

## 参考資料

## 1. 東日本大震災における堤防被災の特徴

堤防被災が広域にわたり多数発生したことについて、地図や統計を用い、その特徴を確認した。

## 2. 想定される被災の原因

堤防被災の主要因である液状化について、資料整理したものを見ます。

## 3. 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係(土地分類図、治水地形分類図)

土地分類図、治水地形分類図上に強振動観測所の位置と堤防被災箇所(緊急災箇所+関東大規模被災箇所)をプロットし、その位置関係を確認した。

## 4. 国総研・振動観測所における観測値等資料の紹介

国土交通省国土技術政策総合研究所/振動観測所における、今回の地震についての観測値等資料を紹介する。

## 5. 河口部における河川堤防のレベル2耐震点検実施状況(地方整備局別)

河口部における河川堤防のレベル2耐震点検実施状況について、地方整備局別で整理したものを見ます。

- 1-1. 広域にわたる被災(全体)
- 1-2. 広域にわたる被災(河川別)
- 1-3. 堤防被災と治水地形分類との関係

## 1-1. 広範囲にわたる被災（全体）

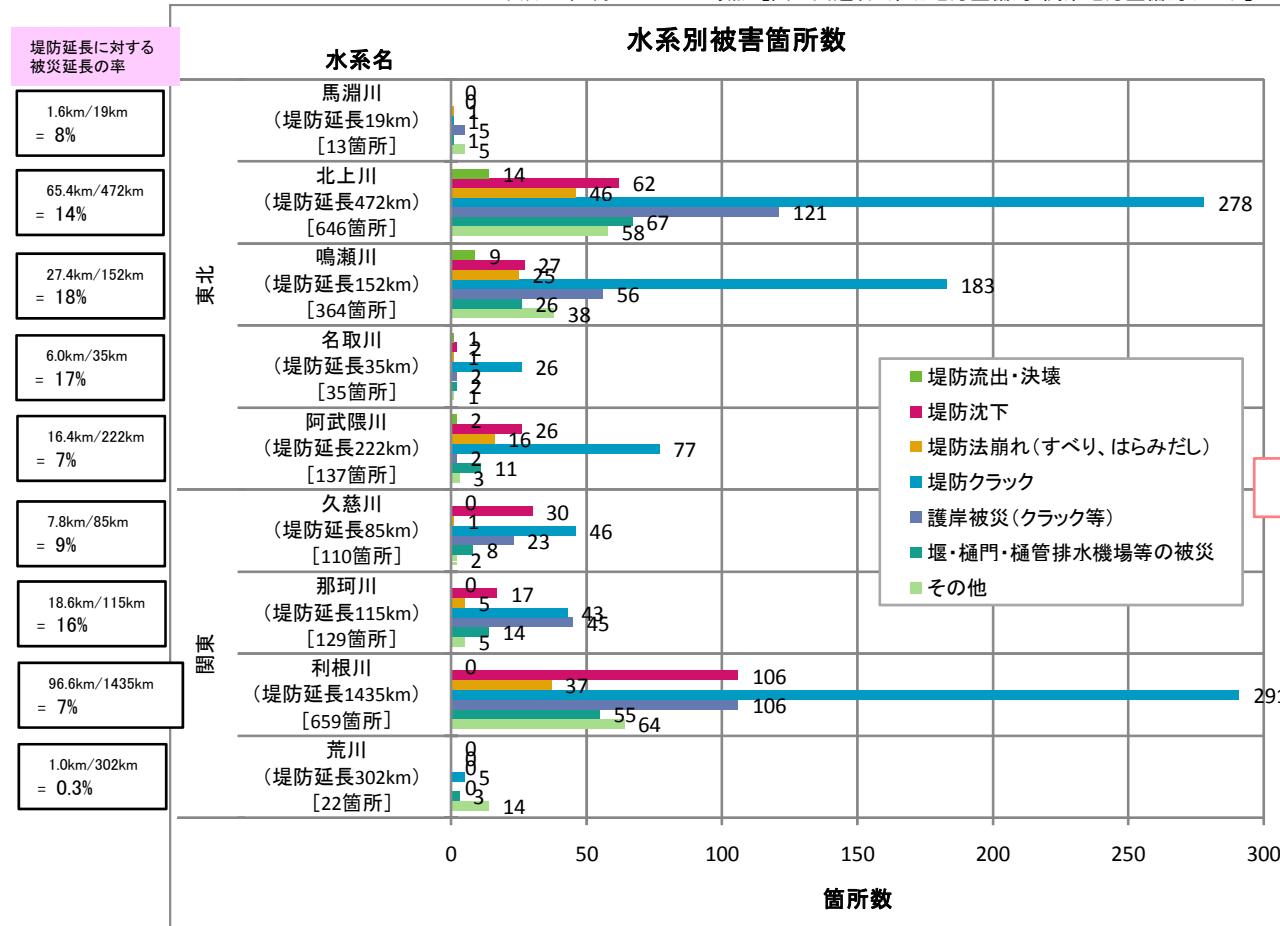
參考資料

過去の地震に比べ、広域(東北～関東各地)にわたり被害が発生した。

- ・東北の馬淵川、北上川から、関東の江戸川、荒川に至る広域で、堤防沈下や堤防法崩れなど被害が発生している。
  - ・上記の堤防被災の内、緊急復旧工事を要する大規模被災は53箇所(関東地整24箇所、東北地整29箇所)。
  - ・過去の地震と比較しても、広域にわたり多数の被害が発生した。

■被害箇所総数:2,115箇所

※平成23年6月12日17:00時点【国土交通省 東北地方整備局・関東地方整備局データ】



※ 分類の内、「その他」に該当する内容は、主に高水敷のクラックや噴砂などである。

※ 堤防流出・決壊は、津波による被害である。

\* 堤防延長は、「河川便覧(2006)」より引用。被災延長は20%抜き取りにより算出し、全数を概算した。

# 1-1. 広範囲にわたる被災（全体） 一緊急復旧例

参考資料

## ○緊急復旧例

被災箇所:江戸川 左岸58.0-10m～58.0+220m (野田市 関宿)

復旧期間:16日(3/12～3/28) [震災から17日]

被災概要:堤防川表 法滑り L=230m

復旧概要:盛換工法(12,000m<sup>3</sup>)、押え盛土(3,100m<sup>3</sup>)、張芝(6,800m<sup>2</sup>)



【緊急復旧前】



【緊急復旧後】

被災箇所:小貝川 右岸2.0k-110m～2.0k+110m (取手市)

復旧期間:16日(3/12～4/6) [震災から26日]

被災概要:堤防法崩れ L=220m

復旧概要:盛土工(6,000m<sup>3</sup>)、ワラ芝(3,100m<sup>2</sup>)、付帯道路工(1,100m<sup>2</sup>)、構造物撤去工1式



【緊急復旧前】



【緊急復旧後】

被災箇所:利根川 右岸39.0km+64m～39.5km+79m (香取市 佐原)

復旧期間:16日(3/21～4/18) [震災から38日]

被災概要:天端・川表法肩滑り、及び沈下 L=516m

復旧概要:盛換工法(9,300m<sup>3</sup>)、シート張工(7,640m<sup>2</sup>)、ブロックマット(7,120m<sup>2</sup>)、大型土嚢(516袋)



【緊急復旧前】



【緊急復旧後】

被災箇所:江合川 左岸27.4k+60m～27.8k (大崎市 淀尻)

復旧期間:16日(3/16～3/31) [震災から20日]

被災概要:堤防沈下 L=309m, H=2.4m W=3.25m

復旧概要:断面確保(天端舗装撤去・盛土・連節ブロック張り)



【緊急復旧前】



【緊急復旧後】

被災箇所:鳴瀬川 右岸29.0k+20m～29.1k+280m (大崎市 下中ノ目)

復旧期間:16日(3/24～4/9) [震災から28日]

被災概要:堤防沈下 L=300m、低水部捨石間隙開口 L=85m

復旧概要:断面確保(天端舗装撤去・盛土・連節ブロック張り)



【緊急復旧前】



【緊急復旧後】

被災箇所:江合川 左岸25.9k+20m～26.9k (大崎市 淀尻)

復旧期間:16日(3/17～4/7) [震災から27日]

被災概要:堤防沈下 川表・裏クラック L=778

復旧概要:断面確保(天端舗装撤去・盛土・連節ブロック張り)



【緊急復旧前】



【緊急復旧後】

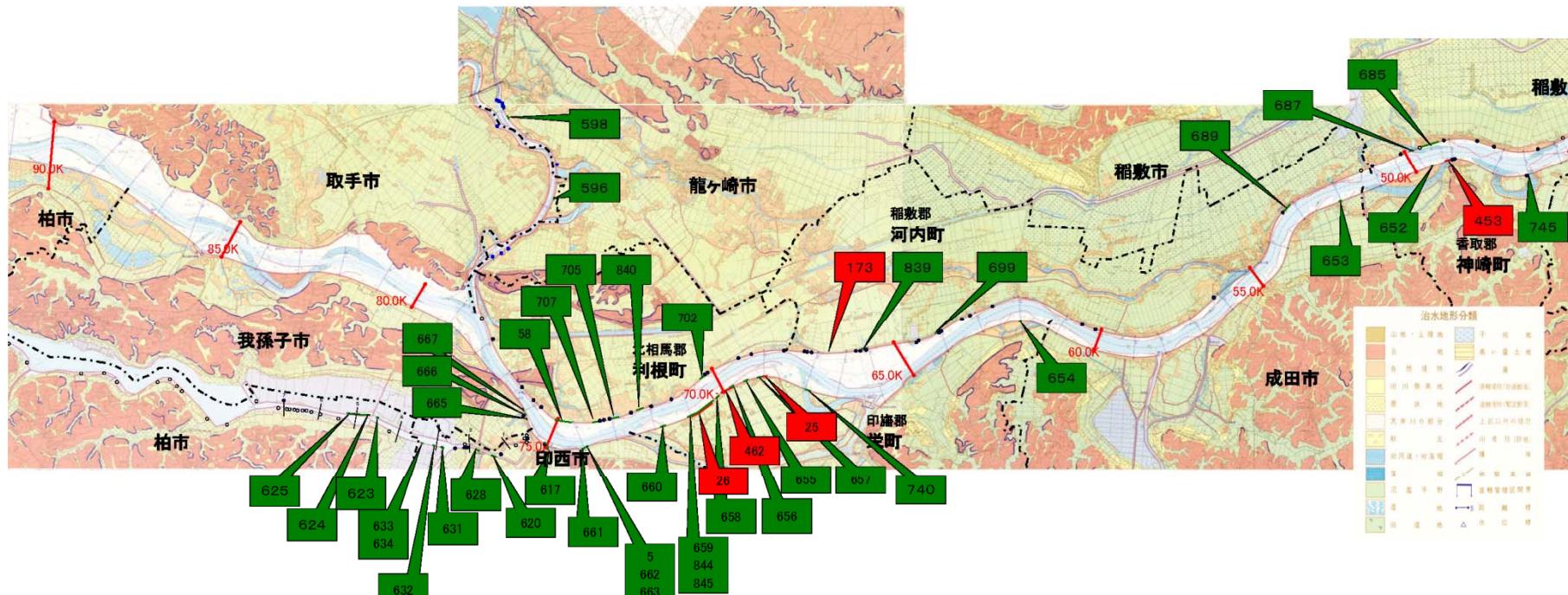
## 1-2. 広域にわたる被災（河川別）

参考資料

- 1-2-① 治水地形分類と被災箇所の関係 ~利根川下流・上流部~
- 1-2-② 治水地形分類と被災箇所の関係 ~利根川下流・下流部~
- 1-2-③ 治水地形分類と被災箇所の関係 ~小貝川~
- 1-2-④ 治水地形分類と被災箇所の関係 ~鳴瀬川~
- 1-2-⑤ 治水地形分類と被災箇所の関係 ~江合川~
- 1-2-⑥ 治水地形分類と被災箇所の関係 ~吉田川~

## 1-2-① 治水地形分類と被災箇所の関係 ~利根川下流・上流部~

参考資料

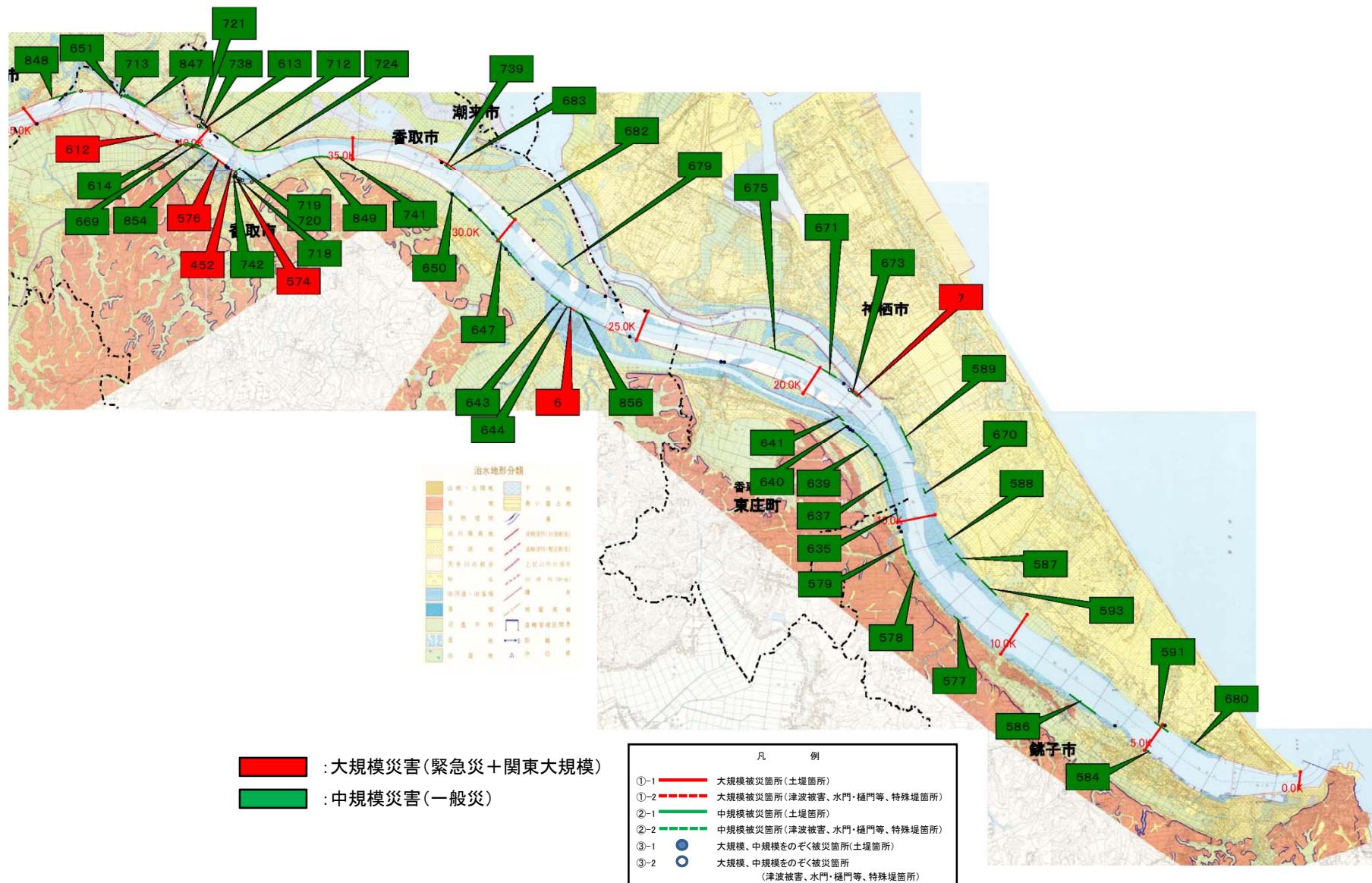


■ : 大規模灾害(緊急災+関東大規模)  
■ : 中規模灾害(一般災)

凡 例	
①-1	大規模被災箇所(土堤箇所)
①-2	大規模被災箇所(津波被害、水門、樋門等、特殊堤箇所)
②-1	中規模被災箇所(土堤箇所)
②-2	中規模被災箇所(津波被害、水門、樋門等、特殊堤箇所)
③-1	大規模、中規模をのぞく被災箇所(土堤箇所)
③-2	大規模、中規模をのぞく被災箇所(津波被害、水門、樋門等、特殊堤箇所)

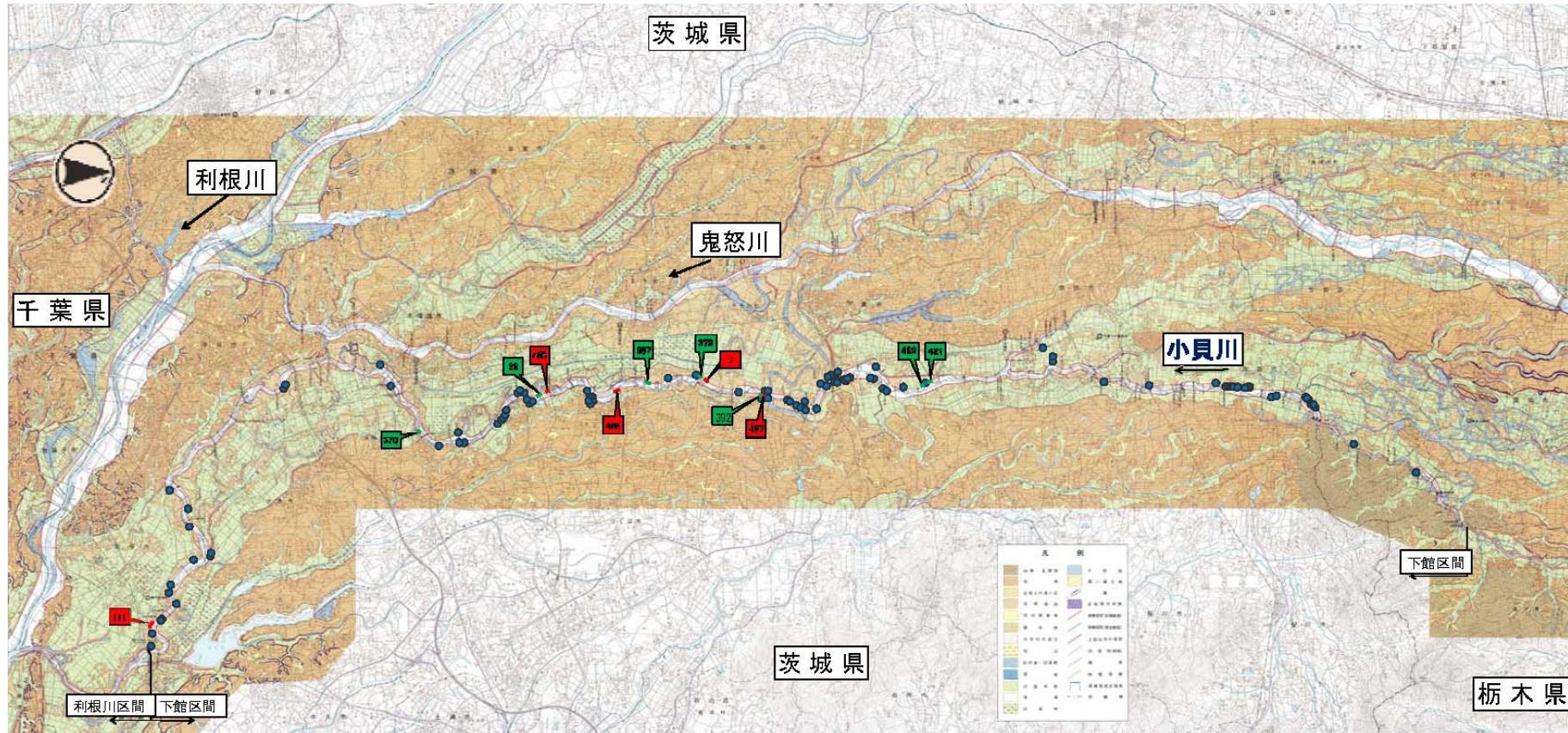
## 1-2-② 治水地形分類と被災箇所の関係 ~利根川下流・下流部~

參考資料



## 1-2-③ 治水地形分類と被災箇所の関係 ~小貝川~

参考資料



■ : 大規模災害(緊急災+関東大規模)

