

6. 地震（長周期地震動）による被害を対象とした評価

消防庁指針に記載されている手法を用いて、地震時（長周期地震動）の被害を対象とした評価を実施した。

個々の危険物タンクでのスロッシング最大波高及び溢流量を求め、その大小から災害拡大シナリオに現れる各災害事象の可能性を判定し、災害規模に応じた影響を算定した。

なお、対象施設のデータは施設のアンケート調査時点（平成 25 年 10 月）のものとしている。

6.1. 危険物タンクのスロッシング

スロッシング（液面揺動）とは、地震波と容器内の液体が共振して液面が大きく揺れる現象である。これにより、特に浮き屋根式の危険物タンクでは、浮き屋根の損傷、内容物の溢流、火災の発生といった重大な被害が生じる危険性があり、このような被害の発生は、スロッシングによる揺れの大きさ（スロッシング最大波高）にある程度依存することが示されているⁱ。

スロッシング最大波高の推定には、参考資料 6 式(1)で表される式を用いた。スロッシング最大波高は、周期 T_s における速度応答スペクトルが得られれば容易に計算することができ、従ってスロッシング最大波高の推定には、想定地震による長周期地震動特性（速度応答スペクトル）を予測することが重要になる。

6.2. 消防法におけるスロッシング対策

(1) スロッシングを考慮した液面管理

消防法告示（危険物の規制に関する技術上の基準の細目を定める告示）においては、容量 1,000k l 以上の特定屋外タンクについて、スロッシングが発生しても内容物の溢流が生じないように、スロッシングによる最大波高を想定した液面管理（危険物タンク上部に余裕空間を確保する）が定められている（参考資料 6 式(9)～(12)）。

最大波高の想定にあたって前提とする地震動（速度応答スペクトル）は、従来の消防法では周期によらず一律に定められていた（ $v_{i1}=1$ の場合において 1.13m/s）。しかしながら、2003 年に発生した十勝沖地震では、多くのタンクにおいて想定を上回るスロッシングが生じ、特に浮き屋根式の危険物タンクにおいて、浮き屋根の損傷・沈降や内容物の溢流、タンク火災等の被害が生じた。

これを受けて、2005 年 1 月に消防法告示の改正（総務省告示第 30 号, 2005）が行われ、タンク側板の最上端までの空間高さ（ H_c ）を求める算式に長周期地震動の地域特性に応じた補正係数（ v_g ）が導入され、液面揺動の一次固有周期に応じて従来の 1～2 倍の範囲で液面の低下措置が行われることとなった。

ⁱ 座間信作：2003 年十勝沖地震にみる石油タンク被害の特徴と対策，物理探査, 第 59 巻第 4 号 (2006), 353-362

(2) 浮き屋根の技術基準の策定

2005年1月の改正告示では、長周期地震動に係る地域特性に応じた補正係数（ ν_s ）の導入と共に、新たに浮き屋根の技術基準が定められ、浮き屋根の耐震機能を確保することが求められている。対象となるタンクは、シングルデッキタイプの浮き屋根を有する特定屋外タンクの内、容量2万kl以上のタンクと、容量2万kl未満で $H_c \geq 2$ mのタンクである。これらのタンクでは、浮き屋根の損傷や沈降の発生、浮き屋根上への滞油に伴う雨水排水配管からの漏洩が生じる可能性があることが指摘されている。

①浮き屋根の技術基準

従来、浮き屋根の耐震強度は事業者独自の基準により設計されていたが、長周期地震動の影響を考慮した浮き屋根の耐震強度に関して、新たに技術基準が策定された（適用にあたっては、平成29年3月31日までの経過措置が設けられている）。

②浮き屋根の構造

浮き屋根の浮力を確保する上での想定破損室数、浮き屋根の強度確保の前提となる溶接方法、浮力を失わないためのマンホールの構造、浮き屋根上の排水設備からの危険物流出防止のための遮断弁の設置について定められた。

(3) 内部浮き蓋の技術基準の策定

2011年12月の省令改正（平成23年総務省令第165号）により、内部浮き蓋式の特定屋外貯蔵タンクの技術基準が制定された。浮き蓋の浮力、耐震強度等については、浮き屋根式タンクの浮き屋根と同等の基準が定められた。パン型及びバルクヘッド型の浮き蓋については、平成36年3月31日までに他の構造の浮き蓋に改修することとされた。

6.3. 東日本大震災のスロッシング被害状況

平成 23 年東日本大震災のスロッシングに関する地域別の被害状況を表 6.3.1 に示す。被害は地域ごとに異なっており、例えば日本海側ではスロッシングによる浮き屋根のポンツーン破損、デッキ上への溢流被害が多い。太平洋側では長周期地震動によるスロッシングは小さく、浮き屋根の顕著な被害は見られない。東京湾岸方面では、浮き屋根の沈没、デッキの割れ等の被害が見られる。その他、県内では、スロッシングにより浮き屋根上に油が溢流（外部への流出なし）するといった被害が数件発生している。

表 6.3.1 東日本大震災のスロッシング被害ⁱ

調査対象地域	自治体	被害状況
日本海側	山形県酒田市	アルミ製の内部浮き蓋がスロッシングにより破断。
	新潟県新発田市	浮き屋根への油の流出、ウェザーシールドやエアーフォームダムとラダーとの衝突・変形、ガイドポールの変形。
	新潟県新潟市	浮き屋根上への油の流出、ポンツーンの変形・損傷による油の滞留、ウェザーシールドやエアーフォームダムとラダーとの衝突・変形、ゲージポール・ガイドポールの変形、スライドプレートとの損傷、内部浮き蓋の変形・接続部の損傷。
太平洋側	茨城県鹿嶋市 茨城県神栖市	ウェザーシールドと側板との間から噴き上げられた原油が、側板内側全周に渡り付着。下部デッキ板の重ね溶接部とリング板の接合部に変形、割れが発生。センターポンツーンの下部トラス材が変形。浮き屋根上に重油が漏洩し、ルーフトレンを通じて防油堤内に流出。
	福島県いわき市	ローリングラダー中央部の変形、ゲージポールウェル破損、浮き屋根上への原油流出とその原油がルーフトレン配管を通じて外部へ流出。
東京湾側	神奈川県川崎市	浮き屋根アウターリム下部付近の溶接線近傍での破断により、油が大量に浮き屋根上に流出し、地震の3日後に浮き屋根が沈没。浮き屋根式タンクのポンツーン4室が破損。鋼製内部浮き蓋で、ポンツーンとデッキとの溶接線が20cmにわたり破断。

ⁱ 「平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震の被害及び消防活動に関する調査報告書(第 1 報)」(消防庁消防研究センター、平成 23 年 12 月)より作成。

6.4. 危険物タンクの余裕空間高さ

表 6.4.1 は、本県のコンビナートにおける危険物タンクについて、地区別、容量による区分別、屋根形式別に基数を整理したものである。

京浜臨海地区は固定屋根とシングルデッキ浮き屋根式タンクが多く、容量1万kl以上の大規模タンクは121基ある。根岸臨海地区も京浜臨海地区と同様に固定屋根とシングルデッキ浮き屋根式タンクが多く、容量1万kl以上の大規模タンクが92基ある。久里浜地区は、内部浮き蓋式タンク及びシングル浮き屋根式タンクはないが、11基のタンクが容量1万klを超えている。固定屋根式のタンクは比較的小規模なものが多いが、容量1万klを超える大規模タンクも89基ある。内部浮き蓋式タンクも比較的小規模なものが多いが1万kl以上のタンクが10基ある。1万kl以上の浮き屋根式タンクについては、シングルデッキで121基、ダブルデッキで4基存在する。

容量1,000kl以上のタンクについて、スロッシング基本固有周期(T_s)に対する余裕空間高さ(H_c)の分布を図6.4.1(1)に示す。図6.4.1(2)は1,000kl未満のタンクを対象とし、スロッシング基本固有周期に対する管理液面高さの分布を示す。図6.4.1(1)では、多くのタンクでは H_c が1～2mの範囲にあるが、容量1万klを超える大規模タンクでは H_c が4m前後に達する。

表 6.4.1 危険物タンクの地区別、容量による区分別、屋根形式別の基数

地区	容量による区分別	固定屋根式タンク	浮き屋根式タンク		内部浮き蓋式タンク	計
			シングルデッキ	ダブルデッキ		
京浜臨海地区	1,000kl 未満	287	7	0	12	306
	1,000kl 以上 10,000kl 未満	349	102	7	56	514
	10,000kl 以上	33	83	0	5	121
	計	669	192	7	73	941
根岸臨海地区	1,000kl 未満	34	0	0	0	34
	1,000kl 以上 10,000kl 未満	72	14	4	4	94
	10,000kl 以上	49	38	0	5	92
	計	155	52	4	9	220
久里浜地区	1,000kl 未満	0	0	0	0	0
	1,000kl 以上 10,000kl 未満	2	0	0	0	2
	10,000kl 以上	7	0	4	0	11
	計	9	0	4	0	13

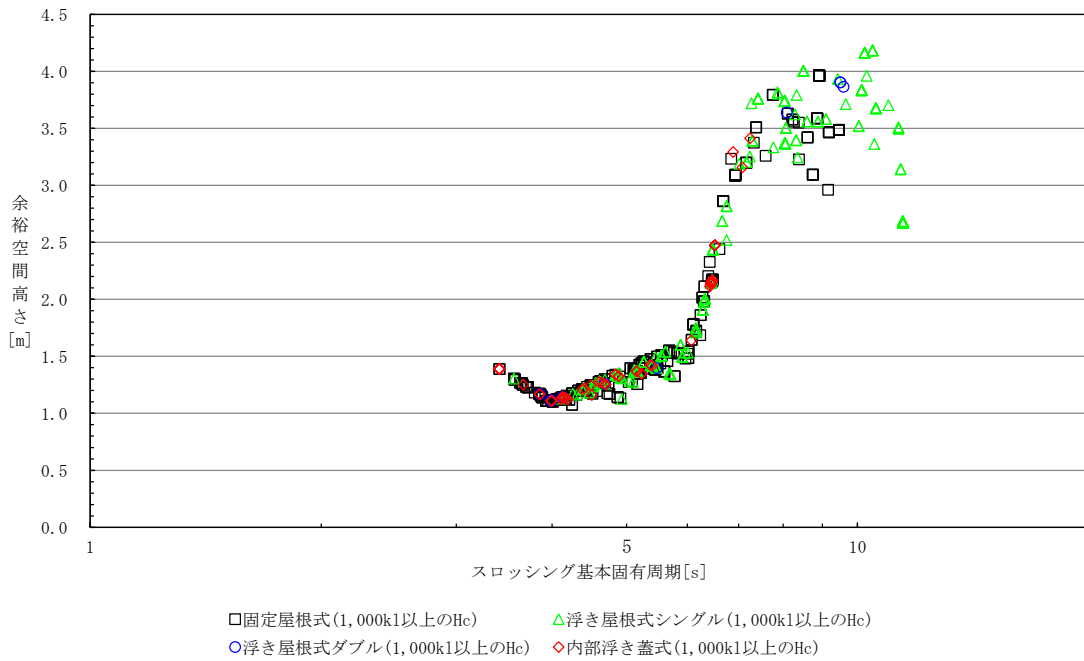


図 6. 4. 1(1) 1,000k1 以上の危険物タンクの余裕空間高さ (Hc)

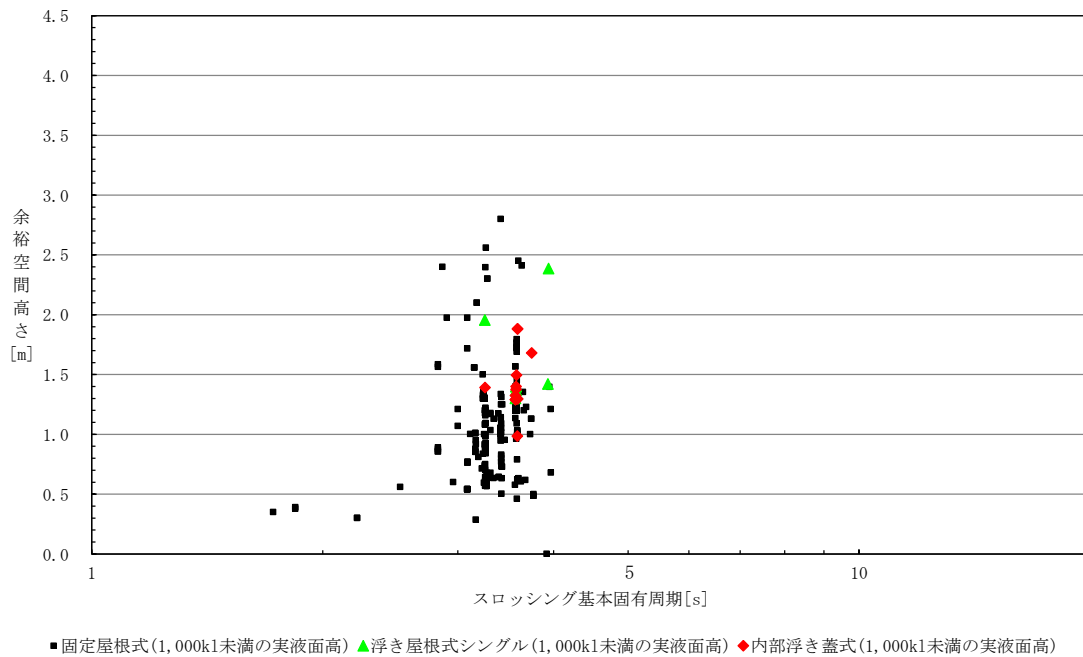


図 6. 4. 1(2) 1,000k1 未満の危険物タンクの余裕空間高さ (実液面高)

6.5. 前提となる長周期地震動の想定

(1) 地震被害想定調査における地震の想定

6.1. に示したように、スロッシング最大波高の推定には、将来発生するであろう地震による速度応答スペクトルを予測することが必要となる。

5.1. に記載の通り、県では、国等から示された新たな知見を踏まえ、平成 25 年度から 26 年度にかけて地震被害想定調査を実施しており、地震の規模が大きい以下の地震について長周期地震動の予測を行っている。

- ・南海トラフ巨大地震
- ・大正型関東地震
- ・【参考地震】元禄型関東地震
- ・【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震

(2) 防災アセスメント調査における地震の想定

防災アセスメント調査においては、(1)の地震の内、本県の特別防災区域において最大の影響をおよぼすおそれのある地震（参考地震を除く）として、南海トラフ巨大地震について評価を行った。

なお、地震被害想定調査における参考地震の内、特別防災区域の各地区において最大の影響をおよぼすおそれのある【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震についても参考までに予測を行った。

