

衝撃荷重に対するトロ連結用鎖の耐力についての研究

(第 1 報)

担当 土木建築課技官 森 宜 制
平 井 康 善

§ 1 ま え が き

この研究の目的は、トロ連結用の鎖の衝撃による破断事故を防止するために、これの受ける衝撃荷重の計算式を決定しこれに基いて、鎖の選定及び使用上の資料を作成することにある。

トロ連結用の鎖に衝撃が働くのは急発車、急停車及び牽引速度の急変のためである。このときの衝撃荷重の算式としては従来から次式がある。

$$P = v \sqrt{\frac{kW}{g}} \dots\dots\dots (A)$$

式中 P = 衝撃荷重の最大値
v = 牽引速度の急変量
k = 衝撃系のバネ常数
W = 牽 引 重 量
g = 重力の加速度

しかるに (A) 式は非常に単純化されたもので、次に述べるような多くの仮定の上に立っている。

- a. 衝撃系は単一体であり、その一端は絶対固定である。
- b. 衝撃系の粘性抵抗は無視する。
- c. 衝撃系はフックの法則に従う弾性体である。
- d. 衝撃波は衝撃系の中を瞬時に伝播する。
- e. 衝撃系の重量は無視する。
- f. 重量物の運動は衝撃系以外から拘束を受けない。

したがって、(A) 式が複雑な実際の場合に忠実な値を示すかどうか疑わしい。今回は、以上の仮定の中の a 項及び b 項が実状に則するかどうか、則しないときはどの程度の修正を要するかを検討するために、以下に述べるような模型化した実験を行い、一応の成果を得た。

§ 2 実験の概要

今回行った加撃方法は——次節で詳述するが——自然落下中の重錘を鎖で急停止させる方法である。

このときの衝撃荷重は電気抵抗線式張力ピックアップでキャッチし、これを増巾後、電磁オッシログラフで記

録し、この実測値を次に述べる理論値と比較検討するわけである。

この場合の理論式は、自然落下速度 $v = \sqrt{2gh}$ ($h =$ 落下高さ) を (A) 式に代入して得られる。

$$P = \sqrt{2kWh} \dots\dots\dots (B)$$

なお今回の実験では (A) 式に対する仮定の中の a 項及び b 項以外のものの介入を極力防いでいる。即ち c 項に対しては衝撃系の弾性限度内の衝撃荷重を与え、d 項に対しては比較的短い鎖*を用い、f 項に対しては上述のように、重錘には空気抵抗以外の力が働かないような加撃方法を取った。e 項に対してはよい対策が立てられなかったのであるが、対策なしでも実測の結果から e 項の影響はあまりないことを確めた。**

* 鎖を断面一定の長棒と見なすと、それを伝わる縦波の速度は $c = l \sqrt{\frac{k}{W_0}}$ 、伝播時間は $\frac{l}{c} = \sqrt{\frac{W_0}{k}}$ で与えられる。但し式中の $l =$ 棒長、 $k =$ バネ常数、 $W_0 =$ 棒の重量、 $g =$ 重力の加速度とする。これに $k = 1.87 \times 10^8 \text{ kg/cm}$ 、 $W_0 = 7.6 \text{ kg}$ 、及び $g = 9.8 \times 10^2 \text{ cm/sec}^2$ を代入すると $\frac{l}{c} = 2 \text{ ms}$ を得る。これは衝撃現象の周期 20ms に比べて小さい。