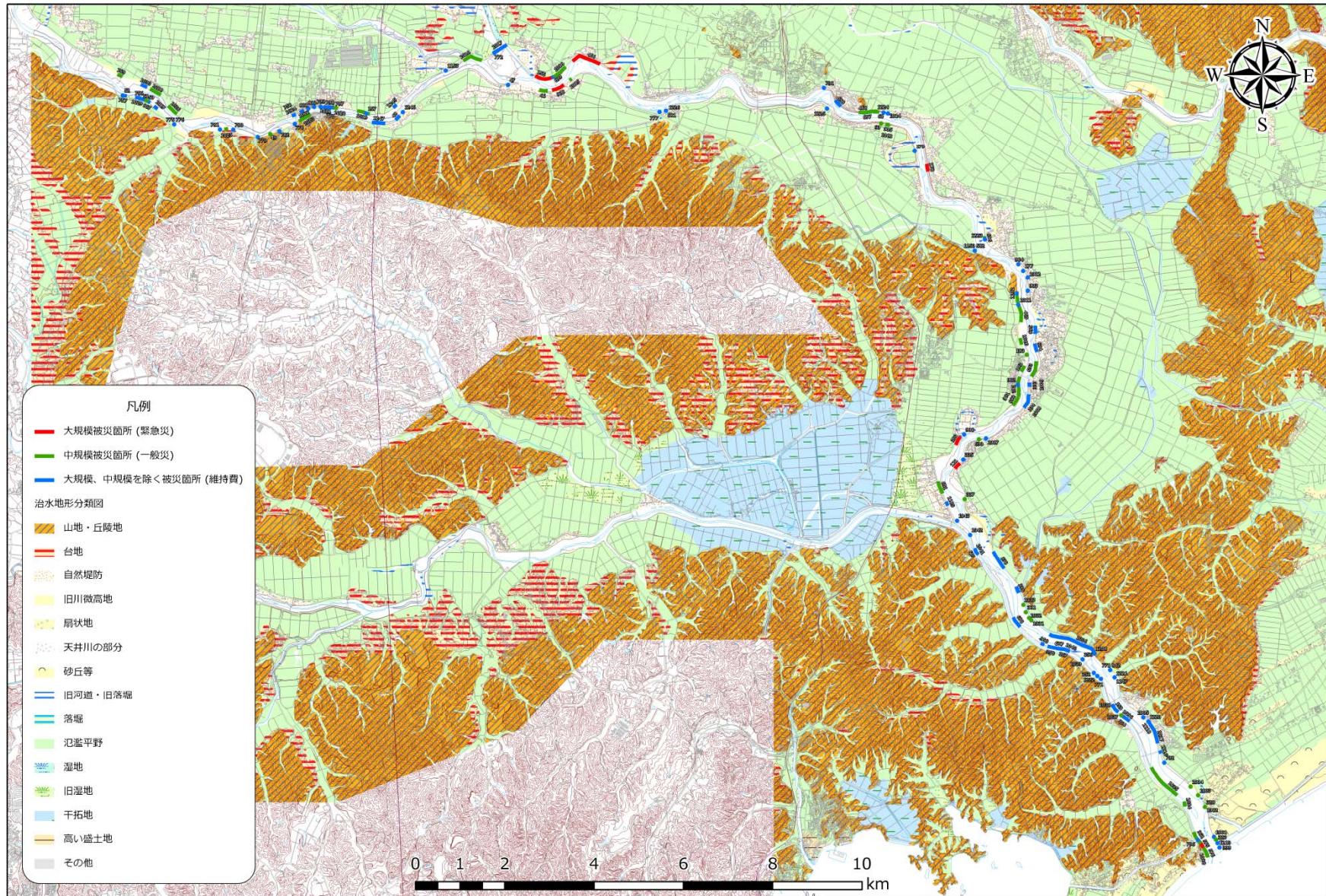
■ : 中規模災害(一般災)

### 凡 例

- |     |       |  |
|-----|-------|--|
| ①-1 | —     | 大規模被災箇所(土堤箇所)                          |
| ①-2 | - - - | 大規模被災箇所(津波被害、水門・樋門等、特殊堤箇所)             |
| ②-1 | —     | 中規模被災箇所(土堤箇所)                          |
| ②-2 | - - - | 中規模被災箇所(津波被害、水門・樋門等、特殊堤箇所)             |
| ③-1 | ●     | 大規模、中規模をのぞく被災箇所(土堤箇所)                  |
| ③-2 | ○     | 大規模、中規模をのぞく被災箇所<br>(津波被害、水門・樋門等、特殊堤箇所) |

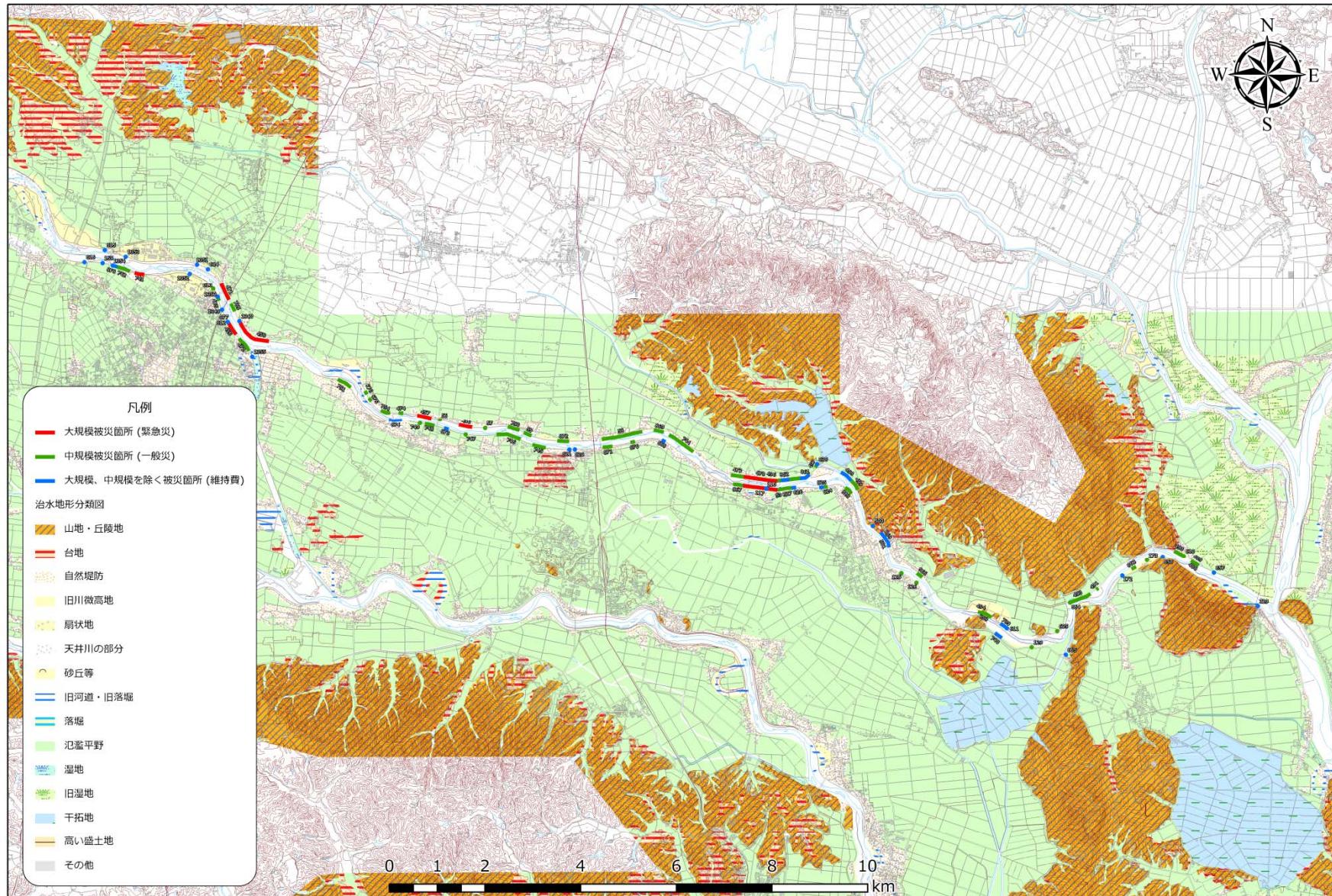
## 1-2-④ 治水地形分類と被災箇所の関係 ~鳴瀬川~

参考資料



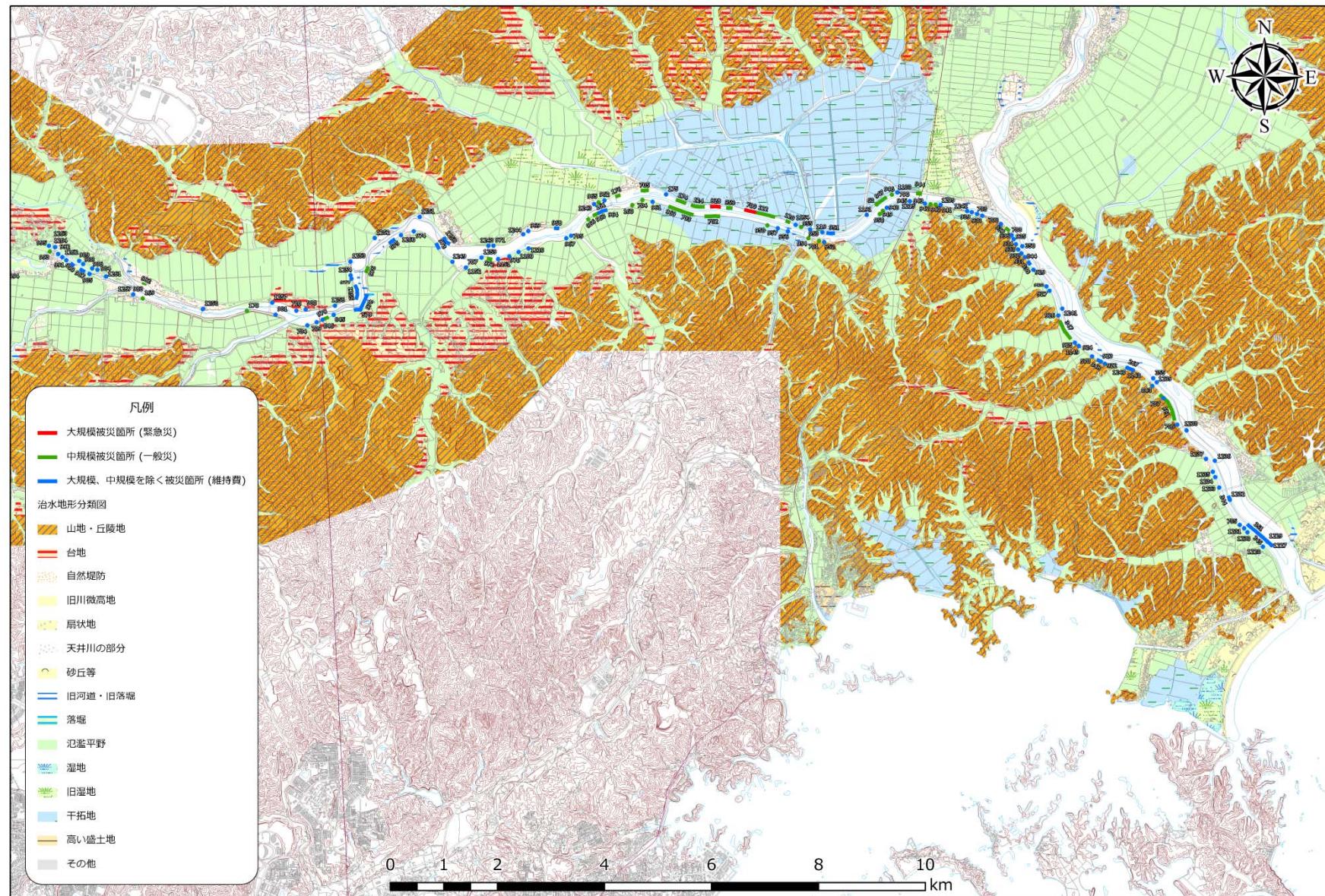
## 1-2-⑤ 治水地形分類と被災箇所の関係 ~江合川~

参考資料



## 1-2-⑥ 治水地形分類と被災箇所の関係 ~吉田川~

参考資料

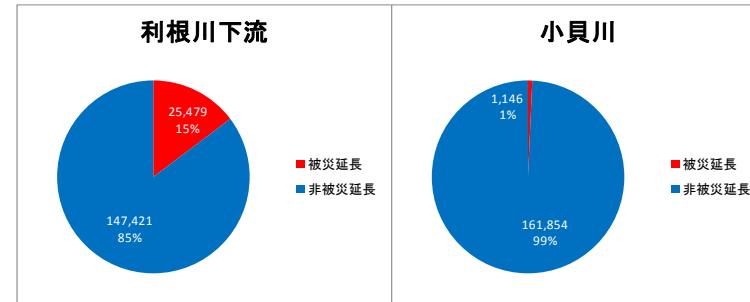


## 1-3 堤防被災と治水地形分類との関係（利根川下流、小貝川）

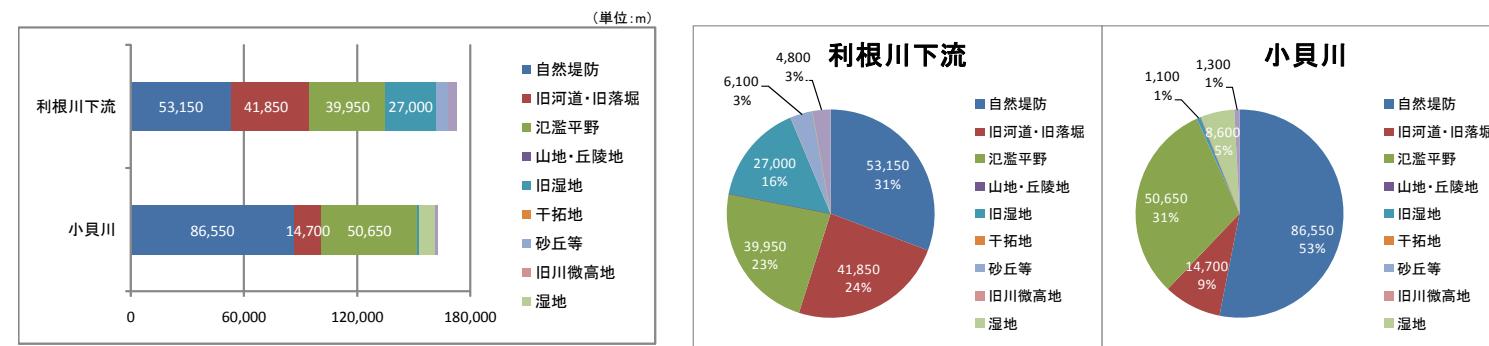
参考資料

利根川下流、小貝川について、大規模被災箇所(緊急災+大規模被災箇所)と中規模被災箇所を対象に治水地形区分延長を整理すると、被災が生じた箇所の治水地形分類は、旧河道・旧落堀、自然堤防、氾濫平野が多いことが確認出来る。

