



足元の**地盤**から理解する自然災害 の本当の**メカニズム**と対策

都市社会工学科 環境都市系プログラム 前田健一

研究テーマのフィールド

実際に起こりうる災害や現象の解明と対策に大きな比重をおいています



2



東日本大震災の地震災害 **液状化**と**津波**被害から 東海・東南海・南海地震 にどう立ち向かうか

都市社会工学科:環境都市系 地盤分野 張研究室・前田研究室
(第1回)

調査メンバー: 張 鋒・前田健一・森川由紀弘(D2)・今瀬達也(D1)

期間: 平成23年4月8日～4月10日

(第2回)

調査メンバー: 前田、森河、羽柴、井出、伊藤

期間: 平成23年5月15日～5月17日



まずはじめに

津波のこと

- スマトラの写真
- 研究始め、継続。。。
- 今回のつなみ
- 公開画像はほんの一部。

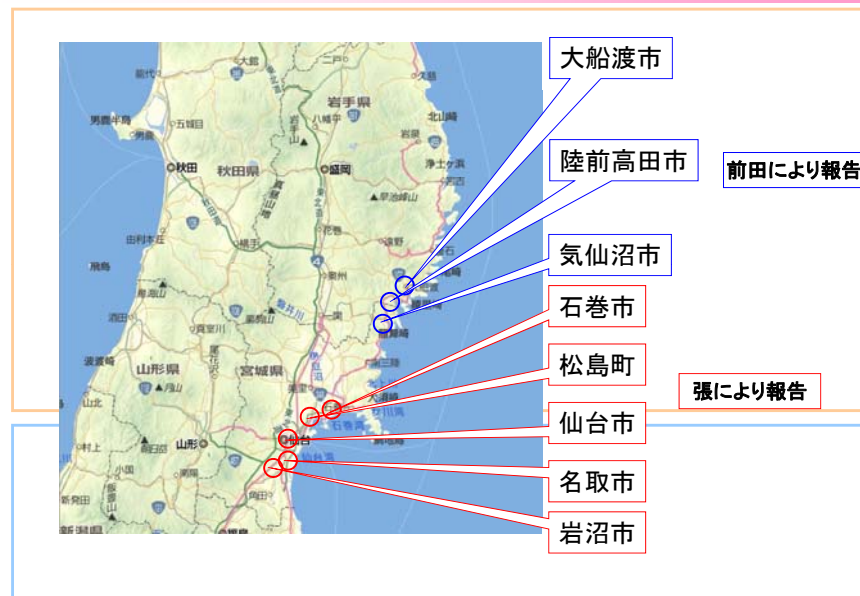
日本をみまもる世界の目

日本は世界に感銘を与えることができるか

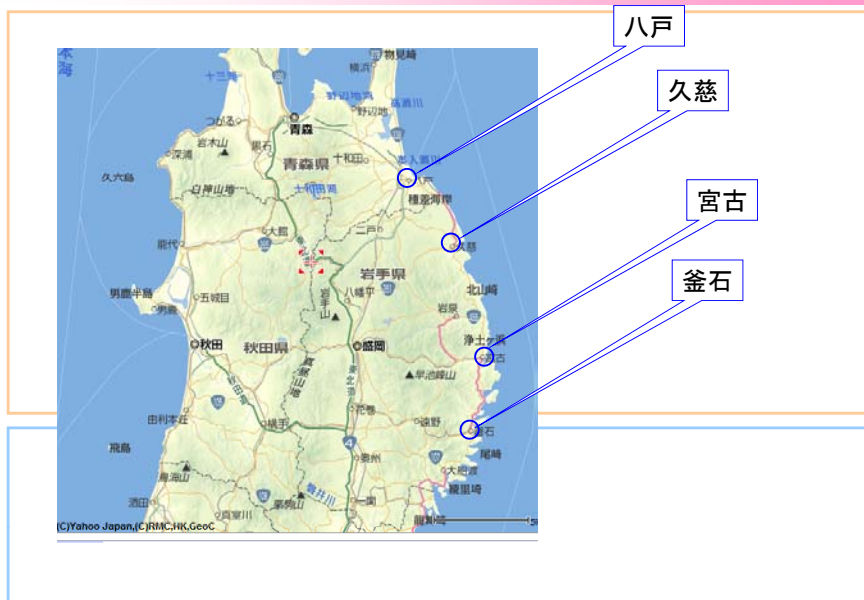
- 仮設住宅建設スピード、空港、新幹線の驚異的復旧スピード
- 大連立の政治？
- 官僚機構、役所の力の再評価
- お金はプロ(復興能力のある)にわたるように
- 4つ？の課題
 1. インフラの直接被害の把握、電力不足による被害把握
 2. 放射能漏れの長期的影響評価
 3. 復興と補償の資金調達をどうするか
 4. 全国津波対策強化と同時に公的債務のための経済成長



調査位置図



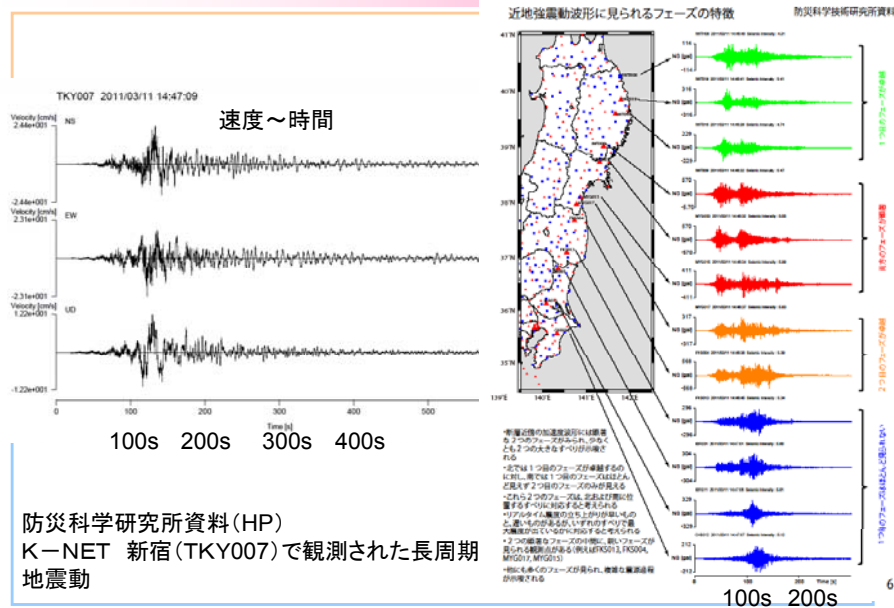
調査位置図



1. 地震動の継続時間が長い。
より破壊する？より沈下する？
2. 繰り返し揺さぶられた。
液状化した地盤はまた液状化する....？
3. 繰り返し津波が来た。
1回目は耐えたが、2回目以降....？
4. 衝撃力。
はやいか、ゆっくりか....で2倍は違う？
5. 地震対策と津波対策は両立するか。
どちらか一方やれば？どちらも必要？



地震動の特徴



耐震と耐津波は両立するのか： 単純に考えてみる、構造と被害の差



- **RC構造 (重い)**
 - 地震外力に耐えるように設計
 - 自重の大きさから大きな外力が想定されている (F=ma)
 - 津波外力にも耐えられる
 - 浮力の影響
 - **木造構造 (軽い)**
 - 地震外力に耐えるように (経験的に) 設計
 - 自重が小さいのであまり大きな外力には耐えれない(?) (F=ma)
 - 津波外力に耐えれない
 - 浮力の影響
- RC造の地震外力 > 津波外力 > 木造の地震外力**
- **土構造物は？**
 - 高速道路、高規格道路
 - 大きな自重
 - 大きな地震力に耐えられる
 - 耐降雨(?)

衝撃力は2倍？ (コンクリートから人へ?)

