ノート

高周波焼入れした炭素鋼の金属組織と硬さ

斎藤　雄治*

Metallographic Structure and Hardness of Induction Hardened Carbon Steels

SAITO Yuji*

1. 緒　　言

高周波焼入れは，鋼材の表面を誘導電流によって急加熱した後に急冷して，マルテンサイト組織にする表面硬化処理である。これによって，靭性，耐摩耗性，疲労限度が向上するため，産業機械のベッド，シャフト，歯車，レール，カムなど多くの部品に使われている。高周波焼入れに適した鋼種は S45C ， SCM435 などの中炭素鋼である。

ここで，高周波焼入れは加熱時間が短いため，焼入れ前の炭化物の状態が焼入れ後の硬さや金属組織に大きく影響することが知られている[1)-3)]。高周波焼入れ前の金属組織は，微細な粒状炭化物が均一分布している状態が最適とされている。この金属組織にすることができる熱処理として調質（焼入れ＋ 500 ～ 600 ℃程度の焼戻し）が挙げられる。

しかし，コストカットや作業時間の短縮のため高周波焼入れ前の調質を省略することがある。この場合，焼入れ硬化層の硬さや金属組織がばらつくことが知られている。このことを確認するため本研究では，納入状態の炭素鋼に高周波焼入れしたときに，焼入れ硬化層の金属組織や硬さにどのようなばらつきが生じるかを調べた。

2. 実　　験

市販の機械構造用炭素鋼 S45C の丸棒を直径 40mm ，長さ250mmに機械加工後，高周波焼入れ（有効硬化層深さ1.5mm以上）した。その後，

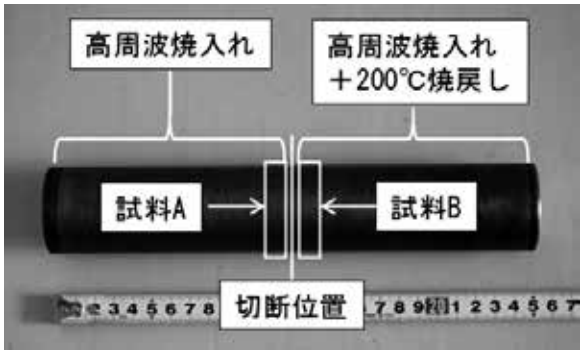


図 1　供試材の切断位置，試料の採取位置

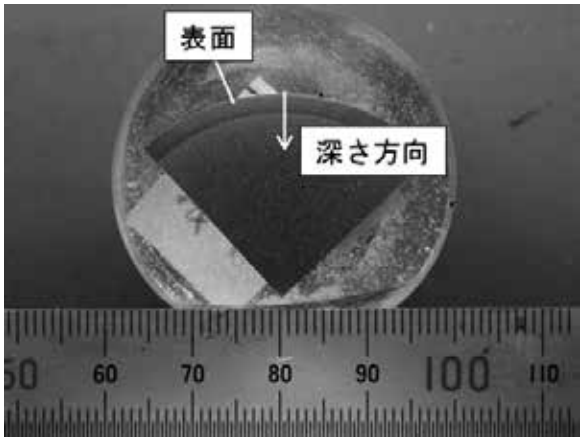


図 2　硬さ試験・金属組織観察の位置

図 1 に示すように切断および一方を焼戻し（電気マッフル炉で 200 ℃に 1 時間保持後空冷）して，試料 A（高周波焼入れのまま）と試料 B（高周波焼入れ＋焼戻し）を採取した。

これらの試料について，断面のビッカース硬さ試験および金属組織観察を行った。金属組織観察に用いた腐食液は，硝酸－アルコール溶液（配合： HNO_3 5ml ， エチルアルコール 100ml

＊　中越技術支援センター

）である。図 2 に，硬さ試験と金属組織を観察した位置を矢印で示す。

なお，熱処理にはヤマト科学（株）製　電気マッフル炉 F0410，硬さ試験には（株）明石製作所製　ビッカース硬度計 MVK-G2500，金属組織観察にはオリンパス光学工業（株）製　金属顕微鏡 BX53MRF-S(D)型をそれぞれ用いた。

3.　実験結果および考察

3.1　硬さ試験

図 3 に，表面から深さ方向のビッカース硬さ（HV0.3）を示す。ビッカース硬さは試料 A，B ともに表面から深さ方向に向かって増減を繰り返しながら，徐々に減少していることが分かる。

