

(技術資料)

造船・橋梁向け高品質CO₂溶接用フラックス入りワイヤ

Newly Developed and High Quality Flux-cored Wire for Shipbuilding and Bridge Construction



伊藤和彦*
Kazuhiko Ito



長岡茂雄**
Shigeo Nagaoka



橋本哲哉**
Tetsuya Hashimoto



黒川剛志**
Tsuyoshi Kurokawa

In recent years, the use of CO₂ flux-cored wire, which has better welding performance than solid wire, has become increasingly important and necessary at shipbuilding and bridge construction sites in Asia, especially in Japan. This paper outlines the characteristics of newly developed, high quality flux-cored "DW-100N" and "DW-50BF" wire for shipbuilding and bridge construction. DW-100N was developed for excellent hot crack resistance in small gap groove welding. DW-50BF was developed for big leg lengths (up to 11mm) in a single pass in horizontal fillet positions.

まえがき = 鋼製の超大型構造物の代表である造船・橋梁分野においては、安価な炭酸ガスと高能率なフラックス入りワイヤ（以下、FCW）の組み合わせが溶接に適用されて20年以上が経過しようとしており、必要不可欠な施工技術となっている。溶接工数が多くかつ全姿勢溶接が要求される造船や、きわめてきれいな水平すみ肉ビードが要求される橋梁では、高能率で自動溶接あるいは全姿勢溶接が可能である点と、ソリッドワイヤと比較して良好な溶接作業性を有する点がFCW適用拡大の大きな理由である。更に、当社がユーザの改善要望に応え、ヒューム・スパッタの低減や耐気孔性の向上など、品質・性能の改良・改善を実施してきたこと¹⁾が、FCW定着の大きな要因になっていると考えられる。

しかしながら、FCWの品質・性能に対する改良・改善要望が完全に解決されたわけではない。昨今、特に溶接工数の低減や手直しの削減など、生産コストの低減・削減に対する要望が高い。このため、当社では更なる高能率・高品質化を目指した技術開発への取組みを進めている。

本稿では、こうしたユーザニーズに対応して最近開発した、耐高温割れ性に優れた全姿勢溶接用FCW「DW-100N」、及び大脚長性に優れた水平すみ肉溶接用FCW「DW-50BF」について、技術開発の内容と特性を概説する。

1. 耐高温割れ性に優れたFCW「DW-100N」

造船・橋梁などの大型構造物の溶接では、ポジショニングが困難であるため立向・上向姿勢の溶接も多く、従来より、溶接時スラグが適量発生し全姿勢での溶接作業性が良好なスラグ系FCWが広く用いられてきた。さらに鋼板の突合せ継手については、図1に示すように開先裏側にセラミックバックングを貼付けて、溶接作業を実

施しやすい片側から溶接する“ガスシールドアーク片面溶接施工”が、一般的に採用されてきた。これは、突合せ溶接の裏はつり工程を省ける（裏ガウジング及びグライнда処理の低減など）ために、溶接の工数低減と作業能率向上に寄与するからである。しかし、全姿勢用スラグ系FCWは、ソリッドワイヤと比較すると、高温割れ感受性が高く、特に、片面突合せ初層溶接及び狭あい部の溶接においては、図2に示すような“凝固割れ”が発生

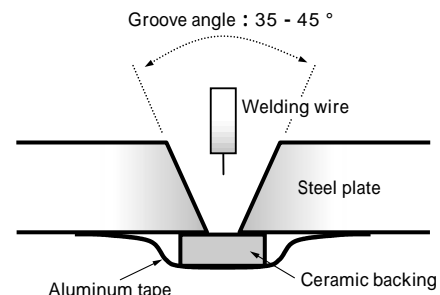


図1 片面溶接方法（下向溶接）

Fig. 1 Method of one side welding in flat position

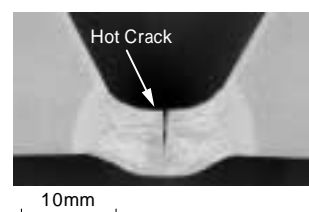
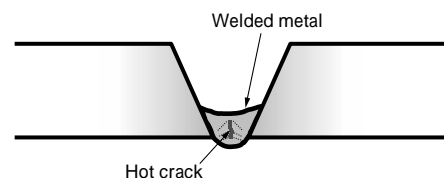


