

鋼管杭の変形特性を活かした 建築基礎の2次設計法

20240215

土方勝一郎

検討の背景（その1）

- 建築基準法では杭基礎に対し**二次設計**の規定はないが、**BCP（事業継続計画）**や**資産保護**の観点から、建築杭基礎への**二次設計**の要請は官民で高まっている。
- 例えば、国交省は「**防災拠点建築物を対象とした大地震後の機能継続ガイドライン**」を取りまとめその活用を促している。
- 鋼管杭は高い強度を有し靱性に富むため、既製コンクリート杭等に比較し**二次設計**に適している。
- 2019年に改訂された日本建築学会「**建築基礎構造設計指針**」には**杭基礎の二次設計法**が示された。ただし、杭種に応じた具体的な計算手順等は必ずしも明らかではない。

検討内容の背景（その2）

- ・ 以上の状況を踏まえ、（一社）日本鉄鋼連盟の委託業務として（一社）日本鋼構造協会に研究小委員会を設置した。

<小委員会体制>

【名称】 建築基礎鋼管杭の二次設計法構築に向けた研究小委員会

【構成委員】 産官学の15名で構成（土方委員長、田村幹事）

【小委員会】 2019年度～2021年度（3年間）

【サブWG】

○群杭フレームモデル検討WG

設計ツール(群杭フレームモデル)の整備と2次設計法の構築

○杭体変形性能WG

コンクリート充填鋼管杭(CFT杭)の性能評価

【研究成果】

「建築基礎鋼管杭の二次設計法に関する技術説明資料」

2022年8月（JSSCテクニカルレポートNo. 127）を発刊。

JSSCテクニカルレポートNo. 127の内容

①鋼管杭（CFT杭を含む）の強度と変形性能（3章）

→現在、建築分野では規定のないCFT杭の強度と変形性能を明らかにした。

②設計用荷重を用いた群杭フレームモデルによる鋼管杭・CFT杭の設計方法（2章）

→鋼管杭・CFT杭を対象に、群杭フレームモデルにより設計荷重に対する杭応力の計算方法を示した。

③試算事例の検討（4章）

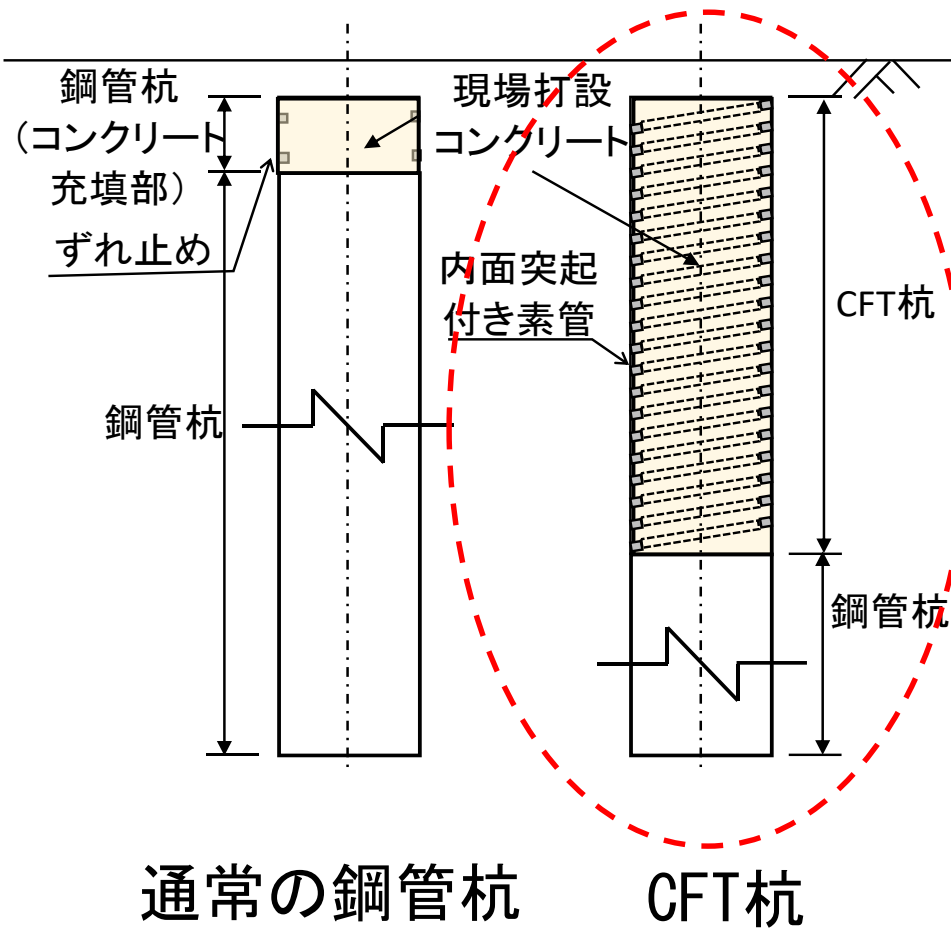
→「限界耐力状態」に対する「限界変形状態」の耐力上昇を確認し、限界変形をクライテリアとする二次設計法の効果を確認した。



本日はこの内容を紹介する

CFT杭の強度と変形性能(1)

CFT杭(コンクリート充填鋼管杭)とは



内面突起付き鋼管 (リブ付き鋼管) を用いて鋼管とコンクリートの一体化を図ったCFT構造 (Concrete Filled steel tube) の杭。

- 中込コンクリートを現場打設する関係から、長さは杭頭から最大で10mとなる。
- CFT杭の下は通常の鋼管杭。
- 板厚はCFT杭 \geq 直下の鋼管杭とする。

現状、CFT杭の強度と変形性能は明らかではない

CFT杭の強度と変形性能(2)

2019年「AIJ基礎構造設計指針」

附録に鋼管杭とコンクリート充填部（杭頭から $0.5 \times$ 杭径の範囲）の強度と変形性能が示された。



2022年「AIJ基礎部材の強度と変形性能」(部材解説書)

