

解 説

圧延機用ロードセルについて*

矢 吹

豊**

On the Load Cell for Rolling Mills

Yutaka YABUKI

1. ま え が き

圧延機は鉄鋼製造設備のうちでも最も進歩したものの一つに数えられているが、圧延時の種々のデータのうち最も重要な数値の一つである圧延荷重を、作業上のデータとして測るようになったのは比較的最近のことである。これは圧延荷重の重要性が忘れられていたためではなく、その測定がやさしそうにみえて実はなかなかむずかしく、特性の良好でしかも安価なロードセルが容易に入手できなかったためといつてよい。

最近の計測技術の発展には目をみはるものがあり、当然このようなロードセルにも種々の改良が加えられ、かなり実用的なものも得られるようになった。しかしその性能と価格はまだ満足すべきものではなく、よい特性のものはかなり高価である。したがってミルへのロードセルの設置は、荷重測定による利益が明らかにロードセルのコストを上まわる、たとえば自動板厚制御 (AGC) とか、電算機制御などの特殊な場合に限定されているのが現状である。

しかし圧延荷重を知ることは、単にこのような高度の制御のために必要なばかりでなく、もつと身近な問題、たとえば過負荷によるロールや軸受などの機械部品の破損防止とか、パススケジュールの適正化などの解決に役立つことも多いので、もし良好な特性のロードセルが安価に入手できれば、すべての圧延機にこれが標準装備となることは疑いない。

ではこのようなセルの出現を妨げている問題はどんなものであろうか。筆者らも前記のような目的で圧延荷重の測定を計画したが、いざ着手してみると予想外の多くの難問に遭遇し、一応それらを解決して実用になるセルを作るまでにかかなり長い期間を要した。

以下これらの問題点について筆者の経験を中心としてのべ、ロードセルの制作や購入を計画されている人々の参考にしたいと思う。

2. 圧延機用ロードセルの問題点

圧延荷重の測定方法としては、スタンドポストの伸び

を測る方法や、油圧を用いる方法があり古くから試みられているが、いずれも欠点があるためあまり用いられていない。すなわち前者では、スタンドポストが圧延荷重で一樣に伸びてくれればよいが、実際には図1に示すように曲げの重なった変形をするため、どの位置の伸びをとるかによつて指示値は大きく変わる。特に歪ゲージを使うときはその接着位置の選定がむずかしいし、また張力をかけた圧延のときはその大きさによつて変形の状態

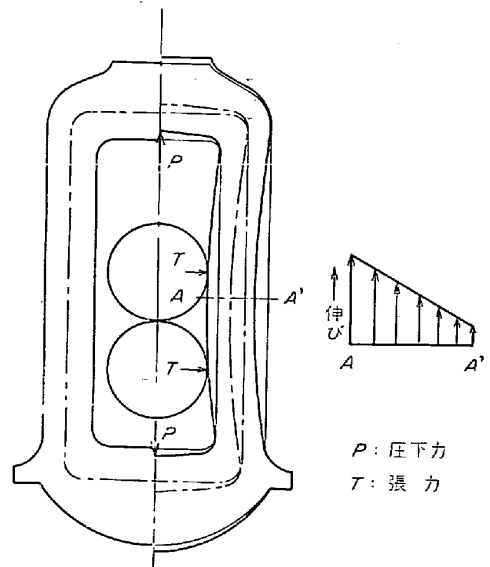


図1 ミルスタンドの変形とポストの歪分布

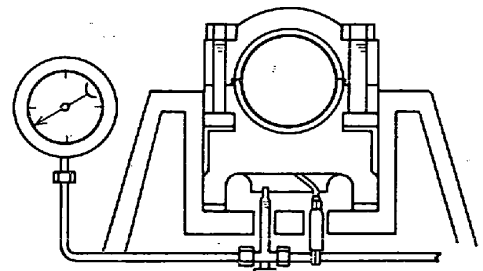


図2 油圧式ロードセルの例

* 昭和44年5月28日受付 (依頼解説)

** 富士製鉄(株)中央研究所

が変わるので、この方式で再現性よく荷重を測るのはかなり困難である。

油圧を用いたものとしては、最近ふえてきた油圧圧下方式の圧延機があり、この場合は直接圧延荷重を知ることができるが、このほか図2に示すようなものもある、このような方式についての筆者の経験はないが、セルの剛性や、温度特性、摩擦などによる誤差などに疑問もある上、構造もかなり複雑なので、特殊な場合以外は得策ではないと思う。

現在最も一般的な方法は、適当なロードセルを圧延機の適当な位置に装備して荷重を測る方法で、このようにすれば特性を自由に選べる上、前述の方法での荷重較正やセルの保守の繁雑さからものがれることができる。

荷重測定用のロードセルは圧延機以外にも多くの用途があり、種々の形式と容量のものが制作されていて、特に珍しいものではない。しかし圧延機用のセルが、測定精度をそれ程要求しない場合でも非常にむずかしいのは、その特殊な使用条件からくる多くの問題があるためである。そのために圧延機用のロードセルは同程度の特性の一般のセルに比較して非常に高価なものとなり、その普及を妨げていることは前にのべたとおりである。

それではこのような問題にはどんなものがあるだろうか。これらはかなり広範にわたっているが、大別すると荷重を受ける部分の構造上のものと、荷重を検出する方法についてのものがあり、それらはさらに表1に示すようないくつかの問題に分けて考えることができるので、順を追って説明してゆきたい。

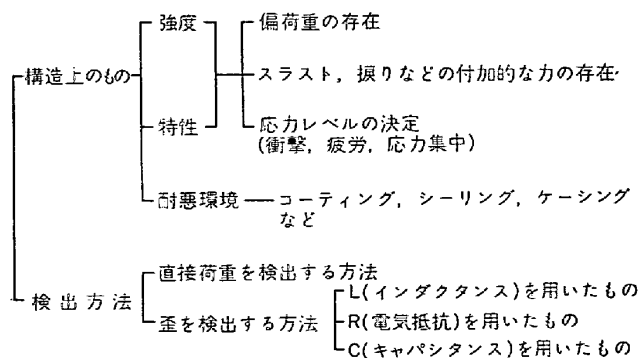
2.1 構造上の問題

構造上の問題はさらにその強度（耐久性）、特性などの荷重測定器としての本質的なものと、圧延機での悪環境からの保護という二次的なものに分けて考えてよい、これらはいずれもきわめて困難な問題を含んでいて良好なセルの出現をはばんでいるが、以下実例をひいてこれらの点をのべたい。

2.1.1 セルの寸法制限と偏荷重の存在およびその対策

通常、圧延機はその剛性を高めて製品の精度を向上させると同時に、設備コストを下げるためなるべくコンパクトにして無駄な部分を減らしている。そのためロード

表1 圧延機用ロードセルの問題点



セルの設置を特に考慮して設計した圧延機以外は、セルを設置するスペースがほとんどないか、あつても非常に狭いのが普通である。このように圧延機用のロードセルはまず薄型であることが要求される。この点は特に既設のミルヘロードセルを設置する場合にきびしいが、この高さ制限が圧延機用ロードセルの最大の問題点といえよう。

