

# 素因及び被災メカニズムの分析について

平成23年9月14日

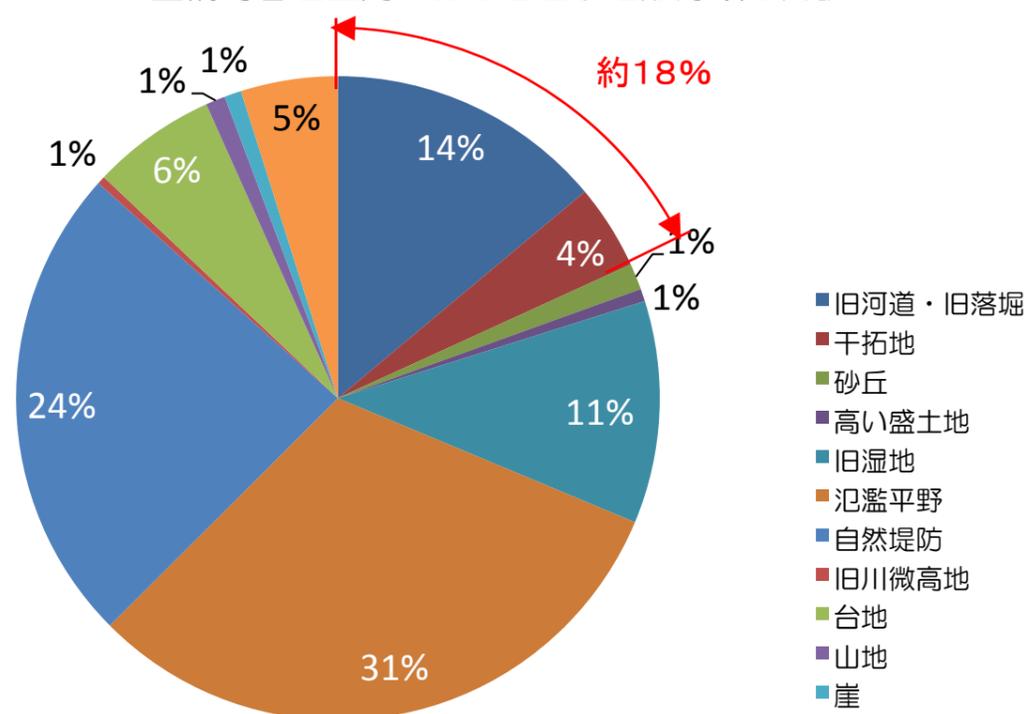
国土交通省 関東地方整備局

## 素因の分析

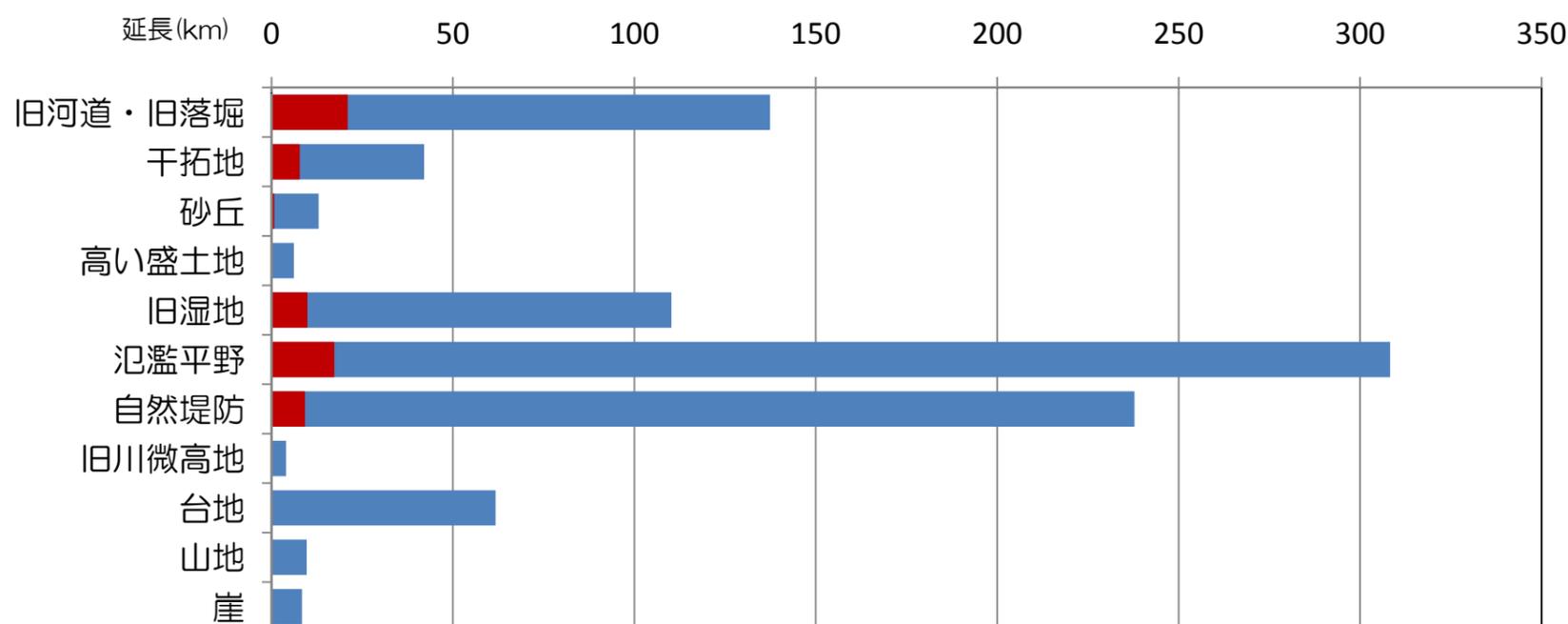
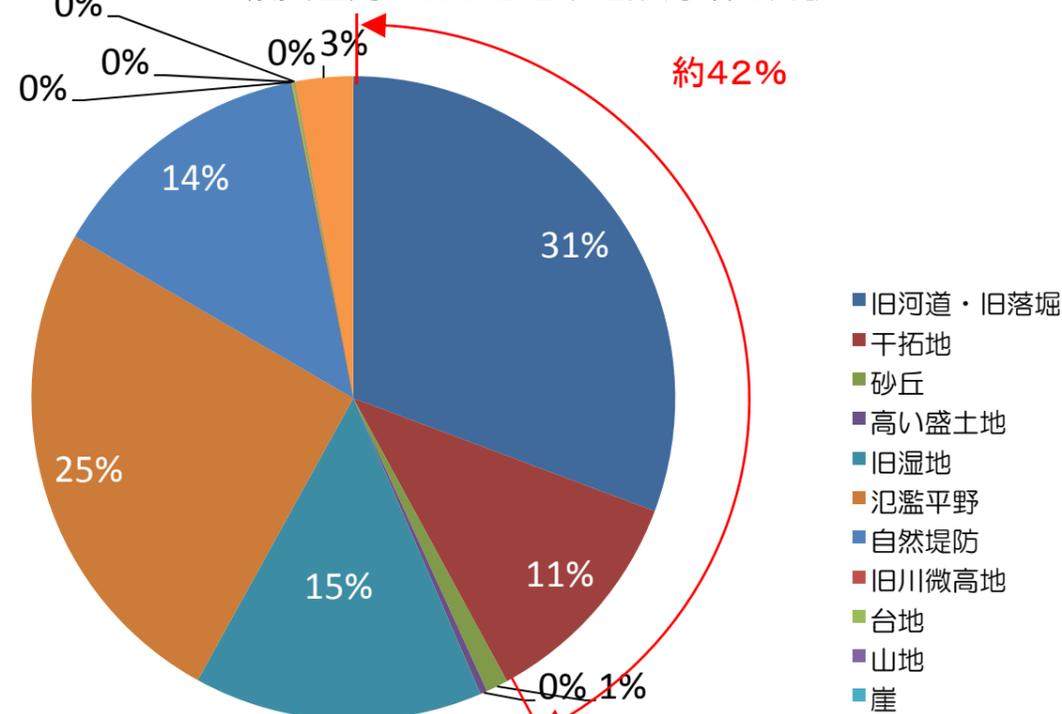
# 治水地形分類の分析①

- 治水地形分類と被災区間について分析
- 被災の多かった河川を対象に治水地形分類をみると、「氾濫平野」、「自然堤防」が比較的多く、次いで「旧河道・旧落堀」、「旧湿地」が多い。
- 被災した区間でみると、全延長の約18%である「旧河道・旧落堀」「干拓地」が全被災区間の42%を占め、被災割合が高い傾向があった。
- 区分毎の延長に対する被災発生区間の比率は、「旧河道・旧落堀」「干拓地」、次いで「旧湿地」が比較的高くなっている。

整備局管理区間における治水地形分類の内訳



被災区間における治水地形分類の内訳



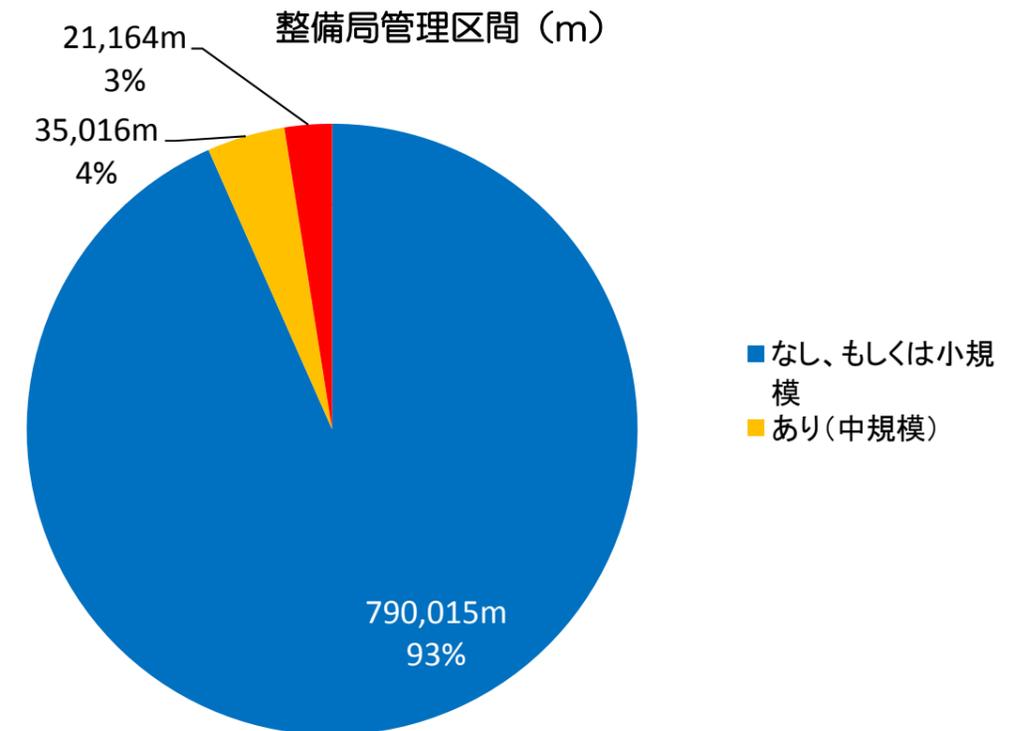
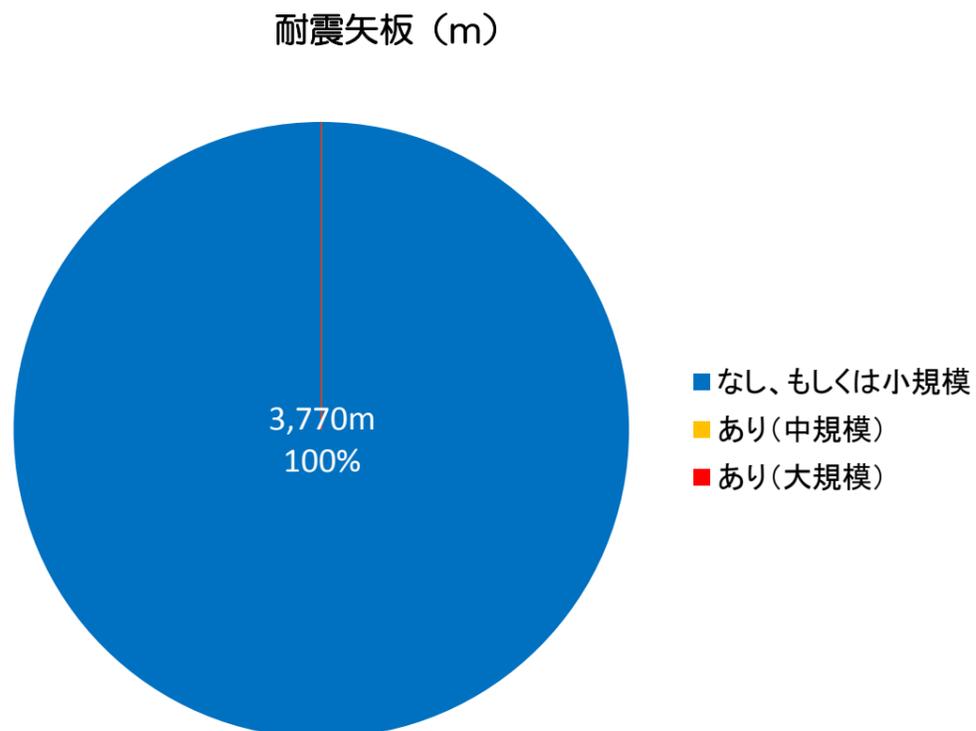
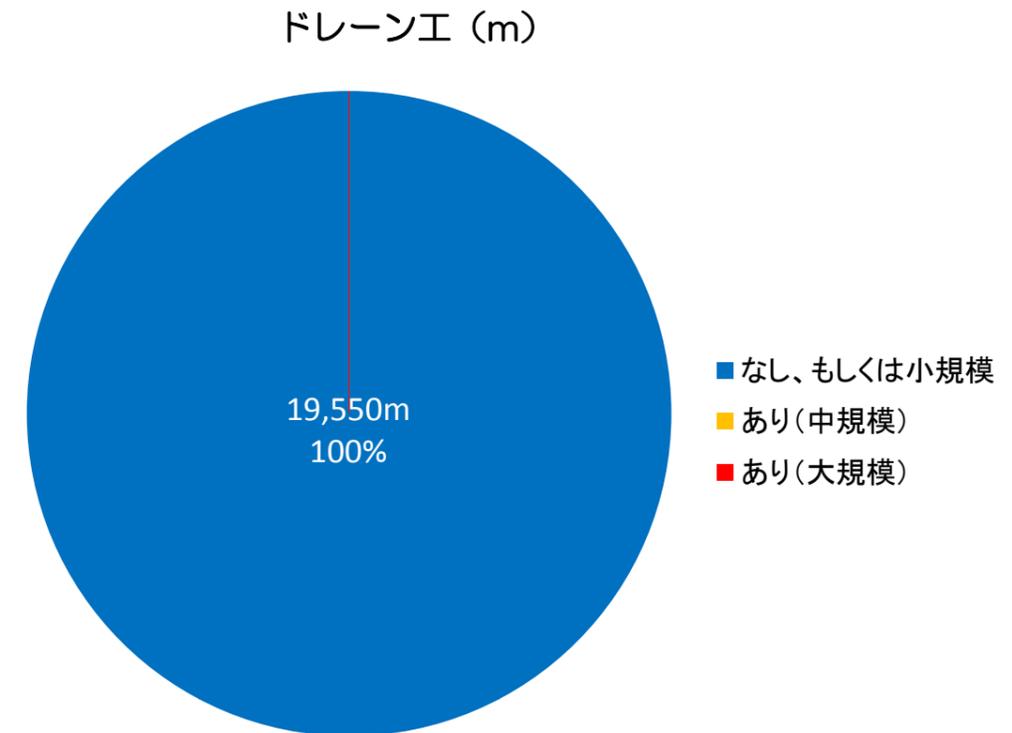
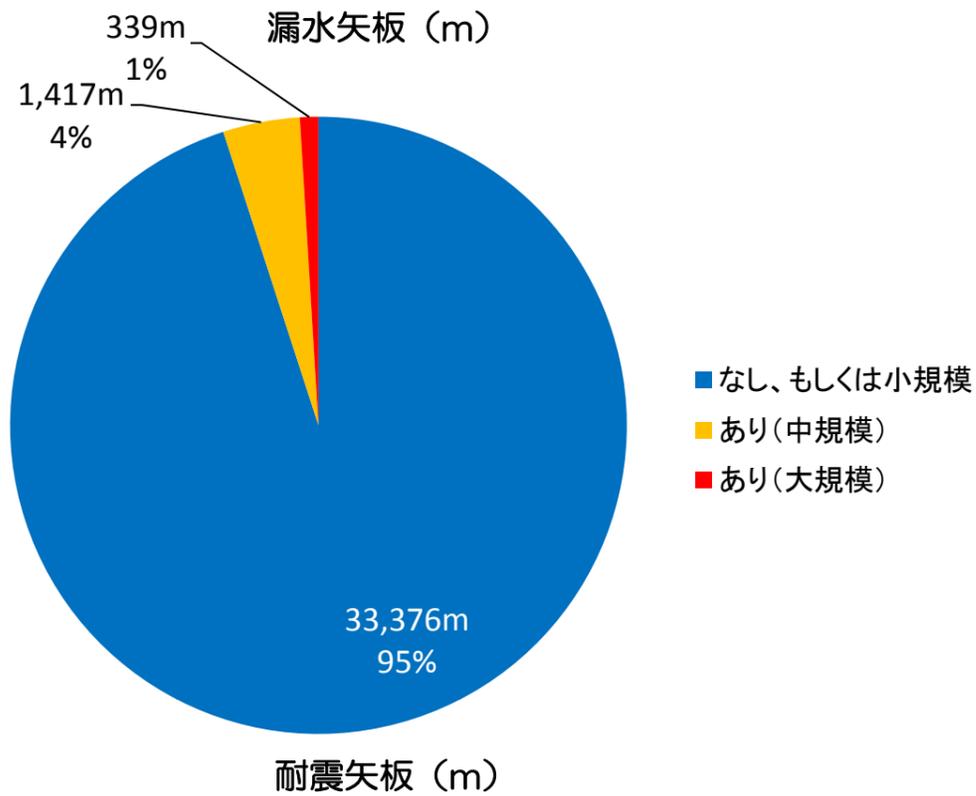
治水地形分類	区間延長(km)①	被災延長(km)②	被災率②/①
旧河道・旧落堀	137.4	19.4	14%
干拓地	42.1	8.8	21%
砂丘	13.0	0.0	0%
高い盛土地	6.2	0.2	4%
旧湿地	110.2	12.5	11%
氾濫平野	308.3	16.5	5%
自然堤防	237.8	9.4	4%
旧川微高地	4.0	0.0	0%
台地	61.8	0.1	0%
山地	9.7	0.0	0%
崖	8.4	0.0	0%

※整備局管理区間: 那珂川、久慈川、霞ヶ浦(常陸利根川)、利根川下流、小貝川、江戸川の関東地方整備局管理区間

# 既往の対策工（耐震、漏水）施工箇所における被災状況

●既設矢板やドレーン工等の対策を実施していた区間では、被災が無いか被災があっても小規模であり、地震に対して一定の効果が見られた。

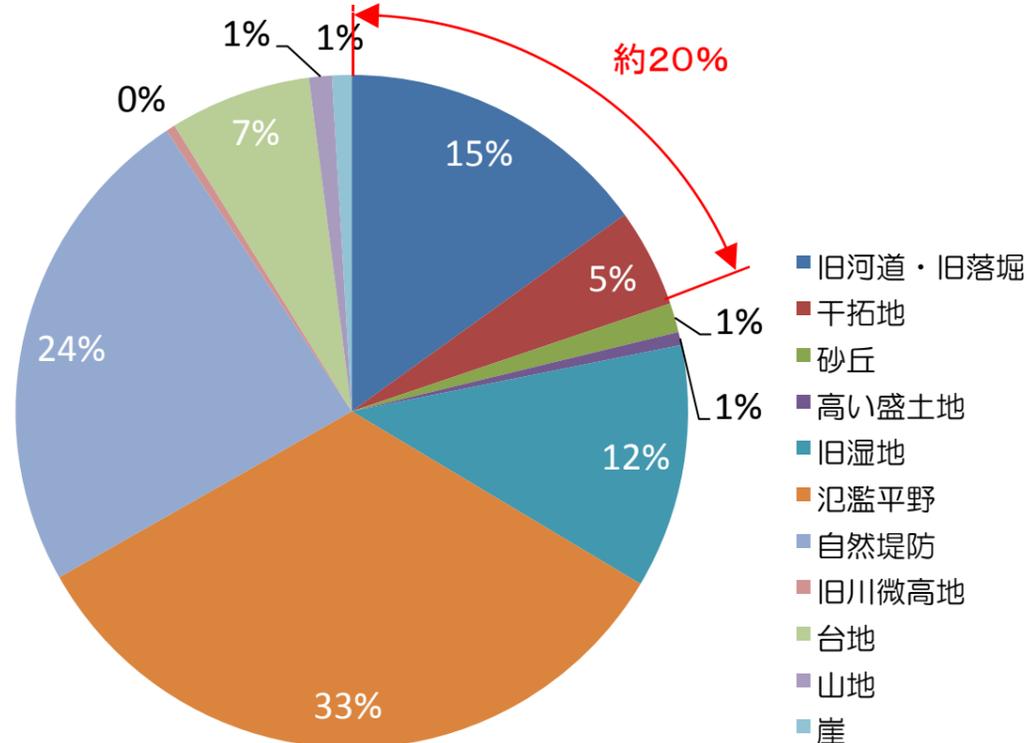
※なお、漏水矢板で大規模な被災が生じている箇所については、堤体液状化による被災箇所となっている。



