

水理模型実験の結果について（その2）



【共通事項】CFRPの施工環境及び樹脂の調合・攪拌

FDMA
住民とともに

施工環境

エポキシ樹脂の含浸不良、硬化不良等の不具合発生を防ぐため、メーカー施工指針に従い、下表のとおり施工環境条件を確認しつつ施工を行った。

施工禁止条件（メーカー施工指針）	施工時の確認方法
気温5℃以下	温室度計
湿度85%以上	湿度度計
雨天時に雨水が施工面にかかる場合	降雨はあったが、建屋内にて施工。
結露の恐れがある場合	目視、指触
コンクリートの表面含水率が8%を超える	コンクリート・モルタル水分計



温湿度計



コンクリート・モルタル水分計

樹脂の調合

【材料】

- ・主剤（プライマー、樹脂、不陸修正用パテ）、
- ・硬化剤（主剤に対して専用のもの）

【道具】

- ・重量計、・攪拌用容器、・電動攪拌器具、・ストップウォッチ

【工程】

- ①重量計を用いて、主剤と硬化剤をメーカー指定の重量比（2：1）で攪拌用容器に移した。
- ②電動攪拌機を用いて、均一になるまで攪拌した。（低速で約5分間）
- ③調合後の材料は、メーカー指定の可使用時間以内に使用した。

※留意事項等

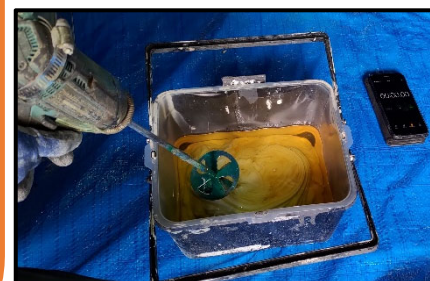
- ・CFRP各メーカーにおいて専用樹脂・硬化剤が指定されている。
- ・可使用時間を超えた材料は廃棄すること。（新たに調合した物を注ぎ足して混合することも不可。）
- ・各工程（プライマー、不陸修正、エポキシ樹脂）が一週間以上経過して次の工程施工がなされる際は、サンドペーパーでの目粗し、アセトン等を含ませたウェスでの清掃を行うことが必要。（各層間での接着性を確保するため。）



