

現状の耐震照査及び設計の改善



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被災堤防及び暫定復旧堤防の安全性

 : 本資料で説明している箇所

1. 現状の耐震照査及び設計の改善に関する検証
 - 1-1. 現状の耐震照査について
 - 1-2. 堤防被災箇所についての静的照査法による検証
 - 1-3. 地震の発生により生じる津波や地盤沈降の取扱いについて
2. 耐震点検・対策の進捗と費用について
3. まとめ

河川構造物の耐震性能照査指針(案)〔平成19年3月 国土交通省河川局治水課〕

- ・盛土による堤防について、地震による損傷をまったく許容しないことは不合理である。
(=ある程度の損傷は許容)
- ・L2地震動による液状化に伴う堤防沈下に対して、河川の流水の河川外への越流(二次災害)の防止する機能を有するか確認する。

◎ 液状化判定は基礎地盤を対象としている。〔道路橋示方書の考え方に準拠〕

■ 沖積層の砂質土層については、レベル2 地震動の地盤面における水平震度を用いて液状化を判定する。

→ 液状化判定を行う必要のある砂質土層(以下の条件全てに当てはまるもの)

- ・地下水位が現地盤面から10m 以内、かつ現時盤面から20m 以内の深さに存在する飽和土層
- ・ $F_c \leq 35\%$ 、又は $F_c > 35\%$ でも塑性指数 $I_p \leq 15$ の土層
- ・ $D_{50} \leq 10\text{mm}$ 、かつ $D_{10} \leq 1\text{mm}$ の土層

■ 液状化に対する抵抗率 $FL \leq 1.0$ の場合は液状化すると判定する。

$$\rightarrow F_L = R/L$$

$$R = c_w R_L \quad (c_w: \text{地震動特性による補正係数} \quad R_L: \text{繰り返し三軸強度比})$$

$$L = r_d k_{hg} \sigma_v' / \sigma_v' \quad (r_d: \text{地震時せん断応力比の深さ方向の低減係数} \quad k_{hg}: \text{地盤面における水平震度、} \\ \sigma_v: \text{全上載圧、} \sigma_v': \text{有効上載圧、})$$

- ・ 地下水位は出水期(多雨期)の平均地下水位程度を水平に設定している。〔照査指針Q&A(国交省HP)〕

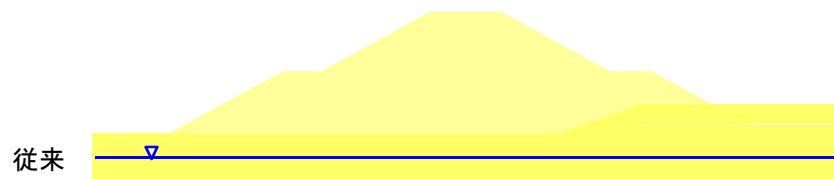
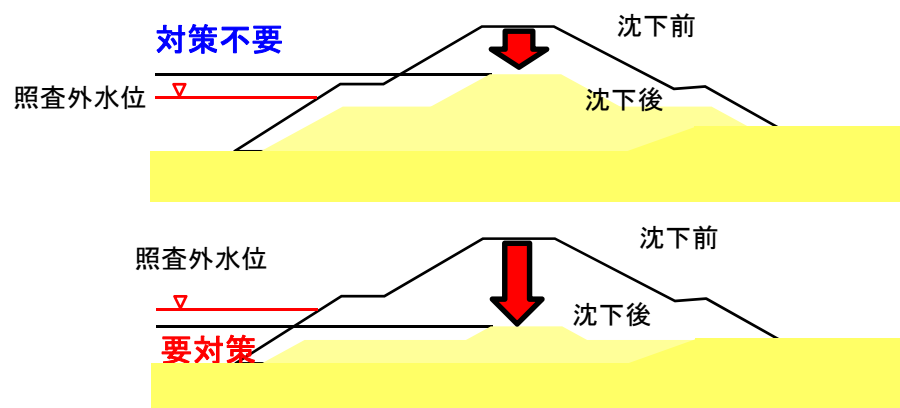


図 地下水位の設定

◎ 静的照査法(実務にはALID利用)により沈下量を算出している。



液状化が生じると判定された砂質土に対し、 FL との関係で剛性(土質定数)を低減させる。(但し、 $FL 0.4 \sim 0.7$ の範囲は、逆解析結果のものであり、また、 $FL < 0.4$ は外挿による。)

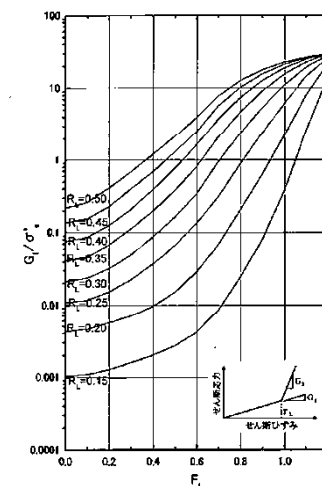
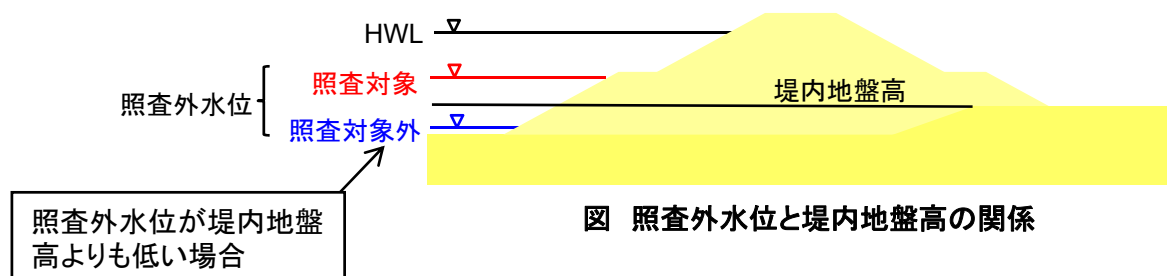


図-解6.3.1 液状化が生じる土層のせん断剛性の低減の例

◎ 耐震性能の照査において考慮する外水位(照査外水位)は、原則として平常時の最高水位(14日、1/10)、波浪、津波のうち最も高いものとしている。

【平常時の最高水位】堤防の地震後の緊急復旧が概ね14日間で完了している事を考慮して14日間に発生する確率が1/10の水位としている。



1-1. 【参考資料】緊急復旧に要した期間

資料—4

- ・過去の大規模な地震により被災した地震後の堤防緊急復旧は概ね14日で完了しているが、今回は長期にわたった。
- ・今回の地震被害は広域かつ同時被害であり、かつ津波による被害も同時に発生したこともあり、緊急復旧開始日数が従来より要しているのが特徴である。
- ・緊急復旧工事開始から完了までをみると、概ね14日程度で完了している。

○震災から緊急復旧完了までに要した日数

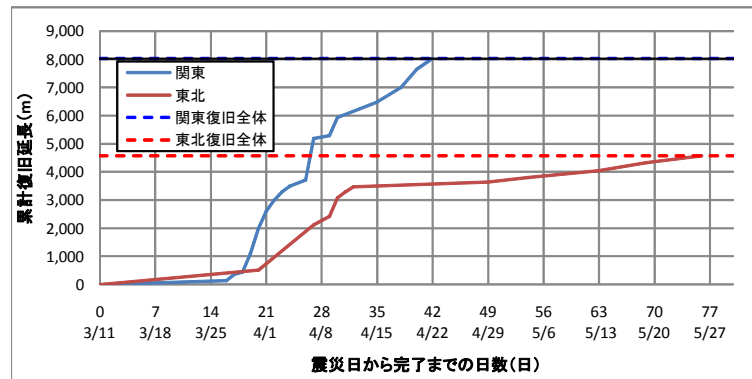
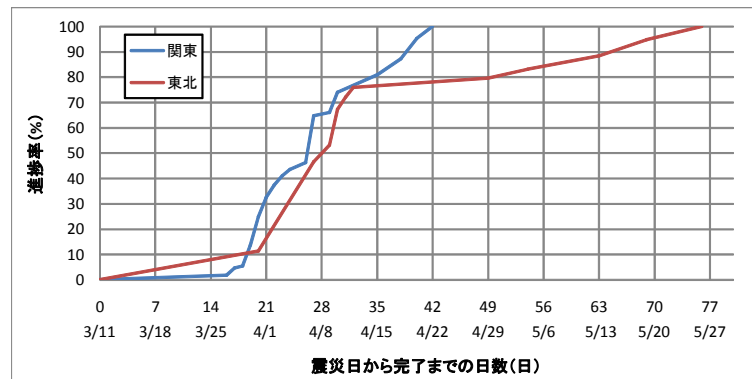


図1 「震災日から完了までの日数」と「進捗率」、「累計復旧延長」との関係
(6/12 18:00現在 治水課調べ)

○過去の地震における緊急復旧に要した日数

表1 過去の地震時の緊急復旧に要した日数

地震名	対象河川名	被害総延長 (m)	被災日から 復旧までの 概ねの日数	主な工法
北海道南西沖地震(H5.7.12)	後志利別川、尻別川	8,915	9～10	盛土、土のう工
兵庫県南部地震(H7.1.17)	淀川、猪名川派川藻川	2,900	9～14	盛土、土のう工、シート張り
宮城県北部地震(H15.7.26)	鳴瀬川、吉田川	7,127	5～28	盛土および連節ブロック張り
新潟県中越地震(H16.10.23)	信濃川	10,936	2～14	盛土、土のう工、シート張り