図2 片面溶接での高温割れの概念図と実際の割れ
Fig. 2 Schematic and actual hot crack in one side welding

* Kobelco Welding of America Inc. ** 溶接カンパニー 技術開発部

しやすい傾向にあるため、低電流施工もしくはソリッドワイヤとの併用で使用されているのが実情である。これが溶接の高能率化・高品質化を図る上で大きな障害要因になっており、「耐高温割れ性に優れたFCW」の開発が望まれていた。

そこで、全姿勢用スラグ系FCWを用いた片面溶接における初層の耐高温割れ性に関し、表1に示す各成分元素の影響を調査した。図3～図5には、その一例として、耐高温割れ性への影響が大きいP、Mn、Cの影響を示す。耐高温割れ性を改善するには、Pの減少、Mnの増加およびCの適正化が有効である。Pについては、図6に示すEPMA分析からもわかるように、従来のFCWでは溶接金属の最終凝固部への偏析が大きく、高温割れの主因と推定されるため、DW-100Nにおいては、ワイヤのP含有量、特に、FCWの外皮金属中の量を極力少なくするように設計した。

一方、溶接金属Mn量については、図4より明らかとなり、溶接金属Mn量が多くなるに従って割れ率は減少する傾向が認められた。Mnによる耐高温割れ性の改善は、Mnが溶接中にSと結びつき高融点のMnS(1610)を形成することにより、低融点のFeS(1190)やFeとの共晶であるFeS-Fe共晶(988)の生成を阻止

表1 耐高温割れ性から見た溶接金属化学成分の最適範囲とDW-100N成分(下向片面初層溶接部)

Table 1 Optimum range in chemical compositions against hot crack and compositions of DW-100N

		Optimum range (mass%)	DW-100N (mass%)	Conventional (mass%)
Metals	C	0.07 ~ 0.09	0.08	0.07
	Si	0.40 ~ 0.50	0.50	0.60
	Mn	1.25 ~ 1.60	1.35	1.10
Impurities	P	Low	0.010	0.017
	S	Low	0.009	0.012
Others	Al	-	0.020 Weldability	0.010
	Ti	-	0.040 Toughness	0.035

...considering other properties

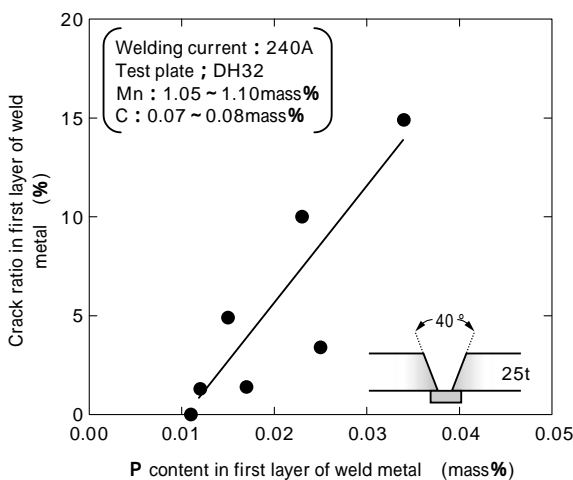


図3 片面溶接における耐高温割れ性に及ぼすPの影響

Fig. 3 Influence of P on resistance to hot crack in one side welding

する」という一般的によく知られている機構と一致する傾向にあった²⁾。

さらに、溶接金属C量の影響は、図5に示すように高Cあるいは低C領域で割れ率が增大し、中C領域(0.07 ~ 0.09)で割れ率が極小となる傾向が認められた。高C領域では凝固温度幅が大きくなり、逆に、低C領域では凝固形態が凝固が主体となることに起因し、デンドライト形態が粗く平滑な組織となるため物理的抵抗力が減少し、割れ率が增大したと推定される³⁾。

