

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

国土技術政策総合研究所
建築研究部・都市研究部

課題説明者：喜々津 仁密

令和2～5年度

1. 背景・課題（都市の再生・活性化と強靱化）

背景1

人口減少社会において、都市のコンパクト化等による再生・活性化が要請される中、既存宅地の有効活用と建築物の更新の機運が高まっている。

背景2

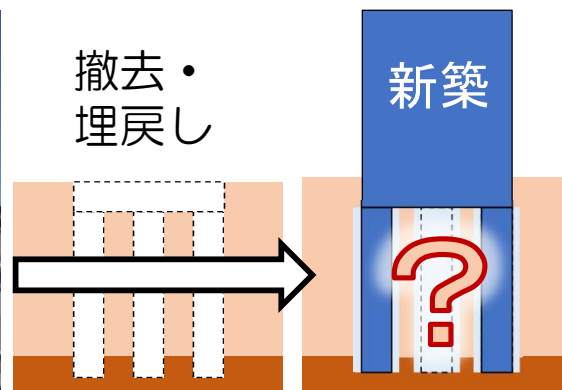
南海トラフ地震等の巨大地震の切迫性が指摘されている中、地震に対する都市の強靱化が求められている。

都市の再生・活性化と強靱化の両立のために解決すべき課題

- 課題① 従前建築物の既存杭の合理的な処理法がない（⇒杭撤去の長期化や新規建築物の設計の制約をもたらす）。
- 課題② 既存宅地には地震に対して脆弱な擁壁が存在（⇒被災後の復旧や災害救助活動に影響を及ぼす）。
- 課題③ 既存杭や既存宅地擁壁の課題に対応する設計法や構造規定の整備が必要。



老朽化した建築物が狭小敷地に建築されている場合、更新時には既存杭を避けて杭打ちするスペースがない。



既存杭処理後の地盤は複雑な状態となる。

既存杭

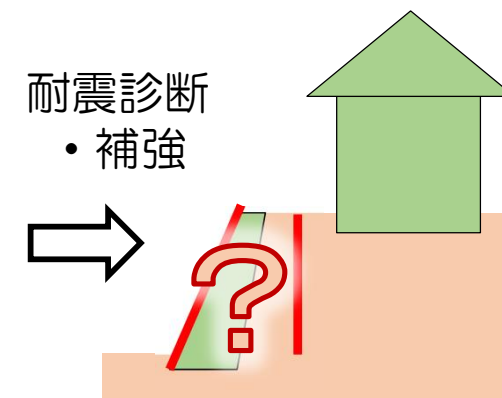
コスト面・耐震性能の担保に懸念



老朽化した既存宅地の擁壁が地震時に被災・崩壊すれば、避難救助活動に影響するだけでなく、復旧にも長期間を要するため、生活の再建が進まない。

既存宅地擁壁

撤去・再構築以外の事前対策が必要



耐震診断
・補強

合理的な補修・補強工法が存在しない。

2. 研究開発の目的

- 建築物の更新に支障となる従前建築物の杭の有効活用や既存宅地擁壁の耐震化を促進する**新技術基準を開発**するとともに、設計における多様なニーズを満足させて建築物を円滑に更新できるように**設計法や構造規定の合理化を図る**ことにより、都市の再生と強靱化および設計・施工に係る生産性向上につなげる。

- ① 既存杭を含む敷地の安全かつ合理的な利用法の開発
- ② 既存宅地擁壁の耐震診断および耐震補強手法の構築



- ③ 基礎地盤の新技术への対応を含めた合理的な構造規定の構築

成果（アウトプット）

- 既存杭に係る課題にも対応した、建築物更新のための性能規定型の技術基準の原案作成
- 既設建築物に配慮した、既存宅地擁壁の耐震改修を促進するための技術基準の原案作成

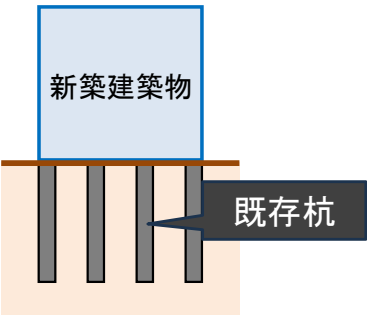
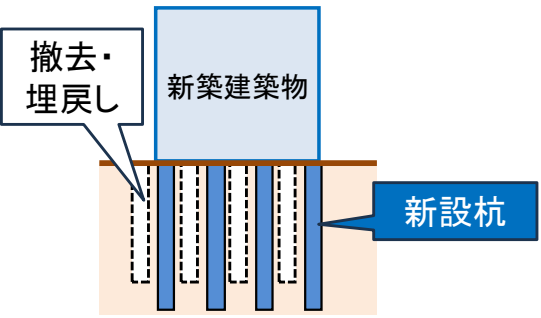
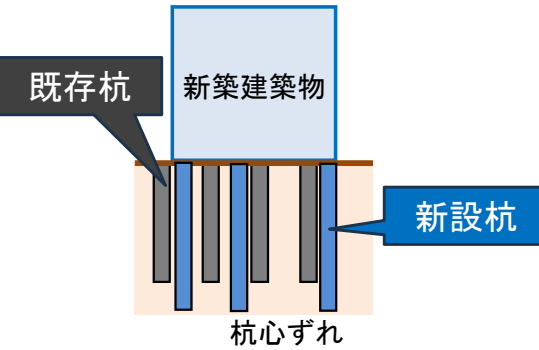
社会に与える効果（アウトカム）

- 迅速かつ合理的に**都市の再生と強靱化**を実現
- 現実的な耐震補強技術の明示により、**民地の耐震化**を促進
- 既存杭の適切な利活用の基準の明示により、建築物更新時の設計・施工に係る**生産性の向上**に貢献

3. 研究開発の必要性・緊急性等 ①

緊急性・ニーズ(既存杭)

- 巨大地震の発生リスクが高まっている中で、都市の強靱化を図るためには、老朽建築物の更新が喫緊の課題。狭小敷地等での合理的な建替えの促進には、従前建築物の**既存杭の活用・処理方法に係る課題**の解決が必要。

既存杭 処理法	①既存杭の再利用	②撤去→埋戻し (最も多い事例)	③残置→空きスペースに杭打ち
イメージ			
課題	- 設計当時の詳細(要求性能や強度等)が不明確 - 補強方法が未確立	- 既存杭の撤去に伴い、地盤が緩む ⇒ 過剰設計の傾向 - 工期・コスト大	- 設計の自由度を制限(新設杭との距離が極端に近い場合) - 廃棄物処理法の問題

- 既存杭に係る課題やニーズに対応しつつ建替えを促進するためには、**合理的な建築物の設計法や構造規定**が必要。

3. 研究開発の必要性・緊急性等 ②

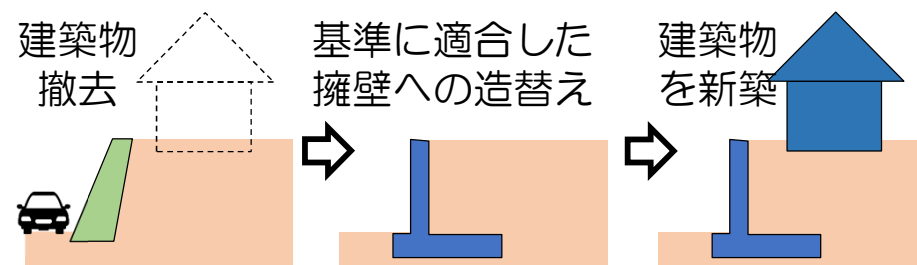
緊急性・ニーズ(既存宅地擁壁)

- 被害地震における既存宅地擁壁の被害は、避難路の封鎖等、地震直後の救助活動に支障を与えるもの。住宅密集地等にも適用できる**既存宅地擁壁の耐震化技術の拡大**は、都市の迅速な復旧が求められる国土強靱化に当たり解決すべき喫緊の課題。

古い既存宅地の脆弱性（東日本大震災での被害発生件数）

造成年代	1949年以前	1950年代	1960年代	1970年代	1980年代	1990年代	2000～2005年	2006年以降	合計
被害発生地区数	2 1%	7 4%	81 45%	46 25%	31 17%	10 6%	2 1%	0 0%	179

- ・ 古い擁壁で多くの被害発生
- ・ 全体の約3/4を占める



耐震診断・改修の技術的知見は少なく、**建築物を撤去して擁壁を造り替える以外に方法がない状況。**

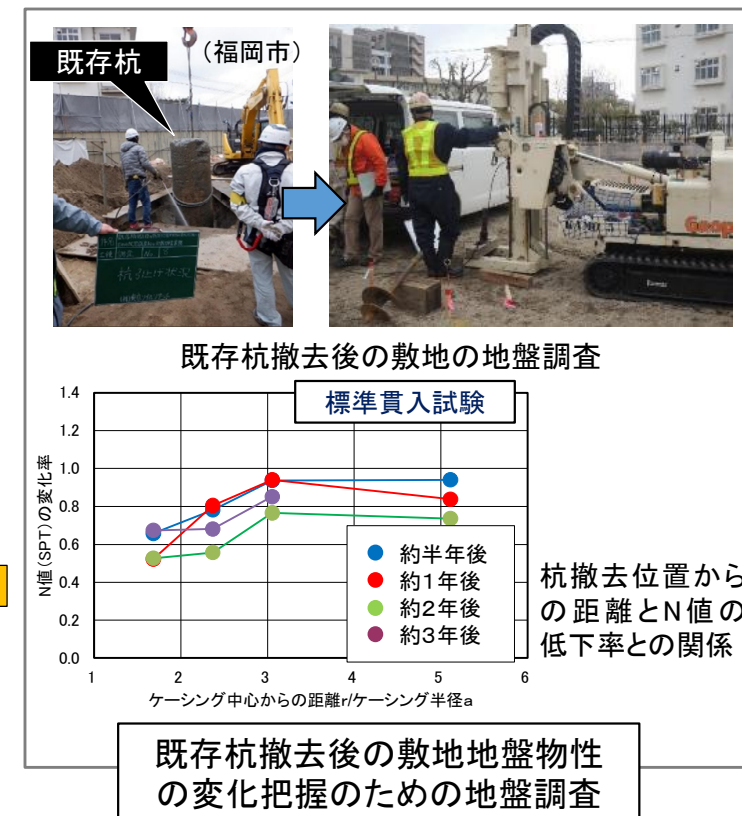
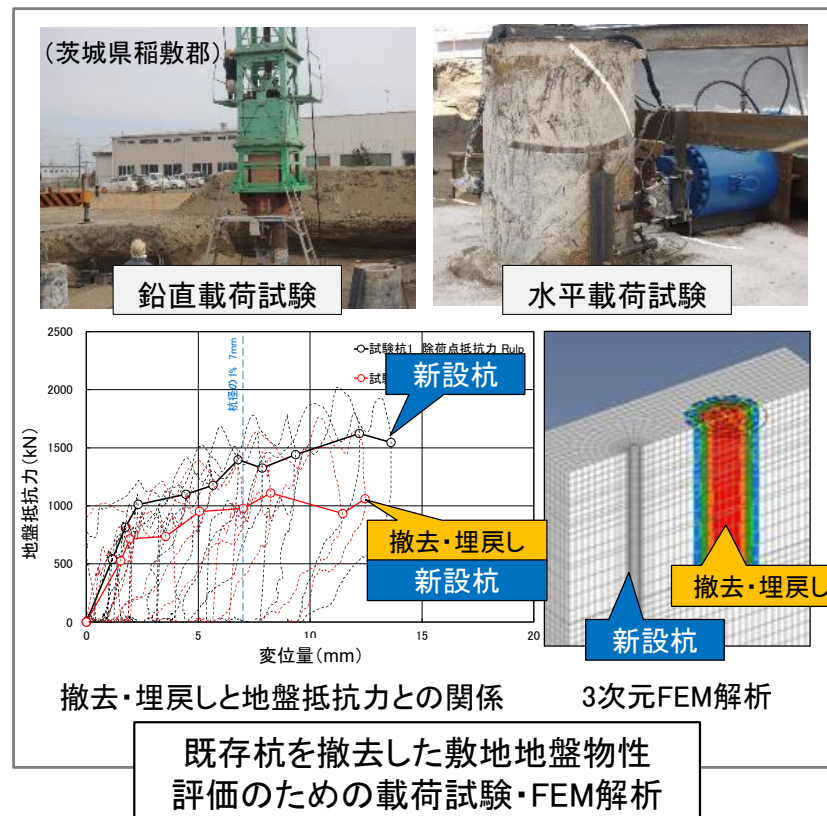
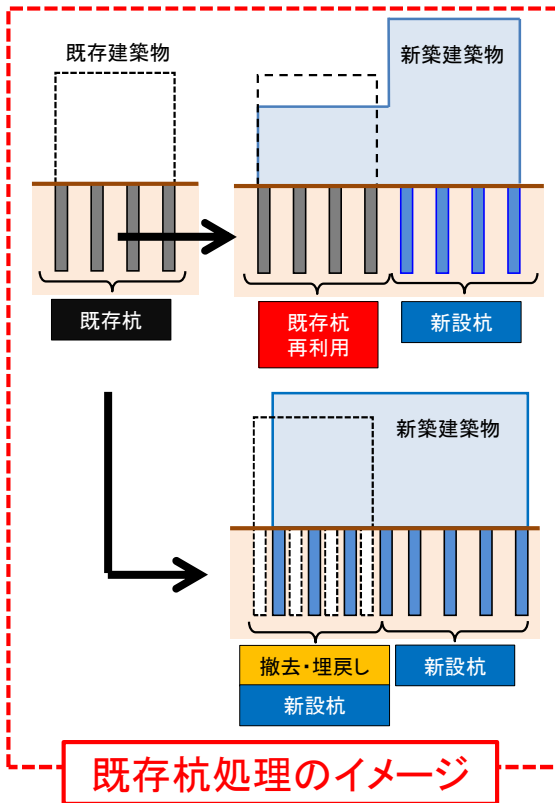
国総研が実施する必要性