岩沼市



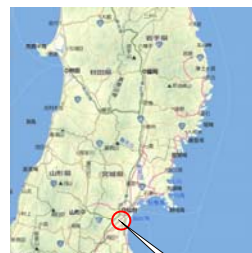
- 液状化による山間部道路の被害状況 (比較的軽微)
 - 車道舗装ヒビ割れ、陥没
 - 陥没深さ≒15cm

名取市



- 液状化・津波による被害状況
 - 液状化によるコンクリート製水路の浮上がり
 - 後に襲来する津波で遠方に運ばれた

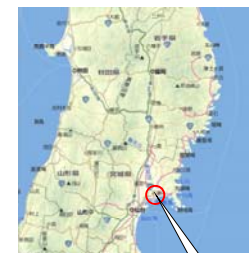
名取市



名取市

- 被害状況の拡大様子

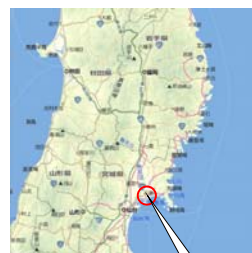
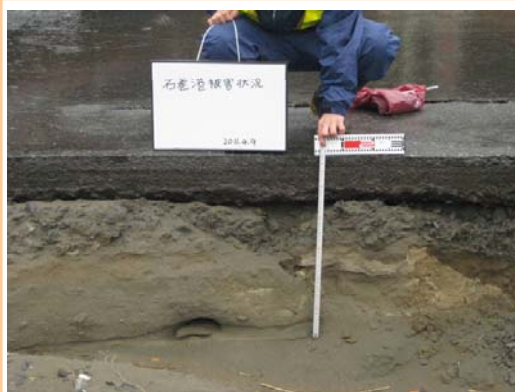
石巻市(港湾施設)



石巻市

- 液状化・津波による被害状況
 - 液状化によるアスファルト舗装下の地盤の流失
 - 引き波が液状化で宙に浮いているアスファルト舗装の破片を海側へ運んだ

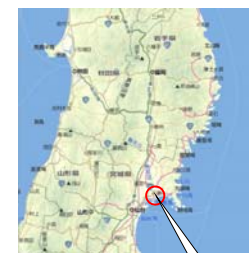
石巻市(港湾施設)



石巻市

- 液状化・津波による被害状況
 - 液状化によるアスファルト舗装下の地盤の流失(深いところ60cm)

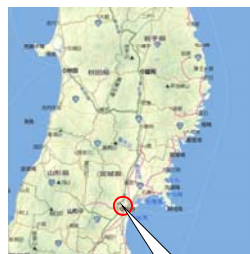
石巻市(港湾施設)



石巻市

- 液状化・津波による被害状況
 - 液状化によるアスファルト舗装下の地盤の流失
 - 引き波が液状化で宙に浮いているアスファルト舗装の破片を海側へ運んだ

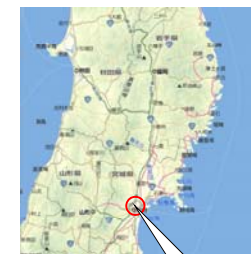
仙台市若林区



仙台市若林区

- 津波による被害状況
 - 高速道路(盛土)より海岸側は住宅・耕作地がほとんど壊滅

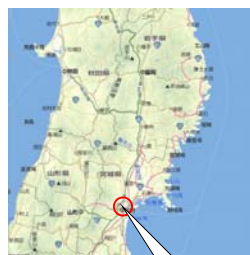
仙台市若林区



仙台市若林区

- 津波による被害状況
 - 高速道路(盛土)より海岸側は住宅・耕作地がほとんど壊滅
 - 森により助けられたものもある(但し、並木は効果薄い)

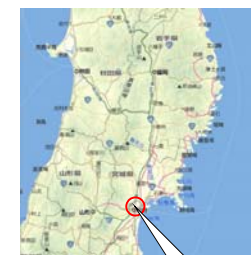
仙台市若林区



仙台市若林区

- 津波による被害状況
 - 橋脚部付近の状況
 - 橋脚の阻害効果により津波に運ばれた挟在物の流出が抑制された

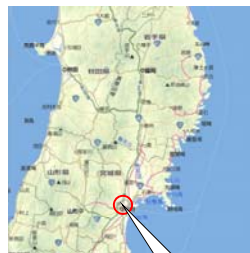
仙台市若林区



仙台市若林区

- 津波による被害状況
 - 高速道路(盛土)より海岸側は住宅・耕作地が全壊
 - 盛土路盤により津波の被害が軽減され、挟在物の流出が抑制された(反対側は浸水したものの、ゴミはほとんどない)

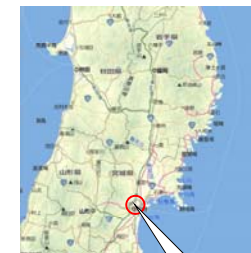
仙台市若林区



仙台市若林区

- 津波による被害状況
 - 津波高さ≒260cm
 - 排水側溝・転落防止策の破損

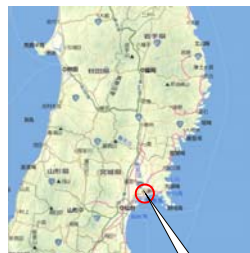
仙台市若林区



仙台市若林区

- 津波による被害状況(高速道路(盛土)より陸側の損害は比較的軽微)
 - ブロック積用壁埋没
 - 排水側溝破損
 - 浸水はしたものの、ゴミはない

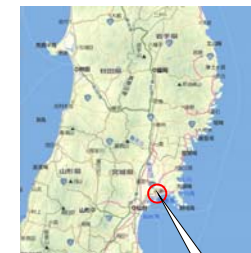
石巻市(市街地)



石巻市

- 液状化・津波による被害状況
 - 橋梁全壊
 - 真ん中の桁・床版部が津波により持って行かれた

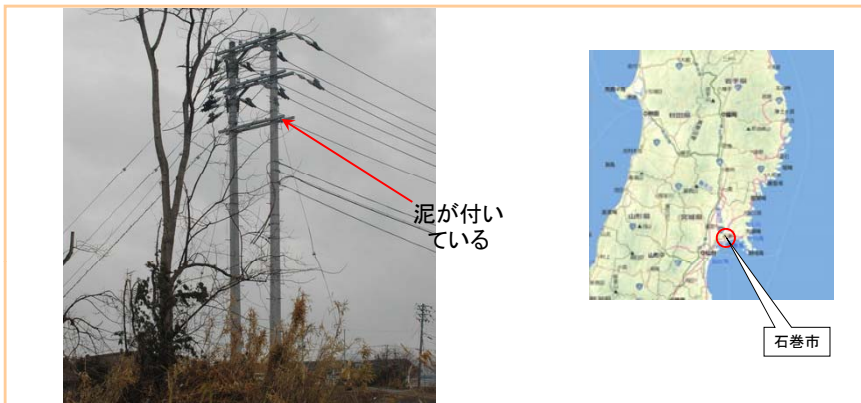
石巻市(市街地)



石巻市

- 液状化・津波による被害状況
 - 橋梁全壊
 - 桁・床版部脱落(100メートルほど遠いところまで運ばれた)

石巻市(市街地)



- 液状化・津波による被害状況
 - 津波の高さは電柱の上部までに達した

石巻市(市街地)



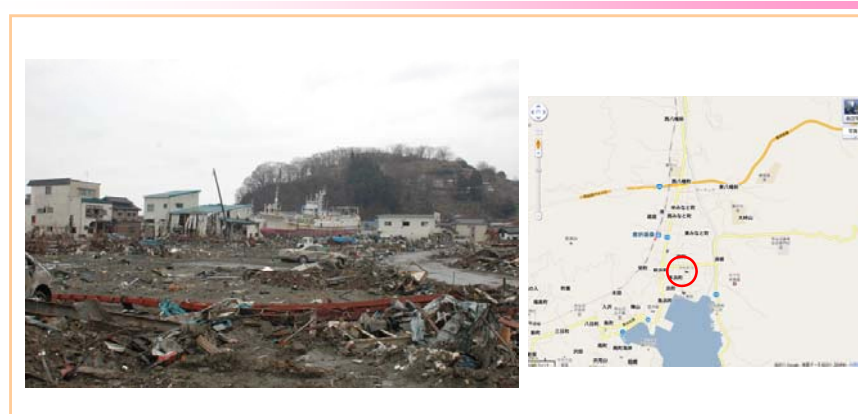
- 液状化・津波による被害状況
 - 橋梁全壊
 - 橋台取付部(盛土地盤)は完全に洗掘された

気仙沼市大谷海岸付近



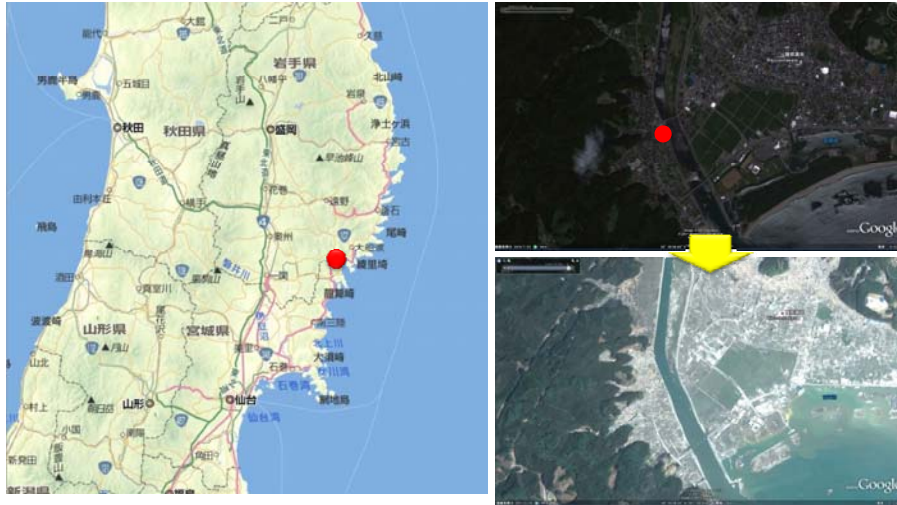
- 道路の破損
- 鉄道線路の破損
- 土地の浸水
- 家屋の崩壊

気仙沼市(新浜町周辺)



