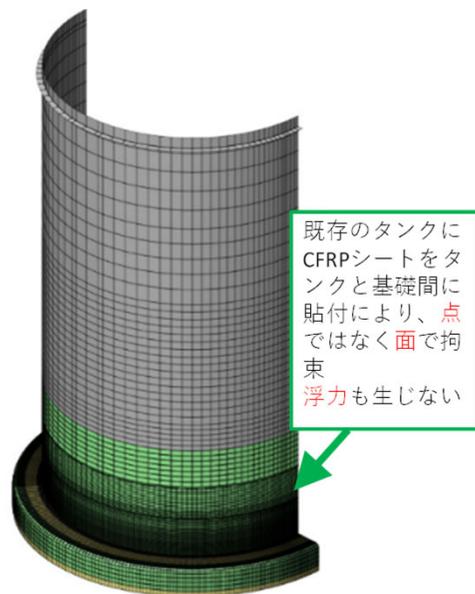


津波対策工法の検討について の進捗報告



【第二回検討会の結果まとめ】

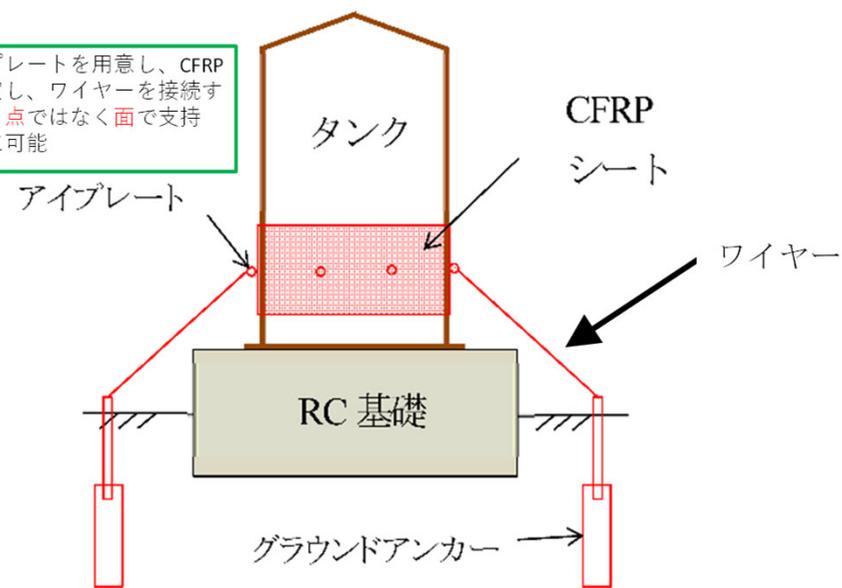
- 対策工法1、2ともに内容液位の増減に関わらず、津波漂流対策効果を発揮することがわかった。液位が低くても効果を失わない。
- 対策工法2は20kL等、小型のタンクに対して効果的である。500kLでも一定の効果を確認できた。
- 対策工法2の取付高さを変更しても効果の改善は見られなかった。
- 対策工法2においてワイヤー本数を増やしても大きな改善は見られなかった。
- 対策工法1において、底板下に浸水しても一定の効果が保持されることを確認した。
- 対策工法1施工時には既設のアンカーボルトを外すことを推奨する。



