

山型鋼の偏心圧縮による座屈

竹本 靖
岡田 宏
高橋 泰彦

概要

山型鋼のように材重心線と荷重心とが一致しない部材を用いて構成した立体架構では、荷重の偏心による各部材の軸方向剛性の低下が予想され、耐力的にも影響を及ぼすものと考えられる。本研究は山型鋼を対象として、曲げ、ねじり、圧縮を受ける開断面材の塑性域を考慮した耐力の低下についての解析と実験とを中心とし、あわせて光弾性的検討も行った。このほか接合部での応力集中による局部変形の影響について検討を行なった。結果としては、荷重偏心や局部応力集中が耐力および剛性にそれぞれ影響を及ぼすことが実証された。

1. 序

昭和41年に当研究所で行なわれた山型鋼による大林トラス H-1 の供試体実験¹⁾ では次の点が問題点として指摘された。

(1) 圧縮材に荷重偏心が考えられる場合には部材耐力への影響が予想され、特に短材の場合には非弾性座屈に影響するものと思われる。

(2) リベット、ボルト接合で接合部での荷重偏心や局部応力集中がある場合の材軸方向剛性への影響も無視できないであろう。

上記の問題点を解明するために解析および実験を行なった。解析は耐力的検討として曲げ、ねじり、圧縮を考慮した座屈耐力に塑性域の要素を加味した解を与え、剛性的検討として材軸方向およびこれと直角方向の変形（弾性範囲内）を求めた。実験は山型鋼をガセットジョイントを模した治具に付けて圧縮するもので歪、撓みおよび光弾性測定を行なった。

2. ピン支持された山型鋼の塑性座屈

2.1. 開断面材の座屈方程式

曲げ、ねじり、圧縮を受ける開断面材の弾性釣合式は文献²⁾によれば図-1の系について式(1)(2)(3)が成立する。

$$\left\{ \begin{aligned} EI_Y \frac{d^2 u}{dz^2} + Pu + M_T \frac{dv}{dz} + (M_X - Py_0)\beta + M_Y &= 0 & \dots\dots\dots(1) \\ EI_X \frac{d^2 v}{dz^2} + Pv - M_T \frac{du}{dz} - (M_Y - Px_0)\beta + M_X &= 0 & \dots\dots\dots(2) \\ EC_{bc} \frac{d^3 \beta}{dz^3} - (P\rho_0^2 - GJ_T - M_X \frac{\phi_2}{I_X} - M_Y \frac{\phi_1}{I_Y}) \frac{d\beta}{dz} & & \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} + (M_X - Py_0) \frac{du}{dz} - (M_Y - Px_0) \frac{dv}{dz} - M_T &= 0 & \dots\dots\dots(3) \end{aligned} \right.$$

上式をゲージライン上で点接合するものと仮定した単一山型鋼に適用する。接合点したがって荷重の加わる点と材断面重心点とは図-2(a)に示す (ex, ey) の距離をもつので偏心応力分布状態が生ずる。式(1)(2)(3)を図-2(a)の系に適用するには式(4)を代入する。

$$M_T = 0, M_X = P \cdot e_Y, M_Y = P \cdot e_X, y_0 = 0, \phi_2 = 0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$EI_Y \frac{d^2 u}{dz^2} + Pu + Pe_Y \beta + Pe_X = 0 \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$EI_X \frac{d^2 v}{dz^2} + Pv - (Pe_X - Px_0)\beta + P \cdot e_Y = 0 \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$\left\{ \begin{aligned} EC_{bc} \frac{d^3 \beta}{dz^3} + (P\rho_0^2 - GJ_T - Pe_X \frac{\phi_1}{I_Y}) \frac{d\beta}{dz} + Pe_Y \frac{du}{dz} \\ - P(e_X - x_0) \frac{dv}{dz} = 0 & \dots\dots\dots(7) \end{aligned} \right.$$

$$\text{上式で } \rho_0^2 = \frac{1}{A} \int^A (x^2 + y^2) dA \quad \phi_1 = \int^A x(x^2 + y^2) dA - x_0 \rho_0^2 A$$

(5)(6)を一度 z で微分して(8)(9)を得る。

$$EI_Y \frac{d^3 u}{dz^3} + P \frac{du}{dz} + Pe_Y \frac{d\beta}{dz} = 0 \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$EI_X \frac{d^3 v}{dz^3} + P \frac{dv}{dz} - P(e_X - x_0) \frac{d\beta}{dz} \quad \dots\dots\dots(9)$$

式(8)(9)(7)に $u = C_1 \sin \frac{\pi z}{l}$, $v = C_2 \sin \frac{\pi z}{l}$, $\beta = C_3 \times \sin \frac{\pi z}{l}$ を代入して共通因子を取除くと式(10)が得られる。

$$\left| \begin{array}{ccc} (P - Pe_Y)C_1 & & Pe_Y C_3 \\ & (P - Pe_X)C_2 & -P(e_X - x_0)C_3 \\ Pe_Y C_1 & -P(e_X - x_0)C_2 & P\rho_0^2 \left\{ \left(1 - \frac{e_X \theta_1}{\rho_0^2} \right) - \frac{P_W}{P} \right\} C_3 \end{array} \right|$$

