

地震動のみを用いた 地盤の液状化危険度のAI評価技術

本日の発表者

加村晃良 (東北大学 助教 大学院工学研究科 土木工学専攻 地盤工学分野)

風間基樹 (東北大学 教授 大学院工学研究科 土木工学専攻 地盤工学分野)

実施協力者

佐藤真吾 (株式会社 復建技術コンサルタント 調査防災部 技師長)

松下克也 (株式会社 ミサワホーム総合研究所, 取締役テクノロジーセンター長)

中村 晋 (日本大学 名誉教授)

1. 解決すべき課題（社会ニーズ）
2. 開発の動機・技術の中味
3. 技術の独創性・競合優位性
4. 適用事例
5. 評価システムの試行公開の紹介

1. 解決すべき課題 (社会ニーズ)



TOHOKU UNIVERSITY



1995年兵庫県南部地震



毎日ムック 阪神大震災全記録
毎日新聞社 1995.4

液状化被害 (2016熊本・2018北海道胆振東部地震でも)

- 世界の地震国の共通課題 (USA西海岸, NZ, 伊, 中国, 台湾・・・)
- 人的被害は少ないが, 公共インフラ・個人住宅・企業BCPの課題
- 危険度を評価し, 必要とあらば事前対策



2011 Christchurch Eq.
(The New Zealand Herald)



2011 東北太平洋沖地震
(浦安市, 舞浜)

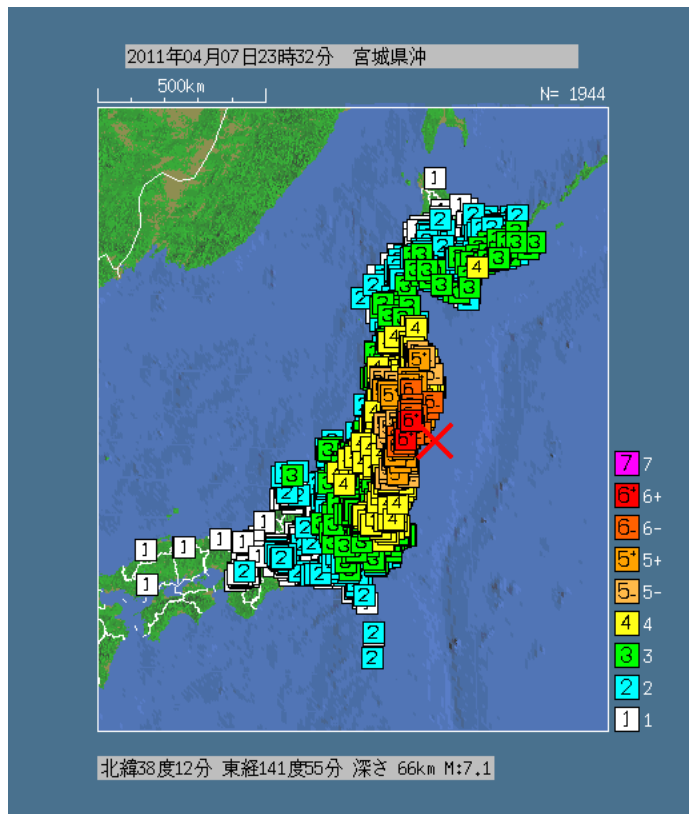
問題の所在

- ◆大きな地震が来ないと液状化現象は生じない
 - ◆観測データが不十分
 - ◆センサーが設置されていないため、
実際、どこでどの程度の液状化が発生したのか不明
- ◆地盤調査（ボーリング・サウンディング他）をしないと地盤の良否が判定できない。



地震動は地盤の良否でどのくらい違うか？

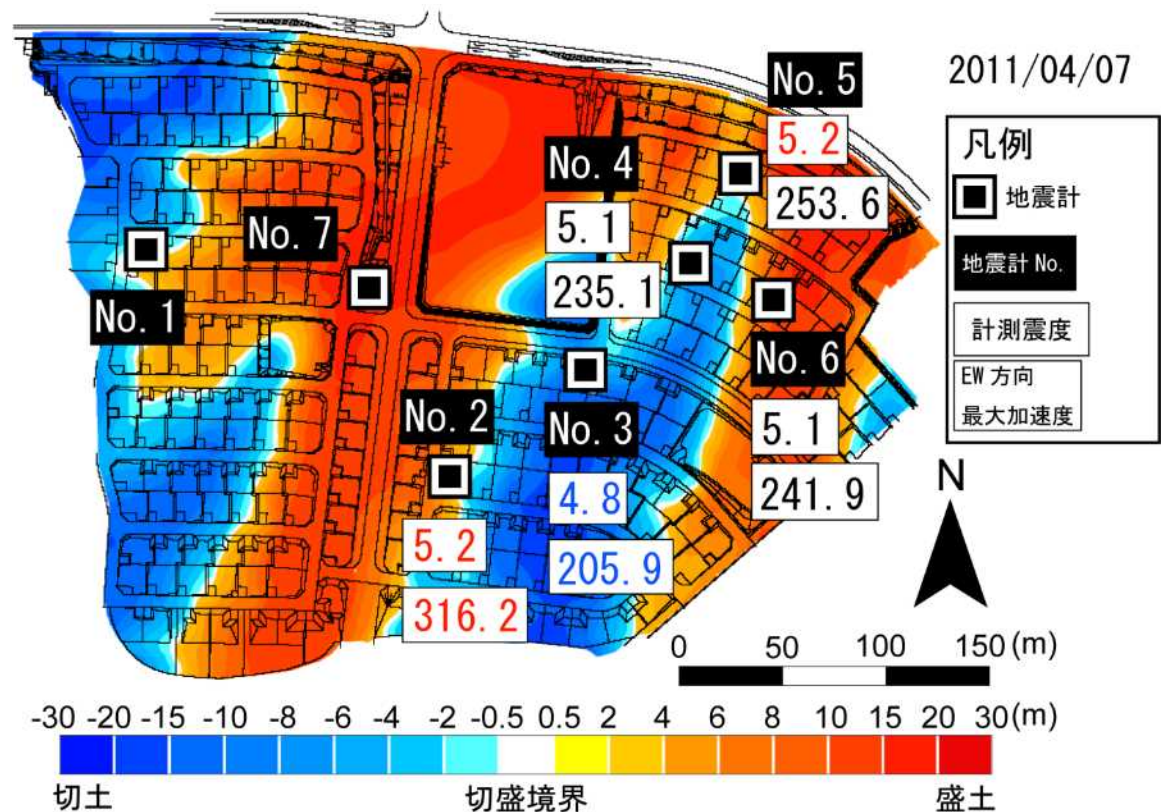
発生日時	4月7日 23:32:43
震源	宮城県沖
M	7.1



気象庁ホームページより

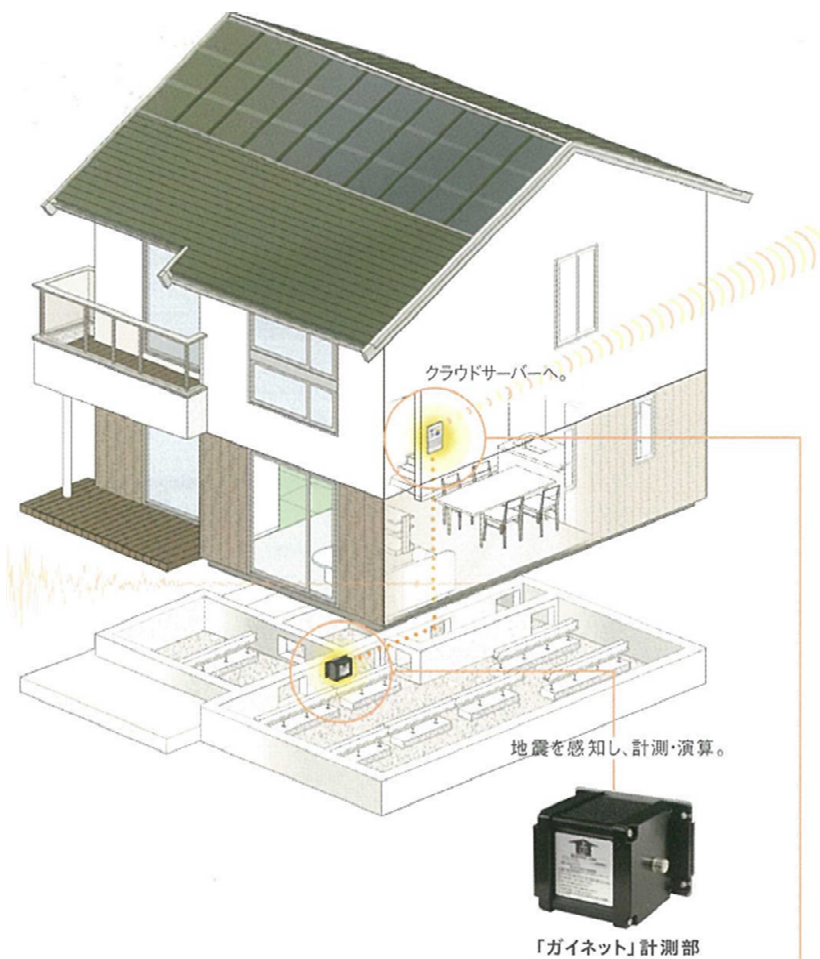
凡例
 No. □ : 地震計
 計測震度
 最大加速度 (EW 方向)

※No.1,7 は
観測できず.



