

河川堤防の液状化対策における コスト縮減の一考察

中村 隆人

木曽川下流河川事務所 工務課（〒511-0002 三重県桑名市大字福島465）

木曽三川下流部は、緩い砂層が厚く堆積した濃尾平野に位置し、日本最大のゼロメートル地帯であることから、大規模地震で堤防が損壊し、津波等が遡上すると氾濫により堤内地へ甚大な被害を及ぼすおそれがある。そのため、今後発生すると想定されている大規模地震に備え、堤防の液状化対策を実施している。しかし、様々な制約条件がある木曽三川下流部では、対策工が大規模となるため、巨額の事業費がかかり、事業進捗に影響を及ぼしている。そこで、詳細な地質調査を実施することで、従来の耐震対策工法の見直し、改良深度短縮の可否について検証を行い、コスト縮減の可能性を考察した。

キーワード：液状化対策、静的締固め工法、深層混合処理工法

1. はじめに

現在、木曽川下流河川事務所では、南海トラフ等の大規模地震に備え、堤防の耐震対策を実施している。木曽川下流河川事務所管内では、耐震点検結果より、高潮の影響を受ける高潮区間のうち、管内では約45.7kmの対策を予定している中、約16.9kmの耐震対策が終了しており、進捗率は37%である。残要対策延長は約28.8kmと、要対策区間の半分以上が未整備という状況である（図-1）。

今後、耐震対策事業を進める上で、課題となったのが「コスト縮減」である。今回、この課題対応について報告するものである。

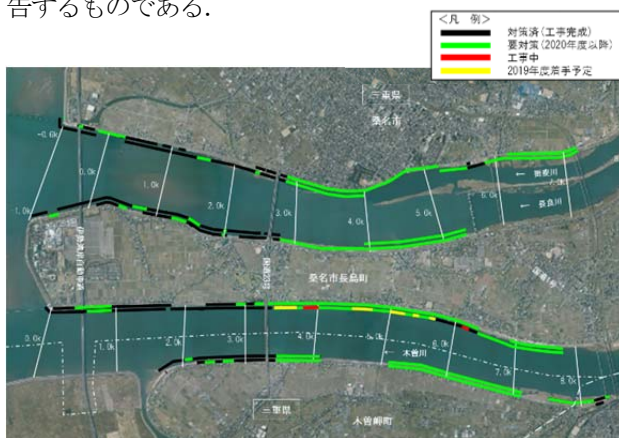


図-1 耐震事業進捗状況

2. 木曽三川下流部堤防耐震対策の概要

堤防の耐震対策は、地震による液状化で、堤防としての機能が損なわれ、河川水が堤内地に浸水することを防ぐために行うことが目的である。従って、耐震対策により堤防に求められる性能は、津波高や耐震性能照査において考慮する外水位に対して、液状化後の堤防天端高が下回らないように設計することが原則となる。

木曽川下流河川事務所では、中規模地震動により引き起こされる津波（以下、L1津波とする）に対して堤防耐震性能を満足しない区間を優先して、耐震対策を実施している。

堤防耐震対策の組合せは、液状化層の沈下防止のために、一般的に川表・川裏の両側を対策する（図-2）。木曽三川下流部では、経済性及び施工性より、従来選定されてきた工法は川表で深層混合処理工法、川裏で締固め工法である（表-1）。本地域は、後述するが、液状化の対象となる緩い砂層が10～15m程度と厚く分布している。液状化対策対象範囲は液状化層全層であり、深層混合処理工法については、耐震対策としての効果は大きい。河川堤防の液状化対策の手引き（以下、H28手引きとする）の改定により対策工規模が大きくなる。

