

クレーンの鉄構部分と機械部分の最近の傾向

Recent Trends in the Design of Steel Structure and Machine Element of a Crane

松崎直忠* 井上忠雄*
Naotada Matsuzaki Tadao Inoue

内 容 梗 概

設計および製作技術の向上によるクレーンの鉄構部分と機械部分の進歩、特に鉄構部分では溶接構造の大幅な採用、各種の新しい構造形式、高張力鋼について、機械部分では溶接の機械要素への進出、工作法の改善について紹介する。

1. 緒 言

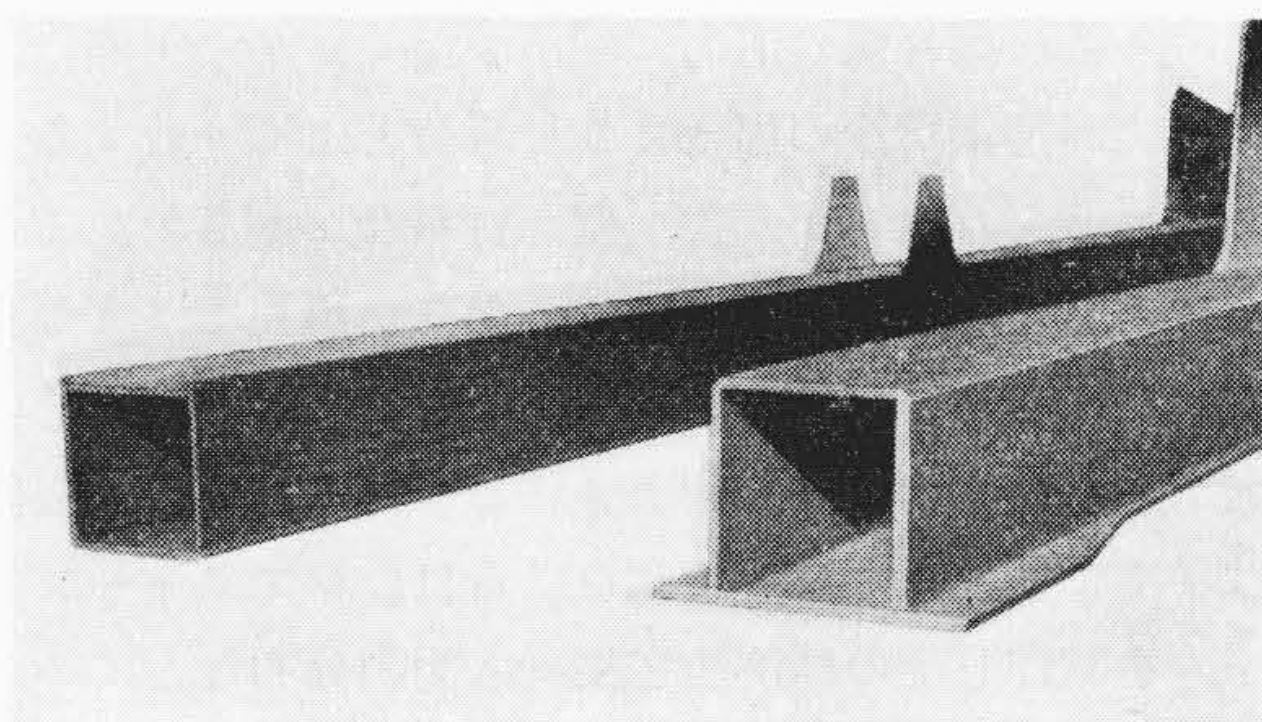
最近における各種産業界の生産性向上と経営の合理化は荷役機械の発達を促進せしめ、それぞれの目的に応じて高能率な各種機械が設備され、広く普及する傾向にある。クレーンにおいてもその進歩は著しく、多くの実験、研究に基づく設計、製作技術の進歩は鉄構部分では軽量かつ構造簡単な各種の新しい形式の出現を見るに至り、機械部分では機械要素の改良、工作法の改善と相まって信頼度を高め、寿命を著しく向上せしめた。次にそのおのおのについて最近の趨勢を述べる。

2. 鉄 構 部 分

クレーンの鉄構部分における最近の傾向は設計および溶接技術の進歩、高張力鋼の採用による機体重量の軽量化と構造の簡略化に要約される。とりわけ溶接の採用による構造の簡略化と断面の合理化とはプレートガーダの適用範囲を拡大し、構造形式はトラス構造より桁高さの低いプレートガーダに、さらに最近ではボックスガーダに進む傾向にある。しかしトラス構造もまた種々の長所を備え、特に大形構造物に対しては有利で現在も広く使用されている。また溶接技術の進歩はパイプ構造や薄板構造の採用をもたらし、パイプ構造のブームや薄板構造の橋形クレーン、埠頭クレーンが製作されクレーンの鉄構部分は大いに進歩した。

他方、鋼材の改善も目ざましく溶接構造用鋼材の JIS が制定され溶接の信頼度を高めるとともに、溶接性良好な高張力鋼も実用化されすでに抗張力 50 kg/mm^2 級の鋼材を使用したクレーンガーダが数多く製作されている。最近では軽合金の天井クレーンガーダの例を見るに至り、機体重量軽量化の傾向はとどまるところを知らない状況である。また構造物の計算に電気アナログが応用され、立体構造や高次の不静定問題が簡単に解けるようになり鉄構部分の進歩にさらに拍車をかけるものと思われる。

* 日立製作所亀有工場



(大形アンローダの弦材)

第1図 ボックス断面のトラス部材

日立製作所はクレーンにおける衝撃応力⁽¹⁾⁽²⁾、パイプ構造およびボックスガーダ⁽³⁾、ガーダにおける輪圧の分布⁽⁴⁾、各種溶接⁽⁵⁾⁽⁶⁾および高張力鋼^{(7)~(9)}、電気アナログなどに関する実験と研究を行い、軽量かつ構造簡単ないわゆる▽形天井クレーンガーダやボックスガーダ、パイプ構造のブームなどを製作その成果を発揮している。

2.1 トラス構造

自動溶接とポジションナの改良は各種形状の部材 Built-up を簡単にし、従来型鋼と鋼板との鋸接合により製作されていた T, H, I, II 形などの断面を有する部材はすべて溶接 Built-up に置き換えられ、鋸構造ではよほど大形でないと製作できなかったボックス断面が使用されるようになり、部材断面が著しく合理化されるとともに製作工数を低減、コストの切下げと軽量化をもたらしした。特にボックス断面は曲げおよび捩りに対する剛性大きく二次的な付加応力が小さくなると同時に、同一断面積の開放断面に比べて回転半径が大きい。しかも表面積少なく風圧、腐食、塗装に対して有利で、トラス部材として最も合理的な断面である。第1図は大形アンローダの弦材として使用したボックス断面の部材を示す。しかしボックス断面は鋸接合する継手部分の鋸接が困難で、かつ部材力があまり小さい場合にはかえって不経済となるため小形構造物や引張力で断面が決定される部材には H, T などの開放断面が使用される。一方トラス部材としてパイプ断面が最も有利なことはいまさらいうまでも

ないが、接合方法と組立ての際寸法を出すことに難点があり従来あまり使用されなかった。しかし溶接技術の進歩はこれらの問題を解決しパイプ構造のトラスが製作されるに至った。すなわちパイプ構造は型钢構造に比べて

