

ダブルリンク型水平引込クレーンの巻上および 引込運動における衝撃値について

大 西 昇*

Impact Value of Double Link Type Level Luffing Crane in Hoisting and Luffing Motion

By Noboru Ōnishi
Kameari Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The impact value for various operations of double link type level luffing crane has hitherto been handled on the assumption basis. The writer measured the values with the crane in actual operation to enable engineers to deal with it with confidence based on proved figures.

The measurement was carried out in the following way; a photoelectric cell type stress gauge is equipped at three parts as illustrated in Fig. 2.(a), (b) and (c), and the stress of each part was recorded by oscillograph. Then, the impact values calculated from the oscillograms thus obtained were compared with the calculated values derived from the theoretical analysis. The results of this comparative study are as follows:

(1) In Case of Hoisting:

The magnitude of stress arising from the static load at the tip of boom makes the following ratio, γ' , with the stress involving the impact:

γ' calculated value	1.6
γ' measured value	1.55

(2) In Case of Luffing:

In case of luffing operation, the impact value reached the maximum when the jib is retroceded inside the minimum radius.

Impact due to Oscillation of Hoisted Load:

The maximum width of oscillation of hoisted load, X_{max} , immediately after the tip of the boom comes to standstil is expressed as follows:

$$X_{max} = 2 \frac{l}{g} (\alpha + \beta)$$

where,

l = distance between boom tip and load

α = acceleration rate of boom tip

β = deceleration rate of boom tip

g = acceleration of gravity

Then, the luffing impact value, S_H , caused by the oscillation above analyzed is as follows:

S_H calculated value	$0.224 W$
S_H measured value	$0.195 W$

where,

W = weight of the load

* 日立製作所亀有工場

Impact due to inertia:

The force impose on the luffing rack, T_r , arising from the inertia of moving part is given as follows:

$$T_r \text{ calculated value} = 5.08 \text{ t}$$

$$T_r \text{ measured value} = 6.26 \text{ t}$$

As given above, the calculated values come out with some difference with the measured values. And this difference, or error, is assumed to be derivative either from various assumptions employed for simplifying the introduction of formulas, or error in assumption of machine strain, or ununiformity of stress distribution of the measured section.

〔I〕 緒 言

ダブルリンク型水平引込クレーンが各種の運動をなす際に生ずる衝撃値に対しては、従来一応仮定を立てて取扱っていた。今回これらの衝撃値を解明するため実物について実測したので、その結果を検討してその一部をここに報告する。

〔II〕 主 要 機 能

本機は第1図に示すような走行式橋桁上を横行する。ダブルリンク型水平引込クレーンであり、その主要機能はつぎの通りである。

能力 (石炭).....	150 t/h
旋 回 半 径.....	最大 24 m 最小 9 m
巻 上.....	80 m/min 100 kW
引 込.....	80 m/min 20 kW
旋 回.....	1 r/min 20 kW
横 行.....	40 m/min 30 kW
電 源.....	440 V 60~

〔III〕 実 測 要 領

実測は主として巻上、引込および旋回運動による衝撃に対して行い、第2図に示せる位置 (a), (b) および (c) に光電管式歪計⁽¹⁾を取付け、その部材の歪をオシログラムに記録して衝撃値を求めた。本報告は巻上および引込運動におけるものを検討した結果である。

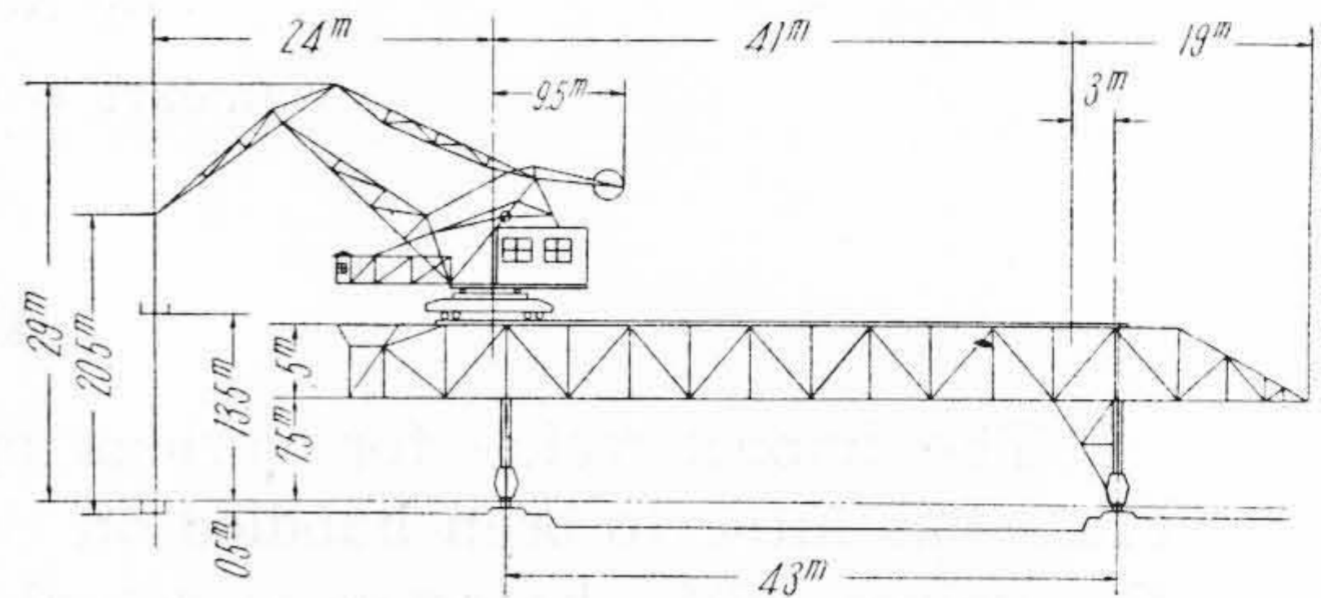
〔IV〕 巻 上 時 の 衝 撃

巻上時の衝撃で最大と考えられるものは地切時に起るものである。したがって巻上衝撃としては地切時の衝撃のみを検討する。なお本機の巻上装置は巻上と開閉をそれぞれ別箇の電動機で行うようになっている。

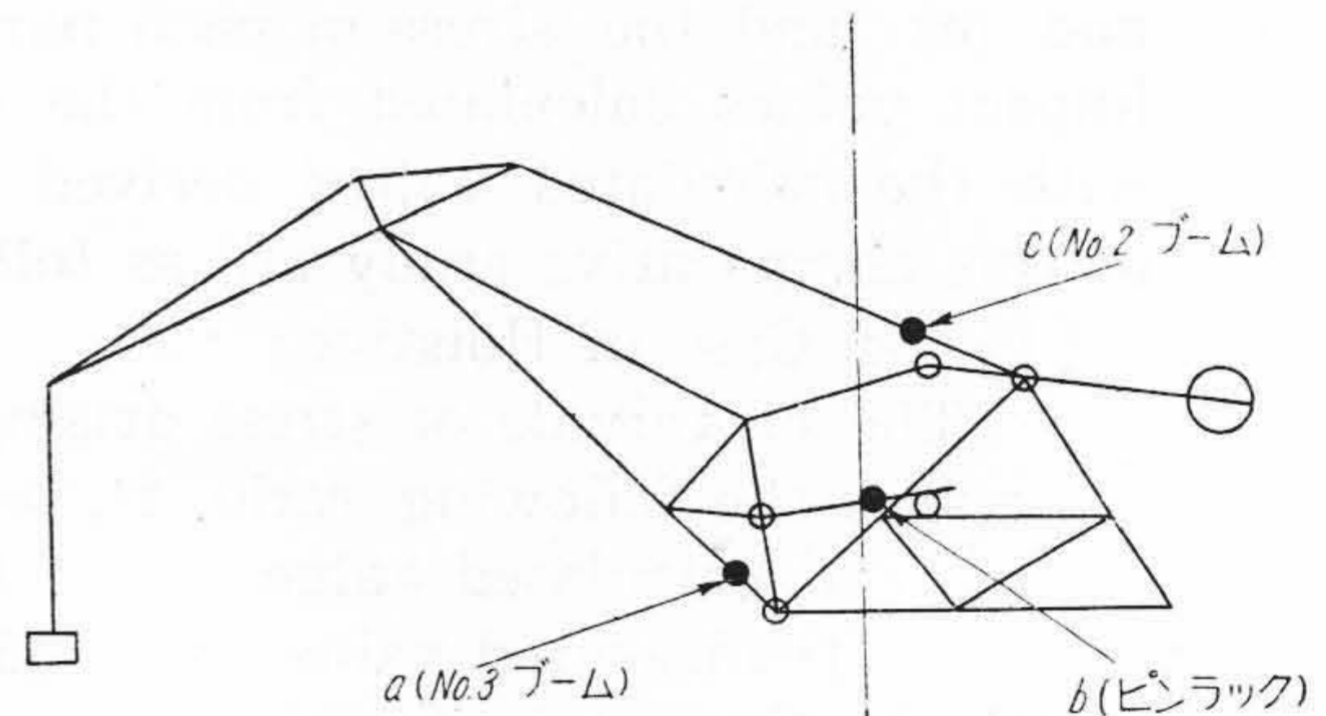
(1) 理論的検討

巻上地切時における衝撃は鋼索および鉄骨類に生ずる弾性歪を考慮して検討する。なお計算に使用する記号はつぎのごときものとする。

V_H : 鋼索速度 (cm/s)