薄型のロードセルがむずかしいのは、受圧面での荷重の不均一（偏荷重）が非常に大きくなり、特性の面でも、耐久性の面でもきわめて不利になるからである。

このような偏荷重の形や大きさは、セルの形式や使用方法によつてかなり変わるが、まず最も多く使われている軸対称（円筒型）のセルの例についてのべよう。

(1) 円筒型のロードセル

この型のものは圧下スクリーの下やナットとスタンドの間などに使われるものに多いが、最も単純なのは中実円筒に軸方向に荷重を加える図3のようなものである。

この場合の接触面の荷重分布は理想的には図3(a)

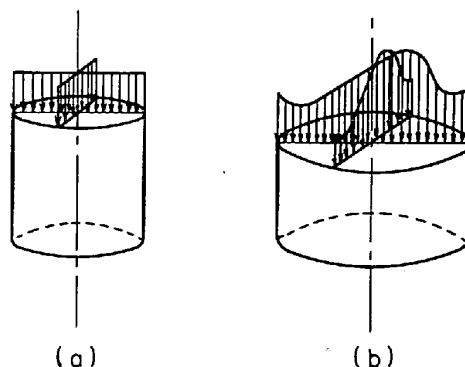


図3 円筒型ロードセルの荷重分布

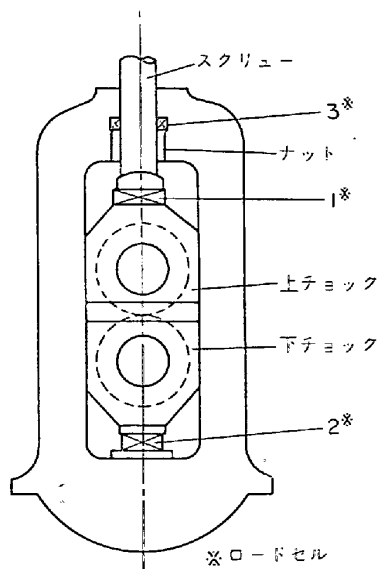


図4 代表的なロードセル設置箇所

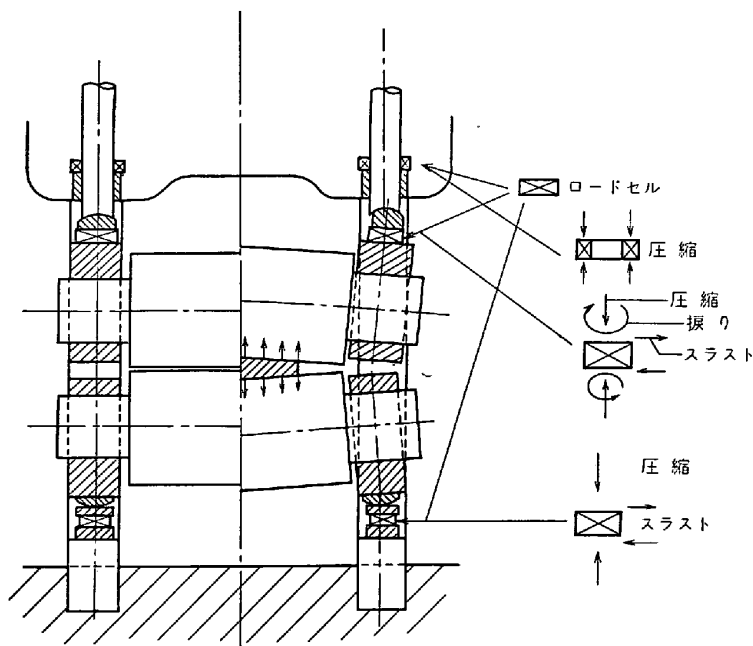


図5 圧延機の変形とロードセルに加わる力
 のような一様なものになるが、実際にはこのような状態とは程遠く、上下に接触している部分の剛性や、接触面の摩擦力、隅部の仕上形状による応力集中などがあつて、例えば図3(b)に示すような分布型をとる。単純な圧縮のみでもこのように不均一になるが、圧延機の場合には、その設置方法によりさらに複雑な力加わり、分布はさらに不規則なものとなる。

ロードセルの最も普通の設置位置は図4に示す3箇所、それぞれ一長一短があるが、円筒型のセルが最も多く使われるスクリューとチョックの間では、圧延荷重によるロールの傾きとスクリュー回転力とが同時に加わる。図5はその変形の状態を示したものであるが、この影響を小さくするため球座を入れてはいるが、その接触状態や、摩擦を一定に保つことは不可能で、かなりの大きさのスラストや振りトルクがセルに加わる。

このようにセル接触面の荷重分布を均一にすることはもちろん、分布形を一定に保つことも不可能なので、何らかの手段でこの影響を除く必要がある。

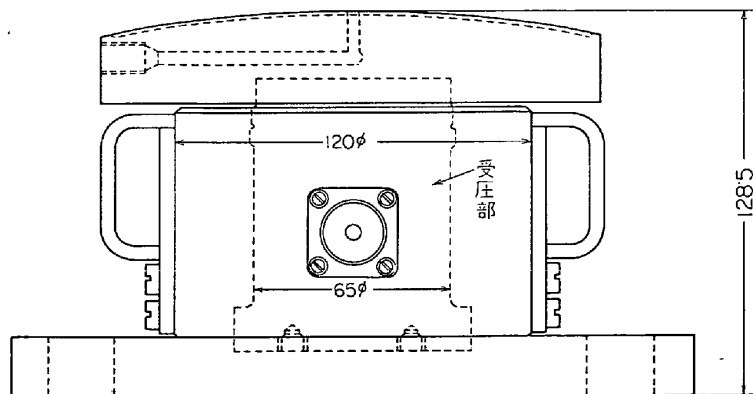


図6 試験圧延機用ロードセル (定格 100 t, 過負荷 120%)

このような偏荷重の対策には二通りある。一つは磁歪型の検出器のように検出素子自体が受圧素子になっているものを使う方法で、各素子の出力を加算することにより偏荷重に関係なく全荷重が求まる。

他の方法は、受圧部の構造を適当にして荷重を検出する位置での荷重分布を一様化する方法である。

円筒型のセルの場合、前者の例もあるが、一般に後者のゆき方が多い。

円筒型の場合には、その高さ h と直径 d の比 h/d で十分大きくすれば、高さの中央で荷重(歪)が均一化されることはよく知られている。この場合 h/d は2以上あればよいとされている。

いま 1000 トンの容量のセルを考えると、設計応力を 20kg/mm^2 にとれば直径は約 250mm となり、 $h/d=2$ にとれば受圧部の高さは 500 mm となる。耐久性と特性を落して、応力を上げ、 k/d を小さくしてもかなり背の高いセルになることがよくわかる。このため、この型式のセルは、構造も簡単でよい特性を出しやすいにもかかわらず、設置スペースの十分にある、圧延機としてはむしろ例外的なものにしか使用できない、図6はこのようなセルの例で、研究用圧延機に装備された、線歪計式のものである。

