

## 使用済み FRP 機器の超音波による劣化検査とその有効性

日大生産工  
東工大

○酒井 哲也  
久保内 昌敏

東工大（院）  
日大生産工

天達 亮  
大野 茂

### 1. はじめに

高度成長期に建設されたプラントは現在、その多くが老朽化しており、経済的事情等から今後、合理的かつ効率的な維持管理が求められる。そのための機器診断手法として、欧米ではリスクに基づいて行う保全検査技術である、Risk Based Inspection (RBI) が用いられ始めている。

この RBI は検査の精度やその信頼性で決められる検査有効度などによって検査手法のリスク評価が行われる。しかし、金属材料においては、例えば応力腐食割れ、水素脆化など各劣化に対し詳細な検査方法、さらには評価方法が述べられているのに対し、有機材料の検査有効度は劣化データ、検査方法そして評価方法が詳細には決められていない。

そこで本研究では、実際に使用され廃棄済みの耐食ガラス繊維強化プラスチック (FRP) 製化学装置の劣化調査研究と、さらに超音波による非破壊検査を行い、得られたデータを基にから検査有効性の評価と、より高い検査有効性を得るための指針を明らかにすることを目的とした。

### 2. 検査有効度の考え方

アメリカ石油協会 American Petroleum Institute (API) Publication 5811 では、データや検査結果から得られた損傷速度と真の損傷速度の比率で、Table 1 に示したように検査の状態を三つに定義しこれを分類している。さらにその出現割合によって、5 段階の検査有効度が分類されており、検査結果の確信度合い、すなわち検査結果が真の損傷状態とどの程度乖離しているかを定量的に分類している (Table 2)。

ここでは、これら考え方にしたがって、超音波検査で得られる測定厚さを、断面観察から得られる真の厚さとの比から損傷状態を求めて、測定したサンプルの損傷状態の確率的な立場から検査有効度を評価した。

Table 1 Definition of damage state.

|                |                                  |
|----------------|----------------------------------|
| Damage State 1 | Predicted rate or less           |
| Damage State 2 | Predicted rate to two times rate |
| Damage State 3 | Two to four times predicted rate |

Table 2 Confidence in damage rate after inspection.

|                   | Damage State 1 | Damage State 2 | Damage State 3 |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| Highly Effective  | 0.90           | 0.09           | 0.01           |
| Usually Effective | 0.70           | 0.20           | 0.10           |
| Fairly Effective  | 0.50           | 0.30           | 0.20           |
| Poorly Effective  | 0.40           | 0.33           | 0.20           |
| Ineffective       | 0.33           | 0.33           | 0.33           |

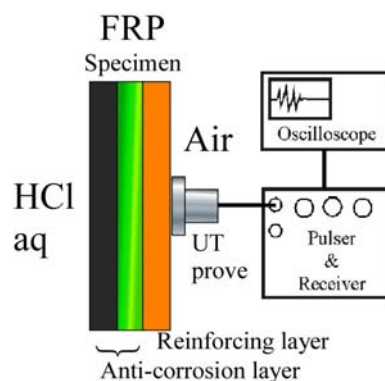


Fig.1 The schematic diagram of measurement of FRP by ultra sound.

### 3. 実験方法

31mass%塩酸環境中で用いられた使用済み耐食 FRP 製薬品貯蔵用タンクより板状の試料

The evaluation and availability of FRP equipment by ultrasonic measurement

Tetsuya SAKAI, Ryo AMADATSU, Masatoshi KUBOUCHI and Shigeru ONO

を採取した。これを Fig. 1 に示すように試験片平面部に大気側から塩酸接液面方向に向かって周波数 1.0MHz の超音波探触子を接触させ、得られた超音波エコーチャートから、試験片内部を透過した超音波音速を求めた。

#### 4. 検討結果

この採取試料断面を観察した結果、接液面から大気側に向かって黒、緑および黄色の三層存在することが確認された。FT-IR により化学的組成を分析した結果、黒い層は塩酸が完全に浸透し化学的劣化（腐食）を生じていた部分（腐食層）であり、緑の層は塩酸の浸入は始まっているものの劣化軽度である層（浸入層）であることが、前述の FT-IR およびエネルギー分散 X 線解析（EDS）により確認された。

