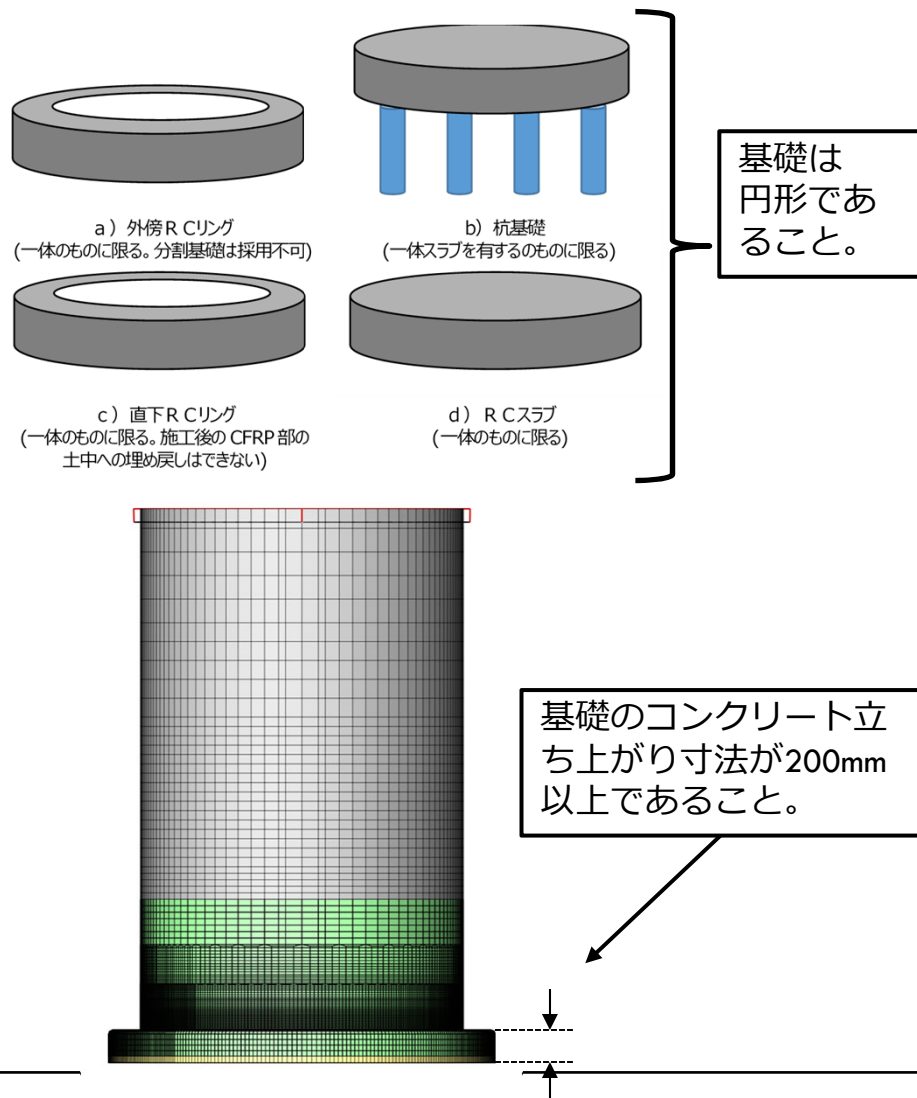


対策工法の寸法・強度仕様
(第 3 回検討会資料 3 － 1 の修正)

