人工地盤を想定した剛接合立体トラスの実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON RIGID JOINT SPACE TRUSS ON THE APPLICATION TO AN ARTIFICIAL GROUND

小野 徹郎*, 対馬 義幸**, 岩田 衛***

Tetsurou ONO, Yoshiyuki TUSHIMA and Mamoru IWATA

A large scale space truss for constructing an artificial ground above facilities, for example, a railroad track, a large river, existing buildings and so on, is required to have the capacity for supporting the heavy vertical load and also resisting the lateral load. In this paper, the mechanical behavior of the rigid joint space truss, which was developed to satisfy the required capacity, was experimentally investigated under vertical and lateral loading conditions. It is concluded that the space truss shows stable deformation behavior due to the re-allocation of stress and thus, that it possesses sufficient ultimate strength and plastic deformation capacity.

Keywords : *space truss, lateral loading, load-carrying capacity, deformation capacity*
立体トラス, 水平載荷, 保有耐力, 変形能力

1. はじめに

都市の高度利用需要に対する技術的解答の一つとして、鉄道線路、河川等の既存の施設や環境を保全したまま上部を有効活用して街をつくる大径間人工地盤が挙げられる。人工地盤という言葉が一般に用いられるようになったのは比較的新しく、1970年代になってからである^{1)~3)}。それまでは人工土地と呼ばれることが多く、1963年に日本建築学会・都市計画部会で定義づけられた。これによると、「建築はじめ各種都市施設、オープンスペース等のベースとなる半永久的な構築物であり、地上数メートルから上の空中に強剛、かつ合理的な基礎をもった大スパンの脚で支えられた巨大な1層または2層以上の平板である。」としており、これが人工地盤における原点と考えられる。

しかし、日本建築学会による定義以降、現在に至るまで人工地盤に対する確たる定義はなされていない。ほとんどの人工地盤がオープンスペースを主目的としての意味合いで建設されており、上部に独立した建設物を上載したものはほとんどない。建物自体は独立した基礎で支えられ、上部構築物の支持構造物となっていないものが多く、スパンも10m程度のものが多い。

ここでいう人工地盤は、ある程度想定外の荷重の大き

さや荷重の作用位置に合理的に対応することを要求しようとするものである。また、既存の機能をできるだけ損なわずに構築できる人工地盤として大径間化も重要な項目である。したがって、本論文で対象とする人工地盤を構造的側面において建築物の上載、および大径間化が可能であることと定義した。

この大径間人工地盤を構築する構造として立体トラス構造が考えられる。立体トラスは上載される鉛直荷重を立体的に支持構造に伝達できるため、ある程度の荷重の増減や集中荷重に対して合理的に対応できる構造である。このような人工地盤に立体トラスを用いる場合には上弦材と下弦材の間隔であるトラスせいが極めて大きく、トラス内部空間を有効に利用できる部材レイアウトを採用する方が有利である。例えば内部空間のくぎりを直方体として駐車場や倉庫、居室等に使用できる空間とすることである。これを満足するものとして写真-1に示す四角錐立体トラスを採用した^{4), 5)}。この立体トラスの斜材は下弦材への投影面で重なり合う部材構成であり、内部空間を有効に利用できるとともに、部材数と節点数の少ない経済性に富む立体トラスの一つである。また、水平力に対して格子梁方式の場合には、上下弦材に生じる軸力が水平力と直交する上下弦材の柱間における

本論文の一部は、文献8)で発表している。

* 名古屋工業大学社会開発工学科建築学系 教授・工学博士

** 竹中技術研究所 研究所長・博士(工学)

*** 新日本製鐵 室長・工学博士

Prof., Dept. of Architecture Nagoya Institute of Technology, Dr. Eng.

Takenaka Technical Research Laboratory, Dr. Eng.

Nippon Steel Corporation, Dr. Eng.

