

鉄塔支持型煙突設計の自動化

谷 直 重*
森 脇 博 生**
荒 木 正 雄***

1. はじめに

構造物の設計に電子計算機を利用する試みは、わが国では昭和 35 年頃から活発に行なわれ、電子計算機が最も早く取り入れられた分野の一つとなっている。それでも、初期の段階では、せいぜい構造解析に含まれるマトリックスの処理に利用する程度であったが、その後、電子計算機の演算能力と周辺機器、および、ソフトウェア技術が著しく向上し、また、電子計算機を前提とした構造解析、および、設計法が発達したこともあって、従来の設計作業は、たしかに、情報処理の領域に入りつつあるといえる。

しかしながら、設計の自動化に対する現在までの試みは、ほとんど、構造解析、断面設計などの各分野の定式化できるもののプログラム化、あるいは、これらをまとめたトータルシステムとしての自動化がおもなものであった。設計自動化の目的は、設計の省力化、設計期間の短縮、設計の質の向上などであり、その効果もあがっているようである。しかし、構造物を製作する場合には、構造物の基本的な設計を行なつてのち、構造物の詳細構造の設計、製作寸法の決定、材料の抽出、展開、材料取りなど、製作設計ともいべき作業がある。メーカーにとって、これらの作業は、製作精度、製作コスト、製作期間などに大きな影響を与える点で、基本設計同様に重要であり、大きな比重を占めるのが普通である。したがって、これらを電子計算機によって処理できると、非常に大きな効果が期待できるわけであるが、これらの製作に関する作業は、一般に、最適値を求めるためのアルゴリズムがなく、定式化が困難な場合が多い。また、図形処理的な要素も持っているため、電子計算機だけでは解決できない面も含んでいる。

* 日立造船(株)陸機システム課長
** 正会員 日立造船(株)陸機システム課
*** 日立造船(株)鉄構部建築設計1課

この報告で述べる鉄塔支持型煙突は、大気汚染による公害防止の必要から、最近きわめて注目され、高層、大型化しているものであるが、その設計を短期間で正確に行なう必要があるところから、その自動化を試みたものである。

現在、自動設計を試みたものとして、建設省土木研究所のPC橋、国鉄のPC鉄道橋などがあるが、これらは構造形式の決定したものの断面決定と、その自動図化を行なったものである。この報告で述べる設計自動化のシステムは、鋼構造メーカーが行なう生産設計の自動化の立場から、鉄塔支持型煙突を対象として作成したものである。

2. 鉄塔支持型煙突設計の自動化システム

(1) システムの概要

鉄塔支持型煙突は、図-1 に示すような構造形式を持ち、力学的には、水平力のほとんどを筒身ではなく、支持鉄塔で分担するもので、高い煙突にとって有利な形式である。

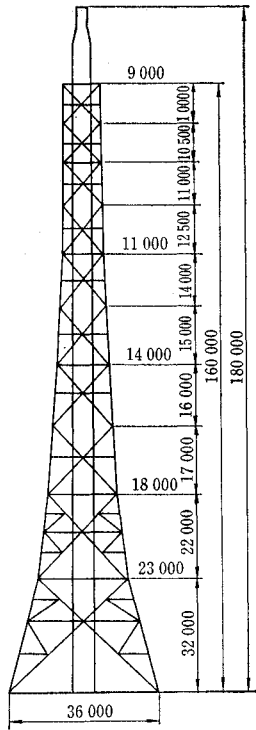
本報告に発表する自動化システムは、この支持型煙突の応力解析、基本設計から製作設計に至るまでのプロセスを電子計算機、および自動図化機を用いて自動化することを目的として、作成したものである。

自動化システムの概要は、図-4 のフローチャートに示すとおりであり、インプットデータとして

- ① 煙突本体の各寸法
 - ② 支持鉄塔の結構の種類
 - ③ パネル高、塔体幅
 - ④ 荷重条件
- などを与え

- ① 煙突本体、および、支持鉄塔断面寸法
- ② 節点、および、継手構造寸法
- ③ 各構造寸法図

図-1 鉄塔支持型煙突



- ④ 主材の材料明細表
 - ⑤ ノズル部鋼板展開図
 - ⑥ 材料取合せ図(切断計画図)
 - ⑦ 所要材料表
- などを求めるものである。

鉄塔支持型煙突の応力解析、および断面設計などの設計計算は、設計技術的なむずかしさはあるものの、比較的に定式化が容易であり、昭和41年ごろ、すでに電算化が試みられ、その効果を上げてきたものである。