こうした基礎技術をもとに、表1に示すような耐高温

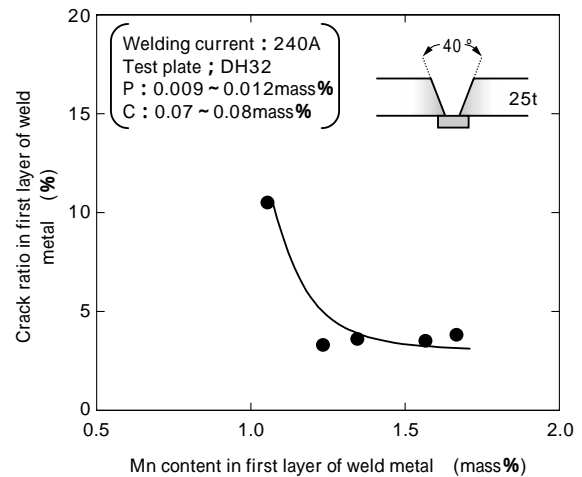


図4 片面溶接における耐高温割れ性に及ぼすMnの影響

Fig. 4 Influence of Mn on resistance to hot crack in one side welding

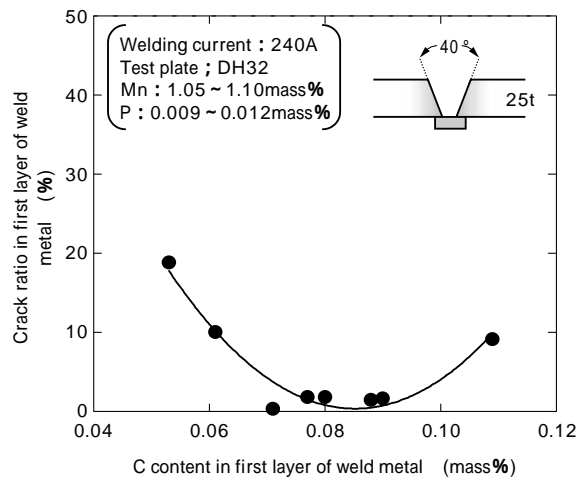


図5 片面溶接における耐高温割れ性に及ぼすCの影響

Fig. 5 Influence of C on resistance to hot crack in one side welding

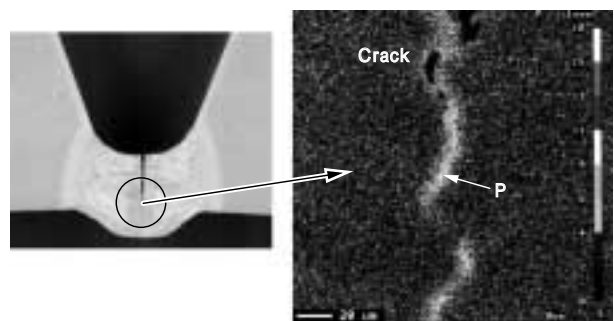
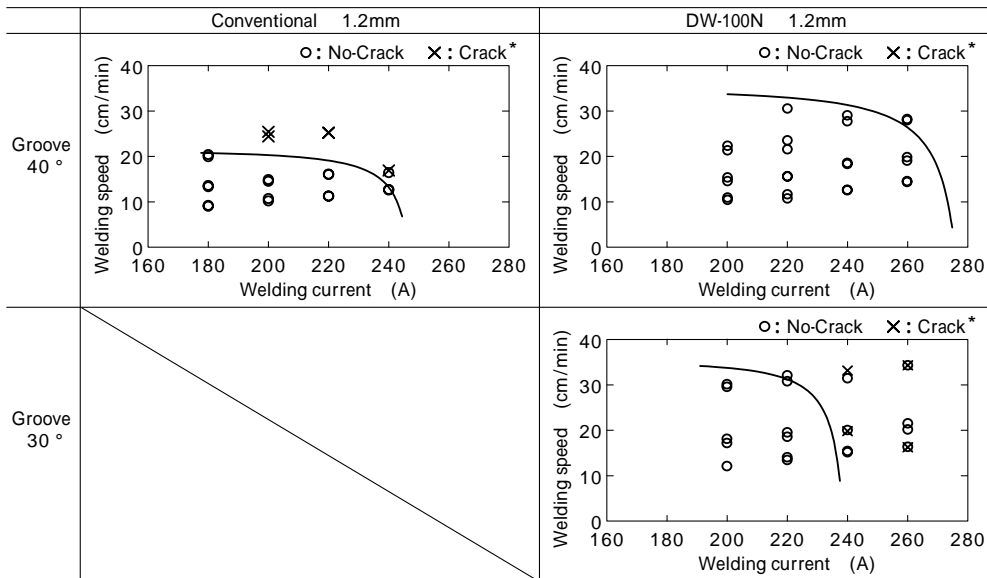


