

等高で、剛比が一定の1層等径間ラーメン におこる曲げモーメントの一般的傾向

正員 深 谷 俊 明*

GENERAL TREND OF BENDING MOMENT OCCURRING IN THE
RIGID FRAME OF ONE-LAYER, MULTI-SPAN,
UNIFORM HEIGHT AND UNIFORM STIFFNESS RATIO.

by Toshiaki Fukaya, C.E. Member

Synopsis: The one-layer, multi-span rigid frame widely applied to civil engineering structures is determined by various theoretical solutions. However, there is not established any definite designing principle. The present report deals with the general trend of bending moment occurring in the rigid frame of one-layer, uniform span, uniform height and uniform stiffness ratio, that is to say the typical rigid frame of one-layer multi-span construction, in order to serve as reference for designing multi-span rigid frame.

概 説 土木構造物において多く用いられる1層多径間ラーメンは、各種の理論的解法によつて解かれているが、設計方針は必ずしも確立されていない。ここに、1層多径間ラーメンの基本型ともいべき、等高で、剛比が一定の1層等径間ラーメンにおこる曲げモーメントの一般的傾向を明らかにして、多径間ラーメンの設計資料とする。

1. 緒 言

連続ラーメンの設計例を検討するとき、アーチ・連続ばかり・等の不静定構造物と同様に、満足できるものはきわめて少ない。これは、モーメント分配法・定点法・タワミ角法・等の便利な諸解法が紹介されているにもかかわらず、連続ラーメンの設計方針が明らかにされていないことに基因しているように考えられる。一般に、連続ラーメンは、設計者の経験または類似の設計例を参考に設計されているが、設計者は自信をもつて断面を決定することができず、仮定断面を修正しながら、断面におこる最大応力度を許容応力度に近づけることに努力しているのが現状である。しかし、連続ラーメンにおいて、許容応力度を満足する断面が得られたとしても、曲げモーメントは剛比によつて変化するから、許容応力度を満足する断面は無数に存在することが考えられる。従つて、連続ラーメンを経済的に設計するには、剛比を検討して、これを適当に選定しなければならない。なお、ラーメンの設計においては、死荷重・活荷重・水平荷重・温度変化・コンクリートの乾燥収縮による影響を考えなければならないから、これらによつておこる曲げモーメントと剛比との関係を明らかにしなければならない。これがためには、土木構造物として多く用いられる1層連続ラーメンの基本型ともいべき、等高・等径間で断面が一様な1層多径間ラーメンにおこる曲げモーメントと剛比との関係を明らかにする必要がある。この解明にあたり、モーメント分配法・定点法等は与えられた断面、または仮定断面について材端モーメントを求めるような場合には、きわめて便利な解法であるが、曲げモーメントを剛比の函数として一般式で示すことができないから、剛比と曲げモーメントとの関係を究明する場合には、繁雑でも、タワミ角法系の解法によつて一般式を求め、これを検討しなければならない。さきに、沼田政矩教授は、タワミ角法を用いて7径間までのヒンデ端および固定端ラーメンの公式を各径間ごとに誘導して図表化し、その一部はすでに発表されている¹⁾。従つて、等径間ラーメンにおこる材端モーメントの一般的傾向は、この沼田教授の研究資料から知ることができるのであるが、この資料は膨大で、その全貌は未だ発表されていないので、著者は活荷重を等分布荷重と仮定し、等高で剛比が一定のn等径間ラーメンにおこる材端モーメントを求める一般式を、各種荷重について差分法^{2),3),4)}から誘導するとともに、断面算定に必要な正の最大スパンモーメントおよび材端モーメントの一部を図表化して、それらの一般的傾向を理解できるようにした。

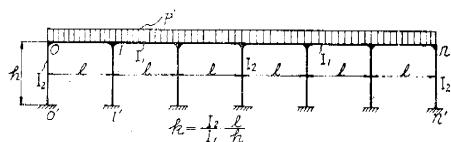
本文では、剛比が一定の等径間ラーメンにおいて等分布荷重を対象としているが、連続ラーメンの経済的な設計法、等値等分布荷重の取扱い方、等については他の機会に述べる予定である。

* 日本国有鉄道構造物設計事務所、技師

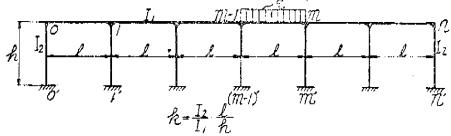
2. 剛比が一定の等径間ラーメンにおこる材端モーメントを求める一般式

水平部材の断面二次モーメント I_1 , 鉛直部材の断面二次モーメント I_2 , スパン l , 高さ h , 剛比 $k\left(=\frac{I_2}{I_1} \cdot \frac{l}{h}\right)$ の n 等分間ラーメンに、等分布荷重が満載する場合 (図-1) 図-1

四



四—三



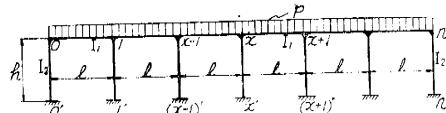
の関係もあるので、本文ではこれを省略して結果のみを示すこととした。なお、一般式における共通の要素はつぎの通りである。

$$\begin{aligned}k &= \frac{I_2}{I_1} + l \\ \beta &= -(2+k) + \sqrt{(2+k)^2 - 1} \\ a &= -(2+\beta^{-1}) \\ b &= -(2+\beta) \\ c &= -\frac{3k}{2(3+k)} \\ x_i &= b^2\beta^i - a^2\beta^{-i} \\ \xi_i &= b\beta^i - a\beta^{-i} \\ \eta_i &= \beta^i - \beta^{-i}\end{aligned}$$

[A] 固定端ラーメンの場合

(1) スパン l , 高さ h の n 等径間ラーメンに等分布荷重 ρ が満載する場合 (図-3 参照)

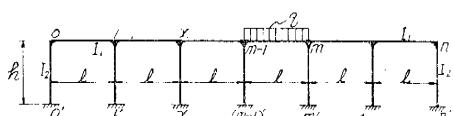
四—3



$$\left. \begin{aligned} M_{x,x-1} &= -\frac{\rho l^2}{12 z_n} (\chi_n - \chi_{n-x} + ab \eta_x) \\ M_{x,x+1} &= -\frac{\rho l^2}{12 z_n} (\chi_n - \chi_x + ab \eta_{n-x}) \\ M_{x,x'} &= -\frac{k \rho l^2}{6 z_n} (\xi_{n-x} - \xi_x) \\ M_{x',x} &= -\frac{M_{x,x'}}{2} \end{aligned} \right\} \dots \quad (1a)$$

(2) スパン l , 高さ h の n 等径間ラーメンの第 m 径間のみに等分布荷重 q が載荷する場合 (図-4 参照)

—4



$$M_{m-1, m} = \left[\frac{1}{(b-a)\chi_n} \{2\xi_{m-1}\xi_{n-m+1} - \xi_{n-m}(\xi_{m-1} + \xi_m)\} - 1 - \frac{\beta^{-m} - \beta^{-(n-m+1)}}{F_{I_1}} \left\{ 1 - \frac{a\beta^{-(m-1)} + b\beta^{-(n-m+1)}}{ab^{-n} + b} \right\} \right] \frac{ql^2}{12}$$

$$M_{m, m-1} = \left[\frac{1}{(b-a)\chi_n} \{\xi_{m-1}(\xi_{n-m} + \xi_{n-m+1}) - 2\xi_m\xi_{n-m}\} + 1 - \frac{\beta^{-m}\beta^{-(n-m+1)}}{F_{I_1}} \left\{ 1 - \frac{a\beta^{-(n-m)} + b\beta^{-m}}{a\beta^{-n} + b} \right\} \right] \frac{ql^2}{12}$$

$0 < x < m-2$

$$M_{x, x+1} = \left[\frac{1}{(b-a)\chi_n} (\xi_{n-m+1} - \xi_{n-m}) (2\xi_x + \xi_{x+1}) - 1 - \frac{\beta^{-m} - \beta^{-(n-m+1)}}{F_{I_1}} \left\{ 1 - \frac{a\beta^{-x} + b\beta^{-(n-x)}}{a\beta^{-n} + b} \right\} \right] \frac{ql^2}{12}$$

