

小規模屋外貯蔵タンクの津波・水害対策工法に係る ガイドライン

令和４年３月
消防庁危険物保安室

1 ガイドラインの概要

(1) ガイドラインの目的

平成23年に発生した東日本大震災では、小規模な屋外貯蔵タンクが津波により滑動・転倒する事故が発生した。また、近年激甚化・頻発化する風水害においては、洪水等に伴う浸水により屋外貯蔵タンクの浮揚・滑動等による事故も発生している。

一方、近年の技術開発により、PC工法による津波対策を施工した屋外貯蔵タンクの建設をはじめ、コンクリート被覆型タンクの設置、ターンバックル等を用いたタンクの基礎固定等、津波等による屋外貯蔵タンクの浸水被害を軽減するための方策も検討されてきているところである。

これらの対策と比べ、本ガイドラインで示す津波・水害対策工法は、小規模な屋外貯蔵タンクに比較的安価かつ容易な方法で施工することができるという特徴があり、浸水時の滑動等を防止し又は軽減する効果により、屋外貯蔵タンクに起因する流出事故等の防止に一定の有効性を有していることが確認された。

本ガイドラインは、大規模な津波や水害には対応できないものの、一定の津波・水害には有効に働く小規模屋外貯蔵タンクの設備的対策の工法例として、タンクの所有者等が自主保安を推進するために参考となる指針として策定するものである。

(2) ガイドラインで対象とする屋外タンク貯蔵所

本ガイドラインでは、500kL未満の小規模な屋外貯蔵タンクで、底板を地盤面に接して設置される縦置き円筒型タンク（以下「小規模屋外貯蔵タンク」という。）を対象とする。

(3) 津波・水害対策の施工が想定される小規模屋外貯蔵タンク

沿岸部や河川等の周辺に設置されている小規模屋外貯蔵タンクのうち、所有者等が津波・水害対策の自主保安として施工を希望するタンク。

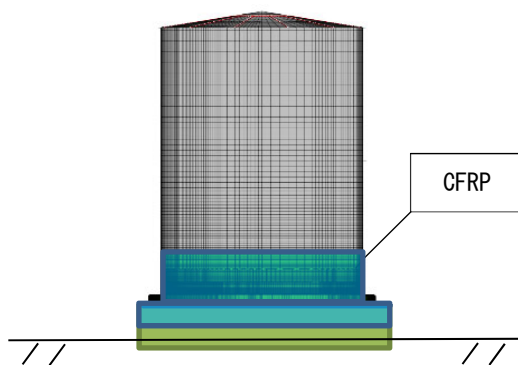
なお、所有者等がハザードマップ等を活用してタンクへの影響を確認し、判断することとなるが、ハザードマップの域外のタンクについても対策をとることが望ましい。

2 津波・水害対策工法

本ガイドラインで規定する津波・水害対策工法は、次に示す対策工法1及び対策工法2とし、タンクの所有者等は実情に応じて何れかの工法を選択できるものとする。

(1) 対策工法1

小規模屋外貯蔵タンクと基礎を炭素繊維強化プラスチック（以下「CFRP」という。）で面的に固定する工法（図1）。



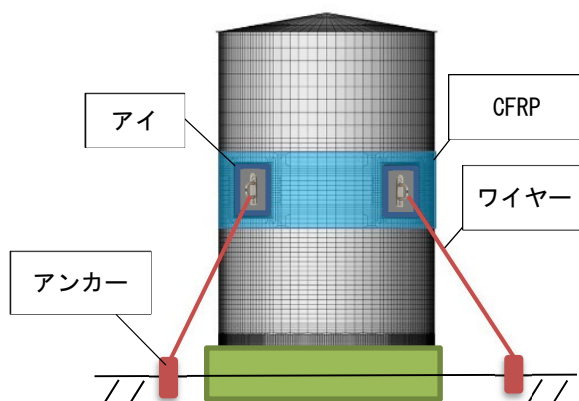
対策工法1の設置条件

- ・ 基礎が周囲より200mm以上の高さを有していること。
- ・ 基礎形状が円形であること。

図1 対策工法1

(2) 対策工法2

小規模屋外貯蔵タンクの側板中間段にワイヤーを接続するための接続孔（以下「アイ」という。）が溶接されたプレートをCFRPで固定し、防油堤内に設けられたアンカーとアイをワイヤーで緊結固定する工法（図2）。



対策工法2の設置条件

- ・ 防油堤内にワイヤーを張る平面的スペースが確保できること。
- ・ ワイヤーを張るに際し、支障となる干渉物がないこと。

図2 対策工法2

(3) 施工方法等

対策工法1及び2の施工方法の詳細等は、別添1及び別添2のとおりとする。

3 その他

- (1) 津波・水害対策として対策工法1、対策工法2を既設タンクに施工する場合は、原則として消防法第11条の規定による変更許可を要するものであること。なお、対策工法を施工する場合は、タンクを開放して施工することが必要である。
- (2) 対策工法の効果を定量的に示すには、有限要素法等による数値解析が必要となるが、別添1及び別添2に従い対策工法の設計及び施工がなされる場合においては、数値解析を行う必要はない。
- (3) 別添1及び2のCFRP施工にあたっては、CFRPの品質確保のため専門的技術及び経験を有する技術者による施工・管理がなされることが望ましいこと。専門的技術及び経験を有することを確認する方法としては、CFRPの施工・管理技術に関する第三者機関による資格証又は講習を修了したことを示す資料等の確認が考えられる。
- (4) 別添1及び2の対策工法を施工することによる津波対策としての対策効果は、次の図3及び図4が目安となる。

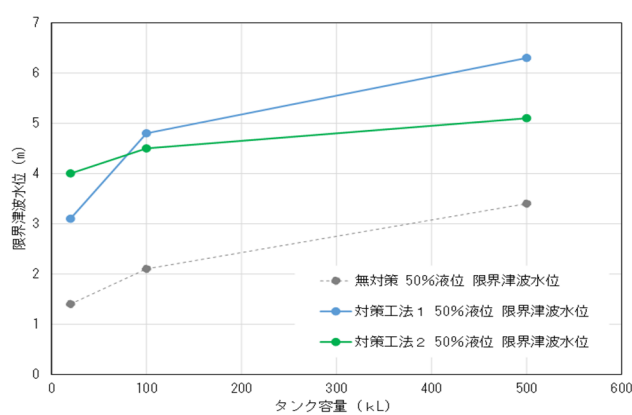


図3 タンク容量と限界津波高さの関係（貯蔵率50%）

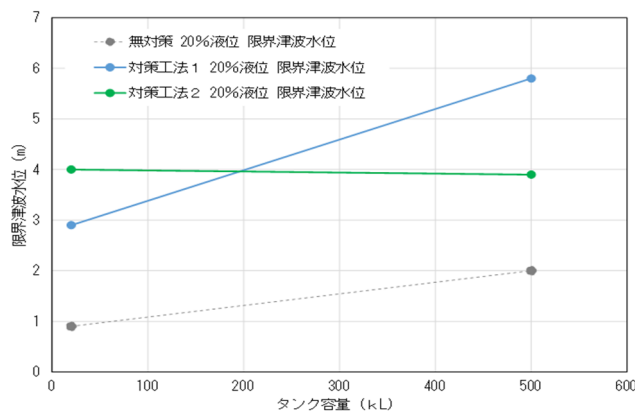


図4 タンク容量と限界津波高さの関係（貯蔵率20%）

別添1 対策工法1に関する設計・施工要領

1 小規模屋外貯蔵タンクと当該タンクの基礎又は基礎の補強措置（コンクリート製で200mm以上の立ち上がり部を有するものに限る。）を連続炭素繊維シートを用いた炭素繊維強化プラスチック（以下「CFRP」という。）で面的に固定する工法（以下「対策工法1」という。）の設計、施工及び維持管理は本要領に基づき行うこと。