- 津波による被害状況
 - 建物全壊

陸前高田市



被災前後の陸前高田市周辺の様子

陸前高田市(気仙町)



- 津波による被害状況
 - 橋梁全壊
 - 橋脚部損傷
 - 桁・床版部脱落

大船渡市国道45号線沿い



津波浸水想定区域
Estimated Tsunami Inundation Area

45 ここまで End

津波浸水想定区域の境界表示
津波浸水想定区域の始点・終点を示すものです。地震発生時には、ここから津波による浸水の危険があることを表示しています。
《始点側》 《終点側》

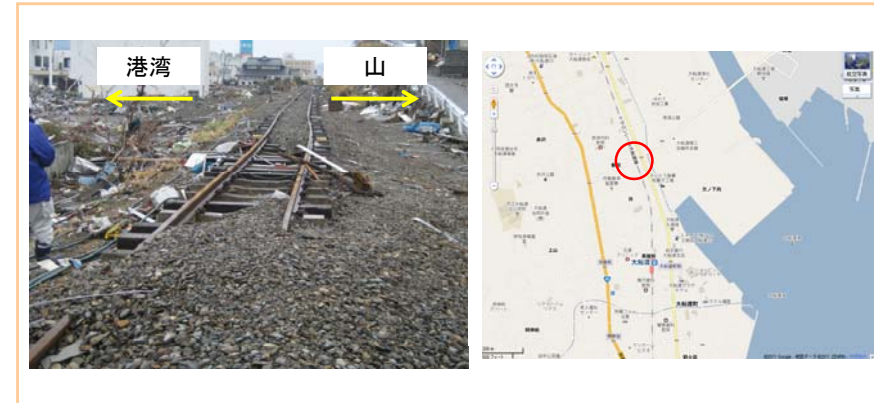
45 これより先 Start 津波浸水想定区域 Estimated Tsunami Inundation Area
津波浸水想定区域 45 ここまで End

(注) 始点・終点は自動車の進行方向によります。

三陸国道事務所HP

- 津波浸水想定地域の境界を表示した標識

大船渡市大船渡町 (ドラゴンレール大船渡線)



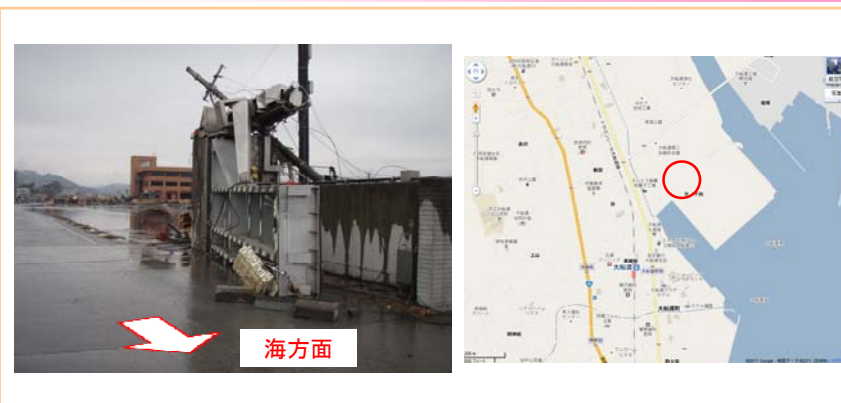
- 液状化・津波による被害状況
 - 鉄道全壊
 - 線路曲がり、バラス流出

大船渡市大船渡町（商工会議所駐車場付近）



- 液状化・津波による被害状況
 - 引き波による鋼製柱基礎破損・引抜きおよび周辺地盤の浸食

大船渡市大船渡町欠ノ下向（ゲート）



- 液状化・津波による被害状況
 - 門扉全壊（海老反り状態）
 - 全固定ボルト損傷

大船渡市大船渡町欠ノ下向（ゲート）



押し波には強い構造が、引き波側にはボルトが抵抗



- 液状化・津波による被害状況
 - 門扉全壊（海老反り状態）
 - 全固定ボルト損傷

大船渡市大船渡町欠ノ下向（ゲート）



- 液状化・津波による被害状況
 - 押し波・引き波作用により柱に巻きつくゲート（海老反り状態）

大船渡市大船渡町欠ノ下向



- 液状化・津波による被害状況
 - 護岸港側の引き波による浸食

津波被害 東北地方太平洋沖地震・津波 釜石港



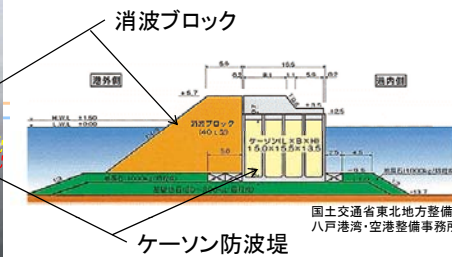
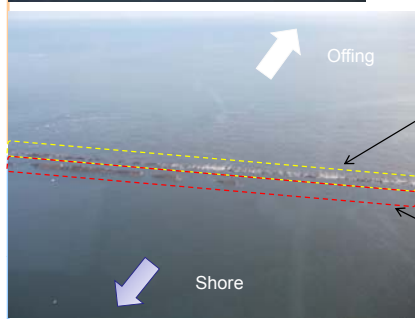
津波力を受ける防波堤の挙動に加え
津波力によって捨石マウンド・地盤が変形し、
構造物の安定性を低下させる可能性

土木学会東日本大震災特別委員会総合調査団
調査速報より
港湾空港技術研究所 富田孝史氏 報告資料

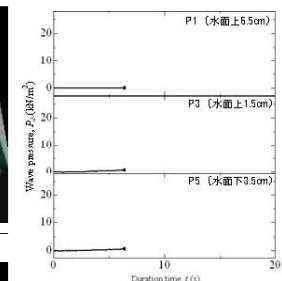
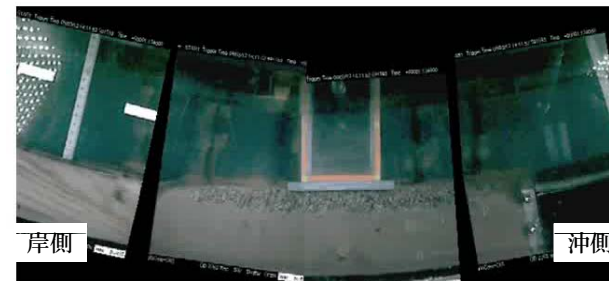
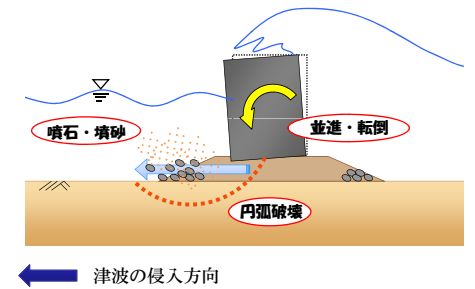
津波被害 東北地方太平洋沖地震・津波 八戸港（北防波堤）



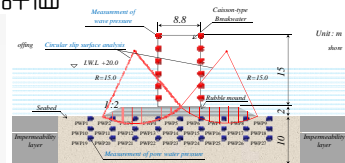
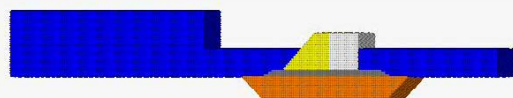
土木学会東日本大震災特別委員会総合調査団 調査速報より
港湾空港技術研究所 富田孝史氏 報告資料



