

第2編 施工（製作）における高性能な鋼材の活用

1. まえがき

インフラの老朽化が進むとともに、社会の安全・安心を支えるインフラの整備が急務となっている。しかし、それを担う建設業界では少子高齢化による人材不足が深刻化し、業界としての生産性向上は避けることのできない課題となっている。現在の建設産業では、調査・測量、設計、施工および維持管理のあらゆるプロセスにおいて、ICT を取り入れることにより生産性を大幅に向上させる“i-Construction”が推進されている。材料においても、近年実用化されつつある新しい材料や他分野で実用化されている材料とその利用技術等を取り入れることにより、建設産業の生産性向上が期待されている。

鋼橋で使用されている高性能鋼には、鋼橋の軽量化、長大化、運搬の効率化が図れる「高強度鋼」や板厚 40 mm を超える鋼材であっても降伏点または耐力の下限値が変化しない「降伏点一定鋼」、小さな曲げ半径での冷間加工や寒冷地などの低温地域での使用が可能な「高じん性鋼」、高張力鋼や厚肉鋼材の溶接部に発生する低温割れを防止し、予熱作業が省略できる「予熱低減鋼」、板厚方向に大きな引張応力を受ける鋼材に発生する平行な割れを防止する「耐ラメラテア鋼」、鋼材の表面に緻密なさびを形成することでさびの進展を抑制しライフサイクルコストを縮減できる「耐候性鋼」などがある。

耐候性鋼は、ライフサイクルコストの縮減だけでなく、少子高齢化による将来の労働力不足の対策として、社会的ニーズの高まりとともに、鋼橋への適用比率が高まり、さらには高飛来塩分対応の Ni 系高耐候性鋼の開発により、現在では鋼橋全体の約 9% 程度を占める比率で建設されている。しかし、高強度鋼は、HT690 鋼などの鋼材製造技術が確立したにも関わらず、鋼橋への適用比率が増加してこなかった。SM570 鋼以上の高強度鋼では、冷間割れ防止対策や入熱制限などの施工上の制約が鋼橋の製造効率を低下させ、高強度鋼が鋼橋へ普及しない要因の一つとなっていた。そのような背景から設計性能だけでなく、生産性の向上も図れる高性能鋼として開発されたのが、SBHS (Steels for Bridge High Performance Structure) である。SBHS は、高強度かつ溶接施工性や冷間曲げ加工性、耐ラメラテアなど良好な製作性を有しているため、近年鋼橋への適用が増加している。

そこで本章では、生産性向上の観点から鋼材性能の向上と更なる可能性を求め、実際に鋼橋を設計・製作・架設している施工者から、どのようなことに困っていて、何を求めているのかを把握することで、施工者が求めている新しい鋼材性能のヒントが得られないか調査するためアンケートを実施した。またアンケートでは、鋼橋に限らず、建築鉄骨や造船など他業種の知見や知識なども調査し、多方面の分野から施工者が求めるポイントや鋼橋に有効な鋼材性能を探ることとした。

2. アンケート

2. 1 調査概要

■ 目的

開発・設計、材料、施工および維持管理の複数の観点から、利用者に求められる鋼材性能を調査・整理し、新しい鋼材の開発や多様な鋼材の有効な活用方法等を提案する。

■ 調査対象

(一社) 日本橋梁建設協会の設計・製作・架設の 3 小委員会に所属する正会員会社 31 社

■ 調査方法

アンケート用紙をメールにて送受信

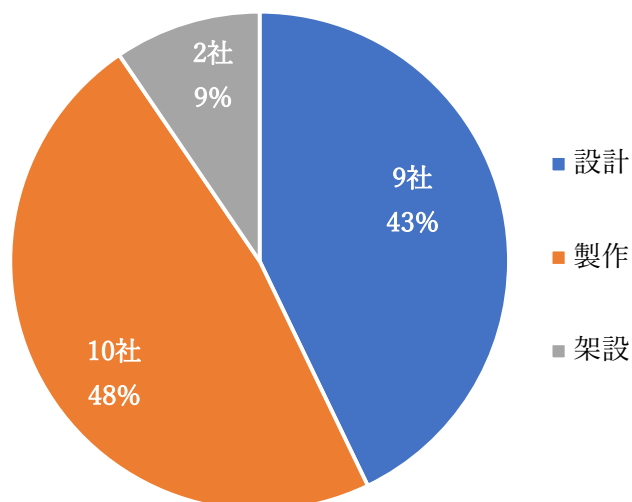
■ 調査期間

2018 年 11 月 26 日から 2018 年 12 月 7 日まで

■回答数

設計小委員会	9 社
製作小委員会	10 社
架設小委員会	2 社
合 計	21 社

グラフー 1 回答数

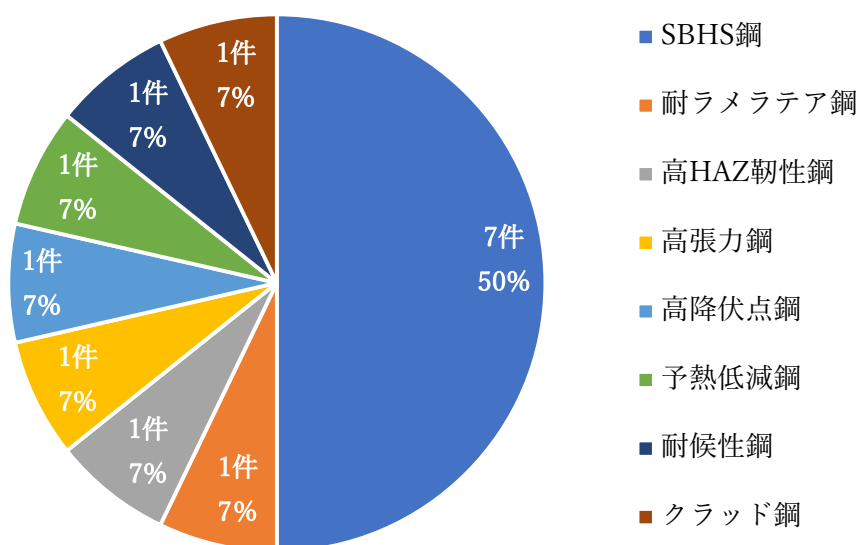


2. 2 アンケート結果

問 1) 高性能鋼を使用して，鋼構造物の鋼材性能および施工性の向上を図った事例，または鋼橋に限らず，建築鉄骨や造船など他業種に使用されている新しい材料等について，社報や文献，情報があればご紹介下さい。

