

安 全 資 料

折損した鑄鉄製T字管 についての応力試験

労働省産業安全研究所編



産業安全博物館協会

東京都港区芝田町2-13

某硫酸製造工場において、発煙硫酸の循環系統中の鑄鉄製T字管が折損したために、噴流した硫酸の飛沫をあびて、作業中であった2名の若き工具が犠牲となる事故が起った。本文はこの折損したT字管に対する応力試験と材質試験の結果である。

I 事故当時の監督署の調査内容の要約

1. 折損したT字管の近くで、他の管を取替作業中であった作業者が死亡しており、また事故発生当時、確かな目撃者もなかったので折損の原因が判明しない。
2. T字管内には循環ポンプの能力からみて、毎分 10.8m^3 の発煙硫酸が流れていたものと思われる。
3. 管内を流れていたのが10%の発煙硫酸であるから、発煙塔の高さ8mからみて、T字管には 1.4kg/cm^2 の圧力がかかっていたものと思われ、管の自重その他を加算すると、T字管にかかる応力はさらに増加する。
4. 取替作業中の管と、折損した管系とは連絡はないが、作業の際に写真2の㊸㊹および写真3に示す㊸下のH管に連なる管上に作業者が乗ったり、もたれかかったりしたものと思われ、また写真1に示す㊸に接続する管を取外しの際、その間が90mmであったから、それと相接するT字管上部に衝撃を与えたものと推定される。
5. T字管に接続する管は、別にサポートされていない。



