

特集

建

築

滝根勤労者体育センターPCトラスの設計・施工について

山 口 寛*
 栄 辰 夫**
 野 沢 正***
 浜 戸 昇***

1. はじめに

PC トラスは、従来の I 形梁と比べて梁自重を極めて大幅に軽量化することができるので、長スパン架構に適した経済的な構造形式である。

特に積載荷重の少ない屋根梁のような場合には、全荷重の中の梁自重の占める割合が大きいため、梁自重の軽量化は経済設計をするうえで非常に効果的である。また梁自重の軽量化は梁自身の経済性だけでなく、それを支持する柱・基礎・杭等の負担をも軽減するので経済効果は建物全体におよぶ。

PC トラスは、欧米では実施例も多く大スパン架構を必要とする工場建築等に数多く用いられているようであるが、我が国での実施例は非常に少ないようである。

鉄骨構造のトラスは非常に多く、その構造形式の合理性および利点は一般に良く知られているのであるから、我が国で PC トラスが少ない理由は、一つには経験が少ないために設計・施工技術に不安な点があるためではないかと思われる。

設計技術の面においては、トラスの節点部剛接合による 2 次曲げモーメント、トラス節点部の局部応力、トラス各単位部材の座屈問題、あるいは破壊メカニズム等がトラス構造特有の問題点であろう。

施工技術の面では、部材の製造方法、組立て接合方法等が I 形梁とは異なった技術を要する点である。

今回施工した PC トラスはスパン 31.5 m の体育館の屋根梁として用いたものであり、トラスの形式としてはハウトラス形式を採用している。本報告ではこの PC トラスの実施に当たって我々が上記の問題にいかに対処したかを中心に報告することとする。

なお本工事では、工事に用いた実物トラスを用いて、プレストレス導入力および鉛直荷重による載荷試験を行ったのでその結果も合わせて報告する。

* 山口設計事務所所長

** ビー・エス・コンクリート(株) 仙台支店

*** 〃 本社技術部



写真-1

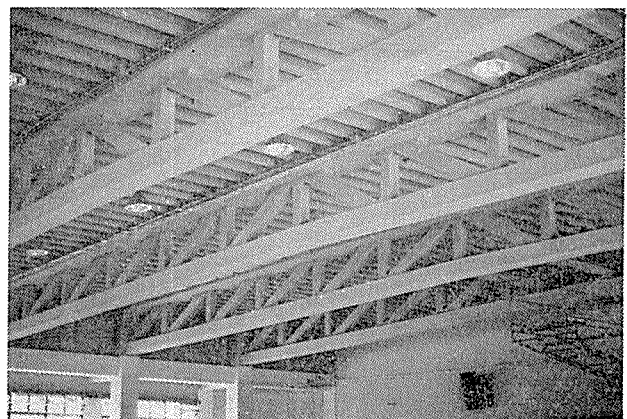


写真-2

2. 設計について

本建物は図-1, 2 で示すように、張間方向は中央スパンが 31.5 m の長スパン架構であり、その両側はスパン 3 m の短スパン架構となっている。桁行方向は 5.1 m のスパンが 5 径間となっている。

基礎・柱は現場打ち鉄筋コンクリート構造であり、31.5 m の長スパン梁はプレストレストコンクリート構造によるトラス梁とし、そのトラス梁の上に屋根板として WT 板を用いている。

