

リングの強度について

土木建築課課長 森
同 課 技 官 前

宜 制
郁 夫

§ 1. 概 要

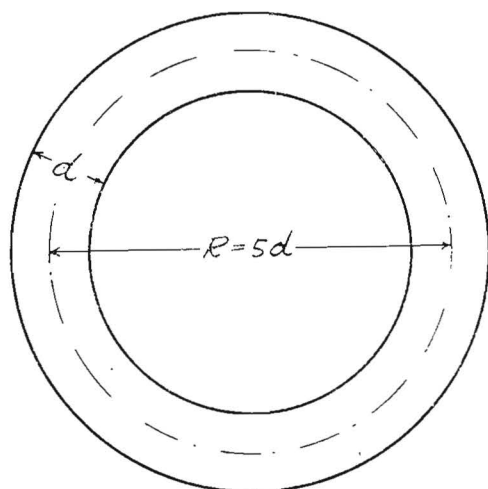
さきに港湾荷役用吊揚具の強度と題して、索類、フックの強度に関して発表した⁽¹⁾。その後リングの荷重試験を行う機会を行う機会を得たのでその結果について発表する。また、リングの強度について極限設計法による計算から得た理論値と、今回行った試験から得た実験値かはほぼ一致したのでこれに関して報告し、理論値、実験値に基づいてリングの安全荷重を設定した。

§ 2. 荷重試験に供したリング素材およびリング

簡 数 素材4本、リング6個
材 質 S S 41, 径25mm, 棒鋼
形 状 リング軸径Rはリングの太さdとしたとき
大体の比をもったものである。
製 作 法 リングは棒鋼を加熱して環状に曲げ、電弧溶接を行った。
熱 処 理 試験試料の半数のリング3個、素材2本について熱処理を施し、未処理のものと比較することにした。
熱処理の方法は、完全焼鈍を採用し、焼鈍温度は約870°Cで電気炉において行った。
X線検査 リングの溶接部は工業用X線装置により検査したが、異状は認められなかった。

§ 3. 試験方法

荷重負荷は素材、リングともアムスラー型万能試験機



オ 1 図

により行い、リングの場合は補助具として径 28mm の棒鋼をU字型に曲げたものをリングの上下に通し、これを介して負荷する方法をとった。

変形状態および荷重方向の伸びは、試験リングに正対させたカメラによって写真に記録し、これから各荷重状態の変形、伸びを測定した。

§ 4. 測定結果

4-1 素材引張試験データ

リングの試験に先立って素材の試験を行ったが、素材の強度に関する諸数値は表-1に示す通りであった。

表-1 素 材 引 張 試 験

試験番号	平均径 mm	断面積 mm ²	降伏荷重 ton	降伏応力 kg/mm ²	破断荷重 ton	引張強度 kg/mm ²	伸 び %	備 考
No. 1	25.0	490	14.55	29.7	21.20	43.3	31.0	焼 鈍 セ ブ
No. 2	25.0	490	14.80	30.2	21.30	43.5	34.5	ク
No. 3	24.9	486	13.10	27.0	19.90	41.0	31.5	焼 鈍
No. 4	24.8	482	13.40	27.8	20.00	41.6	31.5	ク

4-2 リング引張試験データ

リングの荷重試験の結果、得られた降伏荷重、破断荷

重、溶接部位、破断部位等に関するデータは、表-2に示す通りである。

表-2 リング引張試験

リング番号	リング太さ mm	リング軸径 mm	降伏荷重 t	破断荷重 t	溶接部位	破断部位	備考
No. 1	24.3	125	5.3	28.6	側部	溶接部	焼鈍せず
No. 2	24.2	123	5.3	37.9	頭部	溶接部	〃
No. 3	24.1	123	5.4	37.6	斜側部	〃	〃
No. 4	24.3	123	4.7	34.9	頭部	〃	焼鈍
No. 5	24.3	123	4.5	34.6	斜側部	〃	〃
No. 6	24.2	123	4.4	35.2	側部	〃	〃