出典)平成15年度 河川管理施設等の技術基準に関する検討業務 報告書 H16.3 (財)国土開発技術研究センター
平成15年7月26日宮城県北部を震源とする地震記録(概要版) H17.3 国土交通省 東北地方整備局 北上
川下流河川事務所
地震発生から復旧まで(信濃川河川事務所)H17.10
新潟県中越地震における信濃川河川事務所管内の被害状況と復旧方針(信濃川河川事務所)H17.6

- ・緊急復旧工事実施箇所53箇所(関東地整24箇所+東北地整29箇所)のうち、関東地整の水門被害1箇所、東北地整の水門等被害3箇所、津波被害箇所4箇所、鋼矢板二重締切箇所7箇所を除いた38箇所(関東地整23箇所+東北地整15箇所)について整理。
- ・6/12 18:00現在、緊急復旧を完了した箇所は、
関東地整:8,027mすべて完了。
東北地整:4,571mすべて完了。

1-1. 【参考資料】緊急復旧に要した期間

資料—4

- ・緊急復旧の着手が遅れた背景には、被害が広域かつ膨大であることや、燃料、資機材の不足等が考えられる。
- ・緊急復旧工事開始後概ね14日程度で完了していること、工事開始の遅れた理由が燃料、資機材の不足にあることから、照査外水位の設定については、現在の指針通り14日間で発生する水位とする。

○緊急復旧の着手が遅れた理由（上位3つ＋その他の主要因）

・緊急復旧工事実施箇所その他、関東地整における大規模な被災が発生した25箇所を加えた計78箇所（関東地整49箇所＋東北地整29箇所）のうち、14日以内に緊急復旧を完了した20箇所（関東地整16箇所、東北地整4箇所）、鋼矢板二重締切箇所8箇所を除いた50箇所（関東地整33箇所＋東北地整17箇所）について整理。

	関東地方整備局	回答数
1	道路等の寸断により物資の輸送ができなかった。	12
2	燃料が不足し調達ができなかった。	7
2	緊急資材が不足し調達ができなかった。	7
2	重機が不足し調達ができなかった。	7
	その他	(15)
	被災箇所が甚大であり、緊急復旧工事箇所の選定に不測の時間を要した。	(12)

	東北地方整備局	回答数
1	燃料が不足し調達ができなかった。	5
2	緊急資材が不足し調達ができなかった。	3
3	道路等の寸断により物資の輸送ができなかった。	1
	その他	(12)
	余震による増破のため。	(7)
	物資輸送・人命救助に必要な他の箇所を優先したため。	(1)

○燃料不足を伝える新聞記事

・給油所の開店休業相次ぐ、重油や軽油も逼迫、ガソリン価格高騰は回避？

(2011.3.16 産経新聞)

東日本大震災で多くの製油所が火災や操業停止に追い込まれたことでガソリンや重油などの品薄状態が深刻化し、家計や企業の活動への影響が拡大している。・・(中略)・・石油元売り各社は在庫があっても物流網が寸断されて供給できない。

・東日本大震災：製油所続々操業再開、燃料不足は 首都圏緩和へ、被災地はまだ

(2011.3.24 毎日新聞)

石油連盟によれば燃料不足は関東地方では今週中にほぼ解消し、東北地方も営業再開できたスタンドでの不足は今月中に解消する見通しだ。しかし営業再開できていないスタンドも多く、被災地に十分に行き渡るにはまだ時間がかかりそう。・・(中略)・・業界団体の宮城県石油商業協同組合幹部は「油は東北に来るようにはなつた。しかし、壊滅的被害を受け、再開が難しいスタンドが県内全体の3割に上っており、スタンドの絶対数が足りない。平常化にはしばらくかかるだろう」と話す。

堤防被災箇所についての検証計算

- ・検証計算は、耐震性能照査指針に示される、静的照査法(静的解析、ALID)に基づき実施する。
- ・被災箇所近傍に強震計が設置されている箇所、3箇所を対象とする。
(江合川福沼、利根川下流小見川、吉田川山崎)

堤体モデルの作成

- 江合川福沼 : 被災後の土質調査によって得られた結果を用いた。(被災箇所断面)
- 利根川下流小見川 : 浸透に対する詳細点検(26.5k)における土質調査によって得られた結果を用いた。
(被災箇所近傍断面)
- 吉田川山崎 : 強震計設置断面における土質調査によって得られた結果を用いた。
(被災箇所近傍断面)

土質条件の設定

- 江合川福沼 : 被災箇所のボーリング調査結果(N値・Fc)をもとに設定。
- 利根川下流小見川 : 詳細点検時のボーリング調査結果(N値)をもとに設定。
- 吉田川山崎 : 強震計設置断面のボーリング調査結果(N値・Fc)をもとに設定。

初期条件の設定と剛性低下

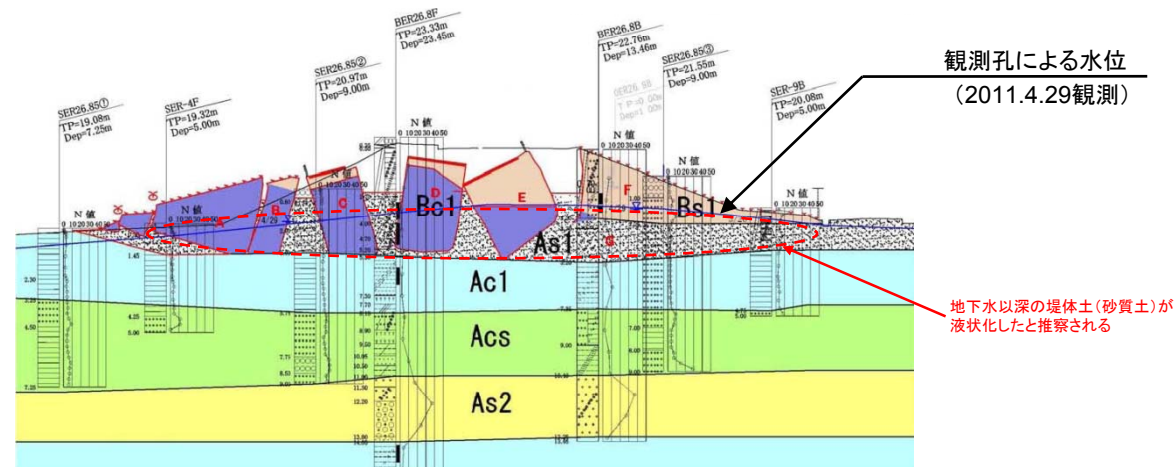
- ・地下水位の設定
 - 江合川福沼 : 土質調査によって得られた結果を用いて堤体内の地下水位を設定。
 - 利根川下流小見川 : 詳細点検時のボーリングで確認されている孔内水位をもとに堤内地盤高相当に設定。
堤内地が田畑であることから妥当と判断。
 - 吉田川山崎 : 堤内側ボーリング調査時の孔内水位をもとに堤内地盤高相当に設定。堤内地が田畑であることから妥当と判断。
- ・液状化層の剛性低下については、解析プログラム内の自動計算により設定し、液状化層の上位の非液状化層の剛性低下については、非液状化層の下部に引張応力が発生しないように試行錯誤により設定した。

1-2. 【参考資料】被災箇所における堤体の地下水位の観測事例

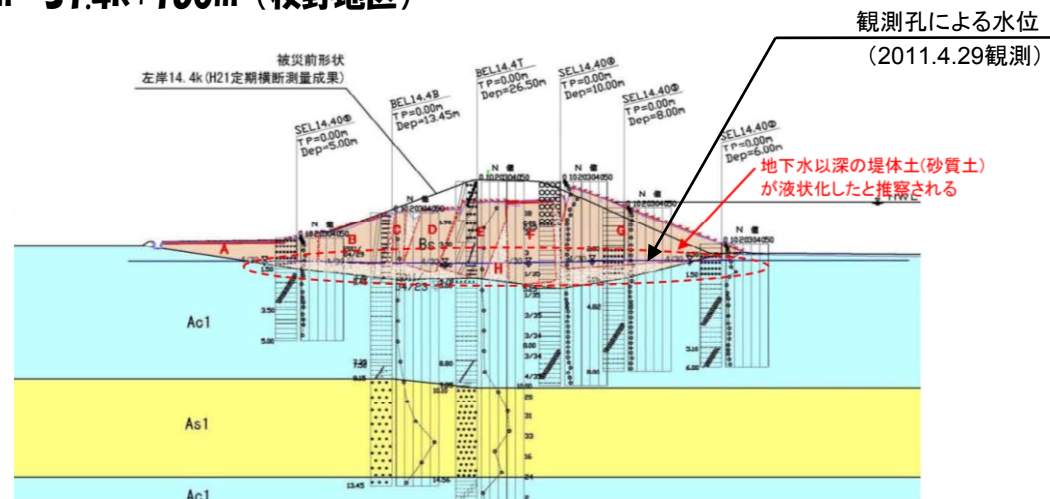
資料—4

・堤体の部分液状化が生じた箇所においては、基礎地盤に凹型に堤体がめり込んでおり、そこに地下水位があることを確認。

○江合川右岸26.6k+120m～26.8k+120m（福沼地区）



○阿武隈川右岸30.6k+34m～31.4k+160m（枝野地区）



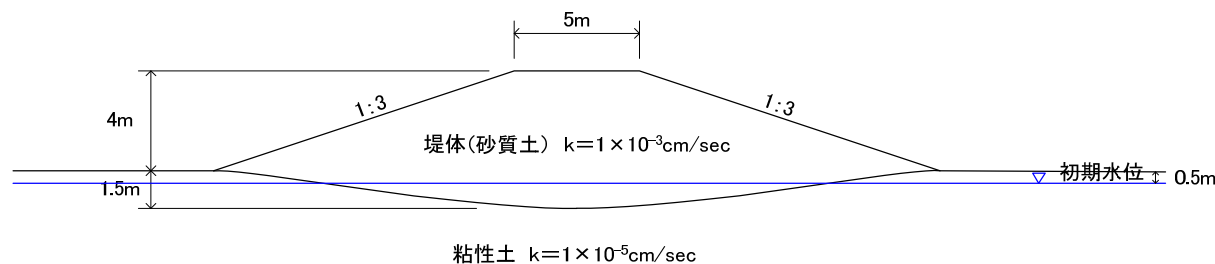
1-2. 【参考資料】堤体内の地下水形成についての試計算

資料—4

- ・基礎地盤が粘性土、堤体が砂質土の場合における、降雨を与えた時の地下水位の変化について、解析を実施した。
- ・その結果、地下水位が堤体内を上昇することを確認。
- ・基礎地盤が粘性土の場合、堤体内のかんりの高さまで地下水面が達するため堤体の部分液状化が生じる可能性が高い。

