

F F 二重殻タンクの破損要因に関する検討
中間報告書

平成28年3月

危険物保安技術協会

目 次

第1章	検討の目的等	1
1. 1	検討の目的	1
1. 2	検討の項目	1
1. 3	検討手順	1
1. 4	検討体制	2
1. 5	検討会の開催経過	2
第2章	調査結果	3
2. 1	ボーリング調査	3
2. 2	FF二重殻タンクの変形状況調査	9
2. 3	空隙状況調査	14
2. 4	砕石基礎の施工状況を踏まえた提言	16
第3章	次年度に調査・検討する事項	35
3. 1	採取した試験片に関する調査	35
3. 2	有限要素法によるシミュレーション	42
第4章	まとめ	49
添付資料1	調査対象とした破損FF二重殻タンク概要	50
添付資料2	静岡県の営業用給油取扱所のボーリング調査結果概要	54
添付資料3	神奈川県内の営業用給油取扱所のボーリング調査結果概要	56
添付資料4	新潟県の営業用給油取扱所のボーリング調査結果概要	58

第1章 検討の目的等

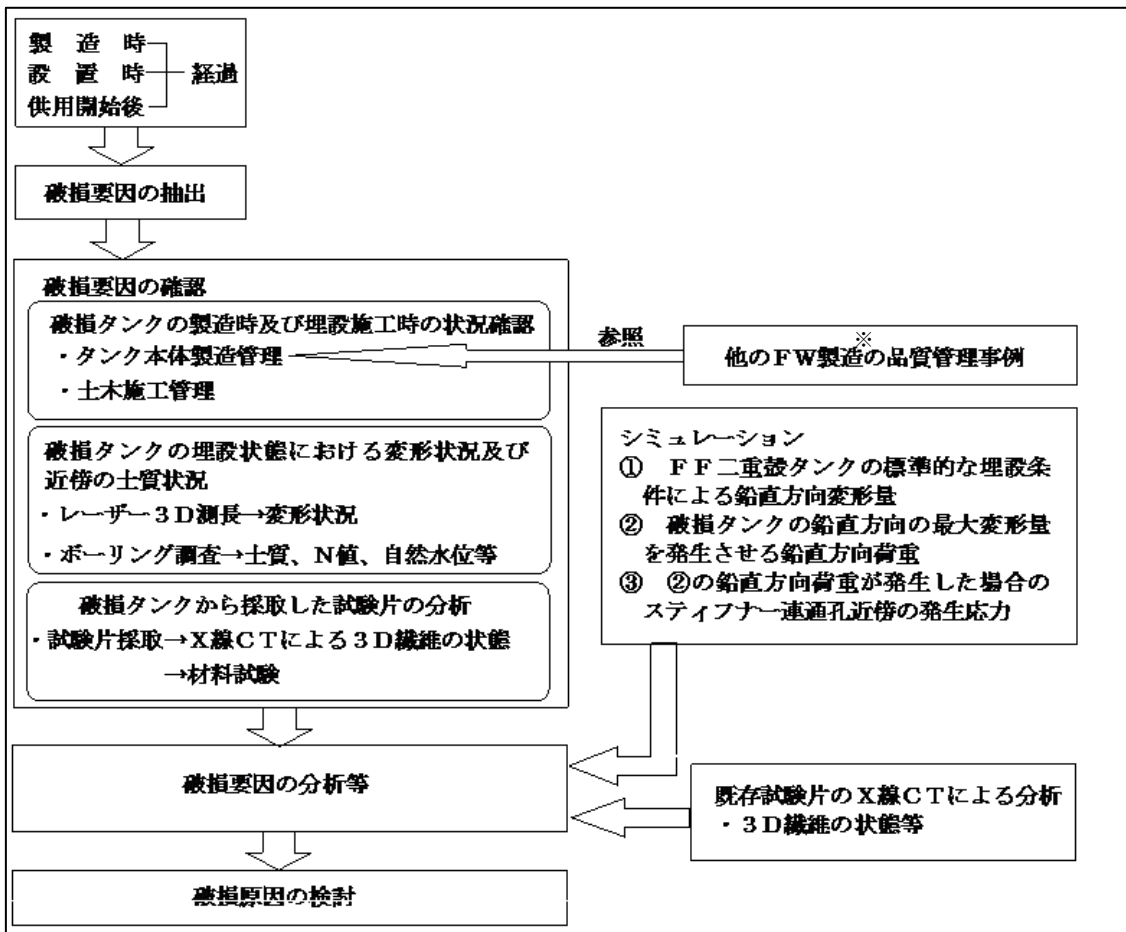
1. 1 検討の目的

強化プラスチック製二重殻タンク（以下「FF二重殻タンク」という。）の設置工事又はその後の点検等において、漏えい検知設備の検知液の漏えい、内殻の破損が発見された25施設39本のFF二重殻タンク（以下「破損タンク」という。）のうち、設置者等の協力の下に破損タンクについての埋設状況及びタンク本体の状況を調査するとともに、FF二重殻タンクに様々な条件でシミュレーションを実施する等により内殻の破損に至った要因について究明することを目的としたものである。

1. 2 検討の項目

- (1) 破損タンクの製造時及び埋設施工時の状況確認
- (2) 破損タンクの埋設状態における変形状況及び近傍の土質状況
- (3) 破損タンクから採取した試験片の分析
- (4) 破損要因の分析及び破損原因の検討

1. 3 検討手順



※ FW製造：フィラメントワインディングによる製造

1. 4 検討体制

本検討を進めるにあたり、協会内に検討委員会（名称：FF二重殻タンクの破損要因に関する検討委員会）を設置して、各種の検討を実施した。当該検討委員会の構成は以下のとおり（順不同、敬称略）。

委員長	影山和郎	東京大学大学院 工学研究科	教授
委員	久保内昌敏	東京工業大学大学院 理工学研究科	教授
〃	山田 實	横浜国立大学 リスク共生社会創造センター	客員教授 (危険物保安技術協会 事故防止調査研修センター 総括調査役)
〃	鈴木健志	消防庁 危険物保安室	課長補佐 (H27.8.1~)
	(鳥枝浩彰	消防庁 危険物保安室	課長補佐 (~H27.7.31))
〃	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
〃	浅野 均	一般社団法人強化プラスチック協会	
〃	玉嶋克彦	一般財団法人エンジニアリング協会	
〃	和田正彦	危険物保安技術協会	企画部長
〃	杉山 章	危険物保安技術協会	業務部 業務課長
〃	三根徳男	危険物保安技術協会	土木審査部 土木審査課長
事務局	千島清奈生	危険物保安技術協会	企画部
〃	平野修弘	危険物保安技術協会	企画部
〃	工藤 守	危険物保安技術協会	業務部
〃	佐藤純一	危険物保安技術協会	業務部
〃	石田清貴	危険物保安技術協会	業務部

1. 5 検討会の開催経過

前節の検討委員会の開催経過は、次のとおりである。

第1回	平成27年	7月10日
第2回	平成27年	11月20日
第3回	平成28年	3月22日

第2章 調査結果

前章の検討手順に基づいて、現在、詳細な調査及び分析が進行中であることから、これまでに得られた調査結果の一部について以下に示す。

なお、調査対象とした破損タンクについては添付資料1のとおりである。

2. 1 ボーリング調査

破損したF F 二重殻タンク近傍の埋め戻し土の性状を得ることを目的にボーリング調査を実施した。ボーリング実施箇所はF F 二重殻タンクの変形量大きい箇所近傍及び現場施工上の制約を鑑み決定したものである。

(1) 調査概要

ア 静岡県の営業用給油取扱所

(ア) 調査概要

- ① 調査実施期間 平成27年9月1日～9月3日
- ② 調査実施者 株式会社タツノ 東京支店
- ③ 使用機器 油圧式ボーリングマシン ((株)東亜利根ボーリング社製 エコプローブEP-26型)

(イ) 調査内容

- ① 土壌資料採取 (無水式オールコアサンプリング)
 - ・ 5箇所 (営業用給油取扱所② 2箇所、営業用給油取扱所① 3箇所)
 - ・ コア径φ66mm
 - ・ ケーシング径φ86mm
- ② 標準貫入試験
 - ・ 5箇所 (営業用給油取扱所② 2箇所、営業用給油取扱所① 3箇所)

(ウ) ボーリング実施箇所

① 静岡県の営業用給油取扱所②

ボーリング実施箇所平面図 (②) を図2. 1. 1に示す。

- ・ 孔番No.1 ボーリング深度 GL-4240mm
- ・ 孔番No.2 ボーリング深度 GL-4180mm

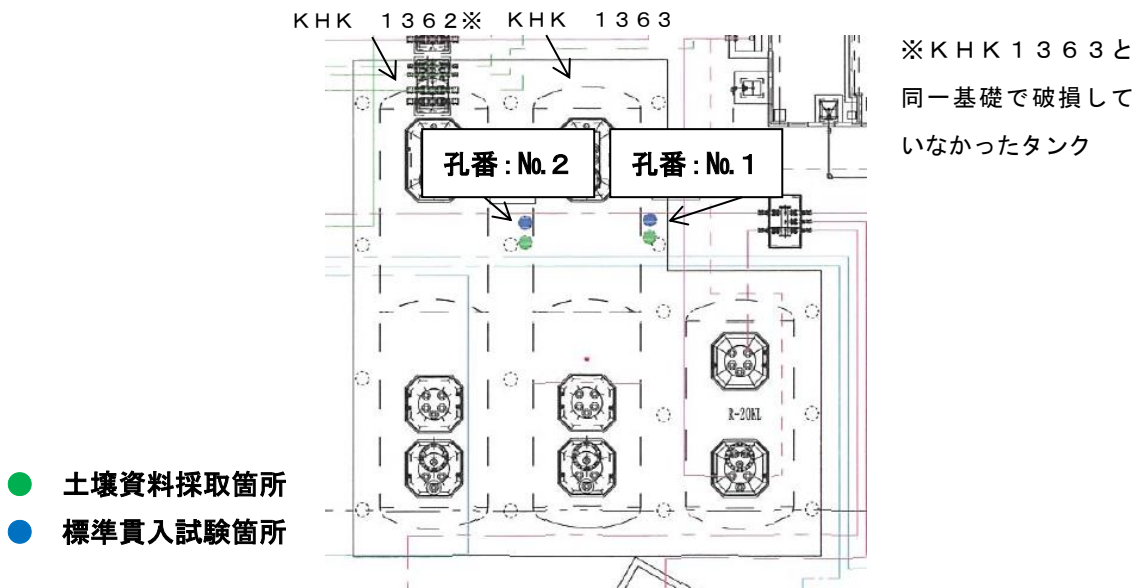


図 2. 1. 1 ボーリング実施箇所平面図 (②)

② 静岡県の営業用給油取扱所①

ボーリング実施箇所平面図 (①) を図 2. 1. 2 に示す。

- ・ 孔番No.3 ボーリング深度 GL-4100mm
- ・ 孔番No.4 ボーリング深度 GL-4140mm
- ・ 孔番No.5 ボーリング深度 GL-4120mm

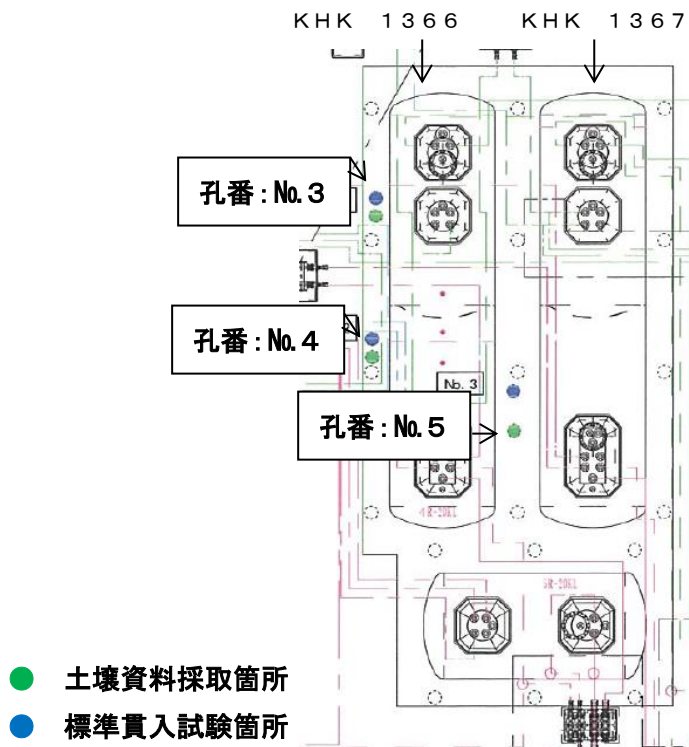


図 2. 1. 2 ボーリング実施箇所平面図 (①)

イ 神奈川県の実業用給油取扱所

(ア) 調査概要

- ① 調査実施期間 平成27年9月15日
- ② 調査実施者 株式会社タツノ 東京支店
- ③ 使用機器 油圧式ボーリングマシン ((株)ワイビーエム社製 ECO-3V型)

(イ) 調査内容

- ① 土壌資料採取 (無水式オールコアサンプリング)
 - ・ 2箇所
 - ・ コア径φ66mm
 - ・ ケーシング径φ86mm
- ② 標準貫入試験
 - ・ 2箇所

(ウ) ボーリング実施箇所

ボーリング実施箇所平面図を図2.1.3に示す。

- ・ 孔番No.6 ボーリング深度 GL-4180mm
- ・ 孔番No.7 ボーリング深度 GL-4200mm

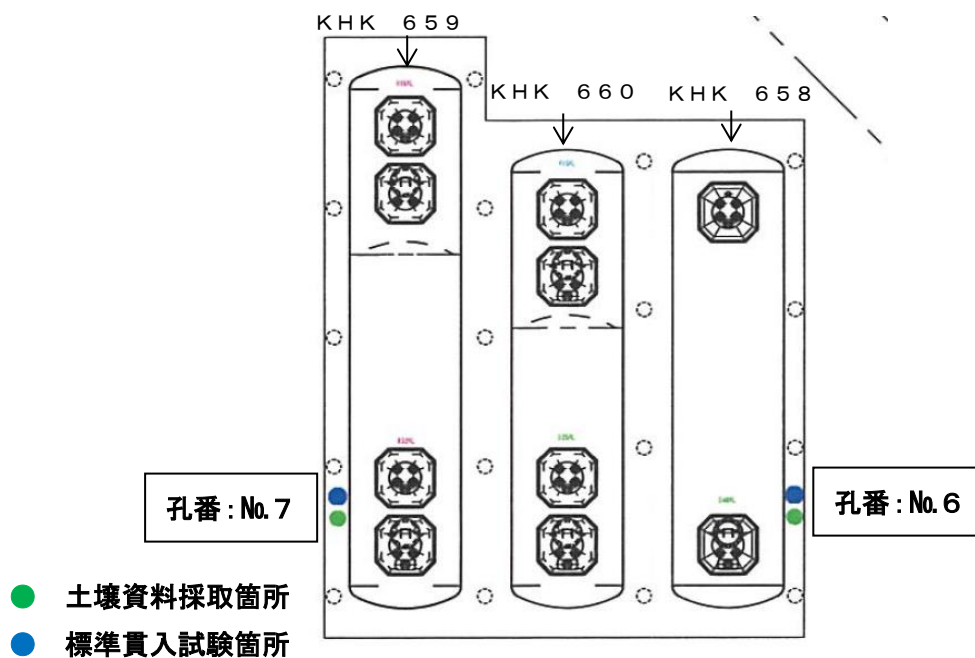


図2.1.3 ボーリング実施箇所

表 2. 1. 2 粒径による土粒子の分類

呼び名	礫		砂		シルト	粘土
	礫	細礫	粗砂	細砂		
粒径 (mm)	75~4.76	4.76~2.0	2.0~0.42	0.42~0.074	0.074~ 0.005	0.005以下

(出典：ボーリング図を読む 理工図書株式会社 1986年)

イ 標準貫入試験 (N値)

孔番No.1~No.7にて実施した標準貫入試験結果より、深度区分ごとのN値を取りまとめたものを図2.1.4に示す。(添付資料2及び3参照)

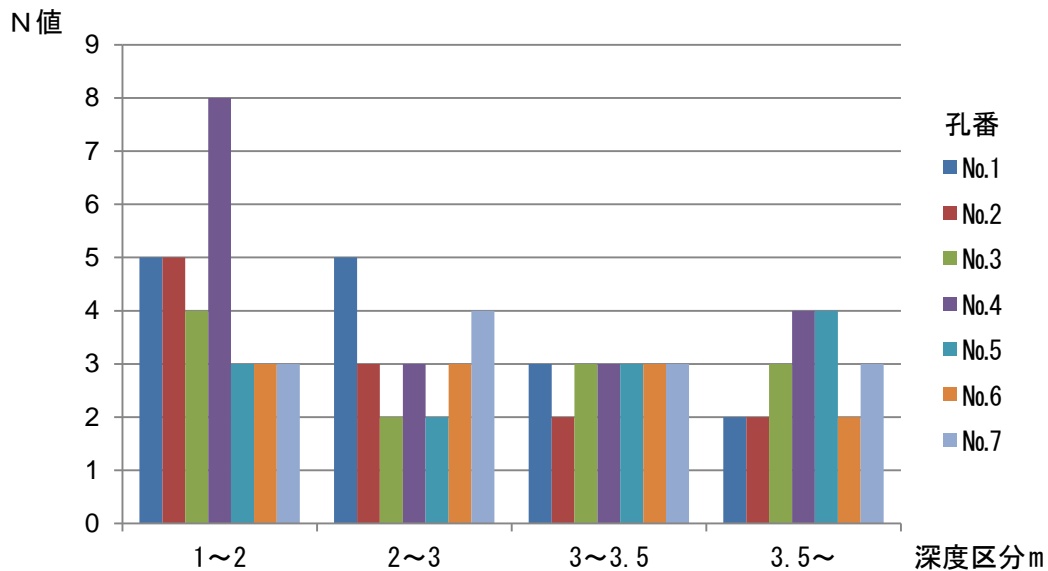


図 2. 1. 4 深度区分ごとのN値

最も高いN値は孔番4の1m~2mにおける8、最も小さいN値は、2m~3m、3m~3.5m、3.5m~の各深度区分における2となっている。全体の傾向としては、1m~2mの深度区分のN値が他の深度区分のN値と比べ高くなっており、全体の平均はN値が3.3であった。

ウ 神奈川県の実業用給油取扱所における砕石基礎の状況

タンク (KHK 659) 撤去後の砕石基礎の状況を写真2.1.1に示す。



写真2. 1. 1 タンク撤去後の碎石基礎の状況 (KHK659)

写真2. 1. 1に示すように充填碎石部分は、手で容易に崩すことができる程度の締め固め状況であったことと拳大の石塊が混入していたことが確認された。

(3) 昨年度実施した新潟県の営業用給油取扱所

添付資料4に示すとおり、4孔の各試験深度におけるN値は0～2であり、締まりが非常に緩いことが確認された。

深さ0.5～4.0mの土質の粒度組成は、24～28%の礫分と65～68%の砂分、5～10%の細粒分で構成されていたことも確認され、指針に示された材料が使用されておらず、締め固めが不十分であり、タンクが変形しやすい埋設状況であった。

タンク撤去後の碎石基礎の状況を写真2. 1. 2に示す。充填碎石に相当する部分は砂であり、タンクを持ち上げた後に崩れてくる状況が確認された。



写真2. 1. 2 タンク撤去後の砕石基礎の状況（新潟県の営業用給油取扱所）

2. 2 FF二重殻タンクの変形状況調査

破損タンクの埋設施工後のタンクの変形量と当協会の職員が埋設施工時に立ち会い、概ね指針どおりの施工がされたと考えられるタンク（以下「立ち会いタンク」という。）の埋設施工後の変形量との比較を行った。

(1) 定点測定

定点測定は、製造工場でのタンク完成時及び水圧試験後にFF二重殻タンク内の定点において鉛直方向内径及び水平方向内径（以下「縦横径」という。）を測定するものである。

次に示す2つの営業用給油取扱所では、破損タンク及びKHK1362についてはタンク埋設時に水を張り、大雨などの増水時における浮き上がり防止対策を行っていたものであり、上部スラブ完成後に水を抜き、タンク内の縦横径を定点で計測したものである。

ア 静岡県の営業用給油取扱所①

(7) 破損タンク 2 基の縦方向変形量

確認番号	タンク容量	測定点	測定時期	変形量 (mm)	平均値 (mm)
KHK1366	40KL 中仕切 (20 : 20)	11 箇所	水抜き後	2 ~ -38	21
KHK1367	40KL 中仕切 (20 : 20)	14 箇所	水抜き後	-9 ~ -23	15

注：平均値は変形量の絶対値で算定したものである。

(1) 立ち会いタンク 3 基の縦方向変形量

確認番号	タンク容量	測定点	測定時期	変形量 (mm)	平均値 (mm)
KHK3342	40KL 中仕切 (20 : 20)	14 箇所	埋設完了後	0 ~ -8	4
KHK3349	20KL ストレート	7 箇所	埋設完了後	-1 ~ -6	3
KHK3359	20KL 中仕切 (10 : 10)	6 箇所	埋設完了後	0 ~ -5	3

注：平均値は変形量の絶対値で算定したものである。

イ 静岡県の営業用給油取扱所②

(7) 破損タンク 1 基の縦方向変形量

確認番号	タンク容量	測定点	測定時期	変形量 (mm)	平均値 (mm)
KHK1363	40KL 中仕切 (20 : 20)	14 箇所	水抜き後	-6 ~ -30	18

注：平均値は変形量の絶対値で算定したものである。

【参考】 破損タンクと同一基礎に存しており、同様の土木施工が施されたものと推定されるが破損していなかったタンク

確認番号	タンク容量	測定点	測定時期	変形量 (mm)	平均値 (mm)
KHK1362	40KL 中仕切 (20 : 20)	14 箇所	水抜き後	-7 ~ -22	16

- ・ 下表に示すように製造後の板厚測定結果から破損しなかったKHK1362は破損したKHK1363と比較して外殻平均板厚では1.1mm、内殻平均板厚では0.8mm、それぞれ厚いことが確認されている。

板厚測定結果の比較

(単位：mm)

確認番号	外殻板厚 (設計5.5)	内殻板厚 (設計5.5)	スティフナー板厚 (設計14.0)
KHK1362	7.0~10.9 (平均8.3)	5.9~14.3 (平均7.6)	14.4~18.2 (平均 16.2)
KHK1363	5.8~9.8 (平均7.2)	5.9~14.3 (平均6.8)	14.8~18.2 (平均 16.4)

- (イ) 立ち会いタンクと同様の施工が行われたと考えられるタンク（以下「立ち会い同等タンク」という。）2基の縦方向変形量

確認番号	タンク容量	測定点	測定時期	変形量 (mm)	平均値 (mm)
KHK3344	40KL 中仕切 (30 : 10)	14 箇所	埋設完了後	2 ~ -4	2
KHK3352	40KL 中仕切 (30 : 10)	14 箇所	埋設完了後	0 ~ -9	3

注：平均値は変形量の絶対値で算定したものである。

ウ 神奈川県の実業用給油取扱所

破損タンク3基は水抜き後の縦横径の測定が行われなかったことから、定点測定と比較検討はできなかった。

ア及びイについて定点測定を実施した結果、全ての破損タンク及び破損タンクと同一基礎にて埋設されていたが破損していなかったKHK 1 3 6 2（以下「破損タンク等」という。）は浮き上がり防止対策にFF二重殻タンク内に水を張ることによって、掘削坑内に水が入った場合のFF二重殻タンクの浮き上がりを防止する対策が施してあり、立ち会いタンク及び立ち会い同等タンク（以下「立ち会いタンク等」という。）は浮き上がり防止対策を施していないので同一の条件での比較ではないが、破損タンク等の変形量と立ち会いタンク等の変形量を比較すると、立ち会いタンク等では変形量の平均値が約1/5になっており、変形量の最大値も9mm以下であることから、指針どおりの施工を行えば変形量が少なくなることが確認された。

(2) 3Dレーザー測長による測定

3Dレーザー測長による測定で取得した点群データを活用し、立ち会いタンク等の変形量と破損タンク等の変形量の比較を行った。

ア 調査実施者等

(7) 調査実施者：大浦工測株式会社

(8) 使用機器：Leica 社製 HDS 7000

イ 測定条件

タンクの変形状況を測定するに当たり、図2. 2. 1に示すように、タンク両端より500mm部分の断面形状(円)中心を結ぶ線をY軸とし、Y軸上リザーブ側端部を座標原点に中心軸を設定した。なお、X軸、Z軸の水平、鉛直は測定機器の絶対軸方向を正とした。

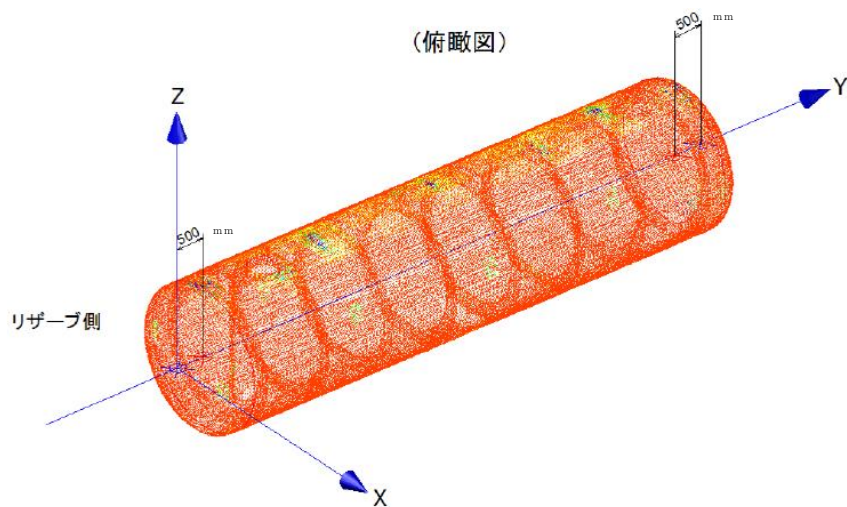


図 2. 2. 1 タンク中心軸設定

タンクの周方向の変位について、図 2. 2. 2 のとおり、リザーブ側のタンク端部から見た方向を正面として、反時計回りに回転角を取り半径を測定した。

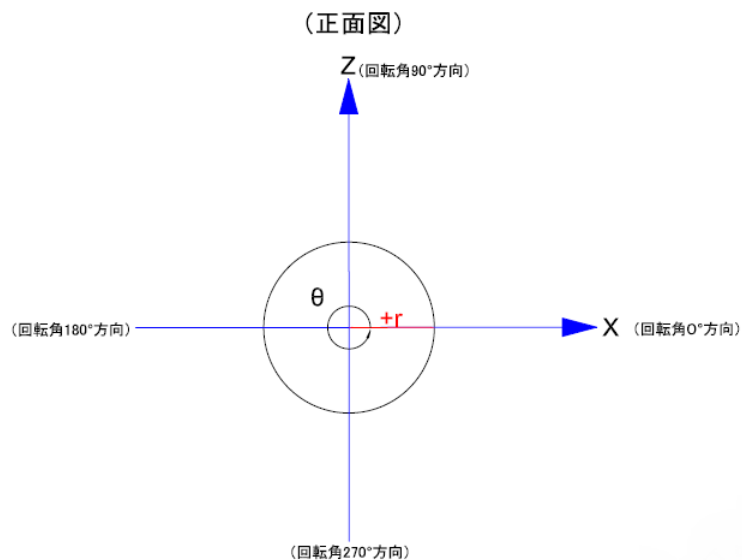


図 2. 2. 2 周方向内径測定箇所

Y 軸直交断面 (原点からの距離 $D = N \text{ mm}$)

r = タンク中心軸からの半径、 θ = X 軸からの回転角 (5 度ピッチ)

ウ 測定対象

(ア) 神奈川県の実業用給油取扱所

- ① KHK 3 3 9 3 40 k L ストレート
- ② KHK 6 5 8 40 k L ストレート

立ち会いタンク
破損タンク

- ③ KHK 6 5 9 4 8 k L 中仕切り (3 2 : 1 6) 破損タンク
- ④ KHK 6 6 0 4 0 k L 中仕切り (2 5 : 1 5) 破損タンク
- (イ) 静岡県の営業用給油取扱所①
 - ① KHK 1 3 6 6 4 0 k L 中仕切り (2 0 : 2 0) 破損タンク
 - ② KHK 1 3 6 7 4 0 k L 中仕切り (2 0 : 2 0) 破損タンク
- (ウ) 静岡県の営業用給油取扱所②
 - ① KHK 1 3 6 3 4 0 k L 中仕切り (2 0 : 2 0) 破損タンク
 - ② KHK 1 3 6 2 4 0 k L 中仕切り (2 0 : 2 0) 破損していなかったタンク

エ 測定結果

立ち会いタンクの変形量に関するグラフを別図 1 に、破損タンク等の変形量に関するグラフを図 2. 2. 3 及び別図 2～別図 1 4 に示す。

なお、グラフ中の角度の表示と砕石基礎の断面図との関係を図 2. 2. 4 に示す。

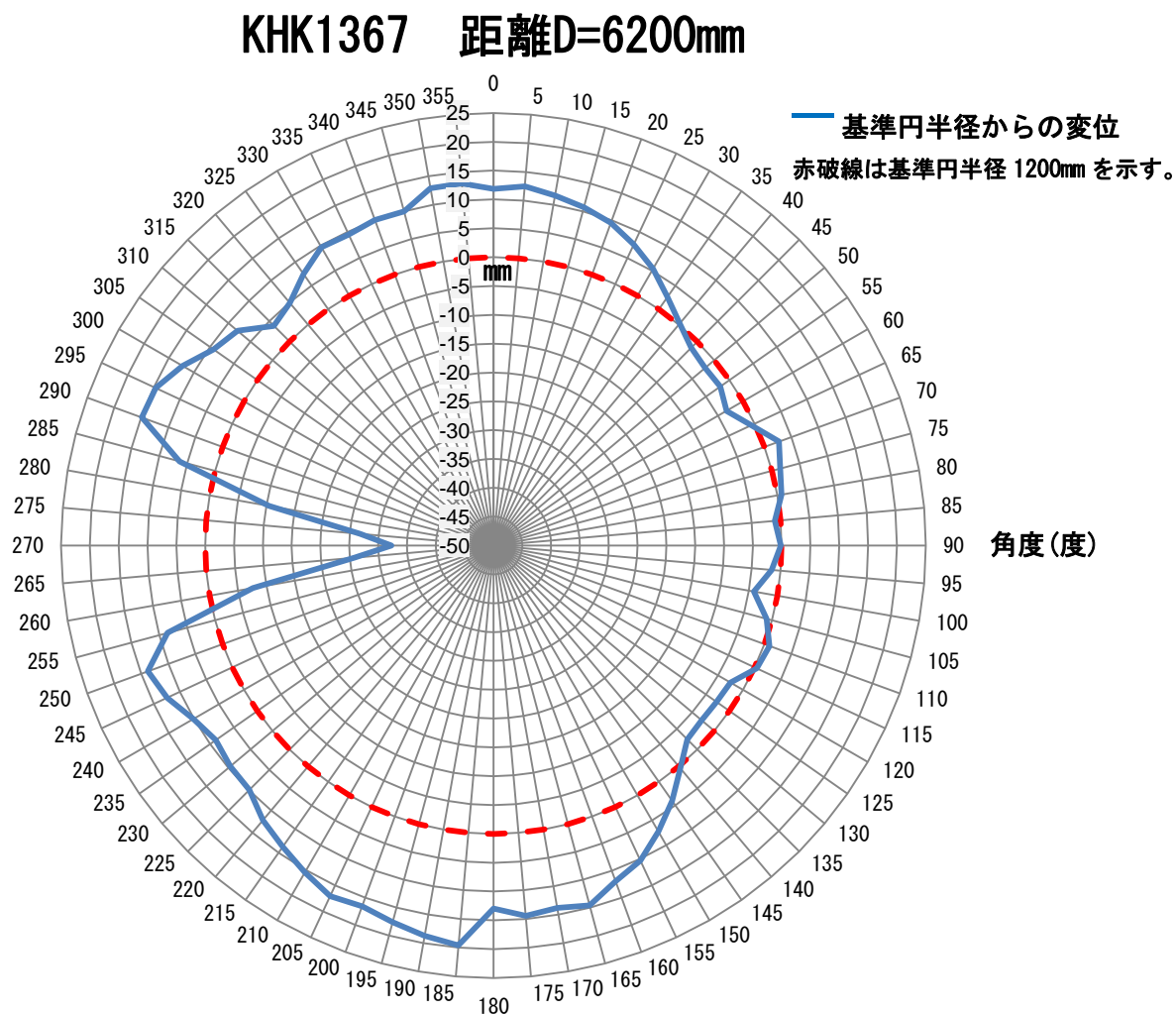


図 2. 2. 3 破損タンク等の変形量に関するグラフ

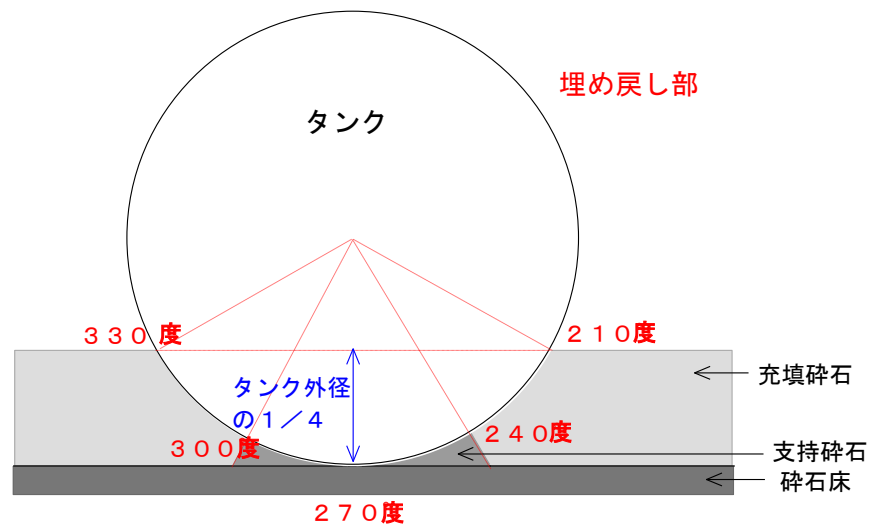


図 2. 2. 4 グラフ中の角度の表示と碎石基礎の断面図との関係

全ての破損タンク等は浮き上がり防止対策を施してあり、立ち会いタンク等は浮き上がり防止対策を施していないので同一条件での比較ではないが、破損タンク等の変形量に関するグラフと立ち会いタンク等の変形量に関するグラフとを比較すると、FF二重殻タンクをしっかりと受け止めなければならない支持碎石及び充填碎石の部分（210度～330度）において、立ち会いタンクの変形量は少なく基準円半径（FF二重殻タンクの内殻半径設計値）から大きく逸脱することがない。

一方、破損タンク等は当該部分において基準円半径から大きく逸脱していることが確認でき、270度において著しく半径が減少して、250度付近及び290度付近で半径が増加する傾向にあること、0度付近及び180度付近で半径が著しく増加する傾向にあることが確認された。

