要約版

川崎製鉄技報
KAWASAKI STEEL GIHO
Vol.14 (1982) No.3

ジャッキアップリグのレグ用の鋼材およびレグの製作
Making and Fabricating of Steel Components for Jack-up Rig Legs

浜田　敬之助(Keinosuke Hamada) 和気　利明(Toshiaki Wake) 楠原　祐司(Yuji Kusuhara) 小山　康衛(Yasue Koyama) 中辻　勝明(Katsuaki Nakatsuji)

要旨：
ジャッキアップリグ（第 7, 8 白竜）用レグおよび昇降装置の注文を受け，製作した。レグは，軽量でかつ堅牢でなければならないため，大半が 80kgf/mm2 級鋼からなっている。本稿では，当社製材量（厚板，シームレスパイプ，溶接材料）の特徴および製造実績の概略についてまず紹介し，次いでラックの切断方法，コードの組立，溶接方法，パイプの切断方法，ブレースの組立方法，レグの組立方法について記述した。特に，寸法精度が溶接構造物としては極限に近かったので，種々の治具を考案，使用することにより，要求仕様を満足することができた。また品質管理についても，重要管理ポイントを設定してチェックを行った。

Synopsis：
Kawasaki Steel's 80kgf/mm**2 high-strength plates are widely used in the fabrication of legs for jack-up rigs to build ligth-weight and yet strong offshore structures. This paper introduces various features of Kawasaki's plates and other products used for the rigs, including seamless pipes. It also outlines the process of manufacture and fabrication of various components of tha legs. Special welding jigs were devised to meet critical design specifications for welded structures and careful quality control was performad by setting up important check points.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

ジャッキアップリグのレグ用の鋼材およびレグの製作

Making and Fabricating of Steel Components for Jack-up Rig Legs

浜田 敬之介* Keinosuke Hamada
和気 利明** Toshiaki Wake
楠原 祐司*** Yuji Kusuhara
小山 康衛**** Yasue Koyama
中辻 勝明***** Katsuaki Nakatsuji

Synopsis:

Kawasaki Steel's 80kgf/mm² high-strength plates are widely used in the fabrication of legs for jack-up rigs to build light-weight and yet strong offshore structures. This paper introduces various features of Kawasaki's plates and other products used for the rigs, including seamless pipes. It also outlines the process of manufacture and fabrication of various components of the legs. Special welding jigs were devised to meet critical design specifications for welded structures and careful quality control was performed by setting up important check points.

1. はじめに

海底油田開発用のリグの需要は現在ではやや停滞しているものの，1979年の後半から1981年の前半にかけては世界的なブームとなり，特にジャッキアップリグは，この間に100台近くが建造された[1]。これは過去30年間に建造された台数のほぼ50%にあたる。ジャッキアップリグは，主に水深100m以下を対象にした着底方式であり，昇降部にあたるレグには，多くの高張力鋼が使用されている。当社でも，ここ数年来，レグ用素材の供給はもとより，レグの受注製作も行ってきた。本報告では，これらの実績をふまえて，素材の製造から製作までを概説した。

2. レグの構造および製作上の問題

レグには円筒状の比較的単純な形状ものと，**Fig.1**に示すラチス構造ものとがあるが，ラックをはじめとしてコードやブレースなどに高張力鋼が多く使われ，しかも製作面でも問題の多い後者について，以下に述べる。

このレグとしては，ジャッキフレームに装備されたピニオンを駆動し，レグを連続的に昇降させる方式が一般的である。レグを構成している部材はラック，コード，ブレースであり，**Fig. 2**に示すように，種々の形状のラックとコードがある。ラックには，厚さ125～150mmの80kgf/mm²級鋼が多く使用され，またコードには厚さ30～50mm の

* エンジニアリング事業部パイプライン海洋技術部海洋技術室主査（課長）
** 水島製鉄所保全部保全技術室主査（課長）
*** 水島製鉄所管理部厚板管理室主査（課長）
**** 知多製造所管理部技術管理室主査（掛長）
***** 溶接棒・鉄粉工場技術管理室主査（課長）
〔昭和57年4月7日原稿受付〕

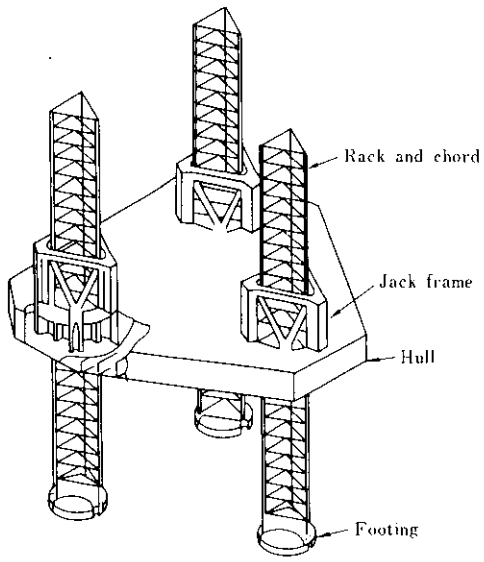


Fig. 1 Outline of legs and jack frame

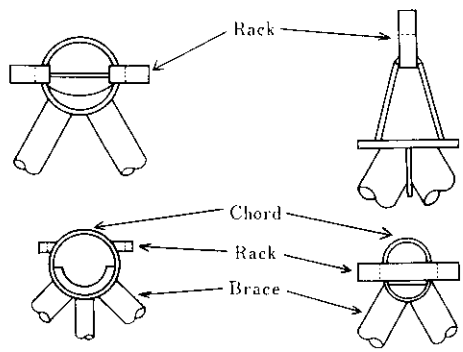


Fig. 2 Typical sections of racks and chords

80kgf/mm^{2}級をはじめとする各種の高張力鋼が使用されている。ラックとコードの接合部は溶接されるが，このような厚ものであるためかなりの問題がある。すなわち，溶接作業性の面からは高能率が要求される反面，部材の変形，溶接部の機械的性質の低下などの危惧があり，きめ細かい溶接管理が必要である。また，1レグにつき3～4本あるコード部材を支持するため，ブレース材には，外径200～300mmの各種高張力鋼のシームレスパイプが使用されている。ブレースの接合部は，パイプ構造特有の開先形状になり，完全溶け込み溶接が一般的であり手溶接で高所作業が多いので，溶接工の技量によるところが大きい。

この外，レグの製作にあたっては，素材，溶接の外に，製作寸法精度が非常に厳しいという問題が加わる。従って，これらの相互関連を十分に理解することが，レグの製作上大切である。このような観点から，素材，溶接材料，製作実績について以下に報告する。

3. レグ用素材および溶材

3・1 ラック用80kgf/mm^{2}級極厚鋼板

ラックは，**Fig. 2**に示したように，構造，溶接の面から，z（板厚）方向の特性，大入熱溶接に対する低温靱性がともに優れていることが必要である。このような要求を満足するためのラック材の特性を以下に述べる。

3・1・1 品質設計基本方針

ラック材としては，ASTM規格A514シリーズが適用されるが，当社規格では，**RIVER ACE** 80および80Mがこれに相当する。以下に品質設計の基本的考え方について述べる。

(1) Al，B，N含有量

母材の強度および靱性に対する最適Al，BおよびN含有量は，船越ら[2]により明らかにされている。その結果を参考にして，溶接ボンド部靱性へのBおよびN含有量の影響を再現熱サイクル試験により調査した結果を，**Fig. 3**および**4**に示す。この結果に基づき，BおよびN含有量は極力低めに抑制している。

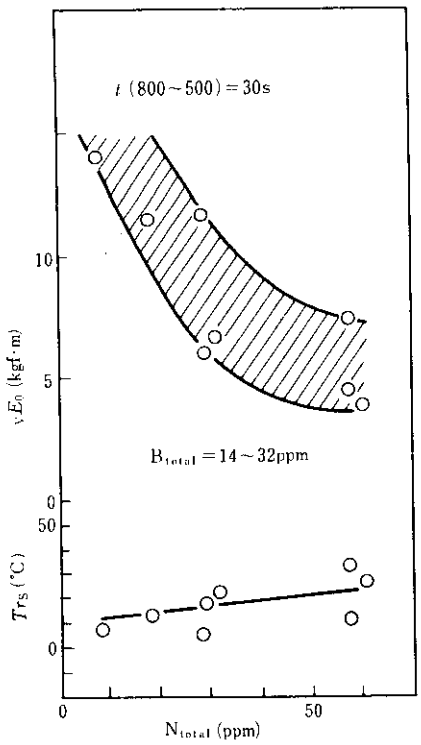
(2) Ni含有量

Niは，母材および溶接部の靱性を高めるのに効果的な反面，高価でもあるので，過剰な添加は鋼材の製造コストをいたずらに上昇させる。

各種溶接条件ごとにNiのボンド部靱性改善効果を再現熱サイクル試験で確認した結果を，**Fig. 5**に示す。Ni添加量は，溶接部靱性を考慮したうえで，主として母材の板厚と靱性の要求レベルにより，決定している。Ni目標値は**Table 1**に示すとおりであり，現在当社では，表中のNi範囲で製造している。