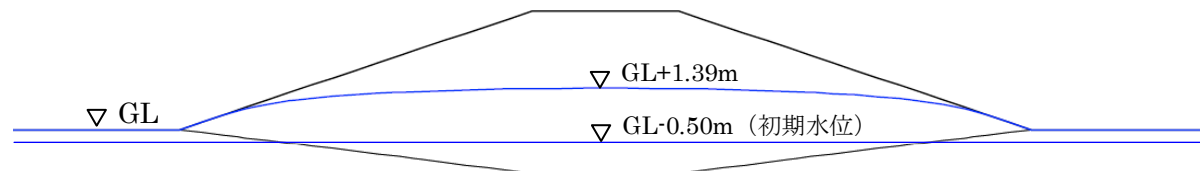
○解析モデルの概要

- ・降雨は(0.5mm/hr)を与え、浸透流解析(定常計算)を行った。
- ・堤体は砂質土($k=1.0 \times 10^{-3}$)、基礎地盤は粘性土($k=1.0 \times 10^{-5}$)として解析を行った。
- ・初期地下水位は堤内地盤高-0.5mで与えた。
- ・基礎地盤は、圧密沈下の影響を考慮して、堤体を凹型にめりこませたモデルとした。



○解析の結果

- ・基礎地盤が粘性土の場合、地下水位が堤体内地盤高(GL)から1.39m上昇した。

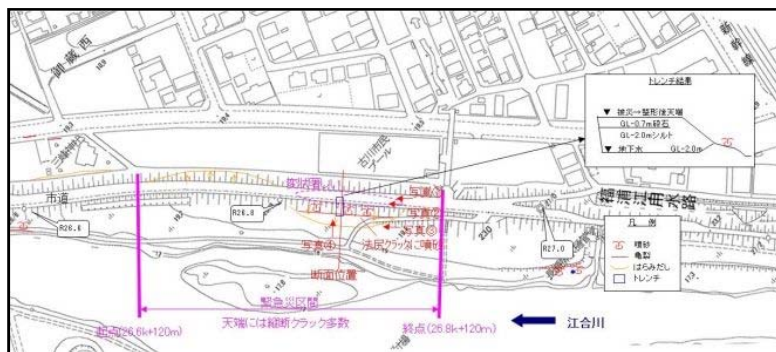


1-2. 堤防被災箇所についての静的照査法による検証

資料—4

検証①：江合川右岸26.6k+115m～26.8k+120m（福沼）の事例（大規模被災、基礎地盤及び堤体の部分液状化）

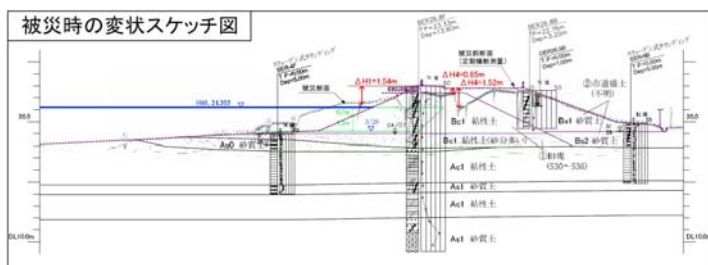
○被災箇所の位置図、状況写真等



写真①天端には深度2.0m以上のクラック（裏法は形状を保っている）

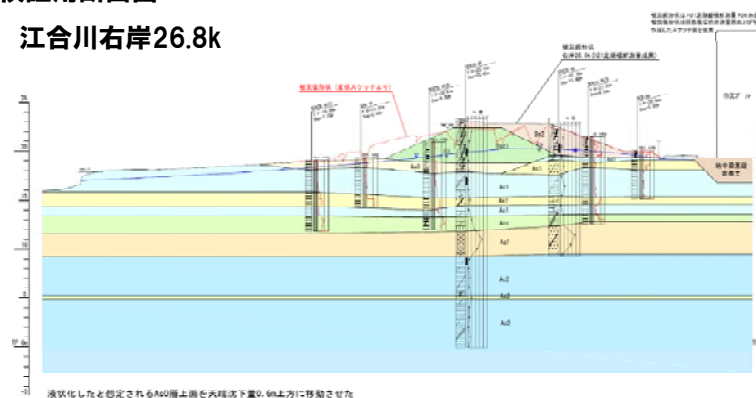


○被災時の変状スケッチ図

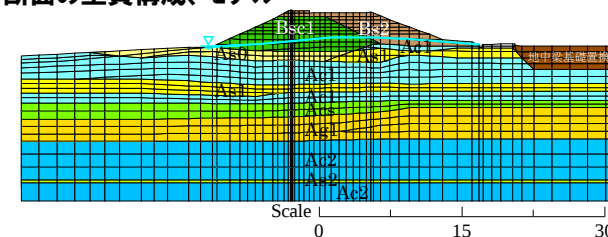


○検証用断面図

江合川右岸26.8k



○検討断面の土質構成、モデル



江合川右岸26.8k

土層区分	単位 ^{※1} 体積重量 γ (kN/m ³)	平均N値 ^{※2} N	原位置有効 ^{※3} 土重 σ_v (kN/m ²)	変形係数 ^{※4} E (kN/m ²)	初期 ^{※5} ポアソン比 ν_0	地震前の ^{※6} せん断剛性 G_0 (kN/m ²)	地震後の ^{※6} せん断剛性 G_1 (kN/m ²)	相対密度 ^{※7} D_r (%)	液状化強度 ^{※8} R_{L50}
Bsc1	15.60	3.0	—	8400	0.333	3200	32	—	—
Bsc1(地下水位以下)	15.60	2.0	62.46	5600	0.333	2100	—	26	0.11
Bs2	15.60	6.0	—	16800	0.333	6300	63	—	—
Bs2(地下水位以下)	15.60	6.0	36.11	16800	0.333	6300	—	50	0.22
As1①	19.40	9.0	52.71	25200	0.333	9500	—	57	0.31
As1	15.40	3.0	—	8400	0.333	3200	3200	—	—
As0	19.40	3.0	70.26	8400	0.333	3200	—	31	0.17
As1②	19.40	5.0	88.06	14000	0.333	5300	—	37	0.20
As0	19.40	9.0	111.66	25200	0.333	9500	—	47	0.30
As1	20.00	31.0	131.54	8400	0.333	3200	—	82	0.49
As2	15.40	4.0	—	11200	0.333	4200	4200	—	—
As2	19.60	10.0	162.79	28000	0.333	10500	—	44	0.20

※1 既得調査結果を基に設定した。
 ※2 既得調査結果を基に設定した。
 ※3 $E=2800(N+1)/m^2$ を基に設定した。
 ※4 $G_0=E/(2(1+\nu_0))$ を基に設定した。
 ※5 液状化層より上部の非液状化層については、引張強度が発生しないような値を試行錯誤により設定した。
 ※6 液状化層は、 F_L 、 R_{L50} の関数から、プログラム内で液状化層の全ての要素に対して自動的に計算した。
 ※7 $21(N+100)/(\sigma'_v \cdot \gamma_0)^{0.5}$ (Meyerhofの式)を用いて設定した。
 ※8 N 値、 F_L および土質要素から求めた R_{L50} の層厚の平均値とした。

地下水位：被災後の調査ボーリング孔で確認された水位をもとに設定した。なお、川表のり尻付近の水位は確認されていないが、計算上は地表付近にあるものと仮定した。

液状化層：地下水位以下の堤体土(Bsc1、Bs2)および沖積砂質土層(As0層、As1層)とした。

1-2. 堤防被災箇所についての静的照査法による検証

資料—4

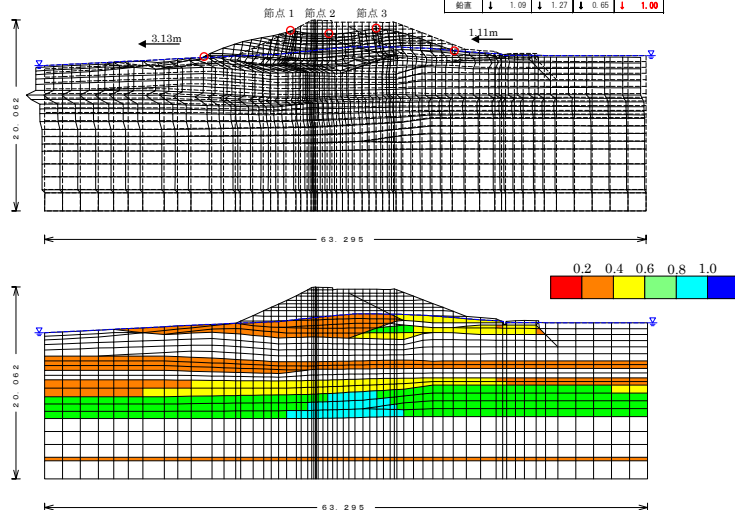
検証①：江合川右岸26.6k+115m～26.8k+120m（福沼）の事例（大規模被災、基礎地盤及び堤体の部分液状化）