これらのことから、指針どおりの施工を行えば基準円半径から大きく逸脱する変形が少なくなることが確認された。

2. 3 空隙状況調査

FF二重殻タンク内部から打診棒でタンク内面を叩き、音の響く箇所を線で囲み、当該箇所についてのマッピングを作成した。

(1) 調査方法

タンク内から打診棒による反響音の有無の範囲を調査した。

(2) 調査対象

破損タンク等及び立ち会いタンク

(3) 調査結果

反響音のある箇所は埋設されたタンク周辺に空隙の存在が推定される箇所（以下「空

隙」という。)として、その状況を表したものを別図15～別図22に示す。なお、その一部として、破損タンクについて図2.3.1に、立ち会いタンクについて図2.3.2に示す。

なお、縦軸にタンク胴長、横軸の上部に図2.2.1及び図2.2.2において設定した角度を示している。

破損タンク等については、支持砕石の部分に断続的に空隙が確認され、一部の充填砕石の部分にも空隙が確認された。

一方、立ち会いタンク等については、埋設施工に際して浮力防止対策の水張りを行っていないことから、浮き上がり防止対策が施され、一定期間供用されていた破損タンク等の空隙状況と同じように比較することはできないが、支持砕石の部分において270度のラインを含めて連続的に空隙が存在していることが確認された。

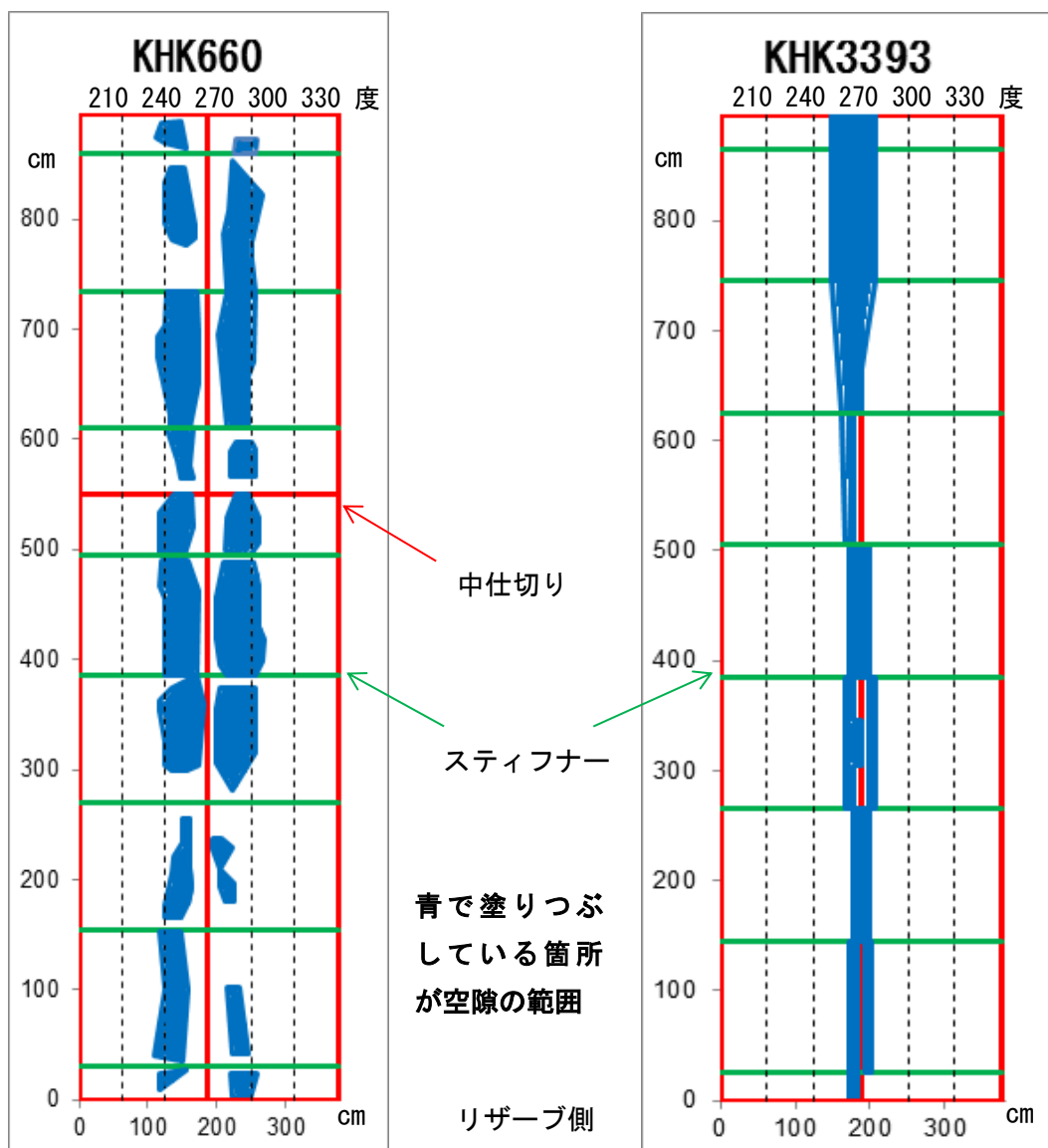


図2.3.1 破損タンクの空隙状況

図2.3.2 立ち会いタンク等の空隙状況

破損タンク等では、270度から±30度の範囲のスティフナー間において、反響音が認められる範囲が確認された。また、立ち会いタンク等では、270度近傍においてタンク端部から端部へ一様に反響音が認められる範囲が確認された。

2. 4 砕石基礎の施工状況を踏まえた提言

破損タンク等の変形量と立ち会いタンク等の変形量との比較結果、破損タンク等と立ち会いタンク等における支持砕石・充填砕石との空隙状況の比較結果、破損タンク等のボーリング調査結果及び掘り上げ時の砕石基礎の状況から、破損タンク等については砕石基礎がいずれも「地下貯蔵タンクの砕石基礎による施工方法について」（平成8年10月18日付け消防危第127号）（以下「127号通知」という。）に定められている指針どおりに施工されていなかったことが推定された。

FF二重殻タンクの破損要因は、製造時、設置時及び供用開始後の各段階において存在すると考えられ、これらの破損要因が単独又は組み合わせられることにより破損に至るものと考えられる。

FF二重殻タンク本体に起因する破損要因については、次に示す方法により次年度に究明する予定であるが、今回、調査対象となったタンクに関して、破損要因の一つである砕石基礎の施工が指針どおりでない可能性がある現状を踏まえ、次年度の究明結果を待たずに早急に対応することが必要であると考えられる。

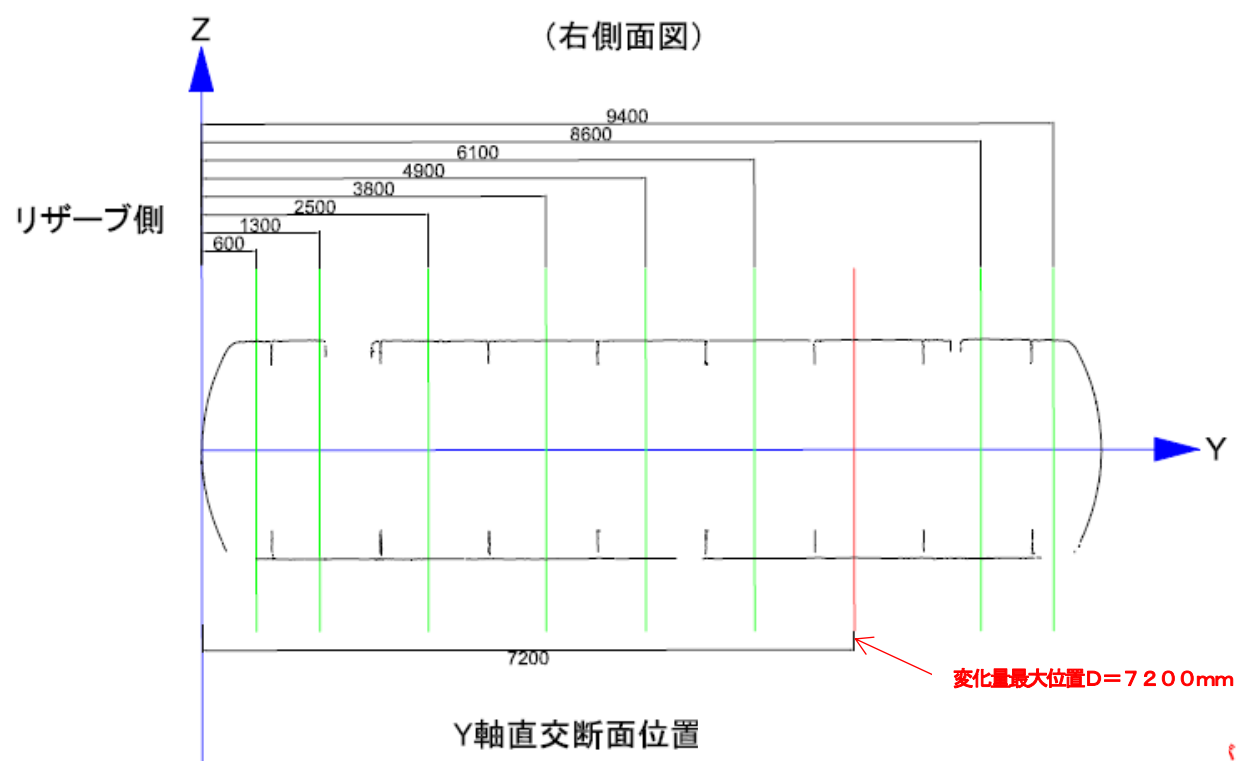
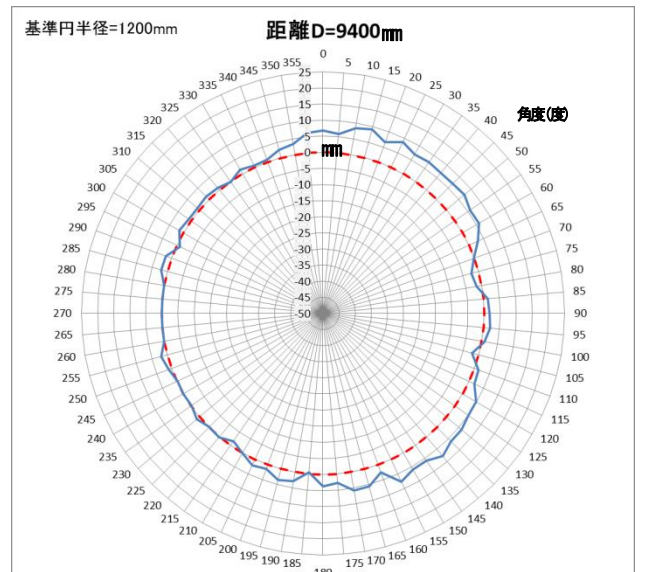
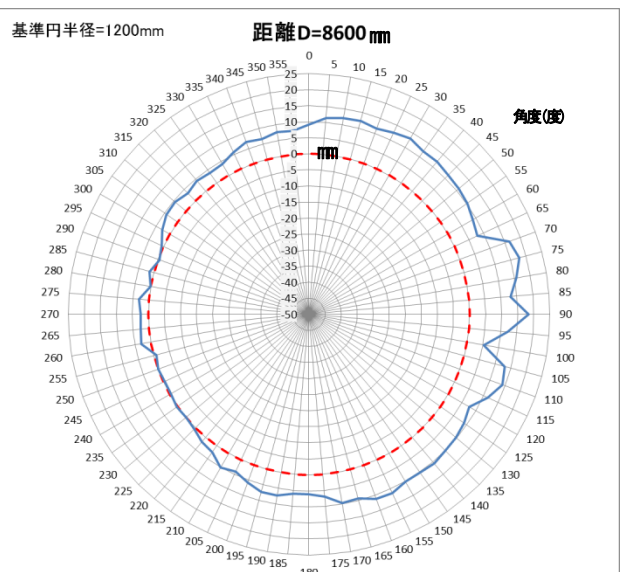
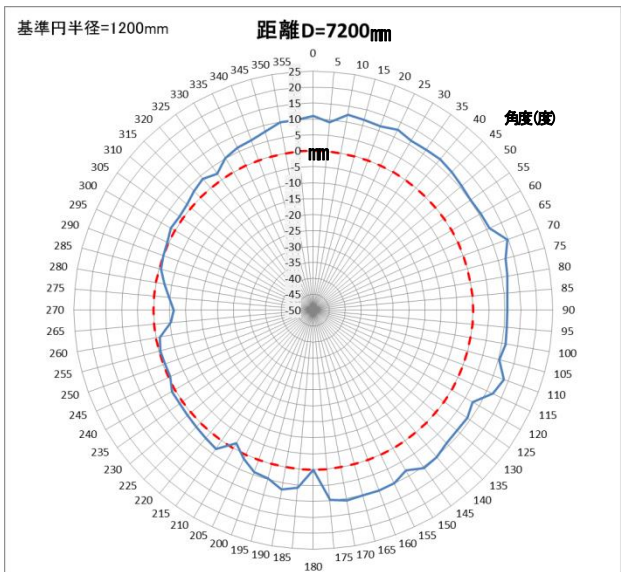
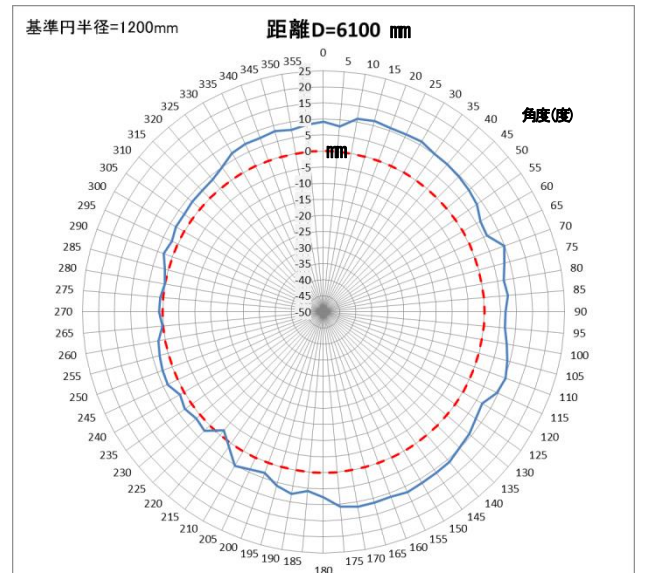
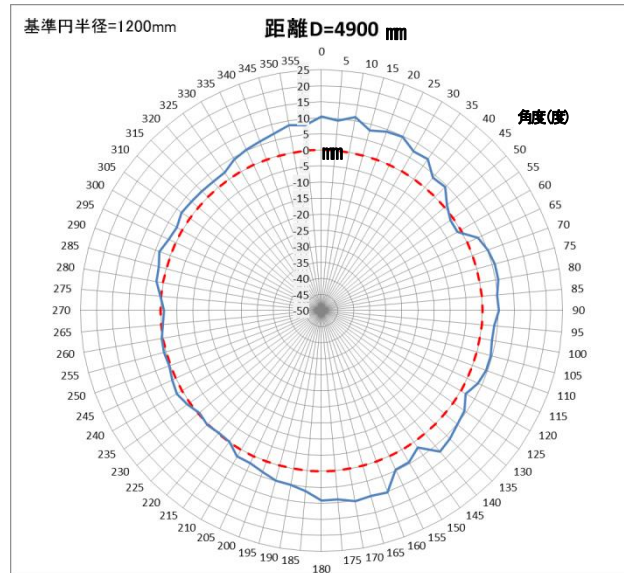
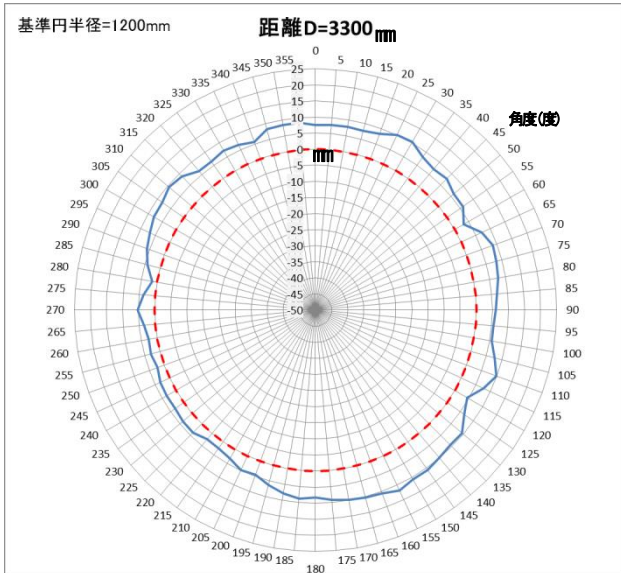
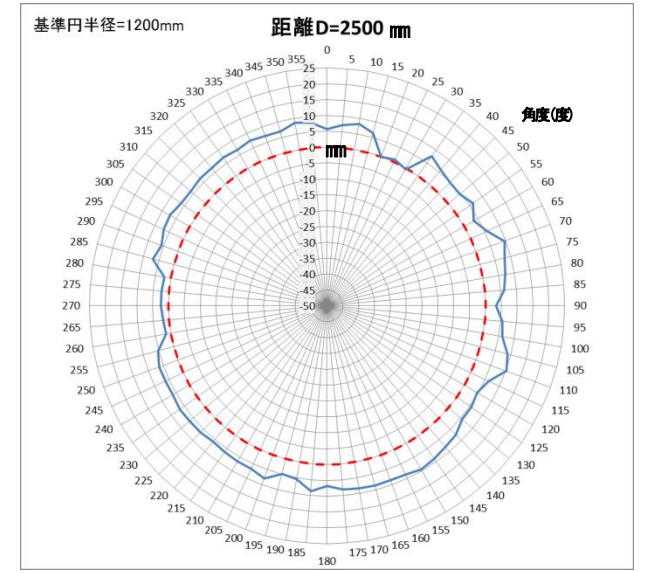
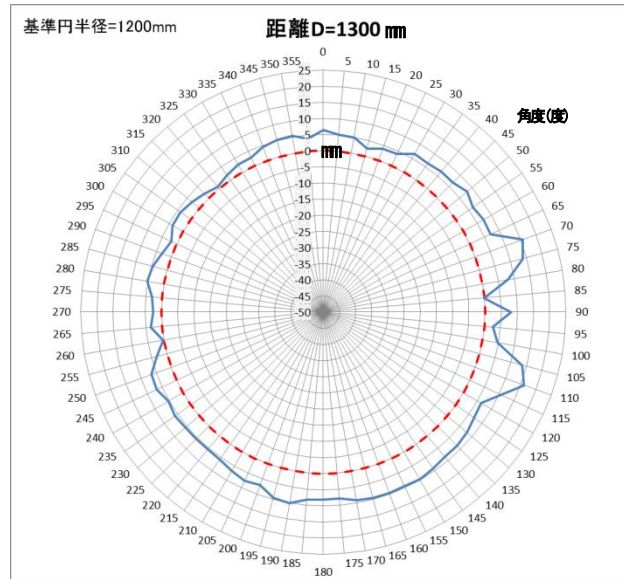
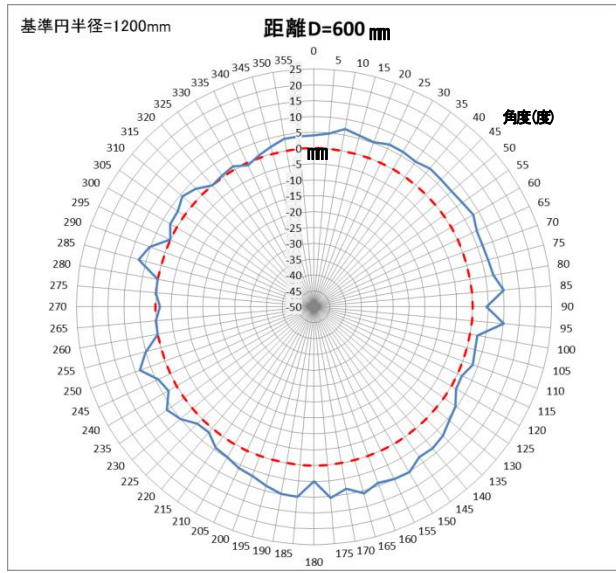
次年度検討事項

- ・ 破損タンクから採取する試験片について実施するX線CTにより得られる破損箇所の詳細な状況確認及び検知層を構成する3D繊維の状況確認
- ・ 有限要素法による3次元応力解析及び破損部位近傍の詳細解析
- ・ FW製品の品質管理（曲げ応力等のばらつき）に関する検討

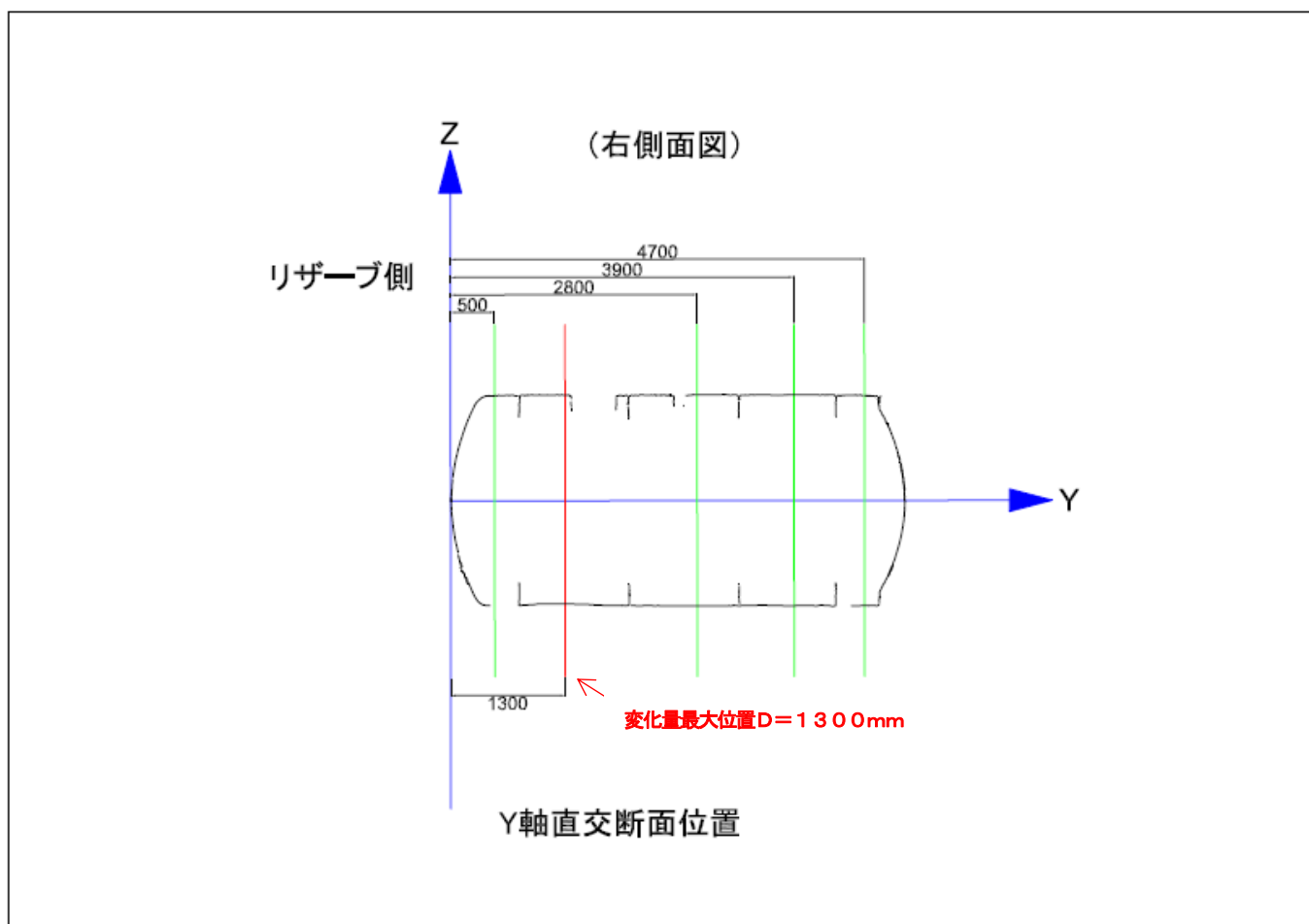
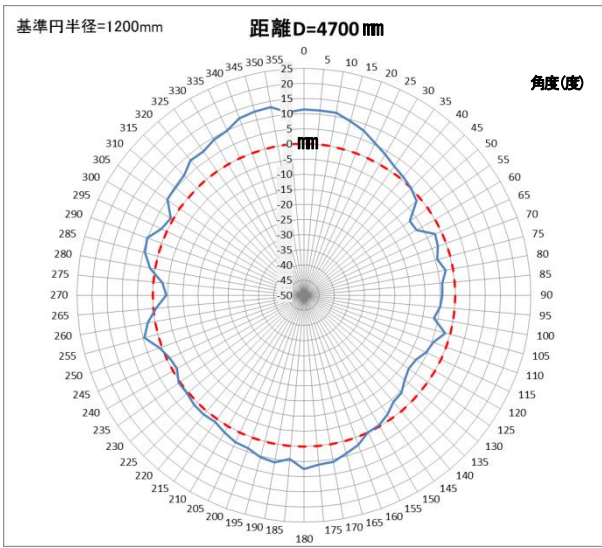
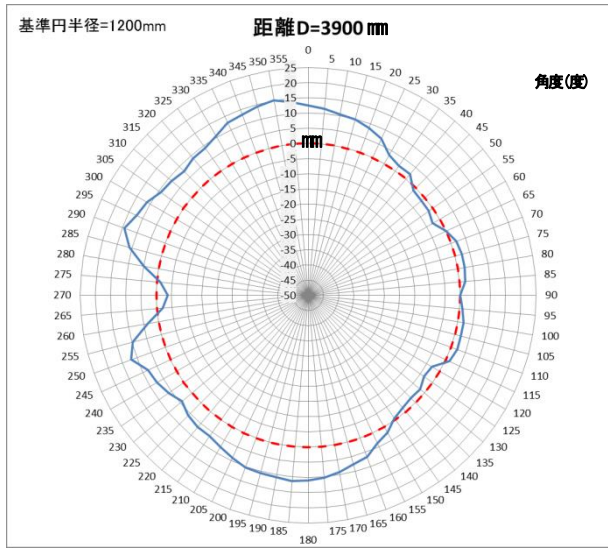
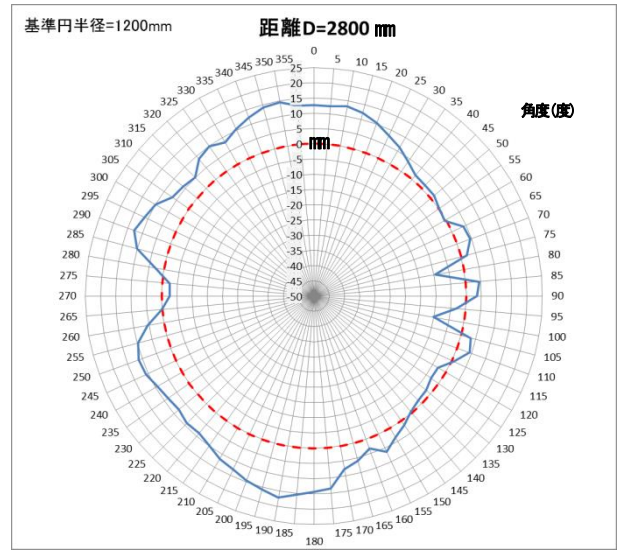
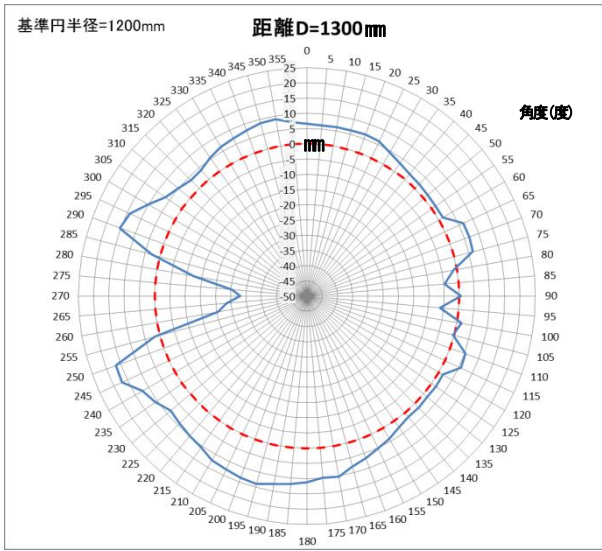
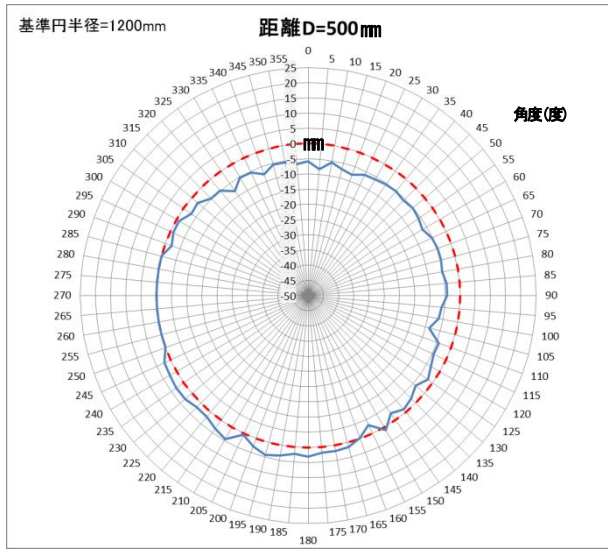
地下埋設構造物であるFF二重殻タンクは、埋設後にその変形状況等を容易に確認することができないため、指針どおりに適切に施工して、施工管理記録を確実に作成・保存することが必要である。このことを具現化するためには、FF二重殻タンクを埋設施工する事業者には周知徹底するとともに、FF二重殻タンクが埋設施工される危険物施設の許可権者である市町村長等（消防機関）に情報提供することが必要であると考えられる。

このようなことから、FF二重殻タンクを埋設施工する事業者には周知徹底するための方法として、FF二重殻タンクの構造、砕石基礎の施工方法、施工管理記録の作成方法等の解説を行う研修会を開催し、同事業者に受講させることが望ましい。

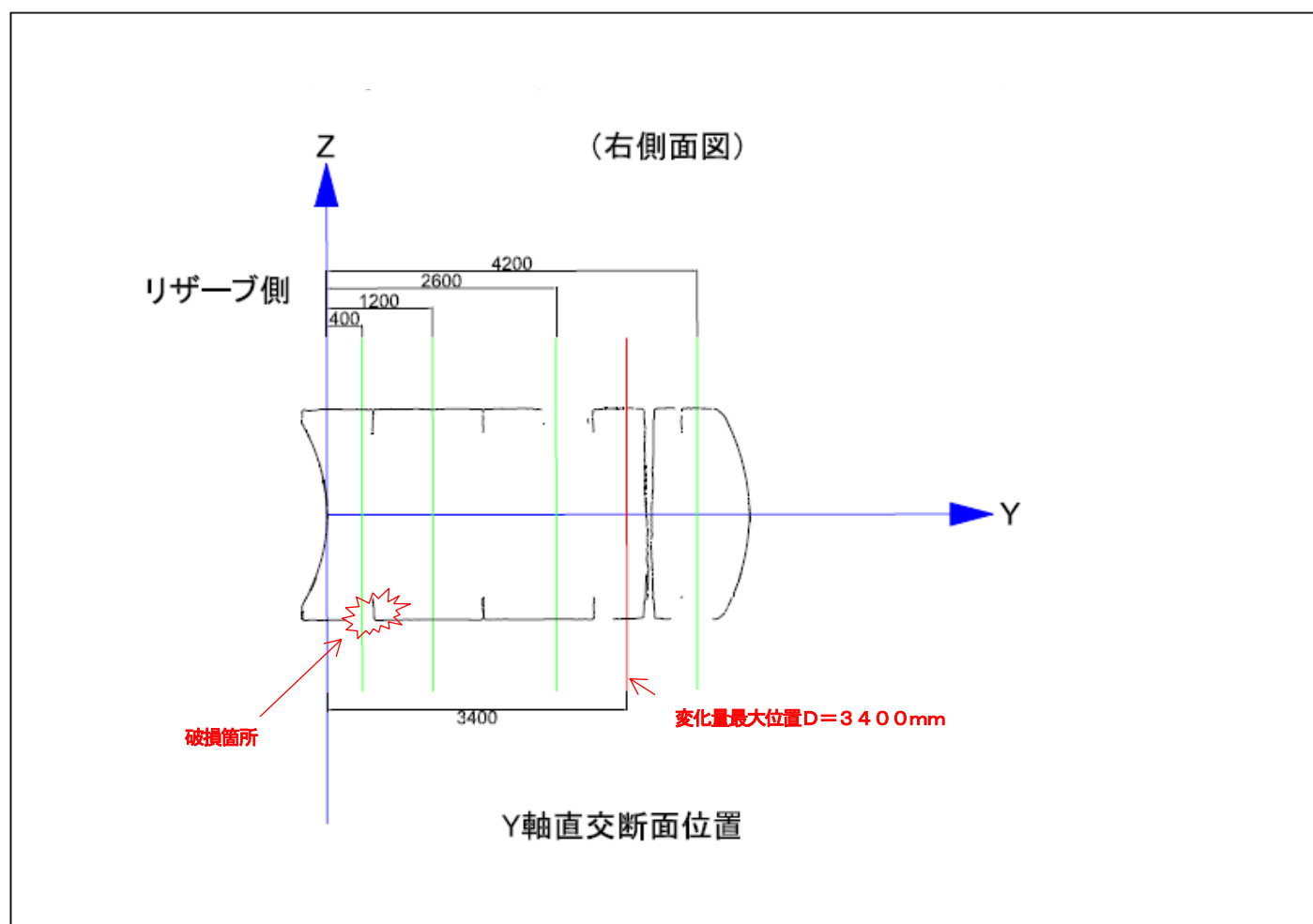
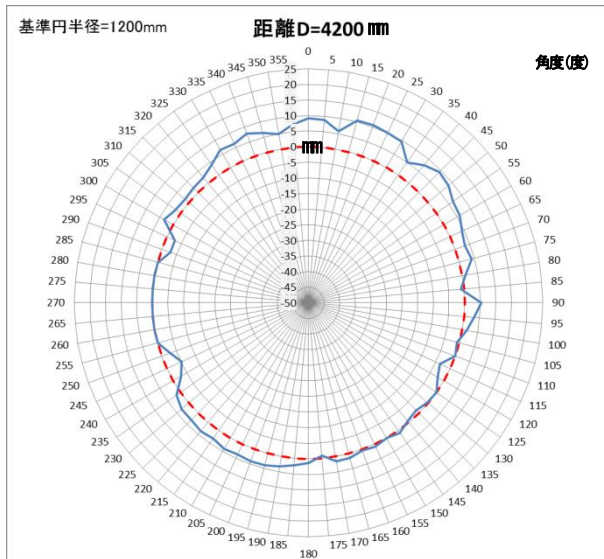
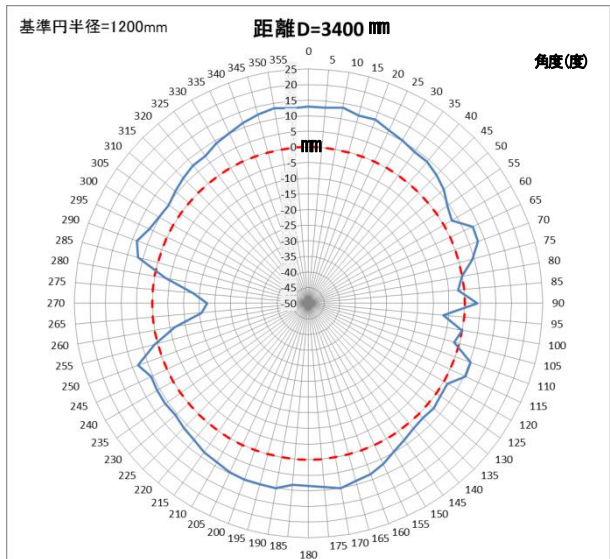
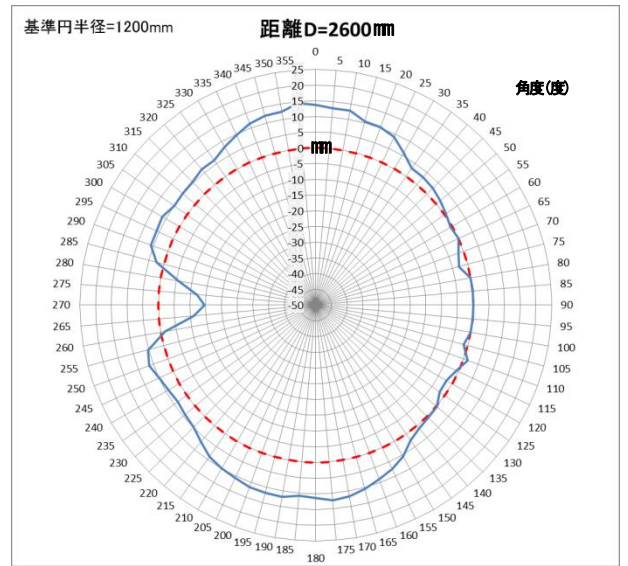
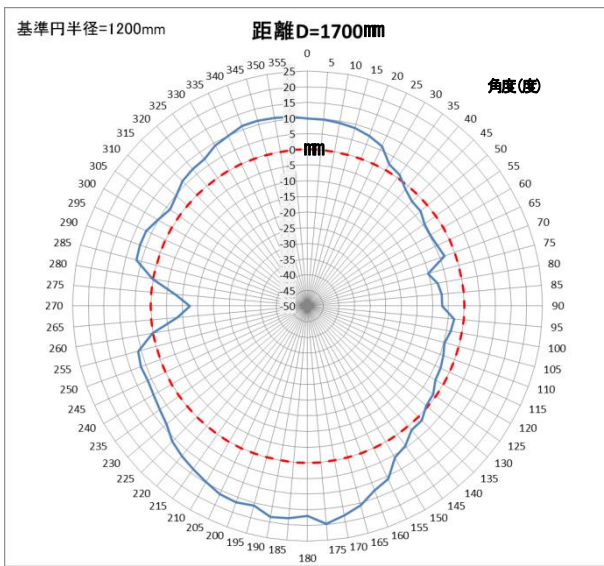
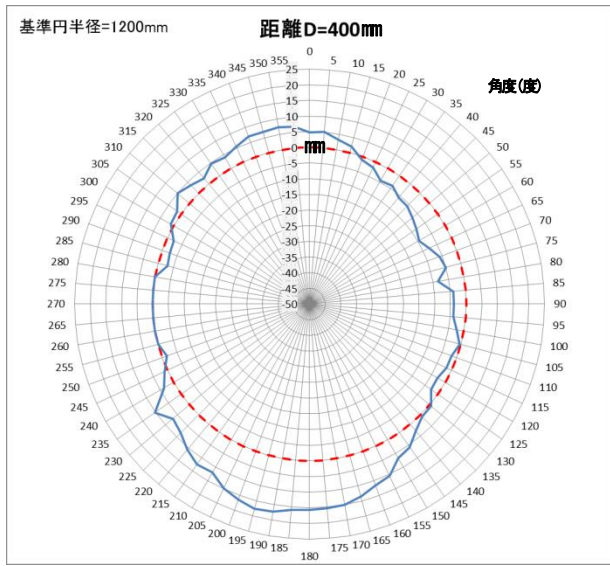
また、完成検査における施工管理記録の活用方法等について、消防機関へ情報提供することも重要である。



