

地震による地盤の液状化

-平成28年熊本地震で生じた液状化とその被害及び対策-

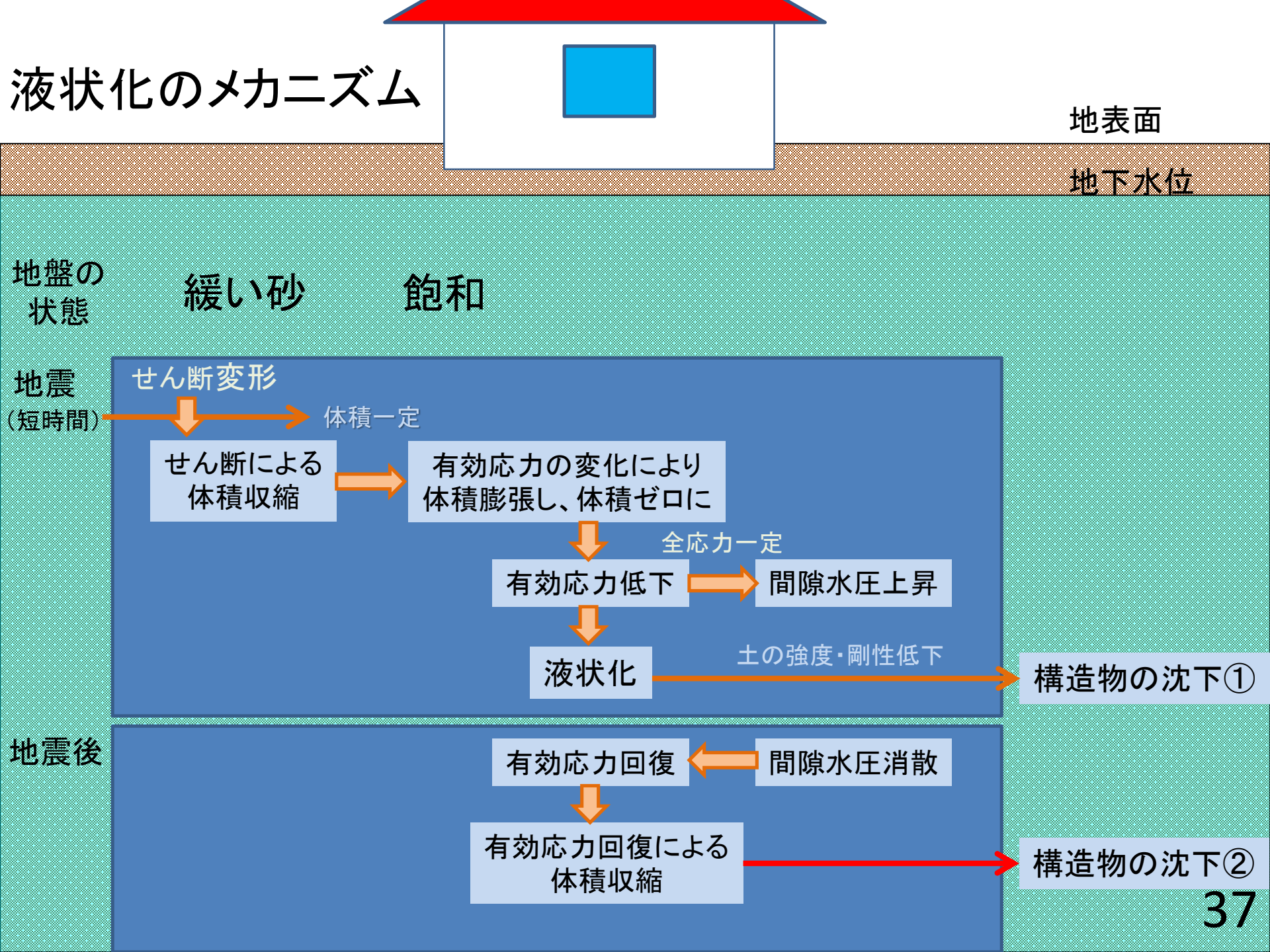
PART2 液状化対策

福岡大学工学部社会デザイン工学科
レジリエント防災研究室

村上 哲

液状化の対策を考える

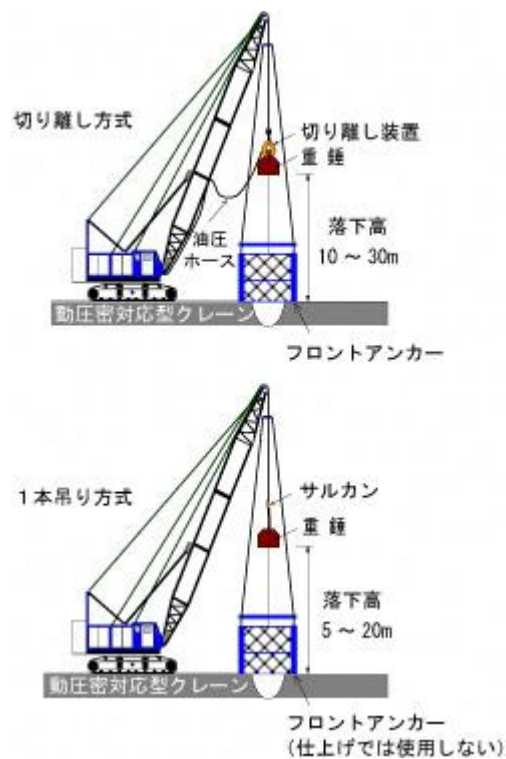
液状化のメカニズム



液状化対策工法

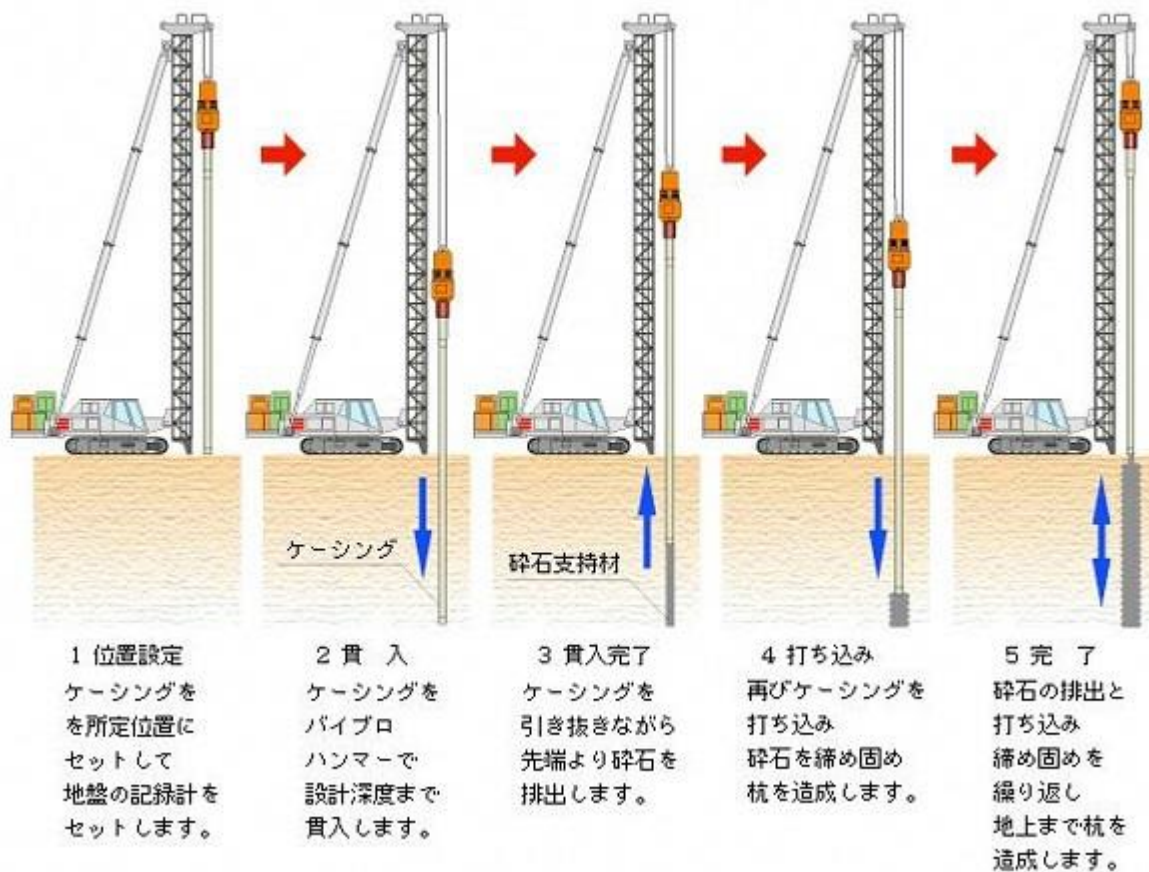
原理		目的	工法
液状化の防止	土の性質の改良 (MOVIE)	密度増加	締固め工法
		強度増加	固化処理工法
		粒度の改良	置換工法
		飽和度の低下	地下水位低下工法 不飽和化工法
	力学的環境の改良	有効応力の増大	盛土工法
		間隙水圧の抑制消散	ドレーン工法
		せん断変形抑制	地中壁工法
液状化被害の防止・低減	沈下抑制	沈下抑制	杭基礎工法
		変位抑制	補強土工法
	浮き上がり抑制	浮き上がり抑制	浮き上がり抑止杭
		重量増大	密度増大
液状化後の修復	復旧・回復	沈下・傾斜修正	ジャッキアップ工法

重錘落下締固め工法



サンドコンパクションパイル工法

振動式SCP工法の施工手順



宅地耐震化推進事業（宅地液状化防止事業）

事業概要

主に宅地の用に供され、大地震時等に液状化現象が発生する可能性のある地域において、災害の発生を抑制するため、道路・下水道等の公共施設と隣接宅地等との一体的な液状化対策を推進する。

補助対象・補助率

- (1) 宅地の液状化による変動予測に関する調査の費用：補助率1/3
- (2) 宅地の液状化を防止するために行われる事業に要する費用：補助率1/4

補助要件

- (1): 主に宅地の用に供され、大地震時等に液状化現象が発生する可能性のある地域であること
- (2): 下記の各号に該当する地区で行われるものであること
 - ① 当該宅地の液状化により、公共施設（道路、公園、下水道、河川、水路その他公共の用に供する施設をいう。）に被害が発生するおそれのあるもの
 - ② 変動予測調査等により、液状化による顕著な被害の可能性が高いと判定された3,000㎡以上の一団の土地の区域でありかつ、区域内の家屋が10戸以上であるもの
 - ③ 宅地液状化防止事業計画の区域内の宅地について所有権を有する全ての者及び借地権を有する全ての者のそれぞれ3分の2以上の同意が得られているもの
 - ④ 公共施設と宅地との一体的な液状化対策が行われていると認められるもの

事業実施主体

○都道府県・市町村

事業の特徴

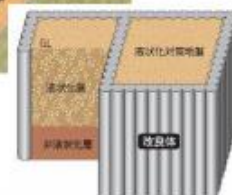
災害により現に被害を受けた造成宅地においても、上記(1)の変動予測調査により(2)の対象となったときは、本事業を活用し再度災害による被害の拡大を防止することができる。



地下水位低下工法



格子状地中壁工法

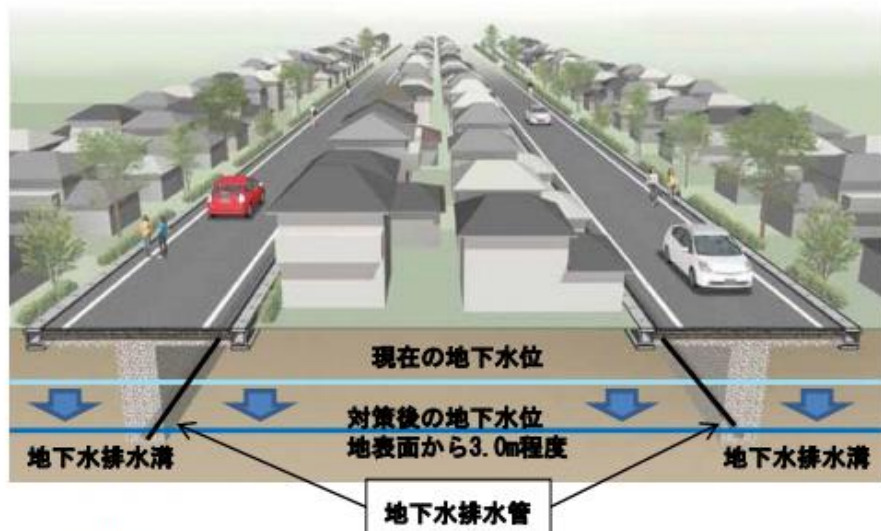


公共施設と宅地との一体的な液状化対策工法の概要

(1) 地下水位低下工法

(概要)

