

解析結果(資料1参考)

強振動記録が得られている箇所、大中規模の被災箇所、液状化による被災パターンの観点より、以下のケースを選定し、ALIDを用いて検証を行った。

- ケース1) 江合川 右岸26.6k+115m～26.8m+120m（福沼） [大規模被災・パターン I + II]
- ケース2) 利根川下流 右岸27k+80m～27k+150m（小見川） [中規模被災・パターン I]
- ケース3) 吉田川 右岸16.0k～16.2k付近（山崎振動観測所） [中規模被災・パターン I]
- ケース4) 江合川 右岸14.0k+43m～14.6k+43m（中島乙） [大規模被災・パターン II]
- ケース5) 利根川下流 右岸39.0k+64m～39.5k+79m（佐原イ） [大規模被災・パターン I]

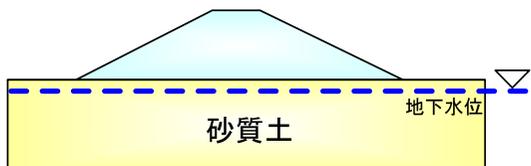
パターン	液状化の種類
I	基礎地盤の液状化
II	堤体の部分液状化
I + II	上記の複合型

解析結果

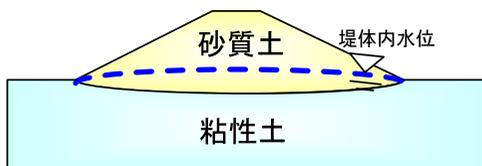
検討ケース	検討ケースとなる被災箇所		モデル断面の距離標	液状化パターン			解析に用いる外力	モデル化の情報	解析結果		
				I	II	I + II				天端沈下量 (m)	法尻水平変位量 (m)
1	東北	江合川右岸 26.6k+120m～26.8k+120m (福沼地区)	26.8k			○	586gal 400gal (500gal)	被災後の詳細調査に基づき設定	実測値	0.71	5.12(川表)
									計算値	1.54	3.92(川表)
2	関東	利根川下流右岸 27k+80m～27k+150m (小見川)	26.5k	○			188gal	地震前の調査結果に基づき設定 地下水位は法尻付近にあると仮定	実測値	1.20	4.32(川表)
									計算値	1.00	1.95(川表)
3	東北	吉田川右岸 山崎観測所位置	16.0k	○			440gal	観測所設置時のボーリング結果をもとに設定 地下水位は、上記柱状図を参考に、堤体直下のAc1層上面にあると仮定	実測値	0.80	2.60(川表)
									計算値	1.98	2.03(川表)
4	東北	江合川右岸 14.0k+43m～14.6k+43m (中島乙地区)	14.4k+50m		○		500gal	被災後の詳細調査に基づき設定	実測値	1.33	1.25(川表)
									計算値	0.76	0.00(川表)
5	関東	利根川下流右岸 39.0k+64m～39.5k+79m (佐原イ地先)	39.5k+5m	○			310gal	被災後の詳細調査に基づき設定	実測値	0.92	1.49(川表)
									計算値	2.11	3.87(川表)

注)現在までの情報に基づく条件設定、モデル化による解析結果であり、今後、結果が見直される可能性がある。

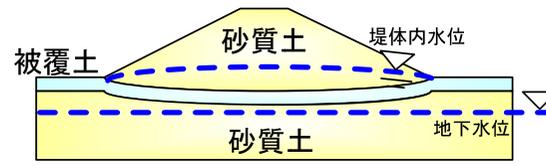
液状化パターンⅠ 基礎地盤液状化



液状化パターンⅡ 堤体の部分液状化

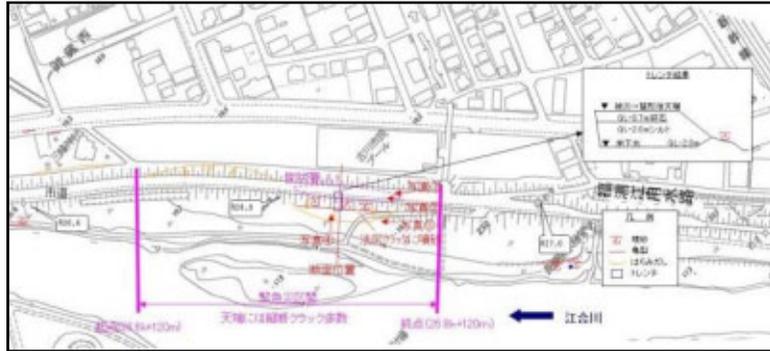


液状化パターンⅠ+Ⅱ 左記の複合



ケース1：江合川 右岸26.6k+115m～26.8k+120m（福沼）の事例（大規模被災）

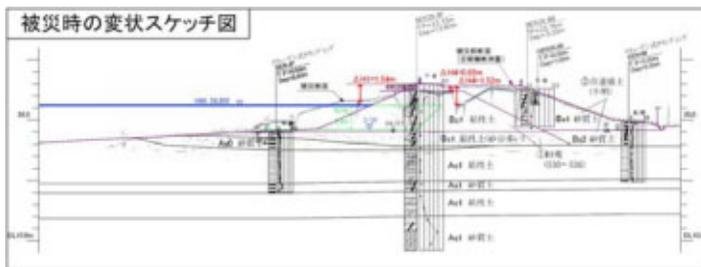
○被災箇所の位置図、状況写真等



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）

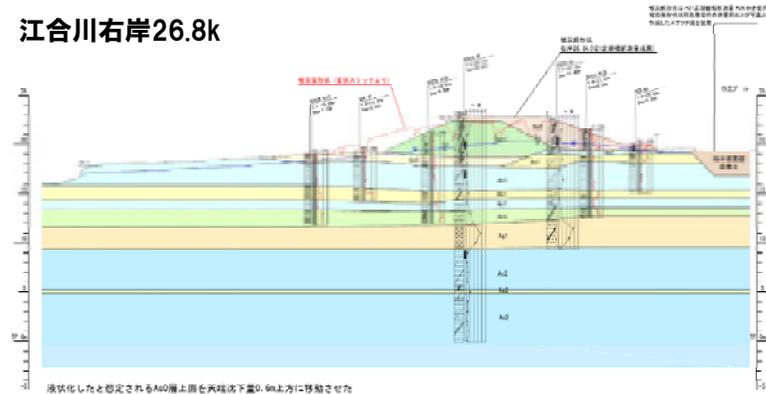


○被災時の変状スケッチ図

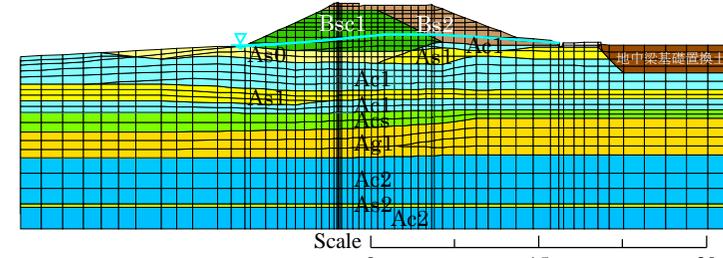


○検証用断面図

江合川右岸26.8k



○検討断面の土質構成、モデル



土層区分	単位 ^{※1} 体積重量γ _s (kN/m ³)	平均N値 ^{※2} N	原位置有効 ^{※3} 上載荷重σ _v ⁰ (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} Dr (%)	液状化強度 ^{※8} R _{L50}
Bsc1	15.60	3.0	—	8400	0.333	3200	32	—	—
Bsc1(地下水水位以下)	15.60	2.0	62.46	5600	0.333	2100	要素ごとに自動計算	26	0.11
Bs2	15.60	6.0	—	16800	0.333	6300	63	—	—
Bs2(地下水水位以下)	15.60	6.0	36.11	16800	0.333	6300	要素ごとに自動計算	50	0.22
As1(1)	19.40	9.0	52.71	25200	0.333	9500	要素ごとに自動計算	57	0.31
As1	15.40	3.0	—	8400	0.333	3200	—	—	—
As0	19.40	3.0	70.26	8400	0.333	3200	要素ごとに自動計算	31	0.17
As1(2)	19.40	5.0	88.06	14000	0.333	5300	要素ごとに自動計算	37	0.20
Asa	19.40	9.0	111.66	25200	0.333	9500	要素ごとに自動計算	47	0.30
As1	20.00	31.0	131.54	8400	0.333	3200	要素ごとに自動計算	82	0.49
Ac2	15.40	4.0	—	11200	0.333	4200	—	—	—
Ac2	19.60	10.0	162.79	28000	0.333	10500	要素ごとに自動計算	44	0.20