** 重錘をつけずに鎖だけを $h = 100 \text{ cm}$ 持ち上げて落したときの衝撃荷重は 80 kg で、これは重錘をつけた場合の 7% である。

§ 3 実験内容及び装置

実験に用いた鎖は、径 11mm、スタットなしショートリンク全長 300cm のもので、これを 3 本使用した。

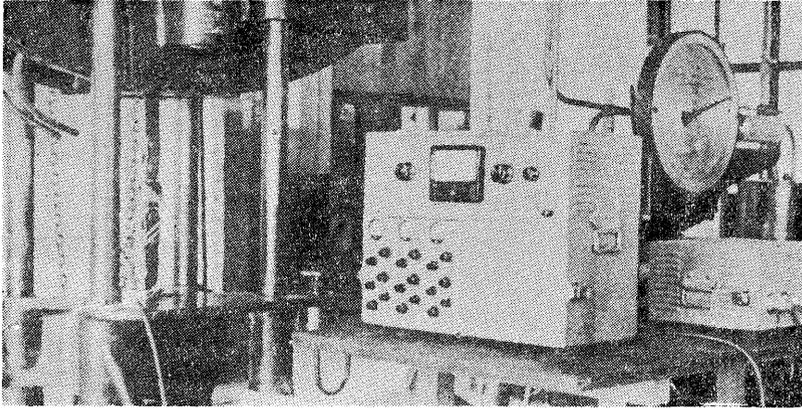
次表はその破断強度及び弾性限度である。

破 断 強 度	弾 性 限 度
6.4~7.4 t	3.1~3.3 t

実験は内容部に三段階に分けることができる。

1. 張力ピックアップの較正 (第 1 図) —

張力ピックアップは電気抵抗線式の最大荷重の 5 t ものである。このピックアップにアムスラー万能試験機で静荷重を与え、各荷重時にピックアップに生じた



第1図 張力ピックアップの較正

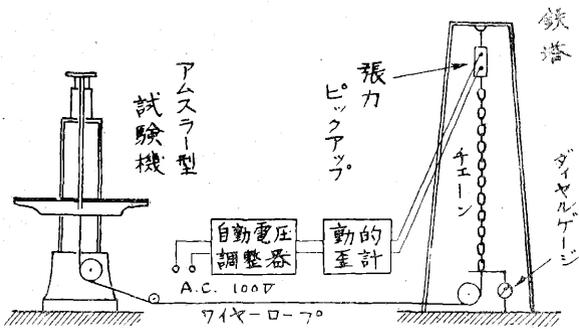
歪を動的歪計で測定し、ピックアップ常数

$$\left(= \frac{\text{静荷重}}{\text{ピックアップの歪}} \right) \text{の最確値を決定する。}$$

2. 衝撃系の伸び測定 (第2図) —

衝撃系は鉄塔+張力ピックアップ+鎖である。

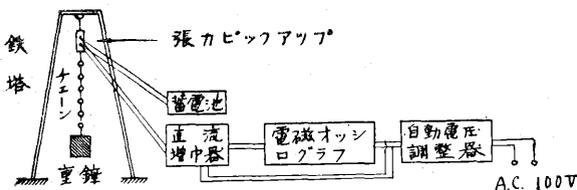
この衝撃系に第2図に示すような方法で静荷重を与え、そのときの荷重の値を張力ピックアップ+動的歪計で測り、衝撃系の伸びをダイヤルゲージで測る。その結果より 衝撃系のバネ常数 $\left(= \frac{\text{静荷重}}{\text{衝撃系の伸び}} \right)$ の最確値を決定する。



第2図 衝撃系の伸び測定装置

3. 衝撃荷重測定 (第3, 4図) —

実際に加撃方法は所定の高さに持ち上げた重錘を小包用の紙で仮りに固定し、その紐を焼き切る方法である。



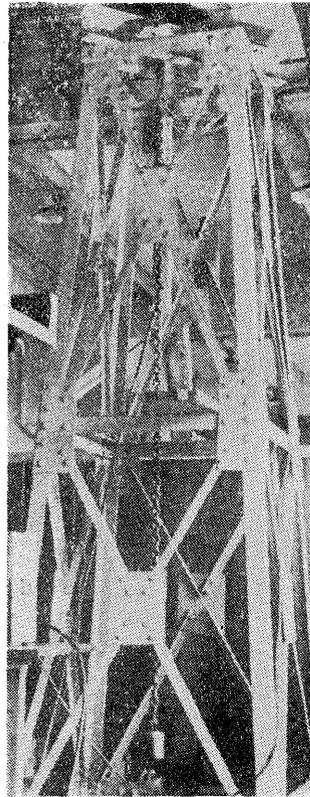
第3図 衝撃荷重測定装置

衝撃荷重は、張力ピックアップに生じた衝撃歪を直流増巾器で増巾し、これを電磁オシログラフ (H型パイプレーター) に記録し、それにピックアップ常数を乗じて算出した。

電磁オシロのシャッターと衝撃現象とのシンクロナイジングは、複雑な方法をとらずに測定者のカンに頼った。第3図の蓄電池はピックアップの回路に電圧を加えるため

のものである。

重錘は $W = 5.8, 11.1, 15.5\text{kg}$ の3個を用意し、落下高さは $h = 39.8, 59.2, 78.4, 97.7\text{cm}$ の4段階で、この値は各々の平均である。



