

地震時の交通機能確保に配慮した 道路構造物の技術基準



国土技術政策総合研究所 道路構造物管理研究室
土木研究所 構造物メンテナンス研究センター
土木研究所 地質・地盤研究グループ

玉越隆史
星隈順一
小橋秀俊

道路構造物関係の報告の内容

1. 道路橋

- ① 地震後の交通機能確保に貢献した耐震補強された橋
- ② 東日本大震災を踏まえた道路橋示方書の改定
- ③ 橋台背面の土工部の沈下とその対策
- ④ 津波の影響を受けた橋の被災モードと構造特性の分析

2. 道路土工

- ① 被災要因の検討と道路土工指針の検証
- ② 検討結果を踏まえた道路土工指針への対応

地震後の交通機能確保に貢献した耐震補強された橋

地震後の道路の交通機能の回復状況

- ✓ 地震発生翌日までに東北道、国道4号から太平洋沿岸主要都市へのアクセスルート
を11ルートを確認
- ✓ 地震発生4日後までに同15ルートを確認



交通機能が短期に回復できた理由

- ✓ 橋梁の耐震補強対策により、落橋等の致命的な被害が生じなかったこと
- ✓ 「くしの歯作戦」により、16ルート of 道路啓開に集中したこと
- ✓ 災害協力協定に基づき地元建設業等の協力が得られたこと



研究成果が生かされた橋脚の耐震設計，耐震補強技術

設計地震動の見直し
じん性の向上

1982年浦河沖地震



1995年兵庫県南部地震



2011年東北地方太平洋沖地震

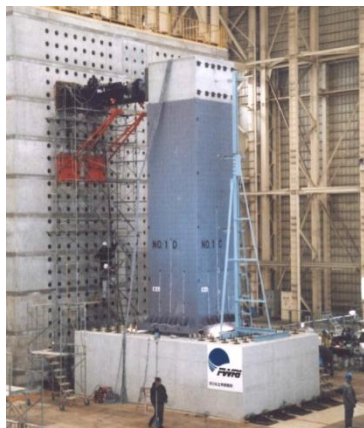


未補強の橋では過去の地震と同様の損傷

震災経験

土木研究所における研究開発

大型実験により耐震設計法、耐震補強法を開発



技術基準の改定

耐震補強



橋脚補強

補強済み橋では損傷はなし
もしくは限定的な損傷

未補強の橋

橋脚に損傷が生じた橋とその近傍の耐震補強されていた橋

補強済みの橋
(3径間連続+4径間連続)



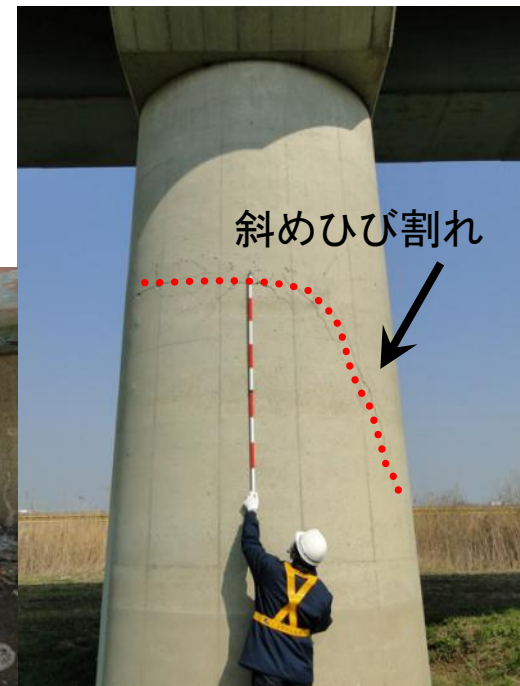
茨城県水戸市付近



未補強の橋(緊急輸送路以外)
(3径間連続 2連)



段落し部の損傷
(地震後全面通行止め)



可動支承部の損傷



損傷なし

(地震後早期機能回復)



東日本大震災における経験を踏まえ 平成24年2月に道路橋示方書が改定

耐震設計編の主な改定項目

① レベル2地震動(タイプⅠの地震動)の検討

- ・近年における強震記録の蓄積に基づく新しい地震動の距離減衰特性を考慮した見直し
- ・東海、東南海、南海地震等、発生が懸念されているプレート境界型地震を考慮した地域別補正係数の導入

② 橋台背面の沈下対策に関する検討

- ・橋と背面側の盛土等との間の路面の連続性を保つための留意点

③ 大規模な津波に対する橋の計画

- ・地域の防災計画を考慮した道路計画
- ・路線に求められる性能に応じた構造計画

④ 震災経験を踏まえた部材設計に関する検討

- ・地震の影響を受ける部材に対する要求性能の明確化
- ・支承部周辺の構造や落橋防止構造等の取付部、取り付けられる側の部位の設計における配慮事項
- ・地震による部材損傷と第三者被害の予防に対する配慮事項

