

# 空間構造システムの開発 - Wトラス -

## Development of W-truss System

鈴木 達人<sup>\*(1)</sup>  
Tatsuto SUZUKI

### 抄 録

建築分野における鋼管トラス構造において、製作技量に支配されにくく安定した品質性能が得られ、また一方向性トラスに適した継手接合部を新規に開発し、これにより成立する立体架構をWトラスと名付けた。ここではWトラスの開発概要について各種構造試験の実施内容を通じて述べる。

### Abstract

The authors propose a new concept of space truss system with using an arc plate for its connection detail. The detail is aimed to have stable performance that would not be controlled significantly by welders' qualities, for an important part of the structure. This report is focused on the development of the W-truss System through some experimental studies of its connection.

## 1. 緒 言

建築分野における鋼管トラス構造は、構成部材が閉鎖断面であるが故に、鋼管同士の継手の設計と施工に独特の配慮が必要である。特に立体トラスで鋼管分岐継手架構とした場合、複数の鋼管が互いに立体的な角度で入射する継手となるため、入射角、管径、管厚がパラメーターとなり継手耐力に影響を与える。鋼管トラス構造設計施工指針<sup>1)</sup>には、膨大なパラメトリック実験成果に基づいて設定された鋼管分岐継手の設計耐力が示されており、広く実用に供されてきた。

一方、立体トラス構造の汎用性を追求した構造サブシステム<sup>2)</sup>として、各種の球型接合部で構成されるシステムトラスがある。これで空間構造を構築することの利点は、第一に面的拡がりを持つ構造体を多数の節点で離散化し、多数のユニット部品から構成することで、任意の架構形状に対して同等な手法で設計・生産できること、第二にこれら構成部品の生産工程は機械化、情報化を前提としており、加えて現場溶接が回避されていることから性能、品質の再現性に優れている点である。その反面、架構形状が単純な場合には接合部機構の冗長性からコスト高を招くことがある。すなわち、この特徴を意識せず安易に平易な架構に適用されるならば、いたずらに機構の冗長性を招くのみで、システムトラス本来の優位性を引き出せない場合もある。

そこで筆者らは、各種空間構造に用いる構造サブシステムの選択肢のひとつとして、一方向性トラス構造に特化した鉄骨トラスシステムを新規に提案し、これの開発を行ってきた。鋼管トラス構造で

最も重要となる接合部性能の検証に関しては、従来型である分岐継手等と対比した場合の優位性獲得を目指した<sup>3,4)</sup>。

## 2. Wトラス概要

新規開発の鉄骨トラスシステムをWトラスと呼称している。これは、円形鋼管の弦材とその両側に取付く斜材及びとなりあう弦材同士を結ぶつなぎ材をひとつの単位とし、これを横に連結し面的にすることで空間架構をつくるものである。斜材の接合部を工場、現場の省力化、品質再現性を念頭に新たに考案し、設計と部品を標準化することで、システムトラスとは異なりスパン及びトラス間隔がおおむね一定、つまり平面的に矩形に近い形状の一方向性トラス架構的に絞ったシステムとすることを意図した。

Wトラスの接合部(図1)は、弦材鋼管表面に円弧状の鋼製ノードブロック(以下、円弧板)が溶接固定されている。溶接は円弧板両側

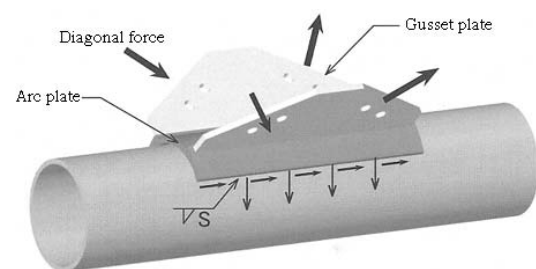


図1a Wトラス接合部 説明図  
Description

<sup>\*(1)</sup> 建築事業部 技術開発グループ マネジャー  
東京都千代田区大手町2-6-3 〒100-8071 TEL:(03)3275-6676

