

## 静電容量による FRP 耐食機器の非破壊劣化診断技術

技術開発研究所 杉本 健一

### 1. はじめに

FRP はその優れた耐食性により各種薬液タンクやポンプ、送風機などに用いられているが、長期の使用中に緩やかに進行する FRP の劣化状況を的確に把握、管理することは容易でない。現状では JIS K7012 ガラス強化プラスチック製耐食貯槽に代表される規格に準拠し、外観目視やバーコル硬度などによる定期検査が実施されているが、内容液をすべて除去した後に洗浄して抜気するなどの段取りが必要であり、気軽に実施できる内容とはいえない。目視による判定は信ぴょう性が高い一方で熟練度と専門性が求められる。また、近年では数値的な指標を求められる場面も少なくないが、定性的な評価に留まっていることも課題である。

本報では、浸透性を示す薬品の代表でもある塩酸について、その浸透量を静電容量の測定により定量化した。この浸透量と力学強度を関連させることにより、静電容量から力学強度を非破壊的に診断する技術について紹介する。

### 2. 静電容量と測定原理

静電容量とは電場内の絶縁体に貯蔵できる電荷量を指す。静電容量は絶縁体の誘電率(比誘電率)に応じて変化する。表 1 に示すように、比誘電率は物質固有の定数である。例えば、ガラス繊維とプラスチックから成る FRP の比誘電率は 4~5 であるのに対して、液体の水は 80 である。したがって、水の有無によって静電容量は劇的に変動することになる。

表 1 比誘電率

物質	比誘電率	物質	比誘電率
真空	1.0	メタノール	33.0
FRP	4.2~5.0	水	80.0
エタノール	24.0	二酸化チタン	100

図 1 に本手法の概念図を示す。FRP の表面に接触した浸透性薬品は、その接触面から FRP 内部へと浸透していく。例えば塩酸は塩化水素ガスの水溶液であり、FRP 内部には水成分も同時に浸透していく。一切の浸透のない新品時の FRP の静電容量は、FRP 単体の数値として示されるが、塩酸が浸透した場合は高誘電率の水の存在により FRP 単体よりも高い数値を示す。浸透が大きいほど静電容量も大きくなり、同時に劣化が進行するために力学強度は低下する。このように、浸透量に応じて変化する静電容量と力学強度を関連付けることにより、劣化度合いを推定するのが本手法の原理である。

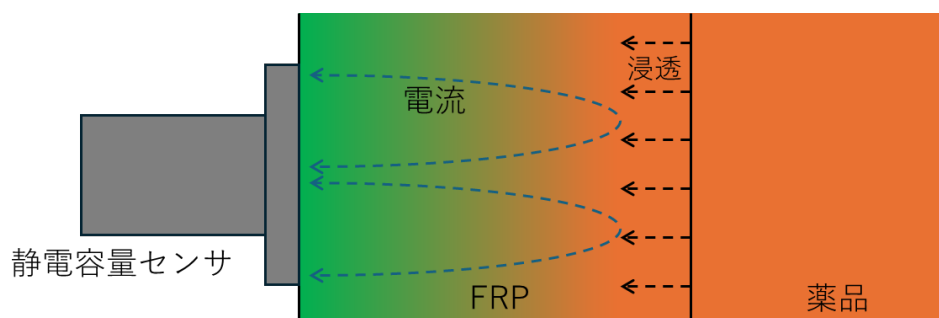


図1 静電容量劣化診断の概念図

### 3. 静電容量のセンサ(電極)

図2にセンサ(電極)の外観写真と断面の模式図を示す。円形の電極には同心円の絶縁部を設けてあり、中心部から外周部、外周部から中心部へと交流電流が流れる構造となっている。この電流の流れる範囲は、電極面から10mm程度であり、この領域内の静電容量が測定される。この領域内に水があれば、静電容量は劇的に増大することになる。