※1 既存調査結果を基に設定した。
 ※2 既存調査結果を基に設定した。
 ※3 $E = 2800(N+1)$ 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 液状化層より上部の新液状化層については、引張応力が発生しないような値を既存値により設定した。液状化層は、 F_v 、 R_{L50} の関係から、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 $21(N+100) / (\sigma_v^* + 70)^{0.5}$ (Meyerhofの式)を用いて設定した。
 ※8 N値、 F_v および上載荷重から求めたRLの層毎の平均値とした。

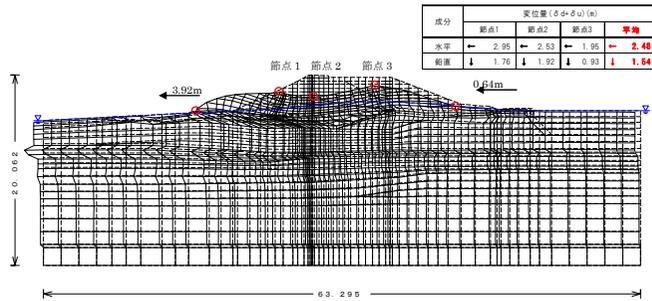
- ・地下水位は被災後の調査ボーリングで確認された水位をもとに設定した。
- ・液状化層は、地下水位以下の堤体土(Bsc1, Bs2)及び沖積砂質土層(As0層, As1層)とした。

ケース1：江合川 右岸26.6k+115m～26.8k+120m（福沼）の事例（大規模被災）

- 近傍のK-Net観測所(古川)で観測された最大加速度586gal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、沈下量は、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=586gal）

•変形図

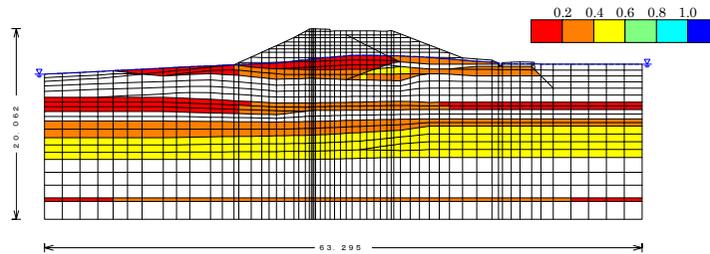


•変位量の比較(被災実測値と計算値の比較)

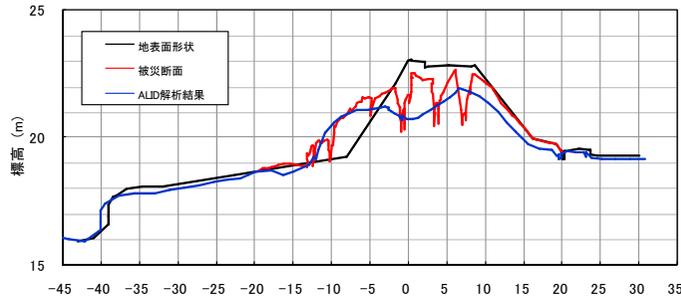
	天端沈下量(m)	法尻水平変位量(m)
実測値	0.71	5.12
計算値	1.54	3.92

※実測値は、スケッチ図からの読み取りによる。
 (沈下量は沈下土量を堤防幅で除した値。水平変位量はスケールアップで求めた。)

•FL値



•堤防断面図(被災前後比較)

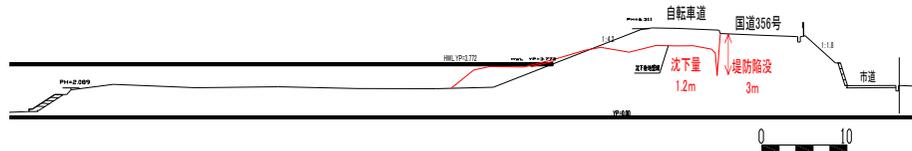


ケース2：利根川下流 右岸27k+80m～27k+150m（小見川）の事例（中規模被災）

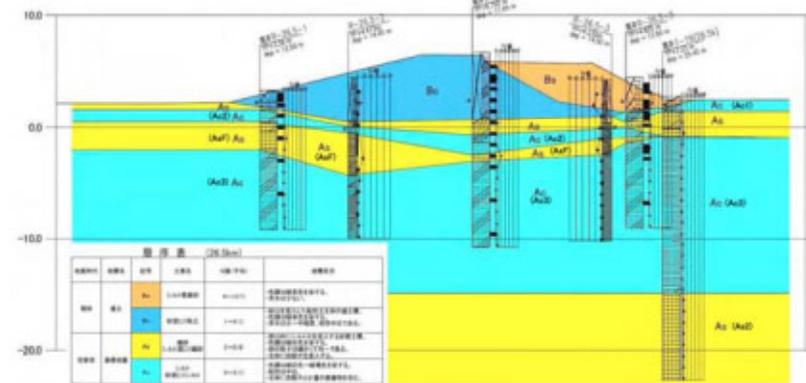
○被災箇所の位置図、状況写真等



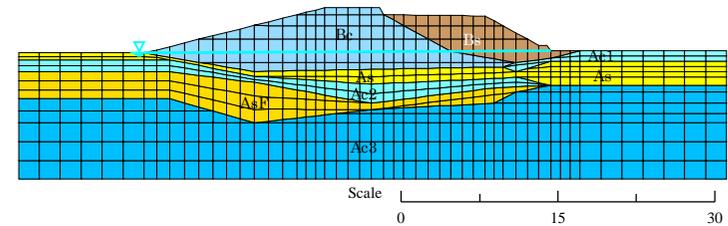
○被災時の変状スケッチ図



○検証用断面図



○検討断面の土質構成、モデル



土層区分	単位 ^{※1} 体積重量 γ_s (kN/m ³)	平均値 ^{※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 ν_p	地震前の ^{※5} せん断剛性 G_s (kN/m ²)	地震後の ^{※6} せん断剛性 G_r (kN/m ²)	相対密度 ^{※7} Dr (%)	液状化強度 ^{※8} R_{L50}
Bs	19.00	7.0	—	19600	0.333	7400	740	—	—
Bs (地下水以下)	19.00	7.0	30.00	19600	0.333	7400	調査ごとに自動計算	56.0	0.23
Bc	18.00	1.0	—	2800	0.333	1100	110	—	—
Aa	18.00	4.0	50.0	11200	0.223	4200	調査ごとに自動計算	38.0	0.18
Ac	17.00	1.0	—	2800	0.333	1100	110	—	—

※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 $E=2800(N/kN/m^2)$ 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 $G_s = \nu_p / (2(1-\nu_p))$ を基に設定した。
 ※6 液状化層より上部の非液状化層については、引張耐力が発生しないような値を試験結果により設定した。
 ※7 液状化層は、 R_{L50} の算出から、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。
 ※8 $21(N \times 100 / (\sigma_v' + 70))^{1/2}$ (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RLの層厚の平均値とした。なお、As層は $F_c < 10$ と仮定した。