2.1 開発の動機・技術の中味

建物と地盤の損傷を判定 (15年ほど前からの東北大ーミサワホームの共同研究)



簡易被災度判定表

震度	1	2	3	4	5弱	5強	6弱	6強	7
建物	ランク1	ランク2	ランク3	ランク4	ランク5				
地盤	ランク1	ランク2	ランク3						

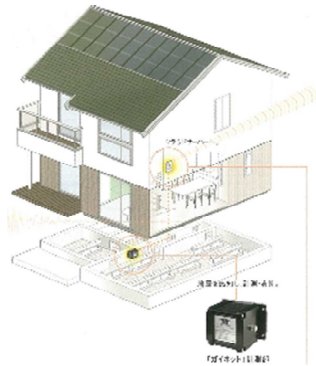
震度3
屋内にいる人のほとんどが、揺れを感じる。

メニュー画面では、簡易被災度判定表や端末情報の確認、Wi-Fi・音量・時計など各種設定や端末の再起動の操作が可能。

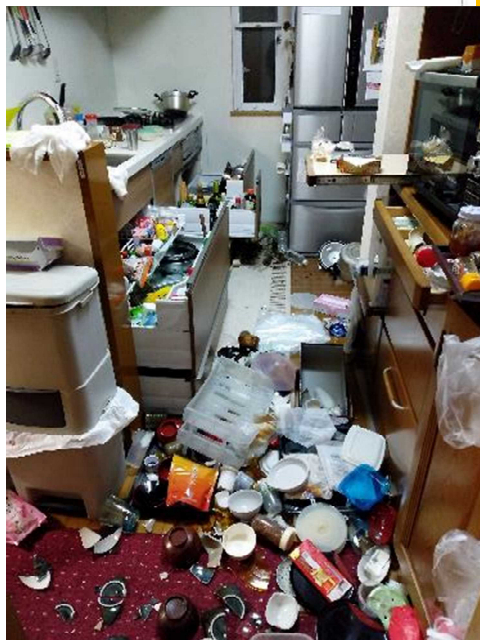
MISAWA GAINET

わが家の被災度の即時見える化

GINETの利用事例 (2022/3/16) 仙台市泉区



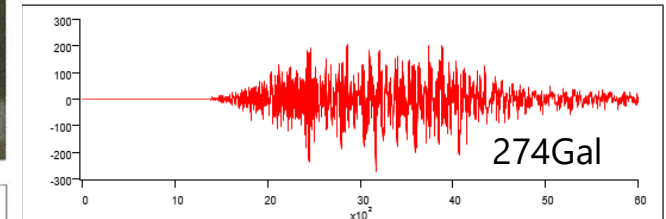
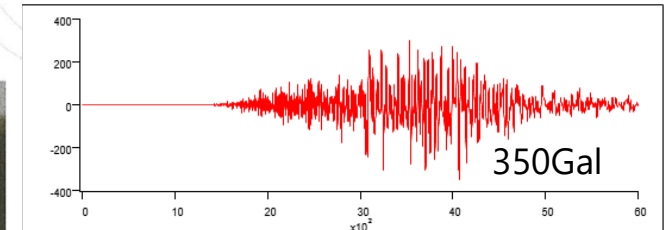
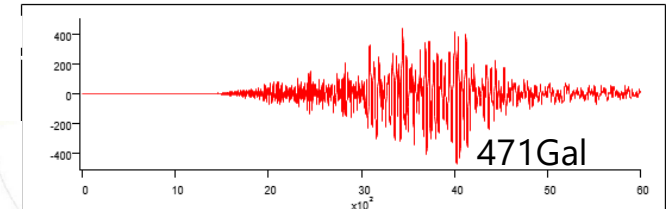
「ガイネット」表示部



簡易被災度判定表							
震度	1	2	3	4	5弱	5強	6弱
建物	ランク1	ランク2	ランク3	ランク4	ランク5		
地盤	ランク1	ランク2	ランク3				

震度3
屋内にいる人のほとんどが、揺れを感じる。

メニュー画面では、簡易被災度判定表や
端末情報の確認、Wi-Fi・音量・時計など
各種設定や端末の再起動の操作が可能。



GINET地震記録

2022/3/16/23:36 : 50

上から 東西成分最大値471.01Gal、

南北成分最大値350.93Gal、

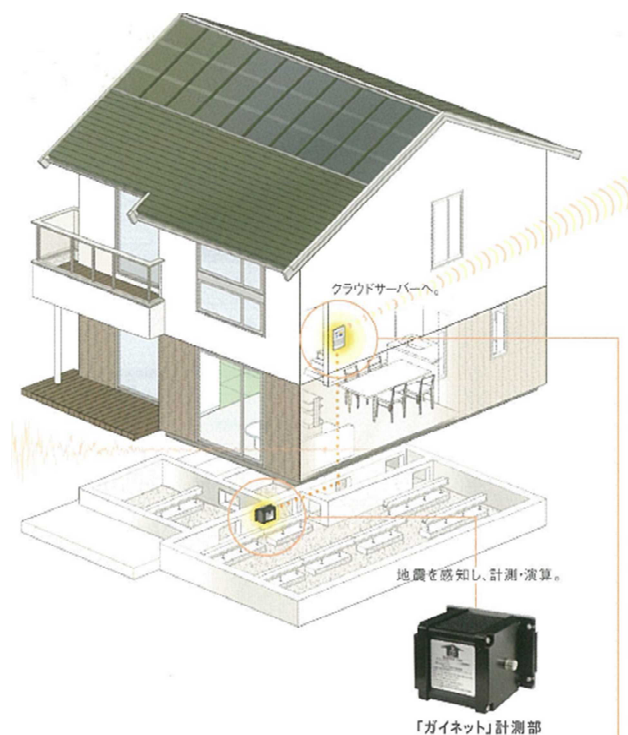
上下成分最大値-274.11Gal

計測震度 5.9 (震度6弱)

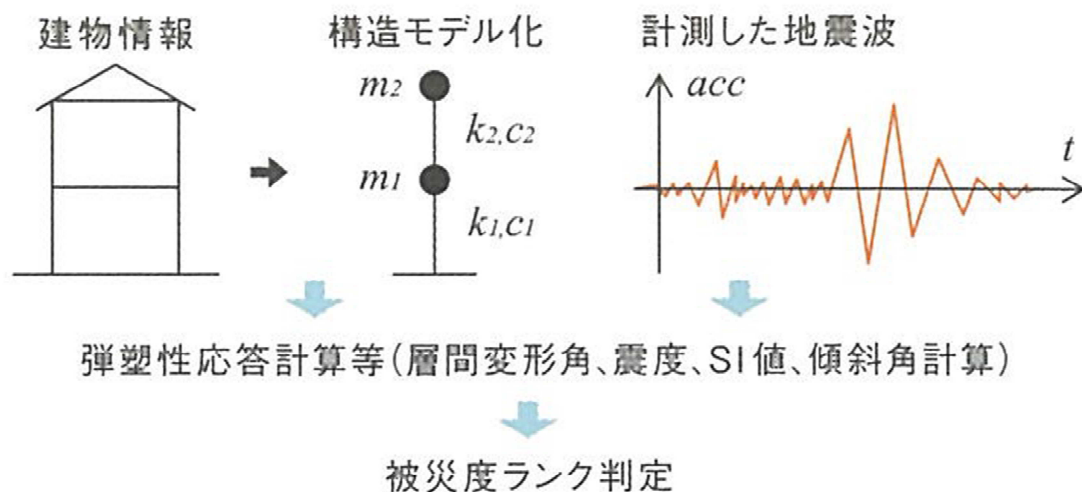
SI 56.84

建物損傷度 2、地盤損傷度 1

建物の被災度判定



「GAINET」が邸別に被災度を判定するしくみ



実大建物振動実験や耐力壁の水平加力実験等を繰り返し実施した知見により、ミサワホームの建物を構造モデル化。計測した地震波から建物の応答変位を演算します。地震が一定の大きさまでは弾性的な応答にとどまり、一定限度を超えると応答は塑性領域に及ぶなど、詳細な解析結果をもとに被災度ランクを判定しています。