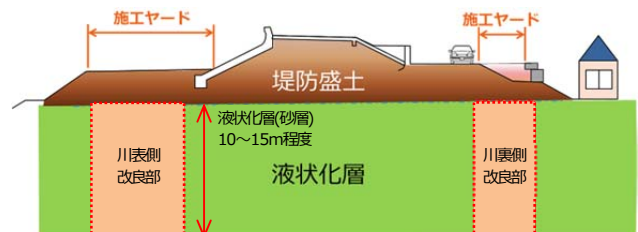
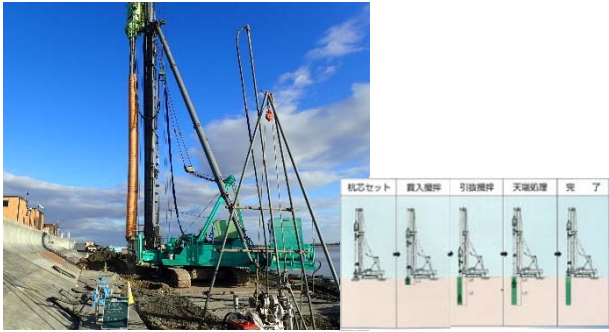
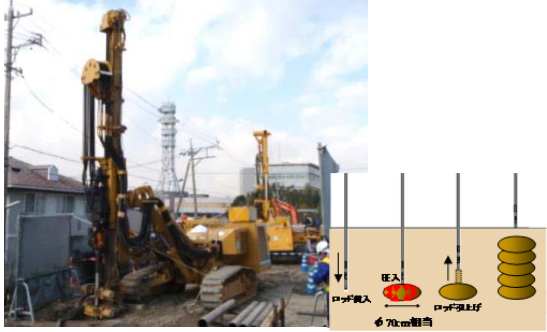


図-2 耐震対策イメージ図

表- 1 木曽三川下流部における従来耐震対策工法

	川表：深層混合処理工法	川裏：締固め工法
施工 イメージ図		

3. 木曽三川下流部の特性

木曽三川下流部の特徴は、濃尾平野が広がっており、液状化の対象となる緩い砂に10～15m程度と厚く覆われている（図- 3）。また、H28手引きでは、東日本大震災後に、被災した河川堤防から採取した土質試験結果より、粘性土に分類されるような細粒分を多く含む土では液状化に対する抵抗率が大きくなる結果が得られている。木曽三川下流部は、河道特性はセグメント3に分類され、深層部ではシルト質や粘性土が混在しており、道路盛土とは異なる性状を持つ。東北地方太平洋沖のような河川堤防と同様な細粒分の多い土質特性を有するため、深層部では液状化に対する抵抗率が大きくなると想定される。

堤内地は、日本最大のゼロメートル地帯であるため、今後南海トラフ等の大規模地震動（以下、L2地震動とする）が発生した際には、堤防が変形、沈下する可能性がある。その後、津波・洪水が発生すれば決壊により、堤内地へ甚大な氾濫被害を及ぼすおそれがある。

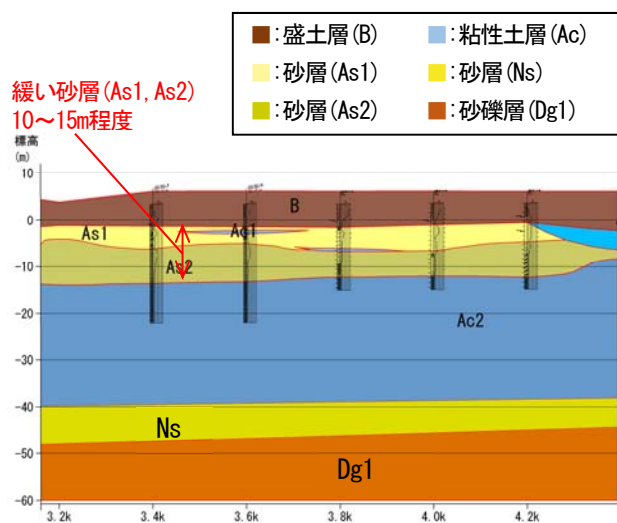


図- 3 木曽川右岸地質縦断面図(3. 2k～4. 2k)

4. 耐震対策工法検討上の課題

(1) 河川堤防の液状化対策の手引き改定の概要

東日本大震災の被災事例により得られたデータから、平成28年に河川堤防の液状化対策の手引きが新たに改定された。液状化対策の設計の概要としては、施設供用期間中に一度は遭遇する可能性の高い中規模地震動（以下、L1地震動とする）に対して安定性を確保できるよう対策工の諸元（改良率や改良範囲、根入れ等）を設定し、この対策工でL2地震動による沈下量が許容沈下量以下に抑まることを照査する。L1地震動に対する検討が「対策工諸元の設定」、L2地震動に対する検討が「耐震性能照査」に対応する、いわゆる2段階設計法である（図- 4）。

液状化対策が必要と判定された細分区間では、現地の状況や対策工の特徴から数種類に絞り込んだ対策工及びその組合せに対し、具体的な現地条件を踏まえ設計を行い、施工性、経済性、周辺環境への影響等より総合的に評価し、対策工法を選定する。従来では、前述したように、木曽三川下流部では川表・川裏の両側対策としていたが、手引きの改定により、耐震性能を満足するのであれば、川表裏どちらかの片側対策とすることも選択肢の一つとして与えられている。このように手引きの改定により、設計に与えられた自由度が大きくなっている。

