

耐震照査及び対策の促進



東日本大震災における堤防被災の特徴

1. 河川堤防の被災が多数、広範囲に発生
(照査対象外の区間において多数の被災が発生)
緊急復旧に時間を要した

2. 大規模な被災の原因は液状化

1-1. 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

1-2. 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

1-3. 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

従来からの耐震点検、耐震対策の課題

耐震点検、耐震対策には大きな費用を要する

- ・照査 53%実施済(対象1,570kmのうち830km照査済み、照査済み830kmのうち80kmが要対策区間)
- ・対策 L1対策としては約5割程度(延長約170km)実施、L2対策は未実施

今後の検討事項

① 今回の地震動の特徴

② 現状の耐震照査及び設計の改善

- 耐震性能の照査の基本(照査において考慮する外水位の問題)
- 耐震性能の照査方法の妥当性
- 堤体の部分液状化に対する照査方法(液状化判定及び照査における地下水位設定の妥当性)

③ 効果的、効率的な耐震対策手法(工法)

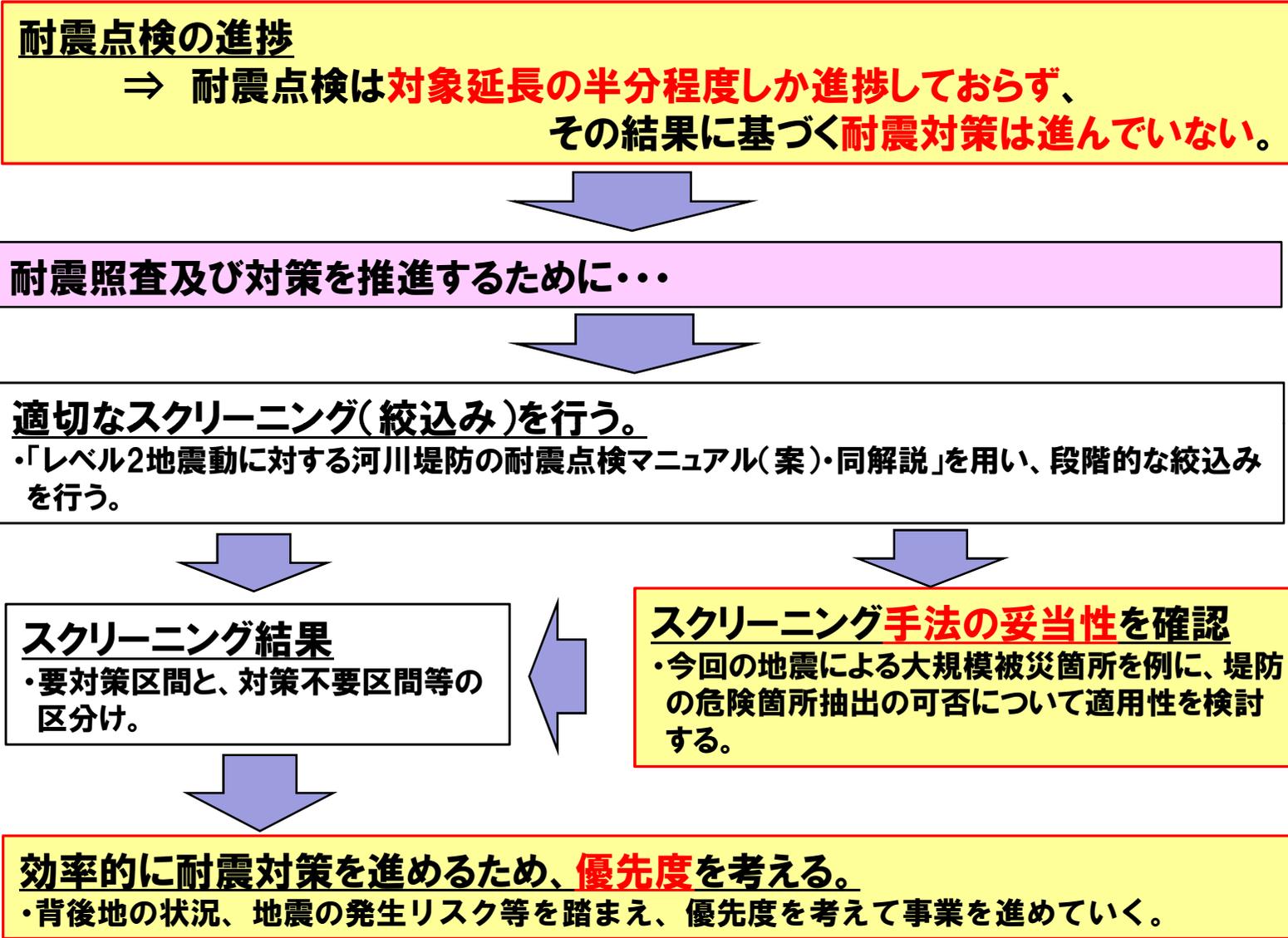
- 耐震対策実施個所における被災状況
- 堤防強化工法と耐震対策工法との関係

④ 耐震照査及び対策の促進

⑤ 緊急復旧堤防の安全性

 : 本資料で説明している箇所

耐震照査及び対策の促進について（今回の堤防被災の特徴から）



□ : 本資料の目的

□ : 本資料で説明している部分

耐震照査及び対策の促進について（今回の堤防被災の特徴から）

1. 耐震点検の進捗について

2. 「レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル(案)・同解説」における耐震照査の効率的推進方法(スクリーニング)

- ・耐震照査を行うべき箇所を段階的に絞り込む(スクリーニング)ことで、効率的かつ効果的な耐震照査の促進に繋がる。
- ・段階的な絞り込み(スクリーニング)は、「レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル(案)・同解説 平成22年11月 河川局治水課」に準じて実施。

3. 効率的な耐震対策を進めるための優先度の考え方

4. 耐震照査及び対策の促進について(まとめ)

河川堤防の耐震点検実施状況

- 兵庫県南部地震を契機にレベル1地震動相当に対する安全性照査が実施された。
- その後、「土木構造物の耐震設計ガイドライン」(2001 土木学会)、「土木・建築にかかる設計の基本」(2002 国土交通省)を受け、「レベル2地震動」に対する指針が「河川堤防設計指針(最終改正)」(2007.3)、「河川構造物の耐震性能照査指針(案)・同解説(Ⅱ堤防編)」(2007.3)に示され、以降、**レベル2地震動に対する点検・照査が進められている。**