橋台背面の沈下により生じた段差の状況



写真提供:東北地方整備局



写真提供:東北地方整備局

踏掛版がなく車道部にも段差が生じた事例



写真提供:東北地方整備局

車道部には踏掛版があるが路肩部で沈下が生じた事例



写真提供:東北地方整備局

踏掛版は設置されていたが盛りこぼし橋台の背面土沈下に伴い段差が生じた事例

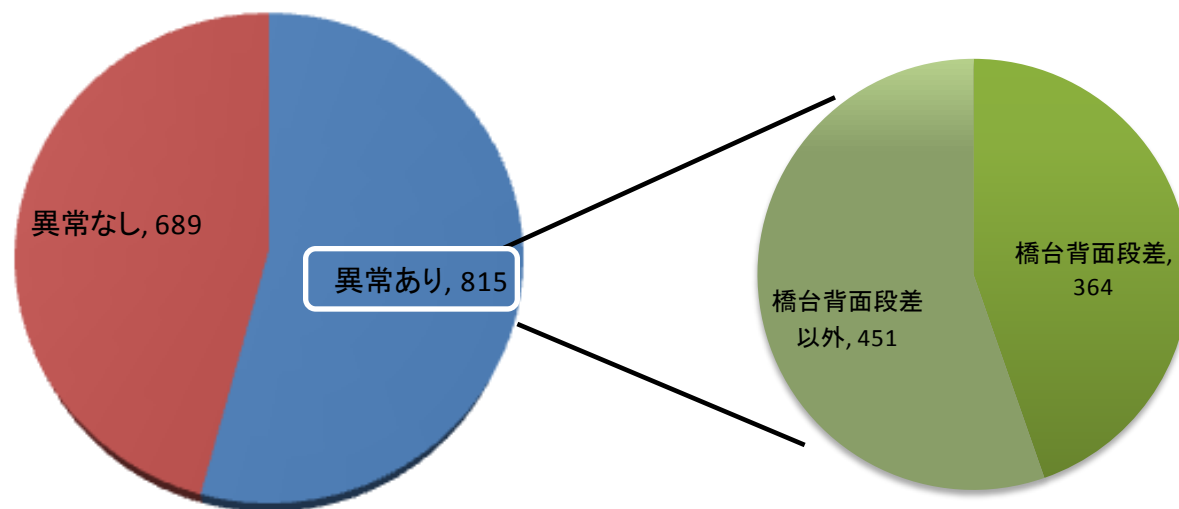
橋台背面の沈下による被災調査結果

東北地方太平洋沖地震では橋台背面に多数の段差が発生

※東北地整の1504橋の緊急点検結果

異常有り815橋

うち橋台背面の段差364橋 (全橋の24%)



- 多くは1～3日以内に段差補修がなされ交通開放されるが、一般開放まで4日以上要した事例有り (津波, 原発影響区間は除く)
- 4日以上要したもののうち, 明らかに橋台背面での段差の影響で当該区間の交通に支障を来したものは直轄では1カ所

➡ 緊急輸送道路として役立つにはこの被害を減らすことが重要！

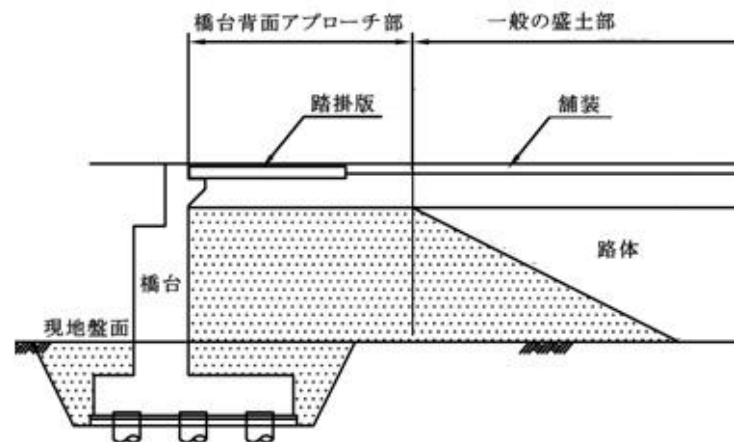
橋台背面の沈下対策に関する検討

平成24年2月の道路橋示方書改定において橋台背面の沈下対策に関する記述を充実

- ✓ 橋台背面の一定区間を「橋台背面アプローチ部」と定義し、橋の安全性や供用性に影響する重要な部分として位置づけ
- ✓ 橋と背面側の盛土等との路面の連続性を確保できるようにするための設計、施工上の留意点を規定

- 1) 基礎地盤の安定性
- 2) 橋台背面土工部の安定性
- 3) 排水性

〔背面土の材料や管理基準、排水工など〕



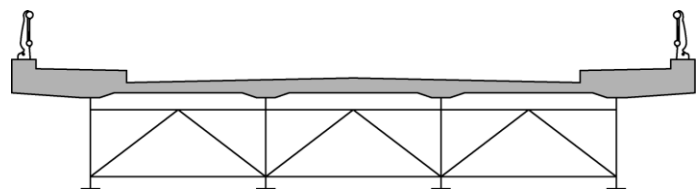
- ✓ 橋に要求される性能に応じて踏掛版の設置等の対策を実施

津波による道路橋上部構造の流出

全径間の上部構造の流出し、可動橋脚1基が基部で損傷して流出した橋



流出した上部構造の断面形状と破損した支承構造



2連3径間連続鋼鈑桁



流出した橋脚
基部の破壊面

ねじれた状態となって上流側へ
流出していた鋼桁



流出前の状況

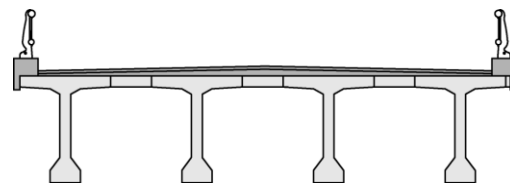


津波による道路橋上部構造の流出

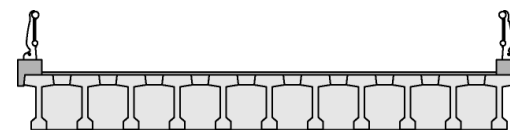
同一橋において上下裏返しになったポステンPC桁と裏返しにならなかったプレテンPC桁