図6 割れ発生部におけるPのEPMA結果

Fig. 6 EPMA of P at hot crack area

表2 従来型 FCW と DW-100N との片面初層溶接部における耐高温割れ性の比較

Table 2 Comparison of resistance to hot crack in one side welding between conventional FCW and DW-100N



*) Checked by radiography (X-ray) except crater

割れ性からみた片面初層溶接部の最適化学成分範囲を把握した。

なお、DW-100N の溶接金属化学成分の一例を表1に示す。このワイヤは、従来ワイヤの良好な溶接作業性、溶接金属の機械的性質を維持するとともに、更には、これまで当社が開発してきた低ヒューム・低スパッタ特性も付与した設計としている。

表2に、下向片面溶接の初層におけるDW-100Nの耐高温割れ性能を示す。DW-100Nでは、高温割れが発生しない条件範囲が、従来のFCWと比較して大幅に拡大していることがわかる。本データより、開先角度40°の場合は、DW-100Nを使用することにより、初層での高電流、高能率施工(220A 260A, 1.2mm)が可能になることがわかる。また、従来のFCWと同一の溶接条件(220A以下)で、30°の狭開先化を図ることも可能である。

以上のように、DW-100Nの耐高温割れ性は従来のFCWに比較して格段に向上しているため、特に継手の狭開先化(開先断面積の減少)による溶接時間の短縮、溶接材料及びシールドガスの使用量低減など、大幅な生産性向上とコスト削減が期待できる。また、DW-100Nは、溶接熱歪みや不可避的な部材取付精度の低下によって生じる大きなルートギャップに対しても、耐高温割れ性が良好である。図7には、ルートギャップを有する水平すみ肉溶接での高温割れ試験結果を示す。DW-100Nではルートギャップ3.2mmまで高温割れは発生せず、従来のFCWの2.4mmに対して適用ルートギャップ範囲が約30%広がっている。

更に、溶接作業性、溶接金属の機械的性質、ワイヤ送給性、ヒューム・スパッタ量などの諸特性も従来のFCWと同等以上に設計されており、片面突合せ溶接の適用比率が高い造船を中心に実用化されている。以上のように、DW-100Nは、耐高温割れ性に対する特性が評価

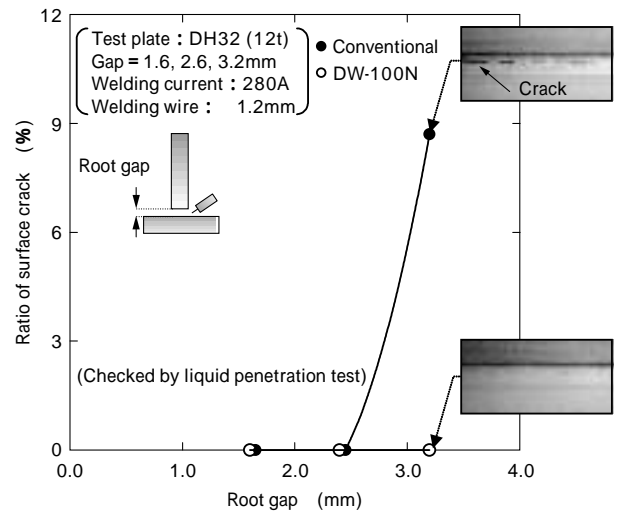


図7 ギャップを有したすみ肉溶接での耐高温割れ性評価結果
Fig. 7 Performance against hot crack in horizontal fillet welding with root gap

され、狭開先化などの施工能率向上に貢献している。

2. 大脚長水平すみ肉溶接用FCW「DW-50BF」

近年、橋梁分野では、建設コスト削減の手段として、従来の鉸桁橋梁(多主桁橋梁)より構造が単純な、少主桁橋梁の採用が進んでいる。この少主桁橋梁では、主桁部材が大型化してフランジ・ウェブの板厚が増大しているため、すみ肉溶接に要求される脚長が大きい。このような背景から、水平すみ肉溶接において1パスで10mm以上の脚長が得られるFCWの開発が強く望まれていた。また、造船の分野でもULCCやVLCCなどの超大型船建造時に大脚長性能が要求されることもあり、同様のワイヤ開発が望まれていた。

