

ふ頭クレーンの巻上運動時の衝撃値について

Impact Value of the Wharf Crane During Hoisting Operation

木 原 和 彦*
Kazuhiko Kihara

内 容 梗 概

トブリス形、粗形構造のふ頭クレーンは、色々な利点を持ち、ふ頭の整備とともに今後相当の需要が予想されるので、設計資料を得るため、日立製作所亀有工場で試作したふ頭クレーンについて実験を行なった。本報告ではそのうち巻上運動時の衝撃値について述べる。

1. 緒 言

亀有工場において、第1図に示すようなふ頭クレーンを試作した。本ふ頭クレーンの詳細については、すでに日立評論⁽¹⁾に発表されているので省略するが、仕様および特長を要約すれば次のとおりである。

仕 様

巻上荷重	5 t	
旋回半径	最大 20 m, 最小 7.1 m	
揚程	レール面上 20 m, 下 14 m	
径間	5 m	
速度および電動機		
巻上	荷重 5 t のとき	30 m/min
	3 t のとき	50 m/min 36 kW
	1.5 t のとき	100 m/min
引込		40 m/min 7.5 kW
旋回		1.5 rpm 7.5 kW
走行		30 m/min 7.5 kW×2
集電	ケーブル巻取式	
電源	400/440 V	

特 長

- (1) 鉄骨部分は、薄板溶接の箱形断面からなる張設形構造である。
- (2) 形式は構造が簡単なトブリス形で、荷重はほぼ水平に移動する。
- (3) ブーム自重をささえる方法として、ロープ式バランス法を用いている。
- (4) 巻上速度は荷重の大きさにより3段に変速でき、荷役能率をあげる。
- (5) 旋回装置はボールレースを用い、円滑な運転ができる。