インフラ管理・BCPにも利用できる

いない地域に向けた警報の発信や、

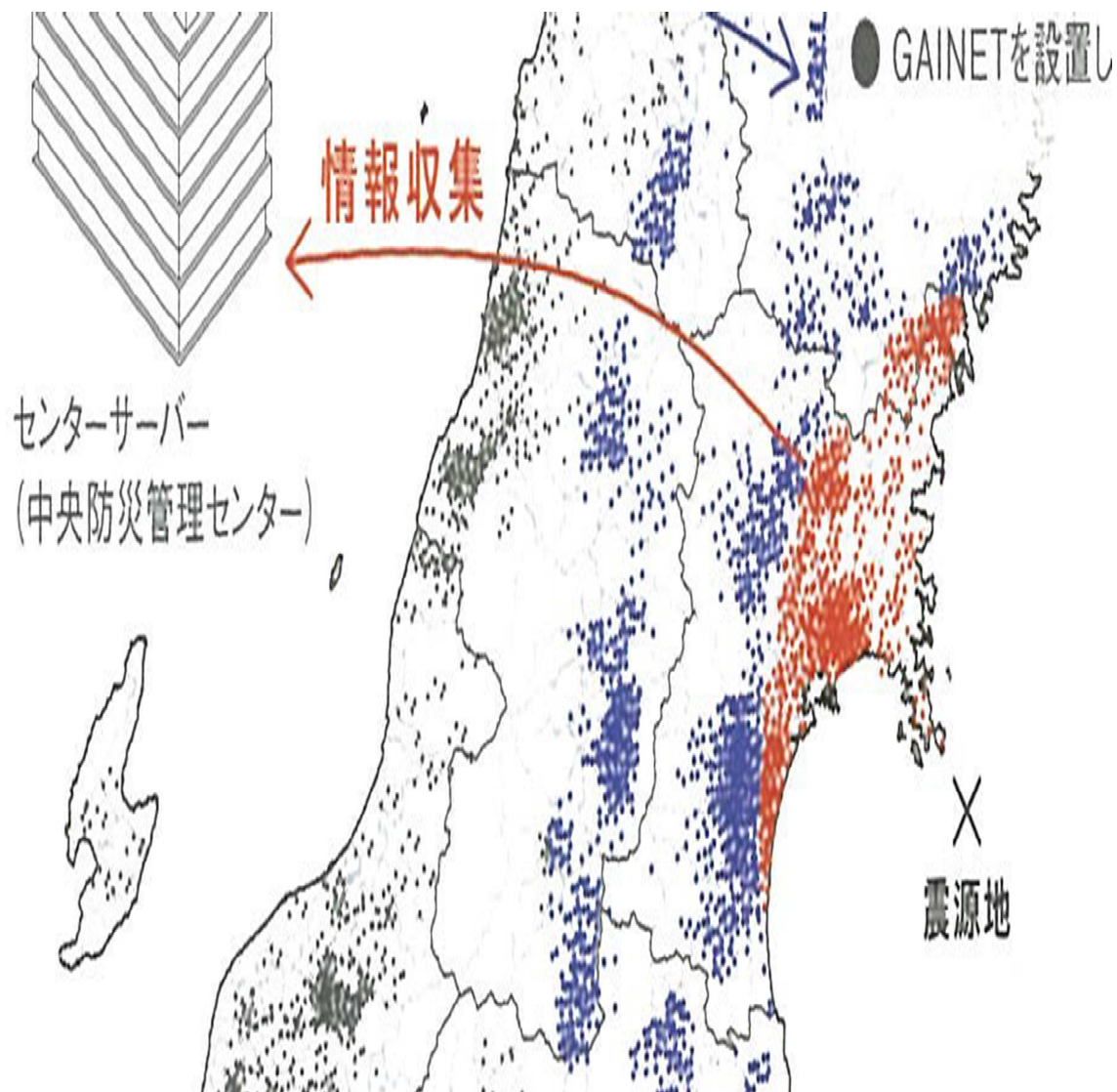
地震時の建物被害をあらかじめ

など、全国のオーナーさまの

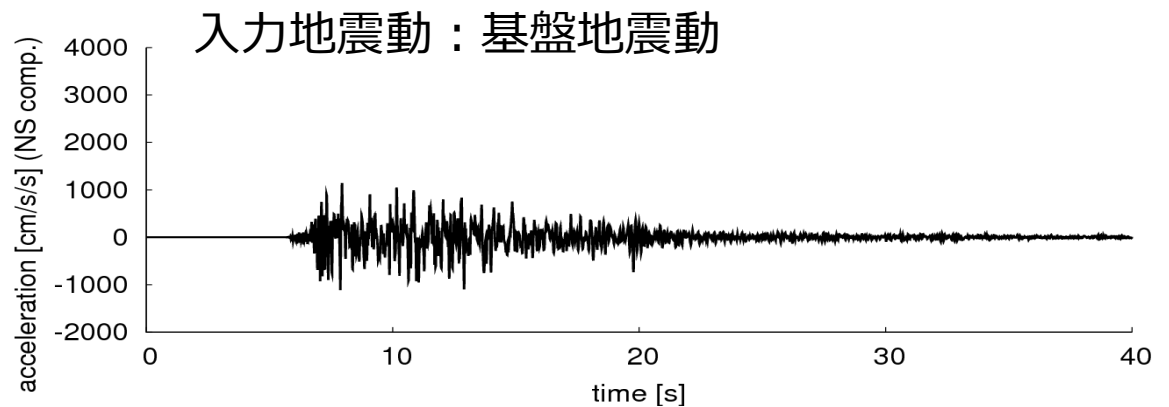
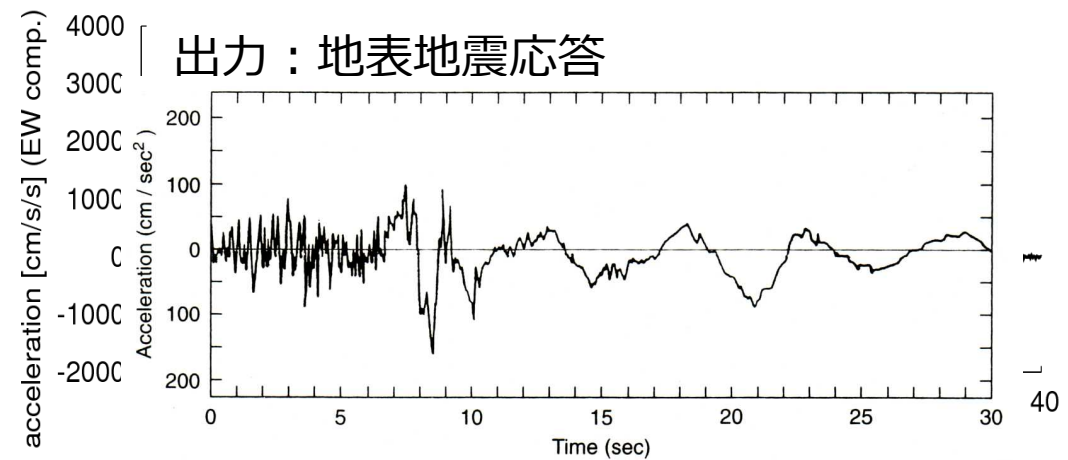
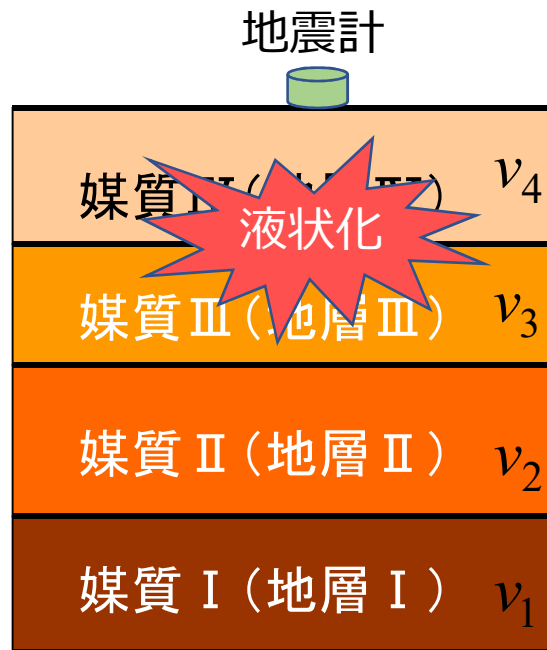
心への貢献をめざしています。