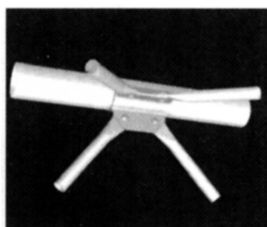


図1b Wトラス接合部  
W-truss connection

のみで、中間部は鋼管との間に隙間がある。この円弧板に2枚のガセットプレートが取り付けられている。一方個々の斜材鋼管の両端は扁平加工が施されており、高力ボルト摩擦接合にてガセットプレートと結合される。ガセットプレート1枚あたり斜材2本の結合を担う。

一般に曲げを受けるトラス梁の斜材の軸力は、交互に圧縮、引張となる。4本の斜材合力は 主管軸に直交する力 (T型応力)と 主管軸に平行な力 (K型応力)に分けられるが、通常K型応力が主体となる。Wトラス接合部ではT型応力に対する耐力確保を狙って円弧板円周角を原則的に120°に設定し、かつK型応力時の円弧板溶接線への一次曲げを排除するため4本の斜材軸の交点は溶接線レベルに合わせることにした。この結果、斜材軸交点と主管軸とは一律で距離D/4の偏心を有している。

在来分岐継手鋼管トラス構造は、斜材軸力下において、相貫溶接部近傍に応力集中が起こりがちなため、構造性能が溶接品質のばらつき、製作者の技量に左右され性能再現性に対する懸念が残る。またガセット継手ではダイヤフラム補強等主管への溶接箇所が多く、やはり構造性能が製作者の技量に依存しやすい。本接合部は、できる限りこのような不確定性を排除した継手を目指すため、厚肉の円弧板を介在させることで主管への溶接量を減らし、かつ主管壁の補剛と局部応力分散を図ることとした。また、斜材管径、入射角度等の変動に対して一律のメカニズムで説明・評価可能な接合部を目指した。

筆者らはこのようなWトラスの成立に向けて取り組んだ。本稿では接合部の耐力確認のために行った一連の静的加力試験の概要について述べる。

### 3. T型加力試験

#### 3.1 試験概要

はじめに基本試験として、本接合部のT型加力試験を行い、その挙動を調査した。これはガセットプレートを円弧板頂上に1枚のみ取付け、円弧板を介して主管軸に直交に静的加力するもので、円弧板と主管との一体挙動を調べたものである。

試験体(図2)は、一般構造用炭素鋼管( STK 490 )の中央に円弧板及び1枚ガセットが付いたもので、主管両端支持点までの余長は1.0Dとした。円弧板及び1枚ガセットは鑄鋼( SCW 480 )一作品とし、主管への取付けは十分なサイズのすみ肉溶接とした。また、円弧板の円周角は120°に設定し、挙動をわかりやすくするため円弧板と主管表面との間に約3mmの隙間を設けた。

試験体のパラメーターの内訳は、主管サイズ D×T=216×5.8 (mm)、円弧板肉厚 t=20(mm)を標準試験体とし、主管サイズ (TN)、円弧板サイズ (TS)及び主管導入軸力 (TA)を変化させている(表1)。また、素材引張試験により、円弧板、ガセット鑄鋼は、主管に対し約6割の降伏点を有することを確認している。

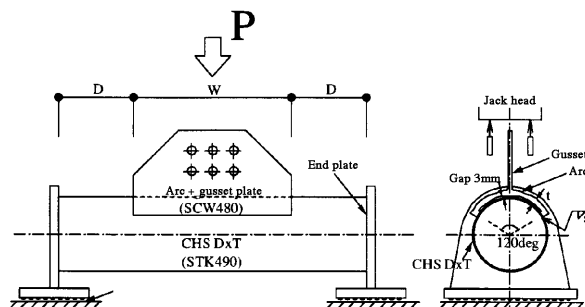


図2 T型加力試験 セッティング  
T-joint test set-up

表1 T型加力試験 試験体表  
T-joint test specimen

ID	CHS			Arc plate		CHS force (kN)	Note	Results	
	D (mm)	T (mm)	D/T	W (mm)	t (mm)			Max P (kN)	
TN165	165.2	4.5	37	400	20	0		510	
TN216-1	216.3	5.8	37	450	19			std.	780
TN216-2		8.2	26		19			1050	
TN267-1	267.4	6.6	41	500	20			60deg	830
TN267-2					19	650			
TA165	165.2	4.5	37	400	20	0.3 AFy		450	
TA216	216.3	5.8	37	450	20			740	
TA267	267.4	6.6	41	500	20			780	
TS216-1	216.3	5.8	37	450	10	0		520	
TS216-2					14			670	
TS216-3					20			680	
TS216-4					20			820	

