

# NSテンションシステムの開発

## Development of NS Tension System for Space Frame

富本 淳<sup>\*(1)</sup> 竹内 徹<sup>\*(2)</sup> 松岡 祐一<sup>\*(1)</sup> 前田 泰史<sup>\*(1)</sup>  
*Atsushi TOMIMOTO Toru TAKEUCHI Yuichi MATSUOKA Yasushi MAEDA*

### 抄 録

近年、建築分野では体育施設、展示施設、エントランスホールなどの空間構造にケーブルや高張力ロッドを使用したテンション構造(張弦構造)を採用する例が増加している。本構造は鋼材を引張に使用する最も効率的な架橋形式であり、軽量、高耐力、高剛性の構造物を少ない材料で構成でき、軽快で透明性の高い優れた外観デザインを実現することができる。その一方、構成部材や接合部に特殊な鋼材を使用するため、建築基準法上の制限により個別認定が要求され、簡便な使用が難しい状況にあった。新日本製鐵建築事業部では1990年以来、建築用テンションシステムの標準化に取り組み、屋根架構用のルーフシステムおよびガラス壁架構用のグレーディングシステムを商品化するとともに、各種認定を取得することによる採用事例の拡大を図ってきたのでその一端を紹介する。

### Abstract

Tension string structures using cable or high-strength rods are now becoming very popular for spatial structures such as sports gymnasium, convention center, entrance hall, and so on. These structures are one of the most rational structural systems, which use steel members under pure tension forces, without buckling. They are lightweight, high-strength/stiffness, and realizing elegant appearances. However, because of using special types of steel materials, individual approval is required for the practical construction, which obstructs the designers from adoption to building design. Since 1990, Nippon Steel / Building Construction Div. has been endeavoring on the systematization of "Tension Roof System" and "Tension Grazing System", developing the market by authorizing the general approvals for building use. In this paper, parts of general technical information of this system are reported.

### 1. はじめに

建築物の主要構造部(例えば柱・梁)の中には引張応力が卓越する部分が存在する。この部分に鋼棒(ロッド)や鋼索(ケーブル)を用いた構造物を一般的にテンション構造(張弦構造)と称する。テンション構造は、写真1に示す体育館の屋根を支持する架構や、写真2に

示すアトリウムのガラス壁を支持する架構に採用されることが多い。テンション構造は意匠美の高い空間を作り出しているだけでなく、強制的に軸力を導入することで、地震時や強風時にも座屈することなく主要構造部として機能する優れた構造形式である。



写真1 テンション構造例1 (屋根架構:ルーフシステム)  
Tension structure no.1 (roof system)



写真2 テンション構造例2 (壁架構:グレーディングシステム)  
Tension structure no.2 (glazing system)

\*<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)3275-5337

\*<sup>(2)</sup> 東京工業大学 建築学専攻 助教授 工博

このテンション構造の構成部品であるテンション材と材端の接合部品を、建築用ターンバックル相当品として設計、製造、施工法をまとめてシステム化したものがNSテンションシステムである。新日本製鐵建築事業部では、このシステム商品をつるにテンション架構全体の設計協力・提案、テンション架構を含む鉄骨の製作、建方工事を一連の事業として展開を図っている。本報は、NSテンションシステムのシステム化に向けた取り組みについて報告するものである。

## 2. NSテンションシステムの概要

図1にNSテンションシステム(以下本システムと呼ぶ)の構成部品一覧を示す。テンション材には2種類の鋼棒(タイロッド、PC鋼棒)と3種類の鋼索(スパイラルロープ、ストランドロープ、ロックドコイルロープ)が有り、接合部品は3種類(ソケットジョイント、ピンジョイント、シリンダージョイント)が標準である。表1にテンション材、表2に接合部品の機械的性質について示す。本システムは56kN(ストランドロープ7×7, 14mmφ)から2799kN(タイロッド90mmφ)の範囲で引張荷重を保証する設計となっている。各々10種類以上のサイズ体系を有しており、中でも、ロックドコイルロープは20のロープ径から選択が可能である。