第1図 ダブルリンク型水平引込起重機全体図
Fig. 1. General View of Double Link Type Level Luffing Grane



第2図 測定位置図
Fig. 2. Locations of Measured Points

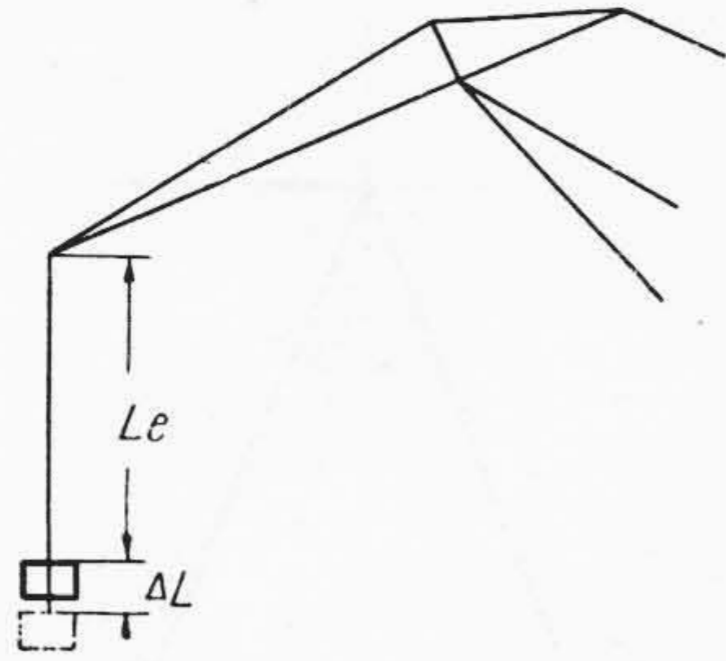
- W : 鋼索1本にかかる静荷重 (kg)
- E : 鋼索の弾性係数 (kg/cm²)
- A : 鋼索の純断面積 (cm²)
- L : 鋼索の全長 (cm)
- g : 重力の加速度 (cm/s²)

(A) 鋼索の伸びの影響

荷重が地面を離れる直前には鋼索は静荷重 W に相当する伸び δ_2 (cm) を生じ、さらに荷重を加速するためこの伸びは δ_1 (cm) となる。この状態から荷重が一定速度 V_H に達したときには鋼索の伸びは δ_2 になつておる筈である。したがって鋼索の自重を無視すると、鋼索が伸び δ_1 から δ_2 に縮んだとき放出するエネルギーは

$$\frac{AE\delta_1^2}{2L} - \frac{AE\delta_2^2}{2L} \dots\dots\dots (1)$$

一方荷重の受取るエネルギーは速度 V_H による運動のエ



第3図 巻上衝撃説明図
Fig. 3. Skeleton Diagram for Explanation of Impact due to Hoisting Motion

エネルギー $\frac{WV_H^2}{2g}$ と、鋼索が $(\delta_1 - \delta_2)$ だけ縮むための位置のエネルギー $W(\delta_1 - \delta_2)$ である。したがって荷重の受取った総エネルギーは

$$\frac{WV_H^2}{2g} + W(\delta_1 - \delta_2) \dots\dots\dots (2)$$

である。以上の2式を等置して

$$\frac{AE\delta_1}{2L} - \frac{AE\delta_2}{2L} = \frac{WV_H^2}{2g} + W(\delta_1 - \delta_2)$$

これを整理して

$$\begin{aligned} \delta_1 &= \delta_2 + V_H \sqrt{\frac{WL}{AEg}} \\ \therefore \frac{\delta_1}{\delta_2} &= 1 + V_H \sqrt{\frac{WL}{AEg}} \times \frac{1}{\delta_2} = 1 + V_H \sqrt{\frac{WL}{AEg}} \times \frac{AE}{WL} \\ &= 1 + V_H \sqrt{\frac{AE}{WLg}} = r \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

δ_1 と δ_2 の比 r は地切の際にブームの先端にかかる衝撃荷重と静荷重の比に等しい。

(B) 鉄骨の歪の影響

鉄骨の歪による影響は、近似的にこれを鋼索の伸びに置き換えて考えれば簡単に求めることができる。今第3図に示すように、ブームの先端に静荷重 W をかけたときに生ずる垂直方向の歪を ΔL とする。一方鋼索に荷重 W を静的に加えて ΔL の伸びを生ずる鋼索の仮想長さを L_e とすれば

$$\Delta L = \frac{WL_e}{AE} \text{ あるいは } L_e = \frac{AE}{W} \Delta L = AE\delta_v \quad (4)$$

となる。上式の δ_v はブームの先端に単位荷重を加えたときに生ずるブーム先端の垂直方向の撓みを与える。よって鉄骨の歪を考える代りに鋼索の全長が $(L + L_e)$ であるとして、荷重 W を加えたときの鋼索の歪を考えればよい。したがって(3)式の r は(5)式の r' となる。

$$r' = 1 + V_H \sqrt{\frac{AE}{Wg(L + \delta_v AE)}} \dots\dots\dots (5)$$

(C) 数値計算

以上の諸式に数値を入れて計算してみる。

V_H : 80 m/min = 133 cm/s

E : 1.0×10^6 kg/cm² (仮定)

L : 5,240 cm

δ_v : 3.71 cm/t (計算値)

W : $\left(\frac{\text{バケット自重} + \text{摺み量}}{2}\right) = 3,000$ kg

A : 1.6 cm²

g : 980 cm/s²

$$r = 1 + V_H \sqrt{\frac{AE}{WLg}} = 1 + 133 \sqrt{\frac{1.04}{10^4}} = 2.35$$

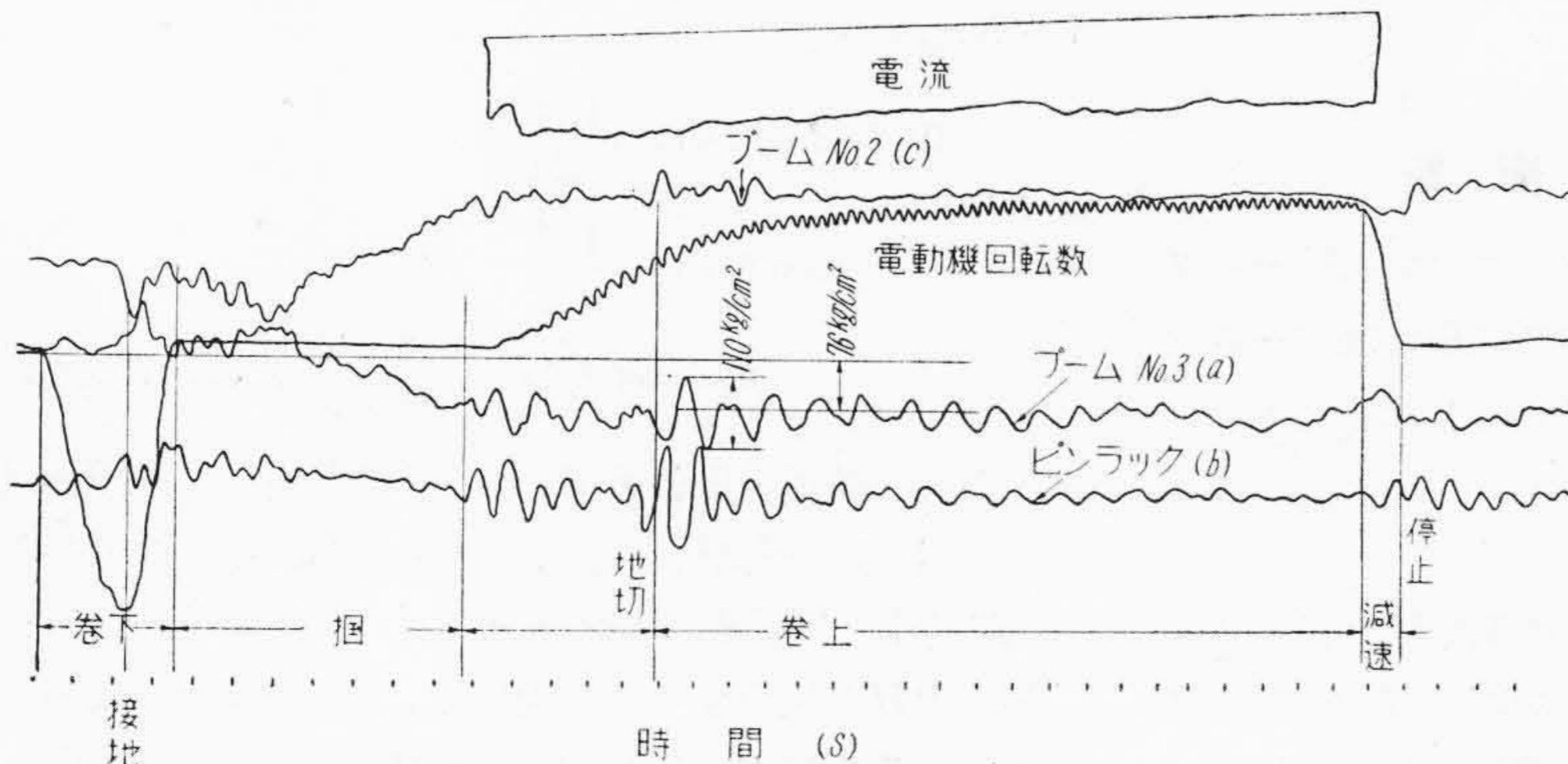
$$\begin{aligned} r' &= 1 + V_H \sqrt{\frac{AE}{Wg(L + \delta_v AE)}} = 1 + 133 \sqrt{\frac{0.488}{10^4}} \\ &= 1.93 \end{aligned}$$