ここで，JIS G 0559 鋼の炎焼入及び高周波焼入硬化層深さ測定方法[4]において，炭素量が 0.43%以上 0.53% 未満の鋼材における有効硬化層深さは450HVの位置までの深さと規定されている。これを図 3 に適用した結果，有効硬化層深さは試料 A 1.9mm，試料 B 1.8mm であった。

3.2　金属組織観察

図 4 に試料 A，図 5 に試料 B の結果を示す。各図において（a）は硬化層全体の金属組織で，

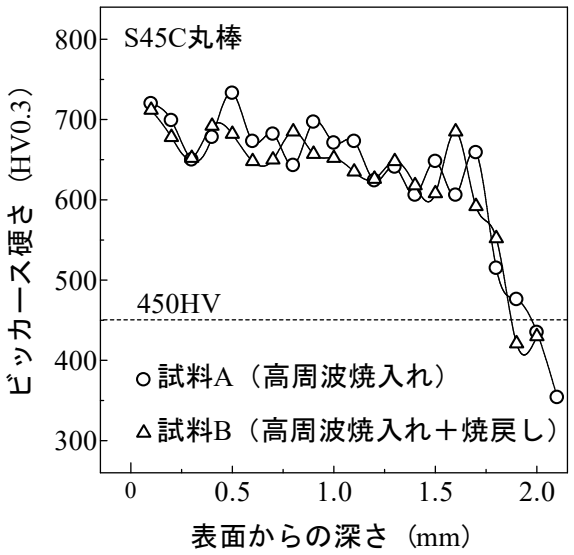


図 3　表面から深さ方向の硬さ分布

（b）～（f）は硬化層の種々の深さの位置の金属組織である。また，（g）は硬化層と生材の境界の金属組織で，（h）は生材の金属組織である。

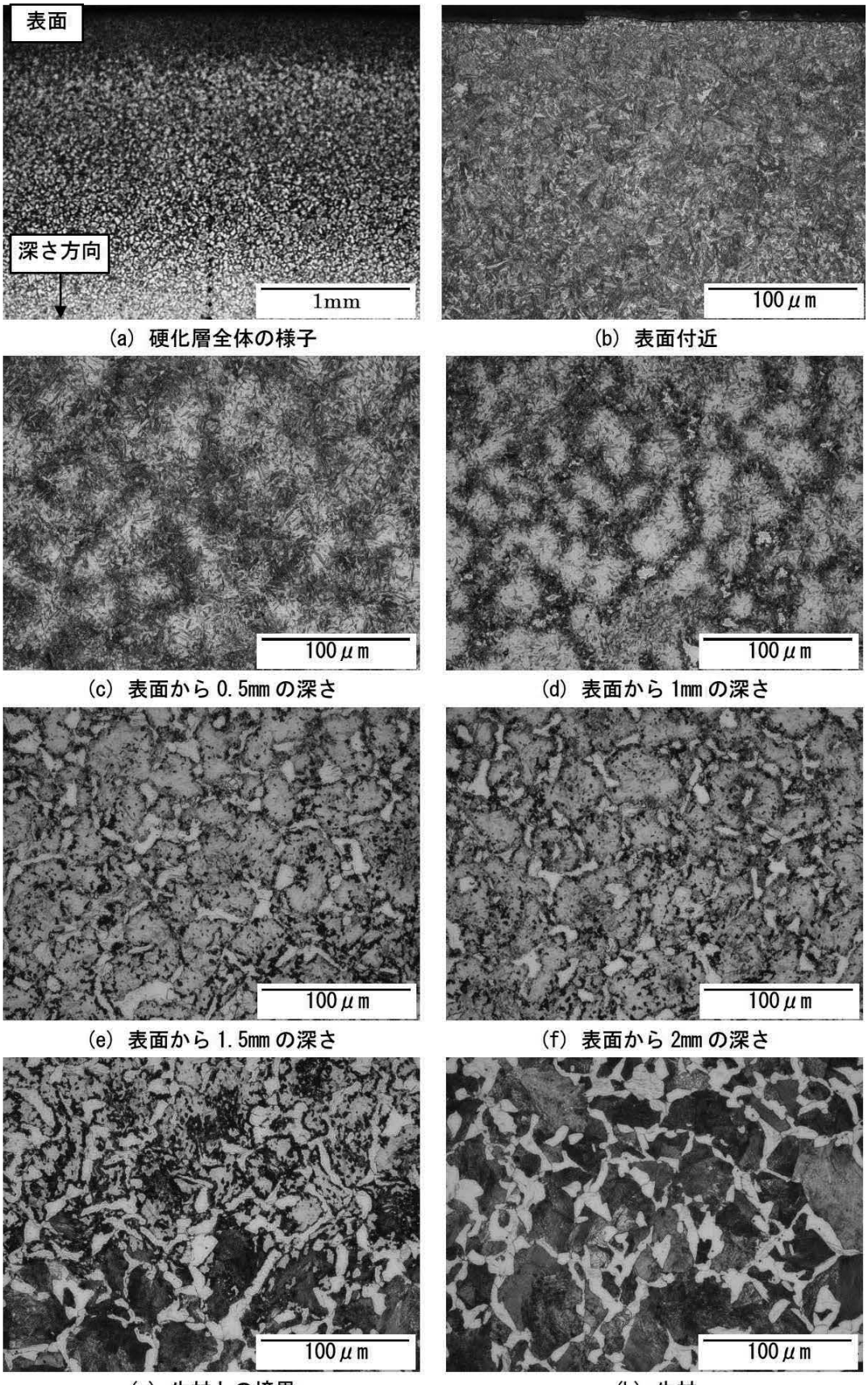
なお，（a）において中央の縦方向に見られる細かい点は，ビッカース硬さ試験による圧痕である。