このような特長を持つふ頭クレーンは、今後相当の需要が予想されるので設計資料を得るため、各部の静応力および衝撃値を測定して検討した。

本論文では巻上動作時の衝撃値について報告する。クレーンを設計する場合、次のような荷重が加わるものとして、強度計算を行なう。

$$P = \varphi P_1 + \psi P_2 + \Sigma P_3$$

P : 計算に用いる荷重

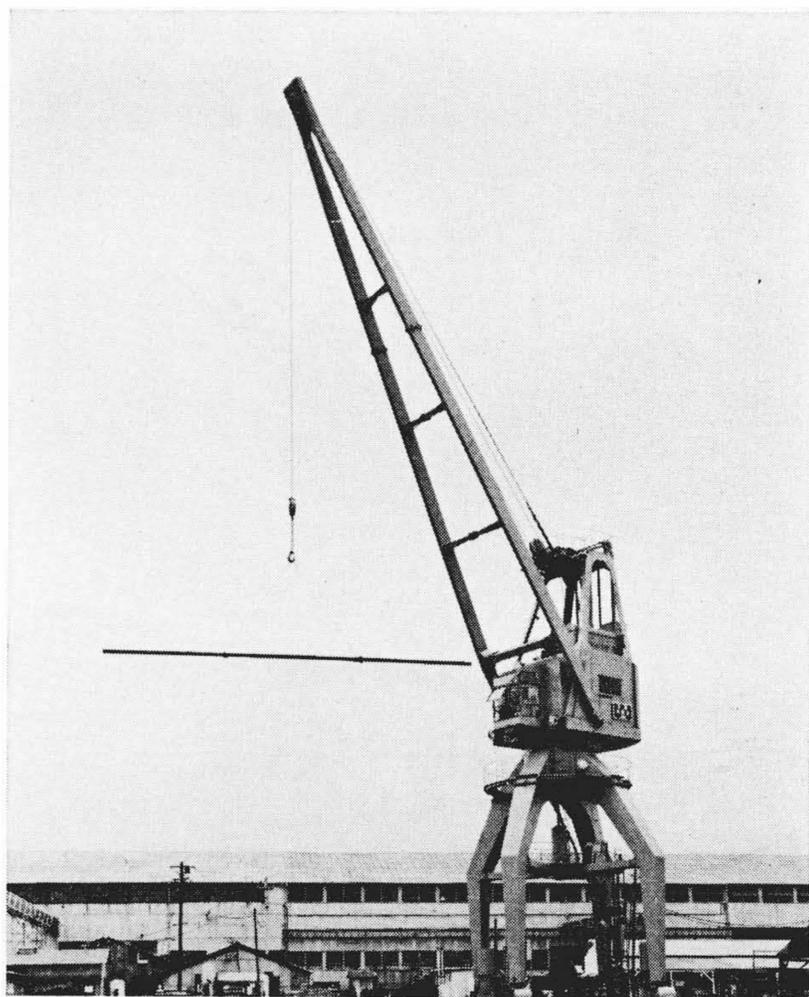
P_1 : 静荷重

P_2 : 動荷重

P_3 : 風荷重その他

φ : 静荷重係数

ψ : 動荷重係数



第1図 5 t ふ 頭 ク レ ー ン

したがって、クレーンの重量を軽減するには、合理的な形を決めることも重要であるが、衝撃の実態をつかみ、各係数を小さくするのも有力な手段の一つである。

本ふ頭クレーンは前述のようにトブリス形と呼ばれ、引込クレーンの一種であって、巻上ロープはドラムよりクレーン頂部シーブを経てブーム先端シーブに至り、ふたたびクレーン頂部シーブにもどり、さらにブーム先端シーブを経てフックに至る(第4図参照)。

またブーム自重をささえる方法として、ブーム先端よりロープを張り、これにウェイトをつるしている。したがって、巻上時の衝撃にもこれらの影響が現れるはずで、この点について解析する。

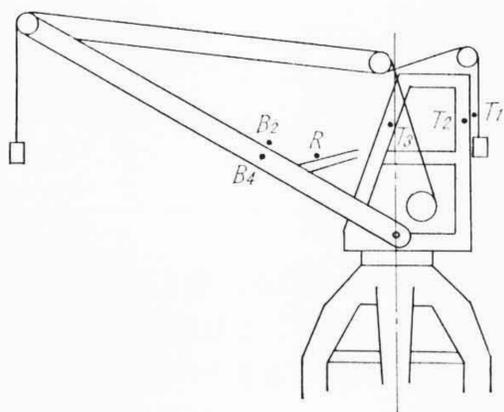
2. 実 験 方 法

第2図に示す点に、ストレンゲージをはり、オシログラムをとった。ブームおよびトラスは、軸力だけのかかる点および曲げモーメントも加わる点について測定した。また巻上速度はドラム軸より回転を取り、発電機を回してオシログラフにいれた。

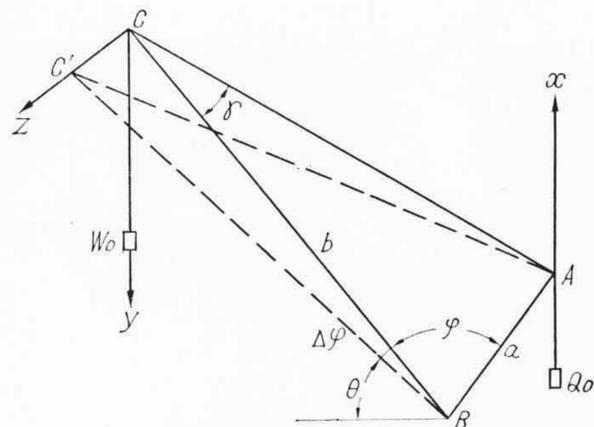
3. 実 験 結 果

最大半径で荷重 5 t をつって、巻上運動を行なった結果を第1表に示す。

* 日立製作所亀有工場



第2図 測定点



第3図 座標

第1表 巻上運動時の衝撃値

測定箇所	トラス			ブーム		ラック		
	T1	T2	T3	B2	B4	R		
計算値	荷重による静応力	290	90	-70	90	-110		
	衝撃値(全速地切)	1.34	1.34	1.34	1.9	1.35	1.6	
測定値	荷重による静応力	230	75	-60	-30	-90	7	
	衝撃値	全速地切	1.18	1.19	1.28	2.5	1.28	2
		巻下げブレーキ	1.28	1.16	1.33	2.5	1.3	2
		インテング降下	1.45	1.4	1.4	3	1.47	2.5

衝撃値 $\gamma = \frac{\text{荷重時最大応力} - \text{無荷重時応力}}{\text{荷重時静応力} - \text{無荷重時応力}}$, 応力の単位 (kg/cm²)

この結果より大体次のようなことがわかる。

- (1) 静応力は、計算と実測間にかかなりの差がある。これは薄板構造であるため、板の凹凸によるローカルペンディングの影響がはいったため、板の表裏にストレングージをはれない構造物ではこの程度の誤差はやむをえないものと思われる。
- (2) 地切時の衝撃値は、ブームの曲げモーメントの加わる点およびラックを除き 1.15~1.28 で比較的小さい。
- (3) 巻上時、衝撃の最大は地切時に起ると考えられていたのに反し、本測定ではインテング降下時に生じ、その値も 1.4~1.45 である。
- (4) ブームの曲げモーメントの加わる点およびラックは、2~2.5 と大きい衝撃値を示している。すなわち、ブーム軸直角方向の力の変動が大きい。

