

大型地下貯蔵タンクに係る地震・津波に対する
有効な対策のあり方に関する調査報告書

平成24年12月

危険物保安技術協会

はじめに

東日本大震災では多くの危険物貯蔵タンクが地震とそれに伴う津波により被害を受けた。この震災では、沿岸部において屋外貯蔵タンク本体が津波により流される被害も発生し、タンク本体が流されたことによる流出危険物が、湾内の大規模火災の一因となったとされる事例もあった。

これら津波により屋外貯蔵タンクが流される被害については、容量の小さい屋外貯蔵タンクの被害が大きかったことが分かっている。一方で、地下貯蔵タンクについては地下に埋設されていることもあり、タンク本体が損傷する被害は少なく、震災直後の燃料供給が逼迫した際には、地下貯蔵タンクの燃料を手動ポンプ等で吸い上げ避難者等に供給するなど、震災後の燃料供給を支えた一面もあった。

こうしたことから、沿岸部における容量の小さい屋外貯蔵タンクを大型の地下貯蔵タンクに置き換えることによって災害に強い施設になることが期待される。

本調査検討会では、地震・津波による被害を最小限に食い止め、震災後の避難時や復興期の迅速な石油エネルギー供給に対応できる大型地下貯蔵タンク施設について、東日本大震災の被災状況の調査結果などを基に検討し、大型地下貯蔵タンクの安全な設置方法について提言することを目的とした。

本報告書の作成にあたり、ご多忙中にも関わらず検討会に積極的に参画され、貴重なご意見をいただいた検討会の委員各位、並びに資料等をご提供頂いた関係各位に対し深く感謝申し上げる次第である。

平成24年12月

大型地下貯蔵タンクに係る地震・津波に対する有効な対策のあり方に関する調査検討会

座長 大谷 英雄

目 次

はじめに

第1章	調査検討の概要	1
1. 1	背景及び目的	1
1. 2	調査検討事項及び調査検討フロー	1
1. 3	調査検討方法	2
1. 4	調査検討経過	2
第2章	東日本大震災における危険物貯蔵タンクの被災状況	3
2. 1	屋外貯蔵タンクの被災状況	3
2. 2	地下貯蔵タンクの被災状況	5
2. 3	危険物貯蔵タンクの被災状況のまとめ	13
第3章	被災状況を踏まえた大型地下貯蔵タンクの検討	14
3. 1	大型地下貯蔵タンク施設の考え方	14
3. 2	大型地下貯蔵タンクに係る課題の整理	18
第4章	地震・津波に係る課題に対する対策	19
4. 1	地震対策	19
4. 2	津波対策	46
4. 3	対策についてのまとめ	52
第5章	まとめ	54
参考資料1	地下貯蔵タンク現地被災状況調査	57
参考資料2	平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震被害調査報告(抜粋)	91
参考資料3	日本海中部地震における地下オイルタンクの浮上りの被害	97
参考資料4	液状化解析結果報告書	99

第1章 調査検討の概要

1. 1 背景及び目的

東日本大震災では、沿岸部において屋外貯蔵タンク本体が津波により流される被害が発生した。これら屋外貯蔵タンクが流される被害については、500 kL 未満の容量の小さい屋外貯蔵タンクの被害が大きかったことが分かっている（東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討報告書（消防庁危険物保安室・特殊災害室：平成 23 年 12 月））。一方で、地下貯蔵タンクについては地下に埋設されていることもあり、タンク本体が損傷する被害は少なかった。

このことから、沿岸部において 500 kL 未満の容量の小さい屋外貯蔵タンクを、100 kL 超の容量を持つ地下貯蔵タンク（以下「大型地下貯蔵タンク」という。）で置き換え地下化することで、災害に強い施設になることが期待される。

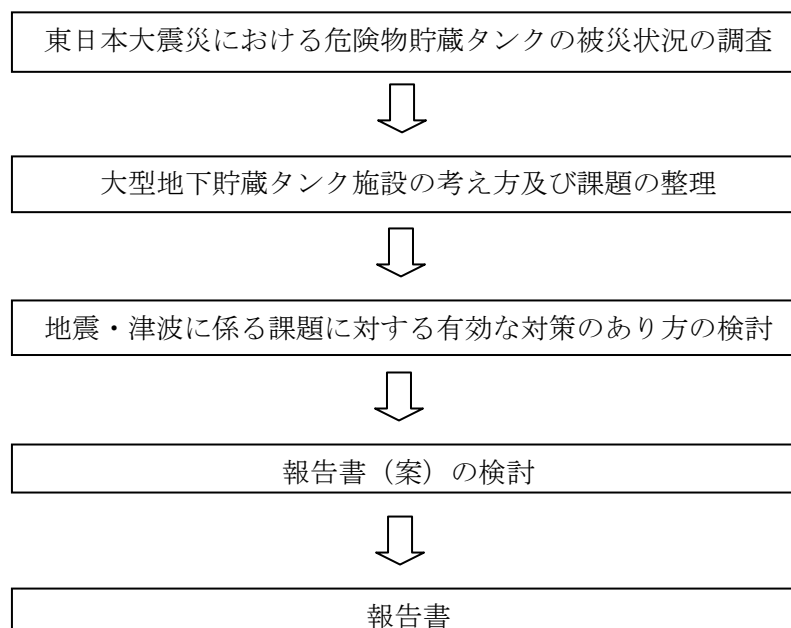
本調査検討では、地震・津波に対して最小限の被害に食い止め、震災後の応急対策や復興期の迅速な石油エネルギー供給に対応できる大型地下貯蔵タンク施設について、東日本大震災の被災状況を調査し、地震・津波に対する有効な対策のあり方について検討を行うことを目的とする。

1. 2 調査検討事項及び調査検討フロー

(1) 調査検討事項

- ア 東日本大震災における危険物貯蔵タンクの被災状況の調査
- イ 危険物貯蔵タンクの被災状況を踏まえた大型地下貯蔵タンク施設の考え方及び地震・津波に対する課題の整理
- ウ 大型地下貯蔵タンクの地震・津波に係る課題に対する有効な対策の検討

(2) 調査検討フロー



1. 3 調査検討方法

調査検討にあたっては、「大型地下貯蔵タンクに係る地震・津波に対する有効な対策のあり方に関する調査検討会」を設置し、検討を行った。

検討会の構成は、次のとおりである。

座長	大谷 英雄	横浜国立大学大学院環境情報研究院教授
委員	西 晴樹	消防庁消防研究センター火災災害調査部原因調査室長
委員	山本 平	大成建設株式会社土木本部土木設計部陸上設計室長
委員	越谷 成一	川崎市消防局予防部危険物課長
委員	車塚 和彦	仙台市消防局予防部危険物保安課長 (H24.7.5～)
	(平 久大)	仙台市消防局警防部危険物保安課長 (～H24.3.31))
委員	清水 秀樹	石油連盟給油所技術専門委員会
委員	金城 喜美彦	日本S F 二重殻タンク協会事務局長
委員	澤田 良穂	日本S F 二重殻タンク協会
委員	森泉 直丈	日本ガソリン計量機工業会 (H24.7.5～)
委員	川田 等	危険物保安技術協会企画部長 (H24.7.5～)
	(川村 達彦)	危険物保安技術協会業務部長併任企画部長 (～H24.3.31))
委員	和田 正彦	危険物保安技術協会業務部上席調査役
委員	八木 高志	危険物保安技術協会土木審査部上席調査役
オブザーバー	三浦 宏	消防庁危険物保安室課長補佐 (H24.7.5～)
	(中本 敦也)	消防庁危険物保安室課長補佐 (～H24.3.31))
事務局	松浦 晃弘	危険物保安技術協会企画部企画課長
事務局	村上 明伸	危険物保安技術協会企画部企画課調査役
事務局	田崎 幹夫	危険物保安技術協会企画部企画課課長代理 (H24.7.5～)
事務局	山本 真靖	危険物保安技術協会企画部企画課検査員

1. 4 調査検討経過

本検討会及び現地被災状況調査の実施経過は、次のとおりである。

回次等	開催日等
第1回検討会 (平成23年度)	平成23年10月28日
現地被災状況調査	平成23年11月14日～平成23年11月16日
第2回検討会 (平成23年度)	平成24年3月6日
第1回検討会 (平成24年度)	平成24年7月5日
第2回検討会 (平成24年度)	平成24年11月7日
第3回検討会 (平成24年度)	平成24年12月18日

第2章 東日本大震災における危険物貯蔵タンクの被災状況

2. 1 屋外貯蔵タンクの被災状況

屋外貯蔵タンクの被災状況について、「東日本大震災を踏まえた危険物施設等の地震・津波対策のあり方に係る検討報告書（消防庁危険物保安室・特殊災害室：平成23年12月）」（以下「検討報告書」という。）の屋外タンク貯蔵所の被災状況を引用し整理する。

(1) 地震による被災状況

屋外タンク貯蔵所の地震による被害の内訳は表 2.1.1 となっている。屋外貯蔵タンク本体に係る部分としては浮き屋根・浮き蓋の被害が多く、危険物の流出にも繋がっている。耐震基準に適合した浮き屋根について危険物の流出被害はなかった。

表 2.1.1 地震による屋外タンク貯蔵所における被害の内訳

被災施設数	側板	底板	防油堤	基礎地盤	浮き屋根 浮き蓋	付属配管	その他
378	13	9	178	104	67	46	94
危険物の 流出件数	—	2	—	—	16	6	3

(2) 津波による被災状況

ア 破損

屋外タンク貯蔵所の津波による被害の内訳は表 2.1.2 となっている。被災施設数は 139 施設となっており、屋外貯蔵タンク本体に係る部分としては、側板 15 件、底板 7 件、浮き屋根・浮き蓋 7 件となっている。

表 2.1.2 津波による屋外タンク貯蔵所における被害の内訳

被災施設数	側板	底板	防油堤	基礎地盤	浮き屋根 浮き蓋	付属配管	その他
139	15	7	50	49	7	97	62

イ タンク等の移動

屋外タンク貯蔵所において津波によるタンクや配管の移動があったのは 80 件となっており、タンク本体の移動が 79 件、配管の移動が 38 件（複数回答）となっている。移動があった 80 件について、許可容量別に示したものを表 2.1.3 に示す。

500 kL 未満の容量の小さいタンクの被害が 62 件（77.5%）となっており、被害が大きかったことが分かる（写真 2.1.1～写真 2.1.4 参照）。容量 10,000 kL 以上のタンクは被害を受けていない。

表 2.1.3 津波によるタンク及び配管の移動件数（許可容量別）

被災総基数	500 kL 未満	500 kL 以上 1,000 kL 未満	1,000 kL 以上 10,000 kL 未満	10,000 kL 以上
80	62	11	7	0



写真 2.1.1 流された屋外貯蔵タンク



写真 2.1.2 滑動した屋外貯蔵タンク



写真 2.1.3
タンクが流された屋外タンク貯蔵所



写真 2.1.4
タンクが流された屋外タンク貯蔵所

ウ 流出

危険物の流出事例について、被害箇所別に整理したものは表 2.1.4 となっている。ここでの件数には、施設と共に貯蔵危険物が流失した事例は含まれていない。

津波による危険物の流出の多くは、タンク等移動及び配管の破損により発生していた。タンク等の移動が危険物の流出に繋がっていたことが分かる。

表 2.1.4 津波による危険物の流出件数

総基数	側板	底板	タンク等移動	配管	不明
92	15	1	59	61	2

2. 2 地下貯蔵タンクの被災状況

地下貯蔵タンクの被災状況について、①検討報告書の地下タンク貯蔵所及び給油取扱所の被災状況②当協会で実施した現地被災状況調査（平成 23 年 11 月 14 日～11 月 16 日実施）をもとに整理する。なお、現地被災状況調査の詳細については参考資料 1 に示す。

(1) 地震による被災状況

検討報告書より、地下貯蔵タンク本体の地震による被災状況について表 2.2.1 に整理する。

地下貯蔵タンクが受けた被害としては、タンク固定バンド又はアンカーボルトの破断によりタンクが浮上した事例が多くを占めていた。これらの事例では、タンク本体に対し直接的な被害が発生しているものではない。

検討報告書から抜粋したタンク浮上写真は写真 2.2.1、写真 2.2.2 のとおりである。

タンク本体に直接的な被害が発生した事例として、地滑りによる崩落 1 件と SF 二重殻タンクの外殻破損 1 件があった。

表 2.2.1 地下貯蔵タンク本体の地震による被災状況

被害内容	件数
タンク浮上	22
タンク傾斜	4
地滑りにより崩落	1
SF 二重殻タンクの外殻破損	1
破損（マンホール）	1
タンク内に水の浸入	3
その他	2



写真 2.2.1 タンク浮上
(上部スラブを取り除いた状態)



写真 2.2.2 タンク浮上
(赤丸点線：マンホールから配管が飛び出している)

現地被災状況調査により、写真 2.2.3 に示す給油取扱所でタンクが浮上する被害を受けていたことが分かった。上部スラブは健全であり外観上からは判断できないが、営業再開にあたってスラブ下を調査したところ、液状化によりタンクが浮上する被害を受けていたことが分かったとのことである。また、液状化により表面水が生じた結果、地下貯蔵タンク埋設部分のスラブ下に 30 c m 程度の間隙が発生していた。



写真 2.2.3 タンク浮上被害のあった給油取扱所
(赤線点線部分のタンクが浮上)

タンク浮上の主な要因としては、液状化が考えられる。地下貯蔵タンクのタンク固定バンド、アンカーボルトは一般的に地下水による浮力により浮上しないように設計されているが、上向き浸透流を伴う液状化が起きた場合、タンクにかかる浮力は排土重量となるため設計上の浮力よりも大きくなる。この浮力のため、アンカーボルトの離脱等により、タンクが浮上したものと考えられる。

(2) 津波による被災状況

検討報告書より、地下貯蔵タンク本体が受けた津波による被災状況を表 2.2.2 に整理する。

地下貯蔵タンクが受けた被害としては、タンク内に水が混入した事例が多くを占めていた。これらの事例では、タンク本体に対し直接的な被害が発生しているものではない。

タンク本体に直接的な被害が発生した事例として、タンクの流失が 2 件、タンクの露出が 1 件あった。

表 2.2.2 地下貯蔵タンク本体の津波による被災状況

被害内容	件数
タンク内に水が混入	78
タンクの浮上・傾き	5
タンクの流失	2
タンクの露出	1
損壊 (マンホール)	1

ア タンクの露出・流失

タンクに直接的な被害が発生した露出・流失事例について、現地被災状況調査結果から整理する。現地被災状況調査では、地下貯蔵タンクの露出・流失被害をそれぞれ1施設で確認した（写真 2.2.4、写真 2.2.5）。



写真 2.2.4 タンク露出



写真 2.2.5 タンク流失

これら露出・流失した地下貯蔵タンクの事例では、ともに海岸線に近い立地で衝撃的な津波襲来があり、露出した事例での津波高さは 8.42m、流失した事例での津波高さは 15.2mとされている（津波高さは「東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ」(<http://www.coastal.jp/ttjt/>)による速報値（2012年2月8日）を使用した。）。

どちらの事例も地下貯蔵タンクは鉄筋コンクリート建物の隅角部に隣接しており、鉄筋コンクリート建物自体も洗掘され、基礎が剥き出しとなっていた。「平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震被害調査報告（国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所：平成 24 年 3 月）」では、津波により鉄筋コンクリート建物が洗掘される同様の被害が多くあり、特に隅角部では水流が強くなることから大きく洗掘されていたと報告されている（参考資料 2 参照）。

また、共通して上部スラブの周囲には、洗掘作用を受けやすい未舗装部分等があったこともあげられる。

このようなことから、①衝撃的な津波の襲来②洗掘されやすい鉄筋コンクリート建物の隅角部に隣接している立地③上部スラブの周囲に洗掘作用を受けやすい未舗装部分等があったことなどの要因が重なり、一気に洗掘が進んだため、露出・流失といった大きな被害に繋がったと考えられる。

タンク流失という大きな被害のあった地下タンク貯蔵所から約 100mしか離れていない位置にある給油取扱所では、地上設備類は全て流されていたものの上部スラブは健全で、地下貯蔵タンク本体には被害がなかった（図 2.2.1）。

給油取扱所の給油空地は自動車等の荷重により損傷するおそれがないよう、鉄筋コンクリート等で舗装されているため、洗掘作用を受けなかったと考えられる。



給油取扱所
(地下貯蔵タンク被害無し)



地下タンク貯蔵所
(地下貯蔵タンク流失)



図 2.2.1 洗掘被害を受けなかった給油取扱所の位置関係

※航空写真は「日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム、2011,2011年3月11日東北地方太平洋沖地震に伴う津波被災マップ2011年完成版, http://www.ajg.or.jp/disaster/201103_Tohoku-eq.html.」を使用

イ タンク内への水の混入

地下貯蔵タンクと配管で接続されている地上設備類が流失・損傷する被害を受けたことにより、タンク内に水が混入する被害に繋がったものと考えられる。営業を再開できた給油取扱所では、再開のためにタンククリーニング、固定給油設備、通気管等の交換を余儀なくされていた。

現地被災状況調査により把握した固定給油設備、通気管及び注入口の被災状況を整理する。

(ア) 固定給油設備（写真 2.2.6～写真 2.2.9）

給油取扱所において固定給油設備が流失・損傷する被害が見られた。

また、流失まではしていない固定給油設備についても、外観上破損しているものも少なくなかった。これらは津波や津波によって流されてきた漂流物の衝突により破損したと思われる。



写真 2.2.6
固定給油設備が欠損したアイランド



写真 2.2.7
固定給油設備が欠損したアイランド



写真 2.2.8
流された固定給油設備
(日本ガソリン計量機工業会提供写真)



写真 2.2.9
流された固定給油設備
(日本ガソリン計量機工業会提供写真)

(イ) 通気管

通気管は細長く、4m以上立ち上がっているため、他の地上部の機器類に比べて被害が大きかった。

現地被災状況調査では、上部が欠損している通気管を複数の施設で確認した(写真 2.2.10～写真 2.2.14)。これらは、津波によって流失したのか、すでに撤去されていたのかは分からないが、少なくとも押し倒されるなどの被害があったものと思われる。

他には、地面から折れ曲がる被害、また防火塀によって押し曲げられる被害等があった。(写真 2.2.14、写真 2.2.15)。



写真 2.2.10 上部が欠損した通気管

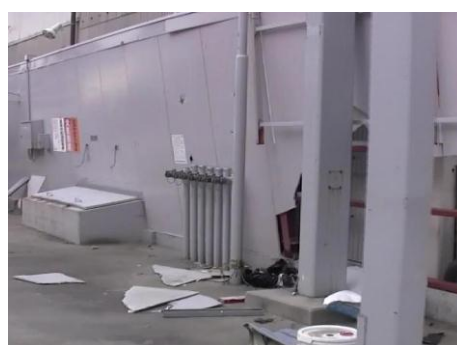


写真 2.2.11 上部が欠損した通気管



写真 2.2.12 上部が欠損した通気管

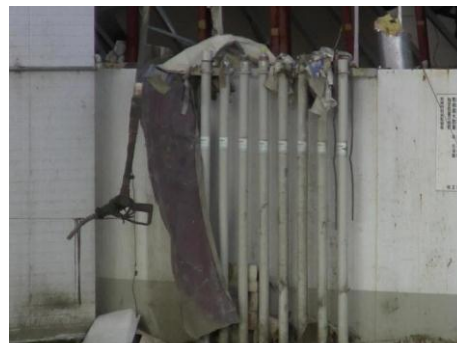


写真 2.2.13 上部が欠損した通気管



写真 2.2.14
通気管の地面からの折れ曲がり
(日本ガソリン計量機工業会提供写真)



写真 2.2.15
倒壊した防火塀とともに変形した
通気管

(ウ) 注入口

注入口の蓋が外れる等の被害があったが、前述の固定給油設備、通気管に比べると明らかに被害は小さかった。これは、通気管に比べ径が太く、また背が低い
ため、津波の影響を受けにくかったためだと思われる。

被害があった事例についても、隣接する注入口
は被害を受けていないことから、津波による漂流物等が衝突したことによるものと思われる（写真 2.2.16、写真 2.2.17）。

他の地上部の設備類が全壊状態であるのに、注入口は被害を受けていないケースもあった（写真 2.2.18）。



写真 2.2.16 蓋の外れた注入口
(日本ガソリン計量機工業会提供写真)



写真 2.2.17 上部が欠損した注入口



写真 2.2.18 被害のなかった注入口

一方で、ボックス内、コンクリート枠内及び地盤面下に設置された注入口では被害が確認できなかった（写真 2.2.19～写真 2.2.23）。これらは、漂流物等の直接的な衝突を避けられたためと考えられる。



写真 2.2.19 ボックス設置の注入口



写真 2.2.20 ボックス設置の注入口
(日本ガソリン計量機工業会提供写真)



写真 2.2.21 ボックス設置の注入口
(日本ガソリン計量機工業会提供写真)



写真 2.2.22
コンクリート枠内設置の注入口



写真 2.2.23 地盤面下設置の注入口

2. 3 危険物貯蔵タンクの被災状況のまとめ

屋外貯蔵タンクの被災状況より、屋外貯蔵タンク本体の破損により危険物の流出をともなう被害に繋がったのは、地震の場合は浮き屋根・浮き蓋の破損被害、津波の場合はタンク等の移動被害が多くを占めていた。

津波によるタンク等の移動被害は 80 件あり、許可容量別にみると 500 kL 未満の容量の小さい屋外貯蔵タンクの被害が 62 件となっており、大きな被害を受けていた。

一方、地下貯蔵タンクは地下に埋設されていることもあり、タンク本体が破損する被害は屋外貯蔵タンクに比べて少なく、地震による被害 2 件（地滑りによる崩落 1 件、SF 二重殻タンク外殻破損 1 件）、津波による被害 3 件（流失 2 件、露出 1 件）のみであった。しかしながら、液状化によるタンクの浮上、津波の洗掘作用によるタンクの露出・流失被害、タンク内への水の混入被害等があった。

これらの状況から、500 kL 未満の容量の小さい屋外貯蔵タンクを地下貯蔵タンクで置き換えることで、津波による被害を軽減できると考えられる。

実際に、宮城県気仙沼市の気仙沼港にある石油基地では 23 基の屋外貯蔵タンクのうち 22 基が津波によりタンク本体が流された（東日本大震災消防活動の記録（気仙沼・本吉地域広域行政事務組合消防本部：平成 24 年 9 月））が、この石油基地周辺の地下貯蔵タンクについては、地上設備類については被害を受けているものの、地下貯蔵タンク本体は被害を受けていなかった（写真 2.3.1）。また、屋外貯蔵タンクが流される被害を受けた屋外タンク貯蔵所に隣接する給油取扱所において、地下貯蔵タンクが健全であった事例も確認している（写真 2.3.2）。

次章では、大型地下貯蔵タンク施設の地震・津波に対する有効な対策を検討するに当たり、大型地下貯蔵タンク施設の考え方及び課題について整理する。



写真 2.3.1 石油基地周辺の地下貯蔵タンク



流された屋外貯蔵タンク



写真 2.3.2
タンクが流された屋外タンク貯蔵所に隣接する給油取扱所（地下貯蔵タンクに被害無し）

第3章 被災状況を踏まえた大型地下貯蔵タンクの検討

危険物貯蔵タンクの被災状況を踏まえ、大型地下貯蔵タンク施設の考え方、課題について検討する。

3. 1 大型地下貯蔵タンク施設の考え方

(1) 危険物貯蔵タンクの地下化の考え方

津波により流される被害の大きかった容量の小さい屋外貯蔵タンクを、大型の地下貯蔵タンクで置き換え地下化し、地震・津波に対して最小限の被害に食い止め、震災後の応急対策や復興期の迅速な石油エネルギー供給に対応できる大型地下貯蔵タンク施設とするものである。農林水産省水産庁が東日本大震災の被災状況をもとにまとめた「災害に強い漁業地域づくりガイドライン(水産庁:平成24年3月)」においても、漁港の給油タンク等の危険物取扱い施設を配置するにあたって、地下化が選択肢の一つとされているところである。

大型地下貯蔵タンク施設とすることで次のようなメリットが考えられる。

ア 地震・津波によるタンク本体の被害の軽減

被災状況から地下貯蔵タンク本体が直接被害を受ける事例はほとんどなかった。地下化することで、タンク本体の被害を軽減することができる。

イ 貯蔵危険物の流出による火災、水質汚染等の二次災害の防止

東日本大震災では、流された屋外貯蔵タンクから流出した危険物が湾内の火災、水質汚染に繋がったとされる事例があった。地下貯蔵タンクとすることで、貯蔵危険物の流出被害を少なくできるため、こうした二次災害を防止することができる。

ウ 震災後の応急対策や復興期の迅速な石油エネルギー供給

貯蔵危険物の流出を防ぐことができるため、震災後の応急対策や復興期に迅速な石油エネルギー供給対応ができる。

震災直後のエネルギー供給が逼迫した時には、地下貯蔵タンクの燃料を手動ポンプ等で吸い上げ避難者等に供給するなど、震災後の燃料供給を支えた事例もあった。

(2) 施設規模等についての考え方

ア 地下貯蔵タンク規模

(ア) タンク種別

直埋設可能なタンクとして、特にSF二重殻タンク及びFF二重殻タンクを対象とする。タンク室構造は堅牢であるが、本調査検討で想定する大型施設の場合、コストも大きくなり現実的でないことから対象外とした。

(イ) タンク容量

工場で製作し運搬可能なサイズである150kLの容量のタンクを上限とする。

これ以上の容量のタンクは現地施工となるため、タンク溶接、FRP等の品質管理が難しくなることに加え、現地での試験確認基準を確立しなければならないという問題も発生する。

なお、50kL以上の地下貯蔵タンクを運搬するためには、出発地の警察署長による「制限外許可」、道路管理者の「特殊車両通行許可」が必要となる(表3.1.1)。

表 3.1.1 タンク容量別の運搬方法

タンク容量 タンク寸法例	10tトラック	低床トレーラ	マルチトレーラ	制限外許可	特殊車両通行許可 通行条件
48KL φ2400 全長11658	○	-	-	不要	不要 なし
50KL φ2700 全長10264	×	○	-	必要	必要 C区分 ^{*1}
80KL φ2900 全長13386	×	○	-	必要	必要 C区分 ^{*1}
100KL φ3200 全長14115	×	○	-	必要	必要 C区分 ^{*1} , 夜間走行
130KL φ3400 全長15686	×	×	○	必要	必要 D区分 ^{*2} , 夜間走行
150KL φ3800 全長15261	×	×	○	必要(幅3.5mを超える ため、別途協議)	必要 D区分 ^{*2} , 夜間走行

※1 徐行、連行禁止、前後に誘導車を配置

※2 徐行、連行禁止、前後に誘導車を配置、

かつ2車線内に他車が通行しない状態

○：運搬可能
×
-：通常運搬に使用しない

イ 施設規模

次の(ア)~(ウ)の検討により、施設規模は容量300kLを上限とする。

(ア) 被災状況について

津波による流される被害が大きかったのは500kL未満の屋外貯蔵タンクであったことから、500kL未満を対象とする。

(イ) 設置費用について

地下貯蔵タンク(直埋設)と屋外貯蔵タンクの施工費用を比較すると、容量300kL程度であれば、両者の費用はそれほど変わらない。300kLを超える規模では、容量が大きくなるほど屋外貯蔵タンクの方が割安となる。これに加え地震・津波対策費用もかかることを考慮すると、容量300kL程度までが屋外貯蔵タンクの場合と比べて費用が変わらず、事業者が負担できる現実的な容量と考えられる。

(ウ) 敷地面積について

容量300kLとした場合に、地下タンク貯蔵所と屋外タンク貯蔵所で必要な敷地面積は表3.1.2のとおりである。地下タンク貯蔵所で150kLタンクを2基設置した場合に必要な敷地面積は約150㎡となり、屋外タンク貯蔵所(軽油、重

油を貯蔵した場合) と必要な敷地面積はほぼ同じである。また、地下タンク貯蔵所では保安距離が必要ないメリットもある。これらのことから、敷地面積からも現実的な容量規模と考えられる。

表 3.1.2 敷地面積比較表

施設種別	平面図	必要な敷地面積
地下タンク貯蔵所 (150 kL×2 基)	<p>16.3m (0.3m+15.7m+0.3m)</p> <p>150kLタンク寸法例 φ 3.8m、長さ15.7m</p> <p>9.2m (0.3m+3.8m+1m+3.8m+0.3m)</p>	149.9 m ²
地下タンク貯蔵所 (100 kL×3 基)	<p>14.7m (0.3m+14.1m+0.3m)</p> <p>100kLタンク寸法例 φ 3.2m、長さ14.1m</p> <p>12.2m (0.3m+3.2m+1m+3.2m+1m+3.2m+0.3m)</p>	179.3 m ²
屋外タンク貯蔵所 (円筒縦置き型)	<p>300kLタンク寸法例 φ 8m、高さ7m</p> <p>保有空地</p> <p>14m (3m+8m+3m)</p>	<p>[軽油・重油] 153.8 m²</p> <p>[ガソリン] 254.3 m² 保有空地 5m</p>

(3) 施設用途についての考え方

この検討において施設用途を限定するものではないが、施設用途例として次のようなものがあげられる。

ア 船舶給油取扱所

船舶給油取扱所の専用タンクとして屋外貯蔵タンクを併設して使用している形態の代替として、大型地下貯蔵タンク施設とするもの

イ ローリー充填所等

沿岸部において、屋外貯蔵タンクを併設して使用しているローリー充填場等の代替として、大型地下貯蔵タンク施設とするもの

ウ 船舶給油取扱所とローリー充填所等で兼用して使用する地下タンク貯蔵所

船舶給油取扱所とローリー充填所等が同一の貯蔵所を兼用している施設では、屋外タンク貯蔵所が併設されていることがある。この屋外タンク貯蔵所に替え、大型地下貯蔵タンク施設とするもの（図 3.1.1）

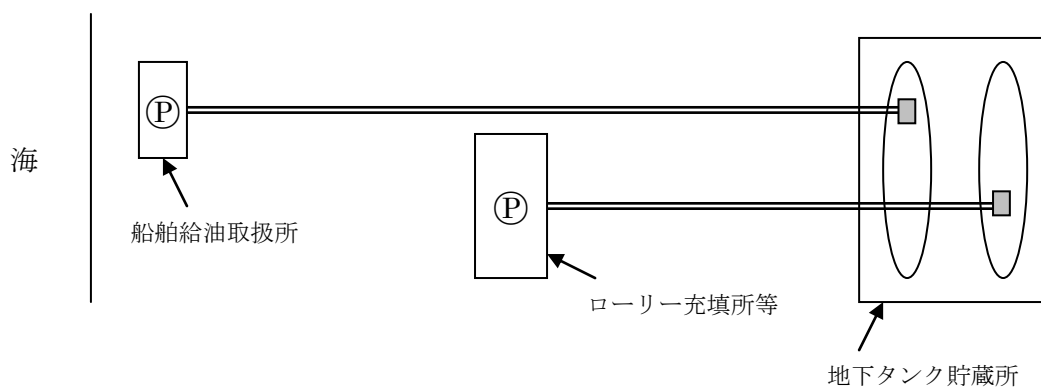


図 3.1.1 兼用する場合のイメージ

エ 災害時の燃料貯槽施設

災害対応給油取扱所、非常用発電機用燃料貯槽施設等の災害時の復旧・復興燃料を貯槽する施設を、大型地下貯蔵タンク施設とするもの

3. 2 大型地下貯蔵タンクに係る課題の整理

被災状況から、地下貯蔵タンク本体の被害は少なかったが、地下に埋設されているがゆえの被害も受けていた。次に大型地下貯蔵タンク施設を考える上での課題を整理する。

(1) 地震に対する課題

地震による被害としては、タンク浮上被害がほとんどであり、液状化が原因と考えられる。過去の震災においても、液状化によるタンク浮上被害の報告はされているところである（参考資料3参照）。

100 kL 超の大型地下貯蔵タンクは一般的なタンクと比べタンク径も大きく、受ける浮力も大きくなることから、施設を設置するにあたり液状化が懸念される場合は対策が必要である。しかしながら、液状化を完全に防止する対策となると、大規模な地盤改良工事等が必要になるため、コスト面からも現実的ではない。液状化が発生した際のタンクにかかる浮力を軽減する対策等を考える必要がある。

(2) 津波に対する課題

ア 洗掘被害

10m 近くの衝撃的な津波が予想される場所では、立地条件によっては洗掘により地下貯蔵タンク本体が露出・流失する被害に繋がる可能性があることが考えられた。施設を設置するにあたっては、洗掘を受けにくいレイアウトとすることが必要である。

イ タンク内への水の混入

津波によりタンク内に水が混入した事例が多く報告されていた。これらの原因は地上部分のタンクに繋がる設備類が津波により破損し、その破損部位からタンク内に水が流入したものである。

震災後の応急対策や復興期の迅速な石油エネルギー供給のためには、タンク内に水を流入させないことが重要である。このため、タンク内への水の流入を最小限にする対策を考える必要がある。

一方で、タンクに通じるすべての配管類からの流入を、完全に防ぐことも難しいと考えられることから、水が混入した場合に速やかに復旧するための対策についても考えておく必要がある。

第4章 地震・津波に係る課題に対する対策

前章で示した地震・津波に係る課題に対する具体的な対策について、次のとおり検討を行った。

4. 1 地震対策（液状化対策）

ア 対策方法及び効果

液状化によるタンク浮上対策として、埋戻し材として一般的に使用されている砂（川砂、良質な山砂等）に替えて粒度の大きい6号砕石を使用するものである。

道路橋示方書・同解説（平成24年3月 社団法人日本道路協会）（以下「道路橋示方書」という。）では液状化判定を行う必要がある土層として、「50%粒径 D_{50} が10mm以下で、かつ10%粒径 D_{10} が1mm以下」である土層が条件の一つとなっているが、6号砕石はこの条件に該当せず、埋戻し部分で液状化は起こりにくいと判断できる。また、周辺地盤が液状化し水圧が上がった場合でも、砕石自体の透水性が高いため、有効に水圧を消散し、タンク本体にかかる浮力を軽減する効果も期待できる。

6号砕石は一般的に埋戻しとして使用されている砂と比べて費用も変わらないことから、現実的な対策と考えられる。

実際の事例として「地下貯蔵タンクの砕石基礎による施工方法について」（通知）（消防危第127号 平成8年10月18日 消防庁危険物規制課長）に基づき6号砕石により砕石基礎施工されたFF二重殻タンクにおいて、東日本大震災により周辺地盤は液状化の被害を受けたにも関わらず、タンク埋設部分には液状化被害がなかった事例もあった（写真4.1.1）。



周囲は液状化



タンク埋戻し部分は液状化していない
※新設中のため上部スラブ施工前

写真 4.1.1 砕石基礎施工により液状化しなかった事例

（日本ガソリン計量機工業会提供写真）

イ 液状化解析による有効性の検証

アで示した対策方法の有効性について、次のとおり液状化解析を行い検証した。
 なお、液状化解析結果の詳細については参考資料 4 に示す。

(ア) 目的

液状化時に地下貯蔵タンクに発生する浮力を軽減させるために、透水性が高い 6 号砕石で埋め戻すことが有効であると考えられる。

この砕石を使用した場合の過剰間隙水圧比の低減効果について、一般的に埋戻しとして用いられている砂と比較して検証することを目的とする。

(イ) 解析条件

a 解析コード

地盤を土粒子と間隙水の二相でモデル化した有効応力解析とする。2 次元モデル（横断面）の検討とし、解析プログラムは西モデル（液状化構成則）と修正 R-O モデル（非液状化層の非線形モデル）を採用した NANSI/2D を用いる。

b 地下貯蔵タンクの諸条件（図 4.1.1、表 4.1.1）

- ・タンクは鋼製としてモデル化（ビーム要素）
- ・タンクの基礎・上部スラブを RC としてモデル化（平面歪要素）
- ・タンク埋設深度：土かぶり 1m
- ・タンク諸元：直径 3.8m、鋼製タンク厚さ 9mm（150 k L タンク）
- ・内容液量：タンク中心(1.9m)部分まで重油(比重 0.93)
- ・地下水位：地盤面下 1m

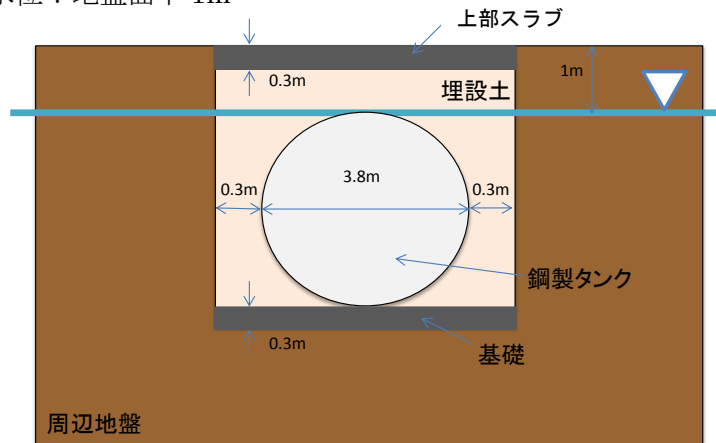


図 4.1.1 地下貯蔵タンクモデル図

表 4.1.1 材料物性

材料	単位体積重量 [tf/m ³]	弾性係数 [tf/m ²]	ポアソン比	断面積 [m ² /m]	断面 2 次モーメント [m ⁴ /m]	減衰定数 [%]
タンク	7.8	2.0×10^7	0.3	0.009	6.0×10^{-8}	2
RC	2.4	2.2×10^6	0.2	-	-	2

c 地盤の諸条件

- 埋設土の砂、碎石は液状化を考慮し、西モデル（液状化解析において一般的に用いられる構成則）を採用する。
- 周辺地盤の砂は、ケースによって液状化を考慮する場合としない場合があり、液状化を考慮する場合は西モデルとし、液状化を考慮しない場合は修正 R・O モデル（地盤の動的変形特性で一般的な構成則）とする。
- 埋設土の砂の N 値は N=5 とした。
- 埋設土の碎石の N 値は碎石の N 値の情報がないため、N=40（礫の N 値）とした。（表 4.1.2 参照）
- 周辺地盤の砂は埋立地（3 種、4 種地盤）を想定し、参考文献により各地域（東京、川崎、名古屋等）の埋立地の N 値の範囲を踏まえ、N=7 とした。
- 埋設土の砂の細粒分含有率は 3%（一般的な山砂の値）とし、周辺地盤の砂の細粒分含有率は 30%（細砂）とした。碎石は 0%とした。
- 単位体積重量は表 4.1.3 から砂は細砂の値（水面以下：1.95、水面以上：1.75）、碎石は砂れきの値（水面以下：2.10、水面以上：1.90）とする。
- 間隙比は表 4.1.4 から 0.85 とした（碎石の値は参考資料等を参考に 0.5 とした）。
- 透水係数は表 4.1.5 から砂は細砂の値（ 1.5×10^{-2} ）、碎石は小砂利の値（ 3.0×10^{-0} ）とする。
- ポアソン比は一般的に用いられる値の水面以下 0.49、水面以上 0.35 を設定する（図 4.1.2 を参照）。
- せん断波速度は道路橋示方書(V 耐震設計編)で示されている次式で計算する。

【砂質土の場合】

$$V_s = 80N^{1/3} (1 \leq N \leq 50)$$

Vs : せん断波速度[m/s]、N : N 値

- せん断剛性は次式で計算する。

$$G = \rho V_s^2$$

G : せん断剛性、 ρ : 質量密度、Vs : せん断波速度

表 4.1.2 土質区分と物性値

土質	N値	変形係数 (kN/m ²)	ポアソン比	単位体積 重量(kN/m ²)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (度)
埋土	2~4	3,000	0.45	15	50	6
シルト	1	800	0.49	16	10	0
	2~3	2,400	0.45	16	30	6
砂質 シルト	4	5,000	0.45	16	30	10
	15	15,000	0.40	17	60	15
粘土	6	5,000	0.45	15	80	6
	8~12	10,000	0.45	15	80	6
	25	20,000	0.45	15	80	6
細砂	10	8,000	0.35	18	0.0	25~30
	20	10,000	0.35	18	0.0	25~30
	30	20,000	0.35	18	0.0	35
	40	25,000	0.35	18	0.0	38
	50	35,000	0.35	18	0.0	42
中砂	50	50,000	0.35	18	0.0	42
礫	40	30,000	0.30	20	0.0	39
	50	50,000	0.30	20	0.0	42

(トンネル標準示方書[開削工法編]土木学会)

表 4.1.3 土質区分と物性値

土質分類	地下水位面下の 単位重量 γ_{D2} (tf/m ³)	地下水位面上の 単位重量 γ_{D1} (tf/m ³)	平均粒径 D ₅₀ (mm)	細粒分含有率 FC (%)
表土	1.7	1.5	0.02	80
シルト	1.75	1.55	0.025	75
砂質シルト	1.8	1.6	0.04	65
シルト質細砂	1.8	1.6	0.07	50
微細砂	1.85	1.65	0.1	40
細砂	1.95	1.75	0.15	30
中砂	2.0	1.8	0.35	10
粗砂	2.0	1.8	0.6	0
砂れき	2.1	1.9	2.0	0

道路橋示方書(V 耐震設計編)・同解説

表 4.1.4 土質区分と物性値

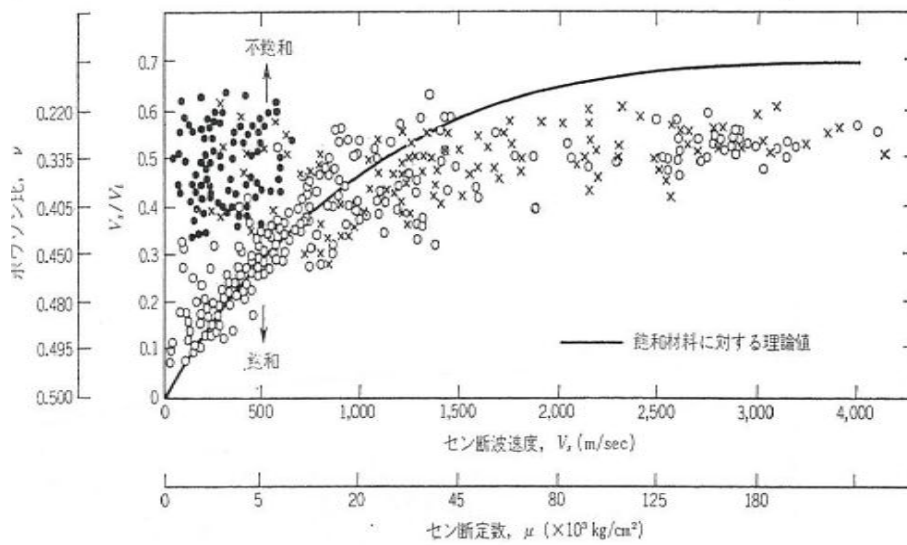
土の種類	間隙率 n(%)	間隙比 e	含水比 W(%)	単位重量	
				γ_d (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
1 砂 均等で、ゆるい	46	0.85	32	14.01	18.52
2 砂 均等で、密な	34	0.51	19	17.15	20.48
3 砂 混合の、ゆるい	40	0.67	25	15.58	19.50
4 砂 混合の、密な	30	0.43	16	18.13	21.07
5 粘土(氷成)軟らかい	55	1.22	45	11.66	17.05
6 粘土(氷成)硬い	37	0.59	22	16.37	19.99
7 粘土(有機質少)軟らかい	66	1.94	70	8.82	15.29
8 粘土(有機質多)軟らかい	75	3.00	110	6.47	13.82
9 ベントナイト 軟らかい	84	5.25	194	4.12	12.35

