

研究開発課題名

浅層盤状改良による宅地の液状化対策の合理的な設計方法の研究

研究グループ

代表者： 谷和夫(防災科研)

共同研究者：

松下克也(ミサワホーム)

橋本隆雄(千代田コンサルタント)

山本彰(大林組)

大林淳(不動テトラ)

竹内秀克(不動テトラ)

野田利弘(名古屋大学)

規矩大義(関東学院大学)

○ 清田隆(東京大学)



茨城県神栖市



茨城県神栖市



茨城県神栖市



茨城県神栖市



千葉県浦安市

液状化による宅地被害件数は、全国で約2万7000件
(2011年9月、国土交通省資料)



千葉県浦安市



茨城県潮来市



千葉県浦安市



千葉県浦安市



千葉県我孫子市

研究の背景:

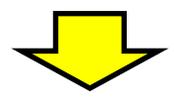
■東日本大震災で液状化により被災した戸建て住宅の復旧は遅れている。

主要因

- ・沈下や傾斜を修正しても、将来の再液状化への不安
- ・戸建て住宅に適用できる低コストの液状化対策に関する指針がない

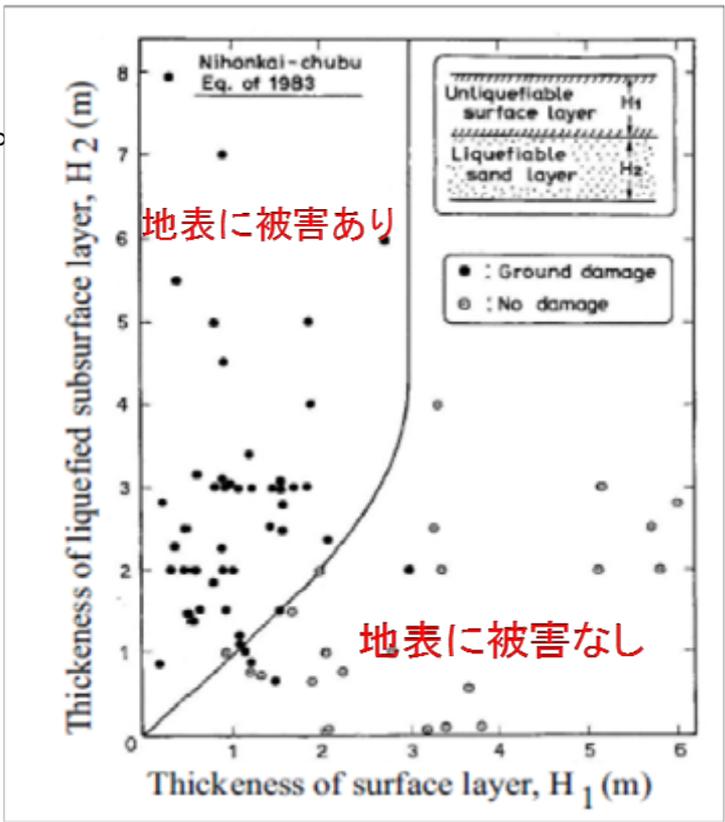
現状の建築基礎構造設計指針の概念に基づく対策では、戸建て住宅に対しては非常に高いコストとなる。

- ・10mの液状化層をすべて改良すると、
一戸あたり1000万円以上



住民負担の限度を超える

明確な支持層のない埋立て地の宅地では、
浅層盤状改良が現実的である



液状化層厚と表層の非液状化層の厚さと被害の関係 (Ishihara, K., 1985)

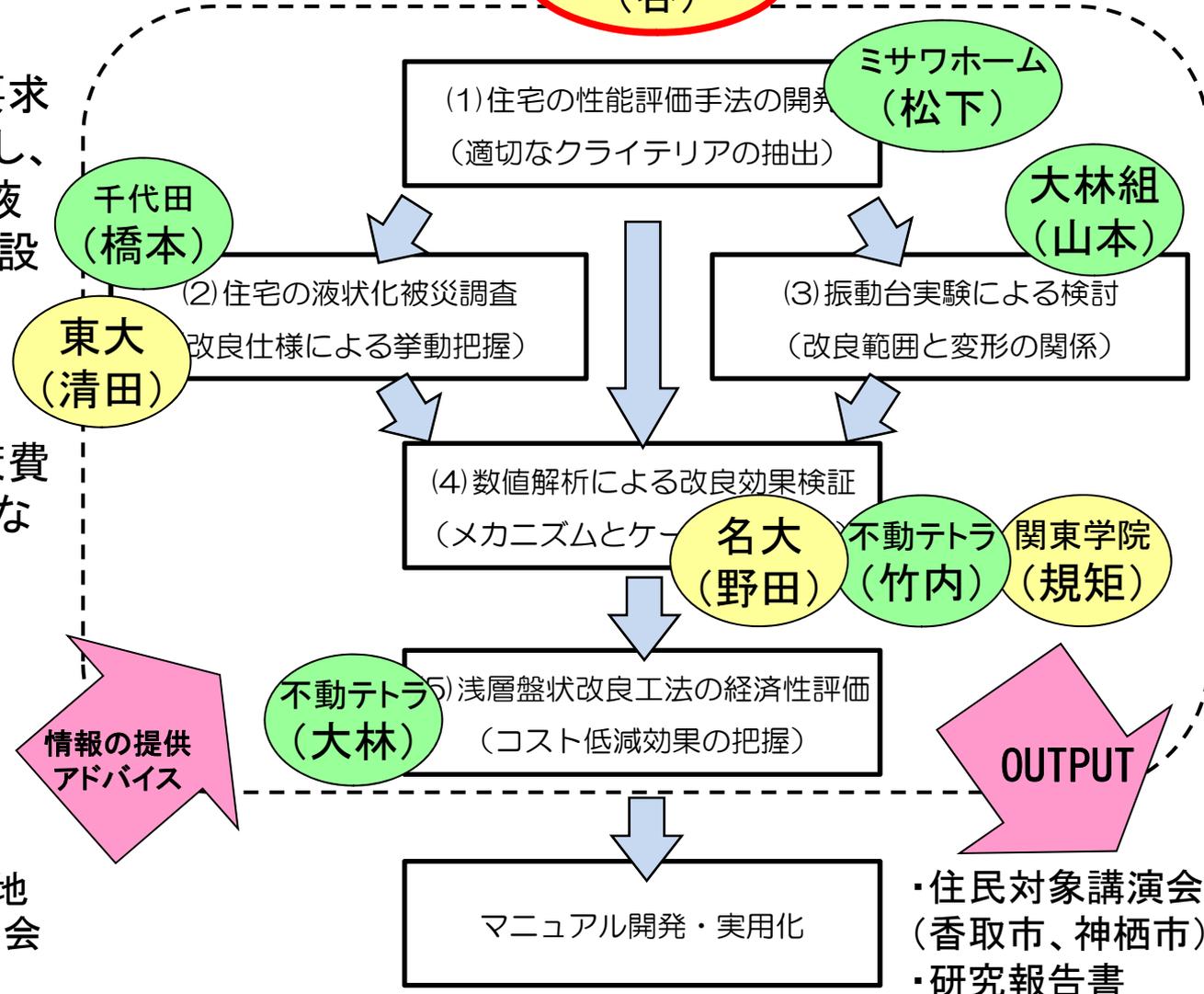
研究の目標

浅層盤状改良による液状化対策工法の確立

防災科研
(谷)

■戸建て住宅の地盤への要求性能と地盤の性能を明確にし、新設・および既存の宅地の液状化対策について合理的な設計方法を開発

■戸建て住宅の液状化対策費用を一般家庭に対し現実的な費用まで低減する。



浅層盤状改良による宅地の液状化対策研究委員会 (産官学から計24名)

個別研究開発項目(1)

液状化に対する戸建て住宅の性能評価手法の開発 (適切なクライテリアの抽出)

■二段階基準

- ・大地震動：ある程度の損傷は許容し、修復を容易にする基礎構造とする。
- ・中地震動：有害な沈下変形を許容しない。

■罹災証明／被災度判定（内閣府）

半壊	大規模半壊	全壊
1/100～	1/60～	1/20～
(10/1000)	(16.7/1000)	(50/1000)

■地震保険（財務省）

一部損	半損	全損
0.2°～	0.5°～	1°～
(3.5/1000)	(8.7/1000)	(17.5/1000)