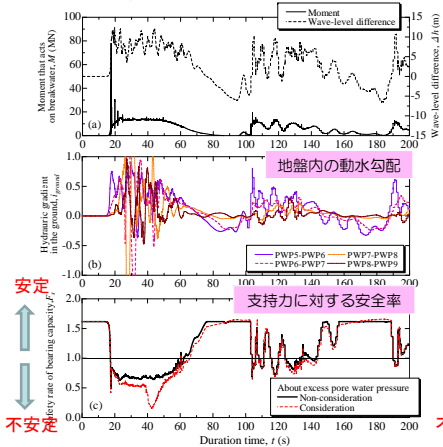
ドラム型遠心力载荷装置を用いた津波実験



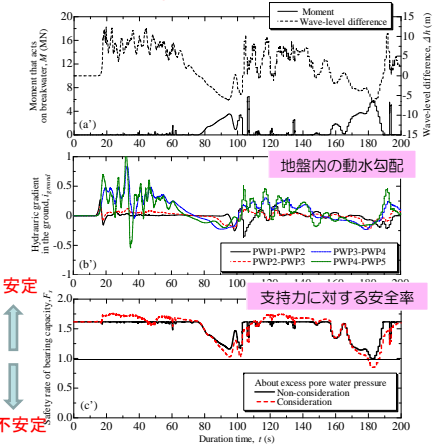
数値解析による押し波・引き波の影響評価



押し波時の検証：安全率



引き波時の検証：安全率

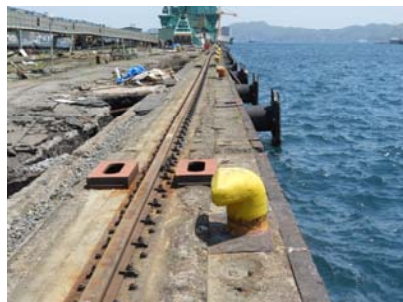


釜石港



- 基礎の洗掘
- 浮体の浮き上がり

釜石港



- 護岸の背後へ(内側へ)の傾斜・移動、背後地盤の陥没
— 吸い出し

液状化による被害（これは神戸と釧路）



釜石港



- 護岸の**背後へ(内側へ)**の傾斜・移動、背後地盤の陥没
— 吸い出し

久慈港



- ケーソンの移動

久慈港



- ケーソンの移動

久慈港



-

八戸 市川地区



- 舗装の剥離

八戸 市川地区



- 舗装の剥離と局所的陥没・舗装下の空洞

八戸 市川地区



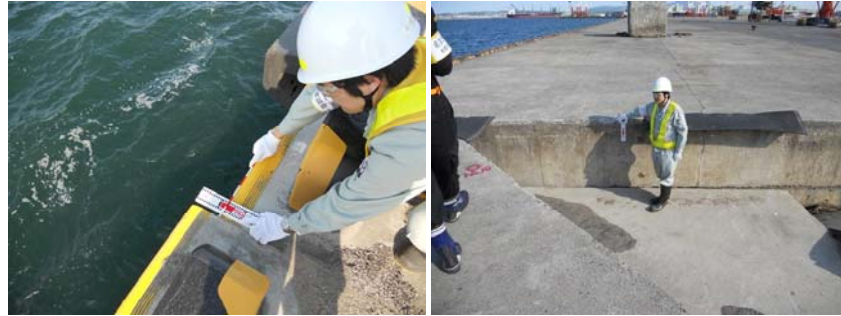
- 越流による背後の洗掘
- 堤体の剛なフェイスングと内部の浸食

八戸港



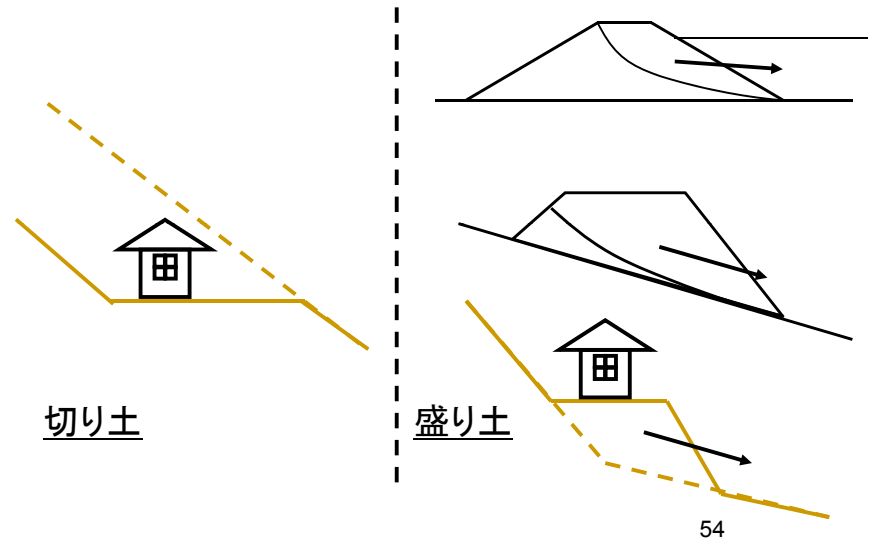
- 防波堤の破壊
- 護岸隅角部の陥没

八戸港



- 護岸の陸側への移動と背後の陥没

「切土」と「盛り土」：明と暗



切土と盛り土の被害の違い



地盤工学会 東北地方太平洋沖地震
災害調査報告会(2011.4.11)

古関潤一(東京大学)、若井明彦(群馬大学)



地震によるローカルな破壊(中越地震)





おうちのまわりの

むかしの地図、地名

コンクリート壁の排水孔は大丈夫ですか
水が垂れたあとがある、ことはあるのに最近流れていない

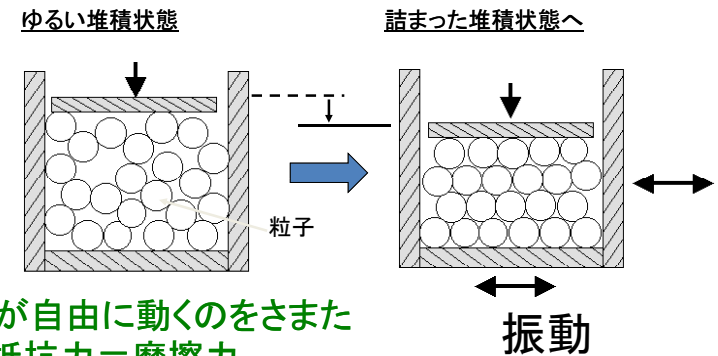
千葉県浦安市



液状化の様子(新潟地震)



粒の集まりがゆさぶられると？ (水がない場合)

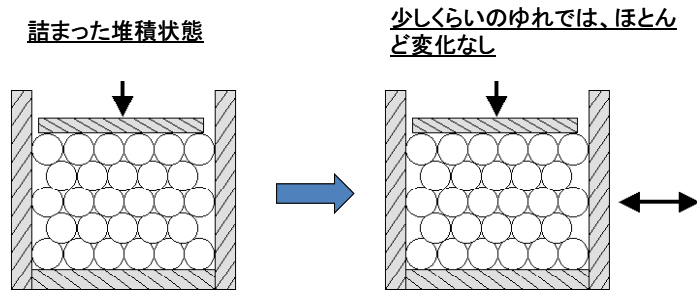


粒子が自由に動くのをさまたげる抵抗力=摩擦力

「ガサガサ」とくずれる

(a)

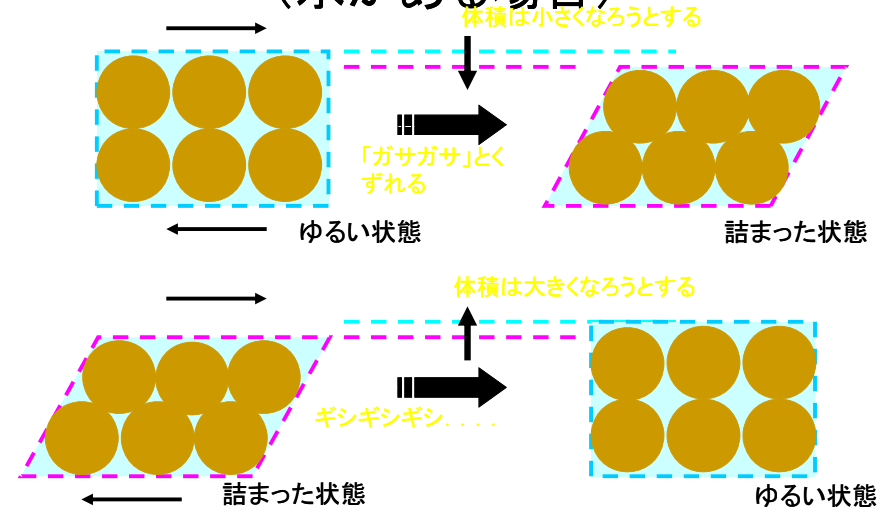
粒の集まりがゆさぶられると？ (水がない場合)