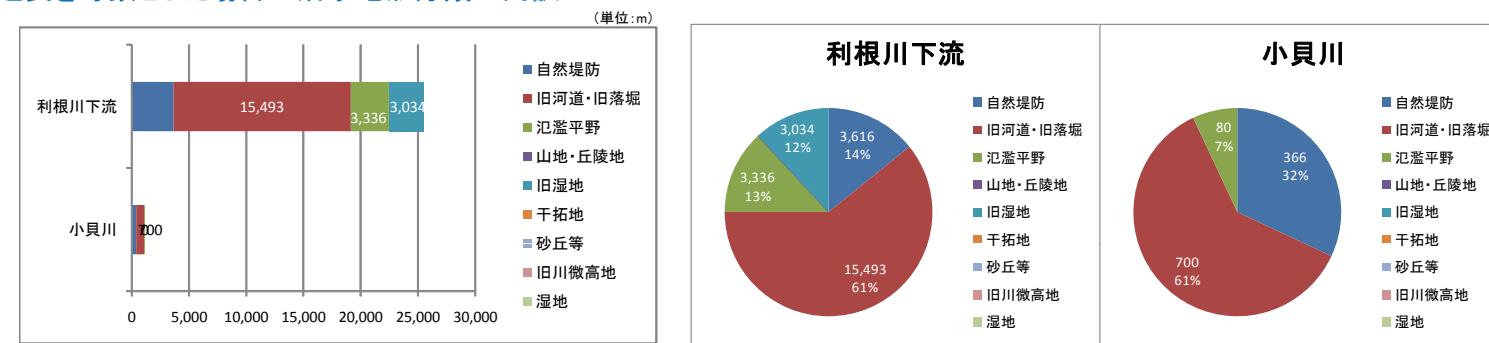
### ■堤防延長に対する被災延長の割合



### ■堤防延長を母数とした場合の治水地形分類の内訳



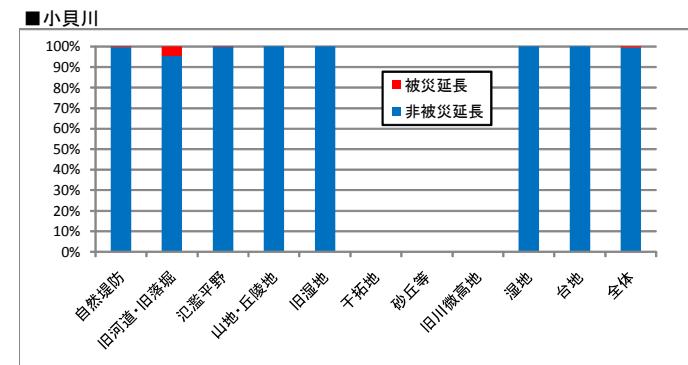
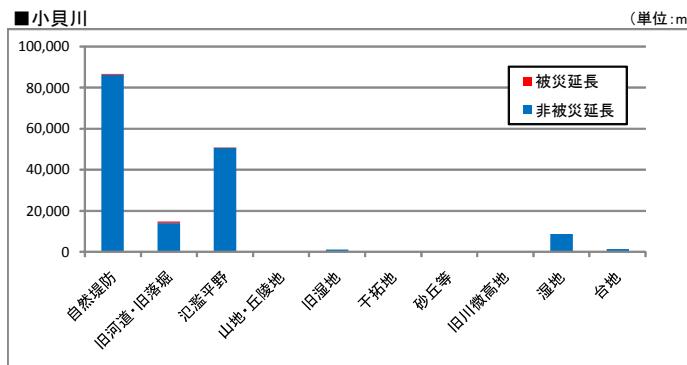
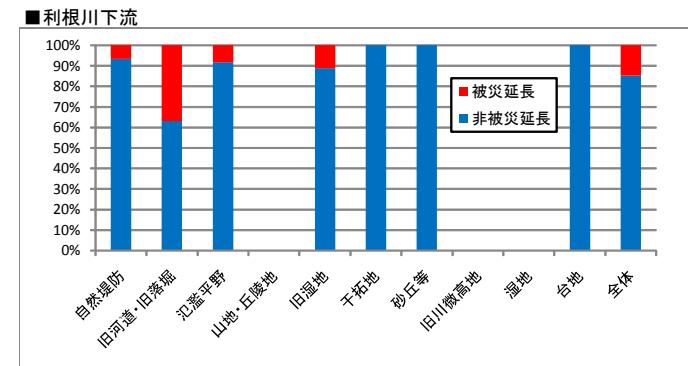
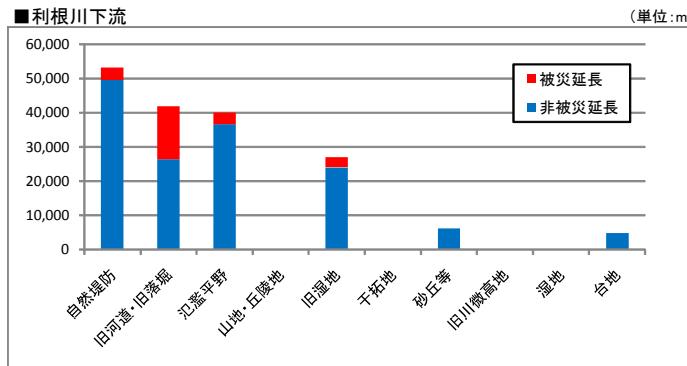
### ■被災延長を母数とした場合の治水地形分類の内訳



# 1-3 堤防被災と治水地形分類との関係（利根川下流、小貝川）

参考資料

## ■堤防延長に対する被災延長の割合(治水地形分類別)

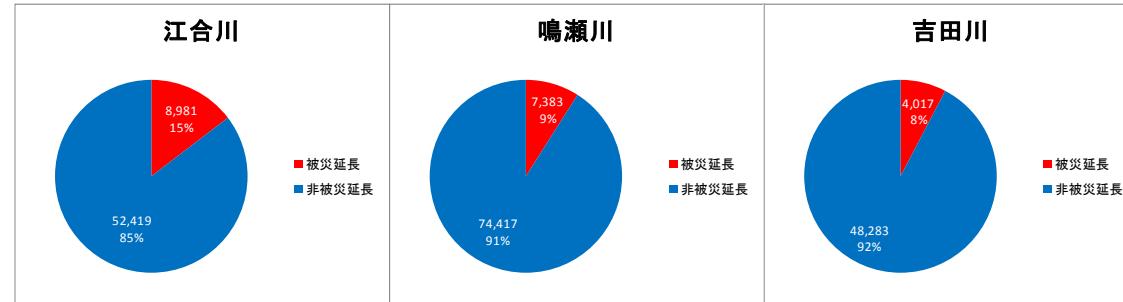


# 1-3 堤防被災と治水地形分類との関係（鳴瀬川、江合川、吉田川）

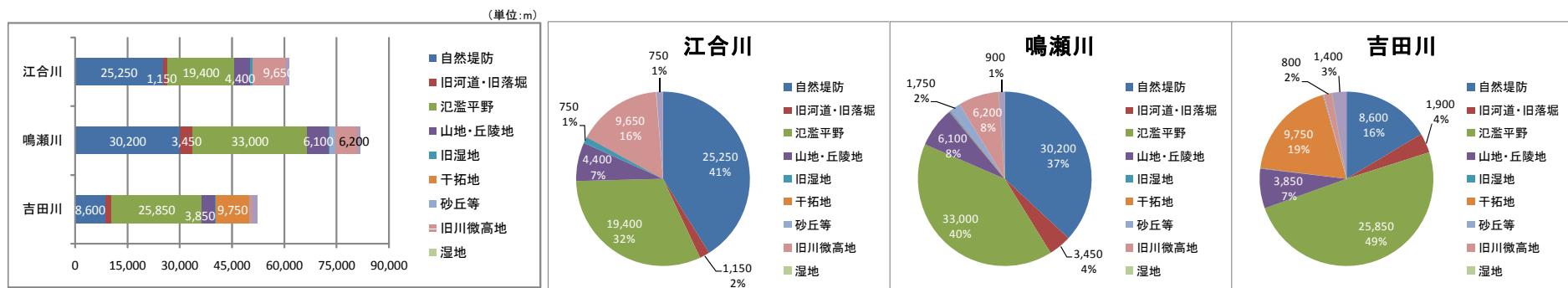
参考資料

鳴瀬川、江合川、吉田川について、大規模被災箇所と中規模被災箇所を対象に、治水地形区分延長を整理すると被災が生じた箇所の治水地形分類は、自然堤防、氾濫平野が多いことが確認出来る。

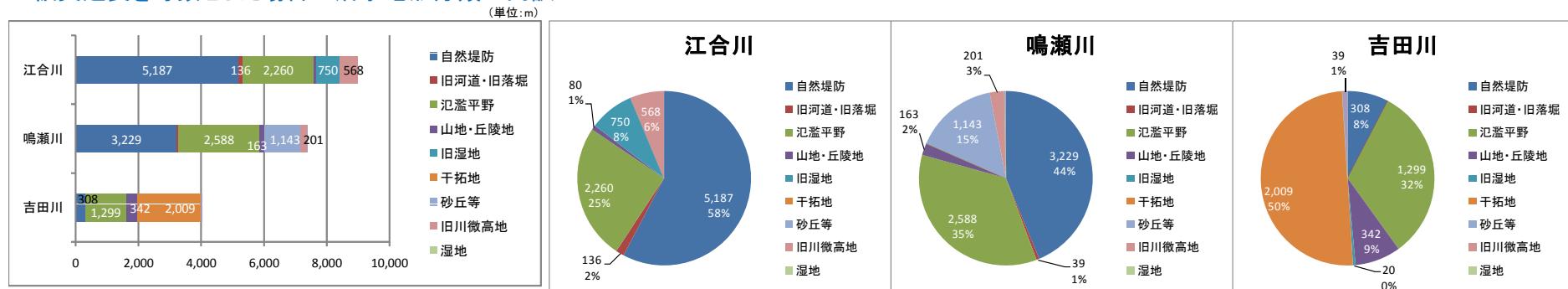
## ■堤防延長に対する被災延長の割合



## ■堤防延長を母数とした場合の治水地形分類の内訳



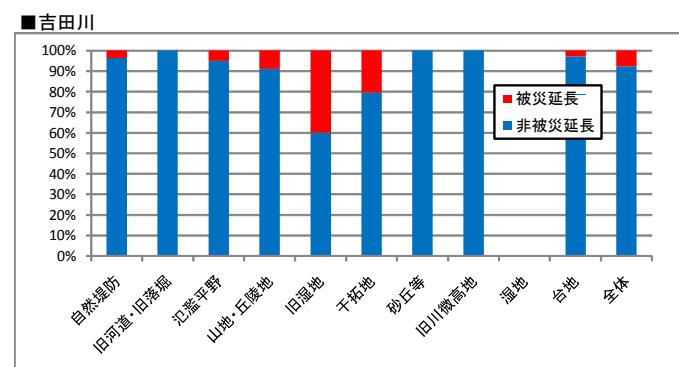
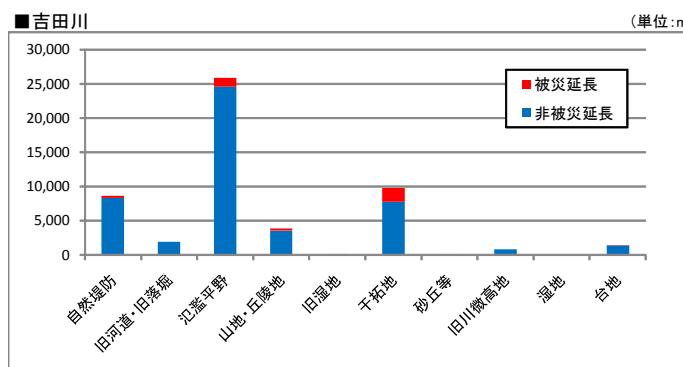
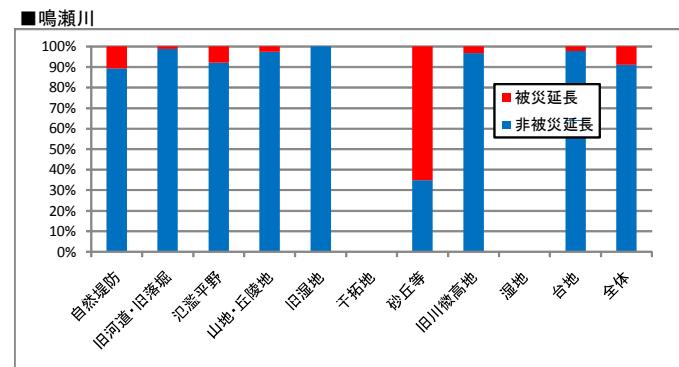
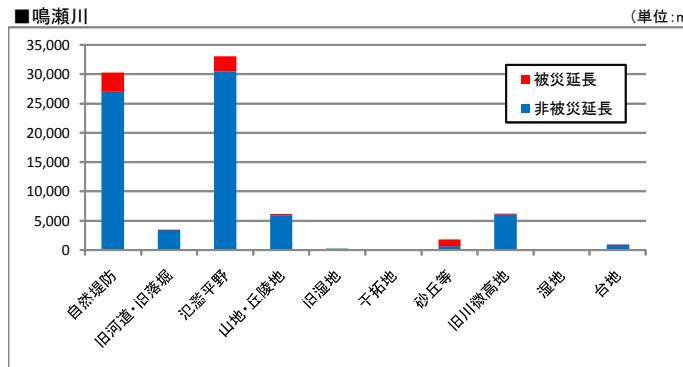
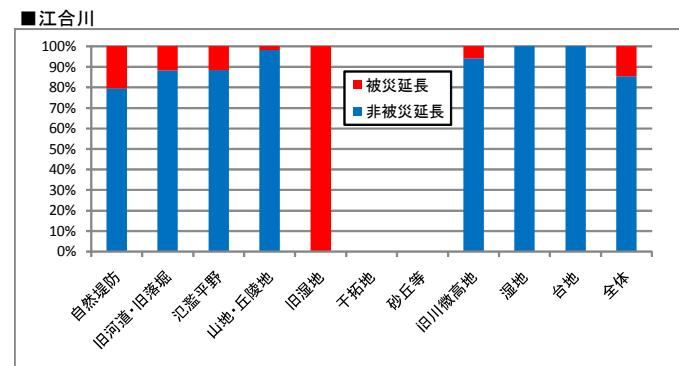
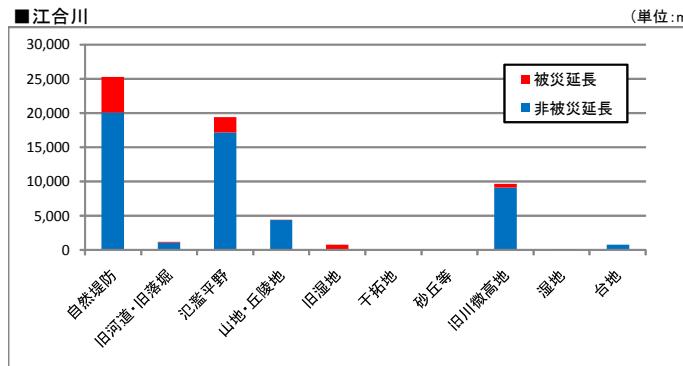
## ■被災延長を母数とした場合の治水地形分類の内訳



### 1-3 堤防被災と治水地形分類との関係（鳴瀬川、江合川、吉田川）

參考資料

### ■堤防延長に対する被災延長の割合(治水地形分類別)



## 2. 想定される被災の原因

参考資料

- 2-1. 基礎地盤の液状化による堤防被災について
- 2-2. 堤体の部分液状化による堤防被災について
- 2-3. 長い継続時間有する地震動と液状化との関係

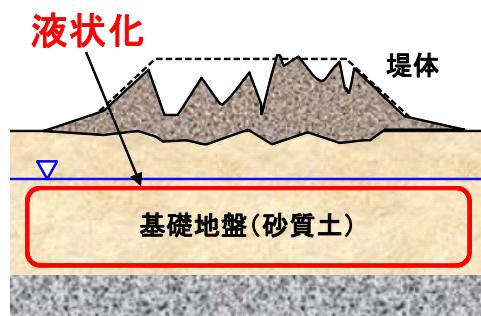
## 2. 想定される被災の原因

参考資料

### 大規模な被災の原因は液状化。

- 1)堤防の大規模被災箇所では、周辺地盤、クラック内等で噴砂が確認されている。
- 2)これまでの地震と比較して、かなり長い継続時間を記録した地震動が多数の液状化被害を発生させた。
- 3)従来から想定されている基礎地盤の液状化によるものも多数発生。
- 4)これまで照査・対策の対象としてこなかった堤体の部分液状化による被災も多数発生。

#### 基礎地盤の液状化



利根川下流（右）71k付近  
(千葉県印旛郡栄町)  
\*堤体も部分液状している可能性



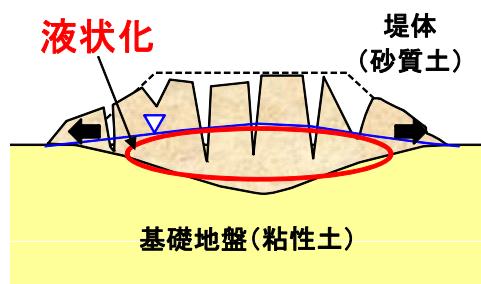
小貝川（左）35k付近  
(茨城県つくば市上郷地先)



小貝川（右）32k付近  
(茨城県常総市上蛇地先)



#### 堤体の部分液状化



阿武隈川下流(右)31k付近  
(宮城県角田市)



江合川(右)27k付近  
(宮城県大崎市)



那珂川(左)7.5k付近  
(茨城県東茨城郡下石崎地先)



## 2. 想定される被災の原因

参考資料

亀裂内とのり尻に噴砂痕  
(江合川 右岸30.2k地点)



天端沈下 — 亀裂内の噴砂痕  
(鳴瀬川 左岸30.0k~30.5k+37)



亀裂内の噴砂痕  
(江合川 左岸14.0k+43~14.6k+43)



のり尻部の隆起と噴砂痕  
(鳴瀬川 左岸11.3k+30~11.5k+100)

出典)「東日本大震災調査報告会」報告資料(国土交通省国土技術政策総合研究所)より抜粋

## 2-1. 基礎地盤の液状化による堤防被災について

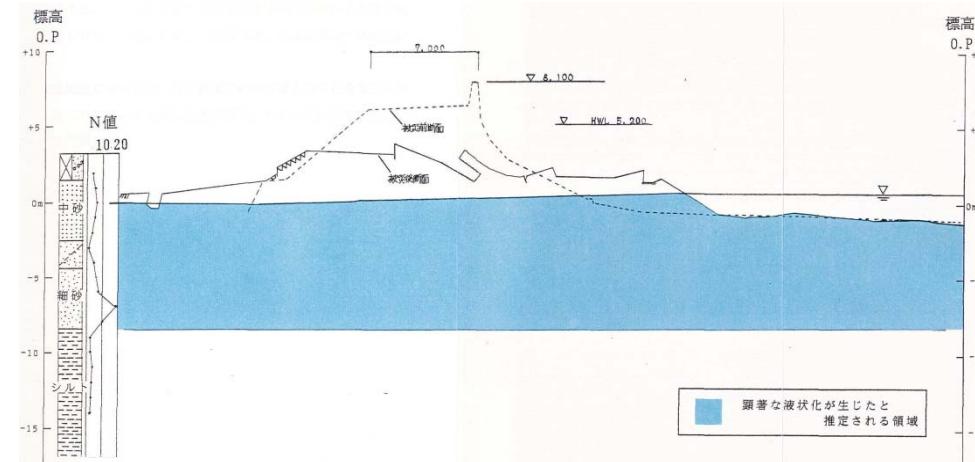
参考資料

### 基礎地盤の液状化による堤防被災の事例

- ・基礎地盤の液状化による堤防被災の代表の事例として、兵庫県南部地震の淀川堤防被災の事例がある。
- ・基礎地盤に表層に堆積する砂質土層の液状化により堤体が変形し、特殊堤構造のパラペット及び川表側のコンクリート法覆工が川表側へ大きく滑り出すとともに、川表には多数の噴砂痕跡が確認された。
- ・今回の地震では、小貝川左岸 35.0k-80m～35.0k+20m（茨城県つくば市上郷地先）等において、基礎地盤液状化が原因と考えられる堤防被災が発生した。

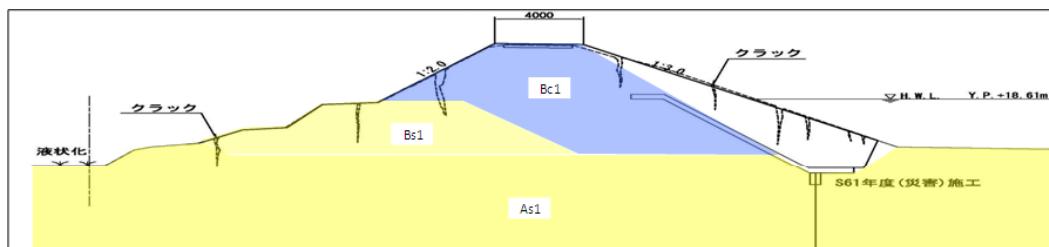
#### 淀川堤防被災の事例

西島地区(淀川左岸1.4km)