以上のような結果が、いかなる原因によるものであるかを以下解析してみる。

4. 理論解析

4.1 地切時の衝撃

地切時の衝撃値 γ の一般式についてはすでに発表されている⁽²⁾。

$$\gamma = 1 + v \sqrt{\frac{k}{W_0 \cdot g}}$$

v : 地切速度

k : ブーム先端のたわみを考慮した巻上ロープのバネ常数

W_0 : 巻上荷重

g : 重力の加速度

いま方程式をたてるにあたり次のような仮定をする。

- (1) トラスおよびポータルの変形は、ロープの伸びおよびブームのたわみに比べて微少であるためこれを無視する。
- (2) ブーム先端の変位は、ブーム長に比べて微少であるため、ブーム先端はブーム軸に直角方向に動くものとする。
- (8) $\beta \cdot v_0$ (v_0 : 規定巻上速度, $\beta \leq 1$) で地切する場合、巻上速度は $\beta \cdot v_0$ から v_0 まで上昇するが、この巻上加速度は重力の加

速度 g に比べ微少であるため無視する。

(4) 巻上に伴い、ロープ長さ l_1 、したがってバネ常数 k_1 も時間とともに変化するが、地切時の短時間を考えると、この変化量は全長に比べて微少であるため、 $l_1 = \text{一定}$ 、したがって $k_1 = \text{一定}$ と考える。

ゆえに、初期条件としては、 $t=0$ において、 W_0 がバネ系に静的に加わっている状態から、 W_0 に $\beta \cdot v_0$ なる初速度を下向きに加えた場合に相当する。

したがって、地切時の状態を考えると、この振動系は、互に影響を及ぼす次の3つの振動系に分けうる。

- (1) 巻上荷重 W_0 の振動
- (2) ブームの振動
- (3) バランスウエイト Q_0 の振動

今座標を第3図のようにとり、原点として $W_0=0$, $Q_0=0$ の場合を取ると、各座標間には次の関係がある。

- (1) z と x との関係

$$\overline{AC} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \varphi} \dots \dots \dots (2)$$

$$\overline{AC'} = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos(\varphi + \Delta\varphi)}$$

$$\doteq \overline{AC} + \frac{az \sin \varphi}{\overline{AC}} \dots \dots \dots (3)$$

ブーム先端が z だけ変位するための Q_0 の上昇量を Δx として、数値を代入すれば

$$\Delta x = \overline{AC'} - \overline{AC} = \frac{az \sin \varphi}{\overline{AC}} = 0.237 z \dots \dots \dots (4)$$

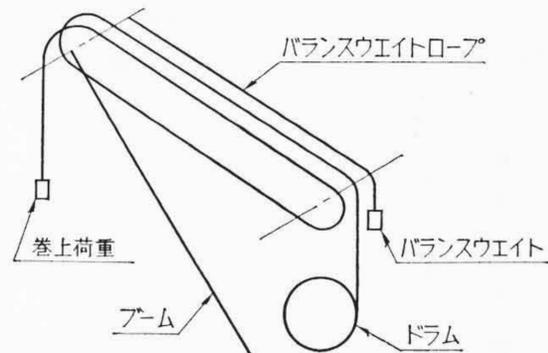
- (2) z と y の関係

ブーム先端が z だけ変位した場合、 \overline{AC} 間は Δx 伸びる。一方第4図に示すように、 \overline{AC} 間はロープが3本がけになっているため、 W_0 は $3 \Delta x$ だけ巻取られ、同時に z の垂直成分だけ下がる。