2 設計等

(1) 設計

設計は次によること。

ア CFRP施工範囲

図1に示す範囲の全周にCFRPを施工すること。

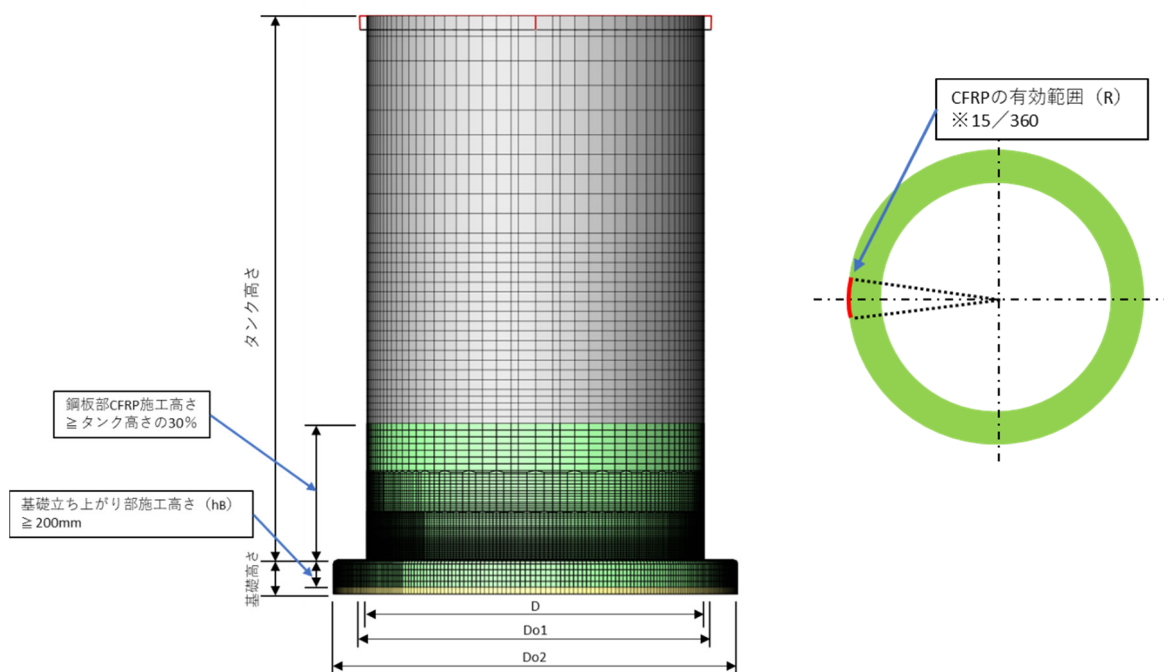


図1-1 対策工法1のCFRP施工範囲

イ タンクがアンカーボルト等で固定されている場合は、対策工法の施工前に既設アンカーボルト等を撤去すること。

ウ アンカーボルト等に替えて対策工法1を施工した場合のCFRPが負担する地震及び風に対する抵抗モーメント及び抵抗力の計算は次の例により、アンカーボルトが無い状態でも耐震性等が確保されていることを予め確認すること。

(ア) 抵抗モーメント

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

M_{FRP} は、CFRPによる抵抗モーメント (kN-m)

D は、タンク側板の外径 (m)

$Do2$ は、タンク基礎の外径 (m)

σ_b は、CFRPのコンクリートへのせん断方向付着応力度（メーカー保証値 kN/m²）

h_B は、タンク基礎部のCFRP貼付け高さ (m)

R は、CFRPの有効範囲を示す定数=15/360

※ 計算の結果、以下の関係となることを確認すること。

（タンク自重等による抵抗モーメント+ M_{FRP} ）>転倒モーメント

(イ) 抵抗力

$$Q_{FRP} = \left(\pi \cdot Do2^2 / 4 - \pi \cdot Do1^2 / 4 \right) \cdot \sigma_b$$

Q_{FRP} は、CFRPによる抵抗力 (kN)

$Do1$ は、外張り出し寸法を含むタンク底板の外形 (m)

※ 計算の結果、以下の関係となることを確認すること。

(タンク自重等による抵抗力 + Q_{FRP}) > 滑動力

(2) 使用材料

使用材料は次によること。なお、ア～エに掲げる材料については、複合材料としての強度保証がされた同一メーカーの製品を使用すること。

ア 炭素繊維シート（一方向材、高強度型、目付量 200 g/m²以上のものに限る。）

イ エポキシ樹脂（硬化剤を含む。ウ及びエにおいて同じ。）

ウ プライマー

エ 不陸修正用パテ

オ 発泡スチロール板（スペーサーとして使用。）

(3) 施工環境

ア 雨天でないこと。

イ 気温が 5℃以上、湿度が 85%以下であること。

ウ 結露が発生し、又は発生するおそれがないこと。

エ コンクリート素地面にあっては、表面含水率が 8%以下であること。

3 施工方法等（施工・検査・不具合部補修）

施工は次によること。

(1) 施工前処理

ア 基礎の調整

(ア) 基礎の形状等に応じて、必要な修正を次のとおり行うこと。

a 犬走り部がアスファルト舗装されている場合は、コンクリート舗装に変更すること。

b 基礎立ち上がり部と犬走り部境界の角部は、R30以上に成形すること。

(イ) 基礎の不具合箇所に対する補修を次のとおり行うこと。

a 幅0.3mm以上のひび割れ箇所には、エポキシ樹脂を注入すること。

b コンクリートの不良部（モルタルの浮き、欠損部等）は、当該箇所をはつり取ったうえでポリマーセメントモルタル等により補修すること。

c 補修に際し、鉄筋の露出がある場合は防錆処理を行うこと。

イ 既設アンカーボルトの撤去

アンカーボルトによりタンクを基礎に固定している場合は、当該アンカーボルトを撤去すること。

(2) 下地処理及び表面清掃

施工範囲の基礎及び鋼板部の下地処理は、ディスクサンダー等を用いて次により行うこと。

ア 基礎部

泥膜層、離型剤、風化部、剥離モルタル、塗装等を除去し、平滑化すること。

イ 鋼板部

2種ケレン相当の下地処理を行うこと。鋼板部に腐食減肉等不具合がある場合には、必要に応じて当該不具合箇所を補修した後に(4)の工程を実施すること。

ウ 下地処理後は、素地表面の粉塵、異物等を十分に除去するとともに、鋼板部についてはアセトンを染み込ませたウェスを用いる等により脱脂を行うこと。

(3) 樹脂、プライマー及び不陸修正用パテ（以下「樹脂等」という。）の調査

樹脂等に硬化剤を添加し、攪拌調合すること。樹脂等の調合は次のとおりとする。

- ア 樹脂等及び硬化剤は厳正に計量すること。
- イ 専用の機器等により十分な攪拌を行うこと。
- ウ 硬化剤攪拌調合後の樹脂等は使用時間内で使用すること。

(4) プライマー塗布

- ア 刷毛、ローラー等で塗布すること。
- イ 塗り残しがないよう施工範囲全体に塗布すること。
- ウ 指触乾燥するまで養生すること。

(5) スペーサーの設置

タンク隅角部保護のため、側板と底板の外側溶接継手止端部から底板外張り出し部に掛けてスペーサーを設置すること。スペーサーの設置方法は次のとおりとする。

- ア 底板板厚に5mmを加えた板厚の発泡スチロール板をカッターナイフ等を用いて底板外張り出し部を覆う鍵型の断面形状に成形すること。
- イ 成形した発泡スチロール板を両面テープ、接着剤等で底板外張り出し部全周に接着すること。