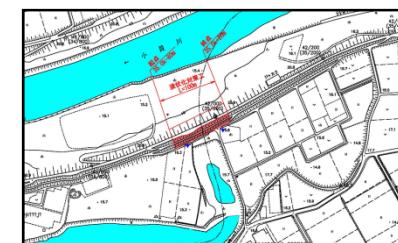


#### 小貝川堤防被災の事例

- ・堤内地に噴砂あり。
- ・堤体沈下は10cm、クラックの深さは1m程度。
- ・被災箇所の堤体は粘性土。基礎地盤は5～7mの砂質土層が存在。



堤体土質構造は、左岸35.4kの詳細点検の  
ボーリング結果を用いている。



## 2-2. 堤体の部分液状化による堤防被災について

参考資料

### 堤体の部分液状化に関する過去の事例

- 今回の堤体の部分液状化に類似した事例として、1993年釧路沖地震による釧路川遊水池堤防等の事例がある。
- 透水性が悪く軟弱な泥炭層の基礎地盤上に、砂質土で築堤された堤防であり、今回の被災事例と同様凹状に堤体土がめり込み、地下水位が高い状態にあったため、堤体の部分液状化を生じ被災した。

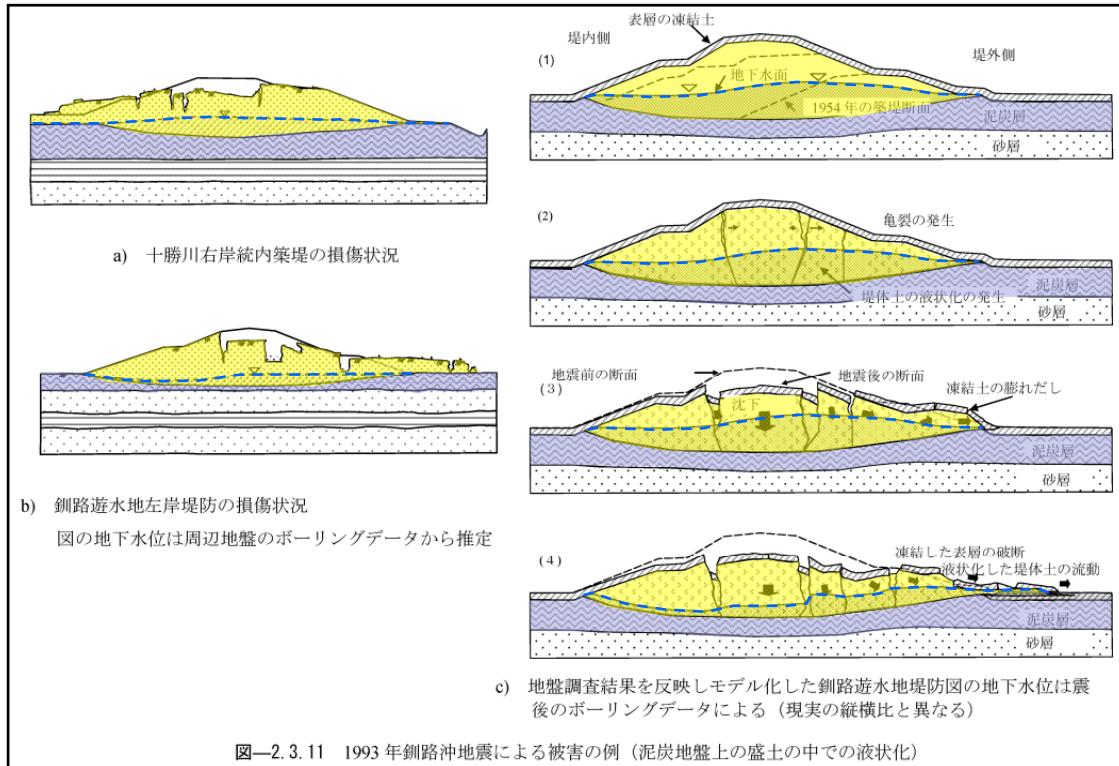


図1 過去の地震(1993年釧路沖地震)における堤体の部分液状化のメカニズム  
出典)「北海道地震被害実態調査研究会報告書」 1995 北海道開発局

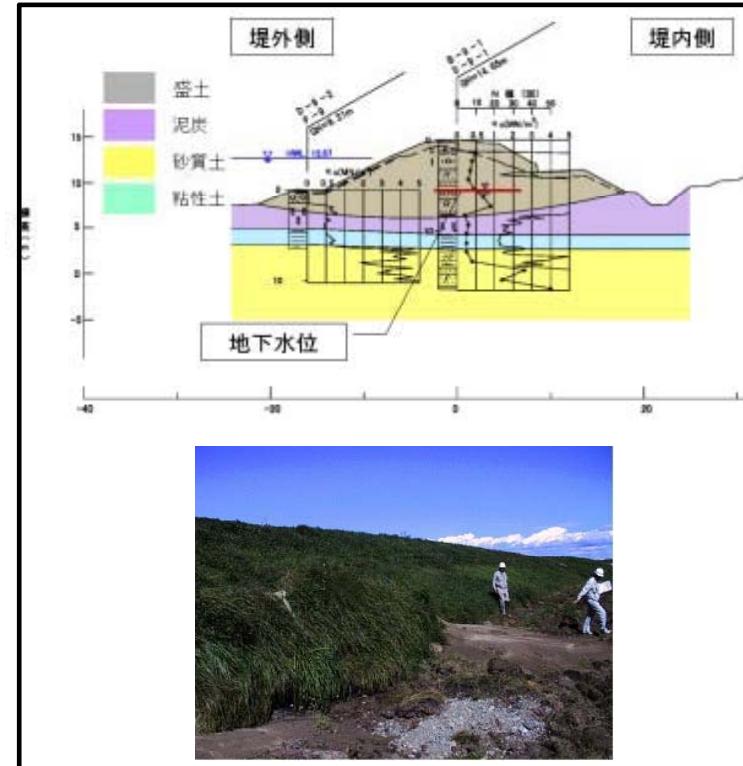


図2 1993年釧路沖地震における牛首別川右岸築堤の被災  
出典)「河川の被害」 北海道開発土木研究所

厚さ5m程度の泥炭が地表面に分布し、その上に堤体がある箇所において、崩土の亀裂から土砂が噴出。

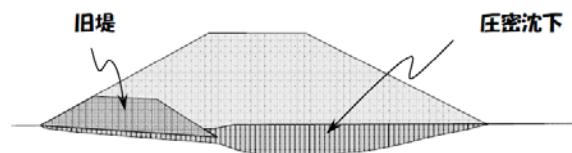
## 2-2. 堤体の部分液状化による堤防被災について

参考資料

### 本地震の被災事例 — 「北上川等堤防復旧に関する中間報告書(案)」における堤防被災メカニズムの推定

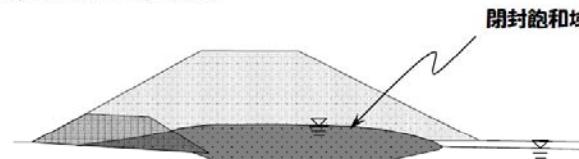
・東北地整管内の大規模被災箇所の多くは、「堤体の部分液状化」が被災要因であるとしている。

a) 築堤による基礎地盤の圧密



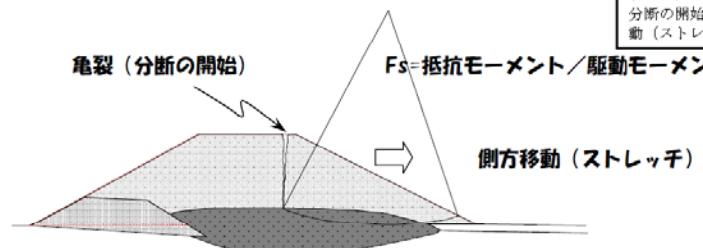
堤体荷重と基礎地盤（粘性土）の圧密特性（層厚と体積正縮係数  $m_r$ ）に応じた「圧密沈下域」の形成。  
その結果、アーチアクションにより堤体内の中央・底部の応力は緩和する。

b) 閉封飽和域の形成



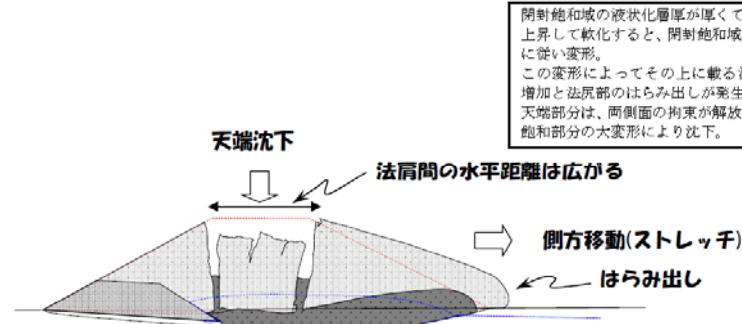
堤体に浸透した雨水は堤体内にたまり、「閉封飽和域」を形成。  
注) 左右対称とは限らない。

c) 閉封飽和域での液状化の発生に伴う亀裂の発生



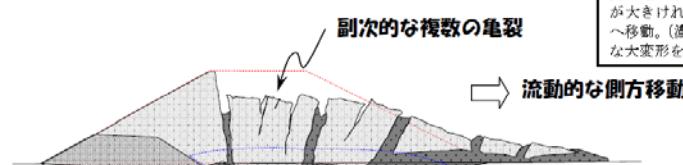
閉封飽和域の土が緩い砂の場合には、地震動により間隙水圧が上昇し、強度低下すれば、 $F_s < 1$  となり、亀裂が発生（堤体分断の開始）し始め、法面部は側方へ移動（ストレッチ）。

d) 閉封飽和域の間隙水圧上昇に伴う変形の拡大



閉封飽和域の液状化層厚が厚く、さらに間隙水圧が上昇して軟化すると、閉封飽和域は境界応力の大きさに従い変形。  
この変形によってその上に載る法面部の側方移動の増加と法尻部のはらみ出しが発生。  
天端部分は、両側面の拘束が解放された状態で底部の飽和部分の大変形により沈下。

e) 閉封飽和域の間隙水圧上昇に伴う変形のさらなる拡大



閉封飽和域が厚く、間隙水圧上昇の程度が大きければ、この部分は流動的に側方へ移動。(濃灰色に着色した部分は流動的大変形をした飽和領域)

図 今回の地震における堤体の部分液状化のメカニズム

出典)「北上川等堤防復旧に関する中間報告書(案)」  
平成23年5月30日 北上川等堤防復旧技術検討会

## 2-2. 堤体の部分液状化による堤防被災について

参考資料

那珂川(左)7.5k付近  
(茨城県東茨城郡下石崎地先)



阿武隈川下流(右)22.5k付近  
(宮城県角田市)

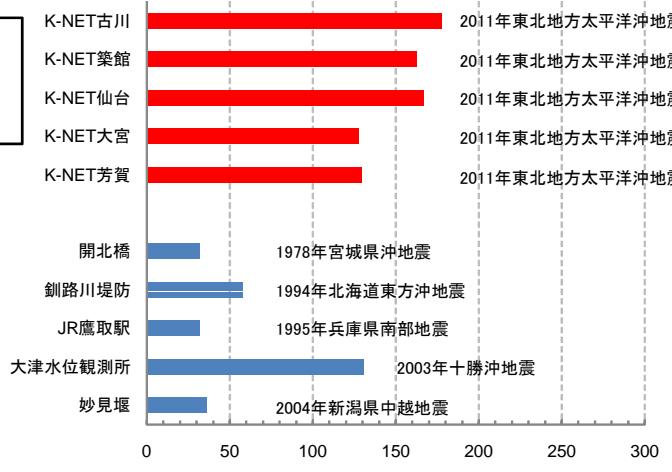


## 2-3. 長い継続時間有する地震動と液状化との関係

参考資料

・今回の地震のように、継続時間の長い地震ほどせん断強度が低下し、液状化しやすい。

### 本地震動と過去の地震動との継続時間の比較



\* 50gal以上の加速度を記録した時間と定義

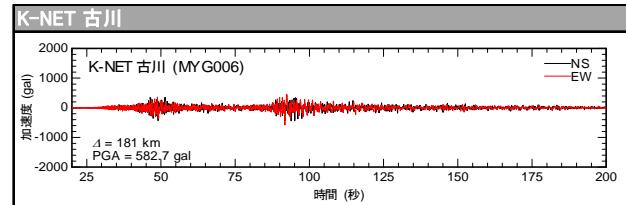


図 今回の地震動(古川)

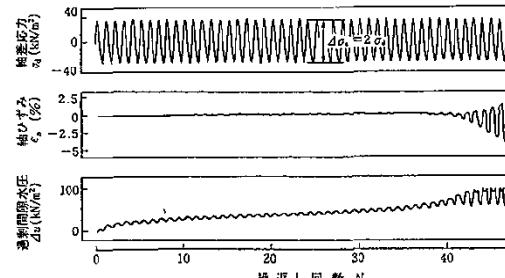


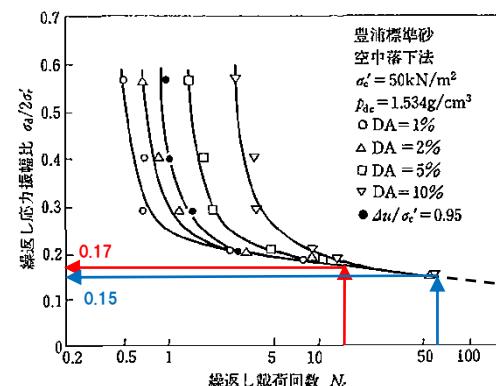
図 液状化試験の例

今回の地震では、  
液状化後にも繰り返し地震動が作用しており、せん断ひずみ振幅が急増している恐れがある。

▶長時間振動を与えた場合の過剰間隙水圧の上昇と軸ひずみの振幅増加を示している。

※繰り返し回数が一定以上(この場合は40回)にて過剰間隙水圧が大きく上昇し、軸ひずみが急激に増加、液状化することを示している。

- 図の縦軸の「繰返し応力振幅比」は、せん断応力を初期応力で除した、繰返せん断応力比を示したもの。液状化強度比ともいう。
- 「土の繰返し非排水三軸試験」は、正弦波(周期1.0~10秒)を20波与えた(20回繰り返した)時点での5%のひずみが生じる強度を求めている。



赤線:標準としている地震動  
青線:継続時間の長い地震動

図 液状化強度曲線

出典)「液状化対策工法」 平成16年7月 (社)地盤工学会

### 3. 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係（土地分類図、治水地形分類図）

参考資料

3-1-① 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係（土地分類図）～関東地方～

3-1-② 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係（土地分類図）～東北地方～

3-2-① 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係（治水地形分類図）～江戸川～

3-2-② 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係（治水地形分類図）～小貝川～

3-2-③ 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係（治水地形分類図）～霞ヶ浦・南東部～

3-2-④ 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係（治水地形分類図）～霞ヶ浦・北西部～

3-2-⑤ 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係（治水地形分類図）～利根川下流～

3-2-⑥ 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係（治水地形分類図）～久慈川～

3-2-⑦ 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係（治水地形分類図）～那珂川上流～

3-2-⑧ 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係（治水地形分類図）～那珂川下流～

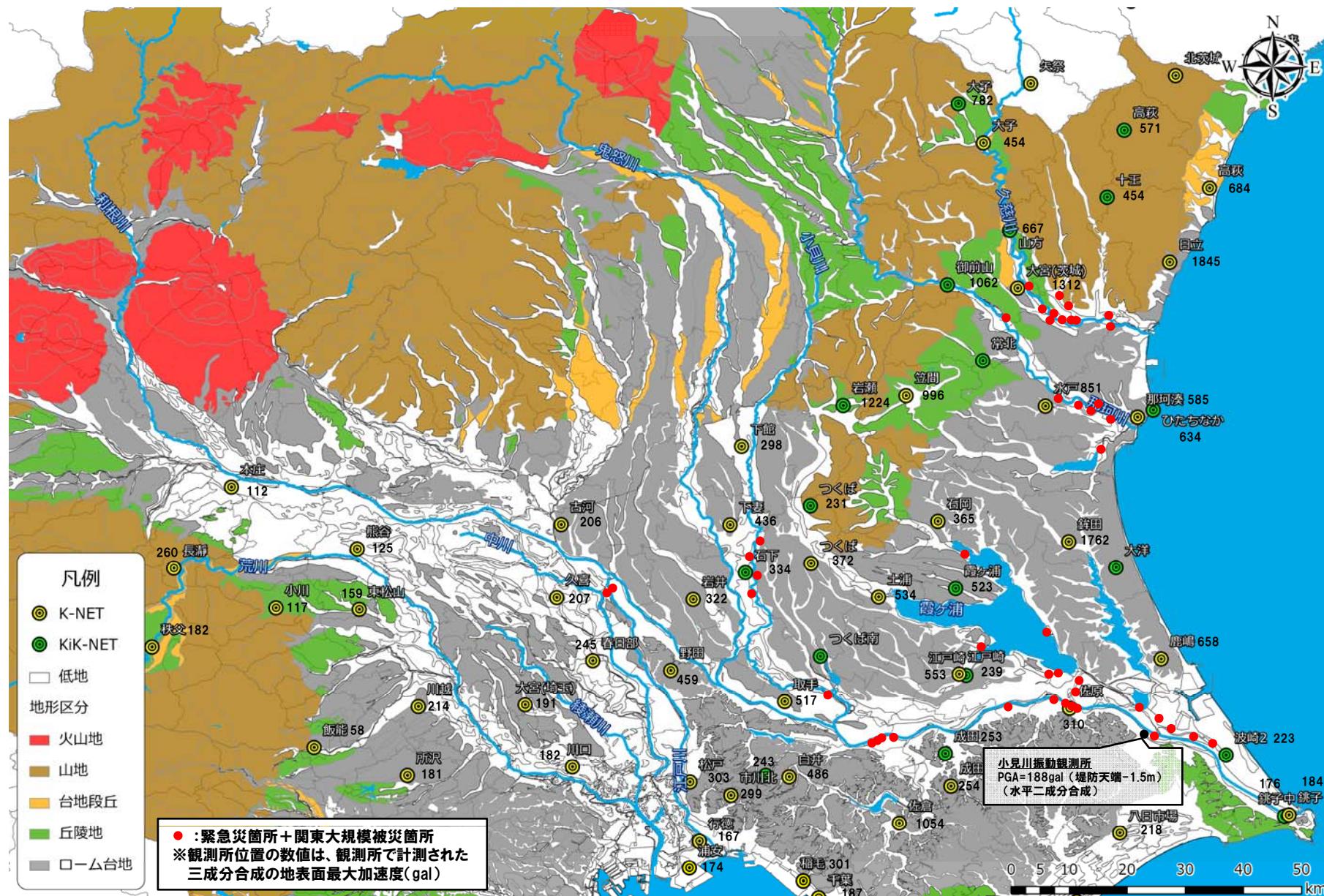
3-2-⑨ 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係（治水地形分類図）～阿武隈川下流～