### 3.2 試験の結果

載荷終了後の崩壊形状を観察すると(写真1), 円弧板は鳥が翼を拡げたように頂上で折れる形で様々に開いている。また主管は時計に擬えると3時, 9時の位置に曲げ変形が集中し, かつ11-1時の部分が平らに戻るかたちで潰れている。試験体の円弧板は管軸方向に均一な変形をし, 主管との隙間は円弧板中央部では保たれたが, 円弧板の主管軸に沿った両端部では最大荷重付近において主管と円弧板が接触した。

全般的な挙動は, 弾塑性域に入った後緩やかに耐力上昇の勾配が低下し, 最大耐力到達後も長い降伏棚を有したものとなった(図3)。また, この最大耐力は文献1)に示されている鋼管分岐継手で斜材と主管が同径の場合の推定値と比較すると3.3倍程度高い。

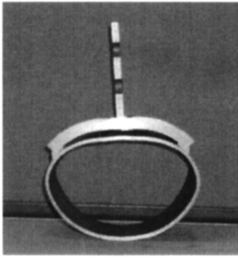


写真1 載荷終了後の切断面  
Cut section after loading

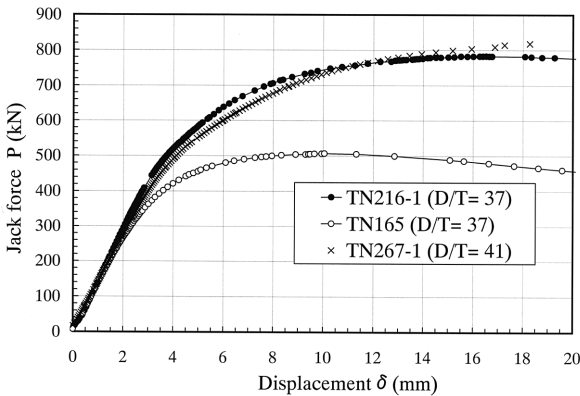


図3 T型加力試験 荷重 - 変位曲線  
T-joint test P- curve

試験体の有限要素法解析によっても, 試験で得た挙動を再現することができ, 主管と円弧板双方の剛性と降伏耐力が互いに関連しあって系全体の弾性・弾塑性挙動が決定されていることが確認された。そこで次式の円弧板と主管とを並列した機構モデルにより, 今回のパラメーターの範囲でのT型最大耐力値 $P_y$ の推定式を考案した。