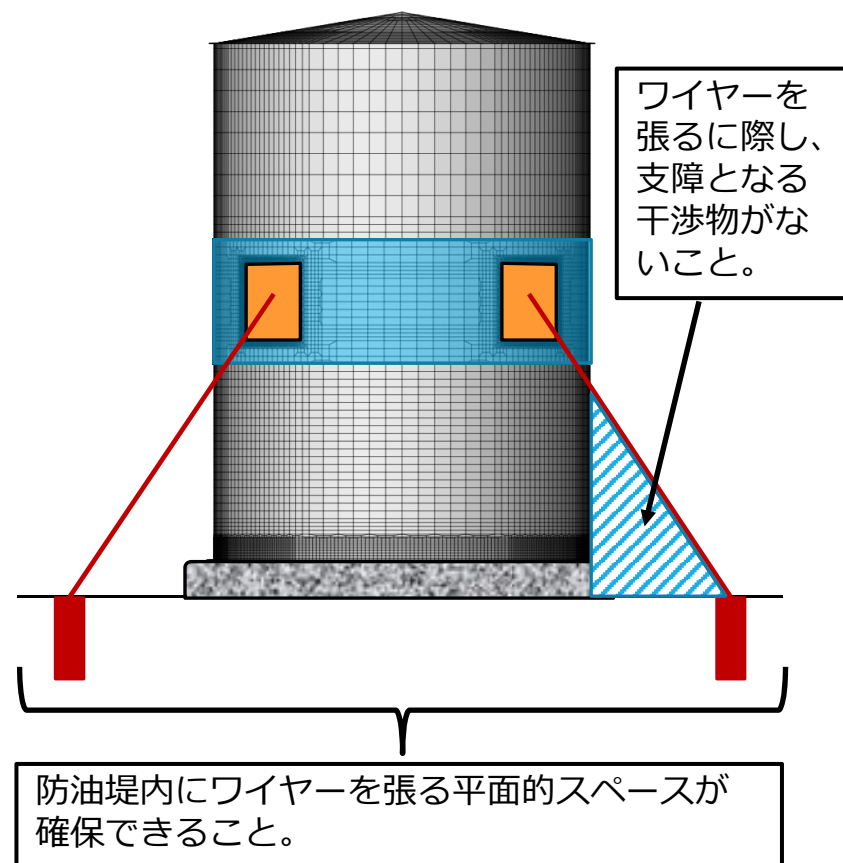


対策工法 1, 対策工法 2 の設置条件 修正

対策工法 1



対策工法 2





対策工法Ⅰ 部材・施工寸法（修正なし）

検討会での解析の実績を踏まえて下記の部材・施工寸法とすることを提案する

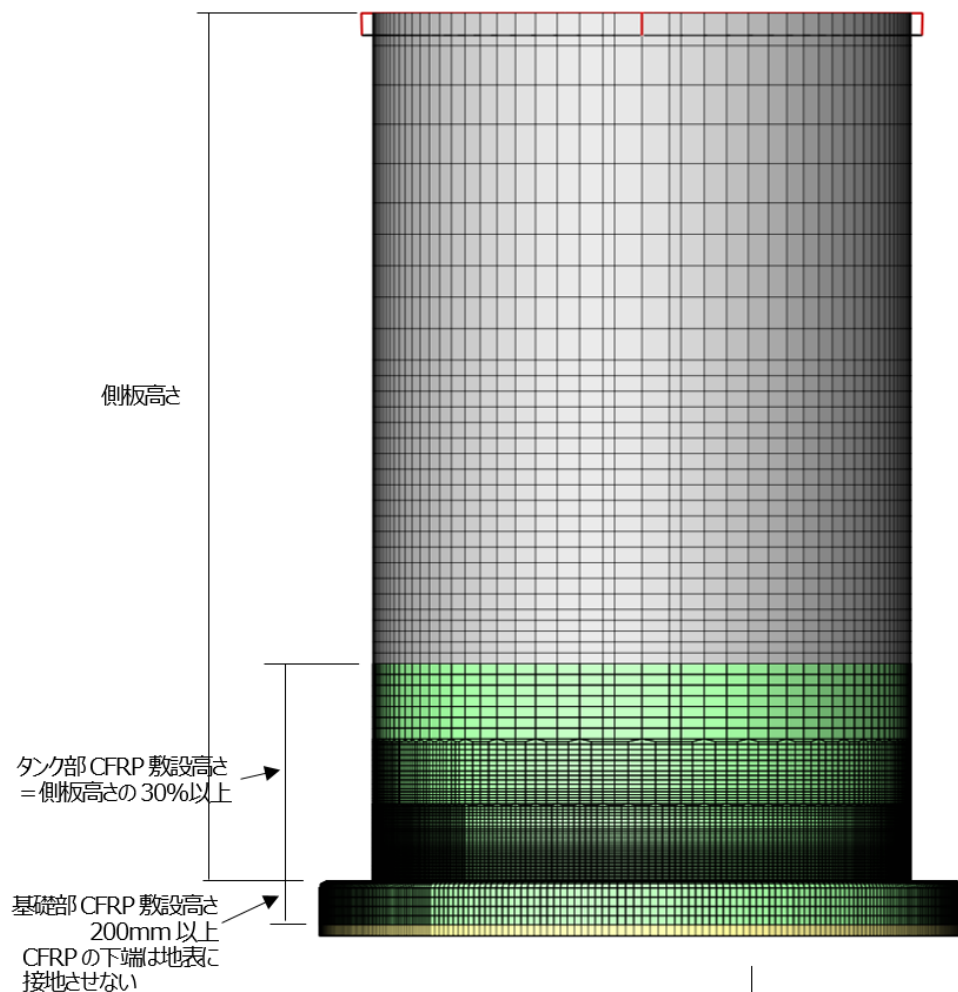


図1.2 対策工法Ⅰ 部材・施工寸法

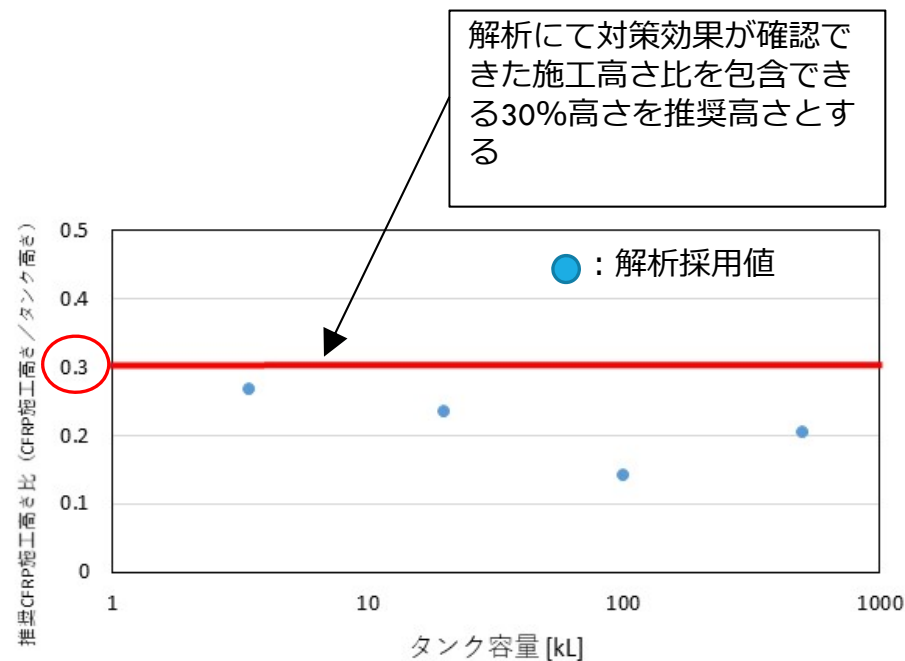


図1.3 対策工法Ⅰ タンク容量とCFRP高さの比



対策工法Ⅰ 既存のアンカーボルトの撤去（Ⅰ）修正

対策工法1を施工するにあたり、対象タンクにアンカーボルト等による固定がされている場合、それを撤去する必要がある。なお、アンカーボルトの撤去に伴い、対策工法1を施工する場合における耐震、耐風に関する事項（危政令第11条第1項第5号）を改めて確認する必要がある。

タンク本体の風と地震に対する転倒と滑動の確認方法は、地震と風によりタンクに生ずる転倒モーメントと滑動力に対して、タンクの有する抵抗モーメントと抵抗力に、対策工法1の抵抗力と抵抗モーメントを追加し確認することとした。

評価式と図表は「図解・危険物施設基準の早わかり（10訂）」（東京消防庁監修／東京法令出版）より引用

第2章 屋外タンク貯蔵所の基準

耐震、耐風圧構造

(2)それ以外*の屋外貯蔵タンクの耐震、耐風圧構造計算例

(*：それ以外とは特定屋外貯蔵タンク及び準特定屋外貯蔵タンクを示す。)

地震動による慣性力及び風圧力に対するタンク本体の安全性の検討は、転倒と滑動の可能性について行う。