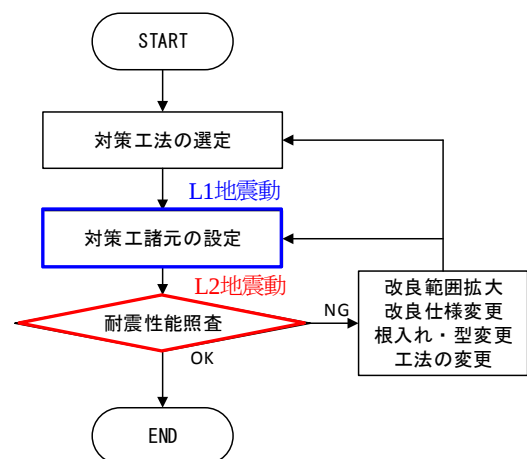


図- 4 液状化対策の設計手順（H28手引き一部加筆）

また、液状化層のせん断剛性の拘束圧補正が導入された。東日本大震災では、液状化判定上の液状化層のうち、浅い液状化層のみが被災に影響し、深い液状化層は、堤防の変形に寄与していないと推測される箇所が多く存在した。しかし、従来の解析では深い液状化層も堤防の変形に寄与するために、実測の沈下量に比べ過大な沈下量となる解析事例が多く見られた。このような深い液状化層の変形を抑制するために導入したのが、拘束圧補正である。

拘束圧による補正は、深い液状化層が実際には液状化しにくい、あるいは堤防の沈下に寄与しにくいことを静的照査法(有限要素法による自重変形解析)において考慮するために便宜的に導入されたものである。深い液状化層の液状化のしにくさは、本来、液状化判定で考慮されるべきものであるが、H28手引きでは考慮されておらず、将来、液状化判定が見直された時点で拘束圧による補正も見直す必要がある、とされている。この点に着目し、拘束圧補正を考慮した液状化判定を土木研究所と相談しながら検討した。

(2) 川表側の耐震対策工法の課題

木曽川下流河川事務所では、L1津波に対して耐震性能を満足しない区間を優先して耐震対策を実施している。L1津波OUT区間が全体で約4.1kmであり、対策済区間は約1.6kmである。整備計画期間である2020年までにL1津波OUT区間の耐震対策完了を目標に事業を推進している。耐震対策延長を延伸するために、川表の従来工法で深層混合処理工法の1列分を先行して施工する対策が考えられる(図-5)。しかし、1列分のみの改良幅では、L1地震動による安定計算を満足することが出来ないため、地震時に耐震対策としての効果を発揮できない。性能設計を採用しているH28手引きでは、上記のように、変則的な対策工諸元を採用することは困難である。

他に、次項に示す課題が原因で、従来川表工法である深層混合処理工法は事業費の増大及び事業進捗が遅延している。

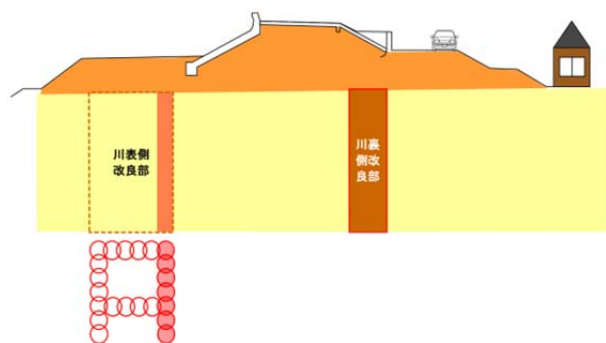


図-5 深層混合処理工法1列施工イメージ図

a) 土質試験等の調査不足

H28に改定された指針²⁾では、液状化抵抗率FLの算出に大きく関係する繰返し三軸強度比RLの推定式が改定されており、その推定式の使用にあたっては、

N値と細粒分含有率の組合せが特に重要で、深度1m間隔毎で粒度試験を行う必要があるとしている。

従来設計では、土質試験が深度毎に実施されておらず、試験値の存在する深度の試験結果を他深度へ代用していた。その場合に、小さい細粒分含有率を採用する安全側の設計方針としていたため、耐震性能を満足するために本来必要な対策工諸元よりも、大規模な諸元となる可能性がある。そのため、土質試験を追加で行い、液状化層の物性を適正に評価し、対策工諸元を適切に設定する必要がある。また、設計区間がセグメント3であり、深層部には細粒分含有率の高い粘性土層が存在することから、その深層部の繰返し三軸強度比RLを適正に評価する。

