込むことで，④撤去杭の引抜き時と同様に地下水の移動によって撤去孔外側の周辺地盤が乱されるだけでなく，埋戻し部が完全に固化するまで数日を要するため，その期間中は周辺地盤が孔内へ変位することは可能である．また，埋戻し部の固化不良につながる可能性がある．

(2) オールケーシング破砕撤去工法

オールケーシング破砕撤去工法により周辺地盤の緩みが発生する要因を，2.1 節「撤去・埋戻し方法の概要」図 2.1.6 で示した施工手順に対応させて整理した．

①ケーシング挿入時

ケーシング先端に削孔用のカッタービットを装着し，ケーシングを回転圧入させるため，せん断応力の伝達による地盤の乱れの可能性が考えられる．

②撤去杭の破砕，掘削撤去時

撤去杭の破砕，掘削撤去の工程では，ケーシングにより孔壁保護を行っているため，直接地盤を緩める可能性は低い．ただし，掘削撤去によって一時的に孔内水位が低下するため，ケーシング先端から地下水が回り込むような地下水の移動が起こる可能性はある．

④～⑦埋戻し，ケーシング撤去時

ケーシングの引抜きは，通常埋戻し天端レベルより抜き出すことはないため，孔壁がフリーな状況とはならない．ただし，一般的に埋戻しに用いる材料（流動化処理土など）は杭施工時のコンクリートに比べて比重・粘性が小さいため，固化過程で孔壁が内側へ変形する可能性がある．

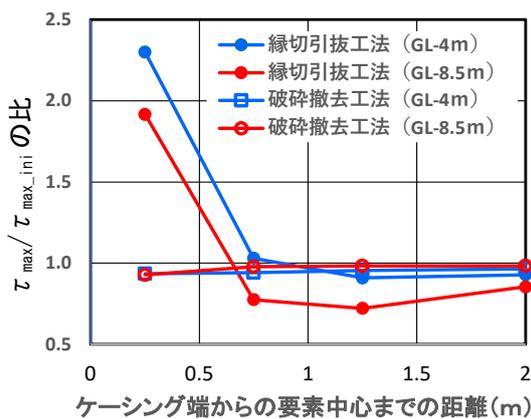
(3) 有限要素法による緩みの要因解明に関する検討

既存杭の撤去・埋戻しによる緩みについて、緩み（強度低下）の発生メカニズムの解明を目的とした解析を実施した^{付 3.1), 付 3.2)}。解析は有限要素法を用いた弾塑性解析とし、弾塑性の構成則は Subloading t_{ij} モデル^{付 3.3)} を用いた。茨城県稲敷市（2020 年，2022 年）での調査事例を対象とし、2次元軸対称条件・水～土連成解析（2相系）で実施した。

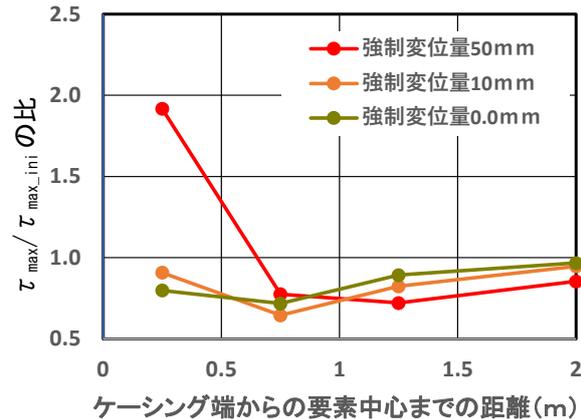
解析は縁切引抜工法，破碎撤去工法を対象とし，それぞれの施工工程毎に解析ステージを設定した。縁切引抜工法の撤去杭引抜き工程では，引き抜かれた杭の体積分だけ周りの間隙水，泥水あるいは流動化処理土が流入すると考えられるが，解析では間隙水の移動を考慮することができないため，間隙水の移動によって地盤が変位すると仮定して，孔壁に強制変位を与えることで模擬している。強制変位の大きさは撤去杭の引上げ速度に対応し，高速：変位大，低速：変位小である。

付図 3.3 に GL-4.0m (As1 層)，GL-8.5m (As2 層) のせん断応力最大値の変化割合 ($\tau_{max}/\tau_{max_ini}$) とケーシング端からの距離との関係を示す。縁切引抜工法では，ケーシング端から 0.25m の値は強制変位 (50mm) のアーチ効果による影響で増加するが，0.5m より外側で低下が見られた。低下は，0.5～1.5m 程度の範囲で，GL-4.0m では 1 割程度，GL-8.5m では 2～3 割程度であった。一方，破碎撤去工法の値は，GL-4.0m，GL-8.5m とともにほとんど低下が見られない。ただし，2.2.2 項「ALLF での周辺地盤の調査事例」で示した破碎撤去工法における調査事例では，撤去孔近傍での緩みが確認されている。今後，さらなる調査・検討が必要と考える。

付図 3.4 に縁切引抜工法での強制変位量を変えた解析結果を示す。強制変位量がゼロ (0.0mm) の場合や 10mm の場合でも， $\tau_{max}/\tau_{max_ini}$ は，強制変位 50mm と同様に生じる。ただし，ピークはケーシング位置に近づくようである。また，アーチ効果が小さくなるため，ケーシング近傍の $\tau_{max}/\tau_{max_ini}$ の増加は見られない。

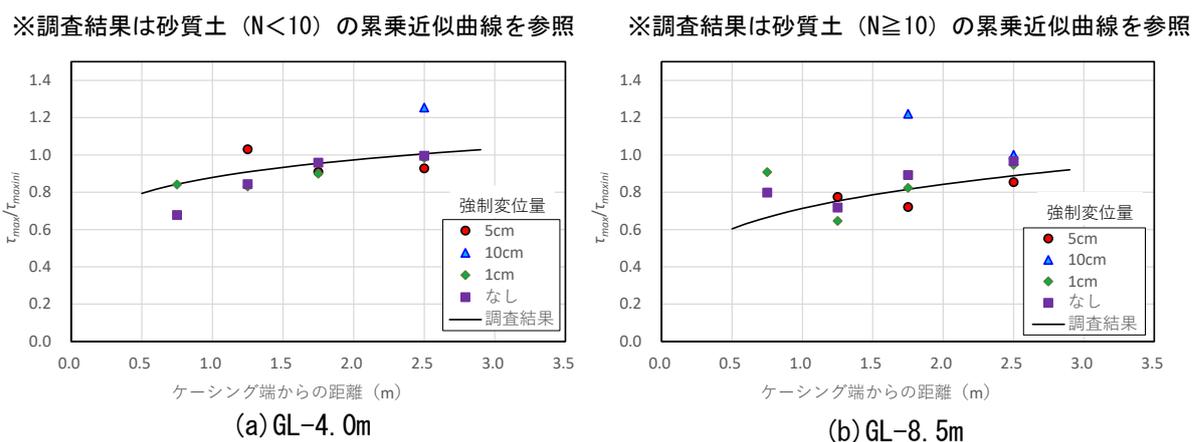


付図 3.3 せん断応力最大値の変化割合 ($\tau_{max}/\tau_{max_ini}$) とケーシング端からの距離



付図 3.4 縁切引抜工法での $\tau_{max}/\tau_{max_ini}$ における強制変位量の影響 (深度 GL-8.5m)

付図 3.5 は、2.3.1 項「周辺地盤の調査結果のまとめ」図 2.3.5 に示される砂質土における N 値の低減係数の累乗近似曲線に本解析結果（縁切引抜工法）のせん断応力最大値の変化割合（ $\tau_{max}/\tau_{max_ini}$ ）をプロットしたものである。解析結果は初期強度が小さい GL-4.0m に比べて初期強度の大きい GL-8.5m の強度低下が大きい結果となった。地盤調査結果と比較すると、GL-4.0m の結果は N 値 10 未満での N 値低下率の累乗近似曲線と、GL-8.5m の結果は N 値 10 以上での累乗近似曲線とよく対応しており、初期強度（ N 値）が大きい方が緩みの度合いが大きい結果となった。



付図 3.5 縁切引抜工法の調査事例と解析結果の比較

【参考文献】

- 付 3.1) 金田一広，青木雅路，新井寿昭，沼田俊輔，高橋順一，二木幹夫：既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響（緩み）に関する研究（その 15）周辺地盤の弾塑性有限要素解析（解析法の検討），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.577-578，2023.9
- 付 3.2) 青木雅路，金田一広，田口智也，尻無濱昭三，松江繁尚，山本裕司：既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響（緩み）に関する研究（その 16）周辺地盤の弾塑性解析（施工過程を考慮した tij モデルによる解析例），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.579-580，2023.9
- 付 3.3) 中井照夫：巨視的及び微視的観点から見た tij の概念の意義，地盤工学会誌，pp.18-21，2018.7

付録4 既存杭撤去・埋戻し地盤における液状化可能性評価のための有効応力解析

(1) 背景・目的

既存杭撤去・埋戻しにより周辺地盤が緩むことが地盤調査によって明らかになった。周辺地盤が砂質土である場合、緩みにより N 値が低下することで、液状化判定を行った結果、液状化の可能性ありと判定される可能性がある。しかし、緩みが生じる範囲（緩み領域）は撤去杭の周辺という限定された範囲であり、緩み領域外で液状化の可能性なしである場合に緩み領域で液状化に至るかどうかは定かではない。また、緩み領域で液状化が発生した場合に、その過程で上昇した間隙水圧が緩み領域外の周辺地盤に与える影響は明らかでない。

そこで、以下に関する知見を得ることを目的として、各種パラメータを調整した 3次元 FEM 有効応力動的解析を行った。

- 1) 周辺地盤が液状化しない状態で、緩み領域が液状化するか
- 2) 緩み領域が液状化した場合、その影響（間隙水圧の上昇）が緩み領域外の周辺地盤へ伝播するか
- 3) 上記によって周辺地盤で液状化に至ることがあるか

(2) 解析概要

埋戻し部と緩み領域を円柱で表現した 3次元モデルを作成し、緩み領域とその周辺地盤の材料特性や、埋戻し部の数（撤去杭の本数）などを変えた解析を行う。なお、モデルは対称性を考慮して 1/2 モデルとした。

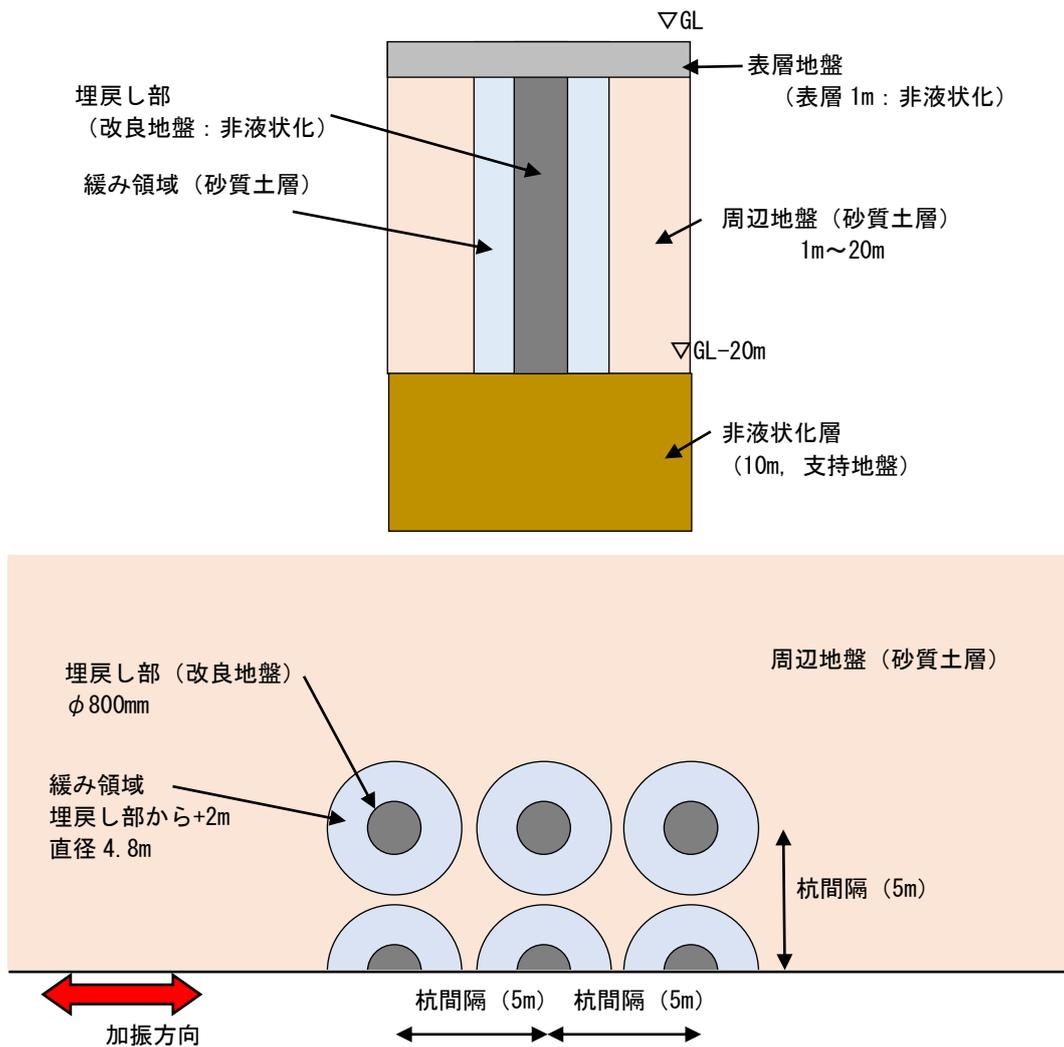
解析ケース、解析モデルのイメージ図を付表 4.1、付図 4.1 に示す。なお、ケース 0 に関しては、各種地盤定数（①全く液状化しない、②ギリギリ液状化しない、③液状化する（大））における基本的な応答値を確認するため、ソリッド要素を用いた 1次元動的解析により、複数ケース行うものとする。

入力地震波は告示波（位相：乱数 L1）とし、ケース 0 にて地表面で 200gal 程度の加速度となるよう調整（2.1 倍）した波形をモデル底面の粘性境界から水平 1 方向（X 方向）に入力する。加振時間はケース 0 が 90sec、ケース 1～4 は 60sec とした。

解析の詳細は文献^{付 4.1), 付 4.2)} を参照されたい。

付表 4.1 解析ケース

No.	周辺地盤	緩み領域	撤去杭本数	杭撤去埋戻し部	知りたいこととの対応
ケース0	パラメータ設定	—	—	—	比較ケース
ケース1	①全く液状化しない	③液状化 (大)	1本	剛性高い	1)
ケース2	①全く液状化しない	③液状化 (大)	1本	剛性低い	1)
ケース3	①全く液状化しない	③液状化 (大)	9本	剛性低い	2)
ケース4	②ギリギリ液状化しない	③液状化 (大)	9本	剛性低い	2), 3)

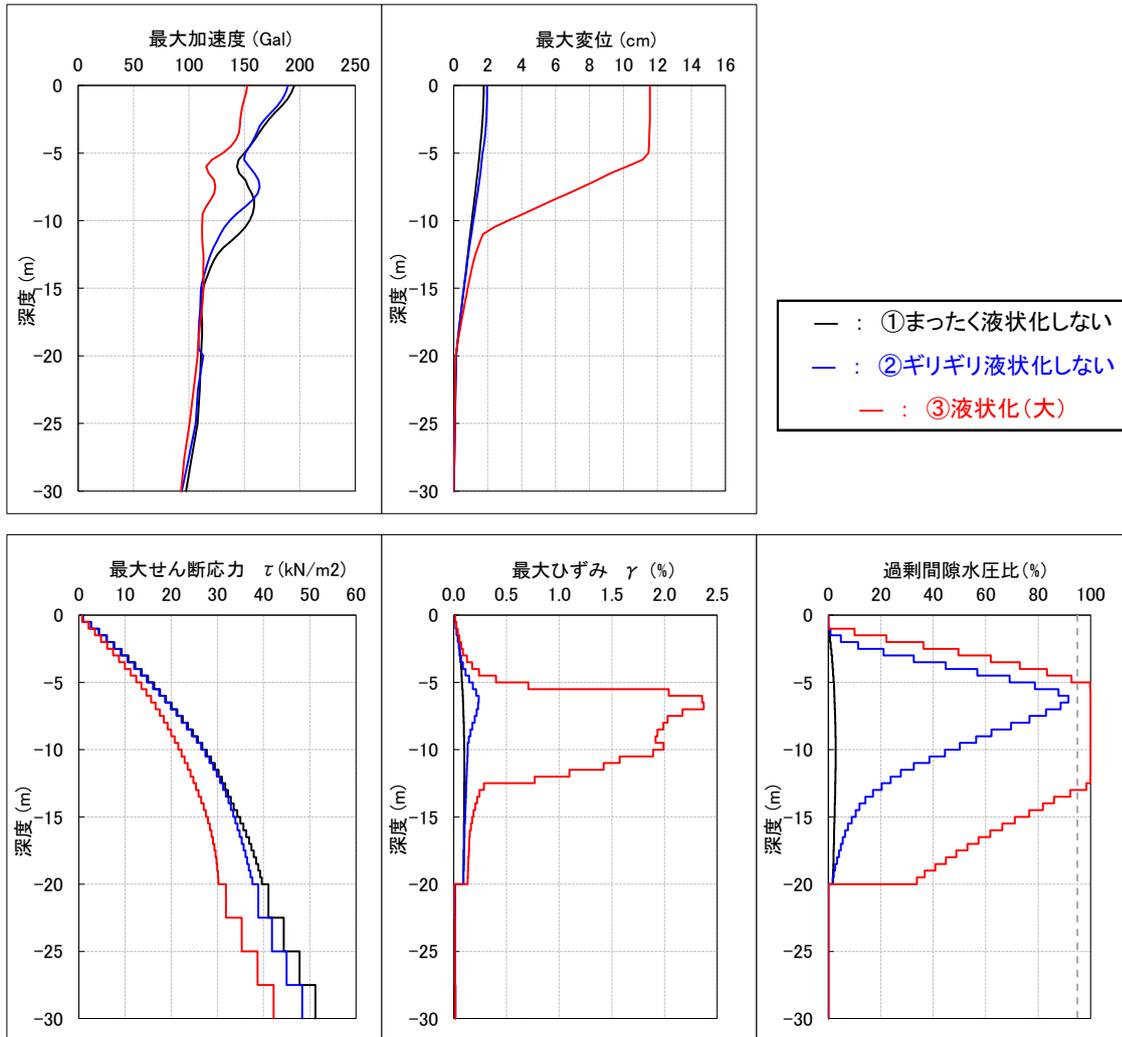


付図 4.1 解析モデルのイメージ図 (1/2 モデル)

(3) 解析結果

a) ソリッド要素を用いた1次元動的解析（ケース0）

GL-0~1m を液状化しない表層地盤，GL-1~20m を以下の①~③，GL-20~30m を支持地盤とした1次元動的解析を行い，それぞれ名称通りの応答となるか確認した．結果を付図4.2に示す．



付図4.2 ケース0解析結果（1次元動的解析）

①全く液状化しないは，過剰間隙水圧が非常に小さく，全く液状化しない条件を表現できている．

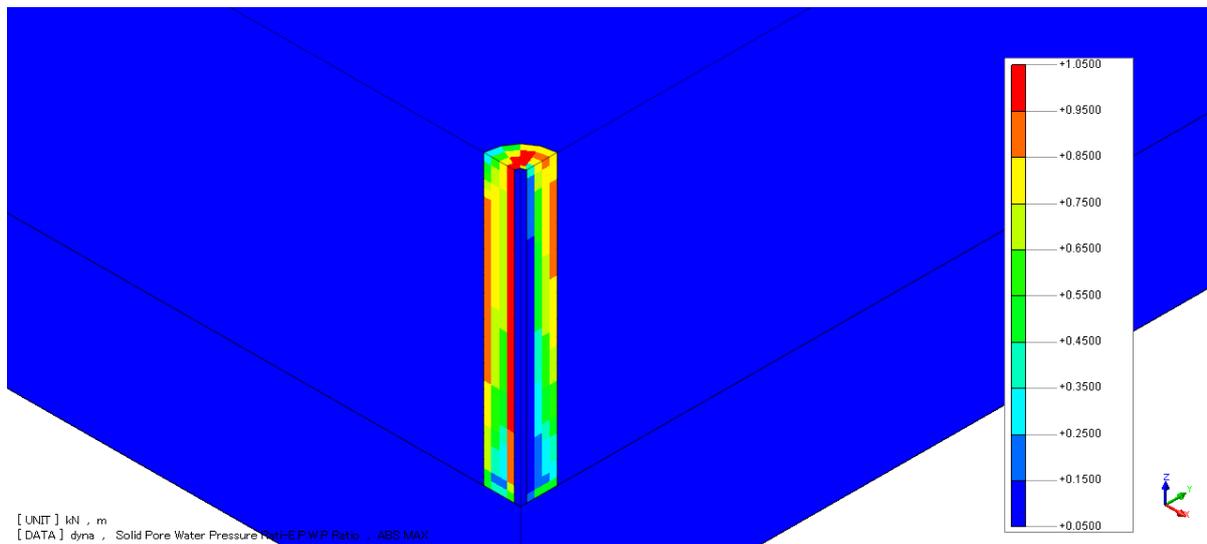
②ギリギリ液状化しないは，過剰間隙水圧比が最大90%程度となり，ギリギリ液状化せず，加速度や変位も①とほぼ同等となっており，ギリギリ液状化しない地盤を表現できている．

③液状化する（大）は，広い範囲（深度）で液状化し，地表面加速度が低下し，地表面変位が増大しており，激しく液状化する地盤を表現できている．

b) 3次元 FEM 有効応力動的解析 (ケース 1~4)

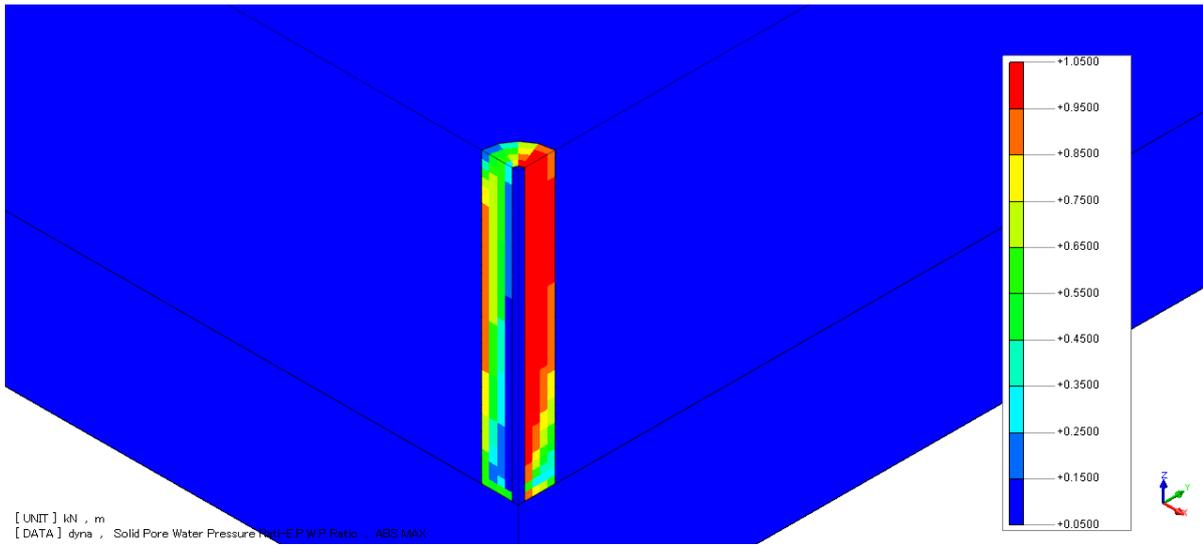
(i) 過剰間隙水圧比

付図 4.3 (1), (2) に過剰間隙水圧比の最大値コンター図を示す。周辺地盤が全く液状化しない条件であるケース 1~3 において、緩み領域の一部で過剰間隙水圧比が 1.0 に達し、液状化に至っている。その程度は埋戻し部の剛性が低いケース 2 のほうが高いケース 1 よりも大きく、また、複数本撤去のケース 3 のほうがより液状化の程度が大きくなった。周辺地盤がぎりぎり液状化しないケース 4 が緩み領域の液状化範囲が最も広く、杭撤去範囲 (撤去部に囲まれた範囲) の表層地盤で液状化が発生する結果となった。