(3) 炭素当量（C_{eq}）および溶接われ感受性指数（P_{CM}）

80kgf/mm^{2}級鋼の靱性が最良の値を示す組織は，



t (800~500) : Cooling time from 800 to 500°C

Fig. 3 Effect of N content on Charpy impact properties of simulated weld bond

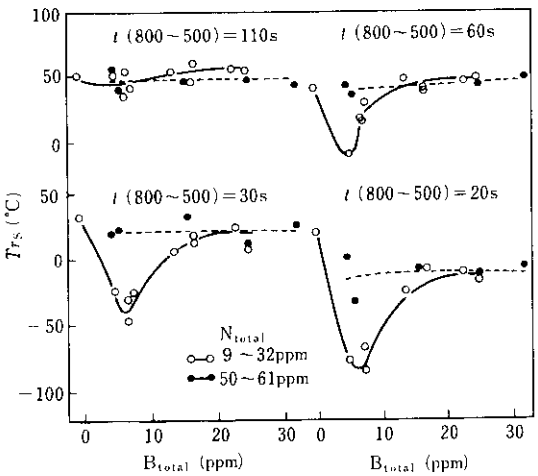
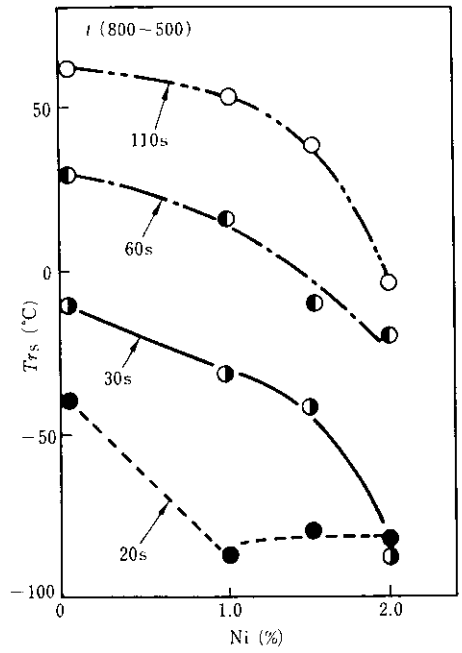


Fig. 4 Effect of B content on Charpy impact properties of simulated weld bond

マルテンサイトと少量の下部ベイナイトが混在する状態を焼もどした組織であり，この組織が得られるように，板厚に応じて目標の C_{eq} を決定しているが，溶接割れ感受性を配慮して，C_{eq} および P_{CM} の値を極力低目に抑制している。板厚100mmのY型拘束割れ試験における割れ阻止温度は，**Fig. 6**に示すように，低く，良好であった。

(4) 内部品質



Chemical composition (%)

C	Si	Mn	Cr	Mo
0.10	0.25	0.80	0.50	0.50

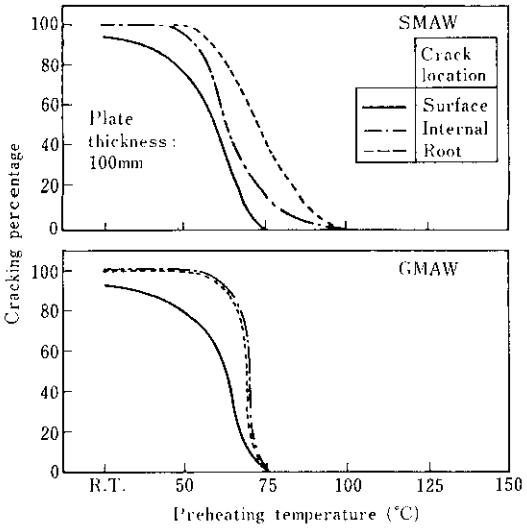
Cu	V	Al	N	B
0.25	0.03	0.06	0.0025	0.0006

Fig. 5 Effect of Ni content on Charpy impact properies of simulated weld bond

Table 1 Preferable range of Ni content for 80kgf/mm² heavy plate

Thickness	Test temperature (°C)		
	−30	−40	−50
mm 127 (5")	Low	Low or medium	Medium or high
152 (6")	Medium		
178 (7") and over	High		

Low : Ni≦0.5%
Medium : 0.5%<Ni≦1.0%
High : 1.0%<Ni



1) Welding conditions

SMAW

Electrode	KS-116
Core dia.	ϕ 4 mm
Amperes	170A
Volts	24V
Heat input	16kJ/cm

GMAW

Wire	KM-80
Wire dia.	ϕ1.6mm
Shielded gas	Ar16+CO_2 4l/min
Amperes	320A
Volts	32V
Heat input	29kJ/cm

2) Chemical composition of plate

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni
0.15	0.28	0.80	0.007	0.006	0.24	1.24

Cr	Mo	V	B	C_{eq}	P_{CM}
0.47	0.52	0.033	0.0015	0.55	0.30

Fig. 6 Results of Y-groove restraint cracking test

極厚鋼板の内部欠陥は，鋼中水素またはザク疵に起因することが多い。溶鋼の真空脱ガス処理，圧延時の強圧下（圧延形状比0.5以上が得られるパススケジュール），および圧延後の徐冷が欠かせない。

3・1・2　品質特性例

以上の品質設計方針に基づいて製造された，ラック材の1例を紹介する。中Ni 80kgf/mm^{2}級鋼板（板厚140mm）の化学成分および機械的性質を，それぞれ**Table 2**および**3**に示す。また，MIG溶接，サブマージアーク溶接による突き合せ継手の，板厚中央部のシャルピー衝撃試験結果を，**Fig. 7**に示す。図から，−30～−40°Cの範囲で，母材，溶接部ともに，優れた強度と靱性を有していることがわかる。

高Ni 80kgf/mm^{2}級鋼板（板厚150mm）を用いて，母材の低温靱性を主体に種々の特性を調査した。化学成分を**Table 4**に，機械的性質を**Table 5**にそれぞれ示す。靱性については，2mmVノッチシャルピー衝撃試験による遷移曲線の一例を**Fig. 8**に，また三点曲げによるCOD試験および落重試験の結果をそれぞれ**Fig. 9**および**10**に示す。なお，**Fig. 9**のδ_Cは，BS規格5762により求めた。このδ_Cを用いて式(1)～(3)から求めた脆性破壊発生温度と，限界欠陥寸法(貫通亀裂)との関係を求め，**Fig. 11**に示す。この図から，優れた低温靱性を有していることがわかる。

$$K_C=\sqrt{E\cdot\sigma_y\cdot\delta_C} \quad \cdots\cdots(1)$$

K_C：圧壊靱性値（kgf/mm$^{3/2}$）

E：ヤング率（kgf/mm^2）

σ_y：降伏点応力（kgf/mm^2）

$$K_C=11\,892\exp(-542/T) \quad \cdots\cdots(2)$$

$$K_C=K_{IC}=\sigma\sqrt{\pi\cdot a} \quad \cdots\cdots(3)$$

a：貫通亀裂の半長（mm）

σ：付加応力（kgf/mm^2）

Table 2 An example of chemical composition of medium-Ni 80kgf/mm^2 heavy plate, 140mm thick

(%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al	B	N	C_{eq}	P_{CM}
0.12	0.24	0.90	0.009	0.005	0.25	0.90	0.58	0.45	0.04	0.051	0.0014	0.0037	0.534	0.271

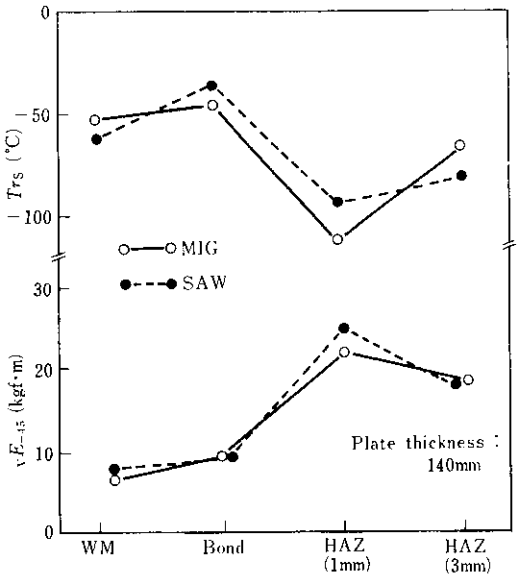
$C_{eq}=C+Si/24+Mn/6+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14$