高性能鋼を使用した事例としては，SBHSを使用した事例が最も多くあり，SBHS鋼は施工性及び経済性の向上に期待できることが分かった．また建築鉄骨に高性能鋼を使用した事例も多数あった．

グラフー 2 高性能鋼を使用した事例



■ S B H S（7 件：50%）

- ・ 斜張橋のケーブル定着部に S B H S を使用することで応力集中による板厚の増加を低減した事例がある。
- ・ 鋼製橋脚隅角部に S B H S を使用することで、板厚を低減し溶接性の改善を図った事例がある。
- ・ 立体ラーメン橋の隅角部に S B H S を使用し、板厚の低減を図った事例がある。
- ・ SBHS500 を橋脚隅角部に用いて予熱や溶接量を削減した実績がある。
- ・ S B H S を採用し、鋼重の低減を図った事例がある。
- ・ 詳細設計物件で、S B H S を採用し板厚低減と溶接施工性向上を図った事例がある。
- ・ 応力方向と圧延方向を一致させなくてもよいので、材料手配時のリスク低減や鋼材ロスの改善を図った事例がある。

■ 耐ラメラテア鋼（1 件：7%）

- ・ 耐ラメラテア材を橋脚隅角部や橋脚基部に用いて、溶接割れの防止を図った事例がある。

■ 高 HAZ じん性鋼（1 件：7%）

- ・ 建築鉄骨で大入熱のエレクトロスラグ溶接部に高じん性を要求された場合に、高 HAZ じん性鋼を施工した実績がある。

■ 高張力鋼（1 件：7%）

- ・ 建築鉄骨で柱重量の軽減による現場継手箇所・溶接量の削減を目的に、引張強さ 780N/mm²級鋼を施工した実績がある。

■ 高降伏点鋼（1 件：7%）

- ・ 建築鉄骨で柱が弾性設計の物件に、高降伏点鋼（YP500 鋼，YP400 鋼）を施工した実績がある。

■ 予熱低減鋼（1 件：7%）

- ・ 建築鉄骨でメーカー新規開発の予熱低減鋼使用による予熱コスト削減を目的に、予熱低減鋼（TS590N/mm²級）を施工した実績がある。

■ 耐候性鋼（1 件：7%）

- ・ 建築鉄骨で箱形の梁をダクト兼用として設計された物件に、耐候性鋼を施工した実績がある。

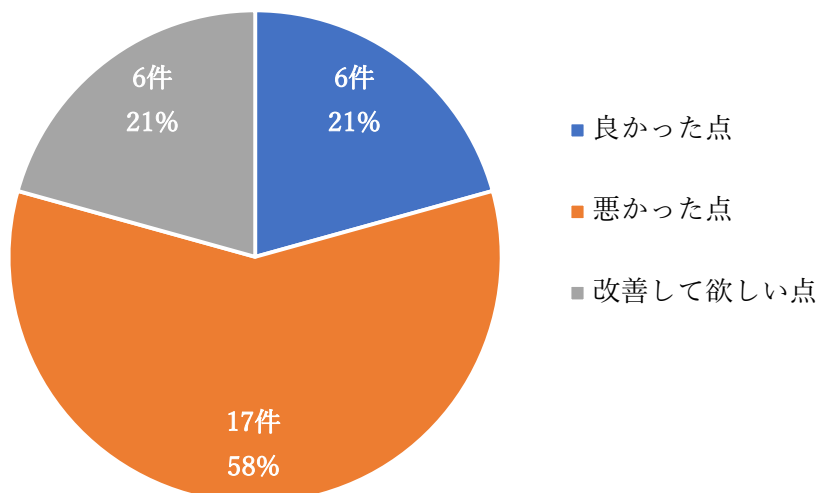
■ クラッド鋼（1 件：7%）

- ・ 煙突筒身部材としてスーパーステンレスのクラッド鋼を施工した実績がある。

問2) 高性能鋼を使用し、良かった点、悪かった点、改善して欲しい点等について、率直なご意見をお聞かせ下さい。

高性能鋼を使用して良かった点が6件(21%)に対して、悪かった点が17件(58%)、改善して欲しい点が6件(21%)で合わせて23件(79%)となり、高性能鋼に対する意見や要望が8割程度と多数あった。

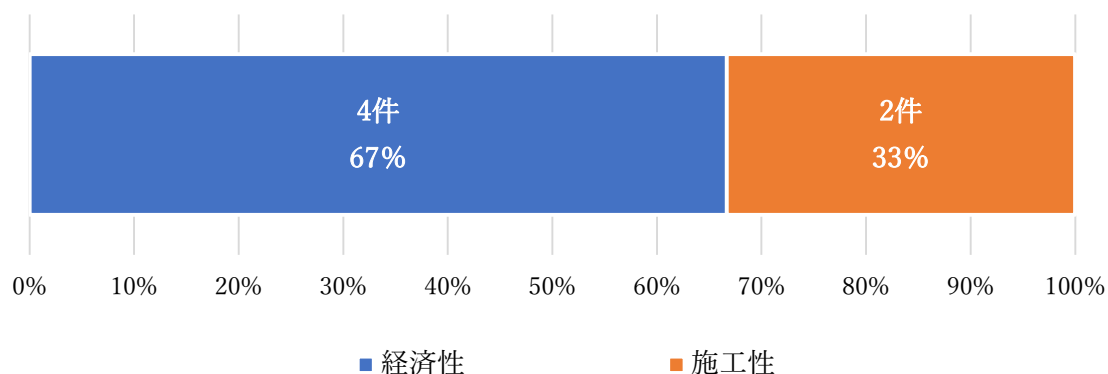
グラフー3 高性能鋼に対するご意見



■良かった点 (6 件)

