

公益財団法人溶接接合工学会振興会講演会

～脆性破壊研究の最近の動向～

公益財団法人 溶接接合工学会振興会

(平成 29 年度 総会：特別講演：懇親会)

日時 ; 平成 29.5.10(火)15:00~19:00

場所 ; 授与式・受賞者プレゼン・特別講演 ; 3 階おおとりの間
; 懇親会 4 階相生の間

共催 ; 公益財団法人国民工業振興会

後援 ; 一般社団法人溶接学会、一般社団法人日本溶接協会、
公益社団法人日本技術士会



(司会) 公益財団法人溶接接合工学会振興会 専務理事 吉武進也氏(講演会)
公益財団法人溶接接合工学会振興会 常務理事 南二三吉氏(懇親会)

1.開会挨拶 公益財団法人溶接接合工学会振興会理事長

野本敏治氏



理事長 野本敏治氏

司会 吉武進也氏

2.木原賞・金澤賞 選考経過説明・授与式



木原賞(野本選考委員長)



金澤賞(宮田選考委員長)

平成 28 年度 木原賞・金澤賞受賞者・受賞業績

賞名	受賞者氏名 (所属会社)	受賞業績	
木原賞	岡内 宏憲氏 (川崎重工業株式会社)	ガスタービン圧縮機ロータ用 Ni 基超合金の異材接合技術 の開発	
	山崎 洋輔氏 (日立造船株式会社)	大出力レーザの適用による 極厚板狭開先溶接技術の開発	
金澤賞	平田 弘征氏 (新日鐵住金株式会社)	エネルギー用配管材料および その溶接技術に関する研究開 発と実用化	
	和田 国彦氏 (株式会社 東芝)	溶射技術を用いたエネルギー 機器向け表面改質技術の開発	



木原賞受賞者 2 名
(左から ; 岡内氏、山崎氏)

金澤賞受賞者 2 名
(左から ; 平田氏、和田氏)

受賞者写真

3.特別講演 脆性破壊研究の最近の動向

一般社団法人 日本溶接協会会長

東京大学大学院 教授 栗飯原周二 氏



講演者の栗飯原教授は、東京大学卒業後、新日鉄住金株式会社鉄鋼研究所に勤務され、その後東京大学で教鞭をとられており一貫して脆性破壊の研究に携わっておられる。現在は、一般社団法人日本溶接協会会長としても、溶接技能者検定等の認定業務他に尽力されておられる。

講演に先立って宮田先生から、現在、東京大学システム工学系研究科(システム創成学科)で教授されておられる栗飯原先生の研究経歴、日本の脆性破壊の研究の経緯等について詳細なご紹介があり、米国で生まれた破壊力学が、造船分野を中心に日本で急速に発展したとのご紹介があった。

講演では、脆性破壊現象の諸相について、詳細かつ総括的なご講演を戴いた。

1) 脆性破壊の特徴

鋼材の脆性破壊は、低応力低変形状態で不安定的に発生する破壊で、500m/秒以上の高速で伝播し、鋼材では多くの場合、劈開型の脆性波面を呈するのが特徴である。

2) 脆性破壊事故例

米国では全溶接で建造された戦時標準船が約 5,000 隻が大量生産され、約 1,000 隻に損傷が発生し、90 隻は深刻な損傷、12 隻は船体が 2 分された。これは従来のリベット構造のように鋼板の不連続による亀裂の伝播停止が出来なくなったためである。この事故を契機として各種の研究調査がおこなわれ、シャルピー衝撃特性による経験的な評価が進展し、現在でも工業的には重要な試験となっている。また、1950 年代に急速に発展した破壊力学の基づいた評価も進展した。

我が国の戦前の溶接船の例(平賀譲アーカイブス---故平賀譲海軍造船中将・第 13 代東京帝国大学総長が遺した技術資料)、ビルジキール部の溶接欠陥から進展した疲労亀裂から脆性破壊が発生、船体鋼板に亀裂が伝播したキルディスタン号の事故例(1979)、スティフナー溶接部から亀裂発生したバルクキャリアーのレイクカーリング号の事故例(2002)、80 キロ高張力鋼製球形ガスホルダーの水圧試験で発生した溶接部の遅れ割れ例(1968)が示された。最近は、大規模な事故例は材料開発その他研究の進展によりなくなった。

3) 破壊力学研究の変遷(造船学会の研究論文から)

脆性破壊に関しては、グリフィスの破壊のエネルギー理論(1920)、ジョージアーウインの線形破壊力学(1950)がある。我国では、造船分野での脆性破壊研究が行われ、金沢先生の脆性破壊応力説(1951)、脆性・アレスト特性を見る二重引張試験(1957)、温度勾配型二重引張試験(1960)が開発され、我が国の破壊力学による脆性亀裂発生・伝播の解析が活発に行われ、また、この間大型の試験機が東京大学、鉄鋼各社で大容量の試験設備が設置され研究に供された。