$P_{CM}=C+Si/30+Mn/20+Ni/60+Cr/20+Mo/15+V/10+Cu/20+5B$

T：試験温度（K）

3・1・3 製造実績

この2年間に，ジャッキアップリグ用に製造された80kgf/mm²級鋼板は，10 000トンをこえるが，



	MIG	SAW
Welding material	KM-80T	KW-103B×KB-80C
Heat input (kJ/cm)	21.9～24.6	28.8～40.8

Fig. 7 Charpy impact properties of welded joint of medium-Ni 80kgf/mm² heavy plate

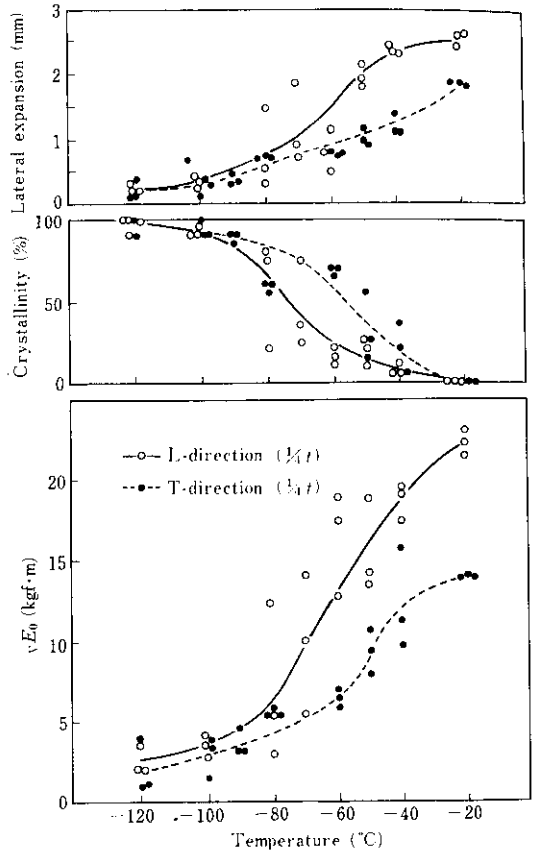


Fig. 8 Charpy transition curves of high-Ni 80kgf/mm² heavy plate

Table 3 Tensile and Charpy impact properties of the plate shown in Table 2

Position	Direction	P.S.(0.2%) (kgf/mm²)	T.S. (kgf/mm²)	El. (%)	R.A. (%)	vE_{-20} (kgf·m)	vE_{-45} (kgf·m)	vE_{-60} (kgf·m)	vT_S (°C)	T_{r30} (°C)
¼t	L	73.4	80.9	25	71	22.9	21.5	18.8	−67	<−80
	T	74.7	82.1	22	67	19.3	14.4	7.0	−51	<−80
½t	L	70.9	80.5	23	69	16.1	5.0	3.7	−24	−52
	T	72.7	81.4	22	63	6.9	3.8	2.7	− 4	· 40

Table 4 An example of chemical composition of high-80kgf/mm² heavy plate, 150mm thick

(%)

		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	B	Al	C_{eq}	P_{CM}
Ladle		0.15	0.26	1.02	0.017	0.003	0.26	1.40	0.71	0.55	0.047	0.0011	0.056	0.55	0.32
Check	¼t	0.14	0.27	1.02	0.015	0.003	0.24	1.39	0.72	0.56	0.047	0.0011	0.054	0.54	0.31
	½t	0.14	0.27	1.03	0.016	0.003	0.24	1.40	0.72	0.57	0.048	0.0010	0.056	0.54	0.31

Table 5 Tensile and charpy impact properties of the plate shown in Table 4

Position	Direction	P.S.(0.2%) (kgf/mm²)	T.S. (kgf/mm²)	El. (%)	R.A. (%)	vE_{60} (kgf·m)	T_{TE} (°C)	T_{TS} (°C)
¼ t	L	76.3 76.3	84.3 84.6	26 27	74 74	16.4	−66	−74
	T	76.8 76.3	84.3 84.3	24 23	67 65	6.5	−58	−57
½ t	L	75.9 75.7	84.9 84.0	26 26	70 72	3.2	−42	−44
	T	75.9 75.9	84.6 84.6	23 26	61 61	4.1	−45	−47

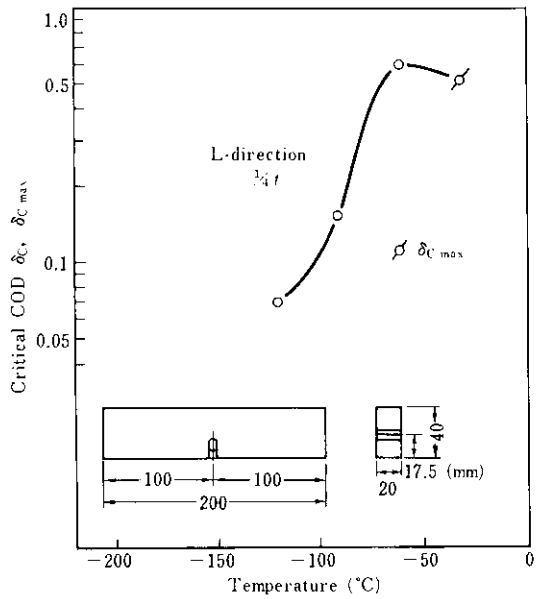


Fig. 9 Temperature dependence of critical COD of high-Ni 80kgf/mm² heavy plate, 150mm thick

その中で最も厚いものは，ピニオン用として製造した，216mm厚のASTM A514F鋼板であった。

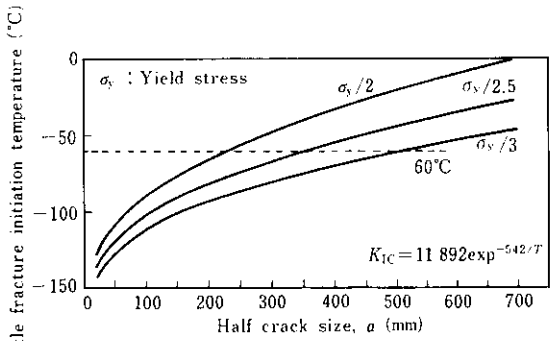


Fig. 11 Calculated relation between brittle fracture initiation temperature and half length of a through-thickness crack

工程品の機械的性質の1例を，**Table 6**に示す。

3・2 シームレスパイプ

プレース用材としてのシームレスパイプは，その使用場所によって，引張り強度として40～80 kgf/mm²，肉厚は5～40mmと広範囲にわたる，さまざまなものが用いられている。これらには，優れた低温靱性と溶接性が品質として要求される。

Sampling position	Test temperature (°C)					T_{NDT} (°C)
	−60	−65	−70	−75	−80	
¼ t (L)	20 20 15 20	25 30 20 25	30 30 25 20	50 70 90	125	−75

Fig. 10 Nil-ductility transition temperature of high-Ni 80kgf/mm² heavy plate , 150mm thick

Table 6 Examples of tensile and Charpy impact properties of 80 kgf/mm² heavy plate used for rack

Thickness (mm)	Y.S. (kgf/mm²)	T.S. (kgf/mm²)	El. (%)	$_vE_{-50}$ (kgf·m)
127	69～79 〔72.7〕	75～85 〔79.7〕	21～27 〔24.0〕	9～21 〔14.6〕
152.4	67～77 〔69.9〕	75～83 〔78.0〕	22～27 〔25.1〕	9～21 〔14.9〕

〔 〕 indicates the average.

3・2・1 機械的性質および継手性能

引張り強度が80kgf/mm², 60kgf/mm², 50kgf/mm²に対応するシームレスパイプの当社規格は，それぞれ**KHP** 80, 60, 50である。これらの化学成分，機械的性質，および寸法公差を，**Table 7** および8に示す。

化学的成分は，溶接性を考慮し，C_{eq}を極力抑制した系を選んだ。また，引張りおよび衝撃試験結果を**Table 9**に，外径，肉厚，偏肉，曲りの測定結果を**Fig. 12**に示す。いずれも十分な強度と寸法精度を示している。

次に，溶接部の継手性能を，**KHP**80および60について調べた結果を説明する。開先形状が60°Vの突き合せ継手について，入熱量17および25kJ/cmの2条件で行った場合の継手強度と靱性の試験結果を，**Table 10**に示す。この表から，いずれの入熱量に対しても，十分な強度と靱性を有すること

Table 7 Examples of chemical compositions of seamless pipes used for braces

(%)