接合部品のソケットジョイントは鋼棒専用で、ねじ加工したテンション材が球形ナットに定着しているため、立体的な変形追従が可能であることが最大の特徴である。ピンジョイントはテンション材を選ばないため、使用実績が最も多い接合部品である。一方の回転変形に追従が可能である。シリンダージョイントは、ドイツ

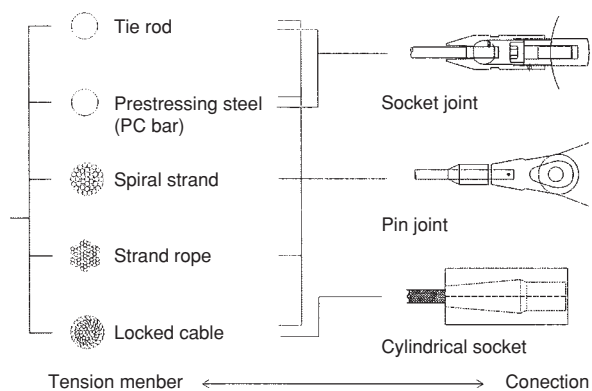


図1 NSテンションシステムの構成部品  
Parts of NS tension system

ロープメーカー(ファイファー社)が専用部品として製造しているDIN規格品である。これらの接合部品は、テンション材の許容軸力を設計荷重として形状決定し、実大試験にて構造特性を確認した上で保証荷重を設定している。

図2にテンション構造を用いた架構例を示す。屋根架構用のルーフシステムは、主に固定荷重および積載荷重いわゆる自重を支持する架構で、H型鋼のような型鋼単材より経済効果の期待できるスパン(梁間)を有する建築物に利用される架構である。壁架構用のグレーディングシステムは主に風荷重を支持する架構で、ガラス仕上げのアトリウムの壁に使用されることが多い。これらの架構はテンション材だけでは成立せず、図中に示す圧縮材、曲げ材と呼ばれる部材が不可欠である。この部材を含め、テンション材と接合部品を意匠性、構造的に要求性能を満たすよう選択し、架構全体の設計を行っていくことになる。