従来、1パスの水平すみ肉溶接では、脚長約8mm程度が限界であった。それ以上の脚長に対しては、1パス溶接の場合、上側止端部にアンダカット、下側止端部にオ

ーラップなどの溶接欠陥が発生しやすいため、多パス溶接が余儀なくされていた。

水平すみ肉溶接での大脚長性能の向上に対し、スラグ量を増加させ溶融金属の支持力を向上させることに加え、新たに溶融金属・スラグの粘性及び流動性の適正化により、ビード形状の安定化を図ることを試みた。

図8には、従来のスラグ系FCWをベースに水平すみ肉溶接を行った場合の、大脚長性能に及ぼすフラックス組成の影響を示す。図より、スラグ形成剤中の高融点酸化物 MgO (融点: 約 2 800) 及び ZrO_2 (融点: 約 2 700) と、低融点酸化物である FeO (融点: 約 1 400) 及び SiO_2 (融点: 約 1 650 ~ 約 1 700) との配合比率により最適な範囲が認められた。

図9には水平すみ肉溶接での大脚長性能に及ぼすスラグ形成剤量 (TiO_2 , ZrO_2 , MgO , FeO など) の影響を示すが、スラグ形成剤量の増加は溶融金属の支持力を向上させるため、大脚長性能に有効である。特に、50~60%程度のスラグ形成剤を添加することにより、1パスで10mm以上の大脚長を安定して得ることが可能である。

開発ワイヤ DW-50BF では、こうしたスラグ形成剤の組成・量の最適化に加え、フラックス率 (フラックス重量/ワイヤ重量 (%)), アルカリ金属及び弗化物などのアーク安定剤の量/種類の最適化により、更にアークの広がり・安定性を向上させ大脚長溶接時のビード形状の安定化を図っている。

図10はDW-50BFによる溶接施工条件例であり、脚長

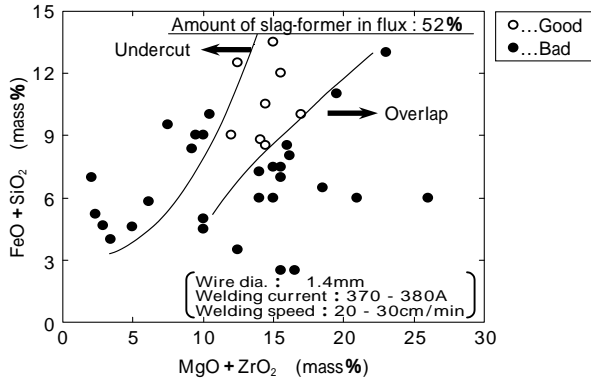


図8 水平すみ肉溶接でのビード形状に及ぼすスラグ成分の影響
Fig. 8 Influence of slag composition on bead shape in horizontal fillet welding

と溶接速度との関係を示している。溶接速度やワイヤ狙い位置などを適切に選定すれば、脚長10~11mm程度までの水平すみ肉溶接が1パスで可能である。写真1には、脚長11mmの場合のビード外観及び断面マクロ組織を示す。波目の揃った光沢のあるビード外観、かつ平滑

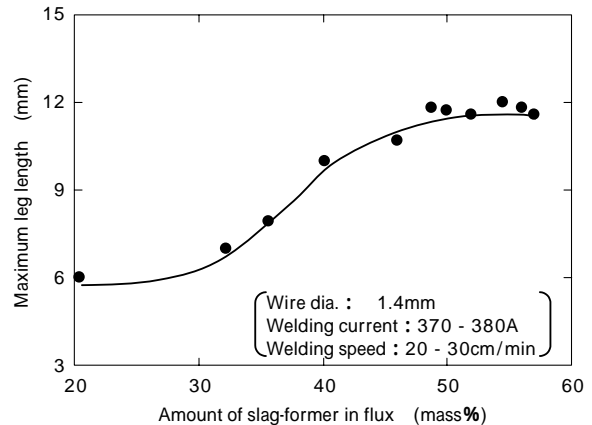


図9 水平すみ肉溶接での大脚長性に及ぼすスラグ成分の影響
Fig. 9 Influence of amount of slag-former on characteristic of big leg length in horizontal fillet welding