Grade		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	V	Al	B	C_{eq}	P_{CM}
KHP 80	Spec.	Max. 0.16	0.15 0.35	0.50 1.30	Max. 0.030	Max. 0.010	0.10 0.50	0.20 1.20	0.10 0.80	0.10 0.60	—	0.020 0.080	—	Max. 0.0035	Max. 0.60	—
	Ladle	0.12	0.25	0.87	0.013	0.005	0.18	0.79	0.62	0.38	—	0.044	0.095	0.0028	0.52	0.27
	Check	0.11	0.25	0.86	0.014	0.004	0.19	0.83	0.63	0.38	—	0.044	0.094	0.0026	0.51	0.26
KHP 60	Spec.	Max. 0.16	0.20 0.50	1.00 1.50	Max. 0.025	Max. 0.010	—	—	—	Max. 0.30	—	Max. 0.050	—	—	Max. 0.44	—
	Ladle	0.10	0.26	1.19	0.018	0.004	0.01	0.02	0.02	0.13	—	0.032	0.070	0.0023	0.35	0.19
	Check	0.09	0.26	1.20	0.019	0.004	0.01	0.02	0.02	0.13	—	0.031	0.069	0.0023	0.34	0.18
KHP 50	Spec.	Max. 0.18	Max. 0.35	0.90 1.60	Max. 0.025	Max. 0.010	—	—	—	—	Max. 0.05	Max. 0.05	Min. 0.015	—	—	—
	Ladle	0.15	0.28	1.27	0.016	0.003	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.016	0.041	0.026		0.38	0.23
	Check	0.16	0.27	1.32	0.017	0.003	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.018	0.040	0.028		0.40	0.24

Table 8 Specification of mechanical properties and dimension of seamless pipes for braces

Grade	Tensile test			Charpy impact test	Flattening test	Dimension tolerance
	Y.S. (kgf/mm²)	T.S. (kgf/mm²)	E.L. (%)	Absrobed energy* (kgf·m)		
KHP 80	Min. 70	80 ～ 95	Min. 18	$_vE_{-30}$≧4.5(x) 3.5(any)	H ≦D(1.08−0.078D/t) D : Outside diameter t : Wall thickness	Outside diameter ±1% N.O.D. Wall thickness ±12.5% N.W.T Straightness Max. 1 mm/1 000mm Deviation in wall thickness Max. 15%
KHP 60	Min. 50	60 ～ 75	Min. 20	$_vE_{-30}$≧4.5(x) 3.5(any)		
KHP 50	Min. 32	48 ～ 60	Min. 22	$_vE_0$ ≧3.2(any)		

* Full size (10×10)

Table 9 Tensile and Charpy impact properties of KHP 80, 60 and 50

Grade	Diameter (mm)	Thickness (mm)	Y.P. (kgf/mm²)	T.S. (kgf/mm²)	El. (%)	Test Temp. (°C)	vE_0, vE_{-30} (kgf·m)
KHP 80	298.5	16	86～88〔87〕	90～92〔91〕	33～36〔35〕	－30	14～20〔17〕
KHP 60	298.5	10	67～68〔68〕	70～72〔72〕	31～33〔32〕	－30	15～20〔18〕
KHP 50	165.2	6	37～39〔38〕	52～54〔53〕	37～40〔39〕	0	18 〔18〕

〔 〕 indicates average.

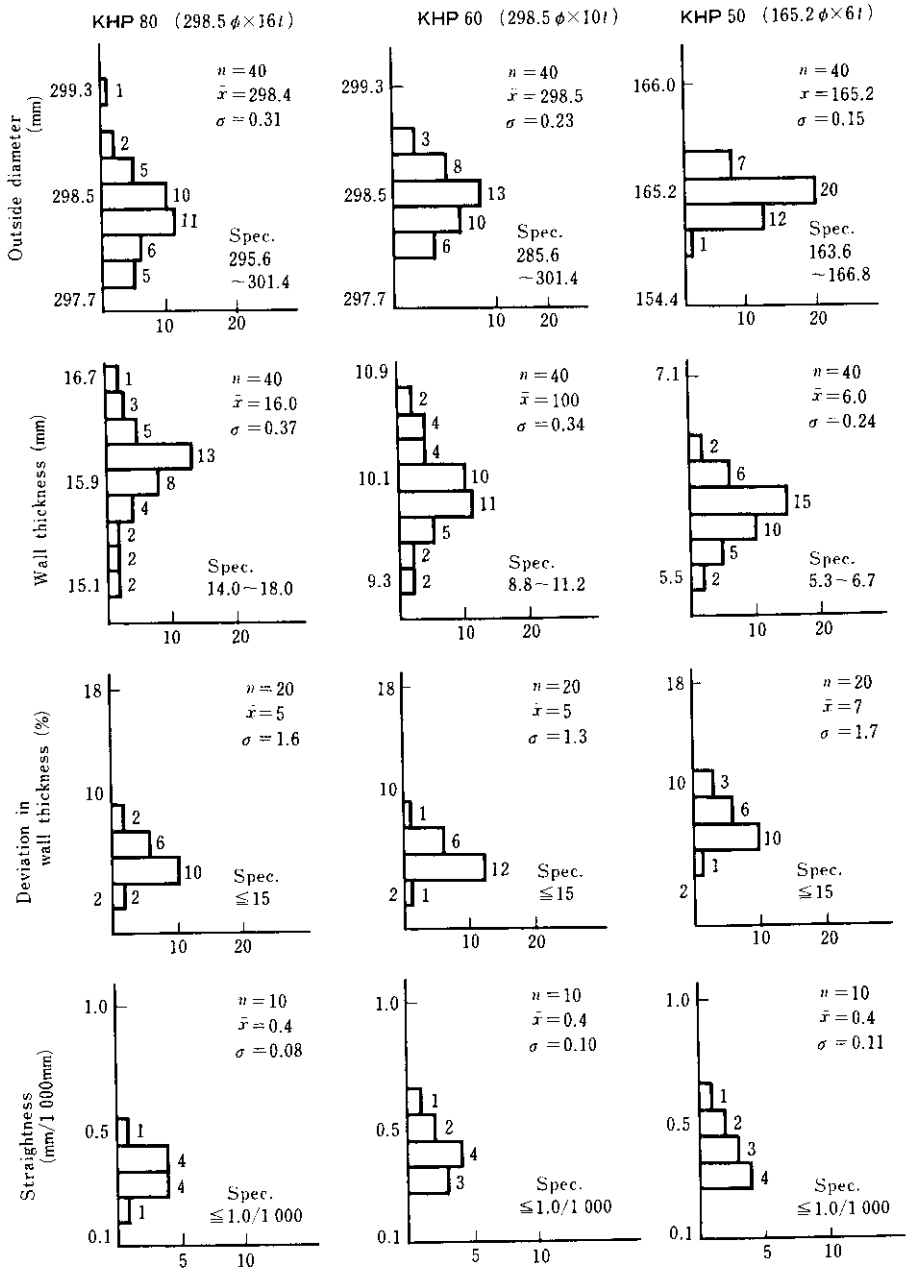


Fig. 12 Dimensional distribution of seamless pipes (KHP 80, 60&50)

Table 10 Mechanical properties of butt-welded joints of seamless pipes for braces

(a) Tensile strength

Grade	Heat input (kJ/cm)			
	17kJ/cm		25kJ/cm	
	T.S. (kgf/mm²)	Fractured position	T.S. (kgf/mm²)	Fractured position
KHP 80	90 85	W.M. W.M.	86 84	H.A.Z. W.M.
KHP 60	73 71	W.M. W.M.	70 69	W.M. W.M.

(b) Charpy absorbed energy

Grade	Notch position	Heat input	
		17kJ/cm	25kJ/cm
		$_vE_{-30}$ (kgf·m)	
KHP 80	Weld metal	6.5	5.0
	Bond	9.0	6.0
	H.A.Z. center	12.0	9.6
	Base metal	16.0	16.2
KHP 60	Weld metal	8.2	7.0
	Bond	7.0	6.2
	H.A.Z. center	15.5	8.4
	Base metal	22.0	21.3

がわかる。

3・2・2 製造方法および能力と材料認定

KHP 80, 60は，マンネスマンプラグミルまたはマンドレルミルで丸ビレットからシームレスパイプに圧延したのち，焼入れ，焼戻し熱処理をする。熱処理設備としては，誘導加熱—外面水焼入れ方式と，炎加熱—内外面水焼入れ方式とがある。内外面焼入れ，焼戻し設備では，最大径426mm，最大肉厚38mmまでの80kgf/mm²級高張力シームレスパイプの製造が可能である。

なお，レグ用パイプ材として，**KHP** 80, 60はNK, ABS, LR, BV, NV, また**KHP** 50はNK, ABSの各船級協会の認定を受けている。

3・3 溶接材料

これまでラック用極厚鋼板とブレース用シームレスパイプについて述べてきたが，ここでは，溶接にあたってもっとも問題になる80kgf/mm² 級鋼用の，溶接材料の選定とその特性について説明する。

3・3・1 KHP 80の溶接

KHP80とコードとの接合部は，拘束度が大きいため，初層での割れ（高温割れおよびそれを起点とした低温割れ）が発生しやすい。これを防止するためには，①溶接金属中のNi含有量を極力少なくする（高温割れ対策），②拡散性水素量を極力少なくする（低温割れ対策），③初層のみ軟質溶接金属とする，等の対策が有効である。これらを考慮し，60kgf/mm²級高張力鋼用の難吸湿低水素系溶接棒**KSA**-86を採用した。