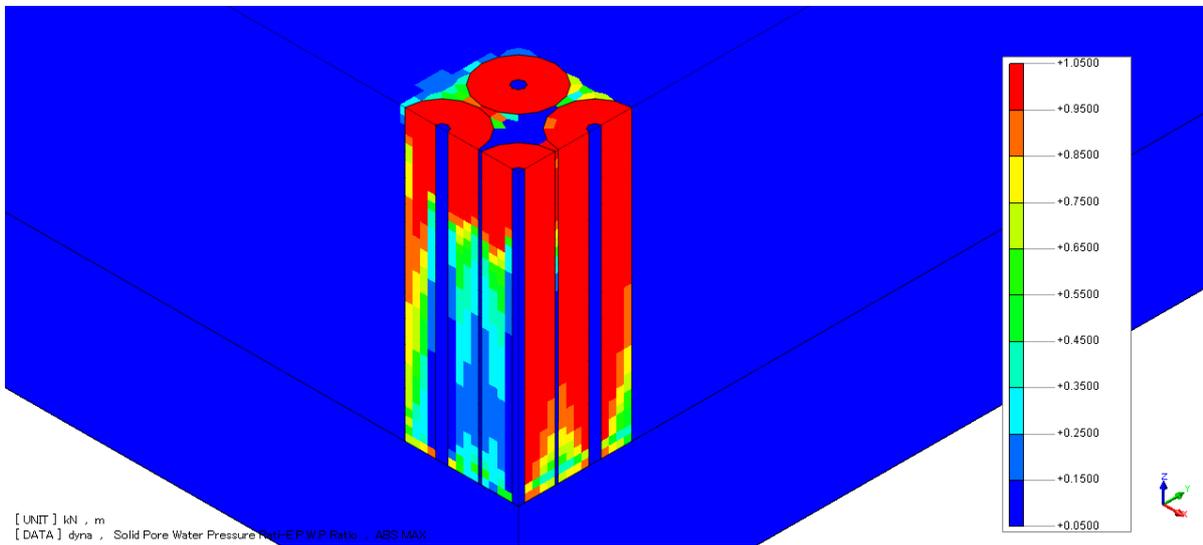


(a) ケース 1

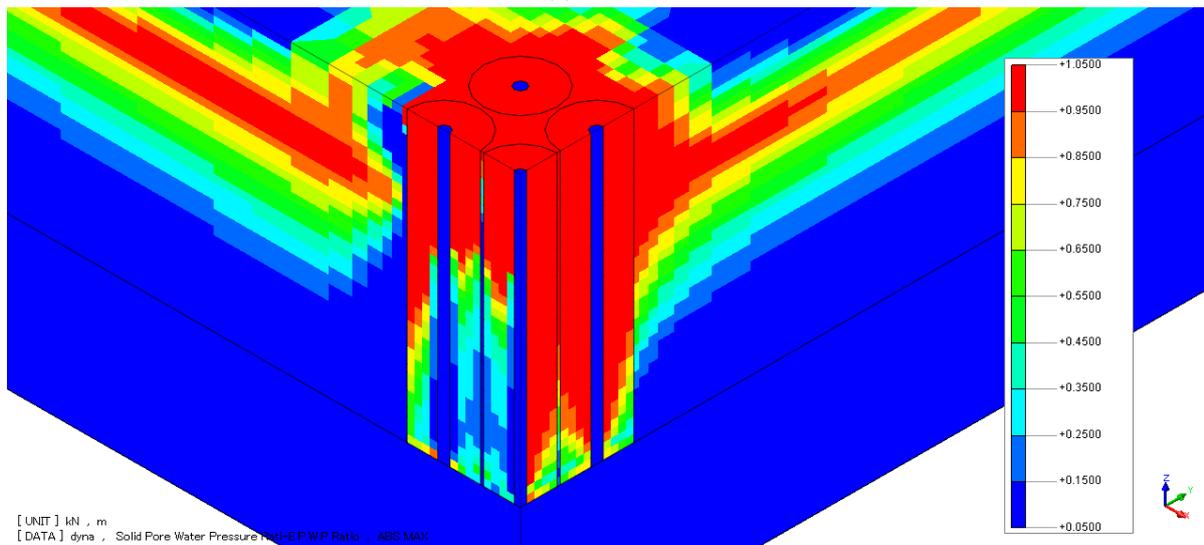
付図 4.3 (1) 過剰間隙水圧比の最大値コンター図^{付 4.2)}



(b)ケース 2



(c)ケース 3



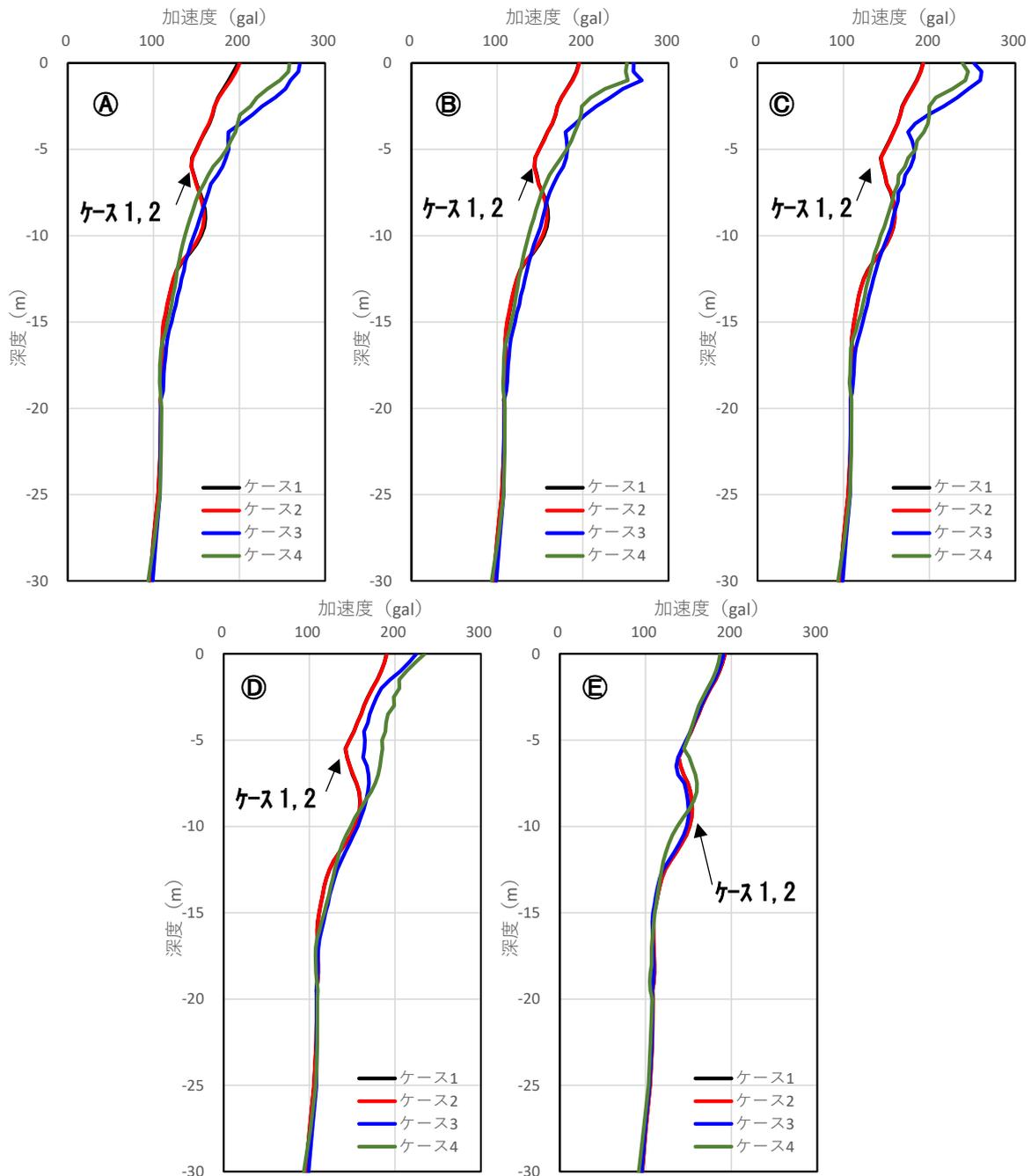
(d)ケース 4

付図 4.3 (2) 過剰間隙水圧比の最大値コンター図^{付 4.2)}

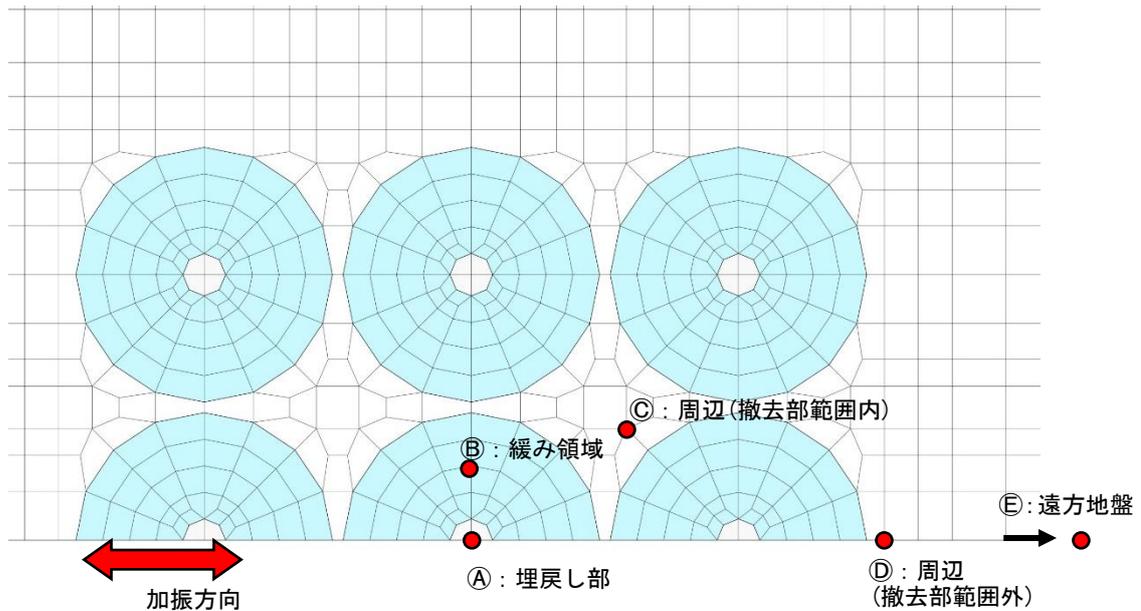
(ii) 加速度

付図 4.4 に加振方向の各深度における水平加速度最大値の分布を示す。各図の位置 (A~E) は付図 4.5 に示す通りである。

撤去杭が 1 本の場合 (ケース 1, 2) は位置による加速度の違いはほとんど見られない。一方, 9 本撤去を想定したケース 3, 4 は撤去杭に囲まれた範囲 (A~C) および近傍 (D) で表層の加速度が大きくなった。また, 撤去杭近傍 (A~D) の加速度は遠方地盤 (E) に比べて大きい結果となった。周辺地盤が液状化抵抗の小さい (②ギリギリ液状化しない) ケース 4 の遠方地盤 (E) では, 地表面の加速度は他ケースと同等であるが, GL-5~13m 付近で分布が異なっている。これは 1 次元解析の結果 (付図 4.2) の①まったく液状化しないと②ギリギリ液状化しないと同じ傾向であった。



付図 4.4 水平加速度の最大値の深度分布

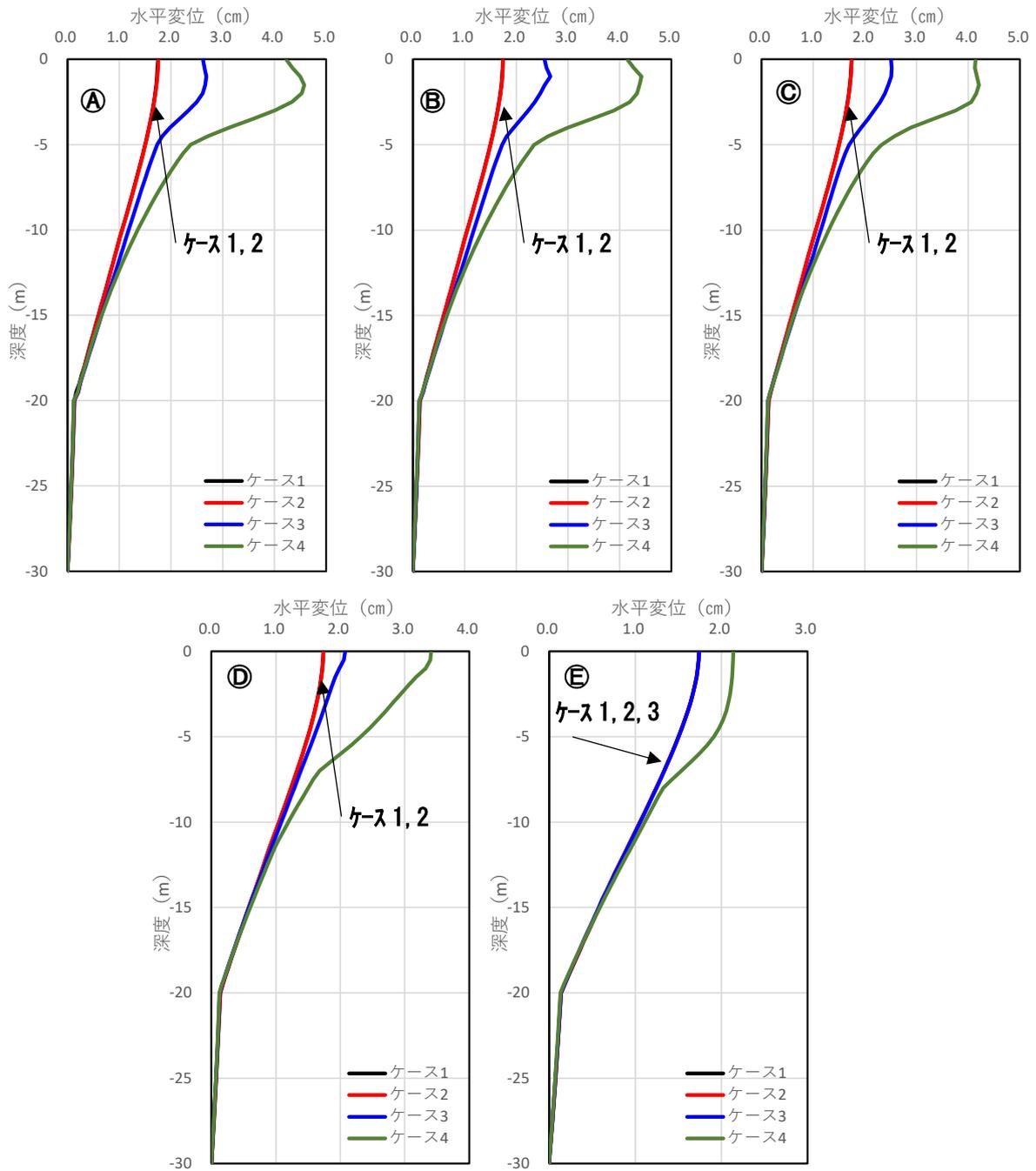


付図 4.5 結果の出力位置
(9本モデルの例, 1本モデルの場合メッシュは同じで中央の1本以外は周辺地盤)

(iii) 水平変位

付図 4.6 に加振方向の水平変位の最大値の深度分布を示す. 各図の位置は付図 4.5 の通りである.

水平変位も加速度と同様に, 撤去杭が 1 本のケース 1, 2 の差は位置によらずほとんどない. 一方, 9 本の杭撤去を想定したケース 3, 4 の最大水平変位はケース 1, 2 に比べて大きく, 特に杭撤去範囲 (撤去部に囲まれた範囲) が液状化したケース 4 では 2 倍以上の変位量となった. これは, ケース 4 の周辺地盤のパラメータがその他のケースよりも大きなせん断ひずみが生じる条件(付図 4.2 参照)であり, さらに緩み領域の影響で液状化に至る部分があるためであると考えられる. ただし, 緩み領域に設定したパラメータ (③液状化 (大)) で実施した 1 次元解析では地表面の最大変位が 12cm 程度と大きくなっていることに対し, 水平変位が最も大きいケース 4 でも 4cm 程度であった. これは周辺の液状化しない地盤によって拘束されているためであると考えられる. 杭を撤去しない地盤の変位量に比べ, 杭撤去範囲の水平変位量は大きくなるものの, 一般的に液状化する地盤で想定される変位量と比較すると小さくなることが分かった.



付図 4.6 水平変位の最大値の深度分布

(4) まとめ

3次元動的有効応力解析結果より、緩み領域が液状化するような状態であれば、その周辺地盤が液状化しないような条件であっても、緩み領域の影響による水平加速度の増加や、ひずみ増大に関連した過剰間隙水圧の上昇により液状化に至る可能性があることが示された。また、緩み領域が液状化することにより、周辺地盤の過剰間隙水圧も上昇する傾向が見られ、一部では液状化（過剰間隙水圧比95%以上）となる部分もあった。

地盤の水平加速度および水平変位量は撤去杭が1本であれば大きな変化はないが、複数本撤去した範囲（撤去部に囲まれた範囲）では撤去による緩みのない地盤に比べて加速度、変位ともに増大する。ただし、全範囲で液状化するような条件に比べて液状化に至る範囲が限られているため、緩み領域の液状化による地盤変位の増大は限定的であった。

本解析は、杭撤去・埋戻しにより生じる緩み領域の液状化の程度が大きくなる条件(③液状化(大))で実施した解析である。実際に撤去による緩みで液状化抵抗がどの程度変化するか、また、緩み領域の液状化によってその周辺地盤が液状化に至る条件が不明確であることが課題である。

【参考文献】

- 付4.1) 福武毅芳, 栗本悠平, 田口智也, 新井寿昭, 清塘悠, 本橋悠: 既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その18): 解析条件と動的有効応力解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.583-584, 2023.9
- 付4.2) 田口智也, 福武毅芳, 栗本悠平, 森利弘, 郡司康浩, 山本裕司: 既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響(緩み)に関する研究(その19): 3次元動的有効応力解析によるパラメトリックスタディー, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.585-586, 2023.9

付録5 新設杭設計における地盤の緩み等の評価方法

現段階では既存杭の撤去・埋戻しに伴う地盤の緩み等の程度や新設杭への影響の評価方法は確立されていないが、調査事例を集積し、適切に評価できる手法を確立する必要がある。ここでは新設杭の水平・鉛直抵抗力に対する緩み等の影響について、FEMおよび簡易計算法による検討例を記載する。

1. FEMによる地盤の緩み等の評価

1.1 2次元FEMによる地盤の緩み等を考慮した水平抵抗力の評価^{5.1.1)}

(1) 目的

撤去孔の周辺地盤の緩みは、新設杭の水平抵抗に影響を及ぼすと考えられることから、周辺地盤の緩み領域の影響を明らかにすることを目的として、2次元FEMによる解析的検討を実施した。

(2) 解析概要

本検討では、汎用FEMソフト「FEANX (2022R1(v120))」を用い、静的線形解析を実施した。緩み領域の有無と埋戻し部の剛性を主パラメータとして位置付けた。なお、新設杭と埋戻し部の位置関係については以下のA～Cとした。なお、比較として埋戻し部および緩み領域が無いケースも解析した。

A 完全重なり (埋戻し部の心に新設杭を施工した場合、緩み領域あり)

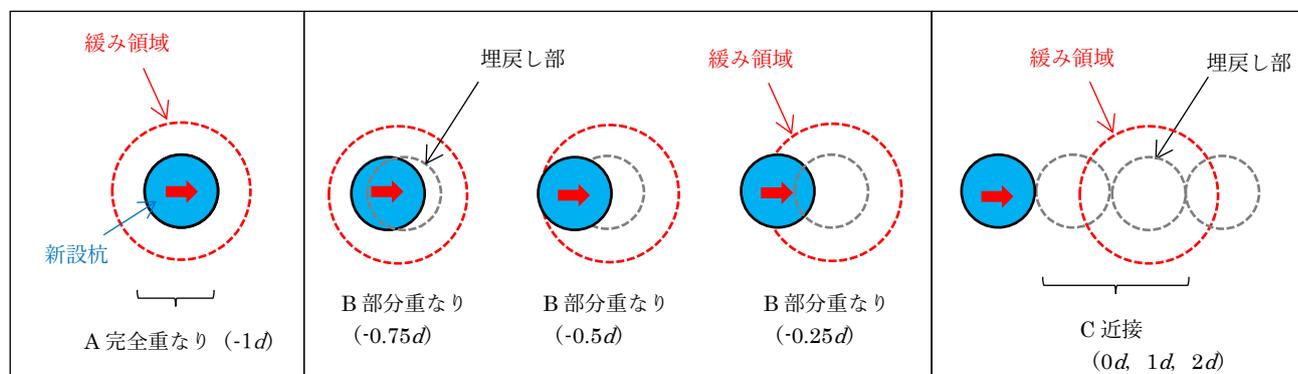
: 新設杭と埋戻し部の間の距離 $-0.8m (-1d)$

B 部分重なり: 新設杭と埋戻し部の間の距離 $-0.6m (-0.75d)$, $-0.4m (-0.5d)$, $-0.2m (-0.25d)$

C 近接 : 新設杭と埋戻し部の間の距離 $0m (0d)$, $0.8m (1d)$, $1.6m (2d)$

本検討では $d=d'$ 、 d : 新設杭の杭径、 d' : 撤去孔の孔径

なお、新設杭と埋戻し部の間の距離は、両者が接する場合を $0m$ とし、離れる側を+とした。



新設杭径(d): $\phi 800$ mm, 埋戻し部径(d'): $\phi 800$ mm

付図 5.1.1 新設杭と埋戻し部の位置関係 (平面)

解析ケースを付表 5.1.1 に示す。解析パラメータは、緩み領域の有無と埋戻し部の変形係数である。緩み領域の変形係数と範囲は、ALLF で実施した地盤調査の結果を基に設定した。原地盤の変形係数を 5,000kN/m² とし、緩み領域の変形係数は、埋戻し部端部から原地盤に近くなるほど大きく、緩み領域の最外端で原地盤と同一となるように設定した (E_{s2} (緩み領域：埋戻し部周辺地盤) / E_s (原地盤) = 0.5~1.0)。緩み領域の範囲 (W : 緩み距離) は埋戻し部端から 2m とした。

埋戻し部の変形係数は、埋戻し不良を想定したケースとして 50kN/m² (原地盤の 0.01 倍)、流動化処理土等でしっかり充填された硬いケースとして 25,000kN/m² (原地盤の 5 倍) とした。新設杭および埋戻し部の径は、それぞれが杭の水平抵抗に影響を及ぼすと考えられるが、本検討では新設杭径と埋戻し部径は ϕ 800mm と同一とした 1 ケースとした。

本検討では杭の水平抵抗 (剛性) に着目することから、既往の研究 (5.1.2), (5.1.3) を参考に 2 次元 FEM を実施した。特定の深度を水平方向に抽出し、地盤と杭を平面ひずみ要素でモデル化した。外周地盤の側方境界を固定し、1 辺の長さを杭径の 100 倍とした。モデル化において、新設杭周辺部の地盤や埋戻し部の節点については、載荷方向にのみ力が作用するように杭と連結し、載荷方向前面側のみ共有させた。解析は杭頭の全節点に 10mm の強制変位を与える、線形解析とした。

解析は、既存杭の撤去・埋戻しのない No.0 (撤去孔なし、緩み領域なし)、No.1 (埋戻し部の変形係数のみを考慮)、No.2 (埋戻し部の変形係数及び地盤の緩みを考慮)、No.3 (地盤の緩みのみを考慮) に対して行った。No.1 と No.2 に対しては、新設杭が埋戻し部に向かって変形する場合 (0°)、新設杭が埋戻し部の反対側に変形する場合 (180°)、新設杭が変形する方向に対して埋戻し部が 90° 方向 (横方向) にある場合、それぞれについて実施した (付表 5.1.2)。さらに、新設杭が埋戻

