

平成30年3月10日

地盤災害の軽減に向けて

1. 自己紹介
2. 地震時の液状化に関して行ってきた研究・技術開発
 - 2.1 液状化発生の予測に関して
 - 2.2 土構造物の挙動および対策に関して
 - 2.3 地中構造物の挙動および対策に関して
 - 2.4 杭基礎構造物の挙動および対策に関して
 - 2.5 戸建て住宅の対策に関して
3. 地震時の斜面崩壊に関して行ってきた研究・技術開発
4. 豪雨時の土砂災害、堤防被害に関して行ってきた研究
5. 熊本地震で取り組んでいること

東京電機大学 安田進

1. 自己紹介

昭和23年，広島市生まれ



昭和24年広島カープ球団創設



マルヤス運動具店前

広島市立皆実小学校



小学校の時に夢中になっていたこと

広島大学附属東雲中学校



広島大学附属高等学校

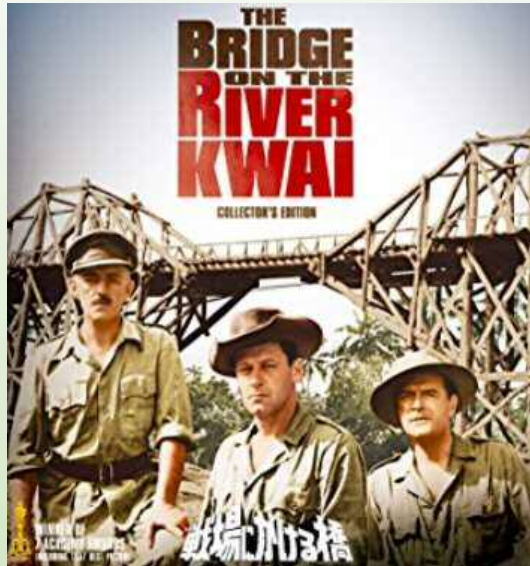


九州工業大学開発土木工学科入学

ワンダーフォーゲル



橋を造りたくて



地に着いた勉強を



東京大学大学院工学系研究科
土木工学専攻修士課程入学

土質研究室に入れていただき、
石原先生に指導していただき
ただくことになった！！！！



2. 地震時の液状化に関して行ってきた研究・技術開発

2.1 液状化発生の予測に関して

実験に初めて成功したのは昭和46年（M2）の7月

一緒に実験した木内さんと喜んだ！

第7回土質工学研究発表会

昭和47年度発表講演集

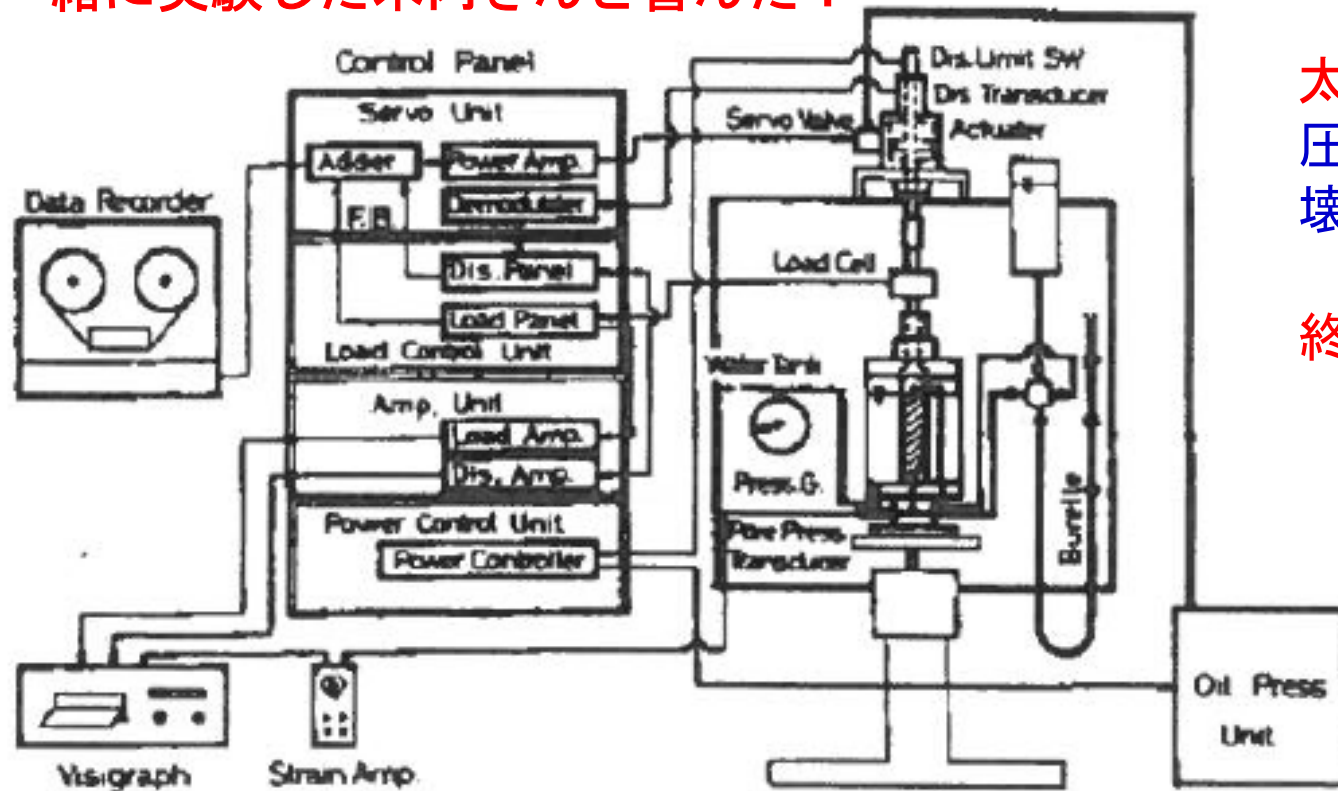
昭和47年6月13・14日

広島市において

77 (D-7) 新潟地震の液状化に関する動的三軸試験.....305

石原 研 而 (東京大学工学部)

・安田 進 (同 大学院生)

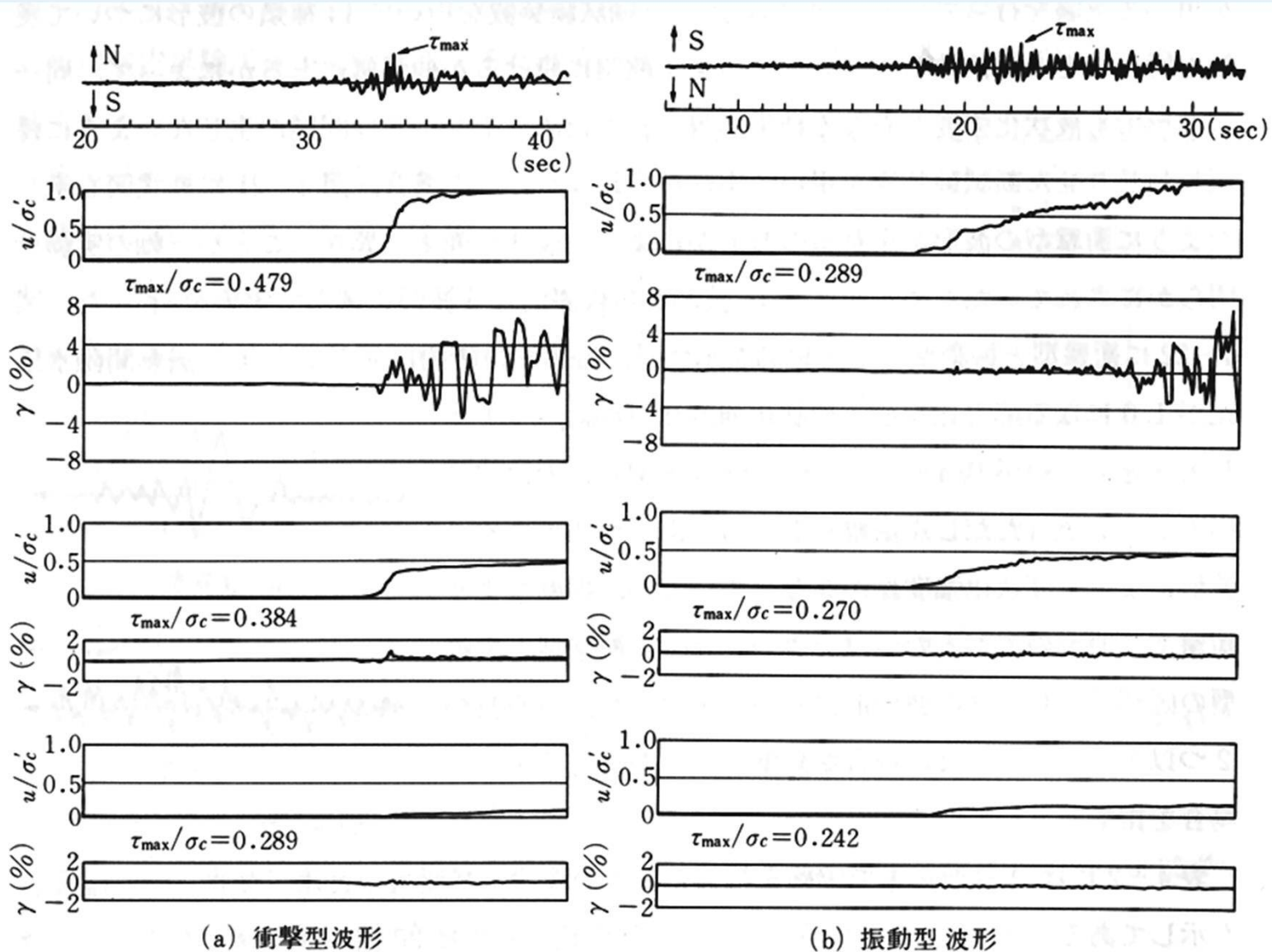


太田先生のご質問：
圧縮側と伸長側で破壊線は異なるのか？

終了後の一言は？

大学院時代の主な研究

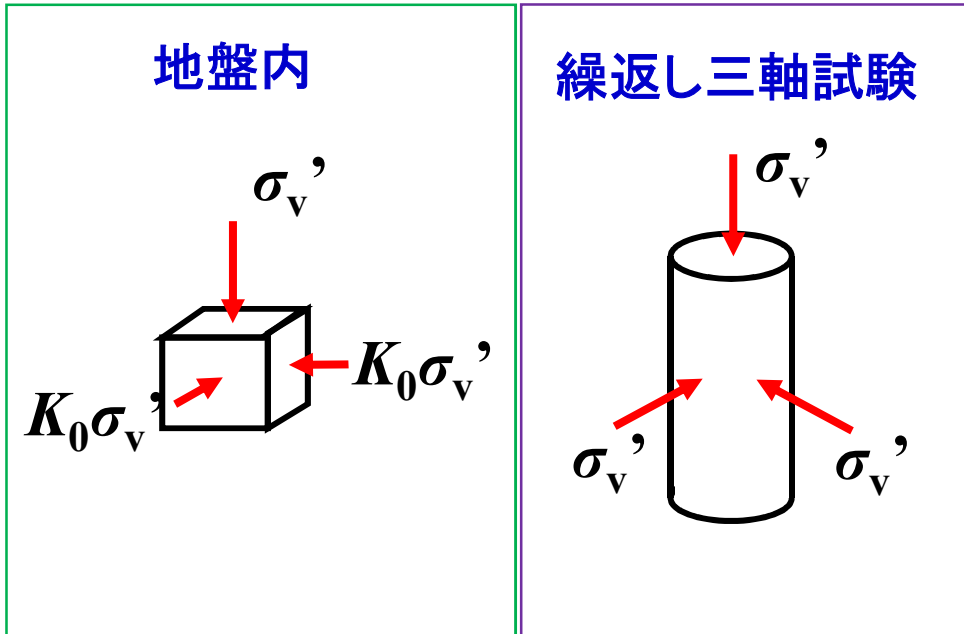
地震波荷重下での実験→波形の補正係数



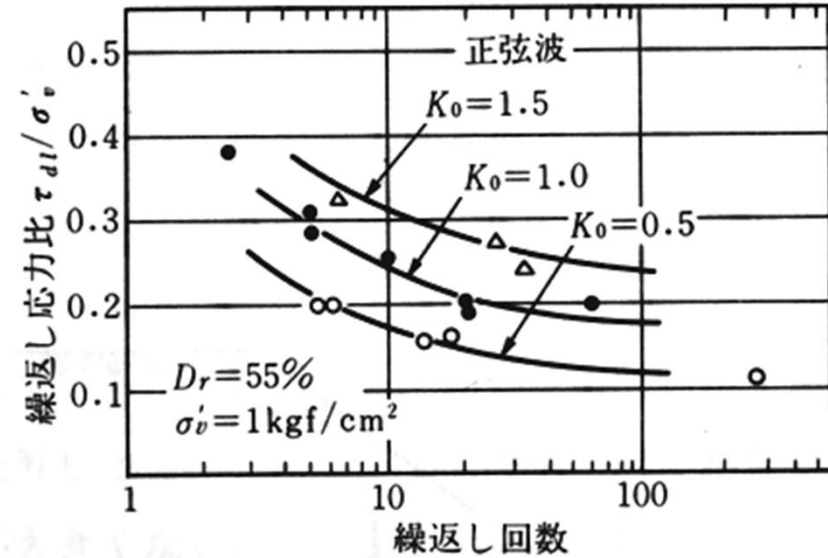
もう一つ行いかけた研究

異方応力の影響

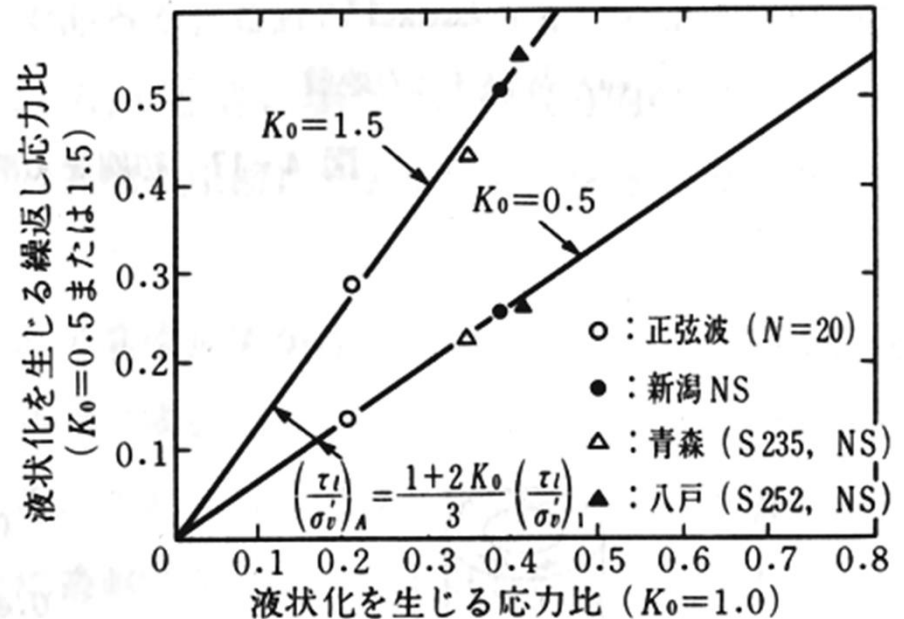
高津さんの
研究成果



$$(R_l)_{\text{異方}} = ((1 + 2K_0) / 3)(R_l)_{\text{等方}}$$



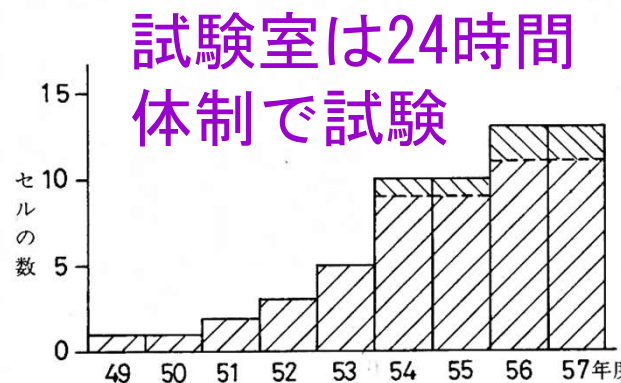
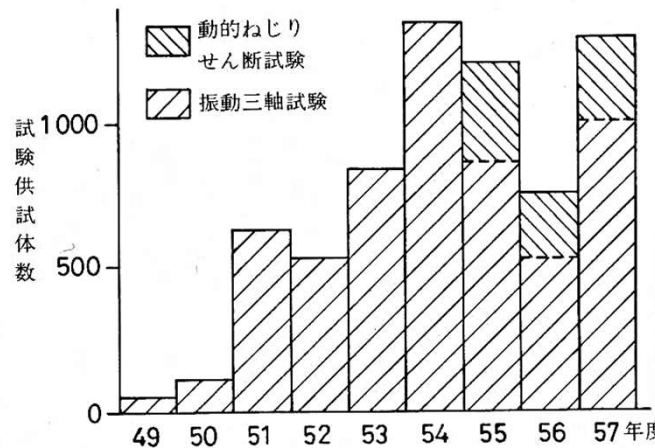
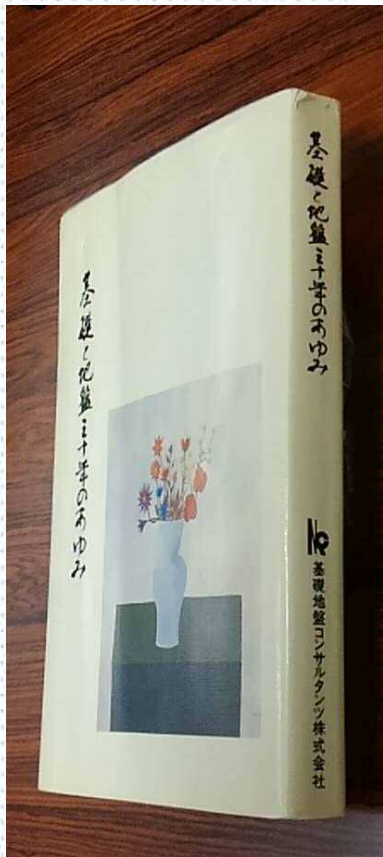
(a) 繰返し回数～液状化強度比関係



(b) $K_0=1.0$ と 0.5 , 1.5 とでの液状化強度比の比較

昭和50年に基礎地盤コンサルタンツ入社→液状化の業務急増時期

基礎地盤コンサルタンツ(株)創立30年記念誌（昭和58年）



(註) 試験供試体数には研究用は含まれていない

図-6.1 室内動的試験の変遷

表-6.2 新たに生じてきた主な耐震業務

年度	この年度から新たに多く受注し始めた業務内容	関連事項
49	宅造地液状化検討	
50	道路橋液状化検討 コンビナート耐震点検	入社
51	送変電関係液状化検討 静岡県等の地震防災検討	
52	河川堤防耐震調査・点検 下水処理場液状化検討 鉱さい堆積場液状化検討	伊豆大島近海地震
53	地震による被災原因調査 原子力発電所耐震検討 人工島耐震検討 高速道路耐震点検	宮城県沖地震
54	空港盛土耐震安定性検討 石油備蓄基地耐震検討 鉄道施設耐震点検	捨石, 鉱さいたい積場建設基準改正
55	港湾施設耐震検討・点検 斜面の地震時安定性検討	道路橋示方書・耐震設計編発行
56	碎石ドレーン等液状化対策 策工検討 堤防近接道路耐震検討	浦河沖地震

砂質地盤の地震時流動化の簡易判定法と適用例

建設省土木研究所	岩崎敏男
東大生産技術研究所	龍岡文夫
建設省土木研究所	常田賢一
基礎地盤コンサルタンツ(株)	安田 進

第5回日本地震工学シンポジウム
(1978年(昭和53年))

原位置での液状化判定に用いるための補正係数

$$R_{l,mav} = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5 \times R_1$$

C_1 : 室内試験と原位置との拘束条件に関する補正

C_2 : 地震波荷重のランダム性に関する補正

C_3 : 不攪乱試料採取から室内試験までの過程中的攪乱に関する補正

C_4 : C_3 と同様の過程中的における試料の密度化に関する補正

C_5 : 地震動の水平面での2次元性に関する補正

$$C_1 = (1 + 2K_0) / 3 \doteq 0.67$$

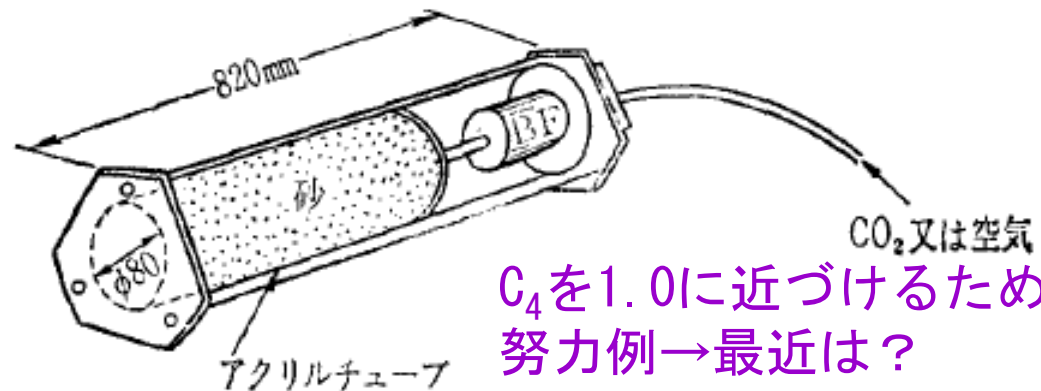
$$C_2 = 1 / 0.55 \sim 1 / 0.7$$

$$C_3 \times C_4 \doteq 1$$

$$C_5 \doteq 0.9$$

したがって、

$$C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times C_5 \doteq 1$$



C_4 を1.0に近づけるための努力例→最近は?

液状化判定の時の一般的な方法に

東日本大震災で提起された問題点

昭和61年 九州工業大学工学部 助教授
平成6年 東京電機大学理工学部 教授



塗りつぶし: 3月末に筆者達が推定した液状化範囲
網掛け: 8月に国交省・地盤工学会で付け加えた液状化範囲
斜線: 8月に国交省・地盤工学会で削除した非液状化範囲

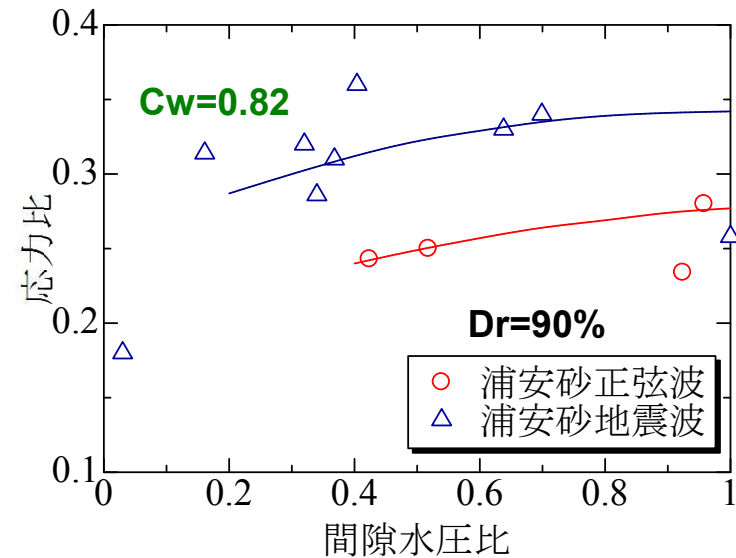
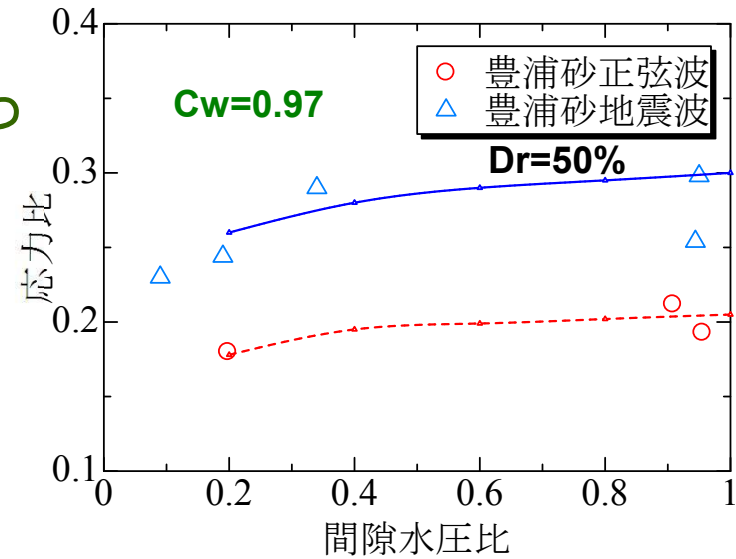
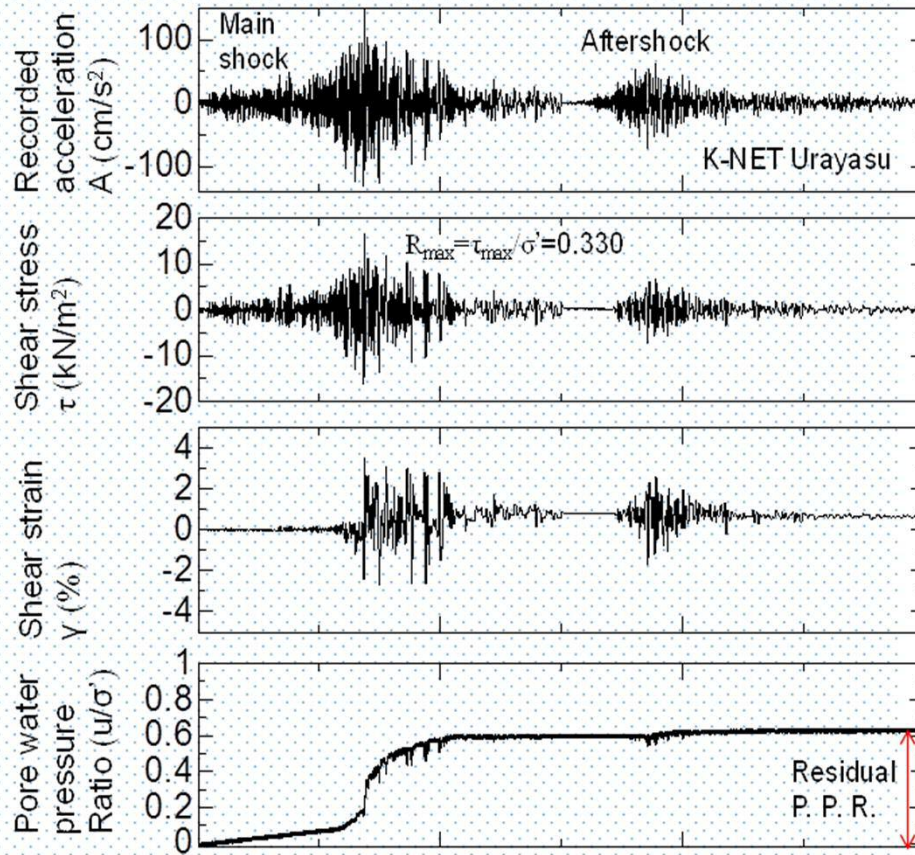


K-netで記録された地表最大加速度

加速度はあまり大きくなかったにもかかわらず広範囲に液状化が発生
→ 波形の補正係数に関する再度の実験

35年ぶりに地震波荷重で実験

山田眞一さんに装置を改良してもらって
K-NET浦安の地震記録波で実験



それでも他にも液状化判定方法に問題が残っている。

2.2 土構造物の挙動 および対策に関して

(1) 鉱さい堆積場（集積場）

1978年伊豆大島近海地震時に液状化により鉱さい堆積場が崩壊し鉱さいが流出



鉱さい堆積場の建設基準にすべり安定解析の中に液状化による過剰間隙水圧を考慮

液状化による過剰間隙水圧は、次式により求めるものとする。

イ. $F_L > 1.25$ の場合

$$U_l = 0$$

ロ. $1.00 \leq F_L \leq 1.25$ の場合

$$U_l = 0.3\sigma_v'$$

ハ. $F_L < 1.00$ の場合

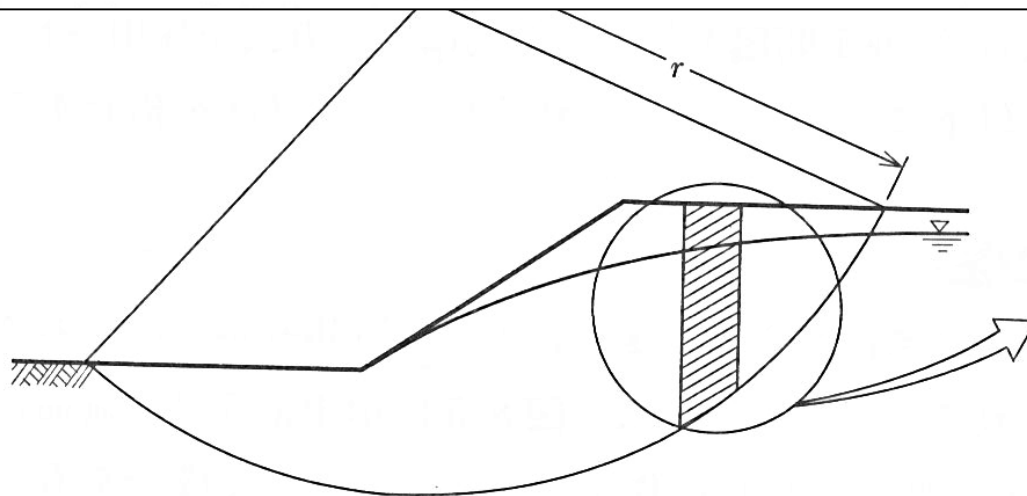
$$U_l = \sigma_v'$$

F_L : 液状化に対する抵抗率

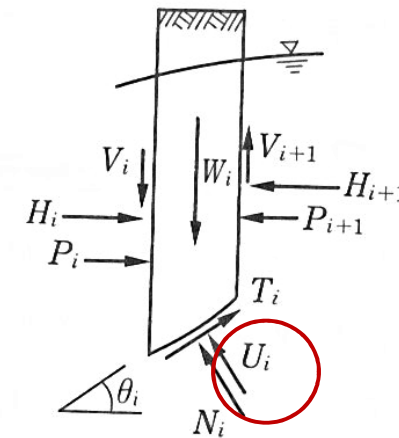
U_l : 各スライスのすべり面上に働く液状化による過剰間隙水圧 (t/m^2)