(1) 同一断面積および板厚の開放断面より断面性能が著しく良好である。したがって重量を軽減することができる。

(2) 表面積が少ないためボックス断面同様腐食に対して有利で、塗装費が節約できる。

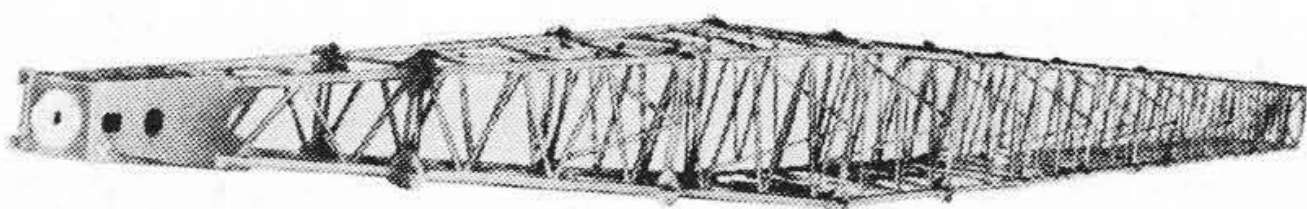
(3) 風圧が減少しブームのごとき構造では型钢構造の約45%程度となる。

(4) 部材接合部の応力勾配が少なく、かつ実際の部材応力が型钢構造の場合より計算値とよく一致する。

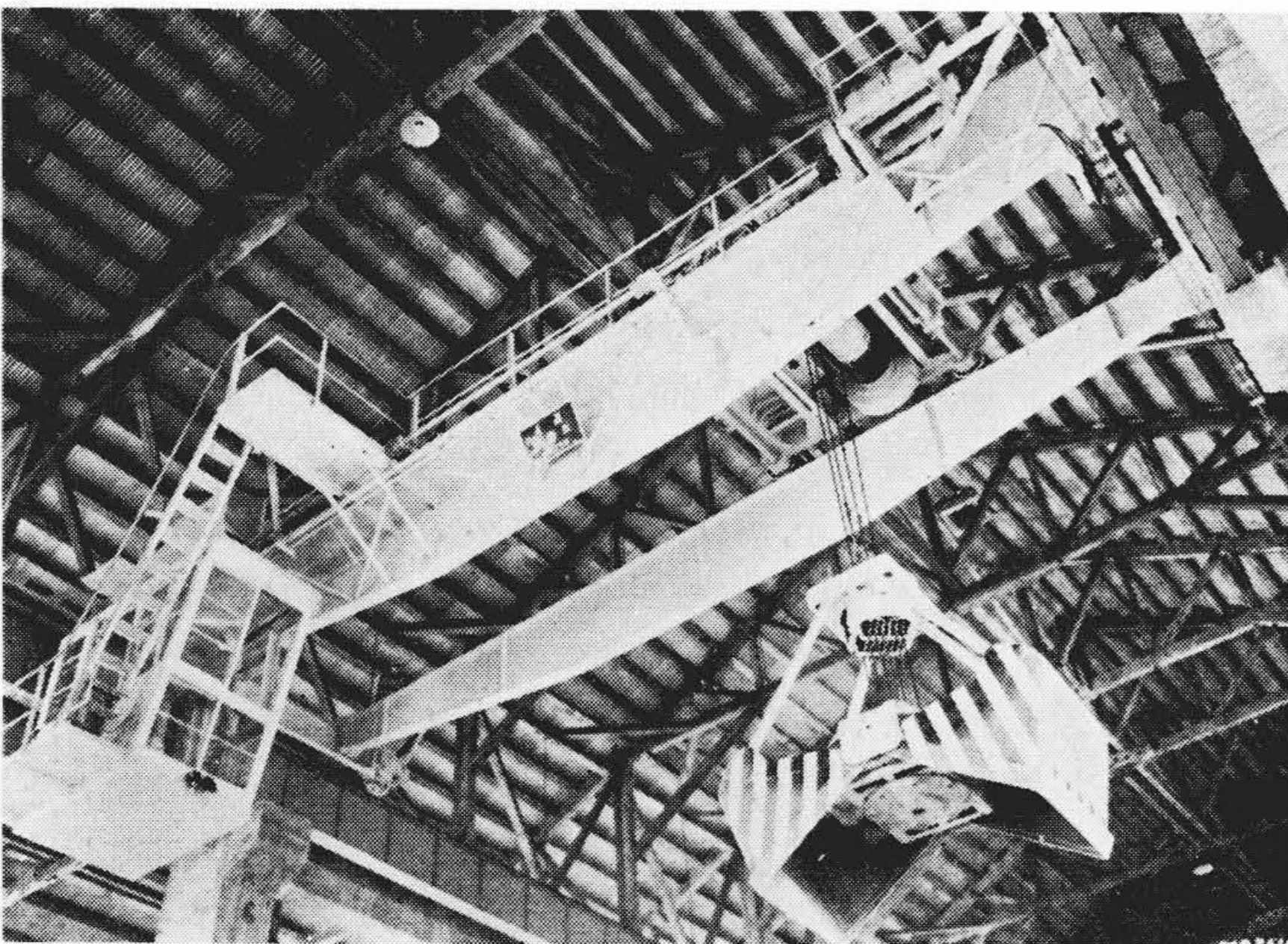
などの長所を有するが、加工費、材料費が割高であるため全体としての製造原価は高価となり、現在ではまだ全面的に採用される段階に至っていない。しかし今後その研究が進むにつれ大いに利用されるであろう。日立製作所は早くよりパイプ構造の利点に着目、ジブクレーンのブームを試作しその経済性と部材応力の分布などについて研究を重ね、各種構造物に応用するとともに第2図に示すとき6t×60mの大形デリッククレーンのブームとマストをパイプ構造で製作して大いにその成果をあげている。

2.2 プレートガーダ

プレートガーダにおいても鋼板溶接構造が全面的に採用され、断面の選定が合理的になるとともに腹板補強に



第2図 パイプ構造のマスト

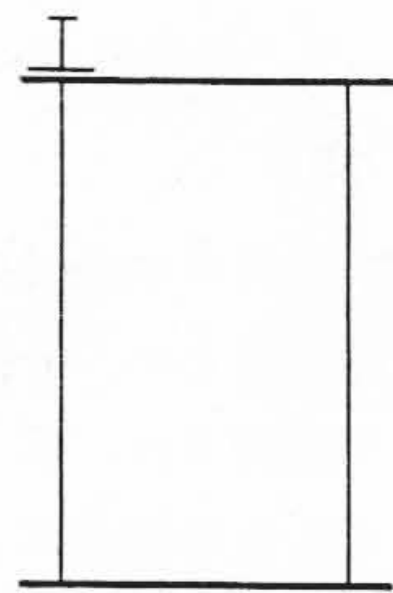


第3図 ▽形天井クレーンガーダ



(横行レールが腹板中央にある形式)

第4図 ボックスガーダ断面 (1)



(横行レールが片側腹板上にある形式)

第5図 ボックスガーダ断面 (2)

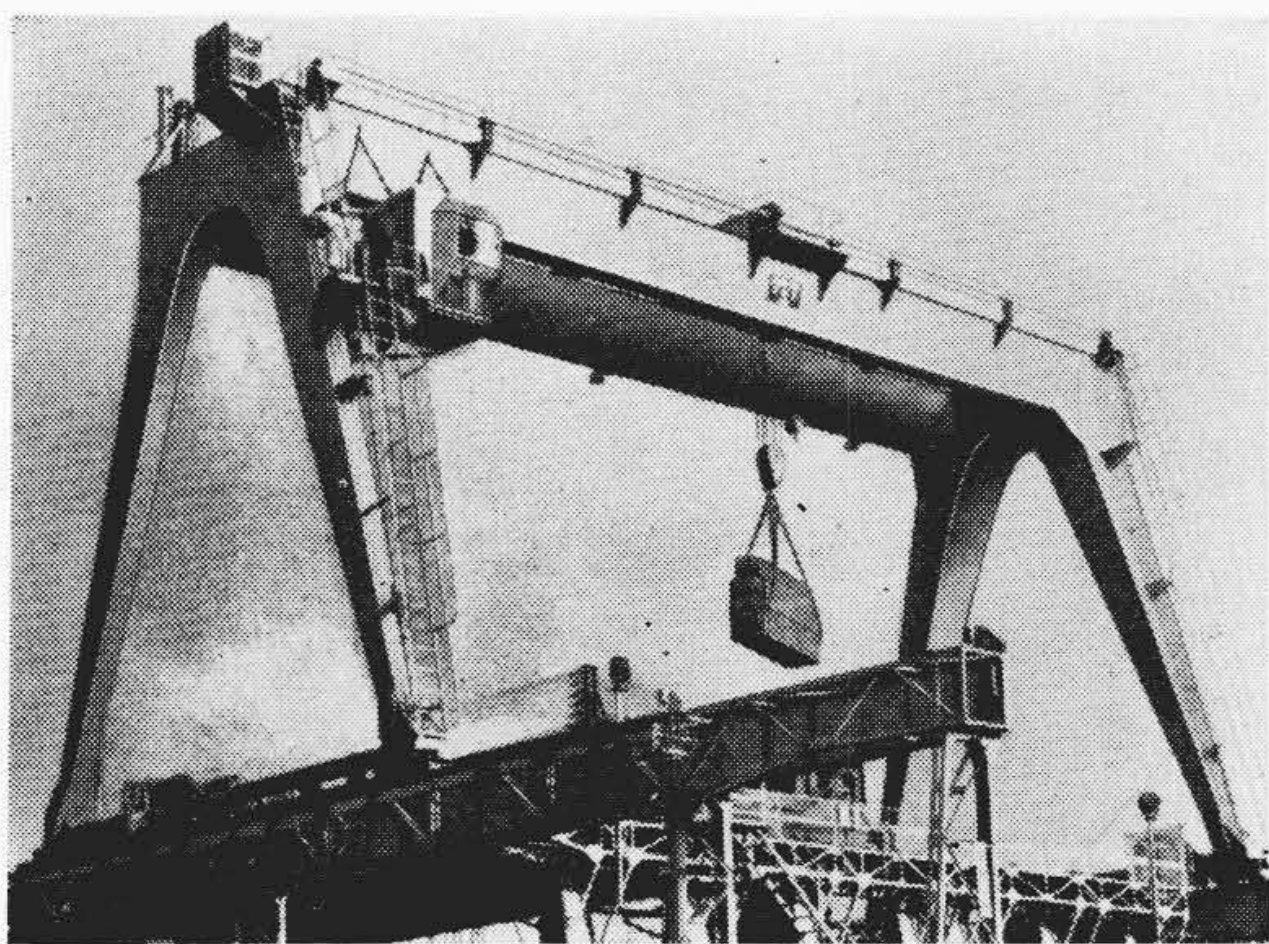
関する基礎的研究の結果腹板の薄いガーダが設計、製作されるようになり重量が著しく軽減された。したがって従来ではトラス構造のほうが有利とされていた長スパンにも適用されるようになった。またプレートガーダはトラス構造より桁高さが低く建屋建設費の節約に役立ち、さらに剛性大で保守が容易なため使用条件苛酷な製鋼クレーンに最近広く採用される傾向にある。第3図はプレートガーダの上フランジの幅を広くして歩道兼用とし垂直荷重のほかに水平荷重をも受持たせ、従来の補桁をなくした軽量かつ外観優美な▽形天井クレーンガーダを示す。

