

連続ばり、アーチの Shake-down load について

名古屋大学 福 本 啓 士
金沢大学 吉 田 博

本研究は、塑性設計の橋梁構造物への適用に関する問題点の一つとして、橋梁に移動の荷重が作用した場合の橋桁のたわみに関する安定問題を取りあつかった。

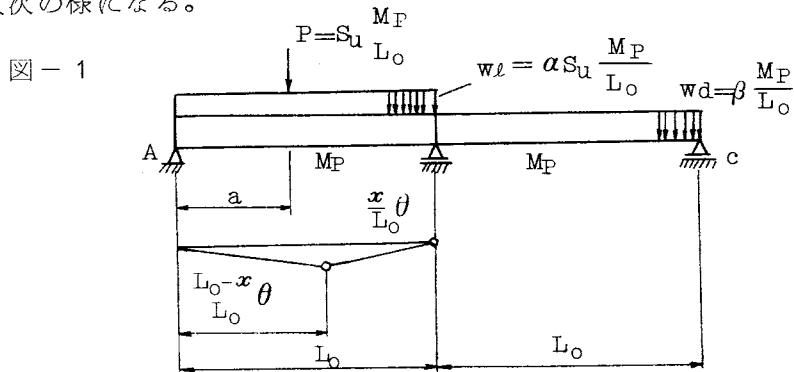
連続ばり、アーチ橋を対象に、塑性解析により求まる崩壊荷重の大きさと、大小さまざまな荷重が橋上を繰返し移動する場合の、これらの橋の変形硬化荷重 (Shake-down load) を求め、両者の比較検討を行ない、橋梁の変形硬化現象を定量的に明らかにしようとした。

1. 2 スパン連続ばり

荷重状態は鋼道路橋設計示方書で規定されている線荷重および等分布活荷重を用いて、死荷重、スパン長をパラメーターとし、連続ばりの崩壊荷重および変形硬化荷重を求めた。

(a) 崩壊荷重

図-1 のように各種荷重を定義すると、仮想仕事の原理より安全係数は次の様になる。



ここに S_u は $P_{ult} = S_u \frac{M_p}{L_0}$ により定義する。

$$x \leq a \quad S_u = \frac{2(1+\gamma) - \beta(1-\gamma)\gamma^2 - \beta(1-\gamma)^2\gamma}{\alpha(1-\gamma)\gamma^2 + \alpha(1-\gamma)^2\gamma + 2\gamma(1-\eta)} \quad (1)$$

$$x \geq a \quad S_u = \frac{2(1+\gamma) - \beta(1-\gamma)\gamma^2 - \beta(1-\gamma)\gamma}{\alpha(1-\gamma)\gamma^2 + \alpha(1-\gamma)^2\gamma + 2\eta(1-\gamma)} \quad (2)$$

