

# スラリー輸送用耐摩耗鋼管 (NK-SL80)

## Development of Abrasion Resistant Pipe (NK-SL80) for Slurry Transporting Systems

遠山 晃 エヌケーケーシームレス鋼管(株) 品質管理部 商品技術室  
 特殊管マネジャー  
 高岡 達雄 エヌケーケーシームレス鋼管(株) 品質管理部 商品技術室  
 特殊管マネジャー  
 古川 英俊 エヌケーケーシームレス鋼管(株) 品質管理部 品質保証室 室長  
 堀 英範 エヌケーケーシームレス鋼管(株) 製造部 大径管工場  
 福井 俊彦 NKK 総合材料技術研究所 鋼材研究部 主任研究員  
 南 雄介 NKK 総合材料技術研究所 鋼材研究部 主幹 工博

Akira Tohyama, Tatsuo Takaoka,  
 Hidetoshi Furukawa, Hidenori Hori,  
 Toshihiko Fukui and Yusuke Minami

最近,たとえば,微粉炭焚きボイラの燃焼灰輸送などのスラリー輸送に用いられている鋼管に対して,優れた耐摩耗性能が要求されている。NKKは,スラリー輸送用耐摩耗用鋼管として,NK-SL80鋼管を開発した。本稿では,本鋼管の特性と試験結果について紹介する。NK-SL80鋼管は,0.15%C-1.5%Si-1.5%Mn-Fe鋼管であり,フェライトとマルテンサイトの二相組織を有している。マルテンサイト相が,耐摩耗性能を保持し,フェライト相が加工性を有する。本開発鋼管はC,Mnなどの元素をこれまでの耐摩耗用鋼管よりも低目にしてしていることから,高炭素含有型の耐摩耗用鋼管に比べて,優れた現地溶接性能を示した。

Recently, excellent abrasion resistance is required for the pipes used in the slurry transporting systems, for example, which transport the coal ash in pulverized coal firing boilers. We have developed abrasion resistant pipe for transportation of slurries named "NK-SL80". In this paper the properties and test results of that pipe are shown. NK-SL80 is a 0.15%C-1.5%Si-1.5%Mn-Fe steel pipe with dual phase microstructure composed with ferrite and martensite. Martensite phase acts as abrasion resistant element and ferrite phase provide workability. This developed pipe contains lower alloying elements, such as C, Mn, than ordinary abrasion resistant pipes, and hence shows excellent field weldability comparing with high carbon type abrasion resistant pipe.

### 1. はじめに

昭和40年代後半の石油危機以降,エネルギー源の多様化の観点から,発電電源も原子力をベース電源とし,火力においてはLNG,重油と並んで石炭焚き火力発電が増加している<sup>1)</sup>。最近の火力発電ボイラは1基で600MWを超えるユニットが主であり,大型石炭焚き火力発電には,微粉炭燃焼方式が採用されている<sup>2)</sup>。原料である石炭の荷揚げ・貯蔵・運搬,微粉炭の供給および燃焼装置とともに,燃焼後の石炭灰の運搬・処理などが必要である。中でも石炭燃焼灰は,スラリー輸送により処理される廃棄物であるが,現在年間650万トン発生し,約65%がセメント原料や土木資材に利用されている<sup>3)</sup>。

0.15C-1.4Si-1.5Mn(以下,NK-SL80と略記する)鋼管は,この種の廃棄物輸送用途を主目的に開発した耐摩耗鋼管である<sup>4),5)</sup>。耐摩耗性は,基本的には材料の硬さに依存するため,従来の商品には溶接性を犠牲にしたものが多い。本鋼は耐摩耗性を有しながら,溶接性,加工性などの現地での施工性に優れた特徴を有する。ここでは,NK-SL80鋼管の特性および耐摩耗性,溶接性について報告する。

### 2. NK-SL80 鋼管の概要

#### 2.1 NK-SL80 鋼管の化学成分および機械的性質

スラリー輸送,ごみ輸送システムなどに用いられる鋼管には優れた耐摩耗性が要求される。材料の耐摩耗性は一義

的に材料の硬さで決まることから従来の耐摩耗用鋼管は高炭素(C)を含有させる,もしくはTi,Vなどの合金元素を添加することにより硬さを高めている。この場合は,硬さ値は高くなり,耐摩耗性も向上するが,溶接施工時の予熱温度が高くなるなど溶接性に難を生じ,加工性ととも現地施工性を損ねる。また,合金元素の添加により製造コストは上昇する。これらの課題を解決するために,NK-SL80鋼管は,良好な現地施工性と経済性を兼ね備えた耐摩耗鋼管とした。Table 1にNK-SL80鋼管の化学成分範囲を示す。Ti,Vなどの高価な合金元素は添加していない炭素鋼である。