ア タンク構造

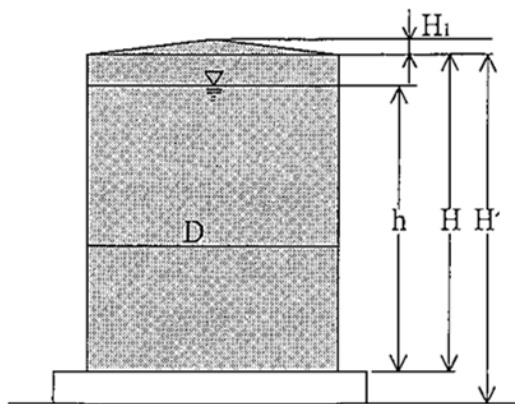


図1.4 対策工法1 耐震・耐風圧構造の諸元

イ 計算条件

設計水平震度(Kh)：0.3

設計鉛直震度(Kv)：0.15

タンク底板と基礎上面との間の摩擦係数(μ)：0.5

(3)自重の計算

タンクの自重を W_T 、危険物の重量を W_L とする。

$$W_T = (\text{底板} + \text{側板} + \text{屋根板} + \text{屋根骨} + \text{附属品}) \times 9.8 \quad [\text{kN}]$$

$$W_L = \text{タンク容量} \times \text{危険物比重} \times 9.8 \quad [\text{kN}]$$

(4)転倒の検討

ア 地震時（満液時）

$$\text{転倒モーメント} = \left(W_T \times Kh \times \frac{H + H_1}{2} \right) + \left(W_L \times Kh \times \frac{h}{2} \right)$$

$$\text{抵抗モーメント} = (W_T + W_L) \times \left(1 - Kv \right) \times \frac{D}{2}$$

対策工法1による地震抵抗モーメント

$$M_{FRP} = (\sigma_b \cdot h_B \cdot Do2 \cdot \pi \cdot R) \cdot \{Do2 - (Do2 - D)/2\}$$