しかしながら、この鉄塔支持型煙突の製作を考えた場合、図-4のフローチャートに示す⑤支持鉄塔の節点構造寸法、継

手寸法の設計以下の生産設計に相当する部分には非常な労力と期間を要し、また、これらの作業が構造物の製作精度、製作コストに与える影響も非常に大きく、設計自動化の効果をあげるには、単なる応力解析などの電算化だけでなく、この生産設計の電算化をはかる必要がある。

この鉄塔支持型煙突設計の自動化システムは、このような背景のもとに計画されたものである。

(2) 構造形式の決定

支持鉄塔の基本的な構造形式は、パネル内骨組みの形式、および、煙突本体の支持骨組み(水平骨組み)の形式および節点構造によって決まるが、このシステムでは、これらの構造形式に対して、標準形式を設定した。

パネル内骨組みとしては、図-2に示す5種類の骨組みを基本形式とし、煙突本体の支持骨組みとしては、図-3に示す骨組みを基本形式としている。骨組みの選択は、各パネルごとにインプットデータでその種類を指定し、これらの骨組みの組合せ、および構造寸法の決定は自動的に行なうようにしている。ここで決定される構造寸法としては

- ① 骨組みのスケルトン寸法
- ② ガセットプレートの形状、寸法
- ③ 骨組みを構成するパイプ材実長
- ④ 節点構造部各寸法

などである。

(3) 材料の処理

材料の明細を、早期に、かつ正確に把握することは、生産管理の面で、また材料ロスを減少させる面で大きな影響があるが、一般にこれには多くの労力と期間を必要とする。

このような理由から、主構造の材料を自動的に抽出し、

