

# 降伏荷重を受けるピントラスの非弾性挙動について

正 員 西 村 昭\*

## INELASTIC BEHAVIOR OF PIN-CONNECTED TRUSS UNDER YIELD LOADS

Akira Nishimura, C.E. Member.

### Synopsis :

To obtain some data on the critical state of truss bridge, its inelastic behavior in the plastic range in which any lower chord of the truss starts to flow is solved dynamically and simultaneously the effect of travelling velocity of moving load is presented by using the numerical example of the Warren type truss highway bridge of 70 m long and 4.5 m wide with curved chords, in this paper. In these performances, it should be taken into consideration that the tensile stress-strain curve of mild steel consists of the three ranges; elastic-, plastic flow-, and strain hardening-regions.

The deformation, when plastic flow occurred in any member, is calculated from the motion of the mechanism consisting of two structural parts each of which is assumed rigid body and are joined with each other by a frictionless hinge existing on the apex opposite to the yielded member. And, two concentrated loads acting on the panel points of the both ends of a lower chord member which will yield when the loads get to the same maximum value, are varied trapezoidally with time, in order to obtain the same effect as that of the moving load.

**要 旨** 構造用軟鋼よりなるトラスの極限状態についての資料を得るために、単純橋トラスの下弦材降伏の場合につき、動力的見地よりその非弾性挙動を明らかにしたものである。降伏部材については弾性変形、塑性流動及びヒズミ硬化の各領域を考慮し、流動開始以後におけるトラス挙動は、降伏部材に相対するヒンジで結合された2つのトラス構面よりなるメカニズムの運動方程式で表わし、計算例によつて時間的に台形状の変動を示す集中荷重を受ける下路ワレントラスの中央下弦材降伏後の挙動、及びそれに及ぼす荷重速度の影響等を明らかにした。

### 1. 緒 言

構造物設計の合理化に当つては、作用荷重の適切な推定と共に構造物の極限状態に関する資料が必要である。従来静定鋼構造物では軟鋼の理想塑性の仮定のもとに一部材、またハリの場合には一断面、の降伏によつて変形は無限大となり、従つて構造物の耐荷力は尽きるとされてきた。これは構造物の使用上永久変形を残すことが許されない場合には至極妥当である。しかし構造物に作用する荷重は特殊な場合を除き一般には相当なチラバリを有し、極言すれば設計荷重以上の荷重状態、あるいはある部材に降伏を生ぜしめるような荷重状態はある確率のもとに必ず生起すると言いうる。構造物の公共性の増大につれてその設計荷重の増加あるいは許容応力の低下を必要とするわけであるが、その場合でも上記の確率は0とはならない。このように考えてくると、静定構造物の極限状態として一部材あるいは一断面の降伏を探る場合でも、ある確率をもつて起りうる降伏を生ぜしめるような荷重に対する安全性を保証するためには、その極限状態の理解は極めて重要な意義を有する。

構造用軟鋼の荷重・変形関係は、周知の通り弾性変形、塑性流動及びヒズミ硬化の各領域よりなるが、この第三領域に入れば変形の増大に対する抵抗力は増大することになる。ここではこのような抵抗増加も考慮して、まづ静定ピントラスの降伏荷重による降伏部材発生後の性状を明らかにした。

トラス下弦材応力の移動荷重による変動状態は、その影響線より明らかのように一般にほぼ台形状を示す。そこで本研究では作用荷重としては移動荷重を用いる代りに、降伏部材端に作用する一対の集中荷重で置き換え、その荷重値を時間的に台形状に変化せしめた。その他次の仮定を設けている。すなわち、荷重速度の変化によつて材料の変形は影響を受けなかった。この点に関しては移動荷重として普通の自動車荷重を対象とする場合は、

\* 神戸大学助教授、工学部土木教室

その移動速度範囲内での荷重変化速度の差程度では上記仮定は妥当であると考えられる。また動荷重に付随する振動、衝撃等の諸効果は一応考えないことにした。

なお圧縮材の座屈による構造物の破壊も起りうるが、この場合には座屈後の部材抵抗力はそれ以前に比して減少するのが常であり、ここでは圧縮材の座屈による構造物変形は取扱っていない。また対象構造物には活荷重のチラバリの著しい道路橋を採つた。

