

変状と被災の統計的解析による堤防の 点検及び巡視の合理化に関する一考察

平成27年6月10日

国土技術政策総合研究所	河川研究室	交流研究員	○下川大介
国土技術政策総合研究所	国際研究推進室	研究官	福原直樹
国土技術政策総合研究所	河川研究室	主任研究官	森 啓年
国土技術政策総合研究所	河川研究室	室長	服部 敦

背景

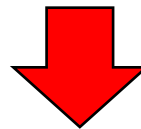
堤防に変状が存在することにより安全率が低下する

⇒河川管理者は、点検・巡視により、治水安全性を確保

- 堤防は長い歴史の中で構築された長大で不均質な土構造物であるため、堤防内部の把握は特定の地点に限定

⇒維持管理は人の目による状態把握に頼らざるを得ない

- 今後の経済的及び人間的な制限を考慮すると、点検や巡視の合理化が求められている



目的

- 点検・巡視の効率化を図るために点検・巡視の重点区間の設定方法の提案

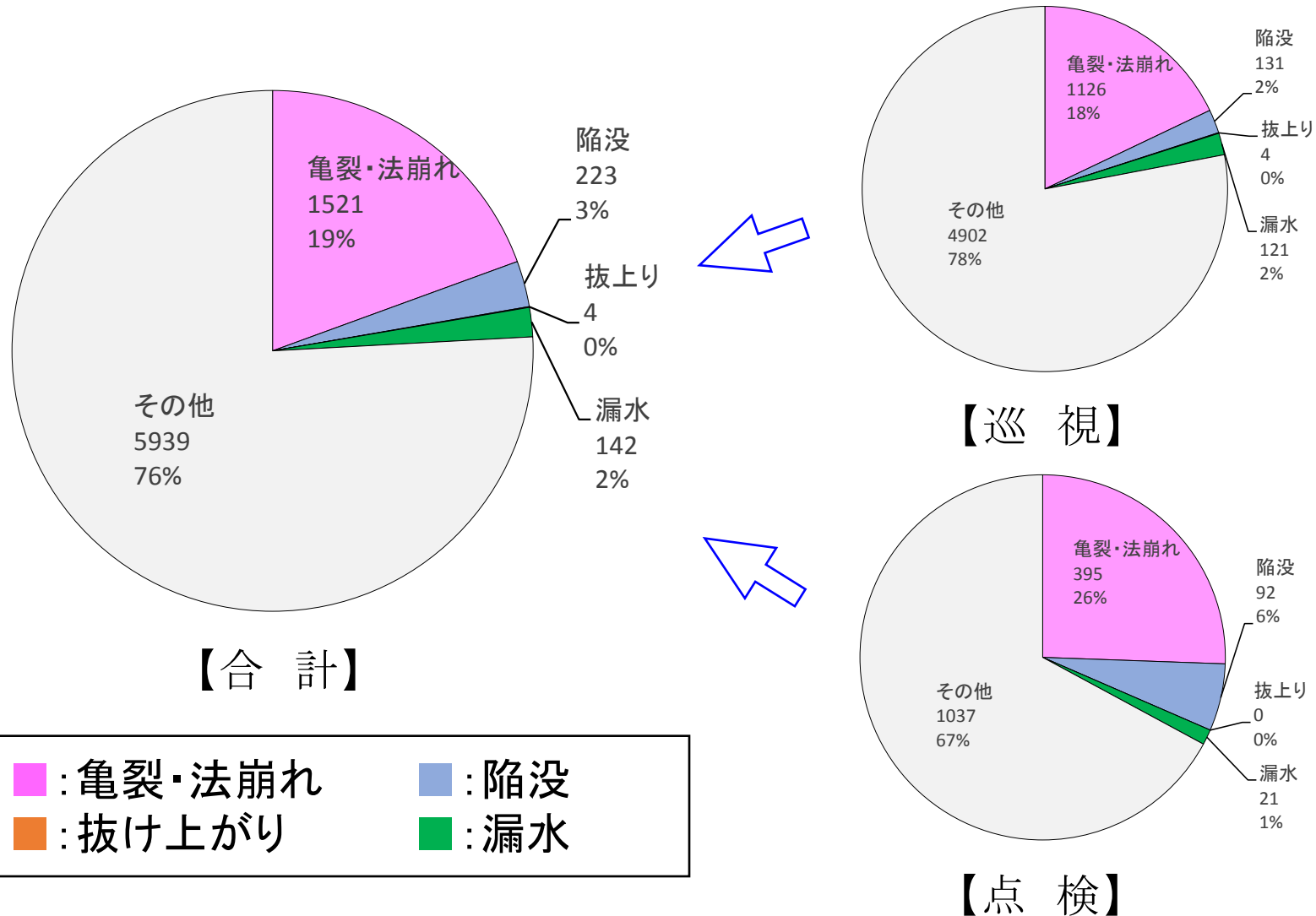
- 8河川を対象とし分析を実施（変状：8河川，被災：5河川）
- 変状及び被災の分布状況の把握
- 変状，被災及び堤防特性の関係性について検討
 - ✓ 変状の発生しやすい堤防特性
 - ✓ 被災の発生しやすい堤防特性
 - ✓ 被災発生箇所と変状の発生頻度を整理

変状と被災の定義

- 「変状」：目視で確認される軽微な異常及び変化等
 - 「浸透に関する変状」：耐浸透機能の低下が懸念される変状
 - …亀裂・法崩れ，陥没，抜け上がり，漏水
 - 「その他」：植生の異常，モグラ等小動物の穴，踏み荒らし等
- 「被災」：堤防機能の低下が認められる大規模な異常及び変化等
 - …「すべり」，「漏水」，「パイピング」