電動攪拌機



計量のうえ調査



低速による攪拌



均一になるまで攪拌

対策工法 1 の施工

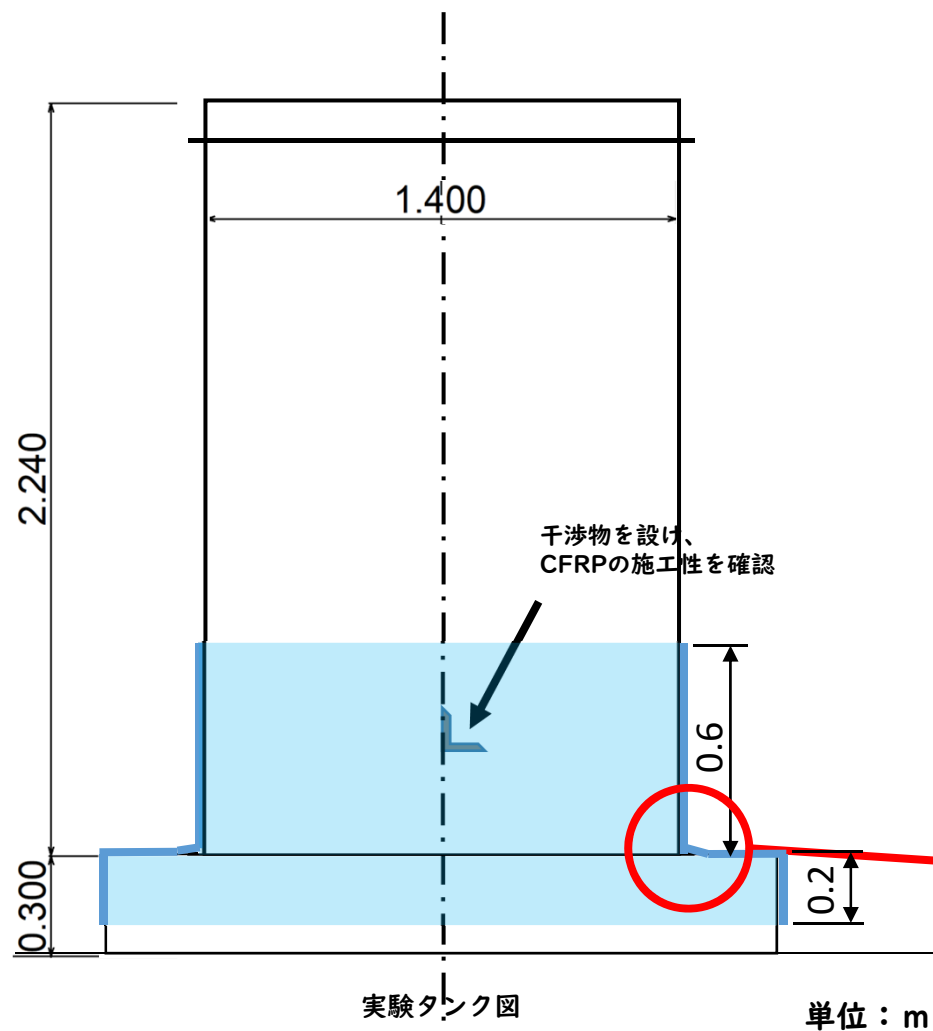


【対策工法Ⅰ】 施工概要

FDMA
住民とともに

対策工法Ⅰ

小規模屋外貯蔵タンクと基礎をCFRPで面的に固定する工法。



水路に設置した実験タンク



外張り出し部に設置するスペーサー



対策工法Ⅰの施工手順の概要について、図Ⅰに示す。

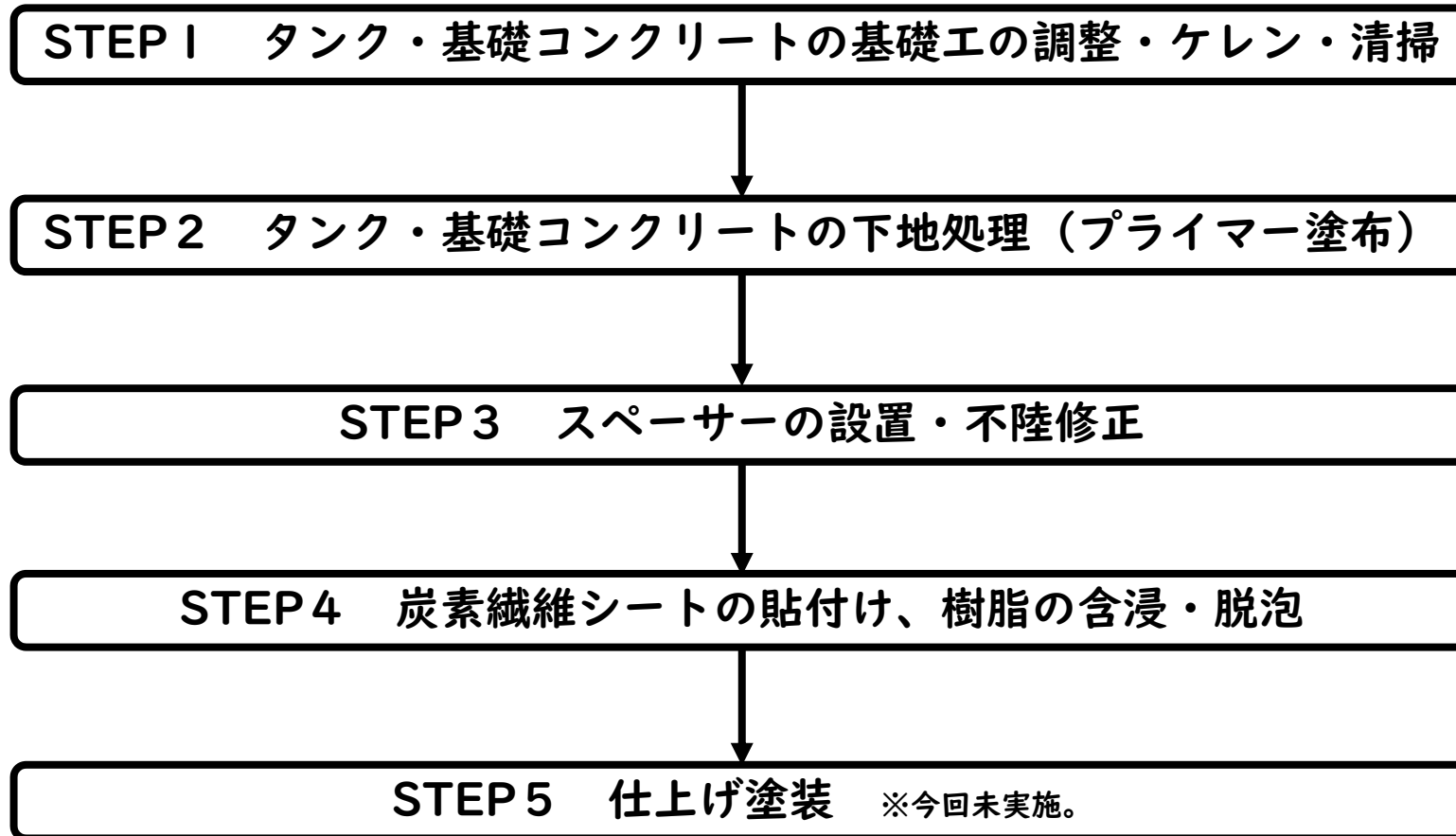


図1 対策工法Ⅰの施工手順



基礎工の調整

実験タンクでは、対策工法Ⅰの施工（CFRPの施工）を考慮した設計・製作をしたため、基礎工の調整は行っていない。既設タンクに実施工する際の留意事項としては、以下の項目が考えられる。

【基礎形状、舗装に応じた調整】

- ①基礎コンクリートの角部については、一定の曲率（R20mm以上）に調整する必要がある。
- ②基礎犬走り部がアスファルト舗装されている場合は、エポキシ樹脂が接着しないため、コンクリートに舗装替える必要がある。

