

付録 既存杭を含む敷地における建築物の設計指針（案）

はじめに

「既存杭を含む敷地における建築物の設計指針（案）」は、既存杭を含む敷地における建築物の構造計算の方法及び技術資料をとりまとめたものである。「既存杭を含む敷地における建築物の設計指針（案）」の作成は、その周知・普及を通して、既存杭の再利用を前提とした、迅速で経済的・環境的にも有効性の高い都市の更新を促進することを目的としている。

さらに、既存杭の再利用の副次的な効果として、公共財的な側面も併せ持つ「敷地」の性能を明らかにした上で、極力、敷地の性能を維持しつつ次世代に継承できることが期待できる。

「既存杭を含む敷地における建築物の設計指針（案）」は、国土交通省の総合技術開発プロジェクト（総プロ）「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」として令和2年度から令和5年度の4か年で実施した検討の成果であり、総プロで得られた最新の知見が反映されていることから、既存杭を含む敷地における建築物の安全性が確保されるよう、適宜参照した設計を行うことが望まれる。ただし、既存杭の活用についてはこれまでも多くの事例があり、異なる方法やより高度な検討の実績もある。さらに、既存杭にまつわる諸問題に関しては、活発な検討や議論が各所で引き続き進められており、そうした「特別な調査・研究」を採用することを否定するものではないことに留意が必要である。

なお、「既存杭を含む敷地における建築物の設計指針（案）」には各種の解析的・実験的検討を踏まえた数値や考え方が記載されているが、個別事例において遭遇するあらゆる事例を網羅的に検討することは不可能であり、既存杭を含む敷地における適切な地盤調査のあり方や、ばらつきを考慮した安全側の設計条件の設定などは、設計者の判断で行うべき部分が多く残されている。さらに、そうした知見を集約し、運用の円滑化に資する「あらかじめの検討」や「軽微な変更」といった制度面の改善につなげることは将来の大きな課題として残された部分である。したがって、記された内容は一つの提案であるという主旨から、資料名には「(案)」を付している。

第1章 総則

1. 1 適用範囲

「既存杭を含む敷地における建築物の設計指針（案）」（以下「本指針案」という。）は、既存杭を含む敷地に新築される建築物の構造計算に適用する。

本指針案に基づく建築物は、原則として剛強な基礎ばりを設けて支持され、安全上支障のある著しい沈下、急激な耐力の低下の恐れのないものとする。

【解説】

(1) 適用のイメージ

図 1.1 に、本指針案の主な適用のイメージを示す。本指針案では、タイトルを「既存杭を含む敷地」としている。この主旨は、本指針案に基づく検討のスタートラインを「地上部分の解体後に、既存杭（旧建築物に用いられていた杭）が地中に残されている状態」としていることをタイトルに反映したものである。

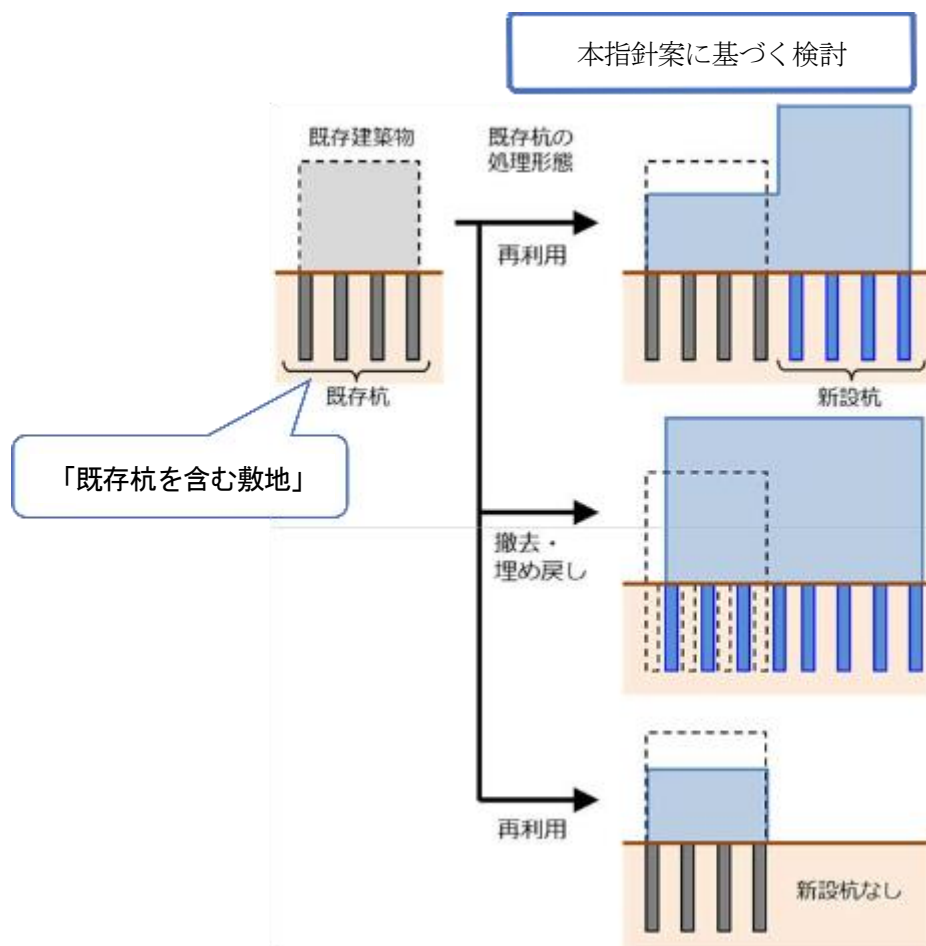


図 1.1 本指針案の主な適用イメージ（既存杭を再利用又は撤去後に杭を新設）

これは、経済面や環境面での既存杭活用の効果の最大化を図るほか、「できるだけ敷地を乱さずに次世代に受け渡すべき」といった将来的な既存杭の活用のあり方も踏まえて、敷地の前の所有者が既存

杭を撤去しない場合を前提に、新築する建築物に関わる関係者（土地所有者や設計者）がその根拠の妥当性の精査を踏まえて、あらためて既存杭の取り扱いを定めることを想定したものである。

ただし、現状で、実際にこのような条件で敷地の受け渡しが行われることは少なく、多くは、まだ旧建築物の地上部分の存在する段階で新築の建築物の計画を行うか、あるいは、杭がすべて撤去された状態からの計画となると考えられる。当面このような状況となることもやむを得ないが、本指針案に基づき既存杭の再利用を検討し、事例の蓄積や周知に努めることで、安易に解体時に杭を撤去することを良しとしない動きにつなげることが重要である。

既存杭の取扱いは、大きく以下の3つに分かれる。本指針案では、主に「再利用」及び「撤去」を伴う場合の設計を対象とする。

- ① 再利用：杭体を利用して地上部分の支持に用いるもの
- ② 存置：敷地の一部として地中に残すもの
- ③ 撤去：再利用に足る十分な情報や性能がなく敷地から撤去されるもの
(撤去後の地盤の埋め戻しを伴う)

「② 存置」については、設計上の影響は少ないとする報告^{[1][2]}などから、本指針案では特段の記述は設けない。ただし、新設する杭との位置関係の把握が不十分な場合、極端に位置が近ければ施工時に地中障害物となるおそれや、やむを得ず撤去・埋め戻しをする必要が生じ、さらなる問題の発生^[3]につながる可能性もあるため、注意が必要である。

さらに、「③ 撤去」に関連して、既存杭の撤去・埋め戻しを施した敷地において更新後の建築物の杭を新設することは、通常の、まだ何も手を加えていない敷地（＝更地）における杭の新設と異なり、後述する通り地盤のゆるみの影響が生じているため、工事としては同じ新設でも、これを区別しておく必要がある。例えば前出図 1.1 中段のような計画では、同図中左側（既存杭の撤去・埋め戻しを実施した側）と右側（杭の施工履歴のない側）での杭の扱いを変える必要がある。そこで指針案では、図 1.2 に示す通り、前者を「撤去新設杭」、後者を「更地杭」と区別して記載することとした。

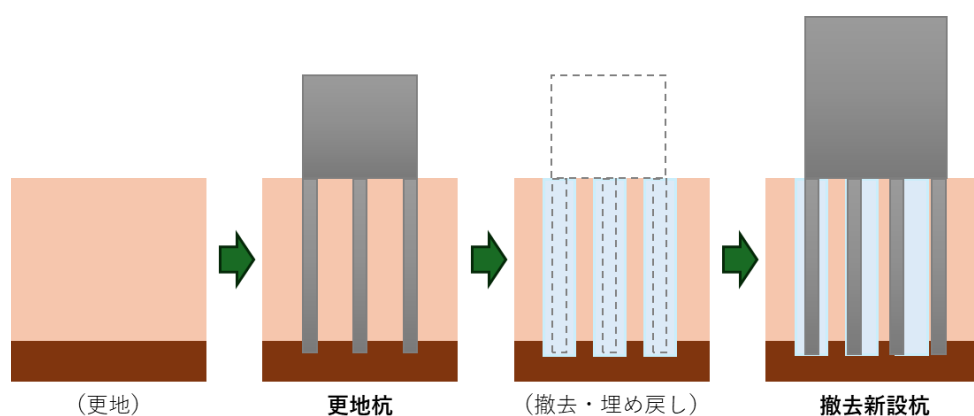


図 1.2 更地杭と撤去新設杭

(2) 建築物の設計の原則

既存杭を含む敷地においては、既存杭の取り扱い状況により、建築物の地下部分の条件が一般的な更地における場合と比較して一層複雑なものとなることが想定される。そこで、本指針案では、地下部分の影響が地上部分に極力及ばないことを意図して、「剛強な基礎ばり」（1.3 節参照）を設けて建築物を支持することを原則とした。

さらに、安全上支障のある沈下や耐力低下のおそれのないものとするを適用範囲に含めており、これは、法令では明示的に要求されていない地下部分の直接的な安全性の検証について、対応を求めたものである。この規定の主旨は、地下部分の影響を考慮した安全性確保の方針を明確にすることであり、地下部分についていわゆる二次設計を直接行う場合のほか、例えば、一部の杭の支持性能の喪失を考慮した検討などが考えられる。

なお、本指針案として、建築物の規模や構造については、特に制限を設けないこととした。規定上必要となる耐震計算ルートを適用するにあたり、追加的に、本指針案に示す項目（第6章など）が示されればよい。また、地下階を設ける場合についても、構造計算にあたりモデル化に支障がなければ、本指針案を準用できる。

1. 2 既存杭を含む敷地における建築物の建築計画の留意点

既存杭は、再利用、存置、撤去のいずれの選択肢にあっても設計及び施工への影響を考慮するものとし、さらに敷地保全のため、その性能を把握した上で、できるだけ活用されるようにする。そのために、既存杭と、新築する建築物及び杭との位置関係を詳細に把握する。

既存杭撤去後の地盤の情報を含む既存杭に関する情報を、新設する杭の情報とともに、適切に把握し、保存する。

【解説】

(1) 既存杭に関する検討の基本項目

既存杭を含む敷地において、特に建築計画上重要となる情報が、新築部分との位置関係である。情報の把握が不十分な場合、本来は再利用可能な既存杭が検討なく撤去される、あるいは、工事に伴って予定外の撤去とせざるを得ない場合も想定される。敷地保全の観点以外にも、既存杭の撤去（及びそれに伴う埋め戻し）はその後の地盤の性能に影響すること、また前述の通り、新設杭が既存杭と干渉すると、設計施工上の支障が大きいこと等もあり、既存杭と、新築する建築物及び杭との位置関係を詳細に把握しておくことが必要である。

既存杭の情報は、前所有者からの資料を参照し、必要に応じ調査を実施することとなるが、旧建築物の情報がローカル座標系で新建築物の施工にあたってベンチマークを再設定する必要がある場合や、旧建築物の施工時の情報（既存杭の施工誤差や心ずれ）が情報として残されていない場合が多い点に注意する。

(2) 既存杭に関する情報の保存

新設する杭も、いずれは既存杭として再利用の検討の対象となることが想定される。その際に適切な検討が行われるようにしておく必要がある。また、撤去する場合には、撤去後の地盤が現所有者のみならず将来の所有者にとっても有害なもの（扱いにくい敷地）とならないよう、敷地の状況に関する情報を取得・保存しておく必要がある。

既存杭を含む敷地における、新旧の建築物に係る土地所有者・設計者等の間で適切に情報を記録し、引継ぎを行うための資料も提案されており、参考にできる^[4]。

1. 3 既存杭を含む敷地における建築物の構造計画の留意点

既存杭を含む敷地における建築物の基礎は、原則として「異種基礎」と見なして扱う。

既存杭を活用する場合、新築される部分との性能の連続性に留意する。この時、既存杭を含む敷地の挙動の影響に対して、原則として剛強な基礎ばりを設けることで地上部分と地下部分とを構造的に分離するなど、できるだけ明快な検討となるようにする。

【解説】

(1) 異種基礎としての扱い

既存杭を含む敷地における建築物の設計は、いわゆる「異種基礎」の設計と類似するところが多いと考えられる。ここでいう異種基礎とは、建築基準法施行令第 38 条第 2 項の「異なる構造方法による基礎」のことであり、概念としては、例えば全体として杭基礎であっても支持杭と摩擦杭や、異なる支持層に支持されたものを含んでいる^同。

既存杭の活用にあたり、仮に径や長さが同一の杭を新設した場合でも、既存杭と併用する上では異なる支持性能となることが想定されるため、異種基礎として扱うこととした。再利用した杭（地下部分）をそのまま使って地上部分を新築する場合は、地下部分の条件は前と変わらないこととなるが、次項に示すような既存杭の使用に伴う特有の項目への対応は必要であると考え、図 1.1 の最下段に示す通り本指針案の対象として扱っている。

なお、ここで「原則として」とあるのは、既存杭の再利用や撤去等の影響が敷地のごく一部にとどまるような場合を想定したものである。このように、地上部分や基礎の応答に考慮すべき影響がない場合は、本指針案で後述する計算モデルの選定などによらず、一般的な設計と同じように扱えるものも想定されるが、いずれにしても、その要否の判断は設計図書（構造計算書）において適切な根拠とともに示されなければならない点に注意が必要である。

(2) 剛強な基礎ばりによる支持の原則

既存杭を再利用した建築物の設計にあたって、一般的な新築の建築物と異なり、以下について配慮する必要があると考えられる。

- ・ 杭の設計年代によっては鉛直荷重に対してのみ設計されているなど、新旧の杭が混在する場合、特に水平支持特性（破壊性状）に大きな違いを持つ部材が混在する可能性がある。
- ・ 耐震診断における T 指標のように、既存杭部分は経年の性能の変化の可能性がある。
- ・ 既存部分については実測による評価など、より実態に近い性能に基づく設計が可能である一方で、新築部分については、例えばコンクリートの設計基準強度など各種の補正值が前提となっている。
- ・ 新築部分は設計者が設計や施工管理を通じてある程度性能をコントロールできるが、既存杭の設計・施工に設計者が遡って関与することは不可能であるため、地盤と同様に、与条件としての評価が必要となる。

上記の状況を踏まえ、既存杭を含む敷地における建築物においては、地下部分における性能の不連続や不確定部分の影響を地上部分から極力分離するため、「剛強な基礎ばり」を設けて地上部分と地下部分を構造的に分離することを原則とした。基礎ばりを剛強とする目的及び本指針における設計条件を表 1.1 及び図 1.3 に示す。このように性能を確保しておくことで、できるだけこれまでの設計の知見に沿うようにすることを心掛けた。なお、第 6 章に示す通り、表に示す以外でも、目的を満たすこ

とが示されれば、別の設計条件を適用することも可能である。

上記の検討を適切に行うための計算モデルの例を図 1.4 に示す。地上部分と地下部分の境界が、(剛強とすべき) 基礎ばりとなる。既存杭をそのまま用いて杭基礎として活用する設計や、主として支持力のみに期待する複合地盤（直接基礎）としての活用が考えられる。

表 1.1 基礎ばりを剛強とする目的及び設計条件

	目的	設計条件
①剛性の確保	基礎ばりに十分な剛性を持たせることで相対沈下を一定以下に抑え、異種基礎の問題点である相対沈下に起因する付加応力を無視できる程度に留めること (従来計算の適用の妥当性)	長期荷重に関する検討にあたり、以下を満たすこと ・基礎ばりの部材変形角 $\leq 1/2000$ ・基礎ばりの応力 $\leq$ ひびわれ応力
②強度の確保	基礎ばりに十分な耐力を持たせることで、地下部分の挙動によらず、地上部分に想定した崩壊メカニズムが確実に形成されること (地上部分の安全性の確実な担保)	大地震時に関する検討にあたり、以下を満たすこと ・基礎ばりの応力 $\leq$ 弾性限
③剛床の確保	基礎ばり構面が一体として挙動することで、安全上支障のある応力の集中などを避けられるようにすること (構造計算の前提条件の確保)	基礎ばりに囲まれる水平構面について、十分なスラブ厚さを確保すること (例えば、大地震時に想定されるスラブの面内せん断応力 $\leq$ 弾性限とする)

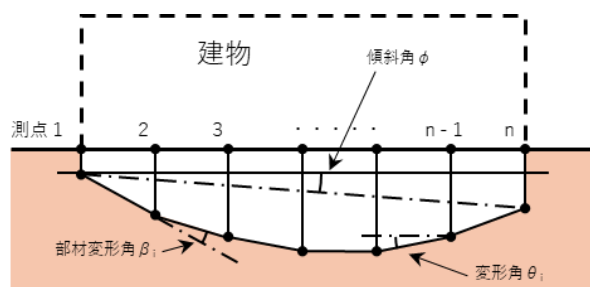


図 1.3 基礎ばりの部材変形角 (β) [6]

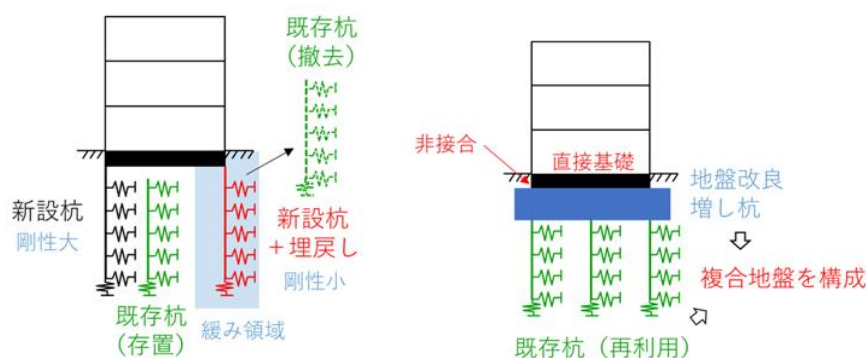


図 1.4 既存杭を活用した計画に用いる計算モデルの例

1. 4 法令等への適合（既存杭の取り扱いに関わる法令・ガイドライン）

建築物の設計にあたっては、関係する法令等を遵守しなければならない。

建築物の構造安全性については、既存杭を含む敷地に特有の現象として、既存杭の処理に応じた地盤の状況、特に地下部分（地盤及び基礎）の鉛直・水平挙動の場所による違いを考慮し、作用する荷重及び外力に対して安全なものとする。

さらに、既存杭の取り扱いにあたっては、環境面に配慮する。

【解説】

(1) 関係する法令等

既存杭を含む敷地における建築物の設計にあたり、特に「既存杭」の扱いに着目した、設計者を含む建築物の関係者の関係が、前出のガイドライン^[4]において図 1.5 の通り示されている。同図では、具体的に関係する法令等として、廃棄物処理法、建築基準法、建設リサイクル法、建築士法、建設業法が掲げられている。

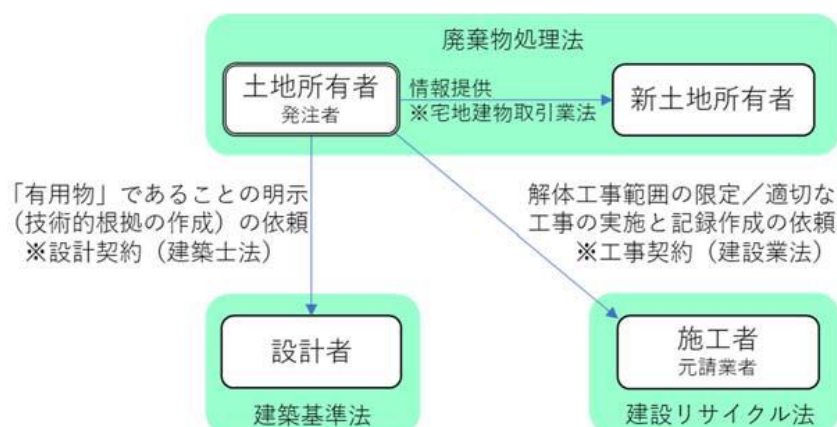


図 1.5 既存杭に関する各種法令と所有者・設計者・施工者等の関係^[4]

設計に用いる数値は、設計者が自ら調査、あるいは土地所有者から入手することになる。既存杭に関しては、旧建築物の解体の際に取得することが合理的な場合も多く、設計のための適切な情報が得られるよう、設計者から土地所有者に（できるだけ早い段階で）働きかけを行い、工事等の契約の中で位置付けておくことが望ましい。また、確認申請や構造計算適合性判定などの審査にあたり必要な調査・試験が条件として求められることもあり、可能であれば、できるだけ早い時期に調査内容について審査機関や判定機関などと調整を行っておくことが望ましい。

以下、設計者が密接に関係する建築基準法（構造安全性）と、環境関係について示す。

(2) 構造安全性に関する検討

a) 法令等の適用

既存杭を含む敷地における建築物の設計にあたり、建築基準法の関連する主な規定の適用に関する留意点を示す。構造計算を行う上で具体的に考慮すべき「既存杭を含む敷地に特有の現象」と構造計算への反映については、以降の章において記述する。

a. 法第 37 条（建築材料）

既存杭の再利用は、部材のリユースに該当するものと考えられる。構造部材のリユースに関しては、新築時点で法適合が確認された部分については法第 3 条第 2 項によりその後の適用を除外されることや、また、CLT（直交集成板）のリユースに関する事務連絡¹⁷¹⁸も参考に、①原設計での想定を超える荷重外力の作用がないこと、②抜き取り調査などで現物を直接確認すること等の条件を満足し、調査で得られた情報を構造計算などに適切に反映することで、既存杭を再利用することができる。

b. 令第 38 条（基礎）、平成 12 年建設省告示第 1347 号第 2

令第 38 条第 2 項で異種基礎を制限している。規定の主旨は部分的に異なる支持条件（沈下性状）となる計画への注意であるから、既存杭を含む敷地における建築物についても、同様の扱いとなる。

告示では制限の緩和のための計算として「自重による沈下その他の地盤の変形等を考慮して建築物又は建築物の部分に有害な損傷、変形及び沈下が生じないことを確かめること」を求めている。

c. 令第 82 条等（許容応力度計算、保有水平耐力計算等）

以下の構造計算の各段階で、各種の荷重の組み合わせや付加的な応力について、既存杭を含む敷地に特有の現象を考慮した計算を行う。

- 長期・短期の許容応力度計算（一次設計）
- 保有水平耐力計算などの安全性の確認（二次設計）
- 沈下・変形の検討（異種基礎として必要）
- その他必要な計算（塔状比 4 超における転倒の検討 等）

d. 令第 93 条（地盤及び基礎ぐい）、平成 13 年国土交通省告示第 1113 号

構造計算に用いる数値は、告示第 1 の地盤調査に基づき定める。既存杭を含む敷地の調査と設計への反映については第 2 章以降で扱う。

e. 平成 19 年国土交通省告示第 594 号第 1（第一号・第二号）

既存杭の再利用に関して明確に決定できることは現時点ではそれほどないので、本指針案に記述された数値は、参考あるいは推奨としての位置づけとなる。設計者は、告示第 1 における以下の規定に基づき「複数の仮定」を設けて計算を行い、安全側の設計となるように心がける。

- 一 建築物の架構の寸法、耐力、剛性、剛域その他の構造計算に用いる数値については、当該建築物の実況に応じて適切に設定しなければならない。
- 二 前号の数値の設定を行う場合においては、接合部の構造方法その他当該建築物の実況に応じて適切な設定の組み合わせが複数存在するときは、それらすべての仮定に基づき構造計算をして当該建築物の安全性を確かめなければならない。

b) 基礎の二次設計の扱い

第 6 章で示す通り、本指針案では、一般的な建築物と同様に基礎の二次設計（大地震を対象とする直接的な安全性の確認）を必須としていない。現状では、図 1.6 に示す通り最低限の安全性は一次設計でカバーされるとしており、既存杭を含む敷地にあっても、表 1.1 で示したような剛強な基礎ばり等の各種の条件を設けることで、同様に扱えるとしたものである。

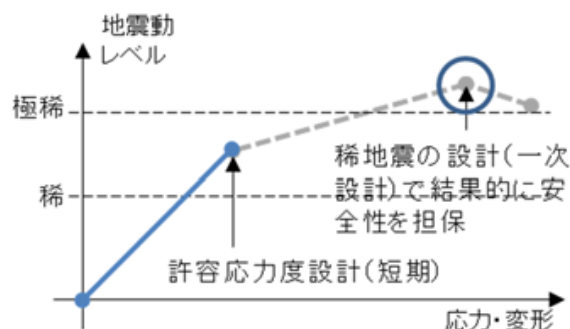


図 1.6 現行規定における基礎の安全性の考え方

ただし、経験的にそのような状況にあるとしても、想定外の事態への備えは必要である。したがって、法令上の要求とは別に、1.1 節で示した通り、適用範囲として何らかの形で安全性の確認を求め、大地震時の極めて稀に発生する事態に対し、設計上は基礎がどのような被害を受け、その影響がどの程度であるかについて、設計者として確認しておく必要があることとした（6.5 節参照）。

c) 施工と連携した設計条件の担保

既存杭に関する情報を把握する上で、旧建築物の除却前などで調査が十分に実施できず、設計が先行するケースが多いことが想定される。特に、建築確認時点で必要な地盤調査等が行われていなければ、設計上は仮定の値で構造計算を行い、着工後の施工管理でその妥当性を確認しながら建設を進めることとなる。こうした実態を考慮し、既存杭に関する地盤調査を着工前後の二段階に分けて計画する^[9]などの考え方も、設計条件を担保する上では有効である。

もともと、既存杭を含む敷地か否かにかかわらず、設計に対して施工時点の数値等にはばらつきがあるのは当然のことで、当初設計からの乖離が大きければ、計画変更が必要となる場合がある。これを運用上避けるために、たとえば杭の心ずれなどに関しては、前出の複数の仮定に基づく検討としての「あらかじめの検討」が行われている。さらに、内容によっては、計画変更を行う必要がないことが明らかであるとされ、現場で対応可能な「軽微な変更」（建築基準法施行規則第3条の2）として規定が設けられている。この軽微な変更の具体的な運用について、日本建築行政会議による資料^[10]があり、くい基礎に関連する記述を表 1.2 に抜粋して示す。