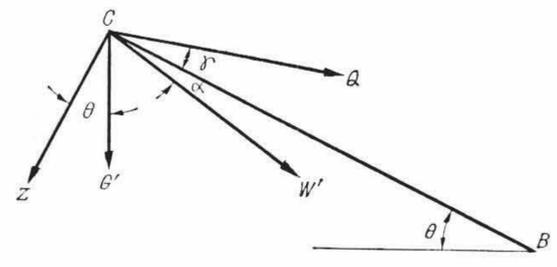
したがって、荷重 W_0 の降下量を y' とし数値を代入すれば

$$y' = z \cos \theta - 3 \Delta x = 0.093 z \dots \dots \dots (5)$$

以上のような条件のもとで、 W_0 , Q_0 およびブームの振動を考える。



第4図 ロープのかけ方



第5図 ブームにかかる荷重

(1) 荷重 W_0 の振動

$$\frac{W_0}{g} \ddot{y} = W_0 - W \dots\dots\dots (6)$$

- W : 巻上ロープ張力
- k_1 : 巻上ロープのバネ常数
- Δl_1 : 巻上ロープの伸び

$$W = k_1 \Delta l_1 = k_1 (y - y') = k_1 (y - 0.093 z) \dots\dots\dots (7)$$

いま $\omega_1^2 = gk_1/W_0$ とおけば(6)式は

$$\ddot{y} = g - \omega_1^2 (y - 0.093 z) \dots\dots\dots (8)$$

(2) ブーム先端の振動

ブーム自重 G は等分布するが、今ブーム先端の等価重量を G' とすれば G' の運動方程式は

$$\frac{G'}{g} \ddot{z} = -k_3 z + G' \cos \theta + W' \sin \alpha - Q \sin \gamma \dots\dots\dots (9)$$

- k_3 : ブームのバネ常数
- W' : 荷重による巻上ロープ張力の合力
- Q : バランスウエイトのロープ張力

数値を代入して整理し

$$\frac{g}{G'} (k_3 + 0.0056 k_1 + 0.057 k_2) = \omega_3^2$$

とおけば(9)式は

$$\ddot{z} = -\omega_3^2 z + \frac{0.06 k_1 g}{G'} y + \frac{0.242 k_2 g}{G'} x + 0.804 g \dots\dots\dots (10)$$

(3) バランスウエイト Q_0 の振動

$$\frac{Q}{g} \ddot{x} = Q - Q_0 \dots\dots\dots (11)$$

- Δl_2 : バランスウエイトロープの伸び
- k_2 : バランスウエイトロープのバネ常数

$$Q = k_2 \Delta l_2 = k_2 (\Delta x - x) = k_2 (0.237 z - x) \dots\dots\dots (12)$$

整理して $g k_2/Q_0 = \omega_2^2$ とおけば(11)は

$$\ddot{x} = \omega_2^2 (0.237 z - x) - g$$

(4) 初期条件

ロープをゆるめた状態から巻上げた場合、巻上ロープ張力は時間とともに増加し、静荷重 W_0 に等しくなった瞬間に荷重は地切する。したがって、地切時を時間の原点とすれば、この時の各点のたわみは近似的に Q_0 、 W_0 が静的に加わった場合に等しいと考える。いま、 W_0 、 Q_0 およびブーム先端の初期たわみを y_0 、 x_0 、 z_0 とし、 $W_0=0$ で Q_0 だけが加わっている場合の上記各点のたわみを y_0' 、 x_0' 、 z_0' とすれば、次のように表わせる。

$$y_0 = \frac{W_0}{k_1} + 0.093 z_0 \dots\dots\dots (14)$$

$$x_0 = \frac{Q_0}{k_2} + 0.237 z_0 \dots\dots\dots (15)$$

$$z_0 = \frac{W_0}{k_1} + 0.093 z_0 \dots\dots\dots (16)$$

$$y_0' = \frac{0.0225 Q_0}{k_3} \dots\dots\dots (17)$$

$$x_0' = -\frac{Q_0}{k_2} - \frac{0.57 Q_0}{k_3} \dots\dots\dots (18)$$

$$z_0' = -\frac{0.242 Q_0}{k_3} \dots\dots\dots (19)$$

次に初速度 \dot{y}_0 、 \dot{z}_0 、 \dot{x}_0 を求める。巻上荷重 W_0 の初速度 \dot{y}_0 は、前述の仮定により βv_0 に等しい。したがって巻上ロープに張力がかかり始めてから、荷重が地切するまでの時間を t_a とすると、近似的に次のように表わせる。

$$t_a \doteq \frac{y_0 - y_0'}{\beta v_0}$$

同様に Q_0 およびブーム先端も t_a 間に等速で $x_0' \rightarrow x_0$ 、 $z_0' \rightarrow z_0$ まで変位するものとすれば

$$\dot{x}_0 = \frac{x_0 - x_0'}{t_a}, \quad \dot{z}_0 = \frac{z_0 - z_0'}{t_a}$$

次に、ブームおよびロープのバネ常数を求める。ロープのバネ常数を k とすれば次式で表わせる。

$$k = \frac{AE'}{l}$$

- A : ロープの断面積
- l : ロープの長さ
- E' : ロープの弾性係数で 10^3 t/cm^2 と仮定する。

(1) 巻上ロープ

ノンローテチングロープ	24 ϕ
素線径	1.78 mm
A_1	2.18 cm^2
l_1	9,000 cm
k_1	0.24 t/cm

(2) バランスウエイトロープ

6 \times 19	20 $\phi \times 2$ 本
素線径	1.33 mm
A_2	1.59 cm^2
l_2	1,500 cm
k_2	2.12 t/cm^2