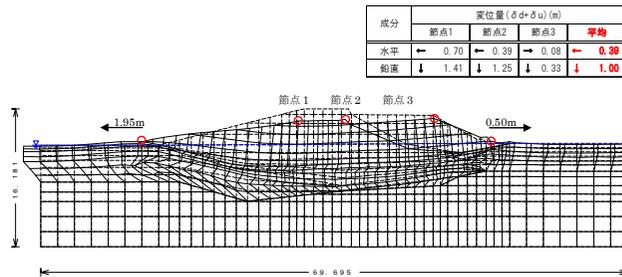
地下水位：のり尻付近にあるものと仮定した。
 液状化層：YP-5m以浅に分布する沖積砂質土層(As層)とした。

ケース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、沈下量は、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

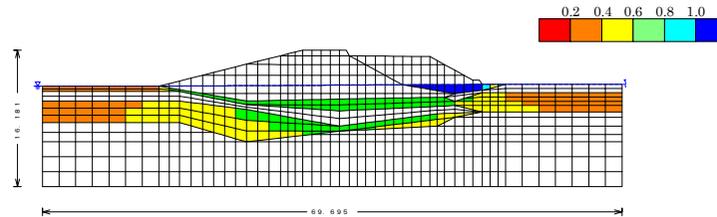


・変位量の比較(被災実測値と計算値の比較)

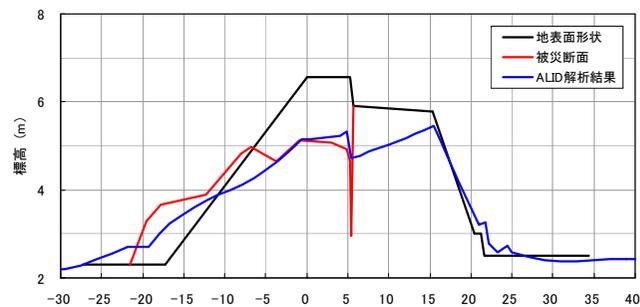
	天端沈下量(m)	法尻水平変位量(m)
実測値	1.20	4.32
計算値	1.00	1.95

※実測値は、スケッチ図からの読み取りによる。
（沈下量は沈下土量を堤防幅で除した値。水平変位量はスケールアップで求めた。）

・FL値



・堤防断面図(被災前後比較)



ケース3：吉田川 右岸16.0k~16.2k付近（山崎振動観測所）の事例（中規模被災）

○被災箇所の位置、状況写真等



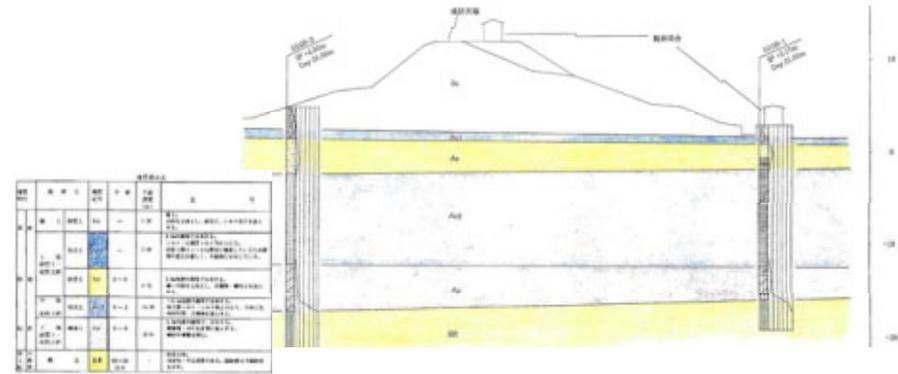
H19.9撮影



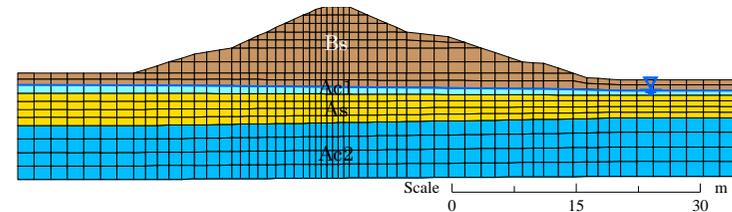
H23.4撮影



○検証用断面図



○検討断面の土質構成、モデル

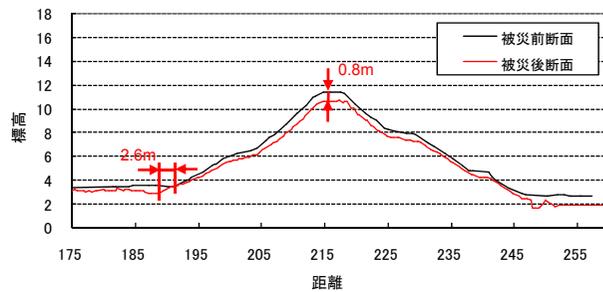


土層区分	単位体積重量 (kN/m³)	平均N値	原位置有効上載荷重 (kN/m²)	変形係数 (kN/m²)	初期ポアソン比	地震前のせん断剛性 (kN/m²)	地震後のせん断剛性 (kN/m²)	相対密度 (%)	液状化強度 (kN/m²)
Bs	18.00	3.0	—	8400	0.333	3200	160	—	—
Ac1	16.00	1.0	—	2800	0.333	1100	110	—	—
As	18.00	6.0	44.00	16800	0.333	6300	要表ごとに自動計算	48	0.24
Ac2	16.00	1.0	—	2800	0.333	1100	1100	—	—
Ap	16.00	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 既存調査結果を基に設定した。Bs層はN=3と仮定した。
- ※3 E=29000(kN/m²)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 $G_s = E / (2(1+\nu))$ を基に設定した。
- ※6 液状化層より上部の非液状化層については、引張応力が発生しないような値を挙行値により設定した。液状化層は、 $F_v - R_{L50}$ の関係から、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 $2[(N \times 100 / (\sigma_v + 70))^{1/2}]^{1.5}$ (Meyerhofの式)を用いて設定した。
- ※8 N値、Fcおよび上載荷重から求めたR_L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。
 液状化層：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。

○被災時の変状図

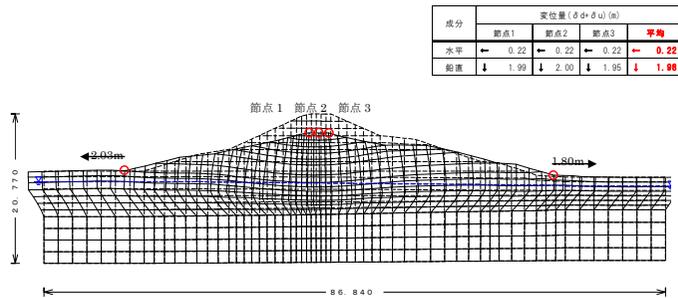


ケース3：吉田川 右岸16.0k~16.2k付近（山崎振動観測所）の事例（中規模被災）

- ・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、実測値より大きめの沈下量が得られた。

○計算結果（地表面最大水平加速度=440gal）

・変形図

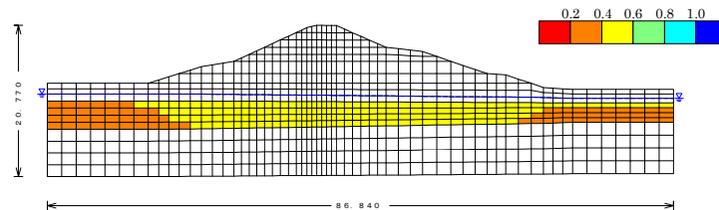


・変位量の比較(被災実測値と計算値の比較)

