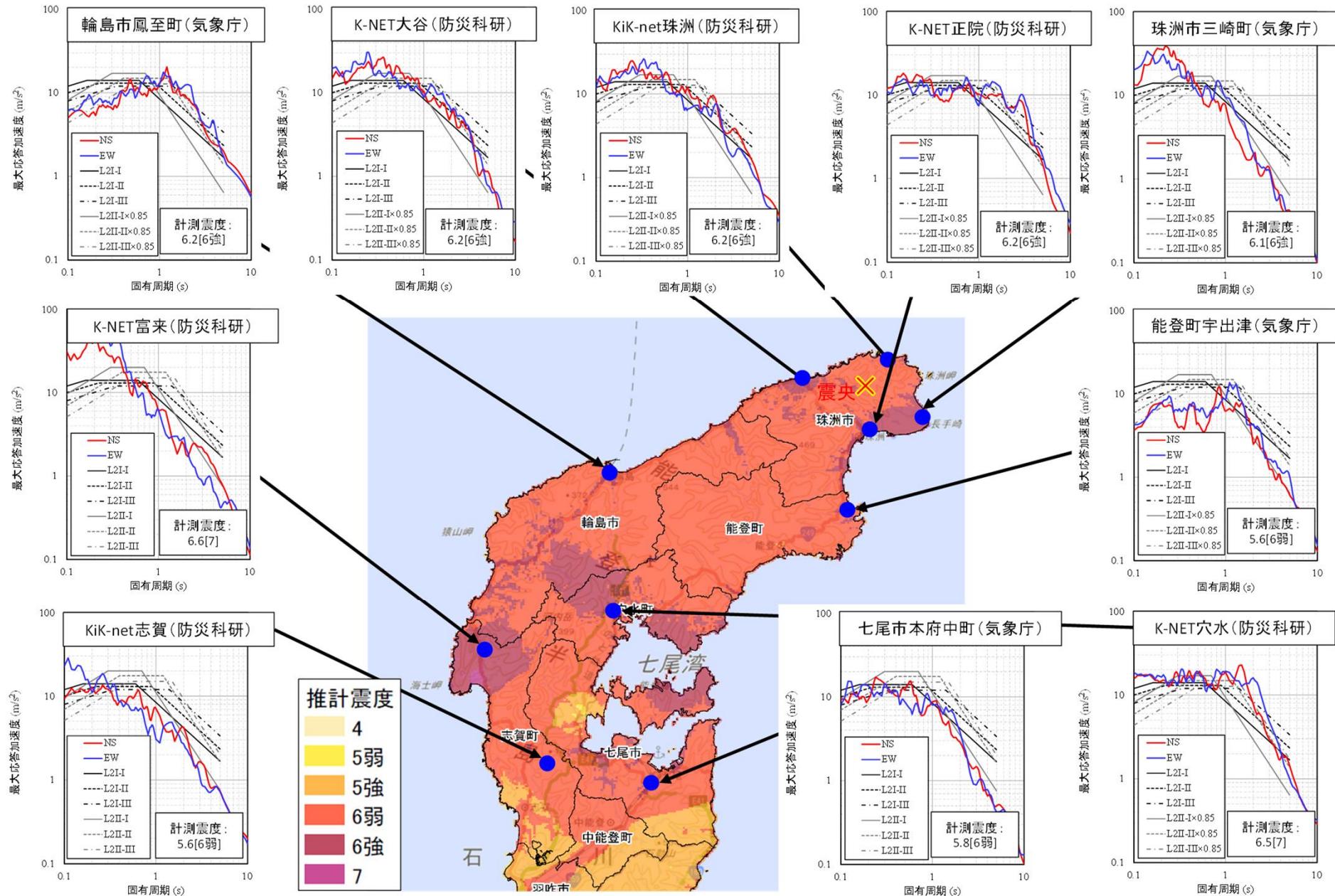


令和6年能登半島地震 道路構造物(橋梁、土工、トンネル) の被害分析

道路局 国道・技術課
(技術企画グループ)