Table 1 Chemical compositions of NK-SL80

	(mass %)				
	C	Si	Mn	P	S
NK-SL80	0.20	1.20 ~ 1.60	1.20 ~ 1.60	0.040	0.040

Table 2にNK-SL80鋼管の機械的性質範囲を示す。耐摩耗性能を確保するために,硬さは,ヴィカース硬さ値で250以上とした。

Table 2 Mechanical properties of NK-SL80

	Tensile strength N/mm <sup>2</sup>	Yield strength N/mm <sup>2</sup>	Elongation * %	Hardness Hv
NK-SL80	800	400	10	250

\* JIS Z2201 No.5 specimen

2.2 NK-SL80 鋼管の製造工程

NK-SL80 鋼管の製造工程は、Fig.1 に示すように通常の炭素鋼管の製造とほぼ同じである。(ここでは、外径 34.0 ~ 406.4mm の継目無鋼管の製造工程を示す。)Fig.1 における特殊熱処理の概念を Fig.2 に示す。Table 1 に示す化学成分の鋼管は圧延まではフェライト・パーライト組織を示す。この鋼管をフェライトとオーステナイトの二相温度域に加熱するとパーライトだった部分がオーステナイトに変態し、フェライトはそのままフェライトとして残る二相組織となる。加熱後の冷却過程でフェライト粒が成長し、オーステナイトはフェライトの結晶粒界に網目状に残存する。その状態で急速冷却すると、このフェライト結晶粒界に存在していたオーステナイトがマルテンサイトに変態し、フェライト、マルテンサイトの二相組織となる。

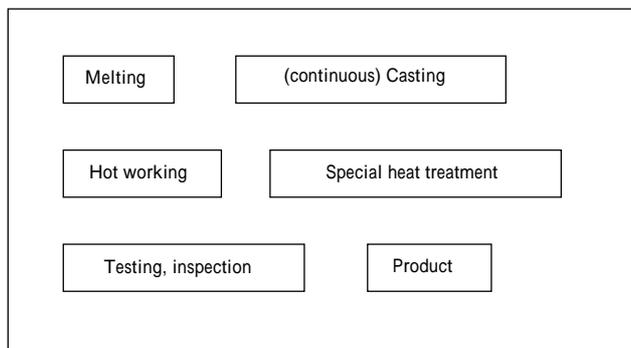


Fig.1 Manufacturing process of NK-SL80 seamless pipe

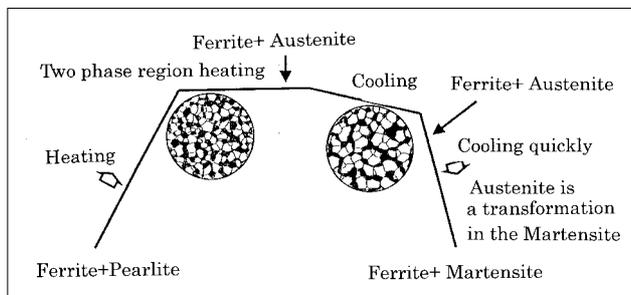


Fig.2 Special heat treatment process of NK-SL80 seamless pipe

2.3 試作鋼管の諸特性

Table 3 に示した化学成分で、外径 318.5mm、肉厚 17.0mm の鋼管を試作し、諸特性を評価した。製造工程は、Fig.1 に示したとおりである。機械的性質を Table 4 に示す。硬さは、ヴィカース硬さ値で 264 であり、機械的性質はいずれも Table 2 の範囲を満足している。試作鋼管のミクロ組織を Photo 1 に示す。白く見えている地の部分がフェライト相であり、黒く見えている部分がマルテンサイト相である。超マイクロヴィカース硬度計(荷重 1g)により、異なる相別に硬さを測定すると、フェライト組織は、Hv120 ~ 150 に対し、マルテンサイト組織は、Hv300 ~ 450 を示した。この鋼管のミクロ組織の特徴は、柔らかいフェ

ライト相からなるマトリックス(地)の結晶粒界に、硬いマルテンサイト相が網目状に分散した組織を呈していることである。

Table 3 Chemical compositions of NK-SL80 sample pipe

(mass %)					
	C	Si	Mn	P	S
NK-SL80	0.15	1.43	1.50	0.010	0.004

Table 4 Mechanical properties of NK-SL80 sample pipe

	Tensile strength N/mm <sup>2</sup>	Yield strength N/mm <sup>2</sup>	Elongation * %	Hardness Hv
NK-SL80	945	469	14	264