実際には表 1.2 に記載の事項のほか、同書に記載された適用方針について個別事例に即して検討する必要がある。ただし現実的には、既存杭の再利用にあたっては一般の建築物以上に事例ごとのばらつきが大きく、たとえば同表の軽微な変更に関する注意事項として掲げられた「構造関係規定については、全体架構モデルの再計算を行わずに適合することが確認できることが必要である。」は、既存杭を再利用する場合においてもこれを満足しなければならないが、統一された考え方を提示するには至っていない。軽微な変更については検討内容の提案^[13]の検討が始められたところであり、前述のあらかじめの検討の定量化や各種の事例の整備については、多くの課題が残されている。

なお、どのような手続きとする場合であっても、こうした変更については、竣工図などの形で、最終的な内容が表現された設計図書が確実に保存されるようにする。

第Ⅱ編

表 1.2 くい基礎に関連する軽微な変更と計画変更確認申請の判断事例^[10]を加筆修正

	変更内容	軽微な変更 「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」が前提	計画変更確認申請	第1項各号
くい基礎	くい先端位置の変更 (杭長の変更、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	①1次設計の浮き上がりが生ずる場合、2次設計のメカニズムに影響する場合等、全体架構の再計算が必要な場合	八号
	くいの偏心	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)	①基礎ばり・フーチング以外の部材の応力が増加する変更が伴う場合	八号
	地盤の変形係数の変更	①くい体の強度、耐力が減少しない場合	①くい体の強度、耐力が減少する場合 ②1次設計の浮き上がりが生ずる場合、2次設計のメカニズムに影響する場合等、全体架構の再計算が必要な場合	九号
	くい工法・くい材料の変更	①場所打ち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場合(引き抜きを含む)(アース→リバース、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	①異種材料のくい種の変更(鋼管ぐい→PHCぐい、場所打ちぐい→PHCぐい等) ②くい体の強度、耐力が減少する場合 ③1次設計の浮き上がりが生ずる場合、2次設計のメカニズムに影響する場合等、全体架構の再計算が必要な場合	九号
	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	①くい体の強度、耐力が減少する場合 ②1次設計の浮き上がりが生ずる場合、2次設計のメカニズムに影響する場合等、全体架構の再計算が必要な場合	九号
	くい基礎⇔地盤改良	— ※該当する号がないため	全て	—

(3) 環境等に関する検討

既存杭は、環境面では、図 1.4 に示す廃棄物処理法や建設リサイクル法が関係するが、これらの適用にあたり、以下の資料等も参考にできる。

- ・ 既存杭の利活用・処理における情報表示ガイドライン^[4]：ALLF
- ・ 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）^[11]：環境省
- ・ 既存地下工作物の取扱いに関するガイドライン^[12]：日本建設業連合会

参考文献（第1章）

- [1] Tamura, S., Adachi, K., Sakamoto, T., Hida, T. and Hayashi, Y. : Effects of existing piles on lateral resistance of new piles, Soils and Foundations, Japan Geotechnical Society, Vol. 52, No.3, pp.381-392, 2012.6
- [2] Tamura, S., Higuchi, Y., Hayashi, Y. Yamazaki, M.: Centrifuge studies on the effects of existing piles on the end resistance and shaft friction of a new pile, Soils and Foundations, Japan Geotechnical Society, Vol. 52, No. 6, pp.1062-1072, 2012.12
- [3] （公社）地盤工学会関東支部 新設杭に干渉する既存杭の撤去・埋戻しに関する研究委員会：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と施工，総合土木研究所，2022.6

第Ⅱ編

- [4] (一社) 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, http://all-foundations.org/GDL/guidline_dinfo.pdf, 2023.2 (閲覧 2024.12)
- [5] 国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所 監修：2020 年版 建築物の構造関係技術基準解説書, 全国官報販売協同組合, p.78, 2021.7
- [6] (一社) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針, p.150, 2019.11
- [7] 国土交通省：構造部材として使用した CLT 等を別の建築物の構造部材として再利用する場合の建築基準法における取扱いについて, <https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/content/001756360.pdf>, 2024.6 (閲覧 2024.12)
- [8] 国土交通省：日本政府館において構造部材として使用した CLT を別の建築物の構造部材として再利用する場合の建築基準法における取扱いについて, <https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/content/001755936.pdf>, 2024.7 (閲覧 2024.12)
- [9] (一社) 建築基礎・地盤技術高度化推進協議会：既存杭の撤去・埋め戻しを考慮した地盤調査ガイドライン (案), 2024.10
- [10] 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－2022 年版, (一財) 建築行政情報センター, p.73, 2022.
- [11] 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 (令和 3 年 7 月 2 日開催) を踏まえた廃棄物の処理及び清掃に関する法律の運用に関する解釈の明確化について (通知), https://www.env.go.jp/recycle/notice_2109301_2109302.pdf, 2021.9 (閲覧 2024.12)
- [12] (一社) 日本建設業連合会：既存地下工作物の取り扱いに関するガイドライン, <https://nikkenren.com/publication/detail.html?ci=321>, 2020.2 (閲覧 2024.12)
- [13] (一社) 建築基礎・地盤技術高度化推進協議会：既存杭の撤去・埋め戻しを考慮した地盤調査ガイドライン (案) 付録 6, 2024.10

第2章 設計のための調査

○総プロ関連成果

参考資料1 解体工事における杭体の調査結果

参考資料2 杭撤去・埋め戻しに伴う地盤のゆるみの調査結果

2. 1 既存杭を活用するための調査

既存杭の活用にあたって、旧建築物の設計資料を収集するほか、情報が不足する場合には、適切な調査を行って既存杭の性能を評価する。

再利用する杭体にあっては、著しい損傷および老朽化のないことを確認する。

【解説】

(1) 既存杭に関する情報の収集

既存杭は、それが使われていた建築物（旧建築物）の新築時に、当時の基準を満たすことについては審査を受けており、また、解体時点まで安全に建築物を支持していた実績もある。そこで、当時の設計資料を収集し、そこに記載の数値を用いることを基本とした。

既存杭の活用のための調査については、日本建設業連合会「既存杭利用の手引き」^①において、既往の事例に基づく実績が示されている。また、本指針案に基づく新築の建築物にはそのまま適用できない部分もあると考えられるが、ベターリビング「基礎構造の耐震診断指針（案）」^②でも、取得可能な情報と構造設計との関連が示されている。いずれの資料においても、建築当時の設計図書や図面類は必須の情報であり、得られた内容に応じてその後の対応が異なることが示されており、参考にできる。

旧建築物の設計資料の内容によって、新建築物の設計にあたって必要な情報が不足している場合には、追加調査を行う。調査時点は様々であるが、1.4(2)c)項で示した通り、設計段階での調査と施工時点の調査など、段階的に実施することも考えられる。可能な場合には、旧建築物の地上部分の解体時に実施することで、効率的な調査とできる場合がある。ただし実質的には、前所有者が自発的にこうした調査を実施することはほとんどないと考えられ、設計者（構造技術者）が旧建築物の解体にできるだけ関与する体制となることが望ましい。

なお、既製杭のように大臣認定を取得している工法についても、当時の設計資料によることができるが、逆に工法に関する情報が十分に得られない場合、平成13年国土交通省告示第1113号の規定をそのまま適用して支持力を計算することも考えられる。

(2) 健全性に関する調査

設計に関する情報に加えて、基本的な品質の確認として、既存杭に著しい損傷および老朽化などがなく、健全性が確保されていることが再利用の条件となる。再利用にあたっては、抜き取り調査などによる確認が求められている（1.4(2)a)参照）。

前述の通り、再利用する杭は基本的には鉛直支持性能が担保されている状態となるが、供用中に中規模以上の地震を経験している場合などでは、健全性の調査として杭体の損傷の有無の確認をしておくことが必要である。「基礎構造の耐震診断指針（案）」^②で、健全性調査に用いる手法が紹介されて

いる。原則としては、再利用する杭に適用することや、地中に埋設されている部分は目視で確認できないため、IT試験をはじめとする非破壊試験が中心となる。この時、計画上撤去する杭が別にあれば、その杭を代表として杭体の目視調査やコア抜き・強度試験等を実施して品質を確認することができる場合もあると考えられる。【参考資料1】に、福岡市内の解体工事における杭体の健全性調査結果について示す。

老朽化（劣化）については、基本的に地上部分の耐震診断^[3]等で用いられる調査と同じ手法による。基礎地盤に関連する劣化外力として、特に、温泉地帯および海岸地帯では、土壌成分および地下水によるコンクリート材料の劣化が懸念される。

なお、性能が不足する場合、原則として補強して再利用または撤去することになる。存置することも可能であるが、将来の地中障害などの支障を生じないようにする。

2. 2 既存杭を撤去した敷地の調査

既存杭を撤去した地盤については、原地盤との差異を把握できる調査を行う。

【解説】

撤去後の地盤の物性を評価するための地盤調査の計画手法や結果の設計への適用については、様々な検討が行われている^[6]。【参考資料2】に、茨城県稲敷郡内及び福岡県福岡市内において実施した、杭の撤去・埋め戻しを想定した施工実験における地盤調査結果を示す。撤去・埋め戻しを実施した杭から一定の範囲でN値などの特性値の低下（ゆるみ）が見られ、数年程度の経過時間でも回復しない状況である。こうした資料も参考に、杭の撤去・埋め戻しの影響を把握する調査としては、例えば以下のような内容が考えられる。

① 原地盤の地盤調査

通常は、敷地内で実施された標準貫入試験結果（土質柱状図）があるので、それを用いてよい。そうした情報がない場合、あるいは、他に設計上必要な地盤調査があれば、撤去・埋め戻し位置に対して「原地盤」と見なせるように離隔を取った場所で試験等を行う。離隔距離の目安として、撤去に用いるケーシングの表面（ケーシング端）から当該ケーシング径の3倍以上とすることなどが考えられる。

② 撤去・埋め戻し部分に関する地盤調査

ゆるみが想定される範囲で、①の地盤調査結果と比較可能な調査を実施する。①と②は同一の方法による事が望ましいが、相互に換算できればよい。ゆるみが想定される範囲の目安として、ケーシング端から当該ケーシング径の3倍以内で、かつ、ケーシング端に向かってのゆるみの傾向を把握できるよう、距離を変えて複数個所で実施することなどが考えられる。そのうち1地点は、ゆるみの影響が大きいケーシング端の近傍（外周から0.5m程度の範囲内）に配置することが望ましい。

また、必要に応じ、埋め戻した部分についても地盤調査を行う。これは、撤去・埋め戻し工事の品質管理の一環として行われる場合もある。埋め戻し部分の品質の確保については重要性が指摘されている^[4]。

なお、上記はケーシング引き抜き工法を用いた場合で、かつ特定の敷地での結果に基づく提案という位置づけであり、適用範囲も限定的であると想定される。したがって、現状では上記を参考程度に

第Ⅱ編

留め、設計者は個別の計画に応じた調査を検討し、その結果を踏まえて、建築物の設計に用いる数値を設定する。必ずしも詳細な地盤調査をすべての現場、すべての撤去位置で確かめる必要はなく、安全側となるように設定できればよい。

撤去・埋め戻しに伴うゆるみの程度や範囲に関しては、施工法の影響が大きい。現状では現場ごとに個別の状況確認を行うべきと考えられるが、その際、できるだけ地盤の性能を落とさないような工法の選定を心がけるとともに、設計用の数値としてのとりまとめが行えるよう、今後の知見の蓄積が必要である。

参考文献（第2章）

- [1] （一社）日本建設業協会：既存杭利用の手引き ―現在と将来の利用に向けて―, 2018.11
- [2] （一財）ベターリビング：基礎構造の耐震診断指針（案）, 2013.6
- [3] （一財）日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・耐震改修設計指針・同解説, 2022.7
- [4] 山本ほか：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, 日本建築学会技術報告集 第31巻第77号, pp.163-168, 2025.2
- [5] （公社）地盤工学会関東支部 新設杭に干渉する既存杭の撤去・埋戻しに関する研究委員会：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と施工, 総合土木研究所, 2022.6
- [6] （一社）建築基礎・地盤技術高度化推進協議会：既存杭の撤去・埋め戻しを考慮した地盤調査ガイドライン（案）, 2024.10

第3章 許容応力度等

○総プロ関連成果

参考資料1 解体工事における杭体の調査結果

3. 1 既存杭の許容応力度・材料強度

既存杭の杭体の許容応力度及び材料強度は、旧建築物の設計に用いた図書によるか、または実況に基づき定めた数値とする。

【解説】

既存杭の設計・施工について適切な情報が入手でき、かつ、著しい損傷や老朽化の兆候がなければ、既存杭は基本的に再利用可能であり、新建築物の設計にあたっては、旧建築物の設計に用いた数値を利用することができる。

適切な情報がない場合には、既存杭から試験片を採取すること等により、著しい老朽化がないことを確認するとともに、実況に基づいて構造計算に用いる数値の評価を行う。耐震診断における手法なども参考にできる。ただし、既存杭を新設杭と併用する場合、たとえば新設杭のコンクリートに関しては、設計基準強度に対する呼び強度という形で現場において確保すべき数値の補正が行われるなど、実強度を用いた場合、新築部分の設計における安全性の考え方との間に不連続が生ずる恐れもある。したがって、原則としては「設計図書の数値」を用いることとし、実況に基づく数値はその裏付けとするなどの形が基本である。

上記以外の観点として、既存杭の強度を設定する上で、品質が十分に確認できない場合は、長期の鉛直支持という実績までの範囲で数値を低減して扱うことも一つの手段である。また、耐震診断では、経年の影響を考慮する係数（経年指標T）も導入されており、経年指標Tに関して、ベターリビング「基礎構造の耐震診断指針（案）」¹⁴では、「顕著な不同沈下が認められる場合や、過去に大きな地震を受けている場合」に考慮すべきとされている。

場所打ち杭のコンクリートの強度について、昭和56年建設省告示第1102号第1ただし書に基づく「特別な調査又は研究の結果に基づき構造耐力上支障がないと認められる」方法として、既存杭よりJIS A 1107に準拠した方法によりコア供試体を採取して材料強度を評価し、設計基準強度 F_c を設定することができる。コア供試体は、杭頭を避け、撤去杭から上部、中部、下部から複数採取する。【参考資料1】に設定に関する事例を紹介する。

一方、既製コンクリート杭に関しては、JIS A 1107は形状の理由により適用ができない。また、近年、開発が進んでいる微破壊・非破壊試験によるコンクリートの強度推定手法¹⁵においても、現状では既製杭は適用範囲外である。過去には、戦略的ストックマネジメント手法について検討した国土技術政策総合研究所「住宅・社会資本の管理運営技術の開発」（平成13～16年度）において、既存杭の再利用技術として、既製コンクリート杭ではJIS製品を当該JISの基準強度以下とするときには、圧縮強度に関しては試験を実施しなくても再利用可能とすることや、杭体を用いた強度試験法などが紹介されている¹⁶。他の手法として、ベターリビング「基礎構造の耐震診断指針（案）」¹⁴では、建設年代ごとの杭の代表的な仕様の一覧が取りまとめられているなど、同程度の規模・年代・地域における実態を参考にすることもできる。

なお、調査で性能の不足する既存杭について、補強等の措置を講じて用いることも可能である。本指針案では具体的な工法は示していないが、本指針案に従った設計を行えばよい。補強後の部材性能及び接合部などの剛性や靱性を実験等に基づき確認しておく必要がある。

3. 2 基礎ぐいの許容支持力等

既存杭を含む敷地における基礎ぐいの許容支持力を定めるにあたっては、既存杭の撤去・埋め戻しを行うことによる地盤の特性の変動（ゆるみ）について考慮する。

【解説】

(1) 地盤のゆるみの考慮

既存杭を含む敷地においても、基礎ぐいの許容支持力は、法令の規定に基づき定めることとなる。既存杭を再利用する場合、設計時の情報が不足する場合は再計算を行うが、その代わりに、再計算や使用実績（長期荷重の支持、地震履歴などの考慮）に基づく数値を設定できる。法令上、平成 13 年国土交通省告示第 1113 号において、長期の許容支持力は限界沈下量を考慮した載荷試験に基づき定めてよいとされており、実建築物における利用を載荷試験と見なした扱いとなる。

許容支持力の計算にあたって、既存杭の撤去・埋め戻しを行った地盤は一定の範囲で影響を受けるため、各種の係数は、それを反映した数値を用いる必要がある。既存杭についても、原則は杭体の強度と同様に新築時の図書に基づく数値を採用するが、近接して撤去・埋め戻しが行われる場合、地盤のゆるみを考慮することとなる。

なお、既存杭（古い施工の杭）は、引き抜き方向について性能を期待できるかどうか疑問もあり、適切な情報が得られない場合は、引き抜き方向の許容支持力を設計に用いない等の配慮も必要である。

また、撤去後の地盤のゆるみにより、杭周囲の地盤に局所的な液状化が発生する可能性も指摘されている^[4]。地震後の建築物の継続利用など、より詳細な検討を行うにあたっては、こうした現象も考慮する必要がある。

(2) 先端支持力の確保

既存杭を撤去後に同じ位置、またはごく近接して新規に杭を施工する場合、上記の通りゆるみの影響を考慮する必要があるが、先端支持力に関して、撤去の影響を避けるため、既存杭の先端より深い位置を支持層とすることが考えられる。もとの既存杭の支持層が中間層である場合、杭先端を深く取るために、中間層を超え、さらに深い支持層に定着する必要がある場合もある。

これ以外にもゆるみ領域において適切に新設杭を施工するためには様々な注意事項があり、施工トラブル事例などが紹介された技術資料^[5]等を参考にできる。

(3) その他計算に用いる数値

基礎ぐいを含む地下部分の検討にあたっては、ここで示した許容支持力以外に、地盤の剛性や変形性能などを用いて、荷重と変形の関係を考慮した解析を行う。既存杭を含む敷地においては、上記のゆるみに加えて、既存杭の先端支持層について、再載荷時の鉛直剛性の増大のおそれも指摘^{[6][7]}されている。こうしたモデル化とそれを用いた構造計算の考え方については、第 5 章で扱う。

3. 3 その他の部材の許容応力度等

新築する構造部材の許容応力度及び材料強度は、法令等の定めるところによる。

【解説】

新規部材に用いる数値については、通常の新築の場合と同じである。

参考文献（第3章）

- [1] （一財）ベターリビング：基礎構造の耐震診断指針（案），2013.6
- [2] （国研）土木研究所：微破壊・非破壊試験による新設の構造体コンクリート強度測定要領（案），
<https://www.pwri.go.jp/jpn/results/offer/hihakai/conc-kyoudo.html>（閲覧 2024.12）
- [3] 国土技術政策総合研究所：住宅・社会資本の管理運営技術の開発，国総研プロジェクト研究報告
第4号，p.135，<https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoku/kpr/prn0004pdf/kp0004223.pdf>，2006.1（閲覧 2024.12）
- [4] 福武・田口ほか：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・
その19，日本建築学会学術講演梗概集，構造Ⅰ，No.20292-20293，pp.583-586，2023.9
- [5] 特集「既存杭の撤去と新設基礎の設計・施工」：基礎工 Vol.50 No.10，pp.34-51，総合土木研究所，
2022.10
- [6] 鬼塚・長尾ほか：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・その2，日本建
築学会学術講演梗概集，構造Ⅰ，No.20214-20215，pp.427-430，2022.9
- [7] 長尾ほか：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3，日本建築学会学術講
演梗概集，構造Ⅰ，No.20220，pp.439-440，2023.9

第4章 荷重及び外力

○総プロ関連成果

参考資料3 基礎ばりの剛強さの程度による地上部分（1階柱）の応力の違い

参考資料4 地下部分のねじれ挙動を考慮した建築物の応答評価

参考資料5 地下部分のねじれ挙動の影響に関する実験的検討

4. 1 荷重・外力の種類

既存杭を含む敷地における建築物に作用する荷重及び外力については、法令等の定めるところにより、主として以下を用いる。

- ・固定荷重（令第84条）
- ・積載荷重（令第85条）
- ・積雪荷重（令第86条）
- ・風圧力（令第87条）
- ・地震力（令第88条）

上記のほか、建築物の実況に応じて、土圧、水圧、震動及び衝撃による外力を採用する。

【解説】

荷重及び外力に関しては、特に基礎ばりを剛強とした場合には、既存杭に特有の形での設定はないものとして、一般的な新築の建築物と同様に設定する。

地震力に関し、地下部分の性能設計を行う場合などでは、地震時の地盤変位を地下部分に付加する応答変位法^[1]の活用も考えられるが、「既存杭に特有の状況」ではないものとして、本指針案ではその適用は必須とはしていない。液状化の恐れのある地盤や大地震時の機能継続等の性能設計が必要な場合など、地盤変位の及ぼす影響の程度を踏まえて、通常の建築物の設計と同程度に考慮すればよい。

また、既存杭の長期の水平力分担や長期の引抜力の負担を考える場合、特に片土圧や地下水位（浮力）の影響を検討することも重要である。

4. 2 荷重・外力の組み合わせ

構造計算に用いる荷重及び外力の組み合わせについては、法令等の定めるところによる。

基礎ばりについては、安全側となるように組み合わせを考慮する。

【解説】

(1) 既存杭に特有の状況の考慮

荷重及び外力の組み合わせについては、現行基準に従い、令第82条の規定に基づく検討を行って構造耐力上主要な部分に生ずる応力を計算する。この時、既存杭に特有の状況として、次の応力が重要である。

- ① 「G + P (+0.7S)」(長期に生ずる力) での相対沈下に伴って生ずる応力
- ② 「K」(地震力によって生ずる力) として、ゆるみの影響で位置により異なる地下部分の状況を考慮した応力

第Ⅱ編

上記は、日本建築学会「建築基礎構造設計指針」の異種基礎の項^[2]でも同じ主旨の記述があり、適切な設計にあたり参考となる。

(2) 基礎ばりの設計における配慮

特に基礎ばりについては、剛強確保の有無にかかわらず、地上部分と地下部分との力のやりとり上で重要な部分であるので、設計で想定した性能が確実に発揮されるよう、荷重及び外力に対して安全側の設定を心掛ける必要がある。本指針案では、第6章において示す通り、基礎ばりの剛強の条件を規定しているが、第2章、第3章で示した通り、現状では知見の蓄積が十分でなく、また、設計に対しその裏付けを得るための地盤調査等が着工後など遅れての実施となることも考えられることから、複数の仮定を設けた「あらかじめの検討」などで対処することも検討する必要がある。

基礎ばりが剛強でない場合は、【参考資料3】などを参考に時刻歴応答解析を併用し、存在応力を適切に評価することが考えられるが、二次設計の一環として行われる鉄筋コンクリート造における設計用せん断力の割り増し（平成19年国土交通省告示第593号、昭和55年建設省告示第1791号、平成19年国土交通省告示第594号第2）のように、変形性能の確保にあたって存在応力の算定結果に対して付加的に考慮すべき内容（保証設計）が示されれば、それらの数値を採用した設計を行うことも可能な場合があると考えられる。

4. 3 その他の荷重及び外力

既存杭に特有の現象に伴って生ずると考えられるその他の荷重及び外力について、適切に考慮する。

【解説】

前項の異種基礎の検討項目については、主に一般的な静的水平力に対する耐震設計を想定したものであるが、「ねじれ挙動」としては、地下部分の水平抵抗が場所ごとに異なることで生ずる動的な応答が地上部分に影響を及ぼす（増幅される）ことが考えられる。

このような現象を考慮するための規定として、地上部分の二次設計では、地上部分の剛性率や偏心率を計算し、一定の値を超えないようにする（耐震計算ルート2）か、それらの値に応じて地震力を割り増す（耐震計算ルート3）ことも行われている。

これまでの既存杭の再利用物件や、一般的な異種基礎の建築物でこうした影響が具体的に問題となった事例は把握されていないが、【参考資料4】及び【参考資料5】に、既存杭と新設杭が混在して部分ごとに水平剛性が異なる場合を想定した解析及び実験の結果を示す。これらによれば、地下部分のねじれ挙動が地上部分の応答に及ぼす影響はほとんど見られず、設計上は特別な考慮は要しないと考えられる。ただし、その前提条件として、剛床仮定が成立する必要がある、逆にそれを満たさない場合は、詳細な検討を行って、地下部分の挙動が地上部分の応答に及ぼす影響を評価する。

参考文献（第4章）

[1] （一社）日本建築学会：建築基礎構造設計指針 2019版, p.259, 2021.9

[2] （一社）日本建築学会：建築基礎構造設計指針 2019版, p.319, 2021.9

第5章 解析モデルとその選定

○総プロ関連成果

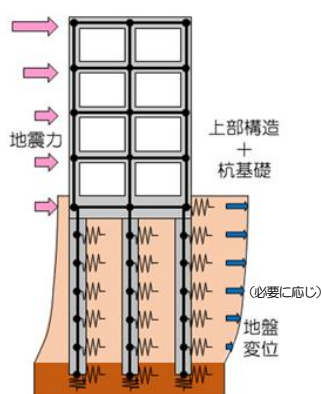
参考資料6 ゆるみ領域での鉛直・水平載荷実験と FEM 再現解析

参考資料7 新設杭が撤去埋め戻し位置から離れた場合の杭頭ばね解析

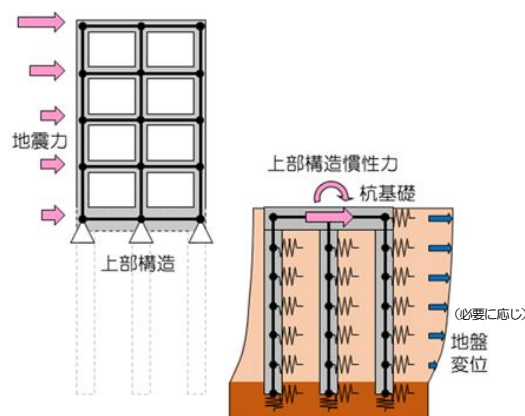
5. 1 解析モデルの概要と方針

既存杭を含む敷地における建築物の設計に用いる解析モデルは、原則として次の2つのいずれかとする。

①地上部分-地下部分（杭基礎）一体モデル



②地上部分と地下部分の分離モデル



【解説】

(1) モデル化の原則

既存杭を含む敷地における建築物の設計にあたって、撤去・埋め戻し地盤のゆるみなどの状況を構造計算に反映できるようなモデルを用いる必要がある。そこで、地下部分については、場所による地盤の挙動の違いの影響を基礎ばりの応力や変形として適切に扱う必要があることから、いわゆる「群杭フレームモデル」¹⁾の採用を原則とした。ただし例外的に、既存杭の再利用のみで地上部分を更新するような場合など、一般的な更地への新築時と同様の条件と見なせるような場合には、現状で行われるような、代表的な条件に基づく1本杭での評価も可能と考えられる。