南海トラフ巨大地震及び【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の速度応答スペクトルのデータは、NS 成分と EW 成分の 2 種類があり、各周期に対して速度応答スペクトルの値が大きくなる方を採用した。なお、予測に用いる減衰定数（h）については、消防研究所報告ⁱに従い屋根形式別に設定する。固定屋根式で 0.1%、浮き屋根式（シングルデッキ）及び内部浮き蓋式で 0.5%、浮き屋根式（ダブルデッキ）で 1%とする。

南海トラフ巨大地震の地区別の速度応答スペクトルの値を図 6.5.1 に、【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震を図 6.5.2 に示す。

ⁱ 座間信作、西晴樹、廣川幹浩、山田實、畑山健：「スロッシングの減衰定数」（消防研究所報告第 98 号、2004 年 9 月）

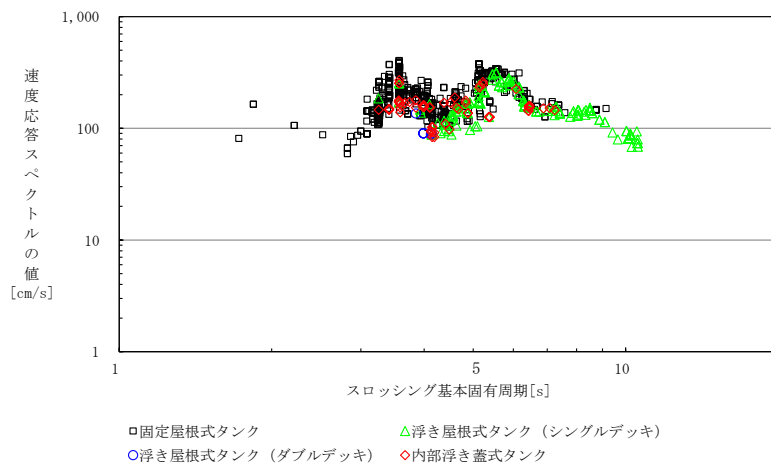


図 6.5.1 (1) 南海トラフ巨大地震の速度応答スペクトルの値
(京浜臨海地区)

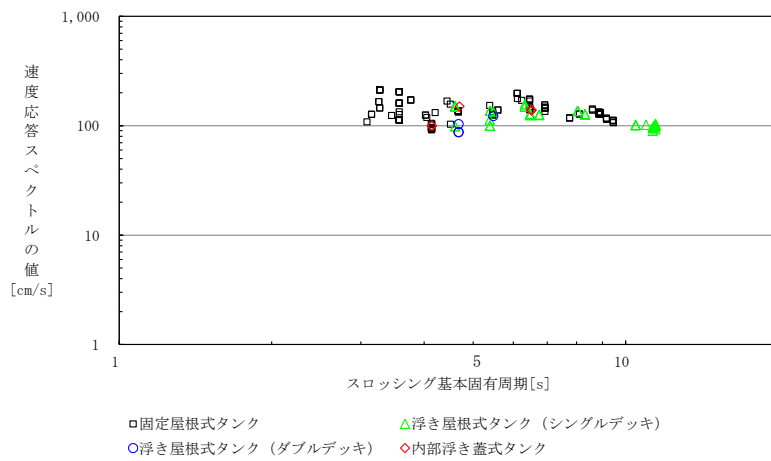


図 6.5.1 (2) 南海トラフ巨大地震の速度応答スペクトルの値
(根岸臨海地区)

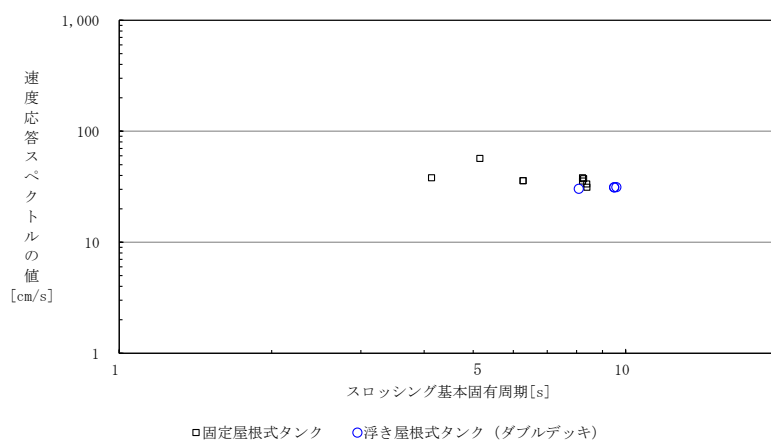


図 6.5.1 (3) 南海トラフ巨大地震の速度応答スペクトルの値
(久里浜地区)

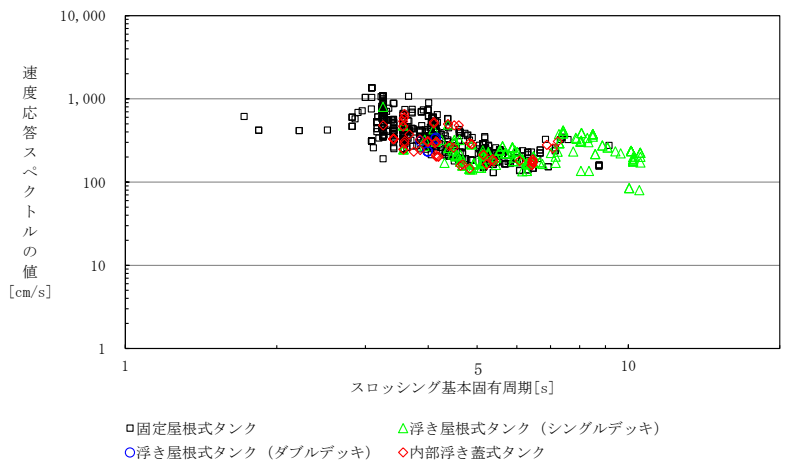


図 6.5.2 (1) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の速度応答スペクトルの値 (京浜臨海地区)

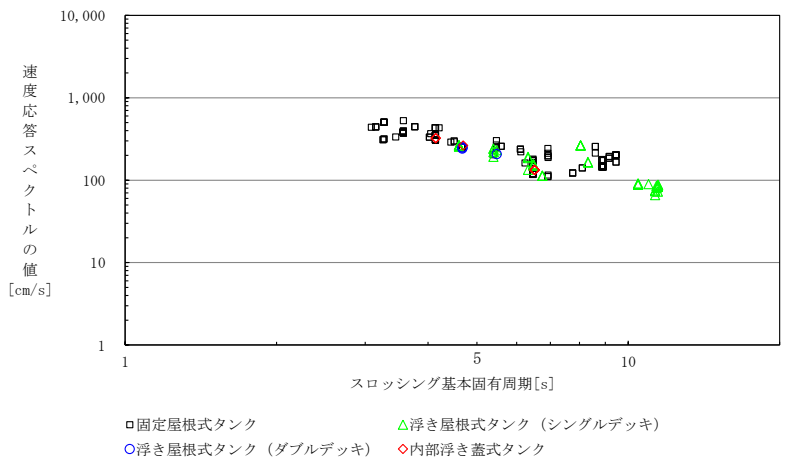


図 6.5.2 (2) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の速度応答スペクトルの値 (根岸臨海地区)

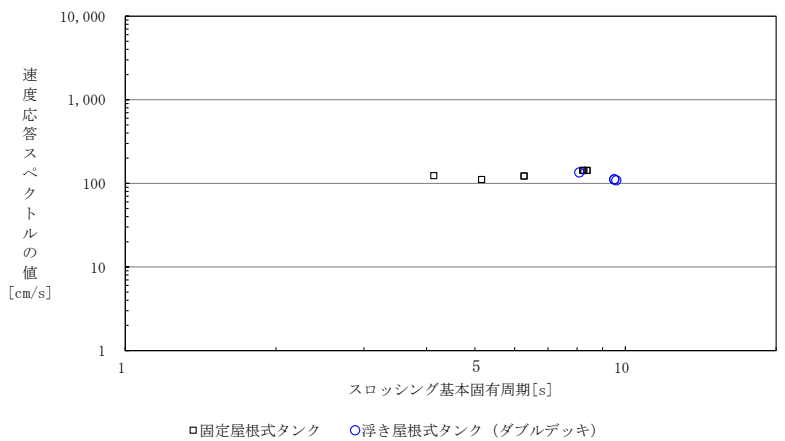


図 6.5.2 (3) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の速度応答スペクトルの値 (久里浜地区)

6.6. スロッシング最大波高及び溢流量の推定

(1) スロッシング最大波高の推定

各タンクのスロッシング最大波高を参考資料6式(1)～(4)により推定し、起こり得る災害の検討を行う。なお、液面高さは、安全側の設定として H_c から求めた液面高さを想定した（実際は、自主的に運用液面をさらに下げて（余裕空間高さをさらにとって）管理している場合がある）。ただしタンク容量が1,000k1未満の場合は管理液面高さをを用いた。

また、対象タンクは浮き屋根式タンクとし、固定屋根式タンク及び内部浮き蓋式タンクについても参考として推計した。

南海トラフ巨大地震に対するスロッシング最大波高の地区別の推定結果（浮き屋根式タンク）を図6.6.1、浮き屋根式タンクに関するスロッシング最大波高の推定結果を表6.6.1に示す。

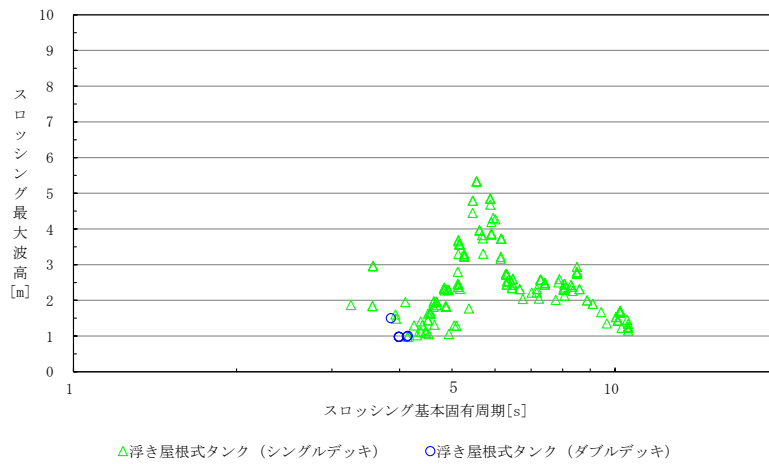


図 6.6.1(1) 南海トラフ巨大地震のスロッシング最大波高の推定
(京浜臨海地区 浮き屋根式タンク)

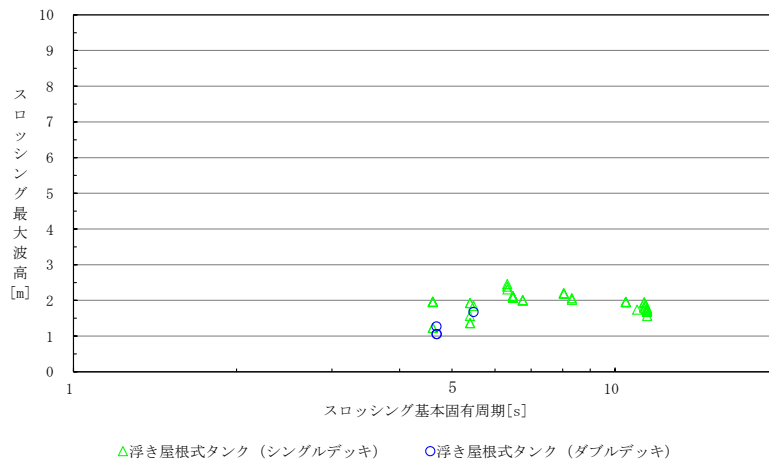


図 6.6.1(2) 南海トラフ巨大地震のスロッシング最大波高の推定
(根岸臨海地区 浮き屋根式タンク)

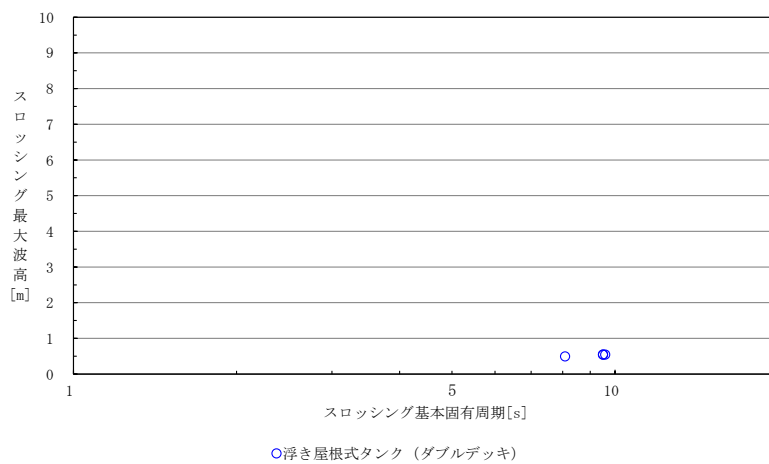


図 6.6.1(3) 南海トラフ巨大地震のスロッシング最大波高の推定
(久里浜地区 浮き屋根式タンク)

表 6.6.1(1) 南海トラフ巨大地震のスロッシング最大波高と
タンク余裕空間高さⁱとの比較（京浜臨海地区）

（単位：基）

スロッシング 最大波高が	浮屋根式タンク		計
	シングルデッキ	ダブルデッキ	
余裕空間高さを超える	112(14)	1(0)	113(14)
余裕空間高さを超えない	80(69)	6(0)	86(69)
計	192(83)	7(0)	199(83)

注：（）内は1万k1を超えるタンクの基数（内数）を示す。

表 6.6.1(2) 南海トラフ巨大地震のスロッシング最大波高と
タンク余裕空間高さとの比較（根岸臨海地区）

（単位：基）

スロッシング 最大波高が	浮屋根式タンク		計
	シングルデッキ	ダブルデッキ	
余裕空間高さを超える	13(3)	2(0)	15(3)
余裕空間高さを超えない	39(35)	2(0)	41(35)
計	52(38)	4(0)	56(38)

注：（）内は1万k1を超えるタンクの基数（内数）を示す。

表 6.6.1(3) 南海トラフ巨大地震のスロッシング最大波高と
タンク余裕空間高さとの比較（久里浜地区）

（単位：基）

スロッシング 最大波高が	浮屋根式タンク		計
	シングルデッキ	ダブルデッキ	
余裕空間高さを超える	0	0	0
余裕空間高さを超えない	0	4(4)	4(4)
計	0	4(4)	4(4)

注：（）内は1万k1を超えるタンクの基数（内数）を示す。

南海トラフ巨大地震に対するスロッシング最大波高の地区別の推定結果（固定屋根式タンク）を図 6.6.2、固定屋根式タンクに関するスロッシング最大波高の推定結果を表 6.6.2 に示す。

ⁱ ここで言う余裕空間高さは、容量 1,000k1 以上のタンクに対しては Hc を指しており、1,000k1 未満のタンクに対してはタンクの高さから実液面高さを引いた空間高さを指す。