\* JIS Z2201 No.5 specimen

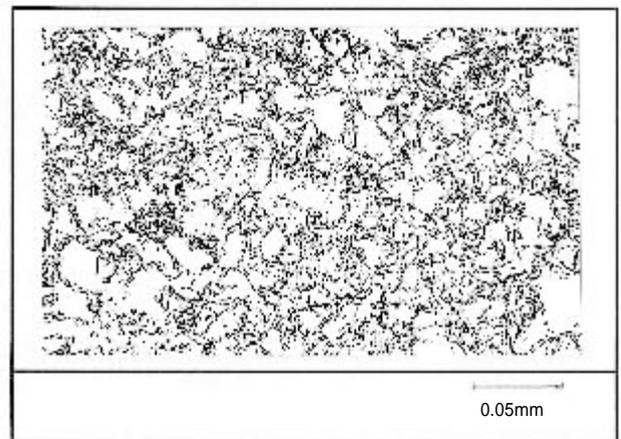


Photo 1 Microstructure of NK-SL80 sample pipe

3. 実用性能

3.1 耐摩耗性

3.1.1 NK-SL80 鋼管と各種鋼材の耐摩耗性

一般的な耐摩耗性は、Fig.3 に試験機と試験片の模式図を示した湿式環境での試験片回転式の摩耗試験により評価した。試験片評価部は 10mm で長さ 60mm であり、試験片速度は 4m/sec である。評価方法は摩耗減量であり、摩耗形態としては、衝突摩耗の割合が大きくなる。Table 5 に示す 13 種類の炭素鋼、耐摩耗鋼、およびステンレス鋼について行った回転式摩耗試験の結果を Fig.4 に示す。試験環境は珪砂 (JIS3 号 50kg+JIS5 号 25kg) + 水 (32kg)、回転時間は 4 時間である。Fig.4 の縦軸は、各種鋼材の摩耗減量を標準試験材 STPY400 の摩耗減量で除した値、すなわち重量(摩耗)減量比であり、低いほど耐摩耗性は優れている。また横軸は、耐摩耗性は材料の硬さに依存することから、試験材の硬さ値とした。Fig.4 から、耐摩耗性は、硬さの上昇に伴って良好になること、フェライト系の鋼種に比べてオーステナイト系の鋼種は同じ硬さ値において良好な耐摩耗性を示すことがわかる。NK-SL80 鋼管はフェライト系鋼であるが、耐摩耗性はオーステナイト系鋼の性

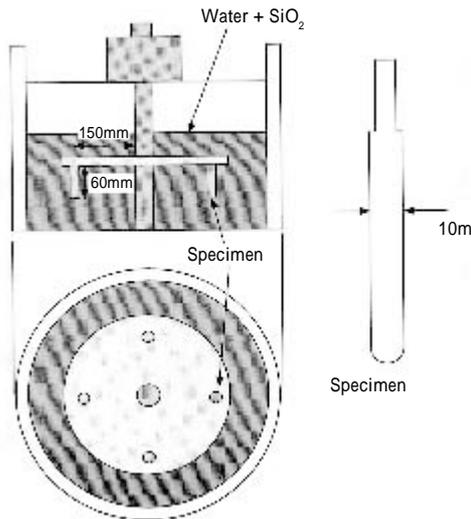


Fig.3 Schematic drawing of the abrasion test machine and dimension of the specimen (specimen rotating type)

能バンドに位置し、ヴィカース硬さ値260程度で、STPY400の2倍という良好な耐摩耗性を示した。また、NK-SL80鋼管は炭素鋼でありながら、高価な合金元素を含有しているステンレス鋼と同等以上の耐摩耗性を有しており、経済性に優れている。

以降の摩耗試験においては、比較材として、400N/mm<sup>2</sup>級炭素鋼であるSS400鋼( Table 5におけるSTPY400相当)および高炭素(C)含有の炭素鋼JIS S50C鋼(0.5%C鋼)を用いた。

3.1.2 珪砂による回転式摩耗試験結果

コンクリート環境を想定して、珪砂による回転式摩耗試験を実施した。試験環境は、水準1(珪砂(JIS3号50kg+JIS5号25kg)+水(35kg))および水準2(珪砂(JIS3号25kg+JIS5号25kg)+10mm珪石(25kg)+水(30kg))、回転時間は24時間である。試験結果をFig.5に示す。NK-SL80鋼とS50C鋼は、SS400鋼に比べて、水準1で1.8倍、水準2で1.4倍の耐摩耗性を示した。

