

長期応力を受ける角形鋼管柱－H形鋼梁のノンスチフナ 接合部の局部耐力・剛性に関する実験的研究

三谷 勲・有馬 冬樹・倉橋 孝裕・川添 敦也*

(受理 平成8年5月31日)

Local Strength and Rigidity of Square-Tube-Columns to H-shaped Steel Beam Connections without a Stiffener under Vertical Loading

Isao MITANI, Fuyuki ARIMA, Takahiro KURAHASHI and Atsuya KAWASOE

This paper describes the experimental study on the local strength and the rigidity of the unstiffened steel beam-to-column connection under vertical loading conditions simulating long-term-load effects. The beam flanges of the connection are directly connected to a square-tube-column so that the longitudinal direction of the beams coincides with the diagonal of the column cross section. In this unstiffened connection, a great deal of force can be transmitted in the plane of the column flange although the column flange is subjected to out-of-plane bending.

In order to investigate the local strength and the rigidity of the connection subjected to vertical load from beam flanges, 54 specimens were tested under monotonic tensile and compressive loading along the beam flange. Each specimen is classified in three groups according to the existence of cross beam flanges and the loading condition of the cross beam flanges: i) Plane-frame connection in-plane frame, ii) Interior connection under in-plane loading, iii) Interior connection subjected to beam-force from two beams being orthogonal to each other. The main test variables in each group are the ratio of beam-flange width to column depth, and the width-to-thickness ratio of the column tube wall.

Based on the test results, the formulae for the prediction of the yield strength and rigidity of the connection are presented under the concept of effective column width.

序

日本における鋼構造建築物の柱－梁接合部は剛に設計されることが多く、一般に、柱－梁接合部はダイアフラム等により補強される。ダイアフラムは接合部の剛性を高めるだけでなく、梁から柱への応力伝達をより効果的にする。ダイアフラムの代表的な形式は、内ダイアフラム、外ダイアフラムおよび通しダイアフラム形式である。

内ダイアフラム形式の接合部に関しては、伴、今井が耐力推定式を提案している¹⁾。外ダイアフラム形式

の場合に関しては、田淵、金谷が局部耐力推定式を提案し^{2), 3)}、水平力作用時の接合部の耐力評価法について検討している⁴⁾。森田らは、内ダイアフラムおよび外ダイアフラム形式の耐力が、無補強接合部の耐力とダイアフラムの耐力の和で推定できるとしている⁵⁾。通しダイアフラム形式の接合部に関しては、立山、井上らが角形鋼管柱に接続される場合の合成梁およびH形鋼梁の曲げ耐力の計算式を降伏線理論により誘導し、同接合部の加力実験結果との比較、検討を行っている⁶⁾。

しかしながら、内ダイアフラム形式の場合では、鋼

管内部にダイアフラムを溶接する必要がある、通しダイアフラム形式の場合では、鋼管を切断する必要がある、いずれの場合も施工上の工程の増加および困難さを伴う。また、外ダイアフラム形式の場合では、ダイアフラムのサイズが大きくなる傾向があり、意匠設計上の自由度を阻害する。さらに、いずれの形式においても、梁せいが異なる場合には、段差が小さい場合あるいは柱の管厚が大きい場合を除き、接合部のせん断強度は、梁せいが等しい場合に比べ低下するので、ハンチを設けるか各梁下フランジにダイアフラムを設ける必要がある、施工工程が増加する⁷⁾。

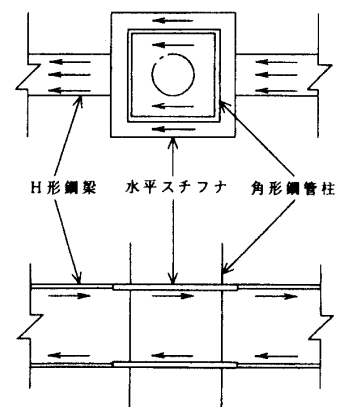
近年、剛接合として用いるダイアフラム形式の接合部に代わり、施工の簡略化を主目的として、ダイアフラムを省略した接合部に関する研究が行われるようになってきた。益尾らは、降伏線理論により、スプリットティー形式の柱梁接合部の終局耐力を評価し、同形式の接合部部分の単調引張、圧縮実験および十字形接合部の逆対称加力実験結果との比較、検討を行い、さらに通しダイアフラム形式十字形接合部試験体の場合の挙動との比較を行っている⁸⁾。金谷、田淵らは、スプリットティーを介してH形鋼梁が接合された、補強アングルを有する角形鋼管柱-梁接合部の引張および圧縮載荷実験を行い、鋼管幅厚比等が同接合部の剛性、耐力等に与える影響について調べている^{9)~11)}。千田らは、スプリットティー形式の柱梁接合部のせん断実験を行い、座屈解析および極限解析により降伏耐力の評価式を導きだし、接合部全体の降伏耐力は、圧縮側と引張側のスプリットティー接合部およびウェブ接合部耐力の和で評価できるとしている¹²⁾。森田らは、箱形断面柱-合成梁無補強接合部の耐震性能に関して実験的に調べている¹³⁾。村上ら¹⁴⁾、上場ら¹⁵⁾、¹⁶⁾は、それぞれ角形鋼管柱、円形鋼管柱について、ダイアフラムを用いずに柱の仕口部分の板厚を増すことにより接合部を補強する、増厚補強形式による半剛接合構造の設計法を提案している。森田らは、無補強の円形鋼管柱・梁接合部について、梁フランジに対する一方向および二方向加力実験を行い、直交梁、充填コンクリートの有無が接合部の剛性、耐力に与える影響を実験的に調べている¹⁷⁾。

角形鋼管壁に補強を施さない接合部の研究は鋼管トラスに関して行われている。金谷、田淵らは、主管鋼管と支管の断面をパラメータとした詳細な実験を行い、破壊形式とパラメータの関係を明らかにし¹⁸⁾、¹⁹⁾、角形鋼管分岐継手の局部耐力推定式を提案してい

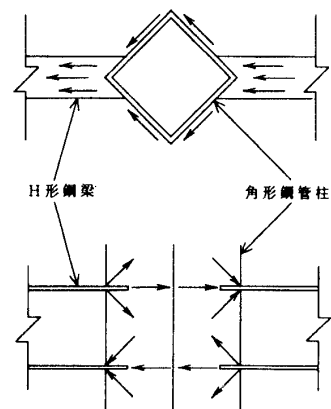
る²⁰⁾。

小野らは、図1に示すような、角形鋼管トラスの弦材およびラチス材ともに断面軸回りに通常の使用形態より45度回転した接合法(Y型接合法)を用いた角形鋼管トラス接合部のT型分岐継手²¹⁾、K型分岐継手²²⁾に関して、形状パラメータを系統的に変化させた加力実験を行い、同接合部が、従来型の鋼管接合部よりも耐力、剛性において上回り、十分な塑性変形能力を有することを明らかにしており、さらに、剛接合立体トラスあるいは格子梁の継手を想定した、面内曲げを受けるY型接合部を有するT型分岐継手に関しても加力実験を行い、同接合部の力学的有効性を明らかにしている²³⁾。

また、小野らは、角形鋼管の隅角部が最外縁となる、断面主軸に対して45度をなす方向からの加力実験(単純梁の中央集中載荷形式)を行い、断面主軸の方



(a) 従来型



(b) ノンスチフナ型

図1 力の流れ

向からの加力実験結果との比較を行い、両者の最大耐力がほぼ同程度であること、45度方向加力は、局部座屈に対して優れ、局部座屈後の耐力低下が小さいことを報告している²⁴⁾。伊藤らは、45度方向入力を想定した角形鋼管接合部パネルについて、柱軸力比、パネル高さを変化させた場合の接合部耐力をFEM解析によって求め、0度方向（構面方向）入力時の角形鋼管接合部および円形鋼管接合部の場合の解析結果との比較を行っている²⁵⁾。

本研究は、小野らにより提案されたY型接合角形鋼管トラスの概念を剛接合部を有する鋼構造建築物における柱-梁接合部に応用するもので、梁材軸方向と鋼管断面の対角線方向を一致させ、スチフナを用いない接合部（以下、ノンスチフナ接合部）の剛性・強度を実験的に明らかにすることを研究目的としている。本論文では、H形鋼梁フランジ部分に相当する鋼プレートが溶接された角形鋼管柱-梁ノンスチフナ接合部の単調引張および圧縮実験を行い、本接合部の長期応力に対する局部耐力・剛性を調べ、実験結果について検討を行う。なお、本論文の概要は文献26)～30)に発表した。

2. 実験

2.1 試験体

試験体の形状寸法を図2(a)～(c)に示す。試験体は、図3に示すように、長期応力を受ける角形鋼管柱-H形鋼梁のノンスチフナ接合部の、平面あるいは立体骨組中の梁フランジ部と角形鋼管柱との溶接部分付近を取り出したものである。

角形鋼管に接合している2枚（試験体名末尾A）、および4枚（試験体名末尾BおよびC）のフランジプレート（厚さ9mm）はH形鋼梁フランジに相当する。フランジプレートは鋼管に隅肉溶接されており、加力治具を取り付けるための孔（17φ）が設けられている。本論文において、加力方向に直交する方向に溶接されたフランジプレートを、以後、直交梁フランジと呼称する。

実験変数を表1に示す。実験変数は、載荷方法（引張、圧縮）、鋼管幅（ $D=125$ および 150 mm）、鋼管厚（ $t=6.0, 4.5$ および 3.2 mm）、鋼管断面コンクリート充填の有無、梁フランジ幅と鋼管断面对角線長さとの比（ $10 \cdot B / \sqrt{2} \cdot D=3, 4$ および 5 、 B ：梁フランジ幅）、直交梁フランジの有無、直交梁拘束の有無である。試験体は直交梁を有しないもの36体、直交梁を有する

もの18体、総計54体である。実験は大別して以下の3つのシリーズに分けられる。

Aシリーズ：直交梁を有しない試験体

Bシリーズ：無拘束直交梁を有する試験体

Cシリーズ：拘束直交梁を有する試験体

Aシリーズは、引張および圧縮載荷実験を行っているが、BおよびCシリーズは、圧縮載荷実験のみである。

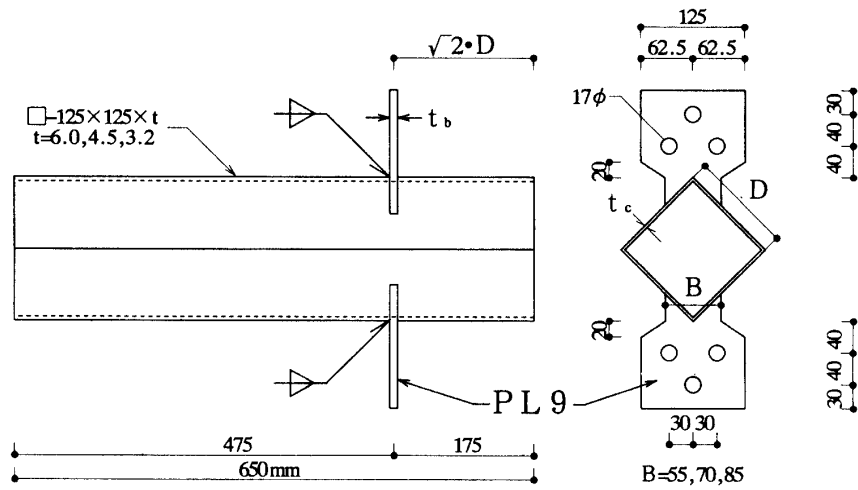
試験体名と実験変数の関係を表1に示す。

角形鋼管およびフランジプレートの材質はそれぞれSTKR400 および SS400 である。鋼管壁平板部の材軸方向強度を引張試験により求めた。直交梁を有しない試験体（Aシリーズ）では、鋼管壁部の材軸方向の他に直交方向、および隅角部の材軸方向強度を求めた。引張試験結果を表2に、試験片採出位置を図4に示す。各試験片は明確な降伏棚を示さなかったため、引張試験片の永久ひずみが0.2%になるときの応力度を降伏応力度とした。鋼管コーナー部分の引張試験片では、曲率をもっており、断面積を直接測定することは困難であるため、引張試験終了後、試験片の重量を測定し、間接的に断面積を求めた。梁フランジプレートの材料試験は、直交梁を有する試験体についてのみ行っており、降伏応力度 σ_y および引張応力度 σ_u は、それぞれ3.06 および 4.57 tf/cm²である。また、コンクリートを充填した試験体に用いたコンクリートの圧縮強度は251 kgf/cm²である。

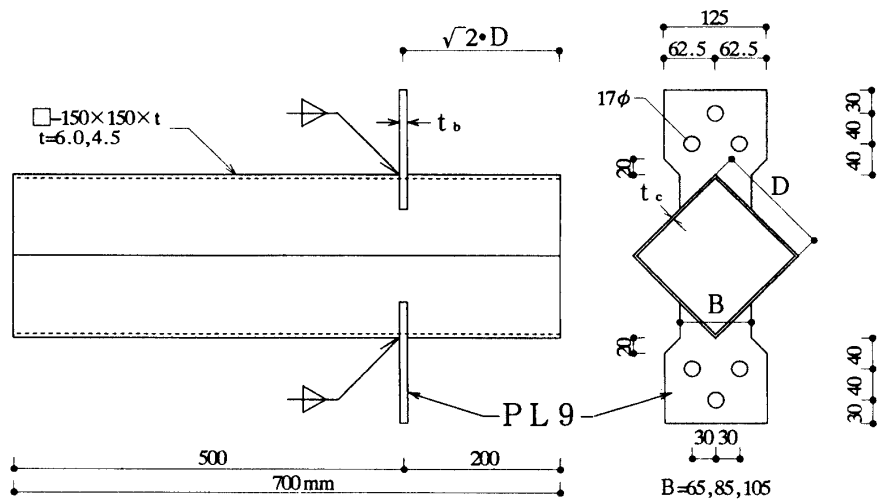
2.2 加力方法

引張および圧縮試験の加力方法を図5(a)および(b)に示す。引張載荷実験では、鉄筋の引張試験と同様の形式で加力できる引張加力治具を、圧縮載荷実験では、コンクリートの圧縮試験と同様の形式で平押しができる圧縮加力治具を、梁フランジプレートに3本のハイテンションボルトで接合し、載荷した。載荷には100 tfのアムスラー試験機を用いて、角形鋼管断面の鉛直対角線方向に単調引張力、および単調圧縮力を加えた。また載荷の際、角形鋼管両端部において断面の変形を拘束しないと、実際の構造物中の柱-梁接合部とは、異なる挙動を示すと考えられるため、材端拘束治具を、引張載荷では鋼管の外側から、圧縮載荷では鋼管の内側から取り付けした。ただし、コンクリートを充填した試験体では、コンクリートが鋼管両端部を十分に拘束すると考えられたため、材端拘束治具を取り付けなかった。

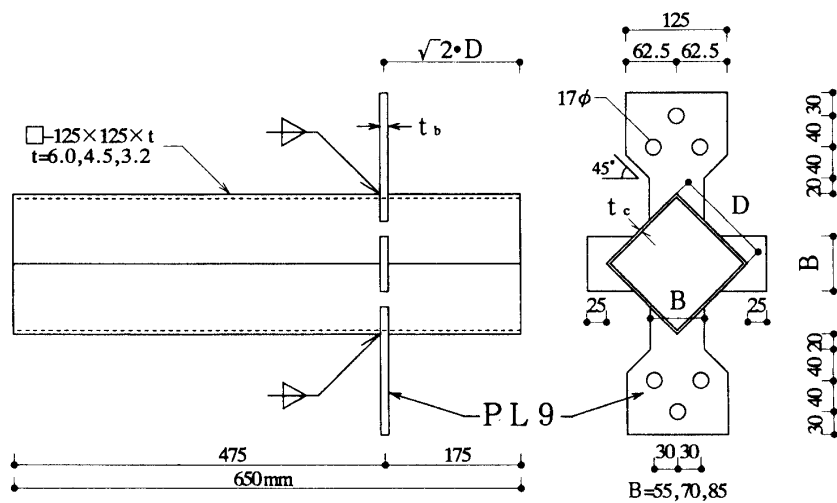
また、直交梁を拘束する試験体では、直交梁拘束治



(a) 鋼管幅 125 mm で直交梁を有しない試験体



(b) 鋼管幅150mmで直交梁を有しない試験体



(c) 直交梁を有する試験体

図2 試験体の形状寸法

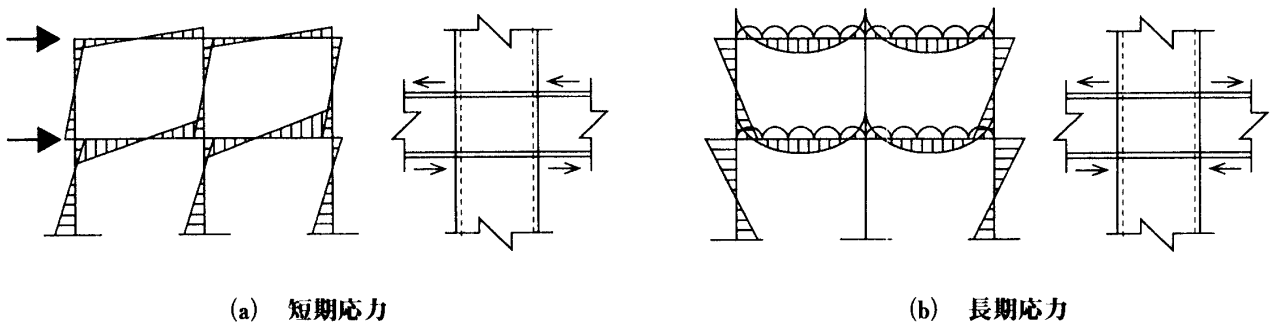


図3 曲げモーメント図

表1 実験変数

(a) 引張荷重試験体

試験体名	角形鋼管形状	鋼管内部	載荷形式	梁フランジ幅	直交梁
T-A6N-5A	□-125×125×6.0	中空	引張	85mm	無
T-A6N-4A				70mm	
T-A6N-3A				55mm	
T-A4N-5A	□-125×125×4.5			85mm	
T-A4N-4A				70mm	
T-A4N-3A				55mm	
T-A3N-5A	□-125×125×3.2			85mm	
T-A3N-4A				70mm	
T-A3N-3A				55mm	
T-B6N-5A	□-150×150×6.0	中空	引張	105mm	無
T-B6N-4A				85mm	
T-B6N-3A				65mm	
T-B4N-5A	□-150×150×4.5			105mm	
T-B4N-4A				85mm	
T-B4N-3A				65mm	
T-B6F-5A	□-150×150×6.0	コンクリート	引張	105mm	無
T-B6F-4A				85mm	
T-B6F-3A				65mm	
T-B4F-5A	□-150×150×4.5			105mm	
T-B4F-4A				85mm	
T-B4F-3A				65mm	

