

## 超鉄鋼研究プロジェクト

—日本の超技術を日本ブランドの競争力に転化—

長 井 寿

近年、建設機械市場では外需比率の増大という大きな変化が顕著に現れている。国際競争に勝ち残るためには材料技術の革新が不可欠になると思われる。それとの関連を意識して、(素材×加工)融合技術でブレークスルーし、抜群の製品国際競争力を生み出そうという意気込みで遂行された「超鉄鋼プロジェクト」の成果を簡単に紹介する。特に、強度、靱性、耐食性に優れたフェライト系溶接構造用鋼の素材設計と構造化するための溶接継手、ボルト接合での疲労強度・靱性改善、遅れ破壊克服などの研究開発例を述べる。

キーワード：鉄鋼、微細粒、靱性、疲労、溶接継手、ボルト接合、建設産業

### 1. はじめに

2000年にまとめられた国家産業技術戦略検討会中の「建設産業技術戦略」は、21世紀に期待される技術革新を展望している。すなわち、わが国の住宅・社会資本のための、

「維持・改修、長寿命化」技術

「環境保全・改良」技術

「情報化」技術

「バリアフリー化」技術

「防災」技術

「輸送ネットワーク」技術

「アメニティ」技術

などを挙げると同時に、国際市場を睨んだ技術開発とライフサイクルコストを低減する技術開発視点を強調している。

わが国の住宅・社会資本の発展を支えてきた建設機械は1990年に出荷額でピークを記録したが、市場

(本体)はその後縮退し、2001年にはいったんほぼ半額にまで落ち込んだ(図-1)。

ところが近年急速に回復しピーク比で8割近くに戻り、今後さらに延伸することが期待されている。しかし、内需は1990年と比べて、構成比率で1/2、金額で1/3と低迷している。それに対して外需は、1990年比で、比率で3倍、金額で2倍以上となっており、急速な回復は外需拡大による。

したがって、内需への対応においては、今後とも「建設産業技術戦略」が指摘する数々の高機能化を指向するのは当然として、国際競争力確保への意識を一層強くしなくてはならない状況である。

昨年(2005年)ローマで開催された鉄鋼材料関係の国際会議において、イタリア・石油エネルギー会社(ENI社)の関係者がガスパイプライン国際ネットワーク敷設の重要性を訴えていた。その中で、極寒地、険しい山高地、海浜・海洋など未体験立地条件での敷設工事の低コスト化、それらの様々な自然・腐食環境に耐える材料(建設機械およびパイプライン材料)、さらに敷設後の安全確保・メンテナンスの低コスト化などを切々と述べていた。いずれもなかなか実現困難な材料開発課題が背景にあることを直感した。今後それらが、国際競争の必争点となっていくと思われる。

前述の「建設産業技術戦略」でも「耐久性や強度に優れた材料技術」を具体例として挙げている。そこで本報文ではこれらのことを念頭に置き、文部科学省所管の独立行政法人物質・材料研究機構(前身である金属材料技術研究所と無機材質研究所が2001年に統合した)において、国家プロジェクトとして進められた超鉄鋼研究(1997年度~2005年度)の成果を簡単に紹介し、読者の関心に応えたい。

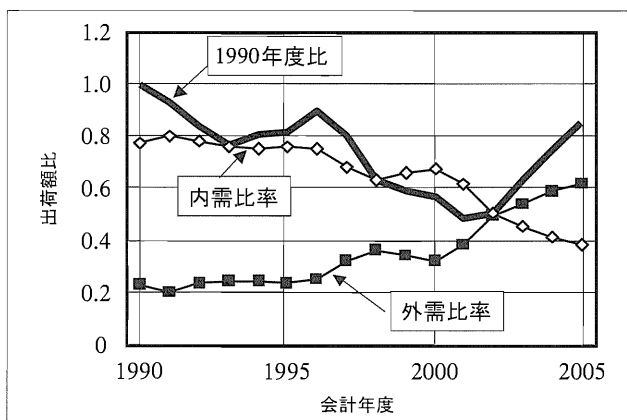


図-1 我が国の建設機械(本体)市場の変遷

## 2. 超鉄鋼プロジェクトの姿勢

新機能を求めるだけの「新素材開発」は無力となり、高性能で均質な素材提供ができれば材料専門家としての役割が果たされたとする時代は過ぎ去った、これからは、「素材×加工」融合超技術の時代へ移らざるをえない、という考えからこのプロジェクトは始まっている。