対策工法1イメージ

既存のタンクにCFRPシートをタンクと基礎間に貼付により、点ではなく面で拘束
浮力も生じない

アイを付けたプレートを用意し、CFRPシートにて固定し、ワイヤーを接続することにより、点ではなく面で支持
溶接せずに施工可能

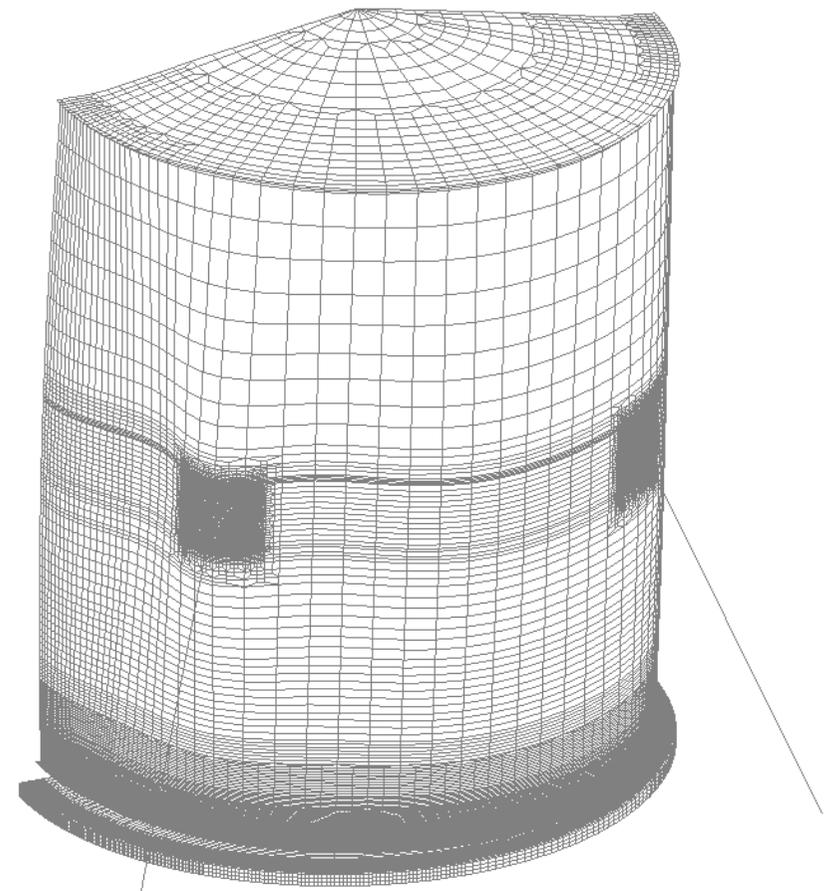


対策工法2イメージ



【今回のご報告】

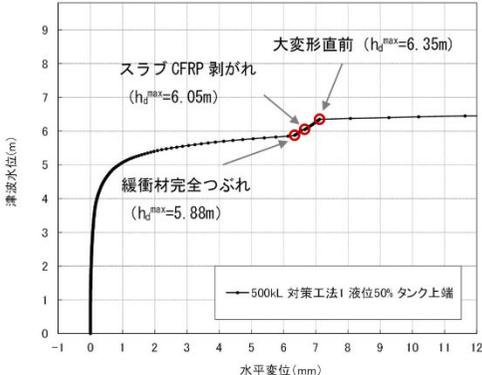
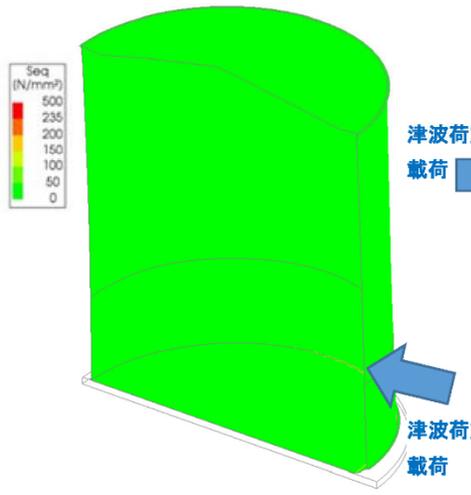
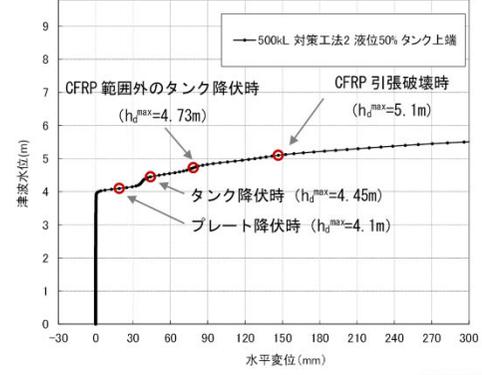
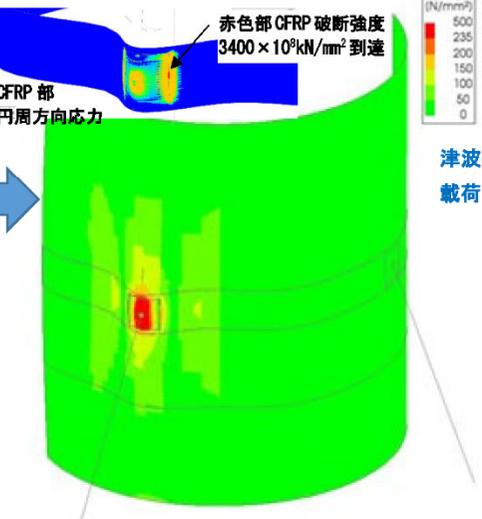
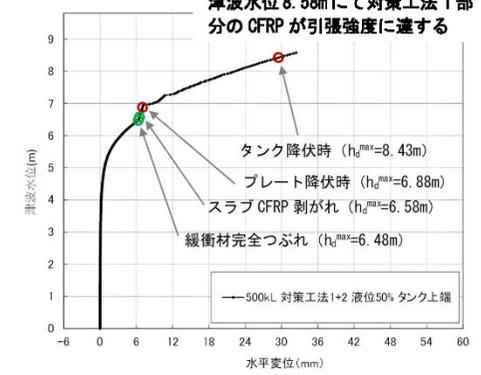
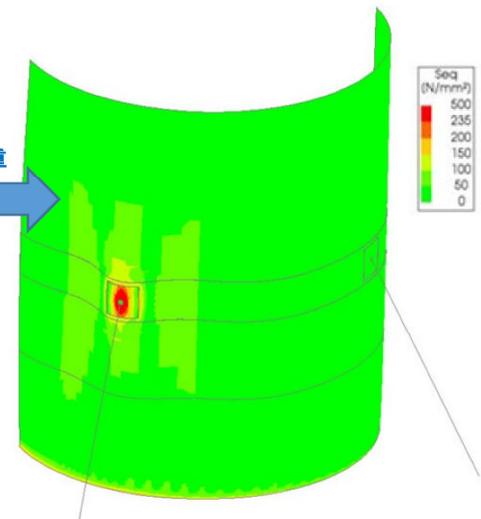
- 対策工法 1, 2 を両方施工した場合 500kL 50%液位 津波波力載荷
- 対策工法 1 100kLの対策効果
- 対策工法 2 100kLの対策効果
 - 20kLと500kLの中間規模での対策効果の確認
- 対策工 2 ワイヤー支持方向の影響
 - 第二回検討会でのご指摘事項による効果確認
- 対策工 2 ワイヤー支持プレート裏側接着有無の影響
 - 第二回検討会でのご指摘事項による効果確認