(3) ブーム

ブームに貯えられるひずみエネルギーを E_n とすれば

$$E_n = \int_0^b \frac{M^2}{2EI} db$$

ブーム先端の荷重 P 方向の変位を z とすれば

$$z = \frac{dE_n}{dP} = \frac{Pb^2 b}{3EI} \dots\dots\dots (24)$$

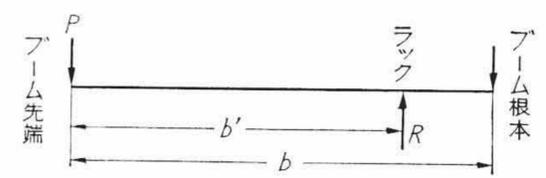
$$k_3 = \frac{P}{z} = 0.035 \text{ t/cm}$$

以上の数値を(8)、(10)、(13)式に代入すれば

$$\left. \begin{aligned} \ddot{y} + 47 y - 4.4 y &= 980 \\ \ddot{z} + 170 z - 14 y - 558 x &= 788 \\ \ddot{x} + 296 x - 70 z &= -980 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (25)$$

余関数を求めるため(25)の右辺を0と置き、簡単のため、微少項を無視すれば

$$\left. \begin{aligned} \ddot{y} + 47 y - 4.4 z &= 0 \\ \ddot{x} + 296 x - 70 z &= 0 \\ \ddot{z} + 170 z - 558 x &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (26)$$



第6図 ブーム

いま

$$\left. \begin{aligned} y &= a_1 \sin \omega t \\ x &= a_2 \sin \omega t \\ z &= a_3 \sin \omega t \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (27)$$

と仮定して(26)式に代入すれば

$$\left. \begin{aligned} (47 - \omega^2) a_1 - 4.4 a_3 &= 0 \\ (296 - \omega^2) a_2 - 70 a_3 &= 0 \\ -558 a_2 - (170 - \omega^2) a_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (28)$$

a_1, a_2, a_3 が 0 以外の解を持つためには

$$\begin{vmatrix} (47 - \omega^2) & 0 & 0 \\ 0 & (296 - \omega^2) & 0 \\ 0 & 0 & (170 - \omega^2) \end{vmatrix} = 0 \dots\dots\dots (29)$$

これを解けば

$$\left. \begin{aligned} \omega_I^2 &= 47 & \omega_I &= 6.9 \text{ rad/s} \\ \omega_{II}^2 &= 26 & \omega_{II} &= 5.1 \text{ rad/s} \\ \omega_{III}^2 &= 440 & \omega_{III} &= 21 \text{ rad/s} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (30)$$

(28), (30) より

$$\left. \begin{aligned} \omega_I \text{ に対して } a_{2I} &= 0, & a_{3I} &= 0 \\ \omega_{II} \text{ に対して } a_{2II}/a_{1II} &= 1.24, & a_{3II}/a_{1II} &= 4.8 \\ \omega_{III} \text{ に対して } a_{2III}/a_{1III} &= 43, & a_{3III}/a_{1III} &= -90 \end{aligned} \right\} (31)$$

したがって余関数は

$$\left. \begin{aligned} y &= a_{1I} \sin \omega_I t + a_{1II} \sin \omega_{II} t + a_{1III} \sin \omega_{III} t \\ x &= a_{2I} \sin \omega_I t + a_{2II} \sin \omega_{II} t + a_{2III} \sin \omega_{III} t \\ z &= a_{3I} \sin \omega_I t + a_{3II} \sin \omega_{II} t + a_{3III} \sin \omega_{III} t \end{aligned} \right\} \dots\dots (32)$$

特解は

$$\left. \begin{aligned} y &= y_0 = 17.1 \\ x &= x_0 = -12.8 \\ z &= z_0 = -40 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (33)$$

初期条件より(31)は

$$\left. \begin{aligned} a_{1I} &= 6.7 \beta \\ a_{1II} &= 0.767 \beta & a_{2II} &= 0.95 \beta & a_{3II} &= 3.7 \beta \\ a_{1III} &= 0.001 \beta & a_{2III} &= 0.043 \beta & a_{3III} &= 0.09 \beta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (34)$$