変状及び被災の分布状況

2-1. 点検・巡視にて発見される変状の種類



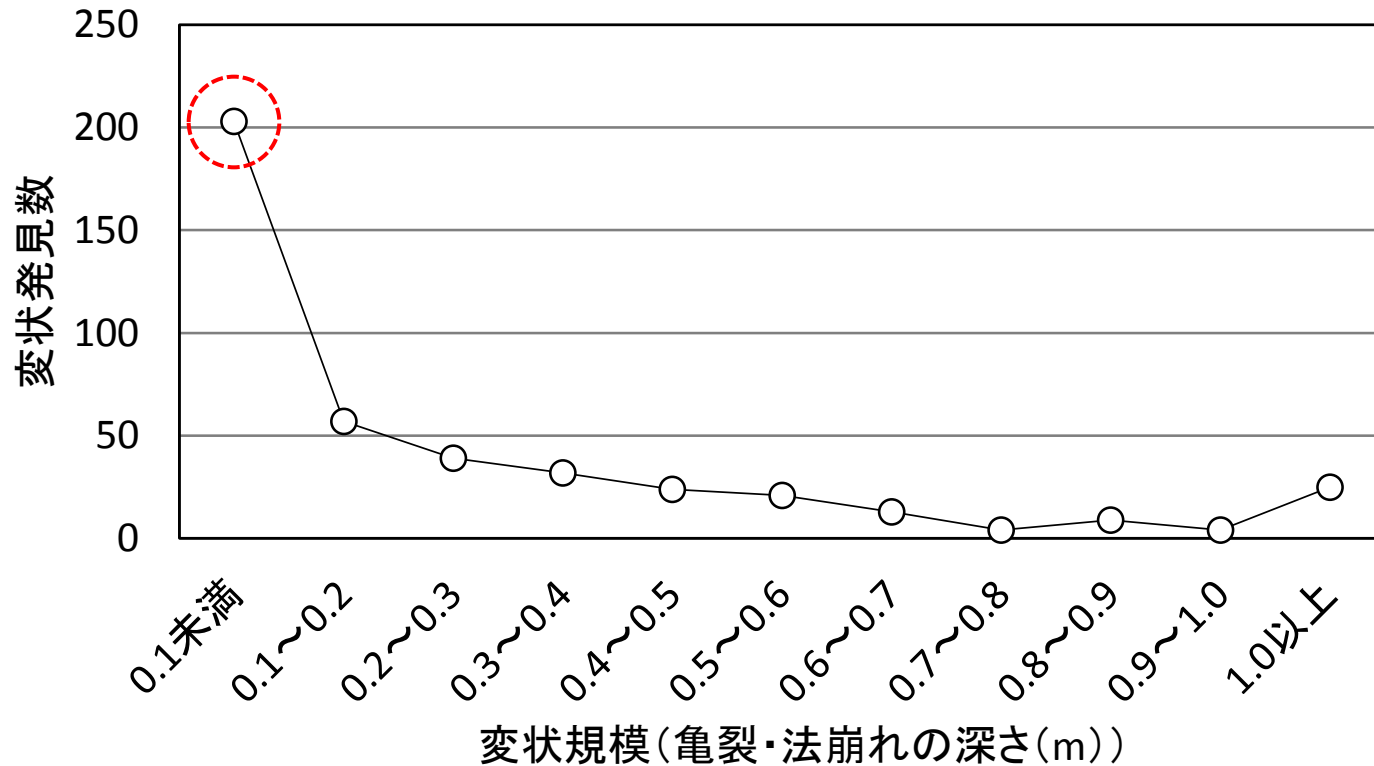
- 「浸透に関する変状」が全体の4分の1
- 点検と巡視で発見される変状の種類や発見数に有意な差は認められない。

2-2. 1kmあたりの変状発見数

河川	点検対象 (km)	変状数		発生発見数(年平均)	
		全変状	浸透4種	全変状	浸透4種
A川	41.1	623	207	3.1	1.0
B川	59.8	638	127	2.1	0.4
C川	265.1	1682	432	3.2	0.8
D川	130.3	1249	99	2.3	0.2
E川	24.8	209	86	3.5	1.4
F川	99.8	1270	248	3.2	0.6
G川	75.2	451	50	1.2	0.1
H川	95.9	1707	641	8.3	3.1
平均				3.4	1.0

- 1km当たりの全変状数は約3.4個，そのうち，浸透に関する変状は1.0個
⇒変状は堤防延長に対して低い頻度でしか発生していない

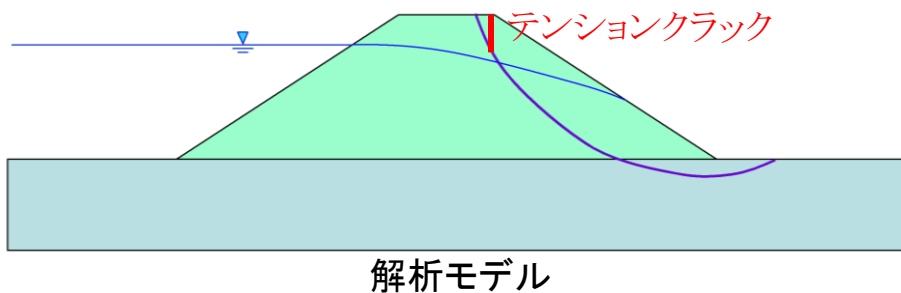
亀裂の深さに着目し整理



- 亀裂の深さは0.1m未満のものが大半
- 堤防に0.1m未満の亀裂が生じても安全率はほとんど低下しない

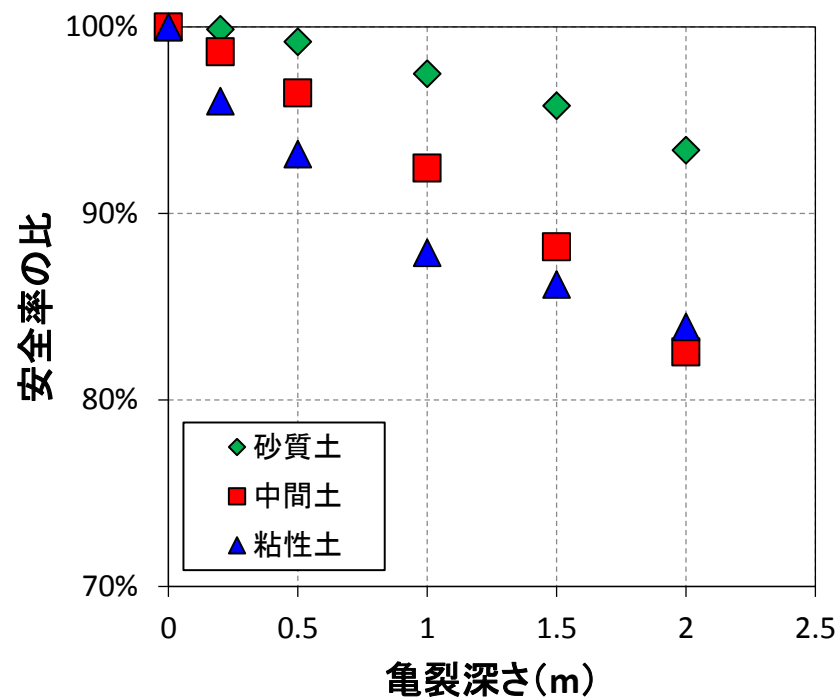
⇒ 早期に補修を実施することにより治水機能を維持

2-4. 変状規模の影響2



- 堤防高6.3m, 法面勾配を1:2の単断面
- 浸潤線は浸透流解析により算出
- 堤体土は3種類を想定
 - 砂質土 ($c=1.0\text{kPa}$ $\phi=30.0\text{度}$)
 - 中間土 ($c=10.0\text{kPa}$ $\phi=35.0\text{度}$)
 - 粘性土 ($c=15.0\text{kPa}$ $\phi=0.0\text{度}$)