付表 5.1.1 解析ケース

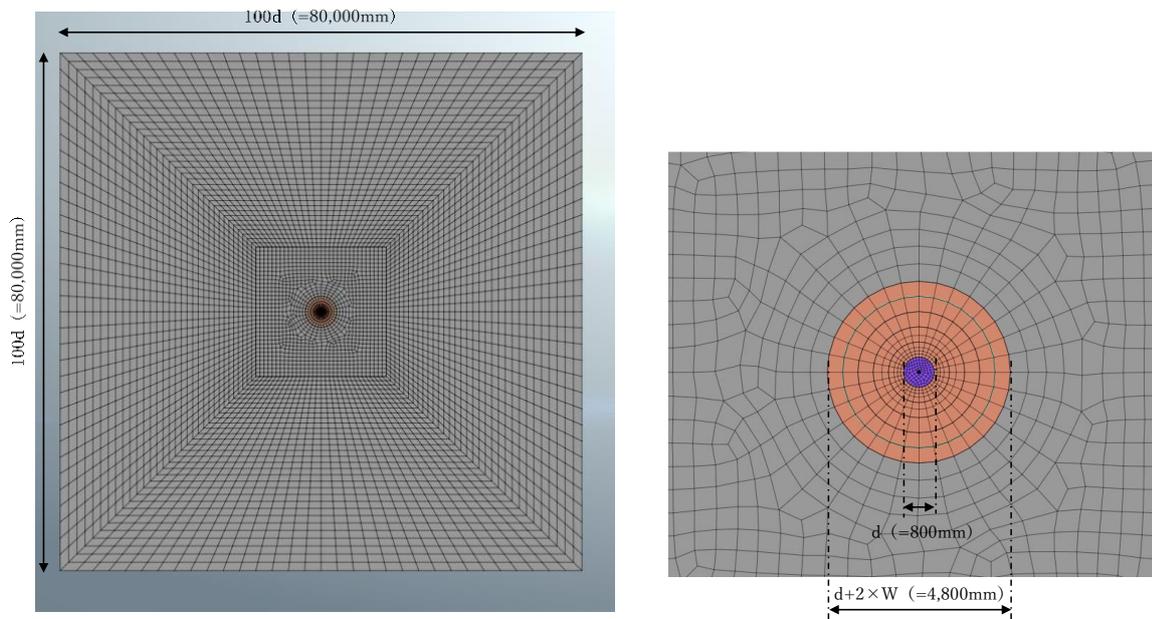
解析No.	①新設杭と埋戻し部の位置関係		②埋戻し部径と新設杭径の比				③埋戻し部と周辺地盤の変形係数比			④緩み領域の変形係数			
	新設杭と埋戻し部の位置関係	間の距離 L(m)	埋戻し部径 d'(mm)	緩み領域 d'+2×w (mm)	新設杭径 d(mm)	比率 (d'/d)	埋戻し部 E_b (kN/m ²)	周辺地盤 E_s (kN/m ²)	比率 (E_b/E_s)	緩み領域 (埋戻し部直近) E_{s2} (kN/m ²)	比率 (E_{s2}/E_s)		
0	-	撤去孔なし	-0.8 (-1d)	-	800	-	-	5,000	-	-	-		
1-1	C	近接	1.6 (2d)	-	800	1.0	50	5,000	0.01	-	-		
1-2			0.8 (1d)	-						-	-		
1-3			0.0 (0d)	-						-	-		
1-4	B	部分重なり	-0.6 (-0.75d)	-	800	1.0	50	5,000	0.01	-	-		
1-5			-0.4 (-0.5d)	-						-	-		
1-6			-0.2 (-0.25d)	-						-	-		
1-7	B	部分重なり	-0.6 (-0.75d)	-	800	1.0	25,000	5,000	5	-	-		
1-8			-0.4 (-0.5d)	-						-	-		
1-9			-0.2 (-0.25d)	-						-	-		
2-1	C	近接	1.6 (2d)	-	800	1.0	50	5,000	0.01	2,500~5,000	0.5~1.0		
2-2			0.8 (1d)	4800								-	-
2-3			0.0 (0d)	-								-	-
2-4	B	部分重なり	-0.6 (-0.75d)	-	800	1.0	50	5,000	0.01	2,500~5,000	0.5~1.0		
2-5			-0.4 (-0.5d)	4800								-	-
2-6			-0.2 (-0.25d)	-								-	-
2-7	B	部分重なり	-0.6 (-0.75d)	-	800	1.0	25,000	5,000	5	2,500~5,000	0.5~1.0		
2-8			-0.4 (-0.5d)	4800								-	-
2-9			-0.2 (-0.25d)	-								-	-
3	A	完全重なり	-0.8 (-1d)	4800	800	1.0	-	5,000	-	2,500~5,000	0.5~1.0		
2'-1	C	近接	1.6 (2d)	-	800	1.0	50	5,000	0.01	2,500	0.5		
2'-2			0.8 (1d)	4800								-	-
2'-3			0.0 (0d)	-								-	-
2'-4	B	部分重なり	-0.6 (-0.75d)	-	800	1.0	50	5,000	0.01	2,500	0.5		
2'-5			-0.4 (-0.5d)	4800								-	-
2'-6			-0.2 (-0.25d)	-								-	-
2'-7	B	部分重なり	-0.6 (-0.75d)	-	800	1.0	25,000	5,000	5	2,500	0.5		
2'-8			-0.4 (-0.5d)	4800								-	-
2'-9			-0.2 (-0.25d)	-								-	-
3'	A	完全重なり	-0.8 (-1d)	4800	800	1.0	-	5,000	-	2,500	0.5		

し部に向かって変形する場合に関しては、緩み領域の変形係数を一律に原地盤の 0.5 倍として設定した解析 (No.2', No.3') も実施した。

解析モデルの一例 (解析 No.0, No.3) を付図 5.1.2 に示す。

付表 5.1.2 強制変形の方法

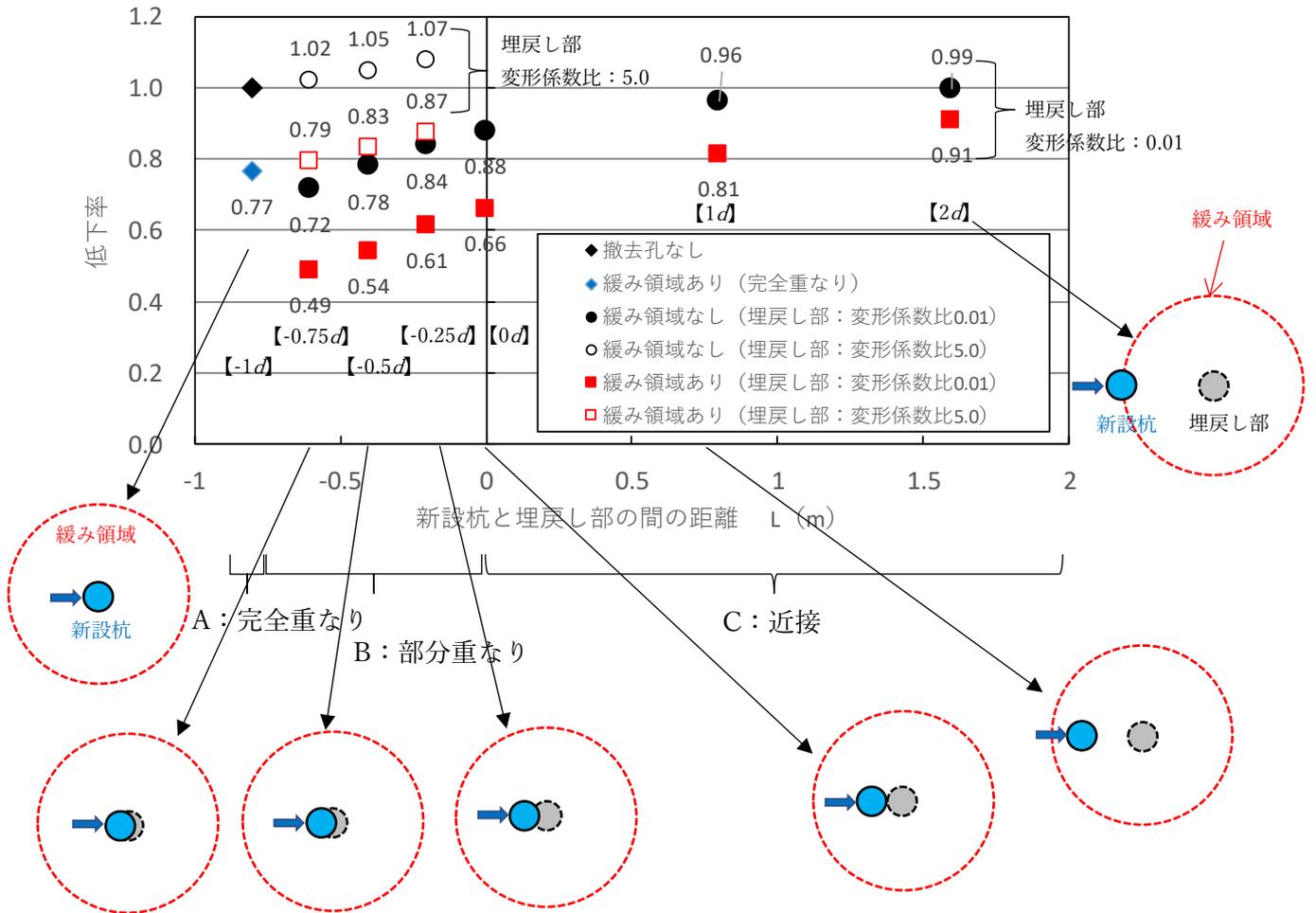
強制変形の方法	新設杭と埋戻し部の位置関係	
0°	新設杭が埋戻し部に向かって変形するケース	
180°	新設杭が埋戻し部と反対側に変形するケース	
90°	新設杭の横方向に埋戻し部が位置するケース	



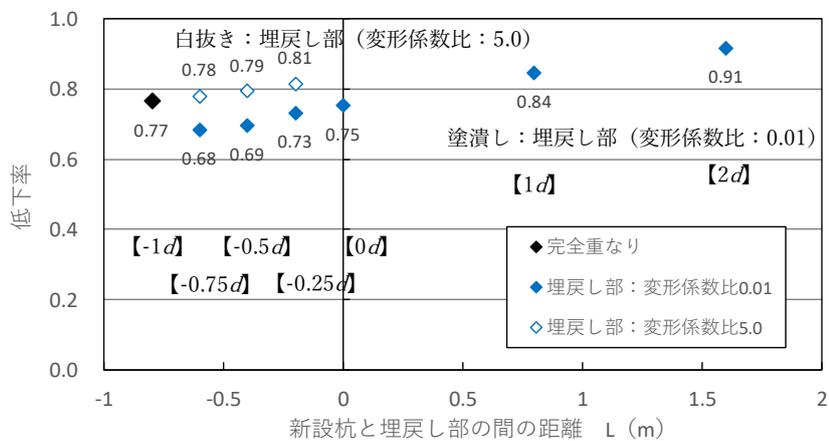
付図 5.1.2 解析モデル (解析 No. 0, No. 3)

(3) 解析結果

強制変形方向 0° における解析 No.0 (撤去孔なし, 緩み領域なし) に対する各解析ケースの水平抵抗の低下率を付図 5.1.3 に, 緩み領域の影響 (解析 No.2 ケースを解析 No.1 ケースの結果で除した値) を付図 5.1.4 に示す。

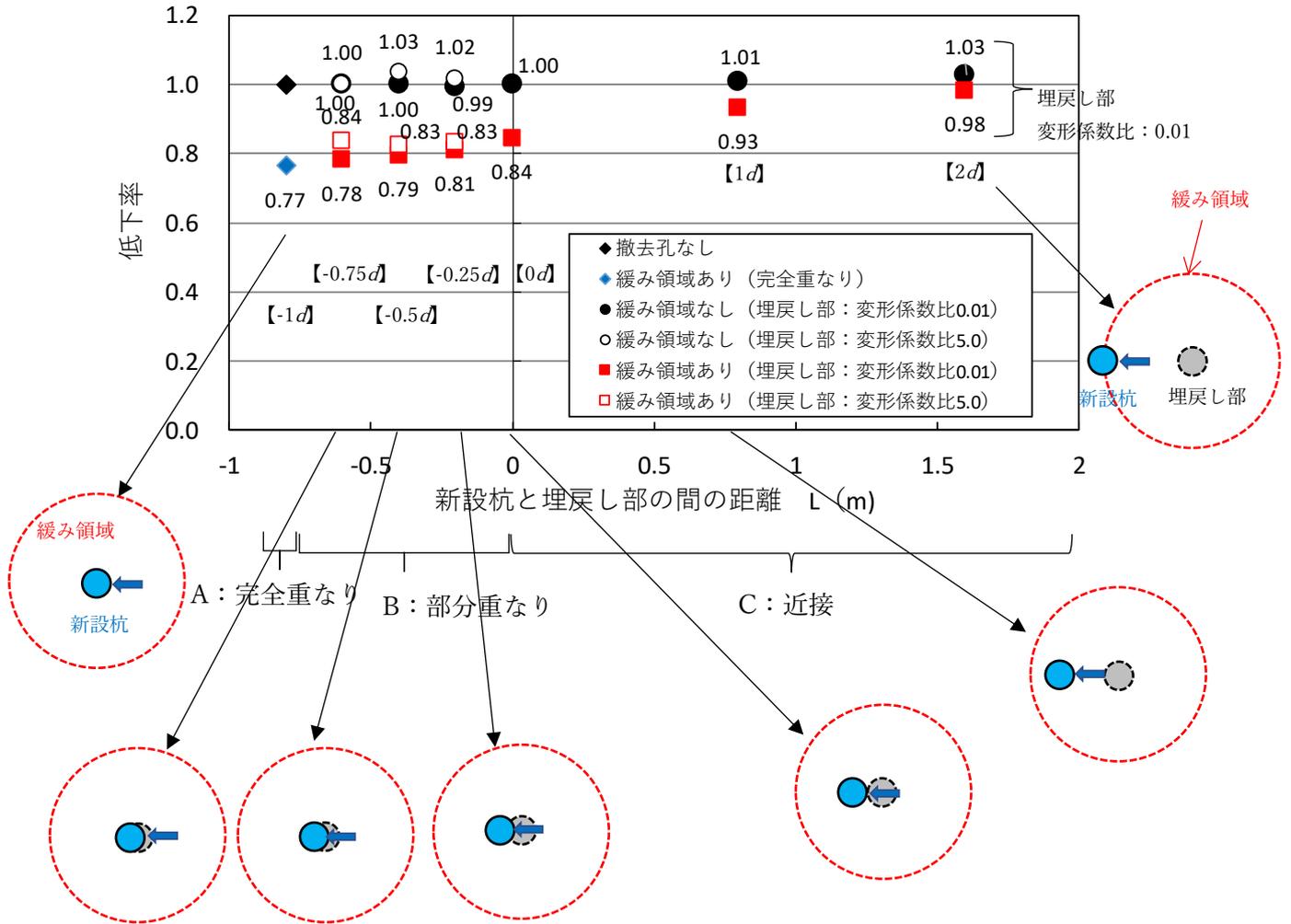


付図 5. 1. 3 解析ケース No. 0 に対する各解析ケースの水平抵抗の低下率

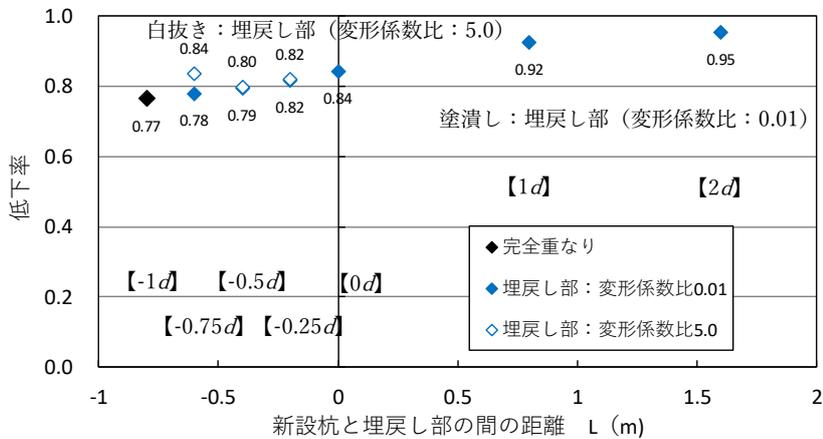


付図 5. 1. 4 緩み領域なしに対する緩み領域ありの水平抵抗の低下率 (緩みの影響)

強制変形方向 180° における解析 No.0 (撤去孔なし, 緩み領域なし) に対する各解析ケースの水平抵抗の低下率を付図 5.1.5 に, 緩み領域の影響 (解析 No.2 ケースを解析 No.1 ケースの結果で除した値) を付図 5.1.6 に示す。

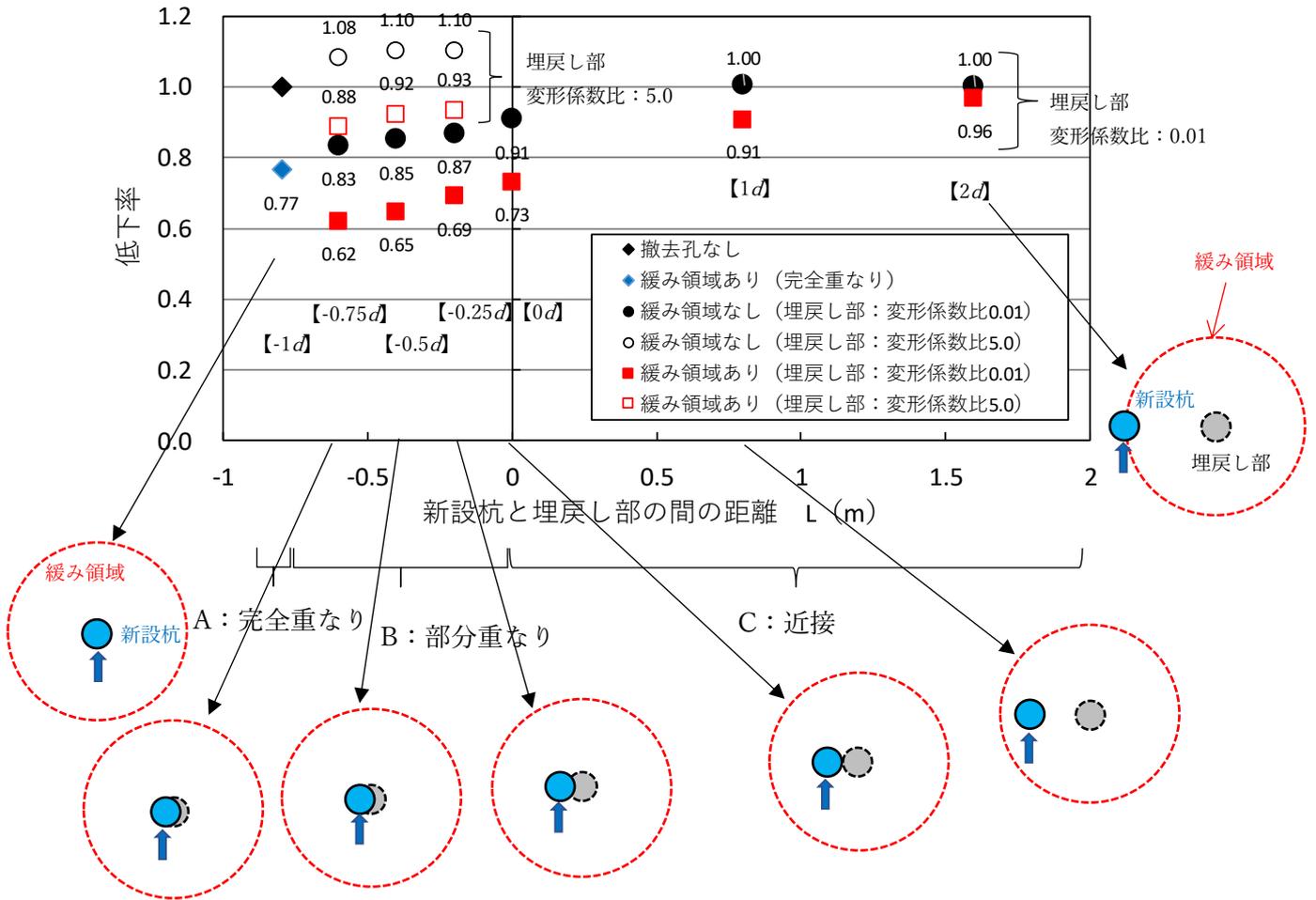


付図 5. 1. 5 解析ケース No. 0 に対する各解析ケースの水平抵抗の低下率

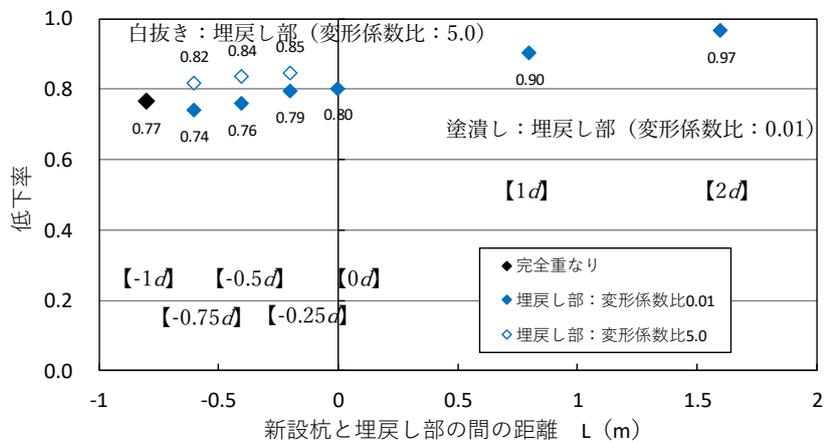


付図 5. 1. 6 緩み領域なしに対する緩み領域ありの水平抵抗の低下率 (緩みの影響)

強制変形方向 90° における解析 No.0 (撤去孔なし, 緩み領域なし) に対する各解析ケースの水平抵抗の低下率を付図 5.1.7 に, 緩み領域の影響 (解析 No.2 ケースを解析 No.1 ケースの結果で除した値) を付図 5.1.8 に示す。