このような欠点をさける方法の一つとして、中空円筒(リング)にして h/d を大きくする方法がある。この場合でも図7に示すような偏荷重が接触面に生ずるので、中実円筒と同様の注意が必要であるが、この場合は h/d に相当するものはリング壁厚と高さの比 h/t であり、これはリング径を十分大きくすれば t をかなり小さくできるので、薄型で特性のよいセルを作ることができる。しかし、外径の制限がある場合はこの型式でも困難なことが多い。

図8はこのような外径制限のある場合の実験例で、 h/t は1程度しかとっていない。この試験はリングの円筒方向と高さ方向の歪分布を調べたものであるが、位置

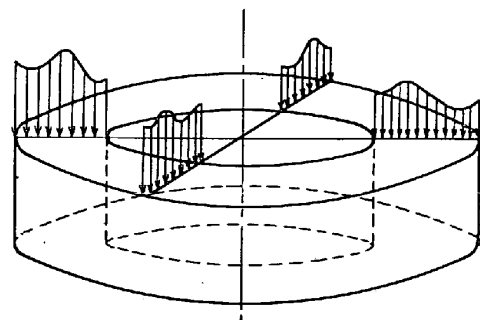


図7 リング圧縮時の荷重分布の例

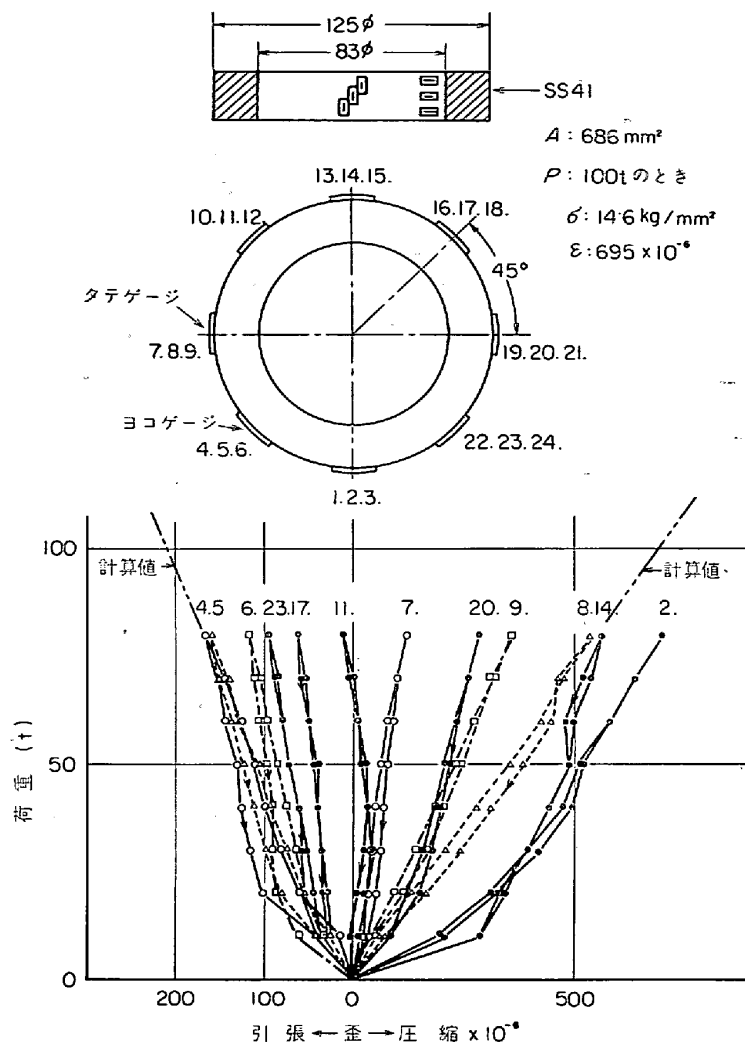
リングの歪分布 ($h/t=1$ の場合)

図 8 リング円周方向の歪分布

によつて大きな差があり、接触面にかなり不規則な荷重分布があることがわかる。しかしこのようなばらつき

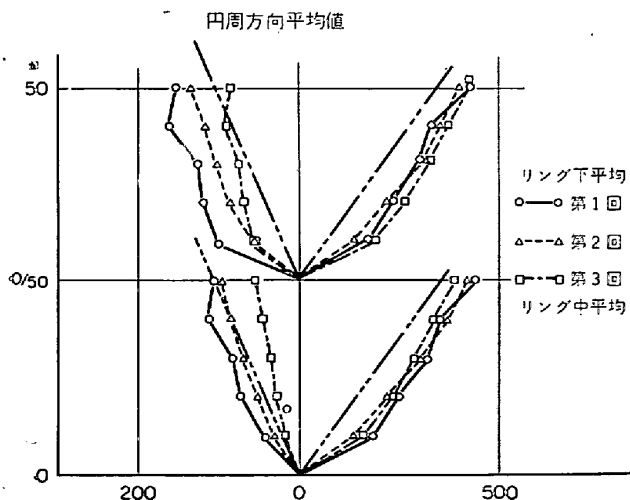


図 9 円周方向歪分布の平均化

も、円周方向で平均すると図 9 のようになりそろい、この方向の偏荷重が比較的均等化しやすいことがわかる。普通の仕上精度の場合、4 点の平均で十分である。ただ、立上りの特性がよくなつていないが、これは半径方向の偏荷重の影響である。

図 10 は半径方向の偏荷重の効果を調べたもので、故意に極端な偏荷重を与えているが、 h/t が小さいために非常に大きな影響が出ていて、単にリング内外の歪を平均しただけでは不十分ことがよくわかる。

以上のように円筒型セルの場合には接触面に常に偏荷重が存在し、それらは円周方向のものと半径方向のものに分けて考えられるが、工作精度などとも関連して、円周方向の偏荷重は割合に平均化しやすいのに対し、半径方向のものは平均化しにくいばかりでなく、一定状態に保つのも難しい。したがつてこのようなセルではまず半径方向の偏荷重の対策に留意せねばならない。