第4図 衝撃系

§4 実験結果

1. ピックアップ常数 (aの値) —

ピックアップの較正は衝撃試験の前後二回にわた

って行ったがその結果からピックアップ常数 a として次の値を得た。

$$a = 38.7 \times 10^6 \text{ kg}$$

なお二回の較正結果の間には全く差がなかったが、このことはピックアップが衝撃試験の間中異常がなかったことを意味している。

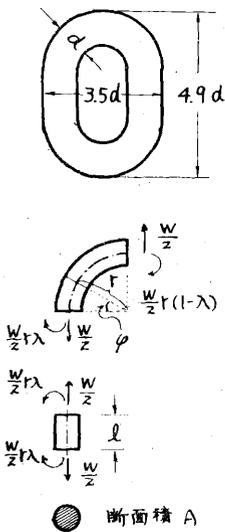
2. バネ常数 (k の値) —

衝撃系の伸び測定は、三本の鎖につき各々の衝撃試験の前後二回にわたって行ったが、その合計6回の測定値の間には殆ど差がなかったので、各鎖間には個差がないものとみなし、衝撃系のバネ常数 k としては、6回の伸び測定の平均値から算出した次の値を採用した。

$$k = 1.77 \times 10^8 \text{ kg/cm}$$

なお理論的に求めた k は $2.54 \times 10^8 \text{ kg/cm}^*$ で、実測値はこれより約30%小さい。

* 鎖リンクは4図のような寸法比をもつものとする。



W をリンクに働く張力とする。

このリンクは上下左右対称であるから、これを四等分し、その一つを更に、四分円の曲梁と直棒に分けて考える。

このリンクは上下左右対称であるから、一次の不静定である。今その不静定量に直棒に働く曲げモーメントを選び、それを $\frac{W}{2} r \lambda$ と置く。

i 四分円の曲梁の弾性エネルギー

$$\int_v \frac{\sigma^2}{2E} dv = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{1}{2EA r} \left\{ (Nr + M)^2 + \frac{M^2}{\kappa} \right\} d\phi$$

$$= \frac{W^2 r}{8EA} \left\{ \frac{\pi}{2} (1-\lambda)^2 + \frac{1}{\kappa} \left\{ \frac{\pi}{2} (1-\lambda)^2 - 2(1-\lambda) + \frac{\pi}{4} \right\} \right\}$$

但し

$$\kappa = -1 + 8 \left(\frac{r}{d} \right)^2 - 4 \frac{r}{d} \sqrt{4 \left(\frac{r}{d} \right)^2 - 1} \dots \dots \dots (1)$$

ii 直棒の弾性エネルギー

$$\int_v \frac{\sigma^2}{2E} dv = \int_0^l \frac{1}{2EA} (N^2 + \frac{M^2}{i^2}) dx$$

$$= \frac{W^2 l}{8EA} \left(1 + \frac{r^2}{i^2} \lambda^2 \right)$$

iii リンク全体の弾性エネルギー Φ

$$\Phi = \frac{\zeta}{2} \frac{W^2 r}{EA}$$

$$\text{但し } \zeta = \frac{\pi}{2} (1-\lambda)^2 + \frac{1}{\kappa} \left\{ \frac{\pi}{2} (1-\lambda)^2 - 2(1-\lambda) + \frac{\pi}{4} \right\} + \frac{l}{r} \left(1 + \frac{r^2}{i^2} \lambda^2 \right) \dots \dots \dots (2)$$

iv λ

$\frac{d\Phi}{d\lambda} = 0$ (最小働きの原理) から

$$\lambda = \frac{\kappa\pi + \pi - 2}{\kappa\pi + \pi + 2\kappa} \frac{l}{r} \dots \dots \dots (3)$$

v リンクの伸び δ

$\Phi = \frac{W}{2} \delta$ より

$$\delta = \zeta \frac{W r}{EA} \dots \dots \dots (4)$$

vi リンクのパネ常数 k

$$k = \frac{EA}{\zeta r} \dots \dots \dots (5)$$

vii 鎖のパネ常数 k_L

鎖の長さを L 、リンクの内法長を a とすれば

$$k_L = \frac{EAa}{\zeta r L} \dots \dots \dots (6)$$

viii 図の鎖の場合

$r = 1.25d$, $l = 0.7d$, $a = 2.9d$ であるから

$$k_L = 0.3 \frac{E d^2}{L} \dots \dots \dots (7)$$

ix 実験の鎖の場合

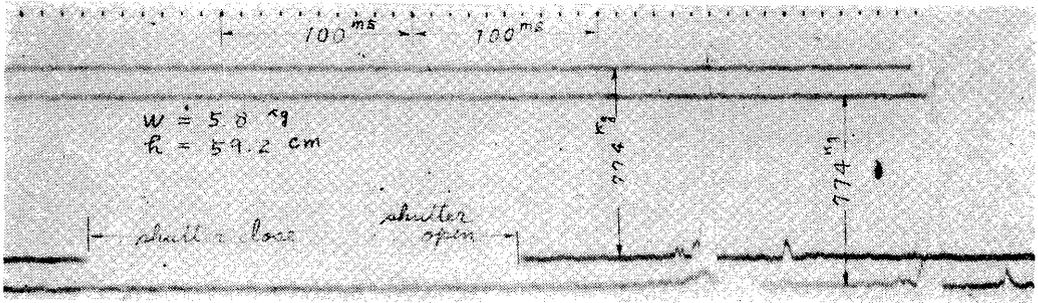
$d = 1.1 \text{ cm}$, $L = 300 \text{ cm}$, $E = 2.1 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$ であるから

$$k_L = 2.54 \times 10^8 \text{ kg/cm}$$

3. ピックアップに生じた衝撃歪 (ϵ の値, 第5図) —
第1表に各 W 及び h に対するピックアップの衝撃歪 (ϵ) を示す。この ϵ に前項の a を乗じたものが衝撃荷重 ($P = a\epsilon$) である。