## 3. 本システムの構造特性

### 3.1 建築基準法に基づく大臣認定の取得

建築物の主要構造部に使用できる材料は、建築基準法が定める指定建築材料でなければならない。本システムの構成部品の材料は、

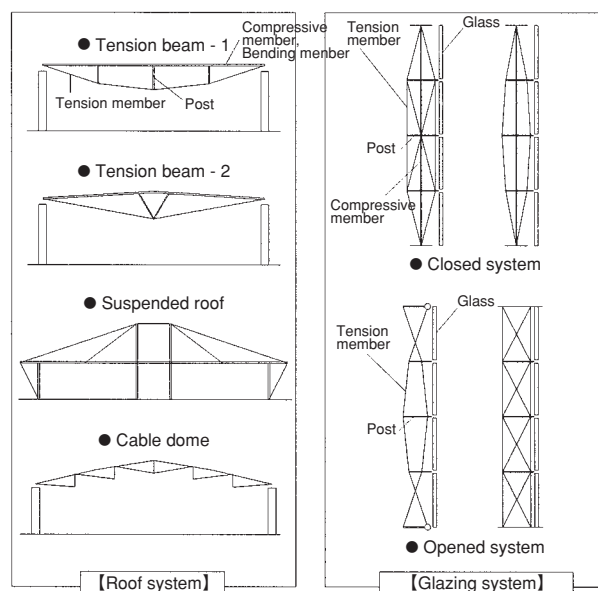


図2 テンション構造を使用した架構例  
The example of system used tension structure

表1 テンション材の機械的性質  
Mechanical properties of tension member

Tension member	Standard	Grade	Yield point or yield strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Minimum diameter in blackets = P <sub>s</sub> (kN)	Maximum diameter in blackets = P <sub>s</sub> (kN)
Tie rod	Authorized products	690N/mm <sup>2</sup> grade steel	440 min.*1	690-810	20 min.	25mmφ{215}	90mmφ{2799}
PC bar	JIS G 3109	Grade B No.1	930 min.*1	1080 min.	5 min.	13mmφ{85}	40mmφ{814}
Spiral strand	JSS II 04	ST1470	1 080 min.*2	1470-1720	3 min. (4 min.)*3	14mmφ(1×19){72}	45mmφ(1×61){734}
Strand rope	JSS II 03	ST1470	1 080 min.*2	1470-1720	3 min. (4 min.)*3	14mmφ(7×7){56}	33.5mmφ(7×7){325}
Locked cable							
Z-wires	DIN 779	—	—	1570-1830	—	26(VVS-2){290}	77(VVS-3){2650}
Diameter of wire 2.0mmφ min.	DIN 2078	—	—	1570-1830*1	—		

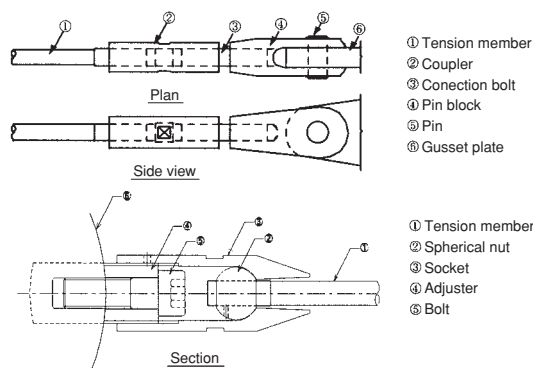
\*1 Yield point or the stress giving permanent elongation of 0.2%. \*2 The stress giving total elongation of 0.7%.

\*3 When diameter of round wire is > 2.8mm, the elongation is value in blackets.

\*4 Maximum tensile strength of round wire is defined, when the diameter is  
 ≥ 0.2mm but < 0.5mm, 1 960kN, ≥ 0.5mm but < 1.0mm, 1 920kN,  
 ≥ 1.0mm but < 1.5mm, 1 900kN, ≥ 1.5mm but < 2.0mm, 1 860kN.

表2 接合部品の機械的性質  
Mechanical properties of connection parts

Connection	Parts	Standard	Symbol of grade	Yield point or the stress giving permanent elongation of 0.2% (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)
Pin joint for bars	Pin	JIS G 4105	SCM 440, SCM 430	750 min.	850 min.	15 min.
		JIS G 4052	SCM 440H, SCM 430H	750 min.	850 min.	15 min.
	Pin block	JIS G 4105	SCM 440, SCM 430	500 min.	700 min.	15 min.
		JIS G 4052	SCM 440H, SCM 430H	500 min.	700 min.	15 min.
	Coupler	JIS G 4105	SCM 440, SCM 430	750 min.	850 min.	15 min.
		JIS G 4052	SCM 440H, SCM 430H	750 min.	850 min.	15 min.
Socket joint	Spherical nut	JIS G 4105	SCM 440, SCM 430	750 min.	850 min.	15 min.
		JIS G 4052	SCM 440H, SCM 430H	750 min.	850 min.	15 min.
	Socket	JIS G 4105	SCM 440, SCM 430	500 min.	700 min.	15 min.
		JIS G 4052	SCM 440H, SCM 430H	500 min.	700 min.	15 min.
	Adjuster	JIS G 4105	SCM 440, SCM 430	500 min.	700 min.	15 min.
		JIS G 4052	SCM 440H, SCM 430H	500 min.	700 min.	15 min.
	Bolt	JIS B 1051	12.9 (M20 max.)	(Depending on standard)	(Flow the left)	(Flow the left)
			10.9 (M22 min.)	(Depending on standard)	(Flow the left)	(Flow the left)



構造特性、加工性、施工性そして経済性について詳細に検証した上で決定しており、指定外の材料も含まれている。この中にはロックドコイルロープや、接合部品に使用するクロムモリブデン鋼等も含まれる。指定外の材料を使用する場合は、物件ごとに国土交通大臣の個別認定を受けるか、指定建築材料同等の品質を有していることを証明する性能評価認定を受けるかの二者択一になる。前者は施主の費用負担が発生するだけでなく、認定取得に時間が掛かるため設計者、施工者も避ける傾向にある。