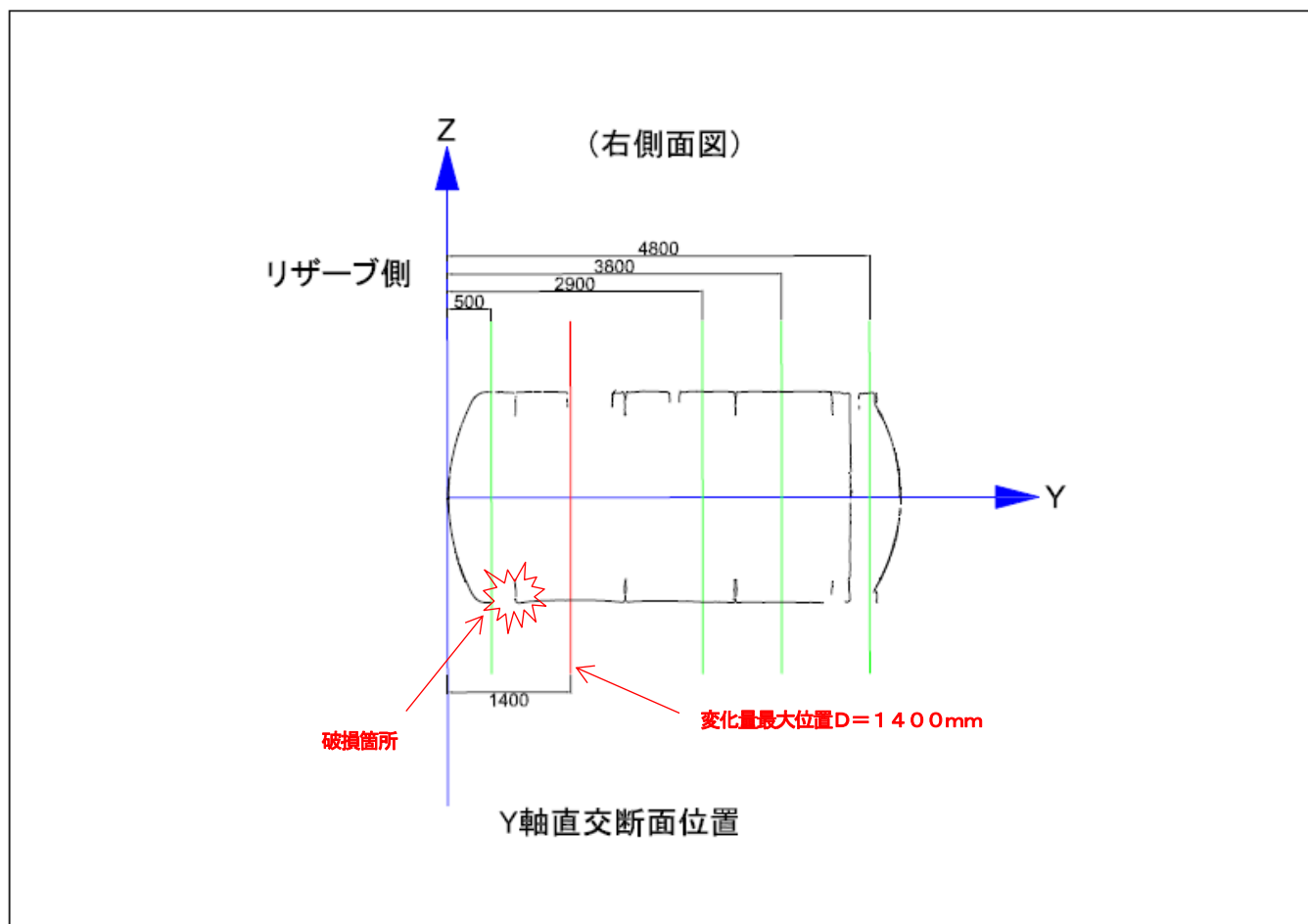
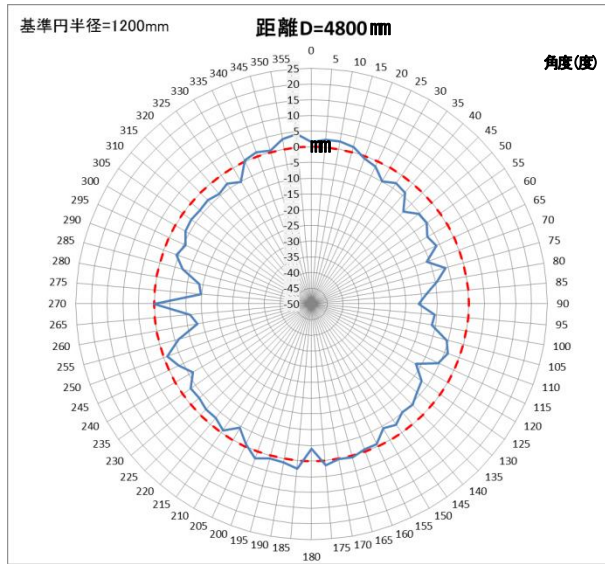
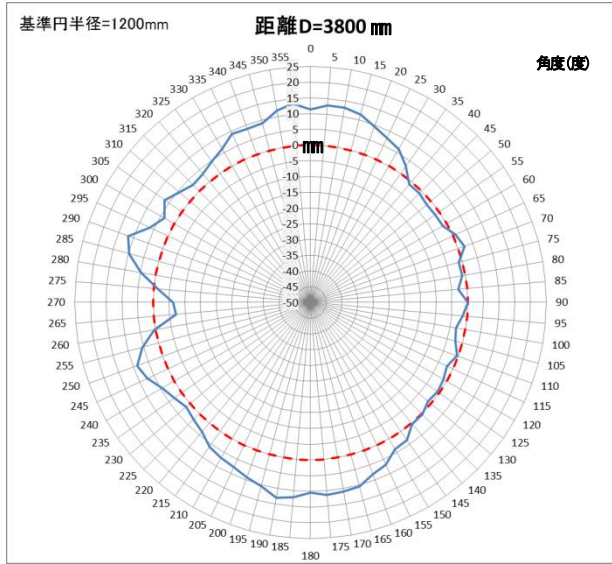
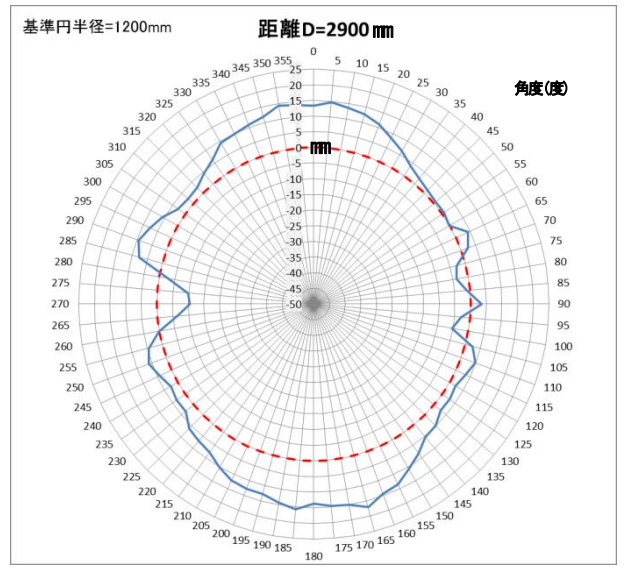
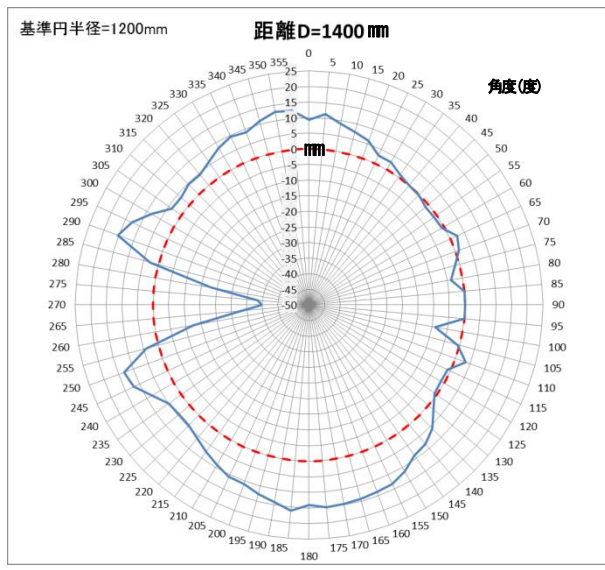
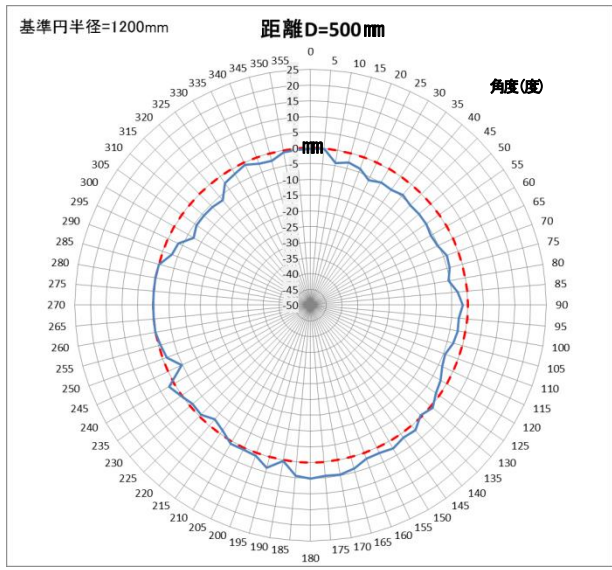
別図1 KHK3393の変形状況



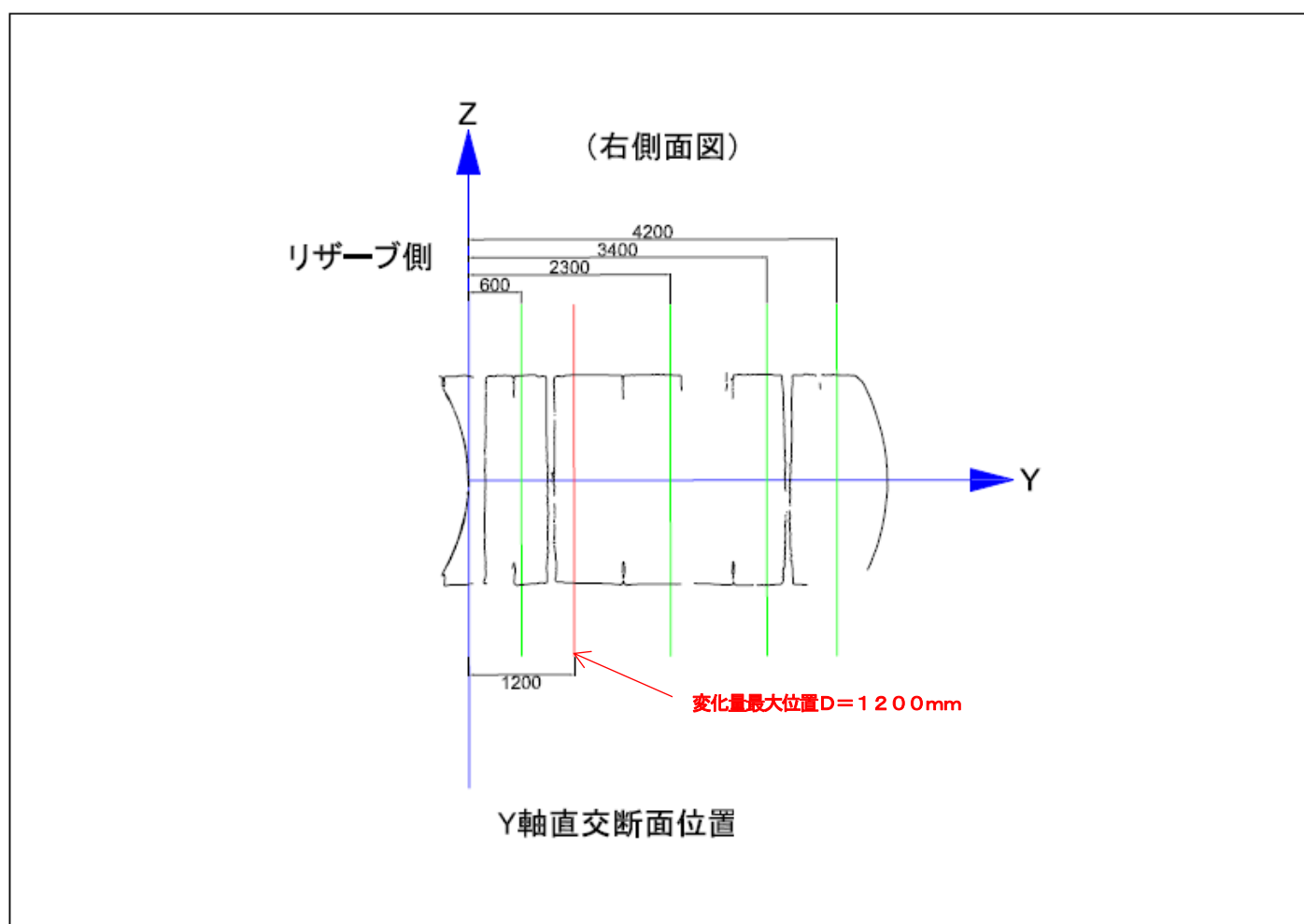
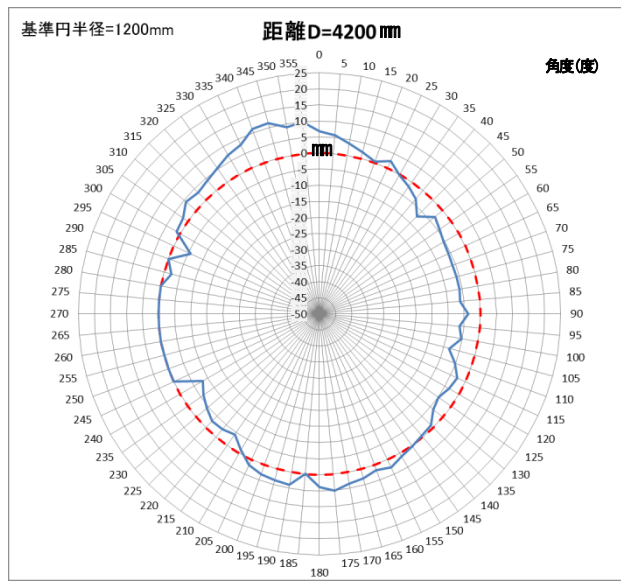
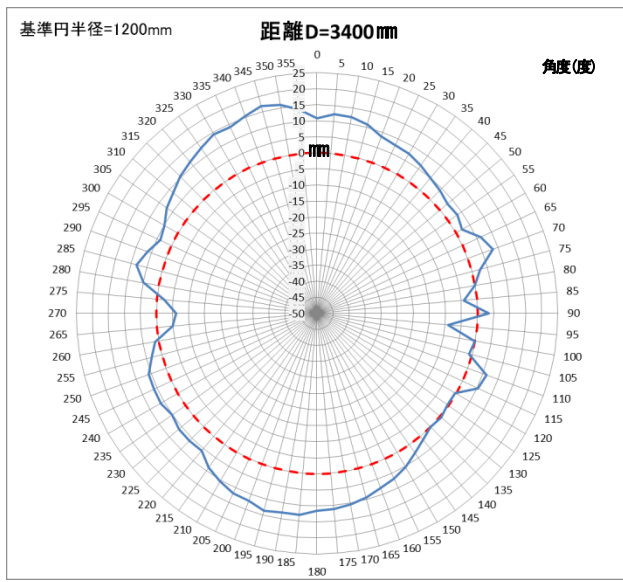
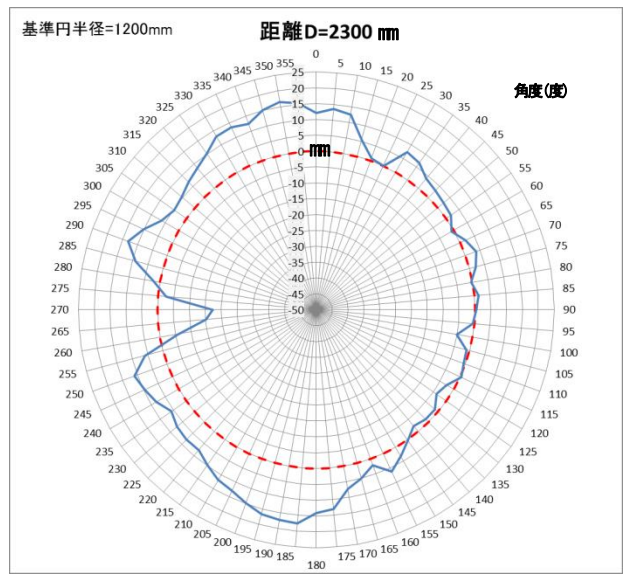
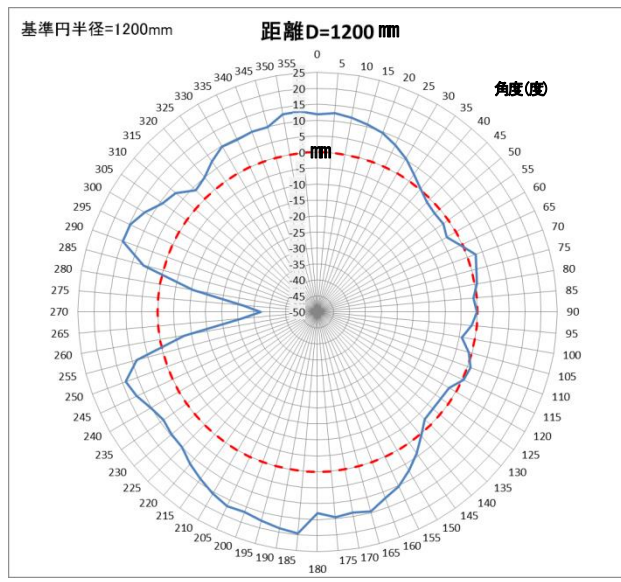
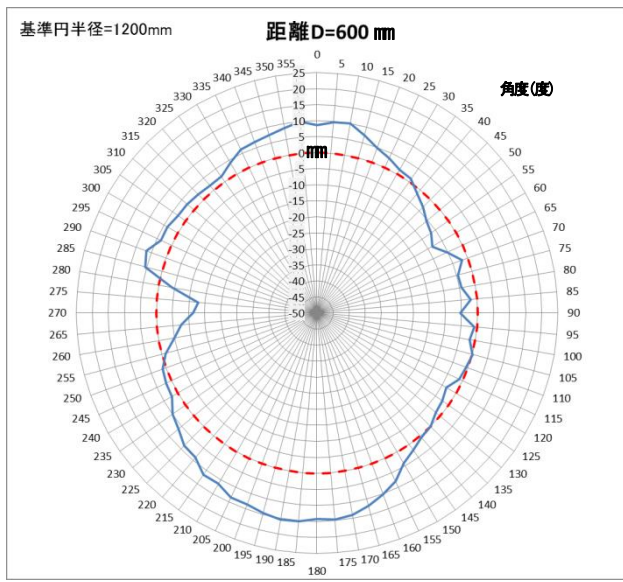
別図2 KHK1366 (リザーブタンク側の20KL槽) の変形状況



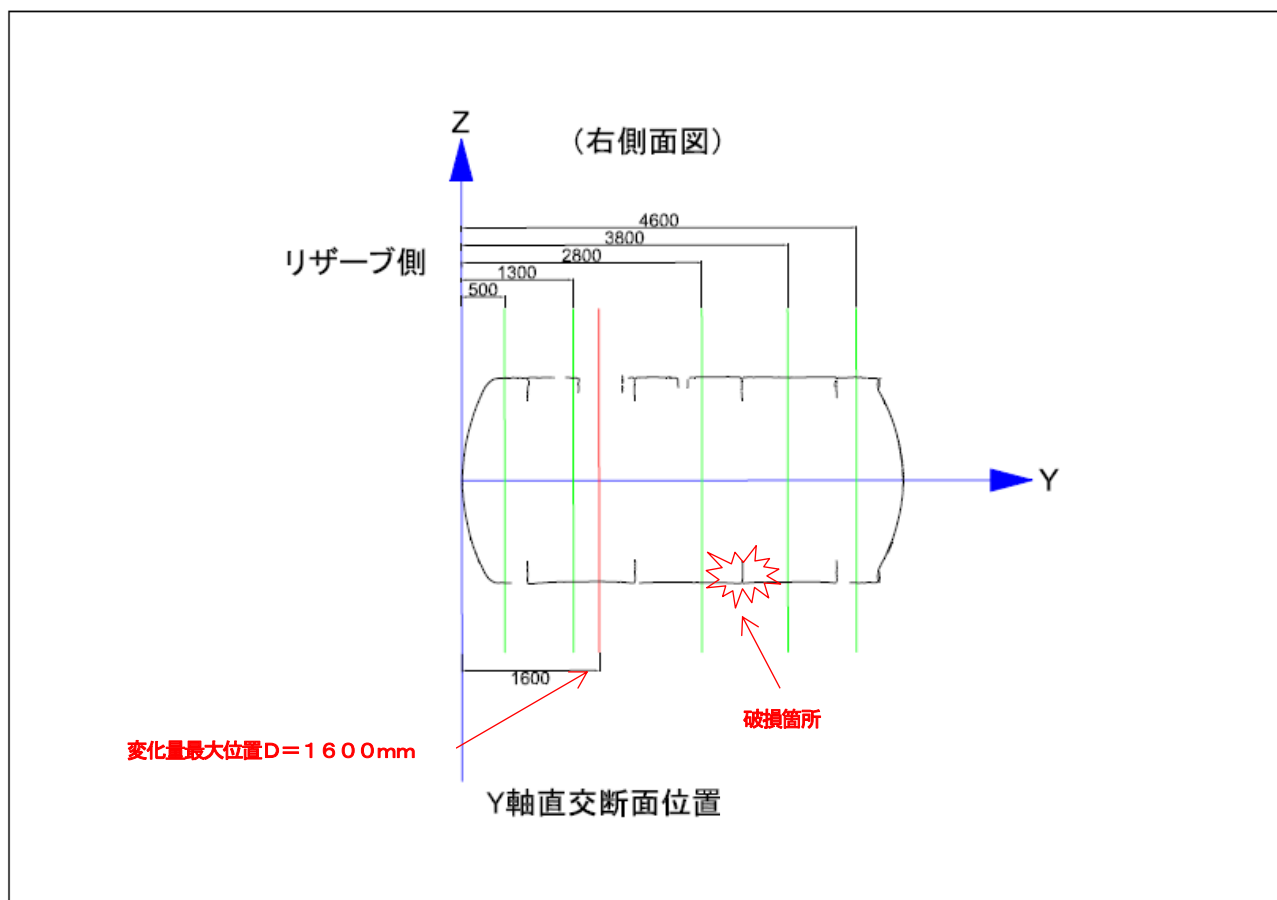
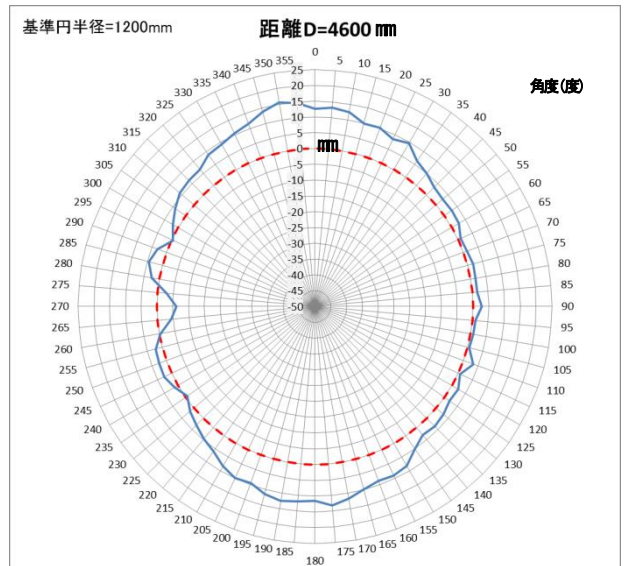
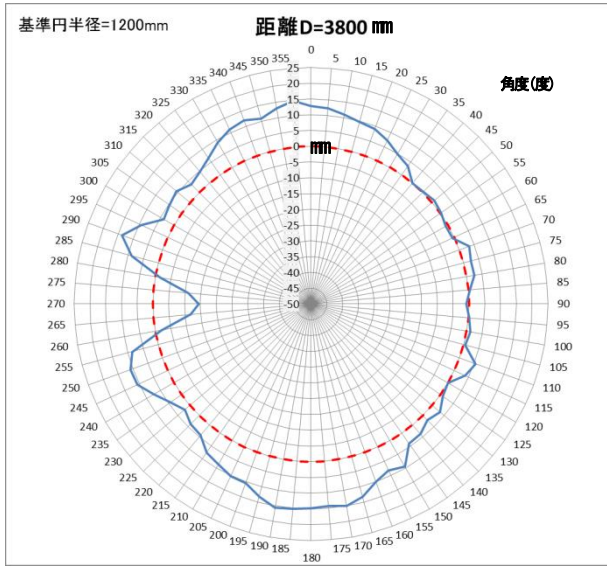
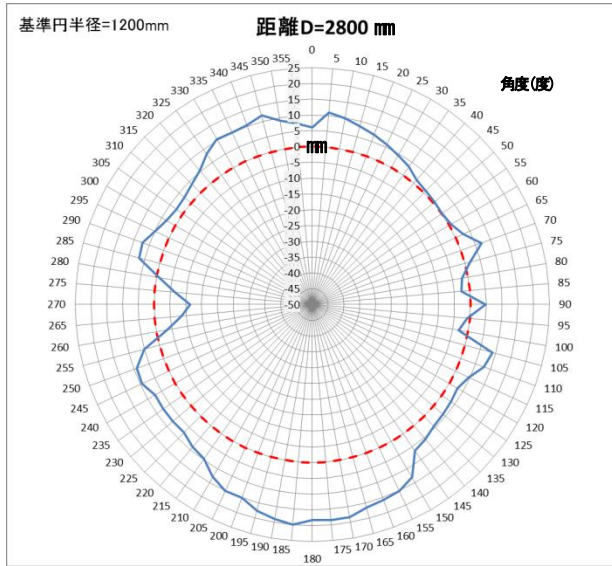
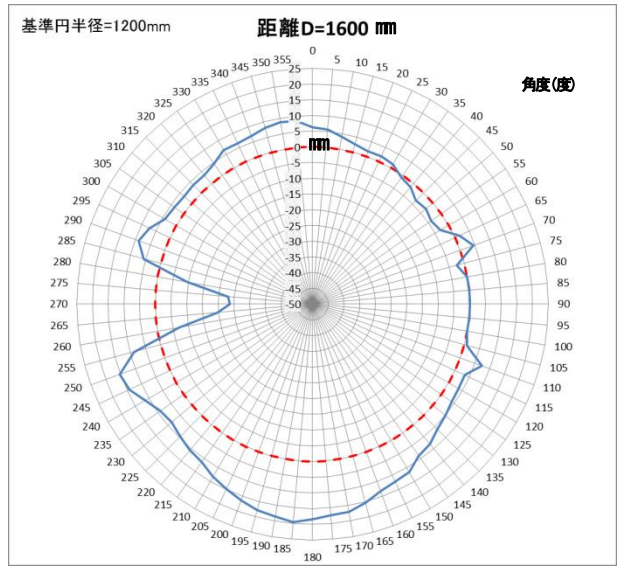
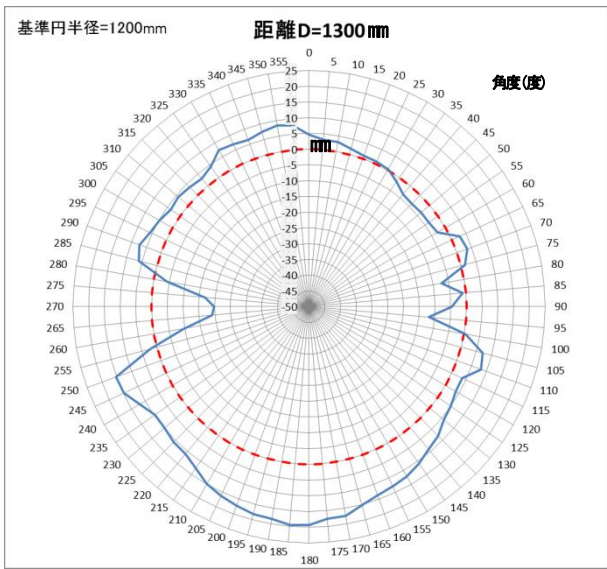
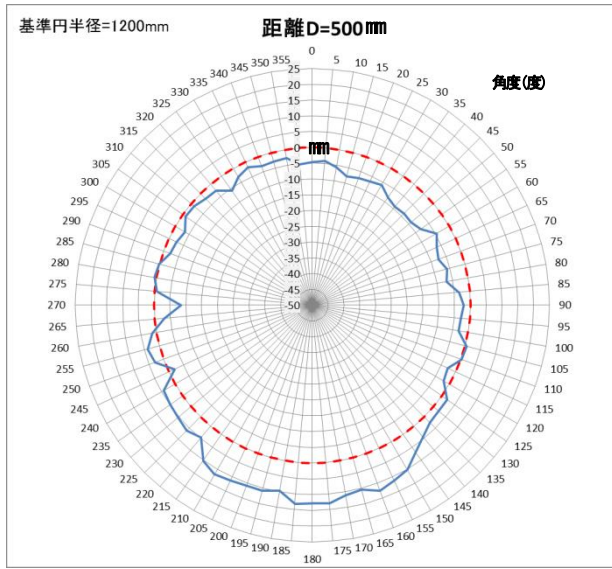
別図3 KHK1366 (リザーブタンクの反対側の20KL槽) の変形状況