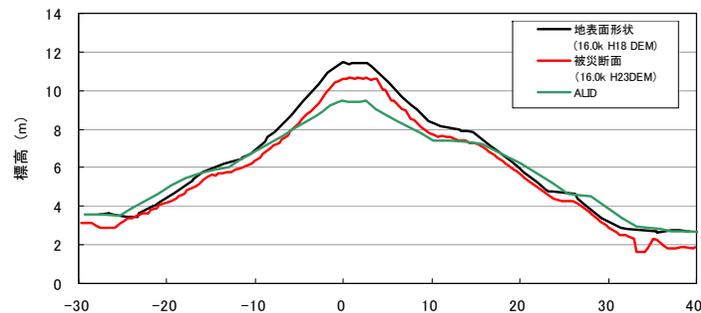
	天端沈下量(m)	法尻水平変位量(m)
実測値	0.80	2.60
計算値	1.98	2.03

※実測値は、スケッチ図からの読み取りによる。
（沈下量は沈下土量を堤防幅で除した値。水平変位量はスケールアップで求めた。）

・FL値



・堤防断面図(被災前後比較)

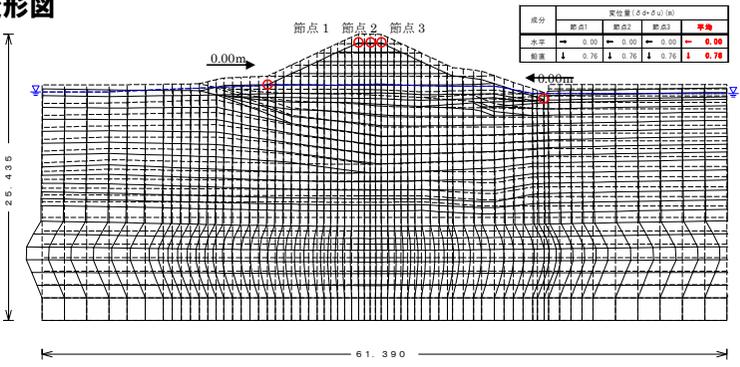


ケース4：江合川 右岸14.0k+43m～14.6k+43m（中島乙）の事例（大規模被災）

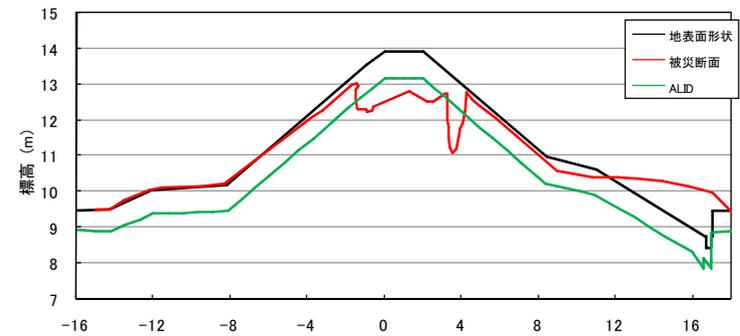
- ・近傍の強振動観測所の観測値をもとに、加速度500galを用いて沈下計算を実施。
- ・被災断面と計算結果との比較をしたところ、実測値より小さめの沈下量が得られた。

○計算結果（地表面最大水平加速度=500gal）

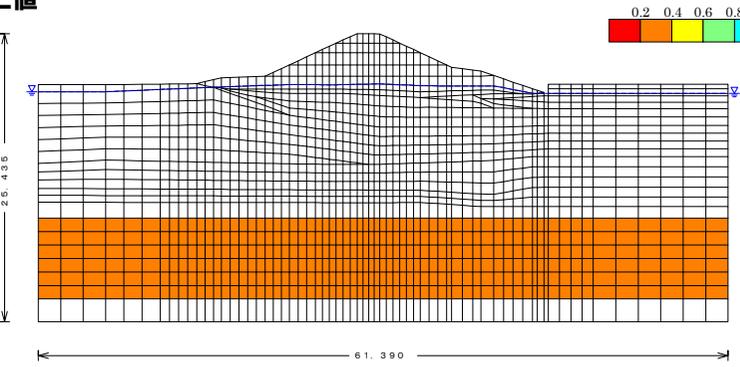
・変形図



・堤防断面図(被災前後比較)



・FL値



・変位量の比較(被災実測値と計算値の比較)

	天端沈下量(m)	法尻水平変位量(m)
実測値	1.33	1.25
計算値	0.76	0.00

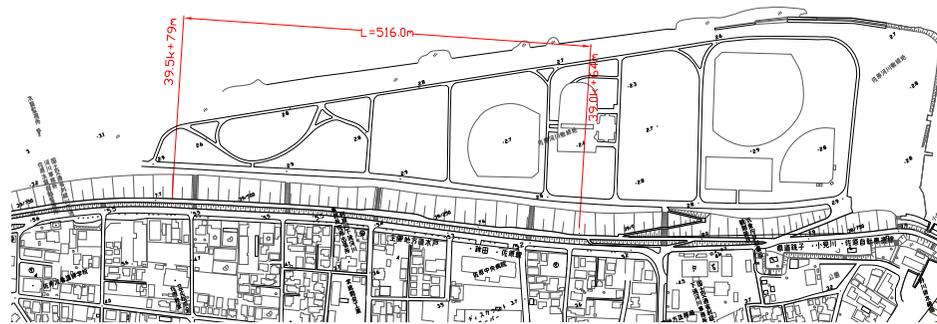
※実測値は、スケッチ図からの読み取りによる。
 (沈下量は沈下土量を堤防幅で除した値。水平変位量はスケールアップで求めた。)