図-2 パネル内基本骨組み

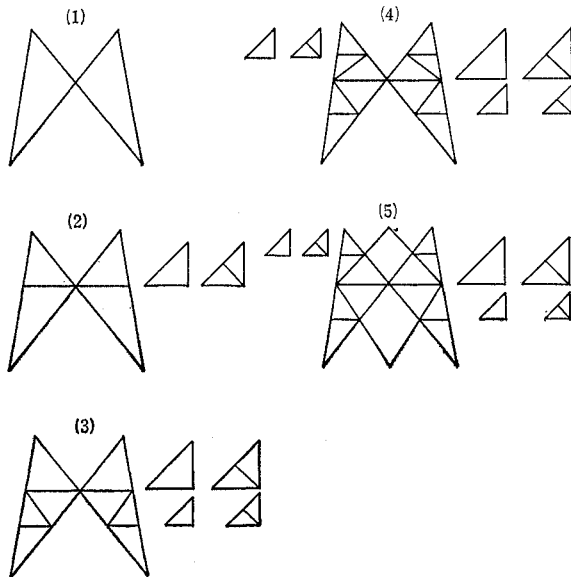


図-3 筒身の支持骨組み

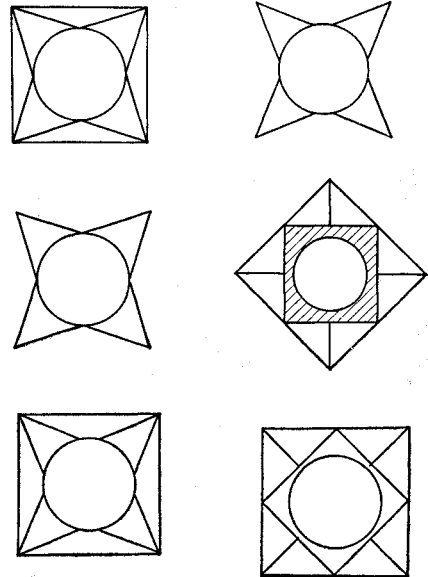


図-4 鉄塔支持型煙突の設計自動化システムのフローチャート

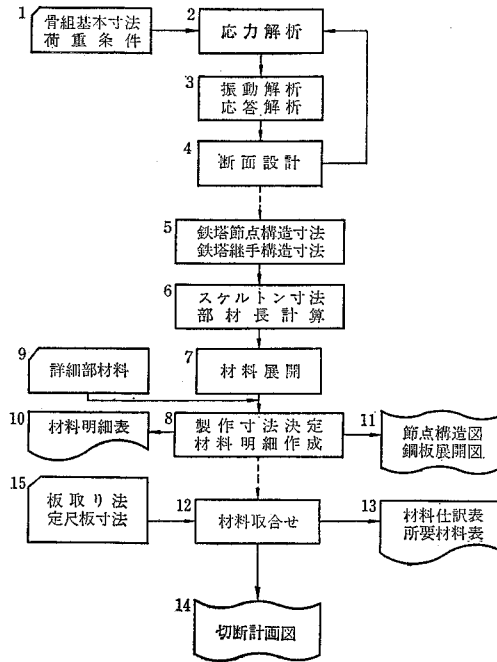
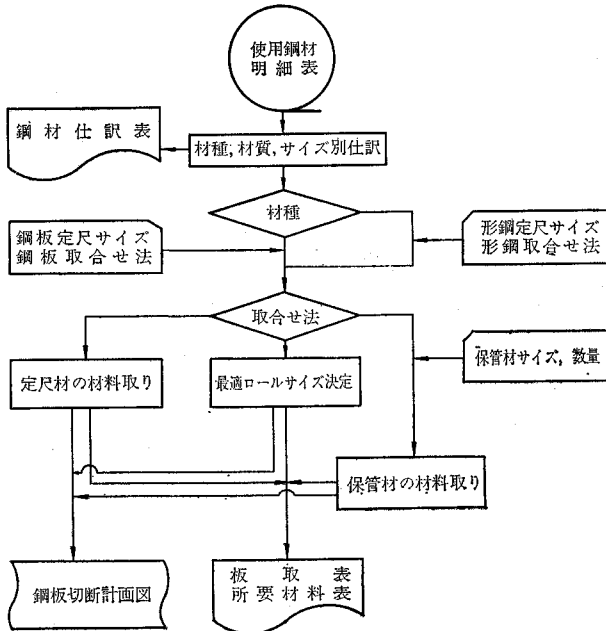


図-5 材料処理のフローチャート



材料の展開，材料の仕訳，材料取り，切断計画図の作成までを行なえるものとしている。これが，図-4 のフローチャートの⑥以下に相当する部分である。図-4 のフローチャートの⑩以下の部分は，抽出された材料から切断までを作成するものである。この材料処理に関する部分のフローチャートを示すと 図-5 のようであり形鋼，および鋼板に対して

- ① 最適ロールサイズを決定する材料取り
- ② 定尺サイズよりの材料取り
- ③ 保管材(端材)からの材料取り

を行なっている。取合せの方法としては，基本的にトータルの材料コストを目的関数とし，これを最小とする LP 問題として扱い，これに，切断要領，鋼板の表面処理法などによる条件を取合せの制限条件として加味している。

(4) 適用例

このシステムの適用例として，図-1 に示す形式で

- ① 筒身高さ : 180 m
- ② 筒身径 : 6 m
- ③ 鉄塔高さ : 160 m
- ④ 鉄塔頂部開き : 9 m
- ⑤ 鉄塔根開き : 36 m

