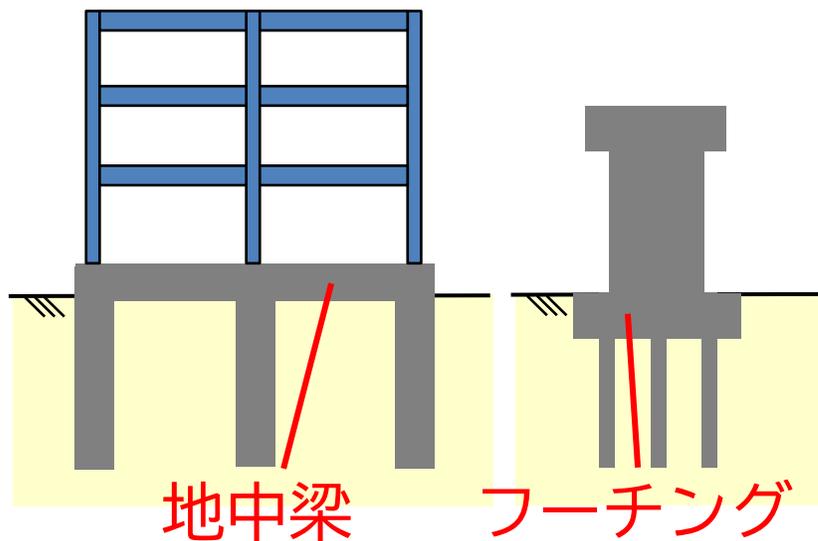


地中梁の無い鉄道構造物における 杭基礎の水平地盤抵抗特性の評価法

構造物技術研究部 建築研究室
研究員 土井 一郎

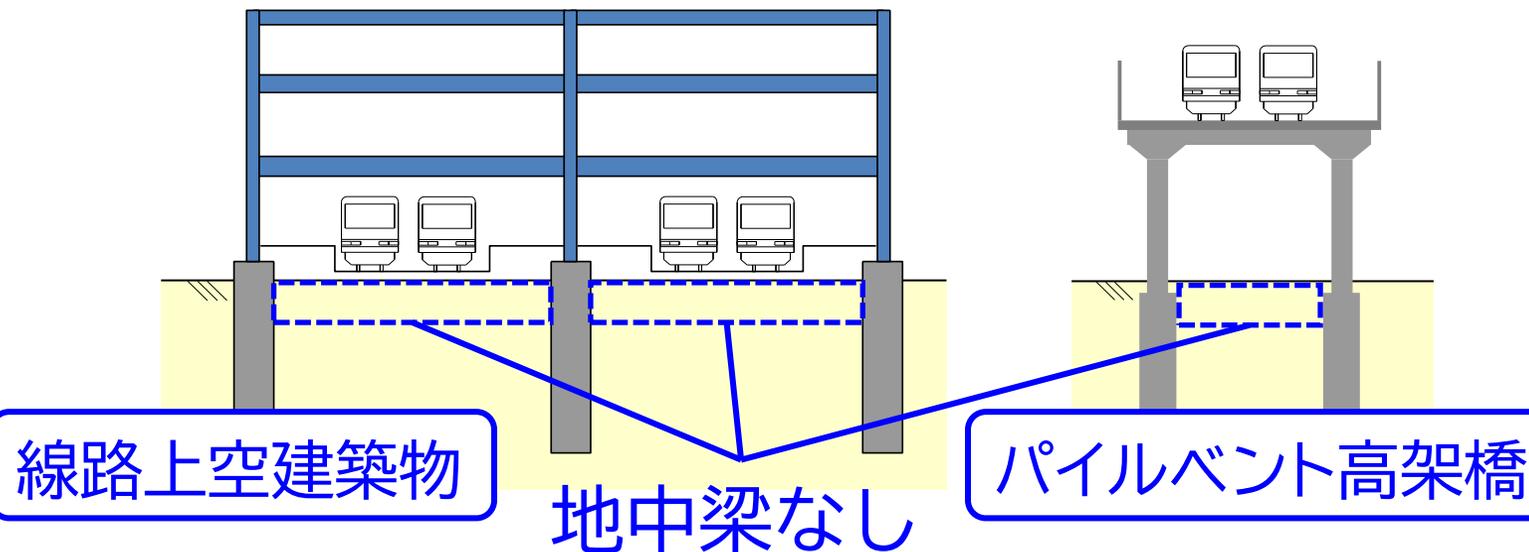
背景・目的

従来の群杭の 水平地盤抵抗特性の評価



地中梁やフーチングのある
建築物や構造物が対象

鉄道特有の建築物・構造物



鉄道建築・構造物に見られる地中梁のない形式
◆ 従来の群杭の水平地盤抵抗の評価法では
地中梁の条件が未考慮

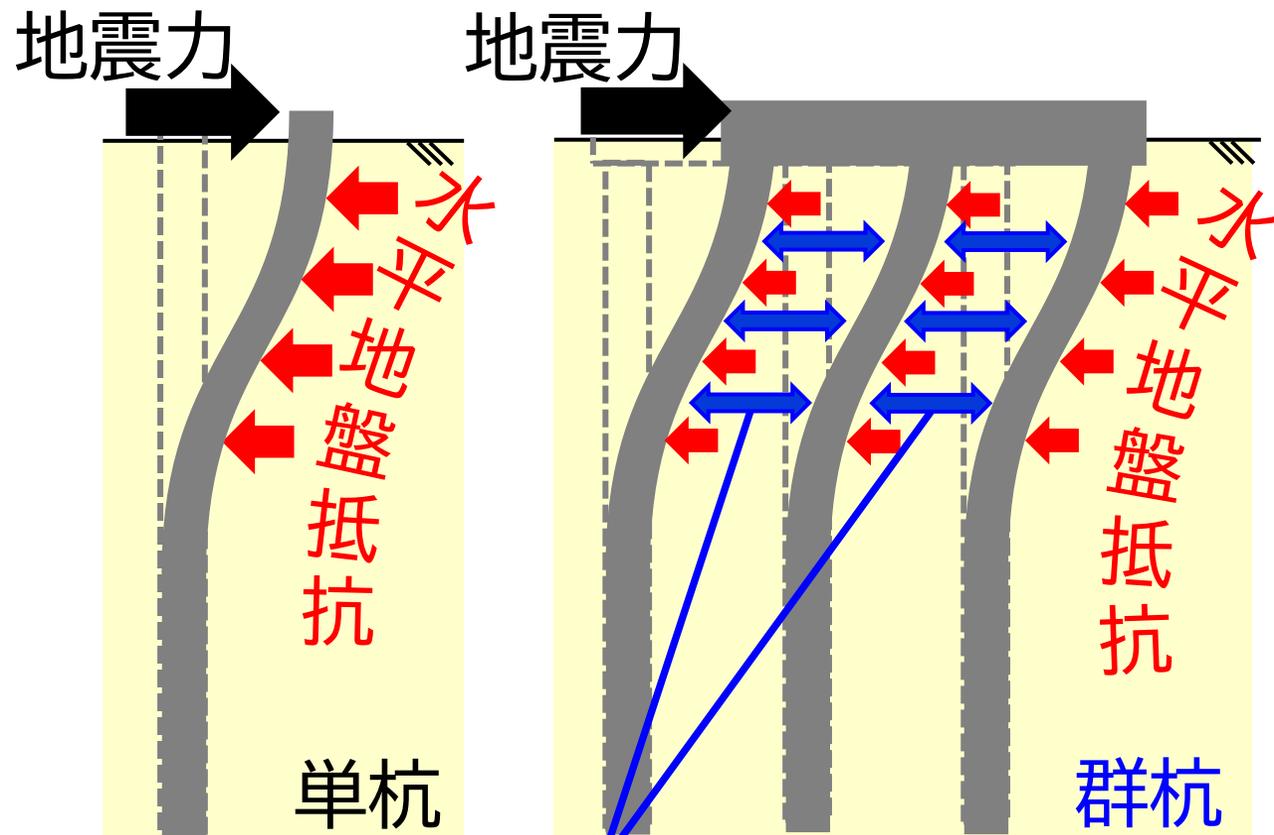
地中梁が水平地盤抵抗特性に与える影響の評価とメカニズムの解明

1. 群杭の水平地盤抵抗特性
2. 模型実験とFEM解析によるメカニズムの解明
3. 水平地盤抵抗特性の評価
4. まとめと成果の活用

1. 群杭の水平地盤抵抗特性
2. 模型実験とFEM解析によるメカニズムの解明