b) 幅広い改良幅・深い改良深度の設定

前述したように、木曽三川下流部は液状化層が10～15m程度と厚い。H28手引きより、改良幅は液状化層の6割程度以上とする必要があるため、本地域の必要改良幅は6～9m程度と幅広になる。改良深度については、液状化層下端から支持層へ1m程度の根入れをとる必要がある。液状化層の全層を改良する必要がある(図-6)。更に、対策工のL1地震動による安定計算、L2地震動による耐震性能照査を満足しない場合は更に対策範囲を広げる必要がある。これらの諸元より、対策工規模が大きくなるため、事業費が増大する可能性が考えられる。

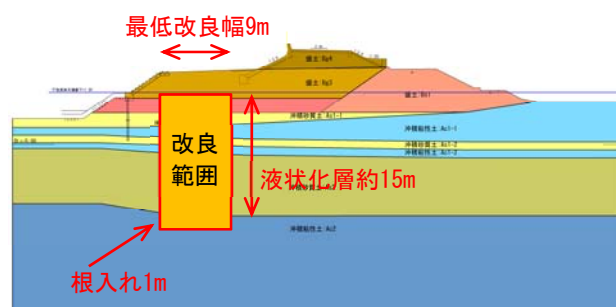


図-6 深層混合処理工法必要改良範囲(木曽川右岸3.4k)

c) 地中支障物による事業費等の増大

昭和34年に発生した伊勢湾台風により、旧堤防から高潮堤防補強、高潮対策と堤防が築堤され、現在の高潮堤防形状が形成されている(図-7)。その堤防内部には、堤防破堤箇所の復旧工事時の支障物(図-8)や高潮堤防の築堤による旧堤防構造物(基礎や水制工、船着場等)が残置されている。H28手引き改定により、川表従来工法では改良範囲が広がるため、上記のような支障物に接触する可能性が高くなる。

支障物に接触し、施工機で貫入できない場合には対策仕様の変更、もしくは先行削孔による支障物撤去を実施する必要がある。上記のような現地制約条件や対策工法の特性により、事業費が増大し、事業進捗が遅延している。今後も耐震対策事業を進めていく上で、地震に対する安全性を確保しつつ、コスト削減を図る必要がある。

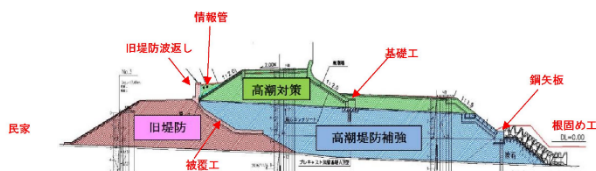


図-7 木曽三川下流部築堤履歴



図-8 支障物(φ400mm程度)・先行削孔状況

5. 設計における課題への対応

(1) 手引き改定を踏まえた設計方針

木曽三川下流部の特徴としては、セグメント3であり、深層部にはシルト質層や粘性土層が混在している。そこで、土質試験を未実施の区間に対して追加調査を実施し、その試験値による液状化判定より、深層部の液状化層を適切に設定する。

液状化層の深層部は堤防の変形に寄与しないことに着目し、追加の土質調査を踏まえ、耐震対策工法の選定、及び改良深度短縮の可否を検討し、耐震性能を満足する液状化対策範囲を適切に設定(図-9)することで、コスト縮減を図る。

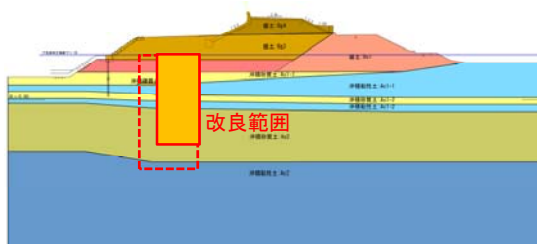


図-9 改良範囲短縮イメージ図

(2) 川表側の耐震対策工法の課題への対応

a) 土質試験に基づく液状化判定

既往の工事ボーリングコアを用いて、1m深度毎に土質試験を実施し、N値及び細粒分含有率を把握した。その試験値を用いて液状化判定より算出した液状化抵抗率FL結果を表-2と表-3に示す。

なお、実施した試験のうち、代用値と深度毎の試験値を用いた結果を比較すると、FLに大きな変化はない。しかし、深層部の細粒分含有率が大きい深度で、試験値を用いた方が繰返しせん断応力比は大きいことが確認できた。繰返しせん断応力比は、静的解析に大きく関係するため、従来の代用値を使った評価方法より深度毎の試験値を用いることで、深層