代表被災箇所における検証（解析結果）

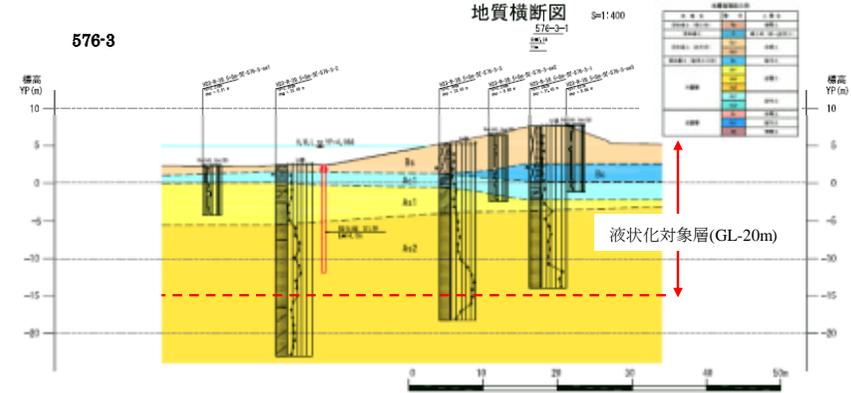
参考資料—1

ケース5：利根川下流 右岸39.0k+64m～39.5k+79m（佐原イ）の事例（大規模被災）

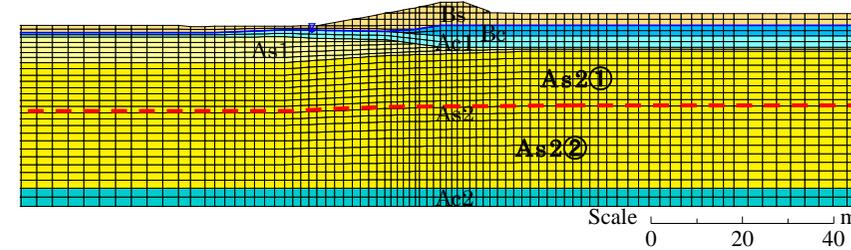
○被災箇所の位置図、状況写真等



○検証用断面図



○検討断面の土質構成、モデル



○被災時の変状スケッチ図



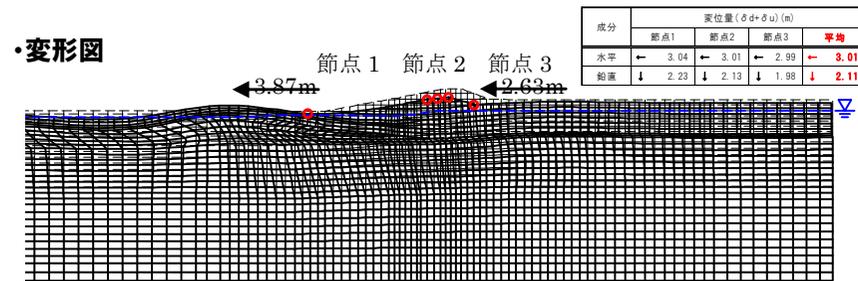
土層区分	単位 ^{※1} 体積重量 γ_s (kN/m ³)	平均N値 ^{※2} N	原位置有効 上載荷重 σ_v (kN/m ²)	変形係数 ^{※3} E (kN/m ²)	初期 ^{※4} ポアソン比 ν_0	地震前の ^{※5} せん断剛性 G_0 (kN/m ²)	地震後の ^{※6} せん断剛性 G_1 (kN/m ²)	相対密度 ^{※7} Dr (%)	液状化強度 ^{※8} R_{L20}
Bs	17.00	3.0	42.50	8400	0.333	3200	80	—	—
Bc	18.00	3.0	—	8400	0.333	3200	80	—	—
Ac1	17.00	4.0	—	11200	0.333	4200	105	—	—
As1	17.00	5.0	124.98	14000	0.333	5300	要素ごとに自動計算	33.6	0.18
As2①	19.00	15.0	187.39	42000	0.333	15800	要素ごとに自動計算	50.7	0.25
As2②	19.00	12.0	320.89	33600	0.333	12600	12600	—	—
Ac2	17.00	50.0	—	140000	0.333	52500	52500	—	—

※1 試験結果を基に設定した。
 ※2 試験結果を基に平均的な値とした。
 ※3 $E=28000$ (kN/m²)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 $G_0=E/[2(1+\nu_0)]$ を基に設定した。
 ※6 液状化層より上部の非液状化層については、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 液状化層は、 F_L 、 R_{L20} の関係から、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。
 ※8 $211(N \times 100 / (\sigma'_v + 70))^{0.5}$ (Meyerhofの式)を用いて設定した。
 ※9 N値、 F_0 および上載荷重から求めた R_L の層毎の平均的な値とした。

ケース5：利根川下流 右岸39.0k+64m～39.5k+79m（佐原イ）の事例（大規模被災）

- 近傍のK-Net観測所(佐原)で観測された最大加速度310gal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、実測値より大きめの沈下量が得られた。

○計算結果（地表面最大水平加速度=310gal）

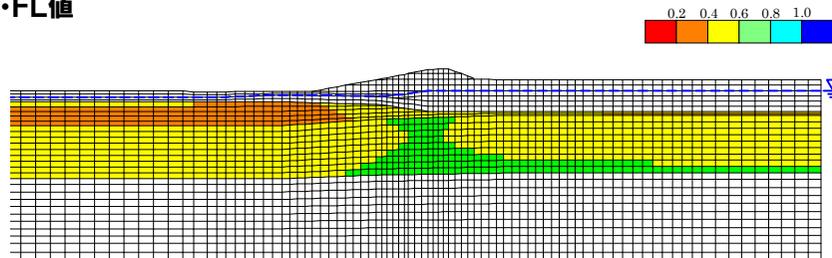


•変位量の比較(被災実測値と計算値の比較)

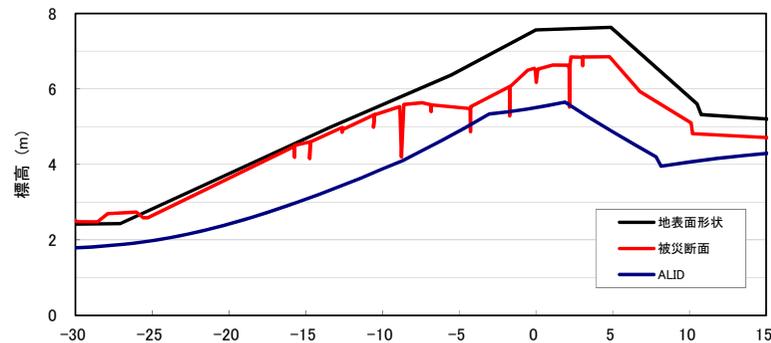
	天端沈下量(m)	法尻水平変位量(m)
実測値	0.92	1.49
計算値	2.11	3.87

※実測値は、スケッチ図からの読み取りによる。
 (沈下量は沈下土量を堤防幅で除した値。水平変位量はスケールアップで求めた。)

•FL値

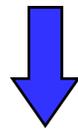
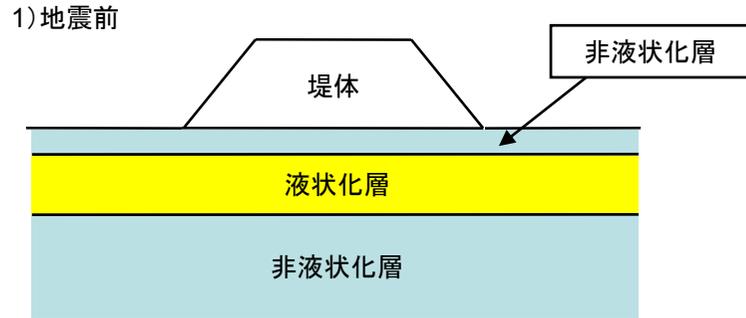


•堤防断面図(被災前後比較)



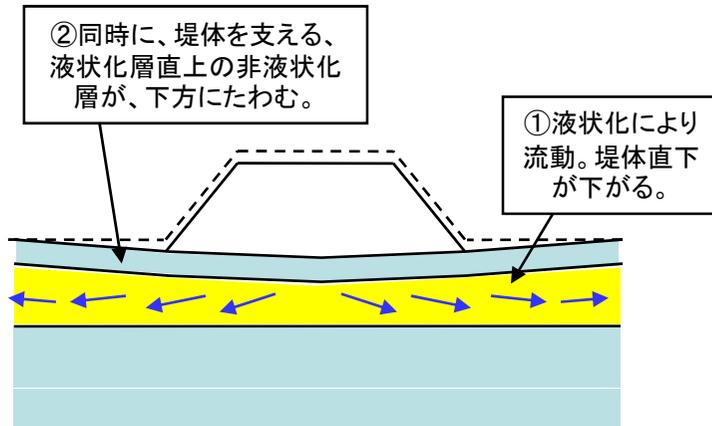
・液状化層の直上に位置する非液状化層において、変形時に引張応力が発生しないように剛性低下比を設定する。

○剛性低下比設定の考え方(イメージ図)