- 建築物と地盤に係る構造物は建築主事・地方公共団体等（アンパイア）による審査・許可を受け、民間（プレーヤー）が設計・施工を行うため、設計法等のルール作りに関する技術開発と技術基準の原案作成は国総研の役割。

4. 研究開発課題及び成果（既存杭- 1）

検討内容

- ・ 既存杭を撤去・埋戻し又は再利用した敷地での建築構造設計に資する技術的知見を収集・整備。
- ・ 撤去・埋戻し後の地盤での新設杭の鉛直支持力・水平抵抗評価のため、杭の載荷試験と3次元FEM解析を実施。
- ・ 撤去・埋戻し後の地盤特性（地盤の緩みの程度）把握のため、建築物の解体現場等で地盤調査を実施。



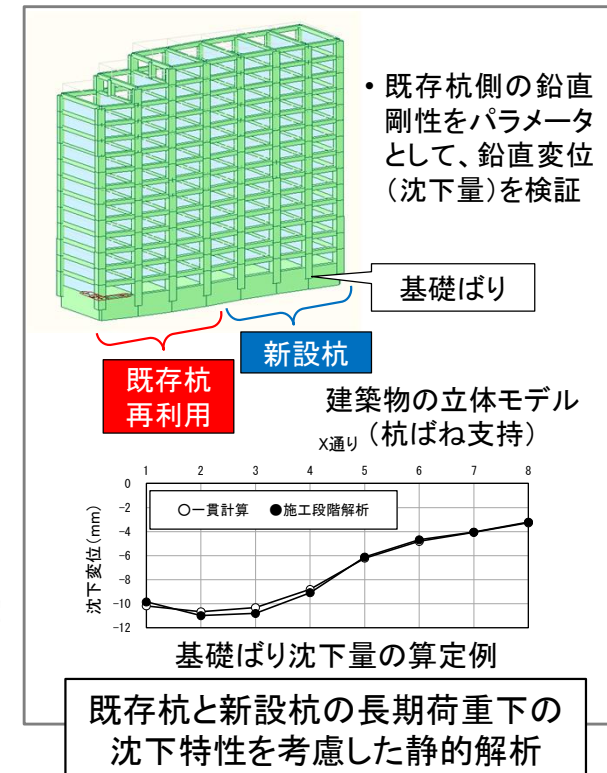
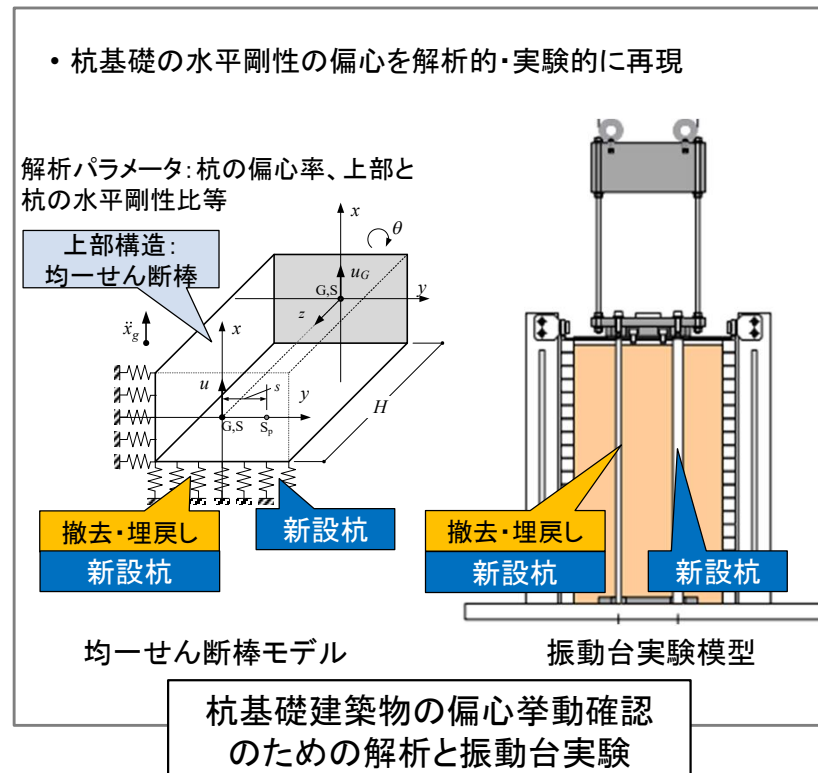
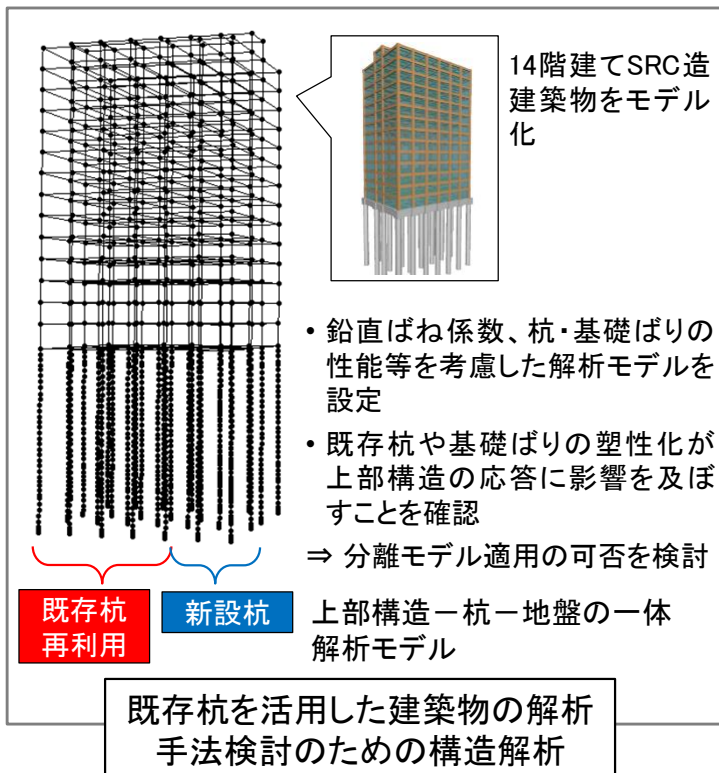
成果

- ・ 撤去・埋戻し位置での新設杭の鉛直支持力・水平抵抗特性（地盤の緩みによる地盤抵抗減少）を明らかにした。
 - ・ 撤去・埋戻し位置からの距離に応じた地盤特性（N値）変化の傾向とその経年変化の有無を把握した。
- ⇒ 既存杭の撤去・埋戻しを伴う地盤について、構造計算に用いる各種係数（地盤の緩みを考慮した鉛直ばねの低減係数など）を整備。

4. 研究開発課題及び成果（既存杭-2）

検討内容

- 既存杭の**再利用**、**撤去・埋戻し**のもとで**新設杭**と**併用**した場合に、既存杭と地盤の条件が**上部構造に与える影響**や**長期荷重下の沈下特性の違いによる影響**を把握するため、静的・時刻歴応答解析と振動台実験を実施。
- 時刻歴応答解析を通して、**解析モデル（分離モデル・一体解析モデル）の適用条件**について検討。



成果

- 上部構造の地震時応答に影響を与えうる条件を抽出し、既存杭の鉛直剛性が長期荷重時の沈下特性に与える影響を確認。
- ⇒ 構造計算に用いる分離モデルの適用条件（剛強な基礎ばりを有すること等）を明確化し、各種係数（既存杭の鉛直剛性の調整係数等）、基礎ばりの部材変形角の検証方法等を整備。

4. 研究開発課題及び成果（既存宅地擁壁- 1）

検討内容

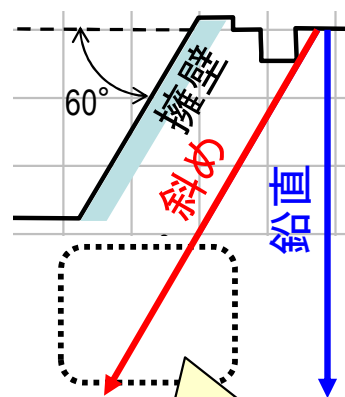
- 古い宅地擁壁の特性を把握するため、熊本地震、東日本大震災で被災した擁壁を対象とした調査を実施。
- 防災上注意すべき宅地擁壁抽出のため、擁壁の高さと離間距離に着目して被害状況を分析。

○東日本大震災で被災し補修された後、福島県沖の地震で損傷した擁壁を対象に、CPTにより地盤を調査

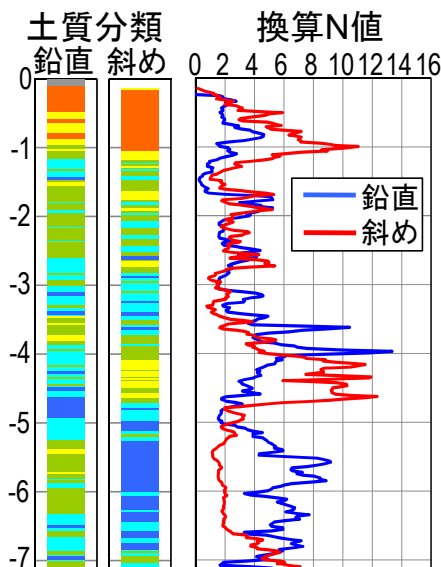


斜めCPTの実施状況

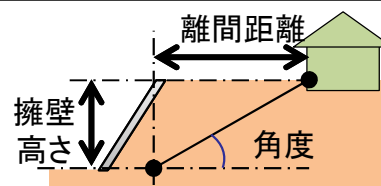
CPT: コーン貫入試験



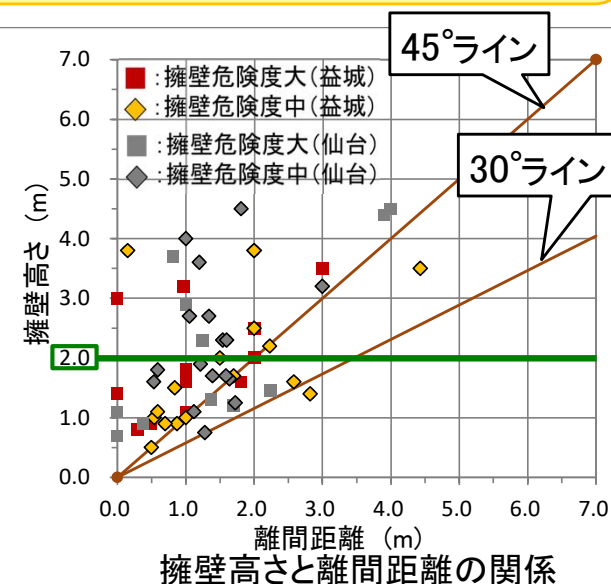
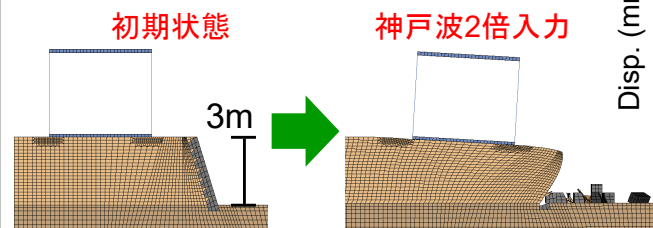
擁壁直下の地盤状況の把握が可能