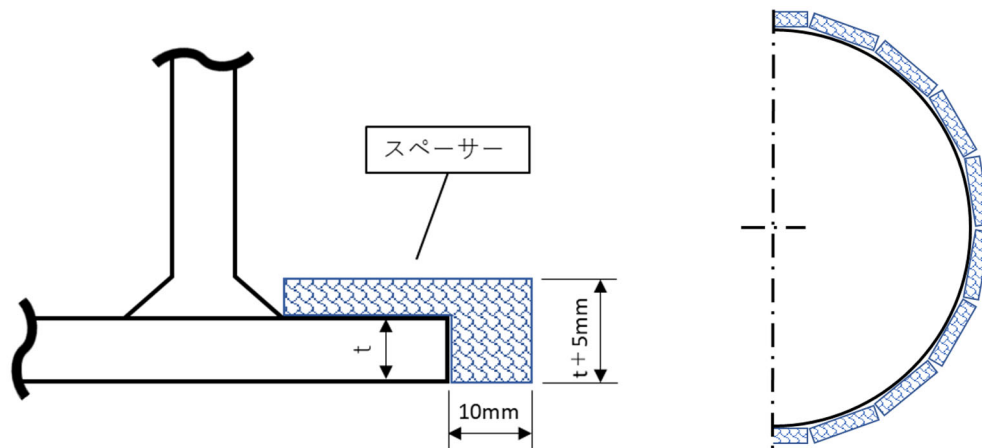


図1-2 スペーサー形状と配置

(6) 不陸修正

CFRPに未接着範囲（スペーサー設置部を除く。）が生じることを防ぐための不陸修正は次によること。

- ア 施工範囲の素地面に1mmを超える段差がある場合は、不陸修正用パテを用いて当該段差を1mm以内に修正すること。特に基礎については、コンクリート面の凹凸、気泡等が存在する箇所が多いことから、全面が平滑となるよう施工すること。
- イ 指触乾燥するまでシート等で養生すること。

(7) CFRPの積層

プライマー及び不陸修正用パテの指触乾燥確認後、CFRPを次のとおり施工すること。

ア 一層目

- (ア) ローラー等を用いて樹脂を下塗りすること。
- (イ) 次のとおり、下塗り樹脂の上から炭素繊維シートを貼り付けること。
 - a 繊維方向が鉛直方向となるようシートを貼り付けること。
 - b タンクの鉛直方向にシートを継ぎ足す場合の重ね代は200mm以上とすること。
 - c タンクの円周方向にシートを配置する場合は、シート相互に隙間が生じないように貼り付けること。
- (ウ) 炭素繊維シートの上からローラー等を用いて樹脂を上塗りすること。
- (エ) 脱泡ローラー等を用いて炭素繊維シートに樹脂を十分含浸させるとともに、気泡

の除去を行うこと。

イ 二層目

(ア) 一層目の指触乾燥確認後、二層目の炭素繊維シートを貼り付けること。なお、基礎水平部には二層目は施工しなくてよい。

- a 繊維方向が円周方向となるようシートを貼り付けること。
- b 円周方向にシートを継ぎ足す場合の重ね代は200mm以上とすること。
- c 鉛直方向にシートを配置する場合はシート相互に隙間が生じないように貼り付けること。

(イ) ア(ウ)及び(エ)の作業を行うこと。

ウ ノズル等付属物取付け部の補強措置

ノズル等付属物取付け部等に対する補強措置は、ア又はイの施工前にア、(ア)、

(ウ) 及び(エ)に準じて以下のとおり行うこと。

(ア) 基礎の水抜き穴、タンク付属物取付け箇所等、基礎及び側板部に貼り付ける炭素繊維の連続性が途切れる箇所がある場合は、付属物等の大きさに応じて、図1-3に示すいずれかの補強措置を行うこと。

