

第 I 部門

熱履歴による軟化部を有する SBHS 部材の圧縮耐荷力

大阪大学大学院 学生員 ○浜田 文斗
 大阪大学大学院 正会員 廣畑 幹人
 株式会社古市 正会員 古市 亨

1. 研究背景および目的

近年、国内外において橋梁の火災事例が多数報告されている。橋梁が火災により損傷した場合、迅速に供用再開することが重要である。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¹⁾では、目視による被災度判定、部材の受熱温度の推定を順に行うことがその方法とともに示されている。しかし、火災による加熱が部材の耐荷性能に及ぼす影響については不明な点が多々ある。これを受け、著者らは、SM400B による鋼桁端部をモデル化した十字断面柱に対し、桁下での火災を想定した熱履歴が十字断面柱の圧縮挙動に及ぼす影響を検討した²⁾。しかし、2008 年以降に JIS 規格化された橋梁用高降伏点鋼 (SBHS) の場合、熱履歴を受けると材料強度が低下 (軟化) することが報告されている³⁾。本研究では、SBHS500 で作製した十字断面柱に対し、火災を想定した局所的な熱履歴を付与した場合、材料強度の低下が圧縮耐荷力に及ぼす影響を明らかにするための基礎的実験を実施した。

2. 加熱実験

供試体の形状および寸法を図-1 に示す。フランジの鋼種は SM400B、ウェブおよび補剛材の鋼種は SBHS500 であり、加熱しない健全供試体と熱履歴を付与する加熱供試体をそれぞれ準備した。加熱供試体では、桁下での火災を想定し、図-1 に示す加熱領域をヒーターを用いて加熱した²⁾。加熱温度は、大規模火災を想定した 900℃とした。加熱中は図-1 に示す位置に熱電対 (TC) を取り付け、温度を監視した。また、加熱後は図-2 に示すように、消火活動を想定し、加熱領域を水槽に浸漬させる水冷と、空气中に放置する空冷の 2 種類の方法で冷却した。

既往の研究³⁾により、熱履歴を付与した SBHS のリープ硬さと降伏応力の間に対応関係があることが実験的に示されている。よって、本研究では、加熱供試体に対し、図-1 に赤点で示す位置でリープ硬さ試験を実施した。結果を図-3 に示す。柱高さ方向中央部より上側を健全部とした場合、水冷供試体では、健全部と比べ加熱領域の硬さは 6.8% 上昇し、加熱領域隣接部の硬さは 14% 減少していた。空冷供試体では、健全部と比べ加熱領域および加熱領域隣接部の硬さがそれぞれ 20%、8.5% 減少していた。ここで、加熱実験において、加熱領域の温度が 900℃に到達したとき、加熱領域隣接部の温度は約 750~800℃であった。よって、リープ硬さ試験の結果の理由として、A₁ 変態温度 (約 727℃) 以上の加熱を受けた領域において、冷却速度が十分に速い場合、焼入れによる降伏応力の上昇が生じ、冷却速度が遅い場合、焼入れの効果が付与されず、SBHS500 の製鋼時の微細組織が粗大化したことによる降伏応力の低下が生じたことが考えられる。

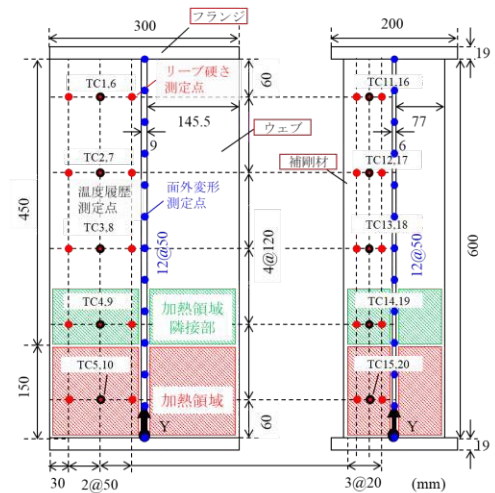
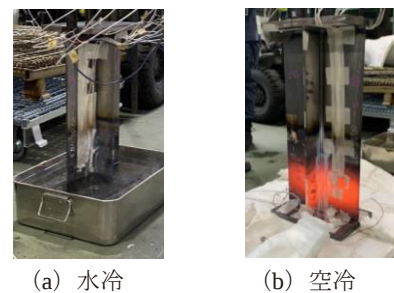


図-1 供試体寸法および加熱領域



(a) 水冷 (b) 空冷

図-2 冷却中の様子

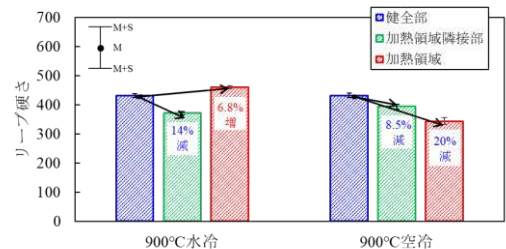


図-3 SBHS500 のリープ硬さ

加熱実験前後の加熱供試体のウェブおよび補剛材の自由端において、面外変形を測定した。測定結果を図-4に示す。水冷供試体および空冷供試体ともに、ウェブと補剛材の加熱領域を中心に面外変形が大きくなる傾向が確認された。これは、加熱による柱高さ方向の温度勾配が大きく、温度差により面外変形が生じやすくなったためと考えられる。また、ウェブは板厚が小さいため補剛材に比べ面外変形は大きかった。