2.3 ボックスガーダ

一般にクレーンガーダとしてトラス構造またはプレートガーダを採用するときには補桁および水平ブレーシングを必要とするが、ボックスガーダは曲げ、捩りに対して十分な剛性を有するため余分な構造を必要とせず構造簡単で機体重量を軽減することができる。クレーンに使用されるボックスガーダにはクラブの横行レールを2枚の腹板中央に取り付けた形式(第4図)と片側の腹板の上に取り付けた形式(第5図)とがあり、前者はガーダに捩りを生ずることはないがレールを支持するためスパン全長にわたって短い隔壁をピッチ細く配置するか、縦ビームを通す必要がある。後者はガーダに捩り



第6図 ボックスガーダを採用した天井クレーン



第7図 ボックスガーダを採用した橋形クレーン

を生ずるが閉塞断面のためほとんど問題とならず構造が簡単となる。以上二形式のいずれが有利かは荷重およびスパンの大小によって異なり一概に決めることはむづかしいが、後者の方が構造簡単でしかもガーダ上面を全幅にわたって有効に利用できる点よりこの形式がより多く採用されるであろう。

日立製作所は両形式とも数多くの製作実績を有するが、特に後者については実物大の模形によりその応力分布、変形を測定、さらに輪圧による応力分布に関する研究を行い最も合理的な断面を選定、すでに天井クレーンおよび橋形クレーンに応用して好評を博している。第6図は天井クレーンに応用した一例で、第7図はガーダ、脚ともにボックス断面とし、特にガーダは□形として断面を合理化するとともに外観を優美にした橋形クレーンの一例を示す。

2.4 薄板構造

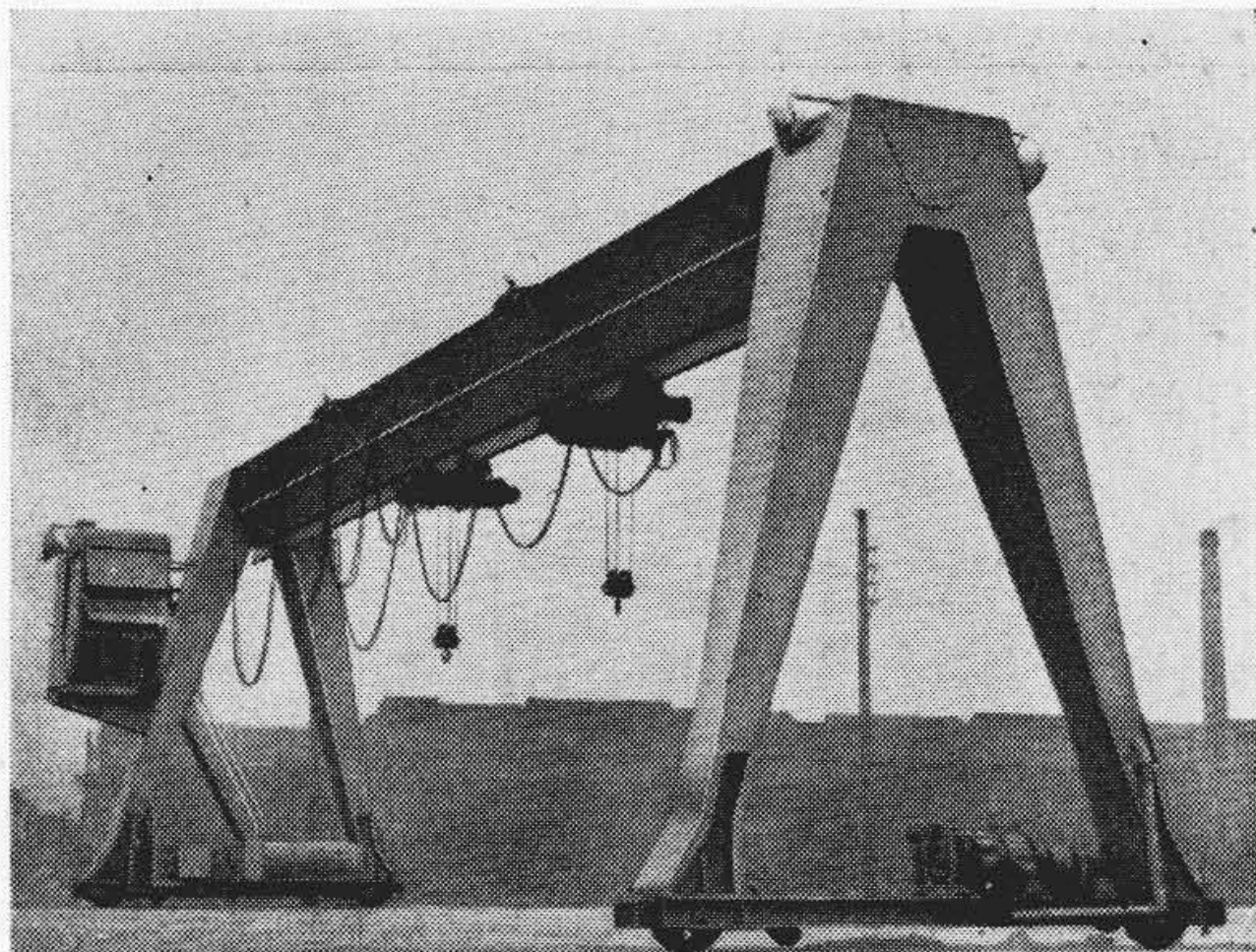
航空機構造より発達したものであるが、近年車両、船

舶などにも応用されクレーンの鉄構部分もこの影響を受け欧米ではすでに数多くの薄板構造のクレーンが製作されている。わが国でも各所で研究が行われ、その理論的、実験的解析が進展し、すでに実用化されて橋形クレーン、埠頭クレーンに適用されている。現在クレーンに採用されているものは補強板を有する薄板構造で、適当な補強材によって座屈強度を大きくした薄板を熔接で閉塞断面として振りおよび座屈に対し強固な構造としたものである。この形式は構成部材が少なく構造がきわめて簡単となるため塗装などの保守が容易で、コストをやすくすることができる。また埠頭クレーンのごとき構造では風圧に対する抵抗が従来のトラス構造に比べて75%程度となり安定