※ただし、盛り土基礎表面に全面アスファルト舗装をしているようなタンクには本工法は適用できない。（コンクリート舗装としても固定効果が期待できない。）

【基礎の不具合に応じた調整】

- ①幅0.3mm以上のひび割れ：エポキシ樹脂を注入する。
- ②モルタルの浮き：除去のうえ、ポリマーセメントモルタル又はエポキシ樹脂モルタルで断面修復する。
- ③ジャンカ※、欠損部は、ポリマーセメントモルタル又はエポキシ樹脂モルタルで断面修復する。
※ジャンカとは、コンクリート構造物の表面に砂利が凝集・露出している部分のこと
- ④鉄筋の露出がある場合は、断面修復前に鉄筋に防錆処置を行うこと。



基礎コンクリートの角部



基礎のひび割れ、欠損



ケレン

【道具】

- ・電動サンダー

【工程】

- ①電動サンダーを用いて、タンク鋼板部のケレンを実施した。

※実験タンクは黒皮がほとんど残るケレン程度で行った。（3種ケレン相当）
なお、CFRPの接着強度を考慮した鋼板のケレン程度については、現在、
繊維補修補強協会で協議がなされているところ。

- ②電動サンダーを用いて基礎コンクリート部のケレンを実施した。

※留意事項等

- ・タンク鋼板のケレン作業においては火花が生じる事が分かった。
- ・既設タンクをケレンする場合、側板内面に深い腐食が存在した場合、ケレン程度によっては側板が開孔するおそれがある。
- ・コンクリート部は、レイタンス※、離型剤、風化部、剥離モルタル、塗装等を十分除去すること。

※レイタンスとは、石灰石よりなる微粒子や骨材の微粒分が、水とともにコンクリートの上面に上昇して堆積した、多孔質で脆弱な泥膜層。



タンク鋼板部のケレン



基礎コンクリートのケレン



ケレン後のタンク

清掃

【道具】

- ・ブロワー、・ウェス、・アセトン

【工程】

- ①ブロワーを用いて、粉塵の除去を行った。
- ②アセトンをしみこませたウェスを用いて、拭き取り、脱脂作業を行った。



ウェスによる脱脂



【対策工法Ⅰ】 STEP2 下地処理（プライマー塗布）

FDMA
住民とともに

プライマー塗布

【材料】

- ・プライマー主剤、・硬化剤

【道具】

- ・攪拌容器、・重量計、・攪拌工具
- ・ローラー、・ハケ

【工程】

- ①プライマー主剤と硬化剤を規定量（重量比2：1）で攪拌調合した。
- ②ローラー、ハケを用いて、CFRP施工範囲全体（底板外張り出し部＝スペーサー設置部分も含む。）に塗布した。
- ③指触乾燥が確認されるまで養生を行った。

※留意事項等

- ・ダレ等が段差となりCFRPの接着性に影響することもあることから、均一にムラ無く塗布することに留意した。



プライマー主剤(左)と硬化剤(右)



攪拌調合状況



ローラーによるプライマー塗布



指触による乾燥確認



プライマー塗布後のタンク



【対策工法Ⅰ】 STEP 3 スパースターの設置・不陸修正

FDMA
住民とともに

スパースター設置

【材料】

- ・発泡スチロール板、・発泡スチロール用接着剤

【道具】

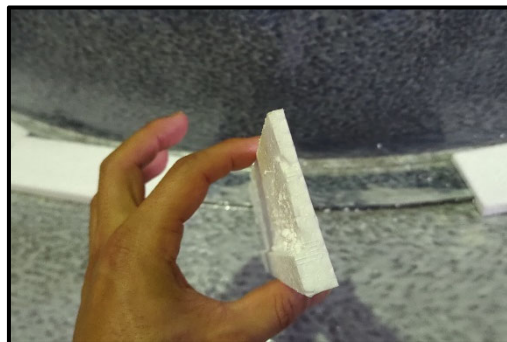
- ・カッターナイフ、・定規

【工程】

- ①カッターナイフを用いて、外張り出しの形状に合わせて発泡スチロール板を整形した。
- ②外張り出し部に発泡スチロール用接着剤を塗布し、発泡スチロール板を全周に接着した。

※留意事項等

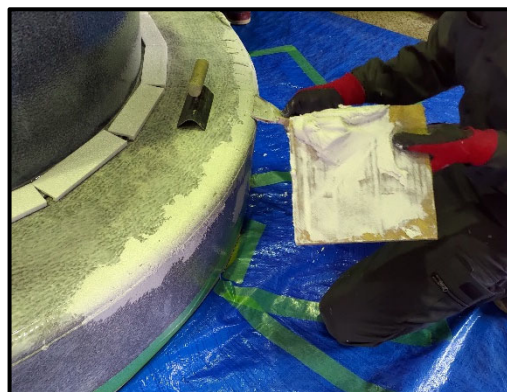
- ・接着材に替えて両面テープでも可



整形した発泡スチロール板



発泡スチロール板を接着



基礎角部の不陸修正



不陸修正用パテ(右)と硬化剤(左)

