

冷間曲げ加工を施した SBHS400 のシャルピー吸収エネルギーに関する実験的研究

早稲田大学大学院
早稲田大学大学院
長岡技術科学大学

学生会員 北爪 大貴
学生会員 Nie Jing
正会員 宮下 剛

早稲田大学大学院
芝浦工業大学
早稲田大学

学生会員 ○山崎 諒介
正会員 穴見 健吾
正会員 小野 潔

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震では、**図-1(a)**のように、矩形断面を有する鋼製橋脚の角溶接部付近が割裂し崩壊する被害が生じた¹⁾。同様の被害を防ぐ構造ディテールとして**図-1(b)**の「R付き箱型断面」が有効である。しかし、鋼材に冷間曲げ加工を施すと、ひずみ時効によりシャルピー吸収エネルギーの値(以下「シャルピー値」)が低下し、割れやすくなることが判明している(例えば²⁾)。他方、近年 JIS 化された橋梁用高性能鋼材 SBHS のシャルピー値は従来鋼に比べて高く³⁾、冷間曲げ加工に適すると考えられるが、実際に曲げ加工を施した SBHS のシャルピー値を調査した研究は筆者の知る限りで存在しない。そこで本研究にて、冷間曲げ加工を施した SBHS400 を対象としてシャルピー衝撃試験を実施した。また、板厚方向の材質変化の様子を確認する目的でビッカース硬さ試験も実施した。本稿ではその結果を、SBHS400 と同等の強度を有する SM520C を対象とした同様の試験結果⁴⁾と併せて報告する。なお、本研究で用いた鋼板の板厚はいずれも $t=45\text{mm}$ であり、冷間曲げ加工の内径は



(a) 角溶接部が割れて崩壊した鋼製橋脚¹⁾



(b) 角部に曲げ加工を施した R付き箱型断面

図-1 鋼橋の被害事例と曲げ加工による解決策

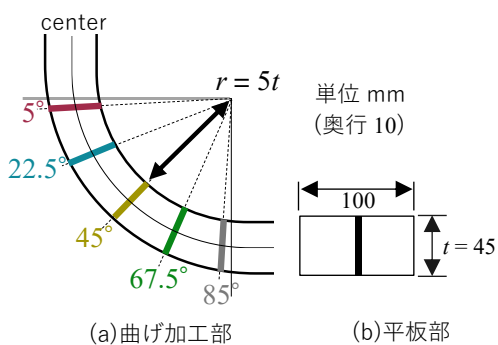


図-2 ビッカース硬さ試験片

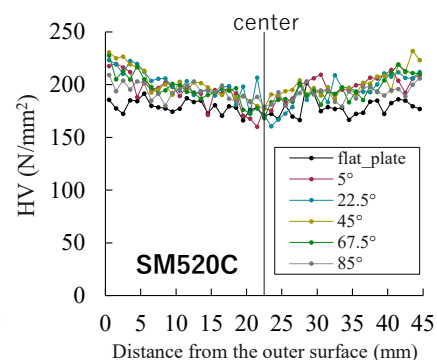
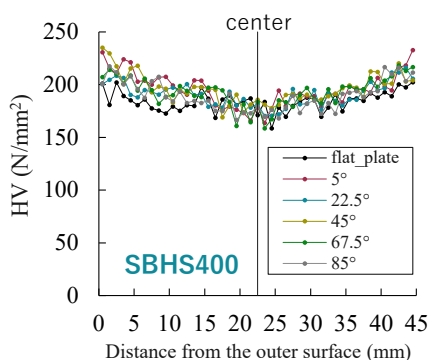


