

# 高強度非磁性ドリルカラー用 ステンレス鋼「DNM140」の開発

石川浩一<sup>1)</sup> 植田茂紀<sup>2)</sup> 清水哲也<sup>3)</sup>  
栗原優介<sup>4)</sup> 関口秀明<sup>5)</sup>

## 1. はじめに

世界的なエネルギー使用量の増加に伴い、石油に対する需要が高まっており、新しい油田の掘削、探査が活発になってきている。ドリルカラーは掘削部品のひとつであり、ドリル直上に連結され、掘削に必要な荷重を与える役割を果たす(図1)。近年、掘削技術の進歩により今までの垂直掘りだけでなく、陸上から沖合い油田への掘削や海上基地からの多数掘りのような傾斜掘りが増加している。この傾斜掘りにはドリル先端の位置情報を把握するための地磁気測定器が必要であり、探査しながら掘削する場合では位置情報に加えて地下情報(ガス、岩質など)を得るために電磁抵抗や岩層密度等をリアルタイムに測定できる電子機器が必要となる。それぞれドリルカラーに埋込まれるため、誤作動を防止すべく非磁性であることが求められる。また、その肉厚は薄肉化するため、より強度の高い材料であることに加え、地下には硫化水素が活性な場所などもあり、厳しい腐食環境に耐えうる耐食性も求められている。

そこで著者らはこれらの要求を満足すべく、Cr-Mn系オーステナイト系ステンレス鋼の化学組成と製造条件の最適化を図り、高強度、かつ優れた耐食性を備えた非磁性ドリルカラー用鋼「DNM140」を開発した<sup>(1)-(3)</sup>。

主に使われるドリルカラーの外径は、 $\phi 119 \sim 238$  mmまでのサイズで、坑径によって選択される。単位重量は、一番重い $\phi 238$  mmドリルカラーで、約4,300 kg/本(長さ約9 m)、軽いもので $\phi 119$  mmドリルカラーが600 kg/本(長さ約9 m)となる。

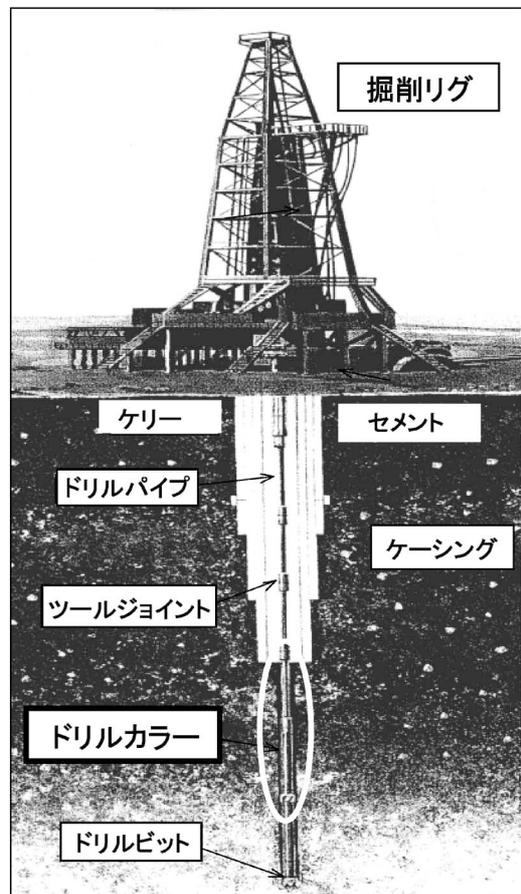


図1 ドリルシステム例(垂直掘り)。

## 2. 開発鋼「DNM140」の特長

開発鋼「DNM140」の化学組成を表1に示す。「DNM140」は非磁性ステンレス鋼であるCr-Mn系オーステナイト系ステンレス鋼をベースにCr, Mn, Nなどの成分を最適化し、更に温間加工を施すことにより高強度、高耐食化を実現した。本鋼種は高強度を固溶Nによる固溶強化と温間加工による加工歪付与によって与えており、高い耐食性はCr, Mo,

\* 大同特殊鋼株式会社  
研究開発本部特殊鋼研究所先進材料研究部  
1)副主任研究員 2)室長 3)部長  
素形材事業部渋川工場  
4)鍛圧室係員 5)生産技術室副主任研究員  
Development of High Strength Non-magnetic Drill Collar  
DNM140; Koichi Ishikawa, Shigeki Ueta, Tetsuya Shimizu,  
Yusuke Kurihara, Hideaki Sekiguchi (Daido Steel Co., Ltd.)  
2008年10月31日受理