新たなサポート体制や利便性の高い

のご提供を検討していきます。

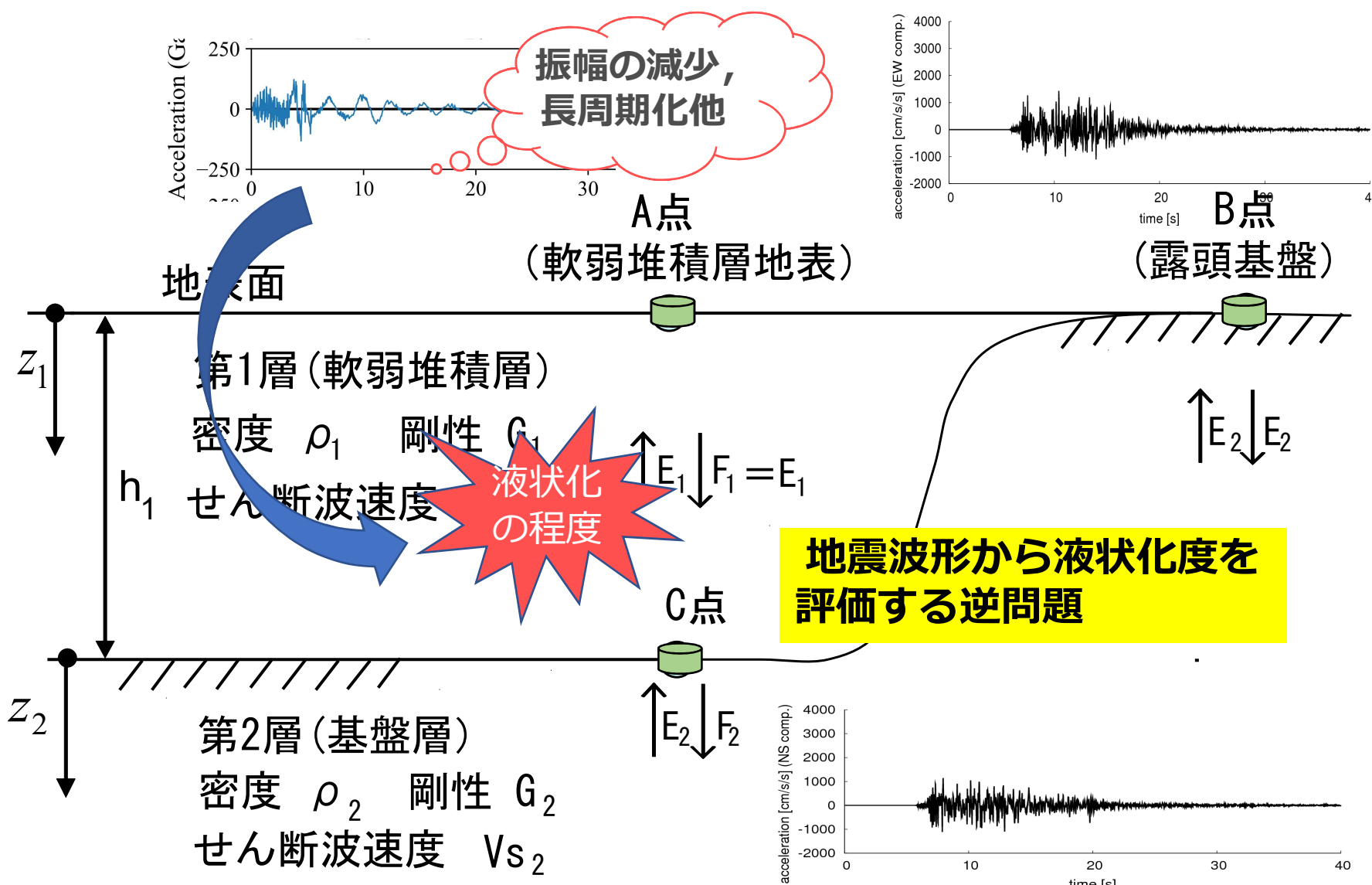


2. 2 技術の中味



AIで地震動記録のみから（地盤情報無しで）
地中でどの程度の液状化が起こったのかを評価

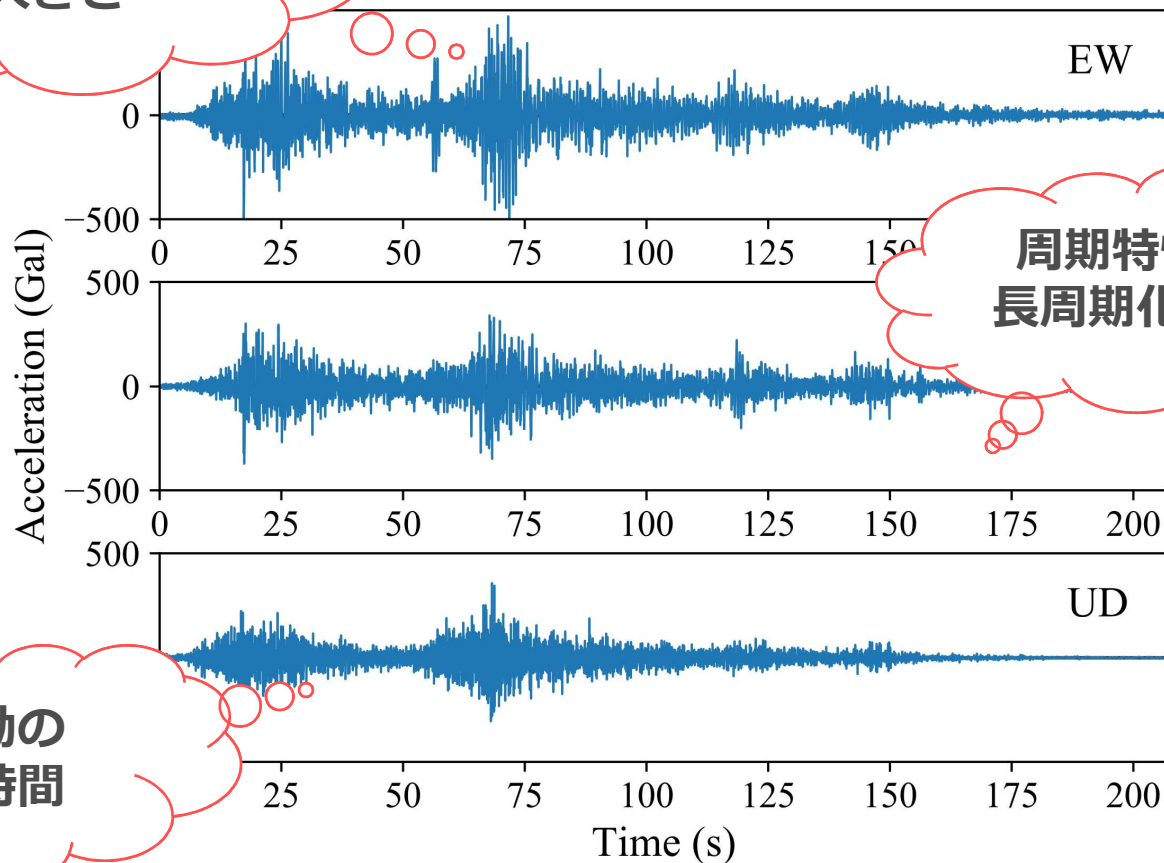
概念の基礎：地震記録は表層地盤応答の結果



地震波形から液状化度の評価は専門家も難しい

最大加速度の
大きさ

加速度記録 3 成分



周期特性
長周期化?

地震動の
継続時間

液状化(過剰間隙水圧が発生)したか判定できるか?

教師データセットが欲しいけど・・・

地震により液状化が発生した地点で
間隙水圧を記録した例はほとんどない



模型土槽を用いて**3次元振動台試験**を実施

▶▶ 地表面加速度と地盤の間隙水圧を測定

入力値

正解ラベル

教師データセット

3次元振動台試験

【測定器】

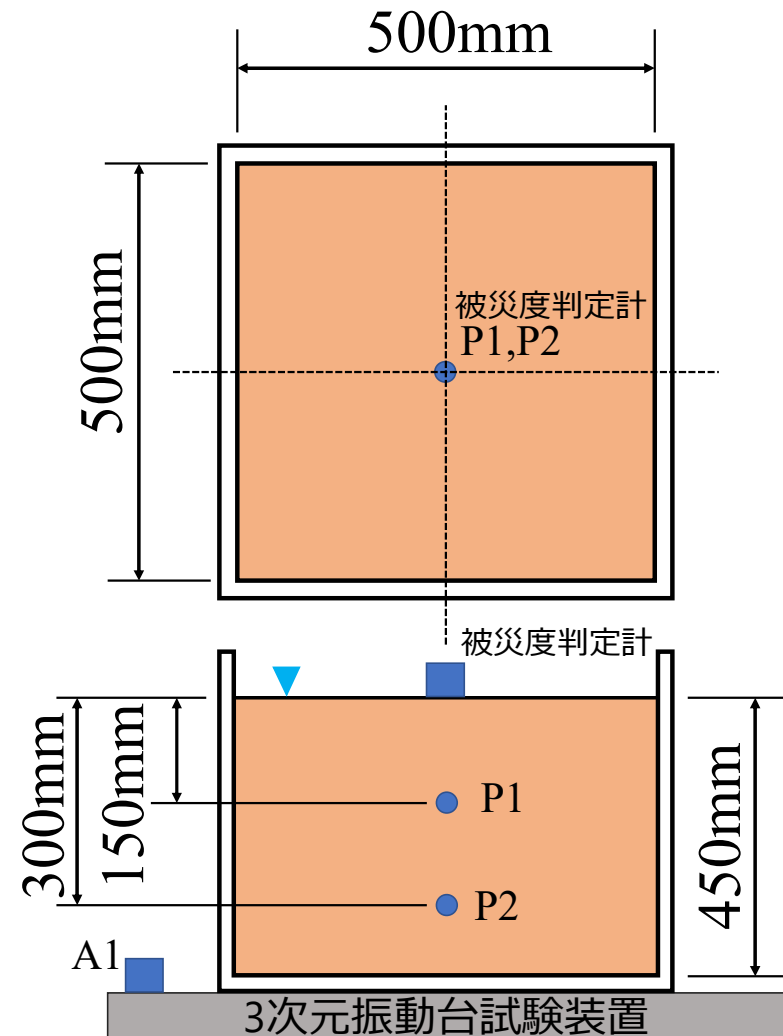
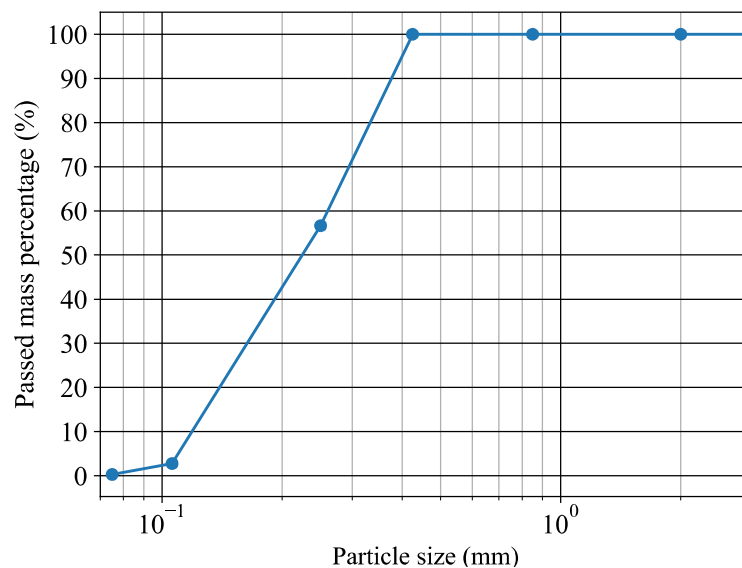
- 間隙水圧計
: 深さ 150mm
300mm
- 宅地用被災度判定計 (3次元加速度計)
: 地表面