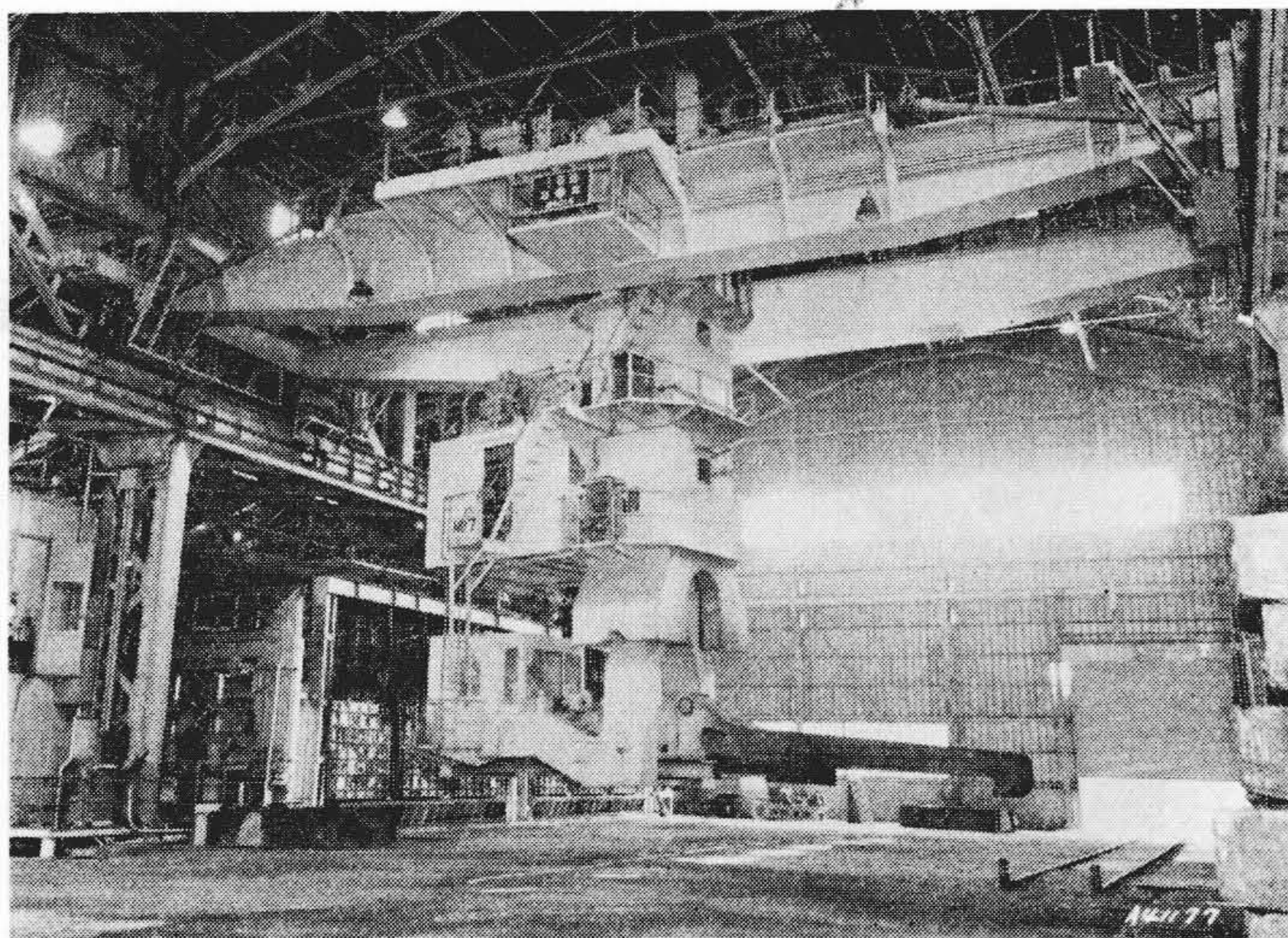
度がよくなる。第8図は長物材料運搬用のホイスト付橋形クレーンの一例で、ガーダは薄板全熔接の▽形ボックス断面と同じくボックス断面を有する脚と強固に熔接接合された軽量かつ剛性の大きいものである。

2.5 高張力鋼

普通鋼より抗張力の高い合金鋼の研究はわが国においても戦前から行われてきたが、最近熔接性良好でしかも強度の高い高張力鋼が実用化され各種構造物に適用されて軽量化に役だっている。現在使用されている高張力鋼は多種多様で、そのおののについての詳細は省略するが、目下わが国で熔接性が良いとして使用されているものは一般にSi-Mn系で抗張力50~60 kg/mm²程度のものであるが、ごく最近では熱処理によって60kg/mm²あるいはそれ以上の抗張力を確保し熔接性をそこなわないものも完成されている。一般に高張力鋼は降伏比が高いが切欠係数は普通鋼より大きいため繰返し荷重を受ける部材に使用するときには疲労強度の面からも検討しなけ



第8図 張殻構造の▽形橋形クレーン



第9図 高張力鋼を使用したボックスガーダ

ればならない。もちろん細長比が大きく座屈荷重で制限を受ける圧縮材（細長比100以上は全然無意味となる）や変形で制限される部材に使用しても効果なく、引張材および座屈で制限を受けないものなどに使用すべきである。第9図は50 kg/mm²級の高張力鋼(WEL-TEN 50)によるボックスガーダの製鋼クレーンの一例を示す。

一方高張力鋼の結合はもちろん溶接を使用するのが望ましいが、大形構造物では輸送などの関係上、据付現場で鋸接合することが多い。この場合部材結合に従来どおりSV34の鋸を使用したのでは継手部分が不経済となり、当然SV41あるいはそれ以上の鋸を使用することが考えられる。しかしながら抗張力の高い材料の鋸は鋸鉋時鋸頭に割れが入りやすく、鋸の締付力、充填などの鋸鉋技術に種々の問題が発生する。したがって今後ますます抗張力の高い鋼材の出現を考えると、部材結合は最近ドイツ、アメリカで採用されつつある高張力ボルトによる接合が最も合理的と考えられる。すなわち高張力ボルト継手は鋸継手のごとく鋸の剪断、支圧によって応力を伝達するのでなく、締め付けた部材間の摩擦力によって応力を伝達する構造で、鋸打のごとく熟練を必要とせず、孔周辺の応力集中少なく疲労強度を増大するという特長を備えている。日立製作所においても鋭意これが研究につとめ近く実用化する段階にある。

3. 機 械 部 分

クレーンにおける機械部分は設計、製作に対して強度の点はいうまでもなく、その精度、効率、寿命の向上、保守の容易化に対して特に留意されており、種々の実験研究の結果に基く設計の合理化、材料熱処理技術、溶接技術の進歩、機械加工方法の改良、歯車精度の向上など

とともに著しい進歩を遂げつつある。

一般に巻上横行装置などの構造のユニット化、歯車の全密閉油浴化、ころがり軸受の大幅な採用、ギヤカップリング、ユニバーサルカップリングの採用、給油方式の改良などは最近のクレーンではそのほとんどに適用し一般化しつつある。また溶接技術の進歩は機械要素の面にまで及びシープ、ドラム、ギヤボックスなどに使用されてからすでに久しく、最近では特殊鋼リムの溶接歯車が出現するに至った。

日立製作所では歯車の動荷重試験、精度そのほかに関する研究^{(10)~(12)(14)}、軸受のクリープ⁽¹⁵⁾、ドラムセルの強度に関する理論的研究⁽¹⁶⁾、材料、熱処理^{(17)~(19)}、そのほか⁽²⁰⁾⁽²¹⁾機械要素に関する基礎的な種々の実験研究を行い設計製作の合理

化を計っている。

次に機械部分のおもなる要素について最近の傾向の概要を述べる。

3.1 歯 車

計算式は従来のルイスおよびバッキンガムの式に替って種々の実験研究の結果に基き合理的に寿命時間、荷重などを定め、ピニオン、ギヤの材質の適切なる選定を行い、熱処理基準を確立して実状に即したものとした。

歯車の動的試験を行った結果、静的に同一荷重がかけられた歯車でも歯車精度により動荷重のかかり方がかなり異なり、たとえば周速の増すにつれてホブ切りの場合は動荷重の大きさが増し同時に振動も大きくなるが、シェーピングあるいは研摩を施したものはあまり周速に影響を受けぬことを確認した。そのほか種々の観点から歯車の歯形精度が従来のごとくただ単に周速のみによって定められると多くの不都合を生ずるので、荷重のかかり方、周速および静粛さの度合の三つの要素の組合せを考慮して精度を定めた。このような組合せを考慮することによって歯車の実際の稼動状況に適した精度を選ぶことができる。

許容接触圧を高めるために特殊歯車用鋳鋼を使用している。この歯車用鋳鋼は日立製作所独自のもので一般には焼準のみで十分な強度、硬度を有し耐摩耗性のすぐれているものであるが、用途によっては歯面に高周波あるいは焰焼入れを施して使用することができる。また大きな強度が要求されるギヤには高級鋳鋼あるいは合金鋼の焼嵌めなどが用いられてきたが、高炭素鋼あるいは特殊鋼に関する溶接上の諸問題が研究され、リムを上記材質とした溶接構造のものが作られるようになった。今後、大荷重の大形ギヤにますますその用途を広めていくであ

