

RIIS-TN-82-3

UDC 539. 42:614. 8-02:691. 871

産業安全研究所技術資料

TECHNICAL NOTE OF
THE RESEARCH INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1982

災害事例分析

—コンクリートはりに埋込まれた鉄筋製のU型つり手の破壊事故—

田中正清
前田豊

労働省産業安全研究所

災害事例分析

—コンクリートはりに埋込まれた鉄筋製のU型つり手の破壊事故—

田中正清**, 前田 豊**

Accident analysis

—Failure of U-type hangers made of
reinforcing steel bar fixed to reinforced concrete beams—

by Masazumi TANAKA**, Yutaka MAEDA**

In the afternoon of the 1st of February 1981 an accident happened on a building construction field in Tokyo. A couple of U-type hangers made of reinforcing steel bar and fixed to the ceiling concrete beams of first story were suddenly broken, when workers of a transport company, using those hangers, were hanging down a load of 4 ton weight (air conditioner) onto the floor of basement 2, through a hatch opened in the first floor. Two workers operating chainblocks on the load fell down together with it on the floor of basement 2 about 6 meters below, and were hardly wounded.

In this report, the causes of this accident are investigated through spot inspection, fractographic analysis of the fractured surfaces of hangers, estimation of loading condition of hangers, and certification test of their strength containing Charpy V-notch test and so on.

The main results of this investigation are summarized as follows ;

(1) Though a reinforcing steel bar has fairly high tensile strength as a material, it is originally poor in ductility when compared with usual structural steels and loses its strength remarkably through embrittlement if cold worked. Therefore, it is very dangerous to use this kind of steel in the cold worked condition for main load-sustaining members.

(2) The stress condition of U-type hanger is harder when obliquely loaded with so large angle from the vertical direction as in this case (about 60°) than when vertically loaded. The tensile strength of the hanger is highest in vertical direction, and decreases remarkably with the increase of the loading angle.

(3) The fracture accident of this case occurred due to the strength shortage of hangers, because the hangers were used under the oblique loading condition which is hard for them, and in such low strength state through cold working as mentioned above.

(4) Such situation came arise from the fact that the user of those hangers had not shown the oblique loading condition, and the designer had adopted the reinforcing steel as hanger

* 一部は第 14 回安全工学研究発表会にて講演 (昭 56 年 12 月 4 日) 予稿集 p. 73~76.

** 機械研究部 (Mechanical Engineering Research Division)

material, not knowing such strength property of this steel as mentioned in (1).

(5) By the way, in many construction fields, the reinforcing steel bars are even now used easily as the materials for hangers and anchors similar to those in this case, in the state where their strength is not certified. It is necessary for this dangerous state to be improved immediately.

1. はじめに

ビル建築工事においては、その一環として空調機器などの重量物を地下に搬入する作業が行われるが、そのような作業では荷づくり用の固定支点としてしばしば天井に設置したつり手を使用されている。ところがこれらのつり手には、工事現場で入手の容易な鉄筋を現場で冷間曲げ加工してそれをコンクリートに埋込んで固定したものが非常に多く、それらについては、使用条件とそれに対する強度とを適切に把握するという安全上の基本的手続きが不十分あるいは軽視されている場合が少なくない様である。その理由としては、この種のつり手は、使用目的や使用者が限定されしかも使用頻度が極めて少ないということが挙げられるであろう。しかし、建築されるビルの数はほう大なものであり、危険な状況の絶対数もまたほう大なものとなるはずである。

本報は、最近生じたこの種の鉄筋製U型つり手の破断事故の調査結果の概要の紹介である。この調査を通して、上述したような現状が極めて危険なものであることが明らかとなったので、関係各位の参考に供したいと思う。

2. 事故の状況

2.1 1事故の概要

昭和 56 年 2 月 1 日午後 1 時、東京都下の某ビル建築現場で、地上 1 階から、床に設けたハッチを通して地下 2 階へ重量約 4 ton の冷温水発生器（以下つり荷と呼ぶ）をつり降す作業を行っていたところ、写真 1 に示す

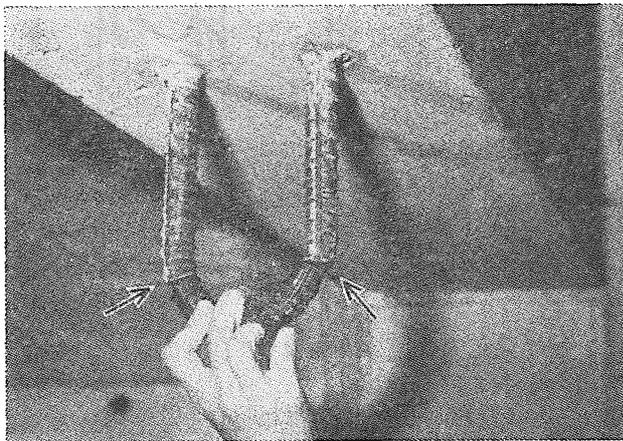


写真 1 U型つり手の設置および破断状態
(東側つり手、矢印は破断位置)

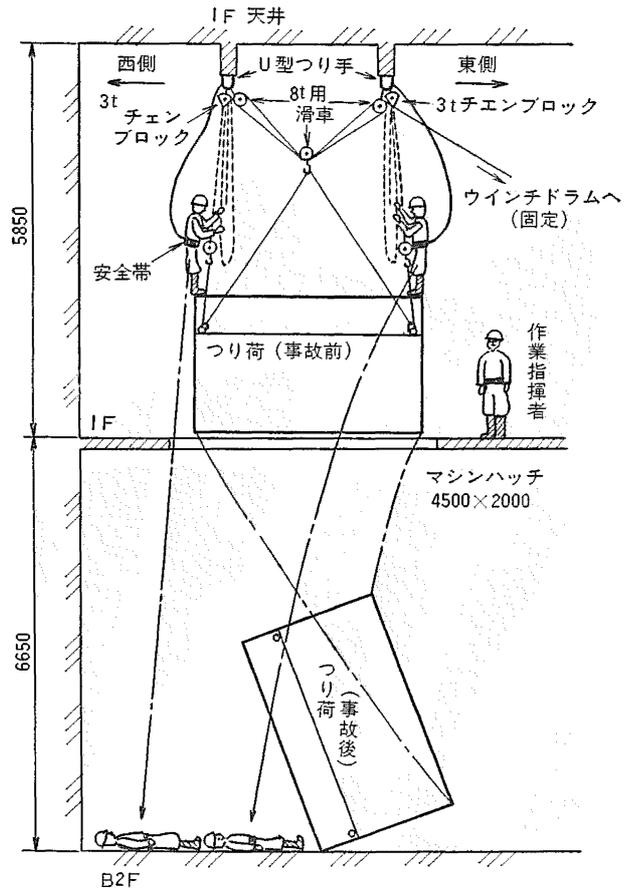


図 1 U型つり手の破断事故の概略

ように1階天井のコンクリートはりに設置した荷づくり用の2本のU型つり手が突然破断し、作業中の労働者2名がつり荷と共に約6m下の地下2階まで転落し重傷を負った。図1にこの事故の概略を、また写真2にはつり荷の落下状態を示す。

2.2 事故発生時の作業状況等

事故当時の冷温水発生器の搬入作業は次の要領で実施された（図1参照）。

(1) つり荷の搬入

1階の床に設けたマシンハッチにH型鋼を2本掛け渡し、ころ材および道板を用い荷をU型つり手の下（ハッチ中央）へ移動させた。その導入方向は矩形ハッチの縁にはほぼ45°であった。

(2) つり降し装置の状況

まず東西のU型つり手にそれぞれ1基のチェーンブロックとウインチ系負荷のための定滑車（シャックルを仲介）を取りつけ、2つの定滑車の中間につり荷用の動滑車を配置した。ウインチワイヤの滑車への通し方は図

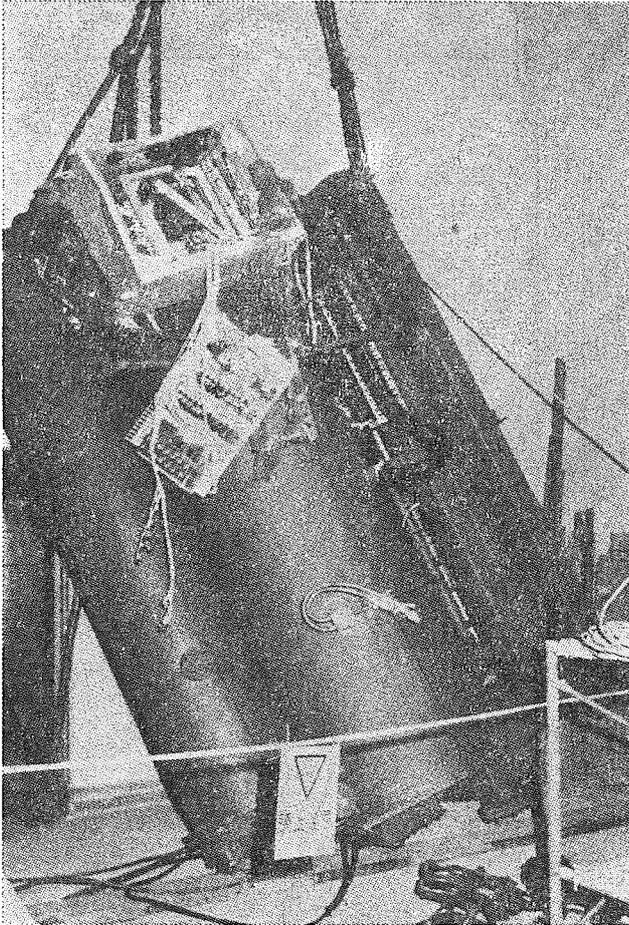


写真 2 つり荷（冷温水発生器）の落下停止状態

1に示す様に、ウインチ側から東定滑車→中央動滑車→西定滑車→中央動滑車→東定滑車の順序である。最後の東定滑車では端末アイを同滑車のフックに通して固定した。台付けワイヤは動滑車を介したウインチ系負荷用に2本、チェーンブロック系負荷用に2本（この場合2つ折りで使用）を用い、いずれもシャックルを介してつり荷側面の鏡板のつり穴に連結した。このように、ウインチ系とチェーンブロック系の二系統のつり降し装置を用いるのは、つり荷が高位置にある間はつり角が大きくなり過ぎるので、ウインチ系のワイヤロープは緩めたままでチェーンブロックを使用してつり降し、つり荷の位置が低くなったところで漸次ウインチ系に荷重を移行させるためである。

(3) チェーンブロックによる荷の上げ降し

ウインチ系のワイヤロープは十分緩めておき、その後作業員2名がつり荷上に登って、チェーンブロックによって荷をつり上げた。これによって荷は回転してハッチ長手方向に平行となった。次いで搬入用のH型钢ところ材を除去した。