【試料】

岐阜珪砂7号

【地下水位】

地表面



A1: 加速度計

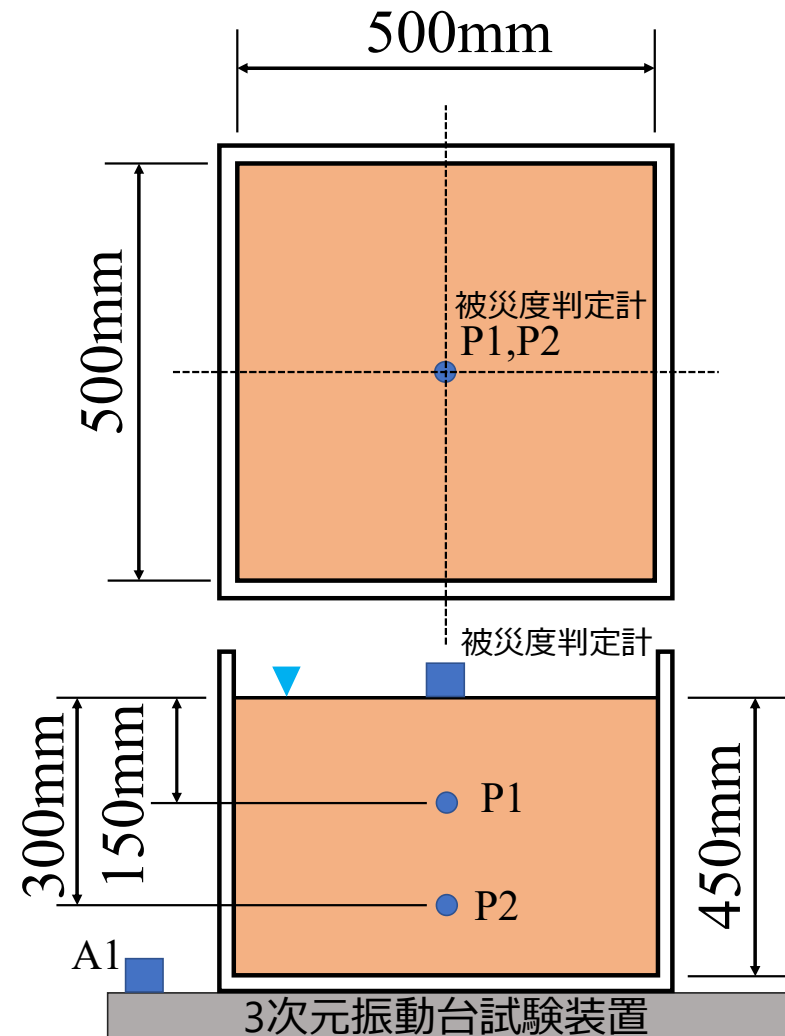
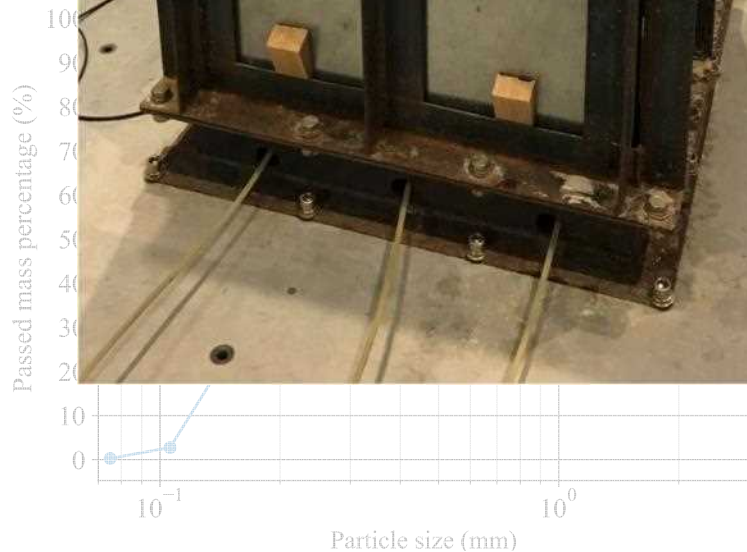
P1, P2: 間隙水圧計

3次元振動台試験

【測定器】

- 宅地
- 間隙

【試料】 岐

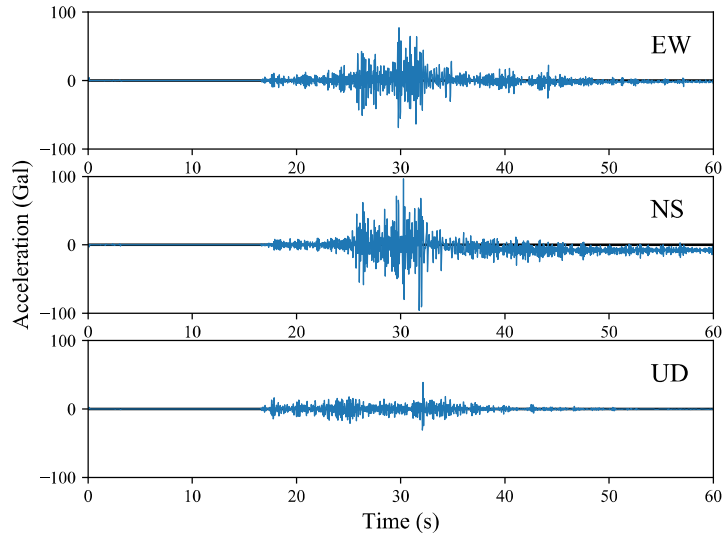


A1: 加速度計

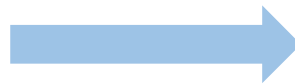
P1,P2: 間隙水圧計

教師データセットの作成

【加速度記録】



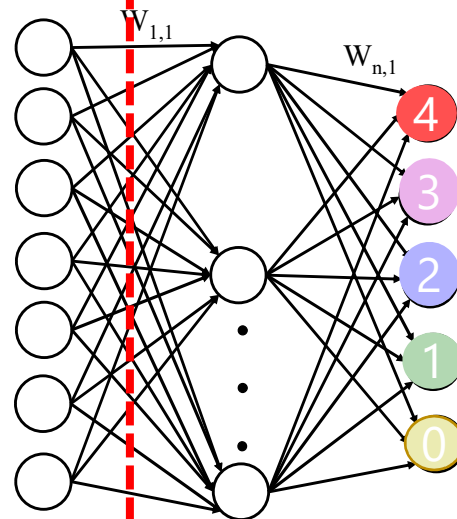
データ処理



入力値

- 最大加速度：3成分
- 継続時間：3成分
- 計測震度：1成分
- 1次卓越周波数：3成分
- 最大速度：3成分
- SI値：3成分
- その他

入力値



出力値

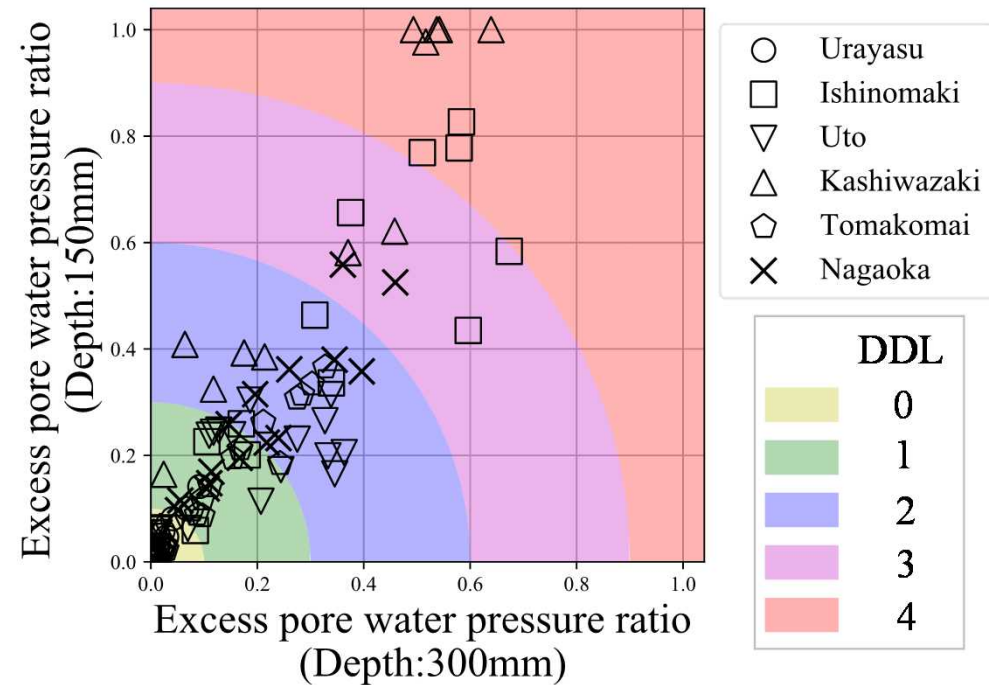
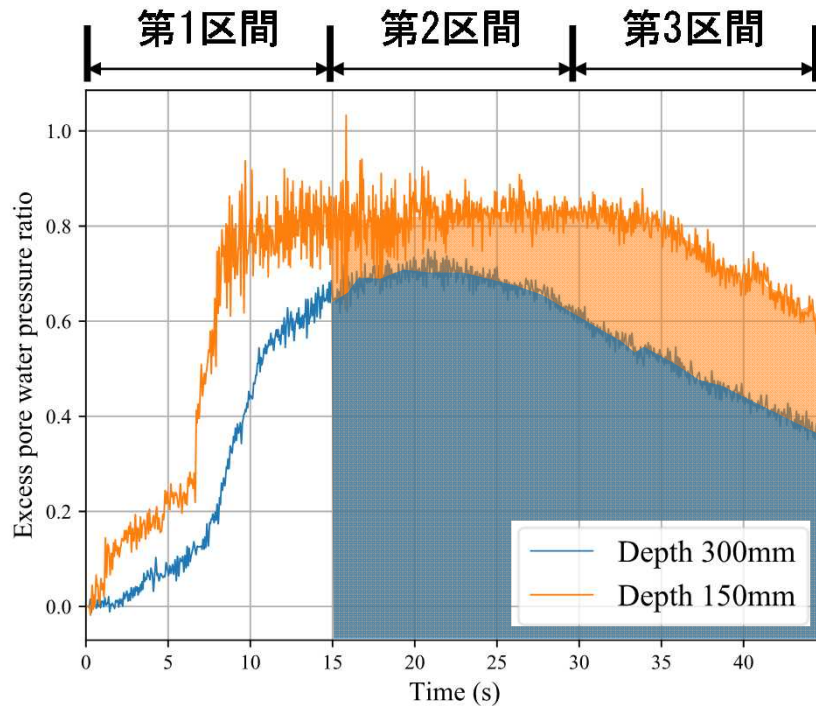
過剰間隙水圧
から決めた
液状化度