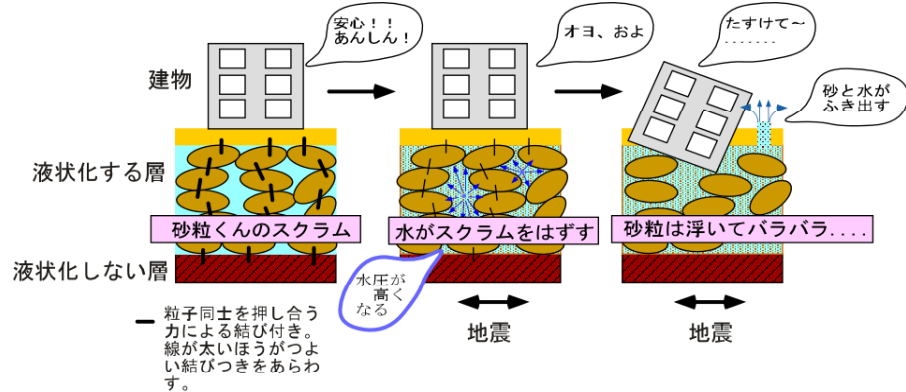
(b)

「ギシギシギシ……」

きちんと並んだ粒の集まり (水がある場合)



液状化という状態

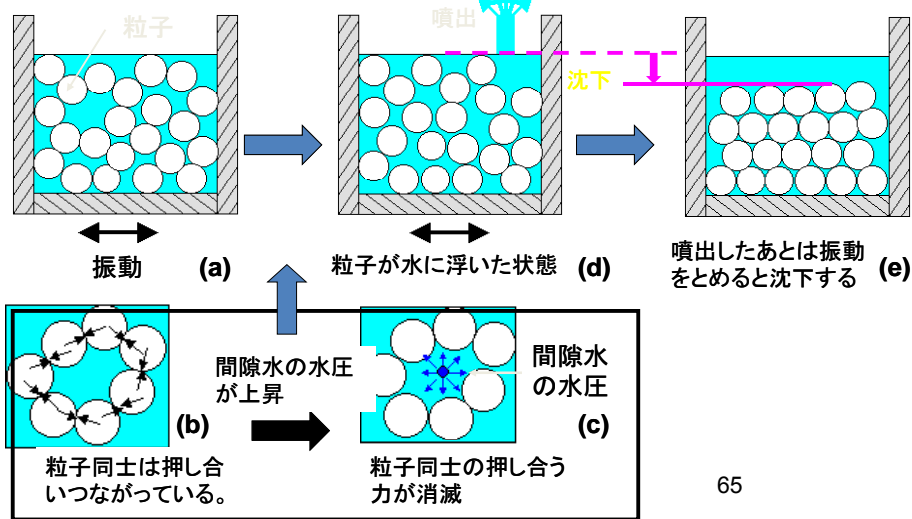


砂の中で水が動くスピード



- レキ(石ころ)
一秒間に10mm
- 砂
一秒間に0.01mm
- 粘土
一秒間に0.000001mm

粒の集まりがゆさぶられると (水がある場合)



65

千葉県浦安市 (浦安市民の方からの連絡)

私はこのたびの地震で**自宅が液状化の被害**を受け.....
 ニュースでは津波や原発のことが多く...それ以外の被災状況はあまり伝えられておらず、もどかしい....

上下水道、電話線とも不通です。幸い電気ガスは来ていましたが、時間帯停電のこともあり.....

最初の大きな揺れの**最中**に**地鳴り**が聞こえ、**揺れが収まった後**、**地面が割れる**のを見ました...

その**直後**からその地割れの間や、芝生の途中などから**ものすごい勢いで泥水**が流れ出ていました。

3:15分くらいの大きな揺れの時には、既に泥の上に浮いているような状態の建物が地震の**揺れが収まっても揺れ続けている**のを見ました。

泥水があふれていたのは地震直後から1時間程度だったと思います。



下水は逆勾配のため使えず、泥水は**2日後**も出ていた....

千葉県浦安市 (浦安市民の方からの連絡)



千葉県浦安市 周期的な隆起と沈下



- 液状化による被害状況
 - 液状化による歩道の隆起
 - 隆起量 $\geq 600\text{mm}$
 - マンホールの隆起



まだ下水が復旧していない

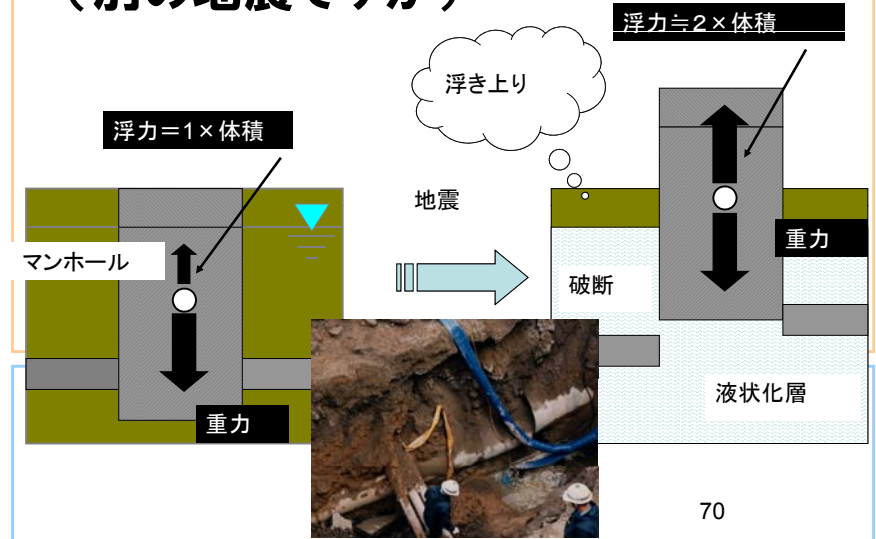


マンホールに砂が流れ込む

(地震予知総合研究会 提供)

- 液状化による被害状況
 - 歩道(ブロック舗装)とアスファルト舗装の隆起・沈下
 - マンホールの浮き上がり量は違うのか?

マンホール浮き上りのメカニズム (別の地震ですが)

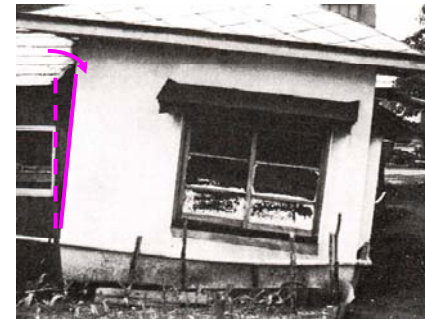


(地盤工学会報告会 東京電機大学 安田 進教授 資料から)

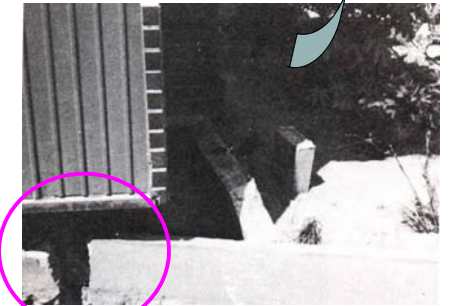
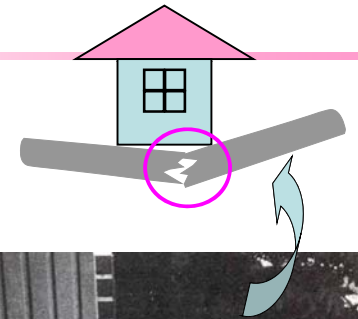


- 液状化による被害状況
 - 電柱の傾斜

住宅の被害(古い 地震のもの)