4-3 リング荷重—伸びの関係

荷重と荷重方向の伸びの関係は、図-2に示す曲線となる。

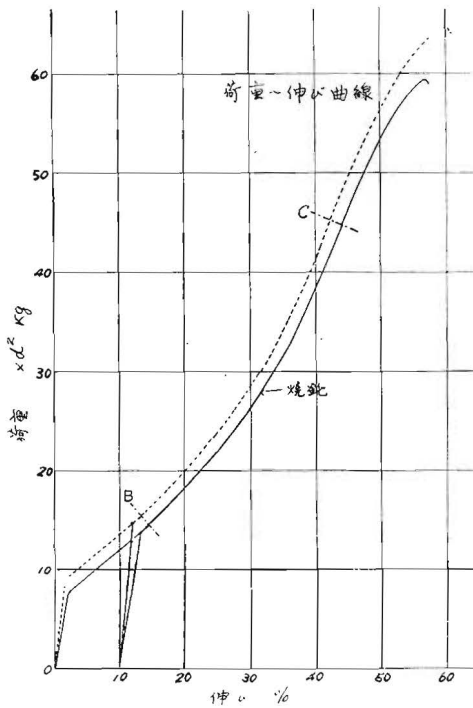


図 2

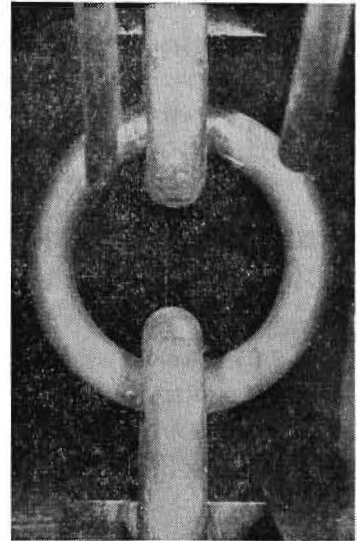


図 3

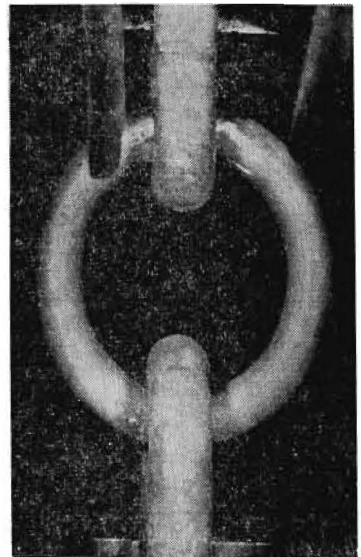


図 4

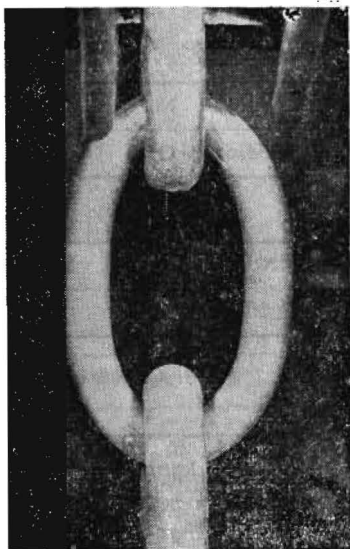
4-4 変形状況

変形の状況をリング番号No. 2について写真で示すことにする。

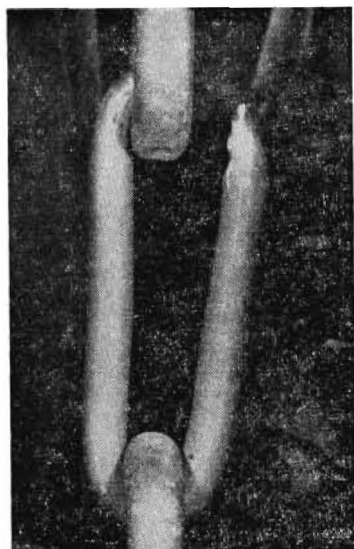
図-3 は、荷重 0 t のとき、図-4 は荷重 8 t のとき、図-5 は荷重 15 t のとき、図-6 は荷重 30 t のとき。