鋼管杭とコンクリート充填部の強度と変形性能が詳細に示された。



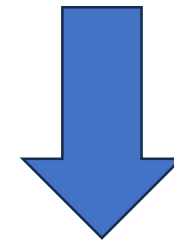
現状、CFT杭の規定はない

「建築基礎鋼管杭の二次設計法確立に向けた研究小委員会」にてCFT杭(コンクリート充填鋼管杭)の強度と変形性能を検討する。

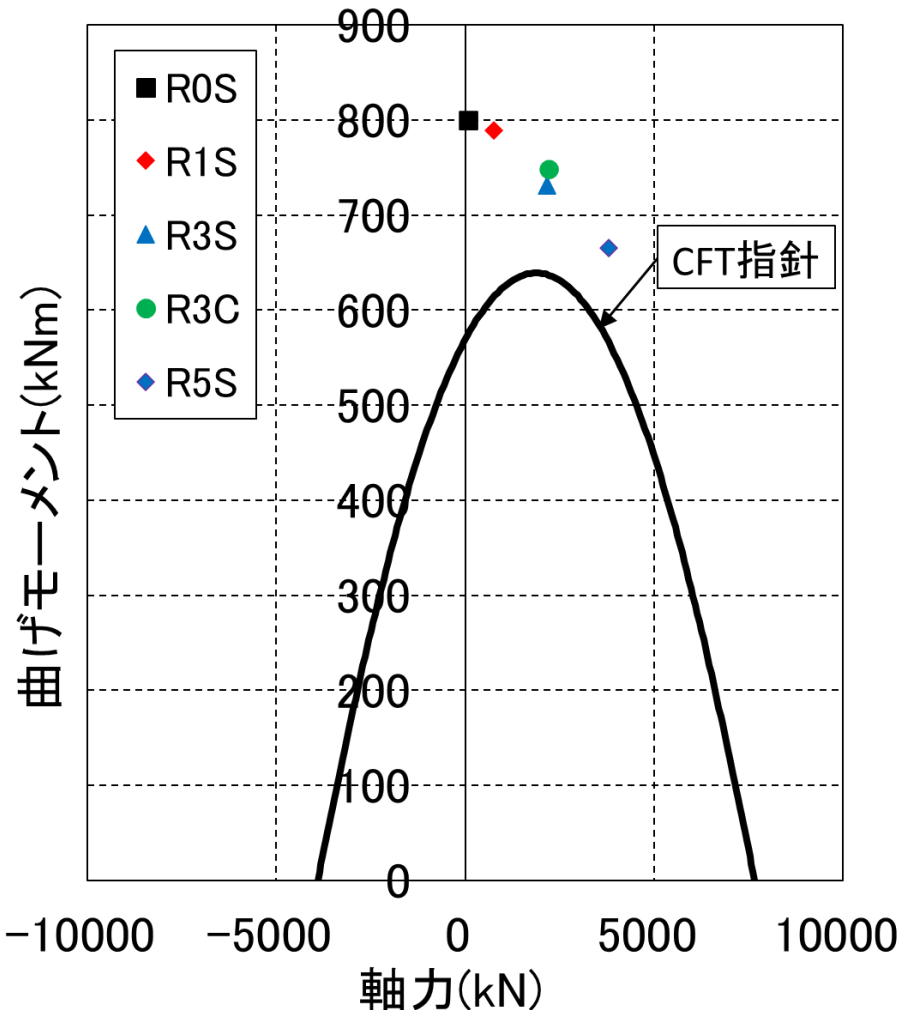
→ 既往の実験結果を整理して、CFT指針に準拠して検討推進

2008年「AIJコンクリート充填鋼管構造設計施工指針」(CFT指針)

上部構造に関するCFT構造の強度と変形性能が示された。



CFT杭の強度と変形性能(3)



リブ付き鋼管のCFT指針との比較
(M-N曲線)

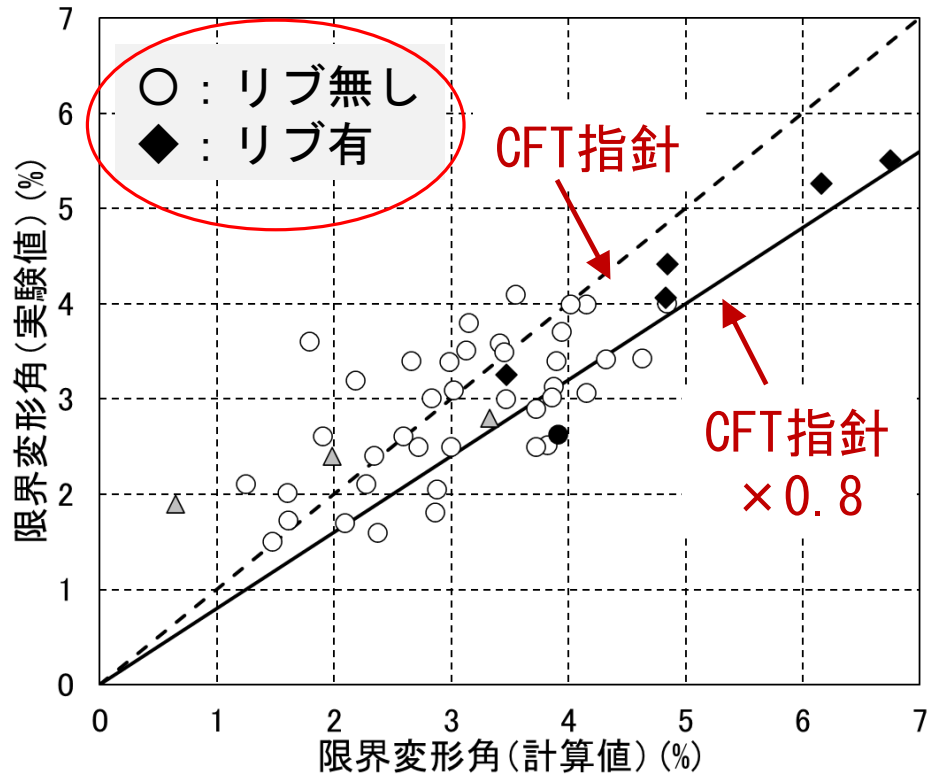
<CFT杭の終局強度>

- ・ CFT杭(リブ付き鋼管)の過去の実験は少ない。(CFT指針はリブのないCFT構造を対象としている)
- ・ 現状では、CFT杭に対応するリブ付き鋼管の実験は九州大学松井千秋教授が行った5体の試験結果があるのみ。
- ・ 今回はこの結果を整理。



リブ付き鋼管5体の実験結果はCFT指針のM-N関係を上回っている。

CFT杭の強度と変形性能(4)



CFT杭の限界変形角

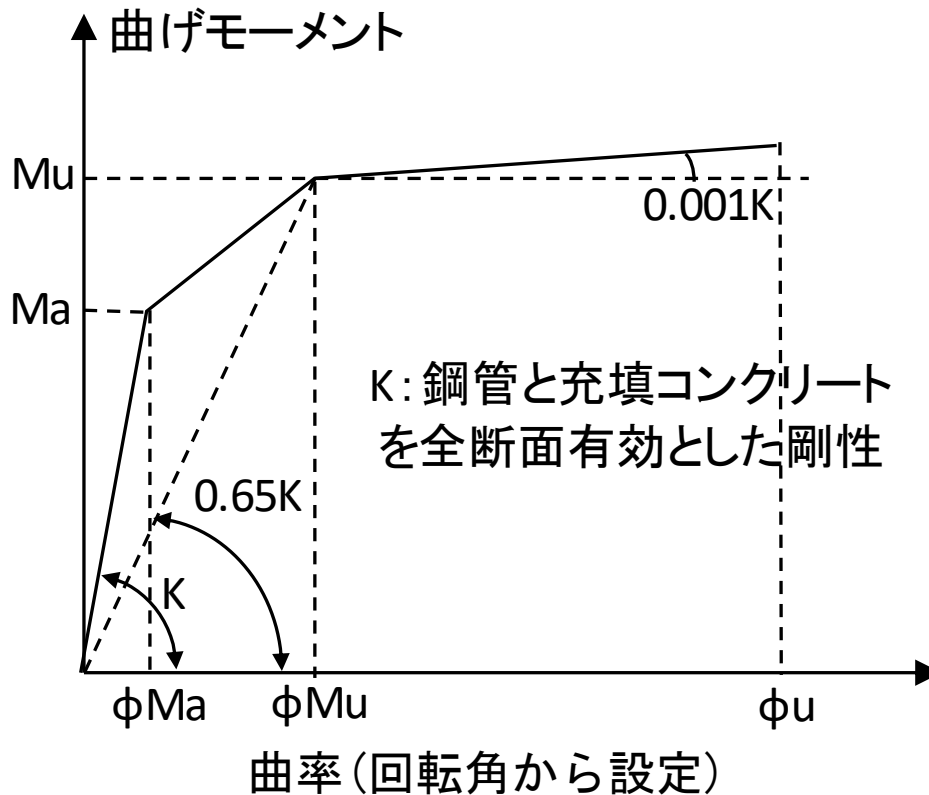
<CFT杭の限界変形角>

- CFT指針の限界変形角はリブのないCFTの限界変形角(○でプロット)に基づき設定されている。
- CFT杭(リブ付き鋼管)の限界変形角(◆でプロット)は、CFT指針からやや低下する傾向が認められる。



安全を見て、CFT杭の限界変形角はCFT指針の評価式の0.8倍とした。

CFT杭の強度と変形性能 (5)



CFT杭のM- ϕ 関係
 (M_a , M_u は軸力に応じて変化)

<CFT杭のM- ϕ 関係>

- ・ CFT杭のM- ϕ 関係は基本的に**CFT指針**に準じる。(曲率 ϕ は変形角から設定した)
- ・ ただし、限界曲率(ϕ_u)は**CFT指針**の0.8倍とする。
- ・ 評価に用いた実験のパラメータから本評価法の適用範囲は以下とする。