(b) 圧縮荷重試験体

試験体名	角形鋼管形状	鋼管内部	載荷形式	梁フランジ幅	直交梁	拘束
C-A6N-5A	□-125×125×6.0	中空	圧縮	85mm	無	無
C-A6N-4A				70mm		
C-A6N-3A				55mm		
C-A4N-5A	□-125×125×4.5			85mm		
C-A4N-4A				70mm		
C-A4N-3A				55mm		
C-A3N-5A	□-125×125×3.2			85mm		
C-A3N-4A				70mm		
C-A3N-3A				55mm		
C-B6N-5A	□-150×150×6.0	中空	圧縮	105mm	有	有
C-B6N-4A				85mm		
C-B6N-3A				65mm		
C-B4N-5A	□-150×150×4.5			105mm		
C-B4N-4A				85mm		
C-B4N-3A				65mm		
C-A6N-5B	□-125×125×6.0	中空	圧縮	85mm	有	有
C-A6N-4B				70mm		
C-A6N-3B				55mm		
C-A4N-5B	□-125×125×4.5			85mm		
C-A4N-4B				70mm		
C-A4N-3B				55mm		
C-A3N-5B	□-125×125×3.2			85mm		
C-A3N-4B				70mm		
C-A3N-3B				55mm		
C-A6N-5C	□-125×125×6.0	中空	圧縮	85mm	有	有
C-A6N-4C				70mm		
C-A6N-3C				55mm		
C-A4N-5C	□-125×125×4.5			85mm		
C-A4N-4C				70mm		
C-A4N-3C				55mm		
C-A3N-5C	□-125×125×3.2			85mm		
C-A3N-4C				70mm		
C-A3N-3C				55mm		

試験体名 □-□□□-□□

- A: 直交梁フランジなし
- B: 直交梁フランジあり・梁拘束なし
- C: 直交梁フランジあり・梁拘束あり
- 3, 4, 5 は $10 \cdot B / (\sqrt{2} \cdot D)$ の概数
- N: 鋼管断面中空, F: 同コンクリート充填
- t : 鋼管板厚, 6: 6.0 mm, 4: 4.5 mm, 3: 3.2 mm
- A: □-125×125× t , B: □-150×150× t
- C: 圧縮荷重, T: 引張荷重

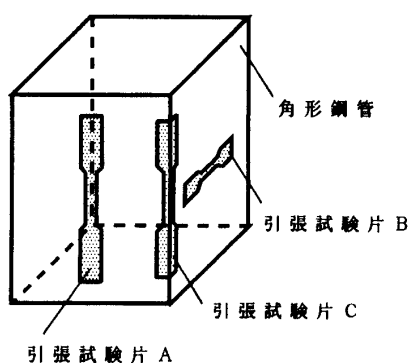
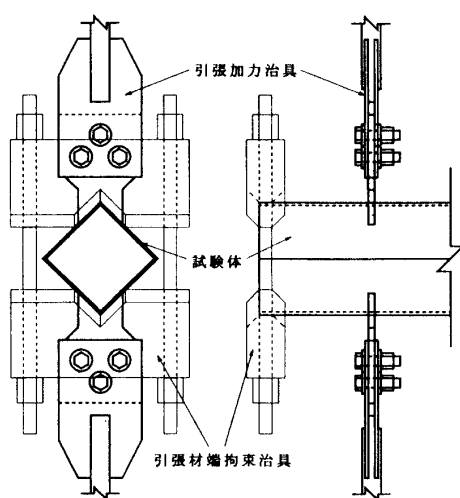
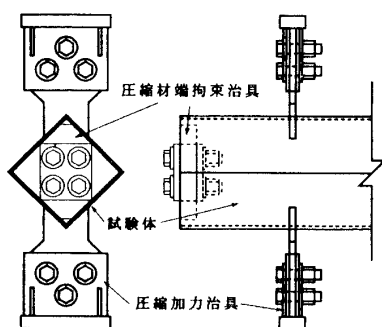


図4 試験片採出位置



(a) 引張荷重



(b) 圧縮荷重

図5 加力方法

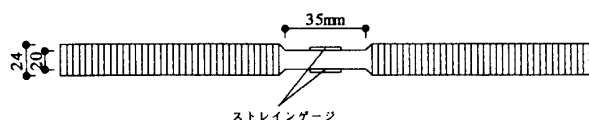


図6 PC鋼棒の形状寸法

表2 引張試験結果

鋼材	採出位置	σ_y (tf/cm ²)	σ_u (tf/cm ²)	使用試験体
□-125×125×6.0	A	4.01	4.60	□-A□□-□Aシリーズ (直交梁なし)
	B	3.65	4.43	
	C	4.19	4.68	
□-125×125×4.5	A	4.37	4.92	
	B	3.88	4.81	
	C			
□-125×125×3.2	A	3.22	4.05	
	B	2.79	4.17	
	C	3.37	4.16	
□-150×150×6.0	A	3.83	4.56	□-B□□-□Aシリーズ (直交梁なし)
	B	3.39	4.50	
	C	4.02	4.57	
□-150×150×4.5	A	4.11	4.68	
	B	3.70	4.65	
	C	4.48	4.74	
□-125×125×6.0	A	4.43	4.88	
□-125×125×4.5	A	4.67	5.14	
□-125×125×3.2	A	4.14	4.86	

注) A : 材軸方向引張試験

B : 材軸直交方向引張試験

C : 角形鋼管コーナー部分材軸方向引張試験

 σ_y : 降伏応力度 σ_u : 引張強度

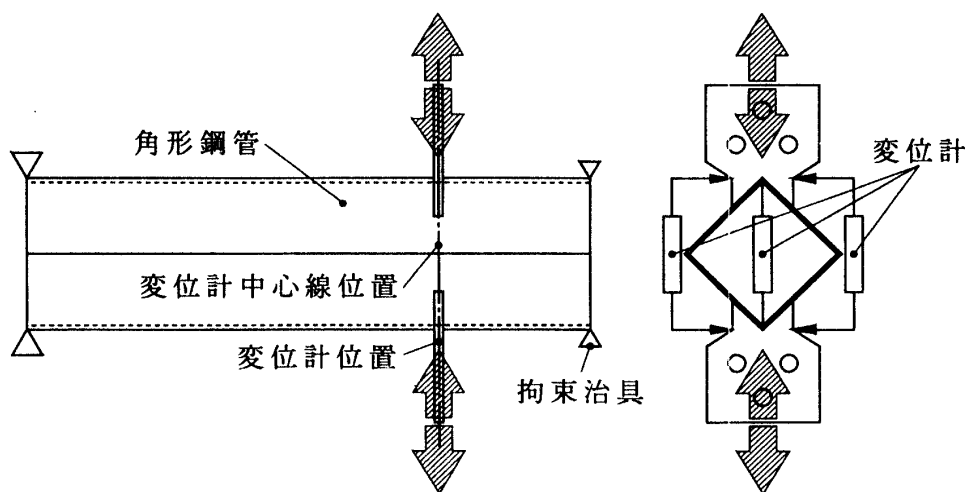
表3 PC鋼棒の材料特性

ボルト名	ボルト径(mm)	断面積(mm ²)	$P_r/\epsilon (\times 10^{-3} \text{tf}/\mu)$
ボルト1	24.125	322.41	6.496
ボルト2	24.102	316.47	6.288
ボルト3	23.947	319.30	6.284
ボルト4	24.118	319.21	6.246

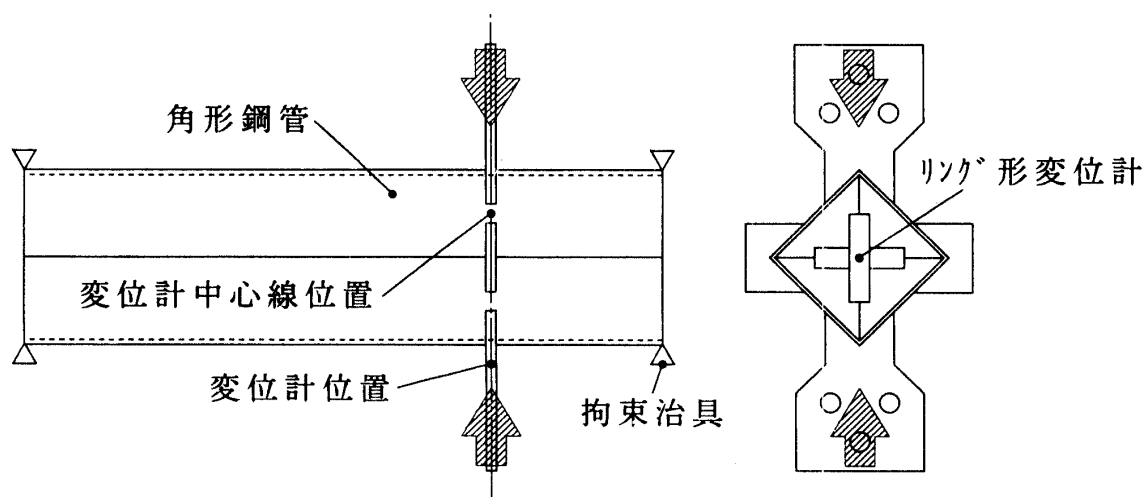
具を介して直径 24 mm の PC 鋼棒 (4 本) を用い、直交梁フランジ方向の変形を拘束した。拘束に用いた PC 鋼棒の形状寸法を図 6 に示す。PC 鋼棒の中央部分を直径 20 mm に切削し、その部分に表裏 2 枚のストレインゲージを貼付し、軸力測定用とした。実験に先立ち、軸力-ひずみ関係 ($N=K \cdot \epsilon$; N : 軸力, K : 軸剛性, ϵ : ひずみ) を調べた。各鋼棒の軸方向力-ひずみ関係を表 3 に示す。試験体の直交梁フランジにかかる軸力は、4 本の PC 鋼棒のひずみより求められる軸力の総和で与えられる。

2.3 測定方法

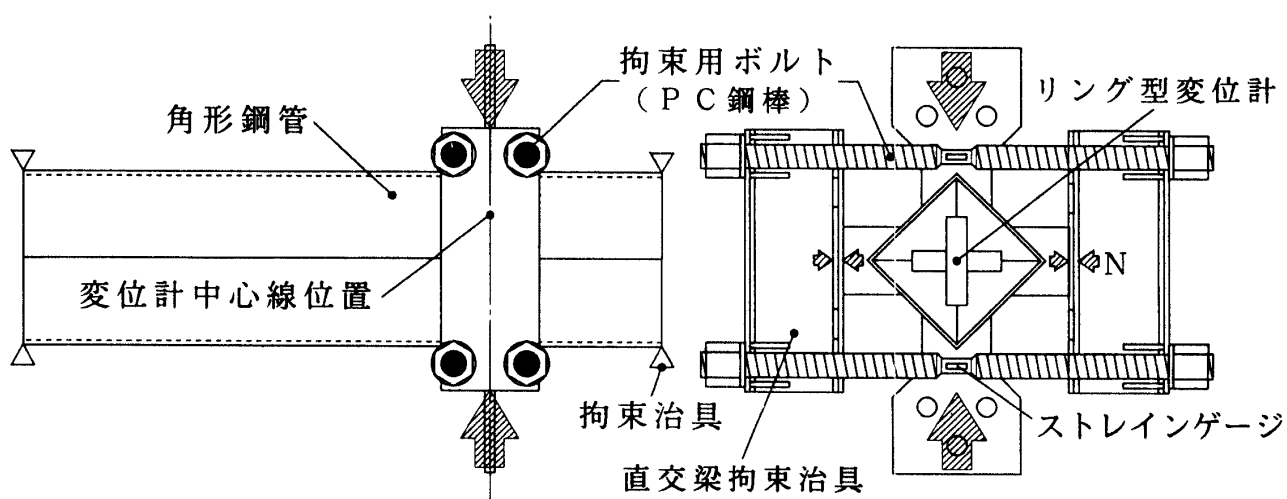
変形測定位置を図 7 (a) ~ (c) に示す。同図 (a) は、直交梁を有しない試験体 (A シリーズ) の場合であり、鋼管の内側 (PL9 溶接部) にリング型変位計と外側に 2 台のストローク型変位計を用い、荷重方向の変形を測定した。ただし、コンクリートを充填した試験体



(a) 直交梁を有しない試験体 (Aシリーズ)



(b) 無拘束直交梁を有する試験体 (Bシリーズ)



(c) 拘束直交梁を有する試験体 (Cシリーズ)

図7 変形測定位置

では、鋼管内部に変位計が取り付けられないため、外側の2台の変位計のみによって荷重方向の変形を測定した。同図(b), (c)はそれぞれ無拘束直交梁を有する試験体(Bシリーズ), 拘束直交梁を有する試験体(Cシリーズ)の変形測定位置を示す。鋼管の内側(PL9溶接部)にリング型変位計を用い、荷重方向とその直交方向の変形を測定した。すべての実験において、変位計の容量の関係から、荷重方向への角形鋼管の変形が約20 mmに達したとき、または試験体の耐力が急激に低下したときに除荷し、実験を終了した。

フランジ部応力の広がり、柱鋼管壁の曲げなどを調べる目的でストレインゲージを梁フランジ部とその近傍の柱鋼管フランジ部に貼付し、試験体各部のひずみを測定した。各シリーズのストレインゲージ貼付位置を図8(a)~(c)に示す。

3. 実験結果

3.1 荷重-荷重方向変形関係

荷重(P)-荷重方向変形(Δ_p)関係を図9(a)~(g)に示す。図の縦軸 P は荷重であり、横軸 Δ_p は鋼管外側に設けた2台の変位計、あるいは鋼管内部に設置された変位計により測定された荷重方向の変形である。前者の場合、変形を2台の変位計の平均値により求めた。リング型変位計による Δ_p と、鋼管の外側に設置した2個の変位計による平均値 Δ_p の間には、フランジプレートの変形が小さかったため、大きな差は見られなかった。圧縮荷重実験の一部の試験体において、実験曲線の初期の部分で滑らかな曲線を描いていないが、これは材端拘束治具と鋼管との間に生じた不可避免的な隙間に起因するものと考えられる。ほとんどの試験体は十分に塑性変形しているが、拘束直交梁を有する(Cシリーズ)一部の試験体は、鋼管が十分に塑性変形する前に、梁フランジ部が座屈した。

実験結果を表4, 表5の(a)および(b)に示す。表4は引張荷重試験体について、表5は圧縮荷重試験体について示す。各表(a)は耐力について、(b)は初期剛性について示している。表中、 cP_m および tP_m は実験最大耐力、 cR および tR は初期剛性($P-\Delta_p$ 関係における実験最大耐力の1/4の時の P/Δ_p の値により定義)、 cP_y および tP_y は永久ひずみ(加力方向変位に基づく換算ひずみ)が0.5%になるときの荷重を降伏荷重としたときの耐力である(図10参照)。また、各表(a)および(b)の基1の欄は、各シリーズ内の管径、鋼管厚および鋼管断面が等しい試験体の降

伏耐力および初期剛性を梁フランジ幅が55 mmの場合の値で基準化したものであり、この増加率は梁フランジ幅による影響を示している。各表(a)および(b)の基2の欄は、各シリーズ内の管径、梁フランジ幅および鋼管断面が等しい試験体の降伏耐力および初期剛性を鋼管厚6.0 mmの場合の値で基準化したものであり、この増加率は鋼管厚による影響を示している。