図-7 は、破断の状況をそれぞれ示している。

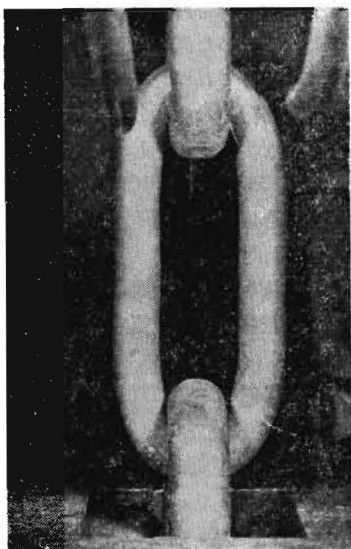
図-8 は、リング番号 No. 1 の溶接部で破断した状況を示している。



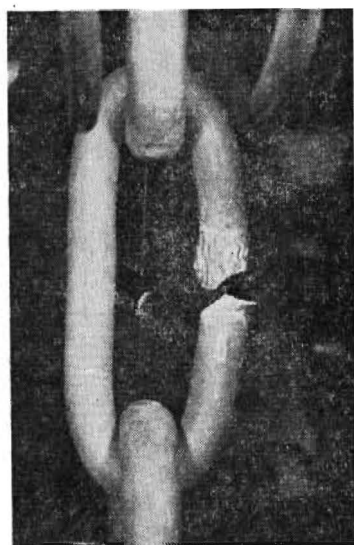
オ 5 図



オ 7 図



オ 6 図



オ 8 図

§ 5. 結果の考察

5-1 降伏荷重

いま、リングの材料の径を d mm とし、降伏荷重 Pe kg を

$$Pe = K_1 d^2$$

なる形で表すとすれば、係数 K_1 の値は試験結果から次表のようになる。

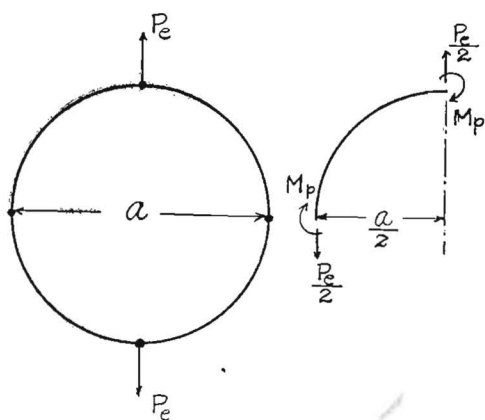
焼鈍しないリング

リング番号	No. 1	No. 2	No. 3	平 均
K_1	8.97	9.06	9.30	9.11

焼鈍したリング

リング番号	No. 4	No. 5	No. 6	平 均
K_1	7.97	7.62	7.51	7.70

次に limit design によって、このときの応力を求めてみる。

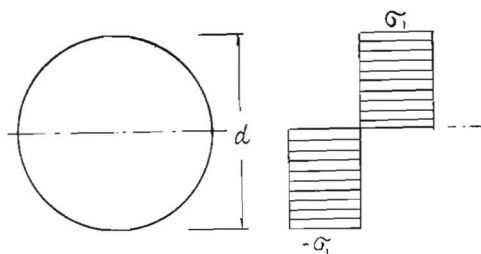


オ 9 図

図9に示す如く、リングが Pe なる荷重で降伏すれば図の4点における曲げモーメントは降伏モーメント M_p に等しくなり、plastic hinge を形成する。リングの $1/4$ の部分を取り出してその釣合いを考えれば、

$$\frac{Pe}{2} \times \frac{a}{2} = 2 M_p \quad \text{即ち} \quad Pe = \frac{8 M_p}{a}$$