不陸修正

【材料】

- ・不陸修正用パテ、・硬化剤

【道具】

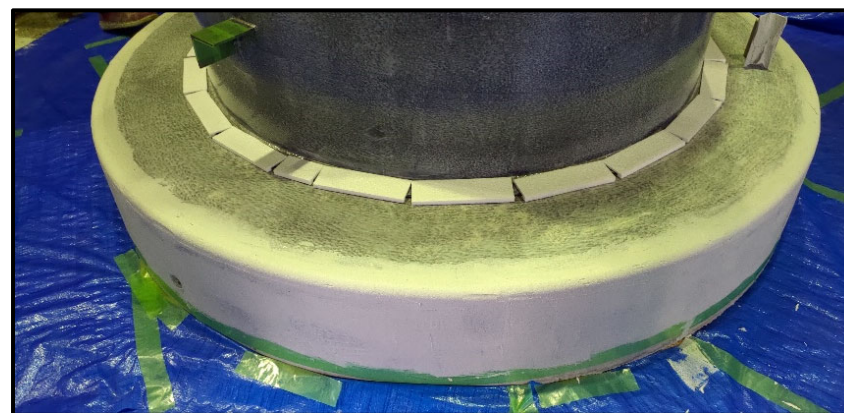
- ・攪拌容器、・重量計、・攪拌工具
- ・ヘラ、・コテ

【工程】

- ①不陸修正用パテと硬化剤を規定量（重量比 2：1）で攪拌調合した。
- ②ヘラ、コテを用いて、基礎角部を中心にパテを盛り、段差をなめらかにした。
- ③指触乾燥が確認されるまで養生を行った。

※留意事項等

- ・CFRPの接着性を高めるため、本工程で段差を 1mm以内に調整すること。



スパースター設置、不陸修正後のタンク



【対策工法Ⅰ】 STEP 4 炭素繊維シートの貼付け、樹脂の含浸・脱泡

FDMA
住民とともに

CFRP施工

【材料】

- ・炭素繊維シート（高強度型、 $200\text{g}/\text{m}^2$ ）、・エポキシ樹脂主剤、・硬化剤

【道具】

- ・定規、・カッターナイフ、・ハサミ
- ・攪拌容器、・重量計、・攪拌工具
- ・ローラー、・ハケ、・脱泡ローラー、・ヘラ

【一層目（繊維方向は鉛直方向）工程】

- ①定規とカッターナイフを用いて、炭素繊維シートを必要長さで裁断した。
- ②エポキシ樹脂主剤と硬化剤を規定量（重量比2：1）で攪拌調合した。
- ③ローラー、ハケを用いて、施工範囲にシート貼り付け前のエポキシ樹脂下塗りをした。
- ④下塗り後、炭素繊維が鉛直方向となるようシートを貼付けた。
- ⑤ローラーを用いて、貼付けたシートの上から樹脂を塗布した。
- ⑥脱泡ローラーを用いて、含浸及び脱泡作業を行った。

【二層目（繊維方向は円周方向）工程】

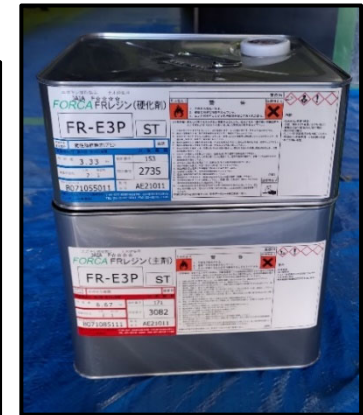
- ※①～②は一層目と同様。
- ③炭素繊維が円周方向となるようシートを貼付けた。
- ※④～⑥は一層目と同様。
- ⑦二層目積層後、完全硬化するまで養生を行った。

※留意事項等

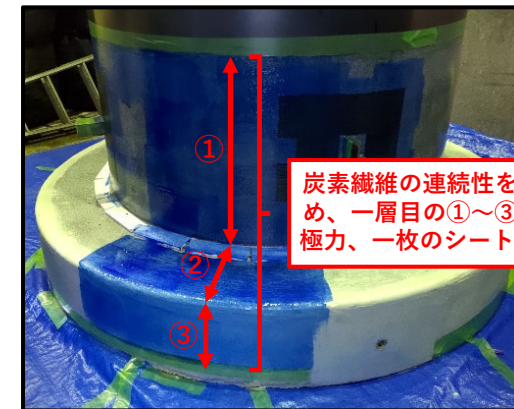
- ・一層目のシートの裁断は、極力鉛直方向の施工範囲を一枚のシートでカバーできる長さで裁断すること。
- ・やむを得ず鉛直方向にシートを継ぎ足す場合は、シート相互の重ね代を200mm以上とすること。
- ・シート貼り付け時、障害物がある場合は、極力繊維の連続性が損なわれることのないよう、最小限の範囲でハサミで切り込みを入れて施工することが望ましい。
- ・一層目積層後は、樹脂の含浸・なじみのため、二層目積層までの間は最低30分以上放置すること。
- ・二層目のシート貼り付け時、円周方向にシートを継ぎ足す場合は、シート相互の重ね代を200mm以上とすること。
- ・含浸不良の無いよう脱泡ローラーによる作業は念入りに行うこと。
- ・脱泡ローラーの入らない狭隙部は、ヘラを用いて含浸・脱泡作業を行い、シート端部に浮きが生じないように施工すること。



炭素繊維シート裁断



エポキシ樹脂主剤(下)と硬化剤(上)