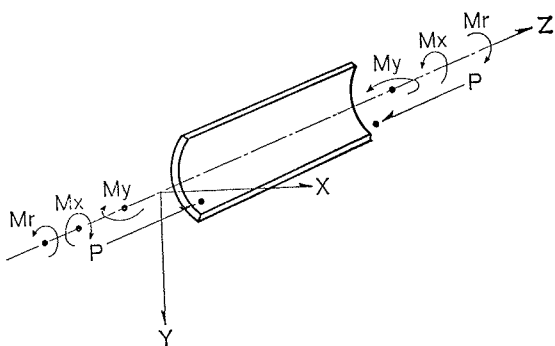


図-1 曲げ、ねじり、軸力を受ける開断面材の釣り合い

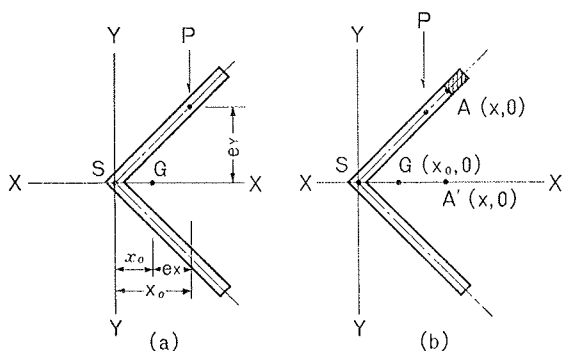


図-2 山型鋼断面の座標系

$$= 0 \dots\dots\dots(10)$$

ただし $P_{EX} = EI_X \frac{\pi^2}{l^2}$, $P_{EY} = EI_Y \frac{\pi^2}{l^2}$

$$\theta_1 = \frac{\Phi_1}{I_Y}, \alpha = 1 - \frac{e_X \theta_1}{\rho_0^2}, X_0 = x_0 - e_X$$

式(10)が図-2(a)の系の圧縮応力による座屈耐力を求め
る方程式である。

2.2. 塑性域を考慮した山形鋼の座屈耐力

材断面が全て弾性範囲内にあれば式(10)を解いて、曲
げ、ねじり、圧縮の各応力を受ける時の山型鋼の座屈
耐力を求められるが、部材の一部が降伏し塑性域に
入っている場合は式(10)が使えない。そこで塑性域が生
じた場合でも適用できる工夫を試みる。式(10)を書き直
すと式(11)となる。

$$\left(1 - \frac{P_{EX}}{P}\right) \left(1 - \frac{P_{EY}}{P}\right) \left(\alpha - \frac{P_W}{P}\right) \rho_0^2 - \left(1 - \frac{P_{EX}}{P}\right) e_Y^2 - \left(1 - \frac{P_{EY}}{P}\right) X_0^2 = 0 \dots\dots(11)$$

ただし $P_W = \frac{1}{\rho_0^2} (GJ_T + EC_{bd} \frac{\pi^2}{l^2})$

式(11)の P_{EX} , P_{EY} , P_W を l を含む式で置換すると式
は結局 P と l との式に変えられる。すなわち

$$A_1 l^6 + A_2 l^4 + A_3 l^2 + A_4 = 0 \dots\dots\dots(12)$$

ただし

$$A_1 = \left(\alpha - \frac{GJ_T}{P}\right) \rho_0^2 - e_Y^2 - X_0^2$$

$$A_2 = -\frac{EC_{bd} \pi^2}{P} - \rho_0^2 \left(\alpha - \frac{GJ_T}{P}\right) \left(\frac{EJ_X \pi^2}{P} + \frac{EJ_Y \pi^2}{P}\right)$$

$$+ \frac{EJ_X \pi^2}{P} e_Y^2 + \frac{EJ_Y \pi^2}{P} X_0^2$$

$$A_3 = \frac{EC_{bd}}{P} \left(\frac{EJ_X \pi^2}{P} + \frac{EJ_Y \pi^2}{P}\right)$$

$$+ \rho_0^2 \left(\alpha - \frac{GJ_T}{P}\right) \frac{EJ_X \pi^2}{P} \cdot \frac{EJ_Y \pi^2}{P}$$

$$A_4 = -\frac{EJ_X \pi^2}{P} \cdot \frac{EJ_Y \pi^2}{P} \cdot \frac{EC_{bd} \pi^2}{P} \rho_0^2$$