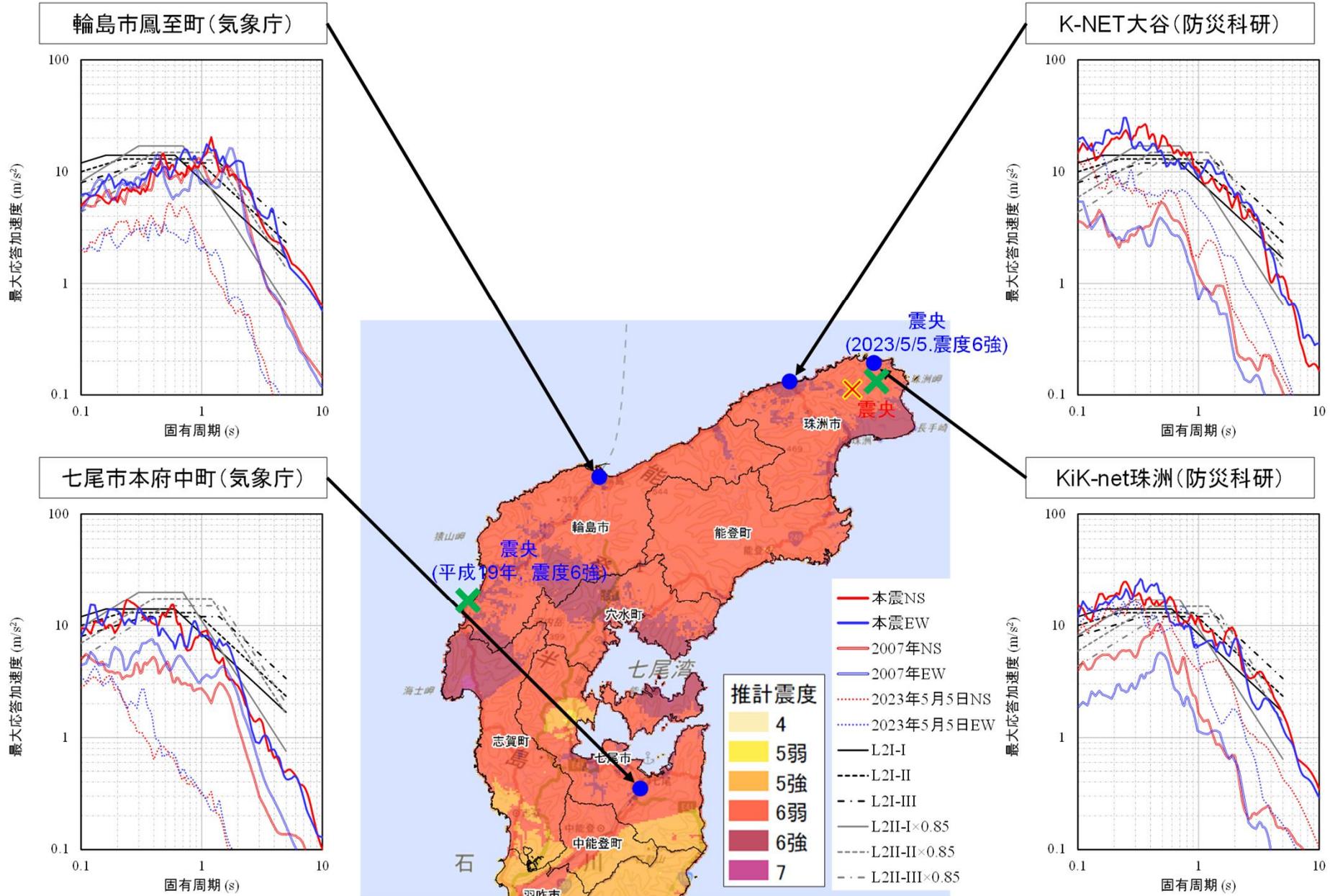
令和6年能登半島地震の地震動強さ

○今回の地震の地震動は、能登半島地域では、**レベル2地震動と同程度であった。**
 ○震度7を記録した地域等では、一部の周期帯で**レベル2地震動を上回る**ところもあった。



過去に能登半島で発生した地震との比較

○今回の地震では、平成19年(2007年)能登半島地震(最大震度6強)などと比較しても、より構造物に大きい力が作用する地震動が記録された。



【橋梁】

- 耐震設計基準が大きく変わった**兵庫県南部地震以後に設計された橋では、橋脚のせん断破壊などは見られず、本体は概ね軽微な被害**にとどまり、期待した性能が発揮されている。**ただし、周辺盛土や堤防の変形により橋台の残留変位が顕著になった橋が見られる。**
- 橋脚の補強や落橋防止対策など**耐震補強を行っていた道路橋は致命的な被害を回避**し、復旧の迅速化に寄与している。
- 一方で、古い基準で設計された道路橋の中には深刻な被害も見られ、**未対策橋梁の対策を急ぐ必要**がある。

① 新しい基準の橋の損傷例

穴水道路 穴水高架橋(H14道示)



輪島道路
のと里山空港IC橋
(H24道示)



サイドブロックの損傷



橋台の移動及び
ゴム支承の残留変形



R249烏川大橋 (H14道示)

橋脚基部の損傷



② 耐震補強が復旧に寄与した例

上町高架橋



(RC巻き立て)



(桁の変位を拘束した
変位制限ブロック)



(鋼板巻き立て)
能登大橋



③ 未対策橋梁の深刻な被害の例

鶺鴒大橋
(土研現地調査結果より)



大町大橋
(石川県緊急点検結果より)



- 橋台背面について、小規模な段差は多数発生しているが、速やかに緊急復旧できている
- 平成8年道路橋示方書で踏掛版を設置することが望ましいとし、平成24年道路橋示方書で橋台背面アプローチ部の構造を規定しており、その効果が現れている
- 一方で、液状化により1.5m地盤が沈下した橋梁もある

① すりつけを行い速やかに緊急復旧した事例



② 踏掛版が効果を発揮した事例



③ 液状化により大きな段差が生じた事例



- 2011年東日本大震災や2016年の熊本地震の被災を受け、技術基準は、津波や地滑りに対して、それを極力避けられる位置への設置と、遭遇したときでも影響を受けにくい形式や構造の選定を求めている。
- 本地震での被災の特徴からは、具体的な状況の設定は規定しないものの、立地条件によっては地盤からの強制変位で橋が影響を受けることを想定した下部構造の設置位置、上部構造、橋台及び橋台アプローチ部の形式の選定や比較検討に関して、留意事項の充実や既定の追加等を行う余地がある。

道路盛土中の橋台やアプローチ構造の被災例



河川堤防中の橋台の被災例



基礎の前面の抵抗の低下や基礎地盤の変位が橋の不安定化をもたらしていることが疑われる例



- 技術基準では、設計の想定と実際の状況の乖離があることや、損傷形態の正確な予測や制御・誘導には限界があることに対して、フェールセーフの設置を検討することを規定している。
- 技術基準では、落橋防止システムの設置やアプローチ部の構造に関する規定があり、今回の地震でも有効に機能したものの、本地震での被災の特徴からは、短期間に複数回の強震が生じることも想定したときに避けるべき状態や、復旧のために検討しておくのがよい構造など、フェールセーフの充実等を行う余地がある。

複数回の強震でも所定の機能が発揮されるよう、変位制限構造が損傷後も橋の遊間が広がらない工夫の余地が考えられる例



穴水高架橋



能登大橋



深見新橋

複数回の強震にも背面土が保持される、地盤が動いてもパラペットの損傷を防ぐなどのためのウイング形状の工夫の余地が考えられる例



天神橋



七見一号橋



七見一号橋の背後

段差量を緩和するためのフェールセーフの設置や桁損傷を防ぐための端部構造の効果や工夫の余地が考えられる例



能登大橋



国木橋



鶉飼大橋

ジャッキアップや復旧作業ができるスペース、接近方法の確保の効果や工夫の余地が考えられる例



大町大橋



能登大橋



能登大橋

- 技術基準は、耐荷性能の照査基準として信頼性に基づく限界状態設計法を用い、構造物の耐荷性能を実現するための照査目標(限界状態を越えない可能性)に対して、材料や部材構造単位で部分係数を設定している。
- 本地震での被災の特徴からは、限界状態の現れ方、相互の順序の制御をより確実に行うための荷重モデルや抵抗係数の補正、構造細目等の規定等の追加を行う余地がある。

上部構造や上下部接続部の塑性化によりエネルギー吸収された可能性がある例



補強された橋脚基部でない箇所での塑性化によりエネルギー吸収された可能性がある例



桁端と支承が同時に破壊したことで復旧の支障となりえる例



地盤の移動や取り付け部の破壊により、減衰を付加する仕組みが想定通りに機能しなかった可能性がある例



【土工】

令和6年能登半島地震 主な道路盛土被災状況



× 大規模崩壊確認箇所

■のと里山海道、穴水道路、輪島道路（徳田大津IC～のと三井IC）盛土被災

道路名	延長(km)	供用年月	R6地震被災レベル ※同一盛土内で複数被災を計上 ※（）は割合					計
			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	27.0	S55(1980年)	11 (11.2%)	26 (26.5%)	27 (27.6%)	13 (13.3%)	21 (21.4%)	98
穴水道路 穴水IC～のと里山空港IC	6.2	H18.6(2006年)	2 (6.5%)	3 (9.7%)	13 (41.9%)	6 (19.4%)	7 (22.6%)	31
輪島道路 のと里山空港IC～のと三井	4.7	R5.9(2023年)	6 (23.1%)	13 (50.0%)	7 (26.9%)	0 (0%)	0 (0%)	26
計			19 (12.3%)	42 (27.1%)	47 (30.3%)	19 (12.3%)	28 (18.1%)	155