ろう。

3.2 軸 受

従来高速軸に用いられていたオイルリング式の軸受はころがり軸受の採用により使用されなくなったが、低速重荷重部には平軸受が使用される例が多い。これは平軸受がころがり軸受のごとく急に破損することがなく重荷重のものに対し信頼度が高いためである。また横行、走行装置のホイール軸のような大荷重を受ける平軸受部はウェストボックス式とし給油と防塵に考慮を払い、軸頸に超仕上げを施し、耐摩耗性を向上させるとともに著しく軸受の負荷能力を増し機械効率を高めている。軸受合金は一般に BC 5b を用いるが、面圧の高い旋回クレーンのブームピン回り、ケーブルクレーンの主索支持点などのブッシュには特殊アルミニウム青銅鋳物を用い軸に高周波焼入を施している。

またオイルシールのリップに触れる部分は超仕上げを施しシール効果をいっそう確実にしている。平軸受は確実な給油を必要とするので手動集中給油方式を採用し運転保守の簡易化を計っている。

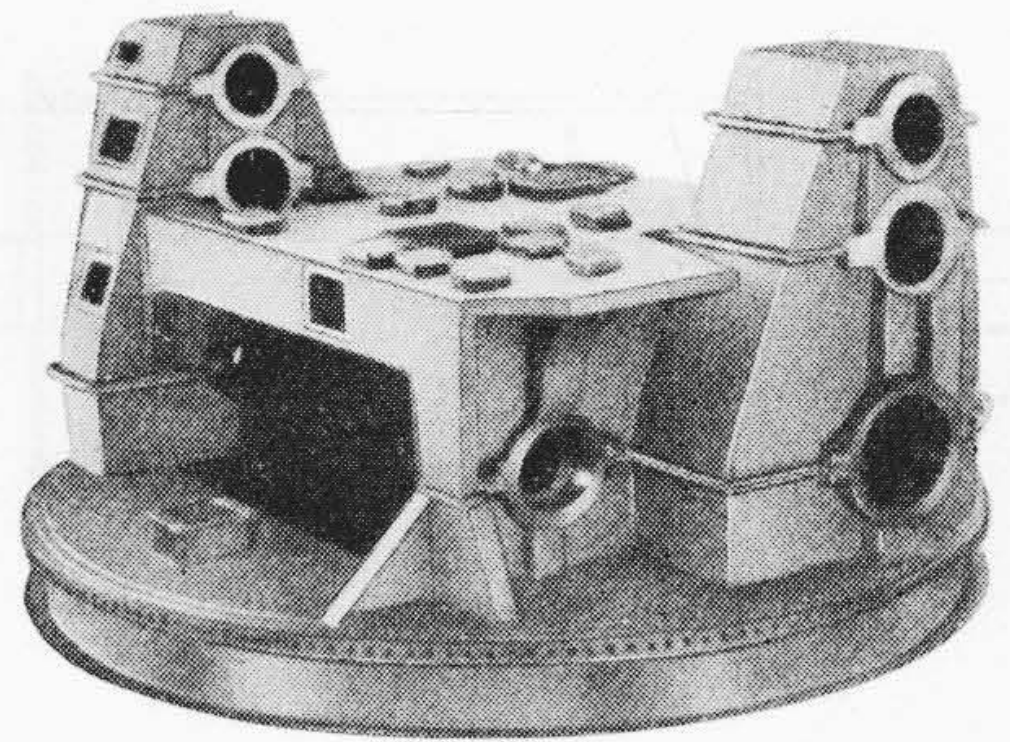
軸受工業の進歩、工作精度の向上により現在では広範囲にころがり軸受が採用されるようになり、たとえば巻上ドラム軸、走行長軸などの低速、重荷重の分野にまで及んでいる。ころがり軸受の採用は起動抵抗の減少による性能向上と効率の高いことが特長であるが、必然的に軸心の精度、軸撓度の制限など従来の平軸受に比べはるかに高精度のものが要求され、第10図のような機械フレームと各軸受部は一体物として大形工作機械で同時加工するような構造を採用している。その結果機械部分の組立精度を著しく向上し、従来の手作業による不確実さは全面的に排除されるに至った。

3.3 歯 車 箱

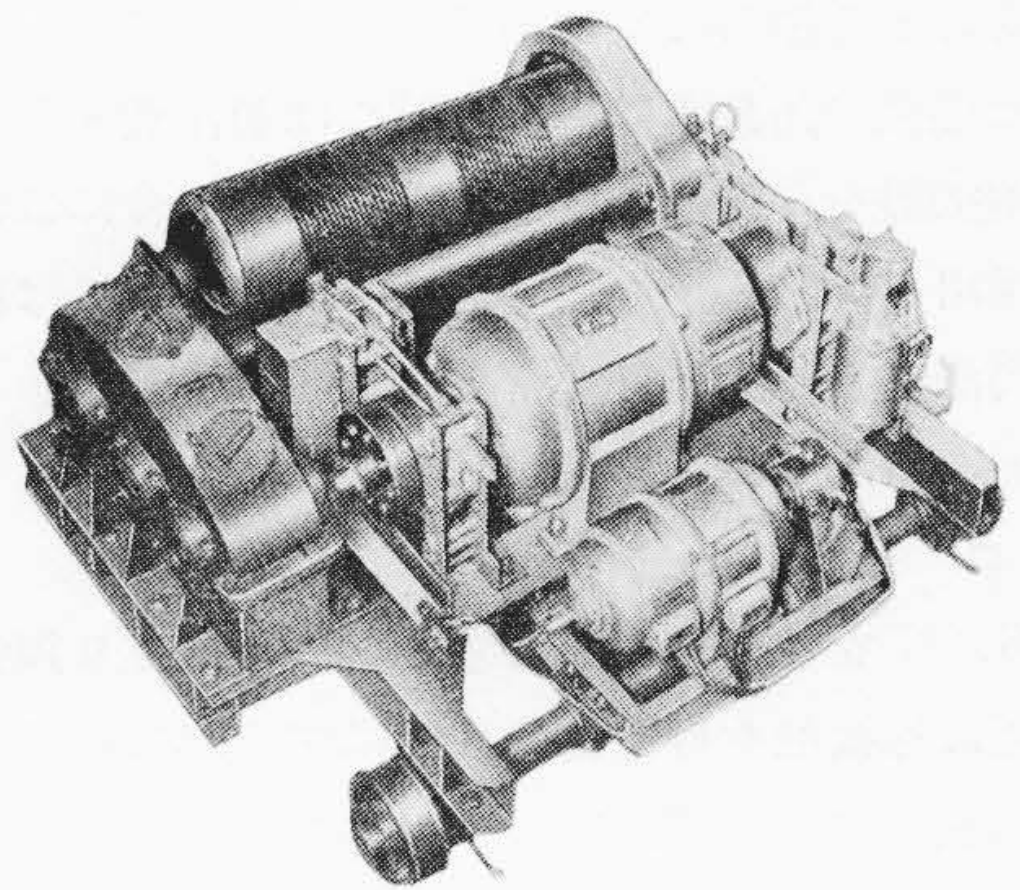
従来歯車箱は単独に製作され機械フレーム上にボルト締めする方法(第11図)が使用されてきたが、最近では機械のユニット化に従って大形のプラノミラー、横ボール盤などの工作機械の機能とともに巻上フレーム、横行フレームなどの機械フレームと一体の熔接構造(第12図)となった。軸受部のボスは従来の鋳鋼製に替り丸鋼または厚鋼板の製作容易なものが用いられるようになった。割形ギヤボックスの合わせ面や軸受部の蓋には第13図のような構造取扱簡単な丸ゴムパッキンあるいは不乾性パッキン(日立オイルシーリングコンパウンド)を用い、堅割の場合は両者を併用して油の漏れ止めに効果をあげている。