解析条件

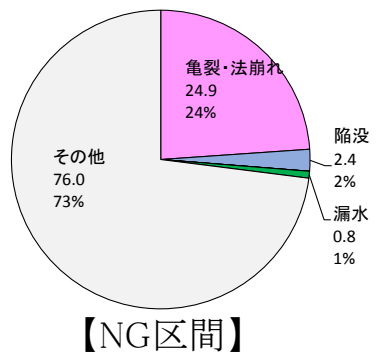
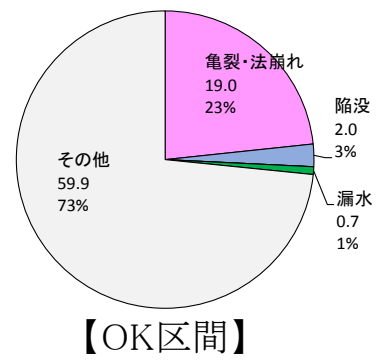
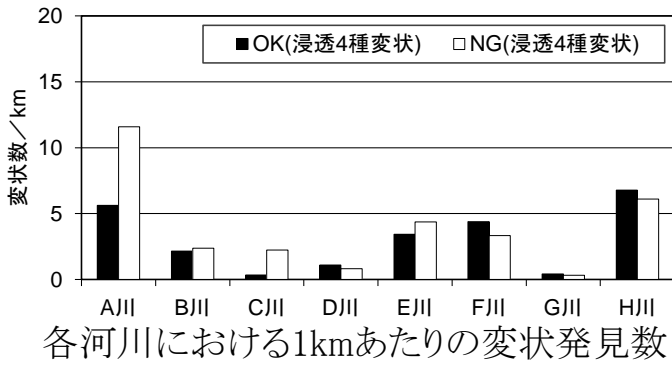


- 亀裂の深さは0.1m未満のものが大半
- 堤防に0.1m未満の亀裂が生じても安全率はほとんど低下しない

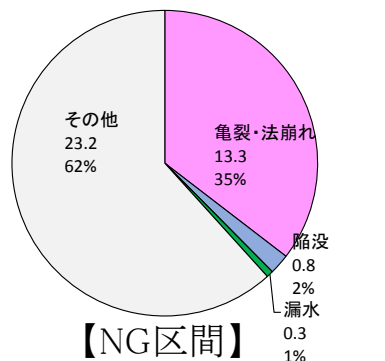
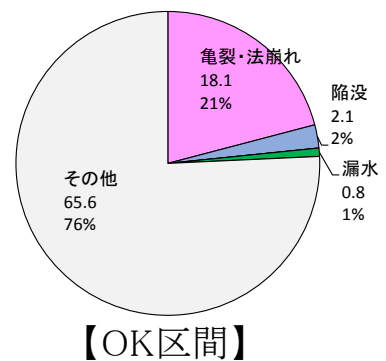
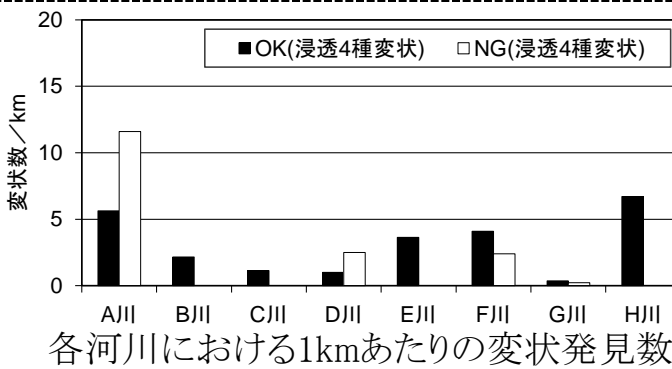
⇒ 早期に補修を実施することにより治水機能を維持

2-5. 詳細点検結果と変状の関係

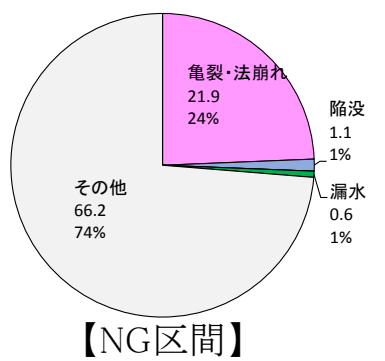
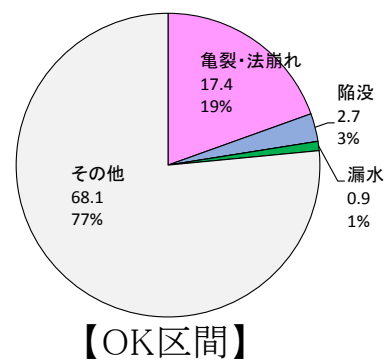
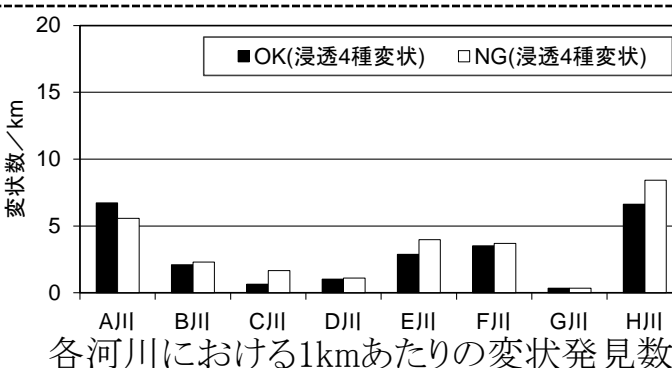
(a) 裏法すべり