式(12)は $A_1 \sim A_4$ の各係数を定めることにより求められ
るので以下にこの決め方を示す。

図-2(a)の系で軸力 P が増大し、偏心荷重により断
面の一部分が塑性化した場合を図-2(b)に斜線で示す。
弾塑性の境界点 A は、断面のせん断中心 S を原点とす
る座標系の (x, y) の位置にあり、重心 $(x_0, 0)$ とは
 (e_X, e_Y) だけ離れている。 A 点の応力度は(13)式より
求められる。

$$\sigma = \frac{P}{A} - \frac{M_Y}{I_Y} (x - x_0) - \frac{M_X}{I_X} (y - y_0) \dots\dots\dots(13)$$

この時の仮定として

- (1) 部材は厚みを無視し、断面の中心線に沿って面
積要素がある。
- (2) 断面のせん断中心は図-2(a)(b)の S 点を動か
ない。
- (3) 材は完全弾塑性としてひずみ硬化等は無視して
考える。

図-2(b)では A 点で $\sigma = \sigma_Y$, $y = -X$, となるので
(13)式に代入して荷重 P のもとで A の点の位置を求め
る。すなわち(14)(15)式のとおりである。

$$\sigma_Y = \frac{P}{A} - \frac{M_Y}{I_Y} (x - x_0) + \frac{M_X}{I_X} x \dots\dots\dots(14)$$

$$\therefore x = \left(\sigma_Y - \frac{P}{A} - \frac{M_Y}{I_Y} x_0\right) / \left(\frac{M_X}{I_X} - \frac{M_Y}{I_Y}\right) \dots\dots(15)$$

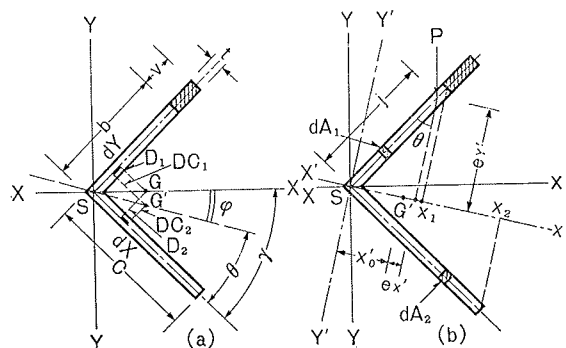


図-3 回転した座標系

(15)式によって A 点の位置が決まれば降伏域も決まる。
ただし $I_X = I_u$, $I_Y = I_v$ である。塑性域となった部分
については I を無視するものと仮定すれば図-2(b)で
の重心 G が移動する。すなわち図-3(a)では重心位置
が G 点から G' 点に移動して X 軸はもとの位置から角
 $GSG' = \varphi$ だけ回転する。 $\varphi = \gamma - \theta$ なので角 θ が判れ

ばよいが図形的に求められるのでここでは省略する。

図-3 (b)の各点の座標は式(16)で与えられる。

$$\begin{cases} x_0' = \sqrt{2c^2(c-t)^2 + 2bc(c-t)(b-t) + b^2(b-t)^2} / \\ 2(c+b-t) \\ X_0' = j \times \sin \theta \\ ex' = x_0' - X_0' \\ ey' = j \times \cos \theta \end{cases} \dots\dots\dots(16)$$

さらに $Jx', Jy', \rho_0^{2'}, \Phi_1', \Phi_2'$ が式(17)~式(21)で決まる。

$$Jx' = \left(b - \frac{t}{2}\right)^3 \left(\frac{\cos \theta}{2}\right)^2 t + \left(c - \frac{t}{2}\right)^3 \left(\frac{\sin \theta}{2}\right)^2 t + \frac{t}{12} \left(b - \frac{t}{2}\right)^3 \cos^3 \theta + \frac{t}{12} \left(c - \frac{t}{2}\right)^3 \sin^3 \theta \dots(17)$$

$$Jy' = \left(b - \frac{t}{2}\right) \left(x_0' - \frac{b}{2} \sin \theta\right)^2 t + \left(c - \frac{t}{2}\right) \left\{ \frac{1}{2} \left(c - \frac{t}{2}\right) \cos \theta - x_0' \right\}^2 t + \frac{t}{12} \left(b - \frac{t}{2}\right)^3 \sin^3 \theta + \frac{t}{12} \left(c - \frac{t}{2}\right)^3 \cos^3 \theta \dots\dots\dots(18)$$

$$A' = t \left(b - \frac{t}{2}\right) + t \left(c - \frac{t}{2}\right), \quad y_1 = \frac{x}{\tan \theta},$$

$$y_2 = x \tan \theta, \quad x_1 = \left(b - \frac{t}{2}\right) \sin \theta, \quad x_2 = \left(c - \frac{t}{2}\right) \cos \theta$$