ゆえに一般解は

$$\left. \begin{aligned} y &= (6.7 \sin 6.9 t + 0.77 \sin 5.1 t + 0.001 \sin 21 t) \beta + 17.1 \\ x &= (0.95 \sin 5.1 t + 0.043 \sin 21 t) \beta - 12.8 \\ z &= (3.7 \sin 5.1 t + 0.09 \sin 21 t) \beta - 40 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (35)$$

(35)式が W_0, Q_0 およびブーム先端の運動を表わす式である。巻上荷重によって生ずる力は、巻上ロープ張力による。いま(7)に(35)を代入すれば

$$W = k_1 \cdot \Delta l_1 = k_1 [\Delta l_0 + f(t) \cdot \beta] \dots\dots\dots (36)$$

したがって、地切時の衝撃値を γ 、地切速度を $v (= \beta \cdot v_0)$ とすれば

$$\gamma = \frac{W}{W_0} = 1 + \frac{v \cdot f(t)}{v_0 \cdot \Delta l_0} = 1 + v C_0 \dots\dots\dots (37)$$

すなわち、地切時の衝撃は、地切速度に比例する。

最大半径で巻上荷重 5 t の場合の地切時のロープ張力は

$$W = 5 \{1 + \beta (0.32 \sin 6.9 t + 0.02 \sin 5.1 t + 0.0004 \sin 21 t)\} \dots\dots\dots (38)$$

$$Q = 7 \{1 + \beta (0.023 \sin 5.1 t - 0.02 \sin 21 t)\} \dots\dots\dots (39)$$

これらの式を使って各測定点の応力を求めてみる。

$$\begin{aligned} B_2: \quad \sigma_{B_2} &= \sigma_c + \sigma_b \\ &= 0.09 \{1 + \beta (0.3 \sin 6.9 t + 0.25 \sin 5.1 t - 0.35 \sin 21 t)\} \\ &\dots\dots\dots (40) \\ \sigma_{B_{2max}} &\doteq 0.09 (1 + 0.9 \beta) \text{ t/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_4: \quad \sigma_{B_4} &= \sigma_c \\ &= -0.11 \{1 + \beta (0.32 \sin 6.9 t + 0.03 \sin 5.1 t \\ &\quad - 0.01 \sin 21 t)\} \dots\dots\dots (41) \end{aligned}$$

$$\sigma_{B_{4max}} \doteq -0.11 (1 + 0.35 \beta) \text{ t/cm}^2 \dots\dots\dots (42)$$

他の点も同様にして求めれば

$$T_1: \quad \sigma_{T_{1max}} = 0.29 (1 + 0.34 \beta) \text{ t/cm}^2 \dots\dots\dots (43)$$

$$T_2: \quad \sigma_{T_{2max}} = 0.09 (1 + 0.34 \beta) \text{ t/cm}^2 \dots\dots\dots (44)$$

$$T_3: \quad \sigma_{T_{3max}} = 0.07 (1 + 0.34 \beta) \text{ t/cm}^2 \dots\dots\dots (45)$$

$$R: \quad \sigma_{R_{max}} = \sigma_{R_0} (1 + 0.57 \beta) \text{ t/cm}^2 \dots\dots\dots (46)$$

この式で計算した値が第1表の計算値である。計算でも B_2, R では衝撃値が大きくなることわかる。

4.2 巻下げブレーキ時

v_0 なる等速度で降下するときのロープの伸びは、 W_0 が静的に加わっている場合に等しい。

座標として、下方に y をとり、減速が始まる時を時間の原点、そのときの W_0 の位置を y の原点とし、減速度を α_1 とする。

いま、 $\Delta l_0 = W_0/k_1, y_1 = v_0 t - \alpha_1 t^2/2$ とすれば W_0 の運動方程式は

$$\frac{W_0}{g} \ddot{y} = W_0 - W \dots\dots\dots (47)$$

$$W = k_1 \cdot \Delta l = k_1 (y - y_1 + \Delta l_0) \dots\dots\dots (48)$$

いま、 $\omega_1^2 = g k_1 / W_0$ とおいて (47) を解けば

$$y = A \cos(\omega_1 t + \varphi) - \frac{1}{2} \alpha_1 t^2 + v_0 t + \frac{\alpha_1 W_0}{k_1 g} \dots\dots\dots (49)$$