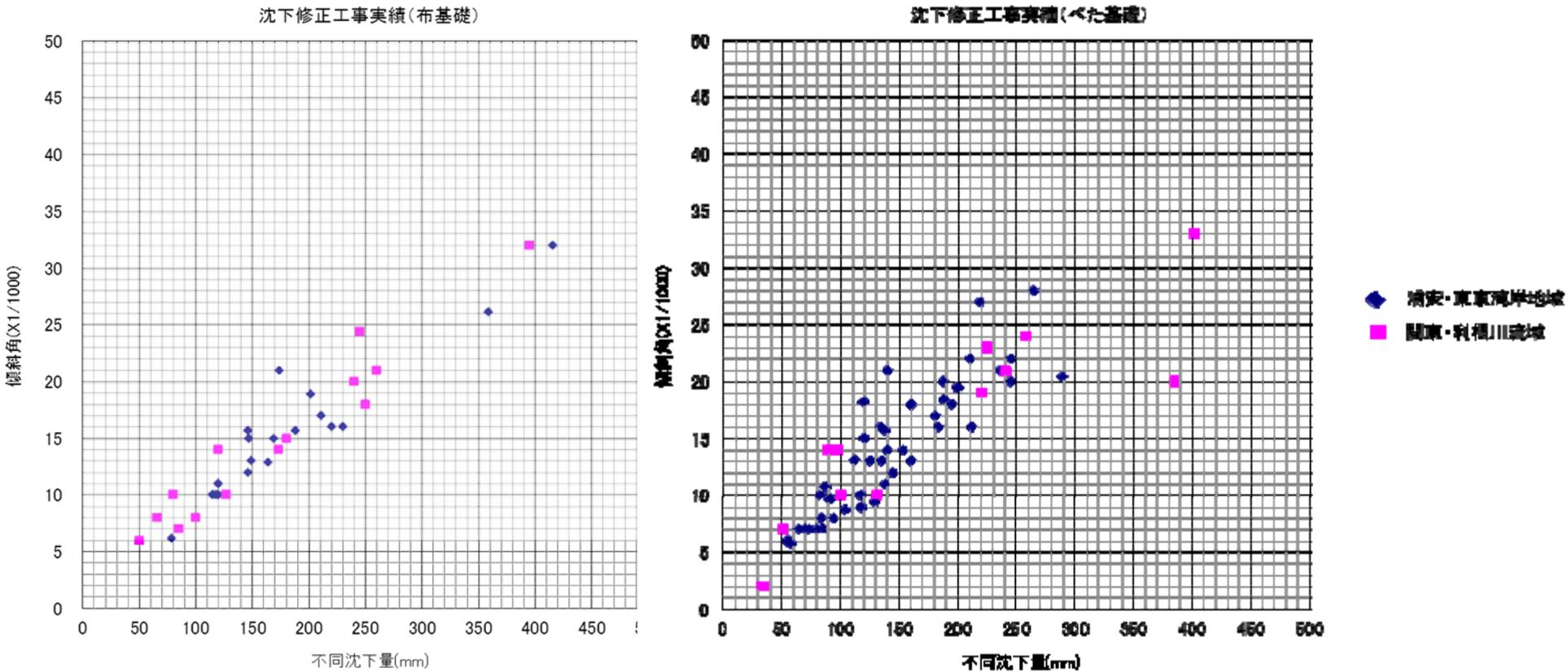
既往の研究の調査結果の一例

建物の傾きによる健康障害

傾斜角		健康障害	文献
度	分数 (ラジアン)		
0.29°	5/1000 (=1/200)	傾斜を感じる。	藤井ほか (1998)
0.34°	6/1000 (=1/167)	不同沈下を意識する。	藤井ほか (1998)
0.46°	8/1000 (=1/125)	傾斜に対して強い意識, 苦情の多発。	藤井ほか (1998)
0.6° 程度	1/100 程度	めまいや頭痛が生じて水平復元工事を行わざるを得ない。	安田・橋本 (2002) 安田 (2004)
~1°	~1/60	頭重感, 浮動感を訴える人がある。	北原・宇野 (1965)
1.3°	1/44	牽引感, ふらふら感, 浮動感などの自覚症状が見られる。	宇野・遠藤 (1996)
1.7°	1/34	半数の人に牽引感。	宇野・遠藤 (1996)
2° ~3°	1/30~1/20	めまい, 頭痛, はきけ, 食欲不振などの比較的重い症状。	北原・宇野 (1965)
4° ~6°	1/15~1/10	強い牽引感, 疲労感, 睡眠障害が現れ, 正常な環境でもものが傾いて見えることがある。	北原・宇野 (1965)
7° ~9°	1/8~1/6	牽引感, めまい, 吐き気, 頭痛, 疲労感が強くなり, 半数以上で睡眠障害。	北原・宇野 (1965)

日本建築学会: 建築士のためのテキスト小規模建築物を対象とした地盤・基礎より引用・修正

液状化被害に伴う沈下修復住宅の傾斜被害程度の調査結果の一例



本研究開発では、戸建て住宅の液状化対策のクライテリアを

- ・大地震動に対しては、ある程度の損傷は許容し、修復を容易にする基礎構造とする。
- ・中地震動に対しては、有害な沈下変形を許容しない。最大傾斜角では10/1000を超えないものとする。これらが妥当と考え、以降のクライテリアとする。

個別研究開発項目(2)

戸建て住宅の液状化被災調査

①被災事例の収集の一例：鳥取県西部地震の液状化被害事例



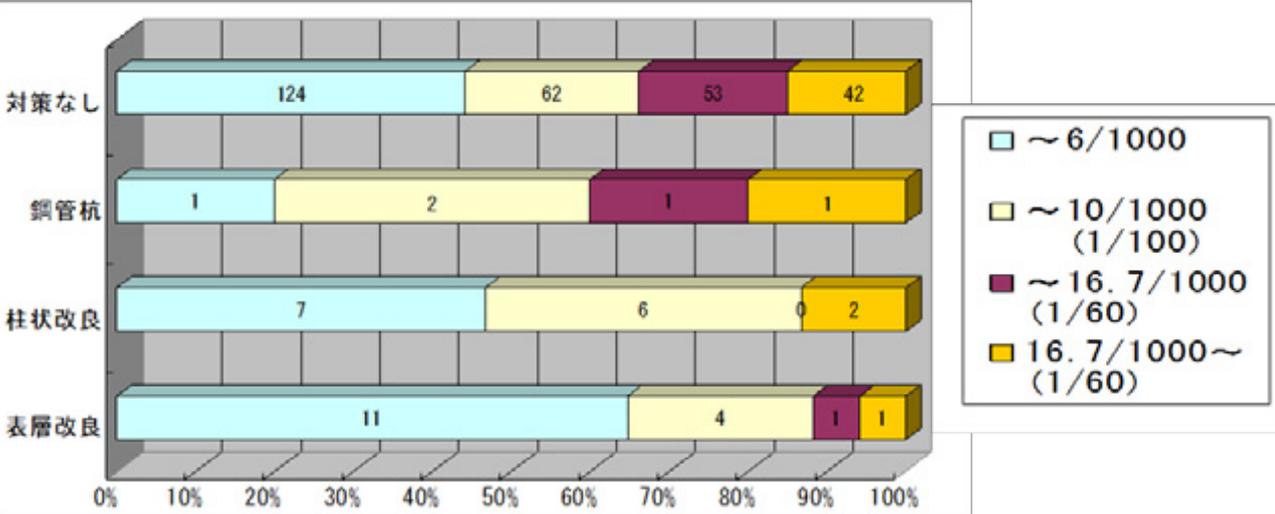
- ・ 地盤改良等を行った箇所
の被害は少ない
- ・ 非液状化層が2.0m以上
では被害なし
- ・ 地下水位が浅い箇所ほど
被害が大きい



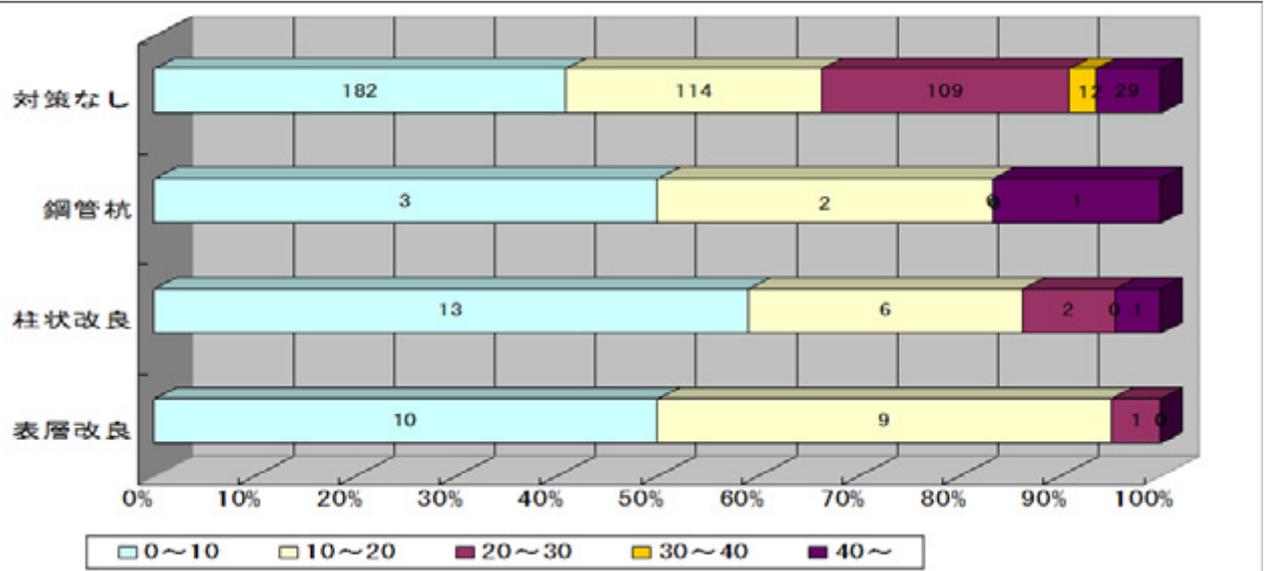
- 浅層盤状の効果が高い
ことが明らかとなった。
- ★建物の支持力確保
 - ★非液状化層の確保
 - ★噴砂が生じない