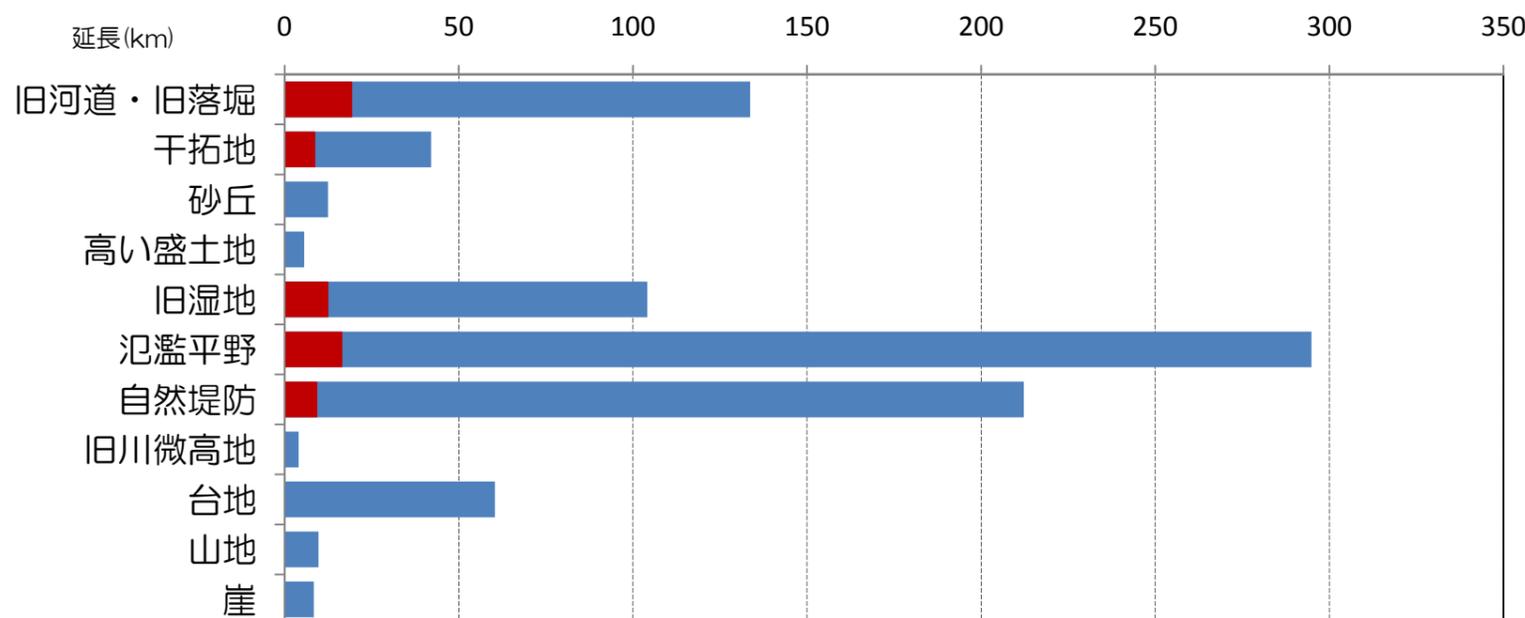
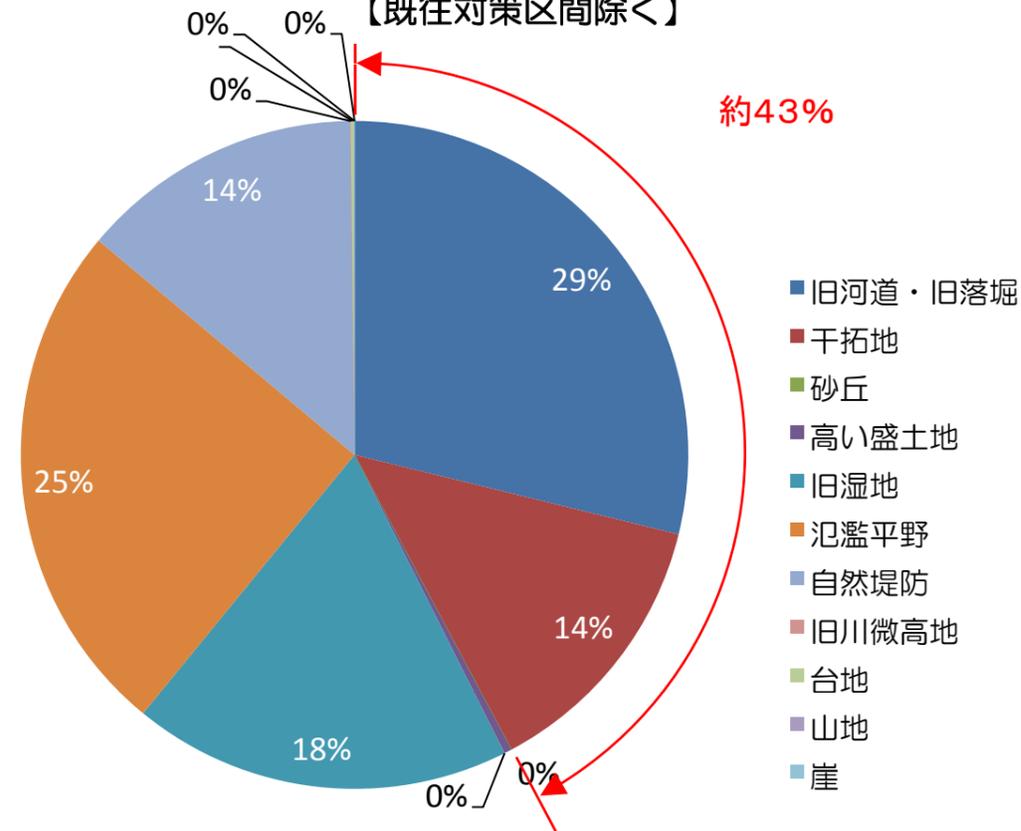
## 治水地形分類の分析②

- 「治水地形の分析①」で整理した区間には、既往の対策工施工箇所を含んでいる。
- このため、対策が実施されていない場合には被災した可能性があることから、延長から除いて整理を行った。

整備局管理区間における治水地形分類の内訳  
【既往対策区間除く】



被災区間における治水地形分類の内訳  
【既往対策区間除く】



治水地形分類	管理延長 (km)①	被災延長 (km)②	被災率 ②/①
旧河道・旧落堀	133.7	18.9	14%
干拓地	42.1	8.8	21%
砂丘	12.5	0.0	0%
高い盛土地	5.6	0.2	4%
旧湿地	104.1	12.0	12%
氾濫平野	294.9	16.5	6%
自然堤防	212.2	9.0	4%
旧川微高地	4.0	0.0	0%
台地	60.4	0.1	0%
山地	9.7	0.0	0%
崖	8.4	0.0	0%

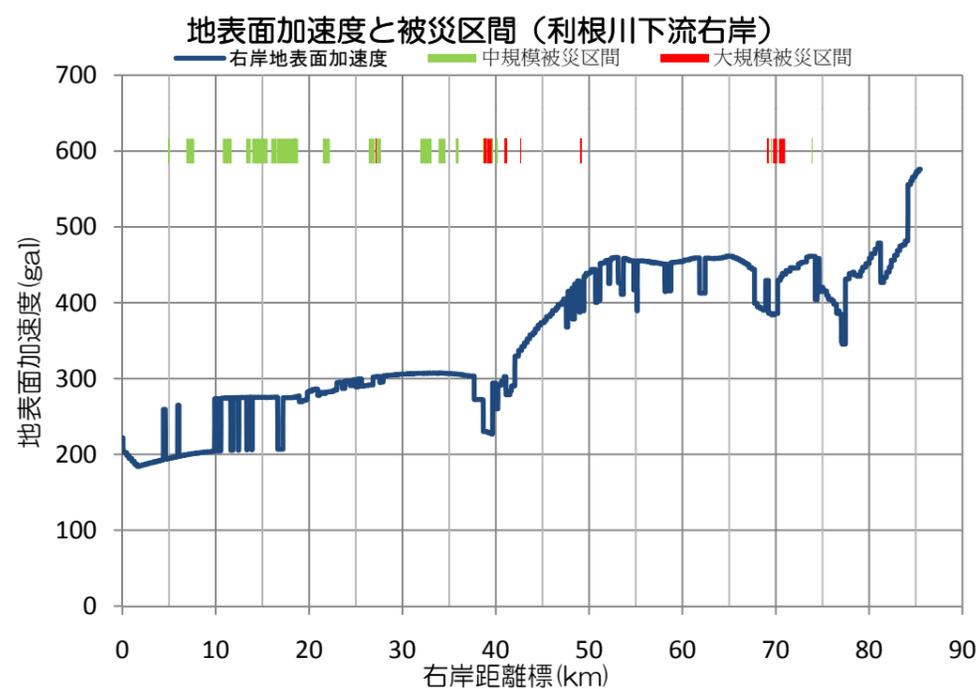
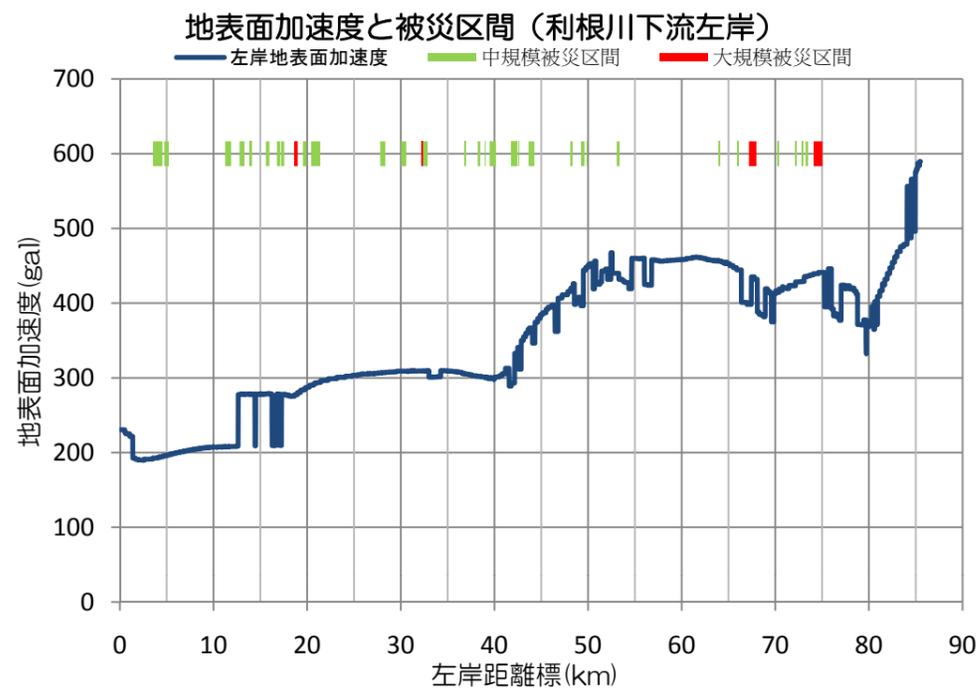
※整備局管理区間: 那珂川、久慈川、霞ヶ浦(常陸利根川)、利根川下流、小貝川、江戸川の関東地方整備局管理区間

# 地表面加速度との関係

- 治水地形分類毎の地表面加速度と被災区間の関係について整理を行った。なお、既往対策工施工区間は除いている。
- この結果、旧河道は比較的小さい地表面加速度の箇所でも被災が発生している。

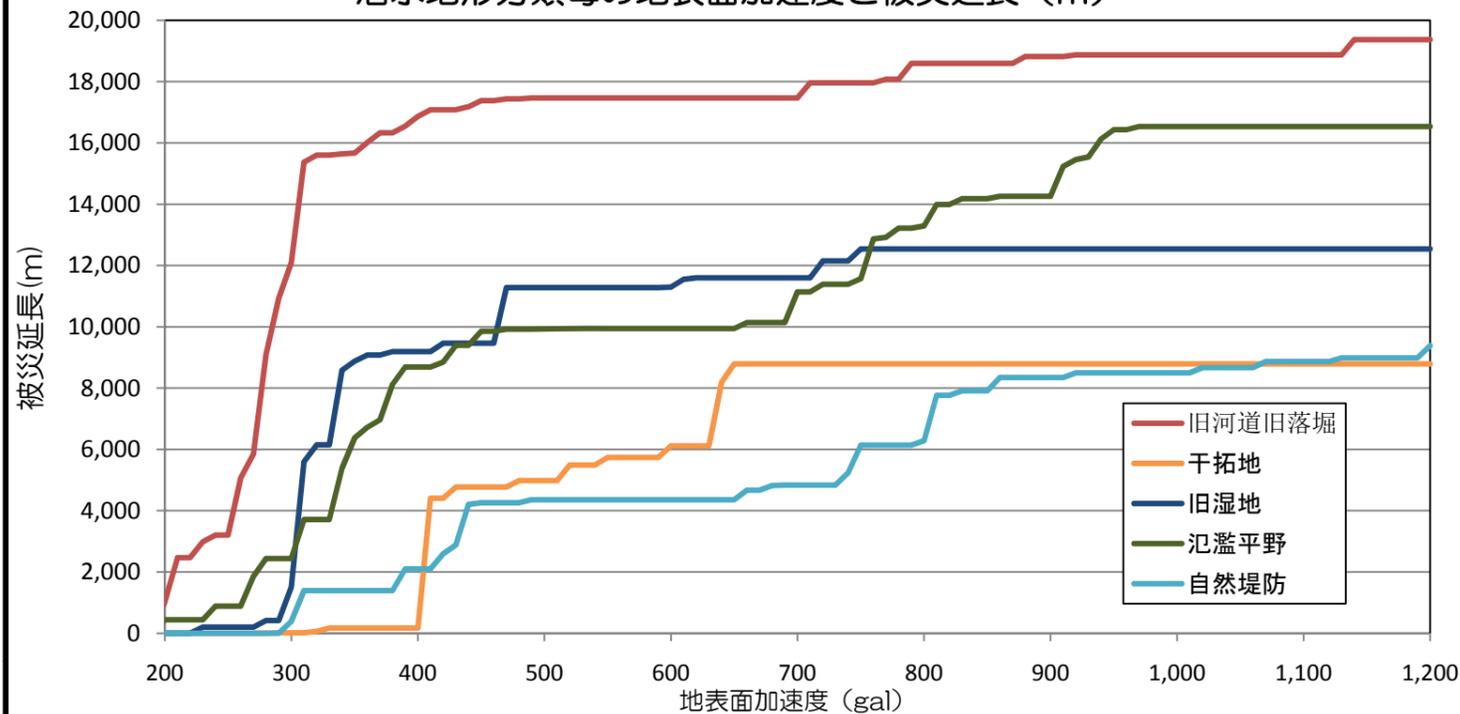
地表面加速度の分布から縦断図を作成し、被災箇所の関係を分析

<利根川下流の例>

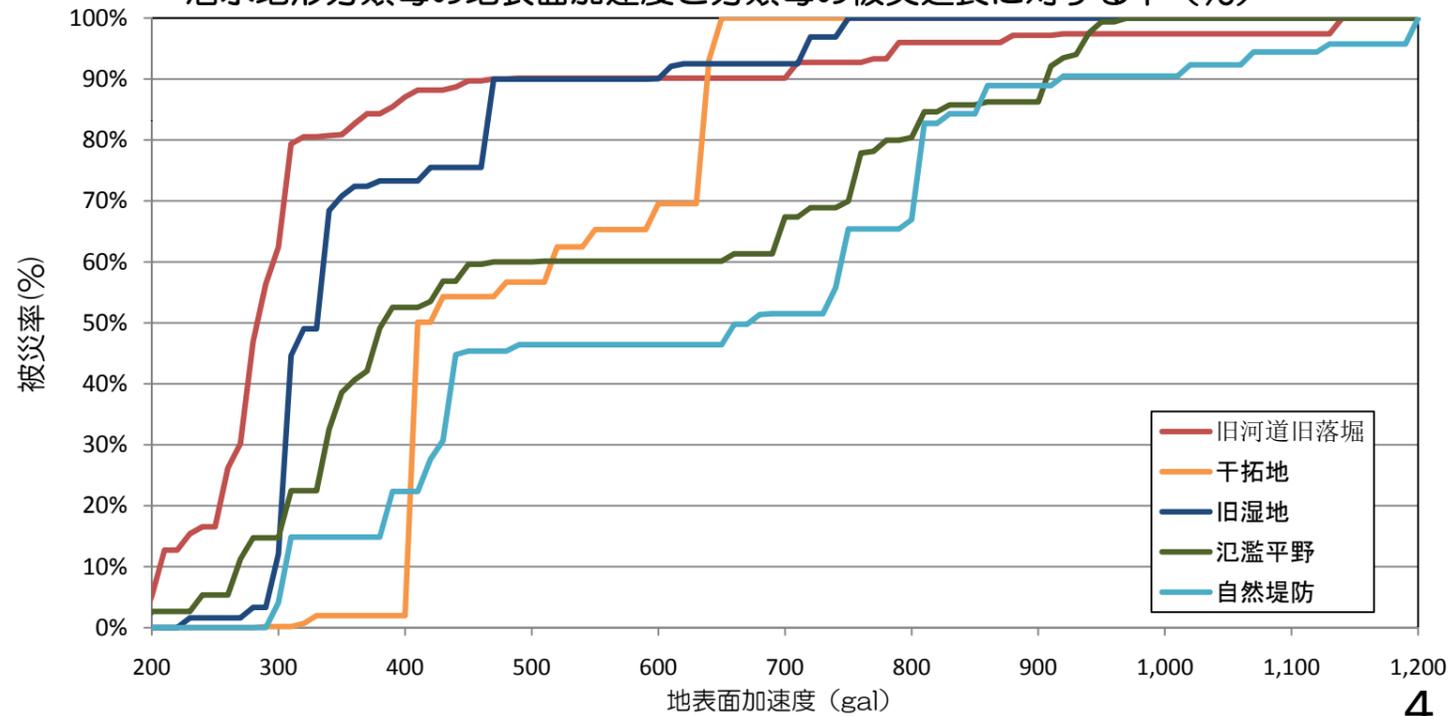


※地表面加速度: 国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室提供の推計データより作成

治水地形分類毎の地表面加速度と被災延長 (m)