(2) モデル化における着目点（基礎ばりの扱い）

一貫計算プログラムと言われる建築物の構造計算用の市販プログラムは基本的に地上部分を想定した②の分離モデル（地下部分の状況によらず、基礎ばりまでのモデル化とし、柱下をピン支持としたもの）を用いている。分離モデルでは、基礎ばりが地上部分と地下部分の二つのモデルのいずれにも含まれ、別々に扱われている。建築物全体としての構造計算の整合性を考えた場合には、この基礎ばりの状態がいずれの計算においても同じとなるよう、地上部分の支点位置における軸力及び鉛直変位や、杭頭位置でのモーメントやせん断力などについて、地上部分と地下部分の力のやり取りや変形の整合性を適切に（安全側に）計算できるものであればよい。これが適切に計算できるものとして、①の一体モデルを想定している。整合性を確保するために、場合によっては外部ツールや手計算を併用する必要がある。ただし、厳密な一致を要求するものではなく、安全側に設計できるものとして、第

6章の構造計算の内容と合わせて、②の分離モデルについても採用可能とした。

また、一体・分離モデルのいずれにおいても、設計上は一方向の地震力に対し複数の構面それぞれでの検討を行うこととなる。このような場合に、各構面で適切に地震力が分配されるためには、たとえば剛床仮定などを設け、構面の変形がそれぞれ等しくなるなどの前提を置いて計算を簡略化するのが通例である。こうした前提が担保されているかについても、別途検討することが必要となる場合がある。

本指針案では、こうしたことを考慮して、②の分離モデルでも適用可能な条件として、表 1.1 に示す基礎ばりの設計条件を定めた。したがって、表 1.1 の条件を満足しない場合は、①の一体モデルを用いる必要がある。

5. 2 地盤のモデル化

地盤のモデル化にあたっては、原地盤の物性値をベースに、既存杭の影響を考慮して定める。原地盤の物性値は旧建築物における設計図書と同じとしてよい。

【解説】

(1) モデル化の原則

地盤は、一般的には地下部分の構造物の周囲に配置されたばね（杭周ばね、杭先端ばねなど）としてモデル化される。特に既存杭の撤去・埋め戻しによる影響について、ゆるみを生じていると考えられる範囲の物性値を原地盤に対する数値からの比率で変動させる。原地盤の諸元は、旧建築物の設計図書に含まれていれば、それを用いることができる。ゆるみの影響の考慮に関して、【参考資料 6】に、茨城県稲敷郡で実施した既存杭撤去地盤における鉛直・水平載荷実験とその解析例を示す。

再利用する既存杭の杭先端ばねについては、長期にわたる荷重支持の影響で、荷重沈下曲線上で長期荷重程度に相当する初期沈下を生じた状態から新建築物を支持することとなり、高い剛性（固いばね）を示す可能性がある。再利用にあたって実際に用いる杭の鉛直載荷試験を実施することが望ましいが、過去の鉛直載荷試験について、無載荷状態での鉛直剛性と残留沈下を生じた状態での鉛直剛性を比較した検討^{[2][3]}では、平均して 3 倍程度の数値が得られている。そこで本指針案では、再利用する既存杭の杭頭ばねは、同一の工法・仕様で新設する杭での数値の 3 倍を原則とする。ただし、この数値は既存杭についての実績がほとんどないことから類似の状況を当てはめたものであり、一方で、異種基礎の判断の節（1.3 節参照）において述べたとおり、建築物の設計において沈下は極めて重要な検討項目である。したがって、設計者は十分に安全側となるようなばらつき等の設定を心掛けるとともに、場合によっては設計との整合をモニタリングにより確認する等の措置も検討する。

さらに、分離モデルにおいて地上部分の計算を行うにあたり、地下部分は支点（杭頭）位置における水平・鉛直の地盤ばねとして設定される。そのため【参考資料 7】として、新設杭がゆるみ領域の中心から外れることも考慮した解析を行い、地盤ばねへの影響を確認した。地盤ばねの数値は、概ね範囲内のゆるみの傾向と一致することが示された。また、これらの結果に基づき、撤去・埋め戻し位置からの方向によらず、同一の数値を用いてよいこととした。このように、地盤調査結果にもとづく設計用の数値の設定に関しては、ALLF「既存杭の撤去・埋め戻しを考慮した地盤調査ガイドライン（案）」^[4]等も参考にできる。

既存杭の存置に関しては、1.1 節で示したように設計上の影響は小さいとして、特に扱いは定めな

い。ただし、事前調査による位置関係の把握が十分でない場合、新設杭と近接する条件となり施工上注意が必要となることも考えられる。したがって、再利用の有無にかかわらず、情報の把握に努めておく必要がある。

(2) 実況に基づく数値の採用

既存杭や撤去後の地盤について、鉛直・水平ばねを載荷試験結果に基づき設定することもある^同。一方、新設杭のばねについては、現行の標準的な評価方法に基づく数値を用いることとなる。標準的な評価方法に基づく新設杭のばねは、一般的な新築の建築物における杭体の設計上は安全側に（変形が大きく計算されるよう）評価されていることが想定される。したがって、既存杭と併用したときには、新設杭の負担荷重が過小評価される可能性が考えられる。また、新設杭の鉛直ばねが想定よりも硬かった場合、既存杭の配置やばねの硬軟によっては、予測より相対沈下が大きくなるため、この点でも危険側の評価となる可能性がある。このように、水平・鉛直の変形量の差が問題となるおそれがある時には、既存杭・新設杭の剛性に関わる調査を必要に応じて行うことが望ましい。

5. 3 杭基礎のモデル化

杭基礎（杭・基礎ばり等の部材及びその接合部）のモデル化にあたっては、部材に生ずる応力及び変形が適切に計算されるものを用いる。

既存杭及び既存杭と周囲の構造部材との接合部のモデル化にあたっては、実況に応じた数値を用いる。

【解説】

(1) モデル化の原則

既存杭を含む敷地における建築物の構造計算にあたって、地下部分（杭基礎）は群杭フレームモデルを用いる。地盤については 5.2 節のような配慮が必要となるが、杭体など、構造部材については、基本的に現状のモデル化の方法を採用してよい。

既存杭についても、第 2 章で実施する調査によって把握した性能で設計することが原則となるが、健全性調査などの結果によっては、接合部の状況も含めて、安全側に強度等の低減を行うことも考えられる。さらに、既存杭（特に、耐震設計が十分に行われていない古い時代のもの）と新設される杭とでは一般には変形性能が異なるので、極端に性能の差があるような設計となることは避けることが望ましい。

(2) 既存杭及び接合部のモデル化

既存杭の杭頭部（基礎ばりとの接合部となる部分）については、上記の通り古い杭を中心に十分な性能が確保できない場合も想定される。また、地上部分の解体工事の影響を受けることも考えられる。そのため、補強等の措置を講ずることについて事前に検討しておくことが望ましい。さらに、杭頭部に半剛接合など特殊なディテールを導入して対応する際には、実験等を併用して性能を確認しておく必要がある。

杭頭部分の性能不足への対応や、また基礎ばりへの影響を極力少なくするという観点で、基礎ばりと接合せず、鉛直荷重のみ伝達する（水平抵抗を負担させない）設計とすることも有効と考えられる。

5. 4 地上部分のモデル化

地上部分のモデル化にあたっては、基礎からの力の伝達を考慮して、部材に生ずる応力及び変形が適切に計算されるものを用いる。

【解説】

地上部分については、現行のモデル化方法を採用してよい。

参考文献（第5章）

- [1] （一社）日本建築学会：建築基礎構造設計指針 2019 版, p.185, 2021.9
- [2] 鬼塚・長尾ほか：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・その2, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 I, No.20214-20215, pp.427-430, 2022.9
- [3] 長尾ほか：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3, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 I, No.20220, pp.439-440, 2023.9
- [4] （一社）建築基礎・地盤技術高度化推進協議会：既存杭の撤去・埋め戻しを考慮した地盤調査ガイドライン（案）, 2024.10
- [5] 富田ほか：超高層建物における既存場所打ち杭の再使用に関する調査 その3, 日本建築学会学術講演梗概集, 構造 I, No.20234, pp.467-468, 2013.8

第6章 既存杭を含む敷地における建築物の構造計算

○総プロ関連成果

参考資料 8 施工段階の考慮が構造計算に及ぼす影響の検討（施工段階解析）

6. 1 原則

既存杭を含む敷地における建築物の構造計算は、剛強な基礎ばりを設けて行う。ただし、再利用、存置、撤去など既存杭の処理が建築物の安全性に及ぼす影響を適切に評価できる方法による場合は、この限りでない。

構造計算にあたっては、安全側の検討になるよう、必要に応じ複数の仮定を設ける。

上記のほか、既存杭を含まない更地での新築の建築物の構造計算と共通した部分については、現状の一般的な方法による。

【解説】

(1) 基本的な考え方

既存杭を含む敷地における建築物の構造計算にあたって、基礎ばりを「剛強」にしておくことが原則である。これは、第1章において示した通り、既存杭を含む敷地の挙動が地上部分の安全性に及ぼす影響を最小限に留めることを意図したものである。剛強な基礎ばりを設けることで地上部分と地下部分の計算をそれぞれ行う分離モデルを利用できることから扱いやすくなり、特に、地上部分については既存杭を含まない更地での新築の建築物の一般的な構造計算（以下、「従来計算」）の知見を活用できる。以下、原則として分離モデルを想定した解説とする。

敷地と地上部分の挙動を分離できる基礎ばりの具体的な「剛強」の内容として、本指針案では表 1.1 で示したとおり、次の条件を設定している。

○ 長期における制限（剛）

- ① 相対沈下・・・基礎ばりの部材変形角で 1/2000 以内
- ② 基礎ばりの応力・・・ひび割れ応力以内

○ 大地震時における制限（強）

- ③ 基礎ばりの応力・・・弾性限以内

○ 剛床の確保（実質的には③と合わせて検討する）

- ④ 基礎ばりに囲まれる水平構面について、十分なスラブ厚さを確保すること
（例えば、大地震時に想定されるスラブの面内せん断応力 $\leq$ 弾性限とする）

ただし書きの規定は、いわゆる「特別な調査研究」に該当するもので、基礎に関する二次設計のほか、さらに詳細なツールなどを用いた性能の照査を可能としている。

なお、本指針案に示す以外の、たとえば平成 19 年国土交通省告示第 593 号、昭和 55 年建設省告示第 1791 号、平成 19 年国土交通省告示第 594 号など各種の法令上に規定された構造計算は、既存杭の有無にかかわらず適用され、満足しておく必要がある。

(2) 不確定な事項への配慮

どのような計算手法を用いる場合においても、既存杭の実況を直接的に構造計算に反映することは、技術的な限界や、手続きの時系列上の問題から、困難も予想される。したがって、設計者は余裕を持ったばらつき等の設定を心がけるとともに、場合によっては施工時の調整を想定した「あらかじめの検討」や、軽微な変更の前提条件となる地下部分の変更が地上部分の断面に影響を及ぼさないことを確認する手順の検討も行っておくべきである。

6. 2 長期荷重に対する検討

既存杭を含む敷地において建築物を「異種基礎」で支障なく支持するため、杭位置ごとの沈下性状の差（相対沈下）を考慮できる手法を用いて長期荷重時の架構の状況を把握する。

建築物は、相対沈下の程度を考慮して、長期荷重に対して損傷を生じないものとするほか、基礎ばりに十分な剛性が確保されていることを確かめる。

【解説】

(1) 基礎ばりの剛強（条件①及び条件②を満たすこと）の確認

基礎ばりについて、第3章、第5章などを参考に、既存杭の影響を考慮して支点（杭頭位置）に鉛直ばねを設定する。各柱位置に長期の軸力に相当する鉛直荷重を作用させ、基礎ばりの応力及び変形を計算する。

基礎ばりが条件①②（部材変形角 $1/2000$ 以内、ひび割れ応力以内）を満たすことを確かめる。

このように基礎ばりだけを取り出した計算でもよいこととしたのは、変形制限の範囲内であれば、地上部分や杭における絶対的な変形が小さく、付加応力を計算上無視できるとしたためである。条件①②の範囲を超える場合は、地上部分の架構や杭も必要に応じモデル化し、建築物全体で初期応力がどのように分布しているかを確認した上で、それらを構造計算に反映する必要がある。

長期荷重における基礎ばりの応力状態を建築物全体で把握する方法として、施工段階解析などがある。【参考資料8】に、施工段階解析の影響を検討した結果を示す。ただし、こうした解析では基礎ばりの応力は地上部分の架構など他の部分が分担することで低減されるので、基礎ばりについては、施工段階解析によらない数値（もっとも厳しい数値）を採用することが望ましい。

(2) 基礎ばり以外の確認

基礎ばりが剛強であれば、従来計算をそのまま行って応力を算出すればよい。

基礎ばりが剛強でない場合は、上記の通り相対沈下に対する付加応力が建築物全体として評価されるので、いったん従来計算で応力を確認し、付加応力を重畳する。

(3) 長期荷重に対するクライテリア

建築物の部分ごとの状態の組み合わせと部材等の条件を表 6.1 に示す。なお、部材等の条件に基づく断面設計などは、従来計算と同様に行ってよい。

ここで、表中の記号については、それぞれ以下の通りとする。

R0 : 常時荷重によって建築物の各部分に生ずる力

Rr : (1)の相対沈下の検討において基礎ばり及び建築物の各部分に生ずる力（付加応力）

Rr* : 基礎ばりの付加応力について、**Rr** でなく「相対沈下の影響を基礎ばりだけで処理する」こと

を想定した安全側の（基礎ばりだけで検討した R_r と同じとなる）力

表 6.1 長期荷重に対するクライテリア

(a) 基礎ばりが剛強である場合（基礎ばりに相対沈下による付加応力を考慮する）

建築物の 部分	状態の組み合わせ (常時 付加応力)	部材等の条件
地上部分	R_0	応力 $\leq$ 長期許容応力度
基礎ばり	$R_0 + R_r$	部材変形角 $\leq 1/2000$ 、応力 $\leq$ ひび割れ応力度
杭	R_0	応力 $\leq$ 長期許容応力度

(b) 基礎ばりが剛強でない場合（地上部分、基礎（杭）にも付加応力を考慮する）

建築物の 部分	状態の組み合わせ (常時 付加応力)	部材等の条件
地上部分	$R_0 + R_r$	応力 $\leq$ 長期許容応力度
基礎ばり	$R_0 + R_r^*$	応力 $\leq$ 長期許容応力度
杭	$R_0 + R_r$	応力 $\leq$ 長期許容応力度

なお、式中の R_r^* に関しては、一体モデルで計算する際でも地下部分だけを取り出したモデルによる計算が別途必要となる。それ以外の方法として、一体モデルにおいて杭の鉛直ばねのばらつきを考慮した複数の仮定に基づく検討を行うなど、別途安全側となる数値で設計することができる場合は、当該数値を R_r^* としてよい。

6. 3 短期荷重（中地震）に対する検討

短期荷重の検討は、6. 2 で評価した状態を初期応力として行う。このとき、地下部分については、既存杭を含む敷地の影響を各杭について適切に評価できる方法による。

建築物は、地下部分から伝わる力の影響を考慮して、短期荷重に対して損傷を生じないものとする。

【解説】

(1) 架構の状態の確認

短期荷重に関しては、基礎ばりに杭の曲げ戻しを考慮する点が重要となる。すなわち、群杭フレームモデルを採用することで算定される地下部分のモデルにおける基礎ばりの応力は、地上部分の構造計算に算入することとする。

前述の通り、地上部分については、基礎ばりが剛強であれば通常よく用いられる分離モデルを用い、地震力作用時の応力を求めることとなる。ただし、6.2 節では、基礎ばりが剛であるかの度合いに応じて付加応力（初期応力）の評価も異なっており、構造計算全体としての整合の観点から、地上部分の解析に用いるモデルは、基本的に長期と短期で共通の設定としておく必要がある。

地下部分については、既存杭を含む敷地の特徴として、特に撤去・埋め戻しを伴う地盤の影響が場所ごとに異なり、杭の水平抵抗の設定など構造計算に適切に反映される必要があることから、群杭フレームモデルを用いて検討する。既存杭の処理（再利用や撤去）の影響については、第3章、第5章などにに基づき検討する。

第Ⅱ編

なお、地震時地盤変位については、既存杭の有無と関係なく、液状化の恐れのある地盤など変形が大きくなる場合に、一般の建築物と同程度に考慮すればよい。

(2) 短期荷重（中地震）に対するクライテリア

建築物の部分ごとの状態の組み合わせと部材等の条件を表 6.2 に示す。短期荷重に関しては、部材等の条件は、法令通り（許容応力度以下）となる。基礎ばりにおいて、地上部分と地下部分の応力が足し合わされる（曲げ戻しが考慮される）こととなる。なお、部材等の条件に基づく断面設計などは、従来計算と同様に行ってよい。

ここで、表中の記号については、それぞれ以下の通りとする。

R_0, R_r, R_r^* : 表 6.1 と同じ

R_e : 地上部分の検討において建築物（基礎ばりを含む）の地上部分の各部分に生ずる力

R_f : 地下部分の検討において生ずる力

表 6.2 短期荷重（中地震）に対するクライテリア

(a) 基礎ばりが剛強である場合

建築物の 部分	状態の組み合わせ				部材等の条件
	(常時	付加応力	上部解析	下部解析)	
地上部分	R0		+ Re		短期許容応力度以下
基礎ばり	R0	+ Rr	+ Re	+ Rf	短期許容応力度以下
杭	R0			+ Rf	短期許容応力度以下

(b) 基礎ばりが剛強でない場合

建築物の 部分	状態の組み合わせ						部材等の条件	
	(常時	付加応力	上部解析		下部解析)			
地上部分	R0	+	Rr	+	Re		短期許容応力度以下	
基礎ばり	R0	+	Rr*	+	Re	+	Rf	短期許容応力度以下
杭	R0	+	Rr			+	Rf	短期許容応力度以下

6. 4 大地震に対する検討

大地震時の検討は、保有水平耐力の確認により行うことを原則とし、6. 3に準じて行う。
建築物は、基礎ばり及び基礎ばりを含む構面の面内・面外の十分な耐力を確保することにより、大地震の作用に対し、倒壊・崩壊等の安全上支障のある被害を生じないものとする。

【解説】

(1) 基礎ばりの剛強（条件③及び条件④を満たすこと）の確認

大地震時についても、基本的な解析の方針は中地震時と同じである。通常、これらを別々に計算することはなく、いわゆる一貫計算プログラムなどでよく行われるとおり、一連の増分解析の中でそれぞれ検討される。

基礎ばりについて、分離モデルとできる条件③（部材が弾性限以内であること）と、合わせて、条件④（基礎ばりによって構成される水平構面のスラブ厚さ）についても確かめる。

これは、基礎ばりの耐力を確保して構面を剛床と扱うことで、保有水平耐力計算においてばらつき

の大きい地下部分の状況によらずに地上部分のみで崩壊メカニズムを形成し、また設定した崩壊形が確実に担保されることに期待したためである。その他、第4章（参考資料4・5）で示した通り、地上部分の地震時応答の面でも重要な項目となる。

ただし、地下部分から伝達される力は、6.3節で計算した短期の力（ R_f ）でよいこととする。これについては、一般的な（既存杭を含まない）建築物と同程度の安全性が確保されるための最低限の規定として、並びを取ったものである。

基礎ばりが条件を満たさない場合は、地上部分の計算において地上部分から伝わる応力と、地下部分の計算において杭などから伝わる応力が相互に影響する複雑な条件となるため、基礎ばりにおける力や変形の整合を取るために、一体モデルを採用して構造計算を行うことが考えられる。

スラブ厚さについても、水平力に対する移行せん断力の検討を行う。(3)で地下部分の二次設計を行う場合には、その計算で得られた構面間のせん断力に対して、スラブが弾性限耐力以下の状態であることを確認する。地下部分の二次設計を行わない場合は、例えば一次設計時の移行せん断応力を、一次設計時と大地震時の最下層せん断力せん断力の比で割り増して各部分のせん断ひび割れ応力以下であることを確かめるなど、簡略的な方法によることでもよい。

その他、建築物の規模によっては、保有水平耐力計算を行わないことも考えられる。この場合の留意事項については、(5)を参照する。

(2) 地上部分の確認

地上部分について、基礎ばりが剛強であれば、通常の保有水平耐力の確認を行えばよい。

基礎ばりが剛強でない場合でも、できるだけメカニズム時に基礎ばりにヒンジを設けないことが原則となる。部材配置等の計画上、基礎ばりの一部においてやむを得ずヒンジとなることも考えられるが、その場合、より正確に部材応力を把握するため、基礎についてもいわゆる二次設計を行う。

なお、一部でなく構面の全体にわたってヒンジを形成するような柔弱な基礎ばりを設けた場合、第4章（参考資料3）で示した通り、静的解析と動的解析とで結果が大きく異なることも報告されている。設計者はこのようなことも想定し、時刻歴応答解析なども併用し、十分に余裕を持った設計用応力の割り増しなどを行う。

(3) 地下部分の確認

地下部分については、1.4節や上記(1)などで解説した通り、剛強な基礎ばりを前提に、大地震時の検討は必須としていない。

剛強でない基礎ばりの場合は、地上部分の崩壊メカニズムの適正な判定のため、地下部分の二次設計を行って応力状態を把握する。このとき、地震時地盤変位の考慮については、6.3(1)項の中地震に対する検討と同様に、既存杭に特有と言える部分がなければ、一般の建築物と同程度の配慮でよいこととする。ただし建築基準法以外に、たとえば建築物の機能継続について要求性能を設定する場合もあり、そうした検討においては、地震後の状況をより詳細に評価するため、地震時地盤変位を考慮することも考えられる。またその際には、十分な変形性能が確保できる杭種を採用するなどの配慮が必要となるが、併用する既存杭の性能と極端に異なることのないように注意することが望ましい。

既存杭の処理（再利用や撤去）の影響については、第3章や第5章を参照する。

(4) 大地震に対するクライテリア

建築物の部分ごとの状態の組み合わせと部材等の条件を表 6.3 に示す。ここでいう「状態の組み合わせ」とは、それぞれの状態について想定する荷重・外力を独立に考えるのではなく、同時に作用する状態での検討を求めている（表 6.1 や表 6.2 など、許容応力度の検討では独立に考えてもよいが、終局の検討では、全体として検討する必要がある）。基礎ばりについては、剛強の条件である弾性限以下であることを確認することが原則である。安全側の検討として、短期許容応力度以下とすることも考えられる。中地震と同様、基礎ばりにおいて、地上部分と地下部分の応力が足し合わされる（曲げ戻しが考慮される）こととなるが、基礎ばりが剛強である場合は、中地震時の検討の際と同じ数値を用い、剛強でない場合は、地下部分の二次設計において求まる数値とする。なお、部材等の条件に基づく断面設計などは、従来計算と同様に行ってよい。

ここで、表中の記号については、それぞれ以下の通りとする。

R_0 , R_r , R_r^* : 表 6.1 と同じ

R_f : 表 6.2 と同じ

R_u : 地上部分の保有水平耐力の検討において建築物（基礎ばりを含む）の各部分に生ずる力

R_{fu} : 地下部分の二次設計において生ずる力

表 6.3 大地震に対するクライテリア

(a) 基礎ばりが剛強である場合

建築物の 部分	状態の組み合わせ				部材等の条件			
	(常時	付加応力	上部解析	下部解析)				
地上部分	R0		+	Ru	終局耐力以下			
基礎ばり	R0	+	Rr	+	Ru	+	Rf	弾性限耐力以下 スラブ厚さの確認
杭	R0					+	Rf	—

(b) 基礎ばりが剛強でない場合

建築物の 部分	状態の組み合わせ				部材等の条件			
	(常時	付加応力	上部解析	下部解析)				
地上部分	R0	+	Rr	+	Ru	終局耐力以下		
基礎ばり	R0	+	Rr*	+	Ru	+	Rfu	弾性限耐力以下 スラブ厚さの確認
杭	R0	+	Rr			+	Rfu	終局耐力以下

(5) その他の検討

表 6.3(a)の基礎ばりの剛強の確認は、前述の通り、崩壊メカニズムの確保の観点であることから、同様の性能が担保されれば、異なる方法によることも可能である。特に、地上部分が耐震計算ルート 1 やルート 2 のように許容応力度の検討にとどまる場合は、同等の性能の基礎ばりとなるような配慮が必要である。通常、保証設計として、平成 19 年国土交通省告示第 593 号（ルート 1）、昭和 55 年建設省告示第 1791 号（ルート 2）等で適用される規定である。

6. 5 安全上支障のないことの確認

安全上支障のある著しい沈下、急激な耐力の低下の恐れのないことを確かめる。

【解説】

1.1 節の適用範囲で示した通り、既存杭を含む敷地における建築物については、特に大地震に対する知見が乏しいところである。既存杭を含む敷地の条件が複雑になり、例えば一部の杭が極端に沈下し地上部分のごく一部の部材に負担が集中するような状況は好ましくない。そのため、基礎ばりが剛強で分離モデルを採用できるか否かにかかわらず、設計者に対して建築物の安全性の検討を求めることとした。

これは、既存杭の終局の検討を行って建築物の状況（基礎部材の壊れ方やその状態における地上部分の状況）を確認することを想定しており、原則としては保有水平耐力の確認と合わせて大地震に対する基礎の二次設計を実施する。それ以外にも、たとえば鉄骨造に関する「一の柱の検討」（令第 70 条及び平成 12 年建設省告示第 1356 号）のように、基礎部材の一部が損傷しても建築物が崩壊・倒壊等しないことを確認できればよい。日本建築学会「建築基礎構造設計指針」^[1]では、レベル 2 荷重に対する基礎構造の限界状態を段階的（S・A・C）に設定し、そのうち性能グレード C を「上部構造の安全限界状態」として、表 6.4 に示す通り要求性能を規定している。性能グレード C に関しては具体的な設計について示されていないが、同指針における、より高い性能グレード S・A に関する記述を参考にすることも可能である。また、建築物の塔状比に関わらず転倒の検討（平成 19 年国土交通省告示第 594 号第 4 第五号）を行うこと等も考えられる。

基礎の二次設計を行う場合にあっては、余裕度検討として、こうした確認を行っておくことが望ましい。

表 6.4 グレード C に関する基礎構造の要求性能^[1]