3.4 ドラムおよび綱車

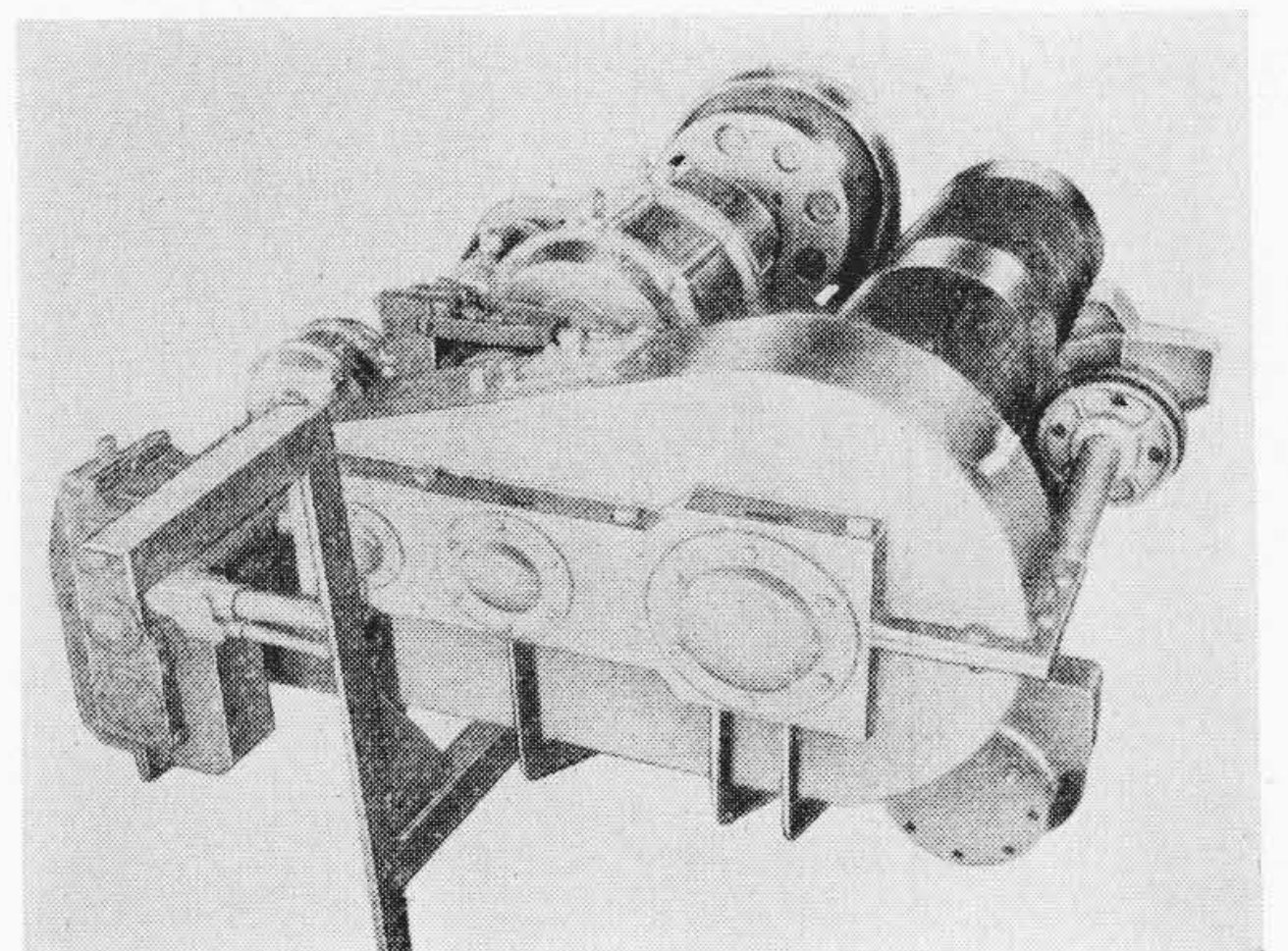
熔接技術の向上によりほとんど鋼板熔接製のドラムが用いられるようになった。ドラム軸はチークプレートに一体熔接される場合が多く、また大形のドラムには第14