住宅の傾斜



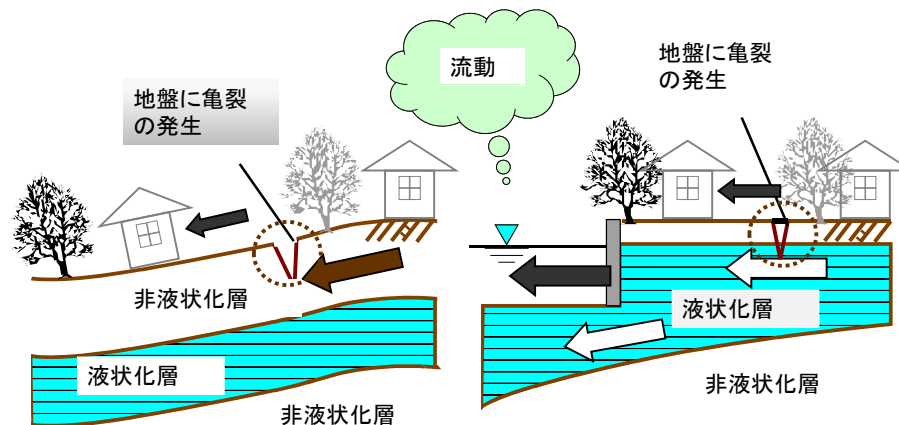
木造家屋： 無鉄筋コンクリート基礎の破壊

千葉県浦安市 構造物と周辺との段差



- 液状化による被害状況
 - 歩・車道の隆起・沈下・損傷

地盤が流れ出す(大きな動き): 側方流動



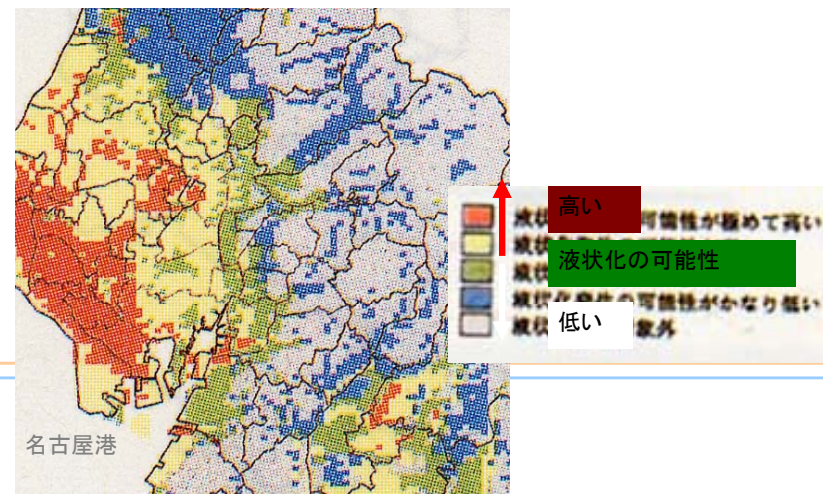
74

千葉県浦安市 大きな亀裂



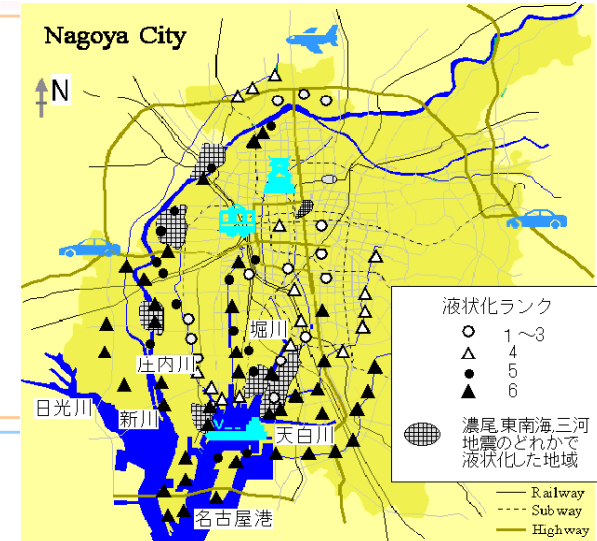
- 液状化による被害状況
 - 地盤の隆起・沈下・変位

東海地震を想定した名古屋市における液状化危険度の概略予測分布

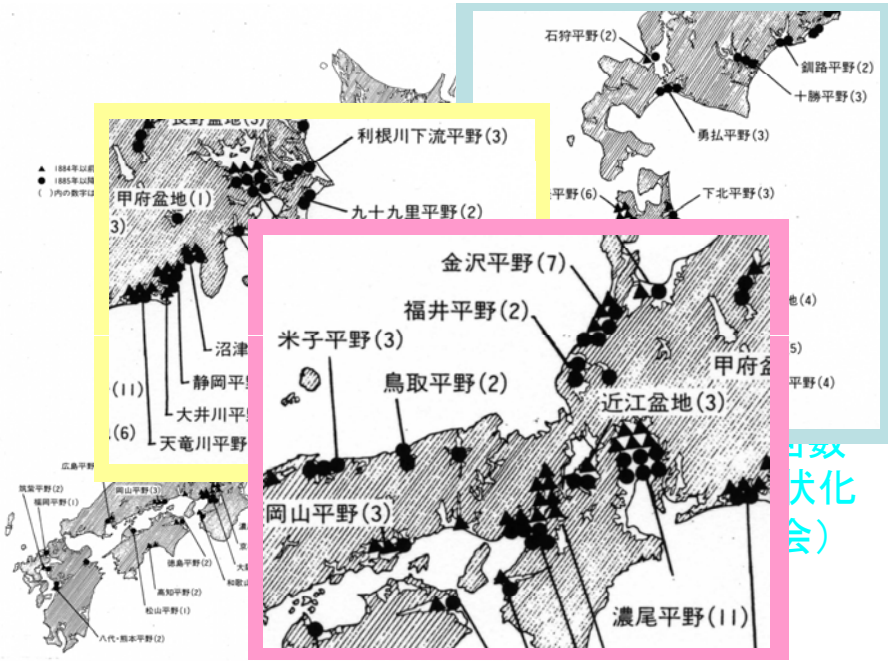


『愛知県東海地震被害予測調査』, 平成7年3月防災会議地震部資料など

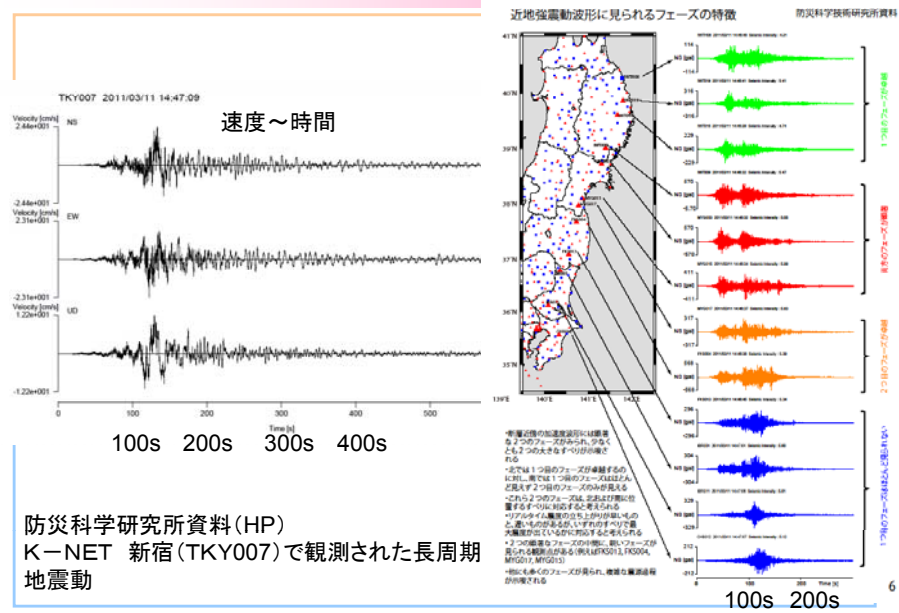
名古屋市における液状化危険度分布



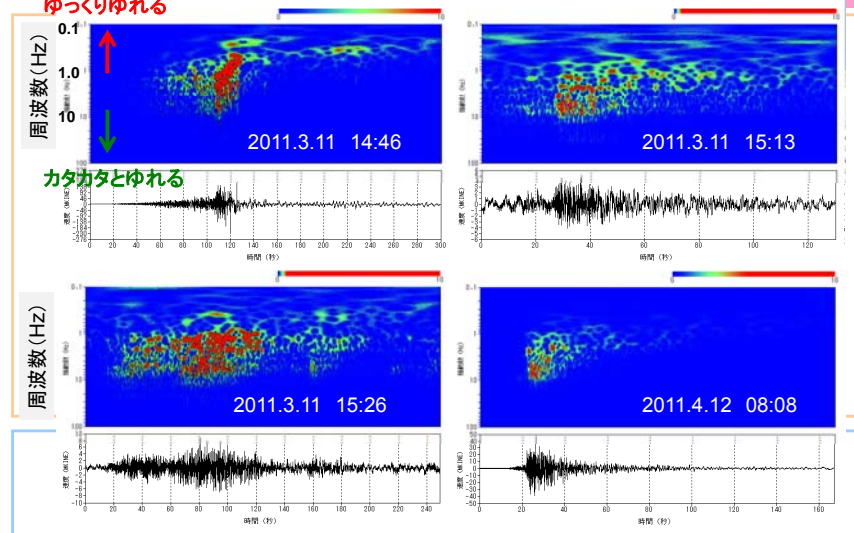
濃尾地震(1891, M=8.1), 東南海地震(1944, M=8.0), 三河地震(1945, M=7.1)のいずれかで液状化した地域も含まれている(地盤工学会,「最新名古屋地盤図」)