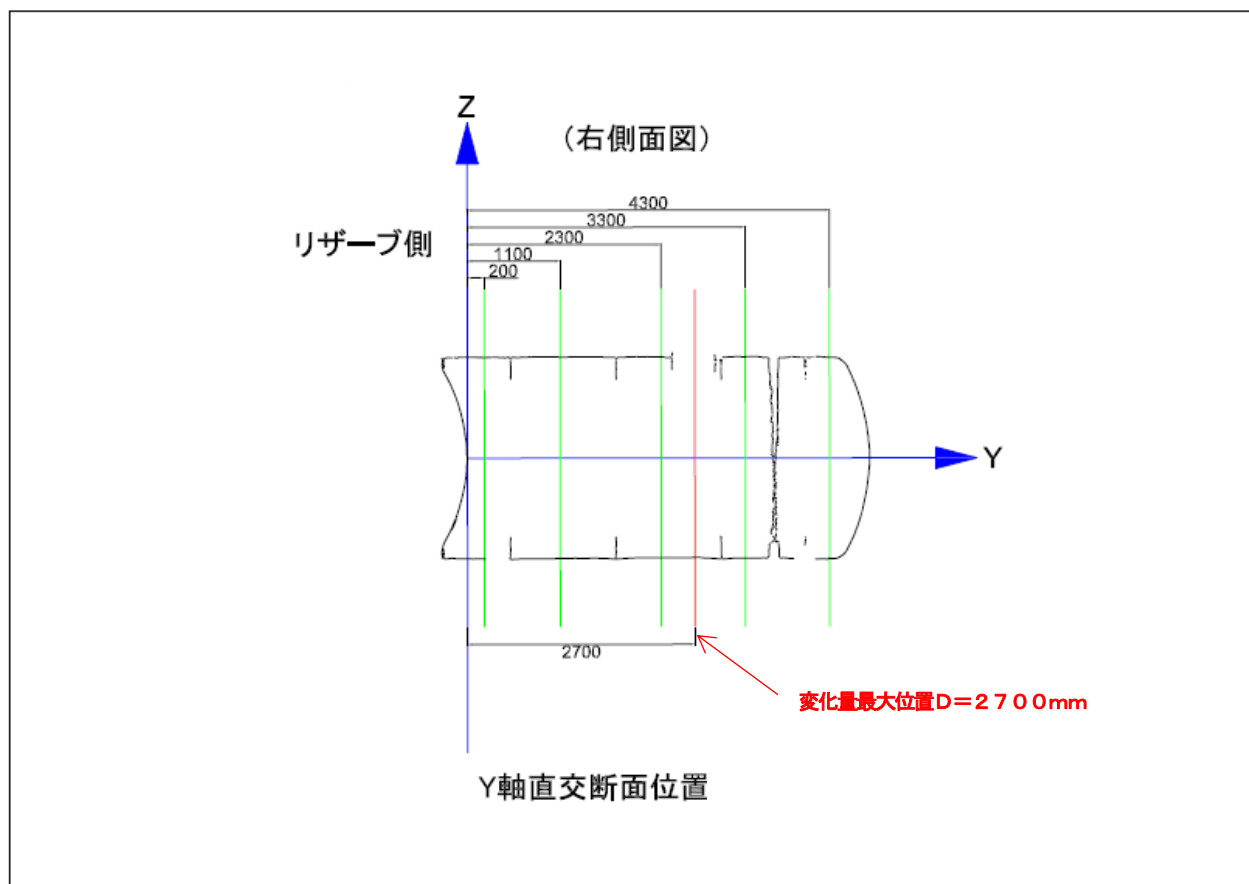
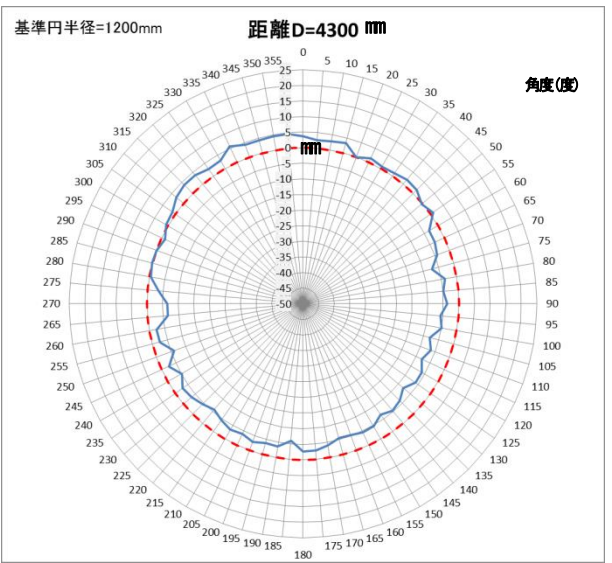
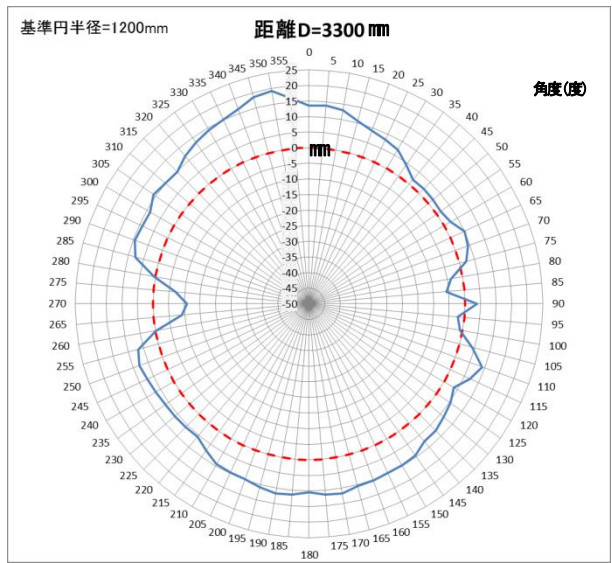
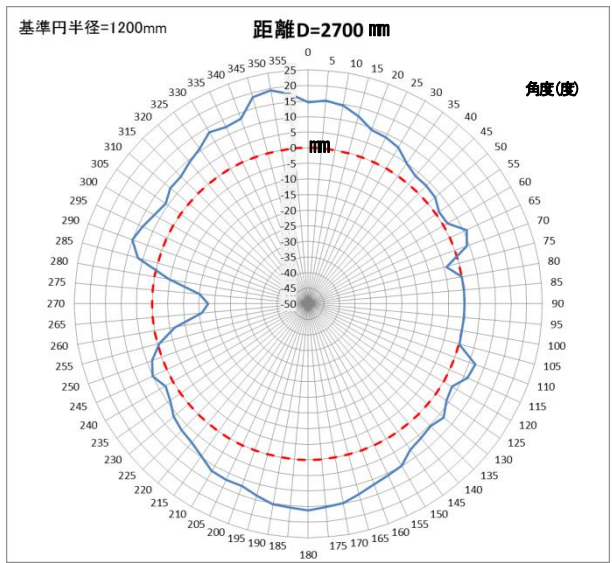
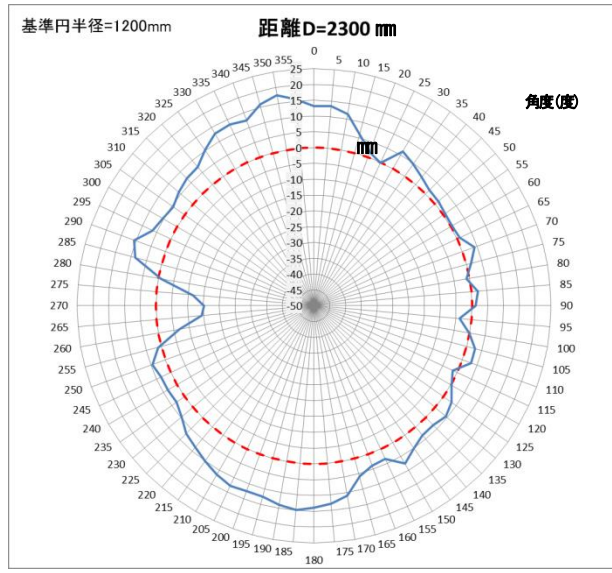
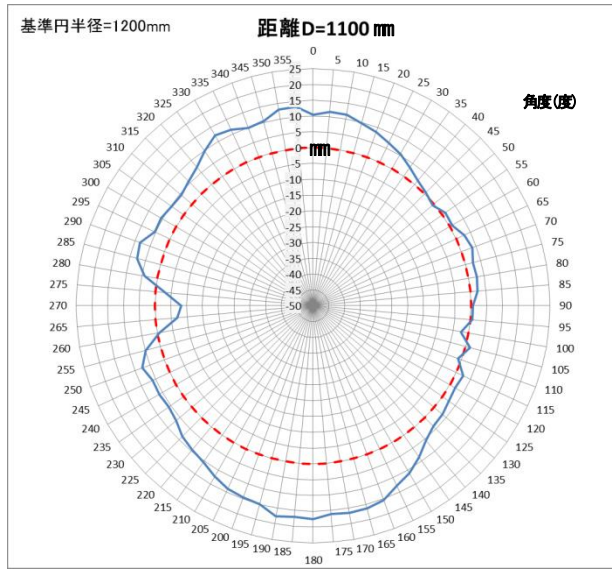
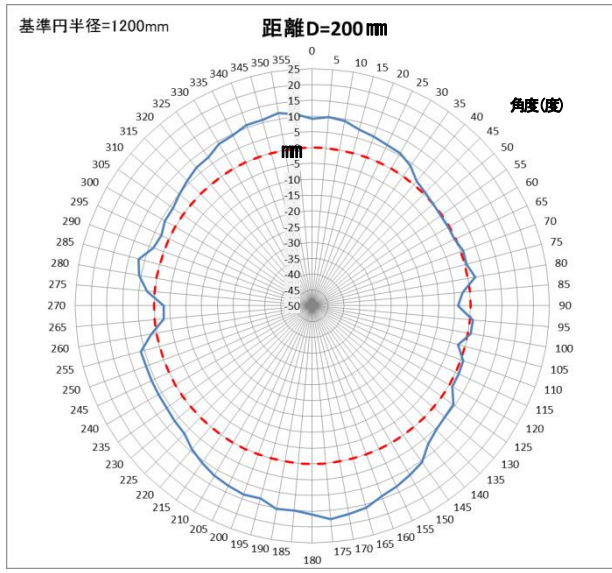
別図4 KHK1367 (リザーブタンク側の20KL槽) の変形状況



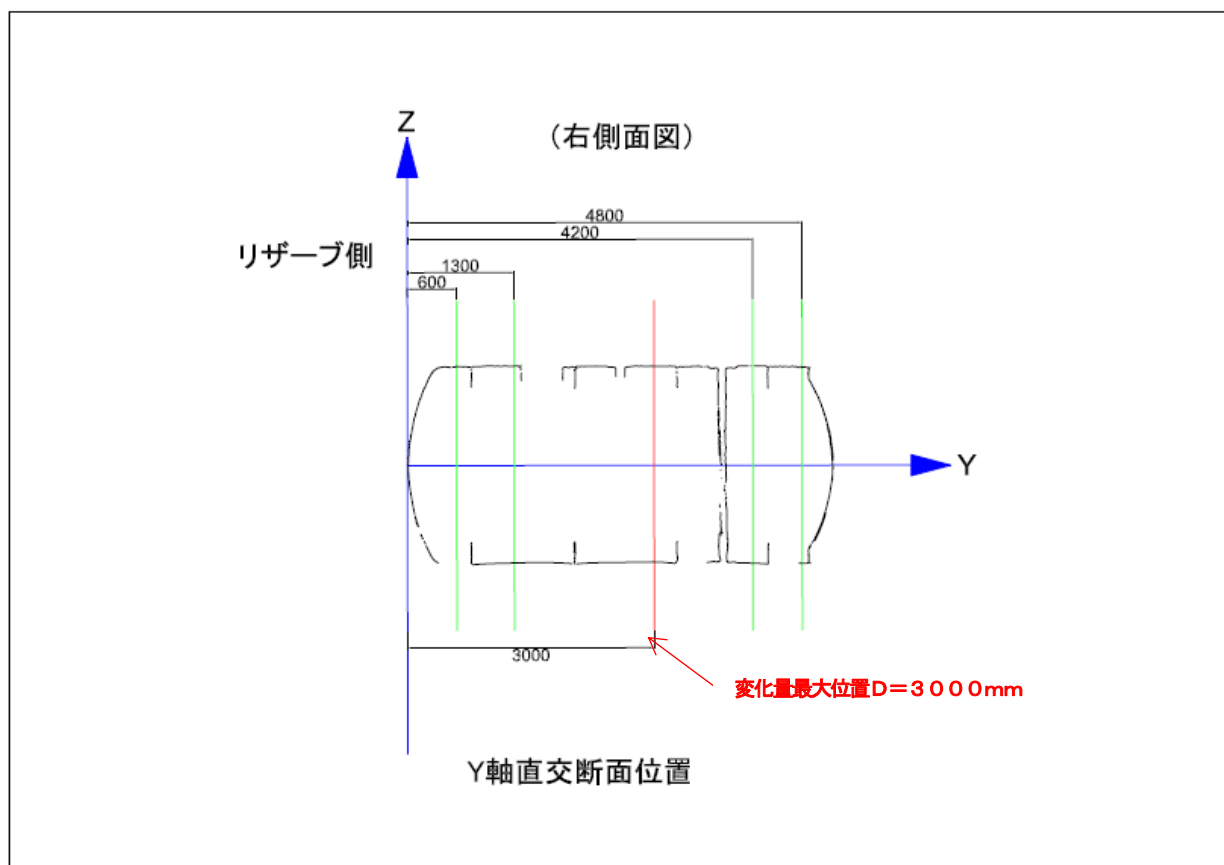
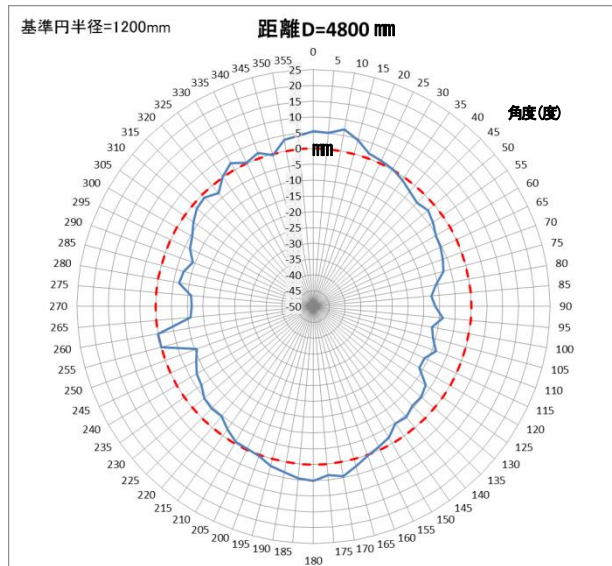
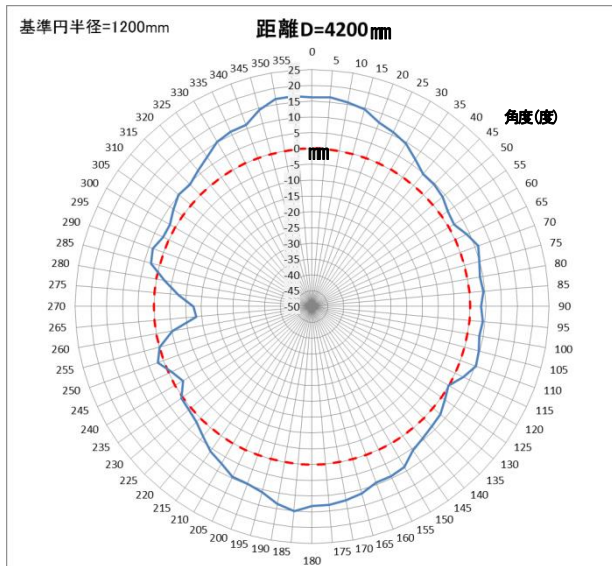
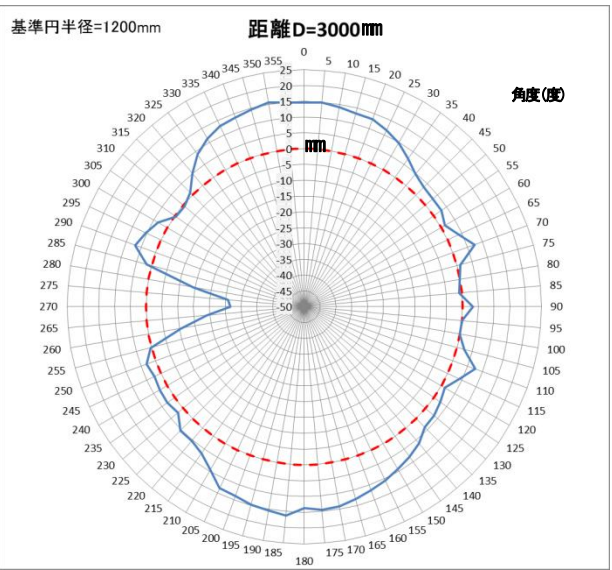
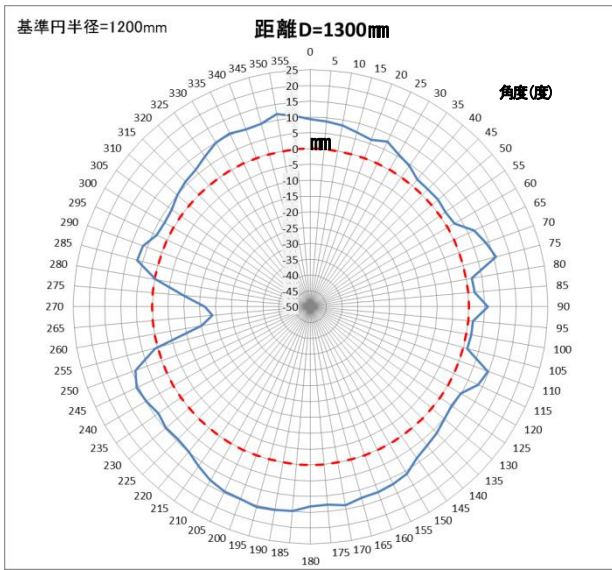
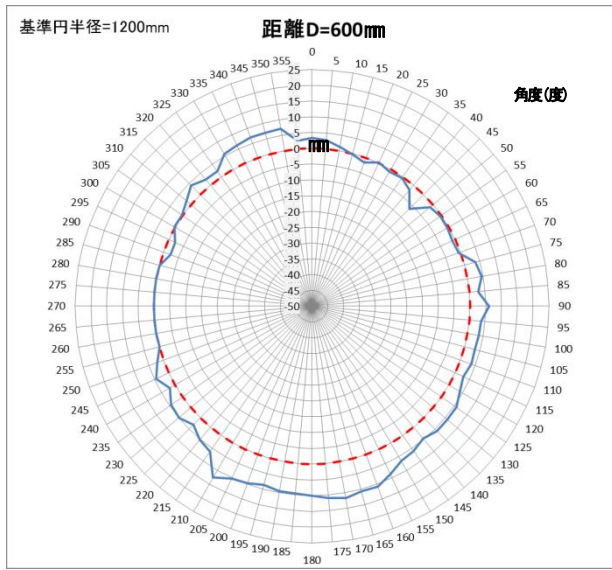
別図5 KHK1367 (リザーブタンクの反対側の20KL槽) の変形状況



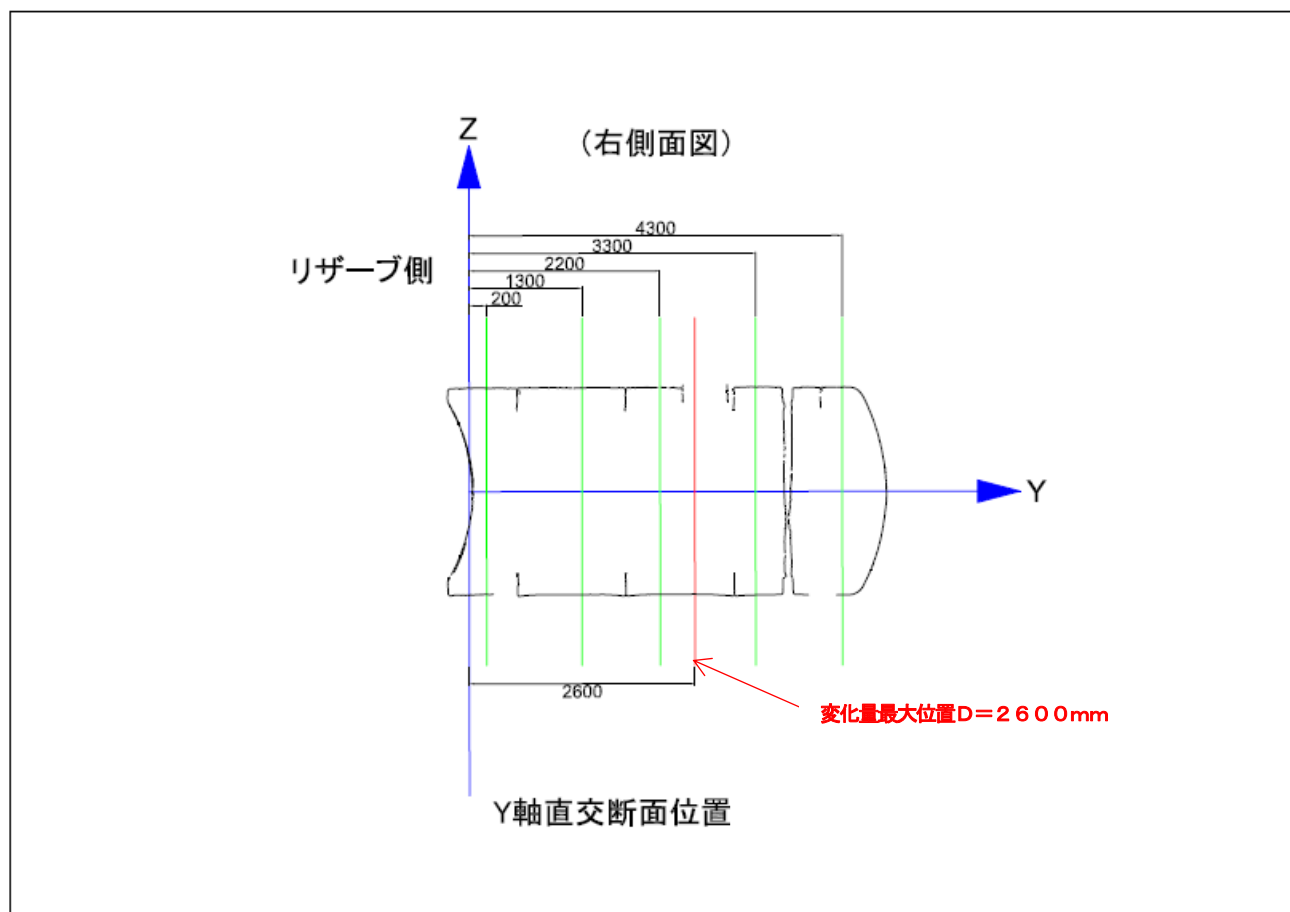
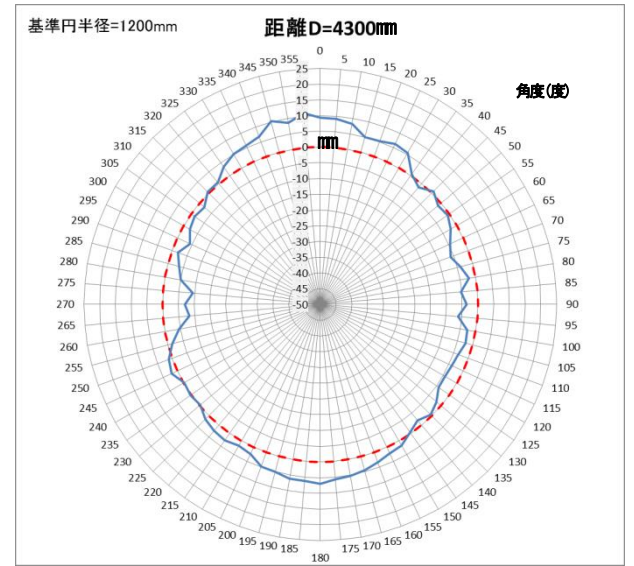
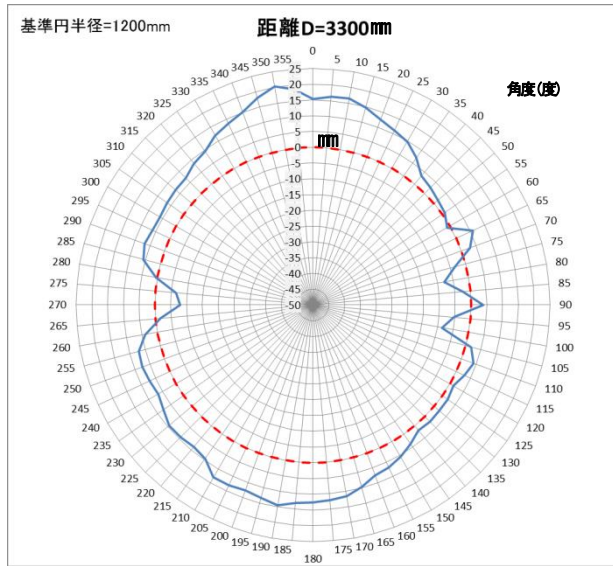
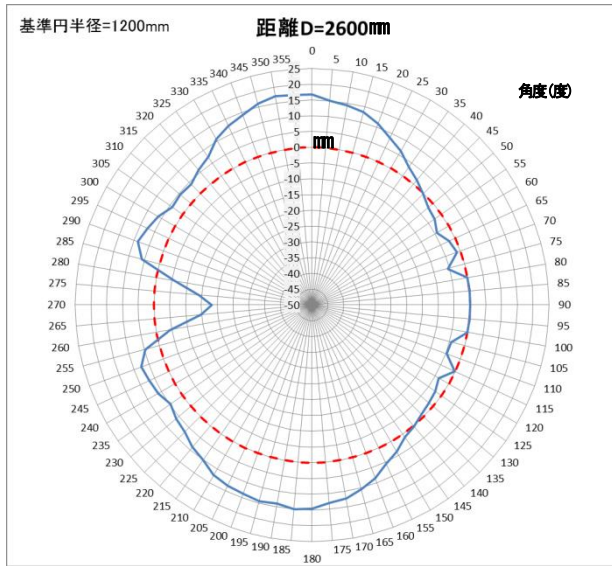
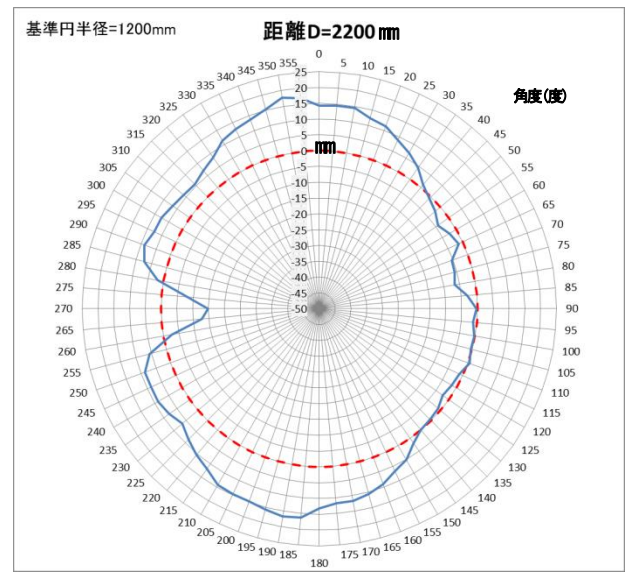
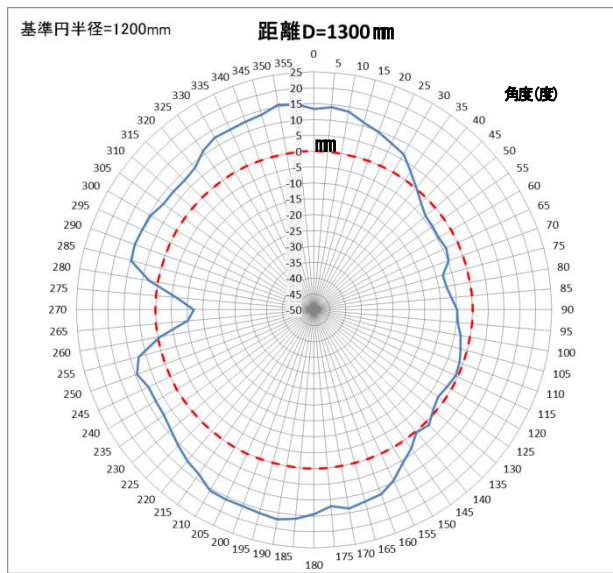
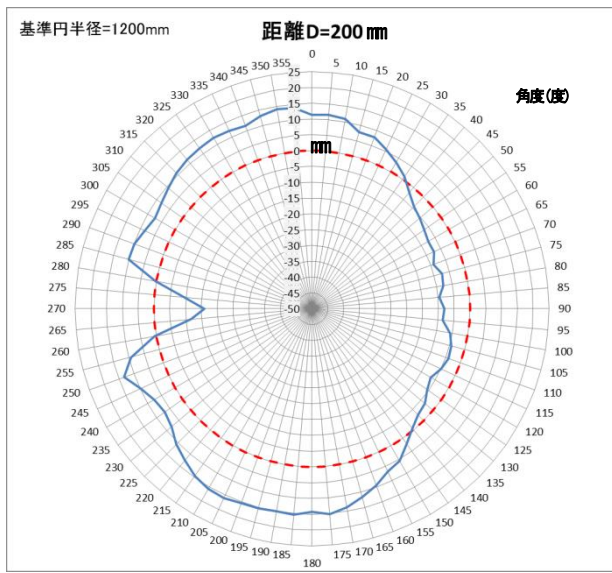
別図6 KHK1363 (リザーブタンク側の20KL槽) の変形状況



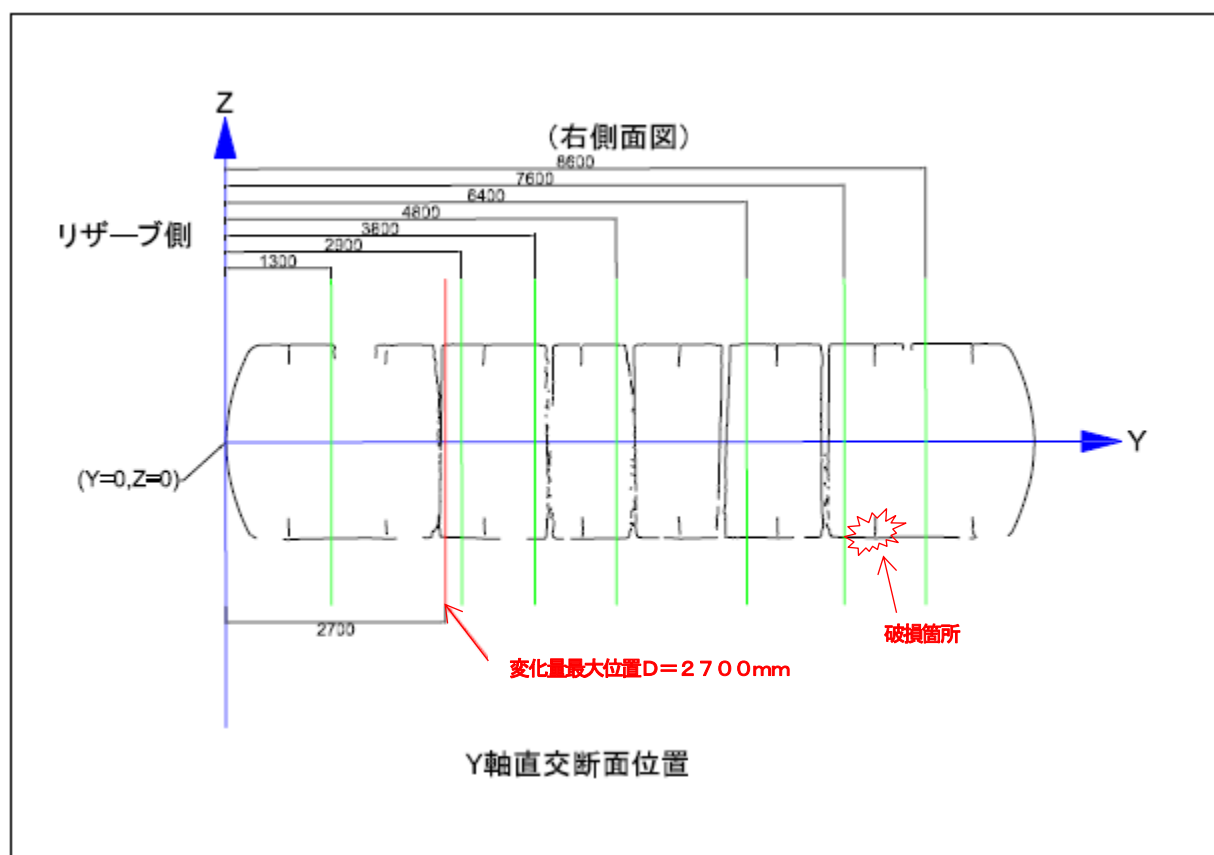
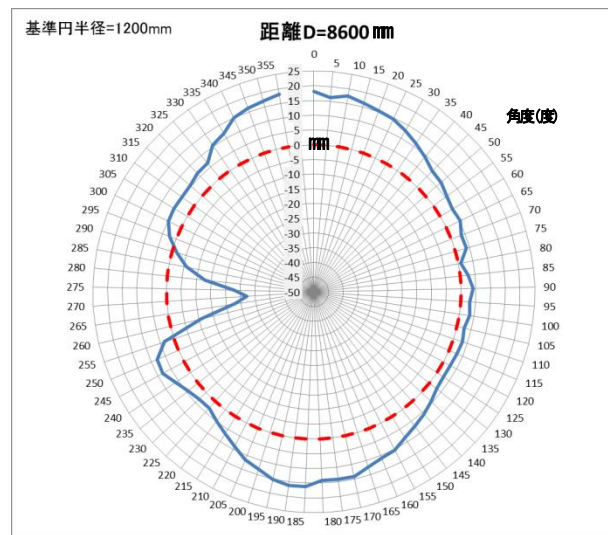
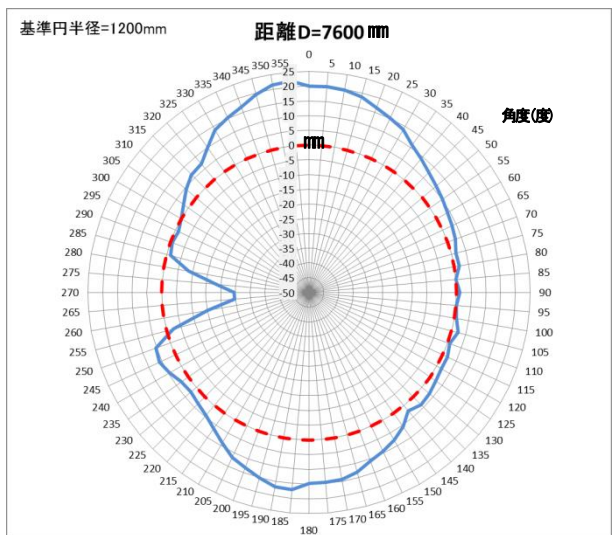
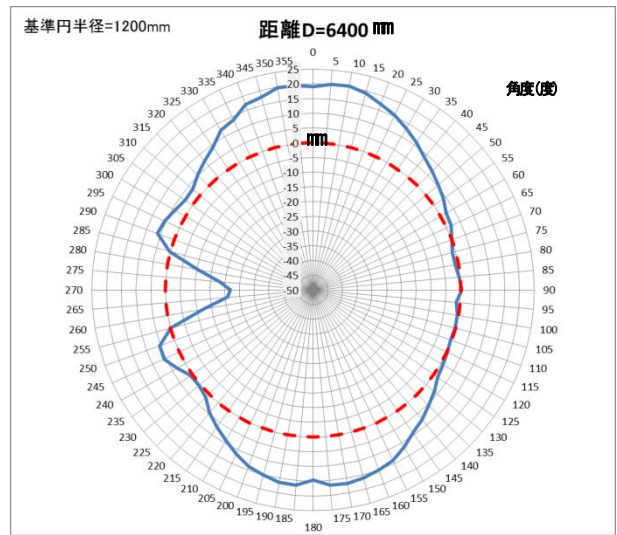
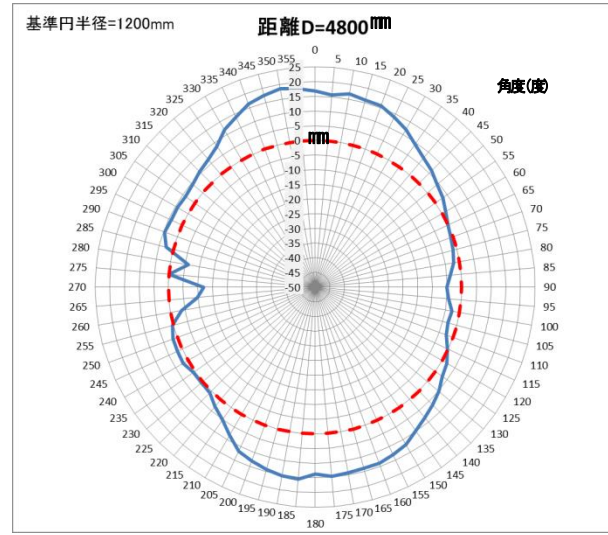
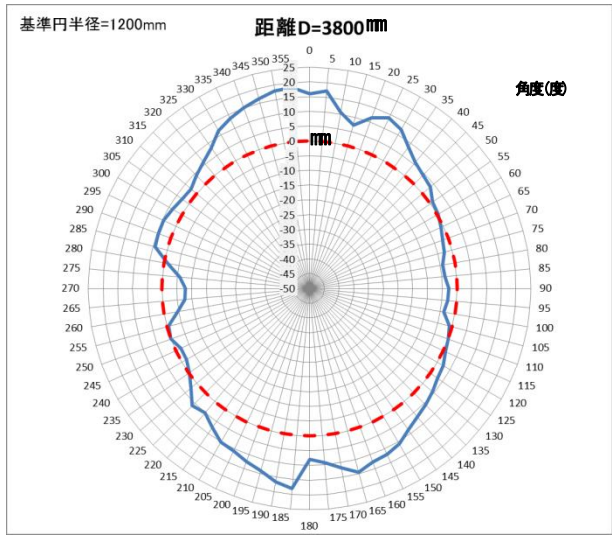
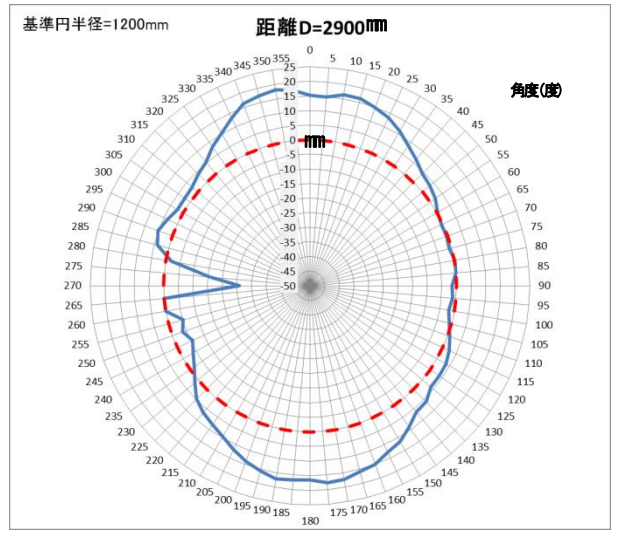
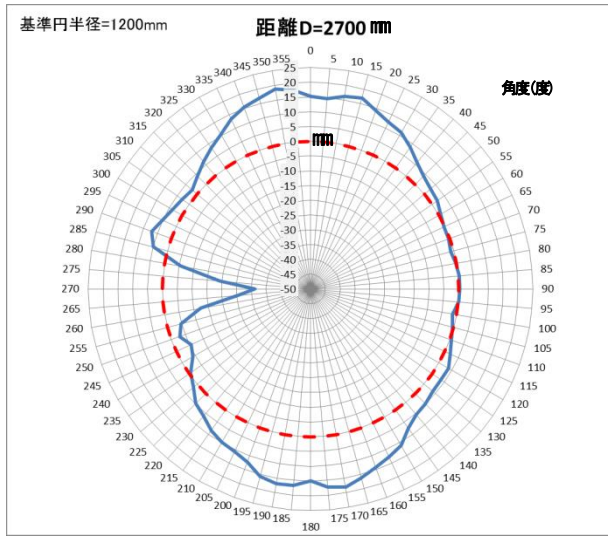
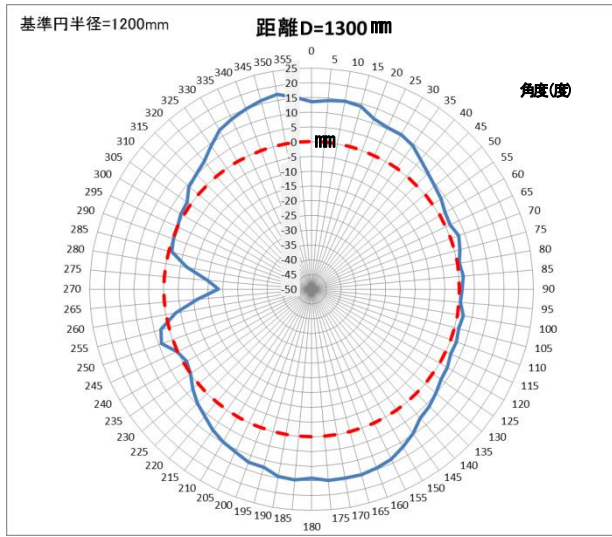
別図7 KHK1363 (リザーブタンクの反対側の20KL槽) の変形状況