対策工法 1 + 対策工法 2 の変形図 3

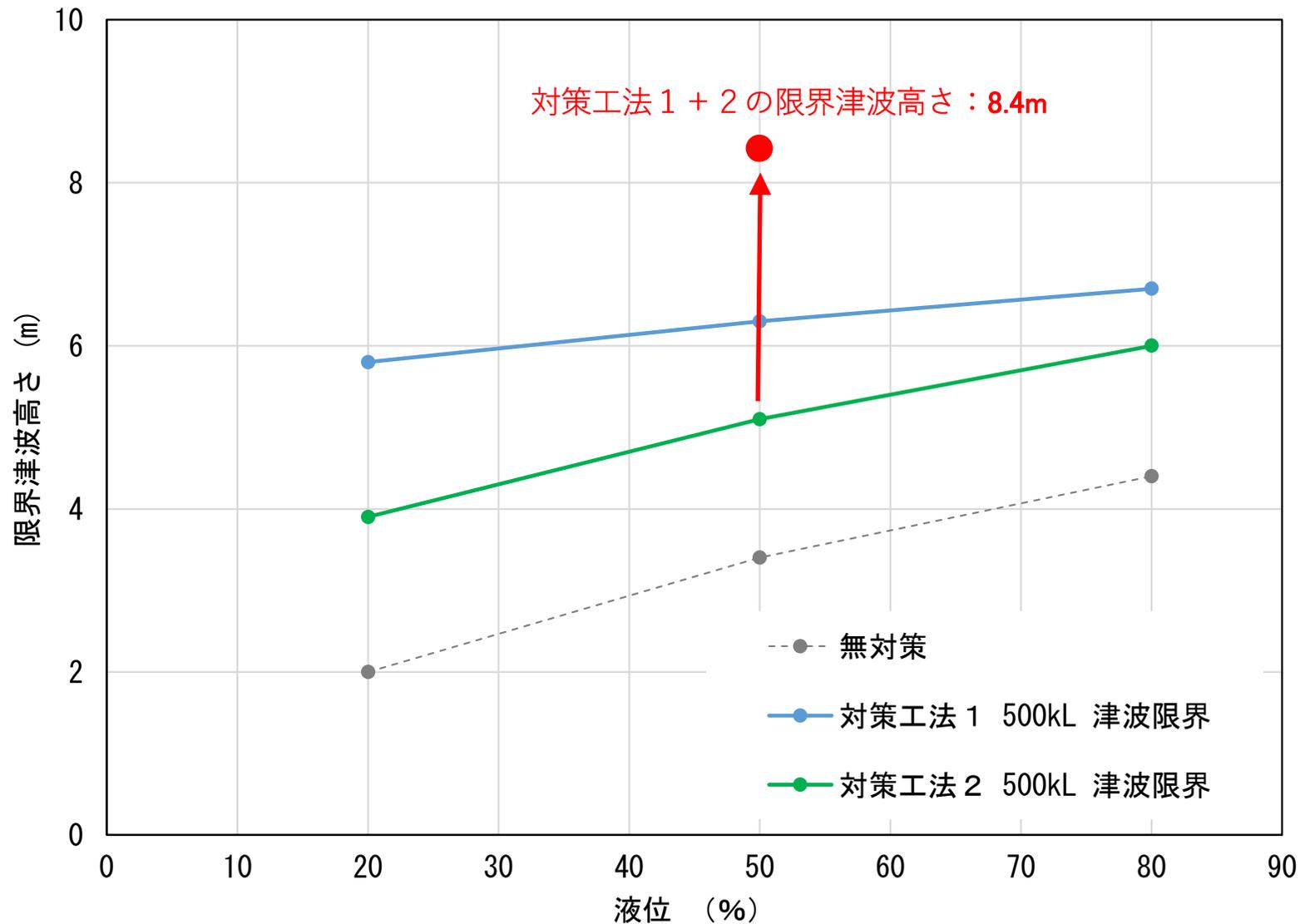


対策工法1+2 対策効果の確認 500kL

対策工法比較	対策工法1 500kL 50%液位	対策工法2 500kL 50%液位	対策工法1+2 500kL 50%液位
<p>500kL (タンク高さ9.8m)</p> <p>対策工法1+2では対策工法1, 2の長所が発揮され、対策の効果が大きくなる。</p>	<p>タンク前面の津波水位</p> <p>無対策 3.4m (消防式) → 対策後 6.3m</p>   <p>図1.1 大変形直前のタンク本体のMISES応力</p>	<p>タンク前面の津波水位</p> <p>無対策 3.4m (消防式) → 対策後 5.1m</p>   <p>図1.2 CFRP引張破壊時のタンク本体のMISES応力</p>	<p>タンク前面の津波水位</p> <p>無対策 3.4m (消防式) → 対策後 8.4m</p>   <p>図1.3 タンク降伏時のタンク本体のMISES応力</p>



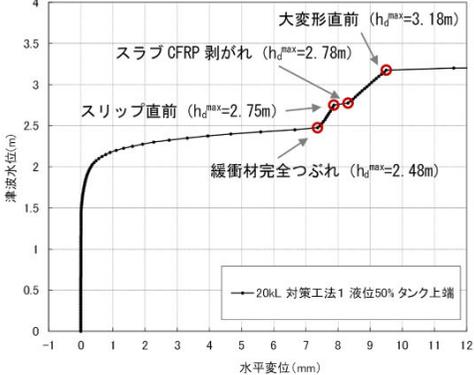
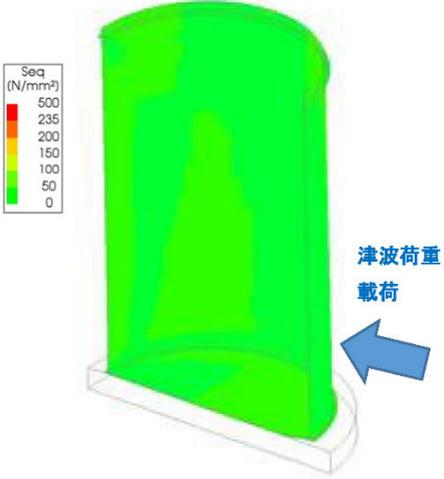
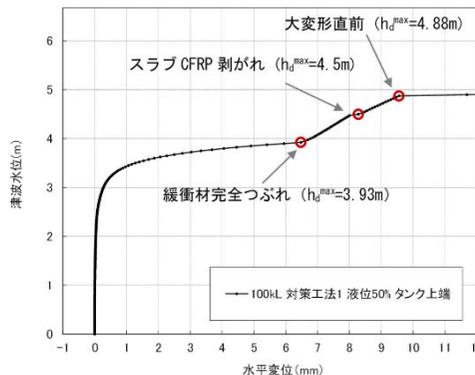
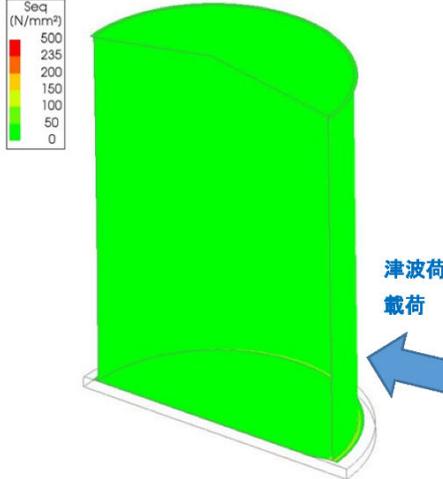
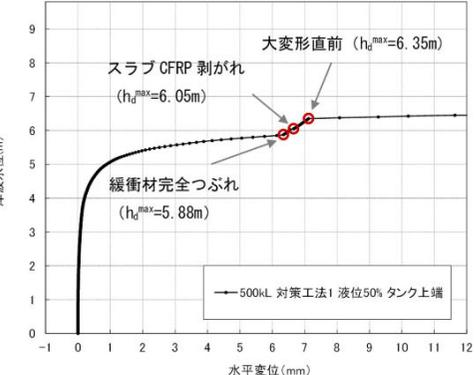
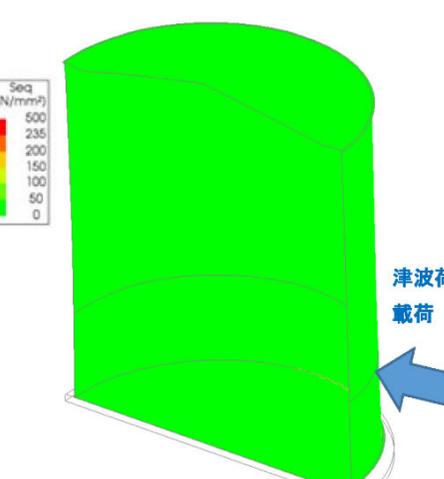
対策工法 1 + 2 対策効果の比較 500 k L



- 対策工法 1 と対策工法 2 の津波波力を受けた際の変形モードが異なることがわかった。2つの対策工法を併用することにより、弱点となるモードを補うことができず、2つの対策工法の組合せケースを実施。結果として両対策工法の弱点を補完することができ、効果が大きく改善できる



対策工法 I 対策効果の確認 100 kL

タンク容量	対策工法 I 20kL 50%液位	対策工法 I 100kL 50%液位	対策工法 I 500kL 50%液位
<p data-bbox="271 778 412 879">対策工法 I 50%液位</p> <div data-bbox="190 927 501 1305" style="border: 1px solid red; padding: 5px;"> <p data-bbox="203 943 488 1289">20kLと500kLでは構造に大きな差があることがわかった。そのため、100kLに対して対策工法 I の効果の確認を実施。結果として20kL級と500kL級の中間の結果となることを確認できた。</p> </div>	<p data-bbox="483 328 763 360">タンク前面の津波水位</p> <p data-bbox="483 400 949 432">無対策 1.4m (消防式) →対策後 3.1m</p>   <p data-bbox="510 1358 954 1382">図 2.1 大変形直前のタンク本体の MISES 応力</p>	<p data-bbox="992 328 1272 360">タンク前面の津波水位</p> <p data-bbox="992 400 1458 432">無対策 2.1m (消防式) →対策後 4.8m</p>   <p data-bbox="1019 1358 1462 1382">図 2.2 大変形直前のタンク本体の MISES 応力</p>	<p data-bbox="1520 328 1800 360">タンク前面の津波水位</p> <p data-bbox="1520 400 1986 432">無対策 3.4m (消防式) →対策後 6.3m</p>   <p data-bbox="1547 1358 1991 1382">図 2.3 大変形直前のタンク本体の MISES 応力</p>