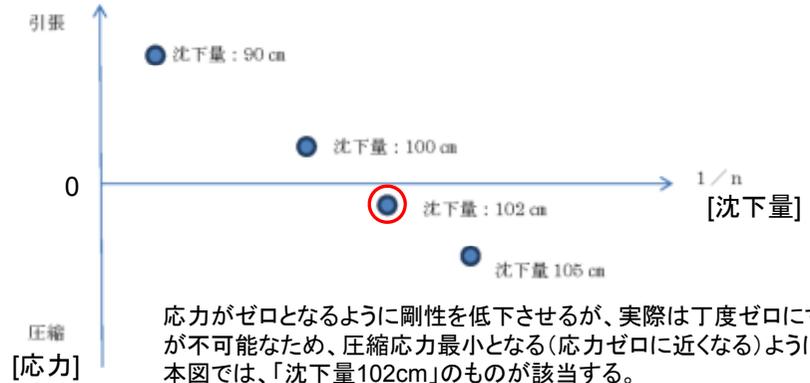


液状化層が
液状化する

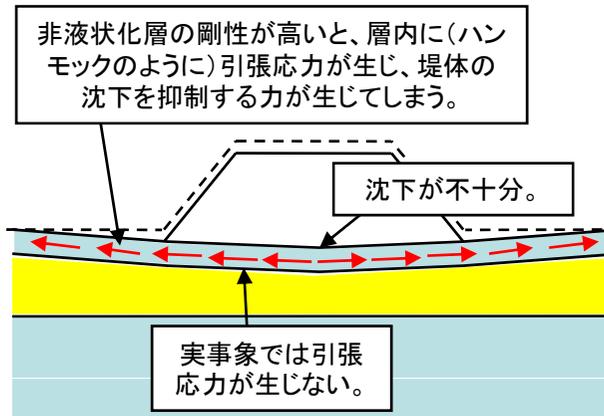
2) 地震中、地震後



○非液状化層の応力と沈下量の関係例(イメージ)



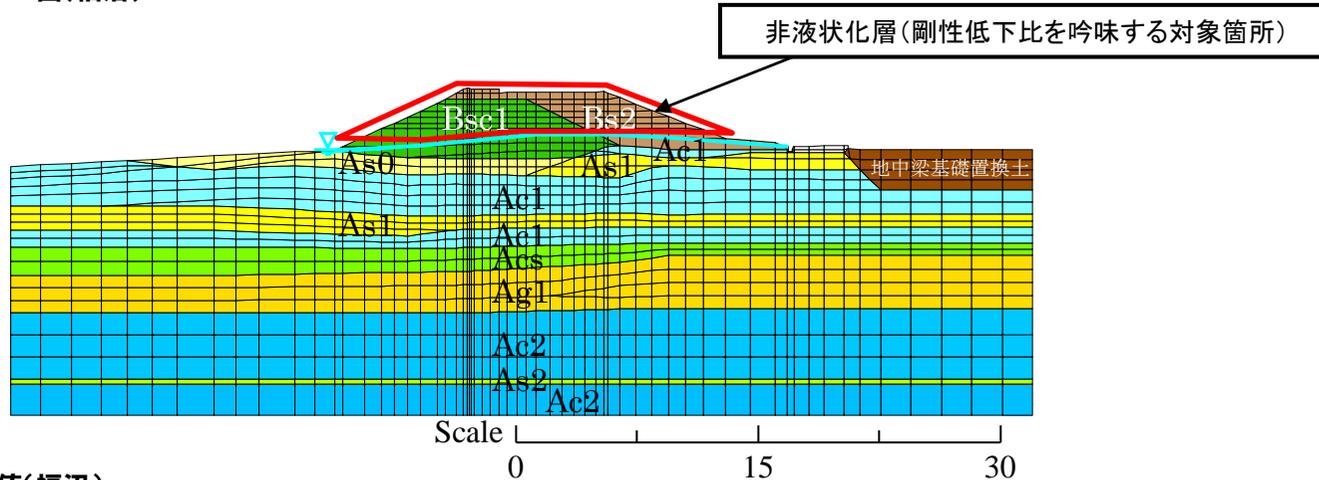
非液状化層の剛性低下比	大	↔	小
非液状化層の応力	引張側	↔	圧縮側
堤体沈下量	小	↔	大



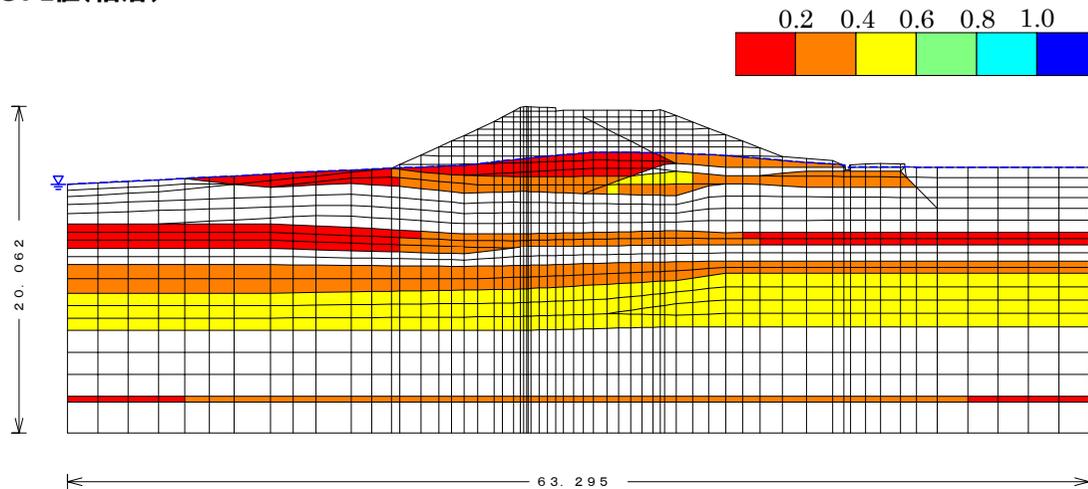
引張応力が生じないように、非液状化層の剛性を低下させる必要がある。

- ・本資料における非液状化層の剛性低下比は、標準的に推奨されている1/40の場合と、対象部分の応力が引張から圧縮に転じる1/100と1/120の場合について整理した。
- ・試行錯誤の結果、福沼では1/120を採用した。(先に示した水位比較、外力比較では、1/120での結果となっている。)

○モデル図(福沼)

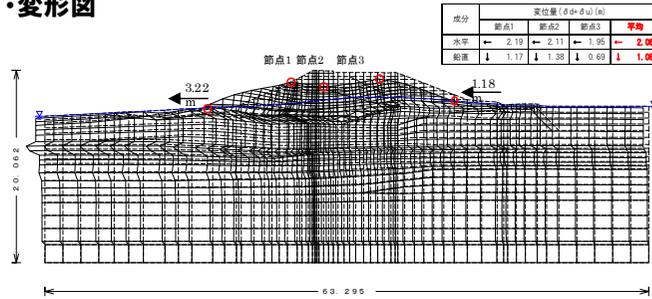


○FL値(福沼)

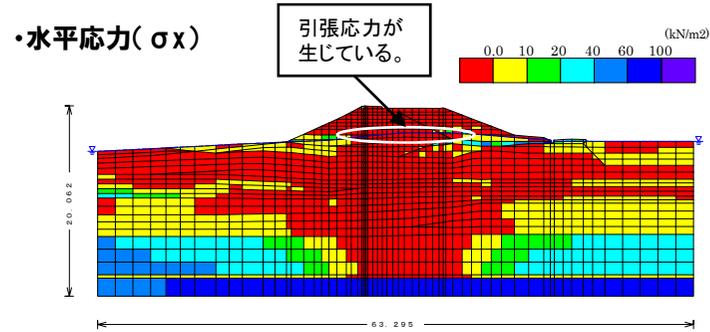


○液状化層直上の非液状化層の剛性低下比: 1/40の場合

・変形図

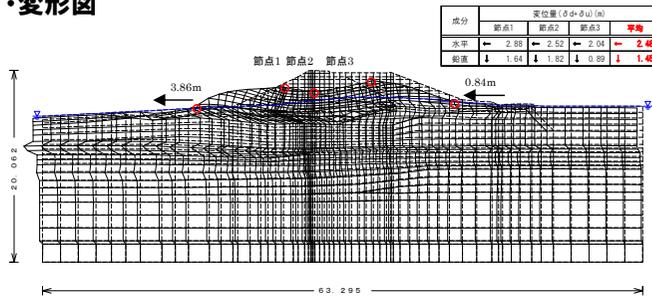


・水平応力 (σ_x)