良かった点の内容は、経済性4件(67%)、施工性2件(33%)となり、経済性に関する意見が多く、特にS B H Sについては経済性および施工性に良い意見があった。

グラフー4 高性能鋼の良かった点



<経済性> (4/6 件 : 67%)

- ・ S B H Sは、板厚を落とすことができるため、鋼重の軽減、部材分割が容易になった。
- ・ S B H Sは、従来鋼より板厚を下げることで、ブロック割の自由度が増したことが良かった。

- ・ SBHS400 は一種類の材質で設計できる可能性があり、材料間違いのリスクが低減される。寒冷地では、設定温度により材質を変化させる必要があるが、その必要がなく設計間違いのリスクも低減できる。
- ・ 煙突筒身部材にスーパーステンレスのクラッド鋼を使用することで、排ガス対策としてのモルタルライニングの施工が不要となり、現場工程短縮を図ることができた。また設計的な背景としては、モルタルライニングの重量を含めると基礎の再設計が必要となり、性能評価・確認申請を実施する可能性があった。基礎にかかる荷重を当初設計時を超えないようにスーパーステンレスのクラッド鋼の使用のみとし、モルタルライニングを不要とした。

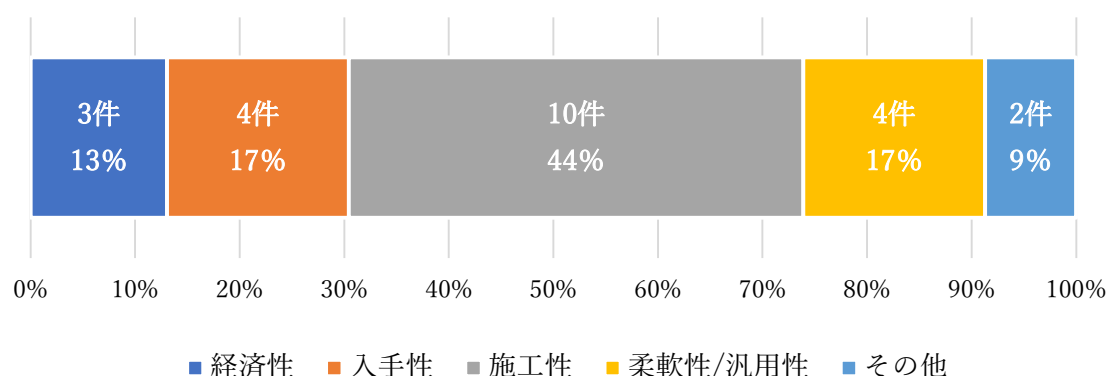
<施工性> (2/6 件 : 33%)

- ・ SBHS は、予熱が不要となるなど、管理面でのメリットも出てくる。
- ・ 予熱低減鋼については施工難易度が全く従来材と変わりなく予熱が削減でき、溶接性も改善されて良かった。

■悪かった点/改善して欲しい点 (23 件)

悪かった点と改善して欲しい点の内容は、経済性 3 件 (13%)、入手性 4 件 (17%)、施工性 10 件 (44%)、柔軟性/汎用性 4 件 (17%)、その他 2 件 (9%) となり、施工性に関する意見や要望が最も多い結果となった。

グラフー 5 高性能鋼の悪かった点/改善して欲しい点



<経済性> (3/23 件 : 13%)

- ・ SBHS を使用したが、積算基準がなかったため、価格交渉が大変であった。
- ・ 局所的な使用となるとロスが大きく、非常に不経済なものになってしまうので配慮が必要であった。
- ・ コストの問題から技術提案以外で使用するにはハードルが高かった。

<入手性> (4/23 件 : 17%)

- ・ 市場性がないため、緊急で材料が追加になった場合は手待ちが発生した。
- ・ 納期の問題から技術提案以外で使用するにはハードルが高かった。
- ・ 専用の溶接材料を入手するのに苦労した。
- ・ 高性能鋼に対応する H T B や形鋼が無いものがある。

<施工性> (10/23 件：44%)

- ・ 施工実績の少ない鋼材であり，切断性，溶接性などの特徴を把握しておかないと，切断時のノッチが出やすくなり，溶接も比較的溶け込み不良などが出る傾向にあった．
- ・ 多くの高性能鋼を各ミルメーカーが有しており，それぞれで溶接材料が異なるため，管理が煩雑となった．
- ・ 3 %N i 材は溶接施工性が悪く苦勞した．
- ・ 高 HAZ じん性鋼や 780N/mm²鋼については，溶接施工性が悪く溶込みにくいなどの苦勞があった．
- ・ 780N/mm²鋼は従来の炭素鋼と音速差が大きく超音波探傷検査で屈折角の補正が必要であった．
- ・ 780N/mm²鋼は遅れ割れが懸念され後熱が必須だったため扱いづらいと感じた．
- ・ クラッド鋼同士，クラッド鋼と普通鋼の溶接部の施工難易度が高いと感じた．
- ・ クラッド鋼の突合せ溶接は欠陥が出やすく，溶接作業者の技量によるところが大きかった．
- ・ クラッド鋼の現地での切断，加工が難しかった．
- ・ 溶接性が従来よりも改善される高性能鋼としてほしい．

