

大型破壊・疲労評価センター (JWI-CIF²)

“JWI-CIF²” JFE Welding Institute - Center for Integrity against Fatigue and Fracture

1. はじめに

近年、船舶やラインパイプをはじめとする大型の鋼構造物に対し、軽量化、高強度化のみならず、溶接施工性および破壊安全性の要求が高まっている。この要求を背景として、JFE スチールでは、新商品の開発とともに、その性能や鋼構造物の安全性の検証を行う破壊・疲労分野に関する各種評価技術を開発してきた。

当社は、2019年2月19日に鉄鋼分野の破壊・疲労に関する研究開発と、同分野の新たなイノベーションの創出を目的として、『大型破壊・疲労評価センター(JWI-CIF^{2*})』をスチール研究所千葉地区(千葉市)に開設した。

本センターは、疲労・破壊分野に関する大型実験設備を多数備え国内では圧倒的な規模を誇る、鉄鋼分野における世界最大級の施設である。本センターでは、実大溶接鋼構造物の破壊性能評価、新しい実証試験法の開発とともに、破壊・疲労のメカニズムの解明を行っている。また、実大試験後の大型試験片や破面も展示し、お客様・大学・研究機関との共同研究などに活用している。

2. JWI-CIF² の主な設備

大型鋼構造物の破壊安全性評価は、鋼板から切り出した小型試験片の評価から得られた鋼材特性を用い、破壊力学的に評価するのが一般的である。しかし、この破壊力学的評価法は過去の膨大な実験データに基づいている場合が多く、新しい鋼材・溶接技術などが開発された場合にそのまま適用できるかは不明である。そのため、実際の構造物に近い実物大の構造を用いた実証試験による安全性の確認が必要不可欠である。当社は新しい大型試験設備を開発、導入し、これらの実証試験を行い、造船、パイプライン用を初めとする多くの新商品の開発・実用化を進めてきた。元々これらの大型試験装置は当社各研究拠点に点在していたが、JWI-CIF² に集約することで研究効率の向上を図っている。以下に JWI-CIF² が保有する大型試験設備の概要を示す。

* : JWI-CIF² : JFE Welding Institute - Center for Integrity against Fatigue and Fracture の略

2020年6月19日受付

2.1 厚鋼板の大型破壊試験設備

厚鋼板について、特に造船分野では、船体の安全性確保のため、各種大型試験による船体用鋼板の破壊性能評価を行っている。中でも代表的な試験装置が 80 MN 引張試験装置である。本装置の最大の特徴は、国内最大級の荷重容量(80 MN)とピン間距離(荷重の作用点間の距離: 10 m)の両方を備えていることである。また、付属装置として、脆性亀裂伝播停止試験(アレスト試験)を行うための亀裂発生装置(打撃装置)および温度勾配制御装置(冷却・加熱装置)を有している。本装置により、厚鋼板の大型試験片のみならず、実構造物あるいはその一部を再現した構造体に、実船相当の荷重を載荷して脆性破壊試験を実施することができる。本装置は主に試験片寸法が 2 000 mm を超える超広幅混成 ESSO 試験、大型構造モデル試験等の実大サイズの破壊試験に使用されている。

また、20 MN 引張試験装置と 12 MN 引張試験装置も保有しており、主に試験片寸法が 500 mm 程度のディープノッチ試験(脆性破壊発生試験)、ESSO 試験(温度勾配型脆性亀裂伝播停止試験)、CAT 試験(温度平坦型脆性亀裂伝播停止試験)などに用いられている。

2.2 ラインパイプの大型試験設備

ラインパイプ分野では、パイプライン施工時から供用期間で起こり得る様々な破壊現象を模擬した評価が必要である。例えば、地震地帯の埋設パイプラインでは地震時の液状化等に伴い地盤が変状し、ラインパイプが大きく曲がり座屈あるいは破断する可能性がある。そのような状況下での破壊安全性評価のため、ラインパイプを実物大スケールで曲げ、その変形性能を評価する大型鋼管曲げ試験装置を開発・導入した。本装置は、最大外径 48 インチ(1 219 mm)、最大長さ 8 000 mm のラインパイプの曲げ変形性能評価が可能で、世界最大級の曲げ試験装置である。