本システムは性能評価認定を取得し、法的手続きの煩わしさを省き汎用性を高めることとした。評価の対象は、テンション材が接合部品に定着された状態での製品性能となっている。例えば、PC鋼棒は表1に示すようにJIS規格品であり、プレキャストコンクリート用のプレストレス材として実績の多い指定建築材料であるが、露出材で接合部品に定着した状態での特性は定量化されていないため、接合部品との組み合わせによる実大実験を実施する必要がある。また、主要構造部にボルト接合や溶接接合ではなくねじ接合や支圧接合を併用している本システムは、材料性能のみならず構法上の大臣認定を取得する必要がある。

### 3.2 本システムの保証荷重

ここでは、製品の保証荷重の確認を目的に実施した実大の構造実験について報告する。本システムの接合部品は、テンション材の許容軸力を設計荷重として全強設計している。したがって、テンション材を接合部品と定着した製品(以下試験体と呼ぶ)は、テンション材の許容軸力で性能保証すれば良い。試験体の保証荷重(Ps)と引張荷重(Pu)を下式で算定する。

$$P_s = A_t \times F \quad (1)$$

$$P_u = 1.5 \times P_s \quad (2)$$

ここで、 $A_t$ はテンション材の軸断面積、 $F$ はテンション材の基準強度である。指定建築材料ではない材料の基準強度は品質管理基準を定めた上で、JIS規格に基づいて指定した。

実験は写真3(a)、(b)に示すように試験体を治具にセッティングし、材軸方向へ1軸静的載荷した。載荷は最大荷重を確認した時点で終了した。試験結果の1例(タイロッド90mmφ:  $F=440$  [N/mm<sup>2</sup>])を図3に示す。なお、応力は荷重をテンション材の軸断面積で除した値、ひずみはテンション材の変形をテンション材長で除した値としている。あわせて短期許容応力および短期許容応力を1.5倍した応力を併せて示す。短期許容応力までは弾性域を保持しており、また最大応力は短期許容応力×1.5を超えていることがわかる。

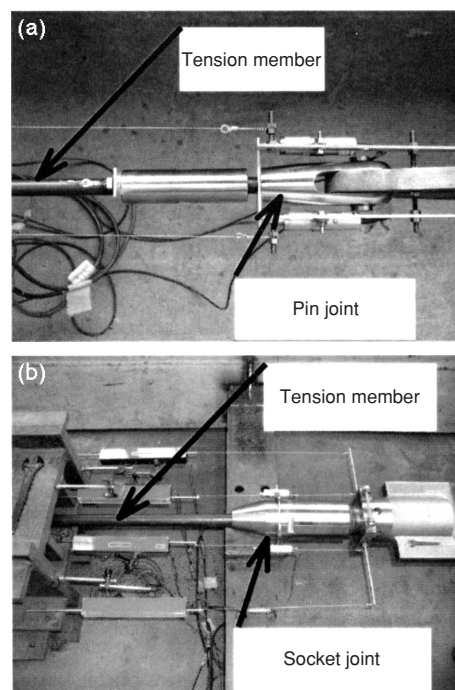


写真3 試験状況 (a)ピンジョイント、(b)ソケットジョイント  
Test setup (a) Pin joint, (b) Socket joint



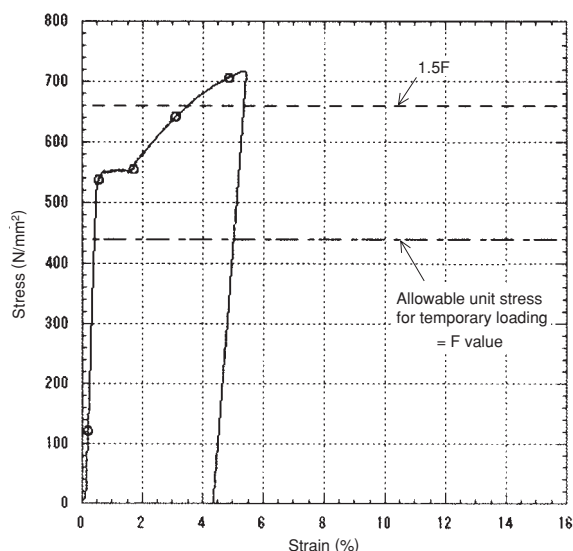


図3 荷重-ひずみ関係 (TR90)  
Stress - strain curve (TR90)