<柔軟性/汎用性> (4/23 件：17%)

- ・ 高性能鋼にマッチした溶接材料等を推奨して欲しい．
- ・ 使用する高性能鋼と溶材の組み合わせを明確に示して欲しい．
- ・ S B H S は降伏後の挙動が不明確でデータも少ないことから，最近では隅角部のような耐震設計上降伏を期待していない部材であっても，鋼製橋脚のようなじん性が求められる構造に S B H S の使用を認めない発注者が増えている．S B H S の降伏後の履歴特性データの蓄積が進まないと，本来，メリットが発揮できる部材に使えず，普及もなかなか進まない．
- ・ SM570 や SBHS500 を用いた鋼製橋脚の耐力や変形性能に関する研究成果が少ないため，鋼製橋脚の柱に採用できない．このような研究を進めて，柱にも適用可能としてほしい．

<その他> (2/23 件：9%)

- ・ 亜鉛めっき用鋼で切断面の腐食（サビ）が発生，およびコンクリート接触部からの腐食（サビ）が発生した．
- ・ クラッド鋼の座屈・破断・疲労における性状を知りたい．例えば，母材と合わせ材の降伏点が低いほうから座屈するのか，破断するのか，疲労起点はどちらからなのか，知りたい．

問３） 他業種に使用されている新しい材料で、鋼橋にも適用できた場合のメリット等がございましたら、ご提案下さい。

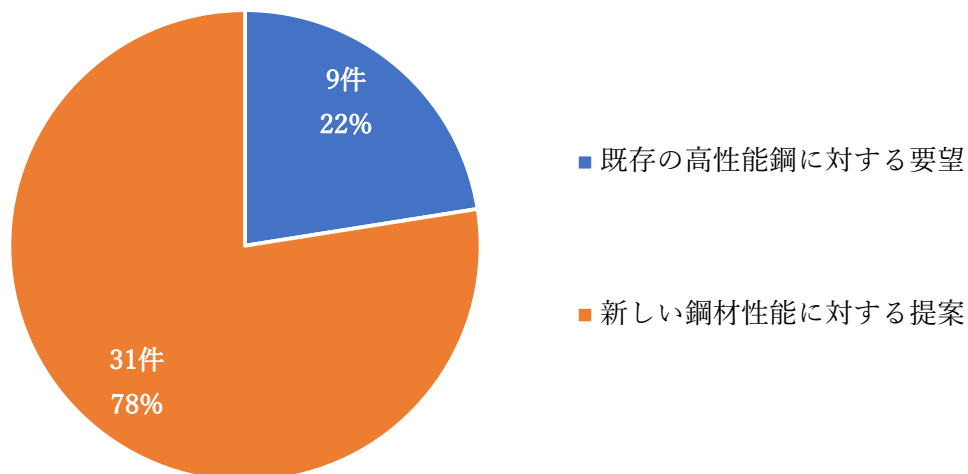
建築で使用されている材料について、１件の提案があった。

- ・ 現状溶接入熱の上限が 7,000J/mm, 10,000J/mm と制限があるが、建築で使用している高 HAZ じん性鋼を用いることで、入熱の上限を緩和して極厚材の溶接生産性を高める建築で使用している高 HAZ じん性鋼を用いることで、入熱の上限を緩和して極厚材の溶接生産性を高める。

問４） ご自身の業務・経験などを踏まえ、計画・設計・製作・架設において、開発実現できれば鋼構造物の発展が期待できる鋼材性能（要求性能）について、率直なご意見や斬新なご提案をお聞かせ下さい。

大きく分けて、既存の高性能鋼に対する要望と新しい鋼材性能に対する提案があった。

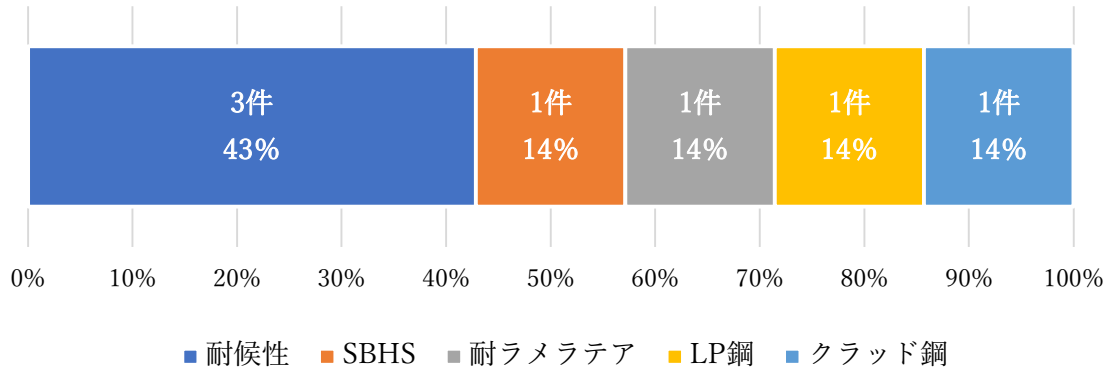
グラフー 6 鋼材性能に対する要望・提案



■既存の高性能鋼に対する要望（7 件）

既存の高性能鋼に対する要望は、耐候性鋼 3 件（43%）、SBHS 1 件（14%）、耐ラメラテア鋼 1 件（14%）、LP 鋼 1 件（14%）、クラッド鋼 1 件（14%）となり、耐候性鋼に対する要望が最も多い結果となった。

