

くり返し荷重による3径間連続桁橋の  
たわみ安定性についてDEFLECTION STABILITY OF THREE-SPAN CONTINUOUS  
GIRDER BRIDGES UNDER VARIABLE  
REPEATED LOADINGS福本 暁士\*・吉田 博\*\*  
By Yuhshi Fukumoto and Hiroshi Yoshida

## 1. 緒 言

弾性限度を越えた変動くり返し荷重が構造物に作用する場合、構造物の応答に

(1) 変動荷重のくり返し数とともに構造物の永久変形が増していく漸増崩壊荷重 (Incremental Collapse Load)

(2) 変動荷重があるくり返し数を越えると、構造物の永久変形が一定値に収れんし、以後は弾性的応答を示すいわゆる変形硬化荷重 (Shake-down Load)

(3) 変動荷重によるある断面での交番塑性応力の発生による低サイクルでの材料の破断 (Alternating Plasticity)

の3形式があることはよく知られている。

著者らは先に橋梁構造物への塑性設計の適用に関する研究として、弾性限度を越えた変動くり返し荷重を受ける2スパン連続桁橋の挙動について上記3点について考察した<sup>1)</sup>。

くり返し作用する荷重列のモデル化されたものとして、現行鋼道路橋示方書に規定される1個の線荷重と等分布荷重よりなる  $L$  荷重が連続桁上をくり返し通過する場合の

(1) メカニズムによる崩壊荷重と安定したたわみ性状を与える変形硬化荷重との関係、および両者のたわみ量をスパン長および死荷重をパラメーターとして求め

(2) メカニズムによる崩壊荷重と漸増荷重による塑性ヒンジ発生位置の相違等について検討を加えた。

本研究では同様の考察を3径間連続桁橋について行なったもので、中央スパンと側スパンのスパン長比、スバ

ン曲げ剛比、全塑性曲げモーメント比、死荷重等をパラメーターとして、崩壊荷重、変形硬化荷重、それらによるたわみ、塑性ヒンジ位置、塑性ヒンジ回転角等を求め、設計のための基礎資料として、数値計算の結果を数表にまとめた。また、これらの数表の使い方を設計と解析の両面からの計算例によって示した。

## 2. 用いた条件、および、仮定

(1) 3スパン連続桁の左右の側スパン長は等しい。

(2) 桁断面はスパンごとにそれぞれ一定断面とする。

(3) 荷重は線荷重とし  $M_P/L$  の大きさの荷重が桁上を1個通過するものとする。等分布荷重として単位長さ  $\alpha M_P/L^2$  の荷重が任意の長さにわたって載荷されるものとする。また、等分布死荷重として、単位長さ当り、 $\beta M_P/L^2$  の荷重が全長にわたり載荷されるものとする。ここに、 $M_P$  は中央スパンの桁の全塑性モーメントであり、 $L$  は全長とする。

(4) 鋼材は理想弾性体とし、桁の曲げモーメントと曲率の関係は図-1のように理想化されたものとする。

(5) 桁は全塑性モーメント  $M_P$  まで達し、塑性ヒンジを形成するものとする。

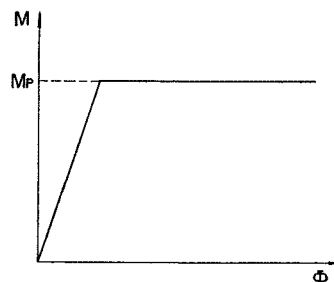
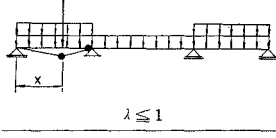
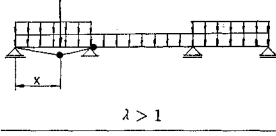
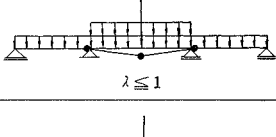
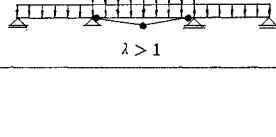


図-1

\* 正会員 Ph.D. 名古屋大学助教授 工学部土木工学科

\*\* 正会員 M.Sc. 金沢大学講師 工学部土木工学科

表-1 崩壊荷重

崩壊形式と載荷状態	崩壊荷重	塑性ヒンジ位置
側径間崩壊  $\lambda \leq 1$	$S_u = \frac{2\lambda(1+r_2) - \beta(1-r_2)r_1\zeta_2^2}{2(1-r_2)r_1\zeta_2 + \alpha(1-r_2)r_1\zeta_2^2}$	$X = r_2 l_2 = 0.414 l_2$ および B 支点上側スパンより
側径間崩壊  $\lambda > 1$	$S_u = \frac{2(\lambda+r_2) - \beta(1-r_2)r_1\zeta_2^2}{2(1-r_2)r_1\zeta_2 + \alpha(1-r_2)r_1\zeta_2^2}$	$X = r_2 l_2 = (-\lambda + \sqrt{\lambda(\lambda+1)}) l_2$ および B 支点上中央スパンより
中央径間崩壊  $\lambda \leq 1$	$S_u = \frac{2(1+\lambda) - \beta(1-r_1)r_1\zeta_1^2}{2(1-r_1)r_1\zeta_1 + \alpha(1-r_1)r_1\zeta_1^2}$	中央スパン中央断面および中間支点上側スパンより
中央径間崩壊  $\lambda > 1$	$S_u = \frac{4 - \beta(1-r_1)r_1}{2(1-r_1)r_1\zeta_1 + \alpha(1-r_1)r_1\zeta_1^2}$	中央スパン中央断面および中間支点上中央スパンより

3. 崩壊荷重

3 スパン連続桁の崩壊は側スパン崩壊と中央スパン崩壊の2通りに分けられる。いま、側スパンの桁の全塑性モーメントを  $\lambda M_P$  とすると、桁の崩壊形式、崩壊荷重、塑性ヒンジ形式位置は、図-2、および、表-1 のようにまとめられる。

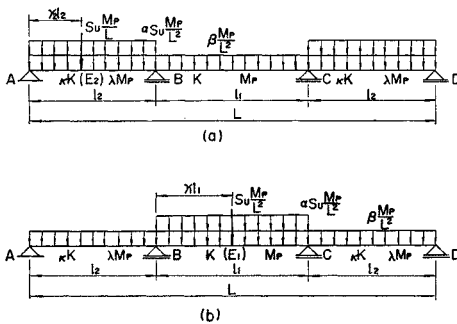


図-2

4. 変形硬化荷重

桁断面  $i$ 、および、 $j$  が変形硬化するためには、つぎの条件式を満足しなければならない。

$$\begin{aligned} M_i^e)_{\max} + m_{Ri} &\leq M_P \dots\dots\dots(1) \\ M_j^e)_{\min} + m_{Rj} &\geq -M_P \end{aligned}$$

ここに、 $M_i^e)_{\max}$ 、 $M_j^e)_{\min}$  は断面  $i$ 、および、 $j$  における最大、および、最小弾性曲げモーメントであり、 $m_{Ri}$ 、および、 $m_{Rj}$  は断面  $i$ 、および、 $j$  における、塑性変形

によって生じた残留曲げモーメントである。対称3スパン連続桁では構造の対称性と荷重が全スパンにわたる移動荷重であることから塑性変形によって生じる残留曲げモーメント分布は、塑性ヒンジの発生位置に関係なく 図-3 (c) のように仮定できる。