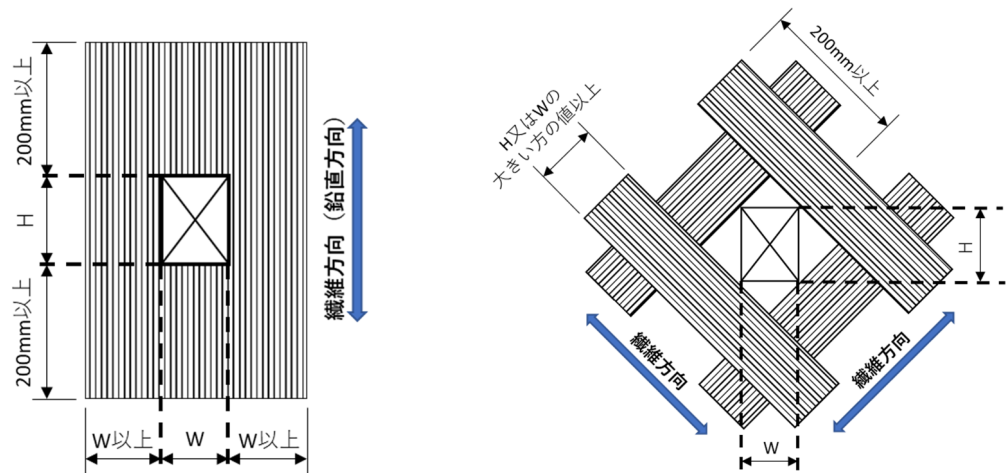


図1-3 付属物等周辺の補強措置

(イ) ノズルネック部には、(ア)の補強措置に加えて図1-4に示す補強措置を行うこと。

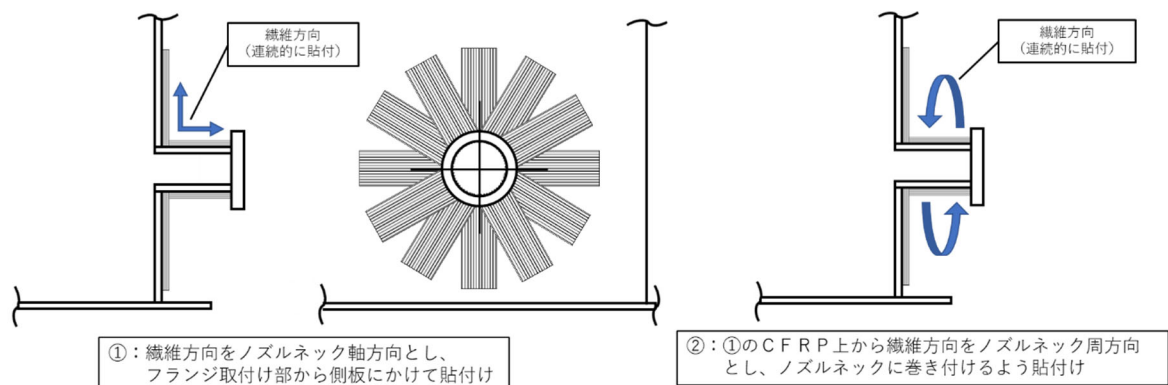


図1-4 ノズルネック部の補強措置

エ 養生

樹脂が十分硬化するまでシート等で養生すること。

(8) CFRP仕上げ面の保護

CFRP仕上げ面には、耐候性が確認された塗料を塗布すること。

4 試験及び補修

(1) 試験

ア 外観試験

- (ア) しわ等による浮きにより素地面との隙間が生じていないこと。
- (イ) 塗り漏れがないこと。
- (ウ) 異物の混入がなく、白化等が生じていないこと。

イ 指触・打診試験

- (ア) 硬化不良を生じていないこと。
- (イ) 素地面からの剥離等が以下の基準に適合すること。なお、円形以外の剥離等については、短径と長径の平均値を直径と見なすこととする。
 - a 直径30mm以上の剥離、膨れが生じていないこと。
 - b 直径10mm以上30mm未満の剥離、膨れが1㎡当たり10個未満であること。

(2) 補修

- ア (1)、ア、(ア)の隙間部は、樹脂を充填して隙間を完全に埋めること。
- イ (1)、ア、(イ)の塗り漏れ部は、塗り漏れ箇所の端部から50mm以上の範囲をサンドペーパー等で目荒らしし、清掃及び脱脂した上で2、(7)、ア、(ウ)及び(エ)により補修を行うこと。
- ウ その他の不具合箇所については、当該不具合箇所を完全に除去し、不具合箇所の端部から50mm以上の範囲をサンドペーパー等で目荒らしし、清掃及び脱脂した上で2、(6)により不陸修正を行ったのち、2、(7)により補修を行うこと。

5 維持管理

- (1) 対策工法1を施したタンクについては、次の表を参考に点検を行うこと。

表1 対策工法1の点検内容等

点検項目	点検内容	点検方法	点検結果	措置年月日及び措置内容
対策工法1 による 固定措置	塗装状況	目視		
	変形、損傷又は亀裂等の有無	目視		
	膨れ、浮き又は剥離等の有無	目視及び打診テスト等による		

- (2) (1)の点検の結果、不具合箇所が確認された場合は、塗装状況の不具合は再塗装をすることにより、それ以外のCFRPの不具合は3、(2)の補修方法により補修を行うこと。

別添2 対策工法2に関する設計・施工要領

- 1 小規模屋外貯蔵タンクの側板中央部に連続炭素繊維シートを用いた炭素繊維強化プラスチック（以下「CFRP」という。）を用いて面的に固定したアイプレートに取り付けたアイと防油堤内に打設したアンカーをワイヤーで接続して固定する工法（以下「対策工法2」という。）の設計、施工及び維持管理は本要領に基づき行うこと。

2 設計等

(1) 設計

設計は次によること。

ア アイプレート

(ア) 設計及び製作

- a アイプレートは津波等による荷重に対して、タンクを支持する部材である。
- b アイプレートはワイヤーが接続されるアイとそれを剛にベースプレートに伝達する剛プレート、タンク側板に接するベースプレートにて構成される。アイプレートの構造例を図2-1に示す。

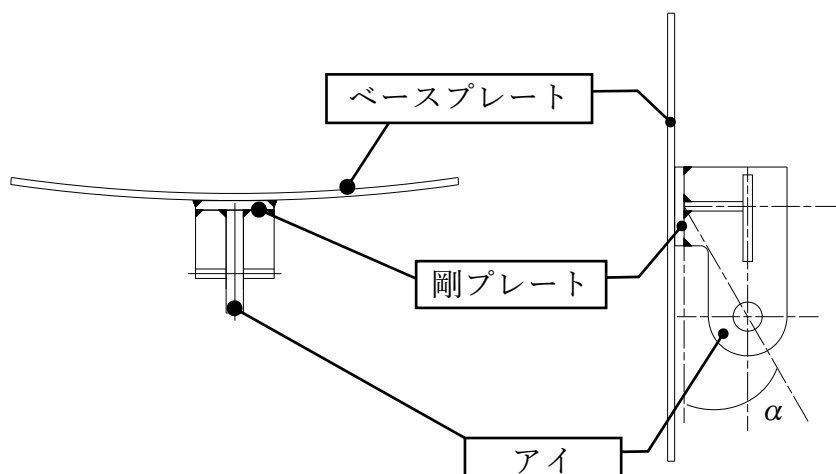


図2-1 アイプレートの構造例

- c アイプレートの設計に当たっては、アイプレートの各部材及び溶接部に生ずる応力が降伏応力以下であることを確認すること。
- d アイプレートの設計荷重とその計算方法に関しては、参考資料「アイプレートの設計及び製作に関する参考例」を参考とすること。

(イ) 設置位置

タンク円周上の4箇所以上に均等な間隔で配置すること。このときアイプレートの高さ方向中心位置とタンクの側板高さの中心位置とを合わせる。

イ アンカー

- (ア) 側板とワイヤーのなす角度が30°程度となる位置にアンカーを設けること。
- (イ) アンカーは、タンク容量に応じて決定されるワイヤー強度の反力以上の強度を有するものとする。

$$T_d = T_w / \cos \alpha$$

T_d は、設計アンカー力 (kN)

T_w は、ウにより決定するワイヤー強度 (kN)

α は、タンク側板とワイヤーの角度 (°)

- (ウ) 地盤の液状化層や地下水位、設置するアンカーに有害な影響を与える成分を含む地盤等を避けることが望ましいこと。

ウ ワイヤー等

次の計算により算出した値以上の強度を有するものとする。

$$T_W = 100.84 \ln(x) - 87.023$$

T_W は、ワイヤー等の必要強度 (kN)

x は、タンク容量 (kL)