写真 1

最も多くモーメントを受けたの

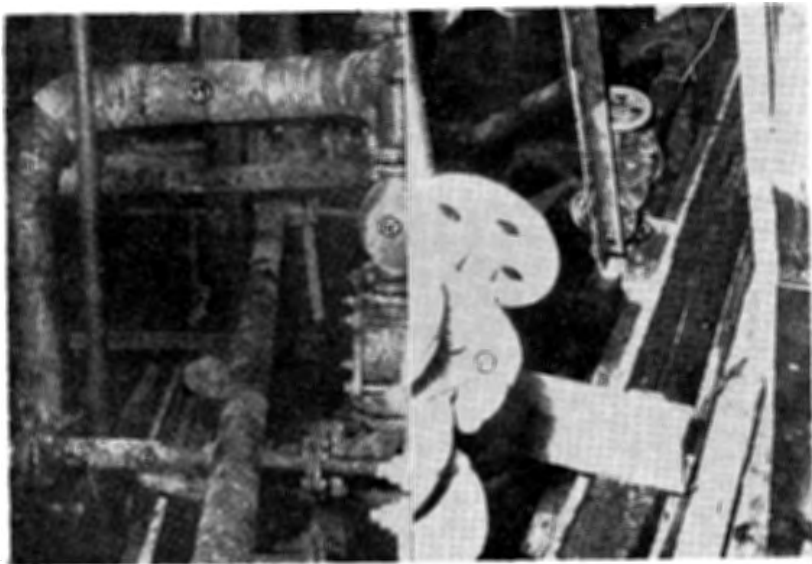


写真 2

写真 3

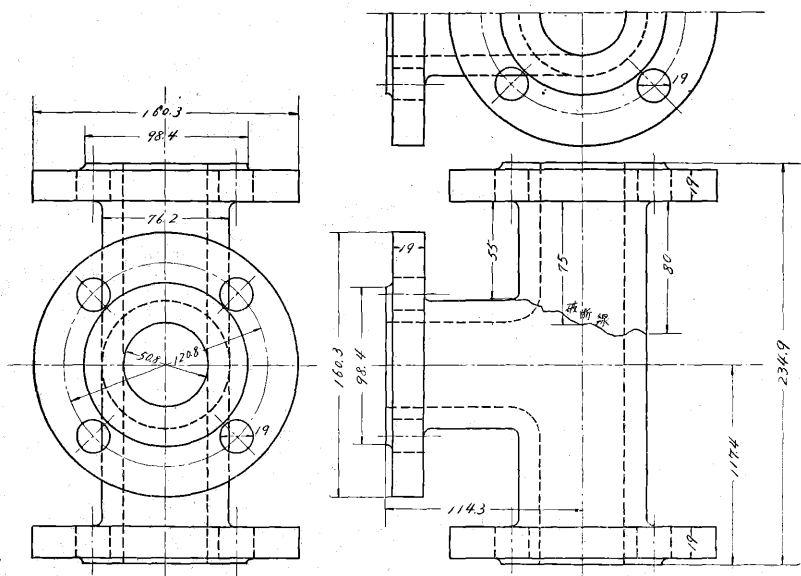


図 1

は写真3の◎下左右の管で、衝動もあり、静荷重より相当うわまわる荷重がかかったものと推定される。

6. 写真中管上に白墨で印をしているのは事故発生当時同室して避難した際、目撃したものの証言に基くもので、絶対に信頼できないが管の取替の際にはどうしても乗ったり、もたれたりしたくなる個所である。
7. 折損したT字管に接続した管は総て2吋管である。
8. 折損したT字管は昭和26年4月から使用しているものである。

以上の通りであり、この他に別紙のように会社側から提出した鑄鉄製T字管の確性試験成績書および強度計算書が添附されておる。なお折損したT字管は図1のような構造であり、写真1に折損現場の状況が示され、写真2～4は現場の配管状況、写真6が折損したT字管である。

II 抵抗線歪計による 応力試験

管の取替作業中、T字管に接続された配管に、乗っ



写真4



写真5 a.



b.

たり、もたれかかったりしたくなる個所が3個所あるが、そのうち、どの部分に荷重がかかった場合に、T字管の破断線に沿って応力が集中するかということを抵抗線歪計によって測定した。



写真 6

折損したT字管と同じ管

を写真5 a. b. に示すように試験塔に固定し、これにH管およびI管を現場における配管と同様に装置して、作業中に乗ったと思われる点に、それぞれ体重に近い静荷重をかけて試験した。

これに使用した試験器は新興通信工業製のPS 6-R型(10接点切換箱付)の抵抗線静歪計である。

配管上に作業者が乗ったと思われる場所すなわち荷重をかける位置は次の3個所とした。

1. H管 T字管の垂直軸心から 2,800mm の㉔の部位
2. H管 写真2に示す㉕の部分でT字管の垂直軸心から 600mm離れた部位
3. I管 写真2に示す㉖の部分でT字管の垂直軸心から 600mm 離れた部位

このうち 1. のH管の㉔に荷重をかけた場合が最も高い応力が起るであろうことは想像できるけれども、なお 1. と 2. , 1. と 3. などに同時に荷重をかける試験も実施してみた。

第1回試験

このときの負荷位置は 1. の場合の下向のもので、ゲージの貼付個所、すなわち測定位置は図2に示し、そのときの各点の応力の変化状態は図5

のグラフにみられるように、荷重を 10kg から 50kg まで順次増大していくと、応力は各点とも直線的に増加するが、破断線に貼った No. 6 が最も高く、約 4.12kg/mm^2 となる。この場合の応力はほとんど（－）の圧縮応力であるけれども No. 2 のみがわずかに（＋）の引張応力となる。

第2回試験

ゲージの貼付位置は図3に示す通りであるが、第1回の場合と異るのは、No. 2 を第1回の場合の No. 6 の正反対側に貼っただけであって負荷の位置やその方向も同じである。

図6がこのときの応力分布状態であって、初め No. 2 は No. 6 と同じ位の応力がでるものと想像したが、試験の結果は予想に反して、やはり No. 6 が特に高く、No. 2 は、はるかに低い。この理由は曲応力の他に捩り応力が影響しているからであろうと考えられる。

この場合の応力は総て（－）の圧縮力である。

第3回試験

測定位置は図4に示すように片側の破断線に沿った点であり、このときの応力は図7のように No. 1, No. 2 に特に高く表われた。このときの応力も（－）の圧縮力である。