2. 基礎方程式の誘導<sup>1)</sup>

静定ピントラスの下弦材降伏後の状態を図示すれば一般に 図-1 (b) の通りである。FG を破損部材とすると降伏後のトラスの変形は塑性変形量に比して弾性変形量を無視すれば、ヒンジEで結合された2つの剛体の運動変位として与えられる。B及びCを破損部材に相対するヒンジEの左右構面の重心とすると、道路橋を対象とする場合はその死荷重の大部分は床構造によつて占められることを考慮すれば、その位置は近似的に左右構面の下弦材中央にあると考えられる。 $I_1, I_2$  をそれぞれ B, C の回りの各構面の2次モーメント、 $m_1, m_2$  及び  $W_1, W_2$  をそれぞれ各構面の質量及び重量とする。部材FGの降伏部材応力を  $F_p$ 、時間  $t$  とおける一対の外力をそれぞれ  $P(t)$ 、座標原点をAに選び、 $x, y$  座標軸を図のように定める。また以後簡単のために  $\theta, x$  及び  $y$  の時間による1次及び2次微分係数をそれぞれ  $\dot{\theta}, \ddot{\theta}$  等で表わす。

左構面のみを取り出して点Aの回りのモーメントの釣合を考えると (図-1 (c))、

$$I_A \ddot{\theta}_1 = \frac{1}{2} W_1 L_1 \cos \theta_1 F_p (L_1 - L_{3L}) (\sin \alpha \cos \theta_1 + \cos \alpha \sin \theta_1) + P(t) (L_1 - L_{3L}) \cos \theta_1 - R_{EV} (h \sin \theta_1 + L_1 \cos \theta_1) + R_{EH} (h \cos \theta_1 - L_1 \sin \theta_1) \quad (1)$$

ここに、 $\alpha = \tan^{-1} (y_G - y_F) / (x_G - x_F)$

また図-1 (b) において点Aの回りのモーメントの釣合条件より、

$$R_{DV} = \frac{1}{L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos \theta_2 + h(\sin \theta_1 + \sin \theta_2)} \left[ (W_1 - m_1 \ddot{y}_B) \frac{L_1}{2} \cos \theta_1 - m_1 \ddot{x}_B \frac{L_1}{2} \sin \theta_1 - (I_1 \ddot{\theta}_1 - I_2 \ddot{\theta}_2) + (W_2 - m_2 \ddot{y}_C) \left\{ L_1 \cos \theta_1 + \frac{L_2}{2} \cos \theta_2 + h(\sin \theta_1 + \sin \theta_2) \right\} - m_2 \ddot{x}_C \frac{L_2}{2} \sin \theta_2 + P(t) \{ (L_1 - L_{3R}) \cos \theta_1 + L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos \theta_2 + h(\sin \theta_1 + \sin \theta_2) - (L_2 - L_{3R}) \cos \theta_2 \} \right] \quad (2)$$

一方図-1 (c) と同様に右構面についての水平及び鉛直方向の力の釣合条件より、

$$R_{EH} = m_2 \ddot{x}_C - F_p \cos \alpha \quad (3)$$

$$R_{EV} = R_{DV} - F_p \sin \alpha - P(t) - (W_2 - m_2 \ddot{y}_C) \quad (4)$$

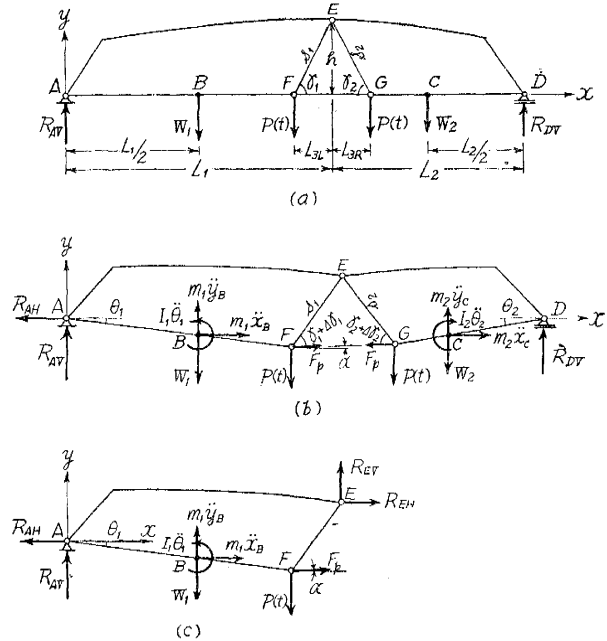
式 (4) に式 (2) を用いて

$$R_{EV} = P(t) \frac{(L_1 - L_{3L}) \cos \theta_1 - (L_2 - L_{3R}) \cos \theta_2}{L} + (W_1 - m_1 \ddot{y}_B) \frac{\frac{1}{2} L_1 \cos \theta_1}{L} - F_p \sin \alpha - \frac{I_1 \ddot{\theta}_1 - I_2 \ddot{\theta}_2}{L} - \frac{1}{L} \left\{ \frac{1}{2} (L_1 m_1 \ddot{x}_B \sin \theta_1 + L_2 m_2 \ddot{x}_C \sin \theta_2) - (m_2 \ddot{y}_C - W_2) \frac{1}{2} L_2 \cos \theta_2 \right\} \quad (5)$$