流出した上部構造の断面形状と破損した支承構造



5連単純PCポステンT桁橋

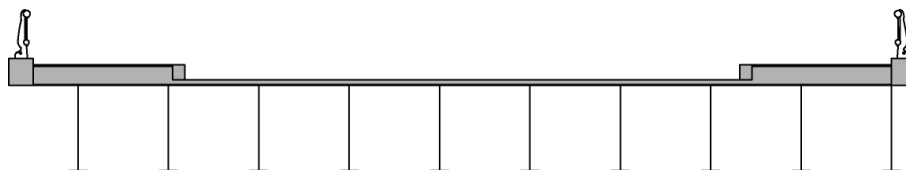


5連単純PCプレテンT桁橋

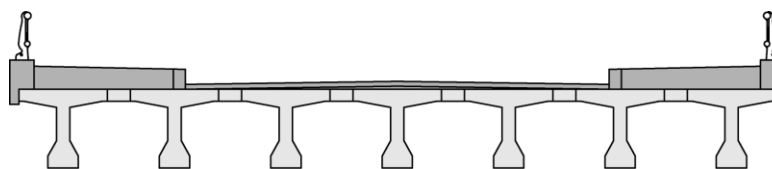


上部構造が流出しなかった道路橋

上部構造の高さにまで津波の遡上の痕跡があるが、流出していない橋



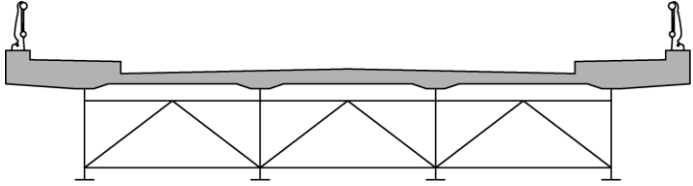
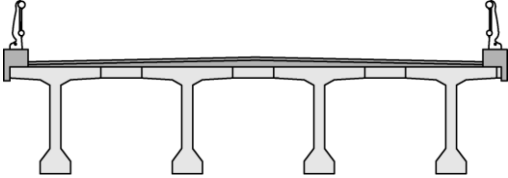
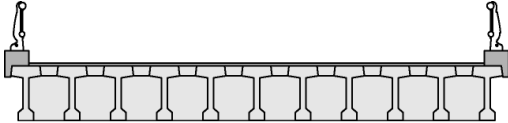
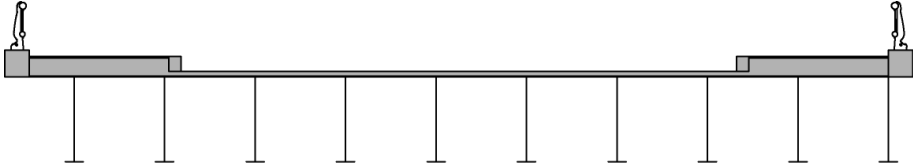
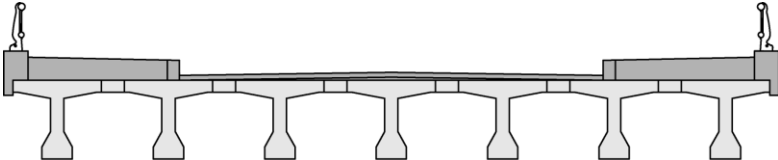
3径間連続鋼床版鈑桁橋



3径間連結+2径間連結
PCポステンT桁橋

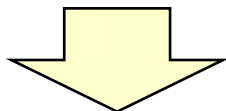


津波の影響を受けた橋の被災モードと構造特性

上部構造が裏返しになって流出した橋の例	上流側  下流側 2連3径間連続鋼鈑桁	
	 5連単純PCポステンT桁橋	
上部構造が裏返しにならずに流出した橋の例	 5連単純PCプレテンT桁橋	
上部構造の流出が生じなかった橋の例	 3径間連続鋼床版鈑桁橋	
	 3径間連結+2径間連結PCポステンT桁橋	

大規模な津波に対する配慮事項と実施中の研究内容

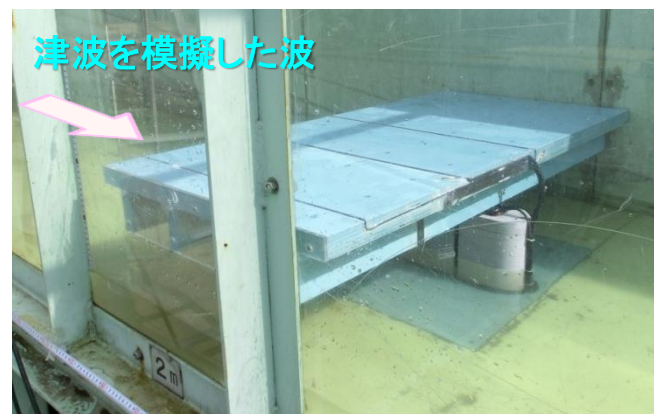
平成24年2月の道路橋示方書改定において津波に関する地域の防災計画等を考慮して計画することを規定



✓路線に求められる性能に応じた
構造計画

- ・架橋位置
- ・構造形式
- ・復旧性

津波の影響を受ける
橋の挙動に関する実験



＜現在実施中の研究内容＞

- ・津波による被災橋梁の分析
- ・津波の影響を受ける橋の性能とその評価
- ・耐震設計された橋の津波に対する抵抗特性 等



震災経験を踏まえた部材設計に関する検討

✓部材の要求性能の明確化を含めた耐震設計法

- ・性能検証実験等に基づく部材の破壊特性と破壊に対する安全余裕度の確保
- ・性能に応じた限界状態の設定と設計で想定する範囲における供用中の繰返し作用に対する安定性の確保
- ・部材の性能評価手法における適用範囲，解析モデルの精度が確保できる範囲の明確化

✓支承部周辺の構造や落橋防止構造の取付部の設計に対する配慮事項

- ・支承部周辺の構造の損傷が落橋防止構造の取付部に影響を及ぼさないように配慮

✓地震による損傷部材や破片等が落下することによる第三者被害の予防への配慮

- ・構造計画として設計段階からの配慮



制震装置の取付部周辺の損傷



支承取付部の損傷が落橋防止構造の定着機能に影響を与えた事例



鋼製のサイドブロック、ローラーの破損
→ 落下の可能性

液状化判定法の検証と液状化の影響による橋の被害

- ✓ 現行の液状化判定法は今回の地震について液状化発生を概ね整合して判定できる（見逃さない）結果
今後、液状化判定法等の高度化に向けて、更なるデータ収集・分析の必要性
- ✓ 東北地方太平洋沖地震では、液状化の影響により落橋に至るような致命的な被害はなし
- ✓ 液状化を考慮した設計法が導入される前に設計された橋の中で、液状化の影響に伴うに基礎の変状により通行止め至った事例あり
- ✓ 現行基準を満足する橋では、液状化の影響による橋の構造的な被害の事例はなし