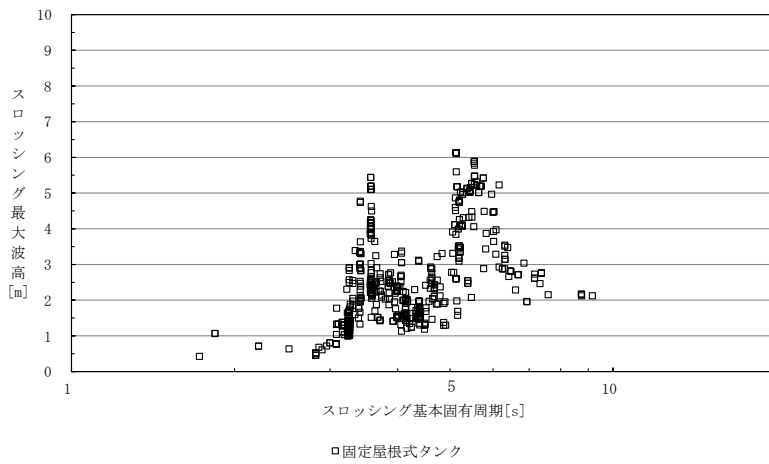


図 6.6.2(1) 南海トラフ巨大地震のスロッシング最大波高の推定
(京浜臨海地区 固定屋根式タンク)

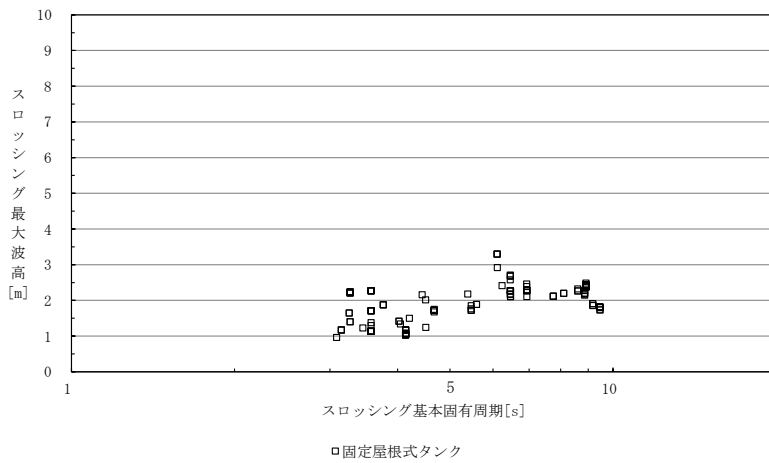


図 6.6.2(2) 南海トラフ巨大地震のスロッシング最大波高の推定
(根岸臨海地区 固定屋根式タンク)

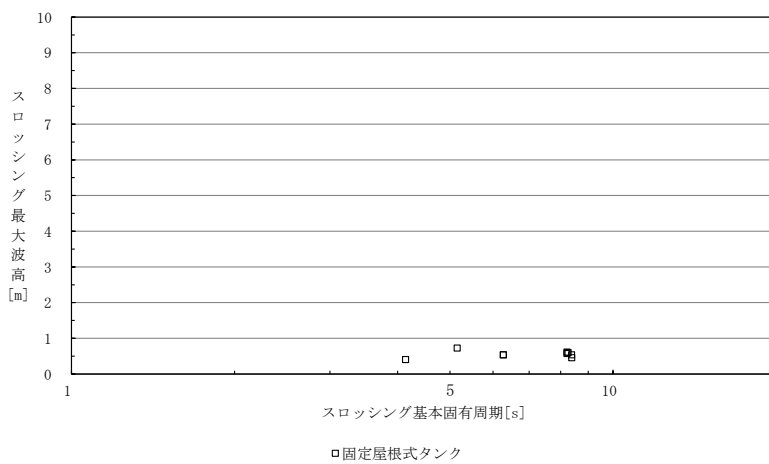


図 6.6.2(3) 南海トラフ巨大地震のスロッシング最大波高の推定
(久里浜地区 固定屋根式タンク)

表 6.6.2 南海トラフ巨大地震の固定屋根式タンクの
スロッシング最大波高とタンク余裕空間高さとの比較

(単位：基)

スロッシング 最大波高が	京浜臨海地区	根岸臨海地区	久里浜地区	計
余裕空間高さ を超える	620(12)	72(4)	0	692(16)
余裕空間高さ を超えない	49(21)	83(45)	9(7)	141(73)
計	669(33)	155(49)	9(7)	833(89)

注：()内は1万klを超えるタンクの基数（内数）を示す。

南海トラフ巨大地震に対するスロッシング最大波高の地区別の推定結果（内部浮き蓋式タンク）を図 6.6.3、内部浮き蓋式タンクに関するスロッシング最大波高の推定結果を表 6.6.3 に示す。

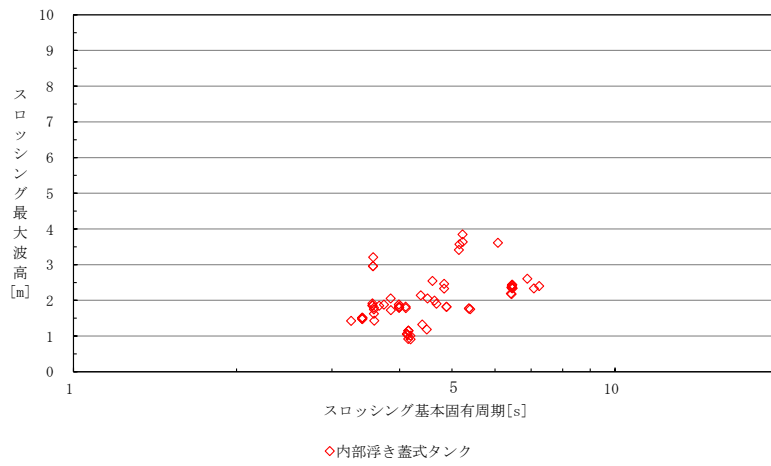


図 6.6.3(1) 南海トラフ巨大地震のスロッシング最大波高の推定
(京浜臨海地区 内部浮き蓋式タンク)

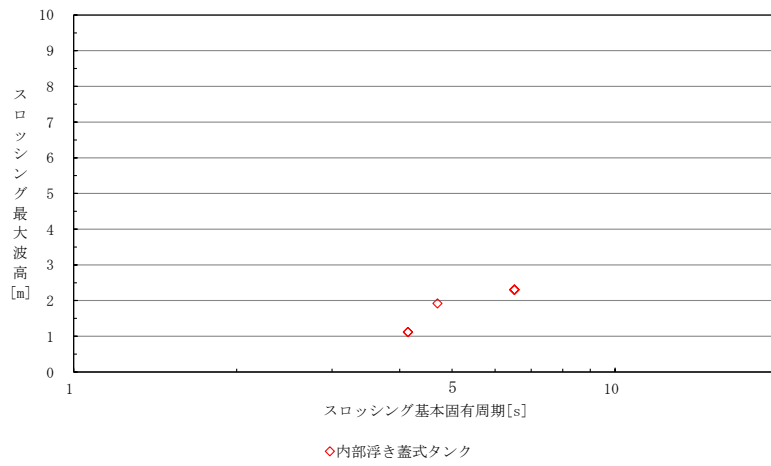


図 6.6.3(2) 南海トラフ巨大地震のスロッシング最大波高の推定
(根岸臨海地区 内部浮き蓋式タンク)

表 6.6.3 南海トラフ巨大地震の内部浮き蓋式タンクのスロッシング
最大波高とタンク余裕空間高さとの比較

(単位：基)

スロッシング 最大波高が	京浜臨海地区	根岸臨海地区	久里浜地区	計
余裕空間高さ を超える	61(2)	1(0)	0	62(2)
余裕空間高さ を超えない	12(3)	8(5)	0	20(8)
計	73(5)	9(5)	0	82(10)

注：()内は1万klを超えるタンクの基数（内数）を示す。

同様に、【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震に対するスロッシング最大波高の地区別の推定結果（浮き屋根式タンク）を図 6.6.4、浮き屋根式タンクに関するスロッシング最大波高の推定結果を表 6.6.4 に示す。

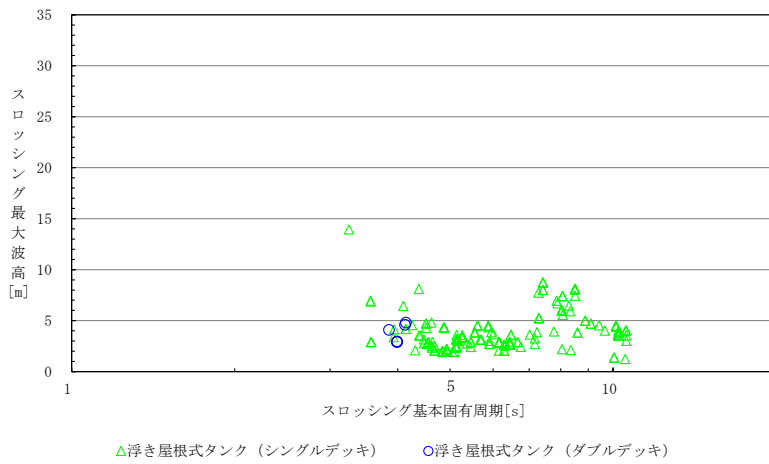


図 6.6.4(1) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震のスロッシング最大波高の推定 (京浜臨海地区 浮き屋根式タンク)

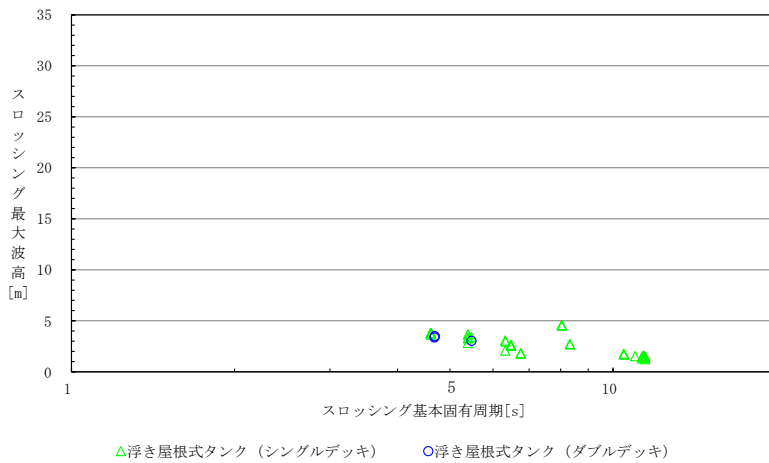


図 6.6.4(2) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震のスロッシング最大波高の推定 (根岸臨海地区 浮き屋根式タンク)

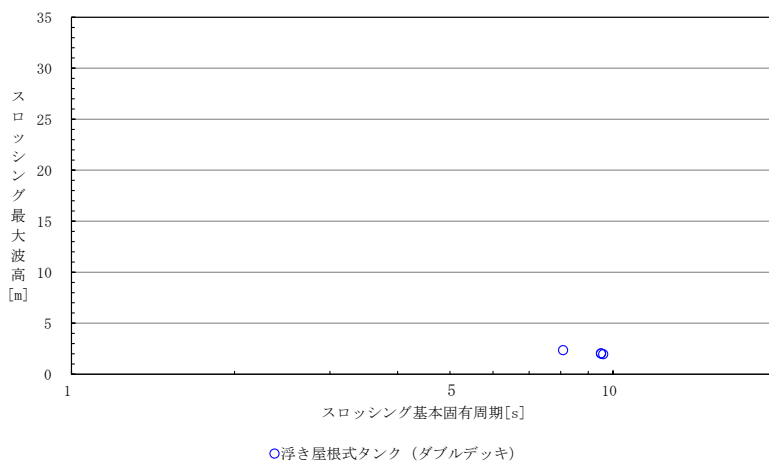


図 6.6.4(3) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震のスロッシング最大波高の推定 (久里浜地区 浮き屋根式タンク)

表 6.6.4(1) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の
スロッシング最大波高とタンク余裕空間高さとの比較（京浜臨海地区）

（単位：基）

スロッシング 最大波高が	浮屋根式タンク		計
	シングルデッキ	ダブルデッキ	
余裕空間高さを超える	176(68)	7(0)	183(68)
余裕空間高さを超えない	16(15)	0	16(15)
計	192(83)	7(0)	199(83)

注：()内は1万klを超えるタンクの基数（内数）を示す。

表 6.6.4(2) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の
スロッシング最大波高とタンク余裕空間高さとの比較（根岸臨海地区）

（単位：基）

スロッシング 最大波高が	浮屋根式タンク		計
	シングルデッキ	ダブルデッキ	
余裕空間高さを超える	29(15)	4(0)	33(15)
余裕空間高さを超えない	23(23)	0	23(23)
計	52(38)	4(0)	56(38)

注：()内は1万klを超えるタンクの基数（内数）を示す。

表 6.6.4(3) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の
スロッシング最大波高とタンク余裕空間高さとの比較（久里浜地区）

（単位：基）

スロッシング 最大波高が	浮屋根式タンク		計
	シングルデッキ	ダブルデッキ	
余裕空間高さを超える	0	0	0
余裕空間高さを超えない	0	4(4)	4(4)
計	0	4(4)	4(4)

注：()内は1万klを超えるタンクの基数（内数）を示す。

【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震に対するスロッシング最大波高の地区別の推定結果（固定屋根式タンク）を図 6.6.5、固定屋根式タンクに関するスロッシング最大波高の推定結果を表 6.6.5 に示す。

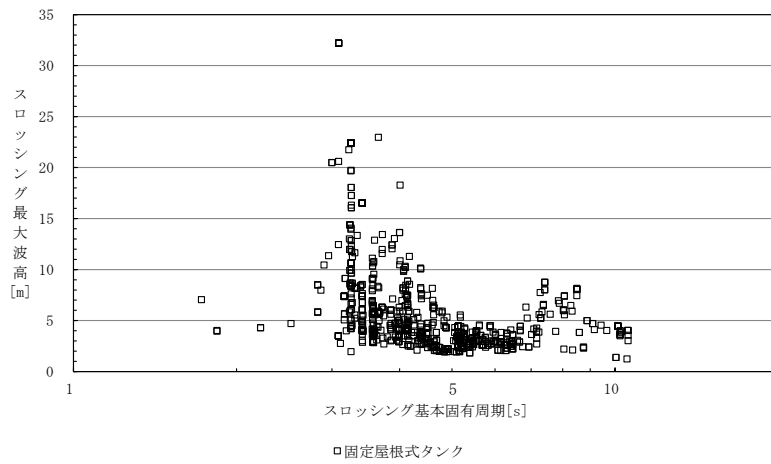


図 6.6.5(1) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震のスロッシング最大波高の推定（京浜臨海地区 固定屋根式タンク）