σ_v' : 有効上載圧 (t/m^2)

← 全国各地の鉱さいを採取して液状化試験を実施



(a) 円弧すべり面



(b) スライスに作用する力
図(a)の  の部分

1990年にJICA専門家としてチリ国に半年派遣



日曜になると



その後もチリに行くたびに



広島風お好み焼きに挑戦



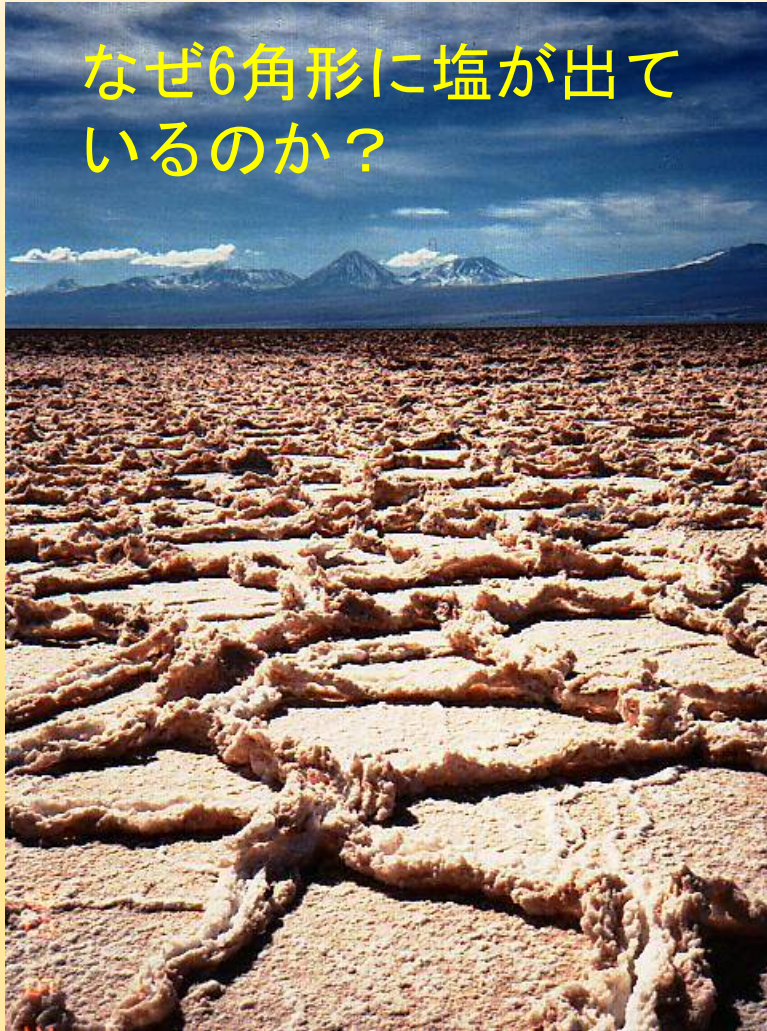
課題：

- ①天かす
- ②薄い肉
- ③ソース

大町先生と一緒に各地 の調査

Salar de Atacama

なぜ六角形に塩が出て
いるのか？



Torres del Paine

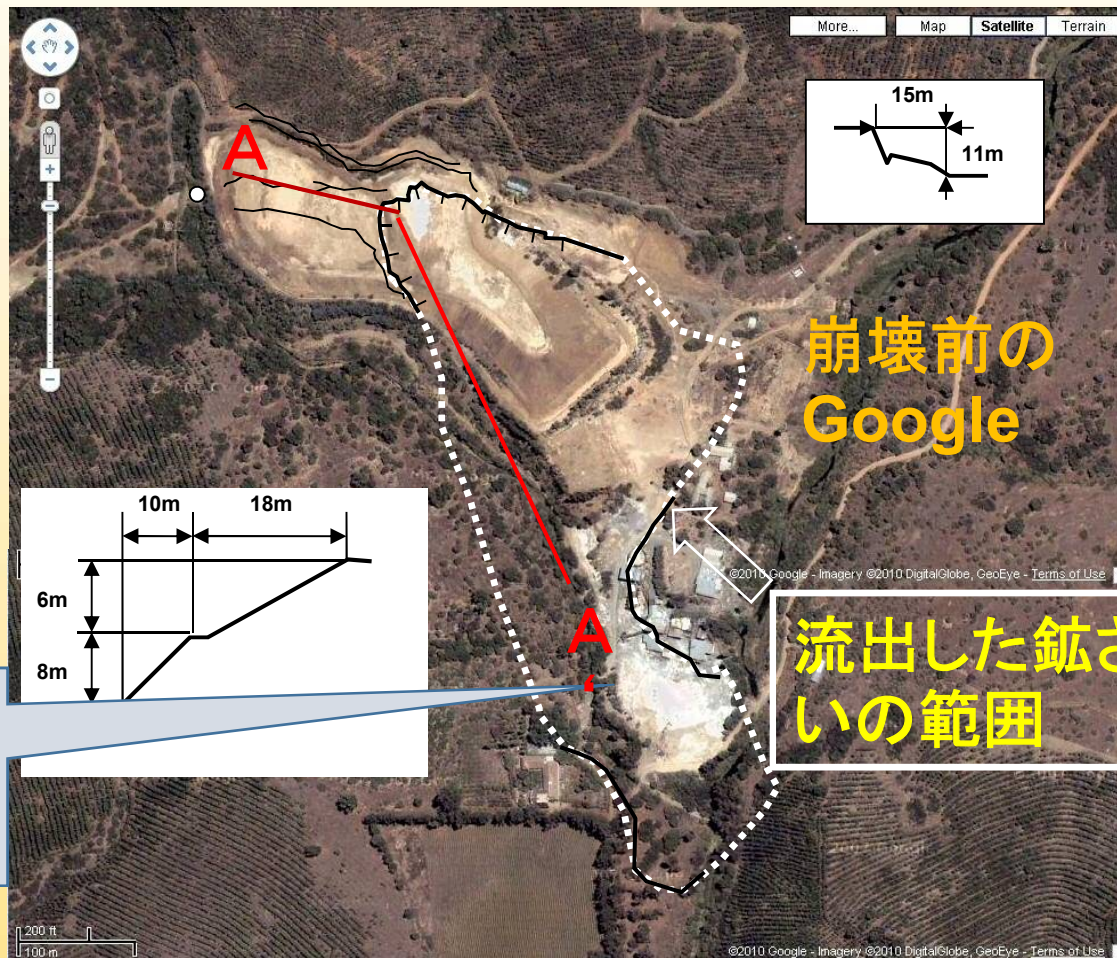
なぜ虫歯のような山になった
のか？



2010年チリ・マウレ地震により3つの鉱さい堆積場が被災

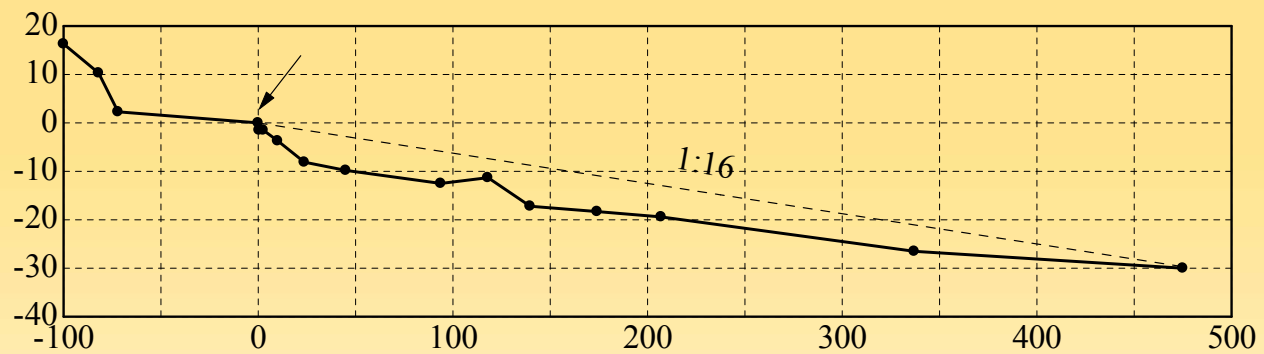
Las Palmas



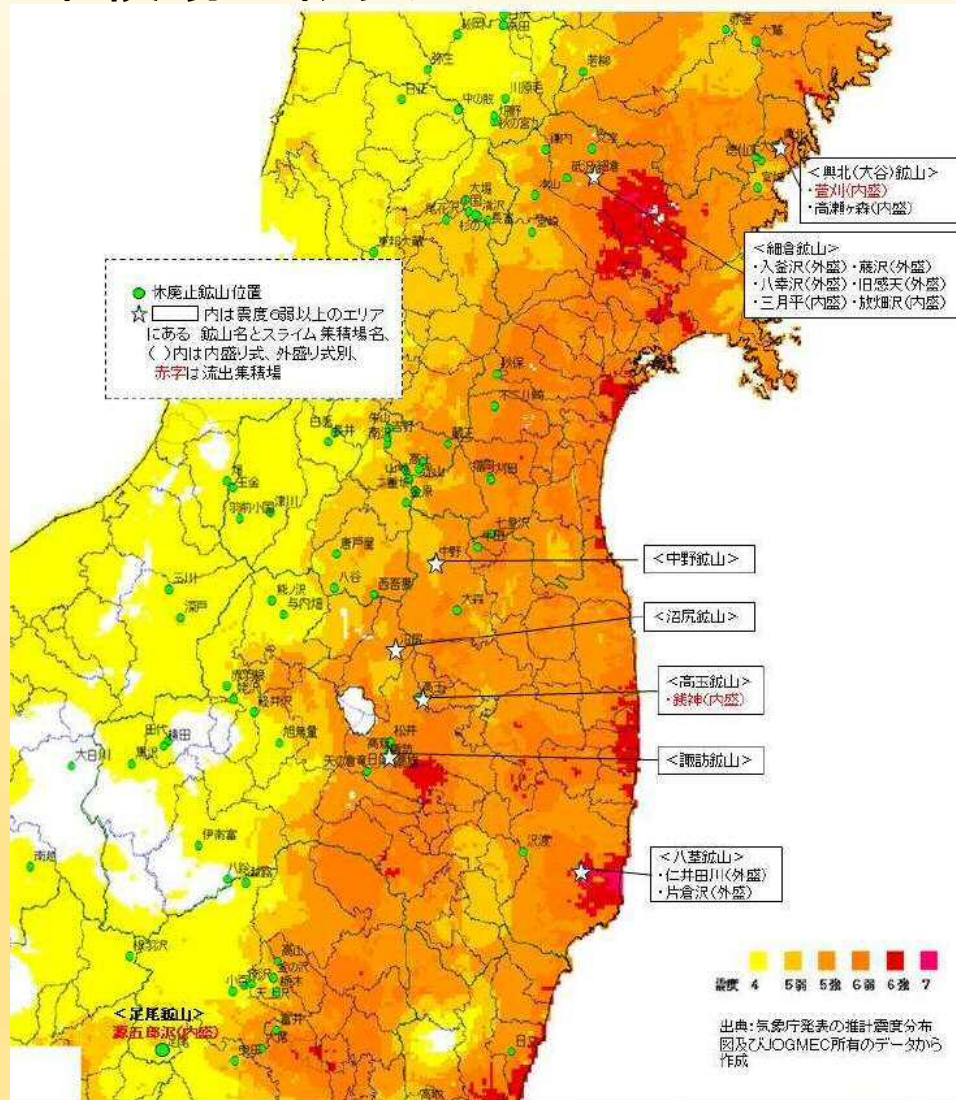


4人が流出した鉱さいに巻き込まれた

A-A' 測線



2011年東日本大震災では3つの集積場で被災



(経済産業省による)

東日本大震災後に下記の
集積場をレベル2地震動に
対し点検：

- ①崩壊に弱い内盛式で
- ②被害が生じると直下に
重要構造物があって流出
による被害が生じる可能
性がある

現状

確認されている主要な388
の鉱さい集積場のうち1/3
は内盛式

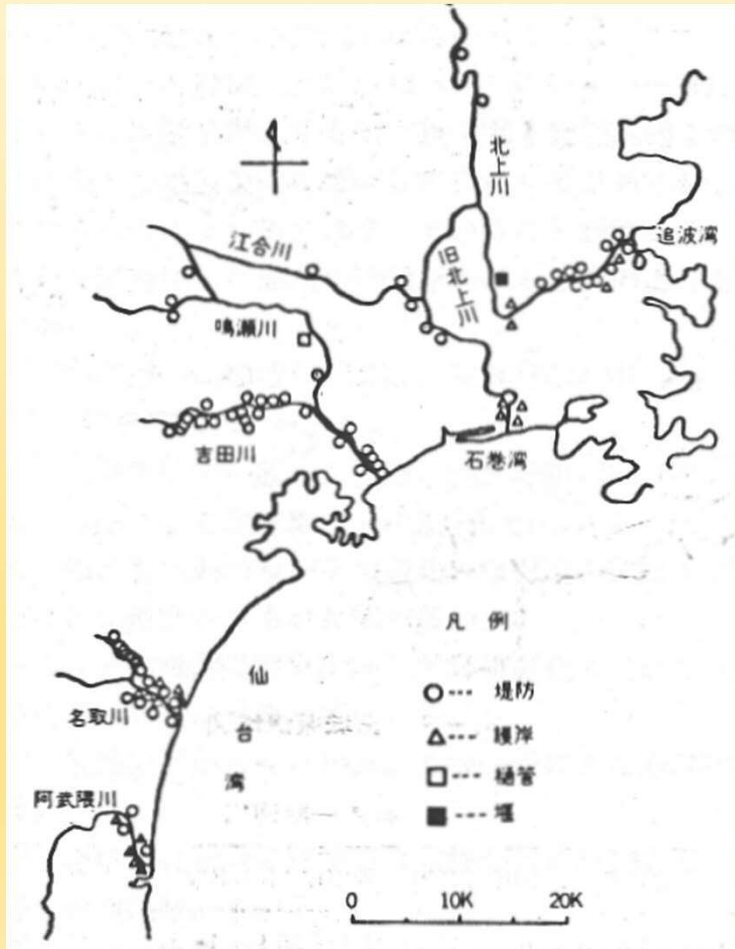
山の中にひっそりと多く
存在し運動場などに利用

2016年熊本地震でも小規模であ
るが被害発生



(2) 河川堤防

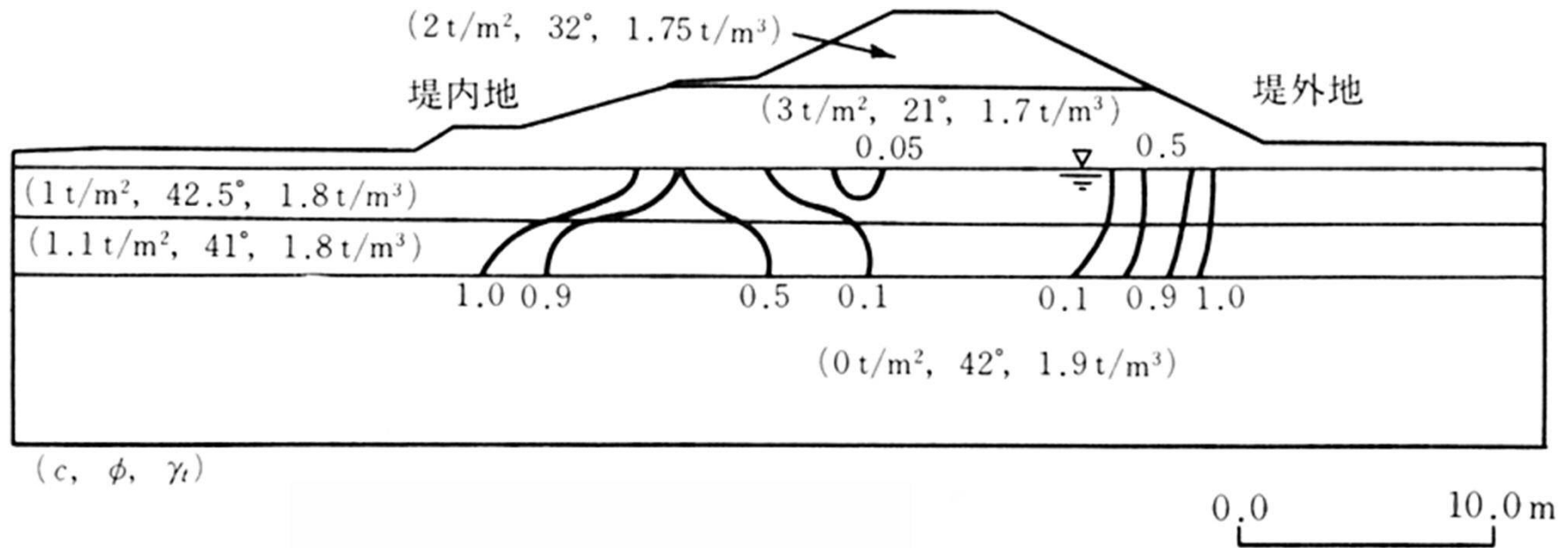
1978年宮城県沖地震では
多くの河川堤防が被災



(川上、渡部による)

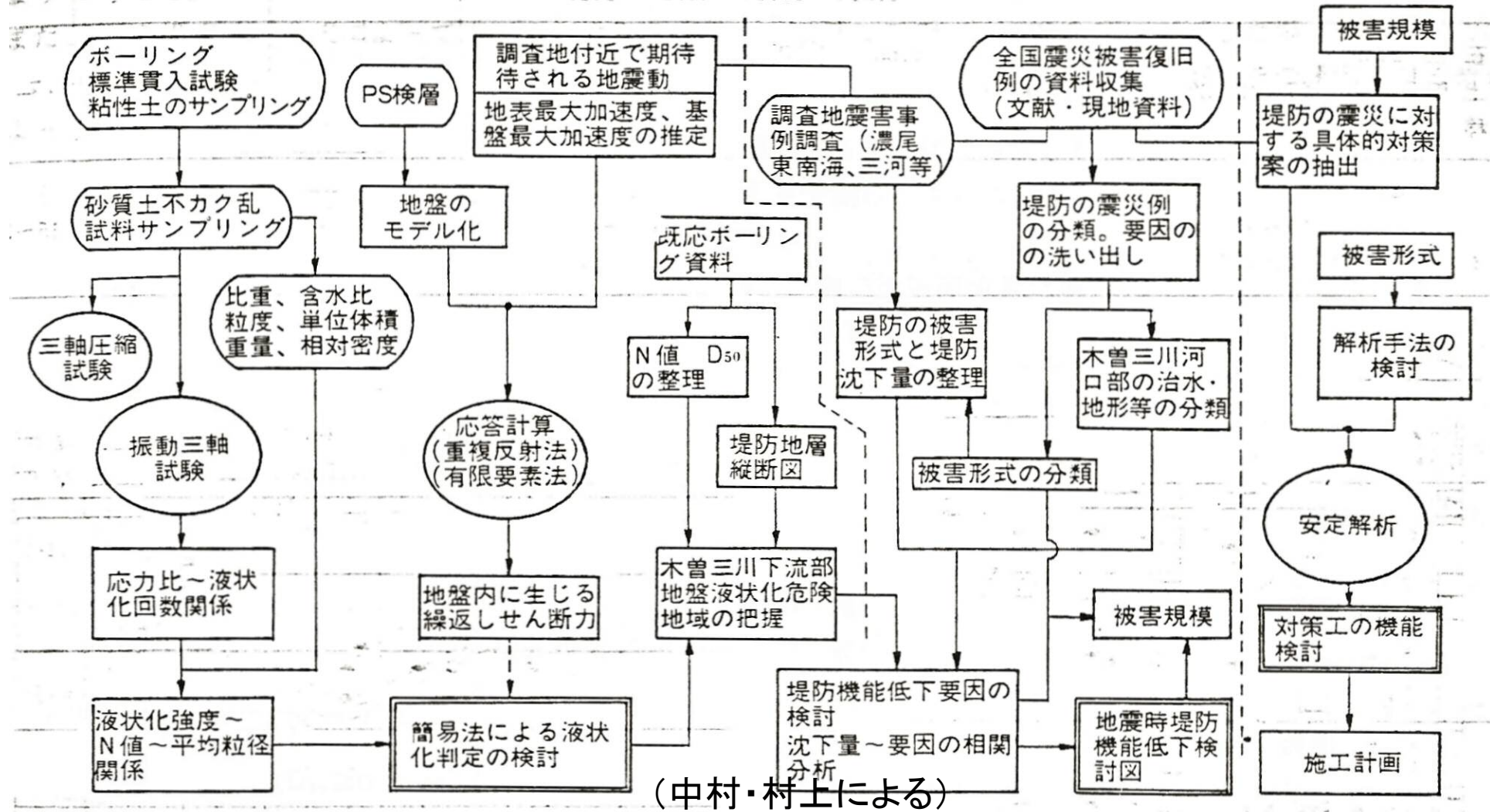


名取川の堤防に関する過剰間隙水圧を考慮する安定解析の試み



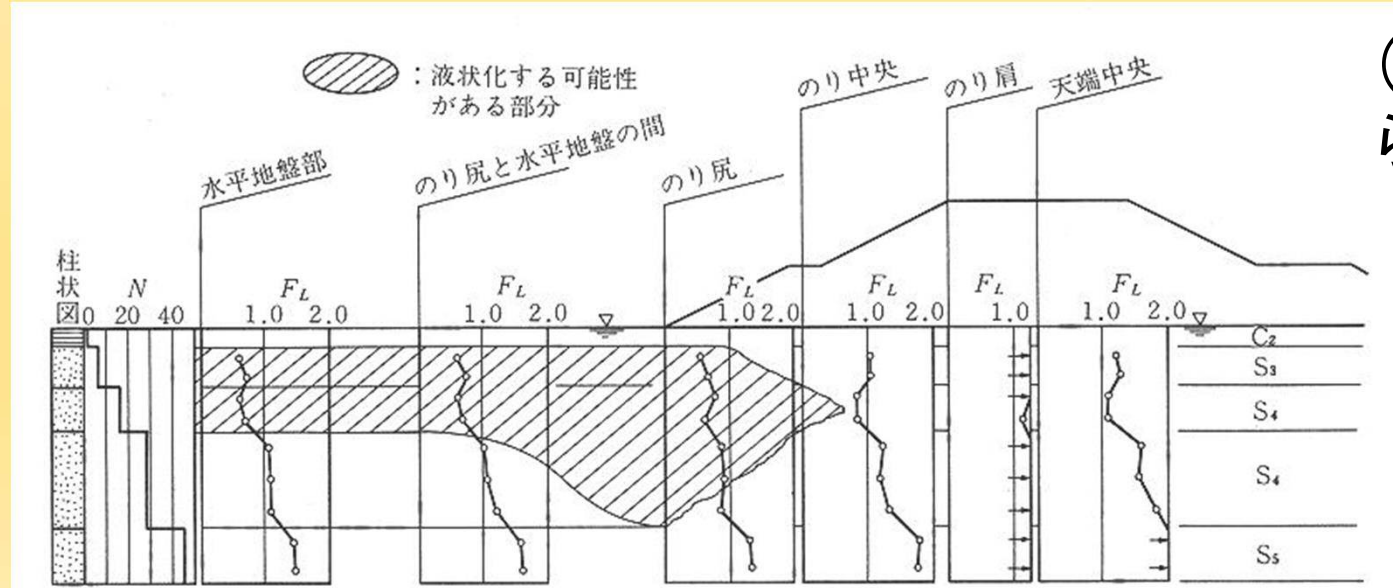
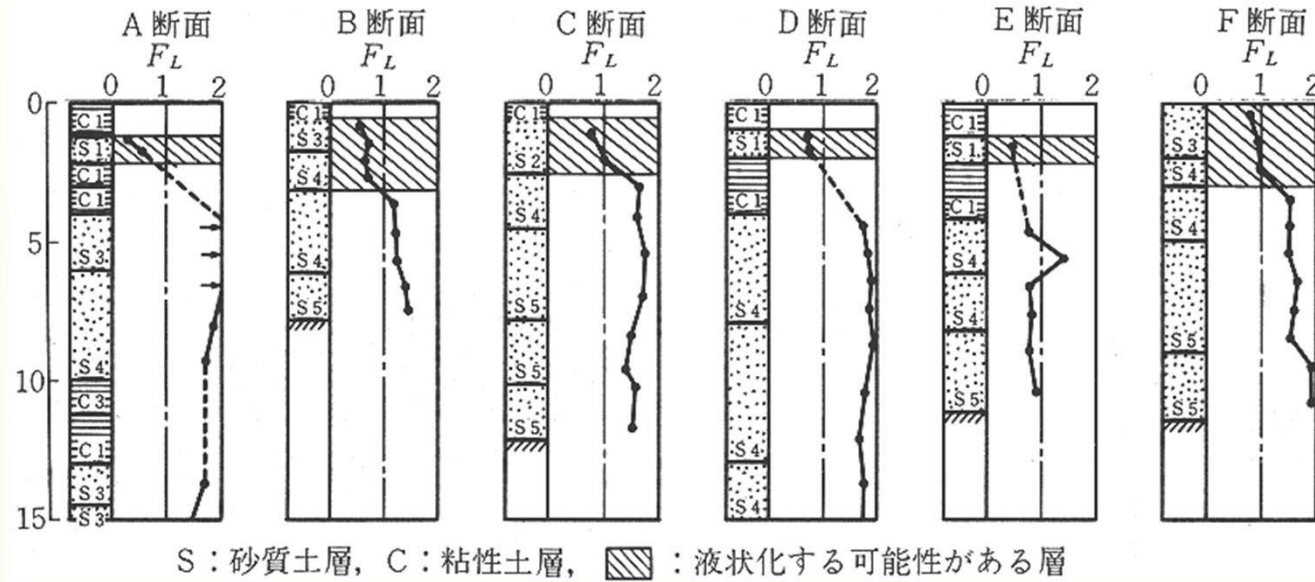
$$F_s = \frac{\sum R(C' \cdot l + \{(W - U \cdot b) \cos \alpha - K_h \cdot W \cdot \sin \alpha\} \tan \phi')}{\sum (R \cdot W \sin \alpha + K_h \cdot W \cdot h)}$$