そのあとといったん休憩後、チェーンブロックによって

荷降しを始めたところ、約 2m つり荷が下ってつり荷の底面が1階の床面に達したあたりで突然東西両方のU型つり手が破断し転落事故となった。

2.3 つり手とつり荷

U型つり手：これはマシンハッチを通して重量物を搬入するための支点として恒久使用目的で設計されたものであって、鉄筋コンクリート用異型棒鋼（呼び径 D 22, JIS G 3112 SD 35, 以下鉄筋材と呼ぶ）を専門業者がロールベンダを用い冷間加工で 5 d に曲げ、さらに上端を 90° 折り曲げてハッチ上の1階天井の東西2本のコンクリートはりにそれぞれ1個ずつ埋込んだものである。その形状・寸法、埋込み深さを図2に示す。

なお、このつり手は事故前日に 70~80 kgf の負荷を2回、当日は最大 1.8 ton を含む5回ほどの負荷を受けているが、それ以外の使用履歴はない。

つり荷重量と荷の内容：2本のU型つり手に掛かったつり荷およびつり作業用器材の総重量は 4571 kgf であった。その内訳および内容についての説明を表1に示す。

事故時の気象条件：天候は曇で、外気温度は 2°C であ

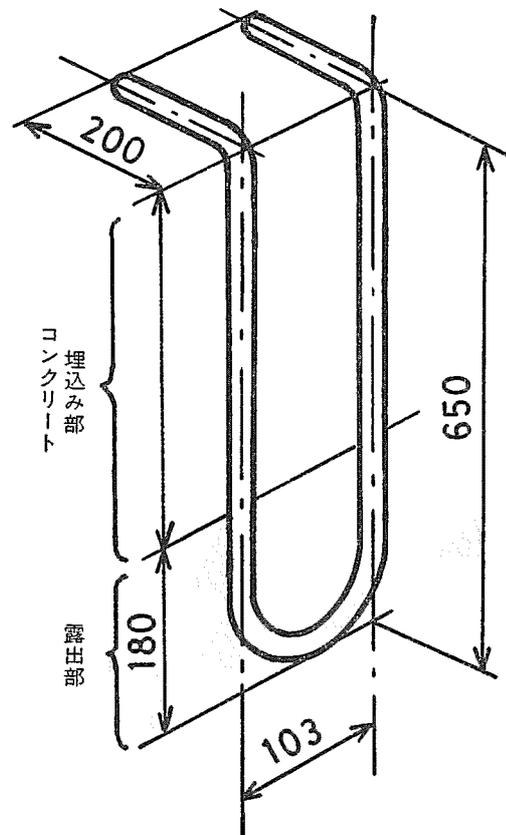


図 2 U型つり手の形状・寸法
(但し露出部の寸法は破断後の調査による推定値)

表 1 つり重量とその内容

名 称	内 容	重 量 (kgf)	個 数	小計重量 (kgf)
つ り 荷	冷暖房機部品で外形寸法は 幅—360 cm, 高さ—220 cm, 奥行—85 cm	4200	1	4200
チェーンブロック	定格 3 t	42.3	2	84.6
定 滑 車 (東)	8 t 用 200 φ 2 シーブ用	30.2	1	30.2
動 滑 車	〃 〃 〃	30.2	1	30.2
定 滑 車 (西)	〃 〃 1 シーブ用	28.0	1	28.0
台 付 け ワ イ ヤ	6 ツより, 外径 18 mm, 6 m	6.25	4	25.0
命 綱 用 ワ イ ヤ	荷揚作業者が安全ベルトに連ねて用いていた もの	1.2	2	2.4
シャ ッ ク ル	U型つり手と定滑車の連結に用いたもの	3.5	2	7.0
台 付 け シャ ッ ク ル	台付けワイヤの損傷防止のためつり荷の鏡板 のつり穴に用いたもの	1.65	4	6.6
労 働 者	被災者 2 名		2	152.0
動力ウインチ用ワイヤ	6 ツより, 外径 24 mm, 約 28 m (普通より)	5.0	1	5.0
総 重 量				4571.0

った。作業場の気温も同程度と推定される。

3. 災害痕跡

3.1 器材の損傷および状態

事故前後の実況見分, およびその後の調査から確認された重要な災害痕跡は以下の通りである。

1) つり手は東西両方とも図3に示すようにR部の2個所で破壊し, さらにコンクリート埋込み部と露出部との境界でわずかながら中央動滑車側に屈曲変形している。写真3は脱落した破片である。なおつり手のコンクリート埋込み部には特に傷跡などの異常はなかった。

2) 定滑車をつり手に連結したシャックルには東西ともその内側中心に新しい擦れ傷がみられた。

3) ウインチ系ワイヤロープには西側定滑車位置を中心に形崩れ, 曲り変形, 麻心の露出などの著しい損傷がみられた(図4)。

4) 西側定滑車の側板が外側に変形し, しかもワイヤロープと擦れ合った新しい傷がある(写真4)。

5) 中央動滑車の側板にも写真5に示すように著しい

変形損傷がみられる。

6) ウインチ系台付けワイヤロープの1本の中央位置には写真6のような形崩れと曲りがみられ, その曲率は中央動滑車のフックのロープ当り面の曲率と等しい。

7) 西側チェーンブロックを分解検査したが機能に異常はなく, フック間長さは 250 cm であった。

8) つり荷はほぼ図1に示す状態, すなわち西側側面が下, 東側側面が上になる状態で北側の壁に寄りかかっ

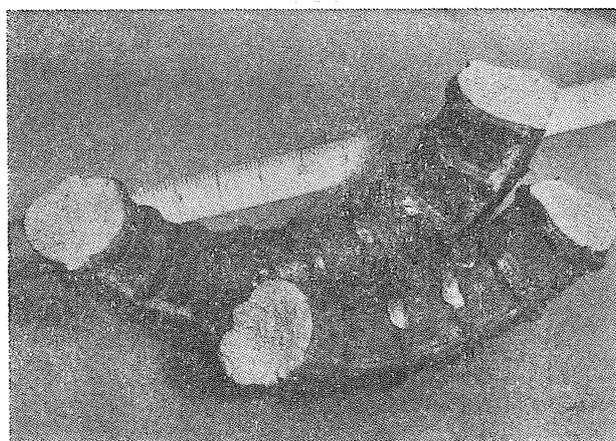


写真 3 つり手の破壊脱落部
(手前が西側つり手の破片)

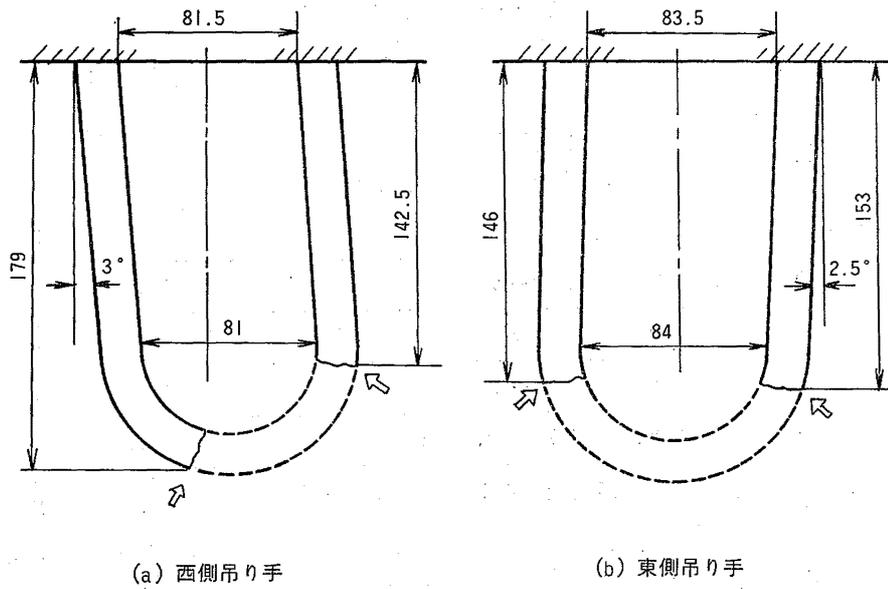


図3 U型つり手の変形および破断状態
(白矢印は破断箇所，破線は脱落部を示す)