この対策としてはさききのべたように h/t を大きくす

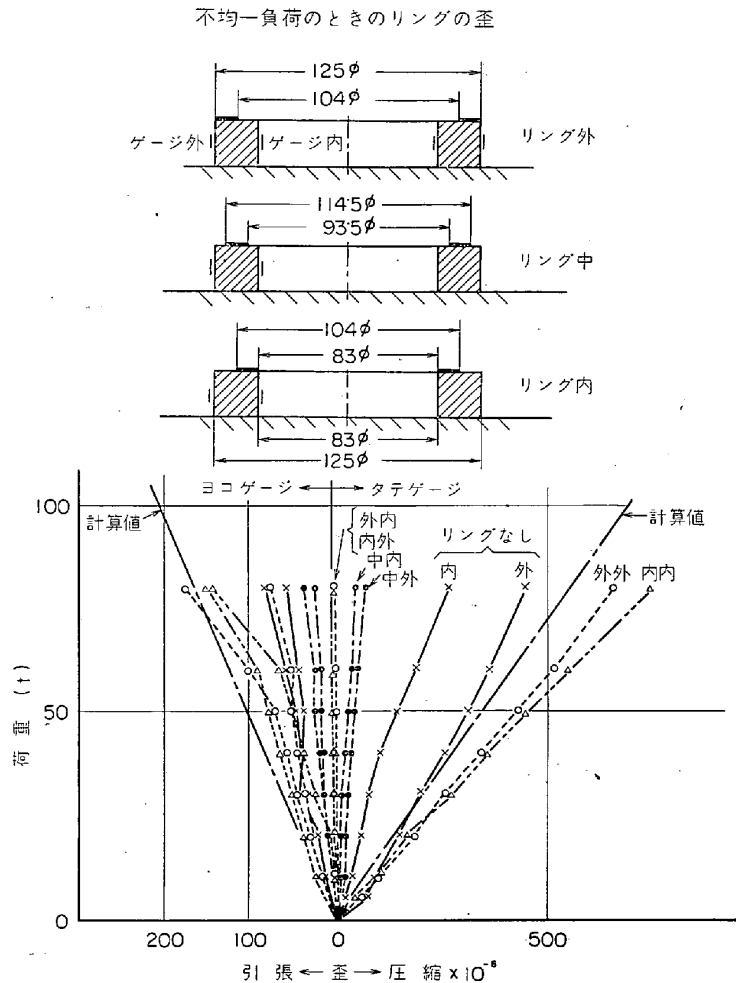


図10 リング半径方向の偏荷重の影響

るのが最も早いですが、これが困難ならば少なくとも接触状態を一定にして、荷重分布の変化に再現性をもたせればよい。図 11 はこのようなセルの例で、寸法制限がきびしいため h/t は 1.3 しかなく、特性も図 12 のようにはあまりよくはないが、再現性はよく十分に使用に耐える。ただしこの場合上下に当てる板は、かなり厚肉でないと効果が薄いので、リングに直接負荷をかけるワッシャ型のセルよりはかなり背の高いものとなる。

(2) 角型のセル

このセルは下ロールチョックの下側に入れるものが多いが、この位置はスクリー回転力がないので、単にロール撓みによるチョックの傾きとスラストのみを考えればよく、円筒座で荷重を受けるのが普通である。したがって偏荷重の表われ方は円筒型の場合とかなり違ったものとなる。図 13 はその状態を示したもので、偏荷重はパスライン方向とロール軸方向に分けられ、軸方向のものの方がずっと大きいと考えてよい。このほか大きなスラストがかかることはもちろんである。

偏荷重対策は円筒型セルの場合と基本的には同様である。すなわち、磁歪型のように検出した後で個々の素子

の出力を合計して全荷重を求めるかセルの高さと幅の比 h/t を大きくするかである。ただ角型では円筒面は線接触に近いので、球面座のときより偏荷重は大きいと思われるのと、高さの制限がきわめてきびしい場合が多いので、単一の受圧体を使う例はあまりない。

磁歪型と同様の考え方で、受圧体を複数個に分割し、おのおのの h/t をよくしておいてその合計をとる方法もとられている。この場合は各セル自体の高さが低くないと意味がないので、ワッシャ型のものを使うことが多い。

以上円筒型と角型のセルについて、偏荷重の存在とその対策についてのべたが、薄型ロードセルのむずかしさについて理解いただけたと思う。図 14 は市販薄型セルの寸法と容量のおよその関係を比較したもので外径を大きくできるワッシャ型や磁歪型のセルがどの程度まで薄くできるかがわかる。

2.1.2 圧縮以外の付加的な力の存在

このような力としては、前述のチョックの傾きによるスラストや荷重中心の変化とか、スクリーへの振りトルクなどがあるが、このほか重要なものとして、セル接触

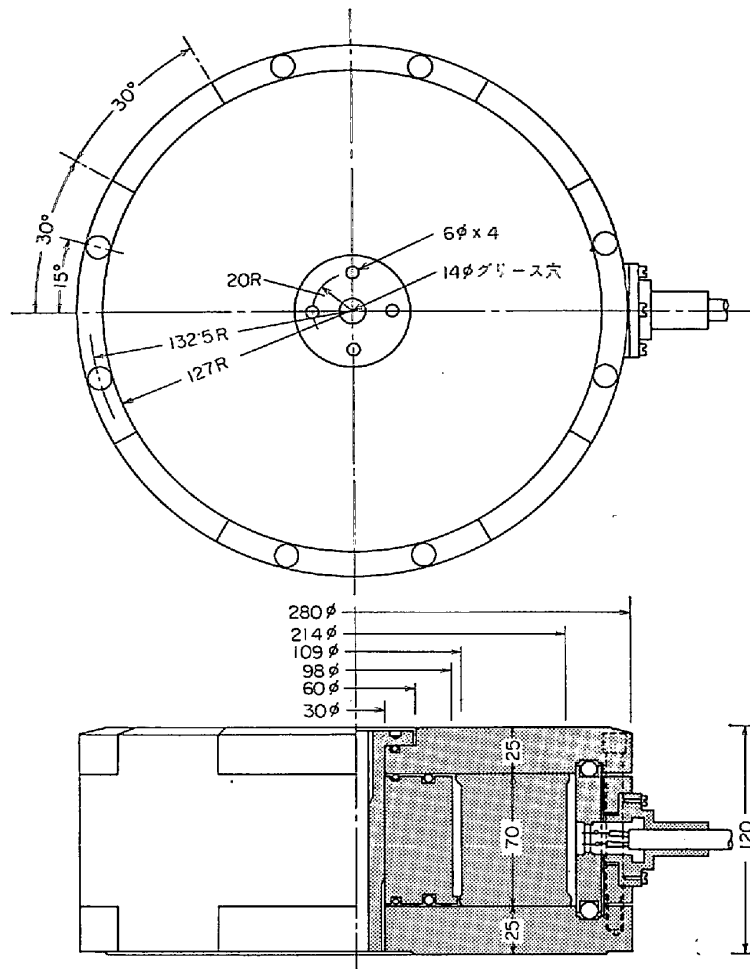


図11 1000 t セル

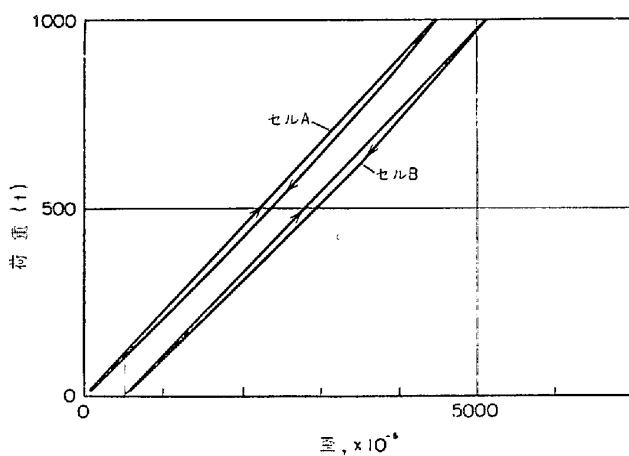


図12 1000 t セルの特性

面の摩擦力がある。これが大きく、変形に対する拘束が強くなると、圧縮方向と直角に大きな圧縮力が作用し、歪の量は小さくなる。また、図 15 のような変形をするので、歪ゲージのように表面歪を測るものでは大きな誤差を招き、直線性、特に立上り特性、を非常に悪くする。この影響は h/t が小さいもの程大きいので、前述と同様の方法でさけることができる。

