

液状化地盤における住宅基礎の考え方 ～自然と共生する建築をめざして～

平成27年度

建築物の液状化対策講習会

主催 千葉県

2015年9月16日

千葉市生涯学習センター2階ホール

MASA建築構造設計室 真崎 雄一

NHK液状化実映像(浦安地区)



ビデオ1

はじめに

広き宇宙の青き星、水の惑星と呼ばれる星に住む生物・植物・我々人類は水無しに存在しなきものである。

老子は水のありかた性質を以下の如く表現しています。「すべてを生かし、養いて、それでいて争わず、威張りもしない、人の嫌がる低きへとゆく。」

ミトレス(エーゲ海をはさんだギリシャの対岸 トルコの一部)のターレスは「**万物のもととは水である、生物は水無しでは生きられぬ。固体・液体・気体の3態を日常生活で目撃できる物質は水のみである。**」

水が氷になり、 -22°C 位になると $2.1\text{ton}/\text{cm}^2$ もの圧力を持ち、岩をも砕くものになる。拘束された水は、太平洋深海部4000mでは、 $4000\text{t}/\text{m}^2$ の圧力に耐える。地球環境における現象をエネルギー的に捉えると、全ては圧力の高きから低きへと流れて局所のアンバランスを地球全体でバランスを保つための働きである事が理解される。従って、我々の住む地球上のあらゆる自然現象は常に生成・発展・収束を永遠に繰り返すダイナミックなものである。そこにはスタティックな安定は無い。

だとすれば、昨今の地球上で頻発している、地震・台風・竜巻・津波・液状化・土砂崩れ等々の災害と言われる現象は、地球の生命体の癒しの活動の一環とみることができる。災害は自然の流れに人間が関与したときに生じる人物の被害です。ですから、人は自然の猛威の奥深さ、自然のエネルギーの大きさを知って、謙虚に自然と付き合わなければなりません。

わたしは地球上のあらゆる物の性質を「変化自在の**念・気・流・液・粉・粘・弾・固・剛・塑性**」とよぶ。勿論、組み合わせると用語は無限にできる。ちなみに気流・粘弾性・剛塑性・弾塑性等々となる。構造用語の「弾性・復元・塑性・脆性破壊・吸収・エネルギー・残留変形・降伏・摩擦・粘り・応力・変形」等々である。

話を絞って今回の講義のテーマである「液状化地盤における住宅基礎の考え方」も副題にあるように「自然と共生する建築を目指して」とした。例えば、ウォーターフロントの宅地造成は人が積極的に災害に脆弱な地域を造り出した結果です。

液状化の要因に関しては地震工学・土質工学・建築工学における最先端の知識が欠かせない。なぜかと言うと全てが時々刻々に変化する物性の動的相互作用であり、正解を見出すことは容易な事ではない。

従って、講義の内容としては、被害状況の再現を基に簡易振動台実験を見て頂き、今後のより良き対策の一助となるべく内容に特化するものである。

液状化現象とは、地震に揺すられて地面が揺れると水は動かされやすいので、砂粒の間を通過して移動しようとしみます。しかし、砂と砂との通路は狭いので、水は急に流れず、水圧が上がります。砂を抑えつけている土砂の重さよりも水圧の方が大きくなると、砂粒は一時的に水に浮いたような形になります。建物は水の上に有るようなもので、ズルズルと沈んでしまいます。これが地盤の液状化です。

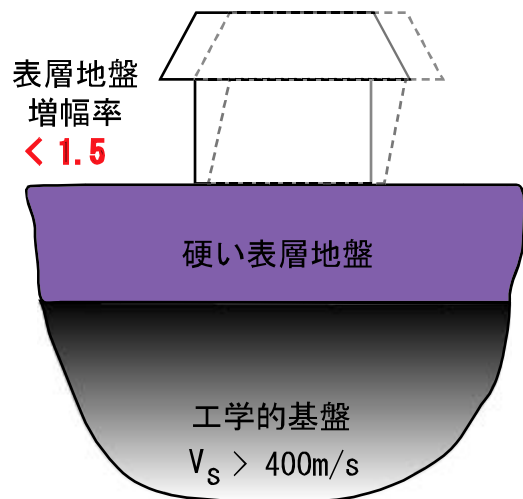
水圧がかかった水は圧力の低い地表を目指して逃げていきます。すると、**水と一緒に砂が吹きあがけます。噴砂という現象です。**液状化が起こりやすいのは細かい砂です。粗い砂とか礫ですと、隙間が有りますから、揺すられたときに水が動くことができます。それで、水圧がかかりません。大きさが不揃いの砂の場合も同様で、液状化は起こりません。砂ががっちりくっついて離れないように締め固められていても起りません。

何をもって液状化による戸建て建物被害と定義するか、液状化しやすい土質の深さ、地下水位の設定から、建物は重ければ沈下し、軽ければ浮き上がることから、地震終了後に周辺地盤と共に上下して、建物の傾斜が生じないことを目標にすることとする。

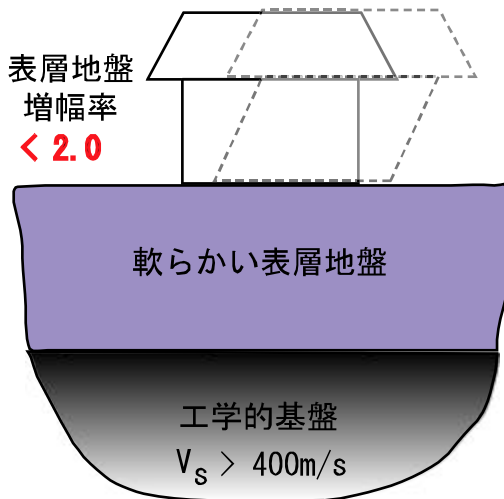
その為、建物傾斜の根本要因・二次的要因、広域対策・個別対策・事前対策・事後対策、配慮すべき項目・利点・欠点等を説明する。

広域対策としての人工地盤バランス工法は、津波対策としても有効であると考ええる。

地盤の硬軟と揺れ

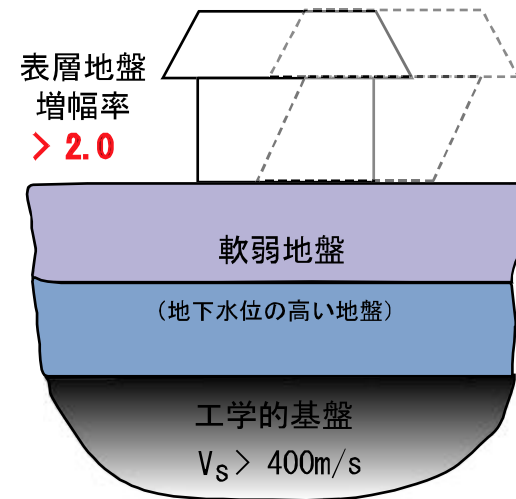


揺れは比較的小さい
周期の短い揺れ



揺れやすい
ゆっくりした揺れ

約1,700万人
が居住

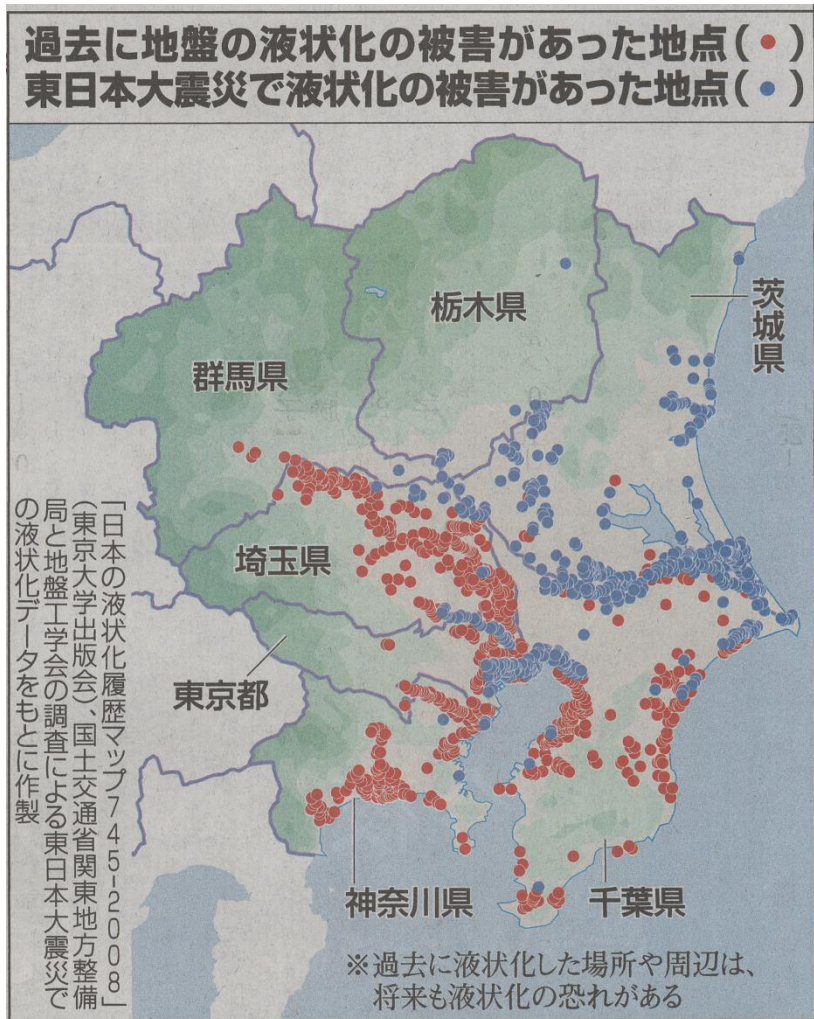


**特に揺れやすい
液状化の危険大**

約2,200万人
が居住

資料作成: 東京理科大学名誉教授 井口道雄

関東平野の液状化地点



都内の増幅率の高い地域(> 2.0)

地区	増幅率
江戸川区	2.41
葛飾区	2.39
荒川区	2.38
江東区	2.30
中央区	2.28
港区	2.27
千代田区	2.15
足立区	2.06

下町・沿岸地域で増幅率が大きい

液状化しやすい地盤条件

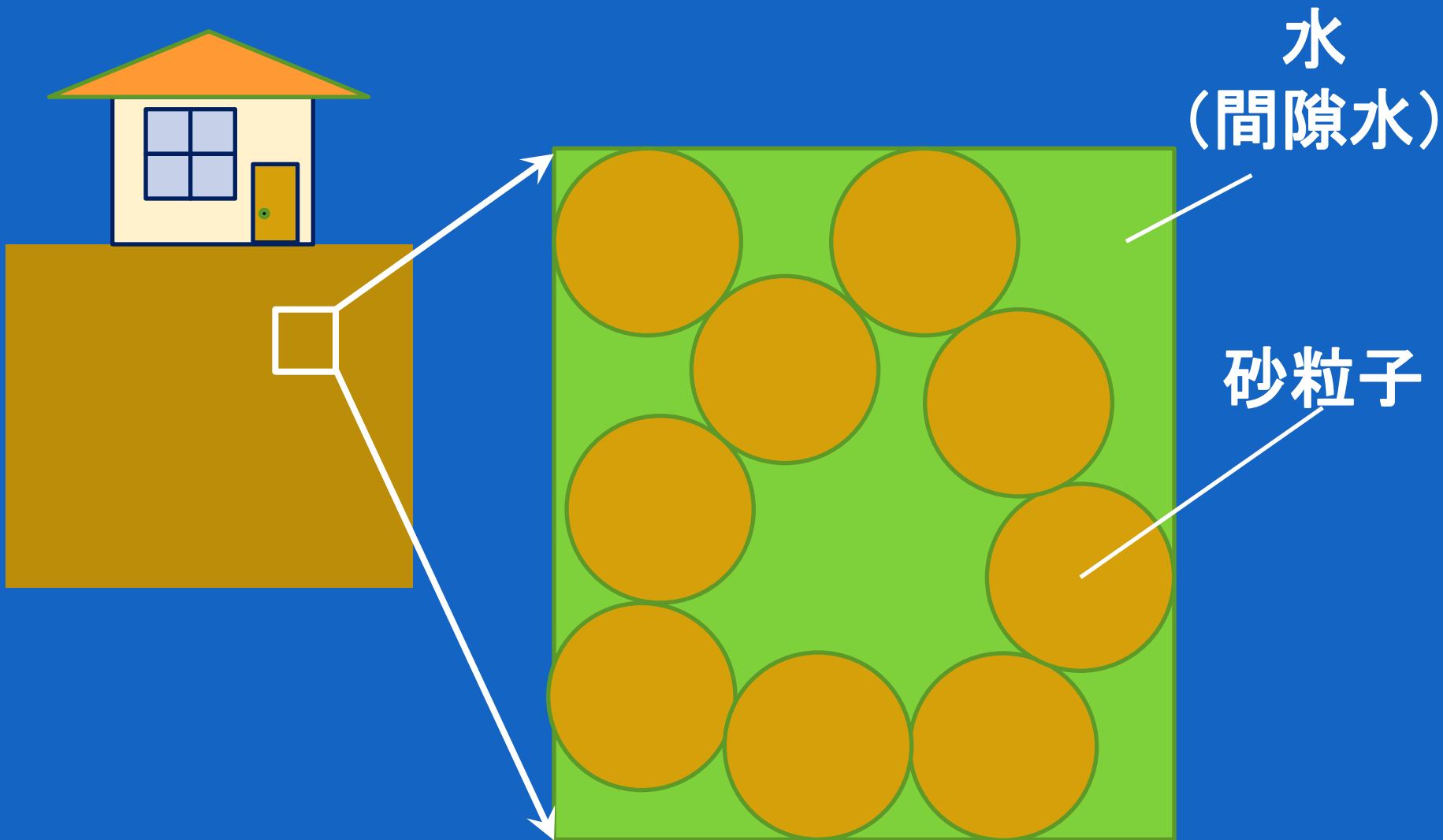
ゆるい砂地盤で、地下水位が浅い

- ・ 海沿い
- ・ 川沿い
- ・ 埋め立て地

さらに...