表1 開発鋼の化学成分(代表例: mass%)

C	Mn	Ni	Cr	Mo	N
0.04	16.0	3.0	19.0	0.8	0.5

Nを利用することで得ている。また、オーステナイト相形成元素であるMn, Ni, Cu, Nを利用することによりオーステナイト相(非磁性相)が安定であり、80%の冷間加工後も非磁性を維持している。

〈「DNM140」の特長〉

- ◆高強度 : 0.2%耐力 965 MPa 以上を有する(≧140 ksi)
- ◆優れた耐食性: 10% 蔘酸エッチ試験では段状組織 硫酸-硫酸銅腐食曲げ試験では割れなし 孔食電位が SUS316 同等程度
- ◆非磁性 : 80%冷間加工後の透磁率  $\mu < 1.005$

### 3. 開発鋼「DNM140」の特性

耐食性評価と機械的性質には固溶化熱処理後に各製品サイズ( $\phi 169$  mm と  $\phi 200$  mm)に温間加工した棒鋼の表層より 25 mm 下から採取したサンプルを用い、基本的な磁氣的性質は冷間加工後の棒鋼からサンプルを採取した。

#### (1) 磁氣的性質

非磁性ドリルカラー用鋼は非磁性が必要であり、その透磁率  $\mu$  は安定なオーステナイトであるべく 200 Oe(15920 A/m)の磁界で最大  $\mu$  が1.005以下である。

表2は表層より25mm下から採取したサンプルにて測定した「DNM140」の200 Oe(15920 A/m)の磁界での透磁率を示し、どちらのサイズでも非常に低い値である。図2は各減面率での透磁率を示し、80%の冷間加工後でも  $\mu < 1.005$  である。

#### (2) 耐食性

図3に ASTM A 262 Practice A に準拠した「DNM140」の10%蔘酸エッチ試験結果を示す。マイクロ組織は完全にオーステナイト相を呈しており、フェライト相は確認できない。良好な耐食性や衝撃特性を得るためにはCr系窒化物や炭化物の析出をさけることが重要であり、図3に示すよう

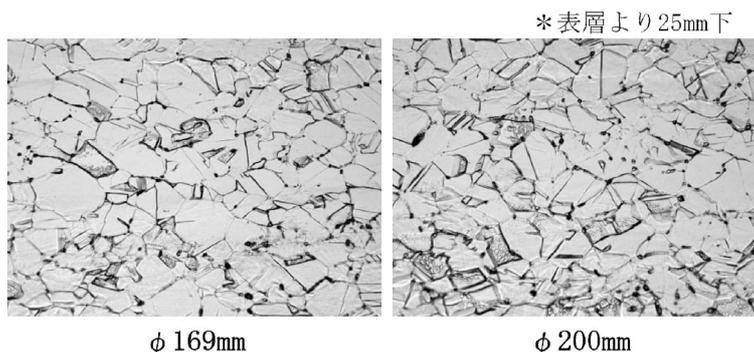


図3 10%蔘酸エッチ試験結果(ASTM A 262 Practice A).

にその組織は良好である。

粒界腐食に対する感受性を特徴づけるために ASTM A 262 Practice E に準拠した硫酸-硫酸銅腐食曲げ試験を実施した。その結果を図4に示す。この試験はCrリッチな炭化物の析出と関係する粒界腐食感受性を検出する。両サイズともに試験片は180°まで曲げて割れが認められず、「DNM140」は優れた耐粒界腐食性を有している。

塩素イオンによる孔食に対する耐性を評価するため、アノード分極曲線を測定した。試験は30°Cの3.5%NaCl中で行い、図5は参照電極SCEに対する電流密度 $10^{-4}$  A/cm<sup>2</sup>になった時の孔食電位を示している。3.5%NaCl中での「DNM140」の孔食電位は400 mVに達する。この電位はSUS304やSUS316よりも高く、「DNM140」は塩素イオン中で良好な耐孔食性を有する。