3.1.3 石炭燃焼灰(クリンカ)による回転式摩耗試験結果

石炭焚き火力発電所における石炭燃焼灰は、ボイラ燃焼室下部のクリンカホッパに落下堆積するクリンカと、集じん装置などにて捕集されるフライアッシュとがある。大別

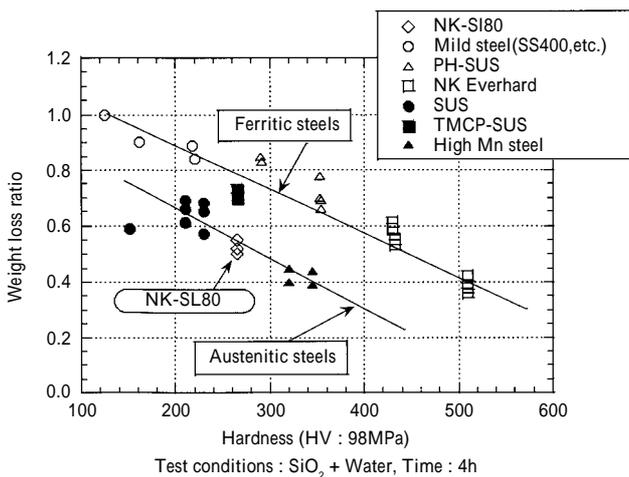


Fig.4 Abrasion resistance of several materials and NK-SL80 obtained by specimen rotating type test

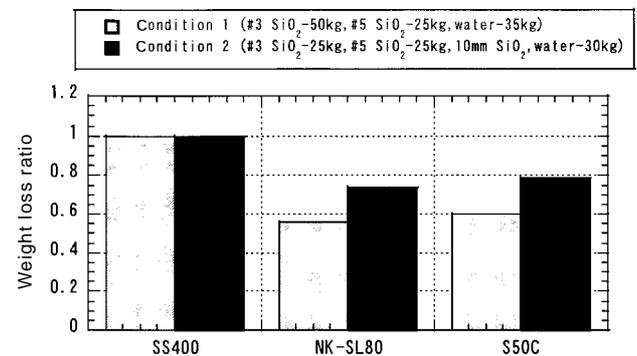


Fig.5 Abrasion test result for water + SiO<sub>2</sub>

Table 5 Chemical compositions of abrasion tested materials

Material	Grade	Hardness Hv/98N	(mass %)							
			C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo	Others
C-steel	NK-SL80	260	0.15	1.43	1.50	-	-	-	-	-
	STPY400	125	0.10	0.29	0.56	-	-	-	-	-
	X52	160	0.12	0.28	1.30	-	-	-	-	Nb
Alloy-steel	9Cr	220	0.08	0.23	0.44	-	0.14	8.35	0.90	Nb,V
NK Ever Hard	360A	440	0.16	0.25	0.96	0.20	-	0.63	0.21	V,Ti,B
	500A	520	0.27	0.31	0.96	-	-	0.61	0.22	V,Ti,B
PH-SUS	17Cr-5Ni	290	0.01	0.57	0.47	0.45	5.11	17.5	0.25	Nb
	15Cr-5Ni	360	0.01	0.50	0.67	3.70	4.91	14.8	-	Nb,Ti
High Mn-steel	12Mn	320	0.95	0.30	12.8	-	-	-	-	-
SUS	SUS304	150	0.04	-	1.02	0.36	8.13	18.2	0.23	-
	SUS304N	220	0.06	-	1.69	0.14	8.10	18.4	0.08	-
TMCP-SUS	SUS317	265	0.01	0.33	1.60	-	13.8	18.2	3.40	-
Dual-SUS	SUS329J1	230	0.02	0.47	0.98	-	5.79	22.5	3.16	-

すると、クリンカは処理水によりスラリー輸送され、フライアッシュは真空輸送、圧力輸送される。

クリンカのスラリー輸送環境を想定して、クリンカによる回転式摩耗試験を実施した。試験環境は、水準1(石炭灰(クリンカ) 39kg + 水(80kg)) および水準2(石炭灰(クリンカ) 50kg + 水(70kg))、回転時間は24時間である。試験結果を Fig.6 に示す。NK-SL80 鋼と S50C 鋼は、SS400 鋼に比べて、水準1、水準2ともに2.2倍の良好な耐摩耗性を示した。