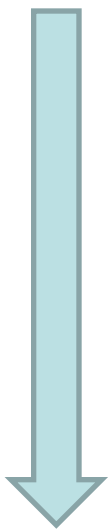
3径間連続橋の固定支承を有する下部構造の変状と周辺地盤の液状化痕跡

道路橋基礎に被害のなかった事例も重要な検証データとして位置づけ、液状化地盤における既設橋基礎の耐震性評価の合理化のための研究に活用

道路土工における東日本震災の検証の経過について

第1回 土工委員会(社団法人日本道路協会:平成23年10月27日)

被害が大きかった箇所の被災要因調査方針の承認



担当事務所のヒアリング・現地調査を実施

- ・被災状況
- ・既存資料の確認
(新設時・供用中の調査・設計・施工・維持補修関連資料)
- ・復旧時の地盤調査
- ・追加の地盤調査
など

第2回 震災WG(平成23年12月14日)

第2回 土工委員会(平成24年1月19日)

調査結果を踏まえた被災要因に対する土工指針での対応方針



被災要因調査結果を踏まえた対応について

- ・盛土工指針(H21)で強化された構造物接続部における盛土の締固め管理を, 平成24年2月に改定された道路橋示方書の橋台取付け部の記述にも反映
- ・軟弱地盤対策工指針(H24改定)において, 橋台取り付け部の基礎地盤対策の際に, 道路橋の要求性能に基づいた設計を行う必要があることを記述

被害が大きかった被災箇所(9箇所)の被災要因

分類Ⅰ 水が集まりやすい地形条件などで盛土内の水位が高かったことが要因と考えられる箇所

- ・箇所番号① 国道6号宮城県亶理郡山元町(谷埋め盛土)
- ・箇所番号② 国道6号福島県双葉郡富岡町(谷埋め盛土)
- ・箇所番号③ 国道4号福島県福島市伏拝(谷埋め盛土)
- ・箇所番号④ 国道4号福島県須賀川市十貫内(河岸段丘末端部の盛土)
- ・箇所番号⑤ 国道6号福島県相馬郡新地町駒ヶ嶺(傾斜地盤への腹付け盛土)
- ・箇所番号⑥ 常磐道 那珂インター付近(路面排水の集中)

分類Ⅱ 水が集まり安い地形条件で排水対策を実施したものの基礎地盤が液状化したと考えられる箇所

- ・箇所番号⑦ 国道6号福島県双葉郡広野町(谷埋め盛土)

分類Ⅲ 平地部の軟弱地盤上の盛土で盛土材自体が液状化したと考えられる箇所

- ・箇所番号⑧ 国道45号宮城県石巻市鹿又(平地部盛土)

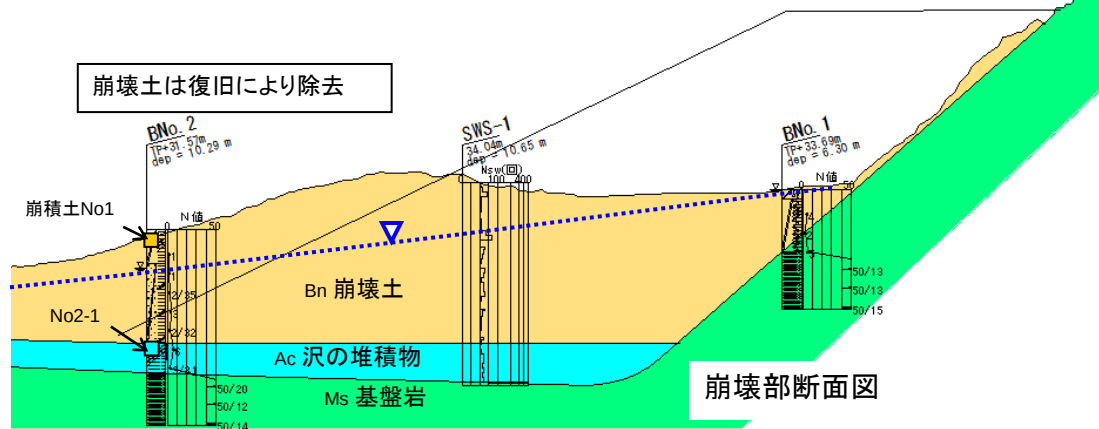
分類Ⅳ 不安定な傾斜地盤上に構築したことが要因と考えられる箇所

- ・箇所番号⑨ 国道51号茨城県東茨城郡大洗町成田(傾斜地盤上の盛土)



