



真の強さを学ぶ。

新潟大学

NIIGATA UNIVERSITY

中国地方防災研究会250905

能登半島地震の被災から学ぶ 知見と課題

新潟大学 特任教授
大 塚 悟

能登半島地震の被害概要

- 発生日時：2024年1月1日16時10分
- 地震の規模：マグニチュード7.6、深さ16 km (JMA)
- 津波：
 - 能登町や珠洲市で 4m+
 - 上越市で 5m+
- 地殻変動：
 - 輪島市西部で 4m の隆起、2m 西側への水平変位
 - 珠洲市北で 2m の隆起、3m 西側への水平変位

能登半島地震 (2007) $M_w = 6.7$
兵庫県南部地震 (1995) $M_w = 6.9$
新潟地震 (1964) $M_w = 7.6$

- 
- https://www.jishin.go.jp/resource/column/column_24spr_p02/ 令和6年能登半島地震について (政府 地震調査研究推進本部)
 - https://www.bousai.go.jp/jishin/ното/taisaku_wg_02/pdf/siryo2.pdf 令和6年能登半島地震における災害の特徴 (内閣府 2024.06.24)

地震被害の概要

- 人的被害：死者489名(うち災害関連死261名), 行方不明者2名
- 住宅被害
 - 全壊 6,445棟、半壊 23,225棟、一部損壊 120,029棟
 - 床上浸水 6棟、床下浸水 19棟
 - 避難者数：記載なし（報道によれば最大で5万人程度）
 - 電気：最大で 44,160戸が停電
 - 水道：最大で 136,440戸が断水

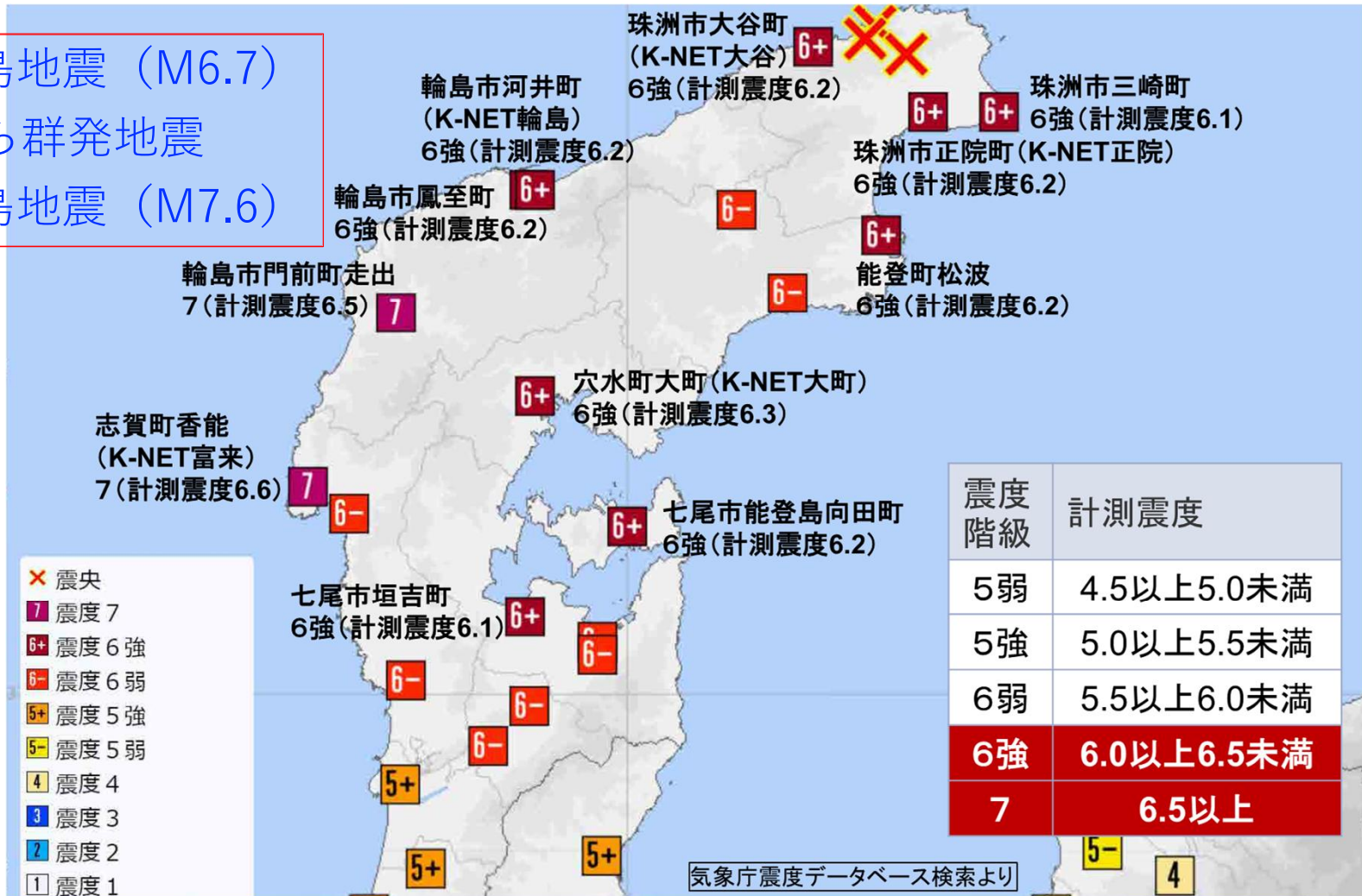
<https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/index.html>：

令和 6 年能登半島地震による被害状況等について（令和 6 年12月24日14：00現在）内閣府



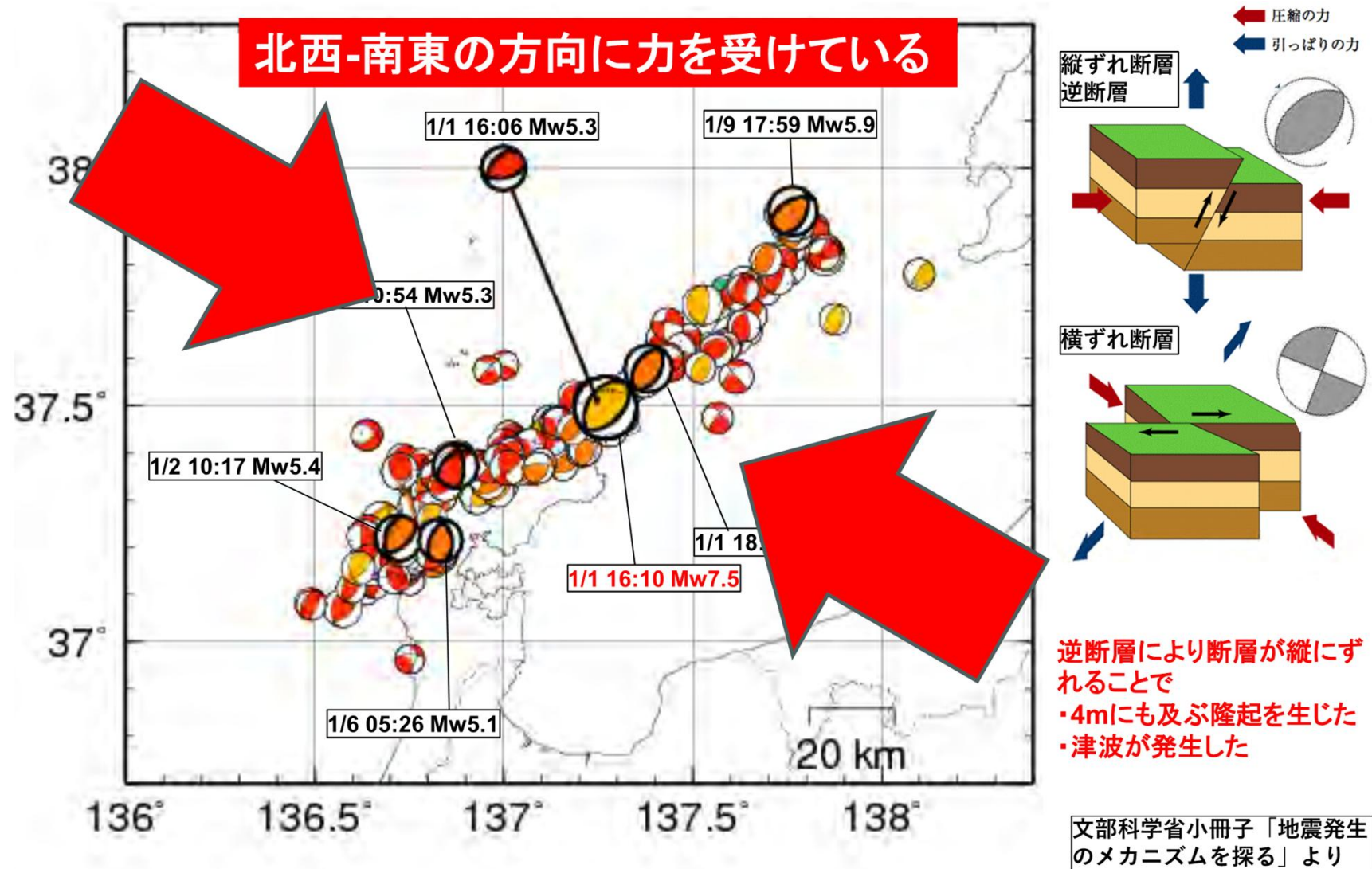
令和6年能登半島地震の推定震度分布

2007年能登半島地震 (M6.7)
2020年12月から群発地震
2024年能登半島地震 (M7.6)



令和6年能登半島地震について：青井真氏（防災科研）

令和6年能登半島地震の断層挙動





真の強さを学ぶ。

新潟大学
NIIGATA UNIVERSITY

令和6年能登半島地震の推定震度分布

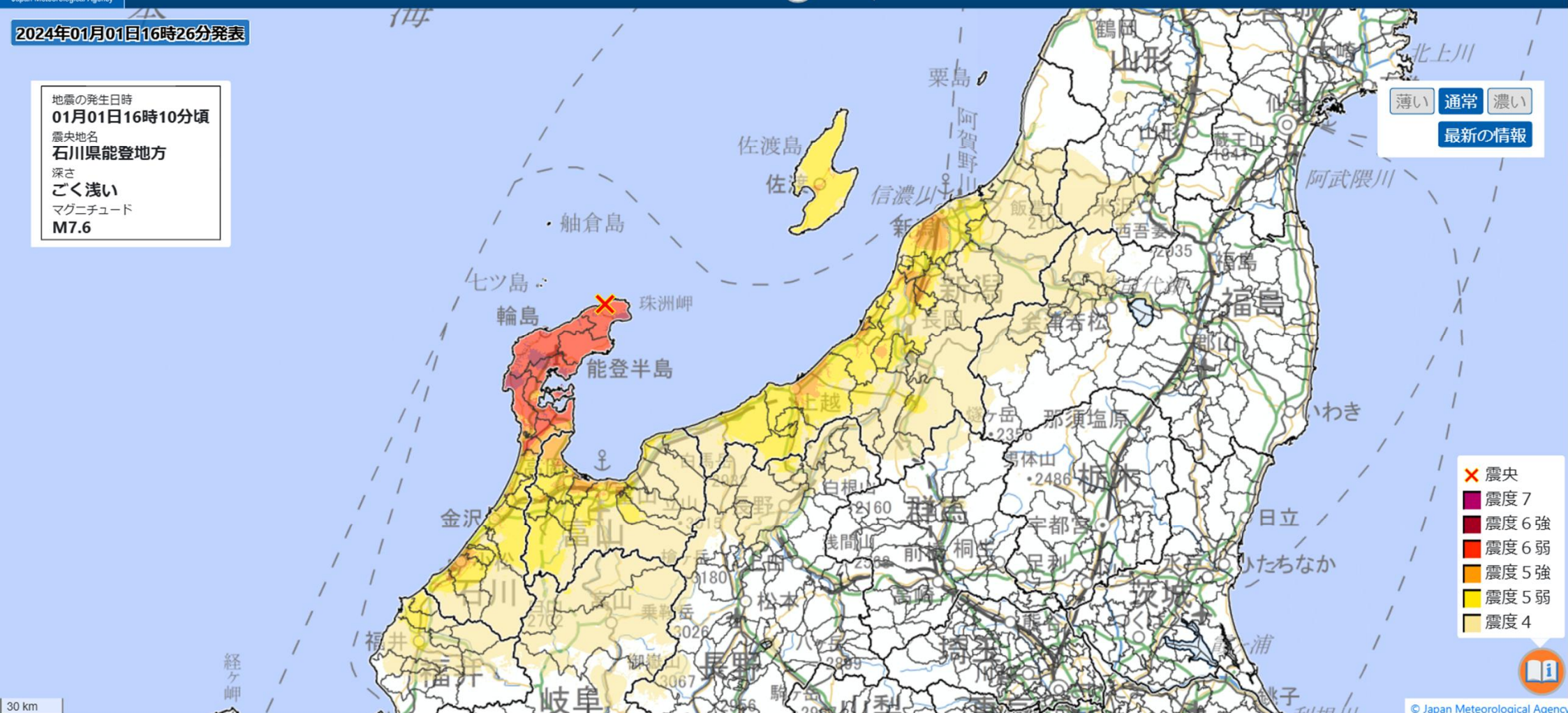


推計震度分布

2024年01月01日16時26分発表

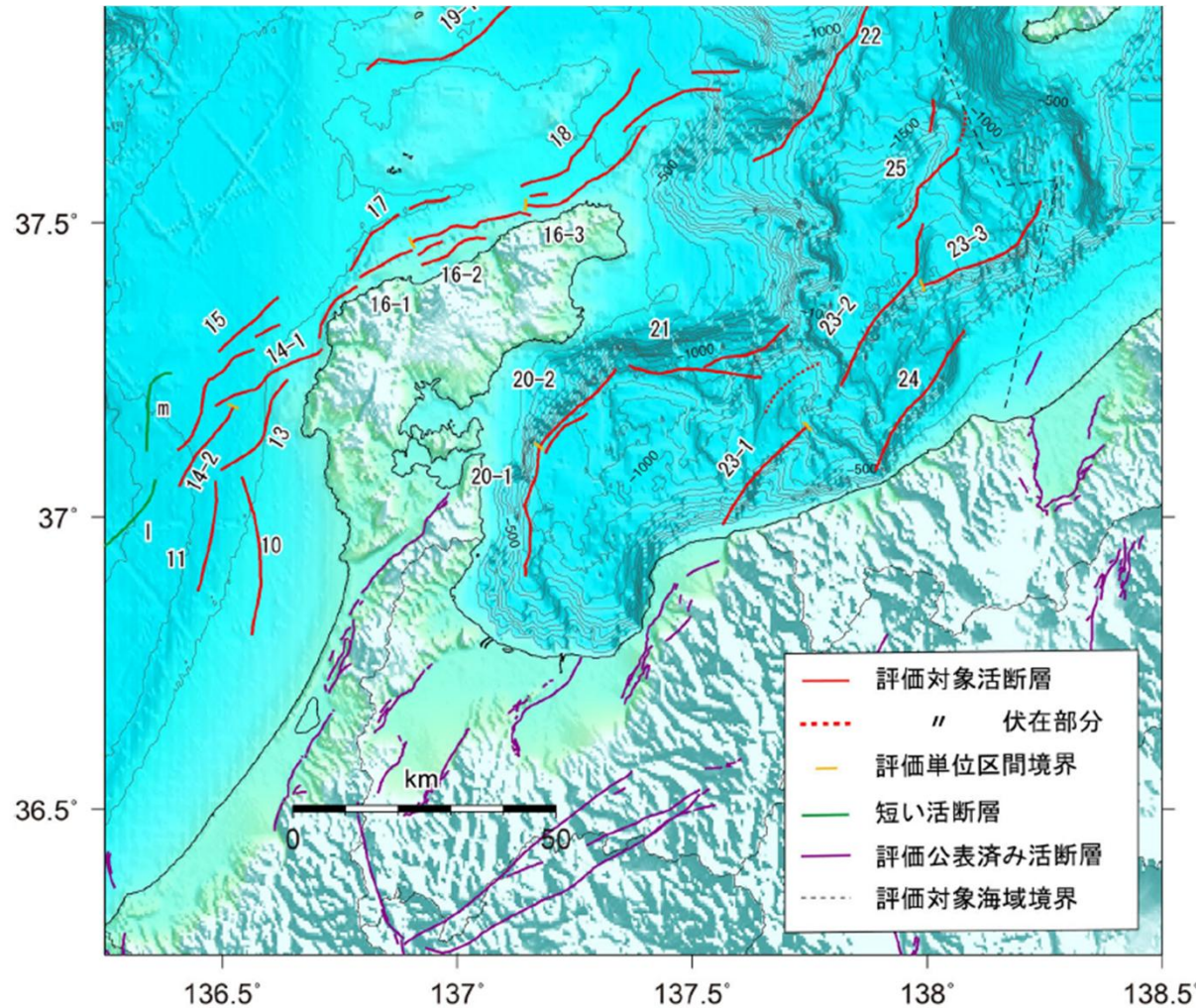
地震の発生日時
01月01日16時10分頃
震央地名
石川県能登地方
深さ
ごく浅い
マグニチュード
M7.6