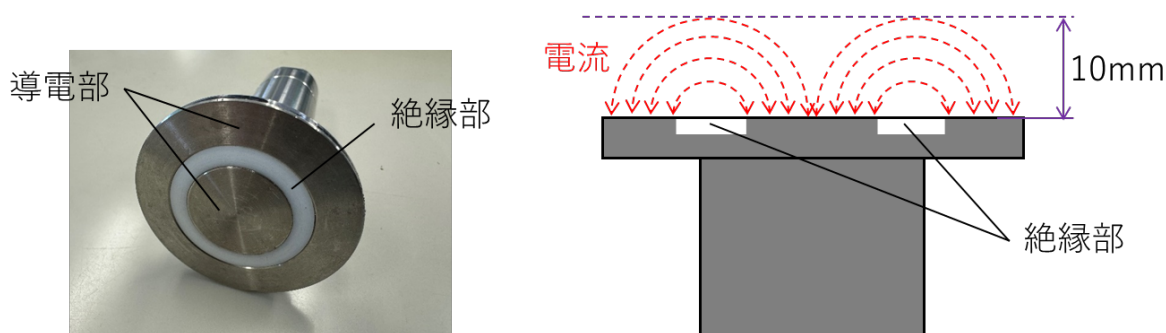


図2 電極の外観写真と測定範囲の模式図

### 4. 浸透距離と浸透率、力学強度

図3はFRPの板厚を変化させた場合の板厚と静電容量の関係およびそれぞれの板厚のFRPに水膜を形成した場合の板厚と静電容量の関係を示す。FRP単体の静電容量は、単純な体積増加にしたがって対数関数的な増加傾向を示し、板厚10mm以上で概ね一定になる。FRP板の上に水膜を形成した場合の静電容量はFRP単体よりも高い値を示し、板厚の増加にしたがって反比例的に減少する。板厚10mm以上でほとんど変化しなくなる。この水膜を形成した場合の板厚と静電容量の関係は、浸透のない新品FRPにおける浸透ゼロ曲線と定義する。

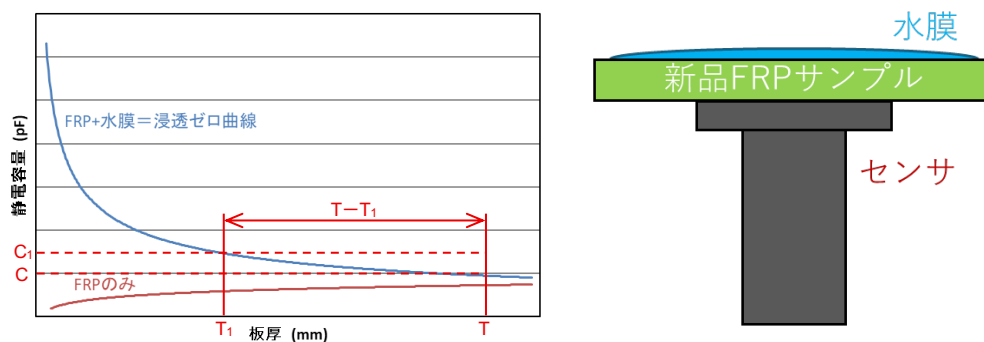


図3 静電容量と板厚の関係

浸透ゼロ曲線において、板厚  $T$  [mm] の FRP の静電容量は  $C$  [pF] である。例えば劣化した FRP における計測値が  $C_1$  [pF] であった場合、浸透ゼロ曲線で  $C_1$  [pF] に対応する板厚  $T_1$  [mm] まで浸透したと考えると、浸透距離は  $(T - T_1)$  [mm] と求められる。したがって、浸透率  $P$  は  $(T - T_1) \div T$  となる。

図 4 は片側面のみが塩酸に暴露した FRP の曲げ強度保持率と浸透率の関係を示す。曲げ強度は浸透率が小さい範囲では変化しないが、大きくなると直線的な低下傾向を示す。この近似直線に浸透率  $P$  を適用すると、曲げ強度保持率は  $A$  と求められる。このようにして、静電容量を測定することによって非破壊的に力学強度が推定できる。