対象	要求性能
上部構造に対する影響	転倒・崩壊しない
基礎部材	部分的な損傷を許容する
地盤	地盤（改良地盤）が鉛直支持力を喪失しない

6. 6 その他の荷重及び外力に対する検討

地震時以外の検討については、地震に準じて行う。

【解説】

その他の荷重及び外力（積雪時、暴風時など）については、必要に応じ地震時と同じモデルを用いるが、原則として、従来計算を適用してよい。

参考文献（第 6 章）

[1] （一社）日本建築学会：建築基礎構造設計指針 2019 版, p.19, 2021.9

参考資料 1 解体工事における杭体の調査結果

(1) 概要

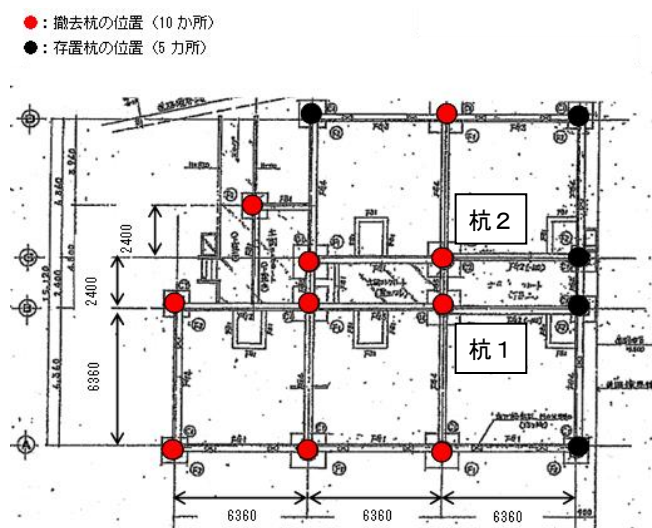
既存杭活用のための調査の一例として、実際に使われていた建築物の解体に合わせ、既存杭の状況を確認した。調査の対象とした建築物を参考図 1.1 に示す。諸元は以下の通りである。

- ・ 竣工：昭和 49 年（1974 年）、解体：令和 3 年（2021 年）
- ・ 用途：共同住宅
- ・ 規模：地上 4 階
- ・ 構造形式：鉄筋コンクリート造（ラーメン構造）
- ・ 杭種：場所打ちコンクリート杭（杭長約 14m）

解体工事において、参考図 1.2 に示す通り、杭 15 本のうち 10 本を撤去・埋め戻ししており、各種の調査を行った。



参考図 1.1 調査対象（福岡市内）



参考図 1.2 杭撤去位置（杭 1・杭 2 はコア採取杭（参考図 1.5））

(2) 検討結果

a. 調査の概要

参考図 1.3 及び参考図 1.4 に調査の状況を示す。既存杭の活用にあたり、杭長・杭径・強度・変状等を確認した。概略を以下に示す。

- ・ IT 試験の結果からは、いずれも杭頭付近の浮きを検知した。そのため、以深の損傷を判断できなかった。
- ・ 引き抜いた杭の目視確認から、局所の変状を確認した。一方、全体的な変状は見られないことを確認した。
- ・ 杭径・杭長の調査結果により、設計図書から変更された径もあったことが確認されたが、概ね設計図書通りであった。
- ・ 中性化は全くしていなかった。これは既往の知見と同じ傾向である。
- ・ 強度試験の結果、杭頭の強度が他の部分と比較して低かった。これは既往の知見と同じ傾向である。



(a) 杭径測定



(b) 杭長測定



(c) 鉄筋露出状況

参考図 1.3 外観調査



(a) IT 試験



(b) 中性化試験



(c) 強度試験

参考図 1.4 試験状況

b. 杭体の強度に関する検討

既存杭活用のための調査の一例として、建築物の解体工事の際に撤去された杭体の強度を調査し、合わせて設計基準強度の設定・試算を行った。

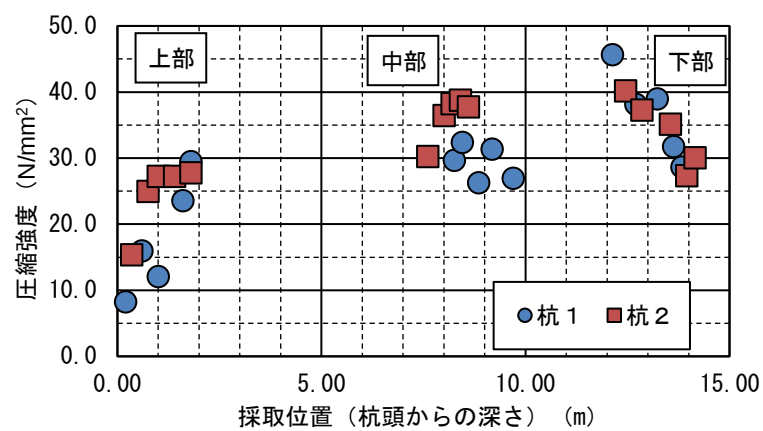
対象は、杭径 900mm、杭長 13.3m の 2 本の杭とし、参考図 1.5 及び参考図 1.6 に示す通り杭頭部 1m 以深の試験体采取了。また、1 本の杭につき、上部、中部、下部からコアを採取し、圧縮強度試験を実施した（参考図 1.7）。試験結果のまとめを参考表 1.1 に示す。



参考図 1.5 コア試料採取状況



参考図 1.6 圧縮強度試験状況



参考図 1.7 コア試料の採取位置と圧縮強度

第Ⅱ編

参考表 1.1 圧縮強度試験結果（まとめ）

部位	標本数（コア本数） N	平均値（N/mm ² ） X	標準偏差 s	標準誤差 SE（=s/√N）
全体	30	29.81	8.62	1.57
上部	10	21.23	7.58	2.40
中部	10	32.85	4.70	1.49
下部	10	35.36	5.81	1.84

今回の結果から、次の式(1.1)に基づき既存杭の設計基準強度 F_c を計算すると、試料全体を用いた評価では $F_c=26.7$ (N/mm²)となる。設計基準強度の設定にあたり、杭頭のみからコアを採取して設計基準強度を評価することは、杭頭の強度が一般に平均より低いことから、杭の設計上は不利な数値が得られる可能性がある。

$$F_c = X - 2 SE \quad (1.1)$$

（３）報告書等との対応

これらの詳細は、以下に示されている。

○総プロ報告書（第Ⅱ編）の対応部分：

- ・第Ⅱ編第３章 3. 4 杭体の構造性能等に関する調査

○発表論文：

- ・秦ほか：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，日本建築学会学術講演梗概集，
2023.9

参考資料2 杭撤去・埋め戻しに伴う地盤のゆるみの調査結果

(1) 概要

杭の撤去及び撤去後の地盤の埋め戻しの工程が地盤の物性に及ぼす影響を把握するため、実際にこれらの施工を実施した敷地において、既存杭撤去に伴う地盤の経年変化把握のための調査を実施した。実施項目の概要を以下に示す。両敷地ともに、埋め戻しに伴う地盤のゆるみ（剛性等の低下）が観測されたが、杭撤去後約2～3年の間に地盤のゆるみの明確な回復は認められなかった。

○敷地1：茨城県稲敷郡（杭撤去後、約3年間の経年変化）

- ・ 調査地は利根川沿岸低地に位置し、自然堤防上の平坦化地に当たる。その周辺は藤代・小貝川層とよばれる沖積層で、礫、砂、シルト及び粘土の全土質が分布している。
 - ・ 施工実験として、令和2年11月に杭を設置し、12月にケーシング引き抜き工法による撤去及び流動化処理土を用いた埋め戻しを実施した。
 - ・ 杭撤去・埋め戻し後の令和3年8月※、令和4年2月、令和5年2月、令和6年2月に、撤去位置（既存杭の杭心位置）を含む箇所で標準貫入試験と電気式コーン貫入試験を実施した。
- ※：令和3年8月の試験は、（一社）建築基礎・地盤技術高度化推進協議会（ALLF）による。

○敷地2：福岡市馬出（杭撤去後、約2年間の経年変化）

- ・ 調査地は福岡平野北部に位置し、その付近から博多湾沿いの旧海岸線までは海浜砂が帯状に分布するとされている。
- ・ 実建築物の解体撤去工事の一環として、令和4年1月に杭の撤去及び埋め戻しが実施された。
- ・ 埋め戻しは海砂を用いた。
- ・ 杭撤去・埋め戻し後の令和4年3月、令和5年4月、令和6年1月に、撤去位置を含む箇所で電気式コーン貫入試験とスクリーウエイト貫入試験を実施した。
- ・ さらに、（国研）建築研究所と共同で、敷地の微動探査を実施した。

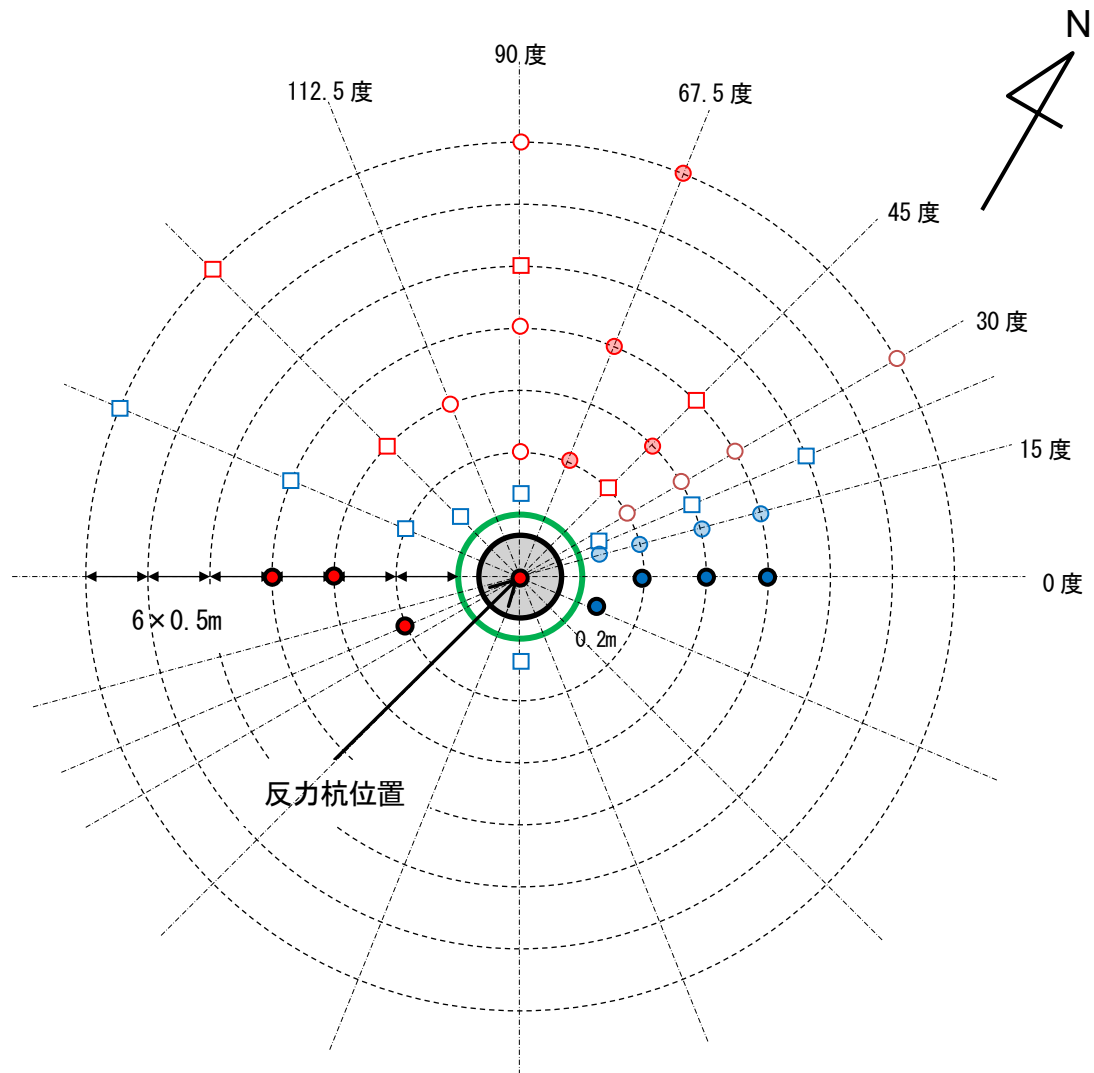
(2) 検討結果

a. 敷地1（茨城県稲敷郡）

参考図2.1に敷地1における調査時の状況を、参考図2.2に調査実施位置と内容の概略を示す。杭撤去後から3年間で4回の試験が行われている。試験はSPT（標準貫入試験）及びCPT（電気式静的コーン貫入試験）の2種類とし、杭撤去位置からの距離を変えて、調査箇所が重ならないように同心円状に試験位置が計画された。



参考図2.1 敷地1における調査状況（CPT）



試験の種類	記号	備考
CPT	□	杭撤去後1回目(令和3年8月)※ALLF実施
	○	杭撤去後2回目(令和4年2月)
	●	杭撤去後3回目(令和5年2月)
	●	杭撤去後4回目(令和6年2月)
SPT	□	杭撤去後1回目(令和3年8月)※ALLF実施
	○	杭撤去後2回目(令和4年2月)
	●	杭撤去後3回目(令和5年2月)
	●	杭撤去後4回目(令和6年2月)

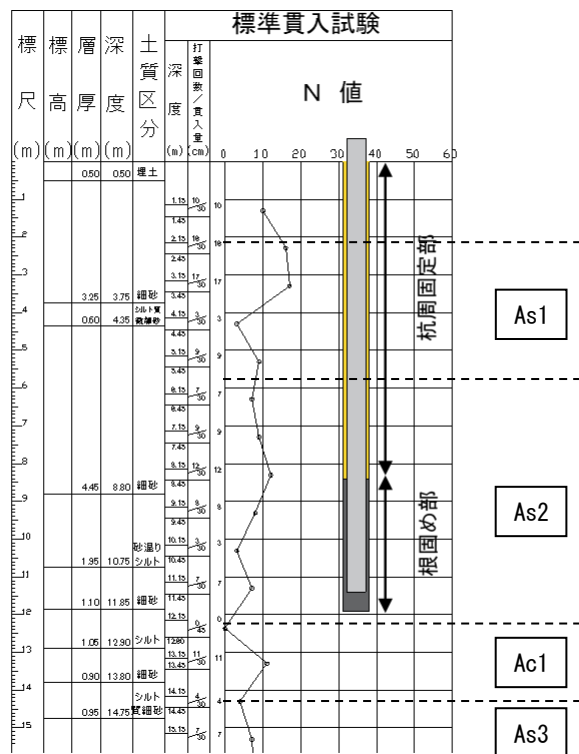
参考図 2.2 調査位置及び時期

原地盤及び撤去杭の概要を参考図 2.3 に、各層におけるN値（SPT）または換算N値（CPT）の原地盤からの変化率を位置（撤去杭の中心からの距離をケーシング半径で基準化したもの）について、経年で比較した結果を参考図 2.4 に示す。

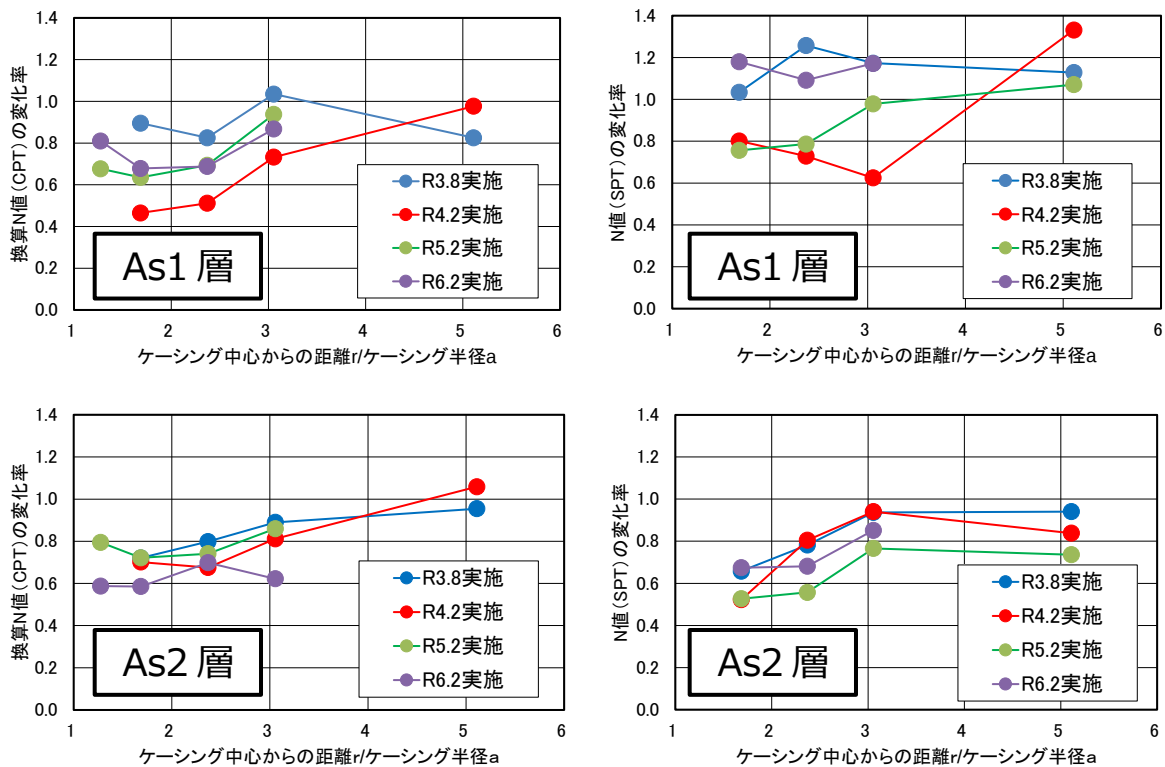
SPTのAs1層における結果に比較的大きなばらつきが見られるが、他の結果については同様の傾向がみられており、ケーシング表面からケーシング径の3倍程度（ $r/a=6$ ）以内で原地盤より数値が小さくなり、かつ、ケーシング表面（ $r/a=1$ ）に近いほど低減の度合いが大きくなった。

また、杭撤去から約3年の期間では、ゆるみの明確な回復は確認できなかった。

第Ⅱ編



参考図 2.3 原地盤及び撤去杭の概要



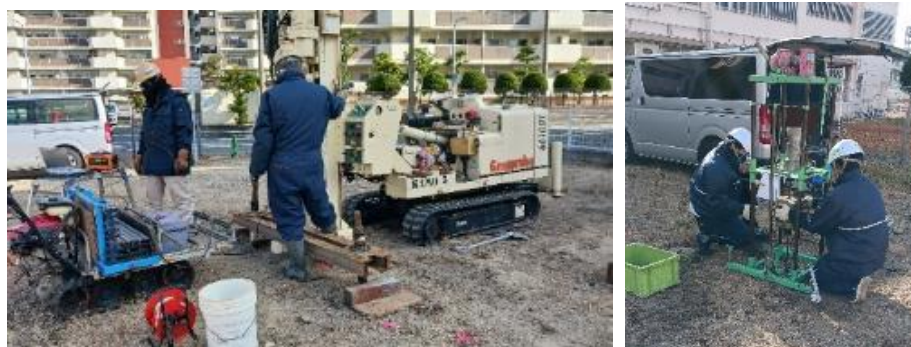
(a) CPT 結果 (b) SPT 結果

参考図 2.4 各層における変化率 (ケーシング半径で基準化)

ｂ．敷地２（福岡市馬出）

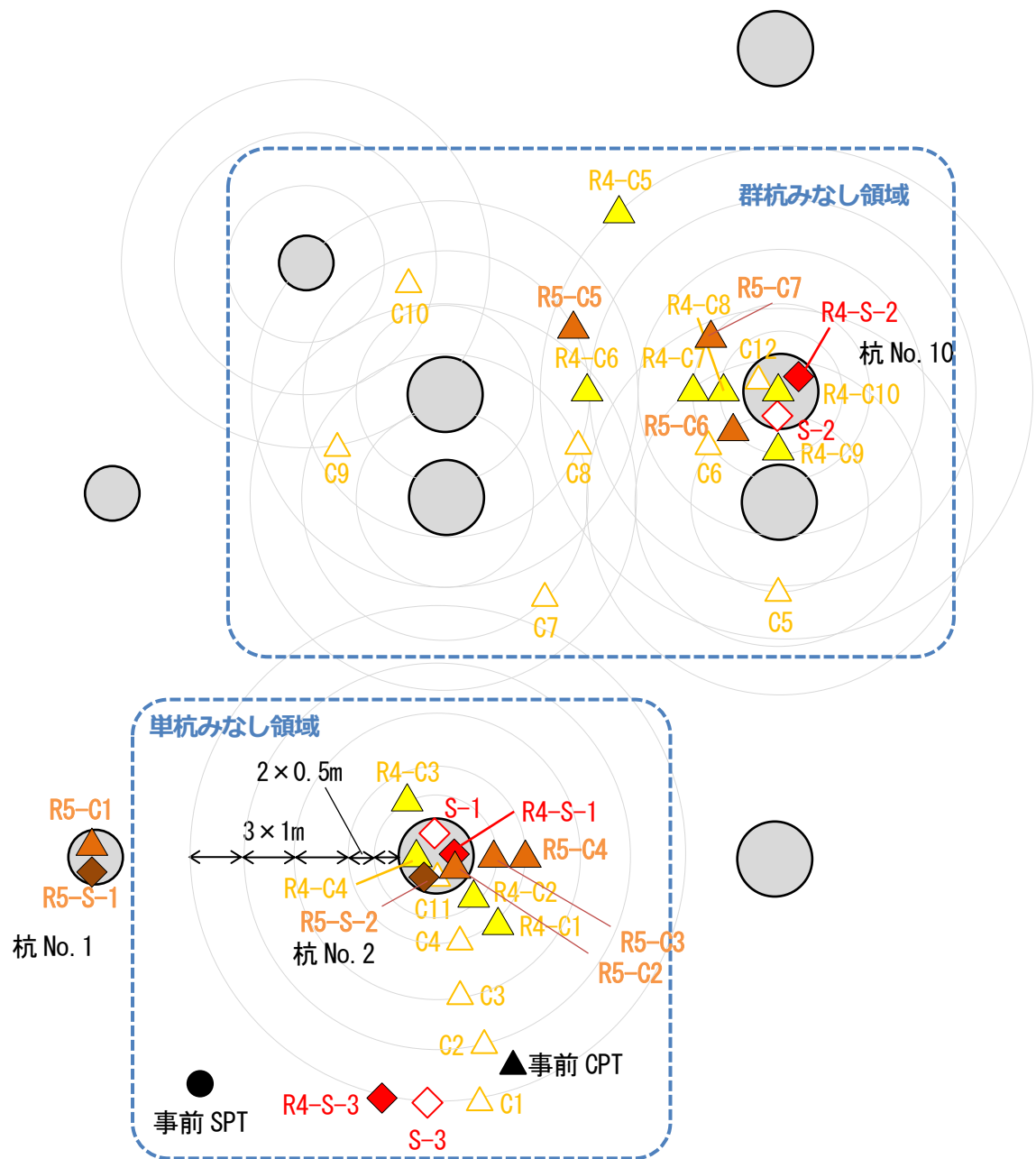
参考図 2.5 に敷地 2 における調査時の状況を、参考図 2.6 に調査実施位置と内容の概略を示す。敷地 1 と同様に同心円状の配置計画で杭撤去から 2 年半の間に 4 回の試験が行われている。うち 1 回は比較すべき原地盤の値として、杭撤去位置からケーシング径の 3 倍程度以上の距離となる地点で調査を実施した。試験の種類は C P T（電気式コーン貫入試験）及び SWS（スクリーウエイト貫入試験）の 2 種類とし、さらに、撤去対象の杭が近接していたことから、単杭を撤去する場合と比較するため、複数本の杭撤去・埋め戻し施工の影響を確認する範囲（群杭見なし領域）を設定した試験も実施した。また、埋め戻し部の品質を確認する目的で、ケーシング内となる位置での調査も実施した。

本資料では C P T の結果について示す。SWS による結果もおおむね同様であった。



参考図 2.5 敷地 2 における調査概要

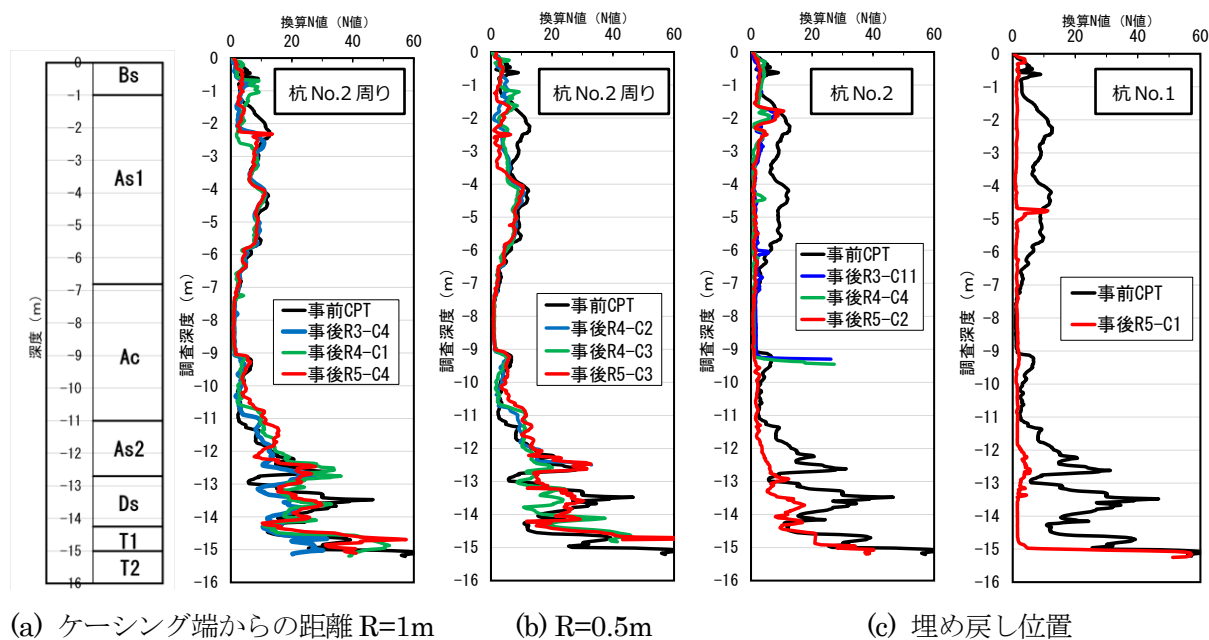
参考図 2.7 及び参考図 2.8 に、単杭見なし領域（杭 No.2 周辺）及び群杭見なし領域（杭 No.10 周辺）における、ケーシング端からの距離に応じた比較を示す。なお、群杭見なし領域については、比較対象となる原地盤相当のデータとして、事前調査結果でなく杭 No.10 付近で撤去杭から比較的離れた地点（事後 R4-C5）の結果を用いた。いずれの場合についても、地盤のゆるみはケーシング端からの距離が 0.5～1m の範囲の As1 層で見られ、またケーシング端に近いほどゆるみの程度が大きい。杭の埋め戻し位置ではほとんど強度が出ていなかった。いずれの地点も、杭撤去から約 2 年半の期間では、ゆるみの明確な回復は確認できなかった。