※のと里山海道の徳田大津IC～田鶴浜IC間は未調査

※※ R6地震被災レベルの5分類（無被害、C、B、A、AS）は、今回の能登地震の被害分析のために、暫定的に設定したものである。

■のと里山海道（徳田大津IC～穴水IC）※徳田大津IC～田鶴浜IC間は未調査

道路名	延長(km)	供用年月	盛土高	R6地震被災レベル ※同一盛土内で複数被災を計上 ※（）は割合					計
				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	27.0	S55 (1980年)	～ 10m	5 (17.9%)	12 (42.9%)	6 (21.4%)	3 (10.7%)	2 (7.1%)	28
			10m～20m	4 (9.8%)	10 (24.4%)	11 (26.8%)	8 (19.5%)	8 (19.5%)	41
			20m～30m	2 (8.7%)	4 (17.4%)	9 (39.1%)	2 (8.7%)	6 (26.1%)	23
			30m～	0 (0%)	0 (0%)	1 (16.7%)	0 (0%)	5 (83.3%)	6
計				11 (11.2%)	26 (26.5%)	27 (27.6%)	13 (13.3%)	21 (21.4%)	98

※ R6地震被災レベルの5分類（無被害、C、B、A、AS）は、今回の能登地震の被害分析のために、暫定的に設定したものである。

■穴水道路 (穴水IC~のと里山空港IC)

道路名	延長(km)	供用年月	盛土高	R6地震被災レベル					計 ※ () は特定土工
				※同一盛土内で複数被災を計上 ※ () は割合					
				無被害	[C]段差極小 路面クラック	[B]沈下・段 差	[A]沈下・段 差	[AS]大規模 崩壊	
穴水道路 穴水IC~のと里山空港IC	6.2	H18.6 (2006年)	~ 10m	1 (9.1%)	0 (0.0%)	5 (45.5%)	2 (18.2%)	3 (27.3%)	11
			10m~20m	1 (9.1%)	1 (9.1%)	5 (45.5%)	2 (18.2%)	2 (18.2%)	11 (11)
			20m~30m	0 (0.0%)	2 (22.2%)	3 (33.3%)	2 (22.2%)	2 (22.2%)	9 (9)
			30m~	0 -	0 -	0 -	0 -	0 -	0
計				2 (6.5%)	3 (9.7%)	13 (41.9%)	6 (19.4%)	7 (22.6%)	31 (20)

■輪島道路 (のと里山空港IC~のと三井IC)

道路名	延長(km)	供用年月	盛土高	R6地震被災レベル					計 ※ () は特定土工
				※同一盛土内で複数被災を計上 ※ () は割合					
				無被害	[C]段差極小 路面クラック	[B]沈下・段 差	[A]沈下・段 差	[AS]大規模 崩壊	
輪島道路 のと里山空港IC~のと三井 IC	4.7	R5.9 (2023年)	~ 10m	5 (50.0%)	4 (40.0%)	1 (10.0%)	0 (0%)	0 (0%)	10 (4) ※特定土工は無被害
			10m~20m	0 (0.0%)	5 (71.4%)	2 (28.6%)	0 (0%)	0 (0%)	7 (7)
			20m~30m	1 (12.5%)	4 (50.0%)	3 (37.5%)	0 (0%)	0 (0%)	8 (8)
			30m~	0 (0%)	0 (0%)	1 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (1)
計				6 (23.1%)	13 (50.0%)	7 (26.9%)	0 (0%)	0 (0%)	26 (20)

※ R6地震被災レベルの5分類(無被害、C、B、A、AS)は、今回の能登地震の被害分析のために、暫定的に設定したものである。

■のと里山海道（徳田大津IC～穴水IC）※徳田大津IC～田鶴浜IC間は未調査

道路名	延長(km)	供用年月	H19地震 災害復旧 対策レベル	R6地震被災レベル					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	27.0	S55 (1980年)	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 -

H19地震災害復旧対策レベル

無対策： 無対策

レベル1： 舗装打ち換え工

レベル2： 舗装打ち換え工、水抜きBO工

レベル3： 押さえ盛土工（縦-43の応急復旧でのH鋼含む）

レベル4： 補強盛土工

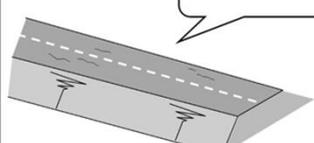
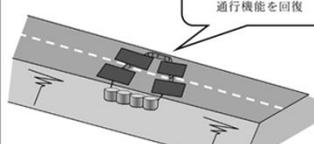
「平成19年3月25日能登半島地震_能登有料道路復旧工事記録誌」

11ページ 表4-1より

※ R6地震被災レベルの5分類(無被害、C、B、A、AS)は、今回の能登地震の被害分析のために、暫定的に設定したものである。

- ・沢埋め高盛土を中心に多くの盛土の被災が確認された。
- ・のと里山海道においては、平成19年の能登半島地震で大規模崩壊してその後排水対策等を施した本復旧箇所においては、多くの箇所において被災が軽微にとどまっていた。
- ・盛土の締固め基準等が引き上げられた平成25年以降に供用された輪島道路(令和5年供用)は崩壊に至るような盛土の被災がないなど、それ以前に供用された穴水道路(平成18年供用)に比べて被災が軽微であった。
- ・4車線を有する区間では、交通機能が喪失するような崩壊はなかった。
- ・一方で、H19年地震で被災し復旧した場所に隣接し(同じリスク要因を有する)、H19年未被災だった部分が、R6地震では重度の被災(大きく沈下)
- ・改良土で復旧された箇所において、大規模な崩壊や比較的大きな沈下が生じた箇所があった。
- ・過去の地震による盛土緊急点検と今回の地震被害を踏まえ、既存盛土の被災リスク(耐震性)の検討が求められる。

- 今次地震動と同程度の地震動(L2相当)に対して、道路の早期の復旧が可能となる程度の被害に留めることを目標(性能規定の具体化)
- 被災状況及び地形に応じて、次の着目点から対策工法の適用を検討
 - ・ 排水対策(砕石置換え等)、補強盛土、抑え盛土、路体盛土(改良土)
 - ・ (基盤層が深い場合は、)排水+改良土盛土
 - ・ のり尻補強(布団かご、砕石縦排水工等)
 - ・ 排水ボーリング
 - ・ のり面補強、天端補強工等
- 各対策に関する基準適用上の留意事項
 - ・ 耐震設計の精度向上
 - ・ 締固め管理基準(締固め度90%以上等)
 - ・ 改良土配合設計の精査
 - ・ 施工管理の強化(材料、締固め度当の管理)
 - ・ のり尻補強工法については、支持層の確認、弱層の置き換え等を見直し
 - ・ のり面補強、路面崩壊防止工については効果の検証、設計法の検証が必要