#### (3) 機械的性質

引張試験およびシャルピー衝撃試験結果の一例を表3に示

表2 温間加工した棒鋼の透磁率。  
\* 表層より 25 mm 下

	$\phi 169$ mm	$\phi 200$ mm
透磁率 200 Oe(15920 A/m)	1.002	1.003

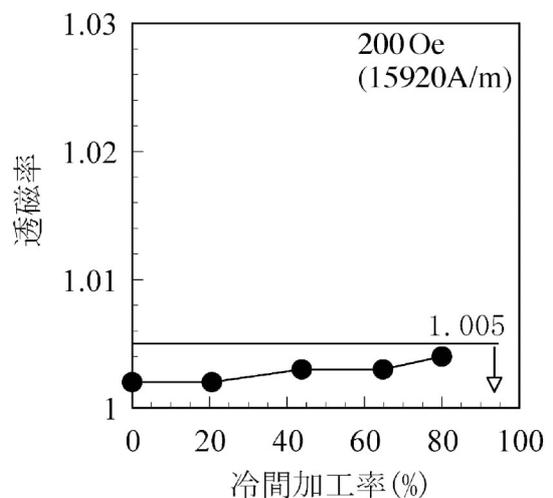
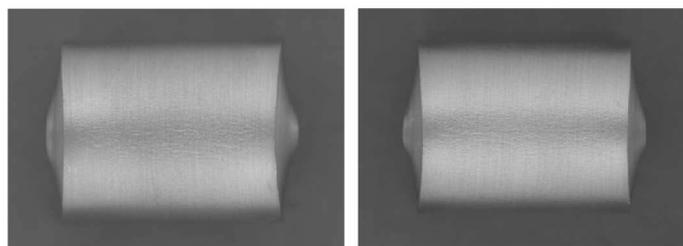


図2 冷間加工率と透磁率の関係。

\* 表層より25mm下

	φ 169mm	φ 200mm
耐粒界腐食性 ASTM A262 Practice E	割れなし (180° 曲げ)	割れなし (180° 曲げ)



φ 169mm

φ 200mm

図4 硫酸-硫酸銅腐食曲げ試験結果(ASTM A 262 Practice E).

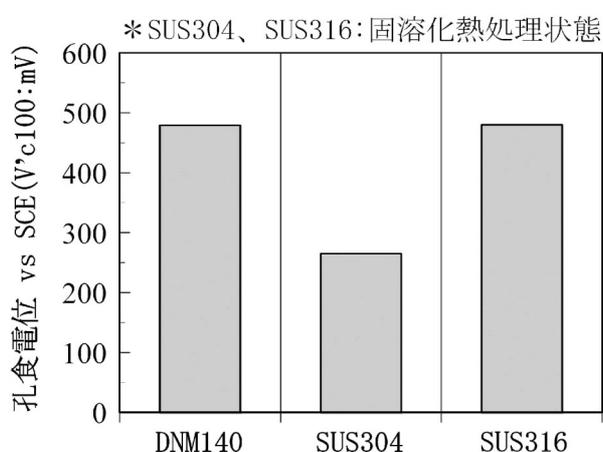


図5 孔食電位測定結果(3.5%NaCl, 30°C).

表3 代表サイズの機械的性質.

\* 表層より 25 mm 下

	φ169 mm	φ200 mm
0.2%耐力(MPa)	979	1048
引張強さ(MPa)	1089	1131
伸び(%)	30	27
絞り(%)	66	66
硬さ(HB)	331	341
シャルピー衝撃値(J/cm <sup>2</sup> )	183	163

す。各サイズにおいて「DNM140」の0.2%耐力は965 MPa (140 ksi)以上、引張強度は1034 MPa (150 ksi)以上であり、伸びは25%以上を有する。また2 mmV ノッチ試験片でのシャルピー衝撃値は150 J/cm<sup>2</sup>以上が得られている。



図6 ドリルカラーの外観写真.

#### 4. 実績と今後の展開

近年、世界的なエネルギー使用量の増加に伴い、石油需要が高まっており、新しい油田の掘削、探査が活発になってきている。このことから掘削に必要な荷重を与える非磁性ドリルカラー(図6)の世界需要は今後も高い伸びが予想され、生産量の増加が見込める。また、石油だけでなく、メタンハイドレードや天然ガス、鉱物床などのエネルギー、資源開発も活発であることからより更に生産量は増加していくものと期待する。現在、開発鋼「DNM140」は約200 t/月の生産を行っており、今後もさらに拡大する予定である。

#### 5. 特 許

特公2000-87187(日), 987342(欧), 6110421(米)成立済み。国内外含め、計6件出願。

#### 文 献

- (1) 電気製鋼, **73**(2002), 135-136.
- (2) 電気製鋼, **79**(2008), 261-262.
- (3) K. Ishikawa and T. Shimizu: 6<sup>th</sup> European Stainless Conference, (2008), 415.