ただし $\gamma = \frac{x}{L_0}$ 、 $\eta = \frac{a}{L_0}$ とする。

(1)、(2)式において γ 、 η を変化させた場合の最小値が求める安全係数である。

(1)および(2)式にて、線荷重と等分布活荷重の比 α 、死荷重に関する項 β をパラメーターとして計算した結果を図-2の実線にて示す。

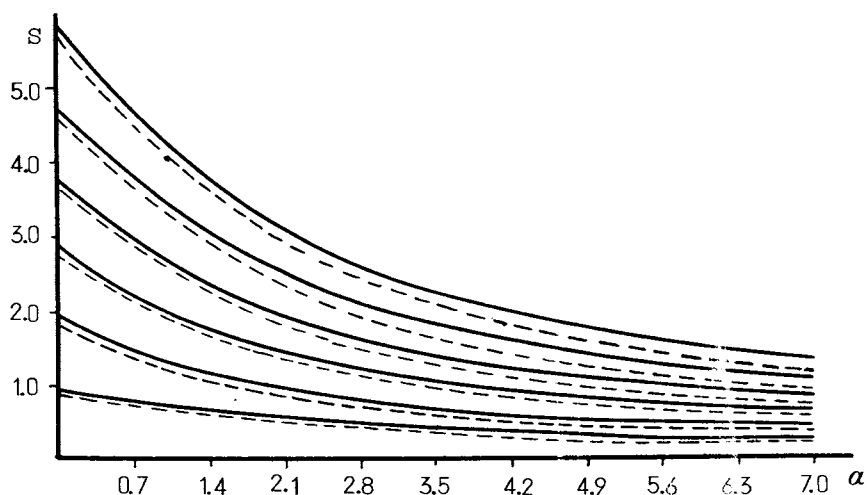
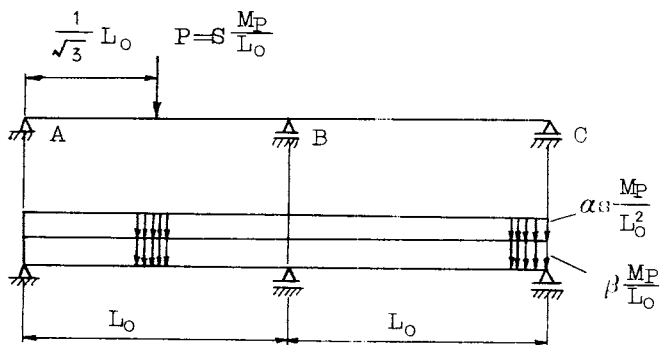


図-2

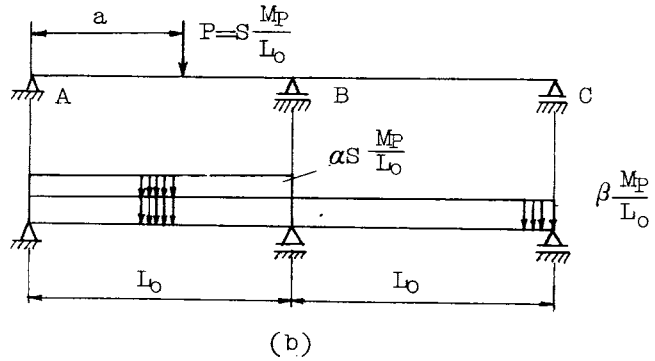
(b) 変形硬化荷重

支点Bに最大負曲げモーメントを生ずるような荷重状態を図-3(a)に示す。スパンABに最大正曲げモーメントを生ずるような荷重状態を図-3(b)に示す。



(a)

図 - 3



支点 A より a 離れた荷重による弾性の曲げモーメントを M_X 、支点 B の弾性曲げモーメントを M_B 、残留曲げモーメントを M_{RX} M_{RB} とすると、変形硬化するための条件は

$$|M_{RX} + M_X| \leq M_P, \quad |M_{RB} + M_B| \leq M_P \quad (3)$$

これより変形硬化に対する安全係数 S_S は

$$x \leq a$$

$$S_S = \frac{\beta (6\gamma - 8\gamma^2) - 16\gamma + 2\beta\gamma - 16}{4\eta(1-\eta)(1+\eta) - 2\alpha\gamma - \sqrt{\frac{2}{3}}\gamma - a(7\gamma - 8\gamma^2) - 16(1-\eta)\gamma} \quad (4)$$

$$x \geq a$$

$$S_S = \frac{\beta (6\gamma - 8\gamma^2) - 16\gamma + 2\beta\gamma - 16}{4\eta(1-\eta)(1+\eta) - 2\alpha\gamma - \sqrt{\frac{2}{3}}\gamma - a(7\gamma - 8\gamma^2) - 16(1-\eta)\gamma + 16(\gamma - \eta)} \quad (5)$$

(4)、(5)式において γ 、 η を変化させた場合の最小値が求める安全係数である。 α 、 β をパラメーターとして計算した結果を図 - 2 の点線に示す。図 - 4 は変形硬化荷重と崩壊荷重の比を示したもので死荷重には関係せず、線荷重と等分布活荷重の比 α のみに関係し、 α の増加と共に減少している。