となる。一方径 d なる丸鋼の降伏モーメントは、その応力分布が図-10に示すような矩形分布をするとし、応力



オ 10 図

を σ_1 とすれば、

$$M_p = \frac{\sigma_1}{6} d^3$$

で表すことができる。これを前式に代入すれば、

$$Pe = \frac{4 \sigma_1 d^3}{3 a}$$

となる。したがって前述の係数 K_1 は

$$K_1 = \frac{4 \sigma_1 d}{3 a}$$

なる意味をもっている。

$$\text{故に} \quad \sigma_1 = K_1 \times \frac{3 a}{4 d}$$

となる。上式に前表の K_1 を代入して σ_1 を求めれば次

表のようになる。

焼鈍しないリング

リング番号	No. 1	No. 2	No. 3	平 均
σ_1 kg/mm ²	34.6	34.5	35.6	34.9

焼鈍したリング

リング番号	No. 4	No. 5	No. 6	平 均
σ_1 kg/mm ²	30.3	29.0	28.6	29.3

これらの σ_1 を、素材引張試験から求めた次表の値と比較すれば、

	降 伏 応 力 kg/mm ²	引 張 強 度 kg/mm ²
焼鈍しない素材	30.0	43.4
焼鈍した素材	27.4	41.3

降伏応力や引張強度のいずれとも等しくなく、その中間の値となっている。このように σ_1 が降伏応力や引張強度のような特別な意味を持った値でないことは、limit design によって求めた値が厳密には降伏荷重でないことを意味している。これは恐らく、降伏モーメントを算出するときの応力分布を矩形分布と仮定したところに無理があるのではなからうか。しかし次に示すように、降伏応力と比べて $34.9/30=1.16$, $29.3/27.4=1.07$ で、7~16%程度大きいだけであるから、近似的には

$$\sigma_1 = \text{降伏応力}$$

と置いて求めた Pe を降伏荷重としても差支えないであらう。しかし、正確には10%程度の補正をする必要があらう。すなわち、

$$\sigma_1 = 1.1 \times (\text{降伏応力})$$

と置いて求めた Pe

$$Pe = \frac{4.4 \sigma_e d^3}{3 a} \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 σ_e = 降伏応力

が正確な降伏荷重を示すものであらう。

もし、SS41 材を用い、リングの内径が $4d$ である焼鈍したリングに対しては、

$$\sigma_e = 27 \text{ kg/mm}^2$$

$$a = 5d$$

となるので

$$Pe = 8d \dots\dots\dots(2)$$

となる。

5-2 降伏荷重

理想的なリングを引張れば、その形状は最終的には2本棒のようになり、図-7に示すように肩部で破断する。

したがって、その破断荷重は素材の破断荷重のほぼ2倍に等しい。まリングの材料の径を d mm とし、破断荷重 P_u kg を

$$P_u = K_2 d^2$$

なる形で表すと、係数 K_2 は試験結果より次表のようになる。

焼鈍しないリング

リング番号	No. 2	No. 3	平 均
K_2	64.7	64.7	64.7

焼鈍したリング

リング番号	No. 4	No. 5	No. 6	平 均
K_2	59.2	58.7	60.1	59.3

いま破断時におけるリング側部の応力を σ_2 とすれば

$$P_u = 2 \times \frac{\pi}{4} \times d^2 \times \sigma_2$$

となる。よって前述の K_2 は

$$K_2 = \frac{\pi}{2} \sigma_2$$

なる意味をもっている。上式より

$$\sigma_2 = \frac{2 K_2}{\pi}$$

を得る。

上式の K_2 に前表の値を代入すると、次表のようになる。

焼鈍しないリング

リング番号	No. 2	No. 3	平 均
σ_2 kg/mm ²	41.2	41.2	41.2

焼鈍したリング

リング番号	No. 4	No. 5	No. 6	平 均
σ_2 kg/mm ²	37.7	37.4	38.3	37.8

これらの σ_2 を素材の引張強度と比較すると、次のように、

$$\frac{41.2}{43.4} = 0.95, \quad \frac{37.8}{41.3} = 0.91$$

すなわち、91~95%となる。この値は材料およびフックの径、および材質によって異なると思われるが、その正確な理論値は、塑性応力解析が成功しない限り、求めることは困難である。