M_{FRP} : CFRPによる地震抵抗モーメント [kN-m]

D : タンクの外径 [m]

Do2 : タンク基礎の外径 [m]

σ_b : CFRPのコンクリートへのせん断方向付着応力度（採用するCFRPメーカーへ確認のこと）

h_B : タンク基礎部CFRP貼付け高さ [m]

R : 性能負担係数 = 15/360（基礎全周360°のうち、15°分が耐震性能を負担するとした安全係数）

第3回検討会でのコメントを受け、モーメント基準点を隅角部として算出式を見直しました。

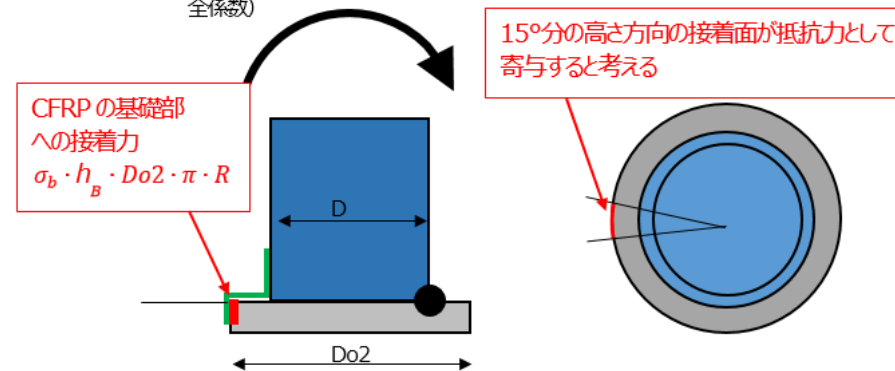


図1.5 対策工法1の地震抵抗モーメントイメージ

「抵抗モーメント+対策工法1による地震抵抗モーメント > 転倒モーメント」となる場合には対策工法1を採用できるとする。



対策工法Ⅰ 既存のアンカーボルトの撤去（２）修正

イ 風圧時（空液時）

風圧力 P_w = 風荷重 × タンクの垂直断面積

$$\text{転倒モーメント} = P_w \times \frac{H + H_l}{2}$$

$$\text{抵抗モーメント} = W_T \times \frac{D}{2}$$

対策工法Ⅰによる耐風抵抗モーメント

$$M_{FRP} = (\sigma_b \cdot h_B \cdot Do2 \cdot \pi \cdot R) \cdot \{Do2 - (Do2 - D)/2\}$$

M_{FRP} : CFRPによる耐風抵抗モーメント [kN-m]

D : タンクの外径 [m]

$Do2$: タンク基礎の外径 [m]

h_B : タンク基礎部 CFRP 貼付け高さ [m]

σ_b : CFRP のコンクリートへのせん断方向付着応力度（採用する CFRP メーカー確認のこと）

R : 性能負担係数 = 15/360（基礎全周 360°のうち、15°分が耐風性能を負担するとした安全係数）

「抵抗モーメント + 対策工法Ⅰによる耐風抵抗モーメント > 転倒モーメント」となる場合には対策工法Ⅰを採用できるとする。

第3回検討会でのコメントを受け、モーメント基準点を隅角部として算出式を見直しました。

(5)滑動の検討

ア 地震時

摩擦力 > 地震力 であることを確認すれば良い。

イ 風圧時

滑動力 = P_w [kN]

抵抗力 = $W_T \times \mu$ [kN]

$$\text{対策工法Ⅰによる耐風抵抗力 } Q_{FRP} = \left(\pi \cdot Do2^2/4 - \pi \cdot Do1^2/4 \right) \cdot \sigma_b$$

Q_{FRP} : CFRPによる耐風抵抗力 [kN]

$Do2$: 基礎の外径 [m]

$Do1$: タンク底板の外径 [m]