グラフ 2－7 既存の高性能鋼に対する要望



＜耐候性鋼＞（3/7 件：43%）

- ・ どんな環境でも安定さび（保護性さび）を生成する耐候性鋼材。
- ・ 飛来塩分量が多い地域にも適用できる耐候性鋼材。
- ・ 耐塩性のある耐候性鋼材。

＜橋梁用高性能鋼板 SBHS＞（1/7 件：14%）

- ・ SBHS の浸透、もしくはもっと高性能で板厚を薄くできる鋼材。

＜耐ラメラテア鋼＞（1/7 件：14%）

- ・ 隅角部や三線交差部など引張応力の厳しい溶接部はどうしてもラメラテアによる欠陥が生じやすい。建築の C 材（板厚方向引張部に適用）の上を行くような耐ラメラテア鋼があれば良い。

＜LP 鋼板＞（1/7 件：14%）

- ・ ソールプレートなどのテーパー鋼板で削らなくよい鋼材。

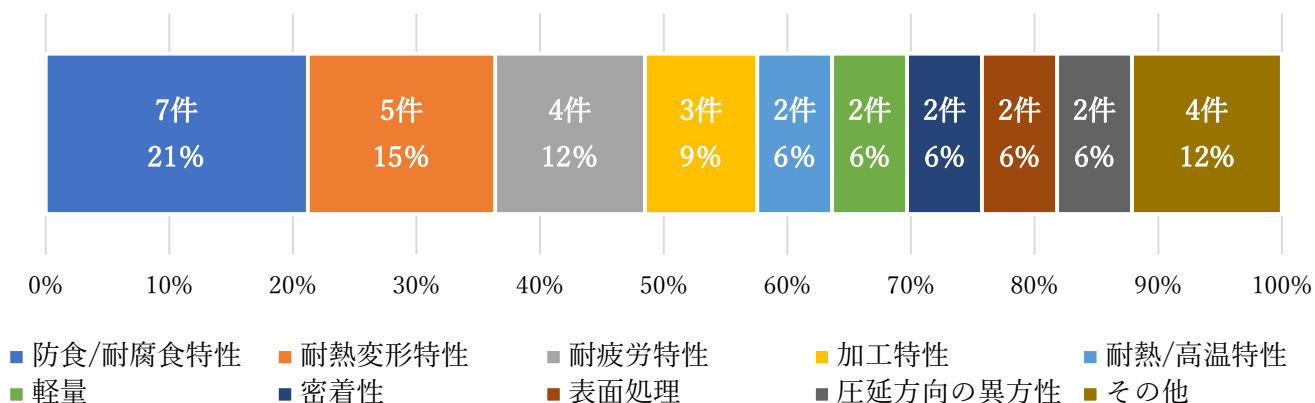
＜クラッド鋼＞（1/7 件：14%）

- ・ 腐食環境が厳しい場所ではクラッド鋼が有効だが、コバ面に普通鋼が出てしまうため、隠すための構造に工夫が必要となる。

■新しい鋼材性能に対する提案（33 件）

新しい鋼材性能に対する提案は、防食/耐腐食特性 7 件（21%）、耐熱変形特性 5 件（15%）、耐疲労特性 4 件（12%）、加工特性 3 件（9%）、耐熱/耐高温特性 2 件（6%）、軽量化 2 件（6%）、密着性 2 件（6%）、表面処理 2 件（6%）、圧延方向の異方性 2 件（6%）、その他 4 件（12%）となり、防食/耐腐食性に対する提案が最も多い結果となった。

グラフー 8 新しい鋼材性能に対する提案



＜防食，耐腐食特性＞（7/33 件：21％）

- ・ 三か月程度さびが発生しない鋼材．
- ・ 鋼板プライマーが不要な鋼材．加工性および溶接施工性が向上する．
- ・ 腐食しない鋼材で施工性に優れた鋼材．
- ・ 塩分に対する防食性の高い鋼材．
- ・ 腐食フリーな鋼材．
- ・ 腐食しない鋼材．
- ・ ステンレス鋼等との異種金属接触腐食を生じない炭素鋼．

＜耐熱変形特性＞（5/33 件：15％）

- ・ 薄板溶接時のひずみが極力出ない材料．
- ・ 溶接量が過大な部位に対しての変形防止対策及び，変形した場合の修正に労力がかかる．
- ・ 熱影響による変形，変質，縮みが生じない鋼材．
- ・ 線膨張係数の小さい鋼材．
- ・ 溶接縮みが小さい鋼材．

＜耐疲労特性＞（4/33 件：12％）

- ・ 止端仕上げしなくても疲労に対応できる鋼材．
- ・ 溶接部の疲労対策（F P 化，止端仕上げ，フィレット仕上げ，溶接部仕上げ等）に労力を要している．これを軽減できる鋼材や溶材の開発が望まれる．
- ・ 疲労対策の溶接仕上げが負担となっており，これを低減したい．
- ・ 疲労損傷が起きにくい鋼材で施工性に優れた鋼材．

＜加工特性＞（3/33 件：9％）

- ・ 切りっぱなしで切断縁が滑らかになる鋼材．
- ・ 機械的性質は損なわず削りやすい鋼材．
- ・ 孔明け，2R 面取り等の加工性に優れた鋼材．

＜耐熱，高温特性＞（2/33 件：6％）

- ・ 既設桁の損傷の補修・補強として加熱矯正（線状加熱ではない）を行うことがあるが，900℃程度の加熱でも鋼材の性能が低下しない鋼材があれば，補修・補強しやすい．
- ・ 加熱矯正の際の温度管理が不要な鋼材．

＜軽量＞（2/33 件：6％）

- ・ 比重が小さい（軽い）鋼材．
- ・ 杓座など支圧を受ける構造部材に用いたら軽くなるハニカム鋼材．

＜密着性＞（2/33 件：6％）

- ・ コンクリートとの密着性の高い鋼材.
- ・ 塗装がしやすい鋼材で，ブラストレスで無機ジンクが塗布できる鋼材.

＜表面処理＞（2/33 件：6％）

- ・ 供用中に応力状態が変化すると（例えば疲労き裂発生），鋼板表面に縞模様が現れるなど，目視で判断できる変化が生じる鋼材.
- ・ 溶接スパッタが付かない鋼材.