エポキシ樹脂下塗り

障害物をまたぐ場合は、部分的に切り込みを入れる。



炭素繊維シート貼付け（一層目）



炭素繊維シート貼付け（二層目）

対策工法 2 の施工

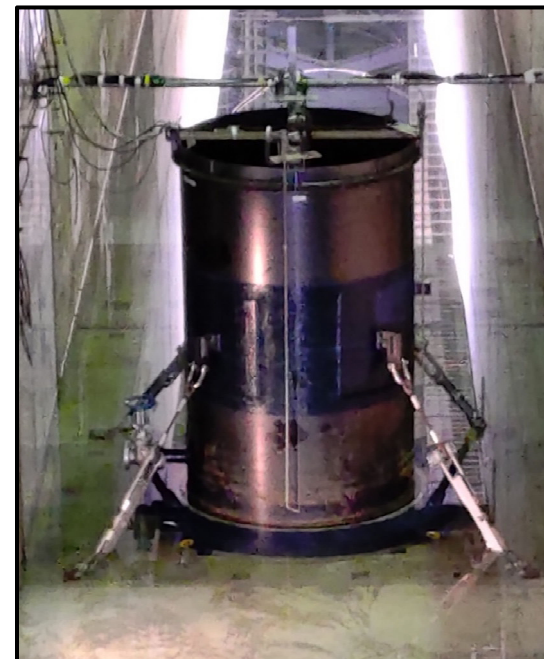
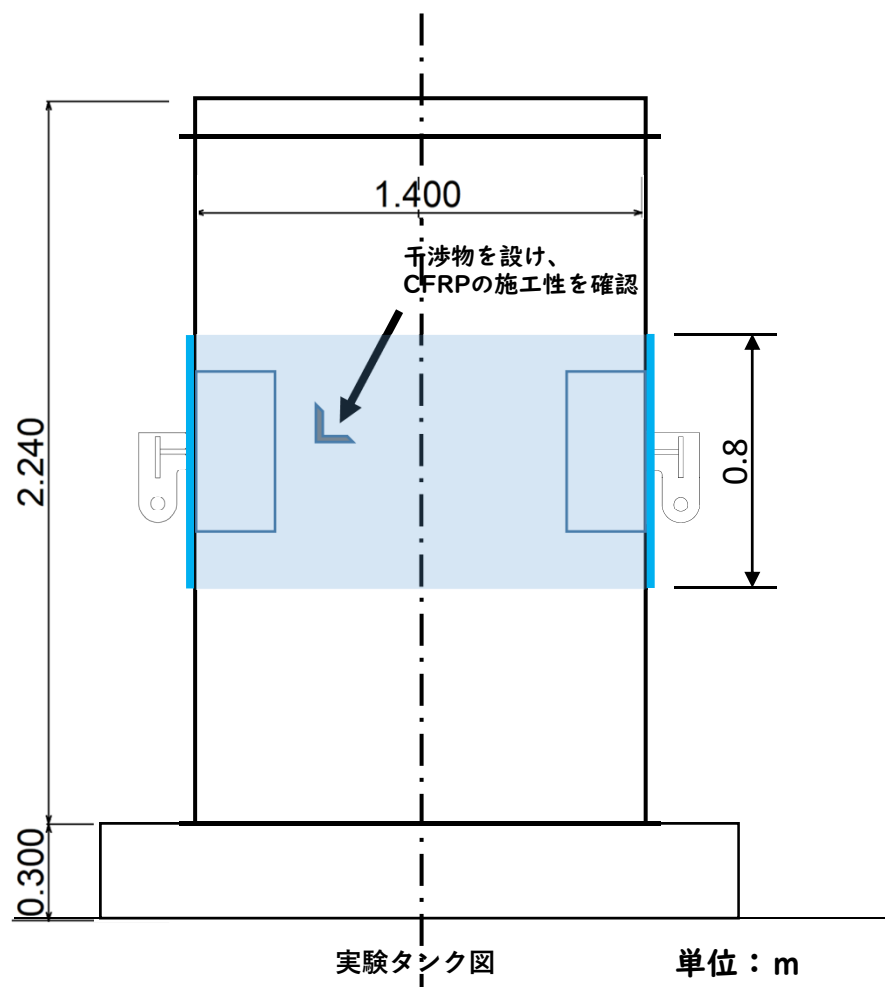


【対策工法2】 施工概要

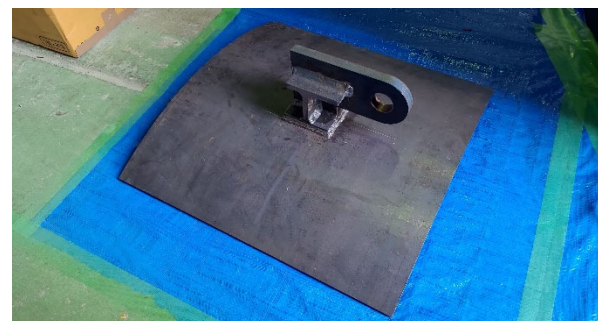
FDMA
住民とともに

対策工法2

タンクの側板の高さ方向中間部にワイヤー接続用のアイを溶接したプレートをCFRPで固定し、防油堤内に設けられたグラウンドアンカーとアイをワイヤーで緊結し、固定する工法。