- ・ 強い地震
- ・ 地震の継続時間（揺れている時間）が長い

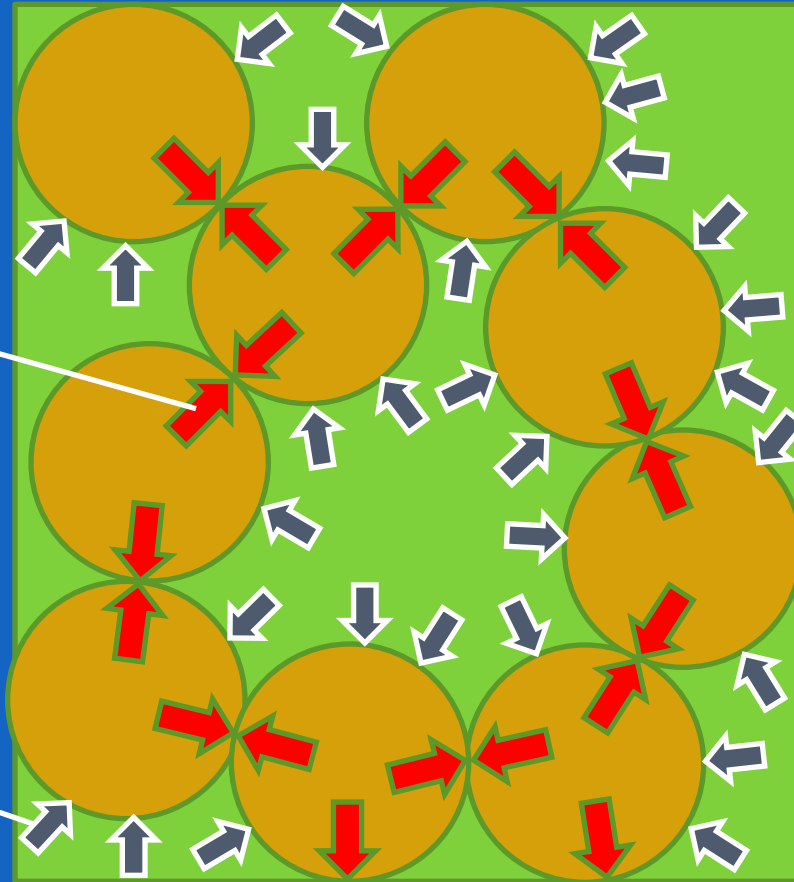
地盤の模式図



地盤内の砂粒子に働いている力

有効応力
(砂粒子間で支え合っている力)

地盤内の水圧
(間隙水圧)



地震時の液状化のメカニズム

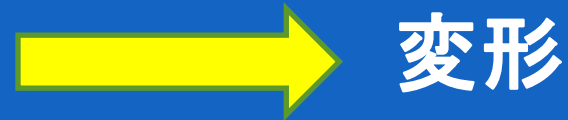
砂粒子間のかみ合わせが外れる



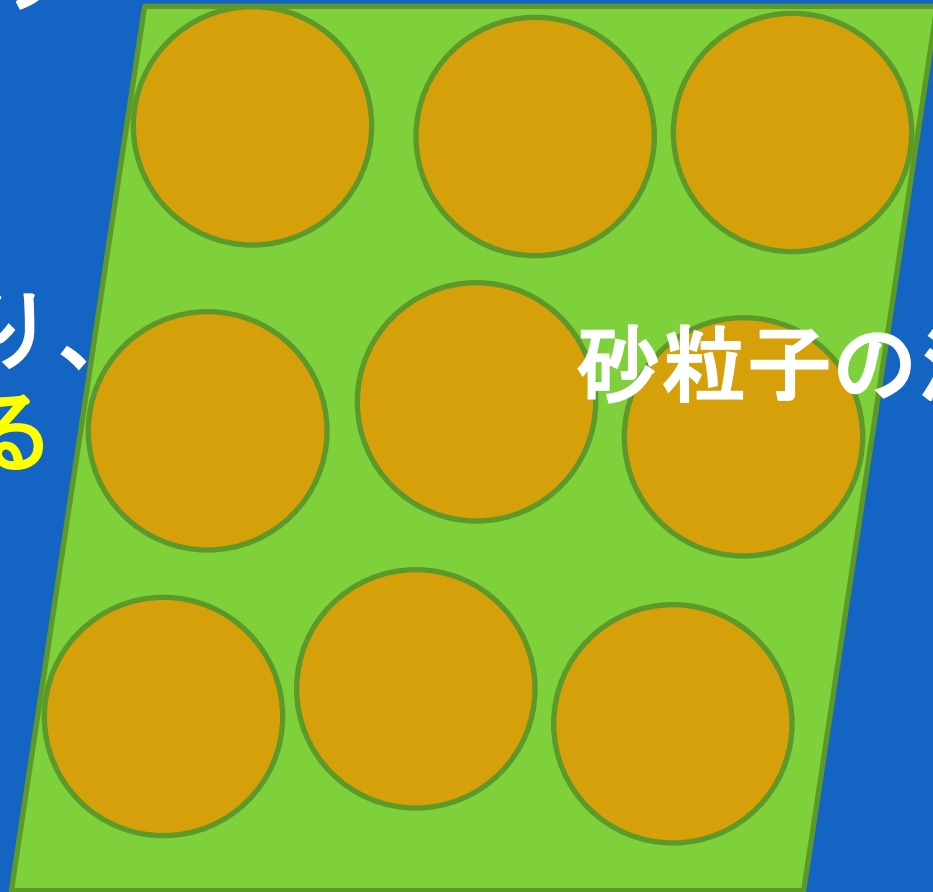
地盤が液体状になり、急激に柔らかくなる



抵抗力の喪失



変形



砂粒子の沈下



振動

砂粒子のかみ合わせが外れると…

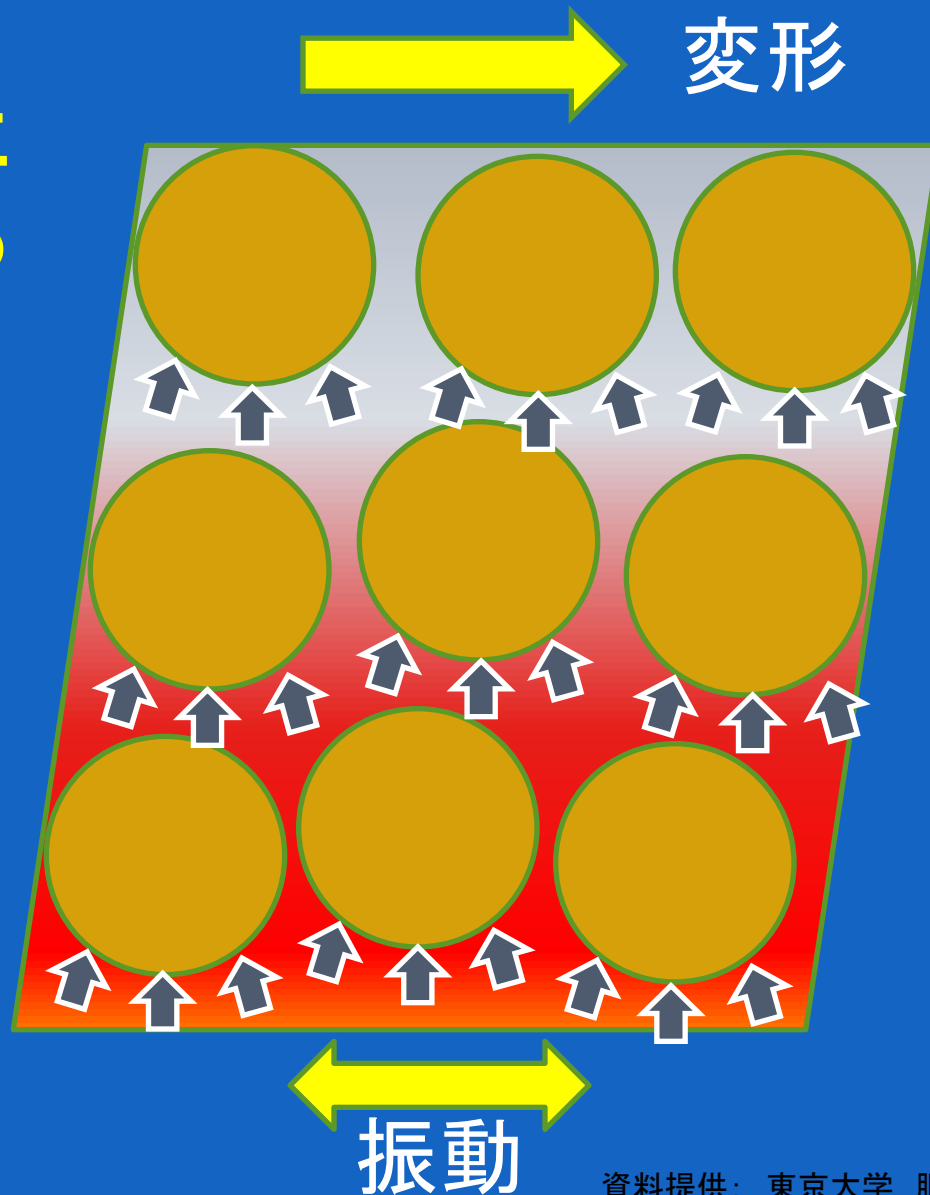
砂粒子が互いに
支え合えなくなる



砂粒子の重さを
間隙水が支える

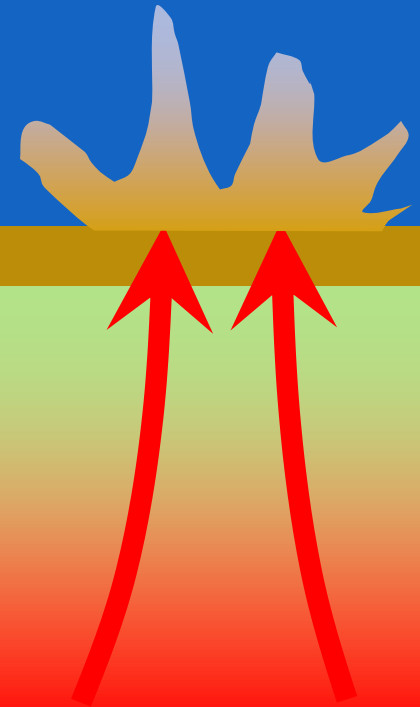


間隙水圧の上昇



間隙水圧が上昇すると...

地中の水が砂とともに
地表に噴出（噴砂）



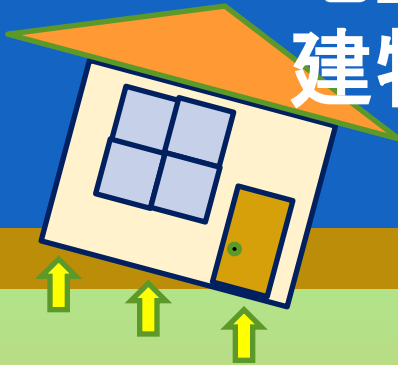
液状化層

水圧：大

非液状化層

地盤が液体状になると...