- ・近傍のK-Net観測所（古川）で観測された最大加速度586galと、400galの2種類の外力にて沈下計算を実施。
- ・被災断面と計算結果との比較をしたところ、どちらもほぼ同様の結果が得られた。
- ・堤体の部分液状化による堤防被災についても現行指針に準じた変形解析で概ね再現できた。

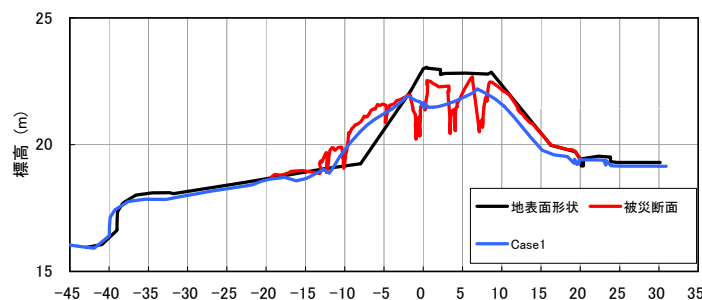
○計算結果

（地表面最大水平加速度=400galの場合）

・変形図



・堤防断面図（被災前後比較）

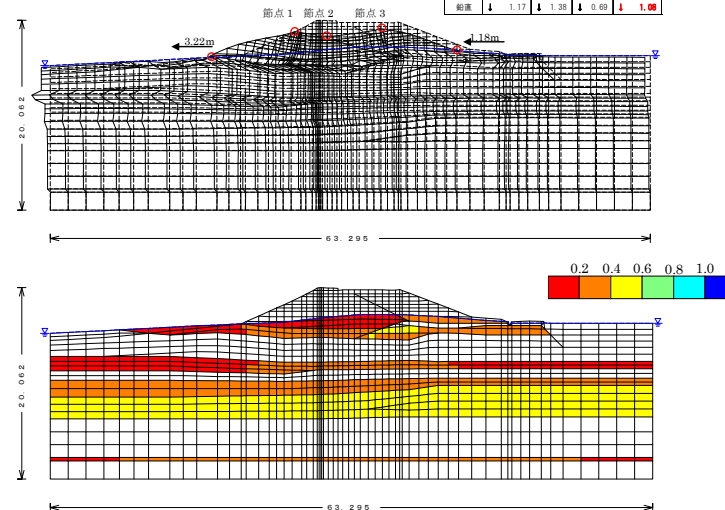


・変位量の比較（被災実測値と計算値の比較）

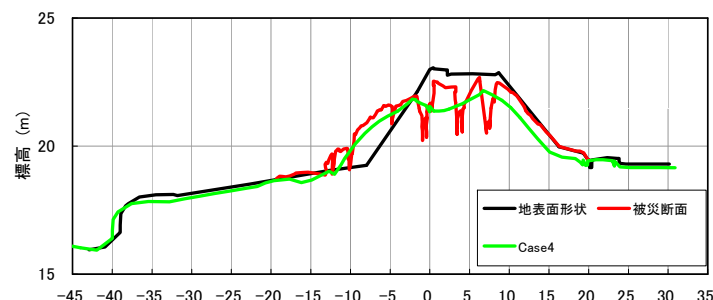
○計算結果

（地表面最大水平加速度=586galの場合）

・変形図



・堤防断面図（被災前後比較）



		天端沈下量(m)	川表法尻側方変位量(m)
実測値		0.71	4.76
	400gal	1.00	3.13
計算値	586gal	1.08	3.22

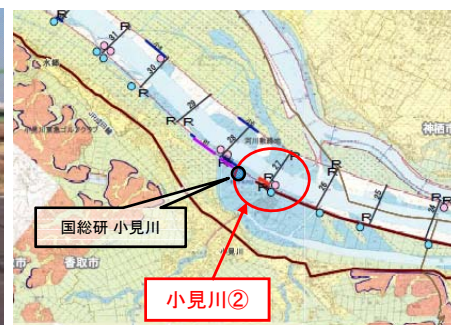
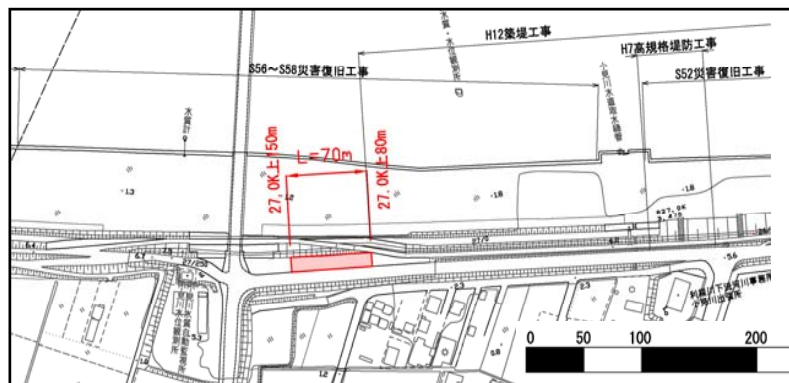
注)天端沈下量の実測値は、天端部の沈下土量を天端幅で除して求めた。

1-2. 堤防被災箇所についての静的照査法による検証

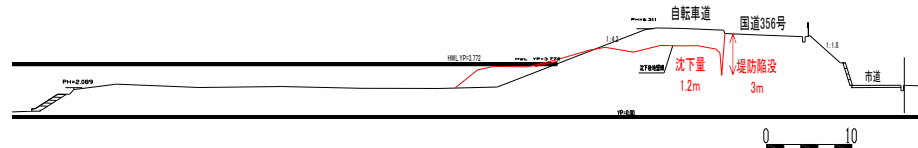
資料—4

検証②：利根川下流 右岸27k+80m～27k+150m（小見川）の事例（中規模被災）

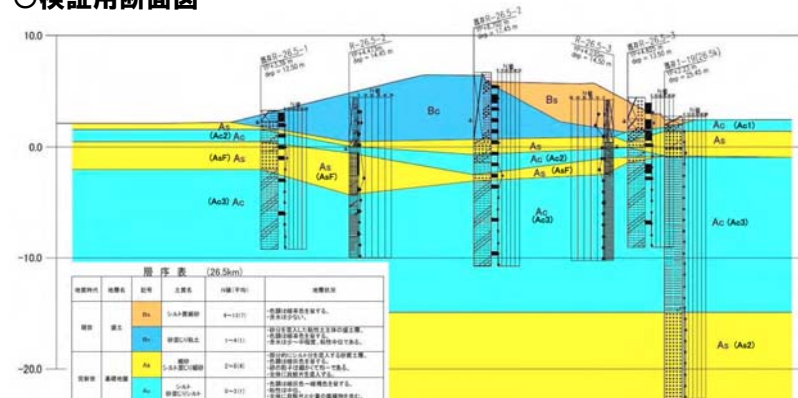
○被災箇所の位置図、状況写真等



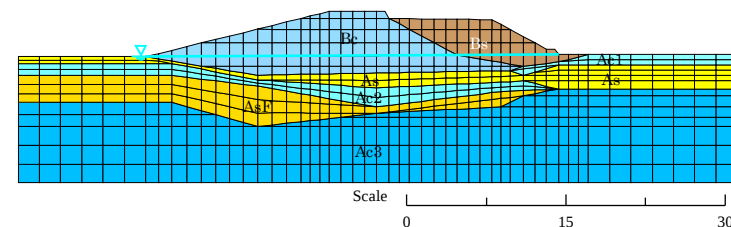
○被災時の変状スケッチ図



○検証用断面図



○検討断面の土質構成、モデル



土層区分	層位 ⁽¹⁾ 体積重量 γ_v (kN/m ³)	平均N値 ⁽²⁾ N	原位置 σ_v ⁽³⁾ 土層重量 σ_v (kN/m ²)	変形係数 ⁽⁴⁾ E (kN/m ²)	初期 ν ⁽⁵⁾ ポアソン比 ν_0	地震前の G_0 ⁽⁶⁾ せん断剛性 G_0 (kN/m ²)	地震後の G_1 ⁽⁶⁾ せん断剛性 G_1 (kN/m ²)	相対密度 ⁽⁷⁾ Dr (%)	液化強度 ⁽⁸⁾ R _{L20}
Bs	19.00	7.0	—	19600	0.333	7400	370	—	—
Bs(地下水以下)	19.00	7.0	30.00	19600	0.333	7400	56.0	0.23	—
Bc	18.00	1.0	—	2800	0.333	1100	55	—	—
As	18.00	4.0	50.0	11200	0.333	4200	38.0	0.16	—
Ac	17.00	1.0	—	2800	0.333	1100	1100	—	—