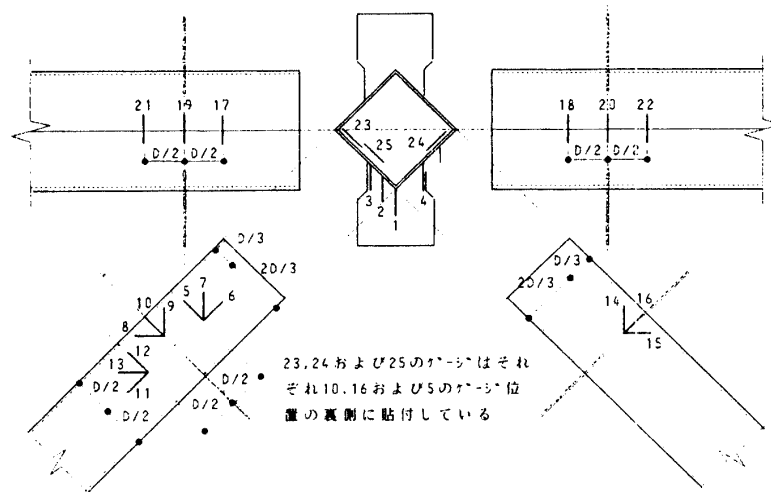
また、それらの増加率と幅厚比の関係を図11~14の(a)および(b)に示す。各図(a)は引張荷重実験結果について、(b)は圧縮荷重実験結果について示す。図11および図12は降伏耐力に関するものであり、図13および図14は初期剛性に関するものである。図11および図13の縦軸は増加率を、横軸 B/t_f は梁フランジプレートの幅厚比を示し、管径および管厚の等しい試験体を実線で結んでいる。図12および図14の縦軸は増加率を、横軸 D/t_c は鋼管の幅厚比を示し、管径および梁フランジ幅の等しい試験体を実線で結んでいる。

a) 引張荷重試験体

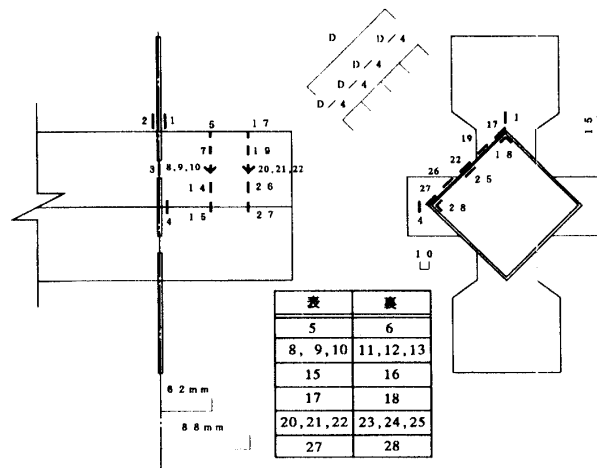
引張荷重実験はAシリーズのみ行っている。図9(a)~(c)に引張荷重試験体の $P-\Delta_p$ 関係を示す。同図(a)は鋼管断面中空で、鋼管幅125 mmの試験体(T-A□N-□A)を、(b)は鋼管断面中空で、鋼管幅150 mmの試験体(T-B□N-□A)を、(c)はコンクリート充填管で、鋼管幅150 mmの試験体(T-B□F-□A)を示している。最大耐力に達するまで荷重は徐々に上昇し、溶接部分における破断、または鋼管に生じた亀裂によって最大耐力に達した。コンクリートを充填した試験体では加力の初期段階で溶接部分に亀裂が生じたため、鋼管に大きな変形を与えることができなかった。 $P-\Delta_p$ 関係が直線的に立ち上がっていないため、表4(b)中の試験体T-A6N-5Aに関して初期剛性が極端に低くなった。

鋼管断面中空の試験体(T-A□N-□A, T-B□N-□A)では、表4(a)および(b)の基1の欄より、梁フランジ幅による影響は、降伏耐力に関して2~17%、初期剛性に関して5~25%であることが分かる。同表(a)および(b)の基2の欄より、鋼管厚による影響は、降伏耐力に関して26~65%、初期剛性に関して14~73%であることが分かる。従って、降伏耐力および初期剛性に与える影響は、鋼管厚によるものの方が梁フランジ幅によるものより大きい。

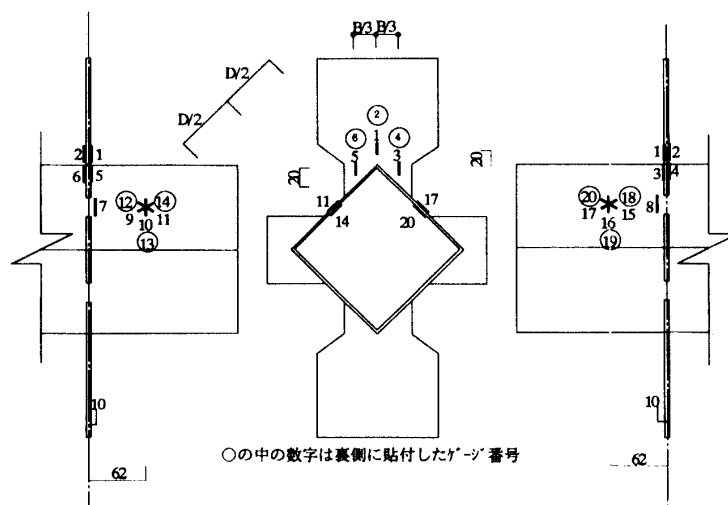
鋼管にコンクリートを充填した試験体(T-B□F-□A)では、同表(a)および(b)の基1の欄より、梁フランジ幅による影響は、降伏耐力に関して7~23%、



(a) 直交梁を有しない試験体 (A シリーズ)

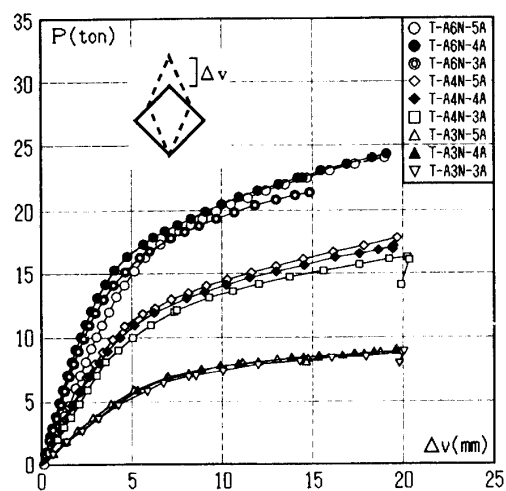


(b) 無拘束直交梁を有する試験体 (B シリーズ)

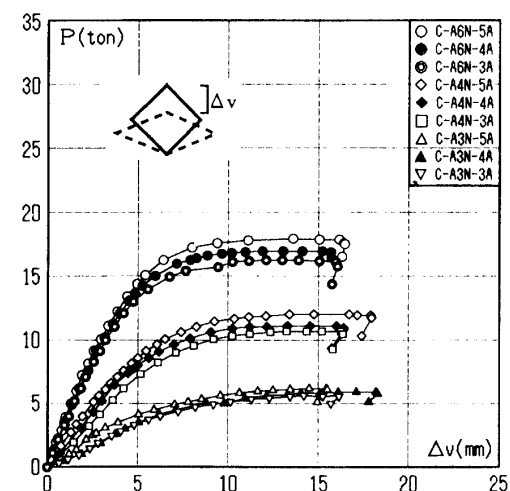


(c) 拘束直交梁を有する試験体 (C シリーズ)

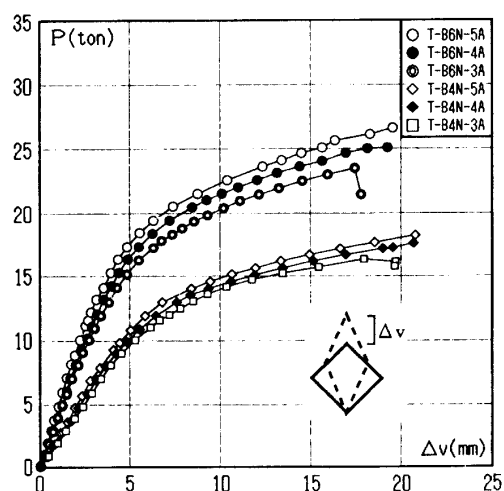
図 8 ストレインゲージ貼付位置



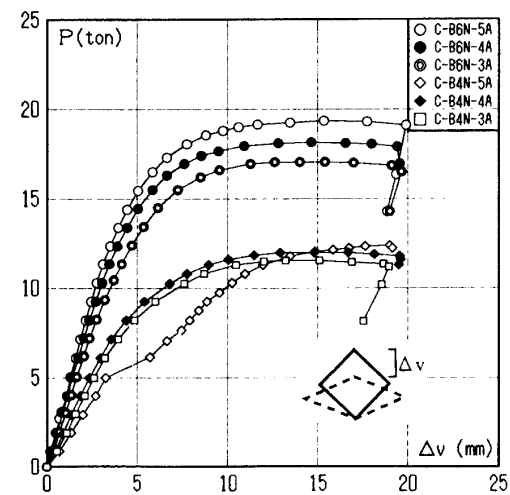
(a) 引張, 中空, 鋼管幅 125 mm



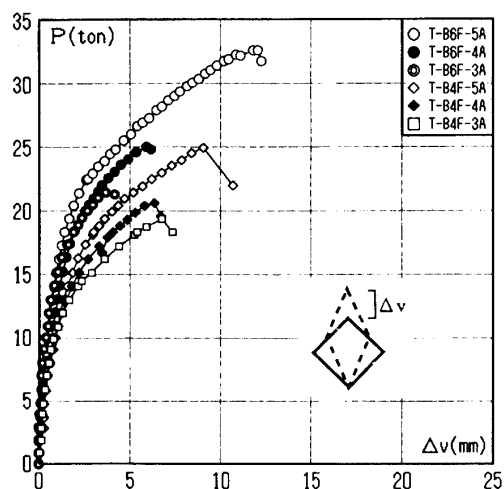
(d) 圧縮, 中空, 鋼管幅 125 mm, 直交梁なし



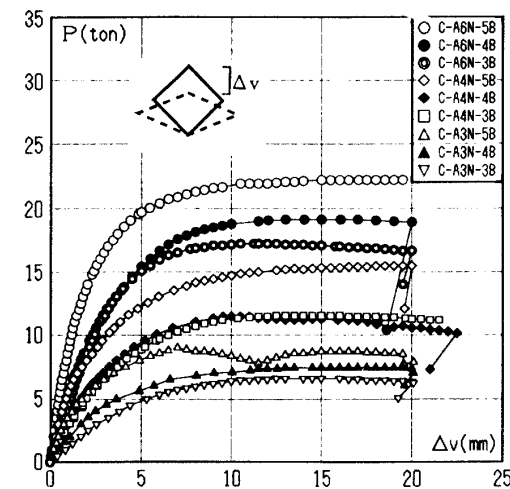
(b) 引張, 中空, 鋼管幅 150 mm



(e) 圧縮, 中空, 鋼管幅 150 mm, 直交梁なし



(c) 引張, コンクリート充填, 鋼管幅 150 mm



(f) 圧縮, 中空, 鋼管幅 125 mm, 無拘束直交梁

図9 荷重-載荷方向変形関係

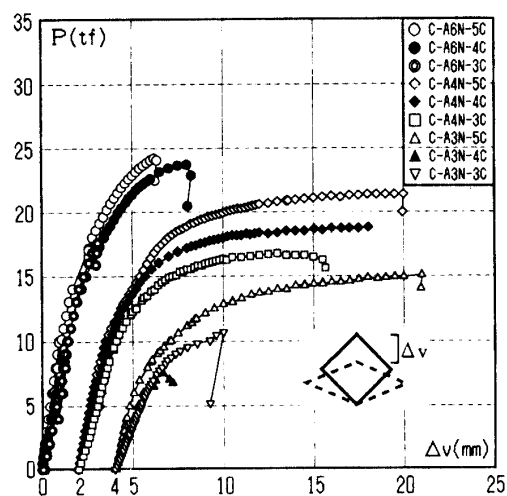


図9 (g) 圧縮, 中空, 鋼管幅 125 mm, 拘束直交梁

初期剛性に関して 8~57 % であることが分かる。同表(a)および(b)の基2の欄より、鋼管厚による影響は、降伏耐力に関して 16~23 %, 初期剛性に関して 30~67 % であることが分かる。

降伏耐力に関しては、図11(a)より、T-B6N-□Aの試験体以外は、梁フランジプレートの幅厚比の増大とともに増加率が増加しており、図12(a)より、鋼管の幅厚比の増大とともに増加率が減少している。初期剛性に関しては、図13(a)より、鋼管断面中空でT-B6N-□Aの試験体以外は、梁フランジプレートの幅厚比の増大とともに増加率は増加しており、コンクリートを充填した試験体は梁フランジプレートの幅厚比の減少とともに増加率は増加している。また、図14(a)より、鋼管の幅厚比の増加とともに増加率は減少

表4 実験結果 (引張・圧縮)

(a) 耐力

試験体名	tPm(tf)	tPy(tf)	基1	基2	基3	基4	F.M.
T-A6N-5A	24.00	16.5	1.17	*	*		—
T-A6N-4A	24.49	15.2	1.08	*	*		I
T-A6N-3A	21.37	14.1	*	*	*		I
T-A4N-5A	17.75	11.1	1.09	0.67	*		II
T-A4N-4A	17.16	10.6	1.04	0.70	*		II
T-A4N-3A	16.22	10.2	*	0.72	*		II
T-A3N-5A	8.72	5.8	1.02	0.35			—
T-A3N-4A	8.96	5.8	1.02	0.38			II
T-A3N-3A	8.90	5.7	*	0.40			II
T-B6N-5A	26.61	16.0	1.02	*	0.97	*	—
T-B6N-4A	25.07	16.8	1.07	*	1.11	*	II
T-B6N-3A	23.46	15.7	*	*	1.11	*	I
T-B4N-5A	18.22	12.1	1.04	0.72	1.09	*	II
T-B4N-4A	17.59	12.0	1.03	0.71	1.13	*	II
T-B4N-3A	16.29	11.6	*	0.74	1.14	*	II
T-B6F-5A	32.57	20.6	1.23	*		1.23	I
T-B6F-4A	25.02	17.8	1.07	*		1.06	I
T-B6F-3A	21.45	16.7	*	*		1.06	I
T-B4F-5A	25.00	15.9	1.19	0.77		1.31	I
T-B4F-4A	20.60	14.9	1.11	0.84		1.24	I
T-B4F-3A	19.30	13.4	*	0.80		1.16	I

注) tPm : 実験最大荷重

tPy : 降伏耐力 (永久ひずみが0.5%になるときの耐力)

基1 : 試験体名末尾が同じ試験体で、鋼管厚が等しく、梁フランジ幅55mmとの比を表す。

基2 : 試験体名末尾が同じ試験体で、梁フランジ幅が等しく、鋼管厚6.0mmとの比を表す。

基3 : T-B□N-□A/T-A□N-□Aの比で、鋼管厚、梁フランジ幅の等しい試験体に関して比較した数値で表す。

基4 : T-B□F-□A/T-B□N-□Aの比で、鋼管厚、梁フランジ幅の等しい試験体に関して比較した数値で表す。

(b) 初期剛性

試験体名	tR(tf/cm)	基1	基2	基3	基4	F.M.
T-A6N-5A	32.46	0.72	*	*		—
T-A6N-4A	48.15	1.07	*	*		I
T-A6N-3A	44.88	*	*	*		I
T-A4N-5A	27.77	1.20	0.86	*		II
T-A4N-4A	26.37	1.14	0.55	*		II
T-A4N-3A	23.11	*	0.48	*		II
T-A3N-5A	13.60	1.10	0.42			—
T-A3N-4A	12.89	1.05	0.27			II
T-A3N-3A	12.33	*	0.27			II
T-B6N-5A	47.65	1.25	*	1.47	*	—
T-B6N-4A	40.92	1.07	*	0.85	*	II
T-B6N-3A	38.26	*	*	0.85	*	I
T-B4N-5A	24.20	1.18	0.51	0.87	*	II
T-B4N-4A	21.76	1.06	0.53	0.83	*	II
T-B4N-3A	20.45	*	0.53	0.88	*	II
T-B6F-5A	230.46	0.43	*		4.84	I
T-B6F-4A	231.46	0.44	*		5.66	I
T-B6F-3A	531.87	*	*		13.90	I
T-B4F-5A	162.45	0.92	0.70		6.45	I
T-B4F-4A	142.14	0.83	0.61		6.53	I
T-B4F-3A	176.16	*	0.33		8.61	I

注) tR : 初期剛性

他の記号については、同図(a)参照

* : 基準値

F.M. : 試験体の破壊モード

I : 溶接部分の破壊

II : 鋼管の亀裂による破壊

表5 実験結果(圧縮载荷) (a) 耐力

試験体名	cPm(tf)	cPy(tf)	基1	基2	基3	基5	基6	直交梁	拘束直交梁
C-A6N-5A	17.90	13.4	1.06	*	*	*		(無)	(無)
C-A6N-4A	16.95	12.9	1.06	*	*	*			
C-A6N-3A	16.24	12.6	*	*	*	*			
C-A4N-5A	11.97	8.5	0.93	0.63	*	*			
C-A4N-4A	11.08	9.1	1.00	0.71	*	*			
C-A4N-3A	10.66	9.1	*	0.72	*	*			
C-A3N-5A	6.17	4.5	1.00	0.34		*			
C-A3N-4A	5.89	5.1	1.13	0.40		*			
C-A3N-3A	5.59	4.5	*	0.36		*			
C-B6N-5A	19.33	15.7	1.11	*	1.17				
C-B6N-4A	18.14	14.6	1.04	*	1.13				
C-B6N-3A	17.07	14.1	*	*	1.20				
C-B4N-5A ^{*1}	12.40	—	—	—	—				
C-B4N-4A	12.01	9.0	0.99	0.62	0.99				
C-B4N-3A	11.55	9.1	*	0.75	1.00				
C-A6N-5B	22.19	15.2	1.24	*		1.13	*	(有)	(無)
C-A6N-4B	19.13	12.3	1.03	*		0.95	*		
C-A6N-3B	17.22	11.9	*	*		0.94	*		
C-A4N-5B	15.44	8.4	1.15	0.55		0.99	*		
C-A4N-4B	11.45	7.1	0.97	0.58		0.78	*		
C-A4N-3B	11.50	7.3	*	0.61		0.80	*		
C-A3N-5B ^{*2}	8.94	5.6	1.17	0.37		1.24	*		
C-A3N-4B	7.44	4.8	1.00	0.39		0.94	*		
C-A3N-3B	6.57	4.8	*	0.40		1.07	*		
C-A6N-5C	24.19	16.1	0.94	*			1.06	(有)	(有)
C-A6N-4C	23.72	17.2	0.95	*			1.40		
C-A6N-3C ^{*3}	17.55	18.20 ^{*3}	*	*			1.53		
C-A4N-5C	21.37	13.0	0.96	0.81			1.83		
C-A4N-4C	18.75	13.4	0.98	0.78			1.89		
C-A4N-3C	16.71	13.6	*	0.75			1.86		
C-A3N-5C	15.07	8.8	0.96	0.55			1.57		
C-A3N-4C	7.59	—	—	—			—		
C-A3N-3C	10.67	9.2	*	0.51			1.92		