地盤が**支持力を失い**、
建物が**傾斜**、**沈下**する

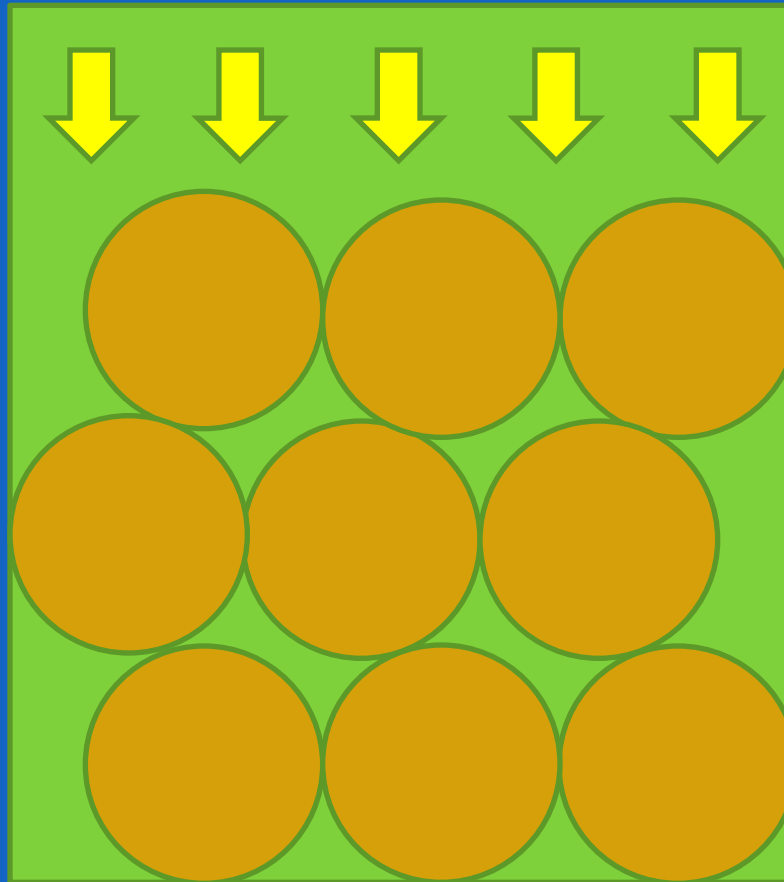


液状化層

液状化発生

非液状化層

地震後の地盤



間隙水圧の消散

砂粒子の沈下
(地盤沈下)

沿岸埋立地における液状化被害調査 (千葉県浦安市)



調査地点



■ 新浦安駅付近(1971年造成)



大量の噴砂

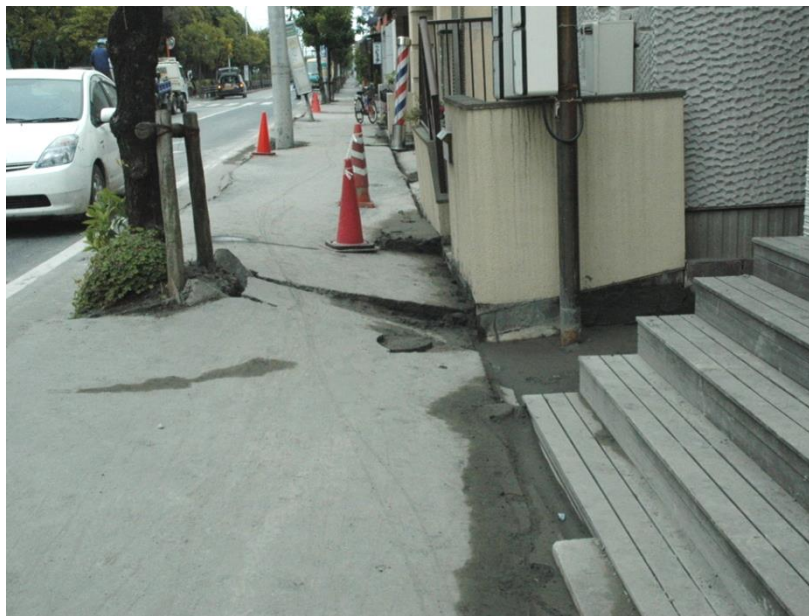
シルト～細砂を多く含む



地表面の沈下・陥没



■ 入船地区(1971年造成)・・・住宅地





住宅の不同沈下



杭基礎

直接基礎



道路面は杭基礎構造物より40cm沈下



杭基礎

直接基礎

±0

-80cm

-40cm



直接基礎構造物は道路面よりさらに40cm沈下

杭基礎構造物と直接基礎構造物とはトータル80cmの段差が発生！

基礎構造の違いによる差₂₆

小樽の実大液状化再現実験

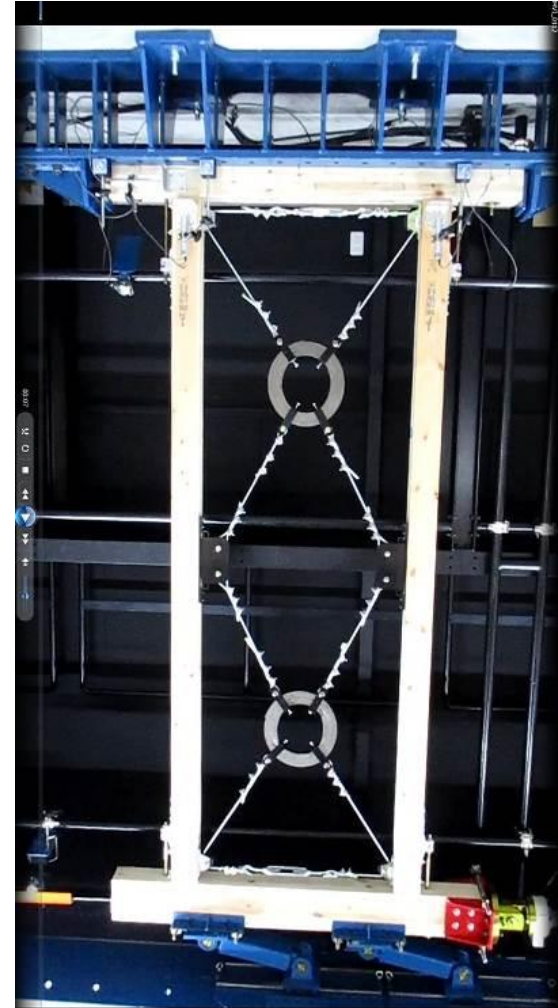
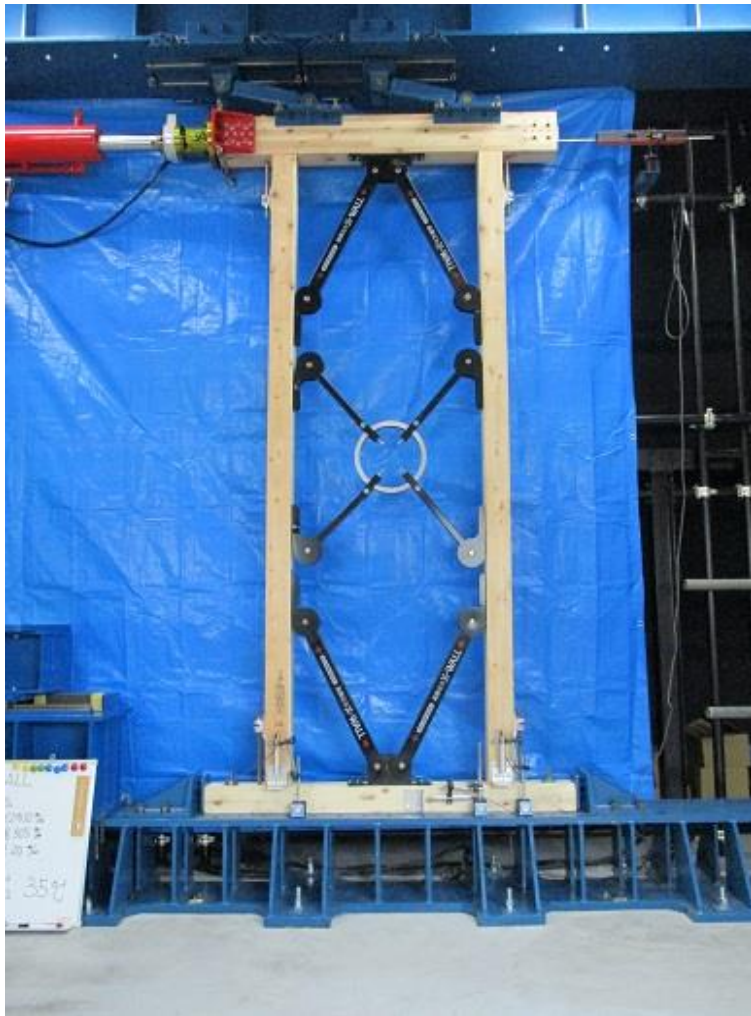


ビデオ2

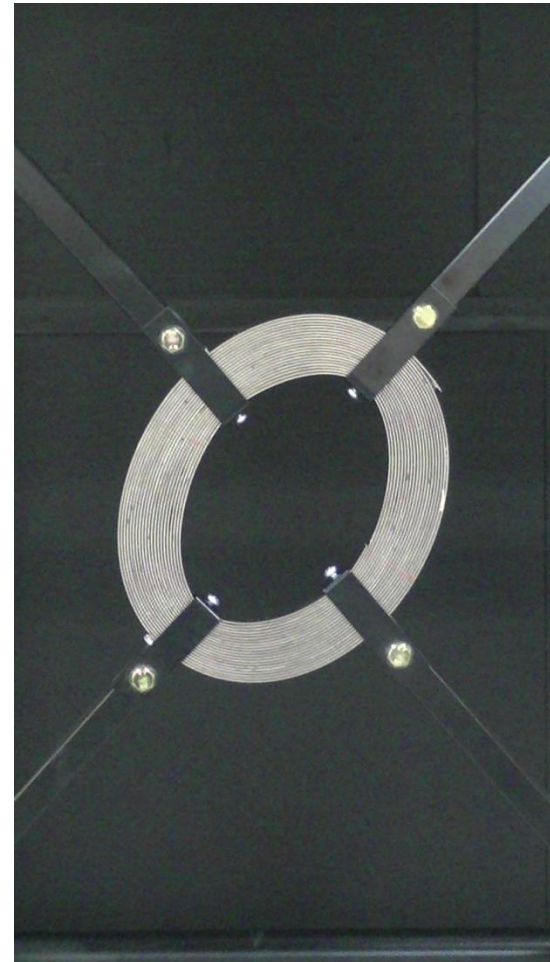
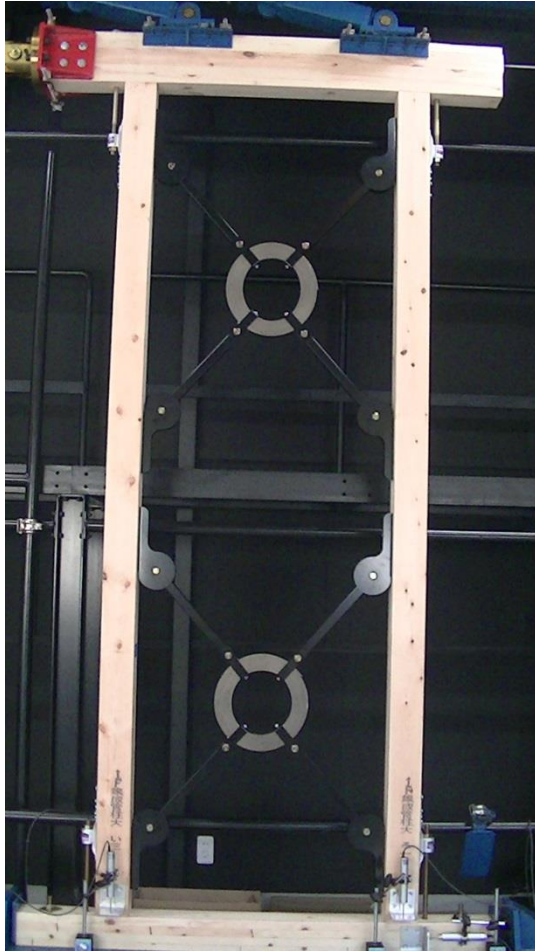
MASA三郷建築実験工房