3. 水平地盤抵抗特性の評価
4. まとめと成果の活用

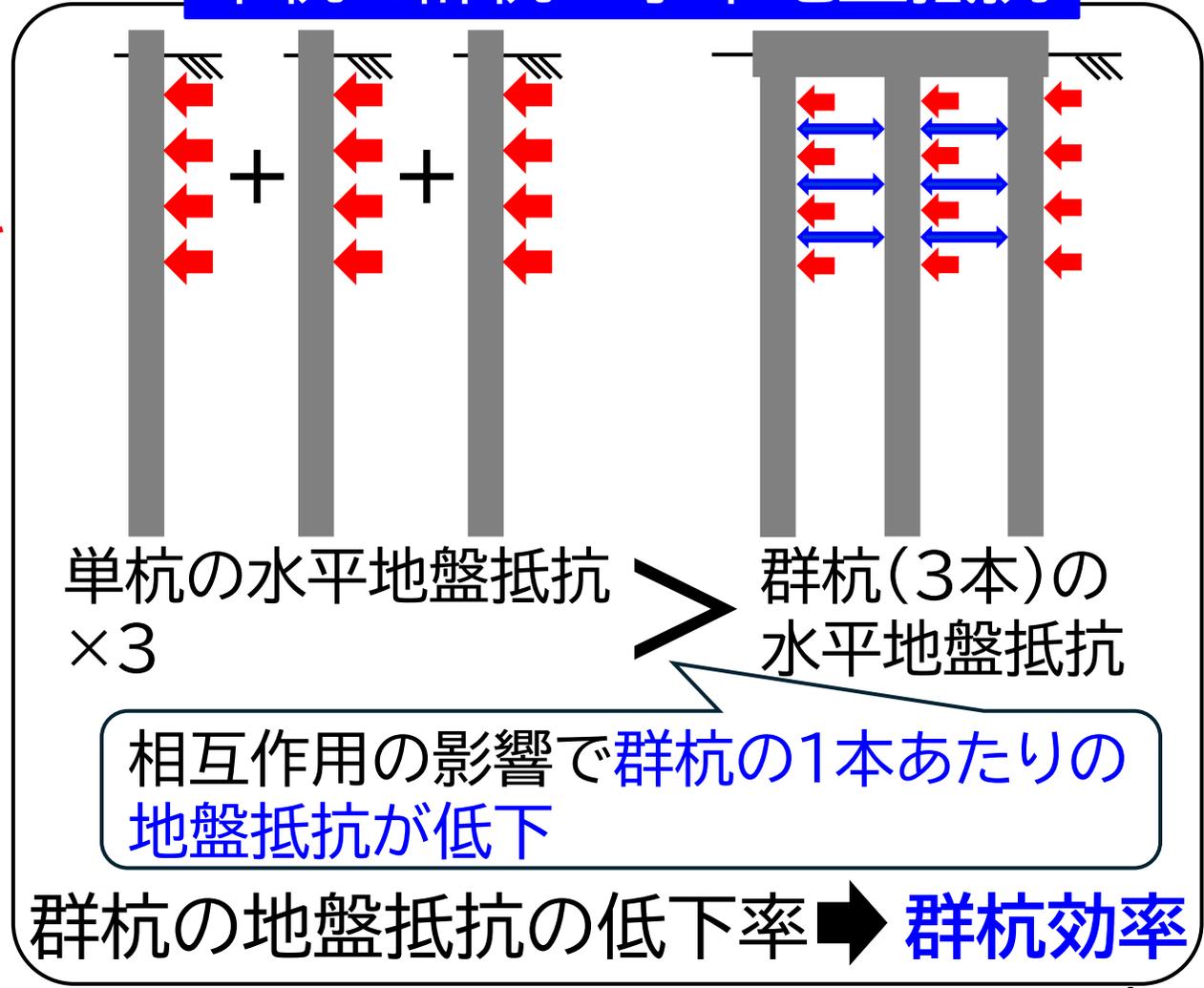
1. 群杭の水平地盤抵抗特性

◆ 群杭の水平地盤抵抗



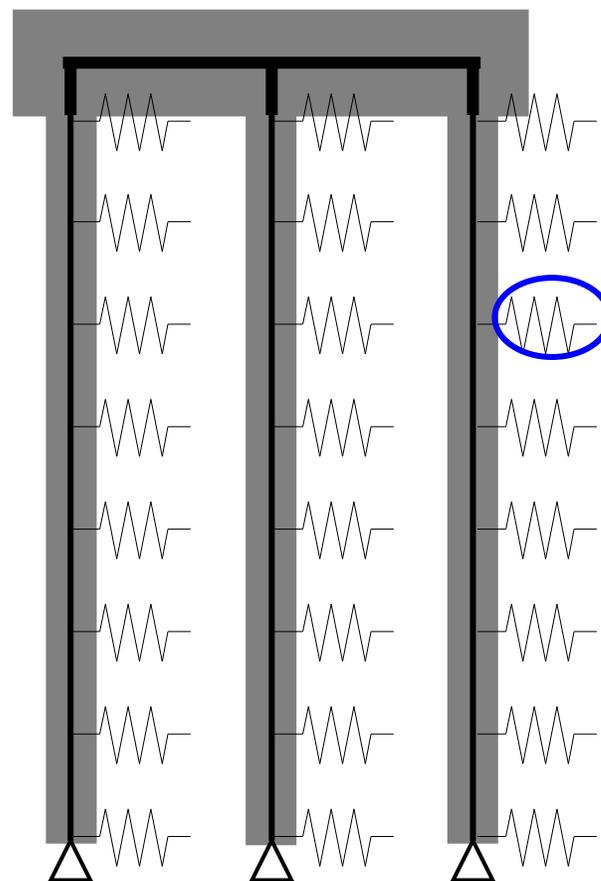
地震時に地盤を介して杭同士の相互作用が生じる⇒群杭効果

単杭と群杭の水平地盤抵抗



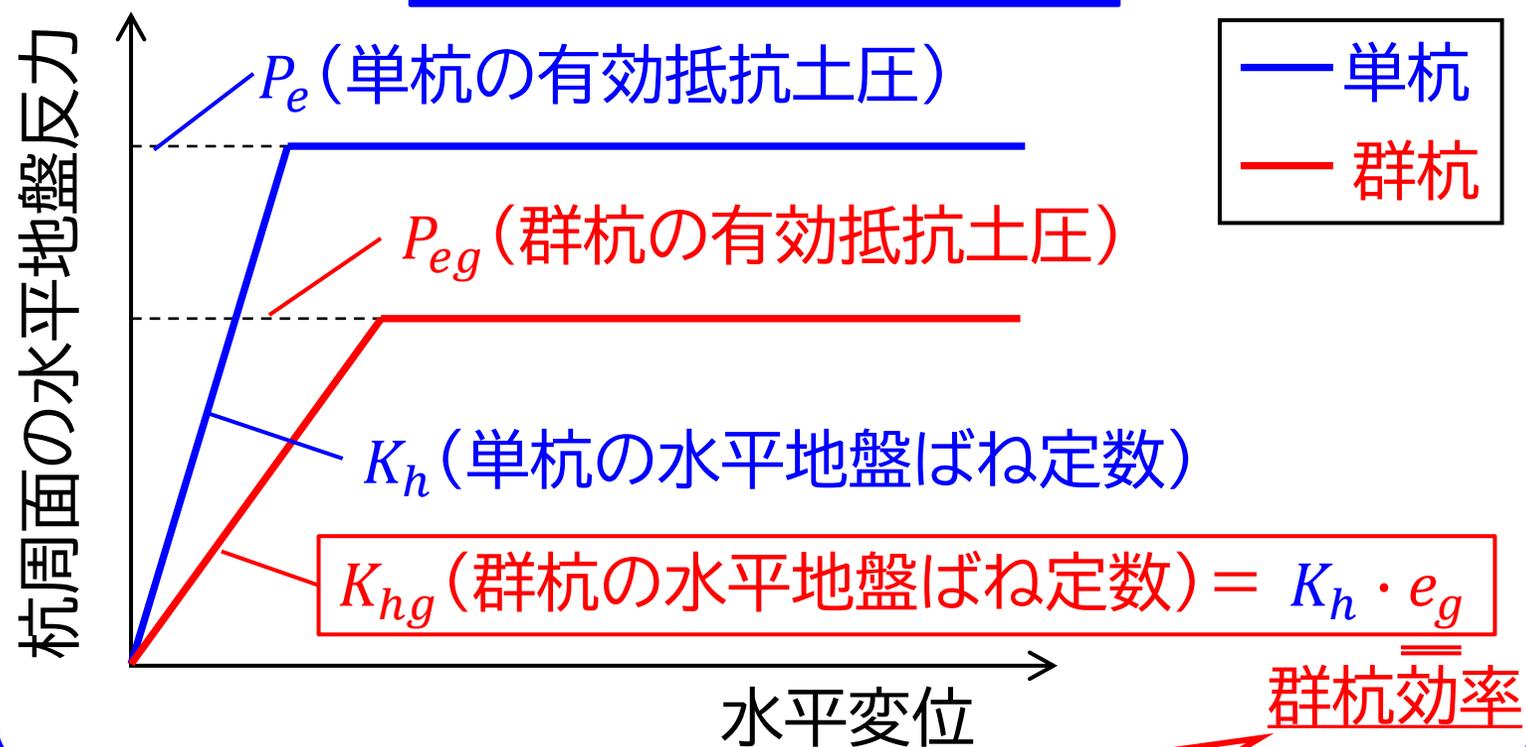
1. 群杭の水平地盤抵抗特性

◆ 設計における水平地盤抵抗のモデル化



構造解析モデル

水平地盤抵抗モデル



本研究では水平地盤ばね定数の群杭効率に着目

1. 群杭の水平地盤抵抗特性

◆ 群杭効率の評価

- 各分野で評価式が異なる

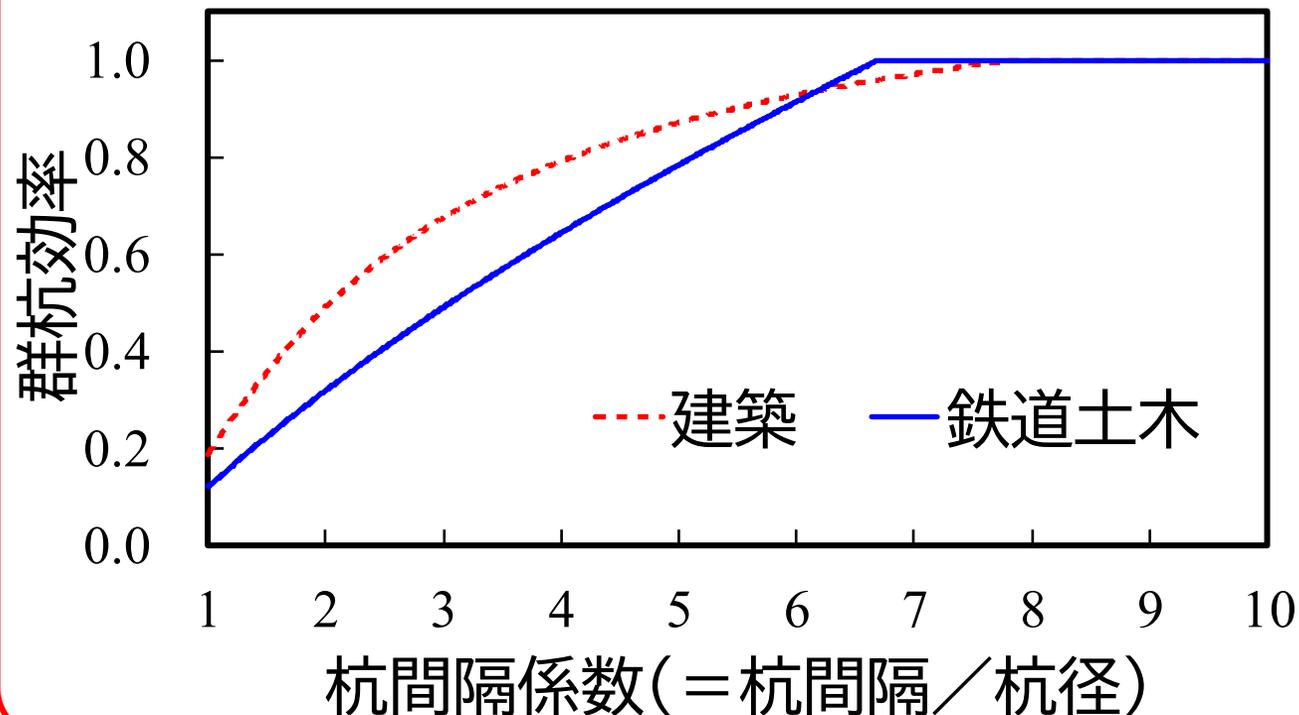
- 評価式のパラメータ

建築: 杭本数・杭間隔係数

鉄道土木: 各方向の杭本数、杭間隔係数、杭頭固定度(定数)