水路に設置した実験タンク



アイプレート



対策工法2の施工手順の概要について、図2に示す。

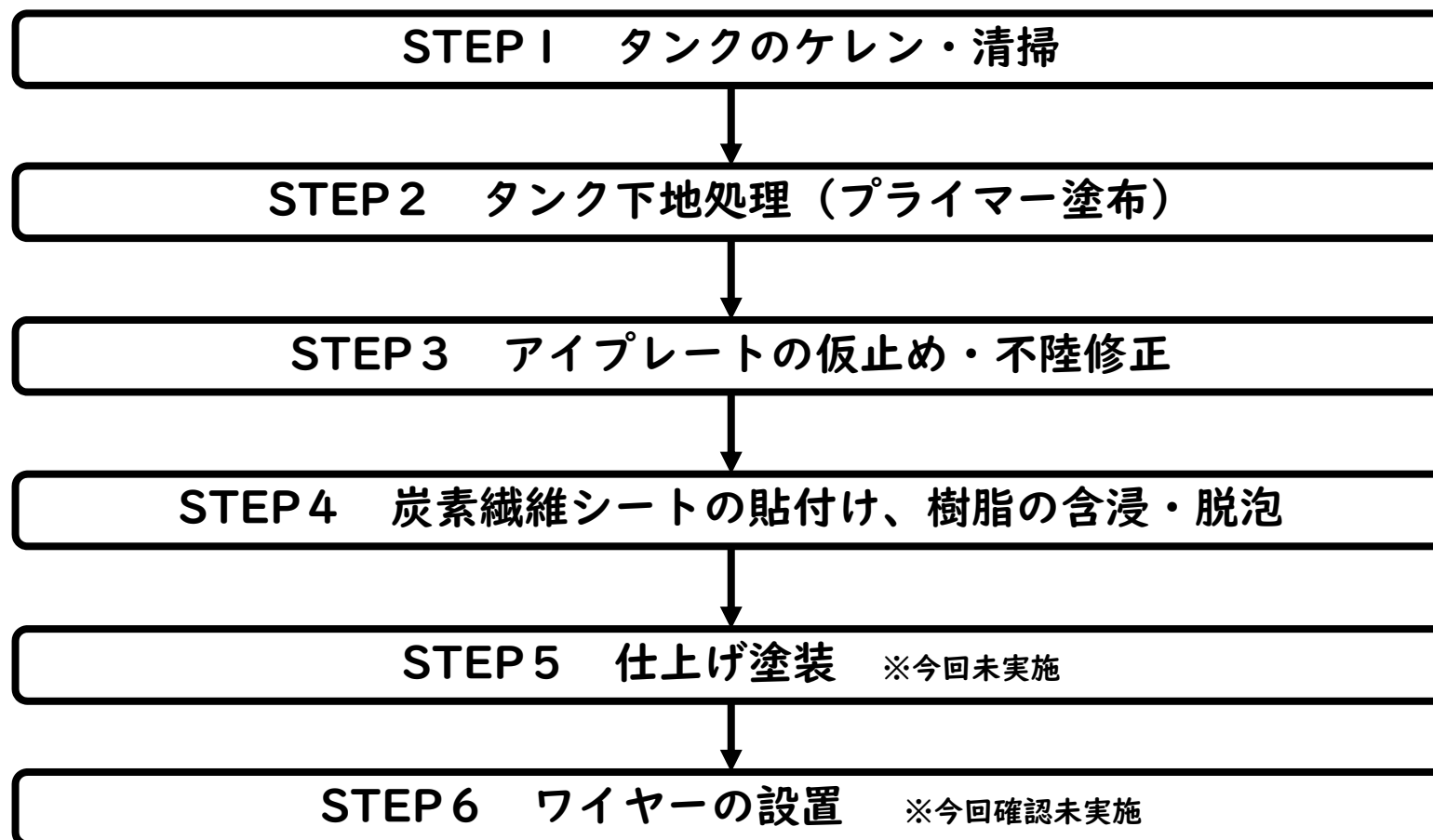


図2 対策工法2の施工手順



ケレン

【道具】

- ・電動サンダー

【工程】

電動サンダーを用いてタンク鋼板部のケレンを実施した。

※実験タンクは黒皮がほとんど残るケレン程度で行った。（3種ケレン相当）

なお、CFRPの接着強度を考慮した鋼板のケレン程度については、現在繊維補修補強協会で協議がなされているところ。

※留意事項等

- ・タンク鋼板のケレン作業においては火花が生じる事が分かった。
- ・既設タンクをケレンする場合、側板内面に深い腐食が存在した場合、ケレン程度によっては側板が開孔するおそれがある。



タンク鋼板部のケレン

清掃

【道具】

- ・ブロワー、・ウェス、・アセトン

【工程】

- ①ブロワーを用いて、粉塵の除去後を行った。
- ②アセトンを染み込ませたウェスを用いて、拭き取り・脱脂作業を行った。



アセトンを染み込ませたウェスによる脱脂



【対策工法2】 STEP2 下地処理（プライマー塗布）

FDMA
住民とともに

プライマー塗布

【材料】

- ・プライマー主剤、・硬化剤

【道具】

- ・攪拌容器、・重量計、・攪拌工具
- ・ローラー、・ハケ

【工程】

- ①プライマー主剤と硬化剤を規定量（重量比2：1）で攪拌調合した。
- ②ローラー、ハケを用いて、CFRP施工範囲全体（アイプレート取付け部も含む。）に塗布した。
- ③指触乾燥が確認されるまで養生した。