((社)日本下水道管渠推進技術協会:推進工法講座基礎知識編より)

表 4.1.5 土質区分と物性値

	粘土	シルト	微細砂	細砂	中砂	粗砂	小砂利
粒径 (mm)	0~0.01	0.01~0.05	0.05~0.10	0.1~0.25	0.25~0.50	0.50~1.0	1.0~5.0
K (cm/sec)	3×10^{-5}	4.5×10^{-4}	3.5×10^{-3}	1.5×10^{-2}	8.5×10^{-2}	3.5×10^{-1}	3.0

土と基礎 - 実用数式・図表の解説 土質工学会



土質動力学の基礎[鹿島出版]

図 4.1.2 セン断波速度とポアソン比の関係

上記の条件をまとめた表を表 4.1.6 に示す。

表 4.1.6 地盤物性値

埋設土 or 周辺地盤	地盤番号	地盤種	液化化考慮有・無	N値	細粒分含有率 [%]	水面以下単位体積重量 [tf/m ³]	水面上単位体積重量 [tf/m ³]	間隙比	透水係数 [cm/s]	せん断波速度 [m/s]	水面以下せん断剛性 [tf/m ²]	水面上せん断剛性 [tf/m ²]	水面以下ポアソン比	水面上ポアソン比	減衰定数 [%]	非線形特性
埋設土	①	砂	有	5	3%	1.95	1.75	0.85	1.5×10^{-2}	136.80	3721	3339	0.49	0.35	2	西モデル
	①	碎石	有	40	0%	2.10	1.90	0.5	3.0×10^0	273.60	16029	14503	0.49	0.35	2	西モデル
周辺地盤	②	砂	無or有	7	30%	1.95	1.75	0.85	1.5×10^{-2}	153.03	4657	4179	0.49	0.35	2	西モデル or 修正R-Oモデル

d 非線形特性

地盤の非線形特性は、液状化を考慮する層では西モデルでモデル化をする。液状化層の液状化強度曲線は、道路橋示方書により液状化強度を求め、その値を用いて龍岡式により液状化曲線を決定する。

液状化による体積変化を考慮しない層は修正 R-O モデルでモデル化をする。砂は建築基準法告示 1457 に示されている動的変形特性にフィッティングするように修正 R-O モデルの各パラメータを設定する。

e 荷重条件

東北地方太平洋沖地震の特性を考慮した検討用地震動として、平成 24 年の道路橋示方書改定版に示されているレベル 2 地震動を選択する。選択した検討用地震動の加速度時刻歴波形と加速度スペクトルを図 4.1.3、図 4.1.4 に示す。

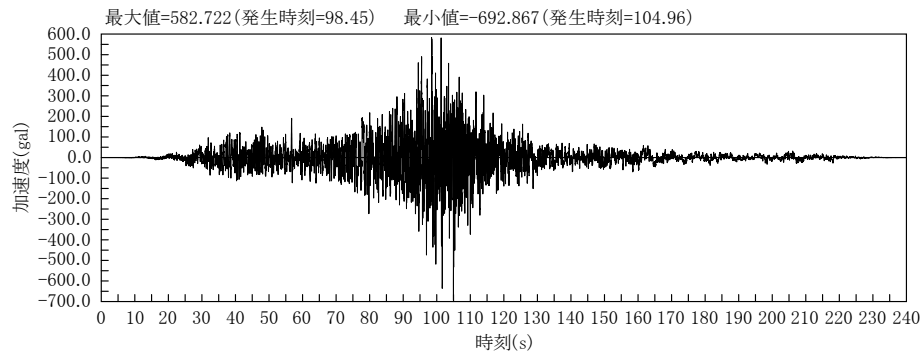


図 4.1.3 加速度入力波形

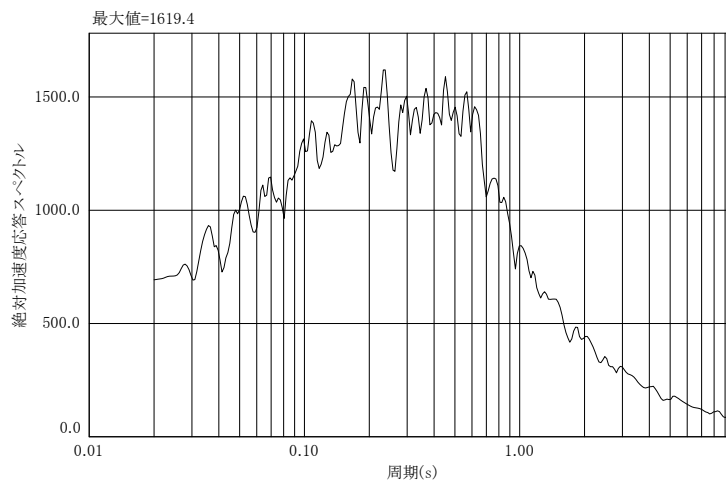


図 4.1.4 絶対加速応答スペクトル

f 解析モデル

本検討では、2次元（横断面）により検討する。

- ・ FEM 部の幅は、躯体幅の 6 倍以上とする。（※1）
- ・ FEM 部の深さは、躯体幅の 2 倍以上とする。（※1）
- ・ 要素の大きさは、次式により決定する。（※2）

$$h \leq \frac{V_s}{N \cdot F_{\max}}$$

h : 伝搬方向に於ける要素長さ
 Vs : 地盤のせん断波速度
 N : 定数(5)
 F_{max} : 解析する振動数の上限
 (本検討では 20Hz とする)

本検討で用いる要素長さは必要最大メッシュ長さを考慮し、1.0m 以下のメッシュ長さとする。

表 4.1.7 各地盤の必要要素長さ

埋設土 or 周辺地盤	地盤種	せん断波速度 [m/s]	要素長さ [m]
埋設土	砂	136.80	1.4
周辺地盤	砂	153.03	1.5
埋設土	碎石	273.60	2.7

[参考文献]

※1 : 有限要素法による地盤-構造物連成系の相互作用解析における境界条件及び入力地震動の評価（日本建築学会 1981 年、奥村・多田・宇高）

※2 : SuperFLUSH/2D for Windows V5.3 利用者マニュアル

(ウ) 検討内容及び結果

a 埋設土を砂と砕石とした場合の比較

(a) 検討内容

埋設土に着目したモデルにより、砕石を使用した場合（対策後）の過剰間隙水圧比の低減効果について、一般的に用いられている砂を使用した場合（対策前）と比較して検討する。

解析モデルとしては、側面及び底面を粘性境界とする。解析に用いたメッシュ図を図 4.1.5 に示す。

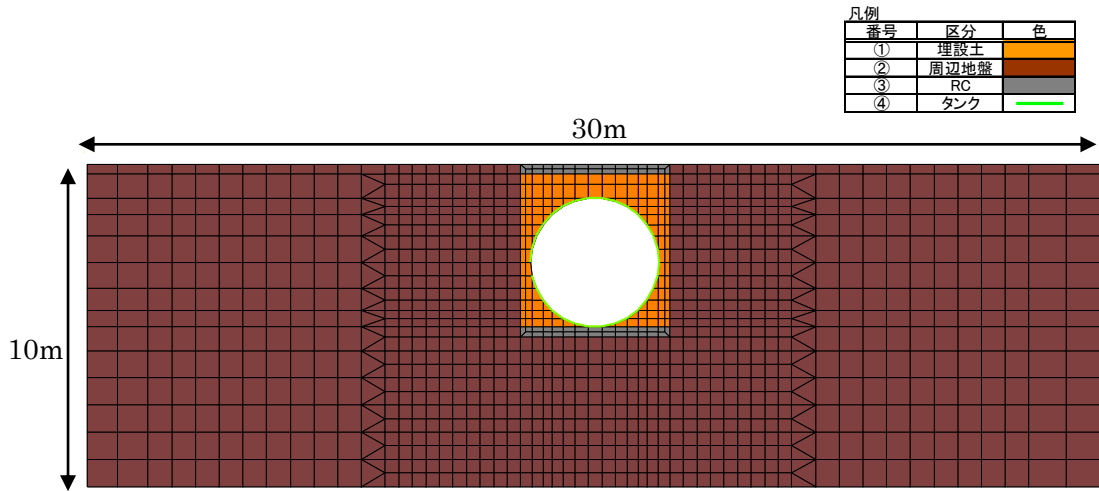


図 4.1.5 解析モデル図

表 4.1.8 地盤物性値

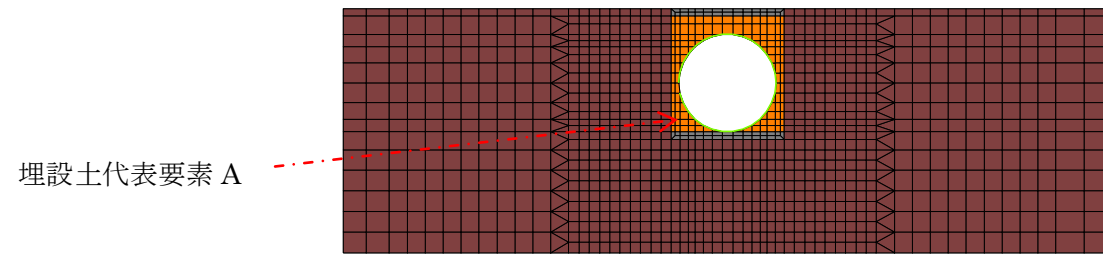
ケース	埋設土の周辺地盤	地盤番号	地盤種	液状化考慮有・無	N値	細粒分含有率 [%]	水面以下単位体積重量 [t/m ³]	水面上単位体積重量 [t/m ³]	間隙比	透水係数 [cm/s]	せん断波速度 [m/s]	水面以下せん断剛性 [t/m ²]	水面上せん断剛性 [t/m ²]	水面以下ポアソン比	水面上ポアソン比	減衰定数 [%]	非線形特性
対策前	埋設土	①	砂	有	5	3%	1.95	1.75	0.85	1.5×10^{-2}	136.80	3721	3339	0.49	0.35	2	西モデル
	周辺地盤	②	砂	無	7	30%	1.95	1.75	0.5	1.5×10^{-2}	153.03	4657	4179	0.49	0.35	2	修正R-Oモデル
対策後	埋設土	①	砕石	有	40	0%	2.10	1.90	0.5	3.0×10^0	273.60	16029	14503	0.49	0.35	2	西モデル
	周辺地盤	②	砂	無	7	30%	1.95	1.75	0.5	1.5×10^{-2}	153.03	4657	4179	0.49	0.35	2	修正R-Oモデル

(b) 検討結果

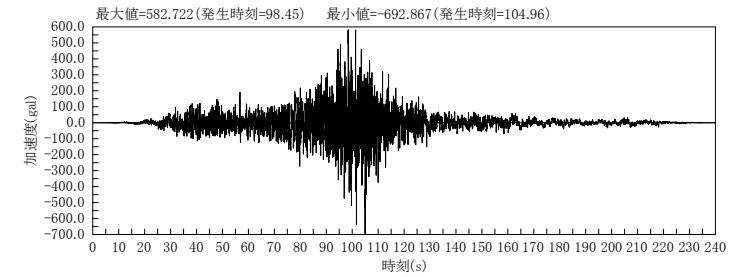
解析結果を図 4.1.6、図 4.1.7 に示す。

対策前はタンク下で過剰間隙水圧比が大きくなっており、液状化している可能性が高い。一方、対策後の埋設土では多少の過剰間隙水圧比の増加が見られるが 0.1 以下であり、液状化に至る程の過剰間隙水圧比の増加は見られない。

なお、スラブ下の水平方向の過剰間隙水圧比が周辺に比べて低いが、これはスラブの剛性が周辺地盤と比べ非常に高いこと、解析的にスラブ下の地盤で節になる応答性状であることが理由である（以降の b(b)、c(b)の検討結果においても同様）。



a.モデル図



b.入力地震動

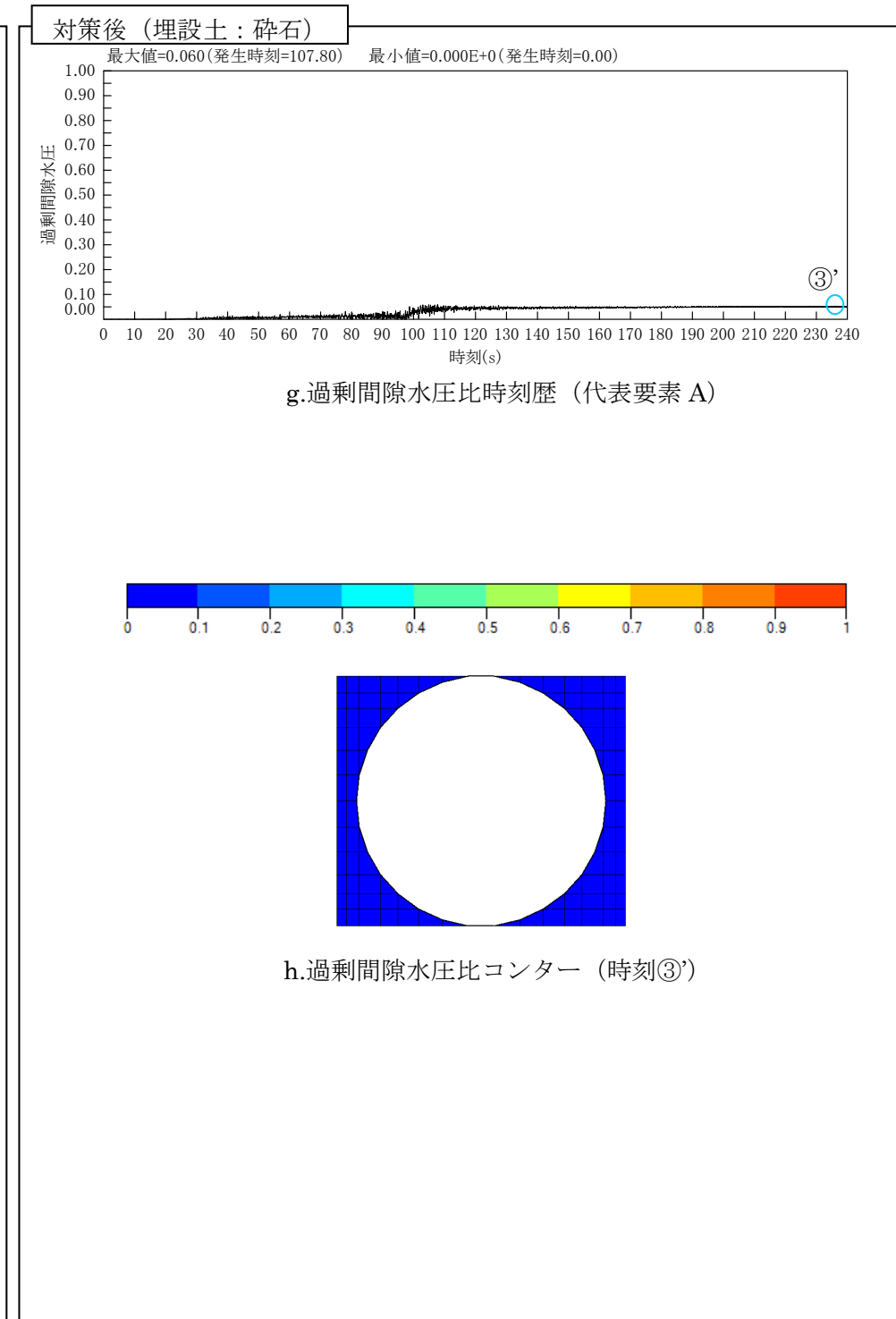
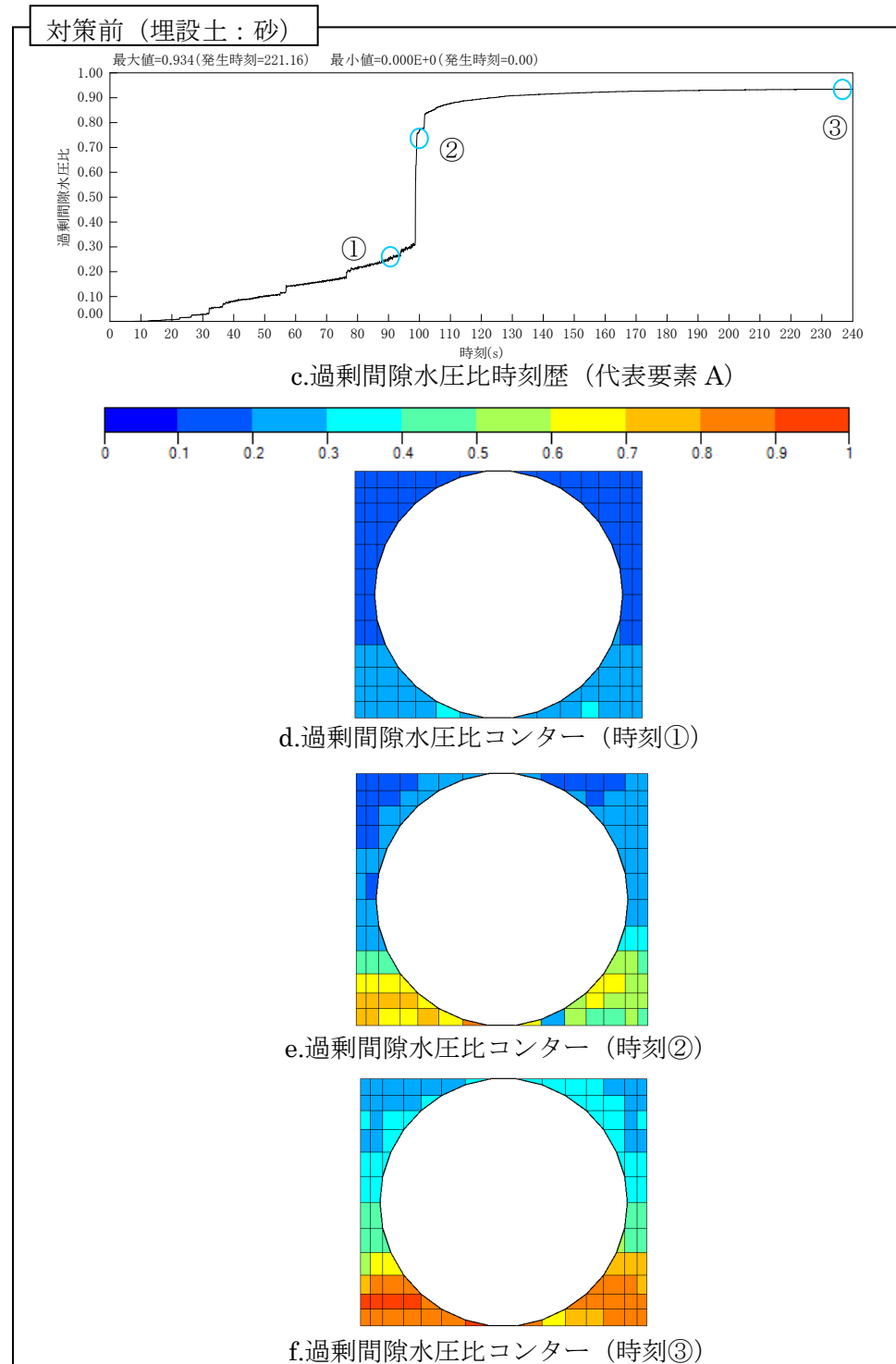
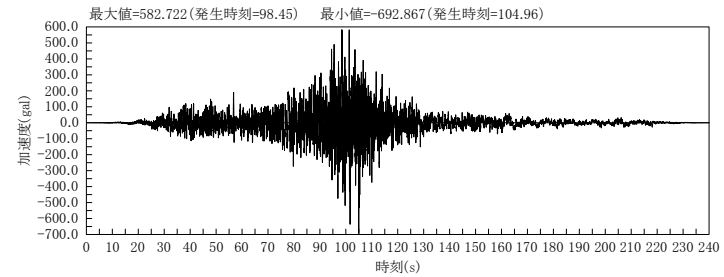
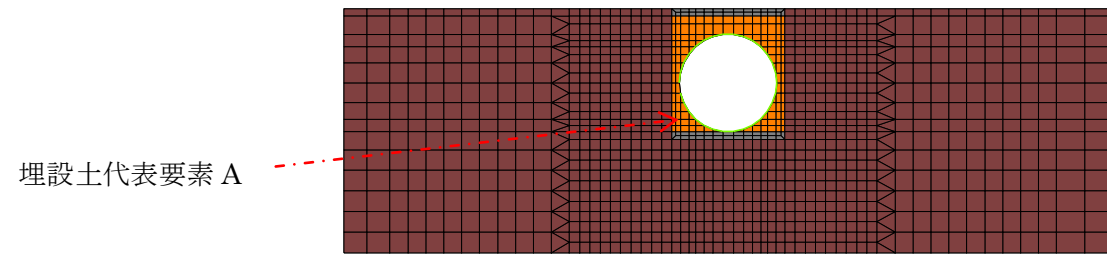


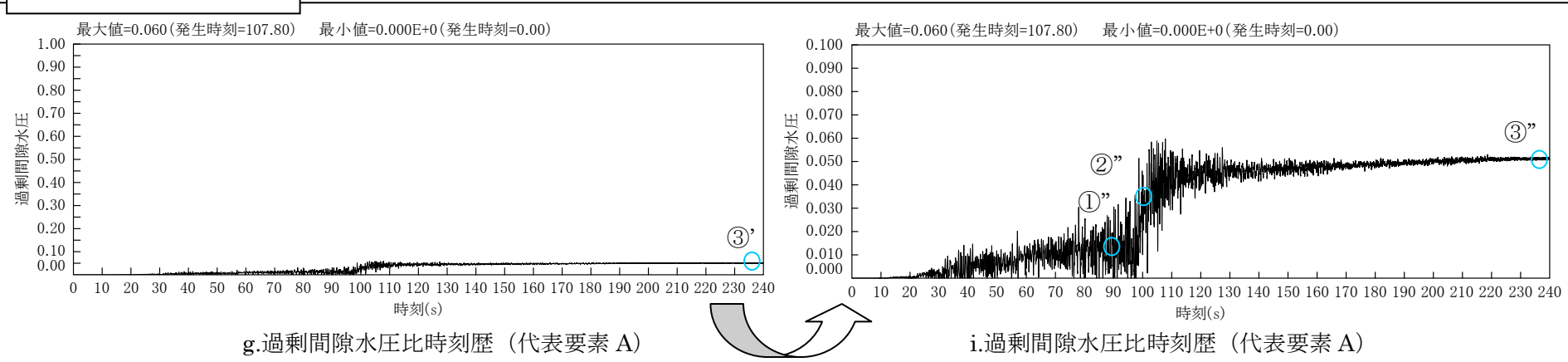
図 4.1.6 対策前と対策後の過剰間隙水圧比の比較



対策後 (埋設土: 砕石)

a.モデル図

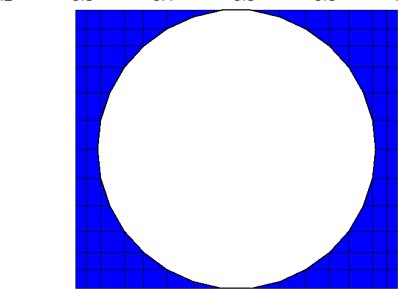
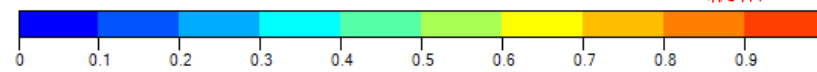
b.入力地震動



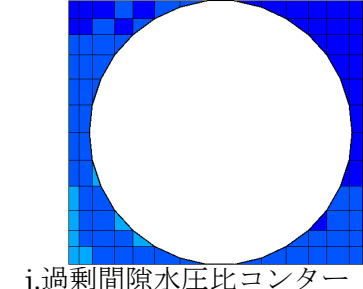
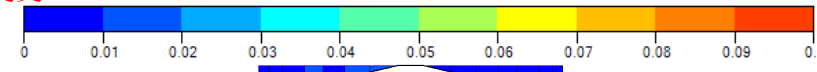
g.過剰間隙水圧比時刻歴 (代表要素 A)

i.過剰間隙水圧比時刻歴 (代表要素 A)

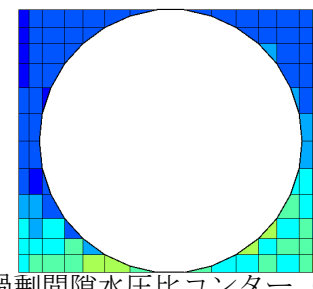
縦軸のスケールを変更



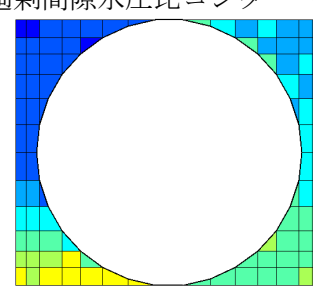
h.過剰間隙水圧比コンター (時刻③')



j.過剰間隙水圧比コンター (時刻①'')



k.過剰間隙水圧比コンター (時刻②'')



l.過剰間隙水圧比コンター (時刻③'')

カラーバーのスケールを変更

図 4.1.7 対策後の過剰間隙水圧比 (スケール変更)

b 実地盤を想定した場合の比較

(a) 検討内容

埋設土に加え、周辺地盤も液状化するような地盤の場合に、砕石を使用した場合（対策後）の過剰間隙水圧比の低減効果について、一般的に用いられている砂の場合（対策前）と比較して検討する。

解析モデルとしては、側面及び底面を粘性境界とする。解析に用いたメッシュ図を図 4.1.8 に示す。

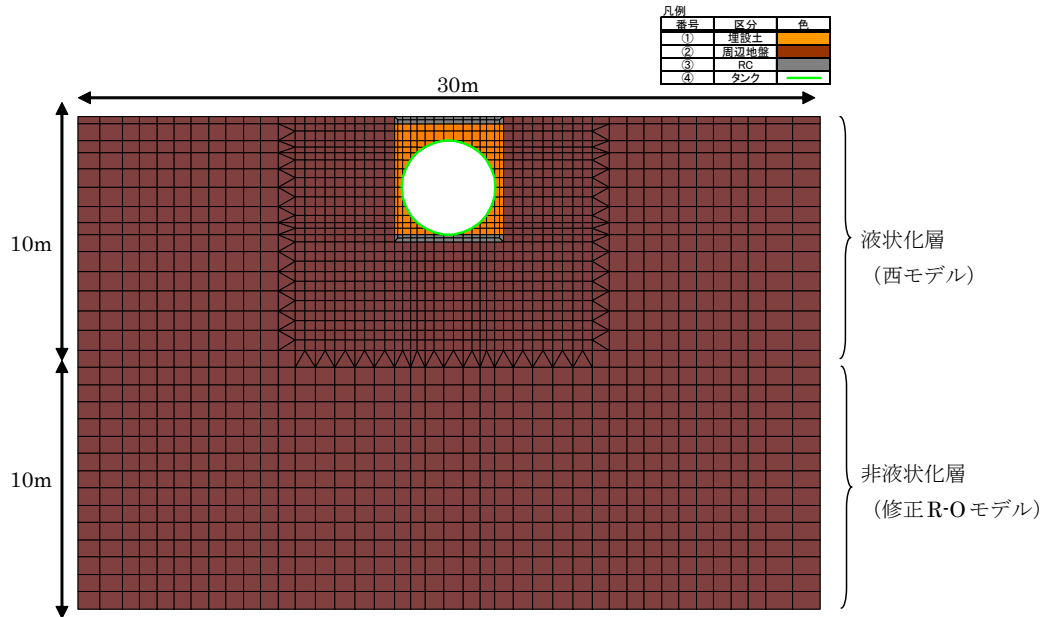


図 4.1.8 解析モデル図

表 4.1.9 地盤物性値

ケース	埋設土 or 周辺地盤	地盤番号	地盤種	液状化考慮有・無	N値	細粒分含有率 [%]	水面以下単位体積重量 [tf/m ³]	水面上単位体積重量 [tf/m ³]	間隙比	透水係数 [cm/s]	せん断波速度 [m/s]	水面以下せん断剛性 [tf/m ²]	水面上せん断剛性 [tf/m ²]	水面以下ポアソン比	水面上ポアソン比	減衰定数 [%]	非線形特性
対策前	埋設土	①	砂	有	5	3%	1.95	1.75	0.85	1.5×10^{-2}	136.80	3721	3339	0.49	0.35	5	西モデル
	周辺地盤	②	砂	有	7	30%	1.95	1.75	0.5	1.5×10^{-2}	153.03	4657	4179	0.49	0.35	5	西モデル or 修正R-Oモデル
対策後	埋設土	①	砕石	有	40	0%	2.10	1.90	0.5	3.0×10^0	273.60	16029	14503	0.49	0.35	5	西モデル
	周辺地盤	②	砂	有	7	30%	1.95	1.75	0.5	1.5×10^{-2}	153.03	4657	4179	0.49	0.35	5	西モデル or 修正R-Oモデル

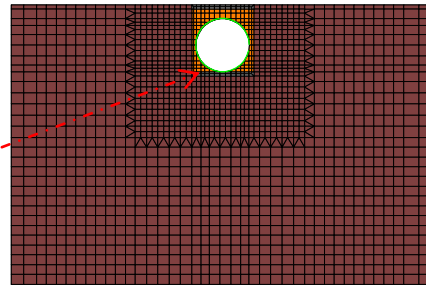
(b) 検討結果

解析結果を図 4.1.9、図 4.1.10、図 4.1.11 に示す。

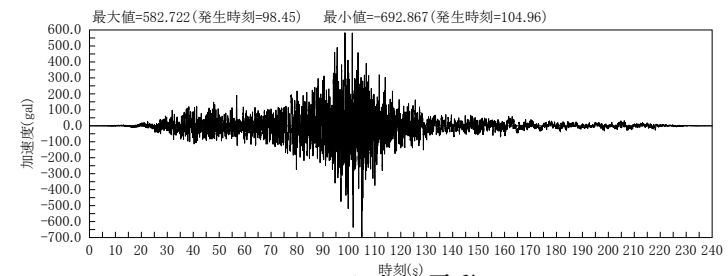
対策前は過剰間隙水圧比が周辺地盤、埋設土共に 0.9 に近い値となっており、広範囲に液状化している可能性が高い。

対策後は周辺地盤の過剰間隙水圧比の増加は見られ液状化している可能性は高い。埋設土では多少の過剰間隙水圧比の増加が見られるが、液状化に至る程の過剰間隙水圧比の増加は見られない。

埋設土代表要素 A

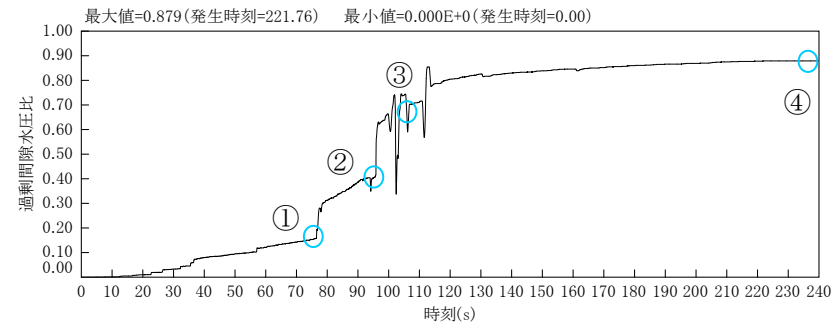


a. モデル図

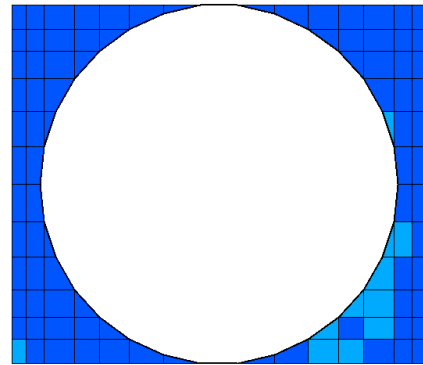
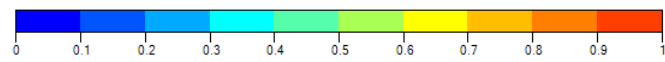


b. 入力地震動

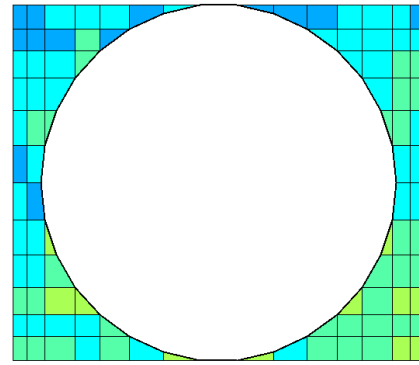
対策前 (埋設土: 砂)



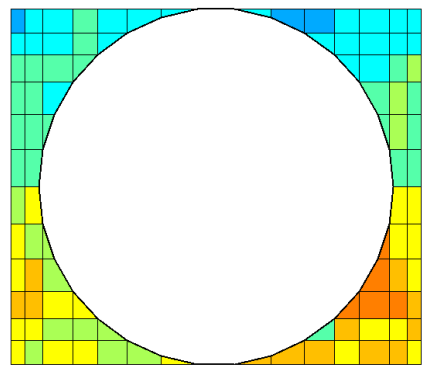
c. 過剰間隙水圧比時刻歴 (代表要素 A)



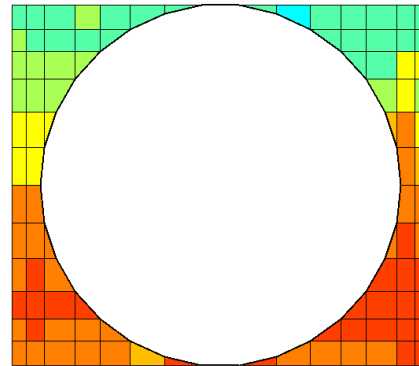
d. 過剰間隙水圧比コンター (時刻①)



e. 過剰間隙水圧比コンター (時刻②)

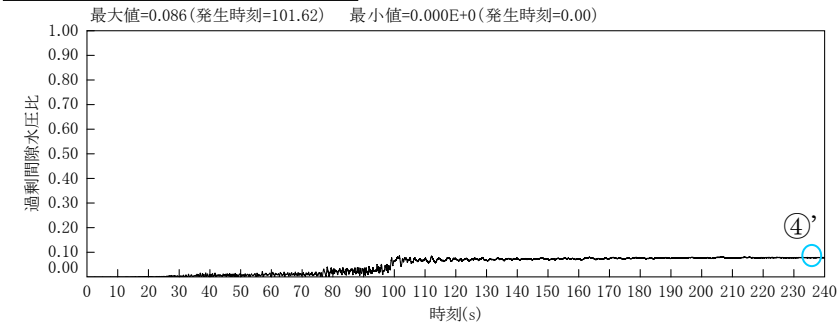


f. 過剰間隙水圧比コンター (時刻③)

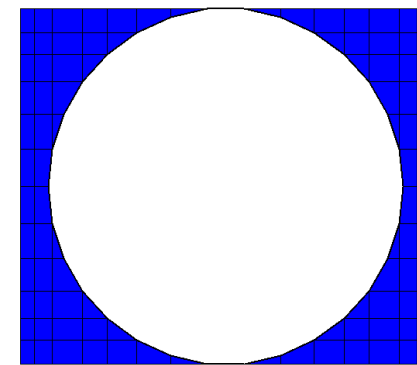
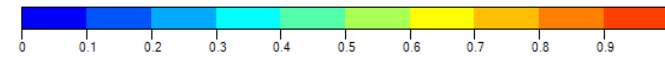


g. 過剰間隙水圧比コンター (時刻④)

対策後 (埋設土: 砕石)



h. 過剰間隙水圧比時刻歴 (代表要素 A)



i. 過剰間隙水圧比コンター (時刻④')

図 4.1.9 対策前と対策後の過剰間隙水圧比の比較 (埋設土部分)

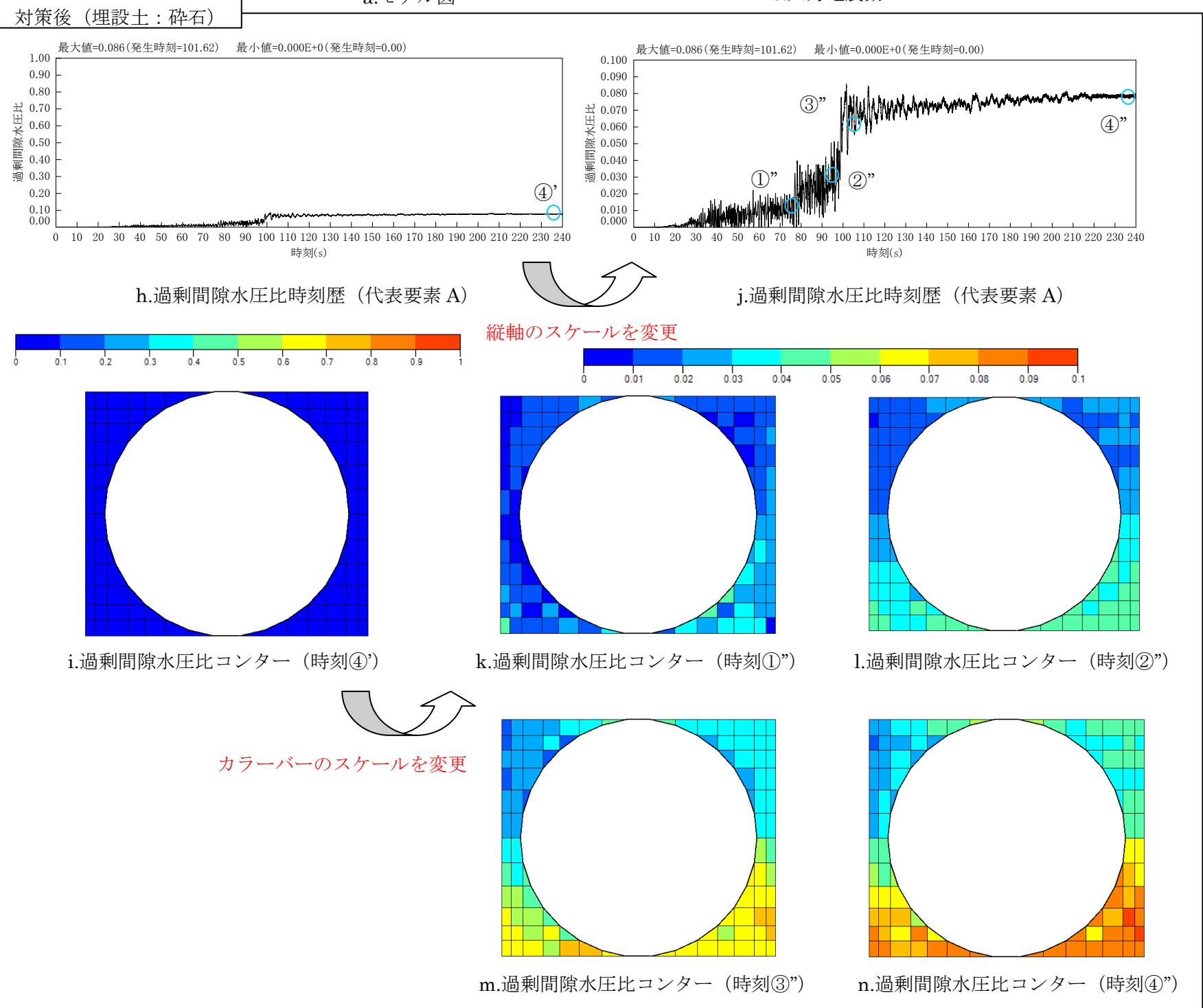
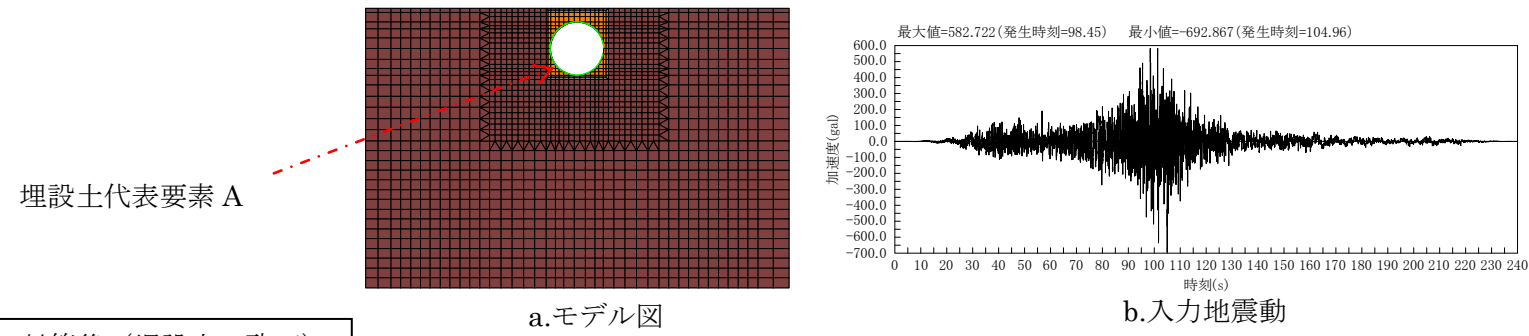
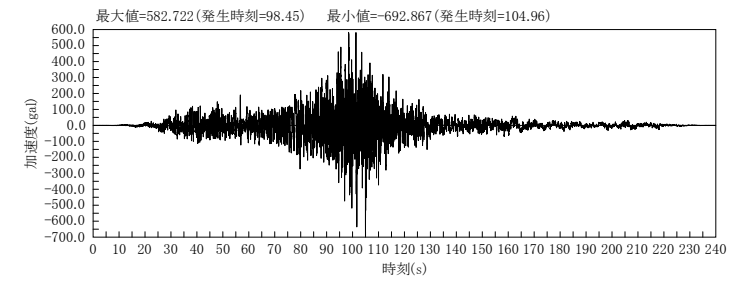
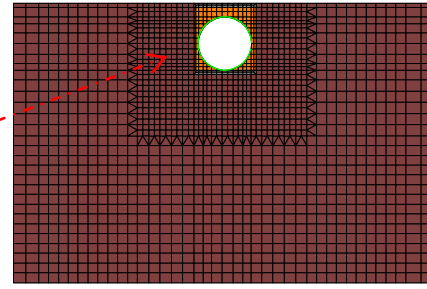


図 4.1.10 対策後の過剰間隙水圧比 (スケール変更)