第4回試験

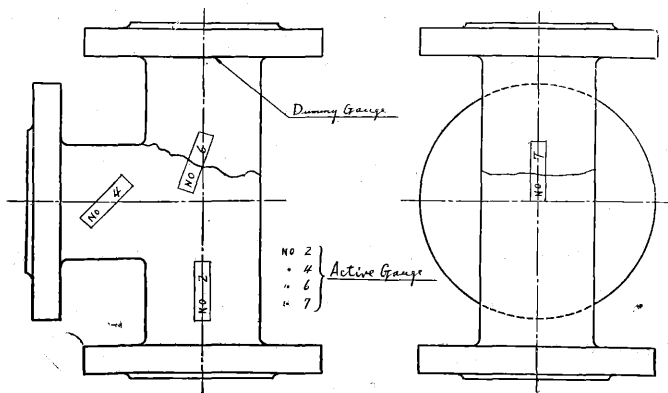
次に H 管の(C)の部位に 52g の負荷をかけ、I 管の①の位置に 65kg の荷重を同時にかけてみると、図2における測定位置で No. 6 にでる応力は 8.8kg/mm^2 （－）である。

また H 管の(C)部に 52kg、④部に 65kg の荷重を同時かけると No. 6 に 9.7kg/mm^2 （－）の応力が起る。

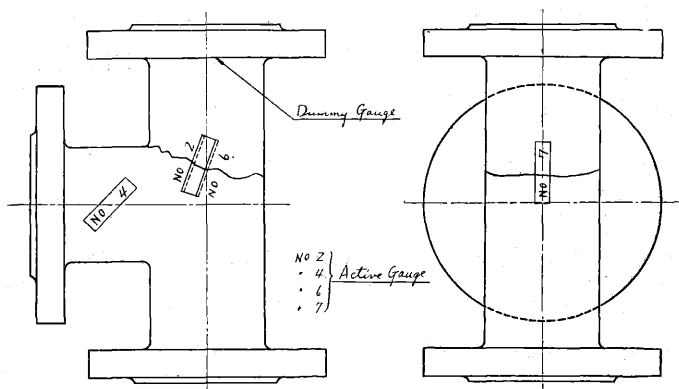
この試験は H 管と I 管とに同時に 2 人の作業者が乗った場合、および 1 本の H 管の 2 箇所と同時に 2 人の作業者が乗った場合を仮定した試験である。