3. 圧縮実験

健全供試体および加熱供試体に対し、静的単調荷重圧縮実験を実施した。圧縮実験より得られた荷重—鉛直変位関係を図-5に、圧縮実験後の面外変形を測定した結果を図-6に示す。水冷供試体の場合、弾性剛性および最大荷重は、健全供試体と比べてそれぞれ6.3%、12%減少した。空冷供試体の場合、弾性剛性および最大荷重は、健全供試体と比べてそれぞれ6.2%、25%減少した。また、健全供試体では、柱高さ方向中央部で面外変形が最大となったのに対し、水冷供試体では、加熱領域隣接部で面外変形が最大となった。空冷供試体では、加熱領域で面外変形が最大となった。弾性剛性の減少に関して、加熱による面外変形（圧縮実験における初期たわみ）の増加が理由として考えられる。最大荷重の減少および圧縮実験後の面外変形モードが異なったことに関して、鋼材の降伏応力の低下が理由として考えられる。降伏応力が低下した領域において、鋼材の塑性化が早期に進行したことにより、最大荷重は減少し、面外変形が最大となったものと推察される。以上より、本研究の範囲では、SBHS500で作製した部材が変態点以上の加熱を受けた場合、耐荷性能が著しく低下する可能性があることを結果は示唆している。

4. 結論

- 1) SBHS500で作製した鋼十字断面柱がA₁変態温度（約727℃）以上の加熱を受けた場合、冷却速度が速い場合、焼入れにより加熱領域の降伏応力が上昇した。冷却速度が遅い場合、製鋼時に調整した微細組織が粗大化し、降伏応力が低下した。
- 2) 水冷供試体および空冷供試体は、加熱による面外変形の増加により、弾性剛性は健全供試体と比べ、それぞれ6.3%、6.2%減少した。また、加熱領域とその近傍で降伏応力が低下したことにより、最大荷重は健全供試体に比べ、それぞれ12%、25%減少した。

参考文献

- 1) (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。
- 2) 浜田文斗，岡野青空，廣畑幹人，古市亨：火災を想定した熱履歴を付与した鋼十字断面柱の圧縮挙動，構造工学論文集，Vol. 70A，pp.1-15，2024。
- 3) 松原幸輝，廣畑幹人，浜田文斗：加熱冷却を受けた橋梁用高降伏点鋼板の機械的性質推定における硬さ試験の適用性，鋼構造論文集，第31巻第122号，pp.1-15，2024。

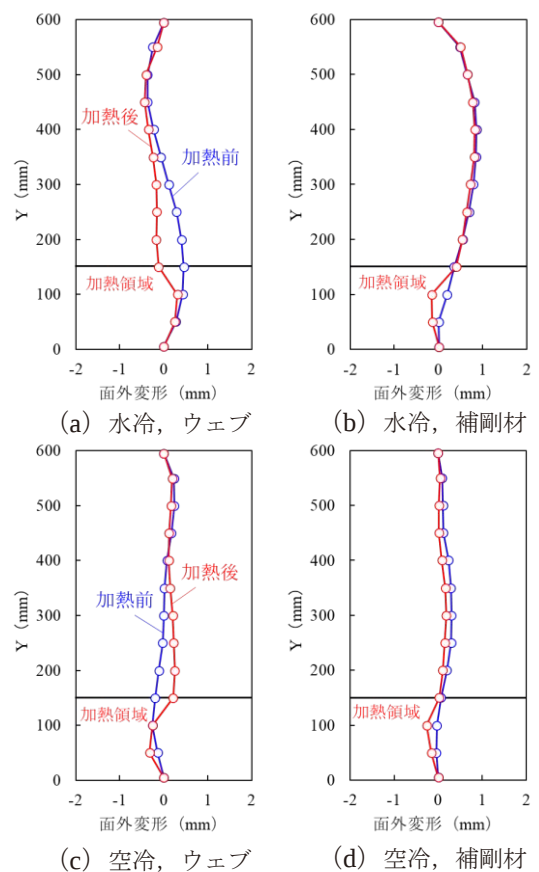


図-4 面外変形

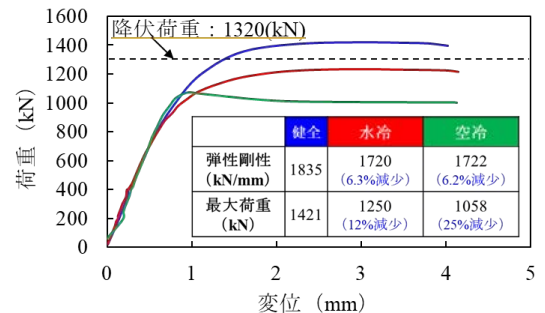


図-5 荷重—鉛直変位関係

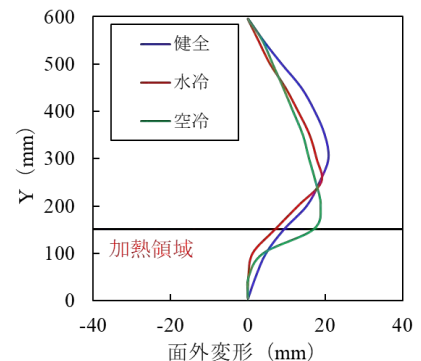


図-6 圧縮実験後のウェブの面外変形