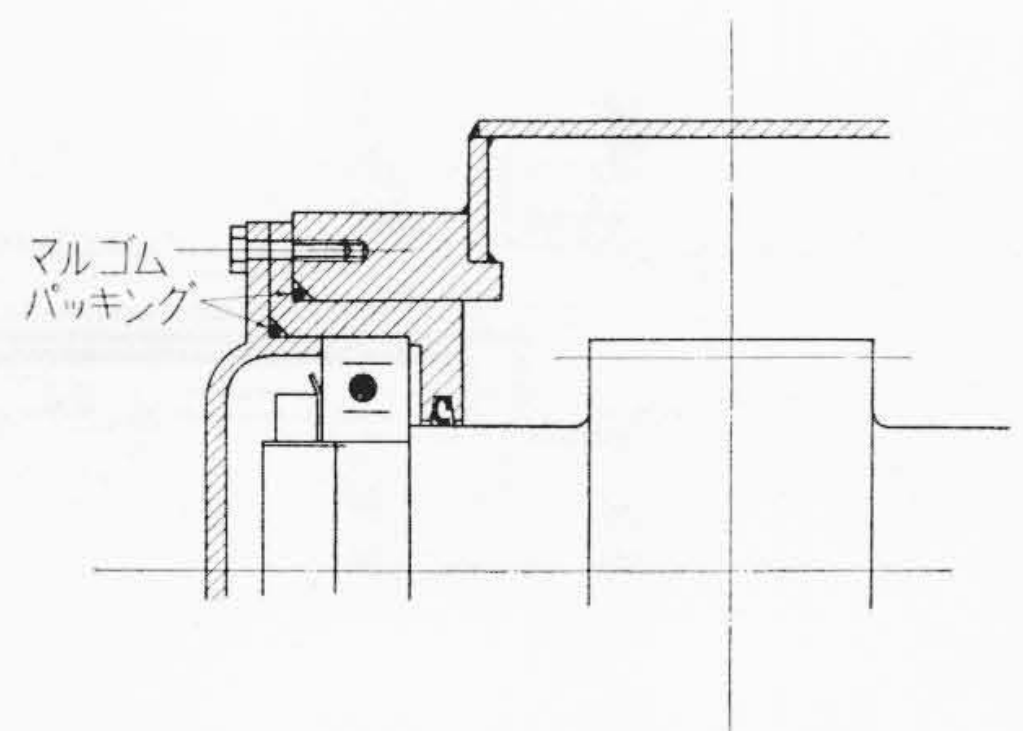
第10図 熔接一体構造の巻上フレーム



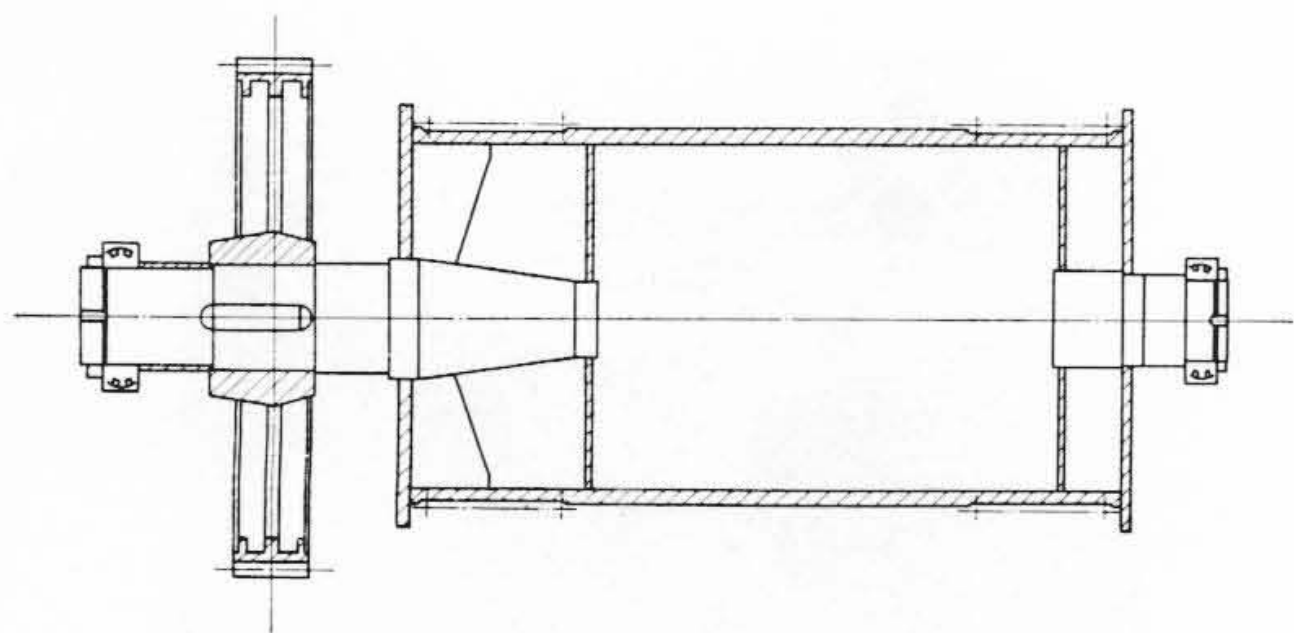
第11図 従来の天井クレーンのクラブ



第12図 最新形天井クレーンのクラブ



第13図 丸ゴムパッキンの使用例



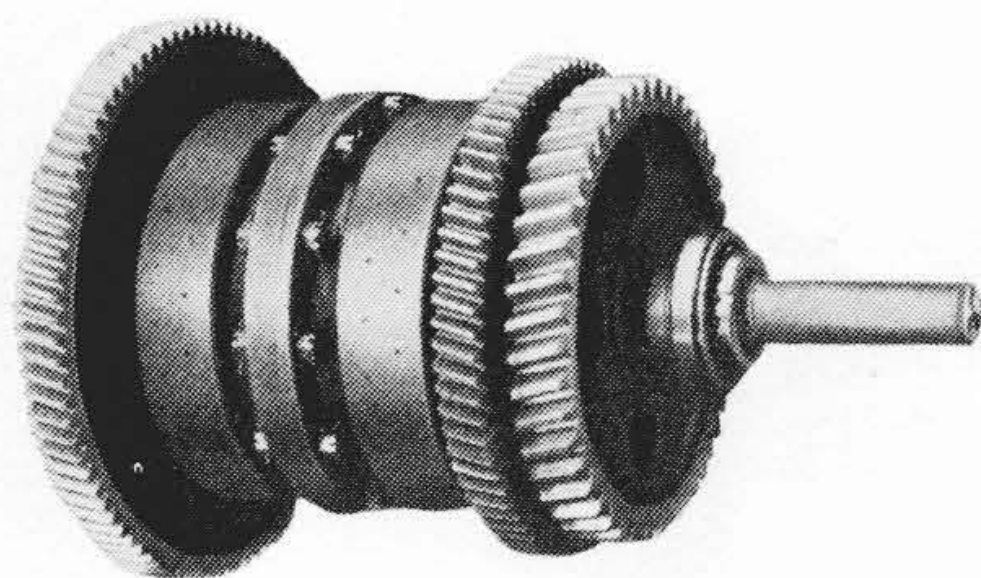
第14図 大形ドラムの構造例

図に示すようにドラムの中の軸を省略しドラムセルに軸強度をもたせる構造のものが採用されている。

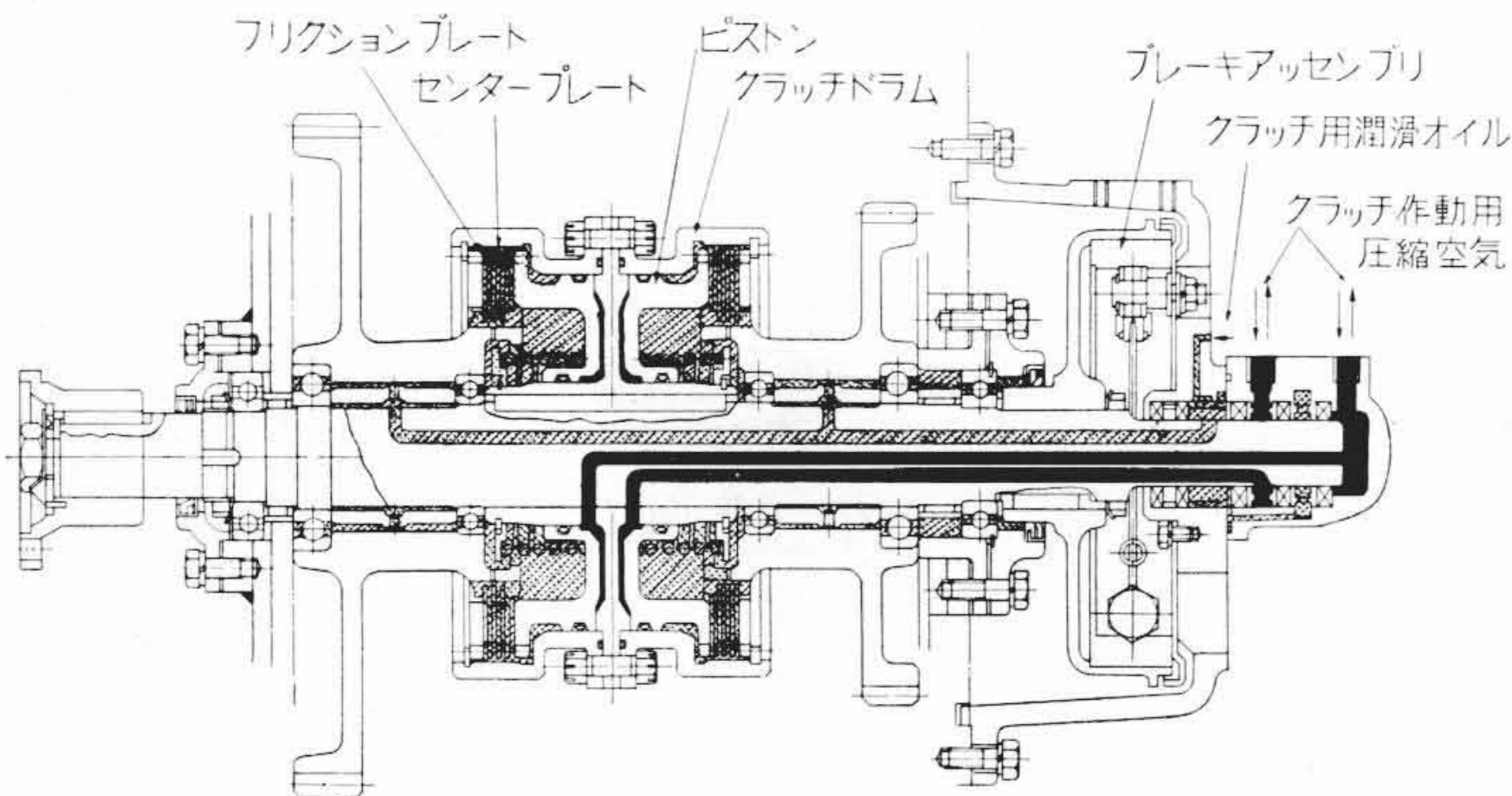
綱車は従来の鋳鉄製に替り一般には製作費の低減を計り鋼板熔接製を、特に強度を要求される場合には鋳鋼製を多く採用している。また高速高頻度の場合には綱車外周を高周波焼入し耐摩耗性を著しく向上させるとともにほとんどころがり軸受を使用している。

3.5 ロープ

従来 6×37 を多く使用してきたが、平行撚り鋼索が素線同志互に線接触を行い耐摩耗性にすぐれているので近年大いに賞用され一般クレーンにはフィラ形の $6 \times \text{Fi}$ (29)が多く用いられている。実験では $6 \times \text{Fi}$ (29)は 6×37 に比べ寿命が2～3倍の結果を得ている。またケーブルクレーンには素線径の大きい $6 \times \text{Fi}$ (25)が使用され綱車径を一般クレーンに比し大きくしている。



第15図 オイルクラッチ



第16図 オイルクラッチの構造図

3.6 車輪

車輪用の材料としては輪重の小さいものに対してはまれに鋳鉄製を使用する場合もあるが、一般には従来 SC 60, TY 80 が使用された。しかし日立製作所では材料および熱処理技術の進歩により SC 60 に替るものとして車輪用特殊鋳鋼製を使用している。これは SC 60 にまさる抗張力、伸びを有し耐摩耗性のある優秀な材料で車輪用として最適のものである。

また従来高頻度で車輪荷重の大きいものに TY 80 が使用されていたがタイヤ焼嵌めの手数およびゆるみのため近時クレーンには特殊な場合を除き使用する機会が少なくなり、それに替り炭素鋼火造品一体の車輪で熱処理を施したものが多く使用されるようになった。

3.7 ブレーキおよびクラッチ

従来と同じポストブレーキ、バンドブレーキを多く使用するが、ライニングの性能向上と電気ブレーキの併用とともに著しくその寿命を向上した。また最近では摩擦特性の良い粉末焼結合金のライニングの出現をみ、ブレーキドラムを小形化してクレーン性能を向上してきている。またブレーキドラムは一般に小容量のものは FC 25 を使用するが、強度および熱容量の大きいものを必要とする場合はダクタイル鋳鉄製を使用して効果をあげている。

クレーンにはクラッチの使用は少ないがグラブバケットのつかみ機構に從來使用していたバンドクラッチは切断などによる危険があるためほとんどエクステンションクラッチとなった。またモビールクレーンにはオイルクラッチを使用している。第15, 16図は外観および構造図であるが、クラッチは湿式多板形油浴化したもので負荷状態に関係なく自由に切換えができ、摩擦板は焼結合金製であるため寿命は長い。