③アンケート調査結果の一例

地盤対策工法と建物の傾斜角および不同沈下量の関係



表層改良（浅層盤状）を行ったものは、支持層まで達していない鋼管杭や柱状改良よりも液状化対策の効果が高いことが明らかとなった。



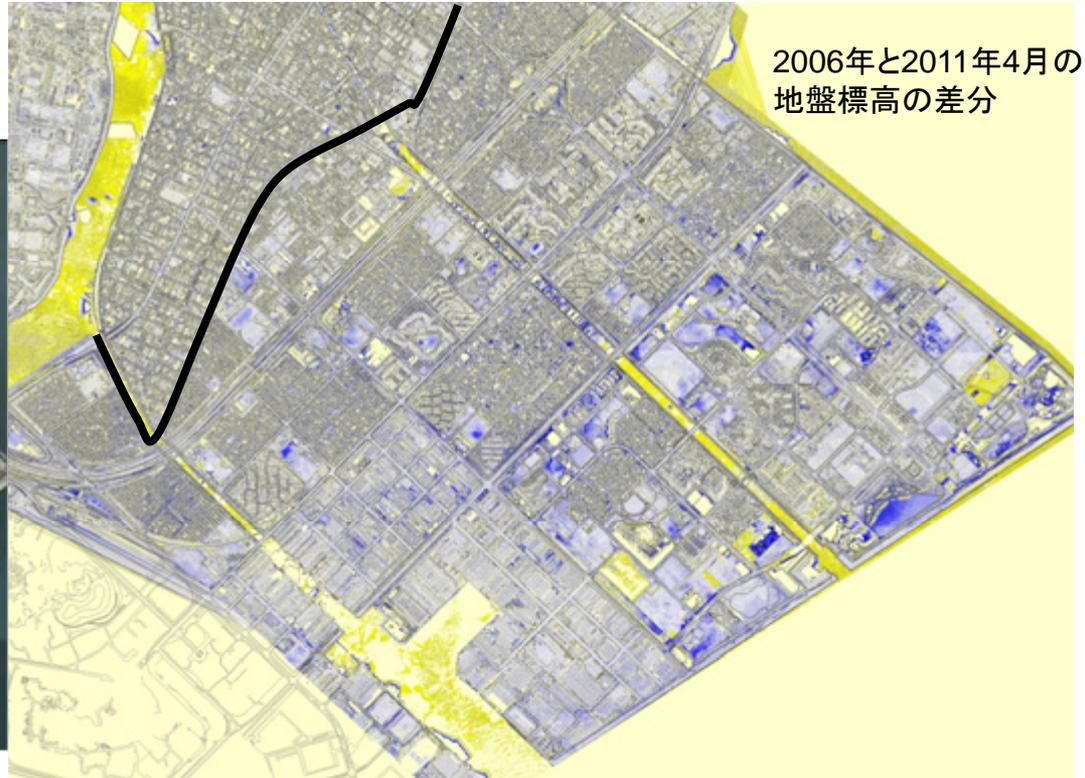
浅層盤状の効果が高いことが明らかとなった。
 ★建物の傾斜が少ない
 ★建物の沈下が少ない
 ★めり込み沈下が生じない

橋本隆雄：東日本大震災による関東地方液状化被害地域における建物基礎地盤対策の効果の分析、第9回地盤工学会関東支部発表会、2012.10.

④航空レーザ測量による沈下マップから 道路の変状を抽出



噴砂マップ(国土交通省, 2011)

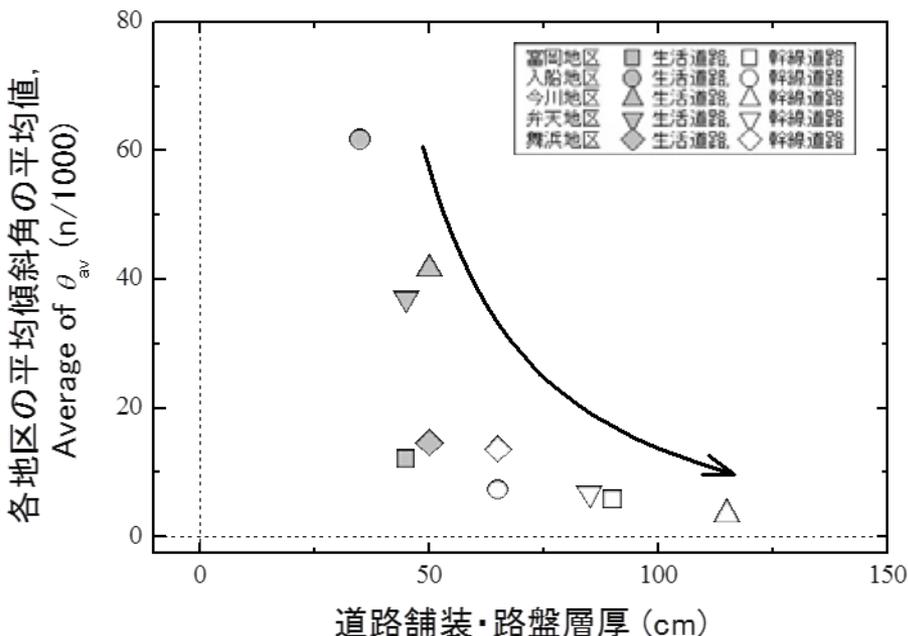
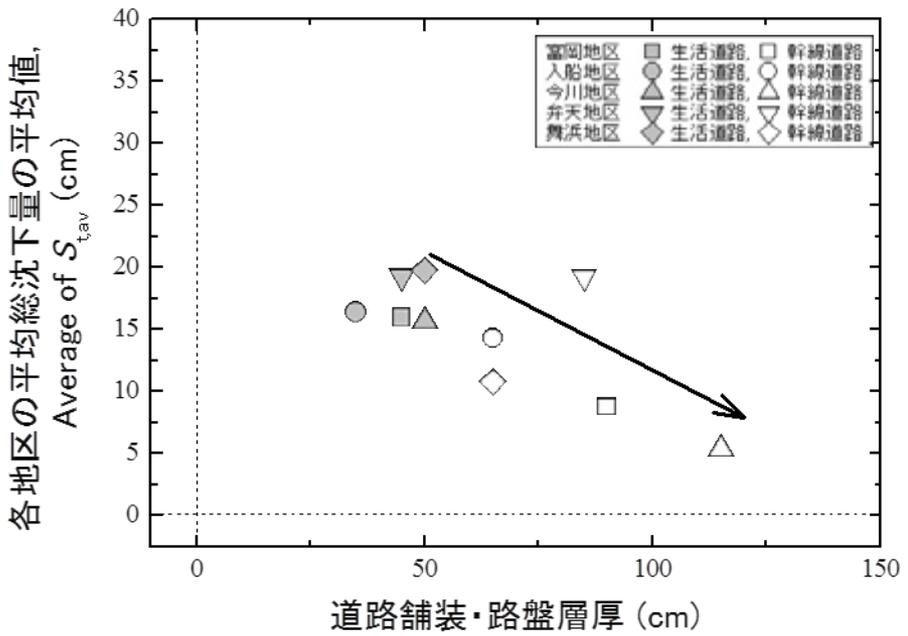


2006年と2011年4月の
地盤標高の差分

沈下マップ(Konagai et al., 2011)