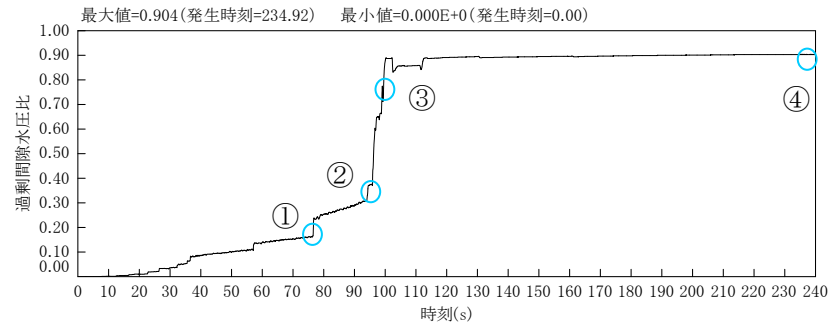
周辺地盤代表要素 A



a.モデル図

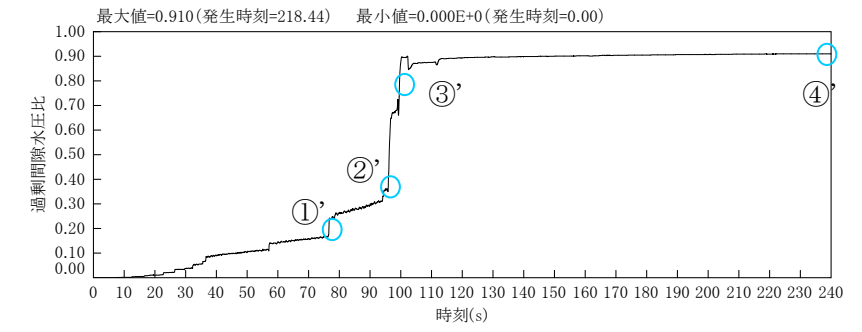
b.入力地震動

対策前 (埋設土: 砂)

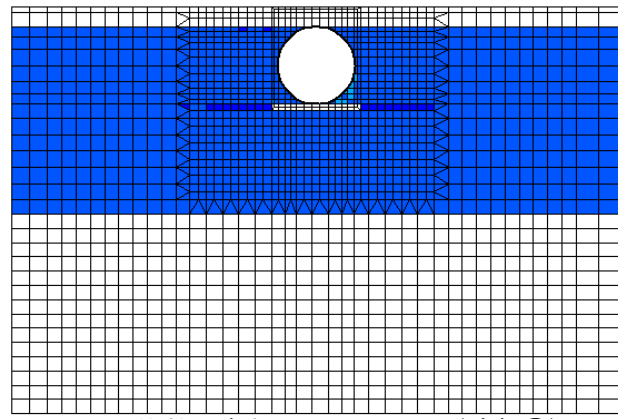
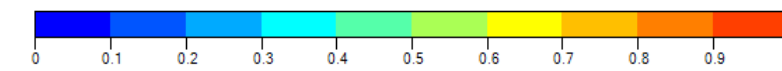
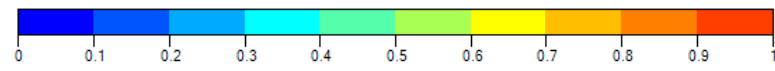


c.過剰間隙水圧比時刻歴 (代表要素 A)

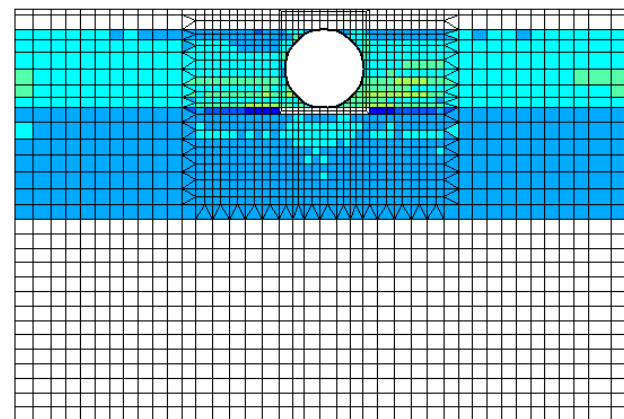
対策後 (埋設土: 砕石)



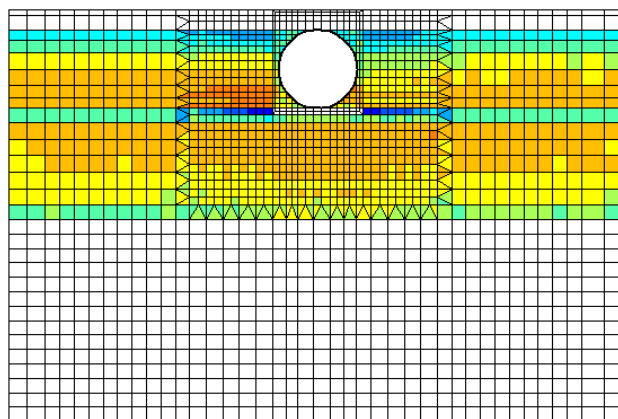
h.過剰間隙水圧比時刻歴 (代表要素 A)



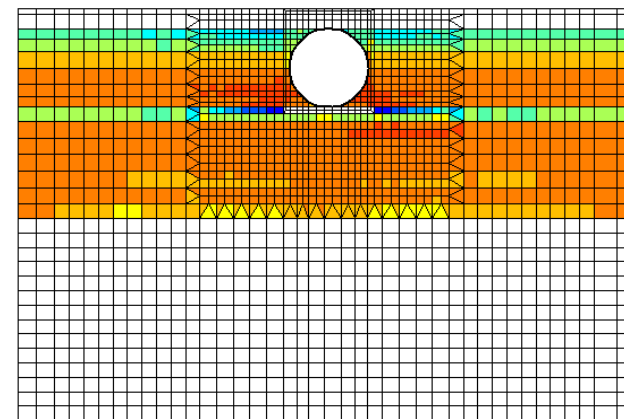
d.過剰間隙水圧比コンター (時刻①)



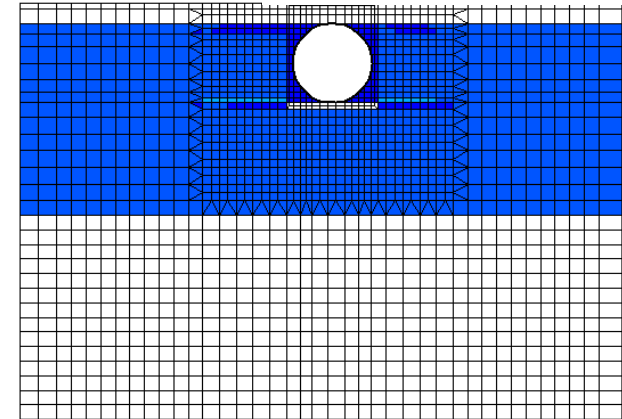
e.過剰間隙水圧比コンター (時刻②)



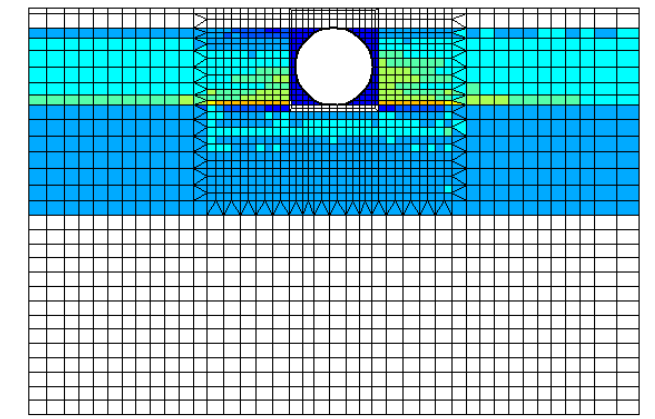
f.過剰間隙水圧比コンター (時刻③)



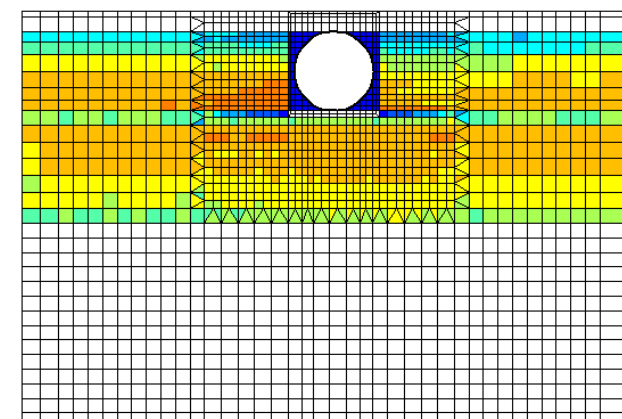
g.過剰間隙水圧比コンター (時刻④)



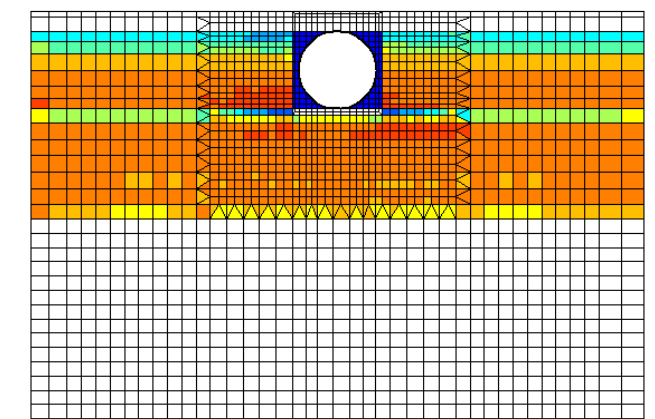
i.過剰間隙水圧比コンター (時刻①')



j.過剰間隙水圧比コンター (時刻②')



k.過剰間隙水圧比コンター (時刻③')



l.過剰間隙水圧比コンター (時刻④')

図 4.1.11 対策前と対策後の過剰間隙水圧比の比較 (周辺地盤部分)

c 埋戻し範囲の影響の検討

(a) 検討内容

a、bの検討では、法令上の最低基準として埋戻し範囲（タンク端から埋戻し端までの距離）を0.3mで解析を実施したが、実際に150kLタンクを施工する場合の埋戻し範囲は支柱径等を考慮すると図4.1.12のモデル図のとおり、1m程度になると考えられる。

そこで、埋戻し範囲を1mとして解析を実施し、埋戻し範囲0.3mの解析結果（bの解析結果）と比較し、範囲の影響について検討する。

解析に用いたモデル図を図4.1.13に示す。

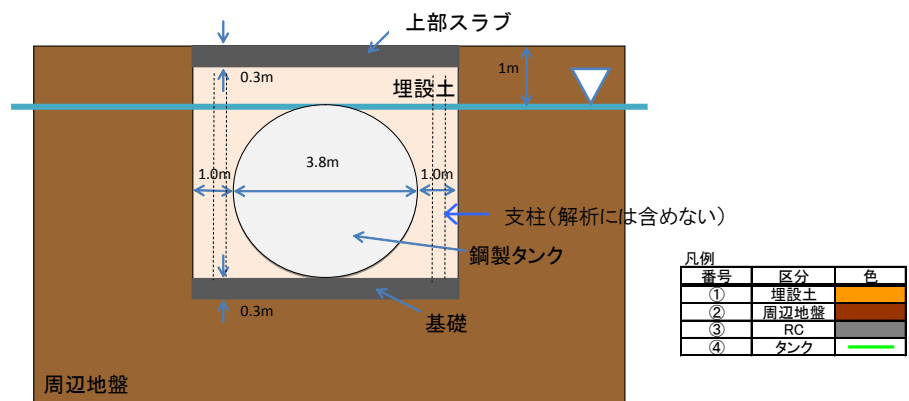


図 4.1.12 地下貯蔵タンクモデル図

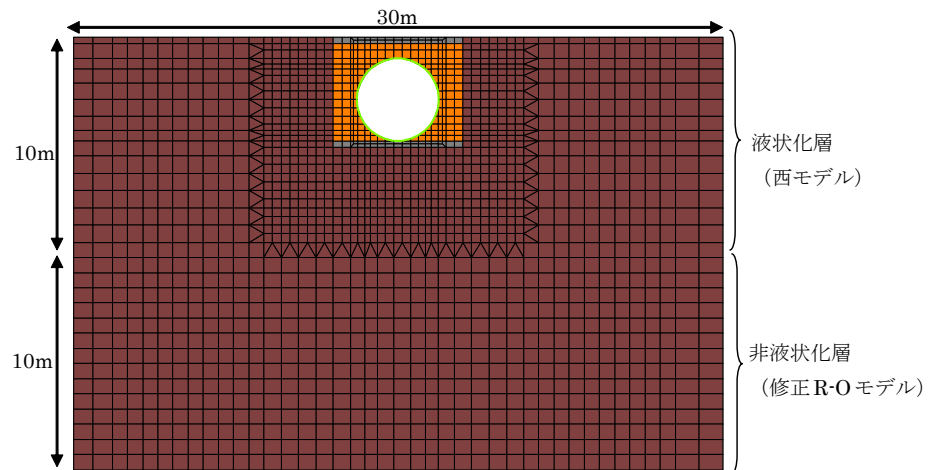


図 4.1.13 解析モデル図

(b) 検討結果

解析結果を図4.1.14、図4.1.15に示す。

図4.1.14の対策後の結果から、埋戻し範囲0.3m、1.0mも埋設土の過剰間隙水圧比の上昇傾向は同様の結果になっており、最大で0.1程度である。

埋戻し範囲を広げた現実的な施工においても碎石の有効性が確認された。

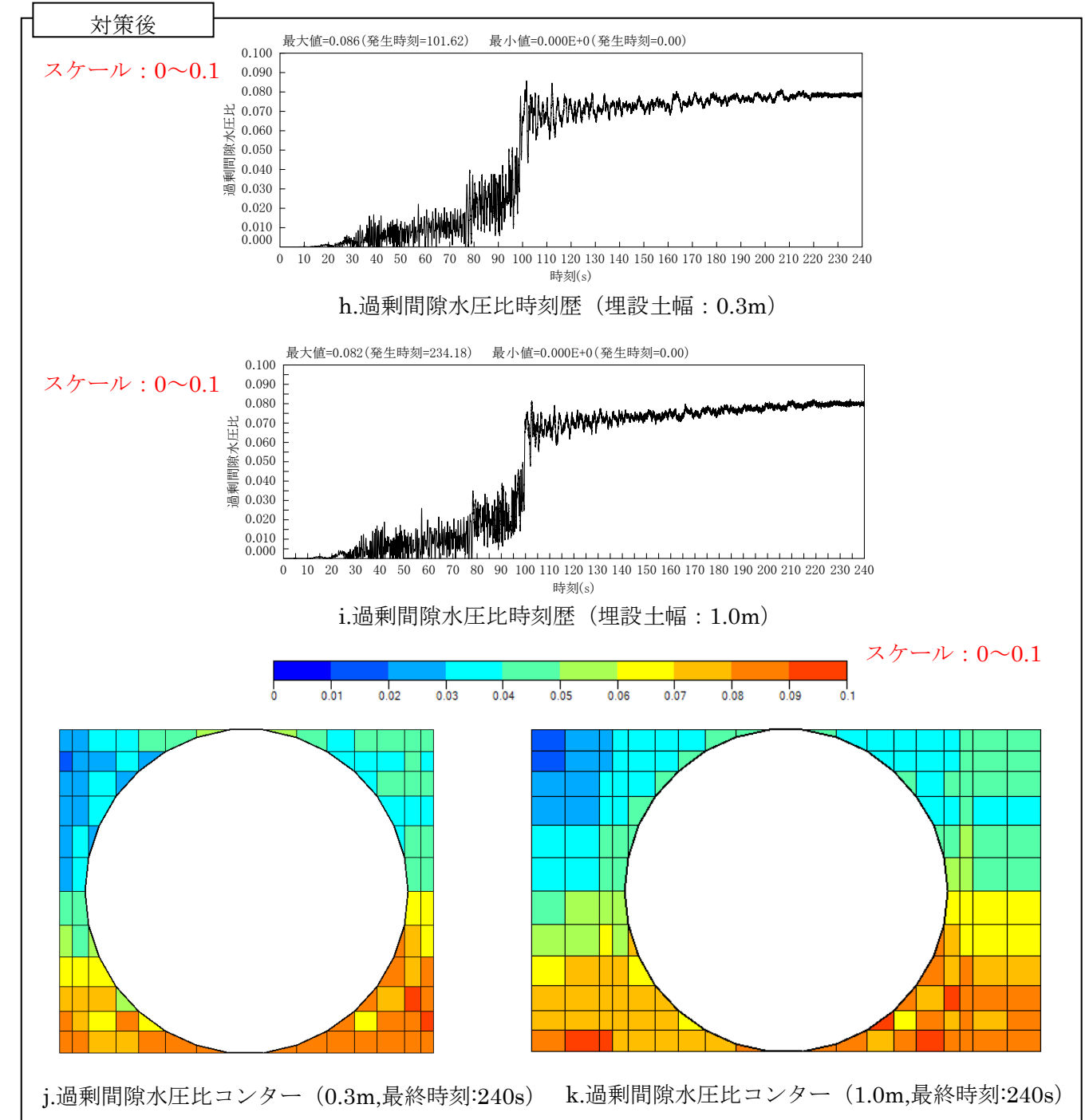
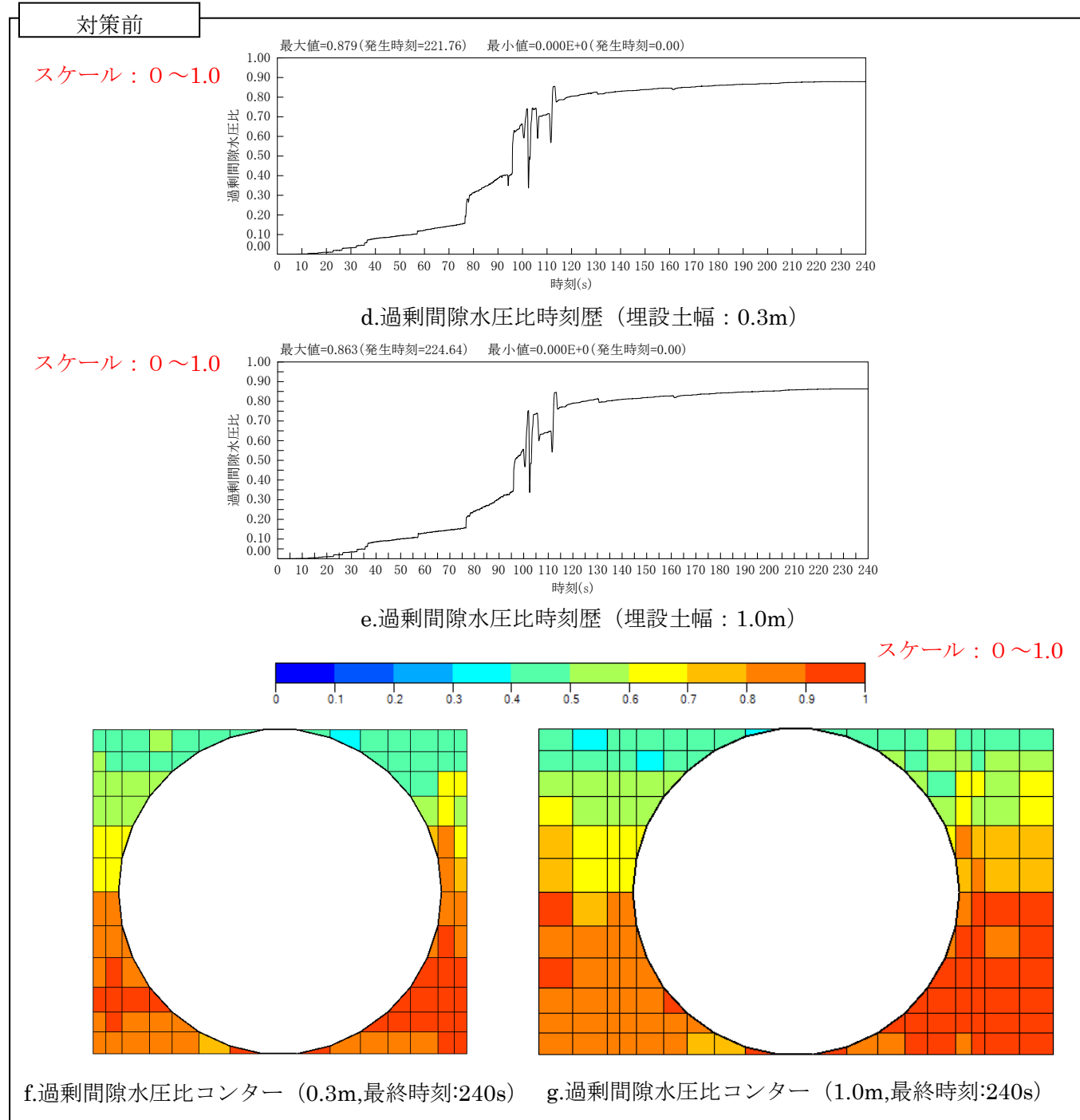
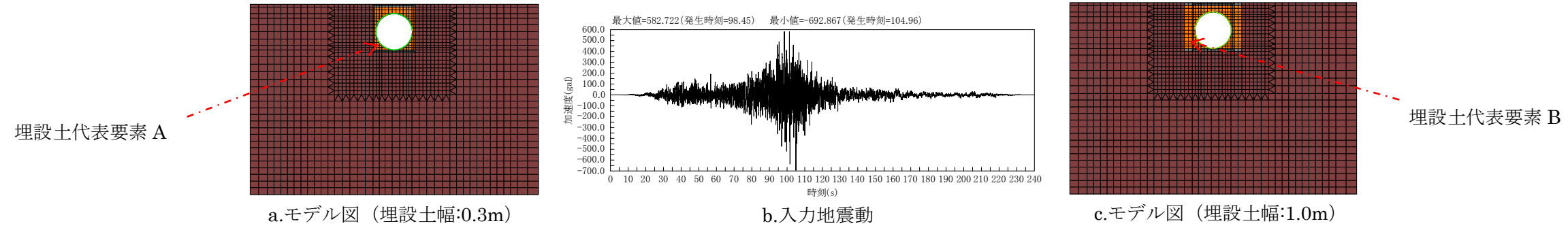


図 4.1.14 埋設土の埋戻し範囲の違いによる過剰間隙水圧比の比較 (埋設土部分)

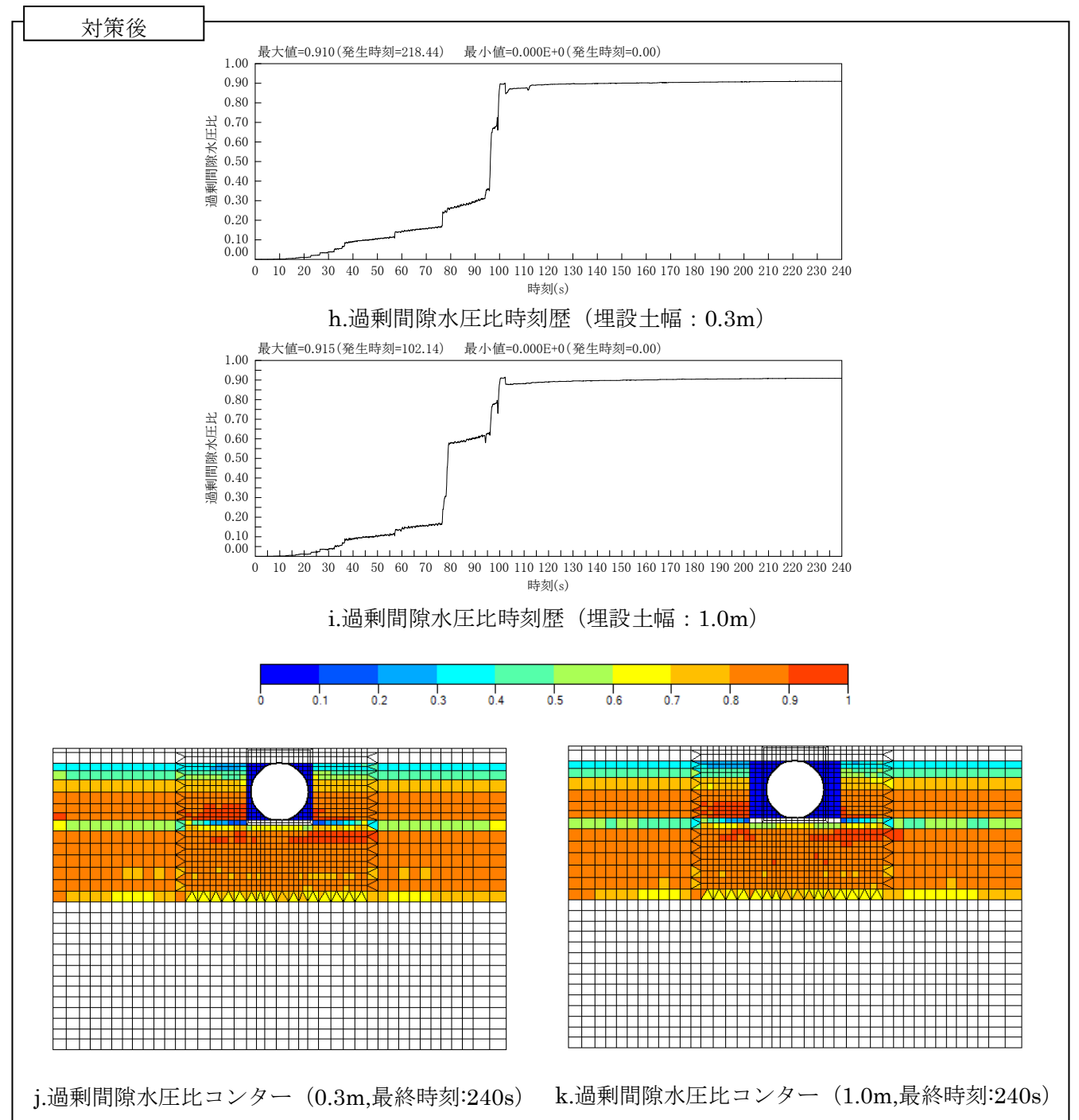
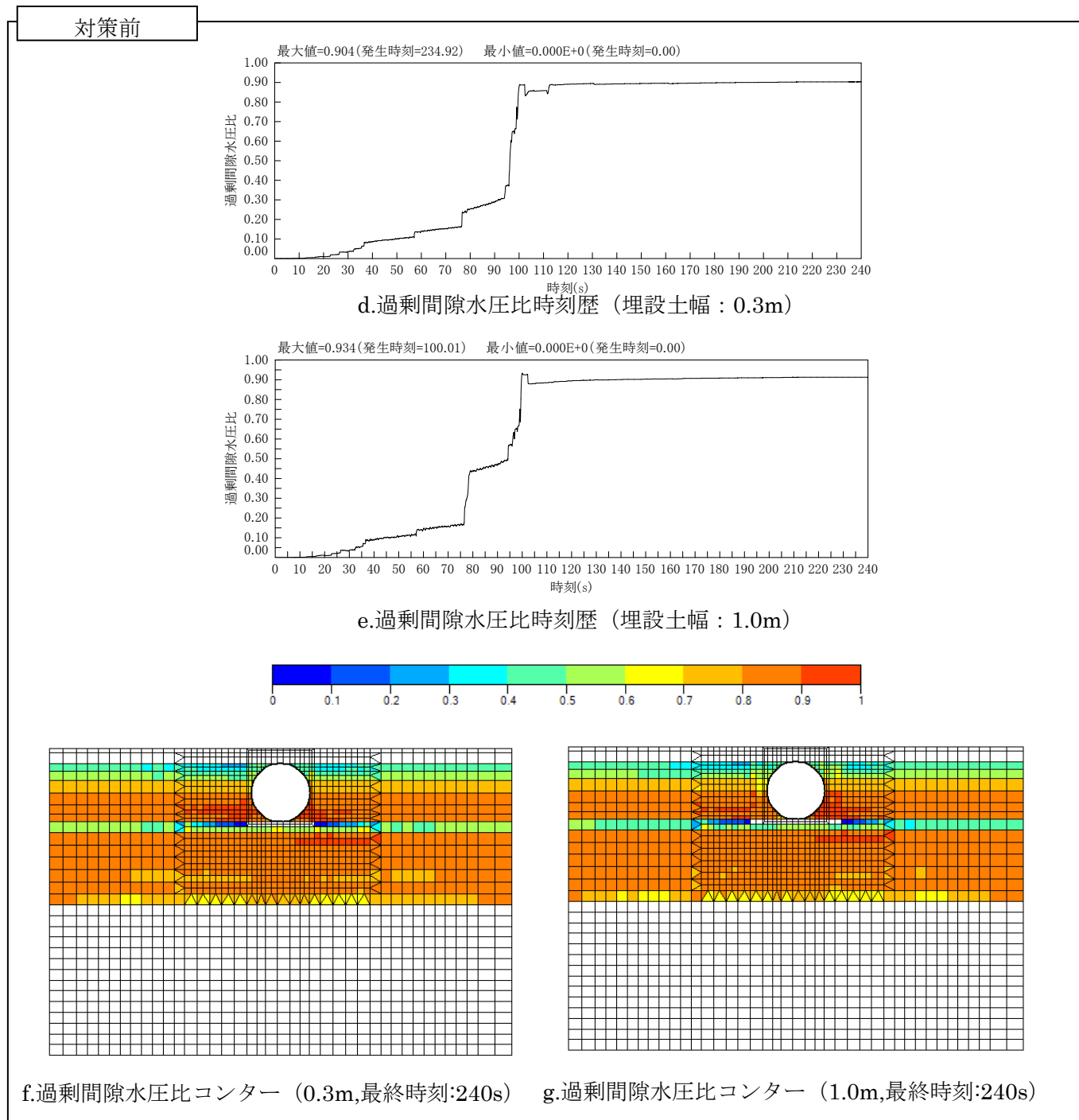
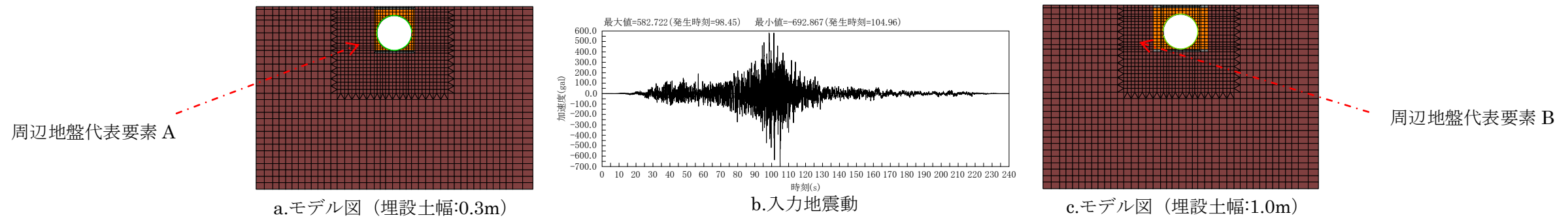


図 4.1.15 埋設土の埋戻し範囲の違いによる過剰間隙水圧比の比較 (周辺地盤部分)

(エ) まとめ

6号砕石で埋め戻すことにより、埋設土部分の液状化を防止できる可能性が高いことが分かった。また、周囲の地盤が液状化した場合においても、埋戻し部分の過剰間隙水圧比は0.1以下とほとんど上昇せず、有効に水圧を消散できることが確認できた。法令上の最低基準のモデルの場合だけでなく、現実的な施工を想定し埋戻し範囲を1mに広げた場合ともに、砕石の有効性が確認された。

ウ 不織布の併用

タンクを埋設する周辺地盤が、地下水位が頻繁に変わるなどの不安定な地盤の場合には、砕石の流出防止、砕石への砂の混入を防止するため、不織布等を併用し砕石の機能を保持することが有効である。

不織布としては、流出・洗掘防止材として土木工事で一般的に使用されている長繊維ポリエステル系、長繊維ポリプロピレン系等の素材で、透水性があるが土壌粒子は通さない機能を持つものが適している。

流出防止対策として各社が推奨している不織布は300g/m²程度(3mm相当)である。国内に流通している不織布の物性・工事費等の一例を表4.1.10にまとめる。各社とも物性については大きな違いはない。耐薬品性としてガソリンに不溶であり、地下貯蔵タンクの埋設部分への適用も可能である。

表 4.1.10 不織布の物性・工事費等

製品	A社	B社	C社	
種類	長繊維 ポリエステル系	長繊維 ポリエステル系	長繊維 ポリプロピレン系	
引張強度 (縦×横)kN/m	15.8×15.8	15.6×12.7	15.6×15.6	
伸び率 (縦×横) %	55×50	55×50	80×40	
耐薬品性	ガソリンに不溶	—	ガソリンに不溶	
概算 工事費	材料費	520 円/m ²	520 円/m ²	490 円/m ²
	敷設費	69 円/m ²	69 円/m ²	69 円/m ²
	合計	589 円/m ²	589 円/m ²	559 円/m ²

不織布を併用した施工例は図4.1.16のとおりである。不織布はスラブ等には固定せず、周辺地盤に折り込むように施工するのが一般的である。矢板を引き抜く際に、不織布が引き上がらないよう、土壌への折り込みシロを十分にとるなど、適切に対処することが必要である。

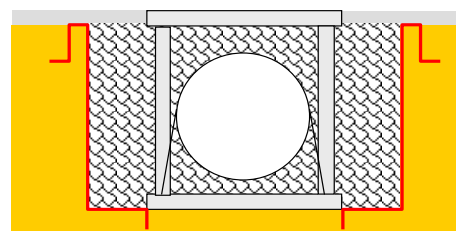


図 4.1.16 不織布併用例

4. 2 津波対策

(1) 洗掘防止対策

衝撃的な津波の襲来によりタンクの露出・流失といった大きな被害に繋がった事例に共通していた立地条件として、①鉄筋コンクリート造建物隅角部に隣接していたこと②上部スラブ周囲に洗掘作用を受けやすい未舗装部分等があったことがあげられる。

第2章で述べたとおり、国土技術政策総合研究所等が実施した調査報告（参考資料2参照）の中において、鉄筋コンクリート造建物の隅角部は水流が強くなることから大きく洗掘されていたと報告されており、現地被災状況とも一致することから、鉄筋コンクリート造建物に併設する施設とする場合は隅角部を避けて設置する必要がある。

また上部スラブの周囲については、舗装等により洗掘作用を受けないようにする必要がある。現地被災状況調査では、すべての給油取扱所において上部スラブは健全であり、地下貯蔵タンク本体には津波による被害がなかったことから、上部スラブの周囲について給油取扱所の給油空地相当の舗装がされていれば、洗掘被害を受けないと考えられる。その上で舗装道路に隣接した立地とするなど、できるだけ土壌が露出しないような場所を選定することで、洗掘によるタンク本体の被害を最小限にできると考えられる。

(2) タンク内への水の混入対策

ア タンク内への水の流入防止対策

タンク内への水の主な流入経路としては①払出設備・配管類②通気管③注入口が想定される。津波による破損を防止するため、可能な限り地盤面下に設置することが必要である。

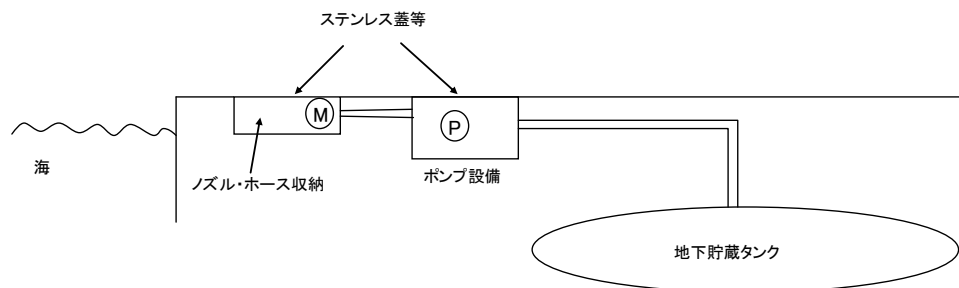
(ア) 払出設備・配管類

ポンプ設備には通常逆止弁（チャッキ弁等）があるため、ポンプ設備の津波による破損を最小限にした上で、ポンプ設備からタンク側の配管をすべて地下埋設配管にすることで、水の流入を最小限にすることができる。

a ポンプ設備を地盤面下に設置する場合

地盤面下にコンクリート枠、油分離装置等を設けポンプ設備を設置する方法、または油中ポンプとする（図4.2.1）。

①地盤面下のコンクリート枠内に設置する場合



②油中ポンプとする場合

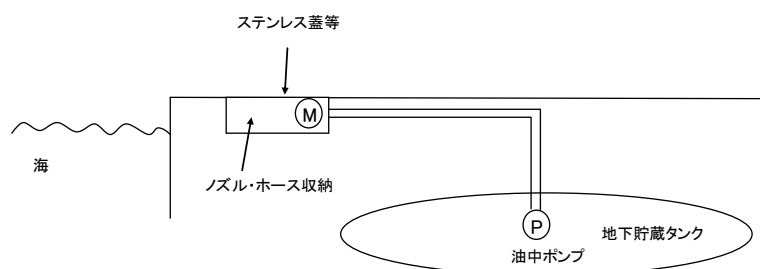


図 4.2.1 ポンプ設備を地盤面下に設置した例

b ポンプ設備を地上に設置する場合

地上のポンプ室内にポンプ設備を設置する場合には、多くの鉄筋コンクリート造建築物は津波の後も残存していたとの調査報告（参考資料 2 参照）があることから、鉄筋コンクリート造とすることが必要である。

また、ポンプ設備を内蔵した固定給油設備を設置する場合には、固定給油設備の下部に「タンク側配管と固定給油設備側配管の両方を遮断する立ち上がり配管遮断弁」と同等の性能を持つものを設置することが考えられる（図 4.2.2）。

襲来する津波の高さによってはその水頭圧により、一次側遮断弁のバネを押し下げ水が流入する可能性があることに留意する必要がある。ただし、タンク内の燃料を外に出さないことが目的の製品であるため、貯蔵油の流出を防止することはできる。

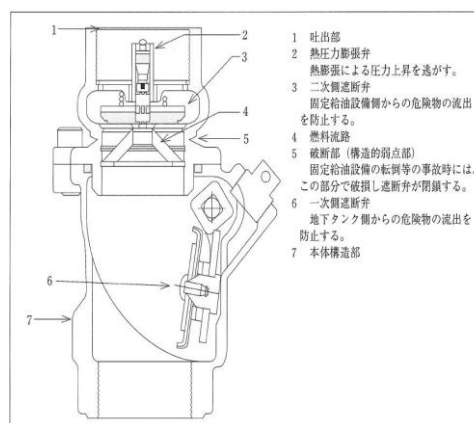


図 4.2.2 タンク側配管と固定給油設備側配管の両方を遮断する立ち上がり配管遮断弁

(イ) 通気管

通気管は地盤面から 4m以上立ち上がっており径も細いため、津波による影響を受けやすい。このため、基本的には鉄筋コンクリート造建物等にしっかりと支持されている必要がある。しかしながら、通気管の高さ以上の津波の襲来、漂流物の衝突により破損した場合にはタンク内への水の流入の可能性がある。

この対策として通気管に弁を設置することが考えられるが、払出し中に弁が誤作動してしまうとタンク内が負圧となり、タンクが破損する可能性が憂慮される。このため、誤作動を起こしにくい構造とする必要がある。

a 通気管流入防止装置

水が流入した場合にボールフロートの浮力により弁が閉まり、タンク内への水の流入を防ぐ装置を提案する(図 4.2.3)。設置位置としては、タンク直上のプロテクタ内、または地盤面直上付近(コンクリート枠内)が想定される(図 4.2.4)。

浮力を利用したシンプルな構造で、液体が流入した場合にしか働かない。通気管を通常使用している上で、ボールフロートを浮上させる量の液体の流入は考えにくく、誤作動が起こりにくい構造である。なお、海外では通気管の弁として同原理を利用したボールフロートバルブが実用化されている。

実用化にあたっては、機能の検証、復旧した時にバルブが下がっていることの確認方法、点検方法、横引き配管に設置した場合は配管に溜まった水の排水方法等の課題について今後検討していく必要がある。

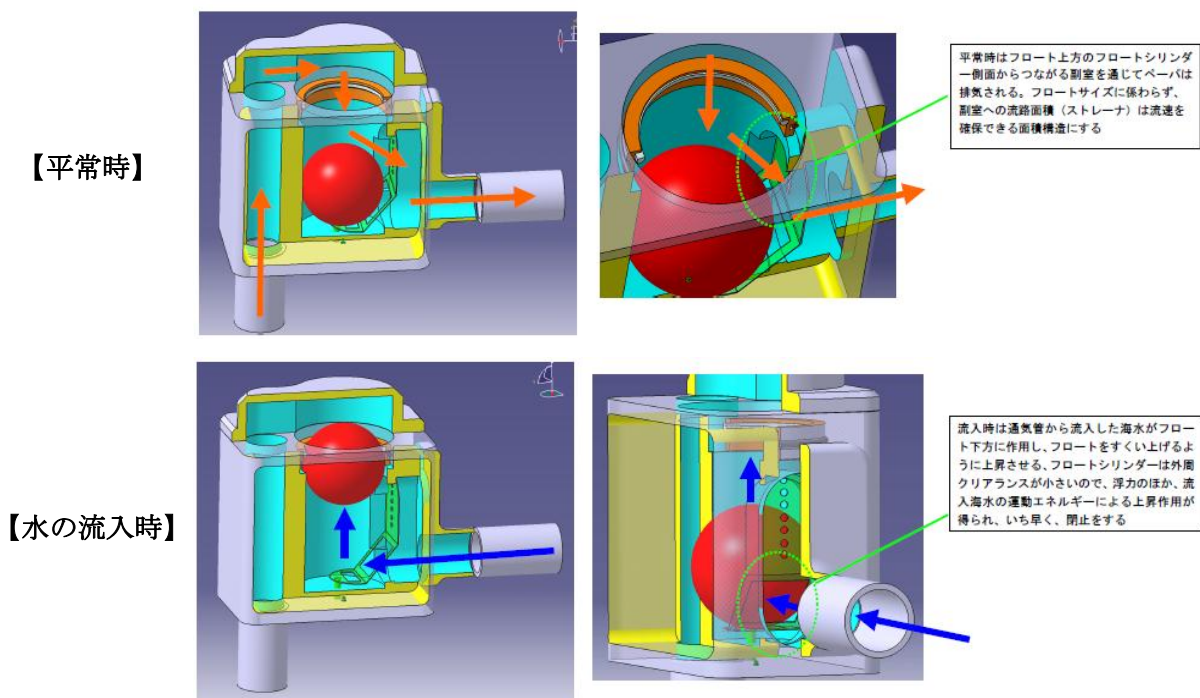


図 4.2.3 通気管流入防止装置イメージ

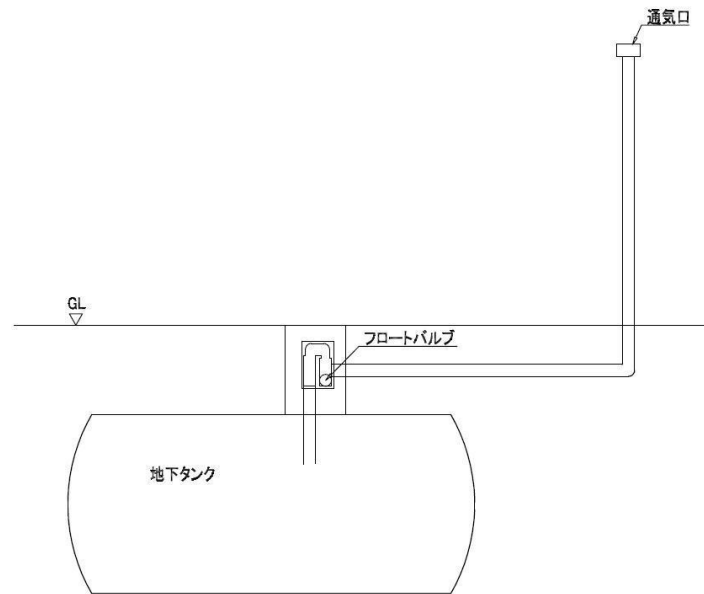


図 4.2.4 プロテクタ内に設置した例

b 手動弁

人が常駐し監視が行われている施設では、通気管にバルブ等の手動閉鎖弁を設置することが考えられる。設置場所としては通気管の地盤面直上のコンクリート枠内に設置することが、津波から弁の破損を防ぐために有効である。