また、海底パイプラインの敷設工法の一つであるリール工法(港でパイプをリールドラムに巻き付けて運搬し、海上で巻き戻して敷設する工法)でパイプラインを敷設する際に、ラインパイプが繰り返し曲げられることで座屈する可能性がある。その繰り返し曲げ変形を再現できるリール曲げ試験装置も開発し、ラインパイプ敷設時の安全性評価を行っている。

加えて、ラインパイプの耐圧性能評価のため、製品をリング状に切断した試験片の内部から水圧負荷を与えるリング

エキスパンション試験装置および外部から水圧負荷を与えるリングコラプス試験装置を開発した。これらの大径ラインパイプ用水圧試験装置により、内圧作用時の降伏応力の測定、深海パイプライン等の外圧負荷時のコラプス（圧潰）の発生限界の評価を行うことができる。

2.3 疲労試験設備

疲労試験分野では、最大荷重容量が 50 kN, 100 kN および 1 000 kN クラスの疲労試験機を計 5 台保有している。この試験機は、材料の疲労試験に限らず、鋼構造物の溶接部を含めた構造体の疲労試験も可能である。また、溶接鋼構造体の信頼性確保のため、溶接継手の疲労寿命向上を目的に溶接継手の疲労亀裂の発生と伝播を抑制する新たなピーニング施工技術を開発し、実施工できる環境も整備した。

LNG など液化ガスの貯蔵タンクに用いられる材料には、極低温環境下での供用信頼性が要求される。特に、船舶向けタンクでは、波浪による変形に加え、タンク内容物である LNG の揺動が繰返し生じることによる疲労損傷が懸念される。従来、低温用材料の極低温下での疲労評価は、丸棒試験片など小型試験片を恒温槽内で冷却する方法で行われてきた。しかし、恒温槽の寸法制約などから疲労損傷が問題となる溶接継手の試験は困難であった。これに対し、当社は溶接継手の試験片に対応可能な恒温槽および冷却装置を作製し、極低温環境下での疲労破壊に対する安全性を実証する技術を開発した。

2.4 Fracture Sample Museum

破壊・疲労現象およびその評価技術についてご理解いただくため、“Fracture Sample Museum”を同センター内に併設した。本施設では、メガコンテナ船の一部を再現した大型構造破壊試験や一般的な材料の小型・中型破壊試験である ESO 試験，CTOD 試験，ディープノッチ試験等の破面サンプルを展示している。展示室内の実物の試験サンプルを用いて破壊挙動をご説明することで、お客様に当社の技術開発理念や安全性評価技術をより深くご理解いただくことを目指している。

また、各種大型破壊試験を間近に見学できる見学室など、お客様や共同研究者との技術交流を推進できる環境を整え、新製品や新技術の開発に必要なアイデア等を創出できる場として活用している。

3. JWI-CIF² の活用事例について

JWI-CIF² が保有する大型引張試験装置の活用事例を示す。80 MN 引張試験装置の外観を写真 1 に示す。80 MN 引張試験装置は、主として造船分野向けの厚鋼板および溶接構造物の脆性亀裂伝播停止性能（アレスト性能）の評価に用いられる。船体では、万一脆性亀裂が発生、伝播し長大化し