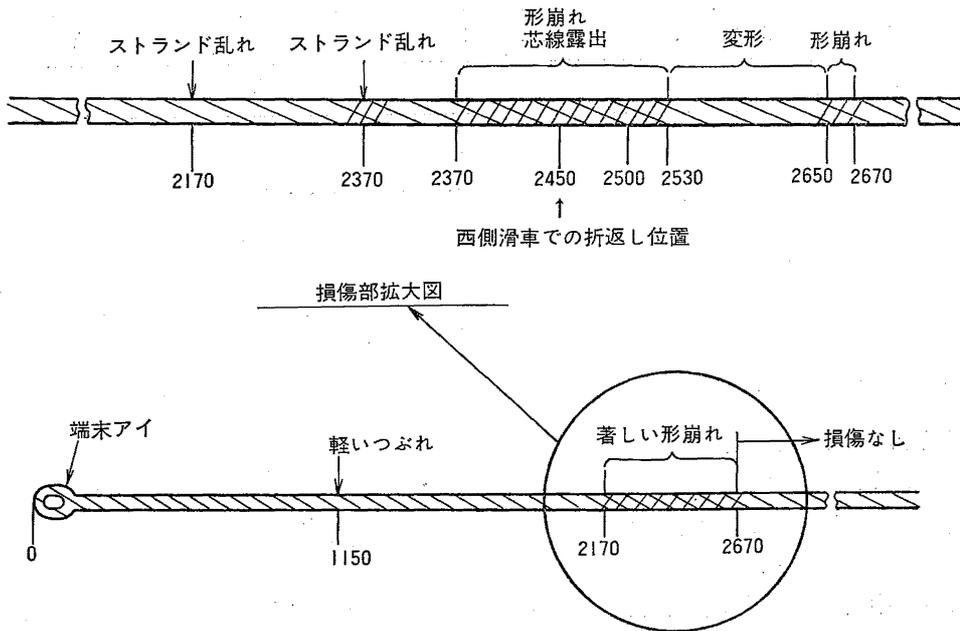


図4 ウインチワイヤの損傷状態

た状態で停止している。

9) 以上の他、U型つり手が埋込まれたコンクリートの部分には問題となるような欠陥はなかった。

3.2 U型つり手の破面解析

目視によれば、つり手の合計4箇所の破断はいずれもR部内側表面の突起の隅部から発生し放射状に進展した

急速脆性破面と判断される。破断面の保存状態は良好で、破壊起点にやっと確認できる程度の黒色領域がみられた。写真7は巨視的破面の例である。

微視的破面状態は走査型電子顕微鏡 JSM-35 を用い主として最初に破断したと推定される西外つり手の外側(図3(a)の左側)について観察した。

写真8は破壊起点部の低倍率破面形態である。ここ

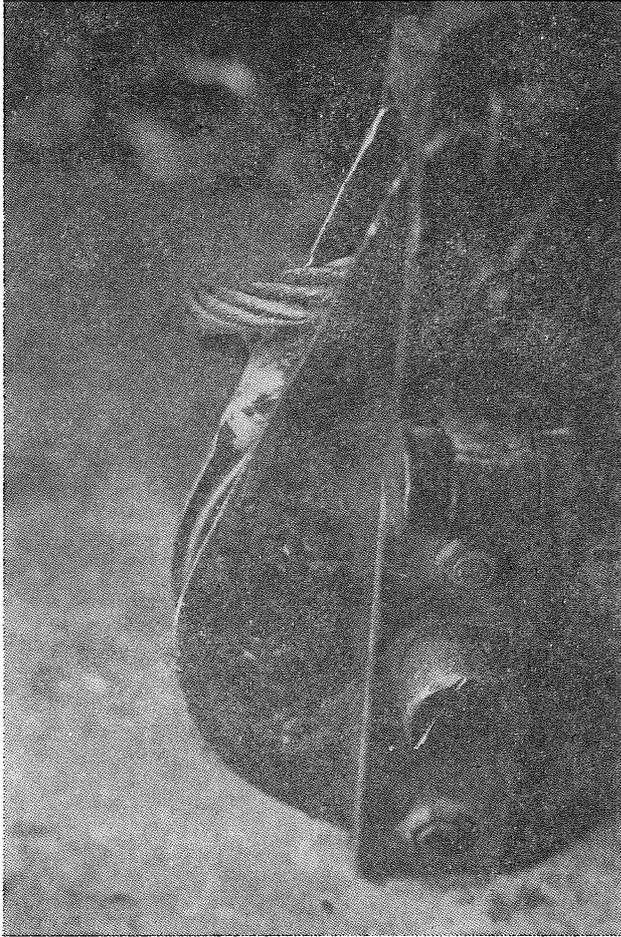


写真 4 西側定滑車の損傷状態

で、点線 AA' より右側の領域①は突起部側壁，点線 AA' と BB' に挟まれた領域②は錆状異物に覆われた形態，そして領域③は鋼材の典型的な脆性破壊形態である。②と③の高倍率での形態の代表例をそれぞれ写真 9



写真 6 ウインチ系台付けワイヤ中央部の曲り変形

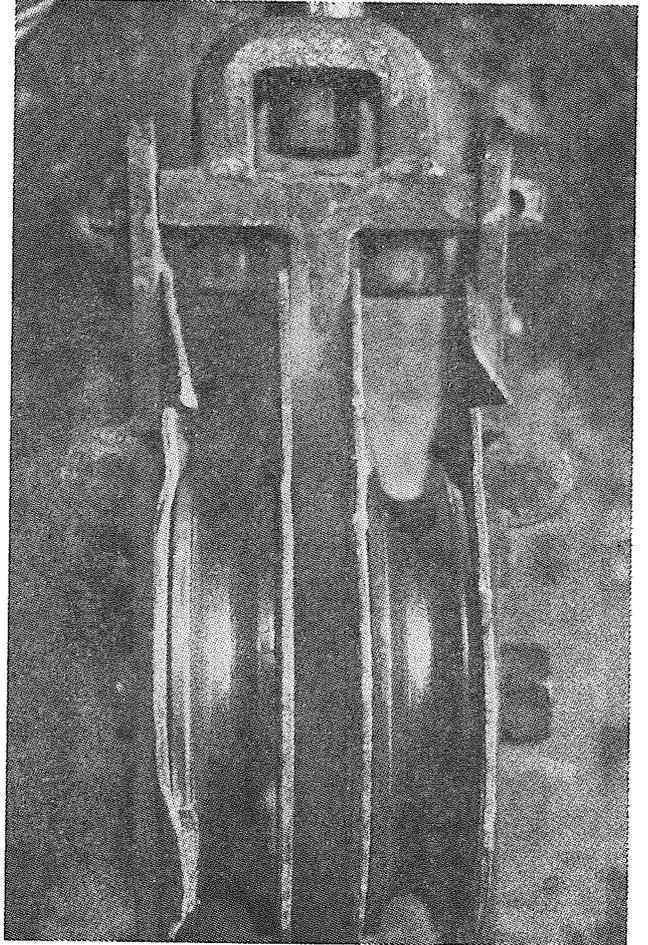


写真 5 中央動滑車の損傷状態

および 10 に示す。

向い合った相手破面との突き合せ（マッチング）や破面写真の立体観察によると，②の領域は向い合った破面がほぼ全域に渡り同じ領域を占めており，また巨視的破面に垂直な方向（棒軸方向）の開きがほとんどない。従ってこの②の領域は本件事故発生以前に存在していた鋭いき裂（予き裂）の表面であると考えられる。

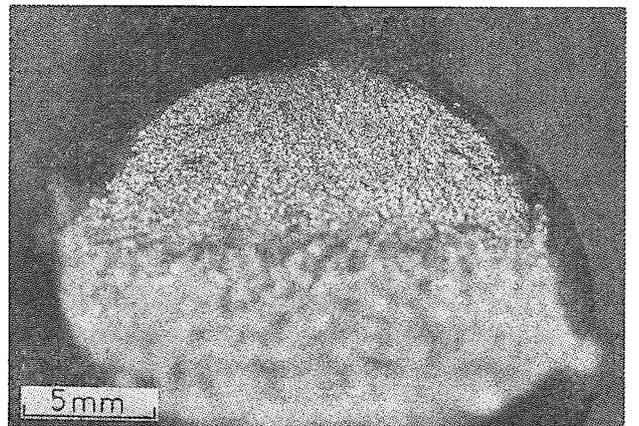


写真 7 西側つり手の巨視的破面形態

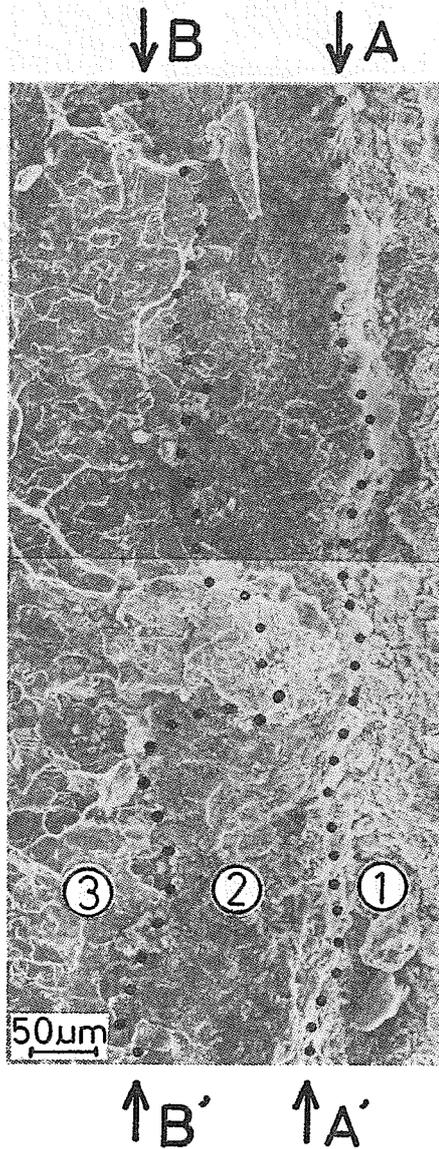


写真 8 西側つり手の破壊起点部の低倍率破面形態

なお、以上の特徴は4組の破面で特に差はなかった。

3.3 痕跡からの事故発生状況の推定

3.1 の損傷状況のうち 3), 4) および 5) の損傷の原因を詳しく検討したところ、写真 11 に示すような状態で西側定滑車と中央動滑車が互いに引き寄せられしかもその方向に大きい力を受けたことが確認された。

以上に加え 6) および 8) の損傷および状況をもたらす事故の推移としては以下以外は考え難い。すなわち、まず西側のU型つり手だけが破断し、その結果つり荷は東側はそのまま西側のみ落下を開始した。この落下の進行につれてウインチワイヤロープ負荷系の西側台付けワイヤ下端から、中央動滑車→東側定滑車を介して、東

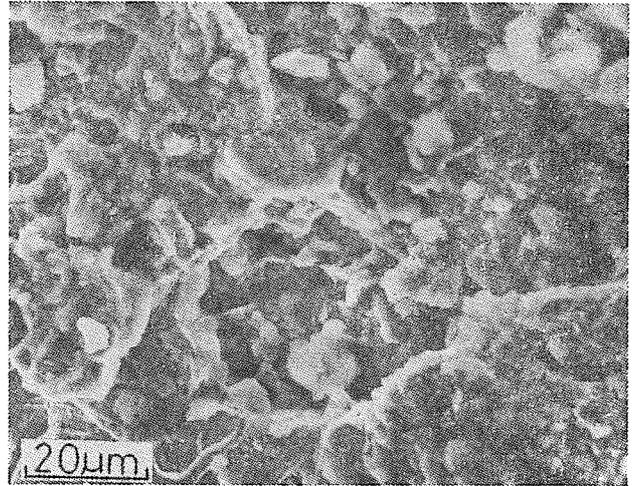


写真 9 写真 6 中の領域②の拡大 (はっきりした腐食の跡がみえる)

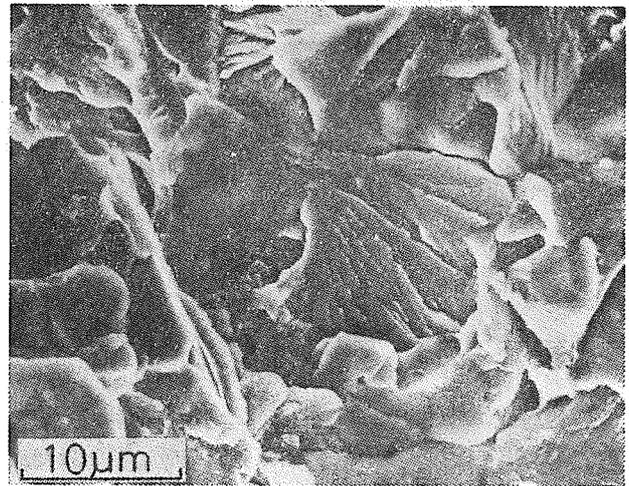


写真 10 写真 6 中の領域③の拡大 (急速脆性破壊の特徴である劈開破面形態)