従業員には日常的な意識啓発、訓練を行い、津波の発生が予測される時には避難前に弁を確実に閉鎖ができる体制を整えておく必要がある。

(ウ) 注入口

注入口をボックス内、コンクリート枠内、地盤面下等に設置することで、津波による被害を防ぐことができる（写真 4.2.1～写真 4.2.3）。



写真 4.2.1
ボックス内設置



写真 4.2.2
コンクリート枠内設置



写真 4.2.3
地盤面下設置

イ 水が混入した貯蔵油の復旧対策

(7) 燃料油の品質に問題がない場合

水の混入が少量で白濁（水分の乳化）等がなく、燃料油の品質に問題がないと判断できる場合は、ろ過フィルターを用いた清掃機等の利用が考えられる。

地下貯蔵タンク底部に滞留している水及びスラッジ等を貯蔵燃料油とともに吸い上げ、高性能のろ過フィルターを通すことにより水やスラッジ等をろ過・分離する方式を図 4.2.5 に示す。

この清掃機の場合、10 kL タンクであれば、清掃時間は 30 分～1 時間程度の作業となる。150 kL タンクの場合、フィルター交換を含めて 1 日程度の作業になると思われる。

個人の事業者が所有するには費用負担が大きいため、地域の複数の事業者で共同所有することや、予めタンク清掃業者と震災時の協定を交わしておくことなどが必要である。

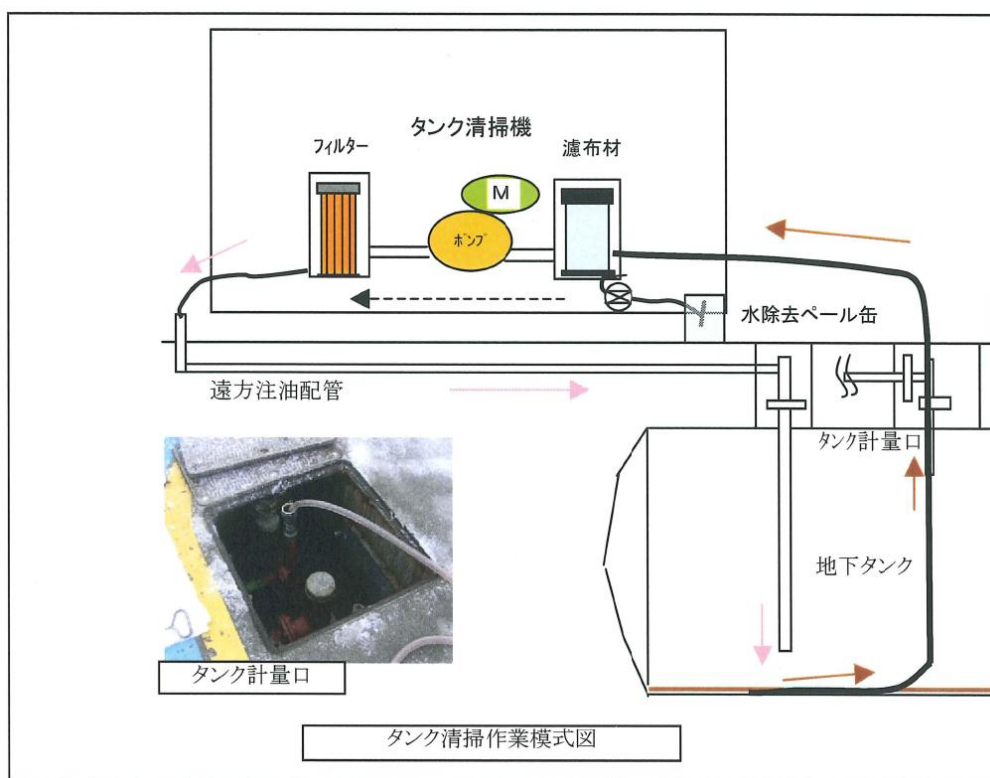


図 4.2.5 高性能ろ過フィルター清掃機による清掃作業模式図

(イ) 燃料油の品質に問題がある場合

燃料油が白濁化等により品質に問題があると判断される場合は、燃料油に白濁混合された含有水分まで除去できる清掃機が必要となる。

燃料油に白濁混合された含有水分を除去し、再利用可能な品質に戻す清掃機としては、遠心分離、ろ過フィルター及び油水分離フィルターを組み合わせた清掃機が実用化されている（写真 4.2.4）。品質を確認しているのは梅雨や豪雨等の水の混入の場合であるため、導入に際しては海水による検証が必要である。

この清掃機の場合、10 kL タンクであれば、清掃時間は2時間程度の作業となる。150 kL タンクの清掃の場合、フィルター交換を含めてまる2日程度の作業になると思われる。

個人の事業者が所有するには費用負担が大きいため、地域の複数の事業者で共同所有することや、予めタンク清掃業者と震災時の協定を交わしておくことなどが必要である。



写真 4.2.4 白濁混合した含有水分を除去可能な清掃機

4. 3 対策についてのまとめ

(1) 地震対策（液状化対策）

液状化によるタンク浮上被害の対策として、埋戻土として 6 号砕石を用いることで、過剰間隙水圧比の上昇を抑え、タンクに係る浮力を軽減できることが分かった。また、タンクを埋設する周辺地盤が、地下水位が頻繁に変わるなどの不安定な地盤の場合には、砕石の機能を保持するため、不織布等を併用することが有効である。

(2) 津波対策

ア 洗掘防止対策

衝撃的な津波の襲来が予想される場合には、鉄筋コンクリート造建物の隅角部を避けた立地とすること、また、地下貯蔵タンクの上部スラブ周囲については給油取扱所の給油空地相当の舗装とし、その上で舗装道路に隣接した立地とする等できるだけ土壌が露出しないような場所を選定することが必要である。

イ タンク内への水の混入対策

タンク内への水の主な流入経路として払出設備・配管類、通気管及び注入口が想定される。

払出設備・配管類については、ポンプ設備の津波による被害を最小限にした上で、ポンプ設備からタンク側配管をすべて地下埋設配管にすることで、水の流入を最小限にできる。

また、通気管については、ボールフロート弁を用いた通気管流入防止装置について提案し、実用化に向けた課題について整理した。

被災状況から注入口については、ボックス内、コンクリート枠内、地盤面下等に設置することが有効である。

水が混入した貯蔵油の復旧対策について、実用化されている清掃機の利用が考えられるが、個人の事業者が所有するには費用負担が大きいため、地域の複数の事業者で共同所有することや、予めタンク清掃業者と震災時の協定を交わしておくことなどが必要である。

(3) 対策の活用方法

衝撃的な津波の襲来が予想されるような場所では、本調査検討で提案した地震・津波対策を総合的に取る必要がある。船舶給油取扱所を想定した場合の対策活用例を図 4.3.1 に示す。

一方で、津波の浸水予想高さが低く、地上設備類の破損の可能性が小さいとされる場合には、津波対策は過度な対策になる。東日本大震災の被災状況及び地方自治体の津波浸水想定区域図等から、津波対策の必要性について施設毎に検討する必要がある。

また、一つの対策につき複数の方法を提案している部分もあるので、地域・施設の特性に応じて地震・津波対策を選択し、組み合わせることで、震災後の応急対策や復興期の迅速な石油エネルギー供給に対応できる施設になるものとする。

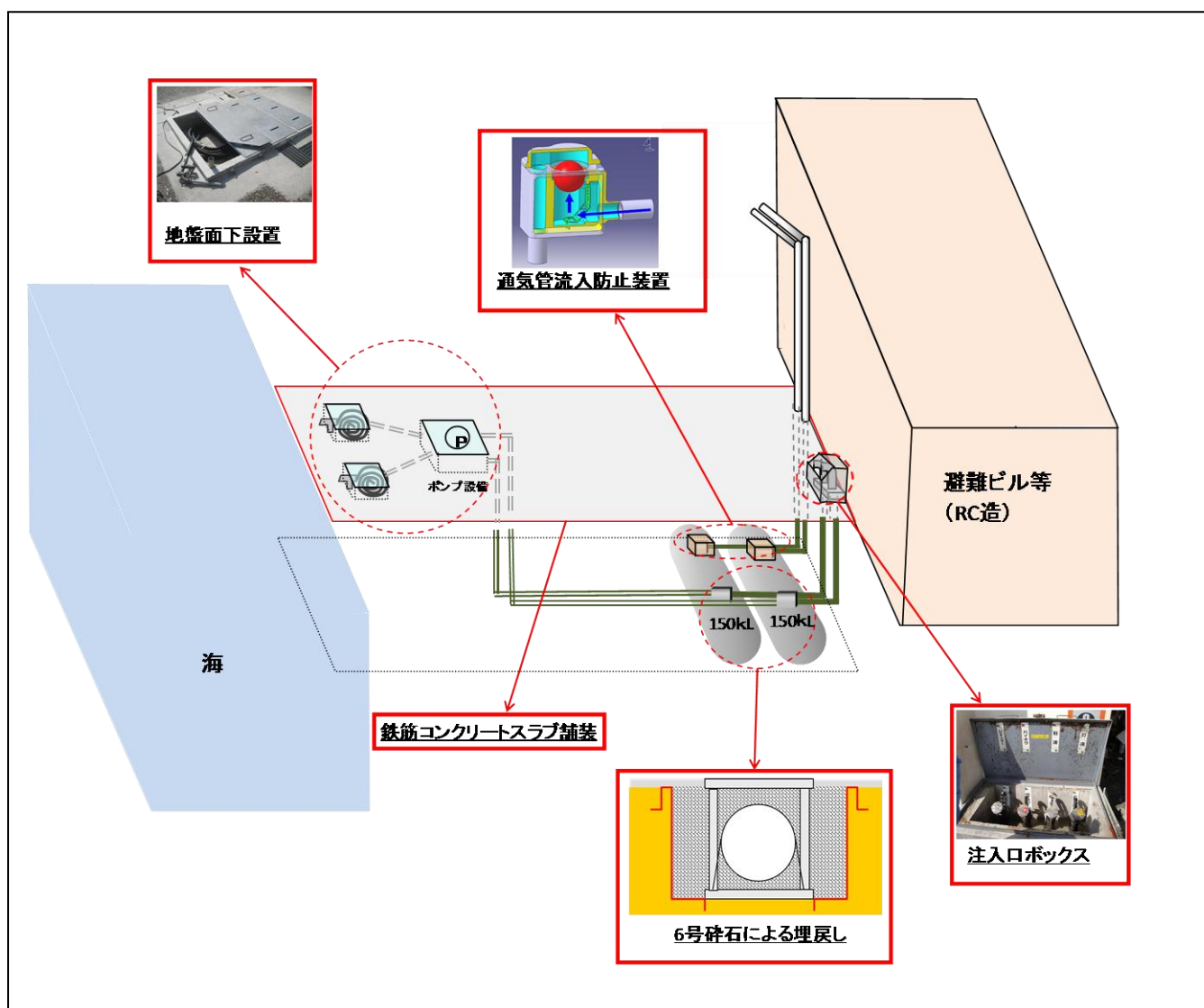


図 4.3.1 船舶給油取扱所への適用例

第5章 まとめ

① 東日本大震災における危険物貯蔵タンクの被災状況（第2章参照）

津波により屋外貯蔵タンクが移動する被害を受けており、その中でも500kL未満の容量の小さい屋外貯蔵タンクの被害が大きかった。

一方で、地下貯蔵タンクは地震・津波によりタンク本体が破損する被害は少なく、屋外貯蔵タンクが津波により流された周辺の地下貯蔵タンクについても、タンク本体は被害を受けていなかった。

② 地下化の考え方及びメリット（第3章参照）

500kL未満の容量の小さい屋外貯蔵タンクを大型地下貯蔵タンクで置き換え地下化することで、沿岸部における災害に強い施設となると考えられた。

大型地下貯蔵タンク施設とすることで次のメリットがある。

- ・ 地震・津波によるタンク本体の被害の軽減
- ・ 貯蔵危険物の流出による火災、水質汚染等の二次災害の防止
- ・ 震災後の応急対策や復興期の迅速な石油エネルギー供給

③ 大型地下貯蔵タンク施設規模（第3章参照）

容量150kLまでのSF、FF二重殻タンクを使用し、施設の容量規模としては300kLまでがコストを考えた上で現実的な規模と考えられた。この検討の中で用途を限定しているわけではないが、仮に漁業船舶用燃料の貯蔵目的とした場合、漁業船舶用燃料のタンクはそのほとんどが300kL以下の容量であるため、十分な容量規模である。

④ 地震・津波対策（第4章参照）

地域・施設の特性に応じて次に示す地震・津波対策を選択し、組み合わせることで、震災後の応急対策や復興期の迅速な石油エネルギー供給に対応できる施設になるものとする。

- 地震対策（施設を設置するにあたり地盤の液状化が懸念される場合）
 - ・ 液状化によるタンク浮上対策として、6号砕石によりタンクを埋め戻す。
 - ・ 地下水位が頻繁に変わるなどの不安定な地盤の場合には、不織布等を併用する。

- 津波対策（津波の襲来により地上設備類の破損等が懸念される場合）
 - ・ 洗掘防止対策として、鉄筋コンクリート造建物の隅角部を避けた立地とするとともに、上部スラブ周囲については給油取扱所の給油空地相当の舗装とし、その上で舗装道路に隣接した立地とする等できるだけ土壌が露出しないような場所を選定する。
 - ・ タンク内への水の混入対策として払出設備・配管類、通気管及び注入口からの各種流入防止対策等を講じる。

地下貯蔵タンク現地被災状況調査

地下貯蔵タンクの地震津波被害現地調査

1 目的

東日本大震災で発生した地震・津波による地下貯蔵タンクの被害状況について調査する。特に、津波によりタンク本体が移動・流出したとされる地下タンク貯蔵所及び給油取扱所を中心に調査を実施した。

2 調査期間

平成23年11月14日～11月16日

3 調査対象タンク

総務省消防庁が実施した危険物施設等の被害状況についてのアンケート結果より、タンクの移動・流出があったとされる地下タンク貯蔵所及び給油取扱所を中心に、地下タンク貯蔵所8施設、給油取扱所17施設について調査を実施した。

調査地域は、宮城県東松島市、石巻市、南三陸町、気仙沼市、岩手県陸前高田市、大船渡市である（図1）。

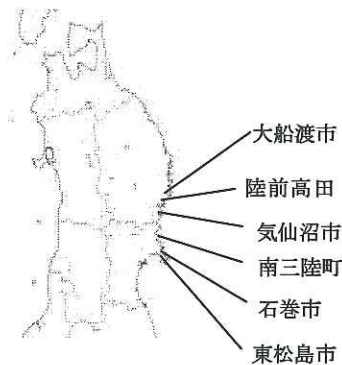




図1 主な調査地域





4 調査結果


地下貯蔵タンク及び給油取扱所の調査結果はそれぞれ別紙1，別紙2のとおりである。




【地下タンク貯蔵所】



調査結果で使用している津波高さは、「東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ」(<http://www.coastal.jp/ttjt/>)による速報値(2012年2月8日)を使用している。

施設種別	地下タンク貯蔵所
No.	No.1
県名	岩手県
津波高さ	15.7m
被害状況	<p>地下貯蔵タンクは流失しており、周囲にスラブ、支柱等は確認できない。 地下貯蔵タンクがあった場所は、隣接する鉄筋コンクリート造建物の海側の隅角部に位置しており、建物の基礎も剥き出しとなっていた。 地下貯蔵タンクがあった場所は、海岸線とつながり、水たまりとなっていた。</p>
写真	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">  <p>地下貯蔵タンクがあった場所</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;">   </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <p>海岸線とつながり水たまりとなっている</p> <p>建物の地下部分の土砂が洗掘され配管が剥き出しとなっている</p> </div> </div>
備考	


施設種別	地下タンク貯蔵所
No.	No.2
県名	宮城県
津波高さ	6.02m
被害状況	タンク室は健全で、地下貯蔵タンクには直接的な被害はなかったと考えられる。マンホール内に水が溜まっているのが確認できた。
写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>建物外観</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>タンク室</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>マンホール内の滞水</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>隣接ボイラー施設</p> </div> </div>
備考	隣接するボイラー施設(一般取扱所)には設備類は残っていなかった。流出したかどうかは分からない。

施設種別	地下タンク貯蔵所
No.	No.3
県名	宮城県
津波高さ	8.10m
被害状況	タンク室は健全で、地下貯蔵タンクには直接的な被害はなかったと考えられる。タンク室の周囲は舗装されておらず、埋設土が流出していた。また、建物周囲の土壌も洗掘され、水溜まりができていた。
写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>建物外観</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>タンク室</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>タンク室周囲土壌の流出</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>建物の地下部分埋設土が洗掘され水が溜まっている</p> </div> </div>
備考	

施設種別	地下タンク貯蔵所
No.	No.4
県名	宮城県
津波高さ	9.67m
被害状況	タンク室は健全で、地下貯蔵タンクには直接的な被害はなかったと考えられる。タンク室の周囲は一部埋設土が流出しており、水が滞留していた。
写真	 <p>地下タンク貯蔵所外観</p>  <p>タンク室周囲土壌が洗掘され滞水している</p>  <p>滞水の様子</p>
備考	

施設種別	地下タンク貯蔵所
No.	No.5
県名	宮城県
津波高さ	9.67m
被害状況	タンク室は健全で、地下貯蔵タンクには直接的な被害はなかったと考えられる。タンク室の周囲は一部埋設土が流出しており、水が滞留していた。
写真	<div style="text-align: center;">  <p>地下タンク貯蔵所外観</p> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>タンク室周囲土壌が洗掘され滞水している</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>タンク室周囲土壌が洗掘され滞水している</p> </div> </div>
備考	

施設種別	地下タンク貯蔵所
No.	No.6
県名	宮城県
津波高さ	9.67m
被害状況	タンク室は健全で、地下貯蔵タンクには直接的な被害はなかったと考えられる。また、周囲は舗装されており、タンク室の周囲が洗掘される被害もなかった。通気管が変形する被害、タンク室周囲が地盤沈下している様子が確認できた。
写真	<div data-bbox="418 887 880 1218" data-label="Image"> <p>2011/11/15 14:49</p> </div> <p>地下タンク貯蔵所外観</p> <div data-bbox="467 1350 751 1711" data-label="Image"> <p>2011/11/15 14:51</p> </div> <p>通気管の支持部が移動したため変形している</p> <div data-bbox="900 1332 1390 1704" data-label="Image"> </div> <p>タンク室周囲が地盤沈下している</p>
備考	

施設種別	地下タンク貯蔵所
No.	No.7
県名	宮城県
津波高さ	9.02m
被害状況	地下貯蔵タンクの露出・流出等の被害はなし。 すでにコンクリートで埋め戻されていたため、詳細は不明。
写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>建物外観</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>湾に隣接する立地</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>コンクリートで埋め戻されていた</p> </div>
備考	




施設種別	地下タンク貯蔵所
No.	No.8
県名	宮城県
津波高さ	8.42m
被害状況	<p>地下貯蔵タンクの上半分が露出していた。接続されている配管類も変形・損傷していた。</p> <p>地下貯蔵タンクは、隣接する鉄筋コンクリート造建物の海側の隅角部に位置しており、建物周囲は地盤沈下するとともに、建物基礎部分の埋設土は洗掘され、水たまりとなっていた。</p>
写真	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  <p>建物周囲の地盤沈下</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>露出した地下貯蔵タンク</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>建物の基礎部分は洗掘され、油が浮いた水が滞留してる</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>建物周辺の状況</p> </div> </div>
備考	

【給油取扱所】


調査結果で使用している津波高さは、「東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ」(<http://www.coastal.jp/ttjt/>)による速報値(2012年2月8日)を使用している。

施設種別	給油取扱所
No.	No.1
県名	岩手県
津波高さ	10.5m
被害状況	給油取扱所のスラブは健全であり、地下貯蔵タンクに被害はなかったと考えられる。地上部分の施設・設備類は注入口等のみで、ほとんど残っていなかった。すでに撤去された可能性もある。
写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>給油取扱所外観</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>地下貯蔵タンク上部スラブ</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p>下部のみ残された通気管</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>注入口</p> </div> </div>
備考	

施設種別	給油取扱所
No.	No.2
県名	岩手県
津波高さ	15. 2m
被害状況	給油取扱所のスラブは健全であり、地下貯蔵タンクに被害はなかったと考えられる。地上部分の施設・設備類は注入口等のみで、ほとんど残っていなかった。すでに撤去された可能性もある。
写真	 <p>アイランド</p>  <p>地下貯蔵タンク上面スラブ</p>  <p>GS周囲の様子</p>  <p>注入口</p>  <p>油分離装置</p>
備考	




施設種別	給油取扱所
No.	No.3
県名	岩手県
津波高さ	14. 0m
被害状況	すでに更地になっていたため、詳細は不明。 防波堤の海側に立地していた。 地元消防本部によると、地下貯蔵タンクの被害はなかったとのこと。
写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>給油取扱所があった場所 (現在は更地)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>標識</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>施設周辺の様子</p> </div>
備考	

施設種別	給油取扱所
No.	No.4
県名	岩手県
津波高さ	16.1m
被害状況	簡易タンクのみで、地下貯蔵タンクはない給油取扱所であった。 地元消防本部によると、簡易タンクの流出があったとのこと。
写真	<div data-bbox="612 853 1129 1227" data-label="Image"> </div> <p>給油取扱所外観</p> <div data-bbox="612 1317 1118 1684" data-label="Image"> </div> <p>更地になっており、設備は残っていない</p>
備考	

施設種別	給油取扱所
No.	No.5
県名	岩手県
津波高さ	13.3m
被害状況	すでに更地となっていたため、詳細は不明。
写真	 <p>給油取扱所外観</p>
備考	

施設種別	給油取扱所
No.	No.6
県名	宮城県
津波高さ	8.52m
被害状況	給油取扱所のスラブは健全であり、地下貯蔵タンクに被害はなかったと考えられる。事務所建物の破損、防火塀の倒壊の状況から、津波の影響を強く受けたと考えられる。固定給油設備は確認できなかったが、流出した可能性がある。
写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>給油取扱所外観</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>アイランド</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>倒壊した防火塀とともに曲げられた通気管</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>給油取扱所の周辺の様子</p> </div> </div>
備考	

施設種別	給油取扱所	
No.	No.7	
県名	宮城県	
津波高さ	5. 59m	
被害状況	敷地内は地盤沈下し、水が滞留していた。 外観上、給油取扱所のスラブは健全であり、地下貯蔵タンクに被害はなかったと考えられる。 海側に正対する防火塀は倒壊しているほか、地上部分のほとんどの施設、設備類が破損していた。 注入口はすべて蓋がされた状態で残されており、外観上被害はなかった。	
写真	 <p>給油取扱所外観</p>	 <p>事務所建物</p>
	 <p>通気管</p>	 <p>注入口</p>
	備考	

施設種別	給油取扱所
No.	No.8
県名	宮城県
津波高さ	15.8m
被害状況	給油取扱所のスラブは健全であった。店長の話からも地下貯蔵タンクについては被害がなかった。 タンククリーニングし固定給油設備や通気管を取替え営業再開しているが、事務所建物やキャノピーは骨組が露出した状態であった。
写真	 <p>給油空地の様子 新規に固定給油設備を設置し営業中</p>  <p>固定給油設備が撤去されたアイランド</p>  <p>新規に通気管を設置</p>
備考	営業再開中


施設種別	給油取扱所
No.	No.9
県名	宮城県
津波高さ	15.8m
被害状況	給油取扱所のスラブは健全であった。店長の話からも地下貯蔵タンクについては被害がなかった。 タンククリーニングし固定給油設備や通気管を取替え営業再開していた。
写真	 <p>地下貯蔵タンクの上部スラブの様子</p>  <p>注入口</p>  <p>新規に通気管を設置</p>  <p>周辺の様子</p>
備考	営業再開中

施設種別	給油取扱所
No.	No.10
県名	宮城県
津波高さ	12.0m
被害状況	<p>外観上、給油取扱所のスラブは健全であったため、地下貯蔵タンクは被害がなかったと考えられる。</p> <p>地下貯蔵タンク上部スラブの周囲は沈下しており、段差が生じていた。</p> <p>その他、地上部の現存する通気管、注入口等の設備はすべて破損していた。</p>
写真	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  <p>給油取扱所外観</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>地下貯蔵タンクの上部スラブと周囲に段差が生じている</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>破損した通気管</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>破損した注入口</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>周辺の様子</p> </div> </div>
備考	

施設種別	給油取扱所
No.	No.11
県名	宮城県
津波高さ	12.3m
被害状況	<p>外観上、給油取扱所のスラブは健全であったため、地下貯蔵タンクは被害がなかったと考えられる。</p> <p>固定給油設備及び通気管の上部については現認できず、津波によって流出したのか、撤去されたのかは不明である。</p> <p>注入口については被害はなかった。</p>
写真	<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;">  <p>給油取扱所外観</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>破損した固定給油設備及び通気管</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>注入口</p> </div> <div style="width: 50%;">  <p>油分離装置</p> </div> </div>
備考	



施設種別	給油取扱所
No.	No.12
県名	宮城県
津波高さ	11.1m
被害状況	現在は、タンククリーニング、設備類を更新し営業再開中であった。店長の話によると地下貯蔵タンクには被害はなかったとのこと。 津波は給油取扱所のキャンピーの上を通過した。
写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>給油取扱所外観</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>設備類を更新し、営業再開中</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>盛り土された道路に面して立地しているため、周辺よりも高い</p> </div>
備考	営業再開中

施設種別	給油取扱所
No.	No.13
県名	宮城県
津波高さ	12.3m
被害状況	給油取扱所のスラブは健全であり、地下貯蔵タンクに被害はなかったと考えられる。地上部分の施設、設備に関しては確認できず、撤去された可能性が考えられる。
写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>給油取扱所外観</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>アイランド</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>周辺の様子</p> </div>
備考	

施設種別	給油取扱所
No.	No.14
県名	宮城県
津波高さ	—
被害状況	給油空地が地盤沈下しており、各種設備に傾きが生じていた。 店長の話では、この給油取扱所は津波を被っておらず、地下貯蔵タンクも被害はないとのこと。
写真	 <p>給油空地の地盤沈下により、アイランドが傾いている</p>  <p>給油空地の傾斜をなおす工事中</p>
備考	営業再開中

施設種別	給油取扱所
No.	No.15
県名	宮城県
津波高さ	1.52m
被害状況	<p>店長によると、給油取扱所のスラブは健全であり、液状化による地下貯蔵タンクの浮上被害があったが地下貯蔵タンク本体に直接的な被害はなかったとのこと。</p> <p>津波により、固定給油設備は押し倒されたが、通気管、注入口は海側の建物に守られて被害はなかった。</p> <p>営業再開にあたり、タンククリーニングと合わせてスラブ下の土壌を調査した結果、間隙が生じていることがわかったとのこと。</p>
写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>スラブは被害を受けていないが、スラブ下に間隙が生じている</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>通気管、注入口は海側の隣接建物に守られ被害はなかった</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>洗車機スペース</p> </div>
備考	営業再開中

施設種別	給油取扱所
No.	No.16
県名	宮城県
津波高さ	4. 66m
被害状況	給油取扱所のスラブは外観上健全であり、地下貯蔵タンクについても被害はなかったと考えられる。 スラブは健全であるが、周囲の地盤沈下した部分からスラブ下に間隙が生じているのが確認できた。
写真	 <p>給油取扱所外観</p>  <p>アイランド</p>  <p>防火塀の破損</p>  <p>スラブ下に間隙が生じている</p>
備考	

施設種別	給油取扱所
No.	No.17
県名	宮城県
津波高さ	1.95m
被害状況	簡易タンクのための給油取扱所で、地下貯蔵タンクはない。 防火塼の倒壊、隣接道路との間に段差が生じるなどの被害があった。その他の設備類に被害がないことから、これらの被害は津波ではなく地震によるものと考えられる。
写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>給油取扱所外観</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>防火塼の破損</p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>隣接道路との間に段差が生じている</p> </div>
備考	

ISSN 1346-7328
国総研資料 第 674 号
ISSN 0286-4630
建築研究資料 第 136 号
平成 24 年 3 月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE

National Institute for Land and Infrastructure Management

No. 674

March 2012

建築研究資料

Building Research Data

No. 136

March 2012

平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震被害調査報告
（抜粋）

Report on Field Surveys and Subsequent Investigations of
Building Damage Following
“The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake”

平成 24 年 3 月

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

独立行政法人 建築研究所

Building Research Institute
Incorporated Administrative Institution, Japan

6.2 鉄筋コンクリート造建築物の被害

東北地方太平洋沖地震では、津波によってRC造建築物にも様々な被害が発生したことは特筆すべき事象であった。その一方で、多くのRC造建築物は津波の後も残存しており、特に建設年代が比較的新しいと推測されるRC造建築物ではその傾向が強い。残存した造建築物には構造躯体の顕著なひび割れ等は見られず、また、非構造壁なども大きな損傷を受けずにほぼ無被害の状態に残っているものが多い。ただし、そのような建築物においても、開口部の窓ガラスやドアのほとんどは津波によって破壊されていた。RC造建築物の津波被害は、従来確認されている地震動による被害形態とは大きく異なるものであり、現地調査によって明らかになった特徴的な被害を分類して6.2.1に示す。

6.2.2～6.2.6では、調査した建築物のいくつかについて建物周囲で計測された浸水深から津波荷重を推定し、さらに各建物が保有する耐力の推計を行って実際の被害状況との関係について検討する。本報告で取り上げる建築物は、ほぼ無被害で残存した建築物、転倒した建築物、壁が大きく変形した建築物、漂流物が衝突しているものの残存した建築物の合計5例である。また6.2.7では、津波被災地域における地盤の液状化判定を行い、杭の引き抜き耐力に及ぼす影響について検討している。

6.2.1 被害の分類

津波によるRC造建築物の被害形態を以下のように分類する。

(1) 倒壊

津波荷重によりRC造建築物が倒壊した事例が確認されている。写真6.2.1-1は、桁行き方向6スパン、張り間方向1スパン、2階建てで柱梁フレーム構造の建築物が、張り間方向に津波荷重を受けて完全に倒壊した事例である。1階柱脚が曲げ破壊していることから、津波により1階に作用したせん断力が1階の保有水平耐力を大きく上回ったものと考えられる。なお、本建築物の柱の主筋は丸鋼であり、新耐震基準以前の旧基準により設計されたものと推測される。また、これまでの調査では、3階建て以上の建築物では倒壊の被害は確認されていない。



写真6.2.1-1 2階建て建築物の倒壊

(2) 1階の層崩壊

建築物の1階の柱が柱頭・柱脚で曲げ破壊し、層崩壊した事例が2階建ての建築物において複数見られた(写真6.2.1-2)。これらの建築物は柱梁フレーム構造であるが、1階は比較的壁が少なく、2階はコンクリートブロックの壁が多く設けられている。1階が商店、2階が住居として使用されていたものと推測され、構造的には1階の強度や剛性が低いという特徴を有すると思われる。これらの建築物では、2階の開口が大きくないため、2階部分で大きな津波波圧を受け、1階に作用するせん断力が1階の保有水平耐力を上回り倒壊したものと考えられる。



写真6.2.1-2 2階建て建築物の層崩壊

なお、これまでの調査では、3階建て以上の建築物では1階の層崩壊は確認されていない(写真6.2.1-3)。一般的には3階建て以上の建築物では連層の耐力壁が用いられることが多く、1階も壁の存在により耐力が大きかったものと考えられる。よって、3階建て以上で1階が柱のみの建築物については、層崩壊の可能性が無いとは言い切れないと思われる。

(3) 転倒・移動・流失

建築物の転倒の被害が、4階建てまでの建築物において見られた。転倒した建築物においては、何れも最大浸水深が建築物の高さを上回っている。転倒した建築物は直接基礎のもの(写真6.2.1-4)のみならず、杭基礎のもので杭が引き抜かれているものも見られた(写真6.2.1-5)。また、転倒した建築物は比較的開口が少ないものが多く、同程度の規模の建築物でも開口が大きい場合には転倒が生じていないことから、外壁の開口の大きさが転倒に大きく影響したものと考えられる。なお、最大浸水深が建築物の高さよりも高い2階建て建築物の内部において、2階の開口上端の高さまで津波の水の汚れの痕跡(写真6.2.1-6)があり、それより上の天井までの部分は空気が溜まっていたと見られる事例があった。従って、各階の開口の上端から天井までの長さが長い建築物ほど大きな浮力が働き、転倒が生じやすくなると思われる。転倒は、建築物の自重に浮力を考慮した転倒耐力よりも津波の波圧による転倒モーメントの方が大きい場合に生じると考えられるが、浮力が自重よりも大きくなるような場合には、わずかな水平力でも転倒の可能性はある。

転倒した建築物ではほとんどの建築物で原位置からの移動を伴っており、大きな浮力が働いていたと推測される。写真6.2.1-5の建築物は原位置から70mほど流されているが、地面などに引きずった跡は見られていない。また、写真6.2.1-7は開口の少ない冷凍倉庫であるが、2m程度のコンクリートブロック(CB)塀を壊さずに乗り越えて転倒しており、大きな浮力が作用したことが分かる。一方で、複数の2階建てCB造集合住宅が転倒した地域(写真6.2.1-8)では、同じ形状の一部の建築物は流失してしまい移動先が分からなくなった事例があった。この場所は、防潮堤のそばであり、浮力に加えて防潮堤を乗り越えた津波による非常に大きな水平力が作用した



写真6.2.1-3 残存する3階建て建築物

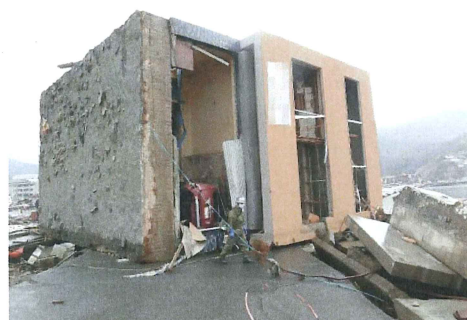


写真6.2.1-4 3階建て直接基礎建築物の転倒



写真6.2.1-5 4階建て杭基礎建築物の転倒

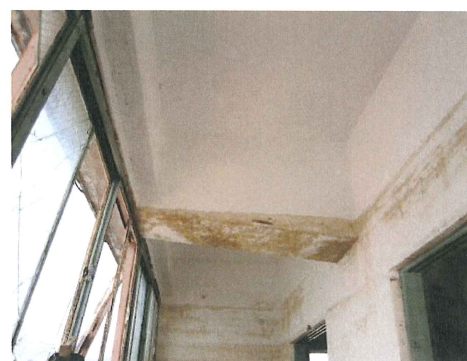


写真6.2.1-6 建物内部の水の汚れの痕跡

ものと思われる。

(4) 洗掘による傾斜

津波が作用した際に、建築物の隅角部に強い水流が作用し、洗掘による大きな穴が開けられた跡が多く見られた(写真6.2.1-9)。直接基礎を有する低層建築物では、洗掘による穴に建築物が倒れ込み傾斜したもの(写真6.2.1-10)や、洗掘に加えて浮力と大きな津波波圧を受け数十メートル流されたものも確認されている(写真6.2.1-11)。なお、杭基礎を有する構造物においては、杭頭が露出しても杭および上部構造は健全であるものが多く見られた。



写真6.2.1-7 塀を乗り越えた2階建て建築物

(5) 壁の面外破壊(開口部の破壊)

建築物の津波の作用面の開口よりも、反対側の水流が抜ける側の開口が小さい場合、小さい開口に水流が一気に集中し、その周辺のRC造非構造壁に大きな圧力を作用させ、コンクリートにひび割れが生じて壁が外側に大きくはらみ、壁端部のシングル配筋の壁筋が破断する事例が見られた(写真6.2.1-12)。



写真6.2.1-8 CB造集合住宅の転倒

また、2、3階の床が無く支持スパンが10mを超える厚さ300mmの壁(厚さ180mmのダブル配筋の耐力壁の外側に厚さ120mmのふかしを有する壁)が外側からの津波波圧により内側に大きく湾曲している事例があった(写真6.2.1-13左側)。ただし、同一の建築物でも2、3階に床があり支持スパンが大きくない部分では、耐震壁が湾曲する被害は見られなかった(写真6.2.1-13右側)。



写真6.2.1-9 洗掘による基礎の露出

建築物に作用する津波波力は、津波の作用面となる建築物の面の開口が大きい程低減されると考えられるが、作用面だけでなく水流の出口となる側の開口の大きさも影響を及ぼすと思われる。出口側の開口が小さい場合には、壁を破壊させるほどの水圧が壁に作用することから、開口から入った水をスムーズに流出させるために必要な開口の大きさにも配慮が必要である。

(6) 漂流物の衝突

流木(写真6.2.1-14)、自動車、コンテナ、船舶、倒壊した建築物の一部など、さまざまな漂流物が建築物に衝突したと思われる。これらにより、天井、窓ガラス、ベランダの手すりなどの脱落を引き起こした建築物



写真6.2.1-10 洗掘による2階建て建築物の傾斜

が多数見られた。一方、RC造構造躯体に対する明確な被害はあまり見られなかったが、集合住宅の連層壁において衝突により生じたと思われる壁の開口が見られた（写真6.2.1-15）。

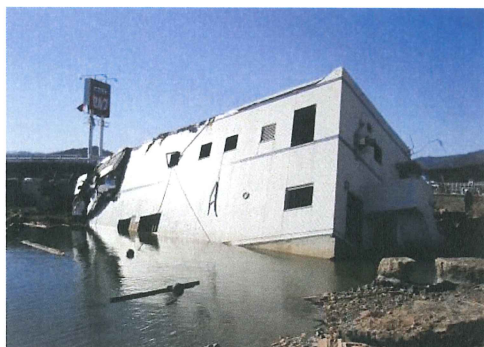


写真6.2.1-11 大きな波圧により流された直接基礎のRC造建築物



写真6.2.1-14 流木の残骸



写真6.2.1-12 非構造壁の面外破壊



写真6.2.1-15 漂流物の衝突により生じた壁の開口



写真6.2.1-13 2、3階部分に床を持たない連層壁の面外破壊（建築物の奥の部分には2、3階部分に床がある）

建設省 土木研究所
同
同

佐々木 康
谷口 栄一
森下 義

1 まえがき

昭和58年5月26日に発生した日本海中部地震により、秋田・青森県の各地において地盤の液状化による様々な被害が見られた¹⁾。砂地盤が地震動を受け液状化に至ると、地下埋設物には過剰間隙水圧による大きな浮力加わるために、浄化槽、オイルタンク、水道管等の見掛け比重の小さい地下埋設物は浮上りを起こす。本調査では、地盤の液状化による地下オイルタンクの浮上りの被害事例を対象として、周辺地盤の液状化による過剰間隙水圧を考慮したオイルタンクの浮上りに対する安全率とオイルタンクの浮上りの関係について検討を行った。

2 現地調査

今回の地震で地盤の液状化により被害を受けたと考えられる24件の地下オイルタンク・浄化槽について調査を行った。調査地点を図1に示し、現地調査により得られた地下オイルタンク・浄化槽の浮上り量、噴砂の有無等を表1に示す。

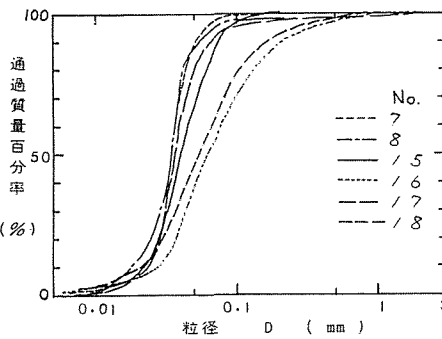


図2 粒径加積曲線

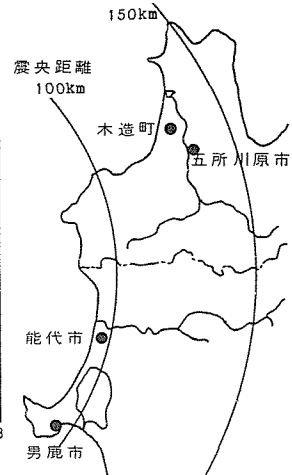


図1 調査地点

表1 調査内容

表1に示されている値は、更測のものと同取によるものがある。

地震時に現場において噴砂の見られた地点は11件、見られなかった地点は7件、不明6件である。現場から採取した噴砂または埋戻し材の粒径加積曲線を図2に示す。

この水による採取した砂の平均粒径D50は0.30~0.60mmであり、液状化しやすい粒径の砂である。

オイルタンクの一般的な構造を図3に示す。

No.	地下埋設物の種類	容量 (m ³)	本数	浮上り量 (cm)	地形分類 ※※	地下水位 (m)	噴砂の有無	噴砂または埋戻し材の平均粒径 D50 (mm)	液状化抵抗率 P _q
/	オイルタンク	10	5	0~15	—	?	無	0.30	—
2	"	10	1	5	砂丘	?	無	?	—
3	"	30	4	—※	台地	?	無	?	—
4	"	10	3	4	砂丘	?	有	?	—
5	"	8	1	5	自然堤防	1.0	無	?	—
6	"	30	1	0~18	氾濫平野	?	有	?	—
7	"	10	2	0~10	氾濫平野	1.5	有	0.35	0.85
8	"	10	1	0~76	砂丘	0.5	有	0.33	0.71
9	"	7	1	14~72	氾濫平野	0.5	有	0.37	—
10	"	30	1	0~25	氾濫平野	0.5	—	?	—
11	"	10	1	0~2	台地	1.0	無	?	—
12	"	10	1	0~7	砂丘	?	有	?	—
13	"	4	1	5~9	旧河道	2.0	有	?	—
14	"	15	1	—※	台地	?	無	?	—
15	"	8	1	2~12	—	1.3	有	0.40	0.77
16	"	50	2	48~202	氾濫平野	1.0	有	0.60	0.46
17	"	50	3	15~75	氾濫平野	1.0	無	0.36	0.64
18	"	30	3	60~165	氾濫平野	1.0	有	0.52	0.74
19	浄化槽	—	—	5	氾濫平野	?	—	?	—
20	オイルタンク	—	—	?	砂丘	?	—	?	—
21	"	—	—	?	砂丘	?	—	?	—
22	"	—	—	?	砂丘	?	—	?	—
23	"	—	—	?	氾濫平野	?	—	?	—
24	浄化槽	—	—	35~114	—	1.3	有	0.40	—