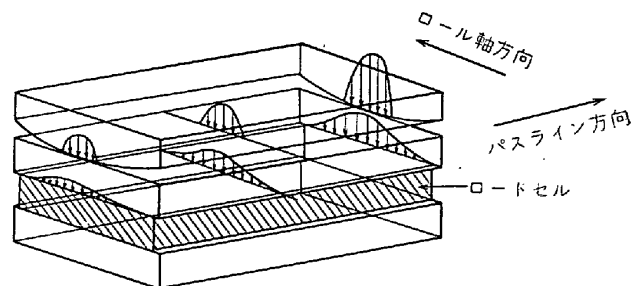


図13 角型セルの荷重分布の例

2.1.3 応力レベルの決定 (設計応力)

圧延荷重には一般の荷重とかなり違った点がある。すなわちセル設置スペースが限られているため、セルの寸法に対してきわめて大きい荷重をうけること、たとえば大型圧延機では数千トンの荷重がかかることは普通である。またこの荷重が衝撃を伴った変動する荷重であり、繰返し数も非常に大きいので当然疲労が問題になる点や時には圧延トラブルのために定格の数倍にも達する極端な過負荷が生ずる点などがある。

このように負荷の状態がかなりきびしい上、前にのべた偏荷重その他の不均一な荷重があるため、局部的な過

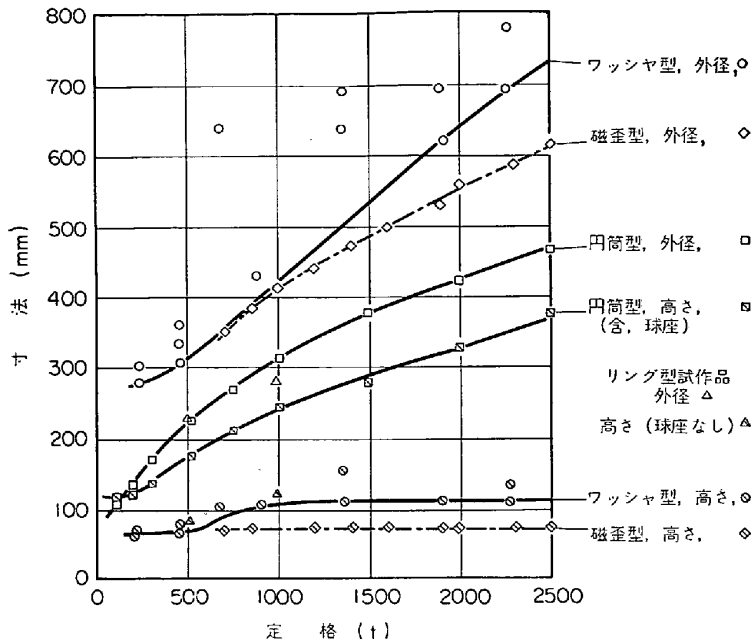


図14 ロードセルの寸法と容量

負荷でセルが破損しないようにするためには、設計応力はできるだけ低く押えたほうがよい。

しかし一方、検出方法の面からいえば、応力(歪)を低く押えることは出力の低下を招くことが多いので、なるべく高くしたい。

結局、極端な過負荷のある場合は別として、材料の疲労強度を上限とし、なるべく低くとればよいといえる。

材料の疲労強度については種々データも公表されているがかなりばらついているようである。筆者の経験した例では、歪ゲージ型セルの場合、市販 Ni-Cr 鋼 (JIS SNC-2) を熱処理して降伏応力を 80~90kg/mm² にしたもので、50kg/mm²、10⁷ の繰返しで試験しても材料には異常はなく、先に歪ゲージが破損してしまい、その面からの制約のほうが大きかった。

リング型の荷重検出部のように、圧縮だけを考えればよいものでは、応力(歪)はもつと高くとってもよいが、上下に厚肉の座金を入れる方式では図 16 に示すような応力分布になり、引張応力が生ずる部分があるので注意し、応力レベルを下げねばならない。切欠があるときはさらにきびしい。図(a)(b)はこのようにして疲労破

壊したもので、このように単に受圧部のみならず、セル全体、さらには圧延機本体までを含めた検討の上で応力レベルをきめねばならない。

およその大きさとしては磁歪型以外の場合では、圧縮部の平均応力に換算して疲労強度の $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ にできればよい。JIS SNC-2 系のもので 15~20kg/mm² になる。もちろん条件がよくてこれより低くできればさらによい。特性を多少落し、構造に十分注意して設計しても 40kg/mm² が限度であろう。

磁歪型のものは磁性材料を使用せざるを得ないため強度を十分とれず、10kg/mm² 程度に押えるのが普通であり、この点がこの方式の大きな欠点ともいえよう。

過負荷としては定格の 100% を一般に採用しているがこれは圧延機や作業条件で変わるもので、その面からも応力レベルはきめるべきであろう。これらについてはまだあいまいな点が多い。

2.2 悪環境からの保護

圧延機の種類にもよるが、一般にその周囲の環境はあまりよくなく、特に大型の生産用ミルの場合は測定器を置く場所としては最悪といつてよい。

有害なものとしては水、油脂類、蒸気、ミルスケール鉄粉、塵埃のほか時には塩分や硫酸分のような腐食性のものもある。また熱間圧延では材料からの熱、冷間の場合でもロールや軸受からの熱の影響がある。

そのほか作業上、重量物がぶつかつたり、引掛けたりして予想外の大きな力が加わることもある。これらのほか、電気関係のノイズも多い。

このような悪い環境にあつて、比較的弱い電気信号を抜かうので、セルの保護はきわめて重要である。特に、すでに指摘したように応力レベルも高く、寸法制限もきびしい上変形が伴うので、確実な保護機構の完成は極度にむずかしく、筆者も種々試みたがまだ完全なものはないといつてよい。