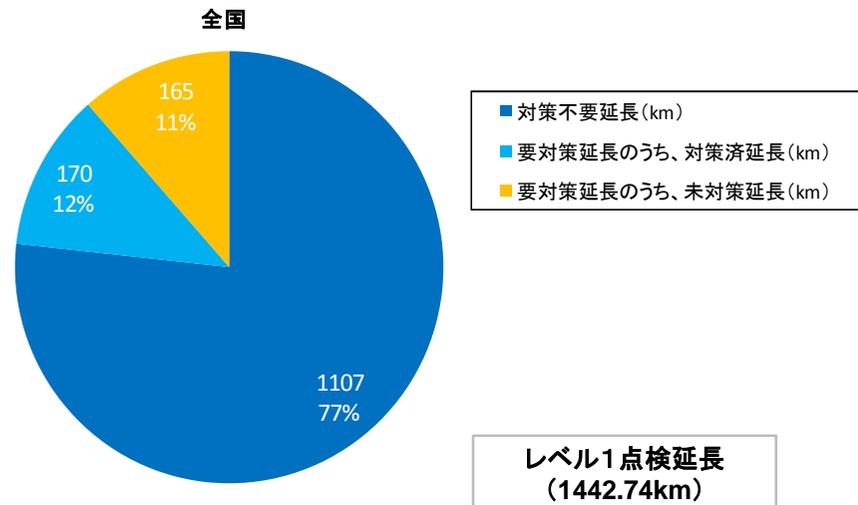
➤レベル1耐震点検実施状況

- ・要対策延長の内、対策済延長は50.7%。
- ・優先区間は113.7kmあり、その内、対策済延長は92.4km(81.3%)。

➤レベル2耐震点検実施状況

- ・照査対象延長の内、**照査完了は53%。**
- ・レベル2耐震点検の点検完了区間は対象区間の半分程度に留まっている。**対策は未実施。**

○レベル1耐震対策状況(レベル1点検延長の内訳)

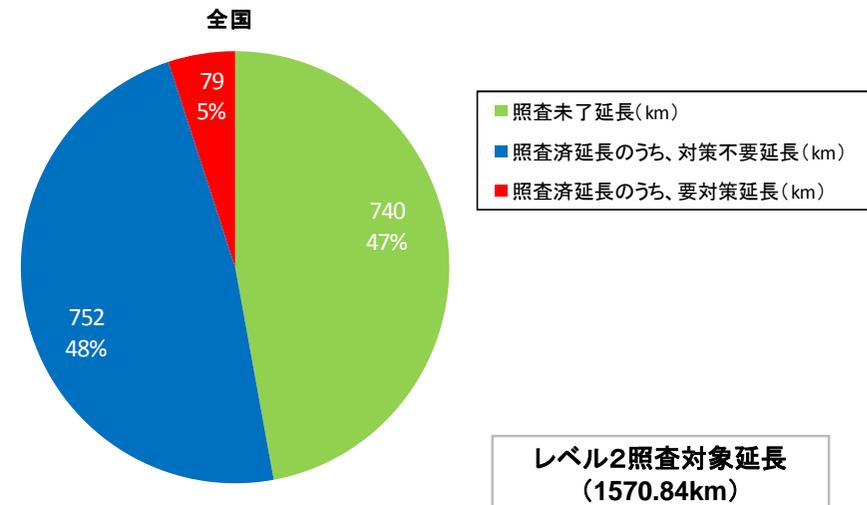


※レベル1耐震点検における優先区間

- ・沈下後堤防高が期望平均満潮位+1.0m以下の区間
- ・背後地の重要度
- ・背後地の氾濫形態

等によって設定

○レベル2耐震点検状況(レベル2照査対象延長の内訳)



※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。河口部付近では期望平均満潮水位及び波浪の影響を考慮、地震時の津波遡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。

耐震性能照査におけるスクリーニング手法の妥当性の確認

レベル2耐震点検マニュアルの位置付けおよび概要

1) 位置付け

盛土による堤防のレベル2地震動に対する耐震点検に適用。
 延長の長い線状構造物である堤防について、既存データを有効に活用しつつ、**的確かつ効率的に耐震点検を進めるための標準的な手順を示したもの。**

2) 耐震点検の概要(手順)

一連の堤防の中から地震に対する危険箇所を的確に抽出し、さらにその中から代表となる断面を適切に選定することが重要である。

ゆえに、本マニュアルは、概略の情報に基づいて除々に危険箇所を絞り込み、作業段階が進むにつれてより詳細なデータを用いていくことで、**効率的に点検を行うことができるよう、一次～三次点検に分けて実施することを標準としている。**