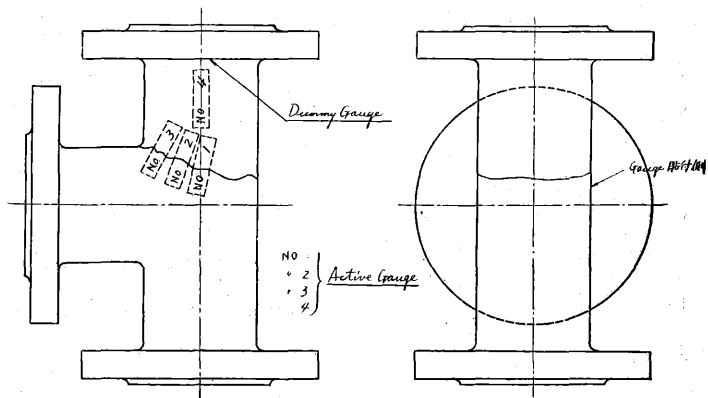
2



3

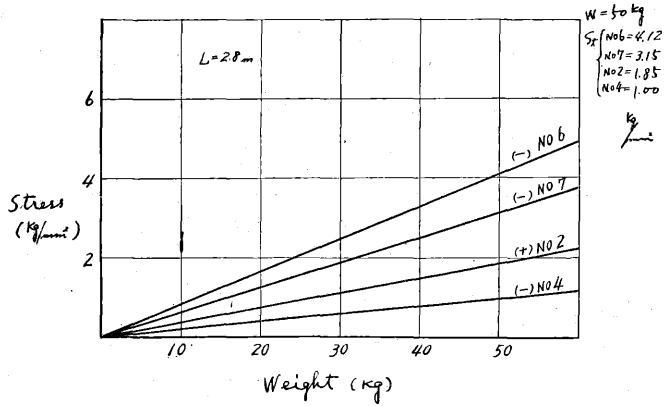


4

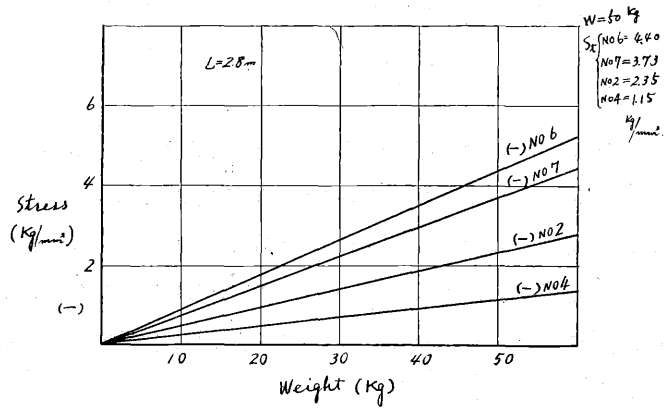




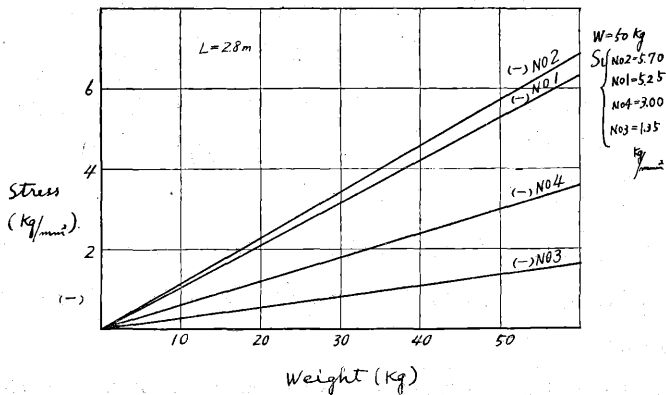
5



6



7



第5回試験

H 管の◎の負荷位置に上向きの荷重をかけてみると次表のような結果となる。このときの測定位置は図 2 による。

H管の◎部に上向の荷重をかけた場合の応力 (kg/mm²)

荷 重 (kg)	測 定 位 置			
	No. 2	No. 4	No. 6	No. 7
無負荷 (管の自重のみ)	- 1.13	- 0.57	- 2.08	- 0.90
12	- 0.78	- 0.40	- 1.30	- 0.23
22	- 0.40	- 0.20	- 0.59	+ 0.38
32	0	+ 0.05	+ 0.49	+ 1.23
42	+ 0.46	+ 0.20	+ 1.35	+ 1.77
52	+ 0.80	+ 0.47	+ 2.36	+ 2.60

各測定部には初め管の自重によって(－)の圧縮応力がかかっているが、荷重を漸次増加していくと、絶対値が次第に減少して、遂に(＋)側の引張応力に変る。この場合は No. 6 と No. 7 に高く現われた。

以上の試験結果から、破断線近くに高い応力が起るのは H 管の◎部に荷重をかけた場合であり、なお H 管の◎部と㊦部に同時に負荷したときが、最も高い応力となる。

しかし、このときの応力も 9.7 kg/mm² であるから、管の材質を Fc19 と仮定しても、まだ破断するまでには至らない。

また実際試験の結果は曲げ応力と、振り応力とが重合して作用するので、試験前に想像したより、はるかに複雑となり、下向きの負荷に対しては、各測定点ともほとんど圧縮応力として表われた。

鋳鉄に対する圧縮応力は、引張応力よりはるかに強い筈であるが、この破断部に引張応力が起るのは、第 5 回の試験における H 管の◎点に上向の荷重をかけた場合である。