PC トラスを採用した理由は、梁の自重を軽量化することにより経済性をはかることとともに、従来の I 形梁

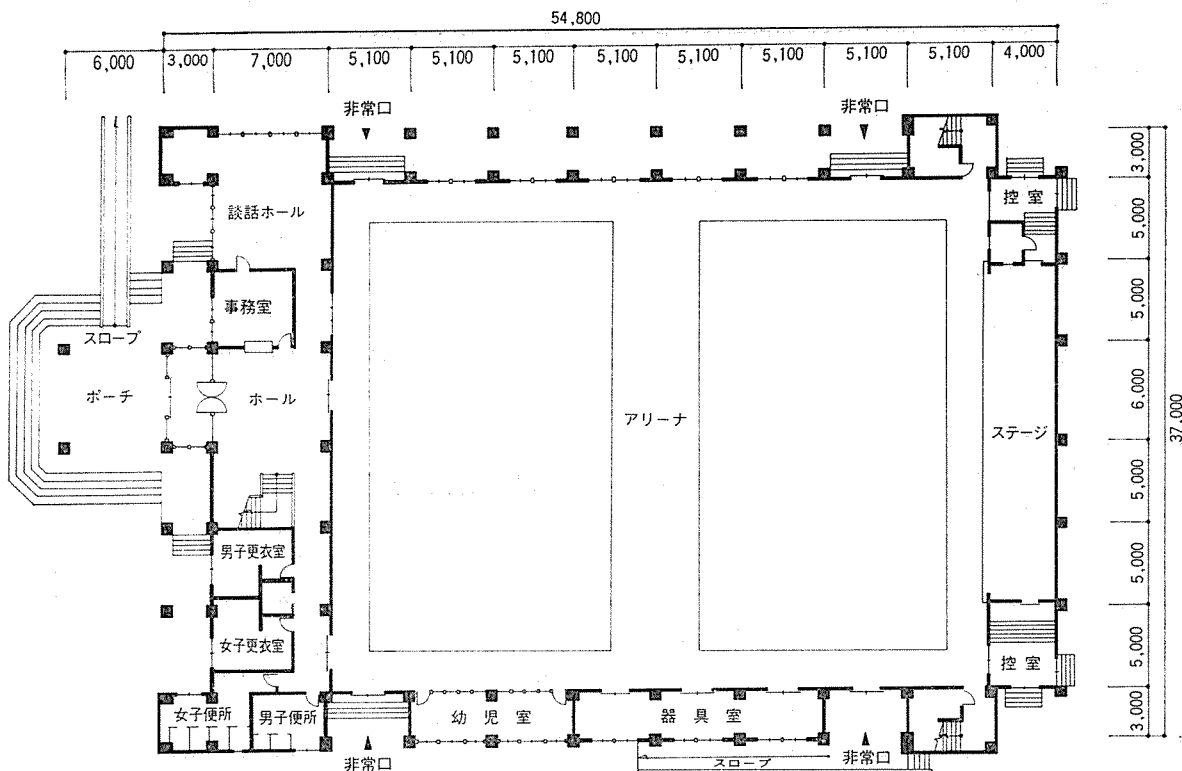


図-1 平面図

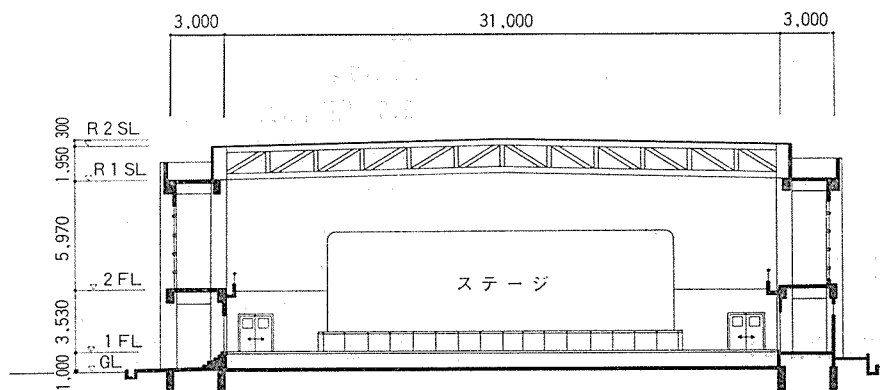


図-2 断面図

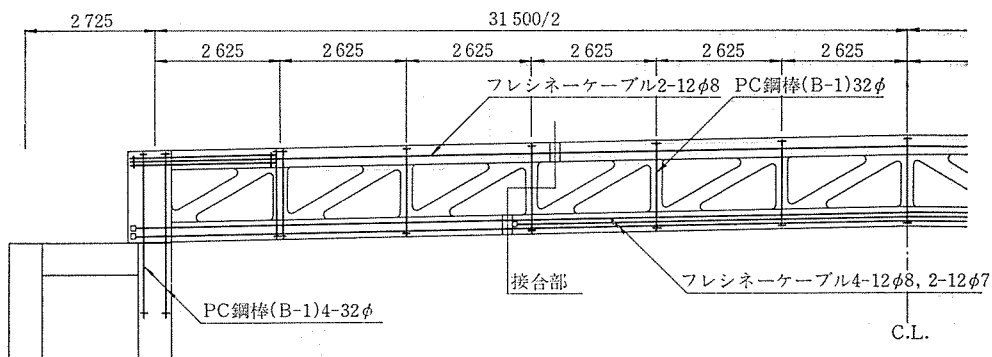


図-3 PC 鋼材配線図

の場合、梁ウェブにより音が反響し音響障害を起こすおそれを防ぎ障害を軽減させるためである。
 それがあったので、トラス梁とすることにより音の反響を防止し、PC トラスの形式は、図-3 で示すようなハウトラス

報 告

形式を採用している。ハウトラスは鉛直材が引張材となり斜材が圧縮材となるため、PC 鋼材を鉛直材に入れればよいので節点部の定着体のおさまりがよく、部材製造上他のトラス形式よりも優れているものと思われる。

また、トラス梁の全長が 32.9 m と長く、運搬に支障があるので、本設計では全長を三つの部材に分割して工場で作製し、トラックで運搬し、現場内で PC 鋼材を用いて圧着接合することとしている。その分割接合位置は図-3 に示すように、上弦材、下弦材、鉛直材の各々の中間部分としている。ハウ形式のトラスの場合、この分割位置には応力の関係上すべて PC 鋼材が入っているのので、それを用いて圧着接合することができ、また応力の集中する節点部をさけた接合方法であるので力学的にも優れているものと思われる。