(b) 表法すべり

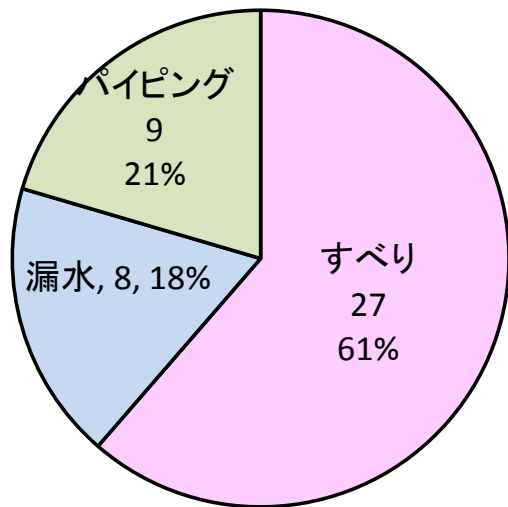


(c) パイピング

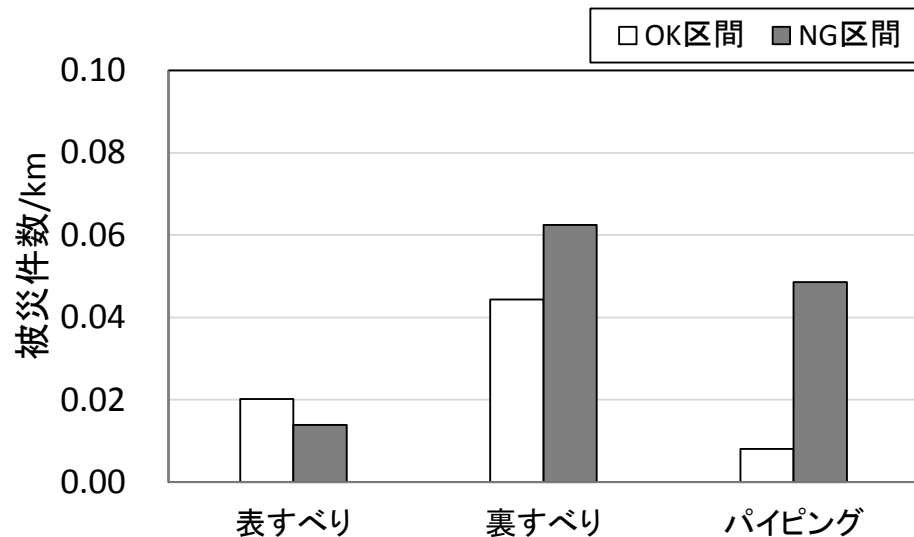


■ : OK区間 □ : NG区間

■ : 亀裂・法崩れ ■ : 陥没 ■ : 抜け上がり ■ : 漏水



被災履歴の種類



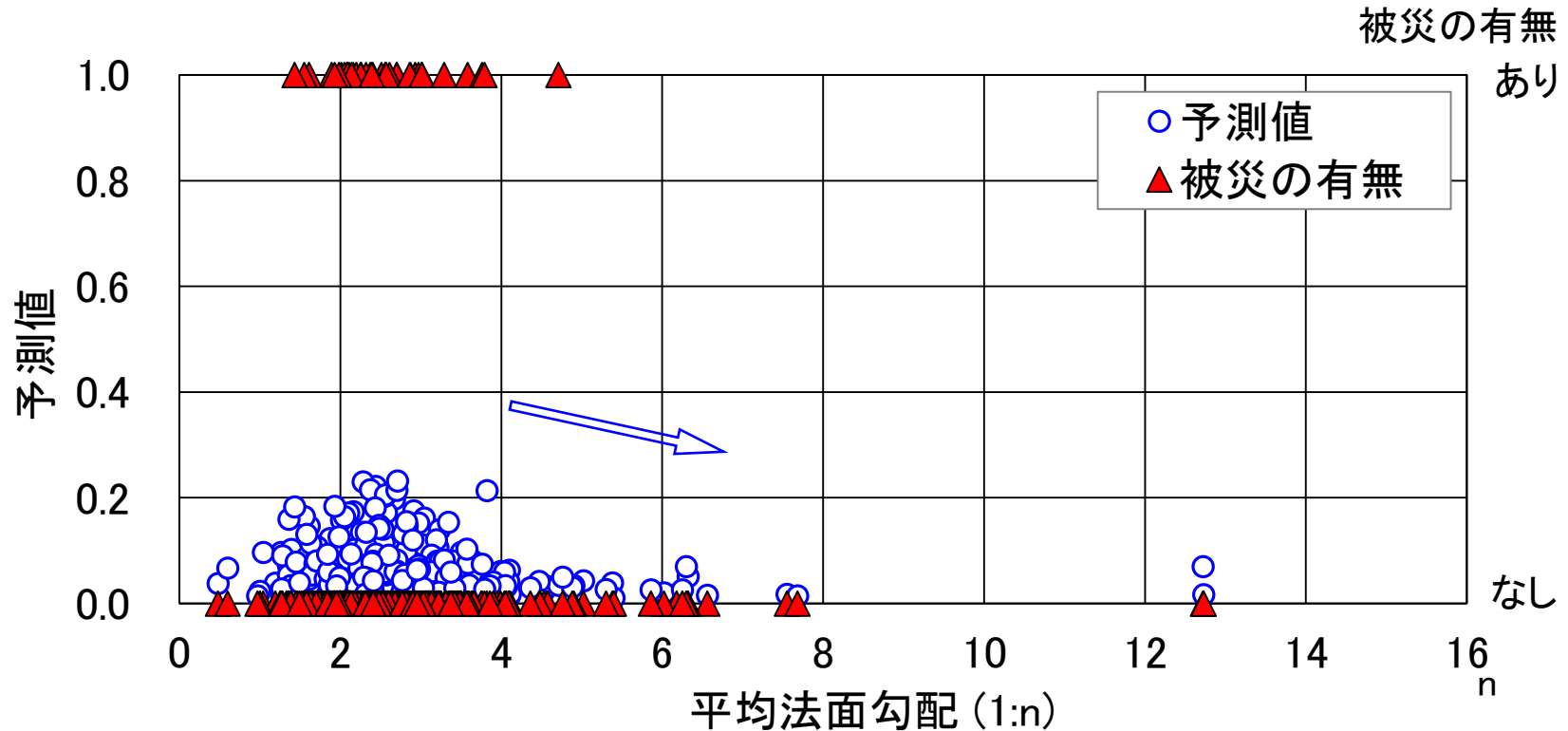
被災発生割合と詳細点検の比較

- 被災位置と被災形態の判明しているもの (S51～H25) を使用
- すべりによる被災が最も多い (約60%)
- すべりによる被災には、照査でNGと判定された区間よりもOK区間で多く発生 ⇒ 断面拡大などの影響
- パイピングの照査によりNGとなった区間については、パイピングの被災が発生する可能性が高い