- 沈下マップは液状化範囲と程度を定量的に表す
- 舗装と路盤は非液状化層とみなし、その層厚の異なる生活道路と幹線道路の変状を検討

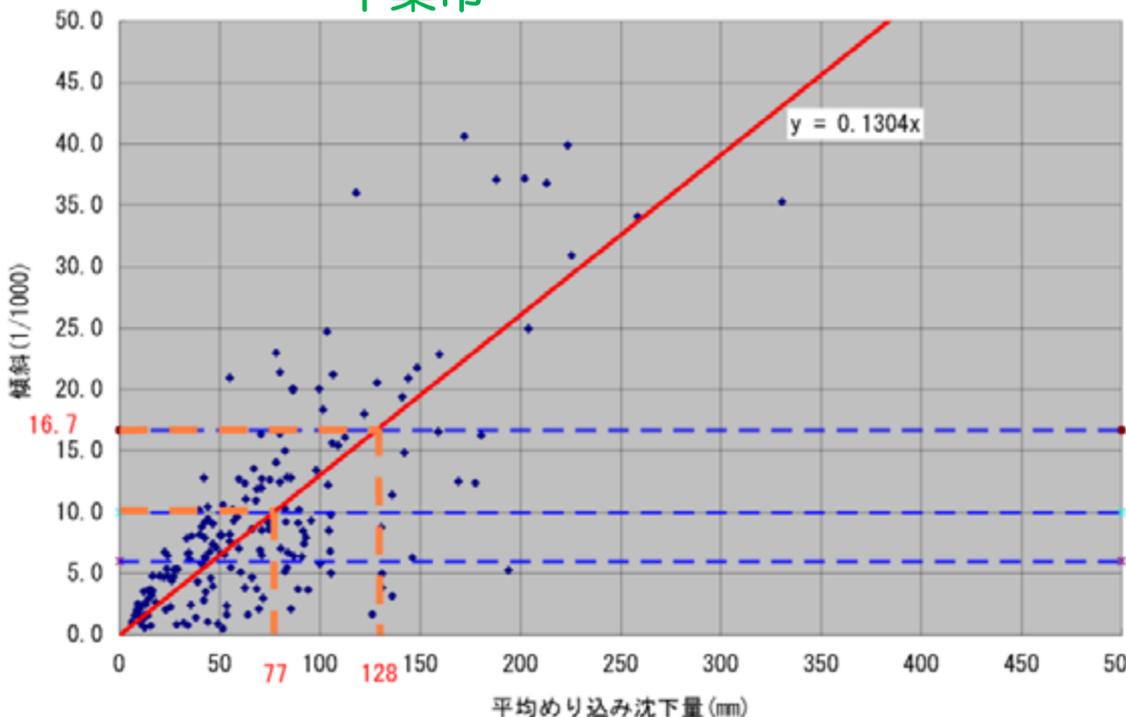
舗装・路盤層厚と道路の沈下・傾斜の関係



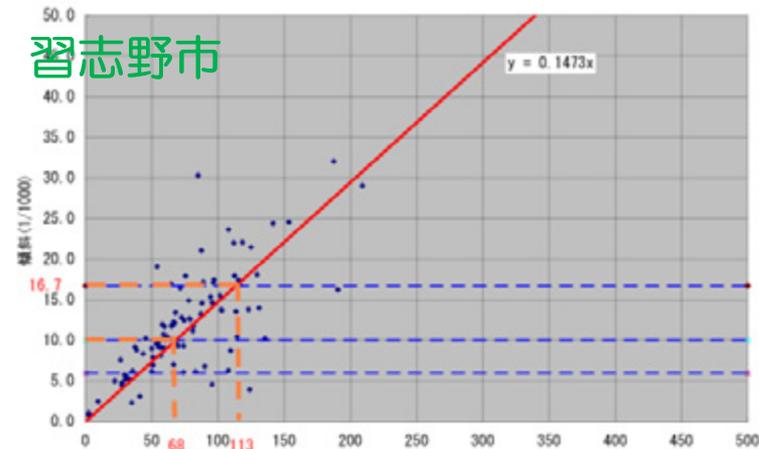
舗装と路盤(非液状化層)が厚いと、道路の沈下・傾斜が低減する傾向
浅層盤状改良工法の有効性を示している

④戸建て住宅の液状化対策のめり込み沈下量のクライテリア

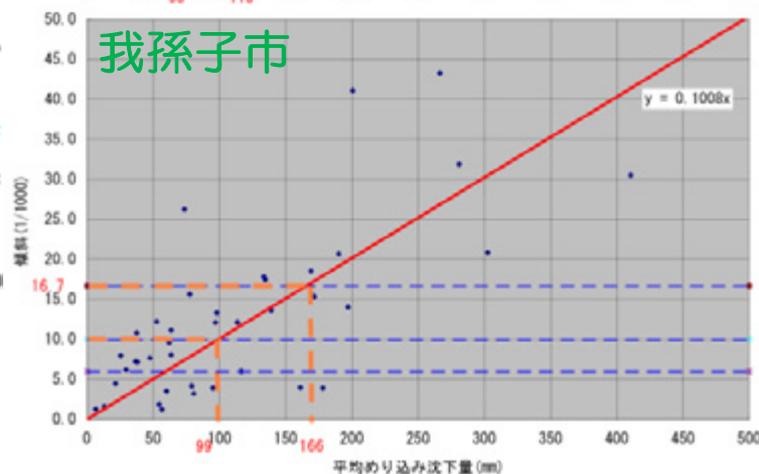
千葉市



習志野市



我孫子市



中地震動に対しては、有害な沈下変形（最大傾斜角10/1000以下）を許容しない。

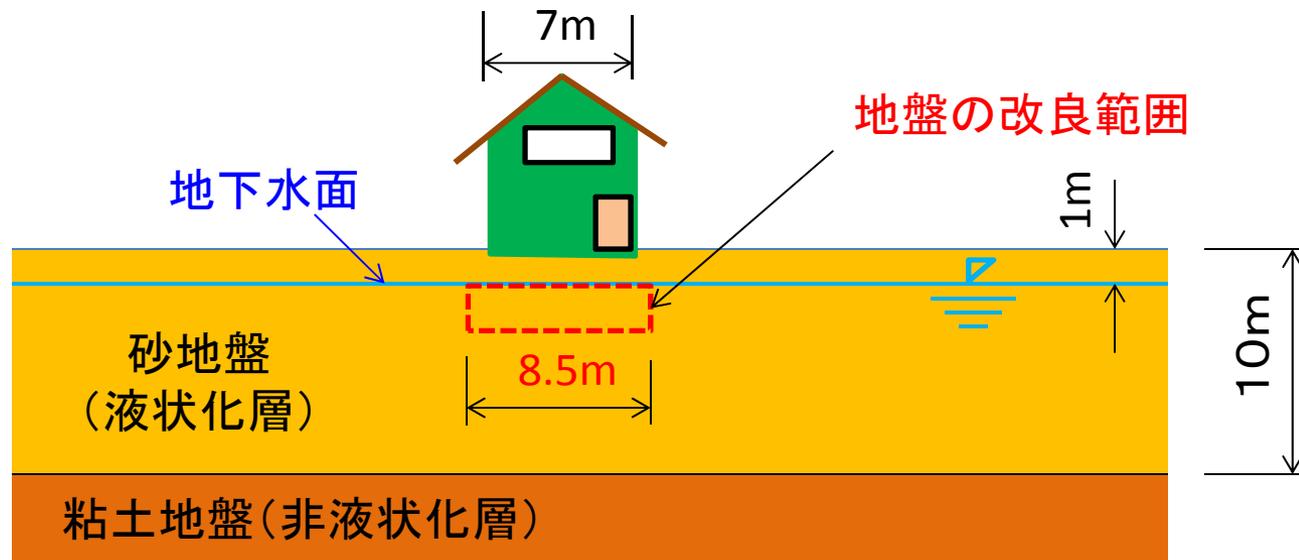
・中地震動対応：最大平均めり込み沈下量★10cm程度

橋本隆雄・安田進・山口亮：東北地方太平洋沖地震による液状化被災地区における住宅の傾斜とめり込み沈下量の関係、第47回地盤工学研究発表会、2012.7.

個別研究開発項目(3)

振動台模型実験による浅層盤状改良工法の効果検証

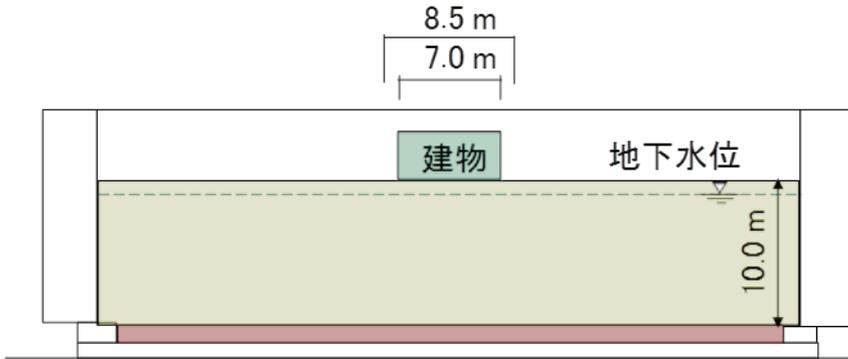
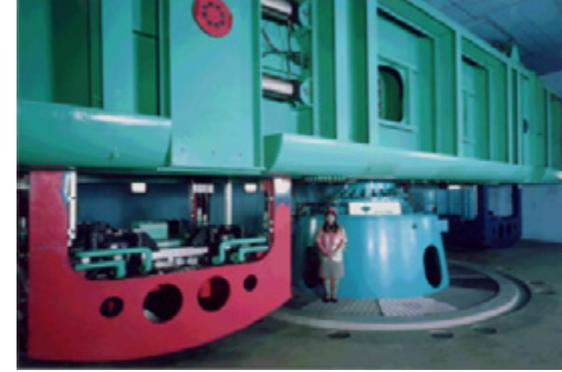
- 模型実験で地震時の状況を再現する。
- 地震時に建物の下の地盤でどのようなことが起きているのかを検証する。
- 建物の下の地盤を改良する対策方法にける、改良厚さの影響を検証する(どの程度の厚さが必要か?)。



数値解析による検証の基礎データとする。

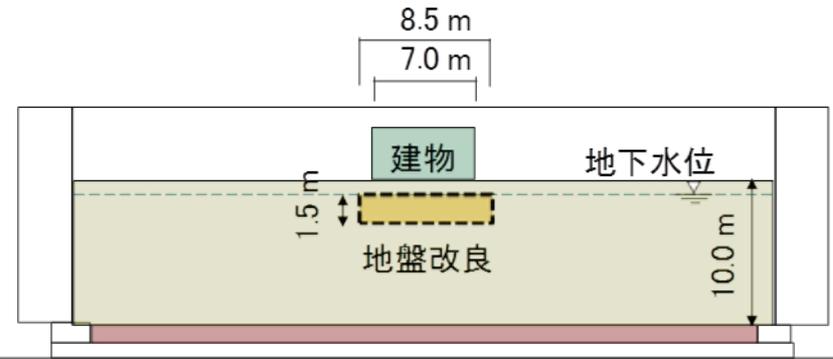
遠心模型実験

- **中地震**: 浦安で観測された地震とほぼ同じ規模の地震
- **大地震**: 1回目の地震の加速度を2倍した地震
- 実際の宅地や地盤を1/25に縮尺した模型を用いた