$$P_y = C \frac{F_{yn} Z_{pn} + F_{yc} Z_{pc}}{D \cos(\theta/6)} \quad (1)$$

$F_{yn}, F_{yc}$ : ノード, 主管の降伏点

$Z_{pn}, Z_{pc}$ : ノード, 主管の塑性断面係数

$$C = 32T/t : (0.23 \quad T/t \quad 0.58) \quad (2)$$

$T, t$ : 主管, 円弧板の肉厚

### 4. K型加力試験

#### 4.1 試験概要

次に斜材接合部の応力場を二次元で模擬したK型加力試験を行い, T型に続き接合部の一体挙動を調査した。

加力装置セッティングは図4の通りで, 試験体パラメーターは主

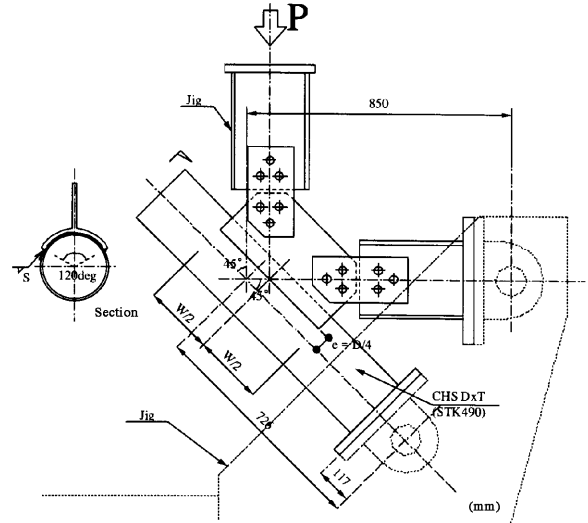


図4 K型加力試験 セッティング  
K-joint test set-up

表2 K型加力試験 試験体表  
K-joint test specimen

ID	CHS		D/T	Arc plate		e (mm)	Note	Results
	D (mm)	T (mm)		W (mm)	t (mm)			Max P (kN)
KE165	165.2	4.5	37	400	20	D/4	std.	740
KE216-1	216.3	5.8	37	450				1140
KE216-2		8.2	26	1300				
KE267	267.4	6.6	41	500	20	D/4	1355	
KS216-1	216.3	5.8	37	450			0	1150
KS216-2				D/2			1075	
KS216-3				350			D/4	1050
KS216-4				550				1160
KS216-5				450				10
KS216-6					15	1170		

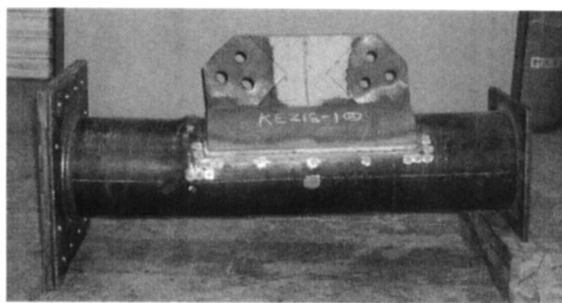


写真2 载荷終了後の試験体  
Typical specimen after loading

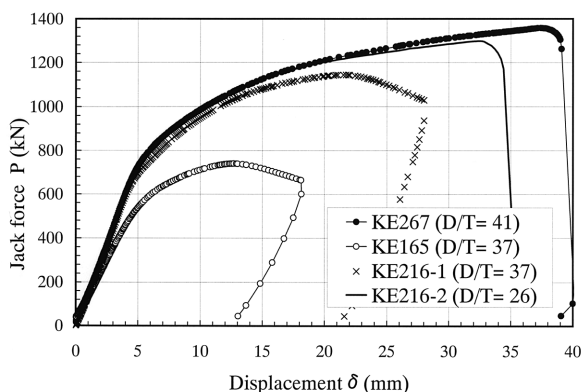


図5 K型加力試験 荷重 - 変位曲線  
K-joint test P- curve

管サイズ (KE), 円弧板サイズ (KS) のほか, 偏心距離を変えたものとした(表2)。

#### 4.2 試験の結果

標準試験体では, 拘束端側の円弧板終端部付近において, 軸圧縮及び加力軸の偏心 ( $D/4$ ) による曲げで主管壁がこぶ状に大きく膨らんで変形し, 最大耐力に至った(写真2, 図5)。この最大耐力もT型同様鋼管分岐継手の推定値と比較して3.3倍程度の値となった。

同じくT型と共通するが, 主管と円弧板の剛性と降伏が連成して挙動に関連していること, また今回のパラメーターの範囲では円弧板の長さの関与は小さいこと, などが分かった。

### 5. X型加力試験

#### 5.1 試験概要

引き続き接合部のX型加力試験を行った。これは主管を単調軸引張載荷することで4方向からの斜材力に対する主管及び円弧板の性状を観察したものである。ガセットプレートと加力治具との結合にはピン90mm径を用いて斜材曲げ剛性の影響を退けた(図6)。

#### 5.2 試験の結果

試験の結果, 接合部を含む試験体が十分な弾性限耐力をもち, かつ主管の軸降伏耐力に達するまで耐力低下しないことを確認できた。最大耐力時の主管及び円弧板の局部変形も微小であった。また先述の偏心量 ( $D/4$ ) により, トラスのモデル化の際には接合部回転剛性を若干考慮する必要があることが分かった(表3, 図7)。