道路と宅地の境界（道路側溝）部分と宅地境界部分に地下排水工（砕石と有孔管）を敷設して、地下水位を下げることにより、地盤の液状化強度を増加。



(課題)

地区全体の排水計画の見直しを伴い、一般的には既存の排水施設とは別系統の排水施設（道路内の函渠の設置等）、地下水位を一定に保つためのポンプ施設、及び他地区からの地下水遮断のための止水壁等が必要。

また、粘性土層が厚く堆積している地層においては、長時間に渡る圧密沈下の発生が懸念。

(2) 格子状地中壁工法

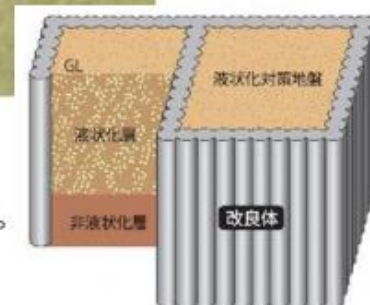
(概要)

道路と宅地の境界付近と宅地の境界部分にセメント系固化剤を混合させ、格子状の連続壁を造成。地盤のせん断変形を抑えて液状化被害を軽減。



(課題)

他の対策案と比較して工費が高額。



(1) 地下水位低下工法

(概要)

道路と宅地の境界（道路側溝）部分と宅地境界部分に地下排水工（砕石と有孔管）を敷設して、地下水位を下げることにより、地盤の液状化強度を増加。



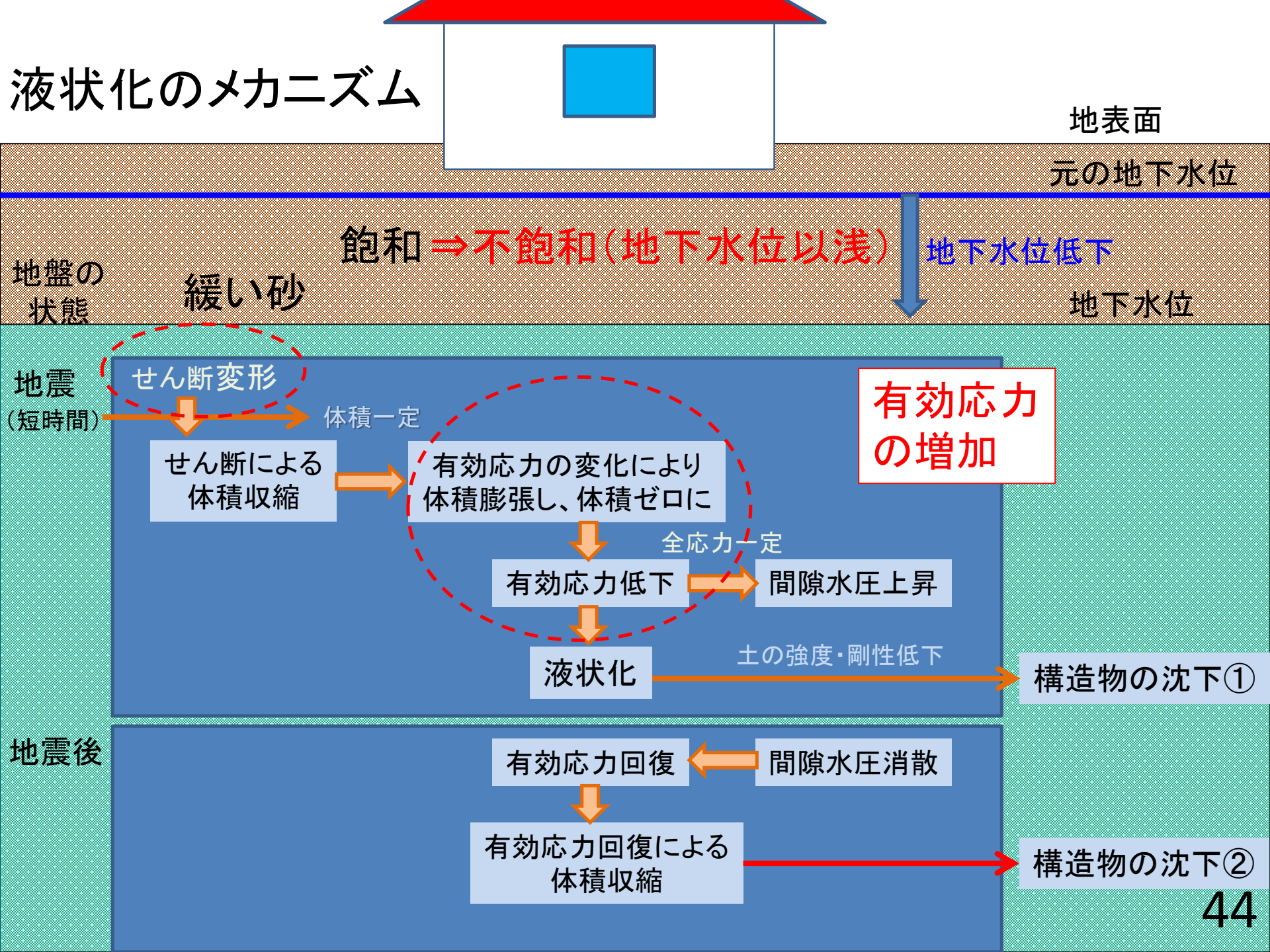
(2) 格子状地中壁工法

(概要)

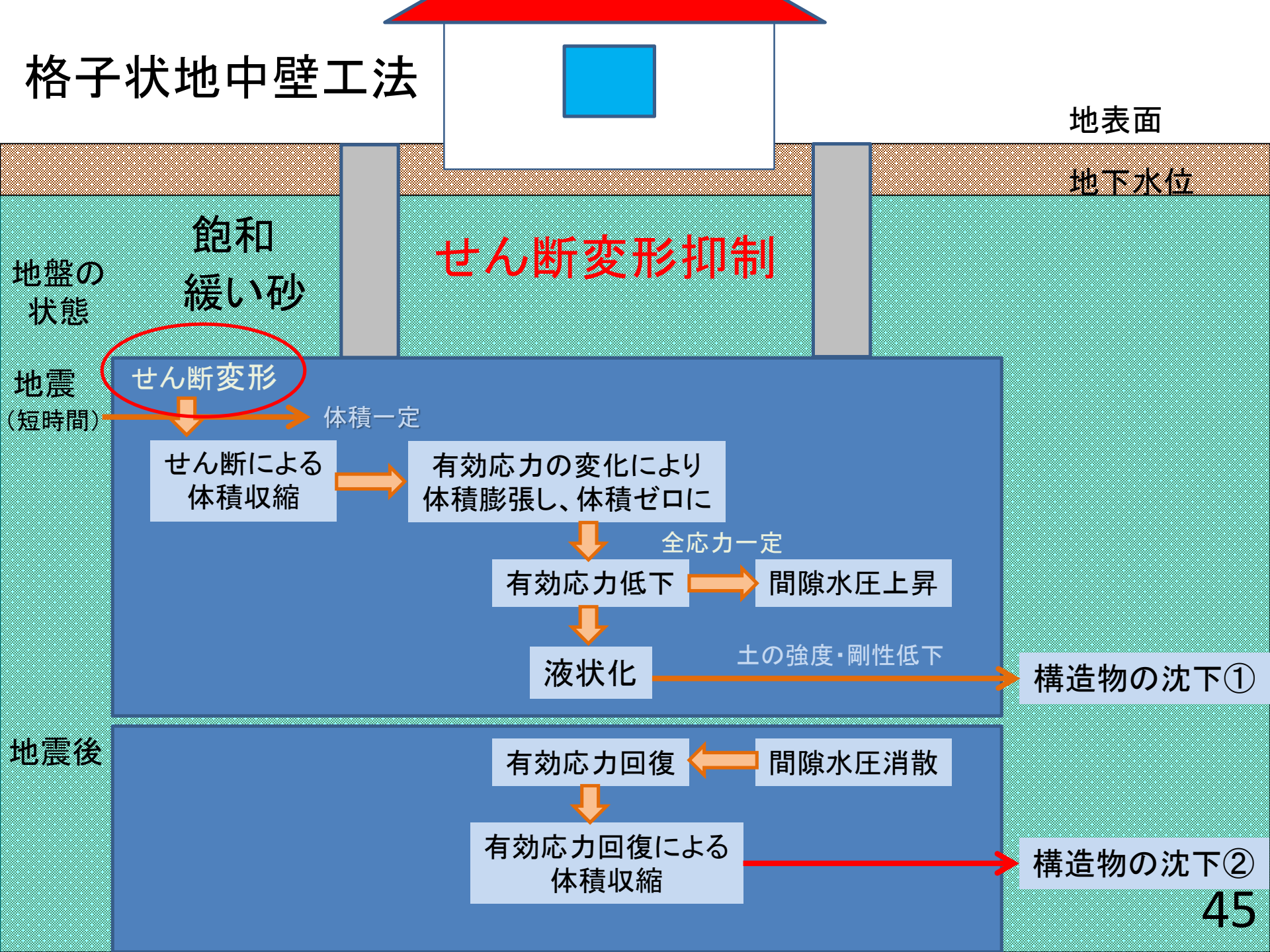
道路と宅地の境界付近と宅地の境界部分にセメント系固化剤を混合させ、格子状の連続壁を造成。
地盤のせん断変形を抑えて液状化被害を軽減。



液状化のメカニズム



格子状地中壁工法



個別対策の考え方

防止策

軽減策

無対策

地震

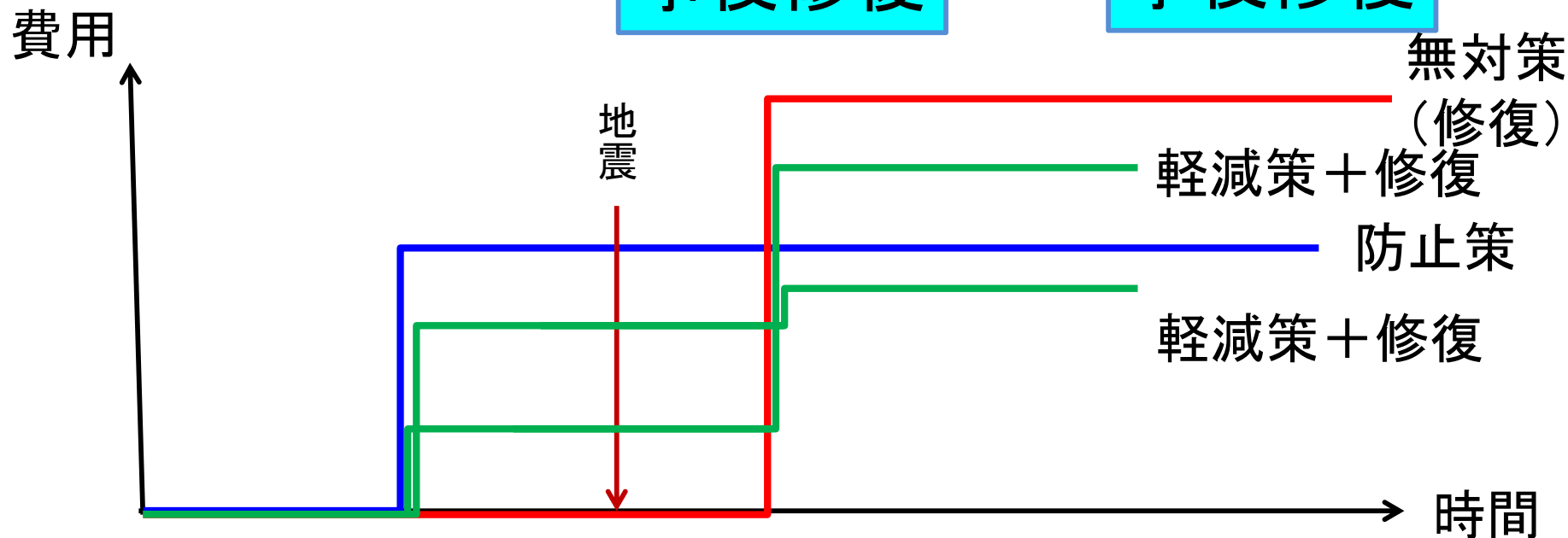
無被害

軽微な被害

被害

事後修復

事後修復

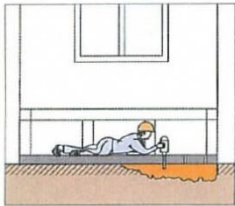
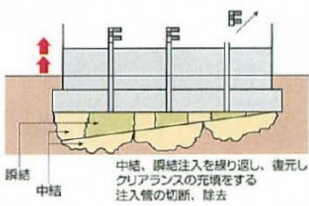
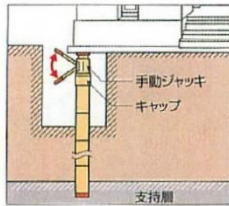
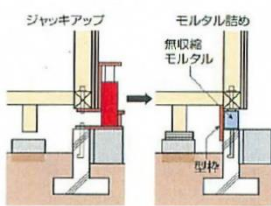