GVA+リング復元力



粘弾性体入りリングバネ

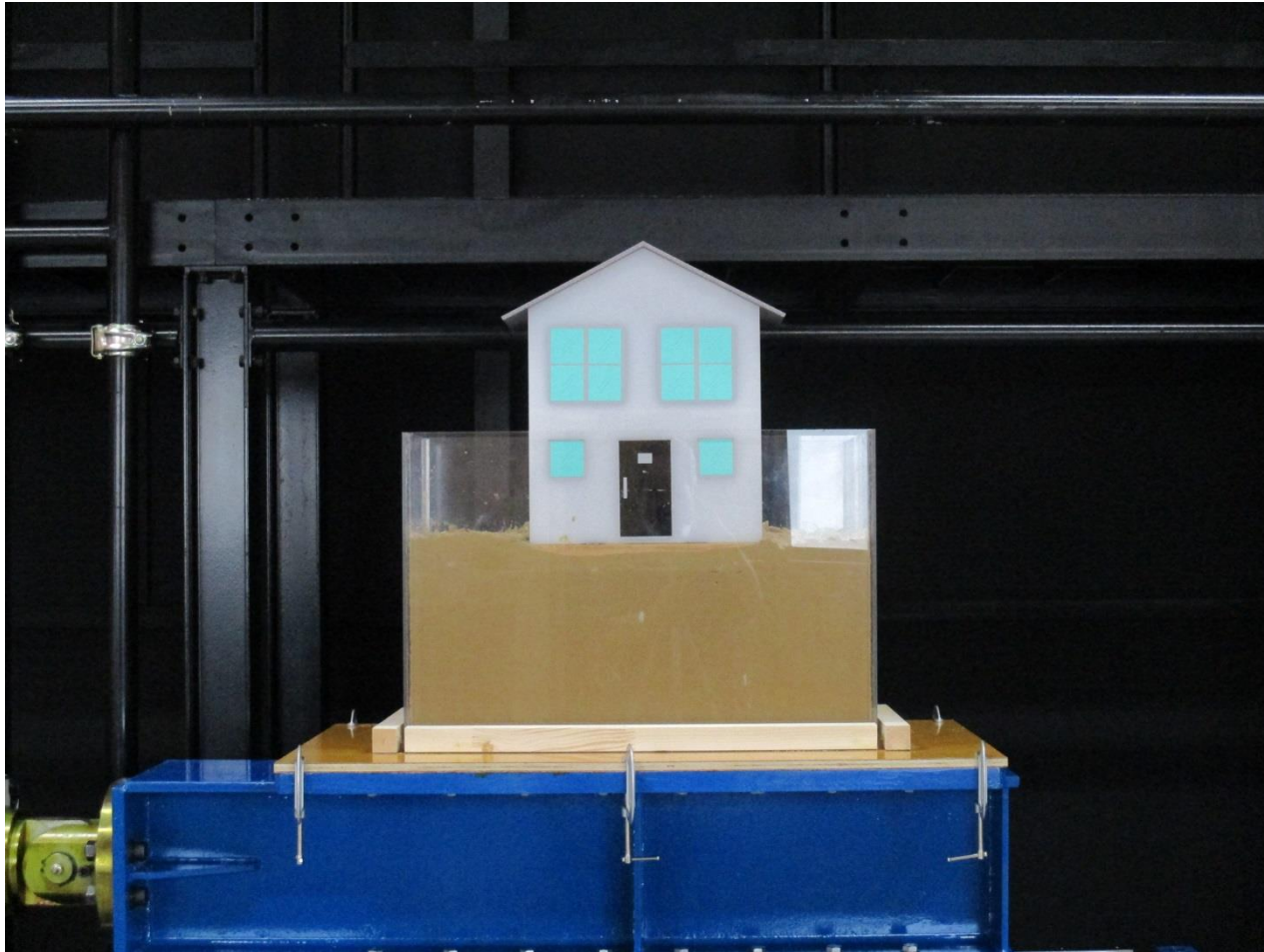


ビデオ3

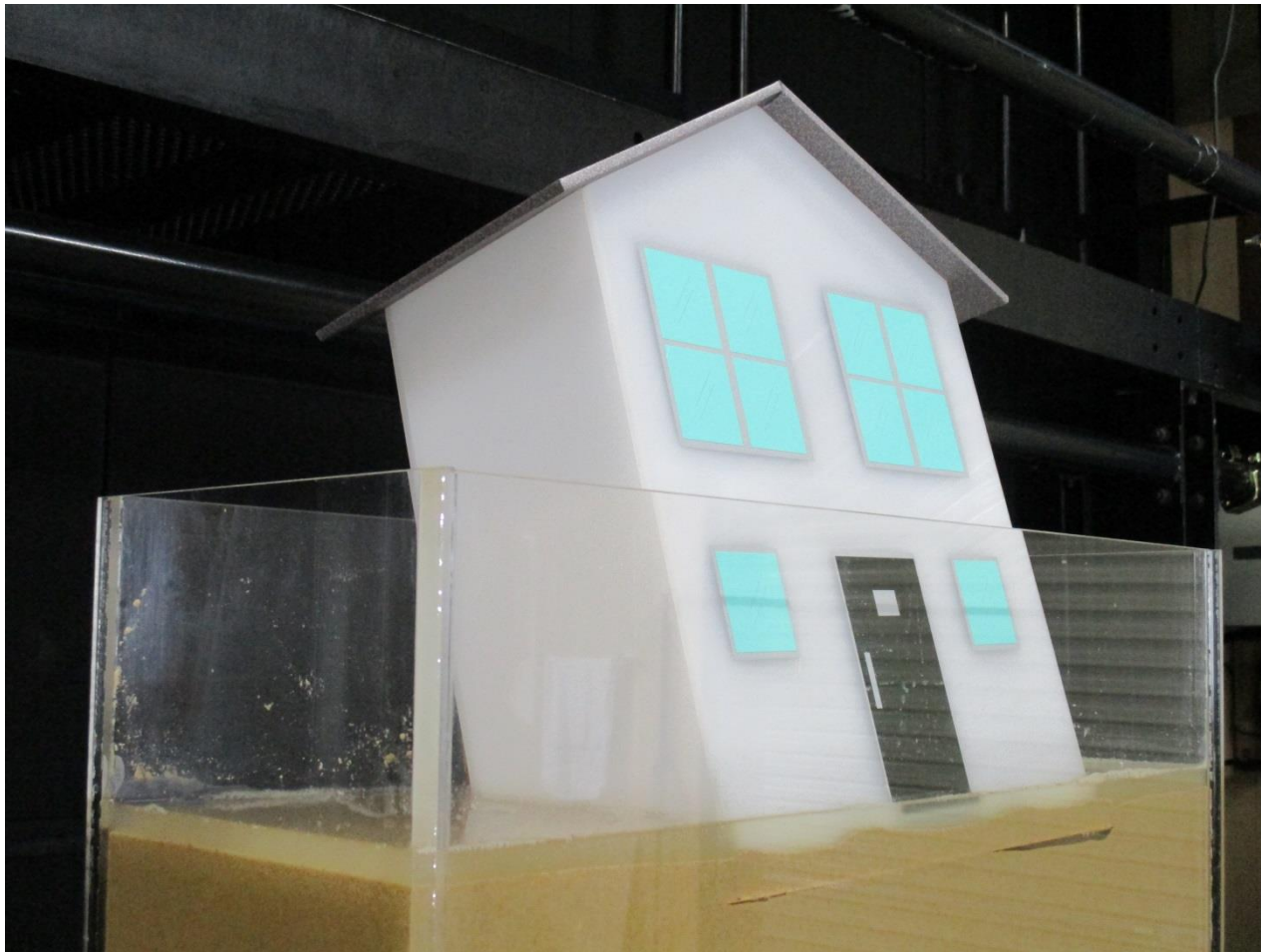
簡易振動台



簡易振動台模型実験



液状化による建物傾斜

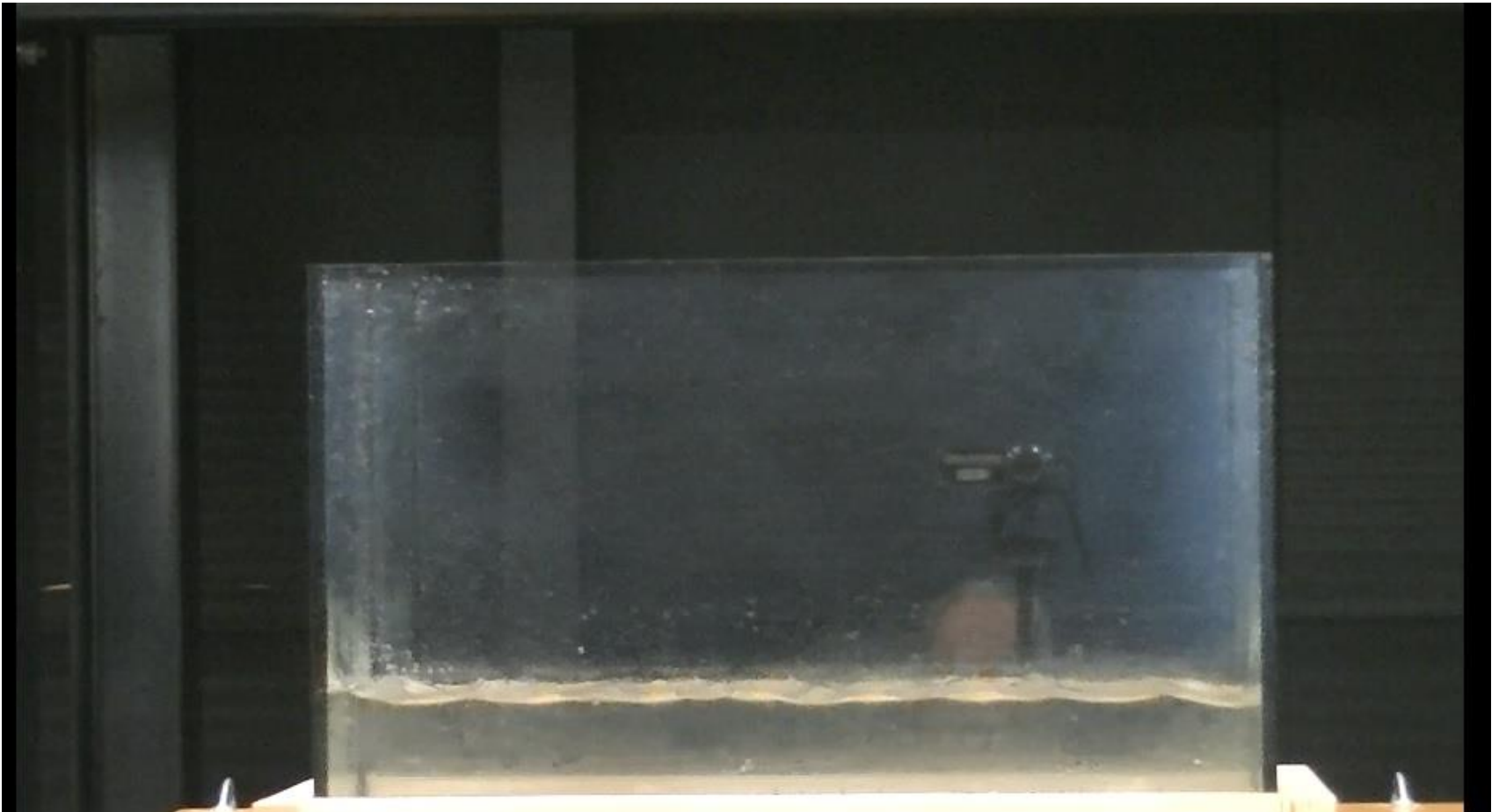


埋立地による液状化現象



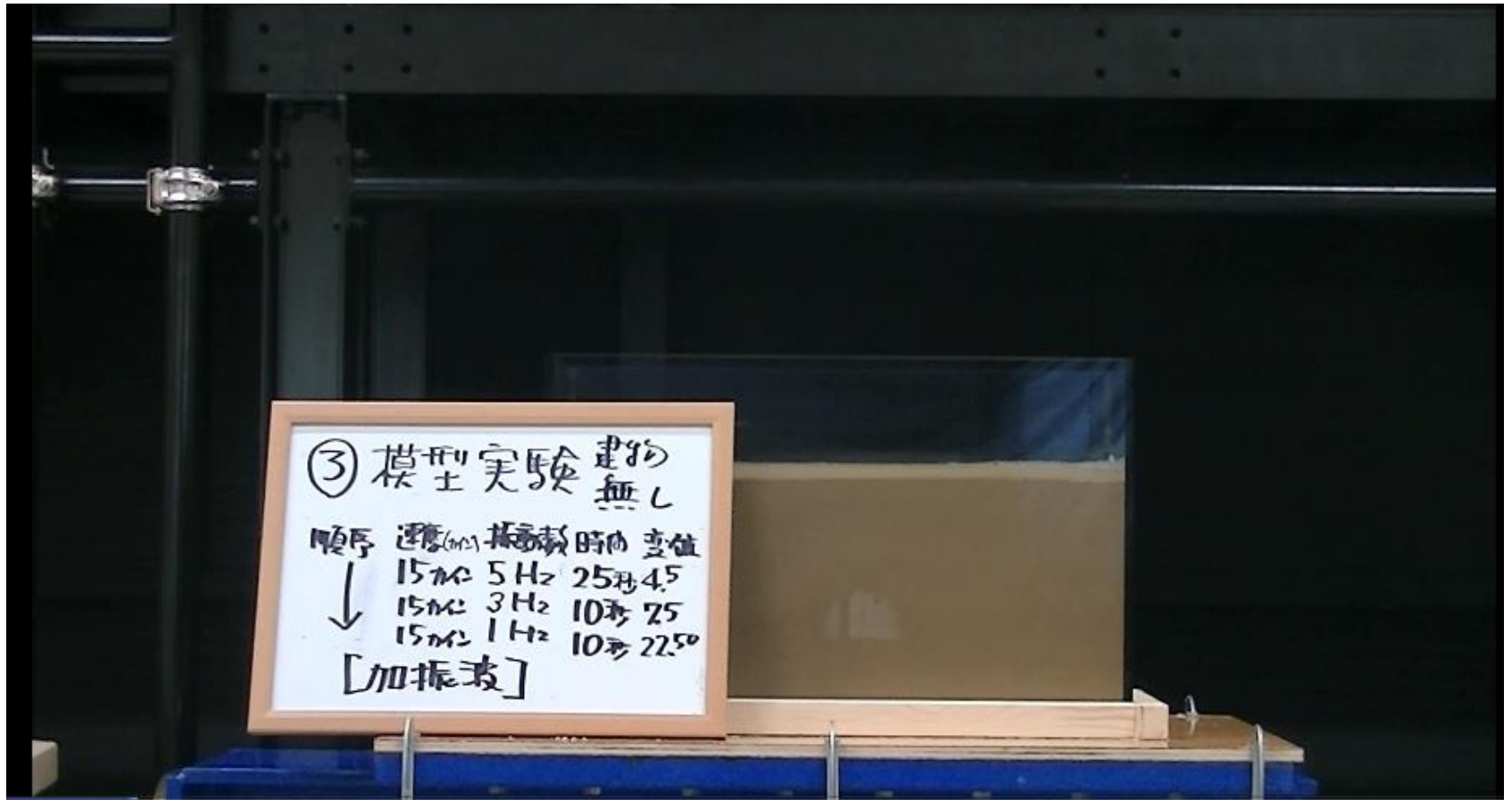
ビデオ4