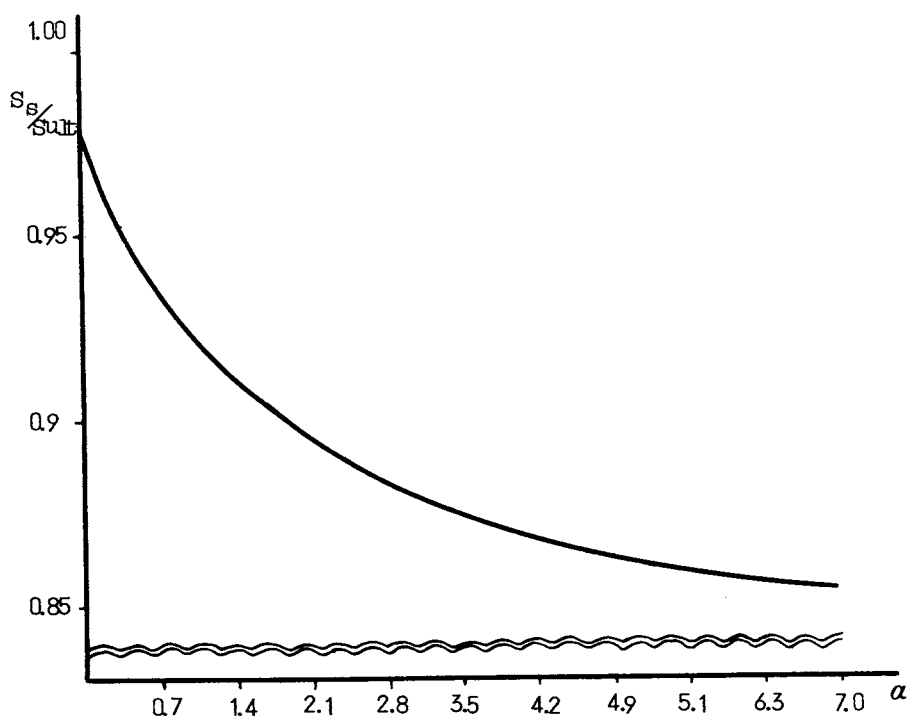


図 - 4

2. 2 ヒンジアーチ

アーチの塑性解析の最初の段階として、2 ヒンジアーチに単一集中荷重が移動する場合の崩壊荷重 変形硬化荷重を求めた。

アーチ部材の断面形状はく形又はI 型断面であるとし、その場合の Interaction Curve は

$$\frac{M}{M_P} = 1.0 - K \left(\frac{T}{T_P} \right)^2 \quad (0 \leq T/T_P \leq \omega(d-2t)/A) \quad (6)$$

$$\frac{M}{M_P} = 1.18 \left(1.0 - T/T_P \right) \quad (\omega(d-2t)/A \leq T/T_P \leq 1.0) \quad (7)$$

一般にI 型断面では桁高 d とウェブ高 $d\omega$ の比は約 1.1 であるとされている。

この関係を用いると

$$K = \frac{\left(\frac{A_F}{A\omega} + 1.0 \right)^2}{2.1 \left(\frac{A_F}{A\omega} \right) + 1.0} \quad \frac{M_P}{T_P} = \frac{1}{4.4} \left(1 + \frac{A_F}{A\omega} \right) \frac{d}{k} \quad (8)$$

で表わされる。

したがって、パラメーターとして断面形状に関するものとして $\gamma = A_F / A_w$ アーチの形状に関するものとして $\beta = d/R$ をとり、種々の γ 、 β についての崩壊荷重、変形硬化荷重を計算した。