鋼管径 D	外径 800 mm ~ 2000 mm
鋼管の径厚比 D/t (t:鋼管の板厚)	$30 \leq D/t \leq 77$
鋼管の F 値	$235 \text{ N/mm}^2 \leq F \leq 440 \text{ N/mm}^2$
コンクリートの設計基準強度	$21 \text{ N/mm}^2 \leq F_c \leq 40 \text{ mm}^2$
最大長	杭頭から 10m

群杭フレームモデルによる鋼管杭・CFT杭の設計方法(1)

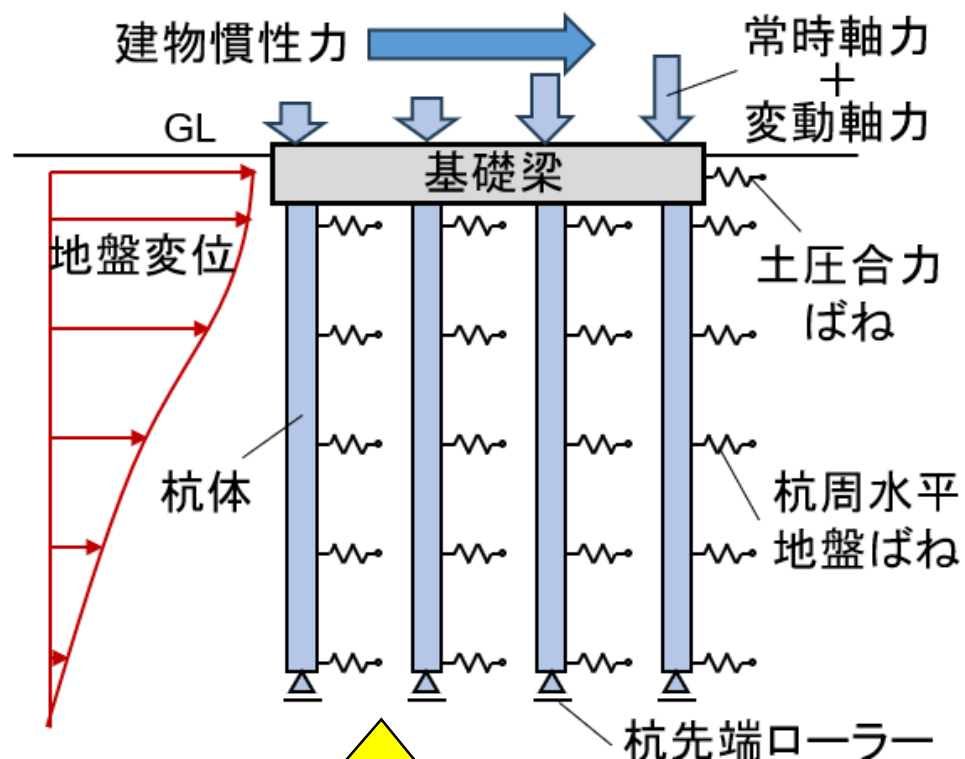
<2019AIJ建築基礎構造設計指針>

- ・ 鋼管杭ではレベル2荷重に対し**限界変形を設計用限界値とする**道が開かれた。
- ・ また、その計算手段として「**群杭フレームモデル**」が提案された。



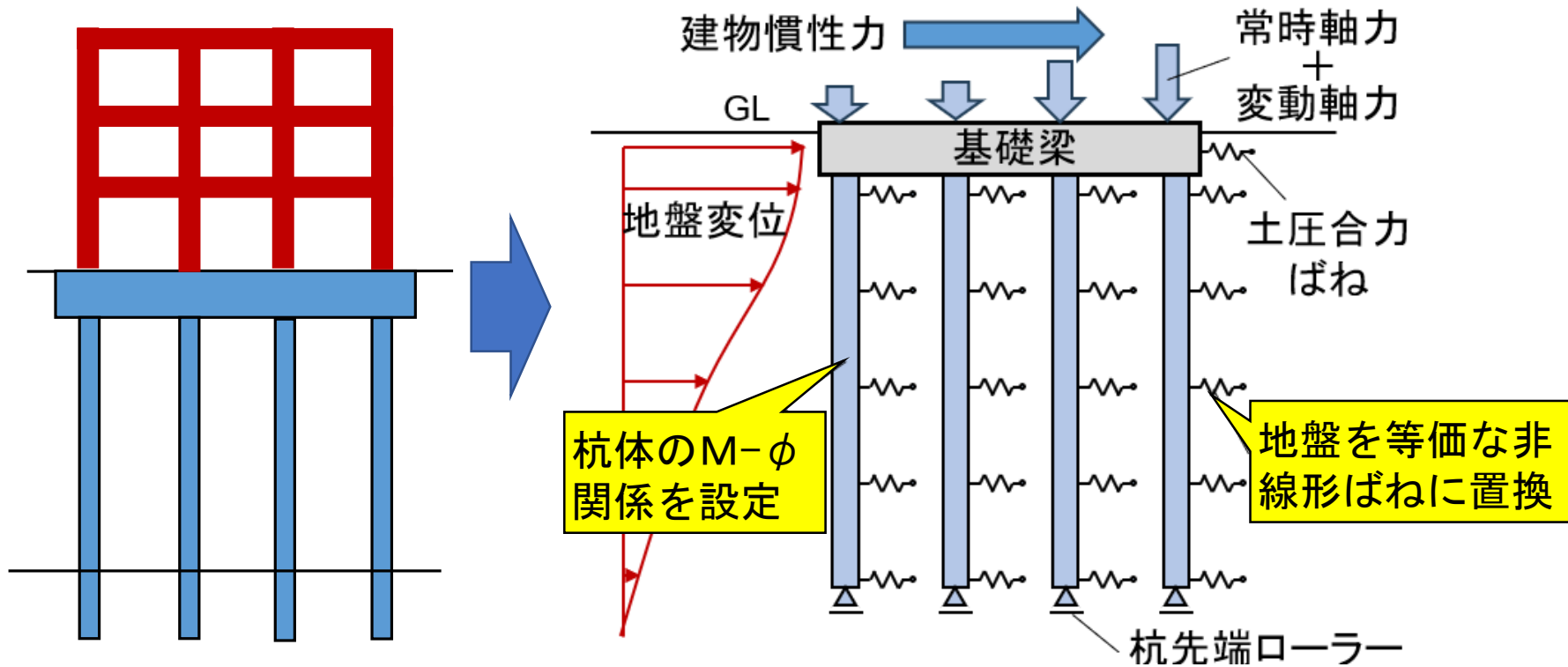
しかしながら「群杭フレームモデル」に基づく**詳細な計算方法**は明らかではなく、本小委にて検討を進めることとした。

群杭フレームモデル



基礎梁と一列の群杭をモデル化し、静的増分解析を実施

群杭フレームモデルによる鋼管杭・CFT杭の設計方法(2)

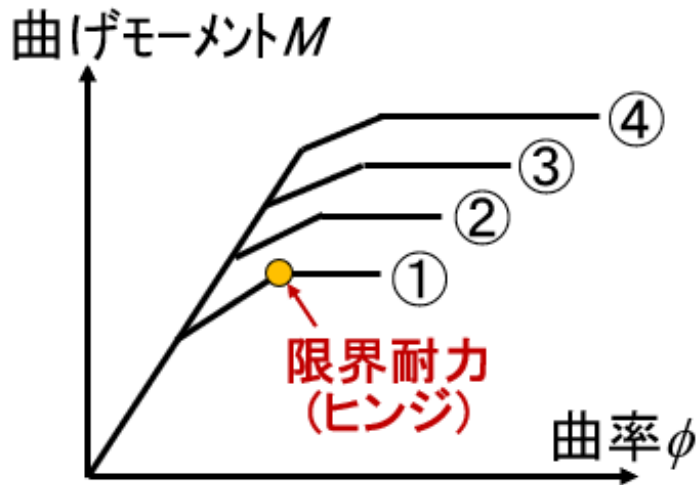
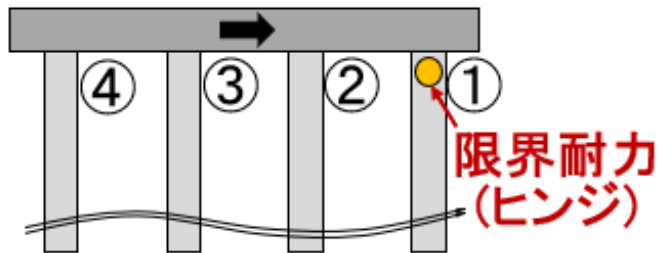