圧着接合により 1 本の梁とした PC トラスは、柱頭の所定の位置にトラッククレーンで架設し、屋根材を取り付けた後、柱頭の PC 鋼棒により柱と圧着接合することによりラーメン架構とする。

柱と梁を剛接とする前に屋根板を取り付けることとしているのは、梁自重と屋根板による荷重作用時に柱と梁をピン接合の状態として、柱頭にあまり大きな曲げモーメントが作用しないようにして柱の負担を軽減するためである。

柱と梁を剛接合としラーメン架構とした理由は、不静定次数を上げ、構造体の耐力を高めるためであるが、従来簡易な方法によるピンあるいはローラー接合はかえって構造上の弱点となることが多いのに対し、剛接合は単純な接合方法とすることができるので、比較的失敗が少ないという経験的な判断からにもよる。

2.1 建物概要

建築名称：滝根勤労者体育センター

建築場所：福島県田村郡滝根町

施 主：滝根町

設 計：山口建築設計事務所

施 工：八光建設（株）

PC 工事：ピー・エス・コンクリート（株）

使用材料：コンクリート

$$F_c = 450 \text{ kg/cm}^2$$

PC 鋼材

フレシネーケーブル 12φ8, 12φ7

PC 鋼棒 32φ, 23φ (B-1)

鉄筋

SD 30

2.2 応力解析

PC トラスの応力解析は、トラス各節点が各々剛接点であるものとして電子計算機を用いて解析した。

前に述べたように、本 PC トラスは分割部材運搬時、トラス接合時、柱との剛接合時の各時点で異なる構造形状となり、また異なる応力状態となる。したがって応力解析では以上の施工順を追って、各々の時点で逐次解析を行った。またこの構造形の変化にともない、クリープ変形による 2 次応力が生ずるので、構造形の変化に着目したクリープ応力解析も行った。

図-4 にクリープ変形終了時の長期荷重応力の解析結果を示す。

2.3 断面応力の検討

トラス各単位部材の両端部節点応力および中央部応力について、断面応力の検討を行った。

本 PC トラスは、上・下弦材 24 部材、鉛直材 13 部材、斜材 12 部材、合計 49 部材より構成されているので、各単位部材の両端部と中央部の 3 点について応力検討することとすると、応力検討箇所数は合計 147 点とな

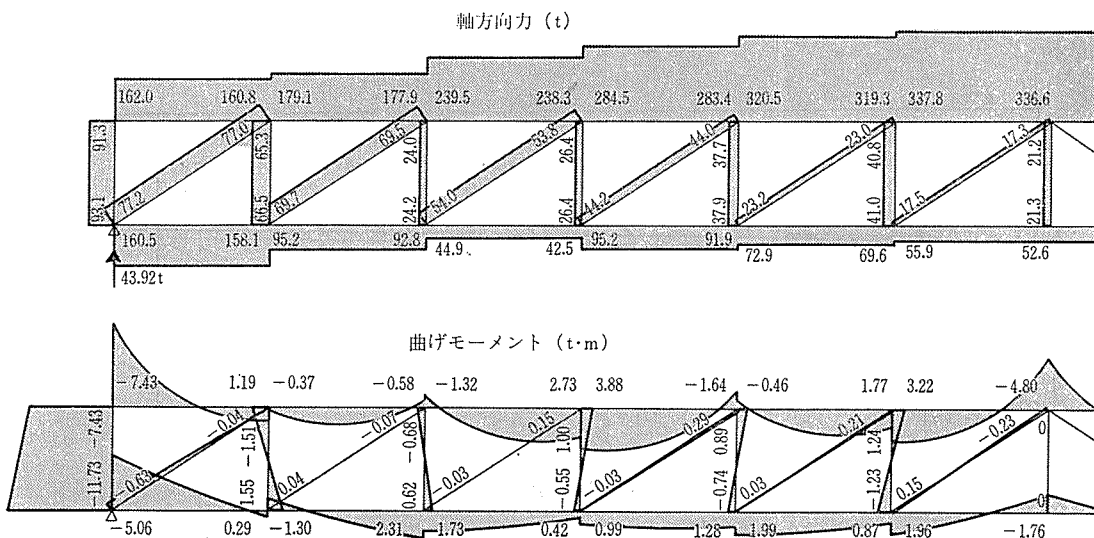


図-4 クリープ終了時の長期応力

表-1 下弦材の応力度

($A=2025\text{ cm}^2$, $Z_U=13360\text{ cm}^3$, $Z_L=13690\text{ cm}^3$)