薄い 通常 濃い
最新の情報



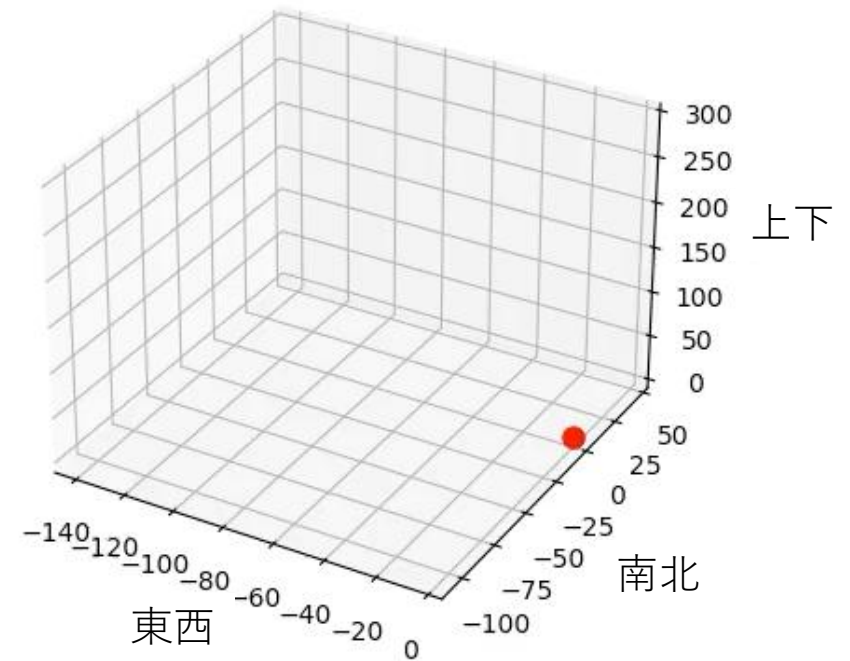
気象庁HP https://www.jma.go.jp/jma/menu/20240101_noto_jishin.html : 2024年01月01日16時10分石川県能登地方, M=7.6の推計震度分布図

周辺の海底断層と地震変位の再現



能登半島周辺の海底断層

輪島市西部で
4mの隆起、2m 西側への水平変位



地震動の変位時刻歴

能登半島地震の被害（特徴）

- 過疎が進行する中山間地の被災：災害弱者の存在 【注目課題】
- 半島先端の被災：交通アクセスが悪い
- 津波による被害：地盤が隆起したため減災された？
- 遠隔地における液状化被害：住宅地の広域被害
- 地すべりによる河道閉塞
- 冬季の地震：復旧・復興の遅れ
- 広域災害（中山間地）による復旧・復興の遅れ
- 複合災害：地震と豪雨の発生、復旧中の自然災害 【新たな課題】

【土構造物】

- 幹線道路は土構造物の被害が大きいが、橋梁やトンネルは健全で、緊急対応で最低限の道路機能は早期に復旧
- 2007年能登半島地震の盛土耐震対策は機能した

○今回の地震は、三方を海に囲まれ、平地が少ない半島という地理的な制約に加え、拠点都市から離れた過疎・高齢化の割合が極めて高い社会的な制約のある地域で発生



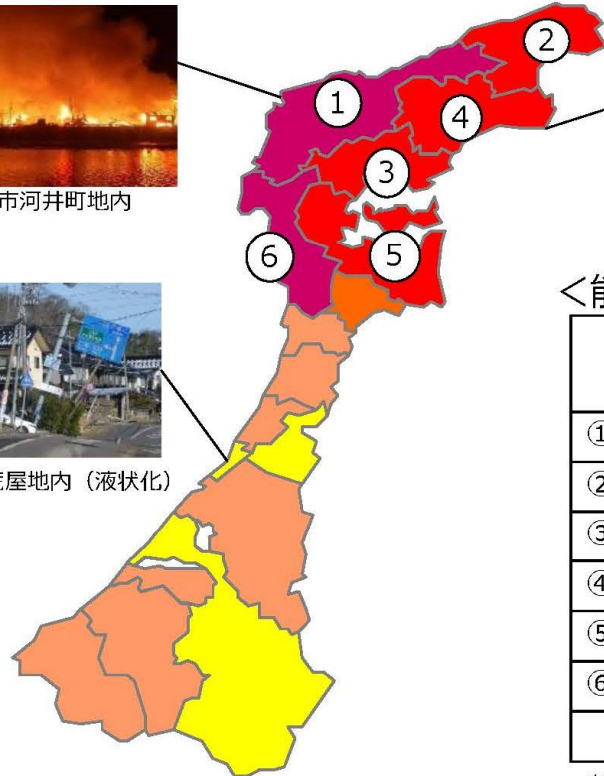
輪島市河井町地内



能登町白丸地内



内灘町西荒屋地内（液状化）



<能登6市町の状況>

	人口 (人)	高齢化率 (%)	一般世帯数 (世帯)	死者 (人)	住家被害 (棟)	うち全壊 (棟)
①輪島市	24,608	46.0	10,172	161	10,454	2,295
②珠洲市	12,929	51.6	5,490	126	5,557	1,742
③穴水町	7,890	49.1	3,267	33	3,371	395
④能登町	15,687	50.4	6,423	35	5,715	250
⑤七尾市	50,300	38.5	20,253	29	16,217	510
⑥志賀町	18,630	44.6	7,427	15	7,436	557
計	130,044	-	53,032	399	48,750	5,749

○人的・住家被害の状況

(令和6年10月22日14時時点)

死者 **408人** (うち災害関連死181人)
 負傷者 **1,217人** (うち重傷341人)
 行方不明者 **3人**
 住家被害 **89,274棟** (うち全壊 6,065棟)

○避難者の状況

【最大】約34,000人 → 【現在】198人

1次避難所： 91人
 2次避難所： 86人(ホテル、旅館等)
 広域避難所： 21人

石川県 令和6年能登半島地震対策検証委員会：https://www.pref.ishikawa.lg.jp/bousai/bousai_g/bousaikaigi/20241028/kensho.html

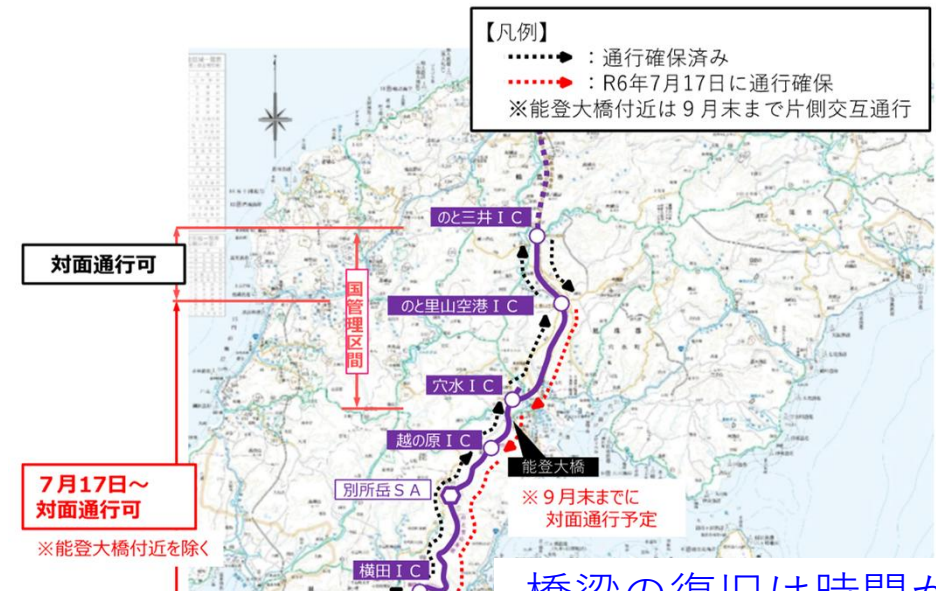
第1回検証委員会 資料1 (2ページ目のスライド)：https://www.pref.ishikawa.lg.jp/bousai/bousai_g/bousaikaigi/20241028/documents/02_shiryo1_jokyo.pdf

- 災害時の避難や災害復旧の担い手（人的・資源）に欠ける
- 災害弱者の存在と地域の防災力不足
- 半島はルートが限定的で、被災地へのアクセスが難しい：復興の課題

のと里山海道・能越自動車道の復旧



対面通行に6ヶ月を要した



橋梁の復旧は時間がかかる



繰り返す地震被害（道路の段差・不同沈下）



国道249号の被害（輪島市）
（北陸地方整備局HP）

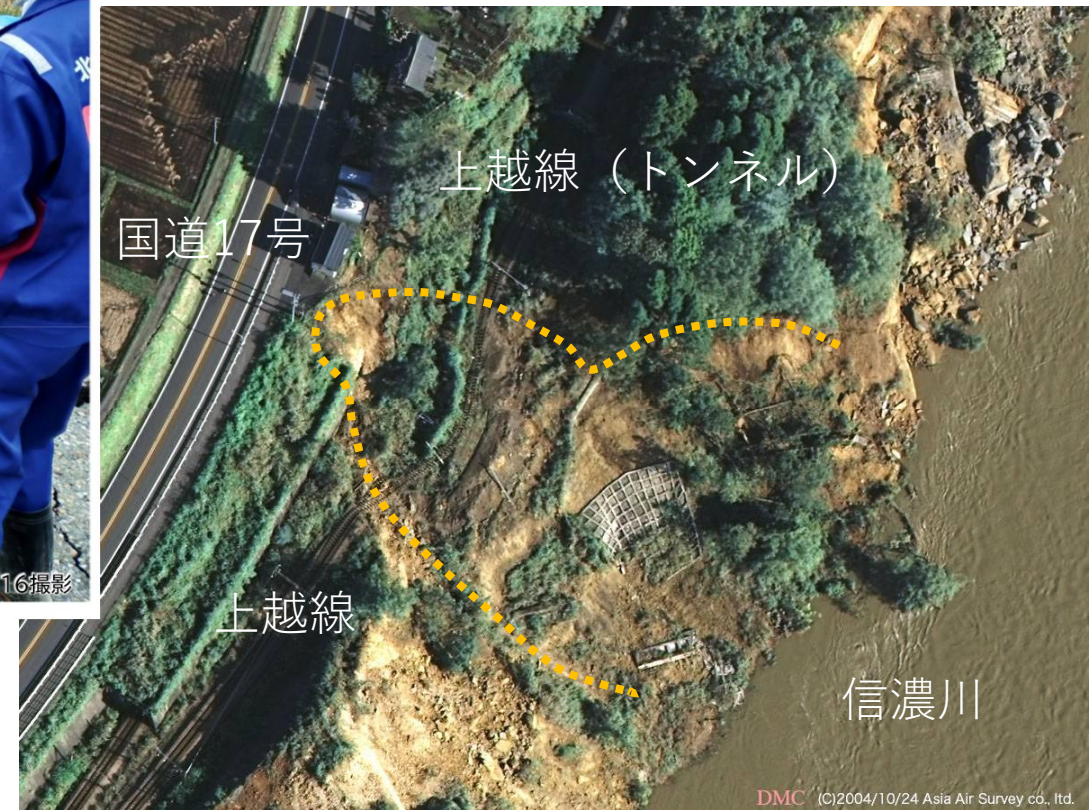


関越自動車道の被害（中越地震）
（NEXCO東日本提供）

繰り返す地震被害（基幹道路・鉄道の盛土崩壊）



のと里山海道の盛土被害
(北陸地方整備局HP)



国道17号・上越線の被害（中越地震）
(アジア航測)

繰り返す地震被害（谷埋め盛土の崩壊）



新潟県農地部

中越地震の県道341号（小国法末地区）の被害

真の強さを学ぶ。
新潟大学



被災直後
(14.1kp大規模崩壊)



北向き 1 車線開放
(R6.2.2:Ⅱ期線活用)



仮橋設置
(R6.5月：追加切土のための仮橋設置完了)



2車線確保
(R6.7.17：対面通行確保予定)

北陸地方整備局HPより

幹線道路の応急復旧（道路の付替え：国道249号）

◆国道249号輪島市野田町地内で発生した大規模な地すべりの状況



幹線道路の応急復旧（発災1ヶ月後）

- 1/2から幹線道路の緊急復旧に着手。24時間体制を構築し、地元を中心とした各建設業協会や（一社）日本建設業連合会の応援を受け、緊急復旧作業を順次実施。
- 沿岸部では被災箇所が多数確認されているため、自衛隊と連携し、内陸側・海側の両方からくしの歯状の緊急復旧も進めており、10方向で通路を確保。
- 孤立集落は1/19に実質的に解消。引き続き、水道・電力などの要望、自治体の要請を踏まえ、緊急復旧を実施。

主要な幹線道路における緊急復旧の進捗率

	1/7 7時	現在
半島内の 主要な幹線道路	約6割 ⇒	約9割
うち国道249号 沿岸部※1	約2割 ⇒	約8割 (迂回路を考慮: 約9割)
沿岸部への到達 ※2	6方向 ⇒	10方向

※1: 輪島市門前町～珠洲市役所 ※2: 内陸側・海側の両方

孤立地区数の推移

1月5日8時	33地区 (最大3,345人)
1月29日16時	実質的に解消 (3地区10人)※4

※4: 避難の意向なし

緊急復旧に必要重要な重要箇所の緊急復旧状況

優先復旧の要望数	43箇所
うち完了数	24箇所(約6割)

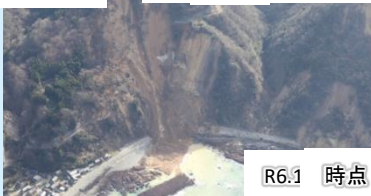
※5: 水道、電力、通信、放送事業者より聞き取り

写真① 国2号トンネル



R6.1 時点

写真③



国2号法面崩落

写真④ 国2号ハーフ橋



R6.1 時点

写真⑤ 国2号トンネル



R6.1 時点



凡例

- ★: 国復旧業者作業箇所
- : 沿岸部への到達点

復旧に時間のかかる道路災害（橋梁、トンネル、大規模地すべり）
→ 事前防災の必要性

写真② 国2号トンネル



1/14 復旧前

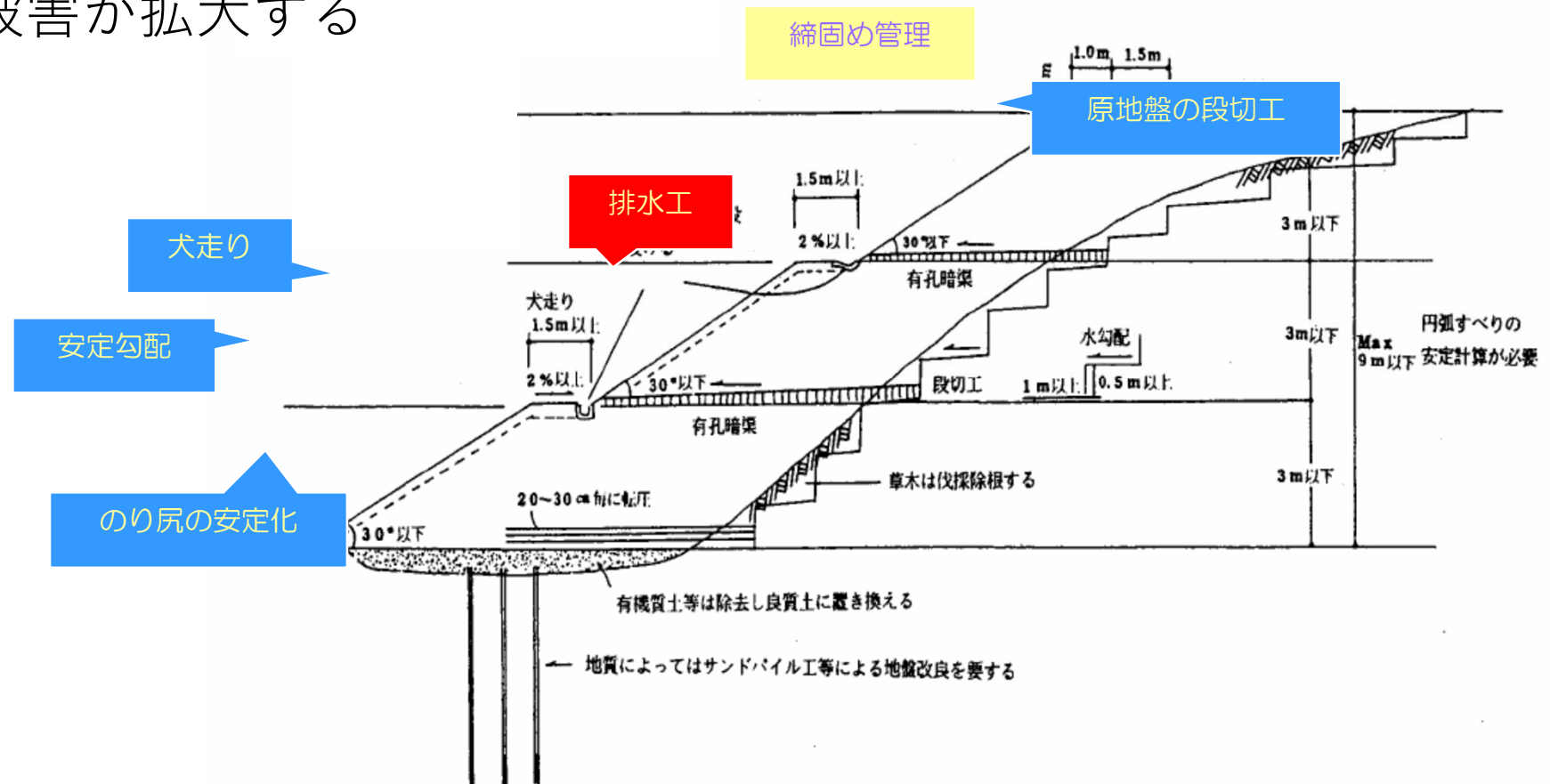
1/15 復旧後

道路盛土の地震被害（中越地震）

- 強震域で通行障害
 - 道路の亀裂・段差
 - 盛土の変形（沈下や側方変位）・崩壊
- 関越自動車道の被災例
 - 交通事故は軽微（事故：2・軽症者：4）
 - 早期の緊急車両の通行
- 土構造物の特性
 - 変形しやすいが復旧は迅速な特徴
 - 特性を意識した利用が肝心
 - 盛土の締固めや地下水の排水が基本
- 迅速な復旧活動
 - 協力会社の自発的な災害支援（関越自動車道）