性能	損傷イメージ
性能1 道路土工構造物は健全である。又は、道路土工構造物は損傷するが、当該道路土工構造物の存する区間の道路としての機能に支障を及ぼさない性能	 <p>道路としての通行機能に支障なし</p>
性能2 道路土工構造物の損傷が限定的なものにとどまり、当該道路土工構造物の存する区間の道路の機能の一部に支障を及ぼすが、すみやかに回復できる性能	 <p>一時通行規制を行うが、簡易な復旧により通行機能を回復</p>
性能3 道路土工構造物の損傷が、当該道路土工構造物の存する区間の道路の機能に支障を及ぼすが、当該支障が致命的なものとならない性能	 <p>全面通行止めは行うが、復旧工事により通行機能を回復</p>

道路土工構造物の要求性能設定のイメージ(盛土)

○能越道(のと里山海道(徳田大津IC以北)、輪島道路、穴水道路区間) (現地調査)

・H19年能登半島地震で被災し、復旧した箇所は、R6年地震では軽微な被災にとどまっている

→H19復旧工法を基本に本復旧工法を検討。ただし、最新の知見から必要な見直しを実施。



H19被災状況

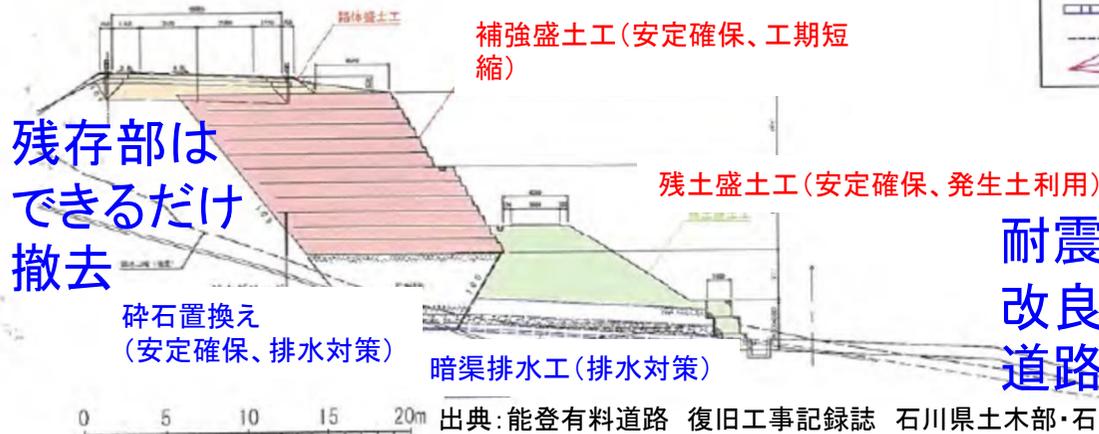
上下線の崩落 (H19.3月)



R6被災状況

本復旧工事 標準断面図

出典: 能登有料道路 復旧工事記録誌
石川県土木部・石川県道路公社



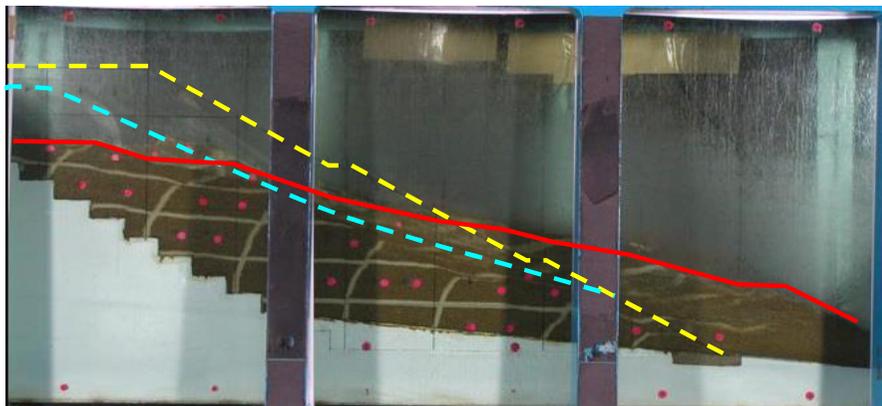
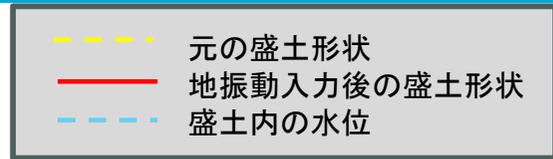
残存部は
できるだけ
撤去

耐震設計、締固め管理基準 (Dc90%以上等)、改良土配合設計、施工、施工管法方法(輪島道路を参考)、のり尻工の安定性等の見直し

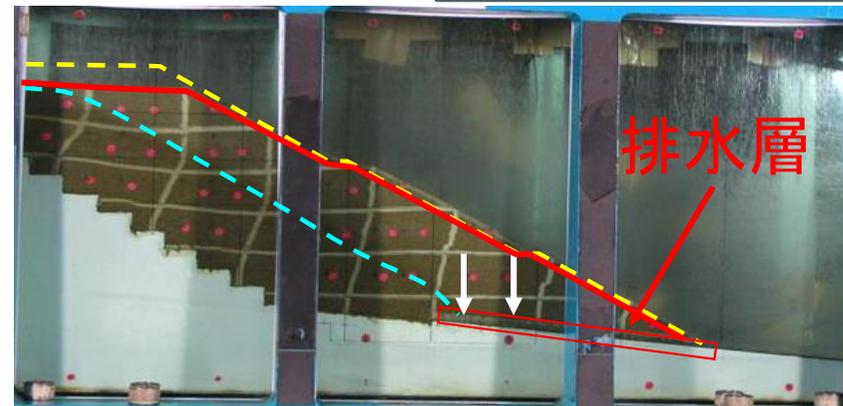
盛土高約15mの谷埋め盛土でクラック程度の被災
H19大規模崩壊箇所(縦14)で基礎地盤砕石置換え、補強盛土、抑え盛土により復旧された箇所