ここまでの一連の試験検証とFEM解析検証により, Wトラス接合部に用いる円弧板の標準肉厚及び形状を決定するとともに, 荷重に対する接合部耐力検定法を策定した。

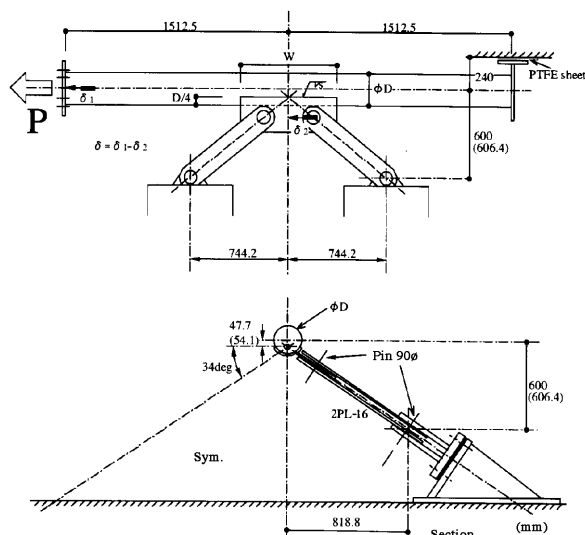


図6 X型加力試験 セッティング  
X-joint test set-up

表3 X型加力試験 試験体表  
X-joint test specimen

ID	CHS			Arc plate	
	D (mm)	T (mm)	D/T	W (mm)	t (mm)
A-1, 2, 3	190.7	5.3	36	460	13
B	216.3	5.8	37	460	11

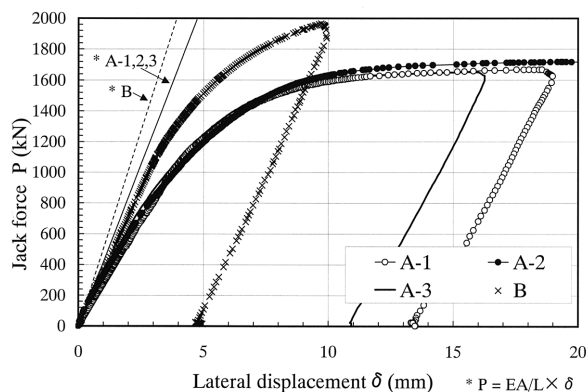


図7 X型加力試験 荷重 - 変位曲線  
X-joint test P- curve

### 6. 斜材端部の耐力について

主管及び円弧板部分の検証の次に, 斜材端部の検討をおこなっている。これは先述のように, 鋼管の両端がガセットプレートとの接合のため冷間加工により扁平形状としていることによる影響を調べたものである。実験によると, 管の径厚比 (D/T) に応じて軸圧縮耐力が低下する傾向が見られた。加工プロセス解析を含む検討の結果, これは扁平形状であることに加えて冷間成型による内部残留応力が影響していると考えられる。

実験で検証された一定の範囲サイズの鋼管に対して耐力低減値を設定し, 設計の際, 扁平加工材の管厚選定にはこれを考慮することとした。



物件名:北九州市立戸畑中央小学校体育館棟  
設計:(株)高橋上田設計事務所  
トラス規模:約24m(スパン方向)×33m(桁行方向),デプス1.2m

写真3 Wトラス実施例  
W-truss example (Tobata Primary School Gymnasium)

## 7. 結 言

円弧板を用いた新形式接合ディテールからなる立体トラスWトラスの提案を行い,その接合部に関し,実験研究を中心に構造的性状を検証した経緯について概説した。尚,新日本製鐵建築事業部では,Wトラスを北九州市立戸畑中央小学校体育館屋根架構(写真3)など複数案件に適用している。

## 謝 辞

神奈川大学建築学科 岩田教授,東京工業大学建築学専攻 竹内助教授には一連の研究を通じ御助言を賜り,ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 鋼管構造設計施工指針・同解説 .日本建築学会
- 2) 岩田衛 ほか:建築鋼構造のシステム化 鋼構造出版
- 3) 鈴木達人 ほか:円弧板を用いた鋼管トラス接合部の力学性状に関する研究 .日本建築学会構造系論文集 .(574) ,121-126(2003)
- 4) 太田和秀 ほか:Wトラスの接合部耐力に関する研究 .その1-4 .日本建築学会大会学術講演梗概集 2002.8, 2003.9, 2004.8