個別液状化対策

- 個別の液状化対策
 - －（単に液状化対策と言っても。。。）
 - － 液状化させない対策
 - － 液状化しても被害軽減を期待できる対策
 - － 液状化被害を受けた場合に、復旧・修復により対応する

修復工法

傾斜住宅の修復工法

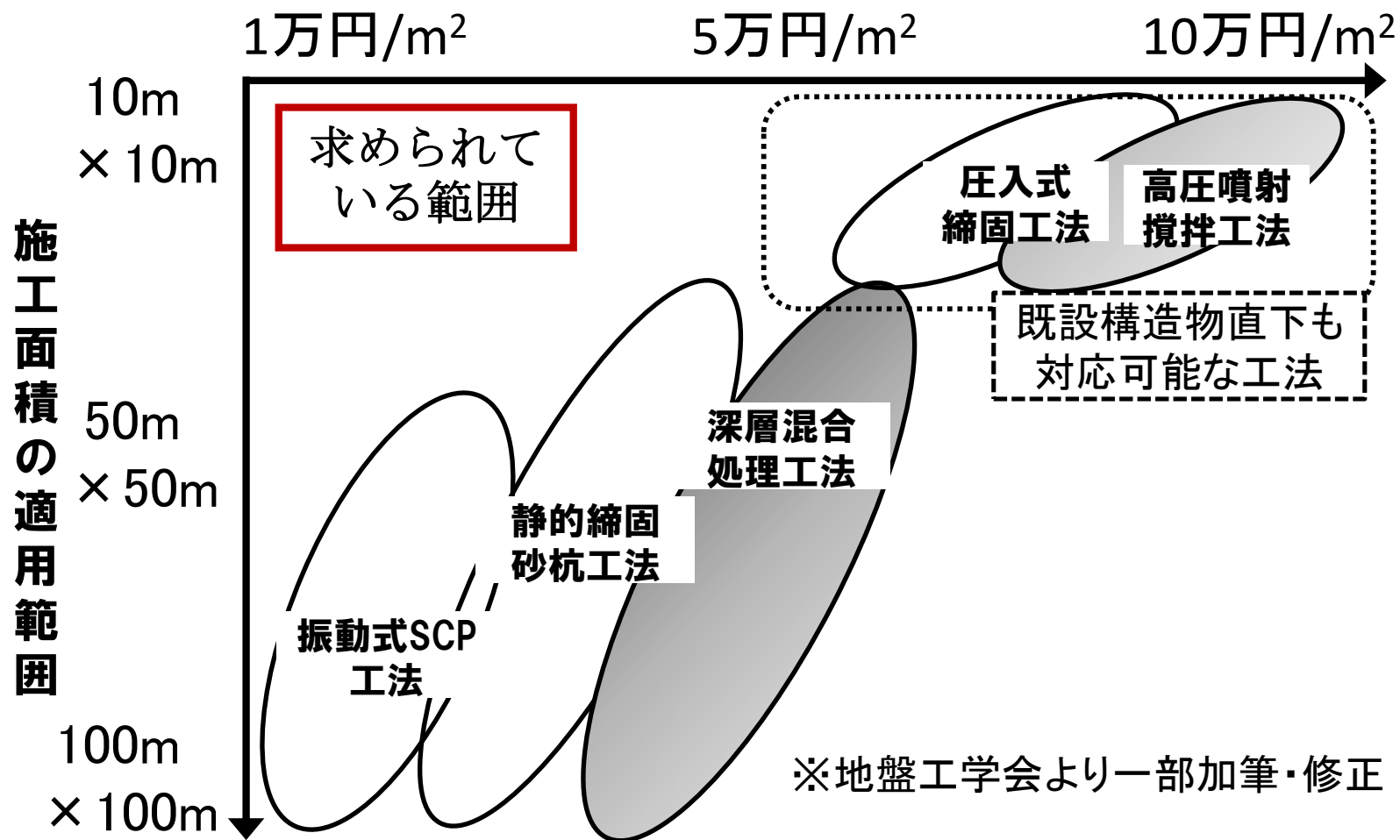
工法名	硬質ウレタン注入工法	グラウト注入工法	アンダーピニング工法	耐圧板工法	ブッシュアップ工法
工法の内容	 1階床下に潜り込み、基礎下にウレタン樹脂を注入。その発泡圧力で基礎を押し上げ傾斜した住宅を元に戻す	 1階床下に潜り込み、セメント系薬液を注入。注入量と注入圧により傾斜した住宅を基礎ごと元に戻す	 家の基礎下の土を掘り起こし、家の荷重とジャッキの力を利用して地盤に杭を打ち込む。その支持力によって傾斜した住宅を基礎ごと元に戻す	 家の基礎下の土を掘り起こし、固定ベースジャッキを設置。ジャッキで修正後、地盤との隙間に無収縮モルタルなどを圧入し、傾斜を戻す	 土台よりジャッキアップし、束の高さをスベークサーで調整。基礎と土台をアンカーボルトで留め、隙間を無収縮モルタルで埋める
施工条件	ベタ基礎。傾き5cm程度まで。隣地間隔条件なし	ベタ基礎。傾き5cm程度まで。隣地間隔条件なし	基礎の形状を問わない。傾きの条件なし。隣地間隔は100cm程度必要	基礎の形状を問わない。傾きの条件なし。隣地間隔100cm程度必要	基礎の形状を問わない。傾き10cm程度まで。隣地間隔条件なし
工事費の目安 *1	350万～600万円程度	300万～600万円程度	600万～1000万円程度	500万～700万円程度	200万～300万円程度
工期	1～3週間	1～2週間	1～2カ月	2～5週間	2～3週間
床・壁の補修の必要 *2	床面の撤去や復旧の必要なし	床面の撤去や復旧の必要なし	1階の床面の解体・復旧が必要	床面の撤去や復旧の必要なし	床面の撤去や復旧の必要なし
メリット	床下から施工をするので生活にほとんど支障がない。部分沈下の修正に向く。液状化した地盤の上層部を一部改善できる	工期が短く比較的安価。場合によっては内部の床の解体・復旧工事が必要。液状化地盤の上層部は一部改善可能	打ち込んだ杭をそのまま支持杭にするので、再沈下の危険が少ない	支持層が浅い場合や地盤沈下が収束している場合に向く	工期が短く、費用が安価。ただし、基礎が傾斜した状態での処置となるため、傾斜が大きい場合は注意が必要

日経ホームビルダー編：東日本大震災の教訓 住宅編(2011)より

個別液状化対策

- 個別の液状化対策
 - （単に液状化対策と言っても。。。。）
 - 液状化させない対策（液状化防止）
 - 液状化しても被害軽減を期待できる対策（液状化被害軽減）
 - 液状化被害を受けた場合に、復旧・修復により対応する（修復）