地中梁の有無のほか、杭・地盤の特性の影響は未考慮

各分野の群杭効率の評価式(9本杭)



➡ 模型実験とFEM解析によってメカニズムを解明し影響する因子を特定

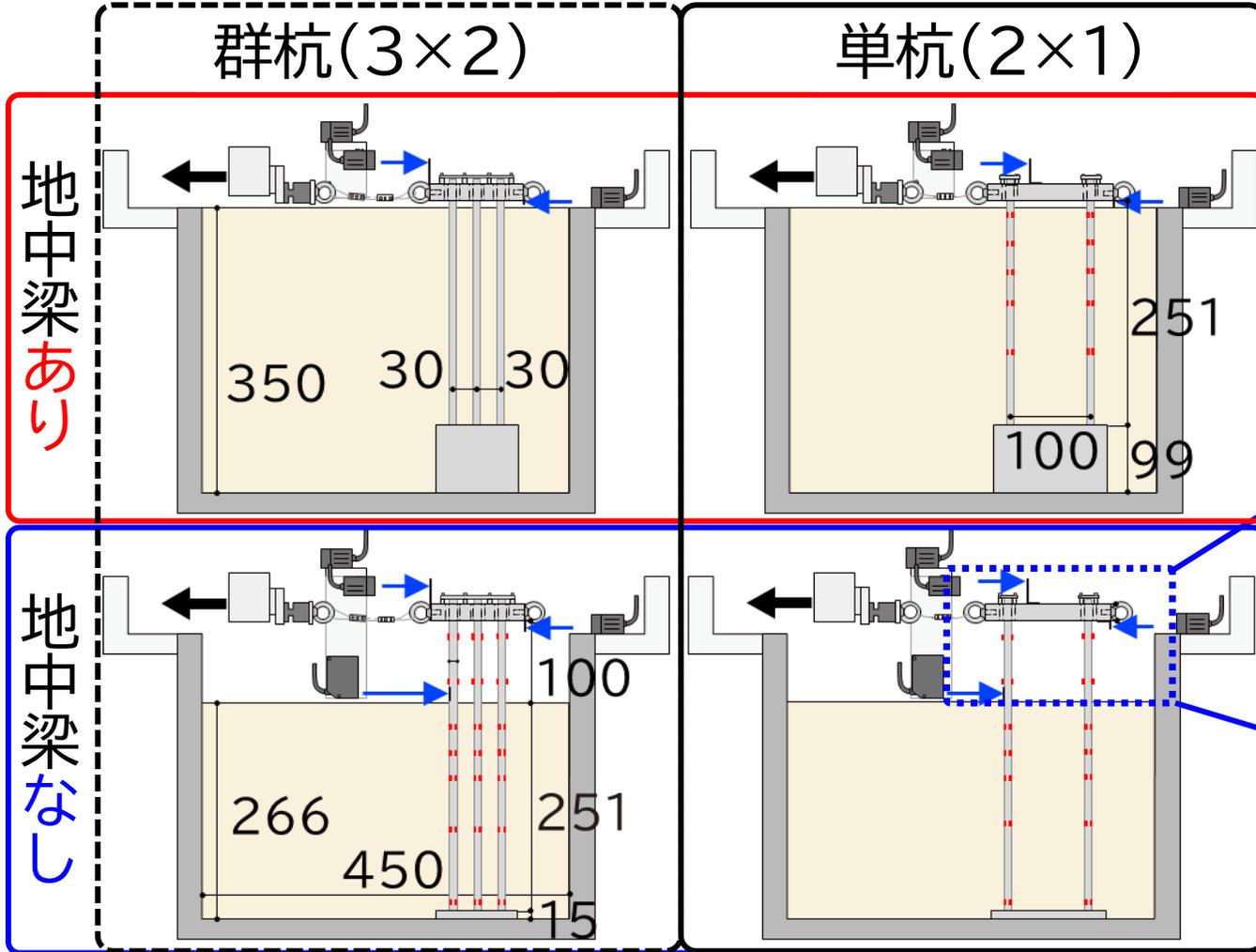
1. 群杭の水平地盤抵抗特性
2. 模型実験とFEM解析によるメカニズムの解明
3. 水平地盤抵抗特性の評価
4. まとめと成果の活用

2. 模型実験とFEM解析によるメカニズムの解明

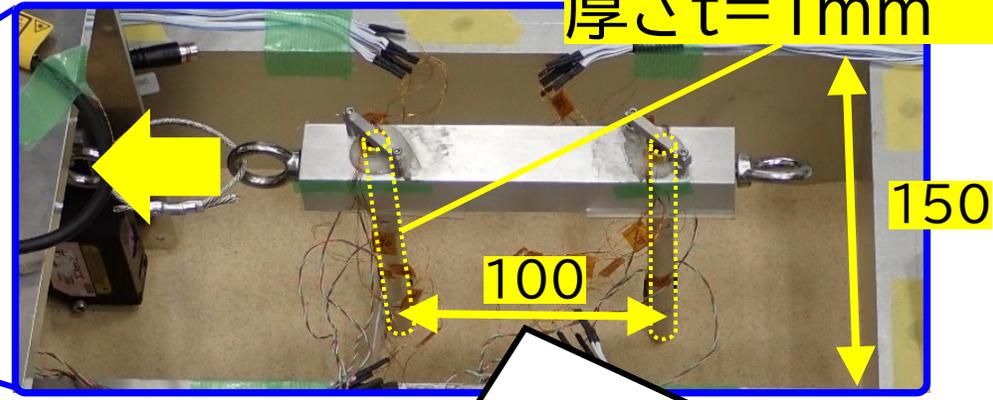
◆ 遠心模型実験

単位mm

- 縮尺: 1/50 (遠心力50G)
- 実験ケース: 地中梁の有無および、群杭と単杭の4ケース
- ※ 地中梁無しの場合は柱も含む
- 地盤: 気乾豊浦砂、相対密度60%
- 杭: アルミパイプ