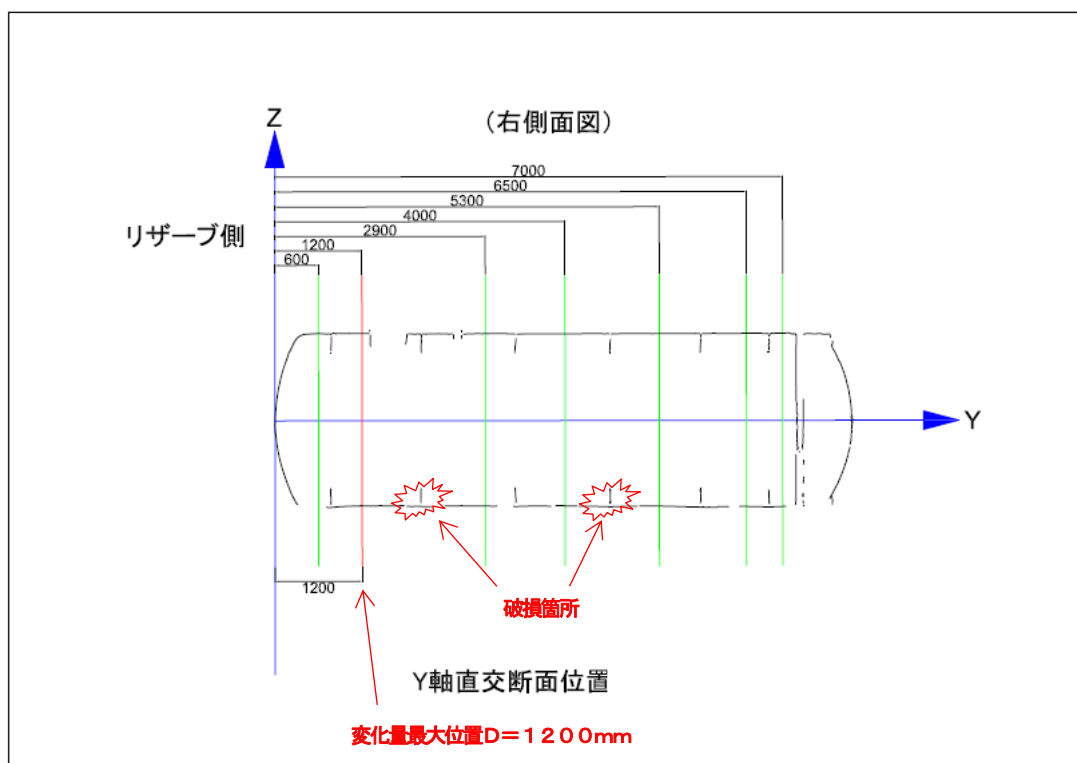
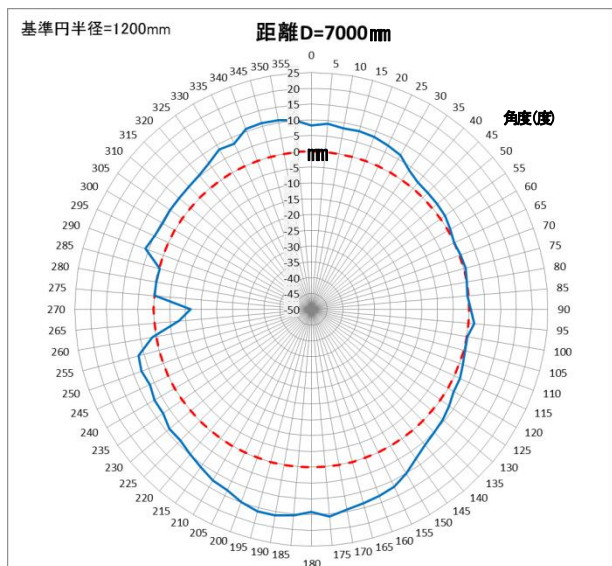
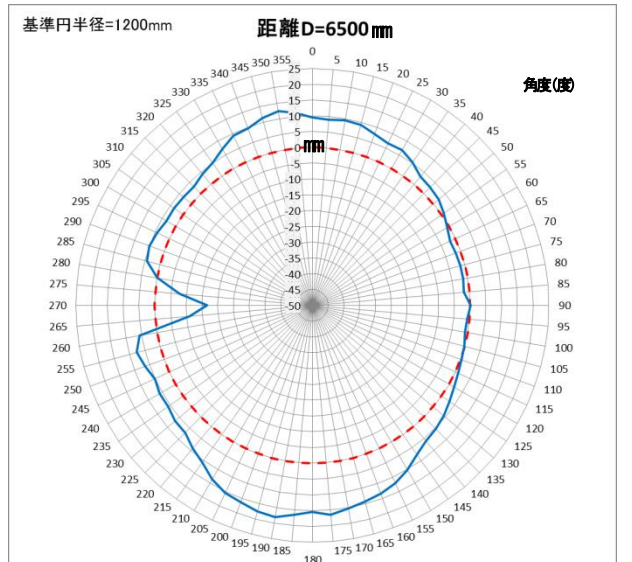
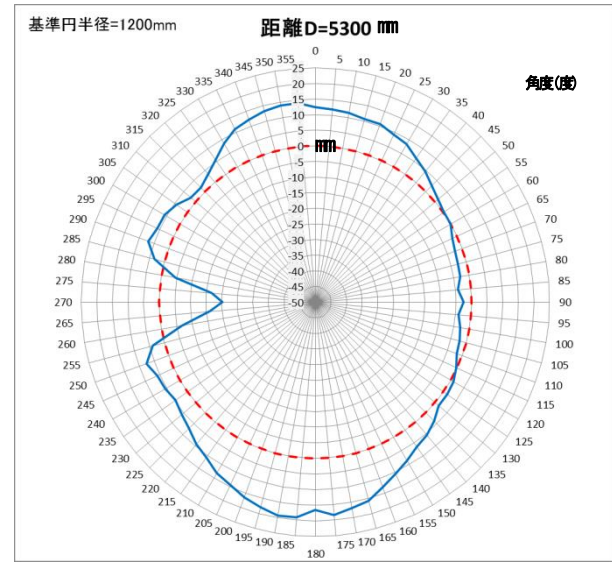
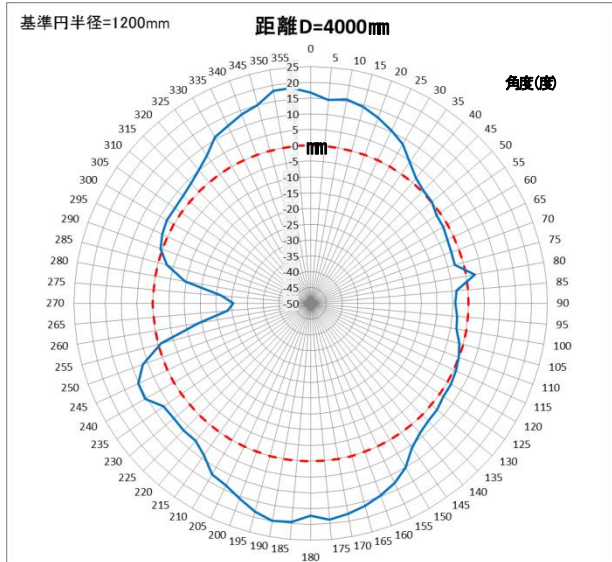
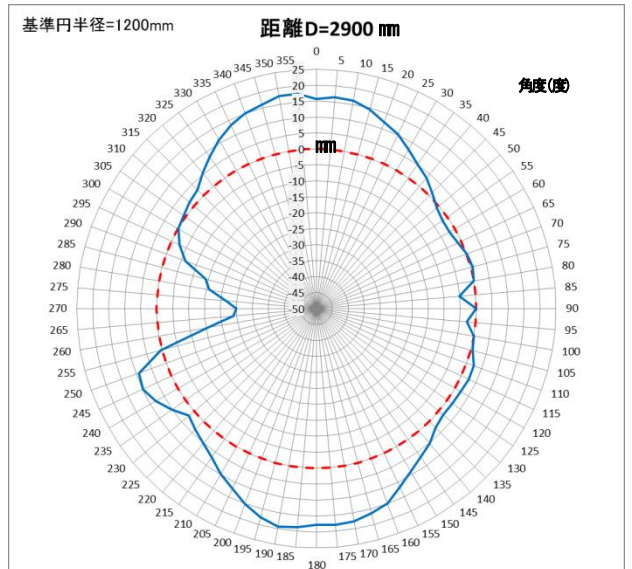
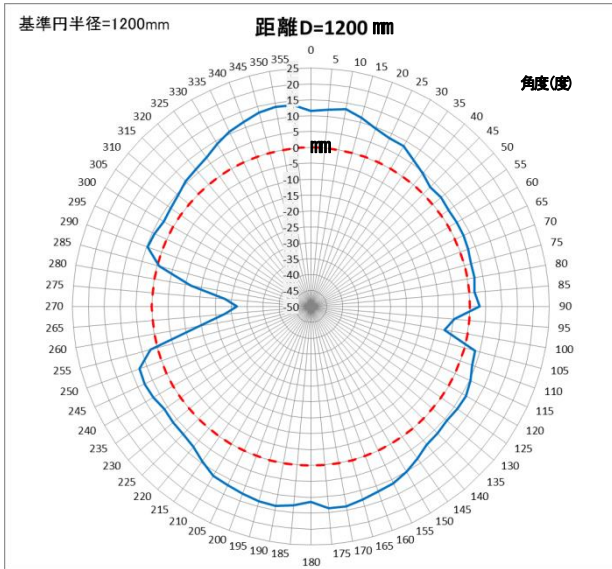
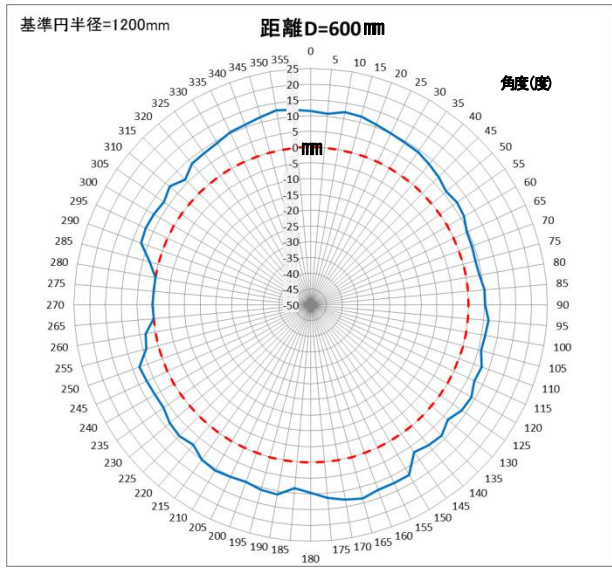
別図8 KHK1362 (リザーブタンク側の20KL槽) の変形状況



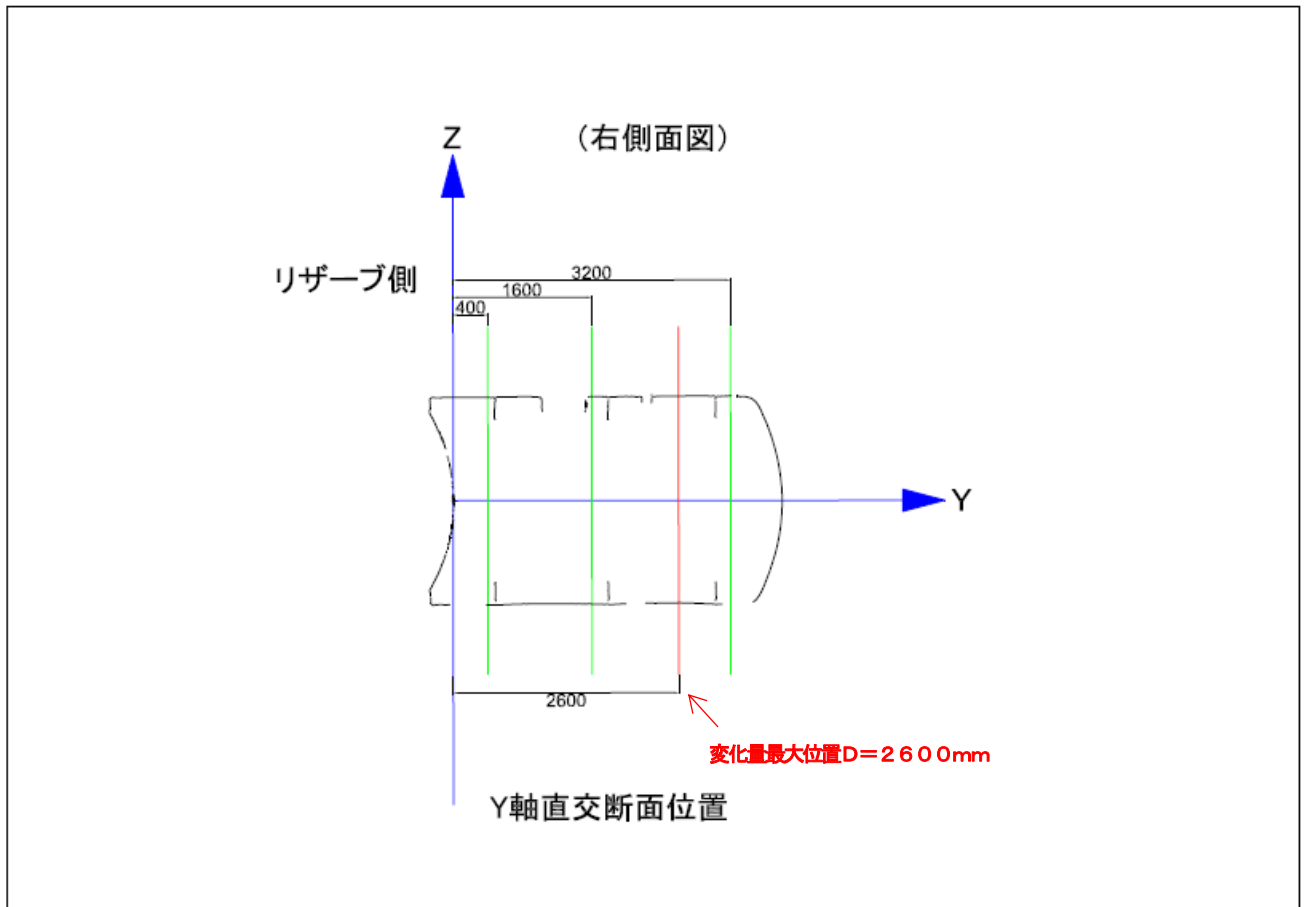
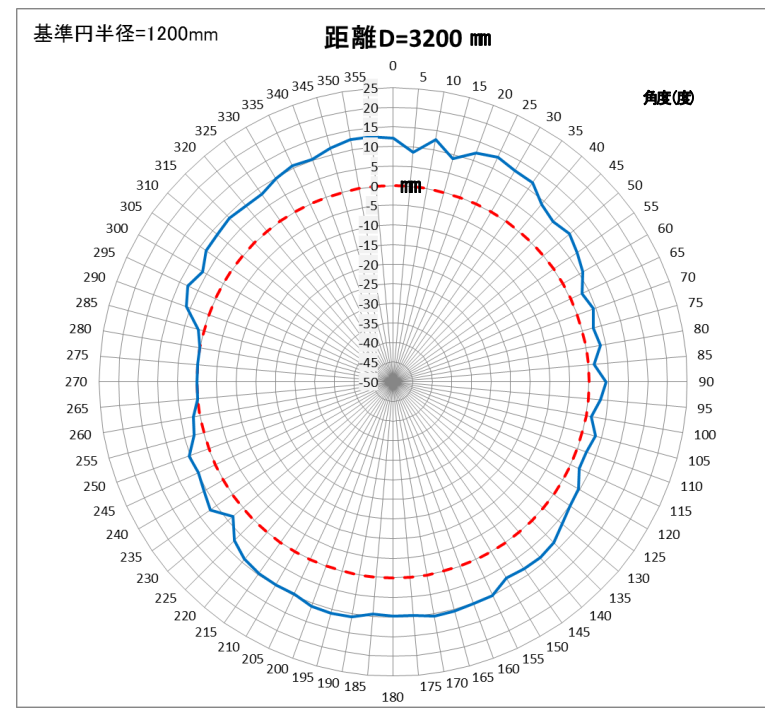
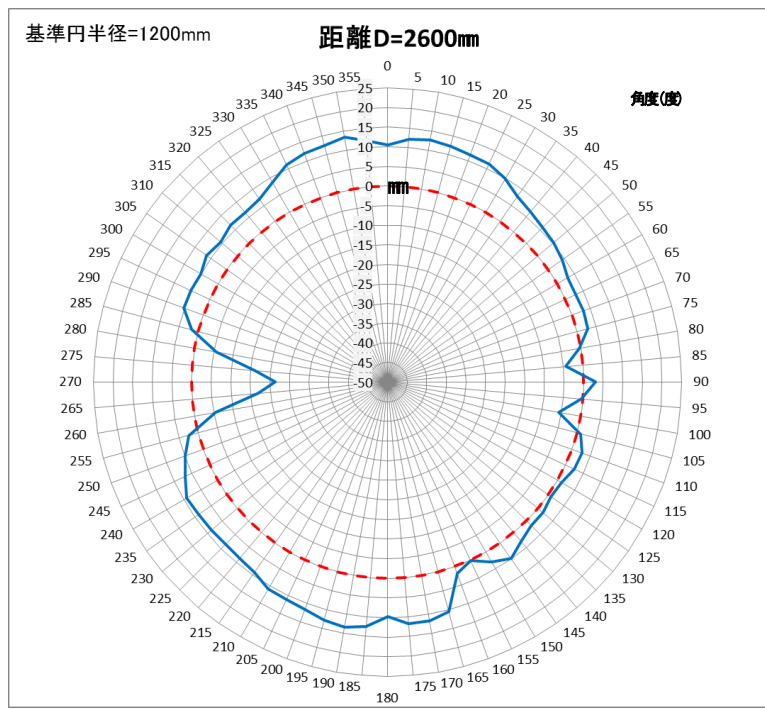
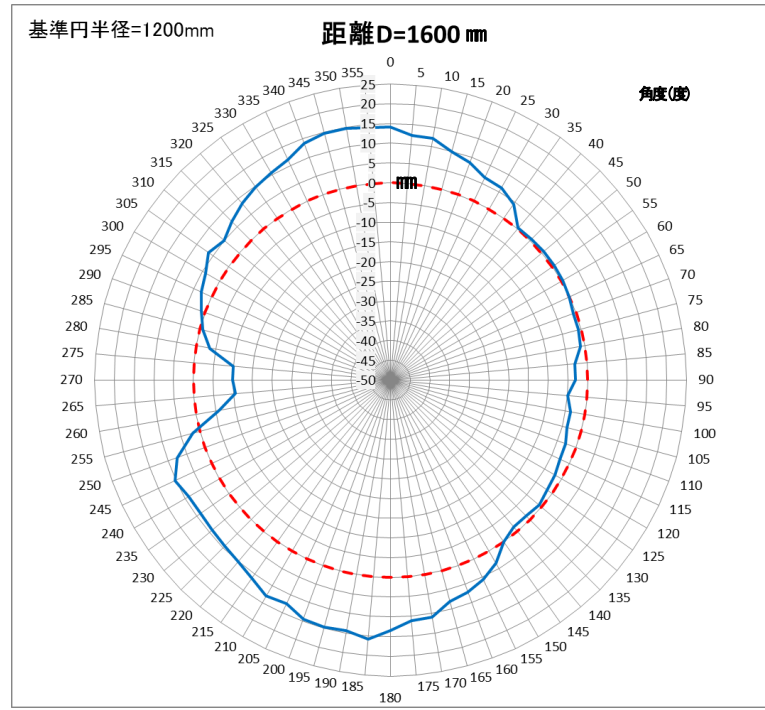
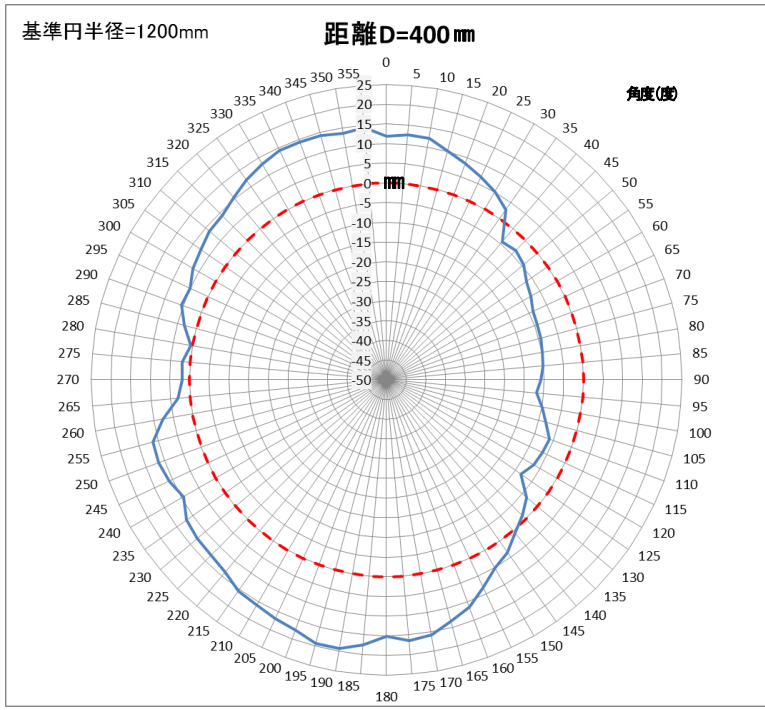
別図9 KHK1362 (リザーブタンクの反対側の20KL槽) の変形状況



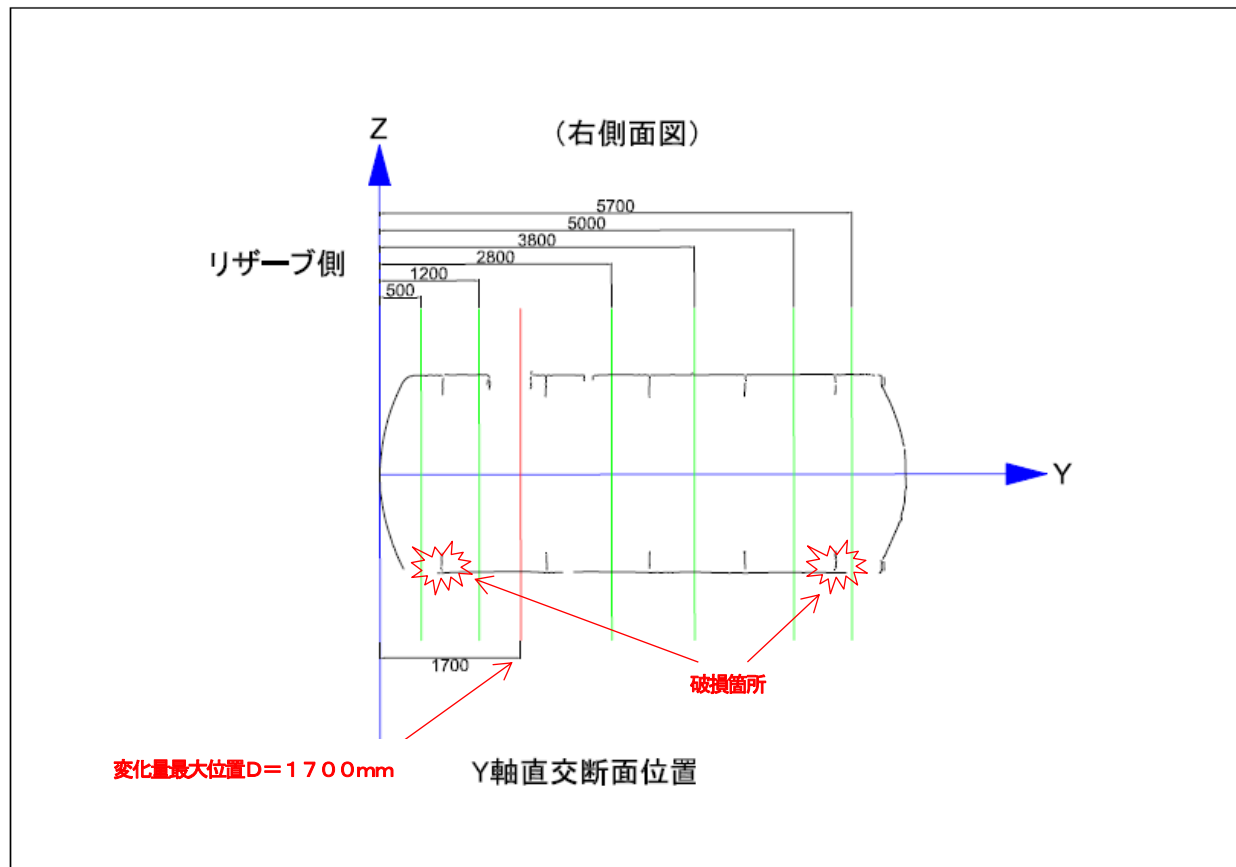
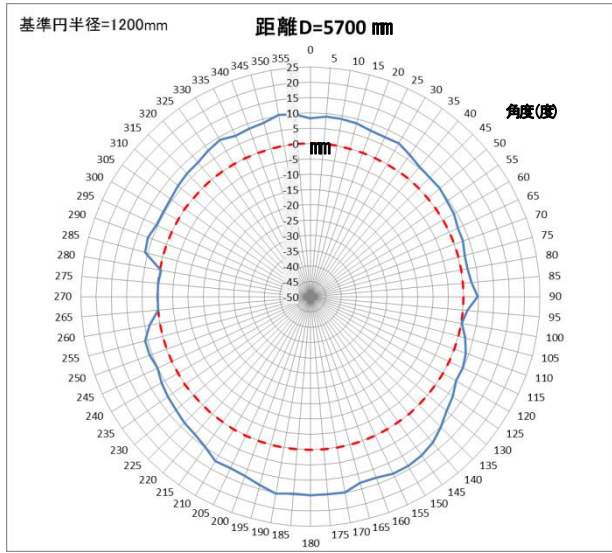
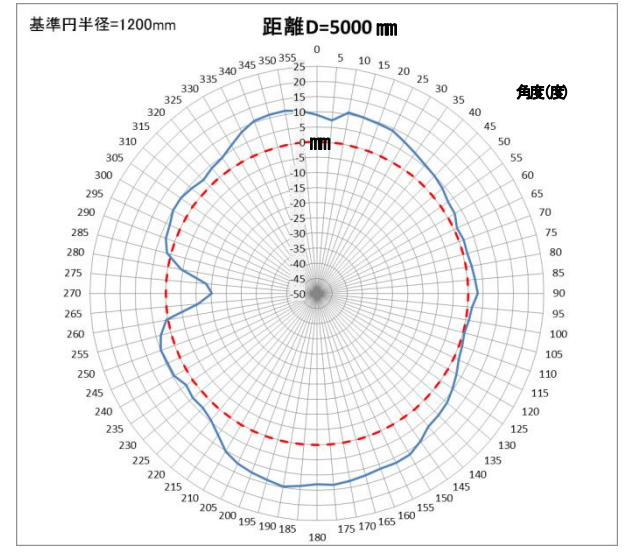
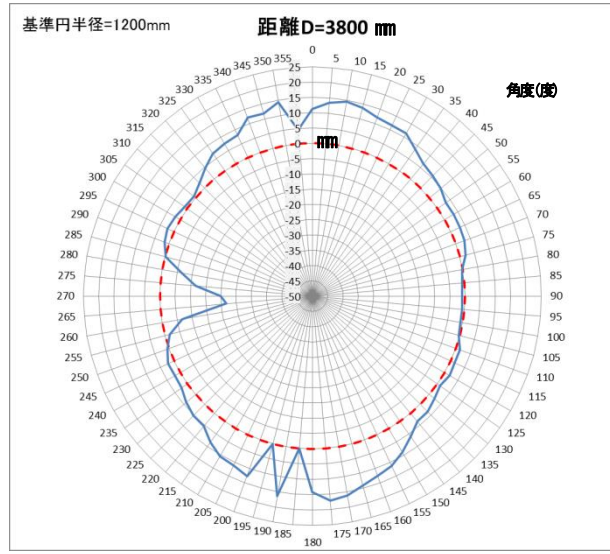
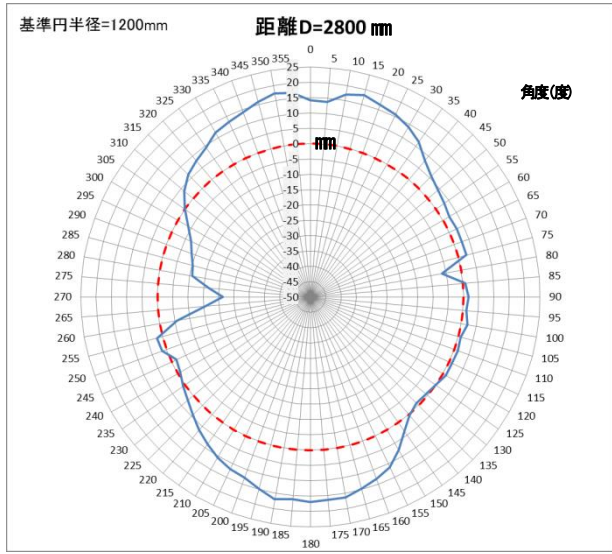
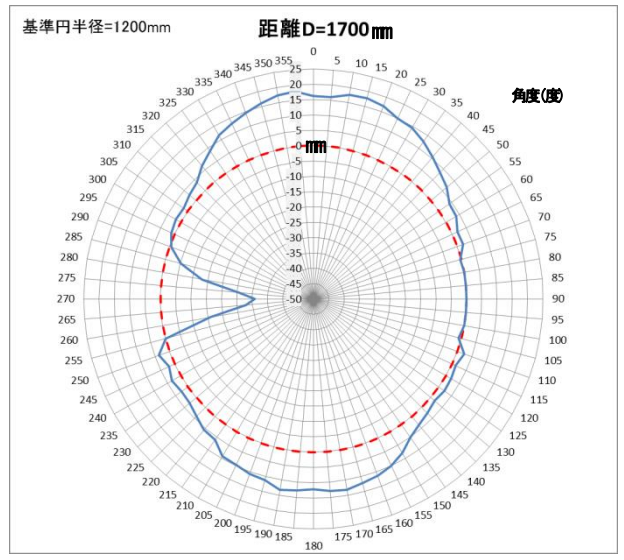
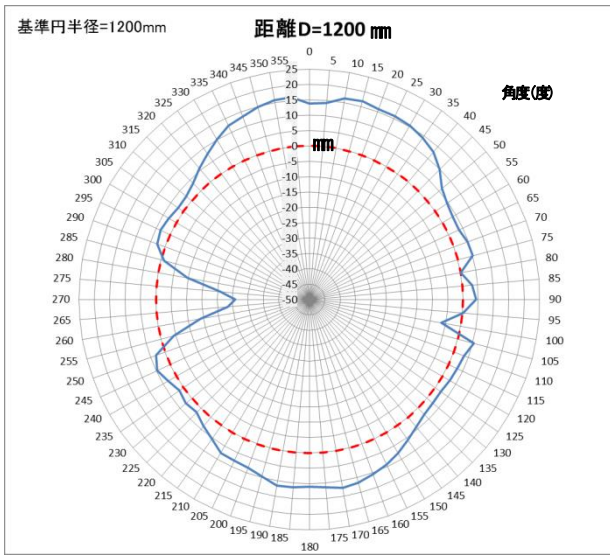
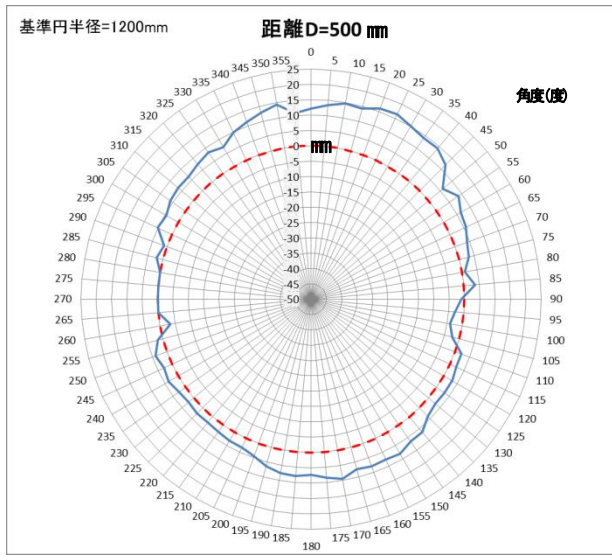
別図10 KHK658の変形状況