4. 結 言

以上クレーンの鉄構部分と機械部分について最近の傾向を説明したが、荷役設備の拡充と合理化とはますます大形、高能率化を要求し、これに伴って荷役機械も改良、工夫が加えられ、さらに軽量でしかも信頼度高く、長寿命、保守容易な構造となるであろう。日立製作所はさらに各種の研究および実験を重ね設計、製作に最新の技術を採用して常に斯界の先端を歩むべく不断の努力を続けている。

参 考 文 献

- (1) 川勝：日立評論 35, 561 (昭 28-3)
- (2) 大西：日立評論 37, 1283 (昭 30)

- 9)
- (3) 種田：日立評論 40, 824 (昭 32-7)
- (4) 吉武：日本機械学会講演会 (昭 33-4)
- (5) 小林：日立評論 34, 1343 (昭 27-11)
- (6) 牧, 黒川, 横尾：日立評論 36, 681 (昭 29-3)
- (7) 鈴木, 小林：日立評論 37, 1225 (昭 30-8)
- (8) 横尾, 江間：日立評論 39, 383 (昭 32-3)
- (9) 横尾, 江間：溶接技術 5, 382 (昭 32-6)
- (10) 保延：日立評論 37, 953 (昭 30-6)
- (11) 明山, 歌川：日立評論 38, 585 (昭 31-4)
- (12) 明山, 歌川, 笠原：日立評論 38, 679 (昭 31-5)
- (13) 牧野, 箭内：日立評論 35, 869 (昭 28-5)
- (14) 保延：日立評論論文集 No. 5, 27 (昭 24-7)
- 保延：日立評論論文集 No. 6, 70 (昭 24-8)
- 保延：日立評論論文集 No. 8, 145 (昭 24-10)
- (15) 今井：日本機械学会講演会 (第 35 期)
- 今井：日本機械学会講演会 (第 36 期)
- (16) 江川, 種田：日立評論 39, 879 (昭 32-8)
- (17) 川本, 岩瀬, 小南, 川井：日立評論 38, 1437 (昭 31-11)
- (18) 西山, 牧野：日立評論 別冊 No. 11, 77 (昭 30-9)
- (19) 西山, 小池：日立評論 別冊 No. 16, 85 (昭 31-10)
- (20) 小堀, 富田, 藤芳：日立評論 37, 1509 (昭 30-11)
- (21) 吉武：日立評論 40, 1200 (昭 33-10)



特 許 の 紹 介



特 許 第 248264 号

青 木 勝・森 幸 治

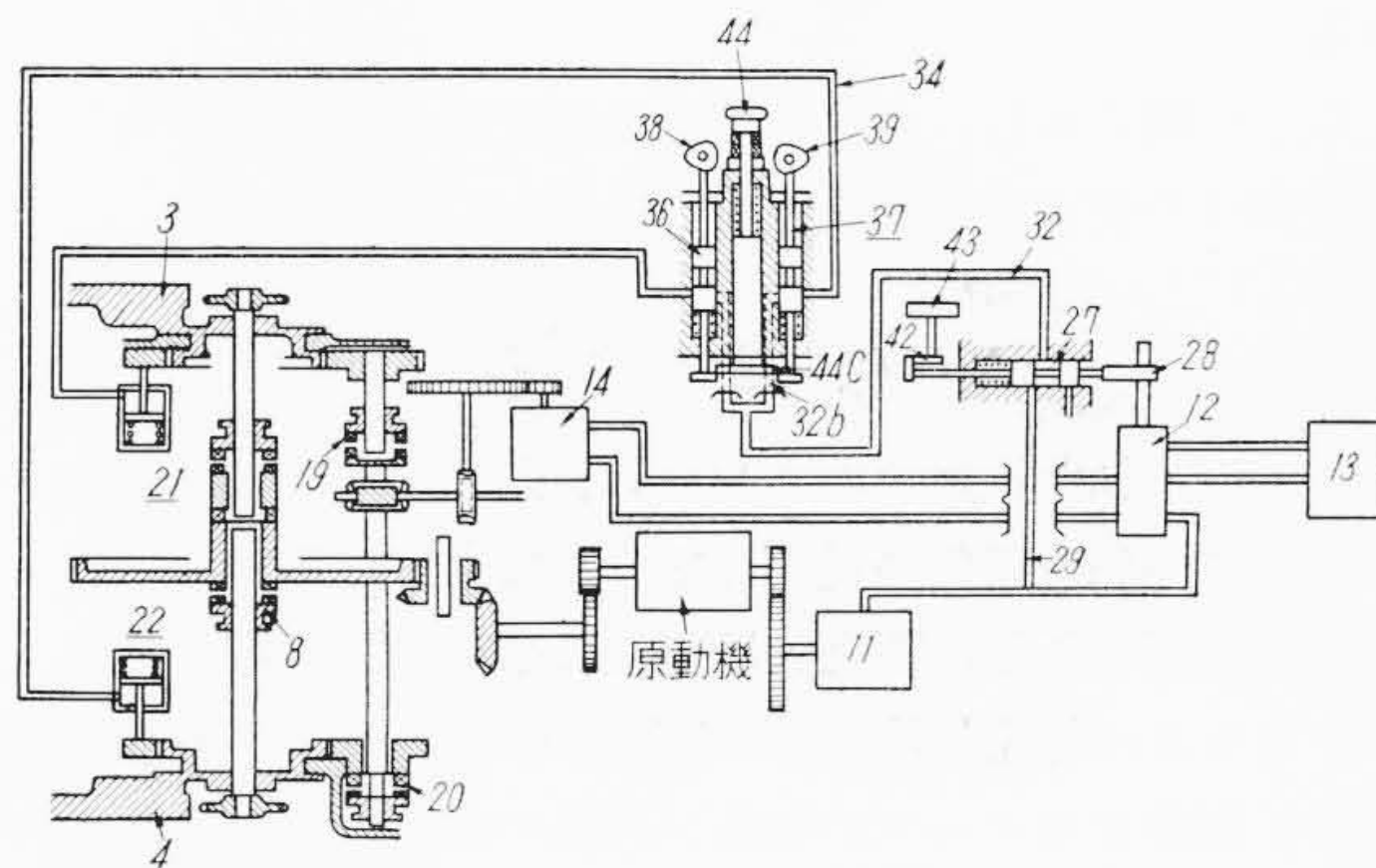
ダ ブ ル ジ ブ コ ー ル カ ッ タ

この発明は、原動機 1 個で、上、下ジブのカッターチェーンの駆動および上、下ジブの油圧式機械切込みならびにロープ切込みを同時にも各単独にも行いうるようにしたものである。

下ジブ 4 の切込みを行うときは、主切替弁 12 の操作により油圧原動機 14 を油圧ポンプ 11 に連通させるとともに、カム 28 を介して第 1 切替弁 27 を切替え導管 29 と 32 とを連通させる。次にピストン弁 37 を切り替えて分岐管 32 b と導管 34 とを連通させるとともにクラッチ 20 を入れる。この状態で、油圧ポンプ 11 を駆動すれば、下ジブのロッキング機構 22 のロッキングが解かれるとともに油圧原動機 14 が作動し、下ジブの切込み作動が可能となる。

上ジブ 3 の切込みのときは、クラッチ 19 を入れ、上ジブのロッキング機構 21 のロッキングを解く。上、下ジブの切込みを同時に行うときは前述の操作を同時にすればよい。

油圧原動機 14 が使えなかったりあるいは他の目的のためにジブの切込み拔出しを油圧原動機 14 によらずに行う必要を生じたときは、油圧原動機 13 が駆動される状態とし、ハンドル 43 により操作カム 42 を働かせて第 1 切替弁 27 を切替え導管 29 と導管 32 とを連通させる。次いで、ハンドル 44 の操作によりカム板 44 c を介してピストン弁 37, 36 の切替えを行い、クラッチ 19, 20 をはずす。クラッチ 19, 20 をはずすときは操作カム 39, 38 はピストン弁



37, 36 に対して作用を及ぼさない位相にある。したがってハンドル 44 の操作によりピストン弁 37, 36 の切替えを行えばロープ切込みが可能な状態となる。ロープ切込みが可能となった状態で油圧ポンプ 11 を駆動すれば、ジブのロッキングが解かれるとともに、油圧原動機 13 が作動して切込み用ロープの巻取りが行われる。このようにして所要のロープ切込み作動が行われる。

この発明のダブルジブコールカッターは上述の作動を行うことができるので、能率的に運転できる。(富田)