注) cPm : 実験最大耐力

cPy : 降伏耐力(永久ひずみが0.5%になるときの耐力)

基1 : 試験体名末尾が同じ試験体で、鋼管厚が等しく、
梁フランジ幅55mmとの比を表す。基2 : 試験体名末尾が同じ試験体で、梁フランジ幅が等しく、
鋼管厚6.0mmとの比を表す。基3 : C-B□N-□A/C-A□N-□Aの比で、鋼管厚、梁フランジ幅の等しい
試験体に関して比較した数値である。基5 : C-A□N-□B/C-A□N-□Aの比で、鋼管厚、梁フランジ幅の等しい
試験体に関して比較した数値である。基6 : C-A□N-□C/C-A□N-□Bの比で、鋼管径、梁フランジ幅の等しい
試験体に関して比較した数値である。

* : 基準値

備考) *1 C-B4N-5A: 载荷中、圧縮材端拘束治具が鋼管からはずれた。

*2 C-A3N-5B: 圧縮材端拘束治具の設置不備。

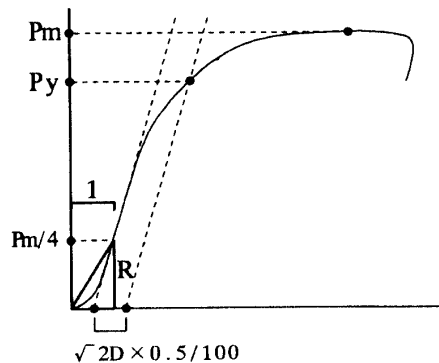
*3 C-A6N-3C: 荷重-軸方向変形曲線から降伏耐力を推測した。

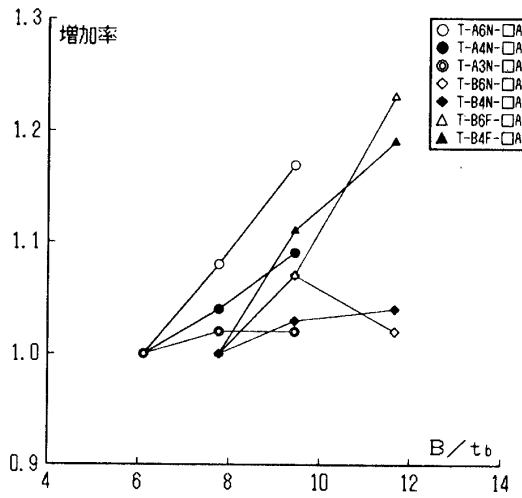
表 5 (b) 初期剛性

試験体名	cR(tf/cm)	基 1	基 2	基 3	基 5	基 6	直交梁	拘束直交梁
C-A6N-5A	38.14	1.12	*	*	*		(無)	(無)
C-A6N-4A	36.32	1.06	*	*	*			
C-A6N-3A	34.15	*	*	*	*			
C-A4N-5A	20.75	1.46	0.54	*	*			
C-A4N-4A	16.77	1.18	0.46	*	*			
C-A4N-3A	14.23	*	0.42	*	*			
C-A3N-5A	8.82	1.33	0.23		*			
C-A3N-4A	6.31	0.95	0.17		*			
C-A3N-3A	6.65	*	0.19		*			
C-B6N-5A	38.01	1.28	*	1.00				
C-B6N-4A	35.54	1.20	*	0.98				
C-B6N-3A	29.70	*	*	0.87				
C-B4N-5A	14.54	0.77	0.38	0.70			(有)	(無)
C-B4N-4A	21.81	1.16	0.61	1.30				
C-B4N-3A	18.87	*	0.64	1.31				
C-A6N-5B	97.70	2.19	*		2.56	*		
C-A6N-4B	52.62	1.18	*		1.45	*		
C-A6N-3B	44.61	*	*		1.31	*		
C-A4N-5B	61.00	2.18	0.62		2.94	*		
C-A4N-4B	33.95	1.22	0.65		2.02	*		
C-A4N-3B	27.92	*	0.63		1.96	*	(有)	(有)
C-A3N-5B	43.47	3.69	0.44		4.93	*		
C-A3N-4B	19.10	1.62	0.36		3.03	*		
C-A3N-3B	11.79	*	0.26		1.77	*		
C-A6N-5C	112.68	1.81	*			1.15		
C-A6N-4C	75.08	1.20	*			1.44		
C-A6N-3C	62.38	*	*			1.40		
C-A4N-5C	77.48	1.67	0.69			1.27		
C-A4N-4C	66.33	1.43	0.88			1.95		
C-A4N-3C	46.42	*	0.74			1.66		
C-A3N-5C	66.03	1.97	0.59			1.52		
C-A3N-4C	40.08	1.19	0.53			2.10		
C-A3N-3C	33.60	*	0.54			2.85		

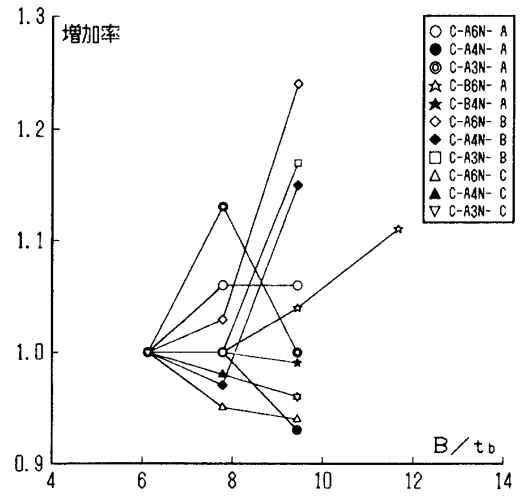
注) cR : 初期剛性

他の記号は、同図 (a) 参照


 図10 降伏耐力 (cPy , tPy) の定義

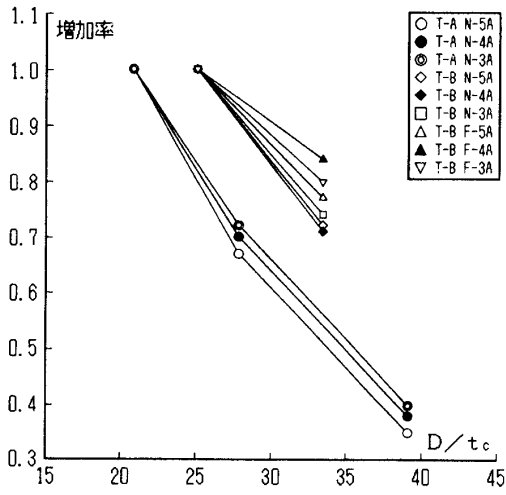


(a) 引張荷重 (降伏耐力)

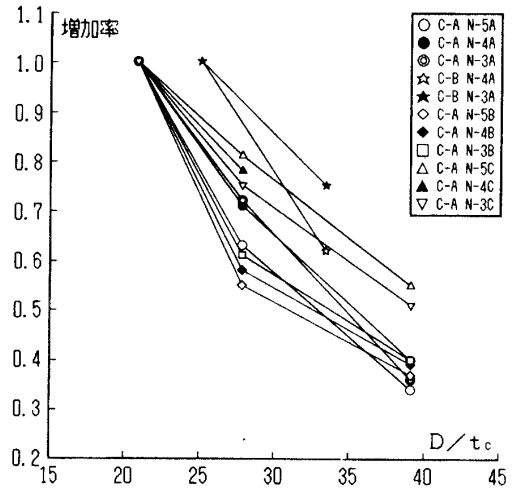


(b) 圧縮荷重 (降伏耐力)

図11 増加率—幅厚比関係 (梁フランジ幅による影響)

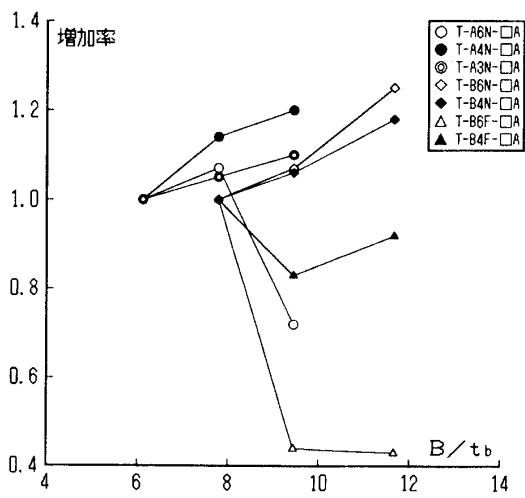


(a) 引張荷重 (降伏耐力)

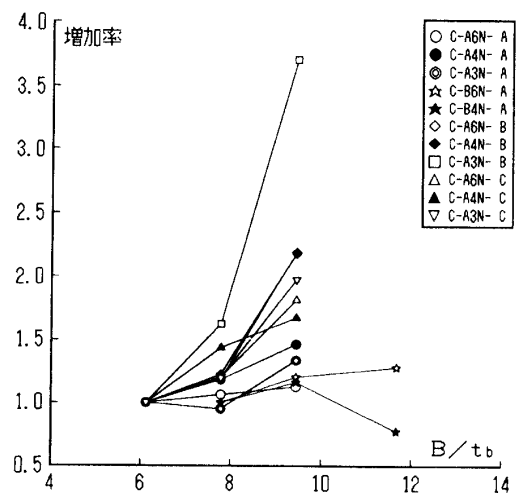


(b) 圧縮荷重 (降伏耐力)

図12 増加率—幅厚比関係 (鋼管厚による影響)

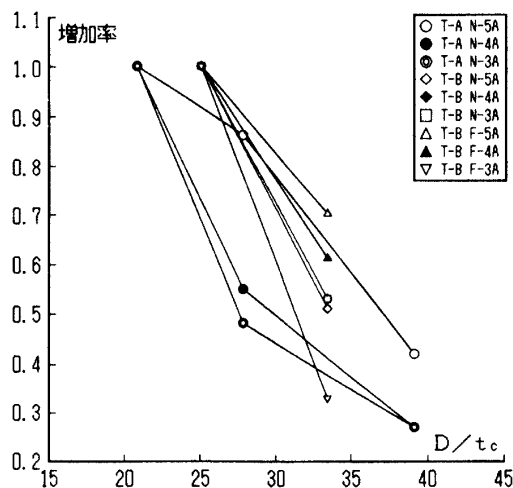


(a) 引張荷重 (初期剛性)

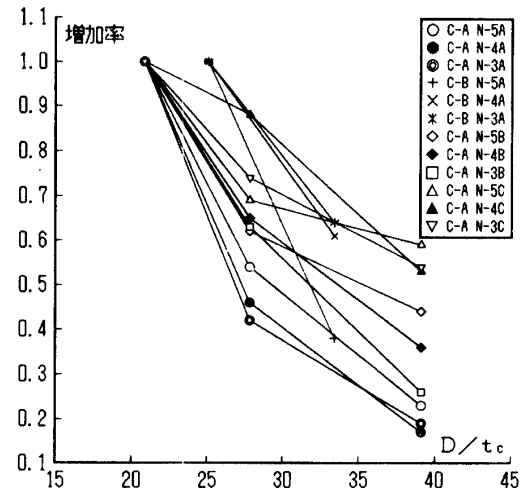


(b) 圧縮荷重 (初期剛性)

図13 増加率—幅厚比関係 (梁フランジ幅による影響)



(a) 引張荷重 (初期剛性)



(b) 圧縮荷重 (初期剛性)

図14 増加率—幅厚比関係 (鋼管厚による影響)

している。

b) 圧縮荷重試験体

i) 直交梁を有しない試験体【Aシリーズ】

図9 (d)および(e)に直交梁を有しない試験体の $P-\Delta_p$ 関係を示す。同図(d)は鋼管径 125 mmの試験体を、(e)は鋼管径 150 mmの試験体を示している。試験体 C-B4N-5A では圧縮材端拘束治具の設置不備により、本シリーズにおける他の試験体と異なり初期剛性が極端に低くなった。各試験体は十分に塑性変形しており、最大耐力到達後も角形鋼管の破壊等による急激な荷重低下は観察されなかった。

表5 (a)および(b)の基1の欄より、梁フランジ幅による影響は、降伏耐力に関して $-1 \sim 13\%$ 、初期剛性に関して $-5 \sim 46\%$ であることが分かる。同表(a)および(b)の基2の欄より、鋼管厚による影響は、降伏耐力に関して $25 \sim 66\%$ 、初期剛性に関して $36 \sim 83\%$ であることが分かる。従って、降伏耐力および初期剛性に与える影響は、鋼管厚によるものの方が梁フランジ幅によるものより大きい。

降伏耐力に関して、図12(b)より、鋼管の幅厚比の増加とともに増加率は減少している。初期剛性に関しては、図13(b)より、C-B4N-□A 以外の試験体は梁フランジプレートの幅厚比の増加とともに増加率は増加している。また、図14(b)より、鋼管の幅厚比の増加とともに増加率は減少している。

ii) 無拘束直交梁を有する試験体【Bシリーズ】

図9 (f)に無拘束直交梁を有する試験体の $P-\Delta_p$ 関係を示す。試験体 C-A3N-5B では、荷重中に鋼管端

部に設置した圧縮材端拘束治具がはずれたため、試験体降伏後に荷重の一時的な低下が生じている。いずれの試験体も、降伏後著しい耐力上昇は見られなかった。

表5 (a)および(b)の基1の欄より、梁フランジ幅による影響は、降伏耐力に関して $-3 \sim 24\%$ 、初期剛性に関して $18 \sim 269\%$ であることが分かる。特に、梁フランジ幅 55 mmの試験体の初期剛性と比較すると、70 mmの試験体の場合は $18 \sim 62\%$ であるが、85 mmの試験体の場合は $118 \sim 269\%$ と極端に大きい。同表(a)および(b)の基2の欄より、鋼管厚による影響は、降伏耐力に関して $39 \sim 63\%$ 、初期剛性に関して $35 \sim 74\%$ であることが分かる。

降伏耐力に関して、図11(b)より、梁フランジプレートの幅厚比の増加とともに増加率は増加する傾向を示しており、図12(b)より、鋼管の幅厚比の増加とともに増加率は減少している。初期剛性に関しては、図13(b)より、梁フランジプレートの幅厚比の増加とともに増加率は増加している。また、図14(b)より、鋼管の幅厚比の増加とともに増加率は減少している。

iii) 拘束直交梁を有する試験体【Cシリーズ】

図9 (g)に拘束直交梁を有する試験体の $P-\Delta_p$ 関係を示す。図中、便宜上、鋼管厚 4.5 mm (C-A4N-□C) および鋼管厚 3.2 mm (C-A3N-□C) の試験体では、荷重方向変形にそれぞれ 2.0 および 4.0 mm加えて示している。試験体 C-A6N-3C および C-A3N-4C が、柱鋼管が降伏する前に梁フランジ部が座屈した。これらの試験体をはじめ、Cシリーズ試験体においては十分に塑性変形したものが少なかった。また、表5 (a)中、

試験体 C-A6N-3C の降伏耐力は、 $P-\Delta_v$ 関係の接線と、永久ひずみが 0.5 % になる点を起点とする、初期剛性と等しい傾きを持つ直線との交点から推測した数値であるため、実際の降伏耐力より若干大きな値になっていると思われる。

表 5 (a) および (b) の基 1 の欄より、梁フランジ幅による影響は、降伏耐力に関して $-6 \sim -2 \%$ 、初期剛性に関して $19 \sim 97 \%$ である。同表 (a) および (b) の基 2 の欄より、鋼管厚による影響は、降伏耐力に関して $19 \sim 49 \%$ 、初期剛性に関して $12 \sim 47 \%$ である。従って、C シリーズに関して、降伏耐力に与える影響は、鋼管厚によるものの方が梁フランジ幅によるものより大きい、初期剛性に与える影響は、梁フランジ幅によるものの方が鋼管厚によるものより大きい。

降伏耐力に関して、図 11 (b) より、梁フランジプレートの幅厚比の増加とともに増加率は減少しており、図 12 (b) より、鋼管の幅厚比の増加とともに増加率は減少している。初期剛性に関しては、図 13 (b) より、梁フランジプレートの幅厚比の増加とともに増加率は増加している。図 14 (b) より、鋼管の幅厚比の増加とともに増加率は減少している。