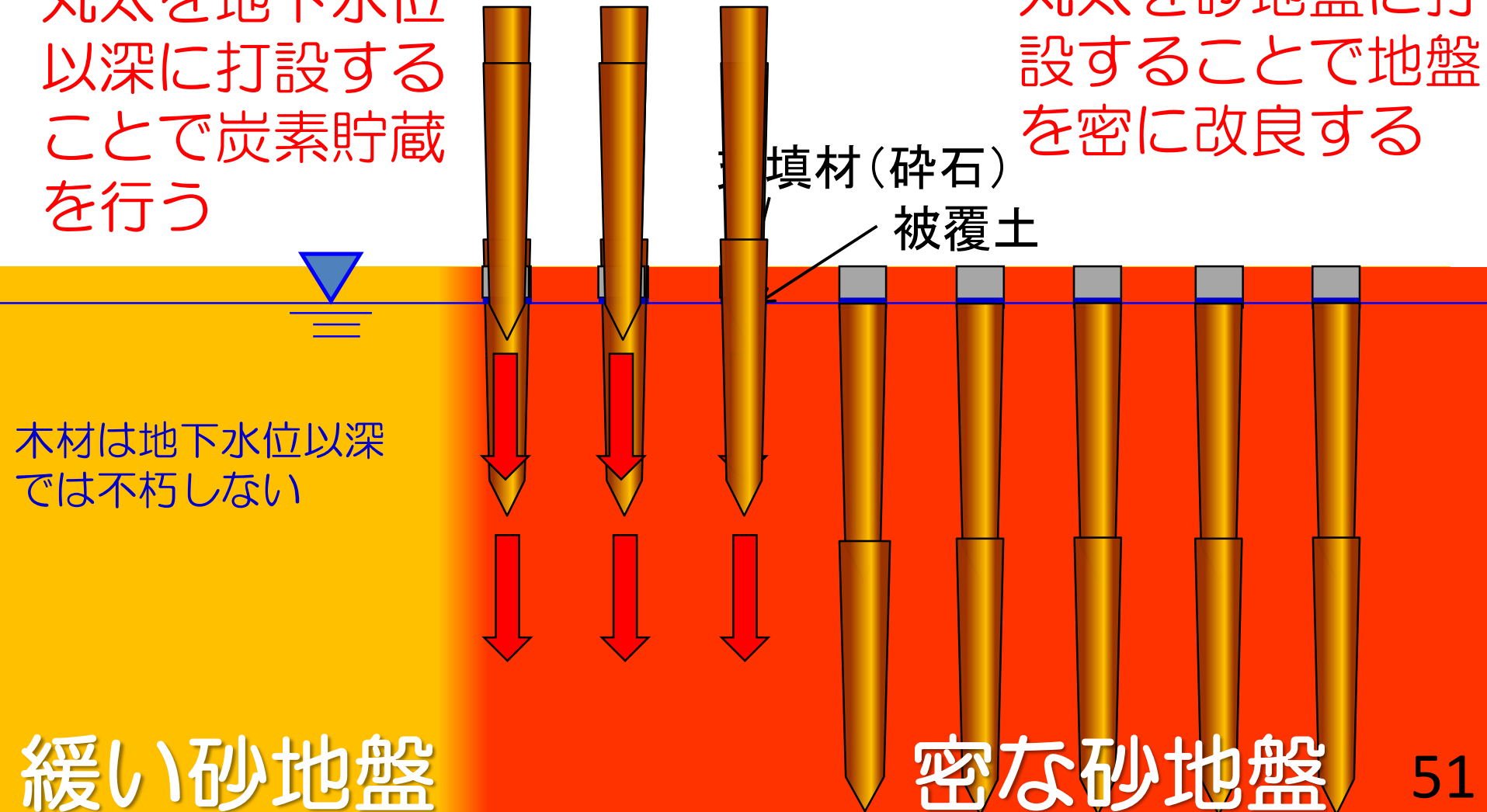
液状化対策費用

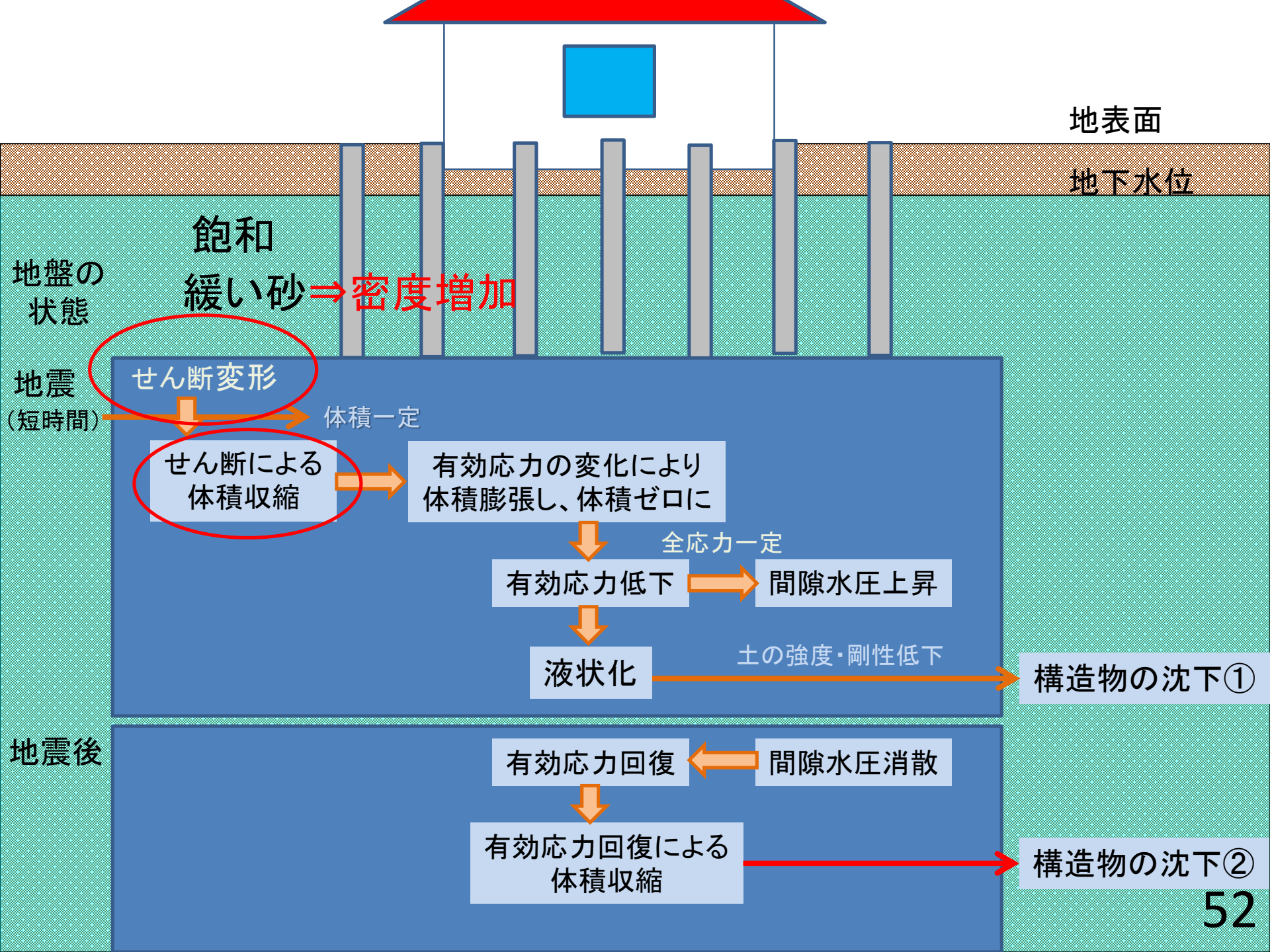


液状化対策と炭素貯蔵の原理

丸太を地下水位
以深に打設する
ことで炭素貯蔵
を行う

丸太を砂地盤に打
設することで地盤
を密に改良する





施工事例(駐車場の液状化対策)

施工前状況



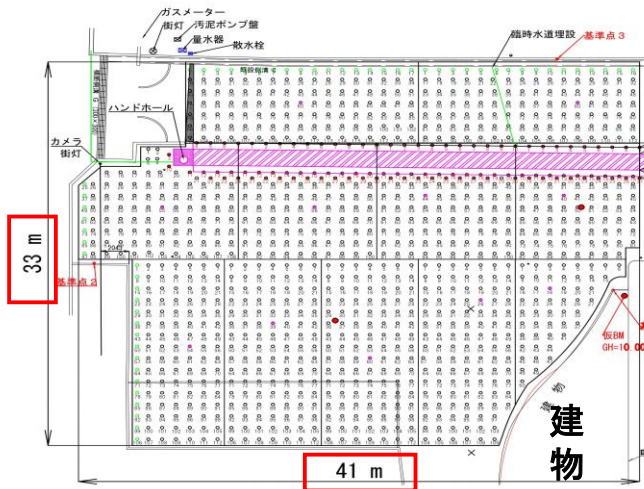
2016年4月14日 震度7の熊本地震による被害

噴砂による地盤沈下

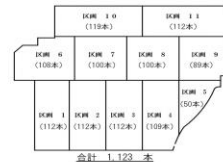
施工事例

LP-LiC工法工事内容

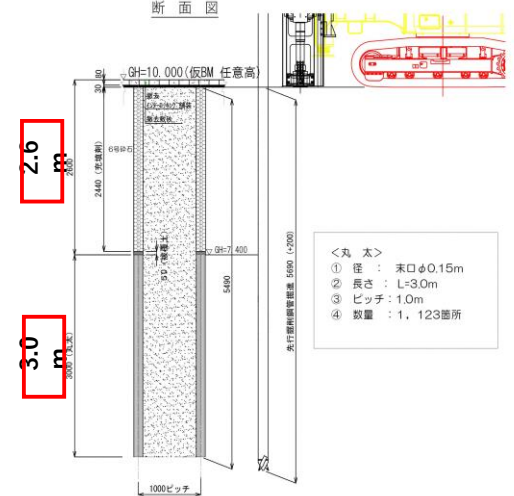
丸太打設配置平面図



11区画
に分割し管理



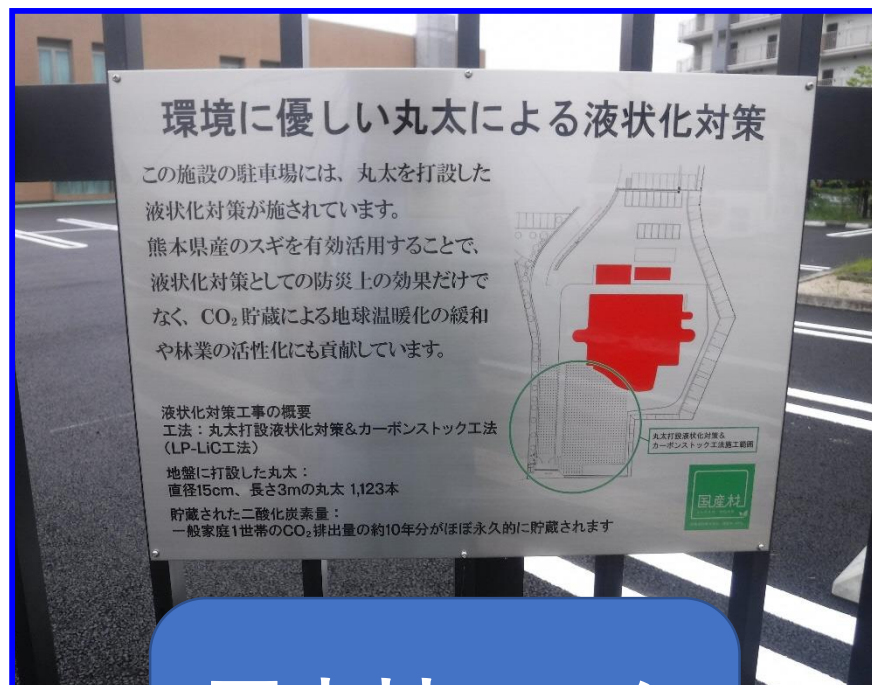
丸太打設断面図



丸太打設間隔: 1.0m, 改良深度: 5.6m, 丸太頭部深さ: 2.6m
丸太末口径: 0.15m, 丸太長さ: 3m
使用樹種: スギ(熊本県産材)
改良面積: 1,050m², 丸太打設点数: 1,123点(1,123本),
丸太使用材積: 75m³

施工事例

LP-LiC工法の施工の様子

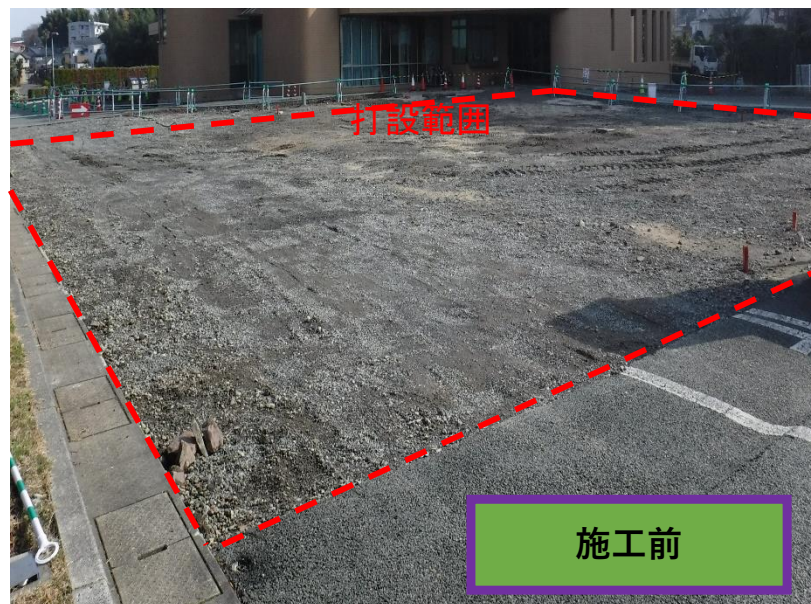


国産材マーク の設置

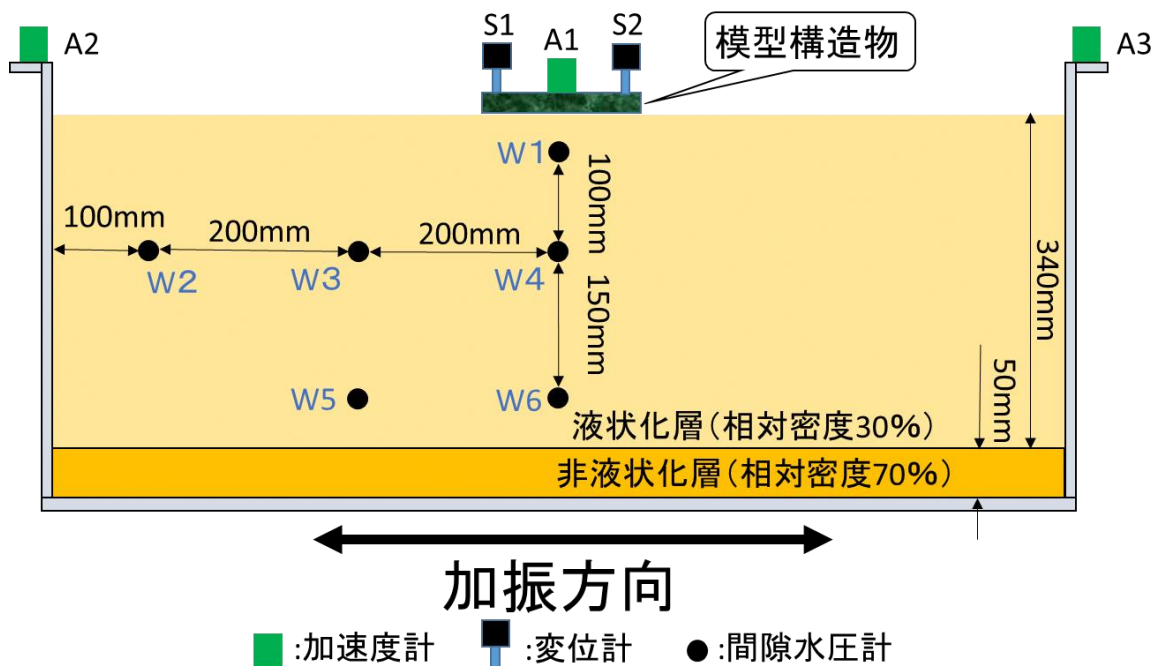
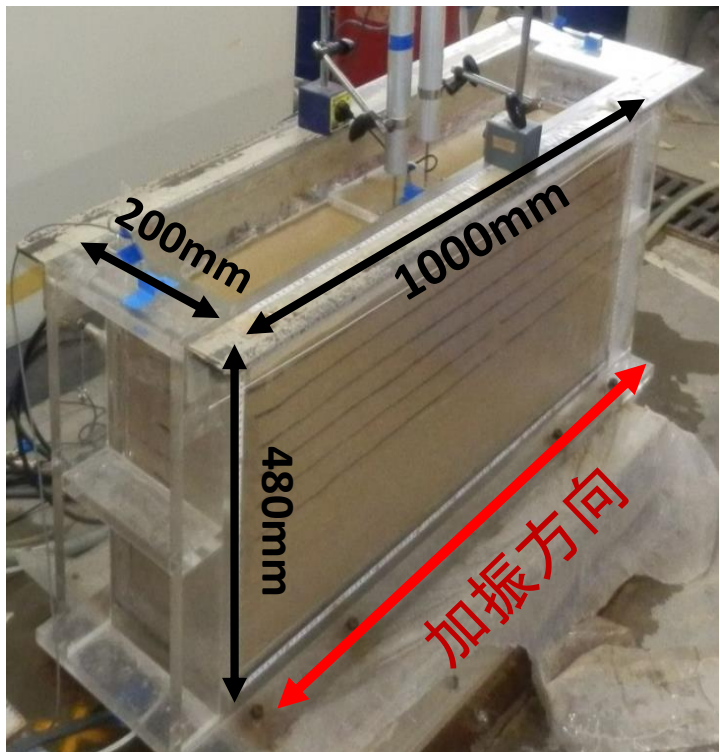