$0 < x < m-1$

$$M_{x, x-1} = \left[\frac{1}{(b-a)\chi_n} (\xi_{n-m+1} \cdots \xi_{n-m}) (2\xi_x + \xi_{x-1}) + 1 - \frac{\beta^{-m} - \beta^{-(n-m+1)}}{F_{I_1}} \left\{ 1 - \frac{a\beta^{-(n-x)} + b\beta^{-x}}{a\beta^{-n} + b} \right\} \right] \frac{ql^2}{12}$$

$$M_{x, x'} = 2k \left[\frac{1}{(b-a)\chi_n} \xi_x (\xi_{n-m+1} - \xi_{n-m}) + \frac{\beta^{-m} - \beta^{-(n-m+1)}}{F_{I_1}} \left\{ \frac{1}{k} - \frac{\beta^{-(n-x)} + \beta^{-x}}{a\beta^{-n} + b} \right\} \right] \frac{ql^2}{12} \quad \dots\dots (2a)$$

$$M_{x', x} = k \left[\frac{1}{(b-a)\chi_n} \xi_x (\xi_{n-m+1} - \xi_{n-m}) + \frac{\beta^{-m} - \beta^{-(n-m+1)}}{F_{I_1}} \left\{ \frac{6+b}{3k} - \frac{\beta^{-(n-x)} + \beta^{-x}}{a\beta^{-n} + b} \right\} \right] \frac{ql^2}{12}$$

$m < x < n$

$$M_{x, x+1} = \left[\frac{1}{(b-a)\chi_n} (\xi_{m-1} - \xi_m) (2\xi_{n-x} + \xi_{n-x-1}) - 1 - \frac{\beta^{-m} - \beta^{-(n-m+1)}}{F_{I_1}} \left\{ 1 - \frac{a\beta^{-(n-x)} + b\beta^{-x}}{a\beta^{-n} + b} \right\} \right] \frac{ql^2}{12}$$

$$M_{x, x'} = 2k \left[\frac{1}{(b-a)\chi_n} \xi_{n-x} (\xi_{m-1} - \xi_m) + \frac{\beta^{-m} - \beta^{-(n-m+1)}}{F_{I_1}} \left\{ \frac{1}{k} - \frac{\beta^{-(n-x)} + \beta^{-x}}{a\beta^{-n} + b} \right\} \right] \frac{ql^2}{12}$$

$$M_{x', x} = k \left[\frac{1}{(b-a)\chi_n} \xi_{n-x} (\xi_{n-m+1} - \xi_{n-m}) + \frac{\beta^{-m} - \beta^{-(n-m+1)}}{F_{I_1}} \left\{ \frac{6+b}{3k} - \frac{\beta^{-(n-x)} + \beta^{-x}}{a\beta^{-n} + b} \right\} \right] \frac{ql^2}{12}$$

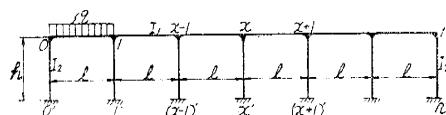
$m+1 < x < n$

$$M_{x, x-1} = \left[\frac{1}{(b-a)\chi_n} (\xi_{m-1} - \xi_m) (2\xi_{n-x} + \xi_{n-x+1}) + 1 - \frac{\beta^{-m} - \beta^{-(n-m+1)}}{F_{I_1}} \left\{ 1 - \frac{b\beta^{-(n-x)} + a\beta^{-x}}{a\beta^{-n} + b} \right\} \right] \frac{ql^2}{12}$$

$$\text{ここで } F_{I_1} = \frac{1}{(\beta-1)} \left[\frac{(1+n)(12+k)(a\beta^{-n} + b)}{9c} + 2 \left\{ \left(1 + \frac{a}{3}\right)\beta^{-n} + \left(1 + \frac{b}{3}\right) \right\} \right]$$

(3) スパン l , 高さ h の n 等分間ラーメンの第1径間にのみ等分布荷重 q が載荷する場合 (図-5 参照)

図-5



$$M_{0,1} = \frac{k}{(1+k)\chi_n} \left[\{(3+2k)\xi_{n-1} - \chi_n\} - \left\{ \xi_{n-1} + \xi_1 + \frac{(2+k)\chi_n}{k} \right\} \frac{1}{F_{II_1}} \right] \frac{ql^2}{12}$$

$$M_{1,0} = \frac{(3+2k)}{2(1+k)\chi_n} \left[\{(3+4k)\xi_{n-1} + \chi_n\} - \left\{ \left(\frac{3+4k}{3+2k} \right) (\xi_{n-1} + \xi_1) + \chi_n \right\} \frac{1}{F_{II_1}} \right] \frac{ql^2}{12}$$

$$M_{0,0'} = \dots = M_{0,1} \\ M_{0',0} = \frac{k}{2(1+k)\chi_n} \left[\{ \chi_n - (3+2k) \xi_{n-1} \} + \left\{ \xi_{n-1} + \xi_1 + \frac{(2k+3)(k+4)}{3k} \chi_n \right\} \frac{1}{F_{W_1}} \right] \frac{q^{l^2}}{12}$$

$$M_{x,x+1} = -\frac{1}{\chi_n} \left[ab(3+2k)\eta_{n-x} + \chi_n - \{ab\eta_{n-x} + \chi_x - \chi_n\} \frac{1}{F_{II1}} \right] \frac{ql^2}{12}$$

$$M_{x,x+1} = -\frac{1}{\chi_n} \left[(3+2k) \chi_{n-x} - \chi_n - \{ab\eta_x + z_{n-x} - \chi_n\} \frac{1}{F_{\Pi_1}} \right] \frac{ql^2}{12}$$

$$M_{x,x'} = \frac{2k}{\chi_n} \left[(3+2k)\xi_{n-x} - \left\{ \xi_{n-x} + \xi_x - \frac{\chi_n}{k} \right\} \frac{1}{F_n} \right] \frac{q^{l^2}}{12}$$

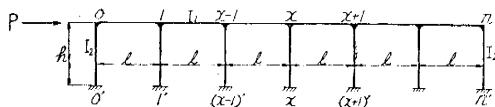
$$M_{x',x} = -\frac{k}{\chi_n} \left[(3+2k)\xi_{n-x} - \left\{ \xi_{n-x} + \xi_x - \frac{6+k}{3k}\chi_n \right\} \frac{1}{F_{II_1}} \right] \frac{ql^2}{12}$$

二三

$$F_{111} = -\frac{\frac{\chi_n}{27k}\{9k(7+4k)-4(n+1)(1+k)(3+k)(12+k)\}-\xi_{n-1}+2(1+k)\xi_n+4(1+k)(b-a)}{(3+2k)\left\{\frac{\chi_n}{3+2k}-\xi_{n-1}+2(1+k)(b-a)\right\}}$$

(4) スパン l , 高さ h の n 等径間ラーメンの水平部材の軸線に水平荷重 P が作用する場合 (図-6 参照)

— 6 —



$$M_{x,x-1} = \frac{1}{\chi_n} (\chi_{n-x} - \chi_n + ab \eta_x) \frac{Ph}{F_{\text{III}}}$$

$$M_{x,x+1} = \frac{1}{\gamma_n} (\chi_x - \chi_n + ab \eta_{n-x}) \frac{Ph}{F_{\text{DE}}}$$

$$M_{x,x'} = -\frac{2k}{\chi_n} \left(\xi_{n-x} + \xi_x - \frac{\chi_n}{k} \right) \frac{P_n}{F_{\text{ur}}}$$

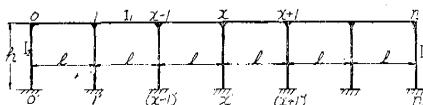
$$M_{x',x} = -\frac{k}{\chi_n} \left\{ \xi_{n-x} + \xi_x - \frac{(6+k)}{3k} \chi_n \right\} \frac{Ph}{F_{\text{in}}}$$

二〇〇〇

$$F_{\mathbb{M}_1} = -2c \left\{ \frac{(12+k)(1+n)}{6c} + 1 + \frac{3(\xi_n + \xi_0)}{\gamma_n} \right\}$$

(5) スパン l , 高さ h の n 等径間ラーメンの温度変化, または, コンクリートの乾燥収縮の影響を考える場合(図-7 参照)