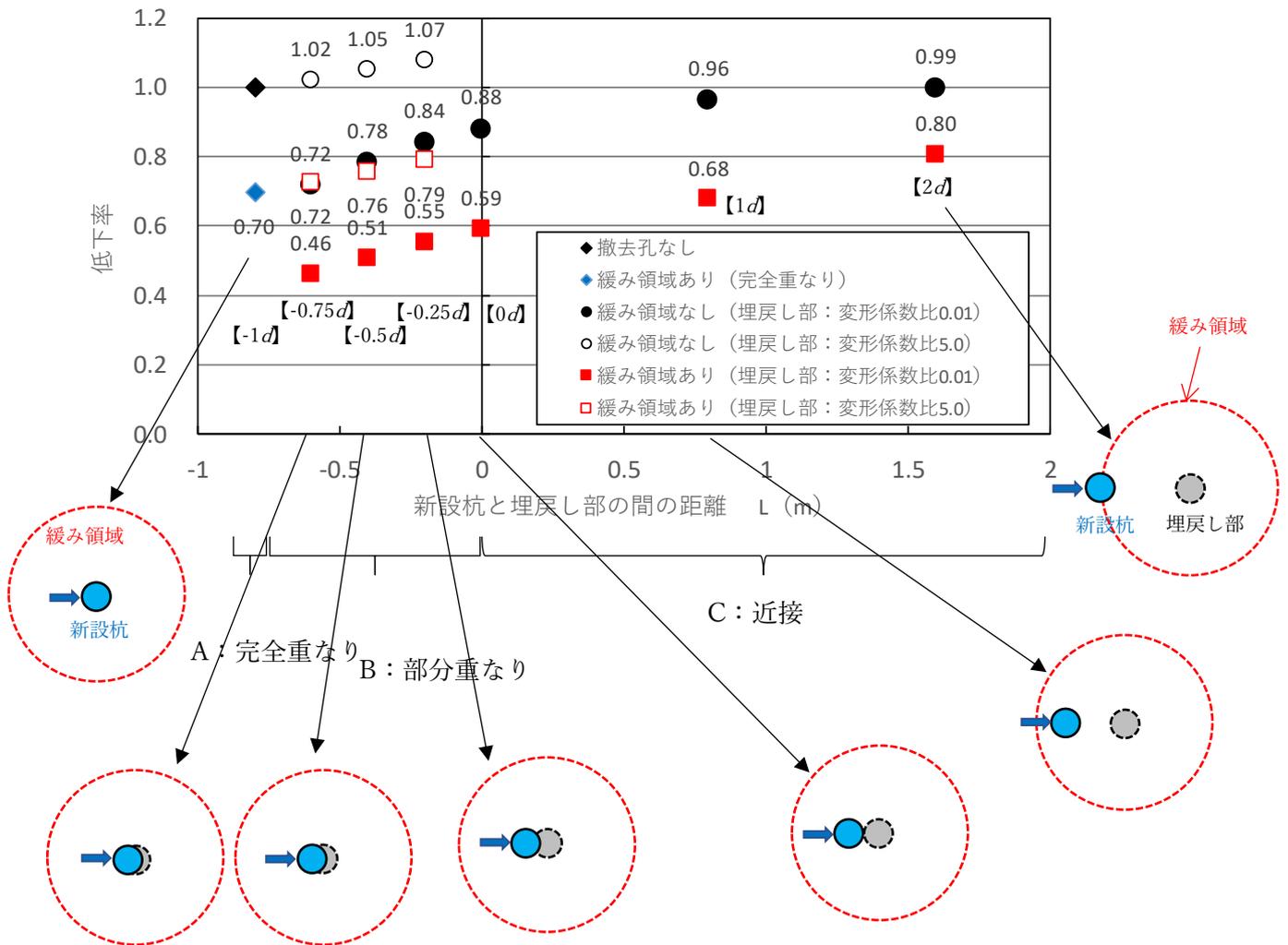


付図 5.1.7 解析ケース No.0 に対する各解析ケースの水平抵抗の低下率

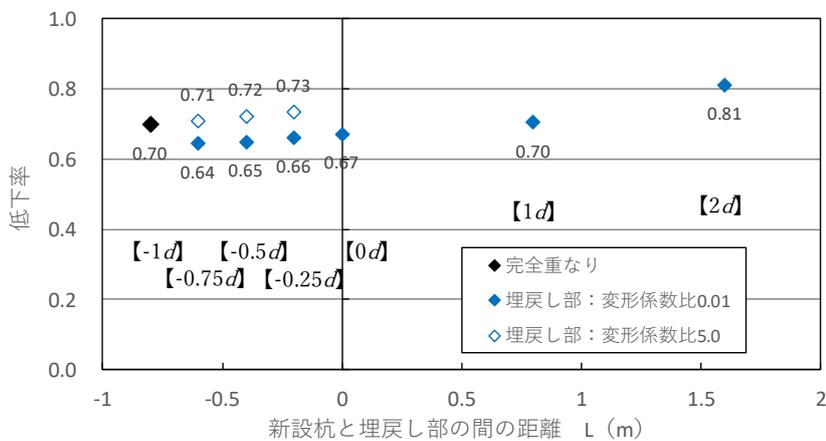


付図 5.1.8 緩み領域なしに対する緩み領域ありの水平抵抗の低下率 (緩みの影響)

また、緩み領域の変形係数を一律に原地盤の 0.5 倍として設定した解析結果を付図 5.1.9 と付図 5.1.10 に示す。なお、強制変形の方法は埋戻し部に向かうケース (0°) のみとした。



付図 5.1.9 解析ケース No. 0 に対する各解析ケースの水平抵抗の低下率



付図 5.1.10 緩み領域なしに対する緩み領域ありの水平抵抗の低下率 (緩みの影響)

本検討で得られた結果（付図 5.1.3～付図 5.1.10）を以下にまとめる。なお、ここでは No.2（緩み領域あり）の結果を対象に記載する。

【強制変形方向 0° ：緩み領域の変形係数 原地盤 $\times 0.5\sim 1.0$ 】（付図 5.1.3, 付図 5.1.4）

- ・新設杭と埋戻し部が重ならず離れている場合、新設杭の水平抵抗力は、新設杭が埋戻し部に近いほど、新設杭のみの場合に比べて低下する。また、埋戻し部の強度が原地盤よりも低い（適切な埋戻しがなされていない）場合、新設杭と埋戻し部の間の距離が $2d$ 離れている場合で水平抵抗力が約 10%、 $1d$ 離れている場合で約 20%、 $0d$ （隣接している）の場合で 35%程度の低下が認められる。なお、付図 5.1.3 から、新設杭と埋戻し部の間の距離 L が $d+W$ （ $=0.8+2.0=2.8\text{m}$ ）に離れると低下率は 1.0 に近づき、緩みの影響は小さくなると判断できる。
- ・新設杭と埋戻し部が重なる場合、新設杭の水平抵抗力は、埋戻し部の強度が原地盤より高いケースで、10～20%程度の低下が認められ、新設杭と埋戻し部の重なり部分が大きいほど低下する。これは、新設杭と埋戻し部の重なり部分が大きいほど埋戻し部を中心とした緩み領域の緩みの程度が著しい位置に新設杭が位置しているためと考えられる。一方、埋戻し部の強度が原地盤よりも低い場合、新設杭の水平抵抗力は 35～50%程度と、顕著に低下する。
- ・緩み領域の有無が新設杭の水平抵抗力に与える影響は、埋戻し部の強度が高い場合でも緩み領域が存在することで緩み領域がない場合に比べて 15～20%程度低下する（新設杭と埋戻し部が重なるケース）。埋戻し部の強度が原地盤よりも低い場合は、水平抵抗力がさらに低下し、新設杭と埋戻し部が重なるケースでは 30%程度低下する。

【強制変形方向 180° ：緩み領域の変形係数 原地盤 $\times 0.5\sim 1.0$ 】（付図 5.1.5, 付図 5.1.6）

- ・新設杭と埋戻し部が重ならず離れている場合には、新設杭の水平抵抗力は、新設杭が埋戻し部に近いほど、新設杭のみの場合に比べて低下するが、その影響は小さい。また、埋戻し部の強度が原地盤よりも低い（適切な埋戻しがなされていない）場合、新設杭と埋戻し部の間の距離が $2d$ 離れている場合で 2%、 $1d$ 離れている場合で 7%、 $0d$ （隣接している）の場合で約 15%の水平抵抗力の低下が認められ、強制変形方向 0° に比べると軽微であるが新設杭の背面に埋戻し部が位置する場合でも影響を受ける。
- ・新設杭と埋戻し部が重なる場合、新設杭の水平抵抗力は、埋戻し部の強度が原地盤より高いケースで、15%程度の低下が認められるが、新設杭と埋戻し部の重なり部分の大きさの影響は比較的小さい。これは、緩み領域に対する新設杭の位置（新設杭前面の変形係数）と新設杭と重なっている埋戻し部の変形係数が関係しているものと考えられる。
- ・緩み領域の有無が新設杭の水平抵抗力に与える影響は、埋戻し部の強度が高い場合でも緩み領域が存在することで 20%程度低下する（新設杭と埋戻し部が重なるケース）。埋戻し部の強度が原地盤よりも低く、かつ新設杭と埋戻し部の重なり部分が大きい場合は、水平抵抗力がさらに約 5%低下する。

【強制変形方向 90° : 緩み領域の変形係数 原地盤×0.5~1.0】(付図 5.1.7, 付図 5.1.8)

- ・新設杭に対して埋戻し部が横方向に位置する場合, 新設杭の水平抵抗力は, 強制変形方向 0° と 180° の中間的な傾向を示している.
- ・新設杭と埋戻し部が重ならず離れている場合, 新設杭の水平抵抗力は, 新設杭が埋戻し部に近いほど新設杭のみの場合に比べて低下する. また, 埋戻し部の強度が原地盤よりも低い (適切な埋戻しがなされていない) 場合, 新設杭と埋戻し部の間の距離が $2d$ 離れている場合で約 5%, $1d$ 離れている場合で約 10%, $0d$ (隣接している) の場合で約 30%の水平抵抗力の低下が認められる.
- ・新設杭と埋戻し部が重なる場合, 新設杭の水平抵抗力は, 埋戻し部の強度が原地盤より高いケースで 5~10%程度の低下が認められ, 新設杭と埋戻し部の重なり部分が大きいほど低下する. 一方, 埋戻し部の強度が原地盤よりも低い場合, 新設杭の水平抵抗力は 30~40%程度と顕著に低下する.
- ・緩み領域の有無が新設杭の水平抵抗力に与える影響は, 埋戻し部の強度が高い場合でも緩み領域が存在することで 15%程度低下する (新設杭と埋戻し部が重なるケース). 埋戻し部の強度が原地盤よりも低い場合は, 水平抵抗力がさらに低下し, 新設杭と埋戻し部が重なるケースで 20~25%程度低下する.

【強制変形方向 0° : 緩み領域の変形係数 原地盤×0.5】(付図 5.1.9, 付図 5.1.10)

- ・新設杭と埋戻し部が重ならず離れている場合, 新設杭の水平抵抗力は, 新設杭が埋戻し部に近いほど新設杭のみの場合に比べて低下する. また, 埋戻し部の強度が原地盤よりも低い (適切な埋戻しがなされていない) 場合, 新設杭と埋戻し部の間の距離が $2d$ 離れている場合で 20%, $1d$ 離れている場合で約 30%, $0d$ (隣接している) の場合で約 40%の水平抵抗力の低下が認められる.
- ・新設杭と埋戻し部が重なる場合, 新設杭の水平抵抗力は, 埋戻し部の強度が原地盤より高いケースで 20~30%程度の低下が認められる. 一方, 埋戻し部の強度が原地盤よりも低い場合, 新設杭の水平抵抗力は 50%程度と, 顕著に低下する.
- ・緩み領域の有無が新設杭の水平抵抗力に与える影響は, 埋戻し部の強度が高い場合でも緩み領域が存在することで 30%程度低下する (新設杭と撤去孔が重なるケース). 埋戻し部の強度が原地盤よりも低い場合は, 水平抵抗力がさらに低下し, 新設杭と埋戻し部が重なるケースで 35%程度低下する.

1.2 3次元 FEM による地盤の緩み等を考慮した周面摩擦抵抗の評価

(1) 目的

撤去孔の周辺地盤の緩み等は、周面摩擦抵抗に影響を及ぼすと考えられることから、周辺地盤の緩み領域や埋戻し部の状態の影響を明らかにすることを目的として、3次元 FEM を用いて、平面的に面外方向に載荷する解析的検討を実施した。

(2) 解析概要

本検討では、汎用 FEM ソフト「FEANX (2022R1(v120))」を用い、静的線形解析を実施した。緩み領域の有無と埋戻し部の剛性を主パラメータとして位置付けた。なお、新設杭と埋戻し部の位置関係については付図 5.1.1 と同じとした。

A 完全重なり (埋戻し部の心に新設杭を施工した場合、緩み領域あり)

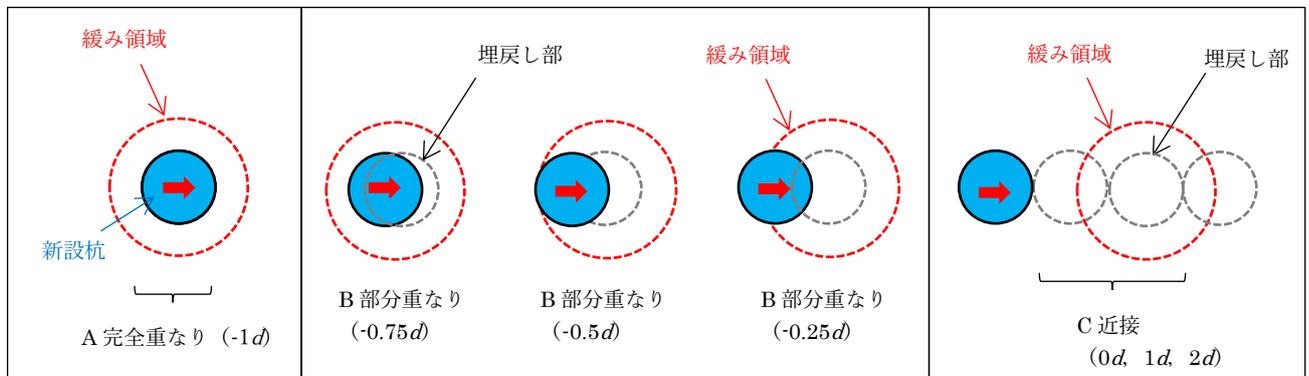
: 新設杭と埋戻し部間の距離 -0.8m ($-1d$)

B 部分重なり: 新設杭と埋戻し部間の距離 -0.6m ($-0.75d$), -0.4m ($-0.5d$), -0.2m ($-0.25d$)

C 近接 : 新設杭と埋戻し部間の距離 0m ($0d$), 0.8m ($1d$), 1.6m ($2d$)

本検討では $d=d'$, d : 新設杭の杭径, d' : 撤去孔の孔径

なお、新設杭と埋戻し部間の距離は、両者が接する場合を 0m とし、離れる側を+とした



新設杭径(d): $\phi 800\text{ mm}$, 埋戻し部径(d'): $\phi 800\text{ mm}$

付図 5.1.11 新設杭と埋戻し部の位置関係 (付図 5.1.1 再掲)

解析ケースを付表 5.1.3 に示す。解析パラメータは、緩み領域の有無と埋戻し部の変形係数である。緩み領域の変形係数と範囲は、ALLF で実施した地盤調査の結果を基に設定した。原地盤の変形係数を $5,000\text{kN/m}^2$ とし、緩み領域の変形係数は、埋戻し部端部から原地盤に近くなるほど大きく、緩み領域の最外端で原地盤と同一となるように設定した (E_{s2} (緩み領域: 埋戻し部周辺地盤) / E_s (原地盤) = $0.5 \sim 1.0$)。緩み領域の範囲 (W : 緩み距離) は埋戻し部端から 2m とした。

埋戻し部の変形係数は、埋戻し不良を想定したケースとして 50kN/m^2 (原地盤の 0.01 倍)、流動

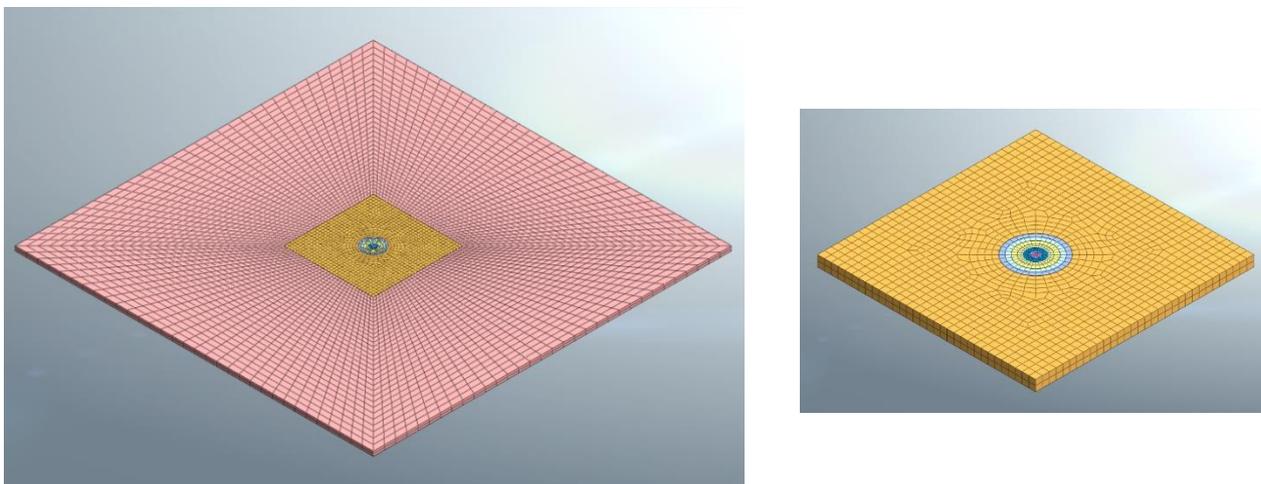
化処理土等でしっかり充填された硬いケースとして 25,000kN/m² (原地盤の 5 倍) とした。新設杭および埋戻し部の径は、それぞれが周面摩擦抵抗に影響を及ぼすと考えられるが、本検討では埋戻し部径と新設杭径を同一とした 1 ケースとした。

本検討では周面摩擦抵抗に着目し、3 次元 FEM を用いて、平面的に面外方向に載荷する解析的検討を実施した。地盤と杭をソリッド要素でモデル化した。鉛直方向に関しても、水平方向の検討と同程度の簡易なモデル化により検討を進めた。外周地盤の側方境界を固定し、1 辺の長さを杭径の 100 倍とした。地盤モデルは、平面領域に対して層厚が小さく、かつ弾性として取り扱っていることから、杭の沈下に伴って固定境界を設けている外周部まで地盤全体が鉛直方向に変形し、杭周辺部の局所的な地盤剛性の影響が出にくい状況であると考えられる。一般的に、弾性解は水平距離に反比例する形で、杭からかなり離れた位置までひずみが生じる結果となるが、実際の地盤では地盤の非線形性により、杭に近い分において大きな変形が生じ、遠方の地盤にはひずみはほとんど生じない場合が多いことが既往の研究等で示されている。これより、既往の研究 (5.1.5.), (5.1.6) を参考に、かつ ALLF で実施した杭撤去前後の地盤調査結果も考慮して、影響半径/杭半径=6.0 (本検討では、新設杭心から 2.4m) 程度までの地盤領域が周面摩擦抵抗に影響すると仮定し、当該位置の地盤と杭の相対沈下に対する周面摩擦抵抗を算出した。解析は、既存杭の撤去・埋戻しのない No.0 (撤去孔なし、緩み領域なし)、No.1 (埋戻し部の変形係数のみを考慮)、No.2 (埋戻し部の変形係数及び地盤の緩みを考慮)、No.3 (地盤の緩みのみを考慮) に対して行った。

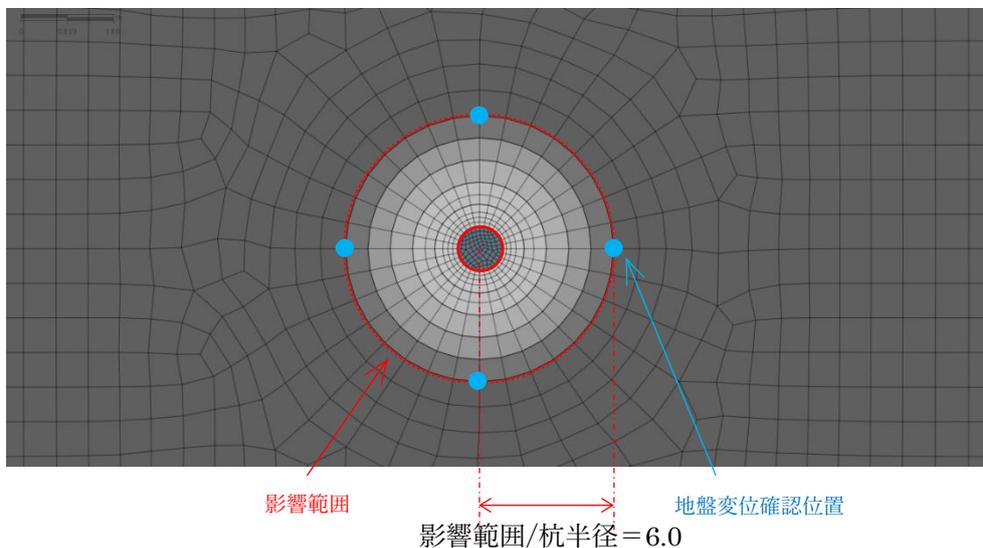
付表 5.1.3 解析ケース

解析No.	①新設杭と埋戻し部の位置関係		②埋戻し部径と新設杭径の比				③埋戻し部と周辺地盤の変形係数比			④緩み領域の変形係数			
	新設杭と埋戻し部の位置関係	間の距離 L(m)	埋戻し部径 d'(mm)	緩み域 d'+2×w (mm)	新設杭径 d(mm)	比率 (d'/d)	埋戻し部 E _b (kN/m ²)	周辺地盤 E _s (kN/m ²)	比率 (E _b /E _s)	緩み領域 (埋戻し部直近) E _{s2} (kN/m ²)	比率 (E _{s2} /E _s)		
0	-	撤去孔なし	-0.8 (-1d)	-	800	-	-	5,000	-	-	-		
1-1	C	近接	1.6 (2d)	-	800	1.0	50	5,000	0.01	-	-		
1-2			0.8 (1d)	-						-	-		
1-3			0.0 (0d)	-						-	-		
1-4	B	部分重なり	-0.6 (-0.75d)	-	800	1.0	50	5,000	0.01	-	-		
1-5			-0.4 (-0.5d)	-						-	-		
1-6			-0.2 (-0.25d)	-						-	-		
1-7	B	部分重なり	-0.6 (-0.75d)	-	800	1.0	25,000	5,000	5	-	-		
1-8			-0.4 (-0.5d)	-						-	-		
1-9			-0.2 (-0.25d)	-						-	-		
2-1	C	近接	1.6 (2d)	-	800	1.0	50	5,000	0.01	2,500-5,000	0.5-1.0		
2-2			0.8 (1d)	4800								-	-
2-3			0.0 (0d)	-								-	-
2-4	B	部分重なり	-0.6 (-0.75d)	-	800	1.0	50	5,000	0.01	2,500-5,000	0.5-1.0		
2-5			-0.4 (-0.5d)	4800								-	-
2-6			-0.2 (-0.25d)	-								-	-
2-7	B	部分重なり	-0.6 (-0.75d)	-	800	1.0	25,000	5,000	5	2,500-5,000	0.5-1.0		
2-8			-0.4 (-0.5d)	4800								-	-
2-9			-0.2 (-0.25d)	-								-	-
3	A	完全重なり	-0.8 (-1d)	800	4800	800	1.0	-	5,000	-	2,500-5,000	0.5-1.0	