水波形状動き(周波数変化)



ビデオ5

液状化後地表面形状動き



ビデオ6

2011.03.11地震で波打つ歩道 (海浜幕張駅近く)



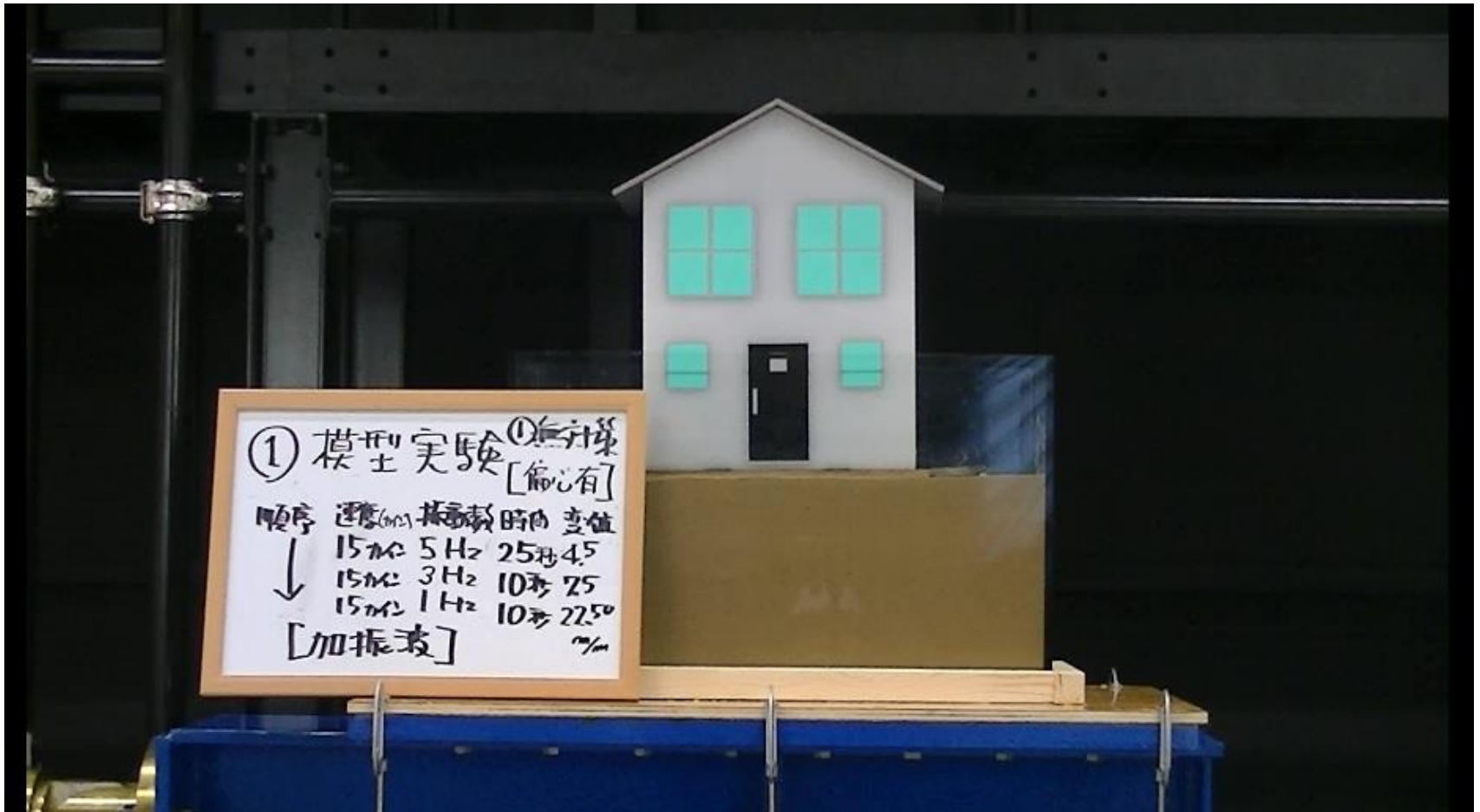
ビデオ7

2011.03.11地震の超高層ビルの動き

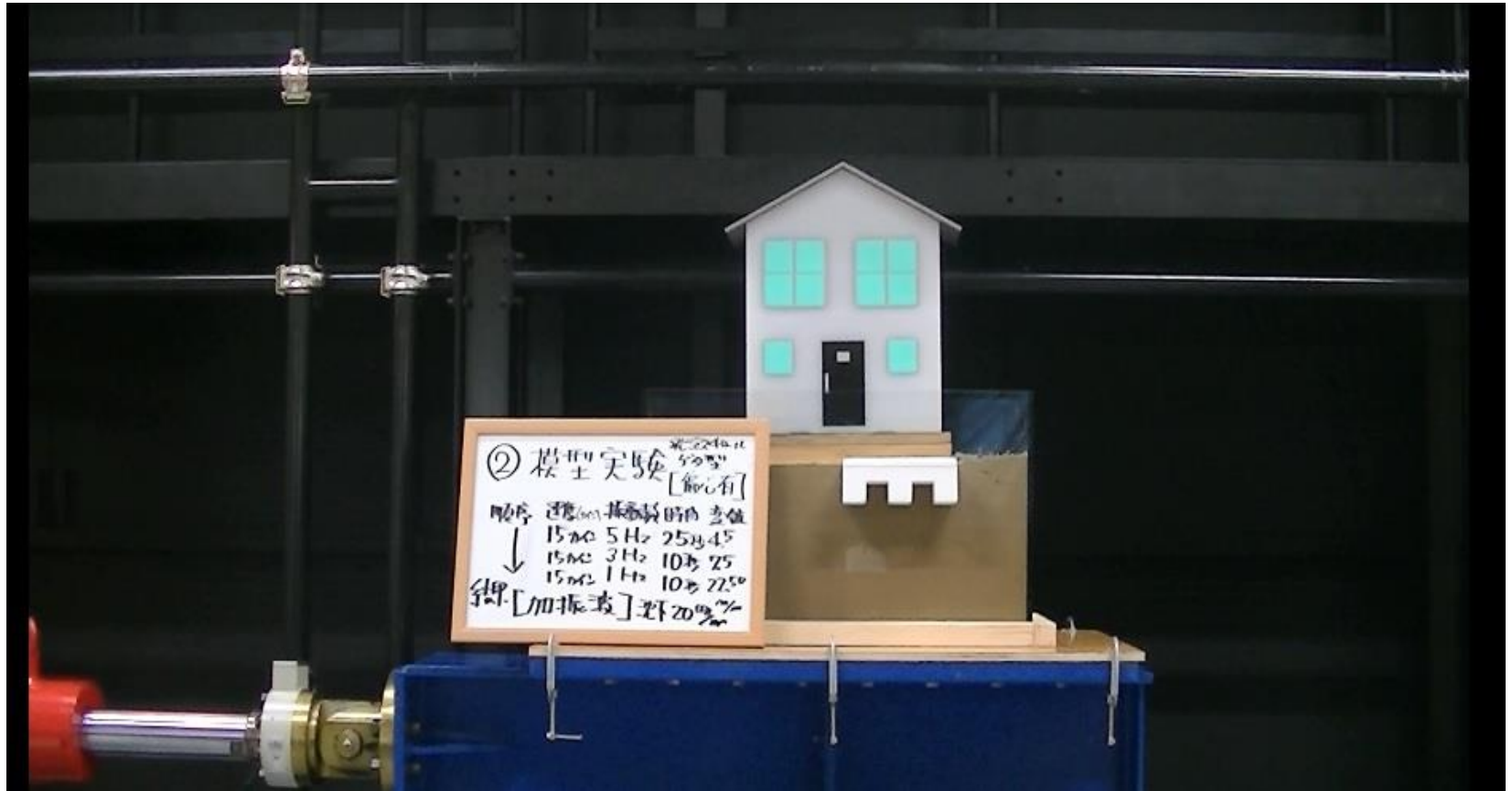


ビデオ8

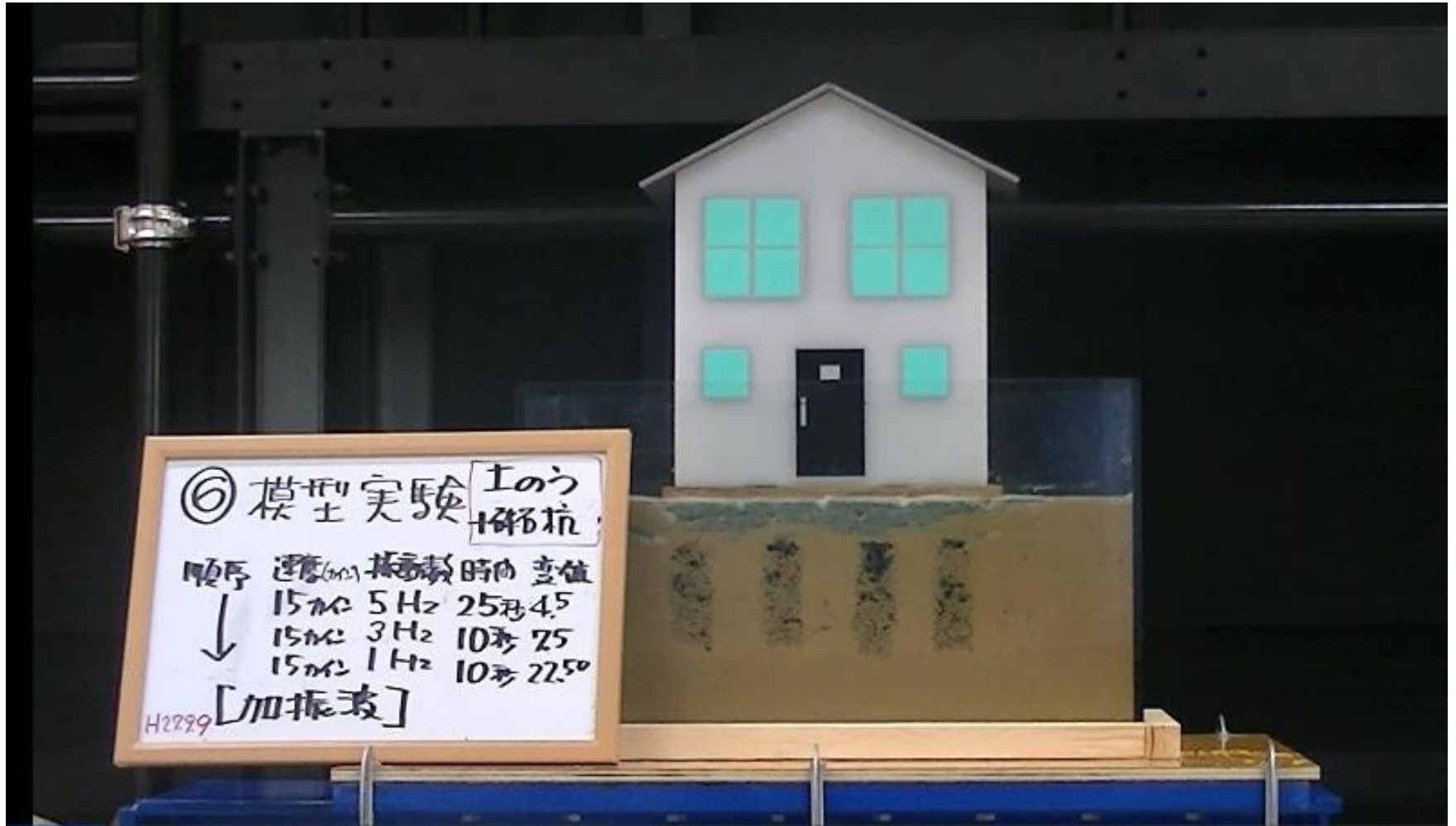
無対策建物(偏心荷重)