ここで筆者の試みた二、三の例をあげて参考としたいと思う。最初の方法は全体をシーリング剤で埋込んでしまう方法で、この場合負荷によりセルは変形を繰り返す

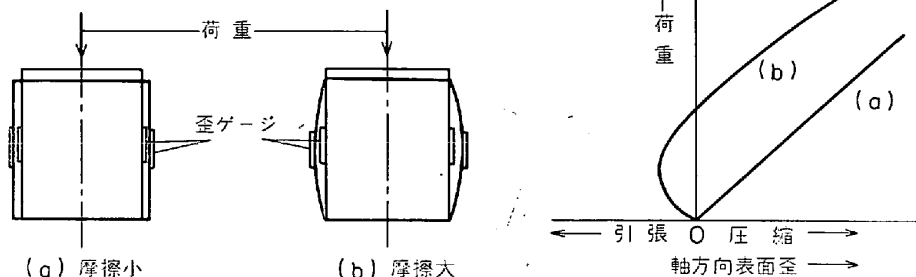
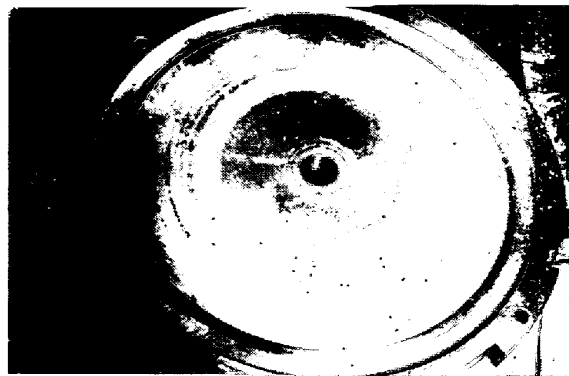
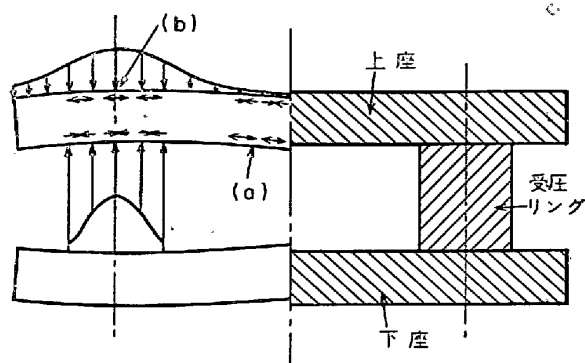
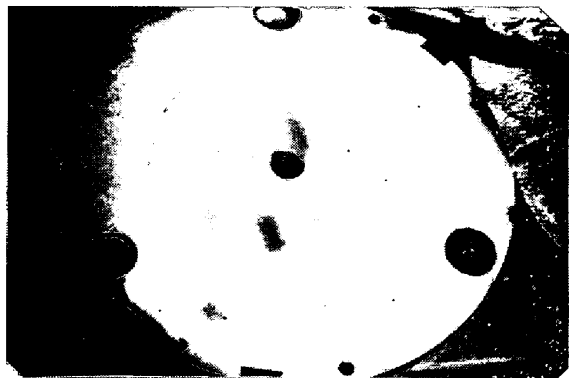


図15 接触面の摩擦の影響



(a) 内側



(b) 外側

図16 リングと座金の荷重分布と破壊例

ので、充填剤は電気的性質や水や油に対する耐久性がよいことはもちろんであるが、接着性がよくしかも柔軟性があることが必要である。このような点で、通常のエポキシ樹脂は使用中割れたりするのであまり厚く使えない。そこで、二液性のチオコールラバーを使ってみたが、筆者の試みた初期のものでは、水が存在するときの耐久性が悪く、絶縁低下やゲージ剝離などを起こしたり、接着が悪くなつて容易に有害物の侵入を許し不良となつた。その後かなりよいものもできているようであるが、使ったことはないので何ともいえない。

最近試みた例としてはシリコンゴム系のシーリング剤があるが、あまり長期の使用例はないがチオコールラバーに比べてはるかによく、水や油に十分耐える。しかし接着性は多少弱いように思われる。

ゲージコーティング剤としてよく使われるワックスは、接着性や強度が不足なためか、普通いわれているほどはよくないようである。

このようにコーティングの方法は種々考えられその適切な選択によりかなり有効な保護ができるものと思われるが、残念ながらその方面の知識も経験も乏しく、よい方法が見出せないでいる。

コーティングのみで目的を達するのはむずかしいので、さらに外側を厳重なケーシングで密閉し、二重のシールを施すことが有効である。ケーシングの場合は荷重

による変形はさらに大きくなることが多いので、寸法制限とも相まってその構造に工夫がいる。たとえば、上下座のあるリング型セルの場合は、座金外周での撓みはかなり大きくなるので、ケーシング（外壁）はフレキシブルにしておかないと疲労破壊する。

図 11 は O リングを使用した例で、適当な O リングを選び、溝の寸法や仕上などを正しくすれば非常に有効な方法である。

セルからのリード線の引出方法についても同じような注意が必要で、たとえばケーブル内を通つての侵入などの以外な盲点があることを忘れてはならない。

引出されたケーブルや、コネクタの保護も重要である。作業中とかくこれらの部分は無茶な扱いかいを受けやすいので、そのような扱いかいを受けにくいよう、またうけても破損しないような対策が必要である。

以上のように悪環境からの保護は非常にむずかしいので、セルの設置方法によつてこれを軽減するゆき方もある。

セルの圧延機への設置場所は図 4 に示した三カ所が代表的なものであるが、このうち下ロールチョック下側がロール交換に無関係などと作業性はよいが環境としては最悪である。一方スクリュウとチョック間に入れるものは、ロール交換のたびにケーブル着脱の繁雑さがあり作業性は劣るが環境としてははるかによい。

ナットとスタンド間に入れる方式は作業性、環境ともよいが既設ミルへ設置するのが困難な上、保守面でも不利で、きわめて信頼性の高いセルが要求される。しかし、三者のうちでは最もよいことは確かである。

このような理由もあつて、下ロールチョック下側へ入れる方式は、スクリーチョック間、可能ならばナットスタンド間へ入れる方式へ変わる傾向があり、本来角型セルに適した磁歪型のものにも、スクリー下に入るよう円型にしたものが作られるようになった。

要するに現段階ではまだ悪環境からの保護法は確立されていないのでこのような試みがされているといえる。しかしこの分野での進歩も著しいので、近い将来さらにより方法が開発されるかもしれない。

2.2 検出方法での問題

単に荷重を指示させるのみならば、機械式や油圧式でもよいが、制御に結びつけるためには電気信号として荷重をとり出した方がよく、現用のセルはすべてそのようになっている。

このような荷重検出器（トランスデューサ）にも何種類あり、それぞれ得失があるが、現用されているセルでの検出方法は大きく分けて、荷重による受圧材料の電磁気的性質の変化を直接利用するものと、別に設けた受圧構造に生ずる歪を電磁気的に検出するものがある。

2.2.1 直接荷重を検出する方法

荷重により電磁気的性質を変化させる材料は種々あるが、圧延機用ロードセルとしては、あまりにも使用条件がきびしすぎるためごく限られたものしか用いられていない。この例の代表的なものは図17に示すような磁性材料に直交するコイルを巻き、荷重による磁気的性質の変化に伴う磁束の乱れによつて二次側に誘起される電圧を測る方法である。これはその構造も簡単で出力も大きくノイズに強いばかりでなく安定性もよい。

最も大きな利点は、検出素子自体が受圧するので、個々の素子の荷重—出力特性の直線性さえよければ、単に

多くの素子の出力を接続するだけで簡単に積分値が得られ、偏荷重の影響を全く受けない点である。そのため、高さを増さずにいくらかでも負荷容量を増大でき、薄型セルには最も適した形といつてよく、かなり広く用いられている。