従来の技術開発の延長線上として、素材側が規格化された性能と寸法の材料を提供し、製品加工側は2次加工技術で差別化するという図式も考えられる。しかし、この図式では後発国の追随を受けやすく、低コスト化競争となるとおそらく日本は太刀打ちできない。

日本が勝ち残れる道は、

- ①「素材×加工」融合超技術をエンドユーザーと共同開発し、世界視野で大きなマージンの優位を保ち続けること
  - ②日本の超技術を次から次へと積極的にグローバルスタンダード化していく底力を発揮すること
- であろう。

この図式の継続は、日本の超技術への憧れを日本ブランドの競争力に転化させることにもなる。

そこで、まず材料技術のブレークスルーを起こし、それを「素材×加工」融合超技術に仕上げていくことを超鉄鋼プロジェクトの基本戦略に定めて、複数のテーマに挑んだ。

ここではその一例として、フェライト系溶接構造用鋼の研究開発を紹介する（より詳細は、<http://www.nims.go.jp/stx-21/jp/index-j.html> を訪問されたい）。

## 3. フェライト系溶接構造用鋼のブレークスルー

鉄鋼の高強度化自体はそんなに困難なことではない。しかし、高強度だけのメリットで素材を使うことは極めて稀である。もしくは、材料特性の相反性質のために実用強度は頭打ちになっている。

超鉄鋼プロジェクトでは、最も用途の大きい鉄鋼でありながら、実用強度レベルが長年停滞しているフェライト系溶接構造用鋼にブレークスルーを起こすことを目標のひとつとした。

わが国およびアジアの自然環境と経済発展を考慮すると、耐震性、耐食性、リサイクル容易、建設コスト削減などの総合的課題・目標が出てくる。これを結晶粒微細化による高強度・高靱性化材料の実現でまず

「耐震性」を克服するという前提で、課題を構成した。

### (1) 結晶粒微細化

結晶粒微細化は、合金成分を変更することなく、高強度化（1μm以下にすれば、強度800MPa以上が得られる）、脆性遷移温度低下（図-2、1μm以下では、50%脆性破面遷移温度77K以下が可能になる）、疲労強度上昇（図-3、静的強度の上昇見合い以上の改善効果が得られる）など、強度と破壊特性を同時に改善できる優れた方法であることを確かめた。

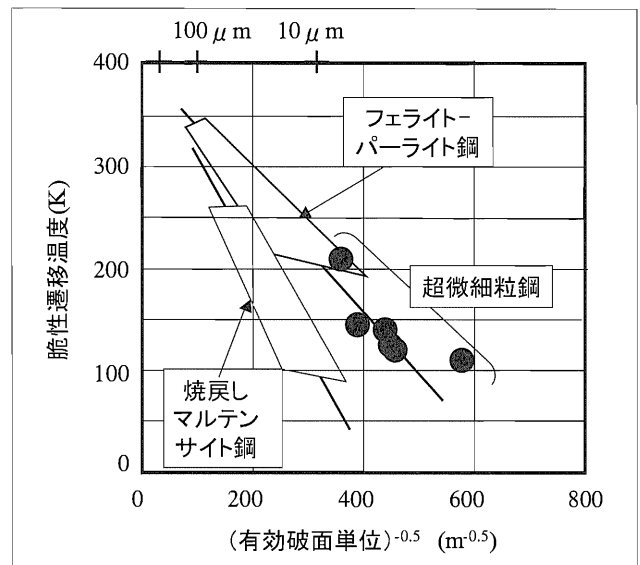


図-2 超微細粒鋼の脆性遷移温度

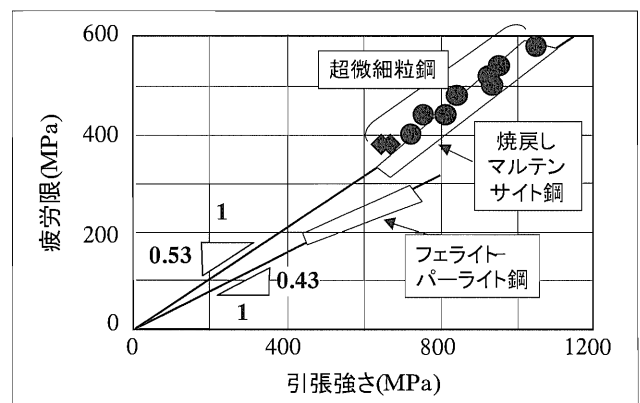


図-3 超微細粒鋼の疲労源

したがって、リサイクル性を保持したうえで、耐震性等を確保する方策は成立つことが分かった。ところが耐食性を上げるために合金添加が不可避になる。既存の海浜用耐食鋼にはNiやCuが添加されているが、これらはリサイクル性を損なう元素で、これらに替わる合金元素が検討された。