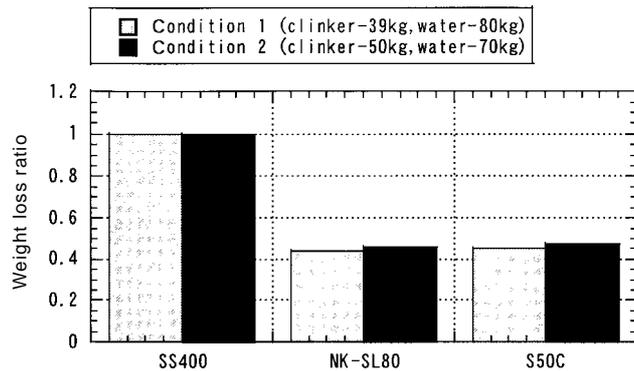


Fig.6 Abrasion test result for coal ash (clinker)

### 3.1.4 石炭燃焼灰(フライアッシュ)による照射摩耗試験結果

微粉炭の燃焼に伴って発生する微小のフライアッシュは、電気集じん装置などで捕集されホッパから真空輸送により灰中継タンクに輸送される。さらに圧力輸送により灰貯蔵サイロに輸送される。この輸送ラインにおいて、ホッパから中継タンクまで、また中継タンクから貯蔵サイロまでは灰輸送管により輸送される。真空輸送や圧力輸送によって、微小なフライアッシュは、高速で管内表面に衝突を繰り返しながら運搬される。すなわち、灰輸送管の内面摩耗は、乾式の衝突摩耗であり、前述の回転式摩耗試験では直接の評価は難しいことから、Fig.7 に示すようなフライアッシュ照射式摩耗試験機を製作し試験を行った。

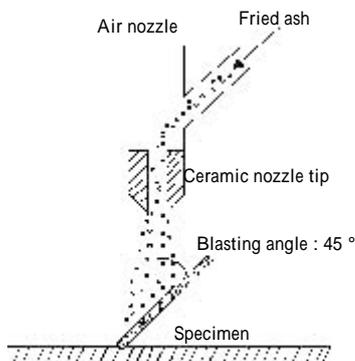


Fig.7 Schematic drawing of the abrasion test machine (fried ash collided type)

Photo 2 に、試験に用いた微粉炭燃焼後のフライアッシュを示す。粒子の形状は、球状と多角形の2種類が観察されたが、多角形の粒子は高倍率にて観察すると、粒径の異なる球状の粒子が重なり合った構造となっている。これから、基本的にフライアッシュの個々の形態は球状であり、単体もしくは凝集体になっていることがわかった。

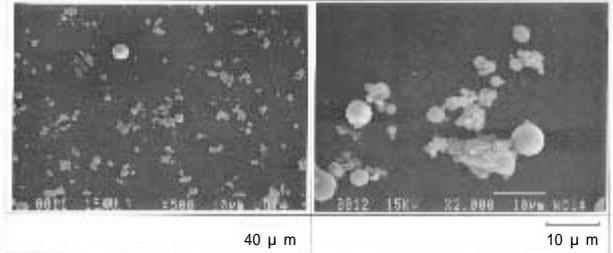


Photo 2 SEM observation result of coal ash (fried ash)

Fig.8 にフライアッシュ粒径分布測定結果を示す。粒子径は、0.11 ~ 174.6 μm まで大きくばらついているが、1.0 μm 以下の超微小粒子は全体の3.1%と少ない。粒子径が10 ~ 30 μm の粒子が全体の40%以上を占めており、また、50% 平均径は 14.59 μm であった。