同時期に行った木曾三川における耐震性調査

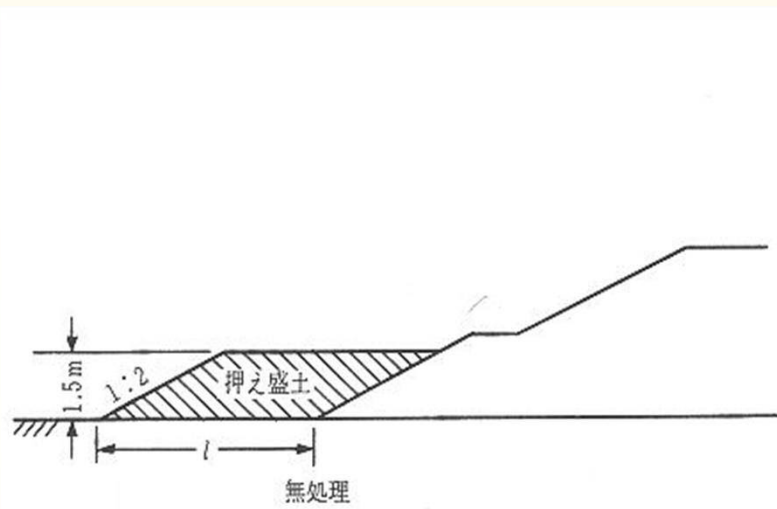


当時は既設の河川堤防を耐震化する雰囲気ではなかった

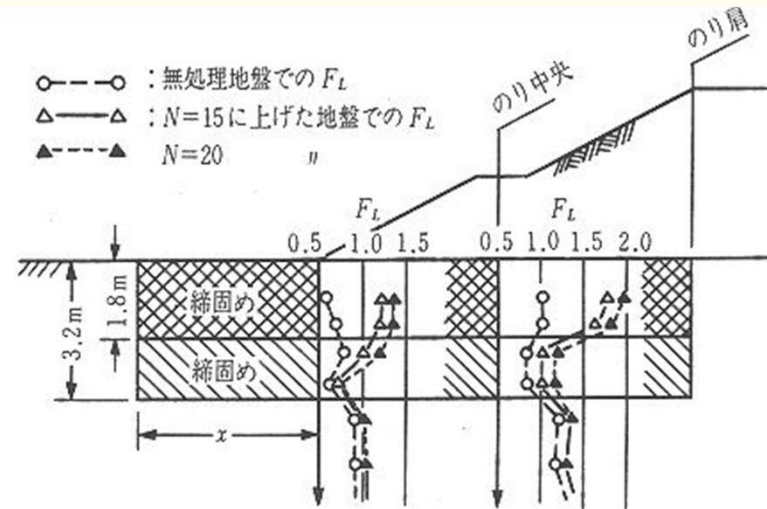
新設の高瀬川堤防で行われた耐震検討と対策の試み



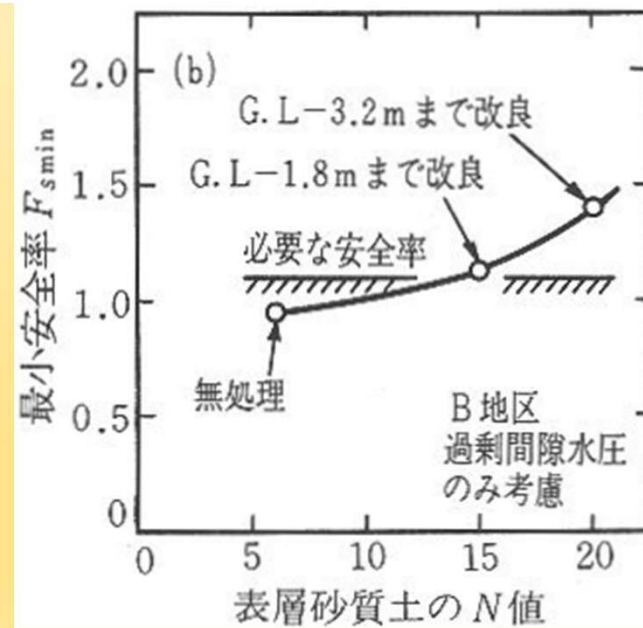
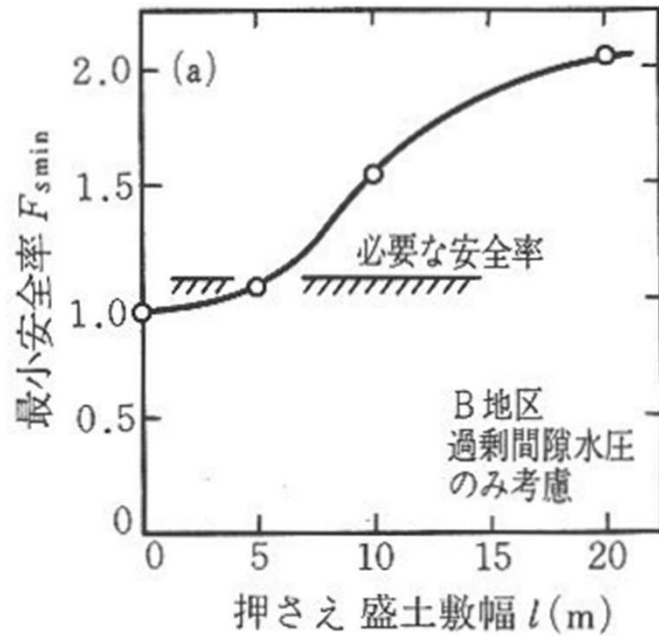
(佐々木先生
らによる)



(a) 押え盛土 (B 地区)



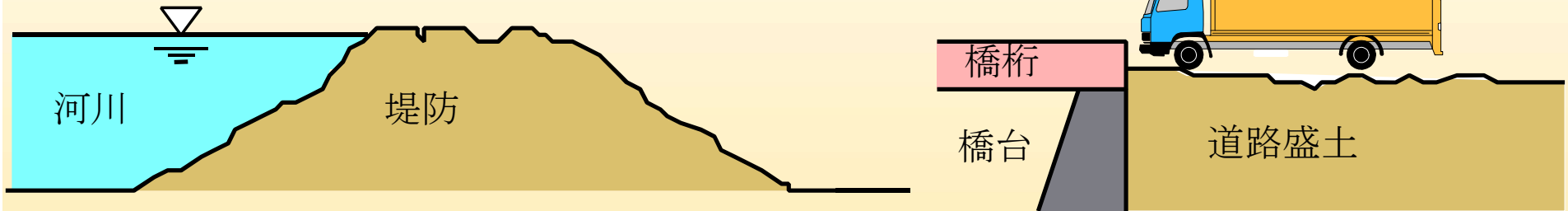
(b) 締固め (B 地区)



すべりに対する安定解析で検討

性能設計への移行

土構造物における性能目標や限界状態の考え方

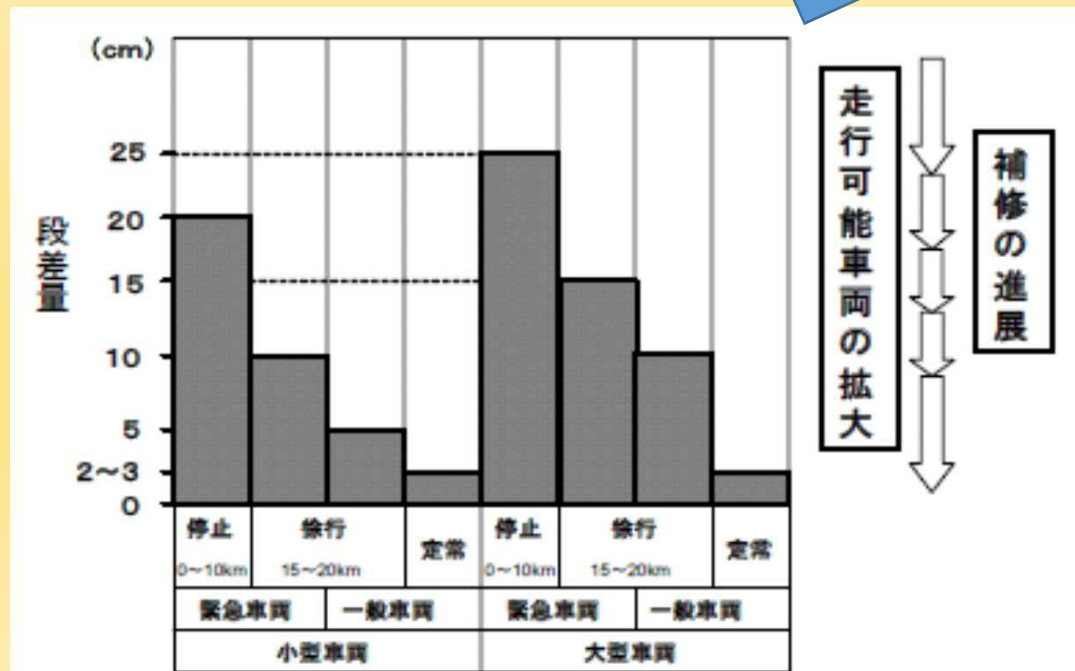


(a) 河川堤防

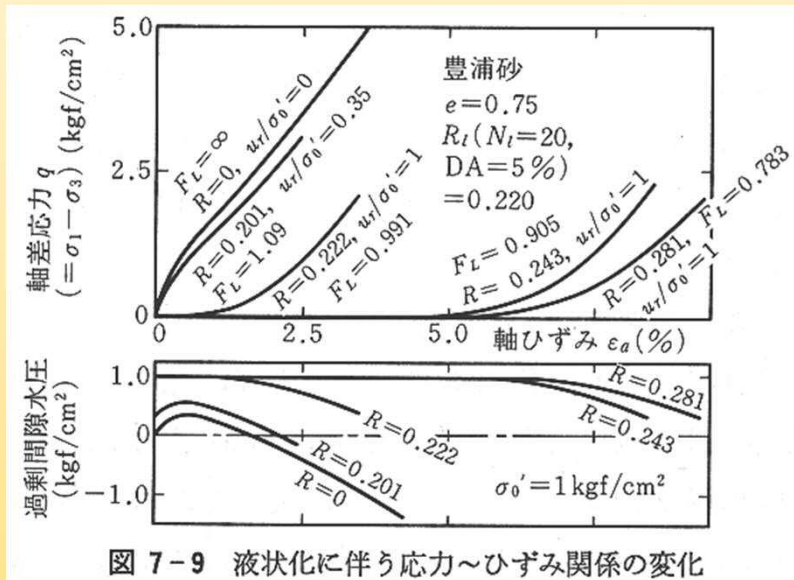
(b) 道路盛土

盛土の限界沈下量の一つの考え方

常田先生
らによる
実験

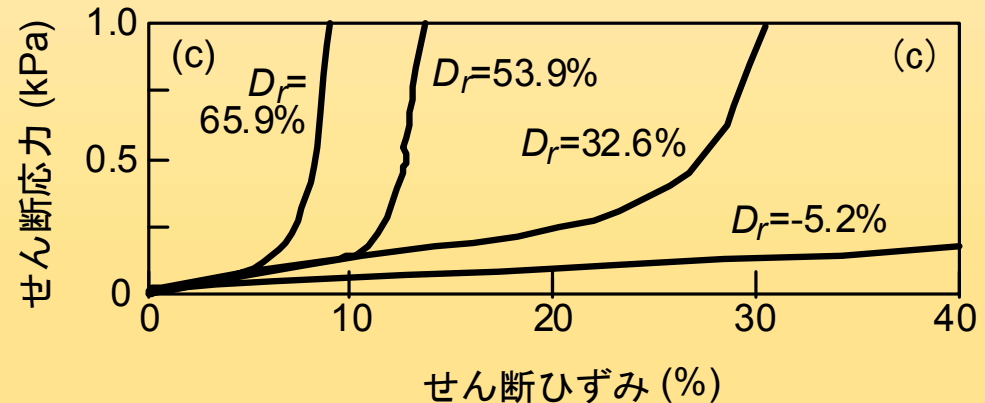
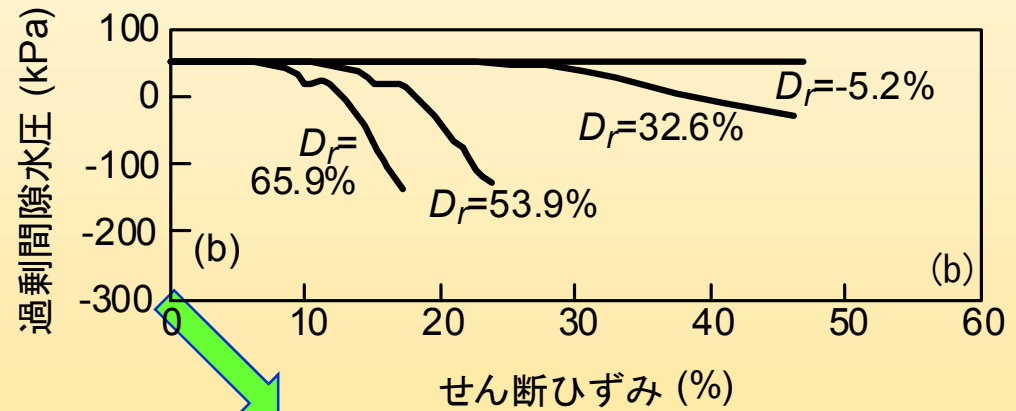
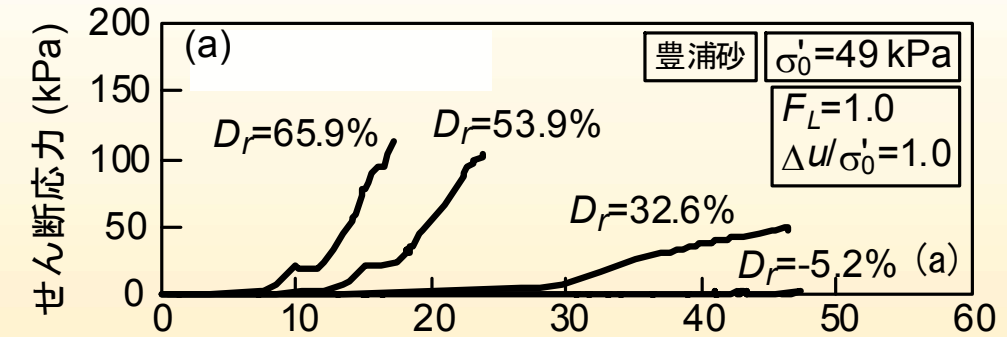


液状化による構造物の変形量を求めるため、強度だけでなく液状化によるせん断剛性低下に関する実験を開始（昭和60年頃）



当初は振動三軸による実験→緩い砂ではうまくいかない

繰返しねじりせん断試験にて実施



九工大の時に規矩先生らにより実験

1999年に論文発表

土木学会論文集 No. 638/III-49, 71-89, 1999.12

液状化に伴う流動の簡易評価法

安田 進¹・吉田 望²・安達 健司³・規矩 大義⁴・五瀬 伸吾⁵・増田民夫⁶

試験データや解析事例を加えて2016年に改訂版の論文発表



日本地震工学会論文集 第16巻、第10号、2016

液状化に伴う残留変形の静的評価法

安田 進¹、吉田 望²、安達 健司³、規矩 大義⁴、石川 敬祐⁵

試験を行った膨大な数の試料

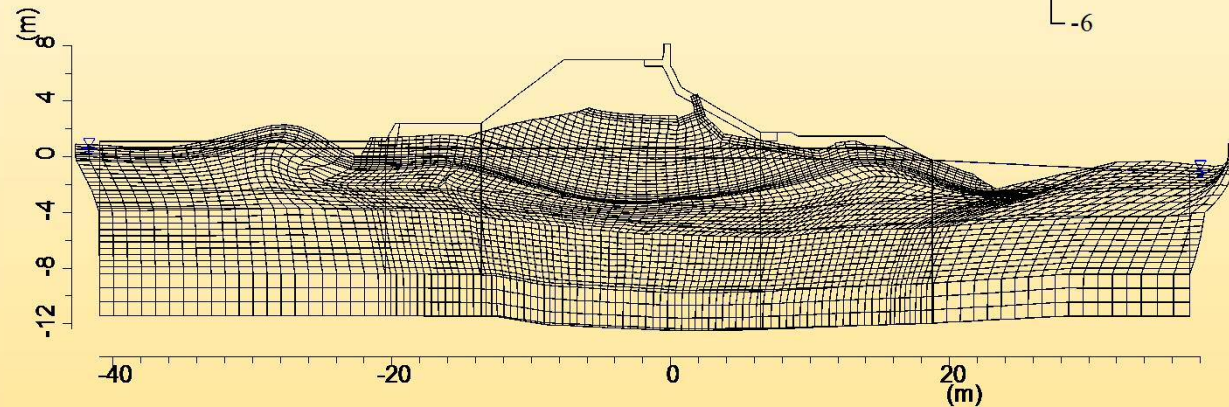
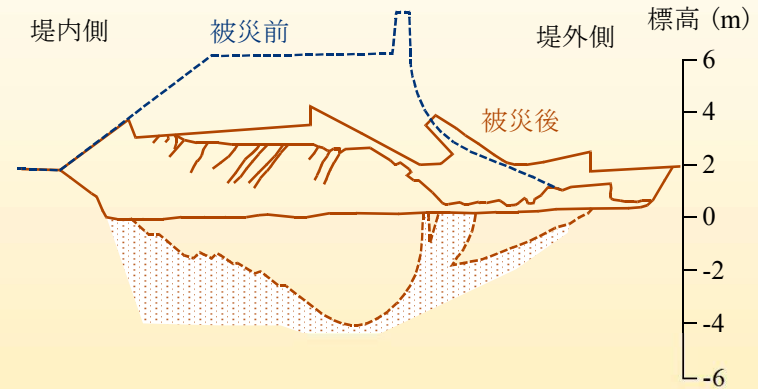
粘性土も含めた繰返し軟化時のせん断剛性の試験
(Nexcoの稲垣さん達との共同研究)

東京電機大の多くの学生諸君に実験をしてもらった

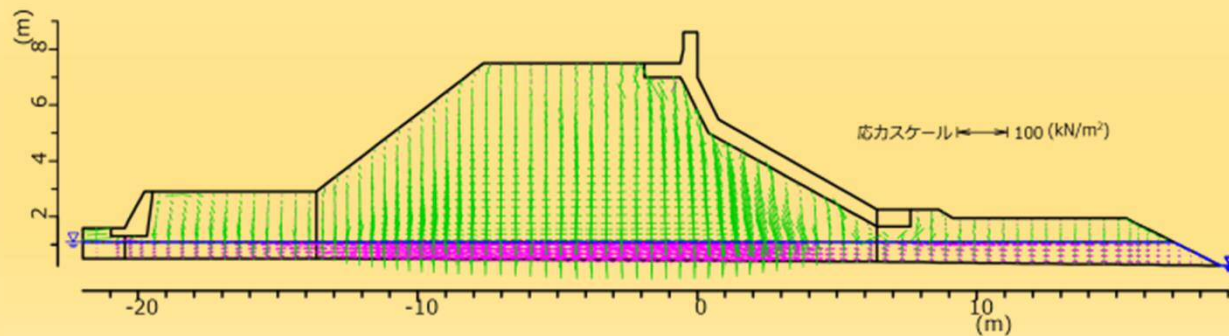
試料採取	F_c の範囲 (%)	有効拘束圧の範囲(kPa)	R_L の範囲
豊浦砂	0.0	98.1	0.201~0.466
神戸(まさ土)	4.44	98.1	0.217~0.228
東京低地	23.0~92.0	49.1~114.8	0.183~0.383
岩見沢	100	29.4~186.4	0.463~0.623
神田	100	117.7~186.4	0.354~0.435
武雄	98.0~100	29.4~137.3	0.346~0.461
大沢郷	100	19.6~186.4	0.423~0.610
徳島	13.0~98.4	49.1~177.0	0.223~0.325
十勝	7.0	49.1	0.167~0.217
豊浦砂(低拘束圧)	0.0	9.8	0.225~0.393
十勝(低拘束圧)	7.0	9.8	0.208~0.325
宮城県河川堤防	3.2~19.0	42.2~86.3	0.162~0.293
徳島(再構成)	24.0~84.7	69.0~137.0	0.132~0.214
北海道端野町	28.0	49.1	0.094~0.188

解析手法“ALID (Analysis for Liquefaction-Induced Displacement)”の開発

1995年阪神・淡路大震災で被災した淀川堤防へ石川先生が適用した事例



(a) 変形図



(b) 主応力図

2.3 地中構造物の挙動および対策に関して

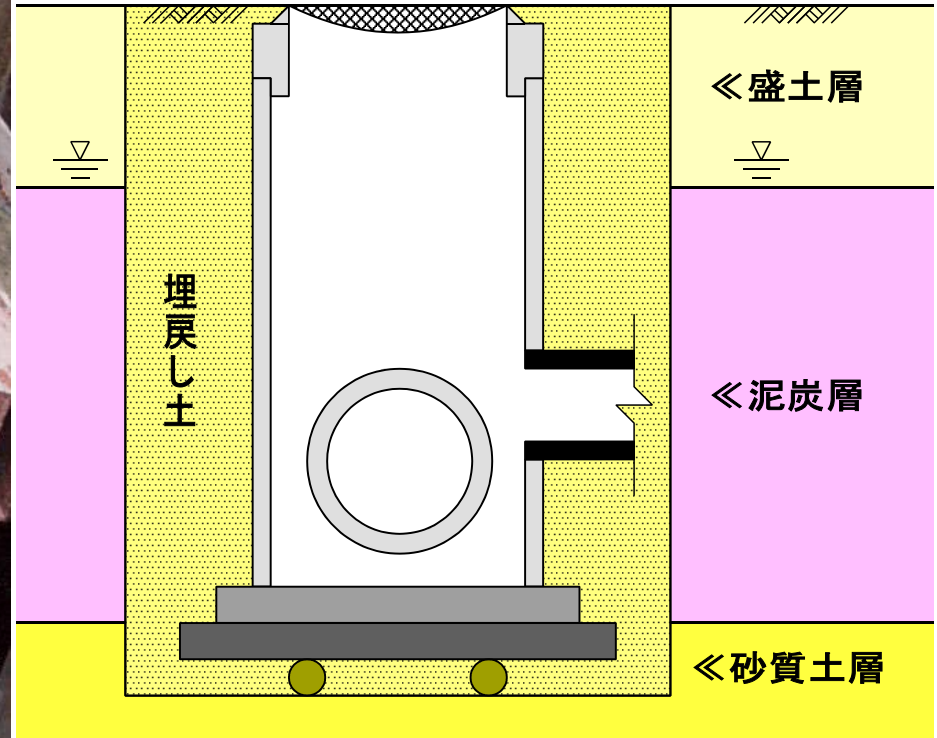
(1) 下水道マンホールの浮上り

1993年釧路沖地震以降浮上り被害が目立つようになってきた。

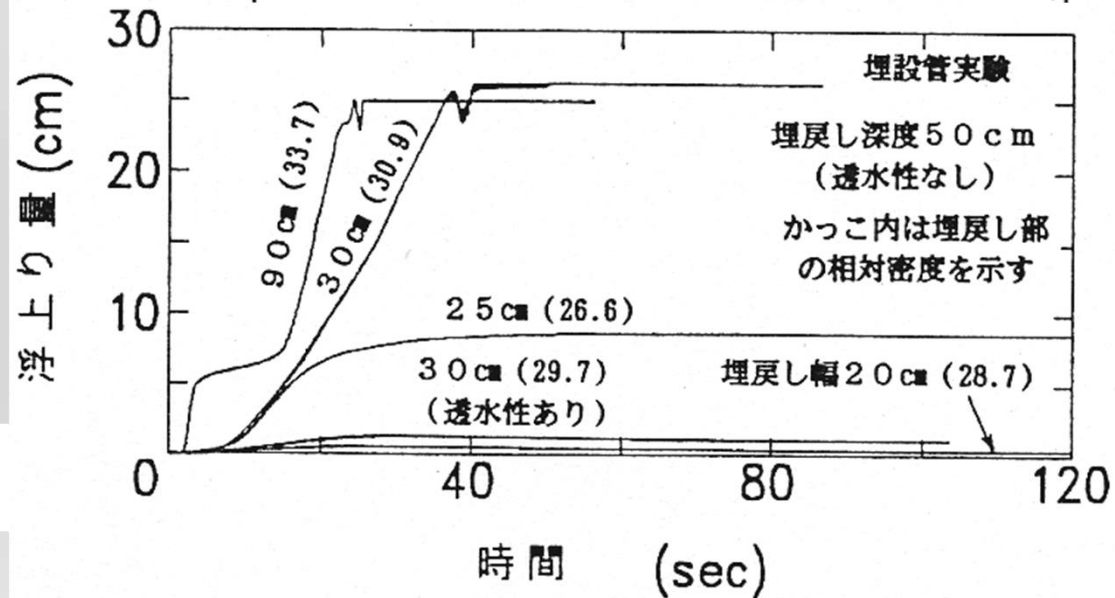
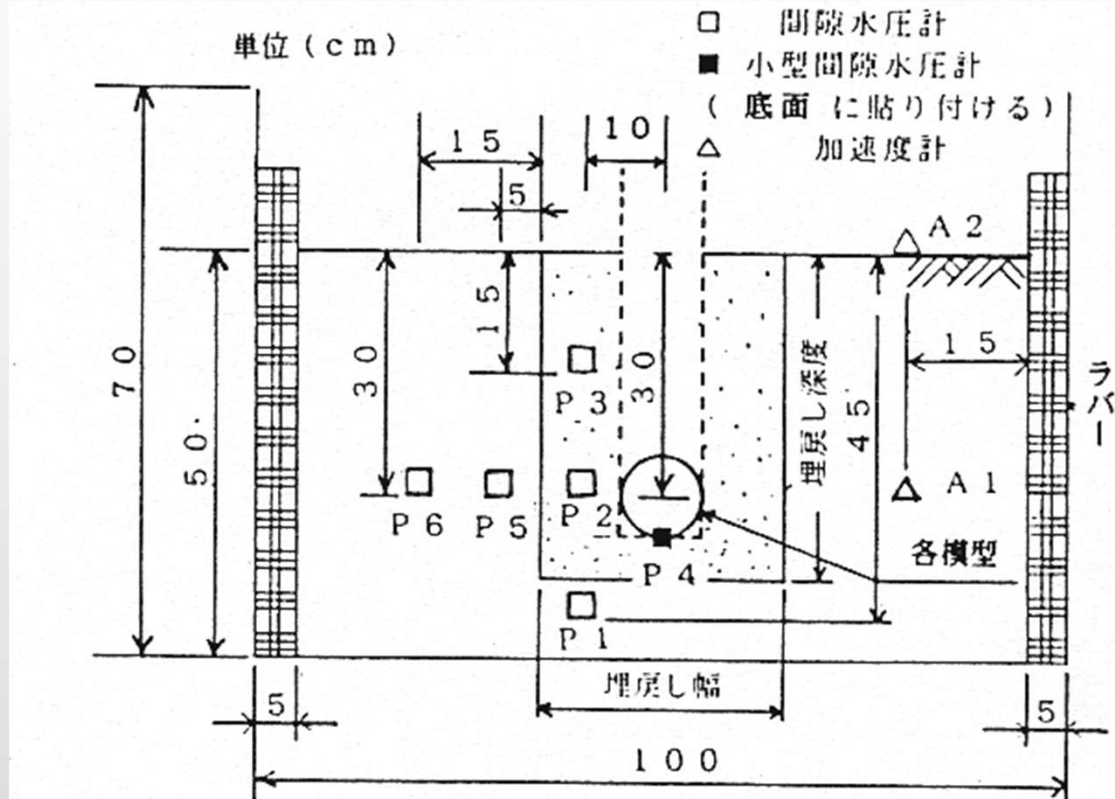




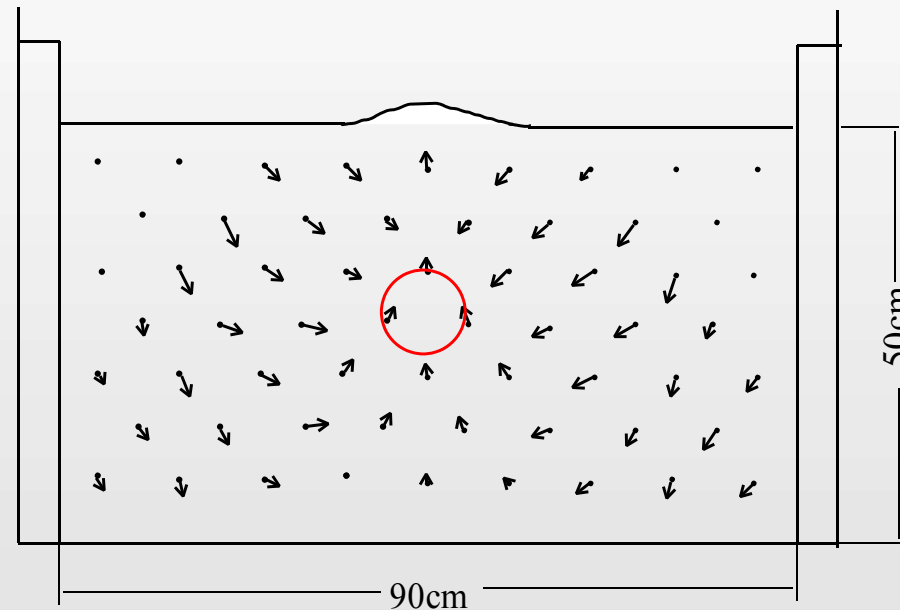
土木研究所によって 行われた掘削調査



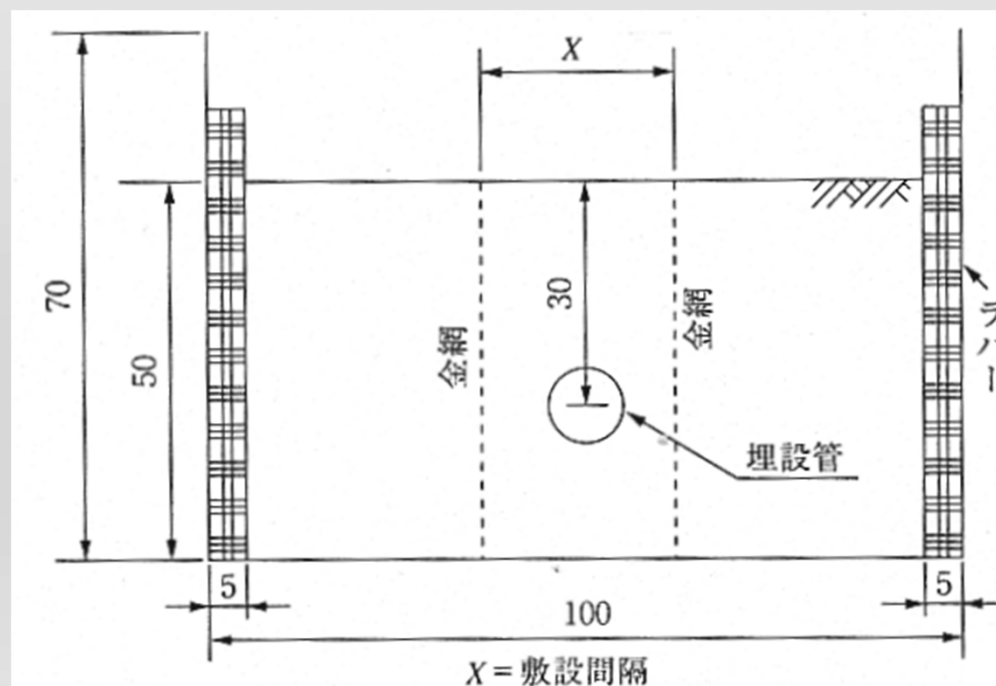
振動台実験による 再現実験開始 (九工大の振動台)