部 材	仮置き時の応力			2次緊張時の応力			設計荷重時の応力			クリープを考慮した応力		
	軸 力 (t)	モーメント (t-m)	応 力 度 (kg/cm ²)	軸 力 (t)	モーメント (t-m)	応 力 度 (kg/cm ²)	軸 力 (t)	モーメント (t-m)	応 力 度 (kg/cm ²)	軸 力 (t)	モーメント (t-m)	応 力 度 (kg/cm ²)
1-3R	-1.58	1.668	11.70	225.90	1.637	123.81	164.20	-4.988	43.75	160.50	-5.059	41.39
			-12.95			99.60			117.52			116.21
			7.38			109.23			66.54			64.06
C	-1.58	1.090	-8.75	224.50	-0.218	112.46	163.00	-1.864	94.11	159.30	-1.951	92.92
			-3.47			88.13			82.81			80.21
			1.84			131.68			77.07			75.99
L	-1.58	-0.359		223.10	-2.945		161.80	0.388		158.10	0.285	
3-5R	1.25	0.825	6.79	190.00	-1.678	81.27	98.20	-1.084	40.38	95.20	-1.303	37.26
			-5.41			106.08			56.41			56.53
			-2.01			87.01			51.73			53.46
C	1.25	-0.350	3.18	188.60	-0.818	99.11	97.00	0.512	44.16	94.00	0.941	39.55
			-17.33			86.23			56.55			63.14
			18.13			98.51			38.29			28.93
L	1.25	-2.398		187.20	-0.830		95.80	1.235		92.80	2.313	
5-7 R	0.00	-1.744	-13.05	165.20	0.078	82.16	50.60	0.265	26.97	44.90	1.726	35.09
			12.74			81.01			23.05			9.57
			-3.26			80.93			35.37			32.86
C	0.00	-0.436	3.18	163.80	0.006	80.85	49.40	1.466	13.69	43.70	1.506	10.58
			0.00			73.18			37.24			24.09
			0.00			87.05			10.69			17.96
L	0.00	0.000		162.40	-0.938		48.20	1.795		42.50	0.415	
7-9 R	85.32	0.288	44.29	244.60	0.607	125.33	98.20	1.735	61.48	95.20	0.992	54.44
			40.03			116.36			35.82			39.77
			45.82			119.16			61.78			57.98
C	84.76	0.530	37.99	242.65	-0.088	120.47	95.55	1.884	33.92	93.55	1.574	34.70
			40.83			106.47			55.55			54.99
			42.32			130.96			38.38			36.00
L	84.20	-0.101		240.70	-1.656		94.90	1.161		91.90	1.284	
9-11R	74.70	-0.128	35.93	232.60	0.560	119.06	76.60	1.976	52.62	72.90	1.988	50.88
			37.82			110.77			23.39			21.48
			34.34			111.80			50.62			49.14
C	74.14	-0.304	38.84	230.65	-0.281	115.95	74.95	1.818	23.73	71.25	1.864	21.57
			26.21			98.01			42.10			40.87
			46.22			127.50			30.43			28.02
L	73.59	-1.353		228.70	-1.994		73.30	0.789		69.06	0.869	
11-13R	66.69	-0.505	29.15	216.20	0.197	108.24	59.50	1.899	43.60	55.90	1.955	42.24
			36.62			105.33			15.51			13.32
			26.87			89.52			32.17			30.80
C	66.13	-0.773	38.31	214.25	-2.175	121.69	57.85	0.481	25.05	54.25	0.536	22.87
			18.07			64.27			14.22			12.84
			46.36			144.43			40.96			38.79
L	65.58	-1.913		212.30	-5.420		56.20	-1.808		52.60	-1.755	

る。また、応力検討時点として、分割部材運搬時、トラス接合時、設計荷重時、クリープ変形終了時の4時点を考えなければならないので計算量はさらに膨大となってしまふ。そこで本構造計算では、断面応力の検討を電子計算機を用いて処理することとした。

その計算結果の一部を表-1にかかげる。

2.4 ひび割れ安全度・曲げ破壊安全度

ひび割れ安全度および曲げ破壊安全度の検討を行った。

特に曲げ破壊については、靱性を確保するため、PCトラス中央部下弦材の引張破壊が先行し、上弦材、斜材、鉛直材の破壊が生じないように考慮した。その際圧縮材については座屈破壊に対する検討も行った。また、施工時のPCトラス上弦材の横座屈についての検討も行

った。設計時については屋根板が拘束するので、横座屈の危険性はないものと思われる。

2.5 地震時の検討

PCトラスと柱は剛接合となっているので、PCトラスには地震時に応力が生じる。しかしながら解析の結果、地震時応力は長期応力に比べ非常にわずかであり、十分安全であった。