地震動による被災例②: 国道6号福島県双葉郡富岡町 (谷埋め盛土) <分類 I>

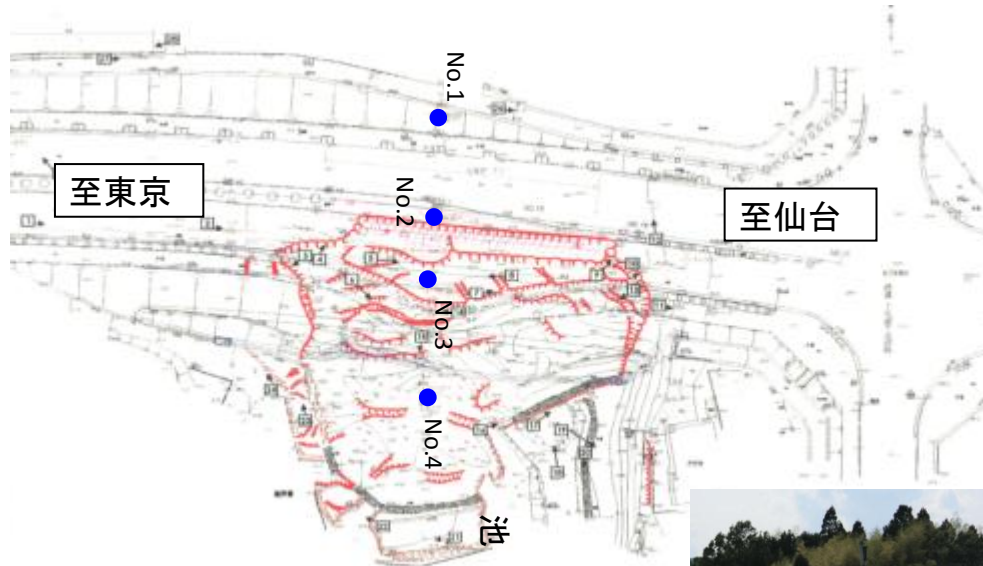
(東名盛土緊急点検: 詳細調査・対策箇所)



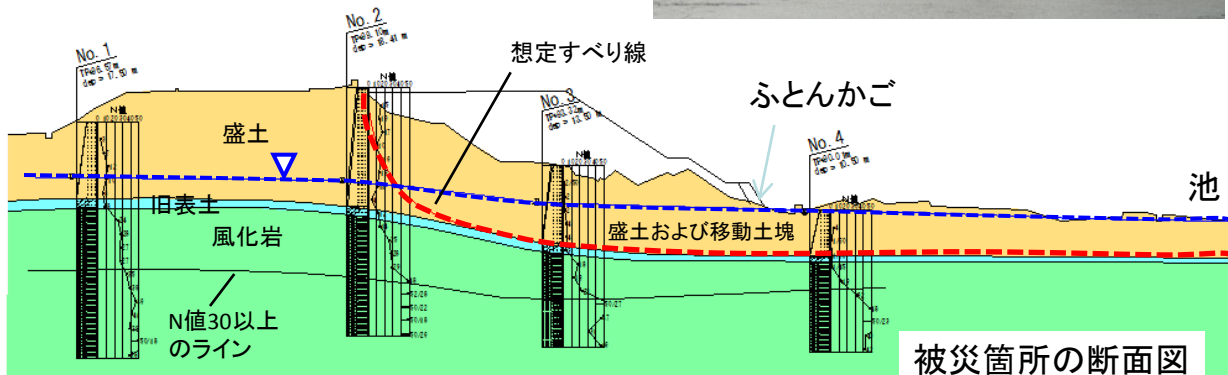
ボーリング調査結果より、能登半島沖地震(能登有料道路盛土の被災)や駿河湾地震(東名盛土被災)同様、盛土内の水位が高いことが確認された。

また、盛土内の排水工については、特段施工されていなかったこともヒアリング調査により確認。

地震動による被災例⑦: 国道6号福島県双葉郡広野町 (谷埋め盛土) <分類Ⅱ>



平面図



被災箇所の断面図

Δu法による安定計算を行い、基礎地盤の液状化による崩壊の発生について検討。計測震度における計算においても、現地の崩壊形態から推定される滑り位置での崩壊可能性を確認し、基礎地盤の液状化による崩壊が示唆された。