エ CFRPの施工範囲

図 2-2 に示す範囲の全周にCFRPを施工し、アイプレートを固定すること。

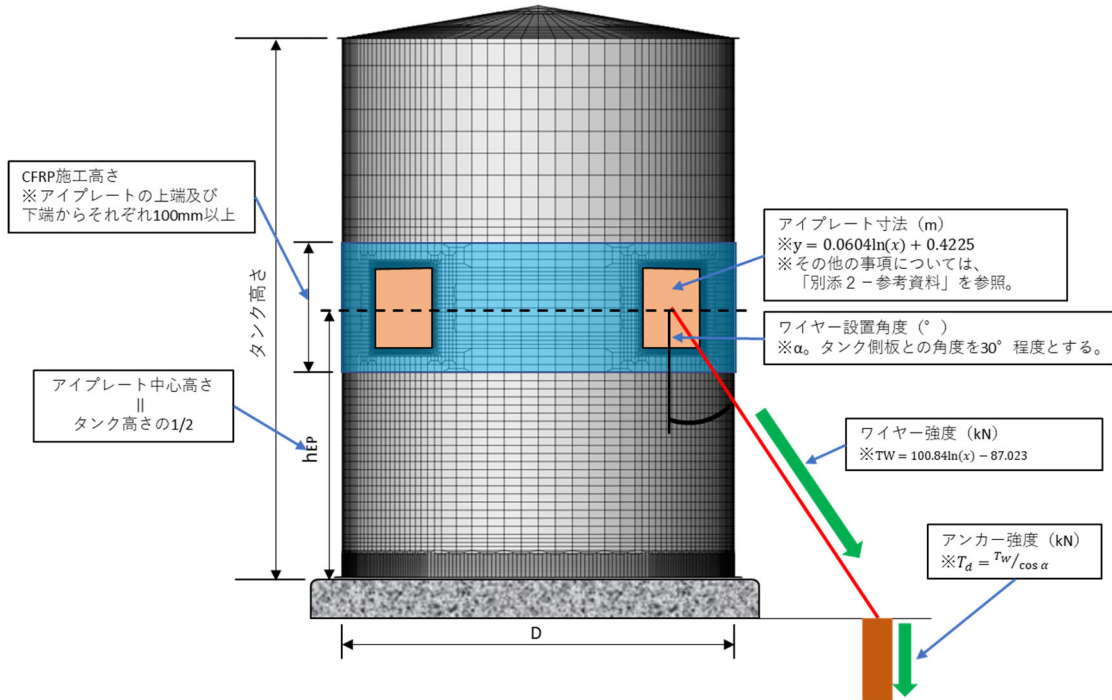


図 2-2 対策工法 2 の施工概要

オ タンクがアンカーボルトで固定されている場合で、当該アンカーボルトが底板外張り出し部に直接取り付けられている（別図参照。）等、津波波力载荷時にタンク隅角部に応力が集中するおそれのある固定方法が採用されている場合は、対策工法の施工前に既設アンカーボルトを撤去することを推奨する。

カ アンカーボルトに替えて対策工法 2 を施工した場合の対策工法 2 が負担する地震及び風に対する抵抗モーメント及び抵抗力の計算は次の例により、アンカーボルトが無い状態でも耐震性等が確保されていることを予め確認すること。

(ア) 対策工法 2 による抵抗モーメント

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

M_W は、ワイヤーによる抵抗モーメント (kN-m)

T_W は、ワイヤー強度 (kN)

α は、タンク側板とワイヤーのなす角度 (°)

h_{EP} は、アイプレート中心高さ (m)

D は、タンク側板の外径 (m)

※ 計算の結果、以下の関係となることを確認すること。

(タンク自重等による抵抗モーメント + M_{FRP}) > 転倒モーメント

(イ) 対策工法 2 による抵抗力

$$Q_W = T_W \cdot \sin \alpha$$

Q_W は、ワイヤーによる抵抗力 (kN)

※ 計算の結果、以下の関係となることを確認すること。
(タンク自重等による抵抗力+QFRP) > 滑動力

(2) 使用材料

使用材料は次によること。なお、イ～オに掲げる材料については、複合材料としての強度保証がされた同一メーカーの製品を使用すること。

ア 2、(1)、オにより設計・製作するアイプレート

イ 炭素繊維シート（一方向材、高強度型、目付量200g/m²以上のものに限る。）

ウ エポキシ樹脂（硬化剤を含む。ウ及びエにおいて同じ。）

エ プライマー

オ 不陸修正用パテ

(3) 施工環境

ア 雨天でないこと。

イ 気温が5℃以上、湿度が85%以下であること。

ウ 結露が発生し、又は発生するおそれがないこと。

3 施工方法等（施工・検査・不具合部補修）

施工は次によること。なお、アンカーについては所定の強度が発揮されるよう施工がなされていること。

(1) 下地処理及び表面清掃

施工範囲の鋼板部の下地処理は、ディスクサンダー等を用いて次により行うこと。

ア 下地処理

ディスクサンダー等を用いて2種ケレン相当の下地処理を行うこと。

ウ 下地処理後は、素地表面の粉塵、異物等を十分に除去するとともに、アセトンを染み込ませたウェスをを用いる等により脱脂を行うこと。

(2) 樹脂、プライマー及び不陸修正用パテ（以下「樹脂等」という。）の調合

樹脂等に硬化剤を添加し、攪拌調合すること。樹脂等の調合は次のとおりとする。

ア 樹脂等及び硬化剤は厳正に計量すること。

イ 専用の機器等により十分な攪拌を行うこと。

ウ 硬化剤攪拌調合後の樹脂等は可使時間内で使用すること。

(3) プライマー塗布

ア 刷毛、ローラー等で塗布すること。

イ 塗り残しがないよう施工範囲全体（アイプレート取付け部及びアイプレートの表裏面を含む。）に塗布すること。

ウ 指触乾燥するまで養生すること。

(4) アイプレートの仮止め

2、(1)、ア、(イ)の位置にアイプレートを仮止めすること。この際、接着材等を用いた仮止めを行うこととし、溶接をしてはならないこと。

(5) 不陸修正

CFRPに未接着範囲が生じることを防ぐための不陸修正は次によること。

ア 施工範囲の素地面に1mmを超える段差がある場合は、不陸修正用パテを用いて当該段差を1mm以内に修正すること。

イ 指触乾燥するまでシート等で養生すること。

(6) CFRPの積層

プライマー及び不陸修正用パテの指触乾燥確認後、CFRPを次のとおり施工すること。

ア アイプレート固定部の積層

(ア) ローラー等を用いて樹脂を下塗りすること。

- (イ) 次のとおり、下塗り樹脂の上から炭素繊維シートを貼り付けること。
 - a 繊維方向が円周方向となるようシートを貼り付けること。
 - b 円周方向にシートを継ぎ足す場合の重ね代は200mm以上とすること。
 - c 鉛直方向にシートを配置する場合は、シート相互に隙間が生じないように貼り付けること。
- (ウ) 炭素繊維シートの上からローラー等を用いて樹脂を上塗りすること。
- (エ) 脱泡ローラー等を用いて炭素繊維シートに樹脂を十分含浸させるとともに、気泡の除去を行うこと。

イ 付属物等取付け部等の補強措置

アイ取付箇所、その他タンク付属物取付箇所等、側板部に貼り付ける炭素繊維の連続性が途切れる箇所がある場合は、付属物等の大きさに応じて、図2-3に示すいずれかの補強措置を行うこと。なお、当該補強措置はアの施工前にア、(ア)、(ウ)及び(エ)に準じて行うこと。