被災と堤防特性の関係

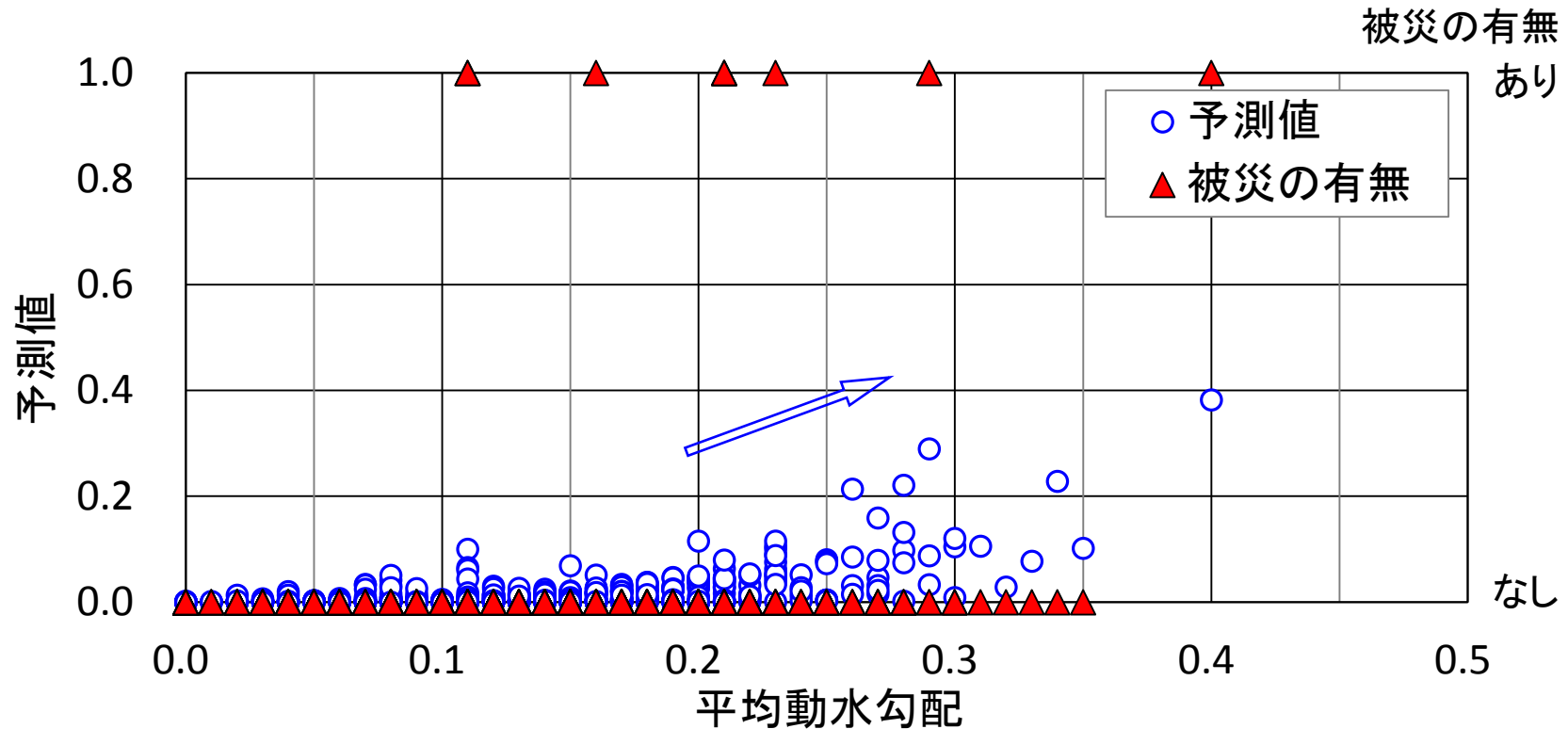
- 多変量解析の一種であるロジスティック回帰分析を使用。
任意の説明変数を与え被災の有無(有:1, 無:0)をもとに被災の発生確率(最大で1になるように計算)を求める方法
- 被災(変状)発生の有無と堤防特性の関係を分析
- 説明変数 10個の堤防特性を使用
 - ① 堤防高
 - ② 敷幅
 - ③ 平均法面勾配
 - ④ 平均動水勾配
 - ⑤ 堤体土質,
 - ⑥ 基礎地盤土質
 - ⑦ 微地形
 - ⑧ 高水位継続時間,
 - ⑨ セグメント
 - ⑩ 築堤年次