施工事例

木材活用地盤対策研究会提供



1g場震度台模型実験装置によるCSP杭の効果の検証実験



振動台

加速度: 200gal

周波数: 5Hz

加振時間: 6sec

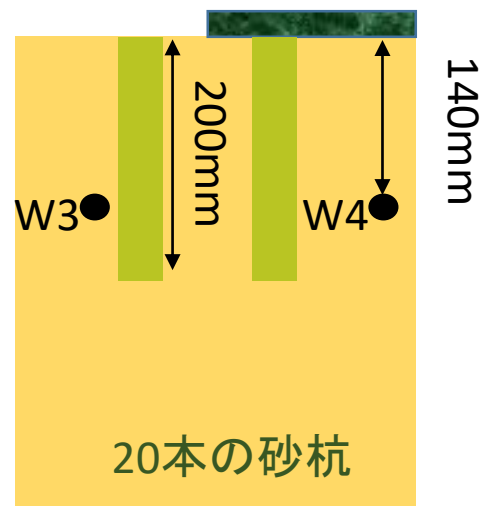
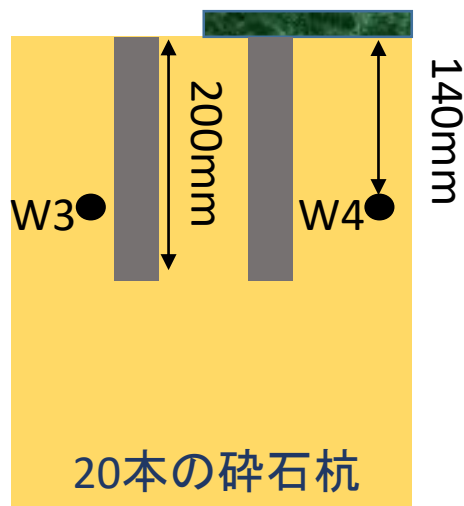
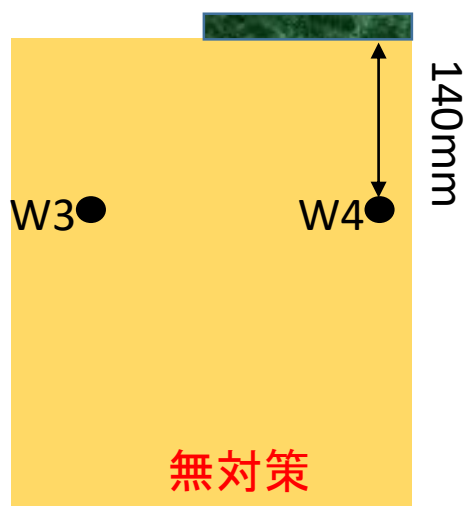
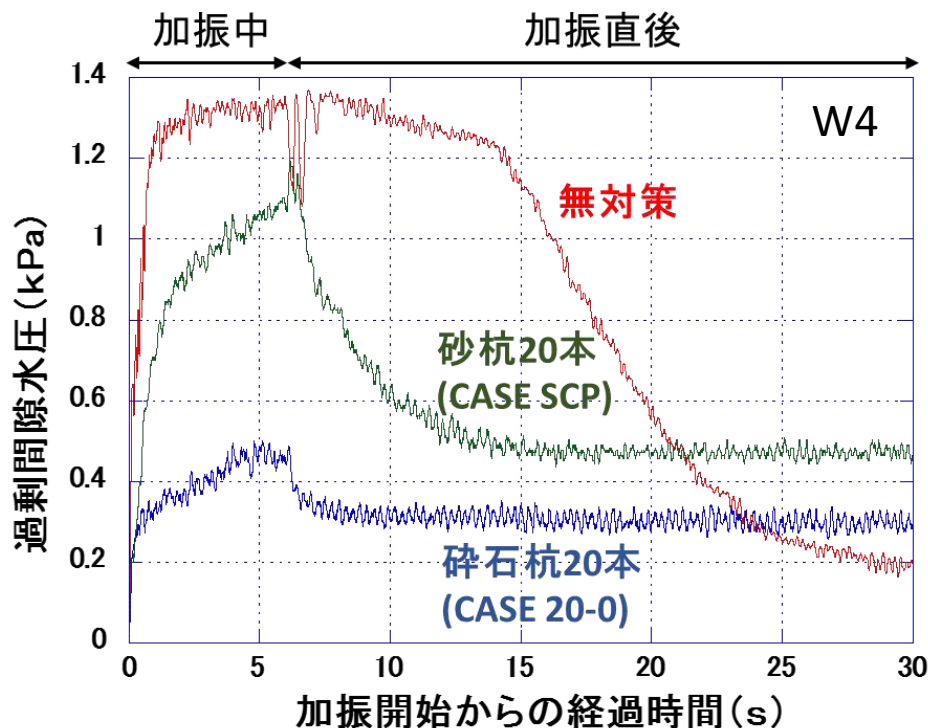
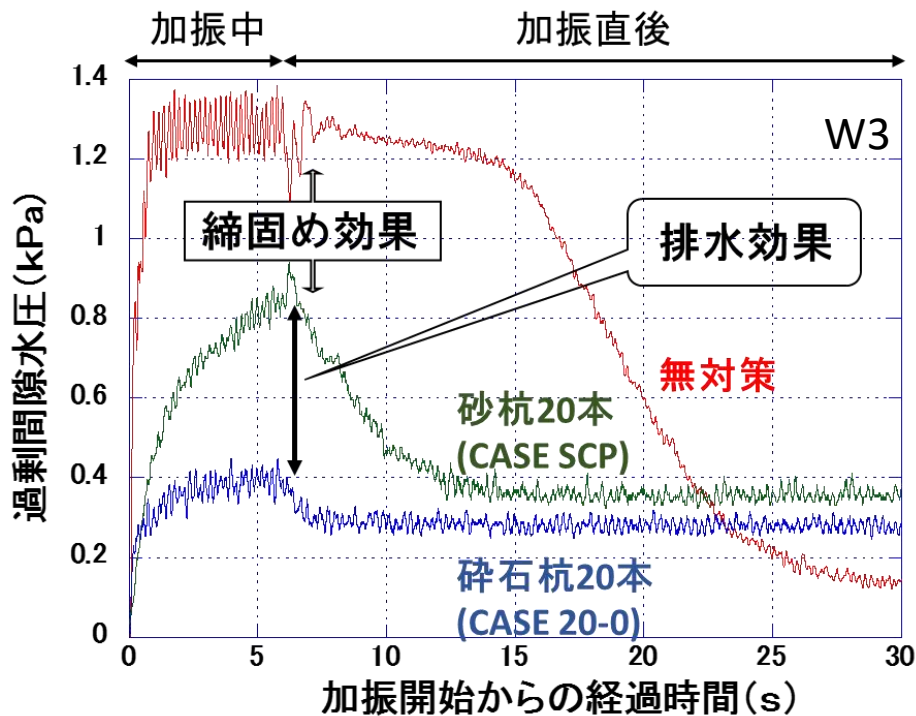
測定器