＜圧延方向の異方性＞（2/33 件：6％）

- ・ ロール方向を考慮しないで板取できる鋼板
- ・ ロール方向を考慮しなくてよい鋼材

＜その他＞（4/33 件：12％）

- ・ 完全溶込み溶接継手の超音波探傷試験において，鋼材内部の介在物を検出して判定に苦勞することがある．超音波探傷試験で検出しないように鋼材内部の介在物を超微細化した鋼材.
- ・ 鋼材の高強度化，高板厚化に伴い，高力ボルト継手部のボルト配置に苦慮することが多く，新道示で規定された **S14T** の適用可能範囲が増えると，設計の自由度が増す.
- ・ 高強度鋼材の溶接部でせん断力が支配的な箇所はアンダーマッチング規格の溶接材料は適用できないだろうか.
- ・ 角部が全て **2R** 以上の形鋼.

2. 3 アンケート結果に対する回答

アンケートの結果，高性能鋼の活用方法や高性能鋼の改善点や要望，新しい鋼材性能の提案について，多くの意見を得ることができた．また，（一社）日本鉄鋼連盟よりアンケート結果の間2）～3）について，回答を得ることができたので紹介する．

間2） 高性能鋼を使用し，良かった点，悪かった点，改善して欲しい点等について，率直なご意見をお聞かせ下さい．

■悪かった点/改善して欲しい点（23 件）

＜経済性＞

- ・ S B H S を使用したが，積算基準がなかったため，価格交渉が大変であった.
- ・ 局所的な使用となるとロスが大きく，非常に不経済なものになってしまうので配慮が必要であった.
- ・ コストの問題から技術提案以外で使用するにはハードルが高かった.

＜入手性＞

- ・ 市場性がないため，緊急で材料が追加になった場合は手待ちが発生した.
- ・ 納期の問題から技術提案以外で使用するにはハードルが高かった.
- ・ 専用の溶接材料を入手するのに苦勞した.
- ・ 高性能鋼に対応する H T B や形鋼が無いものがある.

【回答】材料開発の段階では小ロットになるため、市場性、価格の面で不利になることは否めない。しかし、高性能鋼が普及し需要が増えれば市場性も高まり、ロットがまとまれば納期は普通鋼材に近づけられると考えられる。しかし、高性能化に伴う製造コスト上昇分はエキストラとして価格に転嫁せざるを得ない。

<施工性>

- ・ 施工実績の少ない鋼材であり、切断性、溶接性などの特徴を把握しておかないと、切断時のノッチが出やすくなったり、溶接も比較的溶け込み不良などが出る傾向にあった。
- ・ 多くの高性能鋼を各ミルメーカーが有しており、それぞれで溶接材料が異なるため、管理が煩雑となった。
- ・ 3%Ni材は溶接施工性が悪く苦勞した。
- ・ 高 HAZ じん性鋼や 780N/mm²鋼については、溶接施工性が悪く溶込みにくいなどの苦勞があった。
- ・ 780N/mm²鋼は従来の炭素鋼と音速差が大きく超音波探傷検査で屈折角の補正が必要であった。
- ・ 780N/mm²鋼は遅れ割れが懸念され後熱が必須だったため扱いづらいと感じた。
- ・ クラッド鋼同士、クラッド鋼と普通鋼の溶接部の施工難易度が高いと感じた。
- ・ クラッド鋼の突合せ溶接は欠陥が出やすく、溶接作業者の技量によるところが大きかった。
- ・ クラッド鋼の現地での切断、加工が難しかった。
- ・ 溶接性が従来よりも改善される高性能鋼としてほしい。

【回答】各種の高性能鋼は特殊鋼に分類されるものも多く、普通鋼に比べて施工性が悪いのは課題として認識している。ミルメーカーでは施工性の良い製品の開発に努めているが、施工性の改善のためにどのような課題があるのか具体的な情報が必要であり、製品の使用性については都度、情報提供をお願いしたい。また 780N/mm²鋼は普通鋼とは作り方が異なるために、金属組織が異なるものとなるため、多少の音響異方性を生じることとは避けられない。

<柔軟性/汎用性>

- ・ 高性能鋼にマッチした溶接材料等を推奨して欲しい。
- ・ 使用する高性能鋼と溶材の組み合わせを明確に示して欲しい。

【回答】JIS に対応した溶接材料は、各溶材メーカーで商品化されている。各種高性能鋼のカタログなどにて推奨する溶接材料が紹介されているが、詳細は溶材メーカーやミルメーカーへの問い合わせをお願いしたい。各社で母材成分が異なることになるので、それに合わせた溶接材料が異なるものとなるのはやむを得ない。

- ・ SBHSは降伏後の挙動が不明確でデータも少ないことから、最近では隅角部のような耐震設計上降伏を期待していない部材であっても、鋼製橋脚のようなじん性が求められる構造にSBHSの使用を認めない発注者が増えている。SBHSの降伏後の履歴特性データの蓄積が進まないと、本来、メリットが発揮できる部材に使えず、普及もなかなか進まない。

- ・ SM570 や SBHS500 を用いた鋼製橋脚の耐力や変形性能に関する研究成果が少ないため、鋼製橋脚の柱に採用できない。このような研究を進めて、柱にも適用可能としてほしい。

【回答】研究機関や事業者にて鋼製橋脚隅角部および塑性化する部位への高強度鋼の適用について、研究が行われており、鉄連において鋼材の提供などのバックアップを行っている。SBHS等の高強度鋼についても、今後の技術基準の改定に向けた検討が進められており、技術基準へも反映されるものと期待している。