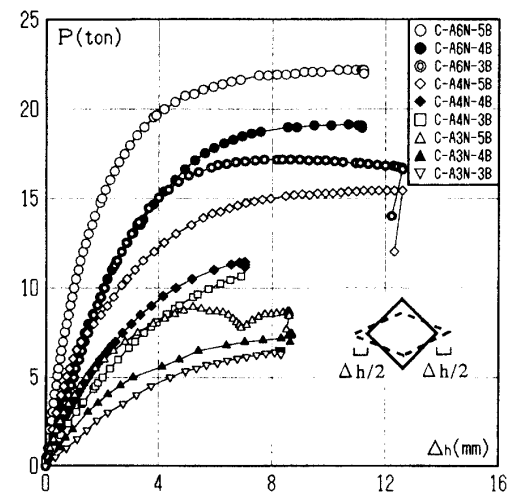
3.2 荷重—水平方向変形関係

荷重 (P)—水平方向変形 (Δ_h) 関係を図 15 (a) および (b) に示す。同図 (a) は無拘束直交梁を有する試験体 (B シリーズ) を、(b) は拘束直交梁を有する試験体 (C シリーズ) を示す。図の縦軸 P は荷重、横軸 Δ_h は加力方向に直交する方向の角形鋼管の変形であり、図中に測定区間を示す。同図 (b) では、便宜上、鋼管厚 4.5 mm (C-A4N-□C) および鋼管厚 3.2 mm (C-A3N-□C) の試験体では、水平方向変形にそれぞれ 1.0 および 2.0 mm 加えて示している。降伏耐力における載荷方向変形 Δ_v と載荷方向と直交する方向変形 Δ_h の数値を表 6 に示す。

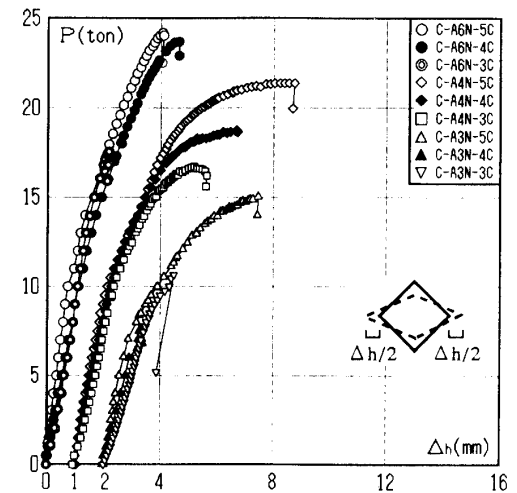
同表より、無拘束直交梁を有する試験体 (B シリーズ) の Δ_h/Δ_v は 85 % 程度で、鋼管厚、梁フランジ幅にかかわらず、ほぼ一定である。拘束直交梁を有する試験体 (C シリーズ) は、53 ~ 78 % 程度で、梁フランジ幅が狭いほど、鋼管厚が小さいほど、 Δ_h/Δ_v は小さくなっている。

3.3 梁フランジ部のひずみ挙動

梁フランジ部における荷重 (P)—面内ひずみ (ϵ_{ave}) 関係を図 16 および 17 に示す。図 16 は無拘束直交梁を有する試験体 (B シリーズ) を、図 17 は拘束直交梁を有する試験体 (C シリーズ) を示す。各図の縦軸 P は



(a) 無拘束直交梁を有する試験体 (B シリーズ)



(b) 拘束直交梁を有する試験体 (C シリーズ)

図 15 荷重—水平方向変形関係

荷重、横軸 ϵ_{ave} は面内ひずみ (梁フランジ部に貼付した表裏のストレインゲージの平均ひずみ) である。図 18 に梁フランジ部のゲージ貼付位置を示す。引張試験より求めた梁フランジ部の降伏ひずみは 1.46×10^{-3} であり、図中に☆印付の縦線で示す。

図 16 より、無拘束直交梁を有する試験体 (B シリーズ) に関して、鋼管厚 6.0 mm の試験体 (C-A6N-□B) では、梁フランジ部が降伏ひずみに達している。鋼管厚 3.2 mm の試験体 (C-A3N-□B) では、梁フランジ部が降伏する前に、鋼管の載荷方向変形が 20 mm に達している (図 9 (f) 参照)。図 17 より、拘束直交梁を有する試験体 (C シリーズ) に関して、C-A3N-4C を

表6 実験結果

試験体名	cPy(tf)	Δ_v (mm)	Δ_h (mm)	Δ_h/Δ_v	直交梁	拘束
C-A6N-5B	15.2	2.45	2.03	0.83	(有)	(無)
C-A6N-4B	12.3	3.24	2.80	0.86		
C-A6N-3B	11.9	3.15	2.63	0.84		
C-A4N-5B	8.4	2.06	1.74	0.84		
C-A4N-4B	7.1	2.15	1.91	0.89		
C-A4N-3B	7.3	3.53	3.36	0.95		
C-A3N-5B	5.6	2.18	1.80	0.83		
C-A3N-4B	4.8	3.40	2.92	0.86	(有)	(有)
C-A3N-3B	4.8	4.93	4.14	0.84		
C-A6N-5C	16.1	2.31	1.81	0.78		
C-A6N-4C	17.2	3.16	2.40	0.76		
C-A6N-3C	18.2	-	-	-		
C-A4N-5C	13.0	2.56	1.89	0.74		
C-A4N-4C	13.4	2.74	1.95	0.71		
C-A4N-3C	13.6	3.74	2.26	0.60		
C-A3N-5C	8.8	2.23	1.41	0.63		
C-A3N-4C	-	-	-	-		
C-A3N-3C	9.2	3.58	1.88	0.53		

注) cPy: 永久ひずみが0.5%になるときの降伏耐力

 Δ_v : 角形鋼管の載荷方向への変形 Δ_h : 角形鋼管の載荷方向に直交する方向への変形

除き、すべての試験体は、梁フランジ部が降伏ひずみに達している。

梁フランジ部における荷重 (P) - 面外曲げひずみ (ϵ_d) 関係を図19および20に示す。図19は無拘束直交梁を有する試験体 (Bシリーズ) を、図20は拘束直交梁を有する試験体 (Cシリーズ) を示す。各図の縦軸 P は荷重、横軸 ϵ_d は面外曲げひずみ (梁フランジ部に貼付した表裏のストレインゲージのひずみ差) である (図18参照)。

図19より、鋼管厚 6.0 mm の試験体 (C-A6N-□B) で顕著に現れており、梁フランジ幅 85, 70 および 55 mm でそれぞれ 23, 19 および 15 tf 付近で生じている。図20より、試験体の最大耐力付近で面外曲げひずみが卓越している。

3.4 鋼管のひずみ挙動

鋼管フランジ部における荷重 (P) - 面内ひずみ (ϵ_{ave}) 関係を図21および22に示す。図21は無拘束直交梁を有する試験体 (Bシリーズ) を、図22は拘束直交梁を有する試験体 (Cシリーズ) を示す。各図の縦軸 P は荷重、横軸 ϵ_{ave} は面内ひずみ (鋼管フランジ部に貼付した表裏のストレインゲージの平均ひずみ) である。図23に柱鋼管フランジ部のゲージ貼付位置を示

す。引張試験より求めた鋼管厚 6.0, 4.5 および 3.2 mm の降伏ひずみは、それぞれ 2.11×10^{-3} , 2.22×10^{-3} および 1.97×10^{-3} であり、各図中にそれぞれ★, ■および▼印付の縦線で表示している。

図21より、無拘束直交梁を有する試験体 (Bシリーズ) は、梁フランジ部から 62 mm 付近の鋼管フランジ部では、ほぼ全ての試験体において降伏ひずみに達しており、梁フランジ幅 70 mm の試験体 (試験体名末尾 3B) に関しては、梁フランジ部から 88 mm 付近の鋼管フランジ部では、管厚 3.2 mm (C-A3N-4B) を除いて降伏ひずみに達している。梁フランジ幅 55 mm の試験体 (C-A4N-3B) はほとんど面内ひずみが出ていない。図22より、拘束直交梁を有する試験体 (Cシリーズ) の鋼管フランジ部は、鋼管の載荷方向変形が 20 mm に達している管厚 4.5 mm (C-A4N-□C) の試験体でも、降伏ひずみに達していない。

鋼管フランジ部における荷重 (P) - 面外曲げひずみ (ϵ_d) 関係を図24および25に示す。図24は無拘束直交梁を有する試験体 (Bシリーズ) を、図25は拘束直交梁を有する試験体 (Cシリーズ) を示す。各図の縦軸 P は荷重、横軸 ϵ_d は面外曲げひずみ (柱鋼管フランジ部に貼付した表裏のストレインゲージのひずみ差) である (図23参照)。

図24より、面外曲げひずみは降伏耐力付近で生じている。特に、鋼管厚が小さいほど、梁フランジ幅が小さいほど面外曲げが大きくでている。図25より、面外曲げひずみは試験体降伏後大きく生じており、特に、鋼管厚が小さいものほど大きくでている。

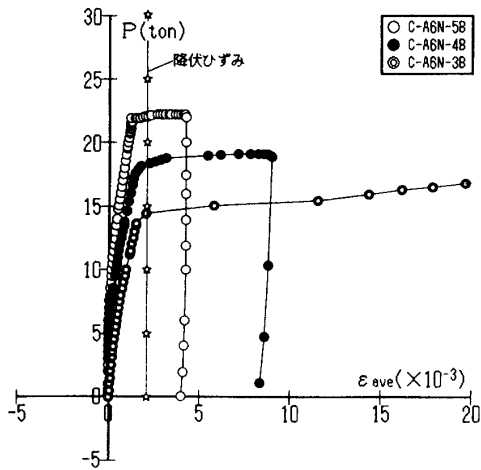
3.5 荷重-拘束用鋼棒の軸力関係

試験体の荷重 (P) - 拘束鋼棒の軸力 (N) 関係を図26に示す。図中の縦軸 P は荷重、横軸 N は拘束軸力であり、4本のPC鋼棒のひずみから得られた軸力の総和により求められたものである。

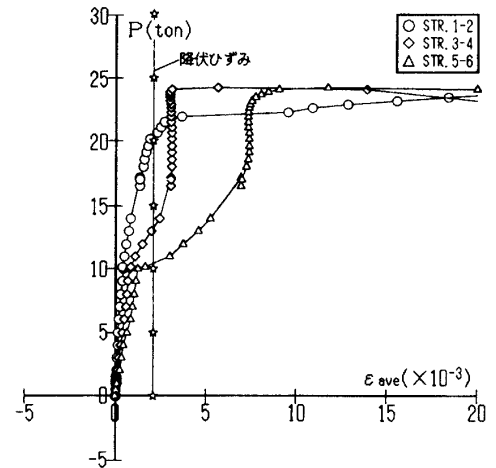
同一荷重時で比較すると、軸力は鋼管厚の等しい試験体では梁フランジ幅が大きくなるほど、また、梁フランジ幅の等しい試験体では管厚が大きくなるほど小さくなる。これは、梁フランジ幅、鋼管厚が大きくなるほど試験体自身の剛性が上がり、鋼管の変形が抑えられるためである。

4. 実験結果の検討

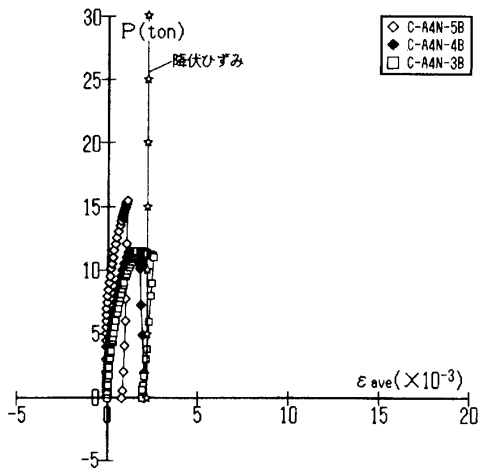
表4(a)および(b)の基3の欄には、試験体の降伏耐力および初期剛性を、直交梁を有しない (Aシリーズ) 鋼管断面中空試験体で、鋼管幅 125 mm の場合の



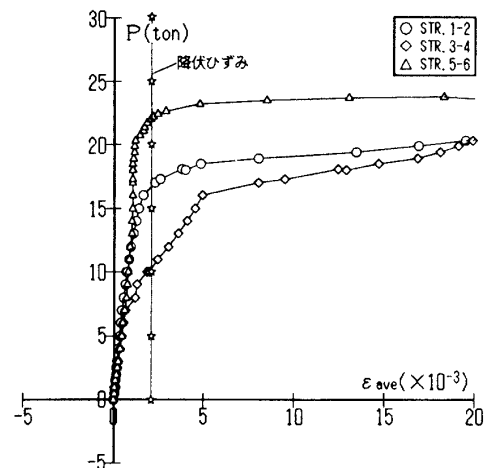
(a) 鋼管厚 6.0 mm (Bシリーズ)



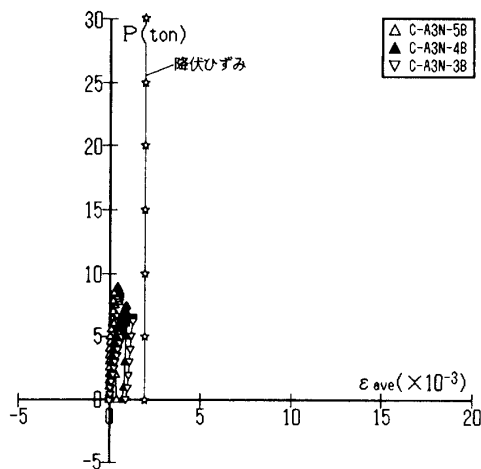
(a) C-A6N-5C



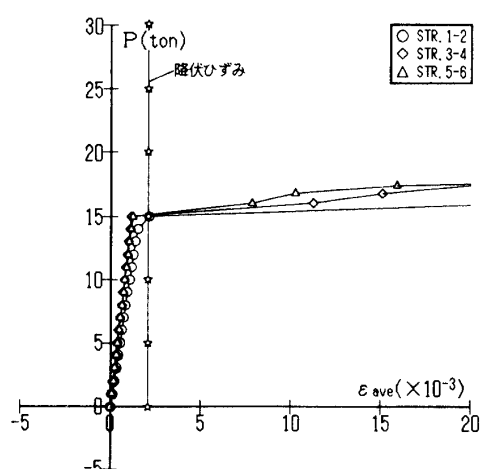
(b) 鋼管厚 4.5 mm (Bシリーズ)



(b) C-A6N-4C



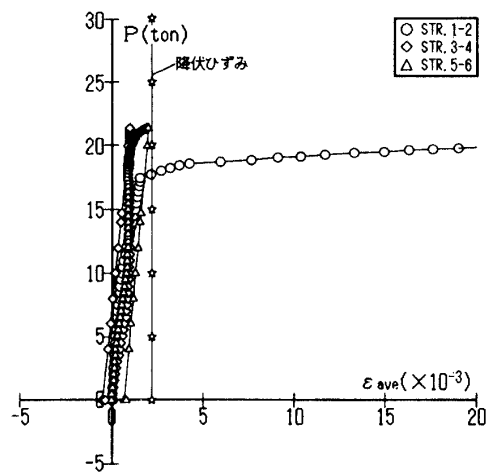
(c) 鋼管厚 3.2 mm (Bシリーズ)



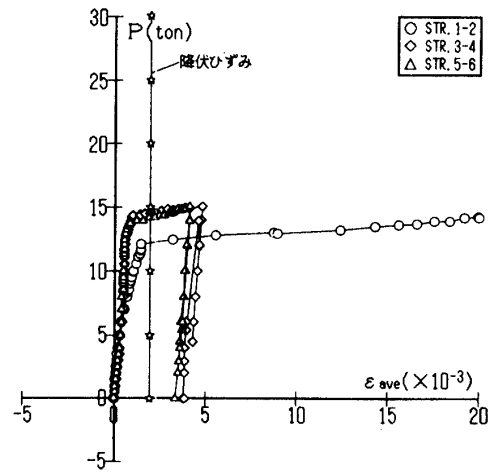
(c) C-A6N-3C

図16 梁フランジ部における荷重—面内ひずみ関係

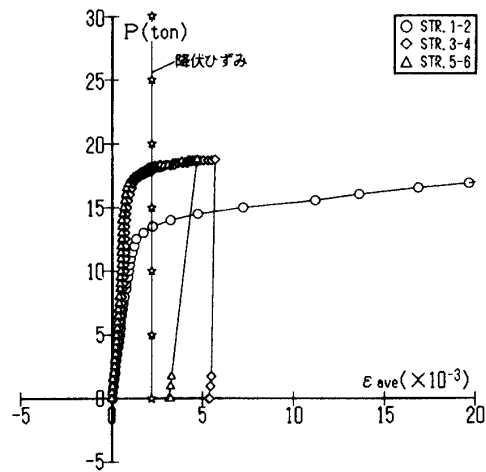
図17 梁フランジ部における荷重—面内ひずみ関係



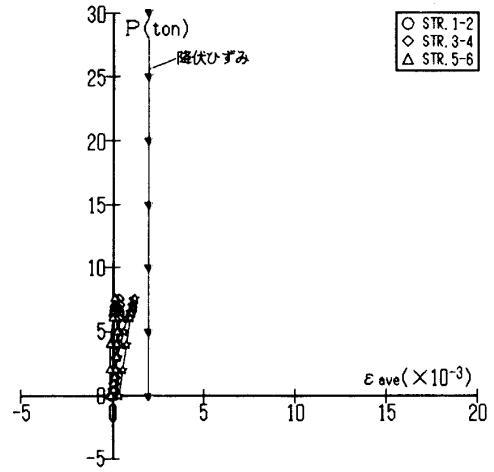
(d) C-A4N-5C



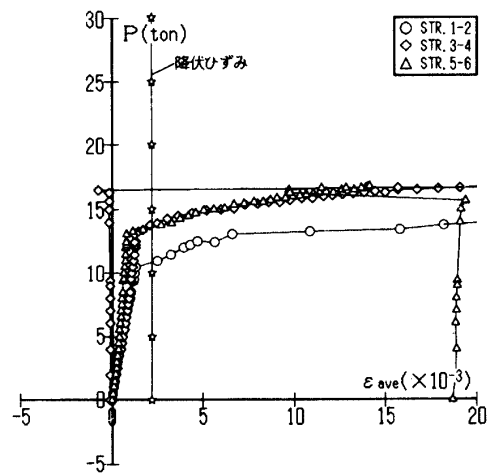
(g) C-A3N-5C



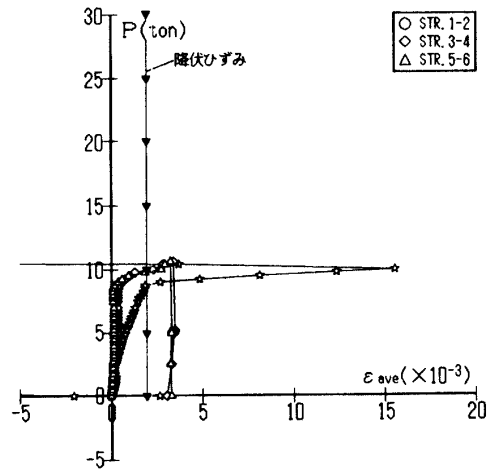
(e) C-A4N-4C



(h) C-A3N-4C

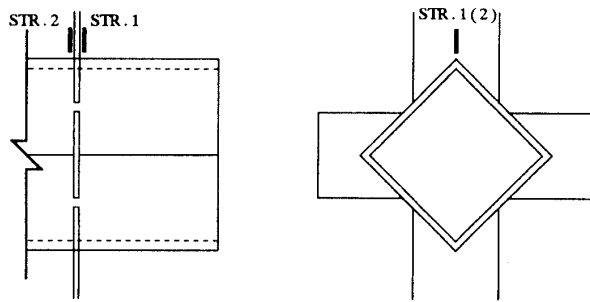


(f) C-A4N-3C

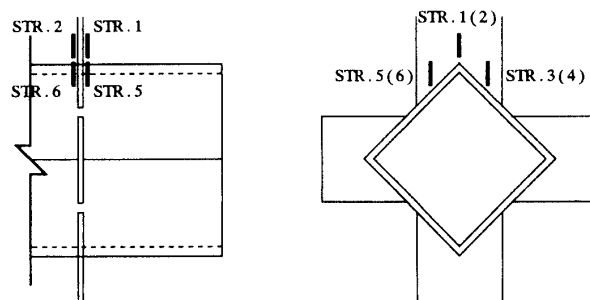


(i) C-A3N-3C

図17 梁フランジ部における荷重-面内ひずみ関係



(a) 無拘束直交梁を有する試験体 (Bシリーズ)