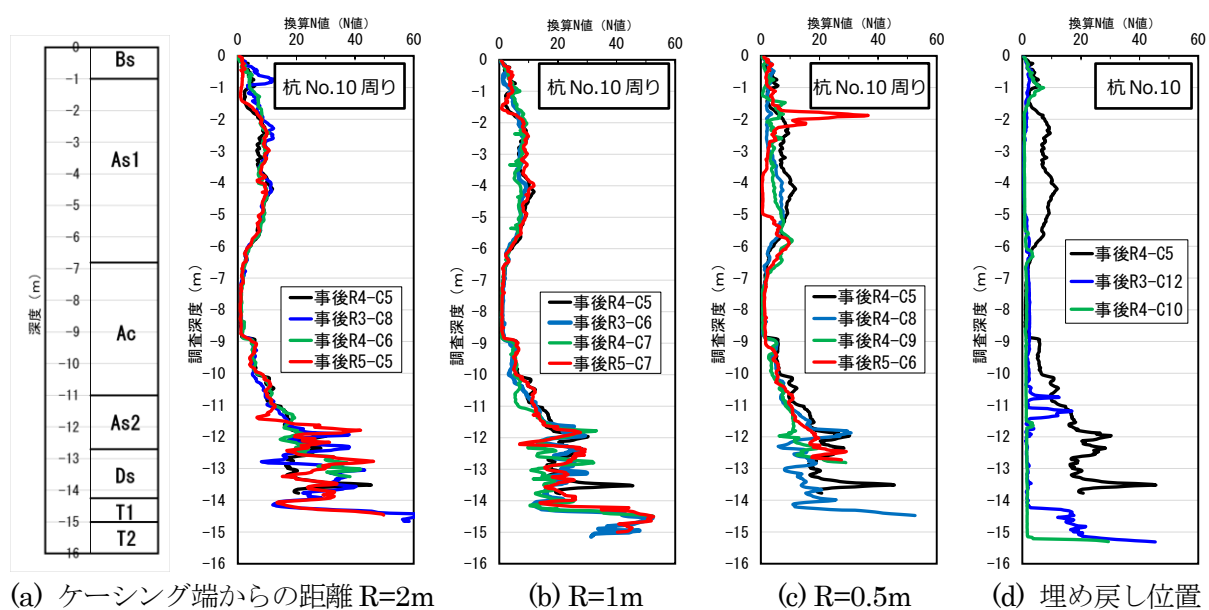
試験の種類	記号	備考
CPT（杭撤去前）	▲	杭撤去前（令和3年10月）
SPT（杭撤去前）	●	杭撤去前（令和3年10月）
CPT	△	杭撤去後1回目（令和4年3月）
	▲	杭撤去後2回目（令和5年4月）
	▲	杭撤去後3回目（令和6年1月）
SWS	◇	杭撤去後1回目（令和4年3月）
	◆	杭撤去後2回目（令和5年4月）
	◆	杭撤去後3回目（令和6年1月）

参考図 2.6 調査時期及び位置

第Ⅱ編



参考図 2.7 単杭見なし領域（杭 No. 2）周囲の調査結果



参考図 2.8 群杭見なし領域（杭 No. 10）周囲の調査結果

(3) 報告書等との対応

これらの詳細は、以下に示されている。

○総プロ報告書（第Ⅱ編）の対応部分：

- ・第Ⅱ編第2章2. 7 杭撤去前後の経年調査
- ・第Ⅱ編第3章 既存杭を含む敷地における調査（福岡）

○発表論文：

- ・秦ほか：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，

第Ⅱ編

- その 10 既存杭撤去の影響を受けた地盤物性の経年変化, 日本建築学会学術講演梗概集, 2022.9
- ・ 秦ほか: 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, 日本建築学会学術講演梗概集,
2023.9
- ・ 新井ほか: 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, 日本建築学会学術講演梗概集, 2023.9
- ・ 新井ほか: 杭撤去による地盤の S 波速度変化を微動探査から推定する可能性, 第 57 回地盤工学
研究発表会梗概集, 2023.9
- ・ 水江ほか: 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 19 茨城県稲敷郡における杭撤去後約 3 年間の地盤物性の経年変化, 日本建築学会学術講演
梗概集, 2024.8
- ・ 沼田ほか: 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 20 福岡市における杭撤去後約 2 年間の地盤物性の経年変化, 日本建築学会学術講演梗概
集, 2024.8
- ・ 新井ほか: 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 21 存置杭と撤去杭の直上における鉛直動の小アレイ観測, 日本建築学会学術講演梗概集,
2024.8

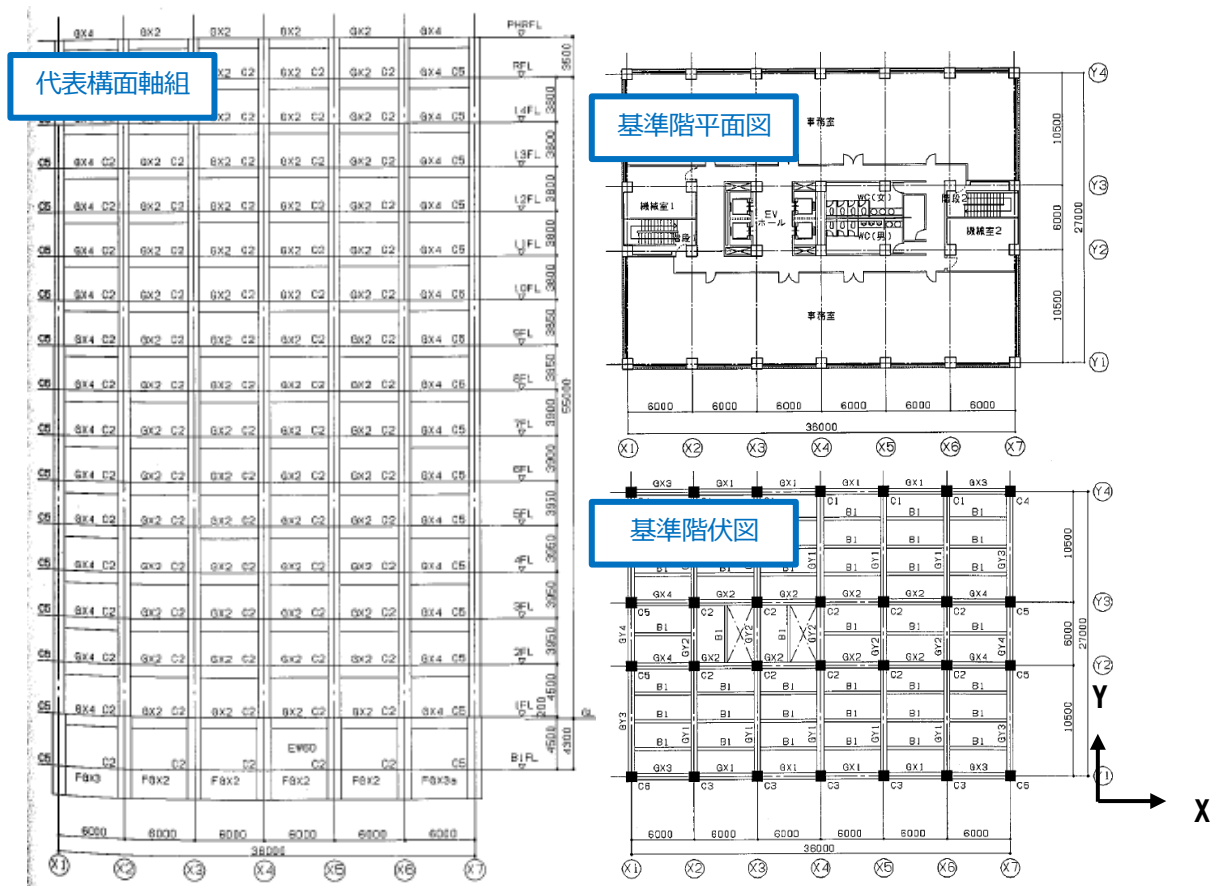
参考資料3 基礎ばりの剛強さの程度による地上部分（1階柱）の応力の違い

（1）概要

指針案において、分離モデルを用いた従来設計を適用可能な条件として、基礎ばりに一定の剛性・強度を求めることとしている。規定された条件を満足しない場合、剛床を仮定しない一体型モデルに基づき、基礎の二次設計を含む検討を行うことが原則となる。

剛強でない基礎ばりを有する架構における設計用応力についての参考として、地震時の静的荷重増分解析および時刻歴応答解析を行ったところ、特に基礎ばりや一階柱の応答について乖離が大きくなることを確認した。

対象建築物の概要を参考図 3.1 に示す。地上部分は日本建築防災協会「構造設計・部材断面事例集（2007）」の設計例 3-8（p.388）から、SRC 造事務所 14 階建て（純ラーメン構造、雑壁なし、PC 外壁）とした。原設計では地下階があるが、本検討では、既存杭と新設杭の混在による影響を検討することを目的としているため、地下階を除いたモデル化とし、基礎ばりの断面については再設計した。杭についても地盤条件に合わせて設定した。



平面寸法	36.0m×27.0m
延床面積	約 14,580m ²
階数	地上 14 階、塔屋 1 階、地下なし
建築物高さ	58.0m

用途	事務所
構造種別	SRC 造
骨組形式	純ラーメン構造（雑壁なし、PC 外壁）
基礎種別	杭基礎（場所打ち RC 杭）

参考図 3.1 対象建築物概要

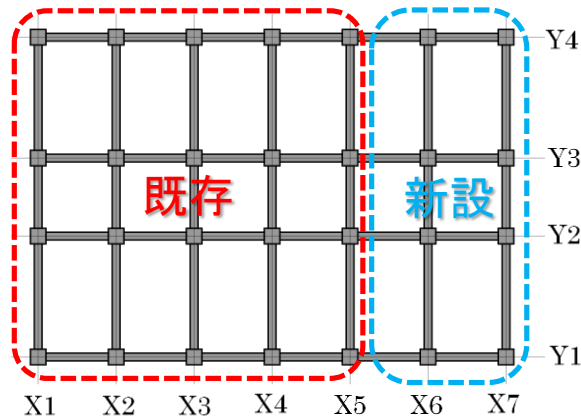
(2) 検討結果

a. 解析モデル及び解析ケース

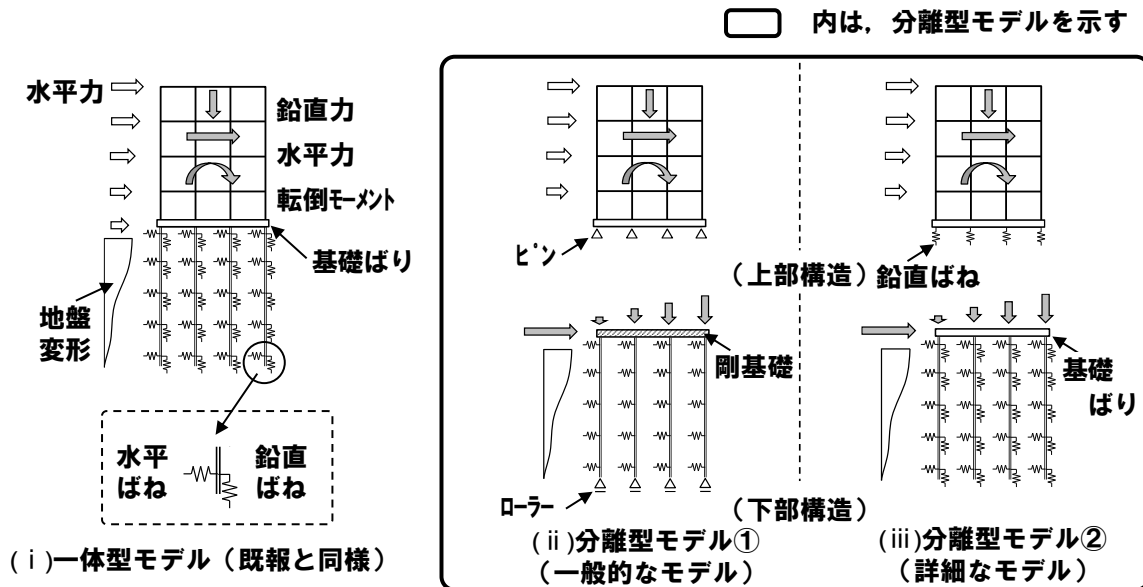
参考図 3.1 の建築物に対し、参考図 3.2 に示す通り、X1～X5 通りに既存杭の再利用を設定した。また、解析モデルについては、参考図 3.3 に示す 3 種類のモデルを設定した。検討用外力は、以下に示す二次設計レベル（大地震想定）とした。

- 上部構造：必要保有水平耐力時（ $D_s=0.25$ ）Ai 分布の層せん断力
- 下部構造：地下震度 0.4 の水平力

さらに、レベル 2 告示 3 波の地盤応答を包絡する水平地盤変形を考慮



参考図 3.2 既存杭に関する設定



参考図 3.3 解析に用いたモデル

解析ケースを参考表 3.1 に示す。杭体及び基礎ばりについて、それぞれ A～C の 3 段階の設計条件を定め、その組み合わせとした。ケース 1 の基礎・地盤に関しては、実質的に通常の新築（設計）と同様の条件である。

参考表 3.1 解析ケース

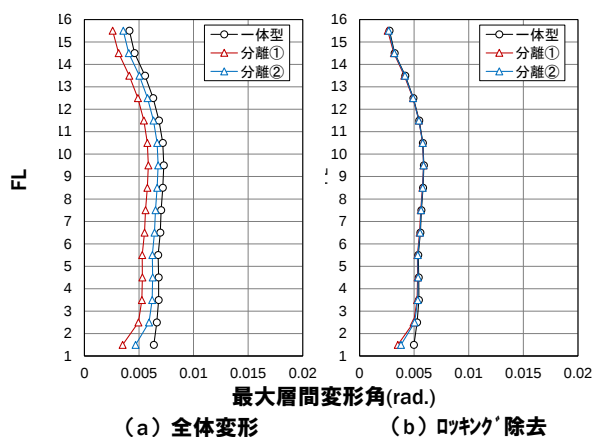
ケース	鉛直ばね係数		杭体性能		基礎ばり性能		備考
	既存杭	新設杭	既存杭	新設杭	既存側	新設側	
1	1 倍	1 倍	A	A	A	A	基本ケース（すべて新設）
2	3 倍		B		B		既存杭 B＋基礎ばり B
3			B		C		既存杭 B＋基礎ばり C
4			C		B		既存杭 C＋基礎ばり B
5			C		C		既存杭 C＋基礎ばり C

【杭体性能】 A：二次設計を満足する場所打ちコンクリート杭
 B：一次設計を満足する場所打ちコンクリート杭
 C：脆性的な破壊が見込まれるPHC杭

【基礎ばり性能】 A：二次設計を満足する断面
 B：一次設計を満足する断面
 C：A、Bより性能が劣る断面

b. 解析結果 1（基本ケース）

参考図 3.4 に、ケース 1 における最大層間変形角をモデルごとに比較して示す。一体型モデルでは支点の鉛直変位の影響が大きく、全体変形の最大層間変形角から 1 階柱脚位置でのロッキング成分を除いた最大層間変形角は、1 階を除いて一体型モデルと分離モデル①②はほぼ一致した。分離モデルにおいては 1 階の層間変形角が小さく、一体型モデルと比較して上部構造モデルに杭の曲げ戻しを考慮していないためと考えられる。



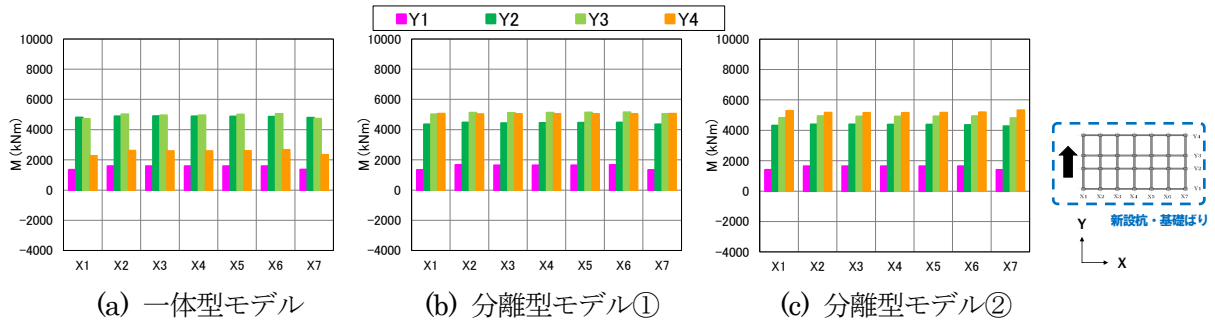
参考図 3.4 各モデルにおける最大層間変形角

参考図 3.5 に、Y方向加力（紙面下→上方向）時の 1 階柱脚の曲げモーメントの比較を示す。Y4 通り（圧縮側）では、杭の曲げ戻しの考慮の有無により、一体型モデルと分離モデル①②に差が生じる。内側 Y2, Y3 通りは基礎ばりの負担が大きいため 1 階柱脚での差は小さい。Y1 通り（引張側）は 1 階柱脚位置でヒンジが発生するため、このような差は生じていない。

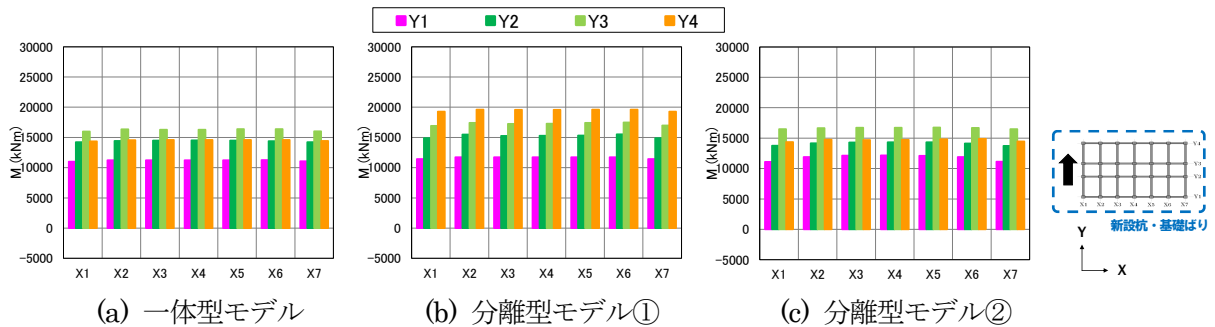
参考図 3.6 に、Y方向加力時の杭頭の曲げモーメントの比較を示す。分離モデル①は、Y4 通り（圧縮側）で一体モデルに比べて大きい。これは、分離モデル①は剛基礎仮定で基礎ばりの柔性が考慮されていないためであり、これを考慮した分離モデル②では、より一体型モデルと対応した結果となった。

分離モデル①では、上部構造の変形への影響は小さく、下部構造は分離モデルの応力が大きく、安全側の評価となったことから、基本ケースでは分離モデルが適用可能であることを確認した。

第Ⅱ編



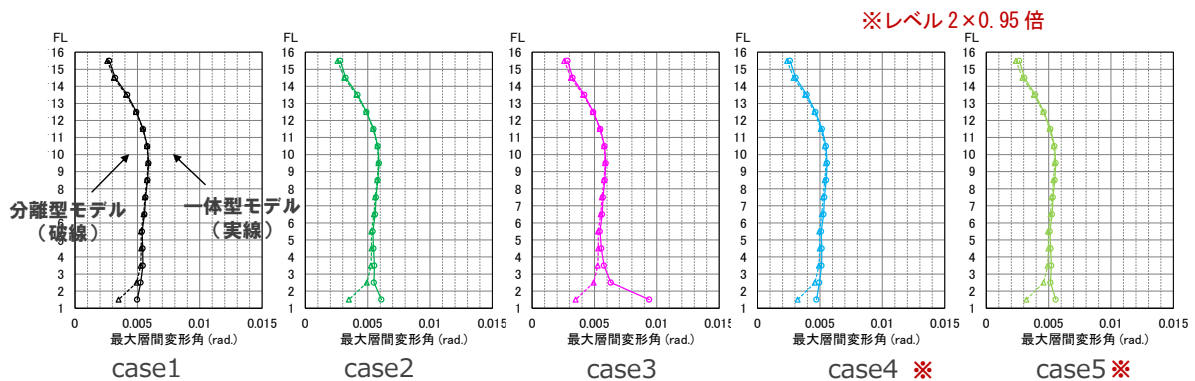
参考図 3.5 1階柱脚の曲げモーメント比較（ケース1）



参考図 3.6 杭頭部の曲げモーメント比較（ケース1）

c. 解析結果2（ケース2～5との比較）

上部構造の層間変形角を参考図 3.7 に示す。各ケースとも、一体型モデルにおける数値が大きくなっており、図 3.4 と同様である。この差異は、特にケース 3（杭体B＋基礎ばりC）の場合に大きく、2階～3階にも影響が及んでいる。



参考図 3.7 各ケースの最大層間変形角（ロッキング除去）

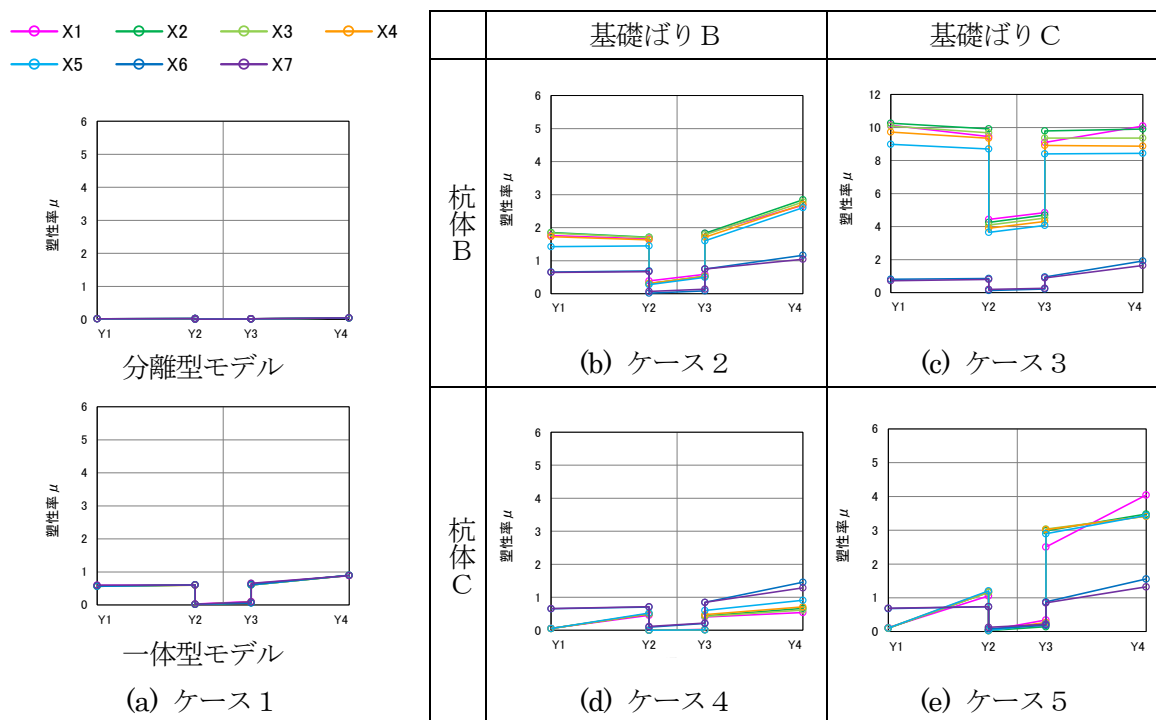
参考図 3.8 に、Y方向加力時の各ケースにおける基礎ばりの塑性率を示す。基本ケース（ケース1）では、一体型モデルで、塑性率は1以下（ヒンジが発生していない）となっているが、中間スパン以外の梁で応答を生じ、Y4 通り端部でほぼ弾性限（塑性率≒1.0）に達している。分離型モデルでは、ほとんど応答は生じておらず、分離型モデルの数値は他のケース2～ケース5でもほぼ同様である。

一体型モデルのケース2～ケース5では、既存側（X1～X5）および新設側（X6～X7）ともにヒンジが発生する。特にケース3（杭体B、基礎ばりC）では、既存側（X1～X5）基礎ばりの塑性率が大きく、杭耐力に比べて基礎ばり耐力が小さいために塑性化が進行したものと考えられる。ただし計算

第Ⅱ編

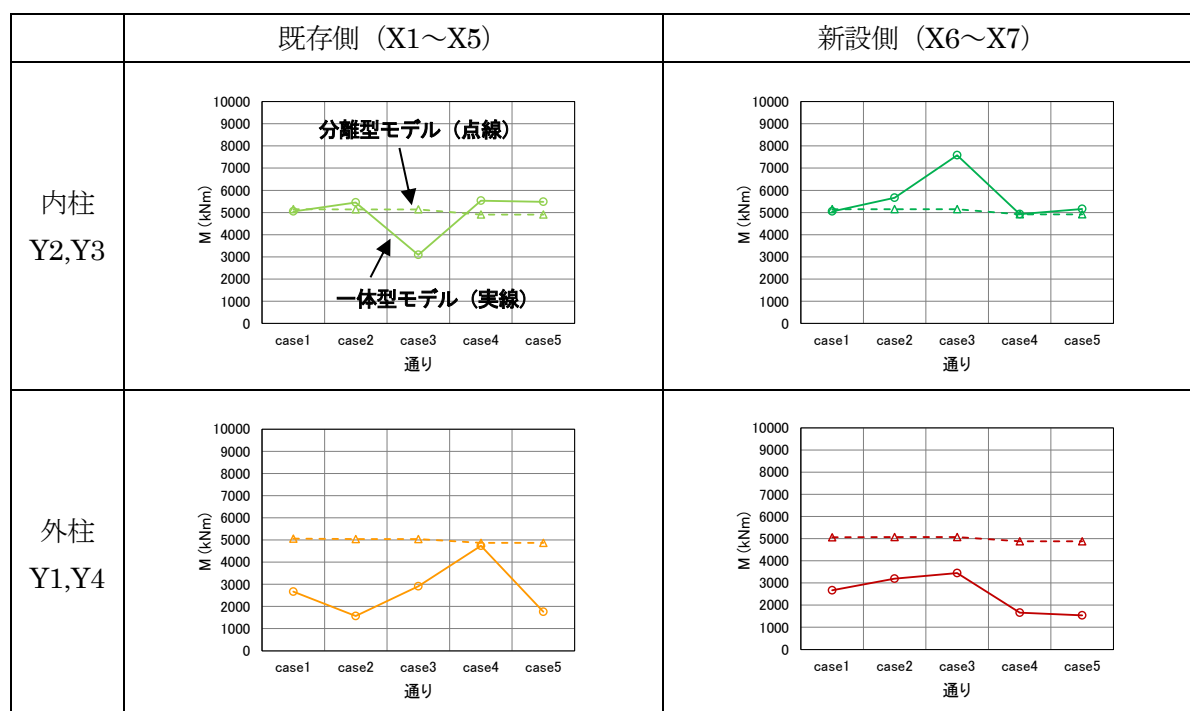
上塑性率が 10 程度に達しており、実部材の応答としては想定し難く結果は参考となる。