Input layer

Hidden layer

Output layer

液状化度のクラス分け



各深さの面積(積分値)
の時間平均を算出する



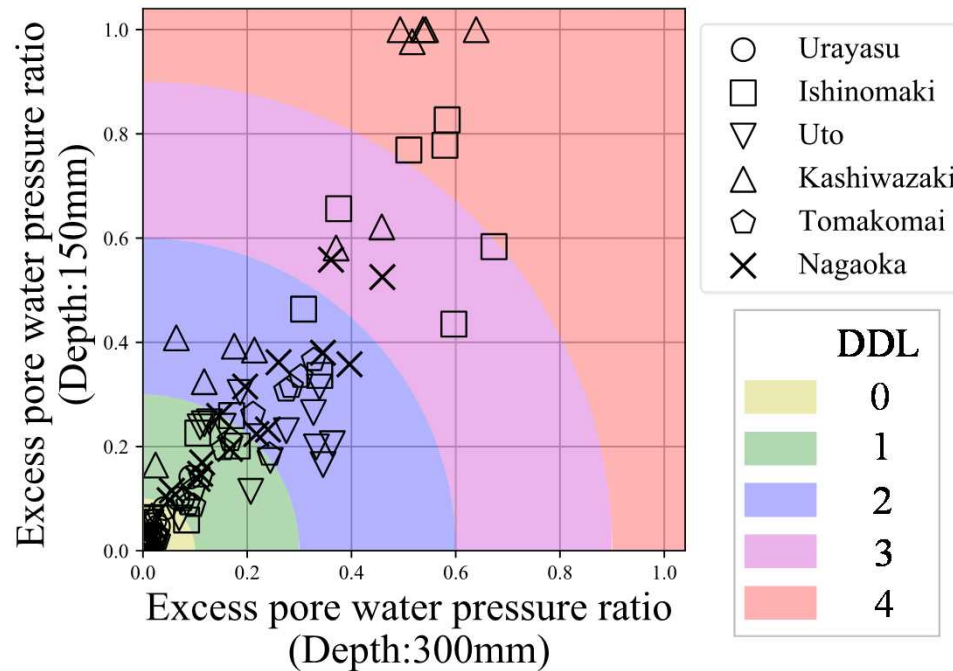
正解ラベル

液状化度の評価指標

一時的な過剰間隙水圧比の上昇と水圧が継続している場合を区別

液状化度の定義

学習に使ったデータ



液状化度の定義

DDL

0 : EPWR* < 0.1

液状化現象が発生した可能性は低い

1 : $0.1 \leq \text{EPWR} < 0.3$

わずかな液状化が発生した可能性がある

2 : $0.3 \leq \text{EPWR} < 0.6$

中程度の液状化が発生した可能性がある

3 : $0.6 \leq \text{EPWR} < 0.9$

液状化被害の可能性はある

4 : $0.9 \leq \text{EPWR}$

液状化被害の可能性が高い

*EPWR: 過剰間隙水圧比 (Excess Pore Water Pressure Ratio)

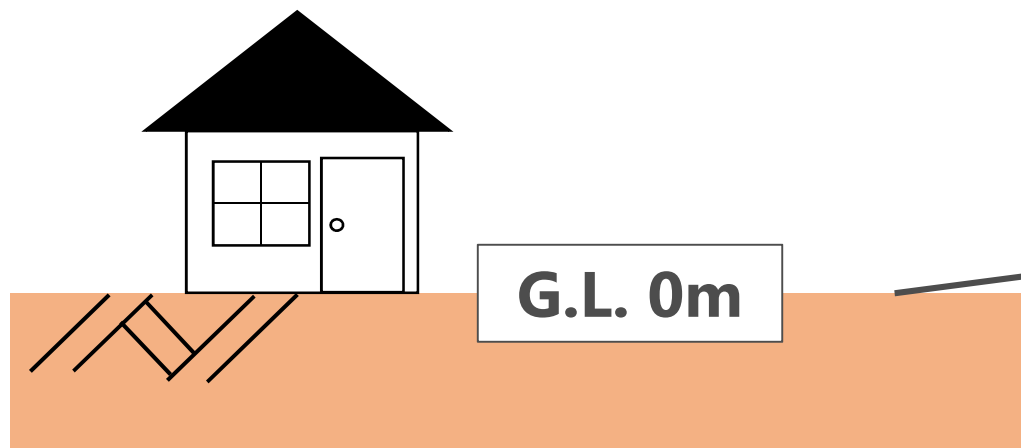
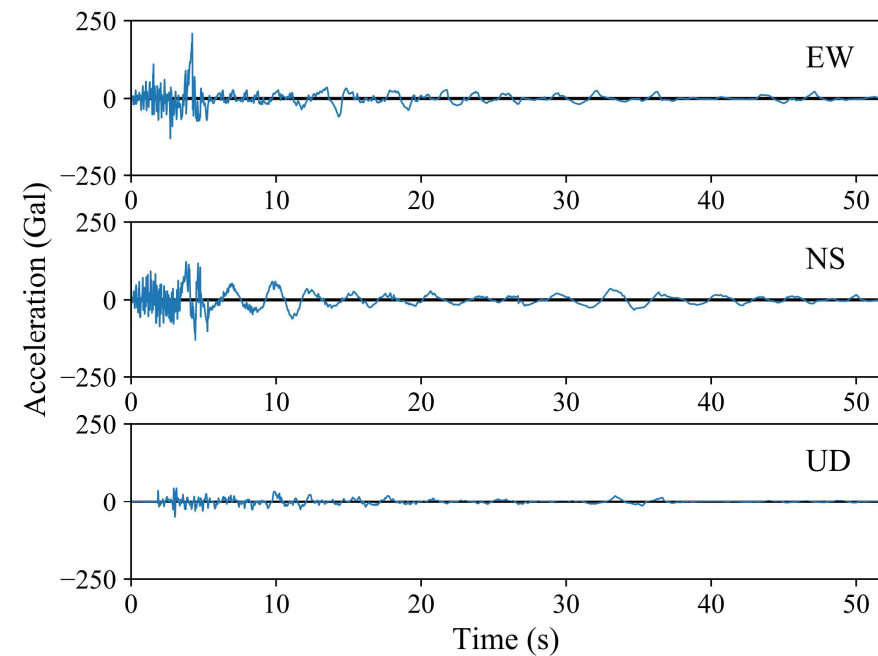
**実際、どれくらいの
能力があるの？**



実地震でテスト結果

1964年新潟地震（川岸町）

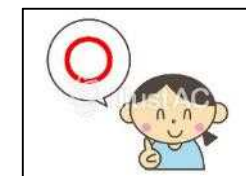
地震名	観測地点	観測日時	観測深さ
新潟地震	川岸町（新潟県）	1964. 6. 16	G.L. 0m