写真一 四角錐立体トラスシステム

曲げ剛性により柱に伝達されるため、構面内の剛性が小さく、水平ブレースが不可欠である。しかし、四角錐立体トラスの場合には下弦材に生じる軸力は下弦材と同じ鉛直面内にある斜材を介して上弦材に伝達され、下弦材と 45° に交差する上弦材から軸力成分として柱に伝達される。このように上弦材がブレース効果を持つため、構面内の剛性が大きく、2次部材が不要となる。ただし、ピン接合トラスの場合には四角錐の相対回転により不安定構造であることが明らかにされている^{4),5)}。ここでは、周辺に梁を配置することにより相対回転を拘束するとともに⁵⁾、節点を溶接による剛接合として両端固定のトラス部材に置換することにより不静定次数を向上させて構造の安定性を計っている⁴⁾。しかし、本立体トラスを地震力に抵抗する人工地盤に適用するには塑性域における挙動を明らかにする必要がある。

そこで、本論文では大きな鉛直荷重を支持する大径間の四角錐で構成される実規模の剛接合立体トラス架構を想定する。その想定構造物に対して鉛直載荷および水平載荷による大規模な模型実験を行い、四角錐からなる剛接合立体トラスの基本的な力学性状を明らかにするとともに、鉛直荷重分布状態が弾性域における変形や歪の変動に及ぼす影響、あるいは水平荷重下における架構の個材座屈の発生および個材座屈発生後の全体挙動を把握するとともに、接合部、局部座屈等の関係でその耐力と靱性などを検討し、この種の構造物の設計の可能性を示すものである。

2. 想定架構とモデル化

2.1 想定立体トラス架構

想定した立体トラス架構の形状、規模を図一に示す。本構造物は長辺長さ378 m、短辺長さ216 m、そして高さ14.5 mの長方形大規模立体トラス構造物である。トラスせい7.5 mの剛接合立体トラスは、長辺と短辺両方向ともスパン54 mの柱によって支持されている。ここに、4本の柱に囲まれる部分を立体トラスの1ユニットと称する。1ユニットの下弦材は3×3のグリッドを構成し、1グリッドの大きさは18 m×18 mである。構

図一 想定立体トラス架構

図二 接合部モデル

写真二 溶接接合部の外観

成部材は、座屈耐力が高く、大きなグリッドが構成できる角形鋼管である。下弦材および斜材は材の軸線回りに 45° 回転した菱形断面形状と⁹⁾、上弦材は通常の正方形断面形状とする。図二の接合部のモデル図に示すように、下弦材および上弦材は一方向を通し材としている。そのため、接合部における各材の交差線は材軸に直角に切断した切り口の周長よりも長くなり、接合部を隅肉仕様の溶接接合とすることができる⁸⁾。また、大きい鉛直荷重を支持できる大径間立体トラスを構成することが可能となった。写真二に溶接接合による接合の状況を示す。表一に想定構造物の各構成部材の断面寸法を示す。この断面寸法の算定に当たっては、鉛直荷重 1.6 t/m^2 と水平荷重 1 G を受ける場合を想定して許容応力度設計により設計した。トラス個材の細長比は、各個材が塑性

表—1 想定立体トラス架構と試験体の断面寸法

Assortment 1 (mm)		Hypothetic Member			Ideal Member			Application Member			
		Form of Section	A(cm ²) i(cm)	λ	Form of Section	A(cm ²) i(cm)	Form of Section	A(cm ²) i(cm)	λ	l (mm)	d/t
Lower Chord 18,000	A	750 ² × 19	537.5 29.6	60.8	97.22 ² × 2.46	9.03 3.84	100 ² × 4.5	16.67 3.83	60.3	2333	22.2
	B	1050 ² × 28	1110.9 41.4	43.5	136.11 ² × 3.63	18.67 5.36	150 ² × 6.0	33.63 5.84	39.9		25
	C	1050 ² × 32	1259.0 41.2	43.7	136.11 ² × 4.15	21.16 5.34	150 ² × 6.0	33.63 5.84	39.9		25
Upper Chord 12,728	D	850 ² × 19	613.4 33.6	37.9	110.19 ² × 2.46	10.31 4.36	125 ² × 4.5	21.17 4.89	33.8	1655	27.8
	D	850 ² × 19	613.4 33.6	37.9	110.19 ² × 2.46	10.31 4.36	200 ² × 6.0	45.63 7.88	22.4		33.3
	E	850 ² × 25	798.1 33.4	38.1	110.19 ² × 3.24	13.41 4.33	125 ² × 4.5	21.17 4.89	33.8		27.8
	F	1450 ² × 40	2187.2 57.1	22.3	187.96 ² × 5.19	36.75 7.40	200 ² × 6.0	45.63 7.88	21.0		33.3
	N	850 ² × 28	888.8 33.2	38.3	110.19 ² × 3.63	14.84 4.30	125 ² × 4.5	21.17 4.89	33.8		27.8
Diagonal Member 11,715	G	550 ² × 16	330.8 21.6	54.2	71.30 ² × 2.07	5.56 2.80	75 ² × 3.2	8.92 2.19	52.2	1519	23.4
	H	550 ² × 25	487.4 20.9	56.1	71.30 ² × 3.24	8.19 2.71	100 ² × 4.5	16.67 3.87	39.3		22.2
	I	550 ² × 28	537.0 20.7	56.6	71.30 ² × 3.63	9.02 2.68	100 ² × 4.5	16.67 3.87	39.3		22.2
	J	1050 ² × 40	1547.2 40.7	28.8	136.11 ² × 5.19	26.00 5.28	150 ² × 5.0	28.36 5.89	25.8		30
Strut 7,500	M	2250 ² × 80	8668.8 87.6	8.6	291.67 ² × 10.37	112.06 11.36	450 ² × 22	344.2 16.9	5.7	871	20.5
Column 15,000	M	2250 ² × 80	8668.8 87.6	17.1	291.67 ² × 10.37	112.06 11.36	450 ² × 22	344.2 16.9	13.0	1100	20.5