を $\rho_0^{2'}$ の式に代入する。

$$\begin{aligned} \therefore \rho_0^{2'} &= \frac{1}{A'} \left\{ \int_0^{x_1} x^2 \left(1 + \frac{1}{\tan^2 \theta}\right) \frac{tdx}{\sin \theta} + \int_0^{x_2} x^2 (1 + \tan^2 \theta) \frac{tdx}{\cos \theta} \right\} \\ &= \frac{1}{A'} \left\{ \frac{t}{3 \sin \theta} \left(1 + \frac{1}{\tan^2 \theta}\right) x_1^3 + \frac{t}{3 \cos \theta} (1 + \tan^2 \theta) x_2^3 \right\} \dots\dots\dots(19) \end{aligned}$$

Φ_1', Φ_2' については

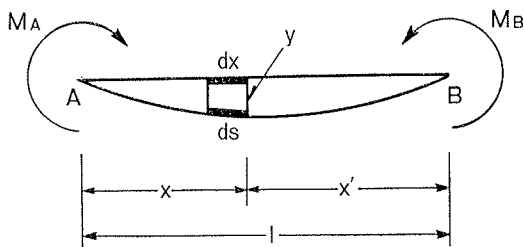
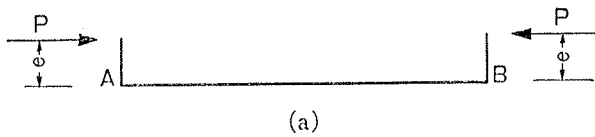


図-4

$$\begin{aligned} \Phi_1' &= \int_0^{x_1} x^3 \left(1 + \frac{1}{\tan^2 \theta}\right) \frac{tdx}{\sin \theta} + \int_0^{x_2} x^3 \left(1 + \tan^2 \theta\right) \frac{tdx}{\cos \theta} - x_0' \rho_0^{2'} A' \\ &= \frac{tx_1^4}{4 \sin \theta} \left(1 + \frac{1}{\tan^2 \theta}\right) + \frac{tx_2^4}{4 \cos \theta} (1 + \tan^2 \theta) - x_0' \rho_0^{2'} A' \dots\dots\dots(20) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_2' &= \int_0^{x_1} \frac{x^3}{\tan \theta} \left(1 + \frac{1}{\tan^2 \theta}\right) \frac{tdx}{\sin \theta} + \int_0^{x_2} x^3 \tan \theta (1 + \tan^2 \theta) \frac{tdx}{\cos \theta} \\ &= \frac{tx_1^4}{4 \sin \theta \cos \theta} \left(1 + \frac{1}{\tan^2 \theta}\right) + \frac{t \tan \theta \cdot x_2^4}{4 \cos \theta} (1 + \tan^2 \theta) \dots\dots\dots(21) \end{aligned}$$

式(17)~式(21)は微小な φ の変化が連続しても計算機で解くことが容易で、これらを式(12)に代入すれば荷重 P と l との関係が判る。結果は実験値と比較して後の章で示す。

3. 偏心圧縮を受ける材のたわみと軸方向変形

本章では一軸偏心材の横たわみとこれによる付加的な軸方向変形を弾性域内でのみ検討を加える。

3.1. 両端に曲げを受ける梁のたわみ

図-4 (a)の偏心 e をもつ圧縮応力 P は図-4 (b)の単純梁の両端に $M_A = M_B = P \cdot e$ が加わるのと同等である。

M_A による x 点のたわみを y_1 として

$$y_1 = \frac{M_A l^2}{6EI} \left\{ 2 - 3 \left(\frac{x}{l}\right) + \left(\frac{x}{l}\right)^2 \right\} \frac{x}{l} \dots\dots\dots(22)$$

M_B による x' 点のたわみを y_2 として

$$y_2 = \frac{M_B l^2}{6EI} \left\{ 2 - 3 \left(\frac{x'}{l}\right) + \left(\frac{x'}{l}\right)^2 \right\} \frac{x'}{l} \dots\dots\dots(23)$$

図-4 (b)より $x' = l - x$ となるので式(23)は

$$y_2 = \frac{M_B l^2}{6EI} \left\{ 2 - 3 \frac{l-x}{l} + \left(\frac{l-x}{l}\right)^2 \right\} \frac{l-x}{x} \dots\dots\dots(24)$$

$$y = y_1 + y_2, \quad M = M_A = M_B = P \cdot e$$

$$\therefore y = \frac{P \cdot e \cdot l^2}{2EI} \left(1 - \frac{x}{l}\right) \frac{x}{l} \dots\dots\dots(25)$$

中央部のたわみは $x = \frac{l}{2}$ において(25)式となる。

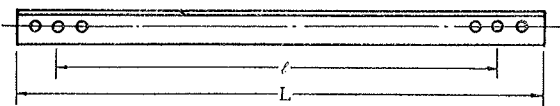
$$y_c = \frac{P \cdot e \cdot l^2}{8EI} \dots\dots\dots(26)$$