以上のように理想的リングの破断荷重は近似的には素材の破断荷重の2倍としてよいが、正確にはその93%とすべきである。すなわち

$$P_u = 0.93 \times \frac{\pi}{2} d^2 \sigma_u \dots\dots\dots(3)$$

もし SS41 を用いた焼鈍したリングに対しては

$$\sigma_u = 41 \text{ kg/mm}^2$$

なる故に

$$P_u = 60 d^2 \dots\dots\dots(4)$$

となる。しかし、現実のリングは溶接不良、溶接の熱影響および加工歪等によって、強度が低下する場合がある。例えば今回の試験では No. 1 のリングは理想的リングの破断荷重の75%で溶接部が破断した。

このように弱点のあるリングの強度の、理想的リングのそれに対する比を弱点係数と定義すると、当研究所で以前行った各種鎖の破断試験の経験によると、弱点係数は60~80%であった。しかし、この値はメーカ品の鎖に対するもので、リングが自家製造である場合も考慮して、リングに対する弱点係数としては $1/3$ を推奨する。

よっていかなる場合でも、これ以上の強度が期待できると考えられる荷重の限度を保証荷重と定義すると、リングの保証荷重 P_{pr} は

$$P_{pr} = 0.31 \times \frac{\pi}{2} d^2 \sigma_u \dots\dots\dots(5)$$

SS41 材を用いた焼鈍リングに対しては、

$$P_{pr} = 20 d^2 \dots\dots\dots(6)$$

としてよい。

5-3 変 形

リングを引張ったときの荷重と伸びの関係は図-2に示した通りであるが、これを変形のメカニクの観点からみると、4つの区間に分類することができる。

- すなわち、a. 原点~降伏荷重点 図-3参照 0 t
- b. 降伏点~B点 図-4 8 t
- c. B点~C点 図-5 15 t
- d. C点~最高荷重点 図-6 破断

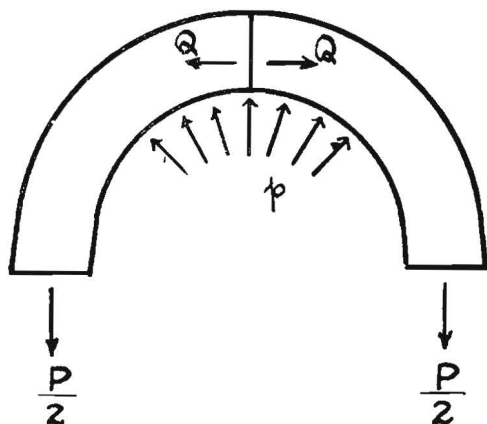
a 区間はいうまでもなく、弾性変形域で、b 以下の区間は塑性変形域である。

b 区間では変形は曲げモーメントによるものが支配的で、軸力によるものは無視してよく、また荷重の接触部は、ほぼ点接触なので、集中荷重と見做すことができる。したがって荷重と、そのときの形状が分れば、前述の limit design 式

$$P = \frac{4 \sigma_1 d^3}{3 a}$$

から σ_1 を求めることができ、その値は σ_0 と σ_u の間の値となる筈である。この意味から b 区間は一言でいえば集中荷重区間である。今回の試験では、B 点は、荷重 = 14~15d²、伸び = 13~14% に相当している。これに対して、C 区間は分布荷重区間ともいふべきもので、荷重

の接触部が面接触となり、しかもその荷重が水平分力を持つ故にリングの頭部の断面に Q なる張力が生ずるようになる(図-11参照)。このために前述の limit design 式を適用することができない。



オ 11 図

なお、この区間においても変形は軸力によるものは余り大きくなく、形状が、側部がほとんど平行になるまで曲げによる変形が続く。

今回の試験では、C点は大体重重 $=43\sim 47d^2$ 、伸び $=40\sim 45\%$ である。d区間は2本棒の単純引張区間である。変形には曲げによるものはほとんどなく、軸力による塑性伸びがそのまま表れている。またリングは降伏荷重以上の荷重で引張られると残留伸びを生ずる。その値は図-2において、荷重-伸び曲線上の与えられた荷重点から、弾性直線に平行に引かれた直線が横軸と交る点の値で示めされる。例えば、リングが降伏荷重 $8d^2$ の荷重を受けたときは、残留伸びは未だ0であるが、 $14d^2$ の荷重のときは約10%、保証荷重 $20d^2$ のときは約17%となる。