(a) 崩壊荷重

図-5に示す荷重状態でA点の反力 q_1 の水平となす角 α_1 を不静定量と考える。

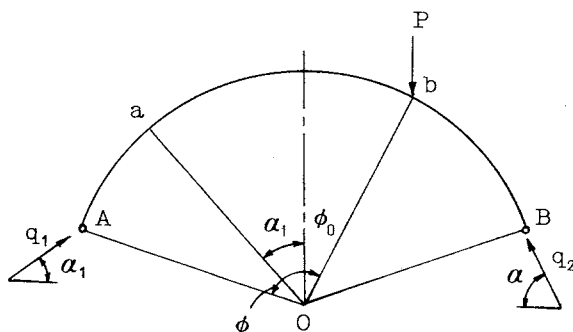


図 - 5

降伏条件式は(6)、(7)式より

$$M/M_P = 1.0 - K (T/T_P) \quad (0 \leq T/T_P \leq \frac{1}{1 + A_F/A_w}) \quad (9)$$

$$M/M_P = 1.18 (1.0 - T/T_P) \quad (\frac{1}{1 + A_F/A_w} \leq T/T_P \leq 1.0) \quad (10)$$

となり、a、b点の軸方向力の大小により次の3つの場合に分れる。

(1) 点 a、b とも $0 \leq T/T_P \leq \frac{1}{1 + A_F/A_w}$

(2) 点 a、b とも $\frac{1}{1 + A_F/A_w} \leq T/T_P \leq 1.0$

(3) 点 a $\frac{1}{1 + A_F/A_w} \leq T/T_P \leq 1.0$

点 b $0 \leq T/T_P \leq 1 + A_F/A_w$

点 a、b の曲げモーメント、軸方向力を上の 3 つの場合について、(9)、(10) 式に代入し、 α および P_{ult} を求めることができる。図 - 5 の ϕ を変化させ P_{ult} の最小値が求まるものである。

(b) 変形硬化荷重

図 - 6 に示す荷重状態で点 b に荷重がのつた場合の b 点の曲げモーメント、軸方向力をそれぞれ M_b 、 T_b とし、点 c に荷重がのつた場合の

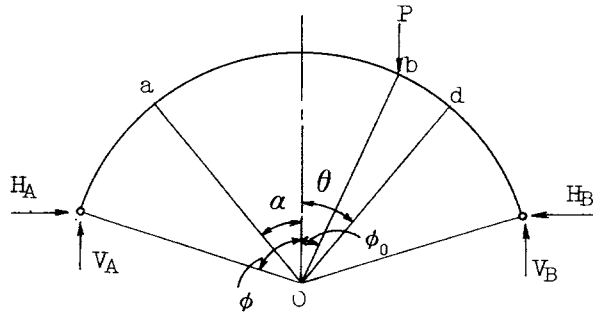


図 - 6

a 点の曲げモーメント、軸方向力をそれぞれ M_a 、 T_a とし、a、b 点の残留曲げモーメントを M_{Ra} 、 M_{Rb} 、軸方向力を T_{Ra} 、 T_{Rb} とすると、(b) 式より変形硬化の条件式は次のようになる。

$$\left| \frac{M_{Ra} + M_a}{M_P} \right| \leq 1.0 - \left(\frac{T_{Ra} + T_a}{T_P} \right)^2 \quad (11)$$

$$\left| \frac{M_{Rb} + M_b}{M_P} \right| \leq 1.0 - \left(\frac{T_{Rb} + T_b}{T_P} \right)^2 \quad (12)$$

ただし $0 \leq \frac{T_{Ra} + T_a}{T_P} \leq \frac{1}{1 + A_F/A_w}$

$$0 \leq \frac{T_{Rb} + T_b}{T_P} \leq \frac{1}{1 + A_F/A_w}$$

とした。I 型断面において、中立軸がフランジ内に入ると交播塑性崩壊するものと考えられるからである。

図－６の荷重状態で(11)、(12)式より P_g を求めることができる。 ϕ 、 θ 、 α を変化させた場合の P_g の最小値が求めるものである。

計算は ϕ 、 A_F/A_w 、 d/R をそれぞれ変化させて計算した結果については当日発表する。