なお I 管の㊦部にだけ負荷した場合の応力は極めて小さく、影響も少いも

のと思われるので、ここに記録することは省略した。

III 材 質 試 験

折損したT字管から試料をとって材料の引張強さ、衝撃強さについて検討した。

しかし、引張試験片は現品からは規格寸法のものがとれないので作れる範囲のもので試験した。

なお破断面は各部にわたって顕微鏡によってワレの状況を調査した。

1. 機 械 的 試 験

(i) 引 張 強 さ

20.1 kg/mm²

(ii) 衝 撃 強 さ

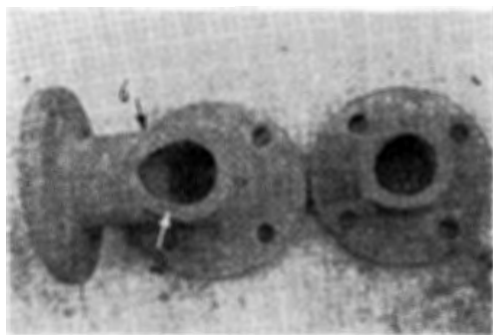
シャルピー衝撃試験値 0.538 kg. m/cm²

2. 腐 食 状 況

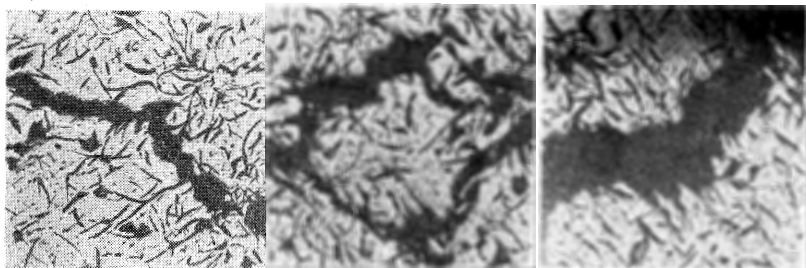
現品の管内面は全般にわたって 0.5~1.0mm 深さの点食が認められるけれども、これが直ちに管の強度に大きく影響する程のものではない。破断面の状況については、現品が当所に到着したときは、破断面は既に赤錆が発生していたので、破面の判断はできなかった。

3. そ の 他 の 欠 陥

写真7に示す破断面のゲージ No.2 側の矢印部に管の円周方向に約9mmの断層状の破面がある。(管内面から約5mm) この部分



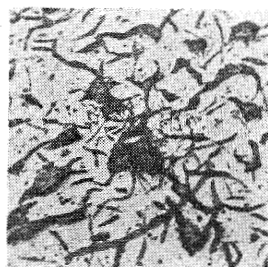
写 真 7



写 真 8

を縦に切断すると写真8にみられるようなヘヤークラックが発見される。

このワレは断層の部分で、ラミネーションの状態に拡がっており（軸方向 20mm, 円周方向 16mm）ワレの内部に硫酸の浸透した形跡はないが、ワレは伸びた途中で写真8（中）のように網状となったり、断続したりしているので、破断の影響によって派生的にできたワレとも考えられない。



写 真 9

製造当初の収縮の影響などで初めから潜在していたものとすれば、No2側は局部的に弱くなっていたといえる。

また No.6 側の破面およびその近くに図7にみられるようなワレが生じておる。

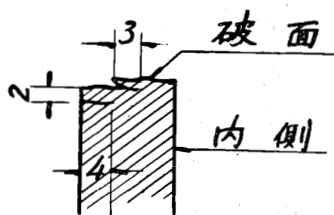


図 7

このワレは No.2 側のワレと違って、破断面に平行であるから、破断の影響によって生じたものといえる。

しかも、このワレの方向は破断開始方向を想定するに役立ち、また管に荷重をかけた位置やその方向など推定する参考資料ともなる。

IV 試験結果の考察

この実験においてはT字管は、その一端を固定し、これに接続したH管およびI管は必要な長さのところで切断して自由端とし、実際現場のように長く連結されているときの応力関係などは全部無視して試験したので、この点は実際現場の状況とは、かなりの相違があるものと思われる。

実際T字管のうける応力は相当複雑なものと考えられるけれども、当所で現場とまったく同じ応力のかかり工合を再現することは到底不可能であるので、以上の試験程度で止めることとした。

各試験の結果を総合考察すると、管の材質は別に欠陥は認められないFc19材であって、内部腐食も、管の強度に大きな影響をおよぼすほどのものではない。

抵抗線歪計による応力試験の結果によっても、H管およびI管を前のような自由端とした場合は、㊸㊹㊺などの点に1人または他の点と同時に2人が管上に単に乗った位では、T字管が破断する応力とはならない。

しかし、作業中なんらかの必要で、これらの管にテコをかけるようなことがあったとすれば、その外力は相当大きなものとなることが予想されるから、破断する危険は充分あり得ると考えられる。