過大基礎浮力実験(偏心荷重)

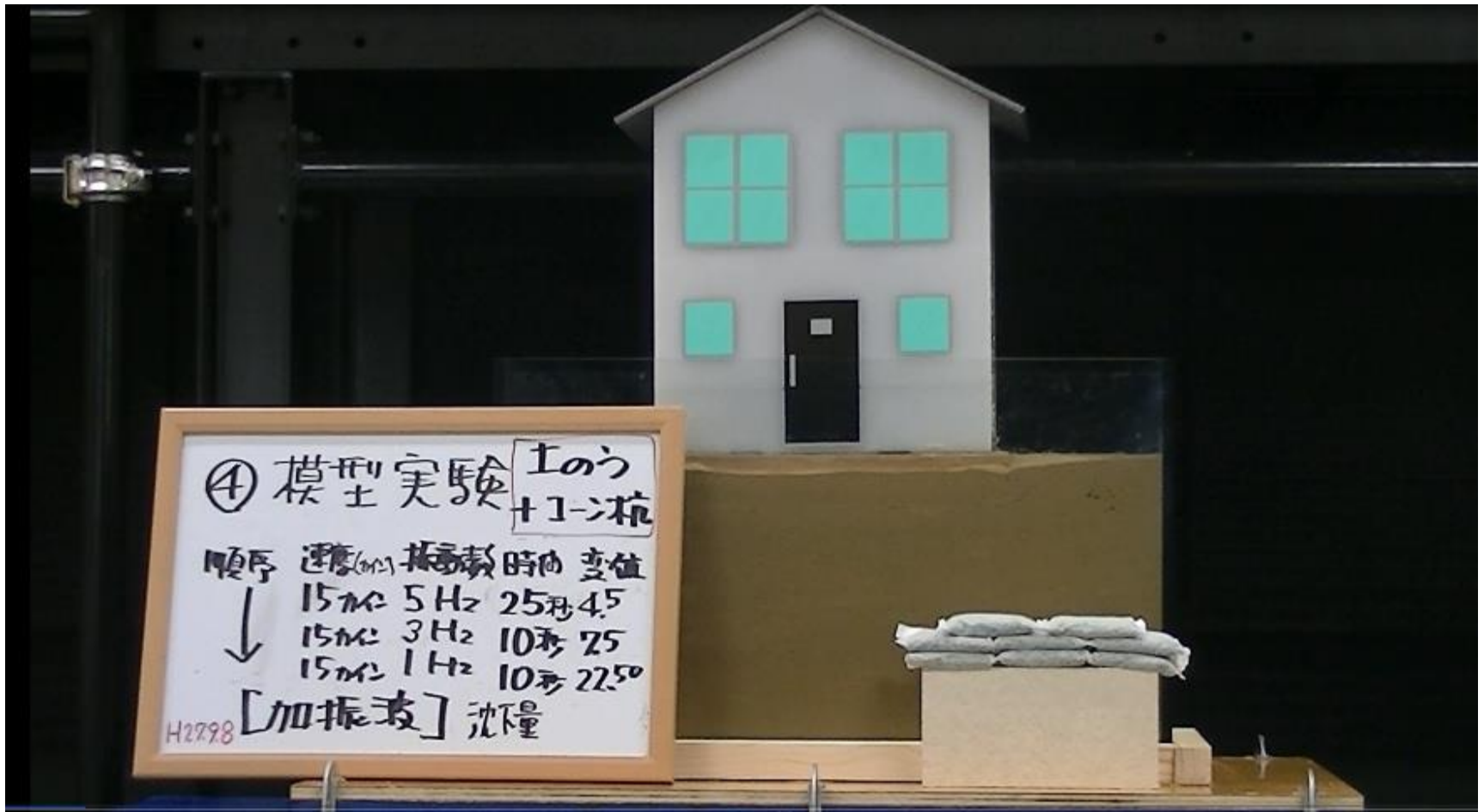


土嚢十碎石杭(偏芯荷重)



ビデオ11

土嚢＋コーン杭(偏芯荷重)



土嚢＋井型ブロック(偏芯荷重)



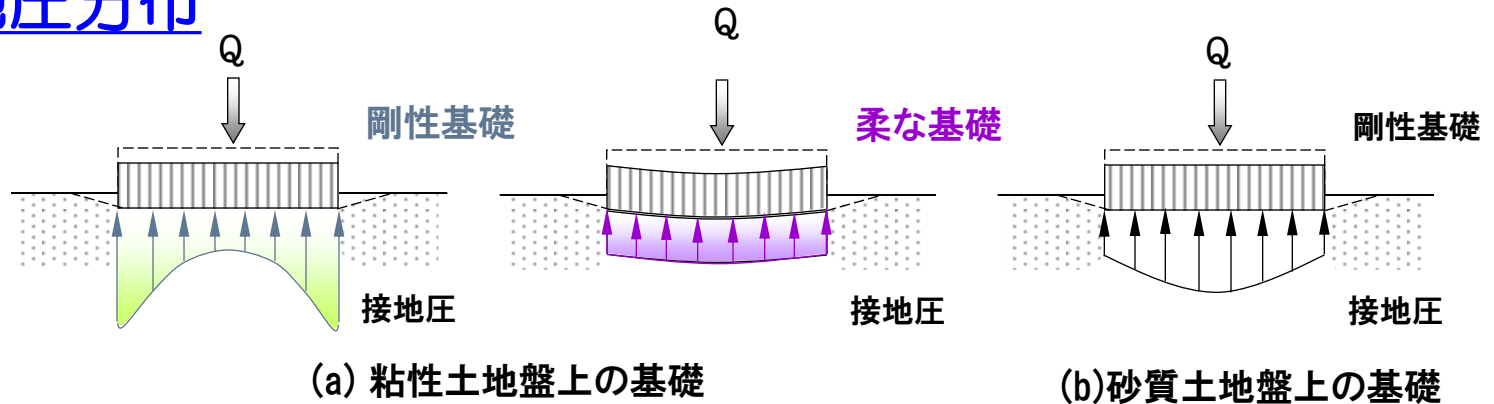
液状化対策技術

液状化を起こさせない為には

- 間隙水圧を100%上昇させない
緩めの砂は50%以下に抑える → 砂の密度を上げる
- 被圧水解消の為のドレーン工法
- 地下水汲み上げによる不飽和化
- 地中連続壁による地盤の側方流動防止 → 地盤の沈下防止
矢板, コンクリート壁, 連続地中杭
- 薬剤, セメント等による固化工法
薬剤(ケミカル)グラウトの留意点
 - ・アクリルアミド系グラウトは劇毒物とフッ素化合物を含むため使用禁止
 - ・水ガラス系グラウトは耐久性が劣る。特にアルカリ性地盤では固結砂が崩壊する。
セメント系の固化工法との併用は極めて危険である。