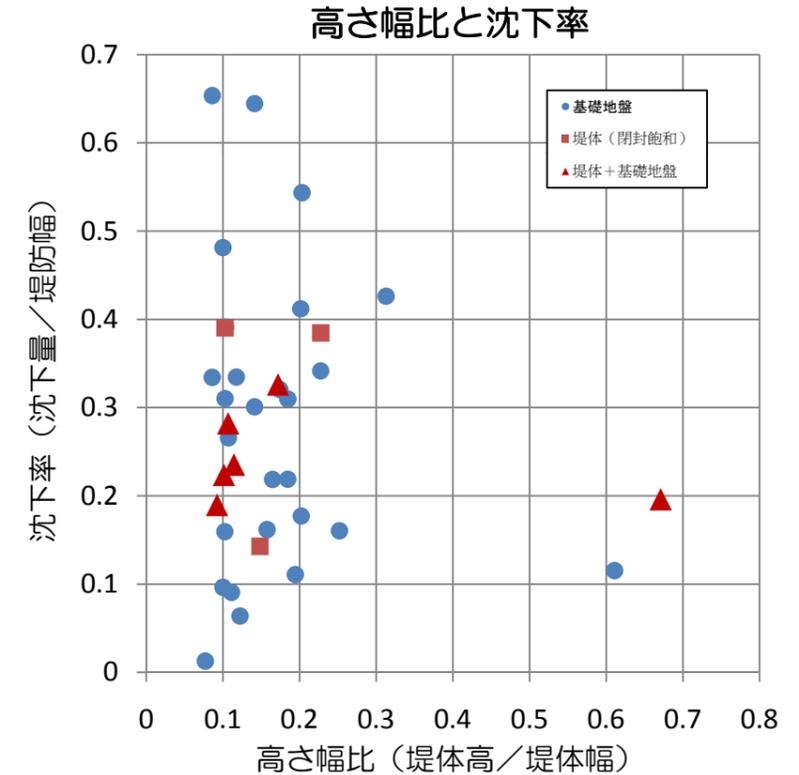
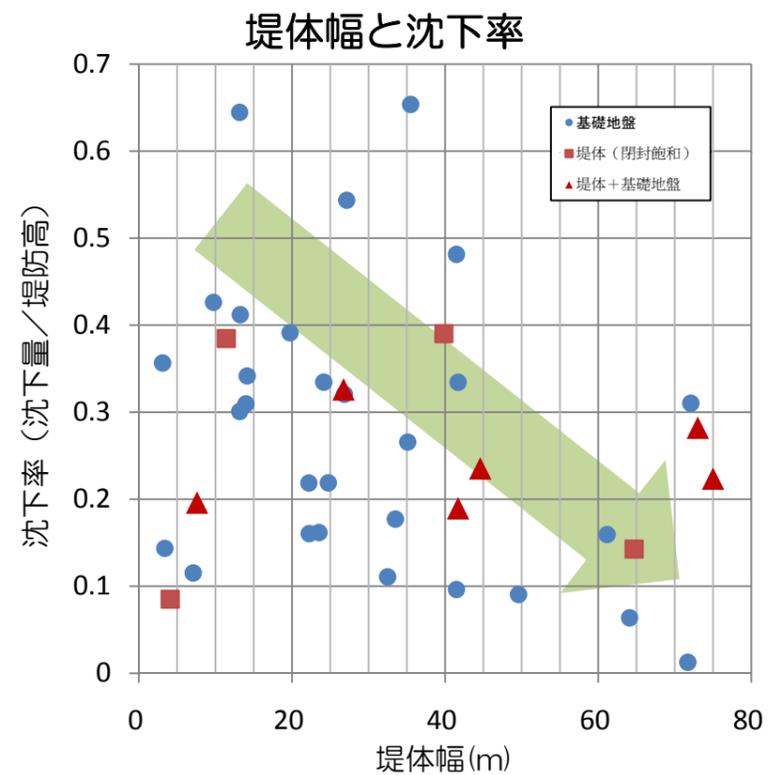
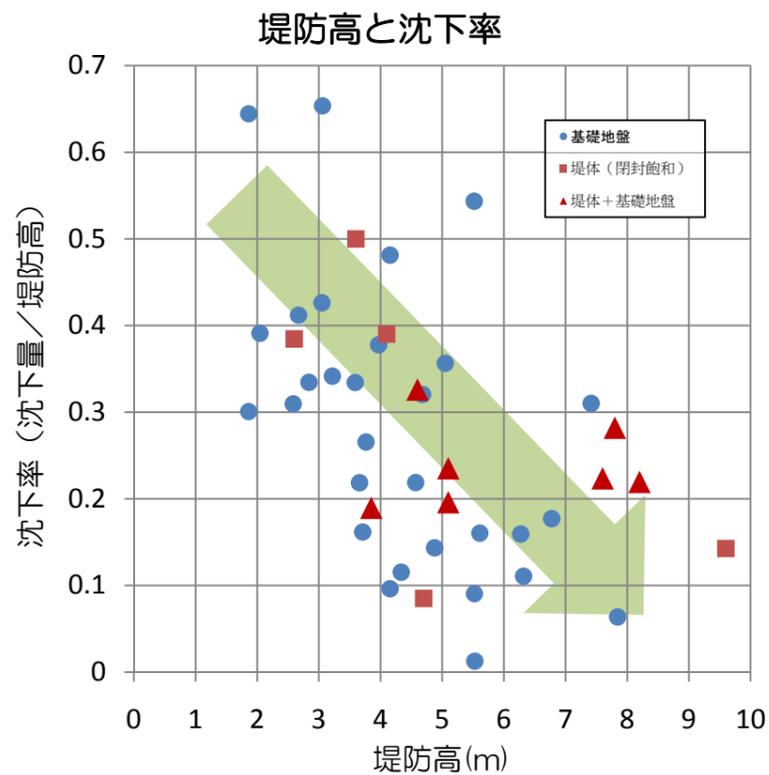
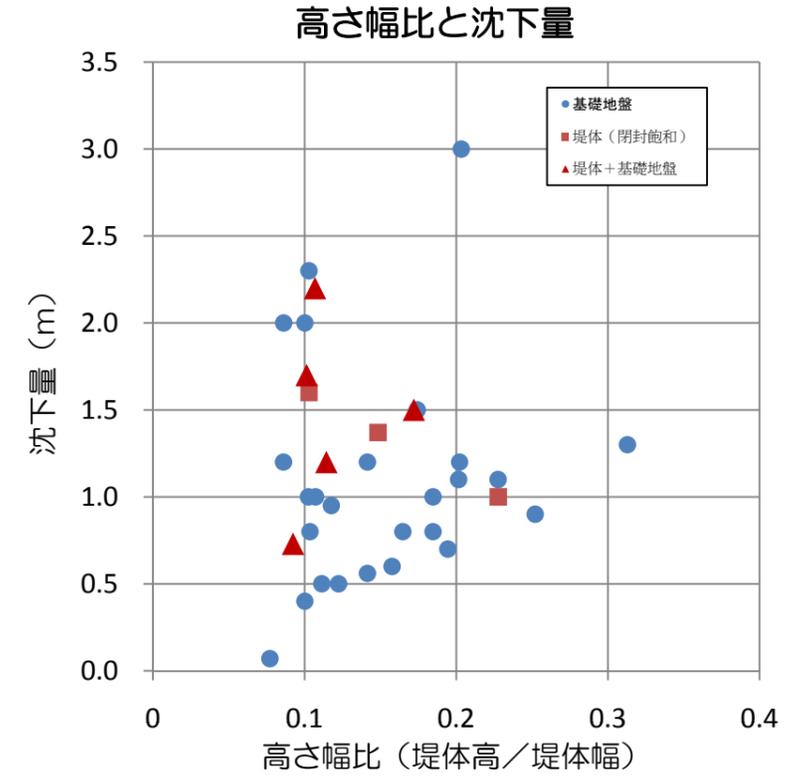
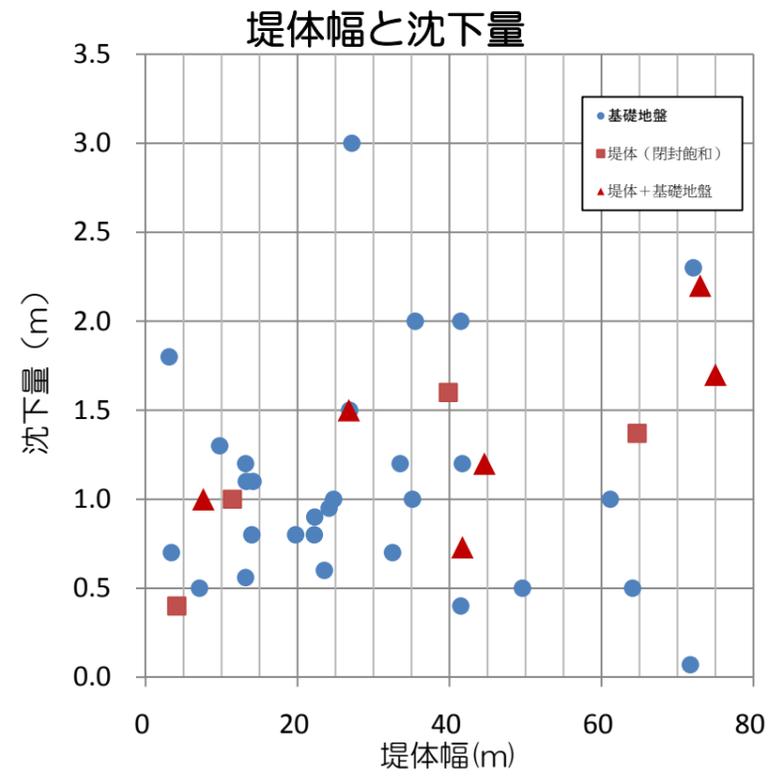
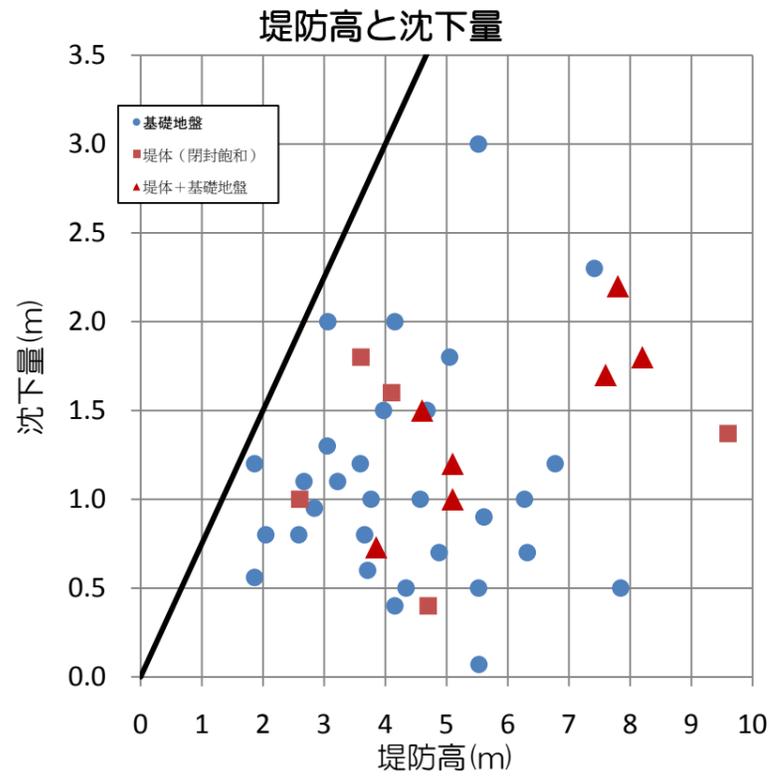


治水地形分類毎の地表面加速度と分類毎の被災延長に対する率 (%)



# 堤防形状と被災形状の分析

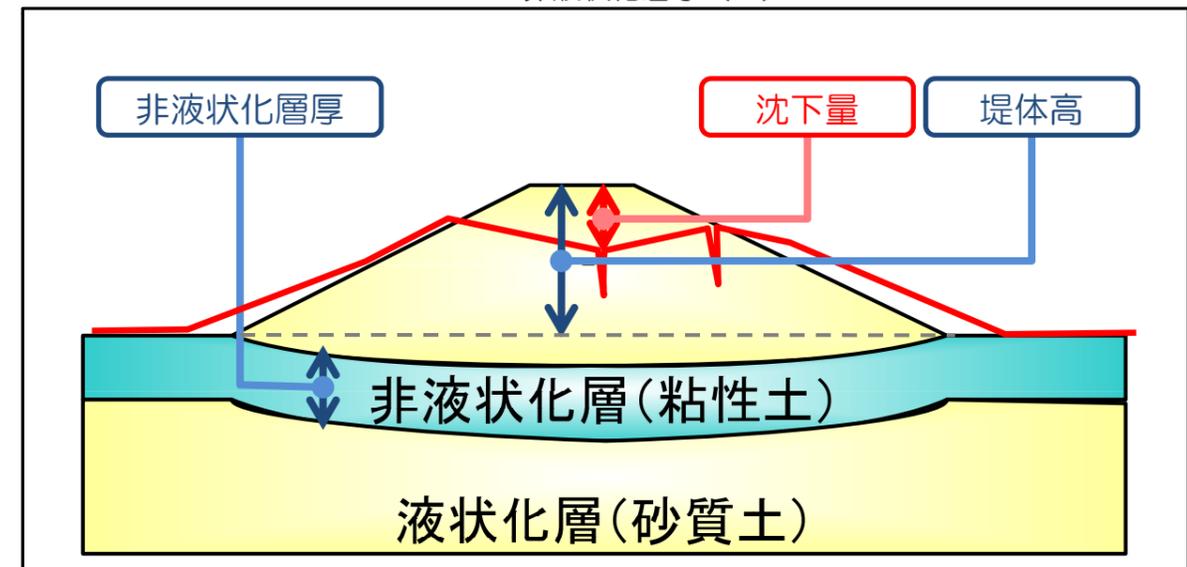
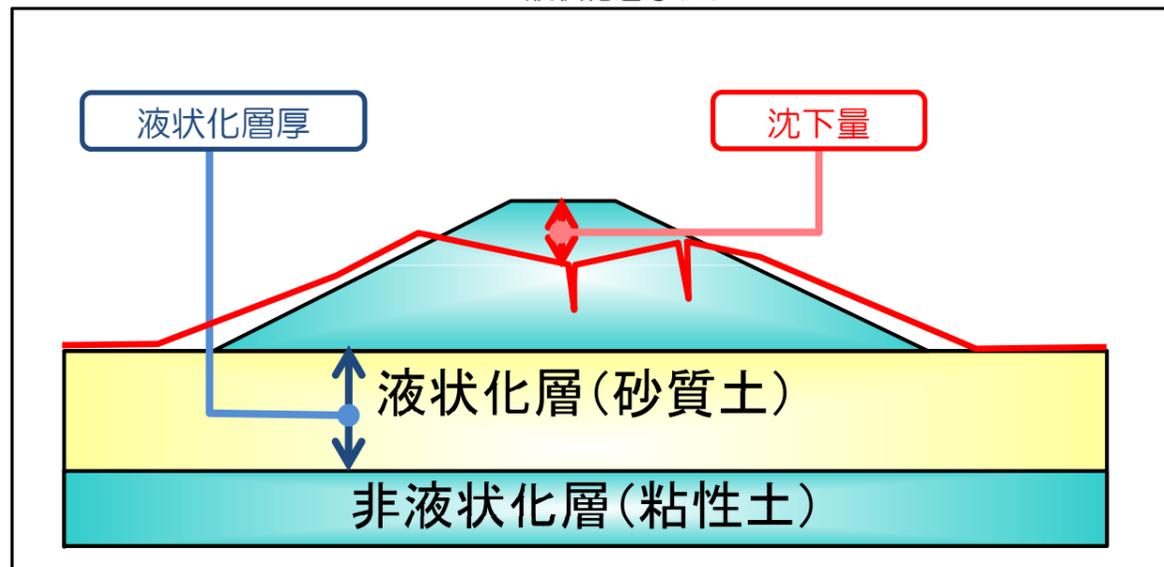
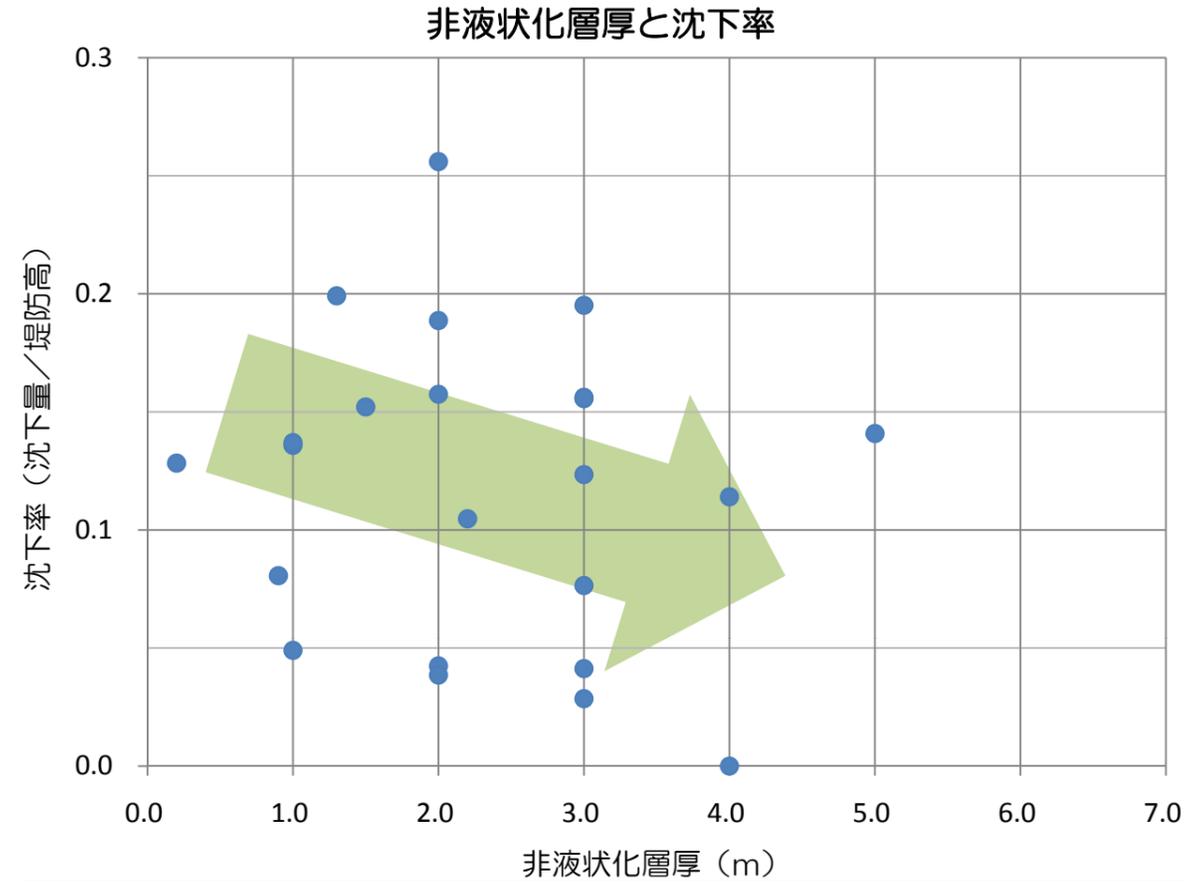
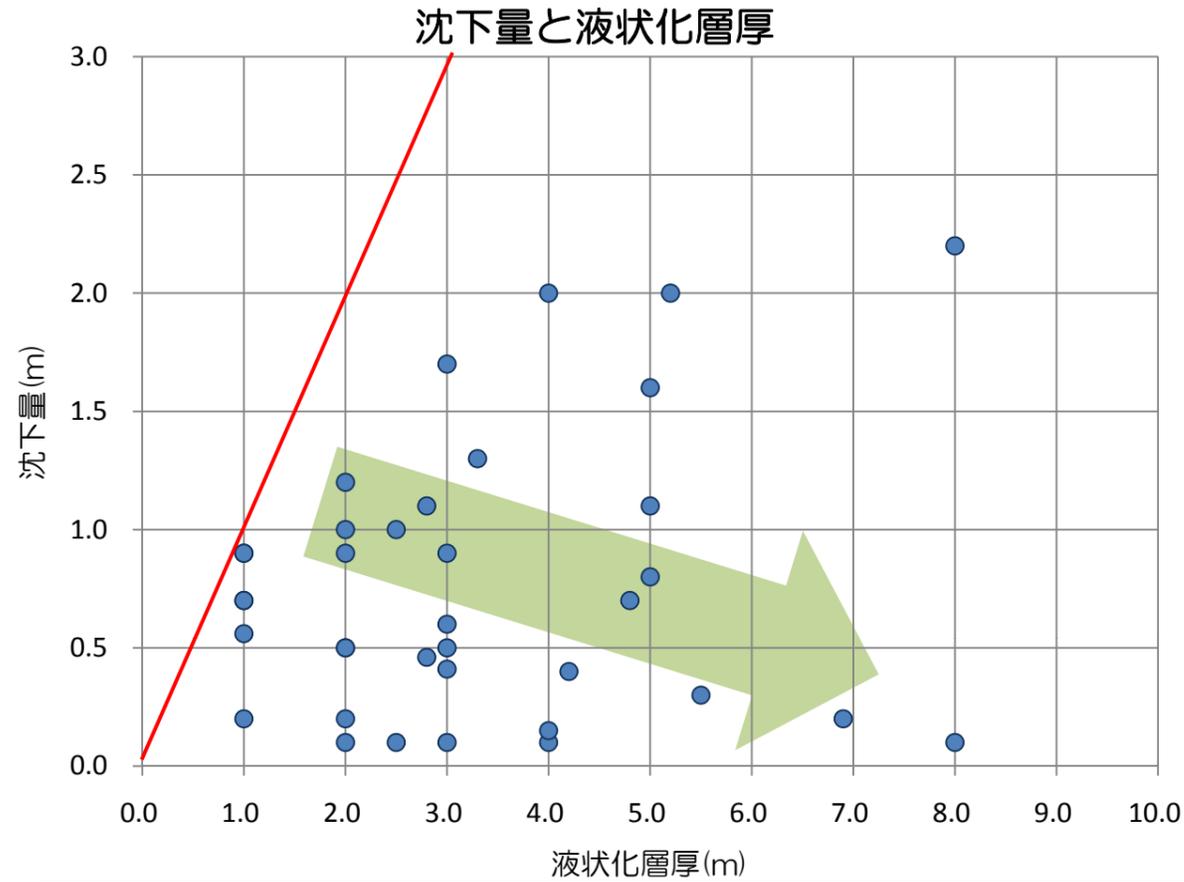
- 堤防の形状【堤防高、堤防幅、高さ幅比（堤防高／堤防幅）】と沈下状況【沈下量、沈下率（沈下量／堤防高）】について分析
- 沈下量は既往の研究成果と同様、堤防高の75%を超えていない。（堤防高が高いと沈下率が小さい傾向がみられた。）
- 堤防幅が広いと沈下率が小さくなる傾向が見られた。