3.2. 梁のたわみによる材軸方向の付加ちぢみ

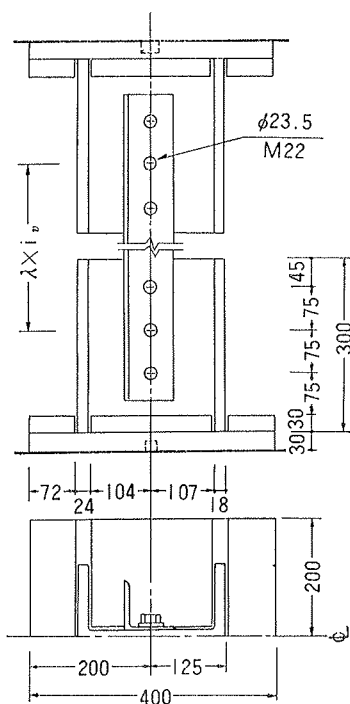
図-4 (b)の梁が Y 方向にたわまない場合の材軸方向の変形 dx は偏心曲げの生じた場合の変形 dS よりも小さい。今この差を $d\Delta$ とすると

$$d\Delta = dS - dx = dx \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} - dx \approx \frac{1}{2} \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 dx \dots\dots\dots(27)$$

部材名	λ	ℓ	L
75×75×6	30	44.1(cm)	68.1(cm)
" "	40	58.8	82.8
" "	50	73.5	97.5
65×65×6	30	38.1	59.1
" "	40	50.8	71.8
" "	50	63.5	84.5



表一 供試体寸法



図一五 荷重装置

$$\therefore \Delta = \frac{1}{2} \int_0^l \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 dx \quad \dots\dots\dots (28)$$

式(28)に(25)式の一回微分を代入して Δ を求める。

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Ml}{2EI} \left(1 - \frac{2x}{l} \right)$$

$$\therefore \Delta = \frac{1}{2} \int_0^l \frac{P^2 e^2 l^2}{4E^2 I^2} \left(1 - \frac{4x}{l} + \frac{4x^2}{l^2} \right) dx$$

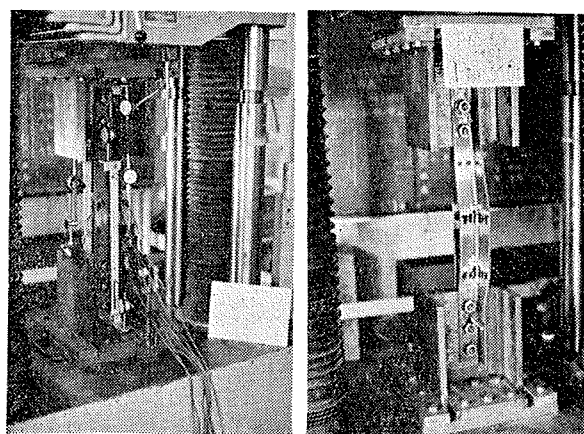
$$= \frac{P^2 e^2 l^3}{24E^2 I^2} \quad \dots\dots\dots (29)$$

y_c および Δ の実験値との比較も実験の章で行なう。

4. 山型鋼の圧縮実験

4.1. 実験のあらまし

開断面材とくに山型鋼の座屈実験は参考文献³⁾などの例もあり今回の実験の参考とした。肝要な点は供試体端部の固定条件および細長比の選択範囲であるが、本実験では端部を実情との対応ということから半固定的なジョイントを用いた。細長比も荷重装置の都合か



図一六

図一七

部材名	λ	実験値		計算値	
		P_Y	P_{max}	P_{cr}^*	P_{bt}^{**}
75シリーズ	50-1	49.0(t)	49.6(t)	52.4(t)	36.0(t)
	-2		43.1		
	40-1	47.0	47.5	53.5	38.0
	-2		49.1		
	30-1	50.0	51.3	54.6	40.0
-2		48.9			
65シリーズ	50-1	37.0(t)	38.0(t)	45.0(t)	31.0(t)
	-2	33.0	35.7		
	40-1	40.0	40.9	45.9	32.8
	-2	39.0	40.2		
	30-1	38.0	40.3	47.0	35.0
-2	38.0	38.3			

* tangent modulus theoryによる P_{cr}

** 解析の章でもとめた耐力

表一 供試体耐力 (ただしダブルで)

ら $\lambda=50$ までの短材のみを採用した。計測は、歪、変位の二項目で、あわせて光弾性計測も行なった。

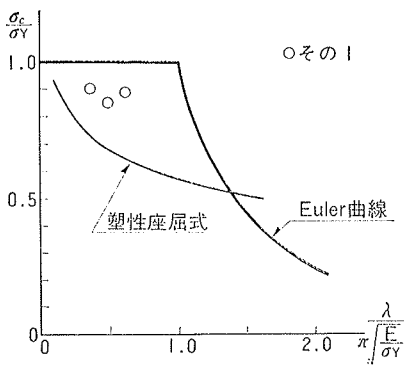
4.2. 供試体および荷重装置

供試体は75シリーズと65シリーズの2種類で細長比は $\lambda=30, 40, 50$ の3種類である。部材形状と寸法を表一に示す。鋼材はSS41材で素材試験より $\sigma_Y = 3.17t/cm^2$, $\epsilon_Y = 2,580 \times 10^{-6}$ の値となった。荷重試験機はアムスラー(200t)で、図一五に示す治具を使用して供試体をダブルでジョイントした。

