アルカリ環境で長期間使用された GFRP 製タンクの損傷状態

Damage Condition of GFRP Tank Used for Long Term in Alkaline

○竹中亮太・京工繊大 (院)

○Ryota TAKENAKA, Kyoto Institute of Technology

馬淵信太・京工繊大 (院)

Shinta MABUCHI, Kyoto Institute of Technology

森田辰郎・京工繊大

Tatsuro MORITA, Kyoto Institute of Technology

藤井善通・京工繊大

Yoshimichi FUJII, Kyoto Institute of Technology

Key Words: GFRP, Storage Tank, Alkaline Environment, Damage Condition, Nondestructive Inspection, Ultrasonic Wave

優れた耐食性を有する GFRP であっても、各種攻撃的環境下で長期間使用された際には経年劣化を生じて破損事故に至る可能性がある。本研究では、GFRP 製品の安全性保障のため、苛性ソーダ希釈用として 13 年間使用された GFRP 製実機大型タンクの経年劣化の状況について調査するとともに、超音波非破壊検査法の確立を目指して、超音波エコーと損傷状態の関係について検討した。

1. 緒 言

GFRP は優れた耐食性を有することから、酸性やアルカリ性溶液といった各種攻撃的環境に曝される大型貯蔵用タンク等に広く用いられている⁽¹⁾。このような GFRP 製品は、高度経済成長期において多数製造され、一部は今なお稼働を続けている。耐食性に優れた GFRP であっても、上記のように各種環境へ長期間曝されると経年劣化を生じ、破損事故に至る可能性も懸念されている⁽²⁾。そのため、老朽化した同製品の安全性を保障するための取組が必要になっている。

GFRP の経年劣化に関する検討は、影響因子を限定した促進試験により、実験室レベルで行われる場合が多い^{(3),(4)}。そのため、複数の劣化因子が相互に関係するような実環境での劣化状態を必ずしも十分に再現できていない可能性がある。さらには、稼働中の GFRP 製品の損傷状態や余寿命を推定するための非破壊検査法の確立が社会的に強く望まれている。

そこで本研究では、苛性ソーダ希釈用タンクとして 13 年間使用された GFRP 製大型実機タンクの損傷状態について詳細に調査した後、超音波エコーと損傷状態の関係について検討を行った。

2. 供試材および実験方法

2-1 タンク概要および供試材採取位置 Fig. 1 に調査対象とした GFRP 製大型実機タンクの概略図を示す。このタンクは苛性ソーダ希釈用タンクで、13 年間に渡り屋外で使用された。内容液の温度は公称で 50℃であるが、苛性ソーダの希釈による発熱のため、実際には 60℃から 80℃の間を変動していた。

供試材は、Fig. 1 に示す上記タンクの代表的な部位 4 ヶ所から切り出した。以降、供試材の採取位置をタンク上部から下部に向かって、胴上部、胴中部、胴下部および底部と称する。タンク稼働中、胴上部は喫水線より上側に位置し、内容液と直接接することはなかった。また胴中部は喫水線付近に位置し、内容液と接触・非接触を繰り返していた。さらに、胴下部および底部はタンク喫水線より下側に位置し、常に内容液と接触していた。

2-2 損傷状態の観察 各部位の損傷状態を調べるため、供試材の断面上で詳細に観察した。その際、各供試材を 10 mm × 10 mm の大きさに切断後、エポキシ樹脂に包埋して観察面をエメリ紙 (#100～#2000) により研磨し、さらにバフ研磨(アルミナ粒子直径 0.1 μm および 0.05 μm) により鏡面状に仕上げた試料を用いた。

2-3 超音波エコー測定 Fig. 2 に、タンクの胴上部で得られた超音波エコーの代表例を示す。同図で繰り返し現れている複数のピークは底面エコーである。材料が損傷を受けた場合、超音波は材料内の欠陥を通過する際に減衰するため、エコーレベルは低下する。本研究ではこの点に着目し、損傷状態を表すパラメータの一つとして、最初に現れる底面エコーピーク値(以後、 $\bar{V}$ 値)を用いた。

しかしながら、損傷状態がより顕著な材料では底面エコーの特定が困難な場合があった。そこで、第二のパラメータとして、次式で定義される $\bar{V}$ 値を併せて用いた。

Fig. 1 Outline of the GFRP dilution tank and the positions where the samples were obtained (mm).