# 基礎地盤地質と被災との関係

●基礎地盤に液状化層(砂質土層)が含まれる被災箇所について、砂質土層の層厚と沈下量の間を見ると、液状化層厚が厚いと沈下量が大きくなる傾向があるが、「**液状化層厚 $\geq$ 沈下量**」となっている。  
 [堤防が被災した146箇所のうち、沈下量が計測されている91箇所、第1層が砂質土層となっている45箇所]

●第1層に非液状化層(粘性土)、第2層に液状化層(砂質土)の被災箇所において、粘性土圧と沈下率の間を見ると、**非液状化層が厚いと沈下量が小さい傾向**が見られた。  
 [堤防が被災した146箇所のうち、沈下量が計測されている91箇所、第1層が粘性土層・第2層砂質土層となっている23箇所]



# 被災要因と被災形態

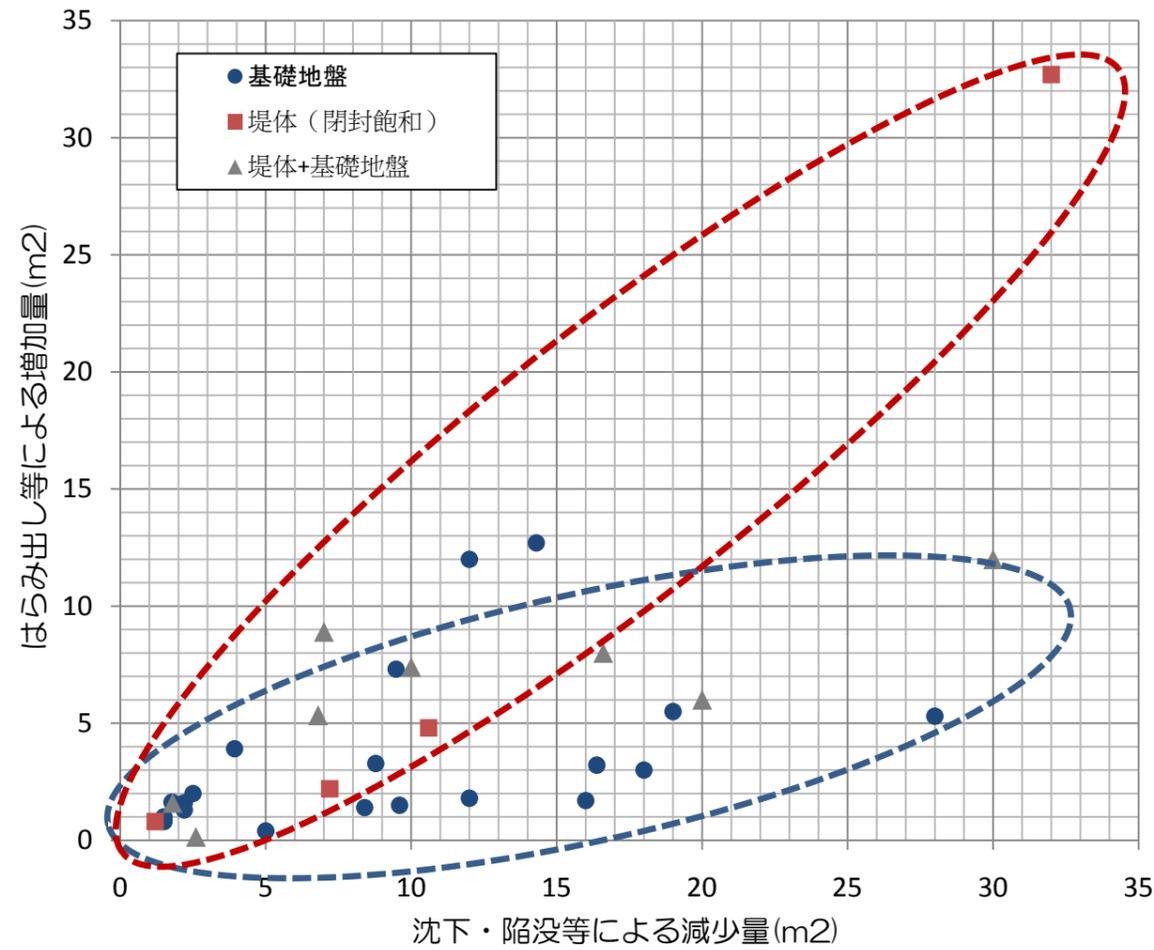
●堤防の沈下・陥没等による減少量とはらみ出し量等による増加量の関係において、基礎地盤が液状化する場合と堤体が液状化する場合とを比較したところ、**堤体が液状化する場合には、沈下等による減少量に対しはらみ出し等が大きい傾向**が見られた。

●また、基礎地盤のみの液状化の場合は、沈下量に対するはらみだし長さが小さい傾向がみられた。

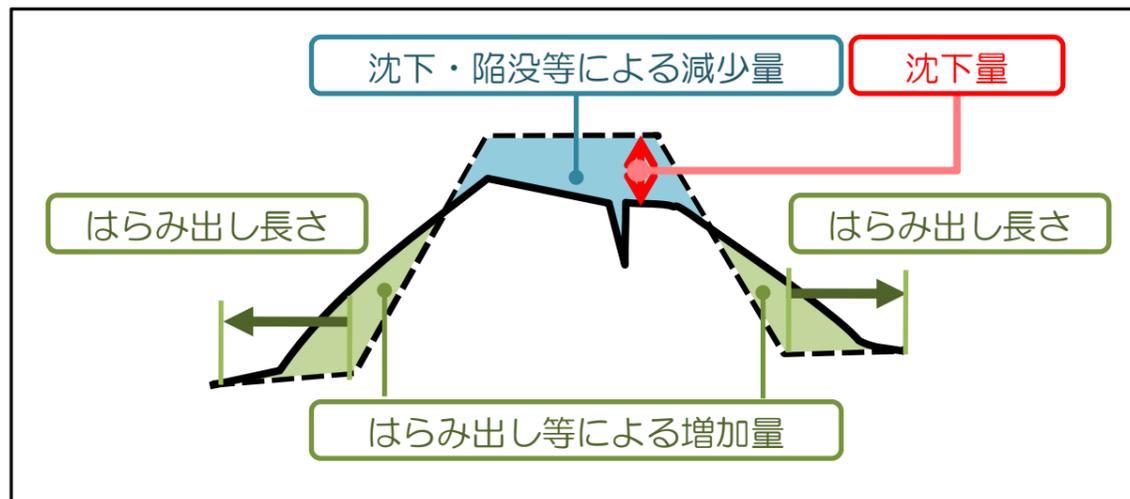
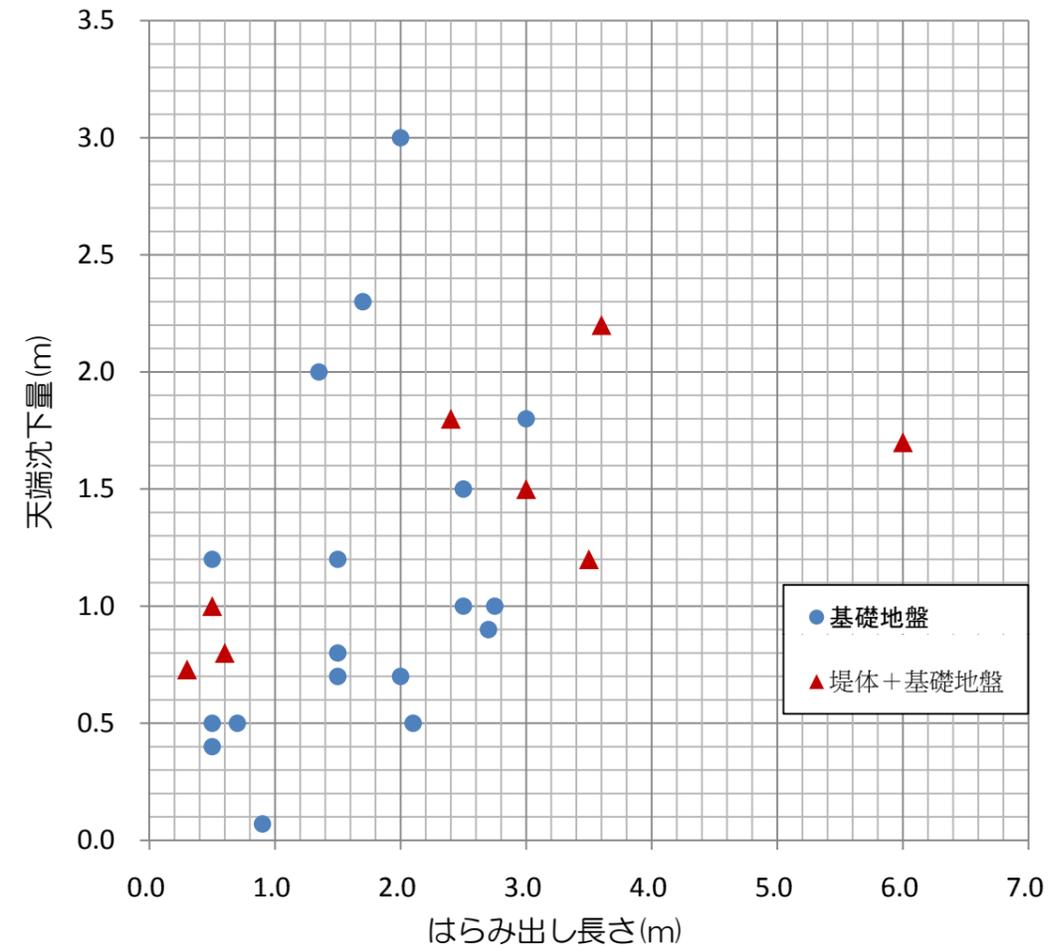
[大規模被災55箇所のうち、はらみ出し等による増加量等の変状が計測されている32箇所]

[大規模被災55箇所のうち、はらみ出し長さ等の変状が計測されている26箇所]

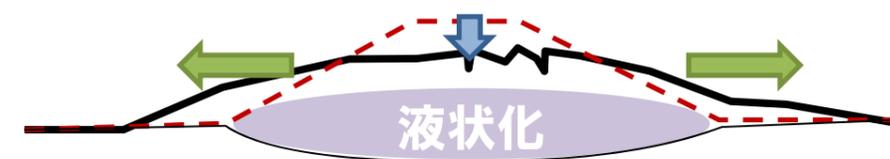
被災による変状の増加・減少量と被災要因との関係



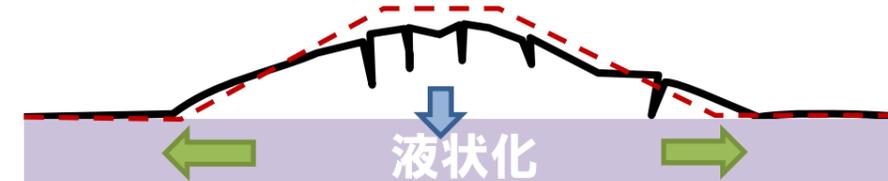
はらみ出し長さと沈下量



①堤体（閉封飽和域）の液状化

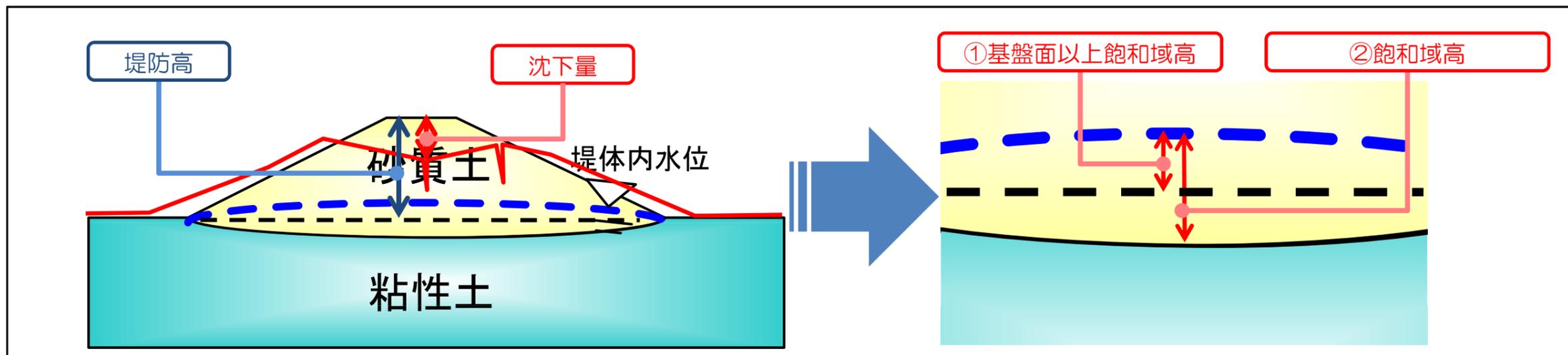
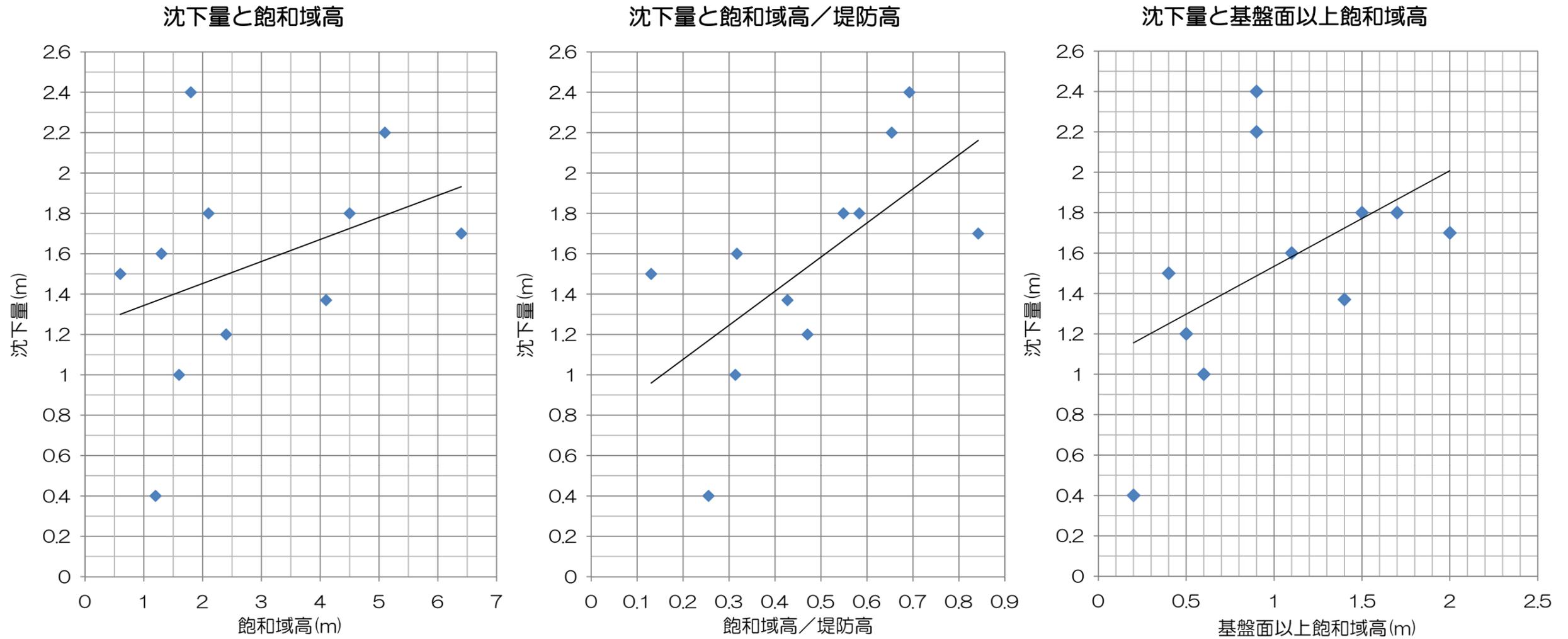


②基礎地盤の液状化



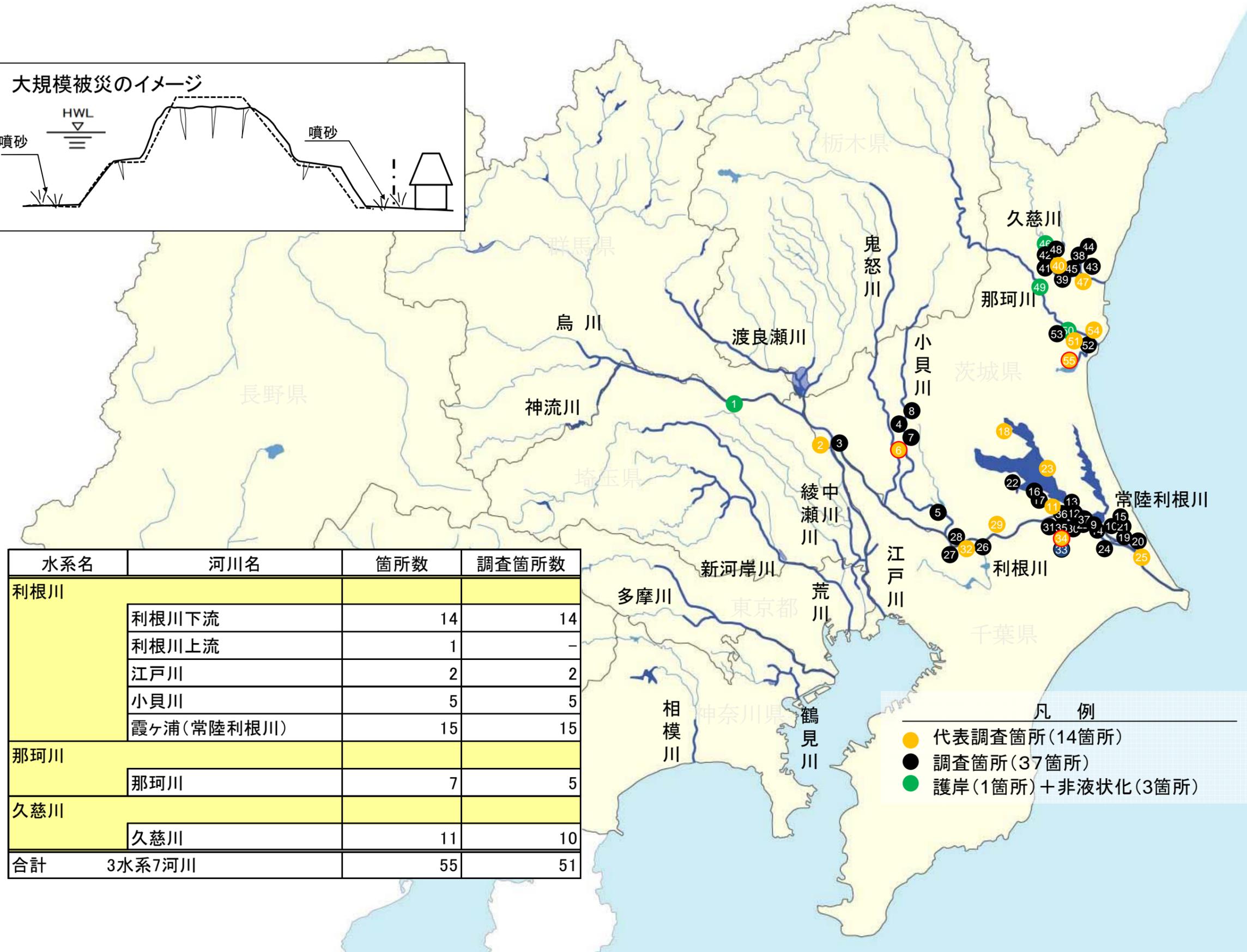
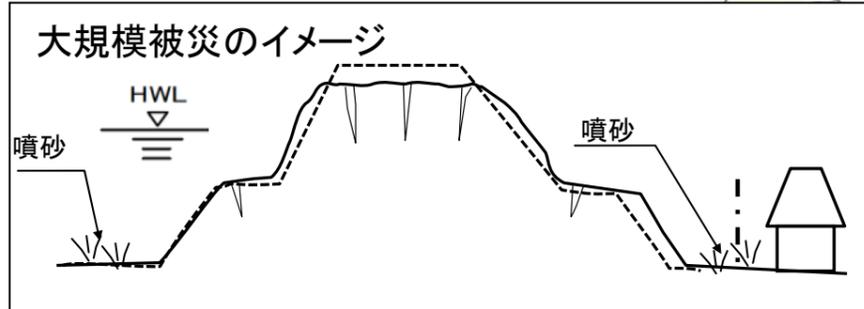
# 堤体液状化箇所分析