部を適正に評価することが出来た。

表-2 代用値による液状化判定(木曽川右岸3.8k)

土層	標高 (m)	深度 (m)	N値	細粒分 含有率 FC(%)	有効 土粒圧 (kN/m ²)	繰返し せん断 応力比FL	地震時 せん断 応力比	液状化 抵抗率 FL	平均FL	過剰 間隙 水圧比u _v
B	2.15	1.30	43	13.0	26.0	0.500	-----	水値上	2.392	0.002
B	1.15	2.30	41	19.8	46.0	0.174	0.174	2.874	-----	-----
B	0.15	3.30	18	8.5	56.8	0.387	0.203	1.910	-----	-----
As1	-0.88	4.33	7	16.5	65.4	0.231	0.222	1.041	1.041	0.755
Ac	-1.85	5.30	2	75.8	72.8	0.331	0.235	-----	-----	-----
As2	-2.85	6.30	18	16.5	80.4	0.427	0.245	1.744	0.870	1.000
As2	-3.85	7.30	12	16.5	88.4	0.272	0.252	1.081	-----	-----
As2	-4.85	8.30	8	16.5	96.4	0.224	0.256	0.875	-----	-----
As2	-5.85	9.30	7	16.5	104.4	0.210	0.259	0.808	-----	-----
As2	-6.85	10.30	7	16.5	112.4	0.206	0.261	0.780	-----	-----
As2	-7.85	11.30	9	16.5	120.4	0.223	0.262	0.852	-----	-----
As2	-8.85	12.30	6	16.5	128.4	0.190	0.262	0.725	-----	-----
As2	-9.85	13.30	2	16.5	136.4	0.140	0.261	0.535	-----	-----
As2	-10.85	14.30	3	16.5	144.4	0.151	0.259	0.584	-----	-----
As2	-11.85	15.30	6	16.5	152.4	0.183	0.257	0.710	-----	-----
Ac	-12.85	16.30	4	75.8	159.8	0.401	0.256	-----	-----	-----
Ac	-13.85	17.30	3	75.8	166.8	0.314	0.254	-----	-----	-----
Ac	-14.85	18.30	3	75.8	173.8	0.311	0.251	-----	-----	-----

表-3 試験値による液状化判定(木曽川右岸3.8k)

土層	標高 (m)	深度 (m)	N値	細粒分 含有率 FC(%)	有効 土粒圧 (kN/m ²)	繰返し せん断 応力比FL	地震時 せん断 応力比	液状化 抵抗率 FL	平均FL	過剰 間隙 水圧比u _v
B	2.15	1.30	43	13.0	26.0	0.500	-----	水値上	2.392	0.002
B	1.15	2.30	41	19.8	46.0	0.174	0.174	2.874	-----	-----
B	0.15	3.30	18	8.5	56.8	0.387	0.203	1.910	-----	-----
As1	-0.88	4.33	7	10.1	65.4	0.210	0.222	0.945	0.945	1.000
Ac	-1.85	5.30	2	89.7	72.8	0.500	0.235	-----	0.793	1.000
As2	-2.85	6.30	18	5.7	80.4	0.312	0.245	1.272	0.864	1.000
As2	-3.85	7.30	12	5.4	88.4	0.244	0.252	0.970	-----	-----
As2	-4.85	8.30	8	5.3	96.4	0.203	0.256	0.793	-----	-----
As2	-5.85	9.30	7	6.1	104.4	0.190	0.259	0.733	-----	-----
As2	-6.85	10.30	7	5.8	112.4	0.187	0.261	0.716	-----	-----
As2	-7.85	11.30	9	18.7	120.4	0.230	0.262	0.877	-----	-----
As2	-8.85	12.30	6	24.5	128.4	0.210	0.262	0.801	-----	-----
As2	-9.85	13.30	2	60.7	136.4	0.244	0.261	-----	-----	-----
As2	-10.85	14.30	3	42.6	144.4	0.204	0.259	0.788	-----	-----
As2	-11.85	15.30	6	29.1	152.4	0.212	0.257	0.823	-----	-----
Ac	-12.85	16.30	4	38.4	159.8	0.203	0.256	0.793	0.793	1.000
Ac	-13.85	17.30	3	72.9	166.8	0.302	0.254	-----	-----	-----
Ac	-14.85	18.30	3	70.7	173.8	0.291	0.251	-----	-----	-----