フレームメカニズム時においても、イールドヒンジは柱頭に生じ、トラス各部材応力はほとんどが弾性範囲内におさまっていた。

2.6 局部応力の検討

節点部に生じる局部応力の性状を把握するため、下弦材の節点部を部分的にとり出して有限要素法により検討を行った。

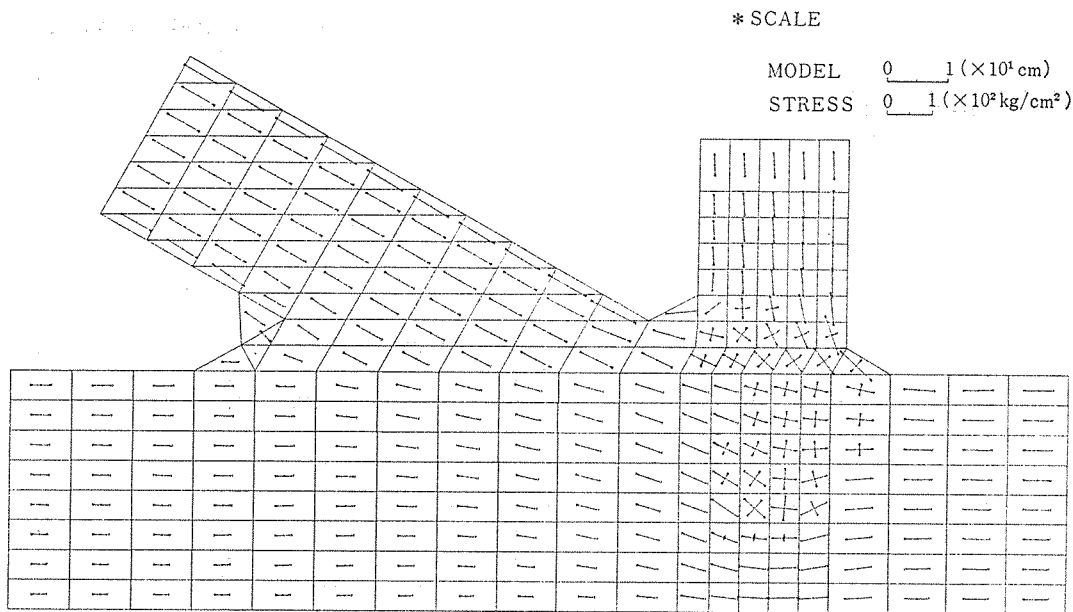


図-5 局部応力度の算出

設計荷重時についての解析結果を図-5に示す。
 応力の乱れは非常に少なく、あまり大きな局部応力も生じていないので十分安全なものと思われる。

3. 載荷試験について

3.1 試験概要

本試験は、工事に用いた実物 PC トラスを利用して、プレストレス導入力および鉛直載荷によるコンクリートのひずみおよびトラスのたわみを測定したものである。

ひずみ測点は合計 158 点とし、単軸ゲージ ($l=70$) を用いた。

たわみ量の測定は、ダイヤルゲージ計 6 か所を使用してトラス中央および両端支点部で行った。

(1) プレストレス導入時試験

図-6 に示す緊張順序にしたがって、最大緊張時および定着完了時に測定を行い導入プレストレス力の確認を行った。なお下弦材については 2 ケーブル同時緊張としている。

緊張力を図-7 に示す。

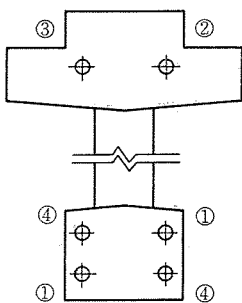


図-6 緊張順序

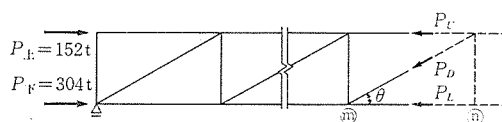


図-7 導入プレストレス力

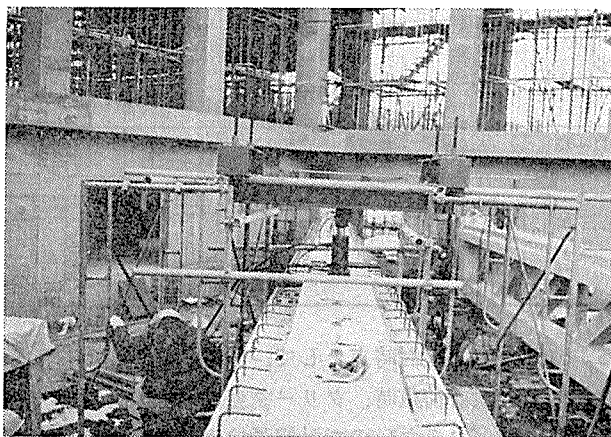


写真-3

(2) 鉛直載荷試験

載荷はトラス中央節点集中載荷とした。載荷荷重はトラス中央の上・下弦材に長期設計荷重時の軸力を生じさせることを目標として算定し、 $P=20t$ と決定した。

荷重は油圧ジャッキにより上弦材上面より加え、ロードセルを用いて荷重を測定した。測点は最大 20 t まで 4 t おきに行い、繰り返し 3 回載荷した。

写真-3 に鉛直載荷試験の状況を示す。

3.2 試験の結果および考察

(1) プレストレス導入時試験

表-2 に全ケーブルの緊張が終了した段階での各部材の導入力、および PC トラス断面位置での導入力の合計を示す。測定値にややばらつきがみられるが、構造計算上必要とされるプレストレス力は確実に導入されていることが確認できた。