図-1 トラスに作用する諸力

(a) 弾性領域、(b) 塑性領域、(c) 塑性領域 (左構面)

Fig. 1 Forces acting on truss bridge and its geometry, (a) before plastic flow occurs in the member FG, (b) after plastic flow occurred in the member FG, and (c) left-part of truss bridge under the condition same as (b) above.



$\theta$  が小なる場合には式 (1), (3) 及び (5) よりそれぞれ,

$$I_A \ddot{\theta}_1 = \frac{1}{2} W_1 L_1 - F_p (L_1 - L_{3L}) (\alpha + \theta_1) + P(t) (L_1 - L_{3L}) - R_{EV} L_1 + R_{EH} (h - L_1 \theta_1) \quad (1)'$$

$$R_{EH} = m_2 \ddot{x}_C - F_p \quad (3)'$$

$$R_{EV} = P(t) \frac{L_1 - L_{3L} - L_2 + L_{3R}}{\bar{L}} + (W_1 - m_1 \ddot{y}_B) \frac{L_1}{2\bar{L}} - F_p \alpha - \frac{\left( I_1 - I_2 \frac{L_1}{L_2} \right) \ddot{\theta}_1}{\bar{L}} - \frac{1}{2\bar{L}} \{ L_1 (m_1 \ddot{x}_B + m_2 \ddot{x}_C) \theta_1 - L_2 (m_2 \ddot{y}_C - W_2) \} \quad (5)'$$

が得られる。但しここに,

$$\bar{L} \equiv L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos \theta_2 + h (\sin \theta_1 + \sin \theta_2)$$

$\theta$  が小なる場合は

$$\bar{L} \approx L_1 + L_2$$

$$\theta_2 \approx \theta_1 L_1 / L_2$$

$$\text{一方, } x_B = \frac{L_1}{2} \cos \theta_1, \quad x_C = L_1 \cos \theta_1 + \frac{L_2}{2} \cos \theta_2 + h (\sin \theta_1 + \sin \theta_2),$$

$$y_B = -\frac{L_1}{2} \sin \theta_1, \quad y_C = -\frac{L_2}{2} \sin \theta_2$$

かつ  $\theta$  が小なる場合を考慮すると, 式 (1)', (3)' 及び (5)' より,

$$\begin{aligned} & \left\{ \frac{1}{3} m_1 L_1^2 + \frac{L_1}{L_1 + L_2} \left( \frac{1}{6} m_1 L_1^2 - \frac{1}{6} m_2 L_1 L_2 \right) - m_2 h^2 \left( 1 + \frac{L_2}{L_1} \right) + m_2 \frac{h(L_1^2 + 2L_1 L_2)}{L_2} \right\} \ddot{\theta}_1 \\ & + \left\{ m_2 \theta_1 \left( \frac{L_1^3 + L_1^4 / L_2}{2(L_1 + L_2)} - L_1^2 - \frac{L_1^2}{2L_2} \right) + m_2 h \left( L_1 + \frac{L_1^2}{2L_2} \right) \right\} \dot{\theta}_1^2 \\ & = \frac{1}{2} W_1 L_1 \left( 1 - \frac{L_1}{L_1 + L_2} \right) + \frac{1}{2} W_2 L_2 \frac{L_1}{L_1 + L_2} - \frac{P(t)}{L_1 + L_2} (L_2 L_{3L} + L_1 L_{3R} - 2L_1 L_2) \\ & - F_p (h - L_{3L} \theta_1) + F_p L_{3L} \alpha \end{aligned} \quad (6)$$

更に特別な場合として降伏部材に対して構造及び変形対称の場合には次のように簡単になる。

$$\begin{aligned} & \left\{ \left( \frac{1}{3} m_1 L_1^2 - 2m_1 h^2 \right) + 3m_1 L_1 h \theta_1 \right\} \ddot{\theta}_1 + \left( \frac{3}{2} m_1 L_1 h - m_1 L_1^2 \theta_1 \right) \dot{\theta}_1^2 \\ & = \frac{1}{2} W_1 L_1 + P(t) (L_1 - L_{3L}) - F_p (h - L_{3L} \theta_1) \end{aligned} \quad (6)'$$