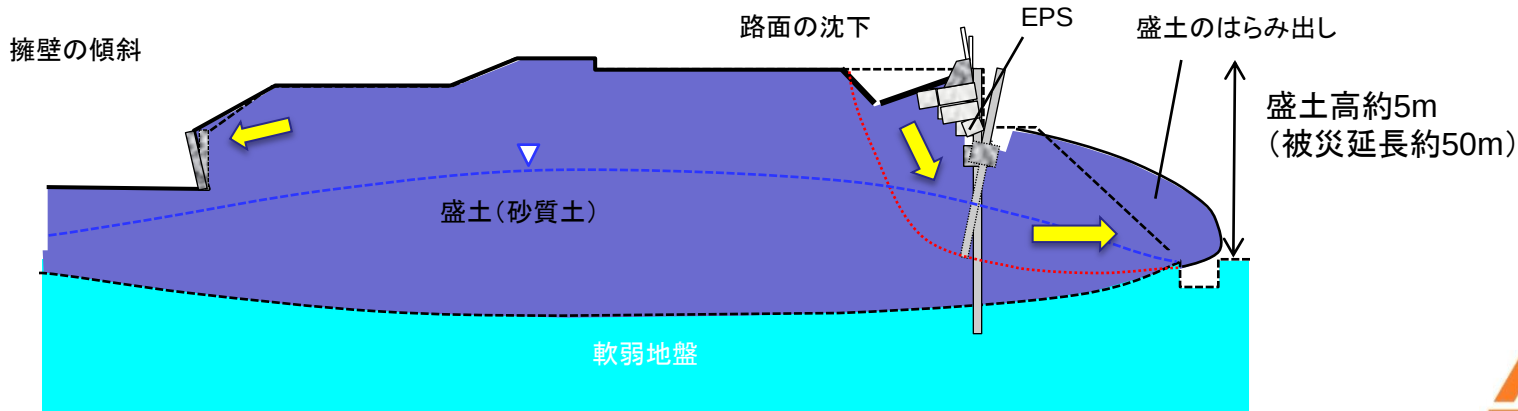
地震動による被災例⑧：国道45号宮城県石巻市鹿又 (平地部盛土)＜分類Ⅲ＞



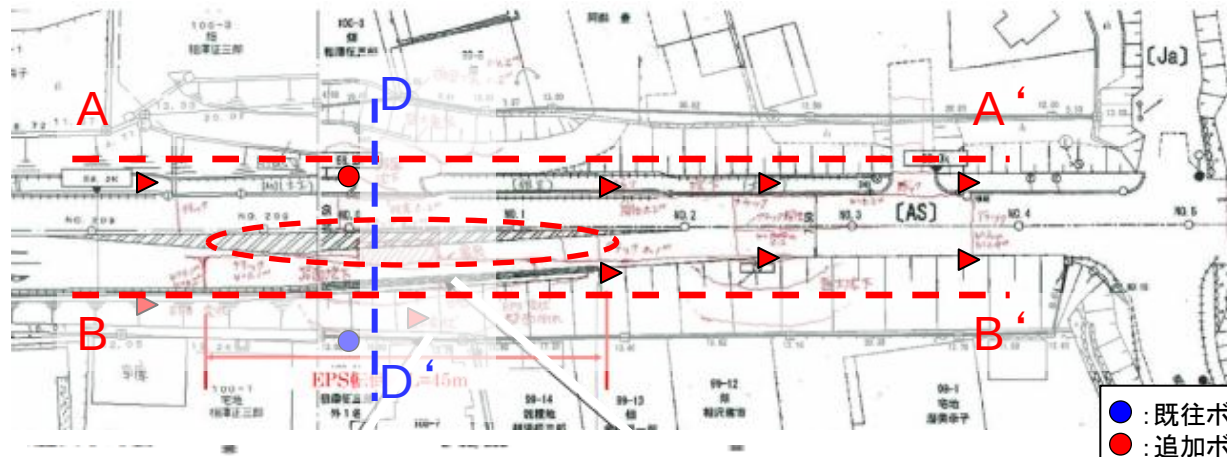
粘土地盤上の盛土で、基礎地盤の沈下に伴う緩みおよび盛土材の液状化を想定し、崩壊箇所のトレンチ調査およびサウンディング等により基礎地盤等の状況を確認。

盛土内に水位があり、周辺と比較すると崩壊箇所は窪んだ地形で、厚いサンドマット層を確認。

盛土材のみが液状化して崩壊するには被災位置および規模の観点からは想定しにくく、地盤調査を踏まえると、厚いサンドマット層も液状化したことにより、大きく被災したものと推定。