Lower Chord

Upper Chord

Diagonal Member

図—3 各トラス個材名称

図—4 剛接合立体トラス架構試験体

化後に曲げ座屈するように現行基準のブレースの構造ランクに示される細長比を参考にして22~61を用い、大きな鉛直荷重を支持できるように設計している。このように設計された想定構造物での崩壊は個材の曲げ座屈が

図—5 応力分布のモデル図

先行するものである。表—1中の各部材の配置を図—3にアルファベットで対応させて示す。

2.2 試験体のモデル化

実規模の想定構造物の大きさが1ユニット当たり平面で54 m × 54 m、トラスのせい7.5 mである。試験体は、実験施設および荷重機器の関係から2 × 2ユニットとし、接合部における現実の溶接仕様の制約より1/7.7の縮尺率とした。下弦グリッド数3 × 3で構成される1ユニットを4ユニット分組み合わせさせた試験体を図—4に示す。この試験体の水平荷重時の応力分布は想定構造物の柱周辺の応力状態に対応している。

図—5は地震時に架構に作用する曲げモーメントとせん断力の反布の概念図である。(a)と(c)は想定構造物に地震荷重が作用した場合の荷重方向、およびその直交方向の曲げモーメント図である。ここで、加力実験の

図-6 外柱の固定状況

表-2 材料の機械的性質

Base Metal	T (mm)	Tension Test			Stub-Column test	
		σ (t/cm ²)	σ_u (t/cm ²)	EI (%)	σ (t/cm ²)	σ_u (t/cm ²)
□-100×100×4.5	4.23	3.822	4.578	34.28	3.77	4.07
□-150×150×6.0	5.61	4.007	4.789	33.20	3.63	3.91
□-125×125×4.5	4.09	4.039	4.739	32.86	3.68	3.85
□-200×200×6.0	5.56	3.921	4.759	34.22	3.62	3.67
□-75×75×3.2	3.08	4.124	4.801	28.86	4.38	4.63
□-175×175×6.0	5.65	4.100	4.923	32.28	3.93	4.06

ためのモデル化として4ユニットを取り出し、(b)と(d)に示すように、外周柱を固定して中柱から水平力により立体トラスに曲げとせん断力を加えることとした。中柱に対する影響領域を1ユニット分と考えれば、中柱周辺の影響領域における荷重方向およびそれと直交方向のモーメント勾配は想定構造物より小さい。しかし、中柱近傍のトラス個材へ導入される応力は想定構造物にはほぼ対応し、その領域の座屈により規定される試験体の耐力も想定構造物に対応している。曲げが卓越するような大径間想定構造物の場合には、中柱位置周辺の立体トラス上下弦材に生じる軸力は、モーメント勾配の小さい方が大きな軸力が導入されることになる。したがって、本実験で得られる結果は安全側評価となる。