●堤防液状化の11箇所について分析した結果、閉封飽和域高さ及び基盤面以上の閉封飽和域高さが大きいと、沈下(被災)が大きくなる傾向が見られた。



## 被災メカニズムの分析

# 調査箇所位置図



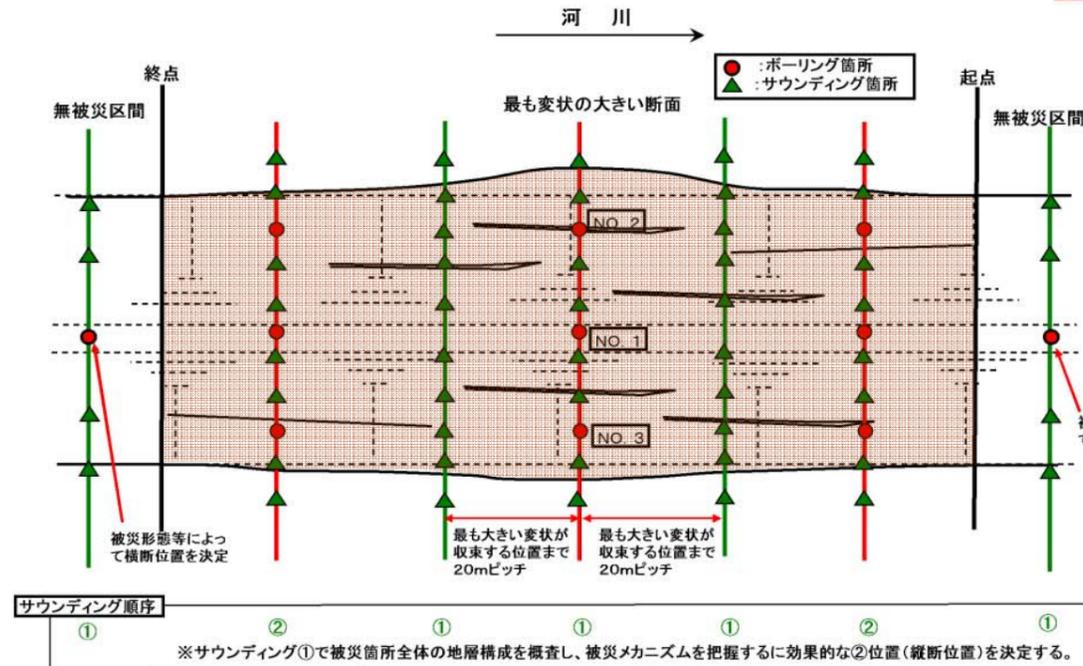
水系名	河川名	箇所数	調査箇所数
利根川	利根川下流	14	14
	利根川上流	1	-
	江戸川	2	2
	小貝川	5	5
	霞ヶ浦(常陸利根川)	15	15
那珂川	那珂川	7	5
久慈川	久慈川	11	10
合計	3水系7河川	55	51

- 凡例
- 代表調査箇所(14箇所)
  - 調査箇所(37箇所)
  - 護岸(1箇所)+非液状化(3箇所)

# 大規模被災箇所における地質調査計画(代表14箇所)

被災規模が比較的大きく、被災要因を代表すると考えられる箇所を各河川2箇所程度、計14箇所抽出し、より詳細な被災メカニズム検証を目的とした地質調査を実施。地質調査にあたっては、下記を標準とし、各箇所の諸条件を勘案して調査計画を決定した。

※本調査計画は、各河川の被災要因を検証する代表箇所での標準的な計画である。



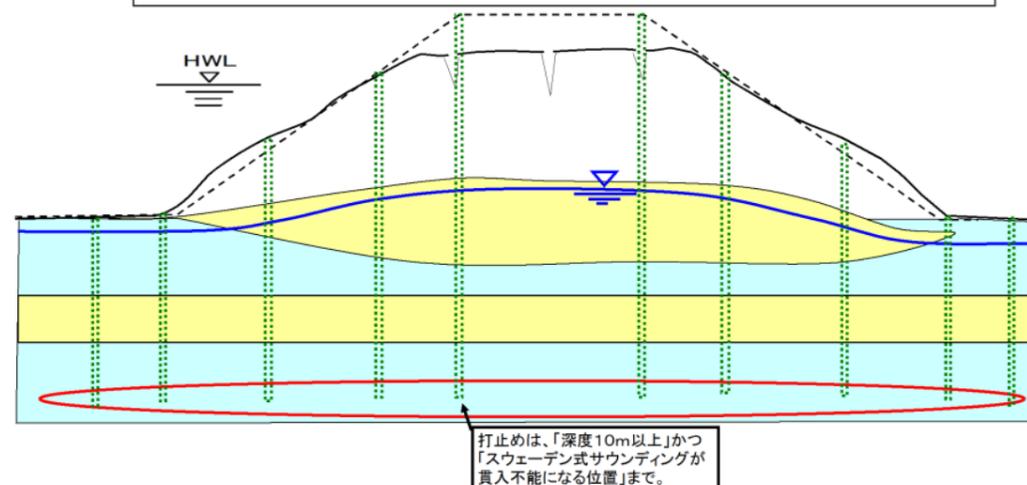
## 【サウンディング断面】

### 1. 調査目的

- ①調査開始前には築堤履歴及び既往調査結果について収集整理の上、調査を開始する。
- ②サウンディングによって、被災箇所の地層全体を概略に把握する。
- ③特に堤体飽和砂層が存在する場合、その概略形状を把握する。
- ④基礎地盤の液状化層の位置、層厚を確認する。
- ⑤変状の大きい区間と小さい区間(又は無被災区間)との貫入抵抗の比較により、崩壊線(滑り面)を推定する。
- ⑥概略で把握した地層より、効果的な機械ボーリング断面を決定する(縦断位置、横断位置)。

### 2. 調査断面

- ①被災延長が200m未満の場合 : A) 1被災箇所あたり3断面  
B) 最も大きい変状が収束する位置まで20m毎1断面  
C) 上下流の無被災区間で1断面ずつ
- ②被災延長が200m以上の場合 : A) 100mに1断面(被災延長200mで3断面実施)  
B) 最も大きい変状が収束する位置まで20m毎1断面  
C) 上下流の無被災区間で1断面ずつ



		土質試験項目											
		標準貫入	PS検層(天端部1箇所)	シノール	トリプル	粒度	密度	含水比	液性・塑性	湿潤密度	三軸(CD)	三軸(CU-B)	備考
盛土	粘性土	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	砂質土	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
基盤	粘性土(20m以下)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	粘性土(20m以下)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	砂質土(液状化層)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	砂質土(非液状化層)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	基盤層	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

※天端部のボーリングについては、コアボーリングを計画すること(標準貫入試験部以外はコアボーリング(半コア半ベネ))。

※地質調査に先立って下記事項を整理すること。

- ①既往の地質調査及び土質試験結果
- ②築堤履歴

※以下の場合、機械ボーリング及びサウンディング箇所数や土質試験項目等を精査できるものとする。

- ①既往の地質調査結果があり、土質定数も把握できている場合。
- ②川表又は川裏に変状が偏っている箇所、その原因が明らかな場合。
- ③液状化層が基盤のみに存在する場合(堤体内飽和砂層の概形を掴む必要がないためサウンディング本数を省略できる)。
- ④被災が液状化に起因しない場合。

※被災箇所に液状化による噴砂跡がある場合は、噴砂のサンプリングを行うこと。

(地質調査結果から、噴砂が、どの地層に起因するものかを判別するため。)

■広い範囲に噴砂している場合は、川表・川裏の別で、河川縦断的に3箇所以上でサンプリング。

■1箇所からのサンプリング量は、物理試験の実施を考慮して1.5kg程度を採取する。

(密度試験約120g、粒度約400g、細粒分約400g、液・塑性約230g)

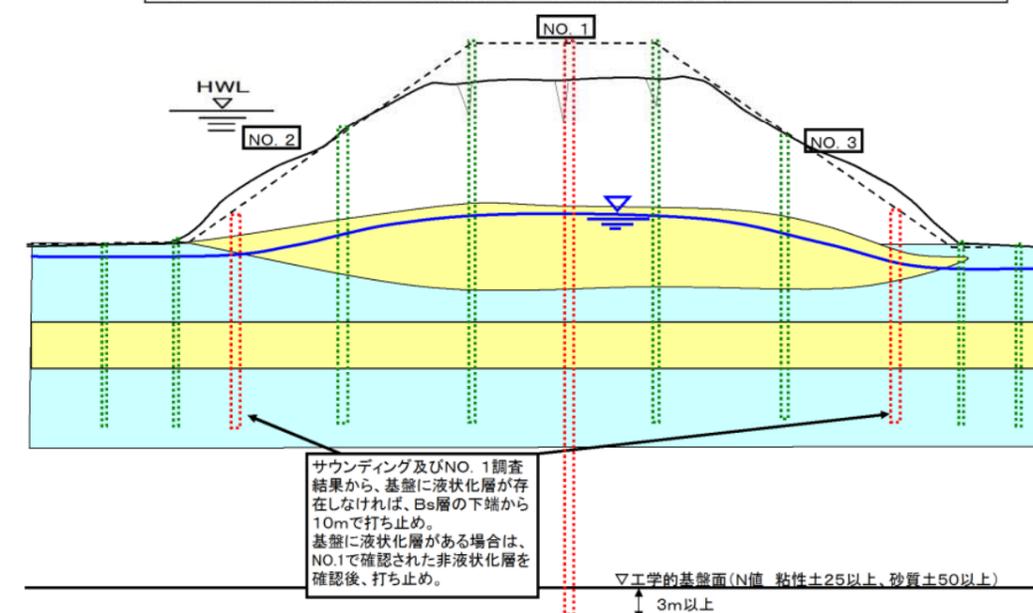
## 【機械ボーリング断面】

### 1. 調査目的

- ①詳細な地質情報を把握する。
- ②物理試験及び力学試験に必要な試料を採取する。
- ③基盤及び堤体内の地下水位を把握する。
- ※地下水位については、無水堀りでおさえる初期水位を適正に把握すること。
- ④工学的基盤面の位置を把握する。

### 2. 調査断面

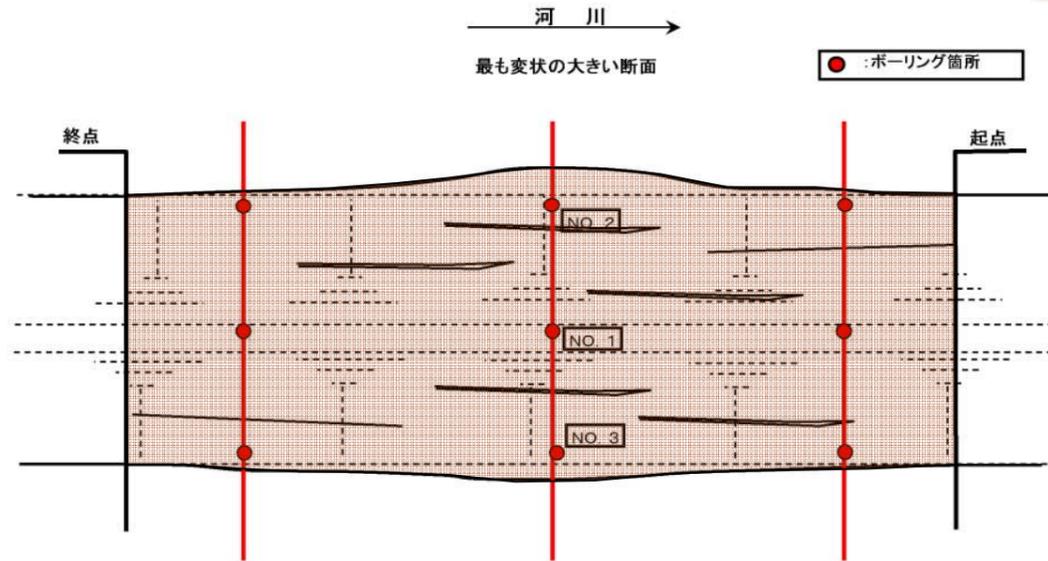
- ①被災延長が200m未満の場合 : 1被災箇所あたり3断面
- ②被災延長が200m以上の場合 : 100mに1断面(被災延長200mで3断面実施)
- ※最低のボーリング間隔は、河川砂防技術基準の詳細調査標準頻度1箇所/100mに準拠した。



# 大規模被災箇所における地質調査計画（代表以外の37箇所）

代表箇所以外は、施設設計に際して標準的に行われている地質調査を実施。地質調査にあたっては、下記を標準とし、各箇所の諸条件を勘案して調査計画を決定した。

※本調査計画は、代表箇所以外での標準的な計画である。



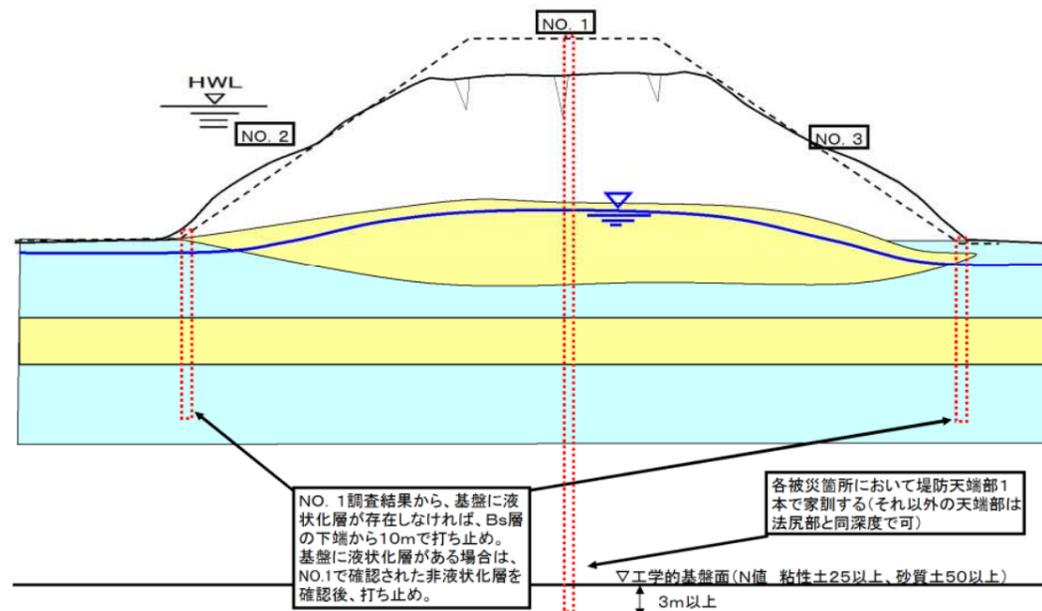
## 【機械ボーリング断面】

### 1. 調査目的

- ① 詳細な地質情報を把握する。
- ② 物理試験及び力学試験に必要な試料を採取する。
- ③ 基盤及び堤体内の地下水位を把握する。
- ※ 地下水位については、無水掘りでおさえる初期水位を適正に把握すること。
- ④ 工学的基盤面の位置を把握する。

### 2. 調査断面

- ① 被災延長が200m未満の場合：1被災箇所あたり3断面
- ② 被災延長が200m以上の場合：100mに1断面（被災延長200mで3断面実施）
- ※ 最低のボーリング間隔は、河川砂防技術基準の詳細調査標準頻度1箇所/100mに準拠した。
- ※ 被災延長が大きい場合で、調査本数が増える場合は、地質が縦断的に大きく変化しないこと等を整理した上で、調査本数を減らすこともできることとする。



## 土質試験項目

		標準貫入	PS検層 (天端部 1箇所)	シウール	トリプル	粒度	密度	含水比	液性・塑性	湿潤密度	三軸		備考
											(CD)	(CU-B)	
盛土	粘性土	○		○		○	○	○	○	○			
	砂質土	○			○	○	○	○	○	○	○		
基盤	粘性土 (20m以後)	○		○		○	○	○	○	○		○	
	粘性土 (20m未満)	○		○		○	○	○	○	○		○	
	砂質土 (液化層)	○			○	○	○	○	○	○	○		
	砂質土 (非液化層)	○			○	○	○	○	○	○	○		
	基盤層	○			○	○	○	○	○	○			

※天端部のボーリングについては、コアボーリングを計画すること(標準貫入試験部以外はコアボーリング(半コア半ベネ))。

※地質調査に先立って下記事項を整理すること。

- ① 既往の地質調査及び土質試験結果
- ② 築堤履歴

※以下の場合には、機械ボーリング箇所数や土質試験項目等を精査できるものとする。

- ① 既往の地質調査結果があり、土質定数も把握できている場合。
- ② 川表又は川裏に変状が偏っている箇所、どちらかの地質状況を確認すれば良い場合。

※被災箇所にて液化による噴砂跡がある場合は、噴砂のサンプリングを行うこと。

- (地質調査結果から、噴砂が、どの地層に起因するものかを判別するため。)
- 広い範囲に噴砂している場合は、川表・川裏の別で、河川縦断的に3箇所以上でサンプリング。
  - 1箇所からのサンプリング量は、物理試験の実施を考慮して1.5kg程度を採取する。  
(密度試験約120g、粒度約400g、細粒分約400g、液・塑性約230g)

※工学的基盤面を確認するボーリングは、各被災箇所において堤防天端部で1本実施する(他の堤防天端部のボーリングは、法尻部と同深度まで可)