四一七



$$M_{x,x-1} = \pm c \left[\frac{(2+3n)(\alpha^{\beta x} - \beta^{\alpha n-x})}{(\alpha - \beta)^n} - (3n-6x+2) \right] \cdot \frac{EI \cdot t \cdot \varepsilon}{h}$$

$$M_{x,x+1} = \pm c \left[\frac{(2+3n)(b\beta^x - a\beta^{n-x})}{(a-b\beta^n)} - (3n-6x-2) \right] \cdot \frac{EI,t,\varepsilon}{h}$$

$$M_{x,x'} = \mp 2c \left[\frac{k(2+3n)(\beta^x - \beta^{n-x})}{(\alpha - b\beta^n)} - 3(n-2)x \right] \cdot \frac{EI_t s}{h}$$

$$M_{x',x} = \mp c \left[\frac{k(2+3n)(\beta^n - \beta^{n-x})}{(a-b)\beta^n} - (6+k)(n-2x) \right] \cdot \frac{EI_1 t \epsilon}{h}$$

ここに E : ヤング係数

t : 异降温度

温度上昇を考える場合は上の符号をとる

ϵ : 滲脹係数

[B] ヒンヂ端ラーメンの場合

ヒンヂ端ラーメンにおける材端モーメントを求める一般式 (1b), (2b), (3b), (4b), (5b) 式は、固定端ラーメンの場合の (1a), (2a), (3a), (4a), (5a) における k の代りに $\dot{k} = \frac{3}{4}k$ を用いれば、これらの諸式と同じ形で示すことができる。ただし

(i) $M_{x',x} = 0$

(ii) (2b) 式においては、(2a) 式の F_{I1} の代りにつぎの F_{I2} を用いる。

$$F_{I2} = \frac{1}{\dot{\beta}-1} \left[\frac{(n-1)(\dot{a}\beta^{-n} + \dot{b})}{c} + 2 \left\{ \left(1 + \frac{\dot{a}}{3}\right)\beta^{-n} + \left(1 + \frac{\dot{b}}{3}\right) \right\} \right]$$

ここに、 \dot{a} , \dot{b} , \dot{c} , $\dot{\beta}$ は、(2a) 式の a , b , c , β における k の代りに $\frac{3}{4}k$ を用いる。

(iii) (3b) 式においては、(3a) 式の F_{II1} の代りにつぎの F_{II2} を用いる。

$$F_{II2} = \frac{\frac{\dot{z}_n}{3\dot{k}} \left\{ (7+4\dot{k})\dot{k} - 4(1+n)(1+\dot{k})(3+\dot{k}) - \dot{\xi}_{n-1} + 2(1+\dot{k})\dot{\xi}_n + 4(1+\dot{k})(\dot{b} - \dot{a}) \right\}}{(3+2\dot{k}) \left\{ \frac{\dot{z}_n}{3+2\dot{k}} - \dot{\xi}_{n-1} + 2(1+\dot{k})(\dot{b} - \dot{a}) \right\}}$$

ここに、 \dot{z}_n , $\dot{\xi}_{n-1}$ は、(3a) 式の z_n , ξ_{n-1} における k の代りに $\frac{3}{4}k$ を用いる。

(iv) (4b) 式においては、(4a) 式の F_{III1} の代りにつぎの F_{III2} を用いる。

$$F_{III2} = -\frac{4\dot{c}}{3} \left\{ \frac{3(1+n)}{2\dot{c}} + 1 + \frac{3(\dot{\xi}_n + \dot{\xi}_0)}{\dot{z}_n} \right\}$$

ここに、 \dot{z}_n , \dot{c} , $\dot{\xi}_n$, $\dot{\xi}_0$ は、(4a) 式の z_n , c , ξ_n , ξ_0 における k の代りに $\frac{3}{4}k$ を用いる。

(v) (5b) 式においては、(5a) 式の $\frac{EI_1 t \epsilon}{h}$ の代りに $\frac{2}{3} \cdot \frac{EI_1 t \epsilon}{h}$ を用いる。

3. 等径間ラーメンの部材断面を決定する最大曲げモーメントおよび載荷状態にたいする検討

等径間ラーメンを設計する場合、一般に、鉛直部材の断面は鉛直部材におこる材端モーメントにより、また、水平部材の断面は水平部材におこる正の最大スパンモーメントによつて決定されることが多い。材端モーメントは、従来用いられている諸解法や(1)～(5)式からこれを求めることができるが、最大スパンモーメントは単純支承構造の場合のように簡単には求められない。すなわち、最大スパンモーメントを、影響線から求める場合はスパンを5～10等分した着目点について計算したスパンモーメントのうちから最大値を選ぶのが普通であり、また等分布荷重から求める場合は曲げモーメント図を描いて最大値を推定するのが普通である。しかし、これらは実用的な求め方であつて、このようにして絶対最大スパンモーメントを求ることはできない。もちろん、等径間ラーメンを設計する場合、精密計算をして絶対最大スパンモーメントを求める必要はないが、経済的に設計するためには、絶対最大スパンモーメントの一般的傾向を明らかにするとともに、計算の簡単化を図らなければならない。しかし、これらについて解明した文献・資料がないので、部材断面を決定するのに、多くの労力が費されているのが現状である。ここに、剛比一定の等径間ラーメンの部材断面を決定するのに必要な正の最大スパンモーメントおよび材端モーメントを計算し、この結果を図表化して検討することとする。

[A] 水平部材におこる正の最大スパンモーメント

死荷重および等分布荷重によつておこる最大スパンモーメント M_{max} は、材端モーメント M_{x-1} , M_x を(1)～(3)式から求め、これらを(6)式⁵⁾に代入することによつて計算することができる。

$$M_{\max} = \frac{wl^2 + 2(M_x - M_{x-1})}{4l} \left\{ l - \frac{wl^2 + 2(M_x - M_{x-1})}{2wl} \right\} + M_{x-1} + \frac{M_x - M_{x-1}}{l} \left\{ \frac{wl^2 + 2(M_x - M_{x-1})}{2wl} \right\} \quad \dots (6)$$

$= {}_n m_x wl^2$
ここに ${}_n m_x : n$ 等径間ラーメンの第 x 径間における最大スパンモーメントに関する係数
 w : 等分布荷重

(1) 死荷重または等分布荷重が満載する場合

死荷重または等分布荷重を満載する場合における最大スパンモーメントは、材端モーメントを(1a)・(1b)式から求め、これを(6)式に代入することによって計算することができる。図-8は、その計算結果を図表化したものであるが、スパンモーメントの最大値は、図-8から、第1スパンにおこること、固定端ラーメンにおこる値は同じ剛比のヒンヂ端ラーメンの相対応するスパンにおこる値にはほぼ等しいこと、等径間ラーメンの端スパンおよび中間スパンにおこる最大スパンモーメントは3スパンラーメンのそれに比較して両者間の差は少ないと、などを知ることができる。

(2) 等分布荷重が第 m 径間にのみ載荷する場合

等分布荷重がある特定の第 m 径間にのみ載荷する場合の最大スパンモーメントは、材端モーメントを(2)または(3)式から計算し、これらを(6)式に入れることによって求めることができる。図-9は固定端ラーメンについて計算した結果を図表化したものであるが、図-9から第1スパンにスパンモーメントの最大値がおこることを知ることができる。等分布荷重が図-10のように載荷した方が、第1スパンのみに載荷した場合よりも第1スパンに大きいスパンモーメントがおこることは明らかであるが、このように載荷することはきわめてまれであり、また、その影響を考えても5~12%程度の増加に過ぎないので、第1スパンにのみ載荷した場合を対象に考えればよい場合が多い。

(3) 第1スパンにおいて等分布活荷重と死荷重とを組合せて考える場合

(1) および(2)で述べたように、最大スパンモーメントは第1スパンにおこるから、組合せによつておこる最大スパンモーメントは、図-11に示す載荷状態においておこるものと見てよい。この場合 q による最大スパンモーメントのおこる位置は、 q による最大スパンモーメントのおこる位置と異なるか

図-8 (a)

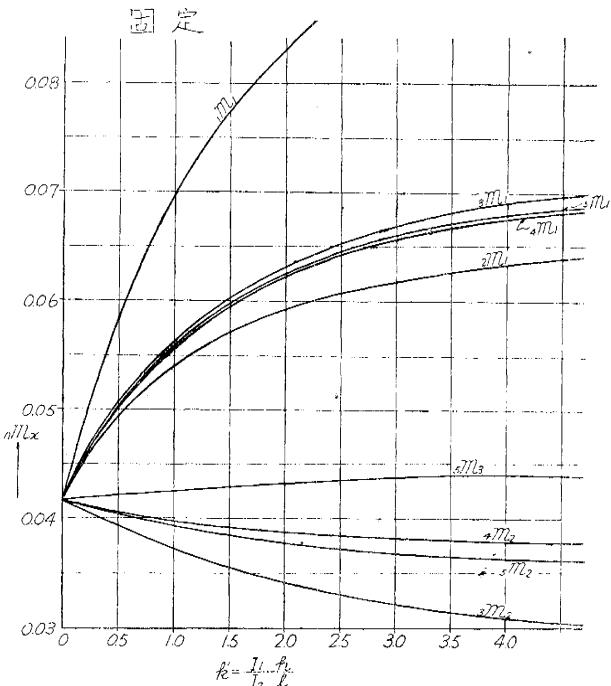


図-8 (b)