※周辺地盤が沈下した ※※地形分類は治水地形分類図による

円筒形の鋼製オイルタンクは鉄筋コンクリート基礎の上に鋼帯とボルトにより固定されており、鉄筋コンクリート製のふたが支柱により基礎に固定されている。一般に基礎とふたの間は砂で埋戻しされる。地震時の浮上り量が大きかったNO.16の地点ではオイルタンクの浮上りと共に支柱が抜け上り、鋼帯は切断されてしまったことが後に掘削した時に確認されている。NO.16の被害の様子を写真1に示す。

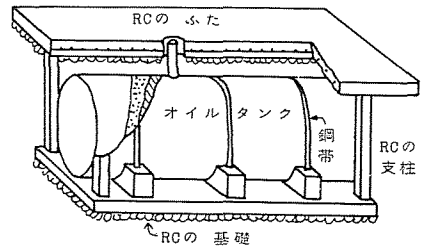


図3 オイルタンクの構造

3 浮上りに対する安全率と浮上り量

著者ら²⁾は先に掘削道路の浮上りの安全率算定式を提案したが、同様に地下オイルタンクの浮上りに対する安全率を式(1)のように表わすこととする。

$$F_u = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}{U_s + U_b} \quad \text{式(1)}$$

ここに、抵抗力 W_1 : タンクの重量, W_2 : オイルの重量, W_3 : RCのふたの重量, W_4 : 上載土の重量

浮力 U_s : 静水圧による揚圧力

U_b : 過剰間隙水圧による揚圧力

データが比較的そろっている6地点 (No.7, 8, 15, 16, 17, 18) について式(1)による浮上りの安全率を算定した。過剰間隙水圧の大きさは地盤の液状化の程度により異なるので、次のように計算した。まずタンクの底における液状化に対する抵抗力 F_L を「道路橋示方書」に示されている方法により求めた。次に求めた F_L に対応する過剰間隙水圧比 $U_b = \Delta u / \sigma'_v$ (Δu : 過剰間隙水圧, σ'_v : 有効上載圧) を参考文献(3)の振動台実験の結果から求めた。そしてタンクの側面に加わる有効上載圧に U_b を乗じたものの上向き方向成分の総和を過剰間隙水圧による揚圧力 U_b とした。 F_L を計算する際には地盤の平均 N 値 = 5, 地下水位以浅の単位体積重量 $\rho_s = 1.8 \text{ tf/m}^3$, 地下水位以深の $\rho_s = 2.0 \text{ tf/m}^3$ と仮定し、地表面最大加速度を参考文献(1)より 200 gal とした。また式(1)においてRC基礎の重量を抵抗力に加えていないが、この理由は浮上り量が大きかったNO.8, 16, 17の地点において地震後タンクを振り返してみると、鋼帯を基礎コンクリートに固定しているボルトが抜け上ったり、鋼帯が切断されていたためである。計算した液状化抵抗力 F_L を表1に、浮上りの安全率 F_u を図4に示す。 F_L は6件とも1以下であった。図4より、浮上りに対する安全率 F_u が小さい程、オイルタンクの浮上り量は大きくなることわかる。

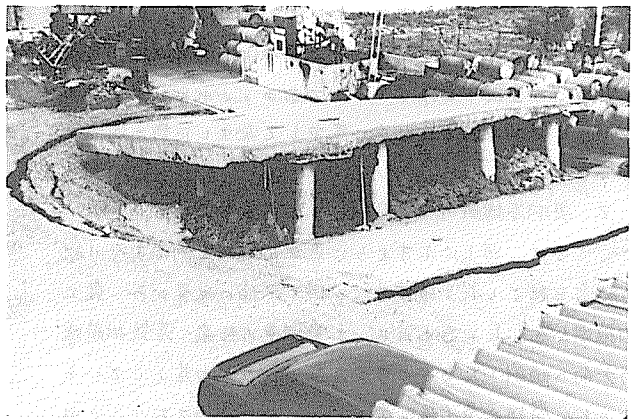


写真1 被害写真 NO.16 (浮上り量0.48~2.02m)

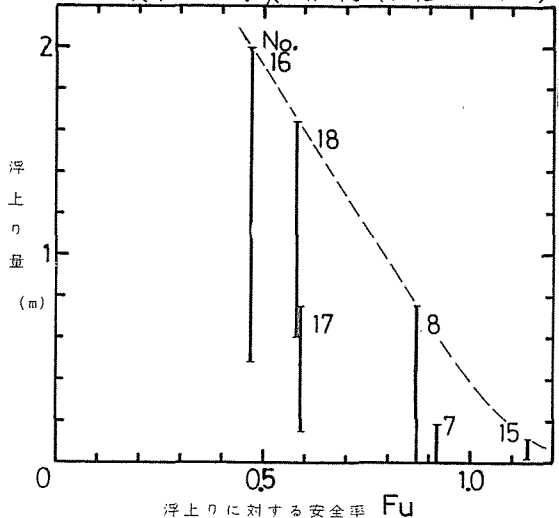


図4 地下オイルタンクの浮上りに対する安全率と浮上り量の関係

図4 地下オイルタンクの浮上りに対する安全率と浮上り量の関係

計算した液状化抵抗力 F_L を表1に、浮上りの安全率 F_u を図4に示す。 F_L は6件とも1以下であった。図4より、浮上りに対する安全率 F_u が小さい程、オイルタンクの浮上り量は大きくなることわかる。

(参考文献) 1) 佐々木, 川島, 宇多「日本海中部地震被害調査速報」土木技術資料, Vol. 25, No.7, 昭和58年
2) 佐々木, 谷口「地盤液状化対策としての碎石トレン工法」地盤と基礎の地震災害に関するシンポジウム, 土質工学会, 昭和58年
3) 岩崎, 常田, 木全「地震時における砂質地盤の液状化判定法と耐震設計への適用に関する研究」土木研究所資料第1729号, PP92~93, 昭和56年

液状化解析結果 報告書

平成 24 年 12 月 20 日

株式会社 構造計画研究所

1. 目的と検討の流れ

液状化時に地下タンクに発生する浮力を軽減させるために、透水性が高い砕石で埋め戻す事が有効であると考えられる。

この砕石を使用した場合の過剰間隙水圧比の低減効果について、一般的に用いられている埋設土と比較して検討する。本液状化解析結果については実験や実被害事例と整合性を確認することは困難であることから、あくまで定性的な違いについて検討するものとする。

本検討の流れを以下に示す。

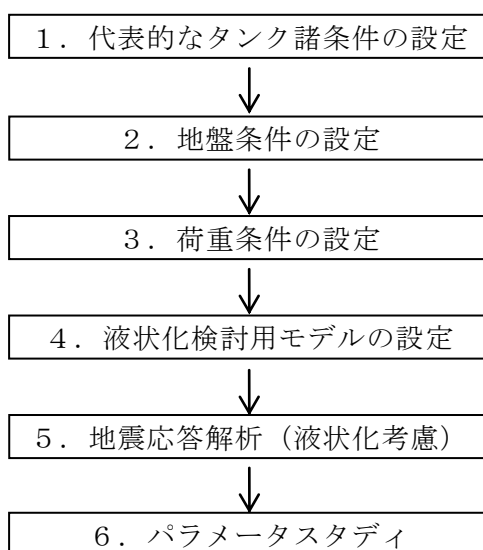


図 1-1 検討フロー

2. 解析条件

2.1. 解析コード

地盤を土粒子と間隙水の二相でモデル化した有効応力解析とする。2次元モデル（横断面）の検討とし、解析プログラムは西モデル（液状化構成則）と修正 R-O モデル（非液状化層の非線形モデル）を採用した NANSI/2D を用いる。

2.2. 地下タンクの諸条件

- ・ タンクは鋼製としてモデル化（ビーム要素）
- ・ タンクの基礎、上部スラブを RC としてモデル化（平面歪要素）
- ・ タンク埋設深度：土かぶり 1m
- ・ タンク諸元：直径 3.8m、鋼製タンク厚さ 9mm
- ・ 内容液量：タンク中心(1.9m)部分まで重油(比重 0.93)
- ・ 地下水位：地盤面下 1m

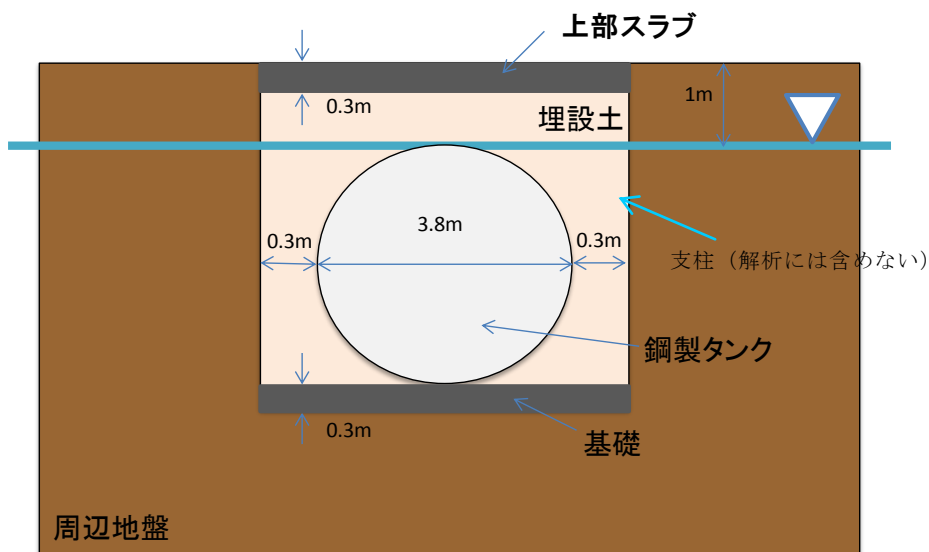


図 2-1 地下タンクモデル図

表 2-1 タンク、基礎、上部スラブの材料物性

材料	単位体積重量 [tf/m ³]	弾性係数 [tf/m ²]	ポアソン比	断面積 [m ² /m]	断面 2 次 モーメント [m ⁴ /m]	減衰定数 [%]
タンク	7.8	2.0×10^7	0.3	0.009	6.0×10^{-8}	2
RC	2.4	2.2×10^6	0.2	-	-	2

2.3. 地盤の諸条件

解析に用いる地盤特性の設定条件を以下に示す。

- 埋設土の砂、砕石は液状化を考慮し、西モデル（液状化解析に於いて一般的に用いられる構成則）を採用する。
- 周辺地盤の砂は、ケースによって液状化を考慮する場合としない場合があり、液状化を考慮する場合は西モデルとし、液状化を考慮しない場合は修正 R-O モデル（地盤の動的変形特性で一般的な構成則）とする。
- 埋設土の砂の N 値は N=5 とした。
- 埋設土の砕石の N 値は砕石の N 値の情報がないため、N=40（礫の N 値）とした。（表 2-3 を参照）
- 周辺地盤の砂は埋立地（3 種、4 種地盤）を想定し、参考文献により各地域（東京、川崎、名古屋等）の埋立地の N 値の範囲を踏まえ、N=7 とした。
- 埋設土の砂の細粒分含有率は 3%（一般的な山砂の値）とし、周辺地盤の砂の細粒分含有率は 30%（細砂）とした。砕石は 0%とした。
- 単位体積重量は表 2-4 を参考にした（砂は細砂の値（水面以下：1.95、水面以上：1.75）、砕石は砂礫の値（水面以下：2.10、水面以上：1.9）とする）。
- 間隙比は表 2-5 を参照に 0.85 とした（砕石の値は参考資料等を参考に 0.5 とした）。
- 透水係数は表 2-6 を参考にした（砂は細砂の値（ 1.5×10^{-2} ）、砕石は砂利の値（ 3.0×10^{-0} ）とする）。
- ポアソン比は一般的に用いられる値の水面以下 0.49、水面以上 0.35 を設定する（図 2-2 を参照）。
- せん断波速度は道路橋示方書(V 耐震設計編)・同解説で示されている次式で計算する。

砂質土の場合

$$V_s = 80N^{1/3} (1 \leq N \leq 50)$$

V_s ：せん断波速度[m/s]、N：N 値

- せん断剛性は次式で計算する。

$$G = \rho V_s^2$$

G：せん断剛性、 ρ ：質量密度、 V_s ：せん断波速度

上記の条件をまとめた表を表 2-2 に示す。

表 2-2 地盤物性値

埋設土 or 周辺地盤	地盤番号	地盤種	液状化 考慮 有・無	N値	細粒分 含有率 [%]	水面以下 単位体積 重量 [tf/m ³]	水面上 単位体積 重量 [tf/m ³]	間隙比	透水係数 [cm/s]	せん断波速度 [m/s]	水面以下 せん断剛性 [tf/m ²]	水面上 せん断剛性 [tf/m ²]	水面以下 ポアソン比	水面上 ポアソン比	減衰定数 [%]	非線形特性
埋設土	①	砂	有	5	3%	1.95	1.75	0.85	1.5×10^{-2}	136.80	3721	3339	0.49	0.35	2	西モデル
	①	砕石	有	40	0%	2.10	1.90	0.5	3.0×10^0	273.60	16029	14503	0.49	0.35	2	西モデル
周辺地盤	②	砂	無or有	7	30%	1.95	1.75	0.85	1.5×10^{-2}	153.03	4657	4179	0.49	0.35	2	西モデル or 修正R-Oモデル

表 2-3 土質区分と物性値 (1)

土質	N値	変形係数 (kN/m ²)	ポアソン比	単位体積 重量(kN/m ²)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (度)
埋土	2~4	3,000	0.45	15	50	6
シルト	1	800	0.49	16	10	0
	2~3	2,400	0.45	16	30	6
砂質 シルト	4	5,000	0.45	16	30	10
	15	15,000	0.40	17	60	15
粘土	6	5,000	0.45	15	80	6
	8~12	10,000	0.45	15	80	6
	25	20,000	0.45	15	80	6
細砂	10	8,000	0.35	18	0.0	25~30
	20	10,000	0.35	18	0.0	25~30
	30	20,000	0.35	18	0.0	35
	40	25,000	0.35	18	0.0	38
	50	35,000	0.35	18	0.0	42
中砂	50	50,000	0.35	18	0.0	42
礫	40	30,000	0.30	20	0.0	39
	50	50,000	0.30	20	0.0	42

(トンネル標準示方書[開削工法編]土木学会)

表 2-4 土質区分と物性値 (2)

土質分類	地下水位面下の 単位重量 γ_D (tf/m ³)	地下水位面上の 単位重量 γ_U (tf/m ³)	平均粒径 D_{50} (mm)	細粒分含有率 FC (%)
表土	1.7	1.5	0.02	80
シルト	1.75	1.55	0.025	75
砂質シルト	1.8	1.6	0.04	65
シルト質細砂	1.8	1.6	0.07	50
微細砂	1.85	1.65	0.1	40
細砂	1.95	1.75	0.15	30
中砂	2.0	1.8	0.35	10
粗砂	2.0	1.8	0.6	0
砂れき	2.1	1.9	2.0	0

道路橋示方書(V 耐震設計編)・同解説

表 2-5 土質区分と物性値 (3)

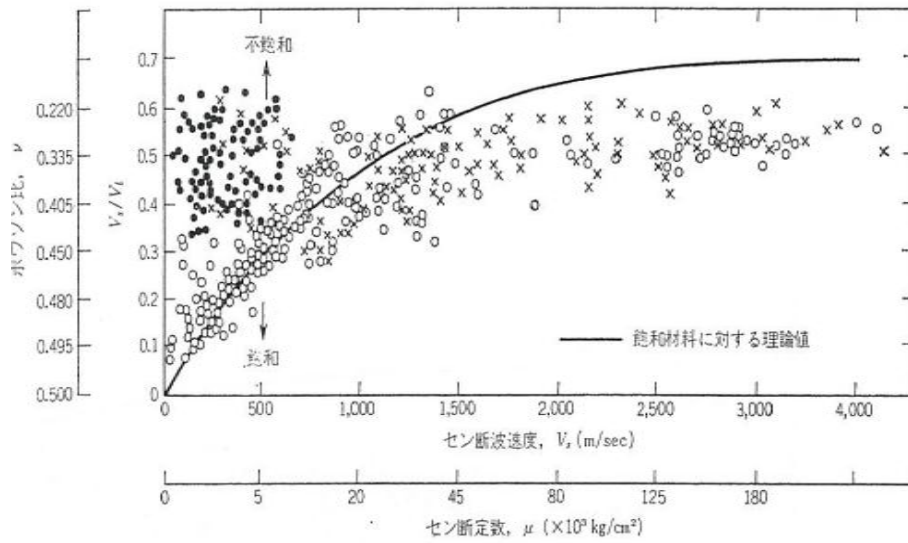
土の種類	間隙率 n(%)	間隙比 e	含水比 W(%)	単位重量	
				γ_d (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
1 砂 均等で、ゆるい	46	0.85	32	14.01	18.52
2 砂 均等で、密な	34	0.51	19	17.15	20.48
3 砂 混合の、ゆるい	40	0.67	25	15.58	19.50
4 砂 混合の、密な	30	0.43	16	18.13	21.07
5 粘土(氷成)軟らかい	55	1.22	45	11.66	17.05
6 粘土(氷成)硬い	37	0.59	22	16.37	19.99
7 粘土(有機質少)軟らかい	66	1.94	70	8.82	15.29
8 粘土(有機質多)軟らかい	75	3.00	110	6.47	13.82
9 ベントナイト 軟らかい	84	5.25	194	4.12	12.35

((社)日本下水道管渠推進技術協会:推進工法講座基礎知識編より)

表 2-6 土質区分と物性値 (4)

	粘土	シルト	微細砂	細砂	中砂	粗砂	小砂利
粒径 (mm)	0~0.01	0.01~0.05	0.05~0.10	0.1~0.25	0.25~0.50	0.50~0.10	1.0~5.0
K (cm/sec)	3×10^{-5}	4.5×10^{-4}	3.5×10^{-3}	1.5×10^{-2}	8.5×10^{-2}	3.5×10^{-1}	3.0

土と基礎 - 実用数式・図表の解説 土質工学会



土質動力学の基礎[鹿島出版]

図 2-2 セン断波速度とポアソン比の関係

2.4. 非線形特性

2.4.1. 西モデル

地盤の非線形特性は、液状化を考慮する層では西モデルでモデル化をする。

液状化層の液状化強度曲線は、道路橋示方書により液状化強度を求め、その値を用いて龍岡式により液状化曲線を決定する。算出方法を以下に示す。

西モデルの各パラメータは、ここで設定した液状化強度曲線に対応するように設定する。設定したパラメータを表 2-7 に示す。

道路橋示方書では、繰返し三軸強度比（液状化強度） R_L を N 値と細粒分含有率 FC より求めます。

$$R_L = \begin{cases} 0.0882 \sqrt{\frac{N_a}{1.7}} & (N_a < 14) \\ 0.0882 \sqrt{\frac{N_a}{1.7}} + 1.6 \times 10^{-6} (N_a - 14)^{4.5} & (14 \leq N_a) \end{cases}$$

砂質土の場合

$$N_a = C_1 N_1 + C_2$$

$$N_1 = \frac{1.7N}{\sigma'_v + 0.7}$$

$$C_1 = \begin{cases} 1 & (0 \leq FC < 10) \\ (FC + 40) / 50 & (10 \leq FC < 60) \\ FC / 20 - 1 & (60 \leq FC) \end{cases}$$

$$C_2 = \begin{cases} 0 & (0 \leq FC < 10) \\ (FC - 10) / 18 & (10 \leq FC) \end{cases}$$

砂礫土の場合

$$N_a = \left\{ 1 - 0.36 \log \left(\frac{D_{50}}{2} \right) \right\} N_1$$

ここに、

R_L : 繰返し三軸強度比

N : 標準貫入試験から得られる N 値

N_1 : 有効上載圧 1 kgf/cm^2 相当に換算した N 値

σ'_v : 有効上載圧, 単位は kgf/cm^2

N_a : 粒度の影響を考慮した補正 N 値

C_1, C_2 : 細粒分含有率による N 値の補正係数

FC : 細粒分含有率(%) (粒径 $75 \mu\text{m}$ 以下の土粒子の通過質量百分率)

D_{50} : 平均粒径 (mm)

液状化強度曲線は求めた R_L より、下式で補間しています。

$$R = R_L \left(\frac{N}{20} \right)^{-0.1 - 0.11 \log DA}$$

$DA = 5\%$ より、

$$R = R_L \left(\frac{N}{20} \right)^{-0.17}$$

LIQSMART Ver1.1 のマニュアルより

表 2-7 設定した西モデルパラメータ

パラメータ	単位	埋設土(砂)	埋設土(碎石)	周辺地盤(砂)	備考
有効上載圧	σ'_{v}	tf/m ²	3.55	3.99	10.3
初期せん断剛性	G0	tf/m ²	3721	16029	4657
間隙比	e		0.85	0.5	0.5
内部摩擦角	ϕ	度	30	39	30
変相角	ϕ_m	度	25	43	27
推定パラメータ(1)	m*	-	4.00E-03	8.00E-03	1.20E-03
推定パラメータ(2)	k	-	1.60E-03	8.00E-04	4.00E-04
推定パラメータ(3)	β_1	-	100	500	200
推定パラメータ(4)	β_2	-	0	0	100
推定パラメータ(5)	G0i*	-	1500	30000	3000
推定パラメータ(6)	G0t*	-	300	5000	200

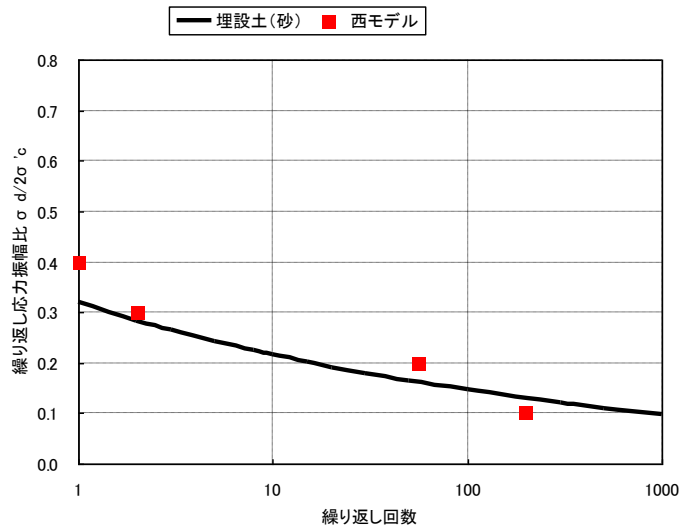


図 2-3 液状化強度曲線と要素シミュレーション結果（埋設土：砂）

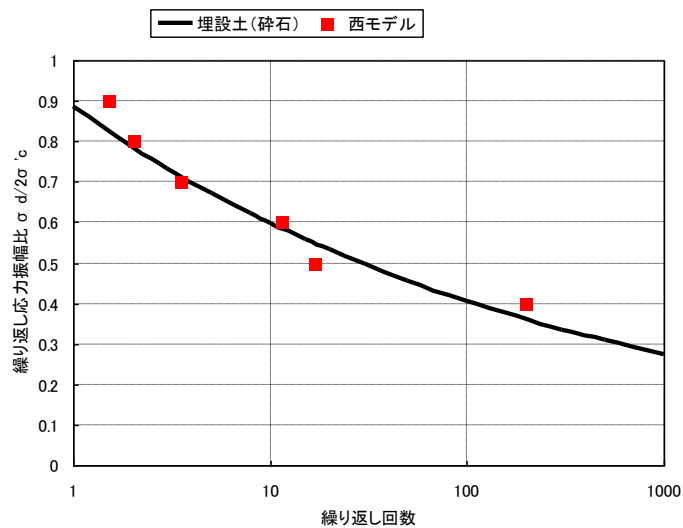


図 2-4 液状化強度曲線と要素シミュレーション結果（埋設土：碎石）

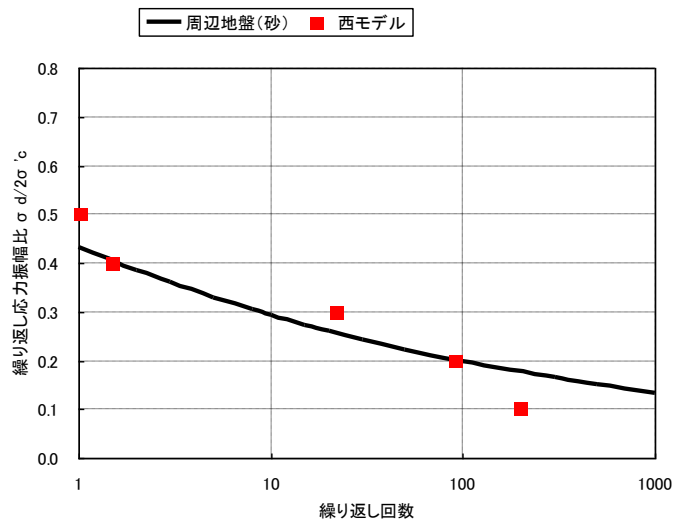


図 2-5 液状化強度曲線と要素シミュレーション結果（周辺地盤）

2.4.2. 修正 R-O モデル

液状化による体積変化を考慮しない層は修正 R-O モデルでモデル化をする。砂は建築基準法告示 1457 に示されている動的変形特性にフィッティングするように修正 R-O の各パラメータを設定する。表 2-8 に設定した R-O パラメータを示す。図 2-6 に動的変形特性とフィッティング後の修正 R-O モデルの対応関係を示す。

表 2-8 R-O パラメータ

種類	R-O パラメータ	
	基準ひずみ [%]	最大減衰定数 [%]
砂	0.0434	27.7000

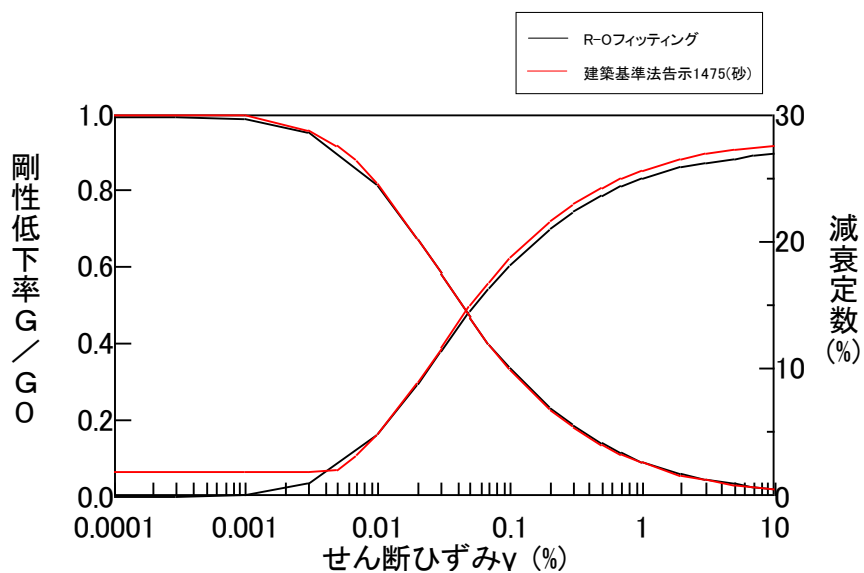


図 2-6 動的変形特性（告示 1457）と修正 R-O モデルの対応

2.5. 荷重条件

東北地方太平洋沖地震の特性を考慮した検討用地震動として、平成 24 年の道路橋示方書改定版に示されているレベル 2 地震動を選択する。下記に選択した検討用地震動の加速度時刻歴波形と加速度スペクトルを示す。

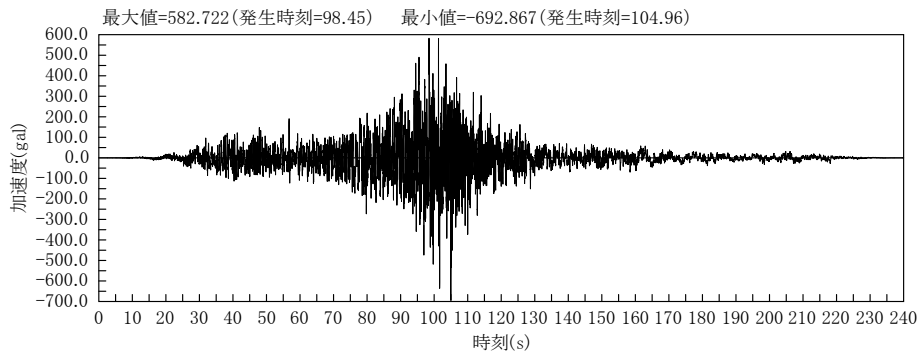


図 2-7 加速度入力波形 (0s~240s)

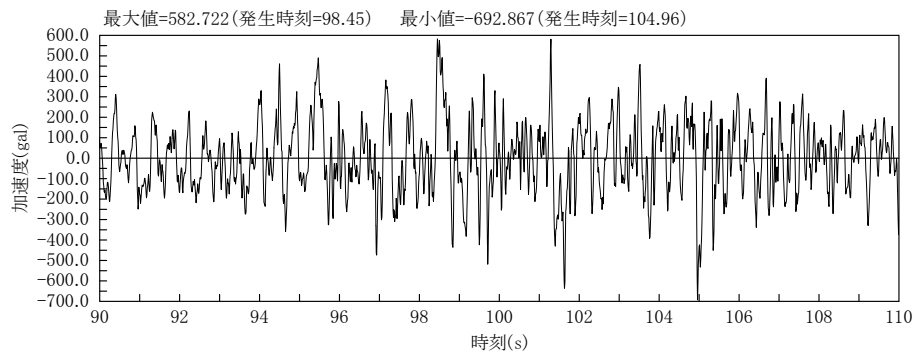


図 2-8 加速度入力波形 (90s~110s_最大値発生時刻周辺)

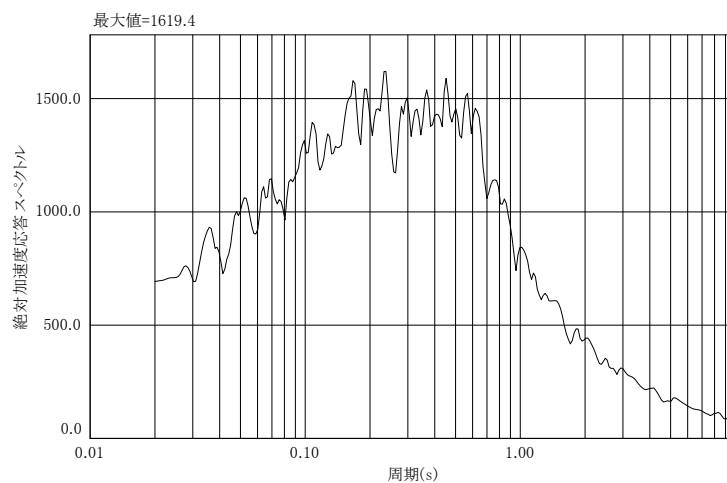


図 2-9 絶対加速度応答スペクトル

2.6. 解析モデル

本検討では、2次元（横断面）により検討する。

- ・ FEM 部の幅は、躯体幅の 6 倍以上とする（※1）。
- ・ FEM 部の深さは、躯体幅の 2 倍以上とする（※1）。
- ・ 要素の大きさは、次式により決定（※2）

$$h \leq \frac{V_s}{N \cdot F_{\max}}$$

h：伝搬方向に於ける要素長さ

V_s：地盤のせん断波速度

N：定数(5)

F_{max}：解析する振動数の上限

（本検討では 20Hz とする）

本検討で用いる要素長さは次表以下の必要最大メッシュ長さを考慮し、1.0m 以下のメッシュ長さとする。

表 2-9 各地盤の必要要素長さ

埋設土 or 周辺地盤	地盤種	せん断波速度 [m/s]	要素長さ [m]
埋設土	砂	136.80	1.4
周辺地盤	砂	153.03	1.5
埋設土	碎石	273.60	2.7

参考文献

※1：有限要素法による地盤-構造物連成系の相互作用解析における境界条件及び入力地震動の評価

（日本建築学会 1981 年、奥村・多田・宇高）

※2：SuperFLUSH/2D for Windows V5.3 利用者マニュアル

3. 埋設土が砂と碎石の場合の比較

3.1. 検討内容

埋設土に着目したモデルにより、碎石を使用した場合の過剰間隙水圧比の低減効果について、一般的に用いられている埋設土と比較して検討する。

解析モデルとしては、側面及び底面を粘性境界とする。

解析に用いたメッシュ図を図 3-1 に示す。

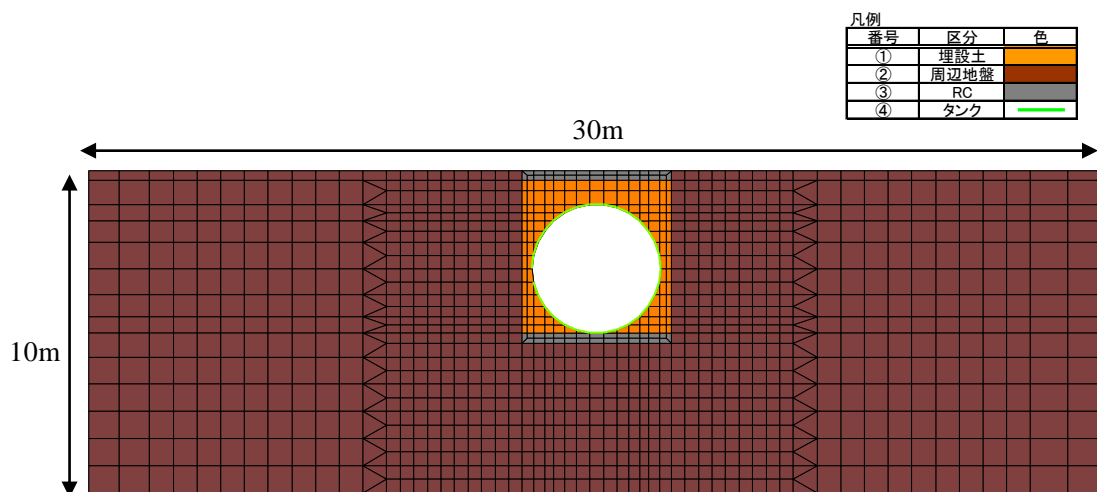


図 3-1 解析モデル図（検討 1）

表 3-1 物性値表（検討 1）

ケース	埋設土 or 周辺地盤	地盤番号	地盤種	液状化 考慮 有・無	N値	細粒分 含有率 [%]	水面以 下単位体 積重量 [tf/m ³]	水面上 単位体積 重量 [tf/m ³]	間隙比	透水係数 [cm/s]	せん断波速 [m/s]	水面以下 せん断剛 度 [tf/m ²]	水面以上 せん断剛 度 [tf/m ²]	水面以下 ポアソン比	水面以上 ポアソン比	減衰定数 [%]	非線形特性
対策前	埋設土	①	砂	有	5	3%	1.95	1.75	0.8	$91.5 \times \gamma_D$	136.80	3721	3339	0.49	0.35	2	西モデル
	周辺地盤	②	砂	無	7	30%	1.95	1.75	0.5	$11.5 \times \gamma_D$	153.03	4657	4179	0.49	0.35	2	修正R-Oモデル
対策後	埋設土	①	碎石	有	40	0%	2.10	1.90	0.5	$3.0 \times \gamma_D$	273.60	16029	14503	0.49	0.35	2	西モデル
	周辺地盤	②	砂	無	7	30%	1.95	1.75	0.5	$11.5 \times \gamma_D$	153.03	4657	4179	0.49	0.35	2	修正R-Oモデル

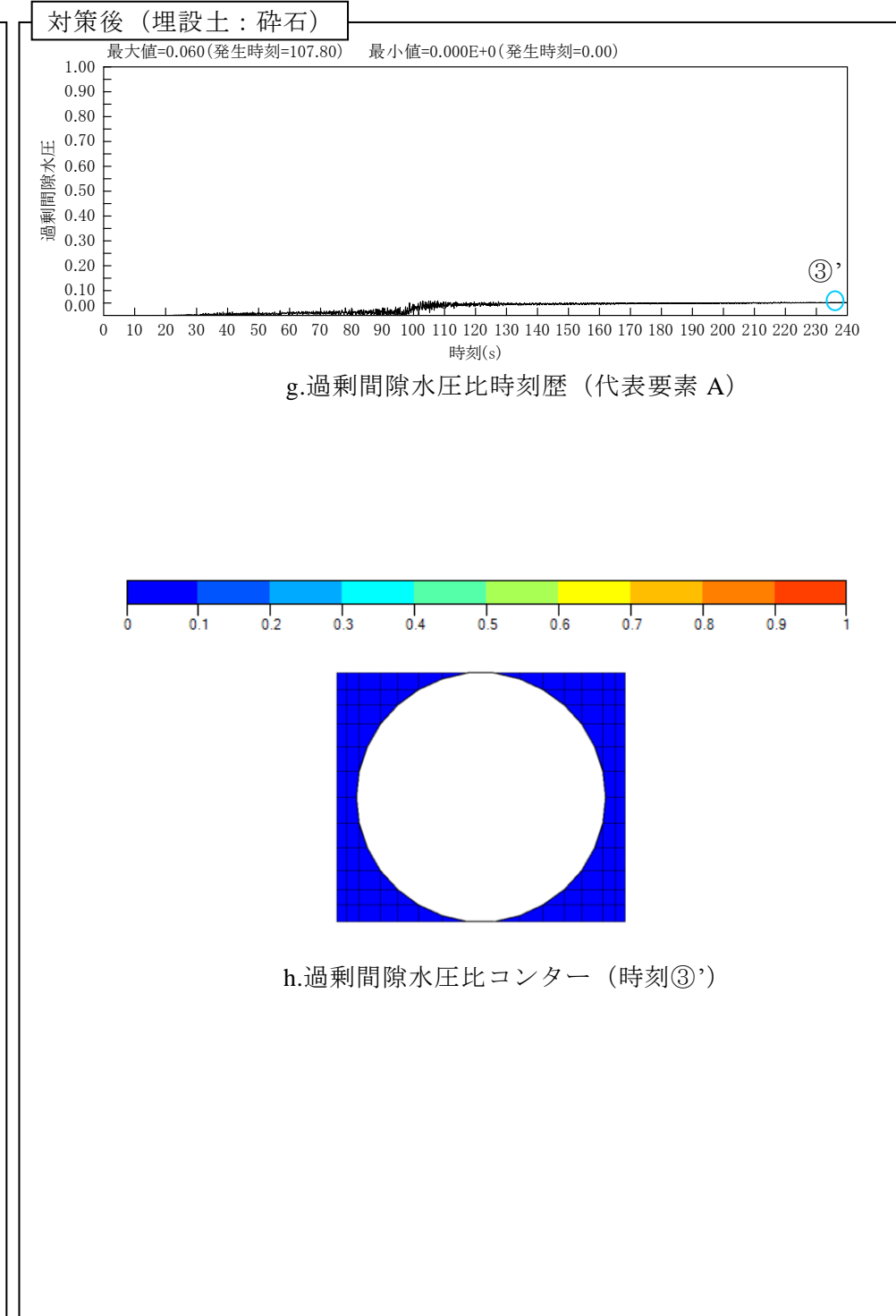
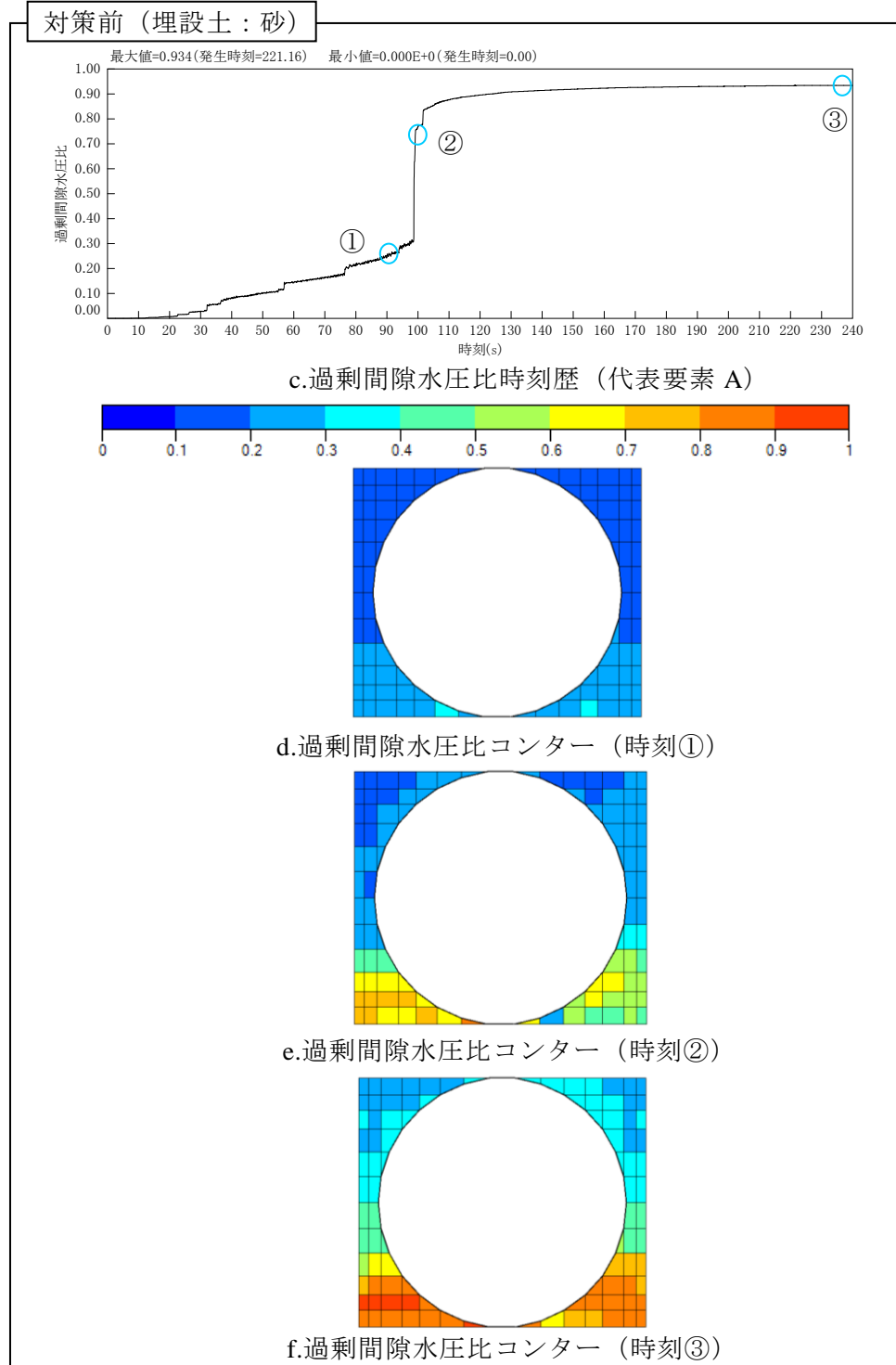
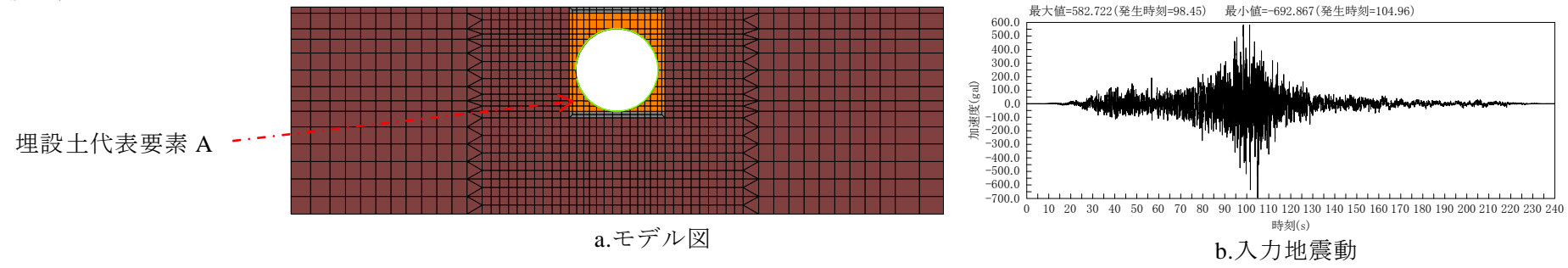
3.2. 検討結果