この棒は，Ni無添加であるため，耐高温割れ性は良好であるが，衝撃特性の劣化を補う必要があり，成分系をTi-B系としている。溶着金属の化学成分，機械的性質を，**Table**11～13および**Fig.**13に示す。図から明らかなように，溶着金属の衝撃特性は，Ni系溶接棒（**KS**-86H）に較べて，各入熱で良好な値になっている。

溶接金属の拡散性水素量は，大気遮断条件，被覆剤組成，被覆剤の吸湿量に影響される。**KSA**-86は，被覆剤中の単味溶剤を無吸湿なものとし，かつ細孔表面積を少なくするため，高温乾燥を行い，固着剤に硅酸リチウムを用いることによって，難吸湿化を計っている。これにより，溶接棒管理も

Table 11 Chemical composition of all-deposited metal

(%)

Electrode brand	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Ti	Al	O
KSA-86 (4mmφ)	0.07	0.40	1.33	0.013	0.008	<0.01	0.25	0.031	<0.005	0.034 6
KSA-86 (5mmφ)	0.07	0.41	1.35	0.014	0.008	<0.01	0.25	0.031	<0.005	0.034 3
KS-86H	0.07	0.66	1.15	0.014	0.013	0.60	0.25	0.031	0.006	0.039 0

Table 12 Tensile properties of all-deposited metal shown in Table 11 as **KSA-86**

Core dia. (Heat input)	Heat treatment	Y.P. (kgf/mm²)	T.S. (kgf/mm²)	El. (%)	R.A. (%)
4 mmφ (18kJ/cm)	AW	59.2	65.0	28	74
	SR	58.1	63.5	29	74
5 mmφ (22kJ/cm)	AW	59.6	65.5	31	75
	SR	57.3	63.8	31	76

AW ; As weld
SR ; Stress relieved at 600°C for 1h

Table 13 Charpy absorbed energy of all-deposited metal shown in Table 11 as **KSA-86** (4mm·φ)

Heat input (kJ/cm)	Heat treatment	vE_0 (kgf·m)	vE_{-20} (kgf·m)	vE_{-40} (kgf·m)
18	AW	22.4(10) 22.3(10) 21.5(10) 〔22.1(10)〕	15.8(25) 19.6(15) 19.4(20) 〔18.3(20)〕	14.7(30) 12.0(35) 13.6(30) 〔13.4(32)〕
	SR	24.3(10) 25.9(5) 22.0(10) 〔24.0(8)〕	20.7(15) 17.2(35) 22.2(15) 〔20.0(22)〕	6.0(60) 7.4(60) 11.8(35) 〔 8.4(52)〕
40	AW	20.7(25) 19.9(25) 24.2(5) 〔21.6(22)〕	20.1(25) 15.5(50) 20.2(25) 〔18.6(33)〕	11.7(55) 10.8(55) 14.9(45) 〔12.5(48)〕
	SR	24.9(10) 21.4(20) 24.9(10) 〔23.7(13)〕	19.7(20) 19.2(30) 23.4(20) 〔20.8(23)〕	10.3(55) 10.4(60) 13.3(55) 〔11.3(51)〕
60	AW	21.9(15) 21.0(20) 22.2(15) 〔21.7(16)〕	20.3(25) 20.6(25) 22.1(20) 〔21.0(23)〕	9.7(60) 7.0(70) 4.7(70) 〔 7.1(67)〕
	SR	23.6(15) 18.1(20) 14.3(30) 〔18.7(22)〕	12.4(50) 8.5(60) 13.4(45) 〔11.4(52)〕	2.0(75) 2.6(75) 4.3(80) 〔 3.0(77)〕

( ) : Percentage of brittle fracture occurrence
〔 〕: Average

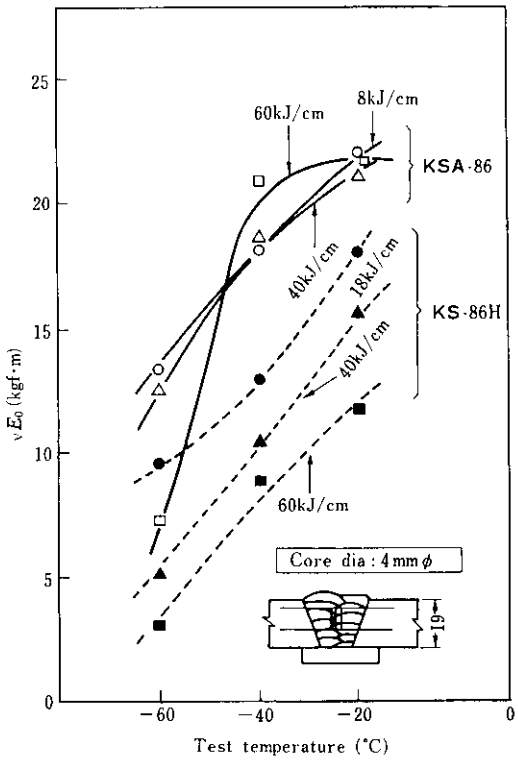


Fig. 13 Absorbed energy of all deposited metal as weld
KSA 86 : Ni bearing
KS-86H : Ni free

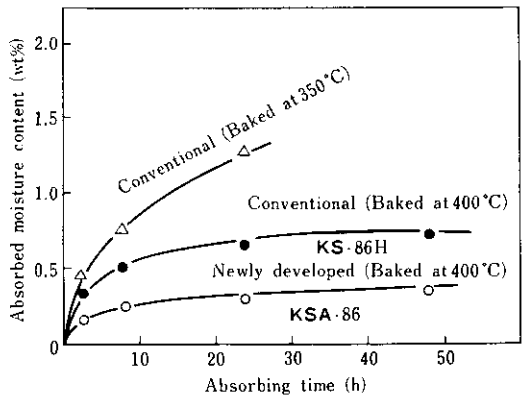


Fig. 14 Comparison of absorption characteristics of electrode coatings at 30°C and 80% humidity

容易である。**Fig. 14** は，**KAS-86**が，従来の棒より難吸湿であることを示している。また，溶接金属の拡散性水素量は，**Table 14** に示すように，乾燥直後はもちろんのこと，長時間放置してもその増加がごく微量である。

3·3·2 ラックおよびコードの溶接

ラックとコードの溶接部は，厚肉，かつ長尺であるため，高能率なサブマージアーク溶接法(SAW)を採用した。SAWの採用にあたっては，耐割れ性や機械的性質がすぐれ，かつ高入熱溶接が可能な溶接材料として，フラックス**KB-80C**と合金ワ

Table 14 Minor effect of moisture absorption of KSA-86 electrode coating on hydrogen content of weld metal

Moisture control	Diffusible hydrogen content (CC/100gr)	
	Each value	Average
As dried at 400°C for an hour	0.9, 1.3, 0.6, 0.6 1.2, 1.3, 1.4, 1.2	1.1
Held for 24h at 30°C in 80% humidity after the above drying	2.0, 2.2, 2.0, 2.3	2.1

イヤー**KW-103B**を選定した。

焼成型フラックス**KB-80C**は，**Fig. 15**から明らかなように，高塩基性でかつ炭酸塩を含むため，拡散性水素量は極微量となり，耐割れ性に優れている。また，溶接金属の酸素量は250ppm程度になるため，優れた機械的性質が得られ，大入熱溶接も可能である。**KB-80C**と**KW-103B**との組合わせによる溶着金属の機械的性質を，**Table 15**，**16**および**Fig. 16**に示す。これらから，高入熱でも良好な衝撃特性を示すことがわかる。

4. レグの製作

ジャッキアップリグ第7および第8白竜の，同型の各昇降装置の構造部分を三菱重工(株)より受注し，昭和55年6月から56年10月の期間，水島製鉄所と播磨加工センターで製作した。