ケース 2（杭体、基礎ばりとも B：一次設計レベル）を現行規定相当の条件とすれば、基礎ばりをそれより弱い C とした場合の影響が特に大きいことが分かる。



参考図 3.8 各ケースの Y 方向（加力方向）基礎ばり塑性率

参考図 3.9 に、ケース 3 についての 1 階柱脚の最大曲げモーメントを示す。特に、ケース 3 の新設側の内柱で、分離型モデルの数値が大きく一体型モデルの数値を下回る結果となった。



参考図 3.9 各ケースの Y 方向（加力方向）1 階柱脚モーメント

d. まとめ

解析結果より、以下の知見を得た。

1. 基礎ばりが剛強で、既存杭として一次設計レベルを満足する断面の場合
分離モデルを適用可能。ただし、既存杭の鉛直ばねの設定如何で、上部構造に影響が生ずる可能性がある。
2. 基礎ばりと既存杭の性能が低い場合
基礎ばりと杭の塑性化が上部構造の応答に影響を及ぼすため、分離モデルを適用不可で、一体型モデルを用いることが望ましい。

(3) 報告等書との対応

これらの詳細は、以下に示されている。

○総プロ報告書（第Ⅱ編）の対応部分：

- ・第Ⅱ編第5章5. 3. 3 基礎ばりの剛強さの程度による地上部分（1階柱）の応力の違い

○発表論文：

- ・山添ほか：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5：既存杭の影響に対する感度解析の検討方針，日本建築学会学術講演梗概集, 2021.9
- ・酒向ほか：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6：建物・杭・地盤一体型モデルによる静的荷重増分解析，日本建築学会学術講演梗概集, 2021.9
- ・大山ほか：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7：建物・杭・地盤一体型モデルによる地震応答解析，日本建築学会学術講演梗概集, 2021.9
- ・大山ほか：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11：既存杭と基礎梁の断面、上部構造の偏心をパラメータとした建物応答，日本建築学会学術講演梗概集, 2022.9
- ・小笠原ほか：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12：既存杭と基礎梁の断面、上部構造の偏心をパラメータとした場合の杭基礎応答，日本建築学会学術講演梗概集, 2022.9
- ・大山ほか：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16 解析条件および分離型モデルの概要，日本建築学会学術講演梗概集, 2023.9
- ・小笠原ほか：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17 既存杭を併用した分離型モデルの適用条件，日本建築学会学術講演梗概集, 2023.9
- ・山添ほか：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24：検討方針と静的設計の方針，日本建築学会学術講演梗概集, 2024.8
- ・小笠原ほか：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25：既存杭と新設杭を併用し、柱と既存杭の位置が一致する場合の検討，日本建築学会学術講演梗概集, 2024.8
- ・山屋ほか：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26：既存杭と新設杭を併用し、柱と既存杭の位置が一致しない場合の検討，日本建築学会

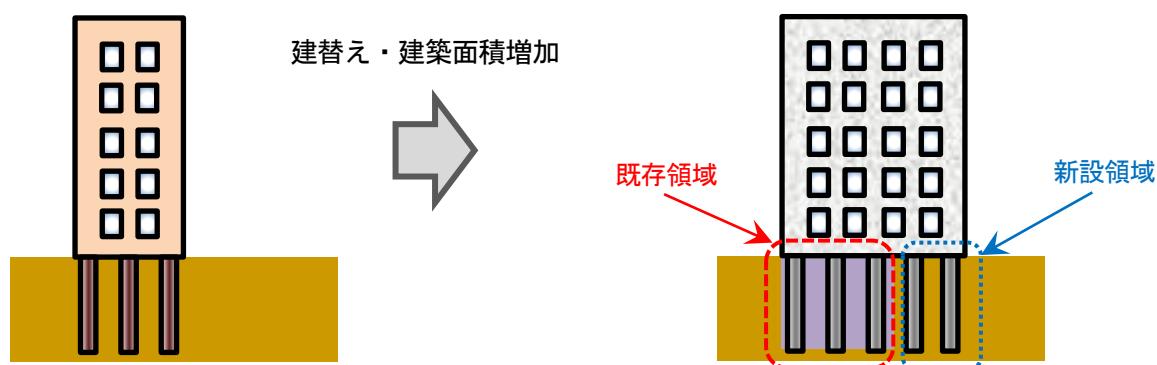
第Ⅱ編

学術講演梗概集, 2024.8

参考資料4 地下部分のねじれ挙動を考慮した建築物の応答評価

(1) 概要

既存杭を撤去して新たな杭を設置する場合、地盤が乱されることで、杭頭位置の鉛直・水平剛性が更地に施工する場合に比べて低下することが懸念される。参考図 4.1 に示す通り建替えによって建築面積が増大する等でこうした杭（撤去新設杭）と更地へ新設される杭（更地杭）を組み合わせる場合、更地杭に比べて撤去新設杭の杭頭水平剛性が低下することで、地下部分全体としての水平剛性に偏り（剛性偏心）が生じて、地震時にねじれ、地上部分の応答にも影響を及ぼすことも危惧されることから、水平剛性に関わる地震時のねじれ応答について、単純なモデルを用い検討した。



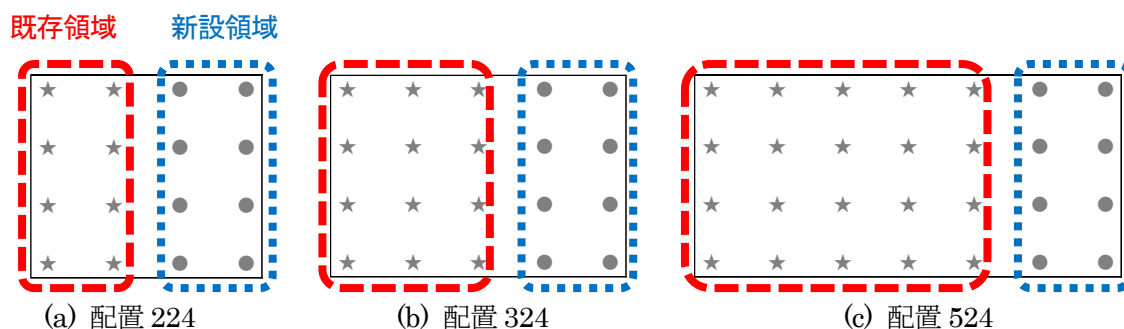
参考図 4.1 建替えで建築面積が増大する場合の地下部分の状況の例

多層建築物の地上部分を均一せん断棒として、各杭頭位置の水平剛性の異なるスウェーバねの組合せにより地下部分全体として水平剛性の偏心を有するモデルを用いて、応答スペクトル法による地震応答解析を行い、また通常の耐震設計では地上部分と基礎杭は別々に設計されていることから、基部固定とした地上部分のみのモデル（いわゆる分離モデル）の応答と比較することで地上部分の設計に対する基部固定モデルの適用性も検討した。

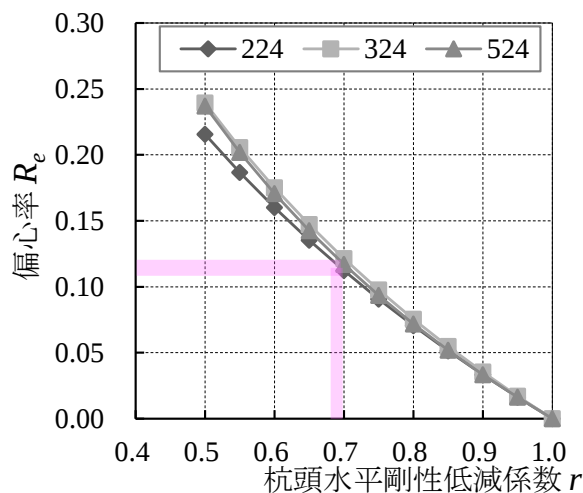
(2) 検討結果

a. 偏心率（地下部分）の設定

参考図 4.2 に示す通り、撤去新設杭と更地杭を設置する領域をそれぞれ「既存領域」「新設領域」として、3種類の配置を検討した。既存領域では杭の水平抵抗が新設領域より低下することを考慮して、低減係数 r をパラメータとして、地下部分について偏心率を計算した結果を参考図 4.3 に示す。



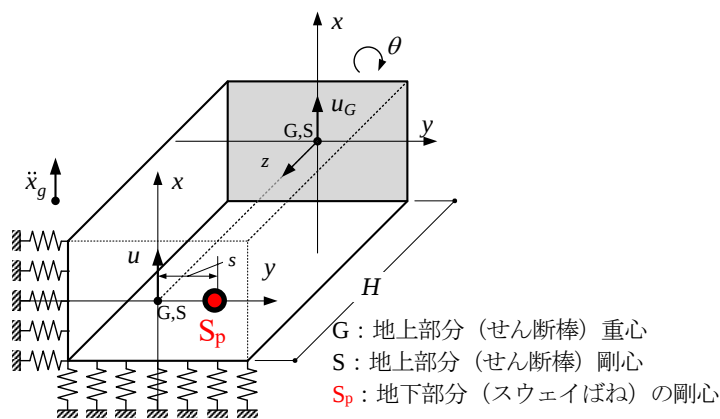
参考図 4.2 撤去新設杭（★印）と更地杭（●印）の配置の例（平面）

参考図 4.3 杭頭水平剛性の低減係数 r と地下部分の偏心率

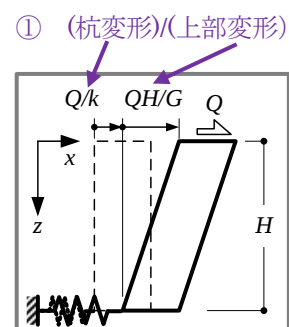
参考図 4.3 に示す通り、今回検討した 3 種類の杭配置の間では大きな数値の違いは見られなかった。既存領域の杭周囲の地盤のゆるみを考慮した解析では低減係数 $r=0.69$ 程度であり、地下部分の偏心率 R_e は $0.10 \sim 0.15$ 程度となった。

b. 解析モデル及びパラメータ

参考図 4.4 に、解析に用いたモデルを示す。地上部分を均一せん断棒とし、基部（杭頭部）の水平剛性をスウェイばねとして設定した。



参考図 4.4 解析モデル



参考図 4.5 水平剛性比に関する図

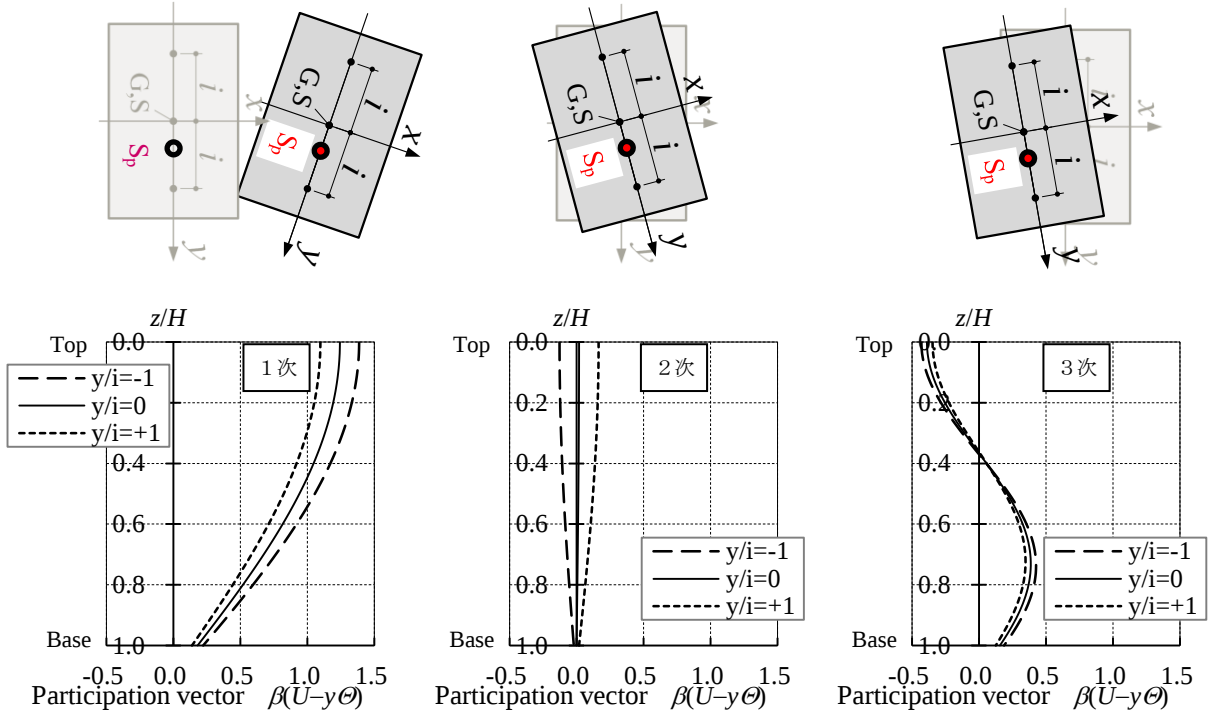
解析パラメータは以下の 4 つとする。

- ① 地上部分と地下部分の水平剛性比（参考図 4.5） G/kH
- ② 地上部分と地下部分の弾性半径比 e_T/e
- ③ 地上部分の並進ねじれ振動数比 i/e_T
- ④ 地下部分の偏心率 R_e

本検討では、① G/kH を高層建築物（ $H>30\text{m}$ 程度）想定 of $G/kH=0.1$ 、② e_T/e を杭と柱とで平面的な配置に大きな違いはないことから $e_T/e=1.0$ 、③ i/e_T をラーメン構造として $i/e_T=0.9$ とした。

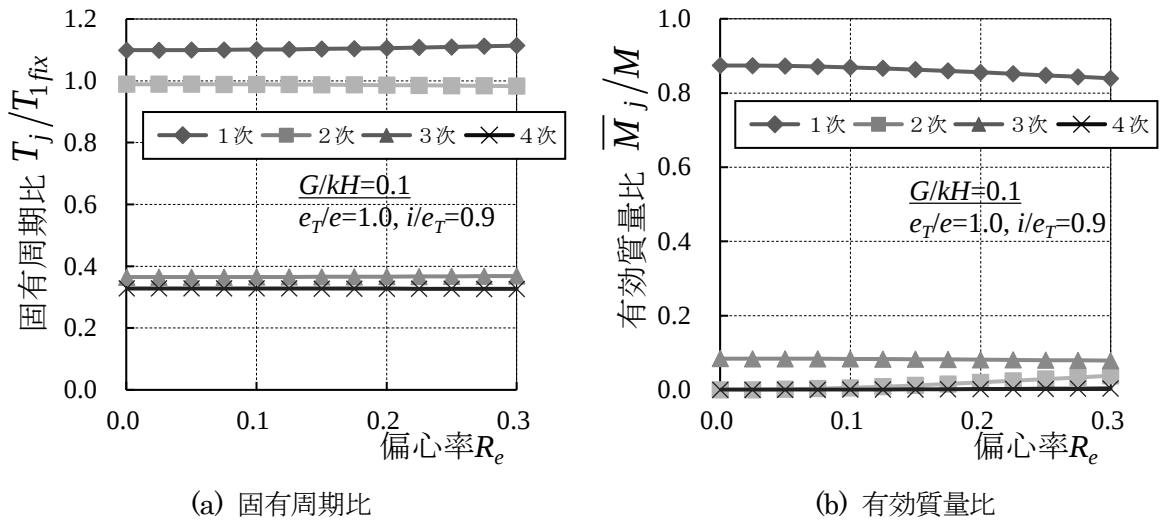
c. 解析結果

参考図 4.6 に、 $R_e=0.15$ とした場合の 1 次～3 次の刺激関数を示す。1 次と 3 次は y の負側すなわち基礎の剛心の逆側が振られるモード形であること、2 次は純ねじれに近いことなどが分かる。



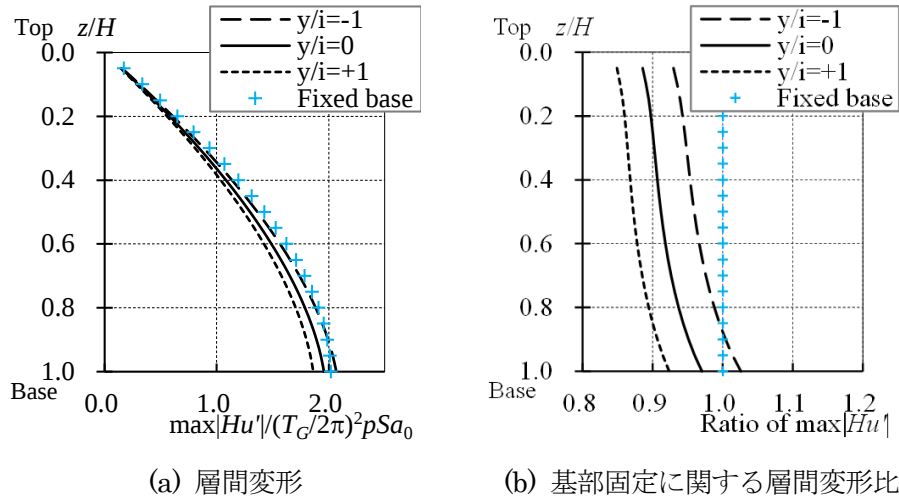
参考図 4.6 刺激関数（1 次～3 次、 $G/kH=0.1$ 、 $e_T/e=1$ 、 $i/e_T=0.9$ 、 $R_e=0.15$ ）

参考図 4.7 に、スウェイばねの偏心率 R_e を 0.0 から 3.0 まで変化させた場合の固有周期 T_j と有効質量 M_j について、それぞれ基礎固定としたモデルにおける数値 (T_{jfix} 及び総質量 M) との比率を示す。固有周期比は偏心率の影響をほとんど受けないことが分かる。スウェイばねの設置により基部固定のときの T_{jfix} に比べて 1 次固有周期は伸びている。2 次と 4 次はねじれが支配的なモードであり、重心がほとんど変位しないモード形であるため、有効質量比は極めて小さい。

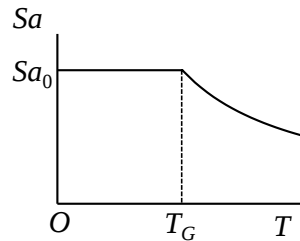


参考図 4.7 固有周期比及び有効質量比（基礎固定との比、 $G/kH=0.1$ 、 $e_T/e=1$ 、 $i/e_T=0.9$ ）

参考図 4.8 に、地上部分 (均一せん断棒) の各部分の層間変形を応答スペクトル法 (CQC 法を採用) により計算した結果及び基部固定のモデルとの比較 (比率) を示す。なお入力地震動の応答スペクトルは、参考図 4.9 に示す通り、基礎固定の 1 次固有周期 T_{1fix} より短周期側 ($T_G \leq T_{1fix}$) で加速度一定、長周期側 ($T_G > T_{1fix}$) で固有周期に反比例する形状とした。また減衰定数はモードによらず一律に $h=5\%$ とした。スウェイばねを設けて地下部分を偏心させた場合でも、おおむね基礎固定を下回っていることが確認できる。

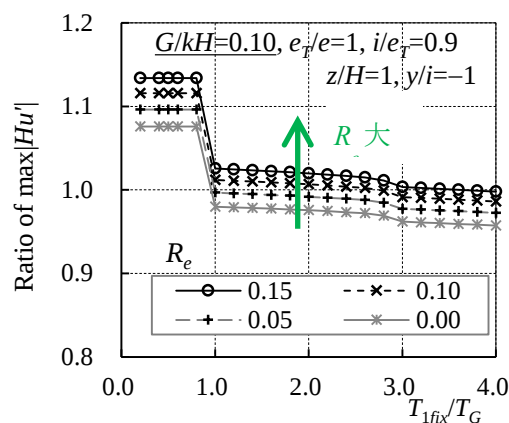


参考図 4.8 基部固定モデルに対する層間変形の比較 ($G/kH=0.1$ 、 $e_T/e=1$ 、 $i/e_T=0.9$ 、 $R_e=0.15$)



参考図 4.9 入力地震動 (加速度応答スペクトル、 $h=5\%$)

参考図 4.10 に、 T_{1fix}/T_G をパラメータとして、基部固定モデルに対する最下層 ($z/H=1$ (基部)、 $y/i=-1$) の層間変形比をスウェイばねの偏心率 R_e ごとに示す。 $T_G \doteq T_{1fix}$ を境に、短周期側では層間変形比は大きく 1.1 前後、長周期側では小さく 1.0 前後となった。偏心率に関しては、偏心なしの相互作用系 ($R_e=0.00$) が最も応答が小さく、偏心率が大きくなるほど層間変形比も大きかった。



参考図 4.10 基部固定に対する層間変形比

d. まとめ

整形な敷地・建築物について、既存杭撤去・埋め戻し地盤の影響を地下部分の偏心率として設定したモデルを用いて地震時のねじれ応答を検討し、以下の結果を得た。

1. 杭頭水平剛性の低減係数と基礎全体としての偏心率の関係を求めたところ、両者の関係は杭配置によらず概ね同様で、0.1 から 0.15 程度となった。
2. 基礎全体の偏心率が 0.3 程度まで大きくなっても、固有周期や有効質量、また応答スペクトル法により求めた層間変位の基礎固定の場合との差は小さかった。
3. 上部構造の基礎固定時の 1 次固有周期 T_{1fix} が比較的短い場合に、層間変形が基部固定の場合を 1 割程度上回ったが、高層の場合を重視して解釈すれば、本例ではねじれの影響は小さく、上部構造については通常の基部固定モデルによる層間変形角で確認すればよいと考えられる。

なお、ここで用いたパラメータと大きく異なる場合には改めて検討する必要があることに留意する。また、上部構造を簡略化したため評価できていない局所的な応力、上部構造に着目したため取り上げなかった杭の応力の評価、さらには非線形応答の検討などについては、総プロ報告書で追加的検討を実施したが、今後の課題として残されている。

(3) 報告書等との対応

これらの詳細は、以下に示されている。

○総プロ報告書（第Ⅱ編）の対応部分：

- ・第Ⅱ編第5章5. 2 地下部分のねじれ挙動の影響に関する解析的検討
- ・第Ⅱ編第5章5. 3. 2 地下部分の性能が場所により異なる建築物の応答解析

○発表論文：

- ・石原ほか：スウェイばねの偏心による多層建築物の地震時ねじれ応答に関する一考察，日本地震工学会第 16 回年次大会梗概集, 2021.11
- ・石原ほか：スウェイばねの偏心が建物の地震時ねじれ応答に及ぼす影響，日本建築学会技術報告集, 2024.2
- ・山添ほか：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，

第Ⅱ編

- その 5：既存杭の影響に対する感度解析の検討方針，日本建築学会学術講演梗概集, 2021.9
- ・酒向ほか：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 6：建物・杭・地盤一体型モデルによる静的荷重増分解析，日本建築学会学術講演梗概集, 2021.9
 - ・大山ほか：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 7：建物・杭・地盤一体型モデルによる地震応答解析，日本建築学会学術講演梗概集, 2021.9
 - ・大山ほか：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 11：既存杭と基礎梁の断面、上部構造の偏心をパラメータとした建物応答，日本建築学会学術講演梗概集, 2022.9
 - ・小笠原ほか：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 12：既存杭と基礎梁の断面、上部構造の偏心をパラメータとした場合の杭基礎応答，日本建築学会学術講演梗概集, 2022.9
 - ・大山ほか：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 16：解析条件及び分離型モデルの概要，日本建築学会学術講演梗概集, 2023.9
 - ・小笠原ほか：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 17：既存杭を併用した分離型モデルの適用条件，日本建築学会学術講演梗概集, 2023.9
 - ・山添ほか：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 24：検討方針と静的設計の方針，日本建築学会学術講演梗概集, 2024.8
 - ・小笠原ほか：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 25：既存杭と新設杭を併用し、柱と既存杭の位置が一致する場合の検討，日本建築学会学術講演梗概集, 2024.8
 - ・山屋ほか：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 26：既存杭と新設杭を併用し、柱と既存杭の位置が一致しない場合の検討，日本建築学会学術講演梗概集, 2024.8

参考資料5 地下部分のねじれ挙動の影響に関する実験的検討

(1) 概要

既存杭と新設杭を併用する杭基礎について、更地杭に対して撤去新設杭の周囲の地盤のゆるみ等の影響を地下部分の剛性偏心として考慮した検討などが行われているが、実証研究例が少ないことから、遠心場及び重力場における模型振動台実験を実施し、杭応力を検討した。

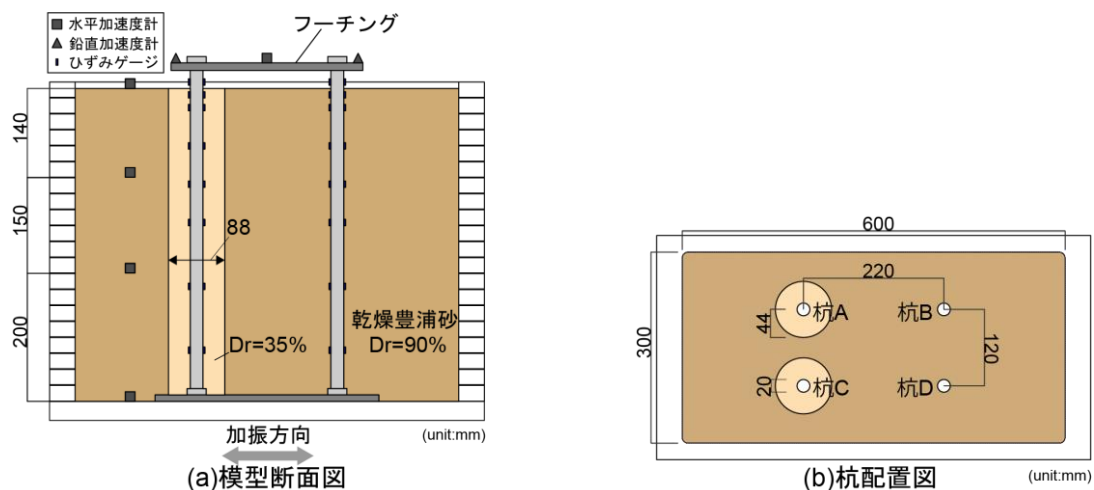
(2) 検討結果

a. 遠心場実験

参考図 5.1 に実験に用いた模型（遠心加速度は 50G）を示す。地盤モデルは、乾燥豊浦砂を用い空中落下法で相対密度 Dr を 90%程度とした。局所ゆるみ領域は既存杭引抜後の埋め戻し土を模擬し、直径 88mm、相対密度 35%程度の緩い砂とした。地盤の作製方法は、杭模型を囲むステンレスパイプを用い、深さ 5cm ごとに、(1)ステンレスパイプ内部に相対密度 35%の地盤を作製する、(2)パイプ外部に相対密度 90%の地盤を、(3)パイプ内外の地盤の高さが同じになったらパイプを 5cm 引き上げる、これらの手順を層厚が 490mm になるまで繰り返した。