盛土被害と中越地震（2004年）一般盛土の対策例

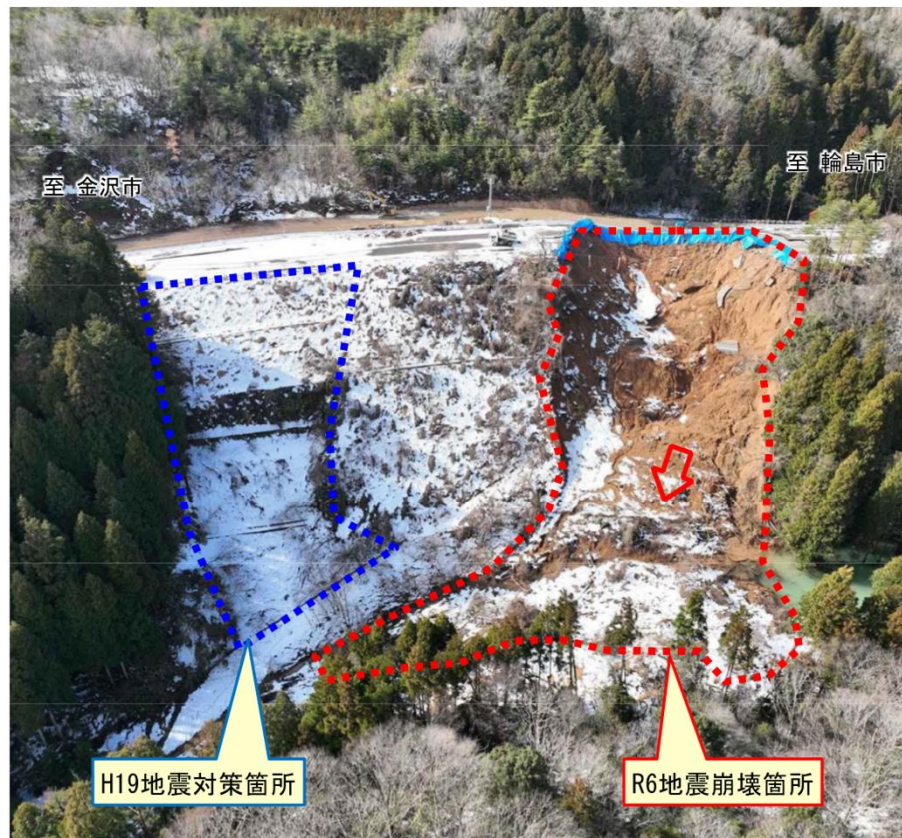
- 水平地盤ではのり先の強度不足で崩壊する事例が多い
- 谷地形など集水地形では被害が多発する
- 切盛り境界で被害の発生する事例が多い
- 古い盛土では段切り施工が不十分な事例が多い
- 余震で被害が拡大する



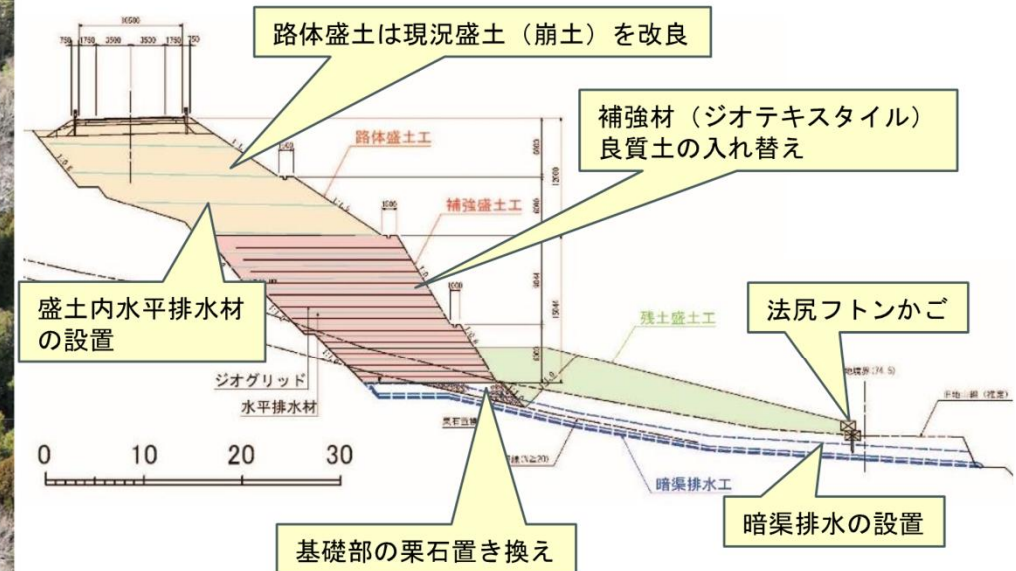
能登半島地震（2007年）の幹線道路復旧対策例

<被害の概要・特徴、復旧にあたっての留意事項>

- H19能登半島地震では集水地形の盛土被災が特徴的で、H19地震時に盛土の補強や排水などの対策を講じた箇所は被害が少ない。
- 復旧にあたっては、道路用地を最大限に活用して、早期の復旧を目指す。
- 盛土崩壊箇所は、地震発生時に被災を最小限にして通行機能を迅速に回復できるよう、H19震災対策と同様な盛土補強、排水対策の実施を基本とする。



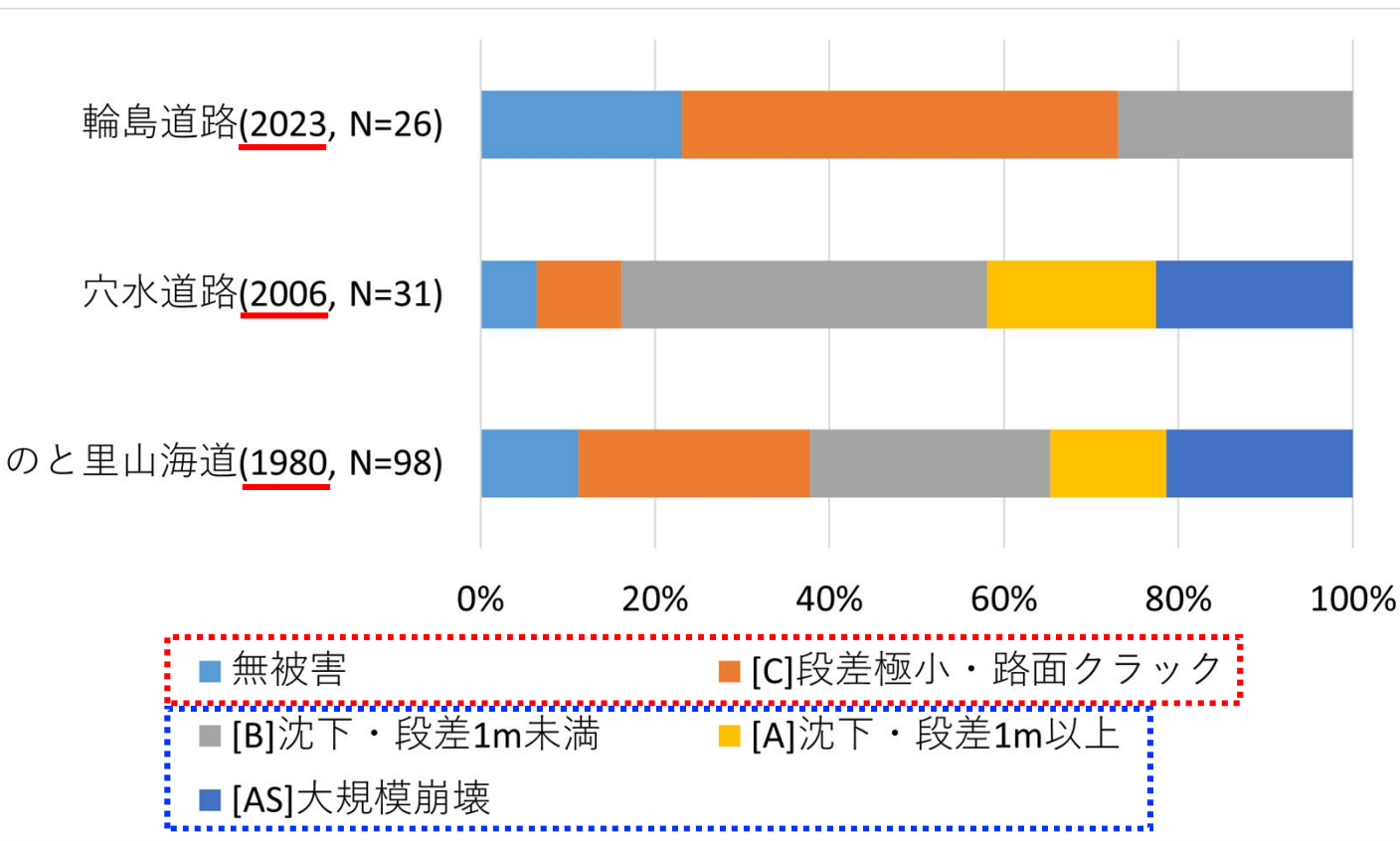
写真：H19地震対策箇所とR6地震崩壊箇所



図：H19地震時の対策例

（出典：能登半島地震 能登有料道路 復旧工事記録誌）

建設年代による盛土構造物の被害



【被災の特徴】

- 2007年地震被災後に強化復旧した箇所は軽微な被害
 - 水抜きボーリング
 - 押え盛土工
 - 補強盛土工
- 4車線区間は交通機能維持

【技術基準類の変遷】

- 1986年 耐震設計法の例示
- 1999年 大規模地震動に対する耐震設計法の例示
- 2010年 排水対策の強化、耐震設計の明確化
- 2013年 締固め管理基準値の強化
- 2015年 要求性能の明確化

令和6年度土木研究所講演会（2024年10月22日）：道路土工構造物の被害と技術支援 を再整理
https://www.pwri.go.jp/jpn/about/pr/event/2024/1022/pdf/20241022_01.pdf

2007年能登半島地震による被災箇所強化復旧とその効果

令和6年能登半島地震 道路盛土被災状況 (H19被災と対比)



■のと里山海道（徳田大津IC～穴水IC）※徳田大津IC～田鶴

小←報告→大

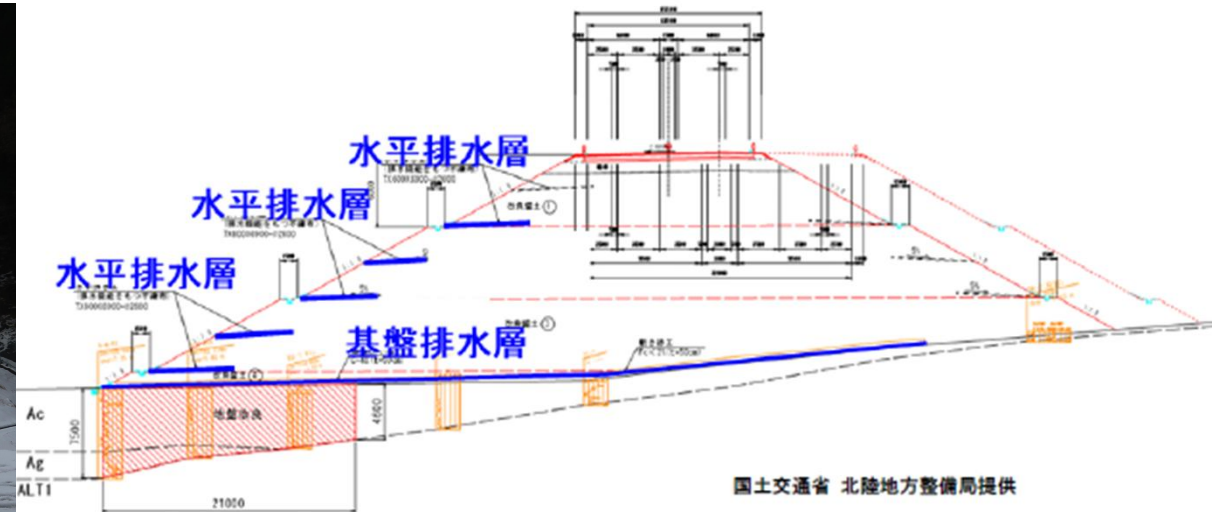
道路名	延長(km)	供用年月	H19地震 災害復旧 対策レベル	※同一盛土内で複数被災を計上 ※（）は割合					計 ※（）は割合
				無被害	[C]段差極小 路面クラック	[B]沈下・段差 1m未満	[A]沈下・段差 1m以上	[AS]大規模 崩壊	
のと里山海道 徳田大津IC～穴水IC	27.	小 ↑ 対策 ↓ 大 F)	無対策	10 (18.2%)	18 (32.7%)	10 (18.2%)	5 (9.1%)	12 (21.8%)	55 (56.1%)
			レベル1	0 (0%)	0 (0%)	5 (83.3%)	0 (0%)	1 (16.7%)	6 (6.1%)
			レベル2	1 (3.8%)	5 (19.2%)	7 (26.9%)	6 (23.1%)	7 (26.9%)	26 (26.5%)
			レベル3	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (66.7%)	1 (33.3%)	3 (3.1%)
			レベル4	0 (0%)	3 (37.5%)	5 (62.5%)	0 (0%)	0 (0%)	8 (8.2%)
計				11 (11.2%)	26 (26.5%)	27 (27.6%)	13 (13.3%)	21 (21.4%)	98 -

小 ← 被害 → 大

小
↑
対策
↓
大

- 無対策盛土の被災率は高い
- レベル2は排水工の実施：被害の軽減
- レベル3は押え盛土工、レベル4は補強盛土工の実施：被害の抑制

道路盛土の被害：軽微事例（輪島道路）



被害が軽微だった輪島道路の盛土の排水（例）

【基準改定案】

排水対策の強化：限定的な道路の機能損失

排水対策が強化に関する具体的な対応

- 表面排水施設及び地下排水施設の設置を規定



実走時に路面がほとんど無損傷の高盛土も

道路盛土の被災事例（のと里山海道）

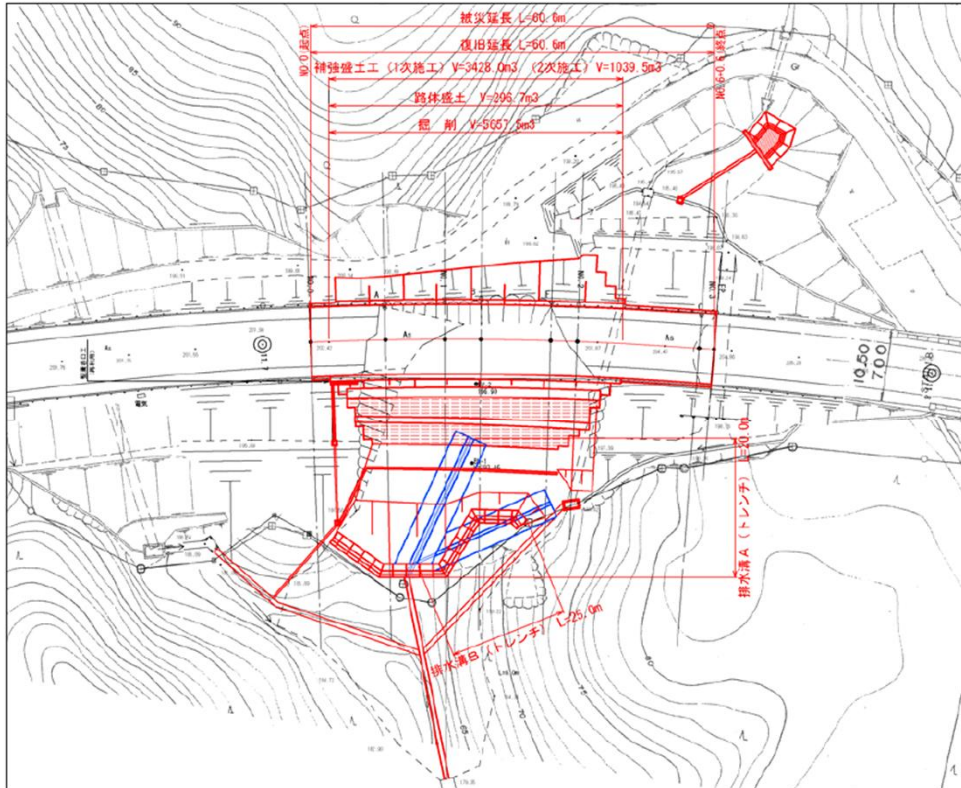


図 5.5.2-1 NO. 縦-14 平面図

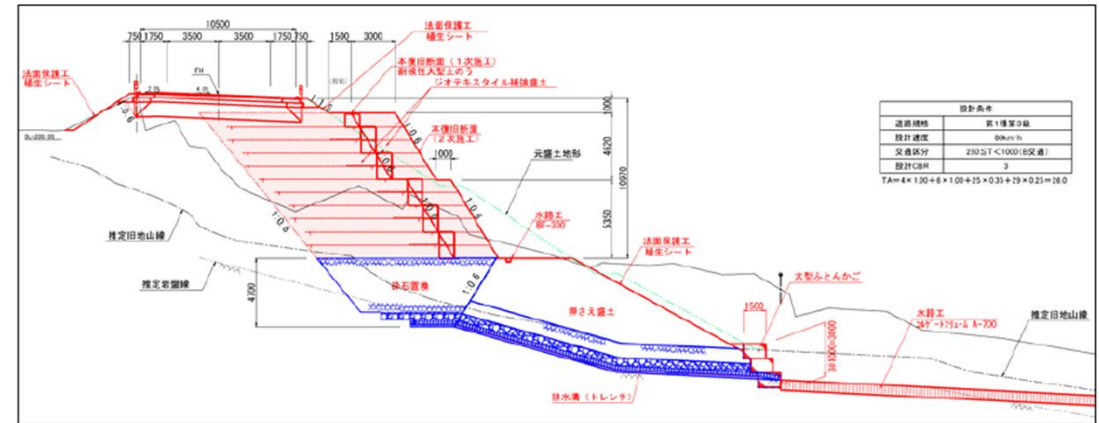


図 5.5.2-2 NO. 縦-14 標準断面図

【2007年被害】

崩落土砂は約70m先まで流れ出した

【2007年被災後の復旧】

- 盛土靱性：補強盛土工（ジオテキスタイル）
- 盛土排水：暗渠排水溝

【2024年被害】

- 隣接した無対策部分の盛土が崩壊

能登半島地震における道路技術の動向

- 社会資本整備審議会・道路分科会・道路技術小委員会
2024年1月以降、5回の小委員会を開催
- 令和6年能登半島地震の知見：橋梁・土工およびトンネル
 - 大規模な斜面崩落や地すべり、地山の変位等は、構造物での対応に限界
 - 構造物の境界部付近での変状が交通機能に著しい障害を及ぼした事例が複数あった。トンネル坑口、橋台背面の事例
 - 土工締固め管理基準変更（2015年）後に建設された盛土、2007年地震の被災後に補強や排水対策を講じた盛土は被害が軽微
 - 盛土幅が大きいほど交通機能の全損には至りにくい