側つり手までの距離が増加し、中央動滑車は西側台付けワイヤに引張られてウインチワイヤロープを西側定滑車に向かって突進して、ついに同滑車へ激突した。それによって、落下中のつり荷西側部分の動荷重が、西側台付けワイヤ→中央動滑車 (写真 11 の状態)→東側定滑車を通して東側つり手に衝撃的に作用しこれを破断させた。損傷状況 1) のつり手破断位置の東と西とでの違いもこの破断順序の裏付けとなろう。その後つり荷は器材もろとも地下2階まで落下し、見分時の状態で停止したものと思われる。

なお、破面解析結果から判断してつり手の破断はいずれも R 部内側の突起の隅部をき裂の起点として一瞬の間に発生・完了した典型的脆性破壊であって、つり手が突然大きな音を発して壊れたという目撃者の証言と合致している。

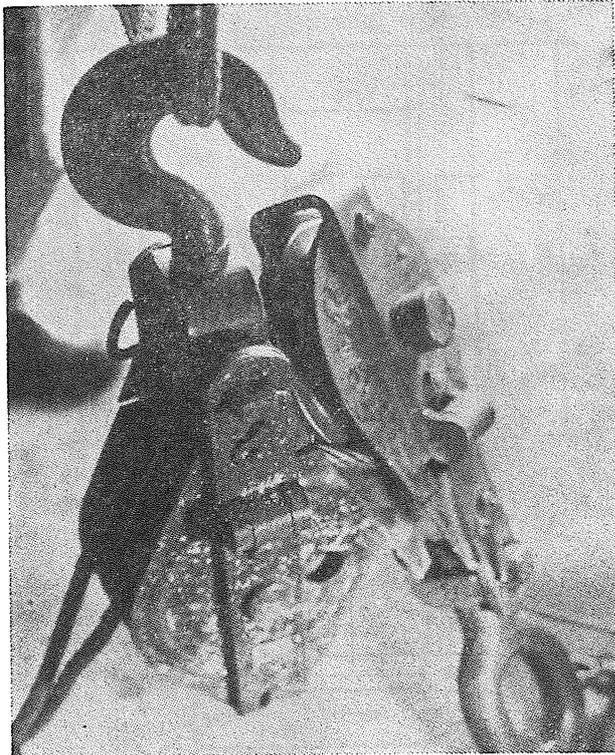


写真 11 西側定滑車（左）と中央動滑車（右）との激突状態（損傷状態からの推定）

4. U型つり手の負荷状態

4.1 負荷状態

事故発生時、つり荷荷重を支えていたのはチェーンブロック系かウインチ系かについて、目撃者は不明と答えている。しかし損傷状態の 1) と 2) とからはつり荷荷重は少くとも一部はウインチ系に移っていたと推論される。

この点をさらに検討するため以下では両負荷系での負荷状態とそれによるつり荷高さ（つり手下端からつり荷の荷づり用丸穴上端までの距離）を求めてみた。

(イ) ウインチ系負荷の場合

この場合の負荷状態は、東側定滑車位置の端末アイから西側定滑車での折り返し点までのウインチワイヤの長さ l によって決定される。ところで、同ワイヤはドラム位置で固定されており、事故直前から 3.3 節で説明した写真 11 の激突状態に至るまでその長さは不変と考えられる。しかもその激突時の同ワイヤの損傷位置関係を検討した結果、西側定滑車側板部での折れ曲り位置が西側定滑車位置でのワイヤ折り返し点に相当していることが判明した。従って、求める l は端末アイからこの折れ曲

り損傷までの距離即ち 245 cm と推定された（図 4 参照）。

この推定値を用いたつり手負荷状態の推定法を付録 1 に、推定結果を図 5 (a) に示す。これによると、西側つり手には鉛直から 59° （中央動滑車でのワイヤつり角の半分）の方向に 4426 kgf の力が、また東側つり手には同じく 29° 方向に 3487 kgf の力が作用していたことになる。なおこの場合のつり荷高さは約 380 cm である。

(ロ) チェーンブロック系負荷の場合

チェーンブロックのフック間長さは事故の前後で差はないと考えられるので、損傷状態 7) に示したその長さ 250 cm を用いるとこの場合の負荷状態は図 5 (b) のようになる。この場合、U型つり手に掛かった力は東西ともほぼ鉛直方向で総荷重の $1/2$ の 2285.5 kgf であり、またつり荷高さは 402 cm であったと推定される。

以上 2 つの負荷状態を比べると、前者の場合のつり荷高さが約 20 cm 高い。これと前述のつり手の内側への変形、西側つり手の破断位置の右への偏り、東西のつり手の破断順序およびシャックルの傷などを合せ考えると、事故寸前の負荷状態は (ロ) の状態ではなく (イ) に近い状態、即ちかなりの割合でつり荷重がウインチ系に移った状態であったと推定される。

4.2 応力状態

つり手の破断状態をさらに検討するため、先に破断したと思われる西側つり手を対象に、荷重がチェーンブロック系からウインチ系へ移行する途中の負荷状態を含めた図 6 に示す負荷状態について、U字型の内側と外側に生ずる表皮最大引張応力の分布を計算した。作用する荷重としては、詳細には、その負荷状態の移行に伴う吊荷重心の移動をも考慮すべきであるがここでは簡単のために同重心の移動はないものとした。さて図 6 で、 P_1 はチェーンブロック系による荷重、また P_2 はウインチ系による荷重であって、この場合、その鉛直成分の和は総つり荷重量の $1/2$ ($=2285.5$ kgf) である。その和に対する P_1 の鉛直成分の比を ν とすると P_1, P_2 および ν は次の関係にある、

$$\begin{cases} P_1 \cos 3.84^\circ = 2285.5 \nu \\ P_2 \cos 54.0^\circ = 2285.5 (1 - \nu) \end{cases}$$

よって $\nu=0$ のとき $P_1=0$ 即ち荷重は P_2 のみとなり、また $\nu=1$ のときはその逆となる。

応力計算においては、U型つり手を直線はり AB および DE と、一定曲率半径の曲りはり BCD が B および D 点で剛に結合し、それがさらに A および E 点で天井に剛に固定されたラーメンとみなし、全ての部分は弾性的

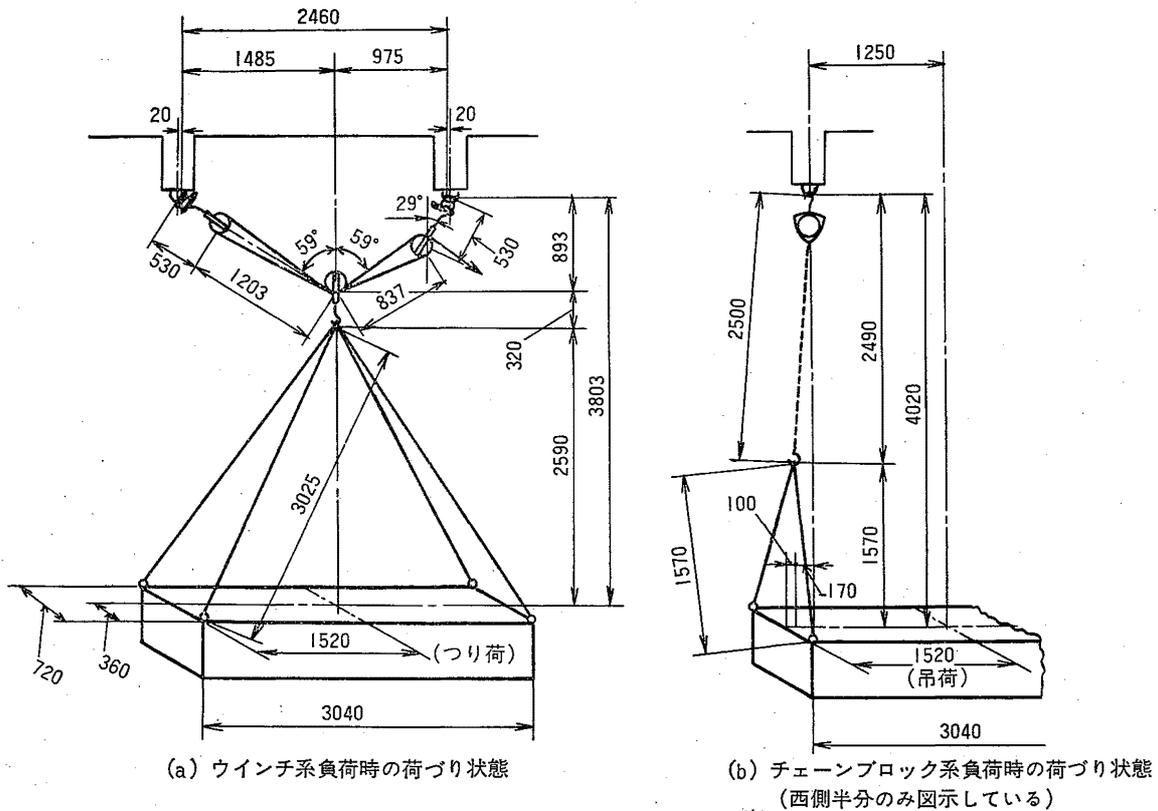


図 5 推定される荷づり状態

にのみ変形し、塑性変形は生じないと仮定した。

以上の条件下で、 ν を0から1まで変化させたときのU字型の内側と外側の表皮応力 σ を各部材に対し別個に計算した。事故解析に重要なR部についての計算結果を図7(a)および(b)に示す。同図中 θ はR部の位置を、鉛直方向を 0° とした反時計方向角度で表わしたものである。計算の詳細は付録2に示した。

図7から、破壊を支配したと思われる $\theta = -30^\circ$ あたりの内側表皮応力は、 ν が0から1に向けて増大するにつれ急速に増大し、 $\nu = 1$ において最大となることがわかる。従って、西側つり手の破断は2個所のうち西側(図3(a)での左側)が先であったと考えられる。

ところで上記の計算は、弾性変形のみを対象としており、実際の応力状態には塑性変形が加わっている。しかし、変形状態・破面状況から判断して塑性域は極めて少なく、弾性変形が主であるので上記の計算は実際に近いものとする。

なお、つり手形状の適否判断の資料としてU型つり手

の直線部を除いた半円形つり手について上記と同一負荷条件下で生じる表皮応力を計算してみた。その結果、図7に示したU型の場合に比べ、応力値は全体的に低くなり、とくに ν が小さい(水平方向荷重成分が多い)ほどその傾向が大きいことが分った。即ち、斜め負荷の予想された本件のつり手にはU型の上側平行部がない形状の方がより適切であったと言える。