の鉄塔支持型煙突について設計を行ない，その結果の一部を示す。

a) 骨組みのスケルトン図

支持鉄塔の骨組みの種類，長さ，パネル高さ，および各転び(各垂直面への投影)寸法を示す(図-6)。

b) 断面設計結果

柱，斜材，および筒身について，断面力計算，断面設計を行なった結果を示す(表-1 (1)，同(2)，同(3))。

c) 節点構造図，ガセット図

各節点構造の取合い関係を満足するように，節点構造の寸法，および，ガセットプレートの寸法を決定したものを示す(図-7)。

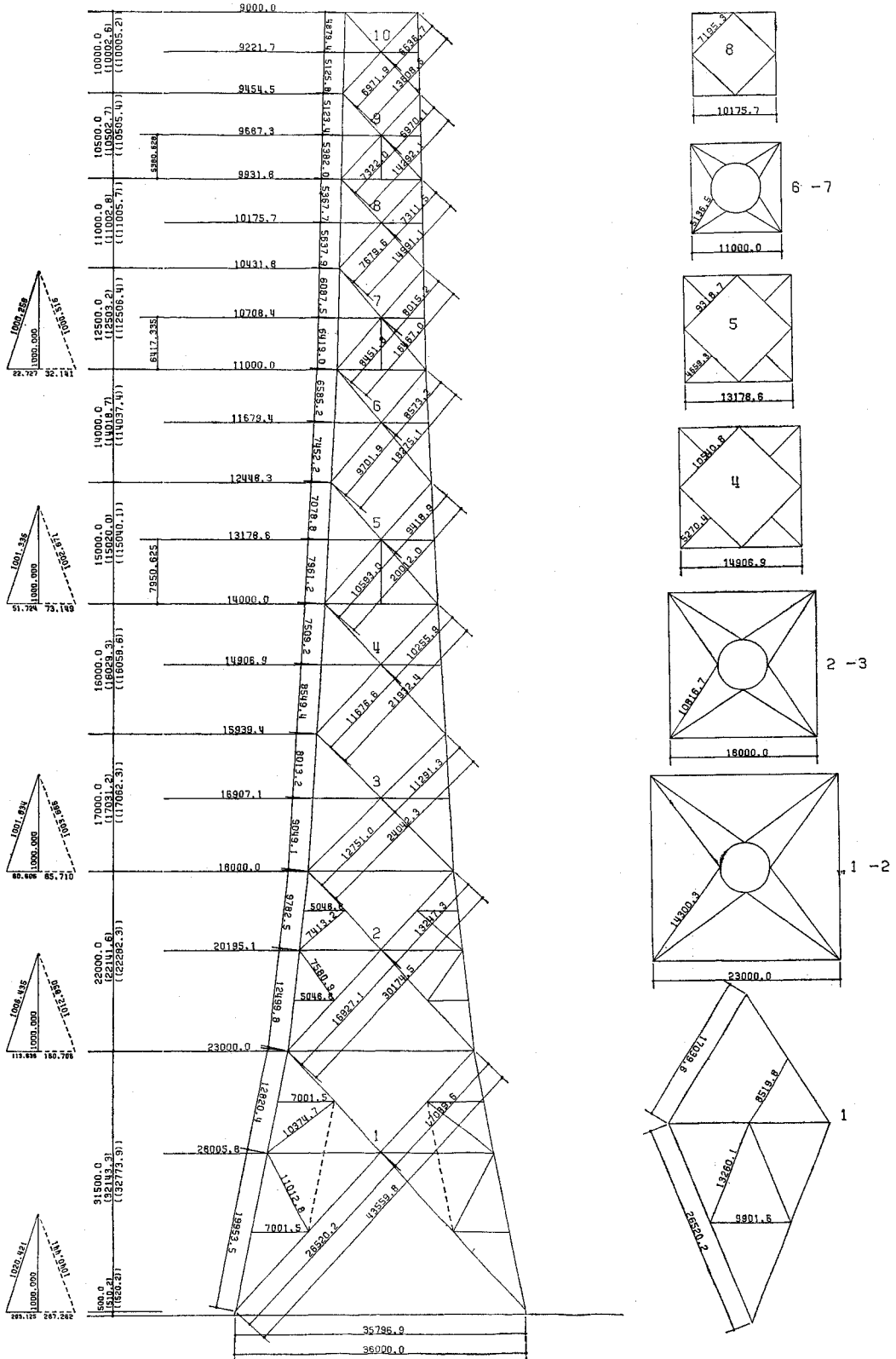
d) 材料明細表

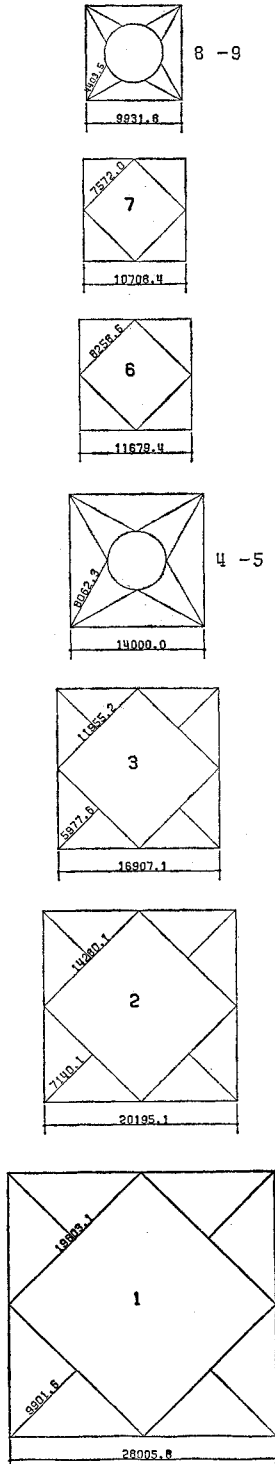
使用材料(管材)を抽出し，その明細表を示す(表-2)。

e) 鋼板の切断計画図

鋼板の材料取りを行なって，その切断計画図を作成したものを示す(図-8)。

図-6 骨組みのスケルトン (園化機の)