1次点検: 既往の地震による堤防天端の最大沈下量が許容沈下量を上回らないことを照査する。

2次点検: ①地形条件及び基礎地盤の条件による判定、②土層構成による判定、③簡易式による判定にて耐震性能が満足することを照査する。

3次点検: 静的照査法により、堤防天端の沈下量が許容沈下量を上回らないことを照査する。

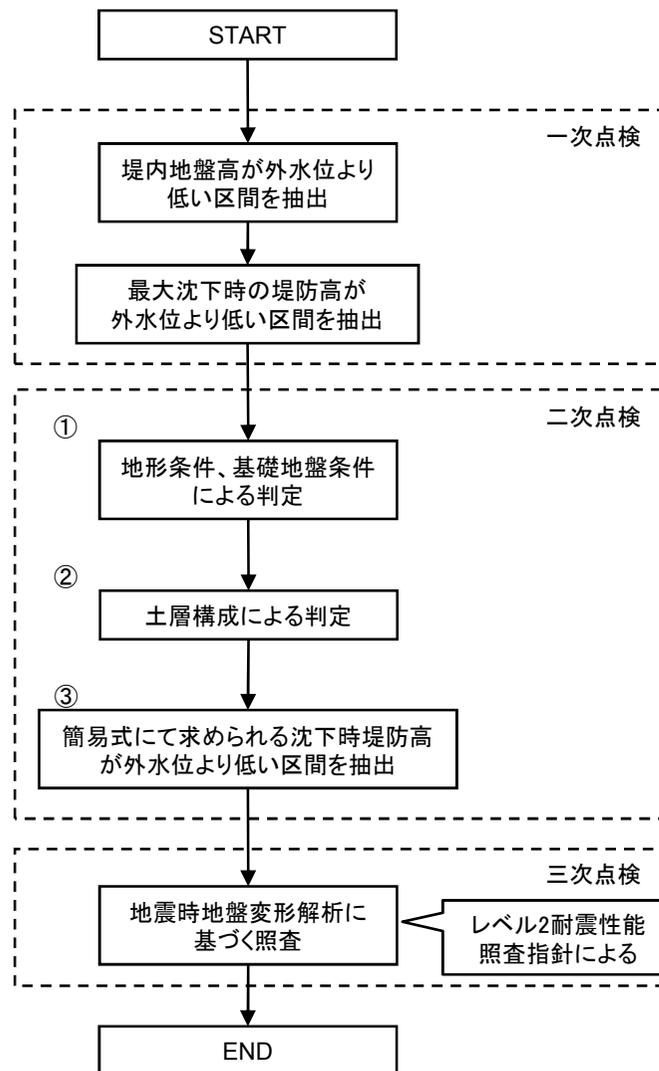
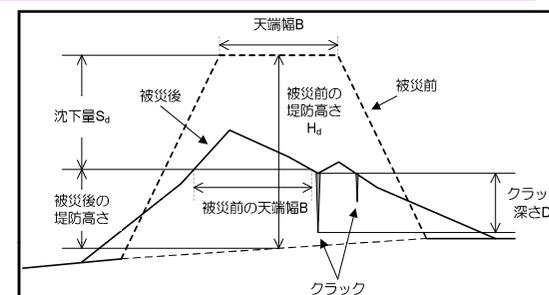
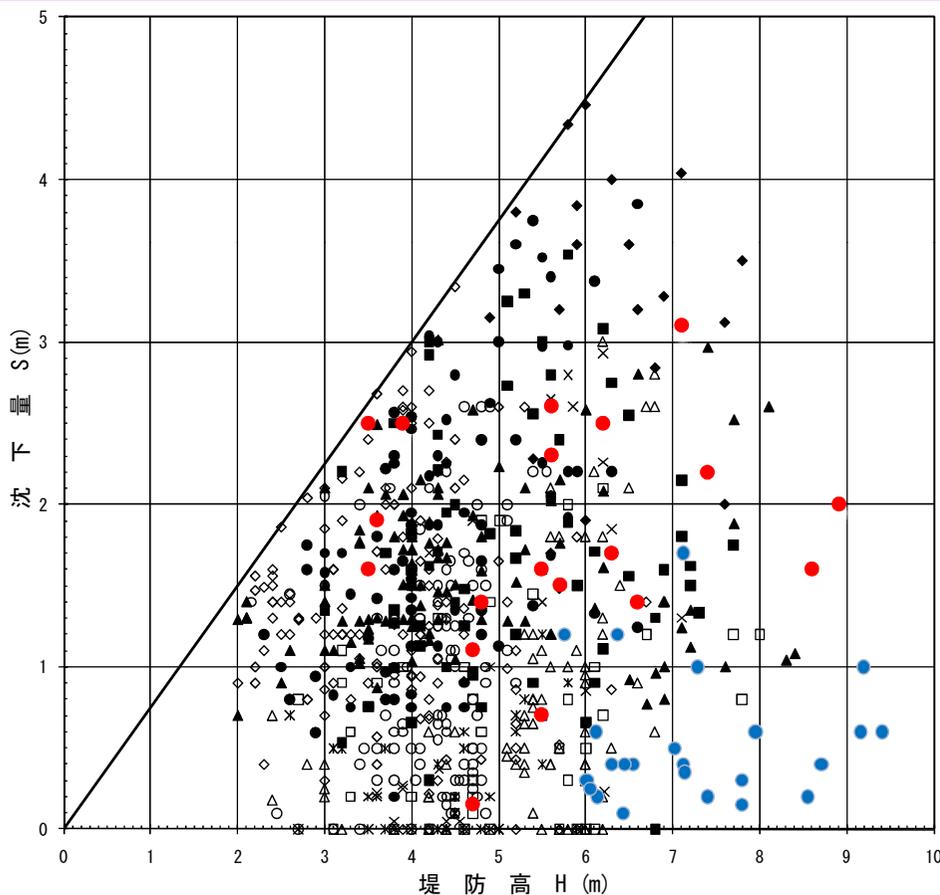


図1 堤防のレベル2耐震点検マニュアル 点検フロー

一次点検における最大沈下量 (Smax) の妥当性検証

- 本地震で被災した、関東地方整備局管内と東北地方整備局管内の緊急災申請箇所の堤防を対象として、最大沈下量Smaxの検証を行った。
- 「レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル(案)・同解説」の一次点検では、(堤防天端高-Smax)>照査外水位だと対策不要区間として判別される。
- 検証の結果、既往の地震による堤防の最大沈下量と同様、本地震の緊急災申請箇所の沈下量は堤防高の75%を上回っていないことが明らかとなった。
- 従って、一次点検における最大沈下量の設定を、堤防高の75%とすることの妥当性が確認できた。



- ◆ 濃尾地震（長良川、揖斐川等）
- 関東大地震（江戸川、富士川等）
- 福井地震（九頭竜川、大聖寺川等）
- ▲ 十勝沖地震（新釧路川、十勝川等）
- ◇ 新潟地震（阿賀野川、信濃川等）
- 宮城県沖地震（北上川、名取川等）
- × 日本海中部地震（岩木川、米代川等）
- △ 釧路沖地震（釧路川）
- 北海道南西沖地震（後志利別川）
- × 兵庫県南部地震（淀川）

● 東北地方整備局 緊急災申請箇所
 (地震による堤防被災 19箇所)
 平成23年4月12日時点の速報値

● 関東地方整備局 緊急災申請箇所
 (地震による堤防被災 31箇所)
 平成23年5月18日時点整理の値

二次点検の妥当性検証

検証対象断面

・二次点検の妥当性検証として、緊急復旧等を実施した大規模な被災箇所(43箇所)を用いて、二次点検(①～③)の妥当性検証を行った。

※なお、対象被災箇所は最大沈下量 S_{max} による判定(一次点検)で全て対策不要区間と判定されているが、検証材料として用いるため、全て二次点検の対象となったと仮定する。

検証結果

①地盤条件、基礎地盤条件による判定

43箇所中43箇所^①で液状化する(要対策箇所)と判定されており、漏れなく危険箇所が抽出されている。

②土層構成による判定

43箇所中41箇所^②で液状化する(要対策箇所)と判定されており、危険箇所から2箇所漏れているが、これら2箇所は堤体直下、基礎地盤の非液状化層の層厚が5m以上であり、堤体の部分液状化が疑われる。