杭は 2×2 の群杭とし、杭間隔は 220mm (11D) である。杭体は杭径 20mm (50G 場で 1m 相当)、厚さ 1mm (同 0.05m)、杭長 510mm (同 25.5m)、曲げ剛性 186Nm^2 (同 1160MNm^2) のアルミ合金パイプである。杭 A、C はゆるみ領域の中央に配置している。杭頭はフーチングに剛結し、杭先端は鋼板を介して土槽底面に固定した。フーチングは大きさ $200\text{mm} \times 300\text{mm}$ 、質量 5.42kg (同 668t) の鋼板である。

入力波は日本建築センター模擬波（基盤波）BCJ-L2 で、加振 S1（最大加速度 0.63m/s^2 ）、加振 L (4.6m/s^2)、加振 S1 (0.68m/s^2) の順に入力した。



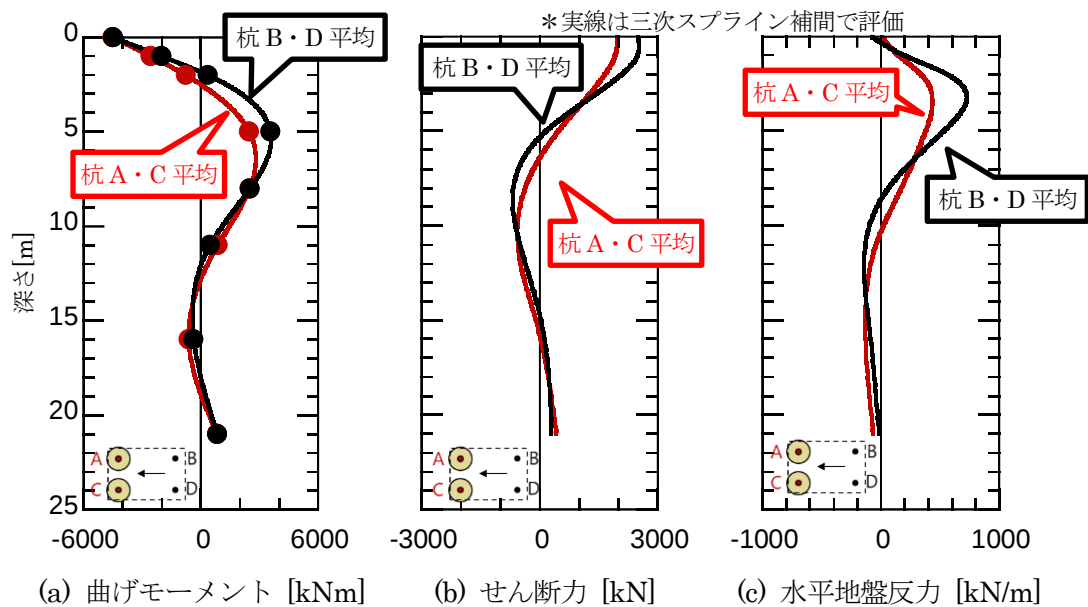
参考図 5.1 遠心場実験用模型概要

参考図 5.2 に、加振 L の慣性力最大時刻 $t=28.45[\text{s}]$ における各深さ位置の曲げモーメント、せん断力および水平地盤反力を、ゆるみ領域の内側（杭 A、C の平均）と外側（杭 B、D の平均）との比較で示す。杭 A、C（ゆるみ領域内）の地中部最大曲げモーメント、杭頭せん断力、最大水平地盤反力は杭 B、($Dr=90\%$) より小さくなった。実験では杭頭をフーチングで連結したことから各杭頭の変位が

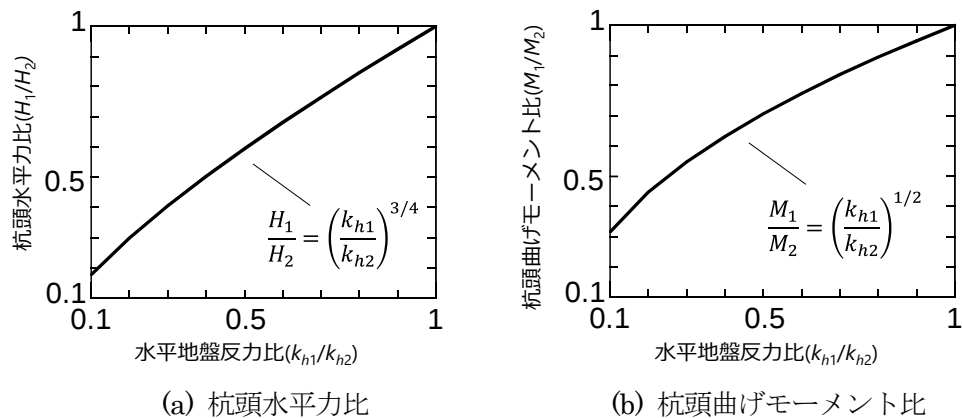
同一になるとして弾性支承梁理論に基づいて検討すると、それぞれの水平地盤反力を k_{h1} 及び k_{h2} ($k_{h1} < k_{h2}$)、杭頭水平力を H_1 及び H_2 、杭頭曲げモーメントを M_1 、 M_2 とした場合、次の式(5.1)及び式(5.2)の関係が導かれる。これを参考図 5.3 として示す。今回の結果はこうした考え方を裏付けるものであり、全体の層せん断力 ($=H_1+H_2$) が等しい場合、すべての杭が同じせん断力を負担する場合と比べて、水平剛性の高い地盤中の杭に対して割り増しを考慮する等の措置が必要と考えられる。

$$H_1 : H_2 = k_{h1}^{3/4} : k_{h2}^{3/4} \quad (5.1)$$

$$M_1 : M_2 = k_{h1}^{1/2} : k_{h2}^{1/2} \quad (5.2)$$



参考図 5.2 深さ方向の各部分に生ずる応力等



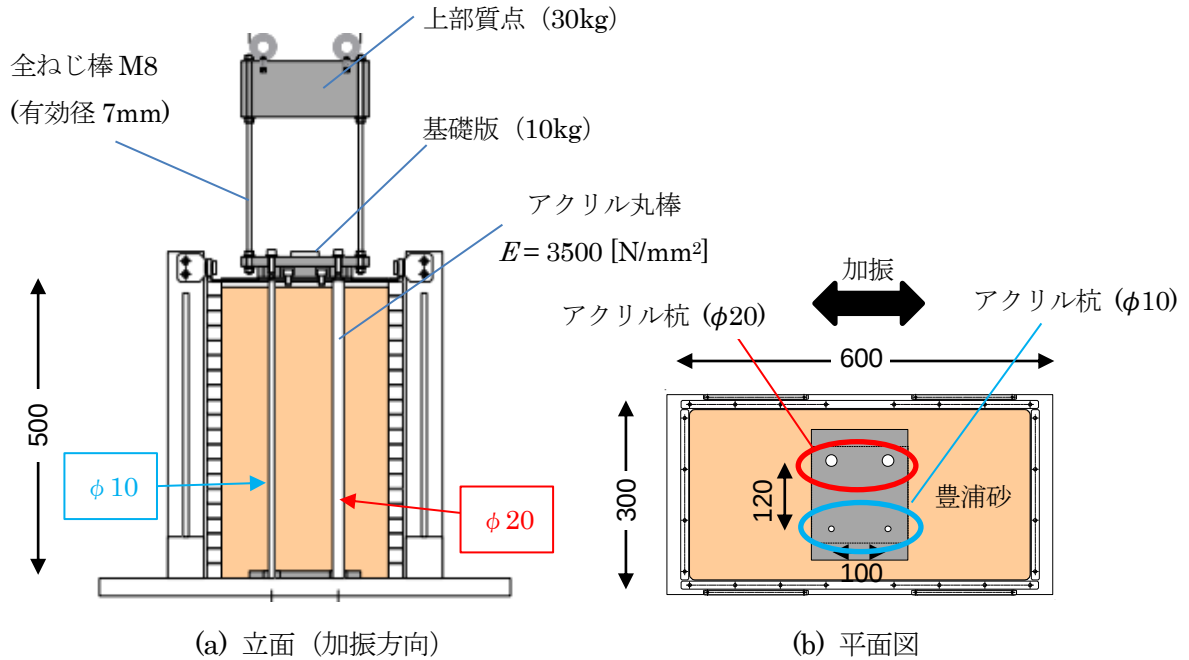
参考図 5.3 水平地盤反力比と杭頭水平力比および杭頭曲げモーメント比の関係

b. 重力場実験

杭頭水平剛性の偏心を有する 1 質点系を模擬した杭基礎建築物模型に対して、重力場の振動台実験を実施し、地下部分の剛性の場所による違いが上部構造の応答に及ぼす影響を確認するための実験を行った。試験体の概要を参考図 5.4 に示す。地盤は乾燥した豊浦砂を用いて、相対密度 90% を目標と

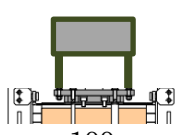
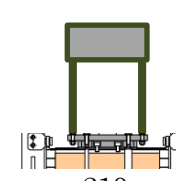
して空中落下法によりせん断土槽内に製作した。構造物は1つの上部質点と基礎からなる模型であり、上部質点および基礎版の質量はそれぞれ約 30kg と約 10kg である。偏心を有する杭基礎として、径（剛性）の異なる $\phi 10\text{mm}$ と $\phi 20\text{mm}$ のアクリル丸棒を混在させて杭基礎を構成した。杭頭はモルタルによって基礎版と接合した。

さらに、実験にあたり上部構造物の周期を変化させる目的で柱高さを調整し、建築物模型の基部を固定した自由振動実験により固有振動数を算出した。結果を参考表 5.1 に示す。

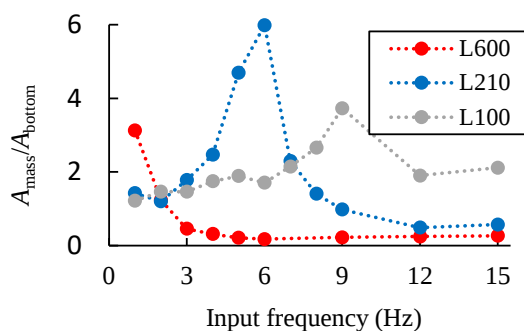


参考図 5.4 重力場実験用試験体概要

参考表 5.1 柱高さと固有振動数

実験ケース	L100	L210	L600
柱高さ [mm]	 100	 210	 600
固有振動数 [Hz]	24	7.6	1.35

実験は、主要動5波で構成される正弦波を用いて行った。加振振幅は $0.5[\text{m/s}^2]$ とし、 $1\sim 15[\text{Hz}]$ までは振動数を変化させて連続で加振し、各振動数において土槽底で計測された入力地震動の最大加速度振幅(A_{bottom})に対する、上部質点の最大加速度振幅(A_{mass})の比を算出した。結果は参考図 5.5 に示す通り、各ケースで上部質点の応答が最大となる振動数は実験ケースで異なっており、L600 は $1[\text{Hz}]$ 、L210 では $6[\text{Hz}]$ 、L100 では $9[\text{Hz}]$ となった。



参考図 5.5 振動数による応答加速度の違い

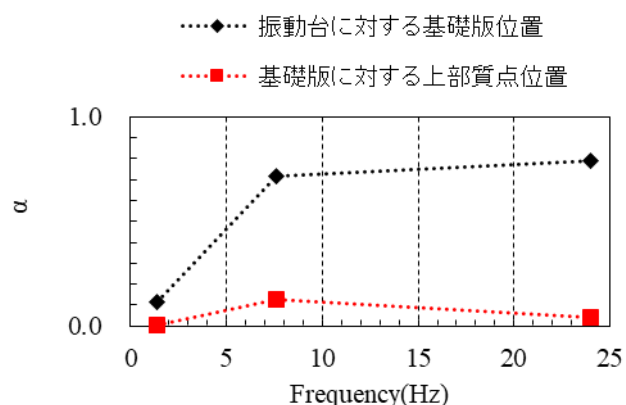
参考表 5.1 に示した実験ケースを対象として、次の式(5.3)によってねじれ振動を評価する指標 α を上部構造の固有振動数に対するプロットとしたもの参考図 5.6 に示す。 α が大きくなるとねじれ振動が大きいことを表現している。

$$\alpha = (A_{\text{small}} - A_{\text{large}}) / A_{\text{ave}} \quad (5.3)$$

ここで、 A_{small} ：細い杭の位置での最大変位応答

A_{large} は太い杭の位置での最大変位応答

$$A_{\text{ave}} = (A_{\text{small}} + A_{\text{large}}) / 2$$



参考図 5.6 上部構造の固有振動数とねじれ応答の関係

c. まとめ

剛性偏心を有する杭基礎で支持された建築物を想定した遠心場及び重力場における振動台実験を行っての地震応答性状を明らかにした。杭周地盤の状況や杭径の違いにより、杭位置による杭頭水平剛性の差異が生じて杭基礎が剛性偏心を有する場合、各杭に作用する杭頭水平力の分担に留意する必要があること、杭基礎の剛性偏心が上部構造のねじれ振動に及ぼす影響は大きくないが、ただし上部構造の固有振動数が大きいほどねじれの影響が大きくなることを示した。

第Ⅱ編

(3) 報告書等との対応

これらの詳細は、以下に示されている。

○総プロ報告書（第Ⅱ編）の対応部分：

- ・第Ⅱ編第5章5. 1 縮小模型を用いたせん断土槽実験

○発表論文：

- ・小野木ほか：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8：局所的な緩み領域を考慮した杭の遠心場振動実験，日本建築学会学術講演梗概集，2021.9
- ・藤永ほか：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23：模型振動台実験による基礎の剛性偏心の影響評価，日本建築学会学術講演梗概集，
2024.8

参考資料 6 ゆるみ領域での鉛直・水平載荷実験と FEM 再現解析

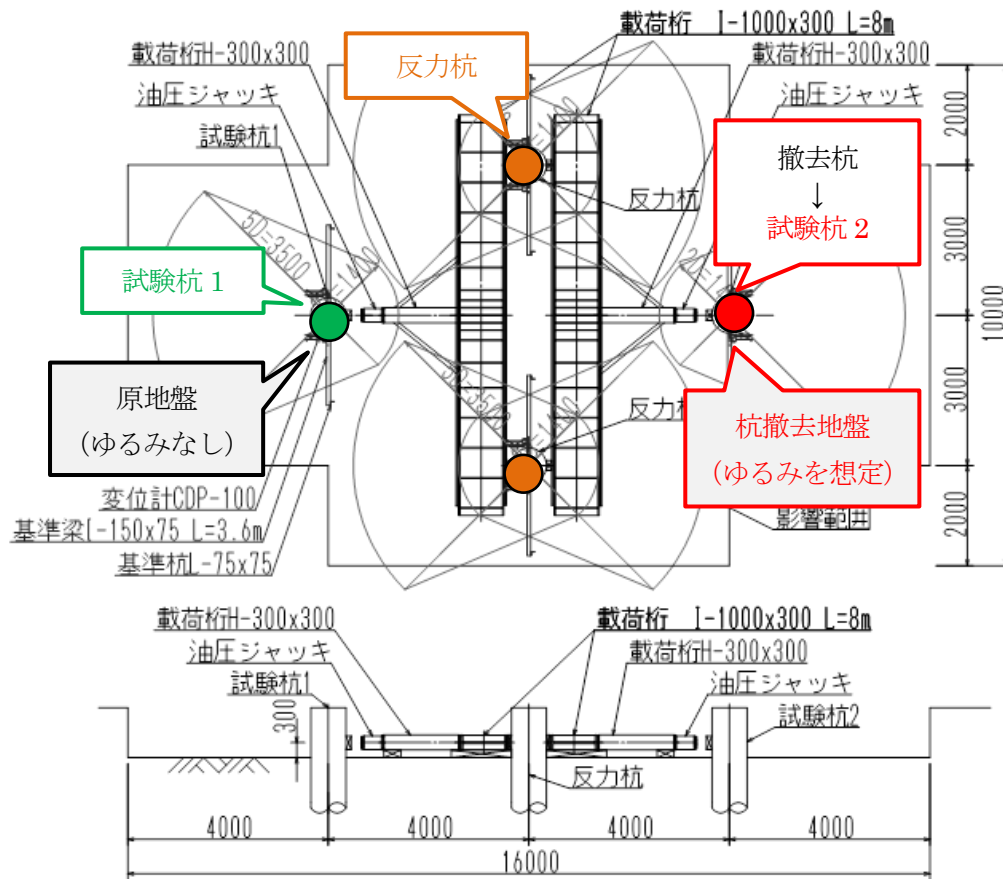
(1) 概要

既存杭の撤去と埋め戻しを伴う敷地での地盤物性を把握するため、茨城県稲敷郡の試験サイトにおいて水平・鉛直載荷試験を実施して鉛直支持力特性と水平抵抗特性を把握したほか、載荷試験を再現するための 3 次元 FEM 解析を実施し、その結果を踏まえて新設杭と撤去・埋め戻し位置との間の距離と地盤のゆるみの影響について分析した。

(2) 検討結果

a. 試験杭及び反力杭

載荷実験の概要を参考図 6.1 に、試験に用いた杭の諸元を参考表 6.1 に、それぞれ示す。



参考図 6.1 試験杭・反力杭・載荷桁のレイアウト

参考表 6.1 撤去杭・試験杭・反力杭の仕様

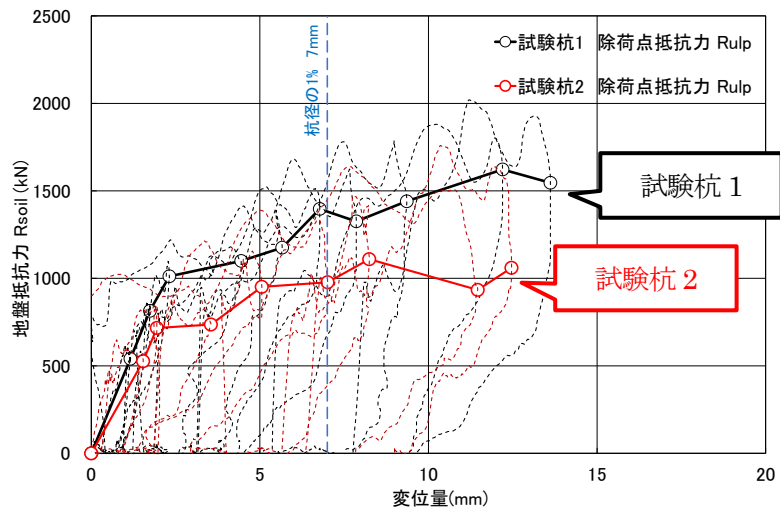
杭種別	杭径 [mm]	掘削径 [mm]	杭長 L [m]	杭の種類
撤去杭	500	600	12	PHC 杭 (C種)
試験杭 1 (原地盤)	700	800	13	SC 杭 t=9mm
試験杭 2 (杭撤去地盤)				
反力杭	700	800	15	SC 杭 t=12mm

b. 鉛直載荷試験（急速載荷試験）

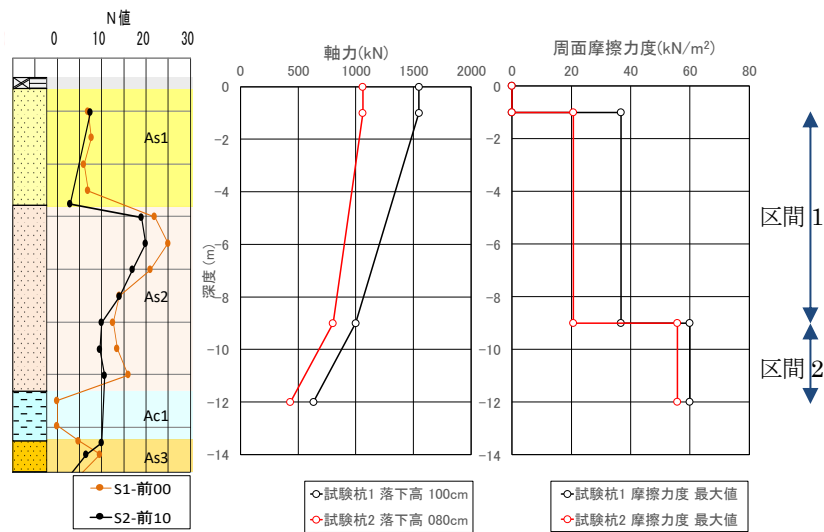
杭の鉛直支持力特性を評価する目的で、参考図 6.2 に示す急速載荷試験を実施した。試験装置は重錘質量：8t、落下高さ 1.0m（試験杭 1）及び 0.8m（試験杭 2）の軟クッション重錘落下方式である。参考図 6.3 及び参考図 6.4 に試験結果を示す。また、杭周面摩擦力度及び先端支持力度のまとめを参考表 6.2 に示す。



参考図 6.2 急速載荷試験装置



参考図 6.3 杭頭部の除荷点抵抗力－変位量関係



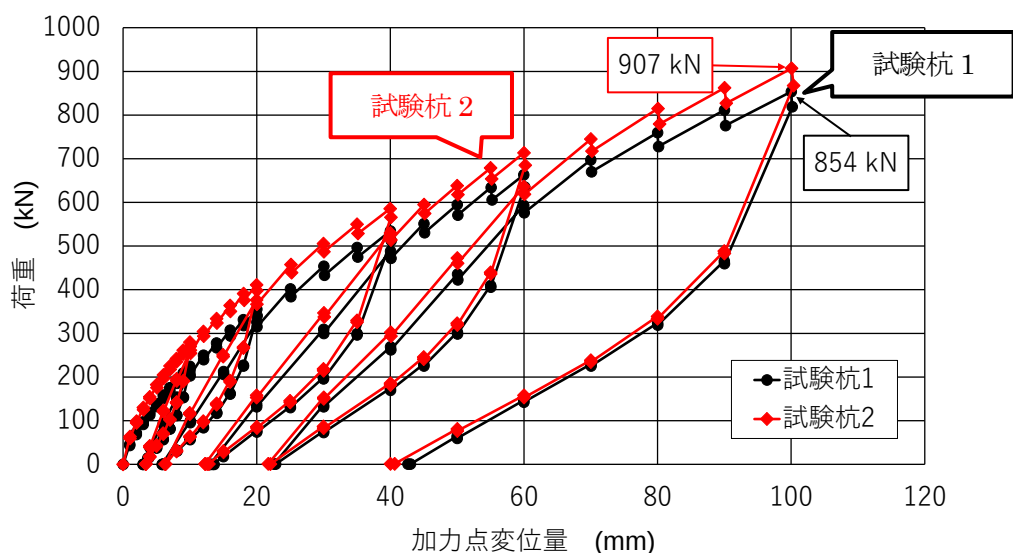
参考図 6.4 杭の各位置における軸力および周面摩擦力度

参考表 6.2 周面摩擦力度及び先端支持力度

	評価区間・位置	試験杭 1	試験杭 2	試験杭 2／試験杭 1
周面摩擦力度 [kN/m ²]	区間 1	36.8	20.6	56%
	区間 2	60.0	55.8	93%
先端支持力度 [kN/m ²]	16 断面	1,642	1,224	76%

c. 水平載荷試験

杭の水平抵抗特性を評価する目的で載荷試験を実施した。結果を参考図 6.5 に示す。撤去新設杭である試験杭 2 の荷重が更地杭である試験杭 1 の結果を上回っているが、試験後の観察で試験杭 2 の杭頭付近には施工時の杭周固定液の外側に既存杭撤去時の埋め戻し材である固化した流動化処理土が確認され、一つの要因と考えられる。



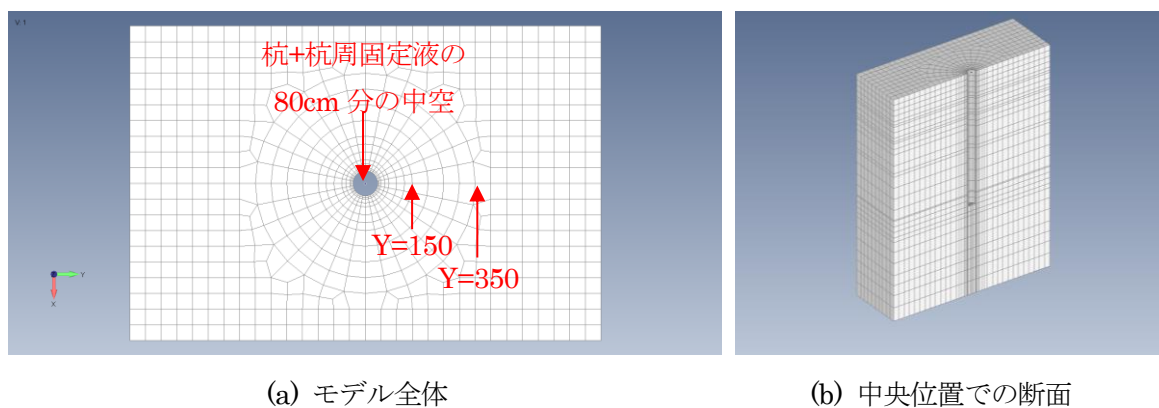
参考図 6.5 杭頭部における水平荷重—変位関係

d. FEM解析による試験結果の検証

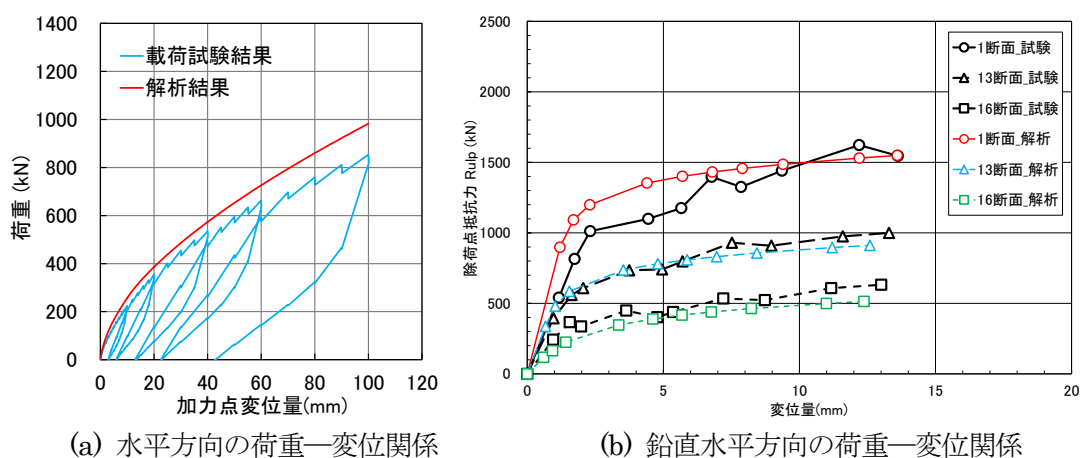
解析に用いる FEM 解析モデルを参考図 6.6 に示す。中心位置を中空とし、そこに今回の杭径 700mm の SC 杭の物性を有するビーム要素を設定した。中空部分は、杭径 $D=700\text{mm}$ 分に加えて、水平載荷試験の結果に影響があったと考察されている杭施工時の杭周固定液による増加分の 100mm について、水平、鉛直載荷試験のいずれの解析でも考慮して 800mm の径とした。