判定結果

DDL

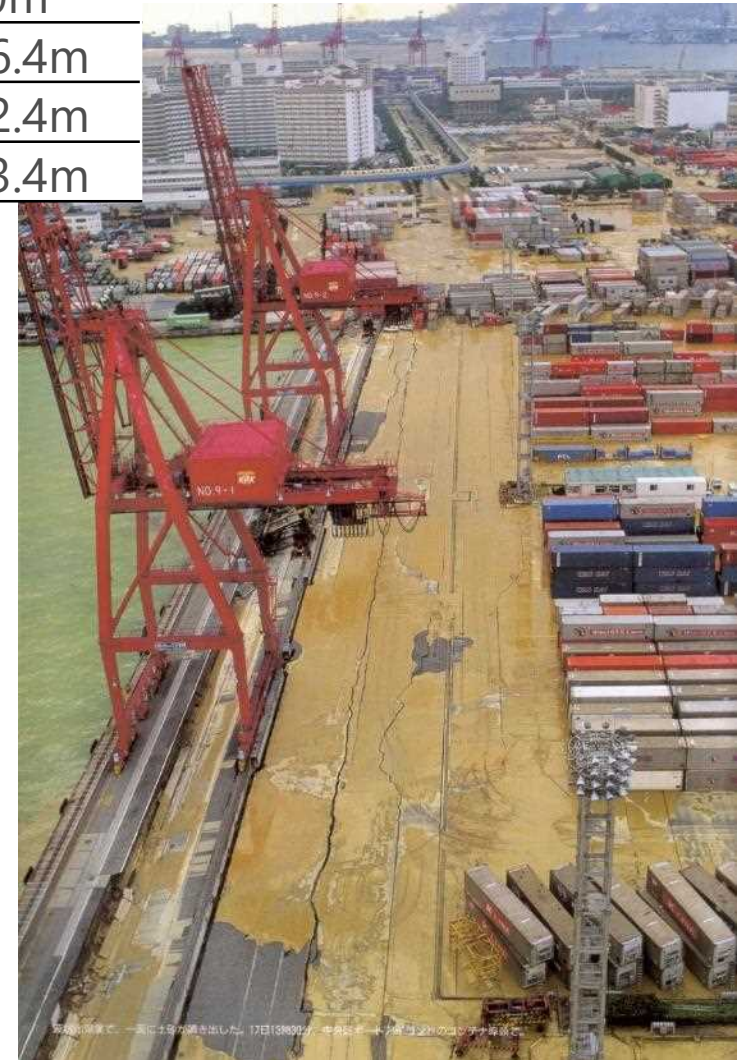
4



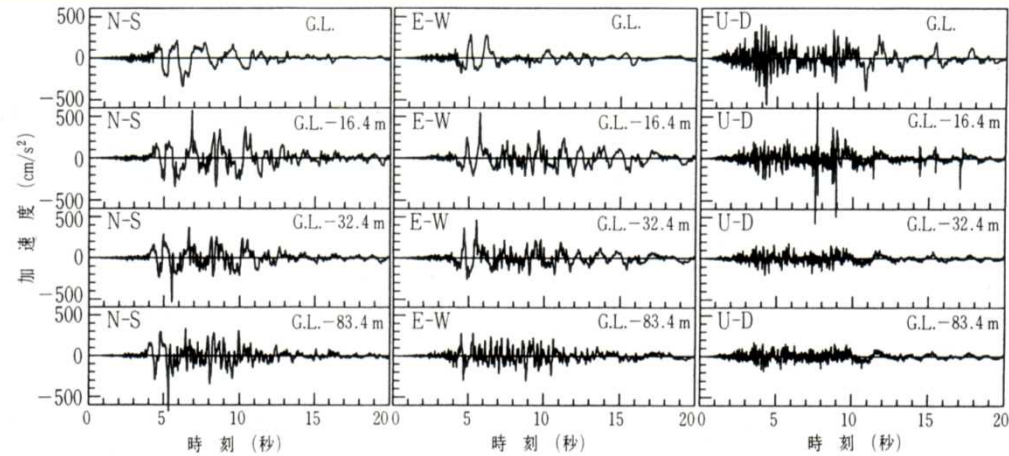
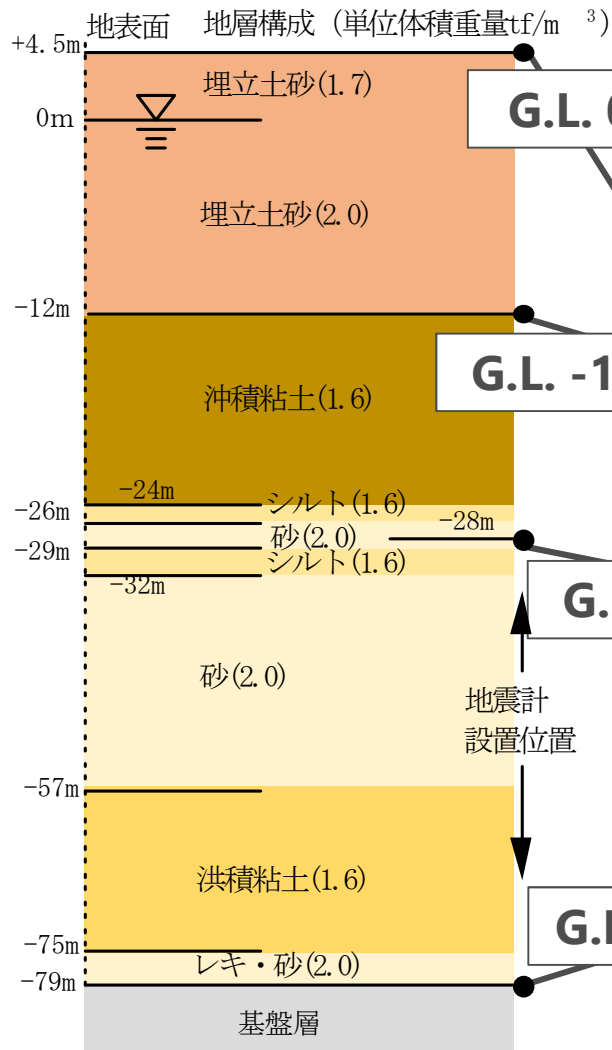
実被害と
調和的

1995年兵庫県南部地震（神戸市ポートアイランド）

地震名	観測地点	観測日時	観測深さ
兵庫県南部地震	神戸ポート アイランド (兵庫県)	1995. 1. 17	G.L. 0m
			G.L. -16.4m
			G.L. -32.4m
			G.L. -83.4m



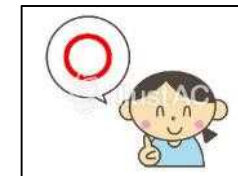
1995年兵庫県南部地震（神戸市ポートアイランド）



3

判定結果
DDL

4



2

実被害と
調和的

1

深いところは、
液状化していない

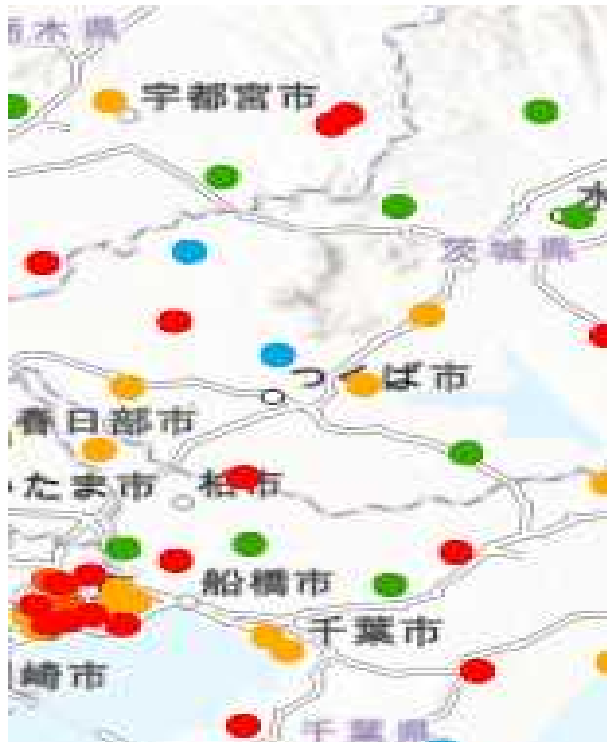
2011/3/11 東日本大震災の事例解析

関東地方140地点の
KiK-net記録の分析例

液状化度
(DDL)



DDLの値が大きいほど、
液状化の度合いが
高いことを意味する



開発した液状化度判定AI
システムによる判定結果

地震動の加速度記録のみから推定

踏査による液状化確認
マップ (若松らによる)



東北地方太平洋沖地震により地盤の
液状化が確認された地点

防災科研

<https://www.j-shis.bosai.go.jp/labs/liqmap/>

▶ 何ができるか

What can we do?

- 大地震直後に、地震記録から液状化の被害程度を即時評価できます。
- 地震直後の緊急点検の優先付け（一次スクリーニング）ができます。
- 中地震記録からは、液状化の危険度を事前に把握でき、予防対策が講じられ、リスクを回避できます。
- 土地の取得の際に、その土地の耐震診断が可能となり不動産価値を評価できます。



▶ 解決する問題

Background and Objectives

- 地盤の液状化被害は、大地震の際に大きな被害をもたらし、世界中の地震国（特に低地部に立地する大都市）の共通課題です。
- 重要インフラの立地計画、防災計画に有効な情報を提供します。
- 個人住宅や事業所が存在する地点の液状化の危険度を評価・分析できます。



▶ どこが新しいか

What's new?

- 地盤の液状化危険度評価は、詳細地盤調査に基づく専門家による判断が必要でした。
- 提案技術は、地震動記録があれば危険度を判定できるので、詳しい地盤調査は危険度が大きいと判断された後で良いことになります。
- 大地震はもったに起きませんが、数多くの3次元振動台実験により、AI分析に必要な教師データを作成し、AI評価を可能としました。
- 現在では地震計は低廉な価格で設置可能なため、多くの管理施設に設置でき、インターネット、クラウドを介して一元管理できます。



地盤の液状化危険度評価技術

Point / 地盤データ不要！
地震動記録のみからAIで判定します。

<特許出願中>

- 🚩 大地震の地震動
地盤の液状化被害度を即時評価
- 🚩 中地震の地震動
地盤の潜在的危険度を事前評価
- 🚩 地盤の耐震性診断
土地の不動産価値の評価

貴社の管理施設・土地の耐震診断・BCPに是非お役立てください。

システムを 試行公開中!!

※2021年9月27日現在

以下のHPから利用可能です。

<https://www.michinoku-gidas.jp/LiquefactionAI/>

システムQRコード▶



メールアドレスを登録後、試したい地震動ファイルをご用意いただき、
（フォーマットはシステム上に解説があります）そのファイルを入力いただければ、結果がメールで返信されます。
技術の詳しい中味については、下記の論文をご参照ください。

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038080621000470>

論文QRコード▶



液状化判定 AIシステムによる判定結果例

東北地方太平洋沖地震において、防災科学技術研究所のK-NET, KIK-netで観測された地震動によるAI判定結果（左側）と地盤の液状化が確認された地点（右側）の比較

※ 防災科学技術研究所：地震ハザードステーション液状化履歴地図（平成23年東北地方太平洋沖地震）
<https://www.j-shis.bosai.go.jp/labs/liqmap/>

DDL [damage degree due to liquefaction] : 液状化・危険度とは？

- 4 : $0.9 \leq EPWR$ 液状化被害の可能性が高い
- 3 : $0.6 \leq EPWR < 0.9$ 液状化被害の可能性がある
- 2 : $0.3 \leq EPWR < 0.6$ 中程度の液状化が発生した可能性がある
- 1 : $0.1 \leq EPWR < 0.3$ わずかな液状化が発生した可能性がある
- 0 : $EPWR < 0.1$ 液状化現象が発生した可能性は低い

* EPWR: 過剰間隙水圧比 (Excess Pore Water Pressure Ratio)
液状化によって発生する過剰間隙水圧比で0~1の値をとる。大きいほど激しい液状化を示す。