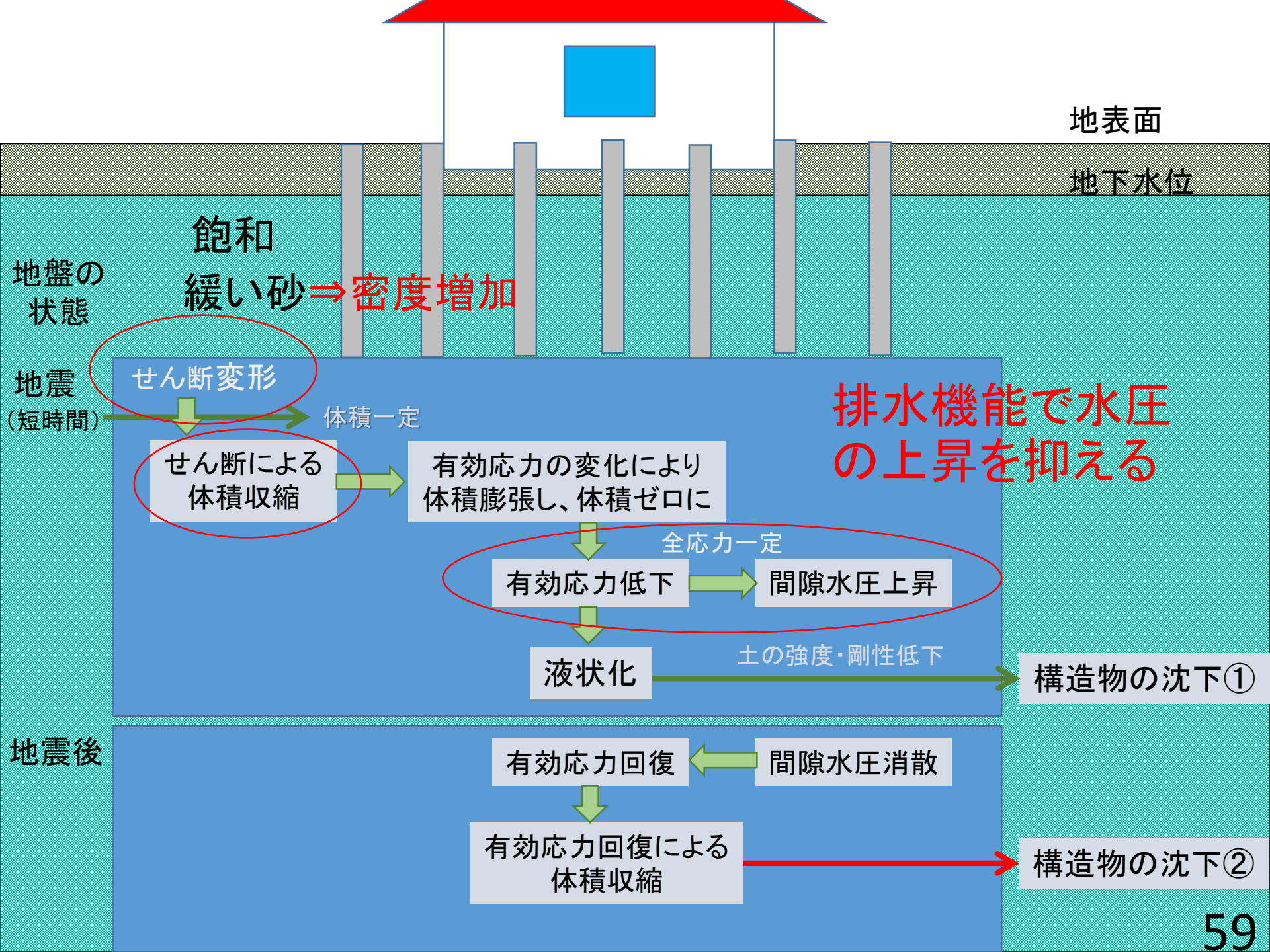
加速度計
A1, A2, A3

変位計
S1, S2

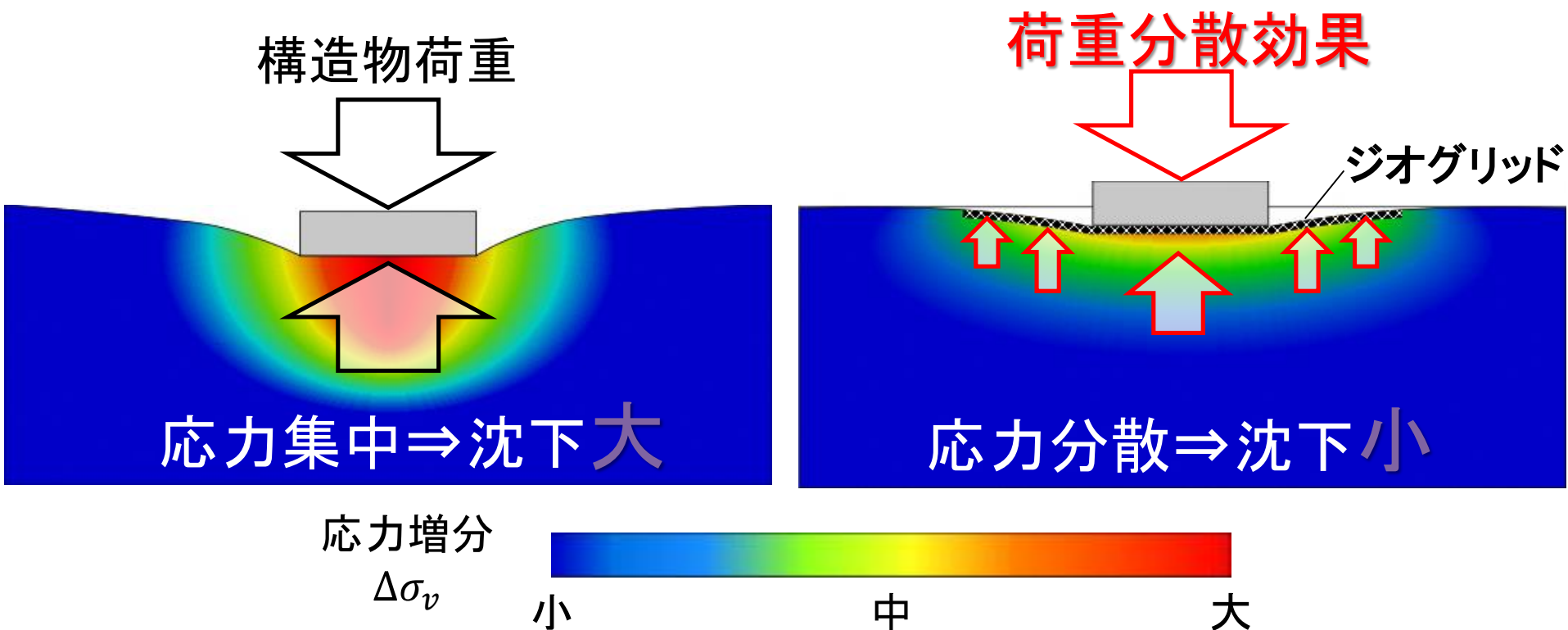
間隙水圧計
W1, W2, W3, W4, W5, W6

実験結果一締固め効果と排水効果





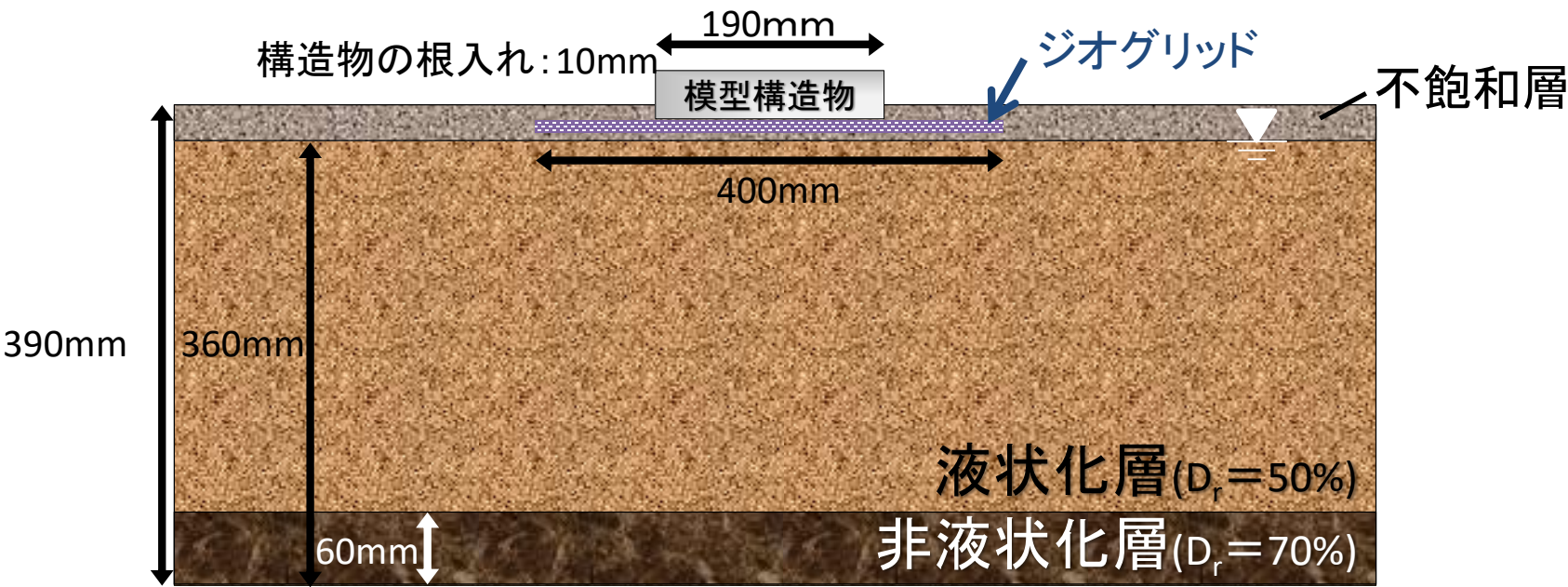
被害軽減：ジオシンセティックス適用例



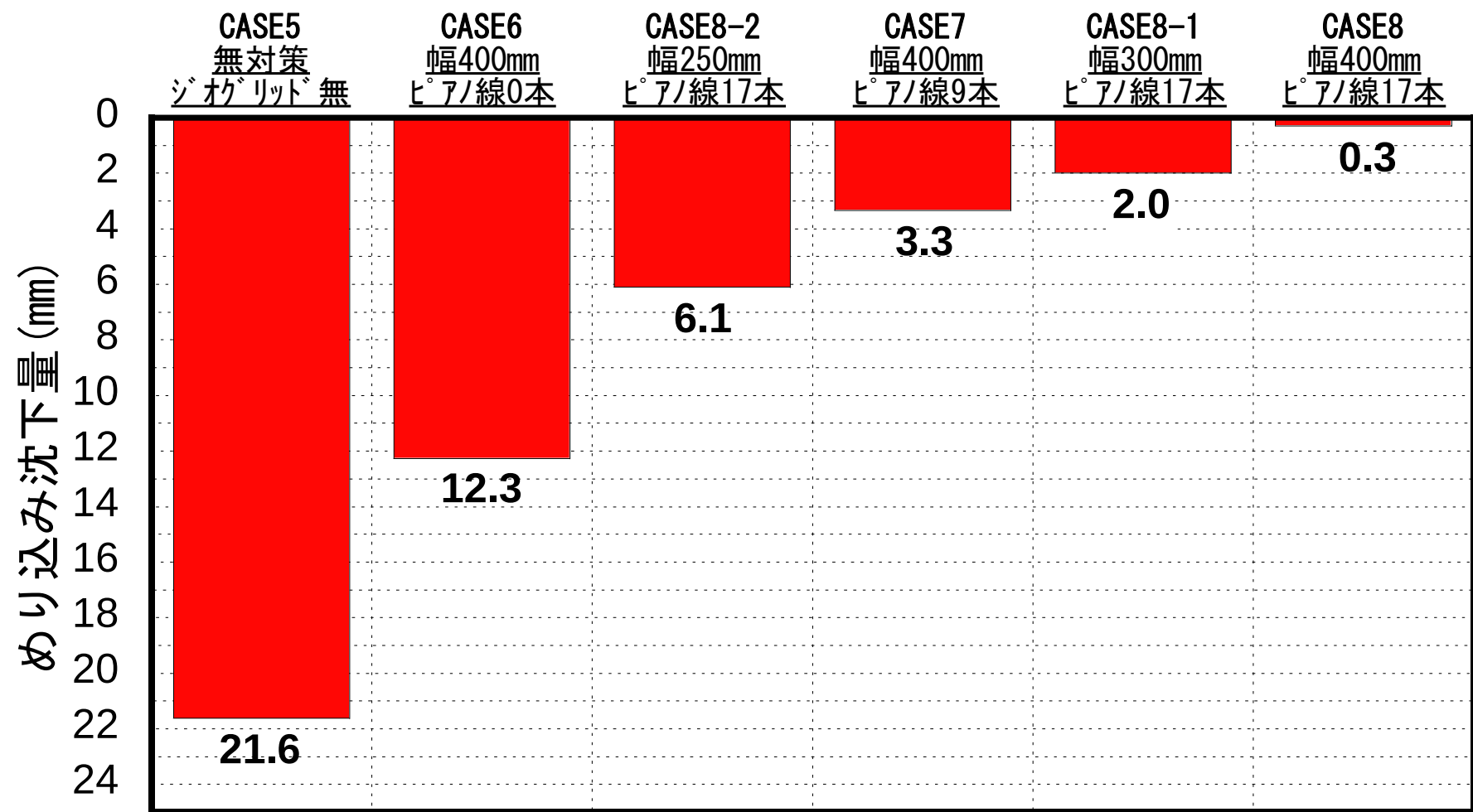
加振中に構造物荷重がジオグリッドによって分散され
地盤内で生じる応力が小さくなり沈下が抑制される

実験条件ジオグリッドの液状化時沈下抑制効果

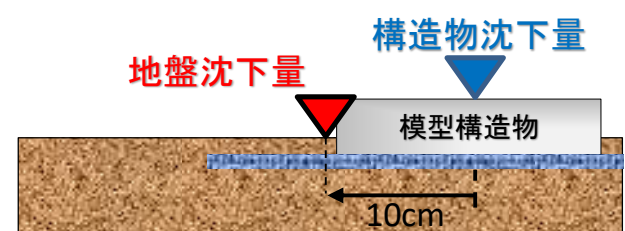
	構造物質量	ジオグリッド幅	ピアノ線本数	曲げ剛性(N・m ²)
CASE5	1.9kg	無対策	—	—
CASE6		400mm	0	2.30×10^{-4}
CASE7			9本	5.93×10^{-2}
CASE8			17本	6.45×10^{-2}
CASE8-1		300mm		
CASE8-2		250mm		



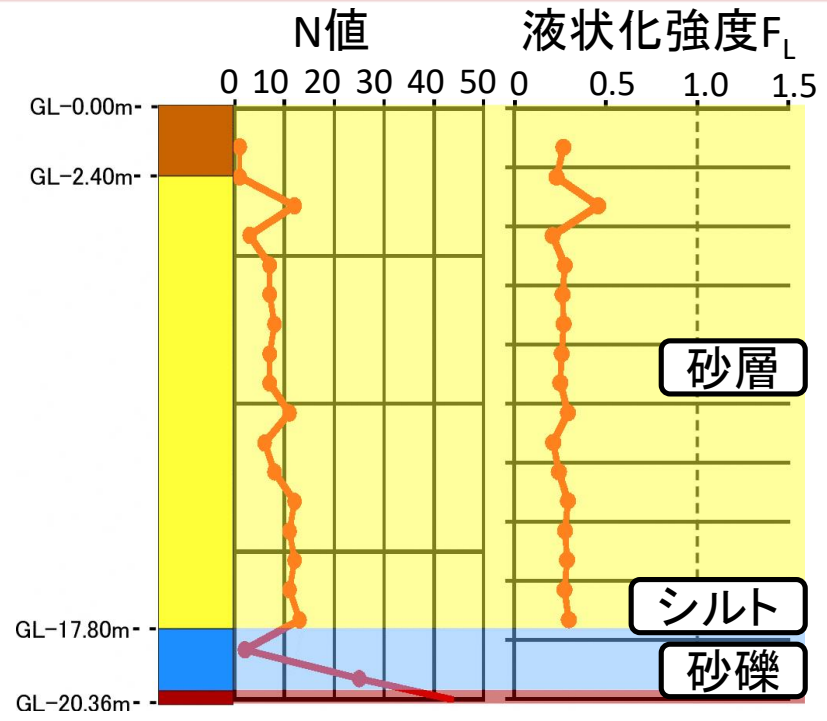
実験結果(めり込み沈下)



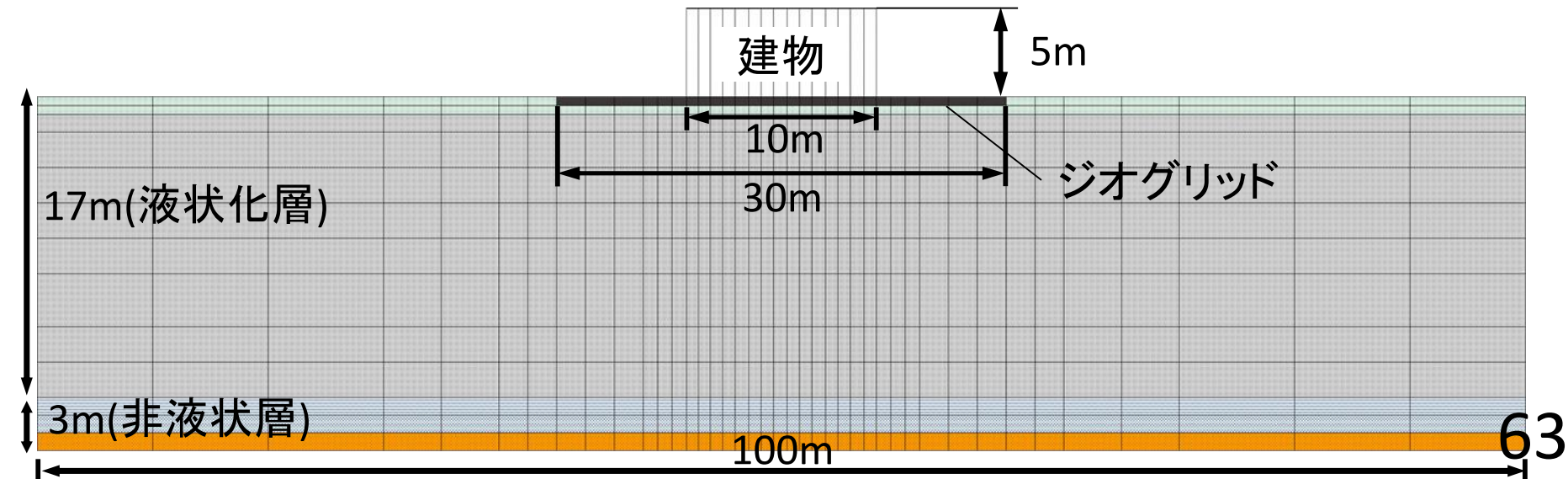
<本研究での定義>
 めり込み沈下量 = 構造物沈下量 - 地盤沈下量
 (構造物付近の地点)