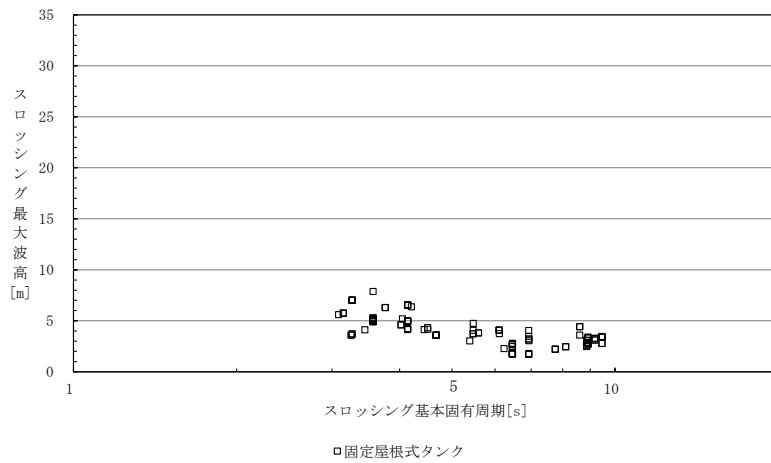


図 6.6.5(2) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震のスロッシング最大波高の推定（根岸臨海地区 固定屋根式タンク）

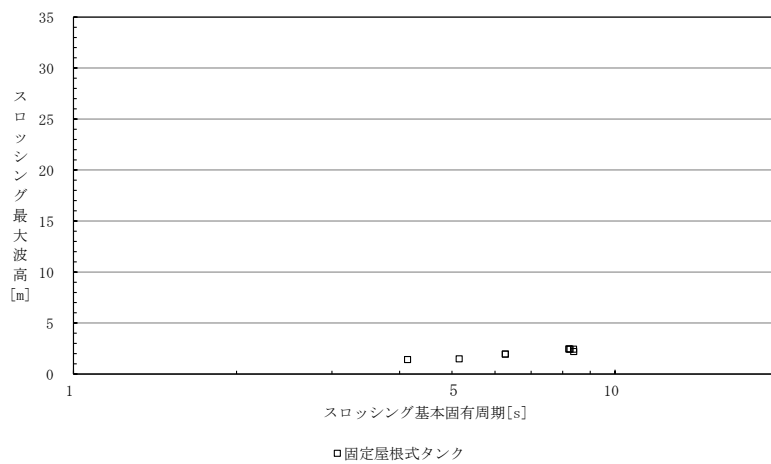


図 6.6.5(3) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震のスロッシング最大波高の推定（久里浜地区 固定屋根式タンク）

表 6.6.5 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の
 固定屋根式タンクのスロッシング最大波高とタンク余裕空間高さとの比較

(単位：基)

スロッシング 最大波高が	京浜臨海地区	根岸臨海地区	久里浜地区	計
余裕空間高さを超える	663(27)	109(11)	2(0)	774(38)
余裕空間高さを超えない	6(6)	46(38)	7(7)	59(51)
計	669(33)	155(49)	9(7)	833(89)

注：()内は1万klを超えるタンクの基数（内数）を示す。

【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震に対するスロッシング最大波高の地区別の推定結果（内部浮き蓋式タンク）を図 6.6.6、内部浮き蓋式タンクに関するスロッシング最大波高の推定結果を表 6.6.6 に示す。

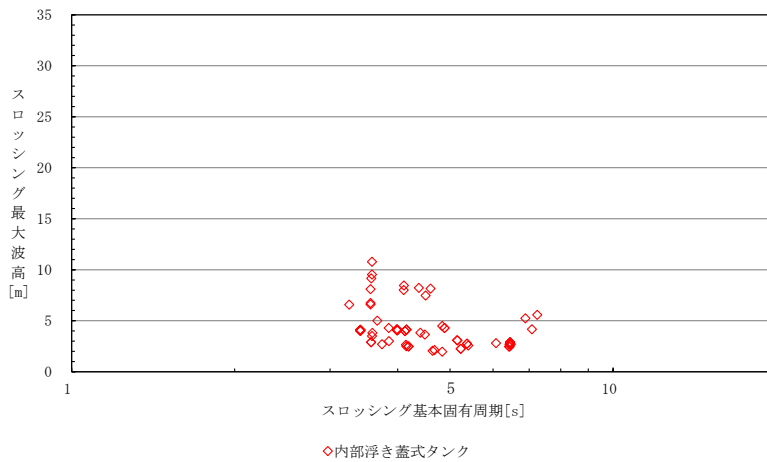


図 6.6.6(1) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震のスロッシング最大波高の推定（京浜臨海地区 内部浮き蓋式タンク）

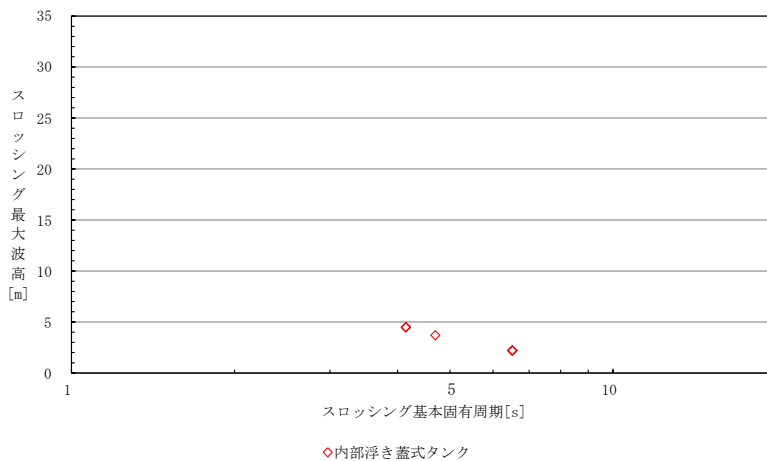


図 6.6.6(2) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震のスロッシング最大波高の推定（根岸臨海地区 内部浮き蓋式タンク）

表 6.6.6 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の内部浮き蓋式タンクのスロッシング最大波高とタンク余裕空間高さとの比較

(単位：基)

スロッシング 最大波高が	京浜臨海地区	根岸臨海地区	久里浜地区	計
余裕空間高さを超える	73 (5)	4 (0)	0	77 (5)
余裕空間高さを超えない	0	5 (5)	0	5 (5)
計	73 (5)	9 (5)	0	82 (10)

注：()内は1万klを超えるタンクの基数(内数)を示す。

(2) スロッシングによる溢流量の推定

危険物タンクのスロッシングが生じた場合に最大でどの程度の溢流が生じるかを推定するため、最大波高に対応する溢流量の推定を行った。算定手法の詳細は参考資料6に示す通りである。また、固定屋根式タンクについては放爆構造がとられていることから、スロッシングにより内容物が屋根に衝突すると側板との接合部を破損し内容物が溢流する可能性もあるが、スロッシング波高が屋根に達したときの破損の有無や溢流量を推定することは難しい。したがって、波高が屋根に達する場合には破損の可能性ありと判断し、溢流量は波高が側板上端を上回る程度から大まかに推定した値を参考値として示す。内部浮き蓋式タンクについても同様に参考値として示す。

南海トラフ巨大地震に伴う溢流量の地区別、容量区分別の推定結果（浮き屋根式タンク）を図 6.6.7 に示す。また、参考として固定屋根式タンクに関する溢流量の地区別、容量区分別の推定結果を図 6.6.8 に、内部浮き蓋式タンクに関する溢流量の地区別、容量区分別の推定結果を図 6.6.9 に示す。

算定の結果、浮き屋根式タンクで最大 782m³（京浜臨海地区）の溢流が想定された。なお、固定屋根式タンクでは最大で約 900m³（参考値）、内部浮き蓋式タンクでは最大で約 400m³（参考値）の溢流（いずれも京浜臨海地区）が想定された。

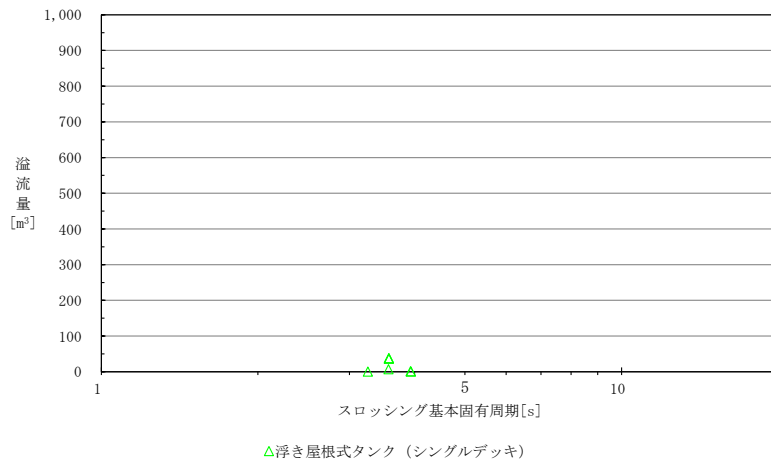


図 6.6.7(1) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定（容量 1,000k1 未満）
（京浜臨海地区 浮き屋根式タンク）

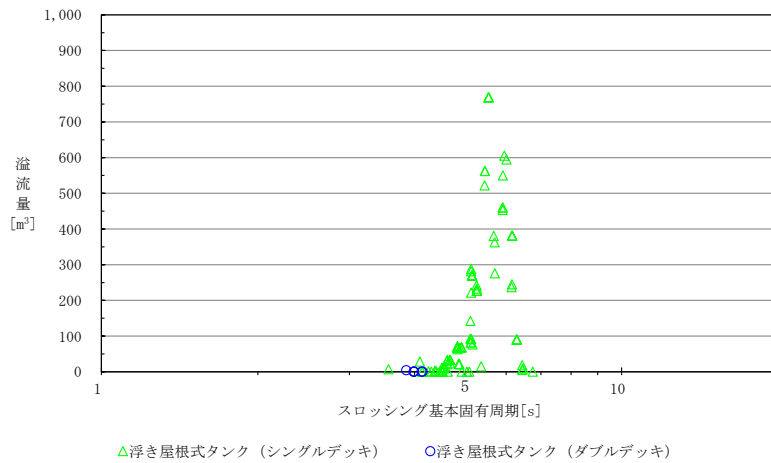


図 6.6.7(2) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定（容量 1,000k1 以上 10,000k1 未満）
（京浜臨海地区 浮き屋根式タンク）

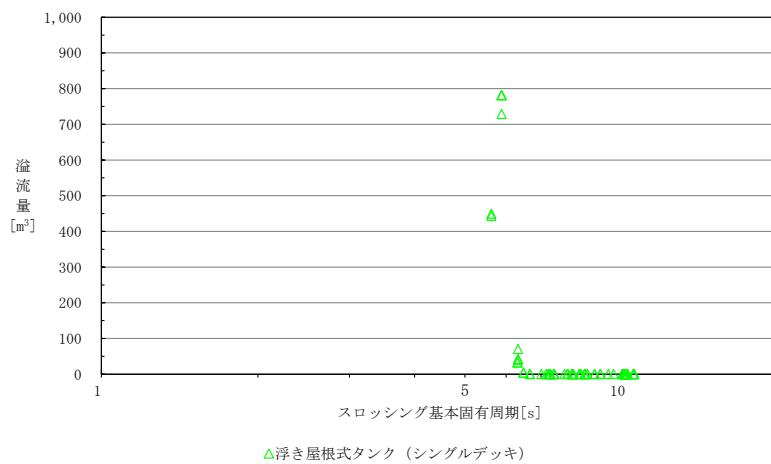


図 6.6.7(3) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定（容量 10,000k1 以上）
（京浜臨海地区 浮き屋根式タンク）

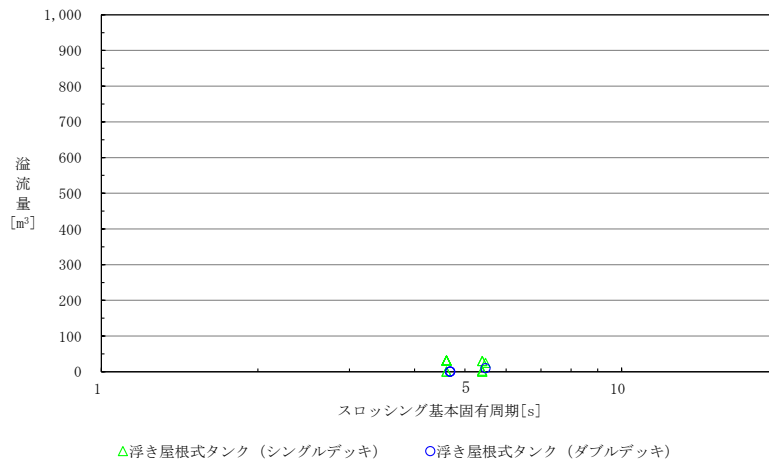


図 6.6.7(4) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定 (容量 1,000k1 以上 10,000k1 未満)
(根岸臨海地区 浮き屋根式タンク)

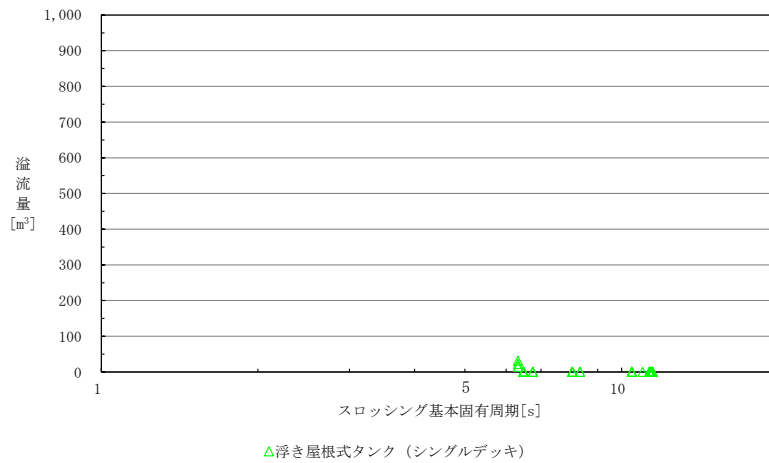


図 6.6.7(5) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定 (容量 10,000k1 以上)
(根岸臨海地区 浮き屋根式タンク)

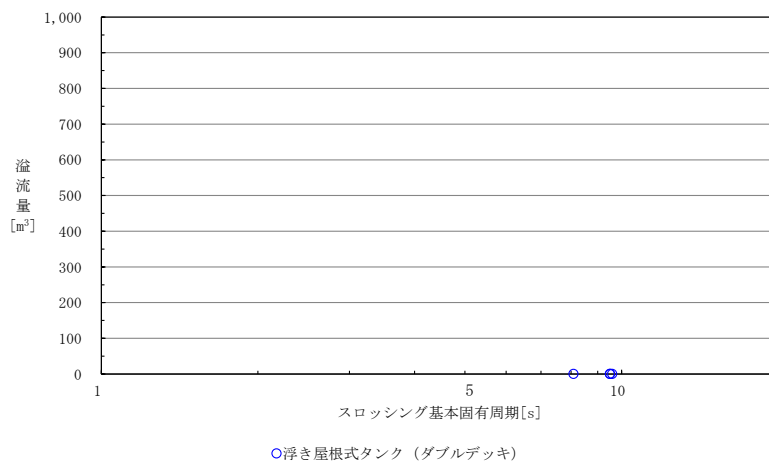


図 6.6.7(6) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定 (容量 10,000k1 以上)
(久里浜地区 浮き屋根式タンク)