杭径φ10mm
厚さt=1mm

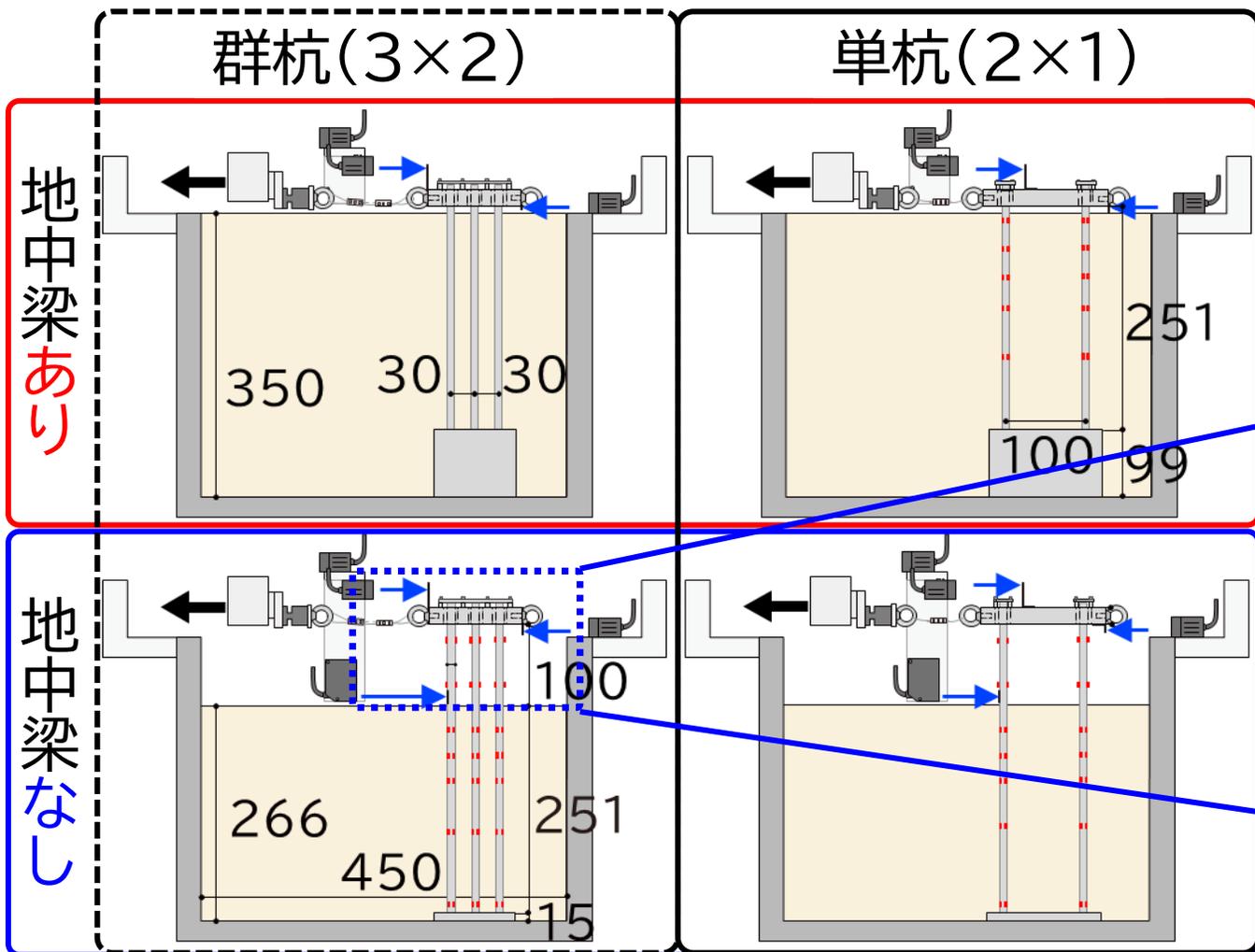


杭間隔を杭径の10倍にすることで、杭頭固定の単杭に近い挙動を再現

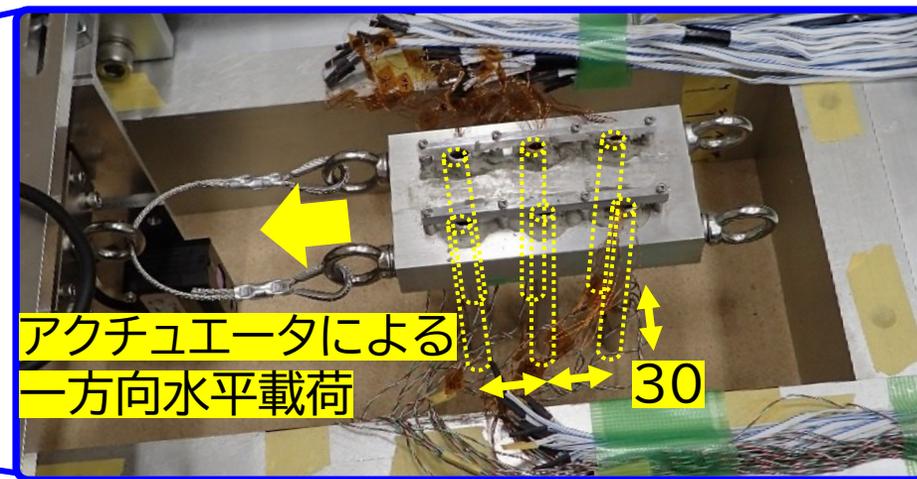
2. 模型実験とFEM解析によるメカニズムの解明

◆ 遠心模型実験

単位mm

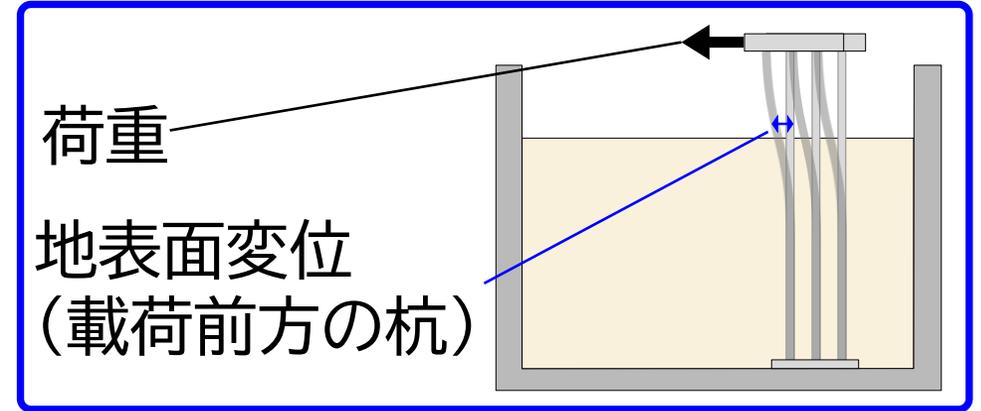
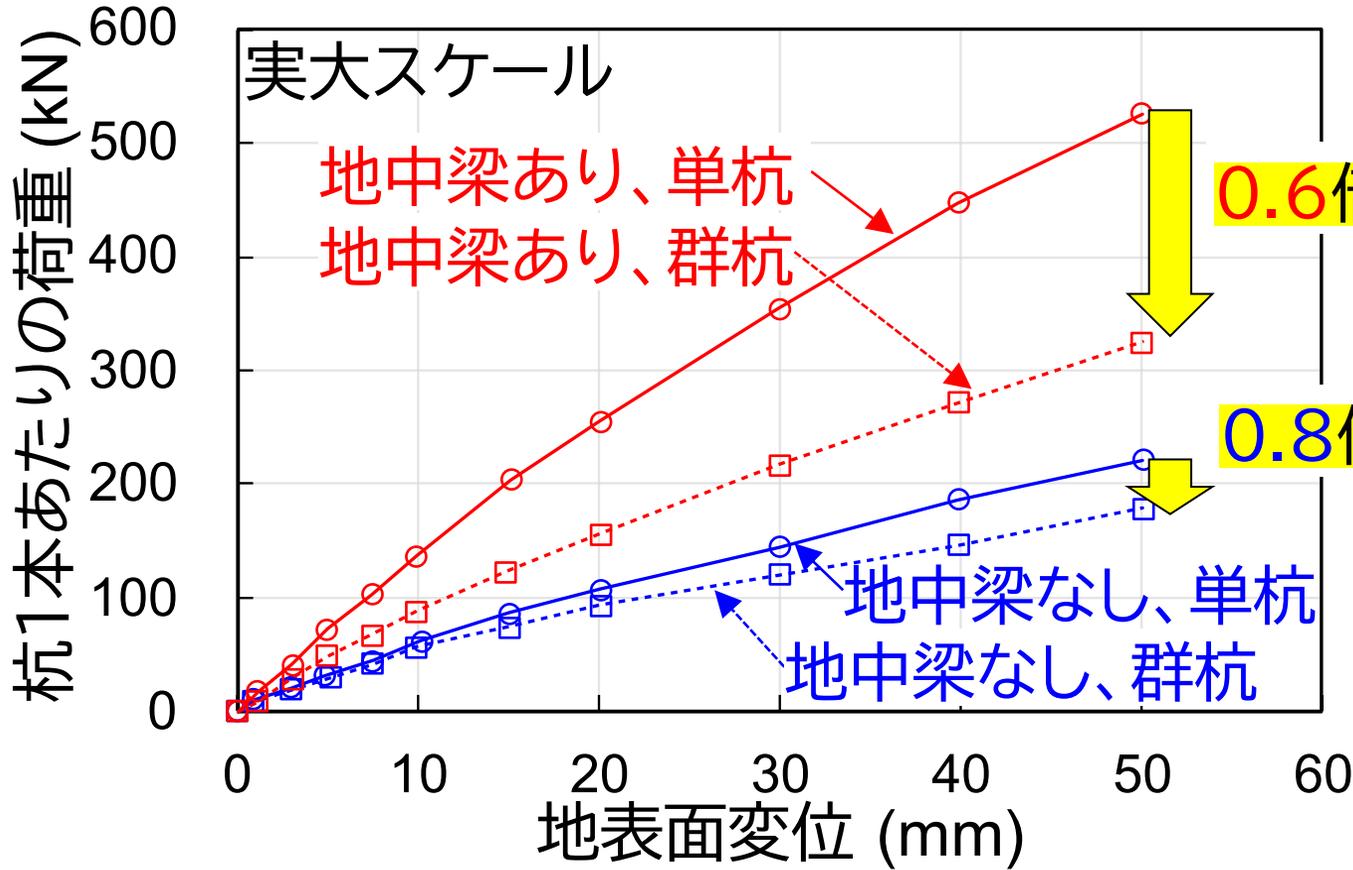


- 測定項目: 杭のひずみ
- 変位計: 杭の変位(載荷点、地表面)
- ひずみゲージ: 載荷荷重
- 載荷条件: 一方向静的水平載荷
- 最大地表面変位: 1mm(実大50mm)



2. 模型実験とFEM解析によるメカニズムの解明

◆ 実験結果(荷重—変位関係)



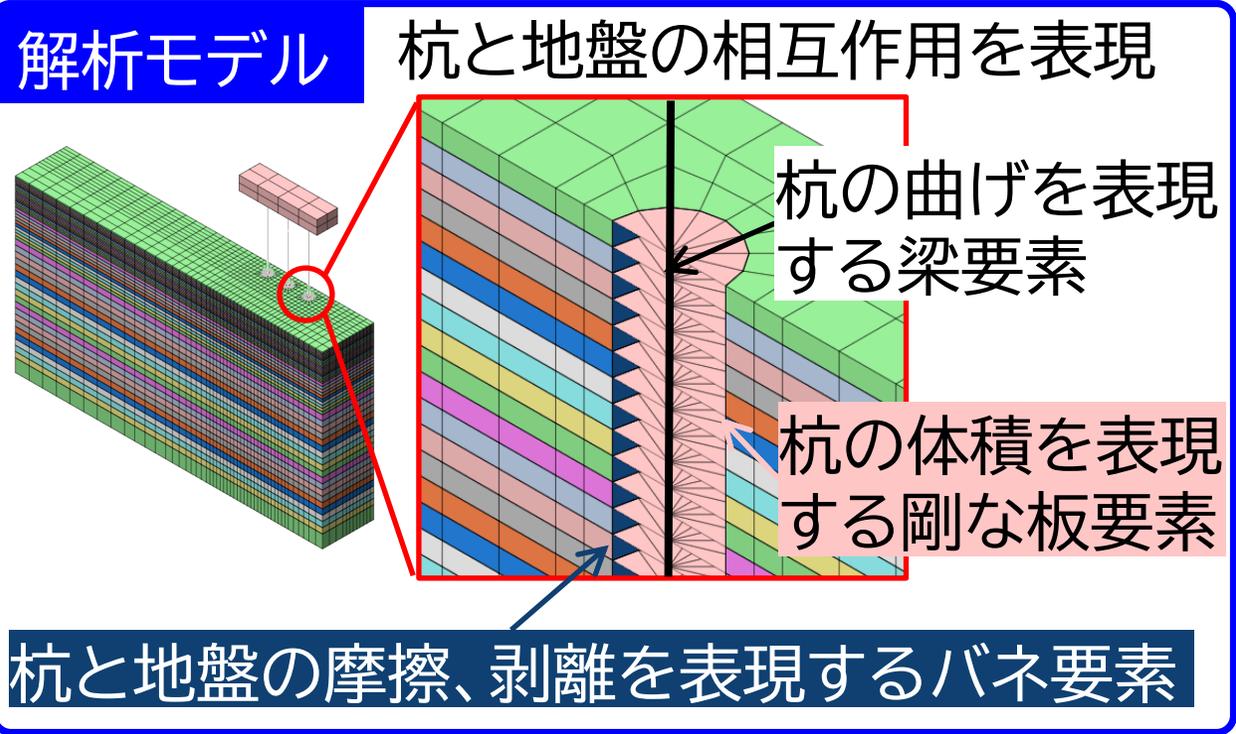
単杭に対する群杭の水平地盤抵抗の低下率(群杭効率)