水平方向は、土質試験による各層の c と ϕ から、せん断強度を設定した。非線形モデルは HD モデルを仮定し、深さ依存のせん断強度とせん断剛性を用いて基準ひずみを設定した。また、加力前面側となる節点（ここでは地盤節点の半分）を杭節点に対して剛拘束とし、地盤に対して杭の載荷による引張力が生じないように後面側の地盤節点はフリーとした。

鉛直方向は、杭—地盤間を二重節点として摩擦ばねを設定した。摩擦耐力の計算に用いる周面摩擦力度は、有効上載圧 σ_v' の係数倍として設定し、これを既製杭メーカーが定める支持力式での砂質土の摩擦力項と対応付けた。



参考図 6.6 FEM 解析モデル



参考図 6.6 FEM 解析による載荷試験の再現状況

(3) 報告書等との対応

これらの詳細は、以下に示されている。

○総プロ報告書（第Ⅱ編）の対応部分：

- ・第Ⅱ編第2章 既存杭を含む敷地における載荷試験、調査及び再現解析（稲敷）

○発表論文：

- ・横山ほか：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2 既存杭の撤去および試験の概要，日本建築学会学術講演梗概集，2021.9
- ・亀井ほか：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3 既存杭撤去地盤における鉛直載荷試験，日本建築学会学術講演梗概集，2021.9
- ・青木ほか：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4 既存杭撤去地盤における水平載荷試験，日本建築学会学術講演梗概集，2021.9
- ・山添ほか：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9：3次元 FEM による杭の水平載荷試験の再現解析，2022.9

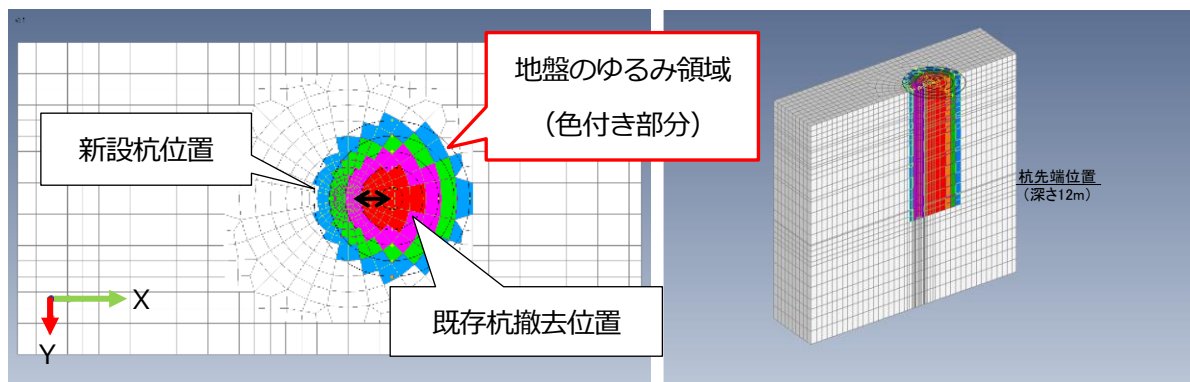
参考資料 7 新設杭が撤去埋め戻し位置から離れた場合の杭頭ばね解析

(1) 概要

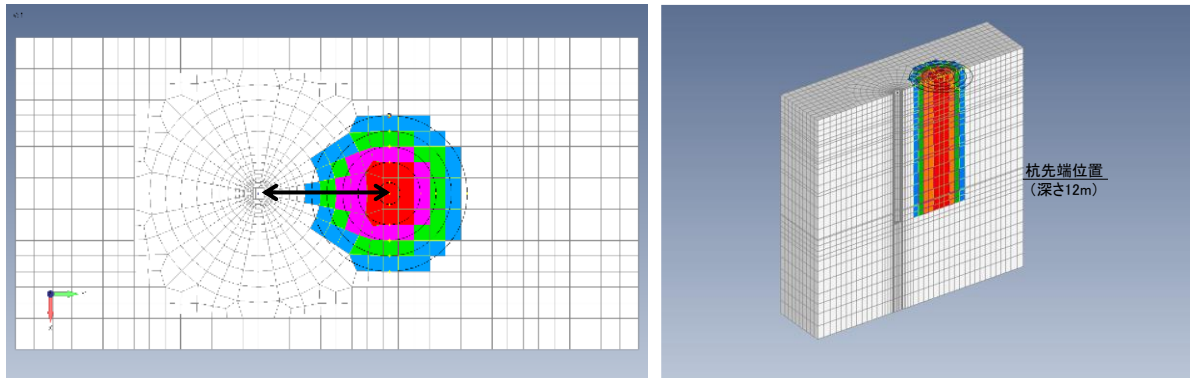
建築物の更新にあたって、計画によっては旧建築物の既存杭の撤去・埋め戻し位置と新設杭の施工位置が一致しないことが想定される。そこで、参考資料 6 で実施した解析結果を用い、既存杭の撤去位置と新設杭の位置との間の距離を変えた FEM 解析を実施した。

(2) 検討結果

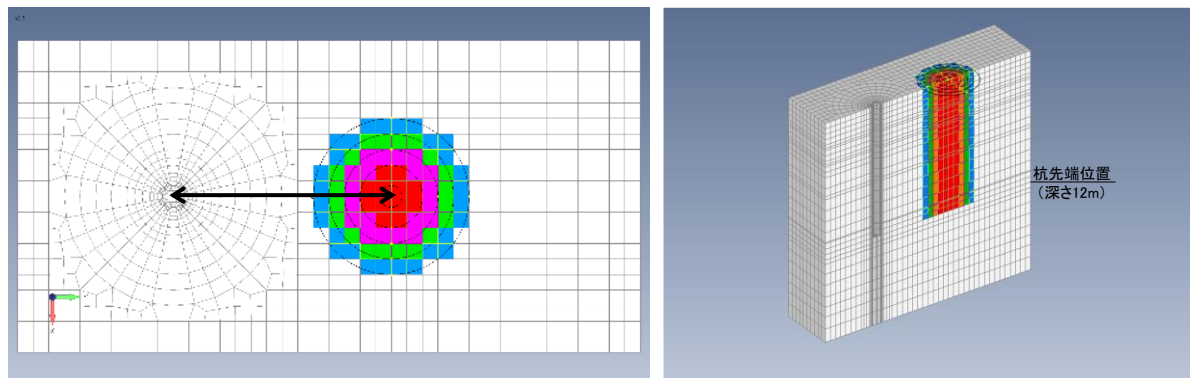
解析モデルの概要を参考図 7.1 に示す。既存杭撤去位置と新設杭の設定位置との距離は、杭径 D (700mm) に対して 2D、6D 及び 10D とした。地盤のゆるみについては、参考資料 6 と同様に 4 つの領域に分けて設定し、各領域の S 波速度、せん断強度も同様に設定した。



(a) 距離 140cm (2D)

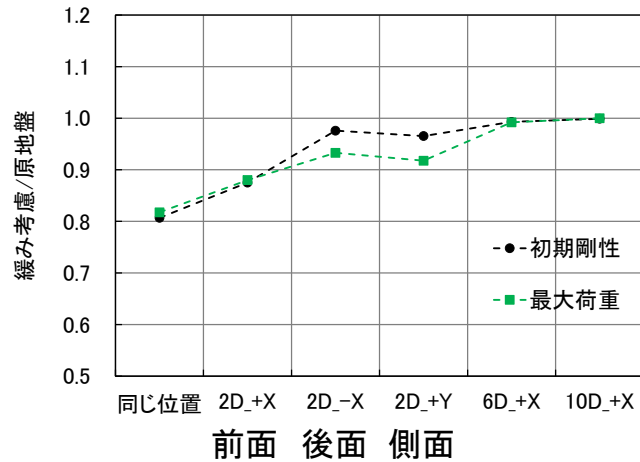


(b) 距離 420cm (6D)

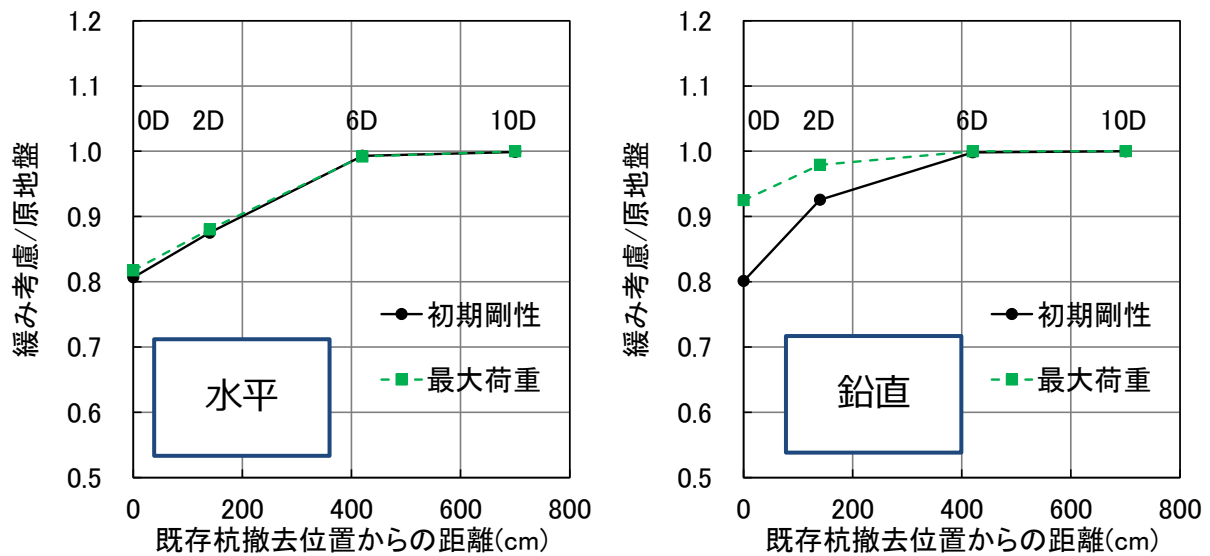


(c) 距離 700cm (10D)

参考図 7.1 解析モデル (平面及び中央位置での断面)



参考図 7.2 荷重-変形関係の初期剛性と最大荷重のまとめ（水平）



参考図 7.3 既存杭撤去位置からの距離と初期剛性及び最大荷重との関係

参考図 7.2 に、各ケースにおける初期剛性と最大荷重のまとめを示す。なお図中には、比較として同じ位置に施工する場合も併せて示した。

距離 2D の場合には、+X、-X 及び +Y の 3 方向の加力を実施した。初期剛性、最大荷重ともに +X は -X、+Y のいずれよりも小さい。これより、加力前面側に既存杭撤去位置、すなわち地盤のゆるみ領域がある場合の影響が最も大きいことが分かる。

また、参考図 7.3 に示す通り距離 6D、10D では比率は 1.0 となり、新設杭が撤去埋め戻し地盤から 6D 程度離れると、ゆるみ領域の考慮は不要となると考えられる。

(3) 報告書等との対応

これらの詳細は、以下に示されている。

○総プロ報告書（第Ⅱ編）の対応部分：

- ・第Ⅱ編第2章2. 9 既存杭を撤去した敷地地盤物性評価のための解析の概要

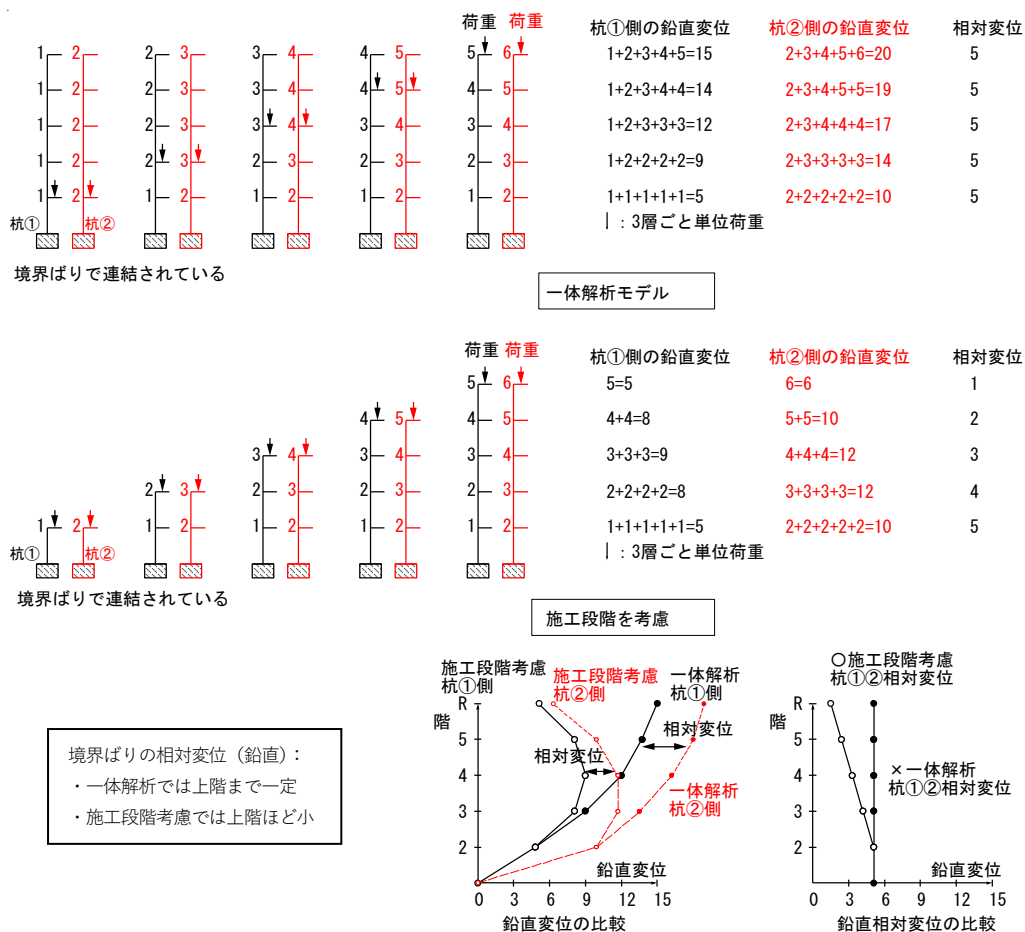
○発表論文：

- ・山添ほか：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15：3次元FEM解析による既存杭撤去の影響検討，日本建築学会学術講演梗概集，2023.9

参考資料 8 施工段階の考慮が構造計算に及ぼす影響の検討（施工段階解析）

（１）概要

一般的な静的解析において、支点の沈下量を算出する際の荷重としては、1 階の柱軸力（長期荷重）が用いられることが一般的である。この時、基礎ばりのみの計算でなく架構全体をモデル化していれば（一体解析）、上部構造の架構が沈下による強制変形に伴う応力を負担するため、部材変形角は小さくなる。さらに、建築物の施工のプロセスを考慮した場合、例えば最上階の架構はその部分だけの荷重による沈下（直下の階の施工時点からの相対的な沈下の増分）の影響のみを受けることになり、したがって不同沈下に伴う付加的な応力分担は下層階ほど大きくなると考えられる。そこで、参考図 8.1 に示す施工段階解析（施工のプロセスを模擬的に再現し、1 層ずつ架構を増加させる段階的な解析）を行って、その影響を検討した。



参考図 8.1 施工段階解析の概要と境界ばりの相対変位

（２）検討結果

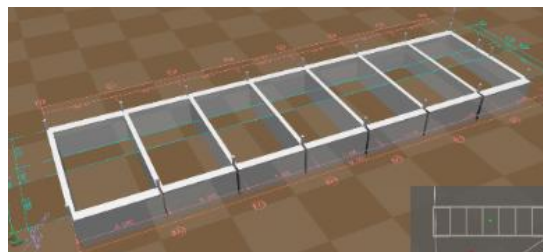
a. 建築物モデル

検討対象とした建築物は 14 階建ての鉄筋コンクリート造共同住宅（桁行 (X) 7 スパン、張り間 (Y) 1 スパン）とした。この建築物について、参考図 8.2 に示す通り全体架構ピンモデル（支点ピン支持）、基礎ばりばねモデルにより、基礎ばりの部材変形角 1/2000 以内の確認と、応力算定を実施した。

この結果に対し、汎用プログラムを用いた施工段階解析により比較検討を行った。



(a) 全体ピンモデル（支点ピン）



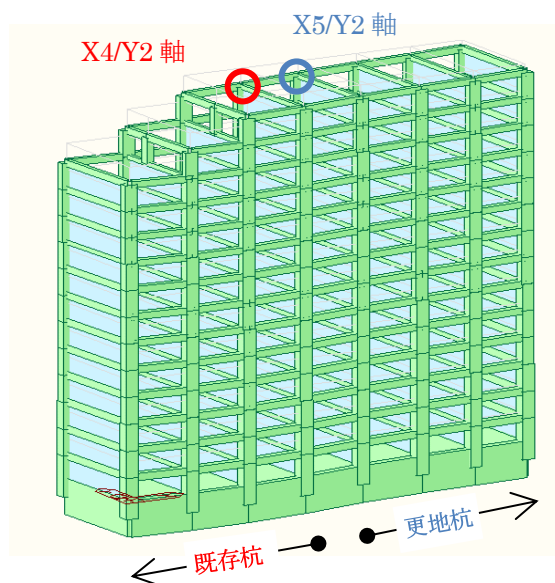
(b) 基礎ばりばねモデル

参考図 8.2 建築物モデル

モデル化にあたり、既存杭と更地杭の併用を考慮するため、参考図 8.3 及び下記に示す通り支点ばねを設定した。

- ・ 更地杭（総プロ報告書では「標準杭」）の鉛直ばねは 2000kN/mm とする。
- ・ X 方向を 2 分割し、X1～X4 通りに既存杭（総プロ報告書では「異種杭」）、X5～X8 通りに更地杭の鉛直ばねを配置した。
- ・ 既存杭の鉛直ばね剛性比は、更地杭に対して高剛性（10 倍 20000kN/mm ）、同程度（1 倍 2000kN/mm ）と低剛性（0.4 倍 800kN/mm ）の 3 パラメータとした。

なお、図に示す Y2 通り X4-X5 間の基礎ばりの断面寸法は、既存杭の鉛直ばね剛性が高剛性と同程度の場合に $850\text{mm} \times 3000\text{mm}$ 、低剛性の場合に $850\text{mm} \times 4000\text{mm}$ となった。

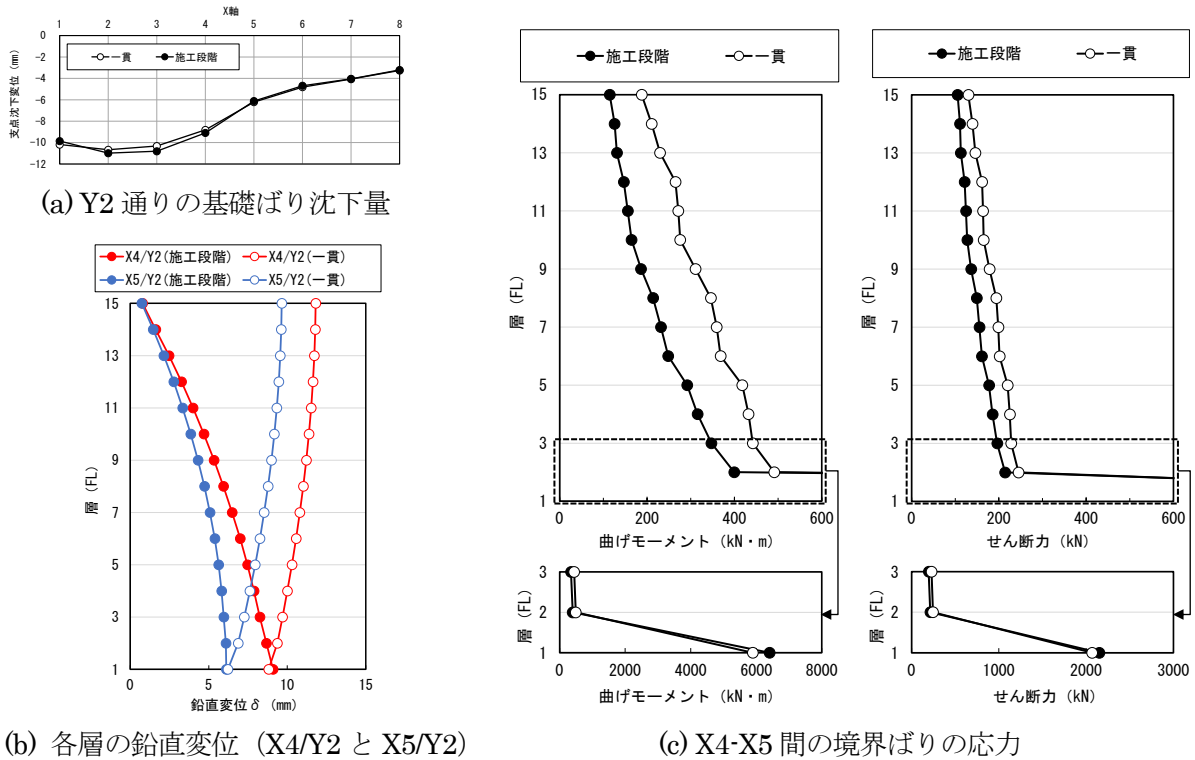


参考図 8.3 既存杭の再利用を想定した計画

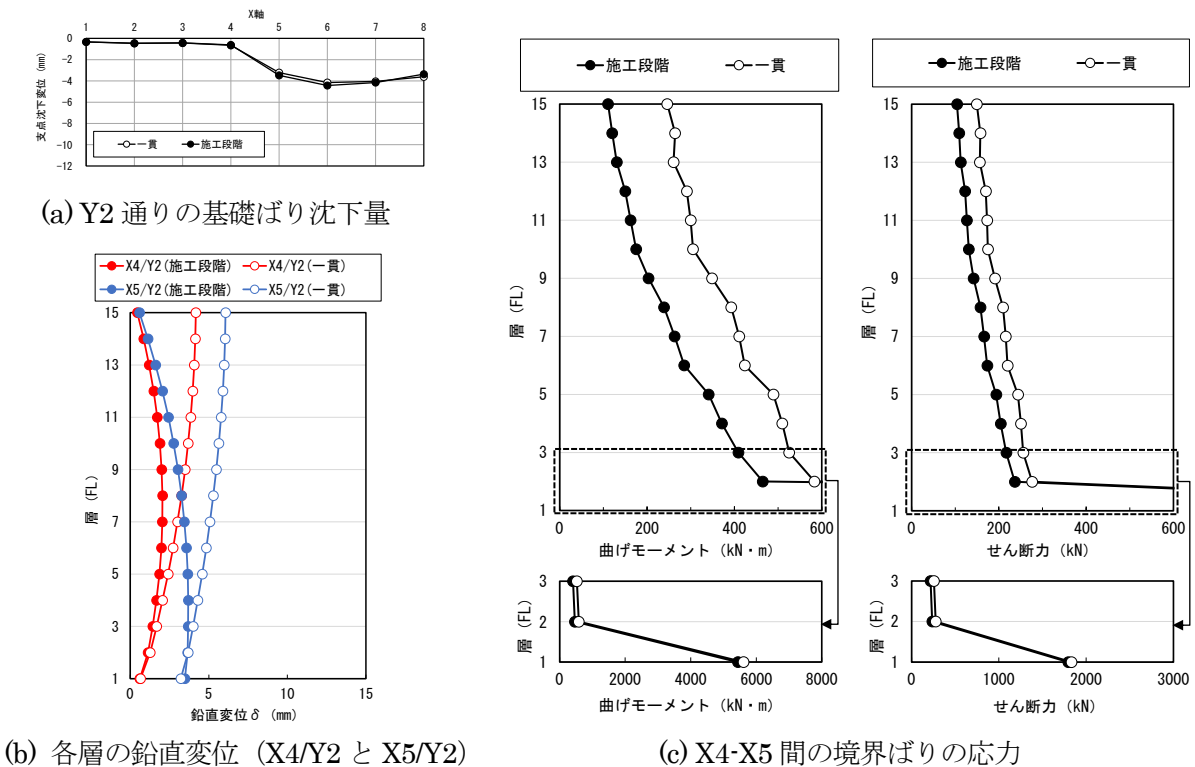
第Ⅱ編

Ⅱ. 施工段階を考慮した解析結果

参考図 8.4 及び参考図 8.5 に、ばね剛性比がそれぞれ 0.4 及び 10 の場合における Y2 通りの基礎ばり沈下量、各層の鉛直変位及び境界ばりの応力を示す。



参考図 8.4 ばね剛性比 0.4 の場合の比較



参考図 8.5 ばね剛性比 10 の場合の比較

第Ⅱ編

c. まとめ

既存杭の再利用を想定し、更地杭に対して既存杭の鉛直剛性を変動させた場合の解析について、施工段階解析との比較を行い、以下のことが分かった。

- ・ 施工段階を考慮すると、一般階での鉛直変位は小さくなり、一貫計算プログラムによる、施工段階を考慮しない一体の計算結果よりも安全側の結果となった。
- ・ 施工段階を考慮すると、基礎ばり梁の鉛直変位がわずかに大きくなるが、問題ない範囲であった。これは、一体の解析の場合には上階の梁が基礎ばりの鉛直変位を小さくしていることが考えられる。
- ・ 既存杭の剛性比 0.4 倍のケースも 10 倍のケースも、いずれも更地杭と既存杭の境界ばりに相対変位と追加応力は生じるが、不同沈下による部材変形角 1/2000 以下と許容応力度設計を満たせば、施工段階を考慮した場合に、一貫計算による一体の計算よりも危険側の結果となることはなかった。

(3) 報告書等との対応

これらの詳細は、以下に示されている。

○総プロ報告書（第Ⅱ編）の対応部分：

- ・ 第Ⅱ編第5章5. 3. 4 施工段階の考慮が構造計算に及ぼす影響の検討（施工段階解析）

○発表論文：

- ・ 迫田ほか：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 18 長期荷重における施工段階考慮の検討，日本建築学会学術講演梗概集，2023.9