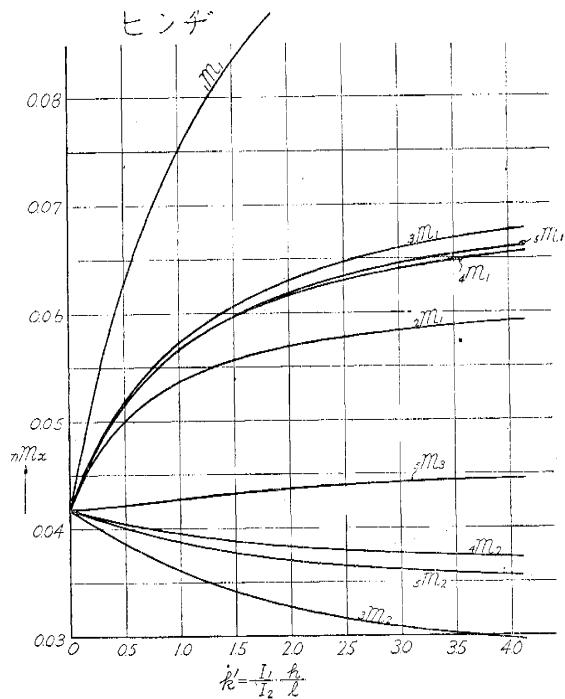


図-9

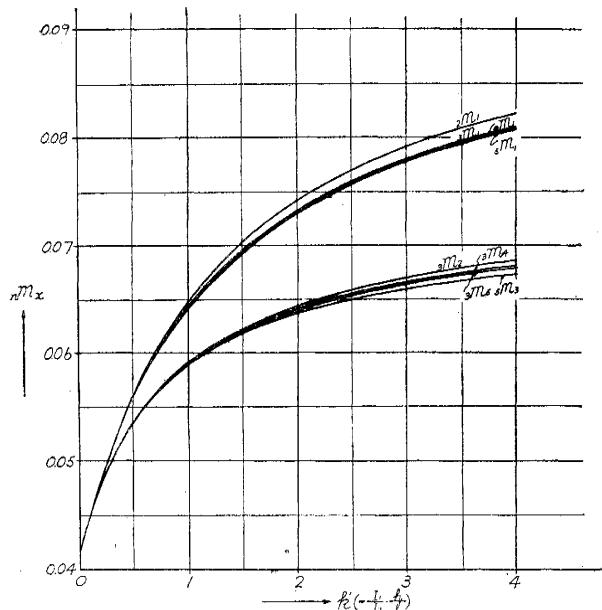


図-10

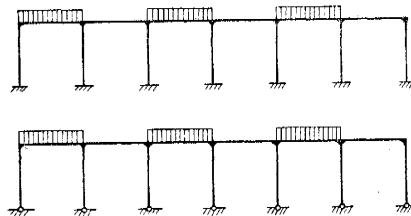
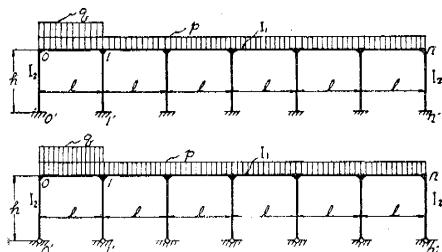


図-11



ら、両者の組合せによつておこる最大値を求める場合、これを両者の最大値の和として計算することはできない。水平部材の断面を算定する場合には、両者の組合せによる最大スパンモーメントの値が必要である。いま等分布活荷重を w_l 、死荷重(静荷重を含む)を w_d とするとき、 $M_{0,1} + M_{1,0}$ はつぎのように示すことができる。

$$\left. \begin{aligned} M_{0,1} &= (m_{1,0}^l w_l + m_{0,1}^d w_d) l^2 \\ M_{1,0} &= (m_{1,0}^l w_l + m_{1,0}^d w_d) l^2 \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

ここに、 $m_{1,0}^l, m_{1,0}^d : w_l$ によつておこる $M_{0,1}, M_{1,0}$ に関する係数
 $m_{0,1}^d, m_{1,0}^d : w_d$ によつておこる $M_{0,1}, M_{1,0}$ に関する係数

この場合、最大値のおこる位置 $l\xi_{\max}^{(1)}$ は、次式から求めることができる。

$$\xi_{\max}^{(1)} = \left[\frac{1}{2} + \frac{\{(m_{1,0}^l - m_{0,1}^l) + (m_{0,1}^d - m_{0,1}^d)\}\tau}{(1+\tau)} \right] \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

ここに $\tau = w_d/w_l$

従つて、 n 等間隔ラーメンの第1スパンにおこる正の最大スパンモーメント $nM_{\max}^{(1)}$ は、(8) 式を (6) 式に入れることによつてつぎのように求めることができる。

$$\left. \begin{aligned} nM_{\max}^{(1)} &= \left[\frac{(1+\tau)}{4} + \frac{1}{(1+\tau)} \{(m_{1,0}^l - m_{0,1}^l) + (m_{1,0}^d - m_{0,1}^d)\}\tau^2 \right. \\ &\quad \left. + (m_{1,0}^l + m_{1,0}^d) + (m_{1,0}^d + m_{0,1}^d)\tau \right] \frac{w_l l^2}{2} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

ここに $nM_{\max}^{(1)} : nM_{\max}^{(1)}$ に関する係数

(8)・(9) 式を $\tau^* (= w_d/w_l)$ の函数として示したのは、 $\xi_{\max}^{(1)}$ や $nM_{\max}^{(1)}$ の一般的傾向を検討したり、また、設計をしたり、する場合に便利であるからである。

図-12 は、 $\tau = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$ の場合における $nM_{\max}^{(1)}$ の値を固定端ラーメンおよびヒンジ端ラーメンについて、(9) 式から計算し、それらの結果を図示したものである(図-12においては w_l を w で示してある)。従つて、等間隔ラーメンの設計においては、 τ の値さえ假定できれば、図-12 から最大スパンモーメントが簡単に求められるから、水平部材の経済的な断面は、これを検討しながら容易に算定することができる。図-13 は、 $\xi_{\max}^{(1)}$ の値がスパン数、剛比、 τ の値、等によつて変化する状態を、ヒンジ端ラーメンについて $\tau = 0.2, 0.8$ の場合を (8) 式から計算し、それらの結果を図示したものである。

* スパン 5 m~10 m の鉄道高架橋においては、一般に $\tau = 0.5 \sim 0.7$ 、道路高架橋においては、一般に $\tau = 0.2 \sim 0.5$