- ・ 「地震時の建物慣性力」 「建物の常時軸力 + 変動軸力」 「地震時の地盤変位」 を同時に作用させる。
- ・ 非線形性を考慮した杭体の $M-\phi$ 関係を設定し、杭周地盤は非線形ばねにモデル化する。
- ・ 杭頭を基礎梁で連結することにより、各杭の応力と変位の適合条件を満足。→非線形性に伴う杭応力の再配分を考慮可能

群杭フレームモデルによる鋼管杭・CFT杭の設計方法(3)

限界耐力状態

1本の杭の1箇所が
限界耐力に達した時



地震力に対する杭基礎の限界状態
として以下の2つが考えられる。

「限界耐力状態」

「限界変形状態」



JSSCレポートでは変形性能に富む
鋼管杭の特性を生かした「**限界変
形状態**」に対応した杭設計を目指
す。

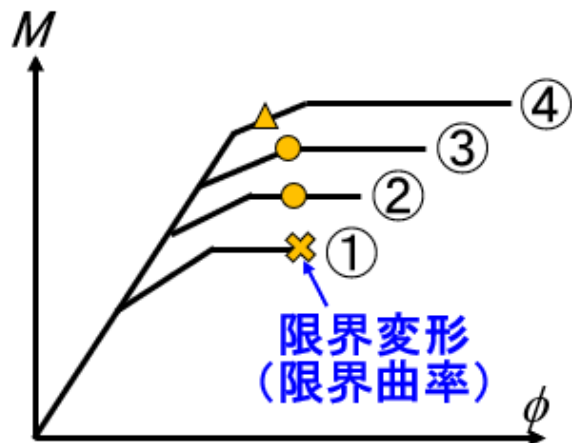
<限界耐力設計>

「1本の杭の1箇所が限界耐力に達した」
時点を限界状態とする。

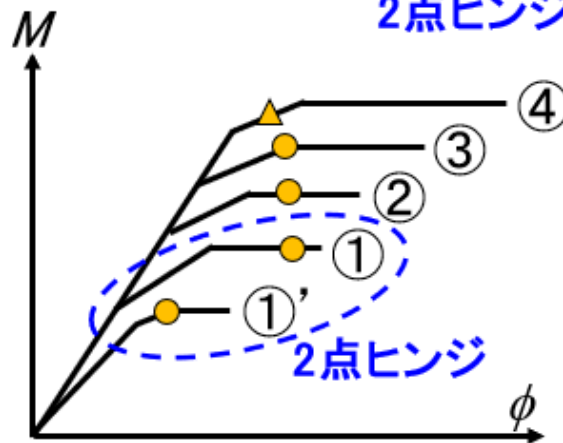
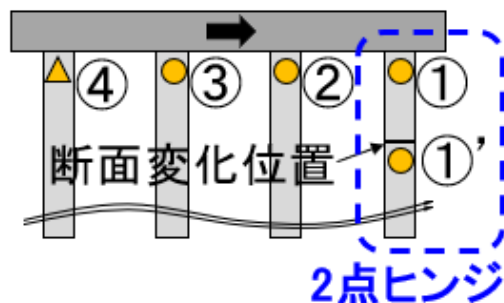
群杭フレームモデルによる鋼管杭・CFT杭の設計方法(4)

限界変形状態

(a) 1本の杭の1箇所が
限界変形に達した時



(b) 1本の杭の複数箇所が
限界耐力に達した時



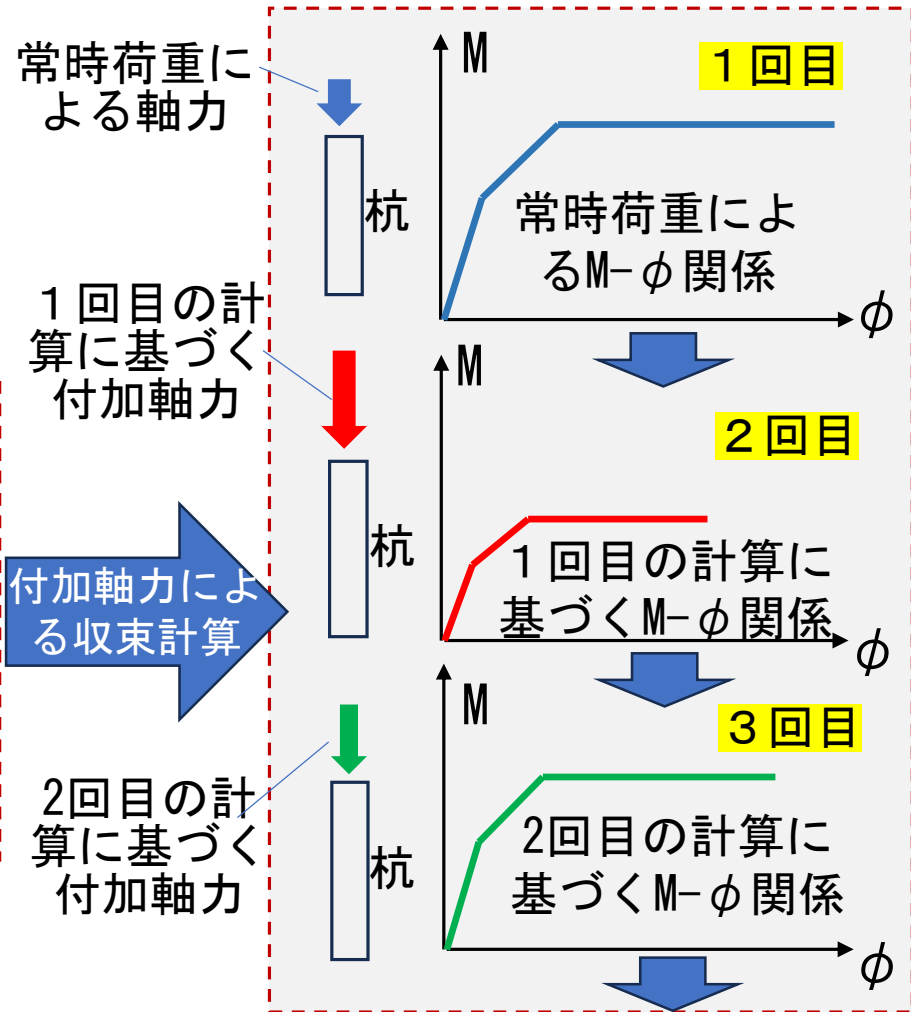
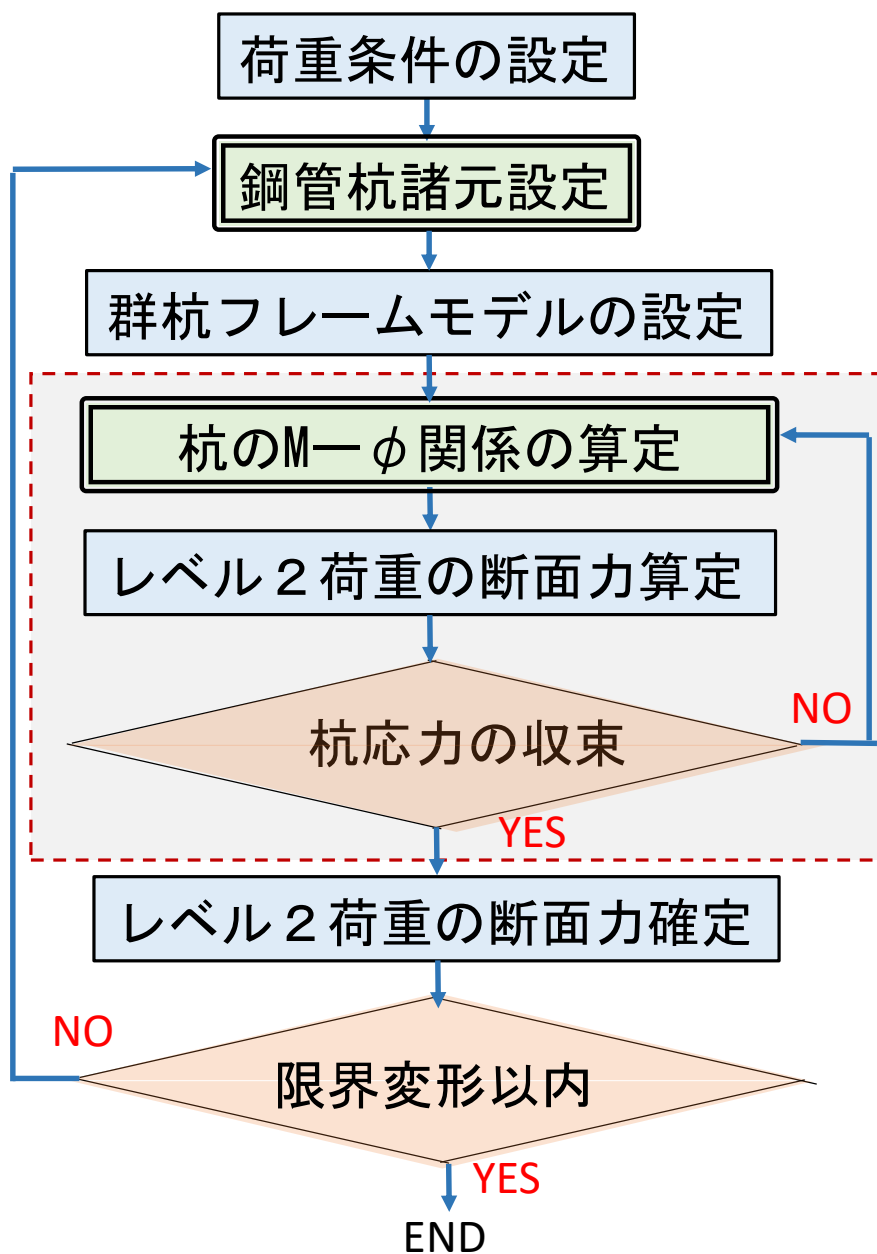
変形性能に富む鋼管杭(CFT杭)では「限界変形状態」に基づく設計により、杭の合理化を図ることが可能