そこで、図-4に示す試験体の外周柱の柱脚部を反力床に緊結された交差梁上に剛接合し、柱上部を交差梁上に設置した控柱で緊結して固定条件を満足するものとした。図-6に外柱の設置状況を示す。実験時の破壊モードを柱崩壊型でなくトラス崩壊型にすることを主眼として、柱断面の縮尺率は1/5とした。試験体の構成部材の角形鋼管は、先に示した1/7.7の縮尺率にできるだけ近づけるように断面積および細長比を考慮して選択した(表-1参照)。縮尺した理想部材と試験体部材の断面寸法を表-1に示す。角形鋼管の幅厚比は局部座屈に対して十分な変形能力を有するものを採用した。表-2に試験体の材料の機械的性質を示す。使用鋼材はすべてSTKR 400とした。写真-3は試験体の外観である。

写真-3 試験体の外観

図-7 鉛直載荷治具

写真-4 鉛直載荷治具外観

3. 加力システム

3.1 鉛直載荷

鉛直載荷実験は、最大荷重の大きさを長期荷重とし、立体トラスの1ユニットごとの載荷領域の増加に伴う変形、応力の推移を検討することを目的としている。鉛直載荷は、柱に接合される下弦材を除く各ユニットの下弦材の4交点を1組として、各交点に均等に作用するようにスプレッダー・ビームを用いて載荷した。図-7と写真-4にそれぞれ載荷治具とその外観を示す。油圧ジャッキは各ユニット1台とし、計4台を用いた。各ユニットの載荷ステップは、トラス自重と長期荷重の合計1.6 t/m²に相当する80 tを20 tずつ4ステップとした。図-8に示すように、ユニット1から順次最大荷重80 tまで加力して保持し、最終的に4ユニットに均等に作用させた。

図—8 鉛直加力計画

図—9 水平載荷治具

3.2 水平載荷

本実験では、鉛直載荷実験の最大荷重を載荷した状態で水平力を単調に加え、細長比と幅厚比の小さい部材で構成される剛接合立体トラス架構の弾塑性変形状を把握することを目的としている。地震力により立体トラス架構に生じる曲げモーメントとせん断力は中柱に水平荷重を加えることにより導入するため、地震荷重に対する反曲点位置を考慮して中柱の長さを $1/2$ とした。その下部をローラー支持として、ピン位置を水平荷重の載荷位置とした。水平荷重は、下弦材と平行な方向に作用させた。中柱下端のピン支持受け材である H 形鋼の下部にテフロンを敷き、ローラー支持条件を再現した。この H 形鋼を PC 鋼棒を介して油圧ジャッキに接続して水平荷

写真—5 水平載荷治具外観

図—10 変位と歪の計測位置

重を加えた。本試験体の設計荷重は、水平荷重を1Gとして80tである。水平載荷治具を図一9に示す。また、写真一5は中柱下部の載荷装置の外観である。なお、鉛直載荷時には中柱下部の水平移動を拘束した。

3.3 測定計画

荷重は、鉛直載荷用の各ユニットごとのジャッキおよび水平載荷用のジャッキに接続した油圧計により検出した。変位は、上下弦面における部材の交点部の上下方向変位、中柱および外柱の水平変位を変位計により測定した。部材の歪は、主に軸歪を対象としたものと曲げ歪を対象とした2種類を歪ゲージにより計測した。なお、鉛直・水平載荷実験とも計測点は同じである。水平載荷時には鉛直載荷における残留変形、歪を累加して計測した。図一10(a), (b)は変位、(c)~(e)は歪の計測位置を示す。英記号Bは水平変位計番号、Cは鉛直変位計番号、Fは曲げ歪計測用の歪ゲージ番号、そしてGは軸歪計測用の歪ゲージ番号である。