<その他>

- ・ 亜鉛めっき用鋼で切断面の腐食（サビ）が発生、およびコンクリート接触部からの腐食（サビ）が発生した。

【回答】薄板では高耐食メッキにおいて、切断面で耐食性を有することが確認されているが、厚板では距離が大きいため範囲をカバーできず困難である。

- ・ クラッド鋼の座屈・破断・疲労における性状を知りたい。例えば、母材と合わせ材の降伏点が高いほうから座屈するのか、破断するのか、疲労起点はどちらからなのか、知りたい。

【回答】母材と合わせ材とは圧着されており、基本的には一体として挙動するものと考えられる。設計の考え方によるが、強度は母材のみで負担する、疲労は各材料に発生する応力振幅によって照査するなどの対応が取られていると考えられる。

問3）他業種に使用されている新しい材料で、鋼橋にも適用できた場合のメリット等がございましたら、ご提案下さい。

- ・ 現状溶接入熱の上限が7,000J/mm、10,000J/mmと制限があるが、建築で使用している高HAZじん性鋼を用いることで、入熱の上限を緩和して極厚材の溶接生産性を高める建築で使用している高HAZじん性鋼を用いることで、入熱の上限を緩和して極厚材の溶接生産性を高める。

【回答】生産性向上に向けて、入熱制限の緩和は課題として認識しており、入熱量に応じた大入熱溶接鋼を各社で製品化している。大入熱溶接に関する具体的なニーズがあれば開発を検討することも可能である。

問4) ご自身の業務・経験などを踏まえ、計画・設計・製作・架設において、開発実現できれば鋼構造物の発展が期待できる鋼材性能（要求性能）について、率直なご意見や斬新なご提案をお聞かせ下さい。

■既存の高性能鋼に対する要望（7件）

＜耐候性鋼＞

- ・ どんな環境でも安定さび（保護性さび）を生成する耐候性鋼材。
- ・ 飛来塩分量が多い地域にも適用できる耐候性鋼材。
- ・ 耐塩性のある耐候性鋼材。

【回答】飛来塩分量にもよるが、ある程度の高飛来塩分環境下でも適用できるニッケル系高耐候性鋼が商品化されている。

＜橋梁用高性能鋼板SBHS＞

- ・ SBHSの浸透、もしくはもっと高性能で板厚を薄くできる鋼材。

【回答】SBHSの普及には鉄連として注力していきたい。さらなる高性能鋼の開発は、具体的なニーズがあれば検討する余地はある。

＜耐ラメラテア鋼＞

- ・ 隅角部や三線交差部など引張応力の厳しい溶接部はどうしてもラメラテアによる欠陥が生じやすい。建築のC材（板厚方向引張部に適用）の上を行くような耐ラメラテア材があれば良い。

【回答】当該部材の用途に対応した耐ラメラテア鋼（Z15, Z25, Z35）がJIS規格化されており、商品化されている。

＜LP鋼板＞

- ・ ソールプレートなどのテーパー鋼板で削らなくよい鋼材。

【回答】現状のテーパー鋼板は4mm/m程度までであり、ソールプレートで使うには板厚差が小さい。また、大板での製造が必要なので、サイズが小さいソールプレートでは製造コスト増が大きい。

＜クラッド鋼＞

- ・ 腐食環境が厳しい場所ではクラッド鋼が有効だが、コバ面に普通鋼が出てしまうため、隠すための構造に工夫が必要となる。

【回答】構造物の腐食しやすい部位は決まっており、高耐食材料を部分的に適用して全体の耐食性を向上させることは LCC ミニマムの観点から重要。材料コストは全体から見れば大きくないため、クラッドとせずに無垢材を使うことで LCC を低減することも可能ではないか。

■新しい鋼材性能に対する提案（33 件）

＜防食、耐腐食特性＞

- ・ 三か月程度さびが発生しない鋼材。
- ・ 鋼板プライマーが不要な鋼材。加工性および溶接施工性が向上する。

【回答】現状では、防せいのためのプライマーは必須である。

- ・ 腐食しない鋼材で施工性に優れた鋼材。
- ・ 塩分に対する防食性の高い鋼材。
- ・ 腐食フリーな鋼材。
- ・ 腐食しない鋼材。

【回答】コストを気にしなければ、SUS 等が使用できる。低コストでの対応は現状では困難である。

- ・ ステンレス鋼等との異種金属接触腐食を生じない炭素鋼。

【回答】成分が異なるためどうしても電位差が生じるので、開発は困難である。

＜耐熱変形特性＞

- ・ 薄板溶接時のひずみが極力出ない材料。
- ・ 溶接量が過大な部位に対しての変形防止対策及び、変形した場合の修正に労力がかかる。
- ・ 熱影響による変形、変質、縮みが生じない鋼材。
- ・ 線膨張係数の小さい鋼材。
- ・ 溶接縮みが小さい鋼材。

【回答】現状は、低温変態溶接材料と同様、変態点(温度)を利用して影響を少しだけ小さくできる程度で、開発は困難である。また線膨張係数は物理定数のため、開発は困難である。

＜耐疲労特性＞

- ・ 止端仕上げしなくても疲労に対応できる鋼材。
- ・ 溶接部の疲労対策（F P 化、止端仕上げ、フィレット仕上げ、溶接部仕上げ等）に労力を要している。これを軽減できる鋼材や溶材の開発が望まれる。

- ・ 疲労対策の溶接仕上げが負担となっており，これを低減したい．
- ・ 疲労損傷が起きにくい鋼材で施工性に優れた鋼材．

【回答】耐疲労鋼として，疲労き裂の進展を抑制する鋼材や疲労き裂伝播速度を低減させた鋼板が開発されている．また，後処理として，溶接部への圧縮残留応力導入による疲労寿命向上策としてピーニング処理等を併用することも考えられる．