出典: 能登有料道路 復旧工事記録誌 石川県土木部・石川県道路公社

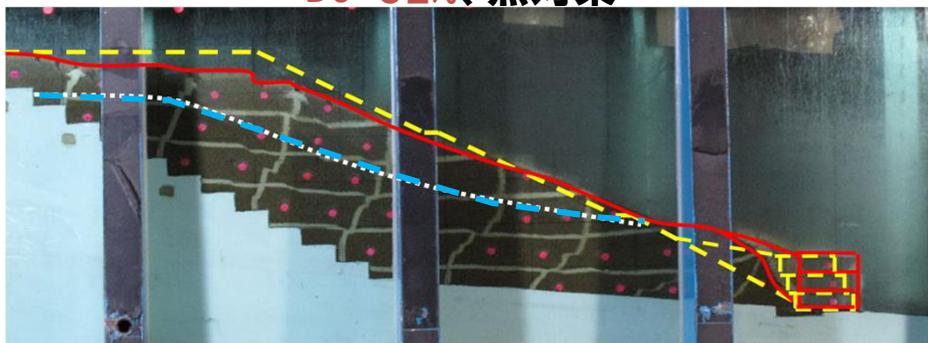
盛土内に水を浸透させた状態でレベル2地震動を入力



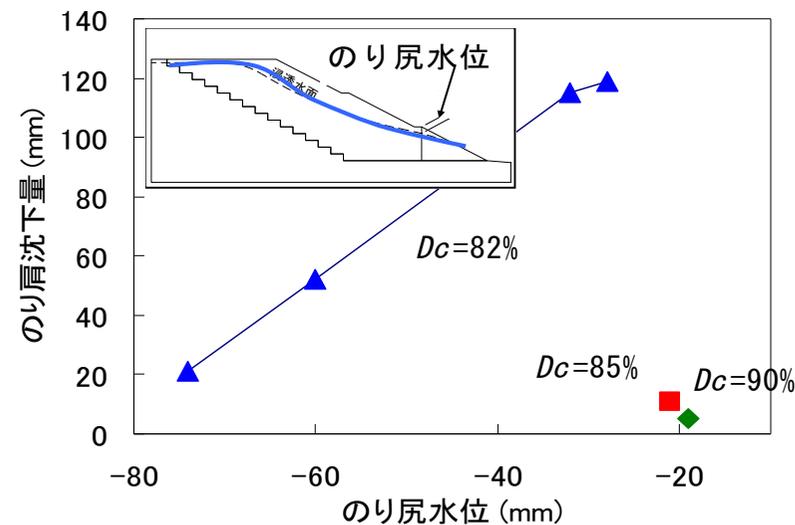
Dc=82%、無対策



Dc=82%、のり尻の水位を低下

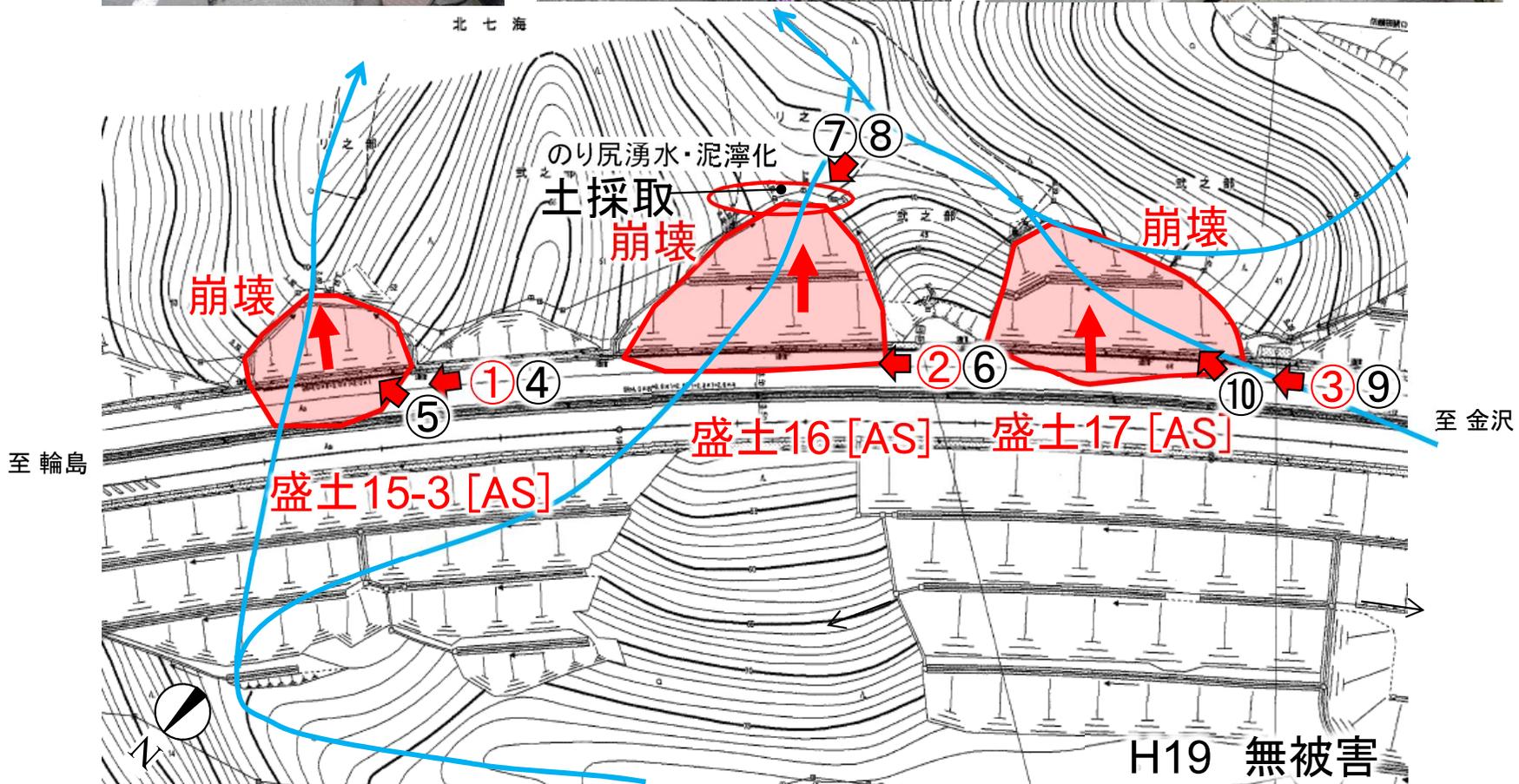


Dc=82%、のり尻布団かご設置

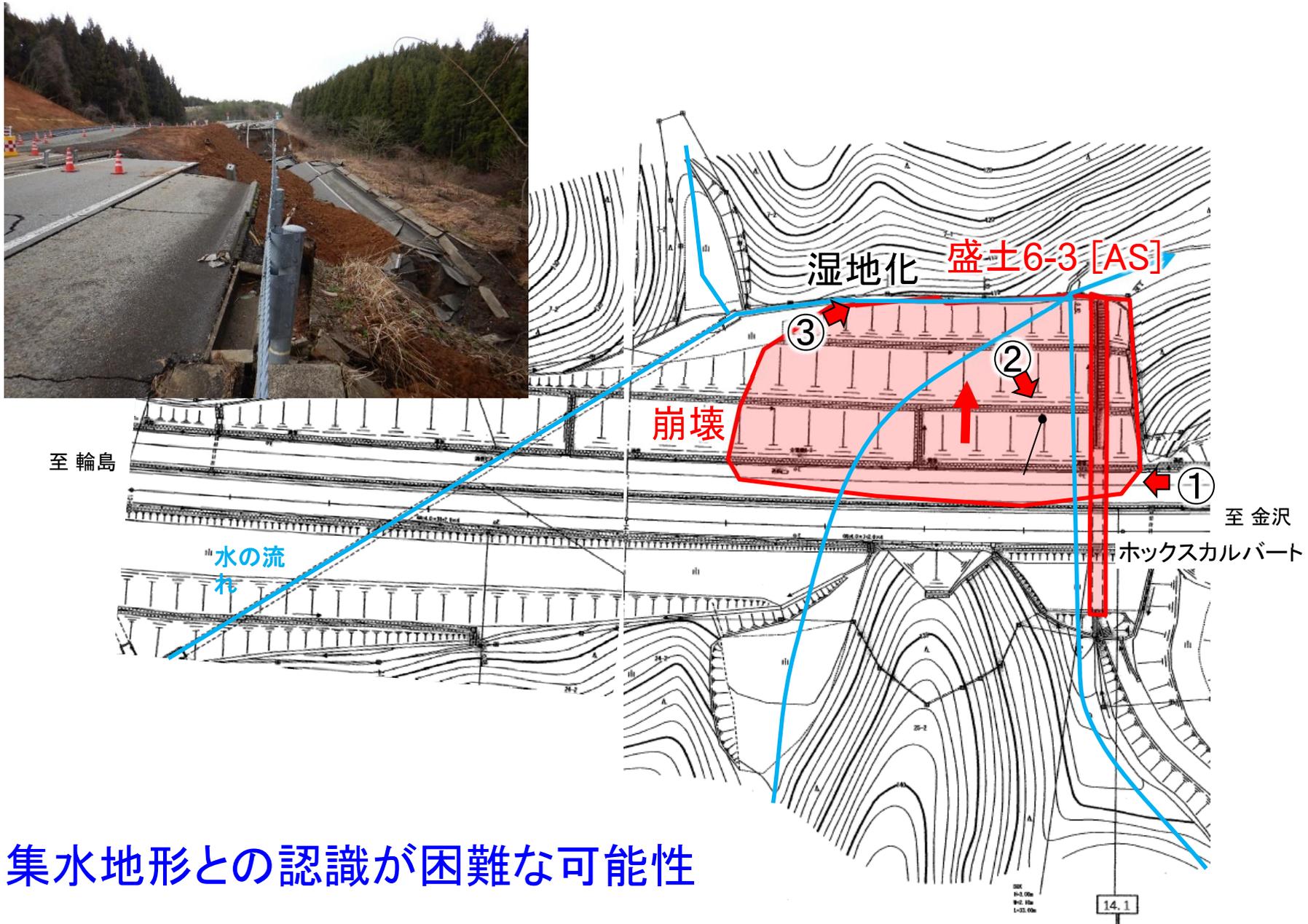


・排水層を設置し、盛土内水位を低下させる、あるいはのり尻に布団かごを設置すると耐震性は格段に向上。