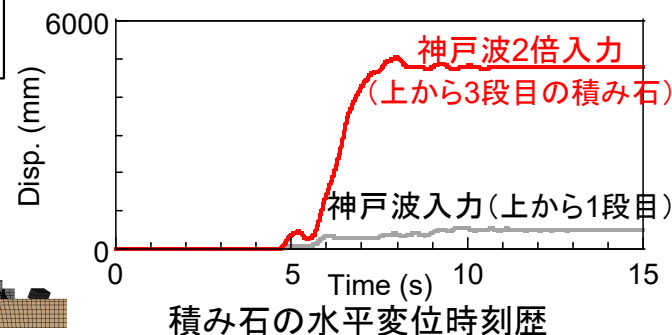
○熊本地震、東日本大震災により、建物と擁壁が共に壊れたものを対象に、擁壁高さと離間距離の関係を分析



○FEM解析により擁壁が崩壊した場合に、積み石の影響が及ぶ範囲に対する検討を実施



擁壁高さと離間距離の関係



成果

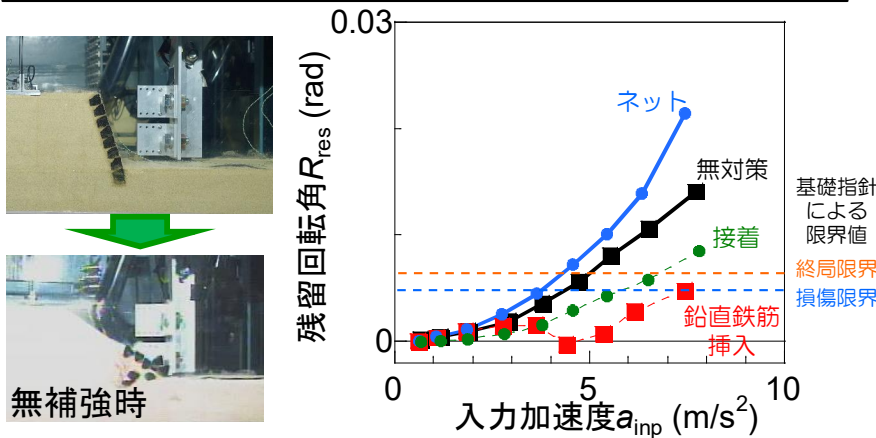
- 擁壁直下までの地盤状況を効率的に把握できる斜め方向のCPT調査の有効性を検証。
- 防災上注意すべき宅地擁壁（擁壁高さが2m超の場合は45°ラインより上側、擁壁高さが2m以下の場合は30°ラインより上側）の抽出手法及び擁壁が崩壊した場合の擁壁下部の影響範囲を整理。

4. 研究開発課題及び成果（既存宅地擁壁-2）

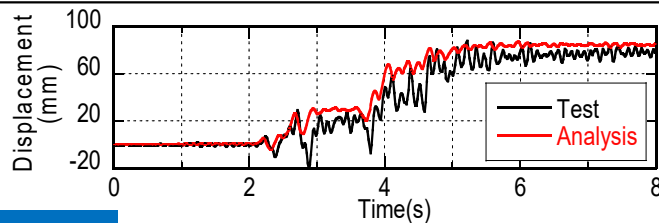
検討内容

- 宅地擁壁に対する耐震補強法の有効性検証のため、遠心模型実験及びシミュレーション解析を実施。
- 宅地擁壁の補強の設計例を作成。補強方法の長所・短所・対策効果・コストを検討。

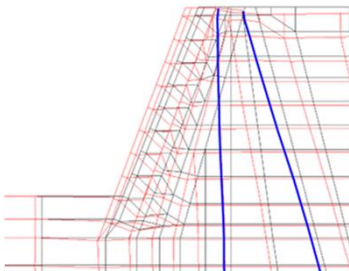
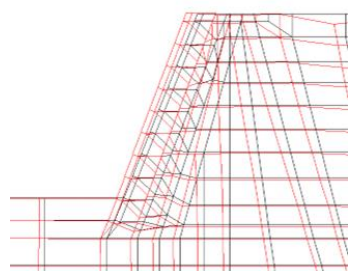
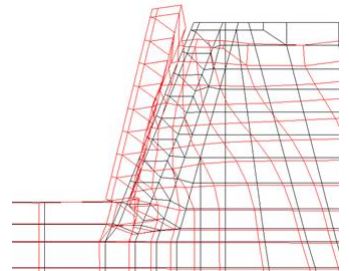
○遠心模型実験による補強法別の挙動の確認



○実験結果(変位)を概ね再現可能なFEM解析モデルを構築



- 擁壁形状や地盤条件等を実際の擁壁を参考に宅地擁壁の補強の設計例を作成し、その補強の効果や効果を発揮する際の条件を検討。
- FEMによる解析を実施し、対策効果を検証。

	鉛直鉄筋挿入工 (+コンクリート張工)	注入固化工	コンクリート張工
残留変形の検証結果 (FEM解析結果)			
コスト 概算	400万円(擁壁延長10m 当り)	350万円(擁壁延長10m 当り)	100万円(擁壁延長10m 当り)
適用性	擁壁前面に大きな施工 スペースが不要なため 施工スペースが確保出 来ない時に有効	擁壁前面と背面の施工 スペースが小さく、注入 箇所が砂質土層時に有 効	擁壁の近くに重要な構 造物等が無く、擁壁前 面勾配が基準勾配以下 等が条件

成果

- 宅地擁壁の補強の有効性を実験により検証。その評価法(FEM)の構築方法を整理。
- 擁壁形状や地盤条件等を実際の擁壁を参考に宅地擁壁の例と補強の設計例を作成し、その補強の効果や効果を発揮する際の条件をFEMによる解析に基づいて検証。
- 補強方法の長所・短所・対策効果・コストを整理。

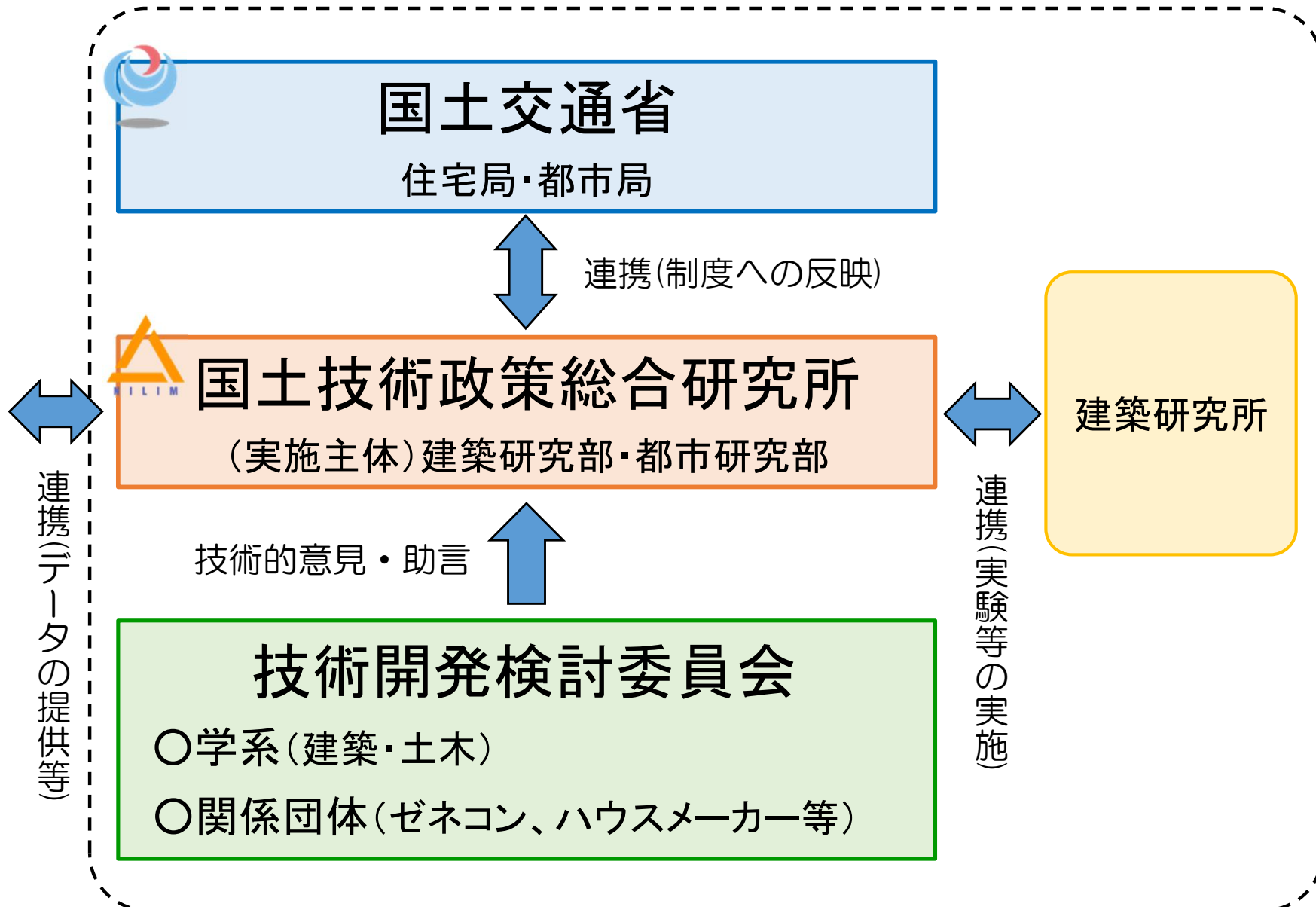
5. 研究開発の体制

建築研究開発
コンソーシアム

(一社)建築基礎
・地盤技術高度
化推進協議会
(ALLF)

会員:ゼネコン、設計事務
所、杭メーカー、鉄鋼メー
カー、コンサルタント会社
、地盤調査会社、地盤改
良業者、確認検査機関、
学識経験者(建築・土木)

地方公共団体



6. スケジュール

検討内容	R2	R3	R4	R5
①既存杭(1) 敷地地盤評価	既存杭引抜き・埋戻し による周辺への影響評価 (30)	既存杭等を含む複合 地盤の抵抗力評価 (10)	複合地盤の性能評価 法(案)の構築・公表 (10)	敷地地盤の 評価例の作成 (10)
①既存杭(2) 補強技術開発	既存杭の再利用にお ける要求性能の整備 (10)	補強メニューの整備と 要求性能の提示 (20)	既存杭を利用した建築 物の性能評価法の検討(20)	補強法の性能 評価法と評価 例の作成(10)
②既存宅地擁壁(1) 耐震診断技術	簡易な調査方法の整備 (20)	古い宅地擁壁と建築 物の地震時挙動の評価 (30)	簡易な調査に基づく耐 震診断法(案)の構築・ 公表 (10)	耐震診断・補強 に対する評価例 の作成 (10)
②既存宅地擁壁(2) 耐震補強技術		補強メニューの整備と 要求性能の提示 (10)	耐震補強法の実証お よび建築物の設計法を 踏まえた整理 (30)	
③構造規定(1) 構造計算手法	上部・下部構造の一体 評価の設計指標の整理 (10)	上部・下部構造の一体 評価の設計指標 の妥当性検証(20)	下部構造の新技术に 対する構造計算手法 の構築(20)	技術基準原案 の作成 (30)
③構造規定(2) 構造規定の整備	地震後の建築物の状 態評価に対する高精度 化の検討(10)	地震後の建築物の状 態評価に対する高精度 化の実証(10)	建築物の規模に対す る対応の検討(10)	
予算(百万円)	72	72	72	58

7. 研究開発の成果・施策への反映と効果（既存杭）

- 既存杭に係る試験・解析・調査結果を反映し、構造設計上の留意点と構造計算法をまとめた「既存杭を含む敷地における建築物基礎の設計指針(案)」を作成。
- 剛強な基礎ばりを前提とした計算例(分離モデル+静的解析)を作成し、設計実務での設計指針(案)の活用を促進。