σ_b : CFRP のコンクリートへのせん断方向付着応力度（採用する CFRP メーカー確認のこと）

第3回検討会でのコメントを受け、既往のアンカーボルトの抵抗力の考え方と同様となるよう、全接着面積として算出式を見直しました。

CFRP の基礎部への接着力
 $\left(\pi \cdot Do2^2/4 - \pi \cdot Do1^2/4 \right) \cdot \sigma_b$

360°分の基礎平面接着部が抵抗力として寄与すると考える（既往のアンカーボルトと同様な思想）

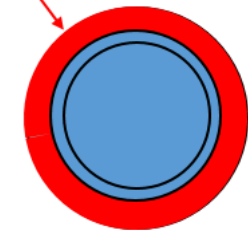
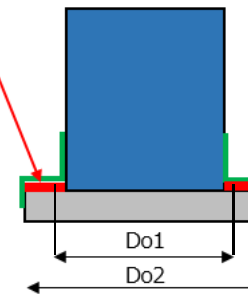


図 1.6 対策工法Ⅰの滑動抵抗力

「抵抗力 + 対策工法Ⅰによる耐風抵抗力 > 滑動力」となる場合には対策工法Ⅰを採用できるとする。

対策工法Ⅰが地震荷重、風荷重に対して十分な強度を有することを確認した後、アンカーボルトを撤去する。強度を有しない場合には対策工法Ⅰの採用は不可となる。

対策工法Ⅰが地震荷重、風荷重に対して十分な強度を有することを確認した後、アンカーボルトを撤去する



対策工法2 部材・施工寸法（修正なし）

検討会での解析の実績を踏まえて下記の部材・施工寸法とすることを提案する

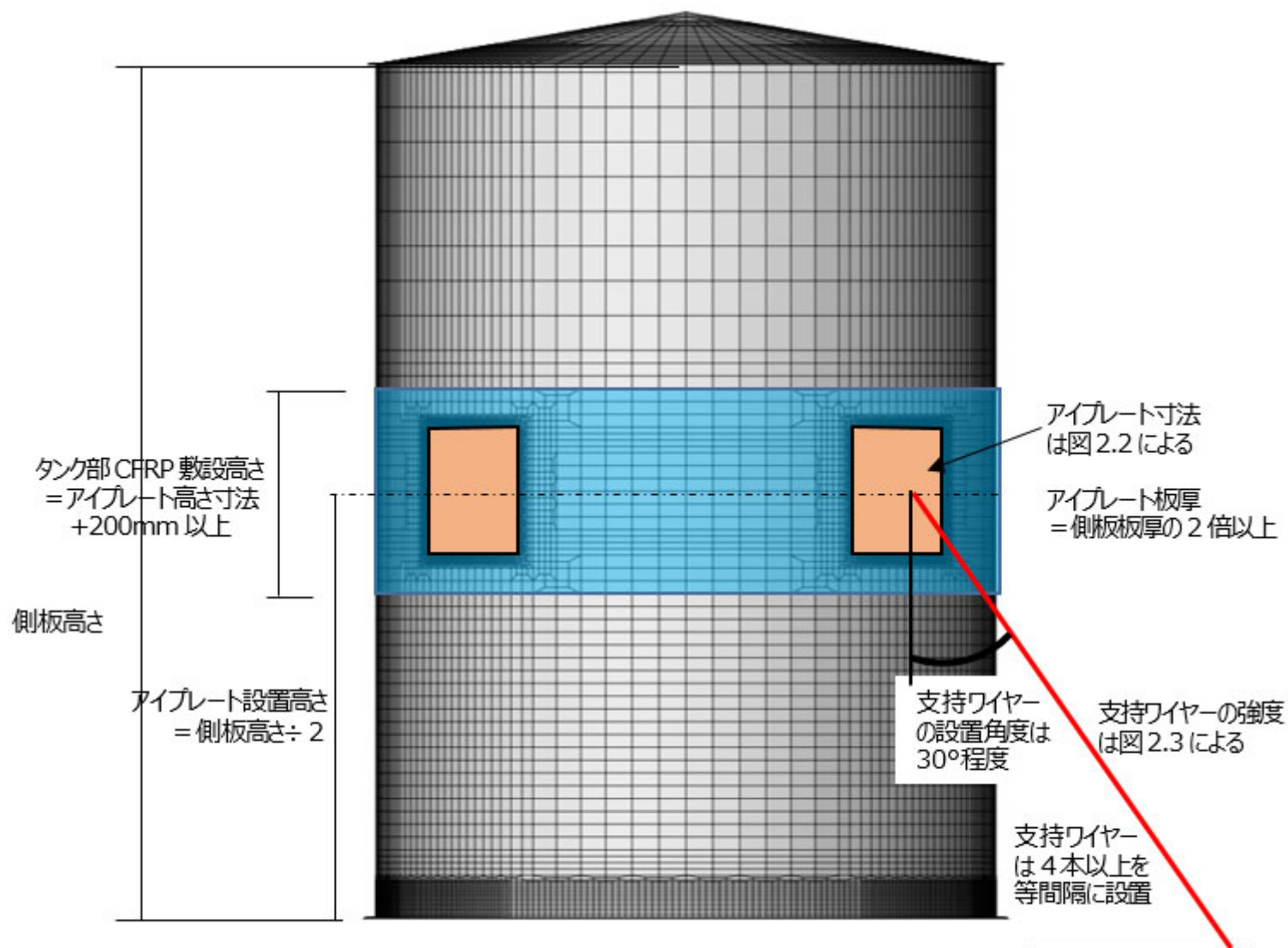


図2.1 対策工法2 部材・施工寸法



対策工法2 アイプレートの寸法と強度 修正

- アイプレートの1辺の寸法は検討会での解析の実績を踏まえて図2.2による。アイの必要強度は図2.3のワイヤー強度以上とする。アイとアイプレートの接合部近傍は応力集中するため、構造や溶接方法に注意が必要である。
- アイプレートの厚さは側板板厚の2倍とする（側板の板厚が複数の場合には最も厚いもの）
- 支持ワイヤーの1本の強度は図2.3に示す値以上とする。
- アイプレートの強度は支持ワイヤーの強度以上とする。

解析によるワイヤー強度

	50%液位	80%液位	20%液位	推奨
タンク容量 [kL]	ワイヤー強度 [kN]	ワイヤー強度 [kN]	ワイヤー強度 [kN]	ワイヤー強度 [kN]
3.45	17.424	—	9.68	50
20	117.38	102.83	—	200
100	300.74	—	—	370
500	370.61	382.64	375.08	550