b) 改良幅の縮小検討

深層混合処理工法では、改良幅に対して制約が存在するため、改良幅をむやみに縮小することは出来ない。そこで、改良幅等の改良諸元に制約の少ない締固め工法を川表で用いる。締固め工法の改良幅は十分な締固めの効果を得るために、砂杭3列以上(砂杭間隔が2mの場合、有効改良幅は4m)を確保すれば良い(表-4)。耐震性能を満足する範囲で改良幅を狭めることが可能となるため、対策工にかかるコストを縮減することが出来る。

c) 改良深度の短縮検討

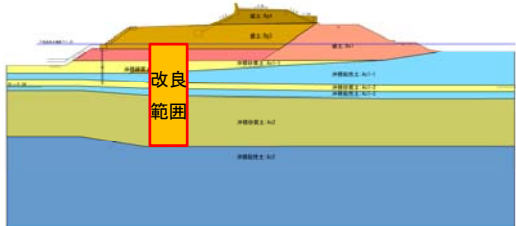
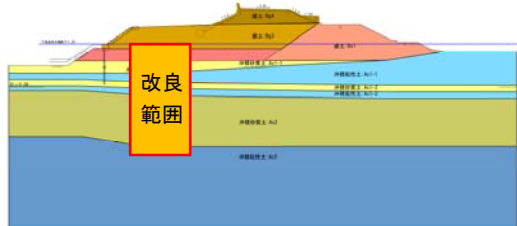
被災事例から液状化層の深層部は堤防変形に寄与しないことから、改良深度の短縮可否の検討を行った。

後述する追加の土質調査による液状化判定から、液状化抵抗率FLが1.0以上となる土層を確認した。液状化抵抗率FLが1.0以上であれば、液状化しない層として評価することが出来るが、堤防が耐震性能を満足していない。このような場合には、H28手引きでは、各対策工法で耐震性能を満足するように、改良深度を設定して良いため、改良深度短縮の検討の余地がある。

本検討において、対象とする工法は締固め工法とする。表-4のように、改良深度は基本的に液状化層全層であるが、締固め工法は支持層への根入れが不要であり、L1地震動による安定計算を行う必要がないためである。一方で、従来工法である深層混合処理工法は液状化層の全層改良が基本であり、非液状化層である支持層へ1mの根入れが必要となるため、改良深度の短縮は不可能である。また、根入れを確

保しない場合には、L1地震動による安定計算を満足することが出来ない。

表- 4 締固め工法及び深層混合処理工法の改良諸元

	締固め工法	深層混合処理工法
改良イメージ図		
改良幅	3列(約4m)以上必要	液状化層の6割(約10m)以上必要
改良深度	液状化層	液状化層(As2層まで必須)+根入れ
根入れ	必要なし	必要あり
安定計算(L1)	必要なし(静的解析(L2)のみで照査)	必要あり

追加で実施した土質調査より、深度毎のN値と細粒分含有率から繰返し三軸強度比を算出し、土質定数を再設定した。締固め工法はL1地震動による安定計算が不要であるため、L2地震動による耐震性能照査を用いて、図- 10の断面で改良深度を短縮した場合の効果検証を行った。

現況断面（無対策）による静的解析結果を図- 11と表- 5に示す。沈下後の堤防天端高が照査外水位を77cm下回り、耐震性能を満足しない結果となった。

この断面に対して、まず締固め工法で川表の液状化層全層改良した場合の静的解析を実施した。川裏の対策工諸元は耐震性能を満足するように浸透固化処理工法4mを固定として計算を行う。その結果を図- 12と表- 6に示す。沈下後の堤防天端高が照査外水位を41cm上回り、耐震性能を満足する結果となった。

耐震性能を満足する対策工諸元として、41cm分の余裕が生じることが確認できたため、次に改良深度を短縮し、静的解析を実施した。その結果を図- 13と表- 7に示す。改良深度を約5m短縮しても、沈下後の堤防天端高が照査外水位を30cm上回り、耐震性能を満足する結果となった。

これらの結果から、改良深度の短縮をすることは耐震性能を満足する範囲で可能であり、対策工法諸元を検討する際に一つの選択肢とする。改良深度の短縮長は、縦断的な土層を確認し、土層区分が分かれている層を目安として、上限5mとする。本検証区間では、液状化層の深層部では細粒分含有率が上層の地盤よりも高く、土質性状が異なると判断できるため、短縮長は5m程度とした。