	沈下可能性ありと判定された箇所	
	①地盤条件、基礎地盤条件による判定	②土層構成による判定
関東地整	100% (25/25)	100% (25/25)
東北地整	100% (18/18)	89% (16/18)

※緊急復旧工事実施箇所等78箇所中、以下のデータは除いて集計している。

- ・津波被災箇所(北上川、阿武隈川(4箇所))
- ・水門被災箇所(北上川、利根川上流(4箇所))
- ・土質調査結果のないもの(27箇所)

沈下可能性なしとなった2箇所は、液状化層の上方に位置する非液状化層の層厚が5m以上であったためこのような判定結果となった。これらは、堤体の部分液状化が疑われる。
(該当箇所:阿武隈川下流右岸31k付近(枝野)、33k付近(小斉))

二次点検の妥当性検証

検証結果

③簡易式による判定

41箇所のうち沈下量が明らかな12箇所を判定したところ、全ての堤体で沈下量をほぼ適切に判断できた（安全側に予測）。

③簡易式による沈下量判定

$$S = 1.41 \cdot H \cdot H_L^{1.56} \cdot 10^{-7.54 \cdot RL} + 0.0655 H_L^{0.930}$$

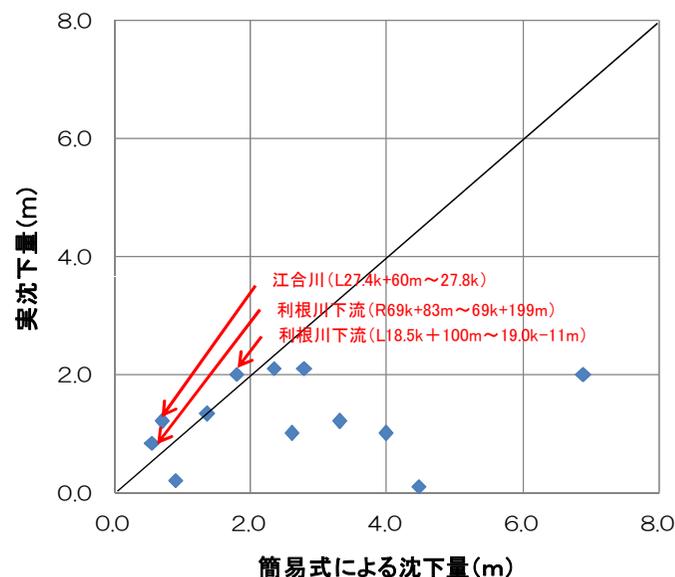
S:堤防の沈下量

H:堤防高

HL:表層の液状化層厚

RL:表層の液状化層の繰り返し三軸強度比

簡易式による沈下量と実沈下量の比較



考察

- ①～③による二次点検は、堤防の部分液状化以外は液状化危険箇所を適切に抽出できていると考えられ、耐震照査の効率的推進に有効な絞り込みになると考えられる。
- なお、堤体の部分液状化については、“③簡易式による判定”では考慮することが明記されているものの、“②土質構成による判定”では明記されていない。実作業レベルで利用出来るよう、マニュアルの修正を行う必要があると考える。

耐震対策を効率的に進めるにあたり、優先度を考える必要がある。

耐震対策の必要性、優先度を判断するための指標案

1) 耐震性能

- ① 耐震性能の不足度合いの大きさ（3-1. 参照）
…照査外水位と地震による沈下後堤防高の差の大きさ
- ② 堤内地盤の低さ（3-1. 参照）
…照査外水位と堤内地盤高の差の大きさ
- ③ 過去の地震による被災経験（3-2. 参照）
（耐震対策が実施されていない場合に限る）