地中梁が無い場合に群杭効率が向上することを確認

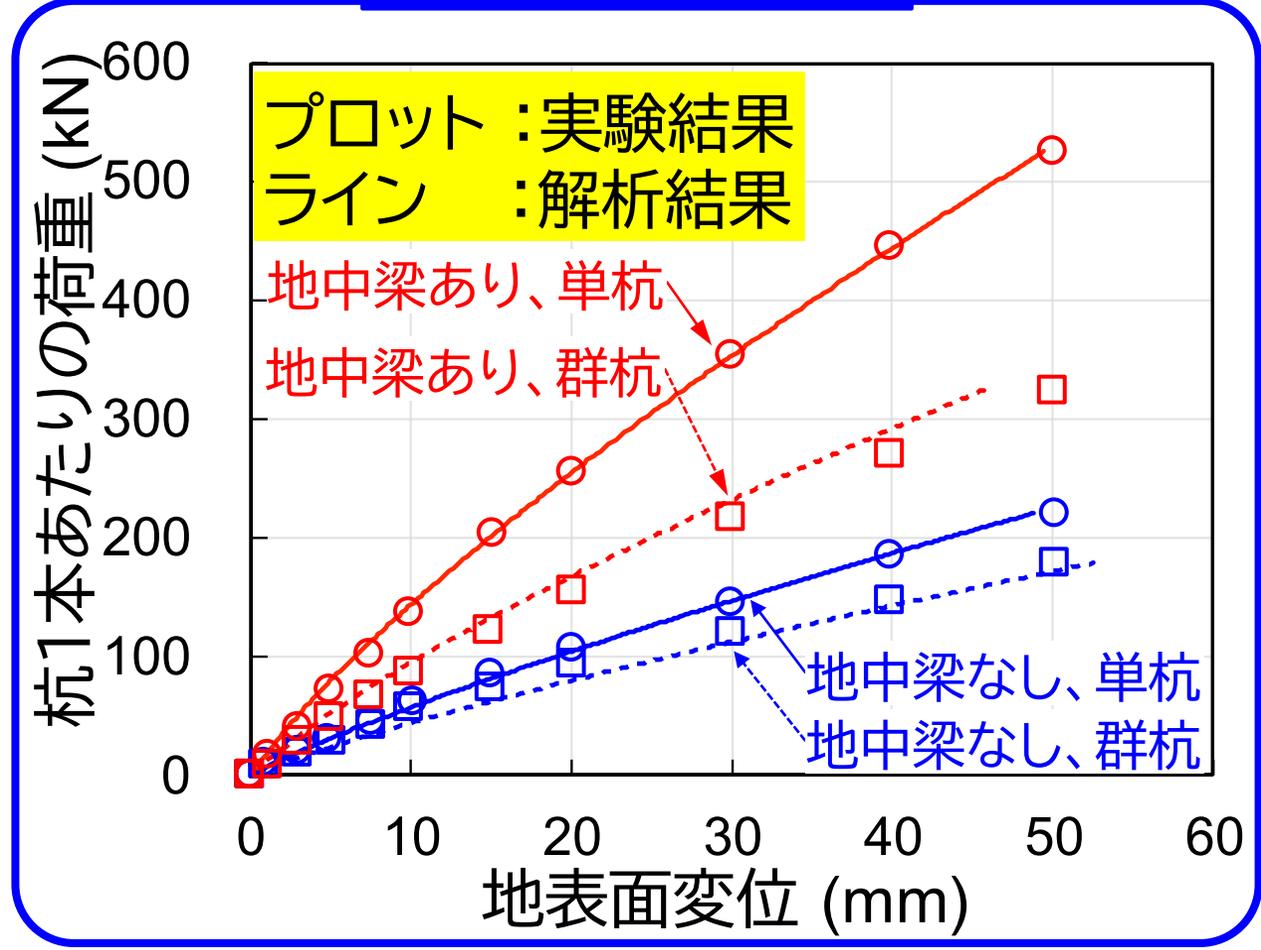
2. 模型実験とFEM解析によるメカニズムの解明

◆ 3次元弾塑性FEMによる再現解析

実験結果との比較



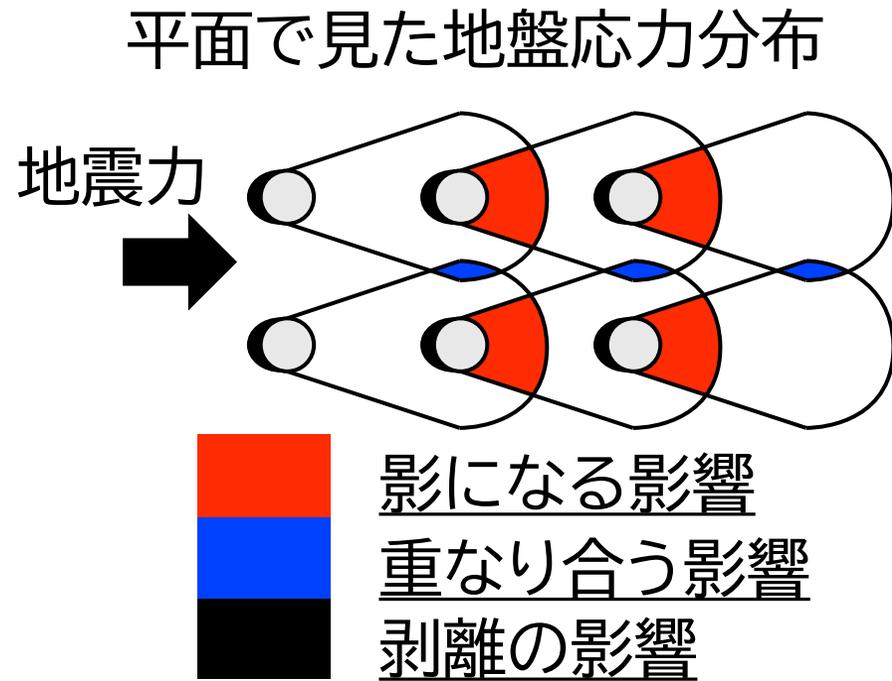
解析モデルの妥当性を確認



2. 模型実験とFEM解析によるメカニズムの解明

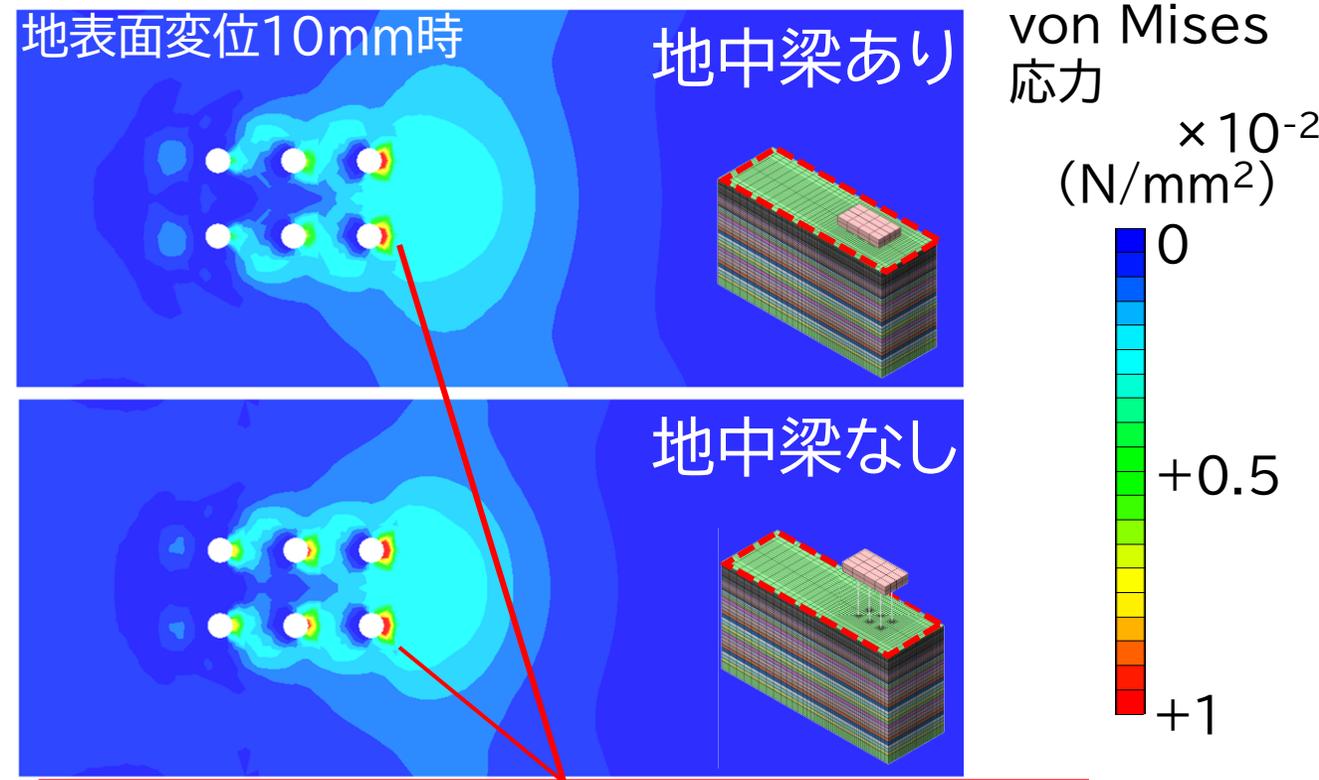
◆ 地中梁の有無による地盤応力分布の変化

基本的な群杭効率のメカニズム



杭周辺地盤の応力干渉が原因

水平断面の地盤応力分布の解析結果

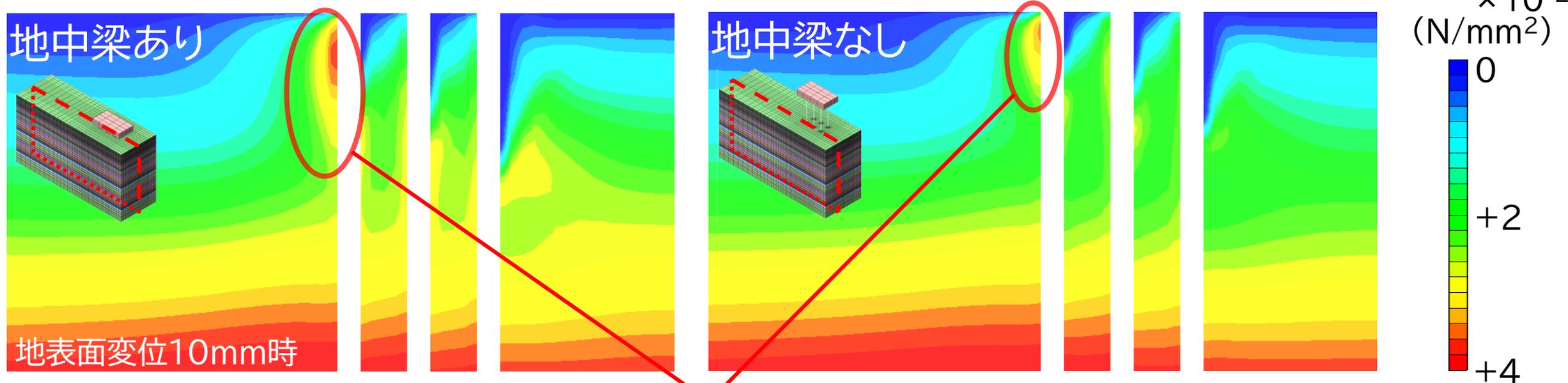