推奨ワイヤー強度は解析値を基に、支持角度の変動に対する安全率10%以上、液位の変動に対する安全率10%以上を考慮し決定した

液位とワイヤー強度が
様な関係を示していない
が？と質問

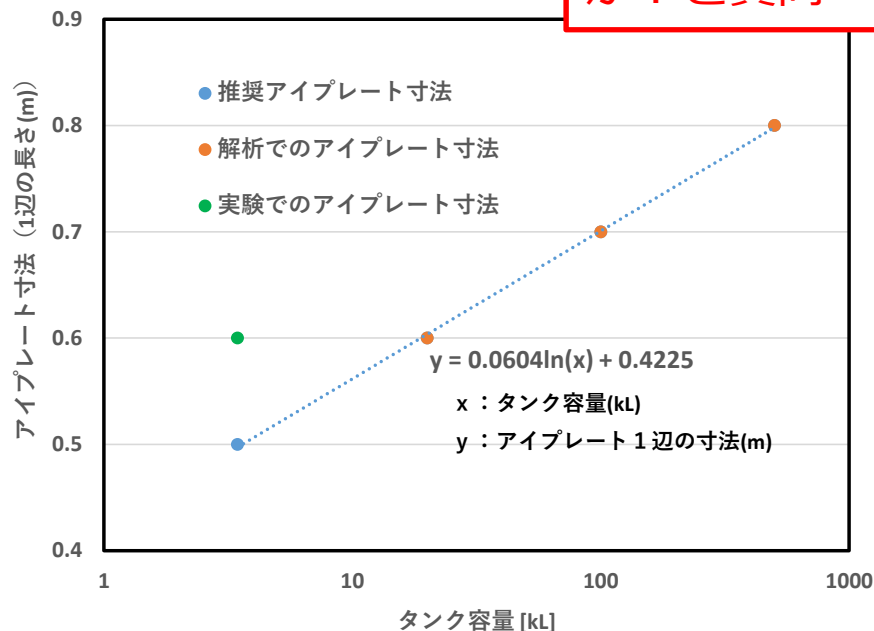


図2.2 タンク容量とアイプレート寸法の関係

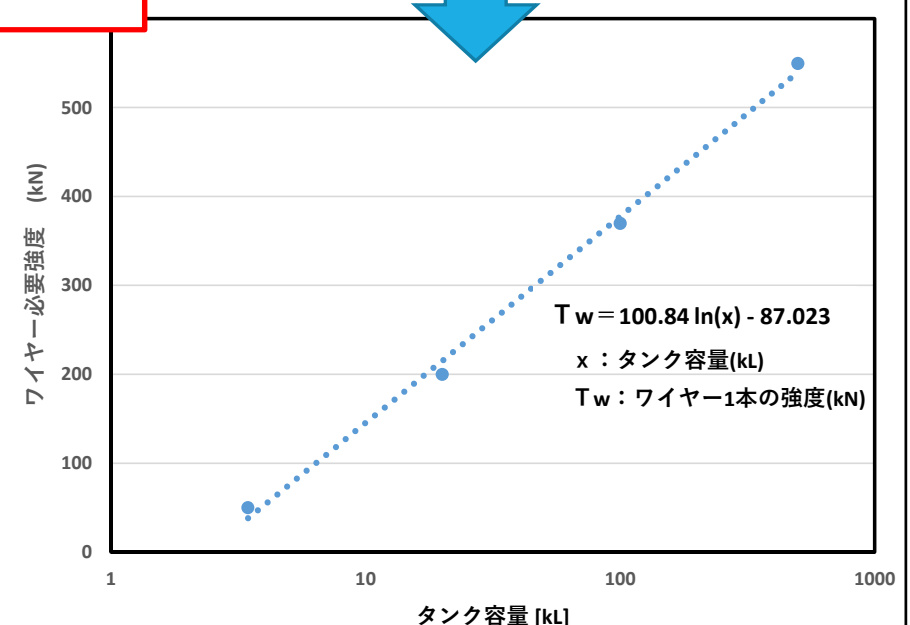


図2.3 タンク容量とワイヤー1本の強度の関係



対策工法２ ワイヤー強度に対する回答

- 第3回検討会にて「液位とワイヤー強度が様な関係を示していないが？」と質問
- 結果として津波の波高と内容液量による摩擦力とのバランスにより張力が求まるため、様な関係を示さない場合があると考える。
- 20kLの20%液位，80%液位の張力を追記した。

タンク容量 [kL]	20%液位 ワイヤー張力 [kN]	50%液位 ワイヤー張力 [kN]	80%液位 ワイヤー張力 [kN]
3.45	9.68	前回提示の値は 誤記でした	—
20	128.72 (4m)	117.38 (4m)	102.83 (4m)
 波高が同じ場合には、内容液量が多いほど残存する底面の摩擦力が大きいため、ワイヤー張力は小さくなる			
100	—	300.74 (4.5m)	—
500	375.08 (3.9m)	370.61 (5.1m)	382.64 (6.0m)
 内容液量が多いほど残存する底面の摩擦力が大きいため、ワイヤー張力は小さくなると考える。しかし、耐えられる波高が高くなり、波圧が大きいため、ワイヤー張力は大きくなる。そのバランスにより 50%液位時の張力が小さくなっていると考え			