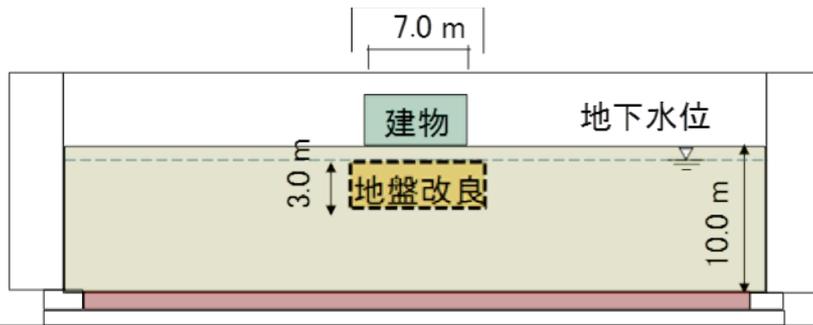
ケース1: 無対策

ケース1: 地盤改良のない場合

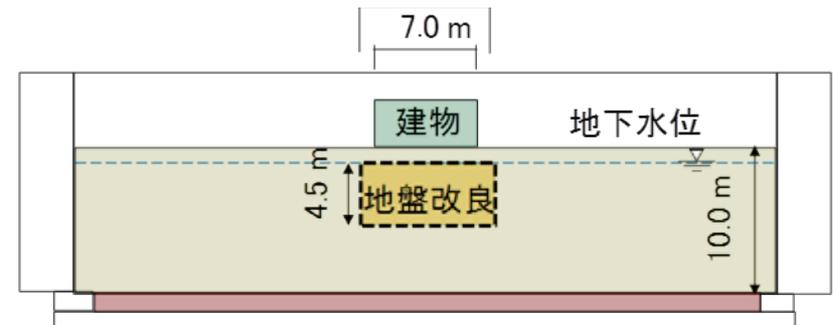


ケース2: 地盤改良(地下水位以深 $t=1.5\text{m}$)

ケース2: 改良の範囲の厚さ1.5m, 幅8.5m



ケース3: 地盤改良(地下水位以深 $t=3.0\text{m}$)



ケース4: 地盤改良(地下水位以深 $t=4.5\text{m}$)

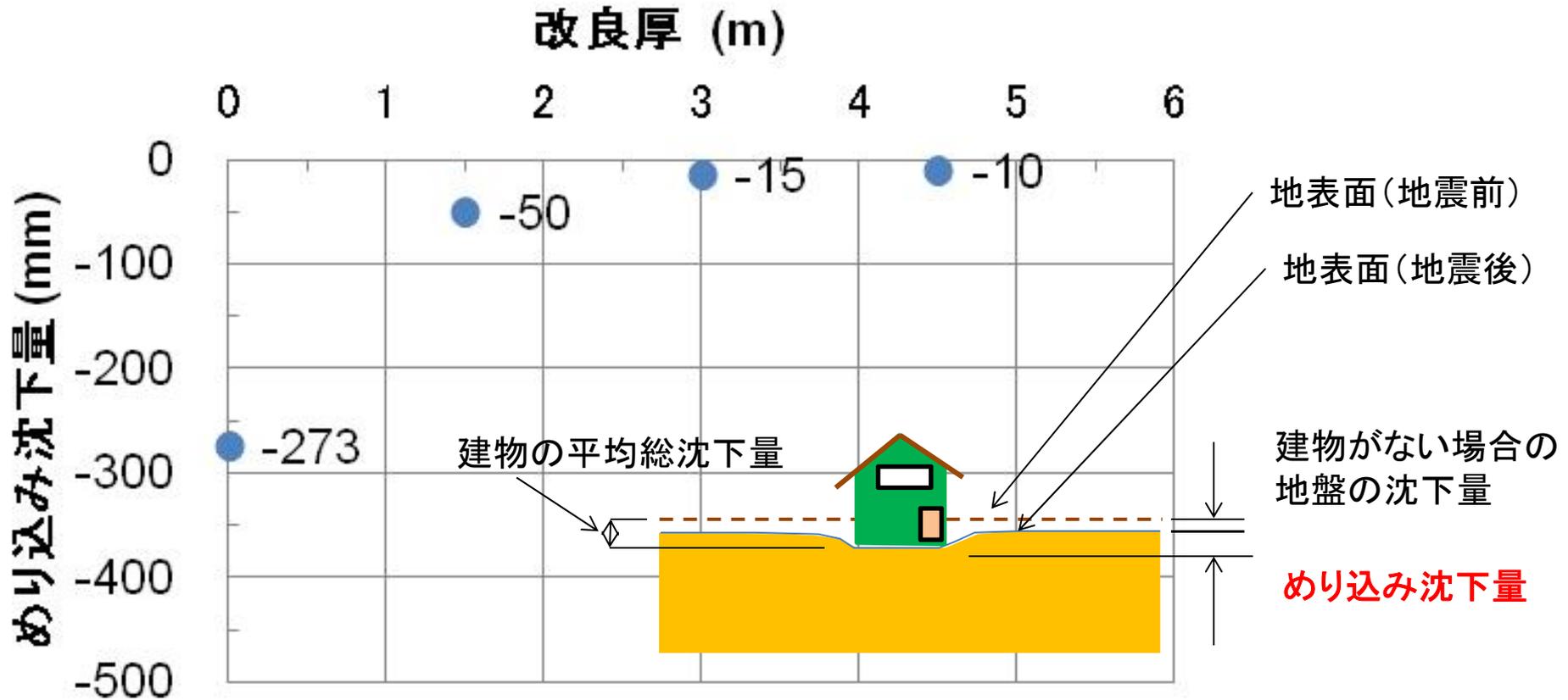
ケース3: 改良の範囲の厚さ3.0m, 幅8.5m

ケース4: 改良の範囲の厚さ4.5m, 幅8.5m

実験の結果

建物のめり込み沈下量と改良の範囲の厚さの関係

浦安で観測された規模の地震を想定した場合の実験結果

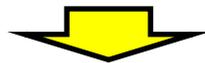


厚さ1.5m以上地盤改良すれば、地震時の沈下はかなり小さくなる

個別研究開発項目(4)