4. 鉛直載荷性状

柱4本で囲まれる1ユニットごとに順次鉛直荷重を作用させ、偏分布荷重状態における鉛直変形と軸歪の変動を調べた。

4.1 鉛直変形

図一11は鉛直荷重と上下弦材交点の鉛直変位の関係

図一11 鉛直荷重—鉛直変位関係

を示す。縦軸は各ユニットに順次作用する鉛直荷重の和、横軸は鉛直変位である。下向きの変位を正とした。(a)と(b)は、それぞれ各ユニット中央部の下弦と上弦の鉛直変位である。上下弦とも、加力される時のユニットの鉛直方向の剛性は加力ステップに対して線形であり、変位量と剛性は加力順序にかかわらず等しい。加力されるユニット(例えばC1-11の場合)と中柱に対して、点対称にあるユニット(C1-3)の変位方向は逆転し、隣合うユニット(C1-7, C1-15)の変位方向は同じである。ユニットに鉛直荷重が作用すると変位の変動は大きい、他のユニットに荷重が作用したときには変位の変動は少なく、ユニット相互の影響は小さい。最終的に全ユニットに荷重が作用すると、立体トラス架構と荷重の対称性からそれぞれ4点の変位は等しくなる。(c)は1, 3と2, 4のそれぞれのユニットの境界上にある下弦材交点の鉛直変位である。境界上の交点は、片側のユニットに荷重が加わると変形を増大させ、両側のユニッ

図一12 鉛直荷重—軸歪関係

トに荷重が作用した時にも同じ剛性で変形を増大させるが、他のユニットからの影響は小さい。

4.2 歪の変動

図一12はトラス個材の荷重一軸歪関係である。(a)と(b)は中柱から等しい距離にある下弦材の軸歪である。当該ユニットに荷重が作用すると引張方向の歪が増大し、その他のユニットに荷重が作用する時には逆曲げ状態となって圧縮方向に増大し、ユニット相互の影響が見られる。(c)はユニット1の中央部における上弦材軸歪の変動を示す。ユニット1が初めに载荷されて軸歪が増大するが、他のユニットに荷重が作用する場合には歪の変動は小さい。(d)はユニット間の境界上にある斜材の軸歪である。この斜材を境界上に有するユニットに荷重が作用すると軸歪が増大し、その他のユニットに荷重が作用する場合にはほとんど軸歪は変動しない。これより、鉛直荷重の作用位置によるトラス個材の軸歪の変動に及ぼすユニット間の影響は上弦材と斜材に対してはほとんど見られないが、下弦材に対しては顕著である。また、この場合には全ユニットに荷重が加わった等分布荷重状態よりも偏分布荷重状態の方が軸歪が大きくなり、最終荷重状態のみでは危険側評価となることを示している。

5. 鉛直荷重作用下における水平載荷性状

5.1 水平変形

図一13は、中柱下部に入力した水平荷重とその位置における水平変位の関係を示したものである。荷重が90tを超えたあたりから変形が大きくなり、150t付近で耐力低下した。この時、図中に示す下弦材の①部材が個材座屈したのが観察された。しかし、変形の増大に伴い140t位で再び耐力が徐々に上昇した。最大耐力時(P2)に対応する弾性変形を降伏変形(δ_y)と考えれば、その7倍程度まで変形しても耐力の低下は認められず、十分な塑性変形能力がある。これより、剛接合立体トラスの保有水平耐力はせん断力係数で1.8程度の値が得られ、かつ、6以上の塑性変形能力を示し、耐力的にも変形能力的にも十分な性能を有することが分かる。

5.2 鉛直変形

図一14は水平荷重と上下弦材交点の鉛直変形の関係

図一13 水平荷重一水平変位

である。(a)に示す加力面内にある中柱に隣接する上弦材交点の鉛直変位は、その交点が中柱と接合される強固な斜材および中柱柱頭に接合されるつなぎ材に接合されており、中柱上部の回転変形に従い上下方向それぞれ逆の動きを示している(下向き正方向)。①部材が個材座屈した後もほぼ対称に変形しており、中柱から立体トラス架構に曲げ変形が導入されている。(b)、(c)はそれぞれユニット1と2の中央付近の下弦材および上弦材交点の鉛直変位と水平荷重の関係である。最大耐力までは、各ユニット中央部の上下弦材交点の鉛直変位は中柱に対して上下方向逆向きにほぼ対称な動きをしている。しかし、最大耐力後さらに変形を進行させると、加力方向と逆側ユニット1の下向きの鉛直変位はさらに増大するが、加力側ユニット2の上向きの鉛直変位はほとんど変

(a) 中柱に隣接する上弦材交点

(b) ユニット中央近傍の下弦材交点

(c) ユニット中央近傍の上弦材交点

図一14 水平荷重一鉛直変位関係

図一15 水平荷重一曲げ歪

(a) 下弦材

(b) 上弦のつなぎ材

図-16 水平載荷時の集中歪分布

化しない。これは、中柱からの水平力に対して圧縮を受け持つ①部材が曲げ座屈したことにより、中柱の回転変形が加力側に進行しなくなったことを示す。応力伝達機構としては、①部材が立体トラスの最大耐力を決定する部材となったが、上弦材に流れる力が斜材を介して下弦材へ伝達されるように変化し、立体トラスの耐力が保持されていると考えられる。