解析結果を次頁以降に示す。

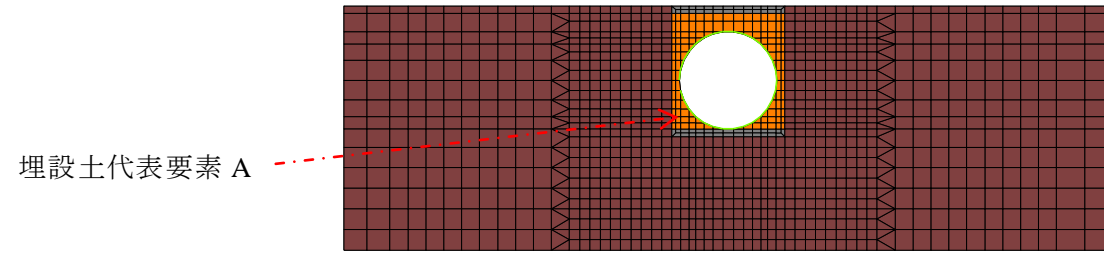
対策前、後共に埋設土でせん断ひずみが大きくなっており、せん断ひずみは2~3%程度である。

対策前はタンク下で過剰間隙水圧比が大きくなっており、液状化している可能性が高い。一方、対策後の埋設土では多少の過剰間隙水圧比の増加が見られるが、液状化に至る程の過剰間隙水圧比の増加は見られない。

ー対策前と後の過剰間隙水圧比の比較（埋設土）

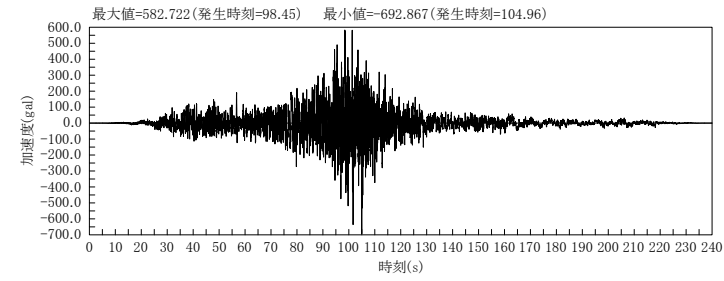


一対策後の過剰間隙水圧比（スケール変更）



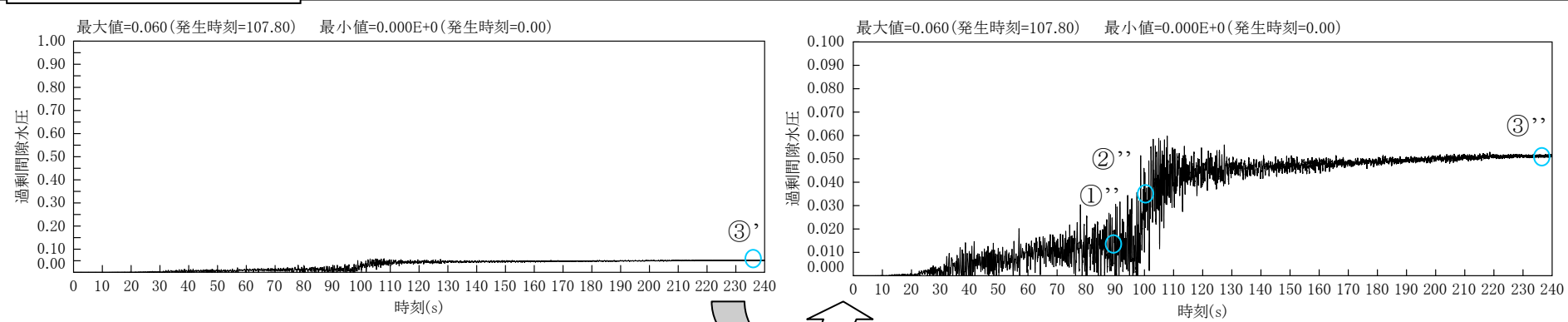
埋設土代表要素 A

a.モデル図



b.入力地震動

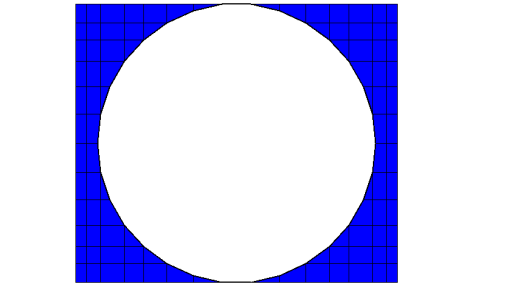
対策後（埋設土：砕石）



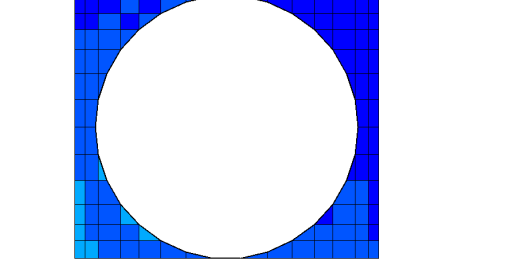
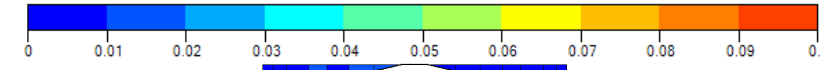
g.過剰間隙水圧比時刻歴（代表要素 A）

i.過剰間隙水圧比時刻歴（代表要素 A）

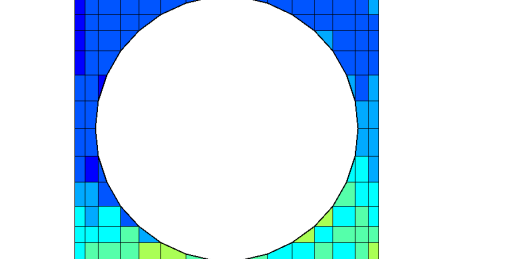
縦軸のスケールを変更



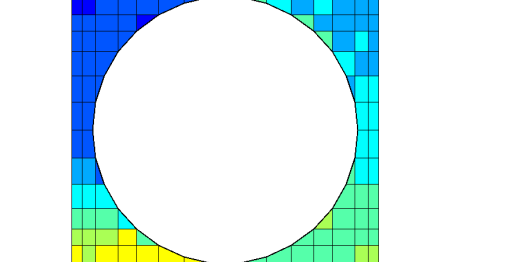
h.過剰間隙水圧比コンター（時刻③'）



j.過剰間隙水圧比コンター（時刻①''）



k.過剰間隙水圧比コンター（時刻②''）



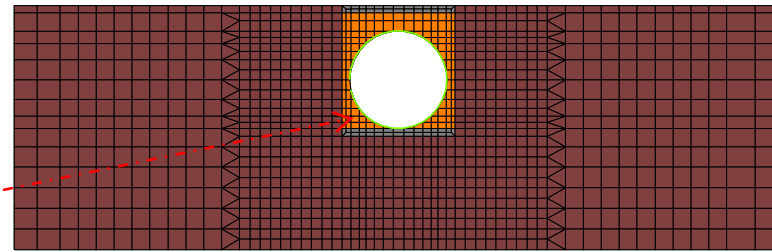
l.過剰間隙水圧比コンター（時刻③''）

カラーバーのスケールを変更

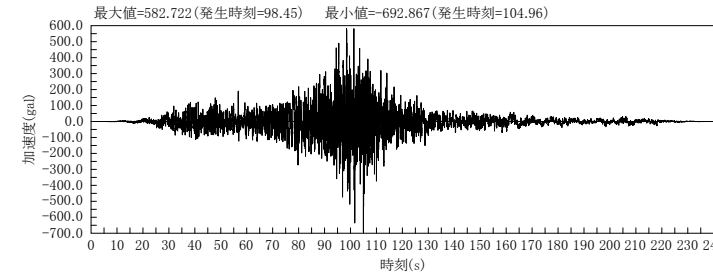


一対策前と後のせん断歪、変形の比較

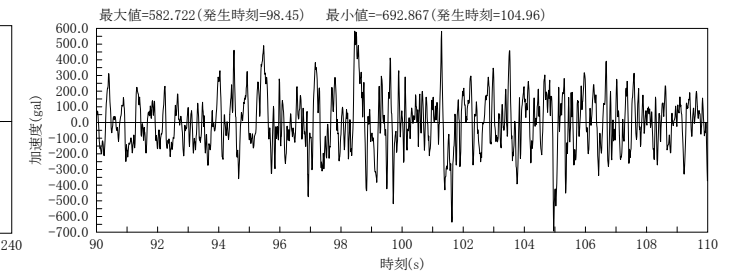
埋設土代表要素 A



a. モデル図

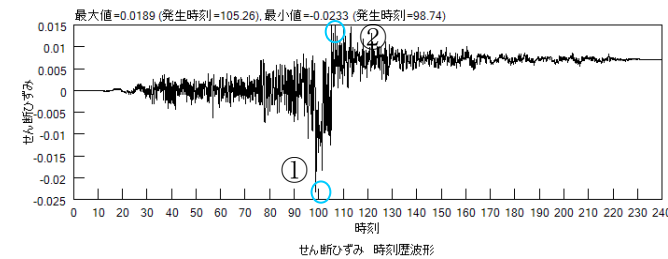


b. 入力地震動 (0s-240s)

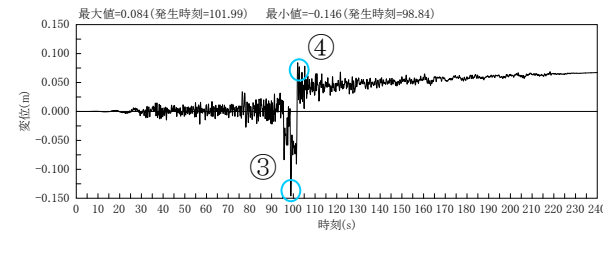


c. 入力地震動 (90s-110s)

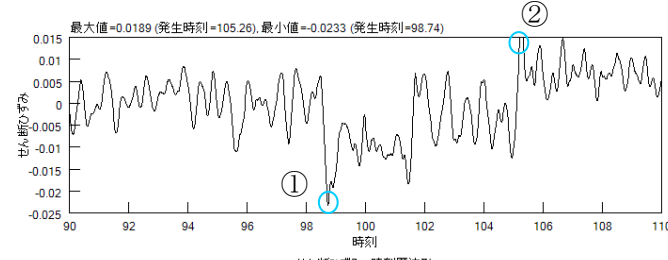
対策前 (埋設土: 砂)



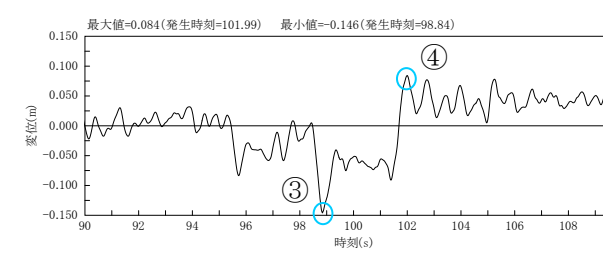
d. せん断ひずみ時刻歴 (代表要素 A) _0s-240s



f. 変位時刻歴 (代表要素 A) _0s-240s

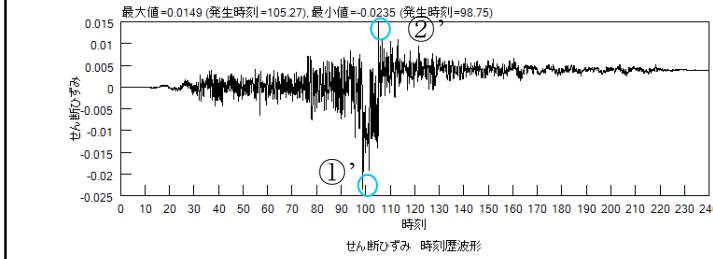


e. せん断ひずみ時刻歴 (代表要素 A) _90s-110s

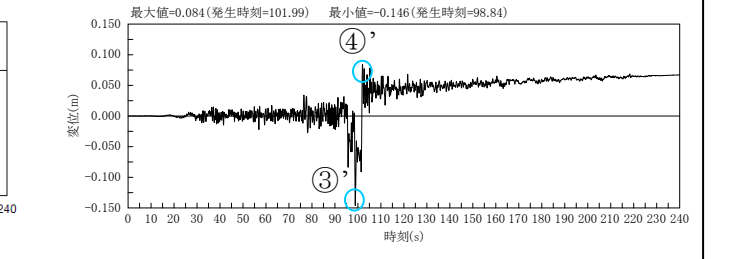


g. 変位時刻歴 (代表要素 A) _90s-110s

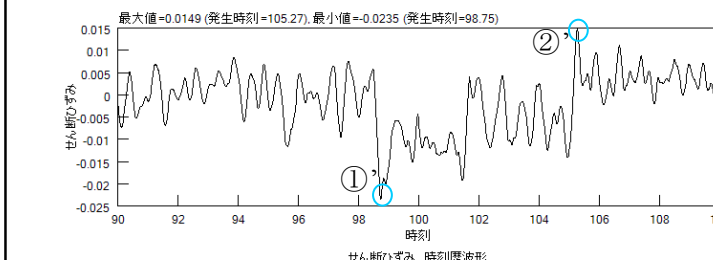
対策後 (埋設土: 砕石)



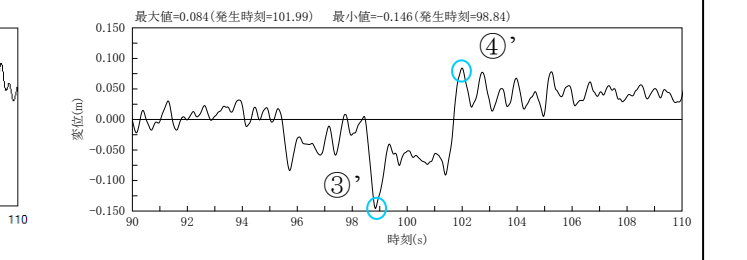
l. せん断ひずみ時刻歴 (代表要素 A) _0s-240s



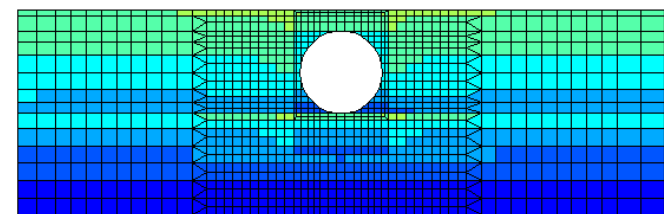
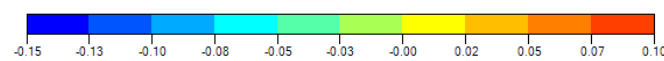
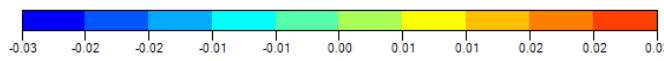
n. 変位時刻歴 (代表要素 A) _0s-240s



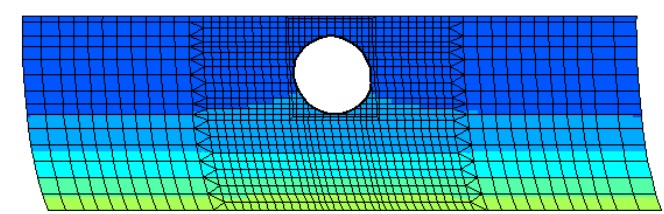
m. せん断ひずみ時刻歴 (代表要素 A) _90s-110s



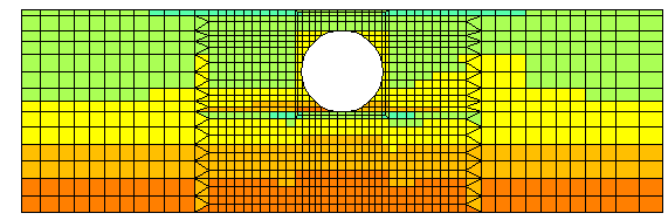
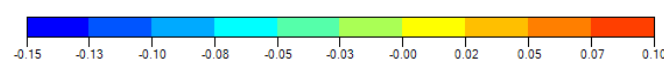
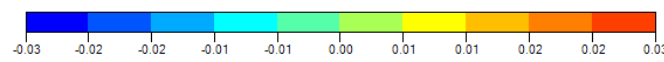
o. 変位時刻歴 (代表要素 A) _90s-110s



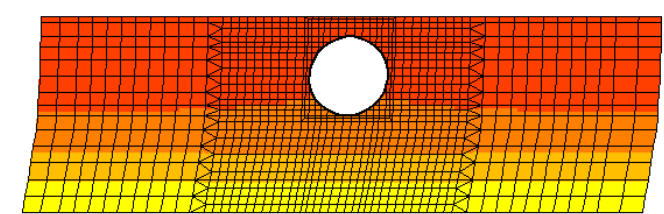
h. せん断ひずみコンター (時刻①)



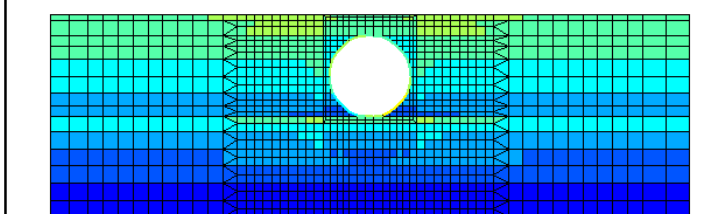
j. 変位コンター (時刻③) _スケールファクタ x5



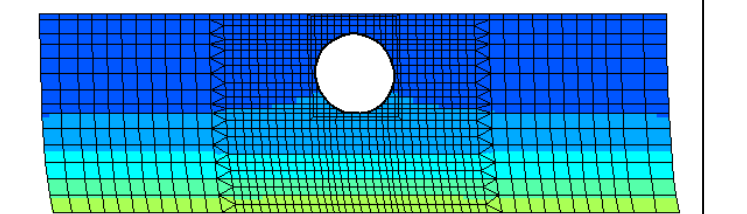
i. せん断ひずみコンター (時刻②)



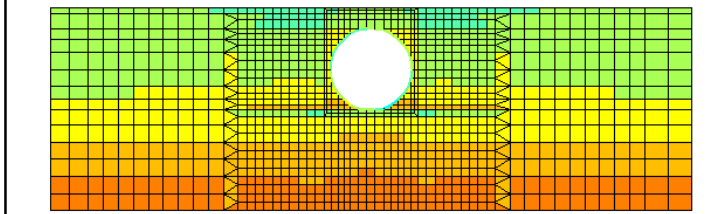
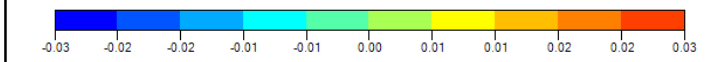
k. 変位コンター (時刻④) _スケールファクタ x5



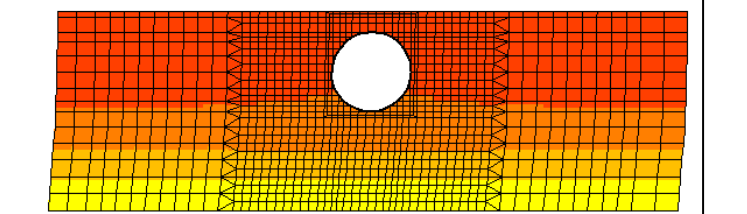
p. せん断ひずみコンター (時刻①')



r. 変位コンター (時刻③') _スケールファクタ x5



q. せん断ひずみコンター (時刻②')



s. 変位コンター (時刻④') _スケールファクタ x5

4. 実地盤を想定した場合の比較

4.1. 検討内容

埋設土に加え、周辺地盤も液状化するような地盤の場合に碎石を使用した場合の過剰間隙水圧比の低減効果について、一般的に用いられている埋設土と比較して検討する。解析モデルとしては、側面及び底面を粘性境界とする。解析に用いたメッシュ図を図 4-1 に示す。

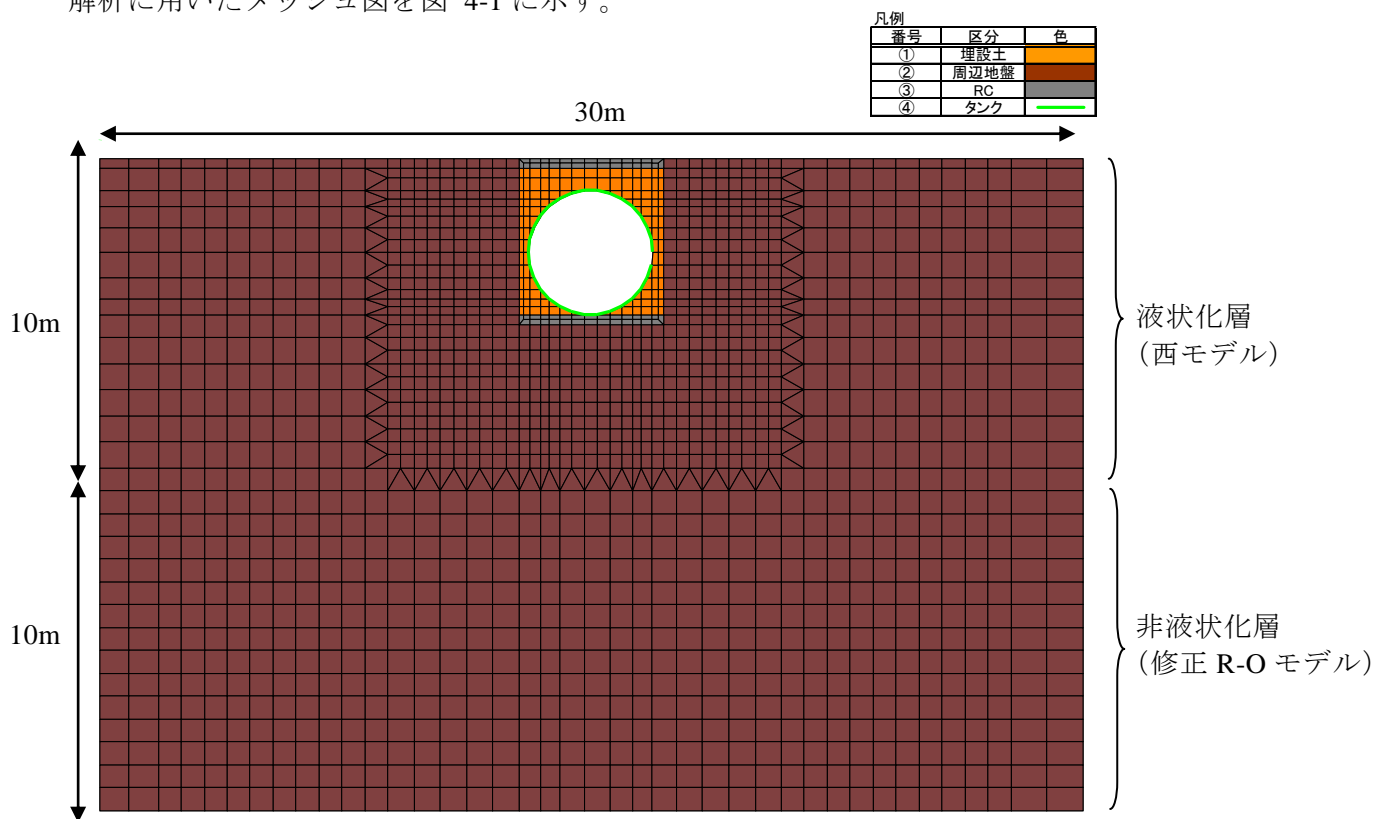


図 4-1 解析モデル図（検討 2）

表 4-1 物性値表（検討 2）

ケース	埋設土 or 周辺地盤	地盤番号	地盤種	液状化 考慮 有・無	N値	細粒分 含有率 [%]	水面以下 単位体積 重量 [tf/m ³]	水面上 単位体積 重量 [tf/m ³]	間隙比	透水係数 [cm/s]	せん断波速度 [m/s]	水面以下 せん断剛性 [tf/m ²]	水面上 せん断剛性 [tf/m ²]	水面以下 ポアソン比	水面上 ポアソン比	減衰定数 [%]	非線形特性
対策前	埋設土	①	砂	有	5	3%	1.95	1.75	0.85	1.5×10^{-2}	136.80	3721	3339	0.49	0.35	5	西モデル
	周辺地盤	②	砂	有	7	30%	1.95	1.75	0.5	1.5×10^{-2}	153.03	4657	4179	0.49	0.35	5	西モデル or 修正R-Oモデル
対策後	埋設土	①	碎石	有	40	0%	2.10	1.90	0.5	3.0×10^0	273.60	16029	14503	0.49	0.35	5	西モデル
	周辺地盤	②	砂	有	7	30%	1.95	1.75	0.5	1.5×10^{-2}	153.03	4657	4179	0.49	0.35	5	西モデル or 修正R-Oモデル

4.2. 検討結果

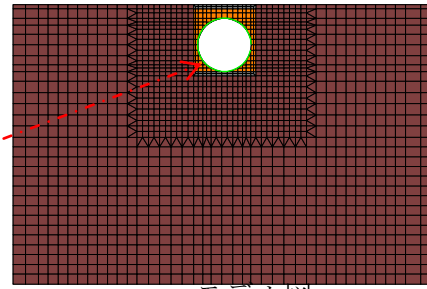
解析結果を次頁以降に示す。

対策前、後共に全体的にせん断ひずみが大きくなっており、タンクの下周辺でせん断ひずみは 5%程度である。

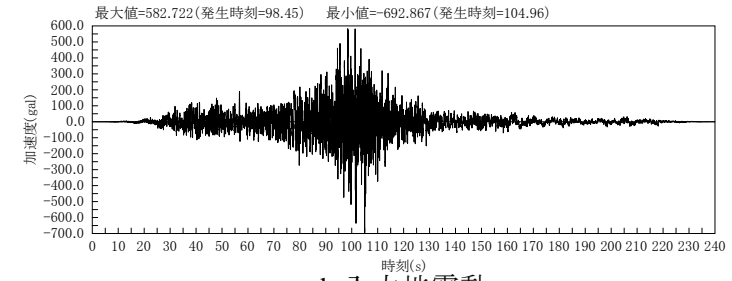
対策前は過剰間隙水圧比が周辺地盤、埋設土共に 0.9 に近い値となっており、広範囲に液状化している可能性が高い。対策後は周辺地盤の過剰間隙水圧比の増加は見られ液状化している可能性は高い。埋設土では多少の過剰間隙水圧比の増加が見られるが、液状化に至る程の過剰間隙水圧比の増加は見られない。

一 対策前と後の過剰間隙水圧比の比較（埋設土）

埋設土代表要素 A

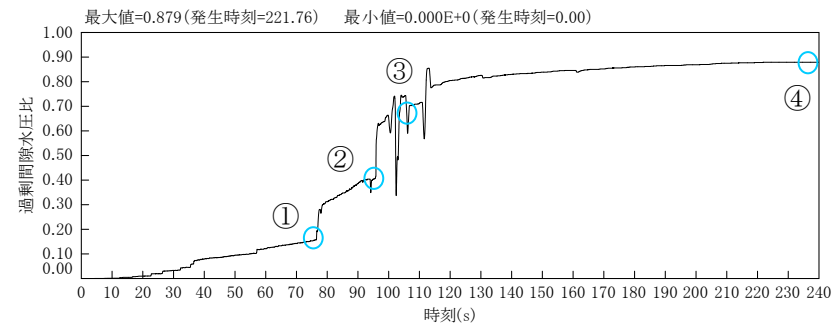


a. モデル図

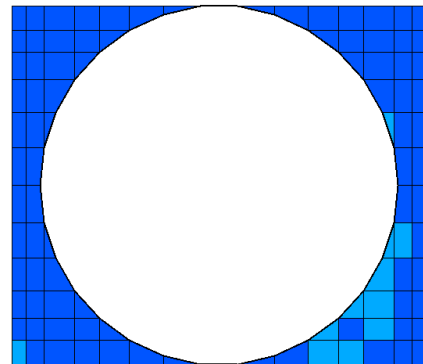
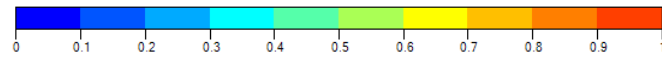


b. 入力地震動

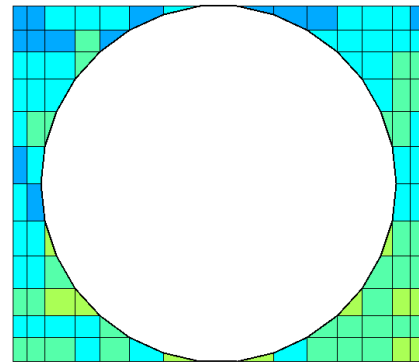
対策前（埋設土：砂）



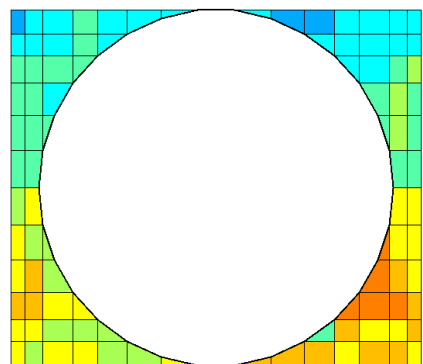
c. 過剰間隙水圧比時刻歴（代表要素 A）



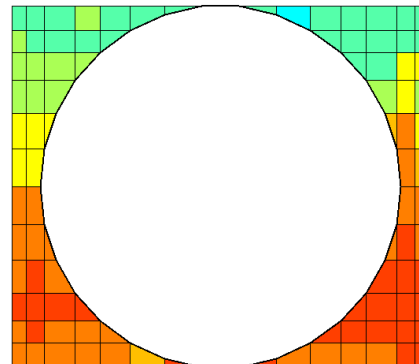
d. 過剰間隙水圧比コンター（時刻①）



e. 過剰間隙水圧比コンター（時刻②）

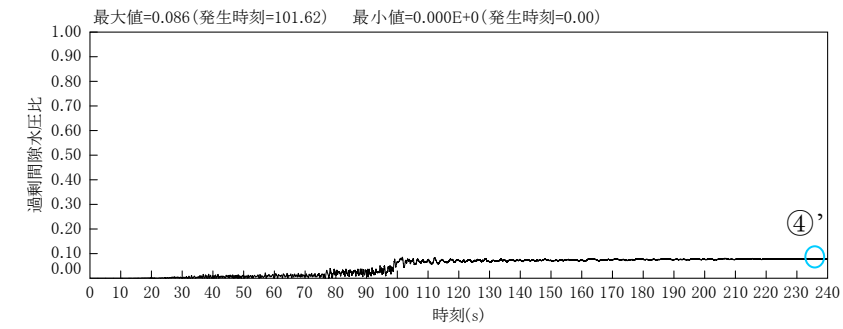


f. 過剰間隙水圧比コンター（時刻③）

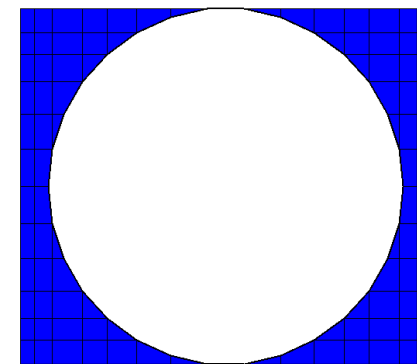
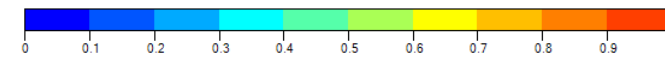


g. 過剰間隙水圧比コンター（時刻④）

対策後（埋設土：碎石）

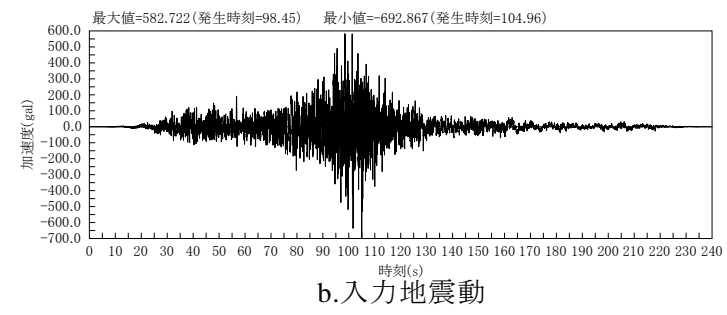
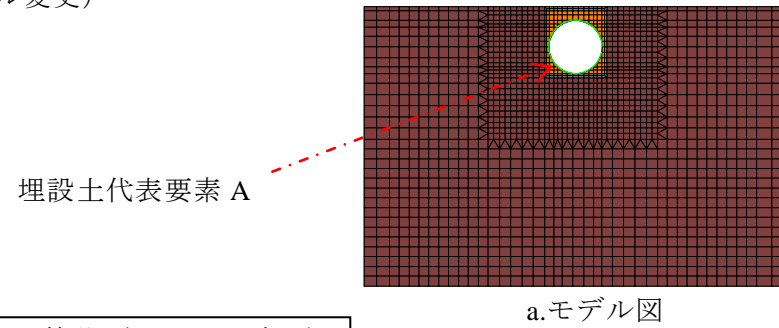


h. 過剰間隙水圧比時刻歴（代表要素 A）

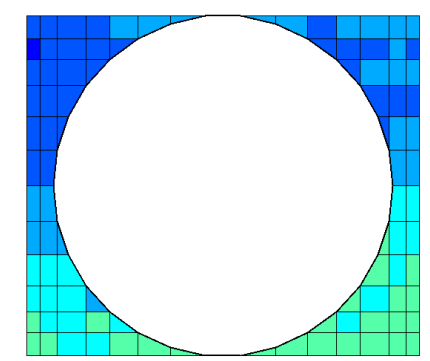
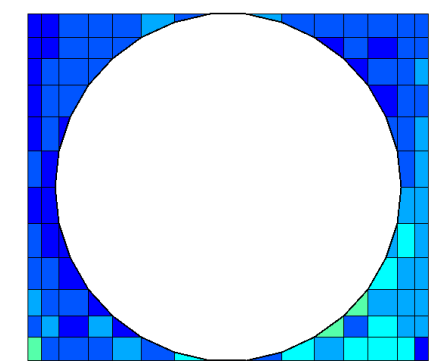
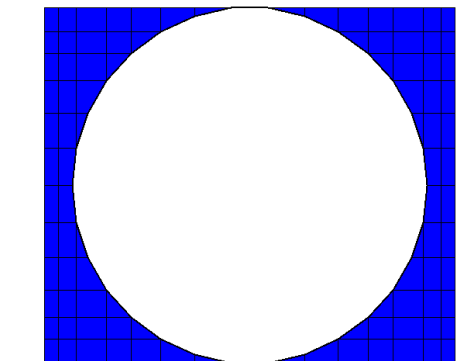
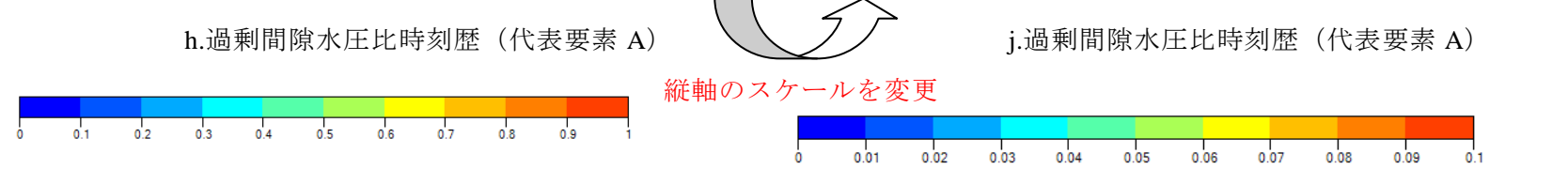
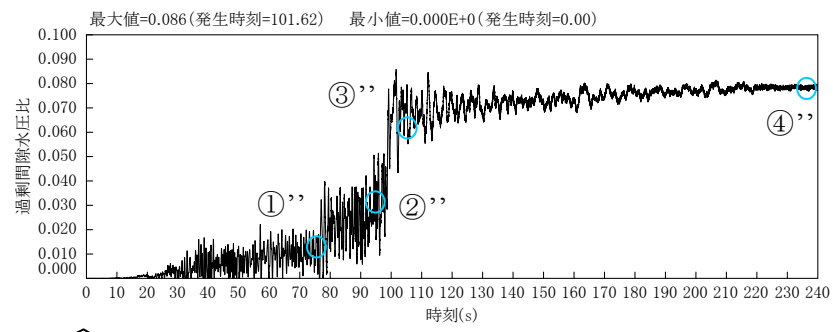
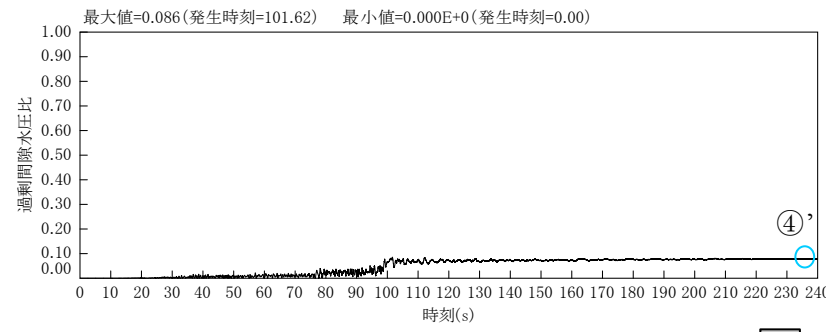


i. 過剰間隙水圧比コンター（時刻④'）

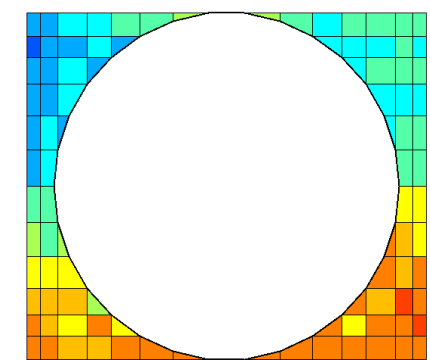
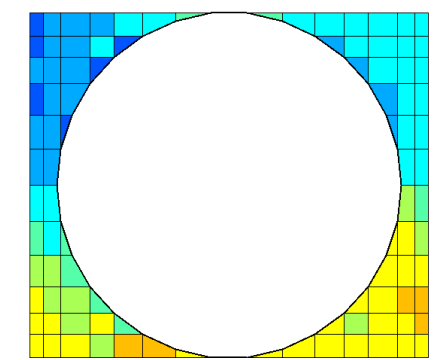
一対策後の過剰間隙水圧比（スケール変更）