## 被災メカニズム検証資料のとりまとめ

地質調査を実施した51箇所全てで被災メカニズムを検証。

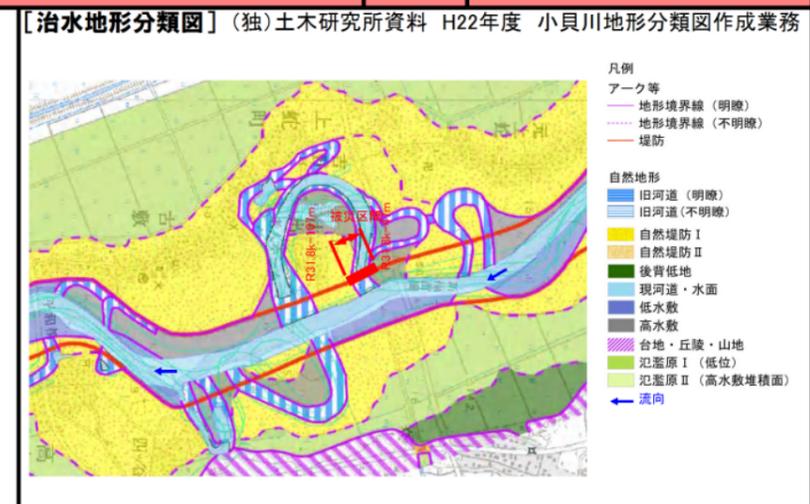
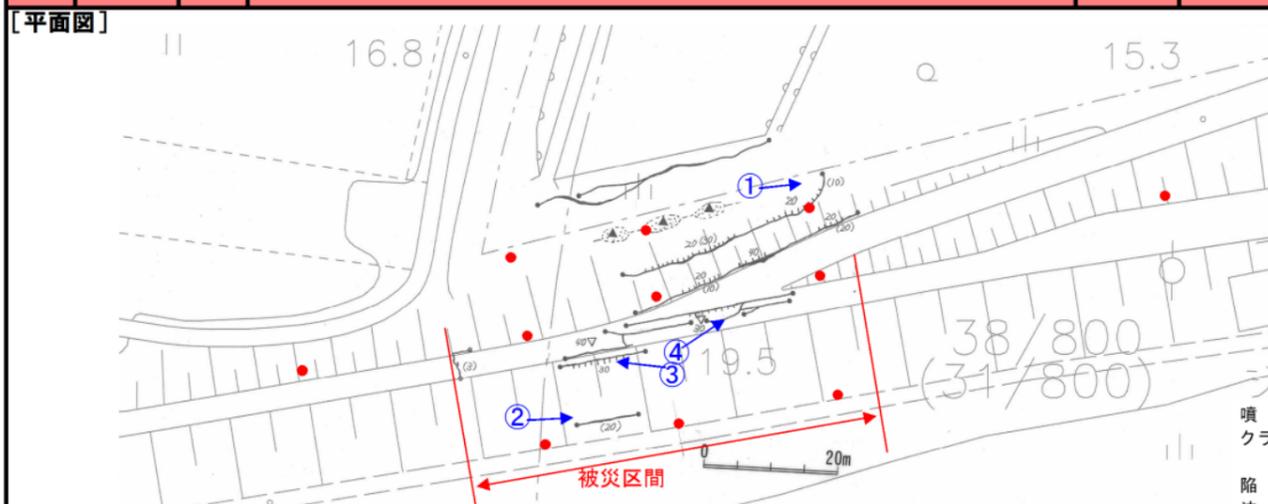
【個々の被災要因を代表すると考えられ、且つ「対策工の効果検証」を行った下表の3箇所を記載した。】

番号	箇所番号	河川名	地区名	被災要因	選定理由
①	6	小貝川	茨城県常総市上蛇地区	基盤液状化	既設漏水矢板工の効果検証
②	34	利根川下流	千葉県香取市佐原地区 <small>サワ</small>	基盤液状化	大規模堤防における鋼矢板工の効果検証
③	55	那珂川	茨城県東茨城郡茨城町下石崎地 <small>シモインザキ</small> 区	堤体液状化(閉封飽和域)	堤体液状化(閉封飽和域)におけるドレーン工の効果検証

# 被災メカニズム検証資料（箇所番号6）

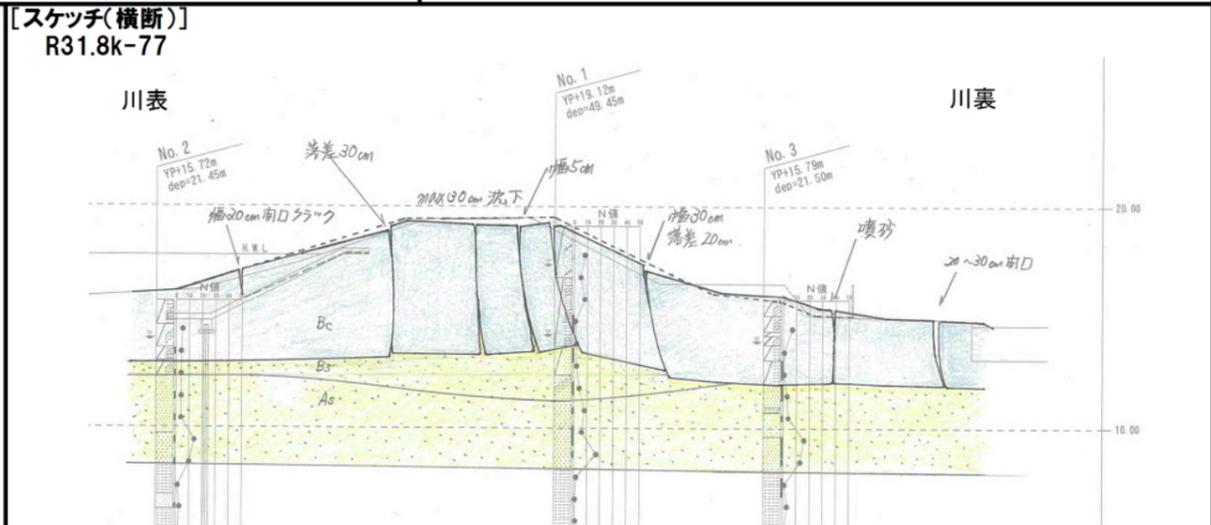
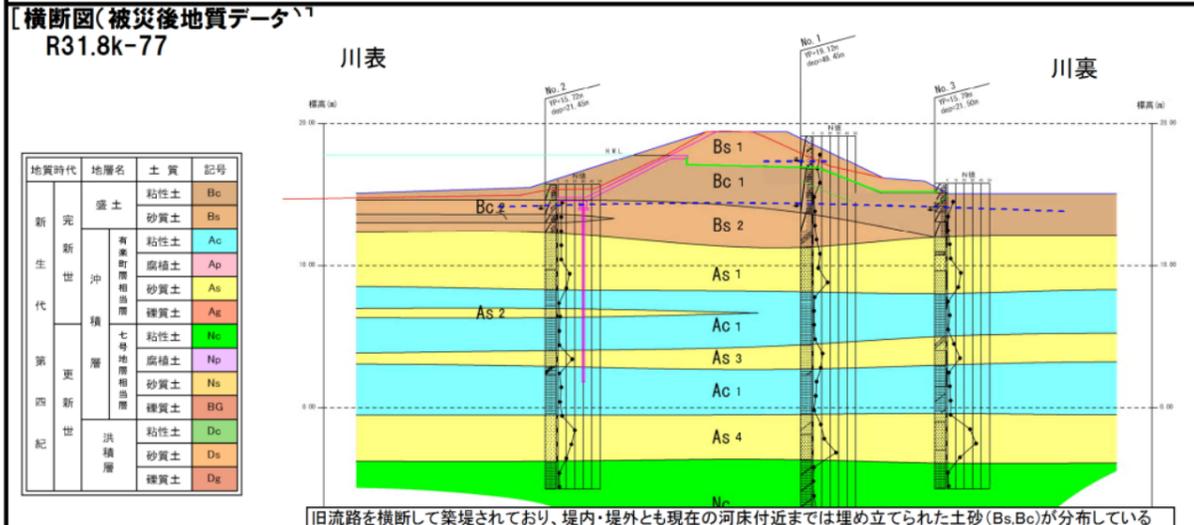
1/2

番号 6(関東465) 箇所 小貝川 右岸 31.8k-107m~31.8k-47m 地先 茨城県常総市上蛇地先 事務所名 下館河川事務所



被災は、川表のり肩から堤内地にかけて発生している。川表のり面では一部の区間でのり面下部に開口クラックが見られる。  
 ・変状は、堤防天端、川裏側のり面で開口あるいは落差のある縦断方向のクラックが連続し、のり尻付近で隆起や噴砂が見られる。  
 ●ボーリング位置(詳細は様式3)

被災箇所は、小貝川の旧流路を横断して埋め立てた箇所にあたる  
 被災箇所の前後は、自然堤防および高水敷にあたる

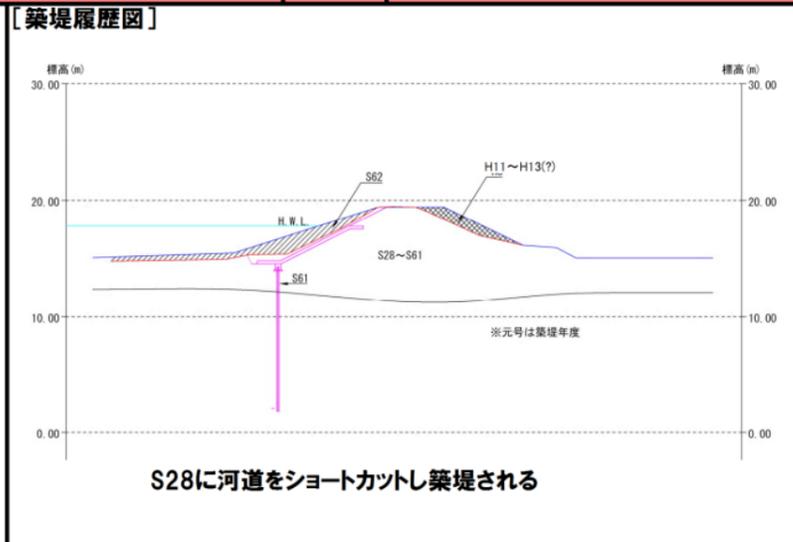
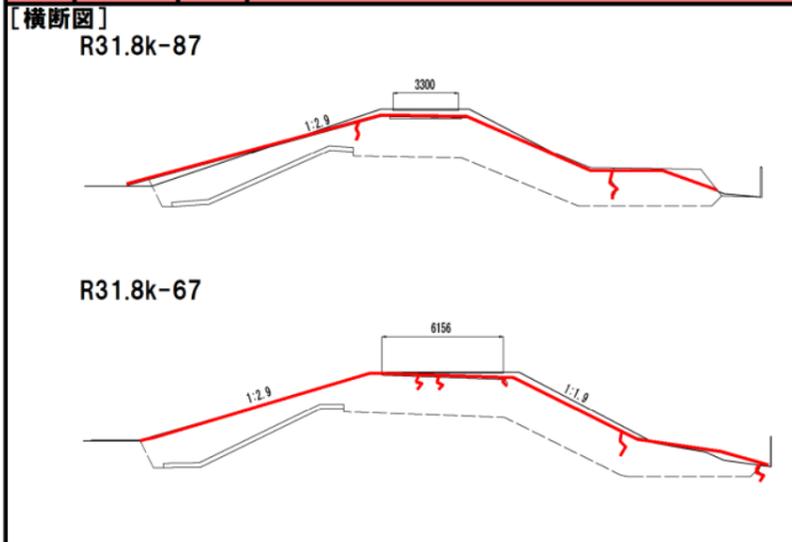


旧流路を横断して築堤されており、堤内・堤外とも現在の河床付近までは埋め立てられた土砂(Bs,Bc)が分布している



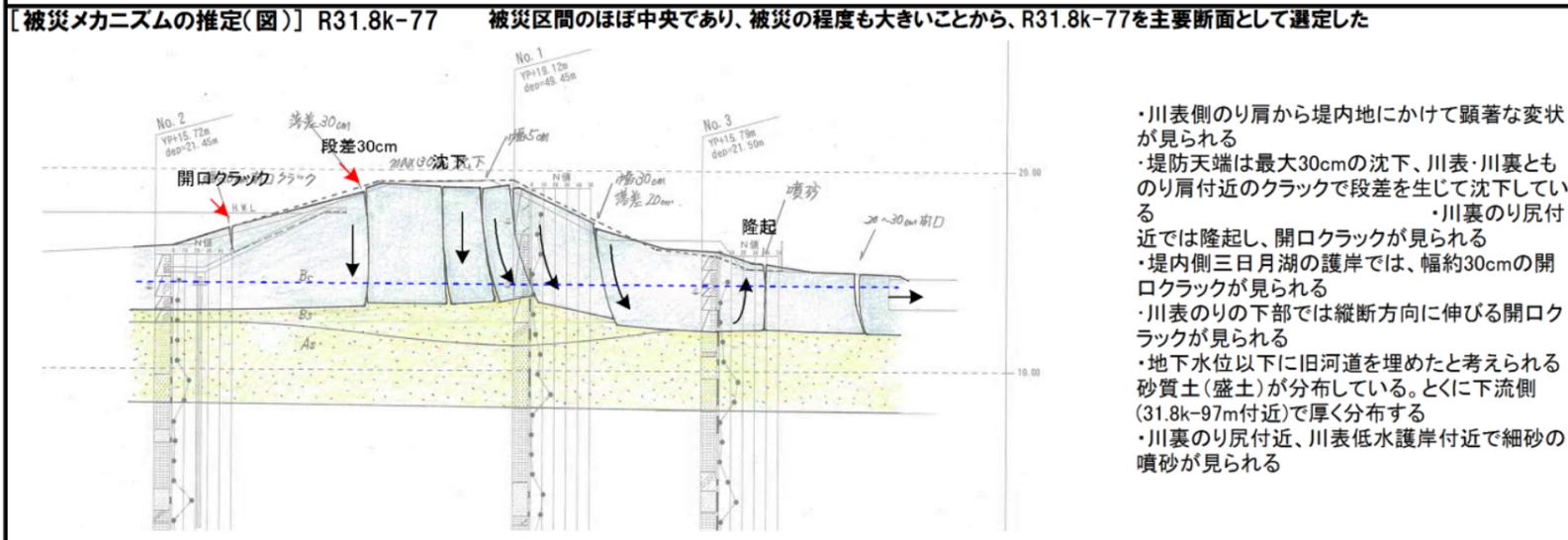
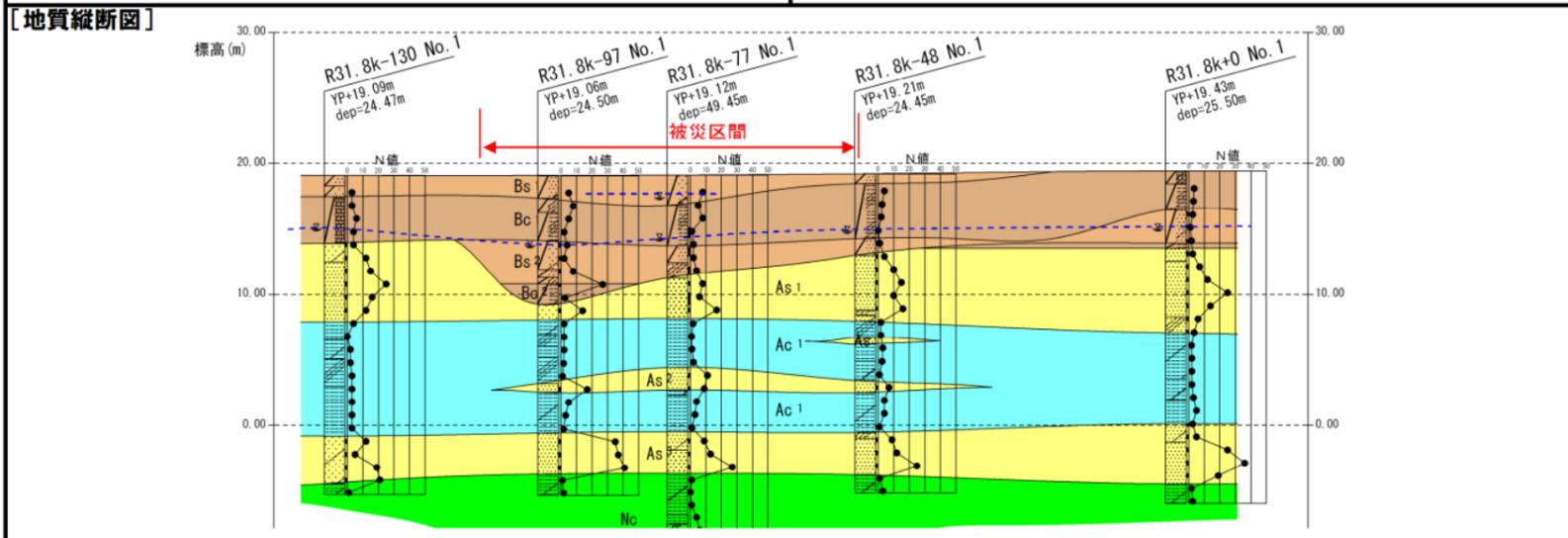
※中間とりまとめであり、今後変更になる可能性がある。1/13

番号	6(関東465)	箇所	小貝川 右岸 31.8k-107m~31.8k-47m	地先	茨城県常総市上蛇地先	事務所名	下館河川事務所
----	----------	----	-----------------------------	----	------------	------	---------



**【堤防変状に関する数値データ】**

被災位置・延長	右岸 31.8k-107~31.8k-47	60m	
被災構造物	堤防・低水護岸・高水護岸・樋管等構造物		
被災規模	大・中・小・その他		
被災形態	川表 亀裂	○	
	はらみ出し	-	
	崩壊・滑り	-	
	天端 沈下	○	
	亀裂	○	
	川裏 亀裂	○	
	はらみ出し	○	
崩壊・滑り	○		
構造物	-		
堤防沈下量	天端S	0.30m	31.8-70
	川表法肩S	0.30m	
	川裏法肩S	0.30m	
クラック深さ	天端 深さD	1.65m	31.8-70
	クラック幅W	0.05m	
	下端高	17.75 Y.P.m	
	法面 深さD	0.75m	
	クラック幅W	0.30m	
下端高	15.80 Y.P.m		
HWL	17.82 Y.P.m		
はらみ出し距離	法尻 川表L	-	-
	川裏L	0.50m	31.8-70
	法肩 川表L	-	-
川裏L	-	-	-
概算変形量 (断面積)	沈下・陥没等による減少量V	1.50 m <sup>2</sup>	31.8-70
	はらみ出し等による増加量V	0.80 m <sup>2</sup>	
噴砂発生状況	堤外 L (法尻からの距離)	30.00m	31.8-80
	堤体 川表法面	-	
	天端	-	
	川裏法面	-	
	堤内 L (法尻からの距離)	0.5m	
変状パターン	Ⅲ-②		
その他			