3 スパン連続桁の変形硬化荷重の最小値は、線荷重、等分布活荷重、等分布死荷重の組合せによって、つぎの4つの場合が考えられる。

なお、計算に用いる各種載荷状態に対する3スパン連続桁の中間支点の弾性曲げモーメントは、中央スパンと側ス

パンの曲げ剛比  $\kappa$  とスパン長の比  $\lambda = l_2/l_1$  をパラメータとして付録に示した。

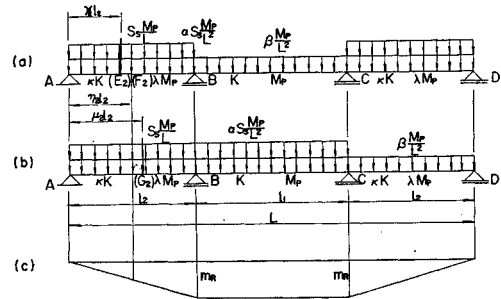


図-3

(1) Case 1 (図-3)

図-3 に示すように線荷重が支点 A より  $r_2 l_2$  の位置  $E_2$  に作用したとき、正の塑性ヒンジが支点 A より  $\eta_2 l_2$  の位置  $F_2$  に発生したと仮定する。さらに、線荷重が移動して、支点 B に最小弾性曲げモーメント  $M_j^e)_{\min}$  (負のモーメント) を与える線荷重位置  $G_2$  (支点 A より  $\mu_2 l_2 = 1/\sqrt{3} \cdot l_2$  の位置) にきたときに、支点 B に負の塑性ヒンジが発生したとする。この場合の等分布活荷重状態は 図-3 (a)、および、(b) のようになる。したがって、変形硬化条件式は、

a)  $\lambda \leq 1$  の場合

$$\begin{aligned} M_{F_2 \text{線}} + M_{F_2 \text{活}} + M_{F_2 \text{死}} + \eta_2 m_R &\geq \lambda M_P \dots(2) \\ M_{B \text{線}} + M_{B \text{活}} + M_{B \text{死}} + m_R &\leq -\lambda M_P \end{aligned}$$

ここに、 $M_{F_2 \text{線}}$ 、 $M_{F_2 \text{活}}$ 、 $M_{F_2 \text{死}}$ 、および、 $\eta_2 m_R$  は 図-3 (a) に示す線荷重、等分布荷重、等分布死荷重による側スパン点  $F_2$  の弾性曲げモーメント、および、残留曲

くり返し荷重による3径間連続桁橋のたわみ安定性について

げモーメントであり、 $M_{B線}$ ,  $M_{B活}$ ,  $M_{B死}$ , および、 $m_R$  は 図-3 (b) の線荷重, 等分布活荷重, 等分布死荷重による支点Bの弾性曲げモーメント, および, 残留曲げモーメントを示す。

$$\begin{aligned} M_{F_2線} &= m_{F_2線} S_S M_P, & M_{B線} &= m_{B線} S_S M_P \\ M_{F_2活} &= m_{F_2活} \alpha S_S M_P, & M_{B活} &= m_{B活} \alpha S_S M_P \\ M_{F_2死} &= m_{F_2死} \beta M_P, & M_{B死} &= m_{B死} \beta M_P \end{aligned}$$

と書きかえて, 式(2)の連立方程式を解くと, 変形硬化荷重は,

$$\begin{aligned} P_S &= S_S \frac{M_P}{L} \\ &= \frac{\lambda(1+\eta_2) - (m_{F_2死} - m_{B死}\eta_2)\beta}{(m_{F_2活} - \eta_2 m_{B活})\alpha + (m_{F_2線} - m_{B線}\eta_2)} \frac{M_P}{L} \end{aligned} \dots\dots\dots(3)$$

となる。

b)  $\lambda > 1$  の場合

a) と同様に,

$$\begin{aligned} M_{F_2線} + M_{F_2活} + M_{F_2死} + \eta_2 m_R &\leq \lambda M_P \\ M_{B線} + M_{B活} + M_{B死} + m_R &\geq -M_P \end{aligned}$$

より,

$$\begin{aligned} P_S &= S_S \frac{M_P}{L} \\ &= \frac{\lambda + \eta_2 - (m_{F_2死} - m_{B死}\eta_2)\beta}{(m_{F_2活} - \eta_2 m_{B活})\alpha + (m_{F_2線} - \eta_2 m_{B線})} \frac{M_P}{L} \end{aligned} \dots\dots\dots(4)$$

となる。

(2) Case 2 (図-4)

図-4 に示すように線荷重が側スパンの支点Aより  $r_2 l_2$  の点  $E_2$  に作用したとき, 正の塑性ヒンジが支点Aより  $\eta_2 l_2$  の点  $F_2$  に発生したと仮定する。さらに, 線荷重が移動して, 中央スパン支点Bより  $\mu_1 l_1$  の点  $G_1$  にきたときに, 支点Bに最小弾性曲げモーメント(負のモーメント)が生じ, 負の塑性ヒンジが発生したとする。この場合の等分布荷重の載荷状態は 図-4 (a), (b) のようになる。

支点Bに最小弾性曲げモーメントが生じるような線荷

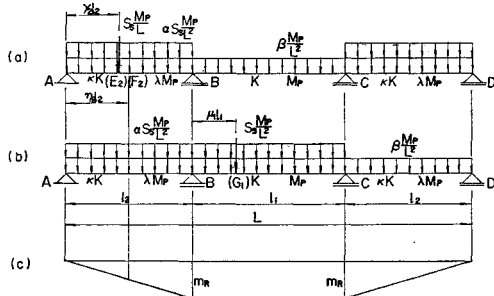


図-4

重の作用点は,

$$\mu_1 = \frac{3(1+\kappa) - \sqrt{9(1+\kappa)^2 - (3+4.5\kappa)(2+1.5\kappa)}}{3+4.5\kappa}$$

で与えられる。

a)  $\lambda \leq 1$  の場合

$$\begin{aligned} M_{F_2線} + M_{F_2活} + M_{F_2死} + \eta_2 m_R &\leq \lambda M_P \\ M_{B線} + M_{B活} + M_{B死} + m_R &\geq -\lambda M_P \end{aligned}$$

ここに, たとえば  $M_{B線} = m_{B線} S_S M_P$  は 図-4 (b) の線荷重による支点Bでの最小弾性曲げモーメントである。

これより, 変形硬化荷重  $P_S$  は,

$$\begin{aligned} P_S &= S_S \frac{M_P}{L} \\ &= \frac{\lambda(1+\eta_2) - (m_{F_2死} - m_{B死}\eta_2)\beta}{(m_{F_2活} - \eta_2 m_{B活})\alpha + (m_{F_2線} - \eta_2 m_{B線})} \frac{M_P}{L} \end{aligned} \dots\dots\dots(5)$$

となる。

b)  $\lambda \geq 1$  の場合

$$\begin{aligned} M_{F_2線} + M_{F_2活} + M_{F_2死} + \eta_2 m_R &\leq \lambda M_P \\ M_{B線} + M_{B活} + M_{B死} + m_R &\geq -M_P \end{aligned}$$

より,

$$\begin{aligned} P_S &= S_S \frac{M_P}{L} \\ &= \frac{\lambda + \eta_2 - (m_{F_2死} - m_{B死}\eta_2)\beta}{(m_{F_2活} - \eta_2 m_{B活})\alpha + (m_{F_2線} - \eta_2 m_{B線})} \frac{M_P}{L} \end{aligned} \dots\dots\dots(6)$$

(3) Case 3 (図-5)