数値解析による浅層盤状改良工法の効果検証

数値シミュレーションを実施し、
模型実験との比較により検証



浅層盤状改良による宅地の液状化対策の
効果メカニズムを明確にする



ケーススタディにより、クライテリアを満足する浅層盤状改良
手法や改良範囲を明らかにする

使用する解析ソフトは、研究・実務の両面において多くの実績を有する以下のものを用いる。

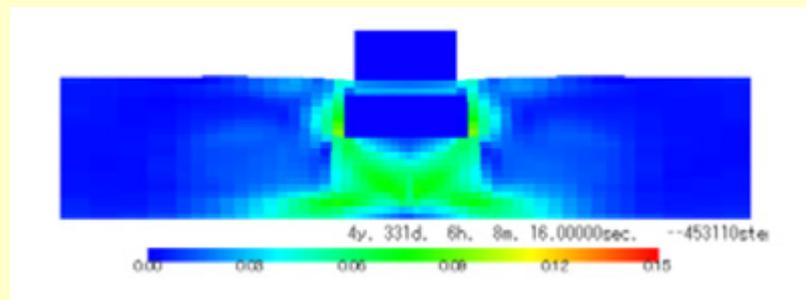
■地盤有効応力解析コード **GEOASIA**

地盤の挙動を表現できる最新の知見に基づき製作されたソフト。地震中から地震後まで連続的に地盤の変形を扱う。

■液状化・流動化予測プログラム **ALID**

簡便なパラメータ設定で液状化後の変形を推定する。

地盤解析ソフト **GEOASIA** 解析事例



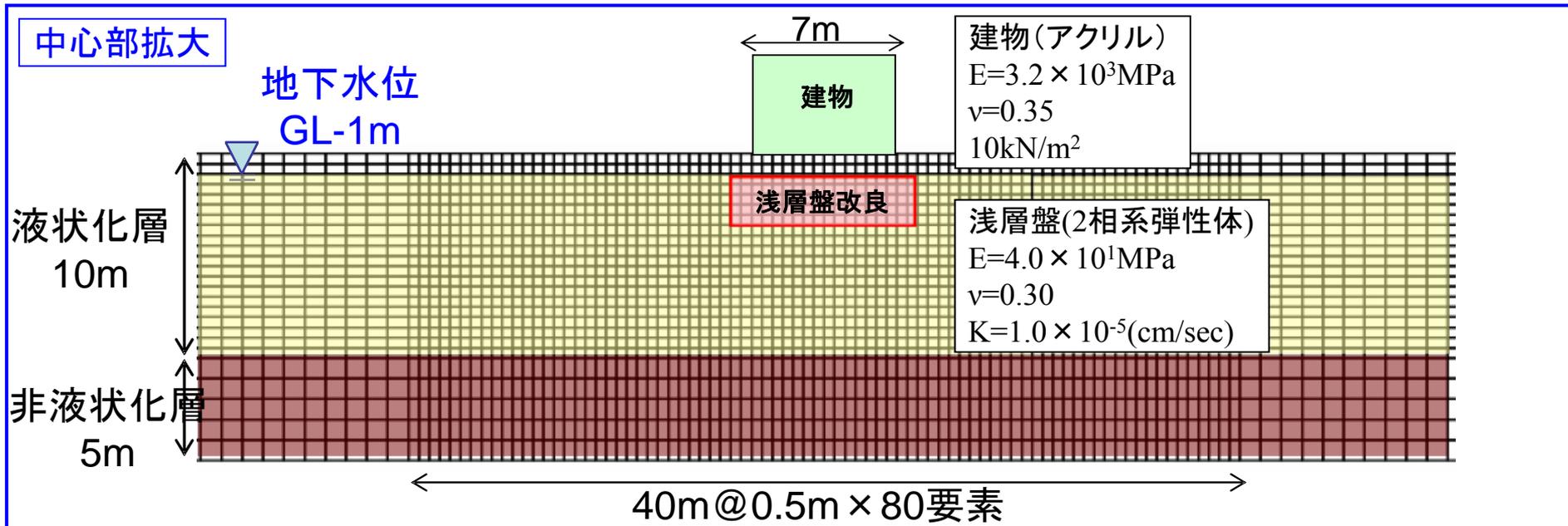
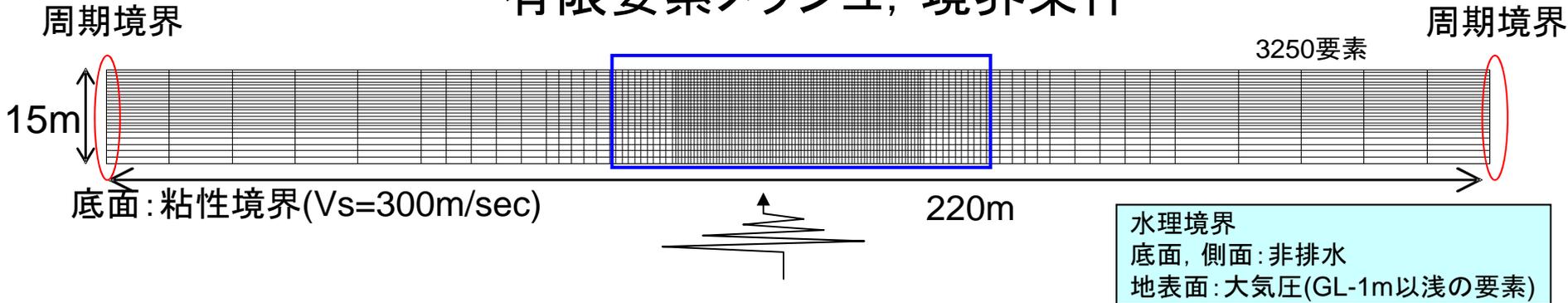
建物の変形の様子

ケーススタディ 解析条件

- ・ケース1: 無処理地盤
- ・ケース2: 改良厚さ1.5m
- ・ケース3: 改良厚さ3.0m
- ・ケース4: 改良厚さ4.5m

入力波は、中地震
東日本大震災 K-net浦安ベース

有限要素メッシュ, 境界条件

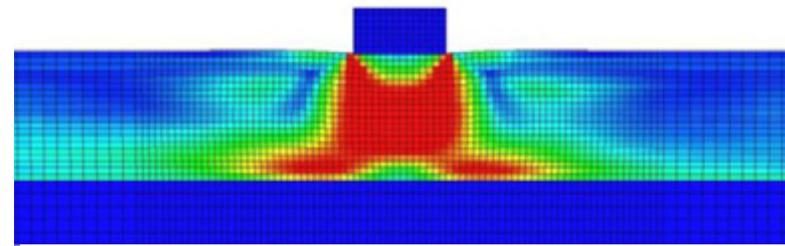
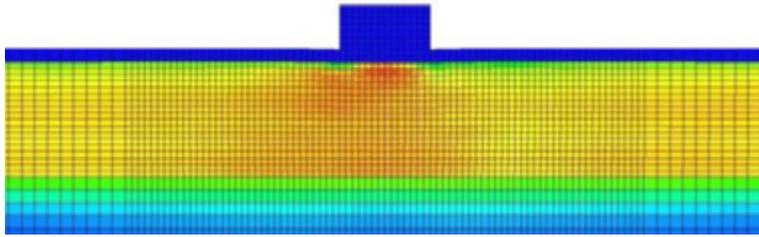


解析結果 ～改良厚の影響～

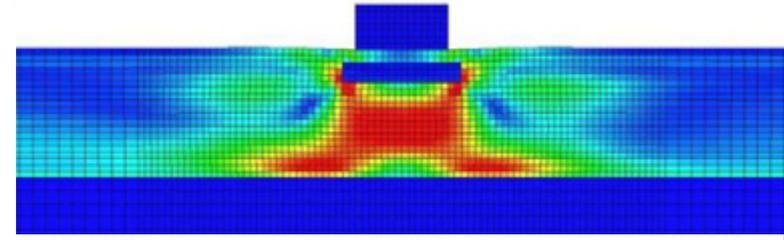
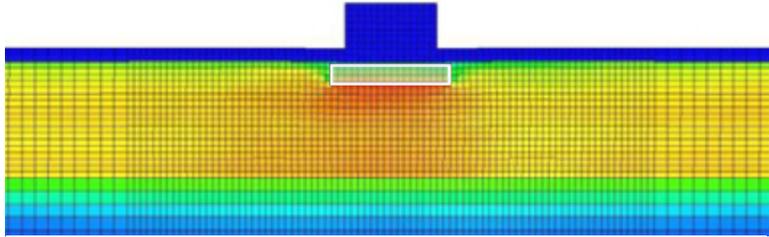
液状化の程度
～過剰間隙水圧比～

変形の程度
～せん断ひずみ～

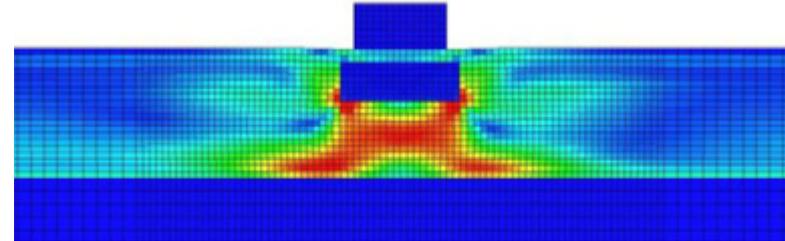
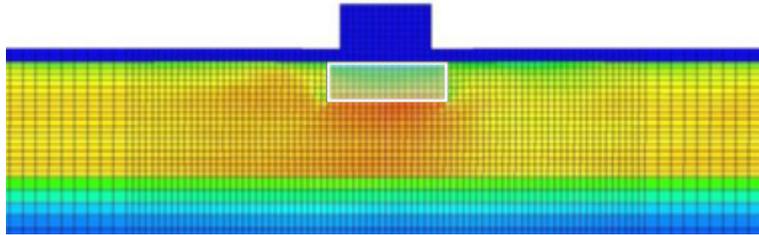
ケース1
無改良



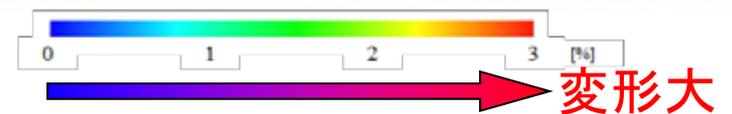
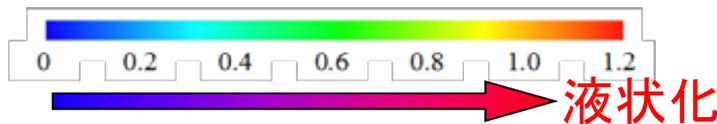
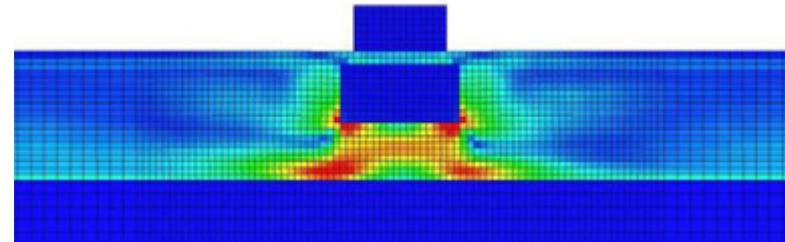
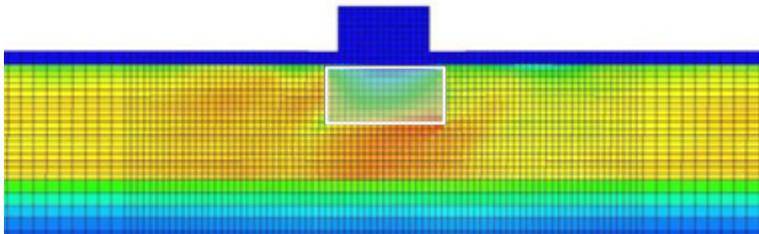
ケース2
改良厚 1.5m