対策工法2 対策効果の確認 100kL

タンク容量

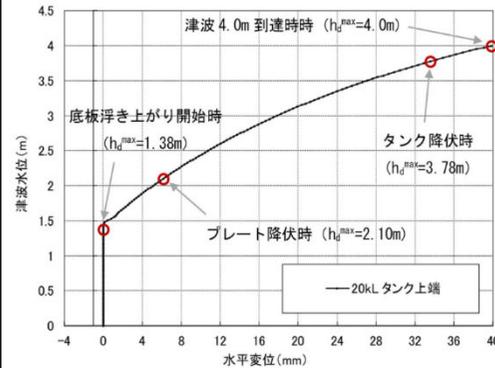
対策工法2 20kL 50%液位

対策工法2 100kL 50%液位

対策工法2 500kL 50%液位

タンク前面の津波水位

無対策 1.4m (消防式) → 対策後 4.0m



対策工法2

50%液位

20kLと500kLでは構造に大きな差があることがわかった。そのため、100kLに対して対策工法2の効果の確認を実施。結果として20kL級と500kL級の中間の結果となるが、対策工法2では500kL級と同様に寸法によるタンク側板部の剛性の弱さが特徴として現れる。

津波荷重
載荷

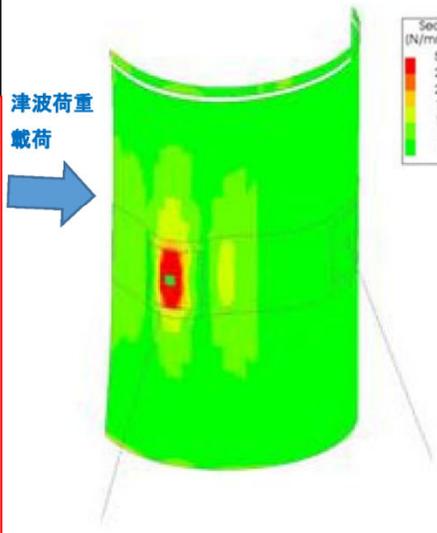
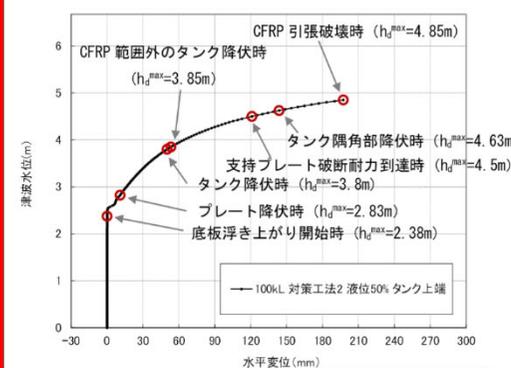


図 3.1 津波 4.0m 到達時のタンク本体の MISES 応力 (タンク全高 4.0m)

タンク前面の津波水位

無対策 2.1m (消防式) → 対策後 4.5m



支持プレートとアイの接合部にて 570MPa 到達。詳細設計時の R 加工等により回避可能と考えられる

津波荷重
載荷

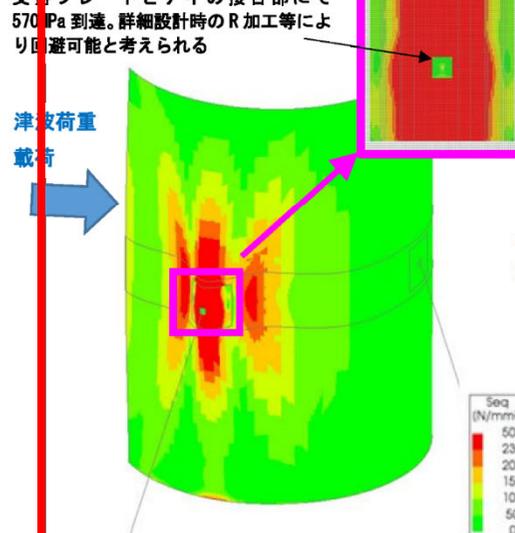
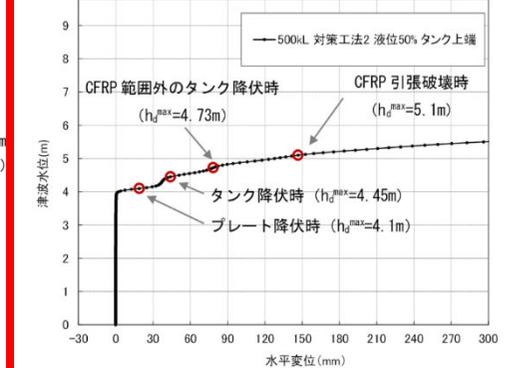