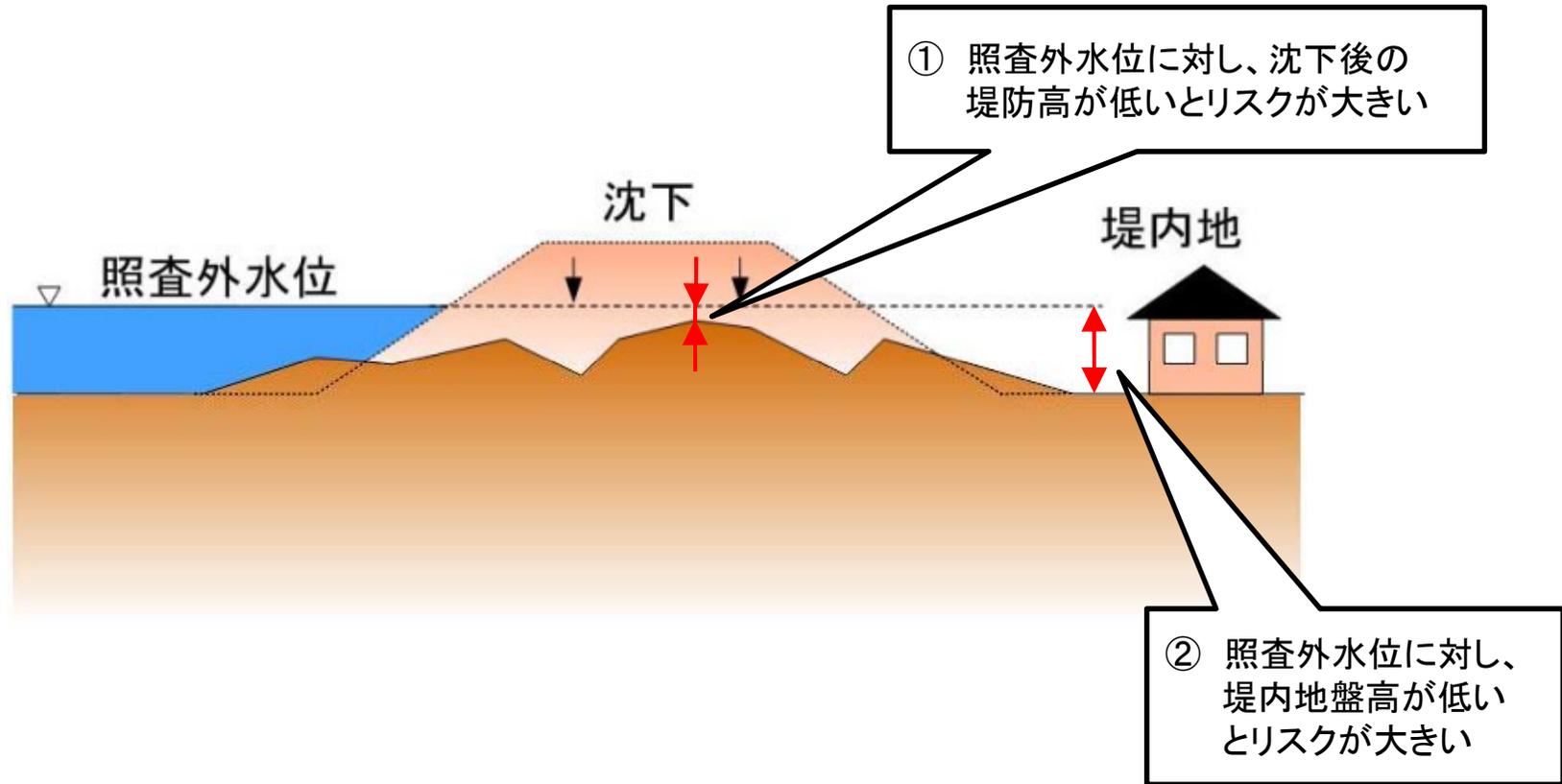
2) 自然条件

- ① 大規模地震の発生確率（3-3. 参照）
- ② 地震発生後の津波遡上（津波高の大きさ、津波到達時間）

3) 社会的条件

- ① 背後地の人口、資産等の集積度
…都市圏等、背後地に人口が集中する地域や、資産、文化遺産が集中する箇所

照査外水位と、地震による沈下後堤防高および堤内地盤高の関係



3-2. 耐震性能（過去の地震による被災経験—信濃川の被災反復箇所）

・S39新潟地震で被災した区間において原型復旧箇所は、その後の地震で再度災害を生じている。



出典)「信濃川堤防詳細調査及び地質関係資料とりまとめ業務委託報告書」平成22年3月 財団法人国土技術研究センター
 「管内液状化調査等業務委託報告書」平成20年3月 応用地質株式会社
 「平成19年新潟県中越沖地震における地震発生から緊急復旧まで」平成19年8月 北陸地方整備局 信濃川河川事務所
 背景図:「治水地形分類図」昭和51年発行 国土地理院 より