ケース3
改良厚 3.0m

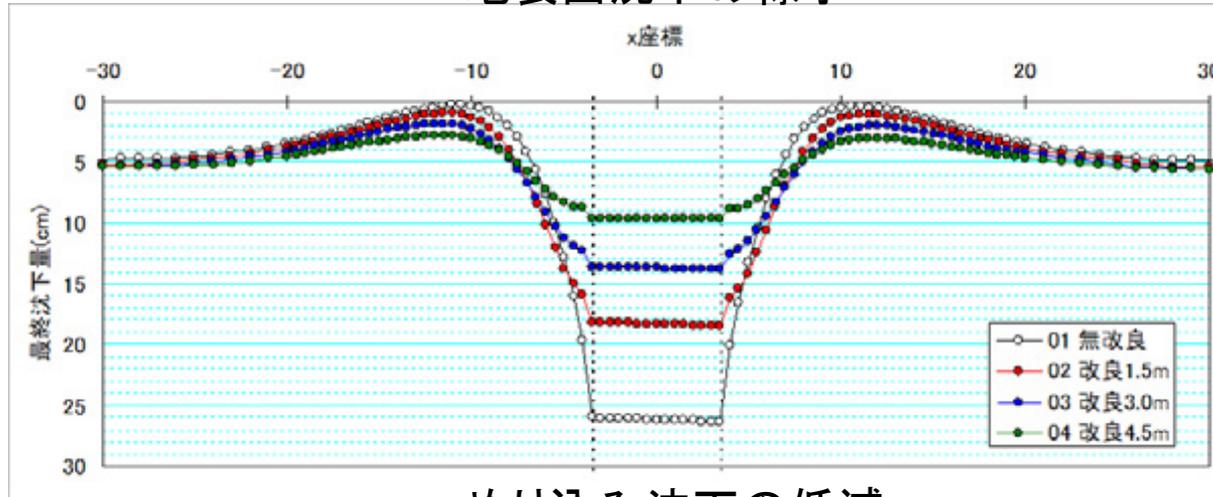


ケース4
改良厚 4.5m



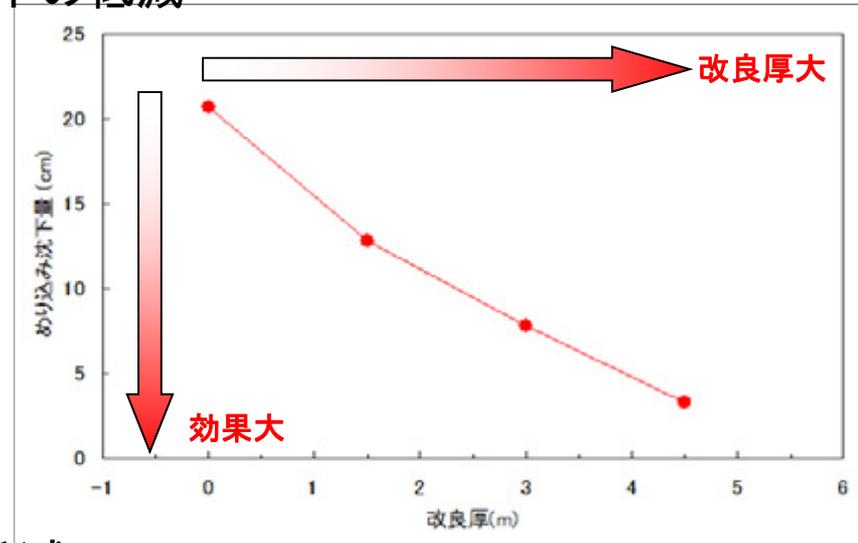
解析結果 ～改良厚の影響～

地表面沈下の様子



めり込み沈下の低減

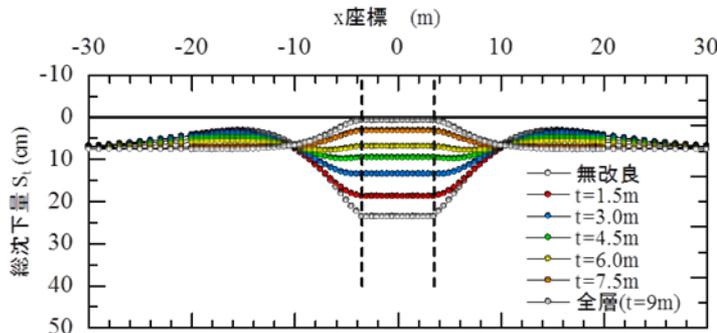
ケース		めりこみ沈下量 Sp			無改良との比率
		St (cm)	Sg (cm)	Sp (cm)	
1	01 無改良	26.4	5.7	20.6	-
2	02 改良1.5m	18.5	5.8	12.7	62%
3	03 改良3.0m	13.8	6.1	7.8	38%
4	04 改良4.5m	9.7	6.4	3.3	16%



中地震動対応：めり込み沈下量★10cm

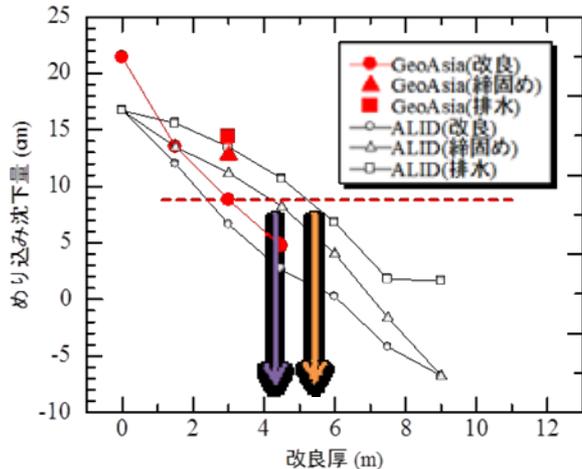
- 改良厚に応じてめり込み沈下量は低減
- 実施した解析条件では、改良厚3m程度で有害な変状を軽減できる

ALIDによるケーススタディ ～地盤条件、施工環境を検討～

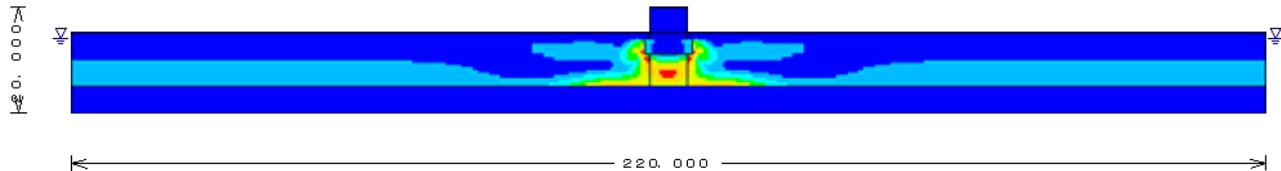


ALID: 液状化時の変形を予測する簡易解析プログラム

詳細法である有効応力解析 (GeoAsia) の検討結果を補完する目的



GeoAsiaの変形結果との調和を図ったうえで、
地盤条件、施工条件、対策条件などを任意に変化させた解析を多数実施することで、条件が異なる場合における対策の効果を予想することができる。



例えば、この例では、

厚さ3.0mで盤状改良(固化)した場合と同じ対策効果を期待するには、

「締固め工法なら 約4.2m、排水工法なら、約5.5m 程度の施工深度が必要である」と読み取れる。

個別研究開発項目(5)

浅層盤状改良工法の経済性評価

●コストを試算する工法

工法原理	工法	新設	既設
密度増大工法 (締固め工法)	静的締固めタイプ	○	×
	静的圧入タイプ	○	○
固化工法	中層混合処理工法	○	×
	高圧噴射攪拌工法	×※	○
	薬液注入工法	○	○
排水工法	砕石杭工法	○	×

※ 新設の場合には中層混合処理に比べて効果になるため経済性の評価は実施せず

●コストを試算する条件

コストの試算において、現場状況、周辺環境、地盤条件、補修費用など様々な変動要因があるが、本研究では仮定条件を設定して試算した。

●コストを試算のケース

施工面積(戸数) : 1戸(150m²)、3戸(450m²)、20戸(3,000m²)

改良厚さ : 1.5m、3.0m、4.5m (但し、締固めは3m以上とした)