初期条件 $t=0$ で $y=0, \dot{y}=v_0$ を代入すると

$$y = -\frac{\alpha_1 W_0}{k_1 g} \cos \omega_1 t - \frac{1}{2} \alpha_1 t^2 + v_0 t + \frac{\alpha_1 W_0}{k_1 g} \dots\dots\dots (50)$$

ロープ張力 W を求めると

$$W = \frac{\alpha_1 W_0}{g} (1 - \cos \omega t) + W_0 \dots\dots\dots (51)$$

したがって、巻下げブレーキ時の衝撃値 γ は

$$\gamma = \frac{W}{W_0} = 1 + \frac{\alpha_1}{g} (1 - \cos \omega t) \dots\dots\dots (52)$$

最大の衝撃値は $(1 + 2 \alpha_1/g)$ となる。減速度 α_1 は、大体 0.5 m/s 程度であるから、クレーン本体の変形を無視すれば、巻下げブレーキ時の衝撃は理論的には小さい。しかし、実際にはクレーン本体の変形がある。特に本ふ頭クレーンでは、ブームの固有振動数と 5 t の荷重をつたった場合の荷重の振動数とがほぼ一致するため、共振してかなり大きい衝撃が起こるものと思われる。

4.3 インチング降下時

バネ常数 k_1 なるバネの下端に、 W_0 なるおもりがついて、この W_0 にバネの自由長より h だけ伸びた位置で下方に初速度 v_a を与えた場合を考える。

この場合のバネの最大伸びを Δl とすれば、 W_0 が最も下がった位置で W_0 の放出したエネルギー E_1 は

$$E_1 = W_0 (\Delta l - h) + \frac{W_0 v_a^2}{2g} \dots\dots\dots (53)$$

一方、このときロープに貯えられたエネルギー E_2 は

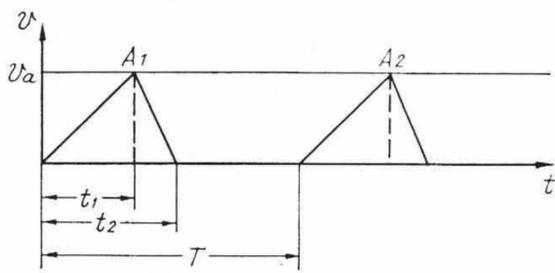
$$E_2 = \frac{1}{2} k_1 (\Delta l^2 - h^2) \dots\dots\dots (54)$$

エネルギー保存則により $E_1 = E_2$ 、したがって Δl は

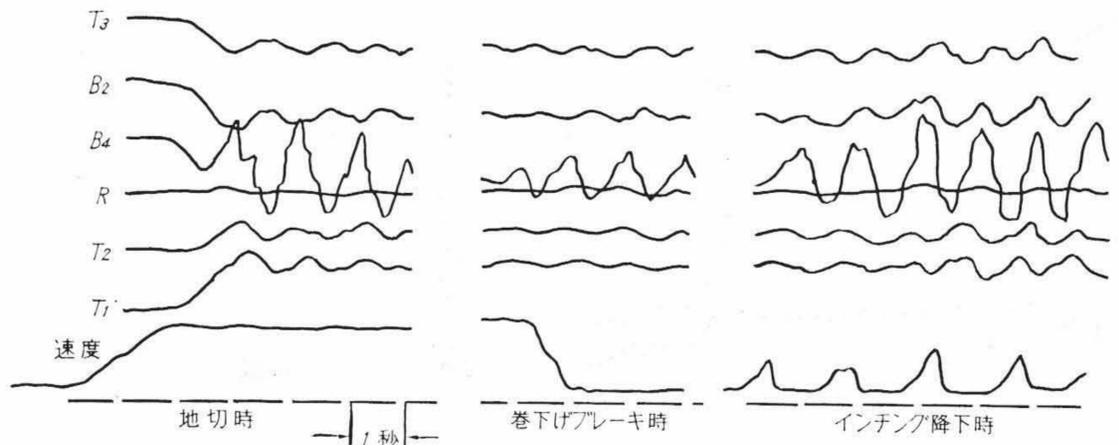
$$\Delta l = \frac{W_0}{k_1} \left(1 + \sqrt{\left(1 - \frac{k_1 h}{W_0}\right)^2 + \frac{k_1 v_a^2}{g W_0}} \right) \dots\dots\dots (55)$$