図 4 の試料 A の金属組織では，表面付近の（b）は均一なマルテンサイト組織になっているが，表面からの深さが 0.5mm の（c）ではマルテンサイト組織の周りに黒色の組織（不完全焼入れ組織）が見られる。

また，1.0mm の（d）では不完全焼入れ組織が明瞭になり，その中に白色の組織（フェライト組織）が見られるようになる。さらに，1.5mm の（e）と 2.0mm の（f）ではフェライト組織の量が顕著に増え，生材の（h）ではフェライト組織とパーライト組織が見られ，境界の（g）では，（f）と（h）の混合組織となっている。上記の不完全焼入れ組織は，微細パーライト組織や炭素量が少ないマルテンサイト組織からなると考えられる。

ここで，（c）～（f）の組織と（h）の組織を比較すると，（c）～（f）において不完全焼入れ組織やフェライト組織が見られる位置は，高周波焼入れ前はフェライト組織であったことが推測される。フェライト組織は短時間の加熱ではフェライト組織として残存しやすく，仮にオーステナイト組織に変態しても周囲から炭素が拡散する前に冷却が始まり不完全焼入れ組織に変態しやすいと考えられるからである。図 3 において断面硬さが細かい増減を繰り返した理由としては，圧痕の位置に硬度が低い不完全焼入れ組織があったことが考えられる。高周波焼入れ前に調質を行い金属組織を細かく均一にすれば，硬さや金属組織のばらつきを小さくすることが可能と考えられる。

図 5 の試料 B の組織についても図 4 の試料 A の組織と同様であるが，不完全焼入れ組織がやや不明瞭となっている。これは，焼戻しによって金属組織の均質化が進んだためと考えられる。