解析モデルの一例（解析 No.0, No.3）を付図 5.1.12 に、本検討における周面摩擦抵抗の算出方法を付図 5.1.13 に示す。



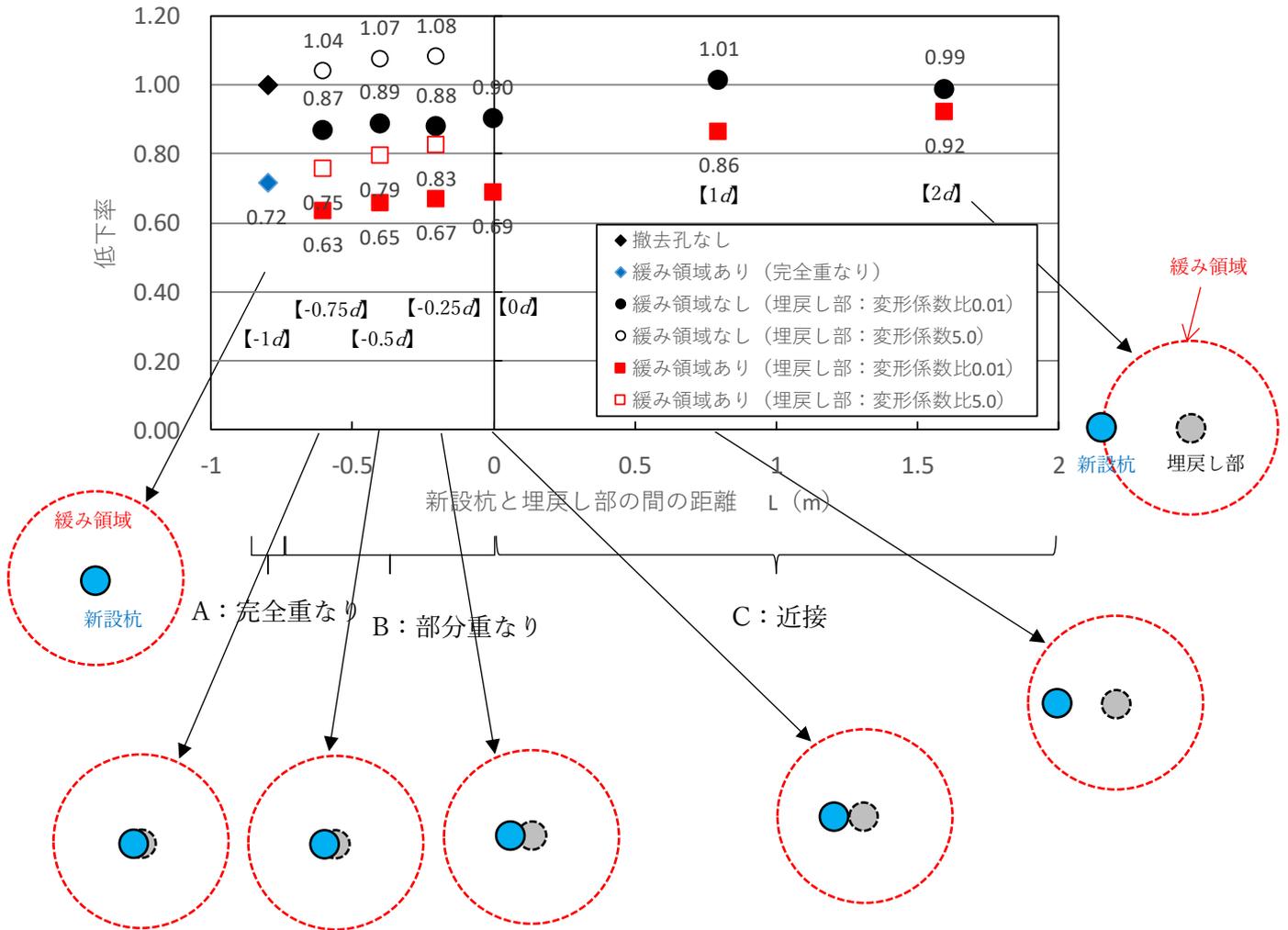
付図 5.1.12 解析モデルの一例（解析 No.0, No.3）



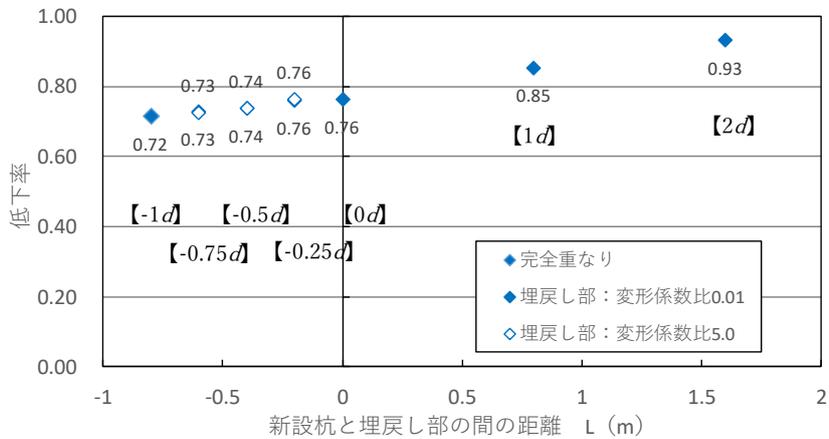
周面摩擦抵抗 = 杭頭荷重 / (杭頭変位置量 - 地盤変位置量 ● の平均)
 (新設杭心と埋戻し部心がずれている場合も新設杭心を中心として同様の算出方法)

付図 5.1.13 周面摩擦抵抗の算出方法

解析 No.0 (撤去孔なし, 緩み領域なし) に対する各解析ケースの周面摩擦抵抗の低下率を付図 5.1.14 に, 緩み領域の影響 (解析 No.2 ケース/解析 No.1 ケース) を付図 5.1.15 に示す。



付図 5. 1. 14 No. 0 に対する各解析ケースの周面摩擦抵抗の低下率



付図 5. 1. 15 緩み領域なしに対する緩み領域ありの周面摩擦抵抗の低下率 (緩みの影響)

本検討で得られた結果を以下にまとめる。なお、ここでは緩み領域ありのケースの結果を対象に記載する。

- ・新設杭と埋戻し部が重ならず離れている場合には、新設杭が埋戻し部に近いほど周面摩擦抵抗は新設杭のみの場合に比べて低下する。埋戻し部の強度が原地盤よりも弱い（適切な埋戻しがなされていない）場合には、新設杭と埋戻し部の間の距離が $2d$ 離れている場合で約 10%、 $1d$ 離れている場合で 15%、 $0d$ （隣接している）の場合で約 30%の周面摩擦抵抗の低下が認められる。
- ・新設杭と埋戻し部が重なる場合、埋戻し部の強度が原地盤よりも高くても約 20%程度の周面摩擦抵抗の低下が認められ、新設杭と埋戻し部の重なり部分が大きいほど低下している。これは新設杭と埋戻し部の重なり部分が大きいほど埋戻し部を中心とした緩み領域の緩みの程度が著しい位置に新設杭が位置しているためと考えられる。一方、埋戻し部の強度が原地盤よりも低い場合には 30～40%程度と、顕著に周面摩擦抵抗が低下する。
- ・緩み領域の有無の結果による比較から、埋戻し部の強度が高い場合でも緩み領域が存在することによって 25%程度周面摩擦抵抗が低下する（新設杭と埋戻し部が重なるケース）。埋戻し部の強度が原地盤よりも低い場合にも概ね同程度低下する。なお、新設杭と埋戻し部の間の距離が $2d$ 離れている場合で約 10%、 $1d$ 離れている場合で 15%、 $0d$ （隣接している）の場合で周面摩擦抵抗は約 25%低下する。

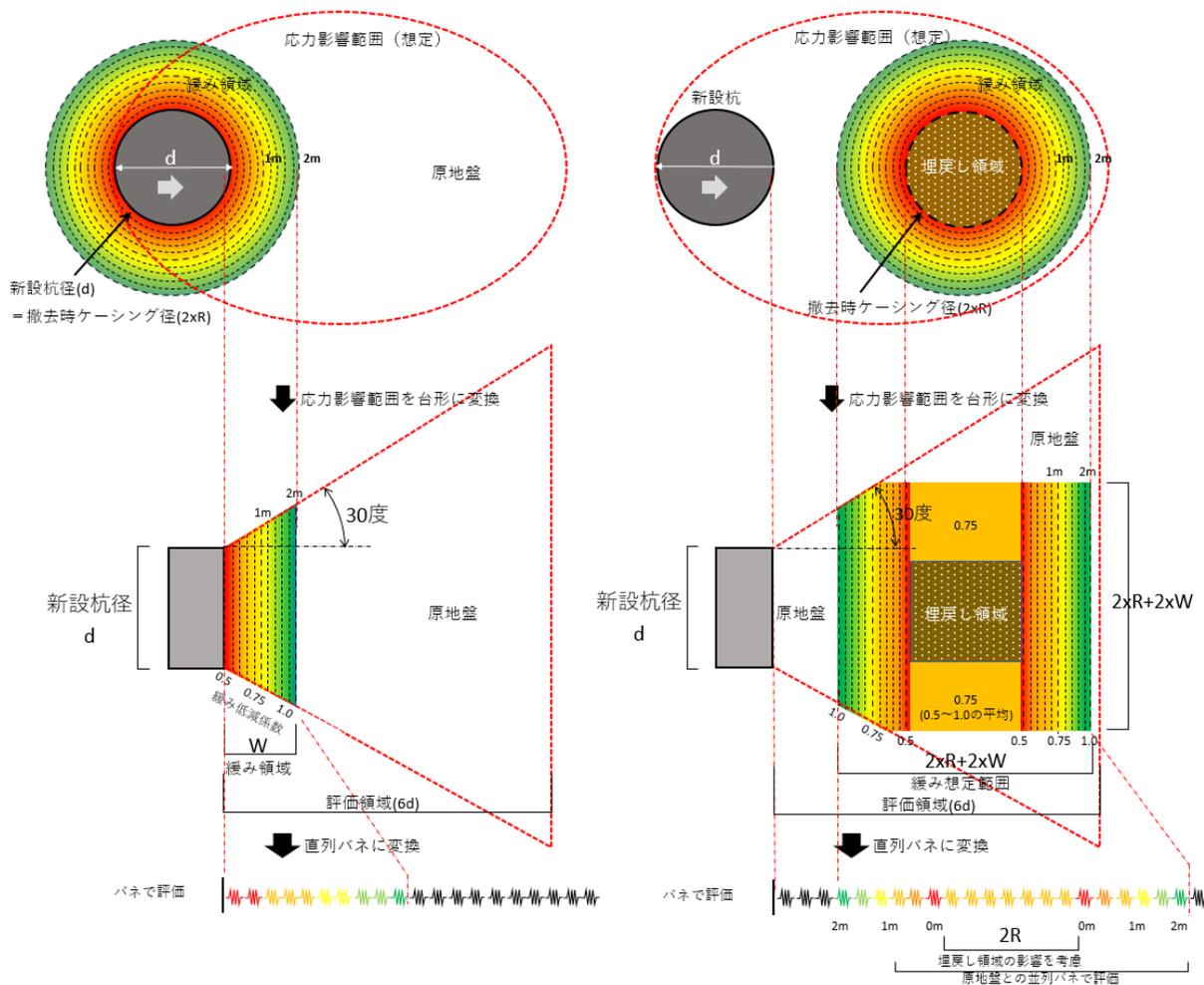
【参考文献】

- 5.1.1) 新井寿昭，辻靖彦，古垣内靖，遠藤正美，木谷好伸，前嶋匡：既存杭撤去・埋戻しに伴う周辺地盤への影響（緩み）に関する研究（その 17）周辺地盤の緩みを考慮した杭の水平抵抗に関する解析的検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.581-582，2023.9
- 5.1.2) 葛西勇紀，古垣内靖，川崎健二郎：埋戻し部が干渉する杭の水平抵抗に関する解析的検討－加力方向に埋戻し部が存在する場合－，東急建設技術研究所報 No.46（2020 年度）
- 5.1.3) 柴田景太，船原英樹，長尾俊昌，田村修次：非線形 FEM に基づく杭の水平地盤反力係数（その 2）平面ひずみモデルによる非線形特性の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.531-532，2020.9
- 5.1.4) 藤岡豊一，青木一二三：杭の周面抵抗と影響半径に関する一考察，土木学会第 55 回年次学術講演会，III-B32，2000.9
- 5.1.5) 藤岡豊一，青木一二三：杭の周面抵抗－変位関係に及ぼす載荷方向の影響，第 35 回地盤工学研究発表会，pp.15-16，2000.6
- 5.1.6) 佐原守，秋野矩之，茶谷文雄：加圧土槽を用いた杭周面摩擦試験結果に基づく群効果（その 1：試験結果と考察），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.685-686，1999.9

2. 簡易計算法による地盤の緩み等の評価

2.1 地盤の緩み等が水平抵抗に及ぼす影響の評価

新設杭の前面に広がる地盤の剛性に緩み等の影響を評価し、緩み等が無い地盤に対する水平抵抗の低下率の計算を試みる。緩み等を考慮する前面地盤の応力影響範囲は付図 5.2.1 に示すように、新設杭端部 d (d : 新設杭径) から、両側に 30 度の広がりを持った台形と仮定する。地盤は平行な有限厚さの成層地盤と仮定し、付図 5.2.2 に示すように、緩みや埋戻し部の状態を考慮して地盤の奥行き P (m) ごとに地盤の弾性剛性を算出した直列ばねを想定する。既存杭撤去孔の半径は R 、緩み距離は W ($=2.0\text{m}$) とする。

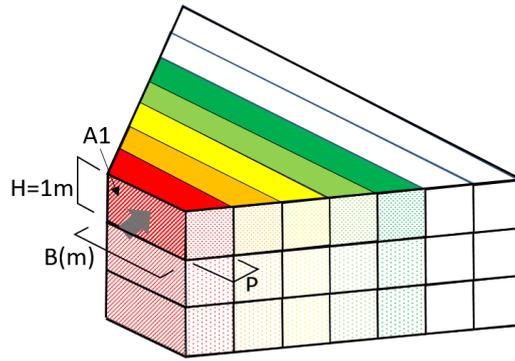


(a) 新設杭と撤去孔が完全重なるの場合

(b) 新設杭と撤去孔が離れている場合

付図 5.2.1 水平抵抗の簡易計算モデル

既存杭撤去による地盤の緩み領域は既存杭撤去孔端部から 2m の範囲とし、低減係数は撤去孔近傍を 0.5、2m 離れた位置で 1.0 (低減なし) となる直線的な緩み分布を想定する。近接の場合の撤去孔埋戻し部は、不確実な充填の場合 (剛性 0.1) と、流動化処理土などによる確実な充填 (周辺地盤と同程度:剛性 1.0) の 2 ケースとし、層毎に撤去孔周辺の地盤剛性との面積平均を算出した。



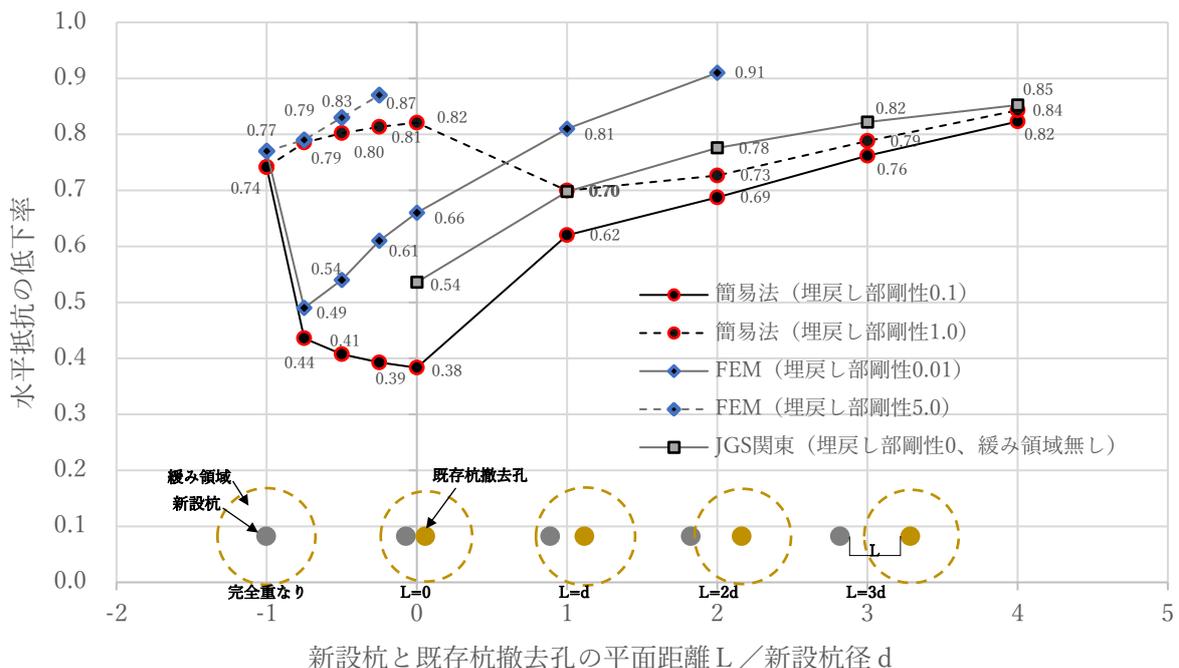
B: 置換位置での地盤の幅 (m), H: 地盤の厚さ (1.0m), P: 奥行き (m)

付図 5.2.2 地盤の軸ばね算出方法

地盤端部（新設杭端部）に単位荷重を加えた時の緩みの有無による変形量の比率を水平抵抗の低下率とした。なお、応力影響範囲は新設杭径の 6 倍までとし、それより遠方の影響は考慮していない。

撤去孔（直径 0.8m）と新設杭（直径 0.8m）の位置の違いによる水平抵抗の低下率を付図 5.2.3 に示す。参考として、付録 5「1.FEM による地盤の緩み等の評価」に示した FEM の結果（新設杭径、撤去時ケーシング径ともに 0.8m の場合）および地盤工学会関東支部の研究委員会報告書「既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計」^{付 5.2.1}（以下 JGS 関東）の地盤の緩みを考慮しない計算方法による低下率も併記する。

完全重なる場合は、簡易計算法と FEM の差は 3 ポイント（%の数値の差）程度となっており良好な対応を示していると考えられる。新設杭と撤去孔の位置関係が変化した場合、差が最大 28 ポイント程度になるものの、FEM や緩みを考慮しない JGS 関東の低下率よりも概ね低めに評価されており、低下率に幅を持たせた検討を行う場合の下限参考値としてよいと考えられる。



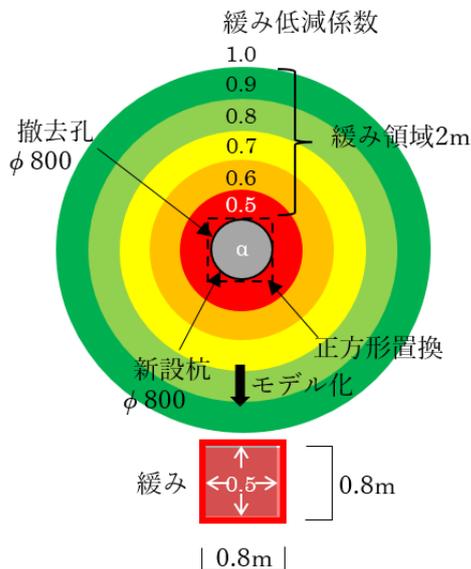
付図 5.2.3 地盤の緩み等を考慮した新設杭の水平抵抗の低下率

2.2 地盤の緩み等が鉛直支持性能に及ぼす影響の評価

新設杭の鉛直支持性能は、杭の周面摩擦ばねと先端地盤ばねに分けて簡易計算法を示す。

(1) 周面摩擦ばねの性能低下率

地盤の緩み等による新設杭の周面摩擦ばねの性能低下率は、新設杭の直径を一辺とする正方形に置換し、完全重なる場合は新設杭の外径に接する地盤の緩み（低減係数）で算出し、完全重なりでない場合は、杭心を通る仮想評価軸の領域幅で平行に領域分けした正方形の外周に接する地盤の緩み（低減係数）や埋戻し部の長さに係数を乗じた加重平均として算出する。埋戻し部の影響については、埋戻し部が不確実な充填（強度・剛性が期待できない）の場合と、流動化処理土等によって密実（ N 値 >10 相当）に充填されている場合でそれぞれ影響係数 α を設定して周面摩擦ばねへの影響を評価する。ただし、既存杭撤去孔と新設杭が重ならない場合（近接）は、JGS 関東を参考に、新設杭周辺地盤への既存杭撤去孔の影響も考慮する。

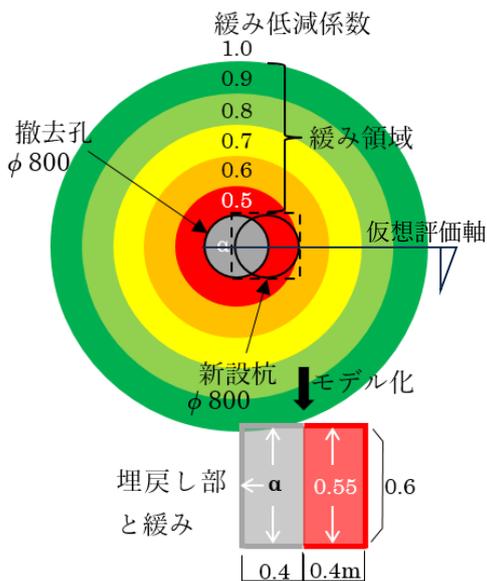


(a) 内包（完全重なり）

【内包（完全重なり 心間距離 $L0=0.0m$ ）】

新設杭の外周は、緩み領域（低減係数 0.5）に接し、埋戻し部の影響は受けない。

周長平均(周面摩擦ばね) = 低下率 : 0.5



(b) 部分重なり

【部分重なり（心間距離 $L0=0.4m$ ）】

周長平均(周面摩擦ばね) :

埋戻し部の影響係数 α は不確実充填 0.0, 確実充填 1.0

0.0m 左端面 : α

0.0-0.4m の側面 : α

0.4-0.8m の側面 : 0.55 (低減係数 0.5~0.6 平均)

0.8m 右端面 : 0.6

合計欄 (×分担長) :

不確実充填の場合

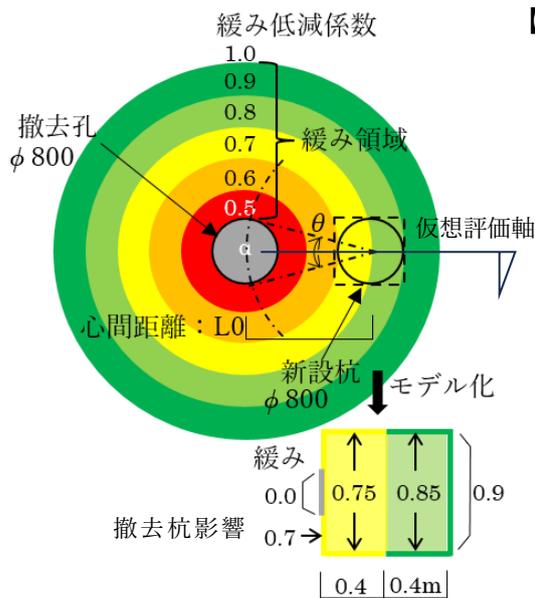
$0.0 \times 0.8 + (0.0 + 0.55) \times 0.4 \times 2 + 0.6 \times 0.8 = 0.92$

低下率 : $0.92 / (\text{正方形周長} : 0.8 \times 4) = 0.29$

確実充填の場合

$1.0 \times 0.8 + (1.0 + 0.55) \times 0.4 \times 2 + 0.6 \times 0.8 = 2.52$

低下率 : $2.52 / (\text{正方形周長} : 0.8 \times 4) = 0.79$



(c) 近接 I (緩み領域と重なる)

【近接 I (心間距離 $L0=1.6m$)】

周長平均(周面摩擦ばね) :

撤去孔影響部 (グレー部) 長さ :

$$2 \times (d/2) \times \tan(2 \times \text{asin}(R/(2 \times L0))) = 0.2m$$

R : 撤去孔半径, $L0$: 心間距離

0.0m 左端面 : 0.0 (0.2m), 0.7 (0.6m)

0.0-0.4m の側面 : 0.75 (0.7~0.8 平均)

0.4-0.8m の側面 : 0.85 (0.8~0.9 平均)

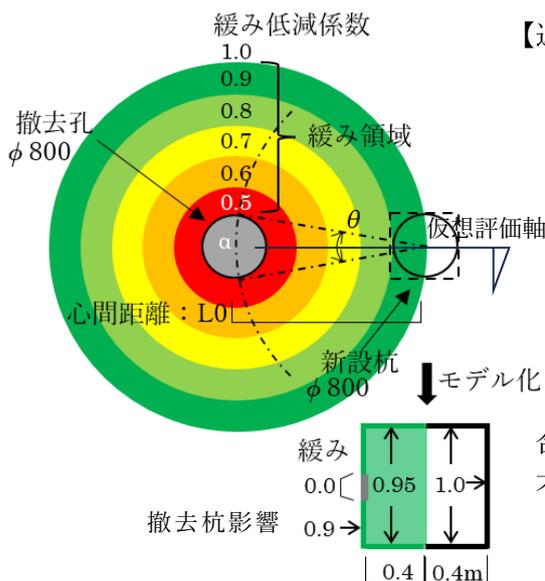
0.8m 右端面 : 0.9

合計欄 (×分担長) :

不确实充填の場合

$$0.0 \times 0.2 + 0.7 \times 0.6 + (0.75 + 0.85) \times 0.4 \times 2 + 0.9 \times 0.8 = 2.42$$

低下率 : $2.42 / (\text{正方形周長} : 0.8 \times 4) = 0.76$



(d) 近接 I (緩み領域と一部重なる)

【近接 I (心間距離 $L0=2.4m$)】

周長平均(周面摩擦ばね) :