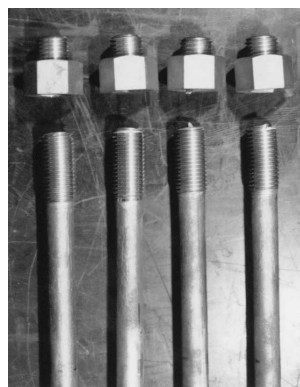


写真5 鋼棒の疲労破断状況  
Fatigue failure of PC bar



写真6 ピンジョイントの疲労破断状況  
Fatigue failure of pin joint

写真4 (a), (b)に試験後の状況を示す。PC鋼棒の接合部に变化はほとんど見られず、PC鋼棒のねじ部で破断した(写真4 (a))。一方、タイロッドは軸部でくびれる終局状態であった(写真4 (b))。断面積が最小となる部位で破断もしくは破断が想定される結果である。全試験体で接合部品が破壊することは無かったが、中にはピンが曲げ変形するものもあった。このピンはせん断破壊と曲げ破壊を想定して設計しており、ほぼ設計どおりの性能を発揮したと言える。ソケットジョイントについては、テンション材を接合部品に対して $2^\circ$ 傾けた状態で載荷する試験も併せて行ったが、1軸載荷状態とほとんど変化の無い結果であった。

要求性能がますます多様化する中で動的性能、終局性能を確認しておくことは重要となっている。中でも、露出利用の実績がケーブ

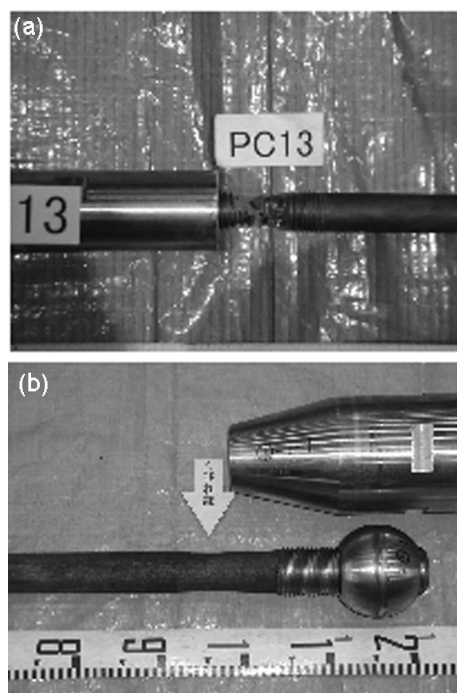


写真4 試験後の状況 (a)PC鋼棒の破断, (b)タイロッドのくびれ  
Test pieces after the test (a) Failure of PC bar, (b) Thinned tie rod

ルに比べて少ない高張力鋼棒や、一品設計が多い接合部品の疲労特性に関する知見は重要性が増している。建築事業部では、高張力鋼棒と接合部品の疲労試験を行っている。その結果、鋼棒の疲労試験ではねじ部の加工法によりその疲労特性が異なることを確認した。現在、PC鋼棒やタイロッドのねじ加工は大きく分けて以下の3種類がある。

- ① 機械切削により鋼棒から直接ねじを切り出す。
- ② 転造によりねじを製作する。
- ③ ねじ部をアップセットし軸径を太くしてから、機械切削する。

単純引張試験によると、ねじ部で破断するのが①, ②であったが、疲労試験では全試験体がねじ部で破断する結果となっている(写真5参照)。これは鋼材結晶粒を分断する機械切削が疲労性能に影響しているものと考えられる。疲労照査に必要なクライテリアが設定されていない現状は、今後の研究成果を待つ状況にあるが、ねじ部の加工法について設計時に考慮する必要があると言える。