※1 既存調査結果を基に設定した。
 ※2 既存調査結果の平均値を用いた。
 ※3 $E=2800(\text{kN/m}^2)$ を基に設定した。
 ※4 地震前のポアソン比は、一律0.333とした。
 ※5 $G_0=E/[2(1+\nu)]$ を基に設定した。
 ※6 液化層より上部の非液化層については、引張応力が発生しないような値を試行錯誤により設定した。
 ※7 液体内部がある場合には、無い場合と同程度の値(1/20)を採用した。
 ※8 液化層は、 F_v 、 R_{L20} の関係から、プログラム内で液化層の全ての要素に対して自動的に計算した。
 ※9 $21(N \times 100 / (\sigma'_v + 70))^{1/3}$ (Meyerhofの式)を用いて設定した。
 ※10 N値、 F_v および土層重量から求めたR_Lの層毎の平均値とした。なお、As層は $F_v < 10$ と仮定した。

地下水位：のり尻付近にあるものと仮定した。
 液化化層：YP-5mに浅に分布する沖積砂質土層(As層)とした。

1-2. 堤防被災箇所についての静的照査法による検証

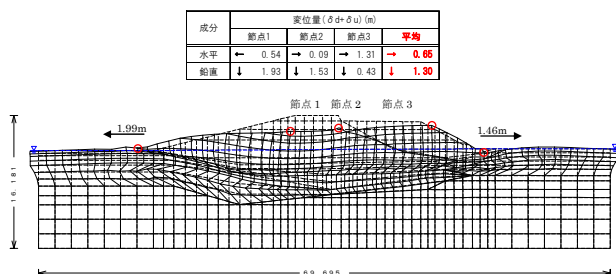
資料—4

検証②：利根川下流 右岸27k+80m～27k+150m（小見川）の事例（中規模被災）

- ・近傍の国総研観測所(小見川)で観測された最大加速度188galを用いて沈下計算を実施。
- ・被災断面と計算結果との比較をしたところ、ほぼ同様の結果が得られた。

○計算結果（地表面最大水平加速度=188gal）

・変形図

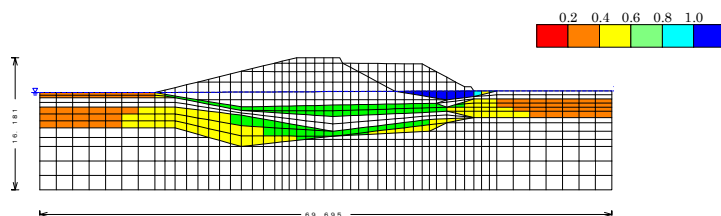


・変位量の比較(被災実測値と計算値の比較)

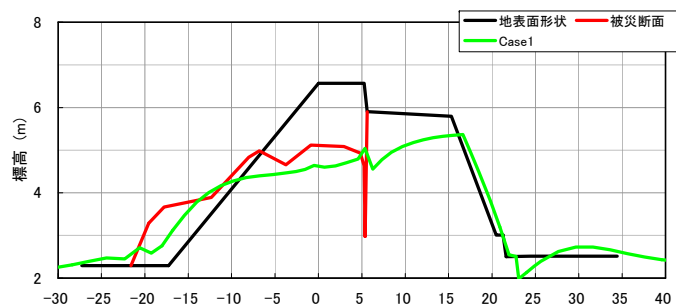
	天端沈下量(m)	川表法尻側変位量(m)
実測値	1.20	—
計算値	1.30	1.99

注) 天端沈下量の実測値は、天端部の沈下土量を天端幅で除して求めた。

・FL値



・堤防断面図(被災前後比較)

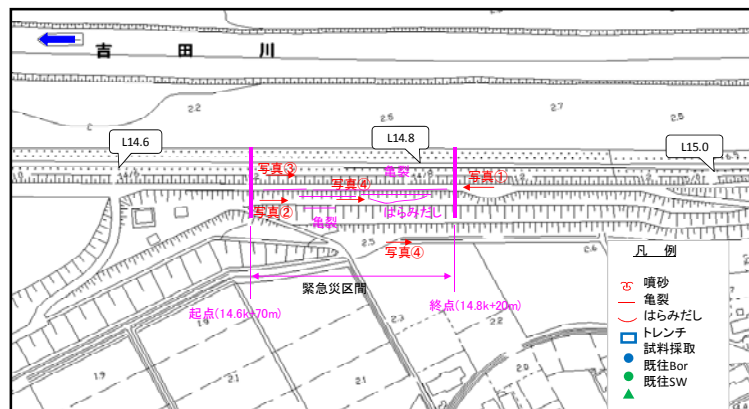


1-2. 堤防被災箇所についての静的照査法による検証

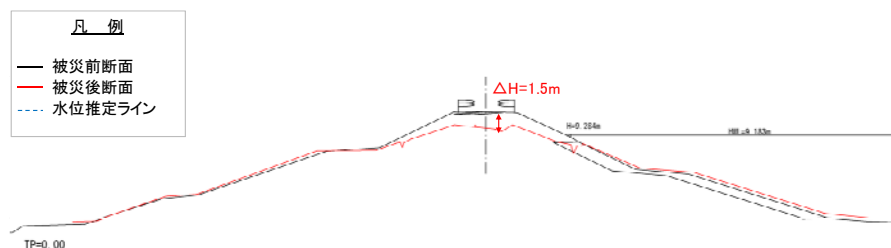
資料—4

検証③：吉田川 左岸14.6k+70m～14.8k+20m（大崎市鹿島台）の事例（中規模被災）

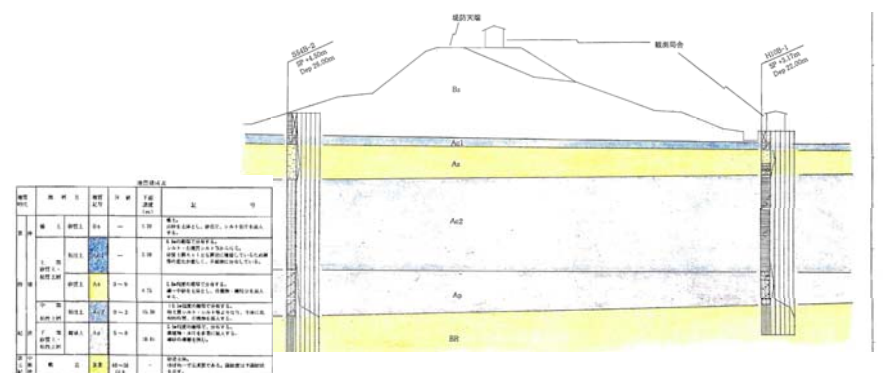
○被災箇所の位置図、状況写真等



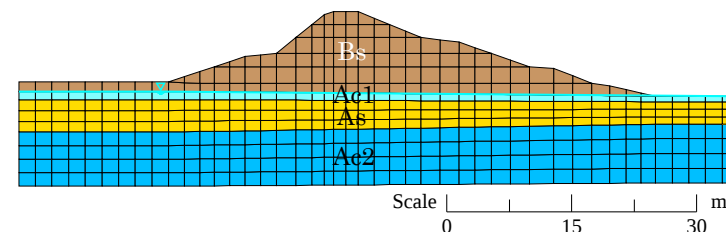
○被災時の変状スケッチ図



○検証用断面図



○検討断面の土質構成、モデル



土層区分	単位 ^{※1} 体積重量 γ_t (kN/m ³)	平均N値 ^{※2} N	原位置有効 ^{※3} 上載荷重 σ_v (kN/m ²)	変形係数 ^{※4} E (kN/m ²)	初期 ^{※4} ポアソン比 μ_0	地震前の ^{※5} せん断耐性 S_u (kN/m ²)	地震後の ^{※6} せん断耐性 S_u (kN/m ²)	相対密度 ^{※7} Dr (%)	液化強度 ^{※8} R_{L50}
Bs	18.00	3.0	—	8400	0.333	3200	320	—	—
Ac1	16.00	1.0	—	2800	0.333	1100	110	—	—
As	18.00	6.0	44.00	16800	0.333	6300	要拠ごとに自動計算	48	0.24
Ac2	16.00	1.0	—	2800	0.333	1100	1100	—	—
Ap	16.00	3.0	—	8400	0.333	3200	3200	—	—
Sp	20.00	50.0	—	140000	0.333	52500	52500	—	—

※1 一般的な値を用いた。
 ※2 既存調査結果を元に設定した。Bs層はN=3と仮定した。
 ※3 $\sigma_v = 25000 \text{ kN/m}^2$ を元に設定した。
 ※4 地震前のポアソン比は、一律0.333とした。
 ※5 $G_0 = E / (2(1 + \mu))$ を元に設定した。
 ※6 液化化層より上部の非液化化層については、引張耐力が発生しないような値を試算値により設定した。
 ※7 液化化層は、 F_v 、 R_{L50} の関係から、プログラム内で液化化層の全ての要素に対して自動的に計算した。
 ※8 $21(N \times 100 / (\sigma_v + 70))^{1/3}$ (Meyerhofの式)を用いて設定した。
 ※9 N値、 F_c および上載荷重から求めたRの層毎の平均値とした。

