薄肉 CFRP 圧力容器耐圧試験における AE 音源位置標定に関する実験的考察*

中島 富男^{*1}, 川崎 拓^{*2}, 佐藤 明良^{*3}

Experimental Consideration about AE Sources Location of a Thin CFRP Vessel Pressure Test

Tomio NAKAJIMA^{*1}, Hiraku KAWASAKI and Akiyoshi SATO

^{*1} IHI Inspection & Instrumentation Co., Ltd
2-6-17, Fukuura, Kanazawa, Yokohama, Kanagawa, 236-0004 Japan

A pressure test was carried out using a thin CFRP pressure vessel to consider artificial AE signals propagating path. In the test, artificial AE signals were emitted and were received by several AE sensors. The artificial AE signals were emitted under several pressure conditions which included the case where the vessel was empty. The test results revealed that existing water in the vessel changed AE signal propagating path against the empty condition. In the case of the empty condition, the artificial AE signals propagated on the surface of the CFRP vessel. However, in the case of water existing fully in the vessel, the artificial AE signals propagated in the water mainly. Furthermore, the results indicated that the appropriate AE sensors arrangement leads to accurate AE source locations using AE signals which propagate in water.

Key Words : Acoustic Emission, AE Location, CFRP Pressure Vessel, Pressure Test

1. 緒 言

AE 試験法は圧力容器の健全性評価手法として普及しており, ASME 等の規格も制定されている^{(1)~(3)}. 文献(1)から(3)には規定されていないが, 圧力容器の AE 音源位置標定手法は損傷部位を特定する方法として期待されている. 鋼板溶接構造のタンクについては竹本ら⁽⁴⁾, Murakami ら⁽⁵⁾および中村ら⁽⁶⁾がそれぞれ, 鋼板中を伝播するラム波と容器内の液中を伝わる AE 信号の両方に着目することが必要と報告している. 一方, CFRP 製圧力容器耐圧試験時の AE 音源位置標定については水谷らが CFRP 隔壁を伝播するラム波を用いた AE 音源位置標定法を提案している⁽⁷⁾. しかし, CFRP 隔壁を伝播するラム波は速度異方性があり, 一般的な取扱いが難しい. 著者らは, CFRP 製圧力容器耐圧試験においても水中伝播 AE 信号による音源位置標定が可能と考えた. このような試みは著者らが知る範囲において, 報告されていない. 試みとして, 薄肉 CFRP 圧力容器の水圧耐圧試験時に疑似 AE 音源から発信された AE 信号伝播経路の確認を行い, さらに, 水中伝播を仮定した三次元位置標定について実験的考察を行った.

2. 実験

薄肉 CFRP 容器は外径が 306mm, 長さ 285mm である. 内面には防水のためライナーが接着されている. 図 1 に圧電 AE センサの配置を示す. AE センサは富士セラミックス製 AE144A を 6 個使用した(CH1~CH6). AE 計測装置は Vallen AMSY-5 を使用した. Vallen AMSY-5 の機能を利用し, 各 AE センサを疑似 AE 音源とした. 水圧により 0~4.5MPa まで加圧し, 疑似 AE は圧力保持時に発信・受信した. また, 水を注入する前 (以降 Air とする) にも疑似 AE の発振・受信を行った.

* 原稿受付 2012 年 9 月 24 日

^{*1} 正員, (株) IHI 検査計測 (〒236-0004 神奈川県横浜市金沢区福浦 2-6-17)

^{*2} (株) IHI 検査計測

^{*3} (株) IHI エアロスペース

E-mail: t_nakajima@iic.ihi.co.jp

Fig.1 AE Sensors Arrangement of Round Direction on the CFRP Pressure Vessel Surface

3.実験結果

3・1 AE センサ CH3 から発信した疑似 AE 信号の伝播経路の変化

図 2 に疑似 AE 音源を CH3 とし、CH2 と CH6 の受信波形を圧力条件が Air 時、2.0MPa 時および 4.5MPa 時の場合に示す。CH2 はゼロマイクロ秒付近に三つの圧力条件とも信号がある。一方、CH6 では Air 時は微弱な信号のみしか伝播していないが、2.0MPa 時と 4.5MPa 時にはおよそ 200 マイクロ秒付近から明瞭な信号を検知している。これは容器内の水の有無により、CH3 から CH2 への AE 信号伝播経路は変化していないが、CH3 から CH6 への AE 信号伝播経路は変化したものと考えられる。なお、CH2 と CH6 の同一圧力条件の波形において時間軸のゼロはそれぞれ同時刻である。

3・2 水圧 0 MPa 時に CH6 から発信した疑似 AE 信号の伝播時間

水圧が 0MPa 時に CH6 から発信された疑似 AE 信号の伝播時間を、CH6 への印加したパルス信号と CH1 から CH5 の各 AE センサ受信波形との相互相関関数を計算し求めた。その結果と CH6 から他の AE センサまでの直線距離から仮想的伝播速度を求めた。その結果を表 1 に示す。仮想的伝播速度の平均は 1435 m/s である。この値は、水の音速と近い値である。