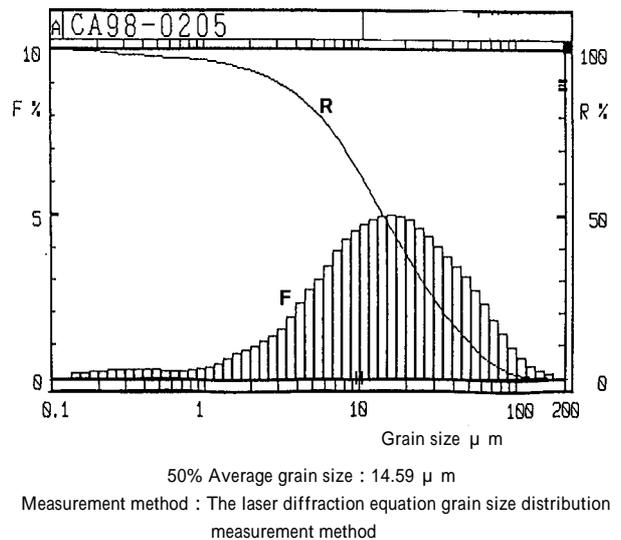


Fig.8 Measurement result of coal fried ash

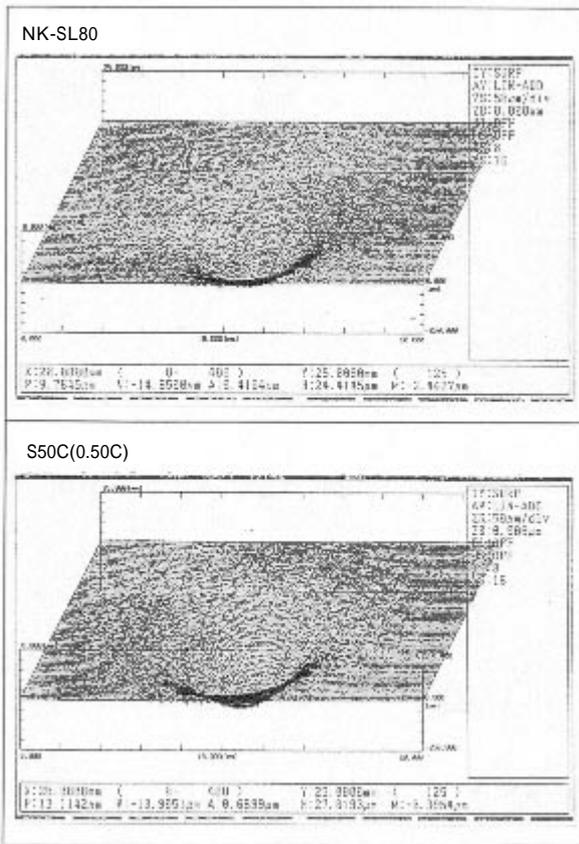
NK-SL80 鋼管および比較材として S50C 鋼から板状の試験片を切り出し、Fig.7 に示す試験機により微小なフライアッシュを照射後の摩耗重量減によって評価した。試験条件は、エアノズルから吹き出すエア圧力は 4.5kg/cm<sup>2</sup>、フライアッシュが試験片に衝突する速度は 170m/sec 照射するフライアッシュ重量を 5kg と 15kg の 2 水準とした。試験片の表面状態は、機械研磨(粗さ:最大高さ 5 μm 以下)、#60 グラインダ仕上げ、圧延後酸洗ままの 3 種類とした。

フライアッシュ照射試験結果を Table 6 に示す。また照射後の試験片表面粗さ測定結果を Fig.9 に示す。重量減少

量では、照射重量および試験片表面状態に関わらず、NK-SL80 鋼と S50C 鋼との間に有意差は認められない。一方、表面粗さ測定結果では、NK-SL80 鋼に比べて S50C 鋼は深さ方向への摩耗がやや大きいことがわかる。

Table 6 Abrasion test result for coal ash (fried ash)

	( weight loss : g )			
	NK-SL80		S50C(0.50C)	
Fried ash (kg)	5	15	5	15
Ground surface ( 5S )	0.20	0.83	0.23	0.90
Grinder surface #60	0.20	0.53	0.20	0.50
As pickling surface	0.20	0.58	0.20	0.60



Fried ash : 15kg specimen : ground surface 5s

Fig.9 Measurement result of surface roughness by 3-dimension method

Photo 3 に、両試験片のミクロ組織を示す。NK-SL80 鋼は、1.3 節において述べたように、硬いマルテンサイト相が網目状に分布している。S50C 鋼は、フェライト・パーライト組織であり、パーライトの硬いセメントイト (Fe<sub>3</sub>C) 相が島状に分布している。このため、柔らかいフェライト相に摩耗が優先的に生じると硬い島状パーライト相が抜け落ちることで摩耗が進むと予想される。NK-SL80 鋼の網目状マルテンサイトは三次元的に分布していることから、柔らかいフェライト相の摩耗が進んでもその直下に硬いマルテンサイト相が存在することで摩耗の進展を遅延

させると考えられる。すなわち、全面的な重量減少による摩耗評価では同等であるが、局所的な侵食に対しては、NK-SL80 鋼管は優位である。

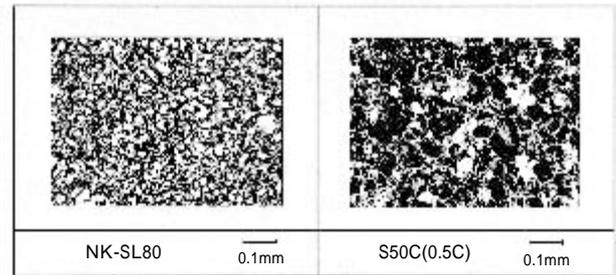


Photo 3 Microstructures of the abrasion test specimen

### 3.2 溶接性

#### 3.2.1 溶接性

NK-SL80 鋼管の特徴として、溶接性が挙げられる。従来、灰処理輸送管に用いられている S50C 鋼管は、炭素含有量が 0.5% と高く溶接施工にあたり、200 程度の予熱処理が必要である。NK-SL80 鋼管は、炭素含有量を 0.15% と低減し、さらに合金元素も添加していないことから、次式で表わされる溶接割れ感受性組成 Pcm 値<sup>6)</sup>が低い。

$$Pcm = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B$$

実際の溶接熱影響部に生じる低温割れに対する感受性を調べる試験法として、JIS Z3158 に規格化されている斜め Y 形溶接割れ試験を実施した。結果を Table 7 に示す。室温 (25 ) においても割れは発生せず、NK-SL80 鋼管の現地溶接施工においては予熱省略可能という大きな利点が認められる。