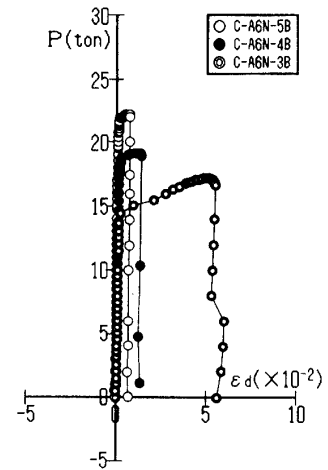
(b) 拘束直交梁を有する試験体 (Cシリーズ)

図18 梁フランジ部ゲージ貼付位置

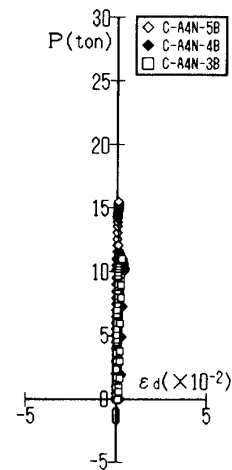
値で基準化したものであり、この増加率より鋼管径による影響が分かる。同表(a)および(b)の基4の欄には、試験体の降伏耐力および初期剛性を、鋼管断面中空で鋼管幅 150 mmの試験体の場合の値で基準化したものであり、この増加率からコンクリート充填による影響が分かる。

表5(a)および(b)中、基5の欄には、試験体の降伏耐力および初期剛性を、直交梁を有しない試験体(Aシリーズ)で、管厚、梁フランジ幅の等しいものに関して基準化したものであり、この増加率から直交梁による影響が分かる。同表(a)および(b)の基6の欄には、試験体の降伏耐力および初期剛性を、無拘束直交梁を有する試験体(Bシリーズ)で、管厚、梁フランジ幅の等しいものに関して基準化したものであり、この増加率から拘束直交梁による影響が分かる。

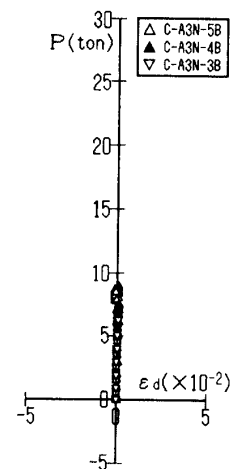
また、それらの増加率と鋼管幅厚比 (D/t_c) の関係を図27~30に示す。これらの図は降伏耐力に関するものである。各図中は、梁フランジ幅の等しい試験体を実線で結んでいる。



(a) 鋼管厚 6.0 mm (Bシリーズ)



(b) 鋼管厚 4.5 mm (Bシリーズ)



(c) 鋼管厚 3.2 mm (Bシリーズ)

図19 梁フランジ部における荷重一面外曲げひずみ関係

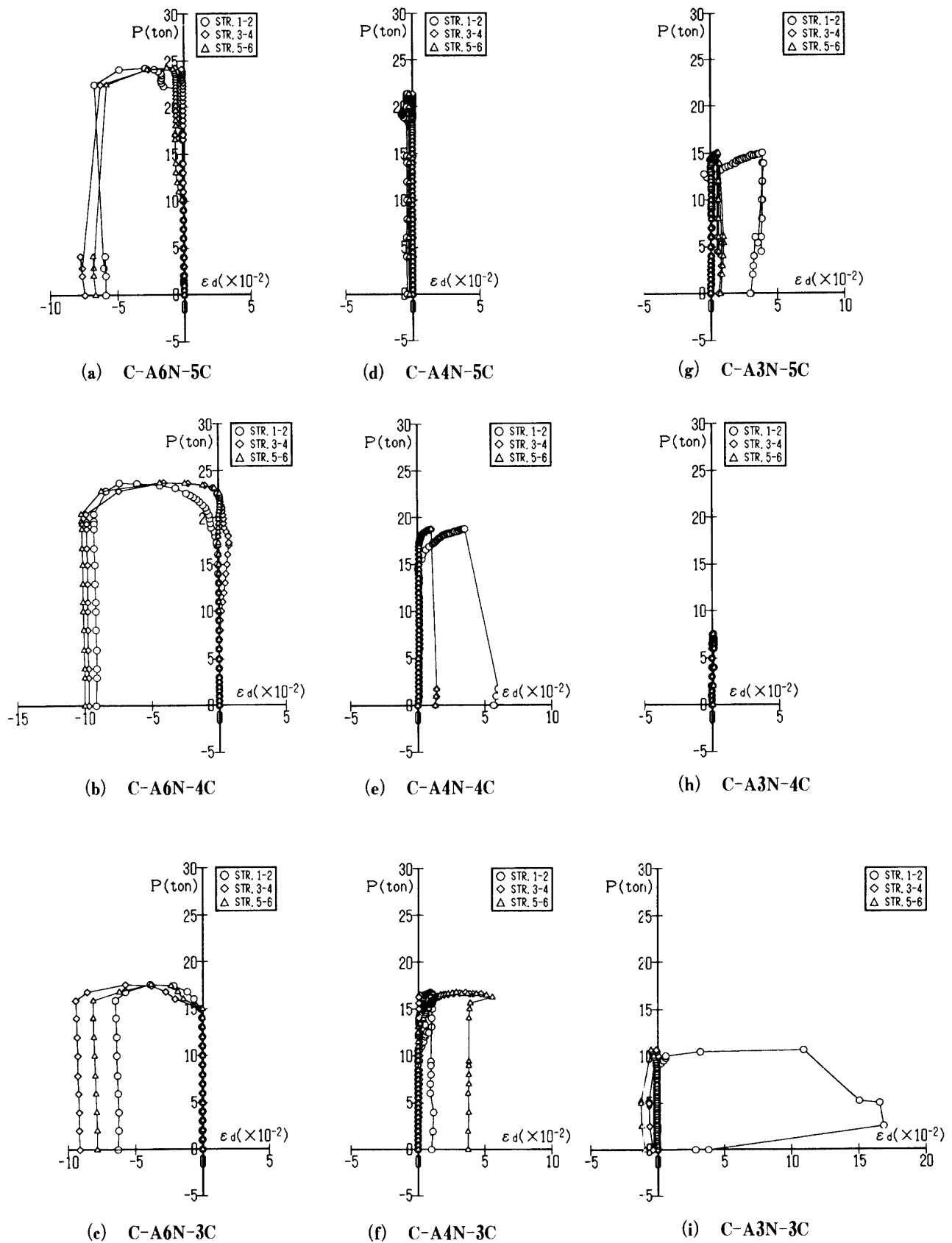
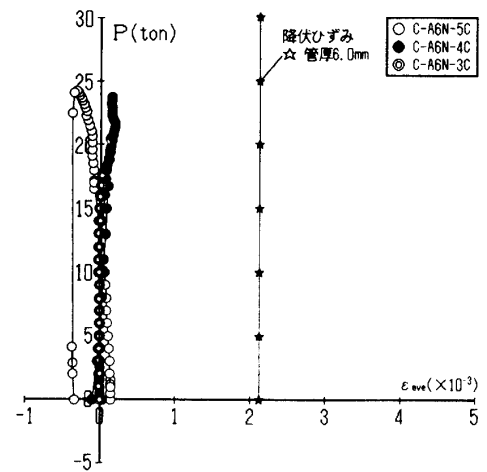


図20 梁フランジ部における荷重－面外曲げひずみ関係

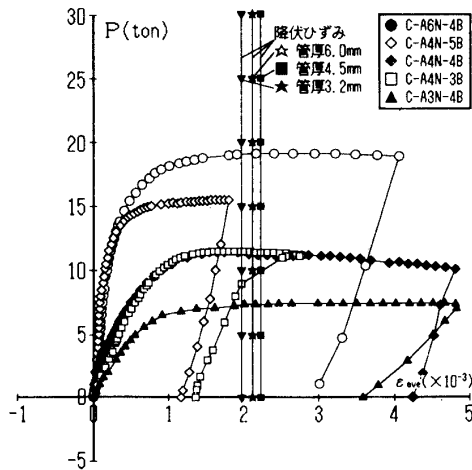
4. 1 管径による影響【□-B□N-□A と □-A□N-□A の比較】

引張载荷の試験体では、表4(a)および(b)の基3より、降伏耐力に関しては1.02~1.14倍でほぼ同じ程度である。引張材端拘束治具の設置不備のためT-A6N-5Aの初期剛性が、極端に低くなっている。T-B6N-5Aの場合の増加率が1.47倍になっている。その他の試験体の場合に関しては0.83~0.88倍である。図27より、増加率は幅厚比が大きくなるほど大きくなる。

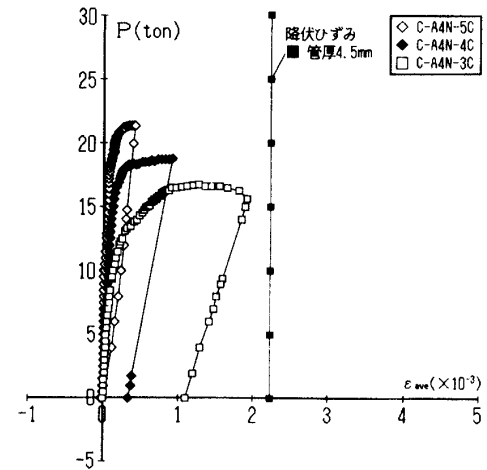
圧縮载荷の試験体では、表5(a)および(b)の基3より、降伏耐力に関しては0.99~1.20倍である。初期剛性に関しては0.70~1.31倍である。図27より、



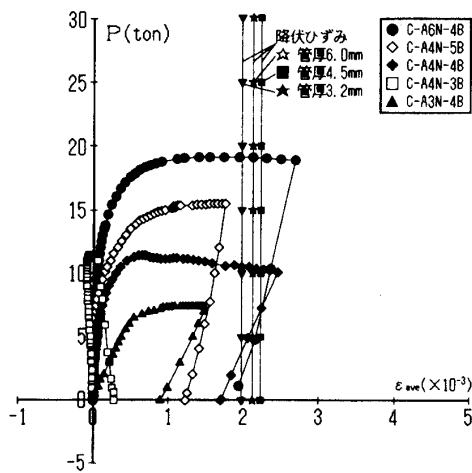
(a) 鋼管厚 6.0 mm (Cシリーズ)



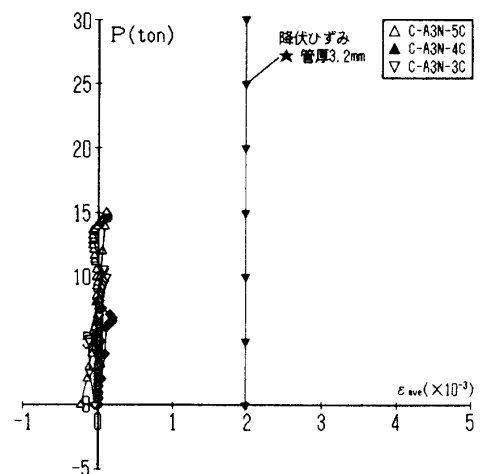
(a) 梁フランジ部から 62 mm (Bシリーズ)



(b) 鋼管厚 4.5 mm (Cシリーズ)



(b) 梁フランジ部から 88 mm (Bシリーズ)



(c) 鋼管厚 3.2 mm (Cシリーズ)

図21 鋼管フランジ部における荷重—面内ひずみ関係

図22 鋼管フランジ部における荷重—面内ひずみ関係

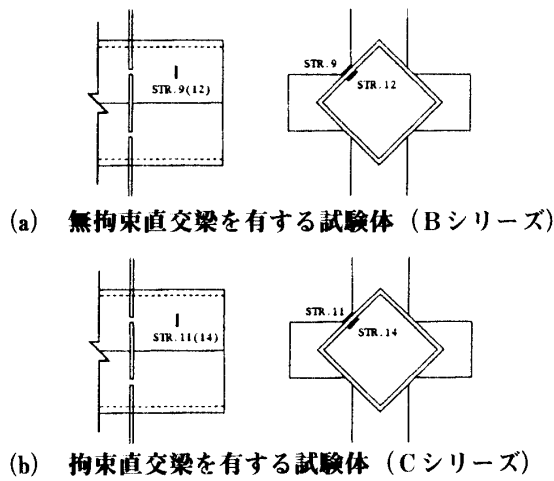


図23 柱鋼管ゲージ貼付位置

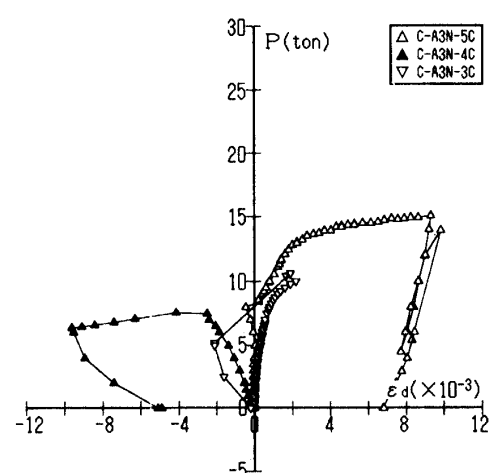
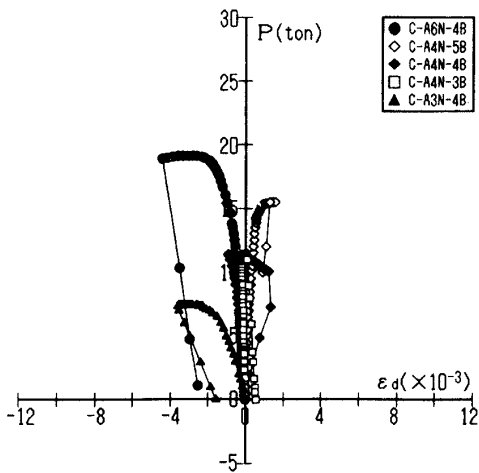
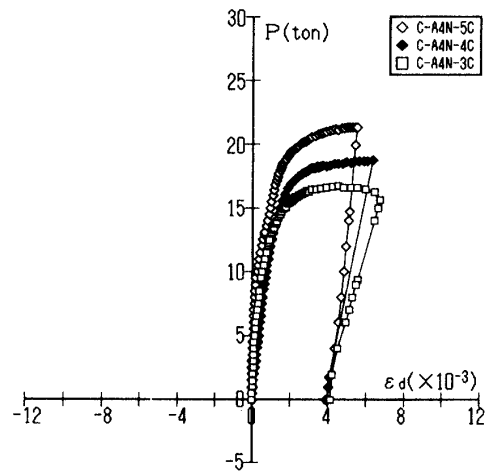
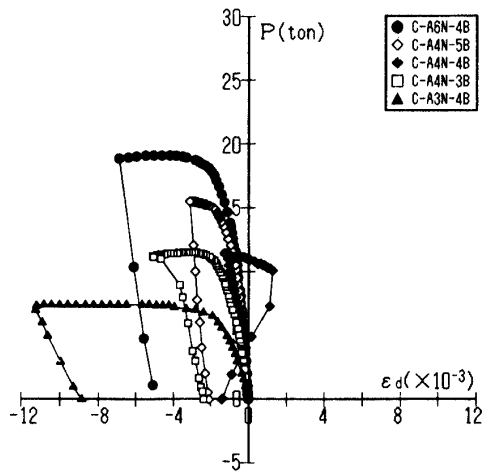
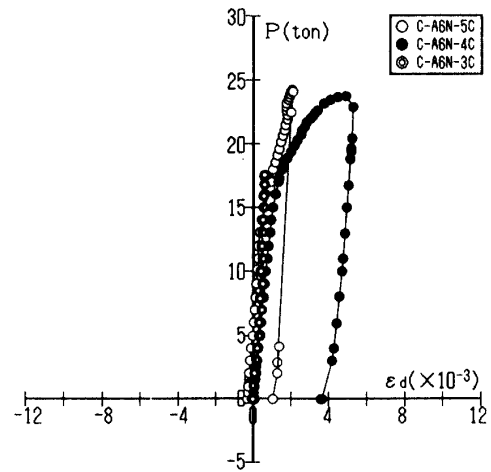