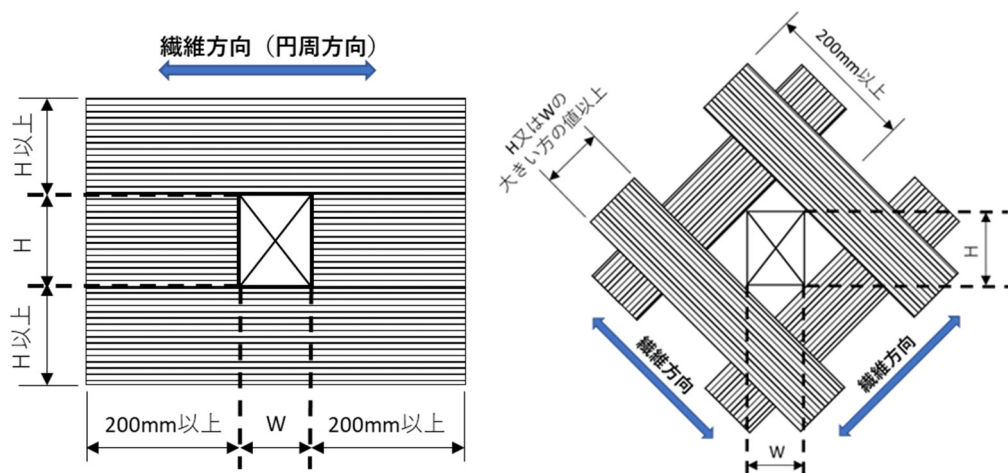


図2-3 付属物等周辺の補強措置

ウ 養生

樹脂が十分硬化するまでシート等で養生すること。

(7) CFRP仕上げ面の保護

CFRP仕上げ面には、耐候性が確認された塗料を塗布すること。

4 CFRP施工部の試験及び補修

(1) 試験

ア 外観試験

- (ア) しわ等による浮きにより素地面との隙間が生じていないこと。
- (イ) 塗り漏れがないこと。
- (ウ) 異物の混入がなく、白化等が生じていないこと。

イ 指触・打診試験

- (ア) 硬化不良を生じていないこと。
- (イ) 素地面からの剥離等が以下の基準に適合すること。なお、円形以外の剥離等については、短径と長径の平均値を直径と見なすこととする。
 - a 直径30mm以上の剥離、膨れが生じていないこと。
 - b 直径10mm以上30mm未満の剥離、膨れが1㎡当たり10個未満であること。

(2) 補修

- ア (1)、ア、(ア)の隙間部は、樹脂を充填して隙間を完全に埋めること。

イ (1)、ア、(イ)の塗り漏れ部は、塗り漏れ箇所の端部から50mm以上の範囲をサンドペーパー等で目荒らしし、清掃及び脱脂した上で3、(6)、ア、(ウ)及び(エ)により補修を行うこと。

ウ その他の不具合箇所については、当該不具合箇所を完全に除去し、不具合箇所の端部から50mm以上の範囲をサンドペーパー等で目荒らしし、清掃及び脱脂した上で3、(5)により不陸修正を行ったのち、3、(6)により補修を行うこと。

5 維持管理

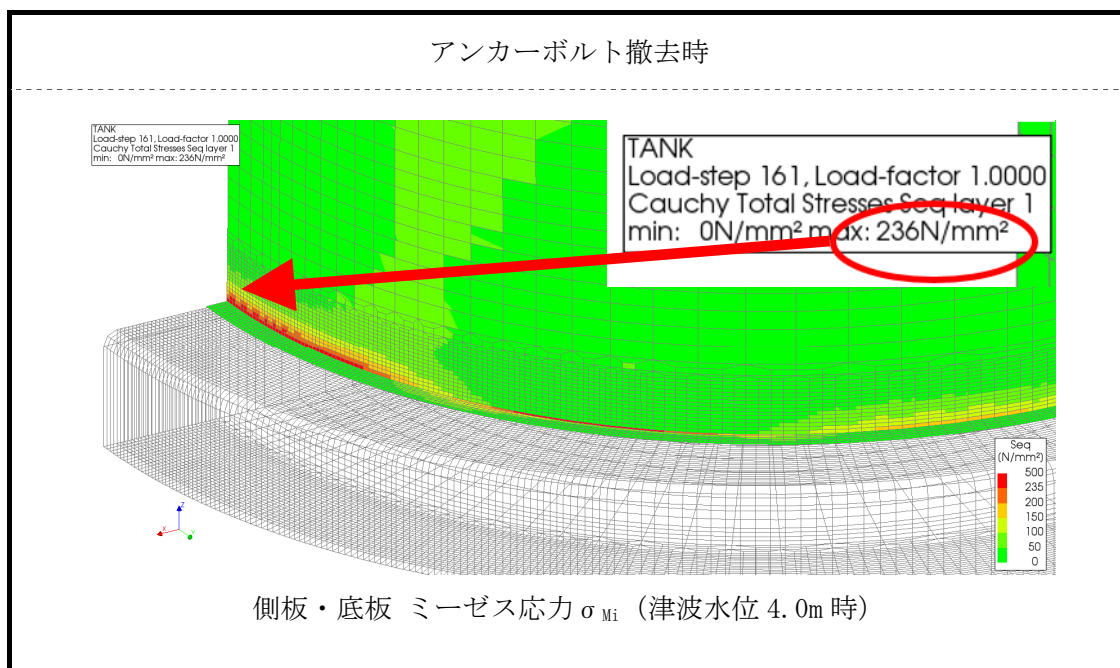
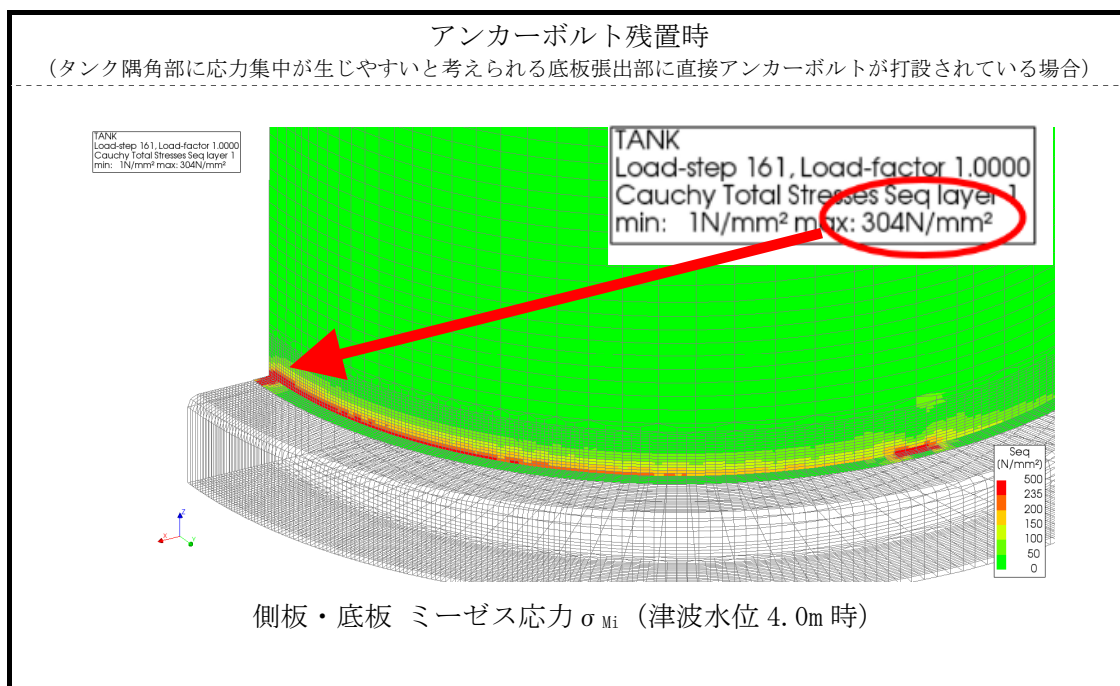
(1) 対策工法2を施したタンクについては、次の表を参考に点検を行うこと。