以上はいずれも 80 m/min の全速で地切した場合である。

(2) 実測値の検討

第4図は巻上時の衝撃を記録せるオシログラムの一例である。各曲線はそれぞれ電流値、電動機回転数および第2図の(a), (b) および(c)における鉄骨の歪の変化を示したものである。この中でNo. 3ブームの(a)位置における衝撃値について検討してみる。

(A) 巻下げ時の接地ならびに加速および減速が起る際にはオシログラム上に高い波が現われて衝撃が起つて示す。



第4図 巻上衝撃実測図
Fig. 4. Oscillogram of Impact due to Hoisting Motion

(B) 掴みが進むにつれてブームに加わる荷重が増加しブーム (a) における歪が増している。

(C) ついで巻上電動機の起動とともにオッシログラム上に波が現われ、さらに地切に至つて最大の波が現われている。この際のバケットの掴み量は約 3t であり、旋回半径は最大であつた。

グラフより空バケットの場合すなわち巻上開始前と石炭を掴み上げた場合との差を見ると 76 kg/cm² であり、これはあきらかに掴み量 3t によつてブーム (3) の (a) 位置に生じた応力である。したがつてバケットの自重 (3t) を合計した荷重に対しては

$$76 \text{ kg} \times \left(\frac{3,000 \text{ kg} + 3,000 \text{ kg}}{3,000 \text{ kg}} \right) = 152 \text{ kg/cm}^2$$

の筈である。一方地切時の最大応力振幅に相当する値は 110 kg/cm² である。したがつて地切時の衝撃値としては $\frac{110}{2} = 55 \text{ kg/cm}^2$ となる。故に静荷重の場合と衝撃を受けた場合との応力比は

$$r' = \frac{152 + 55}{152} = 1.36$$

なお地切の際の巻上速度はグラフより、ほぼ全速の 65% であることがわかる。

(3) 実測値と計算値との比較

地切速度 V_H を実測値と等しく全速の 65% すなわち $133 \text{ cm/s} \times 0.65 = 86.5 \text{ cm/s}$ として計算してみると、(5) 式より

$$r'(\text{計算値}) = 1 + 0.93 \times 0.65 = 1.6$$

となり、一方実測の結果は前項に求めたごとく

$$r'(\text{実測値}) = 1.36$$

である。

すなわち実測値は計算値より低く、その比は 1.18 である。これは鋼索の伸びおよび鉄骨の歪の仮定にある程度の誤差が免れないためと考えられる。

しかして上記の実測値を全速で地切したものとして換算してみると

$$r'_{\text{max}} = 1 + 0.36 \times \frac{1}{0.65} = 1.55$$

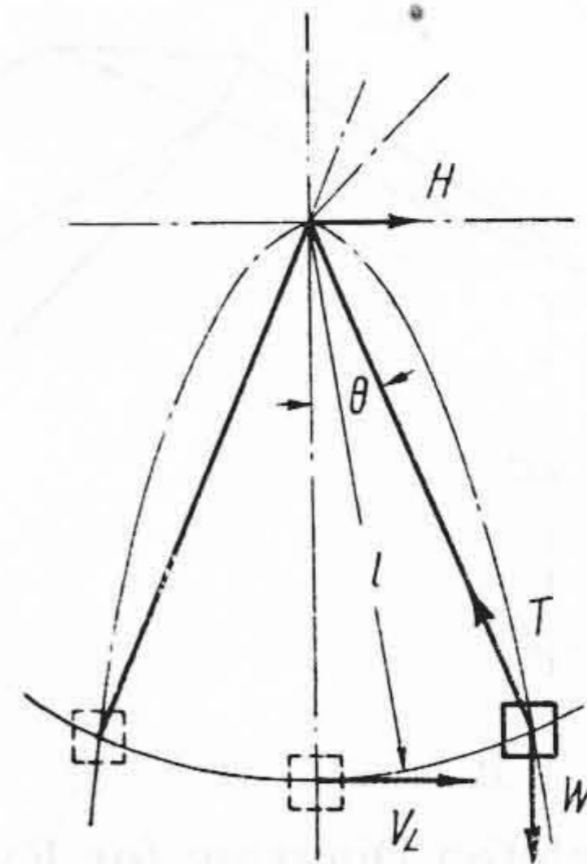
となる。

[V] 引込時の衝撃

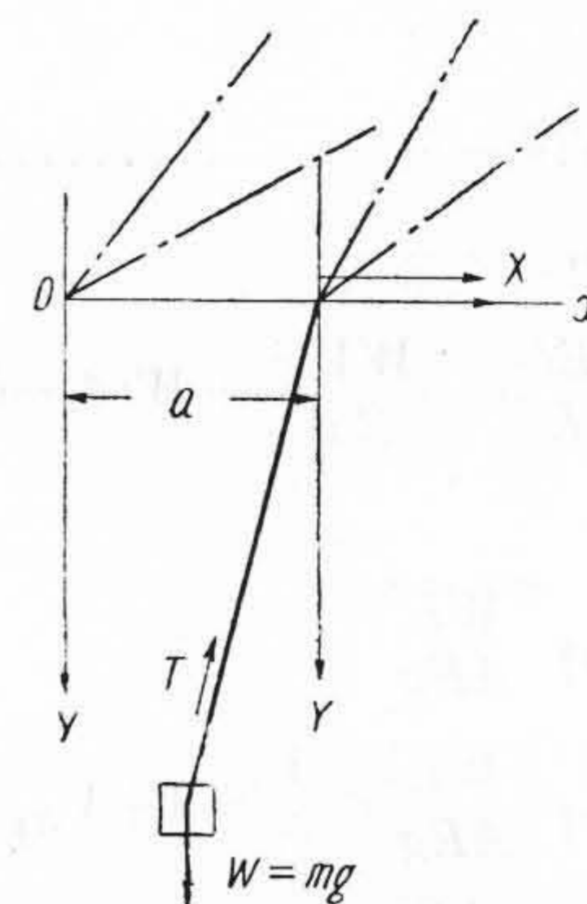
引込運動においてはブームの位置によつて引込ラックにかかる衝撃の大きさは異なる。今回の実測ではブームを最小半径に引込んだときの衝撃が最大値を示したので、本報告ではこの場合について検討する。

(1) 理論的検討

(A) ブームを出し入れするときの衝撃値に最も大きな影響をおよぼすのは荷重の振れに起因するものである。第 5 図のごとく、吊上げた荷重 W が振ると考える。



第 5 図 引込衝撃説明図
Fig. 5. Skeleton Diagram for Explanation of Impact due to Luffing Motion



第 6 図 引込衝撃説明図 (加速時)
Fig. 6. Sketeron Diagram for Explanation of Impact due to Luffing Motion (Acceleration)

今ブームの先端が水平に V_L の速度で動いていて瞬時に停止して荷重が振れ始めたときを考える。ブームの先端に働く水平分力 H は鋼索の張力 T から生じ

$$H = T \sin \theta = W \tan \theta$$

となる。

今、 θ = 振子の最大角度、 l = 振子の長さ
とすると、荷重の位置のエネルギーと、運動のエネルギーとの関係から

$$\begin{aligned} W(l - l \cos \theta) &= \frac{W V_L^2}{2g} \\ \cos \theta &= 1 - \frac{V_L^2}{2gl} \\ \theta &= \cos^{-1} \left(1 - \frac{V_L^2}{2gl} \right) \dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

