

鋼材性能の活用による鋼橋の高性能化

2023(令和 5)年 4 月作成

2026(令和 8 年)年 8 月公開

(公社)土木学会

鋼構造委員会

鋼構造における鋼材性能の活用に関する調査研究小委員会

はじめに

鋼構造物には、その使用目的に合わせて、安全性、使用性、経済性などの諸性能を満足することが求められる。鋼構造物においては、その構成材料となる鋼材の特性が構造物としての性能に大きな影響を及ぼす。近年、鋼素材の発展には目覚ましいものがあり、従来の鋼材よりも高い性能を有する各種の鋼材が開発されてきている。例えば、強度・じん性などの機械的性質に優れる鋼材や溶接施工の効率化、負荷軽減を図る鋼材、耐食性に優れる鋼材などである。土木鋼構造物においても、設計・製作・施工の各段階で高性能な鋼材を利用して、鋼構造物の高性能化が図られてきている。

近年、鋼構造物に対する要求性能は多様化してきており、高性能な鋼材を活用することによりそれらの課題を解決することが期待される。そのために、鋼材の高性能化に関する技術的なバックグラウンドを理解し、構造物の要求性能を満足するための有益な活用方法を検討する必要がある。しかしながら、このような観点で構造物への高性能な鋼材の活用方法が整理された資料は少なく、これまでに得られてきた知見の体系化が望まれるところである。

このような現状に鑑み、(公社)土木学会 鋼構造委員会の傘下に、土木鋼構造物における高性能鋼の利用事例や性能検証の方法を整理するとともに、高性能な鋼材の活用方法についても検討し、高性能鋼利用の参考となる資料を作成することを目的として、「鋼構造における鋼材性能の活用に関する調査研究小委員会」が設置され、調査研究を行ってきた。

小委員会においては、以下の観点で調査研究を推進した。

- ・鋼材の高性能化の技術的バックグラウンドの調査、整理
- ・土木分野以外も含む現在入手可能な高性能鋼の種類と性能の取りまとめ
- ・製作の観点からの新鋼材の評価と望まれる性能の調査
- ・高性能鋼の利用技術(橋梁分野)の事例収集、整理
- ・新鋼材の活用に関する研究事例の収集、整理

本報告書は、小委員会で行った上記の活動の成果を4編にわけて取りまとめたものである。

本報告書を参考にして、高性能な鋼材を活用した新たな鋼橋が出現することを願うものである。

2023年4月

鋼構造における鋼材性能の活用に関する調査研究小委員会
委員長 中村聖三

公開にあたってのまえがき

本報告書は、(公社)土木学会 鋼構造委員会 鋼構造における鋼材性能の活用に関する調査研究小委員会において実施してきた調査研究の成果を取りまとめたものであり、鋼材性能の高度化を踏まえた鋼橋の高性能化に関する技術的知見を整理し、今後の実務および研究の参考資料として提供することを目的として刊行するものである。

本報告書には、鋼材の製造技術や材料特性など、金属工学に関する内容が多く含まれており、土木分野にとどまらず、他分野の知見を積極的に参照している。このため、各編に掲載した図表の中には、土木学会以外の学協会や関連団体の出版物から引用した図版が多数含まれており、それらの著作権の所在および利用条件の確認に慎重な対応を要した。その結果、確認作業に大幅な時間を要し、当初予定していた刊行時期よりも出版が遅れることとなった。

本報告書の刊行をお待ちいただいていた関係各位には、多大なるご迷惑をおかけしたことを、ここにお詫び申し上げます。本小委員会としては、研究成果を適切な形で公表するため、学術的妥当性のみならず、著作権等の取扱いについても十分な配慮が重要であるとの認識のもと、確認作業を進めてきたところである。何卒ご理解を賜りたい。

本報告書が、鋼構造分野に携わる技術者および研究者にとって有益な資料となり、鋼橋のさらなる技術発展に寄与することを期待する。

末筆ながら、本報告書の作成にあたり、ご協力を賜った関係各位に、厚く御礼申し上げます。

2026 年 4 月
鋼構造における鋼材性能の活用に関する調査研究小委員会
委員長 中村聖三

委員名簿(2021.8時点)