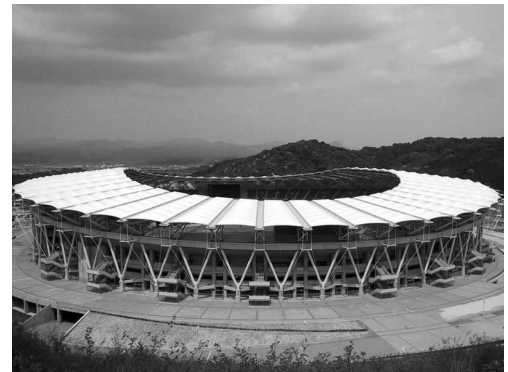
接合部品の中でも採用頻度の高いピンジョイントの疲労試験を行った。ピンジョイントの設計式に定式化されたものは無く、リベット・ボルト接合部設計式やBS規準式、土木・機械分野で良く使用されるHertz式を慣例的に流用しているのが現状である<sup>2)</sup>。しかし、これらの設計式はプレートクレビスを対象にしていること、繰り返し荷重環境が建築よりはるかに厳しい機械部品や橋を対象にしていることなどから、そのまま建築用部品の設計に流用するにあたっての検証が必要である。そこで、静的引張試験結果の破壊形態から新たに設計式を考案し、疲労試験にてその疲労性状を確認した。考案した設計式による試験体は約28 000回でテンション材(PC鋼棒)のねじ部が破断した。一方、リベット・ボルト接合部設計式による試験体は、約14 000回で接合部が先に破壊した(写真6参照)。この結果から本システムに用いる接合部品は鋼棒とそのねじ部の疲労性能より高いことが確認できた。

#### 4. おわりに

NSテンションシステムは2002年にピンジョイントタイプが、2003年にソケットジョイントタイプが大臣認定を取得し、建築用ターンバックル相当品となった。本システムの利便性が高まっただけでなく、主要構造部として十分な構造特性を有していることが確認出来た。本報で述べた取り組み以外にも、減衰機構を有するテンションシステムの開発等にも取り組んでいるが、本報では割愛する。適用事例(表3, 写真7~10)に示すように、国内各地に本システムを採

表3 適用事例一覧  
List of constructional case

Photo No.	Name of building	Application place of tension structure	Main use	Design company	Construction company	Completion year	Remarks
1	Gymnasium of Kure City "Oak arena"	Roof	Gymnasium	YASUI ARCHITECTS & ENGINEERS, INC.	KAJIMA corporation J.V.	2002	Tie rod 2-42mm $\phi$ pin joint
2	Sasebo saikai pearl sea center	Wall	Museum	FURUICHI & ASSOCIATES	TAISEI corporation J.V.	1993	Stainless wire 19mm $\phi$ pin joint
7	I・K building (atrium)	Roof	Office	NIKKEN SEKKEI	OBAYASHI corporation	1991	PC bar 32mm $\phi$ socket joint
8	SHINSEI BANK (entrance hall)	Wall, roof	Office	NIKKEN SEKKEI	TAKENAKA corporation	1992	PC bar 13mm $\phi$ buried type joint
9	Ogasayama sports park "ECOPA"	Roof of seat	Stadium	AXS SATOW INC., Prof. Masao Saitho, Structural Design PLUS ONE joint venture (J.V.)	KAJIMA corporation J.V. (No.1 building construction area)	2001	Tie rod 75mm $\phi$ with damping device
10	Suzukake hall of Tokyo Institute of Technology	Roof	Hall	Educational Facilities Institute	KONOIKE construction J.V.	2002	PC bar 13mm $\phi$ , 32mm $\phi$ both with pin joint and socket joint

写真7 適用事例  
Constructional case (atrium)写真9 適用事例  
Constructional case (stadium)写真8 適用事例  
Constructional case (entrance hall)写真10 適用事例  
Constructional case (hall of university)

用した物件が竣工し、本システムの特性を発揮している。今後もさまざまな空間を提供する構造システムの開発に尽力していきたい。

#### 参考文献

- 1) 岩田衛, 竹内徹ほか: 建築鋼構造のシステム化, 鋼構造出版, 2001
- 2) 竹内徹: テンション構造のシステム化及びその構造性能に関する研究, 博士課程論文, 東京工業大学, 2001