これらの結果と超音波エコーチャートを比較した結果、主な反射は腐食層と浸入層の界面で生じていた。これによって得られる音速は、大気側から測定した場合、腐食および塩酸の浸入を生じていない黄色の層と浸入層の両層の厚さとなり、塩酸接液面から測定した場合、腐食層厚さとなる。前者において浸入層の音速は環境液の浸入によって変化する可能性が示唆されたが、今回は前者の測定方法によって得られた音速の評価と未腐食部（緑色の浸入層と黄色の健全層）の厚さについて検討した。

##### 4.1 全サンプルの平均音速を用いた場合

全サンプルについて超音波検査を行うとともにマイクロメータによって真の厚さを測定し、それぞれの厚さとエコー時間から全てのサンプルの未腐食部における音速を算出した。

まずは、求めた全てのサンプルの未腐食部における音速の平均値を算出し、その値を用いてそれぞれの試験片の未腐食部厚さを求めた。その値を実際に計測した真の厚さと比較したものを Fig. 2 に示す。

その結果、平均音速を用いた場合の 3 段階に分類した検査結果の確信度合いは Table 3 に示すような割合であることが得られた。API581 に記載されているこのときの検査有効度（Table 2）と比較した結果、この検査有効度は Usually Effective と推定される。

##### 4.2 ランダム抽出したサンプルの音速を用いた場合

全てのサンプルについて、任意の一箇所の未腐食部における音速のみが求められることを仮定して、全ての場合について腐食層厚さを算出し、求めた確信度合いを Table 4 に示す。Table

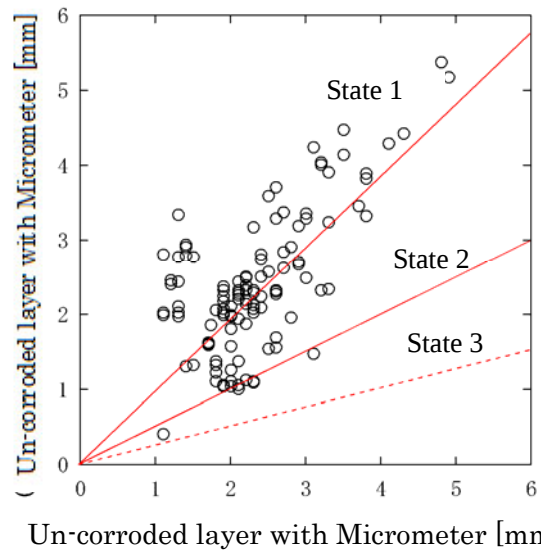


Fig.2 Comparison of ultrasonic thickness and micrometer method in HCl tank.

Table 3 Likelihood that inspection result determines the true damage state of all selected.

| Damage State 1 | Damage State 2 | Damage State 3 |
|----------------|----------------|----------------|
| 0.90           | 0.09           | 0.01           |

Table 4 Likelihood that inspection result determines the true damage state of randomized.

| Damage State 1 | Damage State 2 | Damage State 3 |
|----------------|----------------|----------------|
| 0.55           | 0.35           | 0.10           |

2 と比較した結果、このときの検査有効度は Fairly Effective に近い。したがって、任意の一試料の音速を元に得られる検査結果は、全サンプルを測定し得られた平均音速を用いて求めた厚さに対して検査有効度が 1 ランク小さくなる。

#### 5. 結 論

非破壊検査として超音波検査をとりあげて、耐食 FRP 機器の劣化に伴う未腐食部の測定を行う場合の RBI に用いる検査有効度を検討した。その結果、検査結果は音速の求め方によって大きく影響する。つまり、基準となる数値、今回は健全層の音速の求め方によって超音波検査による厚さ測定の検査有効度に大きく影響した。

##### 【参考文献】

- 1) API Publication 581, first Ed. (2000)