撤去孔影響部長さ :

$$2 \times (d/2) \times \tan(2 \times \text{asin}(R/(2 \times L0))) = 0.13m$$

R : 撤去孔半径, $L0$: 心間距離

0.0 m 左端面 : 0.0 (0.13m), 0.9 (0.67m)

0.0-0.4 m の側面 : 0.95 (0.9~1.0 平均)

0.4-0.8 m の側面 : 1.0 (原地盤)

0.8 m 右端面 : 1.0

合計欄 (×分担長) :

不确实充填の場合

$$0.0 \times 0.13 + 0.9 \times 0.67 + (0.95 + 1.0) \times 0.4 \times 2 + 1.0 \times 0.8 = 2.96$$

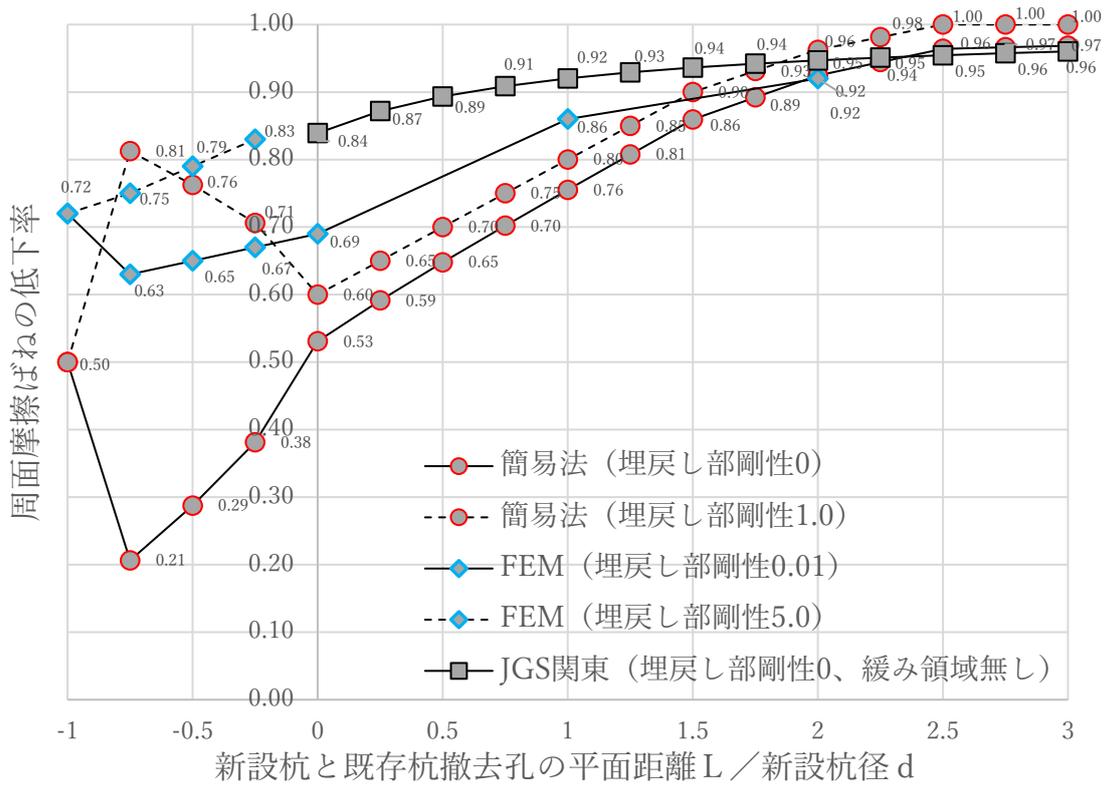
低下率 : $2.96 / (\text{正方形周長} : 0.8 \times 4) = 0.92$

付図 5.2.4 周面摩擦ばねの簡易計算法のモデル化と計算

一例として、撤去孔径 ($2 \times R$) が 0.8m、新設杭径 (d) が 0.8m の場合を、心間距離 $L0$ を変化させて付図 5.2.4 に計算式とともに示す。

FEMの結果およびJGS 関東(地盤の緩み無し)との比較を付図 5.2.5 に示す。

簡易計算法と FEM や地盤の緩みを考慮しない JGS 関東の検討方法の結果を比較すると、既存杭撤去孔と新設杭が部分重なりの場合に差が大きいものの、概ね簡易計算法は低い値となっており、低下率に幅を持たせた検討を行う場合の下限参考値としてよいと考えられる。

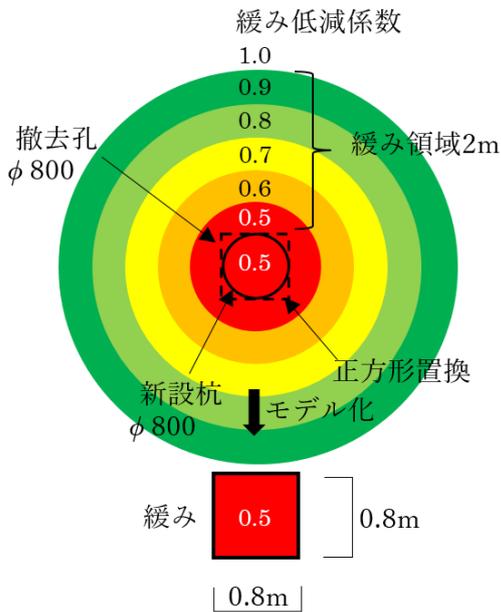


付図 5.2.5 周面摩擦ばねの低下率の比較

(2) 先端地盤ばねの性能低下率

既存杭撤去に伴う杭先端地盤の鉛直方向の緩みに関しては調査事例がなく評価が困難であるため、新設杭先端は既存杭先端よりも深く設定することが基本ではあるが、ここでは新設杭先端深さが同じ場合（埋戻し部の影響は考慮しない）の簡易算出法を示す。

新設杭の先端地盤ばねの性能低下率は、新設杭の直径を一辺とする正方形に置換し、仮想評価軸の領域幅で区分された低減係数の面積の加重平均で評価する。完全重なりの場合、仮想評価軸の領域幅を一辺とする正方形群の重なりで評価する。ここでは撤去孔周辺部の鉛直方向の緩み範囲は水平剛性検討時の緩み範囲と同じとし、撤去孔直下の緩み低減係数は最小値（0.5）と仮定する。深さ方向の変化は考慮しない。

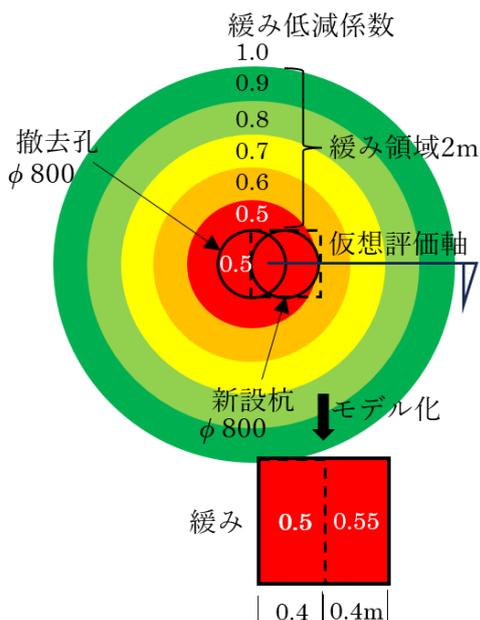


(a) 内包（完全重なり）

【内包（完全重なり 心間距離 $L0=0.0m$ ）】

新設杭は、緩み領域（低減係数 0.5）に重なるため、埋戻し部の影響は受けない。

周長平均(周面摩擦ばね)=低下率：0.5



(b) 部分重なり

【部分重なり（心間距離 $L0=0.4m$ ）】

面積平均(先端地盤ばね)：

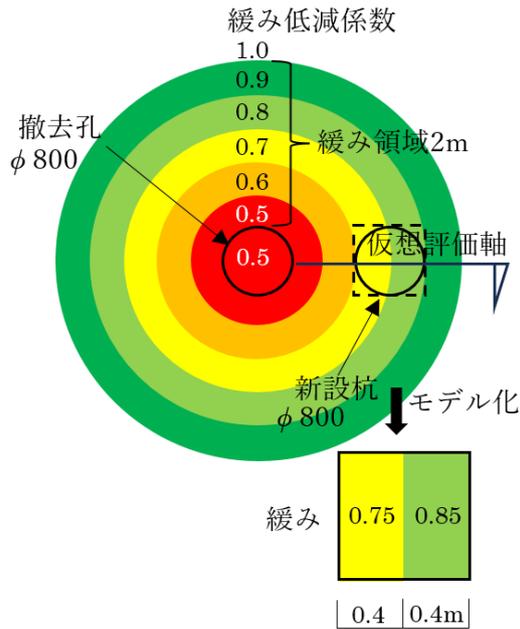
0.0-0.4m の範囲：0.5（撤去孔直下）

0.4-0.8 m の範囲：0.55（0.5~0.6 平均）

合計欄（×面積）：

$(0.5+0.55) \times 0.4 \times 0.8 = 0.34$

低下率： $0.34 / (\text{面積} : 0.8 \times 0.8) = 0.53$



【部分重なり (心間距離 $L0=1.6m$)】

面積平均(先端地盤ばね) :

0.0-0.4 m の範囲 : 0.75 (0.7~0.8 平均)

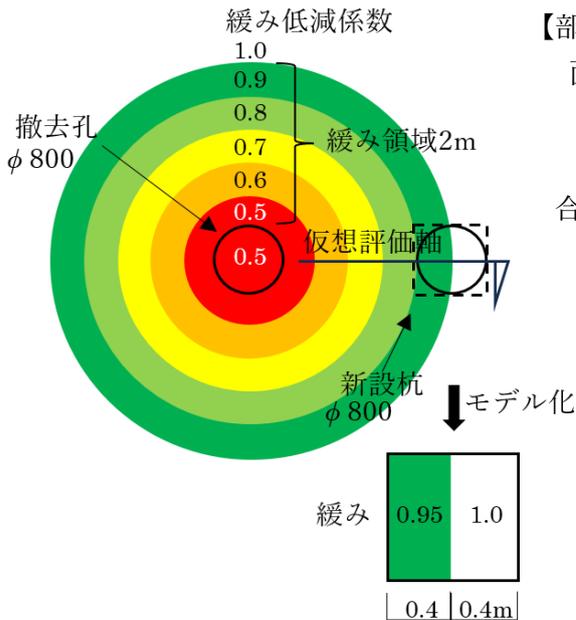
0.4-0.8 m の範囲 : 0.85 (0.8~0.9 平均)

合計欄 (×面積) :

$$(0.75+0.85) \times 0.4 \times 0.8 = 0.51$$

$$\text{低下率} : 0.51 / (\text{面積} : 0.8 \times 0.8) = 0.80$$

(c) 近接 I (緩み領域と重なる)



【部分重なり (心間距離 $L0=2.4m$)】

面積平均(先端地盤ばね) :

0.0-0.4 m の範囲 : 0.95 (0.9~1.0 平均)

0.4-0.8 m の範囲 : 1.0 (原地盤)

合計欄 (×面積) :

$$(0.95+1.0) \times 0.4 \times 0.8 = 0.62$$

$$\text{低下率} : 0.62 / (\text{面積} : 0.8 \times 0.8) = 0.98$$

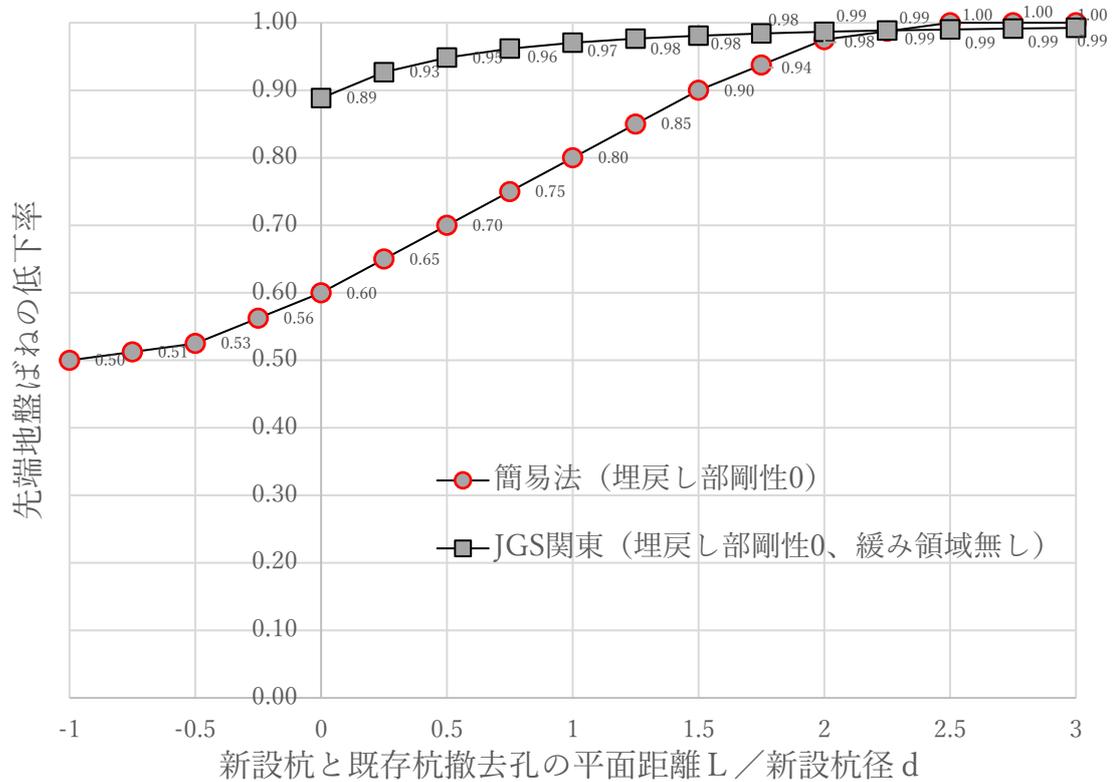
(d) 近接 I (緩み領域と一部重なる)

付図 5.2.6 先端地盤ばねの簡易計算法のモデル化と計算

一例として、撤去孔径 ($2 \times R$) が 0.8m, 新設杭径 (d) が 0.8m の場合の計算例を、心間距離を変化させて付図 5.2.6 に計算式とともに示す。

JGS 関東（地盤の緩み無し）との比較を付図 5.2.7 に示す。

簡易計算法と地盤の緩みを考慮しない JGS 関東の検討方法の結果を比較すると、概ね簡易計算法は低い値となっており、低下率に幅を持たせた検討を行う場合の下限参考値としてよいと考えられる。



付図 5.2.7 先端地盤ばねの低下率の比較

【参考文献】

5.2.1) 地盤工学会関東支部：既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工，pp.130-134，2022.6

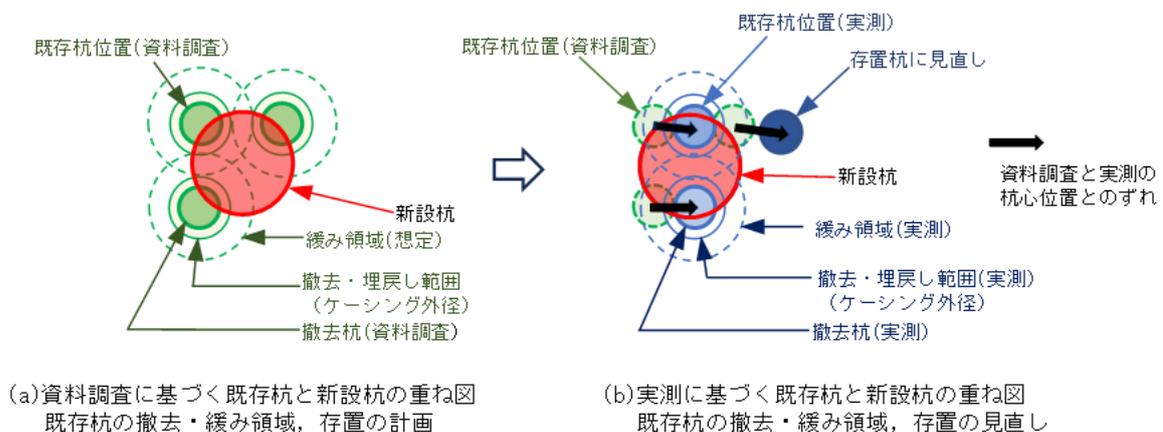
付録6 既存杭を含む敷地地盤における「軽微な変更」に関する検討

本ガイドライン 4.1 節「新設杭の設計フローおよび留意事項」図 4.1.1 設計フローでは、新設杭の設計に対して、緩み等地盤調査（地盤調査②）を実施し、その結果に基づいて新設杭を設計している。ただし、設計段階で地盤調査②が実施できない場合は、「既往の調査資料などを参考に地盤の緩み等を想定して新設杭を設計する。その際、緩み等の想定に関してはある程度幅を持たせた検討（あらかじめの検討）を行っておくこと、また、新設杭の設計の妥当性の確認で、設計時の想定を外れた場合は「軽微な変更」^{付 6.1} 等に対応する。」としている。しかし、現在の軽微な変更として認められている内容や項目は、建築基準法施行規則や日本建築行政会議から「軽微な変更と認められる例」として出されている事例^{付 6.2} から見るとかなり限定的であって、既存杭を含む敷地条件に対応した不具合は考慮されていないので、既存杭の再利用を行う選定杭の変更や品質の改変・変更（杭体の補強や周辺地盤の地盤改良など）などは想定外の内容であり、建築確認の取り直しでの対応にならざるを得ない。従って、現実問題として、建築生産の実務を遅延・阻害しないように対応するには、基礎杭や周辺地盤の変更が生じて、上部構造の仕様の変更を伴わないように、基礎梁などの基礎構造に仕様の変更（基礎梁の剛性を大きくすることや増し杭など）を行なって対応できるような内容については、軽微な変更で対応できる道筋を設けることが切望される。ここでは、既存杭を含む敷地地盤における「軽微な変更」について、検討内容を記載する。

1. 既存杭を含む敷地地盤が一般的な地盤と異なる特別な理由

既存杭の処理形態（撤去・存置・再利用）で行われる新設建物の基礎地盤系の不具合としては、大きく下記 3 項目が挙げられる。

- 1) 既存杭処理に関する課題として、設計時の地盤条件と杭の引き抜き後の地盤条件（地盤の剛性強度などが低下する場合など）との齟齬（本ガイドライン 2.3 節「周辺地盤および埋戻し部の調査結果のまとめ」や参考文献付 6.3（埋戻し部の調査事例）等参照）。
- 2) 既存杭を再利用する場合では、設計時の杭体条件（仕様や健全性の状態）と解体後の条件の齟齬（参考文献付 6.4 に再利用の注意事項と調査方法が記載されている）。



付図 6.1 撤去対象杭の見直し例（既設計図書の原点がずれていた場合）

3) 既存杭を存置する場合には、設計時の既存杭（位置や本数）条件との齟齬（例えば、本ガイドライン図 3.1.2（付図 6.1 に再掲）に示すような基準点の位置情報の不確かさからくる位置の違い等）

2. 現状の「軽微な変更」での記載事項と留意点

現状の確認申請で行われている「軽微な変更」とは、「当該変更に係る工事に着手する前に確認審査の出直しの必要がないもの。」と位置付けられて、軽微な変更があった場合は、「速やかに事前報告し、中間検査又は完了検査の際に変更の内容を示し、検査を受ける。」とされている。

建築基準法施行規則 3 条の 2(計画の変更に係る確認を要しない軽微な変更)では、下記の通り記載されている。

法第 6 条第 1 項（法第 87 条第 1 項において準用する場合を含む。）の国土交通省令で定める軽微な変更は、次に掲げるものであつて、変更後も建築物の計画が建築基準関係規定に適合することが明らかなものとする。（平成 22 年 6 月 1 日 - 現在有効）

八 構造耐力上主要な部分である基礎ぐい、間柱、床版、屋根版又は横架材（小はりその他これに類するものに限る。）の位置の変更（変更に係る部材及び当該部材に接する部材以外に応力度の変更がない場合であつて、変更に係る部材及び当該部材に接する部材が令第 82 条各号に規定する構造計算によつて確かめられる安全性を有するものに限る。）（平成 26 年 4 月 1 日 - 現在有効）

九 構造耐力上主要な部分である部材の材料又は構造の変更（変更後の建築材料が変更前の建築材料と異なる変更及び強度又は耐力が減少する変更を除き、第十二号の表の上欄に掲げる材料又は構造を変更する場合にあつては、同表の下欄に掲げる材料又は構造とする変更に限る。）（平成 26 年 4 月 1 日 - 現在有効）

上記を踏まえた軽微な変更の具体的例として、日本建築行政会議 編集：建築構造審査・検査要領別表 2^{付 6.2)} が示されている。また、各地方行政機関からも、別表 2 に準じたものが示されている。別表 2 との違いとして、「明らかに軽微な変更該当するもの」の欄のみを示し、「内容確認の上で、軽微な変更として取り扱うもの（構造計算に準じた方法で関係規定への適合を把握できた場合）」の欄が削除されているものが見られる。どちらも、既存杭がある地盤での対応について不明確である。付表 6.1 に、別表 2 の右欄に既存杭の処理形態に応じた相談事例（案）を追記したものを示す。相談事例（案）は、本ガイドライン作成時に、関係者から挙げられたものの抜粋である。

付表 6.1 軽微な変更該当する一般的な例と既存杭の処理形態に伴う相談事例（案）

変更内容		軽微な変更（黒：明らかに該当、青：要内容確認）	相談事例（案） （赤：相談内容、黒：その理由）
くい基礎	ア. 杭先端位置の変更（抗長の変更、既製ぐい杭頭レベルの変更）	①支持力が減少しない場合（引き抜きを含む） ②既製ぐいの杭頭レベルの変更 変更において、構造計算に準じた方法で関係規定への適合を把握できた場合	【再利用】地上解体後、既存杭の杭頭を調査したら、ア-1:既存杭の杭頭レベルが、既往図面より 1m以上異なっていた。 →設計上摩擦を考慮していない範囲の長さの変更であれば支持力は低下していないので軽微な変更で対応したい。

<p>イ. 杭の偏心</p>	<p>①くい位置の変更（これに伴い基礎ばりやフーチングの耐力等を増加する変更を含む） 変更において、構造計算に準じた方法で関係規定への適合を把握できた場合</p>	<p>【再利用】 地上解体後、既存杭の杭頭を調査したら、 ウ-1：既往図面と100mm以上の位置がずれていた。 →既存杭の位置の把握に非常に困難であり、100mm以内はまれと思われる。基礎梁やパイルキャップの耐力を増加することで対応できるのであれば軽微な変更で対応したい。 ウ-2：所定の位置に杭があったが、図面以外の杭もあった。 →図面以外の杭を支持力に期待する場合、耐力の低下にならないので軽微な変更で対応したい。 【既存杭撤去】 ウ-3：既存杭撤去心に新設杭を合わせる計画だが、既存杭位置が想定位置と異なっていた。 →杭支持力の減少がなければ、軽微な変更で対応したい。 ウ-4：既存杭撤去孔の影響を受け、新設杭の杭心が偏心した。 →上記と同様の理由で軽微な変更で対応したい。 【既存杭存置】 ウ-5：存置杭の位置が、新設杭と平面的に重なったため、新設杭の位置を変更した。 →上記と同様の理由で軽微な変更で対応したい。</p>
<p>ウ. くい工法・くい材料の変更</p>	<p>①平13 国交告第1113号 第5の基礎ぐいの種類、工法の変更でくい体の強度、耐力が減少せず、かつ支持力が減少しない場合（引き抜きを含む）（アース→リバー、アース→BH等） ②同一材料のくいの材種の変更で強度、耐力が減少しない場合 既製PHCぐいでSC、A、B、C種など、強度、耐力が減少しない場合 ③基礎ぐいの工法の変更でくい体の強度、耐力が減少せず、かつ支持力が減少しないか、同種の認定ぐいのメーカーの変更の場合 変更において（①は除く）、構造計算に準じた方法で関係規定への適合を把握できた場合</p>	<p>【再利用】 地上解体後、既存杭の杭体強度を調査したら、 ウ-1：杭の強度は、想定より小さかった。近傍に新設杭を打設することにした。 →（新設杭は、鉛直+水平支持力補強）軽微な変更で対応したい。 →（新設杭は、水平支持力補強のみ）警部な変更で対応したい。 【撤去】 地上解体後、埋戻し部を調査したら、 ウ-2：埋戻し部と近傍地盤の剛性（N値等）が低く、新設杭PHC杭をSC杭等、変更した。 →杭径を変えずにSCへの変更であれば、耐力の低下になっていないので軽微な変更で対応したい。 ウ-3：埋戻し部と近傍地盤の剛性（N値等）が低く、埋戻し部と周辺地盤の地盤改良を実施。 →杭体の強度・耐力は低減しないように周辺地盤を地盤改良する場合は軽微な変更で対応したい。 【存置→撤去】 地上解体後、存置した既存杭を調査したら、 ウ-4：新設杭と位置が重なっており、撤去・埋戻し後、所定の位置に新設杭を計画・設計した。撤去後、埋戻し部と近傍地盤の調査結果で、原地盤より剛性（N値等）が低く、新設杭の剛性・耐力をアップした。 →当初計画より、新設杭の耐力が大きくなる変更であり、基礎梁同様耐力の低減とはならないので軽微な変更で対応したい。 ウ-5：ウ-4の対策として、埋戻し部と周辺地盤の地盤改良を実施した。新設杭の杭径・耐力は変更なし。 →既存杭撤去埋戻し時点で既に地盤の改変を行っている。設計条件を満足するような地盤に改変（追加地盤改良）を行うことは軽微な変更で対応したい。 ウ-6：既存杭解体後に調査した結果、N値が低下しており、液状化の可能性無しが、ありとなったので、対策を講じることとした。新設杭をSC杭に変更した。 →液状化に伴い地盤種別が変更した場合で、上部構造の変更がない場合は軽微な変更で対応したい。 ウ-7：ウ-6の対策として、地盤改良を行うことにした。 →この場合の地盤改良は軽微な変更で対応したい。</p>