3-2-⑩ 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係（治水地形分類図）～鳴瀬川、吉田川、江合川、新江合川～

※ 土地分類図：20万分の1土分類基本調査GISデータ（国土交通省 土地・水資源局 国土調査課）より作成

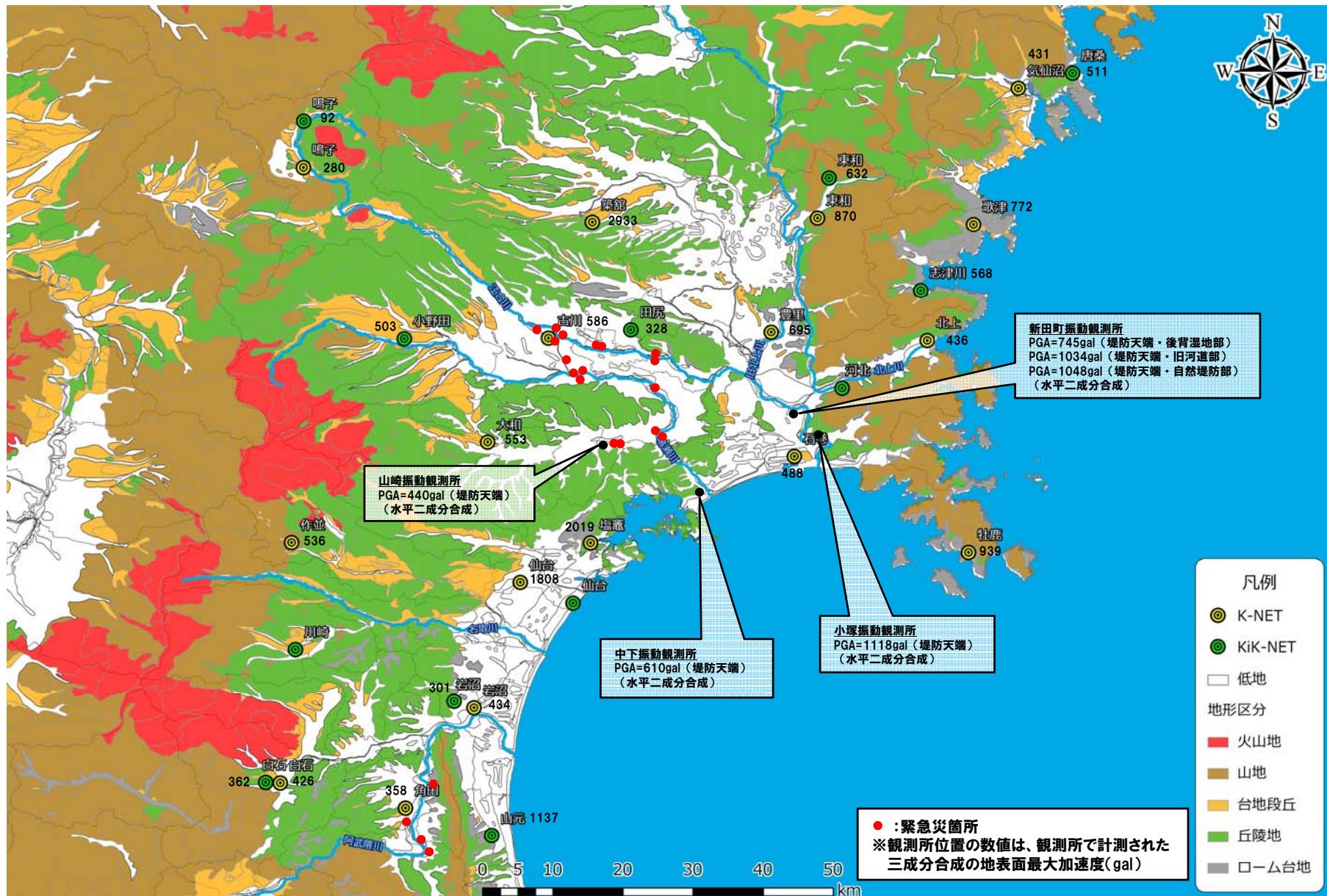
### 3-1-① 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係(土地分類図) ~関東地方~

参考資料



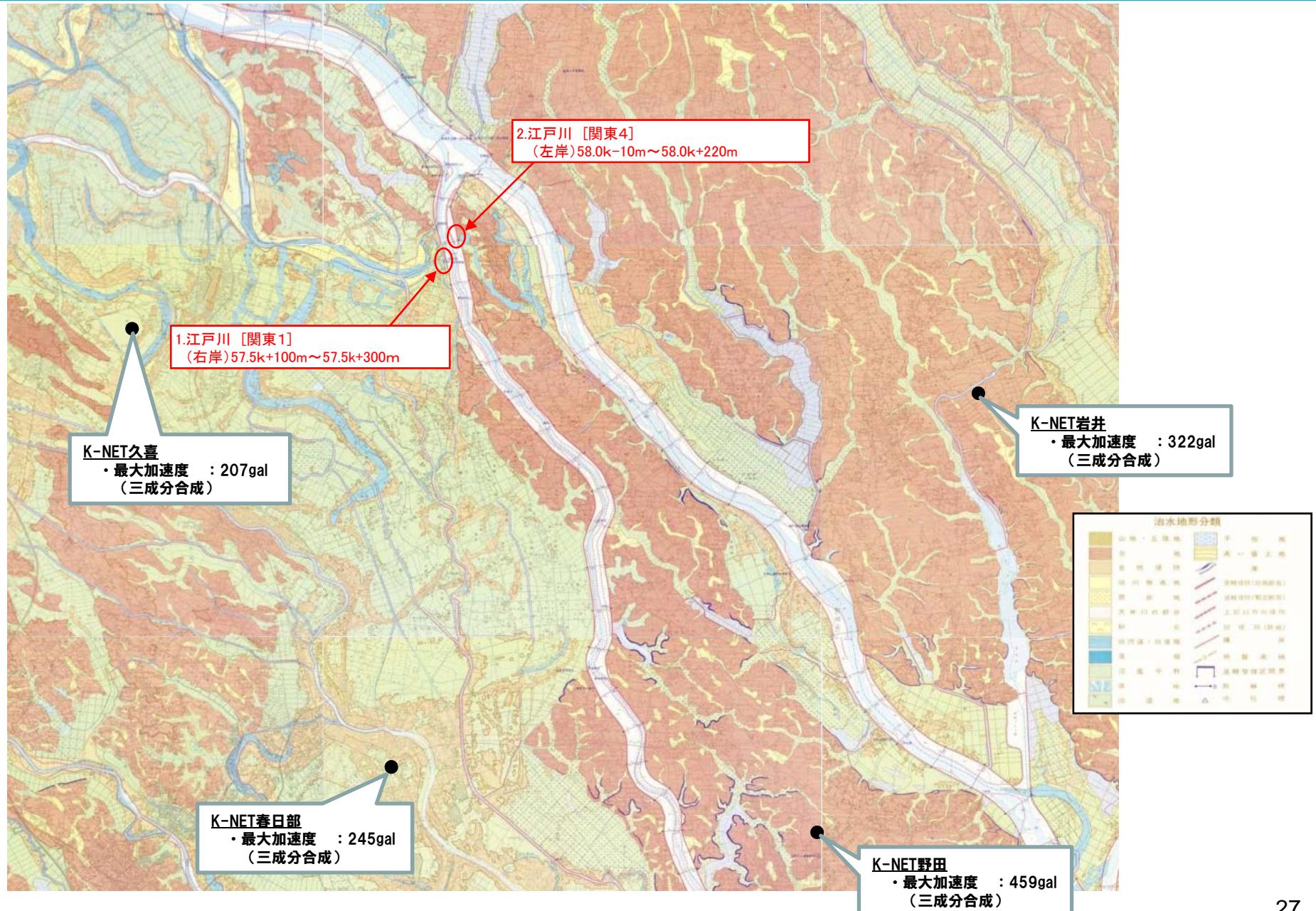
### 3-1-② 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係(土地分類図) ~東北地方~

参考資料



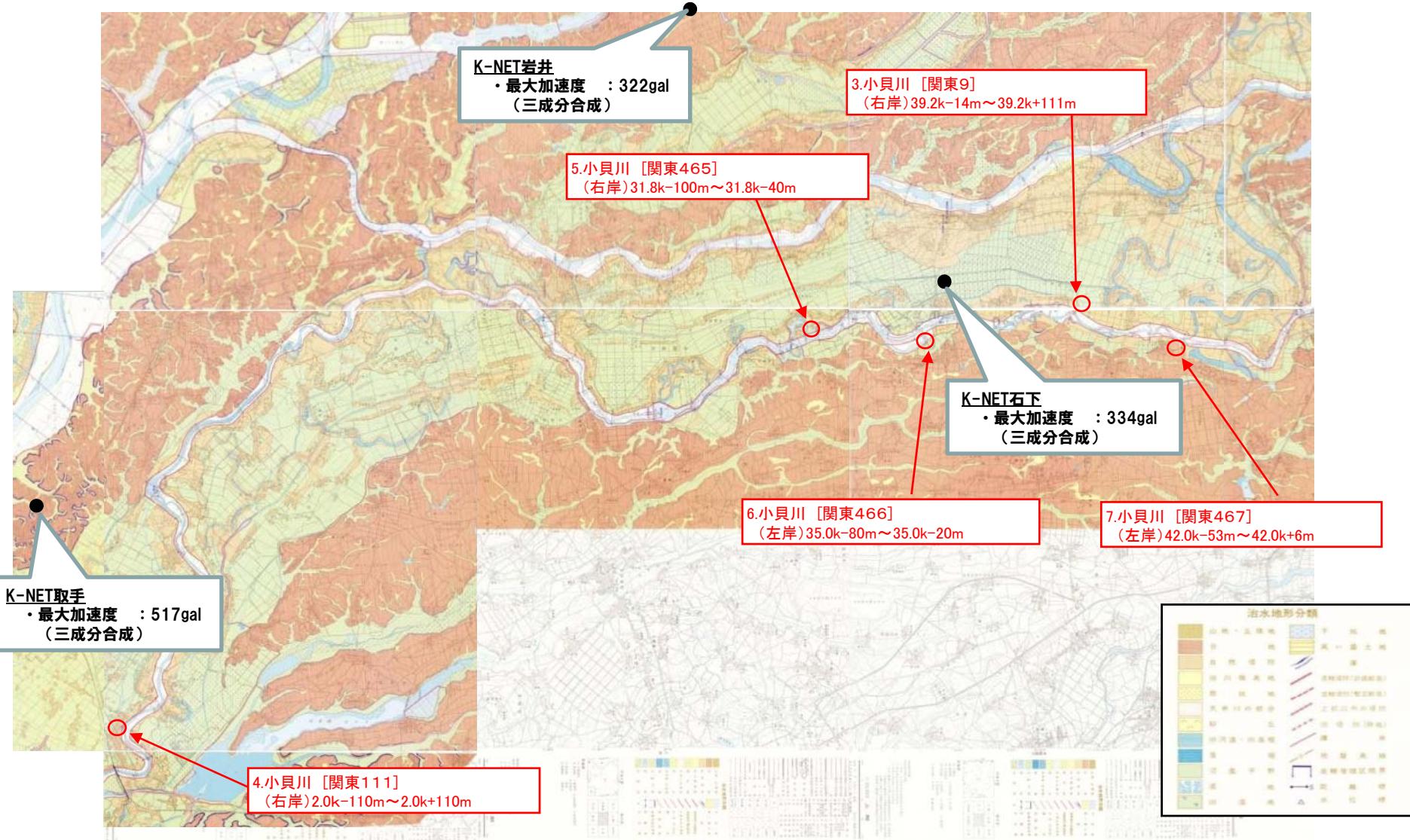
### 3-2-① 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係(治水地形分類図)～江戸川～

参考資料



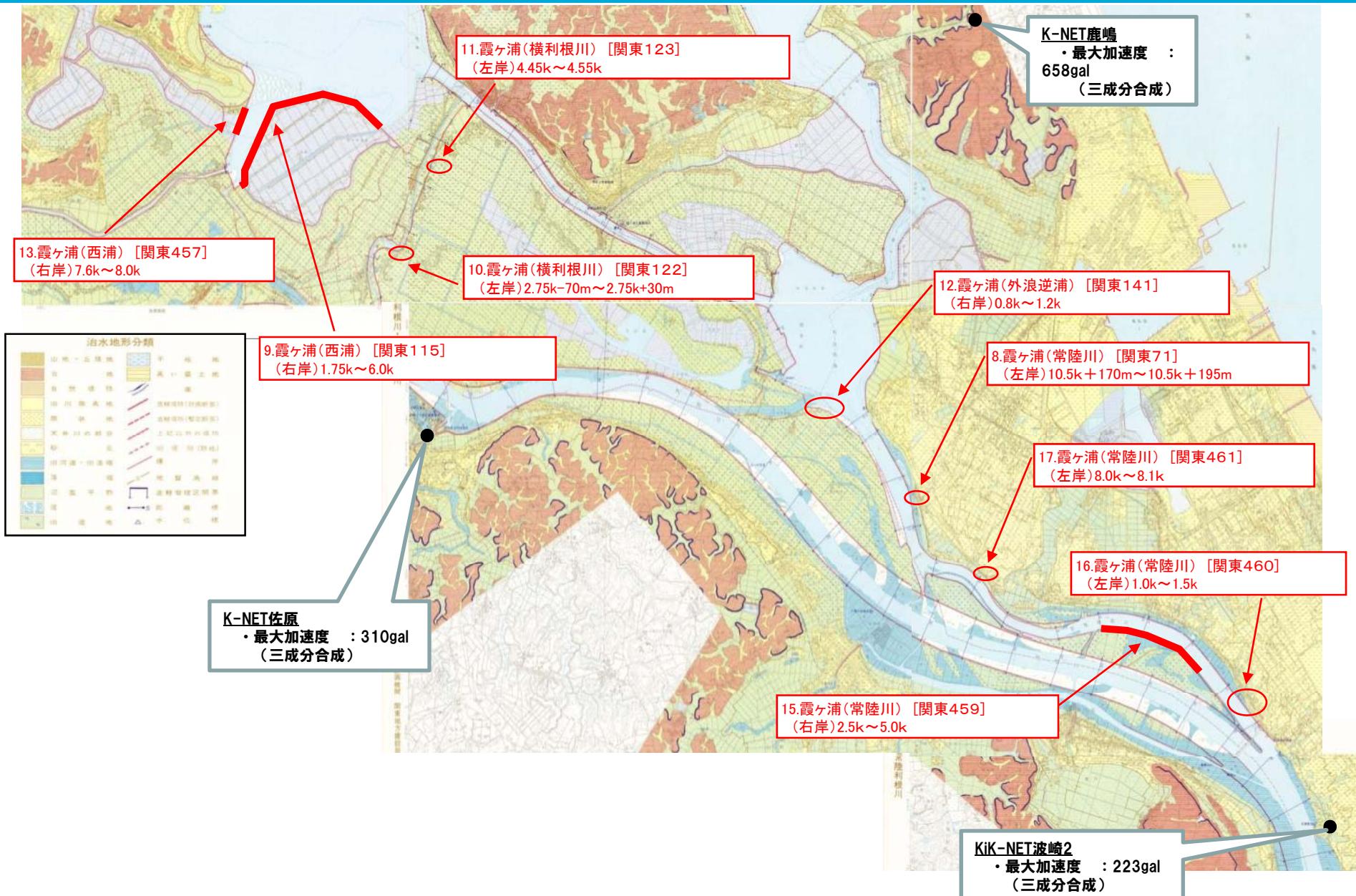
### 3-2-② 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係(治水地形分類図) ~小貝川~

参考資料



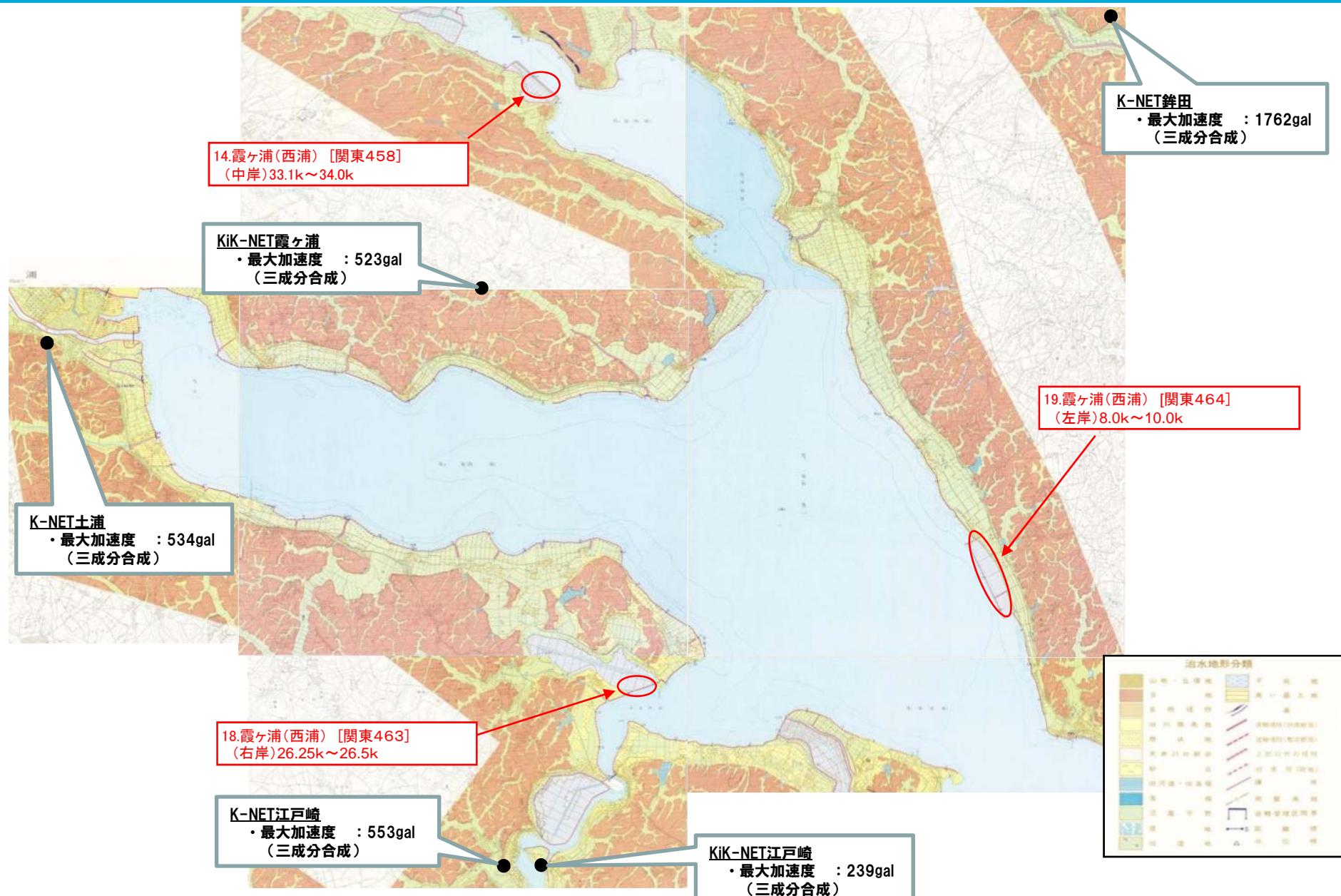
### 3-2-③ 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係(治水地形分類図)～霞ヶ浦・南東部～