<加工特性>

- ・ 切りっぱなしで切断縁が滑らかになる鋼材．
- ・ 機械的性質は損なわず削りやすい鋼材．
- ・ 孔明け，2R 面取り等の加工性に優れた鋼材．

【回答】加工性を重視した鋼板開発は各社検討しているが，現状では求められる鋼材性能と切削性の両立は困難である．

<耐熱，高温特性>

- ・ 既設桁の損傷の補修・補強として加熱矯正（線状加熱ではない）を行うことがあるが，900℃程度の加熱でも鋼材の性能が低下しない鋼材があれば，補修・補強しやすい．
- ・ 加熱矯正の際の温度管理が不要な鋼材．

【回答】品質確保のために，鋼種（製造方法）に応じた温度管理は必要である．加熱温度の制限は具体的なニーズがあれば開発を検討する余地はある．

<軽量>

- ・ 比重が小さい（軽い）鋼材．

【回答】密度が物理定数であるため，開発は困難である

- ・ 沓座など支圧を受ける構造部材に用いたら軽くなるハニカム鋼材．

【回答】比較的自由的な形状の形鋼を製造できる熱押形鋼などの例はあるものの，圧延でハニカムのような複雑な形状を造りこむことは困難である．

<密着性>

- ・ コンクリートとの密着性の高い鋼材．

【回答】コンクリートとの密着性を高めた突起付き鋼管や形鋼がある．またチェッカープレート，縞鋼板など，表面に突起をつけた鋼板もある．

- ・ 塗装がしやすい鋼材で，ブラストレスで無機ジンクが塗布できる鋼材．

【回答】現状は塗装のアンカーパターンをつくる必要もあり、鋼材の面だけからの開発は困難。

＜表面処理＞

- ・ 供用中に応力状態が変化すると（例えば疲労き裂発生）、鋼板表面に縞模様が現れるなど、目視で判断できる変化が生じる鋼材。

【回答】染料の入ったマイクロカプセルを混入し、亀裂が入ると染料が表出して亀裂が視認できるようになる塗料は市販されているが、鋼材に関しては開発されていない。

- ・ 溶接スパッタが付かない鋼材。

【回答】鋼材に関しては開発は困難。

＜圧延方向の異方性＞

- ・ ロール方向を考慮しないで板取できる鋼板
- ・ ロール方向を考慮しなくてよい鋼材

【回答】SBHS は、シャルピー吸収エネルギーを一般に低値となりやすい圧延直角方向で保証している。このため、道路橋示方書等では、主たる応力の方向と圧延方向を一致させる必要が無いことが記載されている。

＜その他＞

- ・ 完全溶込み溶接継手の超音波探傷試験において、鋼材内部の介在物を検出して判定に苦勞することがある。超音波探傷試験で検出しないように鋼材内部の介在物を超微細化した鋼材。

【回答】各社で検討は行われているが、鋼材の微小介在物の低減は難しい課題と認識している。

- ・ 鋼材の高強度化、高板厚化に伴い、高力ボルト継手部のボルト配置に苦慮することが多く、新道示で規定された S14T の適用可能範囲が増えると、設計の自由度が増す。

【回答】国総研等の公的な研究機関との共同研究なども行われているが、高力ボルトの遅れ破壊の問題は解決が難しく、とくに、遅れ破壊が 100%発生しないことを証明することは困難である。そのため、道路橋示方書などでは適用に制限が設けられているのが現状である。

- ・ 高強度鋼材の溶接部でせん断力が支配的な箇所はアンダーマッチング規格の溶接材料は適

用できないだろうか。

【回答】溶接継手に求められる静的強度や疲労強度を満足すれば適用は可能と考えられるが、現行の設計基準では使用を認められておらず、想定を超える事象に対しても安全であることが求められるため、十分な検討が必要と思われる。

- ・ 角部が全て 2R 以上の形鋼。

【回答】設備に関わるためコスト高である。

3. まとめ

高強度鋼などの特殊鋼材は、普通鋼材に比べて切断・加工や溶接施工性が悪いと言った意見が多く、その点に着目して開発された S B H S は、設計・施工した経験やコスト改善等の多くのメリットが挙げられていた。しかし S B H S については、板厚を低減しコスト削減が期待できる一方、極厚な板厚で構成される鋼製橋脚のようなじん性が求められる構造に対しては使用が認められていないため、設計手法の見直しや共同研究など高性能鋼の普及に向けた検討が急務であることが分かった。

既存の高性能鋼について、利用者が期待するポイントも溶接施工性であった。特に溶接材料については、推奨される溶接材料であっても施工条件が厳しく、やはり普通鋼材に比べて溶接施工性が悪いため、今後の課題として多く挙がっていた。また入熱制限の緩和も期待する意見が挙がっていた。入熱制限の緩和は溶接能率向上が期待できるため、生産性の向上、工期短縮などのメリットも大きい。大掛かりな溶接機器や設備化も必要となり、現場溶接では不向きであり、工場溶接でも限られた部位となる。鋼材や溶接材料だけでなく、溶接機器等の改善も検討が必要である。

新しい鋼材性能について、利用者が期待するポイントとして、熱影響による変形、変質、縮み等が生じない熱変形特性の向上を期待する意見があった。変形が少なくなることにより外観品質が向上し、歪矯正の省力化および生産性向上にも繋がるため、開発研究が求められている。また工場製作期間中の一次防せいプライマーが加工性および溶接施工性に影響があるため、一次防せいプライマーの改善もしくは不要となる鋼材の開発研究が求められている。耐候性鋼や塗装周期延長鋼の特性が期待できないか、もしくは工場製作期間中の防食性能を満足する鋼材の開発を期待したい。また防食性や耐疲労特性について多くの意見があった。今後、橋梁の維持管理費や更新費用の増加が大きな社会問題となることから、腐食しない鋼材や疲労き裂が生じない鋼材、もしくは腐食や疲労き裂が生じても、その変状が分かり易く点検しやすい鋼材の開発に期待したい。