開発者代表



風間 基樹
東北大学 教授
大学院工学研究科 土木工学専攻
地盤工学分野担当 博士 (工学)
専門：地盤工学、地震工学
基礎地盤の科産化に関する研究技術開発に従事

技術普及協力者

松下克也：(株) ミサワホーム総合研究所 取締役 テクノロジーセンター長 博士 (工学)
佐藤真吾：(株) 復讐技術コンサルタント 調査防災部 技師長 博士 (工学)、技術士 (総合技術監理 / 建設部門)
中村 晋：日本大学 教授 工学部土木工学科 工学博士 専門：地震工学・信頼性工学

問い合わせ先 / motoki.kazama.b2@tohoku.ac.jp

※ご不明の点、詳しい技術紹介のご希望がありましたら、お問い合わせください。

開発メンバー








加村 晃良
東北大学 助教
大学院工学研究科 博士 (工学)
電力会社で建設プロジェクトの
設計・監理、工事監理に従事後、復讐
AIによる事前中のインフラ設備予測手法の開発、
地震災害に関する研究に従事

地表あるいは地中で観測された地震動記録のみから、その地震動を観測した地盤の液状化度や被害を評価推定します。

液状化度はここでは簡易的に以下の5段階に区分しています。

DDL [damage degree due to liquefaction] : 液状化度の定義

	0 : EPWR* < 0.1	液状化現象が発生した可能性は低い
	1 : $0.1 \leq$ EPWR < 0.3	わずかな液状化が発生した可能性がある
	2 : $0.3 \leq$ EPWR < 0.6	中程度の液状化が発生した可能性がある
	3 : $0.6 \leq$ EPWR < 0.9	液状化被害の可能性はある
	4 : $0.9 \leq$ EPWR	液状化被害の可能性が高い

*EPWR: 過剰間隙水圧比 (Excess Pore Water Pressure Ratio)

液状化によって発生する過剰間隙水圧比で0~1の値をとる。
大きいほど激しい液状化を示す。

3. 技術の独創性・競合優位性, ポイント



- 地震動波形のみから【地盤自身の情報無しで】
地盤のその地震に対する液状化度を評価できる。
 - 近年, 地震波形記録は容易に入手可能になっている
- 液状化度の定義：正解設定は独自に設定
 - 学会等で決められた定義があるわけではない。
- AIによる機械学習を使っている
 - 元となる学習データは, 東北大の実験データ
 - 評価ソフトウェアは独自開発

3. 技術の独創性・競合優位性, ポイント



- 地震動波形のみから【地盤自身の情報無しで】
地盤のその地震に対する液状化度を評価できる。
 - 近年, 地震波形記録は容易に入手可能になっている
- 液状化度の定義：正解設定は独自に設定
 - 学会等で決められた定義があるわけではない。
- AIによる機械学習を使っている
 - 元となる学習データは, 東北大の実験データ
 - 評価ソフトウェアは独自開発

その他 機械学習を用いた技術の紹介

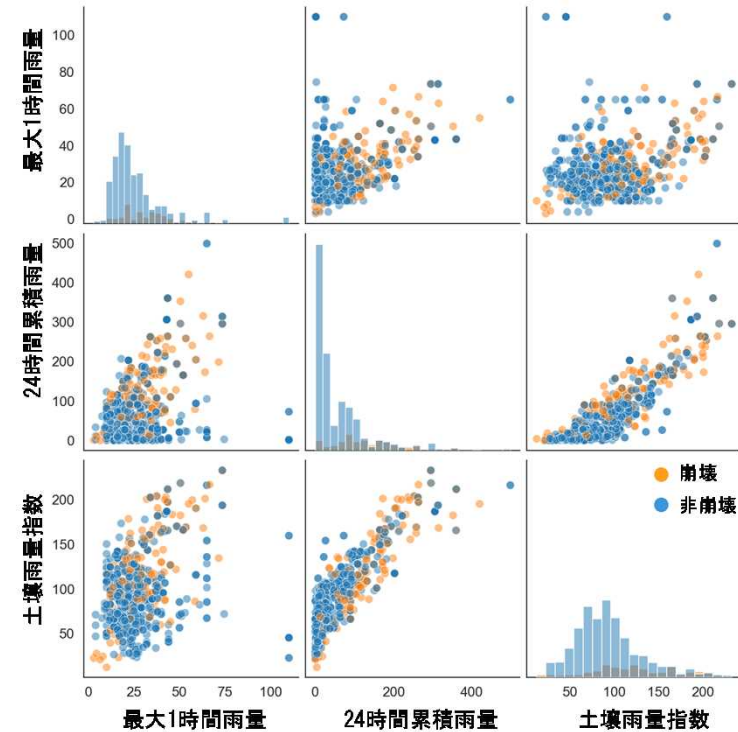
機械学習による豪雨時の斜面崩壊予測

豪雨時の高速道路法面の崩壊確率を推定するニューラルネットワーク

項目	素因	長尾ら ¹⁰⁾ の配点
地形	集水型傾斜地形	50
	崖錐地形	35
	尾根地形（頭部開発あり）	35
	尾根地形（頭部開発なし）	5
切土法面における地山の土質・地質	スレーキング性の岩	40
	花崗岩（まさ土含む）	40
	土砂	35
	ローム	25
崩壊性の構造	非スレーキング性の岩	10
	断層または褶曲軸あり	10
	断層または褶曲軸なし	0

法面の地盤情報

+

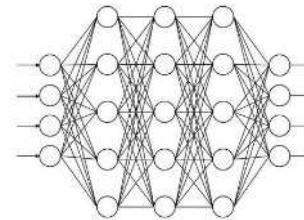


降雨の情報（崩壊・非崩壊と紐づけられたデータ）

＜素因＞ 高速道路法面の諸元
地形，地質，構造，法面段数，
供用後の経過年数など

＜誘因＞ 降雨データ
時間雨量，1週間の累積雨量等

過去の崩壊事例より構築した学習データ



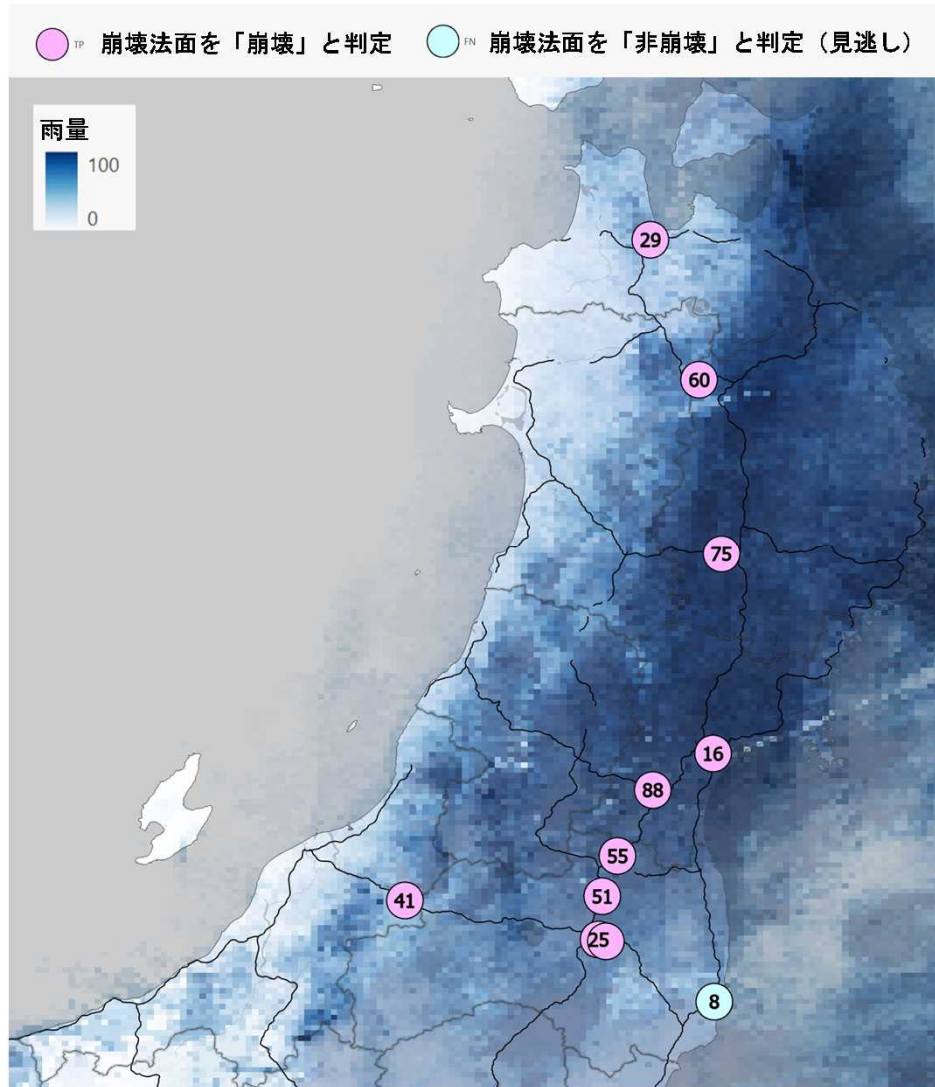
NN



高速道路法面の崩壊確率を予測

機械学習による豪雨時の斜面崩壊予測

適用事例



法面崩壊の被害が集中した2002年7月11日の
24時間における解析雨量と崩壊法面



無線型のリアルタイム雨量計による
現地計測と実証を実施中

ご清聴ありがとうございました。

ご興味のある方は、ブースにお立ち寄り下さい。
更に詳細な説明をいたします。