地盤調査による盛土の縦横断図

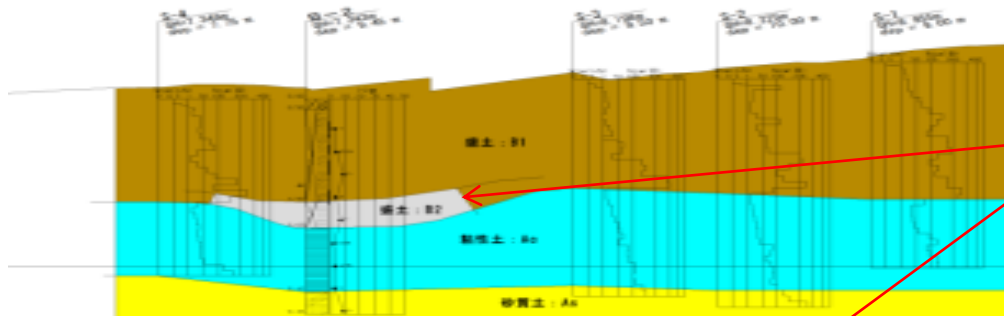


旧北上川

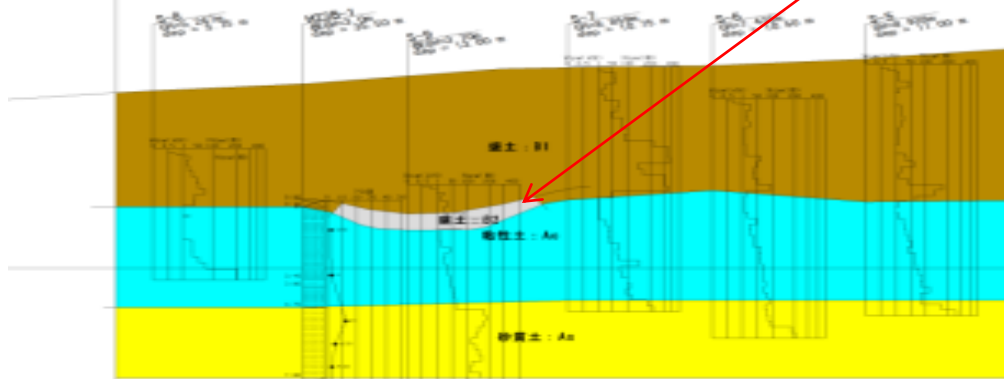


- : 既往ボーリング調査位置
- : 追加ボーリング調査位置
- ▲ : 追加スウェーデン式サウンディング試験位置

A-A' 断面 S=1:50

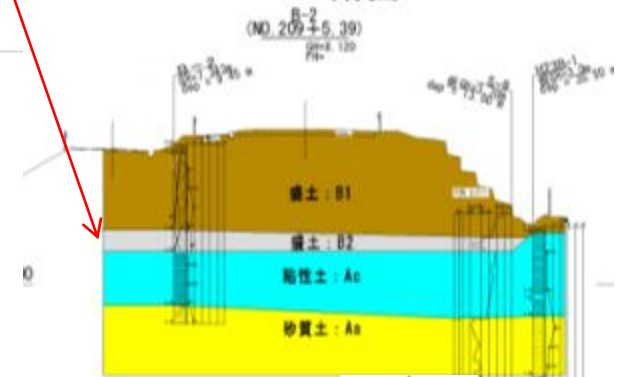


B-B' 断面 S=1:50



サンドマット

D-D' 断面 S=1:400

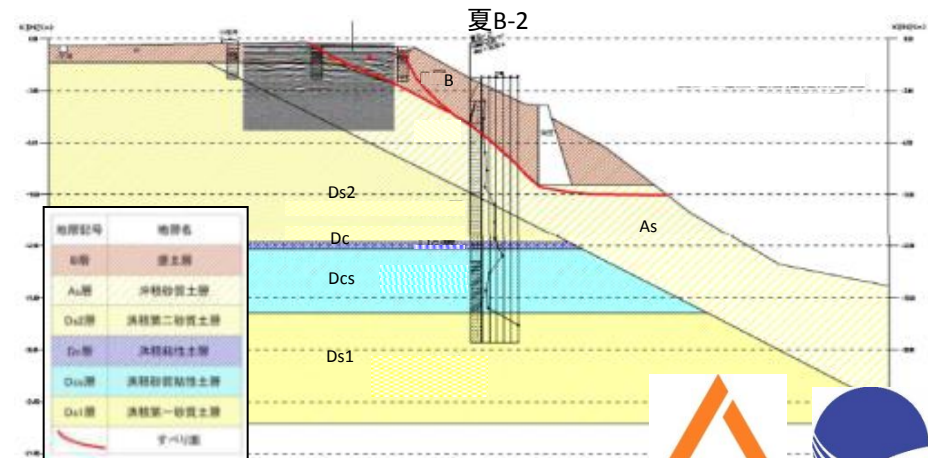
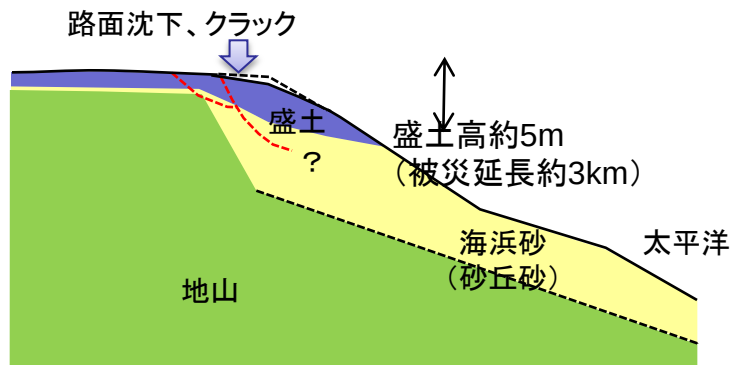


地震動による被災⑨：国道51号茨城県東茨城郡大洗町成田（傾斜地盤上の盛土）＜分類Ⅳ＞



トレンチ調査等から、緩い砂層の堆積する傾斜地盤上に構築された盛土および擁壁の一部に変状があったことを確認。

当時の指針においては、緩い傾斜地盤の盛土・擁壁に関する設計・施工の記述がないことを確認。



被災要因調査結果を踏まえた対応について

＜分類Ⅰ＞水が集まりやすい地形条件などで盛土内の水位が高かったことが要因

- ・盛土工指針において、上記の地震による被災を踏まえて基盤排水層や小段部の水平排水層の設置等の排水に関する記述を強化しており、対応が図られている。

＜分類Ⅱ＞水が集まりやすい地形条件で排水対策を実施したものの基礎地盤が液状化したことが要因

- ・盛土の足元が湖沼等の水辺に当たる箇所について注意喚起する記述を追加。
- ・液状化判定法については、道路橋示方書による方法を導入
- ・→軟弱地盤対策工指針にて対応。

＜分類Ⅲ＞平地部の軟弱地盤上の盛土で盛土材自体が液状化したことが要因への対応

- ・ 盛土内水位の上昇は基盤排水層の設置により、一部盛土工指針で対応済み。
- ・ 圧密沈下が著しい箇所や、石巻の事例のように基礎地盤にもともと窪地等の大きな不陸があり、上記の対応では不十分な箇所については、サンドマットを砂利などで置き換える、盛土補強工法などの対応方法を追記。
→「軟弱地盤対策工指針」にて対応。

＜分類Ⅳ＞不安定な傾斜地盤上に構築したことが要因への対応

- ・ 現行指針においては、傾斜地盤上の擁壁については、盛土基礎地盤を含む全体安定検討を行うことが記述されている。
- ・ 盛土工指針においては、不安定な傾斜地盤については十分な調査と不安定箇所の掘削除去や改良等の対応についても記述されており、対応が図られている。