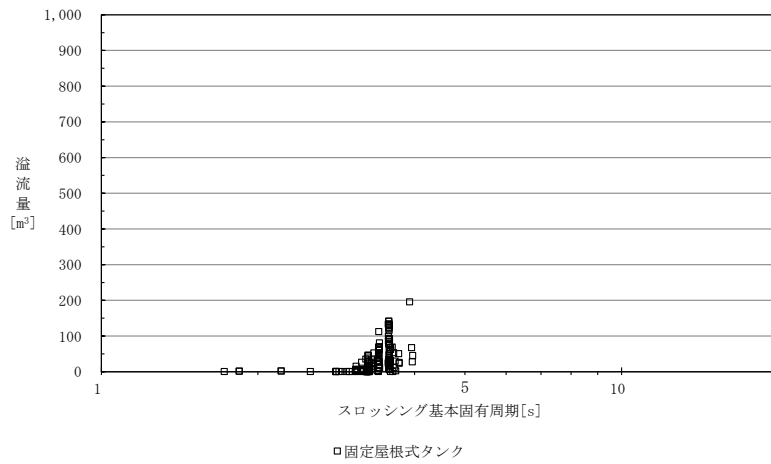


図 6.6.8(1) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定 (容量 1,000k1 未満)
(京浜臨海地区 固定屋根式タンク)

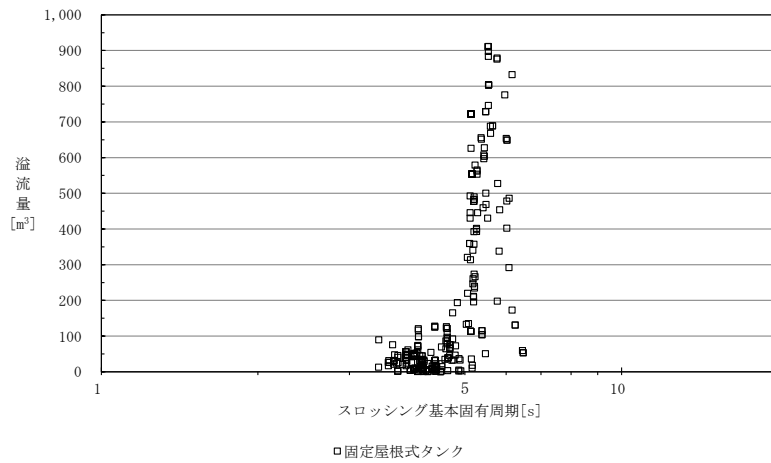


図 6.6.8(2) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定 (容量 1,000k1 以上 10,000k1 未満)
(京浜臨海地区 固定屋根式タンク)

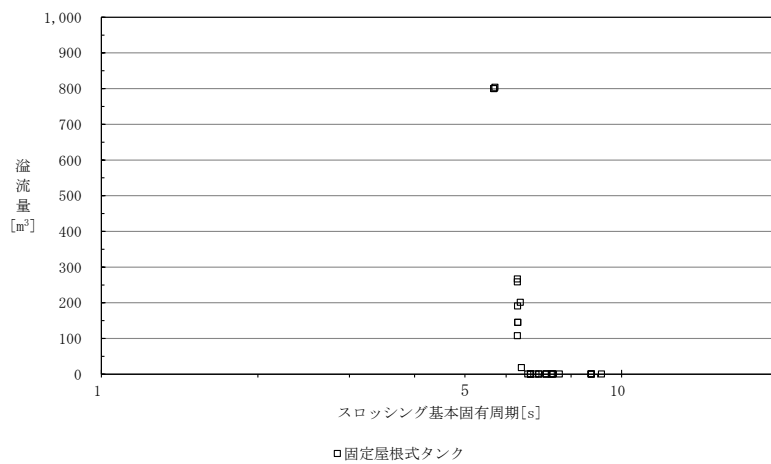


図 6.6.8(3) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定 (容量 10,000k1 以上)
(京浜臨海地区 固定屋根式タンク)

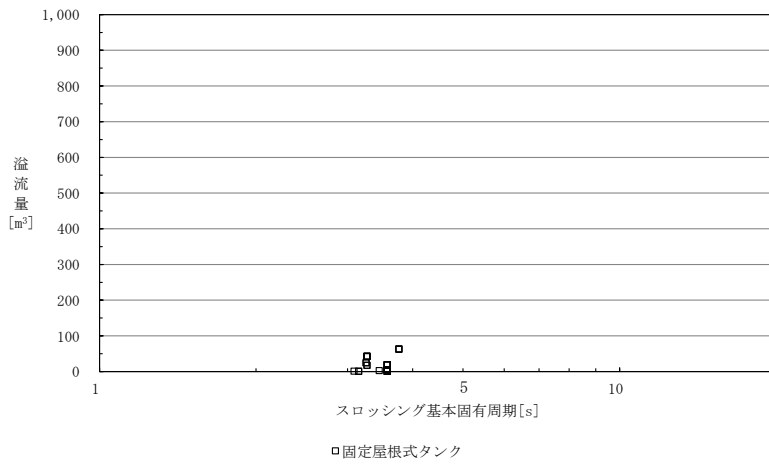


図 6.6.8(4) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定 (容量 1,000k1 未満)
(根岸臨海地区 固定屋根式タンク)

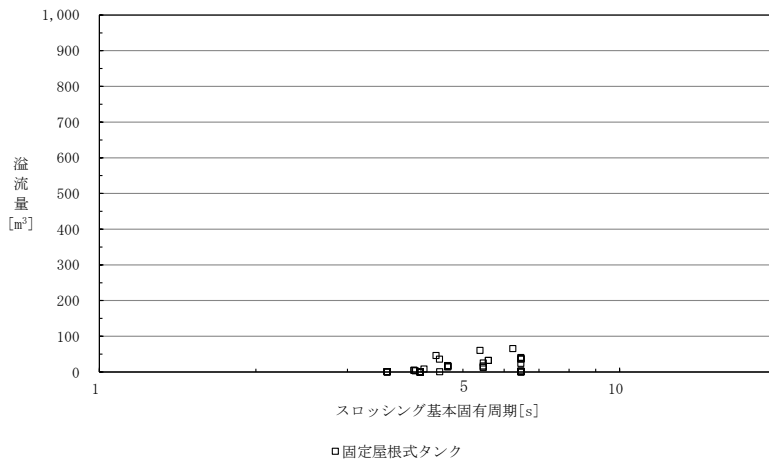


図 6.6.8(5) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定 (容量 1,000k1 以上 10,000k1 未満)
(根岸臨海地区 固定屋根式タンク)

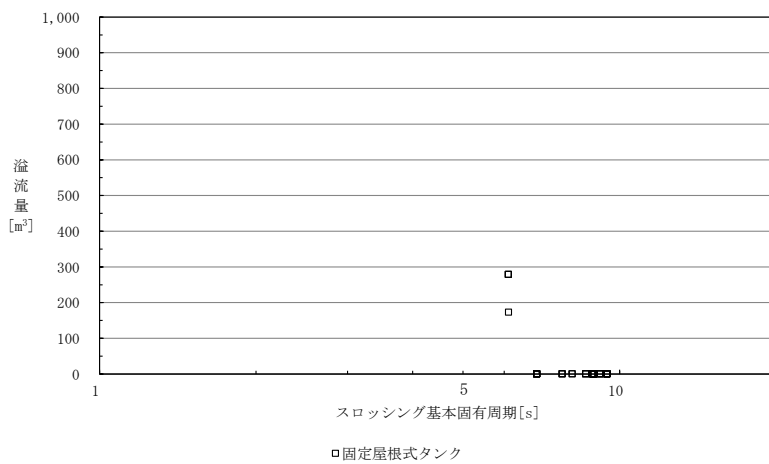


図 6.6.8(6) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定 (容量 10,000k1 以上)
(根岸臨海地区 固定屋根式タンク)

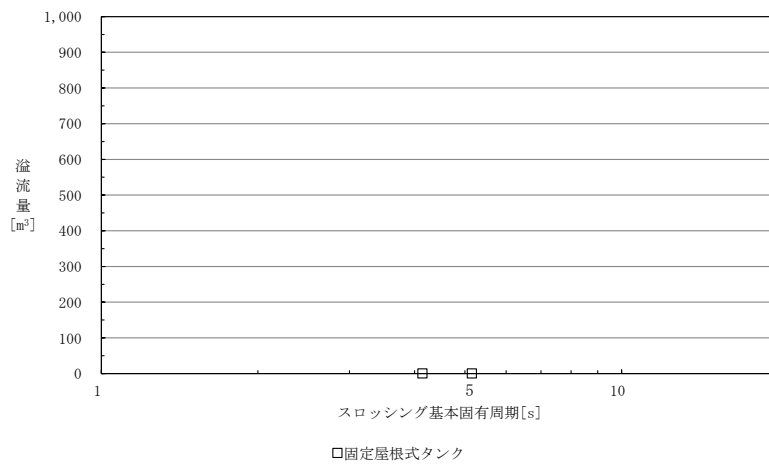


図 6.6.8(7) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定 (容量 1,000k1 以上 10,000k1 未満)
(久里浜地区 固定屋根式タンク)

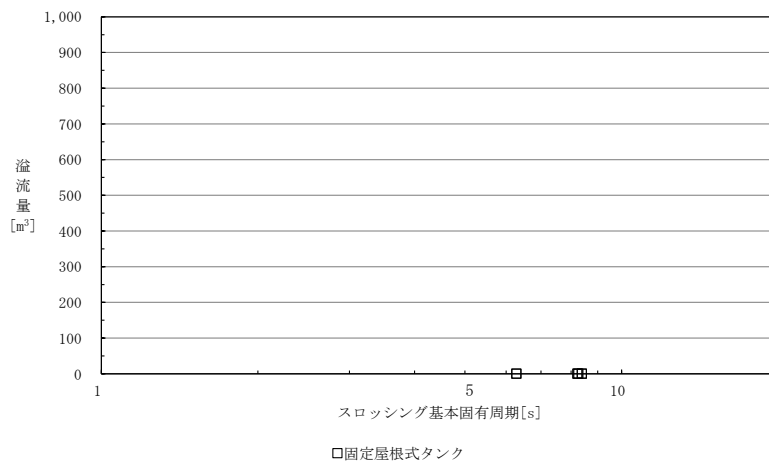


図 6.6.8(8) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定 (容量 10,000k1 以上)
(久里浜地区 固定屋根式タンク)

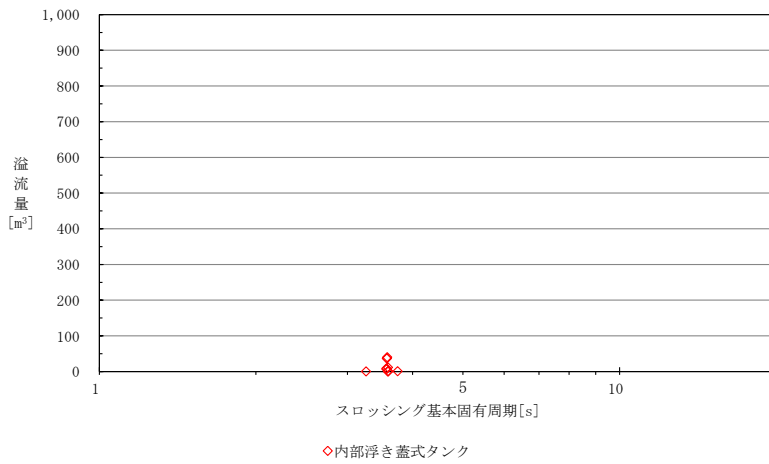


図 6.6.9(1) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定 (容量 1,000k1 未満)
(京浜臨海地区 内部浮き蓋式タンク)

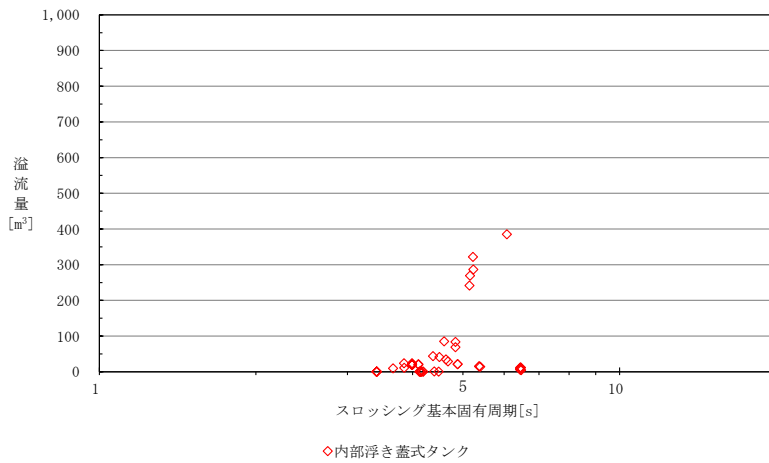


図 6.6.9(2) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定 (容量 1,000k1 以上 10,000k1 未満)
(京浜臨海地区 内部浮き蓋式タンク)

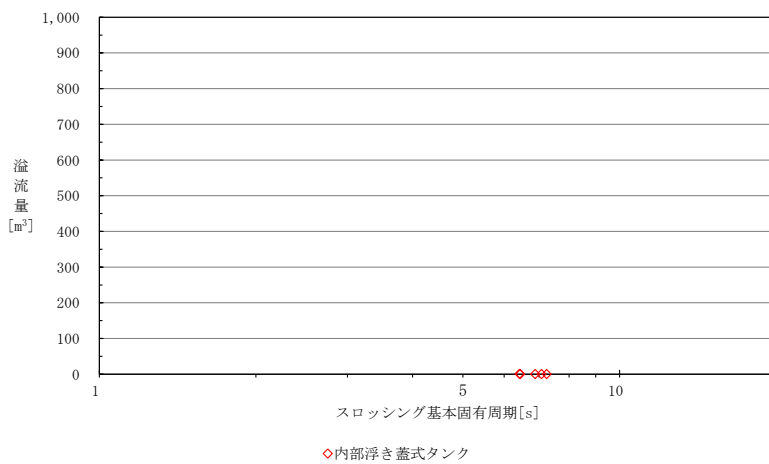


図 6.6.9(3) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定 (容量 10,000k1 以上)
(京浜臨海地区 内部浮き蓋式タンク)