図 3.2 タンク隅角部降伏時のタンク本体の MISES 応力

タンク前面の津波水位

無対策 3.4m (消防式) → 対策後 5.1m



赤色部 CFRP 破断強度 3400 × 10³ kN/mm² 到達

CFRP 部
円周方向応力

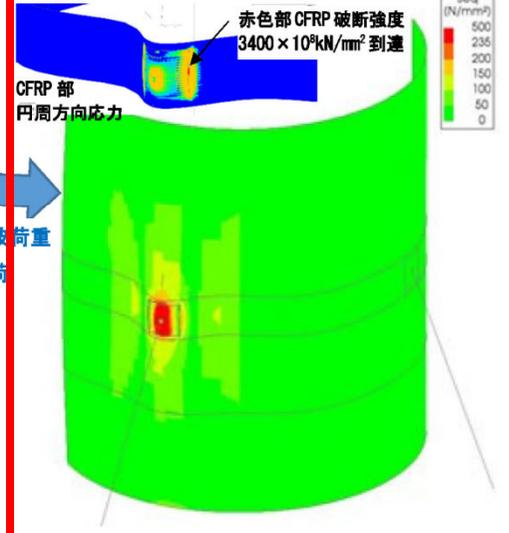
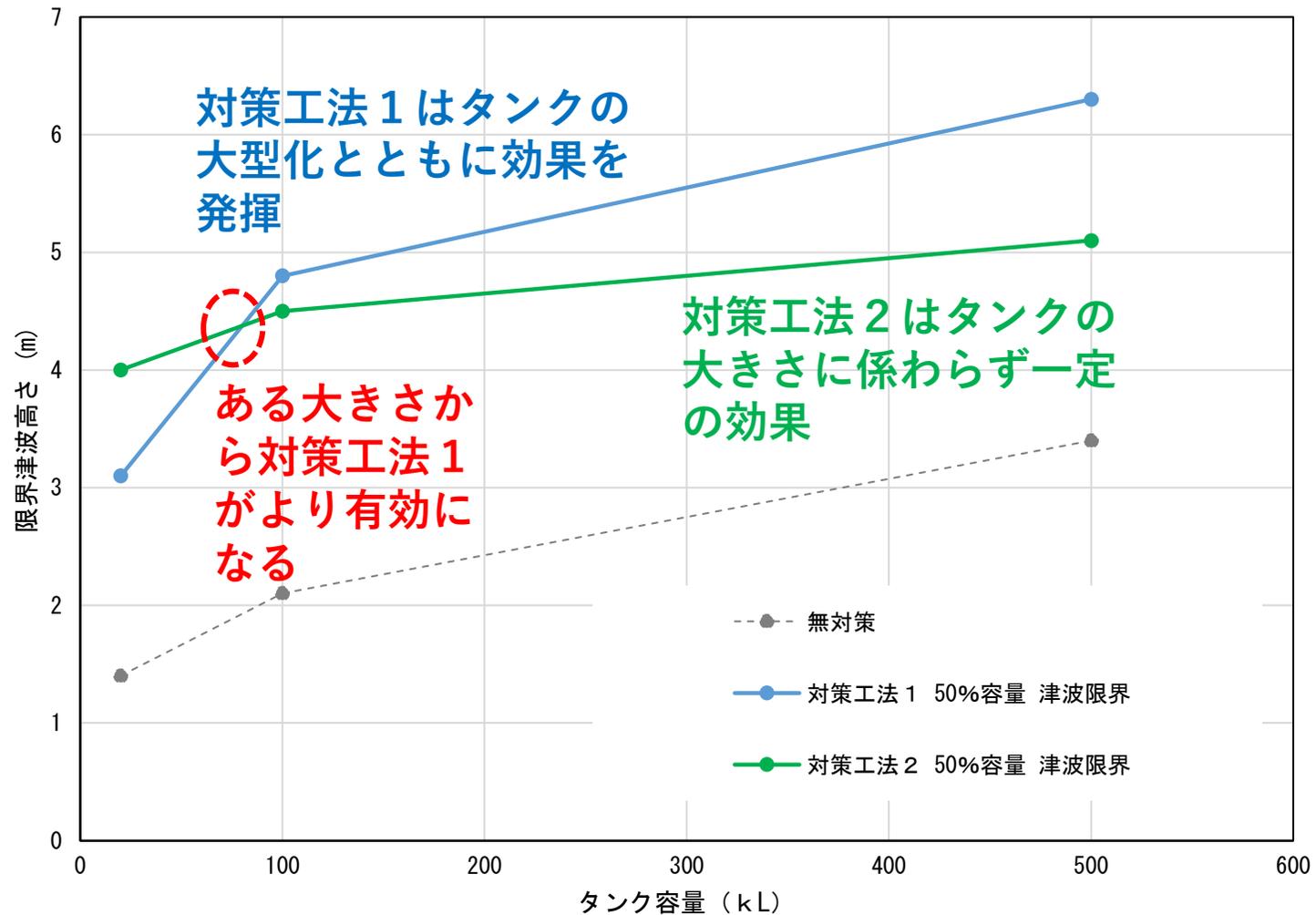


図 3.3 CFRP 引張破壊時のタンク本体の MISES 応力



対策工法 1 はタンクの大型化とともに効果を発揮

ある大きさから対策工法 1 がより有効になる

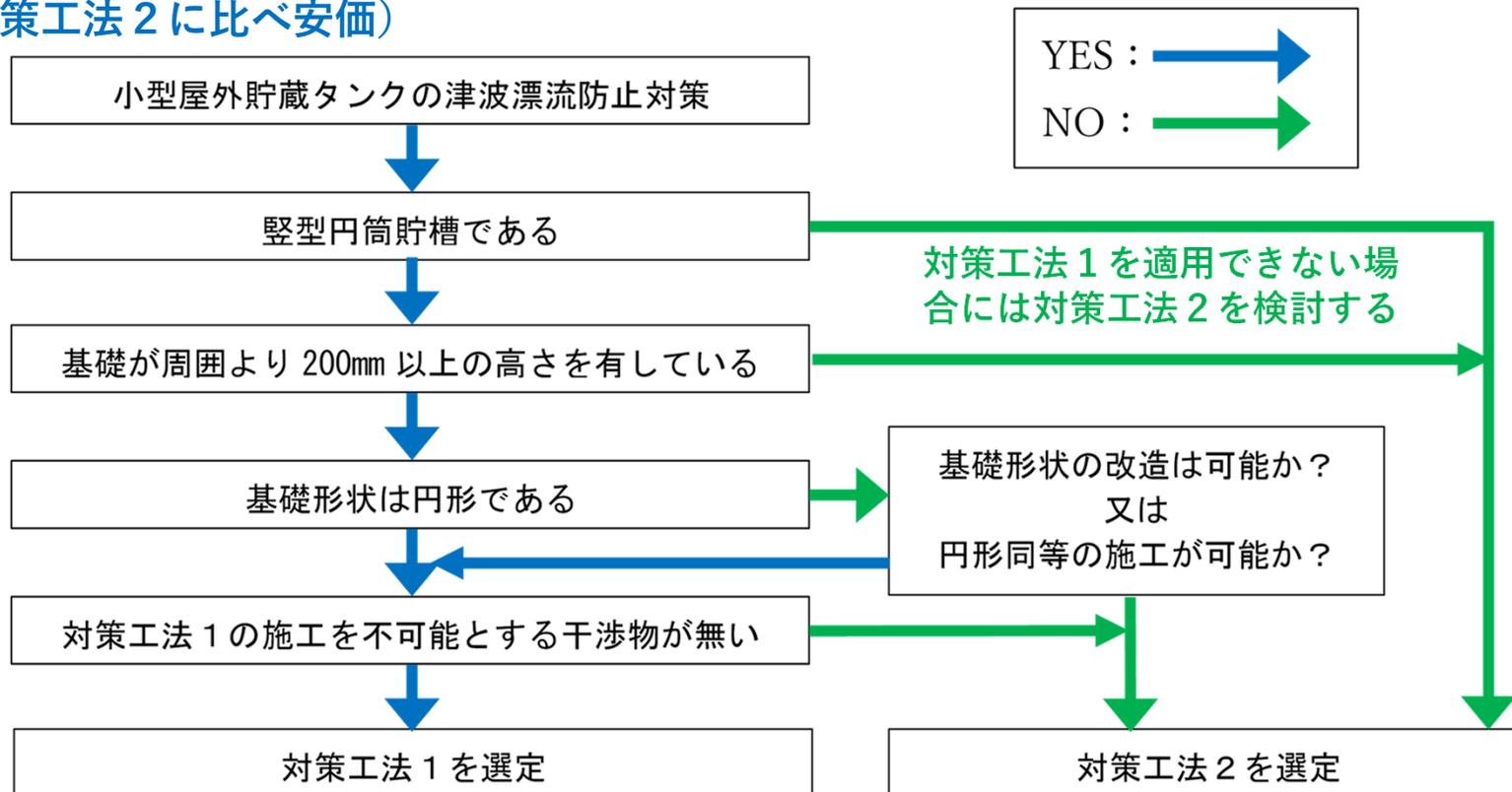
対策工法 2 はタンクの大きさに係わらず一定の効果

- タンクが大型化するほど対策工法 1 の効果が高い100kLを超えるタンクの場合には対策工法 1 の方が効果的
- 対策工法 1 はタンク大型化とともに波圧を受ける面積も大きくなるが、基礎もその分大型化し、CFRP接着面積が増分するため。また、タンク側板部の剛性に影響されにくいためと考える。
- 対して対策工法 2 ではタンクの大型化とともに側板部の剛性が低下するため、効果の向上が抑えられてしまうと考える。