図-12 (a)-1

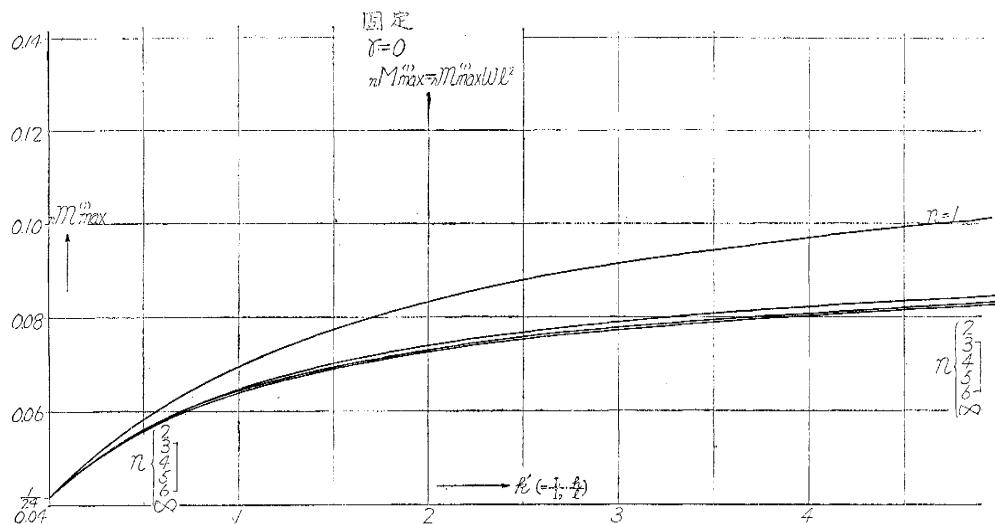


図-12 (a)-2

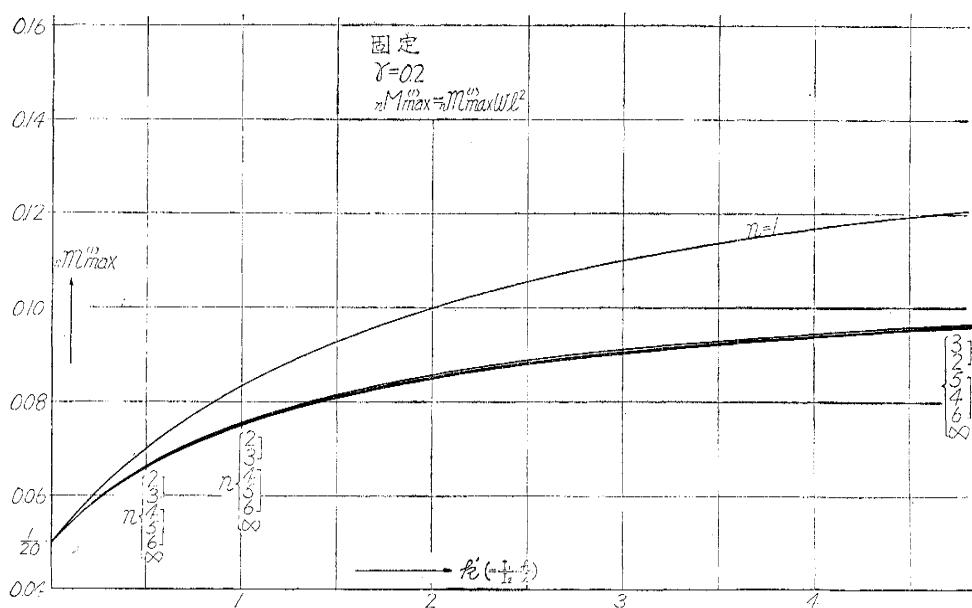


図-12 (a)-3

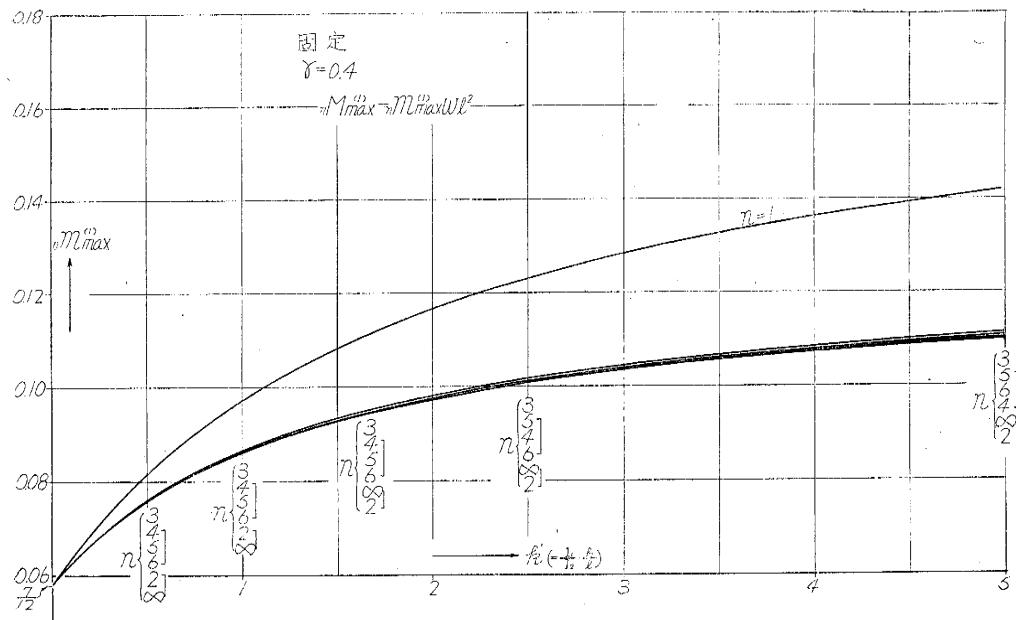


図-12 (a)-4

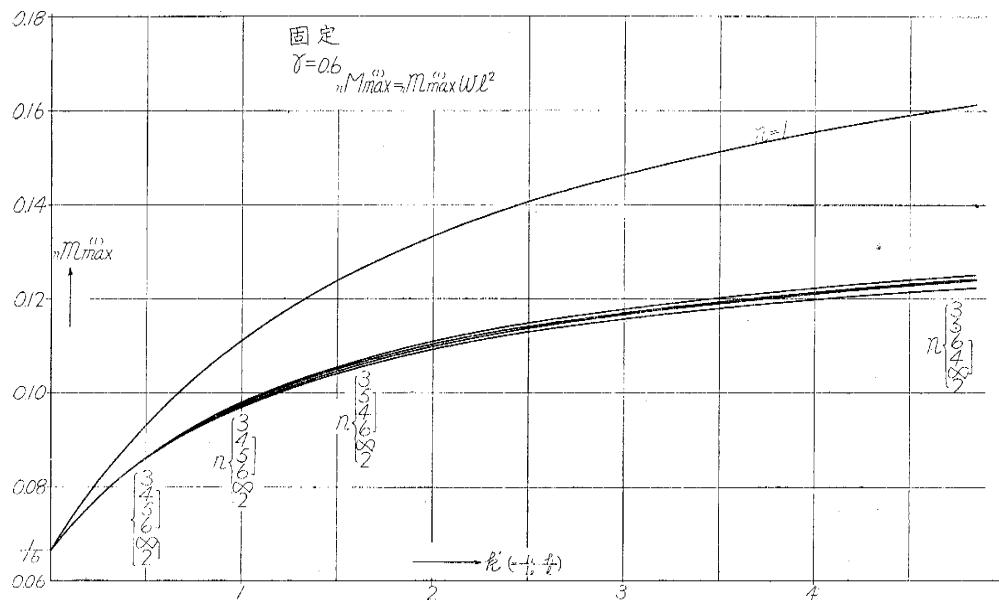


図-12 (a)-5

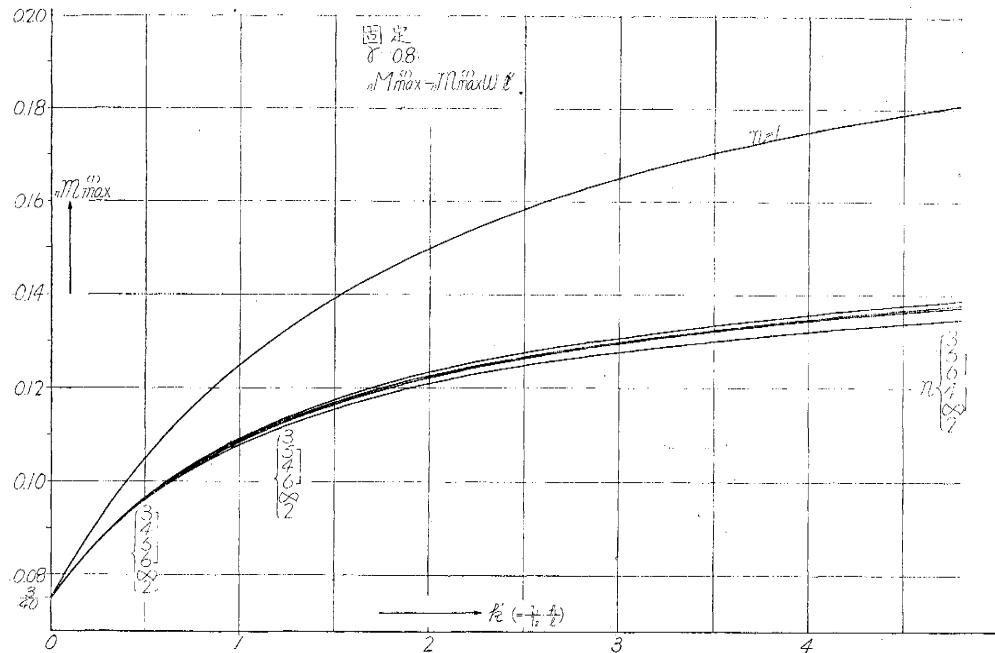