その結果、耐食性と鋼材の製造特性を加味して、リサイクル容易な組成の0.8Al-0.8Si系低炭素鋼を組

成設計した。ここで、Al, Si はいずれも鉄鋼の脆化元素であるが、脆性は結晶粒微細化で克服できる。検討を重ねた結果として、得られた特性は引張強さ：約 800 MPa, 脆性遷移温度：-100°C 以下, 上部棚エネルギー：約 200 J, 耐食性：1%Ni 鋼相当以上となり、素材特性の基本目標はほぼ総合的に達成できた。

(2) 溶接継手

溶接継手の靱性、疲労強度を上げない限り、素材の高強度を活かして使うことはできない。一方、素材の高強度化のためには金属組織を微細に制御している。微細に制御された金属組織は加熱に対してより不安定になる恐れが高い。

そこで、まず溶接継手の作り方から考え方を変えた。従来は大入熱で高効率化を図っているが、これでは折角の金属組織も大きく破壊されてしまう。改善案として考えたのは、できる限り小入熱にしてかつ効率を失わない方法である。ひとつのアイデアは、超狭開先アーク溶接（溶接ワイヤ搬送+溶接電流モジュレーション）での同期制御である。これによって HAZ（Half Affected Zone）幅を 1 mm 程度にまで狭小化し、オーバーマッチ継手によって継手効率を 100% にした（図-4（上））。

これで継手強度は素材並にできるが、次は継手靱性

に心配が残る。それに対し、Al-Si 系低炭素鋼の継手靱性は、自らの予想を裏切る形で良好な結果が得られた。炭素量をいくらか増量したところでシャルピー靱性の改善が認められ、-40°C で 70 J がほぼ達成された。

次は、継手疲労である。これには、低変態点溶接金属を使うことによって、通常の溶接で継手に発生する引張残留応力を無くするというアイデアで、疲労強度を 2 倍以上に改善することができた（図-4（下））。

開発ワイヤは合金含有量も高く、加工も難しい。それをより安価に製造する試みの中から、既存金属ワイヤを複合し、アーク溶解時に目的成分にすることを思いつき、ハイブリッド・ワイヤと名づけた新しい材料開発も進めている。

(3) ボルト接合

現場溶接施工は建設コストを押し上げるので、高強度ボルトを開発できないであろうかという期待が高い。トータルなコスト削減にも大きな効果が想定されるので、高強度ボルト開発に取り組んだ。理想的には 2,000 MPa 以上が望ましいと言われたが、大きなネックである遅れ破壊を起こさない素材開発自体が至難の業である。

そこで、水素トラップの金属組織設計、暴露試験による破壊要因の絞込み、標準化できる遅れ破壊特性評価法の模索など様々な基礎研究を展開する中から、まずは 1,800 MPa 級の遅れ破壊フリーのボルト用鋼を開発し、ボルトを試作した（図-5）。