地下水位：柱状図を参考にAc1層上面に設定した。
 液化化層：沖積砂質土層(As層)とし、既往の調査結果に基づき、N値は5、細粒分含有率26%と設定した。

1-2. 堤防被災箇所についての静的照査法による検証

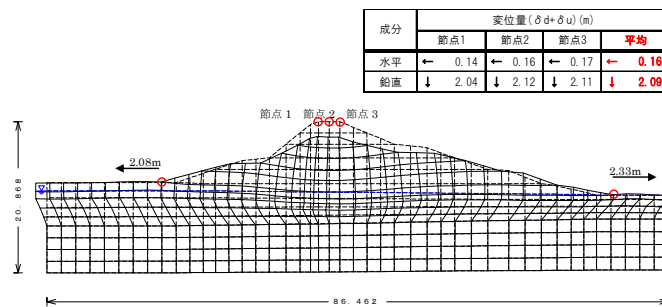
資料—4

検証③：吉田川 左岸14.6k+70m～14.8k+20m（大崎市鹿島台）の事例（中規模被災）

- ・近傍の国総研観測所(山崎)で観測された最大加速度440galを用いて沈下計算を実施。
- ・被災断面と計算結果との比較をしたところ、ほぼ同様の結果が得られた。

○計算結果（地表面最大水平加速度=440gal）

・変形図

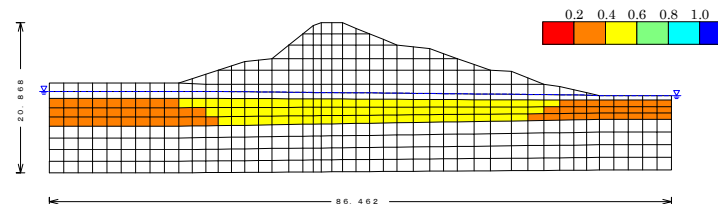


・変位量の比較(被災実測値と計算値の比較)

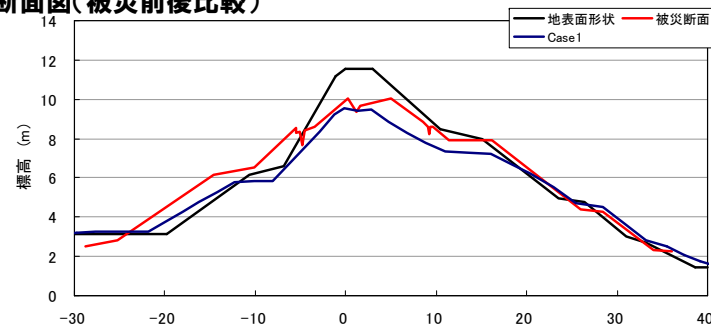
	天端沈下量(m)	川裏法尻側方変位量(m)
実測値	1.50	—
計算値	2.09	2.33

注) 天端沈下量の実測値は、天端部の沈下土量を天端幅で除して求めた。

・FL値



・堤防断面図(被災前後比較)



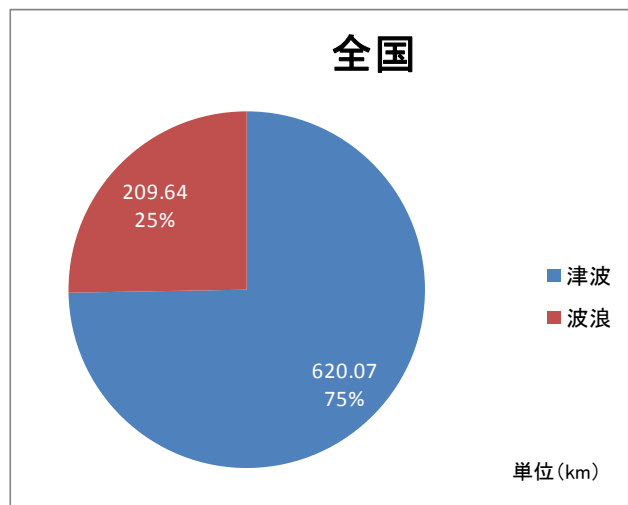
1-3. 地震の発生により生じる津波や地盤沈降の取扱いについて

資料—4

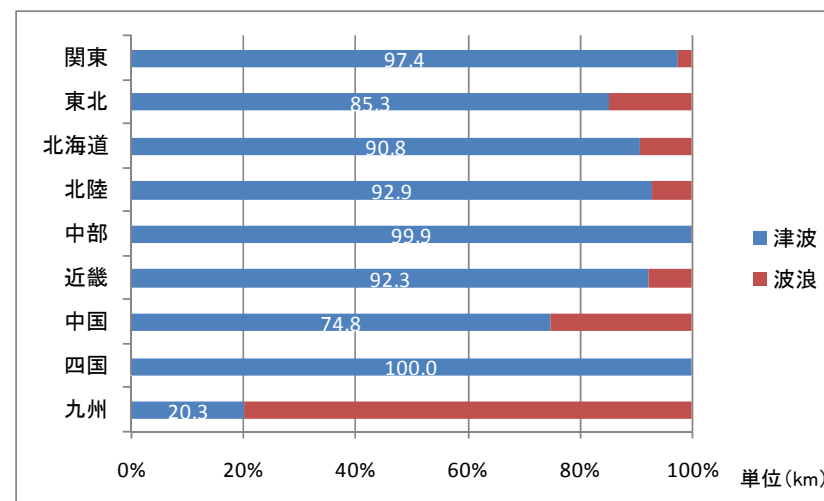
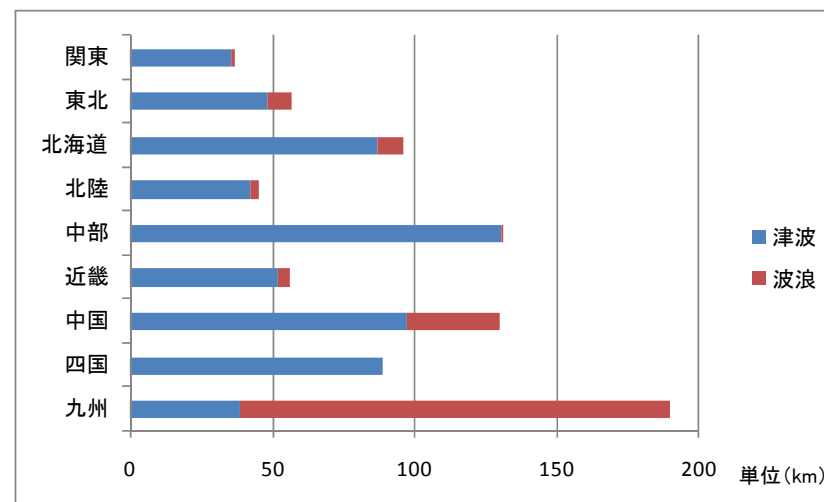
地震の発生により生じる津波の取扱いについて

- ・河口部付近では、平常時の最高水位として、“波浪の影響を考慮しない水位(自己流)”と“波浪の影響を考慮した水位”のうち高い方をとるが、**津波の遡上が予想される場合には、津波高についても考慮している。**
- ・河口部付近において、津波によって照査外水位が決定しているものは**約74%**を占める。

○河口部付近における照査外水位の決定要因（津波、波浪）



※レベル2照査対象区間の内、照査外水位が津波、波浪で決定されているものを抽出し、それらを母数として集計した。

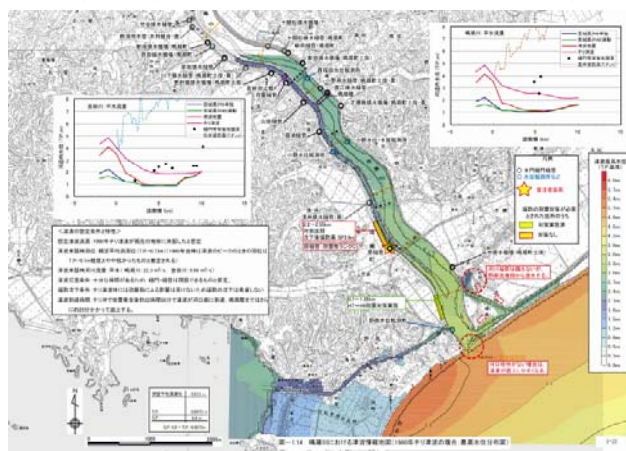


1-3. 地震の発生により生じる津波や地盤沈降の取扱いについて

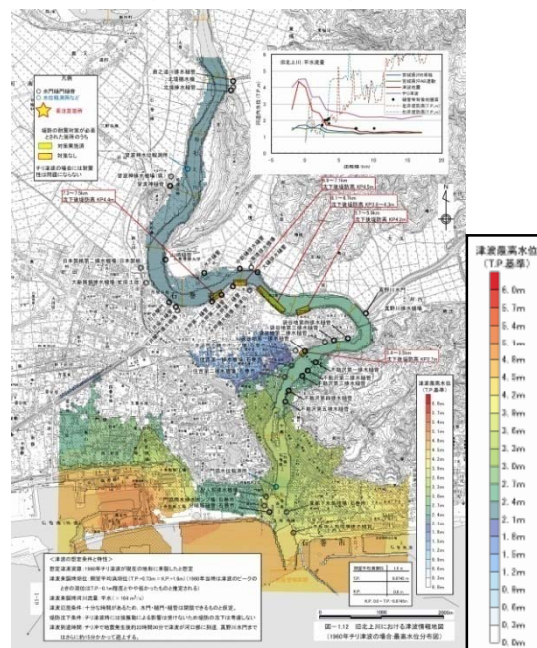
資料—4

- ・東北地方整備局では、津波河道内遡上計算を行い照査外水位を設定している。
- ・対象外力は、宮城県沖地震やチリ津波等より危険側を設定。
- ・現在、土木学会において、海岸保全施設の設計で用いる津波の高さとして、数十年から百数十年に1度の津波(津波レベル1(仮称))を対象とすることが議論されている。
- ・今後、河口部付近における照査外水位の設定にあたっては、上記議論を踏まえるものとする。