*：カッコ書きは限界津波水位を示す



対策工法2 既存のアンカーボルトの撤去（1）修正

対策工法2を施工するにあたり、対象タンクにアンカーボルト等による固定がされている場合、それを撤去する必要がある。なお、アンカーボルトの撤去に伴い、対策工法2を施工する場合における耐震、耐風に関する事項（危政令第11条第1項第5号）を改めて確認する必要がある。

タンク本体の風と地震に対する転倒と滑動の確認方法は、地震と風によりタンクに生ずる転倒モーメントと滑動力に対して、タンクの有する抵抗モーメントと抵抗力に、対策工法2の抵抗力と抵抗モーメントを追加し確認することとした。

評価式と図表は「図解・危険物施設基準の早わかり（10訂）」（東京消防庁監修／東京法令出版）より引用

第2章 屋外タンク貯蔵所の基準

耐震、耐風圧構造

(2)それ以外*の屋外貯蔵タンクの耐震、耐風圧構造計算例

(*：それ以外とは特定屋外貯蔵タンク及び準特定屋外貯蔵タンクを示す。)

地震動による慣性力及び風圧力に対するタンク本体の安全性の検討は、転倒と滑動の可能性について行う。

ア タンク構造

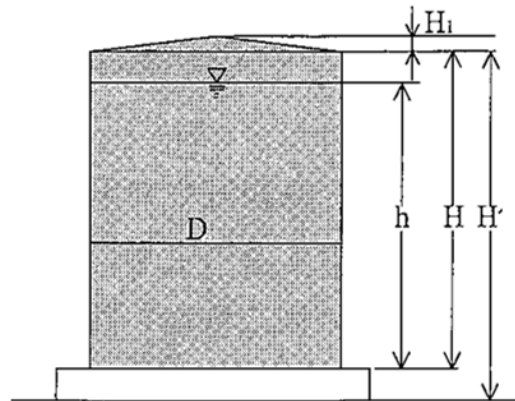


図2.4 対策工法2 耐震・耐風圧構造の諸元

イ 計算条件

設計水平震度(Kh)：0.3

設計鉛直震度(Kv)：0.15

タンク底板と基礎上面との間の摩擦係数(μ)：0.5

(3)自重の計算

タンクの自重を W_T 、危険物の重量を W_L とする。

$$W_T = (\text{底板} + \text{側板} + \text{屋根板} + \text{屋根骨} + \text{附属品}) \times 9.8 \quad [\text{kN}]$$