図-5 (a) に示すように線荷重が中央スパン中央  $E_1$  に載荷したとき, 中央スパン中央で正の塑性ヒンジが生じ, 図-5 (b) に示すように支点Aより  $\mu_2 l_2$  の点  $G_2$  に線荷重が載荷したときに, 支点Bに最小弾性曲げモーメント(負のモーメント)が生じ, 負の塑性ヒンジが発生したとすると,

a)  $\lambda \leq 1$  の場合

$$\begin{aligned} M_{E_1線} + M_{E_1活} + M_{E_1死} + m_R &\leq M_P \\ M_{B線} + M_{B活} + M_{B死} + m_R &\geq -\lambda M_P \end{aligned}$$

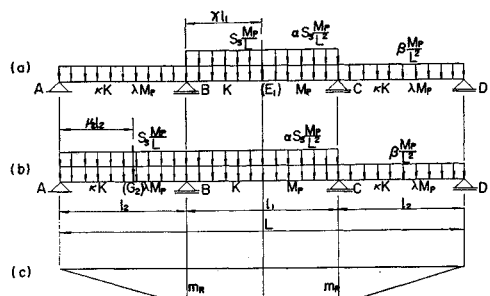


図-5

これより

$$P_S = S_S \frac{M_P}{L} = \frac{1 + \lambda - (m_{E_1死} - m_{B活})\beta}{(m_{E_1活} - m_{B活})\alpha + (m_{E_1線} - m_{B線})} \frac{M_P}{L} \dots\dots\dots(7)$$

ここに、 $M_{E_1線}$ 、 $M_{E_1活}$ 、および、 $M_{E_1死}$  は中央スパン点  $E_1$  における 図-5 (a) の線荷重、等分布活荷重、および、等分布死荷重による最大弾性曲げモーメントである。

b)  $\lambda > 1$  の場合

$$M_{E_1線} + M_{E_1活} + M_{E_1死} + m_R \leq M_P$$

$$M_{B線} + M_{B活} + M_{B死} + m_R \geq -M_P$$

これより、

$$P_S = S_S \frac{M_P}{L} = \frac{1 + \lambda^2 - (m_{E_1死} - m_{B活})\beta}{(m_{E_1活} - m_{B活})\alpha + (m_{E_1線} - m_{B線})} \frac{M_P}{L} \dots\dots\dots(8)$$

(4) Case 4 (図-6)

図-6 (a) に示すように線荷重が中央スパン中央  $E_1$  に載荷したとき、中央スパン中央で正の塑性ヒンジが生じ、図-6 (b) に示すように支点  $B$  より  $\mu_1 l_1$  の点  $G_1$  に線荷重が載荷したときに、支点  $B$  に最小弾性曲げモーメント (図負のモーメント) が生じ、負の塑性ヒンジが発生したとすると、

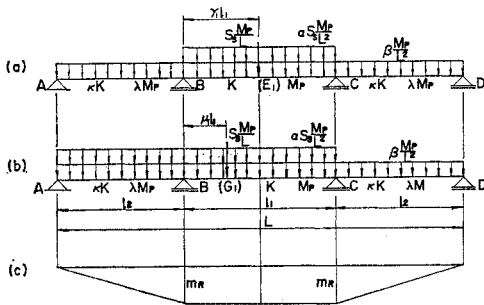


図-6

a)  $\lambda \leq 1$  の場合

$$M_{E_1線} + M_{E_1活} + M_{E_1死} + m_R \leq M_P$$

$$M_{B線} + M_{B活} + M_{B死} + m_R \geq -M_P$$

これより

$$P_S = S_S \frac{M_P}{L} = \frac{1 + \lambda - (m_{E_1死} - m_{B活})\beta}{(m_{E_1活} - m_{B活})\alpha + (m_{E_1線} - m_{B線})} \frac{M_P}{L} \dots\dots\dots(9)$$

b)  $\lambda > 1$  の場合

$$M_{E_1線} + M_{E_1活} + M_{E_1死} + m_R \leq M_P$$

$$M_{B線} + M_{B活} + M_{B死} + m_R \geq -M_P$$

これより、

$$P_S = S_S \frac{M_P}{L} = \frac{2 - (m_{E_1死} - m_{B活})\beta}{(m_{E_1活} - m_{B活})\alpha + (m_{E_1線} - m_{B線})} \frac{M_P}{L} \dots\dots\dots(10)$$

以上の 4 Cases のうち Case 1 と Case 2 は得られる変形硬化荷重が最小になるように側スパンの塑性ヒンジ位置、および、線荷重位置を決めなければならない。このようにしてえられた 4 Cases の変形硬化荷重のうち最小のものが、注目している 3 スパン連続桁に対する求める変形硬化荷重である。

5. 崩壊荷重、および、変形硬化荷重によるたわみ計算

(1) 崩壊荷重によるたわみ

a) 側スパン崩壊の場合

図-2 (a) に示す載荷状態による点  $E_2$ 、および、支点  $B$  でのたわみ角はそれぞれつぎのようになる。

$$\theta_{E_2A} = -\frac{\tau_2^3 \zeta_2^3}{24 \kappa \zeta} (\alpha S_u + \beta) \frac{LM_P}{EI_1} + \frac{1}{\tau_2 \zeta_2} \cdot \frac{\delta}{L} \cdot \frac{\tau_2 \zeta_2}{3} \frac{\lambda}{\kappa \zeta} \frac{LM_P}{EI_1}$$

$$\theta_{E_2B} = \frac{(1 - \tau_2)^3 \zeta_2^3}{24 \kappa \zeta} (\alpha S_u + \beta) \frac{LM_P}{EI_1} - \frac{1}{(1 - \tau_2) \zeta_2} \frac{\delta}{L} + \frac{(1 - \tau_2) \zeta_2}{6} \frac{(2\lambda - \xi)}{\kappa \zeta} \frac{LM_P}{EI_1}$$

$$\theta_{BE_2} = -\frac{(1 - \tau_2)^3 \zeta_2^3}{24 \kappa \zeta} (\alpha S_u + \beta) \frac{LM_P}{EI_1} - \frac{1}{(1 - \tau_2) \zeta_2} \frac{\delta}{L} + \frac{(1 - \tau_2) \zeta_2}{6} \frac{(2\xi - \lambda)}{\kappa \zeta} \frac{LM_P}{EI_1}$$

$$\theta_{BC} = \frac{\zeta_1^3}{24} \beta \frac{LM_P}{EI_1} - \frac{\zeta_1}{6} (2\xi + m_C) \frac{LM_P}{EI_1}$$

ここに、 $\xi$  は  $\lambda \geq 1$  のとき  $\xi = 1$  であり、 $\lambda < 1$  のとき、 $\xi = \lambda$  である。また、 $m_C$  は崩壊時の支点  $C$  での曲げモーメントを  $M_P$  により無次元化した次式で示される。

$$m_C = \frac{1}{8(1 + \kappa)} \{ (\alpha S_u + \beta) \zeta_2^2 - \beta \zeta_1^2 \} + \frac{1}{8} \zeta_1^2 \beta - \frac{\xi \kappa}{2(1 + \kappa)}$$

第 1 塑性ヒンジが支点  $B$  にできるとすると、点  $E_2$  のたわみは、 $\theta_{E_2A} = \theta_{E_2B}$  より、

$$\delta_{E_2} = \frac{\tau_2 (1 - \tau_2) \zeta_2^2}{6 \kappa \zeta}$$

$$\begin{aligned} & \times \left\{ \frac{1}{4} (1-3r_2+3r_2^2)\zeta_2^2 (\alpha S_u + \beta) \right. \\ & \left. + 2\lambda - \xi + r_2\xi \right\} \frac{L^2 M_P}{EI_1} \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

