

第 I 部門 加熱冷却履歴を受けた SBHS のシャルピー吸収エネルギーに関する基礎的検討

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○松原 幸輝
大阪大学大学院工学研究科 学生員 浜田 文斗
大阪大学大学院工学研究科 正会員 廣畑 幹人

1. はじめに

交通事故や失火を原因とした橋梁火災の被害が国内外で多数報告されている¹⁾。社会基盤である橋梁の供用が火災により停止された場合、交通網や物流が遮断され経済活動に多大な影響を及ぼすことが懸念される。そのため、橋梁の損傷規模や状況について適切な詳細調査を行い、早期の供用再開を目指すことが求められる。火災を受けた鋼橋の供用再開までのプロセスを体系的にまとめたガイドライン²⁾によれば、詳細調査においては、外観上の変状に対する点検だけでなく、被害を受けた部材の受熱温度を推定し、火災の被害度を正確に診断することが重要となる。火災を受けた鋼材の材料特性の変状に関するデータは蓄積されつつあるが、2008 年以降に JIS 規格化された橋梁用高降伏点鋼板 (以降 SBHS と称す) は、火災加熱後の材料特性の変状に関するデータが少ない。火災を受けた鋼橋の健全性評価を実施する際に、その種のデータは有用となる。本研究では、鋼構造物への SBHS の適用拡大を念頭に、加熱冷却に対する SBHS の靱性の変化に着目し、加熱冷却実験およびシャルピー衝撃試験を実施した。

2. 加熱冷却実験

本研究で使用した SBHS の機械的性質および化学組成 (ミルシート値) を表-1 および表-2 に示す。板厚は 12 mm であり、300 mm × 200 mm に切断し、供試鋼材として加熱冷却実験に供した。供試鋼材に火災を想定した熱履歴を付与するため、既往の研究³⁾を参考に加熱冷却実験を実施した。加熱温度は、中小規模火災を想定した 600 °C と大規模火災を想定した 900 °C とした。また、加熱後は空气中に放置する空冷と水で満たした容器に浸漬させる水冷による 2 種類の冷却を行った。加熱冷却実験の結果から、供試鋼材が目標温度にまで加熱されていることを確認し、その後にシャルピー衝撃試験を実施した。

3. シャルピー衝撃試験

火災を想定した加熱冷却履歴を受けた SBHS の靱性を明らかにするため、シャルピー衝撃試験を実施した。加熱冷却実験に供した各鋼材から JIS Z 2242 に規定される 55 mm × 10 mm × 10 mm の V ノッチ試験片を採取した。JIS に規定される温度として、SBHS400 は 0 °C、SBHS500 は -5 °C、SBHS700 は -40 °C で試験を実施した。試験片の数は基本的に 3 体であるが、結果のばらつきが大きいものに関しては最大 6 体まで試験を行った。

試験により得られた各鋼材のシャルピー吸収エネルギーの値を図-1 に示す。図には、試験結果の平均値および標準偏差を示している。600 °C 加熱の場合、SBHS400 では加熱冷却なしの場合と比べ、吸収エネルギーが空冷で 4.9%、水冷で 10% 減少した。SBHS500 では、ばらつきが大きかったものの、空冷、水冷ともに加熱冷却なしの場合よりも吸収エネルギーが 30% 以上増加した。SBHS700 では吸収エネルギーが空冷で 11%、水冷で 17% 増加した。

表-1 SBHS の機械的性質

	降伏応力 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び (%)
SBHS400	473	550	25
JIS 規格	≥ 400	490 - 640	≥ 15
SBHS500	587	679	30
JIS 規格	≥ 500	570 - 720	≥ 19
SBHS700	849	864	23
JIS 規格	≥ 700	780 - 930	≥ 16

表-2 SBHS の化学組成 (mass%)

	C	Si	Mn	P	S	N
SBHS400	0.12	0.36	1.44	0.009	0.001	0.005
JIS規格	≤ 0.15	≤ 0.55	≤ 2.00	≤ 0.020	≤ 0.006	≤ 0.006
SBHS500	0.10	0.22	1.53	0.009	0.002	0.0025
JIS規格	≤ 0.11	≤ 0.55	≤ 2.00	≤ 0.020	≤ 0.006	≤ 0.006
SBHS700	0.08	0.2	0.95	0.008	0.002	0.0032
JIS規格	≤ 0.11	≤ 0.55	≤ 2.00	≤ 0.015	≤ 0.006	≤ 0.006

900℃加熱の場合、SBHS400では加熱冷却なしの場合と比べ、空冷ではほとんど変化がなかったのに対し、水冷では吸収エネルギーが67%減少し、JISに規定される下限値に近い値となった。SBHS500では、空冷で吸収エネルギーが47%増加し、水冷ではSBHS400と同様に吸収エネルギーが大きく減少し、JISの下限値に近い値を示した。対して、SBHS700では空冷において吸収エネルギーが大きく減少してJISの規格値を下回り、水冷では加熱冷却なしの場合からほとんど変化がなかった。