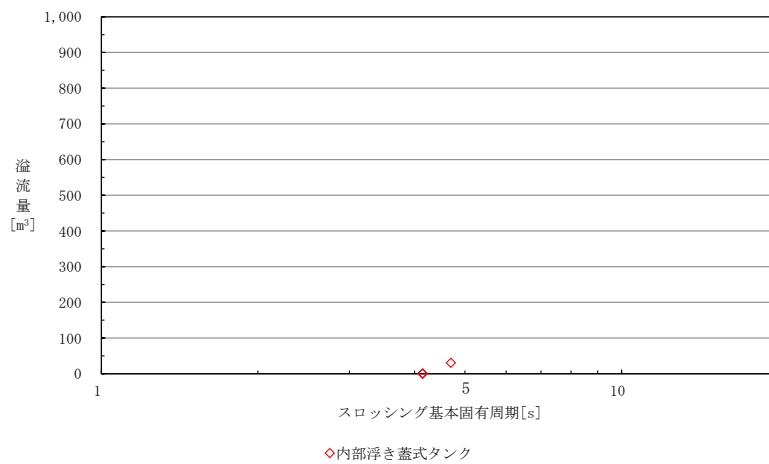


図 6.6.9(4) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定（容量 1,000k1 以上 10,000k1 未満）
（根岸臨海地区 内部浮き蓋式タンク）

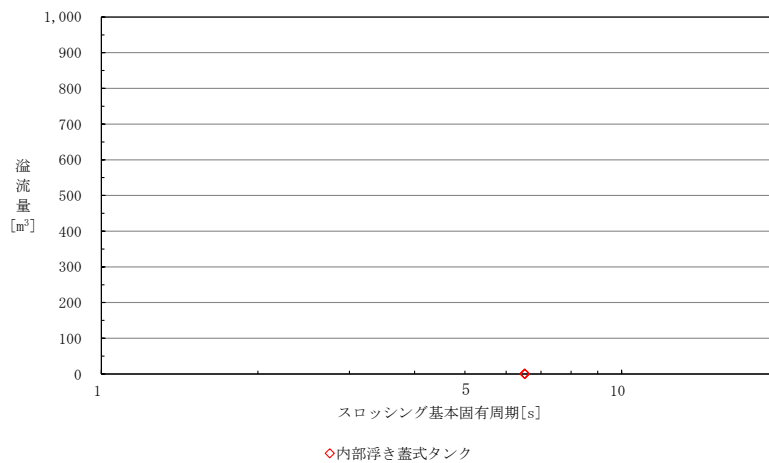


図 6.6.9(5) 南海トラフ巨大地震の溢流量の推定（容量 10,000k1 以上）
（根岸浜臨海地区 内部浮き蓋式タンク）

また、【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震（参考）に伴う溢流量の地区別、容量区分別の推定結果（浮き屋根式タンク）を図 6.6.10 に示す。また、参考として固定屋根式タンクに関する溢流量の地区別、容量区分別の推定結果を図 6.6.11 に、内部浮き蓋式タンクに関する溢流量の地区別、容量区分別の推定結果を図 6.6.12 に示す。

算定の結果、浮き屋根式タンクで最大 2,345m³（京浜臨海地区）の溢流が想定された。なお、固定屋根式タンクでは最大で約 1,100m³（参考値）、内部浮き蓋式タンクでは最大で約 800m³（参考値）の溢流（いずれも京浜臨海地区）が想定された。

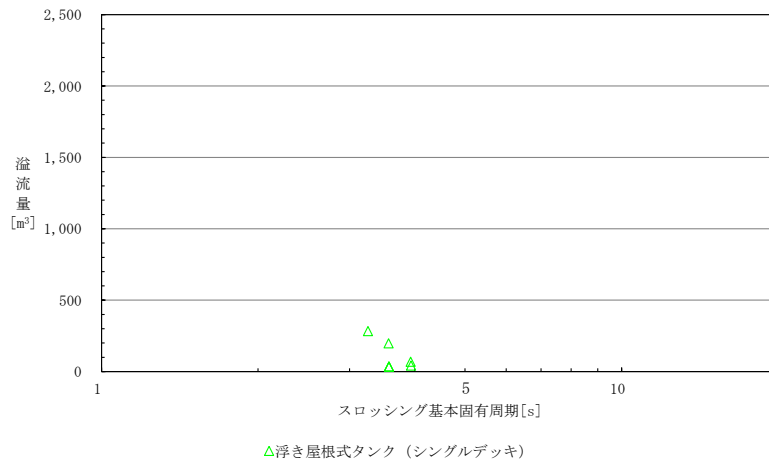


図 6.6.10(1) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
 (容量 1,000k1 未満) (京浜臨海地区 浮き屋根式タンク)

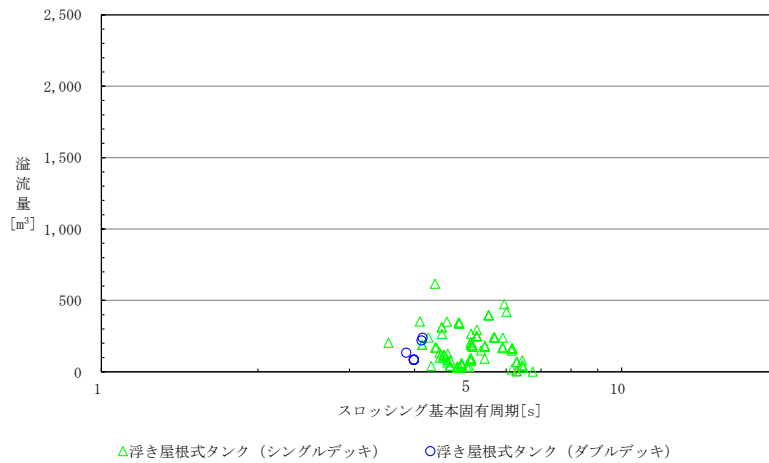


図 6.6.10(2) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
 (容量 1,000k1 以上 10,000k1 未満) (京浜臨海地区 浮き屋根式タンク)

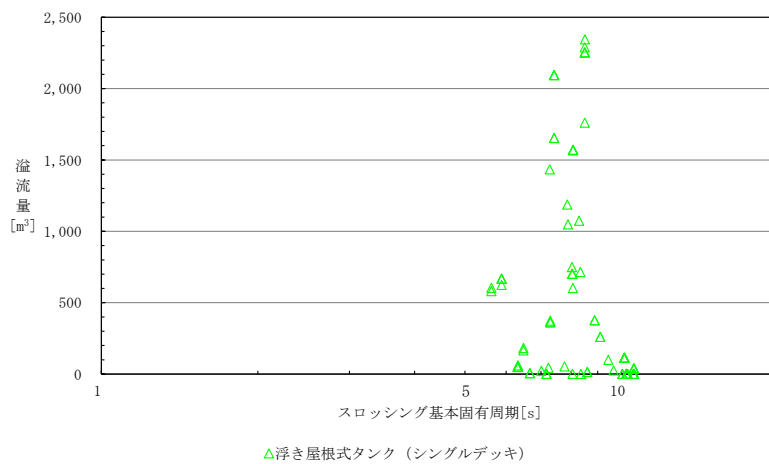


図 6.6.10(3) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
 (容量 10,000k1 以上) (京浜臨海地区 浮き屋根式タンク)

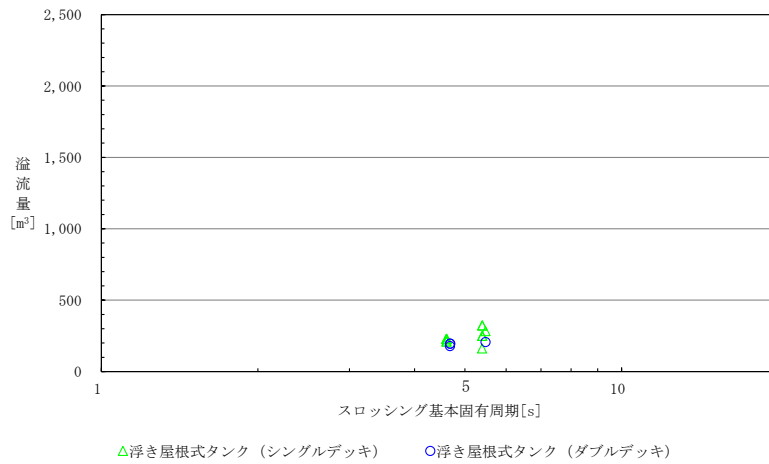


図 6.6.10(4) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
 (容量 1,000k1 以上 10,000k1 未満) (根岸臨海地区 浮き屋根式タンク)

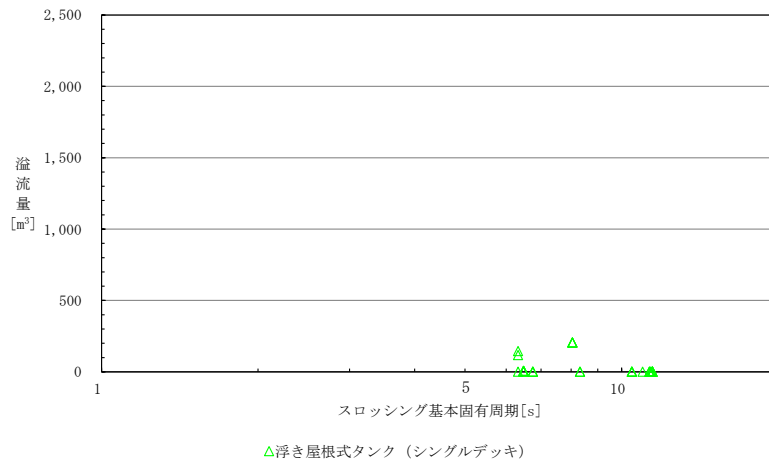


図 6.6.10(5) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
 (容量 10,000k1 以上) (根岸臨海地区 浮き屋根式タンク)

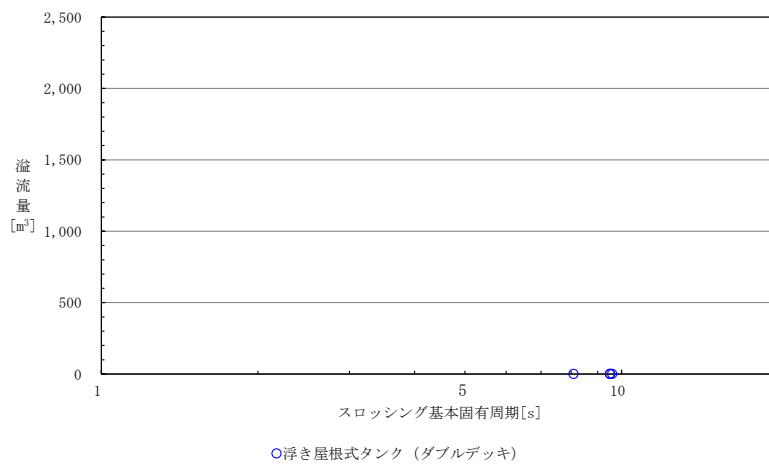


図 6.6.10(6) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
 (容量 10,000k1 以上) (久里浜地区 浮き屋根式タンク)

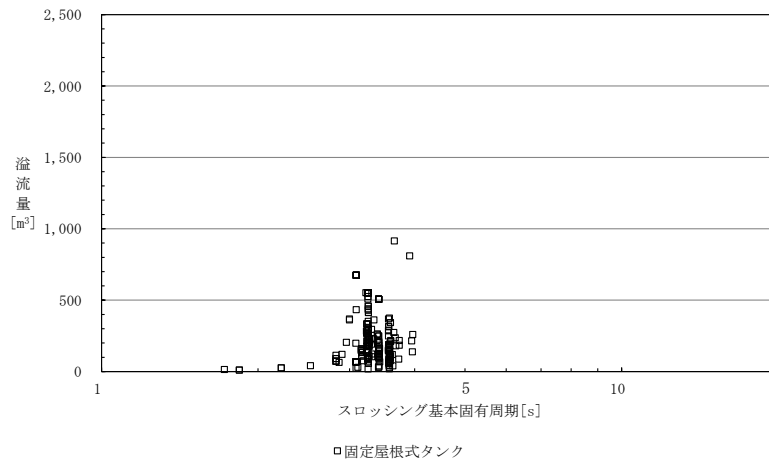


図 6.6.11(1) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
(容量 1,000k_l 未満) (京浜臨海地区 固定屋根式タンク)

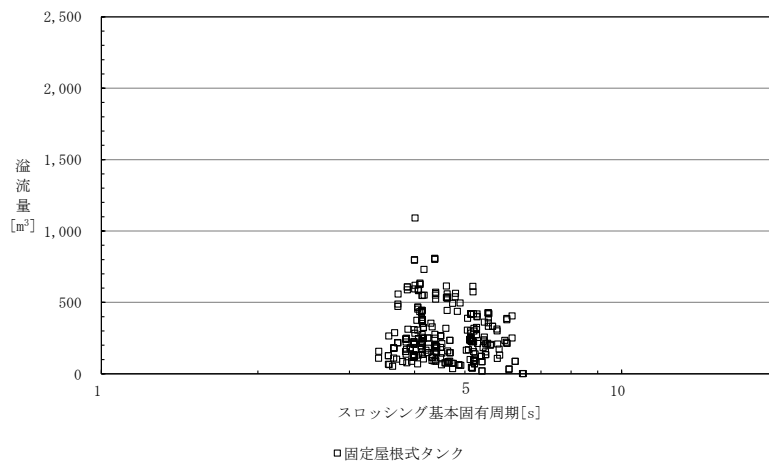


図 6.6.11(2) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
(容量 1,000k_l 以上 10,000k_l 未満) (京浜臨海地区 固定屋根式タンク)

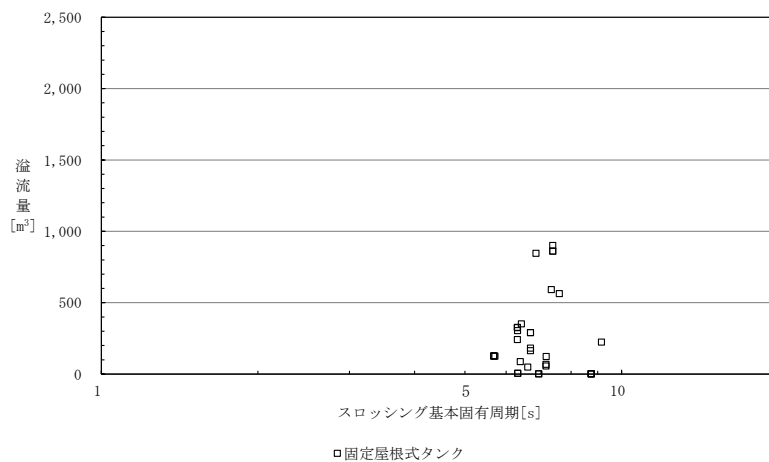


図 6.6.11(3) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
(容量 10,000k_l 以上) (京浜臨海地区 固定屋根式タンク)