対策工法 1, 対策工法 2 の選定

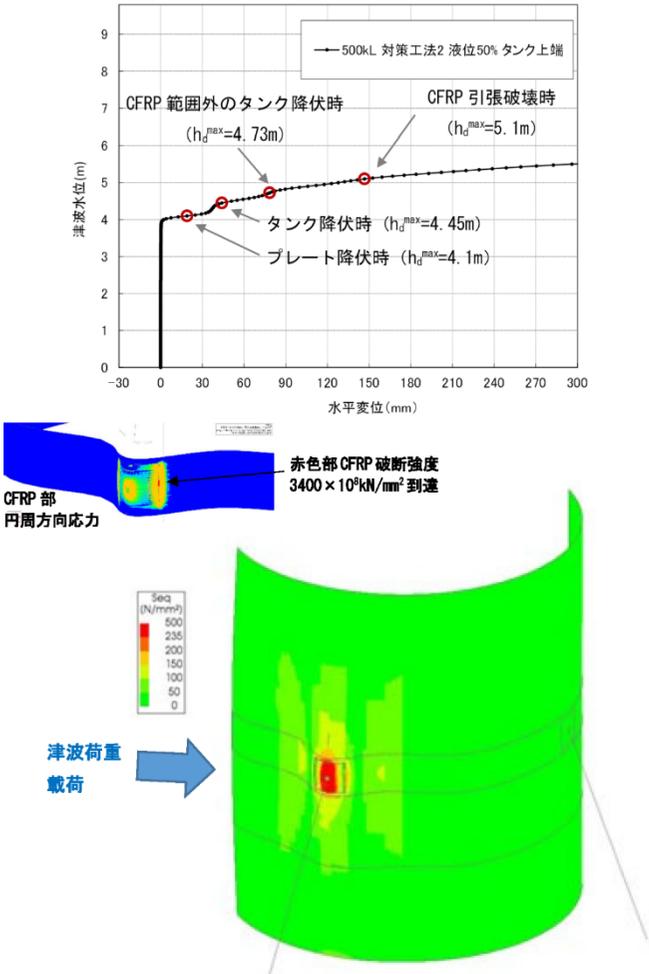
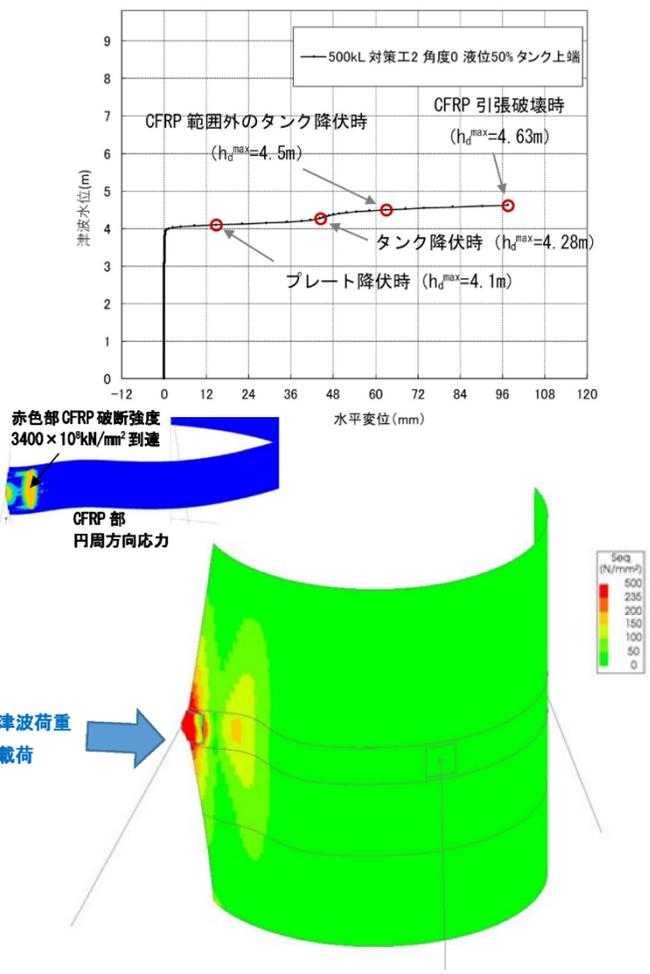
対策工法 1 はタンクの容量に応じ、効果を発揮するため、対策工法 1 を基本的に選定とする（施工コストも対策工法 2 に比べ安価）