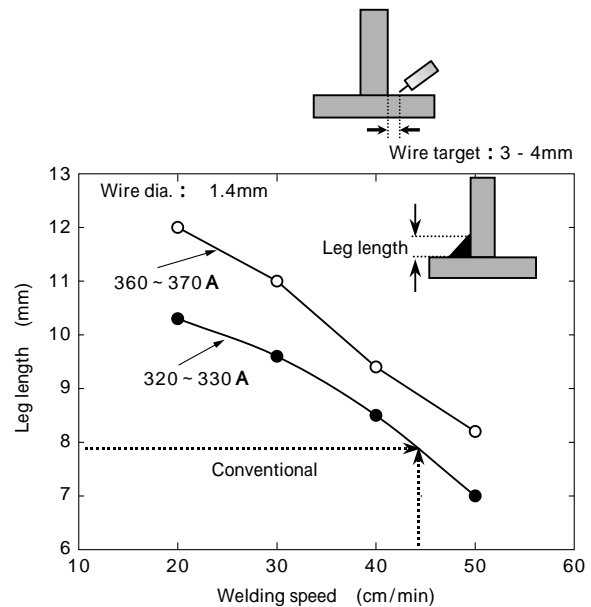


図10 DW-50BF (1.4mm) による水平すみ肉溶接時の溶接条件 (溶接電流, 溶接速度) と脚長との関係
Fig.10 Relationship between welding parameters (welding current, welding speed) and leg length in horizontal fillet welding by DW-50BF (1.4mm)

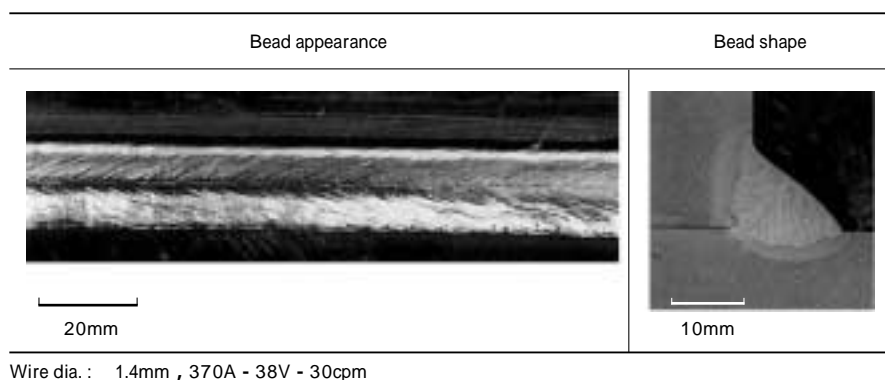


写真1 DW-50BF (1.4mm) を用いた溶接施工でのビード外観, 形状の一例
Photo 1 Bead appearance and shape in horizontal fillet welding by DW-50BF (1.4mm)

なビード形状が得られている。更に、溶接スラグの剥離性は自然剥離に近く良好であり、スパッタ発生量・ヒューム発生量も少なく、溶接作業性は極めて良好であり、ユーザから高い評価を得ている。なお、DW-50BFは軟鋼や490MPa級高張力鋼用に設計されているが、橋梁をターゲットとして同様の大脚長性能を有する590MPa級高張力鋼用FCW「DW-60BF」、耐候性鋼用FCW「DW-50WBF」、**「DW-60WBF」もシリーズ化している。**

むすび = 造船・橋梁分野向けに最近開発した、軟鋼及び490MPa級高張力鋼用CO₂溶接フラックス入りワイヤ「DW-100N」と「DW-50BF」の特性を紹介した。

これらのCO₂溶接用FCWは、溶接施工能率の向上や溶接手直し工数の低減によって、建造・建設コストの低

減に大きく貢献しているものと確信する。

造船・橋梁はもとより、他分野のユーザからの開発要求に対してもこれまで以上に応えられるよう、**不断の研究・開発に取り組んでいきたい。**

参 考 文 献

- 1) 黒川剛志ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.45, No.1(1995) p.17.
- 2) 石崎圭人ほか：溶接学会全国大会講演概要，第70集(2002) p.205.
- 3) 岡本 平ほか：鉄と鋼，Vol.63, No.6(1977) p.936.