Table 7 Test result of JIS Z 3158 Y-Groove cracking test

R.T. (25 )	Pre-heat temperature		Welding condition Thickness 20mm n=3 Test method JIS Z 3158 The low-hydrogen type covered electrode
	50	100	
No crack	No crack	No crack	

Table 8 に、NK-SL80 鋼管の溶接条件を示す。溶接方法には特に制限はない。溶接材料も、高張力用の低水素系標準材料が使用可能である。溶接電流、溶接電圧、溶接速度は、使用溶接材料・溶接機の規定値に準拠すればよく、予熱・後熱処理はともに不要である。

#### 3.2.2 溶接施工

灰処理輸送管として使用される場合は、フランジ溶接と突き合わせ継手溶接が施工される場合が多い。溶接施工の例として、Fig.10 にフランジ溶接例を、Fig.11 に突き合わせ溶接例を示す。1.2 節にて述べたように、NK-SL80 鋼管の耐摩耗性は、特殊熱処理により制御された網目状マルテ

Table 8 Welding conditions of NK-SL80 seamless pipe

Welding process	Metal-arc welding with covered electrode, semi-automatic welding, or automatic welding	
Welding consumables *	Metal-arc welding with covered electrode**	JIS Z 3211 D4316 Example : LB-47 by Kobe steel Ltd.
		JIS Z 3212 D5016 Example : LB-52 by Kobe steel Ltd.
	Semi-automatic welding : gas-shielded metal arc welding	JIS Z 3312 YGW11 Example : MG-50 by Kobe steel Ltd.
		JIS Z 3313 YFW11 Example : DW-100 by Kobe steel Ltd.
Automatic welding : TIG welding	JIS Z 3316 YGT50 Example : TGS-50 by Kobe steel Ltd.	
Welding condition	Heat input : 10000 ~ 15000 J/cm Preheating・postheating : free Interpass temperature : < 150 Current, voltage, welding speed : conforms to a regulated value of the use welding materials	

\* : As for the welding material, the joint tensile strength is made the welding material of 420N/mm<sup>2</sup> or more as shown in the table.  
 \*\* : When the shielded metal arc welding is used, with a welding rod of low-hydrogen type like the table. And moreover, please use that have to dry immediately before the welding, and note the cold crack prevention about the covered electrode.

ンサイト相に依存している。溶接金属部には、このような網目状マルテンサイト相は現出しない。しかし、溶接金属部は凝固組織であり十分に硬い。また母材でも溶接熱影響部は高温にさらされることにより硬さが僅かに低下する (Hv : 280 ~ 240) が、Fig.4の結果から、耐摩耗性の低下は小さいと考えられる。したがって、Fig.10のフランジ溶接例では、溶接金属部および溶接熱影響部が、ともに管内表面には生じないことから何の問題もなく、また突き合わせ溶接においても Fig.11の例のように施工することにより、耐摩耗性への影響を小さくできると考えられる。

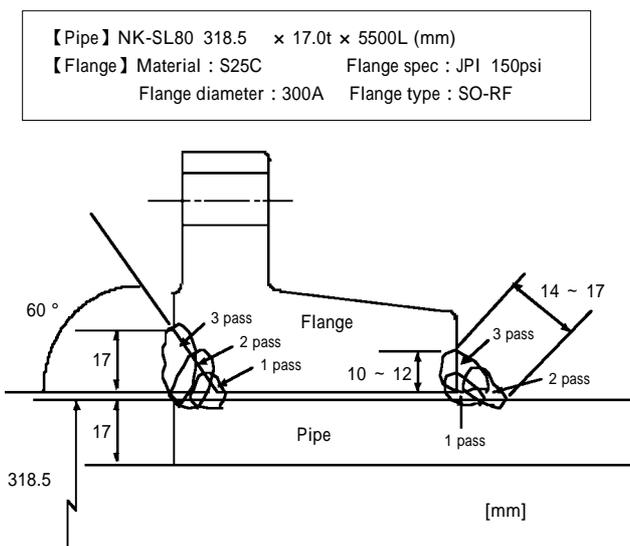


Fig.10 Example of flange welding of NK-SL80

【Pipe】NK-SL80 318.5 × 17.0 t × 5500L (mm)