參考資料



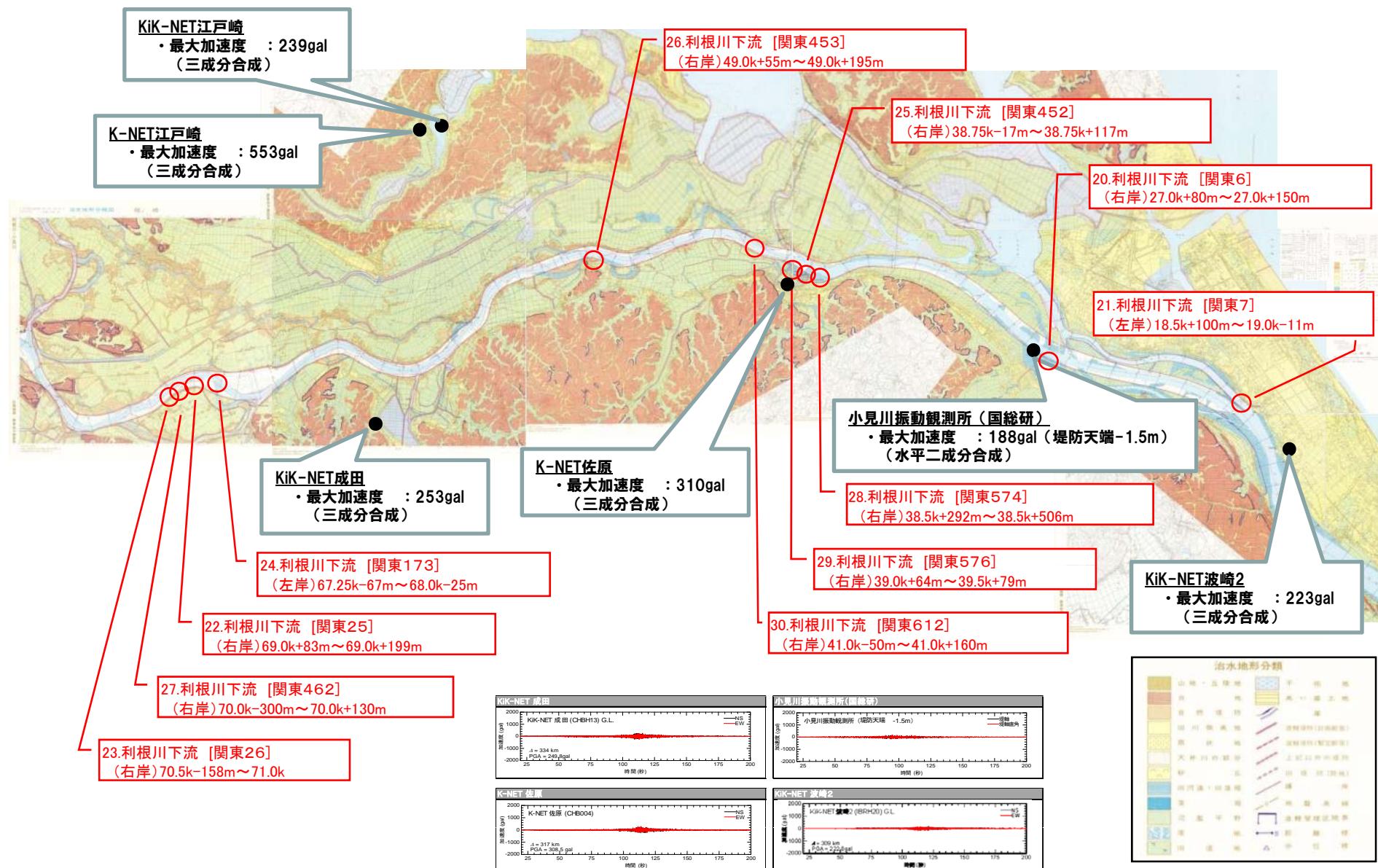
### 3-2-④ 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係(治水地形分類図) ~霞ヶ浦・北西部~

参考資料



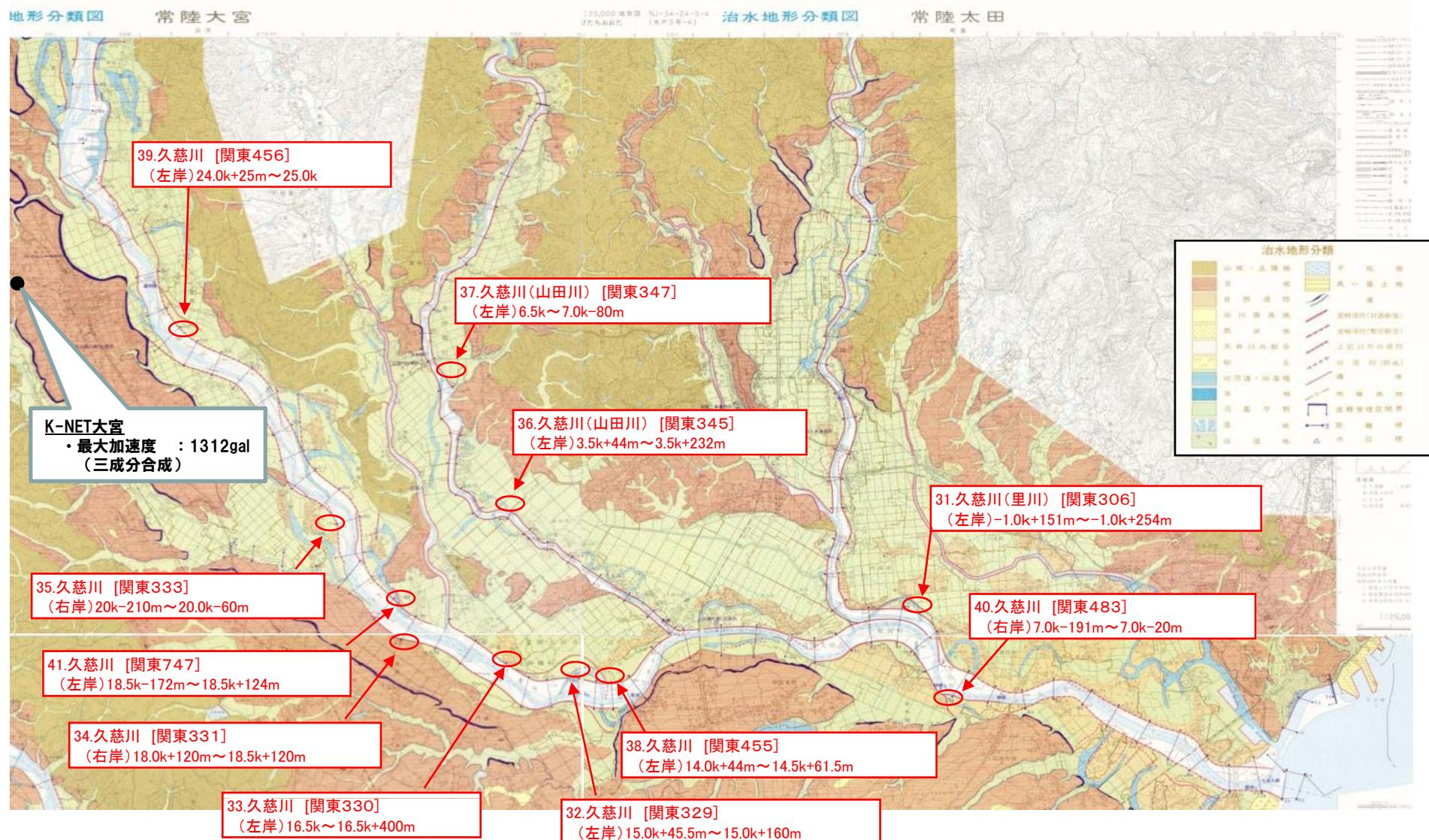
### 3-2-⑤ 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係(治水地形分類図) ~利根川下流~

參考資料



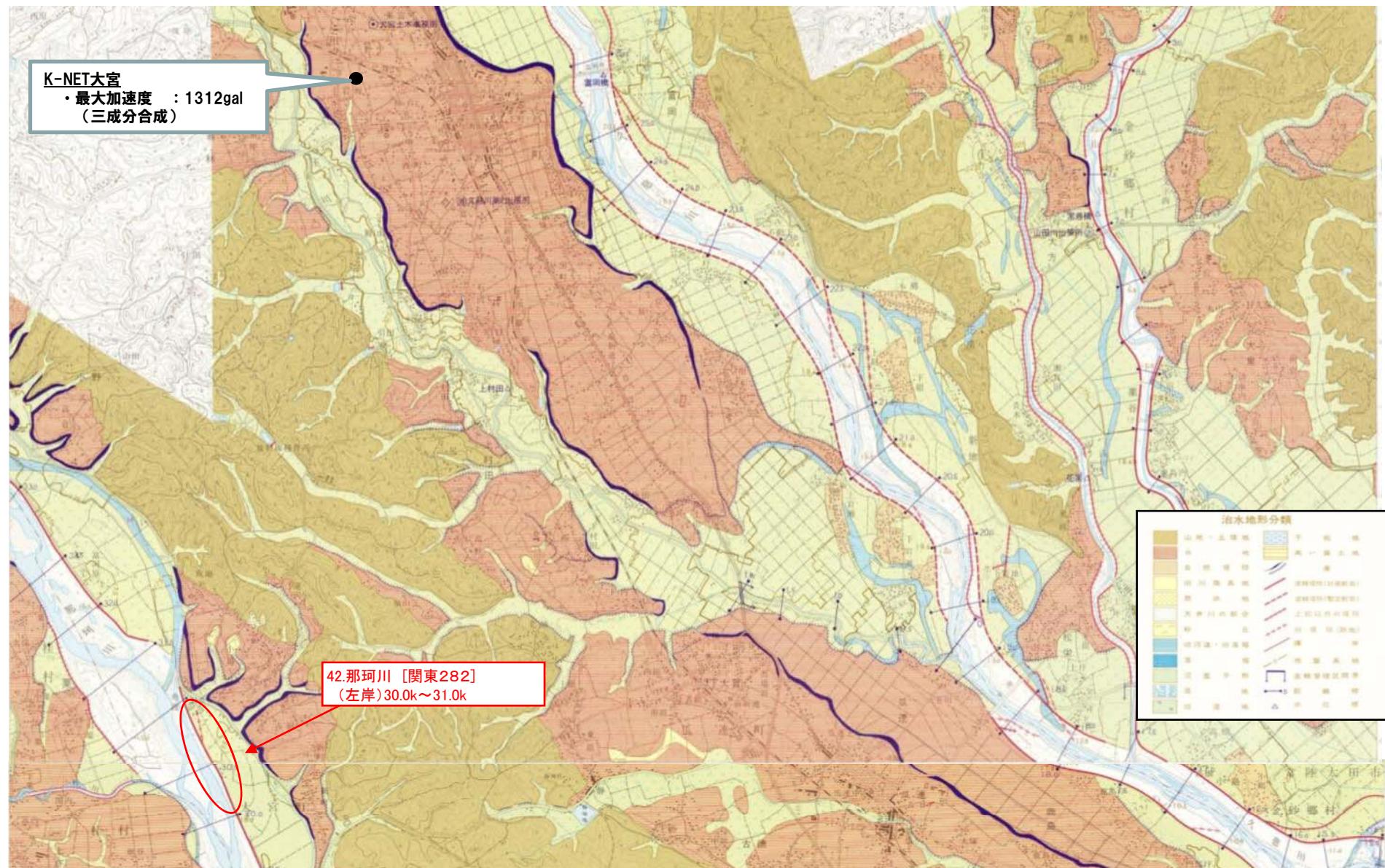
### 3-2-⑥ 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係(治水地形分類図) ~久慈川~

參考資料



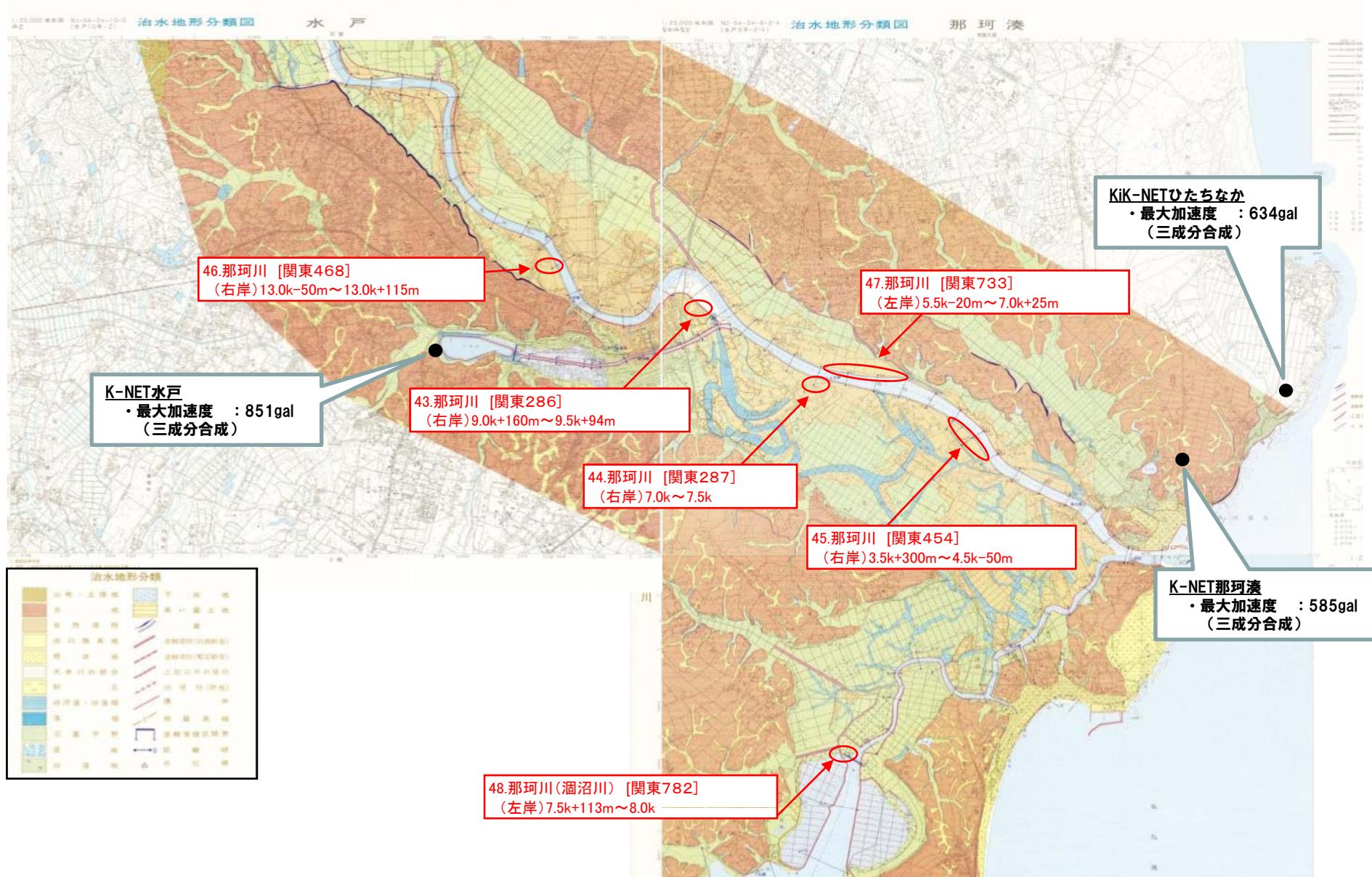
### 3-2-⑦ 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係(治水地形分類図) ~那珂川上流~

参考資料



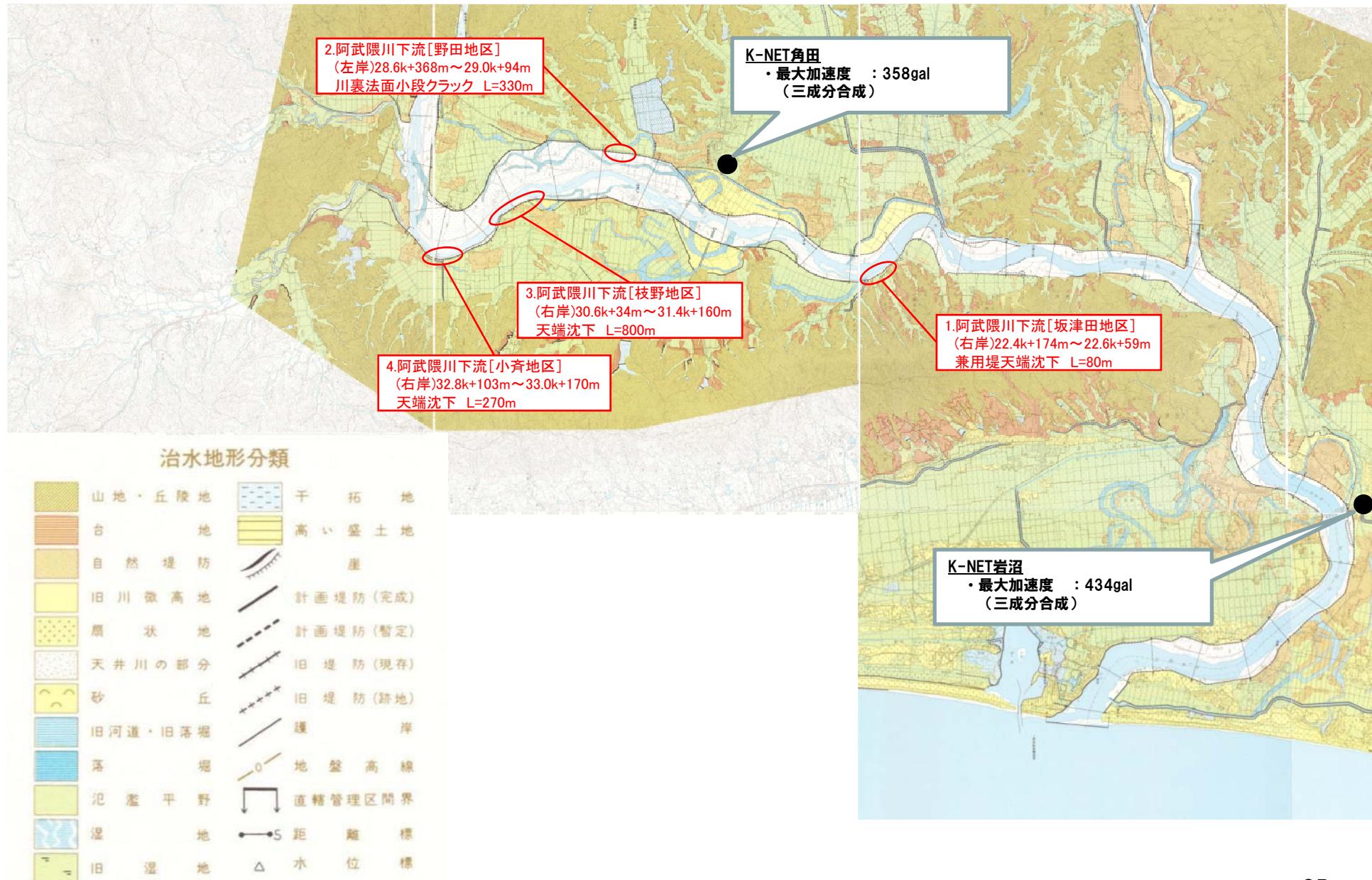
### 3-2-⑧ 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係(治水地形分類図) ~那珂川下流~