5. U型つり手の強さの推定

以下の材質およびU型つり手強度確認試験に用いた鉄筋材は次の4種である(いずれもD22, SD35相当)。

- ① A材：A社製事故品西側つり手の材料
- ② B材：B社製事故品東側つり手の材料
- ③ A'材：後に試験用に入手したA社製同一規格品材料
- ④ B'材：後に試験用に入手したB社製同一規格品材料

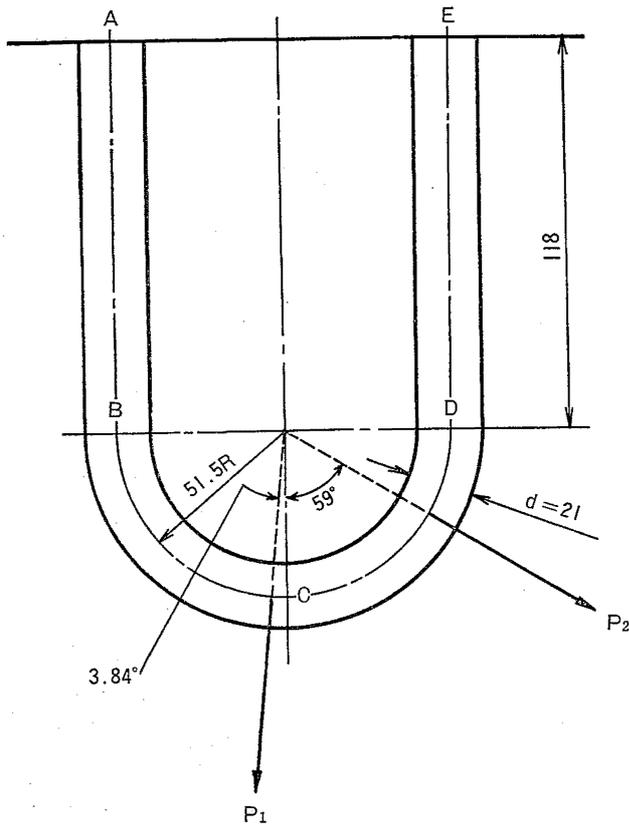


図6 つり手の応力計算のモデル
(西側つり手にチェーンブロック系およびウインチ系の負荷の掛った状態)

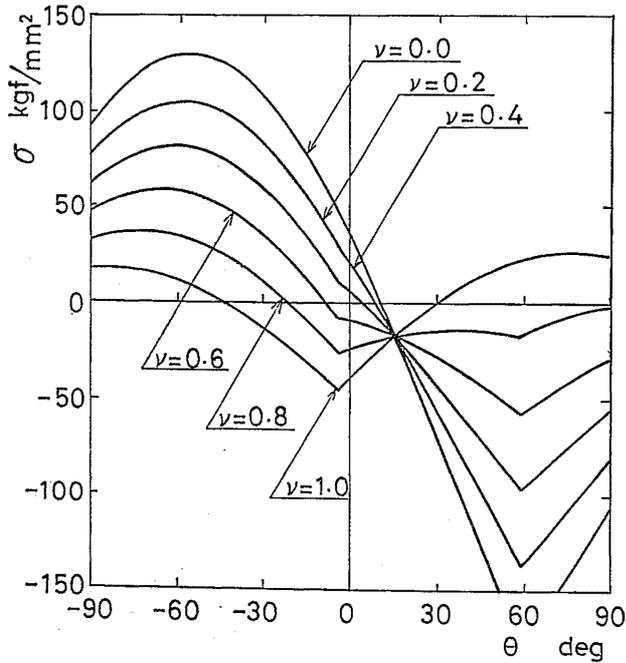


図7(a) 西側つり手の曲り部内側表面に生ずる表皮応力の分布

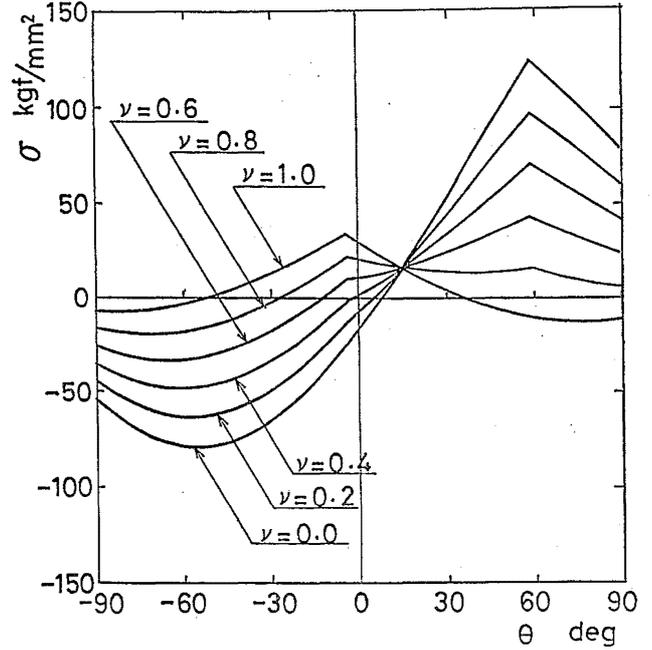


図7(b) 西側つり手の曲り部外側表面に生ずる表皮応力の分布

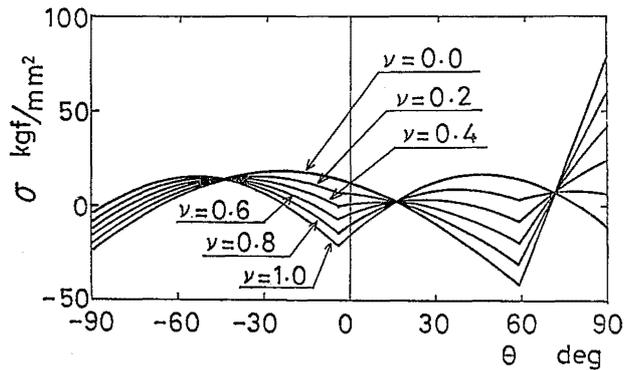


図7(c) 半円形状つり手に生じる内側表皮応力の分布 (荷条件は図7(a)(b)の場合と同じ)

5.1 鉄筋材の材料特性

(イ) 化学組成および機械的性質

これら2つの基本的材料特性についてA, A'およびB'材を対象に調べた結果をJIS規格値と並べてそれぞれ表2および表3に示す。機械的性質は標点長さ150mmのJIS14A号引張試験片の引張試験によって求めた。

これらの結果によると、先に破壊したと推定される西側つり手の材料(A材)は、強度確認用のA'材と共に、化学組成および機械的性質の両方ともJIS規格を満足し、鉄筋材として何ら異常のないことが分った。しか

表 2 鉄筋材の化学成分 (wt %)

材 料	C	Si	Mn	P	S	$C + \frac{Mn}{6}$
A 材	0.23	0.13	0.86	0.030	0.023	
B' 材	0.23	0.21	0.79	0.033	0.022	
JIS 規格 SD 35	≤0.27	—	≤1.6	≤0.050	≤0.050	≤0.5

表 3 鉄筋材の機械的性質

材 料	降伏点 σ_y kgf/mm ²	抗張力 σ_B kgf/mm ²	伸 び %	絞 り %
A 材	43.2	67.6	23	45
A' 材	42.9	64.3	25	40
JIS 規格 SD 35	≥35	≥50	≥18	

し、約半数の A' 材試験片では破面の約半分が劈開破壊を含む脆性破面となっており、SD 35 鉄筋材が一般的にかなり脆い性質を有することを示している。

(ロ) シャルピーV切欠き特性と硬さ

鉄筋材の未加工および加工硬化状態での脆性破壊に対する抵抗性を知るため、A, A' および B' 材を伸び 0, 10

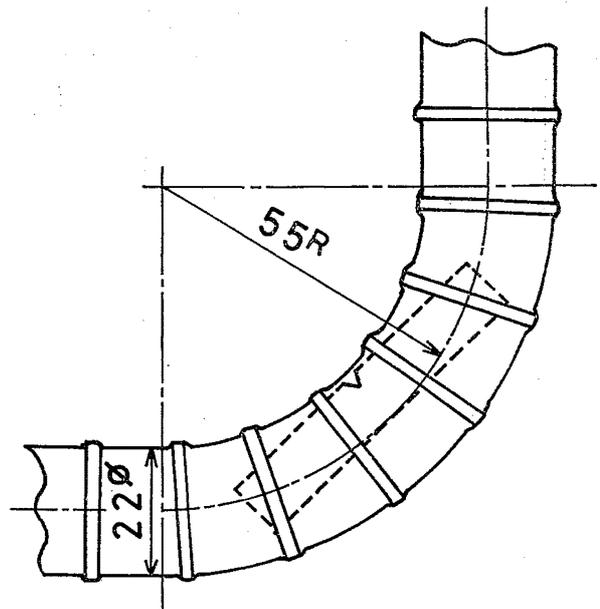


図 8 曲げ圧縮部からのシャルピー膜撃試験片の採取位置

および 20% に引張加工、および 5D 曲げ圧縮加工した状態について、-60~+100°C の温度範囲において V 切欠きシャルピー衝撃試験を行い、衝撃吸収エネルギー、延性破面率および横収縮率を測定した。図 8 には曲げ圧縮

