溶接技術のイノベーションで 構造物の革新を!*

志賀 千晃**

New Concept Steel Structures with Welding Technique Innovation*

by SHIGA Chiaki**

キーワード

高張力鋼, 溶接技術, 溶接継手部, 産官学, 連携, 融合

1. はじめに

世界のトップランナーになった今日, 他国で出来るが日本では出来ない溶接技術は, 無いように思う。昔は追いつけ追い越せの目標とする他国の技術があり, 開発の目標は立ててやすかった。また, 開発のシーズとなる技術やサイエンスも多くあった。現在は目標とするターゲットが見え難い時代にあり, 研究者や技術開発者は苦難の時代を迎えている。しかし, 開発方向を誤れば, EURO 圏や後進国の発展状況からすると, 我が国の有利性は消えるであろう。

溶接技術の発展を振り返ると二つの流れがある。その一つは, 新しい熱源や溶接プロセスが見出され, 種々の材料の接合に利用して行く流れで, アーク, 電子ビーム, レーザー, 摩擦攪拌溶接, 等は接合技術に大きな進歩をもたらした。今後もこれらの組み合わせで, テイラーメイドな熱分布を持つ熱源の開発に進展し, 貢献するであろう。

もう一つは, 新しいコンセプトの構造物の新材料に, 最適な溶接技術を見出して行く流れで, 造船, 建築, タンク, ラインパイプ等の構造物の進展が, 日本の溶接技術に顕著な進歩をもたらした。「この30年間の高張力鋼とその溶接技術の進歩」に焦点を当てて振り返り, 現在取るべき方向を考えてみる。

2. 技術の進歩は社会的ニーズからくる巨大需要から

技術の進歩は連続的のものではなく, ステップ状に上昇していくようだ。企業では社運がかかる巨大ニーズがあれば人力と金を注ぐ。人間は追い込まれて逃げ場をなくされた状態になると, 新しい知恵を出し, 開発は大きくステップ・アップするようだ。私の携わった TMCP 高張力鋼とその溶接技術の開発は, 社会的背景に起因した三期の巨大需要の対応から大きな進歩を遂げた。

2.1 第一次オイルショック—高圧輸送用大径パイプ

第一期のパイプの巨大需要は, 1973 年に起きた石油価格急騰 (当時第一次オイルショックと呼ばれた。) から生じた。つまり石油価格の高騰により, 採算が合わないとされていた世界の油田が活発に掘削され, 長距離のパイプラインが敷設された。大量輸送化のためガス圧力は 60 気圧→75 気圧→100 気圧と順次上げられ, それにともない母材強度は $\times 60$, $\times 70$, $\times 80$ へと高張力化が求められた。一方, 油田掘削もアラスカ沖, ソ連極地へと寒冷地域へ掘り進められ, 要求低温靱性も 0°C , -20°C , -40°C , -60°C と使用温度が下がっていった。即ち, パイプ特性に高張力化に加え, 脆性破壊と不安定延性破壊の防止のための高靱性化とが, 同時に求められた時期である。

従来の焼入れ焼き戻し熱処理法の鋼材製造では, 高コストと 1 ヶ月何万トンの高生産要求には対応出来なかった。そこで, スラブから厚鋼板への成形圧延中に材質を作りこむ「制御圧延法」が着目され, 開発が進められた。低温領域圧延の実施による, 6 から $7\mu\text{m}$ の鋼組織の細粒化を達成した「圧延オンライン材質制御技術」の基盤が確立された。また溶接では高強度・高靱性を有した溶接材料の開発と 3 から 4 電極の高効率溶接プロセスが, 飛躍的に進歩を遂げた。

2.2 第二次オイルショック—深海用構造物と耐食性パイプ

第二期の高張力鋼の巨大需要も, 1977 年におきた石油の高騰 (第二次オイルショック) から再び始まる。 H_2S , CO_2 等の腐食成分を含有するガスや石油の発掘が深海へ向けて進められ, 極厚板使用の海洋構造物や, 厳しい耐腐食性要求の海底大径パイプ, の大需要が始まった。厚肉パイプの耐水素誘起割れ, その溶接部の耐応力腐食割れが問題となり, 両特性の向上に力が注がれた。MnS 系介在物の形態処理に加えて, C 成分や鋼不純物 S, P, O, N の軽減の高純度鋼 (モダンスチールと呼ばれる) が使用されるようになった。高純度の鋼と制御圧延の組み合わせで, 腐食環境下にも強い高張力・高靱性パイプが開発された。また CTOD 試験に敏感な溶接部局所脆化域 (Local Brittle Zone: LBZ) の軽減のため, 円周溶接施工技術も一段と発達した。

*原稿受付 平成 19 年 1 月 15 日

**正 員 大阪大学接合学科研究所 Member, Joining and Welding Research Institute, Osaka University

2.3 造船不況—船体の軽量化

ラインパイプを対象として開発された技術を、他の構造物用鋼材へ応用拡大した時代が1980年から1996年の第三期である。この時期は造船不況の真っ只中であり、造船界の重鎮は何か新しい材料を採用し、船舶のイノベーションを狙っていた。制御圧延による新しい造船用高張力鋼は、まさにこのニーズと合致した。造船メーカーはこの新高張力鋼を採用し、重量の軽減による燃費の向上と積載量の増加を目指した。