	エ. くい径の変更	① くい体の強度、耐力が減少せず、かつ支持力が減少しない場合、 変更において、構造計算に準じた方法で関係規定への適合を把握できた場合	【再利用】 地上解体後、既存杭の杭頭を調査したら、 エ-1：杭径が既往図面と異なっていた。 →「杭径が小さい場合」耐力が低下するので計画変更となるか？ 【撤去】 地上解体後、埋戻し部を調査したら、 エ-2：埋戻し部と近傍地盤の剛性（N値等）が低く、新設杭の杭径をアップした。 →耐力が大きくなるので軽微な変更で対応したい。 エ-3：エ-2で、埋戻し部と周辺地盤の地盤改良も併用した。 →耐力が大きくなるので軽微な変更で対応したい。
	オ. くい基礎⇔地盤改良	— ※該当する号がないため	
	カ. その他		
直接基礎	ア. 支持層の深さの変更	省略	
	イ. 地盤改良工法の変更	省略	
	ウ. 基礎形状の変更	省略	
	エ. 設計地耐力の変更	省略	

3. 既存杭の処理形態に応じた対処方法の提案

既存杭の処理形態によって生じた齟齬の処理の仕方として、以下の方法を提案する。ただし、個別物件での適用に当たっては、各行政機関の判断が必要であり、事前に相談する必要がある。

基本的に、あらかじめ検討内容を含む設計条件と解体後の基礎構造、基礎品質、地盤条件などとの齟齬については、以下の方法によってそれを解消する検討を行う。

(1) 杭基礎の設計支持力（鉛直及び水平）が地盤の設計条件との違いによって減少する場合の処置

① 杭基礎の周辺（先端部分を含む）における地盤を原地盤以上の強度あるいは剛性に回復するために、地盤の固化や締め固めなどの施工を行う。その結果、設計条件が満足されるように地盤の性質が、回復、改善されていることを、地盤調査あるいは土質試験によって確認し、軽微な変更の手続きにより、設計図書に反映する。また、地盤条件の改善結果は、施工管理報告書に記載し、中間検査で報告する。

② 減少した杭の設計支持力（鉛直及び水平）を補うように、杭径や杭工法の変更により強度・耐力・剛性を増加させ、または新設杭による増杭を施工する場合には、基礎構造の仕様の変更があっても、基礎梁に十分な剛性を付与することによって、上部構造の応答などに影響しないことを計算によって確認し、基礎梁などの仕様の変更は、軽微な変更の手続きより設計図書に反映し、新設杭などの追加は、施工管理報告書に記載し、中間検査で報告する。

(2) 既存杭の再利用に際して性能・品質や位置について変更が必要になった場合の処置

設計で使用した既存杭の性能・品質や位置について、解体後の新たな事実確認の結果に基づきあらかじめの検討以上の変更が必要になった場合、変更後の杭基礎の仕様に対して、基礎梁が十分な剛性を有していることの確認あるいは基礎梁に必要な剛性を新たに付与し、上部構造の応

答に影響を与えないことを計算によって確認し、軽微な変更の手続きにより設計図書に反映する。

(3) 既存杭の存置に関して新設杭の位置変更が必要になった場合の処置

設計で想定した既存杭の位置や本数が、解体後の新たな事実確認の結果に基づきあらかじめの検討以上の新設杭の位置変更が必要になった場合、変更後の杭基礎の仕様に対して、基礎梁が十分な剛性を有していることの確認あるいは基礎梁に必要な剛性を新たに付与し、上部構造の応答に影響を与えないことを計算によって確認し、軽微な変更の手続きにより設計図書に反映する。

【参考文献】

- 付 6.1) 実務者向けのわかりやすい・新しい建築確認手続きの要点,
<https://www.mlit.go.jp/common/000019572.pdf>
- 付 6.2) 日本建築行政会議 編集：建築構造審査・検査要領－確認審査等に関する指針 運用解説編－（2016年版を参照）
- 付 6.3) 地盤工学会関東支部：既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工，4章，pp.49-84，2022.6
- 付 6.4) 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－. 2018.11

既存杭撤去・埋戻しに伴う緩み等の調査および地盤調査計画

INVESTIGATION OF GROUND LOOSENING, ETC. DUE TO REMOVAL OF EXISTING PILES AND BACKFILLING OF THE AREA AND SOIL INVESTIGATION PLAN

山本裕司 — * 1 青木雅路 — * 2
森 利弘 — * 3 沼本大輝 — * 4
本橋 悠 — * 5 根岸利昌 — * 6
沼田俊輔 — * 7 二木幹夫 — * 8

Yuji YAMAMOTO — * 1 Masamichi AOKI — * 2
Toshihiro MORI — * 3 Haruki NUMOTO — * 4
Yu MOTOHASHI — * 5 Toshimasa NEGISHI — * 6
Shunsuke NUMATA — * 7 Mikio FUTAKI — * 8

キーワード：

既存杭, 杭撤去工法, 埋戻し, 地盤調査, 緩み範囲, 低減係数

Keywords:

Existing piles, Pile removal method, Backfilling, Soil investigation, Loosening extent, Reduction factor

A soil investigation was conducted to determine the extent and degree of loosening of the surrounding ground due to removal of existing piles and backfilling of the area. The area affected by ground loosening was approximately 2 to 3m from the edge of the casing, and the decrease in N-value etc., was more pronounced closer to the edge of the casing. The tendency of decrease by soil type was more pronounced for sandy soil. Based on the investigation results, we proposed a soil investigation plan to determine the effects of ground loosening caused by the removal of the existing piles.

1. はじめに

日本の多くの都市では、戦後の復興期から高度成長期に建設された建築物の建替えや都市再開発が行われており、その数は今後も増加すると考えられる。既存建築物の解体に併せて基礎杭（以後、既存杭と呼ぶ）撤去と撤去孔の埋戻しも同時に行われることも多いが、既存杭の撤去・埋戻しに対する施工指針や品質管理基準は無く、その後構築される新設建築物の基礎杭（以後、新設杭と呼ぶ）施工時に偏心や傾斜などのトラブルに繋がる事例も生じている。このような事例は、既存杭の撤去・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工¹⁾に詳しく記載されている。

一方、既存杭撤去部の周辺地盤は、原地盤に比べてN値や地盤剛性等の地盤の硬軟や締めり具合を示す値が低下し、新設杭の支持力や剛性に影響を与える可能性が考えられるが、これに対する調査・研究事例は少ない。そうした中、太田雅之他（2003）²⁾は、既存杭の引抜きに伴う地盤強度の変化および影響範囲の把握を目的として電気式静的コーン貫入試験を実施し、砂質土層のうち浅い地層では、杭心から1m, 2m離れた地点での先端抵抗が低下（最大値比較で0.7倍）していることを報告している。また、田中俊平他（2005）³⁾は、緩み領域の把握を目的として挿入式傾斜計を用いて地盤の水平変位を測定し、既存杭中心から3m離れると大きな移動は起きていないとしている。さらに、松元秀樹他（2005）⁴⁾は、地盤強度・剛性の変化の把握を目的としてサイスマックコーンを用いた調査を

行い、先端抵抗・周面摩擦は、撤去前後で大きな変化は見られないが、せん断波速度は、浅部の粘性土で低下傾向が見られ、低下割合は、6割程度（剛性では4割程度）になったとしている。なお、ここに挙げた研究事例で調査手法や評価手法は統一されていない。

本報告では、既存杭撤去に伴う周辺地盤の緩み等の状況を把握するために行った地盤調査事例と緩み等の評価結果について報告するとともに、新設杭の設計時に既存杭撤去地盤の緩み等を評価するための地盤調査計画の考え方を提案するものである。

なお、「緩み等」とは、既存杭の撤去・埋戻しによる周辺地盤への影響（緩み）と埋戻し部の性状を合わせたものとして定義した。

2. 実施した地盤調査の概要

既存杭の撤去・埋戻しに伴う周辺地盤の緩み等の影響を確認するための地盤調査を4サイトで計7度実施した。撤去対象の既存杭諸元および撤去・埋戻し方法を表1、実施した地盤調査項目を表2、調査地点配置等の基本的な考え方を以下に示す。

- ①各調査地点の水平方向距離は、既存杭撤去用のケーシング外端部を基準とする。
- ②調査地点間隔は、極力広くなるように配置し、調査孔の相互影響や干渉を低減させる。調査地点の配置例を図1に示す。
- ③既存杭撤去前後での地盤調査実施を原則とする。

本稿は、2020年・2021年・2022年・2023年の日本建築学会大会で報告した文献(6)～(16)、(18)～(20)を再構成し、加筆・修正したものである。

*1 基礎地盤コンサルタンツ(株)技術本部 室長・修士(工学)
(〒136-8577 江東区亀戸1-5-7 錦糸町プライムタワー12階)

*2 元(株)竹中工務店技術研究所 研究員・修士(工学)

*3 (株)熊谷組技術研究所 修士(工学)

*4 (株)長谷工コーポレーション技術研究所 研究員・修士(工学)

*5 旭化成建材(株)基礎事業部 サブマネージャー・修士(工学)

*6 (株)地盤試験所地盤営業部 課長

*7 (株)東京ソイルリサーチ東京支店 主査・修士(工学)

*8 (一財)ベターリビング 総括役・博士(工学)

*1 Manager, Technical Div., Kiso-jiban Consultants Co., Ltd., M. Eng.

*2 Former Researcher, Technical Research Institute, Takenaka Co., Ltd., M. Eng.

*3 Technical Research & Development Institute, Kumagaigumi Co., Ltd., M. Eng.

*4 Researcher, Technical Research Institute, Haseko Corporation, M. Eng.

*5 Submanager, Foundation Systems Construction Dept., ASAHI KASEI CONSTRUCTION MATERIALS Co., Ltd., M. Eng.

*6 Manager, Sales Dept., JIBANSHIKENJO Co., Ltd.

*7 Assist. Manager, Tokyo Branch, Tokyo Soil Research Co., Ltd., M. Eng.

*8 General Manager, Center for Better Living, Dr. Eng.

表1 撤去対象の既存杭諸元および撤去・埋戻し方法

調査No.	サイト	既存杭の諸元	既存杭の撤去・埋戻し方法		
		杭種 杭径 / 杭長	撤去方法	ケーシング径	埋戻し方法
①	A	PHC杭	ケーシング縁切引抜工法	700	流動化処理土 自然落下+攪拌
②		400 / 36.9			
③	B	PHC杭			
④	C	SC杭		770	
⑤	D	PHC杭		780	
⑥		SC杭		1060	
⑦		PHC杭		1460	流動化処理土 トレミー管を用い下部より注入

※単位 杭径(mm), 杭長(m), ケーシング径(mm)
 ※撤去方法の名称は, 参考文献1)に準拠した。

表2 地盤調査項目 (○: 調査実施項目)

調査No.	サイト	緩み等 地盤調査					埋戻し部調査
		SPT	CPT	孔内載荷試験	一軸圧縮試験	表面波探査	
①	A	○	—	○	○	—	○
②	B	—	○	—	—	—	—
③	C	○	○	—	○	—	○
④	D	○	○	○	○	○	○
⑤		○	○	○	○	○	○
⑥		○	○	—	—	—	○
⑦		○	○	—	—	—	○

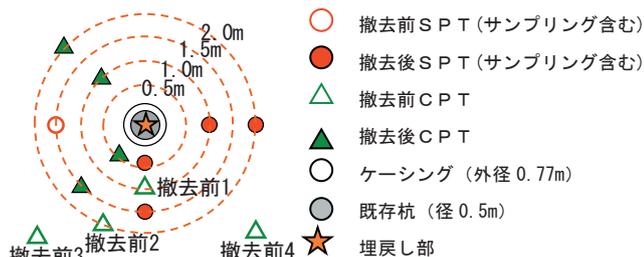


図1 調査地点の配置例 (サイトCの例)

3. 地盤調査結果の概要

表1, 表2に示した地盤調査の内, 単杭撤去時の主な調査結果概要を以下に示す。結果の詳細は, 参考文献6)~16)を参照されたい。なお, 本稿執筆にあたり調査結果の再整理を行っている。

3.1 サイトA (草加市) の地盤調査結果^{6), 7)}

地盤調査は, 既存杭撤去直後⁶⁾と撤去2年後⁷⁾に行った。調査地点配置と調査結果例を図2に示す。調査地点番号のカッコ内の数字は, ケーシング外端部からの距離を示す (以下, 同じ)。なお, 既存杭撤去前の地盤情報は, 建物建設時の地盤調査結果を利用した。

図2より, 既存杭撤去直後は, 浅部のAs1でN値が低下し, ケーシング端に近い程低下する傾向が見られた。なお, 撤去2年後の調査では, 既存杭撤去直後の調査結果からの変化は見られず, 時間経過によるN値の回復は見られなかった⁷⁾。

3.2 サイトB (船橋市) の地盤調査結果⁸⁾

地盤調査は, 既存杭撤去前後で実施した。調査地点配置を図3, 調査結果を図4に示す。なお, 調査結果の評価は, CPTの測定値より換算N値を求めて行った (換算N値の算定は, 文献8)参照)。

図4より, 既存杭撤去後に地盤の換算N値が低下する傾向が見ら

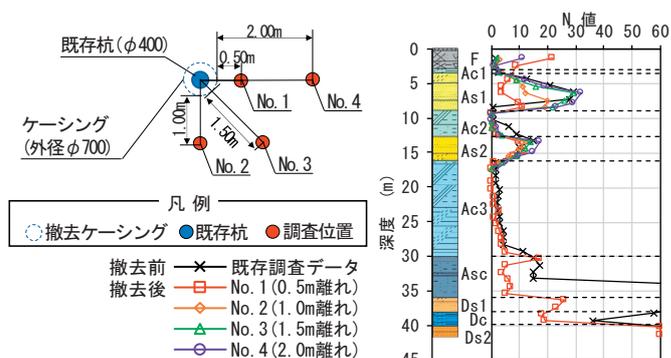


図2 調査地点配置と調査結果例 (N値の深度分布) / サイトA

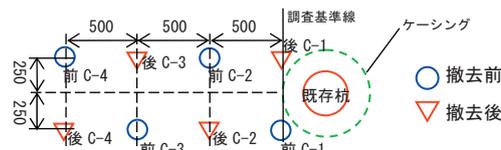


図3 調査地点配置 / サイトB

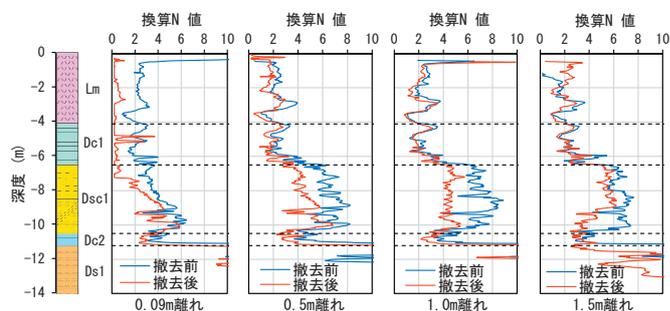


図4 調査結果 (換算N値の深度分布) / サイトB

れ, ケーシング端に近い方がより低下している傾向を示す。ただし, 0.09m離れた地点の結果は, ケーシングによる影響も受けていると考えられる。それ以外の地点では, 他層に比べ砂分を多く含むDsc1での低下傾向が顕著に見られる。

3.3 サイトC (加須市) の地盤調査結果^{9), 10)}

地盤調査は, 既存杭撤去前後で実施した。調査地点配置は, 図1に示した通りである。調査結果を図5に示す。なお, 撤去前のCPT調査は地盤性状のばらつきを確認するために4地点で実施した。

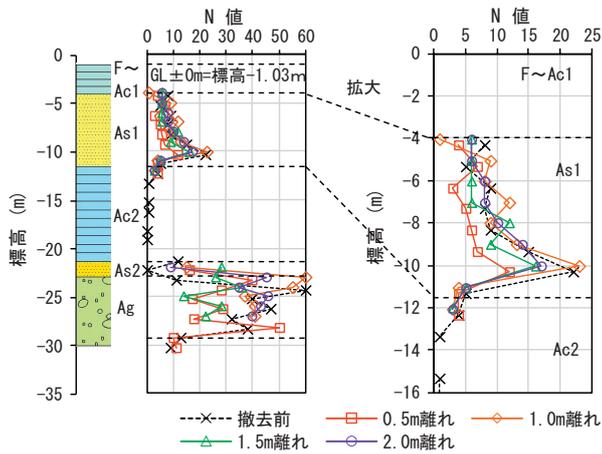
図5より, N値の深度分布では, As1の0.5m離れで低下傾向が見られる。Agはばらつきが大きい, 全体的に低下傾向を示す。

換算N値の深度分布図では, As1で2.0m離れを除き全体的に低下傾向が見られる。Ac2は, 層上部で明瞭な低下傾向は見られないが, 下部では0.5mと1.0m離れで低下傾向が見られる。

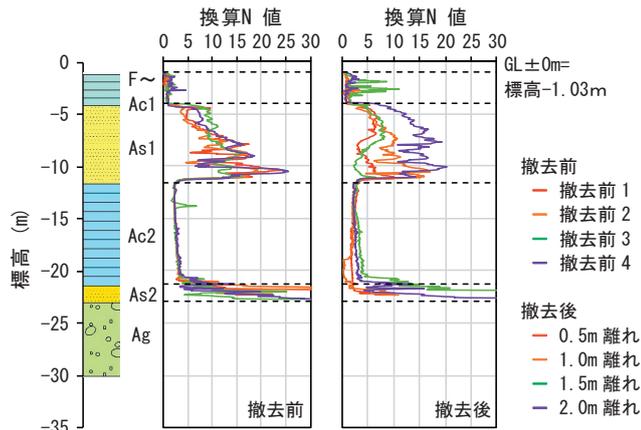
一軸圧縮強さと変形係数も低下傾向が見られるが, ばらつきも大きく, ケーシング端からの距離に応じた傾向は明瞭でない。

3.4 サイトD (稲敷市) での地盤調査結果^{11)~16)}

地盤調査は, 調査⑤の既存杭設置と撤去前・撤去後調査を2020年に実施し, 調査⑥の撤去後調査を2021年 (既存杭設置と撤去前調査は2020年), 調査⑦の既存杭設置と撤去前・撤去後調査を2022年に実施した (既存杭撤去方法は, 表1参照)。調査地点配置は, 図6に示す通りである。なお, 調査⑥は撤去ケーシング径1460mmでの調査地点を示し, 別途ケーシング径1060mmの調査も実施している。また, 2020年は別の研究で既存杭を利用した杭の水平載荷試験を実施しており, 2020年と2021年の調査地点は, 杭が



a) N 値の深度分布 (SPT)



b) 換算 N 値の深度分布 (CPT)

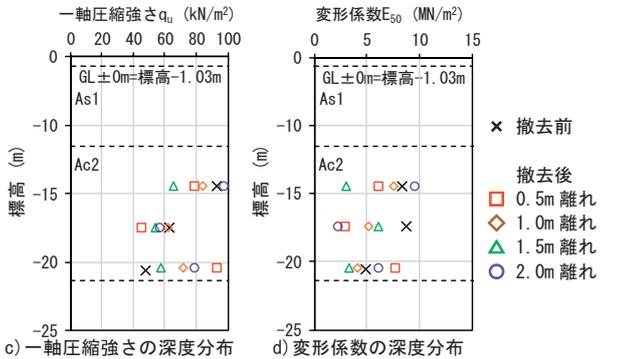
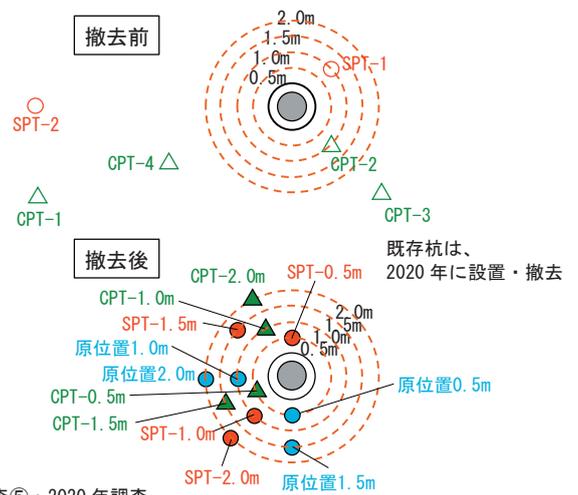


図5 調査結果 (N 値・換算 N 値他の深度分布図) / サイト C

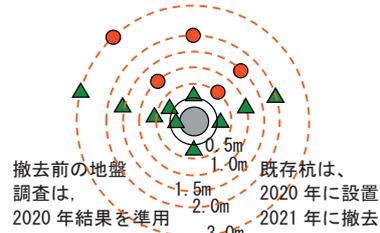
地盤を押しした影響を受けていない範囲に配置した。調査結果例を図7に示す。図7より以下のことが言える。

- ① N 値の深度分布について 2020 年と 2021 年の As2 に着目するとケーシング端に近いほど N 値が低下する傾向が見られるが、2022 年では、距離による N 値の低下傾向に違いは見られない。
- ② 換算 N 値の深度分布について As2 に着目するとすべての調査年で換算 N 値が低下する傾向が見られる。N 値と同様にケーシング端に近いほど換算 N 値が低下する傾向が見られる。
- ③ 縁切引抜工法 (2020 年・2021 年調査) では見られなかったが、破砕撤去工法を用いた 2022 年調査のうち、表層部の As1 層ではケーシング端近傍 (特に 0.2m 離れ) における換算 N 値が増加している。これに関する考察は、4.3 に記載する。

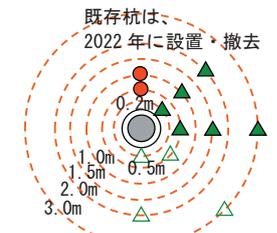
4. 既存杭の単杭撤去に伴う周辺地盤の緩み等の評価



a) 調査⑤ : 2020 年調査



b) 調査⑥ : 2021 年調査



c) 調査⑦ : 2022 年調査

- 撤去前 SPT △ 撤去前 CPT ○ ケーシング
- 撤去後 SPT ▲ 撤去後 CPT ● 既存杭

図6 調査地点配置 / サイト D

4.1 地盤の緩みの程度を示す指標 (低減係数)