対策後（埋設土：碎石）

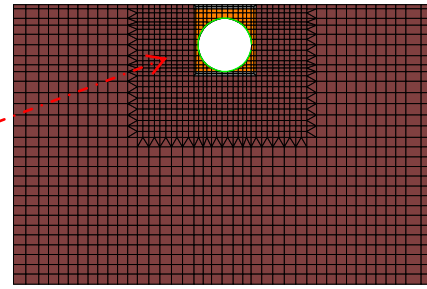


カラーバーのスケールを変更

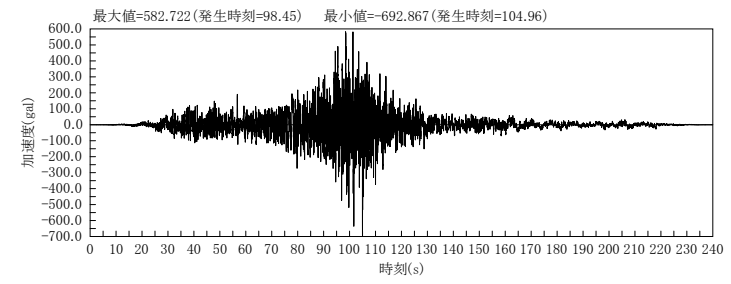


一対策前と後の過剰間隙水圧比の比較（周辺地盤）

周辺地盤代表要素 A

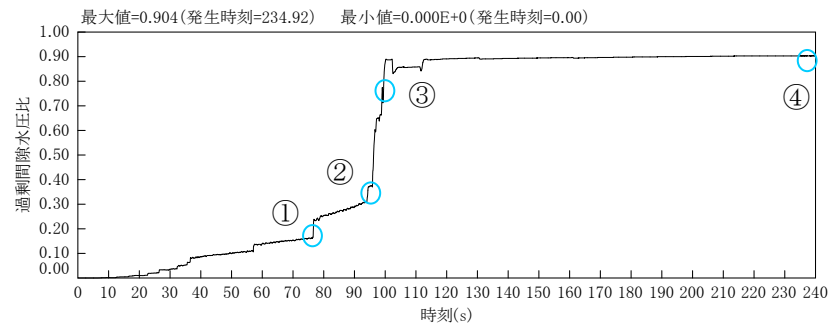


a.モデル図

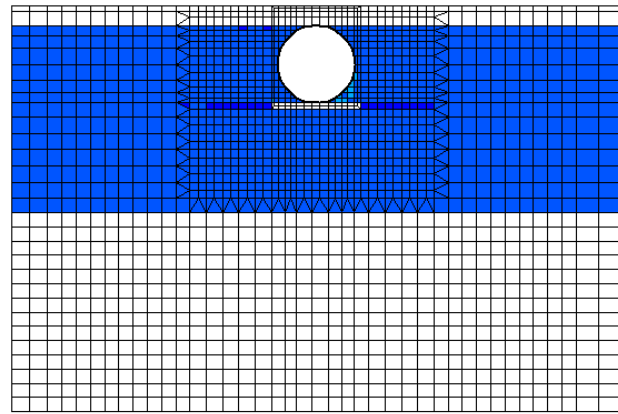
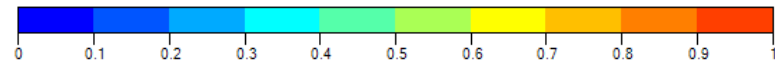


b.入力地震動

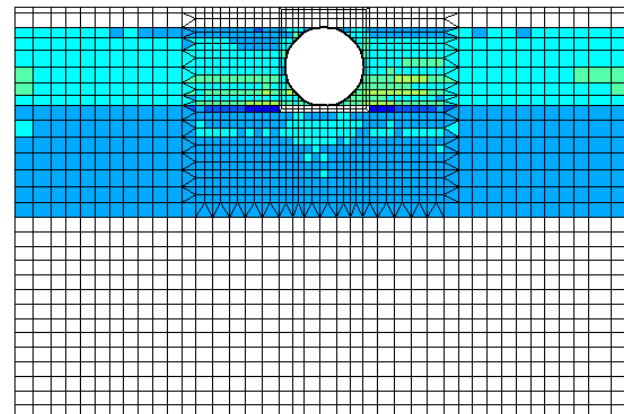
対策前（埋設土：砂）



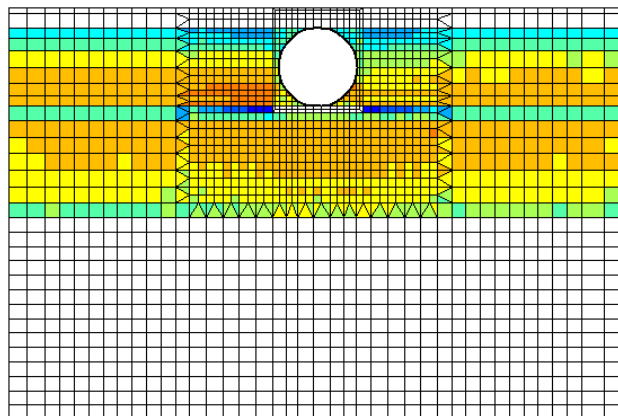
c.過剰間隙水圧比時刻歴（代表要素 A）



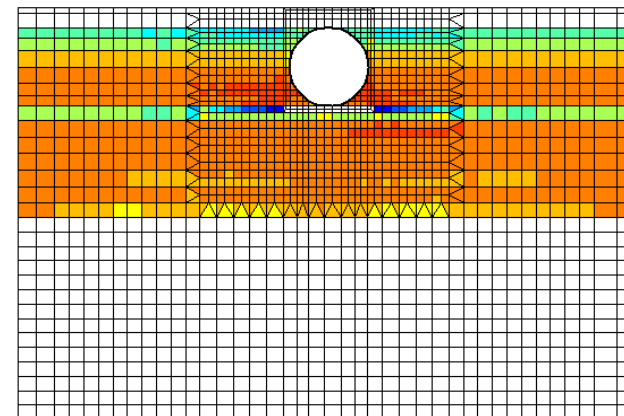
d.過剰間隙水圧比コンター（時刻①）



e.過剰間隙水圧比コンター（時刻②）

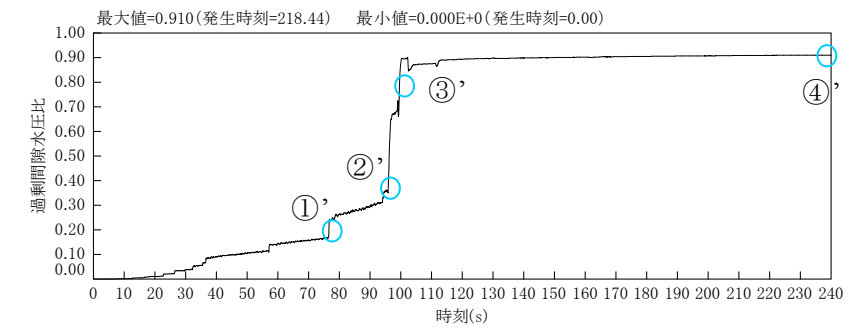


f.過剰間隙水圧比コンター（時刻③）

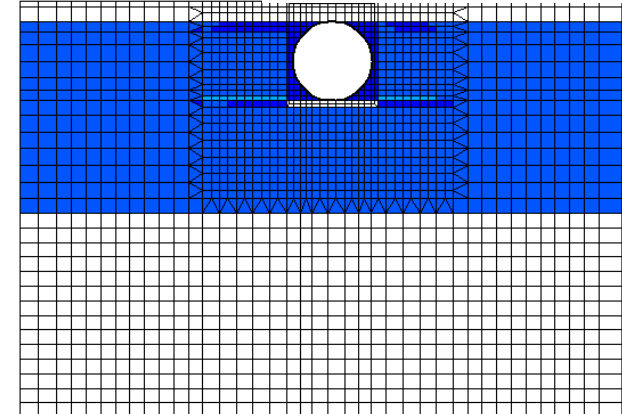
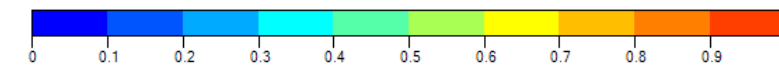


g.過剰間隙水圧比コンター（時刻④）

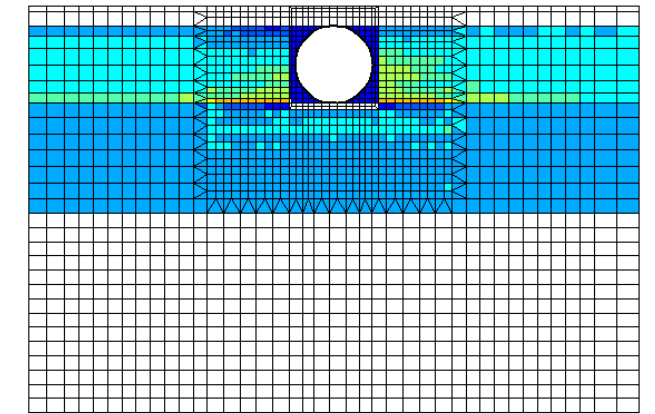
対策後（埋設土：砕石）



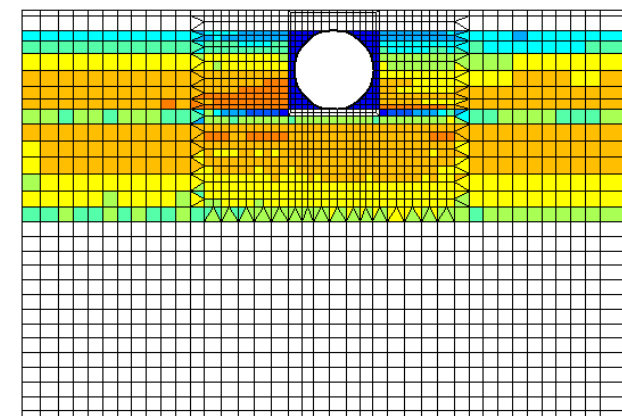
h.過剰間隙水圧比時刻歴（代表要素 A）



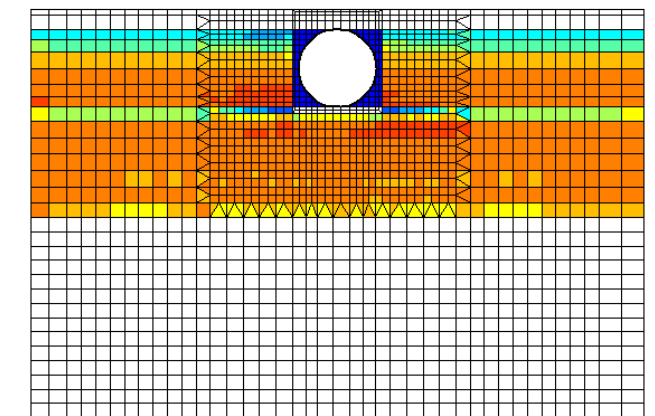
i.過剰間隙水圧比コンター（時刻①'）



j.過剰間隙水圧比コンター（時刻②'）

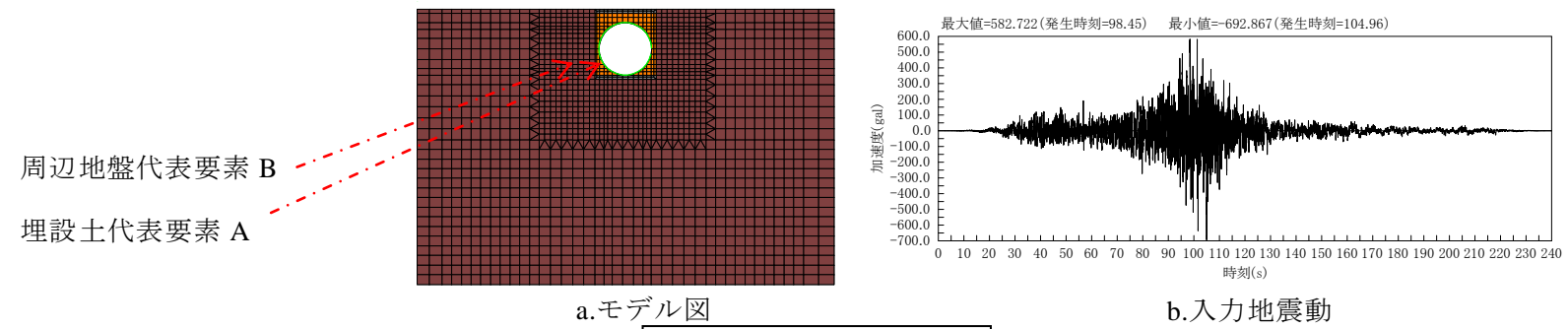


k.過剰間隙水圧比コンター（時刻③'）

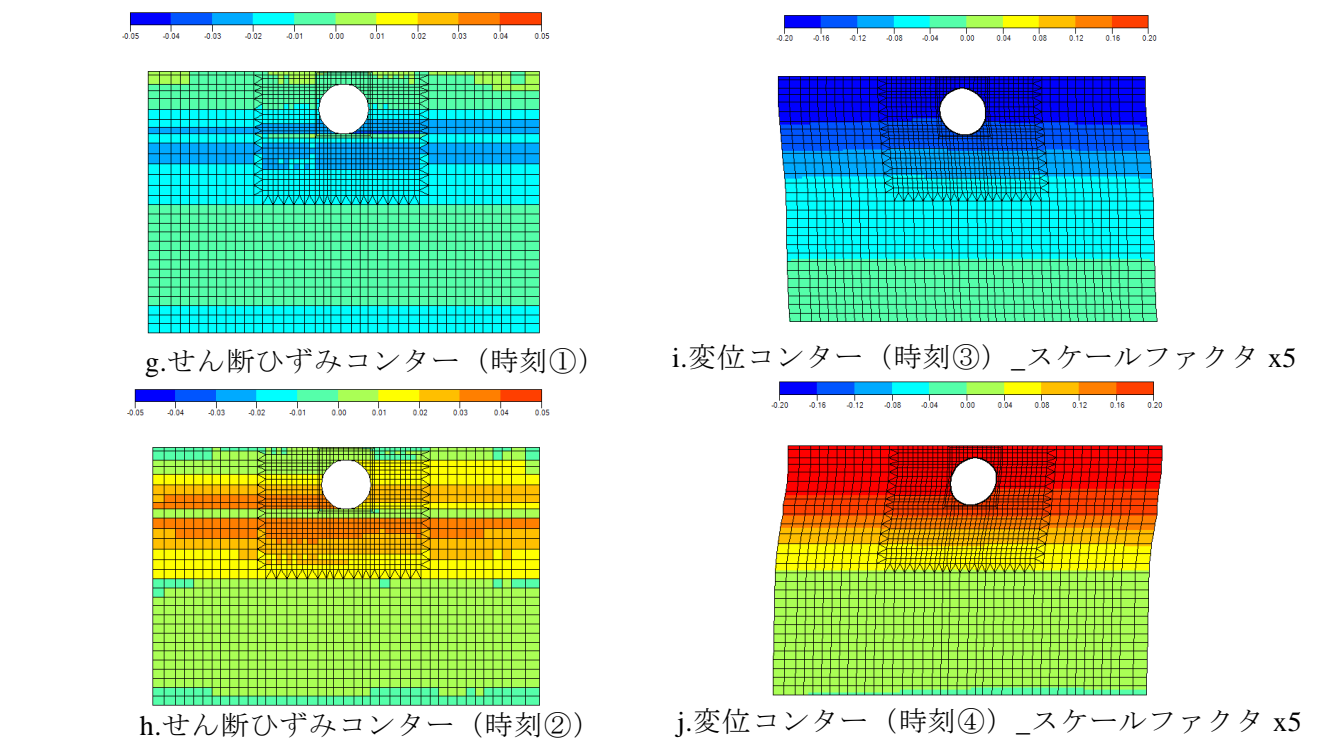
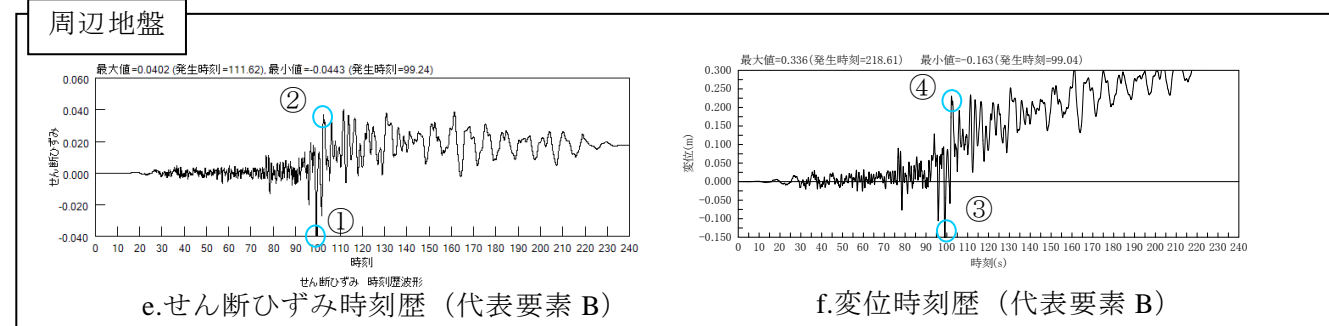
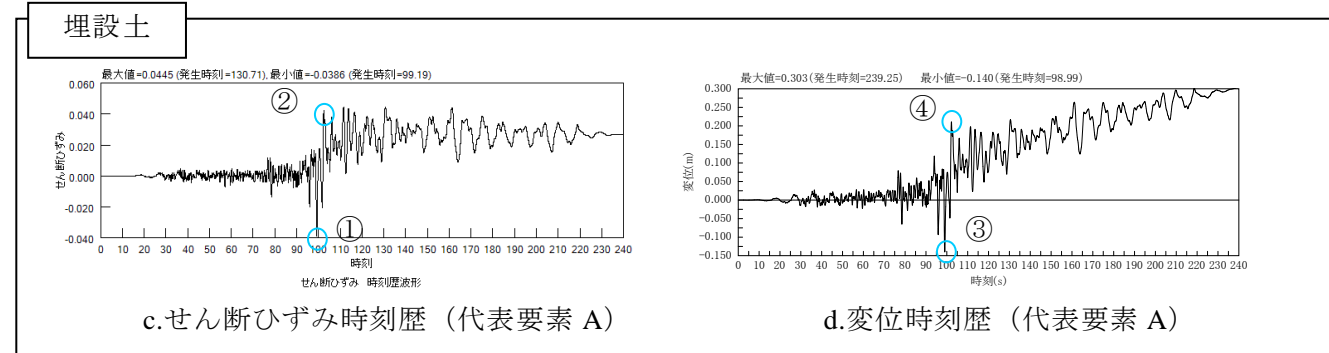


l.過剰間隙水圧比コンター（時刻④'）

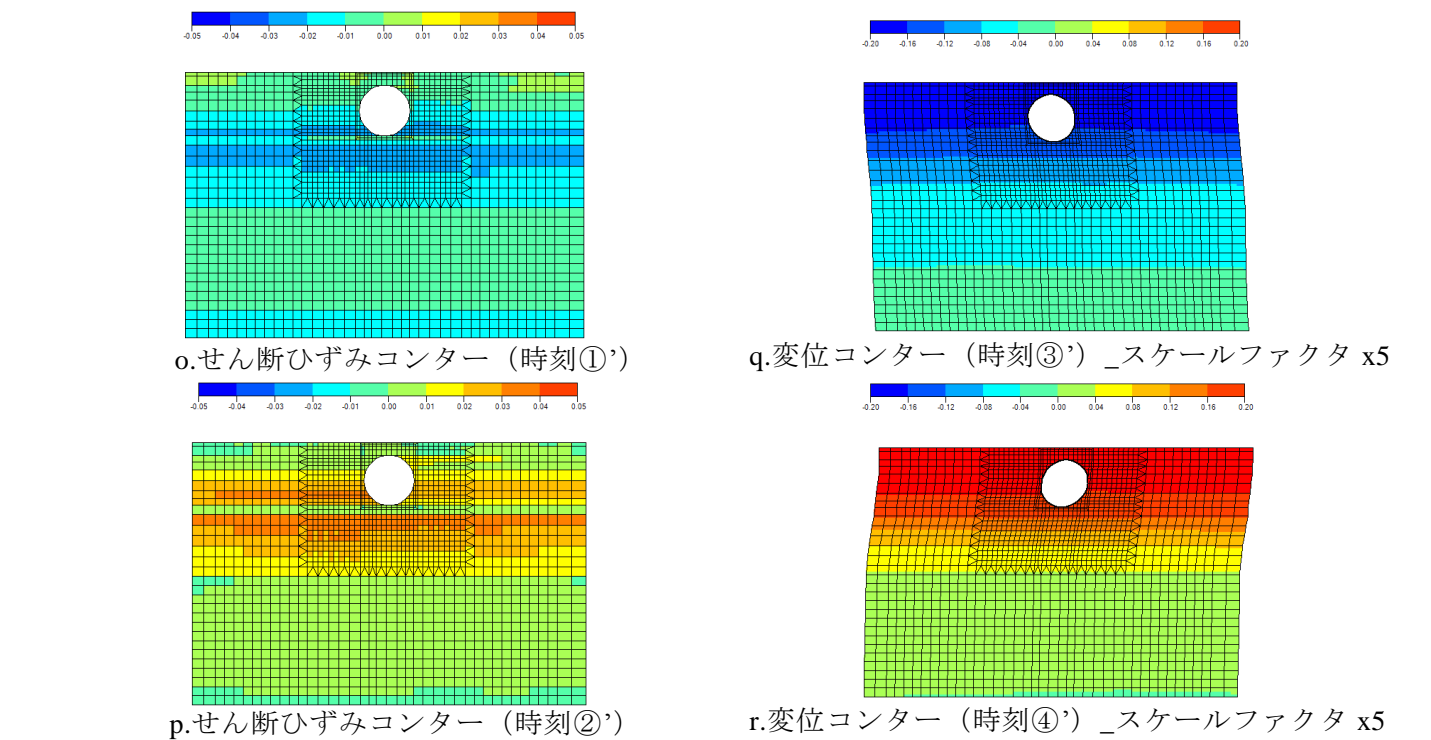
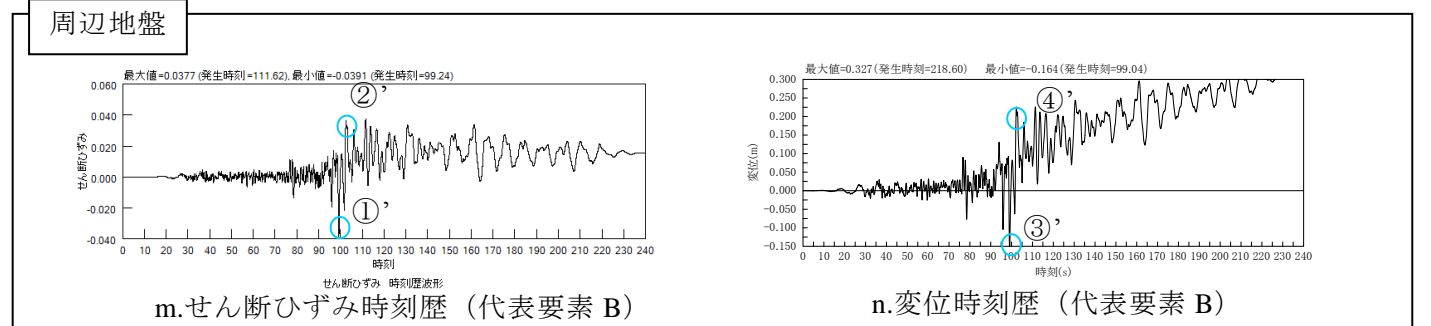
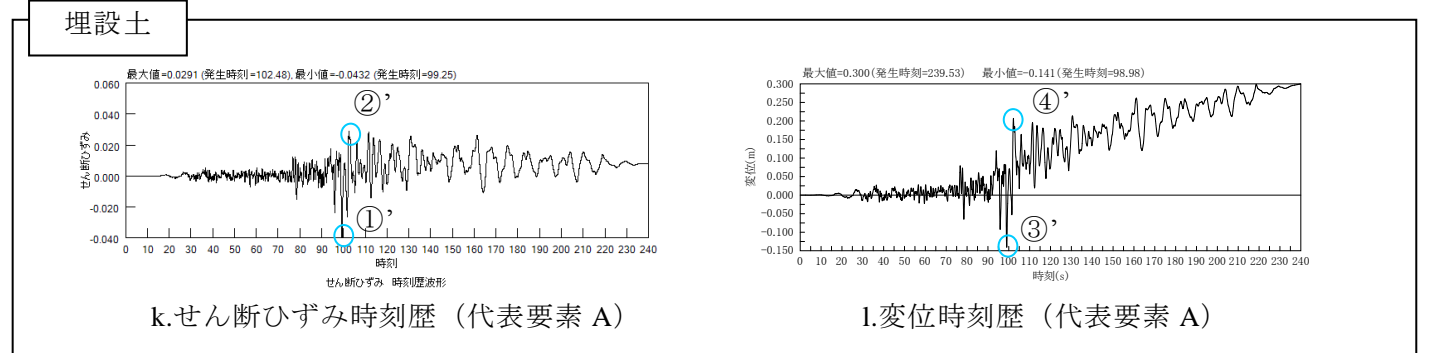
一対策前と後のせん断歪、変形の比較



対策前 (埋設土: 砂)



対策後 (埋設土: 砕石)



5. パラメータスタディ

5.1. 検討内容

前章までは、法令上の最低基準として埋戻し範囲(タンク端から埋戻し端までの距離)を0.3mで解析を実施したが、実際に150kLタンクを施工する場合の埋戻し範囲は図5-1のモデル図のとおり、スラブ径を考慮すると1m程度になると考えられる。

そこで、埋戻し範囲をタンク端からの距離1mとして解析を実施し、埋戻し範囲による影響について比較検討する。

解析モデルとしては、側面及び底面を粘性境界とする。

地下タンクのモデル図を図5-1に、解析に用いたメッシュ図を図5-2に示す。

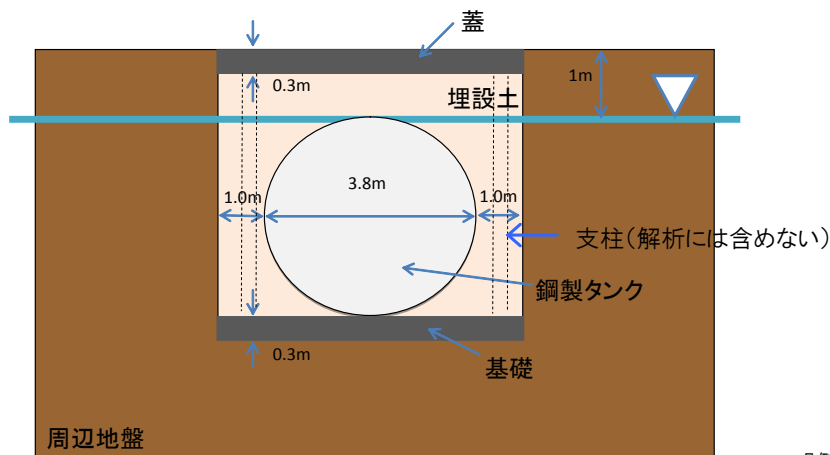


図 5-1 地下タンクモデル図 (パラメータスタディ)

凡例		
番号	区分	色
①	埋設土	茶色
②	周辺地盤	茶色
③	RC	灰色
④	タンク	緑色

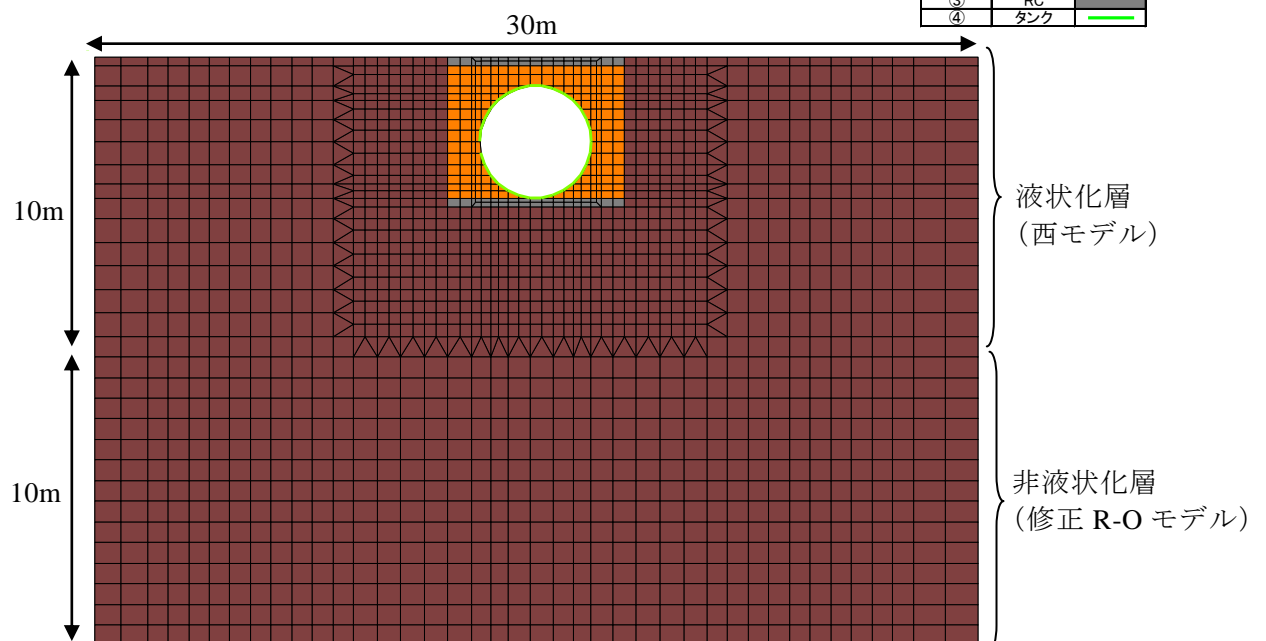


図 5-2 解析モデル図 (パラメータスタディ)

5.2. 検討結果

解析結果を次頁以降に示す。

対策前、対策後共にタンク下部周辺のせん断ひずみは 5%程度である。

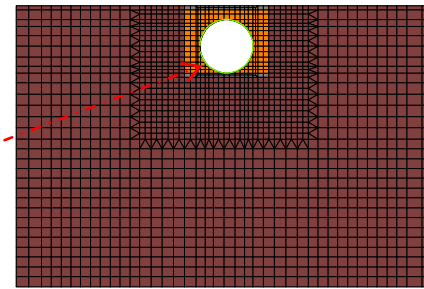
対策前は過剰間隙水圧比が周辺地盤、埋設土共に 0.9 に近い値となっており、広範囲に液状化している可能性が高い。対策後は周辺地盤の過剰間隙水圧比の増加は見られ液状化している可能性は高い。埋設土では多少の過剰間隙水圧比の増加は見られるが、液状化に至る程の過剰間隙水圧比の増加は見られない。

埋設土の幅が 0.3m の場合と 1.0m の場合を比較すると、代表要素の過剰間隙水圧比の時刻歴における主要動区間（80 秒~100 秒）で上昇の様子が多少異なり、埋設土の幅が 1.0m の方が早い段階で水圧比が上昇する。しかし、最終時刻での過剰間隙水圧比の値とコンターには大きな差は見られない。

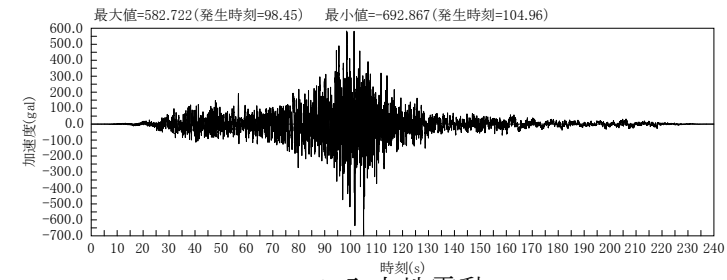
対策後に関しては、埋設土の過剰間隙水圧比の上昇傾向は 0.3m も 1.0m も同様に最大で 0.1 程度と大きな上昇は見られず、埋め戻しの範囲を広げた場合にも砕石工法の効果が期待出来ると考えられる。

ー対策前と後の過剰間隙水圧比の比較（埋設土）

埋設土代表要素 A

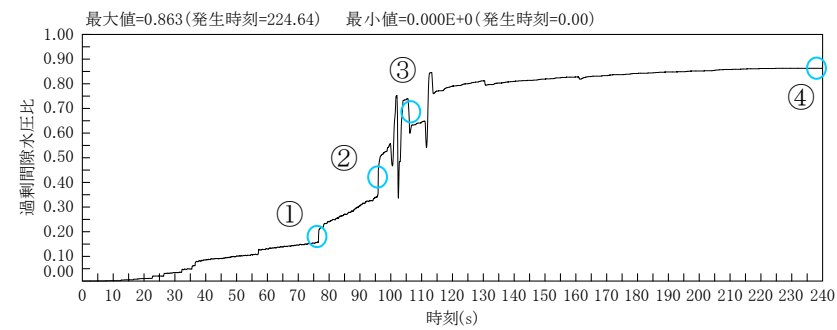


a.モデル図

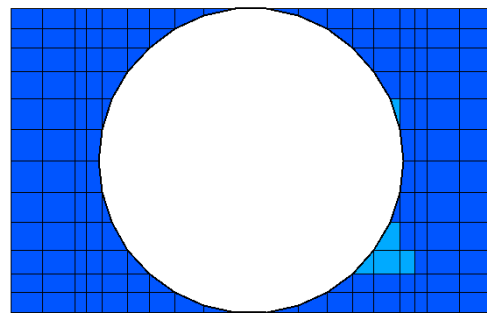
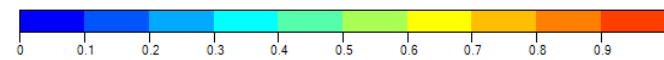


b.入力地震動

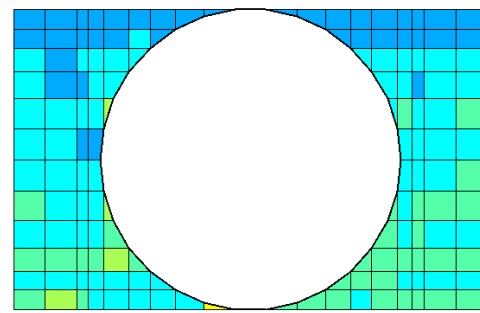
対策前（埋設土：砂）



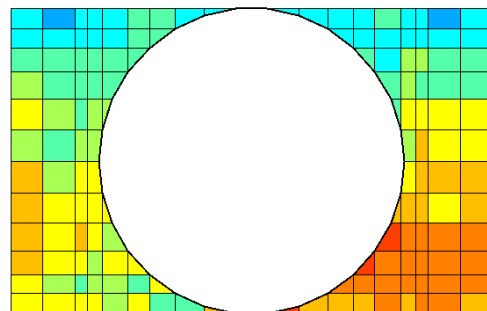
c.過剰間隙水圧比時刻歴（代表要素 A）



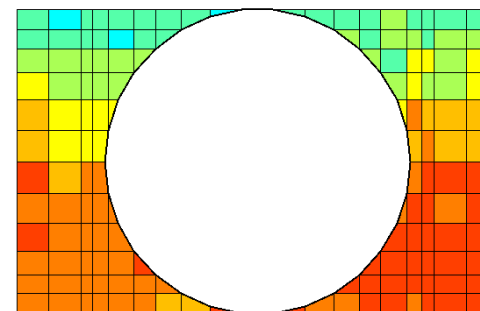
d.過剰間隙水圧比コンター（時刻①）



e.過剰間隙水圧比コンター（時刻②）

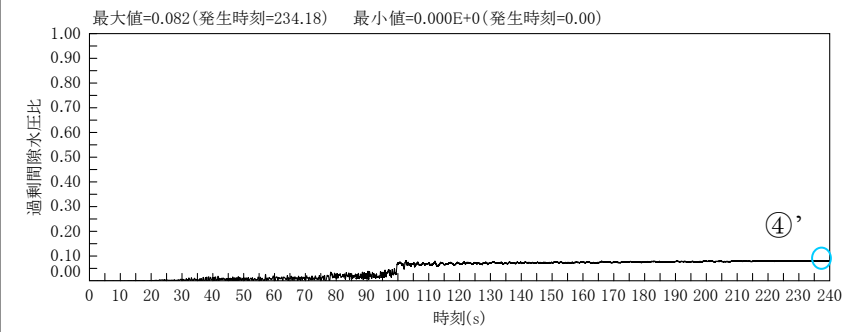


f.過剰間隙水圧比コンター（時刻③）

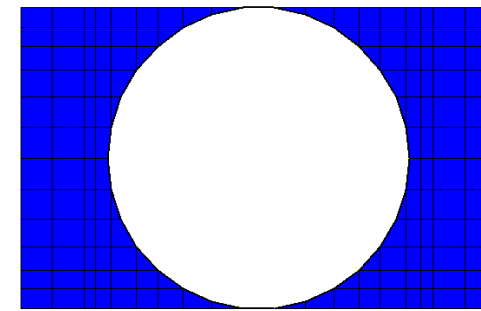
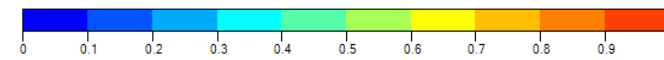


g.過剰間隙水圧比コンター（時刻④）

対策後（埋設土：碎石）

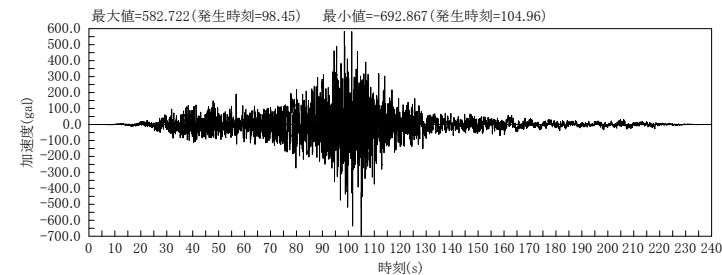
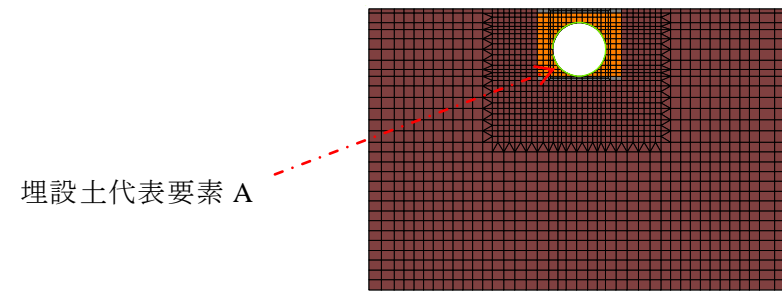


h.過剰間隙水圧比時刻歴（代表要素 A）

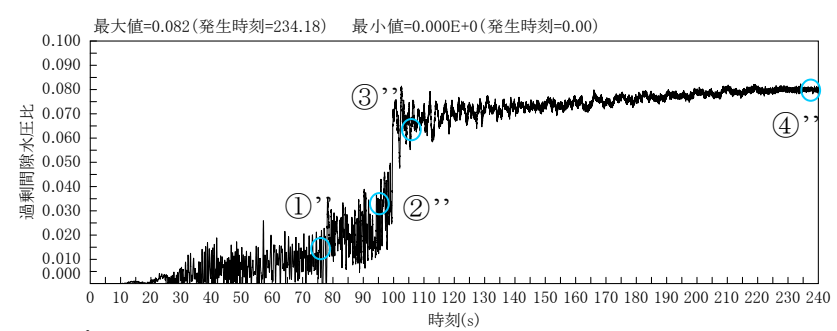
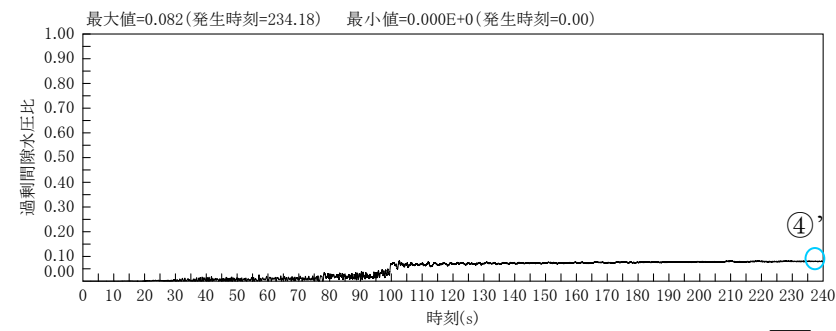


i.過剰間隙水圧比コンター（時刻④'）

対策後の過剰間隙水圧比（スケール変更）



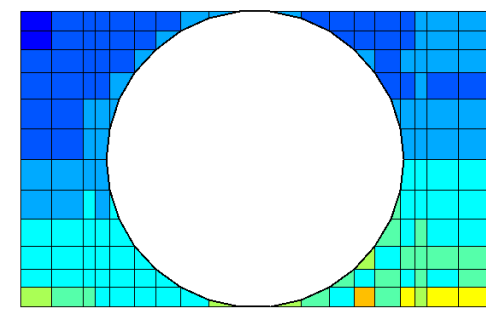
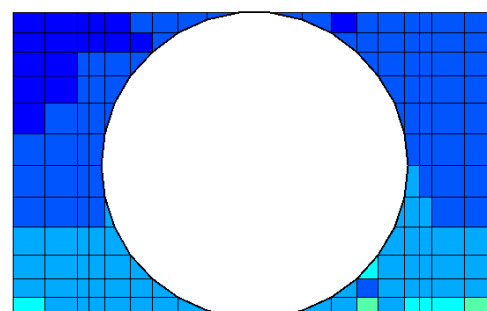
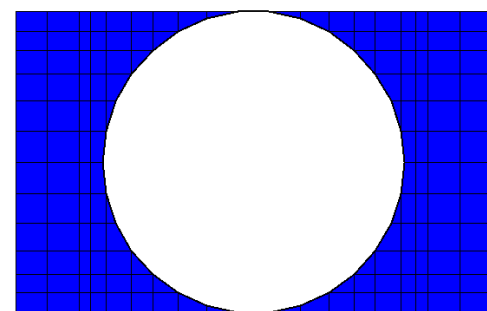
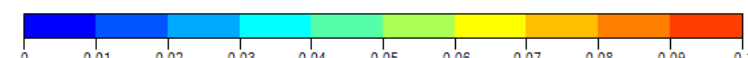
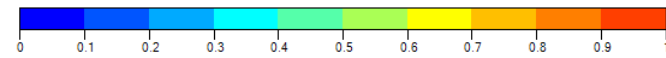
対策後（埋設土：碎石）



h.過剰間隙水圧比時刻歴（代表要素 A）

j.過剰間隙水圧比時刻歴（代表要素 A）

縦軸のスケールを変更

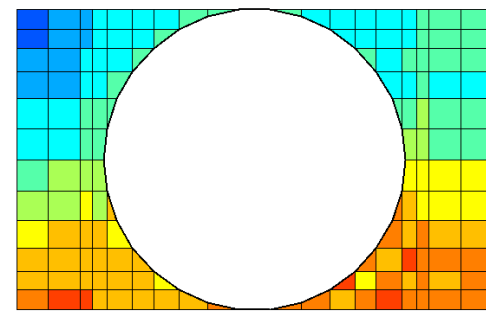
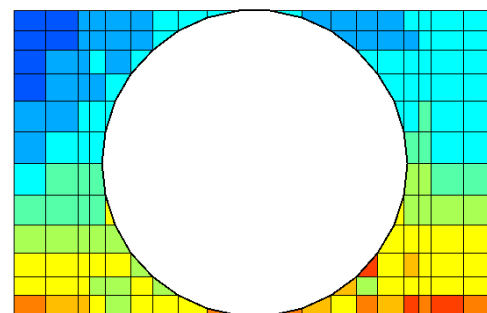


i.過剰間隙水圧比コンター（時刻④'）

k.過剰間隙水圧比コンター（時刻①''）

l.過剰間隙水圧比コンター（時刻②''）

カラーバーのスケールを変更

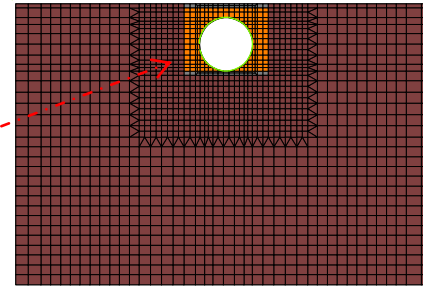


m.過剰間隙水圧比コンター（時刻③''）

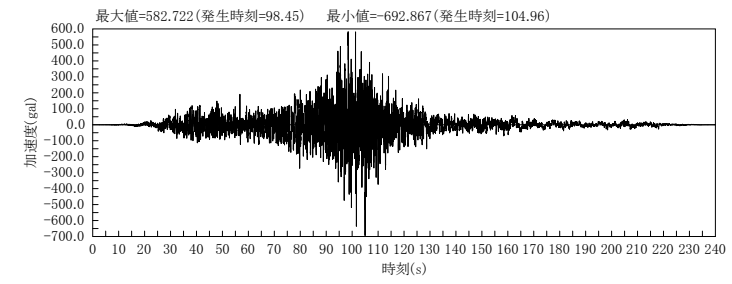
n.過剰間隙水圧比コンター（時刻④''）

対策前と後の過剰間隙水圧比の比較（周辺地盤）

周辺地盤代表要素 A

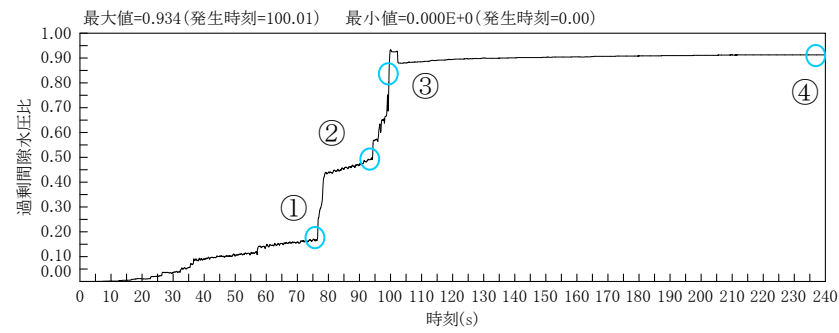


a. モデル図

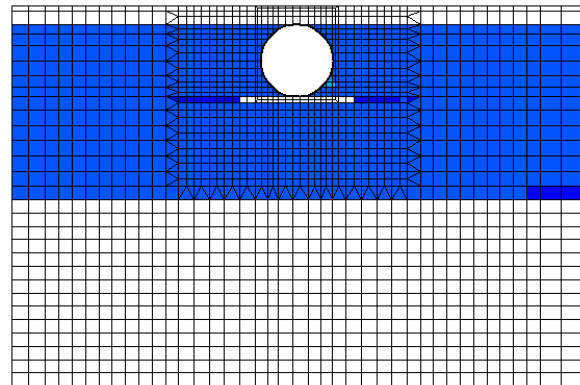
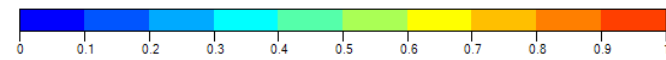