（設計・施工当時の道路土工指針においては、傾斜地盤上の盛土および擁壁の設計に関する記述はされていなかった。）

津波による道路土工の被災実態に関する調査結果

直轄国道の災害査定資料において、越流していない箇所での津波によるものと判断される被害報告は無かった。



越流しなければ走行性に支障を来すような被害は無いものと推定

被災があった箇所では、

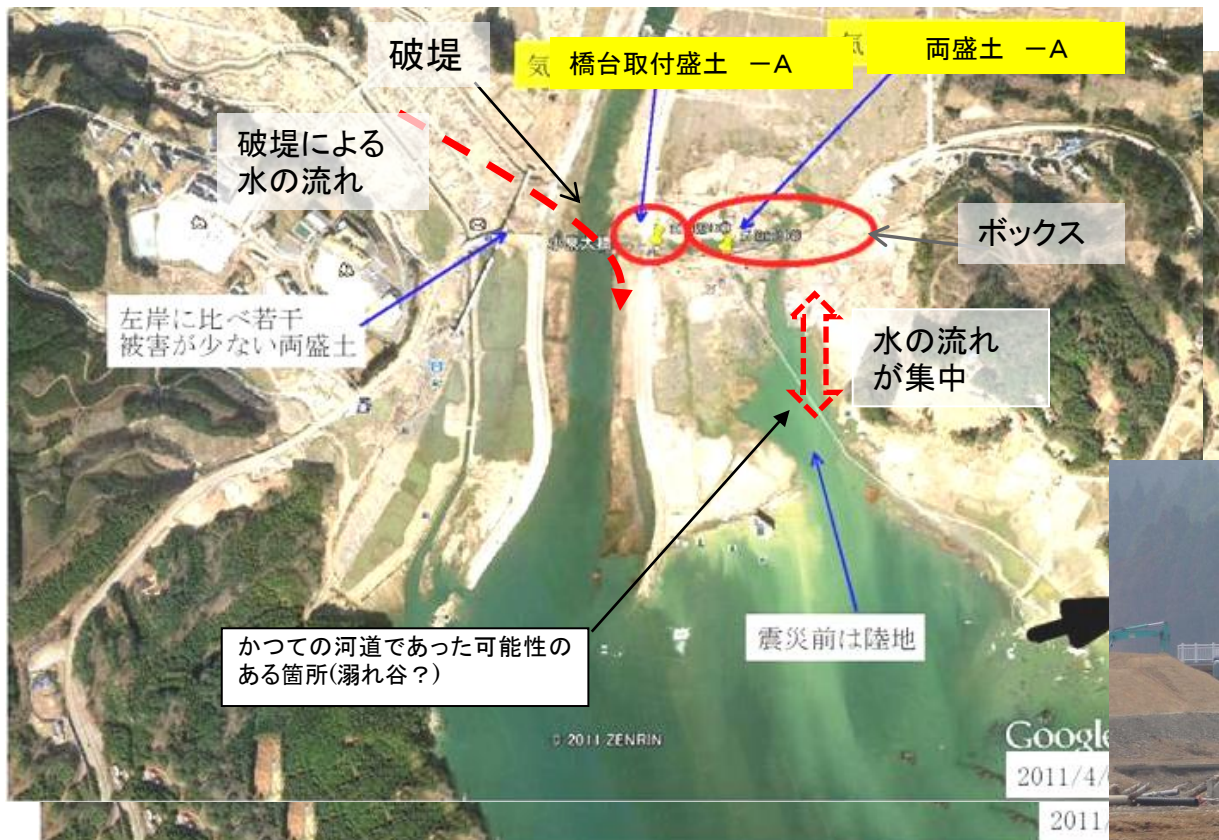
- ①水の流れの集中した箇所
- ②護岸裏、構造物近傍など水流が急速に変化すると考えられる箇所（洗掘等による護岸の流出を含む）で被害が大きくなる傾向があると思われる。



水の流れと関連性の高い地形的あるいは構造的な条件で被災しやすいと推定

大規模被災例(大規模河川等の近傍)

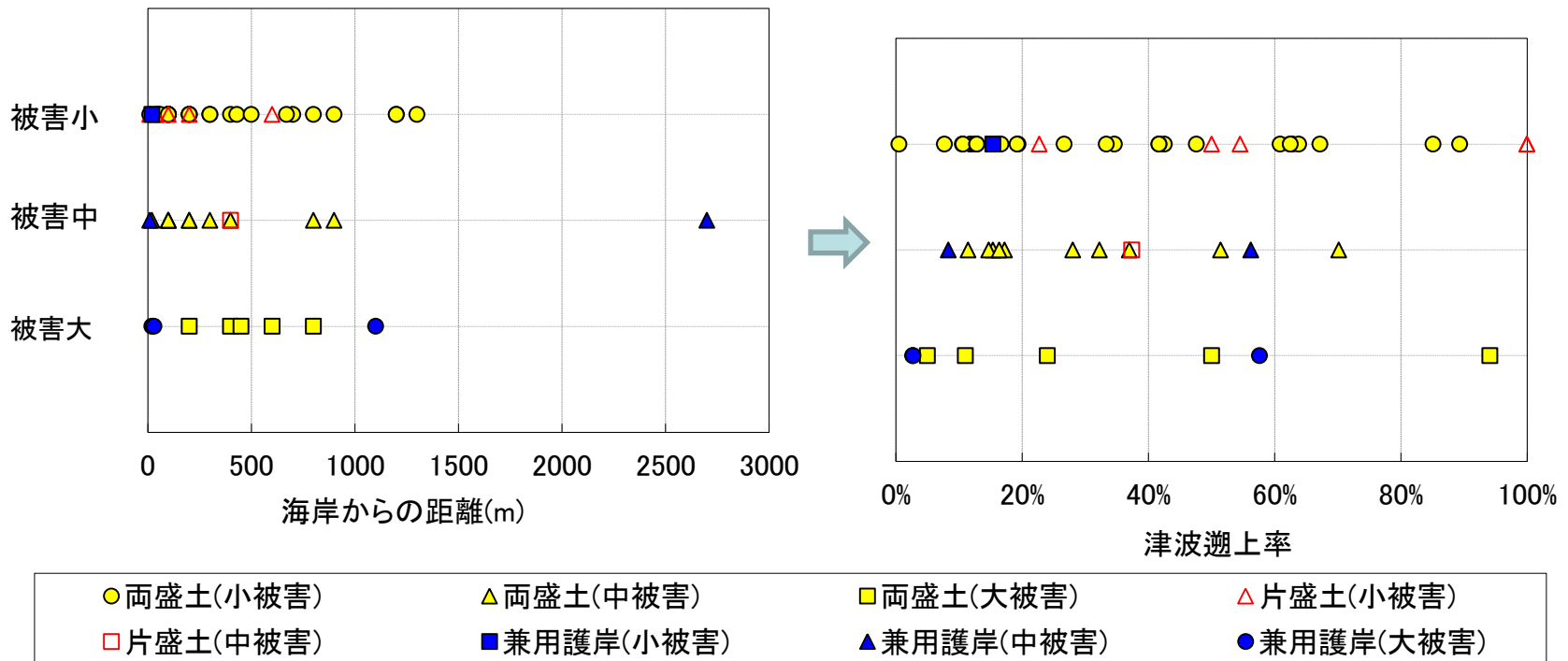
小泉大橋



被災位置と被災規模について

海岸線を起点として被災規模と被災箇所の位置関係を分析

- ・被災規模と海岸線からの位置関係に明瞭な関係はない。
- ・被災規模と津波遡上位置に対する距離比にも明瞭な関係はない。



※津波遡上率:被災箇所を通過する、海岸線から津波遡上位置までを結んだ距離に対する被災箇所の海岸線からの距離比率

津波による被災の今後の対応について

道路土構造物の被災実態については整理を行い、今後の基礎資料としていく予定である。