一方、脆性破壊発生に関する CTOD 研究が行われ、1980 年代に入り亀裂の弾塑性解析、海洋構造物溶接部の脆性破壊の発生の研究が行われ、その間、大入熱鋼板、TMCP 鋼等が開発された。脆性破壊の発生に関する研究が活発に行われ、破壊現象を確率的に論ずる確率論が盛んに研究され、現在につながっている。更に、大型コンテナ船用高アレスト鋼板が開発され、アレスト鋼板規格、脆性亀裂のアレスト試験法規格等が制定されている。

4) 鋼の延性-脆性遷移現象

切欠きのある鋼材で試験温度が低下すると延性破壊から脆性破壊に遷移する現象が見られる。最も簡単な脆性破壊試験である切欠き付のシャルピー衝撃試験では、高温部では延性破壊で、温度が下がるに従い延性-脆性遷移現象が見られる。この現象は、切欠き部に降伏応力の 2 倍程度の応力集中が局所的に発生することで破壊に至る。

5) き裂の力学

破壊力学では、き裂先端近傍の局所的な応力・歪が脆性破壊・疲労破壊を支配する。き裂周りの応力歪特性を知ることが重要で、応力拡大係数 k (駆動力) が、負荷応力、き裂長さ、部材形状で決まる。各種き裂、複雑な形状のき裂の k 値はハンドブックに纏められている。

き裂先端近傍の塑性域が拡大すると、応力拡大係数では局所の応力・ひずみを表すことができなくなる。

6) 脆性亀裂伝播の評価と制御

コンテナ船の大型化(板厚 100mm)により、脆性破壊防止設計では、溶接部でのき裂発生防止し、万一発生した場合は鋼板部で停止させることが大前提である。日本溶接協会アレスト試験法委員会(2010~)で現在も研究を続けており、き裂を停止させる目的で、実大大型モデル試験が多数行なわれており、脆性き裂伝播(アレスト)試験の詳細を解説された。アレスト靱性が、100mm 板厚の場合、 $8000\text{N/mm}^{3/2}$ 以上あれば、き裂をアレストできる結果が得られ、我が国主導で、国際船級協会統一ルールに採用された。

また、負荷応力とアレストき裂長さからアレスト靱性を算定、負荷応力と温度分布を変化させて K_{ca} の温度依存性を得た。これは、日本海事溶接協会規格を経て、日本溶接協会、脆性き裂アレスト靱性試験方法(WES2815-2014)として規格化された。

7) 溶接部脆性破壊

溶接部の脆性破壊が発生する条件として、熱影響部の局所脆化域、溶接割れ・疲労き裂、溶接残留応力の重畳があり、溶接部靱性低下の問題に対応して CTOD 靱性の適用が行われた。溶接部の CTOD 試験では、疲労き裂導入位置を厳格に規定され、FEM 解析に基づいた新しい CTOD 算定式が提案され、WES1108:2016(き裂開港変位(CTOD)の試験方法)に規格化されており、ISO 規格にも近く取り入れられるようになる。

8) ミクロレベルの脆性破壊

脆性破壊がミクロ組織的にどのように発生しているのかについては、ミクロき裂生成、フェライト地への突入、破壊組織依存性のモデル化は、結晶粒界、有効結晶粒径、脆化層(MA)に起因する。

内閣府主導で 3 年前から「戦略的イノベーション創造プログラム「革新的構造材料」2014~2019」が実施されており、溶接 HAZ ミクロ組織計算との組み合わせ HAZ 靱性予測モデルが進んでおり、栗飯原教授は、「D62 性能予測システムの開発 マルチスケール・マルチフィジックスによる鉄鋼材料の強度靱性の研究」に取り組まれている。

9)まとめ

最後に纏めとして、最近、大規模な脆性破壊は経験しなくなったが、材料・設計・溶接施行・保守において、脆性破壊防止のための継続的な努力が必要であること、これまでに蓄積されてきた溶接構造物の破壊防止に関する膨大な知識とデータを継承・発展させる必要があることを強調された。また、最近の AI 技術がどのように適用できるかを検証が必要であること、日本の材料・溶接・破壊の要素技術・研究は世界一であり、これらを統合して世界標準・規格化を促進する必要があることを強調された。



講演聴講者の皆様

4.溶接接合工学振興会理事会

13:30 から、総会・講演会に先立って、相生の間で、理事会が開催された。



理事会開催状況



野本理事長



吉武専務理事

5.懇親会

司会

大阪大学大学院教授

溶接学会会長・大阪大学接合科学研究所所長

南二三吉氏

(1)挨拶

豊田阪大名誉教授

豊田政男氏



南 阪大教授



豊田阪大名誉教授

2)木原賞・金澤賞受賞者の上司の挨拶

木原賞受賞者	
岡内安憲氏(川崎重工(株)) (上司) 古賀信次氏	山崎洋輔氏 (日立造船(株)) (上司) 北川彰一氏
	
金澤賞受賞者	
平田弘征氏(新日鐵住金(株)) (上司) 高橋学氏	和田国彦氏 ((株)東芝) (上司) 橘川敬介氏
	

(3)乾杯 愛知産業株式会社 常務取締役 金安 力氏



乾杯の音頭 金安様



懇親会参加の皆様



金属部会の面々



講演会運営を手伝って戴いた東大生の皆様と白井様
東京大学大学院教授 青山和浩氏

(4)中締



東京大学大学院教授 青山和浩氏