<限界変形設計>

「1本の杭が限界変形に達した時点」あるいは

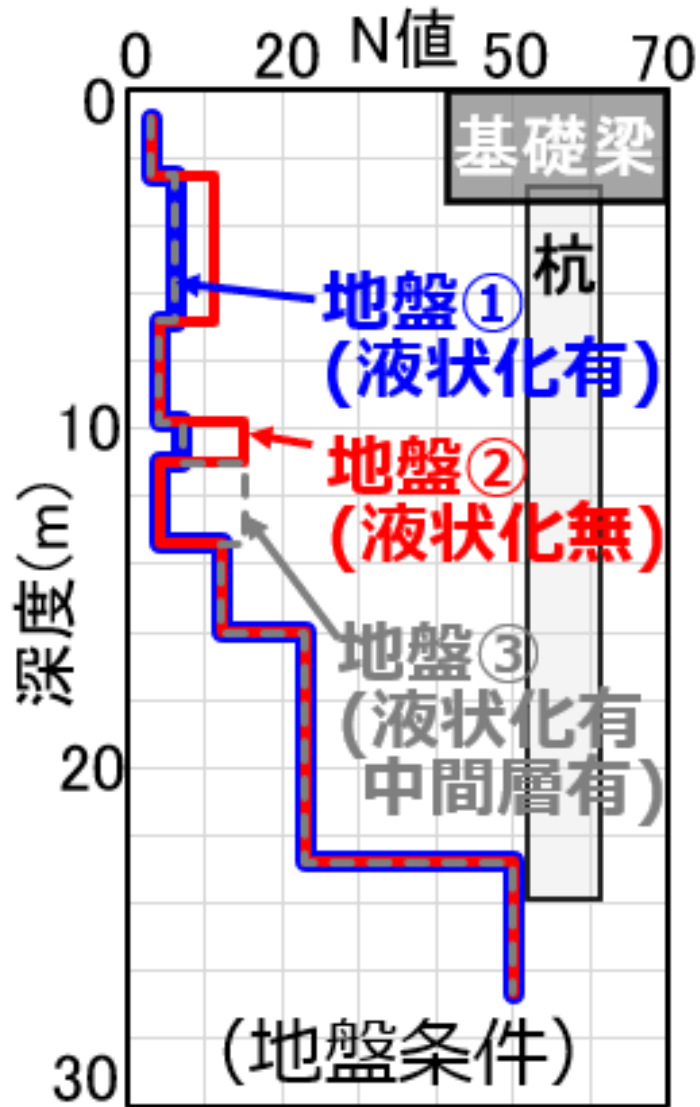
「1本の杭の複数箇所が限界耐力に達した時点」を限界状態とする。

群杭フレームモデルによる鋼管杭・CFT杭の設計方法(5)



付加軸力によって鋼管杭のM-φ関係を変化させ収束計算を実施

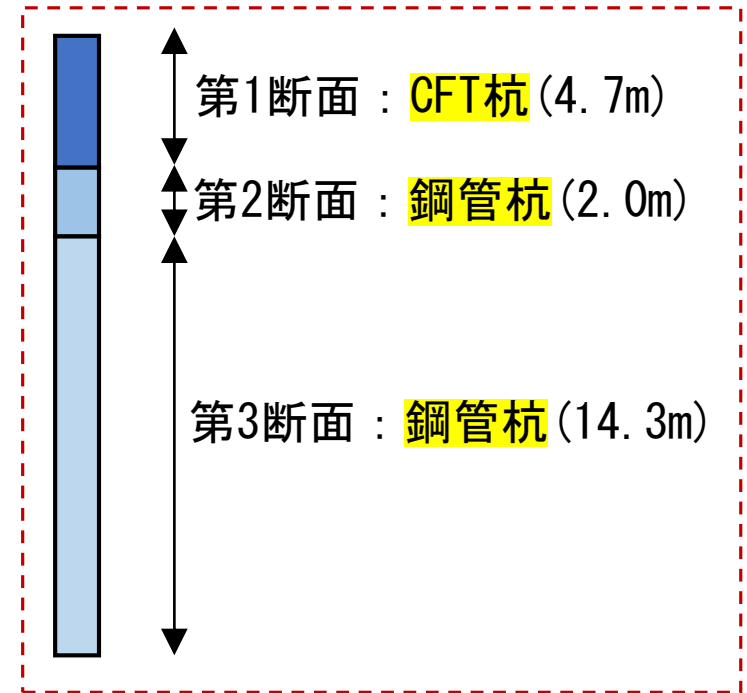
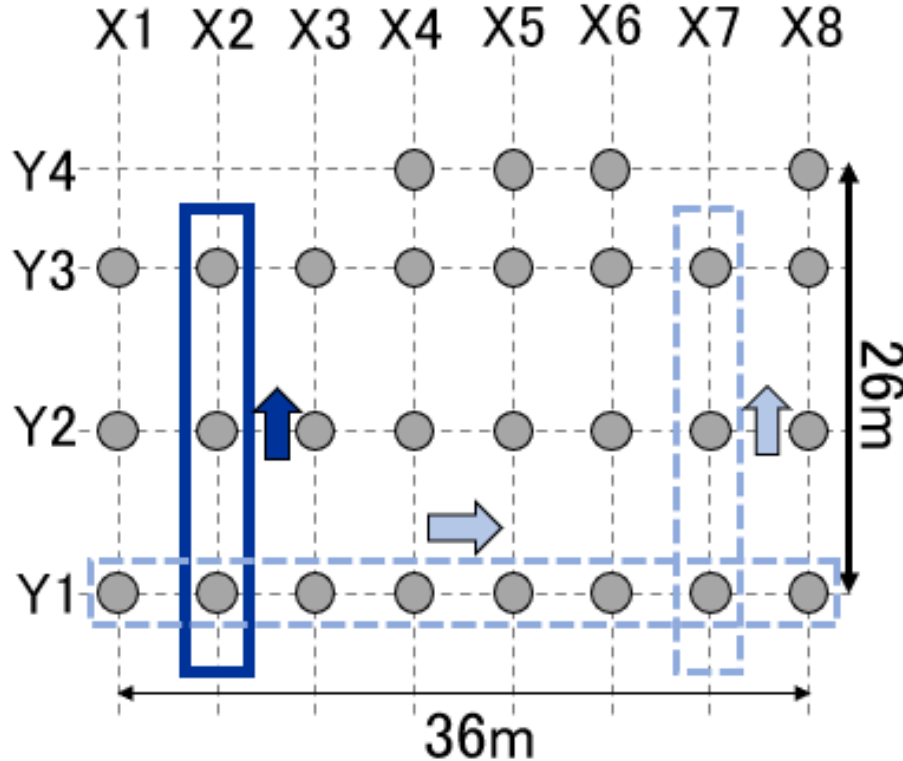
試計算事例(1)