一般的に法面勾配がきついほどすべり破壊が生じやすい



- 平均法面勾配が1:2～1:4の堤防にて被災が集中し、予測値も高くなる
- 勾配が1:4よりも緩くなると被災が確認されず、予測値がほぼ一定

平均動水勾配が大きいほど浸透に対し危険となりやすい



- 平均動水勾配が0.1を超えている箇所が発生
- 平均動水勾配が大きくなるに従い被災発生箇所が増加する
- 平均動水勾配の増加に従い、予測値も大きくなる

3-3. 土質構成別の被災発生の予測値

土質構成別のすべりの予測値

堤体土 基礎地盤	粘性土	砂質土	礫質土
粘性土	0.18	0.12	0.04
砂質土	0.17	0.18	0.11
礫質土	0.23	0.18	0.09

土質構成別のパイピングの予測値

堤体土 基礎地盤	粘性土	砂質土	礫質土
粘性土	0.03	0.10	0.01
砂質土	0.04	0.29	0.07
礫質土	0.38	0.12	0.08

すべりによる被災

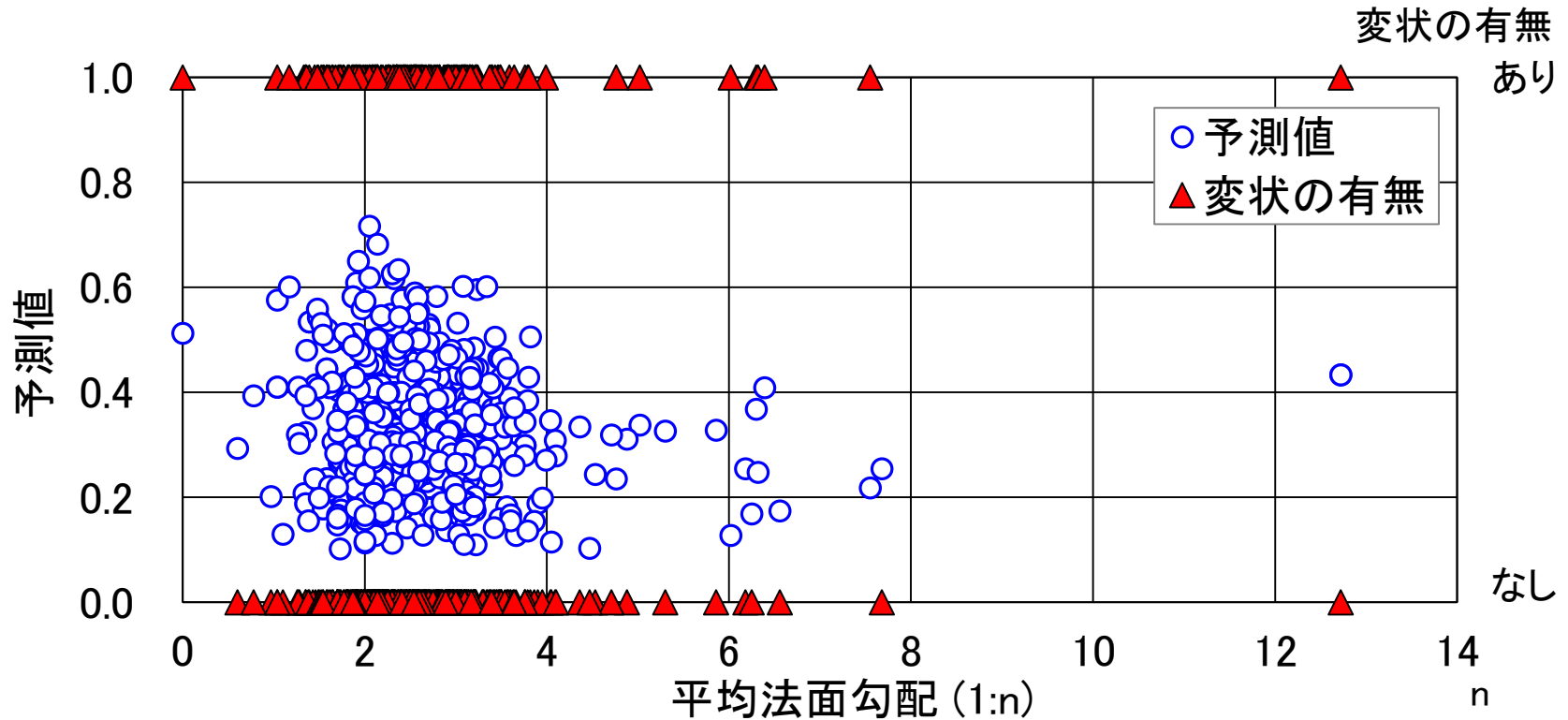
- 全体的に小さい値を示す
- 堤体土質が礫質土の場合の予測値は、粘性土・砂質土に比べるとおよそ1/2～1/4倍程度（礫質土の方が粘性土，砂質土に比べ，せん断強度が強いことが要因）