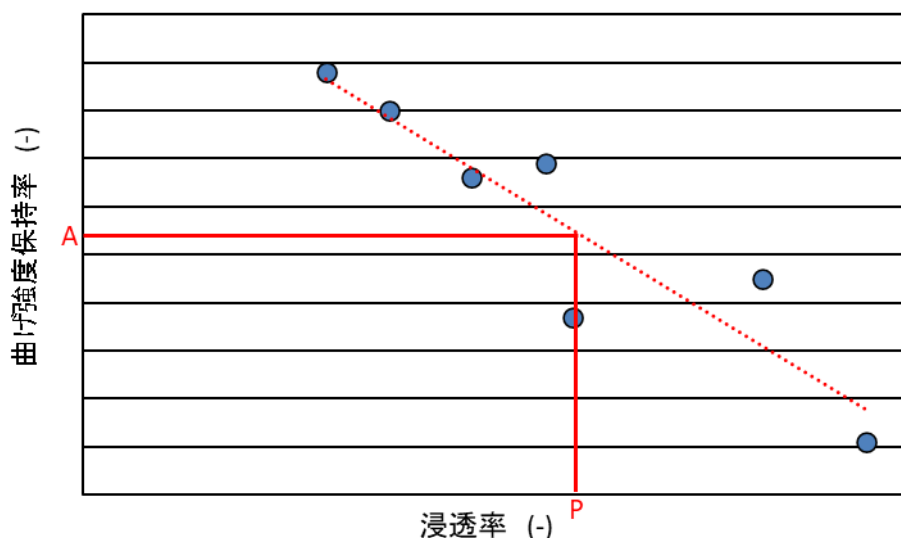


図 4 曲げ強度保持率と浸透率の関係

## 5. 本手法の制限について

本手法は、センサから浸透した水分の先端までの距離を静電容量から求めるため、

○雨天時で表面が濡れている状態

○タンク内の接液面、接ガス面

などにおいては接触させたセンサ面と水との距離がゼロになり、静電容量は理論上無限大に発散するため、濡れた表面に対しては実施できない。また、水溶液の FRP 中への浸透と力学強度との相関性に基づいた診断手法であるため、浸透しない薬液については診断の対象外となる。

## 6. 診断事例 1 : (塩酸タンク)

事例として 2 基の塩酸タンクの診断結果を紹介する(仕様は表 2 参照)。使用年数はいずれも 10 年以下、塩酸濃度はタンク A が 0.5%、タンク B が 35% である。これらのタンクの外側より静電容量と板厚を計測し、浸透率と曲げ強度保持率を算出した。

表 2 塩酸タンク仕様

	塩酸濃度 (%)	製造年	容量 (m <sup>3</sup> )
タンク A	0.5	2016	7
タンク B	35	2015	15

図 5 にタンク A、B における静電容量と板厚の関係と浸透ゼロ曲線を示す。プロットがゼロ曲線に近いほど浸透が小さいといえる。塩酸濃度が低いタンク A は全体的にゼロ曲線近傍にプロットされるのに対して、タンク B は多くのプロットがゼロ曲線から離れている。このことより、塩酸濃度が高いタンク B はタンク A よりも浸透が進んでいることがわかる。

図 6 にタンク A、B における浸透率と曲げ強度保持率を示す。浸透率について、タンク A、B の平均でそれぞれ約 0.2、約 0.4 であった。曲げ強度保持率についてはタンク A が 0.97 であり、ほとんど劣化していないのに対して、タンク B は 0.79 であり、2 割の強度低下が劣化として推定された。約 10 年間の使用であり、実際には 20 年以上使用することも珍しくないことを考慮すれば、定期的に診断することで劣化傾向を適切に把握することができると考えられる。