式 (6) 及び式 (6)' が降伏部材が塑性流動を生ずる領域におけるトラスの運動方程式である。なお  $F_p$  はヒズミ硬化領域突入後は 4. に述べるように  $\theta$  の関数  $F(\theta)$  で置き換えられることになる。

### 3. 降伏部材変形量と構面回転角との関係

前述のようにトラスの変形は図-1 (b) のようにヒンジ E で結合されて回転する 2 つの剛体の運動状態を明らかにすることによつてえられる。この場合の変形の幾何学的条件より,

$$\left. \begin{aligned} \Delta r_1 &= -(\theta_1 + \alpha) \\ \Delta r_2 &= -(\theta_2 - \alpha) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

部材 FG の変形前の部材長を  $l (= L_{3L} + L_{3R})$  とすると,

$$l = s_1 \cos r_1 + s_2 \cos r_2$$

$l$  の総変形量を  $\Delta l$  とすると,  $\theta$  が微小な場合は式 (7) を考慮して,

$$\Delta l = -s_1 \sin r_1 \Delta r_1 - s_2 \sin r_2 \Delta r_2 = -s_1 \sin r_1 (\Delta r_1 + \Delta r_2) = h(\theta_1 + \theta_2) \quad (8)$$

となる。また対称変形の場合には,

$$\Delta l = 2h\theta_1 \quad (8)'$$

さて, 部材 FG の弾性変形 (変形量  $\Delta l_e$ ) 終了時における左右構面回転量をそれぞれ  $\theta_{1e}, \theta_{2e}$  とすると, 部材 FG の塑性変形量  $\Delta l_p$  は,

$$\Delta l_p = \Delta l - \Delta l_e = h\{(\theta_1 - \theta_{1e}) + (\theta_2 - \theta_{2e})\} \quad (9)$$

式 (8), (8)' 及び (9) によつて降伏部材変形量と構面回転量との関係を知ることが出来る。

### 4. ヒズミ硬化領域における降伏部材力

降伏部材 FG はトラス構面の回転量  $\theta$  の増加に従つて塑性流動を終了し, ヒズミ硬化領域に突入することにな

るが、ここではその場合の部材応力  $F(\theta)$  を求めておく。

まず軟鋼の荷重・伸び関係を図-2 のように仮定する。いま部材力を  $F(\theta)$ 、部材断面積を  $A$ 、ヤング係数を  $E$  とすると、塑性流動完了時における変形量  $\Delta l_{e+p}$  は、

$$\left. \begin{aligned} \Delta l_{e+p} &= \Delta l_e + \Delta l_p = \frac{F_p l}{EA} (1+n) \\ \text{但しここに} \\ n &= \Delta l_p / \Delta l_e \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

従つてヒズミ硬化領域突入後の部材総変形量  $\Delta l$  は、 $E'$  をヒズミ硬化領域における応力・ヒズミ比とすると、

$$\Delta l = \frac{(F(\theta) - F_p)l}{AE'} + \frac{F_p l}{AE} (1+n)$$

となる。ここで  $E'$  は実際には  $\Delta l$  と 1 次関係にないが、ここでは簡単のために、安全側であることも考慮して、塑性流動完了点と最大引張強さ点を結ぶ割線の勾配を用いることにした。式 (8) を用いて  $F(\theta)$  を求めると、

$$F(\theta) = \frac{AE'}{l} \left\{ h(\theta_1 + \theta_2) + \frac{F_p l}{A} \left( \frac{1}{E'} - \frac{1+n}{E} \right) \right\} \quad (11)$$

となる。また対称変形の場合には

$$F(\theta) = \frac{AE'}{l} \left\{ 2h\theta_1 + \frac{F_p l}{A} \left( \frac{1}{E'} - \frac{1+n}{E} \right) \right\} \quad (11)'$$

故に降伏部材がヒズミ硬化領域に入つて後は、構面の運動方程式 (6) あるいは (6)' の  $F_p$  は式 (11) あるいは (11)' でおき換えられなければならない。このときの適用境界の判定は式 (9) 及び (10) によつて容易になされる。