道路技術小委員会（国土交通省）：https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/s204_dourogijyutsu01.html

第22回道路技術小委員会（2024年3月26日）資料-1 を<https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001733617.pdf>

第24回道路技術小委員会（2024年12月25日）資料-1 <https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/content/001854513.pdf>

道路技術の動向①

【課題】

○道路周辺の地形(地すべり、沢筋が複雑に存する集水地形 等)、地質等に起因した災害に伴い、道路機能の損失に至るケースが発生。

【改定内容 と 期待される効果】

○道路土工構造物の計画において、**道路機能確保**のための配慮事項(周辺地形、地質、地域の防災計画並びに連続又は隣接する構造物等の計画との整合性等)を考慮した道路土工構造物の**配置の検討**及び **構造形式の選定**を規定。

(例) 集水地形、う回路の確保、路肩幅の確保 等を考慮した道路土工構造物の配置の検討 及び 構造形式の選定

○災害リスクの高い地形、地質等においても、連続又は隣接する構造物等の計画や地域の防災計画等に整合し、道路機能の損失が限定的になることが期待される。

● 地質リスクの評価と地形に合わせた柔軟な設計

▽周辺の地形、地質等に起因した道路土工構造物の崩壊、道路機能の損失

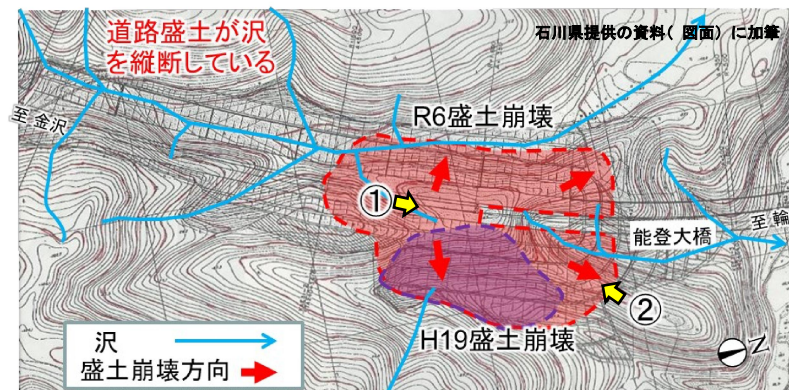


令和6年能登半島地震



平場により道路機能の損失が限定的

▽複雑な集水地形かつう回路の確保が困難な橋台取付部において、H19の復旧箇所を含む広い範囲の盛土が崩壊した事例

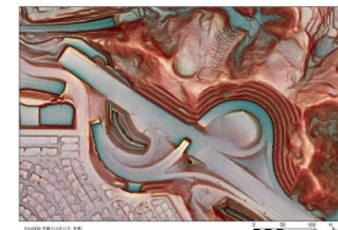
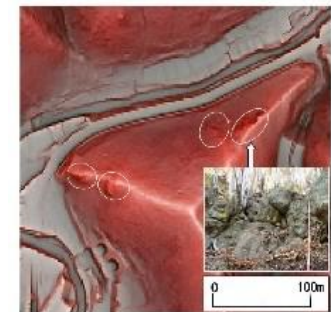


①能登大橋取付部の段差



②H19の復旧箇所の崩壊

▽活用可能な情報・技術等



三次元点群データによる微地形表現図(例)

道路技術の動向②

【課題】

○道路土工構造物における主測線方向(一般的な標準断面)と異なる方向で盛土崩壊が発生。

【改定内容 と 期待される効果】

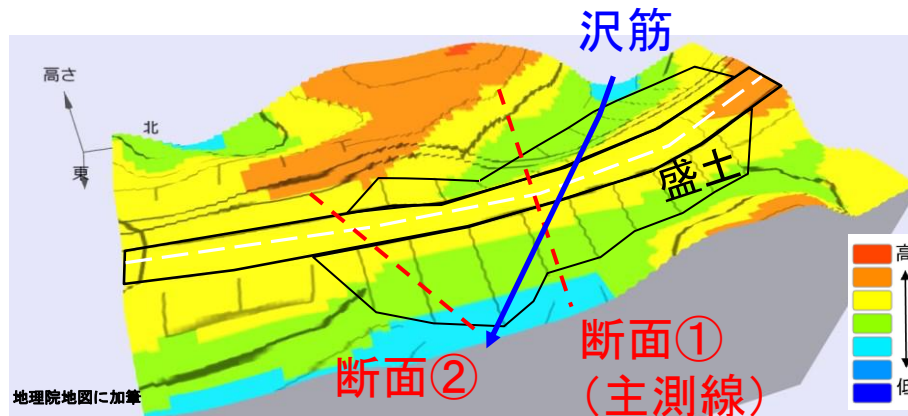
○地形、水理、過去の災害履歴等を考慮して、荷重の組合せは、想定する範囲内で同時に作用する可能性が高い荷重の組合せのうち、最も不利となる条件を考慮して設定。また、荷重は、想定する範囲内で最も不利となる条件を考慮して作用させることを規定。

○複雑な周辺地形等の条件においても道路機能の損失が限定的になることが期待される。

想定する範囲内で同時に作用する荷重の組合せの例

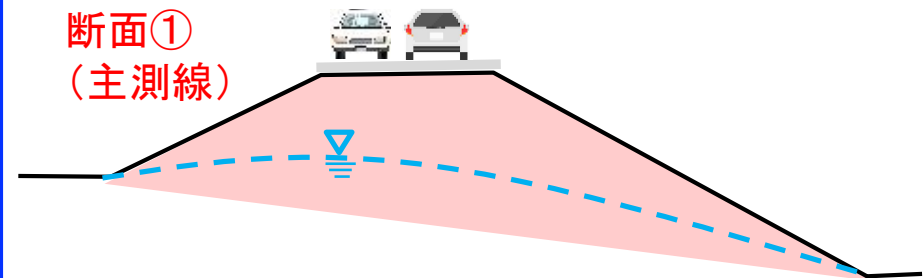
想定する作用		考慮する荷重
常時の作用	施工時	死荷重 (+ 活荷重) ※1
	供用時	死荷重 (+ 活荷重) ※1
降雨の作用 ※2	供用時	死荷重 + 降雨の影響
地震動の作用	レベル1 地震動	死荷重 + 地震の影響
	レベル2 地震動	死荷重 + 地震の影響

※1: ()内のものは盛土への影響や施工条件等を踏まえて必要に応じて考慮する。
※2: 降雨の作用に関してはこの他に表面排水施設の設計も行う。本表における降雨の作用は、供用期間中に通常想定される降雨である。

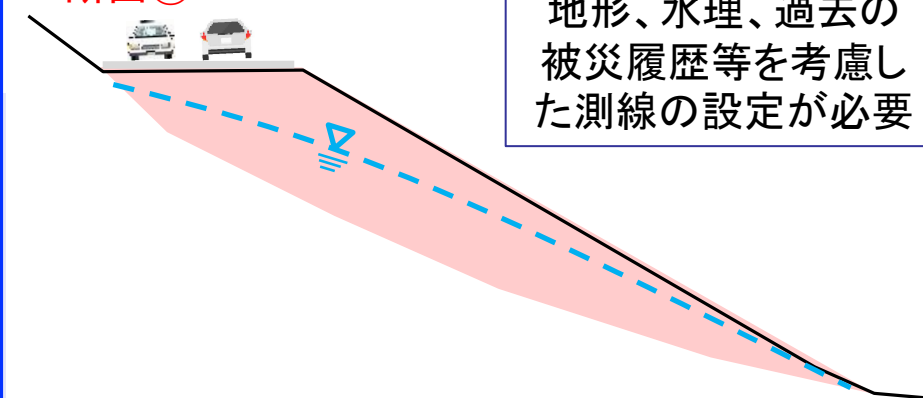


断面①

(主測線)



断面②



地形、水理、過去の
被災履歴等を考慮し
た測線の設定が必要

想定する範囲内で最も不利となる条件を考慮した荷重
の作用の検討例

6

道路技術の動向③

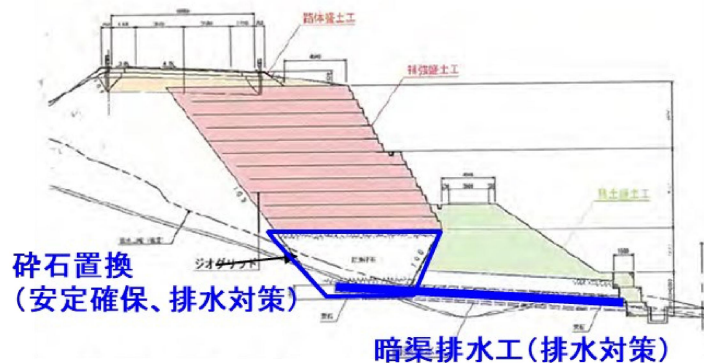
【課題】

○令和6年能登半島地震において、排水対策が強化された箇所では軽微な被害に留まった事例が確認されたが、排水対策の強化に関する具体的な対応が明確となっていない。

【改定内容 と 期待される効果】

- 必要に応じて、雨水や湧水等を速やかに排除する構造となるよう、**表面排水施設及び地下排水施設の設置**を規定。（例）谷埋め高盛土等の基礎地盤における基盤排水施設、のり尻排水施設、砕石置換等
- 排水対策を強化することにより**、道路機能の損失が限定的になることが期待される。

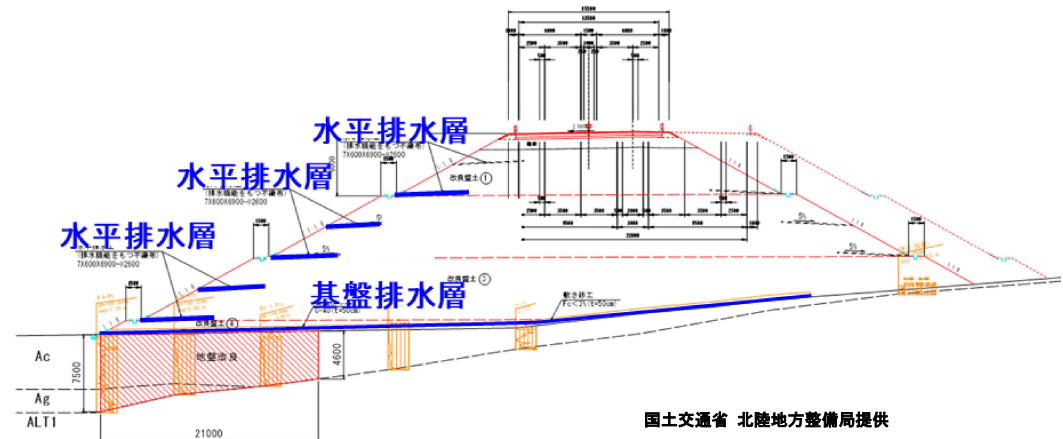
▽H19地震で崩壊した盛土の復旧で排水対策が強化され、R6地震では被害が軽微であった



平成19年3月25日 能登半島地震
能登有料道路 復旧工事記録誌(石川県)

被害が軽微だったH19能登半島地震復旧
盛土の排水(例)

▽H22道路土工—盛土工指針(日本道路協会)の改定で基盤排水に関する記述を追加した効果で排水対策が強化され、被害が軽微であった



国土交通省 北陸地方整備局提供

被害が軽微だった輪島道路の盛土の排水(例)

道路技術の動向④

【課題】

○事業の初期段階で複雑な地盤の性状を把握することが困難な道路土工において、各段階で地質・地盤等の不確実性を低減し随時見直しの考え方が規定されていないため、実務上、適切な対応が取れず被災や不具合が発生した事例が認められる。

【改定内容 と 期待される効果】

○道路土工構造物の適切な計画、設計、施工及び維持管理を行うために、事業の各段階で地質・地盤等の不確実性低減に資する必要な調査の実施を規定。

○道路土工構造物の適切な計画・設計・施工等が可能になることで道路土工構造物の性能の確保が期待される。

【課題】

○道路の構造物設計は、それぞれ構造物毎の要求性能及び設計方法を設定し、実施しているが、現在の道路土工構造物技術基準では設置目的、構造形式及び配置が異なる様々な土工構造物が道路土工構造物として一括りになっており、具体的な性能照査の方法が明確になっていない。

【改定内容 と 期待される効果】

○道路機能確保の観点から要求される性能（構造物の健全性・道路機能への影響等）に応じた限界状態を、構造物ごと、また構造物の組み合わせに応じてきめ細かく設定。

○原則として想定する作用によって生じる道路土工構造物の状態が限界状態を超えないことを照査。（性能照査の方法を規定）

○道路土工構造物の構造形式、配置計画、組合せ、損傷した場合の道路機能への影響等に応じた限界状態を設定することにより、適切な性能照査が可能となることが期待される。

道路技術の動向⑤

【課題】

○不測の外力等により、道路土工構造物の一部の機能不全等が原因となり、崩壊等の道路土工構造物の致命的な状態となった事例が発生。

【改定内容 と 期待される効果】

○道路土工構造物の設計にあたっては、崩壊等の致命的な状態となることを極力回避するため、設計で具体的に考慮されていない**不測の外力**に対する**配慮(フェールセーフを含む)**について**検討を行う**ことを規定。(例)路線計画、事前通行規制、横断排水カルバート流入口の閉塞軽減対策等、復旧が容易な構造、粘り強い構造等。

○設計で具体的に考慮されていない**不測の外力が作用した場合**にも**致命的な状態**に至りにくい道路土工構造物となることが期待される。



△土砂がカルバート流入口を閉塞し、
ため池形成 □ 越水による盛土崩壊

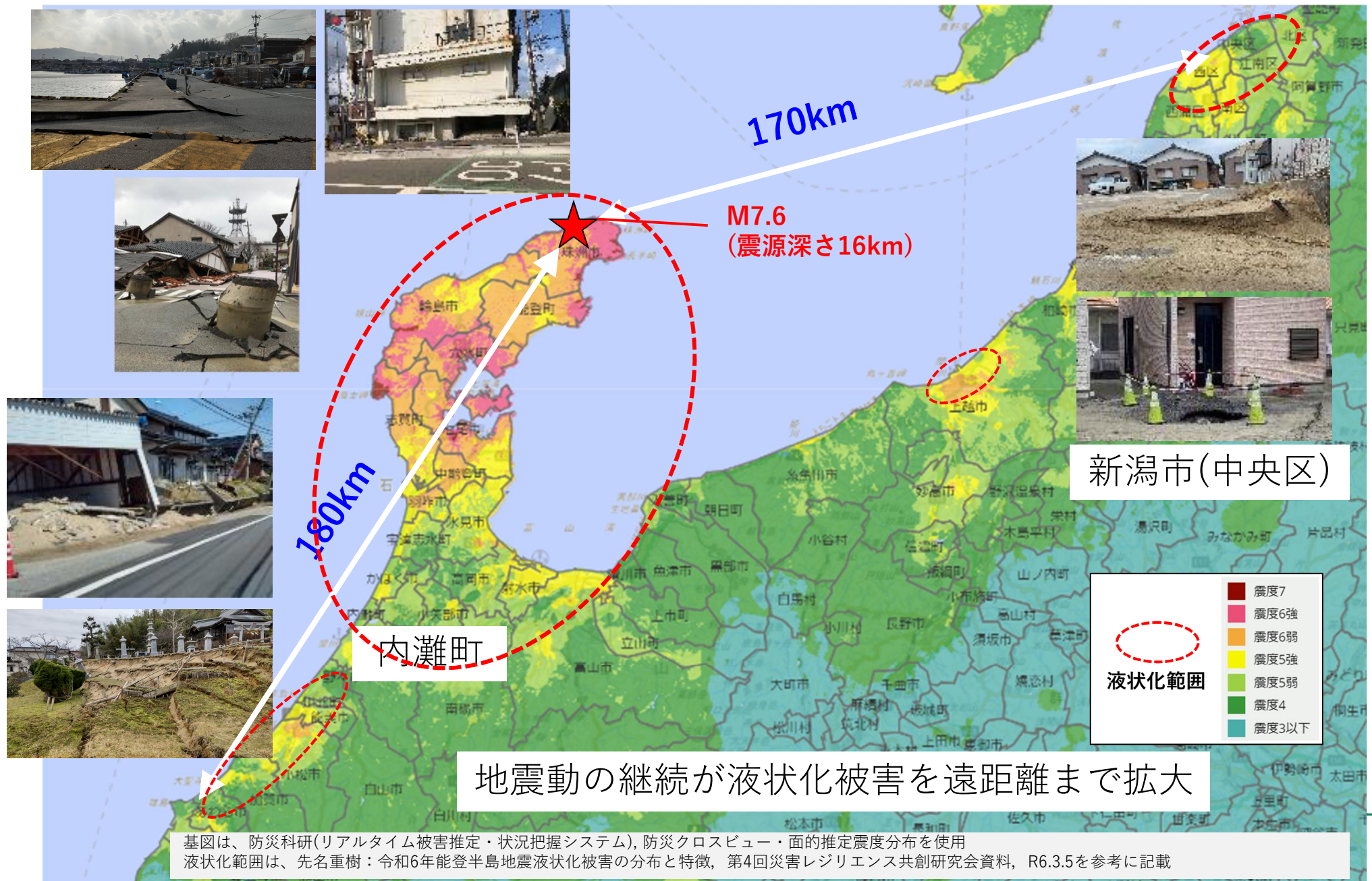
土木研究所資料4405号 https://thesis.pwri.go.jp/files/doken_shiryou_4405_00.pdf