- ・ 3種の地盤を設定し、防災拠点を想定した建物で試計算を実施。
- ・ 基礎の「限界耐力」と「限界変形」を把握する。

用途	病院
構造	鉄骨ラーメン構造
階数	地上5階(塔屋あり)
延床面積	約5000m ²
建築面積	約1000m ²
基準階平面	X方向：6.0m×6スパン Y方向：10.0m×2スパン (地上1階に低層部分有り)
固有周期	0.72秒

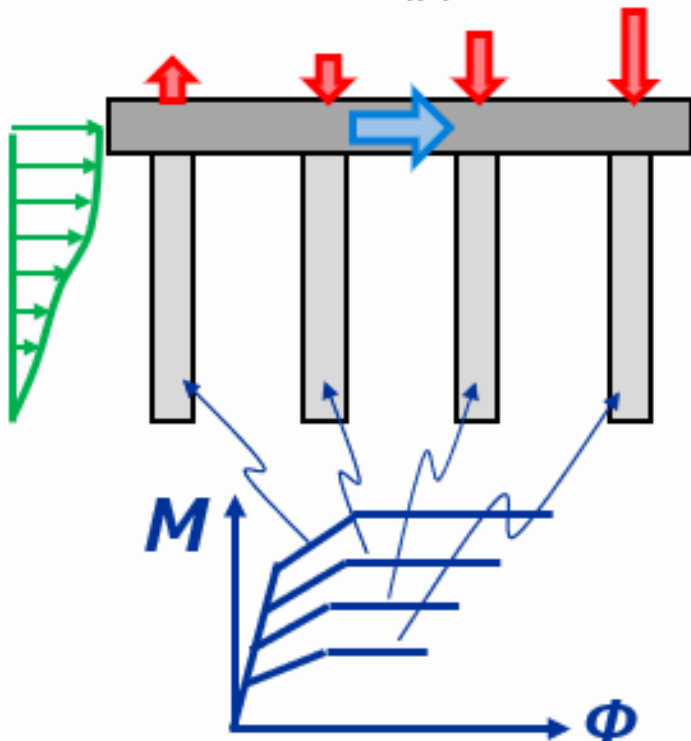
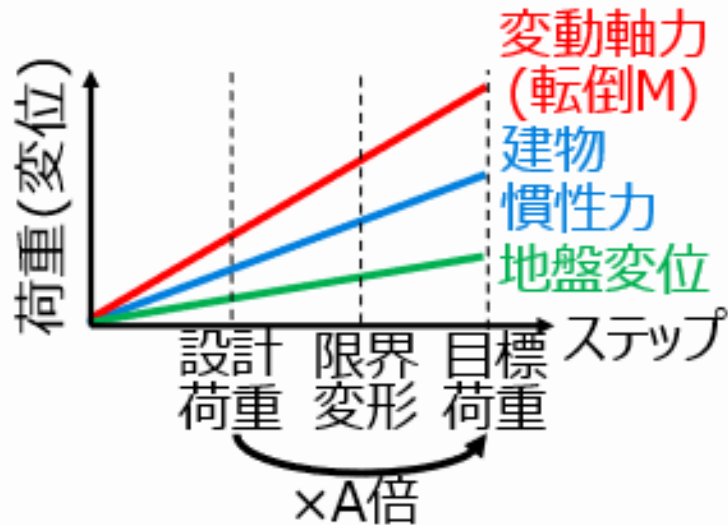
試計算事例 (2)



- ・ 杭は中掘工法の**鋼管杭**（上部**CFT杭**、下部**鋼管杭**）。1柱1杭方式。
- ・ 3種の地盤に対し現状のプラクティスによって杭断面を設計(限界耐力状態に対し若干の余裕あり)
- ・ 上図の3方向の杭列を取り出して「**限界耐力状態**」と「**限界変形状態**」を計算。

試算事例(3)

<限界変形の計算方法>



(1) 増分解析条件の設定

設計荷重（変動軸力(転倒M)、建物慣性力、地盤変位）のA倍（限界変形を超える倍率）の目標荷重を設定

(2) 増分解析の実施

各荷重を同じ比率で増加させ限界変形への到達を確認

(3) 各杭のM-φ関係の再設定

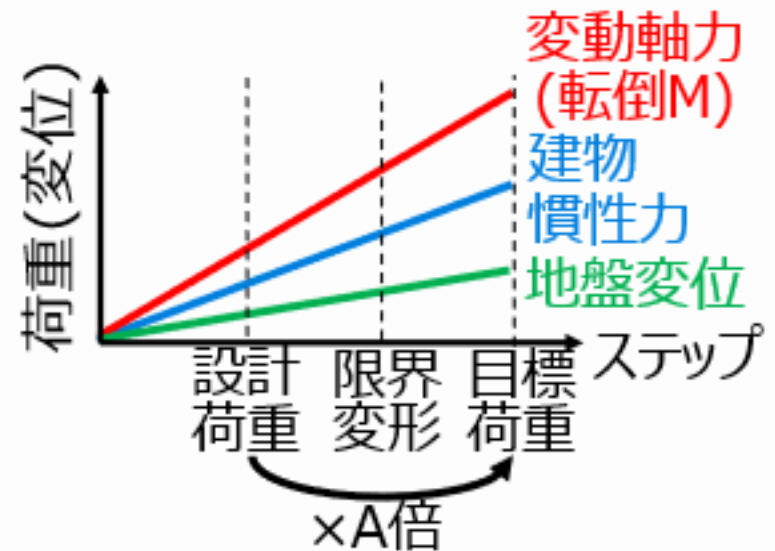
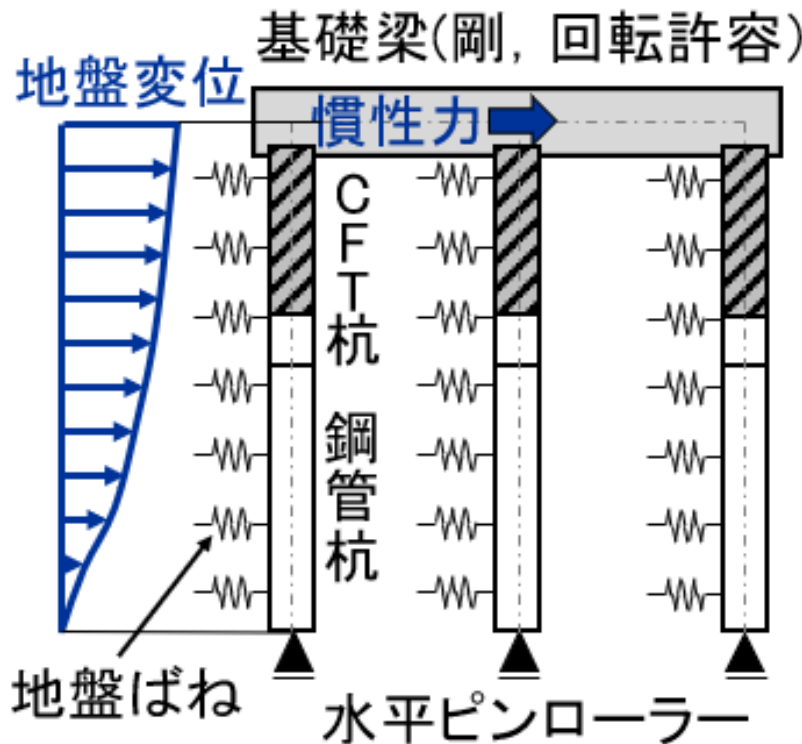
限界変形到達時の杭軸力に基づき各杭のM-φ関係を修正