また、塑性ヒンジの回転角は、

$$\theta_B = \theta_{BE_2} - \theta_{BC} \dots\dots\dots (12)$$

である。

第1塑性ヒンジが点  $E_2$  に生じるとすると、 $\theta_{BE_2} = \theta_{BC}$  より、点  $E_2$  のたわみは、

$$\begin{aligned} \delta_{E_2} = & \left[ -\frac{(1-r_2)^4 \zeta_2^4}{24 \kappa \zeta} (\alpha S_u + \beta) \right. \\ & + \frac{(1-r_2)^2 \zeta_2^2}{6 \kappa \zeta} (2\xi - \lambda) - \frac{(1-r_2)\zeta_2 \zeta_1^3}{24} \beta \\ & \left. + \frac{(1-r_2)\zeta_1 \zeta_2}{6} (2\xi - m_C) \right] \frac{L^2 M_P}{EI_1} \dots\dots (13) \end{aligned}$$

また、点  $E_2$  での塑性ヒンジの回転角は、

$$\theta_{E_2} = \theta_{E_2A} - \theta_{E_2B} \dots\dots\dots (14)$$

である。以上の2つのたわみのうち大きい方が点  $E_2$  における求めるたわみである。

b) 中央スパン崩壊の場合

図-2 (b) に示す載荷状態による点  $E_1$ 、および、支点Bでのたわみ角は、それぞれつぎのようになる。

$$\begin{aligned} \theta_{E_1B} = & -\frac{\zeta_1^3}{192} (\alpha S_u + \beta) \frac{L M_P}{EI_1} \\ & + \frac{2}{\zeta_1} \frac{\delta}{L} - \frac{\zeta_1}{12} (2-\xi) \frac{L M_P}{EI_1} \\ \theta_{E_1C} = & -\theta_{E_1B} \\ \theta_{BA} = & \frac{\zeta_2^3}{24 \kappa \zeta} \beta \frac{L M_P}{EI_1} + \frac{\zeta_2 \xi}{3 \kappa \zeta} \frac{L M_P}{EI_1} \\ \theta_{BE_1} = & \frac{\zeta_1^3}{192} (\alpha S_u + \beta) \frac{L M_P}{EI_1} \\ & + \frac{2}{\zeta_1} \frac{\delta}{L} - \frac{\zeta_1}{12} (2\xi - 1) \frac{L M_P}{EI_1} \end{aligned}$$

第1塑性ヒンジが支点Bにできたとすると、 $\theta_{E_1B} = \theta_{E_1C}$  より、点  $E_1$  のたわみ  $\delta_{E_1}$  は、

$$\delta_{E_1} = \frac{\zeta_1^2}{24} \left\{ \frac{\zeta_1^2}{16} (\alpha S_u + \beta) + (2-\xi) \right\} \frac{L^2 M_P}{EI_1} \dots\dots\dots (15)$$

また、支点Bでの塑性ヒンジの回転角は、

$$\theta_B = \theta_{BA} - \theta_{BE_1} \dots\dots\dots (16)$$

である。

第1塑性ヒンジが点  $E_1$  に生じるとすると、 $\theta_{BA} = \theta_{BE_1}$  より、点  $E_1$  のたわみ  $\delta_{E_1}$  は、

$$\begin{aligned} \delta_{E_1} = & \frac{\zeta_1}{6} \left[ -\frac{\zeta_1^3}{64} (\alpha S_u + \beta) + \frac{\zeta_1}{4} (2\xi - 1) \right. \\ & \left. + \frac{\zeta_2^3}{8 \kappa \zeta} \beta + \frac{\zeta_2 \xi}{\kappa \zeta} \right] \frac{L^2 M_P}{EI_1} \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

また、点  $E_1$  での塑性ヒンジ回転角は、

$$\theta_{E_1} = \theta_{E_1B} - \theta_{E_1C} \dots\dots\dots (18)$$

である。

以上2つのうち大きい方が点  $E_1$  における求めるたわみである。

(2) 変形硬化荷重によるたわみ

変形硬化荷重による連続桁における残留曲げモーメント分布は、各 Case についての変形硬化条件式の連立方程式より得られる。各 Case に対する曲げモーメント分布はそれぞれの載荷状態に対する弾性曲げモーメント分布と残留曲げモーメント分布の和である。したがって、この曲げモーメント分布を用いて、変形硬化荷重に対する塑性ヒンジ点のたわみ、および、塑性ヒンジ回転角をつぎの2つに分けて計算しよう。

a) Case 1, および, Case 2

図-3 (a) または 図-4 (a) の荷重状態による点  $E_2$ 、および、支点Bのたわみ角は、

$$\begin{aligned} \theta_{E_2A} = & -\frac{r_2^3 \zeta_2^3}{24 \kappa \zeta} (\alpha S_S + \beta) \frac{L M_P}{EI_1} \\ & + \frac{1}{r_2 \zeta_2} \frac{\delta}{L} - \frac{r_2 \zeta_2}{3} \frac{\lambda}{\kappa \zeta} \frac{L M_P}{EI_1} \\ \theta_{E_2B} = & -\frac{(1-r_2)^3 \zeta_2^3}{24 \kappa \zeta} (\alpha S_S + \beta) \frac{L M_P}{EI_1} \\ & - \frac{1}{(1-r_2)\zeta_2} \frac{\delta}{L} \\ & + \frac{(1-r_2)\zeta_2}{6 \kappa \zeta} (2\lambda + m_B) \frac{L M_P}{EI_1} \\ \theta_{BE_2} = & -\frac{(1-r_2)^3 \zeta_2^3}{24 \kappa \zeta} (\alpha S_S + \beta) \frac{L M_P}{EI_1} \\ & - \frac{1}{(1-r_2)} \frac{\delta}{L} \\ & - \frac{(1-r_2)\zeta_2}{6 \kappa \zeta} (2m_B + \lambda) \frac{L M_P}{EI_1} \\ \theta_{BC} = & \frac{\beta \zeta_1^3}{24} \frac{L M_P}{EI_1} + \frac{\zeta_1}{6} (2m_B + m_C) \frac{L M_P}{EI_1} \end{aligned}$$

で与えられる。ここに、 $m_B$ 、および、 $m_C$  は 図-3 (a)、図-4 (a) の載荷状態による、支点B、および、Cの弾性曲げモーメントと Case 1, Case 2 の支点B、および、支点Cでの残留曲げモーメントとの、それぞれの和を  $M_P$  によって無次元化したものである。

第1塑性ヒンジが支点Bに生じるとすると、 $\theta_{E_2A} = \theta_{E_2B}$  より、

$$\begin{aligned} \delta = & \frac{(1-r_2)r_2 \zeta_2^2}{24 \kappa \zeta} \{ r_2^3 \zeta_2^2 (\alpha S_S + \beta) + 8 r_2 \lambda \\ & + (1-r_2)^3 \zeta_2^2 (\alpha S_S + \beta) + 4(1-r_2)(2\lambda + m_B) \} \\ & \times \frac{L^2 M_P}{EI_1} \dots\dots\dots (19) \end{aligned}$$