パイピングによる被災

- 堤体土質が粘性土，基礎地盤が礫質土の場合，堤体土，基礎地盤がともに砂質土の場合の予測値が大きくなる

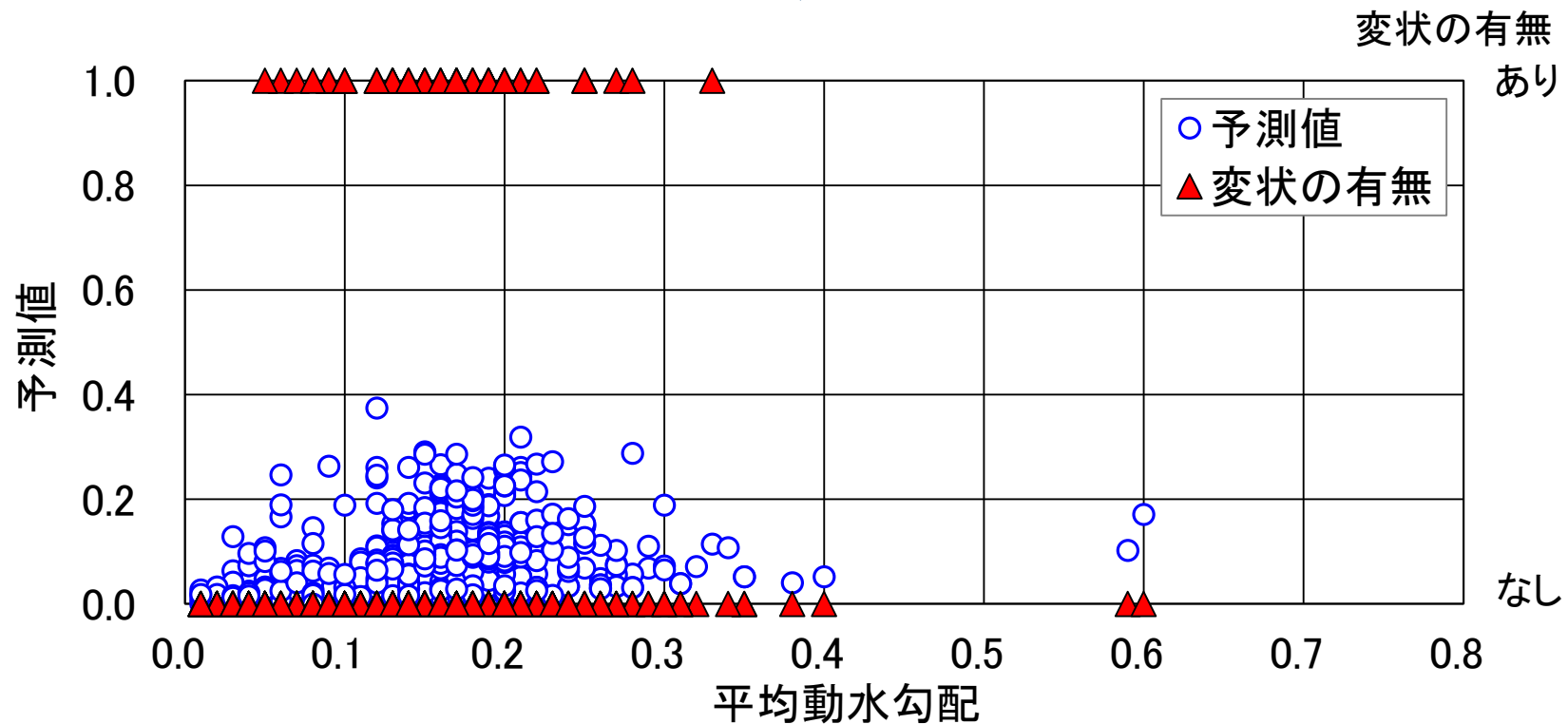
変状と堤防特性の関係

亀裂⇒すべりによる被災の予兆として出現することが想定される



- 平均法面勾配の大小に関わらず発生
- 予測値と平均法面勾配の間にも関係性は確認されない

漏水⇒パイピングによる被災の予兆として出現することが想定される



- 平均動水勾配の大小に関わらず, 発生
- 予測値と平均動水勾配との間に関係性は確認されない

4-3. 土質構成別の変状発生の予測値

土質構成別の漏水発生の予測値

堤体土 基礎地盤	粘性土	砂質土	礫質土
粘性土	0.25	0.29	0.05
砂質土	0.16	0.37	0.32
礫質土	0.05	0.23	0.13

土質構成別の亀裂発生の予測値

堤体土 基礎地盤	粘性土	砂質土	礫質土
粘性土	0.68	0.57	0.21
砂質土	0.66	0.56	0.32
礫質土	0.61	0.72	0.40

漏水発生の予測値

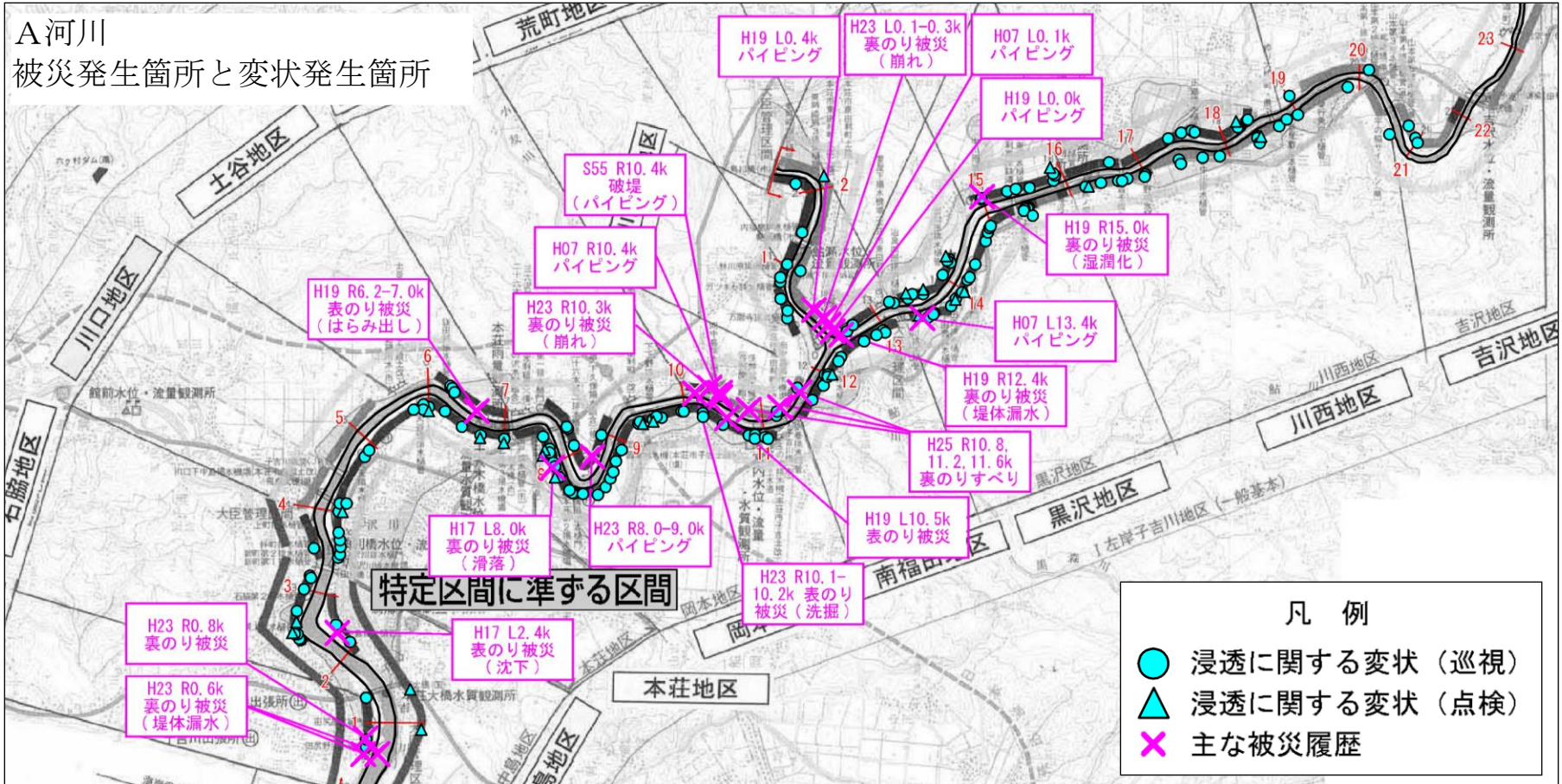
- 砂質土及び礫質土を含む場合に予測値が大きくなる
- 堤体及び基礎地盤が粘性土の場合でも予測値が大きくなる

亀裂発生の予測値

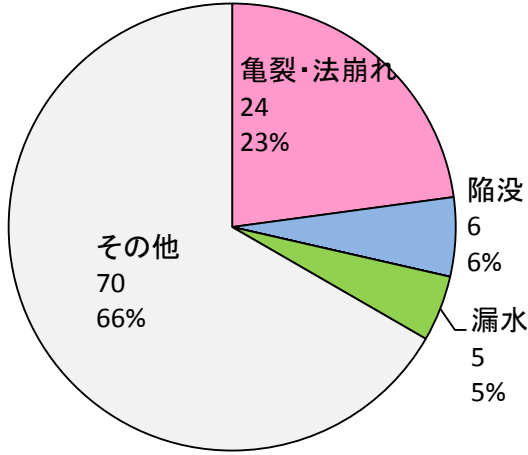
- 堤体土質が礫質土以外の予測値は約50%を超えており、変状発生箇所の予測は困難