第1表 衝撃歪 ϵ ($\times 10^{-6}$)

W kg	5.8	11.1	15.5
h cm			
39.8	183	257	353
	180	291	369
	216	290	351
	182	257	366
	195	271	347
平均	191	273	357
59.2	247	314	447
	219	324	438
	220	333	431
	211	354	401
	205	311	412
平均	220	327	426
78.4	247	344	494
	253	457	423
	231	403	445
	217	378	458
	231	355	439
平均	236	387	452
97.7	315	423	520
	351	406	529
	344	412	497
	344	448	498
平均	339	419	510



第5図 電磁オシログラフの記録例写真

第5図は衝撃歪を記録したグラフの一例である。

§ 5 衝撃荷重の実測値と理論値の比較

衝撃荷重の実測値 ($P = a \epsilon$) と (B) 式とを比較するために

$$a \epsilon = \theta \sqrt{2 kWh} \dots \dots \dots (C)$$

とにおいて θ の最確値を求めた。

第2表は各 W 及び ϵ の平均値及び最大値 (第1表) に対する θ の最確値である。

第2表 θ の 値

	ϵ の 平均 値	ϵ の 最大 値
ΣW	0.813	0.892
$W = 5.8$	0.801	0.860
$W = 11.1$	0.815	0.901
$W = 15.5$	0.852	0.899

第2表において θ が 1 より小さいことは、

- a. 衝撃系が単一体でない。
- b. 衝撃系に粘性がある。

などの理由により、予測されていたことである。又 θ の値がばらついていることは、衝撃系が単一体でないために、その連結部における遊びが作用して、衝撃条件をその都度微妙に変えているためと思われる。しかし θ の値は重錘が大きくなるに従って大きくなり、又 ϵ の最大値に対する場合は、0.9 附近の値を示しているから、今回の実験においては $\theta = 0.9$ とするのが妥当のように思われる。

§ 6 結 論

以上の実験の結果次の結論を得た。

- i 衝撃系の連結部の遊びによる影響は少ない。いい換えれば鎖を単一体と考えて差支えない。
- ii 衝撃系の粘性による影響も少ない。

したがって

- a. 波動に伴う衝撃波の遅れ。
 - b. 衝撃系の自重。
 - c. 衝撃系以外による牽引重量物に対する拘束力。
- を無視できる場合の衝撃荷重は、近似的には

$$P = \sqrt{2 kWh} \dots \dots \dots (B)$$

で計算することができ、これを鎖等に対する設計値にすれば安全側になる。しかし正確には、

$$P = \theta \sqrt{2 kWh} \dots \dots \dots (C)$$

$$\text{今回のような場合には } \theta = 0.9 \dots \dots \dots (D)$$

で計算しなければならない。

しかし現実には、上記 a. b. c の三条件を考慮しなければならない場合が多い。例えばトロを牽引するときはトロとレール間の摩擦力は無視できないし、又その曳索が長ければ衝撃波の遅れも無視できない。したがって、このような場合については、更に実験を進めた上でなければ実状に則した式を決定することができない。

後 記

以上のようにある条件 (前節参照) 下では (B) 及び (C) 式が充分実用になることを述べたのであるが、次にこれらの式を使用するに当たって注意しなければならない点について述べる。

それは式中の k は衝撃系全体のバネ常数であって、単に鎖だけのバネ常数ではないことである。例えば、今回の実験では、衝撃系が鉄塔+ピックアップ+鎖であるから k_T , k_P 及び k_C をそれぞれ鉄塔、ピックアップ及び鎖リンク 1 コのバネ常数とし、 n を鎖のリンク数とすれば衝撃系のバネ常数 k は

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_T} + \frac{1}{k_P} + \frac{n}{k_C} \dots \dots \dots (E)$$

としなければならないのである。

もし (E) 式の k_C が k_T 及び k_P に比べて極めて小さいときは $\frac{1}{k} = \frac{n}{k_C}$ 即ち $k = \frac{k_C}{n}$ となる。

このように衝撃系のバネ常数は個々のバネ常数の中に特に小さいものがあればほとんどそれに等しくなる。今回の場合がその例である。 (未完)