(参考) 盛土の被災リスク検討事例(令和6年能登半島地震の事例より)



いずれも盛土高10m以下

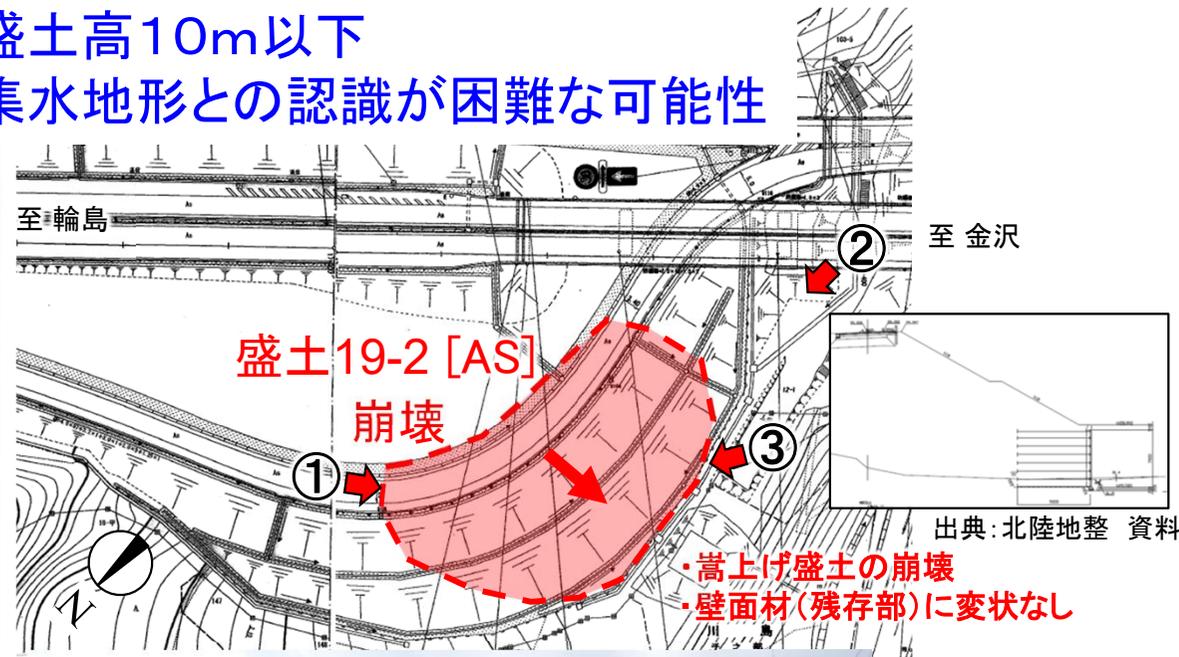


集水地形との認識が困難な可能性

①ランプ部の崩壊



盛土高10m以下
集水地形との認識が困難な可能性



②嵩上げ盛土の大規模崩壊



③壁面材(残存部)に変状なし



H19 無被害

【座標】 37.2391889709621, 136.901452964317

北陸地整番号:A32

STA13.5付近



P4 法尻付近 下り車線側
(排水溜まりとなっている 旧水田は湿地状)