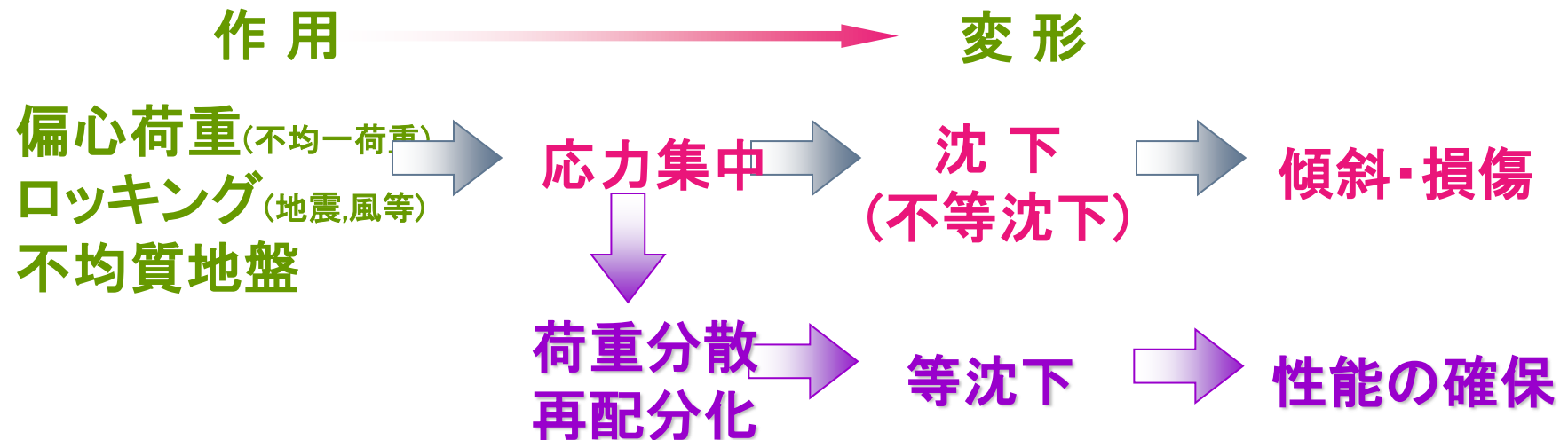
建屋荷重の分散,均等,再配分化

▼接地圧分布



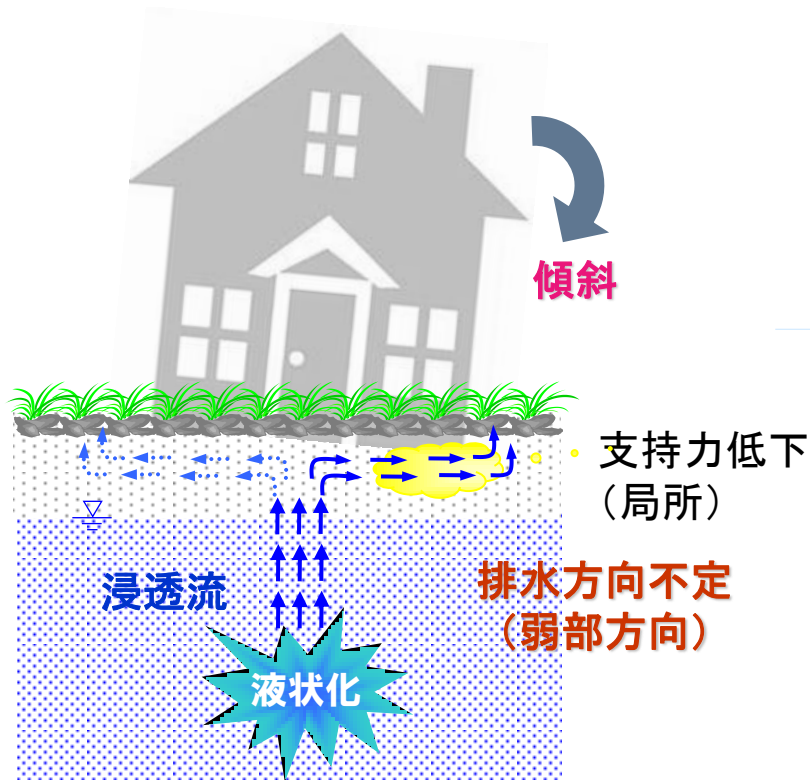
基礎の底に働く接地圧

▼作用と変形

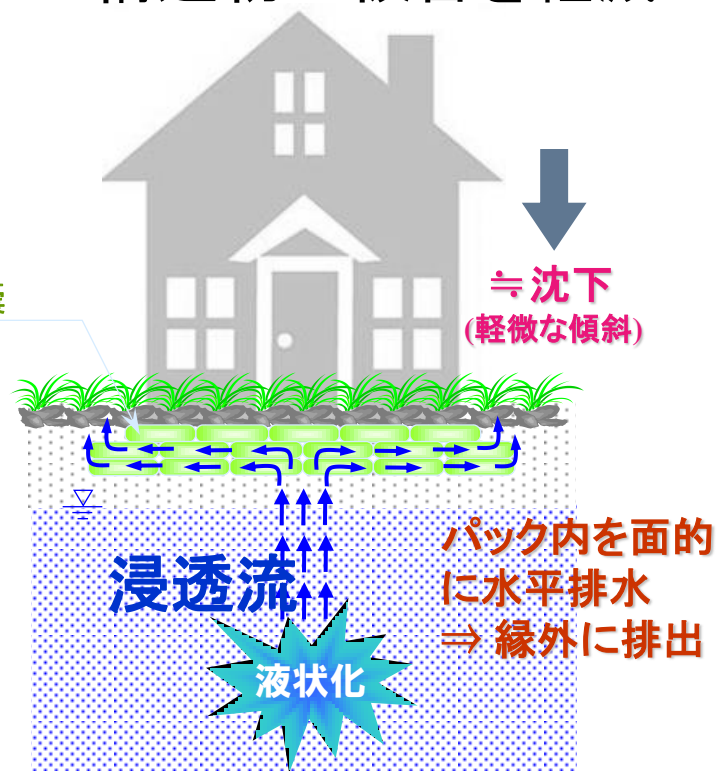


液状化被害抑制効果（排水機能）

構造物の被害を軽減



無対策の場合

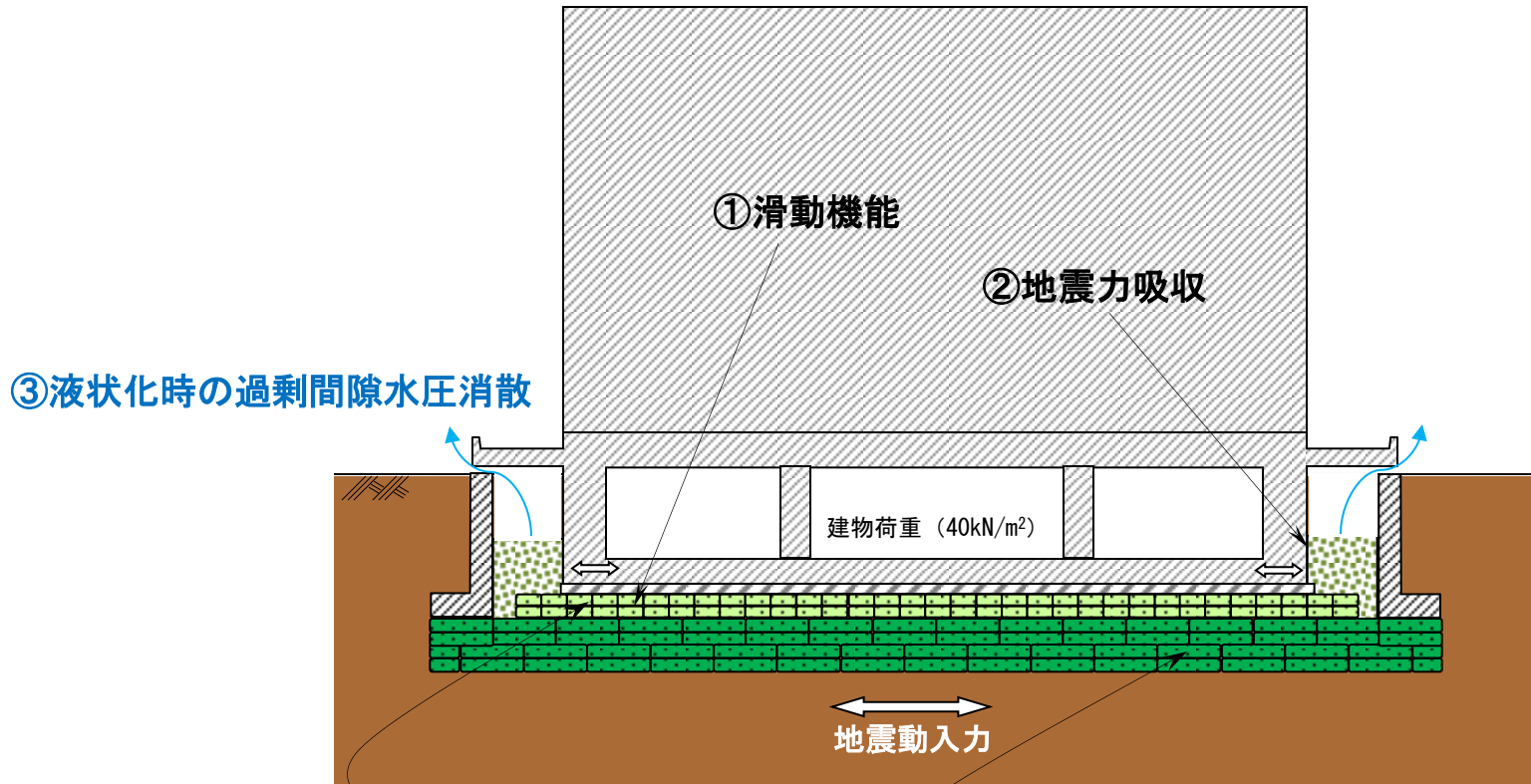


土嚢敷き工法

液状化他対策工法提案

- ① 高機能基礎(土嚢敷き)
- ② 土嚢＋コーン杭
- ③ 土嚢＋細径鋼管杭
- ④ 鋼棒入りパックパイル

高機能基礎の提案



滑動機能：ガラスカレット入り小型ソルパック

支持力強化機能：大型ソルパック



400 × 400 × 厚さ80mm



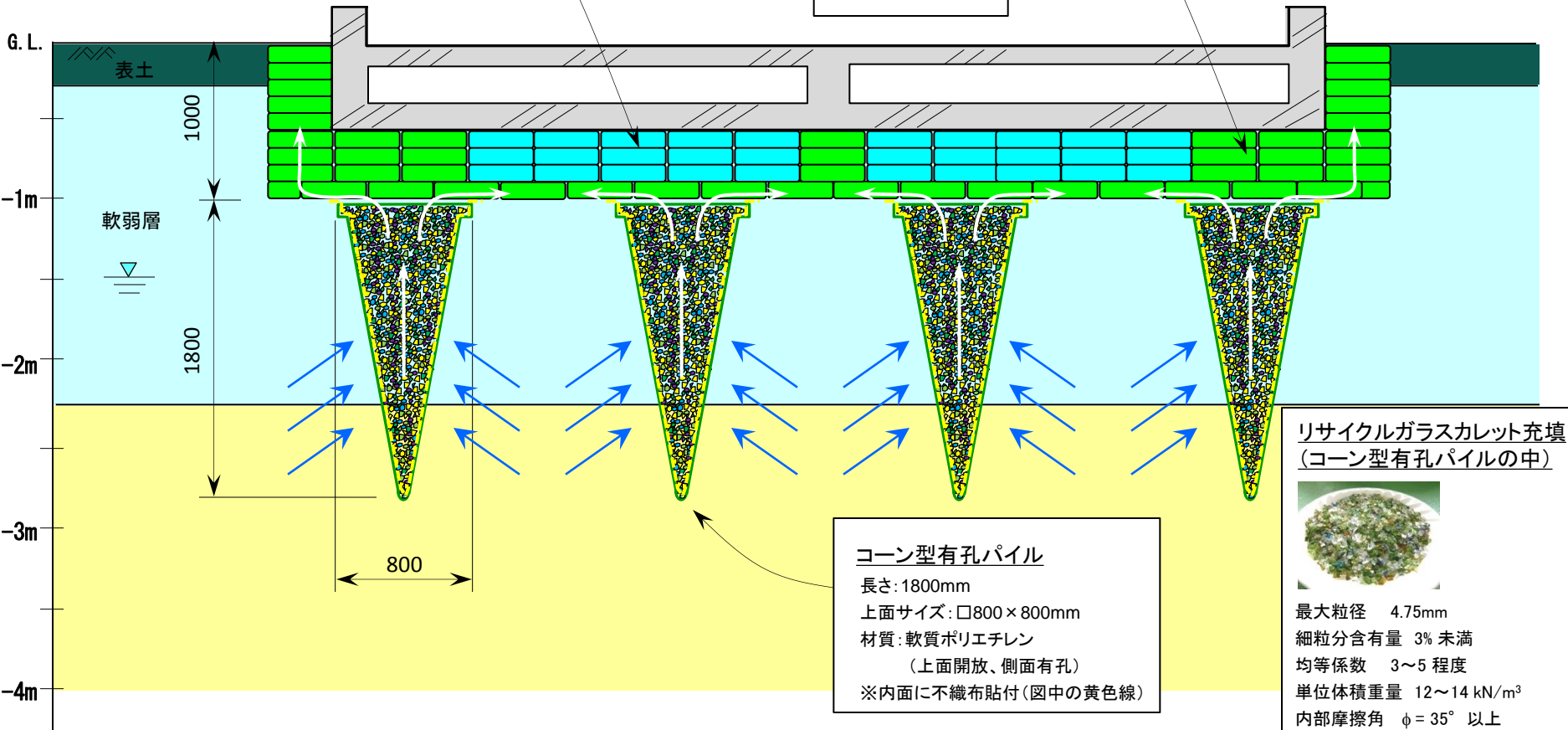
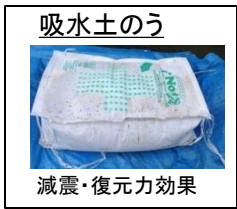
1000 × 1500 × 厚さ200mm

特徴

- 柔に受け止め荷重分散！…………… 支持力増強・沈下抑制
- 横ずれ構造で揺れを吸収！…………… 制震効果
- 地震時の過剰間隙水を流す！…… 横排水・縦排水層の役割
- 寒冷地における凍上を防ぐ！…… 不凍上・高排水性能

土嚢+コーン杭

開発: (有)MASA建築構造設計室 真崎雄一
(ZEROシステム研究会 主宰)



リサイクルガラスカレット充填
(コーン型有孔パイルの中)

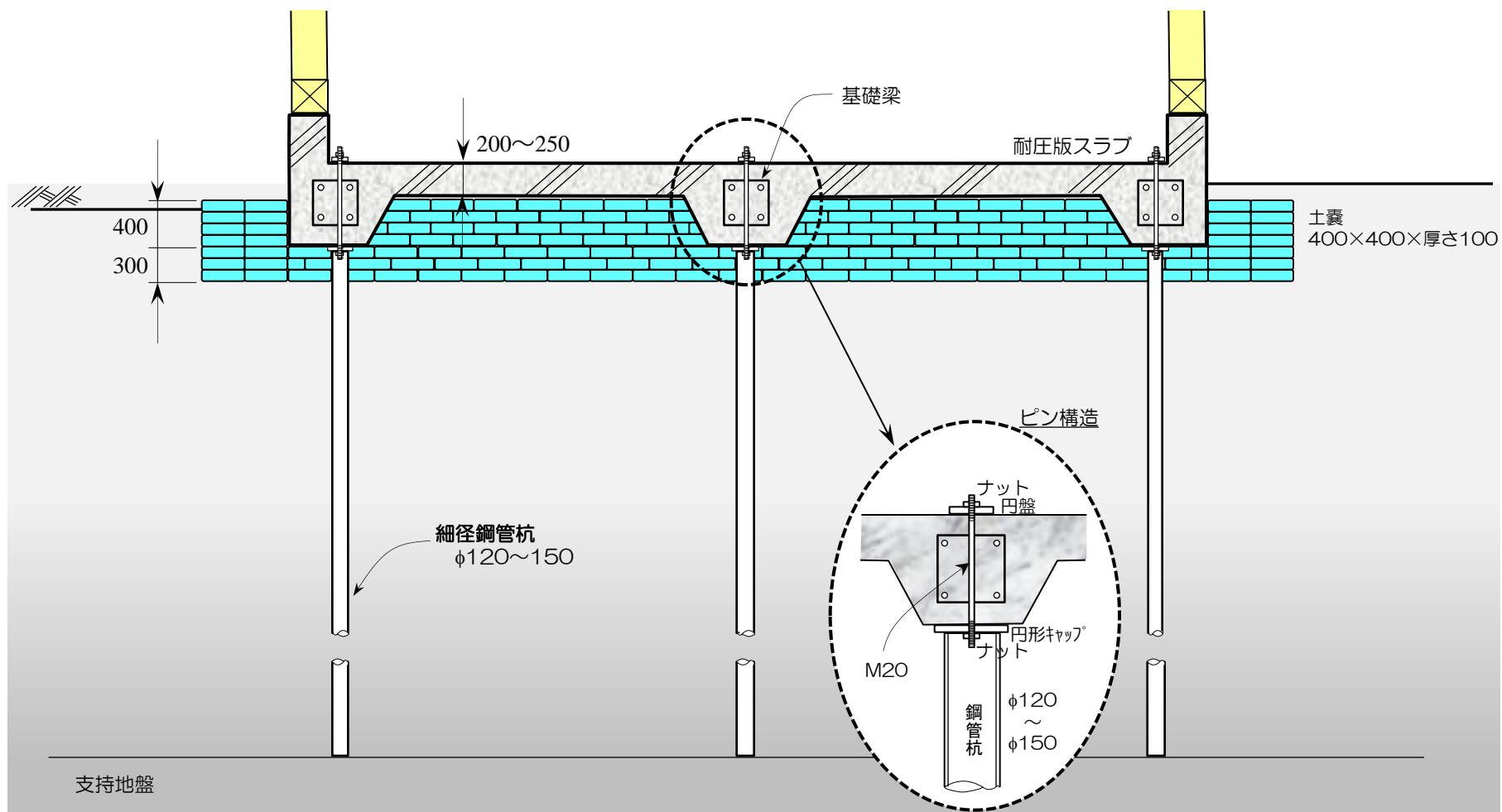
最大粒径 4.75mm
細粒分含有量 3% 未満
均等係数 3~5 程度
単位体積重量 12~14 kN/m³
内部摩擦角 $\phi = 35^\circ$ 以上
透水係数 $k = 1 \times 10^{-3}$ cm/s 以上