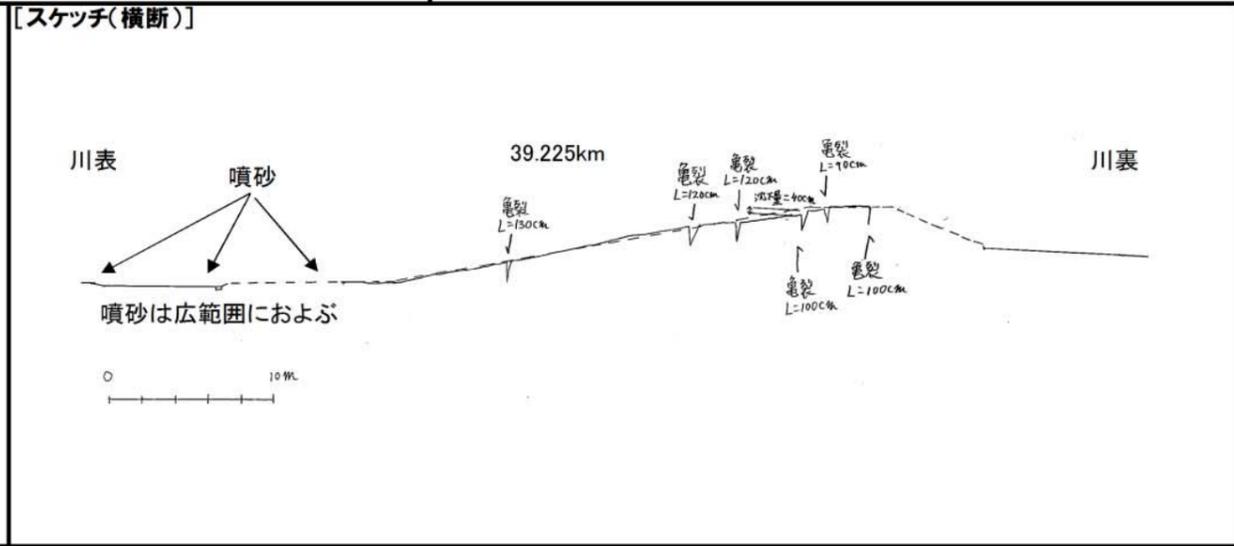
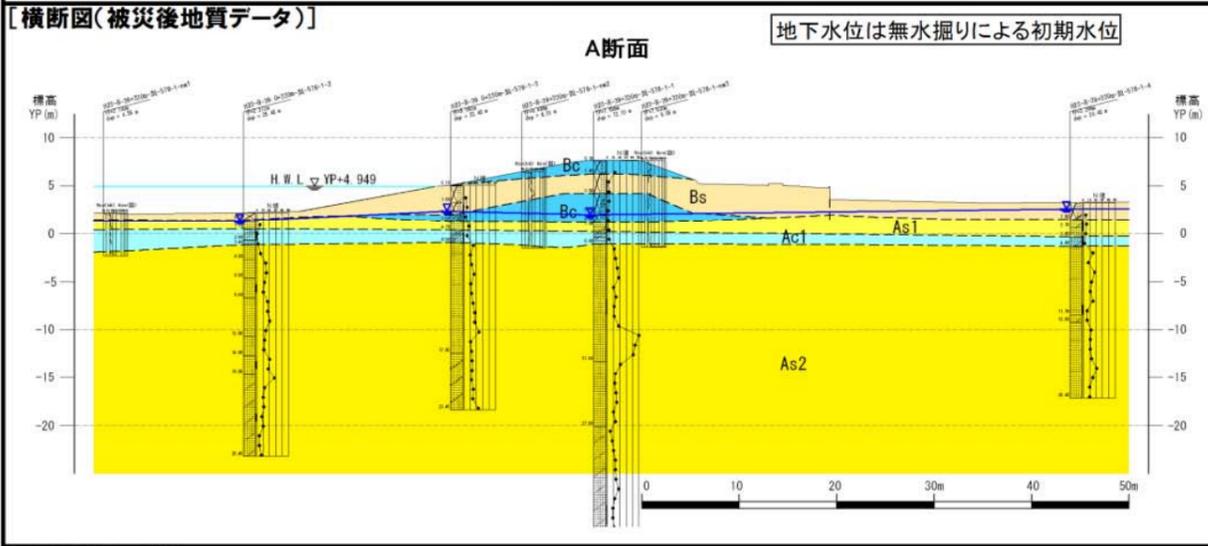
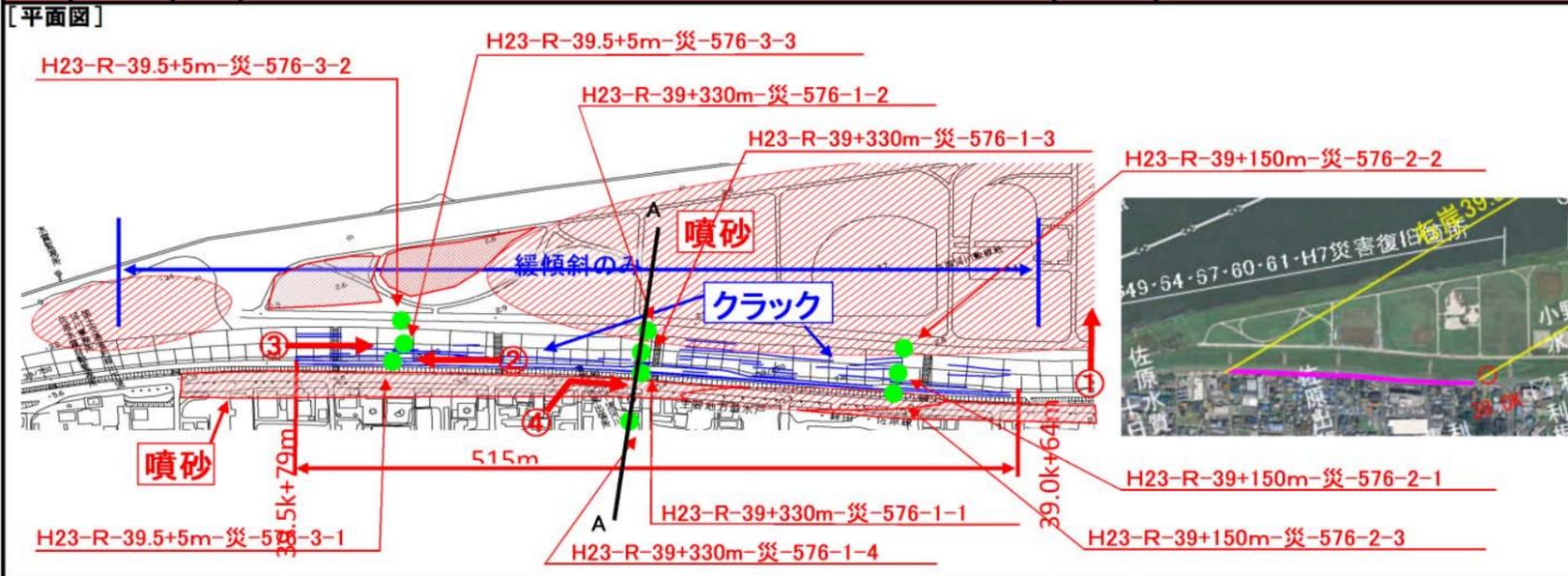
**【被災状況等概要及び被災メカニズムの推定(コメント)】**

- 被災状況・周辺状況
  - 被災区間60mのうち顕著な変状は天端と川裏側のり面で発生している。堤内地は、三日月湖の周辺でクラック・噴砂が生じている。
- 被災前の堤防条件
  - 川表側のり面は3割勾配で、止水矢板・護岸が埋設されているが、川裏側のり面は2割勾配となっている。
  - 堤防は砂質土・粘性土からなるが、盛土下部が砂質土となっており、地下水位以下となっている。この砂質土は、堤防の付け替え時に埋め立てられたものと考えられる。
- 被災メカニズム
  - 堤防の被災が旧流路の部分に見られることから、埋め立てられた盛土下部の砂質土(Bs)が液化し、天端・のり面上部のクラック・沈下と下部での隆起・クラックが発生したと考えられる。また、堤内でも変状が発生していることから、沖積層の砂層(As)も同時に液化したと考えられる。
  - 川表側の変状は、のり肩での沈下、のり面下部の開口クラックであるが範囲は狭い。
  - 川表側のり面では浅い深度に盛土・沖積層の砂層が分布するが、変状が少ない。川表側については、止水矢板・護岸の存在が変形を抑制した可能性がある。

# 被災メカニズム検証資料（箇所番号34）

1/2

番号	34(関東576)	箇所	利根川 右岸 39.0k+64m~39.5k+79m	地先	千葉県香取市佐原~佐原河川緑地地先	事務所名	利根川下流河川事務所
----	-----------	----	----------------------------	----	-------------------	------	------------

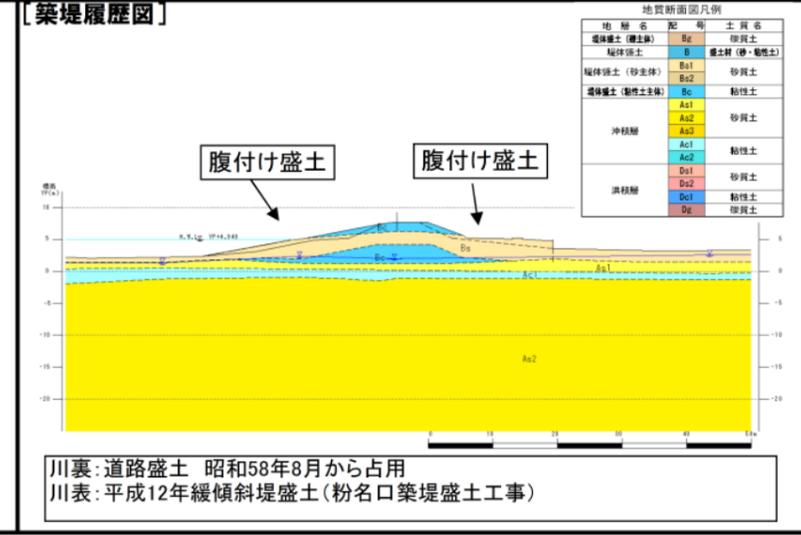
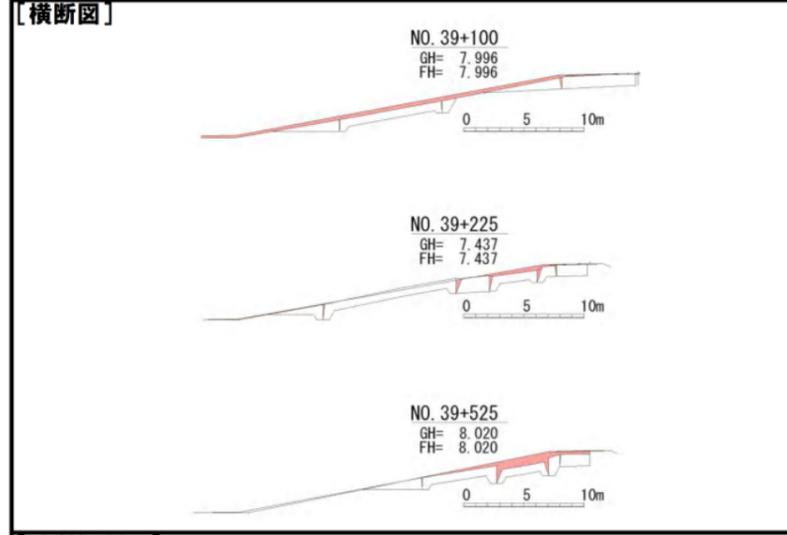


※中間とりまとめであり、今後変更になる可能性がある。

# 被災メカニズム検証資料（箇所番号34）

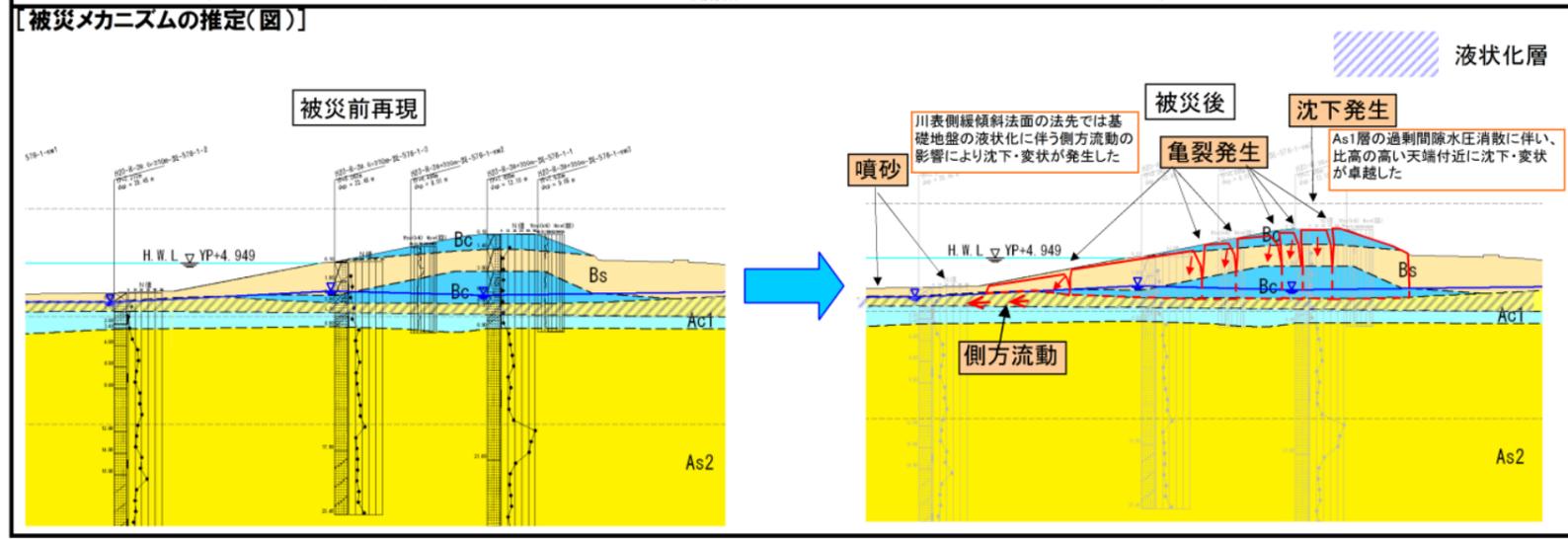
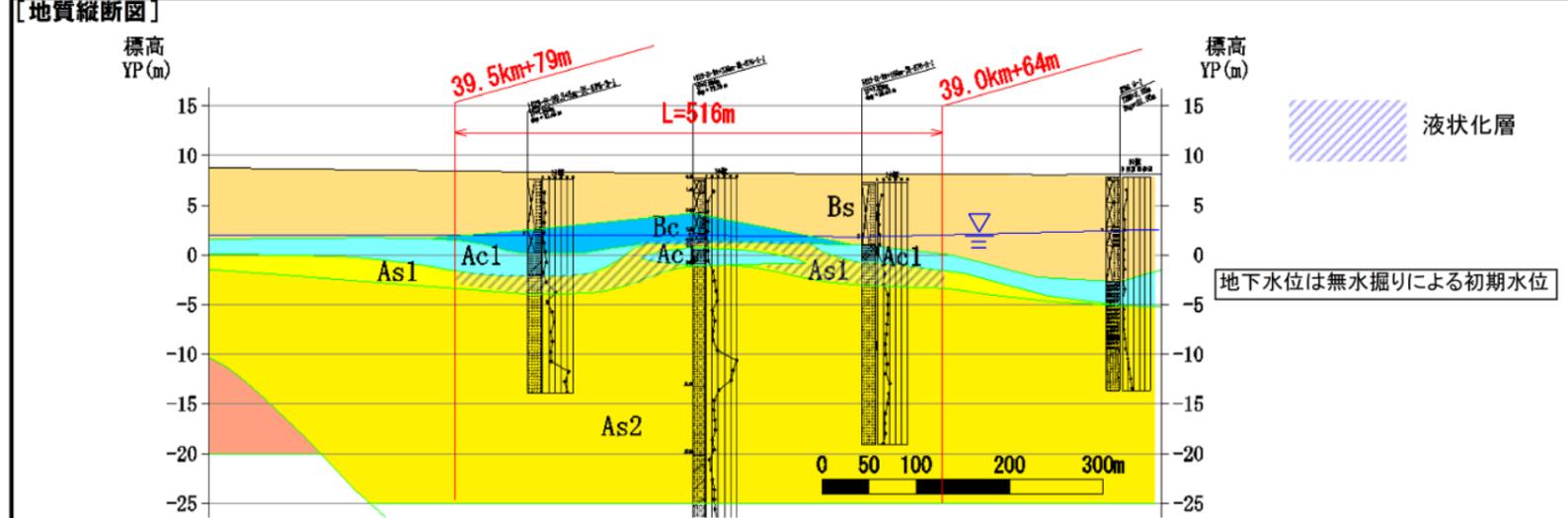
2/2

番号	34(関東576)	箇所	利根川 右岸 39.0k+64m~39.5k+79m	地先	千葉県香取市佐原~佐原河川緑地地先	事務所名	利根川下流河川事務所
----	-----------	----	----------------------------	----	-------------------	------	------------



堤防変状に関する数値データ

被災位置・延長	右岸 39.0k+23~39.75k-36	699m	
被災構造物	堤防・低水護岸・高水護岸・樋管等構造物		
被災規模	大・中・小・その他		
被災形態	川表 亀裂	○	
	はらみ出し	×	
	崩壊・滑り	×	
	天端 沈下	○	
	亀裂	○	
	川裏 亀裂	×	
	はらみ出し	×	
	崩壊・滑り	×	
	構造物		
	堤防沈下量	天端S	0.4m
川表法肩S		1m	
川裏法肩S		0m	
クラック深さ	天端 深さD	1.2m	
	クラック幅W	0.2m	
	下端	6.8 Y.P.m	
	法面 深さD	1.8m	
	クラック幅W	0.45m	
	下端高	— Y.P.m	
はらみ出し距離	法尻 川表L	2.5m	
	川裏L	— m	
	法肩 川表L	— m	
概算変形量 (断面積)	沈下・陥没等による減少量V	28 m <sup>2</sup>	
	はらみ出し等による増加量V	5.3 m <sup>2</sup>	
	噴砂発生状況	堤外 L (法尻からの距離)	0 m
噴砂発生状況	堤体 川表法面	○	
	天端	×	
	川裏法面	○	
	堤内 L (法尻からの距離)	0 m	
被災変状タイプ	I-②		
その他			



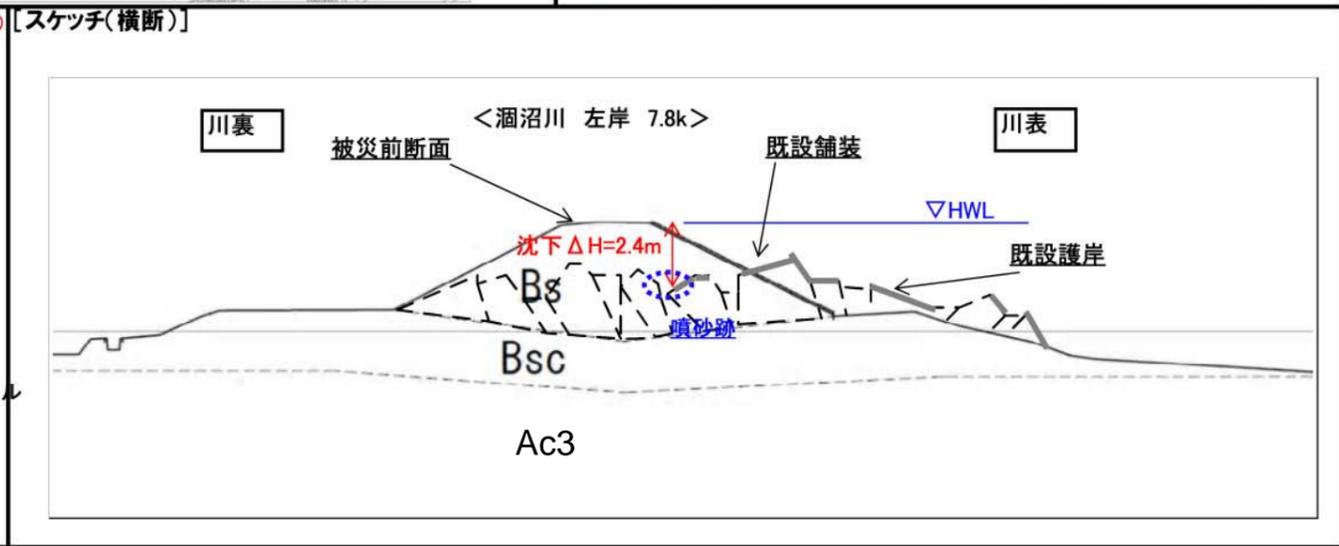
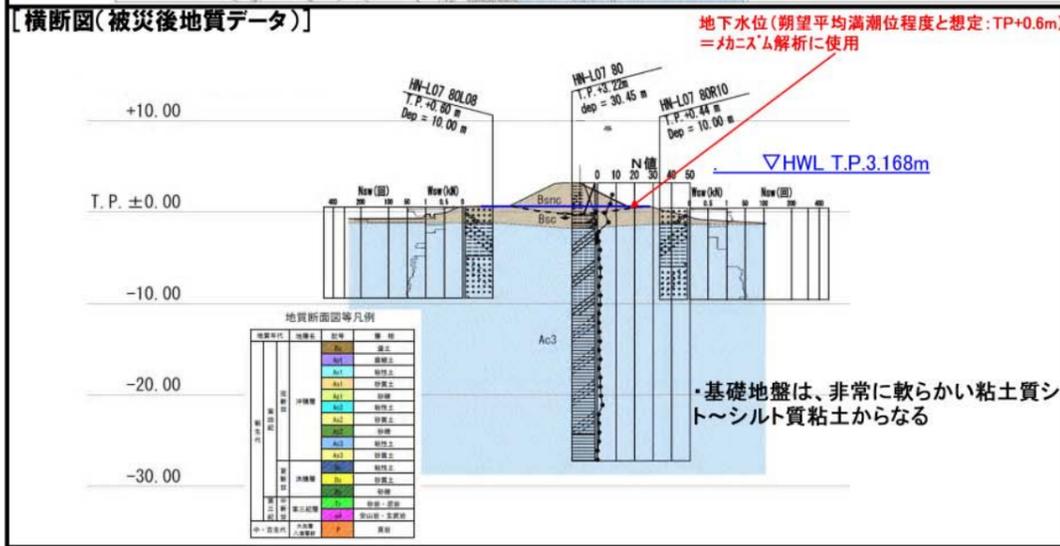
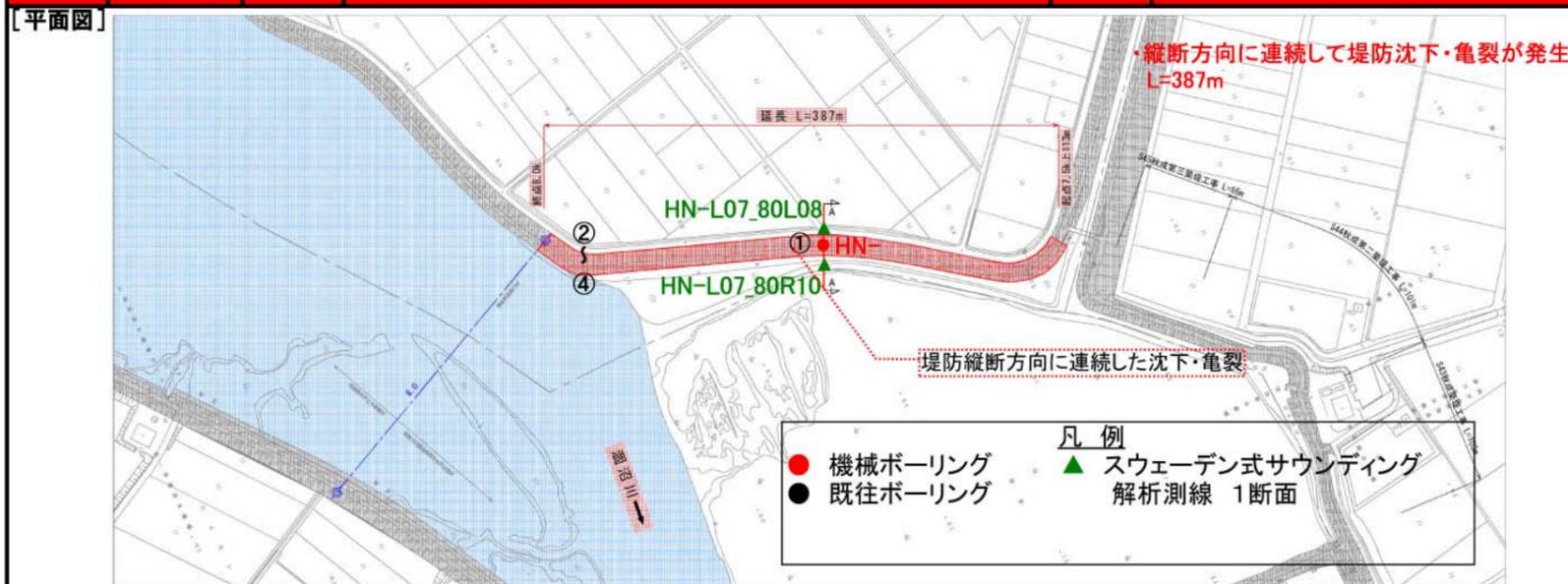
被災状況等概要及び被災メカニズムの推定(コメント)