上式は荷重の振れ角 θ と引込速度 V_L との関係を与える。これは減衰抵抗を考えない場合の限界を示すもので、 l が長くなる程その振れ角 θ は小となり、したがつて水平分力 H が減少することを知る。すなわちブーム先端の鋼索が長い程引込衝撃が減少する。

(B) 今引込運動の停止時の荷重の状態を考えるに、停止前には常には減速されると同時に、ブームその他が歪を起すため荷重の振れ、したがって引込の衝撃が相当減少する筈である。

今荷重 W がブームの先端に垂直に下がって静止している状態から引込運動を始め、等速運動から減速状態に入り、ついで停止に至る間の荷重の運動を考察する。

第6図においてブームの先端が0から加速を始め a だけ進んだとき、荷重 W は図のごとき位置に振れたとする。 T を鋼索の張力とするとその水平分力は $T \frac{(a-x)}{l}$ であるから、運動方程式は

$$m \frac{d^2x}{dt^2} - T \frac{(a-x)}{l} = 0 \dots \dots \dots (6)$$

今振幅が小なる場合 $l \approx y$ と考えられる。したがって $T = mg$ となる。故に(6)式は

$$m \frac{d^2x}{dt^2} - mg \frac{(a-x)}{l} = 0$$

すなわち

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{g}{l} x = \frac{g}{l} a \dots \dots \dots (7)$$

今ブームの先端が停止の状態から一定の加速度 α で一定速度 V_L に加速されるものとする、 $a = \frac{1}{2} \alpha t^2$ となるから(7)式は

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{g}{l} x = \frac{1}{2} \alpha t^2 \times \frac{g}{l} \dots \dots \dots (8)$$

となる。

$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{g}{l} x = 0$ の一般解は

$$x = C_1 \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t + C_2 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t$$

となり、他方(8)式の特別解は

$$x = \alpha \left(\frac{1}{2} t^2 - \frac{l}{g} \right) \text{ となる。よつて(8)式の一般解は}$$

$$x = C_1 \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t + C_2 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t + \alpha \left(\frac{1}{2} t^2 - \frac{l}{g} \right) \dots \dots \dots (9)$$

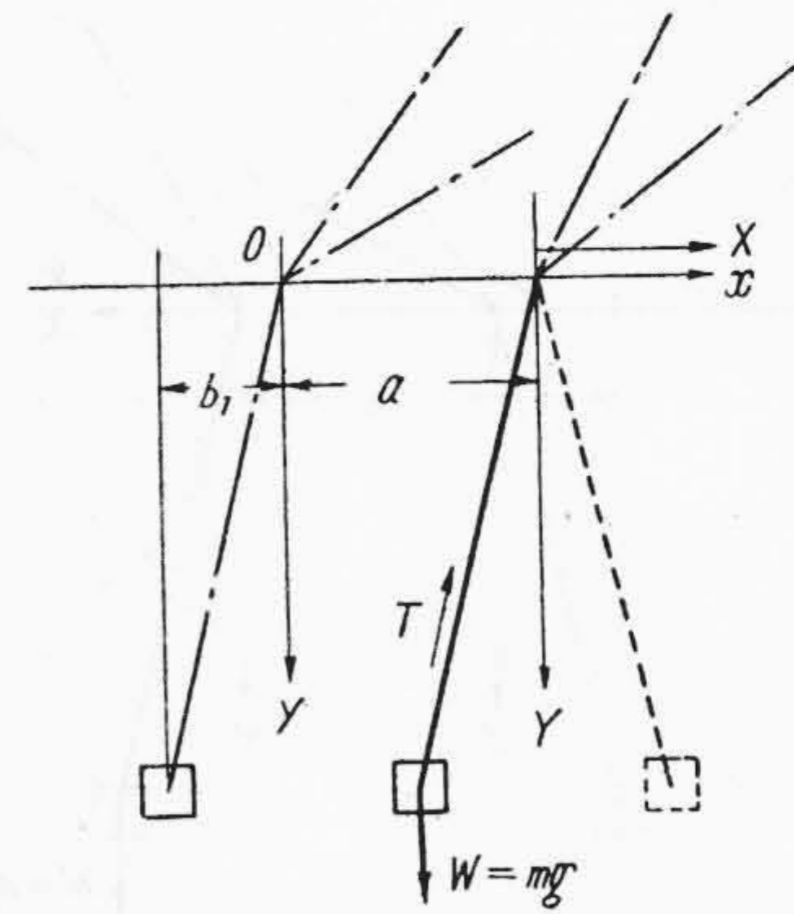
ただし C_1 および C_2 は定数で初期条件により決定される。すなわち、 $t=0$ で $x=0$ 、 $\frac{dx}{dt}=0$ であるから、これらを(9)式および、(9)式を t に関して微分したものに代入すると

$C_1=0$ および $C_2 = \alpha \frac{l}{g}$ となる。したがつて(9)式は

$$x = \alpha \frac{l}{g} \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t + \alpha \left(\frac{1}{2} t^2 - \frac{l}{g} \right) \dots \dots \dots (10)$$

簡単にするため (X, Y) 座標に変換すると、 $x = a + X = \frac{1}{2} \alpha t^2 + X$ であるから

$$\begin{aligned} X &= \alpha \frac{l}{g} \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t + \alpha \left(\frac{1}{2} t^2 - \frac{l}{g} \right) - \frac{1}{2} \alpha t^2 \\ &= \alpha \frac{l}{g} \left(\cos \sqrt{\frac{g}{l}} t - 1 \right) \dots \dots \dots (11) \end{aligned}$$



第7図 引込衝撃説明図(等速時)
Fig. 7. Skeleton Diagram for Explanation of Impact due to Luffing Motion (Constant Speed)

これが支点とともに移動する荷重 W の加速状態における運動を示す。最大振幅 B_1 は $\cos \sqrt{\frac{g}{l}} t = -1$ のときであるから

$$B_1 = -\frac{2l}{g} \alpha \dots \dots \dots (12)$$

つぎに等速運動中の状態は同様に、ブーム先端が荷重より b_1 だけ先行して等速に移り、 a だけ進んで第7図の状態になつたとすると

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{g}{l} x = \frac{g}{l} a \dots \dots \dots (13)$$

$a = V_L t$ であるから

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{g}{l} x = \frac{g}{l} V_L t \dots \dots \dots (14)$$

(14)式の一般解は

$$x = C_1 \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t + C_2 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t + V_L t$$

このときの初期条件は

$t=0$ で $x=b_1$ 、また加速時間を t_1 とすると(10)式より

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt(t=t_1)} &= -\alpha \frac{l}{g} \sqrt{\frac{g}{l}} \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_1 + \alpha t_1 \\ &= -\alpha \sqrt{\frac{l}{g}} \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_1 + V_L \end{aligned}$$

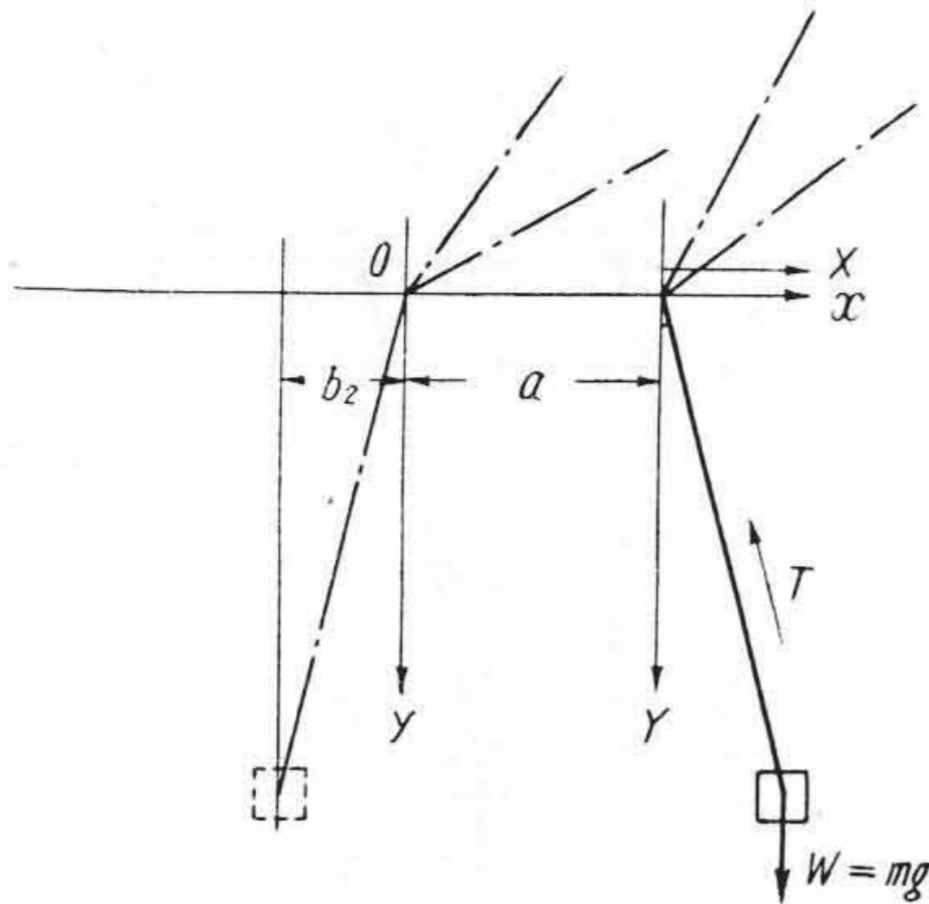
であるから、 $C_2 = b_1$ 、 $C_1 = -\alpha \frac{l}{g} \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_1$

$$\begin{aligned} \therefore x &= -\alpha \frac{l}{g} \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_1 \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t \\ &\quad + b_1 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t + V_L t \dots \dots \dots (15) \end{aligned}$$