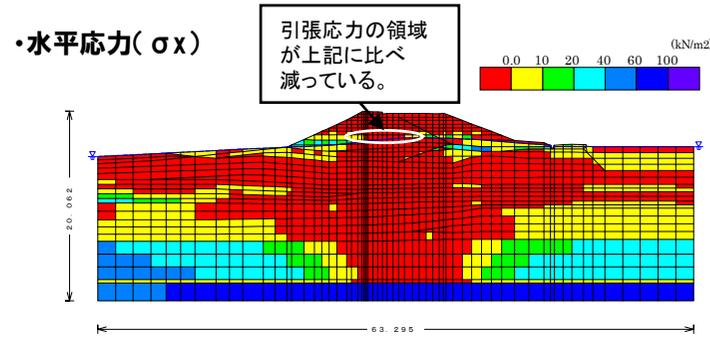


○液状化層直上の非液状化層の剛性低下比: 1/100の場合

・変形図

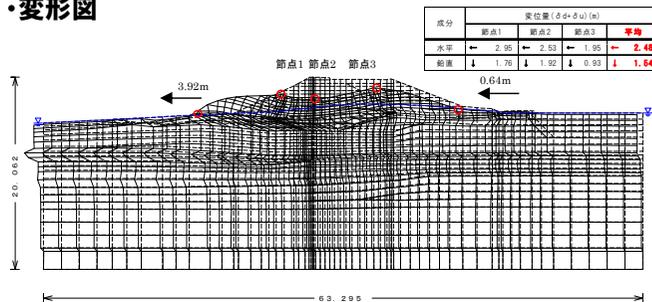


・水平応力 (σ_x)

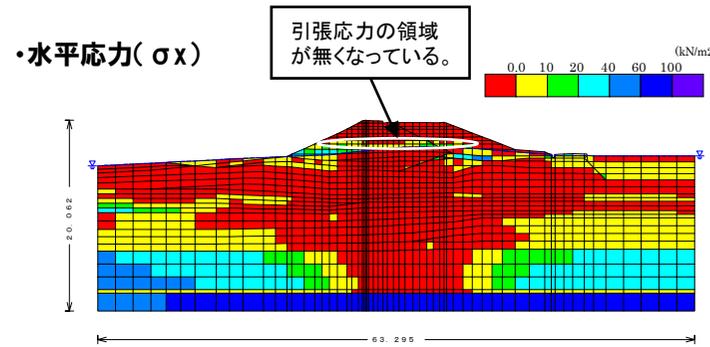


○液状化層直上の非液状化層の剛性低下比: 1/120の場合

・変形図

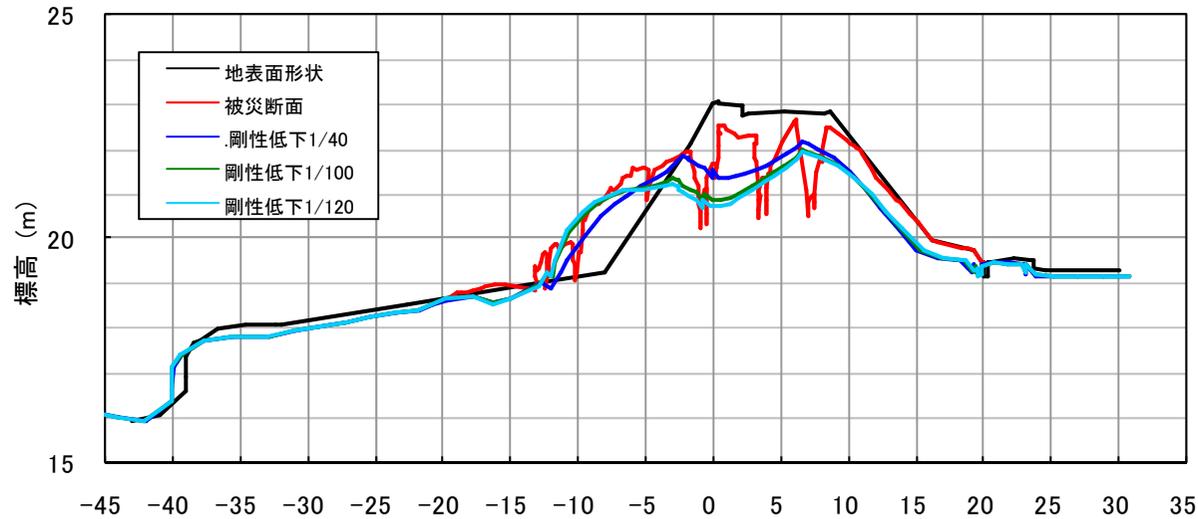


・水平応力 (σ_x)



・剛性低下比を下げるに従い、変形量が大きくなっていることが確認出来る。

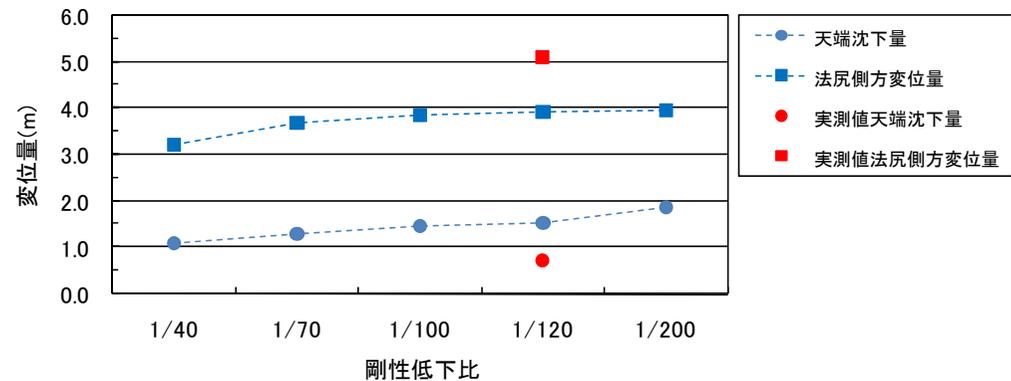
・堤防断面図(被災前後比較)



・変位量の比較(被災実測値と計算値の比較)

		天端沈下量 (m)	法尻側方変位量 (m)
実測値		0.71	5.12
計算値	1/40	1.08	3.22
	1/70	1.30	3.68
	1/100	1.45	3.86
	1/120	1.54	3.92
	1/200	1.87	3.96

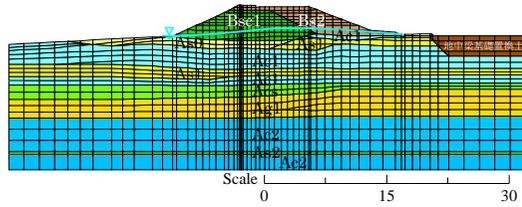
※実測値は、スケッチ図からの読み取りによる。
 (沈下量は沈下土量を堤防幅で除した値。水平変位量はスケールアップで求めた。)
 ※1/70と1/200は別途計算の上、結果のみ当事項に掲載した。



(参考) 解析条件の設定 (地下水位を変化させた場合の解析結果)

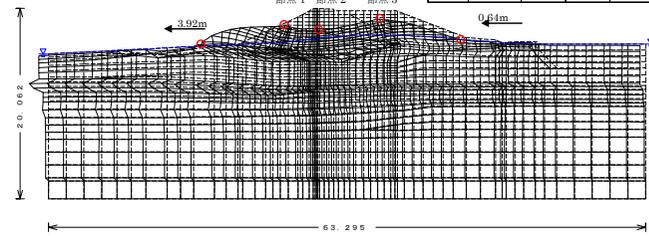
○当初水位(液状化層より上位の非液状化層の刚性低下比:1/120)