(4) 増分解析の繰り返し実施

前回解析との杭軸力の差が小さくなるまで「M-φ関係の再設定→増分解析」を繰り返す

(5) 杭応力・変形の評価

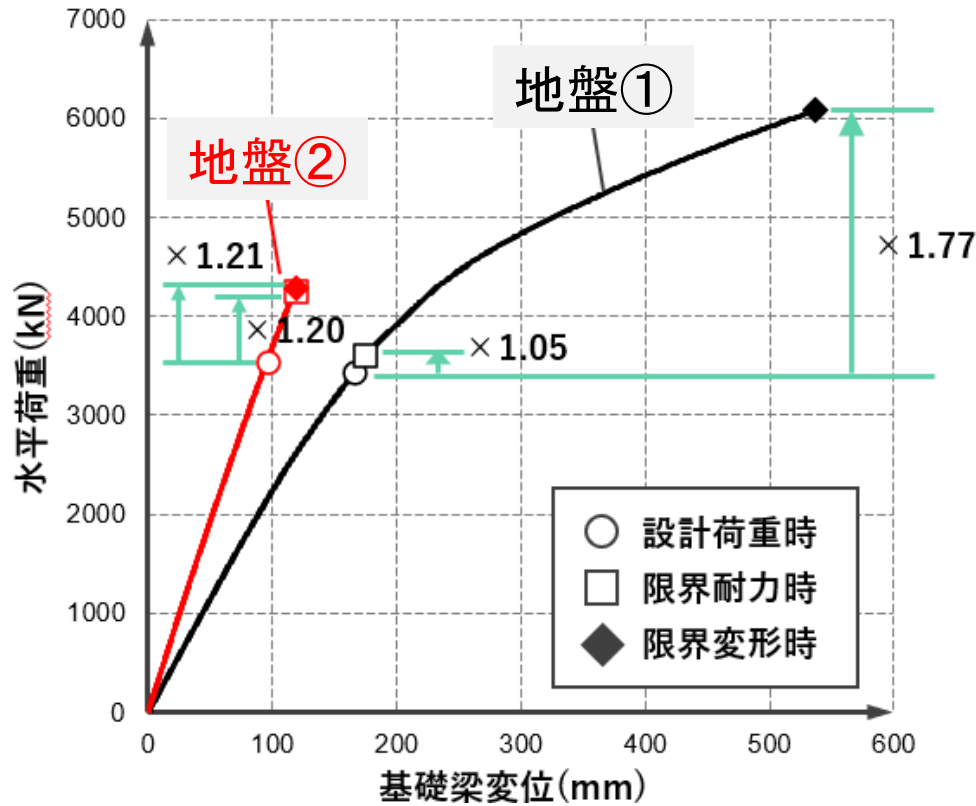
試計算事例(4)



＜限界耐力照査、限界変形照査＞

- 群杭フレームモデルを使用し、設計荷重を越える外力を作用させ、杭が「**限界耐力状態**」及び「**限界変形状態**」に達する荷重を把握する。
- 慣性力、地盤変位とも**設計荷重を比例させて**増加させる。

試算事例(5)

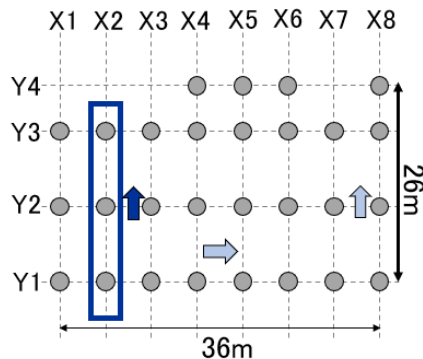


地盤	X2通り	
	限界耐力時	限界変形時
地盤① 液状化有	105%	177%
	後方(Y1) 杭頭CFT	前方(Y3) 杭頭(CFT) →第3断面S 2点ヒンジ
地盤② 液状化無	120%	121%
	前方(Y3) 第3断S	前方(Y3) 第3断S

1.69倍 (Soil 1 capacity increase)
1.01倍 (Soil 2 capacity increase)

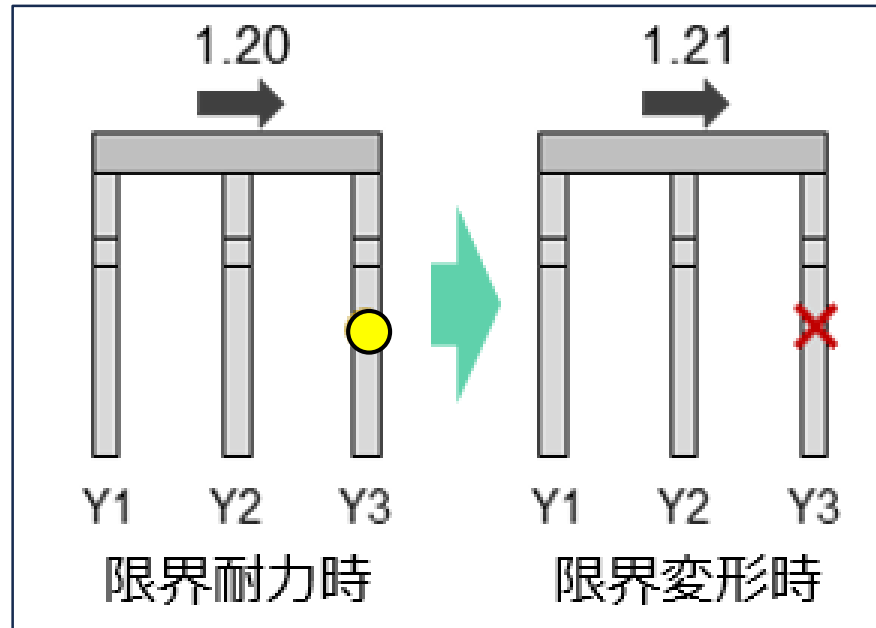
表中の数値は設計荷重との比率

基礎版変位-水平荷重関係



- ・ 地盤①では、限界耐力に対し限界変形で耐力が1.69倍に増加。
- ・ 一方、地盤②では耐力上昇は1.01倍しかなかった。

試計算事例 (7)



数字は設計荷重からの倍率
○はヒンジ、
×は限界変形

地盤②X2通り

<地盤②、X2通りの検討結果>

- ・ 限界耐力状態に対し限界変形状態の**耐力上昇は1.01倍** (1.21/1.20)。
- ・ Y3杭の地中部(鋼管部分)が限界耐力に達し、同じ位置が限界変形に達したことによる。(他の位置にヒンジは発生しなかった)

今回の地盤②の設計断面は適切ではなかった。地中部の設計断面を見直すことで、限界変形で大きな耐力上昇を見込むことが可能。

まとめ(小委員会の成果)