參考資料

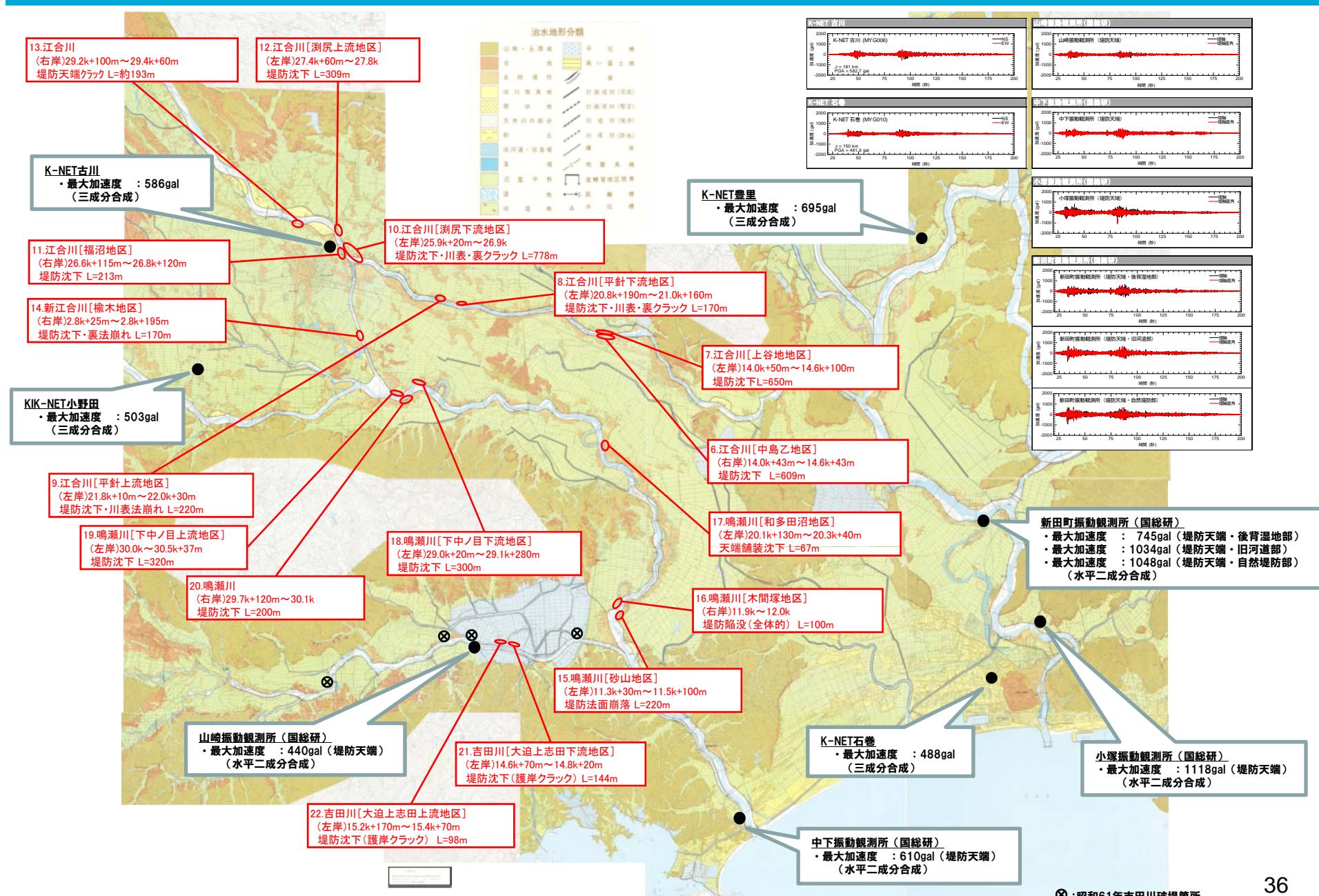


### 3-2-⑨ 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係(治水地形分類図) ~阿武隈川下流~

参考資料



### 3-2-⑩ 強振動観測と主な堤防被災箇所との関係(治水地形分類図)～鳴瀬川、吉田川、江合川、新江合川～



## 4. 国総研・振動観測所における観測値等資料の紹介

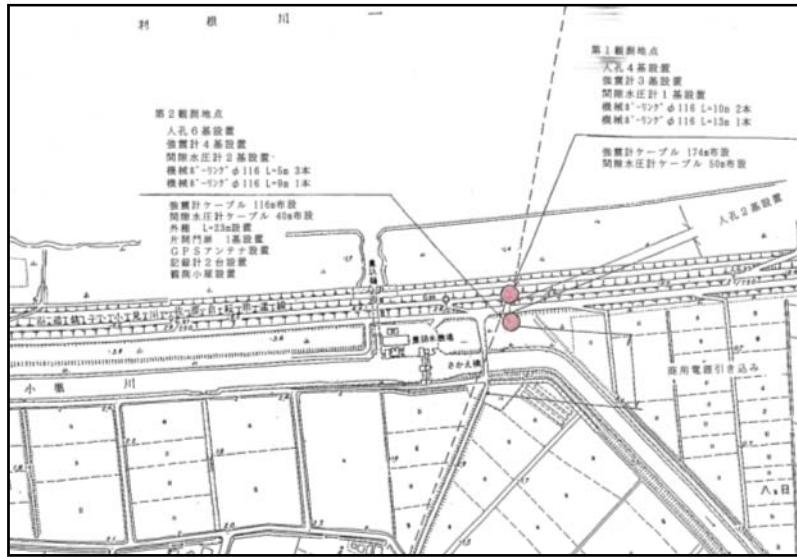
参考資料

- 4-① 小見川振動観測所（利根川下流）
- 4-② 山崎振動観測所（吉田川）
- 4-③ 中下振動観測所（鳴瀬川）
- 4-④ 新田町振動観測所（江合川）
- 4-⑤ 小塚振動観測所（江合川）