表-2 各部材のプレストレス導入力 (t)

節点番号 m-n	P_U	P_L	P_D	$P_D \cdot \cos \theta$	$\frac{P_U+P_L+P_D \cdot \cos \theta}{P_D \cdot \cos \theta}$
1-3	127.7	240.9	59.8	34.7	403.3
3-5	165.7	208.2	29.9	26.1	400.0
5-7	195.3	220.8	22.6	19.7	435.8
7-9	208.4	219.0	8.5	7.4	434.8
9-11	213.1	207.0	0.1	0.1	420.2
11-13	197.0	194.8	5.7	5.0	396.8

表-3 はプレストレス導入時の自重作用率を測定応力より推定したものである。計算値と比較して異なった値となった原因は、導入時に両端支点の沈下により仮置き用に設けられた接合部支点より計算外の反力を受けたものと思われる。

なおこの推定自重作用率を用いて逆算したプレスト

表-3 自重作用率 (%)

緊張段階	測定値よりの推定値	計算値
1	46	100
2	-18	-30
3	-18	-31
4	9	61
完了時	68	100

ス力による上・下弦材の緊張終了時の軸力は、計算値とよく一致していることが示された。

(2) 鉛直載荷試験

図-8, 9 に鉛直載荷 20 t 時の各部材の軸力と 2 次曲

げモーメントの計算値と測定値を示す。

軸力は計算値と測定値の差異がほとんど無いが、2 次曲げモーメントについては、図に示されるごとく計算値との差異が見られる。

これは節点部の剛域の影響によるものではないかと思われる。そこで節点部に剛域を仮定して再計算した結果、測定値は計算値に非常に近づいた。

構造計算では節点の剛域を考慮せずに応力解析を行っているのであるが、断面計算は節点応力を用いて検討しているため、節点応力とフェイス位置での測定値はほぼ同様であり、安全上は支障ないものと思われる。

図-10 に鉛直載荷時のトラスのたわみ量の測定値を示す。スパン中央に 20 t の荷重を載荷した時のたわみ測定値であり、支点沈下による端部の変形量を差し引いて修正した値である。15%ほど計算値よりも小さいが、