(5) 処理時間, その他

この設計自動化システムは、図-4のフローチャートに示す内容の処理を一貫して行なうものであるが、フローチャートの破線の部分で区切って、各プログラムを単独に処理することができるものとなっている。このシステムで一貫処理を行なった場合の処理時間は、構造物の大きさによって異なるが、前述の適用例の場合で、電子計算機 (HITAC-8500, 262 KB) が 40 分、自動作図機 (CALCOMP 社製) が 400 分であった。

3. 結 び

本報告で述べた支持型煙突の設計自動化システムの目的は、生産設計を含めた設計の自動化をはかることによって

- ① 正確な製作図面を作成して、構造物の精度をあげる。
- ② 設計の省力化をはかるとともに、設計から材料手配までの期間を短縮して、生産における機会損失の減少をはかる。
- ③ 必要材料の正確な把握、および材料歩どまりの向上をはかる。

などの効果を期待したものであるが、ほぼその目的は達していると考えている。

しかしながら、一般的に、このようなシステムをつくる場合、そのソフトウェアの開発には非常な労力と時間を必要とする。したがって、つくられたシステムは、なるべく長期にわたって有効なものが望ましいことはいうまでもない。しかし、最近の技術革新による構造物の構造的变化、および、自動設計のための機器の進歩は著しいものがあり、長期間をかけて自動化のシステムをつくり上げたときに、すでにプログラムの内容が陳腐化して使用できなくなっている可能性が強い。

現在までに一般的に行なわれてきた設計自動化へのアプローチは、ある構造系の応力解析、標準断面に対する寸法の決定など、個々に定式化できるものに対する寸法の決定など、個々に定式化できるものに対するプログラム、あるいはそれらをつなぎ合せたトータルシステムのなもにあつた。たとえば、合成桁橋でスパン、有効幅員、荷重条件などを与えると、床版、主桁、および詳細部などの最適設計から図面作成までを一貫して処理させるようなシステムを作成するものである。このような考え方で完成され、発表されているものとしては、建設省土木研究所の「PC橋の自動設計」、国鉄の「PC鉄道橋の自動設計」などがあり、この報告で述べたシステムも本質的にこの考え方である。

表一(1) 断面設計結果 (柱)

** SHAZAI NO DANMEN

N	STRESSES FOR DESIGN				MEMBER (PIPE OR ANGLE)				COEFF. FOR CALC.				STRESS T/CM2				
	TON	IN	TON	TN	TON	T*CM	(MM)	A	Z	R	L	K	M	RAT.	COEF.	A.F.	B.M.
1	18.1	2.5	23.5	24.8	267.4	6.6	45.7	291.	9.19	5.126	56.	1.14	0.59	0.09	0.67		
2	59.2	4.7	71.9	40.8	406.4	6.4	67.7	666.	14.11	5.382	38.	1.06	1.13	0.06	1.19		
3	121.2	8.4	145.4	49.4	457.2	9.5	119.3	1308.	15.80	5.638	36.	1.05	1.28	0.04	1.32		
4	208.6	12.7	247.6	69.6	508.0	12.7	181.7	2195.	17.48	6.419	37.	1.06	1.44	0.03	1.47		
5	332.4	19.8	393.9	109.4	609.6	16.0	279.3	4038.	20.96	7.452	36.	1.05	1.49	0.03	1.51		
6	483.4	28.2	572.2	160.6	812.8	16.0	375.0	7325.	28.14	7.961	28.	1.00	1.53	0.02	1.55		
7	644.7	40.2	766.6	221.4	1016.0	16.0	470.8	11586.	35.32	8.549	24.	1.00	1.63	0.02	1.65		
8	815.1	52.3	971.4	233.9	1016.0	18.0	532.5	13053.	35.25	9.049	26.	1.00	1.82	0.02	1.84		
9	965.0	75.4	1169.3	101.6	1016.0	20.0	593.9	14502.	35.18	6.250	18.	1.00	1.97	0.01	1.98		
10	1053.0	113.4	1320.5	221.3	1100.0	20.0	644.1	17078.	38.15	10.011	26.	1.00	2.05	0.01	2.06		