➤モデル図

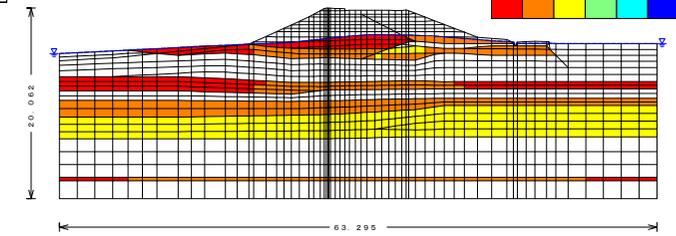


➤計算結果

•変形図

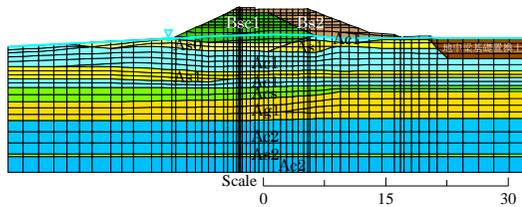


•FL値



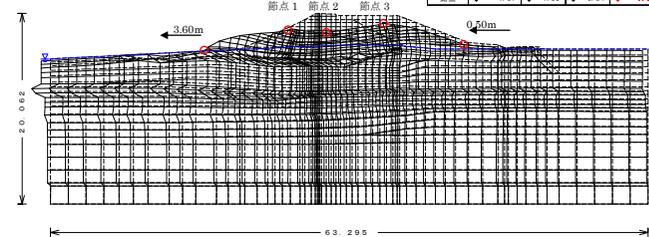
○堤体内水位を1m低下させた場合

➤モデル図

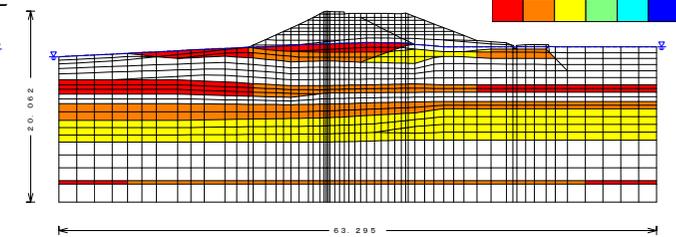


➤計算結果

•変形図

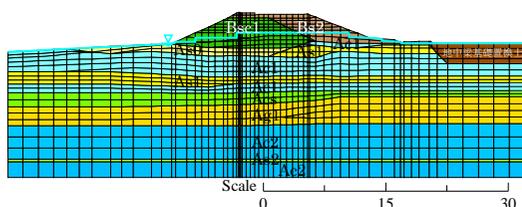


•FL値



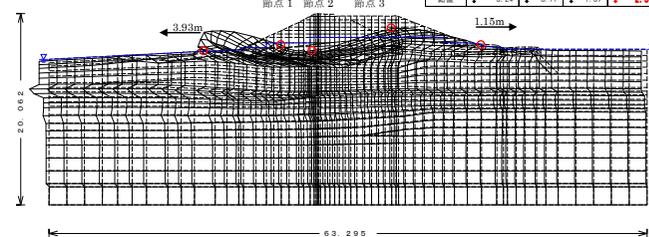
○堤体内水位を1m上昇させた場合

➤モデル図

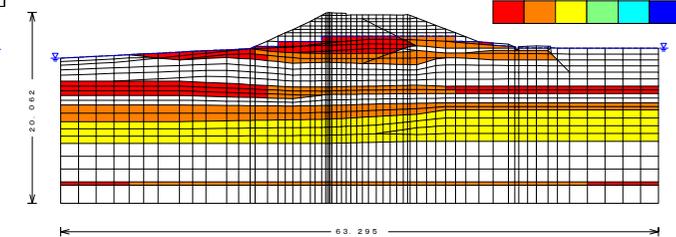


➤計算結果

•変形図

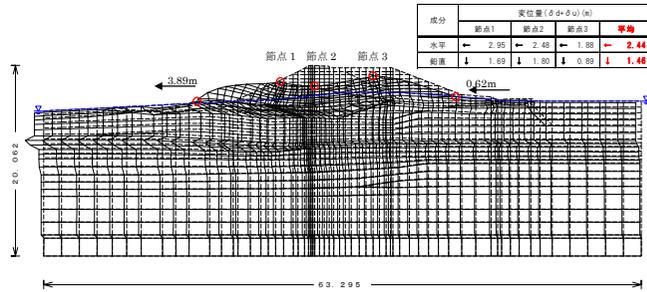


•FL値

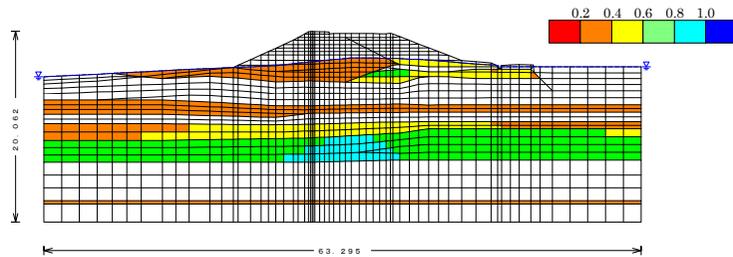


(参考) 解析条件の設定 (地震外力を変化させた場合の解析結果)

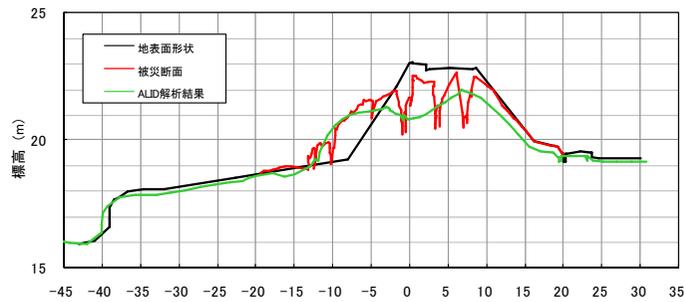
○計算結果
(地表面最大水平加速度=400galの場合)
・変形図



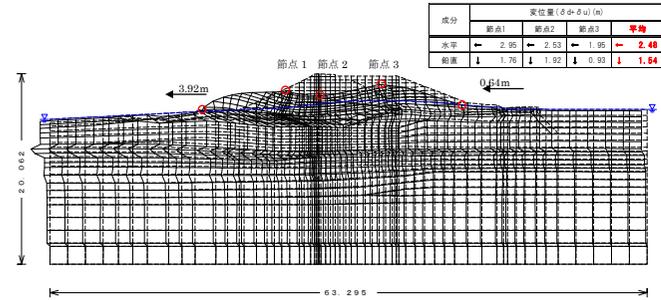
・FL値



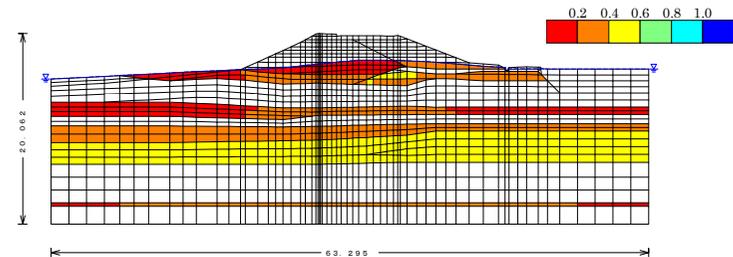
・堤防断面図(被災前後比較)



○計算結果
(地表面最大水平加速度=586galの場合)
・変形図



・FL値



・堤防断面図(被災前後比較)