設計指針(案)の章構成

第1章 総則

- 適用範囲
- 既存杭を含む敷地での構造計画

第2章 設計のための調査

- 既存杭を活用するための調査
- 既存杭を撤去した敷地の調査

第3章 許容応力度等

- 基礎ぐいの許容支持力等

第4章 荷重及び外力

- 荷重・外力の組み合わせ

第5章 解析モデルとその選定

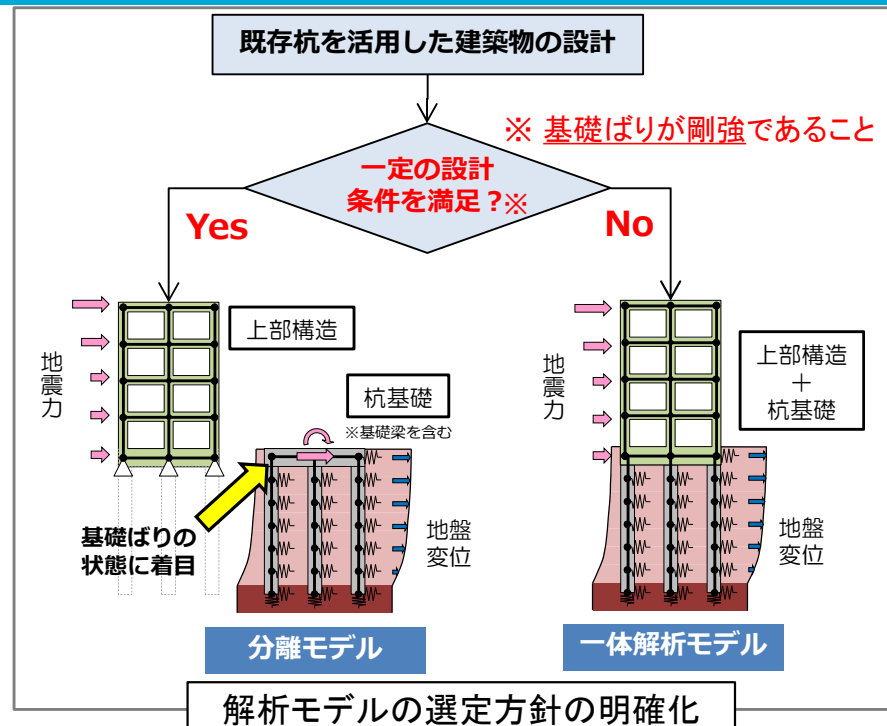
- 地盤・杭基礎のモデル化

第6章 既存杭を含む敷地における建築物の構造計算

- 長期荷重、大地震に対する検討
- 安全上支障のないことの確認

既存杭を含む敷地に対する留意点

- 異種基礎としての扱い
- 「剛強な基礎ばり」の確認
- 基礎ばりに関する状態の組合せ
- 既存杭の撤去・埋戻しの影響
- 地下部分の安全性の確認



ケース1

既存杭を再利用し、上部構造の規模を桁行方向に拡大



既存杭
再利用

新設杭

ケース2

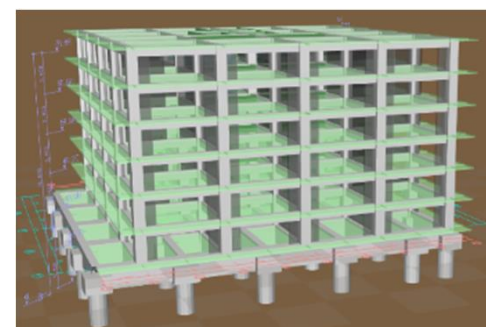
既存杭を再利用せず、上部構造の規模を拡大



撤去・埋戻し
新設杭

ケース3

既存杭を再利用し、上部構造の規模を縮小



既存杭
再利用

既存杭の処理方法に応じたRC造建築物の計算例

7. 研究開発の成果・施策への反映と効果（②既存宅地擁壁）

○「宅地擁壁の健全度判定・予防保全対策マニュアル（本省都市局、R4.4）」の検討フロー（部）と連携した技術資料（部）を作成。

○既存宅地擁壁の補強工法・設計法を整理。

○耐震補強の対象、効果・有効性を示す。



○主に石積み擁壁を対象に、建築物の安全確保の観点からマニュアルの活用を促進。

成果①
防災上注意すべき擁壁

擁壁種別・
建物位置関係

成果②
宅地擁壁の動的挙動

宅地擁壁の構造性能（一体性）と破壊性状

成果③
補強工法・設計法

一体化補強
曲げ補強
背面補強

スクリーニング

健全度判定

基礎点の採点

※ 基礎点と変状点の採点は目視調査による

変状点の採点

基礎点と変状点の合計

健全度の判定

予防保全対策工の選定

擁壁補強工

擁壁再構築

擁壁補修工

行政担当者は、健全度判定結果に応じて勧告・改善命令の発令について検討するとともに、宅地所有者に対して専門家への相談、予防保全対策の実施について指導

調査測量・対策工設計

必要に応じて、専門家に相談のうえ、調査測量や対策工設計を実施

予防保全対策の実施

擁壁補強工もしくは擁壁再構築、擁壁補修工の実施

維持管理

・定期的な健全度判定
・経過観察が必要と判断された箇所は、変状の進行性を確認

宅地擁壁の健全度判定・予防保全対策マニュアル（p6）

図 I-2 宅地擁壁の健全度判定・予防保全対策の検討フロー

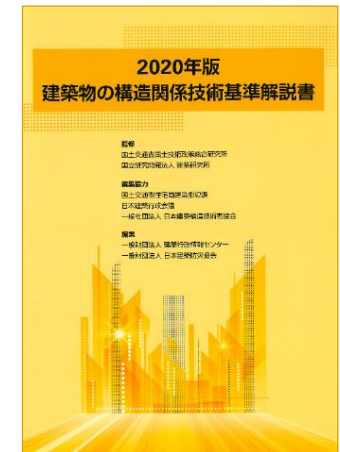
8. 事前・中間報告時の指摘事項に対する対応状況

指摘事項	対応
①杭・擁壁とも住宅・非住宅双方に利用できる技術になるよう検討してもらいたい(事前)。 ②非住宅は杭、住宅は擁壁に絞って検討した方が効率的である(事前)。	・既存杭については、地盤調査法や設計のルールは住宅・非住宅を問わず適用可能である。設計指針(案)でも用途による区分は設けていない。 ・擁壁については、効率的・効果的な成果を得るために、国土交通本省公表の「宅地擁壁の健全度・予防保全対策マニュアル」を補完することを前提として、住宅(宅地)に焦点をあてた検討を実施した。
③将来的には構造物の上下一体で評価することが考えられるため、それを見越した基準体系を作れると良い(事前)。	・上部構造と杭基礎との一体モデルでの検討を要するための判断基準は、本来は杭が既存であるか新設であるかを問わずに適用すべきと考えられる条件である。その観点から設計指針(案)をとりまとめた。
④宅地擁壁についてはたくさん事例があった。一方、既存杭については九州の1件のみで少ないのではないかと。大変かと思うが、サンプルを増やす努力をお願いしたい。(中間)	・杭の試験は福岡市のほか、茨城県稲敷郡の試験場でも実施した。両敷地では杭撤去位置からの距離に応じた地盤物性データを収集し、杭撤去後の地盤の緩み状況の経年変化も把握した。
⑤設計する際に既存杭を全て撤去すべきか、それとも新しいものと混在させて使用可能かの判断が必要になると思うが、そのような判断ができるものを示されるのか。(中間)	・既存杭撤去の場合のほか、既存杭を残して新設杭を併用する場合も想定した検証方法を設計指針案にとりまとめた。また、一般の設計者が参照できる形で、それらの計算例を整備した。
⑥宅地擁壁については一般の方の関心も高いと思う。そういった方への成果の発信予定はあるか。(中間)	・技術資料のホームページへの掲載等による成果の発信に努めるとともに、一般の方への一層の成果の発信について本省と連携して検討したい。

9. 今後の取組

得られた成果の社会実装に向けた取組み

- 技術開発の概要等をまとめた**設計指針案の作成**、公表した技術資料を「**建築研究開発コンソーシアム**」、関係団体への説明等を通じて**広く設計技術者等に周知**。
- 技術開発成果の一部を、**構造関係技術基準解説書の改訂**に反映。
宅地擁壁・・・基礎仕様（擁壁に近接する場合）
既存杭・・・異種基礎、杭の支持力など
- 技術開発成果の反映を目指した説明会を調整するなど、**地方公共団体との連携**を強化。



建築物の構造関係
技術基準解説書

残された課題への対応

- 「剛強な基礎ばり」の条件を満たさない**既存杭活用の合理的な設計例の作成と検証**（建築研究所所有の遠心載荷実験装置の活用）。
- 低層・小規模な場合など、設計コストの削減に資する**部材設計（保証設計）手法の確立**（詳細解析の実施）。
- 既存杭を撤去した地盤での試験**を継続し、中長期的な経年変化に係るデータの蓄積。
- 石積擁壁の耐震設計（静的設計）の構築**に向けた検討の継続（建築研究開発コンソーシアムで勉強会を実施予定）。

参考資料

（試験・解析等の概要と得られた技術的知見）

1. 既存杭に関する検討①

- 建築物の解体現場等において「杭撤去前」「杭撤去中」「杭撤去・埋戻し後」に地盤調査を実施。杭撤去によって緩んだ地盤の経年変化傾向等の把握や、既存杭活用のための知見を蓄積（福岡市と茨城県稲敷郡で実施）。

⇒ 杭撤去位置に近いほど、撤去前後のN値の変化率が大きいことを確認。一方、撤去後2～3年の間に地盤物性の明確な変化（緩みの回復）はみられなかった。



- 既存杭活用のための調査例として、引き抜いた既存杭の状況調査、設計基準強度の設定・試算を実施。

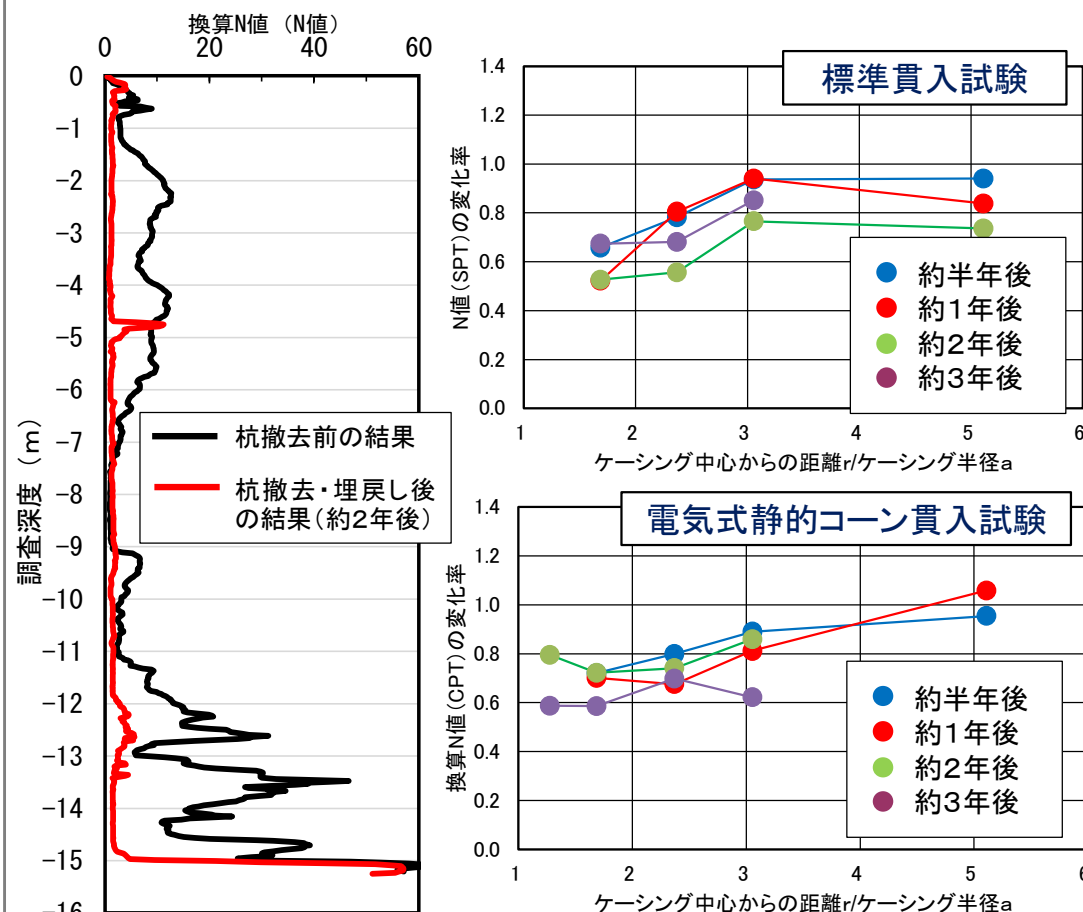


コア抜き



撤去杭の杭長確認

- 福岡市・茨城県内の敷地で、杭撤去地点からの距離に応じたN値低下の程度を確認。



1. 既存杭に関する検討②

- 杭撤去位置に施工した杭について、撤去に伴う地盤の緩みが杭の鉛直支持力・水平抵抗特性に与える影響を検討するための載荷実験を、砂質土主体の敷地地盤にて実施。
- ⇒ 周面摩擦力度は表層地盤に近い範囲で顕著に減少し、地盤の緩みによる影響を確認。一方、水平抵抗は原地盤よりもやや大きな値であった。