杭周辺地盤の応力に大きな変化なし

2. 模型実験とFEM解析によるメカニズムの解明

◆ 地中梁の有無による地盤応力分布の変化

鉛直断面の地盤応力分布の解析結果



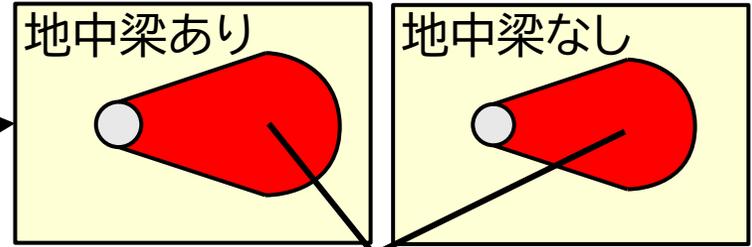
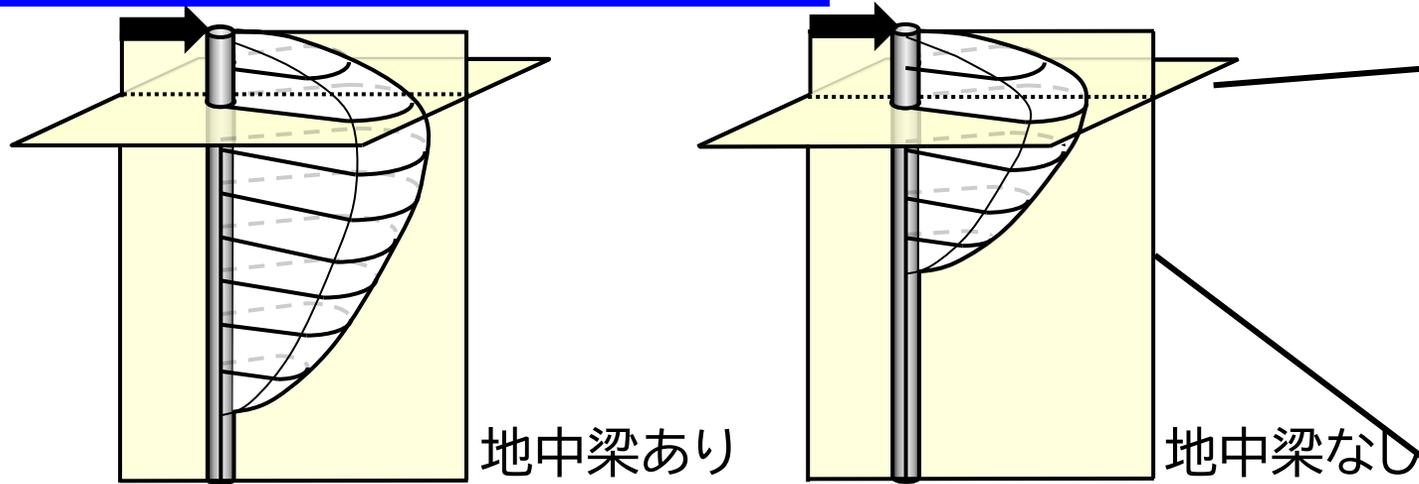
杭周辺地盤の深さ方向の応力範囲が変化

従来考えられていた水平断面ではなく、鉛直断面の応力分布が影響

2. 模型実験とFEM解析によるメカニズムの解明

◆ 地中梁の有無が群杭効率に影響するメカニズム

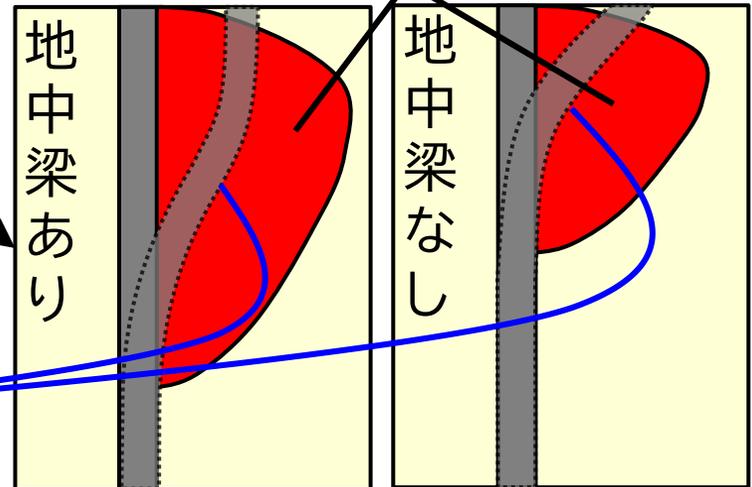
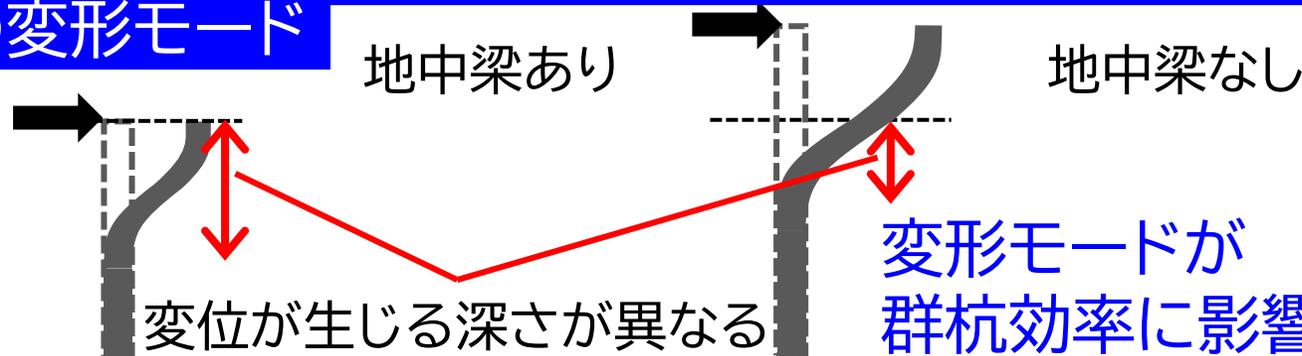
杭周辺の3次元地盤応力分布