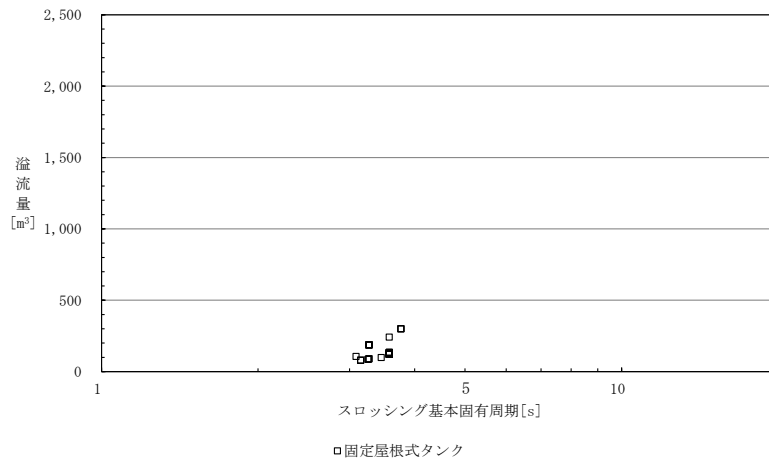


図 6.6.11(4) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
(容量 1,000kL 未満) (根岸臨海地区 固定屋根式タンク)

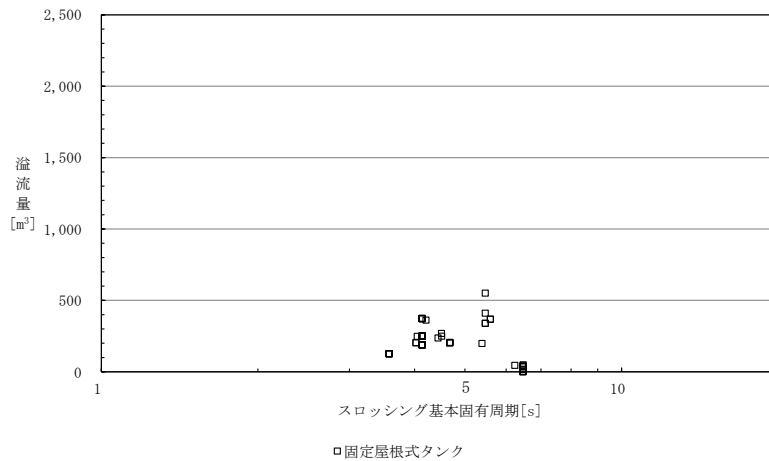


図 6.6.11(5) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
(容量 1,000kL 以上 10,000kL 未満) (根岸臨海地区 固定屋根式タンク)

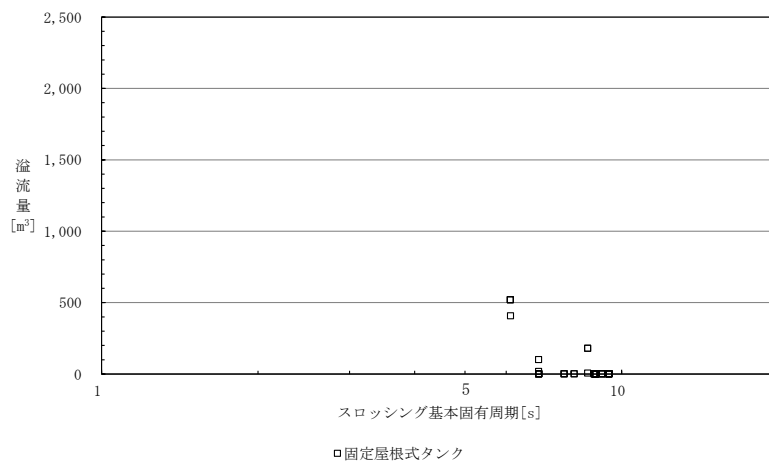


図 6.6.11(6) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
(容量 10,000kL 以上) (根岸臨海地区 固定屋根式タンク)

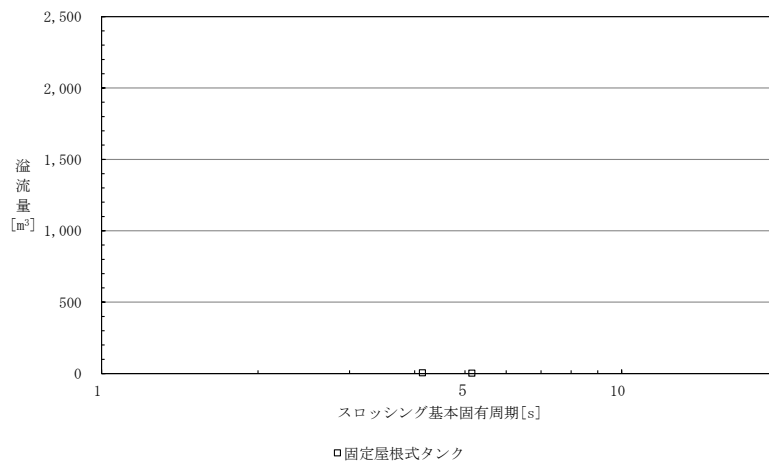


図 6.6.11(7) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
(容量 1,000k1 以上 10,000k1 未満) (久里浜地区 固定屋根式タンク)

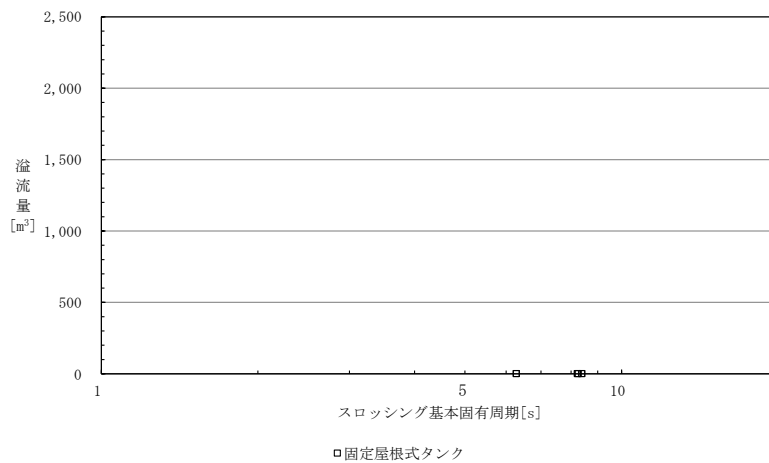


図 6.6.11(8) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
(容量 10,000k1 以上) (久里浜地区 固定屋根式タンク)

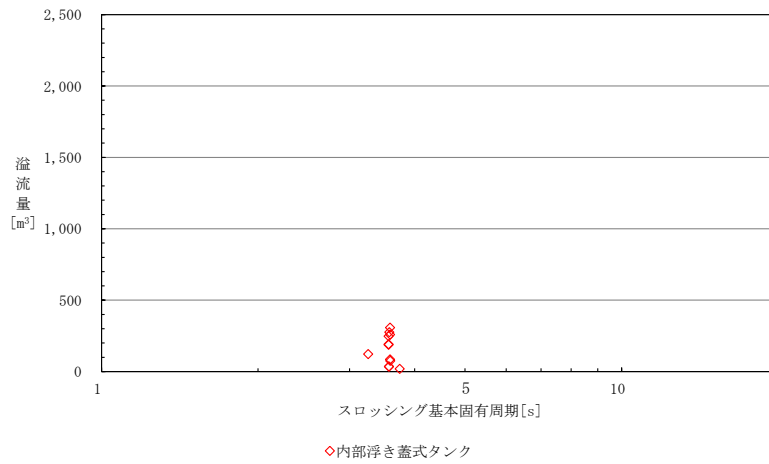


図 6.6.12(1) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
(容量 1,000kL 未満) (京浜臨海地区 内部浮き蓋式タンク)

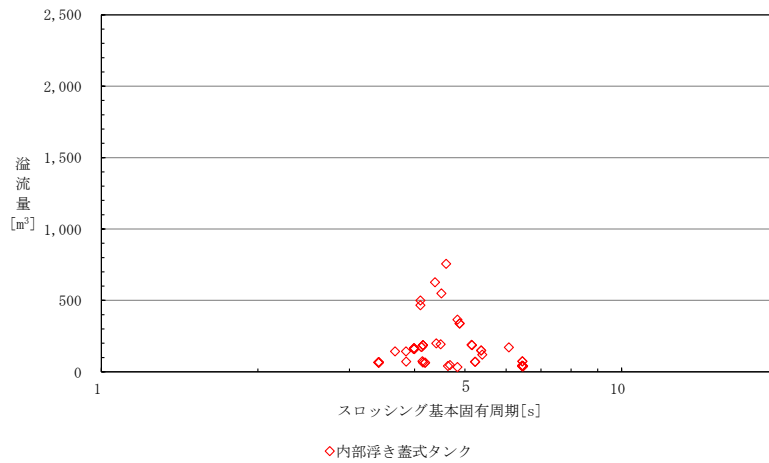


図 6.6.12(2) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
(容量 1,000kL 以上 10,000kL 未満) (京浜臨海地区 内部浮き蓋式タンク)

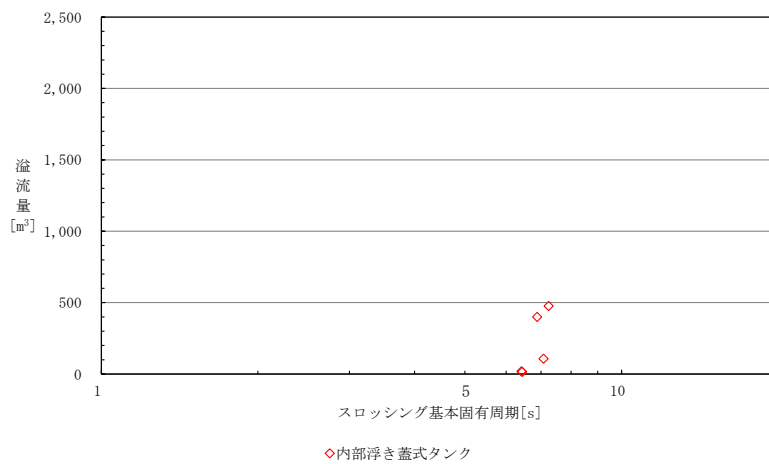


図 6.6.12(3) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
(容量 10,000kL 以上) (京浜臨海地区 内部浮き蓋式タンク)

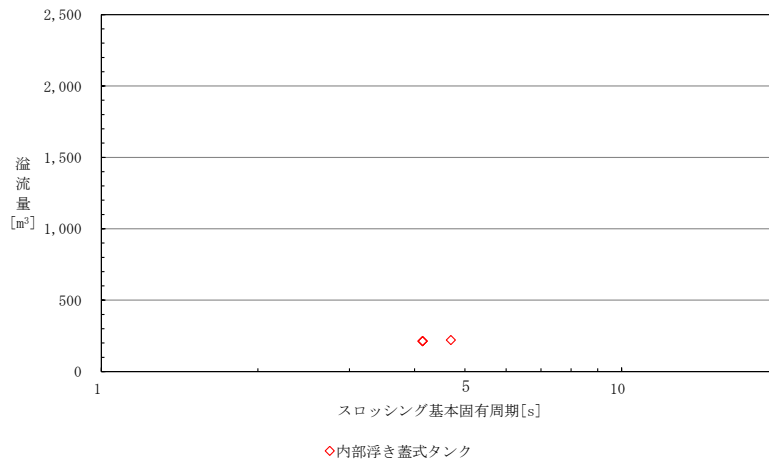


図 6.6.12(4) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
(容量 1,000k1 以上 10,000k1 未満) (根岸臨海地区 内部浮き蓋式タンク)

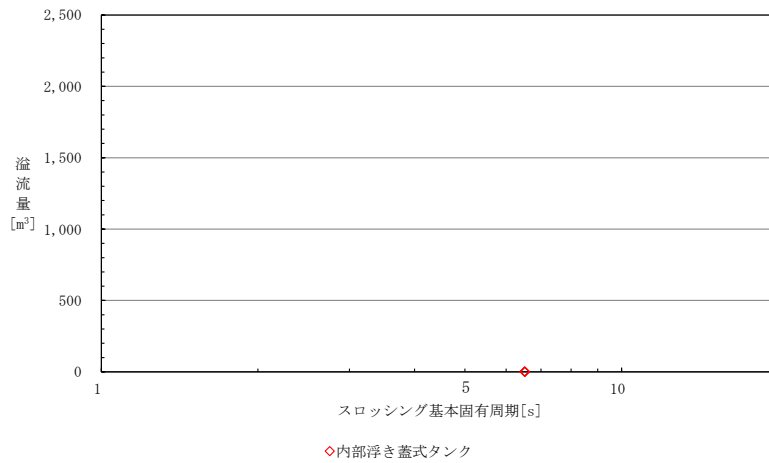


図 6.6.12(5) 【参考地震】相模トラフ沿いの最大クラスの地震の溢流量の推定
(容量 10,000k1 以上) (根岸臨海地区 内部浮き蓋式タンク)

6.7. スロッシングによる災害の危険性

スロッシングによる危険物タンクの被害形態としては、屋根部からの危険物の溢流、浮き屋根やタンク付属設備等の破損、浮き屋根の沈降、溢流に伴うタンク周辺での流出火災、屋根部でのリング火災やタンク全面火災が考えられる。

2003年十勝沖地震の被害事例では、浮き屋根等の破損に関して、シングルデッキ浮き屋根式タンクの危険性が高いこと、スロッシング波高が2mを超えると危険性が高いこと、10万k1級の大規模タンクについては2次モードの影響を考慮する必要があることなどが報告されているⁱ。

また、同様の規模・形状のタンクは、同じ液面高であれば液面揺動の一次固有周期も同じになるため、スロッシングにより複数のタンクが同時に被害を受ける可能性がある。

(1) スロッシングによる内容物の溢流

浮き屋根式のタンクでは、スロッシング波高がタンクの余裕空間高さを超えた場合に内容物の溢流が生じる。固定屋根式タンクでは、平常時での安全性を確保するため、屋根板と側板との接合部が放爆構造となっている。そのため、波高が大きく液面が屋根板に達するような場合、スロッシングの波圧により接合部が損傷して内容物が溢流する危険性がある。

(2) スロッシングによる浮き屋根・浮き蓋損傷

スロッシングが生じると、浮き屋根式及び内部浮き蓋式タンクでは浮き屋根（蓋）とタンク側板や付属設備とが衝突することにより、タンク側板や屋根の変形・破損、浮き屋根上への油の滞留、浮き屋根・浮き蓋の沈没等が生じるおそれがあり、特にスロッシング波高が大きい場合にはその危険性が高い。

なお、シングルデッキタイプの浮き屋根を持つ特定タンクで、容量2万k1以上のタンクについては、平成28年度末までに浮き屋根の強度に関する技術基準に適合する必要がある。