を得る。第1塑性ヒンジが点  $E_2$  に生じるとすると、

$\theta_{BE_2} = \theta_{BC}$  より、

$$\begin{aligned} \delta = & \frac{(1-r_2)\zeta_2}{24} \left\{ \frac{(1-r_2)^3 \zeta_2^3}{\kappa \zeta} (\alpha S_S + \beta) \right. \\ & \left. + \frac{4(1-r_2)\zeta_2}{\kappa \zeta} (2m_B + \lambda) + \beta \zeta_1^3 \right\} \end{aligned}$$

$$+ 4 \zeta_1 (2 m_B + m_C) \left\} \frac{L^2 M_P}{EI_1} \dots\dots\dots (20)$$

を得る。このときの塑性ヒンジ回転角は、

$$\theta_{E_2} = \theta_{E_2A} - \theta_{E_2B} \dots\dots\dots (21)$$

である。第1塑性ヒンジが支点Bに生じる荷状態は、**図-3 (b)**、**図-4 (b)** のときであり、この場合の支点Bでの塑性ヒンジ回転角は Case 1 では、次式により得られる。

$$\theta_{BA} = -\frac{\zeta_2^3}{24 \kappa \zeta} (\alpha S_S + \beta) \frac{L M_P}{EI_1} - \frac{\mu_2 (1 - \mu_2^2) \zeta_2^2}{6 \kappa \zeta} S_S \frac{L M_P}{EI_1} + \frac{\xi \zeta_1}{3 \kappa \zeta} \frac{L M_P}{EI_1}$$

$$\theta_{BC} = \frac{\zeta_1^3}{24} (\alpha S_S + \beta) \frac{L M_P}{EI_1} - \frac{\zeta_1}{6} (2 \xi + m_C)$$

$$\theta_B = \theta_{BA} - \theta_{BC} \dots\dots\dots (22)$$

ただし、 $m_C$  は **図-3 (b)** の荷状態において支点Bに塑性ヒンジが生じるときの支点Cでの曲げモーメントを  $M_P$  で無次元化したもので次式で示される。

$$m_C = \frac{\beta \zeta_2^2 - (\alpha S_S + \beta) \zeta_1^2}{8(1 + \kappa)} + \frac{\zeta_1^2}{8} (\alpha S_S + \beta) - \frac{\kappa \xi}{2(1 + \kappa)}$$

また、Case 2 では、次式により得られる。

$$\theta_{BA} = -\frac{\zeta_2^3}{24 \kappa \zeta} (\alpha S_S + \beta) \frac{L M_P}{EI_1} + \frac{\zeta_2 \xi}{3 \kappa \zeta} \frac{L M_P}{EI_1}$$

$$\theta_{BC} = \frac{\zeta_1^3}{24} (\alpha S_S + \beta) \frac{L M_P}{EI_1} - \frac{\mu_1 (1 - \mu_1) (2 - \mu_1) \zeta_1^2}{6} S_S \frac{L M_P}{EI_1} - \frac{\zeta_1}{6} (2 \xi - m_C) \frac{L M_P}{EI_1}$$

$$\theta_B = \theta_{BA} - \theta_{BC} \dots\dots\dots (23)$$

ただし、 $m_C$  は **図-4 (b)** の荷状態において支点Bに塑性ヒンジが生じる場合の支点Cでの曲げモーメントを  $M_P$  で無次元化したもので、次式で示される。

$$m_C = \frac{\beta \zeta_2^2 - (\alpha S_S + \beta) \zeta_1^2}{8(1 + \kappa)} + \frac{\zeta_1^2}{8} (\alpha S_S + \beta) - \frac{\kappa \xi}{2(1 + \kappa)} + \frac{\mu_1 (1 - \mu_1^2) \kappa \zeta_1}{2(1 + \kappa)} S_S$$

**b) Case 3, および, Case 4**

**図-5 (a)**、**図-6 (a)** の荷状態に対して点  $E_1$ 、および、支点Bのたわみ角は、

$$\theta_{E_1B} = -\frac{1}{192} \zeta_1^3 (\alpha S_S + \beta) \frac{L M_P}{EI_1} + \frac{2}{\zeta_1} \frac{\delta}{L} - \frac{\zeta_1}{12} (2 + m_B) \frac{L M_P}{EI_1}$$

$$\theta_{E_1C} = -\theta_{E_1B}$$

$$\theta_{BA} = -\frac{1}{24 \kappa \zeta} \beta \zeta_2^3 \frac{L M_P}{EI_1} - \frac{\zeta_2}{3 \kappa \zeta} m_B \frac{L M_P}{EI_1}$$

$$\theta_{BE_1} = \frac{\zeta_1^3}{192} (\alpha S_S + \beta) \frac{L M_P}{EI_1}$$

$$+ \frac{2}{\zeta_1} \frac{\delta}{L} + \frac{\zeta_1}{12} (2 m_B + 1) \frac{L M_P}{EI_1}$$

与えられる。ここに、 $m_B$  は **図-5 (a)**、**図-6 (a)** の荷状態による、支点Bの弾性曲げモーメントと Case 3, Case 4 の支点Bでの残留曲げモーメントとの和を  $M_P$  によって無次元化したものである。

第1塑性ヒンジが支点Bに生じるものとする  $\theta_{E_1B} = 0$  より、

$$\delta = \frac{\zeta_1^2}{2} \left\{ \frac{1}{192} \zeta_1^2 (\alpha S_S + \beta) + \frac{1}{12} (2 + m_B) \right\} \frac{L^2 M_P}{EI_1} \dots\dots\dots (24)$$

を得る。第1塑性ヒンジが  $E_1$  点に生じるものとする  $\theta_{BA} = \theta_{BE_1}$  より、

$$\delta = -\frac{\zeta_1}{2} \left\{ \frac{1}{192} \zeta_1^3 (\alpha S_S + \beta) + \frac{\zeta_1}{12} (2 m_B + 1) + \frac{1}{24 \kappa \zeta} \beta \zeta_2^3 + \frac{\zeta_2}{3 \kappa \zeta} m_B \right\} \frac{L^2 M_P}{EI_1} \dots\dots\dots (25)$$

を得る。このときの塑性ヒンジ回転角は、

$$\theta_{E_1} = 2 \theta_{E_1B} \dots\dots\dots (26)$$

である。第1塑性ヒンジが支点Bに生じる荷状態は **図-5 (b)**、**図-6 (b)** のときであり、Case 3 では Case 1 と、Case 4 では Case 2 とまったく同じ計算式で得られる。

なお、崩壊荷重、および、変形硬化荷重によるたわみ、および、塑性ヒンジの回転角の計算において、塑性ヒンジ形成位置と集中荷重作用点の位置は一致すると仮定したが、通常の荷状態に対しては、この仮定は妥当であると思われる。このことについては数値計算結果のところでも触れる。

**6. 数 値 計 算**

数値計算に用いたパラメーター可変範囲はつぎのようである。すなわち、中央スパン長に対する側スパン長の比  $\zeta = l_2/l_1$  を 0.7~1.2 まで 0.1 間隔にとり、各  $\zeta$  値に対して中央スパンと側スパンの曲げ剛比  $\kappa$  と全塑性モーメントの比  $\lambda$  が等しいものとして、この比を 0.7~1.2 まで 0.1 間隔とした。**表-2** は  $\zeta=0.8$ 、 $\kappa=\lambda=1.0$  のときの数値計算結果を一例として示している。第2~6行は崩壊荷重に対するものであり、第7~13行は変形硬化荷重に対するものである。第1行の  $\beta$  の値は等分布死荷重のみによる崩壊荷重  $\beta_u M_P/L^2$  の係数  $\beta_u$  の 0.1 倍ずつ 0~0.9 倍まで増加させ、それぞれの値に対して第2行から第16行までの計算を行なった。第3行は崩壊モードを示し、1は側径間崩壊を、2は中央径間崩壊を示している。第6行の塑性ヒンジ回転角は正のときはスパン中間に最初に塑性ヒンジが生じたことを示し、負のときは支点上に最初に塑性ヒンジが生じたことを示