図-12 (a)-6

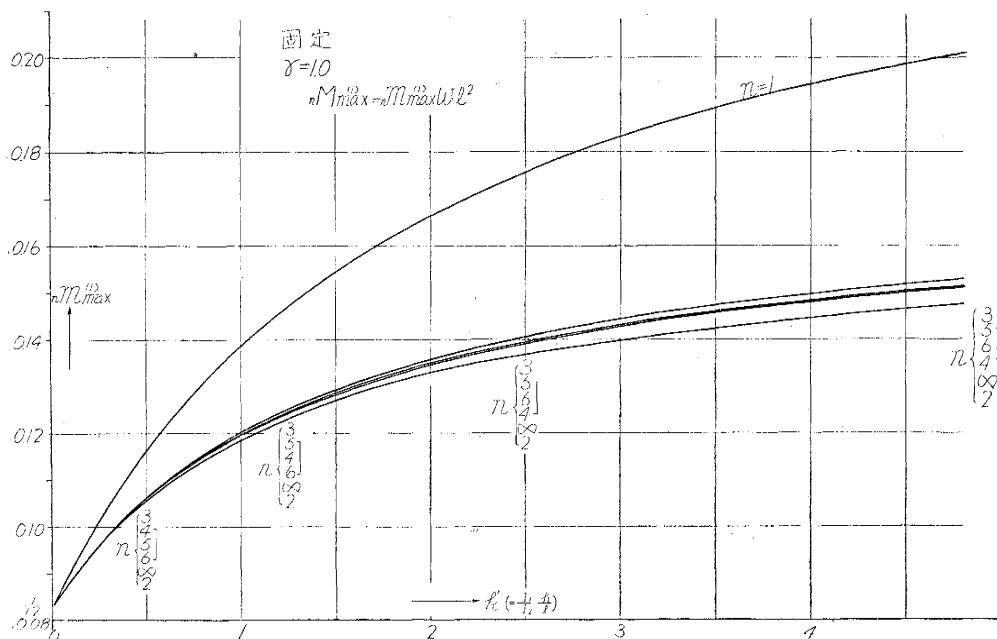


図-12 (b)-1

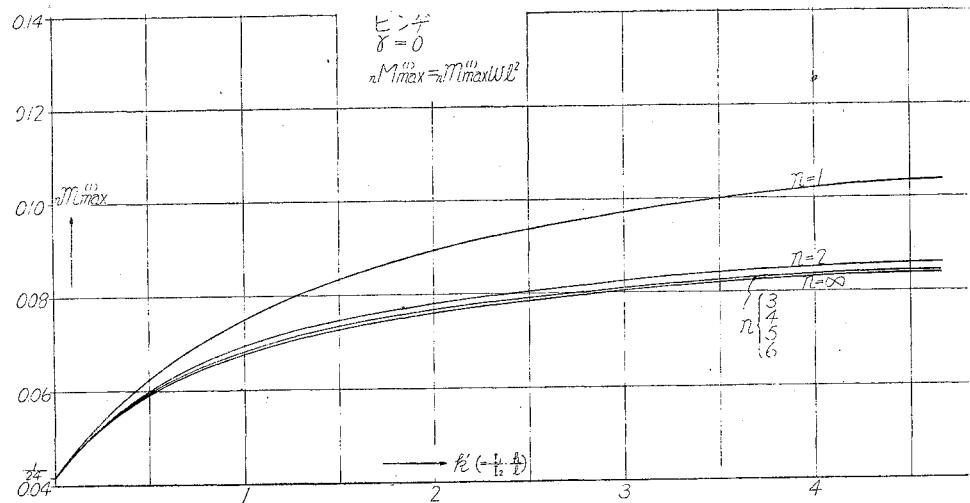


図-12 (b)-2

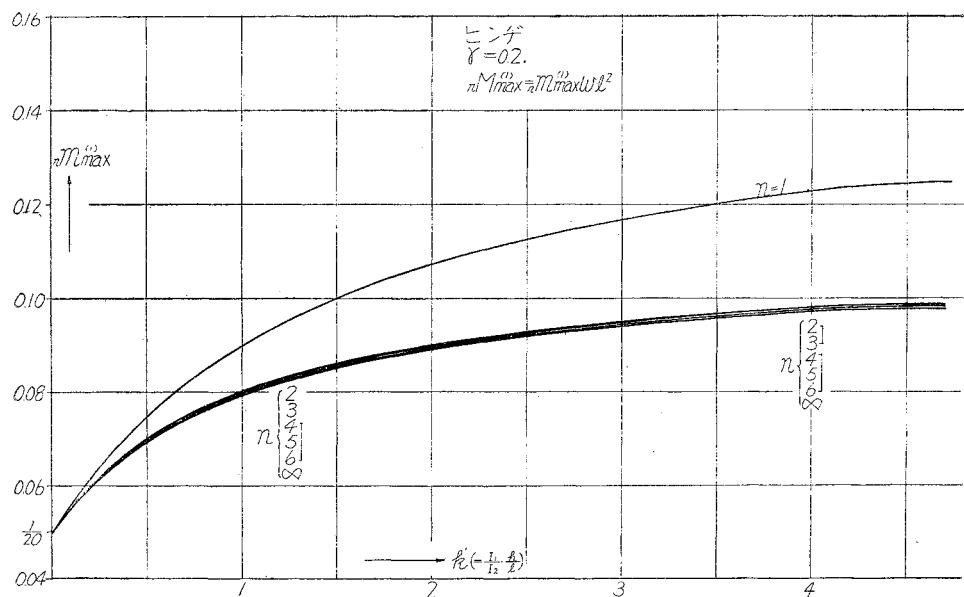


図-12 (b)-3

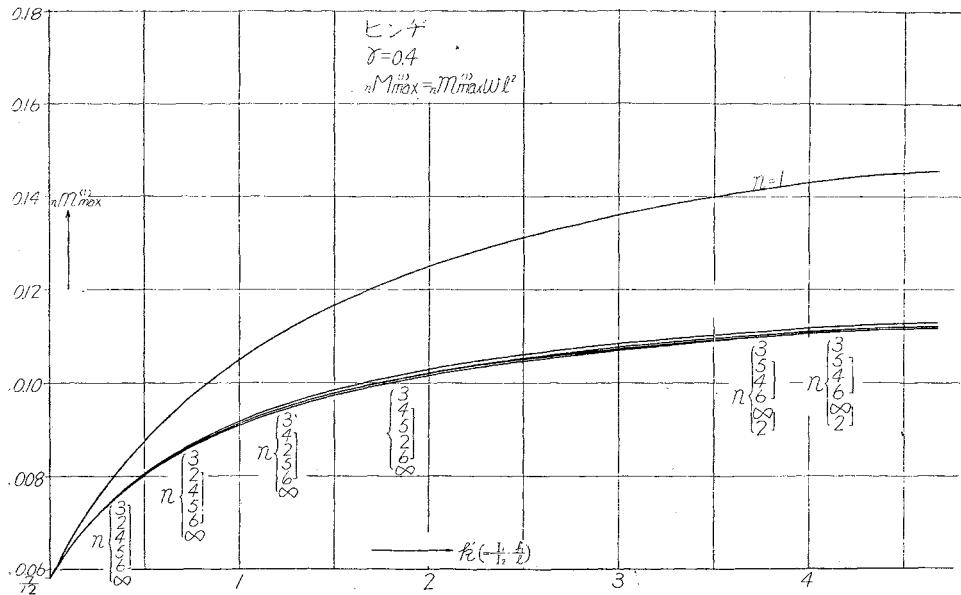


図-12 (b)-4