(X, Y) に座標を移すと、 $x = a + X = V_L t + X$ であるから

$$\begin{aligned} X &= -\alpha \frac{l}{g} \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_1 \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t + b_1 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t \\ &\quad \dots \dots \dots (16) \end{aligned}$$

なお b_1 の値は(11)式の t に t_1 を代入したときの X の値である。



第8図 引込衝撃説明図 (減速時)
Fig. 8. Skeleton Diagram for Explanation of Impact due to Luffing Motion (Retardation)

すなわち

$$b_1 = X_{(t=t_1)} = \alpha \frac{l}{g} (\cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_1 - 1) \dots \dots (17)$$

さらに進んで、減速に入ったときの状態は、同様にブーム先端が減速に入ってから a だけ進んだ位置を考えて (第8図)

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{g}{l}x = \frac{g}{l}a$$

β を減速度とすると、

$$a = V_L t - \frac{1}{2} \beta t^2$$

であるから

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{g}{l}x = \frac{g}{l} (V_L t - \frac{1}{2} \beta t^2) \dots \dots (18)$$

(18) 式の一般解は

$$x = C_1 \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t + C_2 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t - \frac{1}{2} \beta t^2 + V_L t + \frac{l}{g} \beta \dots \dots (19)$$

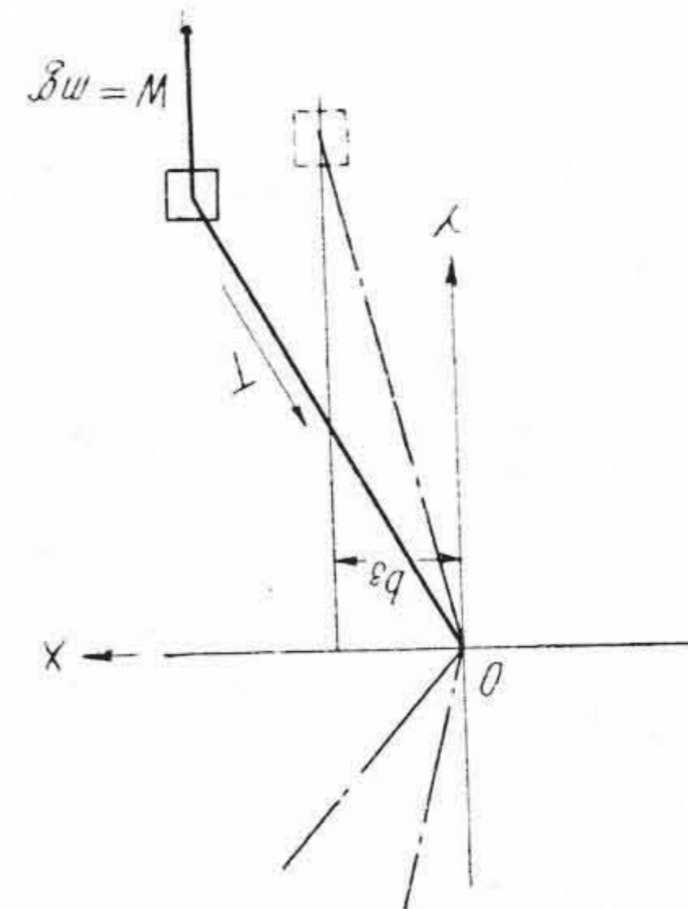
このときの初期条件は $t=0$ で、 $x=b_2$, $c_2=b_2 - \frac{l}{g} \beta$, また dx/dt は (15) 式より t に等速時間 t_2 を代入して求めうる。すなわち

$$dx/dt_{(t=t_2)} = -\alpha \sqrt{\frac{l}{g}} \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_1 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 - b_1 \sqrt{\frac{g}{l}} \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 + V_L$$

であるから (19) 式を微分したものと比較して C_1 を求めると

$$C_1 = -\alpha \frac{l}{g} \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_1 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 - b_1 \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_2$$

となる。故に (19) 式は



第9図 引込衝撃説明図 (停止時)
Fig. 9. Skeleton Diagram for Explanation of Impact due to Luffing Motion (Stopping)

$$x = -\left(\alpha \frac{l}{g} \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_1 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 + b_1 \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 \right) \times \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t + \left(b_2 - \frac{l}{g} \beta \right) \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t - \frac{1}{2} \beta t^2 + V_L t + \frac{l}{g} \beta \dots \dots (20)$$

座標を (X, Y) に変換すると、

$$x = a + X = V_L t - \frac{1}{2} \beta t^2 + X$$

であるから

$$X = -\left(\alpha \frac{l}{g} \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_1 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 + b_1 \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 \right) \times \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t + \left(b_2 - \frac{l}{g} \beta \right) \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t + \frac{l}{g} \beta \dots (21)$$

b_2 の値は (16) 式の t に t_2 を代入したときの X となる。

すなわち

$$b_2 = X_{(t=t_2)} = -\alpha \frac{l}{g} \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_1 \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 + b_1 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 \dots \dots (22)$$

最後にブーム先端停止後の状態 (第9図) は同様に

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{g}{l}x = 0$$

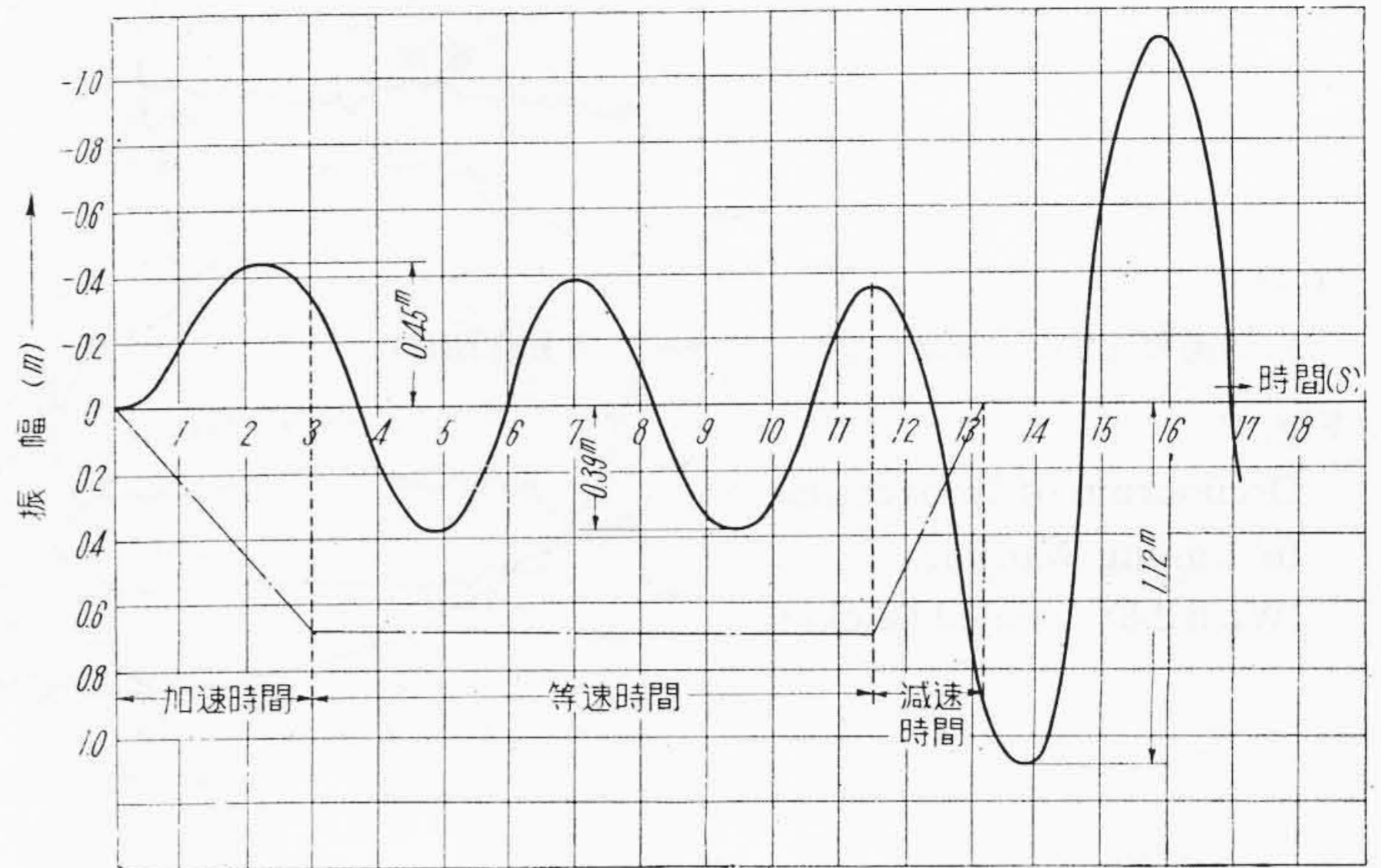
この式の一般解は

$$x = C_1 \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t + C_2 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t \dots \dots (23)$$