埋設管の浮き上がり
と土粒子の動きを見る
試み
適する“うどん”は？



永瀬先生による興味深い実験
金網を両側に立てると
浮き上がりを防げるか？



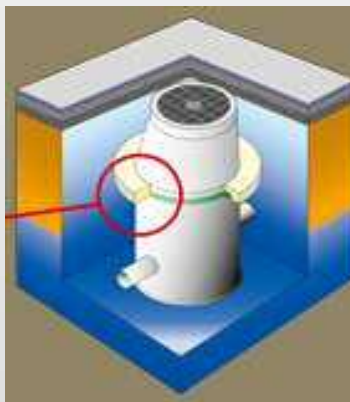
2004年新潟県中越地震で被害を受けた後の振動台実験と 既設のマンホールに対して開発された対策工法の効果の 確認実験

東京電機大での振動台実験



既設の埋設管に対する対策工法の開発が必要

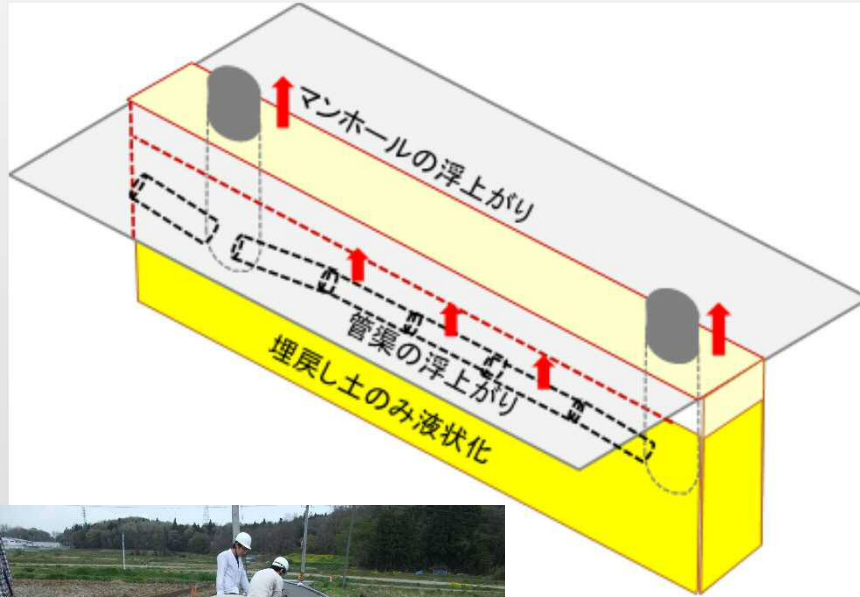
開発されたハットリング工法



振動台実験

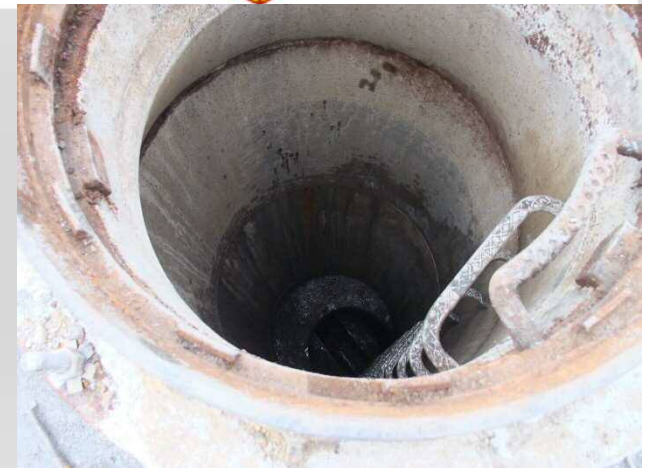
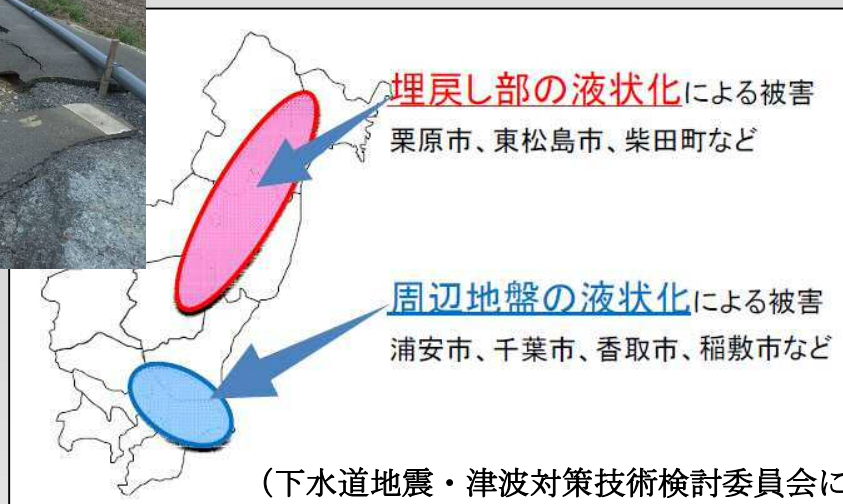
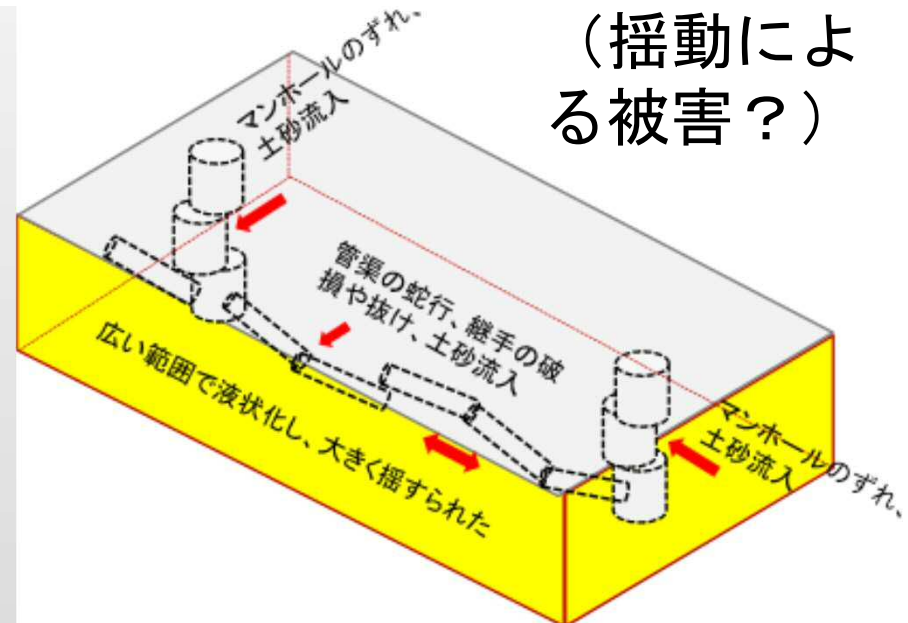
2011年東日本大震災では違う被害のパターンが発生！

埋戻し土だけが液状化

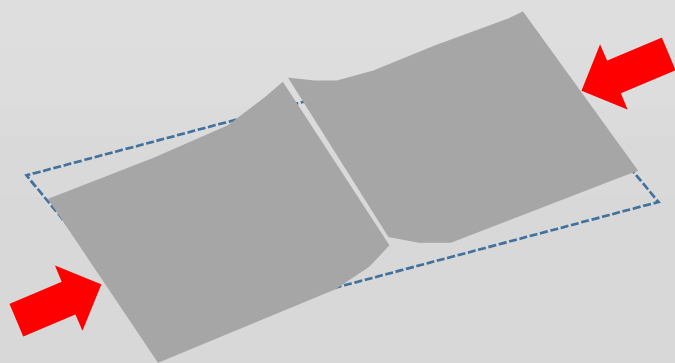


埋戻し土と周辺地盤が液状化

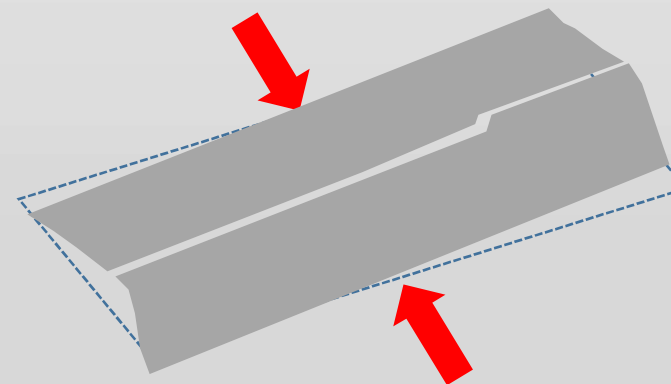
(揺動による被害?)



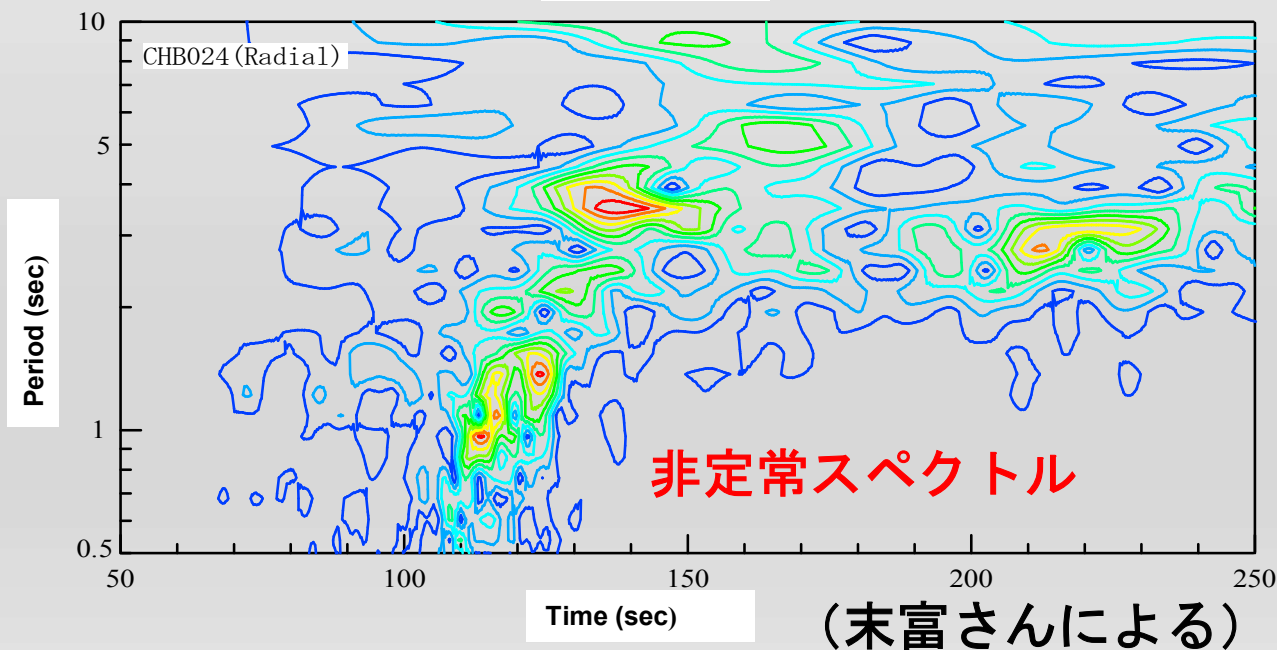
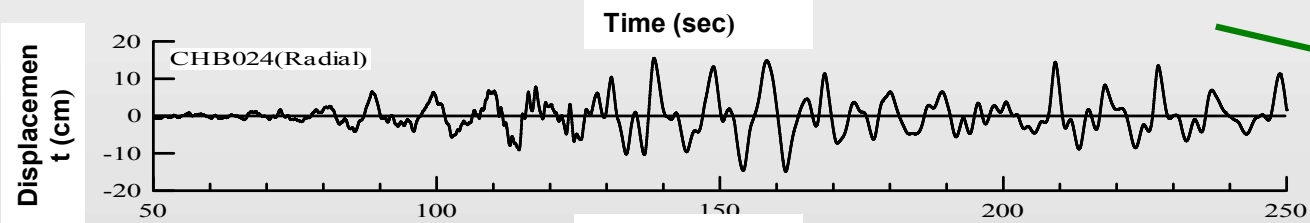
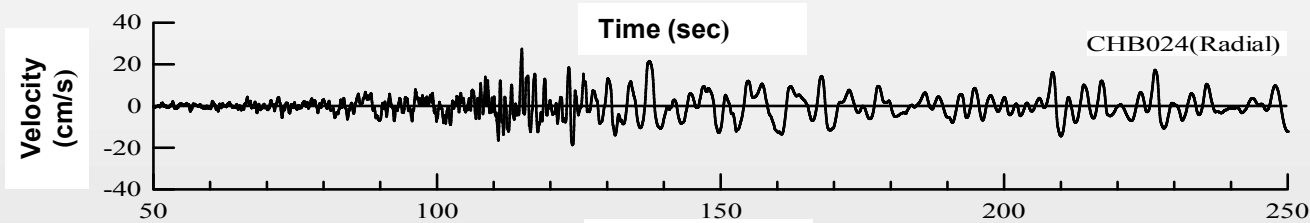
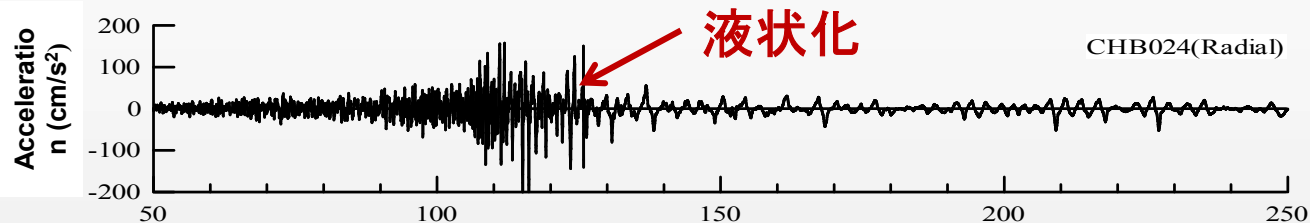
平面道路では突き上げる特殊な被害が発生



横断方向の突き上げ

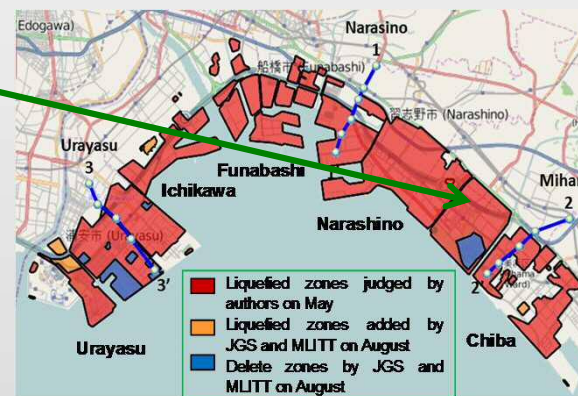


縦断方向の突き上げ



長時間の揺れによる揺動？

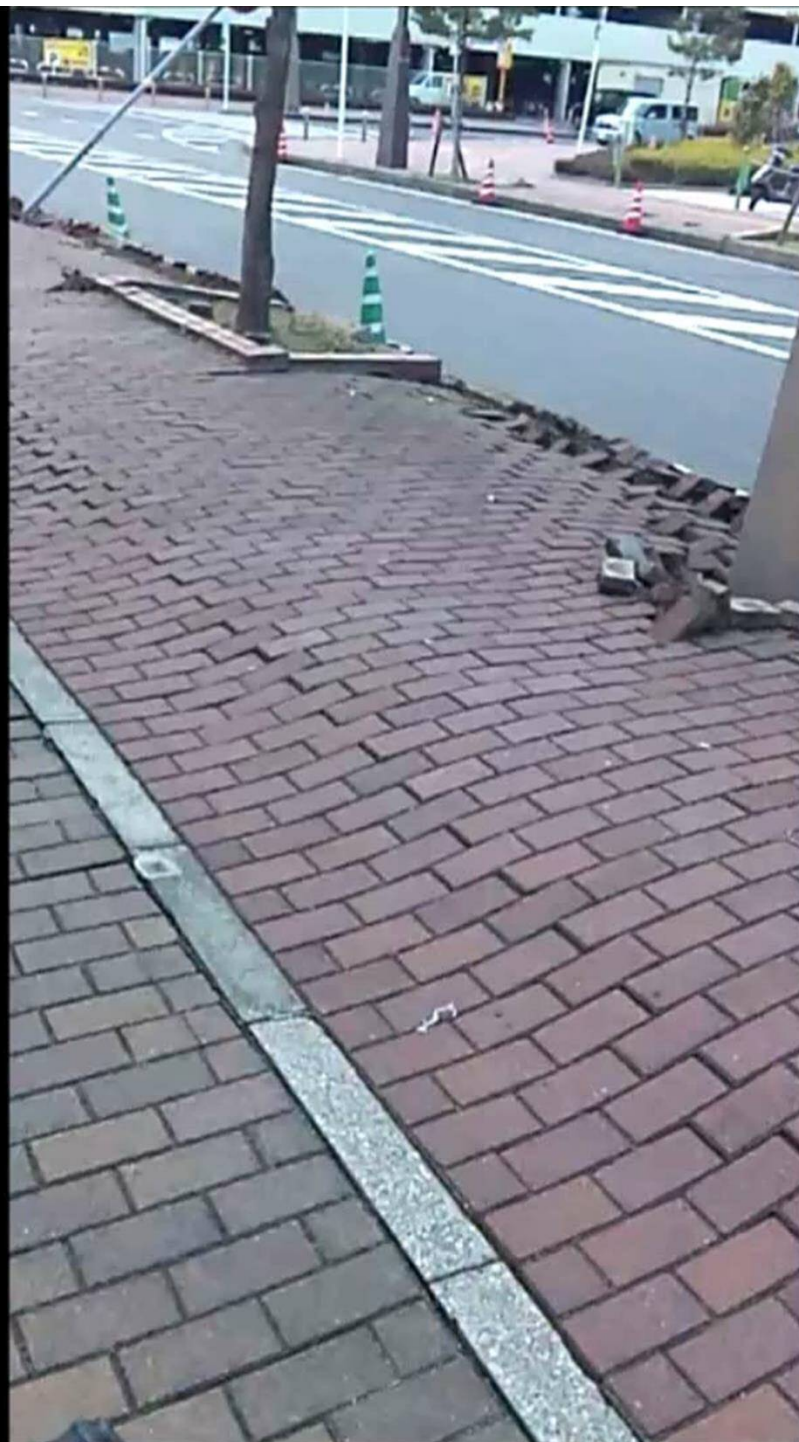
K-net 稲毛
(液状化発生地点)



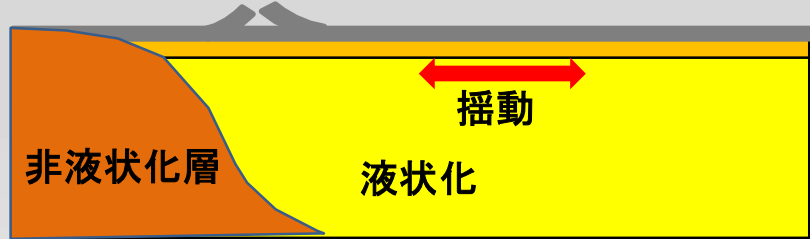
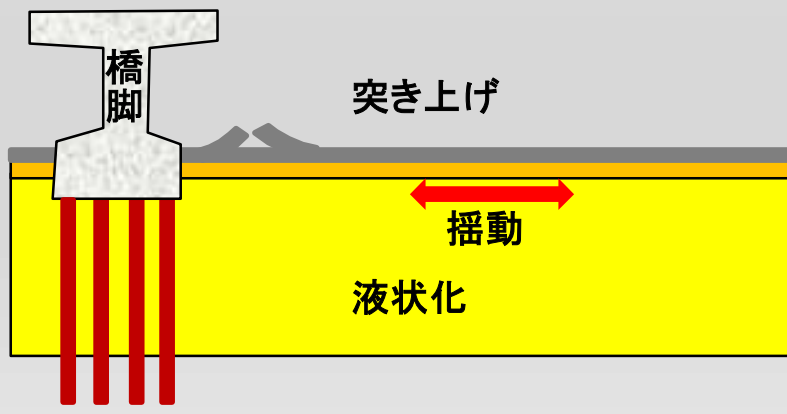
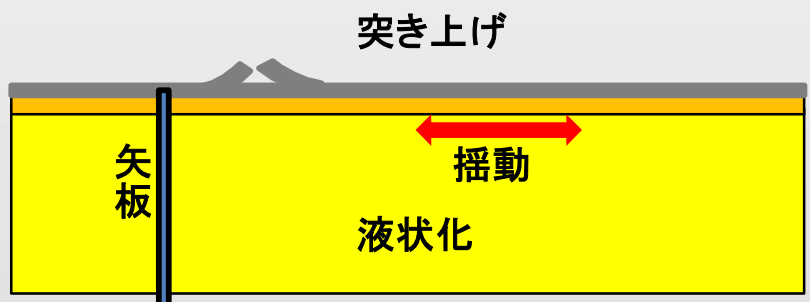
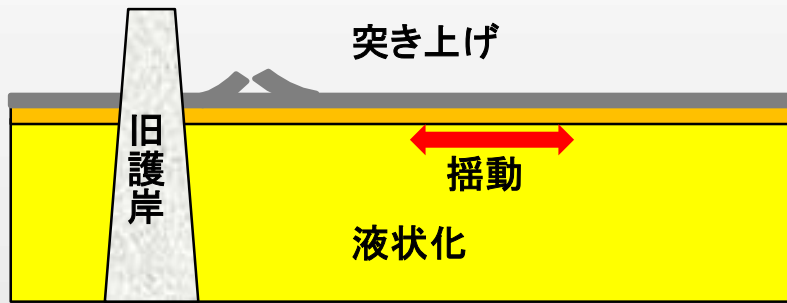
噴砂

幕張メッセ
の近くで撮
られた貴重
な映像

<https://www.youtube.com/watch?v=70zIypNs098>

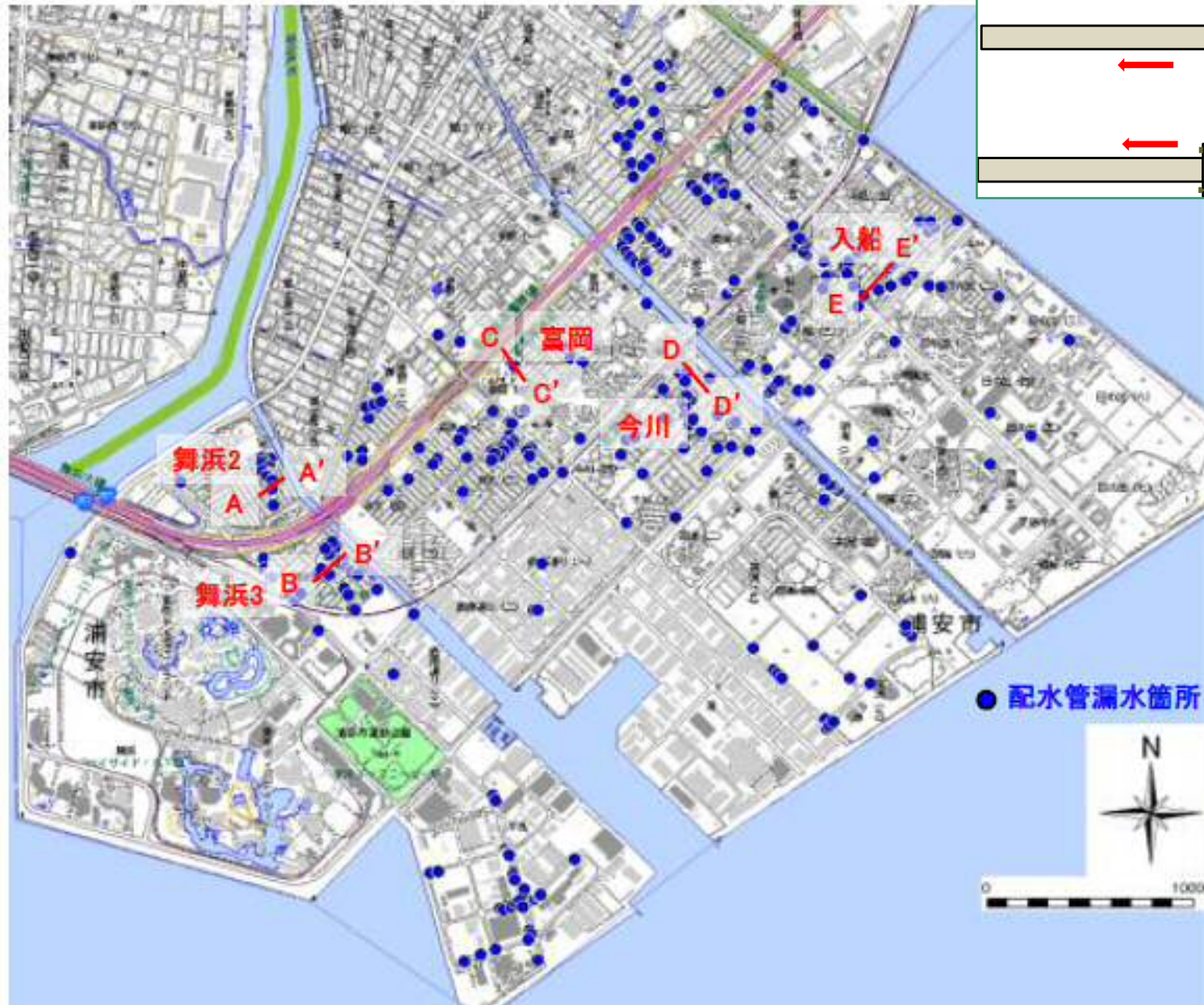
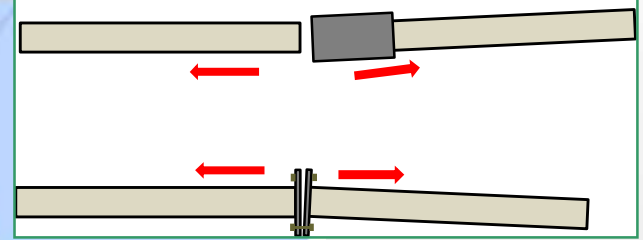


揺動によって突き上げが生じたと考えられる境界条件のパターン



水道管も揺動により被災したか？

継手の被害のイメージ

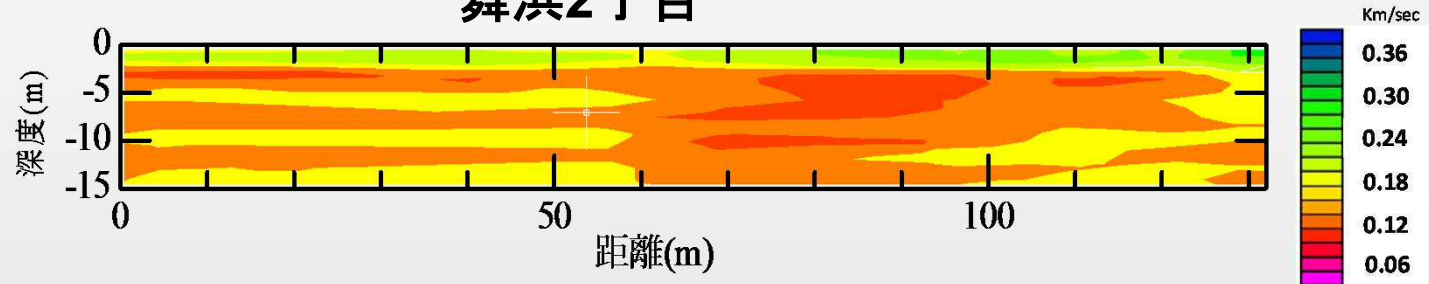


浦安市内の配水管漏水箇所と地震応答解析実施位置

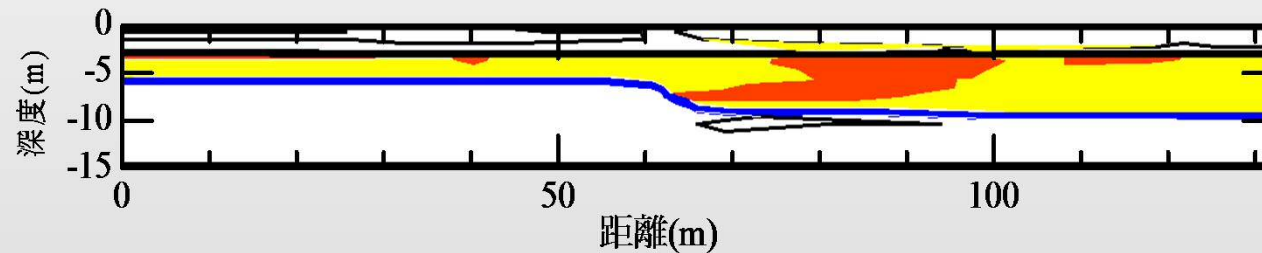
地震応答解析結果による被害のメカニズム解明の試み

舞浜2丁目

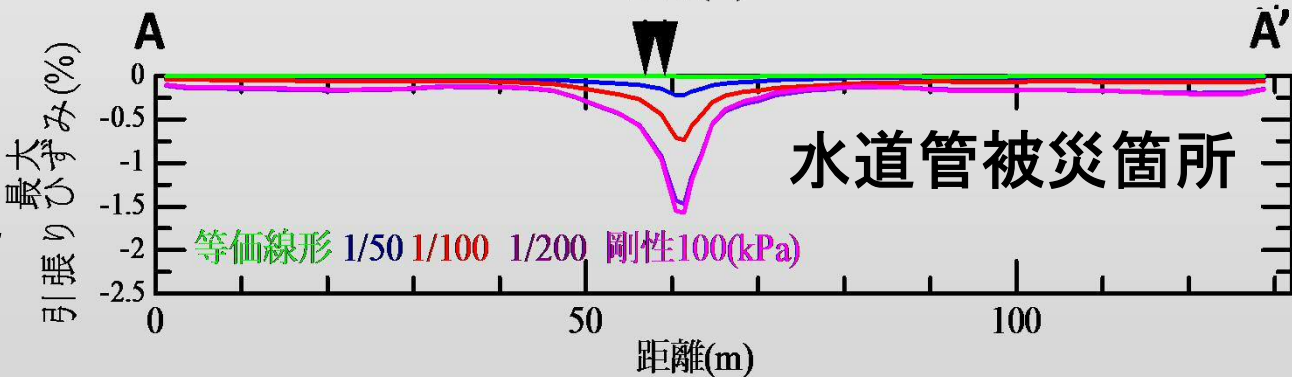
表面波探査で調べた**速度分布**



埋立資料も含めて設定した解析断面



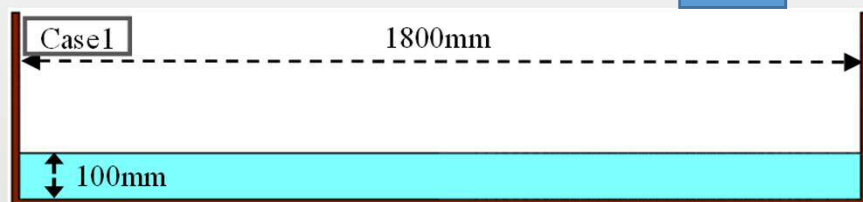
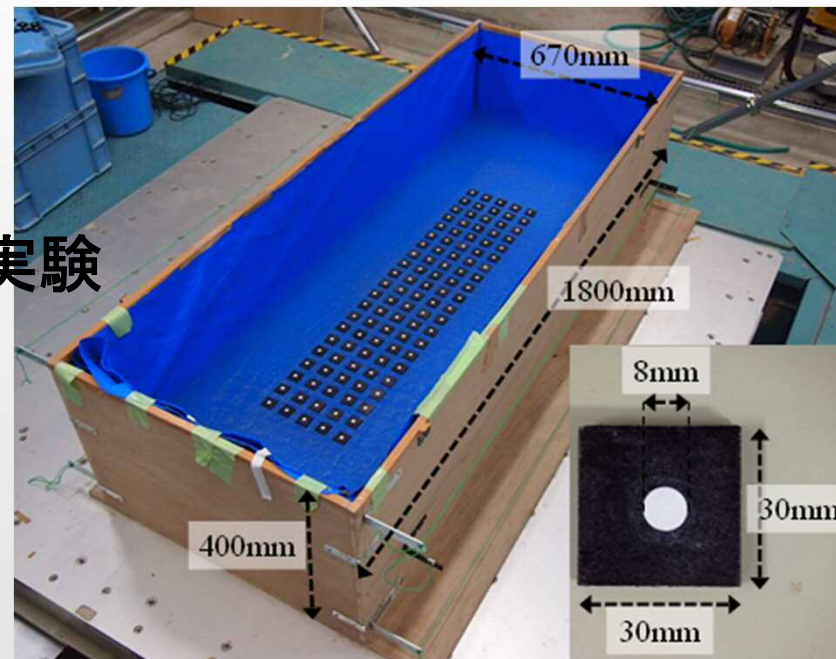
地盤に生じる水平方向**引張りひびき**分布と**水道管被災箇所**