5.3 歪の変動

図-15は、水平荷重と曲げ座屈した①部材の曲げ歪の関係である。100tまでは①部材両端の曲げ歪は対称に生じているが、100tで既に2000 μ を超えて塑性化している。さらに荷重を増大させると中柱側の曲げ歪は方向を逆転し、複曲率的な変形を生じている。曲げ座屈後、局部座屈を発生して耐力低下するが、中柱側の曲げ歪は再び中柱からの強制変形により方向を元に戻して増大している。しかし、中柱と反対の曲げ歪は耐力低下後ほとんど変動していない。

図-16の(a)と(b)は、それぞれ中柱に接合される加力方向側の下弦の①部材、および上弦のつなぎ材cのそれぞれ中柱端の軸方向集中歪分布である。それぞれ図-13に示すP0~P4の荷重点における分布を示す。ゲージ番号を縦軸に示す。①部材の圧縮軸歪は、最大耐力まではほぼ一様に変動し、降伏歪の10倍程度に達している。耐力低下後のP3において隅角部に歪が集中しており、曲げ座屈を生じてから局部座屈が発生したことを示している。ここで①部材がヒンジ状態になり、図-15で中柱と反対側の曲げ歪が変動しなくなったと考え

(a) ①部材

(b) 中柱に対して①部材と対称位置

図-17 水平荷重一軸歪関係

(a) 加力方向の下弦材

(b) 加力方向と反対側の下弦材

(c) 加力方向と反対側の斜材

図-18 水平荷重一軸歪関係

られる。一方、上弦のつなぎ材cの引張軸歪は曲げ歪分布を呈しながら増大している。耐力低下後(P2→P3)、若干歪の戻り現象が見られるが、実験終了まで引張力を負担している。

図-17は中柱に接合される下弦材の軸歪に関して示したものである。(a)は①部材の軸歪である。曲げ座屈発生後は中柱側端部の圧縮歪は見かけ上増大しているが、反対側の圧縮歪は700~800 μ 程度歪除荷を呈して

図一19 最終部材座屈状況

(a) ①部材座屈

(b) 接合部板座屈

写真一6 実験終了時の部材座屈外観

おり、軸力が低下していることがわかる。(b)は中柱に対して曲げ座屈した①部材と反対側の部材の軸歪と水平荷重の関係である。(a)と反対に、①部材の曲げ座屈発生後は、引張歪が顕著に増大しており、歪硬化後の耐力上昇分に対しても応力を負担している。

図一18は中柱を含む加力方向の構面内にある下弦材と斜材の軸歪の変動を示す。(a)は下弦材の曲げ座屈の生じた①部材に連続する加力方向の部材の軸歪(G1-1)である。最大耐力に達するまで荷重増加に伴い圧縮歪が増大するが、①部材の曲げ座屈の発生により軸歪が逆転する。(b)に示す軸歪(G1-6)は、中柱に対して(G1-1)と反対位置にある部材の引張歪である。①部材の曲げ座屈発生後は、歪の変動量はほとんどないが、歪の反転が見られる。(c)の軸歪(G2-7)は、(b)の部材の中柱側端部に接合される斜材の軸歪である。①部材の曲げ座屈発生後も引張歪が増大し、(b)の部材に対して応力を負担している。さらに変形が増大すると、歪の方向の逆転が見られ、変形の進行に伴う応力の再配分が順次起きていることが伺われる。

5.4 部材座屈状況

図一19は、実験終了時における立体トラス部材の座屈状況を示す。座屈箇所を四角または丸の黒塗で示す。下弦材では、中柱に接合される加力方向の①部材の曲げ座屈と、中柱に接合される加力方向と直交する部材端に局部座屈変形がみられた。加力と直交方向の下弦材には中柱から直接軸力は伝達されないが、上弦材から斜材を介して下弦材に圧縮力が伝達されて局部座屈変形が生じたと考えられる。下弦材と45°に交差する上弦材により軸力が平面的に広がるため、個材の塑性化が平面的に進展することを示し、立体トラス全体の耐力に影響を及ぼしている。上弦材では、板座屈変形が中柱から広範囲な領域に斜材の取り付けられない接合部パネル上面にみられた。写真一6(a)は①部材の局部座屈を伴う個材座屈変形であり、写真一6(b)は上弦材の通し部材の接合部パネルの板座屈変形の1例である。このような座屈現象が立体トラス架構の保有耐力を決定するが、変形の増大とともにそれぞれの座屈が順次発生しても応力の再配分が行われるため、剛接合立体トラス架構は崩壊までには至らない。