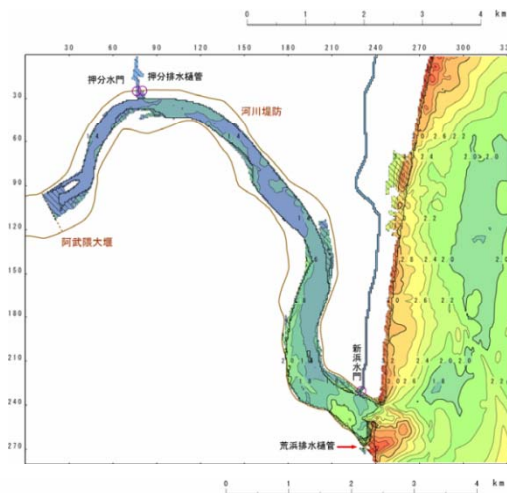
○鳴瀬川・最高水位分布図(1960年チリ津波)



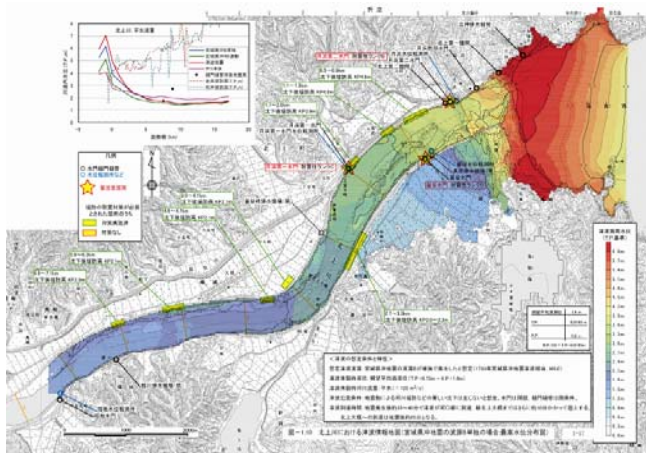
○旧北上川・最高水位分布図(1960年チリ津波)



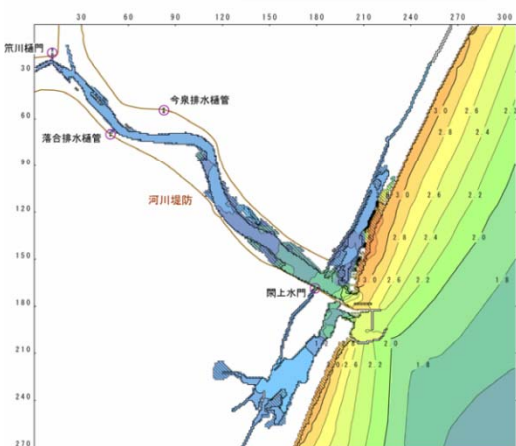
○阿武隈川・最高水位分布図(1933年昭和三陸)



○北上川・最高水位分布図(宮城県沖 波源B単独)



○名取川・最高水位分布図(宮城県沖 波源B単独)



出典)平成15年度北上川・鳴瀬川津波解析検討業務報告書 平成16年3月
平成16年度阿武隈川・名取川及び直轄海岸津波解析検討業務報告書 平成17年3月

1-3. 地震の発生により生じる津波や地盤沈降の取扱いについて

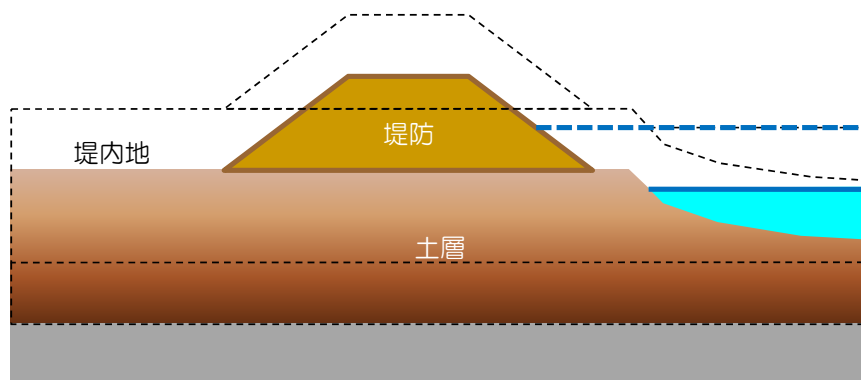
資料—4

地震の発生により生じる地盤沈降の取扱いについて

- ・現在、照査外水位の設定にあたっては地盤沈下等を考慮していないが、地震に伴う沈降(地殻変動による沈下)によって河口部付近の堤防の照査外水位は相対的に上昇する。
- ・耐震照査に際して地盤沈降を考慮するかどうかについては、土木学会等の動向を踏まえるものとする。

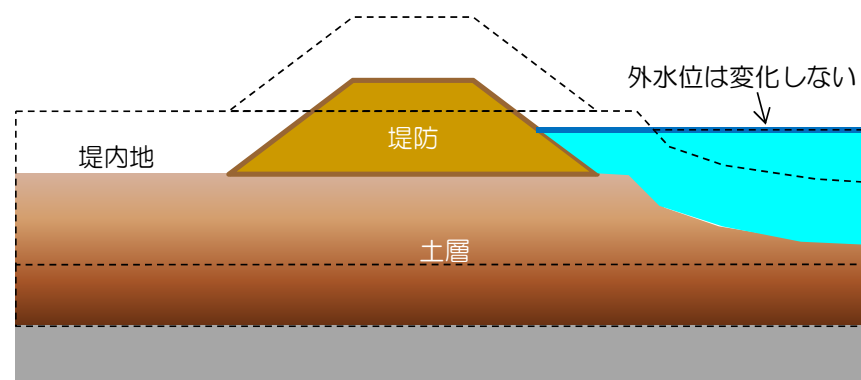
1) 地震に伴う沈降(地殻変動による沈下)が外水位に与える影響が少ない区間

河口より上流で、波浪や津波遡上の影響が少ない部分については、堤防、堤内地と共に外水位も沈下する。
→堤防、堤内地高さと、外水位の相対高さは変わらない。
→**従来通りの沈下量の設定方法**でよいと考える。



2) 地震に伴う沈降(地殻変動による沈下)が外水位に与える影響が大きい区間

河口部付近で、波浪や津波遡上の影響が大きい部分については、堤防、堤内地が沈下するものの、外水位は変化しない。
→堤防、堤内地が沈降するため、外水位の相対高さが増加する(見かけ上、外水位が上がる)。
→新たに、**地震に伴う沈降を考慮**した設定が必要か？



----- : 沈下前

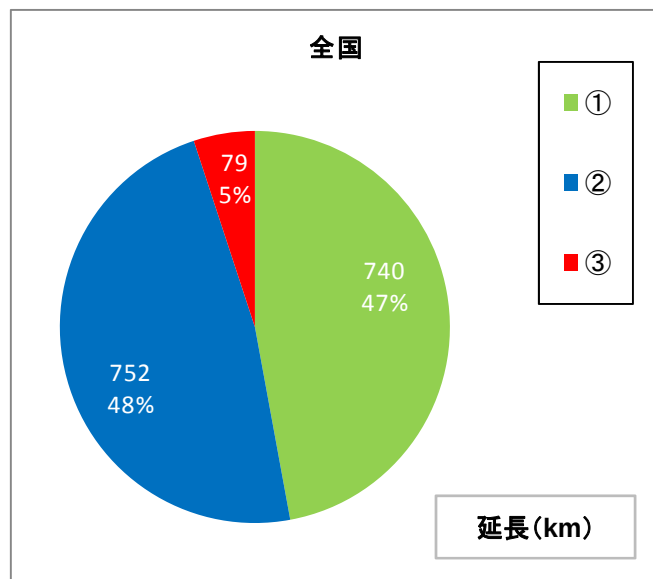
2. 耐震点検・対策の進捗と費用について

資料—4

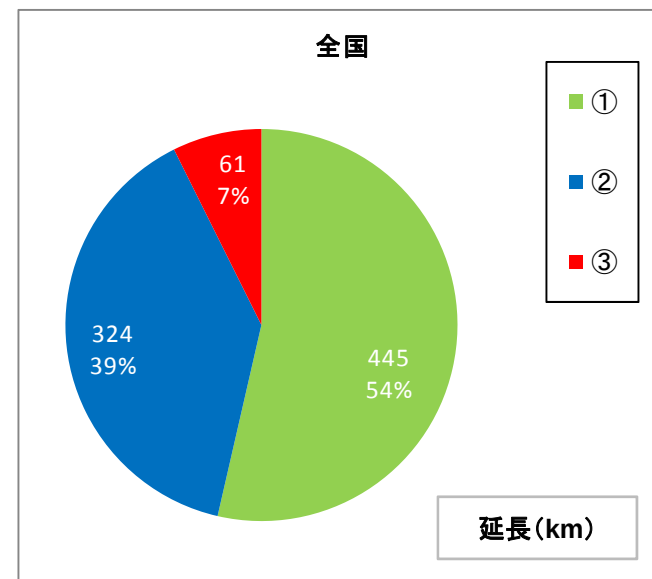
河口部における河川堤防のレベル2耐震点検実施状況

- ・照査対象延長(1570.84km):照査完了は、830.72km(53%)。照査未了は、740.12km(47%)。
- ・照査対象延長の内、河口部の延長(829.71km):照査完了は、385.04km(46%)。照査未了は、444.67km(54%)。