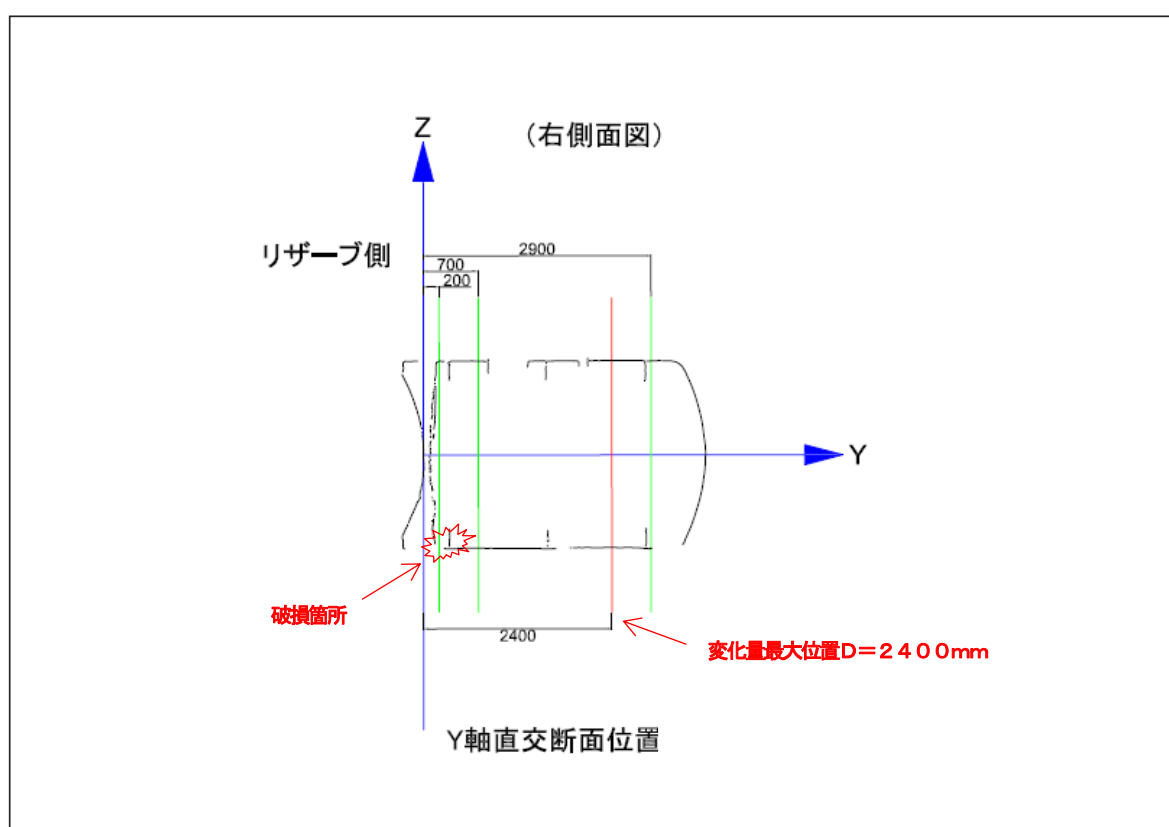
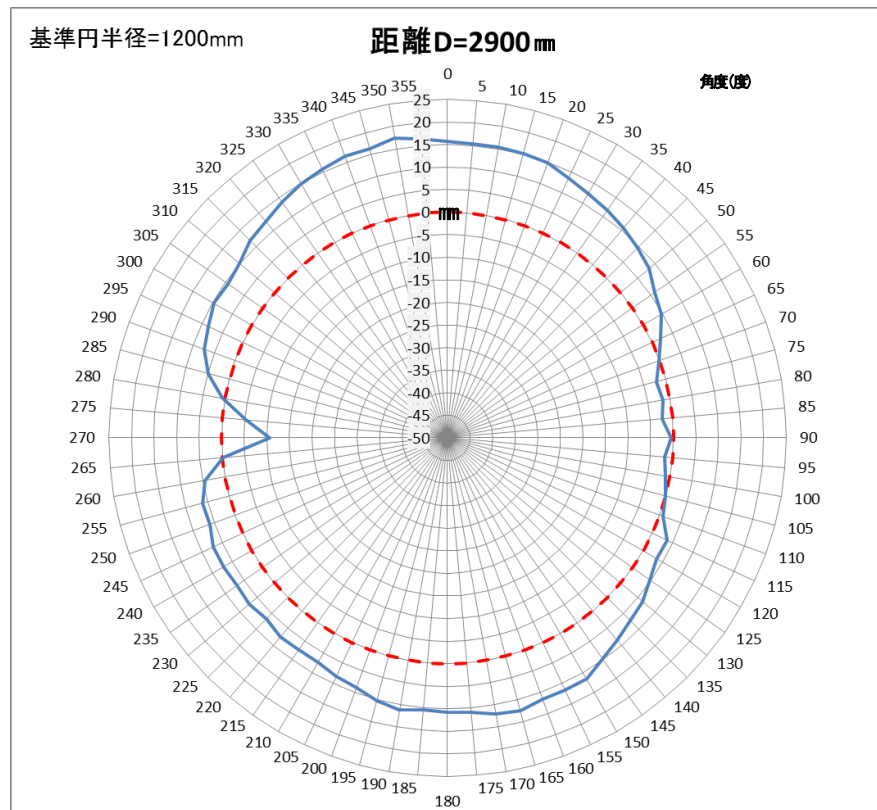
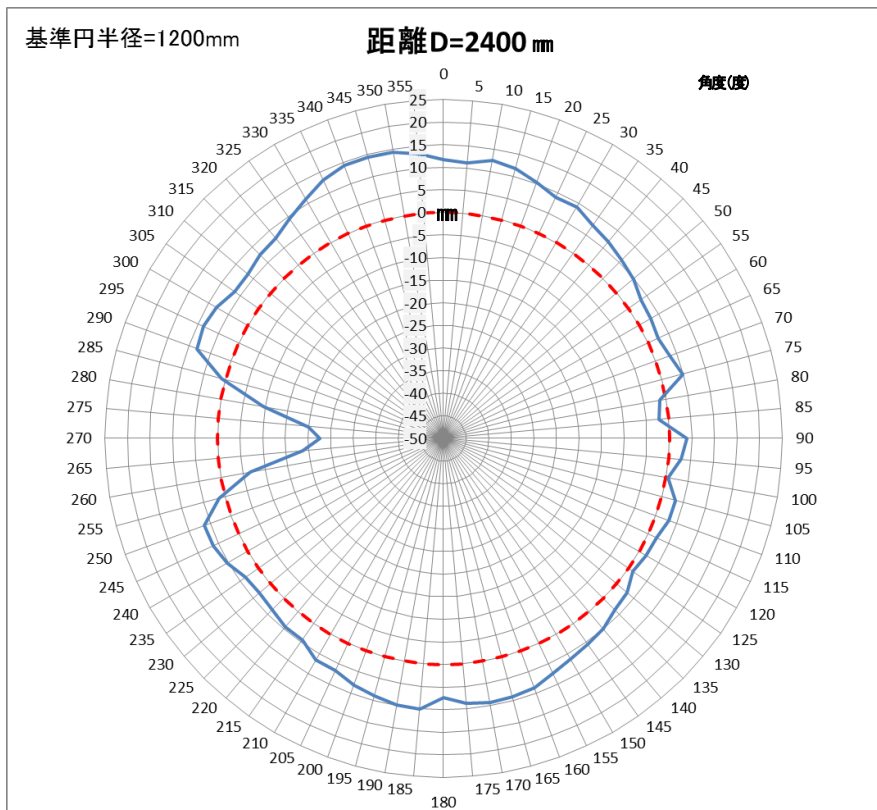
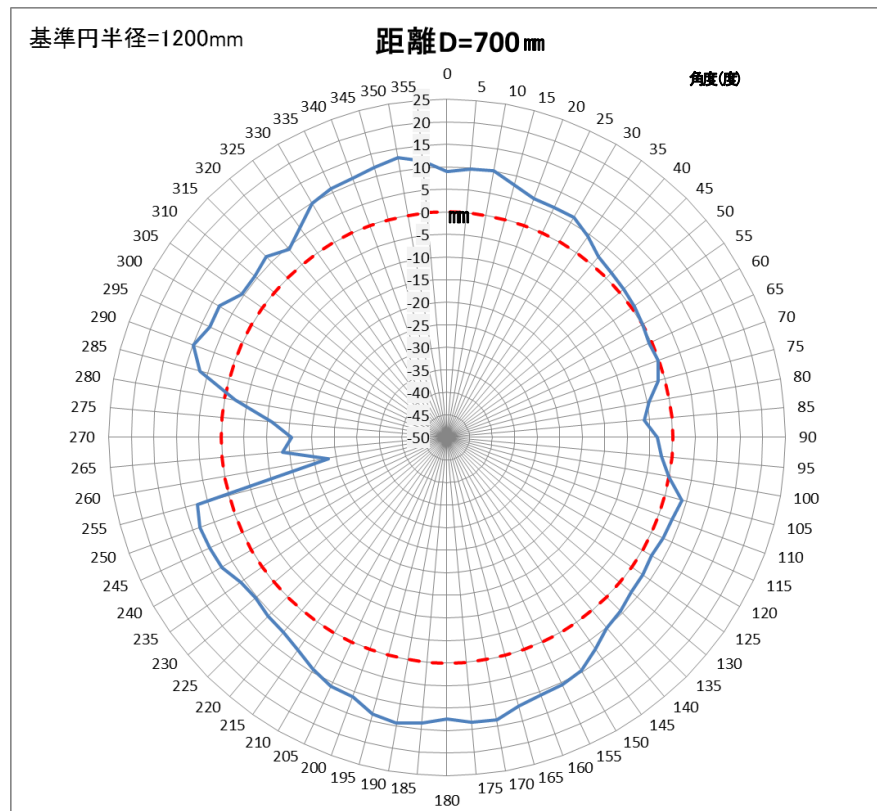
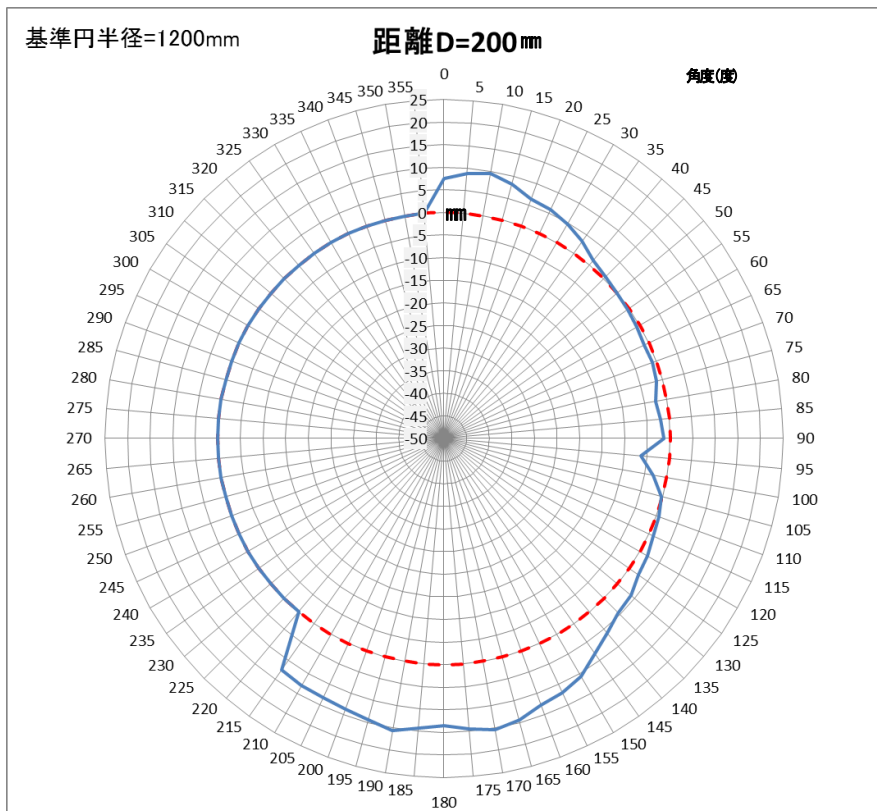
別図11 KHK659 (リザーブタンク側の32KL槽) の変形状況



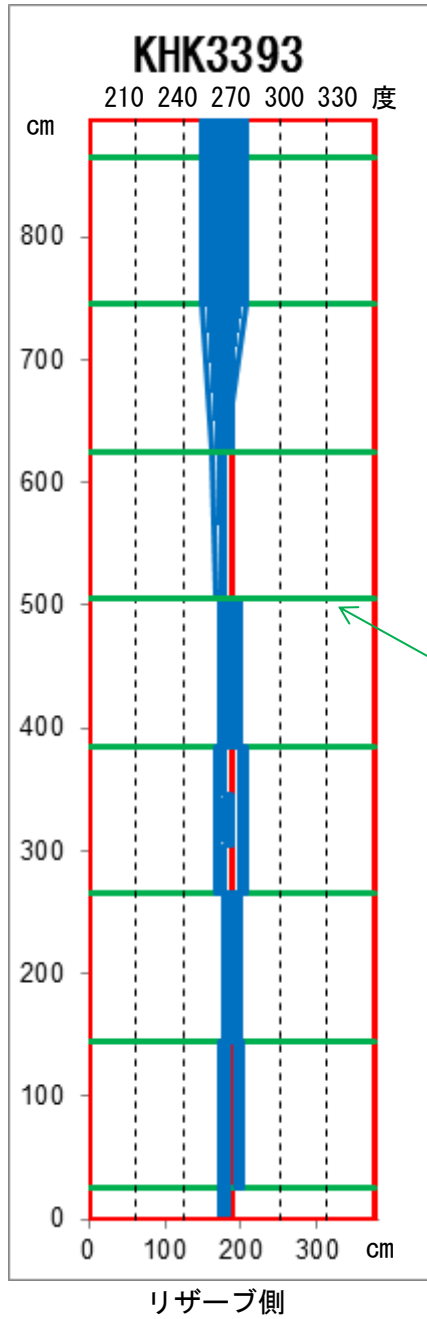
別図12 KHK659 (リザーブタンクの反対側の16KL槽)の変形状況



別図13 KHK660 (リザーブタンク側の25KL槽) の変形状況



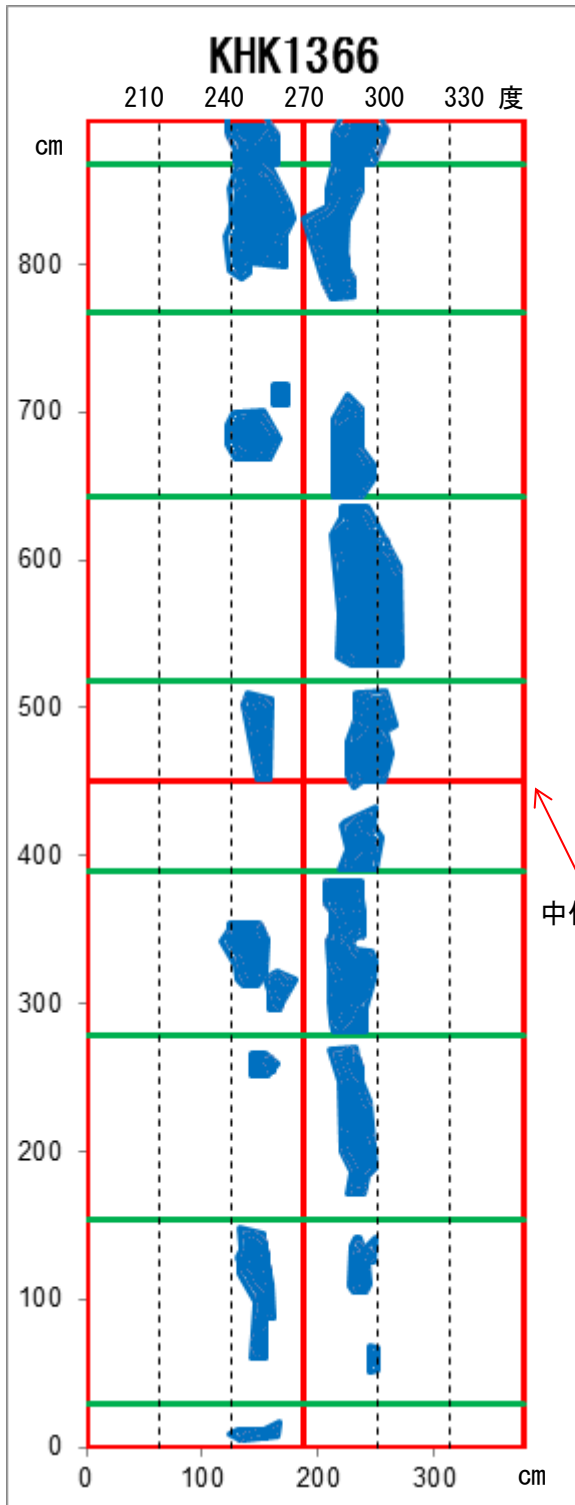
別図14 KHK660 (リザーブタンクの反対側の15KL槽)の変形状況



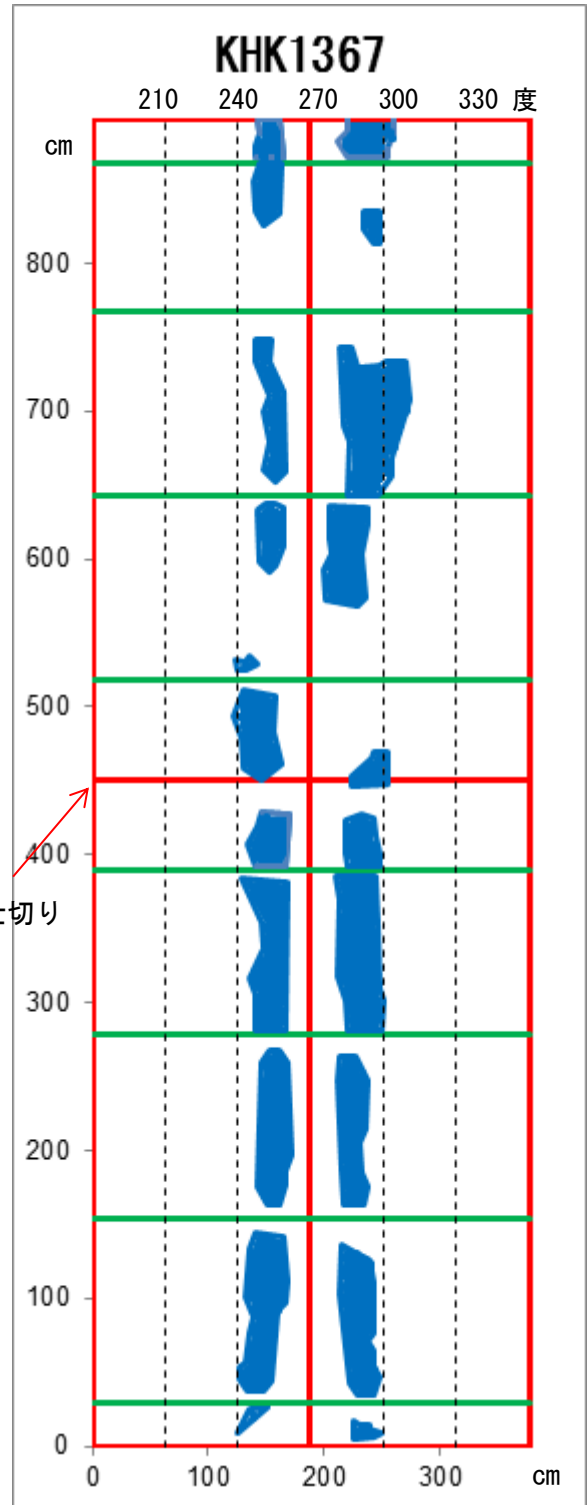
スティフナー

青で塗りつぶしている
箇所が空隙の範囲

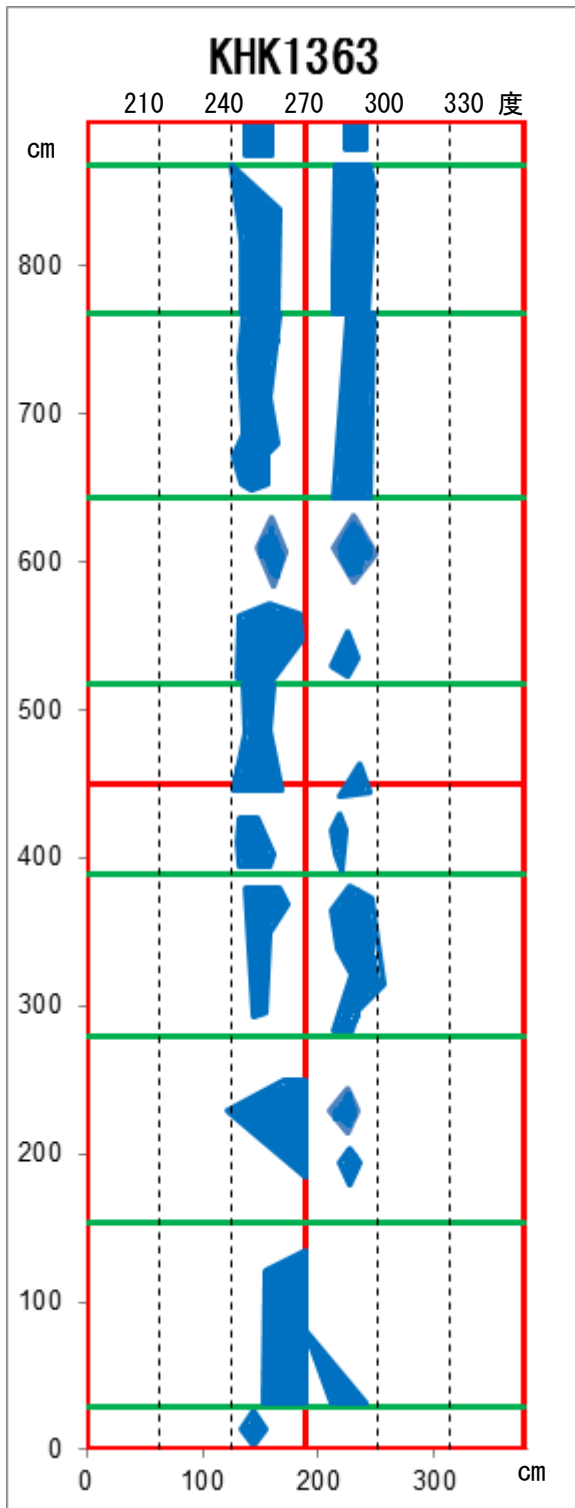
別図15 立ち会いタンク



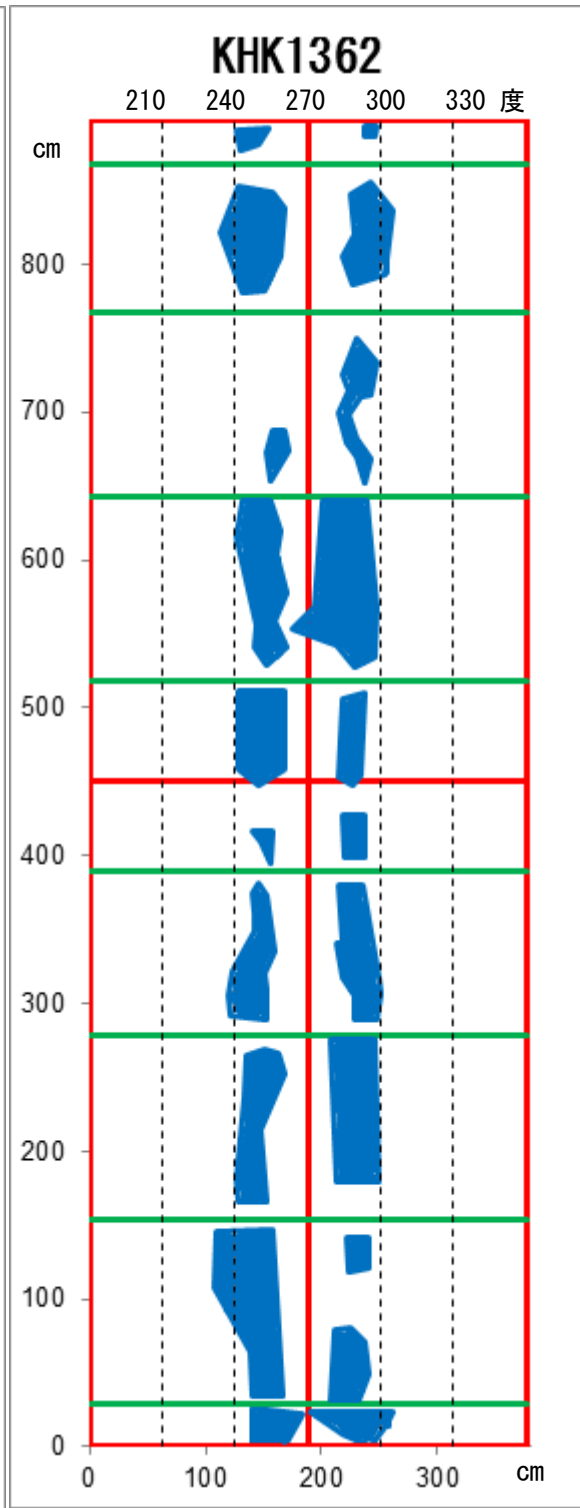
別図 1 6 破損タンク



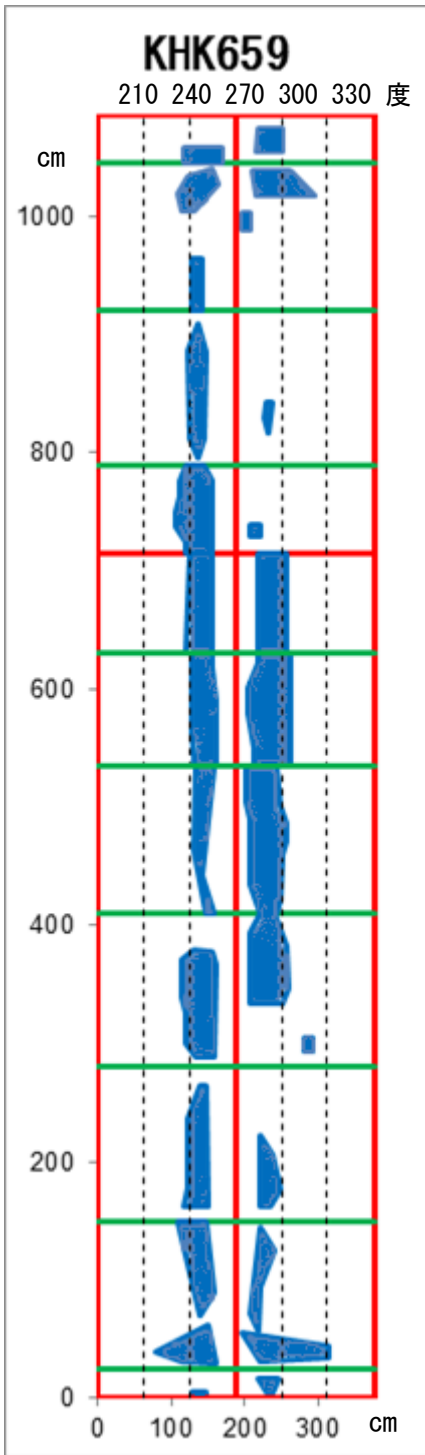
別図 1 7 破損タンク



別図 1 8 破損タンク

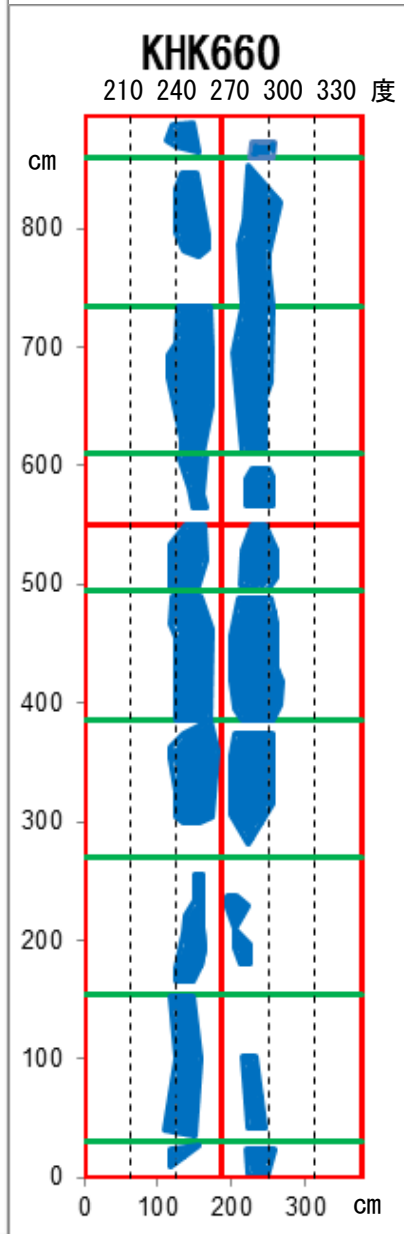


別図 1 9 KHK1363 と同一基礎で破損して
いなかったタンク



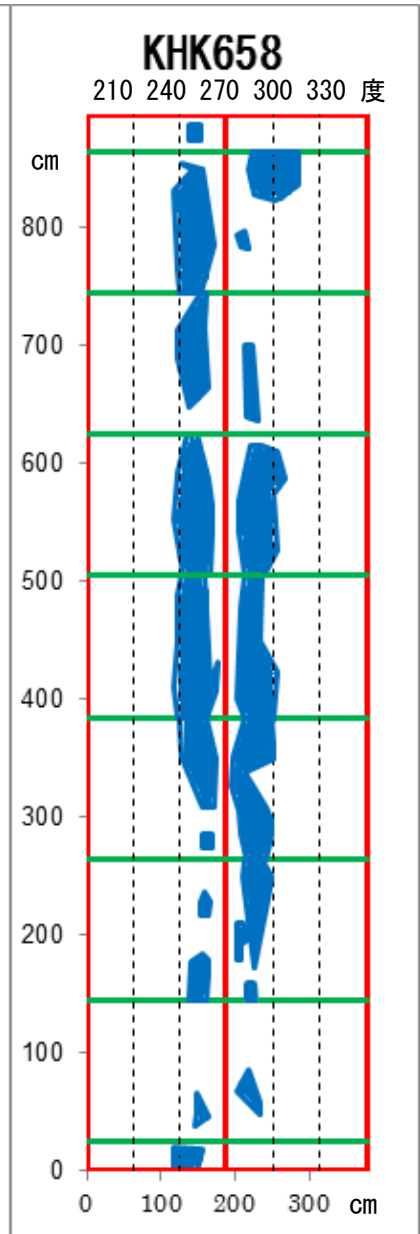
リザーブ側

別図 2 0 破損タンク



リザーブ側

別図 2 1 破損タンク



リザーブ側

別図 2 2 破損タンク

第3章 次年度に調査・検討する事項

3. 1 採取した試験片に関する調査

3. 1. 1 試験片の採取状況について

(1) X線CT用試験片

神奈川県の実業用給油取扱所及び新潟県の実業用給油取扱所から下表に示すFF二重殻タンクについて、図3. 1. 1から図3. 1. 4までに示す部位から、図3. 1. 5に示す試験片を採取中である（KHK No.1857については取得済み。）。

KHK No.	容量・中仕切りの有無・油種	試験片数	図面
658	40KLストレート（軽油）	24	図3. 1. 1
659	48KL中仕切り（32：16） （レギュラーG：ハイオクG）	34	図3. 1. 2
660	40KL中仕切り（25：15）（軽油：灯油）	32	図3. 1. 3
1857	48KLストレート（レギュラーG）	55	図3. 1. 4