表-2 数 値 計 算 例

$\zeta=0.8, \lambda=\kappa=1.0$

1 BETA	0.0	10.81600	21.63200	32.44800	43.26400	54.08000	64.89600	75.71200	86.52800	97.34400
2 ULT. LOAD	8.86557	7.97902	7.09246	6.20590	5.31934	4.43279	3.54623	2.65967	1.77311	0.88656
3 COL. MODE	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
4 LOAD POT.	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000
5 DEFLECTION	0.02728	0.03018	0.03307	0.03596	0.03885	0.04175	0.04464	0.04753	0.05043	0.05332
6 ROT. ANGLE	0.18285	0.21021	0.23756	0.26492	0.29227	0.31963	0.34699	0.37434	0.40170	0.42905
7 S.D. LOAD	7.33922	6.60530	5.87138	5.13745	4.40353	3.66961	2.93569	2.20177	1.46785	0.73392
8 S.D. MODE	AL=7.0	3	3	3	3	3	3	3	3	3
9 HINGE LOC.	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000
10 LOAD POT.	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000	0.50000
11 LOAD POT.	0.57735	0.57735	0.57735	0.57735	0.57735	0.57735	0.57735	0.57735	0.57735	0.57735
12 DEFLECTION	0.03590	0.01615	0.04204	0.08542	0.14630	0.22467	0.32053	0.43388	0.56473	0.71307
13 ROT. ANGLE	0.29271	0.00634	-0.00270	-0.01174	-0.02077	-0.02981	-0.03885	-0.04789	-0.05692	-0.06596
14 PS/PU	0.82783	0.82783	0.82783	0.82783	0.82783	0.82783	0.82783	0.82783	0.82783	0.82783
15 ULT. WEIGHT	0.11280	0.12533	0.14099	0.16114	0.18799	0.22559	0.28199	0.37599	0.56398	1.12796
16 S.D. WEIGHT	0.13625	0.15139	0.17032	0.19465	0.22709	0.27251	0.34064	0.45418	0.68127	1.36254

- AL= $\alpha$
- 1 BETA= $\beta$
  - 2 ULT. LOAD= $S_u$
  - 3 COL. MODE=崩壊形式
  - 4 LOAD POT.= $r_1$  または  $r_2$
  - 5, 12 DEFLECTION= $\delta \left( \frac{EI_1}{MPL^2} \right)$
  - 6, 13 ROT. ANGLE= $\theta_{E1}, \theta_B$  または  $\theta_{E2} \left( \frac{EI_1}{MPL} \right)$
  - 7 S.D. LOAD= $S_S$
  - 8 S.D. MODE=変形硬化形式
  - 9 HINGE LOC.= $\eta_1$  または  $\eta_2$
  - 10 LOAD. POT.= $r_1$  または  $r_2$
  - 11 LOAD. POT.= $\mu_1$  または  $\mu_2$
  - 14 PS/PU= $S_S/S_u$

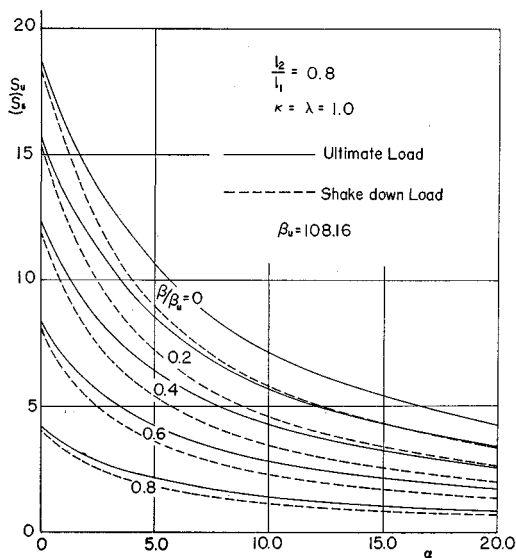


図-7

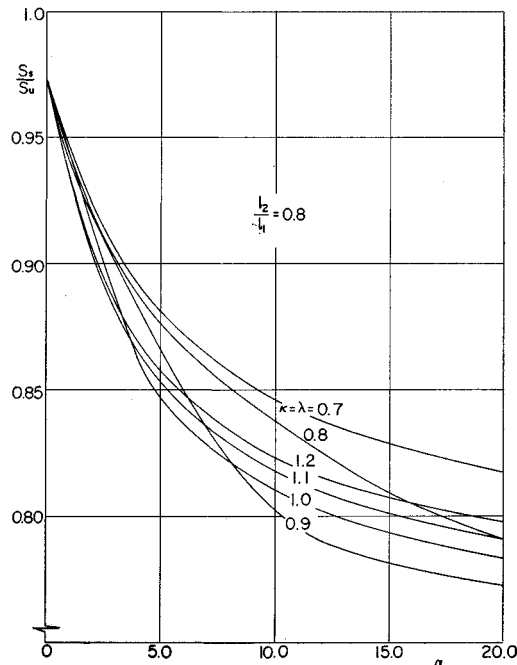


図-8

す。同様に、第8行は変形硬化荷重による崩壊モードを示し、数字は Case 1~Case 4 に対応している。第9行はスパン中間での塑性ヒンジ形成位置を示し、第10行はスパン中間に塑性ヒンジが生じるときの集中荷重の作用位置を示しているが、計算を行なったすべての範囲で両者は一致した。第13行の変形硬化荷重による塑性ヒンジ回転角は崩壊荷重と同様のことがいえる。第14行は変形硬化荷重/崩壊荷重を与えている。第15行、および、第16行の値は集中荷重として  $S_S MP/L=1.0$  なる荷重が作用したときの  $(MPL_1 + 2\lambda MPL_2)/L$  の値を崩壊荷

重と変形硬化荷重に対して、それぞれ示し、3スパン連続桁の鋼重を示すパラメータである。

図-7は  $\zeta=l_2/l_1=0.8$  の場合に対して、剛比、および、全塑性モーメントの比  $\kappa=\lambda=1.0$  の値に対して崩壊荷重係数、および、変形硬化荷重係数を図示したものである。横軸に等分布活荷重係数  $\alpha$  をとり、等分布死荷重係数  $\beta$  をパラメータとしている。図中、実線は崩壊