図-3 ビッカース硬さ試験結果

5t (225mm)とした。これは道路橋示方書 II ⁵⁾の規定の下限値であり、ひずみ時効の観点から最も厳しい条件に相当すると考えられる。

2. ビッカース硬さ試験

冷間曲げ加工から1年以上経過した SBHS400 および SM520C から厚さ 10mm の試験片を採取し、**図-2(a)**に示す各測定ラインに沿って、1mm 間隔(鋼板表面付近の 0.5mm は除く)で測定を行い、板厚方向の硬度分布を得た。平板部からも**図-2(b)**に示す試験片を別途採取し、その中央に沿って同様に測定を行った。測定条件は、試験力 $F=500\text{gf}$ (約 4.9N)、载荷保持時間 10 秒とした。

実験結果を**図-3**に示す。いずれの鋼種においても、ひずみ量の大きい鋼板表面付近でビッカース硬さの値(以下「HV 値」)が大きくなる傾向が見られた。

3. シャルピー衝撃試験

SBHS400 および SM520C を用いて**図-4(a)~(d)**に示す全 10 タイプの試験片を鋼板のロール直角方向から採取した。ただし**(d)**のみはロール方向からも採取した。**(a)**の試験片は各 18 本採取し、自然時効が 39 日(約 1 か月)、182 日(約半年)、365 日(1 年)の 3 回に分けて 6 本ずつ試験を実施した。**(b)**、**(c)**の試験片は各 6 本採取し、**(c)**については 365 日の自然時効を作用させたのちに試験を実施した。これら**(a)~(c)**の各 6 本の試験片に関しては 0°C と -60°C で 3 本ずつ試験を実施した。なお、**(a)**と**(c)**の試験片は**図-2(a)**の 45° の位置から採取した。また、**(d)**の試験片は JIS 規格に従った採取位置でロール方向

キーワード 冷間曲げ加工, ひずみ時効, SBHS, シャルピー吸収エネルギー, ビッカース硬さ

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 早稲田大学 TEL 03-5286-3387

(JIS(L))とロール直角方向(JIS(C))から各3本ずつ採取し、0°Cのみで試験を実施した。試験結果は同一の条件で行った3本のシャルピー値の平均値を用いて整理した。

図-5は図-4(b),(d)の試験片の結果を比較したものである。図-4(b)の試験片のシャルピー値(Fig4(b))は、図-4(d)の試験片(JIS(C))と同等であった。また、試験片の採取方向で比較するとSM520CはJIS(C)のシャルピー値がJIS(L)に比べて低いが、SBHS400では採取方向の違いによる有意な差は見られない。

続いて図-6は図-4(a)~(c)の試験片の結果をまとめたものであり、自然時効の期間とシャルピー値の関係を表している。ここでは平板から採取した図-4(b)の試験片の結果を、自然時効0日に相当するデータと見なした。図-6(b)より、0°Cでは両鋼材とも、ひずみ時効による明確なシャルピー値の低下は見られない。一方で図-6(a)に着目すると、-60°CにおいてSM520Cのシャルピー値は自然時効の期間が長くなるにつれて低下傾向にあるが、SBHS400は依然として十分に高いシャルピー値を有している。図-6からは、ひずみ時効の有無に依らず、板厚中心位置から採取した試験片(center)のシャルピー値が低いことも読み取れる。また、Vノッチの方向の違い(図-4(a),(c)の試験片)によるシャルピー値の有意な違いは見られない。