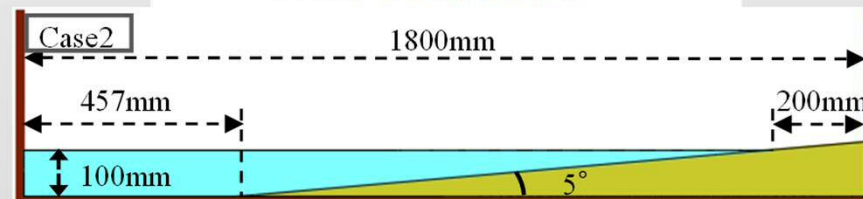
液状化した層のせん断剛性を1/100～1/200程度に低下させて地震応答解析を行うと、水道管の継手が抜けたことが説明できそうである。

液状化した地盤の揺動による埋設管継手の抜けに関する模型実験

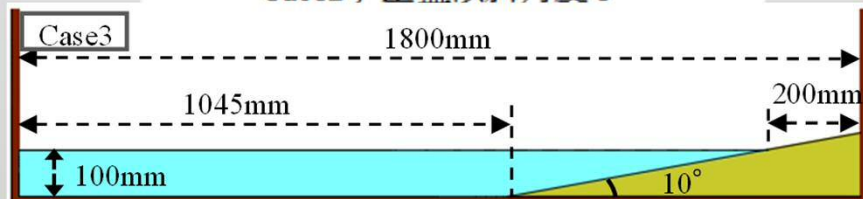
高吸水ポリマーを使用した振動台実験



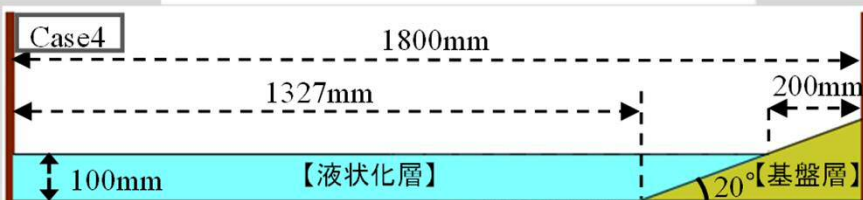
Case1) 基盤傾斜角度 0°



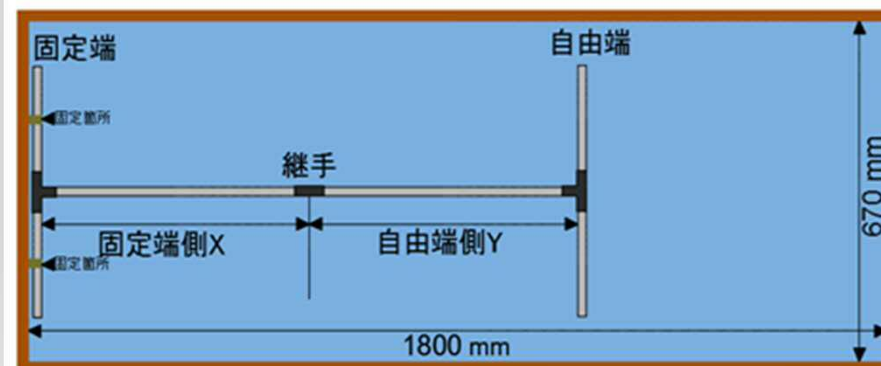
Case2) 基盤傾斜角度 5°

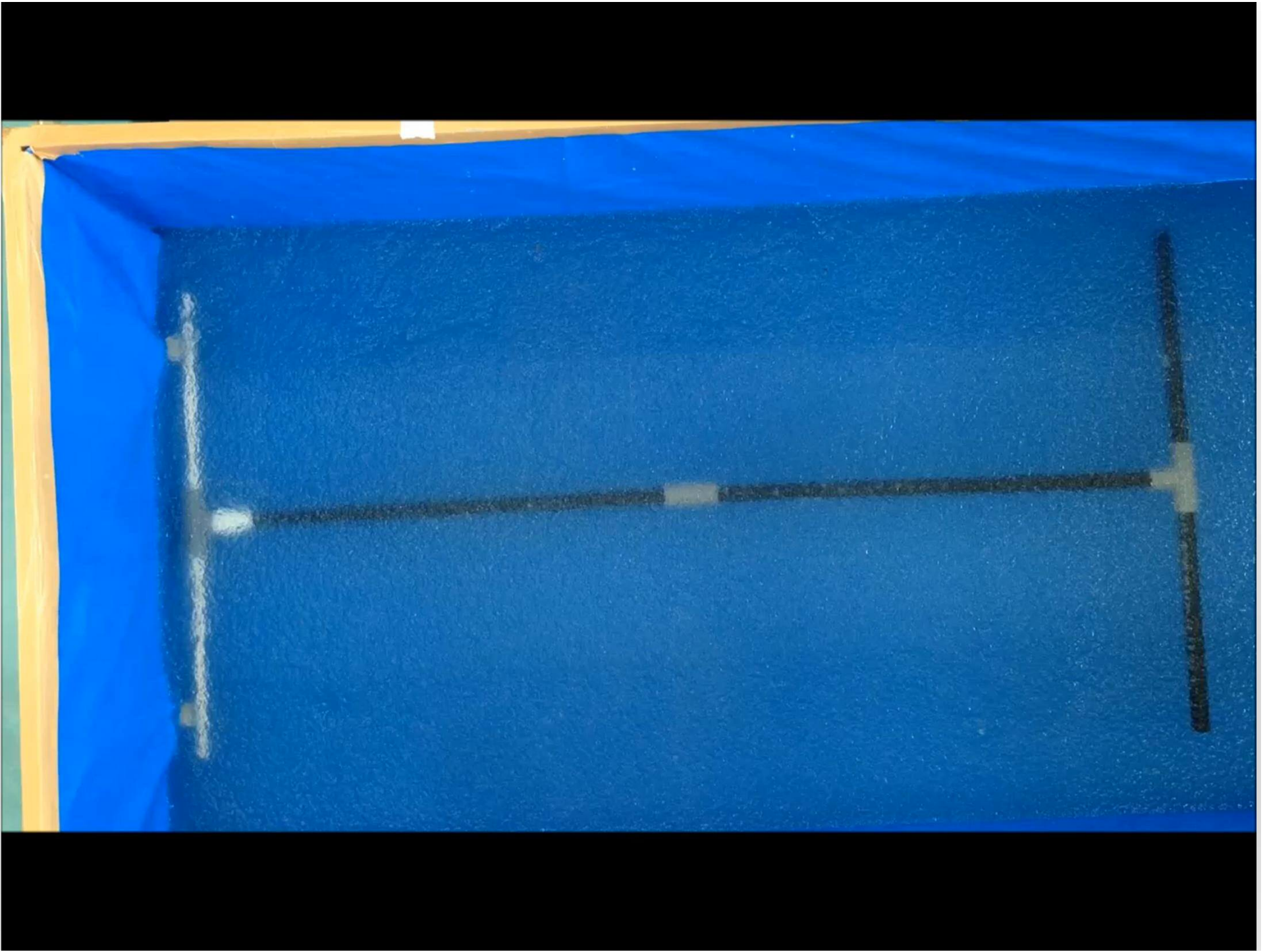


Case3) 基盤傾斜角度 10°



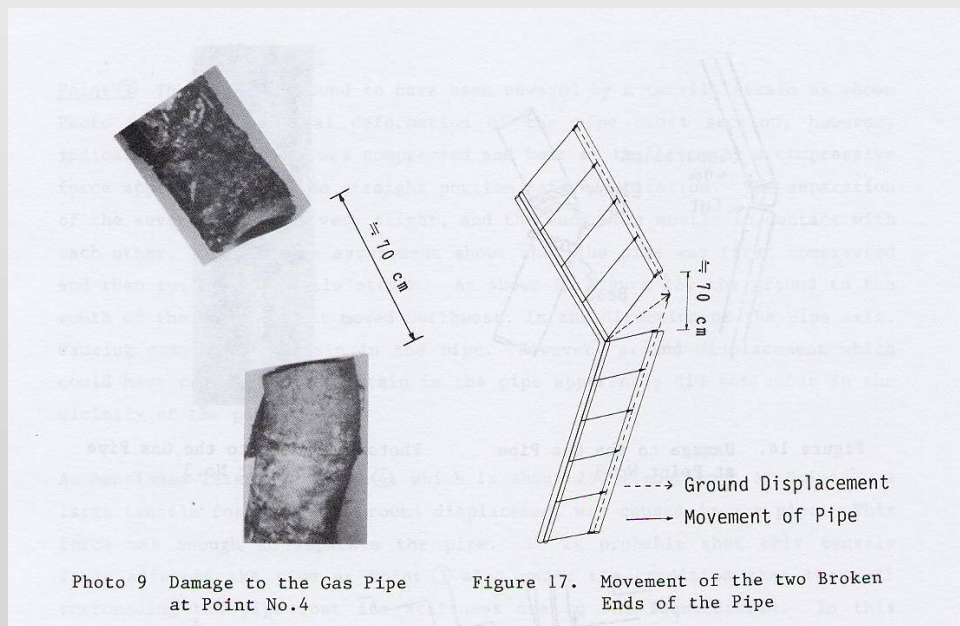
Case4) 基盤傾斜角度 20°



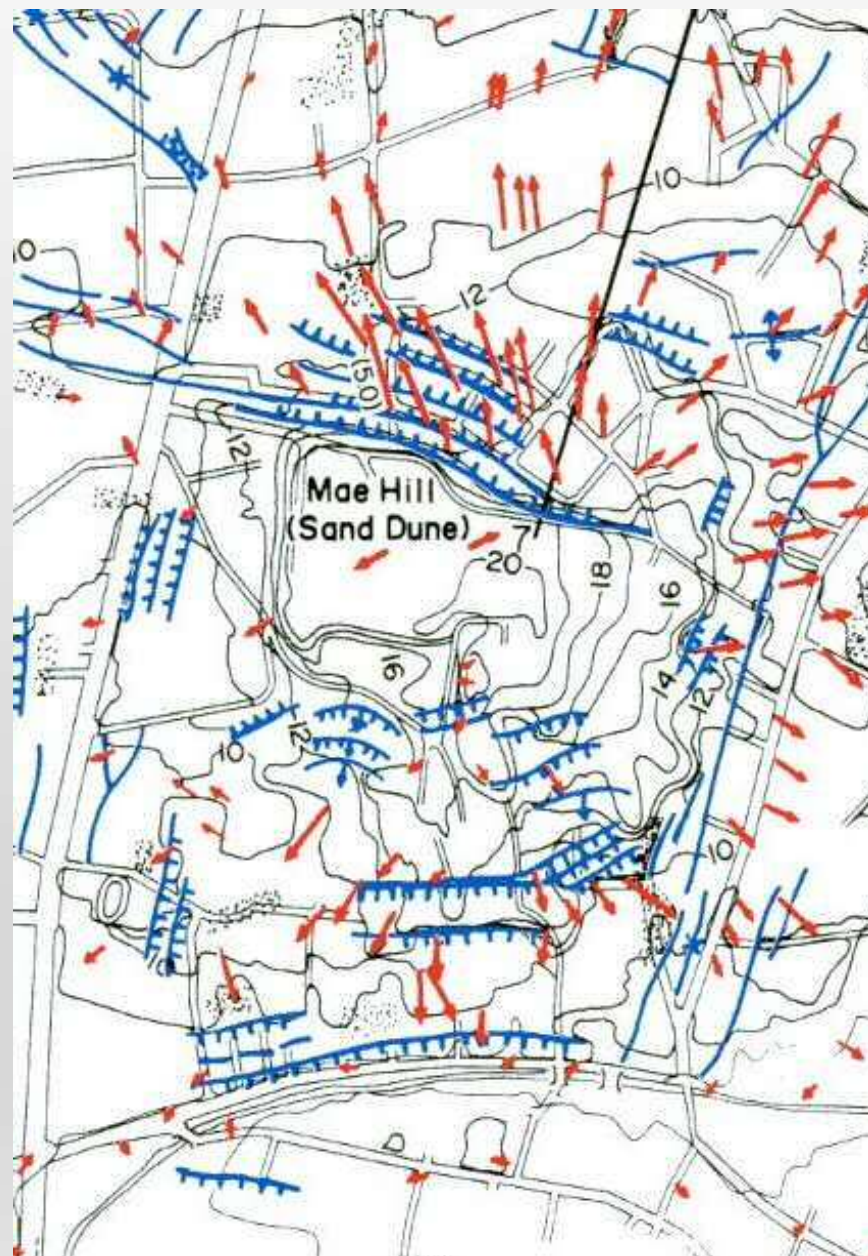


(2) 液状化にもなう地盤の流動による管路の被害

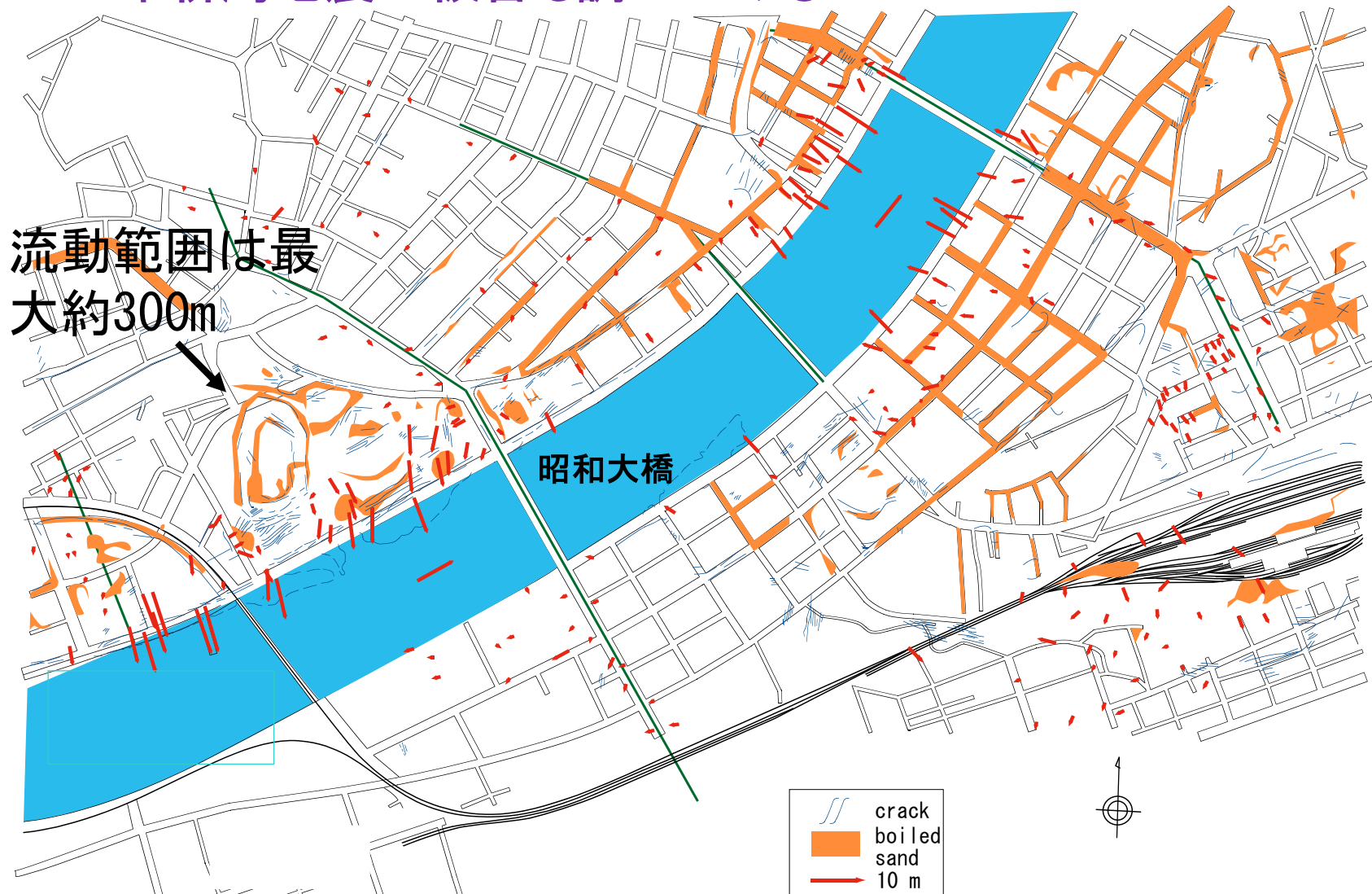
1983年日本海中部地震では緩やかに傾斜した地盤で最大5mにも及ぶ永久変位が発生



(地震予知総合研究振興会の池田さんのもとで浜田先生、磯山さん、東京ガスの方々と研究)



1964年新潟地震の被害も調べてみると



信濃川両岸で最大10mの水平変位が発生し、新潟駅付近も緩やかな傾斜地盤で2~3mの変位が生じていた

2.4 杭基礎構造物の挙動および対策に関して

(1) 1964年新潟地震における昭和大橋の落橋のメカニズムの検討

新潟地震40周年 地盤工学会調査

昭和大橋はなぜ落橋したのか？
今、被災原因を再び考える

若松先生、田蔵さん、
吉田先生、東畑先生、
金谷さん、規矩先生
中澤さんと調査

- ・震動による慣性力が大きくて落橋したのか？
- ・液状化により地盤反力が低下し変位振幅が大きくて落橋したのか？
- ・地盤の流動によって杭基礎を押し落橋したのか？

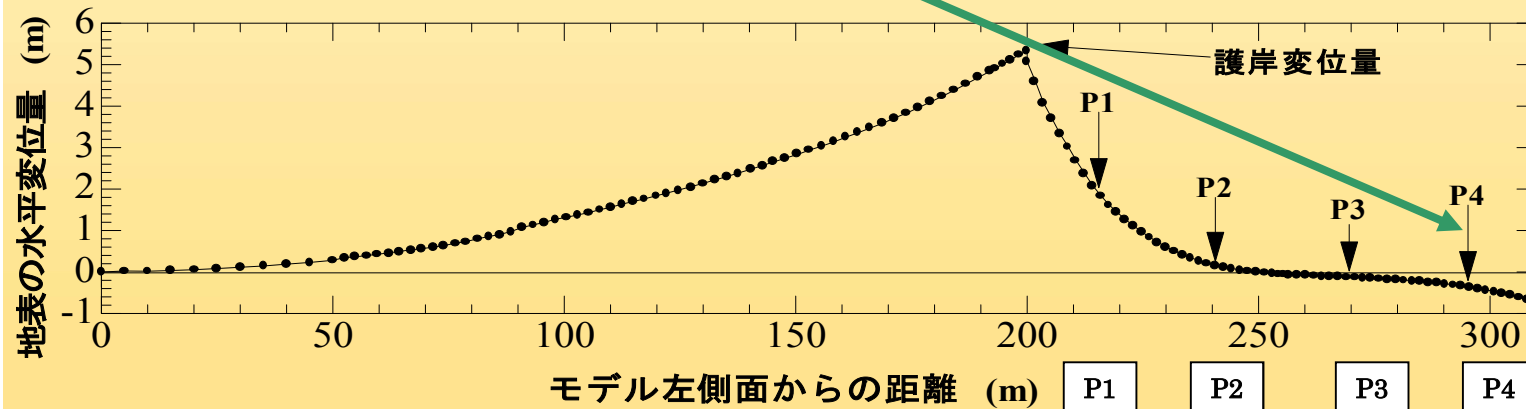
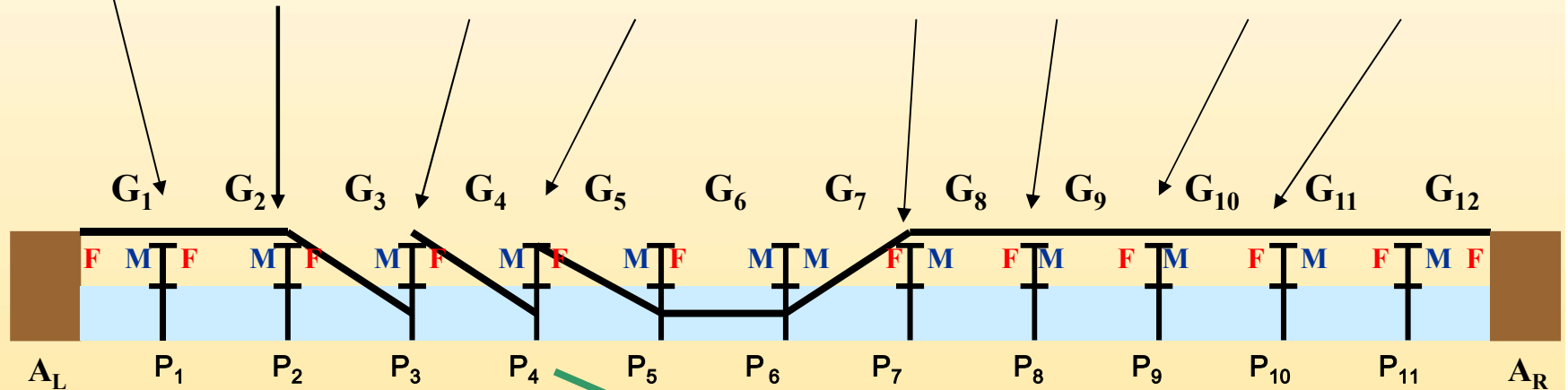
(渡辺隆先生撮影)

橋脚の変位量は左岸側が最大で右岸側に向
かって変位が減少しているわけではない。

数値は土木学会の報告書より

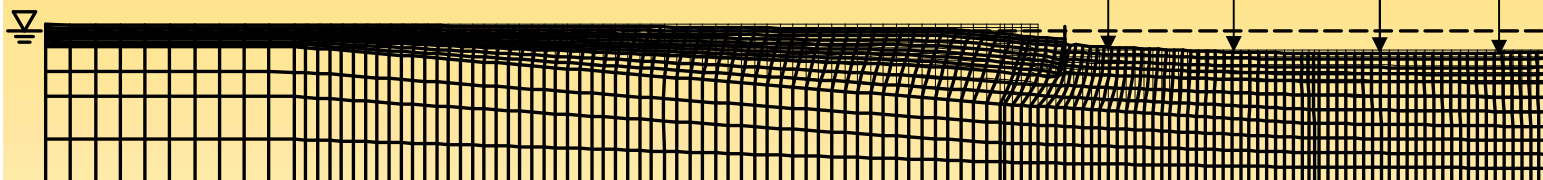
0.77m 0.90m 1.33m 2.05m

0.28m 0.11m 0.11m 0.10m



静的解析
ALIDによる

流動の影響はP3あたりまで



東京オリンピック：10月10～24日
新潟国体：6月6日～11日
新潟地震：6月16日

目撃者からの証言

- ・橋の上で作業していた車：橋を渡って振り返ると落橋していた
- ・右岸側に住んでおられた大学教授：地震発生の約70秒後に落橋
- ・護岸に腰掛けていた高校生：落橋した後に川岸の地割れ発生，護岸の倒れ
→流動は地震発生後約86秒後に発生

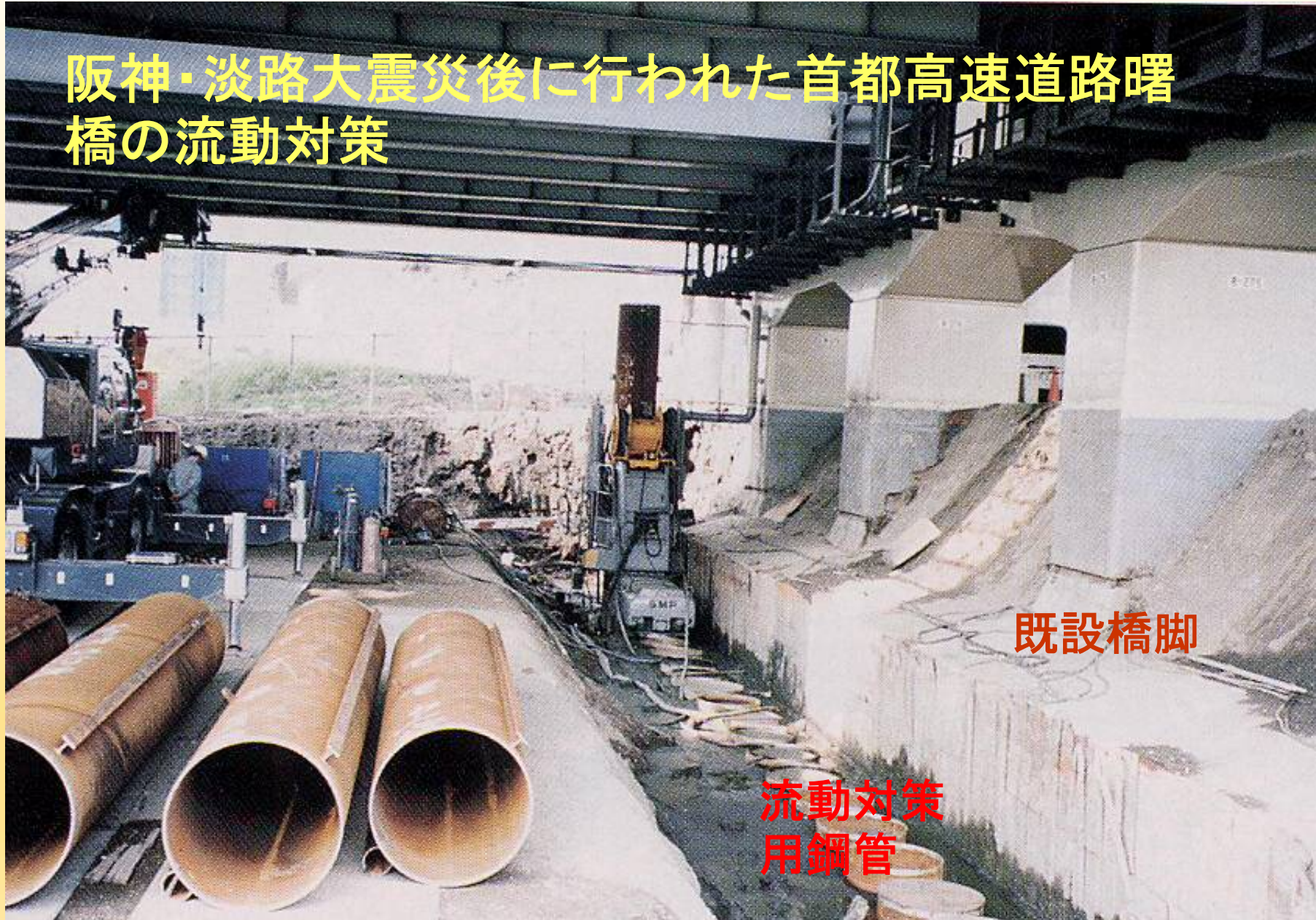
信濃川左岸護岸の変状(東京大学工学部土木工学科被害調査隊撮影)