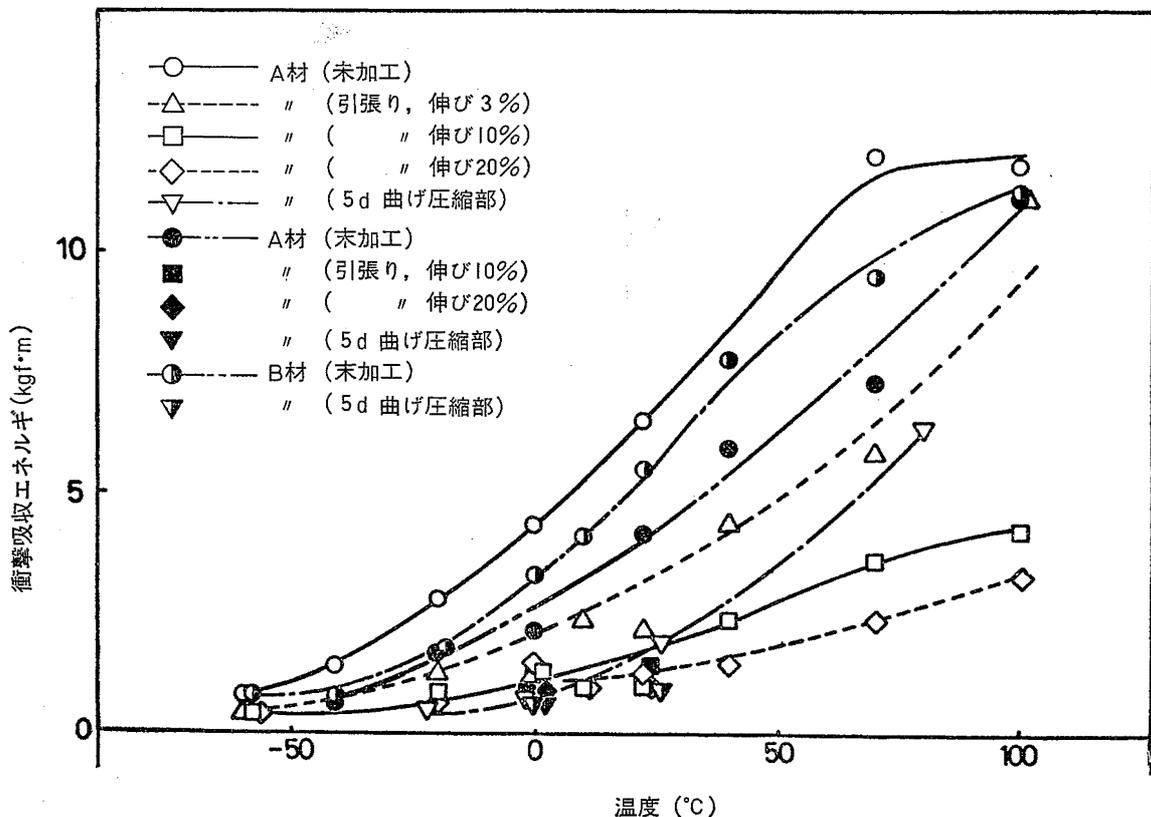


図 9 鉄筋材のシャルピーV切欠き衝撃特性に対する冷間加工の影響

部での試験片採取位置を示す。試験は JIS の方法によつた。図 9 には衝撃吸収エネルギーの測定結果を示すが、延性破面率、横収縮率もこれとほぼ同じ傾向である。

これらの結果から、この種の鉄筋材は温度の低下につれ、また加工程度の増加につれて延性の程度を表わす上記 3 種の特徴値がいずれも低下すること、また事故つり手の破壊起点部の条件 (5d 曲げ圧縮部で温度は 2°C) は伸び 20% の引張加工条件同様、延性度が低温側の低い値に低下してしまった条件に相当していることが推定できる。

なお引張破断試験片および 5d 曲げ加工部での加工硬化程度を比較するためビッカース微小硬さを測定した。その結果を図 10 に示す。曲げ圧縮側表面近傍の硬さは引張り伸び約 20% あたりのそれと同程度となっており、上記のシャルピー特性をほぼ裏付けている。

5.2 U型つり手の強さの確認試験

破壊したつり手の強さの推定のため、事故品と同じ寸法に曲げた U 型鉄筋について鉛直方向 (0°) およびウインチ系負荷を想定した 29° および 59° の斜め方向引張試験を実施した。3 種の引張方向に対する試験片形状・寸法を図 11 に示す。鉄筋材は溶接によって鉄板に固定した。試験には 500 ton 油圧式万能試験機を用いた。試

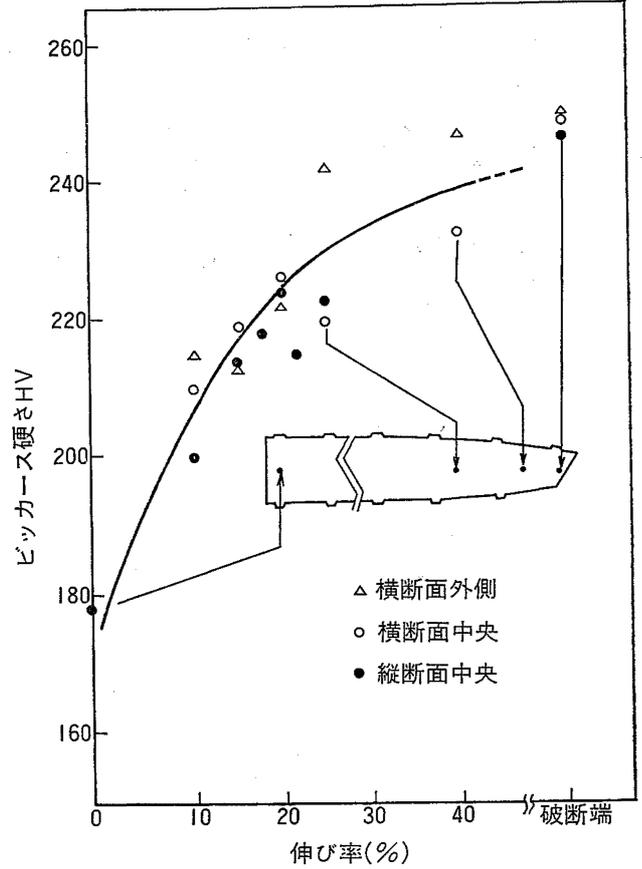


図 10 (a) A' 材引張り試験片中の伸び率と硬さの関係

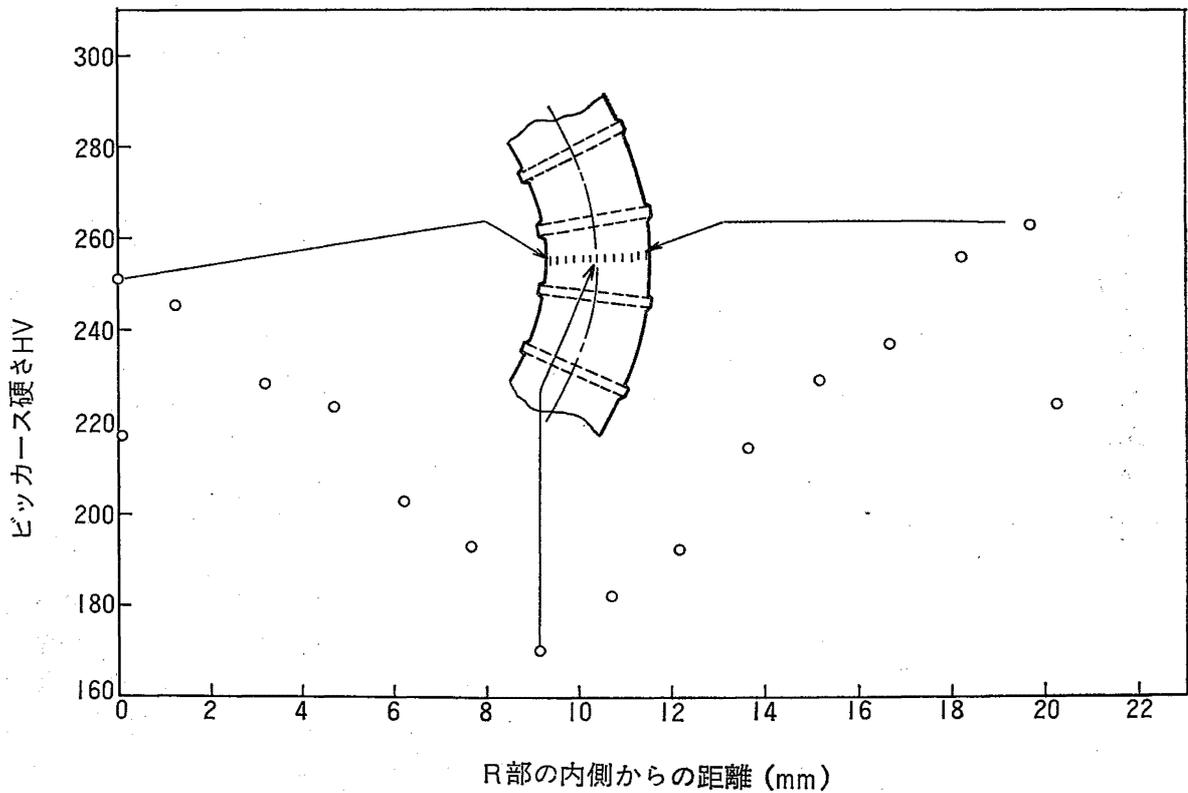


図 10 (b) A 材 (事故材) の曲り部での硬さ分布

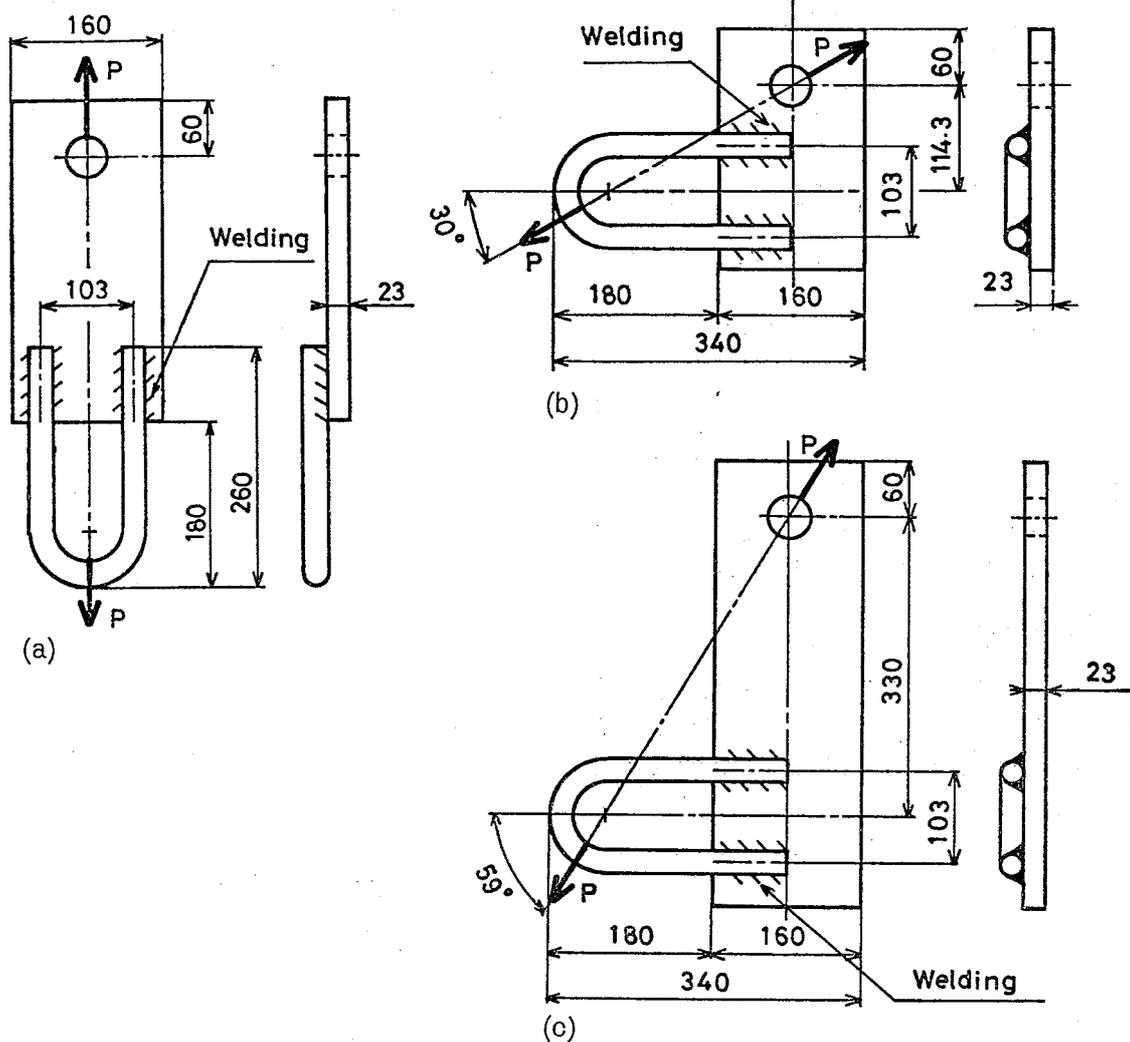


図 11 U型鉄筋の引張試験片の形状と寸法
(a) が鉛直, (b) が 29° そして (c) が 59° 方向引張り用

験結果を図 12 に示す。

試験片の破断は、鉛直負荷の場合図 3 (b) の東側つり手と同様左右対称な 2 個所ではほぼ同時に発生したが、斜め負荷の場合には負荷と反対側の R 部が優先的に破壊した。破面はいずれも変形の少ない脆性破面である。