一方、強度部材として磁性材料を使っているため、素子の許容応力は特殊鋼などを使う場合よりかなり低くなる上、一種のトランスであるため積層鉄心にせざるをえず、積層方向のスラスト荷重に対し非常に弱い欠点がある。勿論これらは適当な対策によりさけることができ、たとえば並列の個数を多くして応力の低下をはかるとか、上下に厚肉の板を置いて偏荷重を減少させて応力ピークを低下させるとか、頑丈なケースに入れてスラストが素子にかからぬようにするとよい。しかしこのためにセル全体としてはかなり背の高い、大きなものとなる。

現在はまだ圧延機に生ずる複雑な力についての認識がたりず、これらの対策が十分でないために破損した例も多い。

この強度が低い点のほか、非常に高価なことも欠点の一つに数えてよく、これがこのセルがきわめてよい特性をもつにもかかわらずあまり普及しない最大の原因と考えられる。

その他、荷重により抵抗変化を生ずる材料や圧電材料を使うことも考えられるが、現状では高荷重で安定して使用できる材料は開発されていない。しかし半導体関係の発展は目ざましいので、画期的な材料ができる可能性も大きく、今後が期待される。

2.2.2 歪を検出する方法

前述の方法での強度不足の問題は、受圧部分に特殊鋼などの強度の高いものを用い、荷重はその部分の歪としてとり出せば解決できるので、よい歪の検出方法があればこのほうが有利ともいえる。

歪の検出方法は種々あり、歪—電気のトランスデューサは各種のものが市販されているが、ロードセル用とし

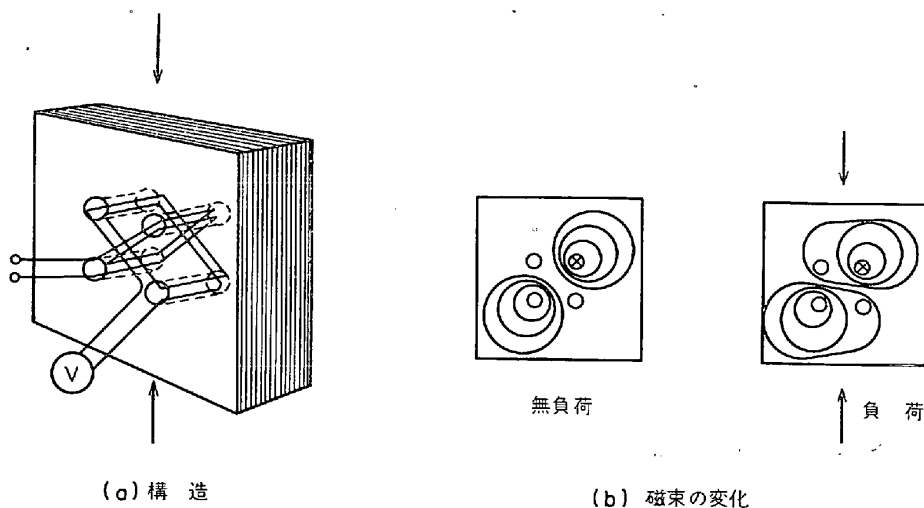


図17 磁歪型ロードセル

て見ると不適当なものもある。この検出方法は

- (1) L (インダクタンス) を用いたもの
- (2) R (抵抗) を用いたもの
- (3) C (キャパシタンス) を用いたもの

に分けられる。現場測定を考えた場合、電気的にはLR Cの順に困難になるとされているが、圧延機用ロードセルの場合は構造的なものも入ってくるので、必ずしもそうとはいえない。

(1) Lを用いたもの

Lを用いた代表的なものは差動トランスで、低インピーダンスで出力も大きく、安定度も大きくて確かに現場用としてはよい。しかしセルの場合は偏荷重が伴っているため、なるべく多くの点の歪を測って平均する必要がある。この点Lを用いたものはとかく検出器が大きくなりがちで、多数を組込むのが難しく、特に薄型の偏荷重の大きいセルの場合不利である。図18はこのような点で失敗したセルの例であり、この場合セル上下面の荷重状態で検出部の変位は大幅に変化し、極端な時にはマイナスの指示さえでる。外側に検出器をおいて平均すればある程度改善できるが、セルの寸法によってはそれもむずかしいのでこの方法で安定した特性のものを作るのはかなりくふうがいる。

もう一つの欠点は可動鉄心がある点で、圧延機のように衝撃、振動のある所での使用はトラブルが多い。

他の方法として、磁気増幅器の鉄心にかかる応力による感度変化を利用したものがあり、可動部もなく、特性もよいが、多点測定がやりにくい点は前と同様である。

このようにLを用いたものは電気的にはすぐれていても、セルに応用した時の構造的な問題が大きく、あまりよい方法とはいえない。

(2) Rを用いたもの

この例として代表的なものは抵抗線歪計であるが、最近この技術は非常に進歩し、良質の歪ゲージや接着剤が安価で容易に入手できるようになったため、各種の微小歪測定に広く使われ、これを用いたロードセルも多い。

普通は銅ニッケル合金でゲージ率が2程度のものが用いられ、感度は劣るが他の特性はよい。最大の利点としては、多点の歪の測定が容易なことで、それらを単に

直、並列に接続することによって、合計したり平均したりするのが容易な点である。この点は特にロードセルのように偏荷重のさけがたい場合には有利である。

また、歪ゲージと接着剤によいものを用い、注意して接着すれば、高精度の歪測定が容易なので、ロードセルの自作には最適である。

欠点としては過負荷に弱い点と、ゲージや接着剤の耐久性にまだ不安がある点があげられるが、これはセルの構造によつて転減できる。

自作に適するとはいえ、よい特性を出すためには使用上種々の注意が必要なので、筆者の経験した点についてのべる。

ゲージにはワイヤ型と箔(フォイル)型がありまたゲージベースには紙、ベークライト、ポリエステル、エポキシなどがある。ロードセルでは直交二軸型のゲージがよいが、ゲージを重ね合わせたワイヤ型のものはよくない。またワイヤ型はリード線接続部に弱点がある。フォイル型はこれらの点がないが、エッチングで作るため、切欠があるものがあり、疲労に弱いことがある。しかし全体として箔ゲージのほうがよいので、十分選別してこれを使っている。ゲージベースは長期の使用を考慮すればエポキシが最良で、紙ゲージは使つてはならない。

接着はゲージベースも併せて考慮すべきである。

結局、エポキシベースの箔ゲージをエポキシで接着するのが最もよい結果を示した。

ゲージ接着法も重要で、接着層が厚いとクリープのためヒステリシスが大きくなり、薄くするために強く圧着しすぎるとゲージを損傷する。

ゲージの使用限度(許容歪)は予想以上に高い。普通歪ゲージの繰返し負荷での許容歪は 750×10^{-6} 歪程度とされている。しかし筆者の試験した結果では、図19に示すように $2500 \sim 3000 \times 10^{-6}$ という大きな値を示している。実際にこの結果をもとにして作ったロードセルでもこれを裏付けている。写真1はゲージの破壊状態で、切欠部の疲労破壊が認められる。ただし破壊したのは引張側のみであるから、圧縮を主としたロードセルの場合は、さらに高い値が期待される。