3-2. 耐震性能（過去の地震による被災経験—利根川の被災反復箇所）

資料—3

・大正12年関東大震災の被害箇所では、今回の地震によって再度災害を生じている箇所が多数ある。

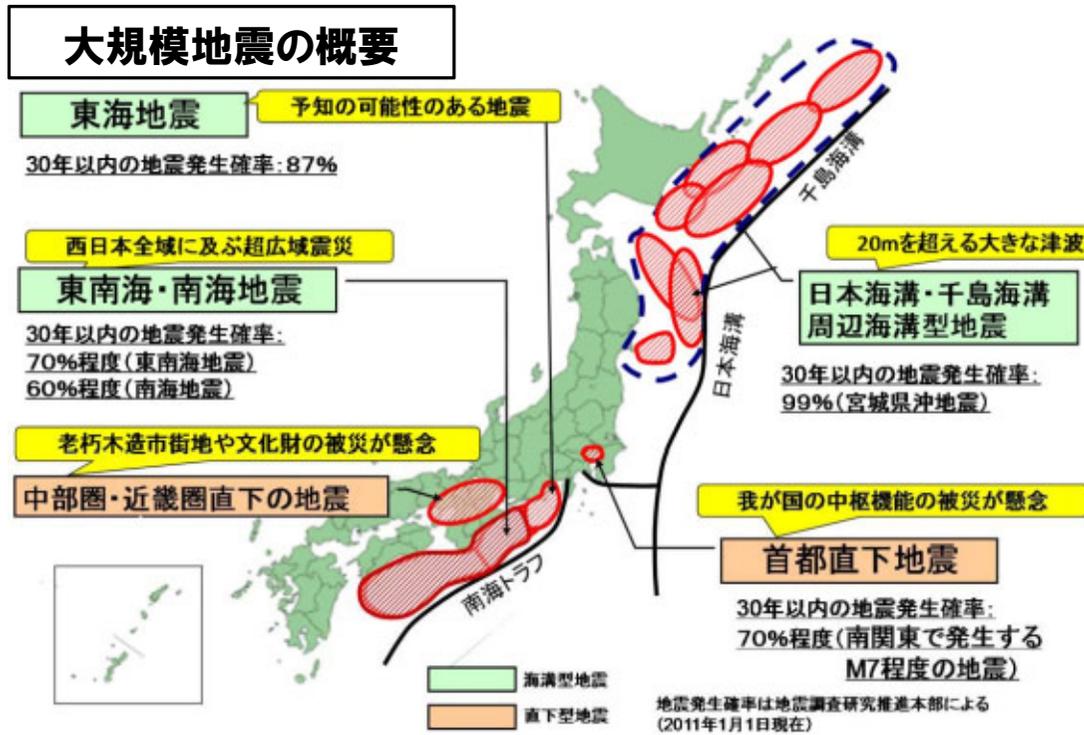


今回の地震による被災箇所
大規模被災：●
中規模被災：●

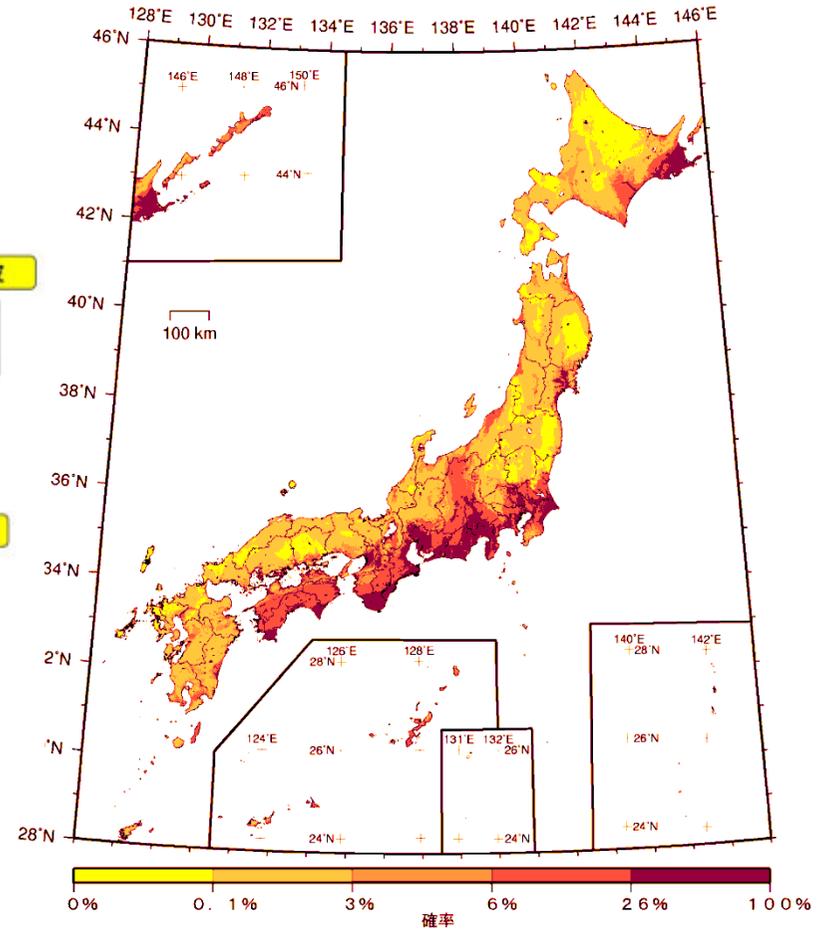
大正12年関東大震災
被災箇所：○

出典)「利根川第1期改修部内震害箇所平面図」、「利根川第2期改修部内震害箇所平面図」より、関東大震災被災箇所を上図に明示
元出典)「大正十二年関東大地震震害調査報告」第一巻 河川・灌漑・砂防・運河・港湾之部 電気関係土木工事之部
土木学会編、大正15年

将来の地震発生確率の高い箇所



出典)内閣府中央防災会議(第27回資料、2011.4.27) より引用



出典)地震動調査研究推進本部 HP より引用

耐震点検の進捗

- 河川堤防の**レベル2耐震点検**の実施状況は、**点検対象区間の約半分程度の進捗に留まっており**、点検の結果**要対策区間**となった区間は**未対策**である。
- 地震により堤防が沈下することに伴い、**浸水被害（二次被害）が発生するおそれが高いことから**、全国の河川の河口部等の区間の河川堤防において、**耐震性能照査を早急**に実施する必要がある。

スクリーニング（絞込み）の妥当性

- 「**レベル2地震動に対する河川堤防の耐震点検マニュアル（案）**」（平成22年11月 治水課）による耐震点検必要箇所の抽出手法を、今回地震における大規模被災箇所に適用すると、**液状化危険箇所を見落としなく抽出していることから**、**耐震照査の効率的推進に有効**であると考えられる。
- ただし、**堤体の部分液状化箇所**は危険箇所として抽出できなかったことから、これに関しては**改善を行う必要がある**。

優先度を考えた効率的耐震対策の実施

- また、点検によって**要対策箇所となった区間**については、耐震対策の進捗が芳しくないことを踏まえ、**優先度**を考え、耐震対策を**計画的、効率的に進めていく必要がある**。

一次点検

①一次点検の対象

地震後に二次災害が生じるおそれのある区間: 堤内地盤高が照査外水位より低い区間。

②一次点検における耐震性能の照査

既往の地震による堤防天端の最大沈下量が許容沈下量を上回らないことを照査することにより、耐震性能を満足するとみなす。

【最大沈下量の算定】

最大沈下量 $S_{max} = 0.75H$

ここに、 H : 堤防高さ(m)

※既往の地震においては右図のように堤防高さの75%以上の沈下が生じた事例がない。ゆえに、最大沈下量を上式により簡便に算定する。

堤防高さは下図に基づき定義する。

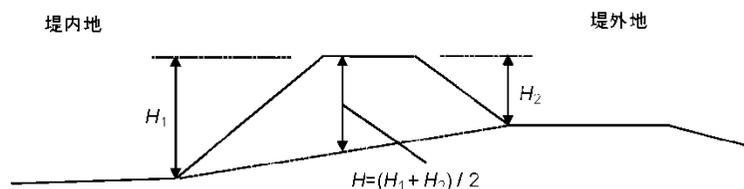


図-解 1.2.1 本マニュアル(案)における堤防高さの定義

【許容沈下量の算定】

堤防天端高と照査外水位の差として設定。

③二次点検の対象

一次点検の結果、耐震性能を満足しない可能性がある区間の堤防を二次点検の対象とする。

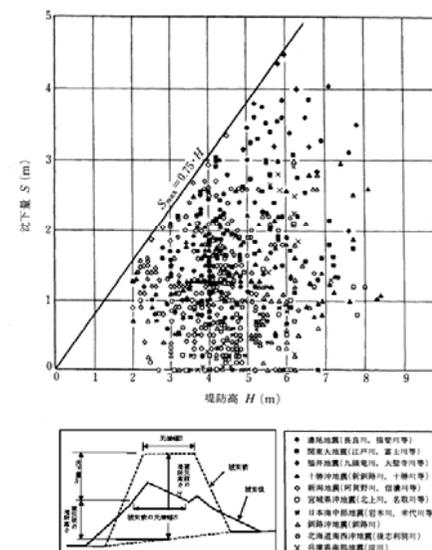


図-解 3.2.1 既往の地震における堤防高さと同沈下量の関係
(改定 解説・河川管理施設等構造令、財団法人 国土開発技術研究センター編、
社団法人 日本河川協会、山海堂、2000)

二次点検 (その1)

①地形条件及び基礎地盤条件による判定

既往の地震被害事例に照らし、地震による堤防天端の沈下量が十分に小さいと判断される地形条件、基礎地盤条件に該当する細分区間の堤防は、耐震性能を満足するものとみなす。

●地震による堤防天端の沈下量が十分に小さいとみなせる区間の堤防

- ・地形区分による危険度ランクがC(扇状地、浅い谷)またはD(山地、丘陵地、台地、崖)に該当する細分区間
- ・基礎地盤上面から20m以浅のN値30未満の砂質土層または砂礫質土層が存在しない細分区間