表1 対策工法2の点検内容等

点検項目		点検内容	点検方法	点検結果	措置年月日 及び 措置内容
対策工法2 による 固定措置	CFRP部	塗装状況	目視		
		変形、損傷又は 亀裂等の有無	目視		
		膨れ、浮き又は 剥離等の有無	目視及び打診テスト等による		
	ワイヤー・固定	塗装状況	目視		
		腐食の有無	目視		
		固定ワイヤーの 断線・摩耗等の有無	目視		

(2) (1)の点検の結果、CFRP部に不具合箇所が確認された場合は、塗装状況の不具合は再塗装をすることにより、それ以外のCFRPの不具合は4、(2)の補修方法により補修を行うこと。

別図 対策工法2を適用した場合におけるタンク隅角部への応力集中の対比
 (上段：アンカーボルト残置、下段：アンカーボルト撤去。20kL、50%液位時。)



別添 2－参考資料 アイプレートの設計及び製作に関する参考例

1. 設計条件

- 1) 参考資料 平成24年版 道路橋示方書Ⅱ鋼橋編（日本道路協会）
- 2) 設計方法 設計方法 許容応力度法
判定 設計荷重 $\sigma < \sigma_y$ （降伏点）

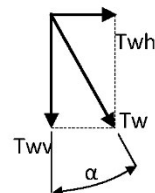
3) 荷重および荷重の作用方向角度

設計荷重 : T_w ワイヤー強度 (kN)

ケーブルの角度 : α

水平分力 : $T_{wh} = T_w \times \sin \alpha$ (kN)

鉛直分力 : $T_{wv} = T_w \times \cos \alpha$ (kN)



4) アイプレートの使用鋼材は側板と同材以上の鋼材グレードとし、以下の強度計算が成立するもの

5) アイプレートの1辺の寸法は下図による。またワイヤーの強度は下記により求める。

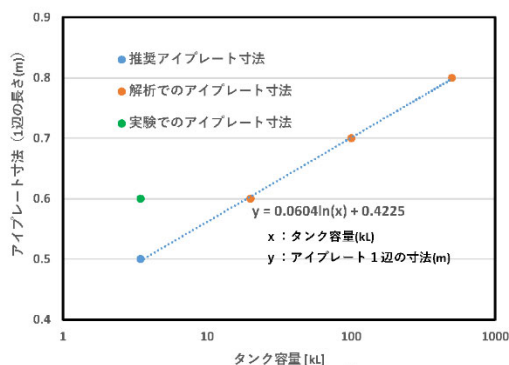


図1.1 タンク容量とアイプレート寸法の関係

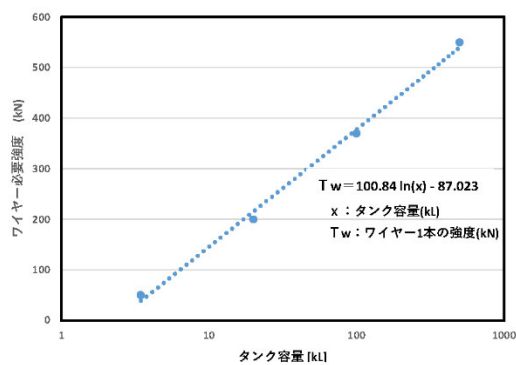
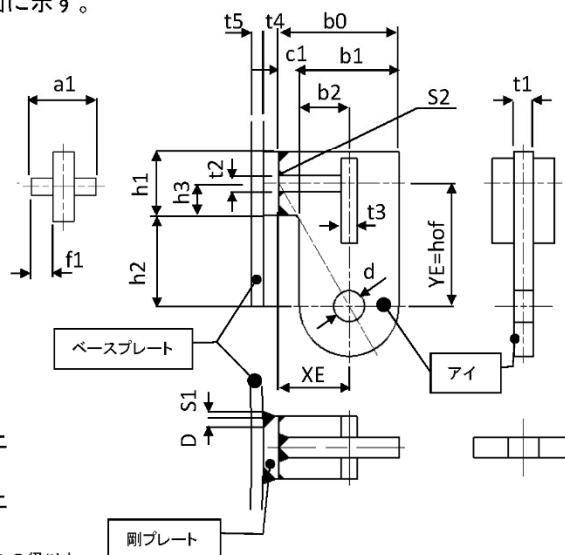


図1.2 タンク容量とワイヤー1本の強度の関係

2. 寸法

設計例として基本的な形状と寸法を右図に示す。

- 幅
- $a1 = 100$ mm以上
 - $b0 = c1 + b1$ (mm)
 - $b1 =$ 設計時に決定 (mm)
 - $b2 = b1 \div 2$ (mm)
- 高さ
- $h1 = 100$ mm以上
 - $h2 = h0 - h3$ (mm)
 - $h3 = h1 \div 2$ (mm)
- 厚さ
- $t1 =$ 設計時に決定 (mm)
 - $t2 =$ 設計時に決定 (mm)
 - $t3 = t2$ (mm)
 - $t4 =$ タンク側板厚さの2倍以上
 - $t5 =$ タンク側板厚さの2倍以上
- 穴径
- $d =$ 支持ワイヤーもしくはシャックルの径以上



アイプレートの構造

アイプレートはアイとそれを剛にベースプレートに伝達する剛プレートとタンク側板に接するベースプレートにて構成される

3. 水平断面（A点）の照査

1) 照査位置（A点）の断面力

偏心距離 $hof = YE$ (mm)

曲げモーメント $M = Ph \cdot hof$ (kN・m)

2) 断面諸元

断面積 $A = t1 \times b1 + f1 \times 2 \times t3$ (mm²)

断面係数 $Z = (t1 \times b1^2 + f1 \times 2 \times t3^2) \div 6$ (mm³)

3) 応力度

曲げ応力度

$\sigma = Pv/A + M/Z$ (N/mm²) $< \sigma_y$ であることを確認する

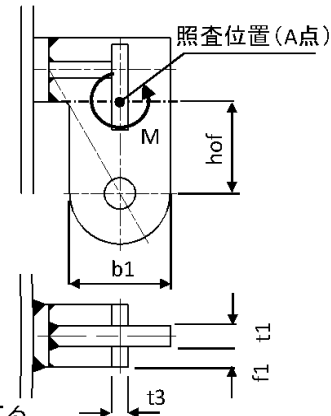
せん断応力度

$\tau = Pv/A$ (N/mm²) $< \tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$ であることを確認する

合成応力度

合成応力度は、下式を満たさなければならない。

$$(\sigma / \sigma_y)^2 + (\tau_s / \tau_y)^2 \leq 1.2$$



4. 鉛直断面（B点）の照査

1) o点の断面力

曲げモーメント

$M = Mb - Ph \cdot h3$ (kN・m)

2) 照査位置（B点）の断面力

曲げモーメント

$Mb = Ma - Pv \cdot b3$ (kN・m)

3) 断面諸元

断面積 $Aw = t1 \times a1$ (mm²)

$A = Aw + t2 \times f1 \times 2$ (mm²)

断面二次モーメント $I = (t1 \times a1^3 + f1 \times 2 \times t2^3) / 12$ (mm⁴)