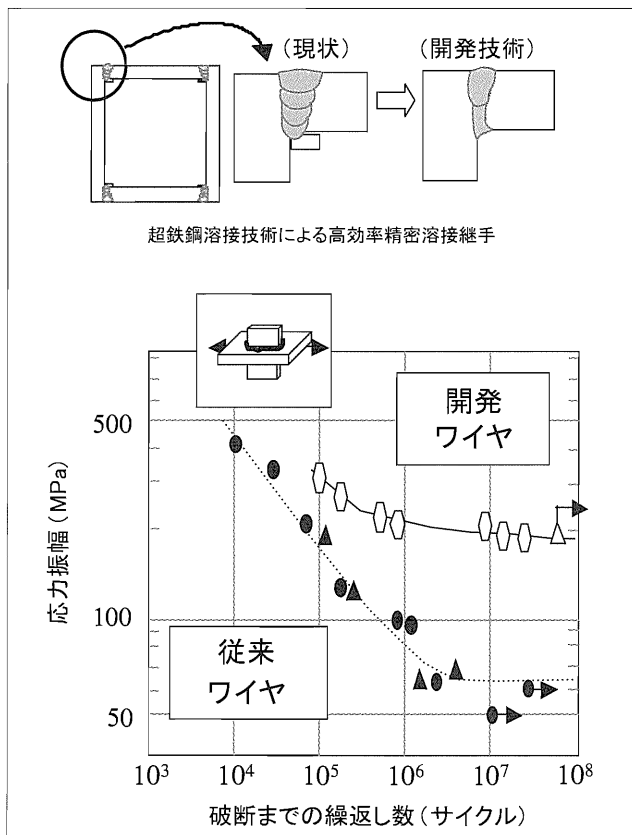


図-4 超鉄鋼プロジェクトが提案する溶接法と新しい溶接ワイヤ

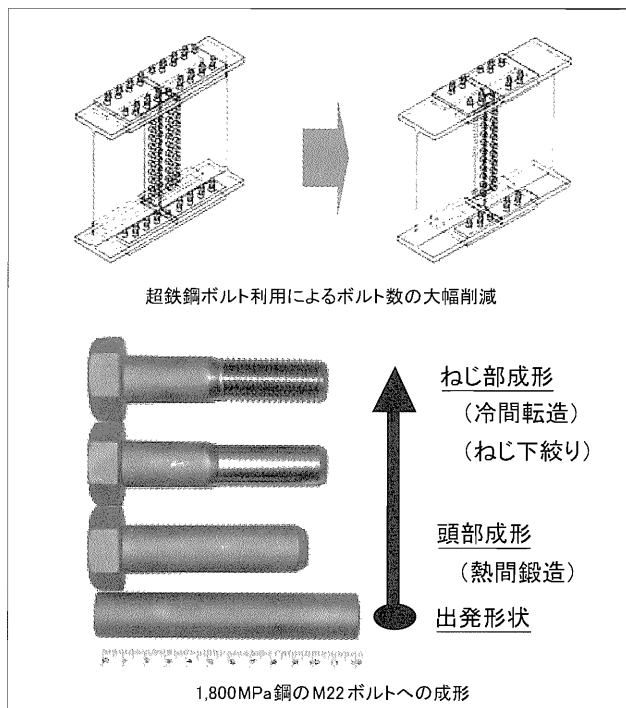


図-5 高強度ボルト接合の実現のために

成形容易さの確保、暴露試験などによる確性試験などを継続して取組んでいる。

#### 4. おわりに

以上述べてきたように、ブレークスルーによって我が国の鉄鋼技術をさらに高く、しかも新しい基礎・基盤の地平に持上げることに一定の貢献ができたと自負している。今後は、民間企業との共同、連携がうまくいくかどうかに委ねられている。その中でも、製品性能に求められる材料機能を「(素材×加工) 融合超技術」で引出すことが最も大事な観点である。

独立行政法人物質・材料研究機構は「材料研究プラッ

トフォーム」を立上げ、当機構が有しているさまざまなポテンシャル・シーズを連係させ、産業ニーズ、社会ニーズにマッチングさせて、成果の普及に貢献していく体制を整えている。これを機会に多くの方々からのアクセスを期待している (<http://www.nims.go.jp/jpn/collabo/index.html>)。 JCMIA

#### 【筆者紹介】

長井 寿 (ながい ことぶ)  
独立行政法人物質・材料研究機構  
環境・エネルギー材料領域コーディネーター  
工博



## 建設機械施工安全技術指針 (改訂版)

### —— 指針本文とその解説 ——

(建設機械施工安全マニュアル 平成 17 年 3 月  
国土交通省建設施工企画課策定 CD を添付)

#### 目 次

##### 第 I 編 総論

- 第 1 章：目的
- 第 2 章：適用範囲
- 第 3 章：安全対策の基本事項
- 第 4 章：安全関係法令

##### 第 II 編 共通事項

- 第 5 章：現地調査
- 第 6 章：施工計画
- 第 7 章：現場管理
- 第 8 章：建設機械の一般管理
- 第 9 章：建設機械の搬送
- 第 10 章：賃貸機械等の使用

##### 第 III 編 各種作業

- 第 11 章：掘削工、積込工
- 第 12 章：運搬工
- 第 13 章：締固工
- 第 14 章：仮締切工、土留・支保工
- 第 15 章：基礎工、地盤改良工

- 第 16 章：クレーン工、リフト工等
- 第 17 章：コンクリート工
- 第 18 章：構造物取壊し工
- 第 19 章：舗装工
- 第 20 章：トンネル工
- 第 21 章：シールド掘進工、推進工
- 第 22 章：道路維持修繕工
- 第 23 章：橋梁工

■A 5 判 330 頁

#### ■定 価

非会員：3,360 円 (本体 3,200 円)  
会 員：2,800 円 (本体 2,667 円)  
送 料：会員・非会員とも  
沖縄県以外 450 円  
沖縄県 1,050 円

※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせていただきます。

### 社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289 <http://www.jcmanet.or.jp>