- CFT杭の強度と変形性能を明らかとした。
- 群杭フレームモデルに基づき、群杭の限界耐力と限界変形を確認する方法(限界耐力照査法、限界変形照査法)を示した。本方法に基づき、鋼管杭・CFT杭の変形性能を生かした二次設計が可能である。
- 「限界変形状態」をクライテリアとすることで「限界耐力状態」をクライテリアとする場合と比べ、基礎の水平耐力が大幅に増加することを確認した。
- CFT杭の変形性能を十分に活用するためには、下杭にも適切な余力を確保するなど、バランスの取れた杭断面を設定する必要があることが分かった。

今後の課題(1)

「限界変形に基づく二次設計法」確立のためには以下の検討が必要である。

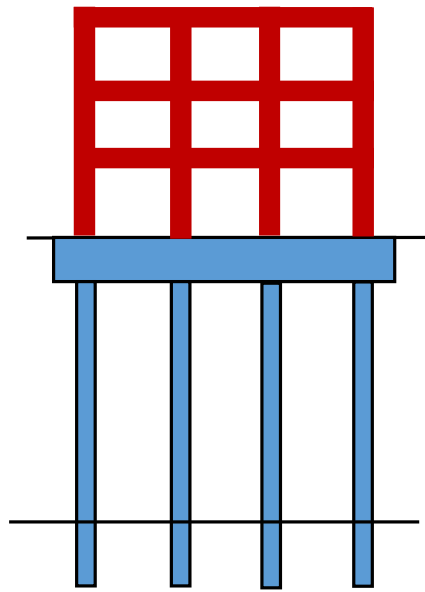
- ①上部構造と基礎構造の相互影響を踏まえた、**両者のバランスを適切に確保する設計法**の構築
- ②限界変形に対する適切な余裕度の設定。
- ③群杭フレームモデルの高度化、あるいはそれに代わる解析方法の確立（動的解析の知見の取り込みも含む）



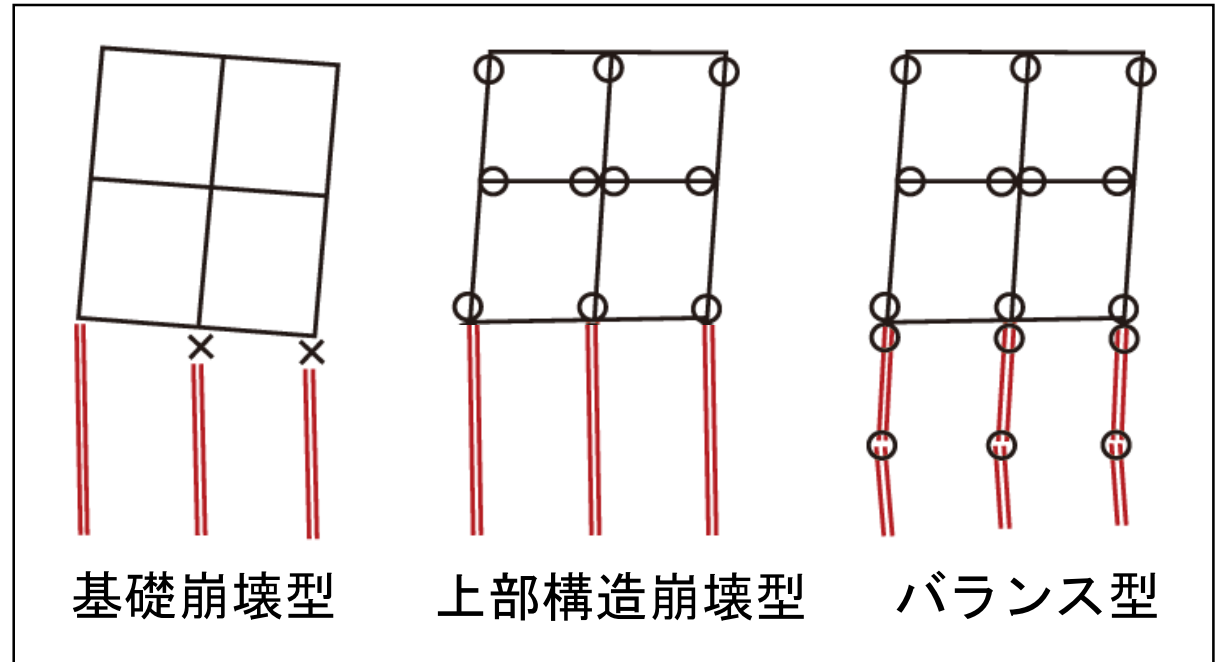
建築基礎鋼管杭の一体解析研究小委員会

2022～2025年度実施（JSSCに設置）
終了後テクニカルレポートを発刊予定

今後の課題(2)



上部・下部
一体解析モデル



基礎崩壊型

上部構造崩壊型

バランス型

- ・ 上部構造と下部構造の一体解析の実施により、**両者の相互影響**を把握する。
- ・ それを踏まえて、上部構造と下部構造の**耐力と変形性能のバランス**はどうあるべきか検討する。

テクニカルレポートNo. 127の購入方法

日本学術会議協力学術研究団体
一般社団法人 日本鋼構造協会
Japanese Society of Steel Construction

最新号「2023年度 鋼構造技術者育成講習会」開催のご案内

最先端の鋼構造技術で明日を拓く

土木鋼構造 診断士・補 建築鉄骨 技術者 講習会 公募・共同 業績表彰 研究助成 論文集 シンポジウム ステンレス構造

お知らせ

- 2024.01.05 **NEW** 会長ごあいさつを更新しました。
- 2023.12.27 **NEW** 鋼構造論文集が刊行されました。(2023年12月号(30巻120号))
- 2023.12.13 **NEW** 2023年度建築鉄骨に係る資格試験合格者の方への領収書(インボイス対応)ご送付について
- 2023.11.15 **NEW** 2024年度 業績表彰候補の募集を開始しました。
- 2023.11.09 『2023年度 関西地区技術者育成講習会 見学会』開催のご案内
- 2023.11.01 委員会活動状況ページを開設しました。
- 2023.10.19 『鋼構造年次論文報告集第31巻(CD)』の事前予約販売の受付を開始しています。(当初:11月6日(月)14:00まで)
- 2023.10.10 『2023年度 建築高力ボルト接合管理技術者』【特例】の申し込みを開始しました。
- 2023.10.12 『2023年度 関西地区特別講演会』(11月9日)開催のご案内
- 2023.10.05 鋼構造シンポジウム2023 サイトをオープンしました。
- 『第48回 鉄骨建築技術討論会』開催のご案内
開催日:10月19日(木)、20日(金)
会場 :市ヶ谷自動車会館 2階大会議室
- 『わかりやすい鉄骨の構造設計(第五版)』が発刊されました。
(発行:技報堂出版社)
注文は以下リンクよりお願いいたします。(会員特価が設定されています)
OJSSC会員の方:会員専用フォームより(もしくはチラシ)から
O非会員の方 :技報堂出版社HPより
- 2023.07.26 <JSSC会員先行>
『2023年度 鋼構造技術者育成講習会』申込受付を開始しました。
- 2023.06.20 『2023年度 建築高力ボルト接合管理技術者』【更新】の申し込みを開始しました。
- 2023.06.15 『2023年度 建築高力ボルト接合管理技術者』【新規】の申し込みを開始しました。
- 2023.06.15 『2023年度 鉄骨工事管理責任者』【更新】の申し込みを開始しました。
- 2023.06.15 『2023年度 鉄骨工事管理責任者』【新規】の申し込みを開始しました。

会員マイページ
(入会申込みはこちらから)

マイページ使用方法等

委員会活動状況

溶融亜鉛めっきJISの改正に伴う、ターンバックルJISとアンカーボルトJISの対応方法について

鋼構造シンポジウム

土木鋼構造診断士・補

建築鉄骨技術者

刊行物

入会案内

ステンレス構造

日本鉄鋼連盟受託

JSSC No.127
テクニカル
レポート 2022

建築基礎鋼管杭の二次設計法 に関する技術説明資料

2022年8月

一般社団法人 日本鋼構造協会

日本鋼構造協会HPのバーナー「刊行物」をクリック

ご清聴ありがとうございました。