4.水中伝播を仮定した疑似 AE 音源位置標定解析

疑似 AE 信号が水中のみを伝播すると仮定し、三次元位置標定解析を試みた。解析は水圧 0MPa 時に疑似 AE 音源が 3CH と 6CH から発信された二つの場合について行った。位置標定解析にあたっては、CH1 から CH6 の各 AE センサが音速 1435m/s の水中に置かれたと仮定した。解析の演算は AE 信号解析ソフトウェア Vallen 社 Visual AE を用いた。

その結果を図 3 に示す。図 3 において、凡例の丸 (CH1 から CH6) は各 AE センサ配置位置を示す。凡例の四角 (CH3 Location) は CH3 を音源としたときの位置標定解析結果を示す。凡例が三角 (CH6 Location) は CH6 を音源としたときの位置標定解析結果を示す。また、図 3(a)は供試体を上から見た状態を示し、図 3(b)は供試体を横から見た状態を示す。図 3(b)の上下軸は供試体の長さ方向である。図 3(a)において AE センサ CH2, CH3 および CH4 は図 1 に示すように供試体円周方向の同位相にあるため、重なった位置となっている。図 3(b)において、AE センサ CH1 と CH6 は、図 3(a)に示すように X 軸に対しそれぞれ $\pm 45^\circ$ にあるため重なった位置となっている。

図 3 から CH3 を音源とした場合の位置標定解析結果 (CH3 Location) は CH3 の AE センサ位置と合致していない。一方、CH6 を音源とした場合の位置標定解析結果は CH6 の AE センサ位置と良い一致を示した。CH3 を音源とした場合、水中伝播以外の信号を受信する位置の AE センサの信号 (例えば CH2) も水中を伝播すると仮定している。一方、CH6 を音源とした場合には、CH1 から CH5 の全ての AE センサは水中伝播を仮定することが可能な AE センサ配置となっている。本結果から、CFRP 圧力容器の水圧耐圧試験時の AE 音源位置標定を行うため、以下の二つの知見を得た。

- (1)CFRP 圧力容器の耐圧試験時の三次元位置標定にも水中伝播 AE 信号を用いることが可能である。
- (2)水中伝播以外の伝播経路を有する AE センサを使用しない位置標定を行うと良い位置標定結果が得られる。

Fig.2 Waveform of AE Sensor Ch2 and CH6 from Artificial AE of CH3
 {(a), (c) and (e): From CH3 to CH2} and {(b), (d) and (f): From CH3 to CH6}

Table 1 Propagating Distance, Delay Time and Quasi-Velocity

AE Sensor CH No.	Distance from CH6 (mm)	Delay Time (μ s)	Quasi-Velocity (m/s)
CH1	216	-150.8	1432
CH2	307	-213.6	1437
CH3	307	-214.0	1435
CH4	312	-218.0	1431
CH5	283	-196.4	1440

Fig.3 Artificial AE Source 3D Location Result

5. 結言

外径 306mm の薄肉 CFRP 压力容器の水圧耐圧試験において、疑似 AE を伝播させる試験を行った。その結果、CFRP 压力容器内の水の有無により疑似 AE 伝播経路が異なり、水が充満された状態では、水中が主要な伝播経路となっていた。また、AE センサ配置により、水中を伝播する AE 信号のみを使用する三次元位置標定を行うと精度が良くなるという知見を得た。本稿は疑似 AE 音源に対する報告であるが、今後、自然発生 AE に本手法が適用可能かを検証する予定である。検証にあたっては、CFRP 隔壁を伝播する AE 信号は使用せず、水中伝播 AE 信号のみを対象とする考えである。

今後の検証により自然発生 AE への適用性が確認されれば、CFRP 製压力容器の破壊耐圧試験時の破壊開始部位の位置標定が可能になると期待される。

文 献

- (1) ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V, Article 12, "Acoustic Emission Examination of Metallic Vessels during Pressure testing", American Society for Mechanical Engineers, Latest edition
- (2) ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V, Article 11, "Acoustic Emission Examination of Fiber Reinforced Plastic Vessels", American Society for Mechanical Engineers, Latest edition
- (3) 社団法人日本圧力技術協会編, "HPIS G 110 TR 2005, AE 法による石油タンク底板の腐食損傷評価手法に関する技術指針", 社団法人日本圧力技術協会 (2005)
- (4) 金子敦史, 竹本幹男, "液体貯蔵円筒タンクの AE 伝播挙動", 非破壊検査, Vol. 51, No. 11 (2002), pp.718-725
- (5) Murakami, S., Homma, K., Koike, T., Yamada, M., "AE Source Location Using Neural Network on AE Evaluation of Floor Conditions in Above-Ground Tank", *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering*, Vol., No. 7 (2007), pp. 919-930.
- (6) 中村英之, 荒川敬弘, 関根和喜, 笠井尚哉, 前田守彦, 鈴木裕晶, "タンク AE 計測における液滴ノイズの識別及び除去方法の検討", 圧力技術, Vol. 46, No. 1 (2008), pp.26-31
- (7) 水谷義弘, 長浜謙太, "CFRP 製タンクの AE 音源位置標定法の開発", 実験力学, Vol. 3, No. 4 (2003), pp. 48-53