b. 入力地震動

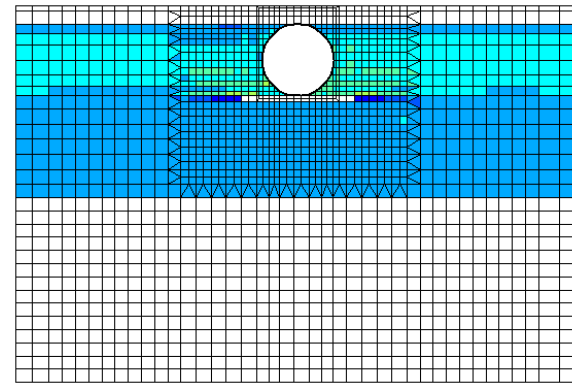
対策前（埋設土：砂）



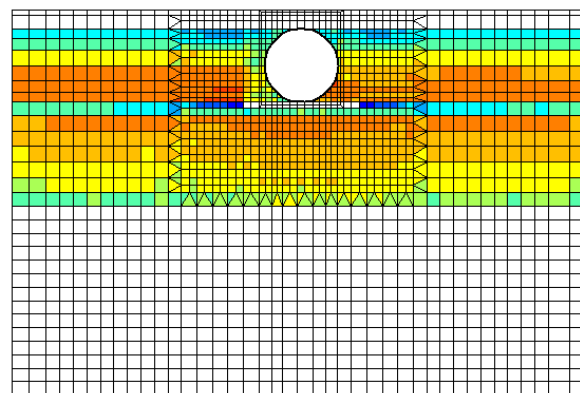
c. 過剰間隙水圧比時刻歴（代表要素 A）



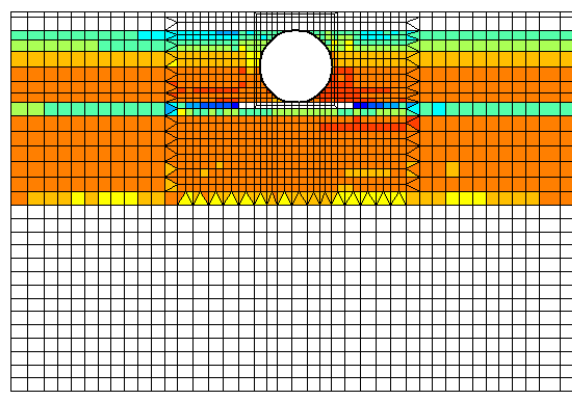
d. 過剰間隙水圧比コンター（時刻①）



e. 過剰間隙水圧比コンター（時刻②）

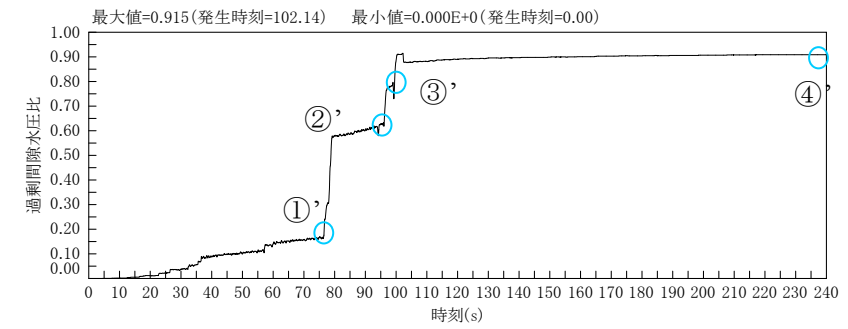


f. 過剰間隙水圧比コンター（時刻③）

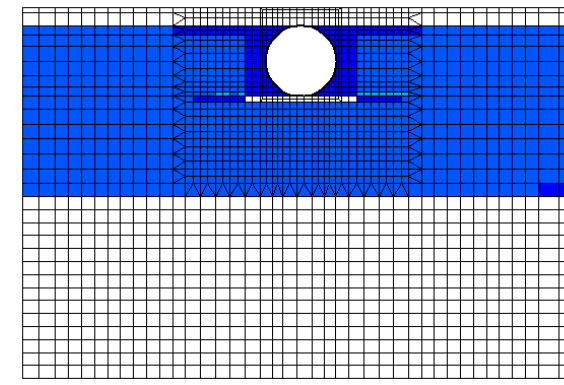
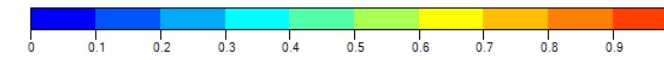


g. 過剰間隙水圧比コンター（時刻④）

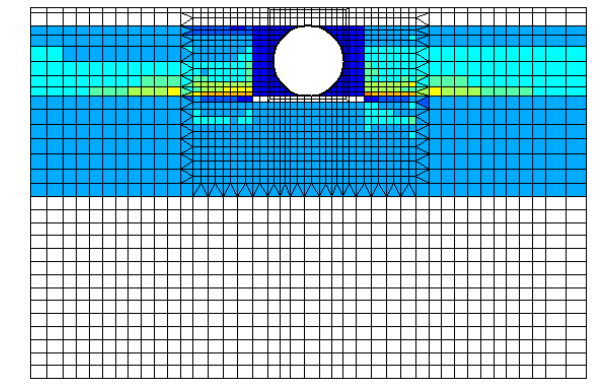
対策後（埋設土：砕石）



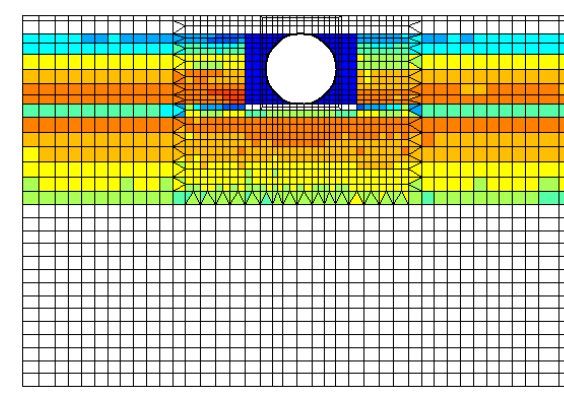
h. 過剰間隙水圧比時刻歴（代表要素 A）



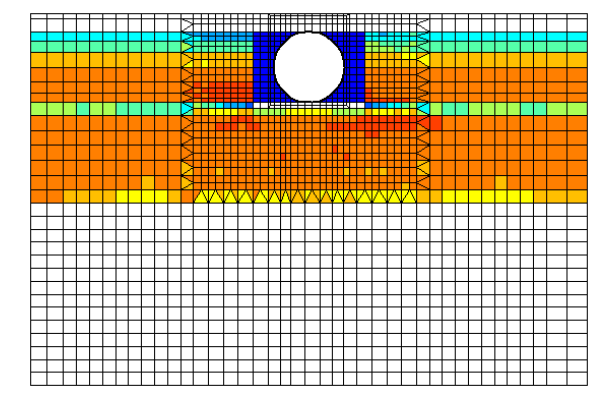
i. 過剰間隙水圧比コンター（時刻①'）



j. 過剰間隙水圧比コンター（時刻②'）

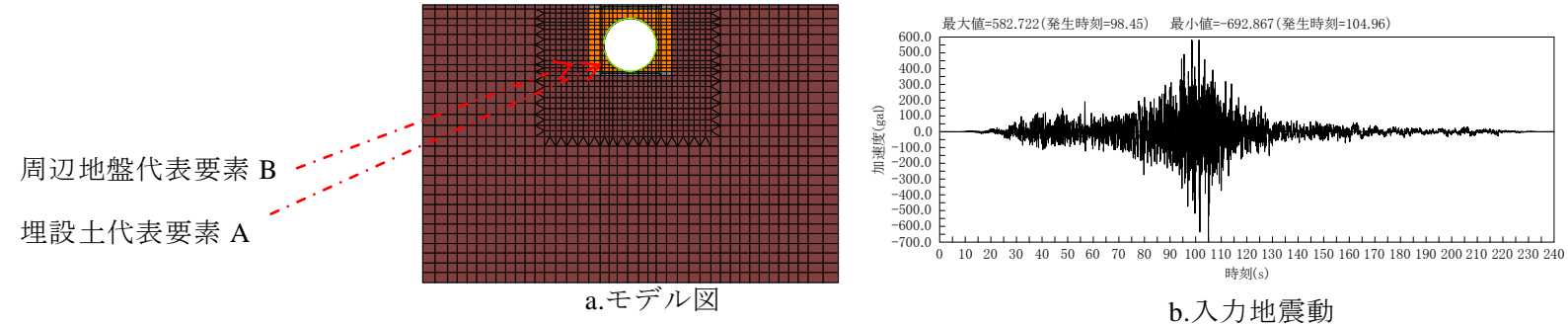


k. 過剰間隙水圧比コンター（時刻③'）



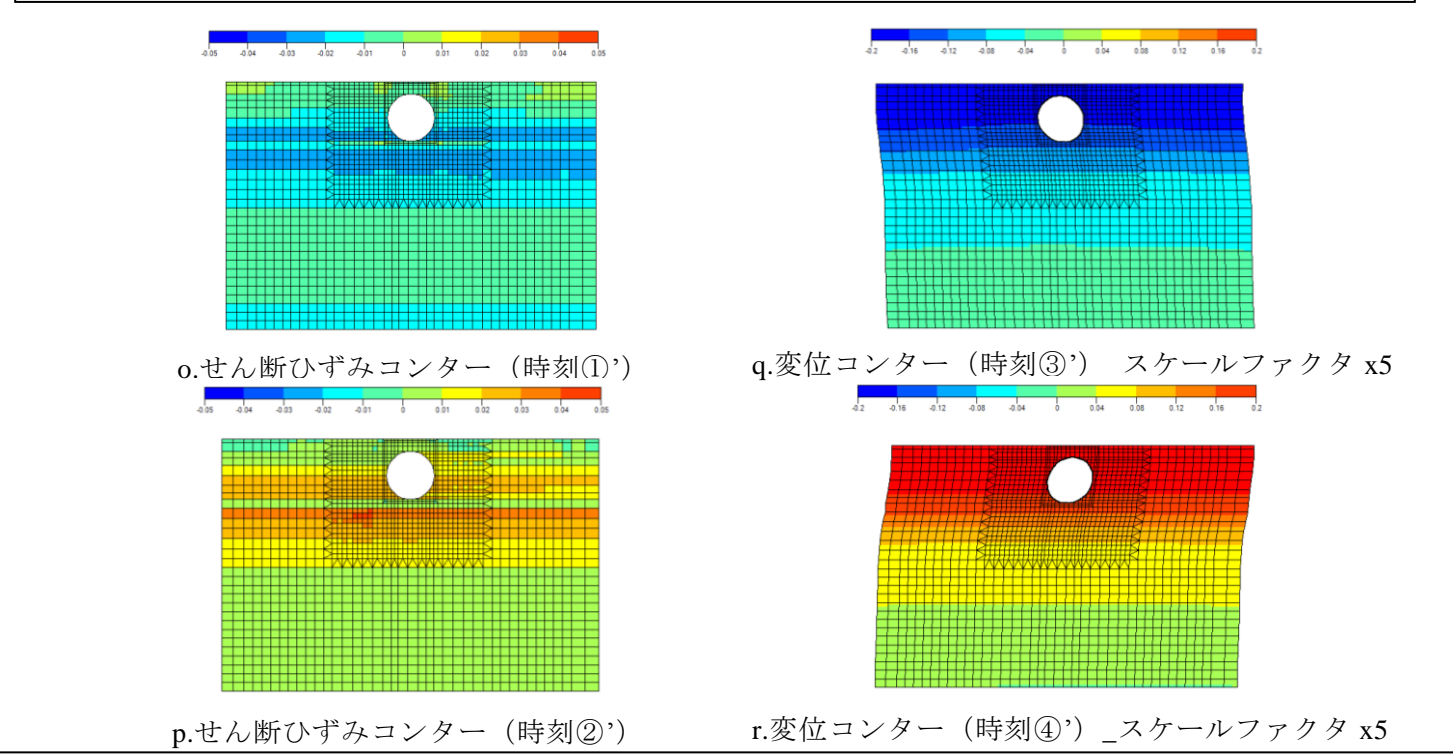
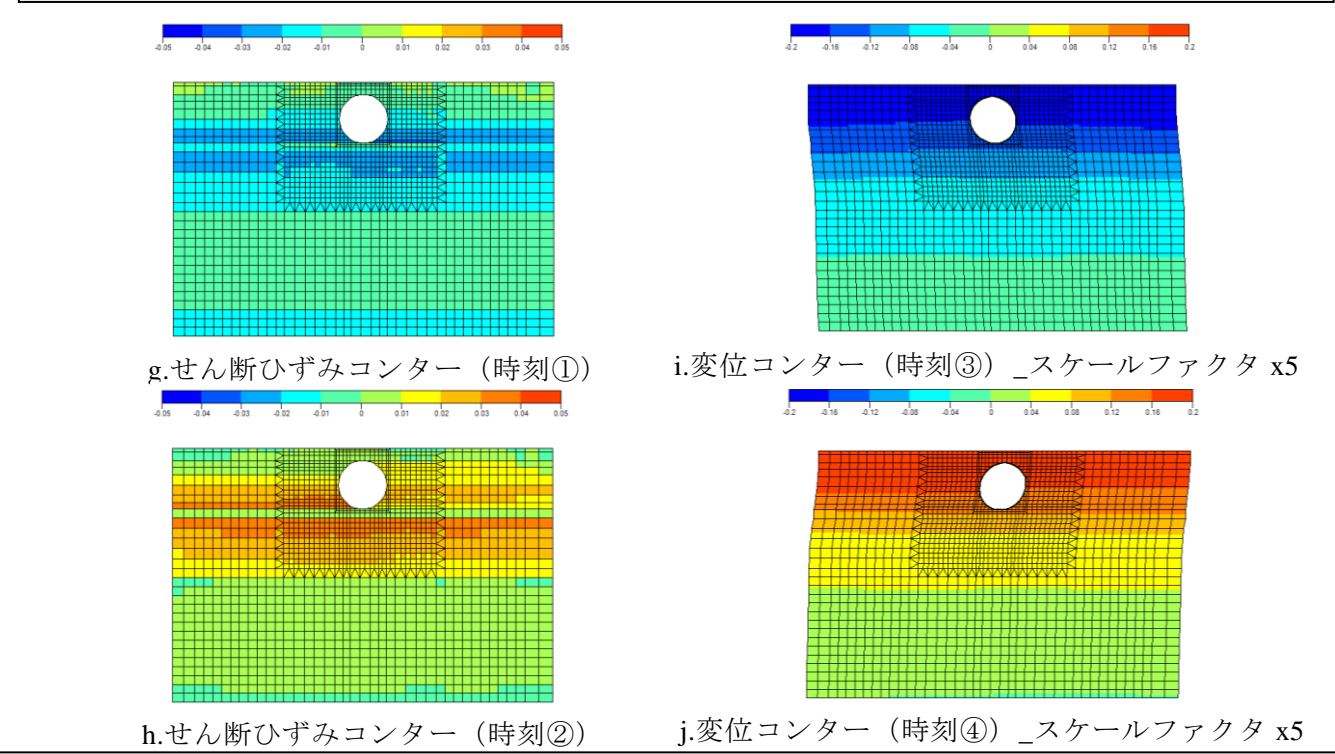
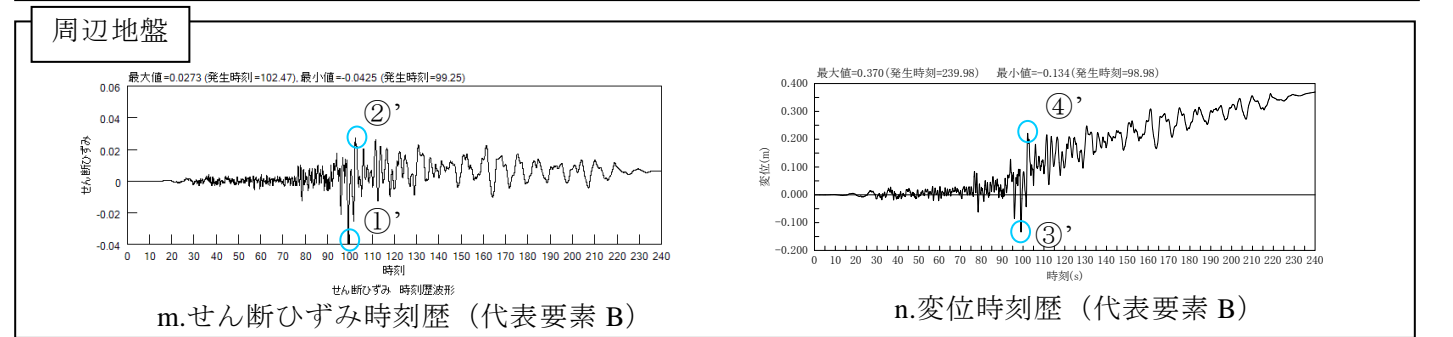
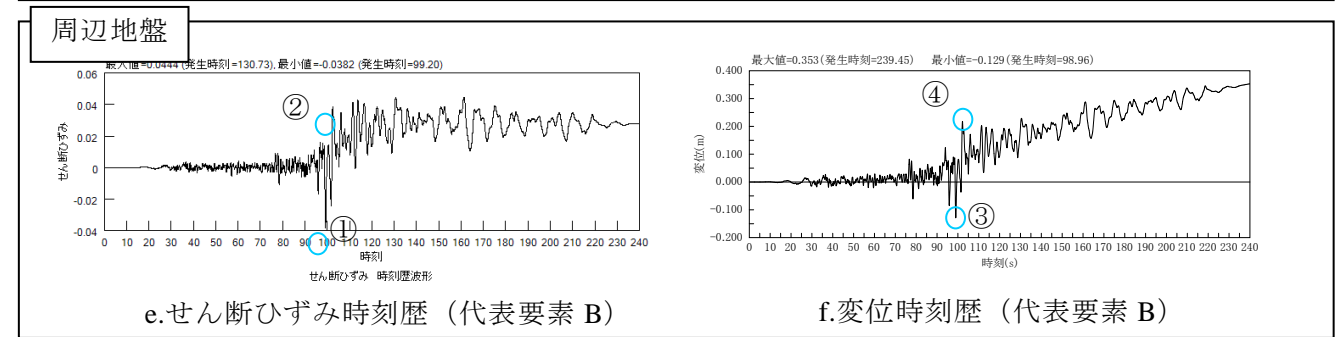
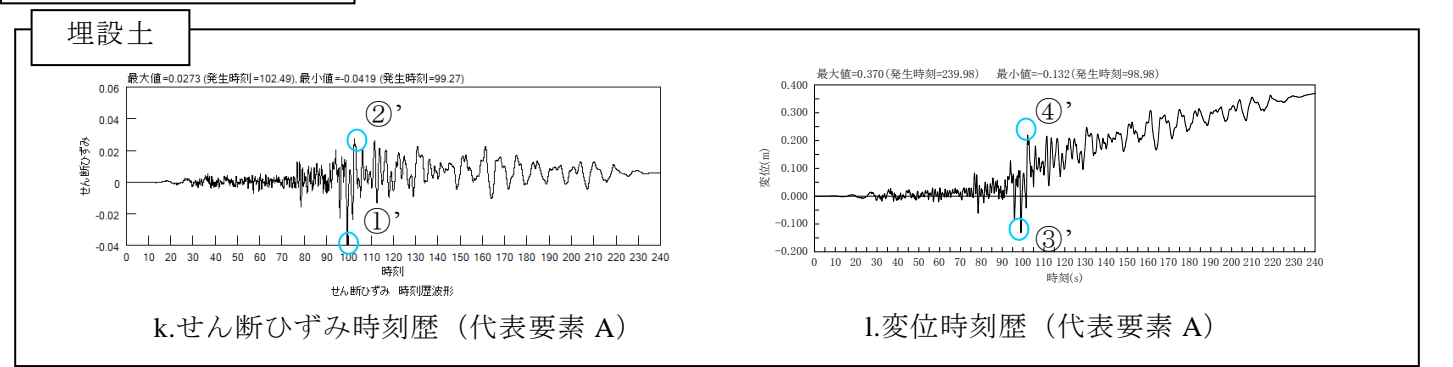
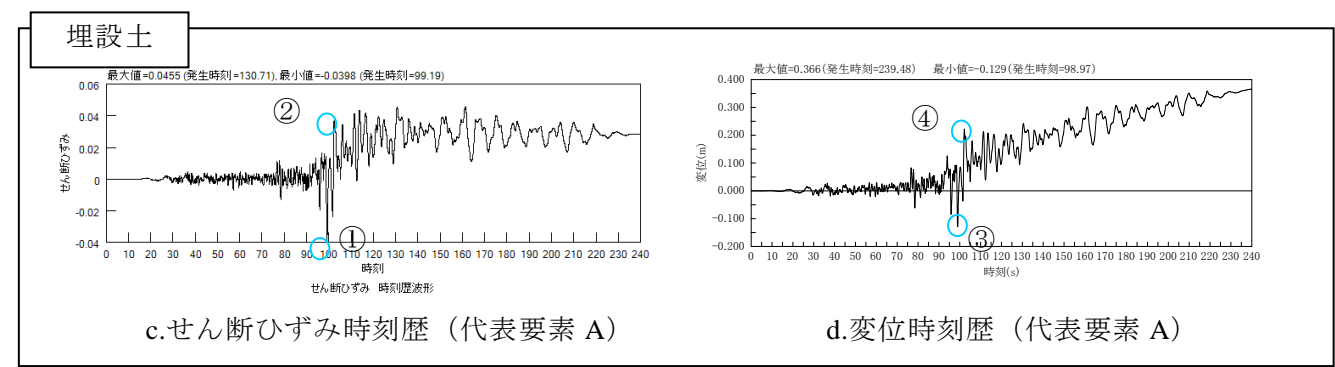
l. 過剰間隙水圧比コンター（時刻④'）

一対策前と後のせん断歪、変形の比較

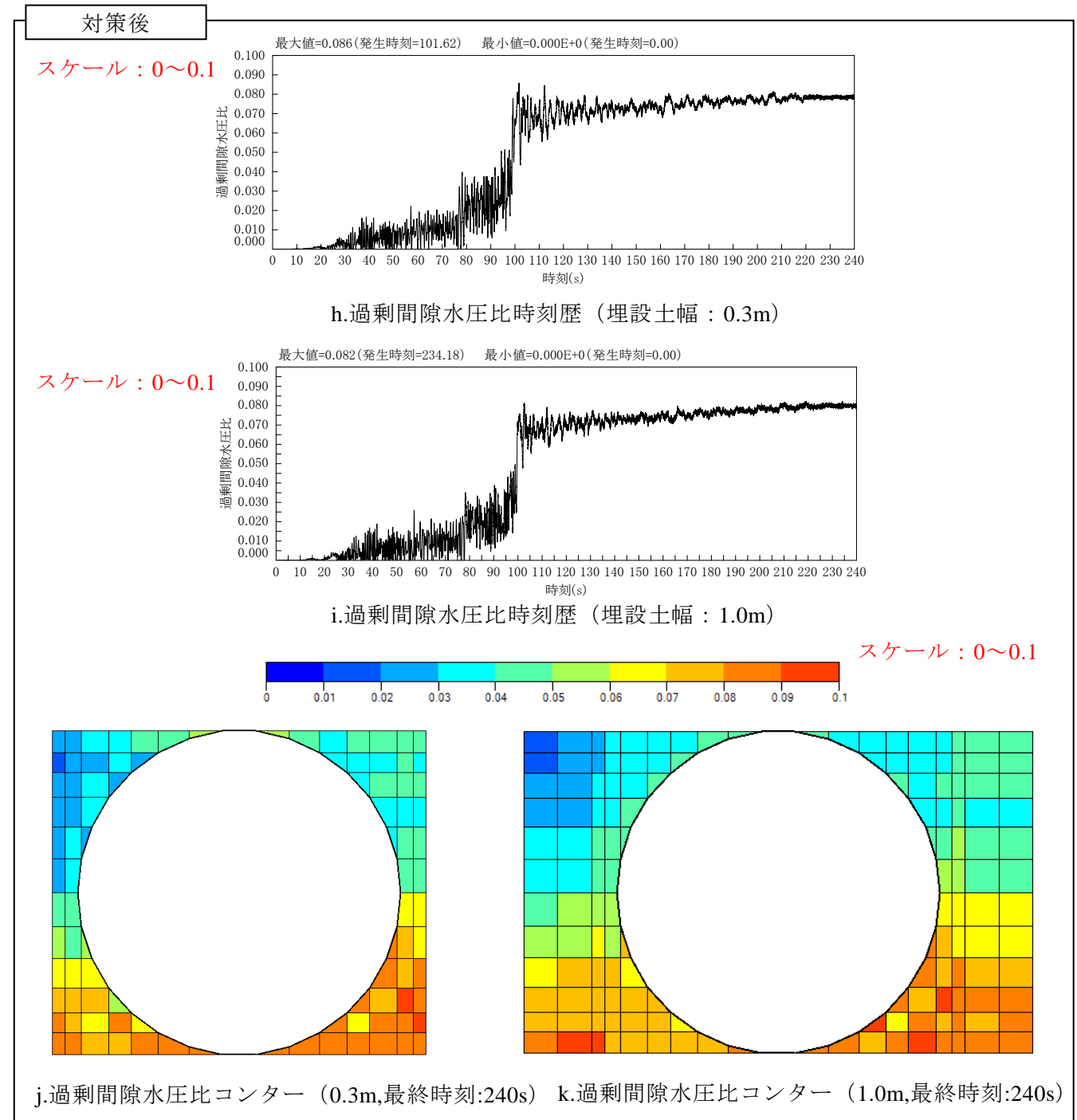
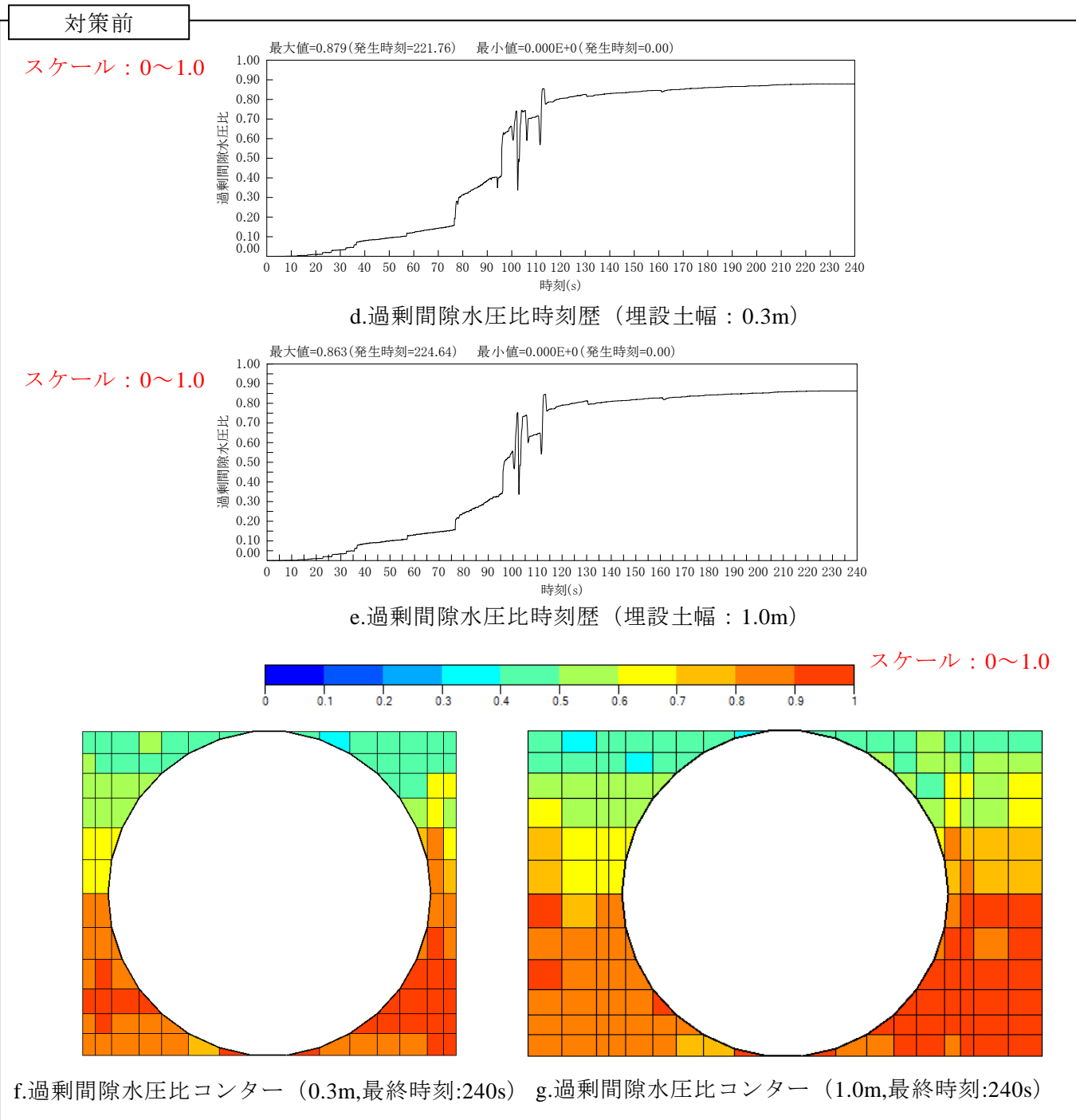
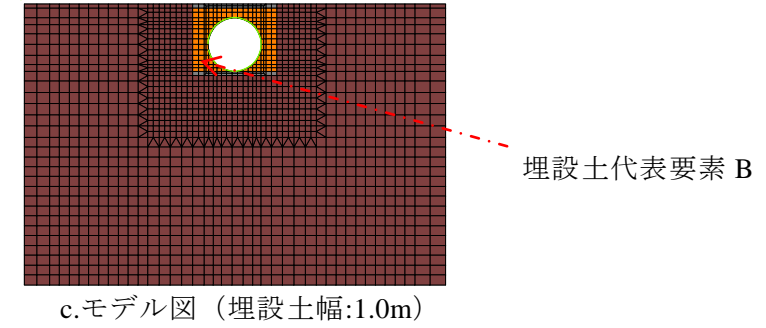
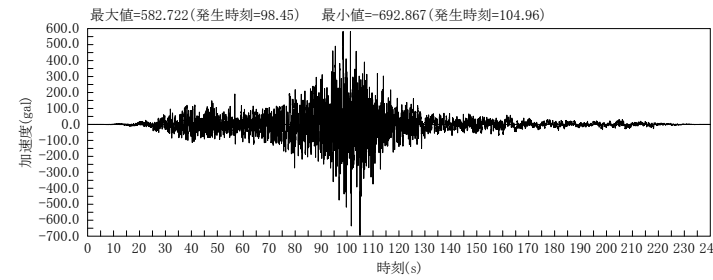
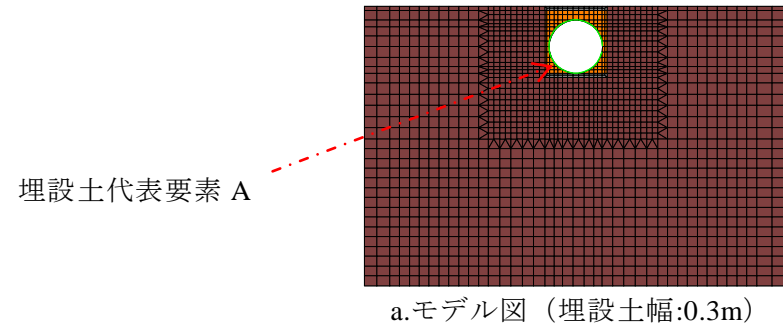


対策前 (埋設土：砂)

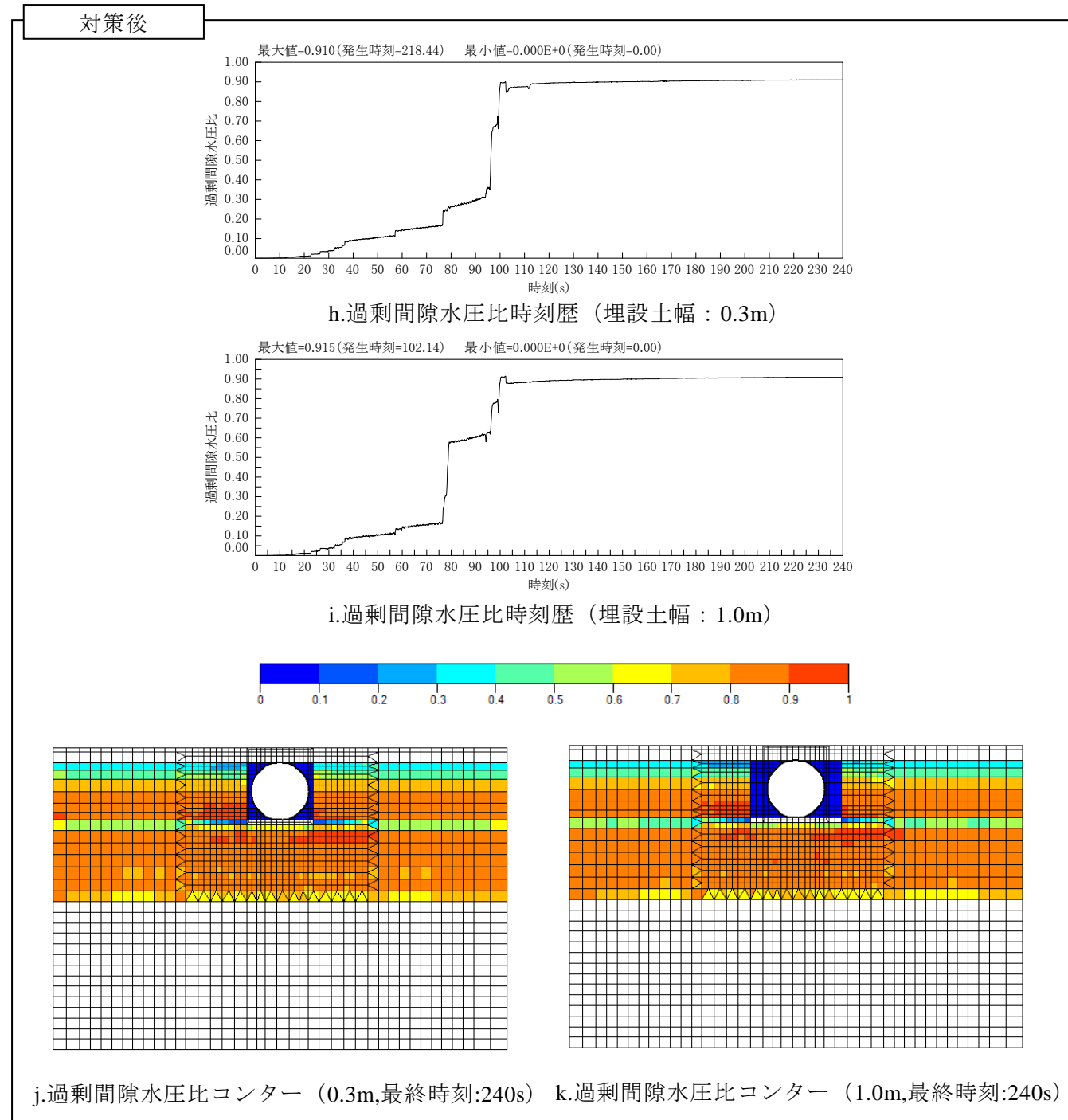
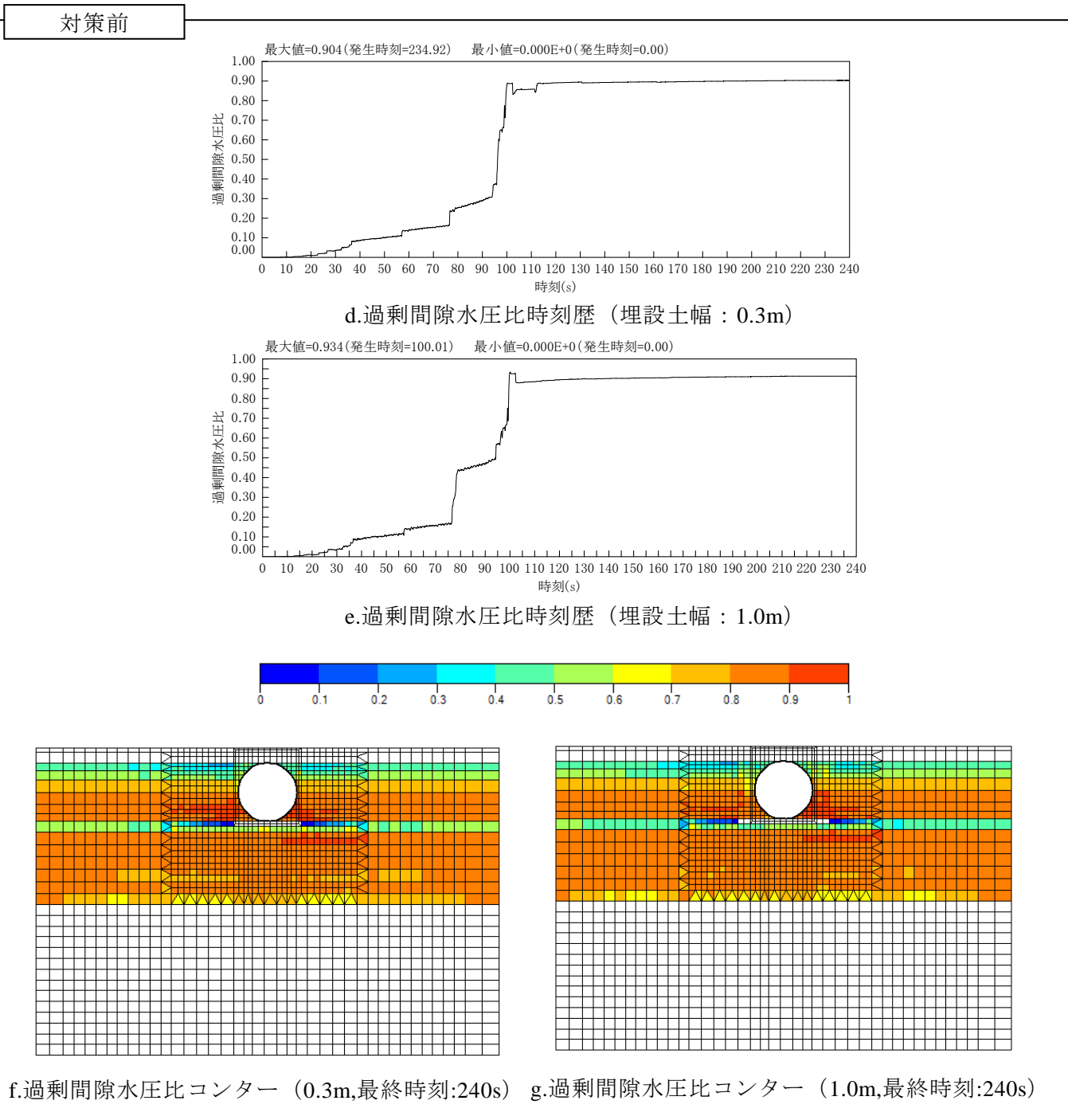
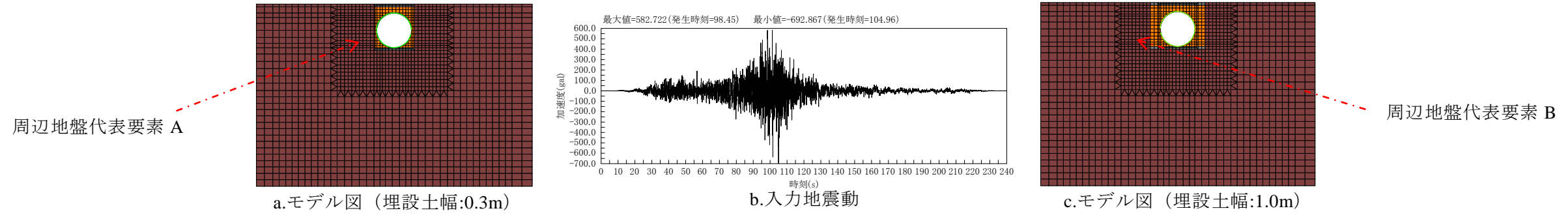
対策後 (埋設土：砕石)



埋設土の幅の違いによる過剰間隙水圧比の比較（埋設土のみ）



埋設土の幅の違いによる過剰間隙水圧比の比較 (周辺地盤)



付録 せん断ひずみ及び変形の評価方法

1. せん断ひずみ

せん断ひずみのレベルにより、地盤の塑性化の程度の把握と解析の妥当性（解析適用範囲内かどうか）の確認を行うことを目的に出力している。

本解析では 5%程度のせん断ひずみとなっており、液状化解析（有効応力解析）の適用可能範囲であることを確認できている。

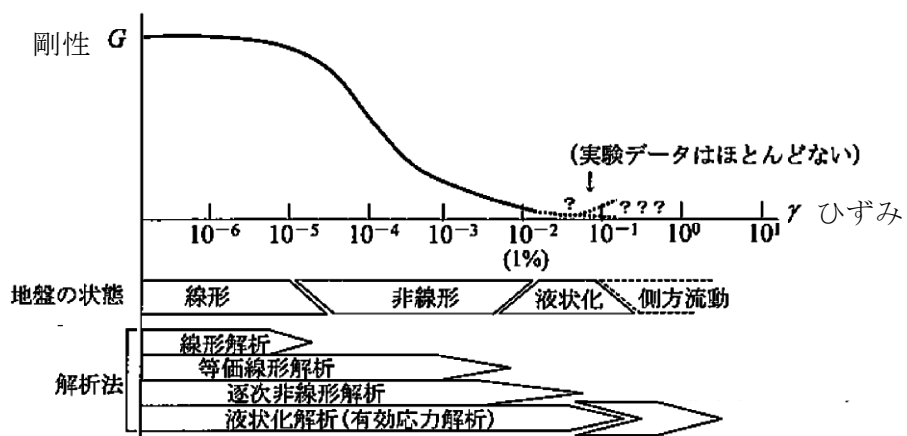


図 1 ひずみレベルと地盤の状態及び各解析法の適用範囲

(地盤液状化の物理と評価・対策技術、吉見・福武、2005 より)

2. 変形

地震時の地盤の挙動（動き）の確認を行うことを目的に出力している。