いま、 $\Delta l_0 = W_0/k_1$ とすれば 1 回のインチング降下による衝撃値 γ は次のようになる。

$$\gamma = 1 + \sqrt{\left(1 - \frac{k_1 h}{W_0}\right)^2 + \frac{k_1 v_a^2}{g W_0}} \dots\dots\dots (56)$$



第7図 インチング降下



第8図 オシログラム

インチング動作は大体第7図の実線のようなになるが、簡単のため点線のような動作をすると仮定する。

いま、第7図 A₁点におけるロープの伸びを h 、そのときの W_0 の速度を v_a として、これらの値を求める。

W_0 の運動方程式は

$$\frac{W_0}{g} \ddot{y} = W_0 - W \dots (57)$$

$$W = k_1 \Delta l = k_1 \left(y - \frac{1}{2} \alpha_1 t^2 + \Delta l_0 \right) \dots (58)$$

この式の一般解は

$$y = A \cos(\omega_1 t + \varphi) + \frac{\alpha_1 t^2}{2} - \frac{\alpha_1 W_0}{g k_1} \dots (59)$$

初期条件 $t=0$ で $y=0$, $\dot{y}=0$ を代入すれば

$$y = \frac{\alpha_1 W_0}{g k_1} \cos \omega_1 t + \frac{1}{2} \alpha_1 t^2 - \frac{\alpha_1 W_0}{g k_1} \dots (60)$$

$$h = \frac{W_0}{k_1} \left\{ 1 + \frac{\alpha_1}{g} (\cos \omega_1 t_1 - 1) \right\} \dots (61)$$

$$v_a = \alpha_1 t_1 - \frac{\omega_1 \alpha_1 W_0}{g k_1} \sin \omega_1 t_1 \dots (62)$$

オシログラムより大体 $t_1 \doteq 0.5$ s, したがって $\alpha_1 \doteq 50$ cm/s², $W_0 = 5$ t, $k_1 = 0.24$ t/cm とすれば, $h \doteq 18.5$ cm, $v_a \doteq 25$ cm/s

ゆえに(56)式より, 1回のインチングで $\gamma = 1.21$ の衝撃値を示す。しかもインチングの周期は大体1秒程度で, 荷重の振動数およびブームの固有振動数とほぼ一致するため, インチングをくり返すうち, 共振して大きい衝撃を示すものと考えられる。

5. 検 討

(1) 衝撃値は, 計算より実測のほうが, いくぶん小さい。これは, トラスおよびポータルを無視したためと, ロープの弾性係数 1,000t/cm の仮定が大きすぎるためと思われる。

(2) 地切時の衝撃値は, 地切速度に比例し, 次式で示される。

$$\gamma = 1 + v C_0$$

ここに v : 地切速度

C_0 : クレーンによって決まる常数

(3) 過去の実験では, 最大の衝撃は地切時に生じているのに反し, 本実験ではインチング時に生じている。この原因としては, 荷重 5 t をつった場合の荷重の振動の周期とインチングの周期がともに1秒程度で, 共振して大きい衝撃を示すものと思われる。

したがって, クレーンの仕様および構造によっては, インチング時の衝撃について考慮する必要がある。

逆にインチングが不要な速度制御にすれば, 現在用いている動荷重係数をいくぶん小さくしうるものと思われる。

(4) ブーム中心軸上の点 B₄ に比べ, 曲げモーメントも加わる点 B₂ の応力の変動が大きい。巻上ロープ張力のブーム直角方向の成分が小さいため, バランスウエイトの振動による影響が大きく現われるためである。しかもこの曲げ応力の変化の絶対値が, 軸応力と同じオーダーである。したがって, 巻上ロープ張力の合力をできるだけブーム軸に一致させれば, ブームにかかる曲げモーメントの減少と同時に, ブーム先端の振動, したがってバランスウエイトの振動も小さくなり, ブームの曲げ応力の変動をも減少させうる。

6. 結 言

- (1) 地切時には, 地切速度に比例した衝撃を示す。
- (2) 本実験では, 予想に反して, 最大の衝撃はインチング時に生じた。条件によっては, インチング時に意外に大きい衝撃を示すことに注意すべきである。
- (3) 本ふ頭クレーンにおいては, インチング不要の速度制御にすれば動荷重係数の設計値はいくぶん下げうるものと思われる。
- (4) 巻上ロープ張力の合力が, ブーム軸に一致するように設計することが, 特にブームの強度に対して重要である。

参 考 文 献

- (1) 川勝: 日立評論 43, 295 (1961-2)
- (2) 大西: 日立評論 37, 1283 (1955-9)
- (3) 川勝: 日立評論 35, 561 (1953-3)