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)	

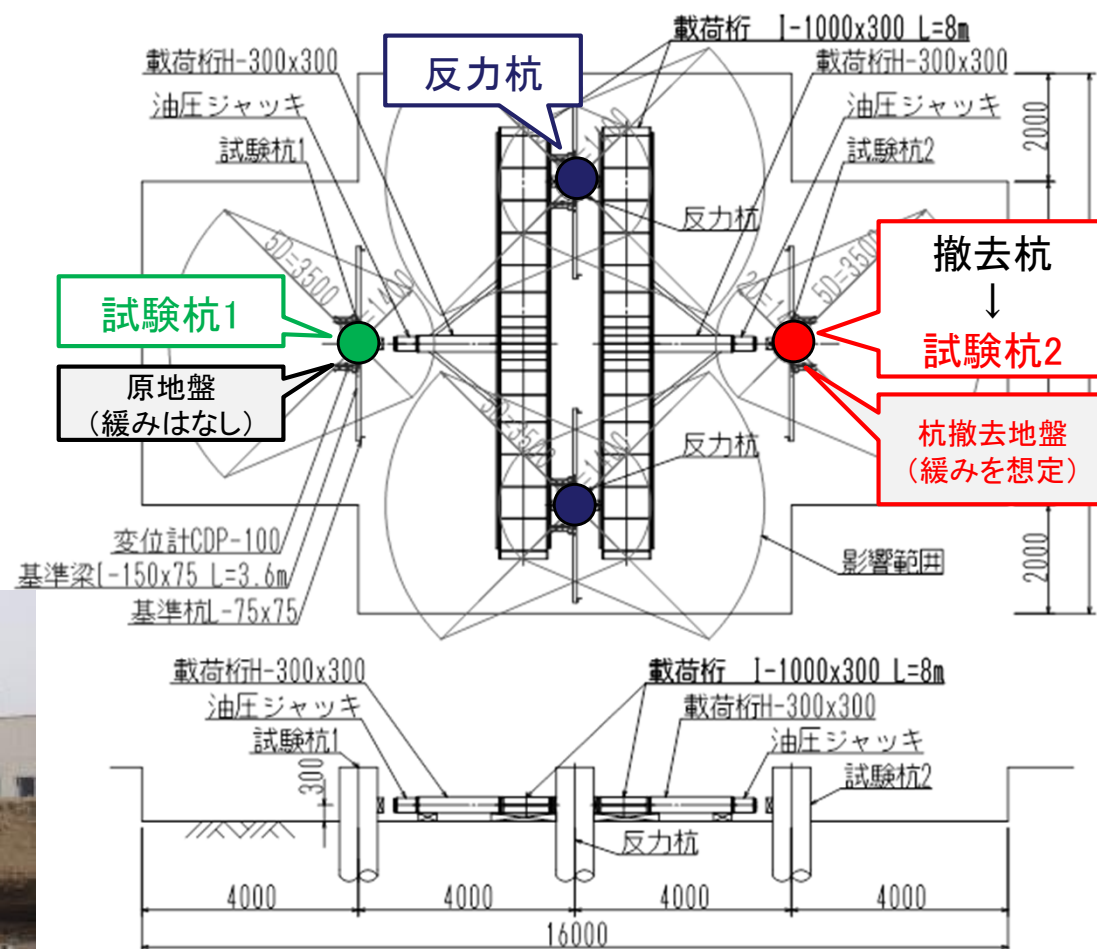
杭種別	杭径 (mm)	掘削径 (mm)	杭長L (m)	杭の種類	備考
試験杭1	700	800	5+8 =13	SC杭 t=9mm	原地盤 に施工
試験杭2					杭撤去地盤 に施工
反力杭	700	800	7+8 =15	SC杭 t=12mm	



水平載荷試験

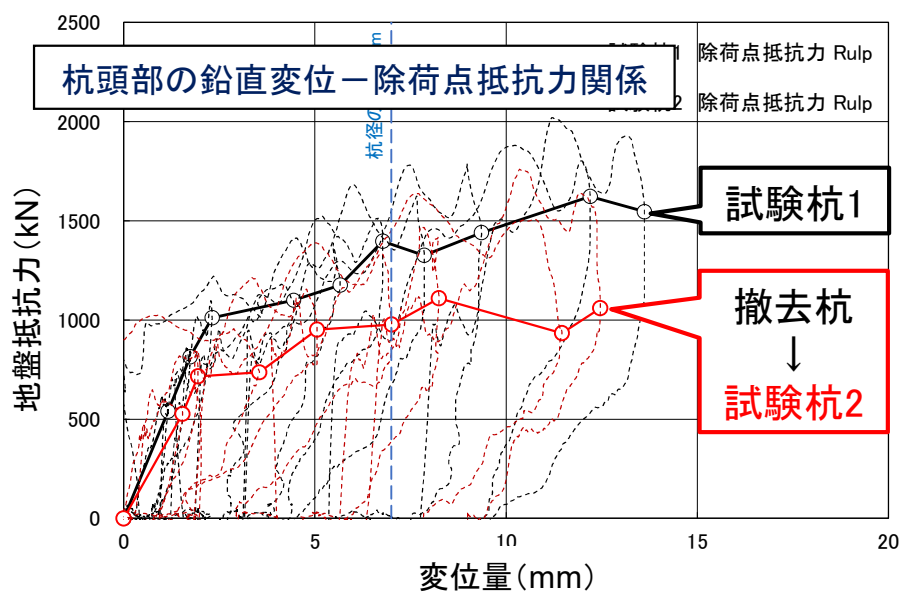
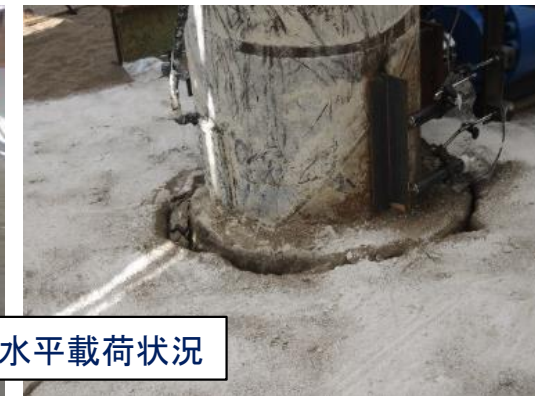
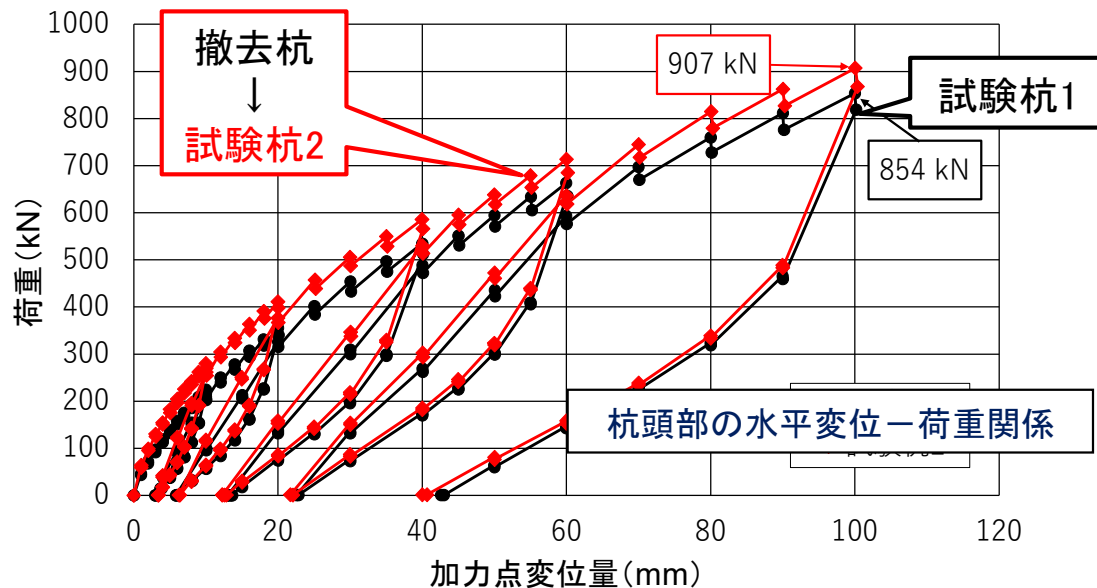


鉛直載荷試験



試験杭・反力杭・載荷桁の位置関係
(茨城県稲敷郡)

1. 既存杭に関する検討③



周面摩擦力度・先端支持力度の最大値

	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 (kN/m ²)	区間1 (上側)	36.8	20.6	56%
	区間2 (下側)	60.0	55.8	93%
先端 支持力 (kN/m ²)	16断面	1,642	1,224	76%



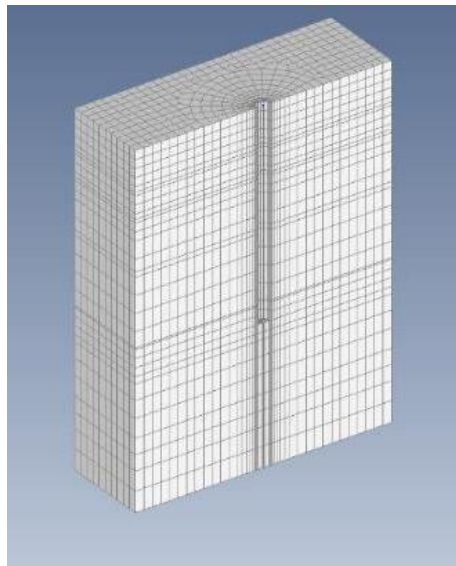
- 水平抵抗は杭撤去地盤のほうがやや大きい値であったが、周面摩擦力度は杭撤去地盤の表層に近い範囲で顕著な減少を示した。

1. 既存杭に関する検討④

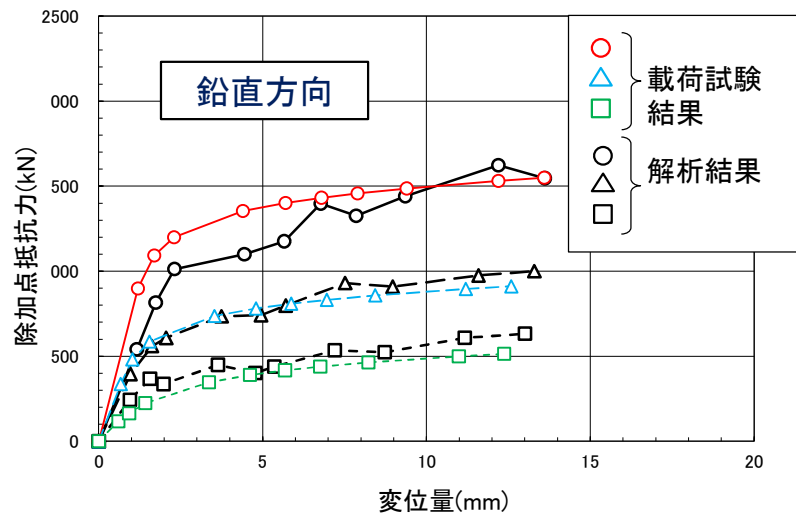
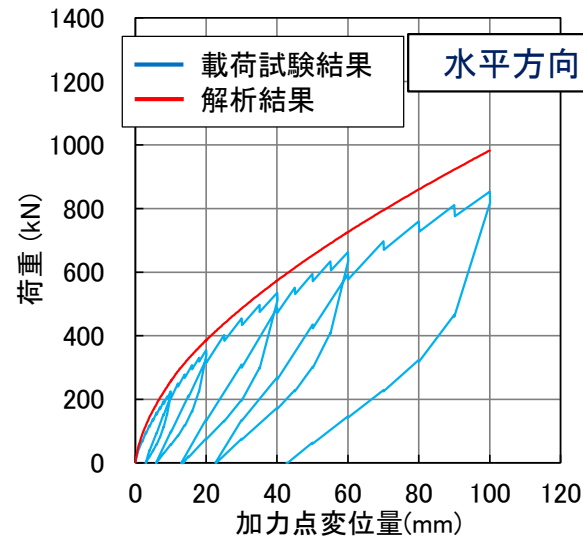
- 載荷試験の地盤を再現した3次元FEM解析を行い、既存杭の撤去位置と新設杭との間の距離をパラメータとし、杭撤去後の地盤物性(緩みの程度)の新設杭への影響を検証。