Table 15 Mechanical properties of all-deposited metal

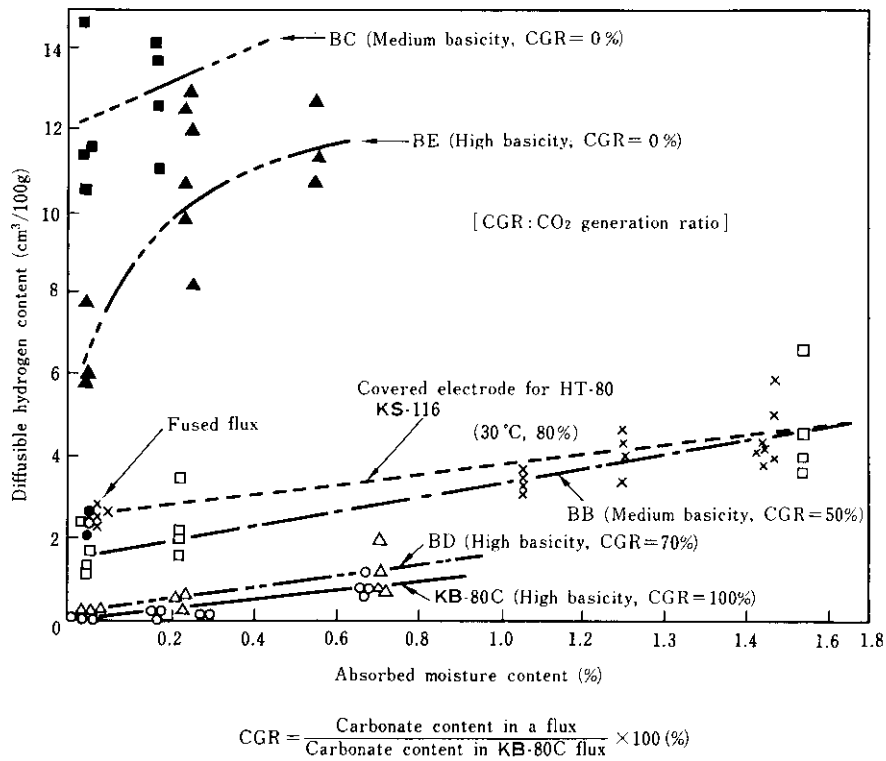
(a) Chemical composition (%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
0.04	0.32	1.44	0.011	0.005	2.64	0.64	0.47

(b) Tensile and Charpy impact properties

Y.P. (kgf/mm²)	T.S. (kgf/mm²)	El. (%)	R.A. (%)	vE_0 (kgf·m)	vE_{-20} (kgf·m)
70.6	83.4	24*	65	15.3	13.0

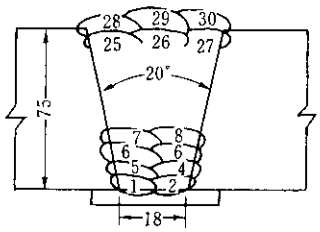
* G.L.=50mm



$$CGR = \frac{\text{Carbonate content in a flux}}{\text{Carbonate content in KB-80C flux}} \times 100\,(\%)$$

Fig. 15 Relation between absorbed moisture content and diffusible hydrogen content of weld metal

Table 16 Welding condition and test result of welded joint

Groove shape and build-up sequence	Welding condition							Joint tensile test		Side bend test	
	Pass No.	Amp. (A)	Volt. (V)	Speed (cm/min)	Heat input (J/cm)	Preheat. temp. (°C)	Interpass temp. (°C)	T.S. (kgf/mm²)	Break down position	Crack formation	Bending angle
	1 ~ 30	600	30	22	49 000	100	149 ~ 159	82.3 83.7	M.M M.M	None None	Over 180°

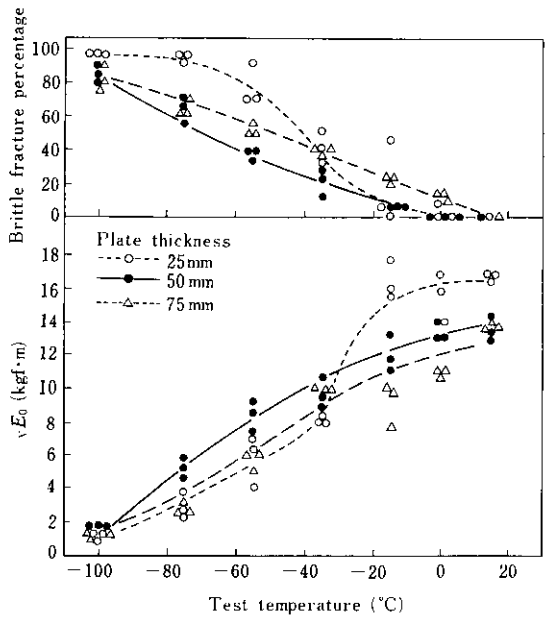


Fig. 16 Charpy impact characteristics of welded joint

ここでは，水島製鉄所で製作した，**Fig. 17**に示すレグについて，その製作方法や問題点を説明する。80kgf/mm² 級鋼の溶接方法や，溶接構造物としては極めて厳しい寸法精度を満足するための製作方法などを明らかにする必要があったので，実際の製作に先だち，実物大モデル（断面1辺9.5mの正三角形，長さ9.5m）の試作実験を行った。この実験により，ラックの切断方法，ラックとコードの組立方法，レグの大組立方法などを確立して，

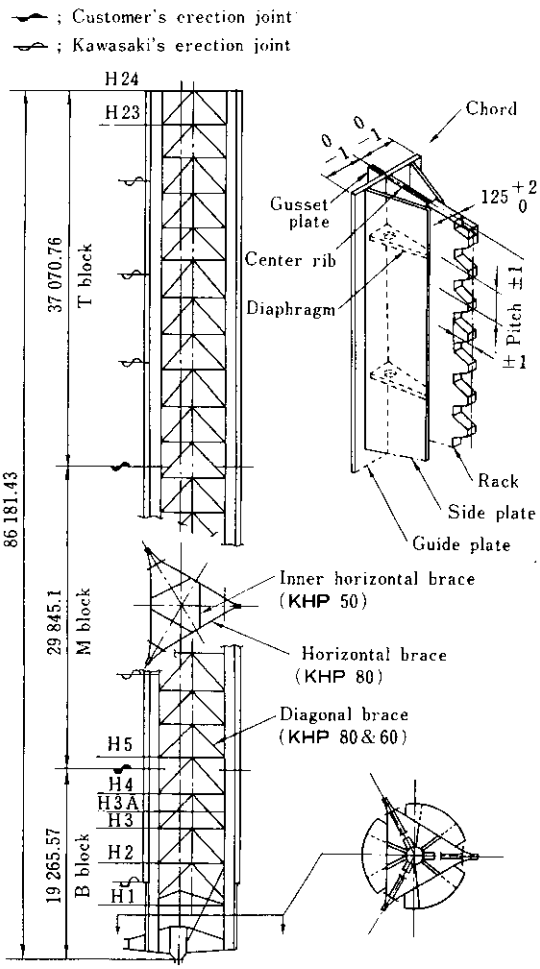


Fig. 17 Leg outline

実際の製作にとりかかった。

4・1 ラックの切断

ラックは，レグの三頂点部に位置し，ジャッキフレームに装備されたピニオンとかみあってレグを昇降させる，重要な部分なので，仕上り精度も，**Fig. 17**に示すように，非常にきびしいものであった。ラック切断には，数値制御ガス自動切断機を使用し，板厚が125mmもある80kgf/mm^{2}級鋼のため，事前に数多くの切断実験を行った。

鋼板の拘束方法，切断順序，切断条件（火口の種類，切断速度，酸素およびガス圧力等），歪矯正方法等の概要を，以下に示す。

板幅に応じて，鋼板1枚から4～6本のラックを取ったが，切断中に，被熱鋼板全体が伸び，位置がずれる恐れがあったので，片端面を溶接により切断台に固定し，他方は無拘束とした。また両側面にもずれ止めを設けた。

切断順序も種々検討した結果，切断後の歪をできるだけ小さくするため，直線部，歯形の順に切断し，いったん冷却した後，切断残し部分を，切りはなした。

切断条件については，歯面硬度，粗さ，直角度等のきびしい要求品質を維持するために，能率はある程度犠牲にせざるを得なかった。ダイバーゼント火口を使用し，切断速度は120～150mm/min，酸素圧力は3.5～4.0kgf/cm^2，予熱炎のガス圧力は0.2～0.3kgf/cm^{2}とした。また，切断中に振動があればノッチ発生の原因となるので，クレーン走行の少ない夜間を選んで切断した。ラックの切断状況を，**Photo. 1**に示す。片歯ラックのため，入熱量の不均一や，火口側と反火口側の入熱量の差により，10m当り5～10mmの曲り，反りが発生したので，プレス矯正を行った。またプレス矯正中に割れが発生する恐れがあったので，押込量，押込位置等には十分配慮した。プレス矯正後，芯出し定盤上で全数検査を行った。結果は良好で，誤差範囲としてピッチ：－0.5～0mm，所要全長：－2～－3mm，歯たけ：－1.3～0mm，歯面直角度：±1mm以内，また歯面硬度（H_S）：49～52，歯面粗度：35～50Sと，それぞれの要求品質を満足した。