5. 長大スパン下路トラス橋についての数値計算例

以上誘導された基礎方程式を用いて 図-3 (a) に示す下路トラス道路橋の非弾性変形量を計算してみる。

a. トラスに関する諸量 計算例に選んだトラスはスパン 70 m、有効幅員 4.5 m の下路曲弦ワレントラス橋である (図-3(a))。設計は旧鋼道路橋設計方書案 (昭和 15 年) を用いて、床及び床組の設計には、第 1 種荷重、主構の設計には第 2 種荷重を採用した。材料は構造用軟鋼 SS-41、死荷重の総計は各主構について 2166 kg/m である。

b. 使用材料に関する諸量 SS-41 の機械的性質として次の値を用いた。すなわち、 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ;  $E' = 5.0 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma_p = 2700 \text{ kg/cm}^2$ ;  $\sigma_B = 4000 \text{ kg/cm}^2$ ;  $n = 22^2$  である。

c. 荷重 図-3 に示したように、格点  $L_4, L_6$  にそれぞれ同大の鉛直集中荷重  $P(t)$  が作用する対称変形の場合を考えると、下弦材の部材応力その他は表-1 に示す通りである。従つて  $P(t)_{\max} = 156695 \text{ kg}$  によつて  $L_4-L_6$  部材がまず降伏し、トラスはメカニズムとしての運動を開始することになる。

部材  $L_4-L_6$  に注目すると、その部材応力の移動荷重による変動状況は、影響線によつて知られるように台形状となる。そこでこ

図-2 軟鋼の荷重・伸び関係  
Fig. 2 Force-deformation relation of mild steel

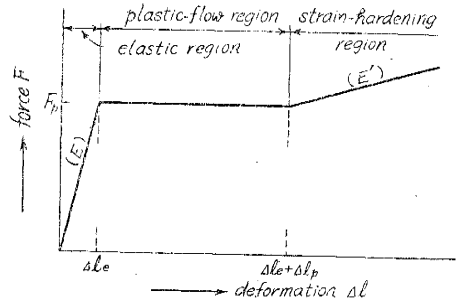


図-3 計算例トラス及び荷重

Fig. 3 Truss bridge and variation of load acting on it  
(a) skeleton of truss,  
(b) loading pattern No. 1~No. 5, and  
(c) loading pattern No. 6

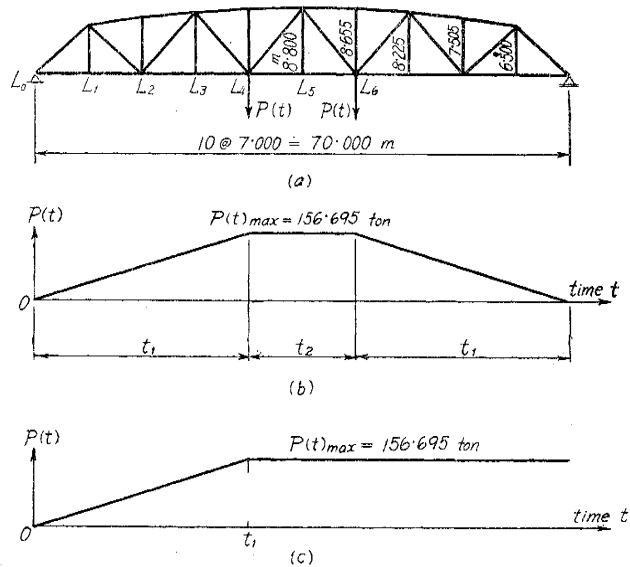


表-1

部材	部材応力	総断面積 (cm <sup>2</sup> )	死荷重応力 (kg)	降伏部材力* (kg)	降伏荷重* P(t) (kg)
$L_0L_2$	+1.077 P(t)	111.48	65 348	300 996	218 800
$L_2L_4$	+2.553 "	201.48	129 018	544 000	162 547
$L_4L_6$	+3.182 "	238.28	144 752	643 356	156 695

\* 総断面積について計算

では  $P(t)$  の作用位置を不動とし、その絶対値の時間的変動状況を 図-3 (b) のように台形状にえらび移動荷重と同様の効果を生ぜしめた。

まず最初に  $P(t)_{\max}=156\,695\text{ kg}$  の場合につき、 $t_1$  及び  $t_2$  を時速 15, 25, 35, 45 及び 55 km/hr. で橋梁を通過する移動荷重の各々の場合に対応せしめてそれぞれ表-2 のように選らび、次に  $P(t)_{\max}=156\,695\text{ kg}$  を定値持続荷重の場合 (図-3 (e)) の変形状態を検討した。