復旧

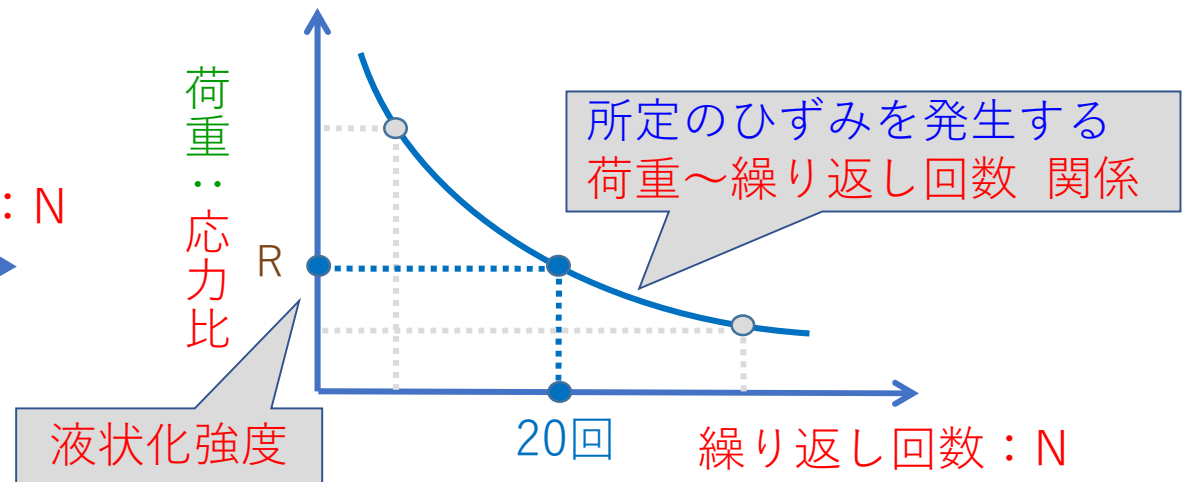
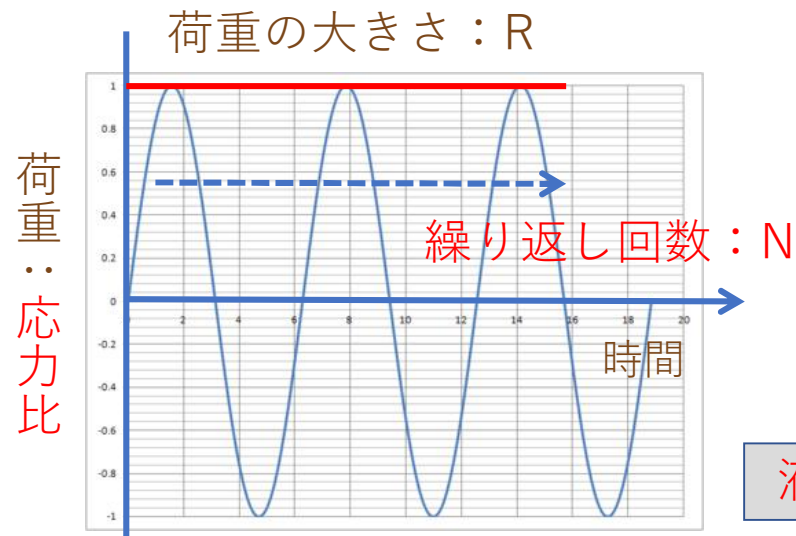
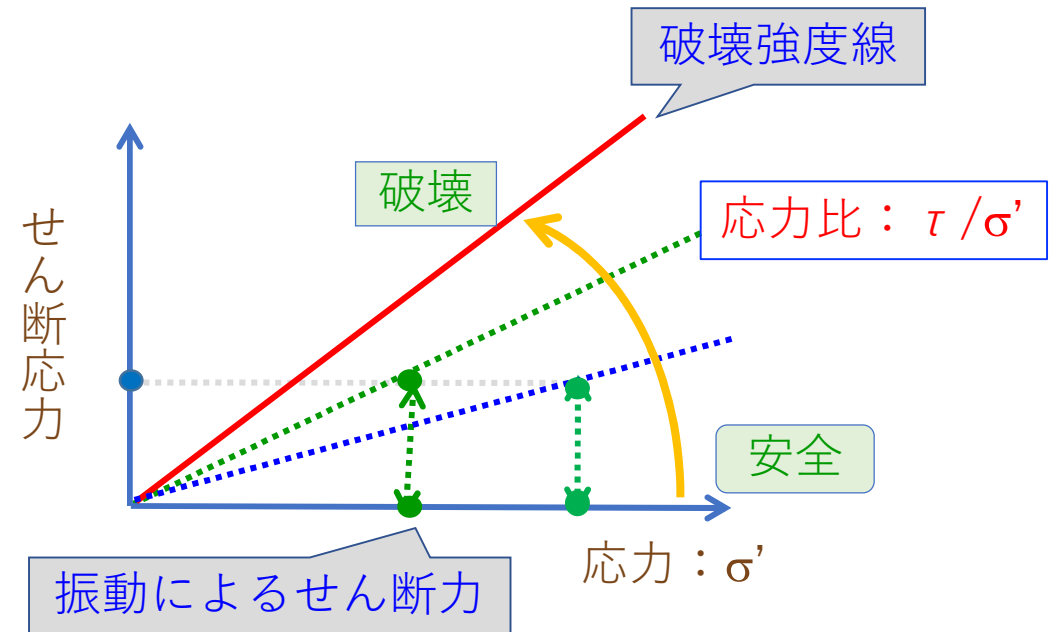
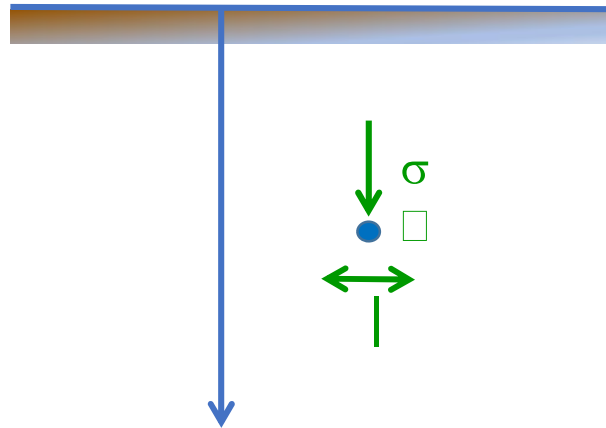


土石流によるカルバート閉塞に起因した盛土崩壊と閉塞軽減施設設置による復旧の例

能登半島地震の液状化災害



せん断応力の繰り返しと液状化抵抗



石川県内灘町の広域液状化（砂丘麓の埋立地）

内灘砂丘

長さ: 20 km
幅 1.5 – 2.0 km
標高 61.3 m (max)

大きな被害が
発生した場所

河北潟埋立地





- 砂丘麓の穏やかな傾斜地で側方変位の発生
- 側方変位に伴う宅地の沈下や隆起
- 地盤の変位による建物基礎の被災が顕著



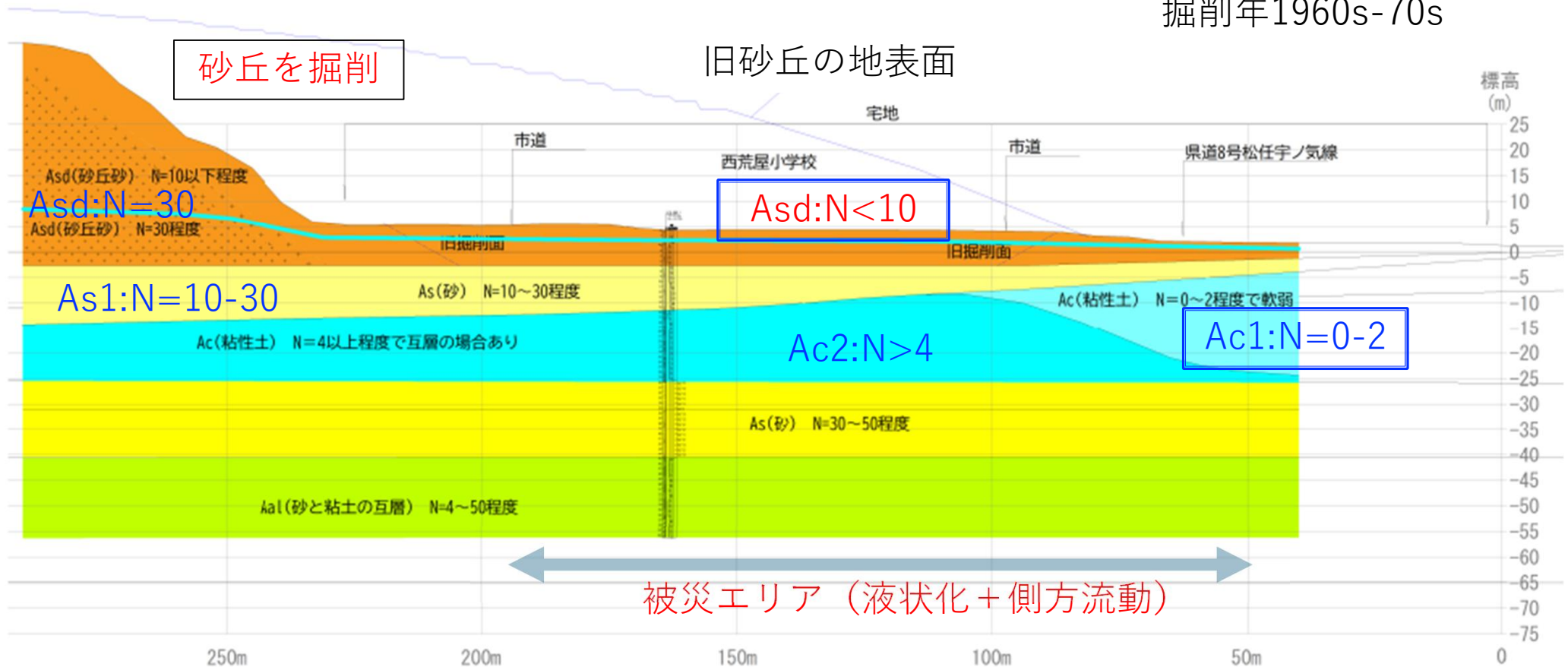


- 液状化地盤は建物荷重による不同沈下が発生（沈下と隆起）
- 地盤の広域側方変位は地盤に引張開口と圧縮座屈が発生
- 基幹道路は砂丘麓に配置されており、側方変位を抑制した



西荒屋地区 推定地質断面図

掘削年1960s-70s



埋め立て地の液状化（内灘町）



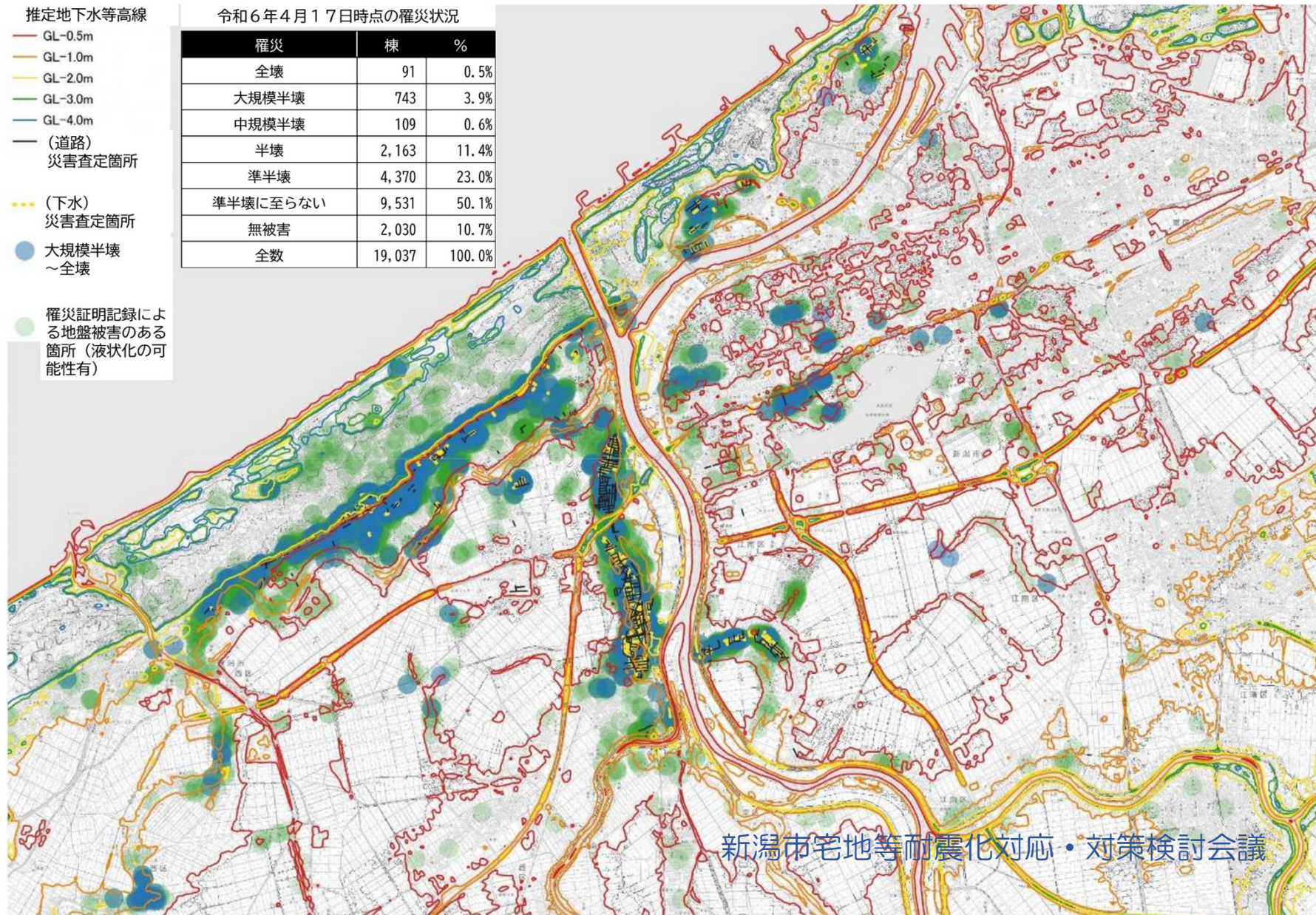
埋立盛土の上端・引張亀裂が広範囲に発生した



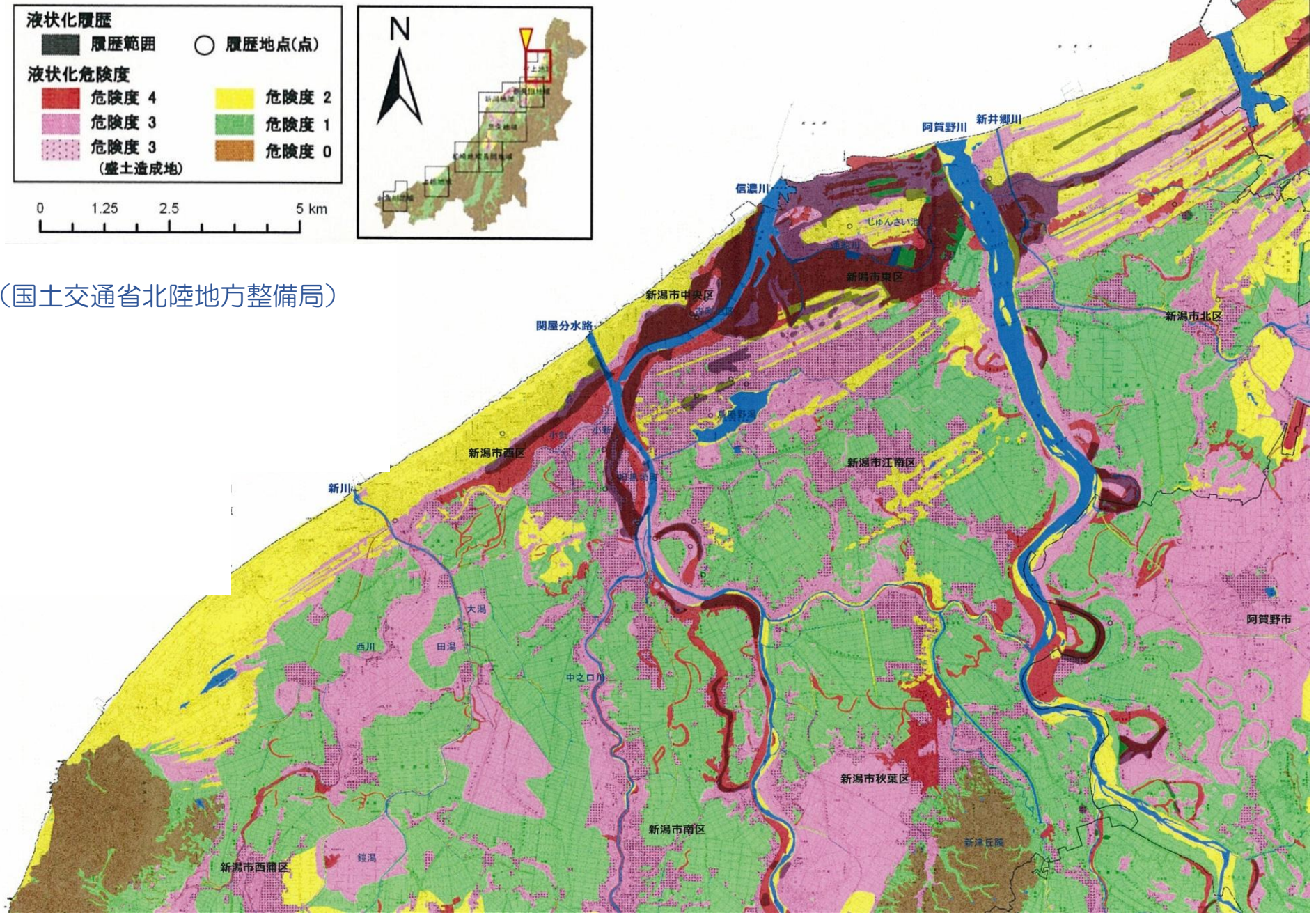
真の強さを学ぶ。

新潟大学
NIIGATA UNIVERSITY

新潟市の液状化被害（被災面積250ha）



新潟市の液状化しやすいマップ



(国土交通省北陸地方整備局)