Photo. 1 Rack cutting

4・2 溶接施工法承認試験

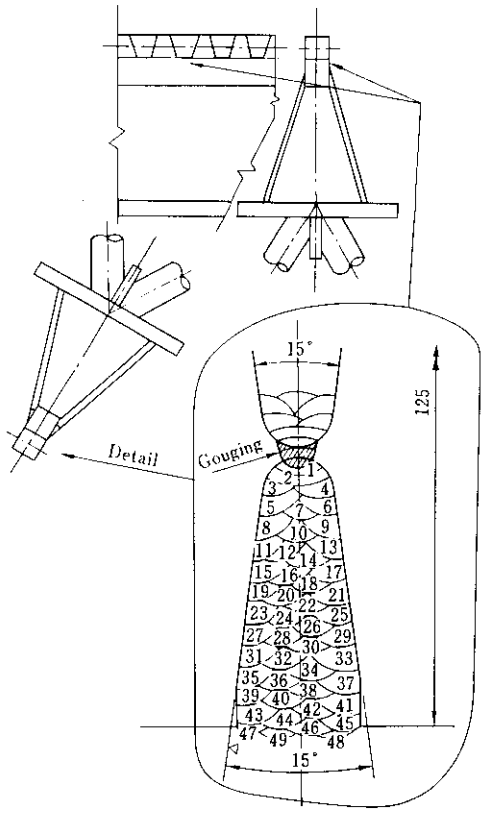
今回製作したレグは，ABS，NKの2重船級を必要とした。このため，実際の製作に先だって，船級協会から溶接施工法の承認を受けた。

まず，設計図から製作に必要な継手を抽出し，その各継手について，溶接施工手順仕様（Welding Procedure Specification）作成した。1例を，**Fig. 18**に示す。

次に，溶接施工手順仕様書について船級協会の承認を受けるため，継手モデルによる溶接施工法承認試験（Procedure Qualification Test）を，協会立会の下で受検した。パイプの格点溶接部については，溶接後の検査が困難であったために，プロダクションテスト，実物モデルによるテストが船級要求として追加されたが，特に問題はなかった。

4・3 ラックとコードの組立加工

コード部は，**Fig. 17**に示したように，サイドプレート，ガイドプレート，センターリブ，ダイヤフラム等で構成され，その組立寸法精度は，溶接構造物としては極めて厳しいものである。この寸法精度を確保するために，**Fig. 19**に示す専用組立治具を使用して，仮付溶接とシール溶接（2層）を行った。高さ方向の寸法精度確保と組立時間の短縮とを計るため，ラックの底面，センターリブおよびダイヤフラムの上下面は，機械加工で仕上げた。また，ガイドプレートは，溶接歪を考慮して，プレスにより予歪を与えた。ダイヤフラムは，当初の設計図面に挿入されていなかったが，精度保持のため事前に承認を得て，約850mmピッチで追加した。ラックとコード部での溶接は，ほとんどが80kgf/mm^{2}級鋼であるため，予熱（100～150℃）を行う必要があった。不均一な予熱による変形を



Welding conditions

Process	SMAW
Filler metal	KS-116, φ4
Preheat & interpass temp.	150～200°C
Welding current	130～170A
Welding volts	22V.
Position	F, OH&V

Fig. 18 An example of welding procedure specification

防止するため，コードの内面には熱風を吹き込み，外面には電熱ヒーターを貼り付けて，コード全体が均一に予熱されるように工夫した。

専用組立治具で支持し，手溶接（2層）で組み立てられたラックとコードは，SAW専用治具上へ移され，ガイドプレートが約 45° 傾斜した状態にセットされ，上下同時（ラックとサイドプレート，サイドプレートとガイドプレートの接合部）にSAWを行った。もちろん，本段階も熱風予熱を行った。溶接部は，48時間経過後，全線磁粉探傷検査により，割れのないことを確認した。

4・4　ブレースの組立加工

4・4・1　ブレース材の開先加工

ブレースの種類は，**Fig. 17** に示すように，水平ブレース，斜めブレース，インナーブレースの三種類である。接合部の開先加工は，形状が複雑なので，**Photo. 2** に示す，NC 制御による開先自動

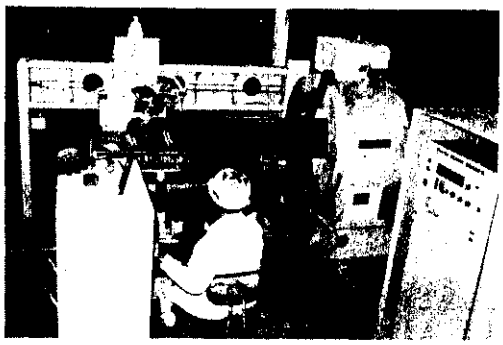


Photo. 2 Pipe cutting

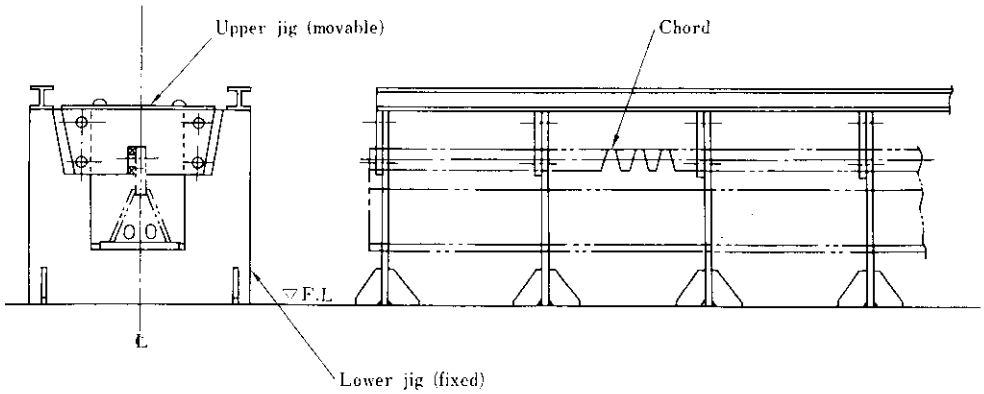


Fig. 19 Jig for chord assembly

切断機（パイプマット）を使用するのがもっとも効率的であるが，適用可能接合角が30～150°の範囲に制限される。従って，インナーブレースではパイプマットの全面使用が可能であったが，水平ブレースや斜めブレースは接合角が30°以下の部分を含んでいたため，パイプマットに手溶断，鋸切断を併用するという，煩雑な開先加工を行った。

4・4・2 パネルユニットの組立加工

水平ブレースとインナーブレースをそれぞれ3本ずつ組合せて，パネル・ユニットを組み立てた。組立にあたっては，専用治具を使用して溶接した。組み立てられたパネル・ユニットは，レグ組立の定規として使用するため，パネル・ユニットの三頂点を構成するコード当り面とパネル・ユニットの中心との距離が，所定寸法に対して±0.5mm以内になるように加工した。

4・5 レグの組立加工

レグは，**Fig. 17**に示したように，全長約86mを，客先の要求により，下部(約19m)，中部(約30m)，上部(約37m)の3ブロックに分割して製作した。

レグの組立順序を，**Fig. 20**に示す。専用の組立治具の上にコードを2本セットし，パネル・ユニット，斜めブレースを順次セットした。

溶接は手溶接で行ったが，ねじれ等の歪が発生すれば，矯正不可能になるため，3箇所同時溶接を原則とした。組立および溶接作業は，すべて工場内定盤上で施工したが，両端面には下げ振りを垂下して，各段階で寸法をチェックしながら，作業を進めた。