被災と変状の関係

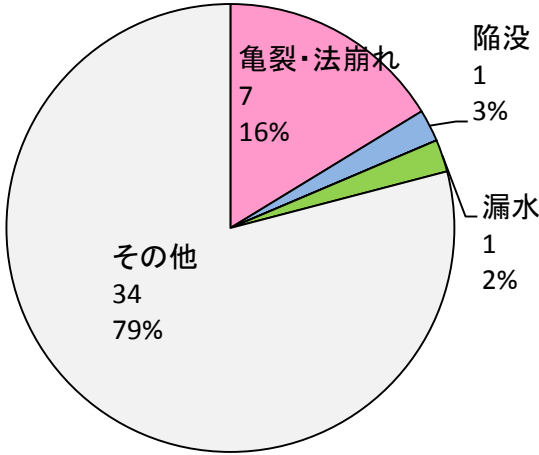
5-1. 被災発生と変状発見数の比較



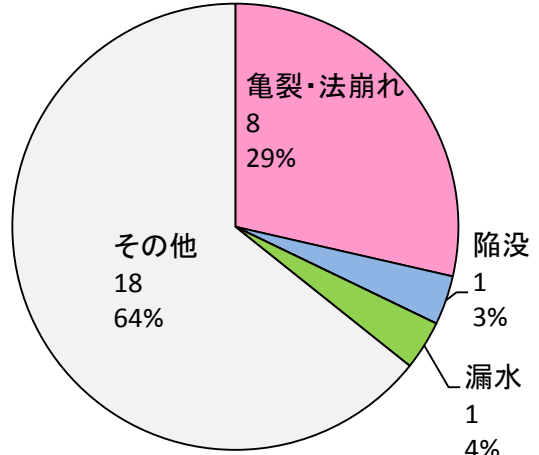
- 変状が高頻度に発生する箇所と被災箇所は必ずしも一致しない
- 変状のほとんどが、表層部分で生じている小規模な変形であることが原因



【すべり】



【漏水】

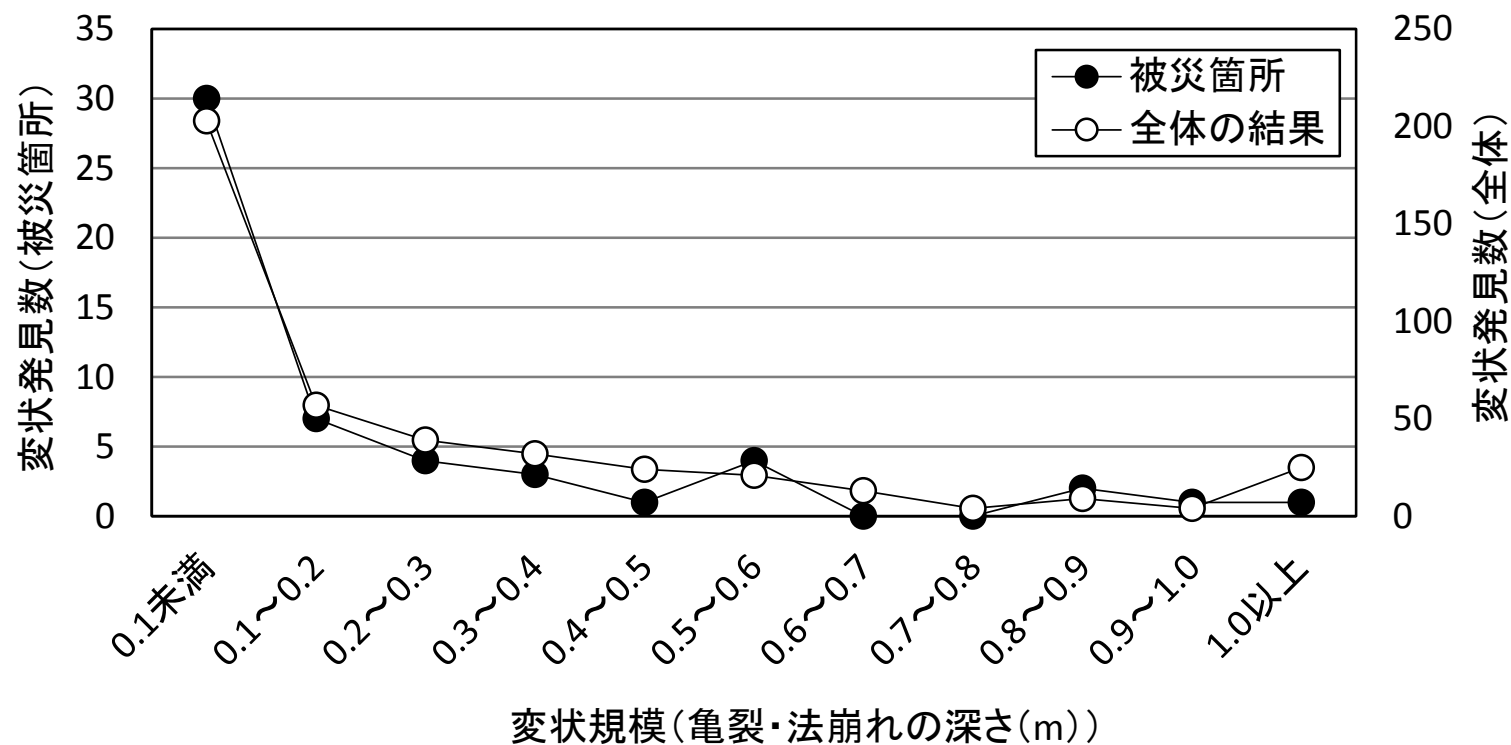


【パイピング】



• 被災種別と発生する変状種別には関係性は確認されない

5-3. 被災箇所における変状規模



- 被災箇所周辺にて発見される亀裂規模に傾向の違いは確認されない

⇒ 出水時に被災が発生する可能性がある箇所を平常時の点検で見分けることは困難

おわりに

変状及び被災の分布状況

- 変状発生頻度は堤防延長に対して低く、変状規模も比較的小さいものが多い
⇒現状の維持管理において、堤防機能は相当程度の管理水準を確保
- 堤防詳細点検結果のNG区間と変状が多発する区間は一致しない

被災と堤防特性の関係

- 平均法面勾配や平均動水勾配と土層構造についてはすべりやパイピングとの関係性が確認され、堤防特性をもとに被災発生の可能性が比較的高い区間を予測することが可能であることが示唆された。

変状と堤防特性の関係

- 浸透に関する変状と堤防特性に関係性はみられず、堤防特性をもとに変状発生の蓋然性が高い区間を絞り込むことは困難である。

被災と変状の関係

- 変状が高頻度に発生する箇所と被災箇所は必ずしも一致しておらず、変状発生の分布傾向から出水時の被災発生を予測することは困難である。

効率的な維持管理への提案

- 平均動水勾配の大きな区間や、平均法面勾配の急な区間等は被災発生の可能性が高い区間は、重点的な点検・巡視により変状を把握し、補修を行うことで治水機能を維持できると考えられる。

今後の課題

- 本分析は一部の河川の一定期間のデータを分析したものであり、検討の限界もあるため、引き続き、点検・巡視により蓄積したデータに基づく経験的知見の検証と改善を行うことが重要

ご清聴ありがとうございました。