新潟地震(1964年)の液状化被害分布

- 崩壊及び建造物など
- ガス・石油タンク
- 傾斜・埋没した鉄筋建造物
- 倒壊・半壊・傾斜した木造建造物
- 陥没・傾斜したガス・石油タンク
- 亀裂
- 道路の液状化変形
- 陥没
- 砂泥噴出物及び噴出孔
- 堤防防壊堤などの破壊
- 浸水地域
- 新被害地域

被災した鉄筋建物

被災した木造建物

砂泥噴出

浸水被害

無被害

亀裂

0 250 500m



真の強さを学ぶ。

新潟大学

NIIGATA UNIVERSITY

- 1660年以前の旧河道
- 1660年以降の河道
- 震害分布地域
- 砂丘
- 山地・丘陵

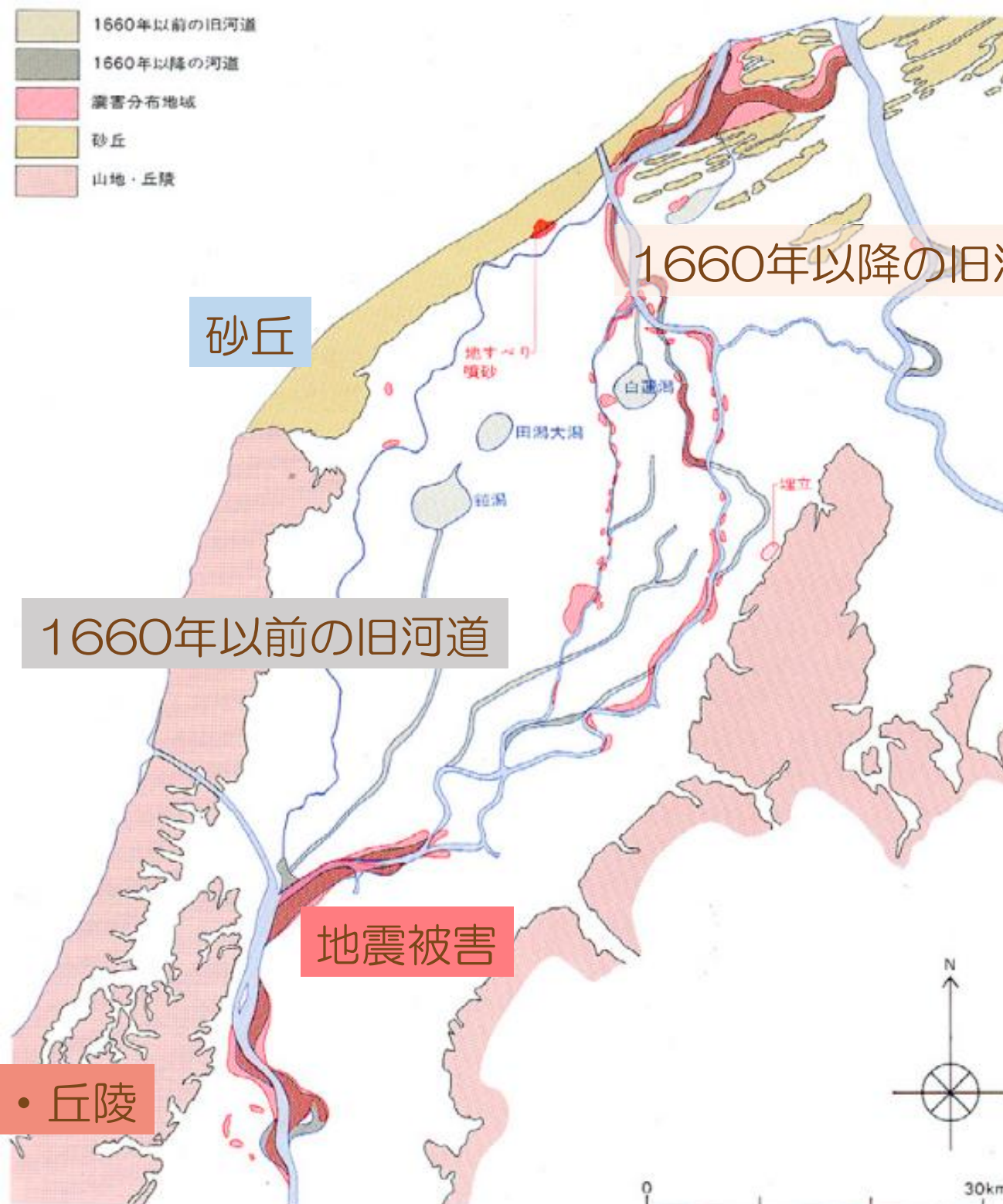
1660年以降の旧河道

砂丘

1660年以前の旧河道

地震被害

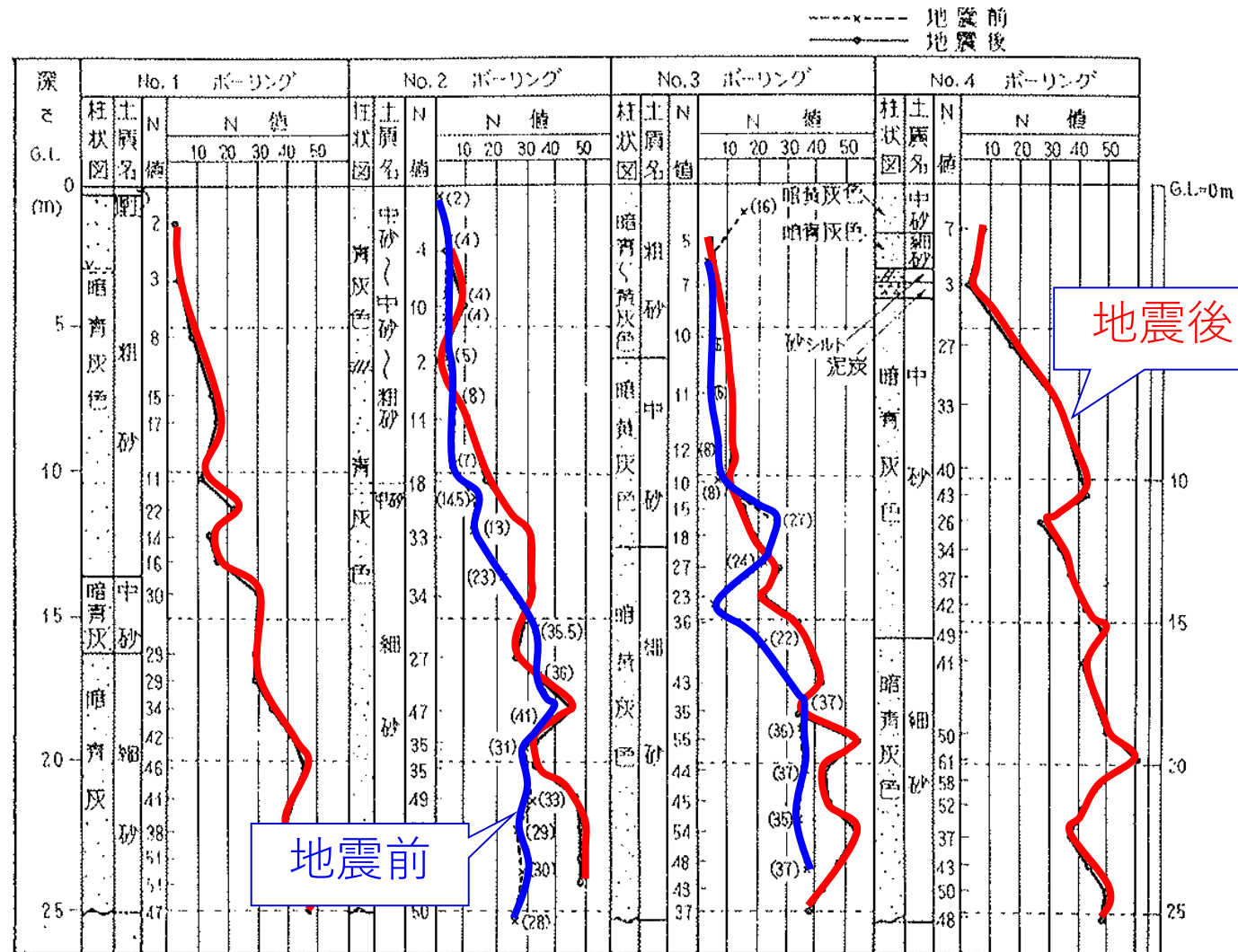
山地・丘陵



新潟大学理学部

Urban Kubota, No.17

液状化災害の繰り返し：地盤強度の変化



液状化被害の特徴（その1）

- 液状化の繰り返し
 - 新潟地震と同じ地域で液状化が発生
 - 液状化しやすさマップは概ね評価（過去の被災事例は精度が高い）→マニュアルは検証が必要
 - 再液状化しない地域（中央区）は地震動の大きさや下水管の設置による地下水位の低下で説明
- 砂丘後背地、旧河道で激しい液状化
 - 傾斜地では側方変位が建物被害を拡大
 - 側方変位は微地形でも発生
 - 大量の噴砂が発生し、地中の空洞が懸念される。地盤の局所沈下は地震後に長期間にわたり進展している
- 人工改変地の液状化
 - 地下水位の高い、人工改変地（砂質土の切盛・埋立）の液状化
 - 粘性土地盤上の砂質盛土は排水不良の場合に液状化する事例がある



- 大量の噴砂に伴う住宅の不同沈下、地盤の陥没
- 局所的には住宅地盤で沈下、自由表面では隆起が生じた
- 傾斜地では側方変位が生じ、住宅基礎の損壊が生じた

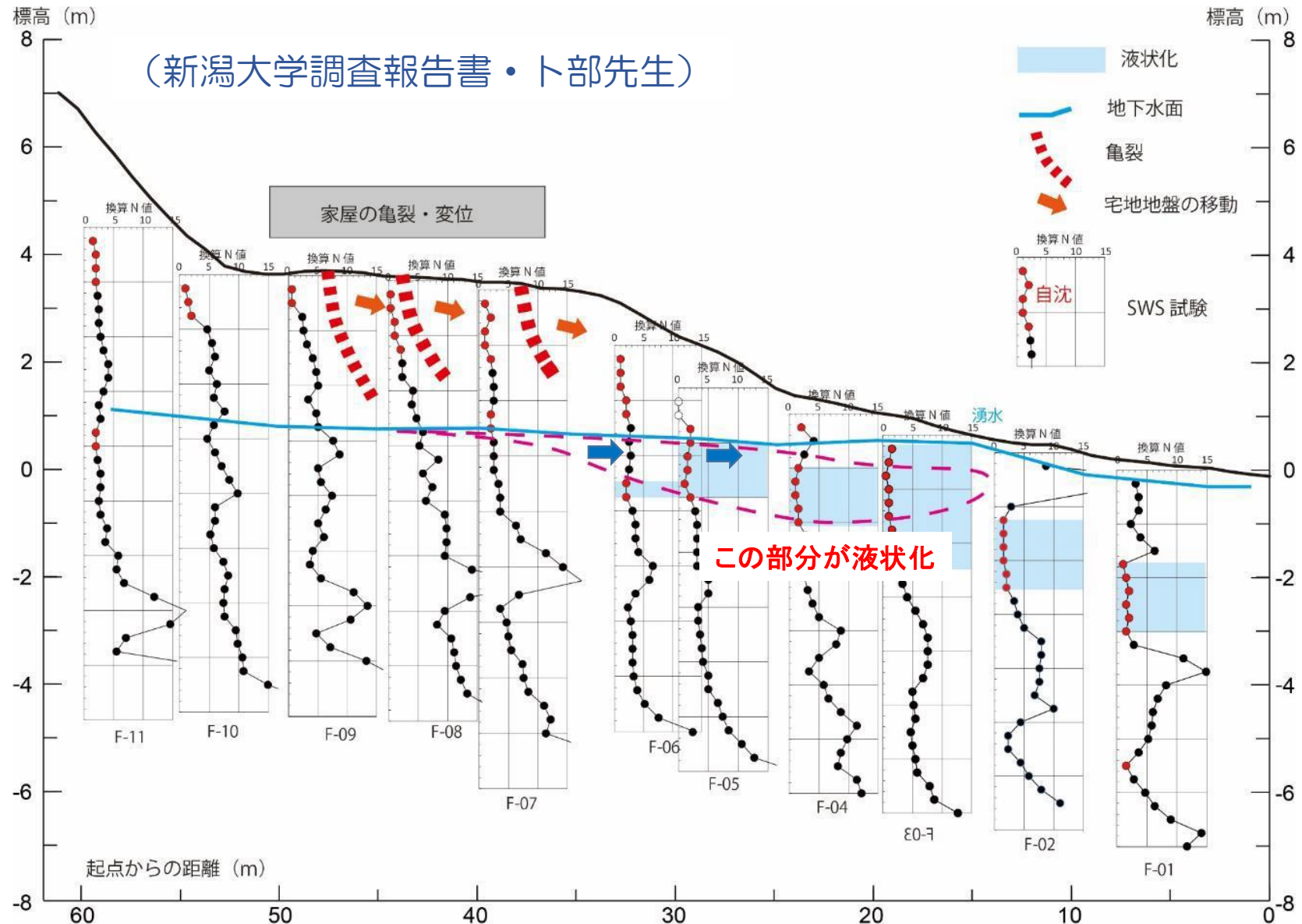


(株式会社興和 坂東和郎氏, 藤野丈志氏)