断面係数 $Z = I/y$ (mm³)

4) 応力度

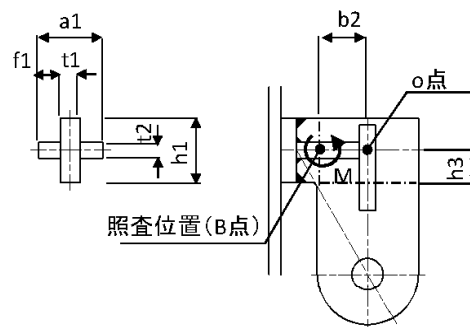
曲げ応力度 $\sigma = Pv/A + M/Z$ (N/mm²) $< \sigma_y$ であることを確認する。

せん断応力度 $\tau = Pv/Aw$ (N/mm²) $< \tau_a$ であることを確認する。

合成応力度

合成応力度は、下式を満たさなければならない。

$$(\sigma / \sigma_y)^2 + (\tau_s / \tau_y)^2 \leq 1.2$$

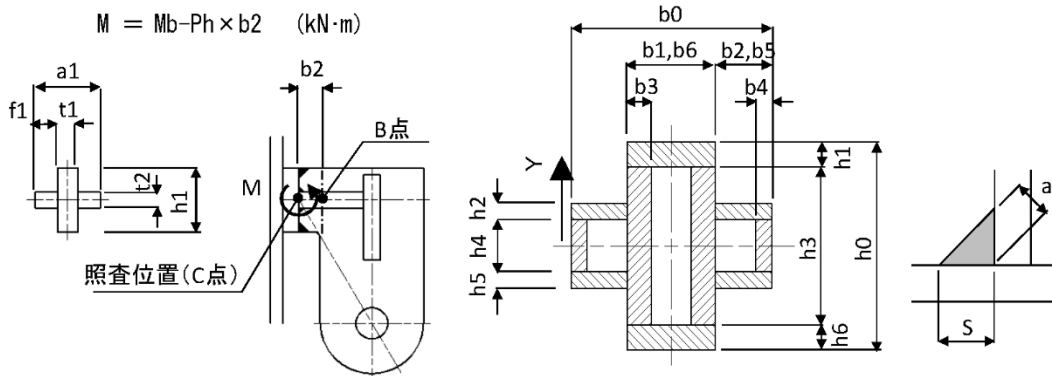


5. 剛プレート取付部（C点）の照査

1) 照査位置（C点）の断面力

曲げモーメント

$$M = Mb - Ph \times b2 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$



2) 溶接断面の断面性能の算出

上図の様に溶接箇所を分割し、断面二次モーメント、断面性能を算出する。

横リブ（すみ肉溶接）

すみ肉溶接のサイズは、道路橋示方書にならい、以下とする。

$$t1 > S \quad \text{かつ} \quad S \geq \sqrt{2 \cdot t2}$$

$$\text{のど厚} \quad a = S / \sqrt{2}$$

$$I = \sum A Y^2 + \sum I_0 - \sum A \times y1^2 \quad (\text{cm}^4)$$

$$y1 = \sum A Y / A \quad (\text{cm})$$

$$Z = I / y \quad (\text{cm}^3)$$

3) 溶接部の応力度

曲げ応力度

$$\tau b = Ph / A + M / Z \quad (\text{N/mm}^2) < \tau_y \quad \text{であることを確認する。}$$

せん断応力度

$$\tau s = Pv / A \quad (\text{N/mm}^2) < \tau_y \quad \text{であることを確認する。}$$

合成応力度

溶接部に生じる合成応力度は、下式を満たさなければならない。

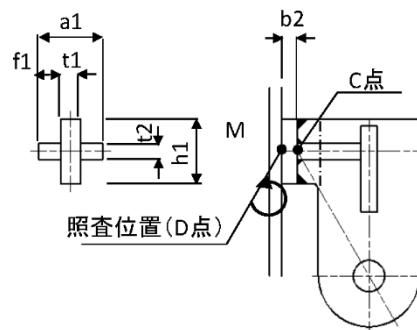
$$(\tau b / \tau_y)^2 + (\tau s / \tau_y)^2 \leq 1. \quad \text{すみ肉溶接}$$

6. ベースプレート取付部（D点）の照査

1) 照査位置（D点）の断面力

曲げモーメント

$$M = Mb - Ph \cdot b2 \quad (\text{kN} \cdot \text{m})$$

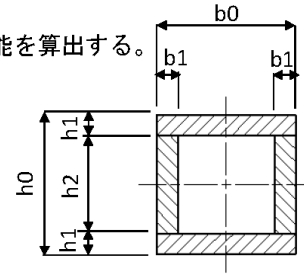


2) 溶接断面の断面性能の算出

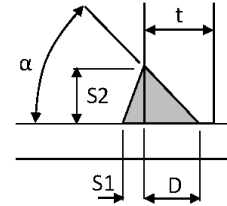
右図の様に溶接箇所を分割し、断面二次モーメント、断面性能を算出する。

縦リブ（部分溶込み開先溶接）

角度 : α (°)
 開先 : D (mm)
 隅肉 : $S1$ (mm)
 開先高さ : $S2$ (mm)
 のど厚 : $Te = \{(D+S1) \times \sin(\tan^{-1}(S2/S1))\} - 3$ (mm)



$$\begin{aligned}
 I &= \sum A Y^2 + \sum I_0 - \sum A \times y1^2 \quad (\text{cm}^4) \\
 y1 &= \sum A Y / A \quad (\text{cm}) \\
 Z &= I / y \quad (\text{cm}^3)
 \end{aligned}$$



3) 応力度

曲げ応力度

$$\tau b = Ph/A + M/Z \quad (\text{N/mm}^2) < \tau_a \text{ であることを確認する。}$$

せん断応力度

$$\tau s = Pv/A \quad (\text{N/mm}^2) < \tau_a \text{ であることを確認する。}$$

合成応力度

溶接部に生じる合成応力度は、下式を満たさなければならない。

$$(\tau b / \tau_y)^2 + (\tau s / \tau_y)^2 \leq 1. \text{ すみ肉溶接}$$

7. アイ部

道路橋示方書にならい、下記を満たすことを確認する。

ピン孔を通る横断面における引張部材の純断面積(a-a)は、計算上必要な純断面積の140%以上、
 引張部材のピン孔背後における純断面積(b-b)は、計算上必要な純断面積の100%以上とす

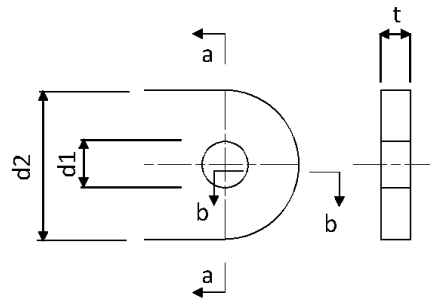
必要断面積

$$Aa = Tw / \sigma_y \quad (\text{mm}^2)$$

各断面にて断面積と必要断面積の比を確認する。

a-a 断面 $A/Aa > 140\%$ であることを確認

b-b 断面 $A/Aa > 100\%$ であることを確認



8. 参考図

次頁に20kL, 100kL, 500kL級タンクのアイプレートの設計図面例を示す。