②土層構成による判定

既往の地震被害事例に照らし、地震により生じる堤防天端の沈下量が十分に小さいと判断される土層構成に該当する場合、当該細分区間は、耐震性能を満足するものとみなす。

●治水地形による危険度ランク(A, B)毎に、土層分類Aの層厚の合計と土層分類Bの層厚の組合せで、堤防天端の沈下量を評価。

治水地形による危険度ランクA: 旧河道、落堀、旧落堀、高い盛土地、干拓地、砂丘

治水地形による危険度ランクB: 自然堤防、旧川微高地、氾濫平野、湿地、旧湿地

土層分類A: 基礎地盤上面から20m以浅に存在するN値30未満の砂質土層
または砂礫質土層

土層分類B: 土層分類Aの上方に位置し、土層分類に該当しない土層

- ・地形分類の危険度ランクが高いほど沈下量大きい。
- ・土層分類Aの層厚の合計が大きいほど沈下量大きい。
- ・土層分類Bの層厚が大きいほど沈下量小さい。

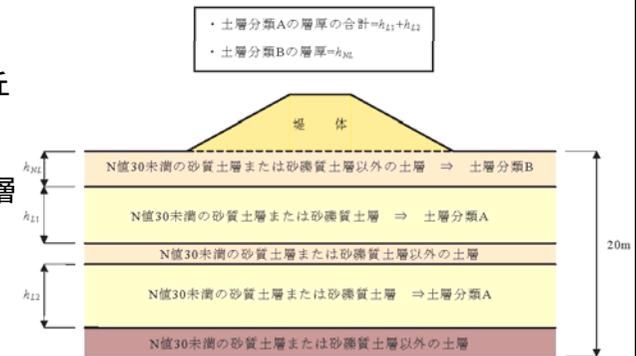


図-解 4.5.1 土層分類Aの層厚の合計、土層分類Bの層厚の定義

※上記①、②の判定に共通して、以下の条件がある。

ただし、堤体土のめり込みが生じている区間については、上記条件の有無によらず、地震による堤防天端の沈下量が十分に小さいと見なしてはならない。

これは、「堤体の部分液状化」を指したものである。

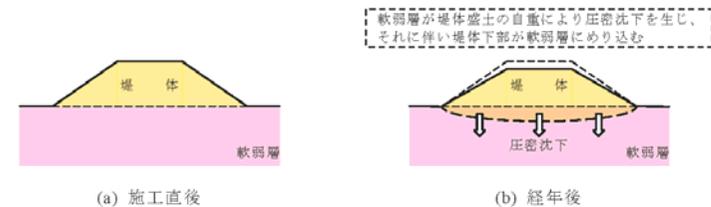


図-解 4.2.1 堤体土のめり込み

二次点検 (その2)

③簡易式による判定

代表断面位置において液状化判定を行い、堤防天端の沈下量を次に示す簡易式により算定し、これが許容沈下量を上回らない場合は、耐震性能を満足するものとみなす。

$$S = 1.41 \times H \times HL^{1.56 \times 10^{(-7.54 \cdot RL)} + 0.0655 \times HL^{0.930} \leq S_{max}$$

- ここに、 S: 堤防天端の沈下量(m)
- H: 堤防高さ(m)
- HL: 表層の液状化層厚(m)

液状化層厚が複数あり第1液状化層と第2液状化層の間に5m程度の非液状化層がある場合に第1液状化層を表層の液状化層と定義する。

RL: 表層の液状化層の繰返し三軸強度比(算定されたRLの平均値)

Smax: 既往の地震による堤防天端の最大沈下量(m) Smax=0.75H
沈下量の上限值とする。

地震の種類によって異なる照査外水位が設定されている区間においては、地震の種類ごとに許容沈下量を算定し、レベル2-1地震動、レベル2-2地震動のそれぞれに対する沈下量と比較を行うことで照査する。

右図(a)のように、液状化層が2層にわたって存在する場合、液状化層①、②の両者を考慮した場合およびいずれか一方を考慮した場合の計3ケースについて堤防天端の沈下量Sを算定し、最も大きい沈下量を用いて照査をする。

右図(b)のように、堤体土のめり込みによって堤体下部に液状化層が生じる場合で、のり尻部のボーリングでは液状化層の存在を十分に捉えることができない場合、堤体直下のボーリング(No.2)からRL、HLを設定することが考えられる。

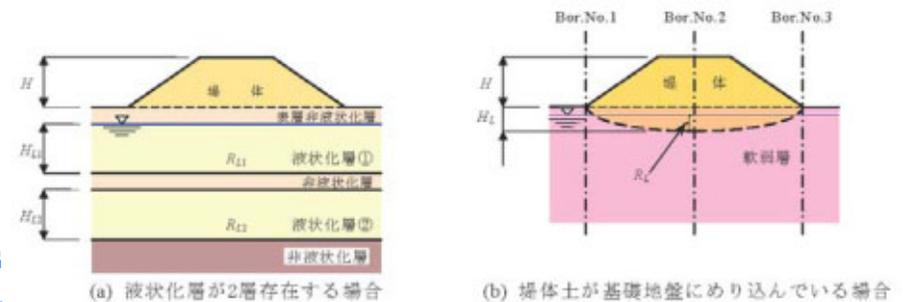
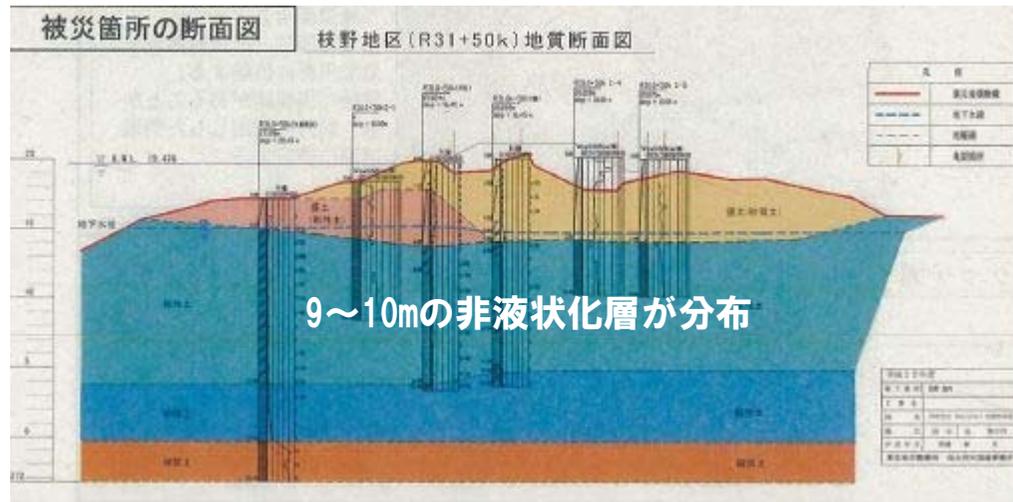