液状化被害の特徴（その2）

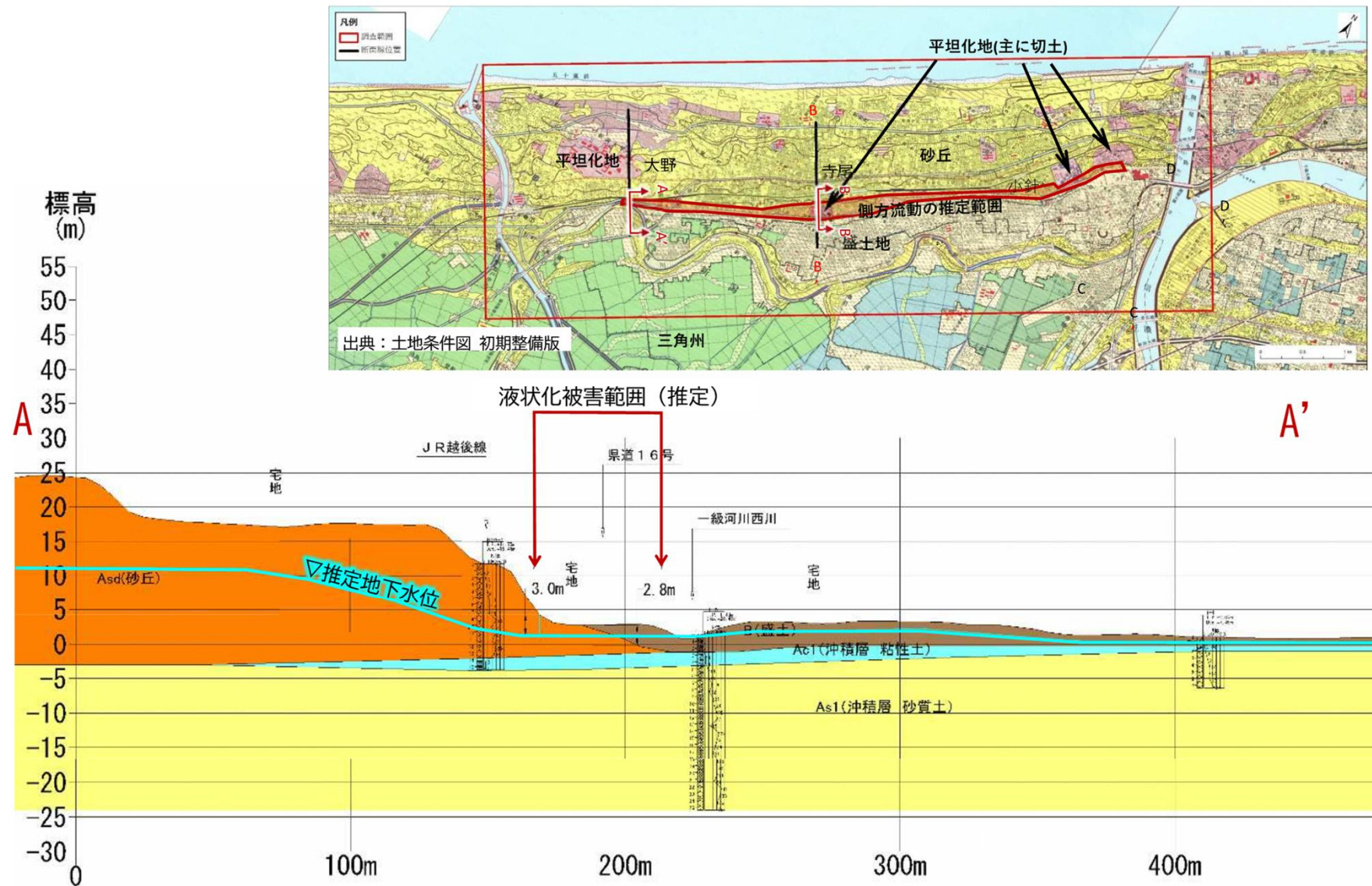
- 擁壁と排水性
 - 擁壁の排水性が悪いと後背盛土や斜面の地下水位が上昇し、液状化する事例がある
 - 液状化すると、擁壁の沈下や孕み出し、滑動を生じた
- 建物荷重と不同沈下
 - 液状化地盤では建物の沈下，周辺地盤（駐車場や道路）の相対的な隆起が生じた
 - 建物は不同沈下により傾斜した
- 基幹道路は路盤が締め固められており，表面的被害なし
 - 傾斜地で液状化に伴う側方変位が生じた
 - 道路では強い変形拘束が生じ、山側は圧縮変形、谷側は引張変形が生じた

新潟市の液状化被害

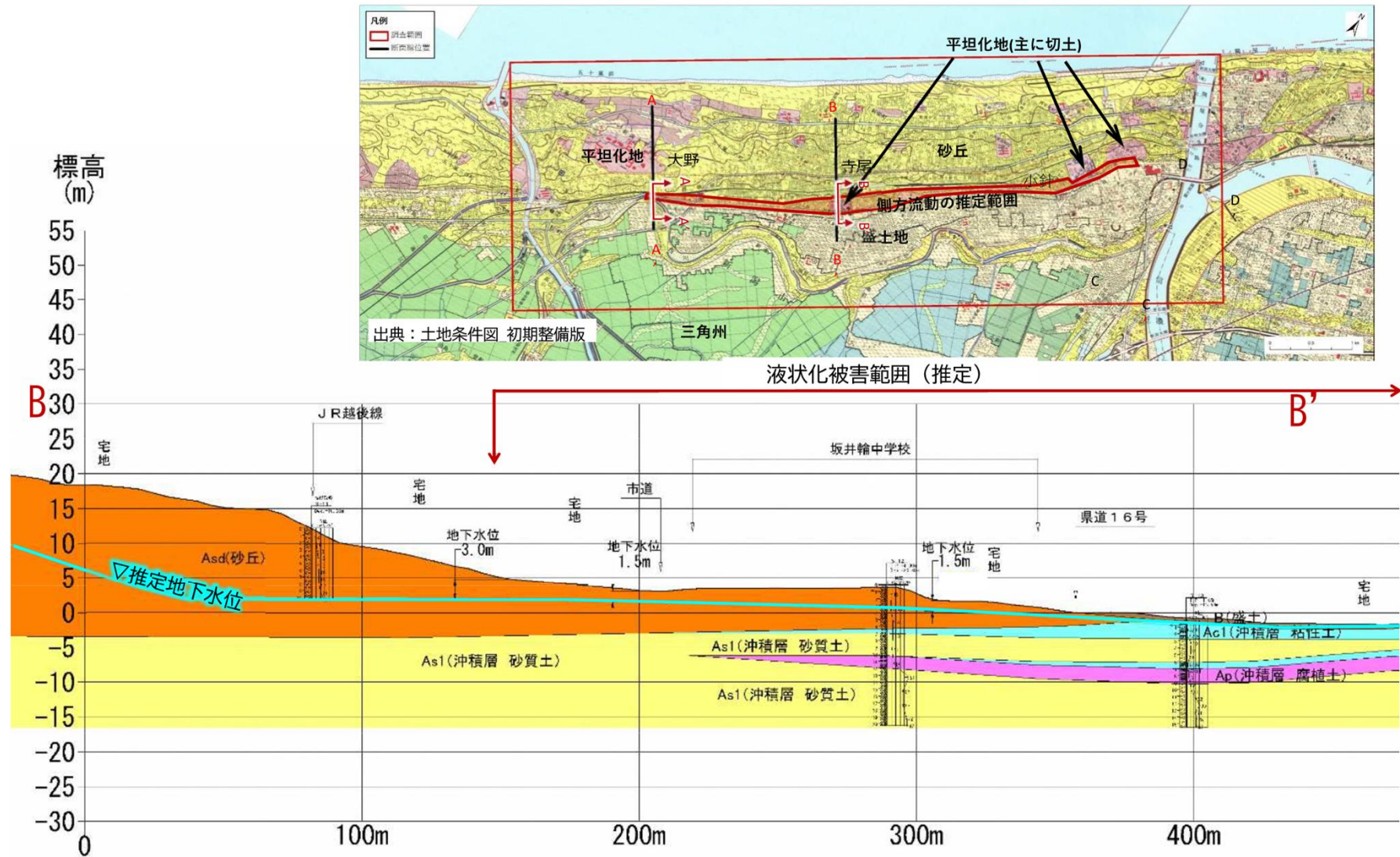


斜面末端部の液状化 □ 液状化層の側方移動 □ 斜面表層部(宅地)が移動

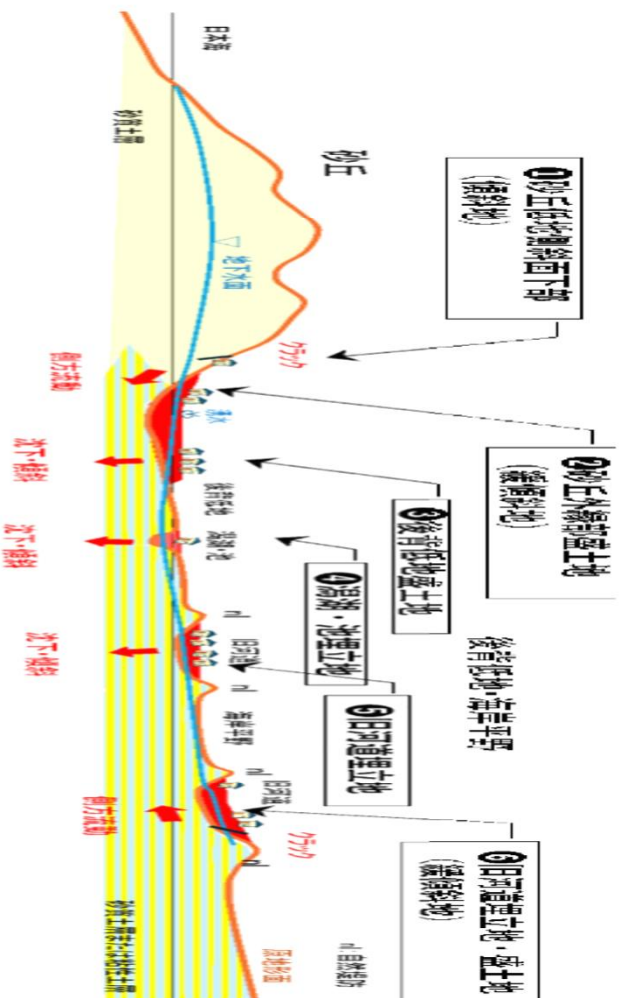
大野地区の地質断面



寺尾地区の地質断面

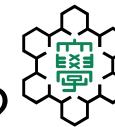


地形分類	土地利用の履歴	発生した被害現象 (●被害)					主な被災地	地形勾配	地下水位 (GL-m)	地盤変状	
		噴砂	家屋が沈下	壁ずれ	陥没	傾方移動					
Ⅲ 土地利用の履歴											
砂丘	砂丘低地・砂丘下部	○	○	○	●	●	●	●	○	青山～大野	傾方流動
①	砂丘低地・砂丘下部	○	○	○	●	●	●	●	○	青山～大野	傾方流動
②	砂丘外縁部・砂丘地	●	●	●	○	○	●	●	●	青山一丁目、外山一丁目、寺尾日通	沈下・傾方流動
③	緩衝低地・砂丘地	○	●	●	○	○				青山、小幡南、寺尾日通、寺尾東、飯井東	沈下・傾斜
④	沼澤、池田地	●	●	●	○					女池三丁目、泉屋敷沼澤、(沼澤・農田)	沈下・傾斜
⑤	田圃・遊牧地	●	●	●	●	●				普次～ときめき、天野	沈下・傾斜
⑥	田圃・遊牧地・盛土	●	●	●	●	●	○			泉原、普次、天野の西端	傾方流動



資料提供：株式会社奥和

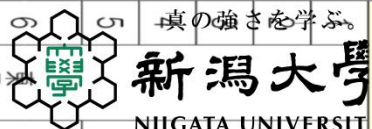
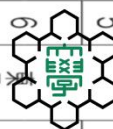
[illegible]



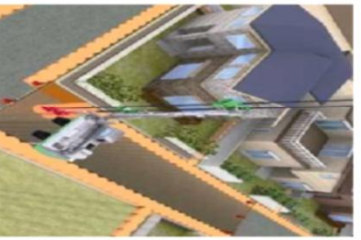
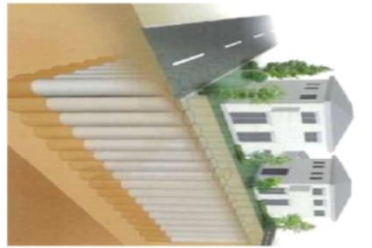
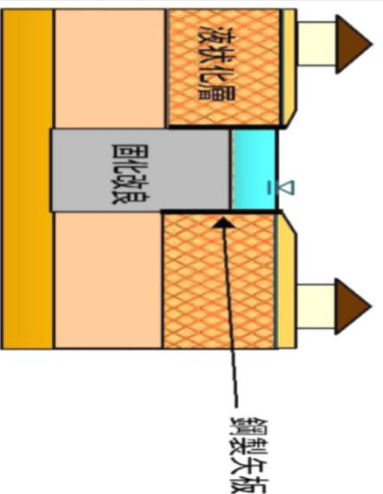
宅地の液状化対策をどうするか？

- 宅地の液状化対策
 - 2004年中越地震以降、液状化対策（戸建住宅）が普及
 - 大規模盛土造成地滑動崩落防止事業による地下水低下工法の適用
- 事前防災としての液状化対策（自助を念頭にした長期戦略）
 - 液状化しやすさマップなど液状化危険度の住民周知
 - 既存建物でも改築時に予算に応じた液状化対策の実施
 - 時間経過とともに防災力向上を図るソフト対策戦略
- 遠距離地震で発生する液状化被害
 - 能登半島地震で新潟市にも大きな液状化被害の発生
 - 住民の都合で災害は待ってられない
- 液状化対策の適正レベル（課題）
 - 広域液状化対策（維持費・更新費）と住民合意の壁
 - 人口減少下の液状化対策メニュー
 - 被災地外の液状化リスクの高い地域への対応

市街地液状化対策事業・宅地液状化防止事業の実施状況一覧表

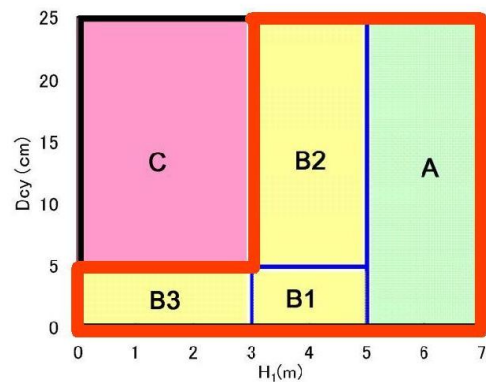
地震	都道府県	市町村	検討委員会資料	その他資料	採用対策工法	対策工法選定理由	備考
市街地液状化対策事業							
 新潟大学 NIIGATA UNIVERSITY 新潟県 新潟市 佐和田町のまち	新潟県	新潟市	あり：3回分	-	地下水位低下工法	格子状地中壁工法との比較検討不明、地下水位低下工法の事業効果検証あり。	事業効果検討委員会
	新潟県	神栖市	あり：20回分	住民説明会資料：2回分	地下水位低下工法	経済性に優れる地下水位低下工法を採用	第4回検討委員会
	新潟県	趣嶋市	無し*	-	地下水位低下工法	※検討委員会資料が無いため、選定理由不明	-
	新潟県	稲藪市	あり：6回分	-	※事前計画で終了	地下水位低下工法を選定したが、大深度の地下水運動が技術的に不可と判断	第6回検討委員会
	新潟県	ひたちなか市	あり：4回分	-	※事前計画で終了	住民の意向調査を行い、一体対策の実施は選択しない。	第4回検討委員会
	新潟県	千葉市	あり：15回分	-	地下水位低下工法 格子状地中壁工法	格子状地中壁工法との比較不明、現地実証実験により地下水位低下工法採用 真砂5丁目地区：被圧水位を懸念して、格子状地中壁工法を採用	第15回検討委員会 第9回検討委員会
 日本大震災	千葉県	香取市	あり：10回分	住民説明会資料：5回分	-	佐原地区：河川直下を改良率50%以上の格子状改良を基本に設定 府馬地区：追加地盤調査・解析により有害な変形発生が懸念されることから、地下水位低下工法は適用ができていないと判断された。	第9回検討委員会 第10回検討委員会
	千葉県	浦安市	あり：複数年分	-	格子状地中壁工法	地下水位低下工法の実証実験を行い、10m×奥行10mと間隔が狭いため棄却	H25委員会報告
	千葉県	習志野市	あり：複数年分	-	※事前計画で終了	格子状地中壁工法を選定したが、個人負担が高額であるため採用に至らず。	H28.3.31終了
	千葉県	旭市	あり：9回分	住民説明会資料：2回分	※事前計画で終了	地下水位低下工法を選定したが、大深度の地下水運動が技術的に不可と判断	第2回住民説明会
	千葉県	我孫子市	一部あり	-	※事前計画で終了	地下水位低下工法を選定したが、住民の意向により採用に至らず。	2014年8月資料
	埼玉県	久喜市	あり：21回分	-	地下水位低下工法	格子状地中壁工法と比較し、初期コストが安価である。実証実験問題無し。	第21回検討委員会
宅地耐震化推進事業（宅地液状化防止事業）							
13	熊本	熊本市	あり：20回分	-	地下水位低下工法	格子状地中壁工法は、必要改良幅10m×奥行10mと間隔が狭いため棄却	第6回検討委員会
14	熊本	甲佐町	無し*	-	地下水位低下工法	※検討委員会資料が無いため、選定理由不明（実証実験資料のみ一部存在）	-
大規模盛土造成地滑動崩落防止事業							
15	中越中 新潟県	柏崎市	あり	-	地下水抜除工 （掘集工）	被災発生メカニズムから地すべり対策の地下水抜除工を選定 地下水位低下工法のうち掘集工と集水井工を比較し、掘集工を採用	成果品p.28
宅地耐震化推進事業・大規模盛土造成地滑動崩落防止事業							
16	胆振東部 北海道	札幌市	あり：4回分	住民説明会資料：4回分	地盤改良＋ 地下水位躍上対策	格子状地中壁工法は、簡易評価より不適と判断 実績・信頼性を総合的に評価し地盤改良を選定し、地下水位の躍上げ対策検討	第2回検討委員会 第3回検討委員会

対策工法概要図

地下水位低下工法	格子状地中壁工法	側方流動対策
		
		

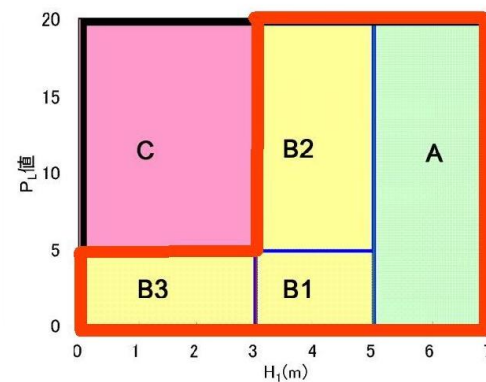
液状化判定技術の課題

- 能登半島地震の被害特徴
 - 液状化に伴う水平変位と住宅基礎への影響
 - 住宅などの表面荷重と地盤の沈下と隆起
- 既存の液状化判定技術の課題
 - 建物荷重による液状化しやすさの差異
 - 水平変位がある場合の液状化判定技術の適用性
 - 液状化による広域水平変位の予測技術