(2) 1995年阪神・淡路大震災時の岸壁・護岸背後地盤の流動による杭基礎の被害

多数の岸壁・護岸と背後地盤での構造物が甚大な被害



阪神・淡路大震災後に行われた首都高速道路曙橋の流動対策



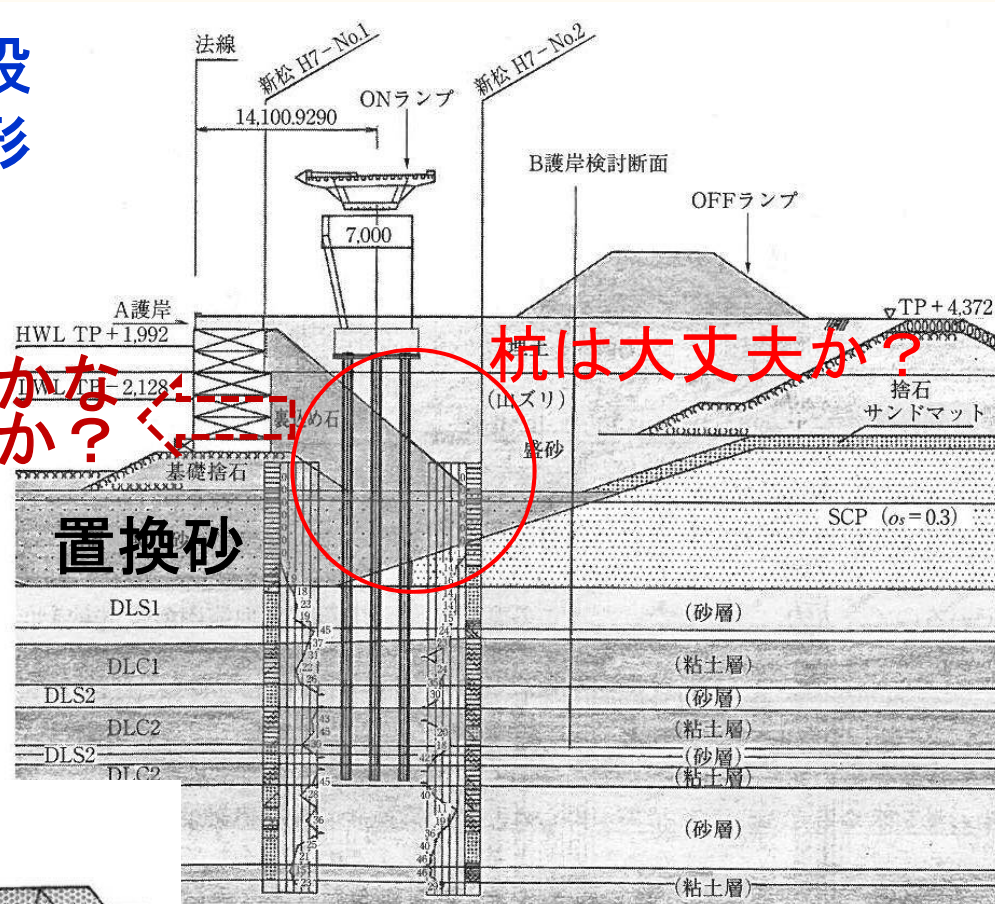
既設橋脚

流動対策
用鋼管

新北九州空港連絡橋を新設 するにあたって行った変形 をもとにした設計

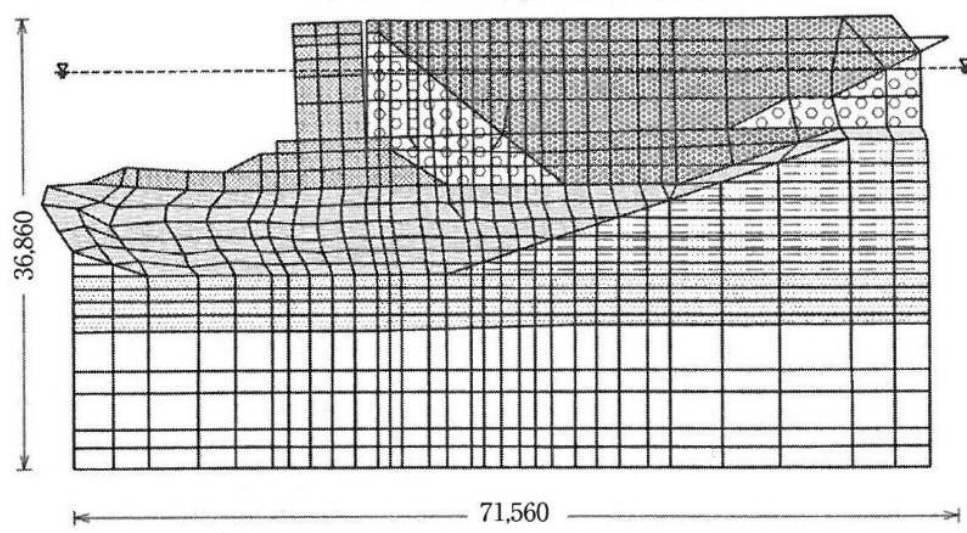


動かな
いか？



置換砂

杭は大丈夫か？



(落合先生、田上さんら
による)

1995年阪神・淡路大震災との液状化による被害の違い

(1) 杭基礎の構造物

東日本大震災では被害少



阪神・淡路大震災では多数被災



阪神・淡路大震災と液状化による被害の姿が異なった。加速度が小さかったためか？ 首都直下地震では被害が生じないとは限らないかもしれない。

(2) 護岸

東日本大震災では被害少

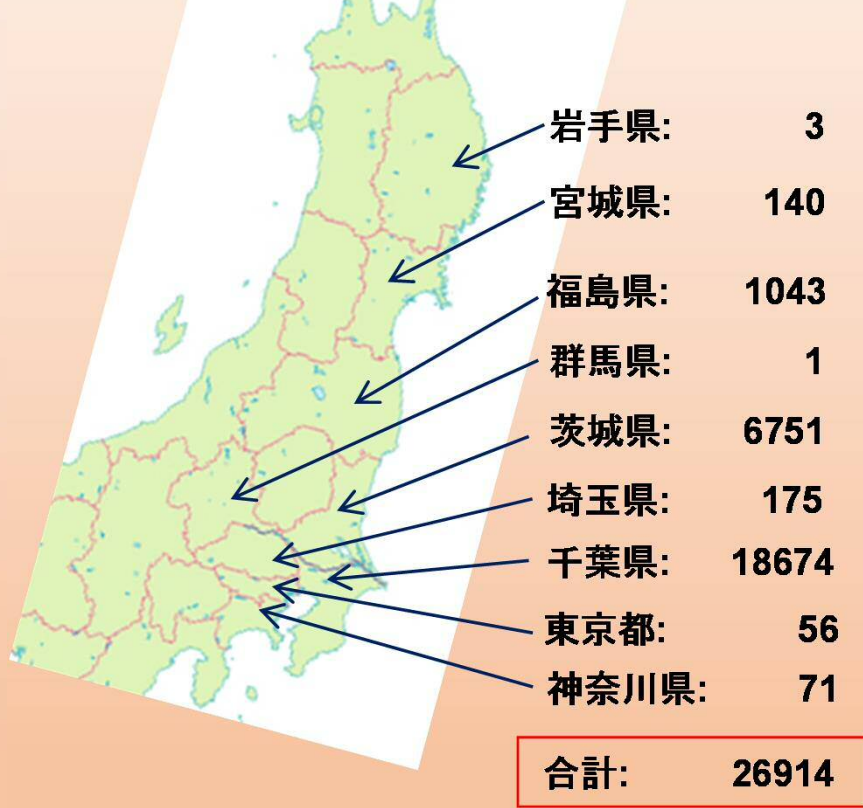


阪神・淡路大震災では多数発生し背後の構造物も被災



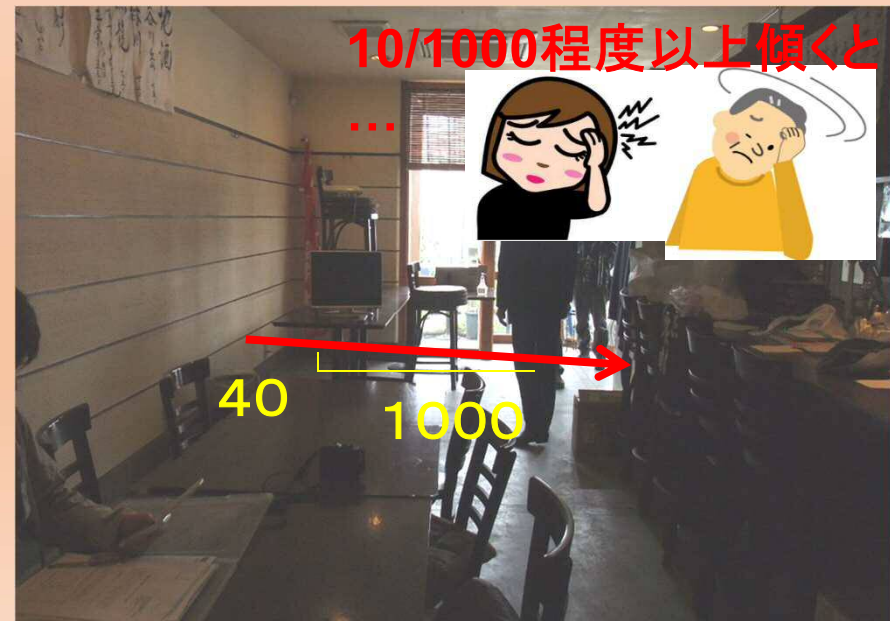
2.5 戸建て住宅の対策に関して

2011年東日本大震災では多くの戸建て住宅が被災



* 国土交通省都市局調べ(平成23年9月27日調査時点)

* 津波により家屋が流出した場合等については、上記被害件数に計上されていない。



研究室内は地震特需？：卒研12名中6名が女子学生！



(東電の発電所を見学)

液状化による戸建て住宅の沈下のメカニズムは？

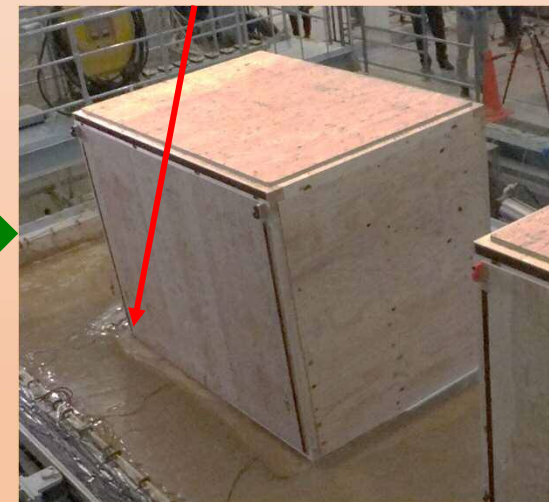
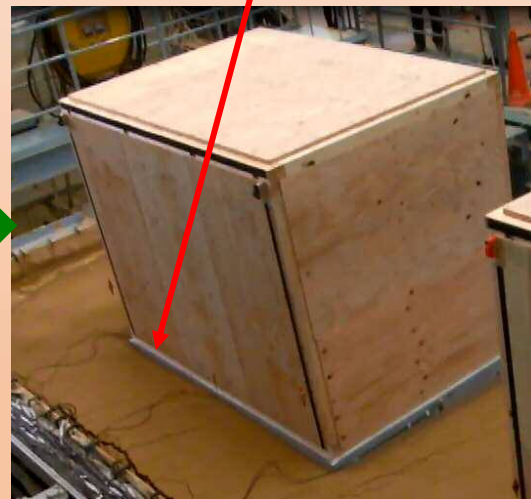
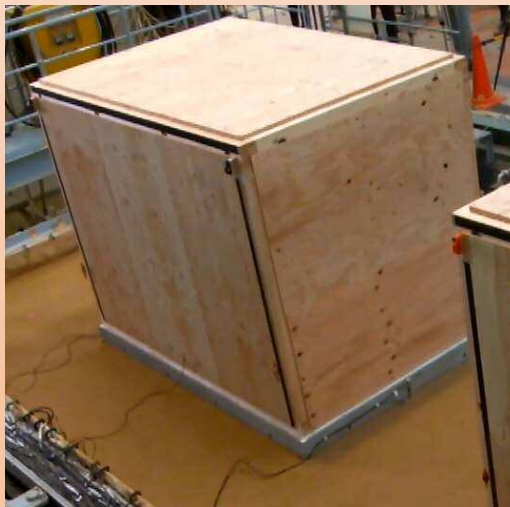
→地盤工学会関東支部の委員会で大林さんたちと議論



建築研究所の大型振動台を用いて住友林業で行われた実験

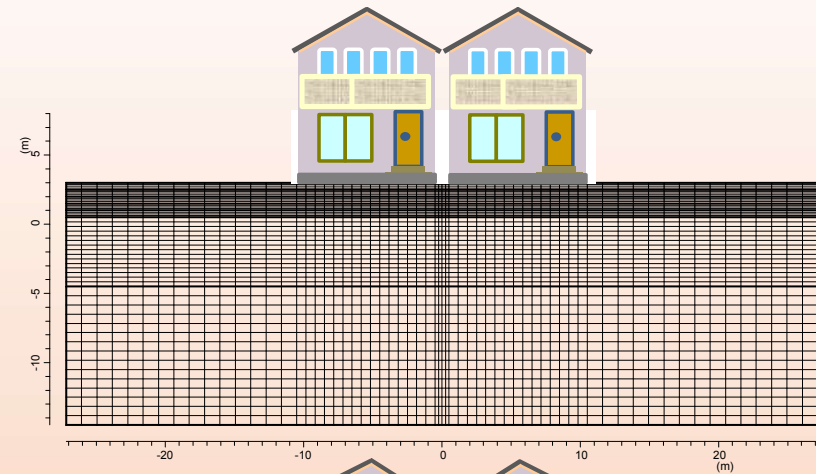
沈下し始めた

噴水が出始めた

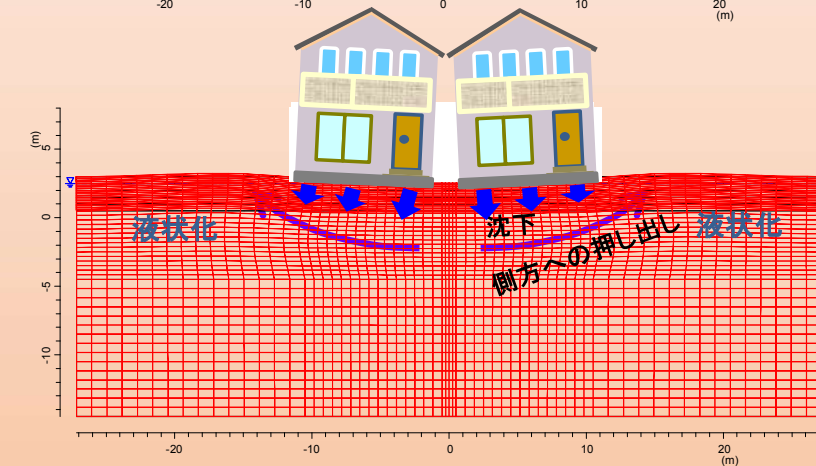


住宅が沈下するメカニズム案

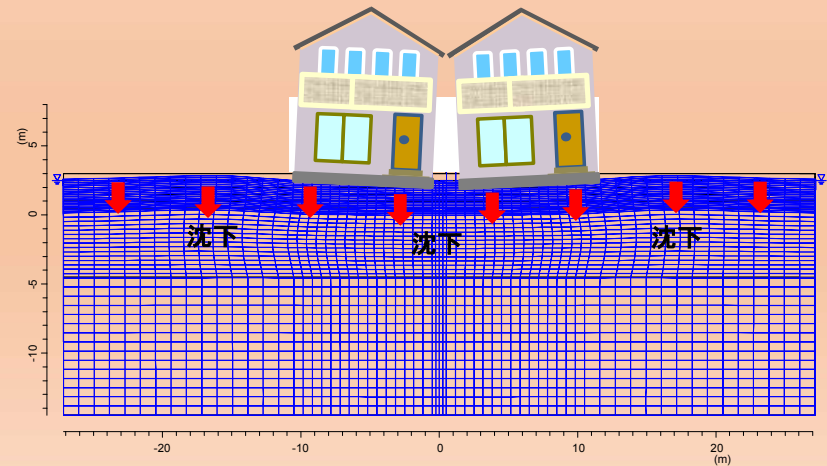
(1) 地震前の状態



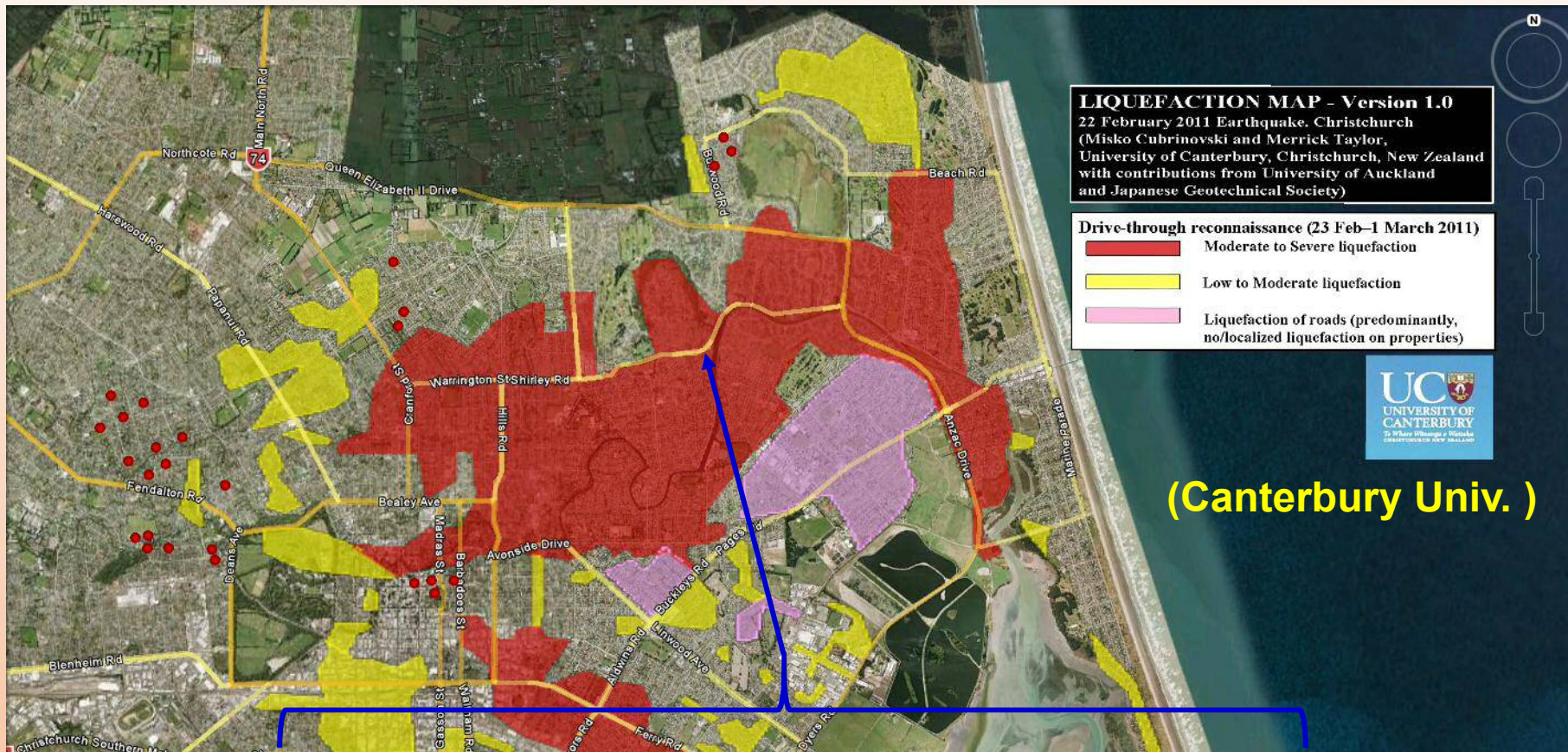
(2) 液状化で軟弱化した地盤への家屋のめり込み沈下



(3) 地下水の噴出に伴う地盤の圧縮沈下の追加



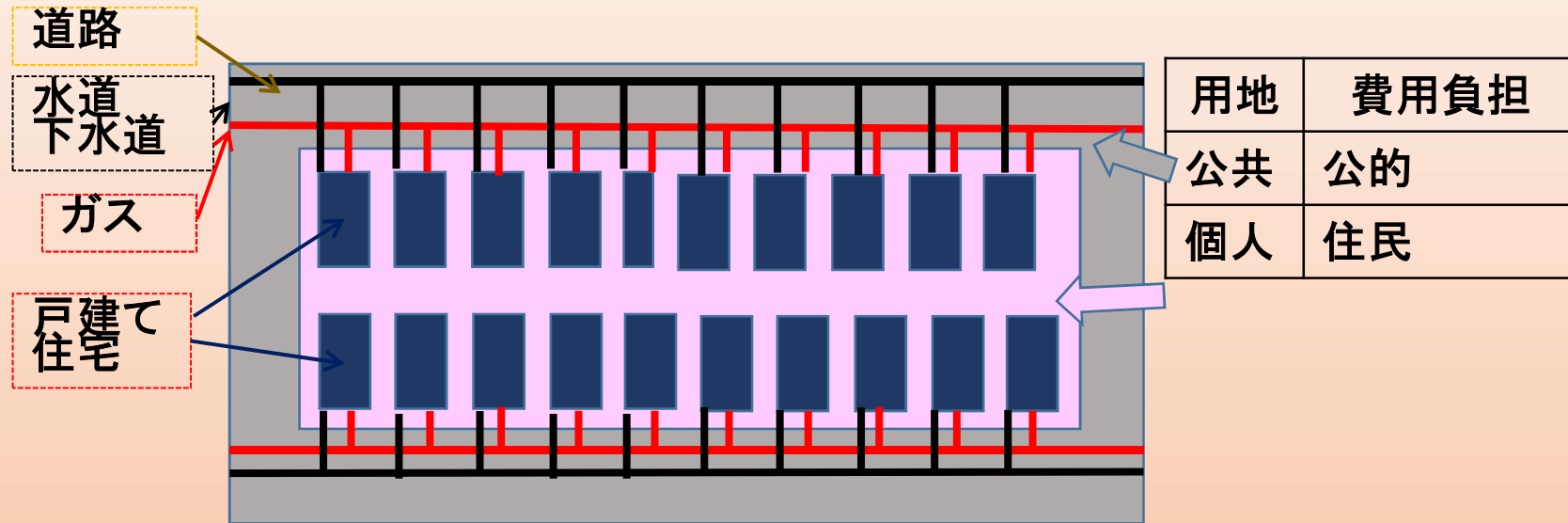
Christchurchでは2010、2011年に液状化が繰り返し発生



(Canterbury Univ.)



地震の半年後に創設された市街地液状化対策事業のうち、 地下水位低下による対策方法

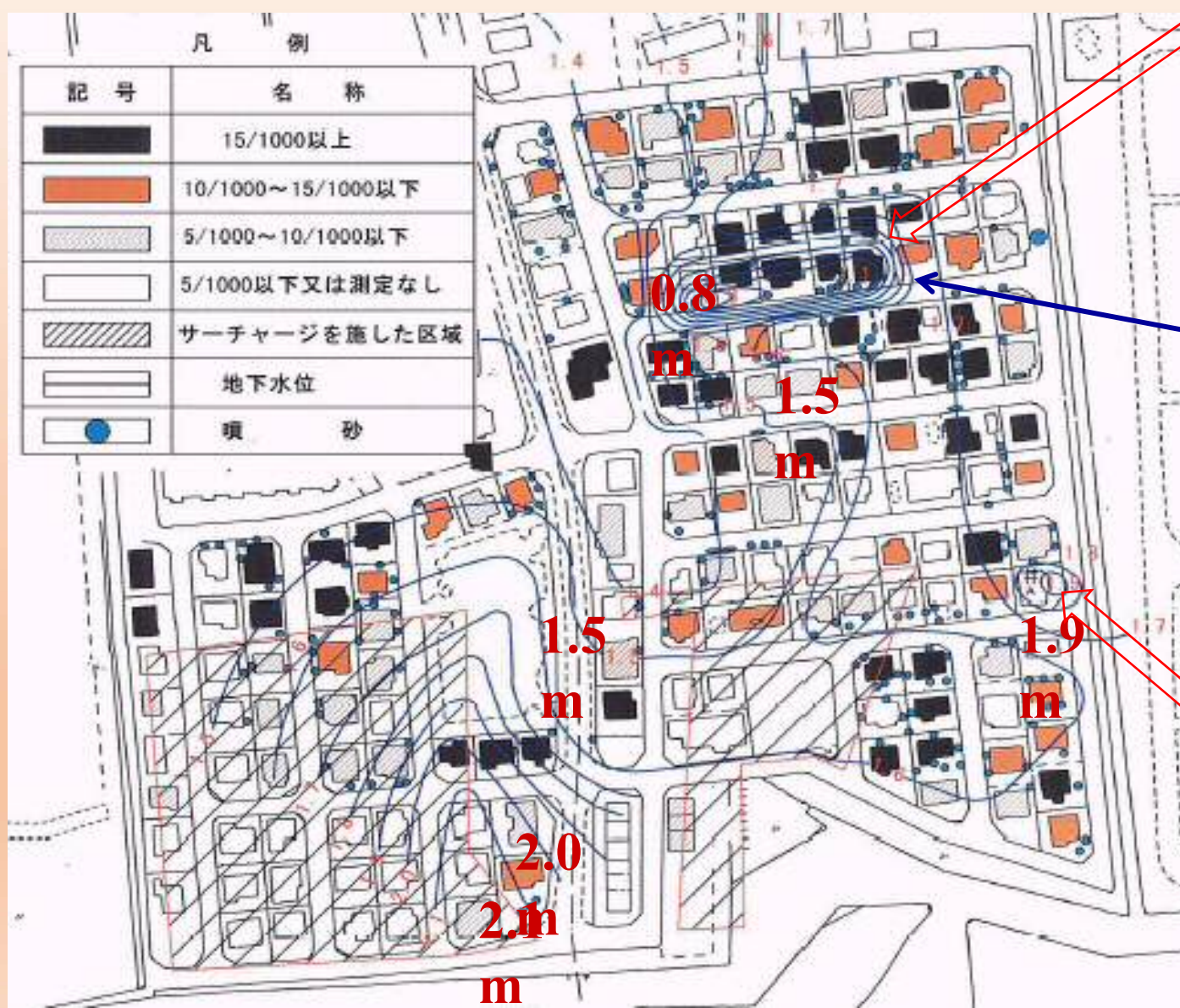


地下水位をGL-3.0m程度まで下げる方法で実施



(国交省より)