R6年被災状況

法面
目立った変状はない

ガードケーブル支柱部
亀裂が発生している

路肩～路面
補修跡が確認される
新たな変状は確認されない

起点側

終点側

ガリ浸食

グラベルドレーン

断面位置
13.4km+75m

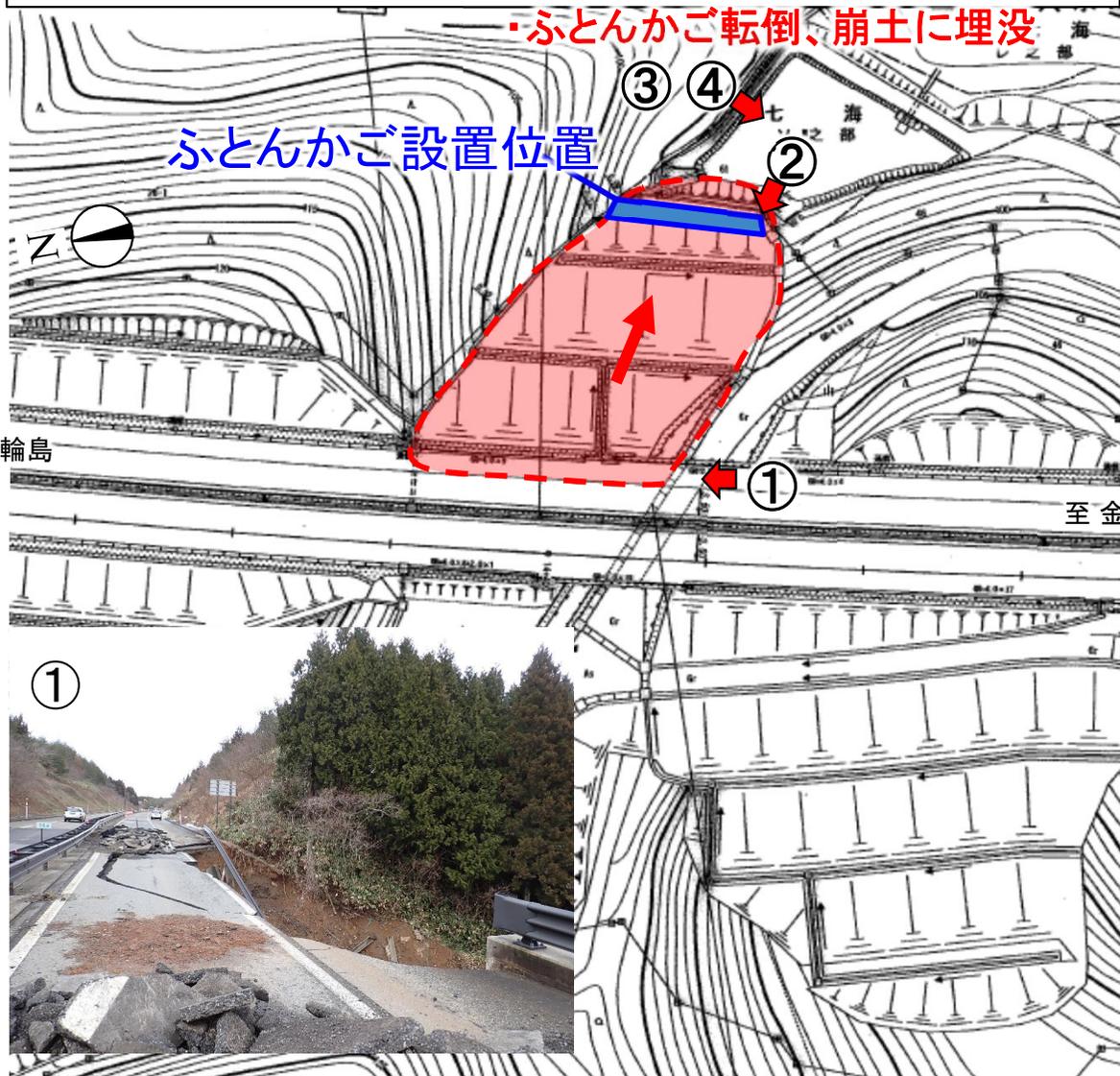
亀裂
補修済み
新たな変状なし

用地外の排水溜まり、旧水田
の湿地化に対する判断が困難
な可能性

H22年点検時の状況

- 崩土の末端にふとんかご(残骸)を確認。当初の位置より数10m単位で移動(流動)したと考えられる

- ・のり尻の崩土が泥濘化
- ・ふとんかご転倒、崩土に埋没



崩土に埋没した
ふとんかご(著しく
変形していた)

被災リスク(耐震性)を確認する対象及び内容の留意事項(案)

○対象とする盛土高の検討

- ・一般的な目安以下の高さでも、地形・地質等に応じて対象とする等

○集水地形の判断支援

- ・被災事例を踏まえ、集水地形とみなされる場合の考え方や事例充実

○盛土のり尻付近の確認の充実

- ・再下方部の確認、用地外の法面、前面基礎地盤の状況の確認等

○盛土強度の確認方法の充実

- ・平均Nd値の求め方、礫打ち(礫あたり)可能性の判断方法

○のり尻工の基礎地盤の確認、基礎地盤処理の必要性

○維持管理段階での被災リスク(耐震性)の定期観察

- ・定期的な排水状況、強度の確認。モニタリング手法の開発

【トンネル】

(令和6年3月18日時点)



【凡例】

- × : 覆工崩落 2
- × : 覆工塊の落下 2
- × : 圧ざ/せん断ひび割れ 1
- ▲ : 規模の大きなひび割れ 2
- : 軽微※~被害なし【徒歩遠望目視】 19
- : 軽微※~被害なし【車上目視】 33
- : 未確認 8

※ ・地震前から存在した変状が少し進展したと考えられるもの
 ・目地や打継ぎ目の小片のうき・はく離, はく落
 ・幅の小さなひび割れ
 等を含む

地図出典:
地理院地図

(令和6年3月18日時点)



- S5～S14付近まで覆工の大規模な崩落を確認
- S7付近は一部覆工が残存しているものの、側壁部の圧縮破壊、アーチ部のひび割れ貫通を確認
- 防水シート背面で吹付けコンクリートの圧縮破壊、鋼アーチ支保工の座屈を確認
- S15付近以降は一部で覆工のはく離れが確認されたが、大規模なひび割れ等は確認されていない



南側坑口



S5-(南から北向き)



S7付近(南から北向き)



S13(北から南向き)