5-4 溶接部位

今回の試験においては、溶接部の位置を荷重位置に対して3通りに変えてみた。すなわち、頭部とは、荷重位置に溶接部を位置せしめた場合をいい、側部とは両荷重の中間に溶接部を位置せしめたものをいい、斜側部は頭部の中間の場合をいっている。

試験結果ではNo.1リング即ち溶接部が側部にあり、焼鈍していないリングの場合のみ溶接部が破断し、その荷重は理想リングの約75%であった。このことは、溶接部の位置を側部にくるようにすることが強度上よくないという意味を多少は示しているかも知れないが、むしろそう解釈するよりは、このことが溶着部の強度不足を意味し、したがって、このような不良溶接のリングでは溶

接部がどの位置にあても溶接部から破断が生じ、強度低下がみられるであろうと解釈する方が妥当であろう。

■ 試料数が少ないので断定はできないが、おそらく溶接部の位置は、リングの強度にほとんど影響しないといって差支えないと思う。

5-5 焼鈍の効果

今回の6個の試料のうち、弱点による強度低下がみられたのはNo.1のリングだけである。しかも、それは不良溶接が原因と考えられるので、焼鈍によって、材質的欠陥が除かれ強度が増大したという事例はみられなかった。

これは試料の材質、加工および溶接が良好であったためであるが、現実にはこのような場合ばかりでなく、加工変形による残留応力、溶接による残留熱応力等の弱点によって強度が低下することが多いから、溶接後、焼鈍することは絶対に必要である。焼鈍をすれば、材質は軟かくなり、素材強度は多少低くなり、そのためにリングの降伏荷重も多少低下するが、破断荷重はばらつきが少くなり、その平均値においてむしろ高くなる。適当な例ではないが、今回の場合でも

焼鈍しないもの 平均破断荷重 $=34.7\text{ t}$

焼鈍したもの $\quad \quad \quad =34.9\text{ t}$

となり、平均的な意味において破断荷重は上昇している。

このように焼鈍は、破断荷重のばらつきを小さくし、破断荷重を平均的に高めるという効果をもっているものである。

§ 6. む す び

6-1 安全荷重

以上の結論として、SS41材を用い、リングの内径が素材径の4倍である焼鈍したリングに対しては、安全荷重として次式を推奨する。

$$P_{al} = 4d^2 \text{ (kg)}$$

但し d = 素材の径 (mm)

これは降伏荷重に対しては2の安全率、保証荷重に対しては5の安全率、したがって、破断荷重に対しては5以上の安全率をもっている。

6-2 廃棄限度

10%の残留伸びを生じたときを廃棄の時期とする。前節で述べたように10%の残留伸びを生ずるとことは約 $14d^2$ (kg)に相当する荷重を衝撃その他の原因によって受けた経歴のあることを意味している。これは安全荷重の3.5倍に相当している。

残留変形量でリングの寿命を推定するというのは、古くから行われている方法で、この考えは、繰り返しの衝

撃によって変形したものは、その材質がかなり脆弱化しているという経験に基づいているものである。これを実験的に確めることは少々難しいので、これに代るものとして静荷重試験により、残留変形に対応する荷重を求め、その荷重が、降伏荷重や保証荷重に対してどの程度の割合になるかということから、残留変形量の許容限度を決定することにした。その結果、全然残留変形を許さ

ないという立場と、保証荷重に対応する残留変形まで許すという立場の中間をとり、上述のように決定したわけである。

したがって、この提案がプラクティカルな面で妥当であるかどうかは今後の研究に俟ちたいと思う。

(1) 労働省産業安全研究所々報 1958. No. 1

まぶしさ光源の影響について

電気課技官 田 中 隆 二

§ 1. まえがき

最近、工場、事業場などにおいても、ようやく照明の意義が強く認識され、それぞれの作業に応じた適切な照度を考慮するための努力がなされているが、照明の質的な面については、案外無関心な場合が少なくない。特に光源のまぶしさについては一般に認識が浅く、例えば、裸電球をそのまま使用しているようなことがよくある。