図-2に試験後の鋼材の破壊性状の一例を示す。各試験片の試験後の破断面を観察すると、SBHS400とSBHS500では600℃加熱後空冷あるいは水冷した場合と900℃加熱後空冷の場合に延性的な破壊、900℃加熱後水冷の場合は試験片が破断し、脆性的な破壊が支配的となった。対して、SBHS700は600℃加熱の場合はSBHS400、SBHS500同様に延性破壊であったが、900℃加熱後空冷で脆性破壊、水冷で延性破壊となった。SBHS700は、その高い強度を発現させるために、緻密な熱処理と各種元素の添加によって製鋼されている。このような製鋼方法の違いが加熱冷却後の吸収エネルギーの変化に影響を及ぼすことを結果は示唆している。

4. まとめ

火災を想定した加熱冷却履歴を受けたSBHSのシャルピー吸収エネルギーの変化を明らかにするために、一連の基礎的検討を実施した。

- 1) 600℃加熱の場合、延性的な破壊が支配的であり、吸収エネルギーがSBHS500、SBHS700では増加し、SBHS400では減少したものの、JISの規格値を下回ることはなかった。
- 2) 900℃加熱の場合、SBHS400とSBHS500では空冷で延性破壊となったが、水冷では脆性破壊により吸収エネルギーがJISの規格値に近い値となった。対して、SBHS700では水冷で延性破壊、空冷で脆性破壊を呈し、吸収エネルギーがJISの規格値を満足しなくなる結果となった。

謝辞

本研究の一部は、一般社団法人近畿建設協会2022年度建設技術に関する調査研究助成を受けて実施した。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 桑野忠生, 増井 隆, 鈴木寛久, 依田勝雄: 首都高速5号池袋線タンクローリー火災事故の復旧工事, 土木学会誌, Vol. 93, No. 12, pp.30-33, 2008.12.
- 2) (公社) 土木学会: 鋼構造シリーズ24「火災を受けた鋼橋の診断補修ガイドライン」, 2015.7.
- 3) 廣畑幹人, 寺口大輝, 北根安雄: 火災を想定した加熱冷却履歴を受けた橋梁用高降伏点鋼の機械的性質, 鋼構造論文集, 第26巻第101号, pp.79-86, 2019.3.

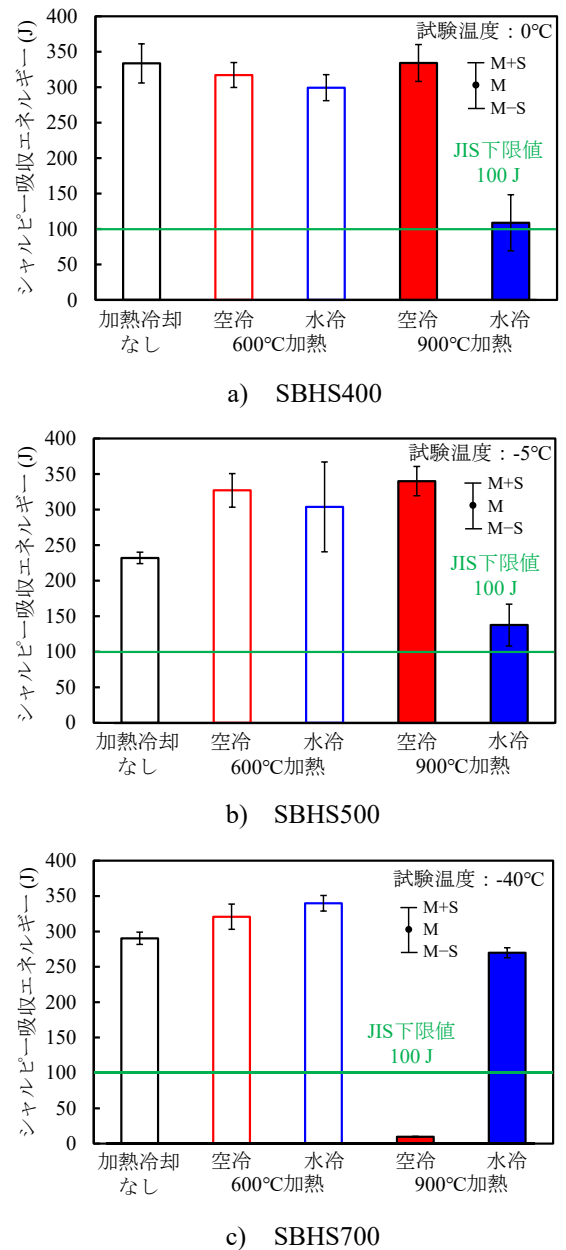
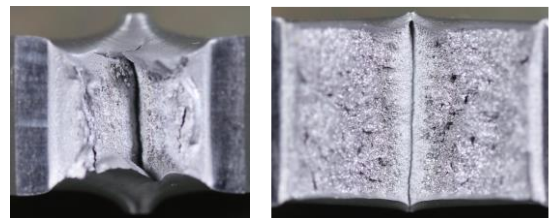


図-1 シャルピー衝撃試験結果



a) 延性破壊 b) 脆性破壊

図-2 試験後の破壊性状