6. おわりに

大きな鉛直荷重を支持する大径間人工地盤を想定した大規模な剛接合立体トラス架構の模型実験を行い、鉛直荷重の作用位置を変化させた場合、さらに等分布鉛直荷重が作用した状態で水平力を加えた場合の、剛接合立体トラスの基本的な力学性状を把握した。以下に得られた結果の要約を示す。

- (1) 長期荷重に相当する鉛直荷重を1ユニットずつ順次加える偏分布荷重状態において、ユニット相互の変形や応力に及ぼす影響は小さい。ただし発生する変位、歪の最大値を把握するには、偏分布荷重が作用する場合について検討する必要がある。
- (2) 鉛直荷重を一定に保持して、中柱に載荷した水平力により曲げモーメントとせん断力を生じさせた剛接合立体トラスは、下弦材の個材座屈によりいったん最大耐力の7%弱耐力を低下させたが、変形の進行に伴い徐々に耐力を増大させて十分な塑性変形性能がある。
- (3) 中柱に接合された加力側のトラス個材の曲げ座屈発生後、加力と反対側のユニットの鉛直変位は加力点の変形の進行とともに増大するが、加力側ユニットの鉛直変位はほとんど変化せず、応力の伝達機構が変化する。これは、トラス個材の軸歪の方向変化からも推定される。
- (4) 耐力低下後、変形の進行に伴いトラス個材の曲げ座屈、局部座屈や上弦材接合部パネルの板座屈等が発生する。しかし、不静定次数の高い剛接合立体トラスは、応力の再配分が行われるために、水平荷重に対しても大きな塑性変形能力を有する。

以上より、ここで検討した剛接合立体トラス架構は、大きな鉛直荷重やその作用位置に対してユニット間相互の影響も小さく、また、水平力に対して靱性が大きく、大径間人工地盤の構築物として適用可能なことが明らかとなった。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、(株)竹中工務店 最上公彦氏、新日本製鐵(株) 武藤尤一氏、日本大学 岡田章助手より貴重なご助言を賜りました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 花輪 恒：都市と人工地盤—その意味と導入手法—，鹿島出版会，1985. 11.
- 2) (財)機械振興協会 新機械システムセンター：層構造モジュールに関する調査研究，1972. 11.
- 3) (財)機械振興協会 新機械システムセンター：層構造モジュールに関する調査研究（資料編），1972. 11.
- 4) 加藤 勉，高梨晃一，対馬義幸，平田康浩：四角錐によって構成される立体トラスの解析（第1報），日本建築学会論文報告集，第84号，pp. 30～37，1963. 4.
- 5) 加藤 勉，高梨晃一，対馬義幸，平田康浩：四角錐によって構成される立体トラスの解析（第2報），日本建築学会論文報告集，第85号，pp. 19～25，1963. 5.
- 6) 木村 衛，ほか4名：立体トラス人工地盤の力学挙動について—スペース LSY トラス—，アーバンインフラ・テクノロジー推進会議，第2回技術研究発表論文集，pp. 375～384，1990.
- 7) 最上公彦，ほか3名：立体トラスによる大径間人工地盤計画例—スペース LSY トラス—，アーバンインフラ・テクノロジー推進会議，第2回技術研究発表論文集，pp. 593～598，1990.
- 8) 小野徹郎，ほか9名：剛接合角形鋼管立体トラスシステムの実用化に関する研究（その1）～（その7），日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），pp. 1295～1308，1990.
- 9) 小野徹郎，石田和人，岩田 衛，井戸田秀樹：Y型接合角形鋼管トラス分岐継手の疲労特性に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol. 38 B，pp. 443～449，1992. 3.

（1993年6月4日原稿受理，1994年1月14日採用決定）