「3. 地盤調査結果の概要」に示した結果に文献 17) を加えて地層区分毎に N 値 (換算 N 値) や各種試験結果 (一軸圧縮試験など) の代表値 (異常値を除いた平均値) を求め、式 (1) に示す既存杭撤去前後での代表値の比率を求めた。この比率を“低減係数”と定義し、既存杭の撤去による周辺地盤の緩み評価の指標とした。

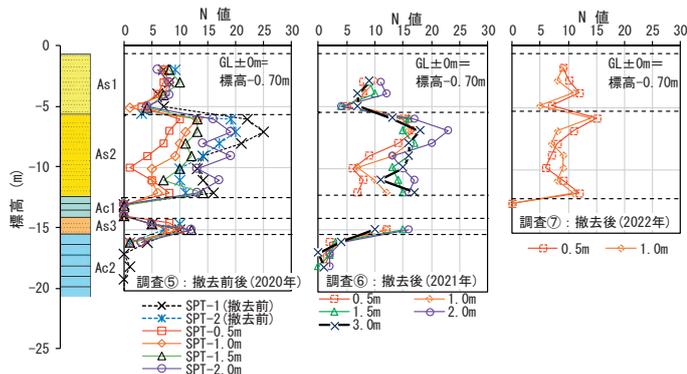
地層区分毎の代表値および低減係数算出の考え方を以下の 1) ~ 3) に示す。なお、低減係数算出のための地盤調査 (試験) の種類・項目は、既存杭撤去前後で同じ手法とする。

$$\text{低減係数} = \frac{\text{撤去後調査による各地層区分の代表値}}{\text{撤去前調査による各地層区分の代表値}} \quad (1)$$

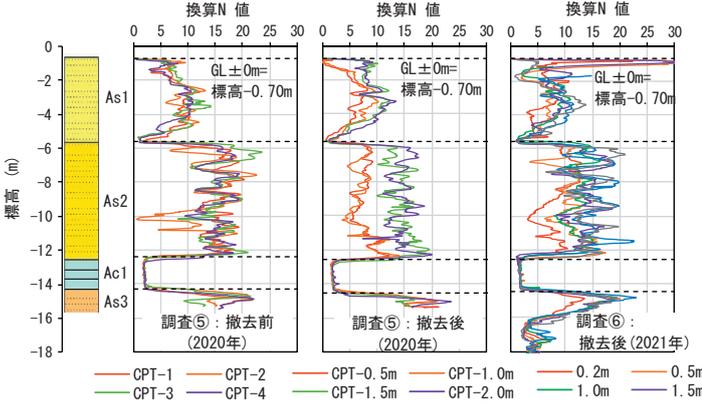
- 1) 地盤調査結果に基づき地層区分を行う。
- 2) 地層区分毎の代表値を調査・試験結果に応じて求める。
※ N 値と換算 N 値の代表値は、地層区分毎に求める。ただし、地層境界や礫当たり等の影響を除くため、平均値から $\pm 2\sigma$ (σ : 標準偏差) を外れる値を異常値として除外した上で算出した値とする。また、各層のばらつきの影響を考慮して、各層区分内のデータ数が 5 個以上となるようにする。
※ 上記を除く原位置試験や室内土質試験結果 (S 波速度、一軸圧縮強さ、変形係数等) の代表値は、孔壁や試料の乱れが無いと判断した場合、試験結果より直接代表値を算出する。
- 3) 求めた代表値より、式 (1) を用いて低減係数を算出する。

4.2 低減係数とケーシング端からの距離の関係

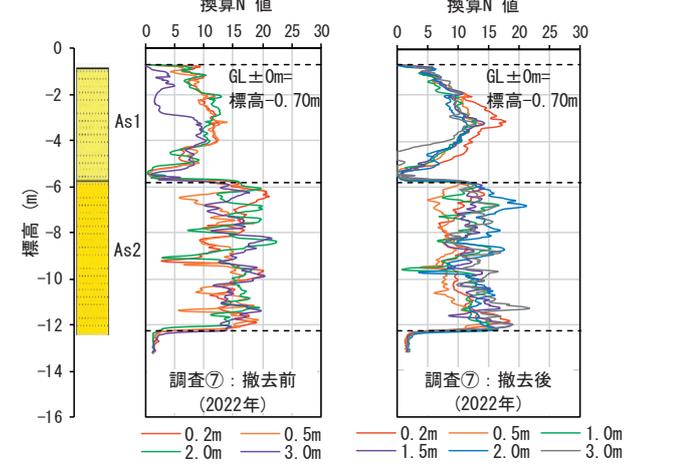
低減係数とケーシング端からの距離の関係から既存杭撤去による



a) N 値の深度分布図 (SPT) /2020年・2021・2022年調査



b) 換算 N 値の深度分布図 (CPT) /2020年・2021年調査



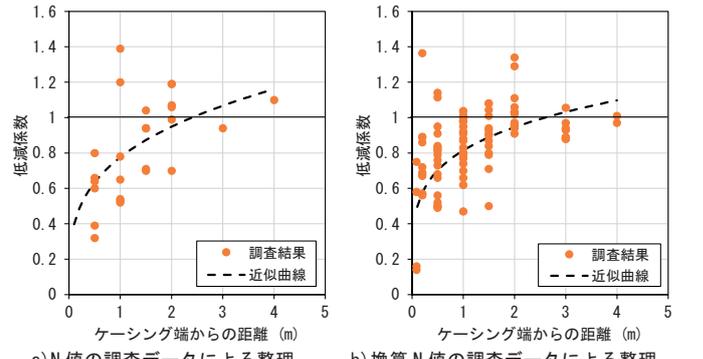
c) 換算 N 値の深度分布図 (CPT) /2022年調査

図7 調査結果例 /サイトD

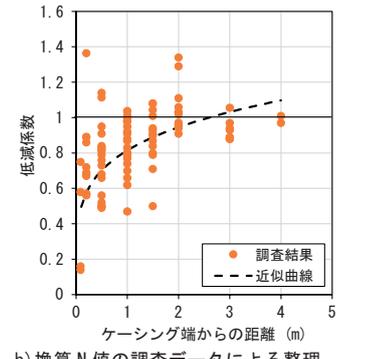
周辺地盤の緩みの影響評価を行った。図8にN値と換算N値による低減係数(直線近似に比べ相関が良い累乗近似による曲線を表示)、図9にその他の各種試験結果による低減係数の整理結果を示す。なお、図8c)の横軸は、左側がケーシング端からの実距離、右側が実距離をケーシング径で除したものである。また、ケーシング端近傍(0.2m 離れ)の低減係数は、ケーシング挿入・撤去時の地盤攪乱の影響があると考えられるため参考値扱いとし評価から除外した。

図8, 図9より、既存杭(単杭)撤去による周辺地盤の緩み等の影響について以下のことが言える。

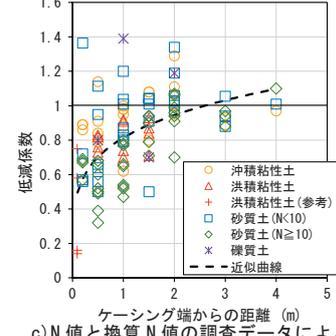
- ① 全体的傾向(図8 a)~c))
- 1) 図中のプロットにばらつきはあるものの低減係数は、ケーシ



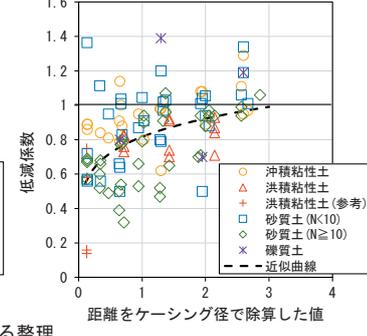
a) N 値の調査データによる整理



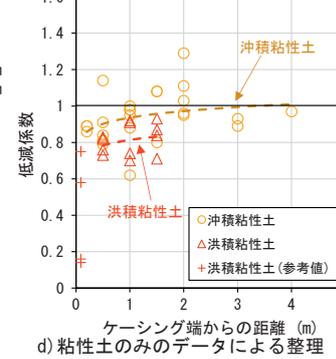
b) 換算 N 値の調査データによる整理



c) N 値と換算 N 値の調査データによる整理

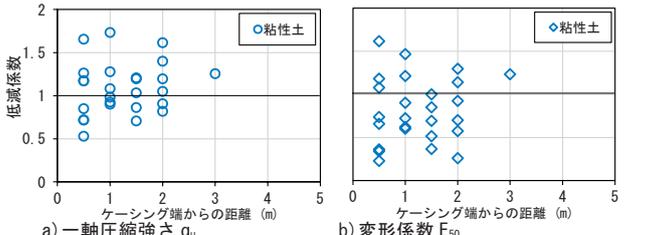


d) 粘性土のみのデータによる整理

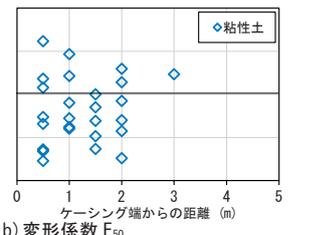


e) 砂質土のみのデータによる整理

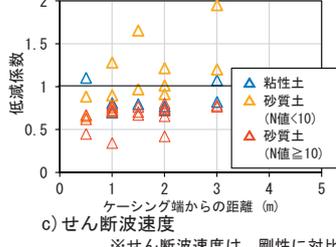
図8 N 値と換算 N 値による低減係数とケーシング端からの距離



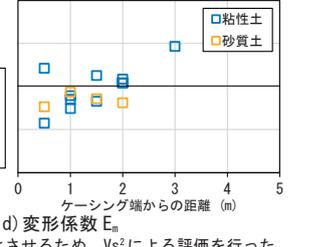
a) 一軸圧縮強度 Q_u



b) 変形係数 E_{50}



c) せん断波速度



d) 変形係数 E_s

図9 各種試験結果による低減係数とケーシング端からの距離

グ端から離れるにつれて大きくなる傾向を示す。

- 2) a)・b)より、N 値のみのプロットである a) の近似曲線の方がケーシング近傍で低減係数が小さくなっているが、低減係数が 1.0 となる距離は a)・b) で概ね一致している。また、分布範囲

にばらつきはあるが全体的には、N 値と換算 N 値での緩み評価は、同等の傾向を示していると判断できる。

3) c)より、整理時の横軸の違いによる低減係数の低下傾向に明瞭な差は見られなかったことより、本稿では、現場での適用性を考え、横軸は、ケーシング端からの実距離による整理を基本とした。

4)低減係数が「1.0」となる実距離は、ケーシング径(φ600～1500mm)に関わらずケーシング端から2～3m程度となった。

②土質別の傾向(図8 d), e)

1)砂質土は粘性土に比べ、低減係数が小さくなる傾向を示す。砂質土は、粘着力が小さく粒子間の摩擦によりせん断強度を発揮するため、緩みによる影響を受け易いと推測される。

2)砂質土では、N 値 ≥ 10 、粘性土では、洪積粘性土のプロット群で、低減係数の低下傾向が顕著となっている。同じ土質区分の場合、N 値等が大きくなりが緩みの影響を受け易いという結果が得られた。

3)礫質土は、得られた低減係数が4点(1調査事例)と少なく、ばらつきも大きいため、低減傾向の評価は、困難である。

③各種試験結果の傾向(図9)

1)N 値・換算 N 値との関係図(図8)に比べて低減係数のプロット分布にばらつきが大きい。特に粘性土の一軸圧縮試験結果から求めた変形係数(E_{50})でのばらつきが大きい。

2) E_{50} を除くとケーシング近傍での低減係数は小さく、ケーシング端から離れるにつれて右肩上がりの傾向を示している。

4.3 撤去工法の違いが低減係数に与える影響

サイトDでは、調査⑤、調査⑥でケーシング縁切引抜工法、調査⑦でオールケーシング破砕撤去工法による既存杭撤去が行われた。図10にN 値および換算 N 値データによる低減係数の比較を示す。

図10で(c)の破砕撤去工法のAs1を除き、低減係数はケーシング端から離れるにつれて大きくなる傾向を示す。

破砕撤去工法を用いた時のAs1で換算 N 値が増加した理由は、全周回転掘削機(寸法2.9m \times 3.4m、重量約260kN)がケーシング近傍に設置されるため、機械重量による設置圧が表層付近の地盤に作用した影響が考えられる。なお、破砕撤去工法は1事例の結果であり今後データの蓄積が必要である。

以上より、現時点では、既存杭撤去工法によらず既存杭引抜時には、周辺地盤の緩みへの注意が必要と考えられる。

4.4 既存杭撤去跡の埋戻し部の性状確認

埋戻し部の調査^{18)~20)}は、埋戻し土の深度方向の均一性や目標とする発現強度が得られているかを確認するために行った。なお、参考文献1)では、埋戻し部の調査時期により、埋戻し中(硬化前)と埋戻し後(硬化後)に分けられるとしている。今回実施した現地調査は、埋戻し後の調査に相当する。

以下に埋戻し部の調査結果について示す。

(1) ケーシング縁切引抜工法+流動化処理土

調査①、調査④、調査⑤、調査⑥では、ケーシング縁切引抜工法により既存杭を撤去、孔口より流動化処理土の埋戻しを行った。

上部からの注入のみで攪拌しない場合(④、⑤、⑥)は、流動化処理土の下部が、また、機械攪拌を行った場合(①)も上部および最下部が固化せず、いずれの事例も強度発現が不十分であった。

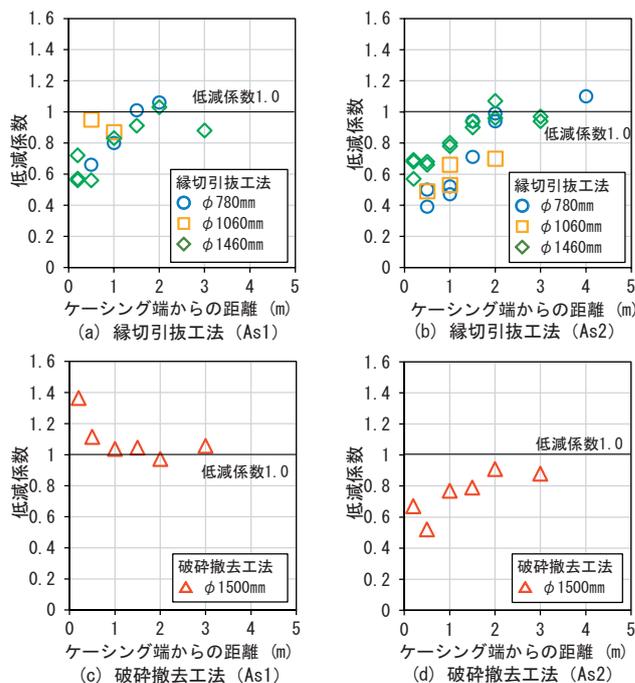


図10 既存杭撤去工法の違いによる低減係数の比較

(2) オールケーシング破砕撤去工法+流動化処理土

調査⑦では、オールケーシング破砕撤去工法により既存杭を撤去、トレミー管を使い流動化処理土を下部より注入・埋戻しを行った。埋戻し部の性状は、N 値(材齢2週)が3~10で原地盤のN 値(5~15)に近い値が得られた。また、一軸圧縮強さ(材齢4週)は、300~500kN/m²と大きな値を示しており、ばらつきはあるものの比較的安定した埋戻し部が構築できたことを確認した。

以上より、埋戻し部は、施工方法によっては均一に埋戻すのが難しく深度方向にもばらつく場合も多く、周辺地盤の緩み等に影響を与えると考えられるため、埋戻し部の調査を行い、新設杭の設計・施工(支持力検討・孔曲がり対策など)に反映させるのが望ましいと考えられる。

5. 地盤の緩み等を評価するための地盤調査計画の提案

本章では、地盤調査を通じて得られた知見より、既存杭撤去・埋戻し時の地盤の緩み等を評価するための調査計画の考え方を提案する。なお、埋戻し部の調査方法は、参考文献1)を参照されたい。

5.1 調査位置・各層区分内のデータ個数

地盤調査は、既存杭撤去近傍のすべての新設杭周辺で行うのが理想であるが、最低限として既存杭の撤去位置に最も近い新設杭周辺で行うこととする。

調査地点は、図11に示すように撤去時のケーシング端を基準としその周囲に配置するが、ケーシング近傍の0.5mと2.0m離れの2地点には必ず配置するようする。また、その間の1.0mと1.5m離れや2.0m離れよりも外側に配置し、調査点数を増やしても良い。各層区分内のデータ数は、5個以上となるようにするのが望ましく、不足する場合は、同じ離れの別地点で追加調査をする。

5.2 調査手法

調査手法は、既存杭の撤去前後で地盤の硬軟(強度や剛性)を評価することができ、地層区分が可能な手法を選択する。ただし、既

存杭撤去前後での調査手法は同じとすることを基本とする。

5.3 調査結果の整理

調査結果は、「4. 既存杭の単杭撤去到に伴う周辺地盤の緩み等の評価」に示したように、低減係数をケーシング端からの距離との関係で整理し、緩みの影響範囲と原地盤（既存杭撤去前）に比べて強度等がどの程度低下しているかを把握するようにする。この結果より、新設杭設計時の地盤反力係数を低減させることなどを想定している。なお、低減係数の整理は、地層区分毎に行うものとする。

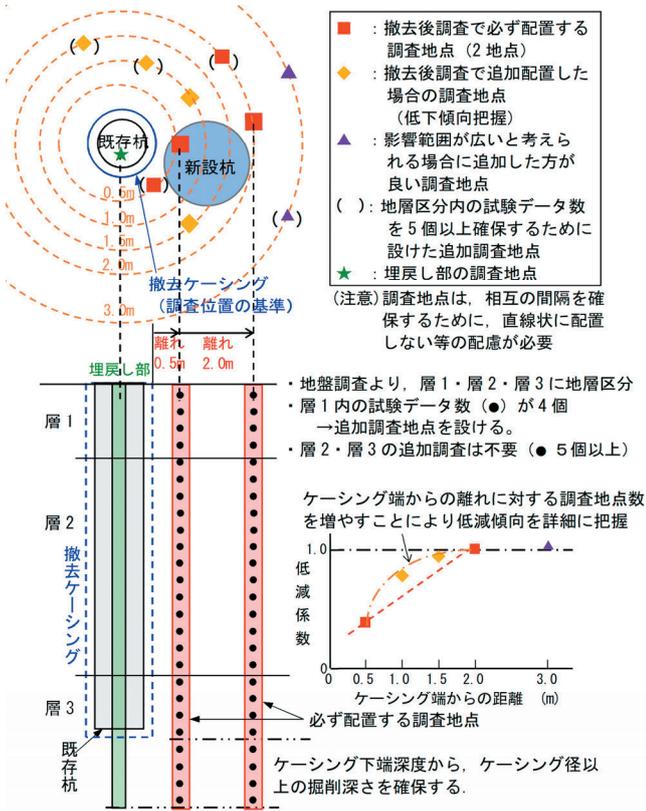


図 11 調査地点配置の考え方

6. おわりに

4 サイトで計 7 度実施した地盤調査結果より、既存杭撤去到に伴う周辺地盤の緩みは、その影響範囲が撤去ケーシング端から 2~3m 程度であり、ケーシング近傍では N 値等が半分程度になることが示され、土質や既存杭撤去前の地盤の N 値等の大きさによる影響も把握することができた。また、得られた知見より、現時点において現実的と思われる地盤調査計画の考え方を提案した。

ただし、本成果は、4 サイトでの地盤調査による結果であり、より定量的な評価を行うには、今後も様々な地盤条件や既存杭径、既存杭撤去工法等の違いを考慮した地盤調査データを蓄積していくことが重要となる。

謝辞

本報告は、一般社団法人 建築基礎・地盤技術高度化推進協議会 (ALLF)「既存杭撤去到に伴う周辺地盤への影響検討委員会」の一環として行われた。調査の一部は、「住宅生産技術イノベーション促進事業 (国土交通省), 2020 年度~2022 年度」の補助を受けて実施し、また「総合技術開発プロジェクト 構造物と地盤に係る構造規定の合理化による都市の再生と強靱化に資する技術開発 (国土技術

政策総合研究所)」と連携して実施した。関係者の皆様には、多大なご支援・アドバイスをいただき、改めて感謝の気持ちを示す。

参考文献

- 1) 地盤工学会関東支部：既存杭の撤去到・埋戻し方法とその影響を受ける新設杭の設計・施工, 2022. 6
- 2) 太田雅之他：電気式静的コーン貫入試験を用いた杭の引き抜きに伴う地盤への影響評価の一考察, 全地連「技術 e-フォーラム 2003 (埼玉)」, No. 2003_102, 2003. 9
- 3) 田中俊平他：杭撤去到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. 9
- 4) 松元秀樹他：杭撤去到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. 9
- 5) 大和真一：トルク計測を加えた新しいスウェーデン式試験法 (SDS 試験), 地盤工学会誌, Vol. 64, No. 1, pp. 37-38, 2016. 1
- 6) 青木雅路他：既存杭撤去到・埋戻しに伴う周辺地盤への影響 (緩み) に関する研究 (その 1)：沖積地盤における調査結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 641-642, 2020. 9
- 7) 青木雅路他：既存杭撤去到・埋戻しに伴う周辺地盤への影響 (緩み) に関する研究 (その 11)：既存杭撤去到 2 年後における調査結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 529-530, 2022. 9
- 8) 水澤良介他：既存杭撤去到・埋戻しに伴う周辺地盤への影響 (緩み) に関する研究 (その 2)：洪積地盤における調査結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 643-644, 2020. 9
- 9) 本橋悠他：既存杭撤去到・埋戻しに伴う周辺地盤への影響 (緩み) に関する研究 (その 7)：ボーリング孔を利用した調査結果 (埼玉加須地区), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 567-568, 2021. 9
- 10) 大田孝他：既存杭撤去到・埋戻しに伴う周辺地盤への影響 (緩み) に関する研究 (その 8)：サウンディング (CPT) を利用した調査結果 (埼玉加須地区), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 569-570, 2021. 9
- 11) 遠藤正美他：既存杭撤去到・埋戻しに伴う周辺地盤への影響 (緩み) に関する研究 (その 4)：ボーリング孔を利用した調査結果 (稲敷金江津地区), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 561-562, 2021. 9
- 12) 沼本大輝他：既存杭撤去到・埋戻しに伴う周辺地盤への影響 (緩み) に関する研究 (その 5)：サウンディング (CPT および SDS) を利用した調査結果 (稲敷金江津地区), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 563-564, 2021. 9
- 13) 阿部秋男他：既存杭撤去到・埋戻しに伴う周辺地盤への影響 (緩み) に関する研究 (その 6)：探査技術を利用した調査結果 (稲敷金江津地区), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 565-566, 2021. 9
- 14) 根岸利昌他：既存杭撤去到・埋戻しに伴う周辺地盤への影響 (緩み) に関する研究 (その 9)：稲敷金江津地区における追加調査結果 (サウンディング調査), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 525-526, 2022. 9
- 15) 大田孝他：既存杭撤去到・埋戻しに伴う周辺地盤への影響 (緩み) に関する研究 (その 10)：稲敷金江津地区における追加調査結果 (ボーリング調査結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 527-528, 2022. 9
- 16) 平井卓海他：既存杭撤去到・埋戻しに伴う周辺地盤への影響 (緩み) に関する研究 (その 14)：破碎撤去到工法における杭撤去到に伴う周辺地盤への影響調査結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 575-576, 2023. 9
- 17) 秦樹一郎他：既存杭を含む敷地における建築物の設計法構築に向けた実験および解析検討 (その 13)：既存杭撤去到の影響を受けた地盤物性把握のための調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 547-548, 2023. 9
- 18) 清塘悠他：既存杭撤去到埋戻しの施工事例と室内配合試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 551-552, 2021. 9
- 19) 森利弘他：既存杭撤去到・埋戻しに伴う周辺地盤への影響 (緩み) に関する研究 (その 3)：地盤調査方法の比較計画と杭撤去到埋戻し部の調査結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 559-560, 2021. 9
- 20) 森利弘他：既存杭撤去到・埋戻しに伴う周辺地盤への影響 (緩み) に関する研究 (その 13)：破碎撤去到工法による杭撤去到と埋戻し部の調査結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 573-574, 2023. 9

[2024 年 5 月 31 日原稿受理 2024 年 8 月 2 日採用決定]