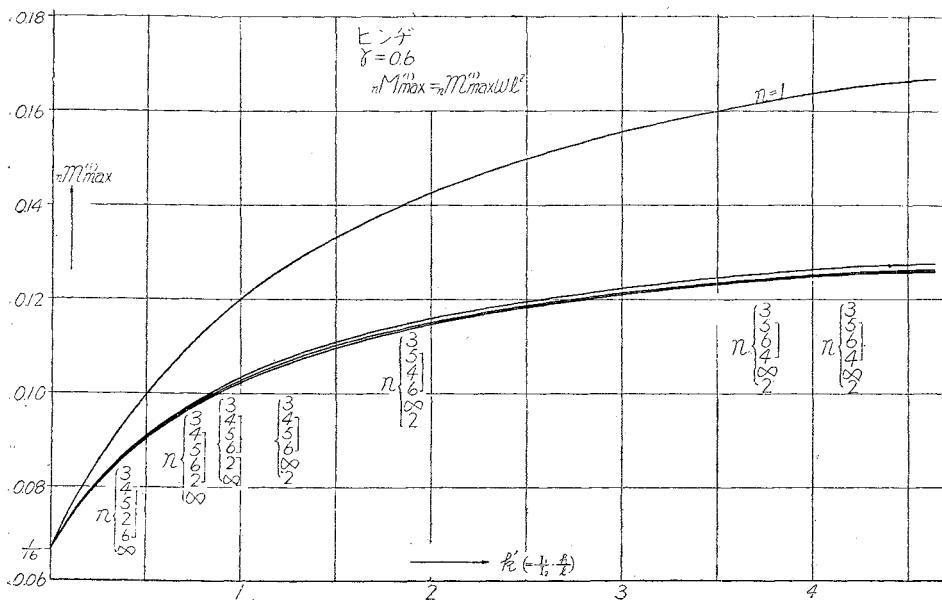


図-12 (b)-5

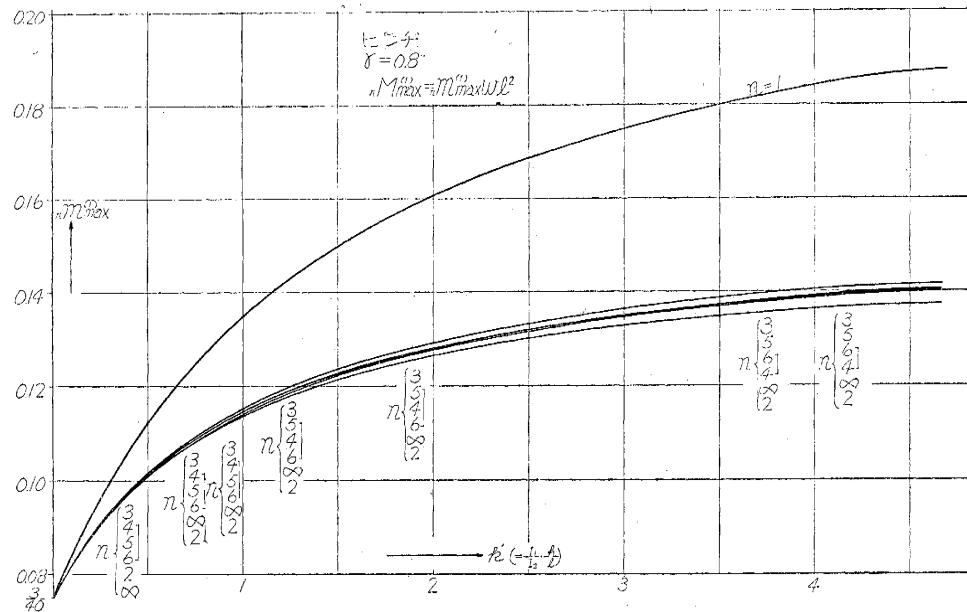


図-12 (b)-6

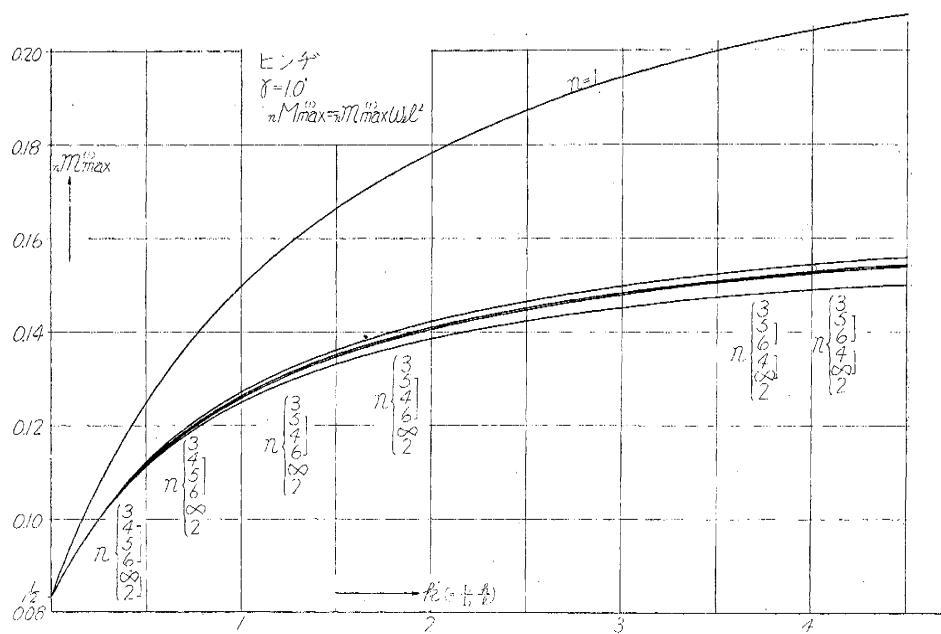


図-13 (a)

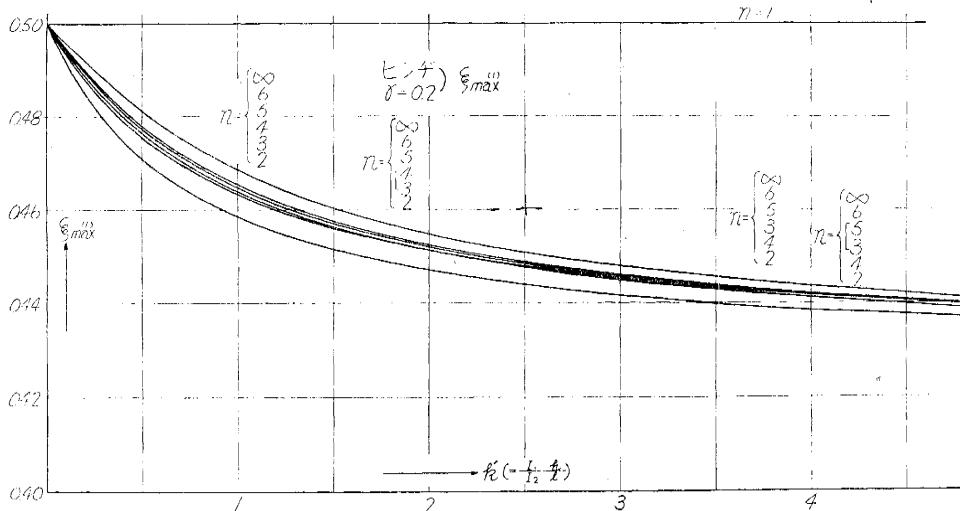
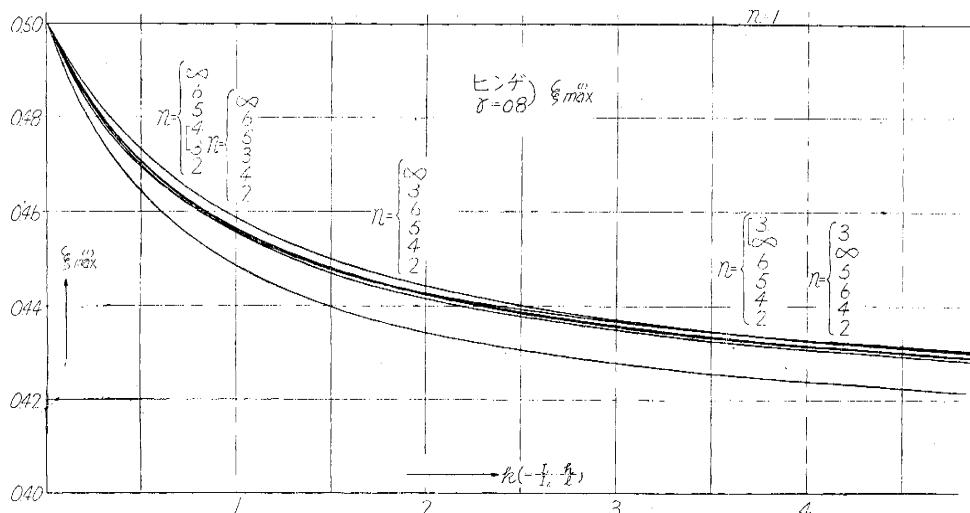


図-13 (b)