また写真7におけるゲージNo.2側のヘヤークラックが初めから潜在していたものとすれば、管の強度は局部的ながら相当低下していたのであろう。

ゲージNo.6側の破断面のワレの状況から考察して、破断はゲージNo.6側から始まったもののようである。

従ってNo.6側に大きな引張応力がかかったはずであるが、No.6側に主として引張応力の起るのは、前記第5回試験の際のH管の㊸点に上向の力をかけた場合である。

このことから考察すると、作業中誰かが㊸点に上向の外力のかかるような操作をしたか、またはどの部分かに、これと同じ結果になるような瞬間的な

衝撃を加えたためにT字管が破断したものと想定される。

V 事故再発防止対策

- (1) 配管は大部分鋼管が使用されているようであるが、管の分岐部には鋳鉄製品が使用されている。

この鋳鉄分岐管に連結された配管には、乗ったり、つまずいたり、その他のいろいろな外力のかかることは予想せねばならない。

このような外力がかかった場合、鋳鉄製品のT字形分岐管や、弁などには意外に大きな応力が集中して破断する危険があるから、もし外力が加えられても、集中応力がかからないように、配管の各所で管を固定しておく必要がある。

もちろん、管内の内容物によって起る材料の伸縮のための応力の分散も充分考慮されなければならない。

- (2) 危険物の流れる管で、応力の集中するおそれのある部分に、鋳鉄製品の使用はなるべく避けた方がよい。

やむをえず使用するときは、念のために磁気探傷器などによって試験されることが望ましい。

- (3) 本例のように無数の管が管配されたなかで、しかも危険な薬品の通る管の近くで作業させるときは、作業着手前、その危険性について作業者に充分注意を与えらるべきである。

なお作業方法、作業用具についても、ある程度の制限をされる必要も起るであろう。

- (4) 硫酸のような危険物の流れる管は、色彩を施して、作業者の注意を喚起する必要がある。

- (5) 本例のような現場の修理作業には、その現場の総てに精通した責任者が必ず立会い、その指揮、監督によって事故の発生を防止されるように特に要望したい。

硫酸課 鑄鉄製 T 管確性試験

(二工作係依頼)

1. 機械試験結果

(1) 引張試験

テンソメーターによる小型引張試験結果は

$$T_1 = 19 \quad T_2 = 20 \text{ kg/mm}^2$$

(2) 衝撃試験

シャルピー衝撃試験値

$$B_1 = 0.4 \quad B_2 = 0.3 \text{ kg.m/cm}^2$$

(3) 硬度試験

ブリネル硬度 $H_B = 170$

2. 分析結果

C	Si	Mn	P	S	Cu
3.44	1.76	0.75	0.403	0.15	0.15

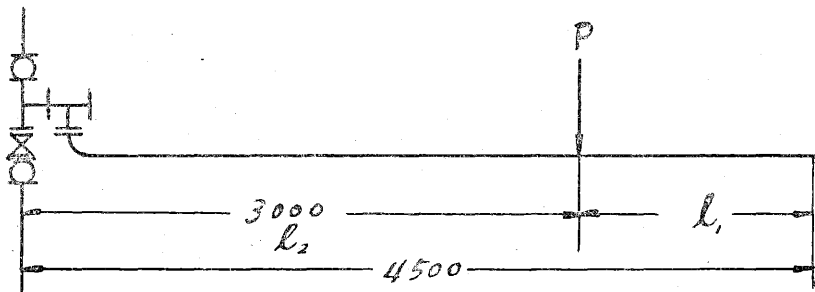
3. 顕微鏡組織

(写真 9 参照)

4. 考察

機械的性質, 分析, 組織の諸点から Fc 19 級の鑄物である。

発煙硫酸 配管に荷重を与えた場合の応力計算



計 算

$M \doteq 300 \text{ pkg-cm}$ (75/50) 管の一端固定に生ずるモーメントより計算すると pipe (75/50) の断面係数 Z は

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2} \quad \left(\begin{array}{ll} d_2 = 7.5 \text{cm} & d_2^4 = 3,170 \text{cm}^4 \\ d_1 = 5.0 \text{cm} & d_1^4 = 625 \text{cm}^4 \end{array} \right)$$

$$= \frac{\pi}{32} \cdot \frac{3,170 - 625}{7.5} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{2,545}{7.5} = 33.3 \text{cm}^3$$

$$\sigma = \frac{Mt}{Z} = \frac{300p}{33.3}$$

Fc 19 とすれば

$$1,900 = \frac{300p}{33.3} \quad \therefore p = \frac{1,900 \times 33.3}{300} = 211 \text{kg}$$

もし荷重が半分 ($\frac{211}{2} \doteq 106 \text{kg}$) であっても衝撃加重が加われれば、当然その荷重の 2～3 倍の荷重が加わり、Fc 19 でもいささか危険と思われる。