1983年頃から導入された“圧延ライン上の加速冷却設備”は、溶接にとっては非常に好ましい効果をもたらした。加速冷却により鋼組織の約 $4\mu\text{m}$ までの細粒化が可能となり、550 MPa級高張力鋼の炭素当量が軟鋼並みに低減した。その結果、溶接割れを弱め、また大入熱溶接時のHAZ靱性の向上をもたらした。並行して開発された大入熱用溶接材料により、造船用高張力鋼が軟鋼並みの使いやすさで溶接可能となった。加速冷却の伴う制御圧延技術はTMCPと呼ばれ、完成レベルに到達した。

当時、エクソン社タンカーのアラスカ沖座礁によるオイル漏れ大災害は、船舶のダブルハル化を進め、ハイテン化率を高めて船舶の軽量化を図る流れを強めた。需要増大の恩恵を受け次々と開発された高張力鋼は、その溶接技術の開発に支えられ、造船以外に、海洋構造物やパイプ、建築、压力容器等の構造物に適用領域を拡大し、いまだ他国の追従を許していない。

3. オイル高騰の兆し—差別化した溶接技術の可能性—

今日、新しいコンセプトを持つ構造物の製造が少なくなり、溶接技術の進歩は非常にゆるやかである。設計会社や設計者から何故、新しいコンセプトが出ないかと思議に思う位である。設計者は新しいコンセプトの企画構想は持っているが、材料や溶接開発者との連携が弱く、発案に至らないのか。それなら連携を強める仕組みを充実していく必要がある。それとも日本の設計者はもともと弱く新しいコンセプトの構造物を創出できないのか、今、海外のエンジニアリング会社では新構造物構想を温めているかもしれない、それなら情報の軸足は海外に向けなければならない、と次々と考えたりする。

溶接接合技術革新への挑戦がなければ、EURO圏に先行され高い特許料を支払う破目に陥るか、それとも後進国に追いつかれ、日本の構造物の製造は衰退の道を歩むのではないかと懸念することもある。

この1-2年の石油価格の高騰は石油掘削関連構造物やラインパイプ関連の需要、さらには、原子力関連の構造物の需要を加速化する可能性がある。1973年の第一次オイルショック、続く1977年の第二次オイルショックの時、構造物に求められた厳しい規格を克服するために、我が国の材料特性と溶接技術は上述の通り著しく向上した。もし、近々、一段と厳しい特性を要求した構造物の需要が生じた時、他国と差別化した溶接技術の開発は可能であろうか。一企業では材料開発の対応は出来ても、溶接技術は難しいように思える。それは、この十年間の経済

不況によるリストラが企業の溶接技術開発者の数を激減させていることによる。現在の技術開発者は、昔出来た技術を再現させるのに一苦労している状態で、今後の技術のイノベーションを考える余裕すらない、と強く感じる。鉄鋼業は空前の利益をあげ、また重工業も回復の兆しがあり、開発費用は出せるのかもしれないが、リストラの災いで、技術者、研究者の不足がネックで過去のような開発体制は組めない。

4. 進むべき方向

現在の環境下では、産官学で連携して溶接課題のブレークスルーを果たすことが非常に重要で、連携によるシナジー効果の創出を目指すべきである。勿論、好景気が長く続けば、企業は採用人員を増やし、企業内で過去のような秘密主義で進める体制が復活するだろう。しかし、現時点で判断する限りこの5年間では復元しない。優れた研究者は短期間には育たない。

リストラ以前の溶接技術開発者のポテンシャルは高く、総じて短期間で難しい要求に対応して来ていることは認めるが、残念ながら、高張力鋼に関しては、その達成レベルは低く、性能余裕がない。即ち、高級鋼では、高強度化するほど、また使用温度が低下するほど溶接部性能が大きく劣化する。図1は、鋼の母材強度と、その30 mm厚クラスの溶接部の許容応力の関係を示したものである。例えば母材性能は1000 MPaの強度を持っていても、溶接すると溶接部の許容強度は300 MPa（約1/3）となる。それは厚板化すると延性破壊ばかりか脆性破壊が生じ、それが顕著化するためである。また、溶接も予熱・後熱を伴い多パスとなり、非常に能率が悪い。加えて、疲労強度は高張力化の利点はなく、母材に比べ溶接部は1/6から1/8となるのが実状である。設計者からの新しいコンセプトの、構造物提案が無いと不平を前章で述べたが、『溶接継手特性のもう一段の向上がなければどうしようもない。』との反論が聞こえて来そうだ。

図1 鋼の母材強度とその溶接部許容応力の関係

5. 結 言

革新的溶接プロセスと新機能溶材を開発し継手部性能を著しく向上させ、母材性能に近づけることが求められている。それによって、高張力鋼の利点を十分に生かしたコンセプトを持つ構造物の実用化を図り、軽量・省エネ化、ハイスペック・低コスト化を狙うことが重要である。溶接プロセスや溶金の開発だけでなく、あくまで継手性能向上を目指すべきある。従来の性能に比べ、どれほど向上し、その結果、許容応力がどこまで上がるか、また、安全、信頼性がどこまで増すかを明示するとろまで踏み込むことが大切である。

これに基づき、高級鋼を用いた構造物設計と、製造に関する国際的スタンダードの構築を目指すべきである。日本の特許の国際収支黒字は、いまだにアメリカの10分の1と報告されている。製品輸出ばかりでなく、知的財産の輸出でも貢献したいものである。

今こそ日本の将来を見据えた、また企業間の目先の損得を越えた産官学の連携と、異分野の連携と融合が必須と考える。設計－材料－溶接の連携、エンジニアリング会社－材料メーカー－ファブライケイターの連携、溶接分野ではメタラジー－プロセス－メカニカルの境界領域の融合を、強調したい。