(2) 材料試験用試験片

KHK No.658、659、660については、図3. 1. 6に示す部位から500mm×500mmの試験片を5枚ずつ採取中である。

3. 1. 2 採取した試験片を用いた検証について

(1) X線CT用試験片

ア 採取した試験片を写真撮影し、画像から検知層の厚さを測定することにより個々の部位における検知層の厚さを確認する。

イ X線CTによる画像から次に示す事項について確認する。

(7) 内殻の破損箇所の特定及び破損形状

(イ) 3D繊維の断面形状

(ウ) 検知層の厚さ

(2) 材料試験用試験片

次に示す材料試験を実施し、KHK No.658、659、660の値を比較するとともに型式試験時及び製作時の前後の定期調査時の値と比較する。また、同様のFW法により製造された構造物との値の「ばらつき」についても比較する。

ア 曲げ応力

イ バーコル硬度

ウ ガラス含有率

リザーバータンク側から見た状況

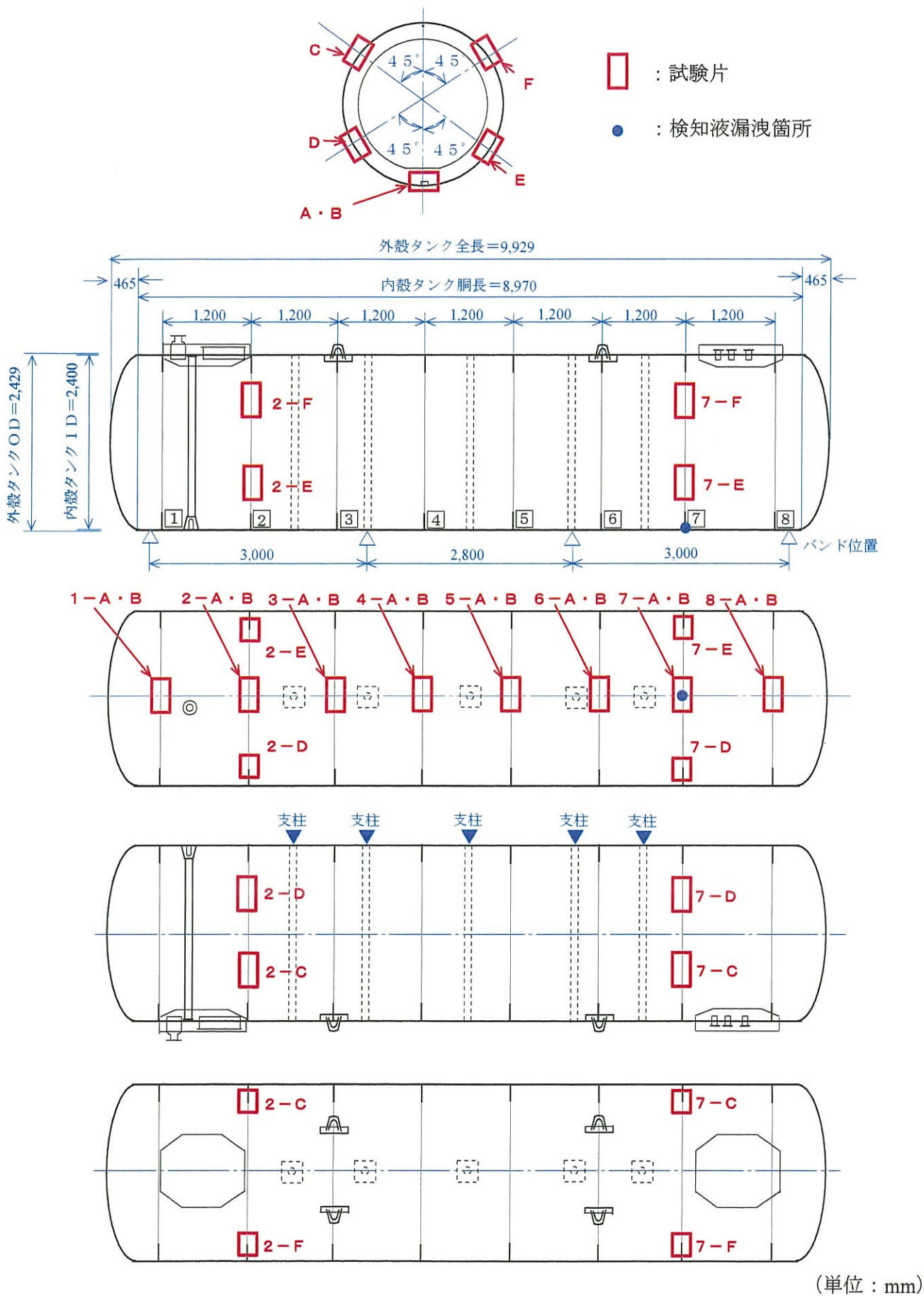


図3.1.1 F F 二重殻タンク (KHKNo.658) 試験片採取状況

リザーバータンク側から見た状況

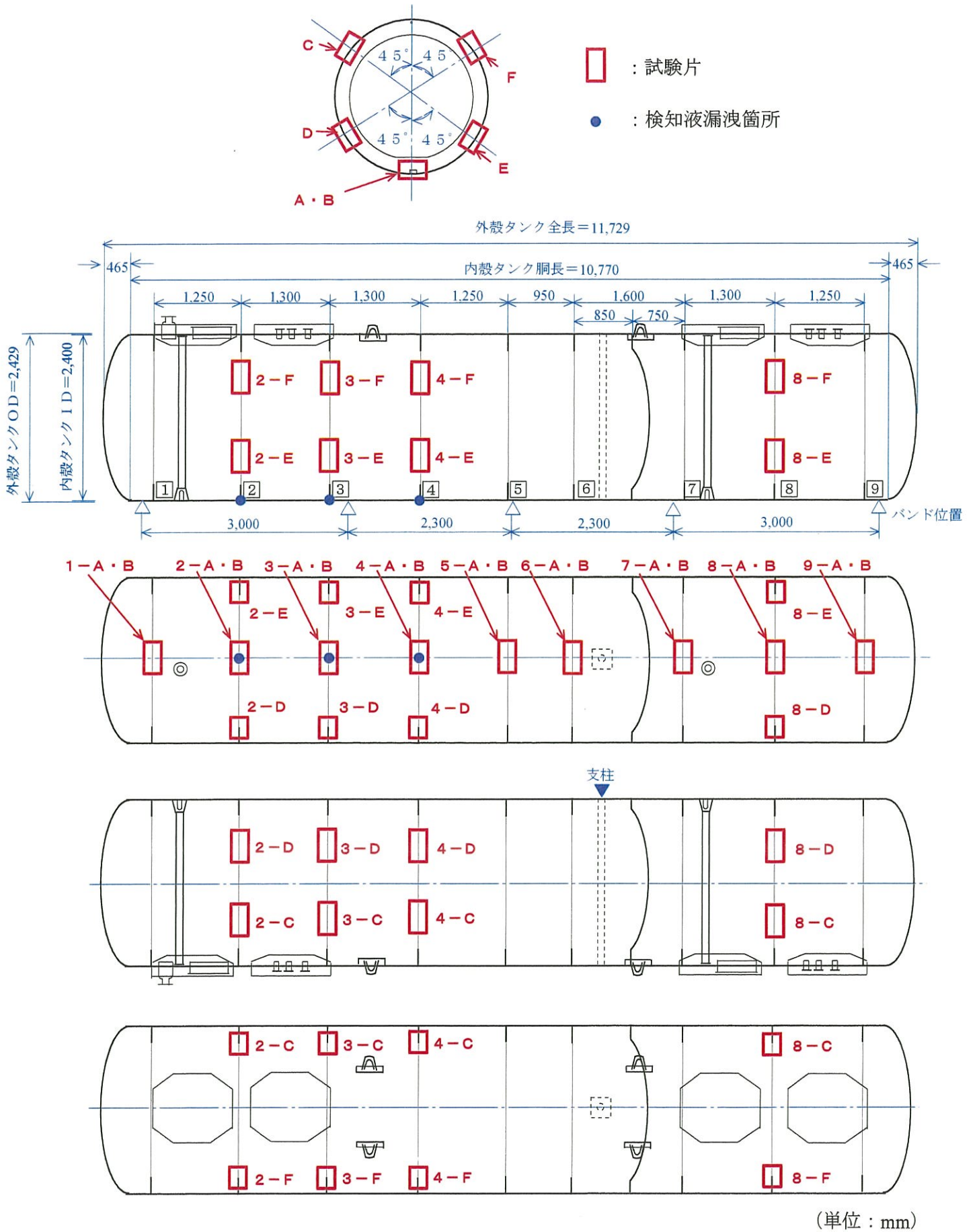


図3.1.2 F F 二重殻タンク (KHKNo.659) 試験片採取状況

リザーバタンク側から見た状況

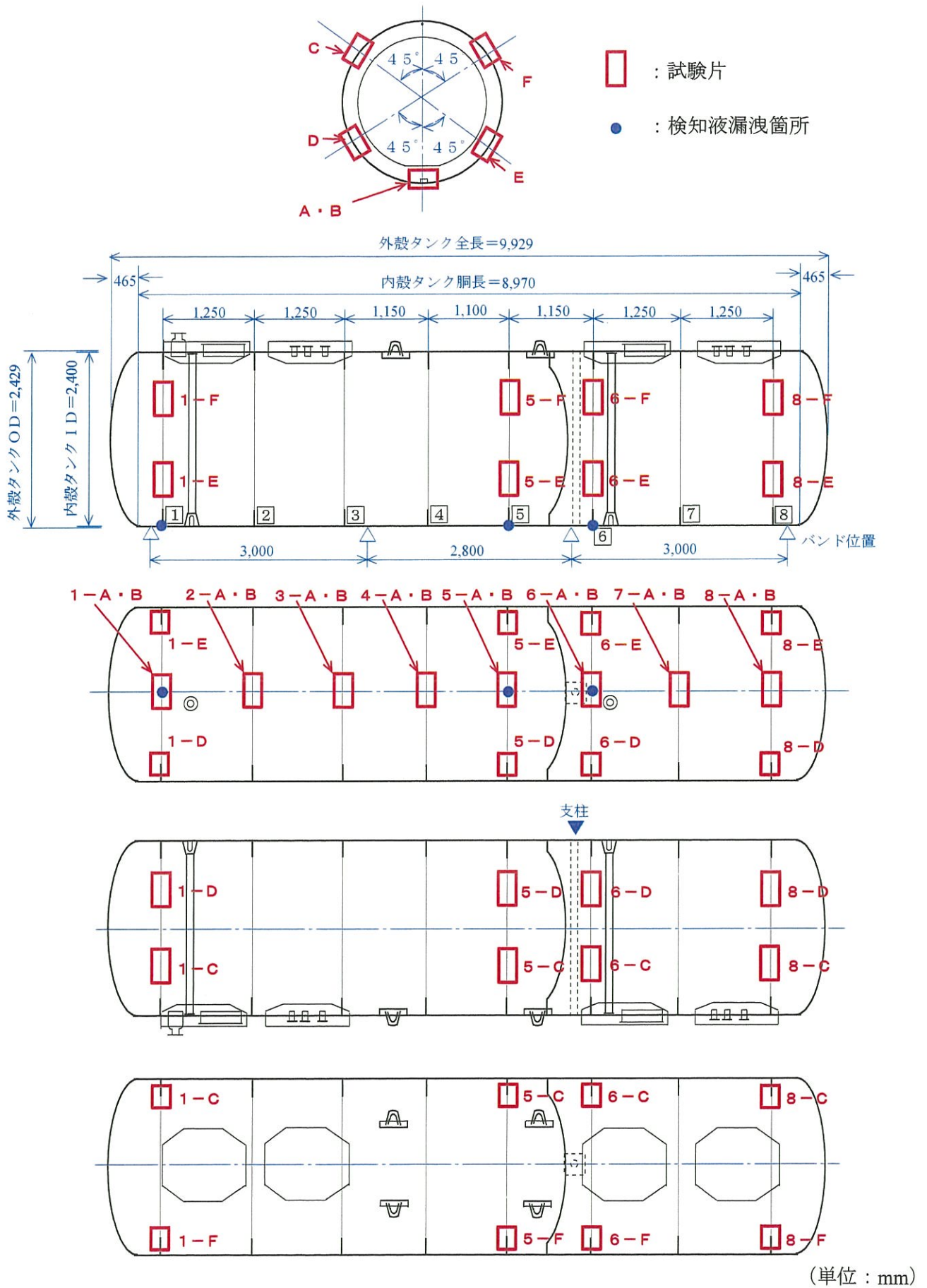
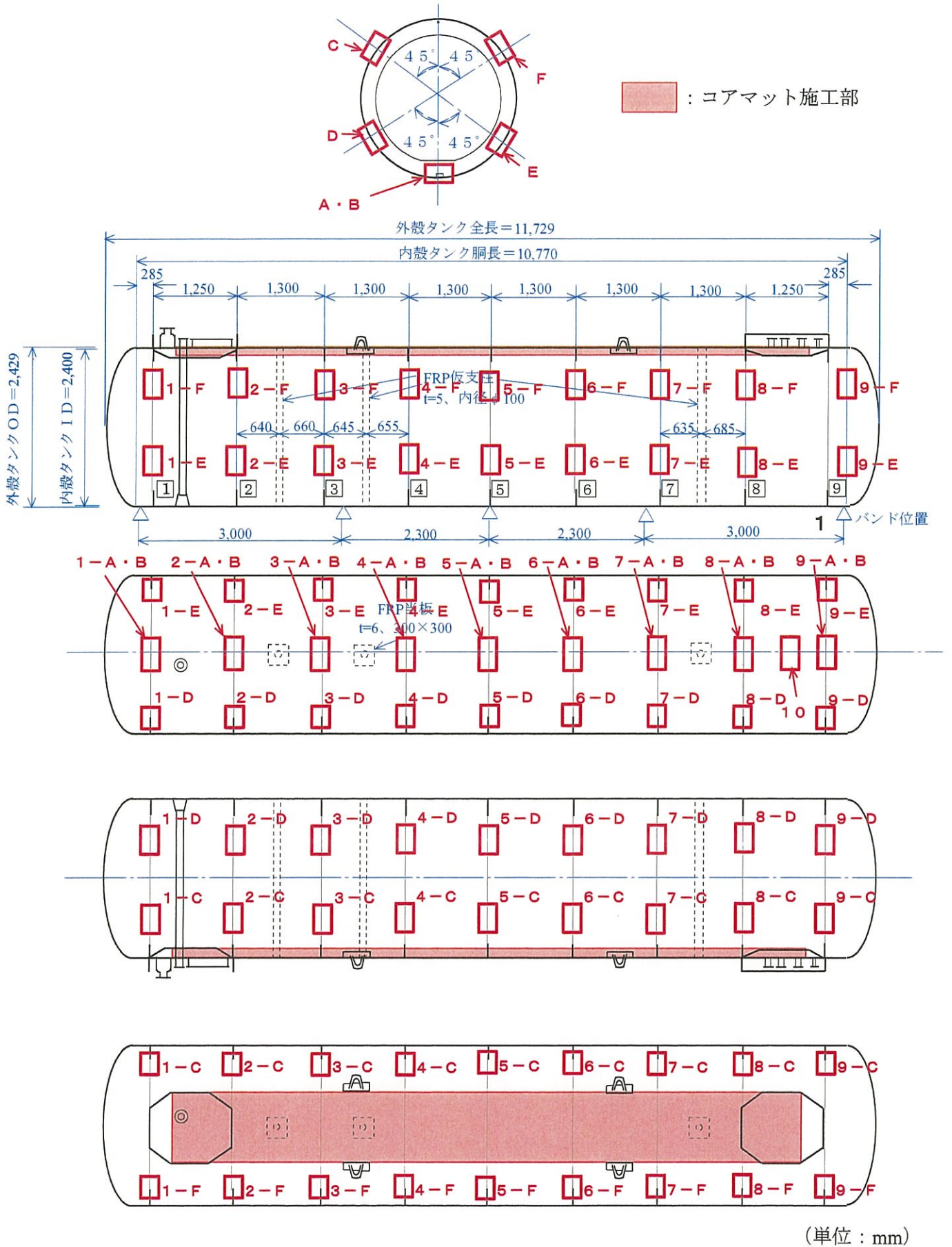


図3.1.3 FF二重殻タンク (KHKNo.660) 試験片採取状況

リザーバートンク側から見た状況



(単位：mm)

図3.1.4 FF二重殻タンク (KHKNo.1857) 試験片採取状況

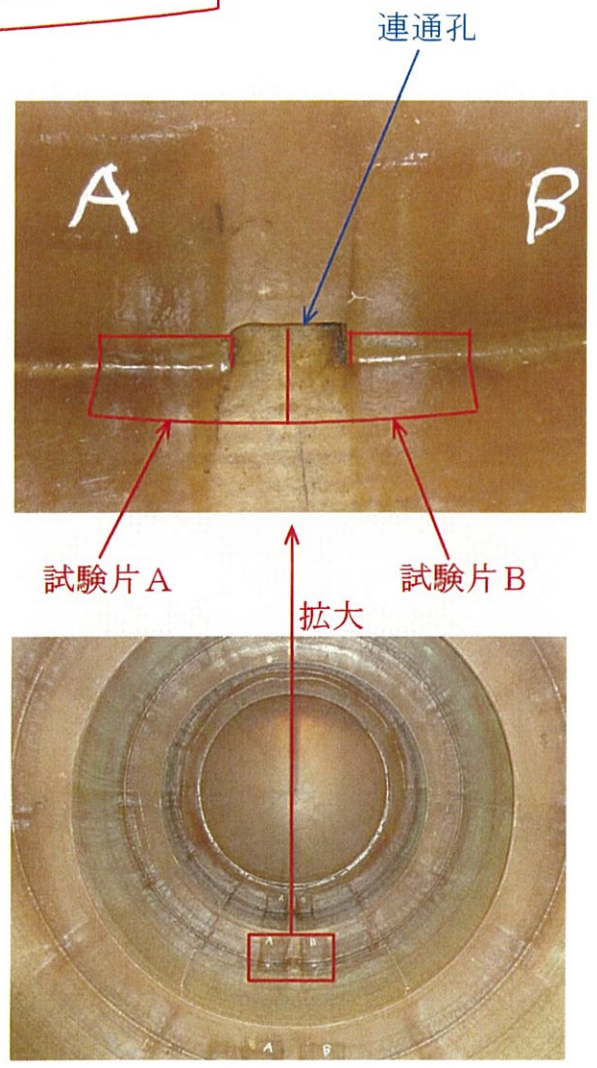
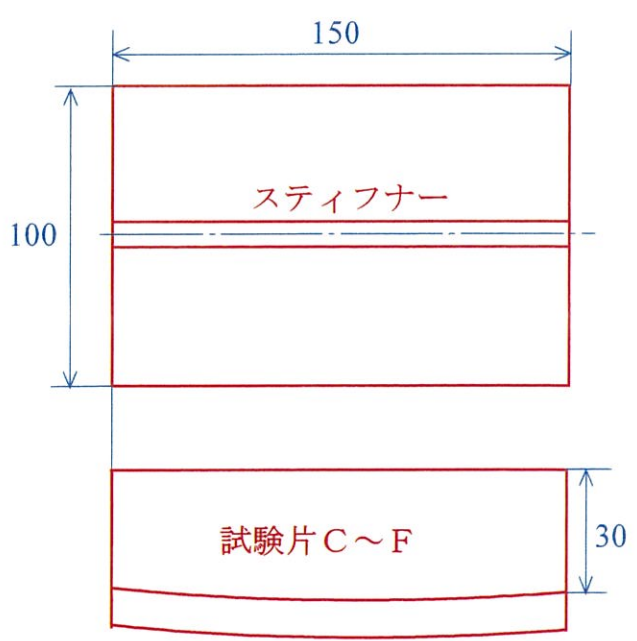
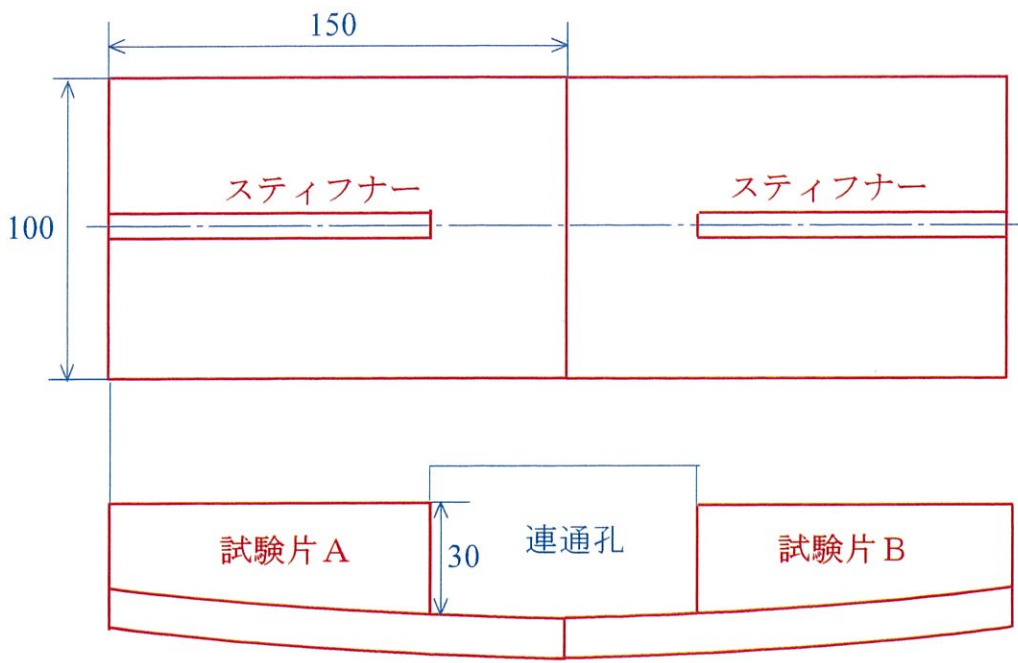
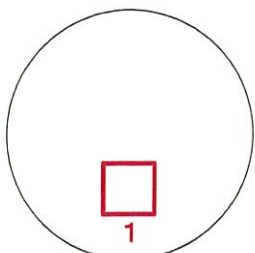
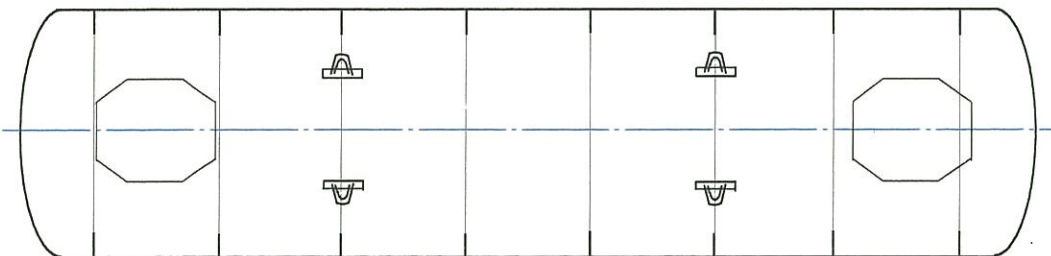
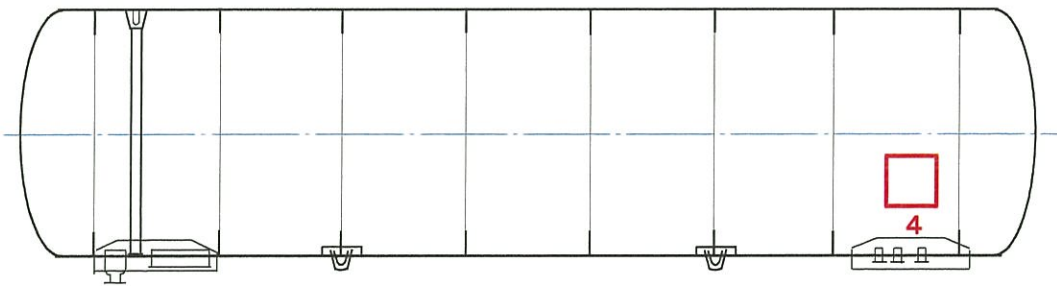
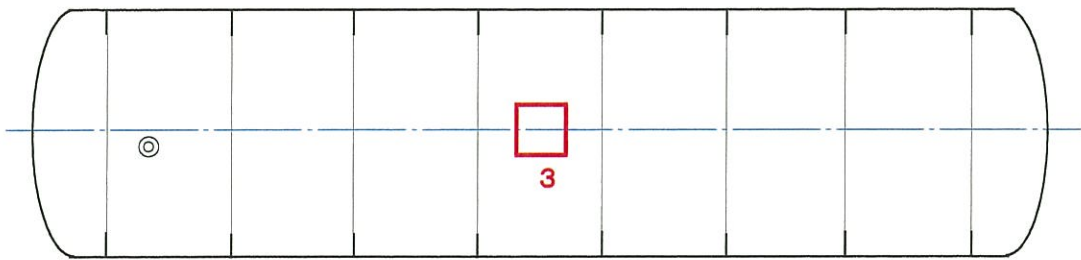
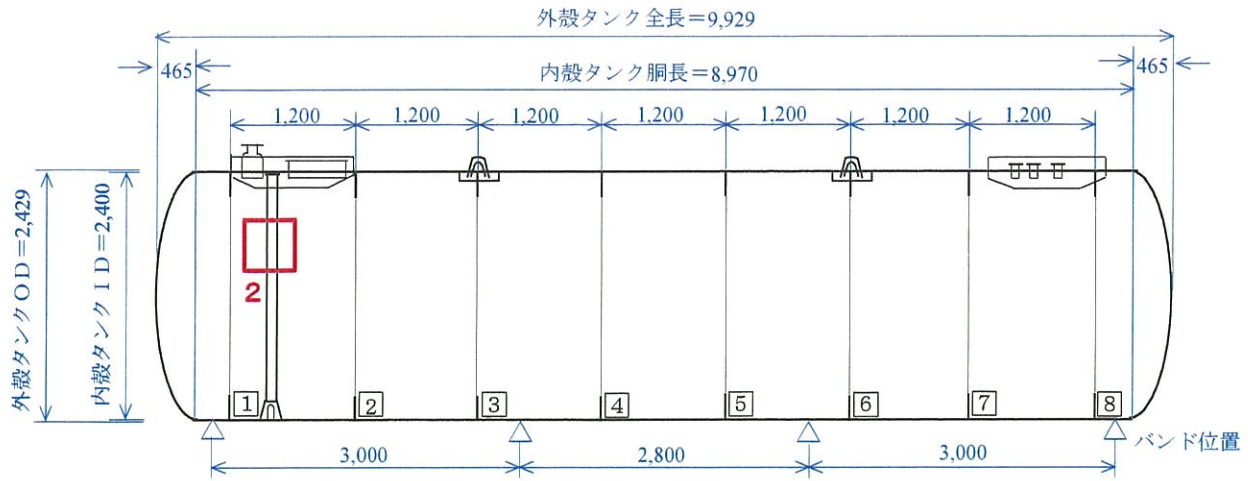


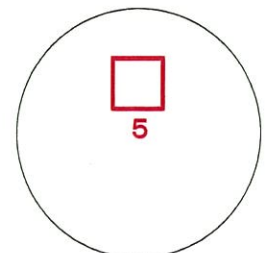
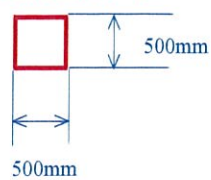
図3.1.5 試験片サイズ

単位：mm



リザーブタンク側鏡板

材料試験用試験片サイズ



鏡板

例：40KLストレート（単位：mm）

図3.1.6 材料試験用試験片採取状況の一例

3. 2 有限要素法によるシミュレーション

3. 2. 1 有限要素法によるシミュレーションについて

FF二重殻タンクの破損要因について検討するため、埋設状態のFF二重殻タンクについて有限要素法による3次元応力解析を実施し、上載荷重、周辺埋戻土等による地盤土圧が及ぼす影響について検討する。

3. 2. 2 解析条件

本解析では、どのような状態の時に変形量が大きくなり応力が集中するような部位が生じるかを検討するため、周辺地盤を含む領域による解析を実施する。タンク本体については不明確な物性等も存在しているため、付属する構造物やタンク内殻と外殻間の中間層のモデル化は行わないものとする。

解析は以下の手順で実施する。

① 通常の埋設状態での解析を実施

② 車両等の上載荷重を考慮した状態での解析を実施

蓋や支柱が存在する場合は、上載荷重によるタンクへの影響が小さくなるため、上載荷重を載荷する場合は蓋、支柱については埋戻土・砕石の物性に変更する。

③ ①、②について埋戻土を変えた状態による解析を実施

(1) 対象

FF二重殻タンク

(2) 解析手法

静的FEM解析（線形解析）

(3) 解析ケース

表3. 2. 1 解析ケース

ケース	モデル	荷重
①	通常	自重
②	蓋・支柱を周辺の土・砕石の物性に変更	上載荷重
③	埋戻土物性変更	上載荷重

(4) 解析モデルの条件

標準的なFF二重殻タンクの埋設条件を元に解析モデルを作成する。全体モデルを図3. 2. 2、図3. 2. 3に、タンクモデルを図3. 2. 4、図3. 2. 5に示す。対称性を考慮し1/4モデルとする。

表 3. 2. 2 モデル条件

対象	サイズ[mm]・その他	材質	要素	
タンク	円筒部	長さ：11,170 外殻外径：2,429 内殻内径：2,400 板厚：14.5 (外殻：中空部：内殻=5.5：3.5：5.5)	FRP 積層 胴部	平面 要素
	スティフナー	高さ：250 厚さ：14	FRP 積層 スティフナー	平面 要素
	鏡部	タンク全長：12,129 外殻外径：2,414.5 内殻内径：2,400 板厚：14.5 (円筒部と同じ中空部有り)	FRP 積層 鏡部	平面 要素
マンホール等の構造物、中仕切り、連通孔、バンドについては省略する				

平面要素は面外、せん断、曲げ剛性を持つ

対象	サイズ[mm]・その他	材質	要素
周辺地盤	軸方向：13,000 (タンク長と同一程度) 幅方向：7,500 (タンク半径の 5 倍程度) 深さ：4,729 (ふた上部～基礎下)	周辺地盤	ソリッド
埋戻土	タンク上面～ふた下部：1500	埋戻土	ソリッド
タンク下部砕石	タンク下部～基礎スラブ：200 タンク下部～砕石上面：610 (タンク直径の 1/4)	砕石	ソリッド
	支持砕石、充填砕石、砕石床は区別しない		
基礎スラブ	厚さ：300	Fc21 ^{注1}	ソリッド
支柱	直径：100	Fc21	ソリッド
	支柱と埋戻土間は 2 重節点とする		
ふた	厚さ：300	Fc21	ソリッド
	ふた下面と埋戻土間は 2 重節点とする		
ふた下部砕石	厚さ：100	砕石	ソリッド

注 1：Fc とは、コンクリートの設計基準強度 (Fc) を表し、コンクリートの圧縮強度をいい (単位は[N/mm²])、建築工事標準仕様書 JASS5 に設計基準強度の標準が規定されている。

(5) 物性値

ア 埋戻土に関して地盤や砕石等の物性について調査し、物性値の変動幅について検討する。基本的な値としてはFF二重殻タンク検討時の以下の値とする。なお、周辺地盤は自重による沈下は考慮せず、タンク設置による沈下・応力の発生のみを検討するため、周辺地盤の重量については0とする。

表3. 2. 3 地盤物性

地盤	地盤種	N値	地下水面以下単位体積重量 ρ_d 注3 [kN/m ³]	地下水面上単位体積重量 ρ_u 注3 [kN/m ³]	変形係数 E 注2 [kN/m ²]	ポアソン比	
						地下水面以下	地下水面上
埋設土	砂	5	19.5	17.5	14,000	0.35	0.35
周辺地盤	砂	15	—	—	42,000	0.35	0.35
砕石	砕石	40	21.0	19.0	112,000	0.35	0.35

注2：変形係数算定式 $E=2800 \times N$ 値 [kN/m²]

(出典：道路橋示方書・同解説 I 共通編・IV下部構造編_平成24年3月_日本道路協会, p285)

注3：(出典：道路橋示方書 (V 耐震設計編)・同解説 平成14年, p357)

表3. 2. 4 基礎、ふた、支柱物性

	単位体積重量 [kN/m ³]	ヤング率 E_c [kN/m ²]	ポアソン比
Fc21	24.0	21,682,000	0.2

コンクリートはFc21とし、ヤング率は建築学会「鉄筋コンクリート計算規準・同解説」より以下の式から算出した。

$$E_c = 3.35 \times 10^4 \times \left(\frac{\gamma}{24}\right)^2 \times \left(\frac{F_c}{60}\right)^{\frac{1}{3}}$$

ここに、 $F_c=21$ [N/mm²]、 $\gamma=23$ [kN/m³]

イ 地下水面

タンク上部を地下水面とする

ウ タンクの材料特性

タンク胴部・鏡部は、FRPによる外殻と内殻、外殻と内殻間の中空層の3層構造となっている。中空層は、せん断剛性を持っているものと考えられるが、明確ではない。本解析では安全側に考え、中空層のせん断剛性は考慮しないこととする。曲げ剛性（断面2次モーメント）については、中空層の厚みを考慮して設定する。

表3. 2. 5 タンク物性 (FRP 単層)

	ヤング率 E_{FRP} [kN/m ²]	ポアソン比
胴部周方向	9,000,000	0.27
胴部軸方向	6,000,000	0.23
鏡部	7,000,000	0.31
スティフナー	7,000,000	0.29

タンク胴部・鏡部は1層の平面要素でモデル化するため、ヤング率、断面2次モーメントを以下のように設定する。

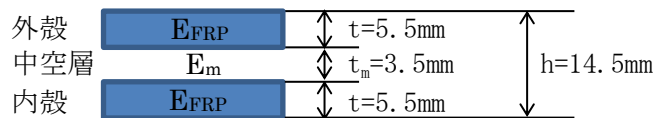


図3. 2. 1 タンク胴部

- ・ ヤング率 E
ヤング率は FRP 単層と等しい値を用いる。
- ・ 断面2次モーメント I
中空層のヤング率 E_m を 0 とし、以下の断面2次モーメント I を用いる。

$$I = \frac{1}{12} \{h^3 - (h - 2t)^3\}$$

表3. 2. 6 タンク胴部・鏡部シェル要素に対する設定値

	ヤング率 E [kN/m ²]	ポアソン比	I [mm ⁴]
胴部周方向	9,000,000	0.27	250.48
胴部軸方向	6,000,000	0.23	
鏡部	7,000,000	0.23	

なお、タンク重量については土圧等に比べて小さいため 0 とする。

(6) 荷重・拘束条件

ア 上載荷重

上載荷重は、ふたに該当する範囲に設定する。

荷重は車重程度の大きさとする。

イ タンク内圧

タンク内液については考慮しない (内圧が無い方が安全側と考えられるため)。

ウ 拘束条件

解析領域底面：完全拘束

解析領域側面：対称条件 (面外変形拘束)