※留意事項等

- ・アイプレート裏面側（タンクと接する側）についても、防錆処置としてプライマーを塗布した。
- ・ダレ等が段差となりCFRPの接着性に影響することもあることから、均一にムラ無く塗布することに留意した。



プライマー主剤(左)と硬化剤(右)



攪拌調合状況



ローラーによるプライマー塗布



アイプレート裏側へのプライマー塗布



指触による乾燥確認



プライマー塗布後のタンク



【対策工法2】 STEP3 アイプレートの仮止め・不陸修正

FDMA
住民とともに

アイプレート仮止め

【材料】

- ・発泡スチロール板、・強力接着剤（二液タイプ）

【道具】

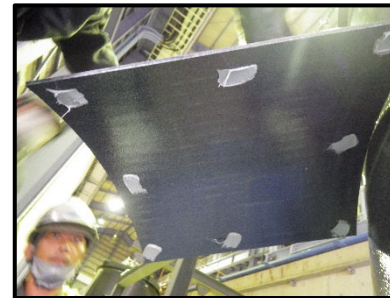
- ・ワイヤー、・ターンバックル、・固定バンド

【工程】

- ①ワイヤー、ターンバックルを用いてアイプレートをタンクに吊した。
- ②アイプレート裏面に強力接着剤を点付けし、側板に仮付けた。
- ③接着面が離れないよう、固定バンドで固定し、接着材の強度が得られるとされる時間まで養生を行った。

※留意事項等

- ・安全上の観点からタンク上部の吊り金具を使いワイヤー及びターンバックルでアイプレートを吊るしたが、既設タンクに施工する場合の仮止め方法はタンク毎に検討する必要がある。
- ・高さのあるタンクに施工する場合は、足場を設ける必要がある。



アイプレート裏面の接着剤



不陸修正用パテ(右)と硬化剤(左)



アイプレート吊下げと
固定バンド養生

不陸修正

【材料】

- ・不陸修正用パテ、・硬化剤

【道具】

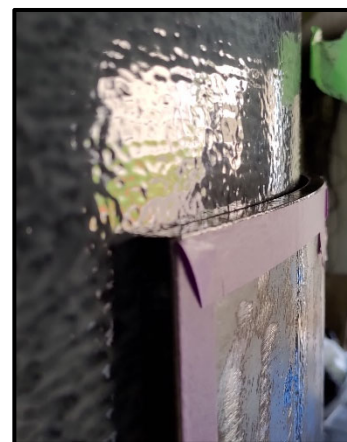
- ・攪拌容器、・重量計、・攪拌工具、・ヘラ、・コテ

【工程】

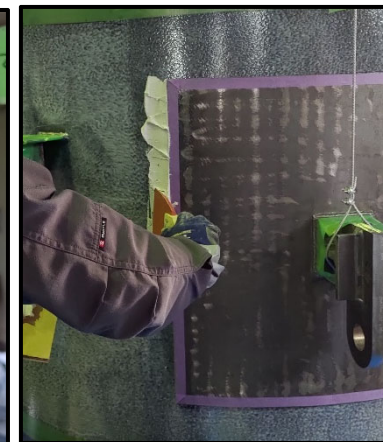
- ①不陸修正用パテと硬化剤を規定量（重量比2：1）で攪拌調合した。
- ②ヘラを用いて、アイプレート外縁と側板との段差にパテを盛り、当該段差をなめらかにした。
- ③指触乾燥が確認されるまで養生を行った。

※留意事項等

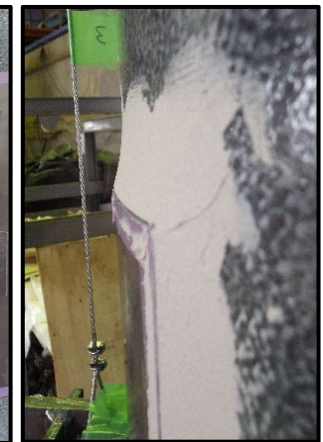
- ・CFRPの接着性を高めるため、本工程で段差を1mm以内に調整すること。



不陸修正前の段差



アイプレート外縁不陸修正



不陸修正（段差解消）



【対策工法2】 STEP 4 炭素繊維シートの貼付け、樹脂の含浸・脱泡

FDMA
住民とともに

CFRP施工

【材料】

- ・炭素繊維シート（高強度型、200g/m²）、・エポキシ樹脂主剤、・硬化剤

【道具】

- ・定規、・カッターナイフ、・ハサミ
- ・攪拌容器、・重量計、・攪拌工具
- ・ローラー、・ハケ、・脱泡ローラー、・ヘラ

【CFRP積層（繊維方向は円周方向）工程】

- ①定規とカッターナイフを用いて、炭素繊維シートを必要長さで裁断した。
- ②エポキシ樹脂主剤と硬化剤を規定量（重量比2：1）で攪拌調合した。
- ③ローラー、ハケを用いて、施工範囲にシート貼り付け前のエポキシ樹脂を下塗りをした。
- ④アイプレート上のアイ取付け部は、断面保証として周囲に井桁状にシートを貼付け、樹脂を含浸させた。
- ④その他の施工範囲には、炭素繊維が円周方向となるようシートを貼付けた。
- ⑤ローラーを用いて、貼付けたシートの上から樹脂を塗布した。
- ⑥脱泡ローラーを用いて、含浸及び脱泡作業を行った。
- ⑦完全硬化まで養生を行った。