式 (6) または (6)' のように運動方程式は 2 次の非線型微分方程式となるから、ここでは Runge-Kutta 法を用いて数値積分を行う。このとき初期条件として次の値を用いる。まずトラスの固有振動周期は、現在考えている強制力としての荷重の変化時間に比して十分小と考えられるから、弾性変位量は荷重に比例するものと考えて、 $\delta_d$ : 死荷重のみによる点  $L_4$  (または  $L_5$ ) の鉛直変位、 $\delta_l$ : 活荷重のみによる点  $L_4$  (または  $L_5$ ) の鉛直変位とすると、

$$\theta_i \doteq (\delta_d + \delta_l) / (L_i - L_3)$$

従つて  $\dot{\theta}_i \doteq \dot{\delta}_l / (L_i - L_3) = \dot{\delta}_l / (L_i - L_3) t_1$

$\delta_d$ 、及び  $P(t)_{\max}=156\,695\text{ kg}$  のときの  $\delta_l$  を計算すると、 $\delta_d=5.2989\text{ cm}$ ;  $\delta_l=17.2475\text{ cm}$  となる。従つて降伏開始時の  $\theta_i$  及び  $\dot{\theta}_i$  はそれぞれ

$$\theta_{i,t=0} = 8.0523 \times 10^{-3}; \quad \dot{\theta}_{i,t=0} = 17.2475 / 2800 t_1$$

また死荷重のみによる回転変位を  $\theta_{i,d}$  とすると、 $\theta_{i,d} = 5.2989 / 2800 = 0.001893$  である。

各場合の  $\dot{\theta}_{i,t=0}$  の値は 表-2 の通りである。

一方荷重 No.6 を受けることと構造物の回転変位  $\theta_i$  の増加に従つて部材 FG はヒズミ硬化を生じ始める。このときの回転変位  $\theta_{i,s}$  を求めると、式 (8)', (10) より

$$\begin{aligned} \theta_{i,s} &= \theta_{i,t=0} + \frac{\Delta l_p}{2h} = 0.008\,052 + 0.022\,500 \\ &= 0.030\,552 \end{aligned}$$

となる。

e. 計算結果及びその考察 5. a の諸量を用いてトラス運動方程式 (6)' 式を書けば次の通りである。

$$\begin{aligned} \ddot{\theta}_i &= \frac{1}{206.9007 + 754.2854 \theta_i} \\ &\quad \{ (-377.1427 + 1000 \theta_i) \dot{\theta}_i^2 \\ &\quad + (-0.457\,4861 + 0.475\,2733 \theta_i) \\ &\quad + 0.002\,955 P(t) \} \end{aligned}$$

またヒズミ硬化を生ずる領域に対しては、式 (11)' を用いて

$$\begin{aligned} \ddot{\theta}_i &= \frac{1}{206.9007 + 754.2854 \theta_i} \\ &\quad \{ (-377.1427 + 1000 \theta_i) \dot{\theta}_i^2 \\ &\quad + (-0.424\,7351 - 0.941\,6572 \theta_i) \\ &\quad + 0.002\,955 P(t) \} \end{aligned}$$

となる。但し  $P(t)$  は単位 ton

$P(t)$  として No. 1~No. 6 の各荷重をとり、数値積分を行つた結果を図示すると、図-4.5 及び 6 が得られる。

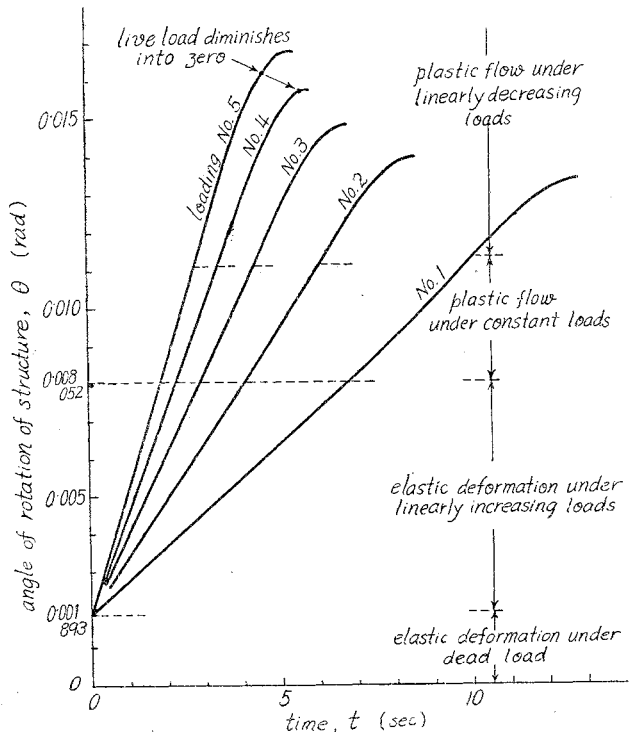
図-4 は荷重 No. 1~4 に対する変形の時間的変化を示したもので、下弦材降伏後の  $\theta$  の変化状況はほぼ弾性変形領域における直線的变化を保つと見られるが、荷重変化速度の低い No. 1 あるいは No. 2 の場合は変形が急激に増加しようとする傾向が顕著である。