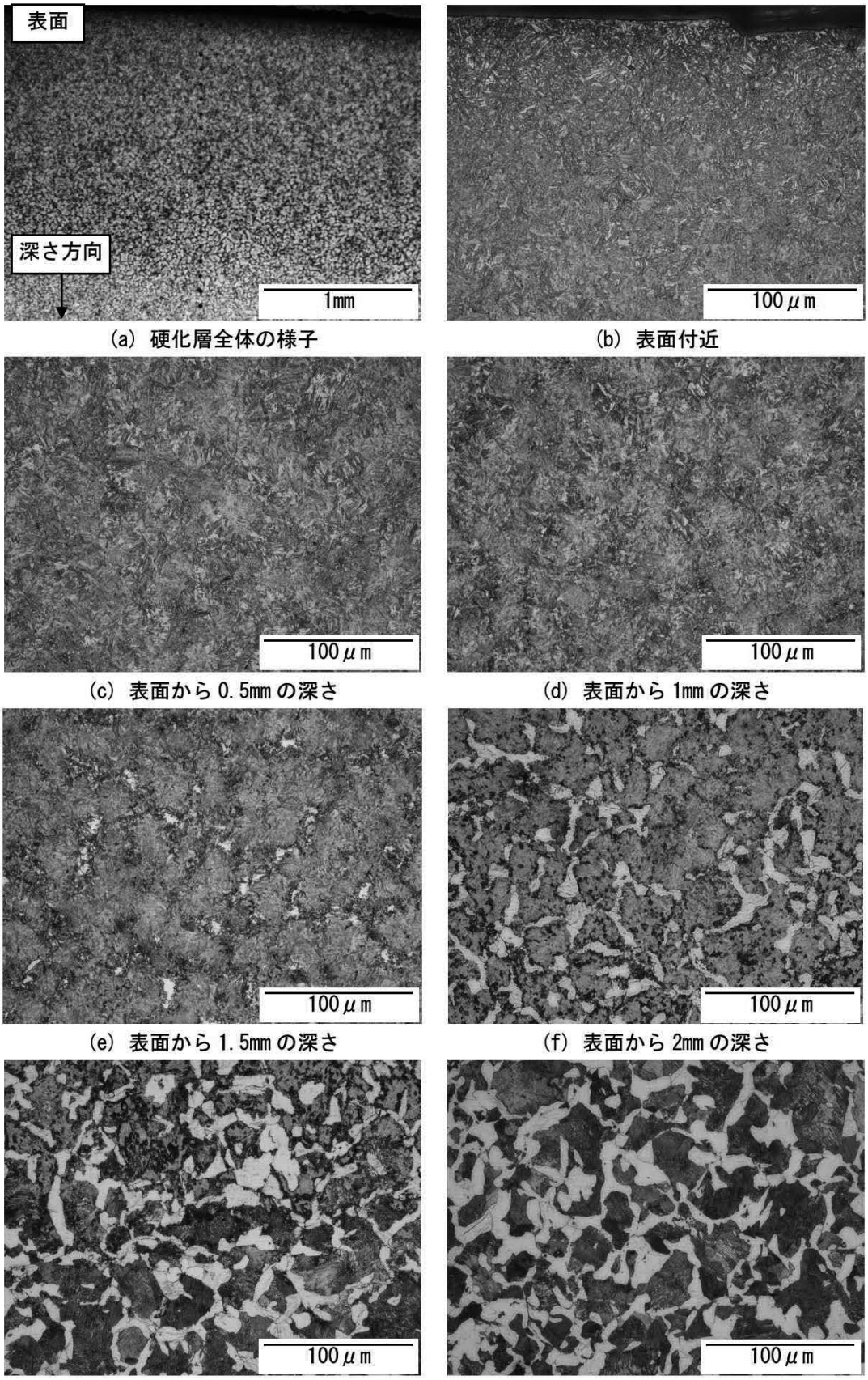
(a) 硬化層全体の様子　(b) 表面付近

(c) 表面から 0.5㎜ の深さ　(d) 表面から 1㎜ の深さ

(e) 表面から 1.5㎜ の深さ　(f) 表面から 2㎜ の深さ

(g) 生材との境界　(h) 生材

図 4　試料 A の金属組織



(a) 硬化層全体の様子　(b) 表面付近

(c) 表面から 0.5mm の深さ　(d) 表面から 1mm の深さ

(e) 表面から 1.5mm の深さ　(f) 表面から 2mm の深さ

(g) 生材との境界　(h) 生材

図 5　試料 B の金属組織

本報告書の結果については当研究所のホームページにも掲載している[5)]。

4. 結　　言

市販の S45C 丸棒の生材を高周焼入れまたは高周波焼入れ焼戻しして，硬化層断面の硬さ試験および金属組織観察を行い，以下について確認した。

(1) 硬化層の硬さは，表面から深さ方向に向かって増減を繰り返しながら徐々に減少した。

(2) 硬化層の金属組織は，表面ではマルテンサイトであるが，内部に行くにしたがって不完全焼入れ組織が多く見られた。

参考文献

1) 日本鉄鋼協会編，鋼の熱処理　改訂 5 版，1989，pp27～28.

2) 山方三郎，よくわかる最新熱処理技術の基本と仕組み，2014， pp140 ～ 141 .

3) 仁平宣弘，最新熱処理のしくみと技術，2017，pp126 ～ 127 .

4) 日本規格協会， JIS G 0559 ，鋼の炎焼入及び高周波焼入硬化層深さ測定方法，2019.

5) http://www.iri.pref.niigata.jp/topics/R2/2kin20.html ，高周波焼入れした炭素鋼 S45C の金属組織と硬さ，「新潟県工業技術総合研究所ホームページ」，2021年 2 月 8 日.