更なる安全性を目指す、津波浸水深想定の高い設置箇所では対策工法 1 + 2 を推奨



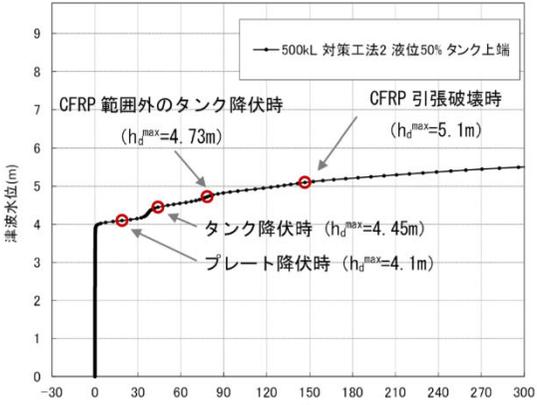
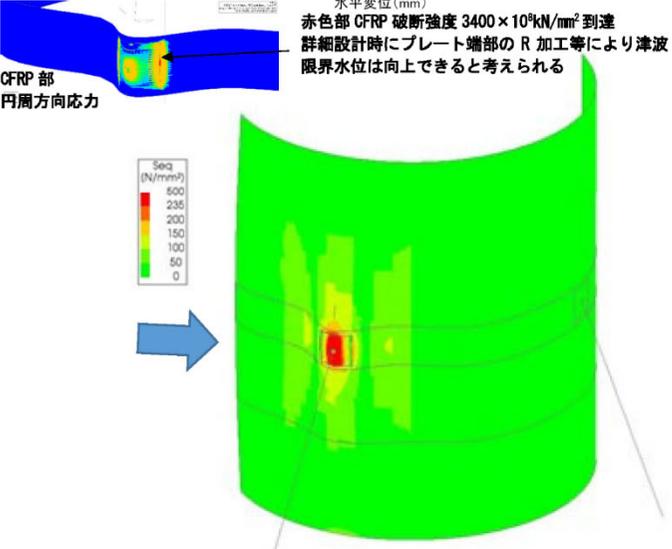
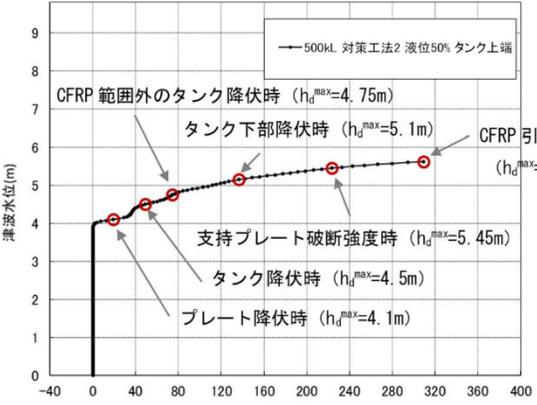
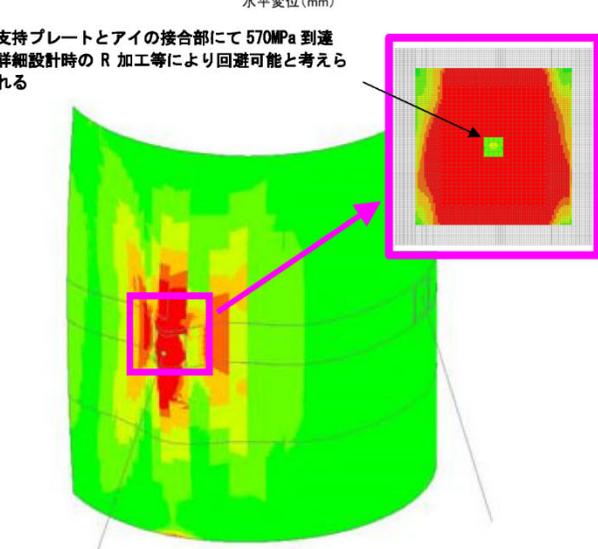
対策工法2 ワイヤー支持方向の確認 500kL

内容液量	45° 方向 ワイヤー支持	0° 方向 ワイヤー支持
<p>対策工法2 500kl (タンク高さ9.8m)</p> <p>0° 方向に津波を受けた場合、対策効果は10%程度減少する。</p>	<p>タンク前面の津波水位 無対策 3.4m (消防式) → 対策後 5.1m</p>  <p>図 4.1 CFRP 引張破壊時のタンク本体の MISES 応力</p>	<p>タンク前面の津波水位 無対策 3.4m (消防式) → 対策後 4.6m</p>  <p>図 4.1 CFRP 引張破壊時のタンク本体の MISES 応力</p>



対策工法2 ワイヤー支持プレート裏の接着の影響 500kL

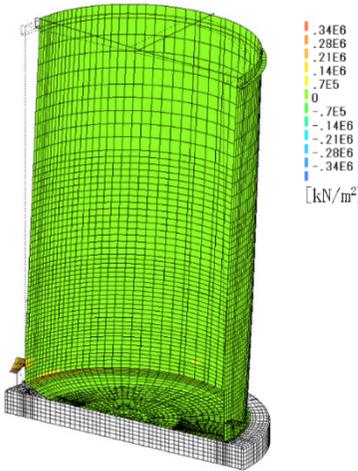
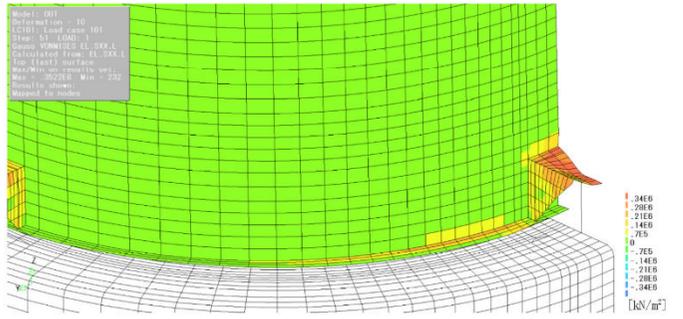
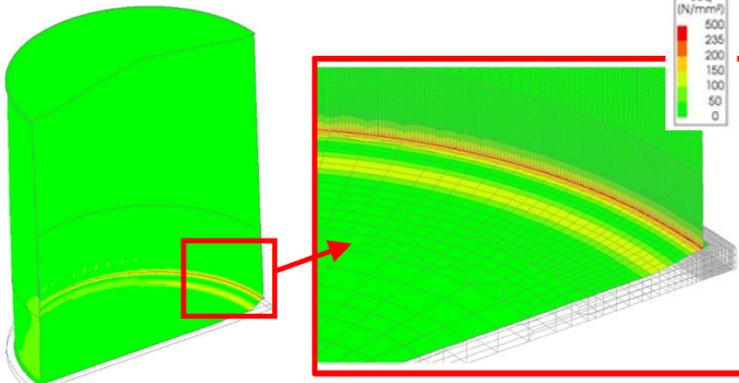
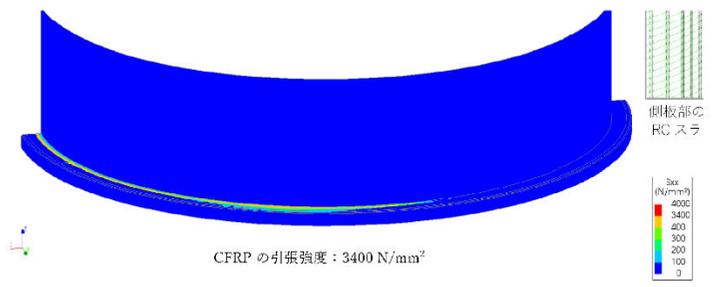
前回の報告会にて支持プレート裏面の接着の有無の質問に対し『対策工法2解析では裏面を接着。接着なしのケースを実施する』と誤った回答をした。実際には『裏面接着無しで解析実施』。ここでは支持プレート裏面接着した場合の結果を示す。

内容液量	ワイヤー支持プレート裏面とタンク側板の接着なし	ワイヤー支持プレート裏面とタンク側板の接着あり
<p>対策工法2 500kL (タンク高さ9.8m)</p> <div data-bbox="264 778 517 1361" style="border: 1px solid red; padding: 5px; color: red;"> <p>ワイヤー支持プレートの裏面をタンクとエポキシ樹脂にて接着した場合、接着していない場合に比べて、タンク側板全体の強度が利用できるようになり、津波限界水位が改善できる。しかし、支持反力も上昇するため、アイの接合部等に負荷がかかる。支持プレートに課題が残る。</p> </div>	<p>タンク前面の津波水位 無対策 3.4m (消防式) →対策後 5.1m</p>   <p>CFRP部 円周方向応力</p> <p>赤色部 CFRP 破断強度 $3400 \times 10^4 \text{ kN/mm}^2$ 到達 詳細設計時にプレート端部のR加工等により津波限界水位は向上できると考えられる</p> <p>図 5.1 CFRP 引張破壊時のタンク本体の MISES 応力</p>	<p>タンク前面の津波水位 無対策 3.4m (消防式) →対策後 5.4m</p>   <p>支持プレートとアイの接合部にて 570MPa 到達 詳細設計時の R 加工等により回避可能と考えられる</p> <p>図 5.2 支持プレート破断強度 (570MPa) 時のタンク本体の MISES 応力</p>