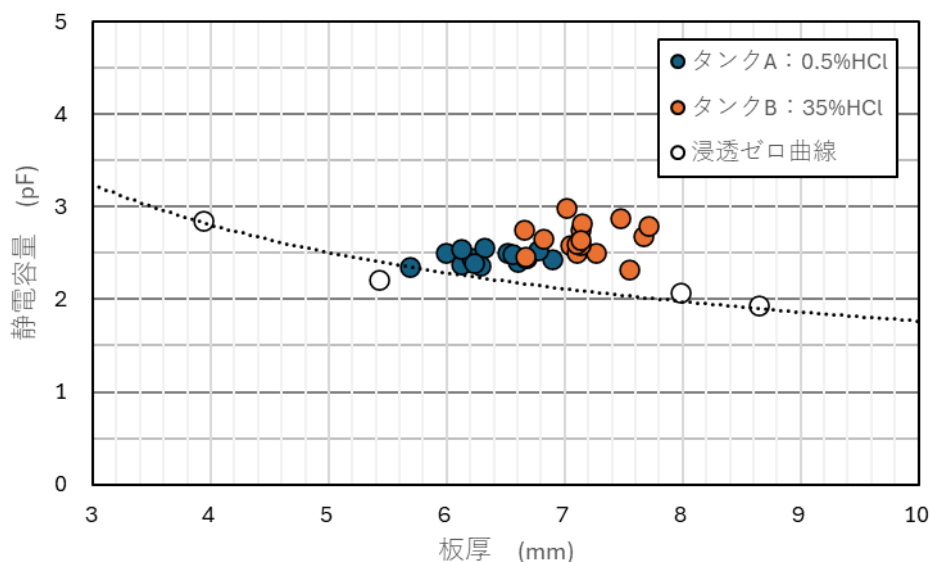


図 5 静電容量と板厚の関係

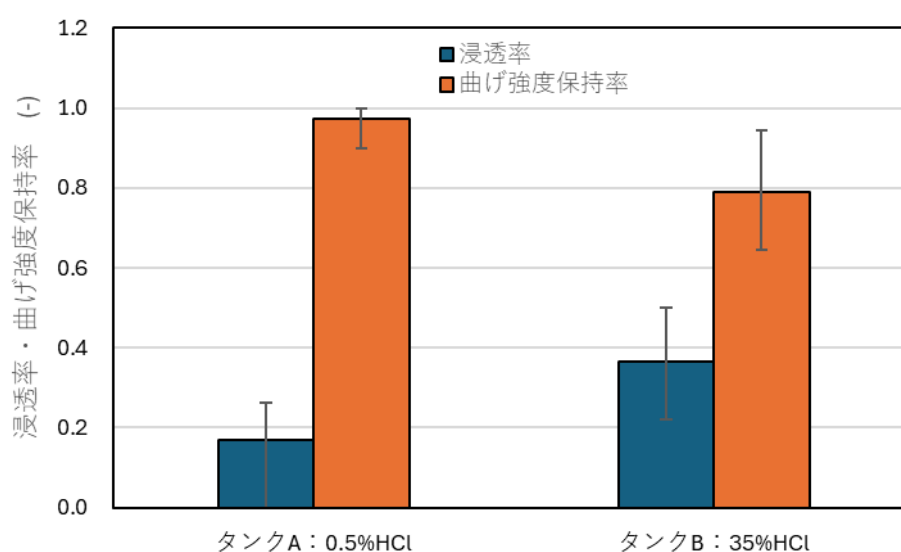


図 6 浸透率と曲げ強度保持率

## 7. 診断事例 2：排ガス処理装置(スクラバー)

別の事例として、弊社製の排ガス処理装置 4 台における診断結果について紹介する。各スクラバーの概要は表 3 に示す通りであり、処理風量  $80\text{m}^3 \sim 160\text{m}^3$ 、不詳であるが酸性ガスを水で希釈して排出している。製造年は最も古いもので 1990 年であり、診断時で 24 年間稼働していた。TRS 型スクラバーの構造はガスを希釈する水タンクの上に塔体を載せ、ポンプでくみ上げた水を塔体上部より散水する(図 7)。送風機で引き入れた排ガスは塔体を通過する際に水と接触し、所定濃度まで希釈されて排出される。

表 3 排ガス処理装置仕様

呼称	A	B	C	D
型式	TRS-B150	TRS-B80	TRS-F150	TRS-HS160
製造年	2000年	1990年	2011年	2018年
処理ガス	酸性ガス	酸性ガス	酸性ガス	酸性ガス

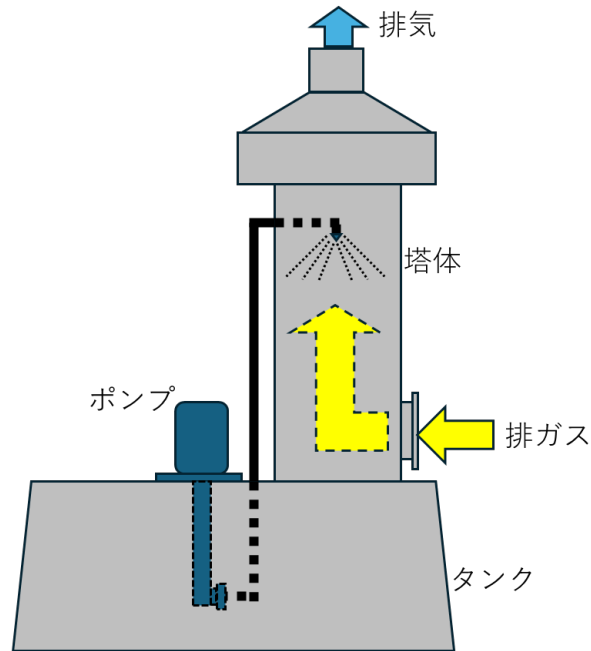


図7 TRS型スクラバーの模式図

図8に各スクラバーの静電容量と板厚の関係を示す。塔体、タンクともに測定しており、静電容量と板厚の範囲を誤差範囲で示した。スクラバーB、C、Dのプロットの浸透ゼロ曲線に近く、浸透が少ないことを示す。スクラバーAについては塔体、タンクともに最も高い静電容量を示した。特に、局所的に極めて高い数値、低い数値を示す箇所が見られたことが他と比べて特徴的である。