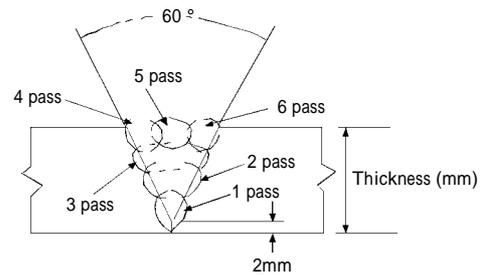


Fig.11 Example of butt welding of NK-SL80

#### 4. 実用化試験

2.1節にて各種摩耗試験の結果を報告した。耐摩耗性は、一義的には硬さで整理されるが、輸送する摩耗材により同一の材料の場合でも大きく左右される。フライアッシュ照射試験において網目状マルテンサイト相の有効性が示唆されたが、実際のフライアッシュ輸送管における確認が重要である。現在、事業用石炭火力発電所のフライアッシュ輸送ラインにおいて、1年間の実証試験を実施中である。

Fig.12に、NK-SL80鋼管の製造可能範囲を示す。石炭焼き火力発電所の石炭燃焼灰輸送管としての需要は、外径 216.3 ~ 355.6mm が主であることから、1.2節の製造工程では、継目無鋼管の場合を記した。耐摩耗性が要求されるスラリー輸送用鋼管としては、他にもごみ輸送システム配管や鉍砕輸送管などがあり、外径 500mm 超の大径鋼管の場合は、UOE 鋼管により製造している<sup>4)</sup>。このような鉍砕輸送管としての実用化試験も現在実施中である。

Nominal dia.	Outside dia (mm)		Nominal wall thickness (mm)															
	A	B	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	
25	1	34.0																
32	11/4	42.7																
40	11/2	48.6																
50	2	60.5																
65	21/2	76.3																
80	3	89.1																
90	31/2	101.6																
100	4	114.3																
125	5	139.8																
150	6	165.2																
200	8	216.3																
250	10	267.4																
300	12	318.5																
350	14	355.6																
400	16	406.4																
450	18	457.2																
500	20	508.0																
550	22	558.8																
600	24	609.6																
650	26	660.4																
700	28	711.2																
750	30	762.0																
800	32	812.8																
850	34	863.6																
900	36	914.4																
950	38	965.2																
1000	40	1016.0																

Fig.12 Available size range of NK-SL80 pipe

## 5. おわりに

石炭燃焼灰輸送管などに使用される耐摩耗用炭素鋼管，NK-SL80 鋼管を開発した。試作鋼管を製造し，耐摩耗性，溶接性を評価し以下の結論を得た。

(1) NK-SL80 鋼管は特殊熱処理により，フェライトと網目状マルテンサイトの二相組織を有し，STPY400 (SS400 相当) 鋼管の約 2 倍の耐摩耗性を示した。

(2) 石炭燃焼灰輸送において，クリンカのスラリー輸送環境模擬，フライアッシュの真空 (圧力) 輸送環境模擬ともに，0.5C (S50C) 鋼管と同等以上の優れた耐摩耗性を示した。

(3) NK-SL80 鋼管は，炭素含有量が低く溶接時の予熱・後熱処理を省略できることから，現地施工性に優れている。

石炭燃焼灰による摩耗試験を実施するにあたり，ご協力いただいた川崎重工業(株)パワープラント事業部灰処理・搬送プラント部関係各位に深くお礼申し上げます。

なお，本論文は『火力原子力発電』誌，Vol.52, No.2, pp.160-168(2001)から引用，転載しています。

## 参 考 文 献

- 1) 志間 . 火力原子力発電 . Vol.50(1999).
- 2) 丸田ほか . 火力原子力発電 . Vol.50(1999).
- 3) 柴田ほか . 火力原子力発電 . Vol.49(1998).
- 4) 長江ほか . NKK 技報 . No.144(1993).
- 5) 古川ほか . 特殊鋼 . No.48(1999).
- 6) 佐藤ほか . 溶接工学 . No.106.

< 問い合わせ先 >

エヌケーケーシームレス鋼管(株) 品質管理部

Tel. 044 (322) 1666 遠山 晃

Akira\_Toyama@ntsgw.keihin.nkk.co.jp

NKK 総合材料技術研究所 鋼材研究部

Tel. 044 (322) 1735 福井 俊彦

Toshihiko\_Fukui@ntsgw.keihin.nkk.co.jp