(7) 評価項目

以下の項目を評価する

ア 鉛直方向の変形量

イ 破損タンクの鉛直方向の変形量が発生する上載荷重

ウ 応力集中部の応力

エ タンク全体の応力が強度を超えるかどうかを評価する

(8) 解析コード

NX Nastran V7.1

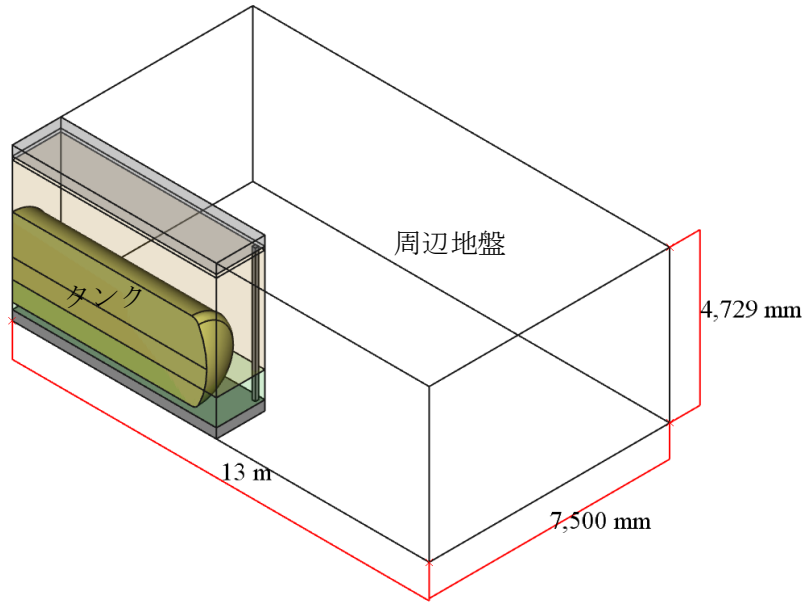


図3. 2. 2 1/4全体モデルサイズ（鳥瞰）



図3. 2. 3 1/4全体モデル（上：平面 下：正面 右：側面）

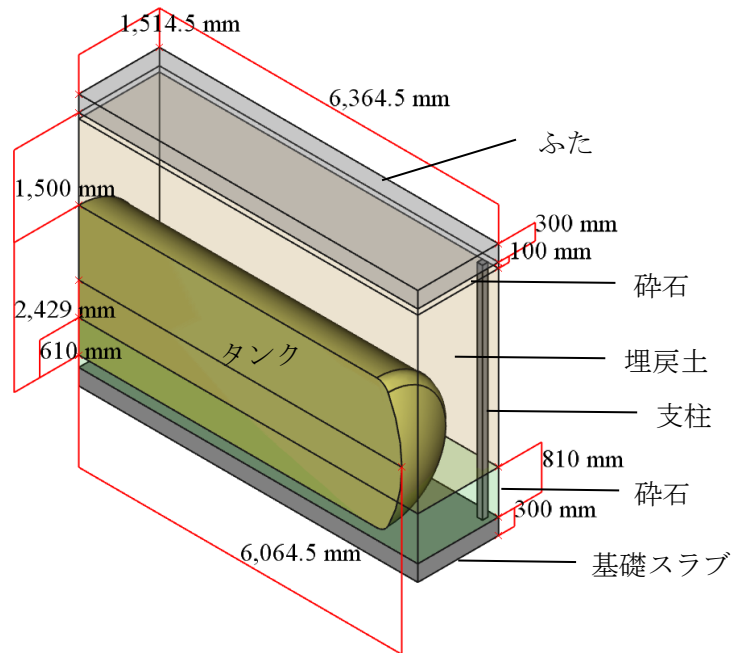


図3. 2. 4 1/4タンクモデル（鳥瞰）

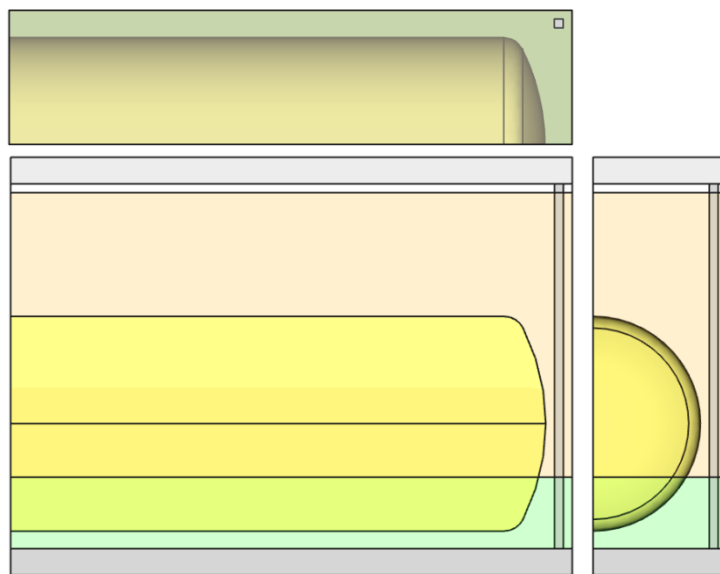


図3. 2. 5 1/4タンクモデル（上：平面 下：正面 下右：側面）

第4章 まとめ

本検討では、F F 二重殻タンクの内殻の破損に至った要因を究明し、その安全対策につなげるため、第2章に記載している様々な検討を実施してきたところである。

特に、平成25年11月に発生した新潟県の営業用給油取扱所におけるF F 二重殻タンクの内殻破損事案では、砕石基礎が基準どおりに施工されていなかったことが確認されたことを踏まえ、本検討において、神奈川県と静岡県で施工されたF F 二重殻タンクについて砕石基礎の状況をはじめとした埋設施工の状況を重点的に調査してきたところである。

その結果、調査の対象となったF F 二重殻タンクの破損要因に共通する事項としてF F 二重殻タンクの砕石基礎に係る土木施工の不具合が認められた。このことから、127号通知における指針で示された方法に基づき、施工時における留意事項等について再度徹底を図るとともに、施工管理記録の作成方法等の適切な埋設施工に必要な事項についても周知する必要があることが確認された。

しかしながら、F F 二重殻タンクを安全に維持管理していくためには、埋設施工後にタンク本体の健全性が保たれていることが不可欠であることから、第3章に掲げるとおり、来年度にF F 二重殻タンクの検知層を構成する3D繊維の挙動等、物理的特性についての分析を行うとともに、有限要素法による破損部付近の挙動の詳細解析まで実施する予定としている。

来年度中には、F F 二重殻タンクの内殻の破損に至った要因の全容が解明され、その安全対策への提言ができるよう、引き続き検討を進めて行く必要がある。

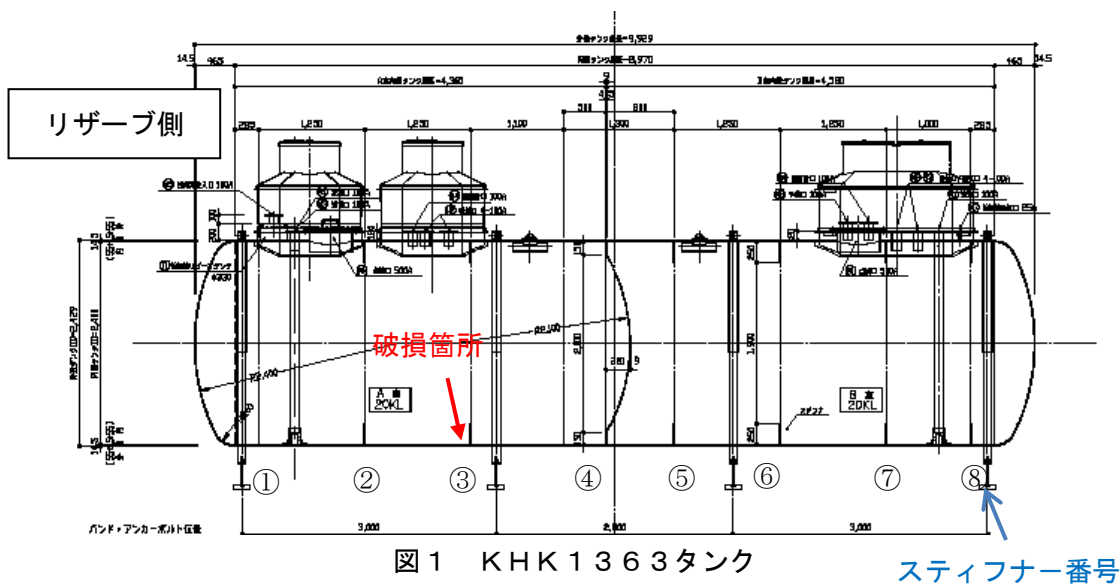
調査対象とした破損FF二重殻タンク概要

1 破損タンク一覧

図No.	設置場所	KHK番号※	容量	種別	製造年月
1	静岡県	1363	40kL	20:20	平成23年2月
2	静岡県	1366	40kL	20:20	平成23年3月
3	静岡県	1367	40kL	20:20	平成23年2月
4	神奈川県	658	40kL	ストレート	平成18年6月
5	神奈川県	659	48kL	32:16	平成18年5月
6	神奈川県	660	40kL	25:15	平成18年6月
7	新潟県	1857	48kL	ストレート	平成24年8月

※「強化プラスチック製二重殻タンクの試験確認済証による証明の撤回（取り消し）について」（平成26年3月24日）により試験確認済証は既に取り消されているが、タンクを識別するため使用している。

2 破損タンク図



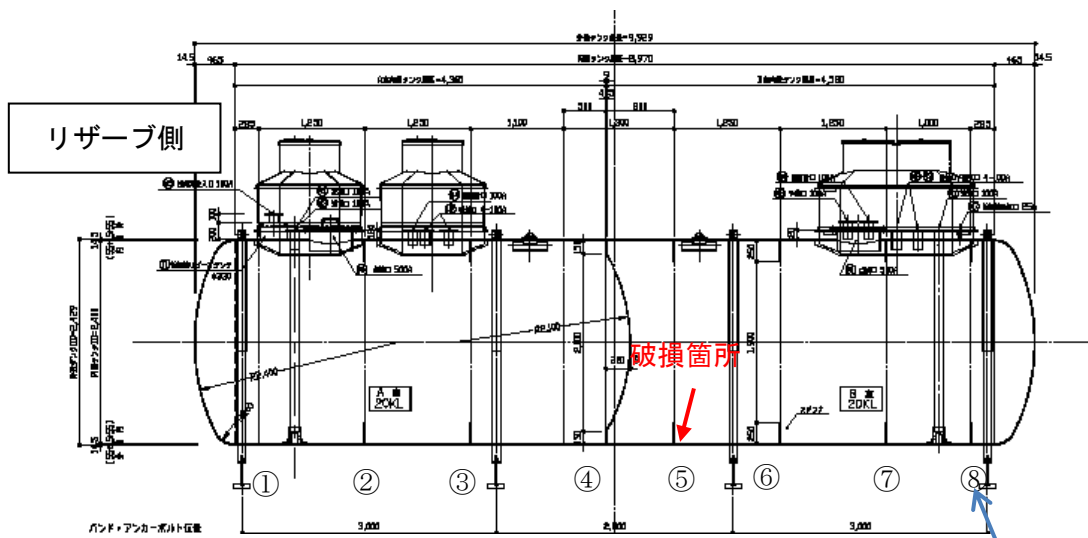


図2 KHK1366タンク

スティフナー番号

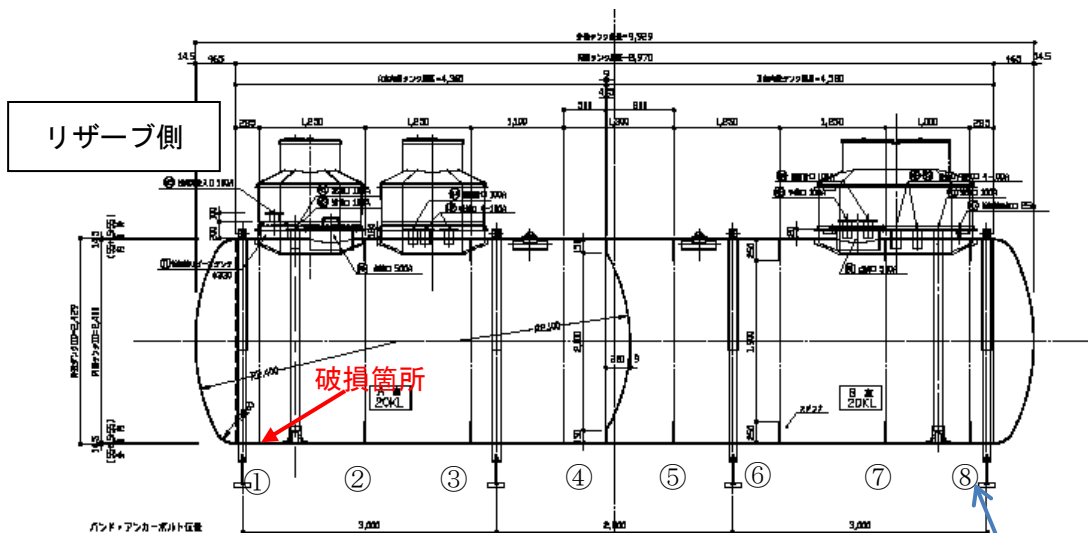


図3 KHK1367タンク

スティフナー番号

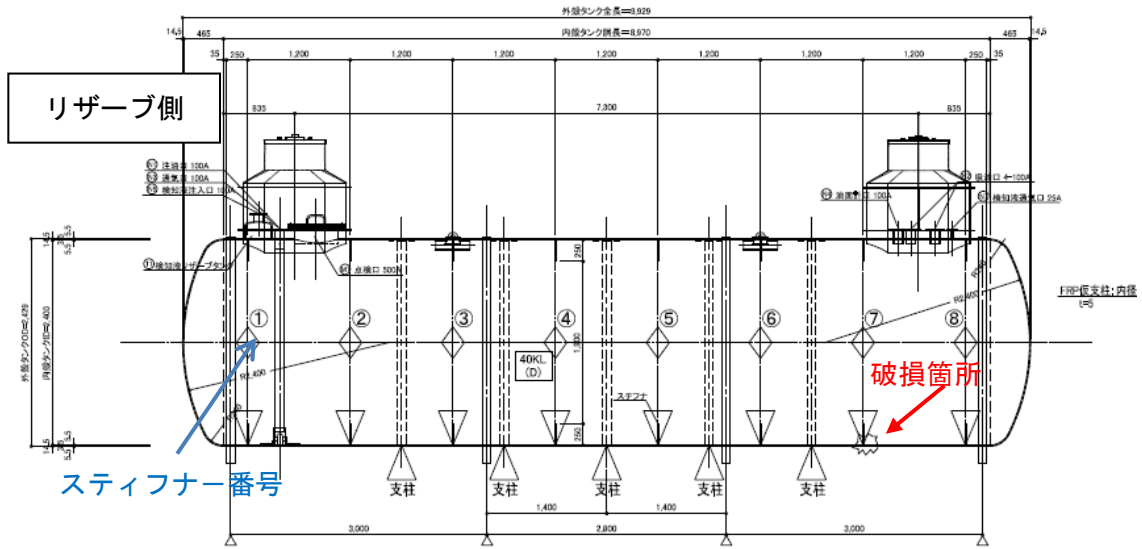


図4 KHK658タンク

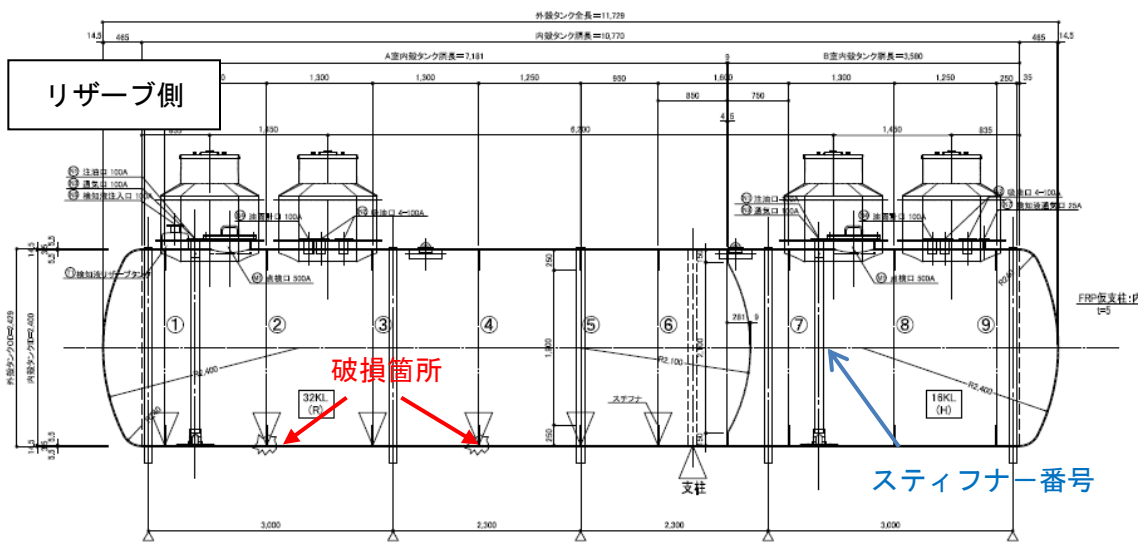


図5 KHK659タンク

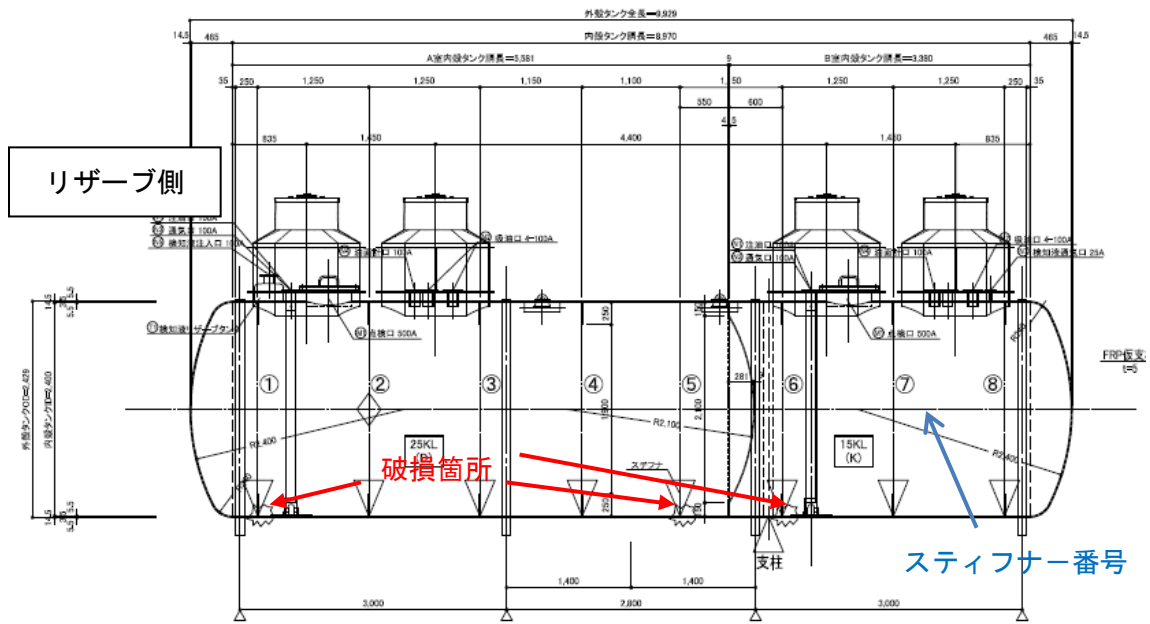


図6 KHK660タンク

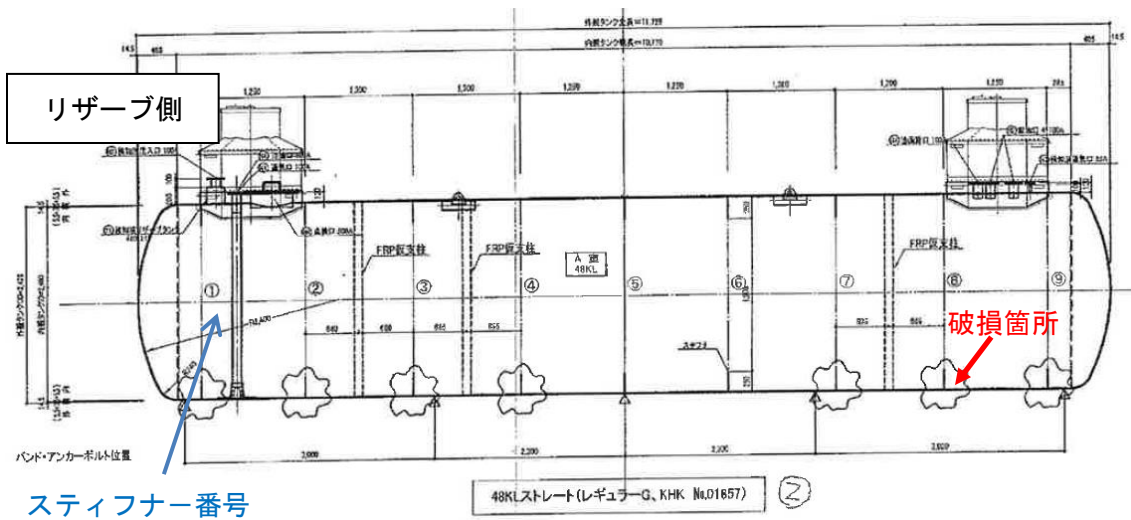
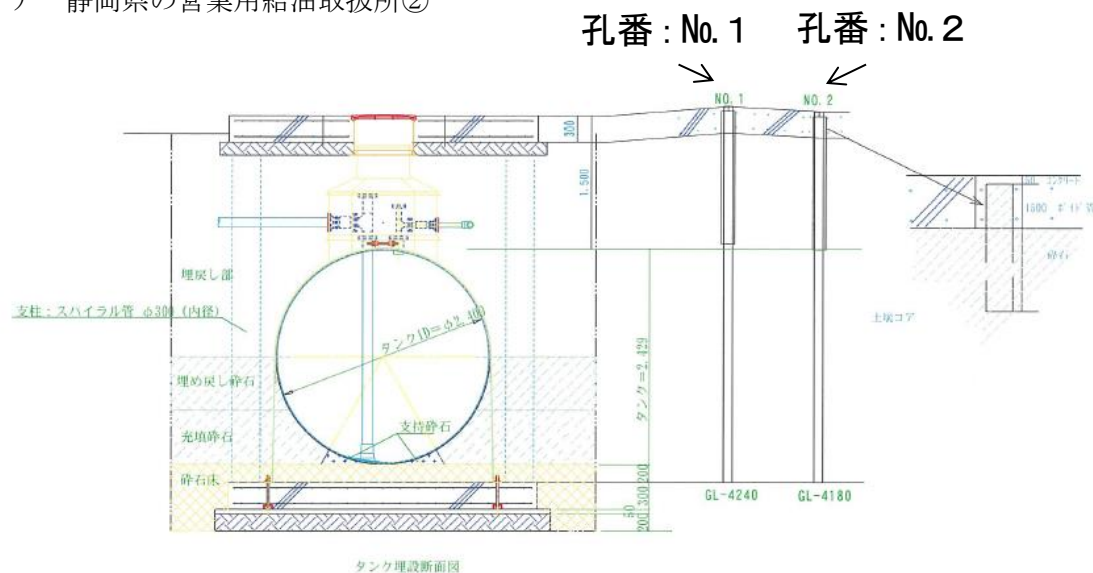


図7 KHK1857タンク

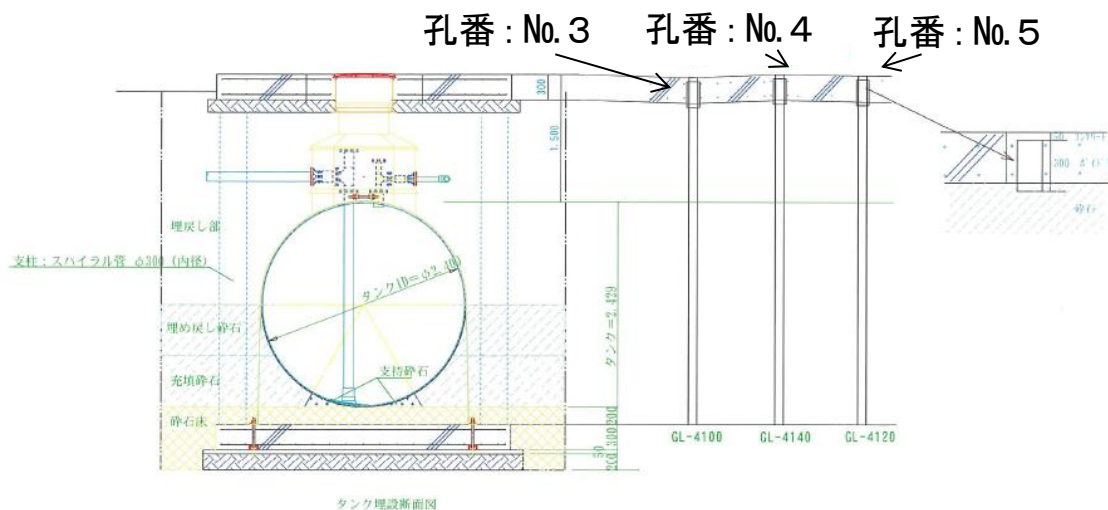
静岡県の営業給油取扱所のボーリング調査結果概要

1 ボーリング調査実施箇所断面

ア 静岡県の営業用給油取扱所②



イ 静岡県の営業用給油取扱所①



2 標準貫入試験結果

静岡県の営業用給油取扱所②						
孔番	No. 1			No. 2		
	試験深度 (m)	N値 (回)	貫入量 (cm)	試験深度 (m)	N値 (回)	貫入量 (cm)
	1.15	5	30	1.15	5	30
	2.15	5	30	2.15	3	30
	3.15	3	30	3.15	2	30
	3.65	2	30	3.65	2	30

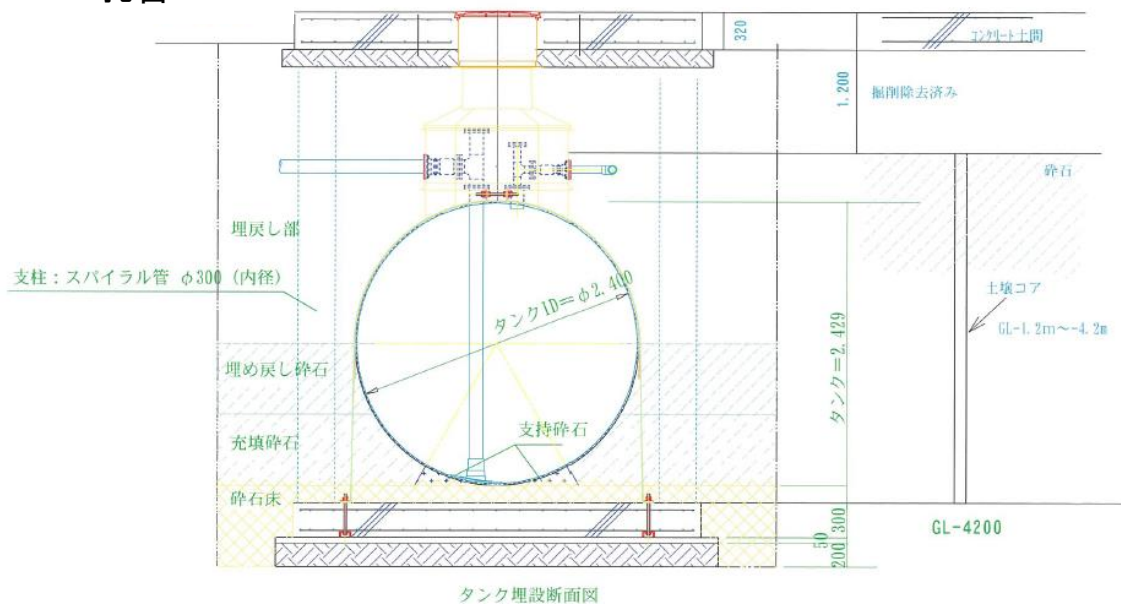
静岡県の営業用給油取扱所①						
孔番	No. 3			No. 4		
	試験深度 (m)	N値 (回)	貫入量 (cm)	試験深度 (m)	N値 (回)	貫入量 (cm)
	1.15	4	30	1.15	8	30
	2.15	2	35	2.15	3	30
	3.15	3	30	3.15	3	30
	3.65	3	30	3.65	4	30

静岡県の営業用給油取扱所①			
孔番	No. 5		
	試験深度 (m)	N値 (回)	貫入量 (cm)
	1.15	3	30
	2.15	2	40
	3.15	3	30
	3.65	4	30

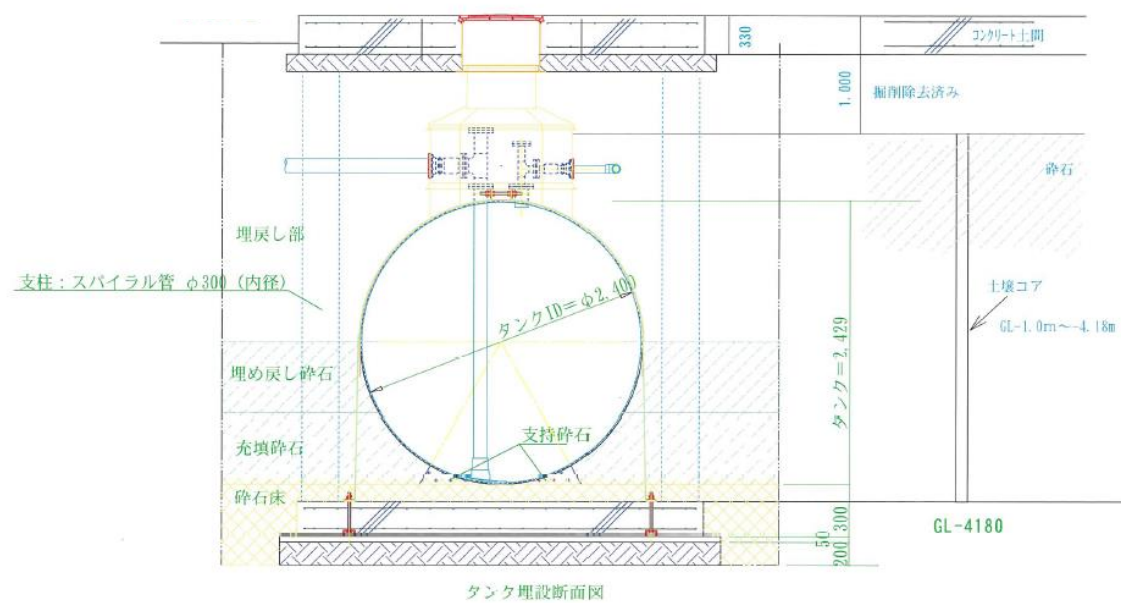
神奈川県の実業給油取扱所のボーリング調査結果概要

1 ボーリング調査実施箇所断面

孔番 : No. 6



孔番 : No. 7



2 標準貫入試験結果

神奈川の営業用給油取扱所						
孔番	No. 6			No. 7		
	試験深度	N 値	貫入量	試験深度	N 値	貫入量
	(m)	(回)	(cm)	(m)	(回)	(cm)
	1.20	3	30	1.15	3	35
	2.00	3	34	2.15	4	36
	3.00	3	34	3.15	3	34
	3.50	2	37	3.65	3	34

新潟県の営業給油取扱所のボーリング調査結果概要

1 調査内容

- | | |
|----------------------|----------------------|
| ① 機械ボーリング | |
| φ 66mmコアボーリング | 4 孔 (掘削延長 L = 15.9m) |
| φ 86mmノーコアボーリング (拡孔) | 2 孔 (掘削延長 L = 7.9m) |
| ② 標準貫入試験 | 1 2 回 |
| ③ 孔内水平載荷試験 | 4 箇所 |
| ④ 粒度試験 (フルイ分け) | 4 試料 |

2 調査結果

(1) 地質構成

破損した F F 二重殻タンク近傍を構成する土質構成一覧表は表 1 に示すとおりである。

表 1

地層区分	記号	分布深度 (L-m)				土質	記事
		No. 25-1	No. 25-2	No. 25-3	No. 25-4		
上部 コンクリート	Co(u)	0 ～ 0.30	0 ～ 0.30	0 ～ 0.30	0 ～ 0.30	コンクリート	現地表面のコンクリートは、0.3mの層厚を確認している。色調は白灰色を呈する。
埋土 (碎石)	B-g	0.30 ～ 0.55	0.30 ～ 0.55	0.30 ～ 0.45	0.30 ～ 0.50	砂礫	上部コンクリート [Co(u)] の下位に分布しており、0.15～0.25mの層厚を確認している。土質は、φ10～30mmの亜角礫状の碎石でマトリックスは中～粗砂である。色調は灰色を呈する。
埋土 (砂質土)	B-s	0.55 ～ 4.00	0.55 ～ 3.90	0.45 ～ 4.00	0.55 ～ 3.95	粗砂	埋土 (碎石) [B-g] の下位に分布しており、3.35～3.55mの層厚を確認している。上位の埋土 (碎石) [B-g] との層境界は漸移的である。土質は、粒度が均一な粗砂からなりφ5mm程度の細礫を少量混入する。全体に締まりは非常に緩く、孔壁のせり出し・崩壊が著しい。また、地下水下では貫入試料が脱落する。色調は緑灰色を呈する。
基礎 コンクリート	Co(l)	4.00 ～ 4.00	3.90 ～ 3.95	4.00 ～ 4.00	3.95 ～ 4.00	コンクリート	0～0.05mの層厚を確認して掘り止としている。色調は白灰色を呈する。

(2) N値

各孔で実施した標準貫入試験結果より、各層ごとのN値を取り纏めたものを表2に示す。

4孔の各試験深度におけるN値は0～2であり、締まりが非常に緩いことが確認できる。

(3) 自然水位

自然水位は4孔ともGL-1.1～-1.4（標高9.2～9.6m）間に分布する。

(4) 変形係数

変形係数は、 $E_m=0.1\sim0.3$ (MN/m²) を示し、N値同様、非常に締まりが緩いことを示している。

(5) 粒度分布

埋土（砂質土）（B-s）の粒度組成は、24～28%の礫分と65～68%の砂分、5～10%の細粒分で構成されて、土質分類上は細粒分混じり礫質砂（SG-F）に分類される。

表 2

孔番	NO.25-1				NO.25-2				NO.25-3			
	試験深度 (m)	N値 (回)	貫入量 (cm)	換算N値 (回)	試験深度 (m)	N値 (回)	貫入量 (cm)	換算N値 (回)	試験深度 (m)	N値 (回)	貫入量 (cm)	換算N値 (回)
B-s	1	2	32	1.9	1	1	30	1.0	1	2	64	0.9
	2	2	55	1.1	2	0	59	0.0	2	0	50	0.0
	3	0	70	0.0	3	0	70	0.0	3	0	50	0.0

孔番	NO.25-4				N値				
	試験深度 (m)	N値 (回)	貫入量 (cm)	換算N値 (回)	データ数 (個)	最小値 (回)	最大値 (回)	平均値 (回)	標準偏差 σ_n
B-s	1	2	56	1.1	12	0.0	1.9	0.5	0.6
	2	0	50	0.0					
	3	1	50	0.6					