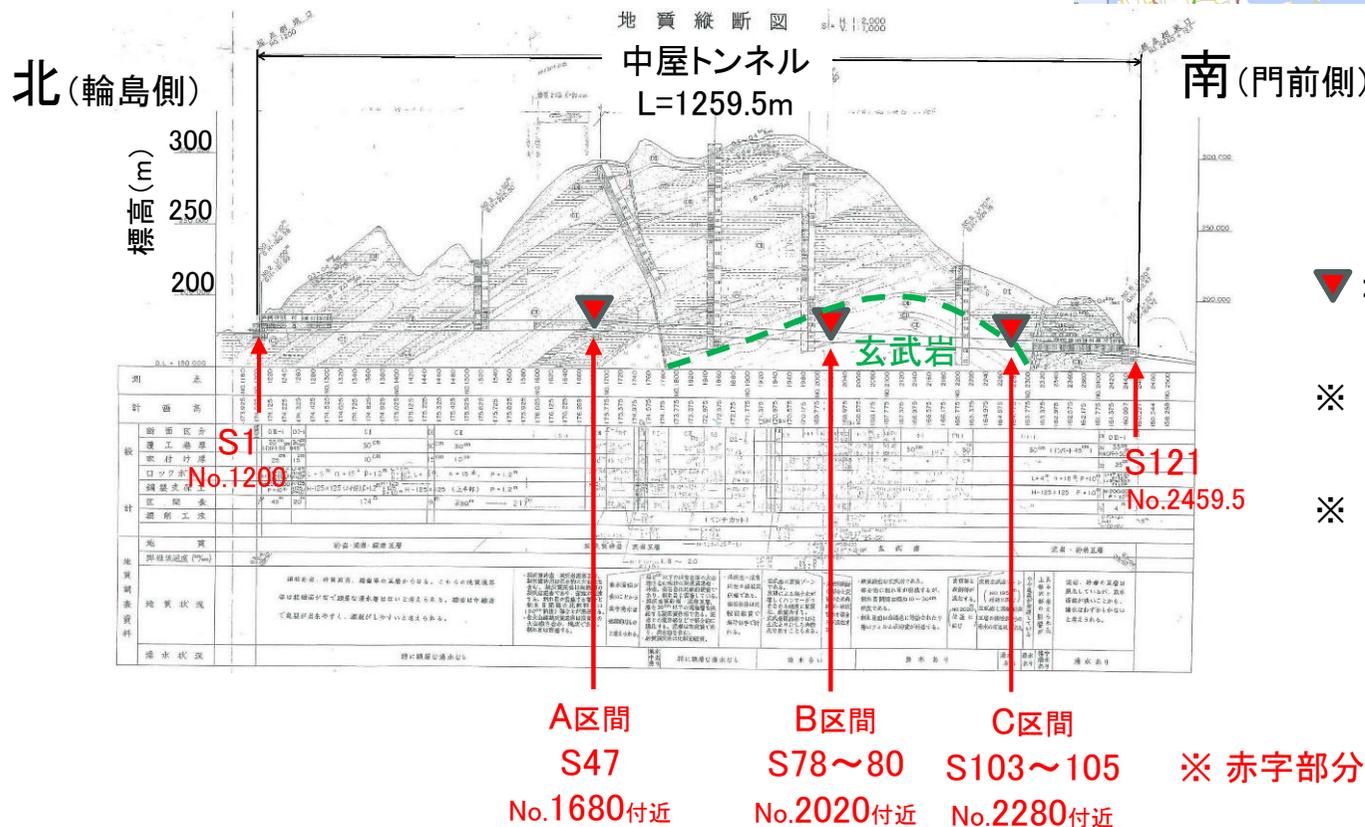


S4-5



鋼アーチ支保工の座屈

- ## トンネル諸元
- 一般国道249号
 - L=1260m(121スパン)
 - 石川県
 - 建設1993年(NATM)
 - 点検2022年度 II 判定



- ▼: 主な覆工崩落・落下の発生箇所
- ※ 地質縦断図は石川県提供。掘削時に確認された実際の地質とは異なる可能性がある。
- ※ トンネル位置での主な地質は、南側では玄武岩、北側では砂岩・泥岩等の互層が想定された。

※ 赤字部分は事務局で概略位置として追記

- C区間 S103～105(南側坑口から約180mの位置)で覆工が崩落。鋼アーチ支保工のせん断変形。一部地山を視認。
- B区間 S78-80で東側の覆工が落下。
- A区間 S47で部分的に覆工が落下。
- 主だった上記3カ所の他もひび割れはく落等有り。

C区間 S103-105



S103～105 南から北向きに撮影

天端拡大



一部地山を視認



側壁部で鋼アーチのズレを計測
⇒ 芯-芯で40～50cm

B区間 S78-80



増しRB



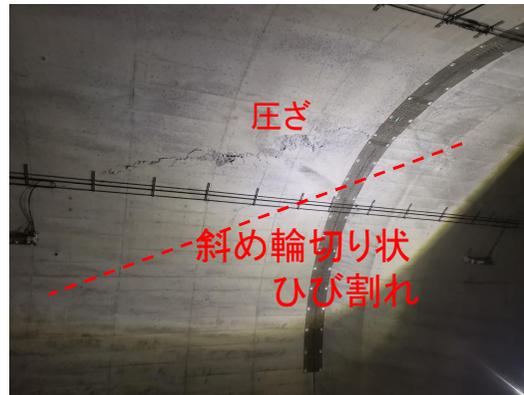
S78～80 南から北向きに撮影
(膨張性地山により施工に難渋した区間付近)

A区間 S47

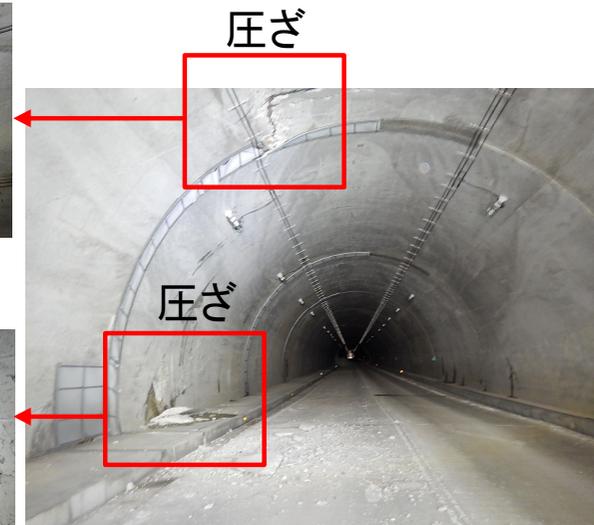


S47 北から南向きに撮影

その他の主な変状



S7~8
(北坑口から70mほど)



S115
(南側坑口から約65mの位置)

地震被害

- 珠洲市～輪島市の広い範囲で、複数の道路トンネルで地震によるものと推定される変状が確認された。
- とくに規模が大きいのは、大谷トンネルと中屋トンネル(いずれもNATMにより建設)で、覆工の崩落が発生した。ただし、地山自体の崩落は発生しておらず、トンネル空間の閉塞には至っていない。
- 被害発生メカニズムの解明は今後の分析によるが、地震により地山に大規模な変形が発生したことが要因のひとつと推定される。