表-2

荷重 No.	対応時速 (km/hr)	$t_1$ (sec)	$t_2$ (sec)	$\theta_{i,t=0}$ (rad)	$\dot{\theta}_{i,t=0}$ (rad/sec)
1	15	6.720	3.360	$8.0523 \times 10^{-3}$	$0.916\,64 \times 10^{-3}$
2	25	4.032	2.016	"	1.527 74
3	35	2.880	1.440	"	2.138 83
4	45	2.240	1.120	"	2.749 93
5	55	1.833	0.916	"	3.360 52
6	55	1.833	$\infty$	"	"

図-4 時間・構面回転量関係

Fig. 4 Time-deformation relations under various loading



このことは図-5 に示したトラス回転角速度  $\dot{\theta}$  の時間的変化状況からも明らかで、いずれの荷重によつても a~b 間において  $\dot{\theta}$  は増加するが、荷重速度大の場合には a, b が近接しており、その  $\dot{\theta}$  増加の影響は図-4 には表われにくい。また荷重減少開始後はいずれの場合も  $\dot{\theta}$  は減少しはじめ、荷重速度の低い No. 1~3 の場合は荷重が 0 となる以前に変形の進行は停止し、荷重速度の高い場合は荷重消滅後間もなく停止するのが見られる (図-4)。一方終局の変形量は荷重変化速度の増加に伴つてほぼ放物線的に増大するようである (表-3)。

図-6 は荷重 No. 5 及び No. 6 による変形の時間的変化を示したものである。No. 6 のように最大荷重が持続される場合には、変形は降伏部材のヒズミ硬化領域突入後もほとんどそれ以前の変形増大速度を持続し、 $\theta = 0.1 \text{ rad}$  で変形が停止する。これは部材破壊時の  $\theta$  の大略 1/2 の値に相当する。

なお活荷重による弾性変形量に等しい変形回復が除荷後生ずるものとして、荷重 No. 1~5 による残留変形量を算定すると表-3 が得られる。表中のタワミ量  $\delta_r$  または  $\delta_{\text{max}}$  はいずれも格点  $L_4$  あるいは  $L_6$  についての値である。また  $L$  はスパンを表わす。

6. 結 語

台形状に増加・減少する2個の集中荷重を受ける静定ピントラスの一下弦材降伏後の挙動を動力学的計算によつて明らかにしたが、要点を挙げれば次の通りである。

- 1) 一下弦材降伏後のトラスの変形は、降伏部材を

図-5 時間・構面回転量関係

Fig. 5 Time-deformation relations under various loading

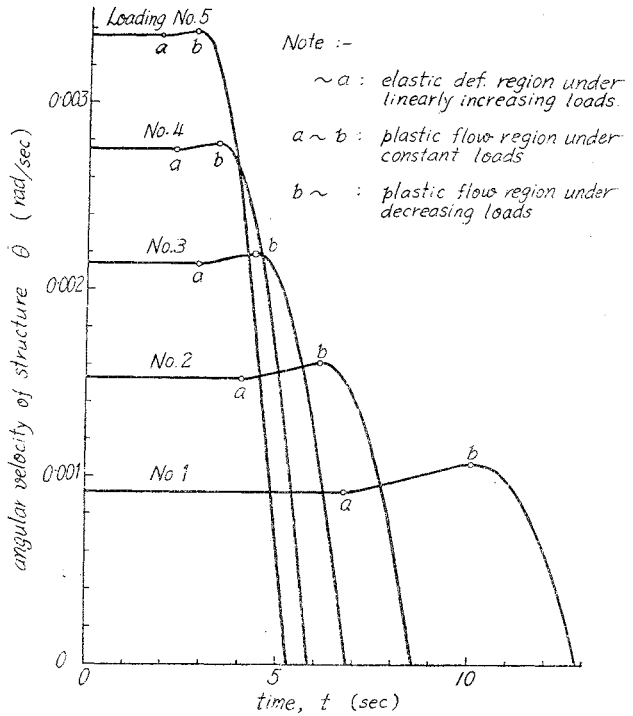
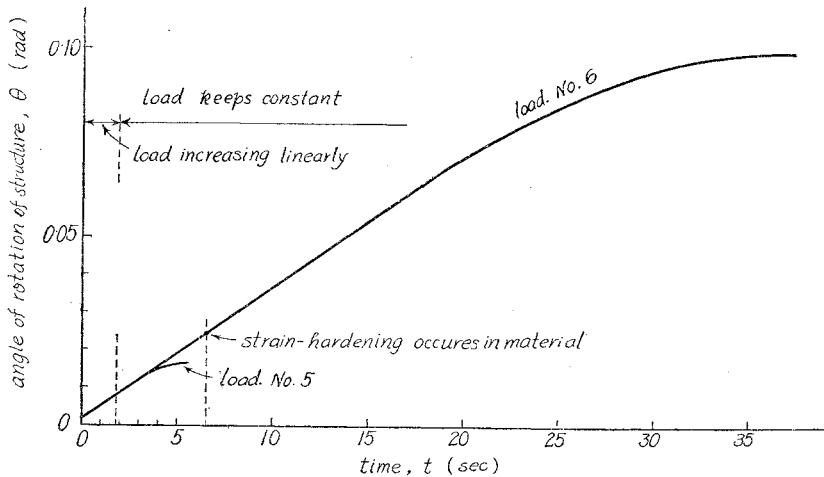