○照査対象延長全体の場合



○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。

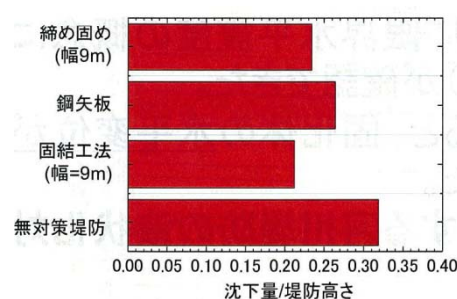
※平成23年5月7日時点 河川局治水課調べ。

2. 耐震点検・対策の進捗と費用について

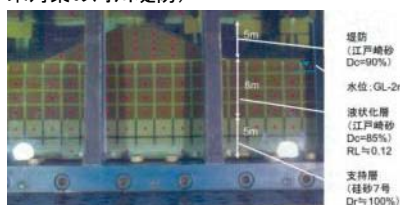
資料—4

- ・堤防の耐震対策は沈下を完全に抑制できないものの、一定の沈下低減効果が見込める(動的遠心模型実験の結果より)。
- ・対策工間の間隔が狭いほど沈下抑制効果が高くなり、堤防直下の場合最も効果が高くなるがコストが大きくなる。
(SCPを例に動的解析手法を用いて試算した事例より)
- ・既設堤防に対する耐震対策では、堤防直下を改良することは難しく、法尻付近の片側(一部両側)で実施される事例が多い。
- ・レベル2耐震点検(耐震照査)のコストは、調査、解析を含め約150万円。
- ・レベル2耐震対策工のコストは、机上検討で1m当たり約100～500万円。

○動的遠心模型実験による堤防沈下抑制効果の検証



未対策の河川堤防)



締め固め工法による対策)

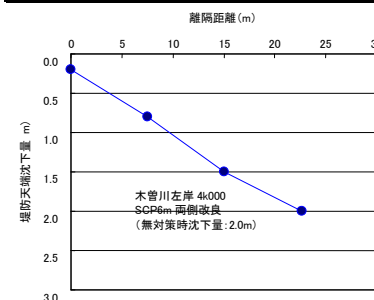
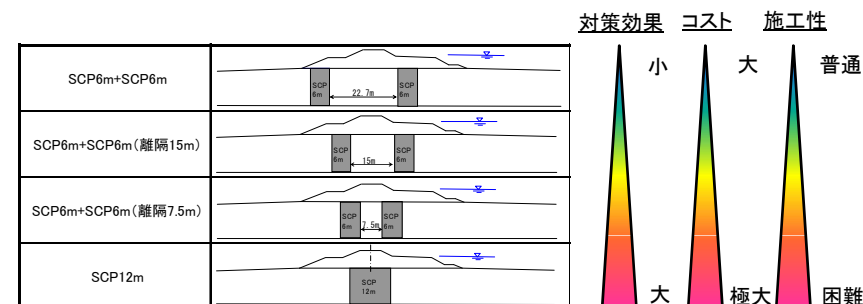


固結工法による対策)



出典)第9回堤防委員会資料「河川堤防の液状化対策工法の設計等について」
平成22年12月 独立行政法人土木研究所

○動的解析手法を用いた対策効果分析



出典)「木曾三川下流部河川堤防地震対策工ガイドライン(案)」
平成20年3月
(財)国土技術研究センター

○レベル2耐震対策工におけるコスト(机上検討例)

対策工	延長1m当たりのコスト
締め固め、鋼矢板、固結工法など	約100～500万円/m

※)両法面を対策とした場合の概略工事費より算定。
※)現場の条件に応じて、コストには開きがある。

○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）

- 耐震照査における照査外水位は、堤防の地震後の緊急復旧が概ね14 日間で完了している事を考慮して14 日間に発生する確率が1／10 の水位としている。また、津波の遡上が予想される場合には、津波高についても考慮することとしている。
- 今回の地震においては、震後、緊急復旧完了までの期間は14日を大幅に上回っているが、工事開始後は概ね14日で緊急復旧を完了している。工事開始が遅れた理由としては、燃料不足や資機材の不足によるものである。
- 従って、照査外水位の設定については、現在の指針通り14日間で発生する水位とする。また、津波や地盤沈降については、土木学会等の動向を踏まえるものとする。
- なお、緊急復旧の工事開始が、迅速・円滑に行えるよう、復旧シミュレーションや資機材の備蓄等のソフト的対応策の充実を図る。

○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

- 現行の耐震性能照査方法では、“長時間に及ぶ地震動の継続時間”や“堤体の部分液状化”については厳密には考慮されていない。
- 被災箇所に強震計が設置されている3箇所（江合川福沼、利根川下流小見川、吉田川山崎）を対象として静的解析による沈下計算を行った結果、実沈下量とほぼ同等、もしくは解析の沈下量がやや大きい安全側の結果を得た。
- 従って、わずかな検証事例からの誘導ではあるが、緊急的に実施する必要がある河川堤防の耐震性照査は、当面現在の指針を準用しても対策必要区間の見落としは少ない（安全側の照査となっている）ものと考える。
- なお、地震動の継続時間が液状化に及ぼす影響、堤体内の部分液状化に係る“地下水位の設定手法”や“液状化層の剛性低下”等については、学会等の研究動向を踏まえ、引き続き検討すべき事項と考える。

河川名	地先名	実測		計算		
		地表面最大 水平加速度 (gal:観測記録)	実沈下量 (m)	計算沈下量 (m)	液状化層の RL値の範囲	液状化層の FL値の範囲
江合川	福沼	586	0.71	1.08	0.11~0.32	0.27~0.57
利根川下流	小見川	188	1.20	1.30	0.16~0.23	0.32~0.66
吉田川	山崎	440	1.50	2.09	0.24	0.22~0.50

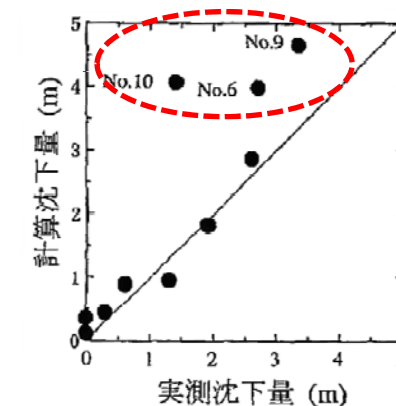
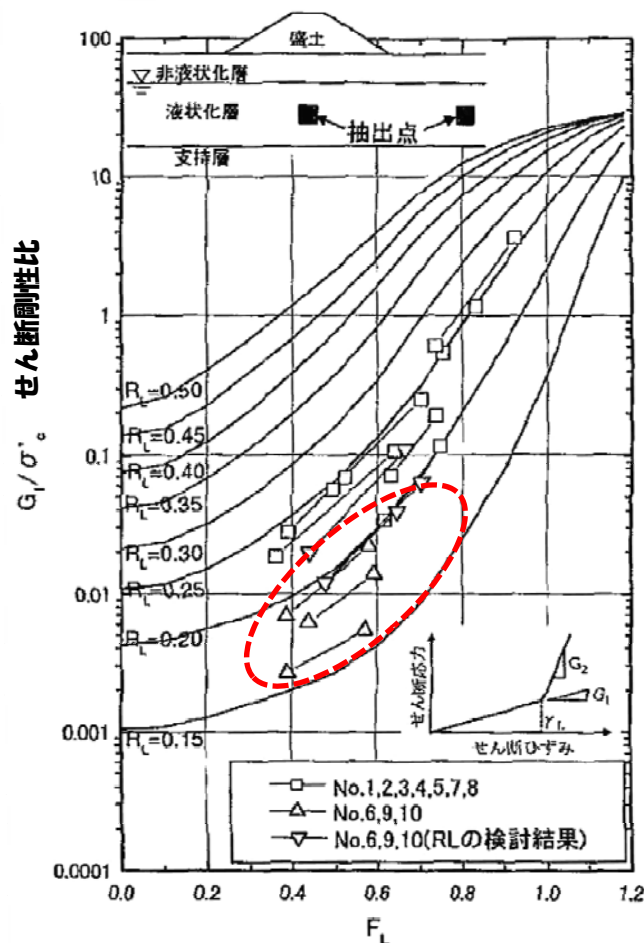


図2 逆解析断面における
実沈下量と計算値の比較

図1
せん断剛性比とFL、RLの関係

- 繰返しねじりせん断試験の結果では、 $FL \geq 0.8$ のデータしか得られておらず、データを得るための試験法も確立されていない。
- $FL 0.4 \sim 0.7$ の範囲については、1995兵庫県南部地震や、1994北海道南西沖地震などで沈下した河川堤防を逆解析することによって、せん断剛性の推定を行っており、これによってせん断剛性比とFL、RLの関係が得られている。(図1参照)
- 上記の関係に基づいてALIDで逆解析断面の検証計算を行った結果、 $RL 0.15 \sim 0.20$ の範囲の断面は実沈下量と差異が見られた。(計算沈下量 $\geq$ 実沈下量で安全側)(図2参照)
- 指針は図1に基づき剛性低下を判定している。
- 今回の計算では、 RL が $0.11 \sim 0.32$ 、 FL が $0.27 \sim 0.57$ の範囲で図1に基づき剛性低下を判断しており、実沈下量と計算値に差異を生じる可能性があるが、安全側の照査結果になっていると考えられる。

出典)「河川堤防の地震被害事例に基づく液状化地盤の剛性に関する検討
2005 日本地震工学会・大会