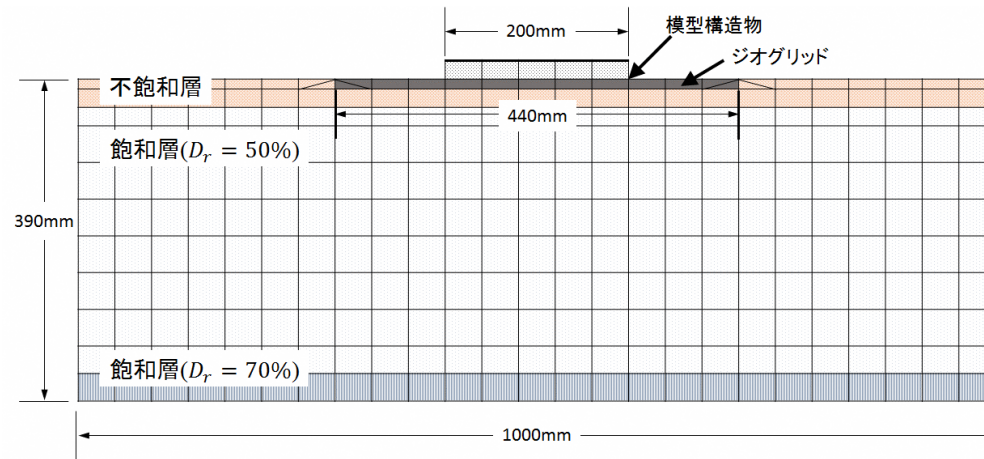
解析条件 海門町の液状化地盤をモデル化



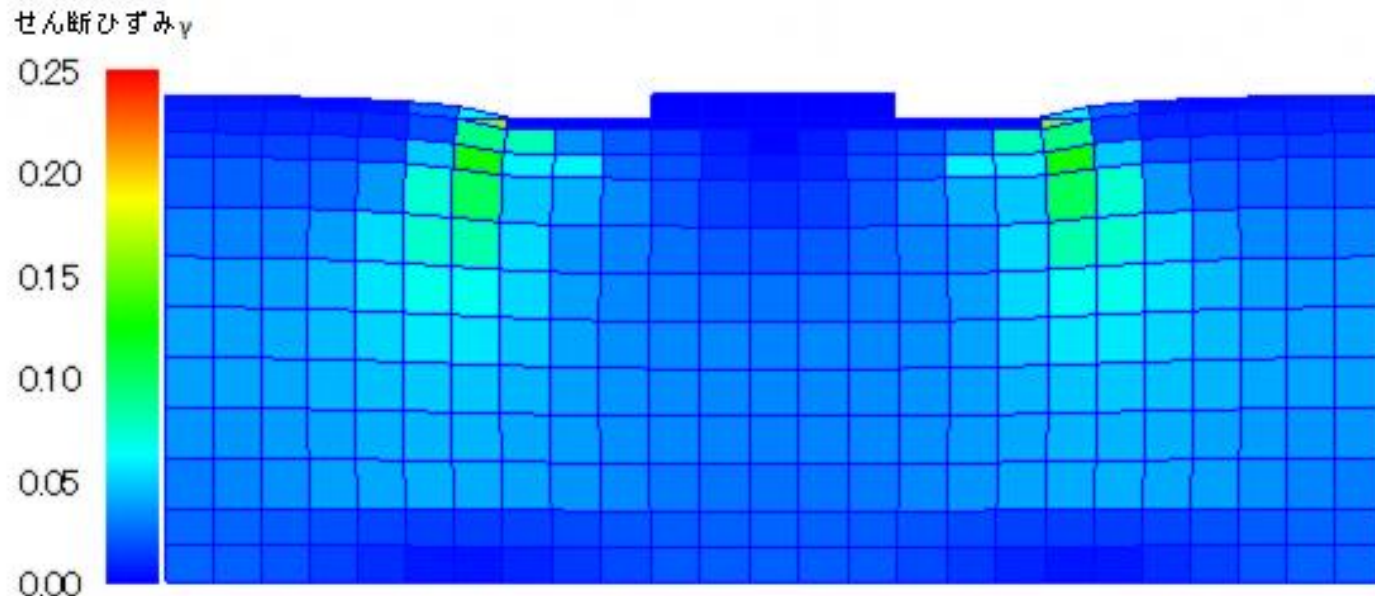
地盤	変形係数	N値から算出
	変形係数比	N値10以上 : 1/50 N10未満 : 1/100
	ポアソン比	0.33
ジオグリッド	変形係数	30m
	ポアソン比	0.3
	曲げ剛性	A : $2.30 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{m}^2$
		B : $5.93 \times 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m}^2$
構造物	変形係数	C : $6.45 \times 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m}^2$
	変形係数	$3.0 \times 10^3 \text{ MPa}$
構造物	ポアソン比	0.35
	接地圧	10 kN/m^2



2次元有限要素解析を用いた地盤変形予測

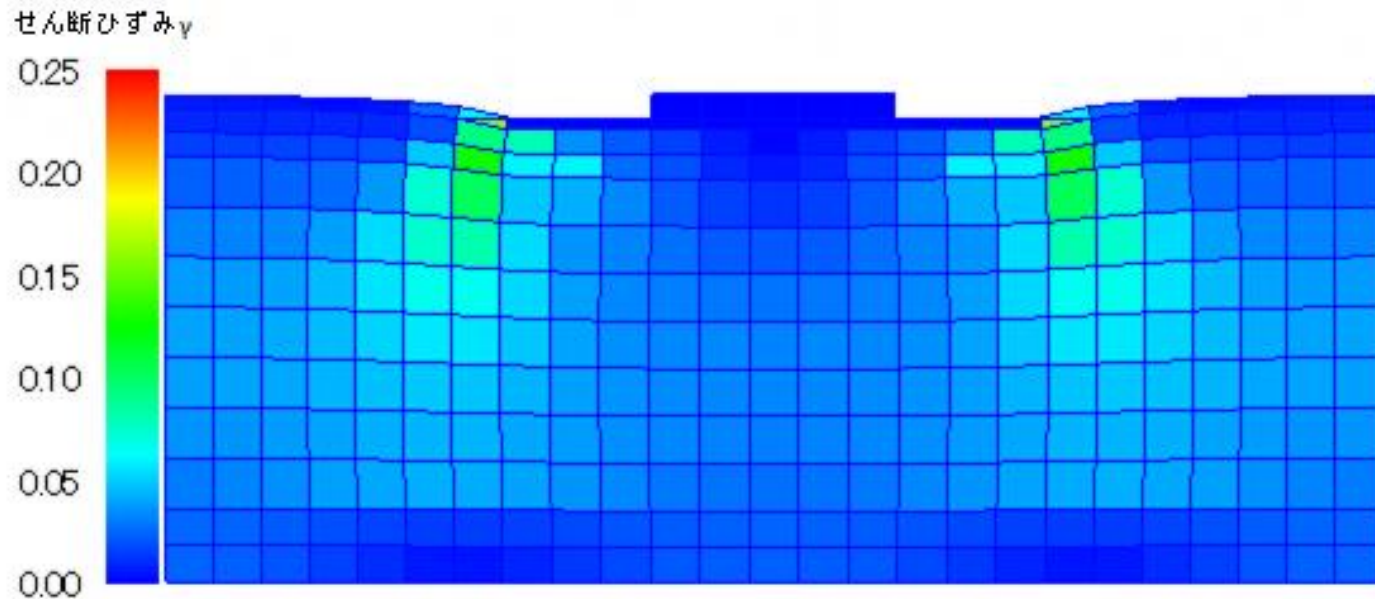
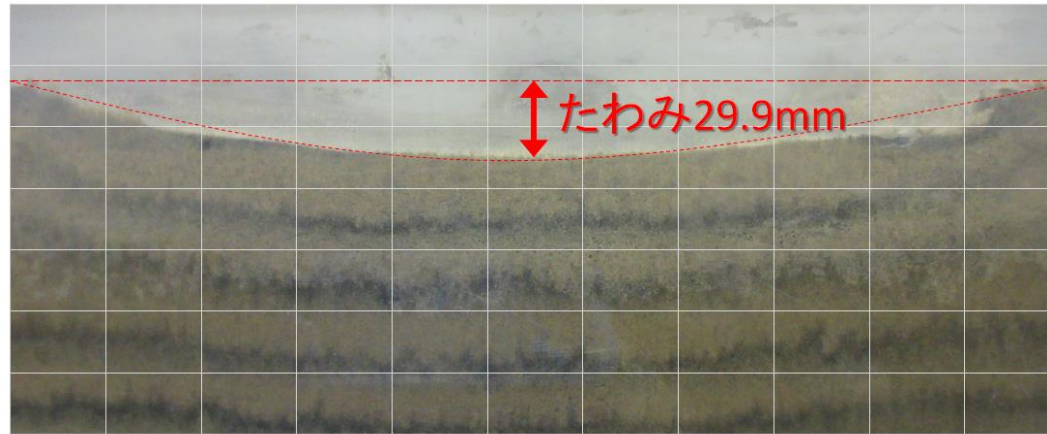


(c) ジオグリッド(幅:40cm, ピアノ線17本)



ジオグリッドおよび構造物が一体となり荷重を分散させる挙動は再現できたが、模型実験で見られた構造物自重によるジオグリッドのたわみが見られなかった

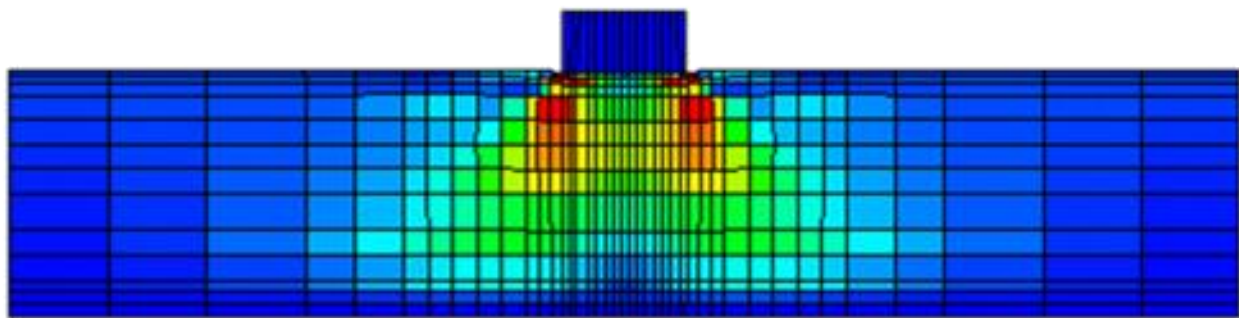
2次元有限要素解析を用いた地盤変形予測



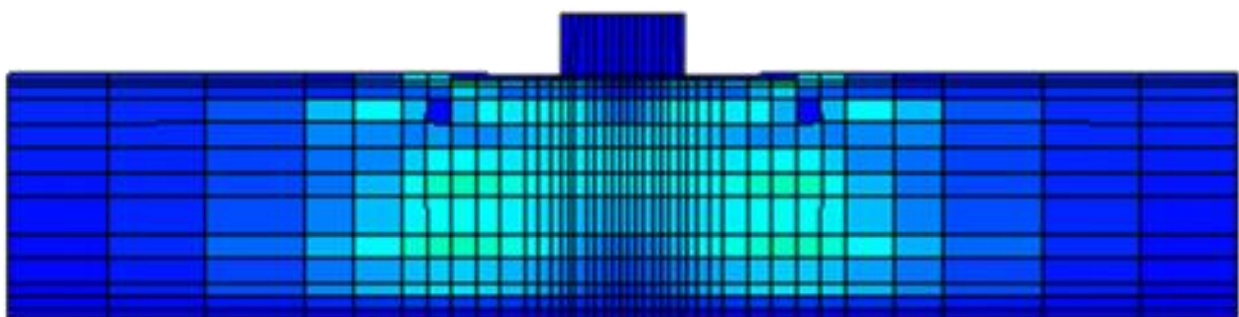
ジオグリッドおよび構造物が一体となり荷重を分散させる挙動は再現できたが、模型実験で見られた構造物自重によるジオグリッドのたわみが見られなかった