表-3

荷重 No.	残留変形量 (rad)	残留撓み $\delta_r$ (cm)	$\delta_r/L$ (%)	最大撓み $\delta_{\text{max}}$ (cm)	$\delta_{\text{max}}/L$ (%)
1	$7.258 \times 10^{-3}$	20.32	0.29	25.62	0.54
2	7.838	21.95	0.31	27.25	0.56
3	8.723	24.42	0.35	29.72	0.60
4	9.627	26.96	0.39	32.26	0.63
5	10.618	29.73	0.42	35.03	0.67

図-6 時間・構面回転量関係

Fig. 6 Time-deformation relations under loading No. 5 and No. 6



降伏部材力と等しい一對の定荷重で置き換え、それに相対するピンで結合された2つの構造部分よりなるメカニズムの運動方程式(6)あるいは(6)'の解として与えられる。

2) 降伏部材がヒズミ硬化開始後のトラスの変形を求めるには、その部材伸びと、構面回転量との間の幾何学的関係によつて降伏部材力を式(11)あるいは(11)'で表わし、上記1)の降伏部材力の代りに用いる。

次にスパン70mの下路ワレントラス道路橋についての数値計算結果より、

3) 一下弦材降伏後の変形速度は、それ以前の弾性形変領域に比して急激になる傾向を有するが、それは荷重速度の低いほど顕著である(図-5)。この傾向も変形量について見ると荷重速度大の場合は顕著でない。

4) 荷重減少開始後は荷重速度の大小にかかわらず直ちに変形速度を減ずる。また荷重速度の低い場合(35 km/hr以下の移動荷重による部材力変化に相当)は荷重消滅前に変形の増加は停止する。

5) 終局の変形量は荷重速度の増加に伴ないほぼ放物線的に増大するようである。

6) 最大タワミ、残留タワミは表-3の通りである。

7) 直線的に増大した荷重が最大値に達して後定値を持続する場合は変形は著しく増大し、降伏部材がヒズミ硬化を生じて後も更に変形を増大し最後に変形を停止する。終局変形量は55 km/hrの移動荷重の相当荷重に対して破壊時の大略1/2程度に達する。

以上は荷重及び材料に関する仮定を含んではいないが、これによつてピントラスの降伏荷重による非弾性挙動の概略を理解することができると思う。また設計荷重、許容応力等の決定時に当然考慮されるべき構造物の極限状態の一資料となれば幸と思う。

本研究を行うに当つては京大小西教授、神大畑中教授より御指導御激励を仰ぎ、また昭和30年度文部省科学研究助成補助金を受けた。ここに各位に深謝する次第です。

#### 参 考 文 献

- 1) S.J. Fraenkel and L.E. Grinter: Nonelastic Behavior of Bridges under Impulsive Loads, Proc. ASCE, Vol. 79, Sep. No. 185, April 1953.
- 2) R. Lévi: Sécurité des constructions (The Safety of Structures), Prelim. Report, 2nd Congr. Intern. Assoc. Bridge & Structural Engg., W. Ernst & Son, Berlin, 1936, p. 79.

(昭 31.11.27)