委員長	中村 聖三	長崎大学大学院 (WG4 主査)
幹事長	高木 優任	日本製鉄(株) (WG1 主査, 連絡幹事(～2021.6))
WG 主査	永島 寛之	JFEエンジニアリング(株) (WG2 主査)
	横山 秀喜	(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 (WG3 主査)
委員	浅野 貴弘	西日本高速道路(株) (2019.6～)
	菅崎 浩	日本製鉄(株)
	今西 修久	(株)エイト日本技術開発 (～2018.12)
	上田 太次	(株)神戸製鋼所 (2019.4～)
	緒方 裕己	宮地エンジニアリング(株)
	小山 雅己	NEXCO 西日本コンサルタンツ(株)
	河村 淳	(株)エイト日本技術開発 (2019.1～2021.3)
	加藤 真志	JFE スチール(株)
	岸 祐介	東京都立大学
	木下 幸治	岐阜大学
	栗原 康行	JFE スチール(株) (～2018.12), 連絡幹事(2021.7～2025.6)
	佐々木 栄一	東京工業大学大学院
	杉浦 邦征	京都大学大学院
	高橋 祐二	(株)神戸製鋼所 (～2019.4)
	林 昌弘	本州四国連絡高速道路(株)
	廣畑 幹人	大阪大学大学院
	藤井 雄介	西日本高速道路(株) (～2019.5)
	宮下 剛	長岡技術科学大学大学院
	森井 茂幸	川田工業(株)
	若山 萌美	JFE スチール(株) (2019.1～2020.12)
報告書作成協力	松下 政弘	(株)神戸製鋼所
	武野 正和	日本製鉄(株) 連絡幹事(2025.7～)

目 次

第 1 編 高性能な鋼材の製造技術とその特性

1. まえがき	I - 2
2. 鋼材の種類とその分類	I - 3
2.1 鉄鋼材料の分類	I - 3
2.2 鋼材の生産量と建設分野での使用量	I - 4
3. 鋼材の製造技術	I - 7
3.1 鋼材の製造工程	I - 7
3.2 各工程の概要と鋼材の高性能化への貢献	I - 8
3.2.1 製銑工程	I - 8
3.2.2 製鋼工程	I - 9
3.2.3 連続 casting (連铸) と造塊	I - 13
3.2.4 圧延工程: 制御圧延・制御冷却(TMCP), 形鋼圧延など	I - 14
3.2.5 鋼管の製造方法	I - 15
3.2.6 後処理	I - 16
4. 鋼材の高性能化技術	I - 18
4.1 鋼材のもつ特性への要求	I - 18
4.2 鋼材特性の高性能化の方法	I - 18
4.2.1 冶金学的方法	I - 18
4.2.2 熱処理による高性能化の方法	I - 24
4.2.3 圧延技術による高性能化の方法	I - 25
4.2.4 高性能化に用いられる手段	I - 27
4.3 鋼材を高強度化する方法	I - 27
4.4 鋼材の破壊じん性を向上させる方法	I - 28
4.4.1 ぜい性破壊の防止	I - 28
4.4.2 低温ぜい性の向上	I - 30
4.5 鋼材の延性を高める方法	I - 30
4.6 鋼材の溶接性を高める方法	I - 31
4.6.1 溶接割れの防止	I - 31
4.6.2 HAZ じん性	I - 32
4.7 鋼材のヤング率を高める方法	I - 34
4.8 鋼材の遅れ破壊への対応	I - 34
5. 橋梁分野で実用化されている高性能鋼	I - 36
5.1 橋梁分野における鋼材の高性能化の変遷	I - 36
5.1.1 橋梁用高性能鋼の概要	I - 36
5.1.2 高性能化の変遷	I - 36
5.2 橋梁用高性能鋼	I - 41
5.2.1 降伏点一定鋼	I - 41
5.2.2 高じん性鋼	I - 42
5.2.3 予熱低減鋼	I - 43
5.2.4 大入熱溶接用鋼	I - 44
5.2.5 耐ラメラテア鋼	I - 44
5.3 橋梁用高降伏点鋼板 SBHS	I - 46
5.3.1 SBHS の開発経緯	I - 46
5.3.2 SBHS の特長	I - 47
5.3.3 SBHS の適用メリット	I - 51
5.4 今後の展望	I - 53