⇒ 杭撤去位置から杭径の6倍以上離れると、剛性・荷重に対する緩みの影響がほぼないことを確認。

- 既存杭撤去後の地盤を3次元FEMでモデル化し、水平・鉛直載荷試験結果を再現。
- 土質試験結果を用いて、せん断強度の再現精度の向上を図る。摩擦耐力は有効上載圧から設定し、既製杭メーカーによる支持力式での摩擦力項と対応付け。

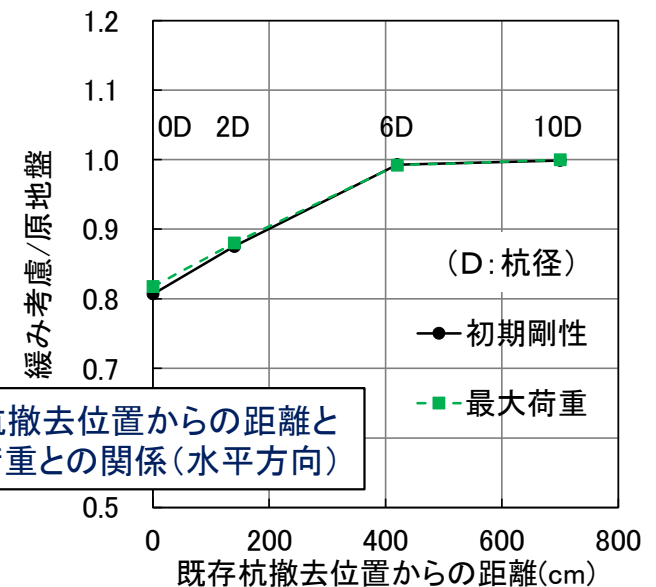
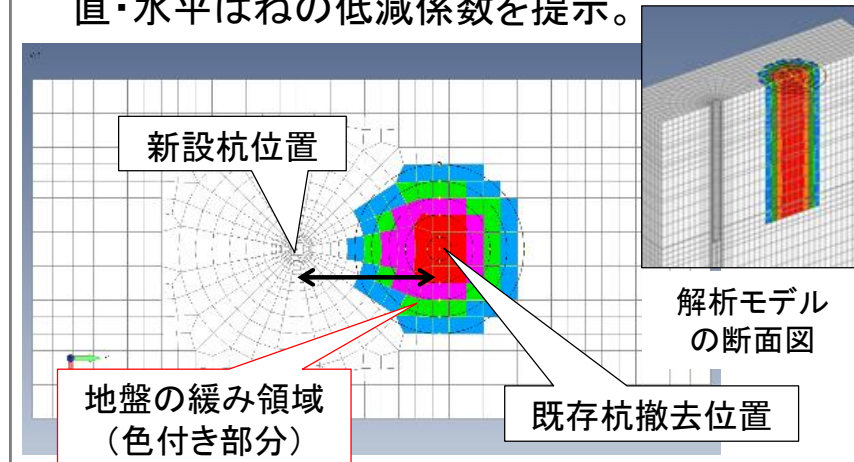


解析モデルの断面



試験結果と解析結果の比較

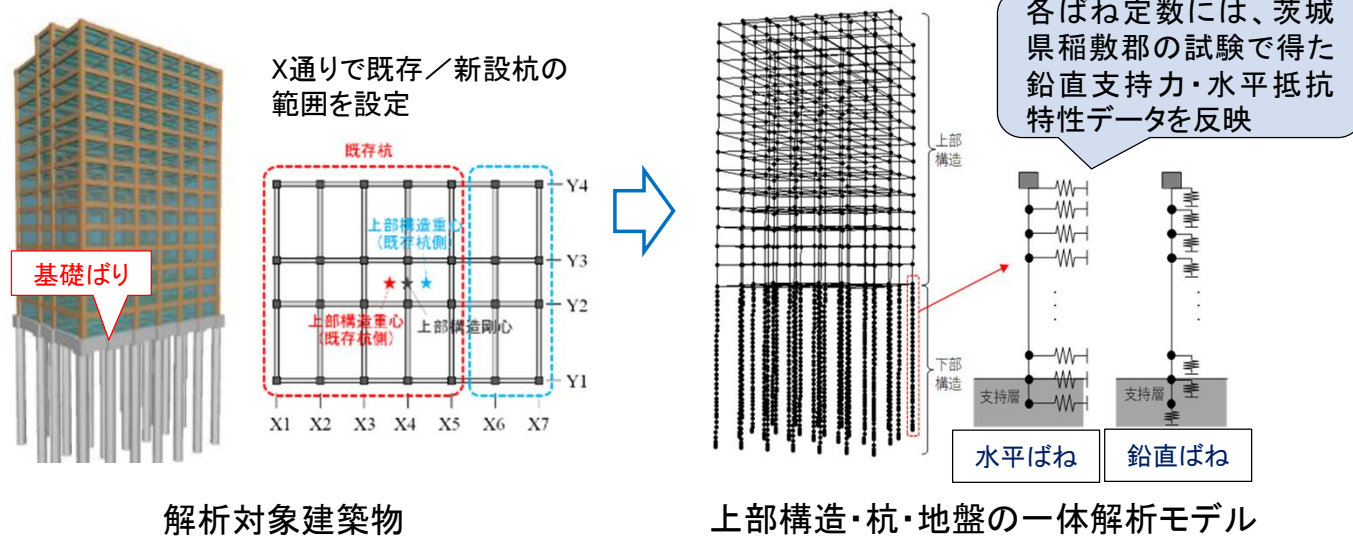
- 地盤の緩みと新設杭の位置を考慮した杭の鉛直・水平ばねの低減係数を提示。



1. 既存杭に関する検討⑤

- 既存杭を利活用した場合の杭基礎を対象に、既存杭と新設杭が混在した基礎構造が地震時の上部構造の振動特性に及ぼす影響等を、静的・時刻歴応答解析と振動台実験により検証。
- ⇒ 既存杭を利活用した場合の構造計算における、分離モデルの適用範囲を明確化(基礎ばりが剛強であること)。
- ⇒ 上部構造の固有周期が長い場合、杭基礎の水平剛性に対する偏心が上部構造の地震応答に及ぼす影響は小さいことを確認。

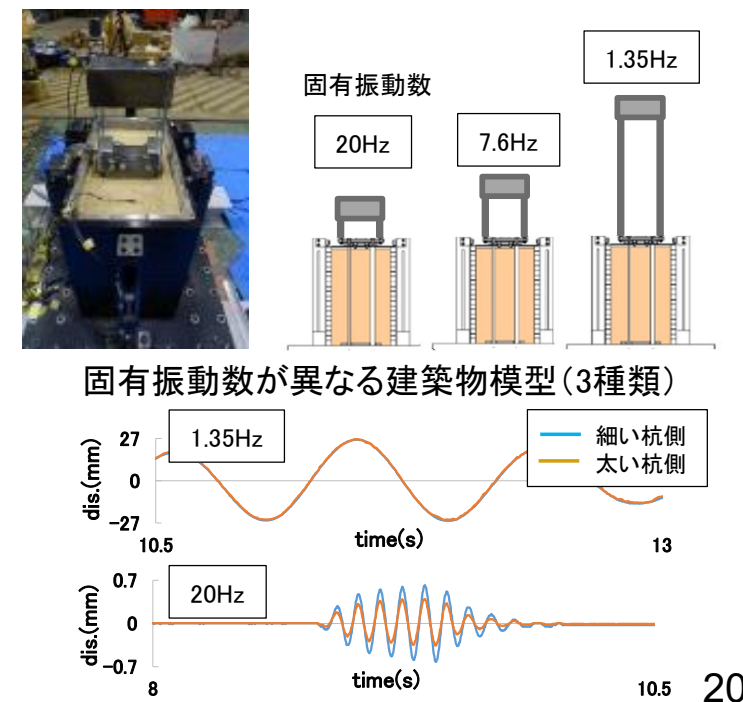
- 14階建て建築物を例に、鉛直ばね係数、杭体・基礎梁の性能、上部構造の偏心の有無を考慮した解析モデルを設定。



- 一体解析モデルと分離モデルの解析結果を比較し、両モデルの適用条件を提案。

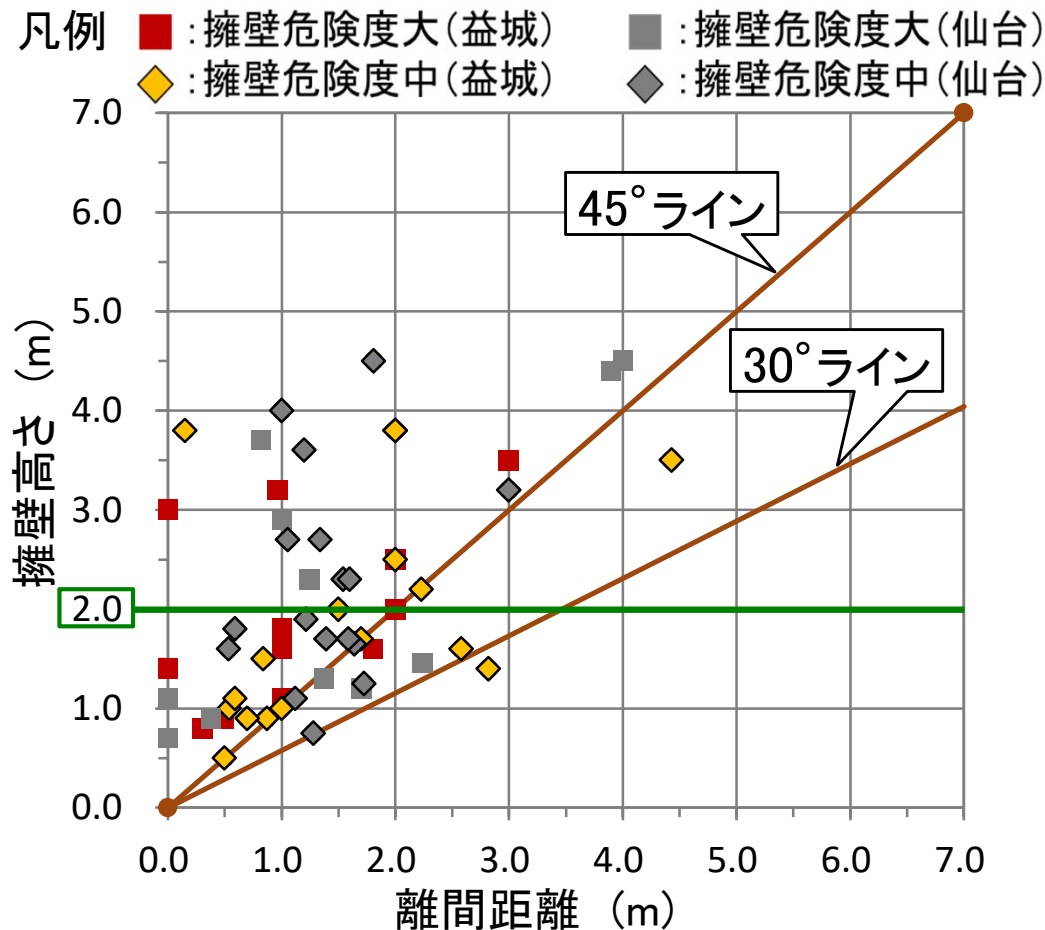
- 基礎ばりが剛強で、既存杭として耐震1次設計レベルを満足する断面の場合
 - 分離モデルを適用可能。ただし、既存杭の鉛直ばねの設定如何で、上部構造に影響が生ずる可能性あり。
- 基礎ばりと既存杭の性能が低い場合
 - 分離モデルを適用不可(基礎ばりと杭の塑性化が上部構造の応答に影響を及ぼす)。
 - 一体型モデルを用いることが望ましい。

- 1質点系の建築物模型を用いて、重力場での振動台実験を実施。アクリル製の杭の径を変えて、杭頭水平剛性の偏心(剛性偏心)を模擬。
- 固有周期が長い場合、剛性偏心に伴う上部のねじれ振動は発生しにくい。この傾向は、均一せん断棒モデルを用いた解析でも確認。