地震動の特徴



液状化後の地盤： 非定常スペクトル



- 株式会社中電シーティーアイ提供 (稲毛) (地表地震動データ K-NET)
- 液状化後の、地盤の回復と地盤の液状化

千葉県浦安市 周期的な隆起と沈下



対策された構造物は無被害

- 液状化による被害状況
 - 歩・車道の周期的な隆起・沈下と損傷 → 波打っている

千葉県浦安市



- 液状化による擁壁の被害状況
 - 擁壁の変位
 - 擁壁の変位(傾斜)
 - 変位量≒150mm

千葉県浦安市



- 液状化による被害状況
 - 擁壁の変位(開き)
 - 変位量≒80~90mm

千葉県浦安市



- 地震道による被害状況
 - 擁壁の剥離
 - 剥離範囲≒ $\Delta 300\text{mm} \times 300\text{mm}$



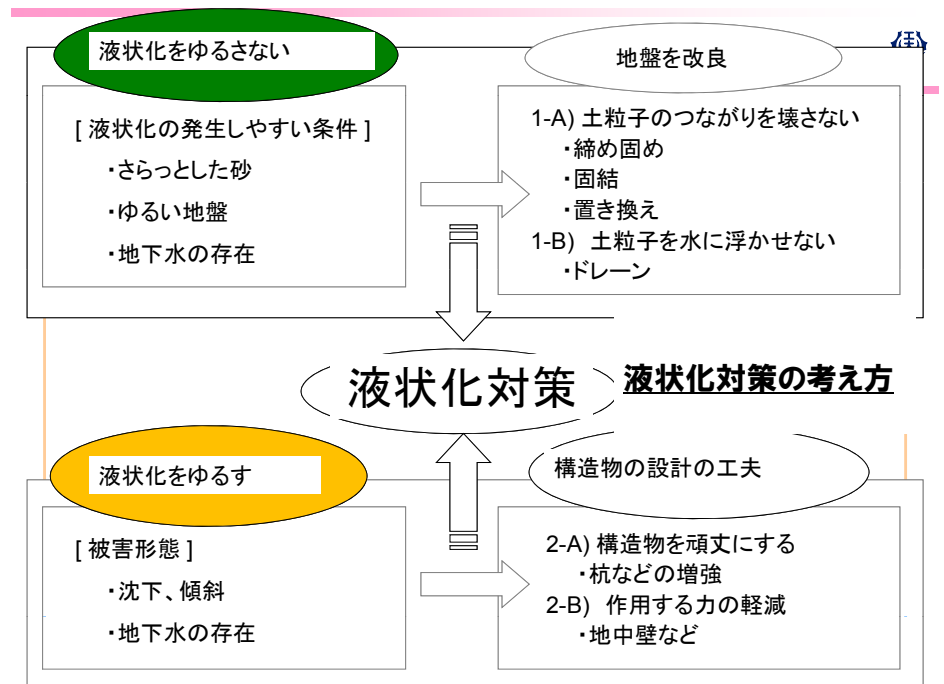
- 液状化対策された護岸は無被害(浸透固化処理?)
- 一方で、長い構造の落防止策の圧縮・引張・損傷



- 液状化による被害状況
 - 転落防止策の圧縮・引張・損傷
 - 上方に200mm

液状化対策

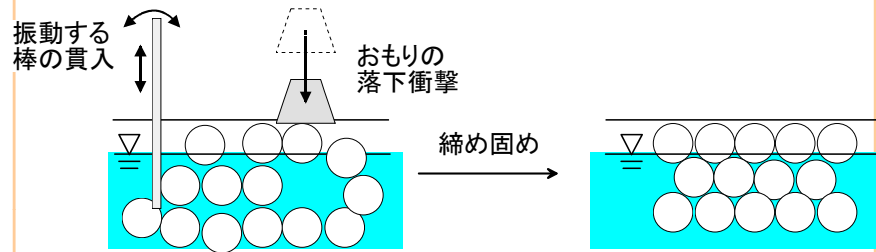
もっとも効率的だったのは
東京ディズニーランド?



地盤改良による液状化対策の原理

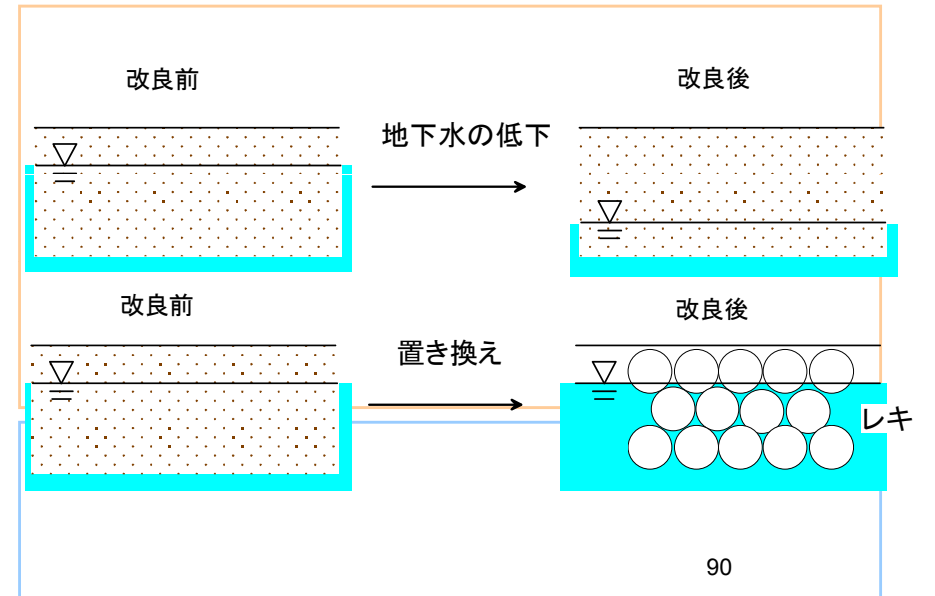


(1)



89

地盤改良による液状化対策の原理 (2)



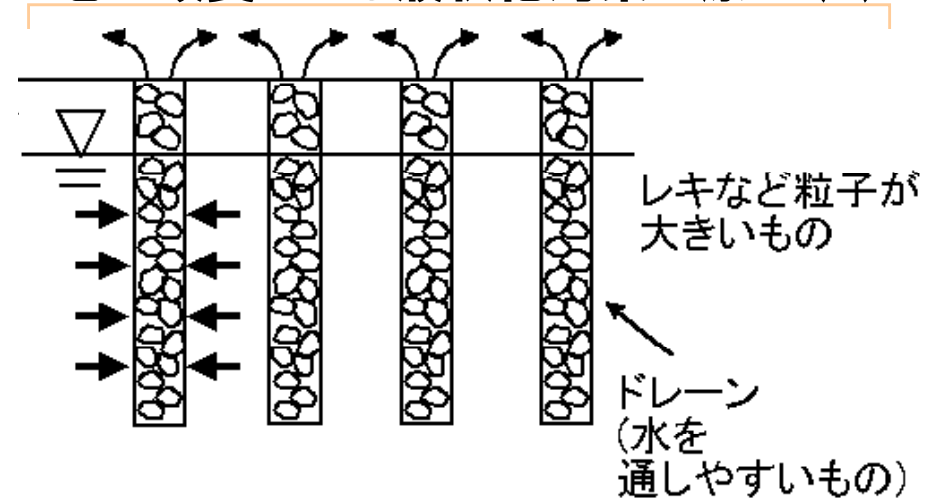
90

地盤改良による液状化対策の原理 (3)



91

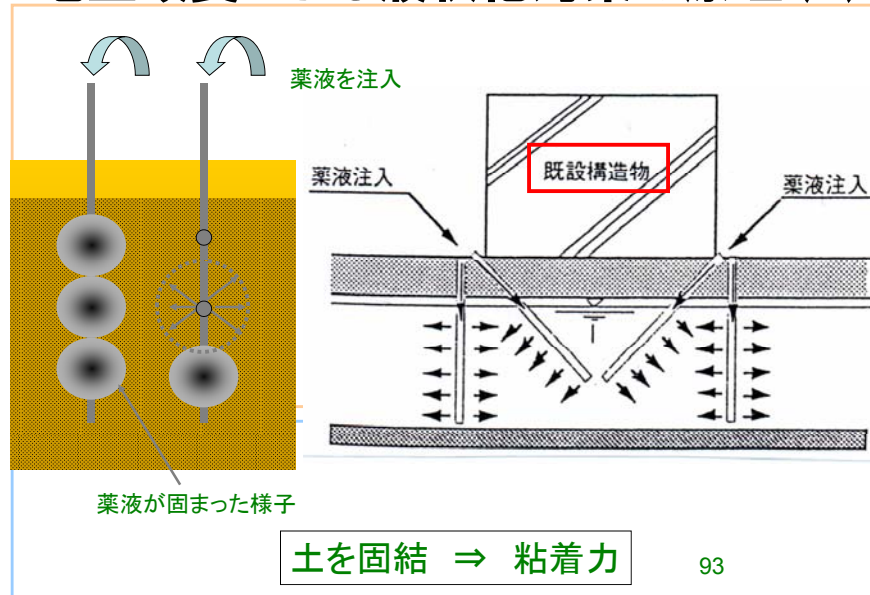
地盤改良による液状化対策の原理 (4)