このときの初期条件は $t=0$ で、 $x=b_3$, $C_2=b_3$ となり、 C_1 は前と同様に (20), (23) 式より求めると

$$C_1 = -\left(\alpha \frac{l}{g} \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_1 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 + b_1 \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 \right) \times \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_3 - \left(b_2 - \frac{l}{g} \beta \right) \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_3$$

である。



第10図 荷重振動図
Fig. 10. Oscillation of Load

$$\therefore x = - \left[\left(\alpha \frac{l}{g} \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_1 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 + b_1 \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 \right) \times \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_3 + \left(b_2 - \frac{l}{g} \beta \right) \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_3 \right] \times \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t + b_3 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t \dots \dots \dots (24)$$

$$= \frac{2W}{g} (\alpha + \beta) \dots \dots \dots (28)$$

b_3 は(21)式で $t=t_3$ としたときの X の値である。すなわち

$$b_3 = X_{(t=t_3)} = - \left(\alpha \frac{l}{g} \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_1 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 + b_1 \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 \right) \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_3 + \left(b_2 - \frac{l}{g} \beta \right) \times \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_3 + \frac{l}{g} \beta \dots \dots \dots (25)$$

(25)式において x の最大値は、 b_1 、 b_2 および b_3 の絶対値の最大の場合でこのためには

$$\cos \sqrt{\frac{g}{l}} t = -1, \quad \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 = \pm 1, \quad \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_3 = -1$$

となつたときである。このときの x の値は

$$x_{\max} = 2 \frac{l}{g} (\alpha + \beta) \dots \dots \dots (26)$$

すなわちブーム先端が停止後の荷重 W の振幅 B の最大値はつぎのようになる。

$$B_{\max} = 4 \frac{l}{g} (\alpha + \beta) \dots \dots \dots (27)$$

つぎにブーム先端の歪の影響を考える。この影響はブーム先端の歪のエネルギーだけ振れが減少すると考えられる。この歪のエネルギー e_δ は

$$e_\delta = \frac{W^2 \tan^2 \theta \delta_H}{2}$$

ただし θ = 荷重の振れ角 δ_H = ブーム先端のバネ常数しかし θ が小なるときは上記の値はさらに小となるからこれを省略すると水平力 H の最大値は(27)式より

$$H_{\max} = \frac{2l}{g} (\alpha + \beta) \times \frac{W}{l}$$

(C) 引込運動の停止時には、上記の他に運動部分の慣性力に基く衝撃を考える必要がある。

$w_1, w_2, w_3 \dots \dots \dots$ 各運動部分の重量

$v_1, v_2, v_3 \dots \dots \dots$ 各運動部分の速度

とすれば運動エネルギー e_i は

$$e_i = \frac{w_1 v_1^2 + w_2 v_2^2 + w_3 v_3^2 + \dots}{2g} = \frac{1}{2g} \sum w v^2 \dots \dots \dots (29)$$

今 T_i = 慣性力による引込ラックの張力
 v_r = ラックの速度

とすれば

$$e_i = \frac{T_i v_r t_3}{3}$$

$$T_i = \frac{2e_i}{v_r t_3} = \frac{2 \sum w v^2}{2g v_r t_3} = \frac{\sum w v^2}{g v_r t_3} \dots \dots \dots (30)$$

(D) 以上の式に実際の数値を代入してみる。

$l=5 \text{ m}$ $W=2.9 \text{ t}$ $V_L=1.33 \text{ m/s}$ (平均速度)
 $t_1=3 \text{ s}$ $t_2=8.5 \text{ s}$ $t_3=1.7 \text{ s}$

以上の数値で計算して荷重の運動の状態を示したのが第10図であり、実測図第12図(次頁参照)に相当するものである。すなわち、ブーム先端停止時の最大振幅は $2 \times 1.12 \text{ m}$ 、でこれによりブーム先端に生ずる水平力 H は

$$H = W \times \frac{1.12}{5} = 0.224 \times W = 0.224 \times 2.9 \text{ t} = 0.65 \text{ t}$$

つぎに(30)式に対しては

$$\sum w v^2 = 9.49 \text{ t} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2 \quad (\text{計算値})$$