(3) スロッシングに伴う火災

スロッシングに伴う火災の形態としては、溢流火災や爆発・火災、タンク火災が考えられる。

浮き屋根式のタンクでは、スロッシングにより内容物が溢流すると、タンク周辺の防油堤内で溢流火災が発生する可能性がある。

また、内部浮き蓋式タンクでは、浮き蓋の損傷により浮き蓋上への油の漏えいがあった場合に、浮き蓋上の空間で爆発限界濃度範囲の可燃性蒸気が滞留する危険性があり、場合によっては爆発・火災に到る可能性も否定できない。

タンク火災については、浮き屋根式のタンクで大きなスロッシングが生じた場合に、浮

ⁱ 座間信作：2003年十勝沖地震にみる石油タンク被害の特徴と対策，物理探査，第59巻第4号（2006），353-362

き屋根が側板や周辺設備に衝突してリング火災や屋根上への流出油火災が生じるおそれがある。また、浮き屋根が破損・沈降した場合には、何らかの原因で着火して全面火災となる危険性があり、特に 10 万 kl 程度の大規模タンクでは、スロッシング波高が小さくても浮き屋根が損傷する可能性があるので注意が必要である。

図 6.7.1～図 6.7.5 に、このようなスロッシングによる危険物タンクの災害拡大イベントツリーを示す。

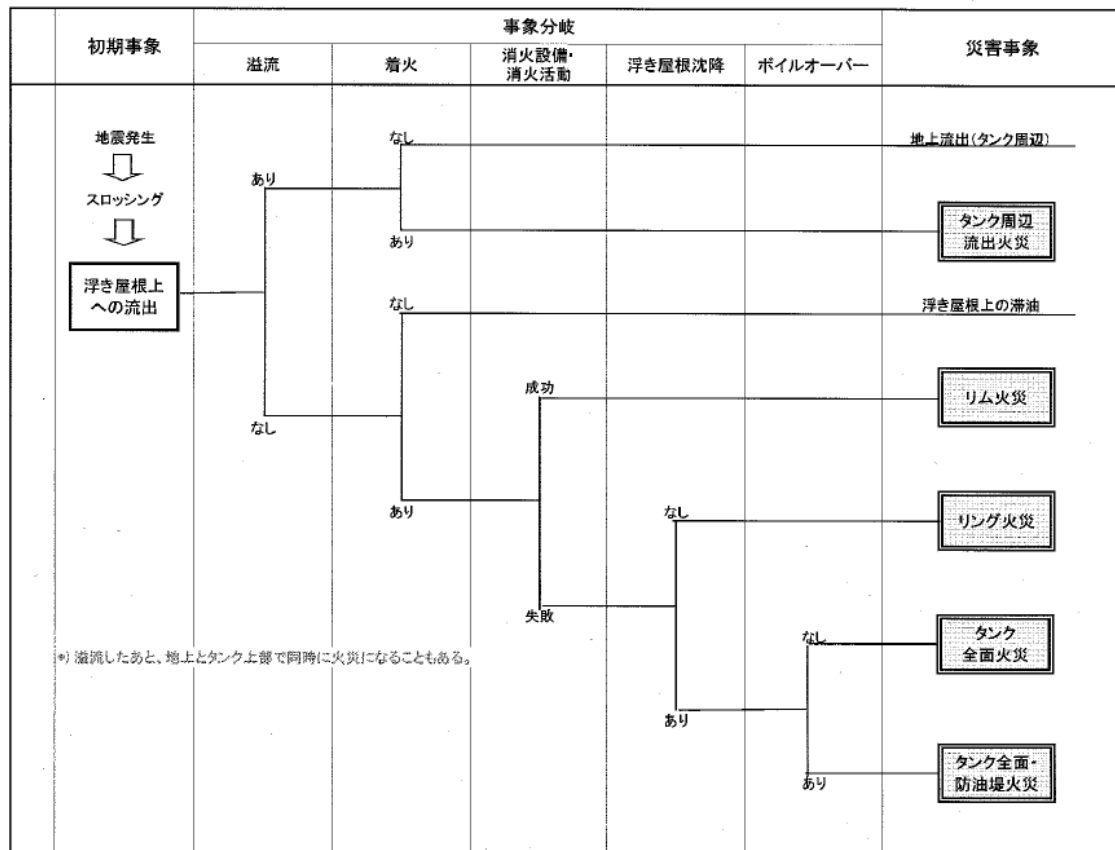


図 6.7.1 スロッシングによる危険物タンクの災害拡大イベントツリー
(浮き屋根式危険物タンク・浮き屋根上への流出)

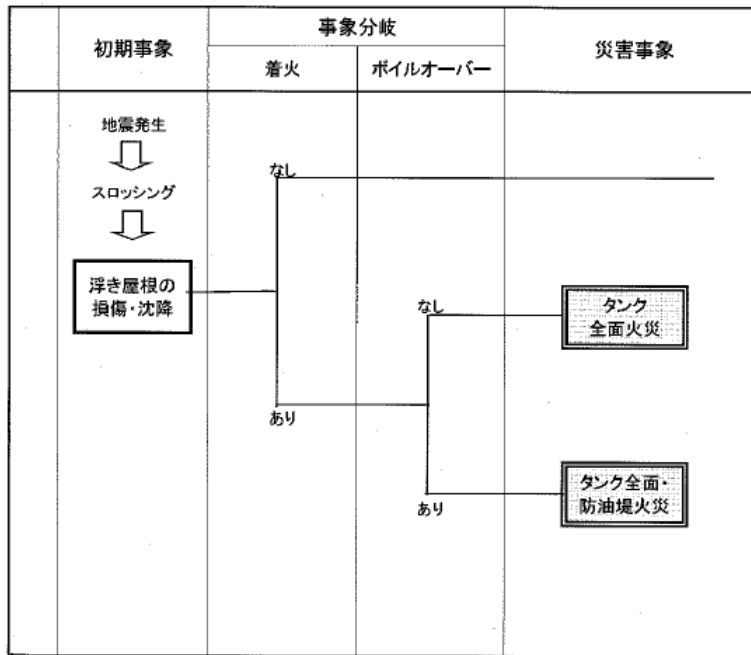


図 6.7.2 スロッシングによる危険物タンクの災害拡大イベントツリー
(浮き屋根式危険物タンク・浮き屋根の損傷・沈降)

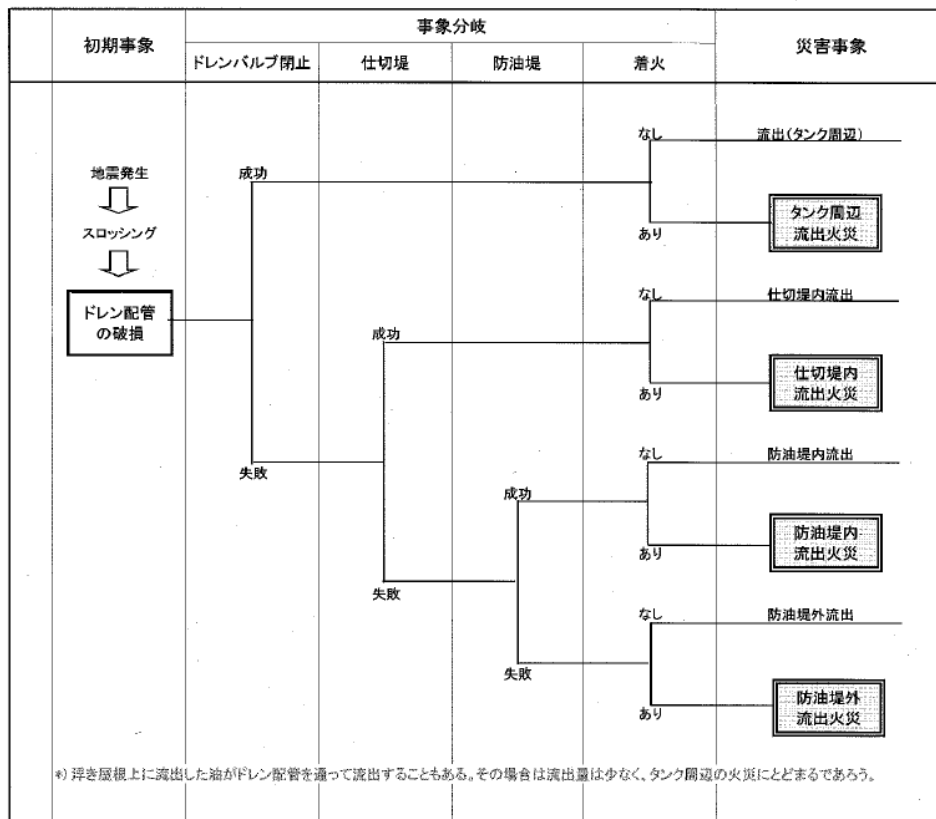


図 6.7.3 スロッシングによる危険物タンクの災害拡大イベントツリー
(浮き屋根式危険物タンク・タンク中のドレン配管の破損)

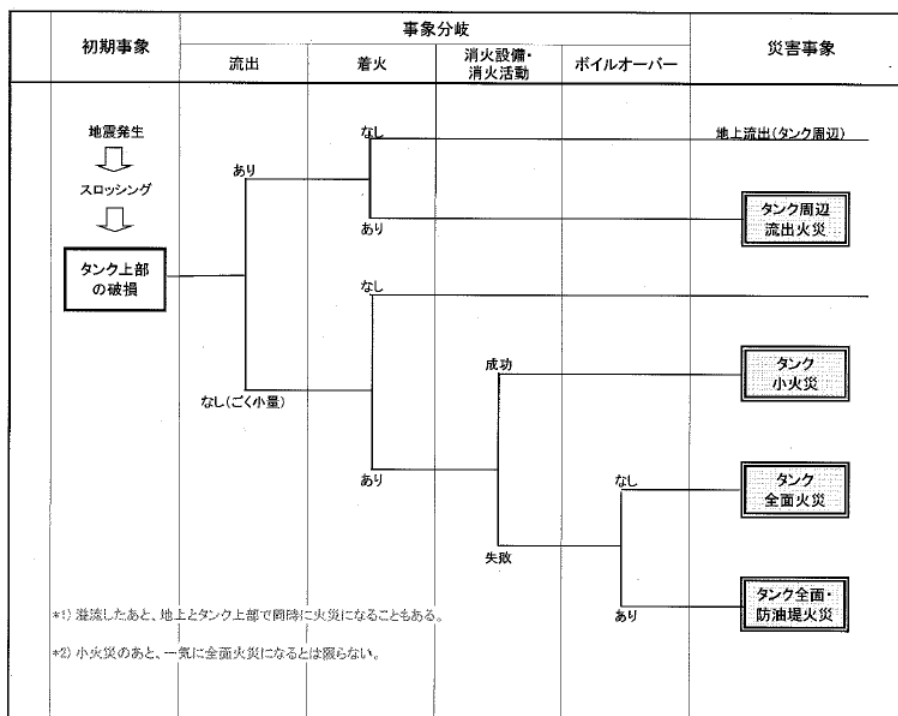


図 6.7.4 スロッシングによる危険物タンクの災害拡大イベントツリー (固定屋根式危険物タンク・タンク上部の破損)

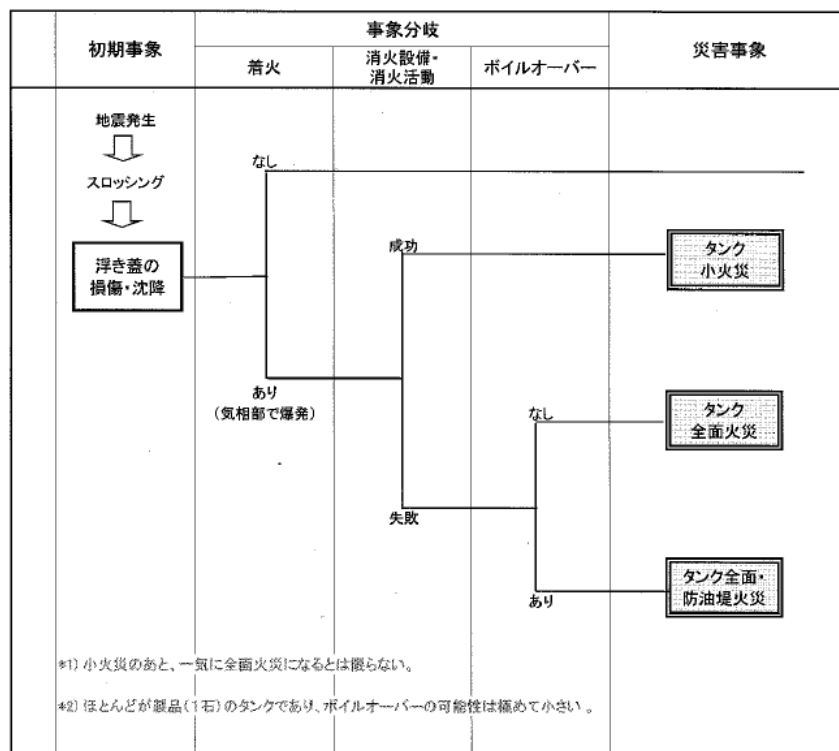


図 6.7.5 スロッシングによる危険物タンクの災害拡大イベントツリー (内部浮き蓋付き危険物タンク・浮き蓋の損傷・沈降)

6.8. 災害の影響度の推定

ここでは、発生した場合の影響が大きいと考えられるタンク全面火災及びタンク全面・防油堤火災について、影響度の推定を行う。固定屋根式及び内部浮き蓋式のタンクについては、タンク全面火災に到る可能性は低いと考えられるが、参考として全タンクの推定を行う。

(1) 影響度の算定条件

影響度の算定条件は以下の通りである。

(タンク全面火災)

しきい値	液面火災の放射熱：2.3kW/m ² (2,000kcal/ m ² h)	
様相	タンク屋根で出火し全面火災となる。	
火炎形状	タンク底面に等しい火炎底面を持つ円筒形火炎をタンク屋根上に想定し、火炎高さは底面半径の3倍とした。	
影響範囲	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となるタンク中心からの距離を影響距離とし、これを半径とする円内を影響範囲とした。	
使用した式	火炎の放射熱の算出	火炎モデル (参考資料3 式(11), (12), (15))

(タンク全面・防油堤火災)

しきい値	液面火災の放射熱：2.3kW/m ² (2,000kcal/ m ² h)	
様相	タンク屋根で出火し全面火災となり、さらにボイルオーバーにより防油堤内火災となる。	
火炎形状	平常時の防油堤内流出・火災と同じ。	
影響範囲	火炎中央の高さにおいて、放射熱が許容値以上となる火炎中心からの距離を影響距離とし、これを半径とする円内を影響範囲とした。	
使用した式	火炎の放射熱の算出	火炎モデル (参考資料3 式(11), (12), (15))

(2) 災害の影響範囲

各地区における災害の影響については、表 4.3.5 の DE8 及び DE9 が対応する。