表一(2) 断面設計結果 (斜材)

** HASHIRA NO DANMEN

N	STRESSES FOR DESIGN				MEMBER (PIPE OR ANGLE)				COEFF. FOR CALC.				STRESS T/CM2				
	TON	IN	TON	TN	TON	T*CM	(MM)	A	Z	R	L	K	M	RAT.	COEF.	A.F.	B.M.
1	17.4	0.0	19.2	68.8	267.4	6.6	45.7	291.	9.19	6.972	76.	1.30	0.55	0.24	0.78		
2	22.1	0.0	24.3	74.6	267.4	6.6	45.7	291.	9.19	7.322	80.	1.34	0.71	0.26	0.97		
3	37.6	0.0	41.4	95.9	318.5	6.9	57.6	439.	10.98	7.680	70.	1.24	0.89	0.22	1.11		
4	45.0	0.0	49.5	113.5	318.5	6.9	57.6	439.	10.98	8.452	77.	1.31	1.13	0.26	1.39		
5	69.2	0.0	76.1	208.6	457.2	6.4	76.3	848.	15.90	9.702	61.	1.17	1.17	0.25	1.42		
6	71.4	0.0	78.6	239.9	457.2	6.4	76.3	848.	15.90	10.593	67.	1.22	1.25	0.28	1.53		
7	82.5	0.0	90.8	309.7	508.0	6.4	84.9	1052.	17.70	11.677	66.	1.21	1.29	0.29	1.59		
8	85.3	0.0	93.8	348.3	508.0	6.4	84.9	1052.	17.70	12.751	72.	1.26	1.39	0.33	1.73		
9	60.6	0.0	66.7	139.8	508.0	6.4	84.9	1052.	17.70	8.464	48.	1.10	0.86	0.13	1.00		
10	18.6	0.0	20.4	271.2	508.0	6.4	84.9	1052.	17.70	13.315	75.	1.29	0.31	0.26	0.57		

表一(3) 断面設計結果 (筒身)

** DUCT NO KEI D = 6.000(H)
 ** LINING T = 0.080(H) YUNG M. = 0.100 HIJUY = 2.40
 ** TOSHIN NO JTA ATSU

IRING IITA-ATU NO. I	(MM)	MOMENT (T.M)	ASSYUKU I RING (TON)	INO.	IITA-ATU (MM)	MOMENT (T.M)	ASSYUKU I RING (TON)
1	6.0	38.2	9.3	44	12.0	1666.4	458.0
2	6.0	76.4	18.7	45	12.0	1688.0	489.2
3	6.0	114.7	28.0	46	12.0	1711.5	480.4
4	6.0	152.9	37.4	47	12.0	1747.1	501.6
5	6.0	191.1	46.7	48	12.0	1776.6	492.8
6	6.0	229.3	56.1	49	12.0	1806.1	514.0
7	6.0	267.5	65.4	50	12.0	1835.6	525.2
8	6.0	305.7	74.8	51	13.0	1865.1	536.3
9	7.0	344.0	84.4	52	13.0	1894.7	548.7
10	7.0	382.8	93.9	53	13.0	1924.2	559.8
11	8.0	421.2	103.6	54	13.0	1953.7	571.3
12	8.0	459.2	113.6	55	13.0	1983.2	582.8
13	8.0	497.4	123.5	56	13.0	2012.7	594.3
14	8.0	535.6	133.5	57	13.0	2042.2	605.8
15	8.0	573.8	143.5	58	13.0	2071.6	617.3
16	9.0	702.0	163.7	60	13.0	2101.3	628.9
17	9.0	752.2	173.7	61	13.0	2130.8	640.4
18	9.0	802.4	184.0	62	14.0	2207.1	651.9
19	9.0	852.6	194.5	63	14.0	2245.3	675.5
20	10.0	902.7	205.0	64	14.0	2283.4	697.4
21	10.0	952.9	215.6	65	14.0	2321.6	699.2
22	10.0	1003.1	226.2	66	14.0	2359.8	711.0
23	10.0	1127.4	256.8	67	14.0	2397.9	722.8
24	10.0	1195.8	267.4	68	14.0	2436.1	734.7
25	10.0	1264.2	278.0	69	14.0	2474.2	746.5
26	11.0	1332.5	288.3	70	14.0	2512.4	758.3
27	11.0	1400.9	299.2	71	14.0	2550.6	770.1
28	11.0	1469.2	310.1	72	14.0	2499.1	781.9
29	11.0	1537.6	321.0	73	14.0	2380.8	793.8
30	11.0	1606.0	331.9	74	14.0	2282.5	805.6
31	11.0	1639.6	342.7	74	14.0	2184.3	817.4
32	11.0	1643.6	353.6	75	14.0	2086.0	829.2
33	12.0	1645.8	364.0	76	14.0	1987.7	841.0
34	12.0	1647.8	374.2	77	14.0	1889.4	852.9
35	12.0	1649.9	384.4	78	14.0	1791.2	864.7
36	12.0	1651.9	394.6	80	14.0	1692.9	876.5
37	12.0	1654.0	404.8	81	14.0	1594.6	888.3
38	12.0	1656.1	415.0	82	14.0	1496.3	900.2
39	12.0	1658.1	425.2	83	14.0	1398.1	912.0
40	12.0	1660.2	435.4	84	14.0	1299.8	923.8
41	12.0	1662.2	445.6	85	14.0	1201.5	935.6
42	12.0	1664.3	455.8	86	14.0	1103.2	947.3