図24 鋼管フランジ部における荷重－面外曲げひずみ関係

図25 鋼管フランジ部における荷重－面外曲げひずみ関係

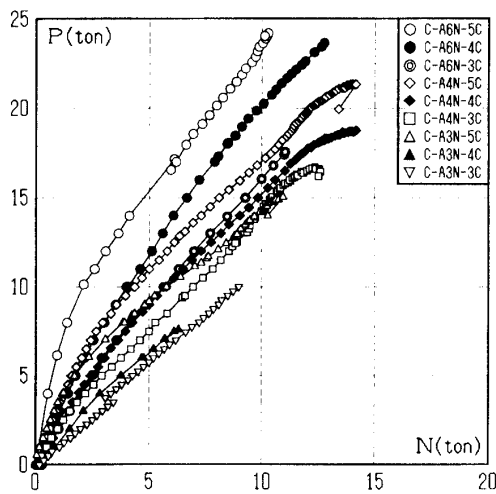


図26 荷重—拘束用鋼棒の軸力関係

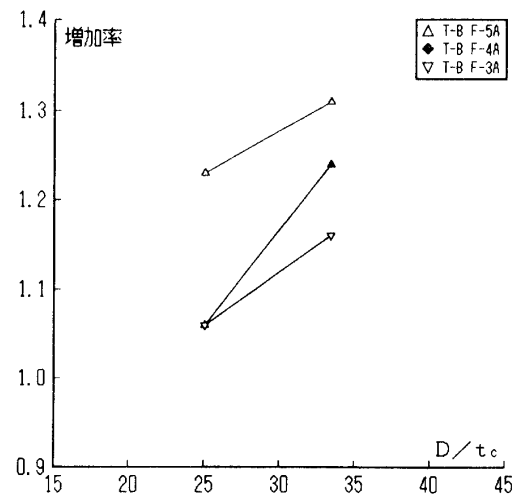


図28 増加率—幅厚比関係(コンクリート充填による影響)

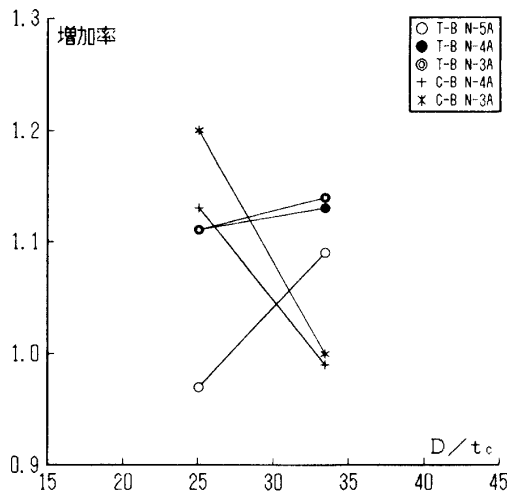


図27 増加率—幅厚比関係(鋼管径による影響)

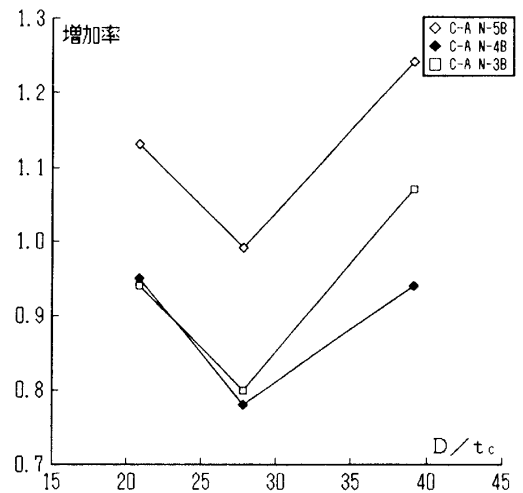


図29 増加率—幅厚比関係(直交梁による影響)

増加率は幅厚比が大きくなるほど小さくなる傾向があり、引張载荷のものと逆傾向になっている。

4. 2 コンクリート充填による影響【T-B□F-□AとT-B□N-□Aの比較】

コンクリートを充填した試験体の変形が、鋼管の外側に設けたストローク型変位計2個の平均値から求めたものであるため、リング型変位計で測定したものと直接比較できないが、傾向として、図28より、降伏耐力に関する増加率は幅厚比が大きくなるほど小さくなり、初期剛性に関する増加率は幅厚比が大きくなるほど大きくなる。

4. 3 直交梁による影響【C-A□N-□BとC-A□N-□Aの比較】

表5 (a)および(b)の基5の欄より、降伏耐力に関

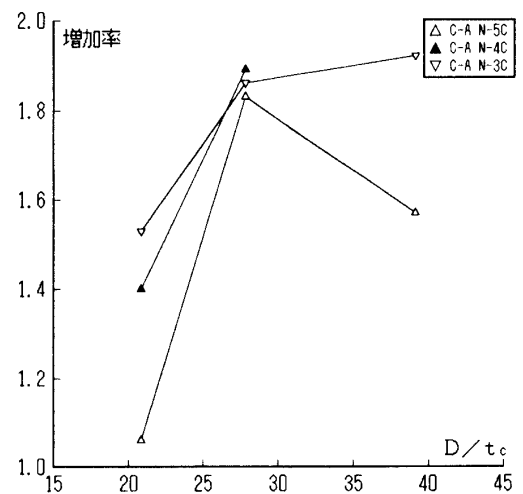


図30 増加率—幅厚比関係(拘束直交梁による影響)

しては 0.78～1.24 倍であり、直交梁による影響は小さく、初期剛性に関しては 1.31～4.93 倍である。その増加率から、鋼管厚が等しい試験体で比較すると梁フランジ幅が広い試験体ほど、また梁フランジ幅の等しい試験体で比較すると管厚が薄いもののほど直交梁の影響が顕著であることが分かる。

4. 4 拘束直交梁による影響【C-A□N-□C と C-A□N-□B の比較】

表 5 (a) および (b) の基 6 の欄より、降伏耐力に関しては 1.06～1.92 倍である。初期剛性に関しては 1.27～2.85 倍である。角形鋼管に拘束を与えた試験体は、直交方向の変形が拘束用鋼棒により拘束されるので、拘束のない試験体に比べ、降伏耐力および初期剛性が大きく、拘束直交梁による影響が認められる。

4. 5 有効幅モデル

ノンスチフナ接合法を実際の構造物に適用する場合、同接合部の局部耐力および局部剛性を検討する必要がある。図 31 (a) に示す試験体（図は C シリーズの加力状態を示す）の耐力および剛性を理論的に求めることは容易でないが、同図 (b) に示す単純化モデルの耐力および剛性は容易に求めることができる。同図 (a) の試験体の耐力および剛性と等しい耐力および剛性を与える単純化モデルの材長方向の長さを有効幅 Be と定義し、有効幅の評価式を求める。同図 (b) は、各隅角部をピン、鋼管フランジ部を剛体、鋼管の各隅角部が加力方向に直交する方向には変形しないとし、 w は同図 (a) の荷重 P を材軸方向単位長さ当たりの荷重に置き換えたものである。

降伏耐力に関する有効幅を Bes とし、同図 (b) の加力状態にある鋼管の降伏耐力 ($Py = Be \cdot w$) は次式で与えられる。

$$Py = Bes \cdot t_c \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma_y \cdots \cdots (1)$$

ここに、 t_c ：鋼管板厚

σ_y ：鋼管の降伏応力度

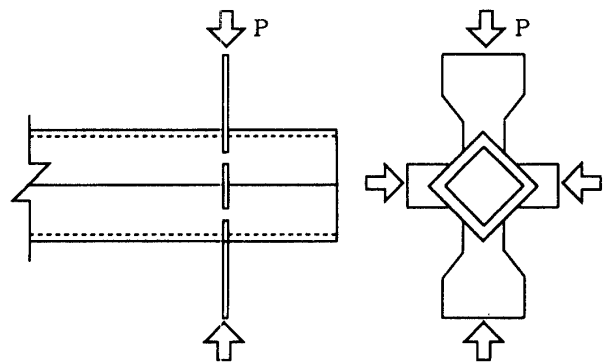
また、初期剛性に関する有効幅を Ber とすると、初期剛性 ($R = P/\Delta$) は次式で与えられる。

$$R = E \cdot Ber \cdot t_c / 2D \cdots \cdots (2)$$

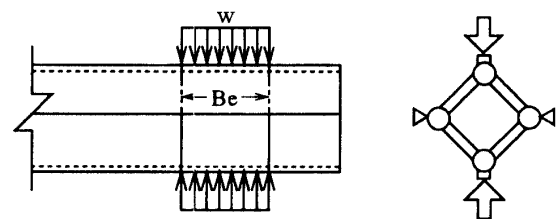
ここに、 E ：鋼のヤング係数

D ：鋼管フランジ幅

従って、降伏耐力および初期剛性に対する有効幅と鋼管径との比はそれぞれ、



(a) 実験加力状態



(b) 有効幅のための単純化モデル

図 31 有効幅

$$Bes/D = Py / (\sqrt{2} \cdot \sigma_y \cdot t_c \cdot D) \cdots \cdots (3)$$

$$Ber/D = 2R / (E \cdot t_c) \cdots \cdots (4)$$

と表される。

(3) および (4) 式に、それぞれ実験降伏耐力 Py および初期剛性 R を代入して得られる有効幅を表 7 (a) および (b) 中の実験有効幅の欄に示す。同表 (a) は引張載荷試験体について、(b) は圧縮載荷試験体について示す。同表 (a) および (b) より分かることは、直交梁を有しない試験体 (A シリーズ) では、降伏耐力および初期剛性とも、幅厚比の増加とともに有効幅は減少する傾向になっている。無拘束直交梁を有する試験体 (B シリーズ) も同様に、降伏耐力および初期剛性とも、幅厚比の増加とともに有効幅は減少している。拘束直交梁を有する試験体 (C シリーズ) は、降伏耐力に関しては幅厚比の増加とともに有効幅は増加し、初期剛性に関しては幅厚比の増加とともに有効幅は減少している。

直交梁を有しない試験体 (A シリーズ) の降伏耐力および初期剛性に関する場合と、直交梁を有する試験体 (B および C シリーズ) の降伏耐力に関する場合は、

$$Be/D = C_1(1 - C_2 D/t_c)(1 + C_3 B/\sqrt{2} \cdot D) \cdots (5)$$

ここに, C_1, C_2, C_3 = 係数

直交梁を有する試験体 (B および C シリーズ) の初期剛性に関する場合は,

$$Be/D = C_1(1 - C_2 D/t_c)(C_3 B/\sqrt{2} \cdot D) \cdots (6)$$

ここに, C_1, C_2, C_3 = 係数

と置き, 最小二乗法により求められた係数 C_1, C_2, C_3 の値および平均値, 標準偏差を表 8 (a) および (b) に示す。表中, N は試験体数, A_r は推定値/実験値の平均値を示す。また, 同表 (a) は降伏耐力について, (b) は初期剛性について示している。

実験値 (TEST) と推定値 (PRED) の比較を, 降伏耐力に関しては図 32 (a) ~ (e) に, 初期剛性に関しては図 33 (a) ~ (e) に示す。各図 (a) ~ (c) は直交梁を有しない試験体 (A シリーズ) で, (a) は引張荷重で鋼管断面中空の試験体を, (b) は引張荷重でコンクリートを充填した試験体を, (c) は圧縮荷重の試験体を示している。(d) は無拘束直交梁を有する試験体 (B シリーズ) を, (e) は拘束直交梁を有する試験体 (C シリーズ) を示している。実験値と推定値の比を表 7 (a) および (b) 中に示す。

表 7 (a) および (b) 中の推定値/実験値の欄より, 引張荷重で直交梁を有しない試験体 (A シリーズ) では, 鋼管断面中空の試験体 (T-□□N-□A) は, 降伏耐力および初期剛性に関して推定値と実験値はほぼ一致しており, コンクリートを充填した試験体 (T-B□F-□A) は, 降伏耐力に関してほぼ一致しているが, 初期剛性に関しては幅厚比の増大とともに推定値は増加している。特に, 試験体 T-B4N-5A の推定値を過小評価している。圧縮荷重で直交梁を有しない試験体 (C-□□N-□A) は, 降伏耐力に関して推定値と実験値はほぼ一致しているが, 初期剛性に関して管径が大きいと推定値/実験値が大きくなり, 鋼管幅 125 mm の試験体は管厚, 梁フランジ幅が小さいほど推定値/実験値が小さくなっている。無拘束直交梁を有する試験体 (C-A□N-□B) は, 降伏耐力および初期剛性に関して梁フランジ幅が大きいくほど推定値/実験値が大きくなっている。拘束直交梁を有する試験体 (C-A□N-□C) は, 降伏耐力に関してほぼ一致しているが, 初期剛性に関して T-A3N-5C を除いて, 推定値/実験値は 0.89~1.10 でほぼ一致している。

表 8 より, 圧縮荷重試験体の実験結果より引張荷重

の場合の方が推定式によく一致している。また, 降伏耐力に関しては, C-A□N-□B の標準偏差が 0.129 と大きく, 初期剛性に関しては, T-□□N-□A 以外の試験体で標準偏差が大きくでている。同表から, 降伏耐力に関する推定式の方が, 初期剛性の場合より推定値のばらつきが小さい。この原因として, 初期剛性の定義が最大耐力の 1/4 の時の荷重/変形 (P/Δ) としているため, 実験曲線の初期部分を考慮していないことが考えられる。

推定式には, 鋼材の降伏応力, およびコンクリートの圧縮強度等を考慮していないため, 推定値と実験値に差があると考えられ, また, D/t_c の値が大きくなれば推定値が負になる可能性があるため, この式の適用範囲は, 実験条件の範囲内に限られる。

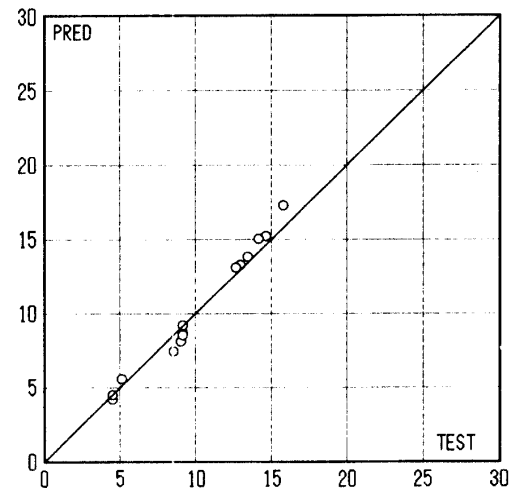
謝 辞

実験および資料整理に際し, 平成 6 年度卒業生小嶋聡美氏の御協力を得ました。ここに謝意を表します。

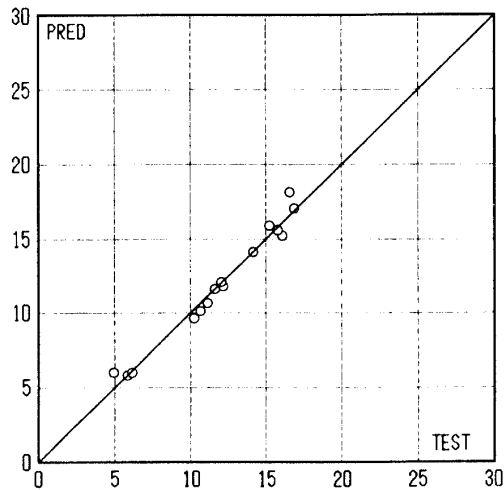
参考文献

- 1) 伴 潔, 今井克彦: 角形鋼管接合部の研究 — ダイアフラムにより補強された場合 —, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 225 号, pp.29-39, 1974.11
- 2) 田淵基継, 金谷 弘, 上場輝康: 角形鋼管柱・H 形鋼梁接合部の局部破壊 — 角形鋼管柱溶接接合部の実験的研究 1 —, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 349 号, pp.71-79, 1985.3
- 3) 田淵基継, 金谷 弘, 上場輝康: 角形鋼管柱・H 形鋼梁接合部の局部耐力推定式 — 角形鋼管柱溶接接合部の実験的研究 2 —, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 352 号, pp.79-89, 1985.6
- 4) 田淵基継, 金谷 弘: 水平荷重時における角形鋼管柱・H 形はり接合部の耐力評価 — 角形鋼管柱溶接接合部の実験的研究 3 —, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 358 号, pp.52-62, 1985.12
- 5) 森田耕次, 江戸波和正: 箱形断面柱—H 形断面梁接合部のダイアフラム補強に関する研究 — 接合部降伏耐力の評価 —, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 388 号, pp.100-111, 1988.6
- 6) 立山英二, 井上一朗, 松村弘道ほか: 通しダイアフラム形式で角形鋼管柱に接合される H 形断面はりの耐力と変形性能に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 389 号, pp.109-121, 1988.7