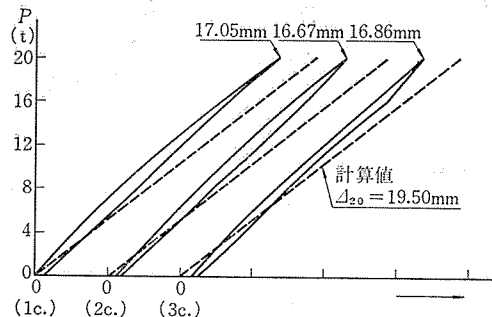


図-10 鉛直載荷試験 荷重-たわみ曲線

これも節点部の剛域による影響であるものと考えられる。

4. 施工について

施工については、紙面の関係上要点だけを報告するに

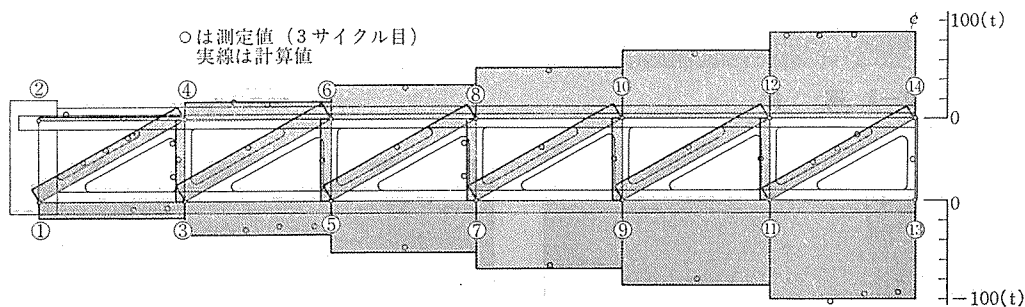


図-8 鉛直載荷試験時 軸力図

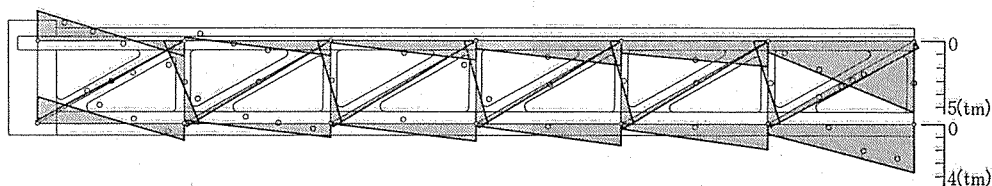


図-9 鉛直載荷試験時 二次曲げモーメント図

報 告

とどめる。

部材製作は、鋼製型枠を用い縦打ち方式でコンクリートを打設した（写真-4）。

コンクリートの充填度から見れば平打ち方式の方が安心できるのであるが、型枠の脱形、コンクリート打設の作業性、部材の立て起こしが不要等の点で優れていると思われる縦打ち方式を採用することとした。

製作された分割部材は、現場搬入後架設地点近傍の地

上で仮組みし、一本の梁とするため、目地コンクリートおよび目地モルタルを打設した（写真-5, 6）。

目地部の強度発現後プレストレスを導入し、分割部材を圧着接合して1本のトラスを形成し、その後トラッククレーン2台により柱頭部の所定の位置に架設した（写真-7, 8）。