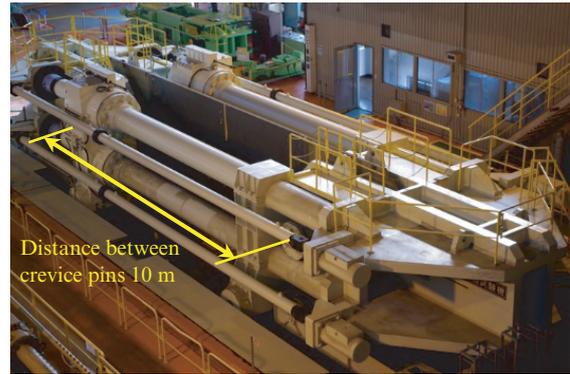


写真 1 80 MN 大型引張試験装置

Photo 1 80 MN large-scale tensile testing machine

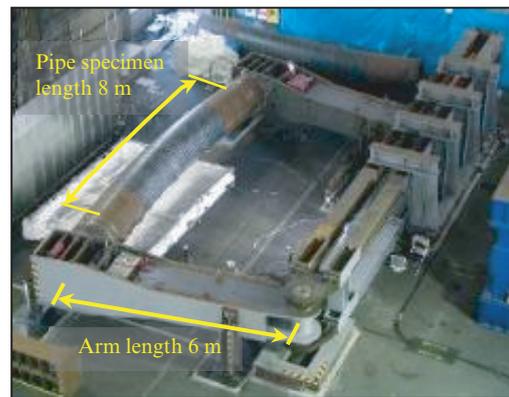


写真 2 大型鋼管曲げ試験装置による曲げ試験事例

Photo 2 Pipe bending test by large-scale pipe bending machine

ても、脆性亀裂を船体の途中で停止させて壊滅的な破壊を防ぐ必要がある。このため、脆性亀裂のアレスト性能は極めて重要である。最近のコンテナ船の上部構造に用いられる鋼板の板厚は 100 mm に達するため、引張試験装置には大きい試験荷重容量が求められる。また、本装置のピン間距離を 10 m としているため、脆性亀裂発生と同時に生じる応力波の試験体への干渉を防止でき、実船と同等の条件での長大脆性亀裂のアレスト性能が評価可能である。当社は、大型引張試験設備を用いて構造アレスト技術¹⁾や高強度極厚高アレスト鋼を開発²⁾し実船に適用することで、船舶の安全航行に貢献している。

次に、ラインパイプの変形性能評価に用いられている大型鋼管曲げ試験装置を写真 2 に示す。埋設パイプラインには、地震時の液状化に伴う地盤流動、地すべり、断層のずれや不連続凍土地帯における融解、凍上の繰返しによる地盤変状が影響する可能性が指摘されている。このような地域に敷設されるラインパイプには、地盤変状下でも座屈や破壊を生じないことが求められる。当社では、従来のラインパイプよりも高い変形性能を有する HIPER[®]を開発するとともに、大径鋼管曲げ試験装置を用いて HIPER の変形性能が従

来のラインパイプの2倍以上であることを明らかにした³⁾。
この試験結果により HIPER の高い安全性を実証し、地震地帯や不連続凍土地帯のパイプラインプロジェクトに数多くご採用いただいている。

4. おわりに

2019年2月の開所以降、JWI-CIF²では充実した試験設備や見学施設を活用し、社外との技術交流会や共同研究を多数実施してきた。今後も本センターを一層活用し、付加価値の高い鉄鋼製品の開発と鋼構造物の評価技術の提供を通じて社会の安心・安全に貢献していく所存である。

参考文献

- 1) 半田恒久, 村上善明, 伊木聡, 豊田昌信, 木治昇, 猪瀬幸太郎, すみ肉溶接を用いた大型コンテナ船向け脆性亀裂伝播停止技術. JFE 技報. 2020, no. 46, p. 15-21.
- 2) 長谷和邦, 半田恒久, 衛藤太紀. 脆性亀裂伝播停止性能に優れたコンテナ船用極厚 YP460 N/mm² 級鋼. JFE 技報. 2014, no. 33, p. 13-18.
- 3) 伊木聡, 村岡隆二, 正村克身. ラインパイプの安全性評価技術. JFE 技報. 2012, no. 29, p. 34-40.

〈問い合わせ先〉(2021年10月～)

JFE スチール 厚板セクター部

TEL : 03-3597-3183 FAX : 03-3597-4567

ホームページ : <http://www.jfe-steel.co.jp/products/atuita/index.html>

Email : t-atsuitasec@jfe-steel.co.jp