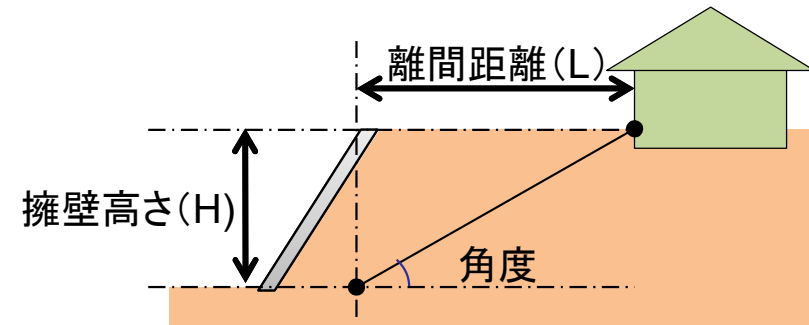


2. 既存宅地擁壁に関する検討①

- 防災上注意すべき宅地擁壁抽出のため、擁壁の高さと建築物と擁壁の離間距離に着目して被害状況を分析(対象:東日本大震災・仙台市、熊本地震・益城町)。
- ⇒ 擁壁高さが2m超の場合は45°ラインより上側、擁壁高さが2m以下の場合は30°ラインより上側。



擁壁高さ(H)と離間距離(L)の関係
建物と擁壁が共に壊れたものを対象に分析



< 擁壁高さ別の傾向 >

- 高さ2m以下の擁壁
 - ・45°ラインより上: 73.5%
 - ・30°ラインより上: 97.1%
 - ⇒ 概ね30°ラインの上に該当する擁壁が危険
- 高さ2m超の擁壁
 - ・45°ラインより上: 95.8%
 - ⇒ 概ね45°ラインの上に該当する擁壁が危険

※高さ2mで傾向が異なるのは、擁壁高さが2m以下の場合、建築確認が不要なことが影響していると推定される

2. 既存宅地擁壁に関する検討②

- 古い宅地擁壁が有する耐震性は不明なため、実大擁壁を対象に載荷実験、擁壁の強度試験、地盤特性の実験・調査を実施(実施箇所:春日井市、益城町、相馬市)。
- ⇒ 古い擁壁であっても、健全であれば載荷時の変位量は小さく耐震性が損なわれない。
- ⇒ コア圧縮試験結果から、損傷がない箇所の方が降伏点における応力は大きい。
- ⇒ 鉛直及び斜め方向のCPT調査結果は概ね一致し、斜め方向の調査により擁壁直下までの地盤状況を把握できる。

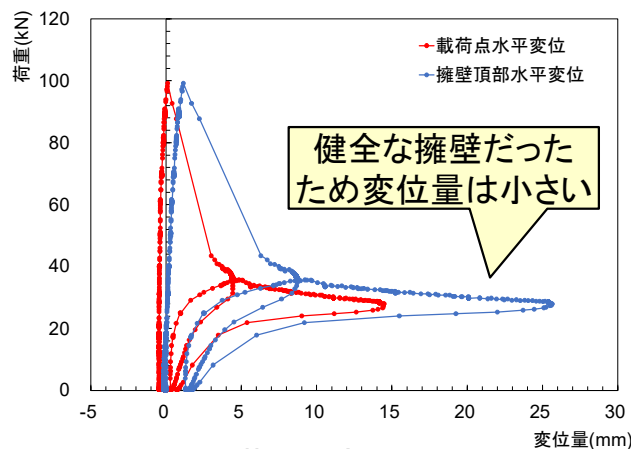
築造後約50年経過した健全と思われる擁壁を対象に載荷試験を実施し変位量を計測(コア圧縮試験、目視調査も実施)



擁壁前面の状況

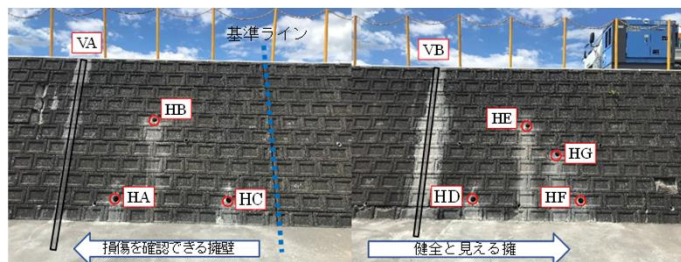


擁壁背面の状況

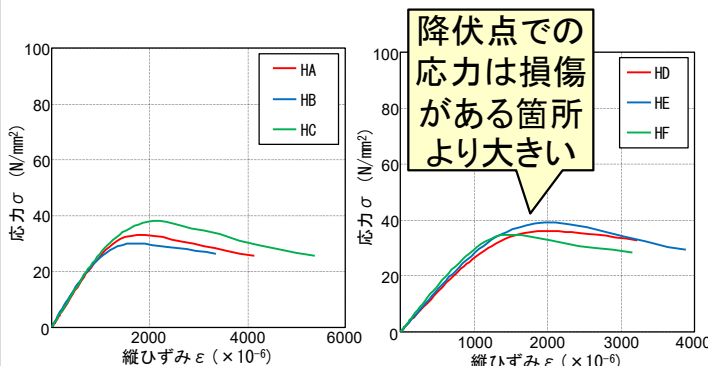


計測された荷重と変位量の関係

熊本地震で被災した擁壁を対象にコア採取・コアの圧縮試験等を実施



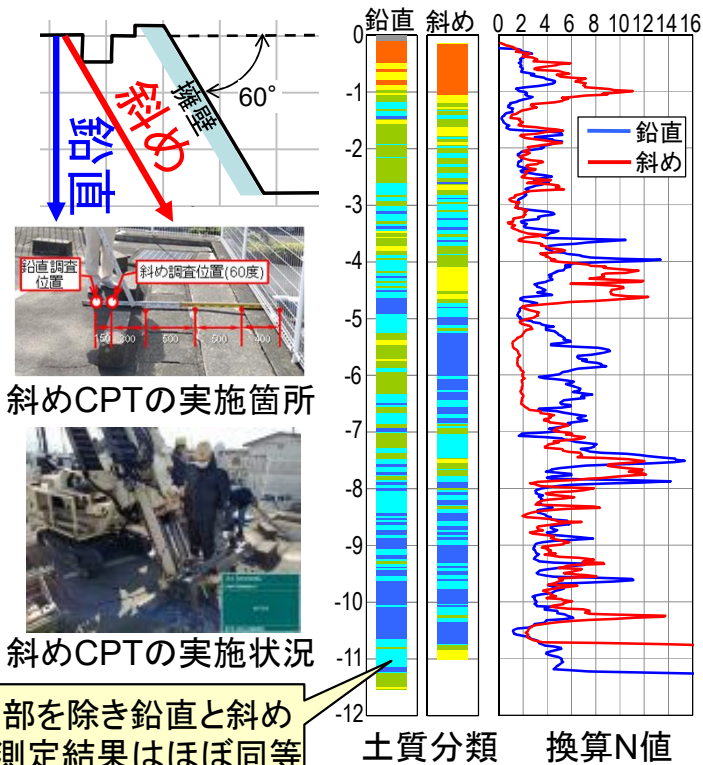
対象擁壁の前面の状況とコア採取箇所



損傷が確認できた箇所 健全に見える箇所

応力とひずみの関係図

東日本大震災で被災し補修された後、福島県沖の地震で損傷した擁壁を対象に、CPTにより地盤を調査



2. 既存宅地擁壁に関する検討③

- 宅地擁壁の耐震補強法の有効性検証のため、遠心模型実験とシミュレーション解析を実施。
- ⇒ 補強の有効性を確認し、その評価法(FEM)の構築方法を取りまとめ。

遠心模型実験による補強法別の挙動の確認



無補強時

ハラミ出し
後に崩壊

鉛直鉄筋挿入工

ハラミ出し
後に崩壊

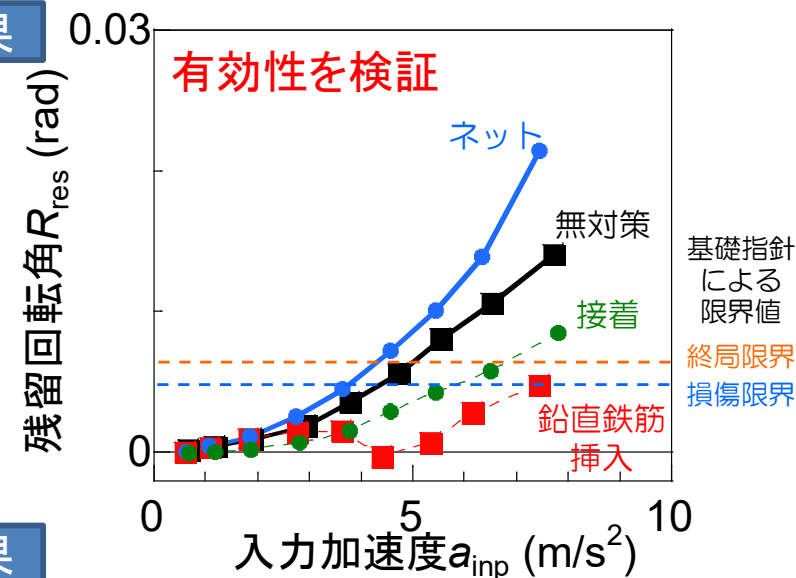
ネット補強

ハラミ出し後は
崩壊せず前傾

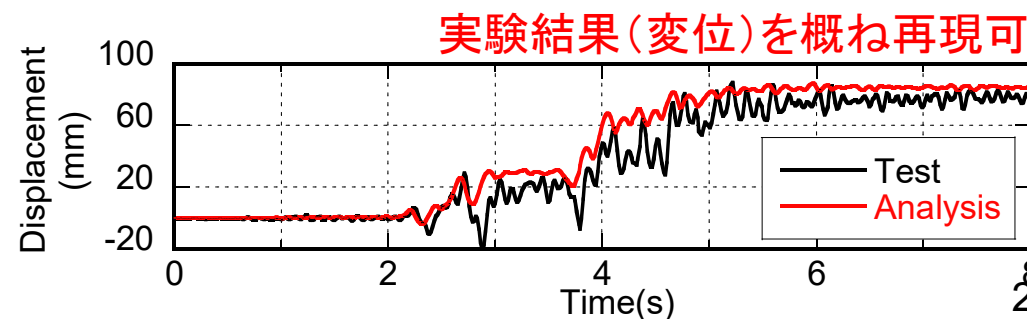
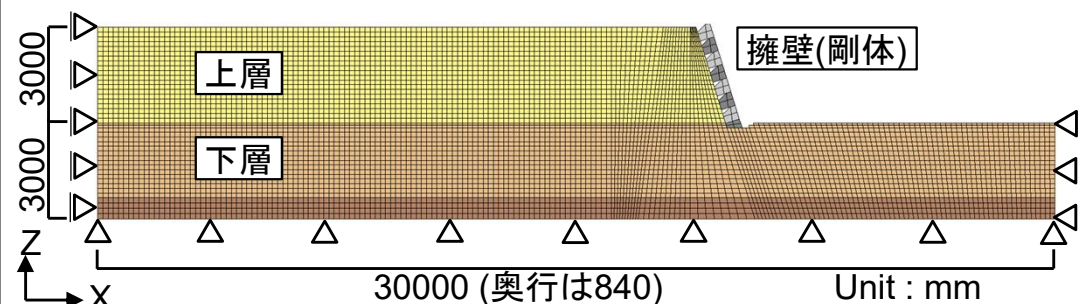
接着補強