(a) $H_1 \sim D_{cy}$ 判定図

建築基礎構造指針式



(b) $H_1 \sim P_L$ 判定図

道路橋示方書式

表 1-3 判定図の数値表

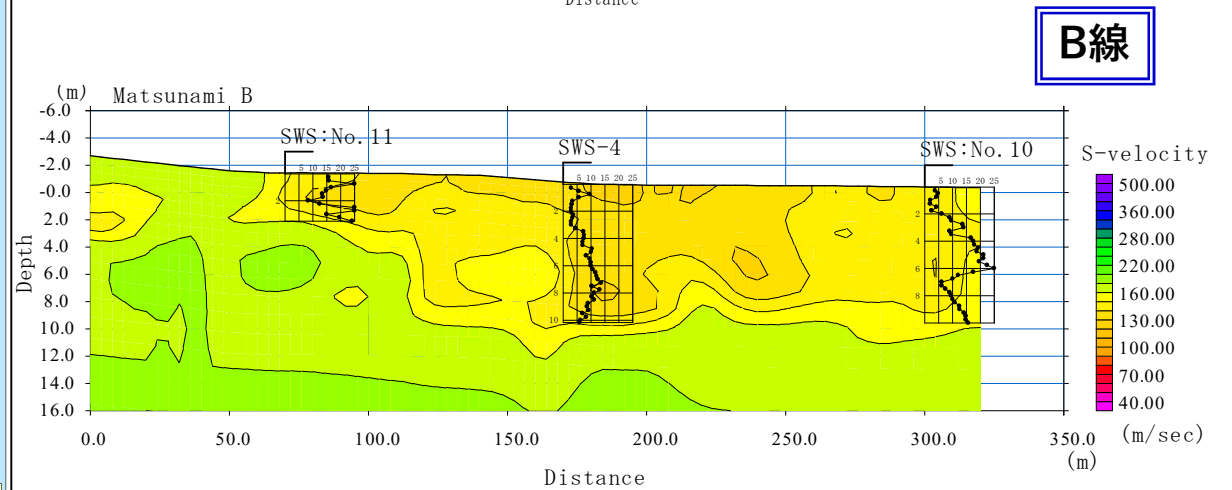
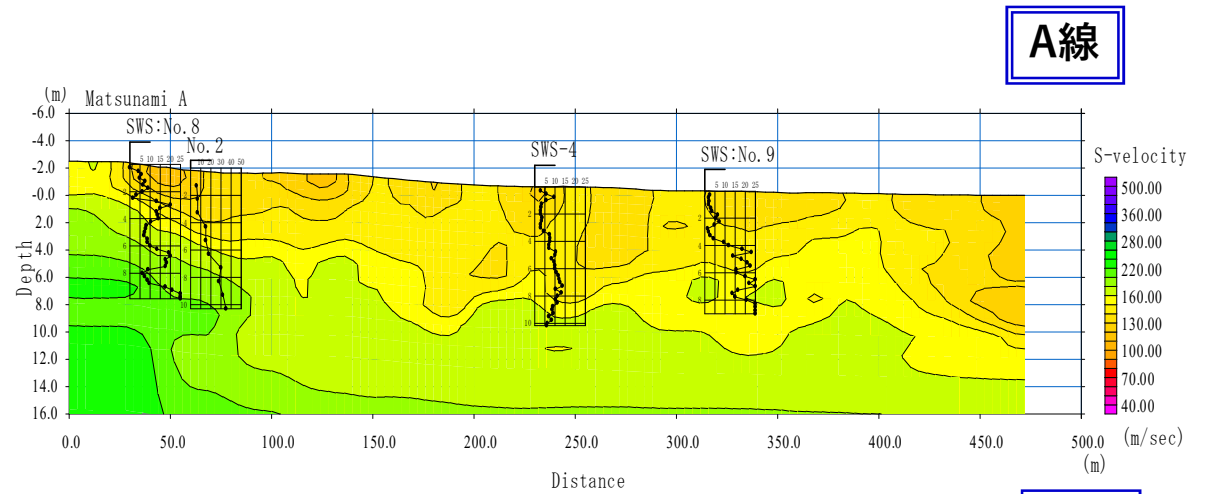
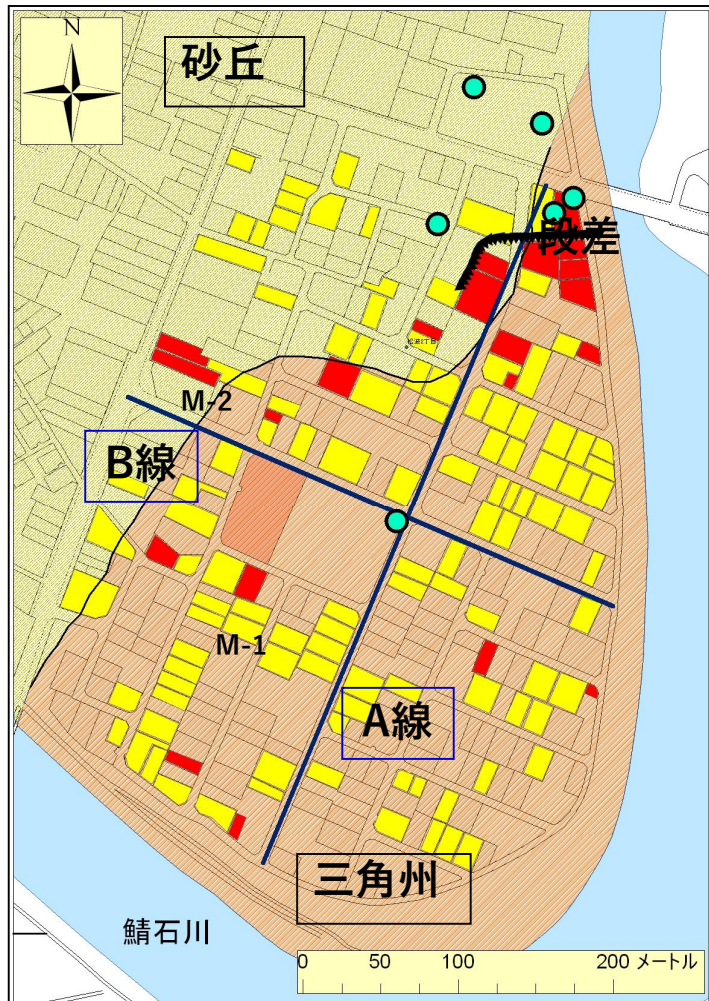
判定結果	H_1 の範囲	D_{cy} の範囲	P_L 値の範囲	液状化被害の可能性
C	3m 以下	5cm 以上	5 以上	顕著な被害の可能性が高い
B3		5cm 未満	5 未満	
B2	3mを超え、5m以下	5cm 以上	5 以上	顕著な被害の可能性が比較的低い
B1		5cm 未満	5 未満	
A	5m を超える	—	—	顕著な被害の可能性が低い

出典：市街地液状化対策推進ガイダンス p.9-10

液状化対策工（地下水位低下工法）の課題

- 地下水の排水問題
 - 地下水位の低下は可能か（地下水の供給と排水層の連続性）
 - 自然排水の可否と河川や下水道の排水容量
 - 対象エリアが広いと対策工が大掛かりになる
 - 遮水すると、地下水位の上昇や下降する地域が生じる
- 地盤沈下問題
 - 粘性土地盤は地下水位の低下で地盤沈下リスクがある
 - 腐植土の場合に、沈下量は大きい
- 対策経費の住民負担（1/4）と合意形成
 - 高額 of 工事費、運営費、施設更新費
 - 住民負担があると、対策工の合意形成が課題になる
- 対策の公平性
 - 被災地と液状化リスクの高い地域への対応
 - 公助と自助の線引（私有地の取り扱い）
- 宅地地盤の改質（恒久効果、自助）による液状化対策への期待

2007年中越沖地震の液状化被災例



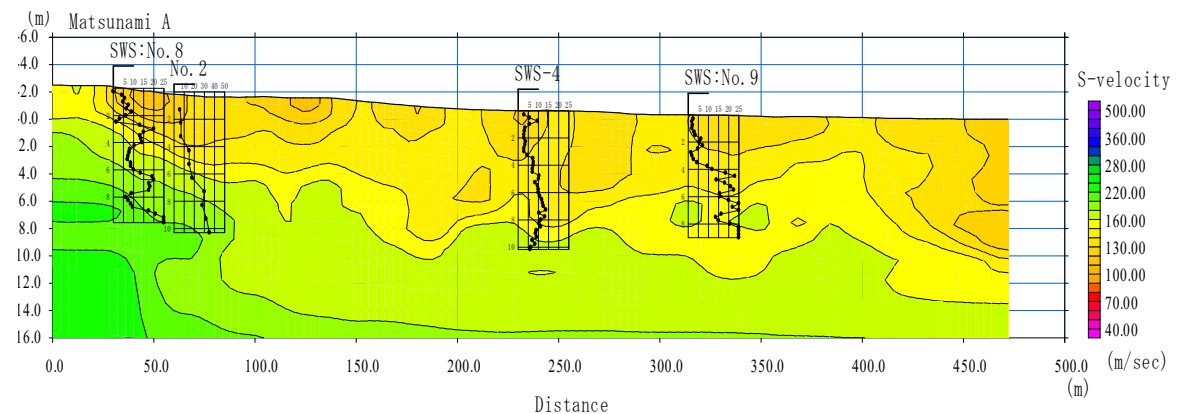
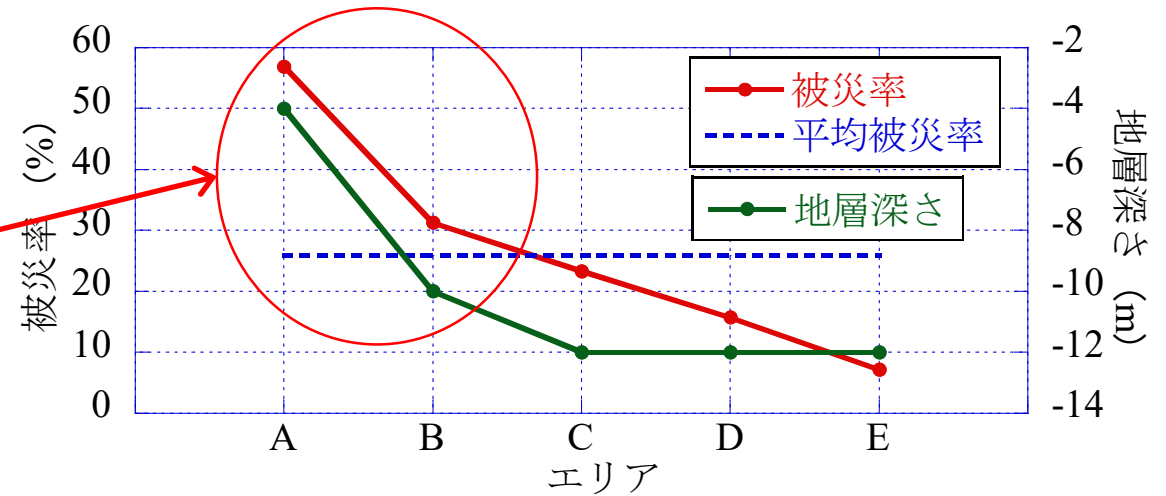
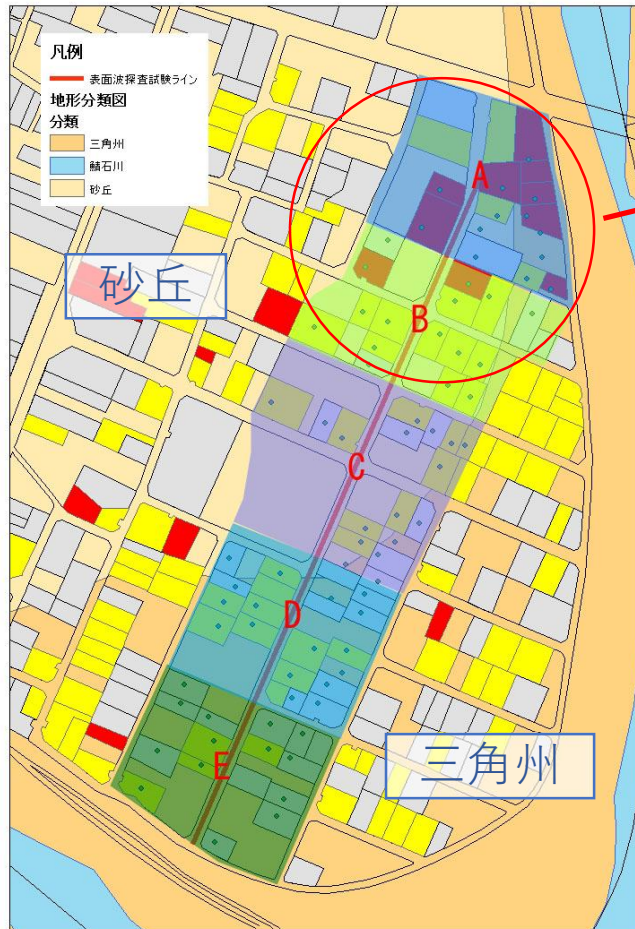
表面波探査試験とSWS

建物被害の実測例（中越沖地震：松波町）

No.	Maximum unequal settlement [mm]	Maximum inclined angle
A	678	20/1000
B	403	23/1000
C	222	22/1000
D	268	21/1000
E	8	1/1000
F	87	6/1000
G	42	4/1000
H	50	5/1000
I	117	9/1000
J	127	17/1000
K	98	7/1000
L	58	5/1000
M	127	6/1000
N	158	24/1000
O	79	7/1000
P	33	3/1000
Q	136	12/1000
R	84	6/1000
S	141	15/1000
T	49	8/1000
U	220	54/1000
V	215	25/1000
W	104	14/1000
X	68	12/1000
Y	283	25/1000
Z	91	10/1000
AA	106	16/1000
AB	91	9/1000
AC	168	39/1000
AD	68	11/1000
AE	67	8/1000
AF	127	17/1000
AG	34	12/1000

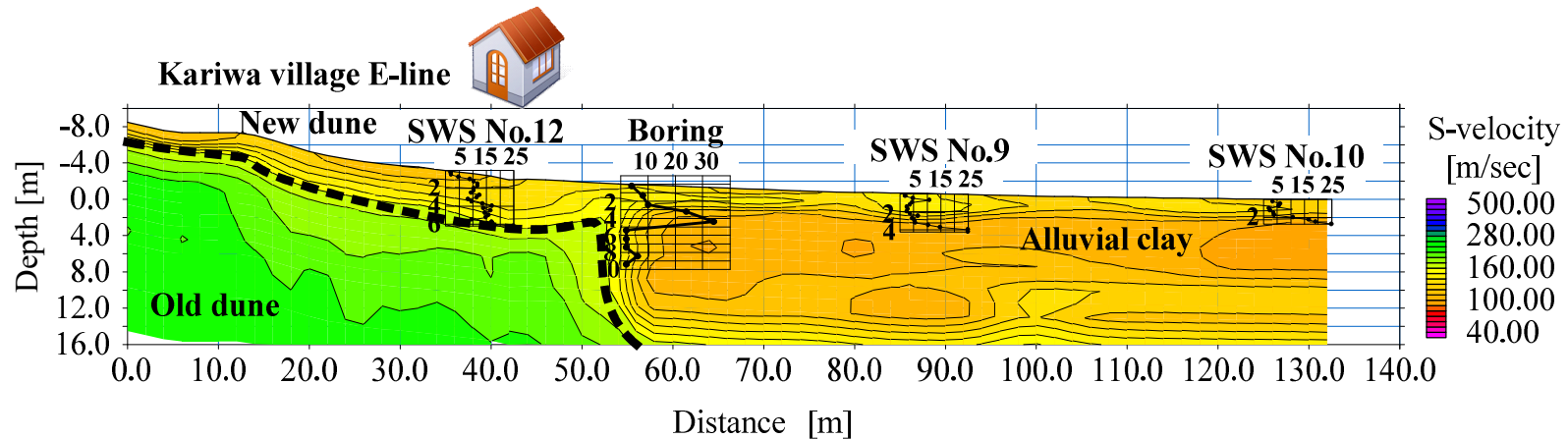
6/1000 は建物傾斜の限界値

三角州における建物被災率（中越沖地震：松波町）



Shear wave velocity at M-1 line (north to south)

液状化対策と被災事例（中越・中越沖地震）



	不同沈下量(mm)	傾斜角	中越地震	中越沖地震	中越地震後の対策工
A	1133	161/1000	全壊	全壊	新築(在来工法)
B	278	30/1000	全壊	全壊	-
C	263	18/1000	全壊	全壊	新築(柱状工法)
D	-	-	全壊	全壊	改築(在来工法)
E	62	5/1000	全壊	全壊	新築(在来工法)
F	88	6/1000	半壊	半壊	改築(アンダーピニング)
G	251	12/1000	-	-	無対策
H	-	-	全壊	全壊	新築(鋼管杭)
I	175	18/1000	全壊	全壊	改築(アンダーピニング)
J	72	6/1000	-	-	無対策
K	129	7/1000	全壊	調査済	新築(鋼管杭+暗渠)
L	-	-	全壊	要注意	-
M	187	10/1000	要注意	調査済	無対策
N	-	-	要注意	要注意	-

ご聴講ありがとうございました

終わりに、

- 被災地の早期の復旧・復興を祈念します
 - 資料の作成で行政機関、学会、調査報告者の多くの資料を参考にしました。謝意を表します。
 - 地盤工学会・能登半島地震被害調査団長、小林俊一先生に貴重なデータを提供いただきました。謝意を表します
-