2000年鳥取県西部地震における米子市安倍彦名団地の噴砂発生、家屋被害と地下水位分布の関係の調査



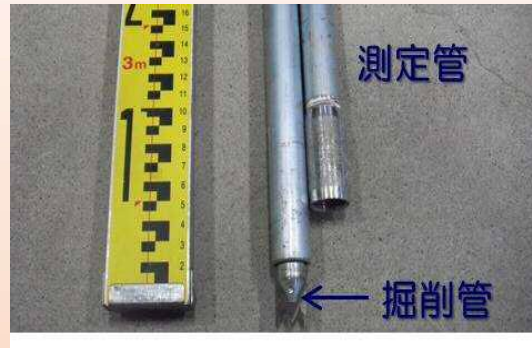
盛土の際に昔の排水溝の出口が埋まったままになったため水位が浅い

地下水位のコンター

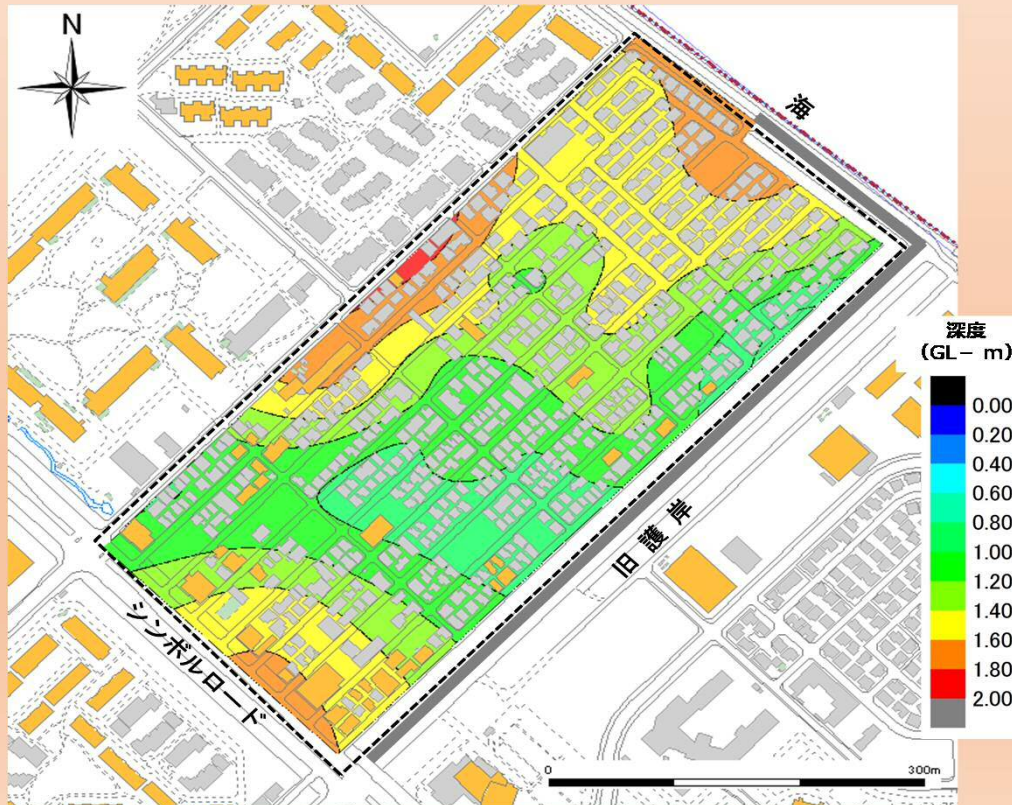
橋本先生と調査

個人的に井戸を掘っていたため水位が深い

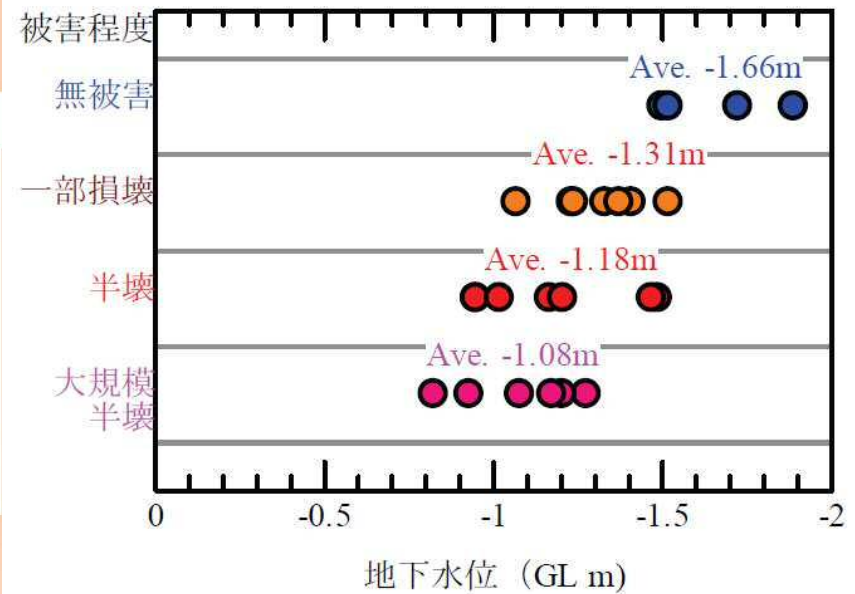
地下水位と戸建て住宅の被害関係の調査



浦安市入船4丁目の地下水位分布



浦安市入船と美浜の調査結果と被害の関係





□ : 市街地液状化対策事業および造成宅地滑動崩落緊急対策事業で液状化対策の適用が検討されてきた都市

■ : 地下水位低下による対策工事を行っているか終了した都市

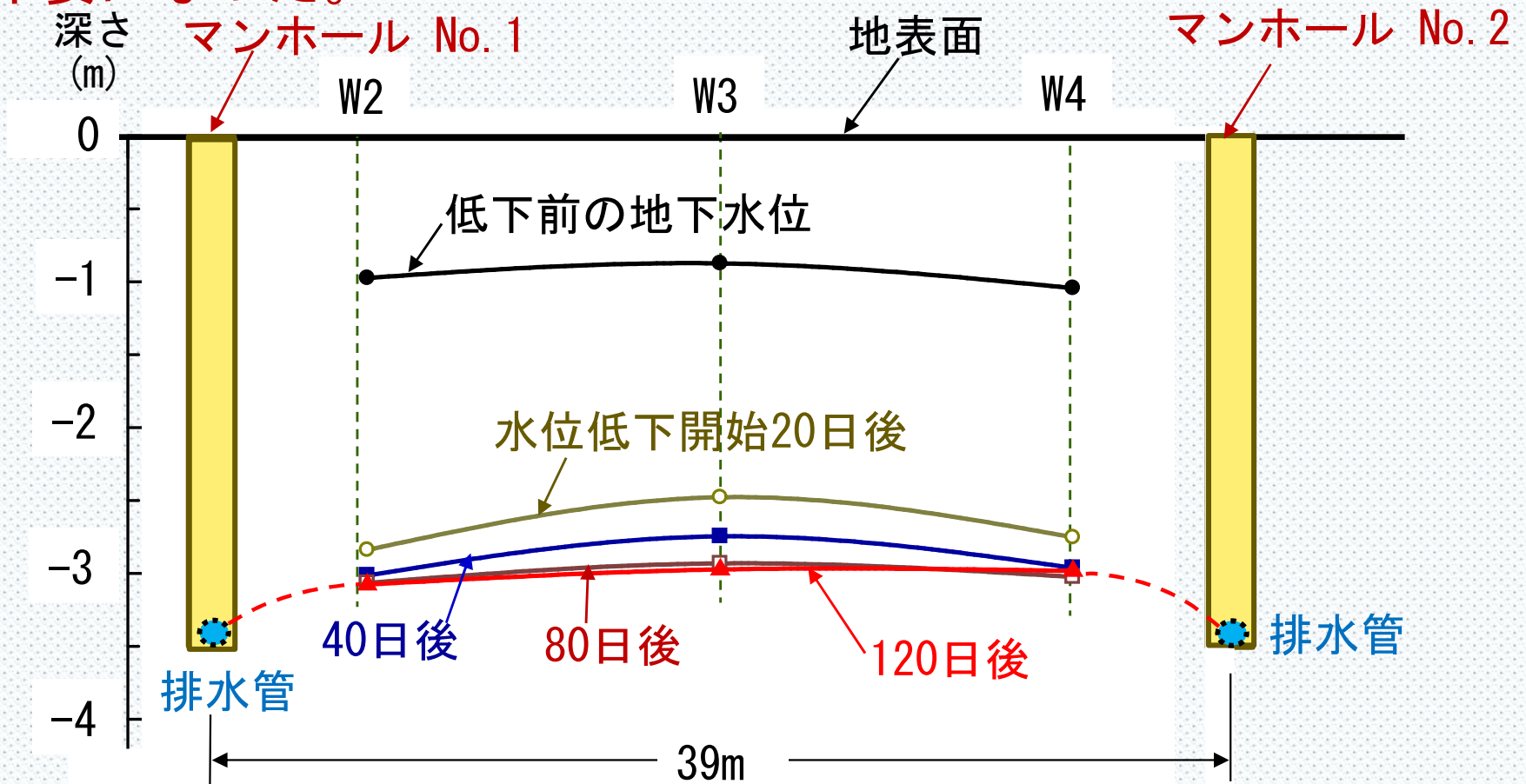
事業を適用するにあたって実証実験などで検討されてきた事項

1. 地下水位の低下量の設定方法
2. 地下水位の低下方法
3. 水位低下のための排水管や浅井戸の設置間隔
4. 地下水位低下に伴う地盤の沈下量の推定方法
5. 稼働中の排水量と維持管理方法

神栖などは安原先生、山田先生、庄司先生、橋本先生達と検討
 潮来は国生先生達、久喜は古関先生達、と多くの方々が検討

排水管の設置間隔の検討

- ①当初は宅地内へも排水管を設置することを想定
- ②実証実験結果によると、40m程度離れた道路だけに設置する配置で宅地内の地下水位も下がった。→宅地内への設置は不要になった。



地下水位低下に伴う地盤の沈下量の検討

①従来の方法：大きな沈下量

②実証実験や詳細な地盤によって得られた知見：沈下量は少ない

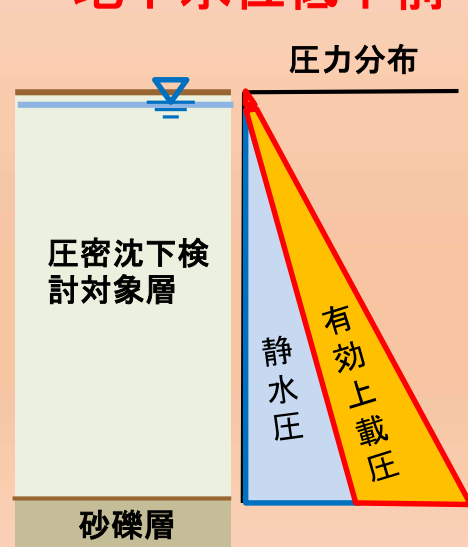
<理由1> 間隙水圧の低下分布が仮定と異なる

<理由2> 表層が過圧密になっていることが多い

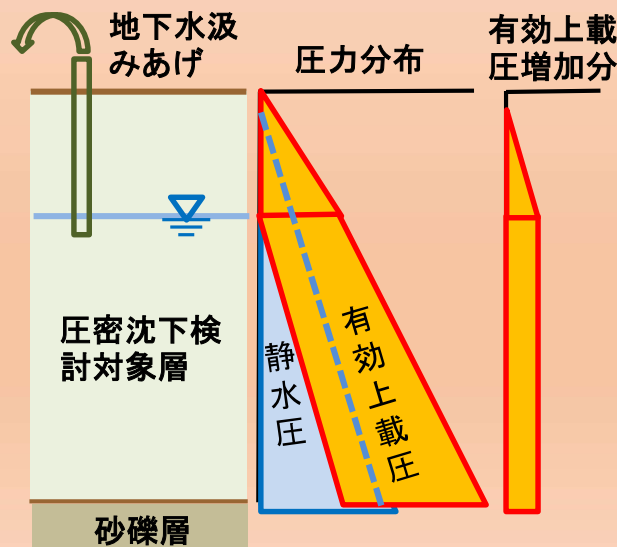
都市名	実験結果	
	期間	地表面沈下量 (cm)
神栖市	60 日後	0.1 ~ 0.5
我孫子市	最終	約 5
久喜市	30 年後	7.8

地下水位低下による間隙水圧と有効上載圧の変化の推定違い

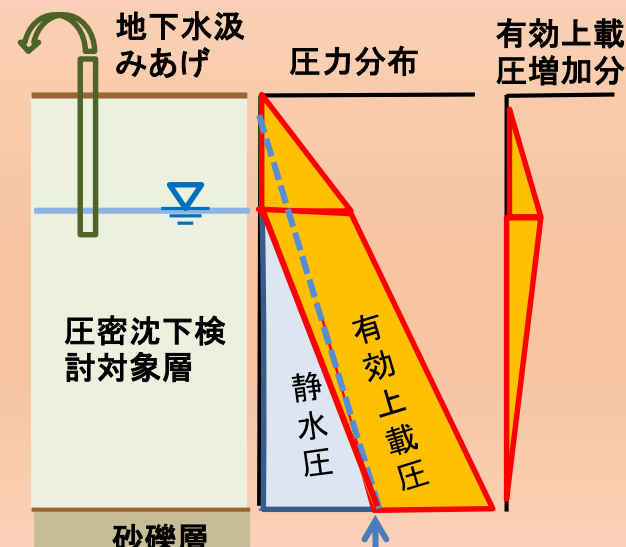
地下水位低下前

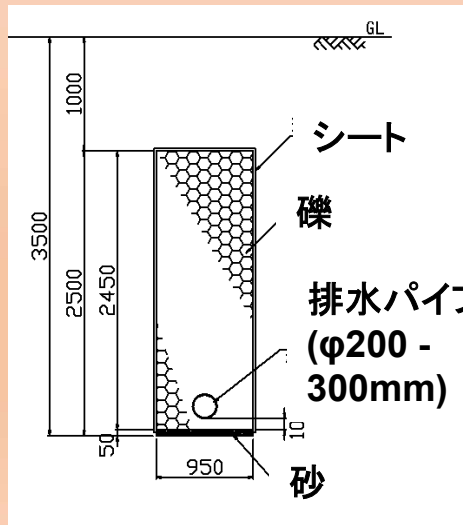


低下後の推定値



低下後の実測値





今後全国に予防として展開されることが期待される。

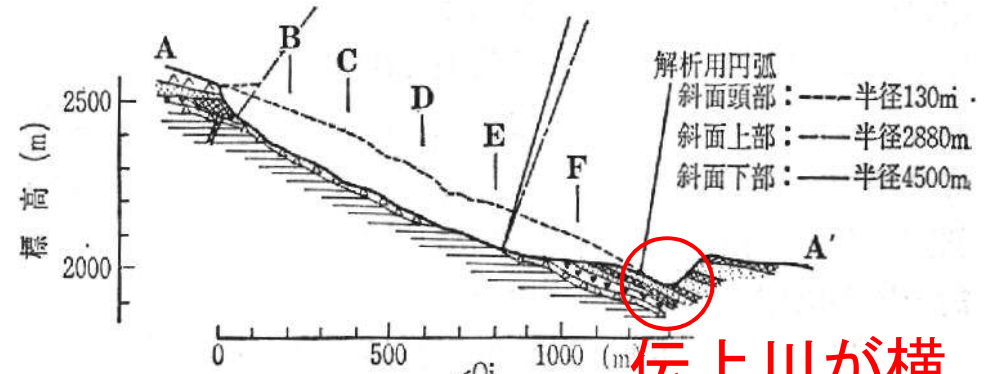
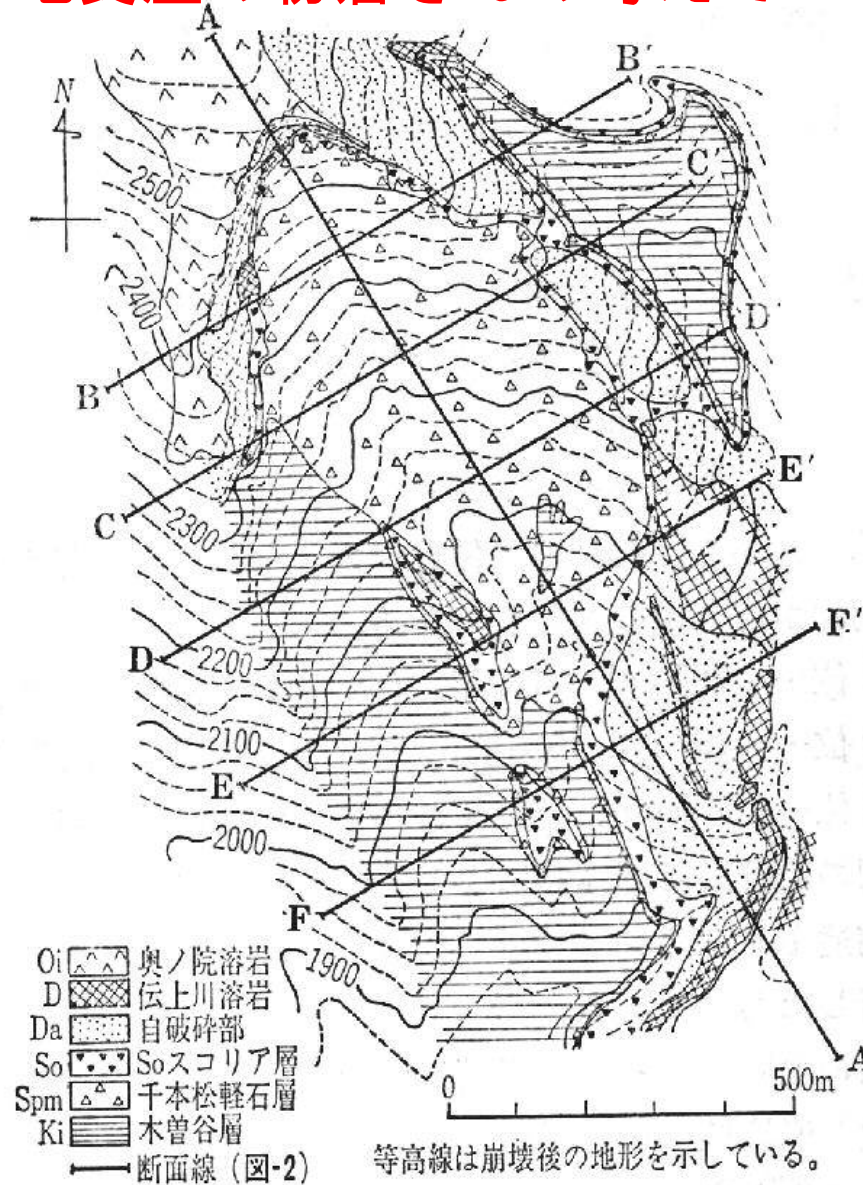
3. 地震時の斜面崩壊に関して行ってきた研究・技術開発

1984年長野県西部地震では御岳山の斜面で大崩壊が発生し、伝上川を流れ下った。

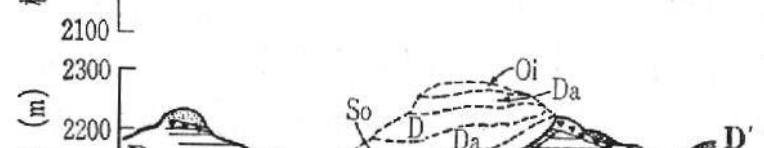
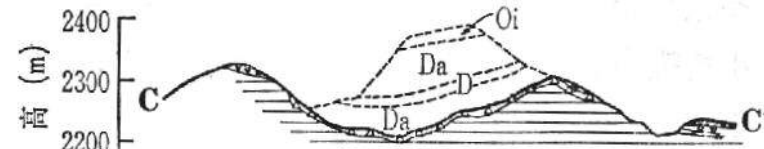
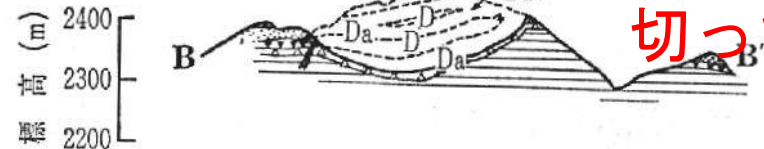


斜面安定解析の試み

地質屋の靱倉さんの考えで



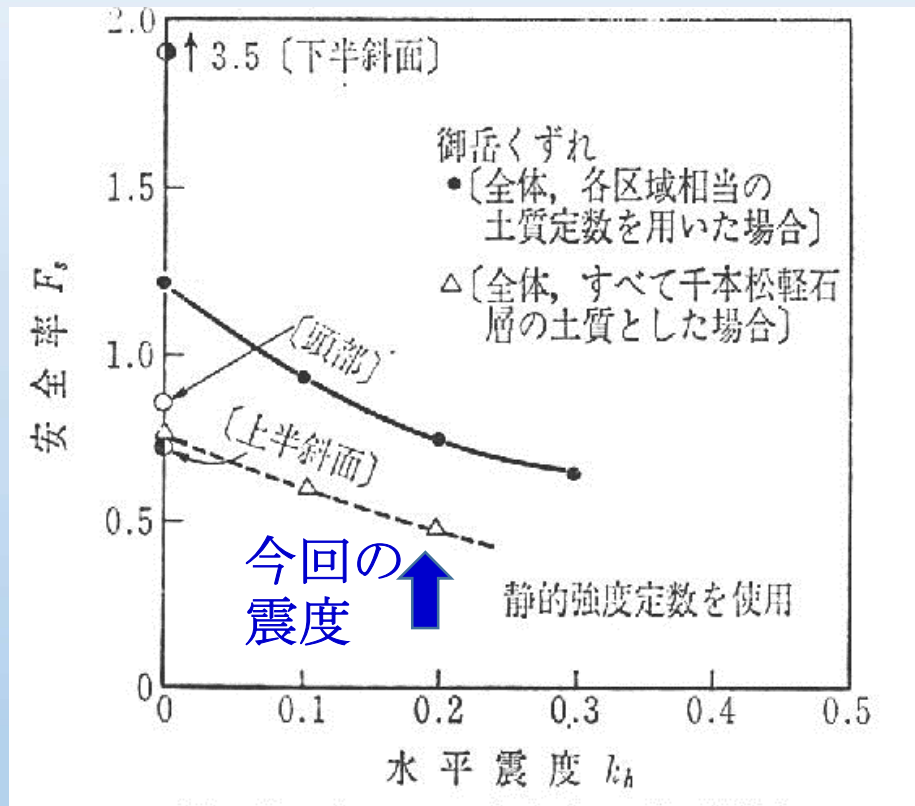
伝上川が横切って侵食



破線部は崩壊前の地形と地質を示す。

下流で助かった人の体験談→
伝上川を流れ下ったスピード
は時速100km程度？

安定計算結果



2008年岩手・宮城内陸地震 でも大崩壊と土石流発生

(写真は朝日新聞社のヘリコプター
に同乗して撮影したものです。)

- ・ 新幹線に電話あり。夕方TBSへ
- ・ その後NHKで入江さんと詳細な検討
- ・ 朝日新聞の黒沢さんに呼ばれて
翌日ヘリに同乗
- ・ 東畑先生は地上から竹槍で

栗駒山



荒砥沢



駒の湯



2008年8月8日 ドゾウ沢

試料採取に出かけたが…



4. 豪雨時の土砂災害、堤防被害に関して行ってきた研究

(1) 土石流による被害

2009年台湾・モラコット台風
(3日間で約3000mm) による大規模斜面崩壊と土石流

小林村の大崩壊



土石流発生箇所



被災した橋梁は52

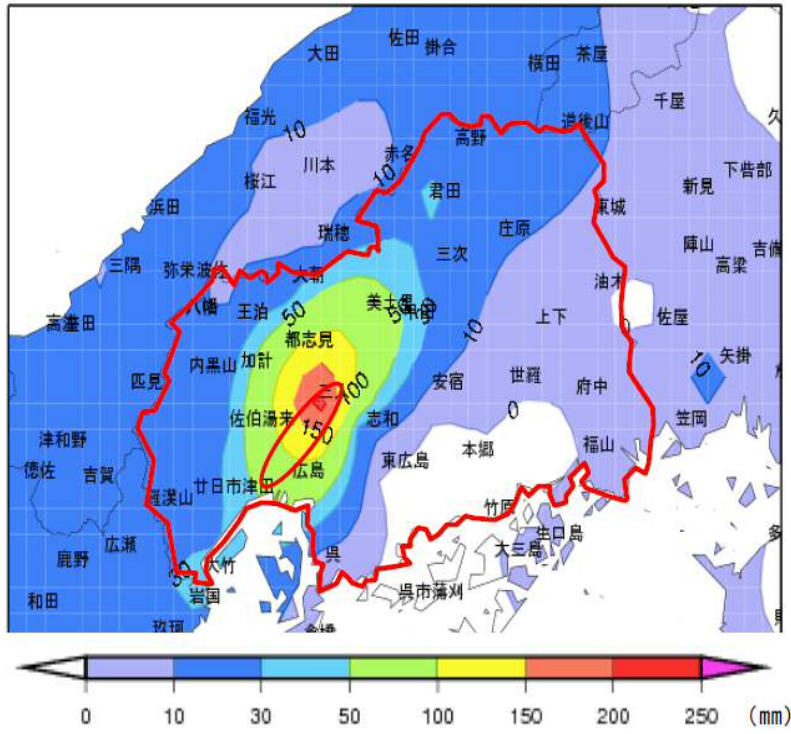
流れ盤



2014年8月豪雨により広島
で土石流による甚大な被
害発生



●8日19日11時～20日9時までのアメダス期間降水量



※気象庁の資料を基に内閣府が作成

(内閣府による)

2014年9月11日



2017年8月21日



2014年9月11日

小さい沢でも土石流が発生
自然災害か自然現象と考えるべきか？
どこまで対策を施すか？



(2) 河川堤防の決壊

2015年関東・東北豪雨による鬼怒川堤防の決壊

左岸21km付近 2015年9月13日



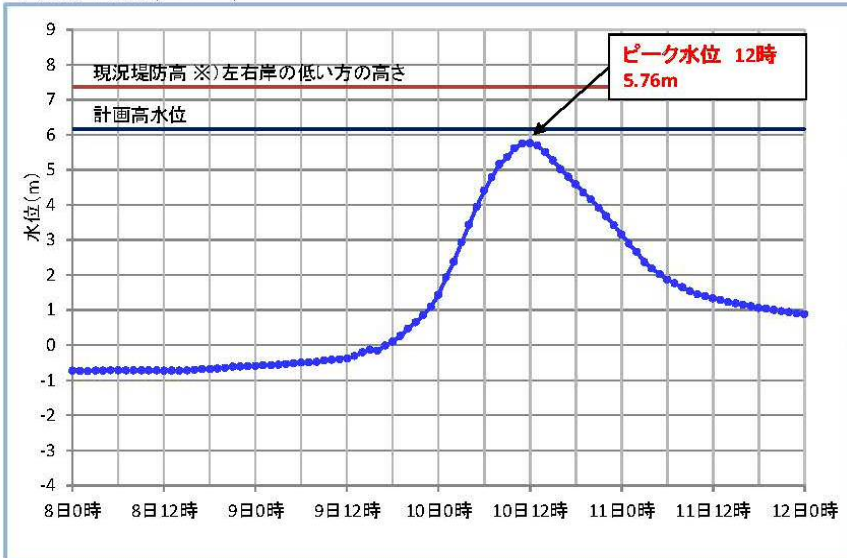
左岸20.2km付近 10月4日



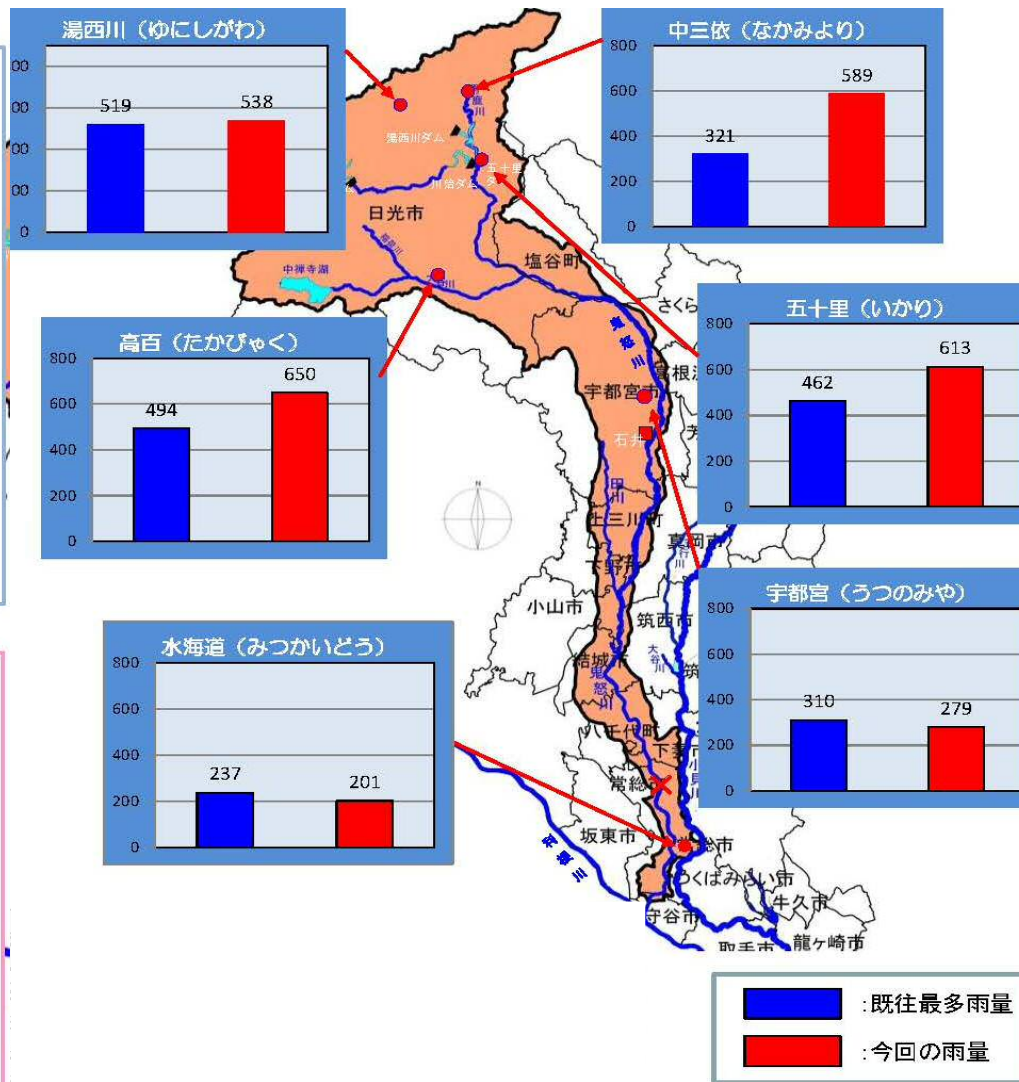
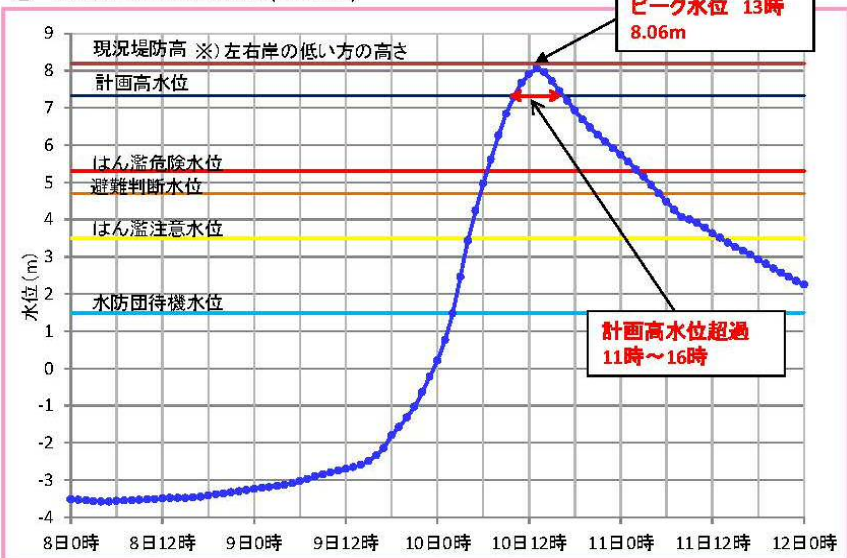
2016年2月24日