コーン型有孔パイル

長さ: 1800mm
上面サイズ: □800×800mm
材質: 軟質ポリエチレン
(上面開放、側面有孔)
※内面に不織布貼付(図中の黄色線)

土嚢＋細径鋼管杭（戸建住宅用）～

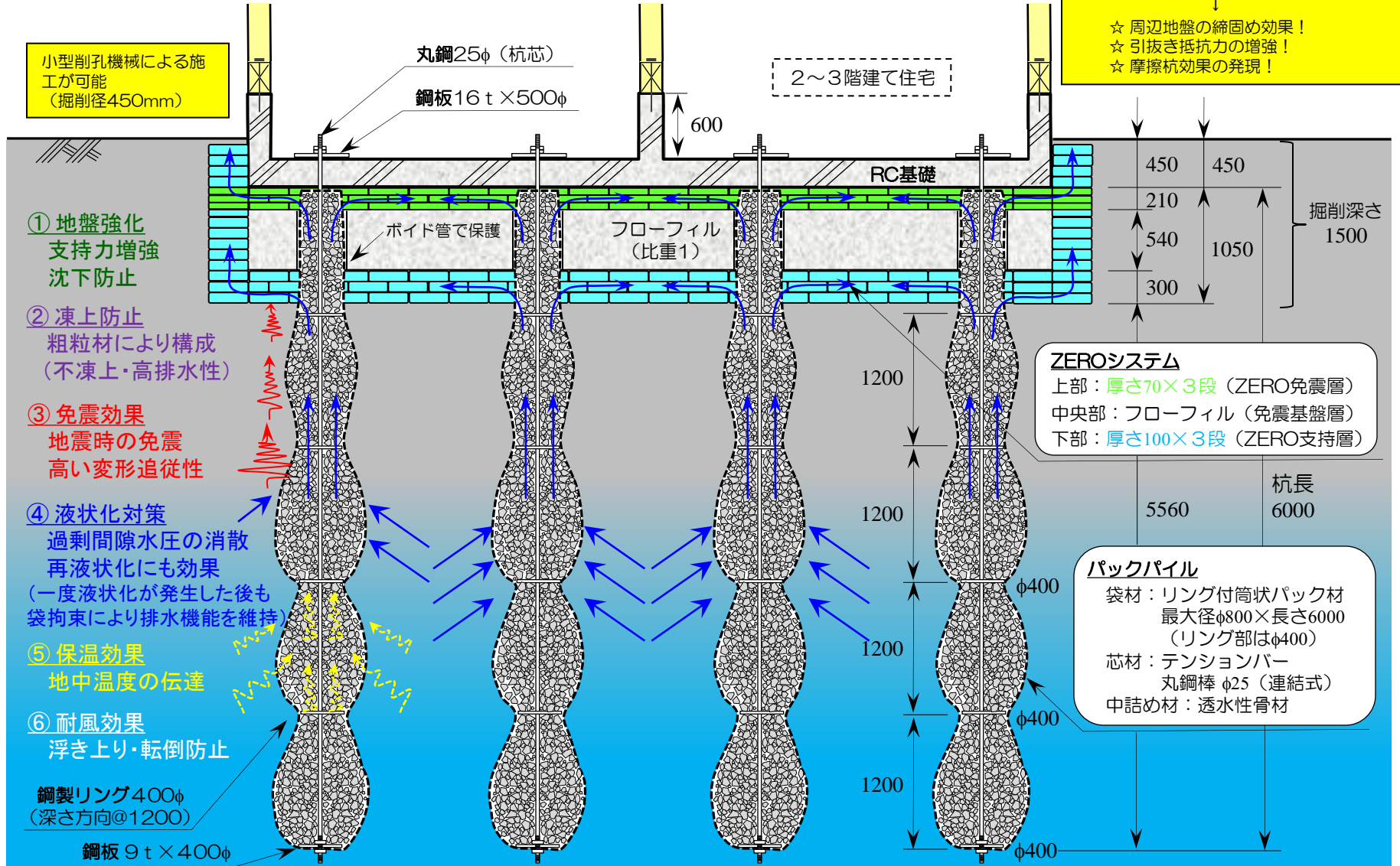
地盤補強・沈下抑制・地震力低減・基礎復元・減衰・振動抑制・液状化被害抑制・転倒引抜け防止・蓄熱効果



鋼棒入りパックパイル基礎工法 (仮称)

開発：(有)MASA建築構造設計室 真崎 雄一

～ 支持力増強・耐震・耐風・耐液状化・凍上防止・保温効果 ～



鋼棒入り筒状パックパイル

- 揺れを吸収！…………… 免震・減震効果
 - ポキッと折れない！…… 変形追従・杭機能維持
 - 締固めにより広がる！… 地盤の締固め効果
 - 水を通す！形状保持！… 液状化・再液状化防止
- (透水性構造・液状化後も袋拘束により排水機能を維持)
- 抜けずに踏ん張る！…… 台風・竜巻に対する引抜き抵抗
- (鋼棒・プレート構造および地盤のせん断抵抗)
- 熱を伝える！…………… 保温効果(安定した地中温度の伝達)

竜巻による2階建て木造住宅基礎共転倒



茨城県つくば市北条地区(1012.5.6)

河川決壊による二階建て木造転倒



茨城県常総市鬼怒川決壊(2015.9.10)

今後の検討課題

1. 広域的対策と個別的対策とを分けて検討する。
2. 液状化のメカニズムに対し、連成振動を含む理論解析の必要性。
3. 杭基礎の浮き上がり被害に対する対処。
4. 直接基礎の沈下被害に対する対処。
5. 道路および周辺地盤と共に、浮きも沈みも傾きもしない工法の確立。
6. 液状化による地盤免震の可能性。
7. 液状化対策工法に対する客観的メリット・デメリットのユーザーに対する説明責任。
8. 津波による緊急避難対策提案3件

その他水被害対策提案

- ① 事後発泡現場打軽量コンクリート空隙充填
(模型ビデオ説明)
- ② 津波対策にも有効な人工地盤工法
- ③ 自走式立体駐車場形式津波避難ビル
- ④ 鉄道高架利用による津波避難経路
- ⑤ 人工地盤による津波・液状化・河川決壊対策

事後発泡気泡コンクリートによる空隙充填

- 事後発泡タイプ
- 多様な配合
- 簡便な製造・施工設備
- 事後発泡タイプであるため、打設時のスラリー粘性が非常に低い
- 他のグラウト材よりも流動性が高い
- 長距離の自然流入が可能
- 複雑な断面でも完全充填が可能
- 水中打設可能

事後発泡気泡コンクリートによる空隙充填



ビデオ14

充填結果 事後発泡気泡コンクリートによる空隙充填



縦切断面



充填部取り出し図

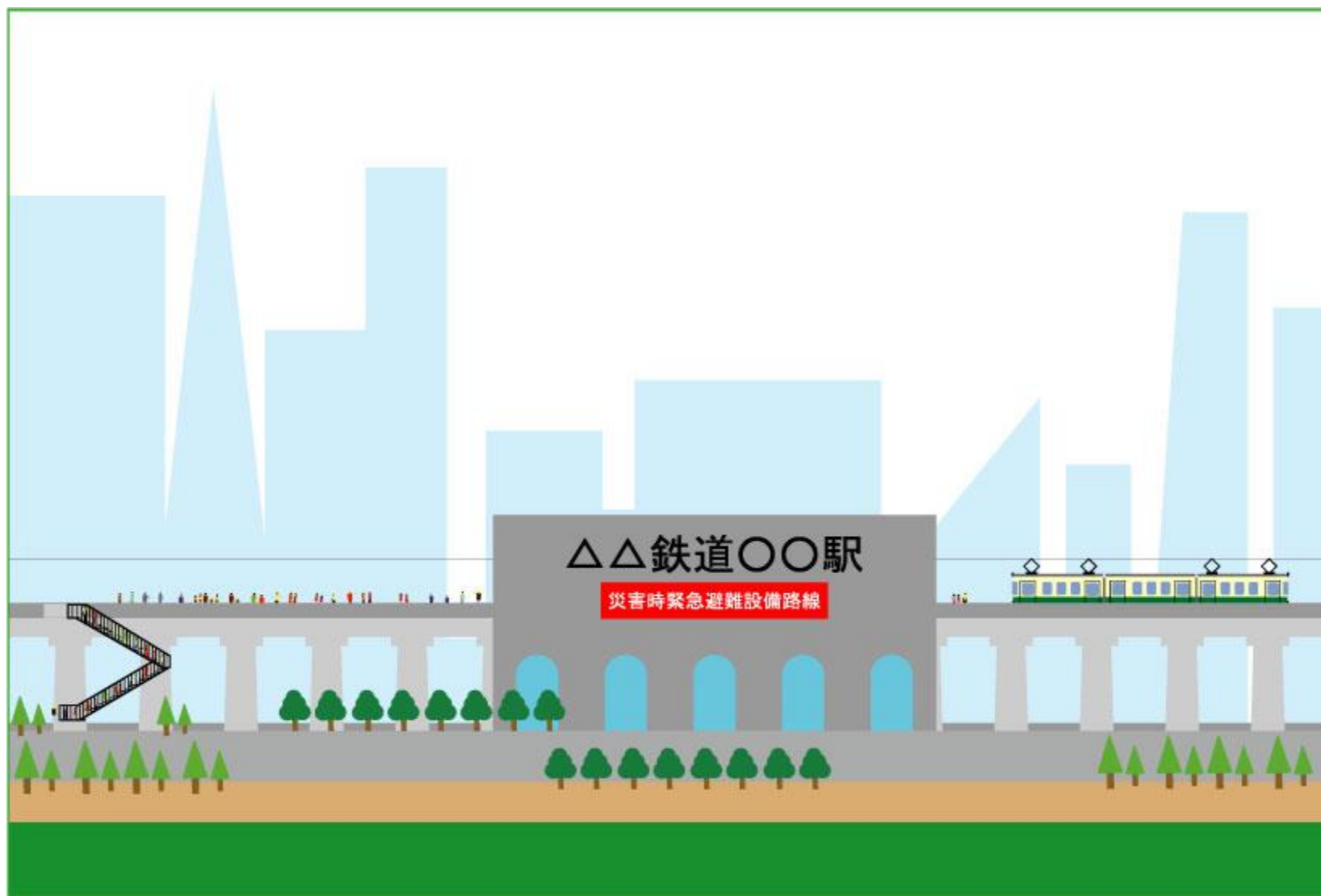


災害時緊急避難場所
立体駐車場型

自走式立体駐車場形式津波避難ビル



鉄道高架利用による津波避難経路



鉄道高架利用による津波避難経路