また、改良後の耐震対策としての品質管理では、改良長の短縮を行った場合は、工事後のチェックボーリングにおいて、液状化層の改良部と未改良部を含めて、液状化抵抗率FLが1.1を上回ることを

確認する（表- 8、表- 9）。未改良部も含めて、液状化対策の評価を行うことで、耐震対策としての品質・安全性を確保する。

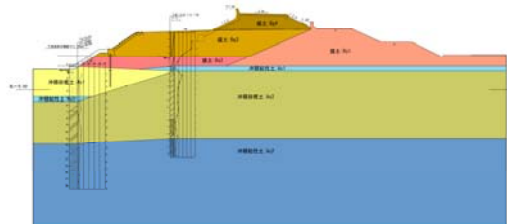


図- 10 本検討対象断面

表- 5 現況断面による静的解析結果

対策前後	設計 水平 変位 (T.P.m)	①照査 外水位 (T.P.m)	②堤防 天端高 (T.P.m)	計算結果		④-① (T.P.m)	判定	地震動 タイプ
				③沈下量(m)	④沈下後天端高 (T.P.m)			
現況断面	0.48	+3.52	+6.23	+3.48	+2.75	-0.77	×	L2-1

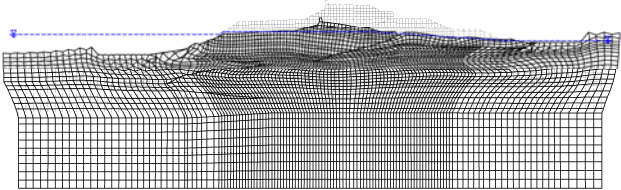


図- 11 現況断面による静的解析結果

表- 6 川表液状化層全層改良による静的解析結果

対策前後	設計 水平 変位 (T.P.m)	①照査 外水位 (T.P.m)	②堤防 天端高 (T.P.m)	計算結果		④-① (T.P.m)	判定	地震動 タイプ
				③沈下量(m)	④沈下後天端高 (T.P.m)			
川表：締固め工法 B=3.5m (全層改良) 川裏：浸透固化 B=4m	0.48	+3.52	+6.23	+2.30	+3.93	0.41	○	L2-1

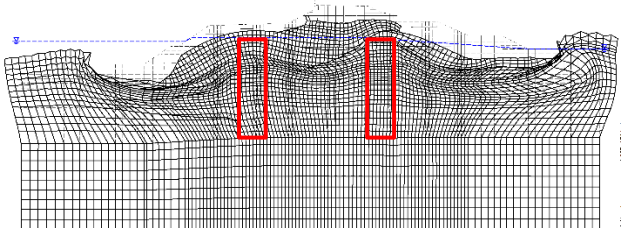


図- 12 川表液状化層全層改良による静的解析結果

表- 7 改良深度短縮した場合の静的解析結果

対策 前後	設計 水平 変位	①照査 外水位 (T.P.m)	②堤防 天端高 (T.P.m)	計算結果 ③沈下量 (mm)	④沈下後天端高 (T.P.m)	④-① (T.P.m)	判定	地震動 タイプ
川表：締固め B=3.5m (改良長：9m)	0.48	+3.52	+6.23	+2.41	+3.82	0.30	○	L2-1
川裏：浸透固化 B=4m								