ところで、一般構造用鋼のように延性に富んだ材料であれば、5d 程度の U 型に曲げ加工してもその鉛直引張強度は真直棒の引張強度の 2 倍のレベルを維持すると言われている。事実本試験結果においてもそのレベルに達するものがみられる。しかし、最低値はそのレベルの 1/4 以下であり、しかもその大半のデータが最低値の近くに集中している。

このように引張強さが極めて低いのは、シャルピー衝撃試験や硬さ測定結果が示すように、冷間加工した鉄筋材が著しく脆い状態にあるためと考えられる。さらに、曲げ加工の圧縮側（本件つり手での破壊起点側）に生ず

る引張残留応力や、突起の隅部での応力集中なども強さの低下を助長したと推測される。

引張強さのばらつきが大きいのは、脆化した状態では、強さに直接関係するき裂の発生までの条件が種々の因子に敏感に影響されるためと考えられる。また最頻値が最低値に近いのは、恐らく、予き裂を有するかあるいはそれを発生する寸前の状態が、すでにある安定した下限界強さにまで低下してしまっているためであろう。最低レベルの強さの試験片の破面だけに予き裂が認められたこともこの推論を裏付けている。

他方、斜め負荷の場合、引張強さの分布状態は上記の鉛直負荷の場合に類似している。しかしその場合に比べ強さそのもの（絶対値）は低くなっており、鉛直からの角度が大きいほどその低下は著しい。このような負荷方向の違いによる強さの大きな差は、4.2 節における R 部内側表皮応力の計算結果（図 7a）から類推できる。

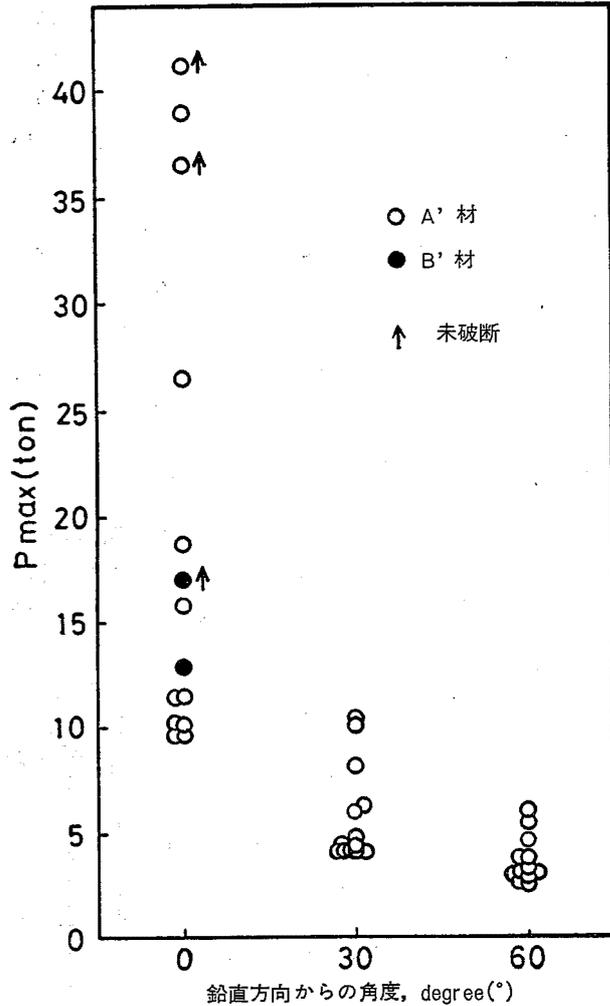


図 12 3種の荷重方向に対するU型鉄筋の引張強さ

ところで本件事故つり手の破面には上記と同様な予き裂が観察されている。従ってその強さは本確認試験での最頻値であったと考えるのが妥当であろう。この考え方によれば、結局事故つり手の強さは鉛直方向で 10 ton, 29° 方向で 4 ton, そして 59° 方向ではわずかに 3 ton 程度であったと判断される。

6. 事故原因の検討

負荷状態について

前節の検討結果からつり手の鉛直引張強さは約 10 ton と推定された。それに対しチェーンブロック系負荷での荷重は静的に約 2.3 ton である。本件では大きな動荷重を生じた形跡はないので動的荷重として 1.5 倍を仮定すると 4.5 ton 程度となるがつり手強さにはなお 2 倍以上のゆとりがある。

他方、ウインチ系負荷を想定した 59° 斜め負荷では、

つり手強さは約 3 ton しかないのに対し、全てのつり荷荷重がウインチ系に移った場合の荷重は 4.4 ton と計算されており強さを大きく超過してしまう。

上記の両方の場合を考え合せると、結局、事故直前の負荷状態は、つり荷荷重がチェーンブロック系からウインチ系へ移った状態にあったと結論できる。破壊条件を支配したと思われる斜め負荷状態の荷重の大きさのみから判断すると荷重の移行割合は静荷重の場合でほぼ 2/3 であり、1.5 倍の動荷重を仮定すると約 1/2 であったと推定される。

事故原因について

本件事故はこれまでの検討結果から明らかなように U 型つり手の強度不足のために生じたものである。

このような事態が生じた原因の第 1 は、U 型つり手の発注者が 2 本づりによる斜め方向負荷条件を示さず、つり荷重量に相当する鉛直引張強さだけを要求したことである。さらにその第 2 は、設計者が鉄筋材の冷間加工による劣化について適切な知識をもたず、通常の延性に富んだ構造用鋼などと同様な強度計算（せん断応力設計）で鉄筋製 U 型つり手の強さを予測したことである。これまでの調査からはっきり分るように、鉄筋材は冷間加工によって著しく脆化し、本件つり手のような使用条件では、その強さは著しく低下する。そのような鉄筋材を重要部材であるつり手の材料に採用したことは設計上の大きな誤りであった。

ただし、ここで主張したいのは鉄筋材を鉄筋以外の目的に使用する場合についての危険性である。本来の鉄筋として用いる場合にはコンクリートに埋込まれるため、たとえ端部を 5 d に曲げて使用しても何ら強度上の問題が生じないものと推察される。

7. 結 論

以上の調査の結果、本件事故について以下の結論を得た。

(1) 鉄筋材は素材としての引張強さはかなり大きいですが、構造用鋼などに比べ元々延性に乏しく、冷間加工状態では著しく脆化して強さが大幅に低下する。もともとこの種の材料の脆性遷移温度は高い。従って、この種の材料を冷間加工した状態で鉄筋以外の強度部材として使用するのは極めて危険である。

(2) U 型つり手の応力状態は、本件のように大きな角度（約 60°）の斜め負荷の場合、鉛直負荷と比べ著しく厳しくなる。それを反映してつり手強さは鉛直方向が

最大で、斜め方向では角度の増大につれ著しく低下する。

(3) 本件つり手破断事故は、上記のように冷間加工によって強度の低下した状態の鉄筋製つり手を、厳しい負荷状態である斜め引張条件で使用したため、つり手の強度不足によって生じたものである。

(4) この様な事態が生じたのは、つり手の発注者が斜め負荷の作業条件を明示しなかったこと、また設計者が上記(1)のような強度特性を知らずつり手材料として鉄筋材を採用したことによる。

(5) ところが実際には、非常に多くの場合に、本件と類似のつり手や固定支点として、適正な強度の保証もない危険な状態で、鉄筋材が使用されている。このような危険な状態の早急な改善が必要である。

謝 辞

本事故調査は、中央労働基準監督署の鶴見雅労働基準監督官ならびに警視庁科学捜査研究所の高生精也主事の多大の御協力により達成できたものである。ここに謹んで感謝の辞を述べる。

付録 1 ウインチ系負荷状態の推定

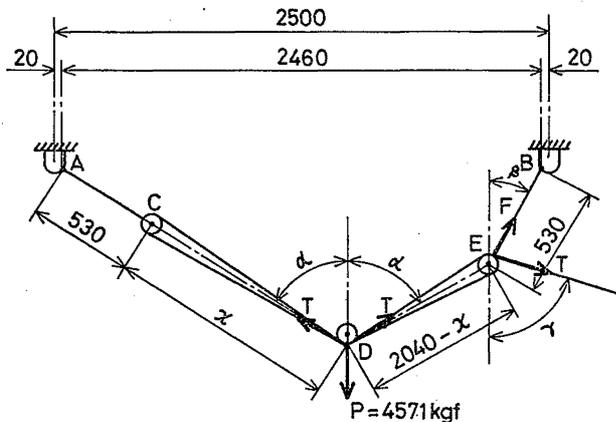
付図1の負荷状態での力の釣合いから、釣合い位置とつり手の負荷方向を求める。既知の値は $P=4571 \text{ kgf}$, $AB=2460 \text{ mm}$, $AC=BE=530 \text{ mm}$, $\gamma=70^\circ$ あるいは 90° で、ワイヤ損傷位置とシーブ等でのダブリ分を考慮して $CD+DE=2040 \text{ mm}$ である。