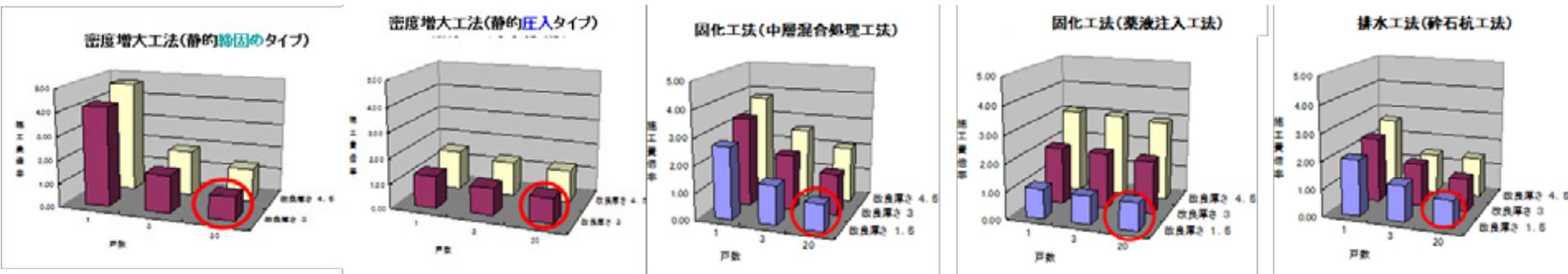
施工条件 : 既設、新設

コスト試算の結果（1軒あたりの施工費）

抜粋

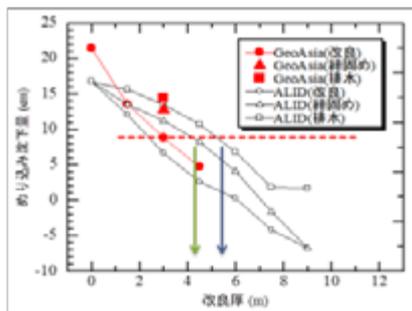
浅層盤状改良のコスト = 施工費 + 固定費

● 施工面積によるコスト変動（新設の場合） 改良厚さ3m 20戸を1とした施工費倍率

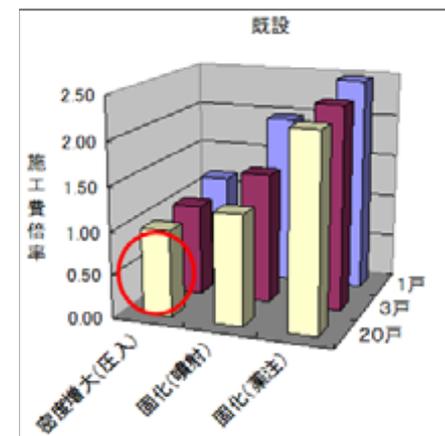
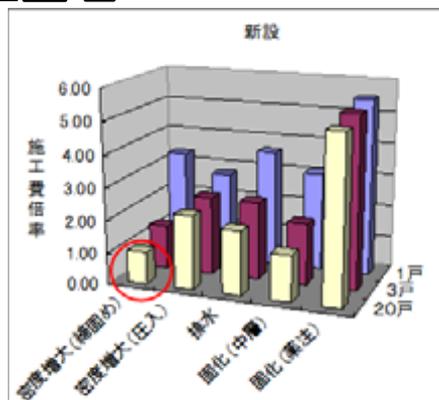


施工機械が大きな工法では、コストに占める固定費（施工機械の運搬費用など）の割合が大きいため、施工面積（戸数）による1軒当たりの施工費用変動が大きい。

● 対策効果の違いを考慮した経済性整理

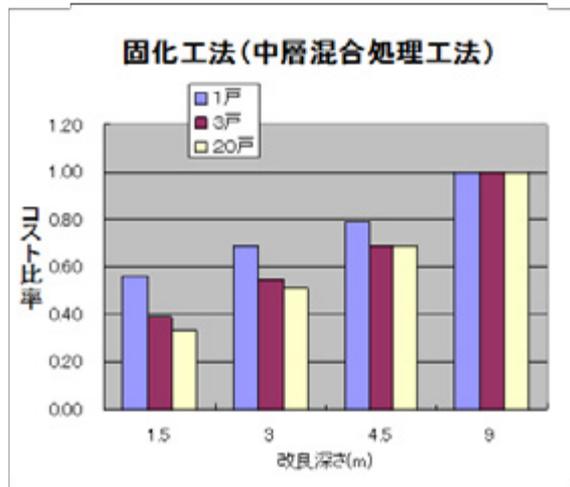


3mの固化改良と同等の沈下量となる改良厚さで比較

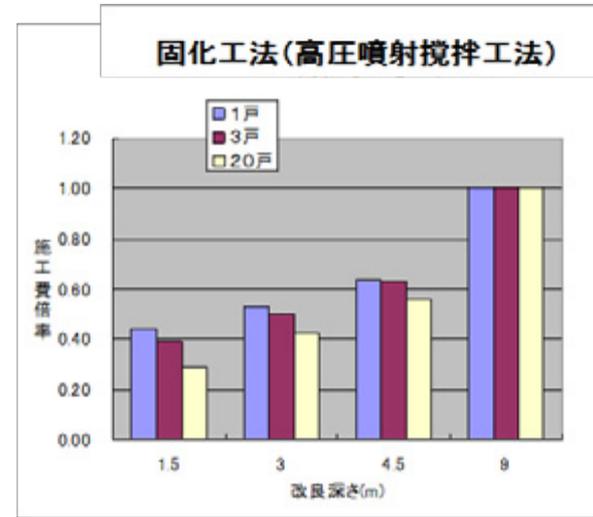


工法によって設計方法が異なるので留意が必要であるが、本研究の条件において同等の沈下量となるコスト比較を行った。施工面積などの要因によって最適工法が選定される。

新設



既設



建築基礎構造設計指針、建築基礎のための地盤改良設計指針案（日本建築学会）などによれば、レベル1地震動においては全点の $FL>1$ 、レベル2地震動においてはPLやDcyによる判定を実施することになっており、本モデルでは砂層を全層改良することになる。地下水位以下9mを改良する場合と比較すると浅層盤状に改良する場合には30%~50%程度にコストは低減される

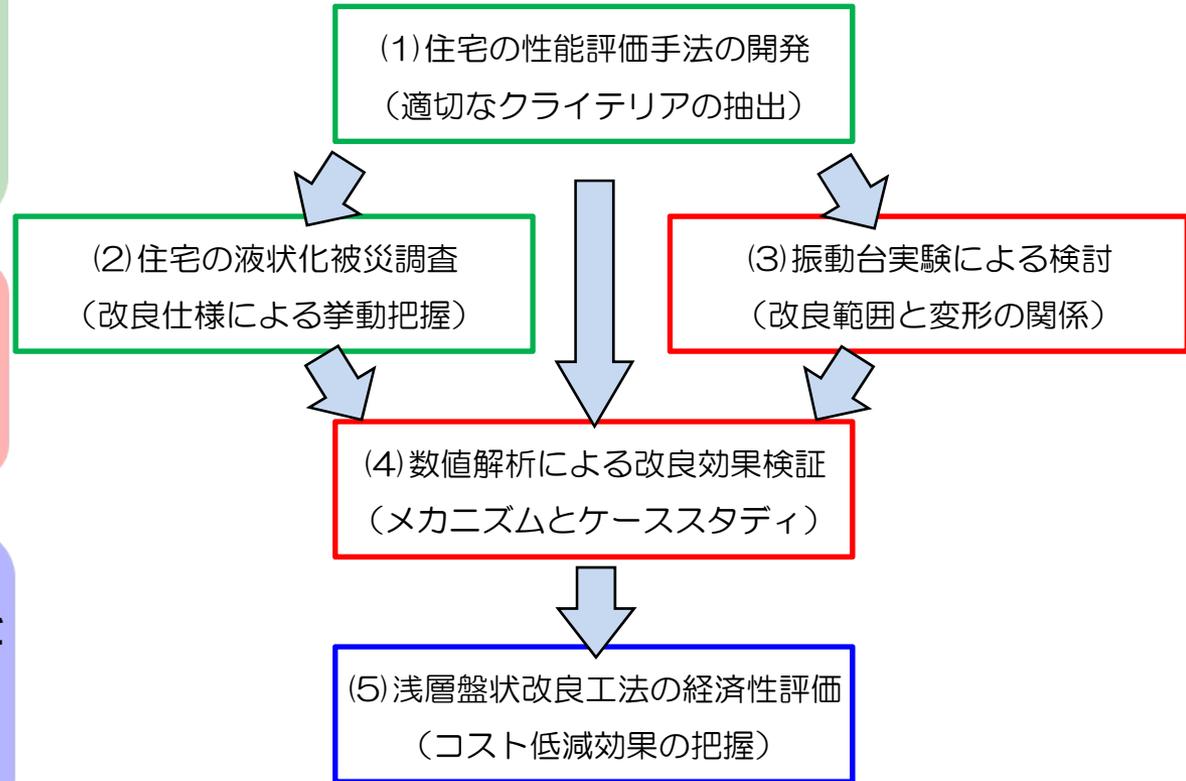
まとめ

宅地地盤への要求性能に応じた安価な液状化対策（浅層盤状改良）の実用化に向けて

戸建て住宅の要求性能と東日本大震災の被災事例調査より、**傾斜と沈下の基準値**と、液状化に対する**浅層盤状改良工法**の有効性を明らかにした

振動台実験と数値解析により、**基準を満足する改良層厚**を確認

施工面積と改良層厚に対する適切な工法の選定法を示すとともに、従来設計概念による対策と比べて、そのコストを**30~50%程度低減**できることを確認



低コストな液状化対策工法が普及 ⇒ 国民に安心・安全な暮らしを提供

液状化被災地にて講演会を実施

・香取市、神栖市



研究報告書を作成（約450ページ）

・全7章、研究委員会議事録、講演会アンケート、発表論文