表-3 全塑性モーメントおよび重量

$\alpha=7.0, \beta=6.114 S_u(S)$

$\zeta$	$\kappa(=\lambda)$	$\beta$	$S_u$	$M_P$ (t/m)	$\Sigma M_{Pl}$ (t/m <sup>2</sup> )	$\beta$	$S_S$	$M_P$ (t/m)	$\Sigma M_{Pl}$ (t/m <sup>2</sup> )
0.7	0.7	26.74	4.373	480.2	39 619	23.50	3.844	546.4	45 074
	0.8	28.31	4.630	453.6	40 064	25.20	4.122	509.4	45 000
	0.9	29.88	4.887	429.7	40 462	26.88	4.396	477.7	44 983
	1.0	31.45	5.145	408.2	40 820	28.40	4.645	452.1	45 211
	1.1	31.45	5.145	408.2	43 201	28.49	4.661	450.6	47 687
	1.2	31.45	5.145	408.2	45 582	28.58	4.675	449.2	50 159
0.8	0.7	26.87	4.394	477.9	38 968	24.24	3.965	529.7	43 191
	0.8	30.70	5.022	418.2	36 670	27.56	4.508	465.8	40 850
	0.9	34.30	5.611	374.3	<b>35 126</b>	29.77	4.869	431.3	40 477
	1.0	36.11	5.906	355.6	35 558	31.71	5.187	404.8	40 484
	1.1	36.11	5.906	355.6	37 746	31.92	5.220	402.3	42 705
	1.2	36.11	5.906	355.6	39 934	32.04	5.241	400.7	45 002
0.9	0.7	24.97	4.084	514.1	41 498	22.87	3.740	561.5	45 319
	0.8	28.54	4.668	449.9	39 203	26.03	4.257	493.3	42 989
	0.9	32.11	5.251	399.9	37 418	29.18	4.772	440.0	41 175
	1.0	35.68	5.835	359.9	35 989	32.32	5.287	397.2	39 721
	1.1	38.19	6.247	336.2	35 779	34.50	5.642	372.2	39 614
	1.2	40.70	6.657	315.5	35 601	35.45	5.799	362.1	40 871
1.0	0.8	26.85	4.391	478.3	41 449	24.77	4.051	518.4	44 928
	0.9	30.20	4.940	425.1	39 677	27.78	4.544	462.1	43 133
	1.0	33.56	5.489	382.6	38 260	30.79	5.037	416.9	41 694
	1.1	35.93	5.876	357.4	38 121	32.88	5.378	390.5	41 699
	1.2	38.29	6.262	335.4	38 007	34.96	5.718	367.2	41 622

重を、鎖線は変形硬化荷重を示す。

図-8 は  $\zeta=l_2/l_1=0.8$  に対して  $\kappa=\lambda=0.7\sim 1.2$  の崩壊荷重に対する変形硬化荷重の比を示している。この比は死荷重係数  $\beta$  には無関係に、 $\alpha$  の増加とともに減少する傾向にある。

つぎに、数値計算によって求めた数表の用い方を2つの例題によって示そう。

計算例1

与えられた設計条件のもとに、崩壊荷重、変形硬化荷重に対する最適スパン割、最小重量設計、たわみなどを求めよう。

橋長  $L=100$  m、並列主桁間隔 2 m の中桁について検討する。

荷重係数：活荷重に対して、2.1  
死荷重に対して、1.2

線荷重： $S_{u(s)} \frac{M_P}{L} = 5.0 \text{ t/m} \times 2.0 \text{ m} \times 2.1 = 21.0 \text{ t}$

等分布活荷重：

$\alpha S_{u(s)} \frac{M_P}{L^2} = 0.350 \text{ t/m}^2 \times 2.0 \text{ m} \times 2.1 = 1.47 \text{ t/m}$

$\alpha = \frac{1.47}{S_{u(s)} M_P / L} \cdot L = \frac{1.47}{21.0} \times 100 \text{ m} = 7.0$

等分布死荷重：

スラブ厚さ 16 cm

コンクリート重量

$0.16 \text{ m} \times 2.0 \text{ m} \times 2.4 \text{ t/m}^3 = 0.77 \text{ t/m}$

鋼重

0.30 t/m

計

1.07 t/m

$\beta \frac{M_P}{L^2} = 1.07 \text{ t/m} \times 1.2 = 1.284 \text{ t/m}$

$\beta = \frac{1.284}{M_P / L} \cdot L = \frac{1.284}{21.0 / S_{u(s)}} \times 100 \text{ m} = 6.114 S_{u(s)}$

与えられた3スパン連続桁橋に対して崩壊荷重および変形硬化荷重を求める解析の問題では  $\alpha$  および  $\beta$  はただちに決定できるが、本設計例のような設計の問題においては  $\beta_u$  は崩壊荷重係数  $S_u$  または変形硬化荷重係数  $S_S$  の関数として表わされる。崩壊荷重係数または変形硬化荷重係数を求めるには最初係数を適当に仮定して Trial and Error により求めねばならない。

$\alpha=7.0, \beta=6.114 S_{u(s)}$  に対して  $\zeta=l_2/l_1=0.7\sim 1.0$  の崩壊荷重係数および変形硬化荷重係数を求め、これより全塑性モーメントおよび鋼重を示すパラメーター  $\Sigma M_{Pl} = M_{Pl1} + 2\lambda M_{Pl2}$  を計算した。表-3 は各種  $\kappa=\lambda$  に対して、これらの値を示したもので、崩壊荷重に対して最小の重量を与えるのは  $\zeta=0.8, \kappa=\lambda=0.9$  であり、変形硬化荷重に対しては  $\zeta=0.9, \kappa=\lambda=1.1$  となる。この時の崩壊荷重に対する変形硬化荷重の比は 99.5% であり、鋼重の比は 112.8% である。また、 $\zeta=0.8, \kappa=\lambda=0.9$  に対する崩壊は側径間崩壊であり、塑性ヒンジの回転角は  $0.1789 LM_P/EI_1$  であり、塑性ヒンジ点のたわみは  $0.02509 L^2 M_P/EI_1$  である。塑性ヒンジの回転角は正だから最初に塑性ヒンジが側径間中間に生ずる。 $\zeta=0.9, \kappa=\lambda=1.1$  に対する変形硬化は Case 1 によるものであ



り、塑性ヒンジの回転角は  $-0.02918 L^2 M_P / EI_1$  であり、塑性ヒンジ点のたわみは  $0.4258 L M_P / EI_1$  である。塑性ヒンジ点の回転角は負だから、最初に塑性ヒンジが中間支点上に生ずる。

計算例 2

中央スパン  $l_1=9\text{m}$ 、側スパン  $l_2=7.5\text{m}$  並列主桁間隔  $1.2\text{m}$  の弾性設計された3径間連続桁の崩壊荷重、変形硬化荷重に対する安全率ならびに崩壊時の変形状態について検討しよう。

断面は中央スパンおよび側スパンにそれぞれ  $350 \times 175 \times 11$  および  $294 \times 200 \times 8 \times 12$  のH型断面 (SS41) を使用するものとする。

両断面の諸元は

H×B (mm)	t <sub>1</sub> (mm)	t <sub>2</sub> (mm)	I <sub>X</sub> (cm <sup>4</sup> )	W <sub>X</sub> (cm <sup>3</sup> )	Z <sub>X</sub> (cm <sup>3</sup> )	M <sub>P</sub> (t·m)
350×175	7	11	11 300	775	841	20.18
294×200	8	12	13 600	771	823	19.78

であり、したがって  $\zeta=0.833$ ,  $\kappa=I_2/l_2/I_1/l_1=0.997$ ,  $\lambda=1.022$  であり、 $\kappa=\lambda=1.0$  として検討を行なう。

荷重は、

$$\text{線荷重: } M_P/L=5.0 \text{ t/m} \times 1.2 \text{ m}=6.0 \text{ t}$$

等分布活荷重:

$$\alpha M_P/L^2=0.350 \text{ t/m}^2 \times 1.2 \text{ m}=0.42 \text{ t/m}$$

したがって

$$\alpha = \frac{0.42 \text{ t/m}}{M_P/L} \cdot L = \frac{0.42 \text{ t/m}}{6.0 \text{ t}} \times 24 \text{ m}=1.68$$