解析結果 剛性の違いによる影響

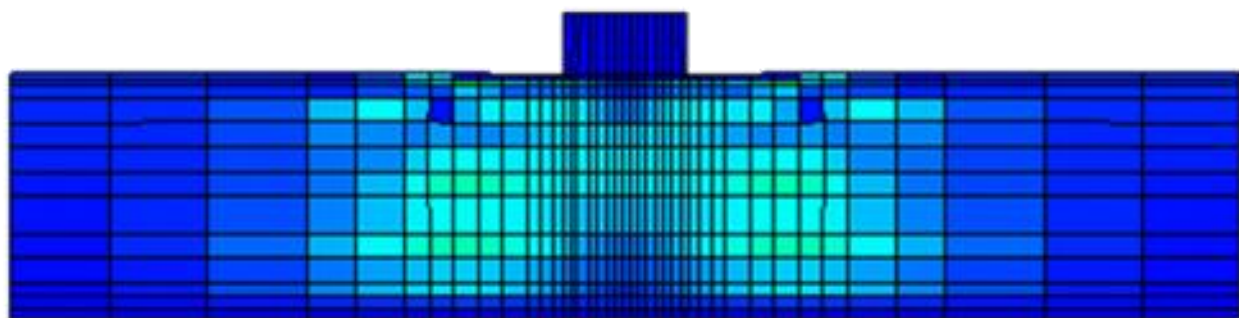
無対策
ジオグリッド無し



ジオグリッドB
 $EI=5.93 \times 10^{-2} [N \cdot m^2]$



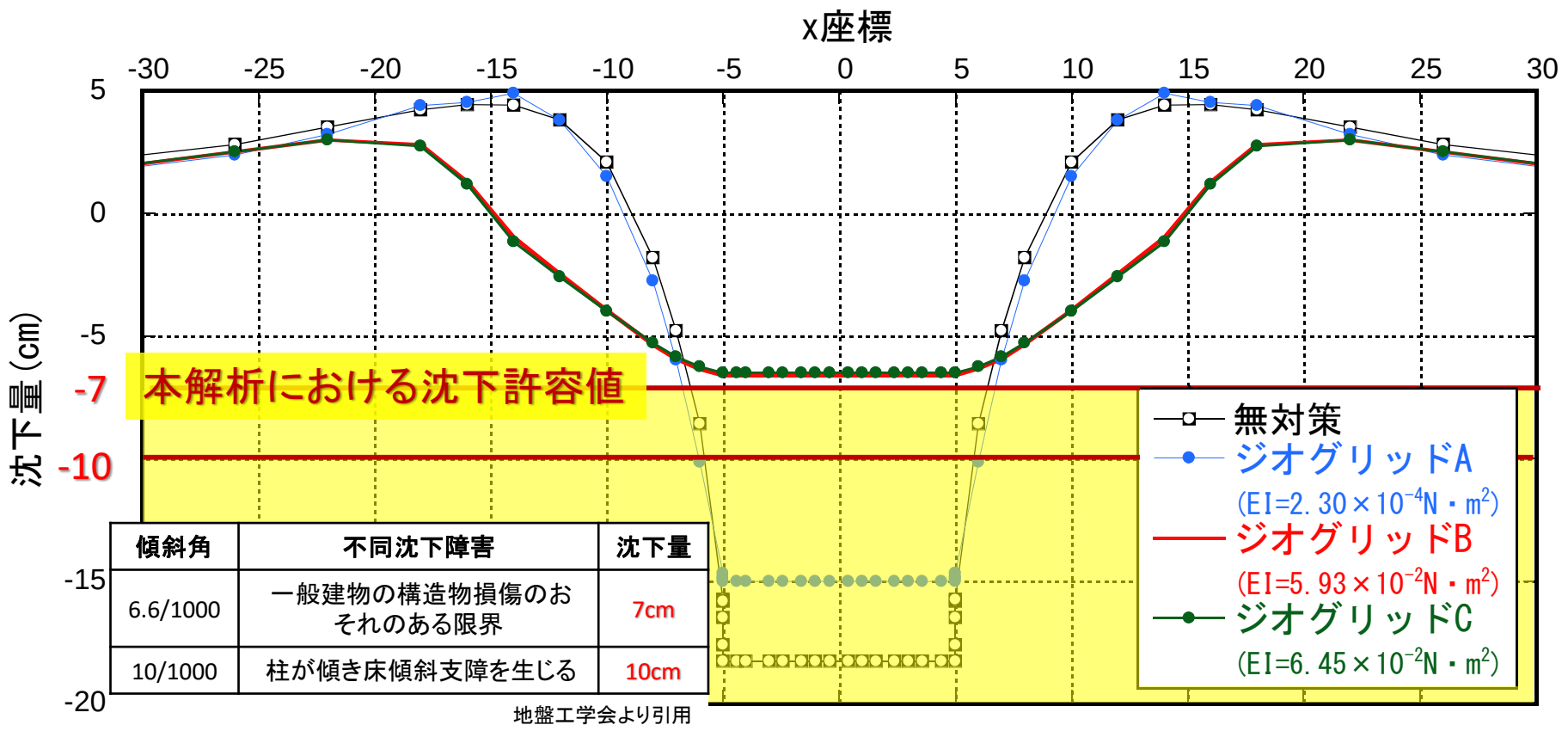
ジオグリッドC
 $EI=5.93 \times 10^{-2} [N \cdot m^2]$



ジオグリッド剛性高 $\Rightarrow$ せん断変形小

解析結果 剛性の違いによる影響

□ 地表面沈下量



本解析条件において海門町でジオグリッドを敷設する場合は、構造物許容沈下量7cm以下に抑えるジオグリッドBおよびCが適切である

液状化対策の普及：新たな動き

液状化対策＋被災時保障

「安心・安全」への
取組み

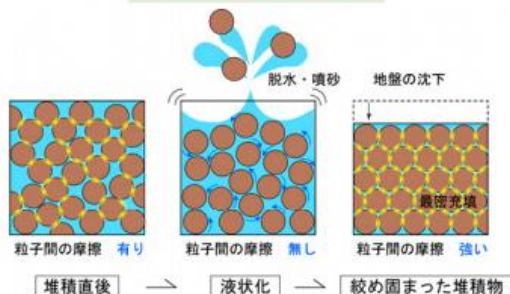


最大保証年数20年 最大限度額5,000万円
万が一に備えた新しい地盤保証制度のカタチ

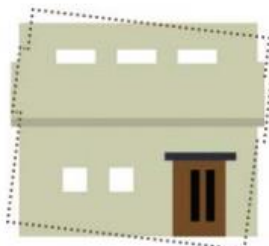
不同沈下に加え、新たに液状化時の保証も可能
(※液状化時の保証は事前に液状化対策工事を行うなどの審査基準がございます。)



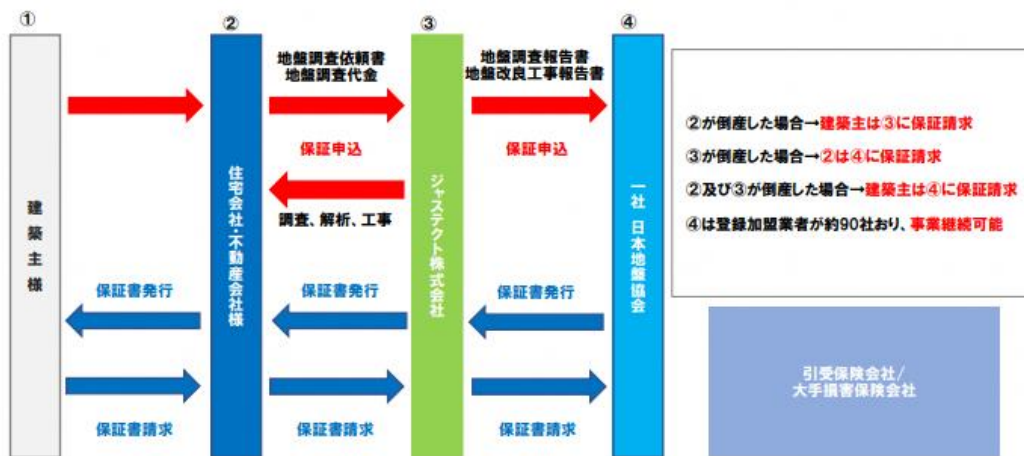
<液状化時に保証>



<不同沈下時に保証>



<保証の流れ>



JUSTEKT
ジャステクト株式会社

ジャステクト株式会社提供

個別対策の考え方

防止策

軽減策

無対策

地震

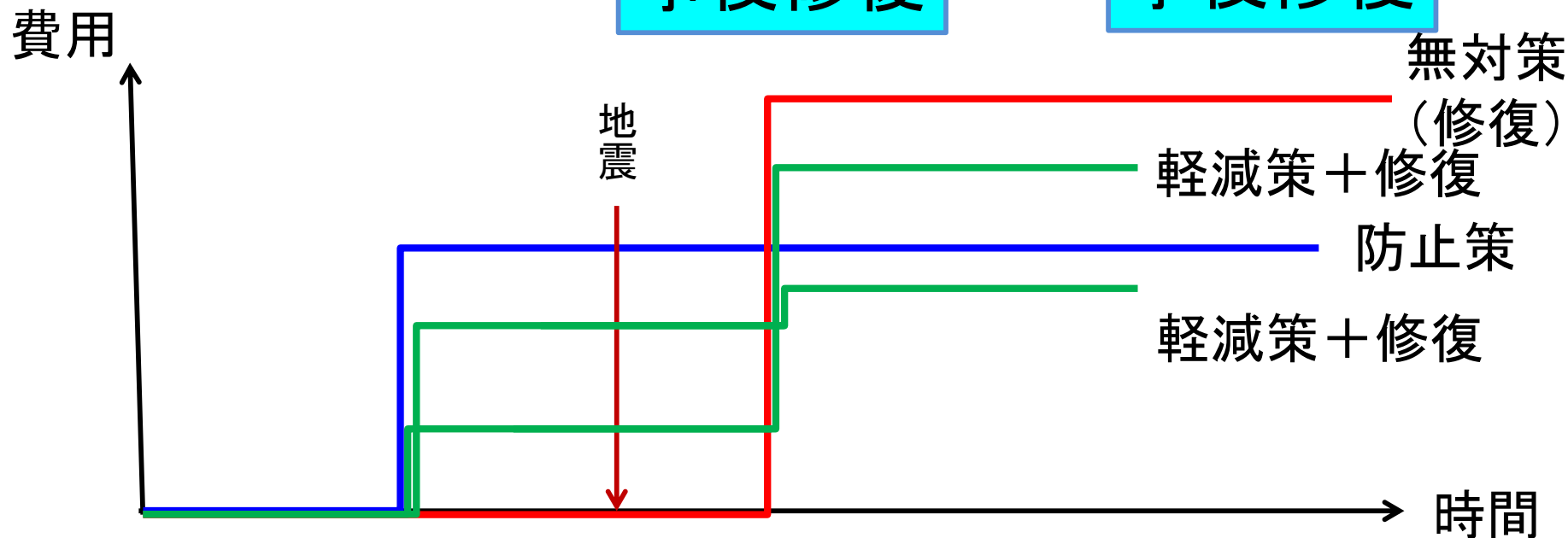
無被害

軽微な被害

被害

事後修復

事後修復



地下水位低下工法と個別液状化対策

- 地下水位低下工法は、地下水位低下させることにより、地表面付近の液状化層をなくすこと、地下水位以下の液状化層の発生可能性を小さくすることに効果がある。
- 地下水位低下工法は、その施設を維持していくことで、恒久的に利用可能であるが、基本的には、30年から50年の利用を前提として考えられることが多い。
- 地下水位低下工法が適用している期間に個別に液状化対策を実施することが肝要。

地下水位低下工法と個別液状化対策

- 個別の液状化対策
 - 液状化させない対策
 - 液状化しても被害軽減を期待できる対策
 - 上記は、地盤保障と合わせて被害を受けた場合に、保険で対応できるものもある。
 - ただし、認定されていないものは保険適用外
 - 液状化被害を受けた場合に、復旧・修復により対応する
 - 傾斜修正工法などは、液状化を防止・軽減するものではなく、建物を修復すると考えた方が良い。