水平方向の分布は同様

鉛直方向の分布は異なる

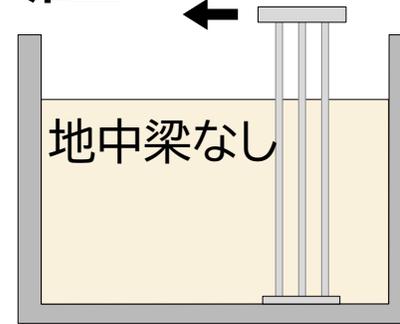
杭の変形モード



2. 模型実験とFEM解析によるメカニズムの解明

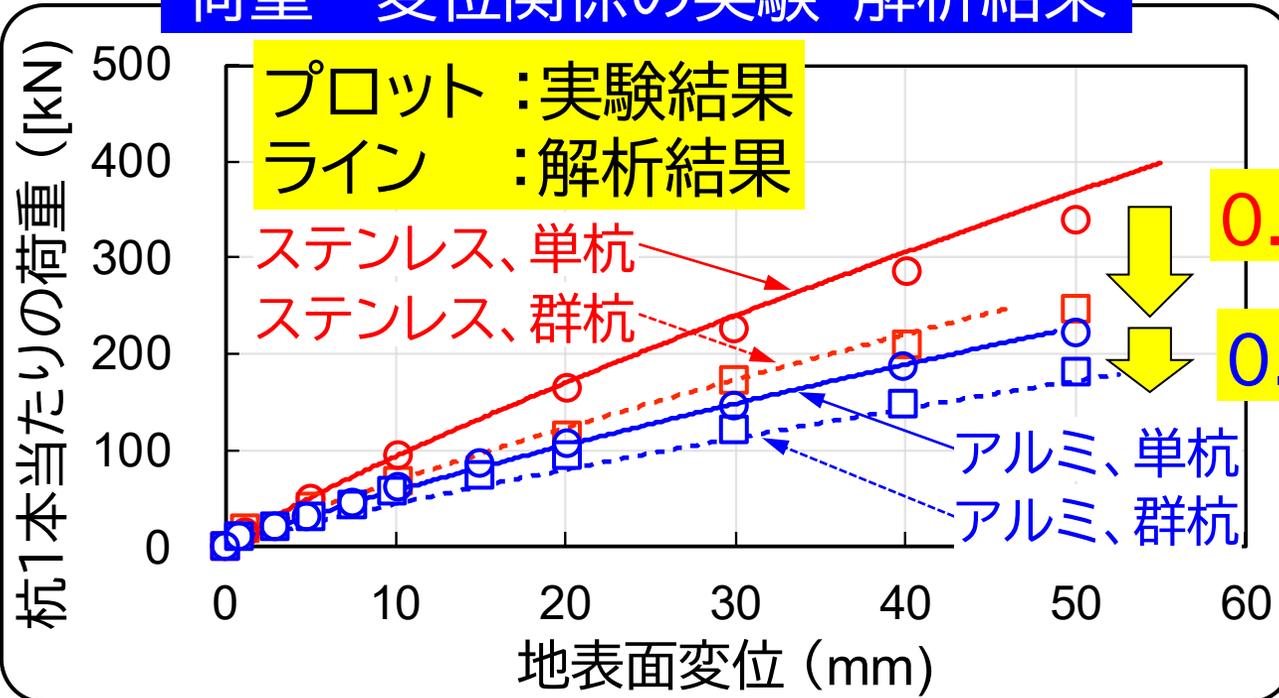
◆ 模型実験によるメカニズムの検証

地中梁以外に杭の変形モードに影響すると想定される、杭の剛性を変えた模型実験・FEM解析を実施

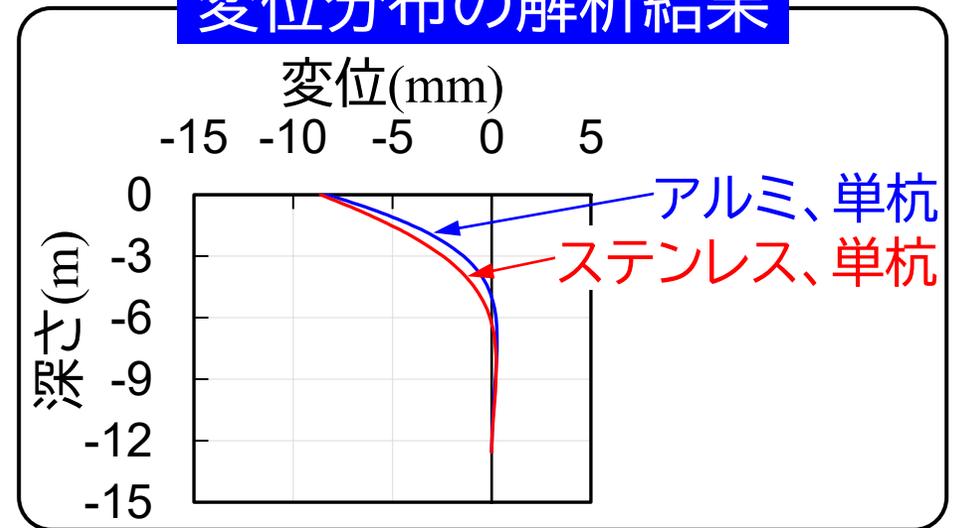


- 地中梁なし
 - 杭:ステンレスパイプ
- ➡ アルミの約2.8倍の剛性

荷重—変位関係の実験・解析結果



変位分布の解析結果



杭の剛性が異なる場合でも、変形モードと共に群杭効率が変化

1. 群杭の水平地盤抵抗特性
2. 模型実験とFEM解析によるメカニズムの解明
- 3. 水平地盤抵抗特性の評価**
4. まとめと成果の活用

3. 水平地盤抵抗特性の評価

◆ 群杭効率に影響する因子

- 地中梁の有無が群杭効率に影響するメカニズム⇒杭の変形モードの変化

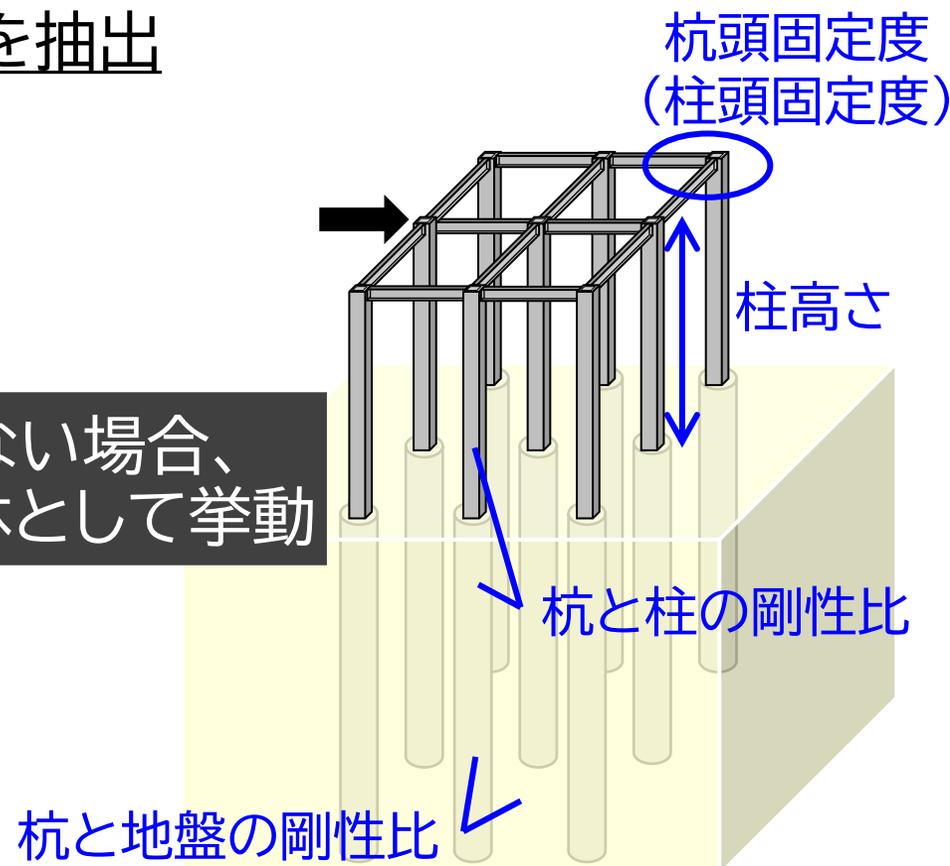
➡ 地中梁以外に、杭の変形モードに影響する因子を抽出

- 弾性支承上梁理論をもとに杭の変位分布を比較

- 弾性支承上梁理論のパラメータ

- 柱高さ(0のとき地中梁あり)
- 杭頭固定度(柱高さが0以外では柱頭)
- 杭と地盤の剛性比(杭の特性値 β)
- 杭と柱の曲げ剛性比

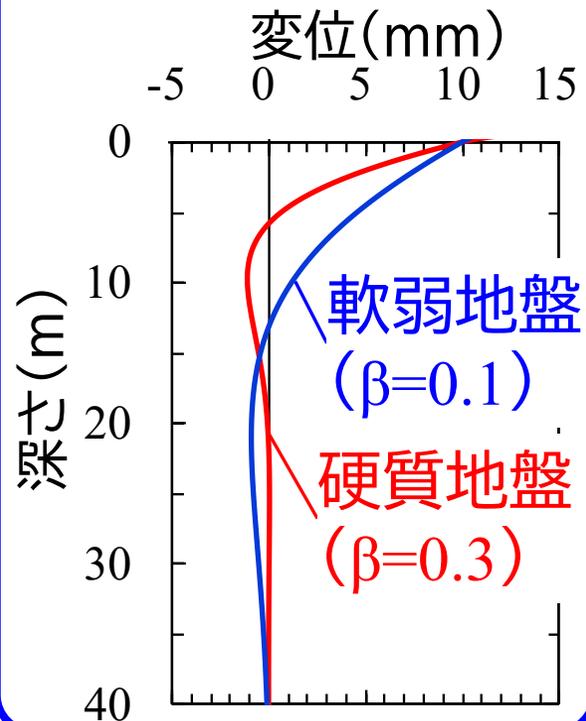
地中梁がない場合、
杭と柱が一体として挙動



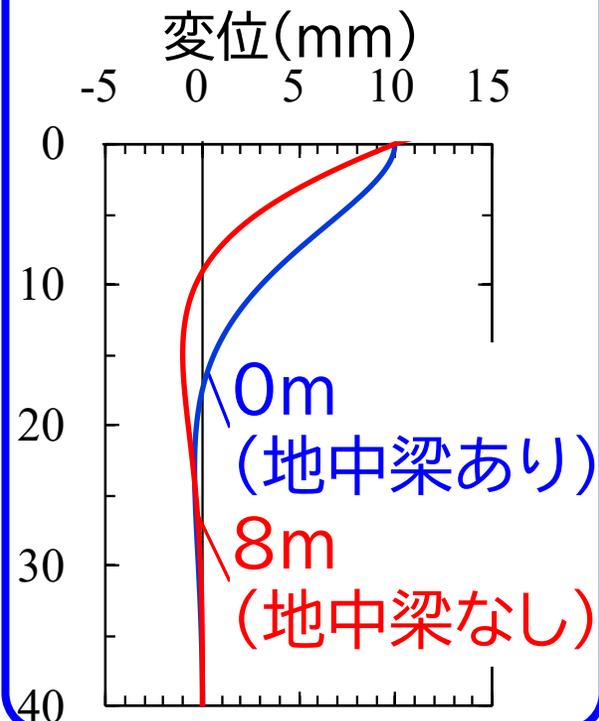
3. 水平地盤抵抗特性の評価

◆ 変形モードに影響する因子

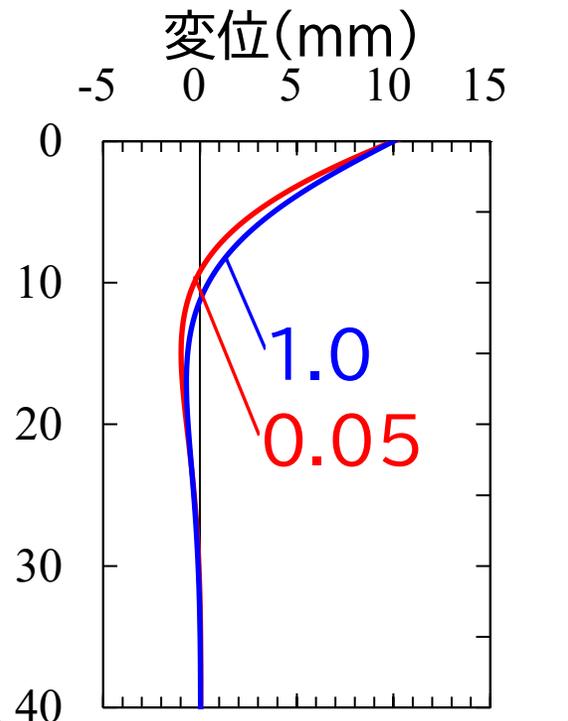
杭と地盤の剛性比



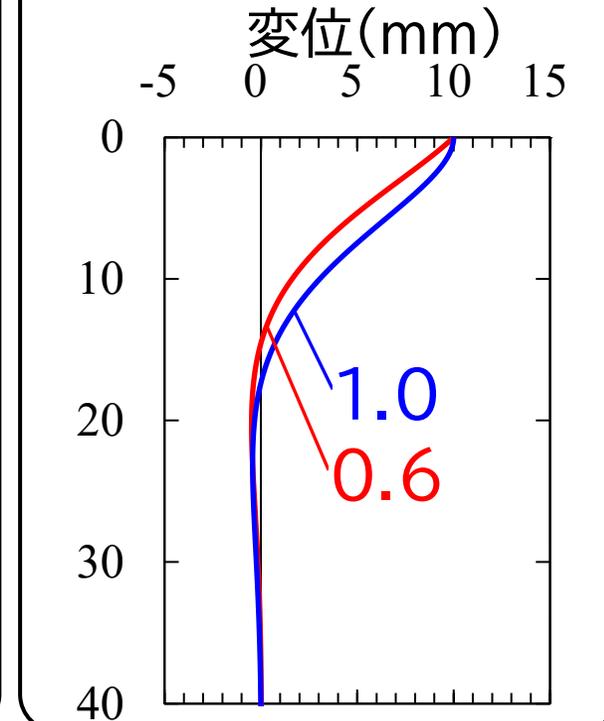
柱高さ(地中梁の有無)