$$v_r = 0.1725 \text{ m/s} \quad t_3 = 1.1 \text{ s}$$

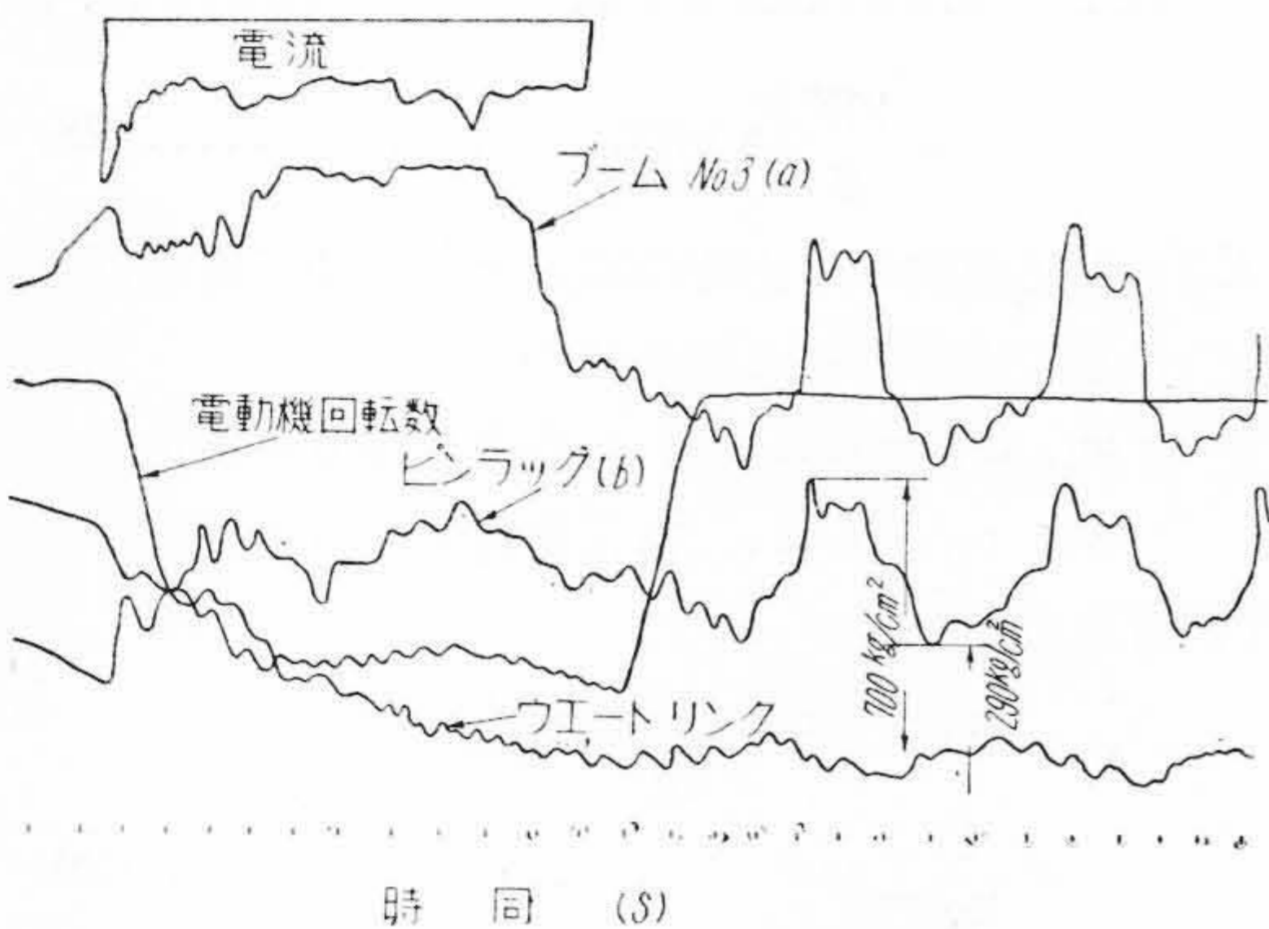
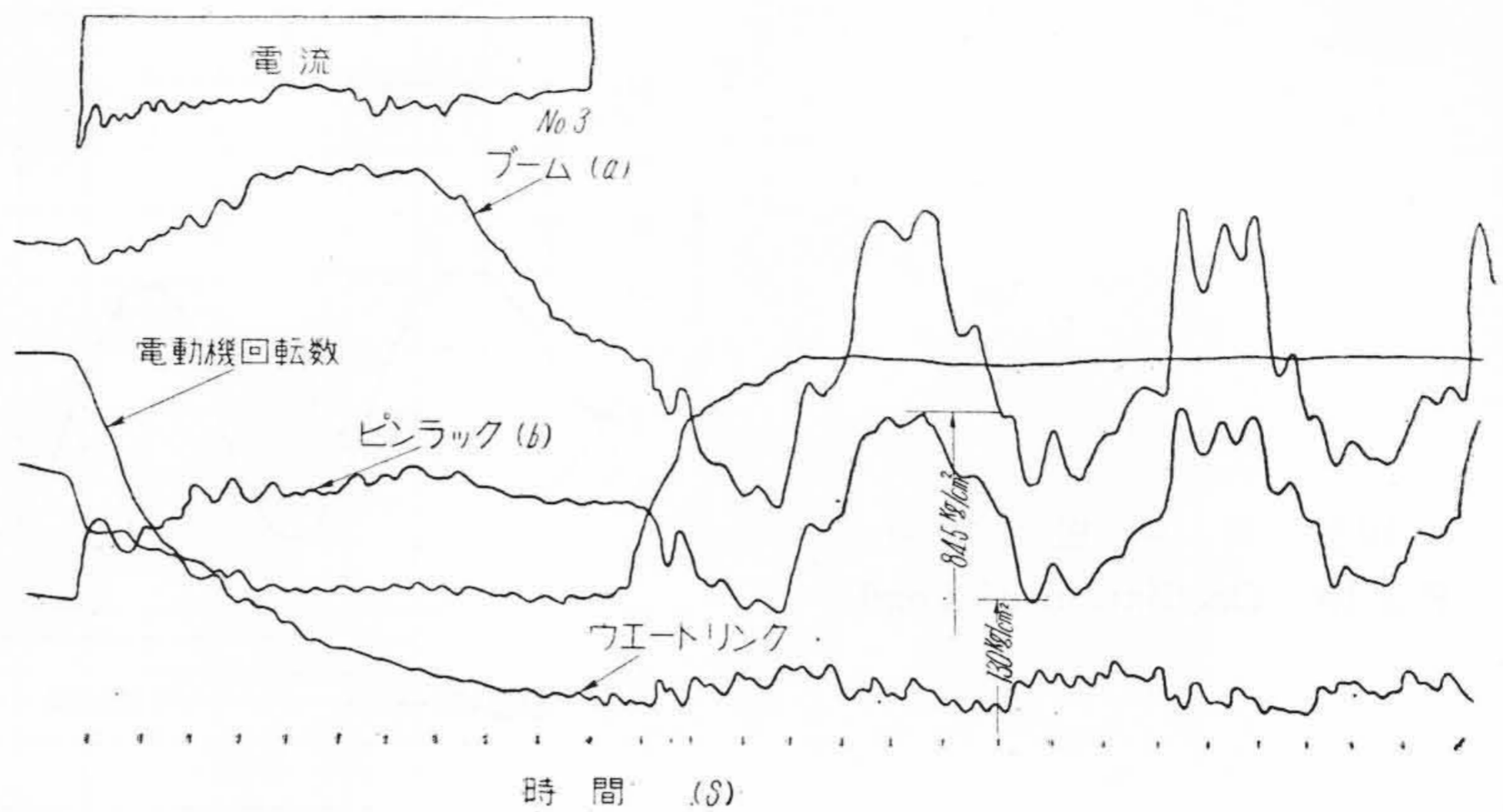
$$T_r = \frac{\sum w v^2}{g v_r t_3} = \frac{9.492}{9.8 \times 0.1725 \times 1.1} = 5.08 \text{ t}$$

第11図

引込衝撃実測図 (2.8t 摺)

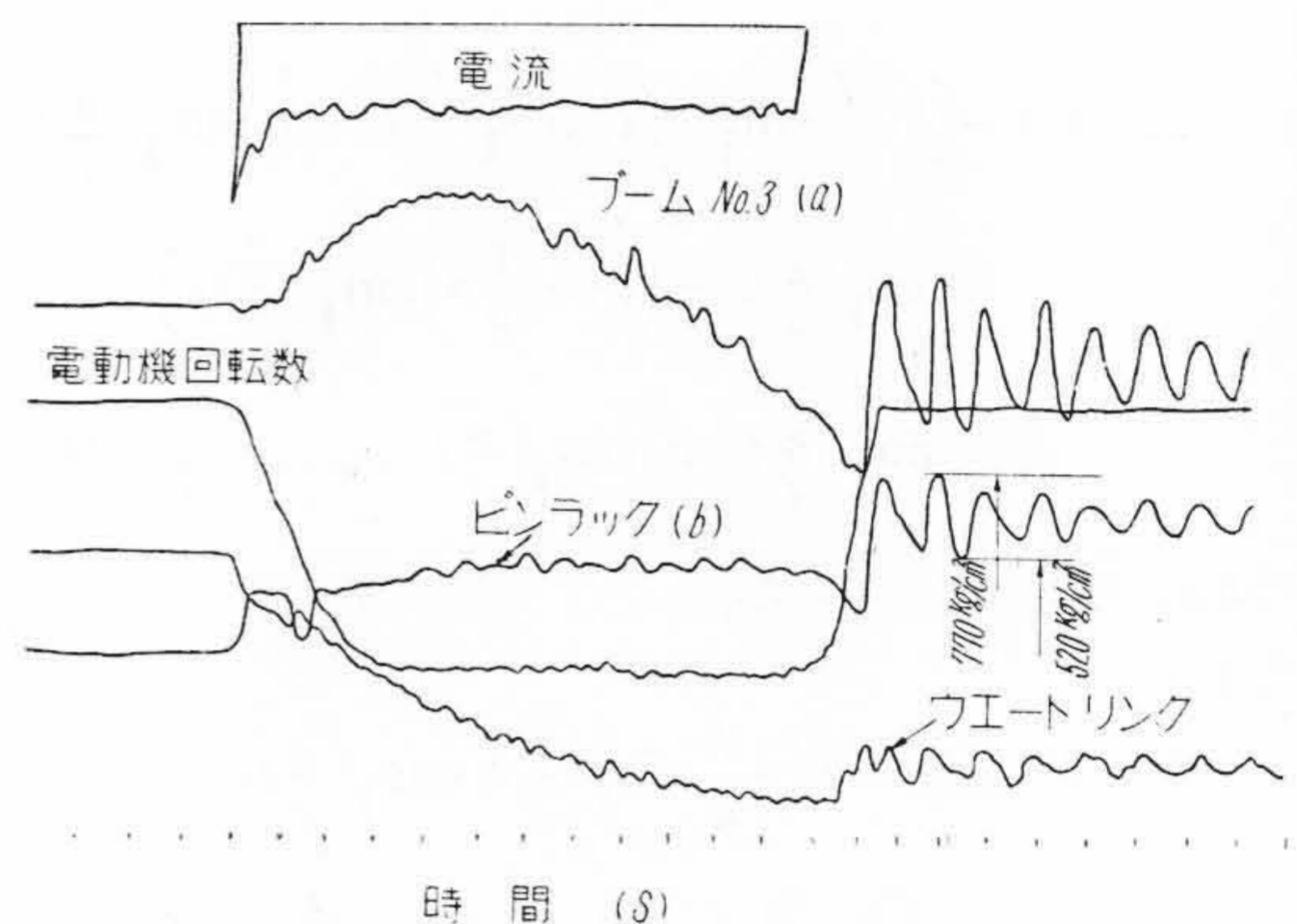
Fig. 11.