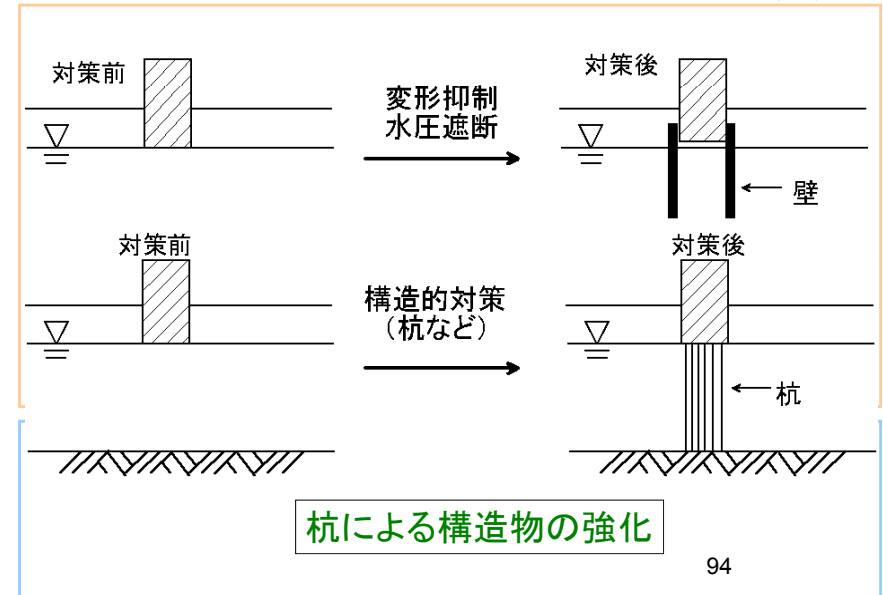
水圧を逃がして液状化を抑制

92

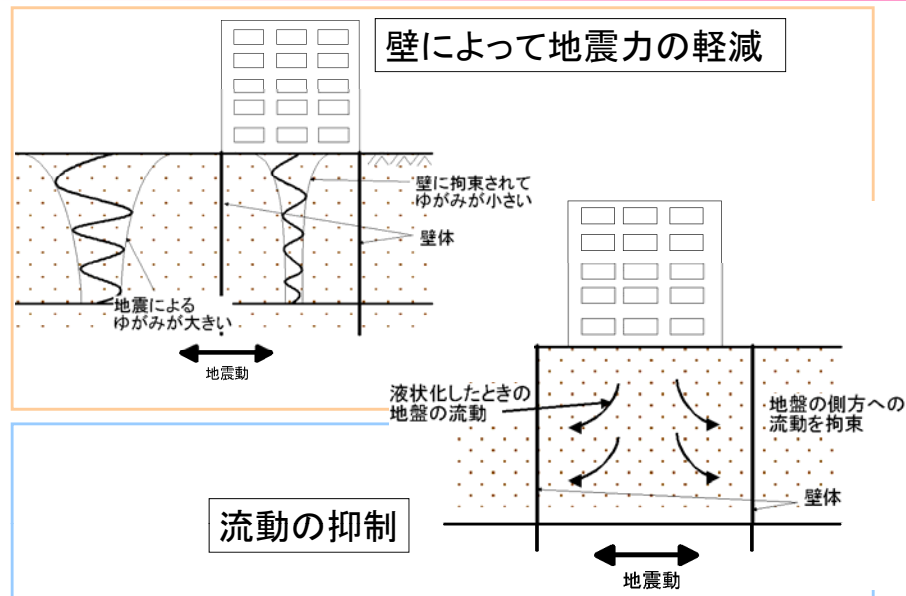
地盤改良による液状化対策の原理 (5)



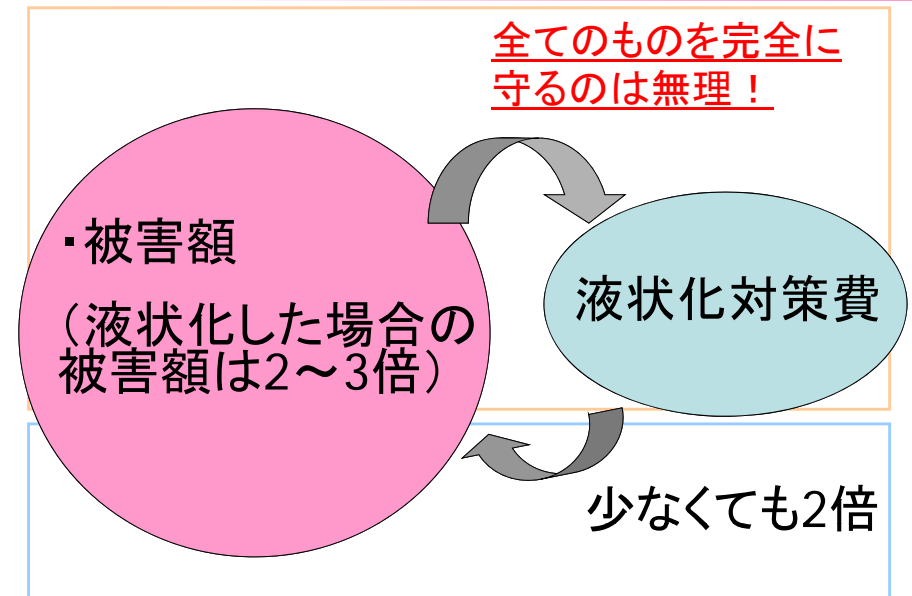
構造物を工夫する液状化対策の原理 (1)



構造物を工夫する液状化対策の原理 (2)



液状化対策コスト



液状化対策：マンション、宅地…



- 新築の場合
SCP、静的SCP、深層混合処理（格子状改良）、グラベルドレーン、浸透固化など…

持ち主が地盤改良にける金額は、上屋の1割
安価なSCP対策で、10,000円～20,000円かかる ⇒ 坪単価

マンションでは、静的SCP+杭…
一戸建て…無対策 ⇒ 傾いたらジャッキで直す
自分の土地はどんな土地か ⇒ 知ることと判断すること

- 既存の建物下には
 - コンパクトグラウチング(CPG)工法、浸透固化工法など
 - コストは新築の場合の5～10倍？

結論その1



1. 液状化・津波による複合災害が至る処で発生した。
2. たとえ巨大津波であっても、少し内陸に行くと、森による減災効果が見られた。
3. 高速道路、高規格道路、橋梁といった線状構造物の津波に対する減災効果が見られた。高速道路は常時の交通インフラだけでなく、災害時の減災効果、緊急避難場所、復旧・復興の要としての複合資産価値がある
4. 引き波の破壊力が無視できない。
5. 構造物の耐震性、液状化対策については過去の経験が活かされた。しかし、津波に関しては過去の歴史教訓が十分生かされていないことは残念ながら、否定できない。

結論その2



1. 河川・海岸域における津波による地盤の浸食・洗掘・吸出しが被害を甚大にしたと考えられる。
2. 津波による舗装の剥離の下部では、局所的な陥没孔、舗装と地盤の間に隙間が形成されている(原因は…)
3. 過去の震災の教訓を活かし、液状化対策が施された箇所については、今回の地震においてもその対策効果が発揮された。ただし、下水管などの埋設物の対策、緊急復旧、整備方法に関しては課題が残る。また、埋め立て地区の住宅街の液状化対策(する、しないも含め)、土地整備方法についても検討が必要である。
4. 宅地の盛土崩壊による被害は、地震毎に発生している。効率的な対策の検討が必要である。
5. まちの歴史、土地の成り立ち、古い地図



1. 地震動の継続時間が長い。
より破壊する？より沈下する？
2. 繰り返し揺さぶられた。
液状化した地盤はまた液状化する…？
3. 繰り返し津波が来た。
1回目は耐えたが、2回目以降…？
4. 衝撃力。
はやいか、ゆっくりか…？
5. 地震対策と津波対策は両立するか。
どちらか一方やれば？どちらも必要？