## 4-① 小見川振動観測所（利根川下流）

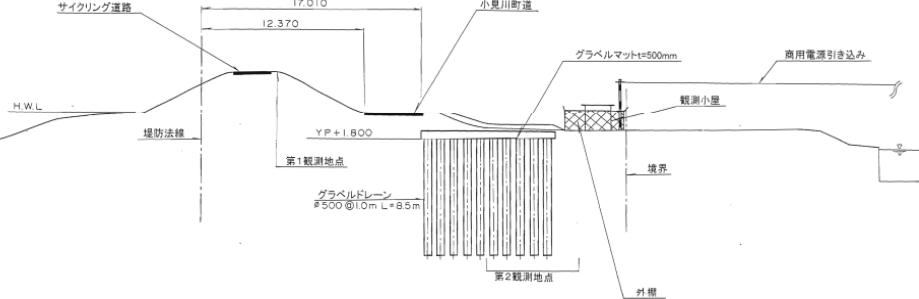
参考資料

### ○観測所位置図



### ○堤防横断面

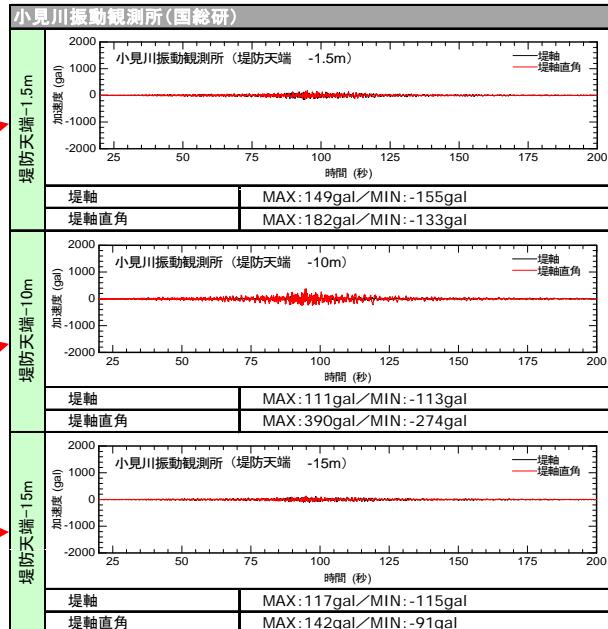
#### ・地震前



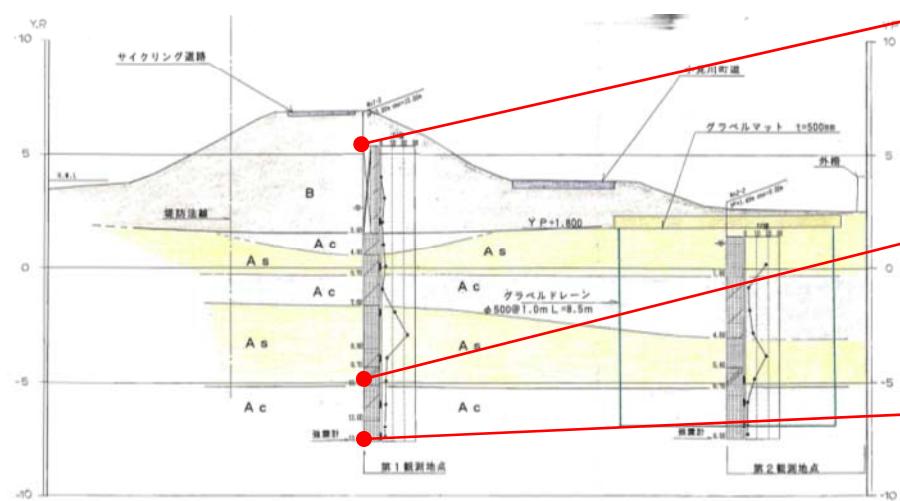
#### ・地震後

被害が軽微なため、地震後横断面図なし。

### ○加速度波形



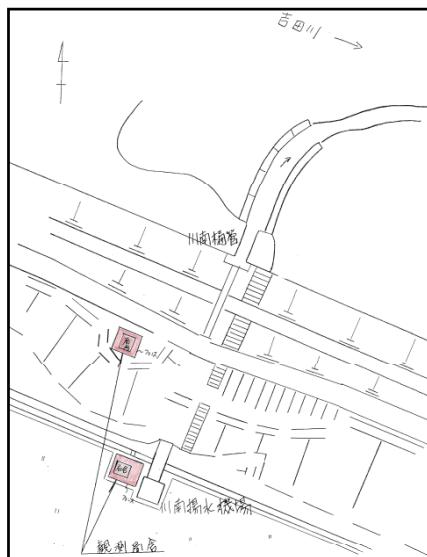
### ○土層横断図



## 4-② 山崎振動観測所（吉田川）

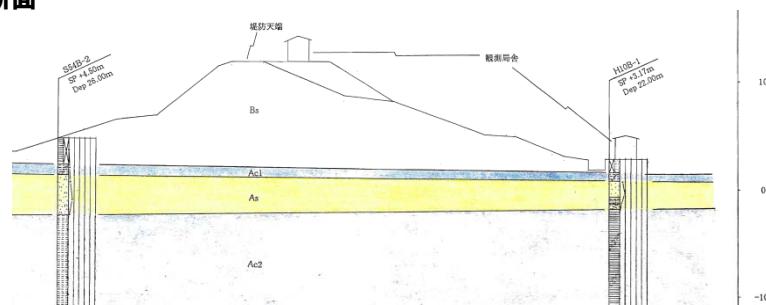
参考資料

○観測所位置図

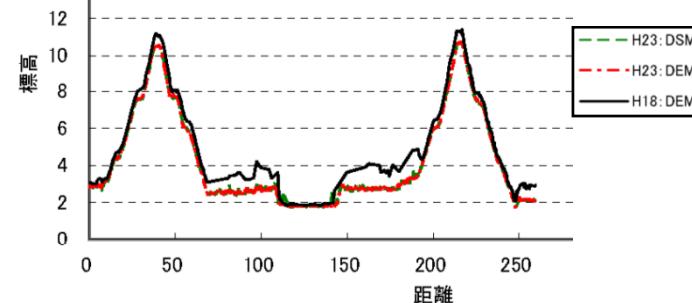


○堤防横断面

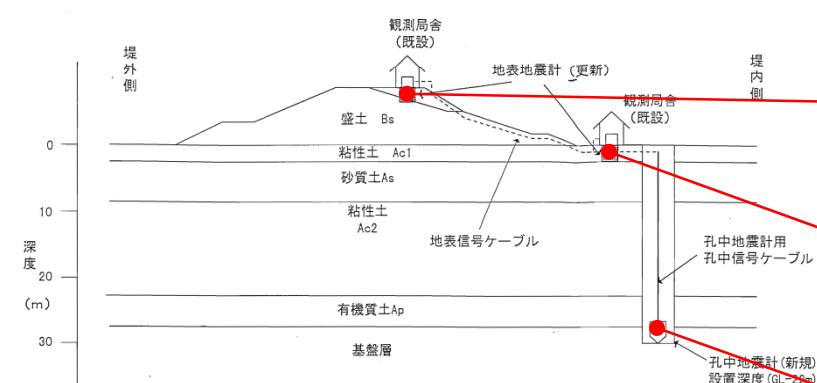
・地震前



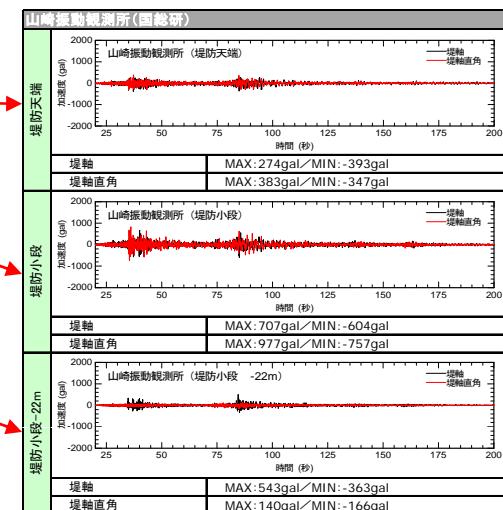
・地震後



○土層横断図



○加速度波形



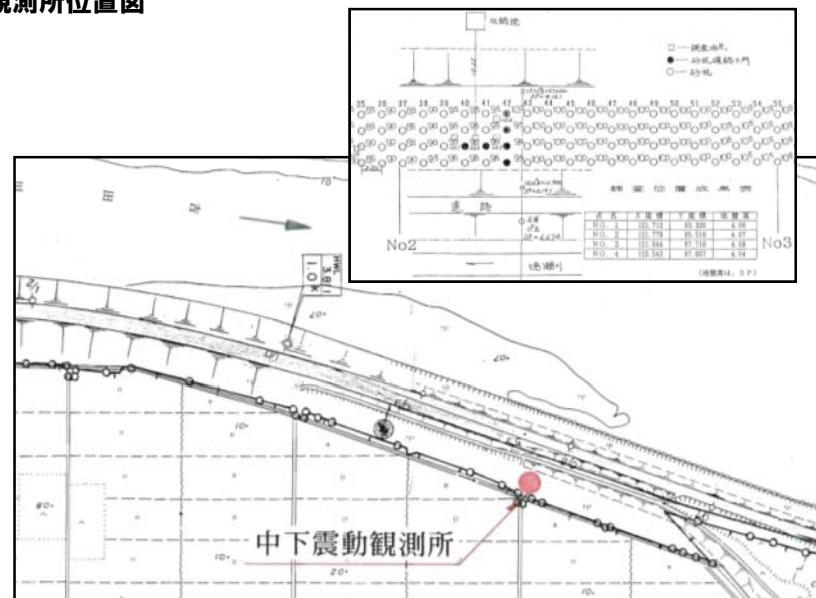
○被災後状況写真



## 4-③ 中下振動観測所（鳴瀬川）

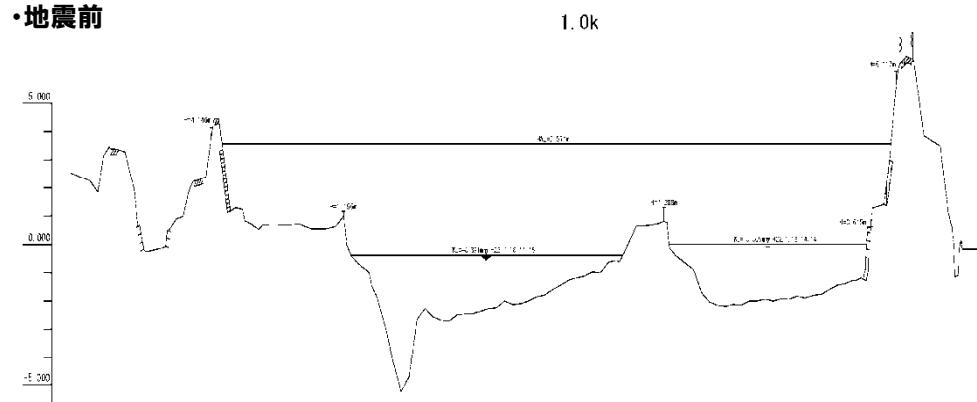
参考資料

### ○観測所位置図



### ○堤防横断面

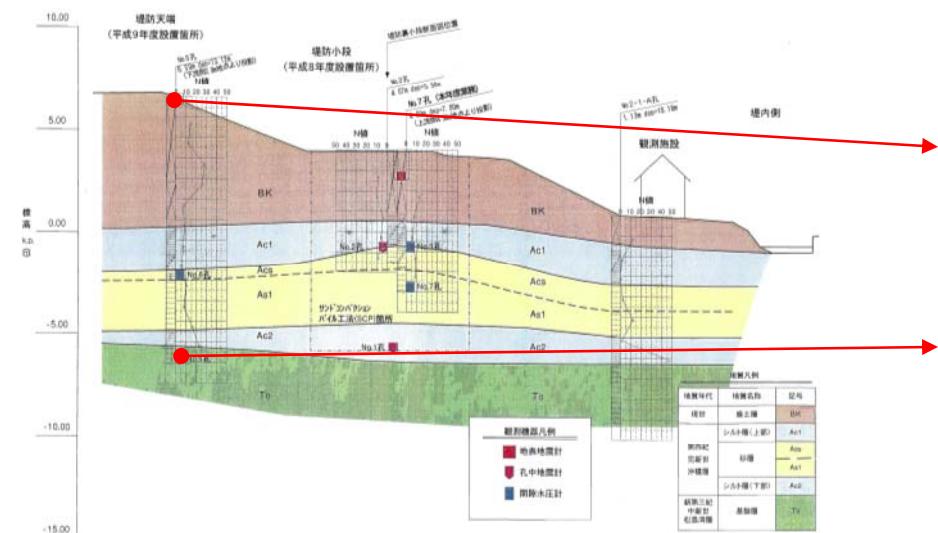
#### ・地震前



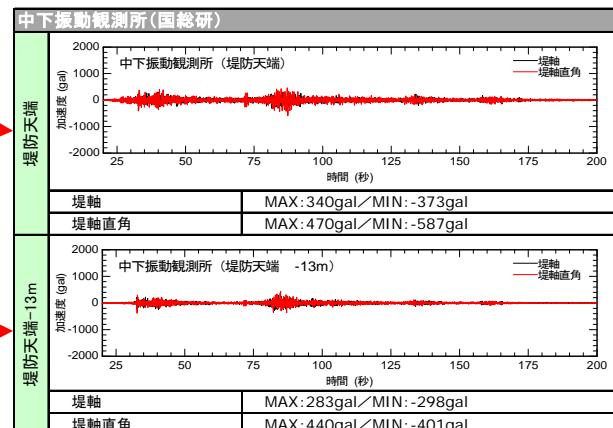
#### ・地震後

被害が軽微なため、地震後横断面図なし。

### ○土層横断図



### ○加速度波形

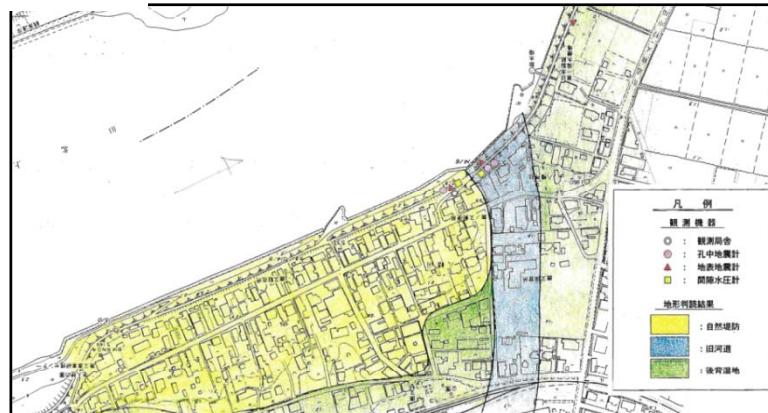


※小段位置のデータは欠け

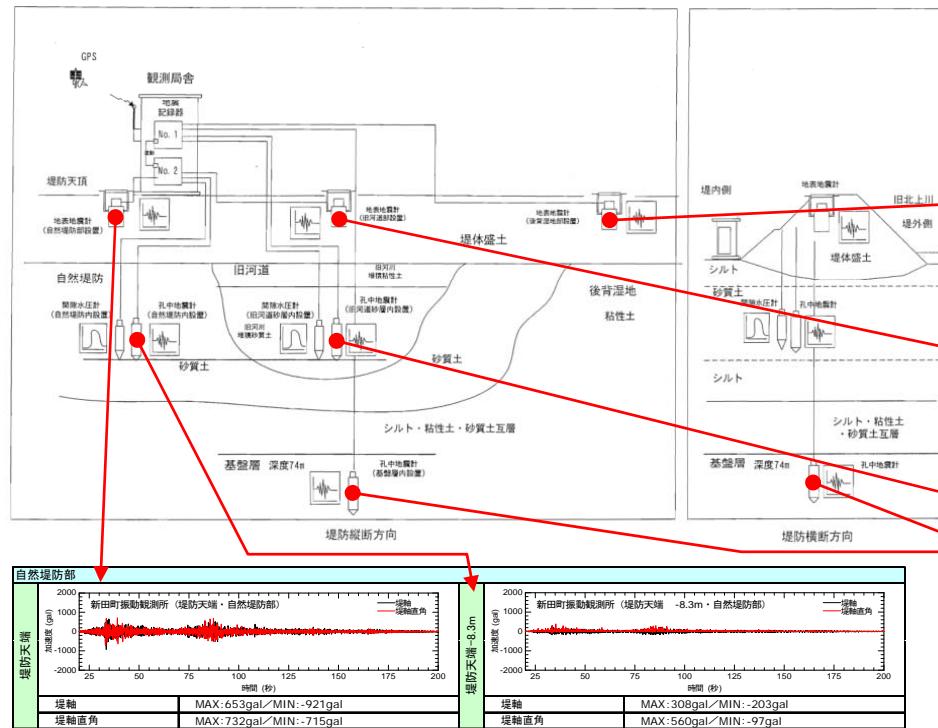
## 4-④ 新田町振動観測所（江合川）

参考資料

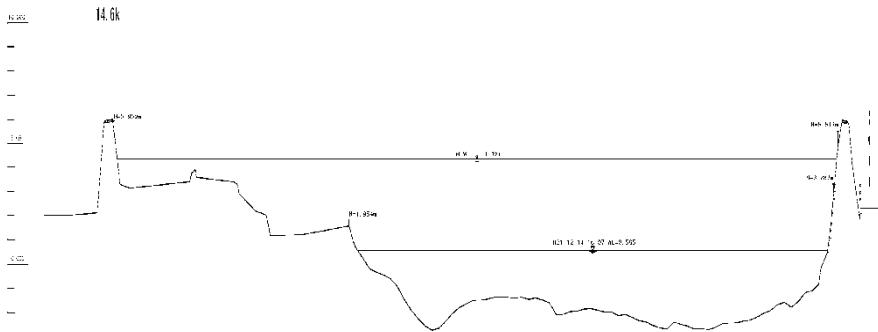
### ○観測所位置図



### ○土層横断図



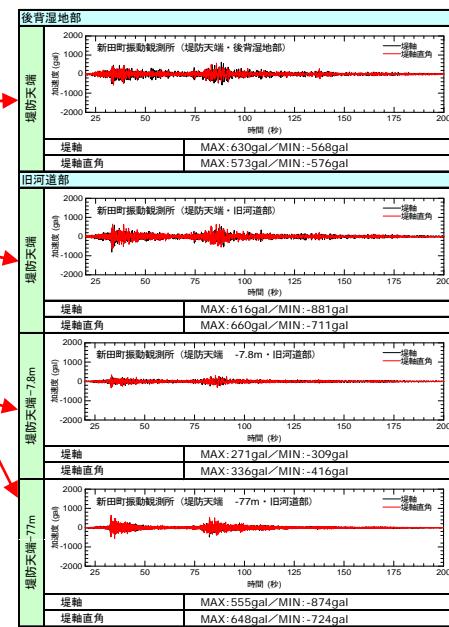
### ○堤防横断面 ・地震前



### ・地震後

被害が軽微なため、地震後横断面図なし。

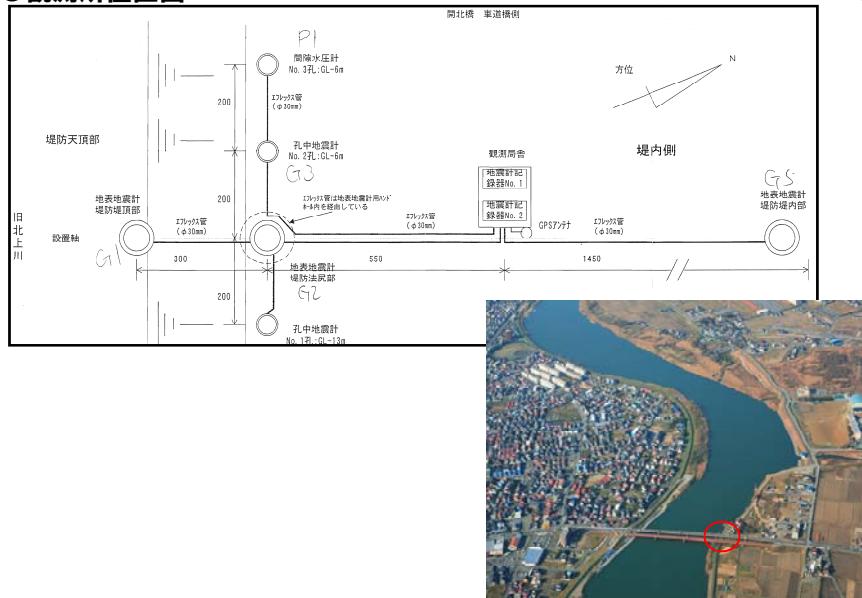
### ○加速度波形



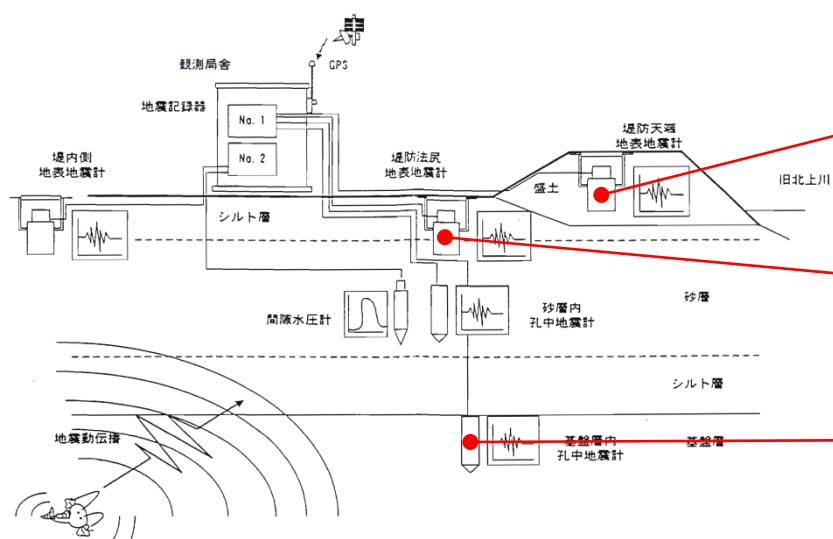
#### 4-⑤ 小塚振動観測所（江合川）

參考資料

## ○観測所位置図

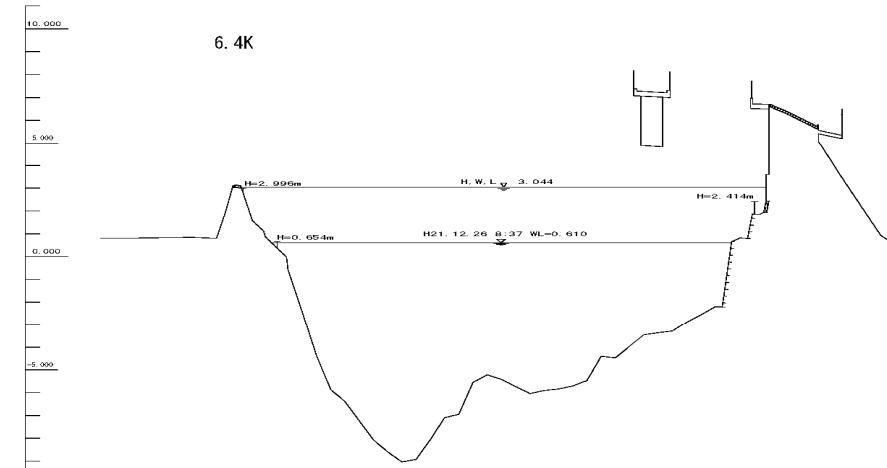


## ○土層横断図



○堤防横断面

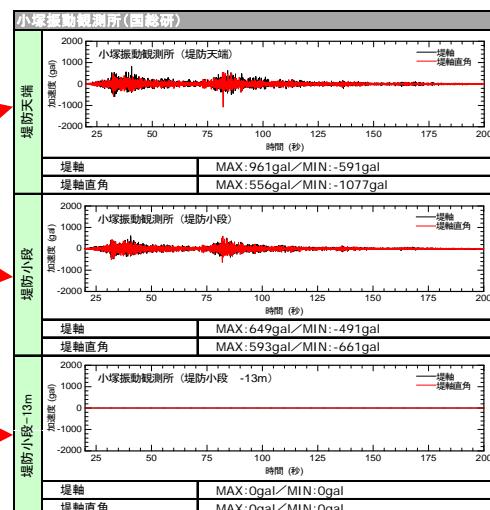
### • 地震前



•地震後

被害が軽微なため、地震後横断面図なし。

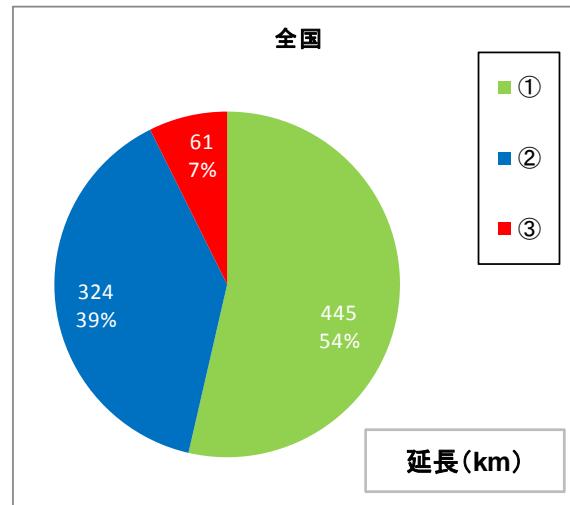
### ○加速度波形



## 5. 河口部における河川堤防のレベル2耐震点検実施状況（地方整備局別）

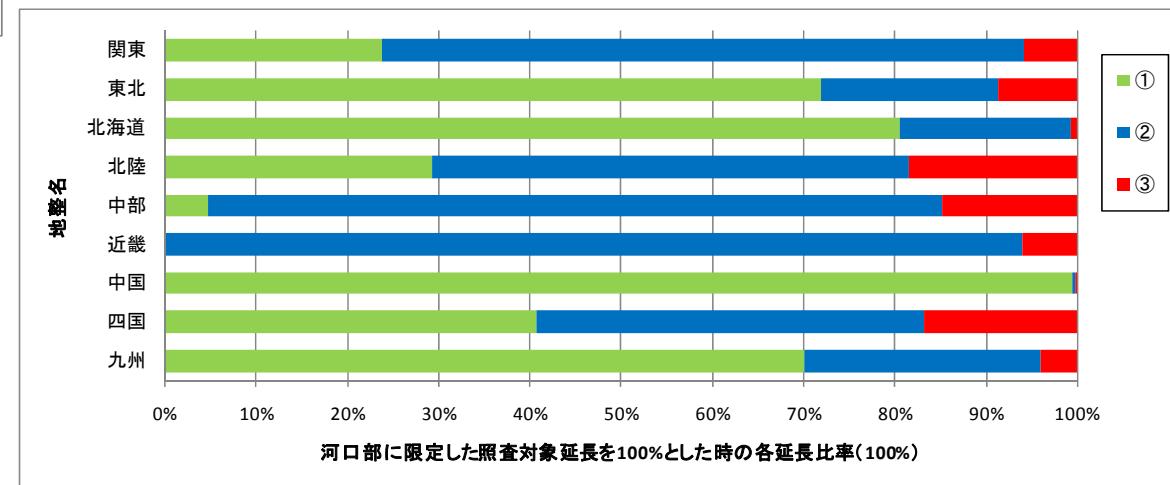
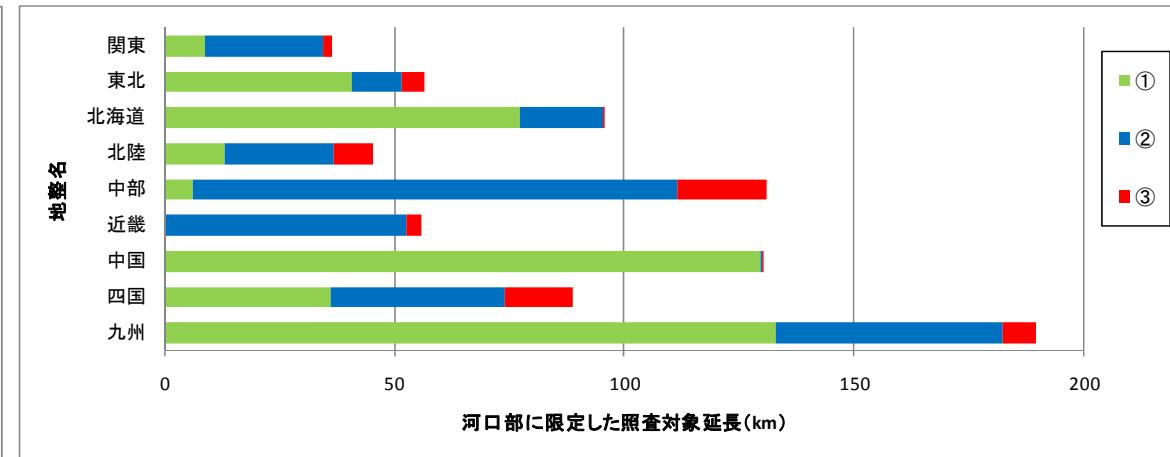
参考資料

### ○河口部の照査対象延長の場合



**凡例**

- ①: 照査未了延長
- ②: 照査済延長のうち、対策不要延長
- ③: 照査済延長のうち、要対策延長



※照査対象延長：堤内地盤高が照査外水位より低い区間。

※照査外水位：平常時の最高水位。河口部付近では朔望平均満潮水位及び波浪の影響を考慮、地震時の津波週上が予想される場合には津波高を考慮。

※平成23年5月7日時点 河川局治水課調べ。