図-解 4.6.1 土層構成の違いによる計算ケースの設定の一例

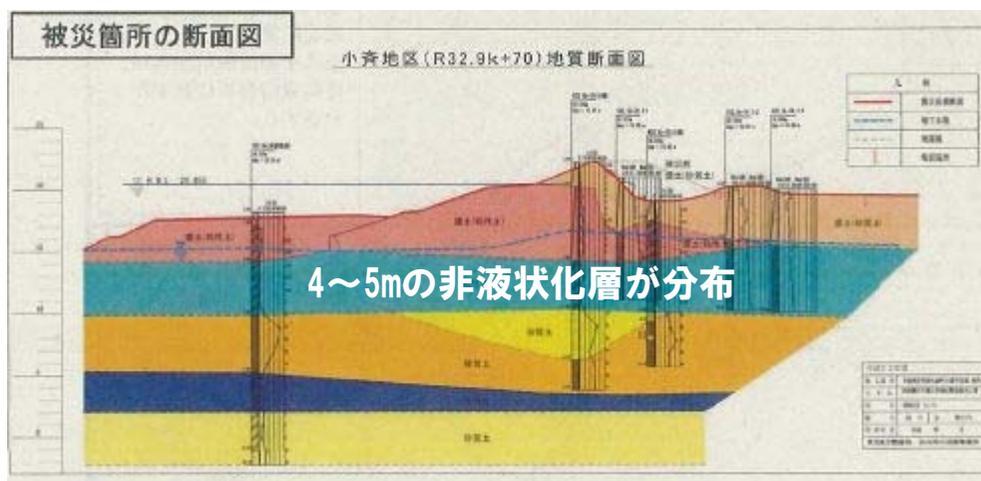
阿武隈川下流右岸30.6k+34m~31.4k+160m (枝野地区)

…堤体の部分液状化と考えられる。

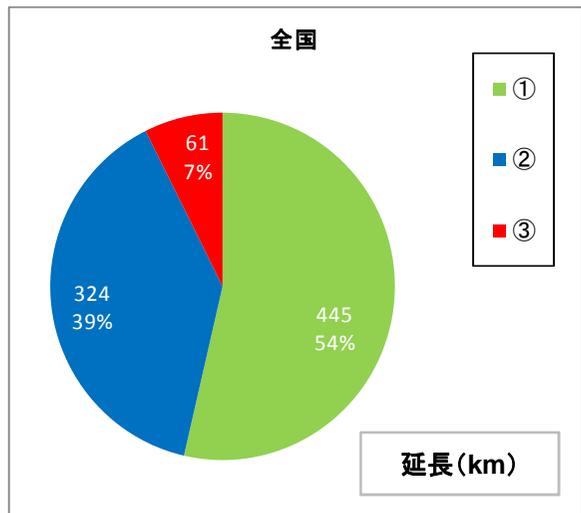


阿武隈川下流右岸32.8k+103m~33.0k+170m (小齊地区)

…堤体の部分液状化と考えられる。

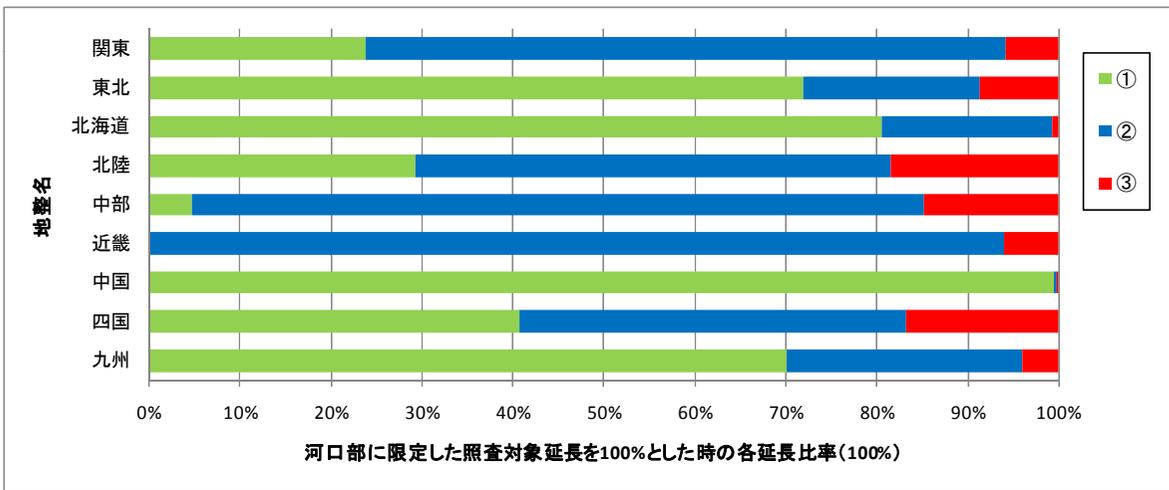
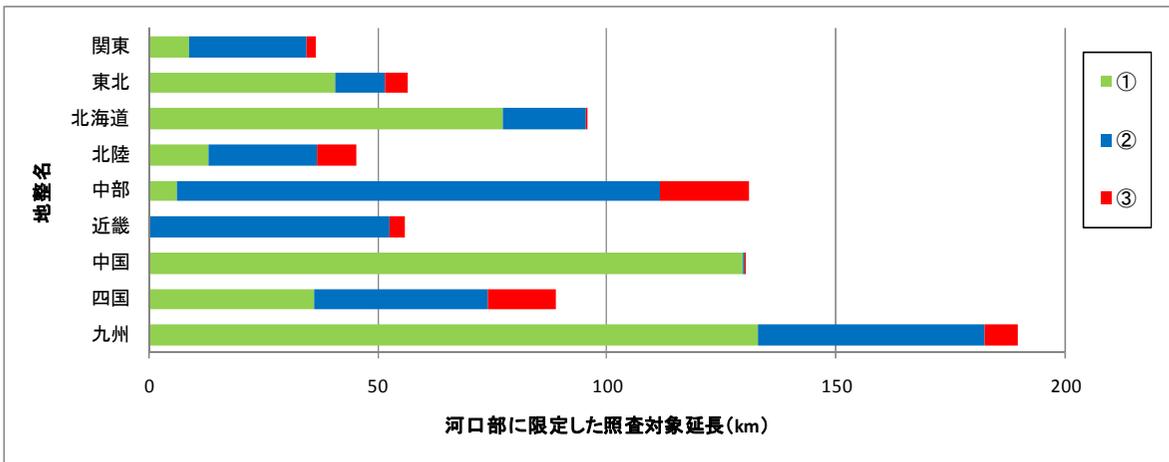


○河口部の照査対象延長の場合



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、地震時の津波遡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。