【参考】 対策工法 I 地震慣性力に対して影響しないことの確認

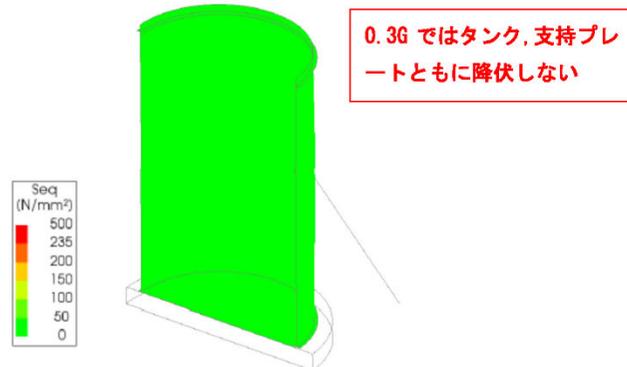
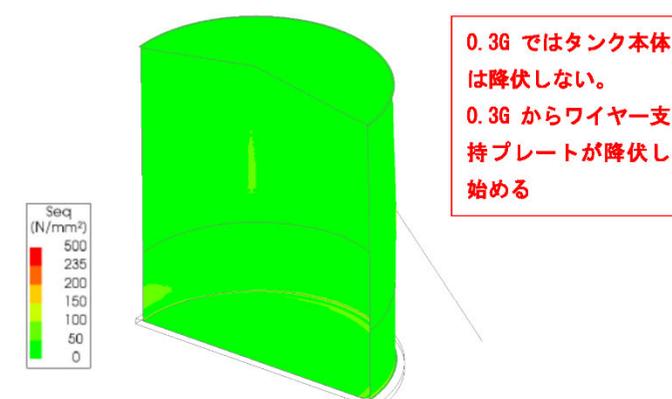
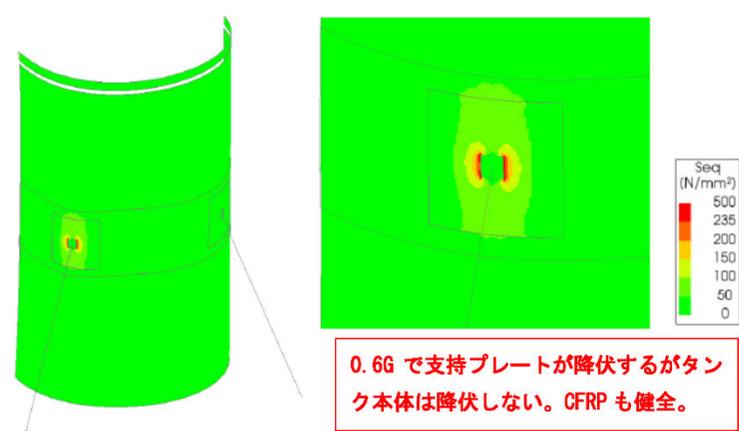
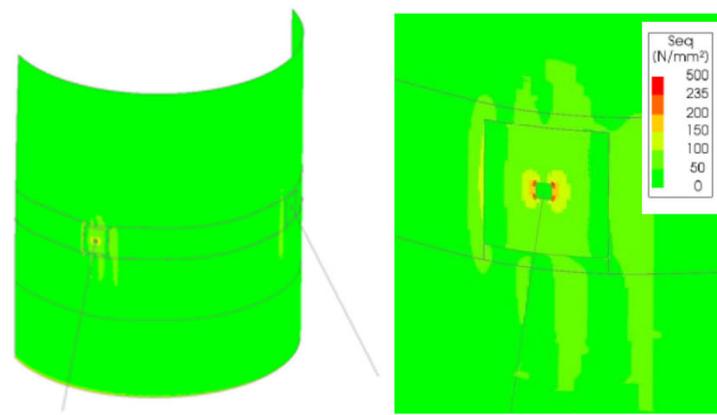
対策工法 1 を施工することにより、耐震性が損なわれていないか、確認解析を実施。

	対策工法 1 20kL 60%液位 0.96G 載荷時	対策工法 1 500kL 100%液位 0.3G 載荷時
<p>【確認ケース】</p> <p>対策工法 1</p> <p>地震慣性力</p> <p>載荷時</p>	<p>60%液位、アンカーチェア付きではあるが、CFRPを施工した20kL級モデルの耐震性を確認した。960gal 載荷時でもタンク本体の塑性化はみられない。</p>  	 <p>図 6.2.1 地震慣性力 0.3G 載荷時のタンク本体の MISES 応力</p> <p>0.3G にて隅角部 (CFRP 内) が降伏する。CFRP は引張強度に達していない (0.325G にて CFRP が引張強度に達する)</p>  <p>CFRP の引張強度：3400 N/mm²</p>
<p>小型タンクの耐震性の目安となる水平地震力 0.3G 他を載荷し、概ね弾性域内に収まることを確認した。</p>	<p>図 6.1 地震慣性力 0.96G 載荷時のタンク本体の MISES 応力</p>	<p>図 6.2.2 地震慣性力 0.3G 載荷時の CFRP 側板鉛直、スラブ半径方向応力</p>



【参考】 対策工法2 地震慣性力に対して影響しないことの確認

対策工法2を施工することにより、耐震性が損なわれていないか、確認解析を実施。

	対策工法2 20kL 100%液位 0.3G 載荷時	対策工法2 500kL 100%液位 0.3G 載荷時
【確認ケース】 対策工法2 地震慣性力 載荷時	 <p>0.3G ではタンク, 支持プレートともに降伏しない</p> <p>図 7.1.1 地震慣性力 0.3G 載荷時のタンク本体の MISES 応力</p>	 <p>0.3G ではタンク本体は降伏しない。 0.3G からワイヤー支持プレートが降伏し始める</p> <p>図 7.2.1 地震慣性力 0.3G 載荷時のタンク本体の MISES 応力</p>
小型タンクの耐震性の目安となる水平地震力 0.3G を載荷し、概ね弾性域内に収まることを確認した。	 <p>0.6G で支持プレートが降伏するがタンク本体は降伏しない。CFRP も健全。</p> <p>図 7.1.2 地震慣性力 0.6G 載荷時のプレート部の MISES 応力</p>	 <p>0.3G で支持プレートが降伏するがタンク本体は降伏しない。CFRP も健全。</p> <p>図 7.2.2 地震慣性力 0.3G 載荷時のプレート部の MISES 応力</p>