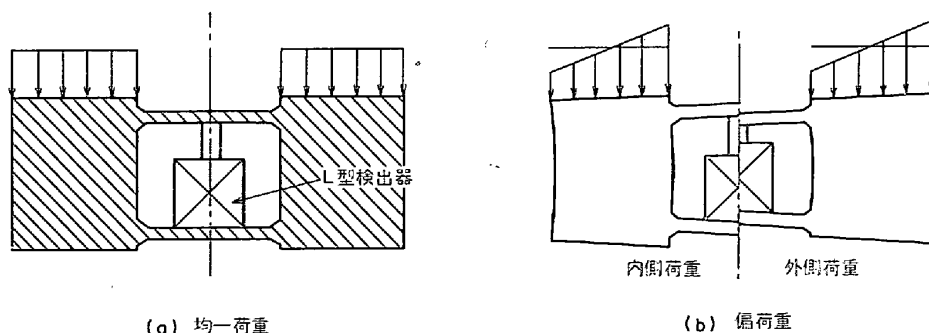


図18 L型検出器を用いたリング型セルの失敗例

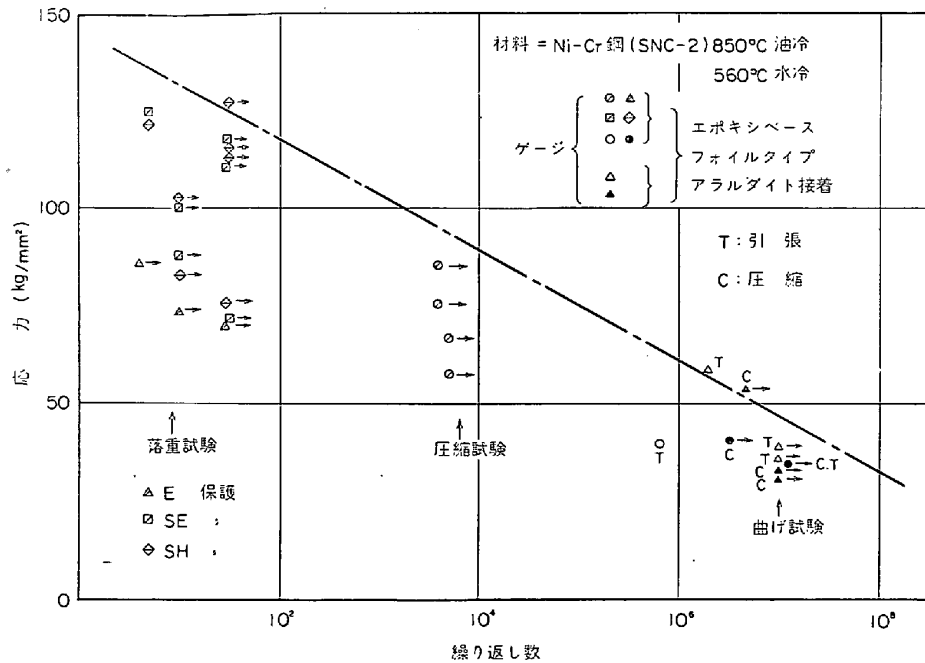


図19 歪 ゲージ の 疲 勞 強 度



a: ゲージ部 b: 端子部
写真 1 箔歪ゲージの疲労破断状況
120Ω, G. L. = 2 mm

実際のセルでは偏荷重により部分的に大きな歪を生ずるので、平均歪はなるべく低く押えたほうが安全で、平均歪として 1000×10^{-6} 程度のものが多いが、構造さえ

適当ならば2倍程度は増加できる。

リング型セルの場合、その直径にもよるが、最低、円周4等分位置の内外8箇所の歪測定が必要である。この位置に2軸のゲージをはり、たとえば図20のような結線によりブリッジを作り、平均化と安定化をはかる。ゲージ自体の温度特性がよい上、補償回路が形成されるので安定度はきわめてよくなる。

ゲージはかなりデリケートなので前にのべたような保護コーティングが必要である。

この方法の回路インピーダンスはかなり低いが出力が小さいため、回路の絶縁は特によくしなければならない。そのためケーブルやコネクタは非常によいものが必要で、現場用としてはかなりむずかしさがあり、この点でのトラブルも多いので十分注意して制作する必要がある。

直流電源と直流増幅器のみで簡単に測れるのも利点といてよいであろう。

(3) Cを用いたもの

この方法は回路インピーダンスが非常に高いため現場測定用としては最もむずかしく、圧延機用ロードセルとして実用化された例はほとんどないのでここではふれない。

3. ま と め

以上圧延機用ロードセルの構造上と検出方法での問題点について解説したが、要約すると

(1) 寸法 (特に高さ) 制限がきびしいため薄型ロードセルとなる

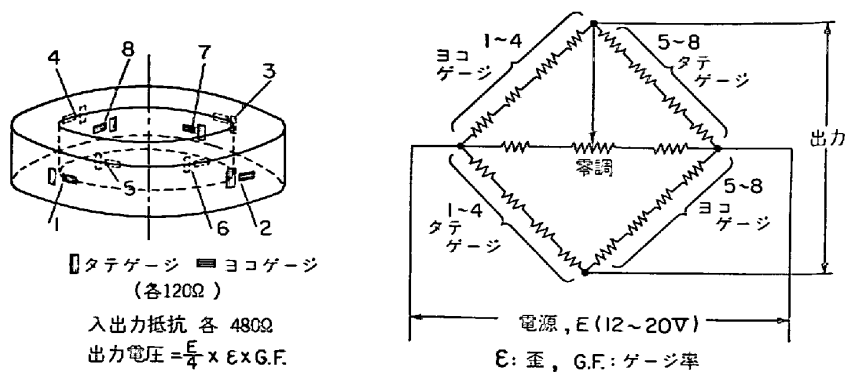


図20 リング型セル, 歪ゲージ結線例

(2) そのため均一な荷重をかけることは不可能で, 必ず偏荷重が生ずるから, その対策が必要である.

(3) 偏荷重がある上, 衝撃のある繰り返し負荷であり, 時に極端な過負荷があるので, 強度に十分余裕をもたせねばならない.

(4) きわめて悪い環境で用するため, よい保護対策が必要である.

(5) 荷重検出方法は特性がよく, 安定で, 外部からの機械的, 電氣的障害に強いものでなければならない.

(6) 圧延機にくらべて価格が適正であること.

などがおもなものである.

これらはいずれも難問であり, 種々の方法が試みられ

ていて, 磁歪型や抵抗線歪計型でかなりよいものもできるようにはなつたが, まだ完全なものはない.

そこで, セル自体のみでなく, 設置方法まで含めて問題の解決がはかられているが, さらにすすめて, 耐久性は劣るが特性のよい安価なセルを作つて, ロールなどのように消耗品的な使い方をすることも考えられるが, 実例はない.

昨今, 圧延自動化の推進とともに圧延荷重の測定はますます重視されるようになり, その研究も活発になつたように思うが, 計測技術や, 関連した各種材料の進歩はめざましいので, 近い将来さらにすぐれた圧延機用ロードセルが出現することを期待しつつ筆をおきたい.