柱と杭の曲げ剛性比



杭頭固定度

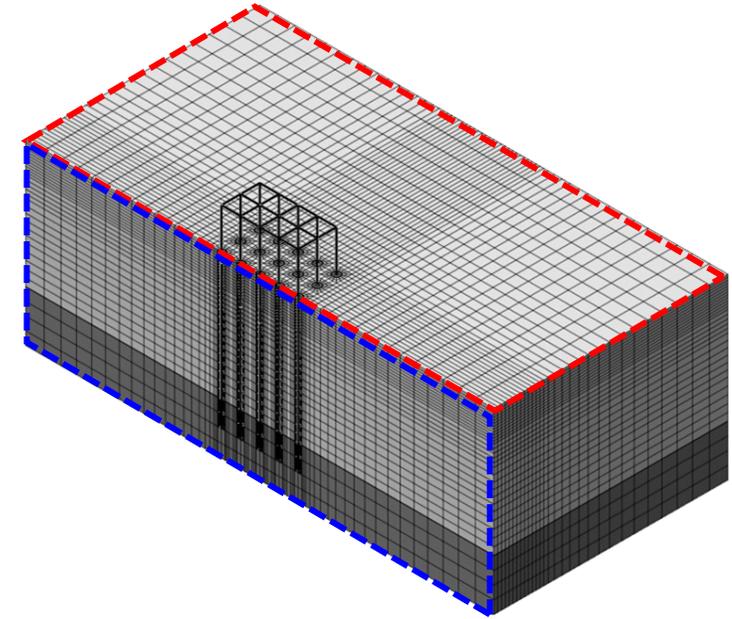
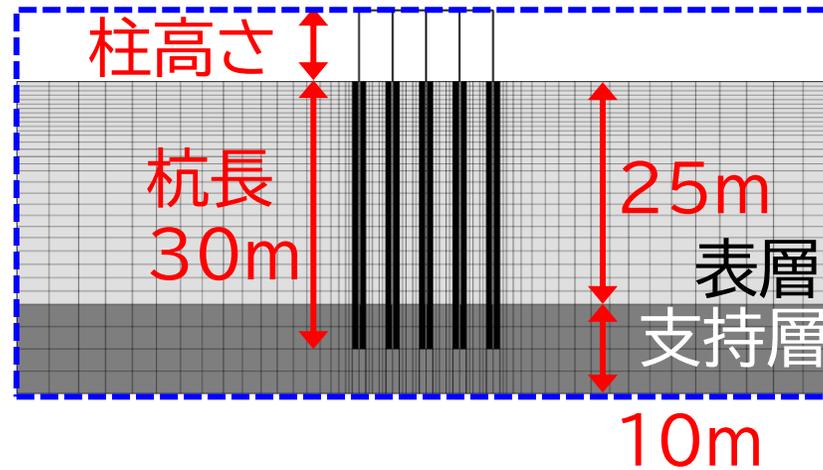
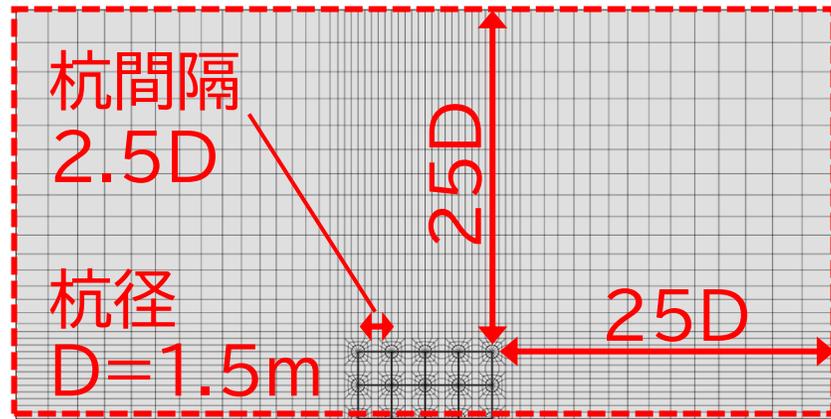


変形モードへの影響が大きい、杭と地盤の剛性比、柱高さが群杭効率に影響

3. 水平地盤抵抗特性の評価

◆ 既往の評価式との比較

- FEMによるパラメトリックスタディ



- 一般的な杭や構造物の条件を対象とした解析モデル
- 共通条件：杭径、杭間隔係数、杭長、支持地盤、表層地盤の内部摩擦角(35°)
- パラメータ：杭本数、柱高さ、地盤剛性(杭と地盤の剛性比)

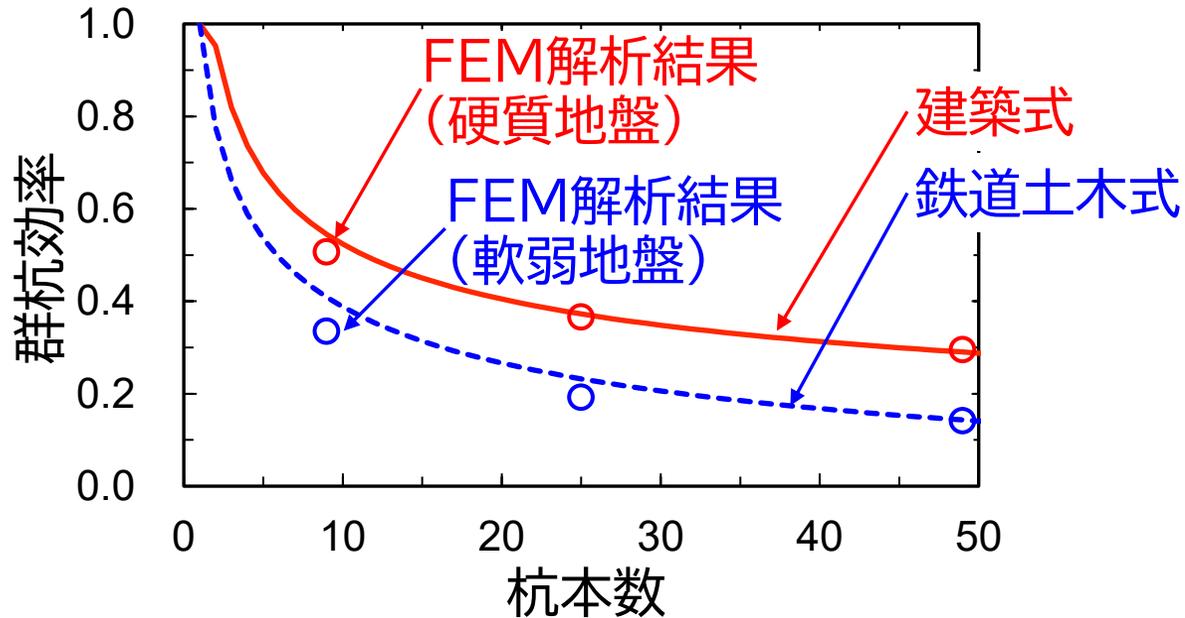
変形モードに影響する因子

3. 水平地盤抵抗特性の評価

◆ 既往の評価式との比較

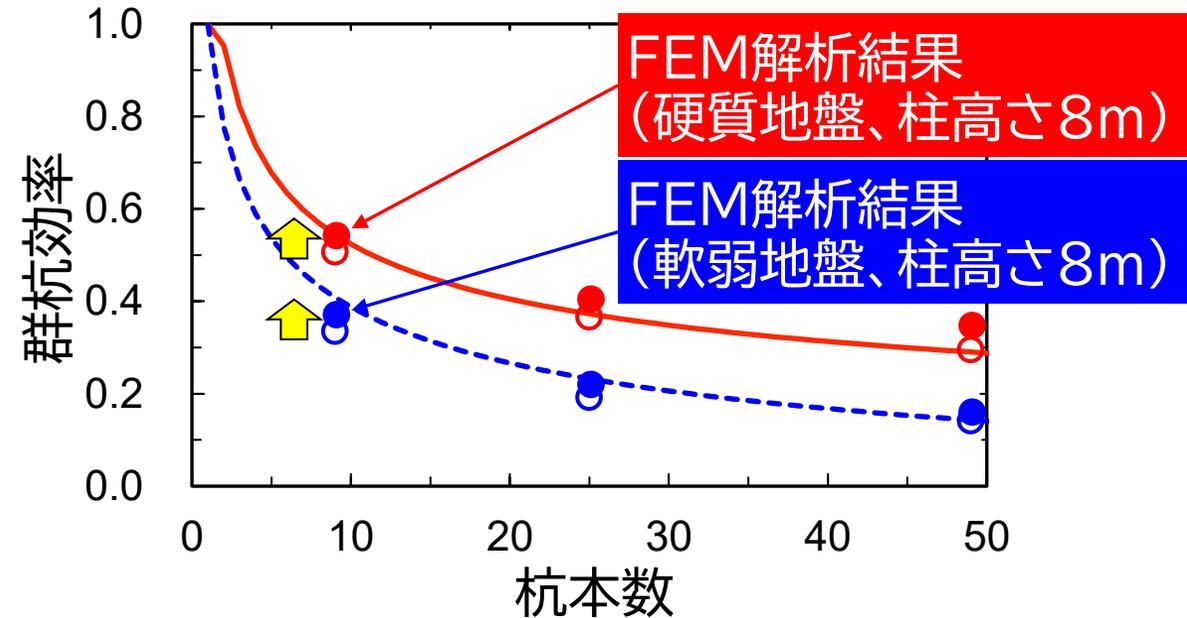
- FEMによるパラメトリックスタディ結果と既往の評価式を比較

地盤剛性のみ変えた場合(柱高さは0m)



地盤剛性を考慮することで、
既往の異なる評価式を統一できる

地盤剛性に加えて柱高さを変えた場合



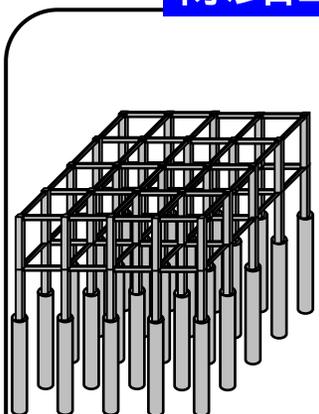
柱高さを考慮することで、
群杭効率の向上が期待できる

3. 水平地盤抵抗特性の評価

◆ 群杭効率の試算

- 地中梁のない建築物や鉄道構造物に対する影響を試算

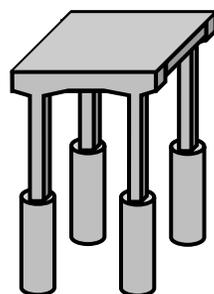
線路上空建築物



杭径 : 1.5m
 杭本数 : 25
 杭間隔係数 : 2.5
 柱高さ : 8m
 S波速度(V_s):
 100、200m/s

V_s	100	200
建築式	0.37	
解析	0.32	0.41
解析/建築式	0.85	1.10

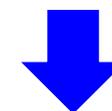
パイルベント高架橋



杭径 : 1.5m
 杭本数 : 4
 杭間隔係数 : 2.5
 柱高さ : 8m
 S波速度(V_s):
 100、200m/s

V_s	100	200
鉄道土木式	0.59	
解析	0.63	0.68
解析/鉄道土木式	1.07	1.16

条件によっては、20%程度
 水平地盤抵抗を合理化可能



柱高さや杭と地盤の剛性比
 を考慮することで、より実態
 に即した評価が可能

1. 群杭の水平地盤抵抗特性
2. 模型実験とFEM解析によるメカニズムの解明
3. 水平地盤抵抗特性の評価
4. **まとめと成果の活用**

4. まとめと成果の活用

◆ まとめ

1. 地中梁のない杭は地中梁のある杭よりも群杭効率が大きい
2. 地中梁の有無で群杭効率が変化する原因が、杭の変形モードによる応力分布の変化であることを解明
3. 柱高さや杭と地盤の剛性比を考慮することで、実態に即した水平地盤抵抗の評価が可能

ただし、杭基礎全体の水平抵抗自体は、地中梁のない方が小さいため、基礎形式としては基本的に地中梁のある方が望ましい

◆ 成果の活用

- 今後評価式として設計基準類への反映を進め、合理的な杭の設計に活用