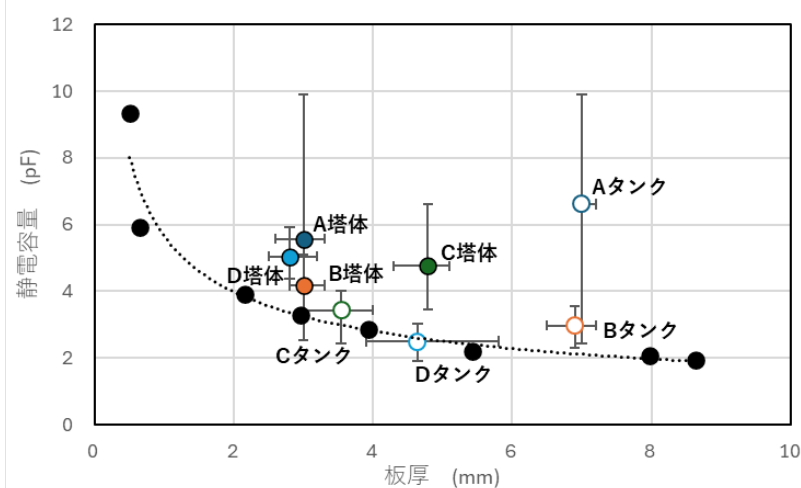


図8 各スクラバーの静電容量と板厚の関係

図9の曲げ強度保持率を示すように、スクラバーAの平均曲げ強度保持率は塔体、タンク共に0.4未満であった。局所的に高い静電容量を示した箇所については0.2未満である。スクラバーBについては

塔体、タンク共に同様の劣化状況とみられ、C や D は塔体の劣化がタンクよりも進んでいるという結果となった。

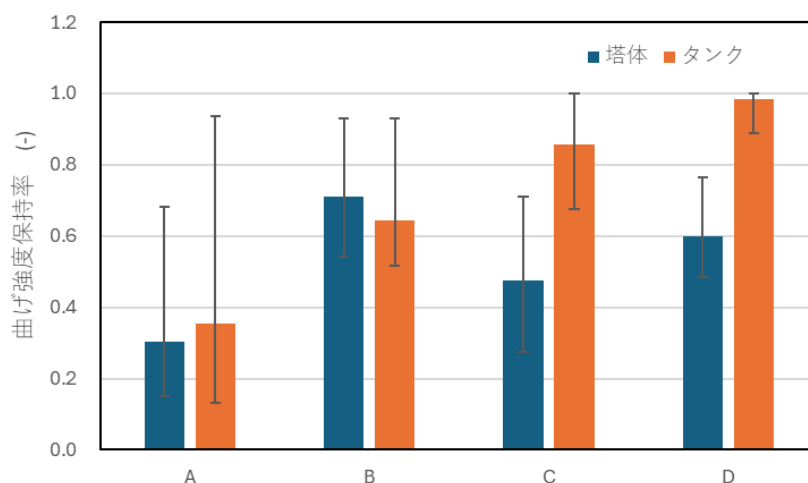


図9 各スクラバーの塔体、タンクの曲げ強度保持率

## 8. おわりに

このように、処理ガスによって劣化の様相や傾向も様々であり、実際に測定してみないとわからないことが多々あることがわかる。基本的に浸透性を示す薬品が診断対象であるが、劣化によって FRP 表面に亀裂を生じることによって、そこから薬液が浸入することによる静電容量の増加も考えられるため、いかなる薬品であっても経年品については試験的に測定してみることも必要と思われる。

経年設備を所持しながらも、劣化状況がわからないために更新できない、更新の優先順位が付けられないというユーザは少なくない。特許の公開から4年が経過しているが、本手法の認知も徐々に広がっており、今後も測定事例を増やして対応可能な薬品や劣化傾向の把握、診断制度の工場などに努めながら課題解決を図ることが肝要である。