下部，中部，上部の各ブロックの納入先でのスムーズな接合を可能にするため，各ブロックの接合面はすべて現物合せを行い，寸法を確認した。

完成したレグの寸法成績を**Table 17**に，またレグの製作状況を**Photo. 3**に示す。

4・6 品質管理

レグは，素材として鋼板，パイプ（構造用および配管用），形鋼などからなり，これらの材質強度

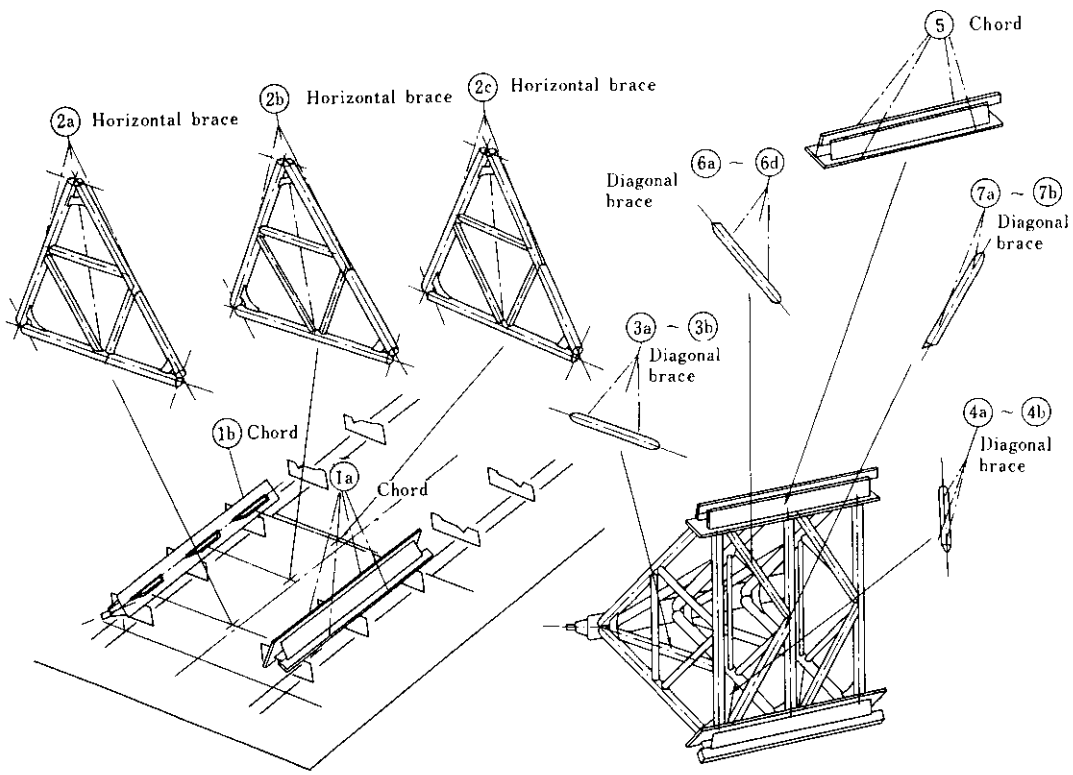
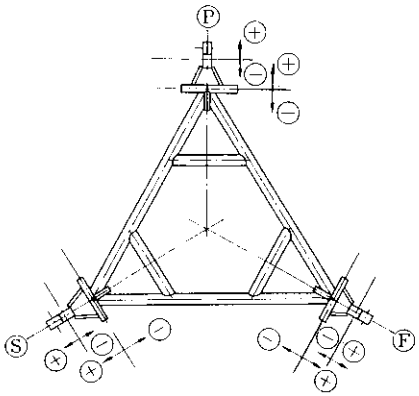


Fig. 20 Assembling process of leg block

Table 17 Dimensions of leg　　(mm)

Position		Block					
		1M	2M	3M	1T	2T	3T
Rack	Ⓟ	−1.0	−1.6	−1.1	−0.7	−1.1	−0.4
	Ⓢ	−1.6	−1.8	−1.0	−1.3	−1.5	−0.3
	Ⓕ	+0.6	+0.7	−1.1	−1.6	−1.1	−1.3
Guide plate	Ⓟ	−0.2	−0.3	−1.6	−0.2	−0.7	−1.8
	Ⓢ	−1.3	−0.9	−0.3	−1.1	−1.2	−0.3
	Ⓕ	−1.4	+1.3	−0.4	−0.4	+0.1	−0.5



は40～80kgf/mm²にまたがっているので，材料管理として，入荷時の管理シートによるチェック，ペイント彩色による識別を行った。

ガス切断後の部材については，カッティングプランとの照合や，チェックシートへの寸法・開先角度等の記録を行って，誤用のないようにした。また，部材寸法については，レグの組立精度をあげるため，各部材ごとに徹底したチェックを行い，寸法外れの部材は，その時点で，公差内に修正した。レグ製作中のチェックポイントを **Fig. 21** に示す。

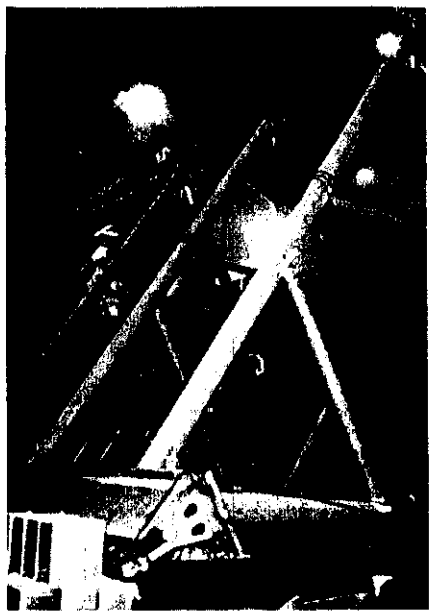


Photo. 3 Leg assembling

また，溶接部は重要な箇所が多かったので，品

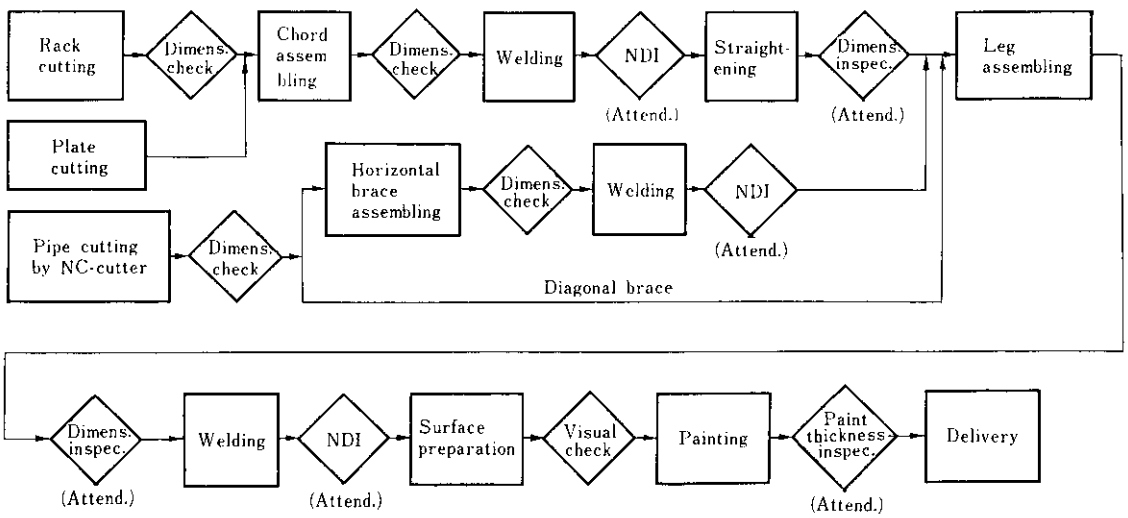


Fig. 21 Flow chart of leg fabrication process

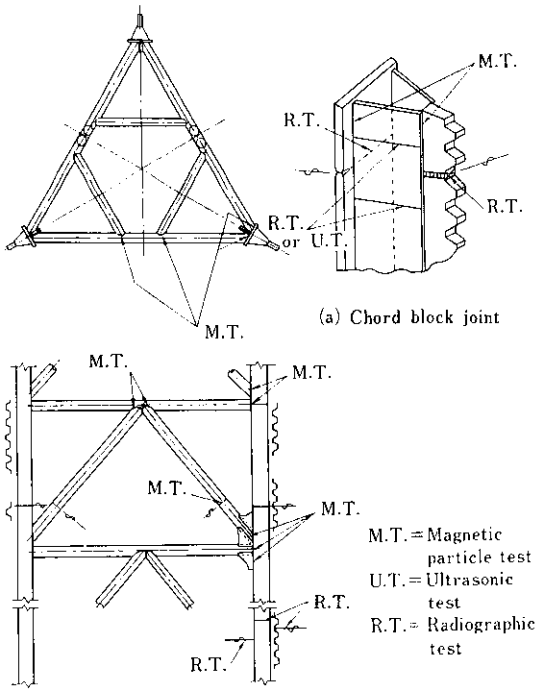


Fig. 22 Applied locations of leg inspection

質管理として溶接材料の払出し，乾燥，予熱，層間温度等に万全を期した。溶接部の非破壊検査として，客先の指定により，**Fig. 22**に従って放射線透過検査（R.T.），超音波探傷（U.T.），磁粉探傷（M.T.）を行った。これ以外に，自主検査として，溶接部は全数M.T.により，割れがないことを確認した。

溶接部の適用検査基準は，下記のとおりであった。

(1) R.T.：JIS Z 3104の2級以上
(2) U.T.：JIS Z 3060のM検出レベル3級以上
(3) M.T.：ASME SEC. Ⅷ, DIV. 1, APPENDIX Ⅵ-1 979

5. むすび

当社の実績に基づいて，ジャッキアップリグのレグ用素材の製造，特質と，製作への対応について述べた。自社鋼材，溶接材料を使ったため，社内関係部門の協力を得られるとともに，相互理解を深めることができた。このため，溶接構造物として厳しい寸法精度を確実に満足して，ジャッキアップリグ2台分のレグの製作を行うことができた。ここで得られた技術は，今後とも十分生かされるものと確信する。

おわりに，製作に関して多くの技術的アドバイスをいただいた，三菱重工(株)広島造船所の関係各位に，感謝の意を表したい。

参 考 文 献

1) "Mobile rig fleet continues to grow, Ocean Industry," (Oct. 1981), 72～73
2) 船越ら：「極厚調質80キロ高張力鋼」，川崎製鉄技報，4 (1972) 3，56～69