$$W_L = \text{タンク容量} \times \text{危険物比重} \times 9.8 \quad [\text{kN}]$$

(4)転倒の検討

ア 地震時（満液時）

$$\text{転倒モーメント} = \left(W_T \times Kh \times \frac{H + H_1}{2} \right) + \left(W_L \times Kh \times \frac{h}{2} \right)$$

$$\text{抵抗モーメント} = (W_T + W_L) \times \left(1 - Kv \right) \times \frac{D}{2}$$

対策工法2による地震抵抗モーメント

$$M_W = T_W \cdot \sin \alpha \cdot h_{EP} + T_W \cdot \cos \alpha \cdot D$$

M_W : ワイヤによる地震抵抗モーメント [kN-m]

D : タンク側板の外径 [m]

h_{EP} : アイプレート中心高さ [m]

T_W : ワイヤ強度 [kN]

α : タンクとワイヤの角度 [°]

第3回検討会でのコメントを受け、モーメント基準点を隅角部として算出式を見直しました。

「抵抗モーメント+対策工法2による地震抵抗モーメント > 転倒モーメント」となる場合には対策工法2を採用できるとする。

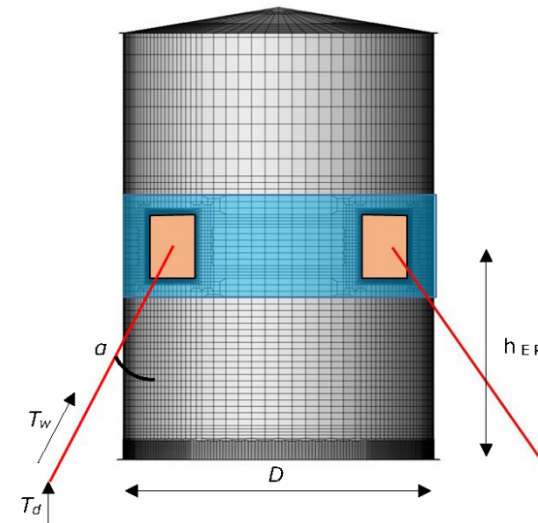


図2.5 対策工法2 計算寸法



対策工法2 既存のアンカーボルトの撤去（2）修正

イ 風圧時（空液時）

風圧力 $P_w = \text{風荷重} \times \text{タンクの垂直断面積} \text{ [kN/m}^2\text{]}$

$$\text{転倒モーメント} = P_w \times \frac{H + H_l}{2}$$

$$\text{抵抗モーメント} = W_T \times \frac{D}{2}$$

対策工法2による耐風抵抗モーメント

$$M_W = T_W \cdot \sin \alpha \cdot h_{EP} + T_W \cdot \cos \alpha \cdot D$$

M_W : ワイヤーによる耐風抵抗モーメント [kN-m]

D : タンク側板の外径 [m]

h_{EP} : アイプレート中心高さ [m]

T_W : ワイヤー強度 [kN]

α : タンクとワイヤーの角度 [°]

第3回検討会でのコメントを受け、モーメント基準点を隅角部として算出式を見直ししました。

「抵抗モーメント + 対策工法2による耐風抵抗モーメント > 転倒モーメント」

となる場合には対策工法2を採用できるとする。

(5) 滑動の検討

ア 地震時

摩擦力 > 地震力 であることを確認すれば良い。

イ 風圧時

滑動力 = P_w [kN]

抵抗力 = $W_T \times \mu$ [kN]

対策工法2による耐風抵抗力 $Q_W = T_W \cdot \sin \alpha$

T_W : ワイヤー強度 [kN]

α : タンクとワイヤーの角度 [°]

対策工法2が地震荷重，風荷重に対して十分な強度を有することを確認した後、アンカーボルトを撤去する

「抵抗力 + 対策工法2による耐風抵抗力 > 滑動力」となる場合には対策工法2を採用できるとする。



【検討課題】 対策工法ⅠのCFRP施工高さの低減（修正なし）

20kLのタンクではタンク側板部へのCFRP施工高さを半分（1mを0.5m）としても津波対策の性能に大きな変化がないことを確認。しかしながら、各タンク容量に対する検証が出来ておらず、全てのタンクに適用しても問題が無いとは断言できないことから、施工高さを低減する場合は数値解析が必要と考える。