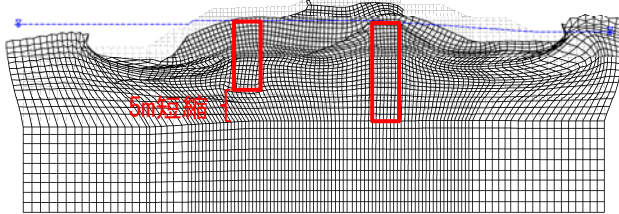


図- 13 改良深度短縮した場合の静的解析結果

表- 8 現況地盤における液状化判定

土層	標高 (m)	深度 (m)	N値	細粒分 含有率 FC(%)	有効 上載圧 σ' (kN/m^2)	繰返し せん断 応力比RL	地震時 せん断 応力比L	液状化 抵抗率 FL	平均FL	過剰 間隙 水圧比 ru
B	2.15	1.30	43	13.0	26.0	0.500	-----	水位上	2.392	0.002
B	1.15	2.30	41	19.8	46.0	0.500	0.174	2.874		
B	0.15	3.30	18	8.5	56.6	0.387	0.203	1.910		
As1	-0.88	4.33	7	10.1	65.4	0.210	0.222	0.945	0.945	1.000
Ac	-1.85	5.30	2	89.7	72.8	0.500	0.235	0.793	0.793	1.000
As2	-2.85	6.30	18	5.7	80.4	0.312	0.245	1.272	0.884	1.000
As2	-3.85	7.30	12	5.4	88.4	0.244	0.252	0.970		
As2	-4.85	8.30	8	5.3	96.4	0.203	0.256	0.793		
As2	-5.85	9.30	7	6.1	104.4	0.190	0.259	0.793		
As2	-6.85	10.30	7	5.8	112.4	0.187	0.261	0.716		
As2	-7.85	11.30	9	18.7	120.4	0.230	0.262	0.877		
As2	-8.85	12.30	6	24.5	128.4	0.210	0.262	0.801		
As2	-9.85	13.30	2	60.7	136.4	0.244	0.261	-----		
As2	-10.85	14.30	3	42.6	144.4	0.204	0.259	0.788		
As2	-11.85	15.30	6	29.1	152.4	0.212	0.257	0.823		
Ac	-12.85	16.30	4	38.4	159.8	0.203	0.256	0.793	0.793	1.000
Ac	-13.85	17.30	3	72.9	166.8	0.302	0.254	-----		
Ac	-14.85	18.30	3	70.7	173.8	0.291	0.251	-----		

表- 9 深度短縮後の液状化判定の確認

土層	標高 (m)	深度 (m)	N値	細粒分 含有率 FC(%)	有効 上載圧 σ' (kN/m^2)	繰返し せん断 応力比RL	地震時 せん断 応力比L	液状化 抵抗率 FL	平均FL	過剰 間隙 水圧比 ru
Bg3	2.15	1.30	43	13.0	26.0	0.500	-----	水位上	-----	-----
Bg3	1.15	2.30	21	19.8	45.6	0.500	0.176	2.846	2.655	0.001
Bg3	0.15	3.30	26	8.5	56.6	0.500	0.203	2.495		
As1	-0.88	4.33	26	10.1	64.5	0.500	0.222	2.248	2.248	0.003
Ac1	-1.85	5.30	5	89.7	72.0	0.500	0.236	-----		
As2	-2.85	6.30	34	5.7	81.0	0.500	0.244	2.045	1.472	0.087
As2	-3.85	7.30	36	5.4	90.1	0.500	0.250	1.999		
As2	-4.85	8.30	38	5.3	99.2	0.500	0.254	1.971		
As2	-5.85	9.30	39	6.1	108.3	0.500	0.256	1.956		
As2	-6.85	10.30	41	5.8	117.4	0.500	0.257	1.949		
As2	-7.85	11.30	9	18.7	126.5	0.227	0.256	0.885		
As2	-8.85	12.30	6	24.5	135.6	0.207	0.256	0.810		
As2	-9.85	13.30	2	60.7	144.6	0.242	0.254	-----		
As2	-10.85	14.30	3	42.6	153.3	0.202	0.253	0.802		
As2	-11.85	15.30	6	29.1	162.0	0.209	0.250	0.835		
Ac2	-12.85	16.30	4	38.4	168.3	0.201	0.250	-----		
Ac2	-13.85	17.30	3	72.9	173.3	0.289	0.249	-----		
Ac2	-14.85	18.30	3	70.7	178.3	0.289	0.248	-----		

6. おわりに

以上の検討より、川表の従来工法である深層混合処理工法と改良範囲を縮小した締固め工法で、経済性比較を行った(表- 10)。支障物を想定した場合の経済性比較で、締固め工法の方が安価となり、約15%のコスト縮減を行うことができる。また、施工工程についても、改良範囲が縮小するため、不発弾探査も考慮し、約20%縮減することが可能となる。

今後も、改良深度の短縮は締固め工法を対象とし、コスト縮減に対して有効な手法であるため、工法選定の際には選択肢の一つとして検討を行うが、各土質性状により、改良深度の短縮が適用できない場合もある。改良深度短縮の検討については、土質性状を正確に把握していることが重要であり、深度毎の土質試験値の確認が必須である。

表- 10 各工法における経済性及び工程比較

	従来：深層混合処理工法
横断面図	
経済性	1,900,000千円/800m
工程	1230日/800m
	締固め工法
横断面図	
経済性	1,600,000千円/800m(▲約15%)
工程	980日/800m(▲約20%)

参考文献

- 1) (国研)土木研究所 地質・地盤研究グループ土質・振動チーム：土木研究所資料 河川堤防の液状化対策の手引き、H28.3
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局治水課：河川構造物の耐震性能照査指針・解説Ⅱ.堤防編一、H28.3