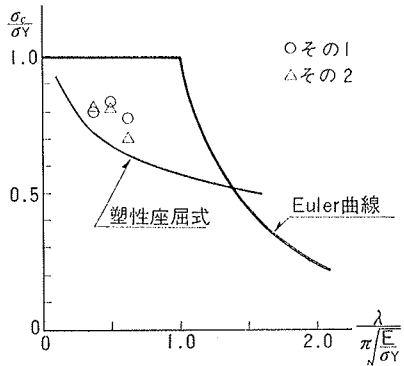
4.3. 測定の内容と方法

材軸方向歪を材中央部断面、四半分点断面について測定した。変位変形は治具間の見かけの軸方向変形と供試体の両端にボルトを植えてその間の距離の変化すなわち真の軸方向変形と、材中央隅角部の水平変位をD.G.により測定した。測定は2材共に行なった。なお各シリーズでその1は高力ボルト締付のトルク量が15~20kgm。その2で40kgmとなっている。図一六に測定状況を、図一七に供試体の座屈状態を示す。

4.4. 供試体耐力



(a) 75×75×6



(b) 65×65×6

図-8 解析と実験結果との比較

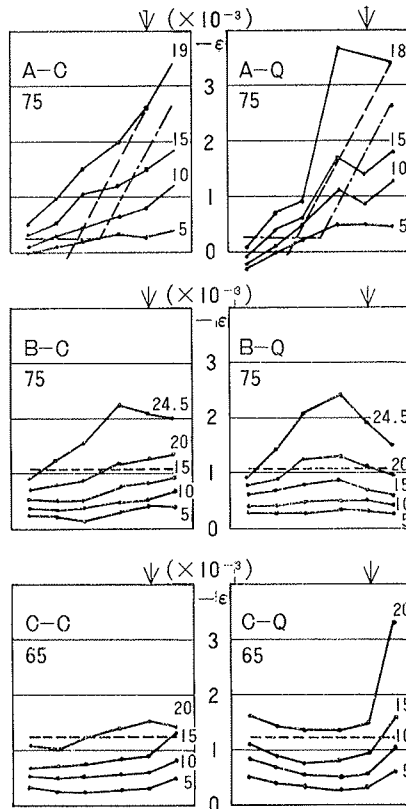


図-10 材軸方向歪変化の1例

75×75×6 その1 λ=50 材中央部

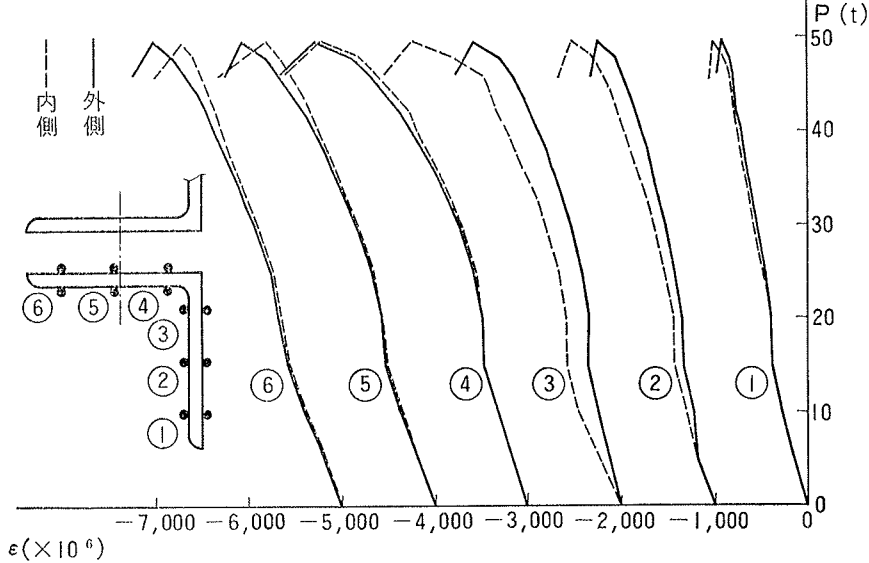


図-9 断面内歪変化の1例

供試体耐力を表-2に示す。実験値の内 P_Y は軸方向歪の急増する荷重点であり、 P_{max} は最大耐力である。計算値の内 P_{bt} は解析の章で求めた座屈耐力であり、 P_{cr} は tangent modulus theory による耐力値 ($\sigma_Y=3.17 \text{ t/cm}^2$, $\sigma_P=2.53 \text{ t/cm}^2$, $\nu=\frac{\sigma_P}{\sigma_Y}=0.8$) である。図-8がグラフでの比較である。本実験の固定条件は端部の拘束の存在から理想的なものではなく真の材長も多少短くなることを考慮に入れば解析値と