Oscillogram of Impact due to Luffing Motion (With 2.8t Loaded Bucket)



第12図 引込衝撃実測図 (空バケット)

Fig. 12. Oscillogram of Impact due to Luffing Motion (with Bucket Empty)



第13図 引込衝撃実測図 (バケットを地上に降した場合)

Fig. 13. Oscillogram of Impact due to Luffing Motion (Without Bucket)

(2) 実測値の検討

(A) 今第11図, 第12図および第13図を比較検討してみる。これらの図はそれぞれつぎの状態を示したものである。

第11図 2.8t 摺のときの引込運動停止時の状態

第12図 空バケットのときの引込運動停止時の状態

第13図 バケットを地上に降した状態で引込運動を停止した状態

第12図と第13図および第11図と第13図の差を見れば、それぞれ空バケットのときと 2.8t 摺んだときの影響が見られ、第13図と無荷重時の静的応力(別に測定したもの)との差によつて無荷重時の状態が見られる。

(B) 各場合の実測値を比較検討して、荷重によるラックへの衝撃値を出す。第1表より荷重の影響のみによるラックの張力と荷重の比は大體 2.1 である。すなわちラックには荷重の 2.1 倍の衝撃がかかる。なお別に力線図によつて求めると、ブームの先端に水平荷重をかけると、ラックの張力として、その 10.8 倍となつて現われる。したがつて、ブーム先端の荷重に換算した衝撃は $2.1/10.8 W = 0.195 W$ 、またブームのみを引込んだとき

は第1表の σ_1 より、 $T_r = 250/2 \text{ kg/cm}^2 \times 25 \text{ cm}^2 = 3,130 \text{ kg}$ であり、このときの減速時間は $t_3 = 1.1 \text{ s}$ である。なお以上の実測値はすべて引込ラックの溝形鋼の上双で測定したもので、計算はこの応力が全断面に一様に分布したものとして行つた。

(3) 計算値と実測値の比較

(A) 荷重による引込時の衝撃 (S_H)

$$S_H(\text{計算値}) = 0.224 W \quad S_H(\text{実測値}) = 0.195$$

$$\text{実測値と計算値の比は } 0.224/0.195 = 1.15$$

(B) 慣性力による衝撃 これは荷重がなくて、すなわちブームのみを引込んだときの衝撃値である。

$$T_r(\text{計算値}) = 5.08 \text{ t}$$

$$T_r(\text{実測値}) = 3.13 \times 2 = 6.26 \text{ t}$$

(引込ラックは 2 本で一組である)

$$\text{両者の比は } 6.26/5.08 = 1.23$$

以上のごとくいずれの場合にも計算値と実測値の間には若干の相異が見られる。これは引込ラック断面における応力の分布が均等でないためであると考えられるが、

第 1 表 引込時における衝撃値
Table 1. Impact of Luffing Motion

	σ_{max} (kg/cm ²)	σ_{min} (kg/cm ²)	ρ ($\sigma_{max}-\sigma_{min}$) (kg/cm ²)	減速時間 (t ₃ s)	鉄骨のみ による σ (σ_1 kg/cm ²)	荷重のみ による σ (σ_2 kg/cm ²)	ラック張力 (kg)	荷重 (kg)	ラック張力 と荷重の比
第 13 図	770	520	250	1.1	250				
第 12 図	700	290	410	1.7	162	248	±3,100	1,500	2.07
第 11 図	845	130	715	1.2	229	486	±6,075	2,900	2.1

(注) σ はラックの応力, ラックの断面積を 25 cm² とする。

特に(A)の場合計算値は相当大きな値を示している。これは鉄骨の歪を無視しかつ振幅が小さいものとして計算を簡易化し, さらに振動の減衰を無視したなどによるものと考えられる。

以上の検討により引込運動時に生ずる衝撃値は次式で表わすことができる。

$$S_{H(max)} = \frac{2Wl}{g}(\alpha + \beta) \times \frac{1}{l}$$

$$= \frac{2W}{g}(\alpha + \beta)$$

$$T_r = \frac{\sum wv^2}{gv_r t}$$

(注) 本実測における減速時間は制動機の調整の関係により, 非常に短縮されており, したがって衝撃も大きく現われておる。

[VI] 結 言

以上巻上および引込運動に伴って生ずる衝撃応力を, オッシログラムにより求めて検討した。

巻上時における衝撃を含んだ応力を(5)式により計算せる理論値と実測値との間には若干の誤差がある。この誤差は理論式を誘導するに当り, 機体の歪の仮定の誤差および各部の摩擦損失などを無視して式の誘導を簡略化せるためと考えられる。

引込時における衝撃は(24)式および(30)式により算出せる理論値と実測値には多少の誤差がある。これは測定せる引込ラックの断面における応力分布の不均等や, 鉄骨の歪および振動の減衰を無視し, 荷重の振幅が小なるものとして式の誘導を簡略化したなどのためによるものと考えられる。

(1) 巻 上

巻上時の衝撃の理論式は, 鋼索の伸びと鉄骨の歪を考えて(5)式を導出した。鉄骨の歪はそれに相当した伸びを生ずる鋼索の長さに置換えて式中に挿入した。ブーム先端の静荷重に基く応力の大きさと衝撃を含んだ応力の大きさの比 r' は

$$r' = 1 + V_H \sqrt{\frac{AE}{Wg(L + \delta_v AE)}} = 1.6$$

となる。

$$r'(\text{実測値}) = 1.55$$

(2) 引 込

引込の場合の衝撃は主に荷重の振れおよび運動部分の慣性力により生ずると考えられ, その値は最小半径に引込んだときに最大を示した。また衝撃値の大きさは引込速度, 加速度および鉄骨の歪により影響を受ける。

(i) 荷重の振れによるもの。

停止時の荷重の振れの振幅は下式となる。

$$x = - \left[\left(\alpha \frac{l}{g} \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_1 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 + b_1 \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_2 \right) \right. \\ \left. \times \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t_3 + \left(b_2 - \frac{l}{g} \beta \right) \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t_3 \right] \\ \times \sin \sqrt{\frac{g}{l}} t + b_3 \cos \sqrt{\frac{g}{l}} t$$

これの最大値は

$$x_{max} = 2 \frac{l}{g} (\alpha + \beta)$$

$$S_H(\text{計算値}) = 0.224W$$

$$S_H(\text{実測値}) = 0.195W$$

(ii) 慣性力によるもの。

$$T_r(\text{計算値}) = \frac{\sum wv^2}{gv_r t} = 5.08t$$

$$T_r(\text{実測値}) = 6.26$$

以上の値はいずれも減速時間が異常に短いときのものであるため, 数値も大きなものとなつている。

以上の検討において, 理論的な考察は不十分ではあるが, 一応実際の設計に応用しうる形に整えた。実測のものにも不備な点もあり, 今一步前進した実測は今後に期したい。

本実測は名古屋港務所(現管理組合), および名古屋埠頭株式会社の幹部の方々の絶大な御援助により遂行されたもので, ここにあらためて深甚の感謝を表する。

参 考 文 献

(1) 富田: 日立評論 33 307 (昭 26-5)

日立造船株式会社因島工場納
50t 塔形水平式引込クレーン
50 t Tower Type Level Luffing Crane

輸出船の受注が活気を帯びてきた造船所では、納期短縮と建造費切下げのため大形船舶のブロック建造方式が採用された。従来の塔形クレーンでは能力が間に合わず、船殻建造用にさらに大容量のクレーンを要求しているが、今度の50t塔形水平引込クレーンは特にこの目的のために製作されたもので、新設計にもかかわらず設計製作ともにきわめて短期間に行われた記録品である。

この種のクレーンは今迄使い馴れている塔形クレーンに較べ相当に自重が軽くなる特長があるほかに、さらにつきのような新しい試みを実施されている。

- (1) 形式はスイングレバー形でブームの俯仰に応じて水平引込運動を行う。
- (2) 巻上荷重の大小に応じて押ボタン操作による速度切替を電動で行うことができる。なお巻下時には船殻建造に必要な低速（巻下速度の約10%）を出すためにダイナミックブレーキを採用している。
- (3) 水平引込の運動はネジ式とし、大きな引込力に

耐える構造としている。

- (4) 走行装置は複線式クランクドライブ式でこれまでの塔形クレーンと同じであるが、今回はトラックに単独の電動機を4組備え、走行軸で各脚のトラックを結ぶのを止めたので構造が簡単である。
- (5) 鉄骨部分には極力溶接構造を採用し重量軽減に努めた。
- (6) 本機には抵抗線歪計式の荷重計を備えており、ブームの半径指示と組合せて常にクレーン全体の安定を許容範囲で使用できるようになっている。すなわち、ある半径で安定を悪くするような大きな荷重を吊ると、直ちに巻上回路を遮断する。またそのときの許容荷重 80% の値で警報を鳴らして運転員に知らせるようになっている。

本機はすでに試運転を終り、油槽船の建造に大いに活躍している。なお本機は国内でこの種クレーンの最大容量のものである。



仕 様	
型 式.....	スイングレバー形水平引込式
巻上荷重.....	Max. 38 m 28 t 24 m 50 t Min. 18 m 50 t
揚 程....	軌条上 45 m 下 5 m
軌条中心....	複線 9 m
巻 上..	50 t 8 m/min } 28 t 16 m/min } 100 kW
引 込.....	32 m/min 50 kW
旋 回.....	0.5 rpm 50 kW
走 行.....	30 m/min 4×40 kW
電 源.....	440 V 60~

第1図 50t 塔形水平引込クレーン
Fig. 1. 50t Tower Type Level Luffing Crane