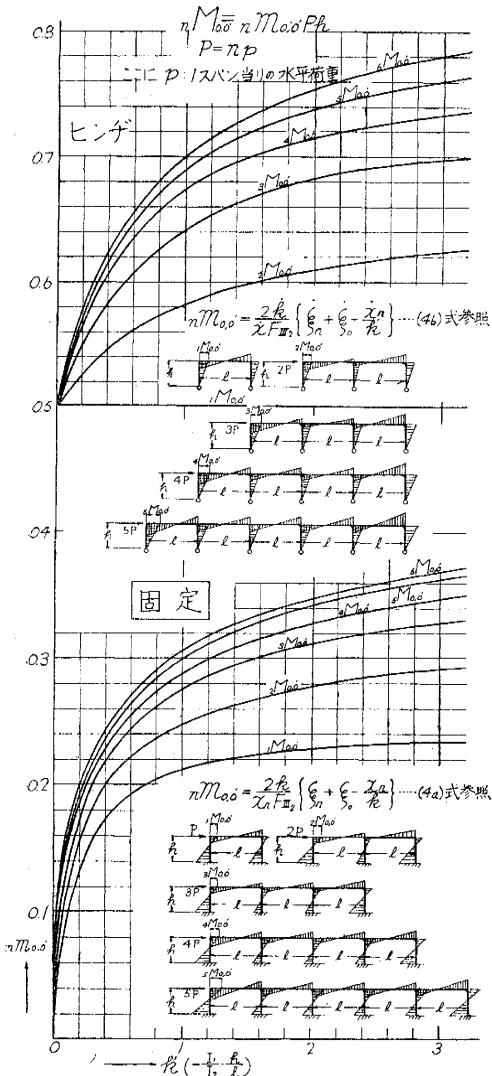
[B] 鉛直部材における材端モーメント

(1) 水平荷重による材端モーメント

水平荷重によつて等径間ラーメンにおける材端モーメントは、従来紹介されている諸解法、または(4)式から簡単に求めることができる。この場合、第1柱におこる材端モーメントは、第2柱におこる値よりも、10~15%程度小さいのが普通であるが(計算省略)、第1柱におこる軸方向力は第2柱におこる軸方向力よりも小さいので水平荷重によつて鉛直部材の断面におこる最大応力度は、偏心距離の大きい第1柱におこるのが普通である。それで、剛比一定の等径間ラーメンにおいて、鉛直部材の断面を算定する場合には、第1柱におこる材端モーメントの一般的傾向を明らかにする必要がある。図-14は、1スパン当りの水平荷重 ρ がラーメンの水平部材の軸線に作用した場合の $M_{0,0}'^*$ の値を、固定端ラーメンおよびヒンヂ端ラーメンについて(4a)・(4b)式から計算した結果を図示したものである。

* 固定端ラーメンにおいては、 $M_{0,0}'$ の方が $M_{0,0}'^*$ よりも大であるが、剛比およびスパン数の等しいヒンヂ端ラーメンの $M_{0,0}'$ と比較する意味で $M_{0,0}'^*$ を選ぶこととした。

図-14



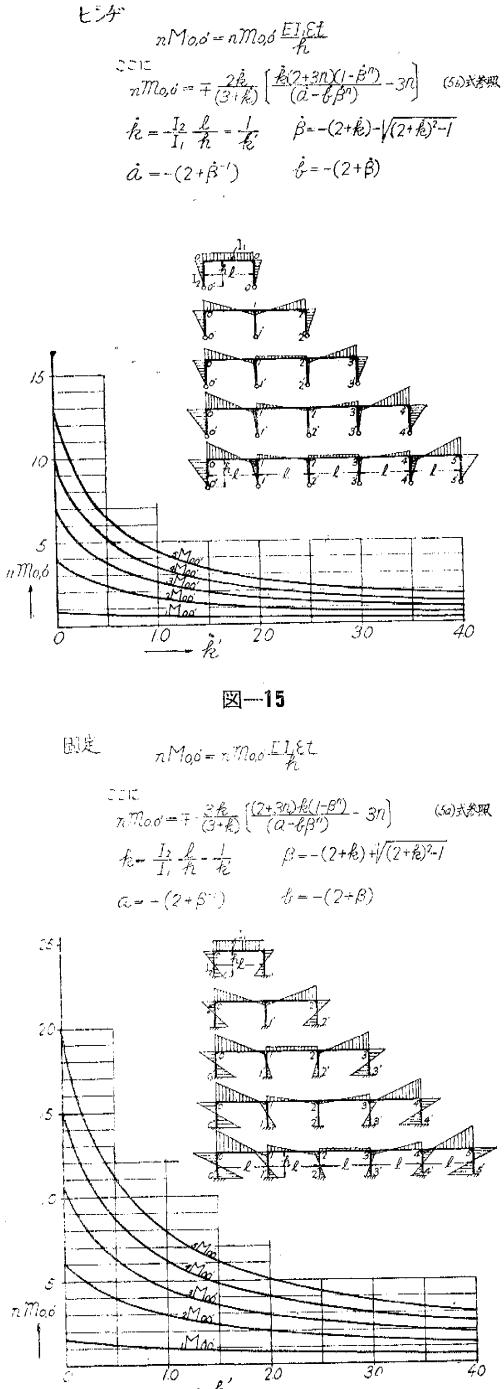
4. 結 語

剛比一定の等径間ラーメンにおこる曲げモーメントの一般的傾向は、これをつきのように結論づけることができる。

(1) 曲げモーメントは、これを剛比およびスパン数の函数で示すことができる ((1)～(5)式参照)。

(2) 剛比およびスパン数を等しくする、ヒンデ端ラーメンと固定端ラーメンとにおこる最大スパンモーメント

図-15



トには、大きい差異は認められない（図-8, 12 参照）。

(3) スパンモーメントの最大値は、第1スパンにおこる（図-8, 9, 12 参照）。

(4) 等径間ラーメンの第1スパンおよび中間スパンにおこる最大スパンモーメントは剛比を等しくする3径間ラーメンの第1スパンおよび中間スパンにおこる値に比較して、大きい差異は認められない（図-8, 9 参照）。

(5) 水平部材の断面算定に必要な最大スパンモーメントは、図-12 から求めることができる。

(6) 水平力が水平部材の軸線に作用する場合、第1柱の頭部におこる材端モーメントは、剛比 (k') およびスパン数の増加函数と考えることができる。また、剛比およびスパン数の等しいヒンデ端ラーメンと固定端ラーメンにおいて、水平力によつて前者におこる材端モーメントは後者よりも大きい。従つて、大きい水平力が作用する等径間ラーメンは、これを固定端ラーメンとするのが有利である（図-14 参照）。

(7) 温度変化およびコンクリートの乾燥収縮の影響によつて第1柱の頭部におこる材端モーメントは、剛比 (k') の減少函数、スパン数 (n) の増加函数と考えることができる。この場合の材端モーメントは、剛比およびスパン数の等しいヒンデ端ラーメンと固定端ラーメンにおいては、後者の方に大きい値がおこる。従つて、大きい水平力が作用しない等径間ラーメンは、これをヒンデ端ラーメンとするのが有利である（図-15 参照）。

(8) 等径間ラーメンを設計する場合には、図-8~15 に示す曲げモーメントの一般的傾向を検討して、剛比を適当に選定しなければならない。

(9) 上記のようにして、基本部材断面および支承構造を決定すれば、等径間ラーメンを合理的に設計することができる。なお、部材の基本断面が決定したのち、材端モーメントを求める場合は、(1)~(5) 式よりモーメント分配法によるのが便利である。

(10) 水平部材の断面が一定の多径間ラーメンを等径間ラーメンとして設計するのは経済的ではなく、最大スパンモーメントが等しくなるようにスパン割を選ぶとともに、支承構造を適当に選ばなければならない。

本研究は、元国鉄技術研究所長沼田政矩氏、国鉄構造物設計事務所長友永和夫博士の指導をうけ、同室の齊藤昇、平栗浩君の協力を得たことを付記する。

文 献

- 1) 沼田政矩：ラーメンの曲げモーメントの計算図集、土木工学、第2巻 3, 4, 5, 7, 8, 9 号
- 2) 福田武雄：構造力学、応用数学 21 卷
- 3) 福田武雄：ラーメン
- 4) 福田武雄：差分法、数学叢書 13
- 5) 深谷俊明：断面を異にする径間連続ばかりにおける曲げモーメントの一般的傾向、土木学会誌、39巻 4 号

(昭.32.7.5)