部材名	λ 場所		30		40		50	
	C*	Q**	C	Q	C	Q	C	Q
75×75×6 その1	C	C	B	B	B	B	B	B
その2	A	A	A	A	A	A	A	A
65×65×6 その1	A	C	C	C	A	C	A	C
その2	A	A	A	C	C	C	B	B

* 部材中央部
** 部材四半分点

表-3 軸方向歪分布形状の種類分け

実験値は比較的良好な対応を示すが今後実験値を多くして比較の範囲を広げたい。

4.5. 供試体歪

図-9に軸方向歪分布の一例を示す。順調な歪変化の乱れから座屈の始まりが分る。図-10は載荷時の材中央部(C)と四半分点(Q)の断面での歪分布の変化の3例を示す。A型(2軸偏心), B型(中央部応力集中), C型(応力一様)と区分し全供試体の分類を表-3に示す。A型が半分を占め、その2では大部分がA型である。解析の章での歪分布の仮定はA型であり、A-C, A-Q図中に破線で示す。ダブル材をT型の単材と考えた歪分布を同図に一点鎖線で示す。A型は両者の中間的な挙動をとる様子が示される。

4.6. 供試体変形

図-11に単材軸方向変形の1例を示す。実線と破線で2部材のおのおのを示す。一点鎖線は一樣圧縮による変形の計算値である。解析の章での偏心による付加変形は本例では一樣圧縮の1パーセントにも及ばずグラフにのらなかつた。

低荷重からの剛性低下は偏心荷重による材の曲率に塑性の影響を考慮する必要を示すものと考えられる。図-12には材中央部の水平変位の1例を示す。一点鎖線で示した解析値と比較して勾配の絶対値は一致するが符号が合わない。たわみよりねじれの影響が大き過ぎたためと思われる。図-13には見かけの軸方向変形と真の軸方向変形との差を示す。荷重 15~20 t まで高力ボルトの摩擦力が働らいて付加変形は発生しない