ハラミ出し
せずに前傾

実験結果



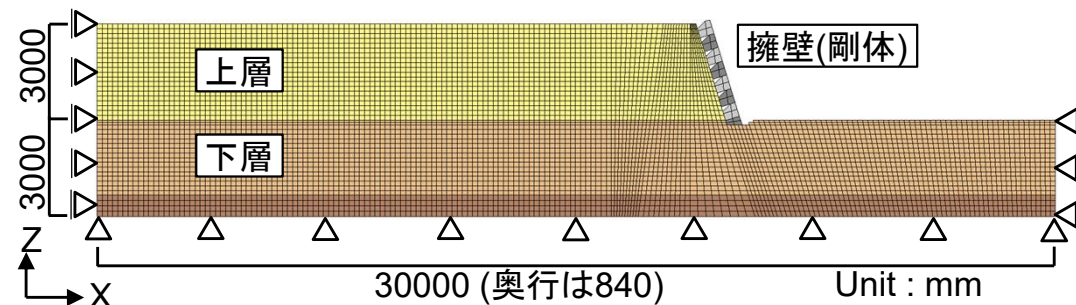
解析結果



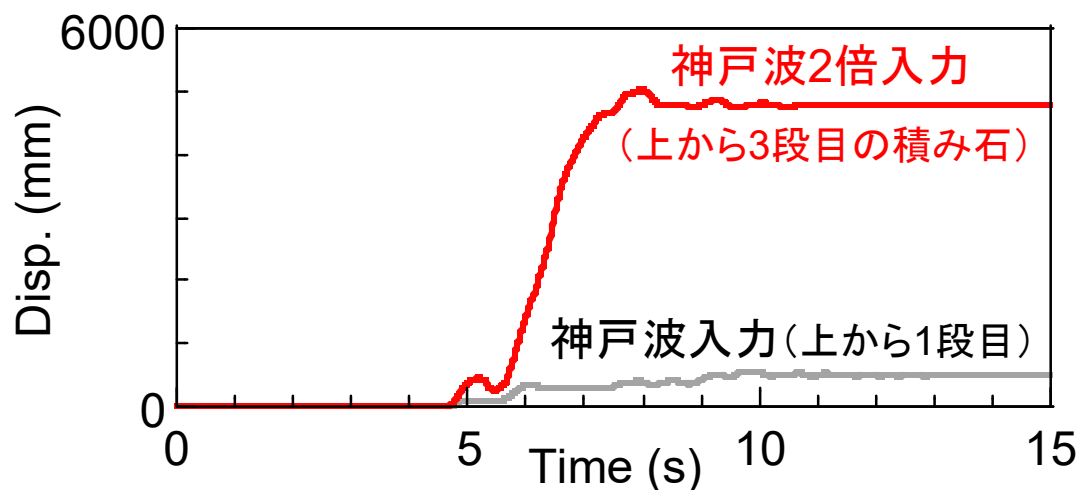
2. 既存宅地擁壁に関する検討④

- 擁壁が崩壊した場合に、積み石の影響が及ぶ範囲に対する検討を実施。
- 1995年兵庫県南部地震におけるJMA神戸波およびその2倍の地震動を入力し、擁壁の崩壊状態を確認。
- 崩壊時には、擁壁頂部の積み石には擁壁高さの2倍程度の水平変位が生じる。

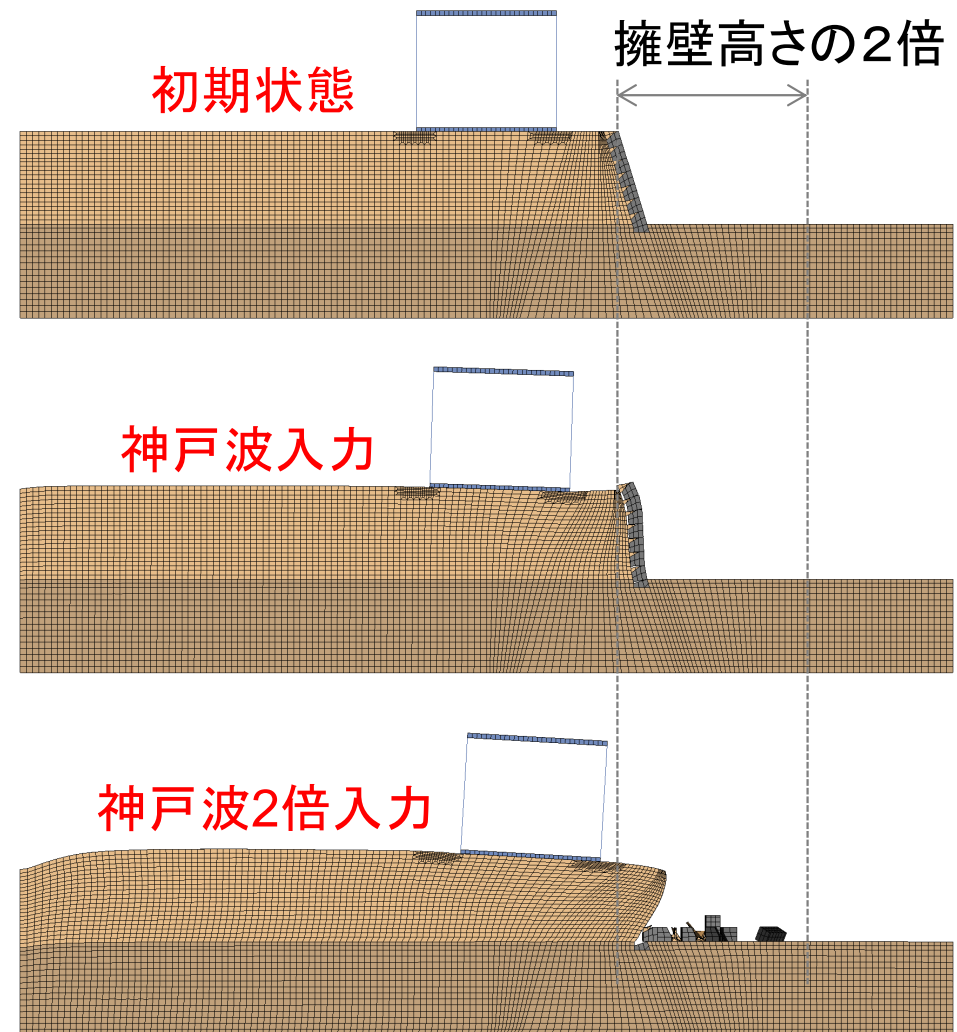
解析モデル



解析結果



積み石の水平変位時刻歴



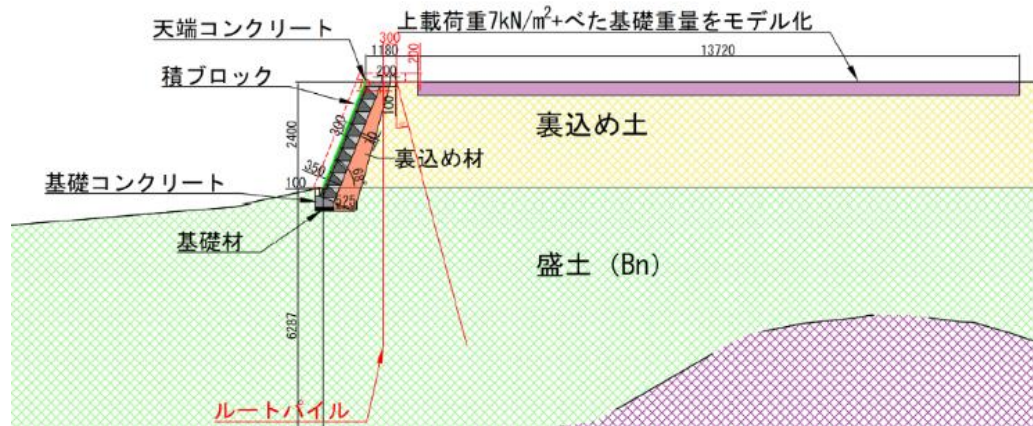
宅地擁壁の変形状態

2. 既存宅地擁壁に関する検討⑤

- 擁壁形状や地盤条件等を実際の擁壁を参考に宅地擁壁の例と補強の設計例を作成し、その補強の効果や効果を発揮する際の条件を検討。
- ⇒ 鉛直鉄筋挿入工の場合における、擁壁背後地盤が砂・砂質土、ロームの場合の設計条件が明らかとなった。
- ⇒ 注入固化工の場合においては、盛土からの排水を考慮しない場合、注入材を入れる範囲は中程度、盛土からの排水を考慮する場合は大程度の範囲が必要。

【鉛直鉄筋挿入工】

補強として鉛直鉄筋挿入工（ルートパイル）を行った設計例を作成



【試算結果】(背後地盤別)

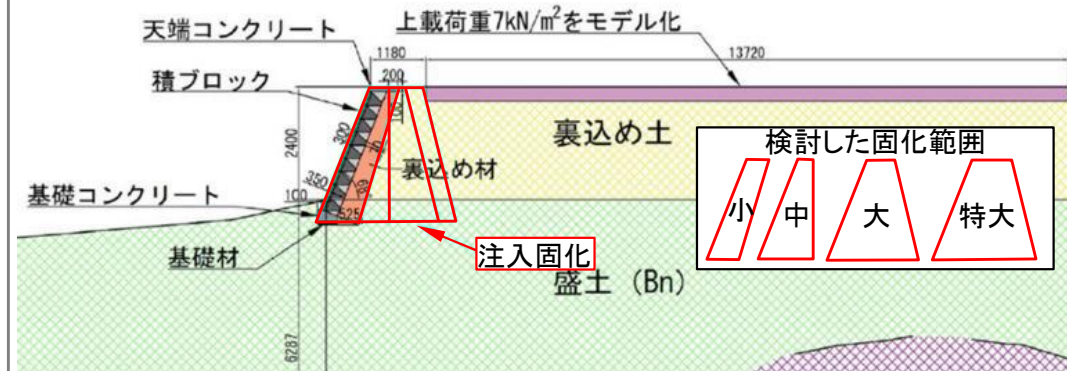
○必要抑止力を満たす条件

背後地盤	設計径	最大奥行間隔	芯材	長さ
砂・砂質土	φ 115	0.8m	D32	5.0m
ローム	φ 115	0.8m	D32	4.0m

※粘性土の場合は計算不可

【注入固化工】

補強として注入固化鉛直鉄筋挿入工（擁壁背後地盤に注入材を入れ、擁壁や背後地盤を一体化）を行った設計例を作成



【試算結果】(背後地盤別)

○必要抑止力を満たす条件

＜盛土からの排水を考慮しない場合＞

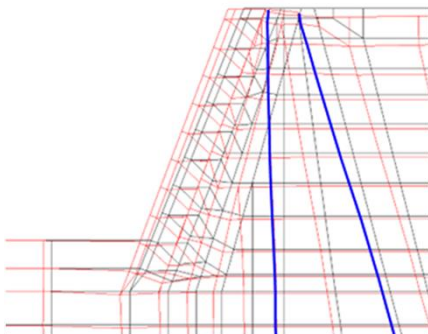
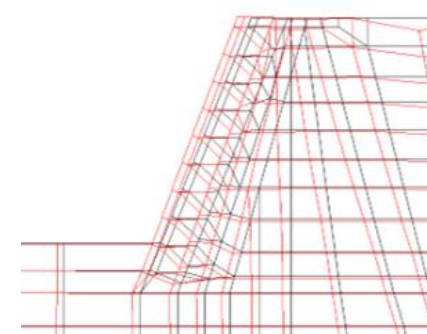
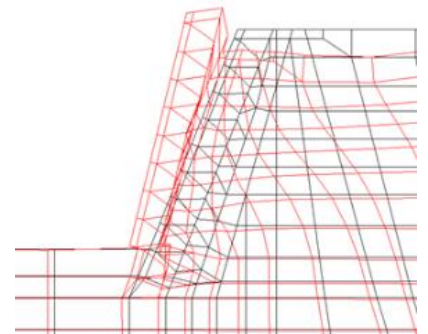
- ・固化範囲が「中」であれば満たす(すべての背後地盤)

＜盛土からの排水を考慮する場合＞

- ・固化範囲が「大」であれば満たす(砂・砂質土)
- ・全体ではなく改良率を考慮した検討を実施

2. 既存宅地擁壁に関する検討⑥

- ・ 擁壁形状や地盤条件等を実際の擁壁を参考に宅地擁壁の例を作成し、地盤条件、荷重条件、補強の条件を変えた23ケースを作成し、FEMによる解析を実施。
 - ・ 補強方法の長所・短所・対策効果・コストを検討。
- ⇒ 補強方法ごとの効果が定量的に明らかになるとともに、施工のしやすさ、コストが明らかになり、補強方法を選択し易くなった。

	鉛直鉄筋挿入工 (+コンクリート張工)	注入固化工	コンクリート張工
対策効果 (FEM解析 による残 留変形)	・ 擁壁前面方向への変位量がかなり小さくなる ・ 擁壁部全体が擁壁前面方向に変位 	・ 無補強時のような大変形はなく、沈下量・傾斜角も小さくなる ・ 補強により、擁壁が変形せず水平移動している 	・ 擁壁前面方向への変位量がかなり小さくなる ・ 擁壁下段の地表面との境界部ではわずかにせん断変形が見られる 
概算 コスト	400万円（擁壁延長10m当り）	350万円（擁壁延長10m当り）	100万円（擁壁延長10m当り）
適用性	擁壁前面に大きな施工スペースが不要なため、施工スペースが確保出来ない時に有効	擁壁前面と背面の施工スペースが小さく、注入箇所が砂質土層時に有効	擁壁の前背面の近くに重要な構造物等が無く、擁壁前面勾配が基準勾配以下等が条件