※留意事項等

- ・シート貼り付け時、障害物がある場合は、極力繊維の連続性が損なわれることのないよう、最小限の範囲でハサミで切り込みを入れて施工すること。
- ・二層目のシート貼り付け時、円周方向にシートを継ぎ足す場合は、シート相互の重ね代を200mm以上とすること。
- ・含浸不良の無いよう脱泡ローラーによる作業は念入りに行うこと。
- ・脱泡ローラーの入らない狭隘部は、ヘラを用いて含浸・脱法作業を行い、シート端部に浮きが生じないように施工すること。



炭素繊維シート裁断



エポキシ樹脂主剤(右)と硬化剤(上)



エポキシ樹脂下塗り



炭素繊維シート貼付け

アイ取付け部は井桁状にシートを貼付け補強



アイプレート部の作業



樹脂の塗布



含浸・脱泡作業

付属品対策の施工



津波や氾濫流の波圧等からタンク付属品の破損を防ぐことを目的として、実験タンクに設けたノズル及びその周辺部に対し、CFRPを施工する事による補強を行った。

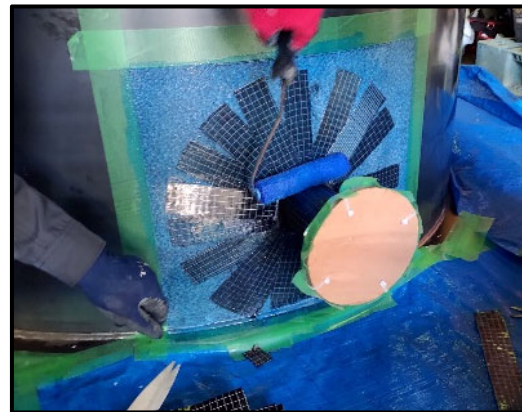
※CFRPの施工手順等については対策工法1及び2を参照。

※漂流物の衝突に対する耐衝撃性等は考慮していない。

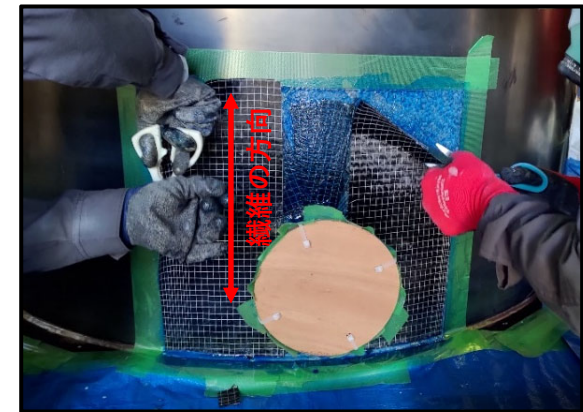
ノズル及びその周辺部の施工例

【工程】

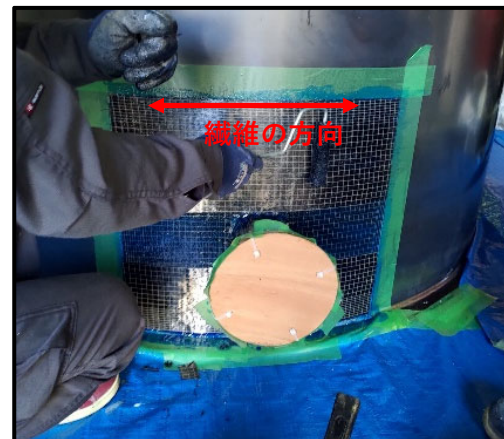
- ①ノズルネック部から側板方向に放射線状にシートを貼付け、樹脂を含浸させる。
- ②側板のノズル周辺部に繊維方向が鉛直方向となるようシートを貼付け、樹脂を含浸させる。
- ③同じ位置に繊維方向が円周方向となるようシートを貼付け、樹脂を含浸させる。
- ④ノズルネックにシートを巻き付け、樹脂を含浸させる。



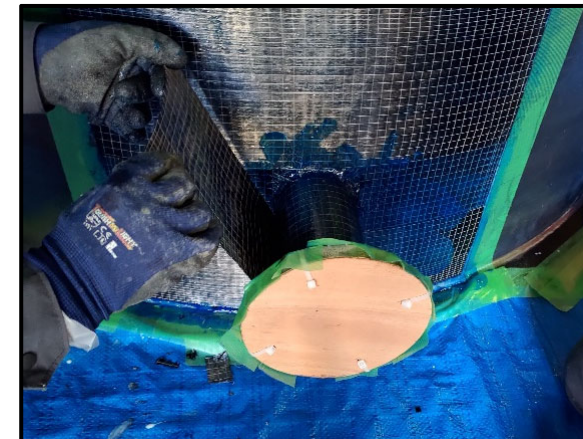
①ノズルネック部から放射状にシート貼付け



②鉛直方向に炭素繊維シート貼付け



③円周方向にシート貼付け



④ノズルネックにシート巻き付け