良質な照明の要件の一つとして、まぶしさのないことが挙げられている。作業中、眼の前に高い輝きの光源があると、まぶしさのため視対象物がよく見えないばかりか、一種の不快感を生ずる。これが長期間におよぶと、眼の疲労が著しく、作業能率の低下を招くほか、災害発生の原因となることもある。

まぶしさが災害発生に直接結びつくのは、まぶしさによる視対象物の見かけの明るさ感の低下ないし視力の低下である。これは図1に示すように、眼の中の散乱光が、網膜上の視対象物の映像にかぶさり、そのために網膜の明るさに対する順応が変化し、また対比が弱められておこるものだとされている^{1), 2)}。

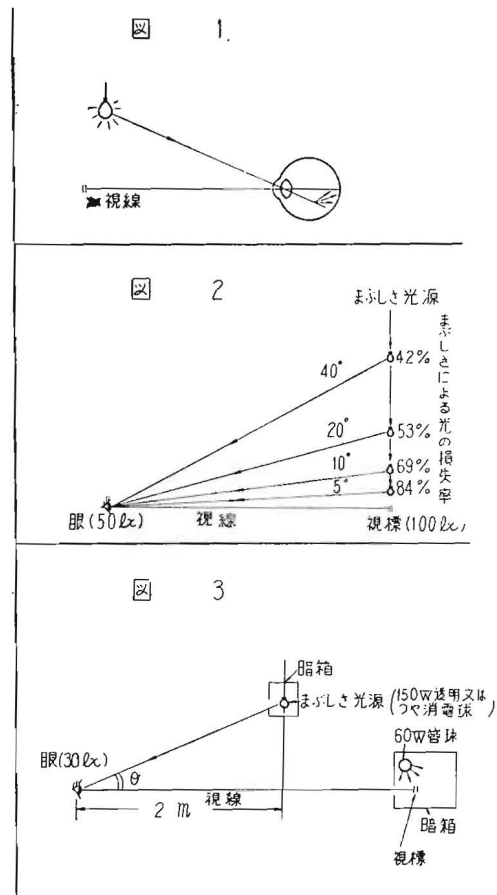
図2はまぶしさ光源による光の損失を示す Luckiesh³⁾の古典的な図解である。Luckieshの示した結果の実験条件については、詳細が不明であるが、要するにまぶしさ光源による視力の低下を直接測定し、これを視力と明るさと関係曲線から、まぶしさ光源による明るさの関係に変換したもので、厳密な意味でまぶしさ光源による明るさの損失とするには多少の疑問がある。

筆者は、まぶしさ光源として透明およびつや消の白熱電灯を使用し、まぶしさのために増加しなければならない視標面の照度および視力の低下を直接測定し、その影

響を調べてみた。

§ 2. 実験装置

図3に実験装置および方法の概要を示す。



Experiments by Photoelasticity on Several Types of Lifting Clamps

by T. Hakamazuka

This paper presents the results of model experiments by photoelasticity made on several types of lifting clamps and these experiments have revealed the patterns of the isochromatic lines, the isoclinics lines, the lines of principal stress.

The stress distributions of these types of clamps in following five models of material handling are also disclosed.

1. one or several steel plates, horizontally
2. one or several steel plates, vertically
3. cylindrical material
4. channel or angle steel
5. ingot steel

On the Strength of Steel Ring

by Y. Mori

I. Mae

We have tested the strength of the steel ring and found that the experimental values conform with the theoretical values calculated by the limit design method, as regards the yielding load in the ring.

Then, about an annealed SS41 steel ring which has a inside dia. four time as much as the dia. of the round steel bar, the yielding load P_e in kg may be expressed as follows :

$$P_e = 8 d^2$$

where d is the dia. in mm of the round steel bar. Furthermore, the breaking load P_u in kg for the same ring may be expressed approximately as follows :

$$P_u = 60 d^2$$

Therefore, the safe load P_{al} for the same ring can be expressed as follows :

$$P_{al} = 4 d^2$$

The Influences on the Visual Acuity by Glare and the Necessary Intensity to See an Object in the Presence of Glare

by R. Tanaka

Glare must be considered as two adverse factors in safety i. e. disability and discomfort.