4. まとめ

本研究では冷間曲げ加工を施したSBHS400を対象と

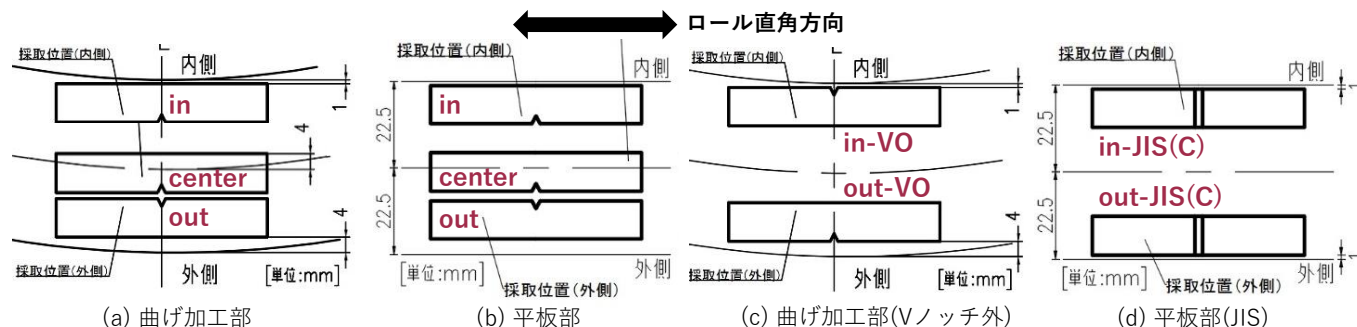


図-4 シャルピー衝撃試験片の採取箇所

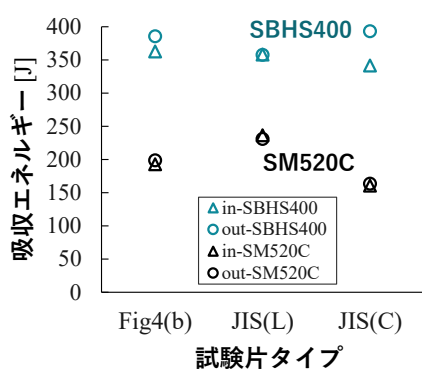


図-5 採取方向による比較

してシャルピー衝撃試験を実施し、同等の強度を有するSM520Cの結果と比較した。その結果、ひずみ時効によるSBHS400のシャルピー値の低下はSM520Cに比べて小さく、冷間曲げ加工後も十分な破壊じん性を有することが判明した。SBHS400の活用によりR付き箱型断面は構造として十分に成立し得ると考えられる。

5. 謝辞

本研究は、基礎研究(C)(課題番号:18K04331)により実施したものです。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会：兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書，p105, 1995.
- 2) 本間宏二，三木千壽，征矢勇夫，笹尾英弥，奥村健人，原修一：冷間加工を受けた構造用鋼材の歪み時効と冷間曲げ加工の許容値に関する研究，土木学会論文集，No.570/I-40, 1997.7.
- 3) Jing Nie et al.：Mechanical Properties and Charpy Absorbed Energy of SBHS400, 29th International Ocean and Polar Engineering Conference, ISOPE, 2019.
- 4) D. KITAZUME et al.：CHARPY ABSORBED ENERGY OF COLD PRESS-BENT STEEL PLATES MADE OF SM520C, Proceedings of 16th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, 2019.12.
- 5) 公益社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編, 2017.

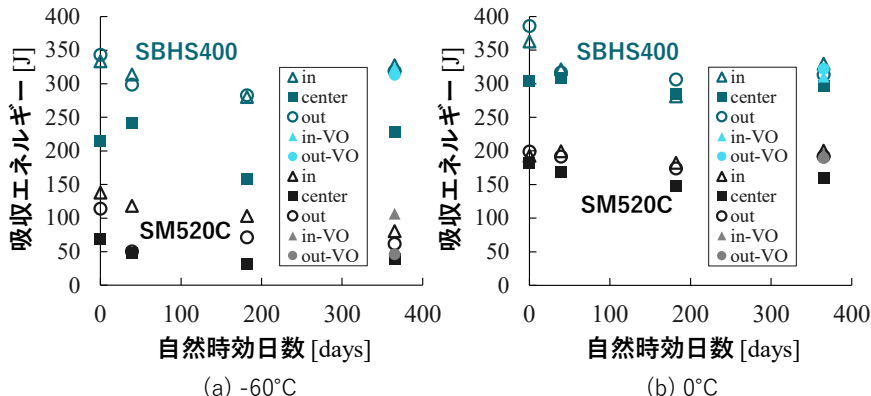


図-6 ひずみ時効が破壊じん性に与える影響