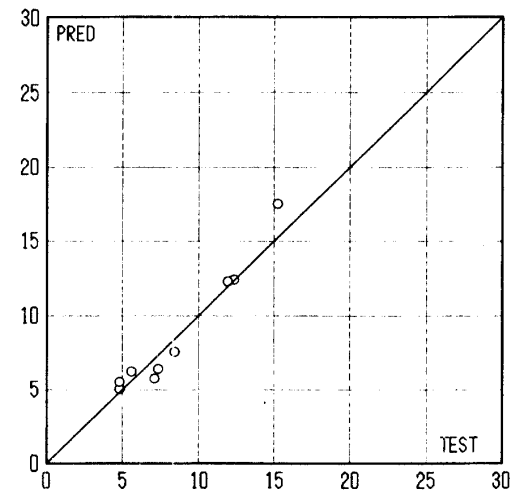
- 7) 立山英二, 井上一朗, 松村弘道：角形鋼管柱の左右にせいの異なる梁が接合される場合の梁の剛性と耐力に関する研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第416号, pp.113-123, 1994.9
- 8) 益尾 潔, 山田長美：スプリットティー引張接合による角形鋼管柱・H形鋼はり接合部終局耐力に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第424号, pp.91-103, 1991.6
- 9) 金谷 弘, 田淵基継, 上場輝康ほか：スプリットティー形式による角形鋼管柱・梁接合部に関する研究 —その1—鋼管幅厚比の影響, —その2—解析モデル, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅱ, pp.1183-1186, 1991.9



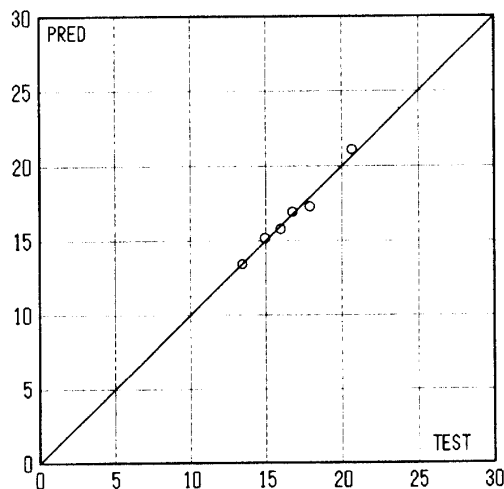
(c) 圧縮荷重, 直交梁を有しない試験体



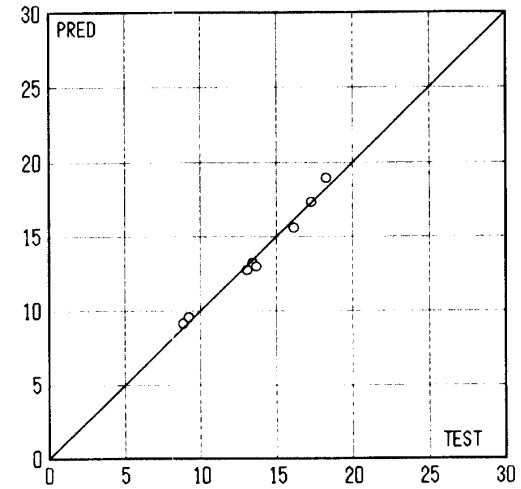
(a) 引張荷重, 内部中空



(d) 無拘束直交梁を有する試験体 (Bシリーズ)



(b) 引張荷重, コンクリート充填



(e) 拘束直交梁を有する試験体 (Cシリーズ)

図32 降伏耐力に関する推定値—実験値関係

- 10) 金谷 弘, 田淵基継ほか: 同上 —その3 補強効果—, —その4 耐力評価—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅱ, pp.1637-1640, 1992.8
- 11) 田淵基継, 古海賢二ほか: 同上 —その5 引張ボルト8本形式の実験—, —その6 引張ボルト8本形式の耐力評価—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.537-540, 1995.8
- 12) 千田 光, 福田浩司, 加藤征宏ほか: スプリットティー形式による柱梁接合部のせん断耐力に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文報告集, 第463号, pp.105-114, 1991.6
- 13) 森田耕次, 江戸波和正, 関根誠司ほか: 箱形断面

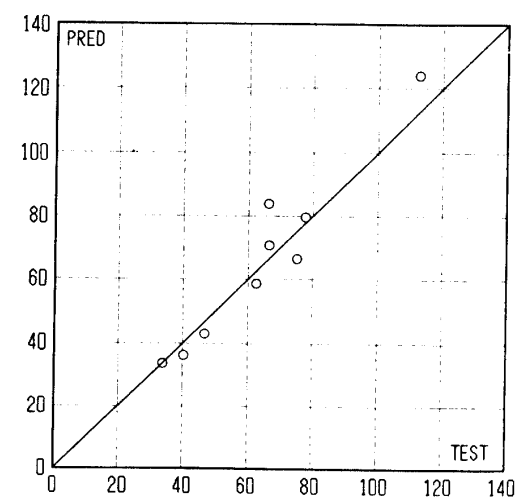
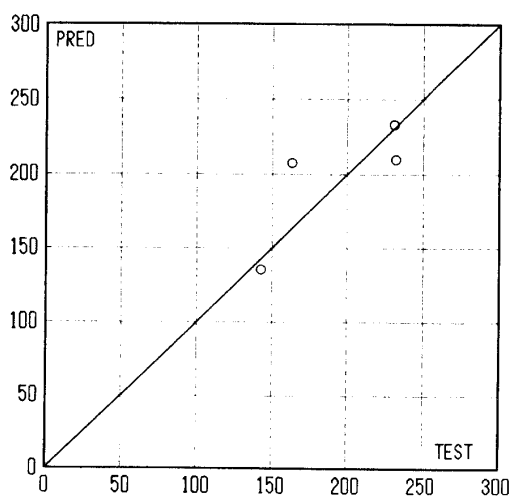
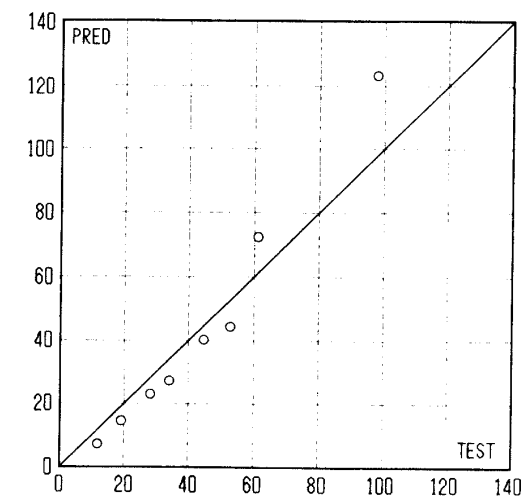
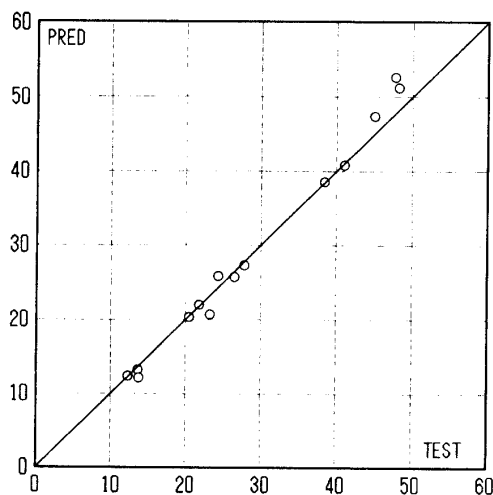
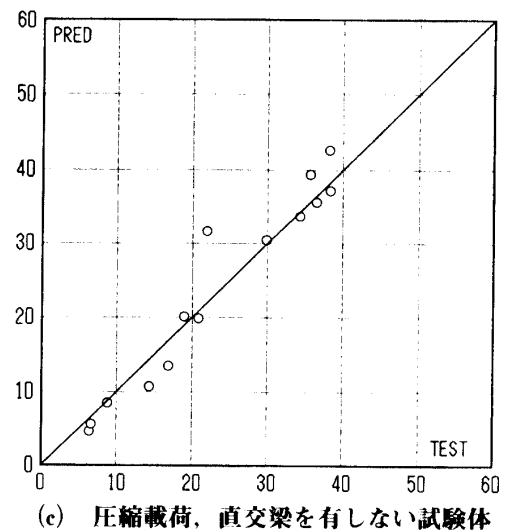


図33 初期剛性に関する推定値—実験値関係

表7 有効幅

(a) 引張载荷試験体

試験体名	実験有効幅		推定値／実験値	
	降伏耐力	初期剛性	降伏耐力	初期剛性
T-A6N-5A	0.4055	-	1.0935	-
T-A6N-4A	0.3736	0.0799	1.0422	1.0607
T-A6N-3A	0.3465	0.0745	1.0015	1.0523
T-A4N-5A	0.3354	0.0622	0.9594	0.9808
T-A4N-4A	0.3221	0.0590	0.9496	0.9732
T-A4N-3A	0.3078	0.0513	0.9385	0.8956
T-A3N-5A	0.3245	0.0412	1.0033	0.9681
T-A3N-4A	0.3224	0.0388	1.0294	0.9553
T-A3N-3A	0.3179	0.0373	1.0523	0.9816
T-B6N-5A	0.3425	0.0789	0.9477	1.1022
T-B6N-4A	0.3523	0.0668	1.0122	0.9927
T-B6N-3A	0.3310	0.0628	0.9895	1.0036
T-B4N-5A	0.3267	0.0546	0.9743	1.0652
T-B4N-4A	0.3262	0.0491	1.0068	1.0101
T-B4N-3A	0.3123	0.0457	1.0000	0.9946
T-B6F-5A	0.4343	0.3784	1.0210	1.0095
T-B6F-4A	0.3777	0.3801	0.9691	0.9045
T-B6F-3A	0.3520	-	1.0106	-
T-B4F-5A	0.4322	0.3666	0.9885	1.2736
T-B4F-4A	0.4050	0.3208	1.0134	0.9485
T-B4F-3A	0.3608	-	0.9973	-

(b) 圧縮载荷試験体

試験体名	実験有効幅		推定値／実験値	
	降伏耐力	初期剛性	降伏耐力	初期剛性
C-A6N-5A	0.3282	0.0631	0.9696	0.9719
C-A6N-4A	0.3148	0.0598	0.9732	0.9772
C-A6N-3A	0.3081	0.0564	0.9630	0.9825
C-A4N-5A	0.2589	0.0465	1.1395	0.9555
C-A4N-4A	0.2746	0.0372	1.0442	0.8030
C-A4N-3A	0.2785	0.0320	0.9934	0.7500
C-A3N-5A	0.2494	0.0265	1.0742	0.9605
C-A3N-4A	0.2844	0.0191	0.9108	0.7487
C-A3N-3A	0.2518	0.0202	0.9953	0.8523
C-B6N-5A	0.3355	0.0628	0.9108	1.1171
C-B6N-4A	0.3067	0.0582	0.9625	1.1030
C-B6N-3A	0.3014	0.0495	0.9416	1.0242
C-B4N-5A	-	-	-	-
C-B4N-4A	0.2440	0.0491	1.1085	1.4471
C-B4N-3A	0.2444	0.0421	1.0715	1.3065
C-A6N-5B	0.3381	0.1621	1.1479	1.2612
C-A6N-4B	0.2780	0.0887	1.0073	0.8405
C-A6N-3B	0.2671	0.0747	1.0287	0.8948
C-A4N-5B	0.2361	0.1348	0.9026	1.1853
C-A4N-4B	0.1995	0.0750	0.8100	0.7991
C-A4N-3B	0.2037	0.0613	0.8782	0.8244
C-A3N-5B	0.2399	-	1.1157	-
C-A3N-4B	0.2089	0.0579	1.0453	0.7664
C-A3N-3B	0.2123	0.0363	1.1479	0.6184
C-A6N-5C	0.3632	0.1896	0.9664	1.0987
C-A6N-4C	0.3867	0.1259	1.0039	0.8856
C-A6N-3C	0.4099	0.1048	1.0389	0.9382
C-A4N-5C	0.3697	0.1732	0.9786	1.0247
C-A4N-4C	0.3810	0.1483	0.9843	1.0652
C-A4N-3C	0.3770	0.1012	0.9512	0.9229
C-A3N-5C	0.3955	0.2069	1.0388	1.2665
C-A3N-4C	-	0.1235	-	0.9037
C-A3N-3C	0.4149	0.1056	1.0379	0.9997

表8 評価式

(a) 降伏耐力

試験体名	N	C ₁	C ₂	C ₃	A _r	標準偏差
T-A□N-□A、T-B□N-□A	15	0.34594	0.00614	0.48800	1.00	0.0424
T-B□F-□A	6	-0.00279	1.67280	0.21664	1.00	0.0193
C-A□N-□A	14	0.30900	0.07220	0.43600	1.00	0.0723
C-A□N-□B	9	0.26300	0.01160	1.02500	1.00	0.1290
C-A□N-□C	8	0.42235	-0.00070	0.25700	1.00	0.0353

注) N: 試験体数

C₁、C₂、C₃: 式(5)および(6)の係数A_r: 推定値/実験値の平均値

(b) 初期剛性

試験体名	N	C ₁	C ₂	C ₃	AVE	標準偏差
T-A□N-□A、T-B□N-□A	14	0.08402	0.01655	1.00000	1.00	0.0531
T-B□F-□A	4	1.93500	0.02170	-0.96420	1.01	0.3370
C-A□N-□A	14	0.07349	0.01903	1.03600	1.03	0.1910
C-A□N-□B	8	0.35600	0.01184	1.00000	1.17	0.2610
C-A□N-□C	9	0.38122	0.00265	1.00000	1.04	0.1100

注) 記号については、同図(a)参照

柱-合成梁無補強接合部の力学的挙動に関する研究 — 鋼構造半剛接合部の耐震性能に関する研究 —, 日本建築学会構造系論文報告集, 第463号, pp.115-124, 1994.9

- 14) 村上行夫, 山本 昇, 森田耕次: 増厚補強型柱・梁接合部を用いた半剛接架構設計法に関する研究, 鋼構造論文集, 第1巻4号, pp.53-64, 1994.12
- 15) 金谷 弘, 上場輝康ほか: 仕口部を増厚した円形鋼管柱・梁接合部の弾塑性挙動に関する研究 — その1 鉛直荷重実験 —, —その2 水平荷重実験 —, —その3 局部耐力推定式 —, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅱ, pp.1447-1452, 1994.9
- 16) 田淵基継, 上場輝康ほか: 仕口部を増厚した円形鋼管柱・梁接合部の弾塑性挙動に関する研究 — その4 水平荷重を受ける接合部の弾塑性FEM数値解析 —, —その5 設計式 —, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.603-606, 1995.8
- 17) 稲岡真也, 山本 昇, 森田耕次: コンクリート充填円形鋼管柱梁無補強接合部の設計法に関する研究 (その1: 接合部引張試験), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅱ, pp.1533-1534, 1994.9
- 18) 田淵基継, 金谷 弘, 上場輝康: 支管より曲げをうける正方形鋼管分岐継手の局部破壊 — 角形鋼管T型分岐継手に関する研究1 —, 日本建築学会構造系論文報告集, 第357号, pp.61-71, 1985.11
- 19) 田淵基継, 金谷 弘: 支管より曲げをうける長方形鋼管分岐継手の局部破壊 — 角形鋼管T型分岐継手に関する研究2 —, 日本建築学会構造系論文報告集, 第360号, pp.140-146, 1986.2

- 20) 田淵基継, 金谷 弘: 支管より曲げをうける角形鋼管分岐継手の局部耐力推定式 — 角形鋼管T型分岐継手に関する研究3 —, 日本建築学会構造系論文報告集, 第362号, pp.93-104, 1986.4
- 21) 小野徹郎, 岩田 衛, 石田和人: T型分岐継手の局部耐力評価 Y型接合角形鋼管トラス接合部の局部耐力に関する実験的研究 その1, 日本建築学会構造系論文報告集, 第436号, pp.155-164, 1992.6
- 22) 小野徹郎, 石田和人, 岩田 衛: K型分岐継手の局部耐力評価 Y型接合角形鋼管トラス接合部の局部耐力に関する実験的研究 その2, 日本建築学会構造系論文報告集, 第445号, pp.159-168, 1993.3
- 23) 小野徹郎, 石田和人, 岩田 衛ほか: 面内曲げを受けるY型接合角形鋼管T型分岐継手に関する実験的研究 (その1. 破壊状況及び荷重変形関係), (その2. 耐力評価), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅱ, pp.1357-1360, 1993.9
- 24) 吉田文久, 石田和人, 小野徹郎: 45度方向加力による角形鋼管部材の曲げ実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅱ, pp.1307-1308, 1993.9
- 25) 伊藤茂樹, 岡本晴仁, 加村久哉: 各種断面鉄骨柱の柱梁接合部パネル挙動, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅱ, pp.1391-1392, 1994.9
- 26) 三谷 勲, 久米国幹, 有馬冬樹, 川添敦也: 角形鋼管柱-H形鋼はりのノンスチフナ接合部に関する実験的研究 (その3 局部耐力), 日本建築学会九州支部研究報告, 第33号, pp.297-300, 1992.3
- 27) 三谷 勲, 久米国幹, 有馬冬樹, 川添敦也: 同上 (その4, その5 局部耐力), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅱ, pp.1525-1528, 1992.8

- 28) 倉橋孝裕, 有馬冬樹, 三谷 勲: 同上 (その 8 直交梁を有する場合の局部支圧耐力), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅱ, pp.1499-1500, 1994.9
- 29) 三谷 勲, 有馬冬樹, 倉橋孝裕: 同上 (その 9 長期応力下の内柱接合部の局部支圧耐力), 日本建築学会九州支部研究報告, 第35号, pp.509-512, 1995.3
- 30) 倉橋孝裕, 三谷 勲, 有馬冬樹: 同上 (その10 長期応力下の内柱接合部の局部支圧耐力), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造Ⅲ, pp.573-574, 1995.8