次に WT 屋根板を架設し、PC トラスと柱の接合部分に目地モルタルを充填し、モルタルが所定の強度に達

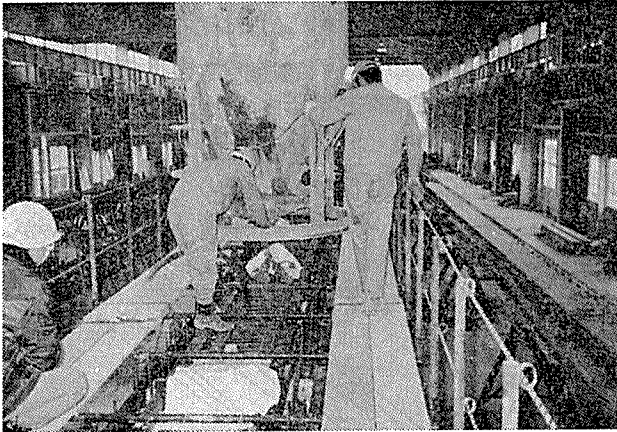


写真-4 部材製作

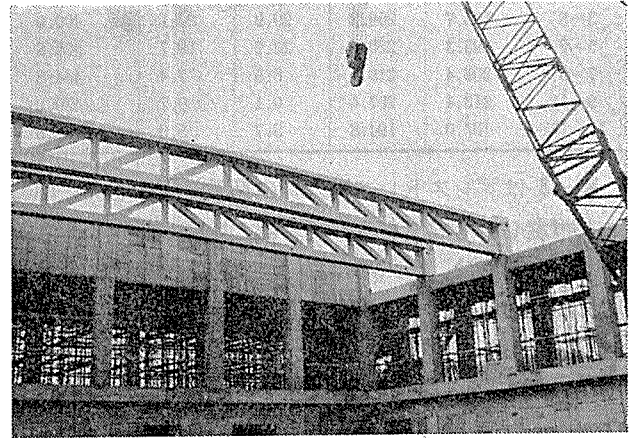


写真-7 架 設

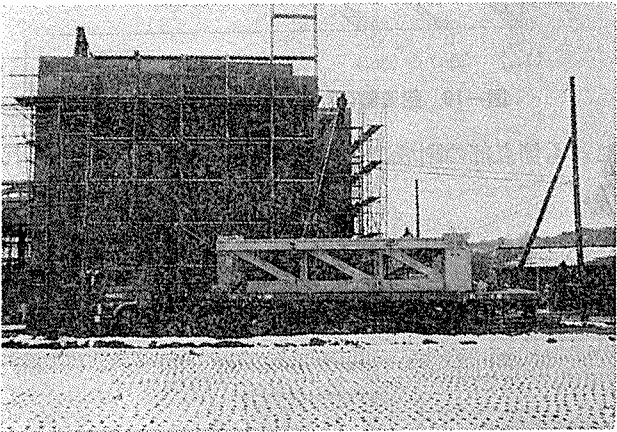


写真-5 運 搬

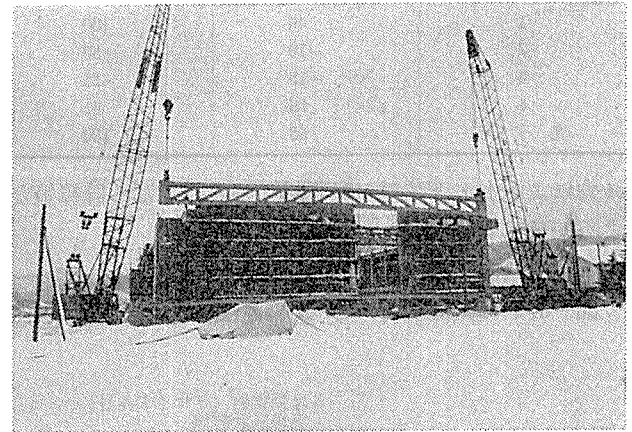


写真-8 架 設

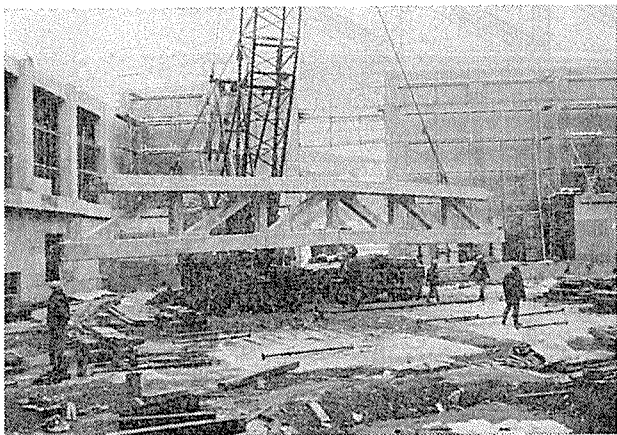


写真-6 仮 置 き



写真-9 完成内観

したことを確認した後、予め柱頭部に埋め込まれた PC 鋼棒を緊張することにより、剛接ラーメンとした。

5. おわりに

本 PC トラスの工事は順調に終了し、今回開発したハウ形式の PC トラスが部材製作および組立て工事に対して優れた施工性、経済性を有していることを確認することができた。今回の PC トラスはスパン 31.5 m とトラス構造としては少々物足らぬスパンではあったが、この経験を生かし今後はさらに大スパン架構への適用を考えていきたいと思う。

載荷試験は、現場内で行った試験であるため、支点部の状況が不明確であり測定精度に多少の問題はあった

が、本試験により、プレストレス導入力が確実に導入されていることが判明し、鉛直荷重による応力、特に 2 次曲げモーメントについても、節点応力を用いて断面算定をすればよく、本構造計算の方法ではほぼ安全上支障がないことが確認できた。

プレストレス導入時の試験より、計算上不明な 2 次曲げモーメントが測定されたが、これはトラスの単位部材の剛性が低いために、PC 鋼線配置の際の施工誤差である波打ちにより局部的な外力を受けて生じた応力ではないかと考えられる。したがって、PC トラスの場合、PC 鋼材の配置、型枠精度に従来の I 形梁の製造精度よりもさらに高い精度が必要なものと思われる。

◀刊行物案内▶

PC による建造物の補強と PC 建造物の設計・施工

本書は第 9 回 PC 技術講習会のためのテキストとして編纂したもので、その内容はプレストレスによるコンクリート建造物の補強または補剛、さらに補修について土木、建築建造物双方の実例を挙げて説明されている。その他、最近、長大化スパンに伴い最も多く採用されているカンチレバー工法による PC 橋の設計・施工について、国内はもちろん、諸外国の実例を示し、片持架設される橋梁形式の PC 桁橋、PC 斜張橋、コンクリートアーチ橋、PC トラス橋について、幅広く詳細な施工要領が示されている。また巻頭には 1980 年 9 月ルーマニア国ブカレストにおいて行われた FIP シンポジウムの報告として、世界におけるプレストレスコンクリート概念について詳述されている。

内容は大きく 3 項目に分かれているが、非常に中味の濃い、PC 技術者にとっては必携の図書としてお勧めいたします。ご希望の方は代金を添えてプレストレスコンクリート技術協会宛お申し込みください。

体 裁：A 4 判 131 頁

定 価：3,500 円 送 料：450 円

内 容：(A) プレストレスコンクリート概念の世界の現況、FIP パーシャルプレストレスリングに関するシンポジウム（ブカレスト）総括報告、パーシャルプレストレスリングの利点と定義、設計法および設計諸規準、実験的研究、適用例。(B)-1 建築建造物の補修と補強、まえがき、床スラブのひびわれ、たわみ障害と補修、プレストレスによる曲げ耐荷能力の増大、せん断ひびわれの補修、地震被害を受けた建築建造物の補修、結言。(B)-2 PC による建造物の補強の実例（道路橋編）、概論、コンクリート建造物に発生する欠陥、ひびわれに関する調査、補修工法、プレストレスによる補修、プレストレスによる補強例。(B)-3 PC 鉄道橋の補修・補強、補修・補強の概念、建造物の検査、PC 鉄道橋の補修・補強の研究の概要、補修事例。(C) カンチレバー工法による PC 橋の設計・施工について、概要、現場打ち工法、プレキャストブロック工法、斜張橋、アーチ橋、PC トラス橋、設計、安全性、断面力、上げ越し計算、施工。