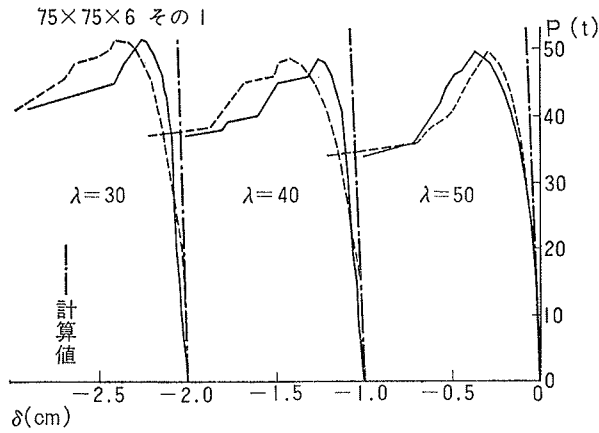


図-11 供試体軸方向変形の1例

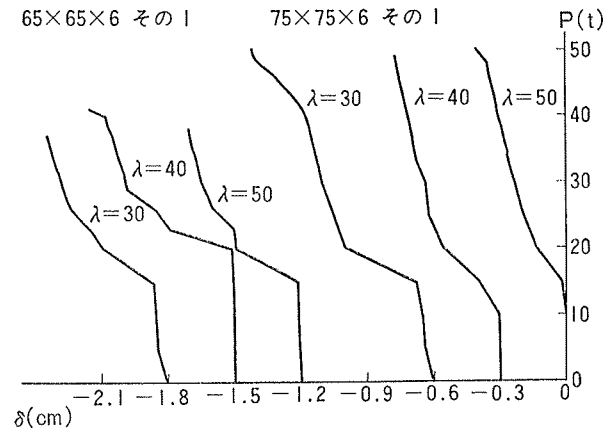


図-13 供試体の付加的要素による変形

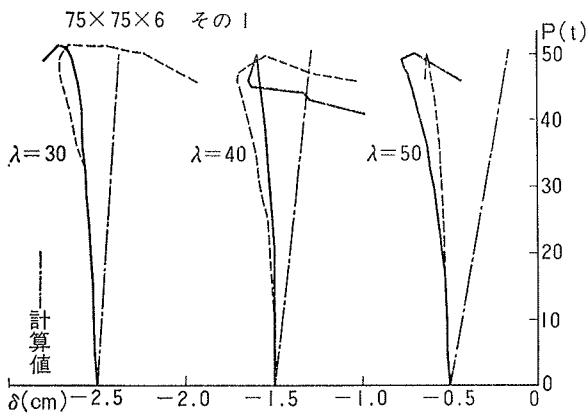


図-12 供試体の水平たわみの1例

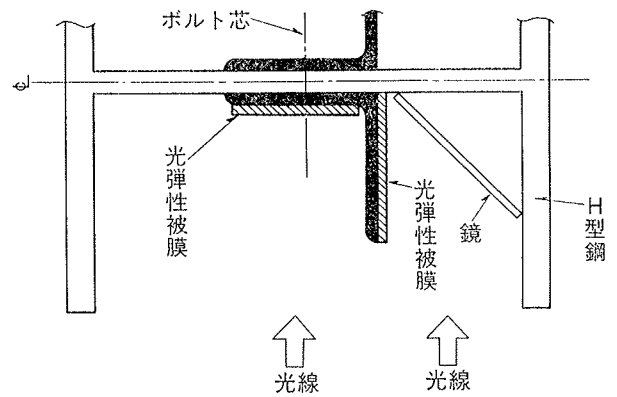


図-14 光弾性実験の概略

が、その後すべりが生じて変形が大巾に進み、つぎにボルト孔の変形が進み、見かけの剛性は平均値で $5.30 \times 10^2 \text{ t/cm}^2$ となり剛性の低下に寄与している。この局部変形の影響が載荷頭初から発生していれば架構の剛性への影響も重大であろう。

4.7. 光弾性実験

山型鋼の歪分布を視察するために図-14に示す方法で反射法による光弾性実験を行なった。光源からの偏光光線に平行なアングル面の歪分布は鏡を使用して見ることとした。図-15はその1例(65x65x6, $\lambda=50$)である。ボルトのある板面のしまの数が、他の面よりもはるかに多いこと、ボルト付近の局部歪が著しく大きいことがうかがわれる。しまの分布は歪測定値とも対応するし解析の裏付けとなろう。

5. 結び

今回の解析、実験を通じて次のことが言えよう。

(1) 山型鋼などの開断面材では材断面重心と荷重心が一致しない場合には、歪分布、光弾性しまにも示されるように偏心応力分布状態が発生する。

(2) 偏心応力が加わる山型鋼では、断面が一様な許容範囲の応力を受けると考えても実際には一部分で降

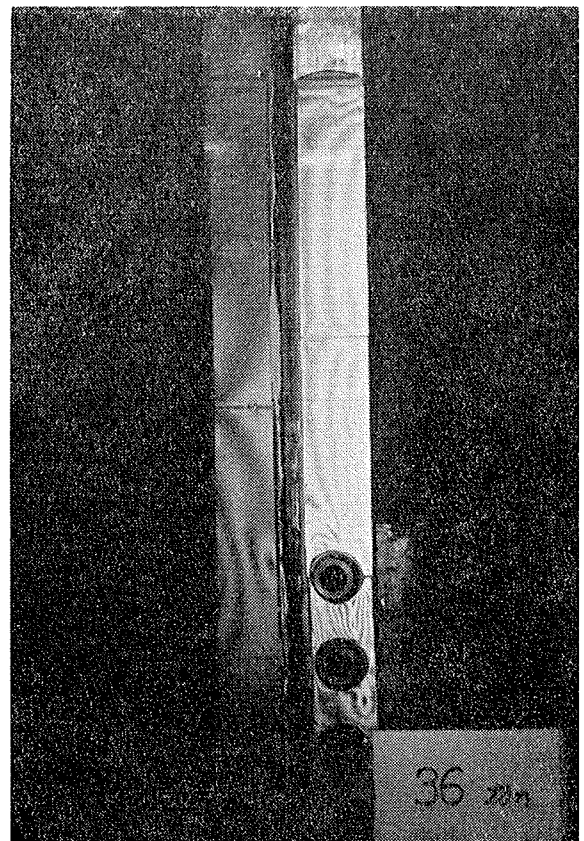


図-15

伏応力を越える応力状態になる場合があり、この状態での曲げ、ねじり、圧縮を受ける材のつり合いが考えられる。

(3) 材断面の一部の塑性化は、材軸方向の剛性低下に影響を及ぼすものと考えられる。

(4) リベット、ボルト接合で、接合がゆるい事態が生じれば接合部周辺の応力集中が発生し軸方向剛性にも影響が大きい。

(5) 以上の理由で、立体架構の構成部材がおのおのの偏心応力を受け局部応力集中をも受けて変形するならば、架構の耐力、変形剛性も十分注意する必要があるだろう。

参考文献

- 1) 山口恒雄他「亀甲状立体トラストに関する研究」大林組技術研究所報 第1号
- 2) 仲威雄, 加藤勉「単一材の座屈」東京大学出版会
- 3) 横尾義貫, 若林実, 野中泰二郎「単一山型鋼の座屈耐力に関する実験的研究」日本建築学会論文報告集第100号