Fig. 2 Example of echo data obtained at the barrel upper part.

$$- \frac{\Delta t}{T} \sum_{t=0}^T u(t) \cdots (1)$$

ここで Δt は測定時間間隔、 T は全測定時間、 $u(t)$ は時刻 t で測定された超音波の強度である。すなわち、 $\bar{V}$ 値は測定された超音波エコーを全測定時間 T で平均化したものである。

超音波エコー測定は、各部位ごとに任意の 6 ヶ所に対して行い、得られた値の平均値を測定値とした。なお、超音波の周波数は材料内部への侵入を容易にするため、比較的低い 1 MHz とした。

3. 結果および考察

3-1 損傷状態 Fig. 3 に、断面観察結果を示す。同図において、左列および中列は各部のタンク内側表面近傍を低倍率および高倍率で観察した結果であり、右列には材料内部の状態を示している。

胴上部 (Fig. 3, 1 段目) では、繊維・樹脂ともに目立った変化は観察されず、ほとんど損傷を受けていなかった。一方、胴中部では内溶液との接触により樹脂が溶出し、タンク内側表面の平滑さが失われていた。また、断面上で観察したところ、表面から内部へ延びるき裂が確認された (2 段目中列)。このようなき裂は、苛性ソーダ希釈時の発熱によって表面が膨張・収縮を繰り返した結果として生じたものと考えられる。また、このき裂を介して内溶液が内部へ侵入したため、繊維-樹脂間の剥離 (2 段目右列) が生じるとともに樹脂の劣化が進行し、表面近傍には白色化領域が認められた⁽⁵⁾ (2 段目左列)。

胴下部および底部においてもタンク内側表面の平滑さが失われ、内部へ延びるき裂が確認された (3, 4 段目中列)。また、表面近傍には白色化領域 (3, 4 段目左列) が観察されるとともに、内部に繊維-樹脂間の剥離 (3, 4 段目右列) が認められた。このように、両部位の様相は上述の胴中部と同様であった。しかしながら、より長期間内溶液に接触していたため、胴下部および底部の白色化領域の厚さは大で、損傷の進行程度は顕著であった。

3-2 超音波測定結果 Fig. 4 に、超音波エコー測定により得られた V 値および $\bar{V}$ 値を示す。先述のように、胴部では胴上部から胴下部に向けて損傷程度は顕著であった。これと対

応して、 V 値および $\bar{V}$ 値は、より顕著な損傷を受けた胴下部に向って低下しており、損傷状態と超音波パラメーターの間に一定の相関が認められた。一方、底部は上述の胴部と積層構成に相違があることから超音波の減衰特性も異なり、そのため一概に比較はできないが、損傷状態が最も顕著であった底部の V 値および $\bar{V}$ 値は比較的低い値を示した。今後、異なる積層構成の影響を含めて損傷状態と超音波エコーの関係について検討が必要であると考えている。

Fig. 4 Mean value measured at each part: (a) V value, (b) $\bar{V}$ value.

4. 結 言

本研究では、苛性ソーダ希釈用として 13 年間使用された GFRP 製大型実機タンクについて詳細な調査を行い、さらに各部位について超音波エコー測定を行った結果、以下の結論を得た。

- (1) タンクの損傷状態は、より長期間内溶液と接触していた胴下部および底部において顕著であり、表面近傍に白色化した領域や内部へ延びるき裂が認められた。
- (2) 同一の積層構成を有する部位については、本研究で用いた 2 つの超音波パラメータ (V 値および $\bar{V}$ 値) を用いて損傷状態の程度を評価可能であることが示された。

参 考 文 献

- (1) 藤井善通, FRP 構造物の寿命予測, マテリアルライフ学会誌, vol.13, (2001), 18-22.
- (2) 藤井善通, 溝口真知子, 濱田泰以, FRP 劣化事例 1 硫酸タンク, 材料システム, vol.20, (2002), 137-142.
- (3) 藤井善通, 久保田智子, 前川善一郎, 濱田泰以, 村上惇, 吉識忠継, GFRP の環境劣化に及ぼす初期損傷の影響, 材料, vol.43, (1994), 271-277.
- (4) 藤井善通, 杉本健一, 濱田泰以, 仲井朝美, 加藤信一郎, 中西基博, FRP の長期劣化推定法の提案とその非破壊的評価, 強化プラスチック, vol.52, (2006), 192-198.
- (5) 樹脂ライニング工業会編, 樹脂ライニング皮膜の劣化診断指針, (1996), 5, 樹脂ライニング工業会.

Fig.3 Aspect of each part observed on the cross section.