① 鎌庭地点 (27.34k)



② 鬼怒川水海道地点 (10.95k)



(国土交通省による)

昨年の防災工学の試験問題：常総市付近では3日間の降雨量が200mm程度と特に多くなかったが、それでも決壊に至った理由を述べよ。

(2) 堤防決壊のプロセス

決壊原因の特定

(国土交通省関東地方整備局による)

- 鬼怒川流域における記録的な大雨により、鬼怒川の水位が大きく上昇し、決壊区間において水位が計画高水位を超過し堤防高をも上回り、越水が発生した。
- 越水により川裏法面の侵食と法尻の洗掘が進行し、その後、堤体の一部を構成する緩い砂質土(As1)が流水によって崩れやすくなり、小規模な崩壊が継続して発生し、決壊に至ったと考えられる。
- 越水前の浸透によるパイピングについては、堤体の一部を構成し堤内地側に連続する緩い砂質土(As1)を被覆する粘性土(Bc及びT)の層厚によっては発生するおそれがあるため、決壊の主要因ではないものの、決壊を助長する可能性は否定できない。
- 浸透による法すべりや川表の侵食が決壊原因となった可能性は小さいと考えられる。

堤防決壊のプロセス

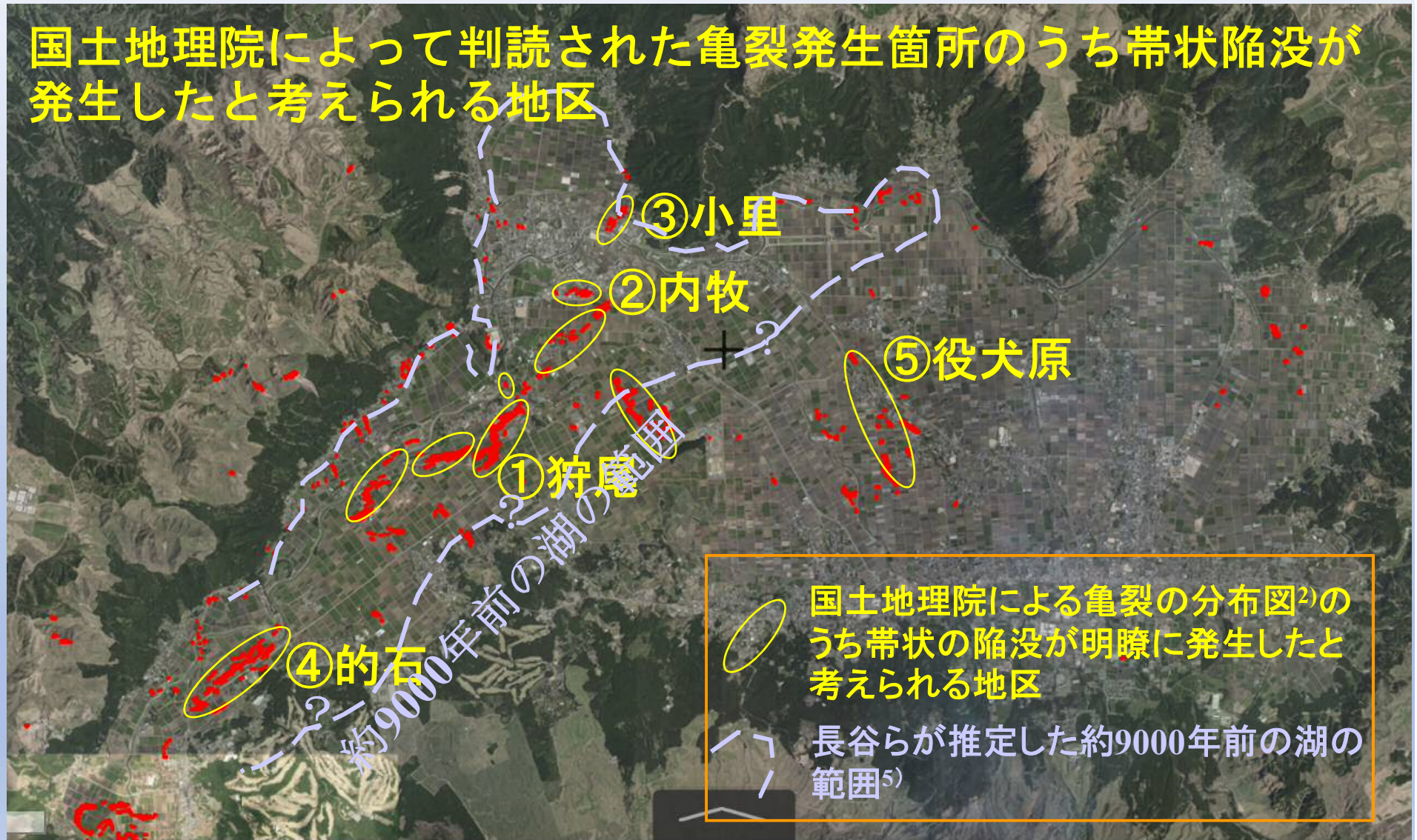
<p>STEP0 [越水開始前段階]</p>		<ul style="list-style-type: none"> 河川水位が上昇し、透水性の高い堤体の一部を構成する緩い砂質土(As1)に河川水が浸透する。 浸透した水により、川裏法面の間隙水圧が上がり、法尻に漏水が生じる可能性がある。 また、決壊区間周辺では地表面を覆う粘性土(Bc及びT)の層厚が変化しており、層厚が薄いところでは水や砂が吹き出す可能性がある。 	
<p>STEP1 [(漏水+) 越水開始段階]</p>		<ul style="list-style-type: none"> 河川水位が上昇し、越水が生じる。 川裏法面の侵食と川裏法尻の洗掘が生じる。 川表より河川水が浸透する。(浸透により、決壊を助長する可能性あり) 	
<p>STEP2 [川裏法尻洗掘段階]</p>		<ul style="list-style-type: none"> 川裏法尻の洗掘が進行し、落ち込む流れが生じる。 この落ち込む流れにより、川裏法尻の洗掘が拡大する。 	
<p>STEP3 [川裏法面洗掘段階]</p>		<ul style="list-style-type: none"> 洗掘が進行し、堤体の一部を構成する緩い砂質土(As1)が流水によって崩れやすくなり、小規模な崩壊が継続して発生していると考えられる。 天端(アスファルト舗装)は、堤体土の崩壊後、崩落する。 	
<p>STEP4 [堤体流出・基礎地盤洗掘段階]</p>		<ul style="list-style-type: none"> 堤体が耐えられなくなり、決壊に至る。 氾濫流により基礎地盤が洗掘され、落掘が形成される。 	

(国土交通省による)

※今次出水に関する数値等は速報値であり、今後変更となる可能性がある。

5. 熊本地震で取り組んでいること

国土地理院によって判読された亀裂発生箇所のうち帯状陥没が発生したと考えられる地区



狩尾地区



3週間後

内牧地区



3週間後

的石地区



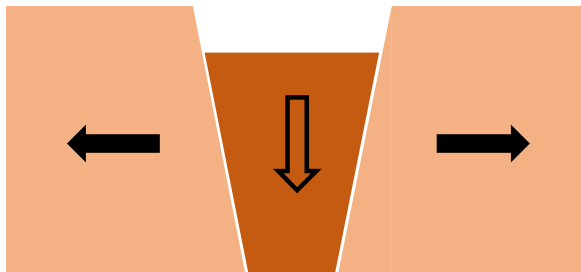
3週間後

役犬原地区

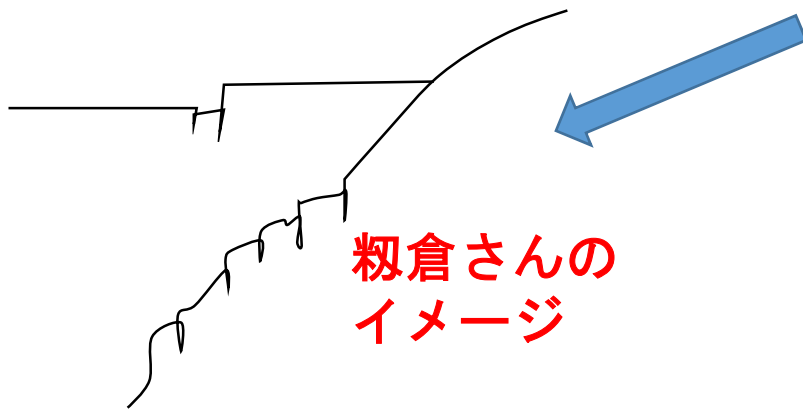


1年後

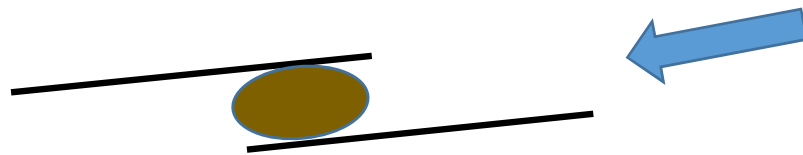
当初頭に浮かんだメカニズム



(1) 正断層型の落ち込み (断面)



(2) カルデラの縁における段差 (断面)



(3) 横ずれ雁行断層による陥没 (平面)



地盤が水平方向に引っ張られたことの証拠に関する調査

50mおきの変動量表示 (拡大)

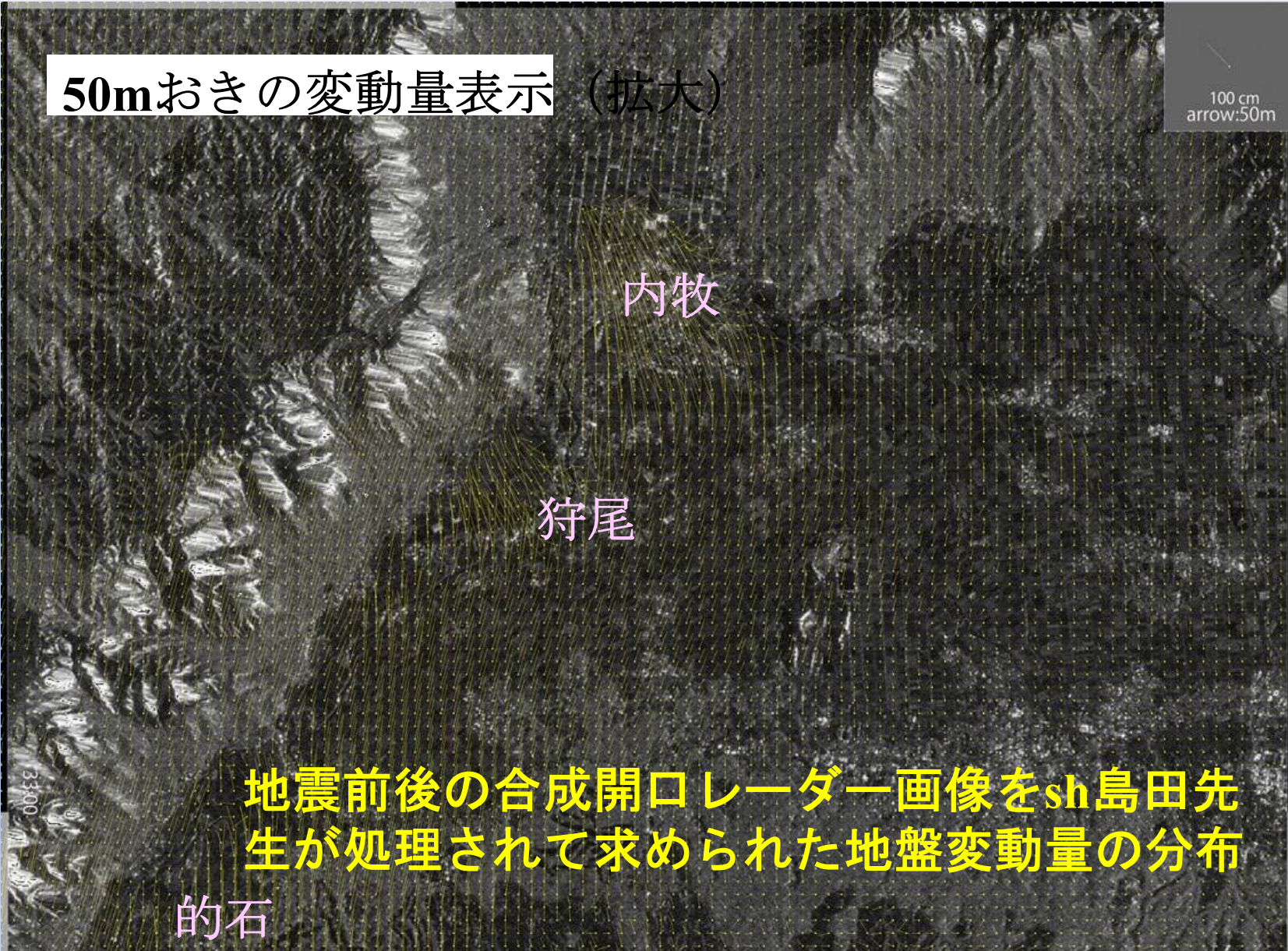
100 cm
arrow:50m

内牧

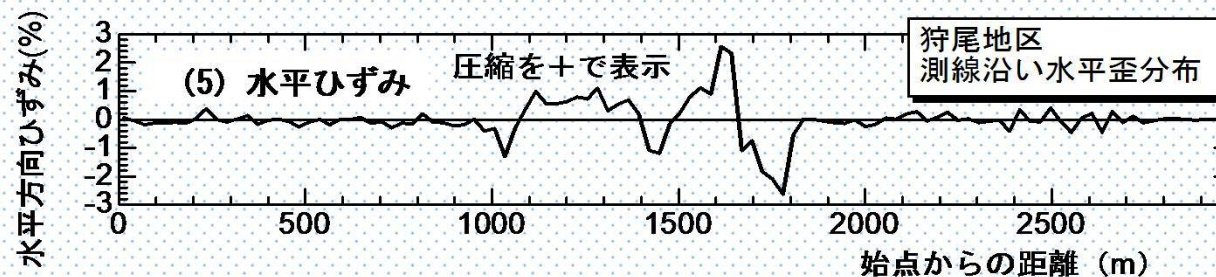
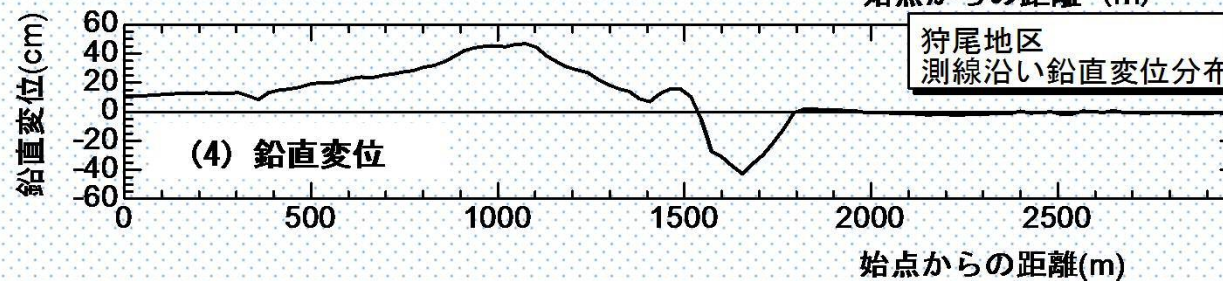
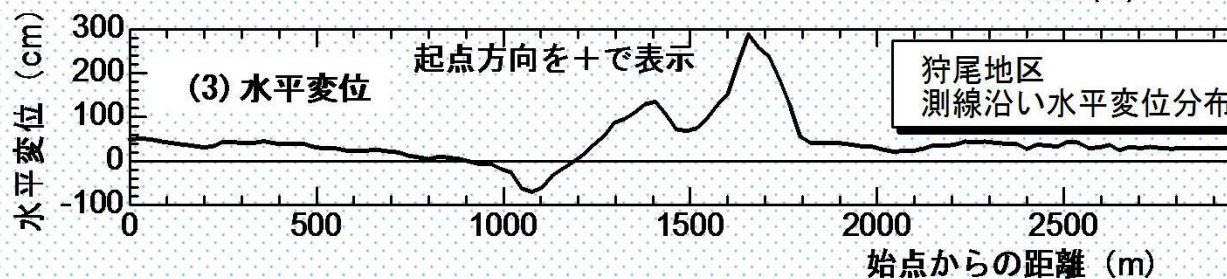
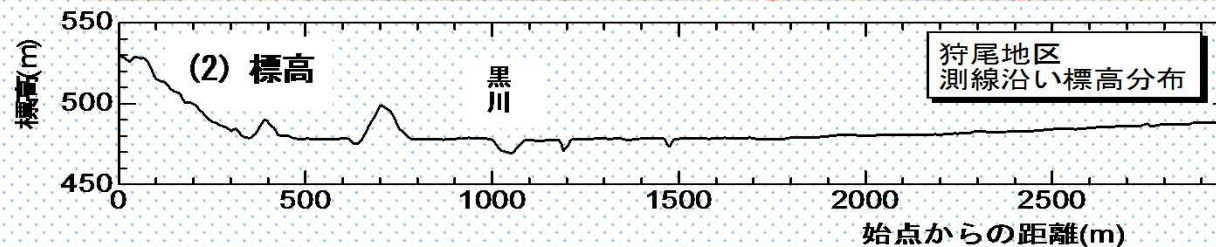
狩尾

地震前後の合成開口レーダー画像をsh島田先生が処理されて求められた地盤変動量の分布

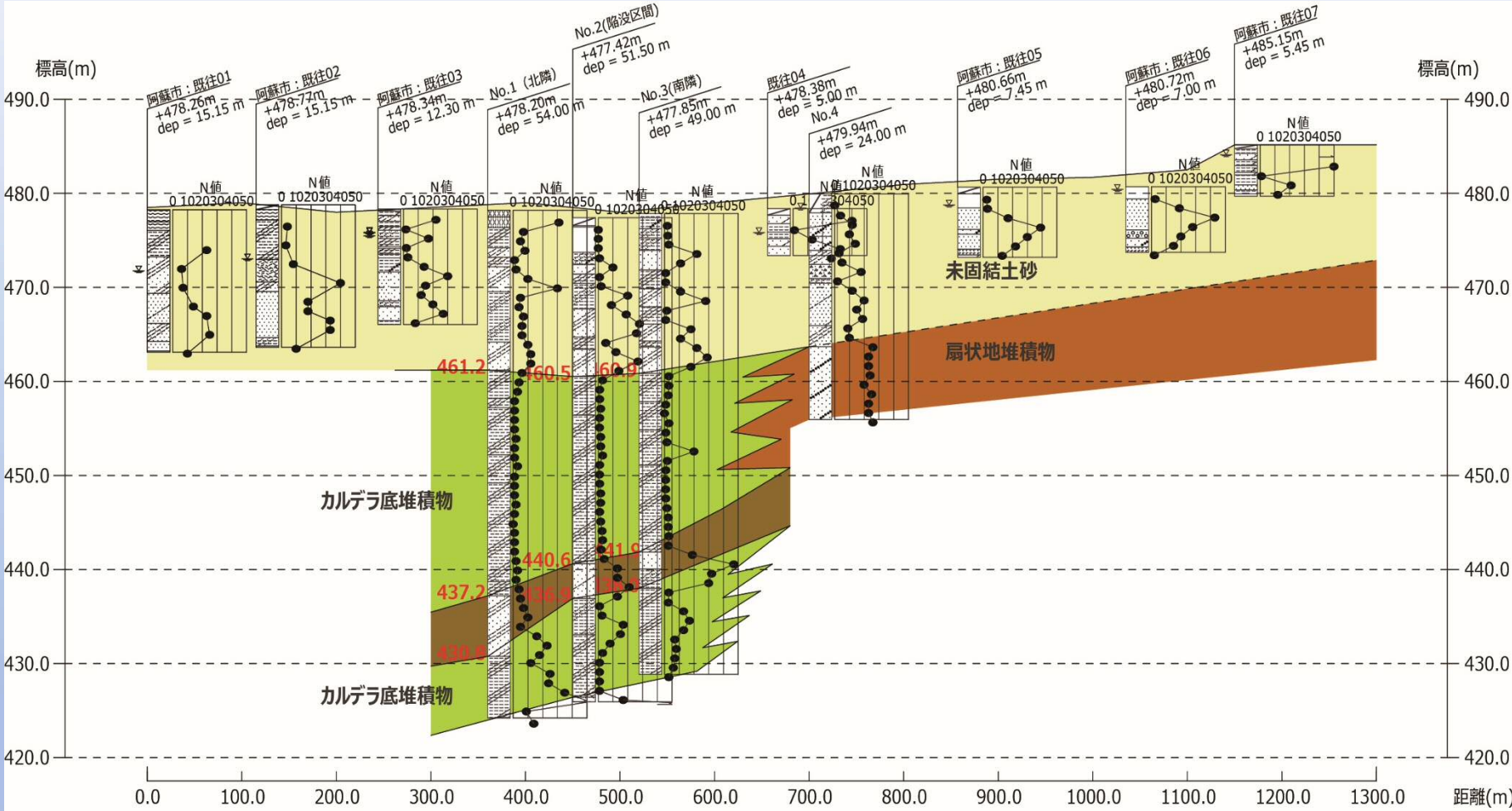
的石



狩尾地区を南北に通る測線における変動量のまとめ



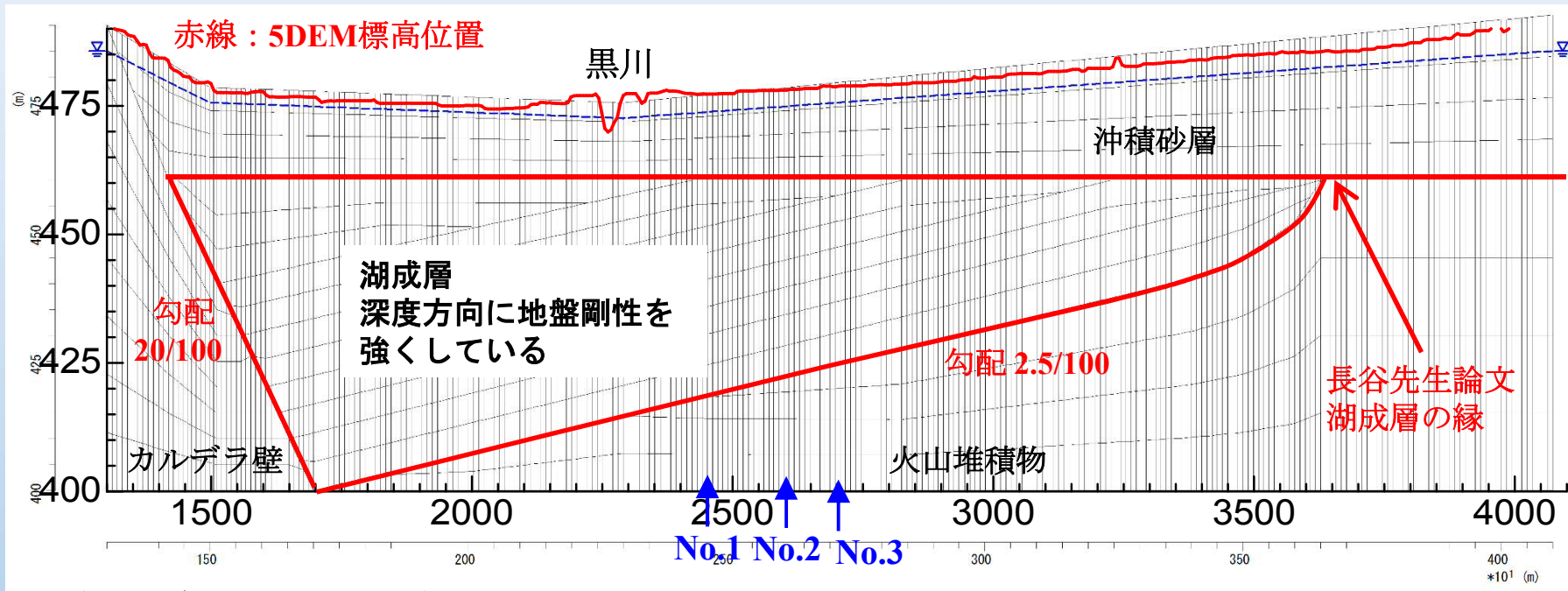
地盤調査結果にもとづく狩尾地区の推定断面図



解析モデル図

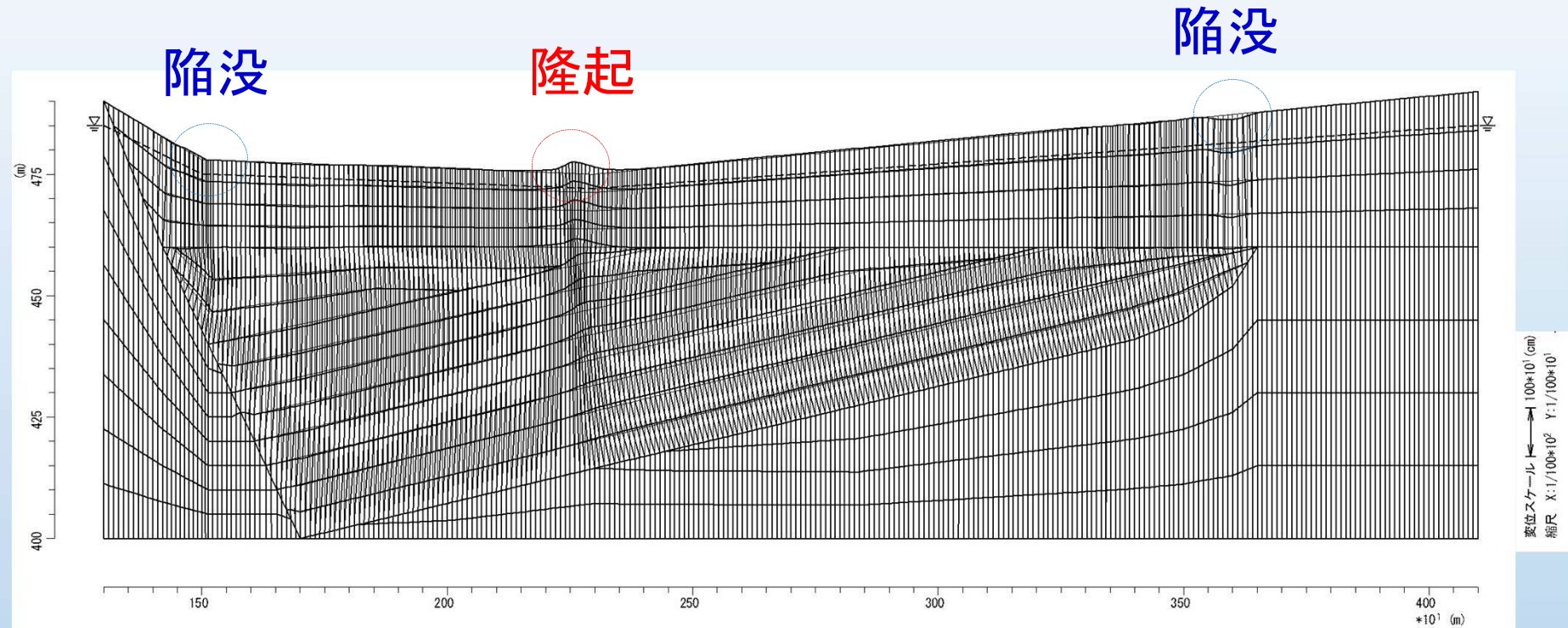
石川先生による試算

縦横比； V : 10×H



※ 解析モデルを作成する際の条件 ※

1. 地表面は、5mDEM標高をもとにモデル化している。
2. 地下水位は、地表から2.5m位置に分布していると想定した。（被圧水は考慮していない）
3. 沖積砂層は、N値10回程度の砂層とし、トガ・トゲと呼ばれるリモナイトはモデル化していない。
甲賀無田付近から北側（モデル左側）の表層は粘性土であるが、詳細にはモデル化していない。
4. 湖成層はどこまで分布しているか正確にはわかっていないために、2.5/100の勾配で直線的に分布していると仮定してモデル化している。湖成層の縁は長谷先生の論文を参考にその付近にすりつけた。



モデルスケールに対して，鉛直方向は同じ，水平方向は10倍に拡大して表示

今後、動的土質試験や解析を行ってメカニズムを確定する予定です。

その他に行ってきた研究テーマ

被害の種類に関して

- 軟弱地盤の揺れ
- 断層
- 海岸のすべり

対象構造物に関して

- 造成宅地盛土
- 鉄塔
- 港湾施設
- 原子力施設

長年にわたって研究・技術開発を行ってきた中で大変多くの方々にお世話になってきました。どうも有難うございました。今後も何かの機会がありましたらよろしく申し上げます。