【堤防条件】  
 ・被災箇所は旧河道に隣接した氾濫平野に位置している。  
 ・堤体は旧堤に嵩上げと裏腹付け、表腹付け(緩傾斜)による拡築が行われている。旧堤は粘性土、表裏の拡築部は砂質土、天端は粘性土である。川裏はHWL程度の高さで盛土されている。基礎地盤は緩い砂層が堆積している。  
 ・地下水位は基礎地盤As1層の上部ラインで水平に分布している。

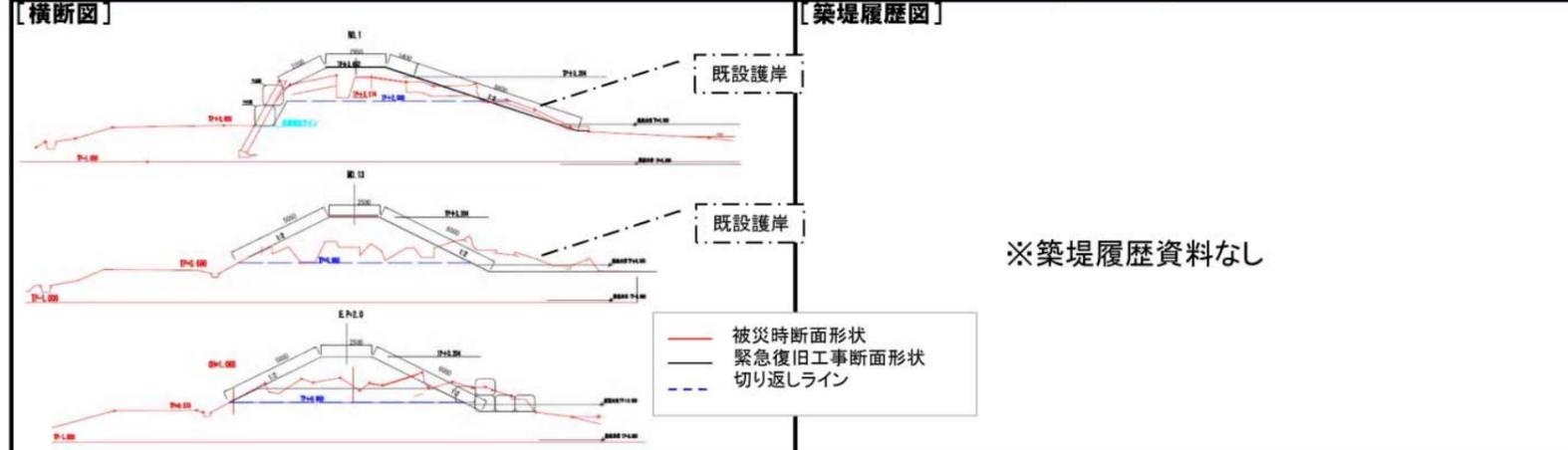
【被災状況】  
 ・天端と表のり面に沈下・亀裂が発生している。  
 ・高水敷の広い範囲で液状化が発生している。

【被災メカニズム】  
 ①地震動により基礎地盤の飽和砂層As1層で液状化が発生した。(飽和砂層As1層の層厚は縦断的に1~4m程度と変化している)  
 ②緩傾斜堤の法尻付近は、のり先の噴砂とともに、液状化時の側方流動に伴い堤体に沈下・変状が生じた。  
 ③一方、As1層の過剰間隙水圧消散に伴い、上載圧の大きい(比高の高い)天端付近に沈下・変状が卓越した。

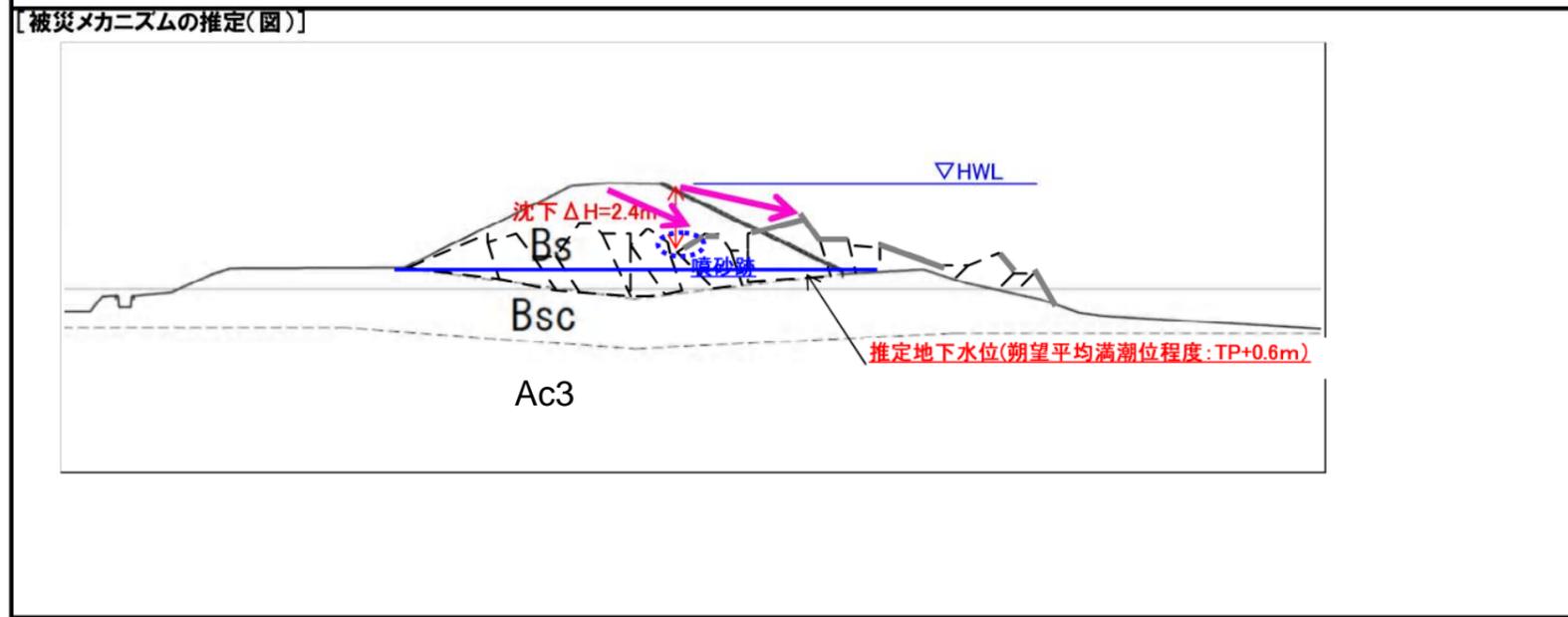
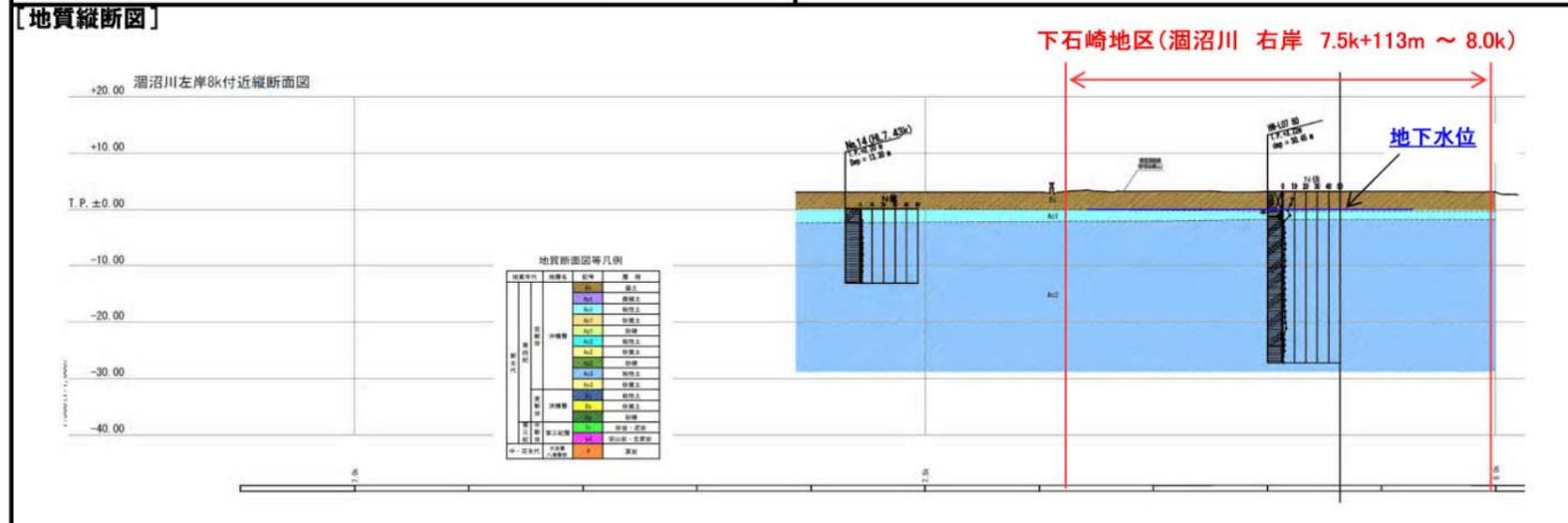
番号	55 (関東782)	箇所	溜沼川 左岸 7.5k+113m ~ 8.0k	地先	茨城県東茨城郡茨城町下石崎地先	事務所名	常陸河川国道事務所
----	------------	----	-------------------------	----	-----------------	------	-----------



番号	55 (関東782)	箇所	湊沼川 左岸 7.5k+113m ~ 8.0k	地先	茨城県東茨城郡茨城町下石崎地先	事務所名	常陸河川国道事務所
----	------------	----	-------------------------	----	-----------------	------	-----------



項目	内容	数値	備考
被災位置・延長	湊沼川 左岸 7.5k+113m ~ 8.0k	387 m	
被災構造物	堤防 低水護岸 高水護岸 樋管等構造物		
被災規模	大・中・小・その他		
被災形態	川表 亀裂	○	
	はらみ出し	-	
	崩壊・滑り	○	
	天端 沈下	○	
	亀裂	○	
	川裏 亀裂	○	
	はらみ出し	-	
堤防沈下量	天端S	2.4 m	7.80k
	川表法肩S	1.0 m	
	川裏法肩S	1.3 m	
クラック深さ	天端 深さD	- m	
	クラック幅W	- m	
	下端高	- T.P.m	
はらみ出し距離	法尻 川表L	- m	
	川裏L	- m	
概算変形量 (断面積)	沈下・陥没等による減少量V	10.6 m <sup>2</sup>	
	はらみ出し等による増加量V	4.8 m <sup>2</sup>	
	堤外 L(法尻からの距離)	- m	
	堤内 L(法尻からの距離)	- m	
被災変状タイプ	III-①		
	その他		



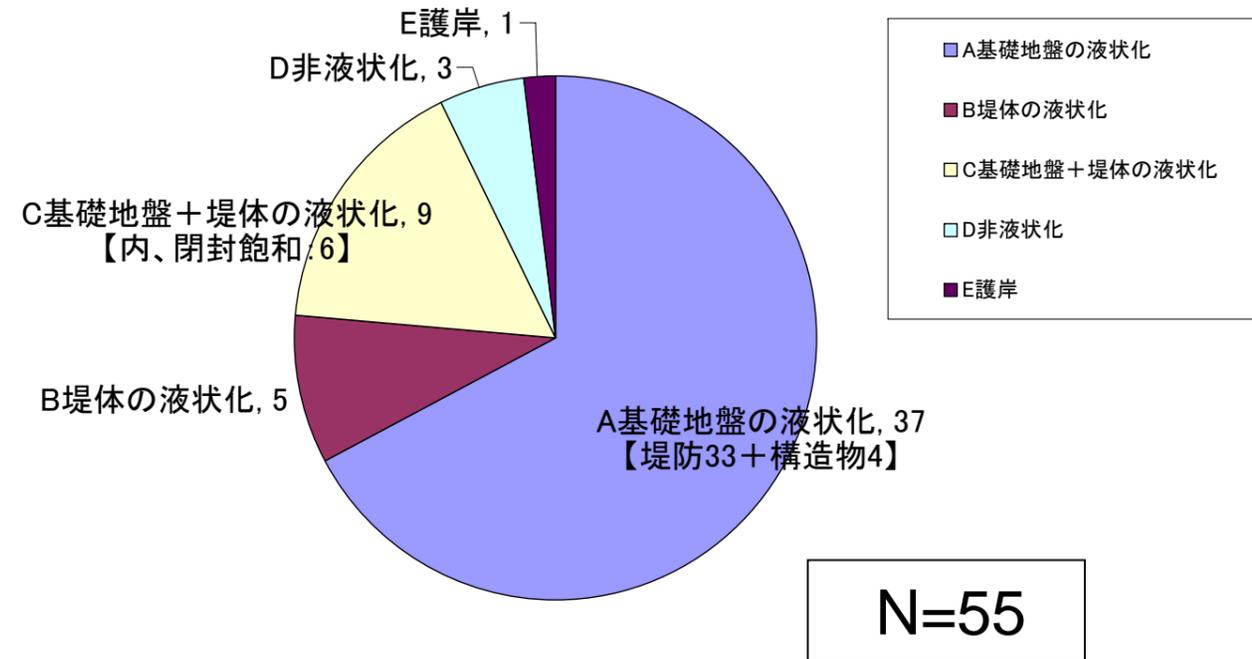
【被災状況等概要及び被災メカニズムの推定(コメント)】

- 土質性状について
  - 現在の堤防盛土下に位置するBsc層は礫まじりの粘性土で、治水地形分類図によれば被災箇所は干拓地と示されていることなどから、干拓事業当時の人工土層であると考えられる。
  - 基礎地盤のAc3層、その上のBsc層ともに粘性土であり、細粒分含有率がそれぞれ93%、55%(>35%)、塑性指数がそれぞれ30.6、18.7(>15)と液状化の可能性は無いとの評価となった。
  - なお、被災当時の堤防盛土の土質性状は未確認である。
- 水位について
  - ボーリング削孔時の状況から、堤体付近の地下水位は河川水位とほぼ同程度である。
  - 湊沼橋水位観測所の水位データにより河川水位を比較すると、被災当時3/11の最高水位の方がボーリング削孔時5/27の最高水位よりも20cm程度高く、それに対応して地下水位も3/11の方が若干高かったことが推察される。
  - 従って、3/11の被災当時、堤体盛土下部は湿潤状態にあったものと考え、地下水位は河川水位と連動すること及び基礎が粘性土で堤体内水位が抜け難いことを考慮し、被災メカニズム検証のための地下水位は、期望平均満潮位程度のTP+0.6mと推定する。
  - ※河川水位については別紙(5/5ページ)のグラフを参照のこと。
- 被災メカニズムについて
  - 堤防の沈下、亀裂発生が縦断方向に連続している。一方、堤内地側では、変状の発生は確認されていない。
  - 堤防全体が大きく沈下(最大2.4m程度)しており、堤防天端の舗装および護岸の状況から、堤体が川表側に向かって大きく崩壊したと見られる。
  - 天端川裏側法肩付近の開口亀裂内に、液状化による噴砂跡が確認された。
  - 上記の土質性状、推定される地下水位および被災後の現地の状況を踏まえると、堤体盛土の液状化が被災の原因となったと考えられる。



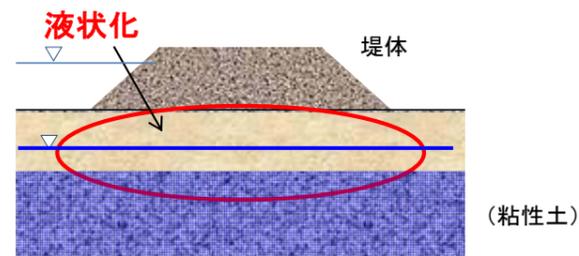


# 堤防の被災要因の分類



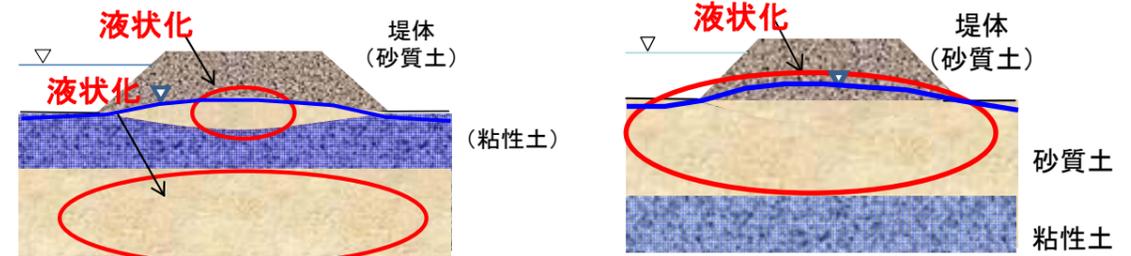
## 被災要因

### A 基礎地盤の液状化



37箇所

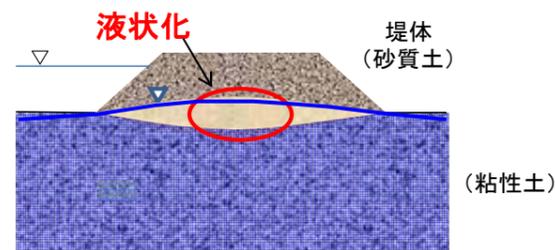
### C 基礎地盤+堤体の液状化



6箇所 (閉封飽和域)

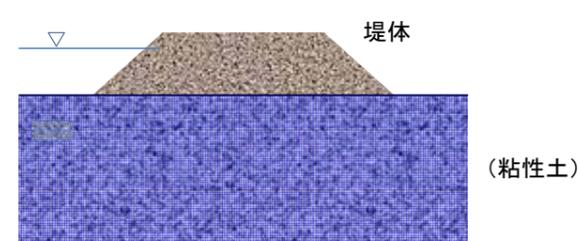
3箇所

### B 堤体の液状化



5箇所 (閉封飽和域)

### D その他 (非液状化+護岸)



4箇所

※「閉封飽和域」とは、軟弱粘性土地盤上に砂質系材料を用いて築堤した堤体下部において、圧密沈下により軟弱地盤表層が凹状となり、その上部で堤体に浸透した水が地下水面を有する飽和領域を形成した部分を指す。