等分布死荷重  $0.62 \text{ t/m}$  と仮定すると

$$\beta M_P/L^2=0.62 \text{ t/m}$$

$$\beta = \frac{0.62 \text{ t/m}}{M_P/L} \cdot L = \frac{0.62 \text{ t/m}}{6.0 \text{ t}} \times 24 \text{ m}=2.48$$

数値計算表より比例配分により  $\zeta=0.833$ ,  $\kappa=\lambda=1.0$ ,  $\alpha=1.68$  および  $\beta=2.48$  に対する崩壊荷重係数  $S_u$ 、変形硬化荷重係数  $S_s$  はそれぞれ、14.539 および 13.503 であり、これに対する集中荷重の大きさは、

$$\text{崩壊荷重: } S_u \frac{M_P}{L} = 14.539 \frac{19.98}{24.0} = 12.10 \text{ t}$$

変形硬化荷重:

$$S_s \frac{M_P}{L} = 13.503 \frac{19.98}{24.0} = 11.24 \text{ t}$$

となり、崩壊および変形硬化に対する安全率はそれぞれ、 $12.01/6.0=2.02$  および  $11.24/6.0=1.87$  となる。崩壊荷重に対する変形硬化荷重の比は 92.9% である。また、崩壊荷重に対する塑性ヒンジ点のたわみおよび塑性ヒンジ回転角はそれぞれ  $0.0263 M_P L^2 / EI_1=10.6 \text{ cm}$ ,  $0.2483 M_P L / EI_1=0.042 \text{ rad}$  となる。そして、変形硬化荷重に対するそれらは  $0.0202 M_P L^2 / EI_1=8.1 \text{ cm}$  および  $0.1590 M_P L / EI_1=0.027 \text{ rad}$  である。いずれも側スパン崩壊であり、スパンの中間に塑性ヒンジが最初に生

じることがわかる。

7. む す び

本研究では対称3径間連続ばりの活荷重および死荷重の任意の組合せによる崩壊荷重および変形硬化荷重をスパン割、剛比、全塑性モーメントをパラメーターとして求め、そしてたわみをも計算した。この計算結果の数表を利用すれば、与えられた設計条件で線荷重と等分布荷重の任意の組合せに対する3径間連続桁の経済的なスパン割および曲げ剛度、全塑性モーメントが決定でき、一方、たわみ制限や塑性ヒンジ回転容量の検討を行なうことができる。また、許容応力度設計された3径間連続桁の塑性崩壊に対する安全率をえることができる。連続桁橋の塑性設計の基礎資料になれば幸いである。

8. 記 号

$I_1, I_2$ =中央スパン、側スパンの断面2次モーメント

$L$ =橋長

$l_1, l_2$ =中央スパン、側スパンの長さ

$M_P$ =中央径間の桁の全塑性モーメント

$m_R$ =中間支点の残留曲げモーメント

$m_B, m_C$ =支点BまたはCでの曲げモーメントを  $M_P$  で無次元化した値

$m_i^e)_{\max}, m_j^e)_{\min}$ = $i$  点での最大弾性曲げモーメントまたは  $j$  点での最小弾性曲げモーメント

$m_{Ri}, m_{Rj}$ = $i$  点または  $j$  点での残留曲げモーメント

$S_S$ =変形硬化荷重係数

$S_u$ =崩壊荷重係数

$\alpha$ =等分布活荷重係数

$\beta$ =等分布死荷重係数

$r_1, r_2$ =中央スパンまたは側スパンにて、スパン中間に塑性ヒンジが生じる場合の支点Bまたは支点Aからの集中活荷重までの距離を  $l_1$  または  $l_2$  で無次元化した値

$\delta$ =スパン中間における塑性ヒンジ点でのたわみ

$$\zeta=l_2/l_1$$

$$\zeta_1=l_1/L=1/(2\zeta+1)$$

$$\zeta_2=l_2/L=\zeta/(2\zeta+1)$$

$\eta_1, \eta_2$ =支点Bまたは支点Aからスパン中間における塑性ヒンジ点までの距

離を  $l_1$  または  $l_2$  で無次元化した値  
 $\theta_{AB}$  = 部材 AB の A 端におけるたわみ角  
 $\theta_B$  = 点 B における塑性ヒンジ回転角  
 $\kappa$  = 側スパンの中央スパンに対する剛比  
 $\lambda$  = 側スパンの全塑性モーメントを  $M_P$  で無次元化した値

$\mu_1, \mu_2$  = 支点 B に最小弾性曲げモーメント (負) が生じるときの、支点 B または支点 A からの集中荷重までの距離を  $l_1$  または  $l_2$  で無次元化した値  
 $\xi$  = 中央径間または側径間の全塑性モーメントのうち小さい値を  $M_P$  で無次元化した値

付録 各種荷状態による 3 スパン連続桁の支点弾性曲げモーメント

	$M_B = -\frac{3}{2} \frac{1+\kappa}{(2+1.5\kappa)^2-1} r_2(1-r_2^2) \zeta_2 M_P$ $= m_B M_P$ <p><math>r_2 = \frac{1}{\sqrt{3}}</math> のとき</p> $M_B \text{ min} = -\frac{1}{\sqrt{3}} \frac{1+\kappa}{(2+1.5\kappa)^2-1} \zeta_2 M_P$	$M_C = \frac{3}{4} \frac{\kappa}{(2+1.5\kappa)^2-1} r_2(1-r_2^2) \times \zeta_2 M_P = m_C M_P$
	$M_B = -\frac{3}{2} \frac{\kappa(2+1.5\kappa)(1-r_1)+r_1}{(2+1.5\kappa)^2-1} \times r_1(1-r_1) \zeta_1 M_P = m_B M_P$ $r_1 = \frac{3(1+\kappa) - \sqrt{9(1+\kappa)^2 - (3+4.5\kappa)(2+1.5\kappa)}}{3+4.5\kappa}$ <p>のとき、<math>M_B</math> は最小</p>	$M_C = -\frac{3}{2} \frac{\kappa(2+1.5\kappa)r_1+(1-r_1)}{(2+1.5\kappa)^2-1} \times r_1(1-r_1) \zeta_1 M_P = m_C M_P$
	$M_B = -\frac{\kappa+\zeta^2}{8(1+1.5\kappa)} \zeta_1^2 M_P$ $= m_B M_P$	$M_C = M_B = m_C M_P$
	$M_B = -\frac{1.5\kappa}{12(1+1.5\kappa)} \zeta_1^2 M_P$ $= m_B M_P$	$M_C = M_B = m_C M_P$
	$M_B = -\frac{9\kappa+9\kappa\zeta^2+4.5\kappa^2+9\zeta^2}{24((2+1.5\kappa)^2-1)} \zeta_1^2 M_P$ $= m_B M_P$	$M_C = -\frac{1}{16} \frac{4\kappa+3\kappa^2+3\kappa\zeta^2}{(2+1.5\kappa)^2-1} \zeta_2^2 M_P = m_C M_P$
	$M_B = -\frac{\zeta^2}{8(1+1.5\kappa)(1+2\zeta)^2} M_P$ $= m_B M_P$	$M_C = M_B = m_C M_P$

参考文献

究委員会, 昭和 42 年 8 月

- 1) 福本, 吉田: くり返し荷重による連続桁橋のたわみ定塑性について, 土木学論文集 No. 120, 1965
- 2) 鋼構造物塑性設計規準 (案), 日本溶接協会, 塑性設計研

(1969. 11. 19・受付)  
 (1970. 2. 4・再受付)