ACD は直線上に並ぶと仮定し、ウインチワイヤの張力を T , $CD=x$ とおくと、まず位置関係から

$$(530+x)\sin\alpha + (2040-x)\sin\alpha + 530\sin\beta = 2460 \quad (1)$$

$$(530+x)\cos\alpha = (2040-x)\cos\alpha + 530\cos\beta \quad (2)$$

また力の釣合い条件から



付図 1 ウインチ系負荷状態での力と位置の関係

$$P=4T\cos\alpha \quad (3)$$

$$F\cos\beta=T(2\cos\alpha+\cos\gamma) \quad (4)$$

$$F\sin\beta=T(2\sin\alpha-\sin\gamma) \quad (5)$$

以上の5式を α, β, F, T および x の5つの未知数について解いた結果は以下の通りである。

(1) $\gamma=70^\circ$ のとき

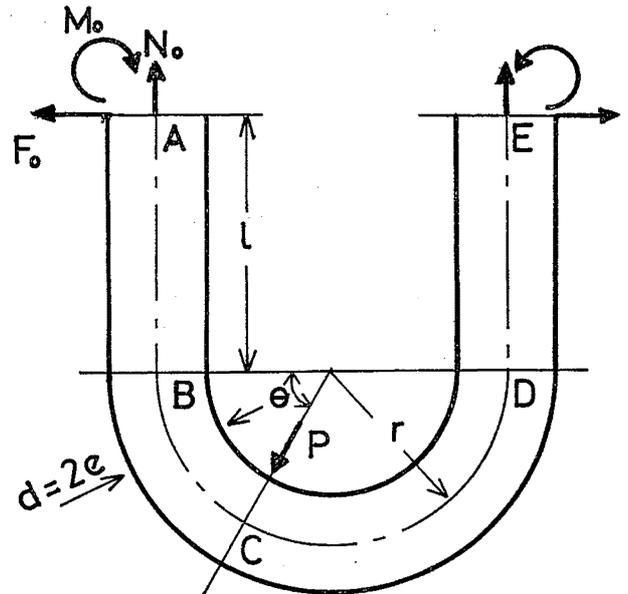
$\alpha=58^\circ 55'$, $\beta=29^\circ 15'$, $T=2213 \text{ kgf}$, $F=3487 \text{ kgf}$, $x=1203 \text{ mm}$

(2) $\gamma=90^\circ$ のとき

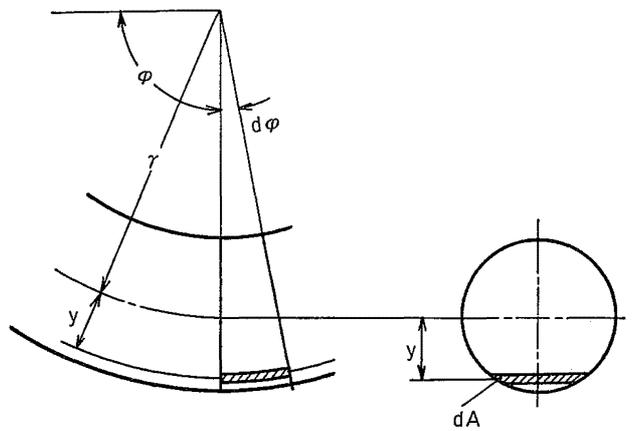
$\alpha=57^\circ 44'$, $\beta=32^\circ 46'$, $T=2141 \text{ kgf}$, $F=2719 \text{ kgf}$, $x=1172 \text{ mm}$

付録 2 U字形のはりの応力

付図2に示すU字形のはりを「曲りはりと真直はりの結合したラーメン」と考えて、エネルギー法により解く。このため、まず曲りはりのひずみエネルギーを求める。付



付図 2 はりの形状と未知外力



付図 3 曲りはり

付表 1 曲りはりに使用する記号の意味

記号	意味	単位
A	はりの断面積	cm^2
E	縦弾性係数	kgf/cm^2
M	曲げモーメント	$\text{kgf}\cdot\text{cm}$
N	軸力	kgf
r	はりの中心線の曲率半径	cm
y	はりの中心線からの距離	cm
κ	曲りはり係数 $\left(-\frac{1}{A} \int_A y/(r+y) dA\right)$	—
i	はり断面の回転半径	cm

図 3 に示す曲りはりのひずみ σ と応力 ϵ は、

$$\epsilon = \frac{1}{E} \left\{ \frac{N}{A} + \frac{M}{Ar} \left(1 + \frac{1}{\kappa} \frac{y}{r+y} \right) \right\} \quad (\text{a})$$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{Ar} \left(1 + \frac{1}{\kappa} \frac{y}{r+y} \right) \quad (\text{b})$$

ここで、各記号の意味は付表 1 のとおりである。いま、 φ から $\varphi + d\varphi$ の微小部分にためられるひずみエネルギーを dU とすると、

$$dU = \int_A (\epsilon\sigma/2)(r+y) d\varphi dA \quad (\text{c})$$

(a), (b), (c) から

$$\frac{dU}{d\varphi} = \frac{r}{2AE} \left\{ N^2 + \frac{2MN}{r} + \frac{M^2}{r^2} \left(1 + \frac{1}{\kappa} \right) \right\} \quad (\text{d})$$

次に、はりを真直はり部分 AB, DE と、曲率一定の曲りはり BC, CD に分ける。このラーメンは 3 次の不静定構造であるのでその不静定量として、A 端における軸力 N_0 、せん断力 F_0 、曲げモーメント M_0 を採れば、任意の断面に働く軸力 N と曲げモーメント M は P, N_0, F_0, M_0 と、真直はり部では A または E からの距離 x 、曲りはり部では B からの角 φ によって表わすことができる。それを各部ごとに N_{AB}, M_{AB} 等と書くと、ラーメン全体のひずみエネルギー U は、

$$U = \frac{1}{2AE} \int_0^l N_{AB}^2 dx + \frac{1}{2EI} \int_0^l M_{AB}^2 dx + \frac{r}{2AE} \int_0^\theta \left\{ N_{BC}^2 + \frac{2M_{BC}N_{BC}}{r} \right.$$

$$\left. + \frac{M_{BC}^2}{r^2} \left(1 + \frac{1}{\kappa} \right) \right\}^2 d\varphi + \frac{r}{2AE} \int_0^\pi \left\{ N_{CD}^2 + \frac{2M_{CD}N_{CD}}{r} + \frac{M_{CD}^2}{r^2} \left(1 + \frac{1}{\kappa} \right) \right\}^2 d\varphi + \frac{1}{2AE} \int_0^l N_{DE}^2 dx + \frac{1}{2EI} \int_0^l M_{DE}^2 dx \quad (\text{e})$$

さて、カステリャノの定理から、次の 3 式が得られ、

$$\partial U / \partial F_0 = \partial U / \partial M_0 = \partial U / \partial N_0 = 0 \quad (\text{f})$$

これを計算して整理すると、次の三元連立方程式となる。

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & rA_{12} \\ -A_{12} & A_{22} & rA_{22} \\ -rA_{12} & rA_{22} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_0 \\ M_0 \\ N_0 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} A_{14} \\ A_{24} \\ A_{34} \end{bmatrix} \quad (\text{g})$$

ここで、

$$A_{11} = - \left\{ \frac{2l^3}{3i^2} + \frac{\pi r}{2\kappa} + \frac{\pi l^2}{r} \left(1 + \frac{1}{\kappa} \right) + \frac{4l}{\kappa} \right\}$$

$$A_{12} = (l/i)^2 + 1/\kappa + (\pi l/r)(1+1/\kappa)$$

$$A_{22} = 2l/i^2 + (\pi/l)(1+1/\kappa)$$

$$A_{33} = \frac{4lr^2}{i^2} + \pi r \left(1 + \frac{3}{2\kappa} \right) + 2l$$

$$A_{14} = \frac{l}{\kappa} (1 + \cos \theta) + \frac{\pi - \theta}{2\kappa} r \cos \theta + \frac{r}{2\kappa} \sin \theta$$

$$- \frac{l^3 \cos \theta}{6i^2} - \frac{l^2 r \sin \theta}{2i^2}$$

$$A_{24} = \frac{1 + \cos \theta}{\kappa} - \frac{l^2 \cos \theta}{2i^2} + \frac{lr}{i^2} \sin \theta$$

$$A_{34} = \frac{r}{\kappa} \left(1 + \cos \theta + \frac{\pi - \theta}{2} \sin \theta \right) + l \sin \theta$$

$$+ \frac{lr(2r \sin \theta - l \cos \theta)}{i^2}$$

(g) 式を解いて、 F_0, M_0, N_0 を求めれば、はりの各部の M_{AB}, M_{AB} 等が決定できる。表皮応力は、

$$\sigma = N/A \pm Me/I \quad (\text{真直はり}) \quad (\text{h})$$

$$\sigma = N/A + (M/Ar) \{ 1 \pm e/\kappa(r \pm e) \} \quad (\text{曲りはり}) \quad (\text{i})$$

により求められる。外力が 2 個以上同時に加わる時は、線形問題における重量の原理から、各々による応力を単純に加えればよい。

(昭 57.12.27 受付)

産業安全研究所技術資料

RIIS-TN-82-3

昭和 58 年 3 月 20 日 発行

発行所 労働省産業安全研究所
東京都港区芝5丁目35番1号
電話 (03) 453 - 8441 (代)

印刷所 新日本印刷株式会社

UDC 539.42 : 614.8-02 : 691.871

災害事例分析

—コンクリートはりに埋込まれた鉄筋製U字型つり手の破断—

田中 正清・前田 豊

労働省産業安全研究所技術資料 RIIS-TN-82-3 (1982)

昭和 56 年 2 月，東京都下のビル建築現場で天井コンクリートはりに設置した鉄筋製 U 型つり手が荷のつり降し作業中に破断して作業員 2 名が荷と共に墜落して重傷を負った。

事故原因究明のため，事故状況，破断面形態，つり手の負荷状態（応力計算），つり手の強度確認試験などの調査検討を行った。

その結果，この事故は本つり手のように冷間曲げ加工すると極端に強度の低下する鉄筋材を主要部材として用い，しかも，つり降し作業でのつり角が U 字型にとっては非常に厳しい斜め負荷状態で使用したためと判明した。

UDC 539.42 : 614.8-02 : 691.871

Accident Analysis-Failure of U-type Hangers Made of Reinforcing Steel Bar
Fixed to Reinforced Concrete Beams

by **Masazumi Tanaka and Yutaka Maeda**

Technical Note of the Research Institute of Industrial Safety,
RIIS-TN-82-3, 1~17 (1982)

The cause of failure accident of U-type hangers were analysed through spot inspection, fractographic method, estimation of their loading condition and certification test of their strength, containing Charpy V-notch test and so on.

It was clarified that reinforcing steel bar used for those hangers were extremely weakened through cold working (bending to U-type), and oblique tensile loading condition was very severe for those U-type hangers. This accident is considered to have happened through the strength shortage of hangers owing to such inadequate material selection and loading condition.