6. 橋梁以外の分野での鋼材の高性能化の事例	I - 56
6.1 建築分野	I - 56
6.1.1 建築鉄骨向け鋼材の高性能化	I - 56
6.1.2 超高強度鋼の適用	I - 60
6.1.3 HAZ じん性の確保	I - 62
6.1.4 火災への対処（耐火鋼）	I - 62
6.2 造船分野	I - 65
6.2.1 造船用鋼材の規格	I - 65
6.2.2 造船用高性能鋼の事例	I - 66
6.3 自動車分野	I - 72
6.3.1 車体に使用される鋼板	I - 72
6.3.2 各種高張力鋼板	I - 73
6.3.3 従来型ハイテン	I - 77
6.3.4 成形技術と組み合わせた高張力鋼	I - 78
6.3.5 自動車用棒鋼及び線材	I - 79
6.4 その他の分野	I - 80
6.4.1 建設機械	I - 80
6.4.2 パイプライン	I - 81
6.4.3 水圧鉄管	I - 83
7. 鉄鋼製品の高性能化	I - 87
7.1 線材・棒鋼の高強度化	I - 87
7.1.1 高強度鉄筋	I - 87
7.1.2 高張力ケーブルと P C 鋼線	I - 89
7.1.3 超高力ボルト (F 10 T から F 14 T へ)	I - 93
7.1.4 スチールコード	I - 96
7.2 形状を改良した鋼材	I - 97
7.2.1 合理的な形状をもつ圧延 H 形鋼	I - 97
7.2.2 合理的な形状を有する鋼矢板	I - 100
7.2.3 突起付き鋼材	I - 102
7.2.4 L P 鋼板	I - 103
8. 構造物の耐久性を向上させる高性能鋼	I - 107
8.1 建設分野における耐食性金属材料	I - 107
8.1.1 耐候性鋼 (ニッケル系高耐候性鋼)	I - 107
8.1.2 ステンレス鋼	I - 110
8.1.3 チタン	I - 113
8.1.4 めっき鋼材	I - 115
8.1.5 塗装周期延長鋼	I - 117
8.2 ぜい性破壊の防止	I - 118
8.2.1 大入熱溶接に対応した高 HAZ じん性鋼	I - 118
8.2.2 ぜい性亀裂の伝播を阻止する S U F 鋼	I - 120
8.3 耐疲労性能の向上	I - 121
8.3.1 耐疲労鋼の開発	I - 121
8.3.2 低温変態溶接材料	I - 123
9. その他の機能性材料	I - 127
9.1 低降伏点鋼	I - 127
9.2 形状記憶合金	I - 129
9.3 非磁性鋼	I - 131
9.4 制振鋼板	I - 133

1 0. 今後の展望	I-137
10.1 超鉄鋼材料プロジェクト	I-137
10.1.1 超鉄鋼材料プロジェクトの目指したもの	I-137
10.1.2 高強度化	I-138
10.1.3 超長寿命化	I-141
10.2 地球環境問題の解決に向けた鉄鋼業界の取り組み(ゼロカーボン・スチール)	I-142
10.2.1 ゼロカーボン・スチールが求められる背景	I-142
10.2.2 橋梁分野におけるカーボンニュートラル	I-143
10.2.3 カーボンニュートラルの実現に向けた技術開発	I-143

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	II- 2
2. アンケート	II- 2
2.1 調査概要	II- 2
2.2 アンケート結果	II- 3
2.3 アンケートに対する回答	II- 11
3. まとめ	II- 18

第3編 橋梁での高性能化の事例

1. まえがき	III- 2
2. これまでに橋梁分野で適用実績のある主な高性能鋼材	III- 2
2.1 一般的な鋼材	III- 2
2.2 J I S 化されている高性能鋼材	III- 2
2.3 その他の高性能鋼材	III- 3
3. 高性能鋼の適用実績	III- 6
4. 求められる高性能鋼	III- 34

第4編 鋼材性能の活用に向けた研究

1. まえがき	IV- 2
2. 強度に関する高性能鋼材	IV- 2
2.1 橋梁用高性能鋼板	IV- 2
2.2 高張力鋼	IV- 8
2.3 降伏点一定鋼	IV- 11
2.4 狭降伏点レンジ鋼	IV- 12
2.5 低降伏比鋼	IV- 13
2.6 低降伏点鋼	IV- 15
2.7 橋梁用高強度ワイヤ	IV- 21
3. じん性・溶接性に関する高性能鋼材	IV- 23
3.1 高じん性鋼	IV- 23
3.2 予熱低減鋼	IV- 25

3.3	大入熱溶接対策鋼	IV- 26
3.4	耐ラメラテア鋼	IV- 28
4.	耐食性・その他に関する高性能鋼材	IV- 30
4.1	耐候性鋼	IV- 30
4.2	亜鉛めっき用鋼	IV- 33
4.3	ステンレス鋼	IV- 36
4.4	LP鋼板	IV- 43
4.5	極厚鋼板	IV- 46