** TOSHIN NO JURYO = 304,221 (TON)

図-7 節点構造図およびガセット図 (図化機の作業をそのまま印刷した)

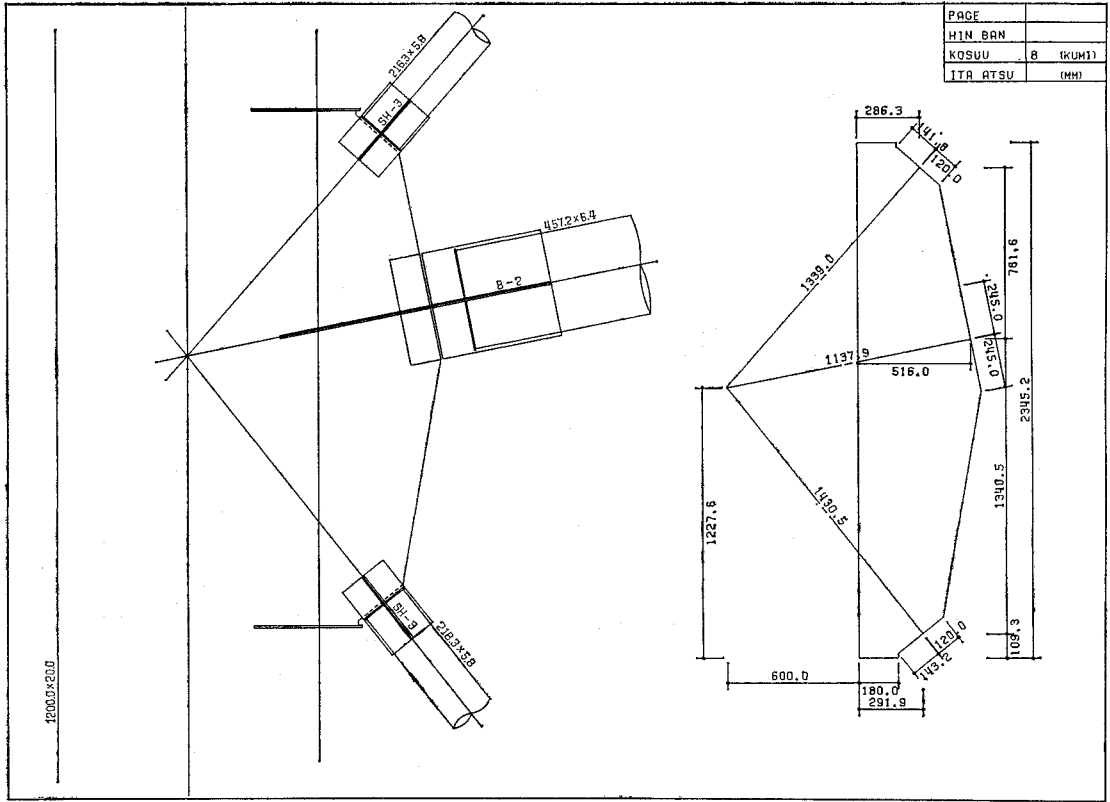
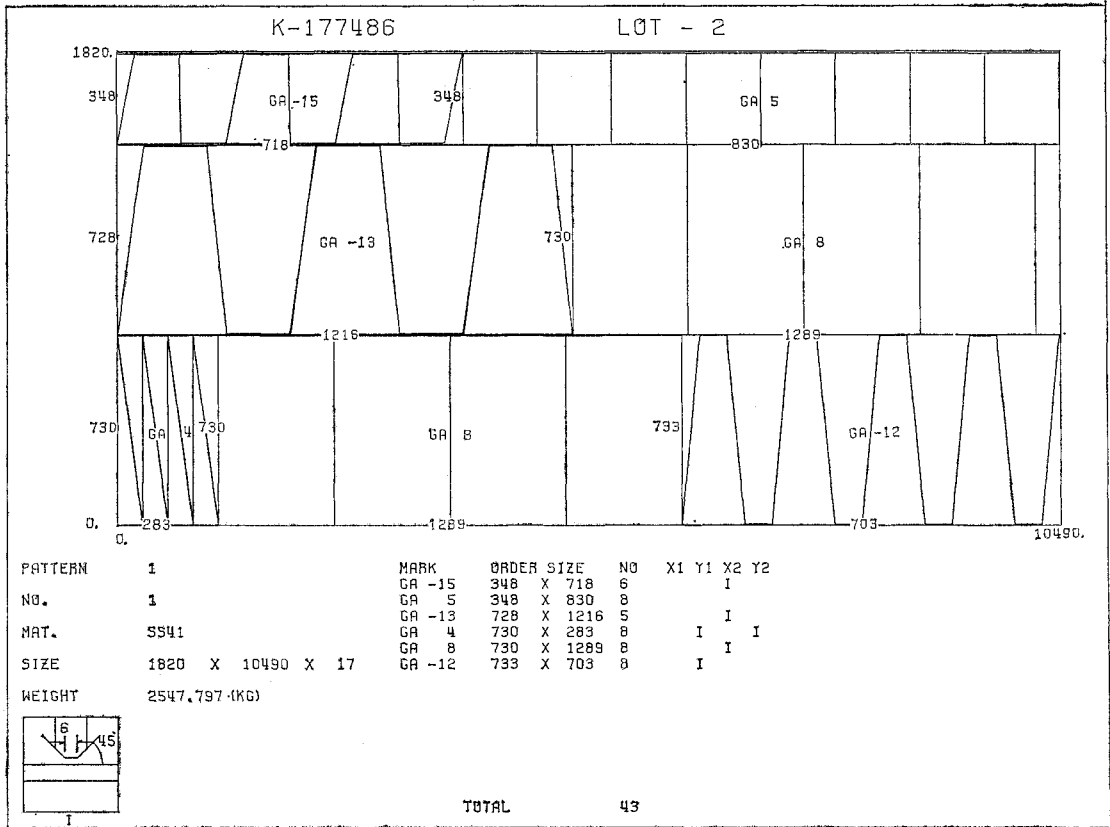


表-2 材料明細表 (管材)

	NOOKI	BUZAI BANGU		BUZAI SUNPHO		1 KKO	1 KO	JURYO	BIKOO
		GAIKEI (MM)	GAIKEI (MM)	ITAI ATU (MM)	NAGASA (MM)				
5	1- 1	1200.0		120.0	32745.9	19078.1	41	76313.1	36.2
	1- 1C	1200.0		120.0	2123.7	1257.1	41	5028.1	36.2
	1- 1A	1100.0		127.0	640.0	457.1	41	1829.1	
	1- 1B	1200.0	1100.0	120.0	500.0	279.1	41	1115.1	
	2- 1	1100.0		120.0	18373.5	9798.1	41	39190.1	20.3
	2- 1C	1100.0		120.0	1794.7	967.1	41	3867.1	20.3
	2- 1A	1016.0		124.0	560.0	329.1	41	1315.1	
	2- 1B	1100.0	1016.0	118.0	450.0	208.1	41	831.1	
	2- 1D	1100.0		127.0	640.0	457.1	41	1829.1	
	3- 1	1016.0		118.0	15524.9	6877.1	41	27510.1	
10	3- 1A	812.8		124.0	600.0	280.1	41	1120.1	
	3- 1B	1016.0	812.8	118.0	1050.0	418.1	41	1671.1	
	3- 1D	1016.0		124.0	560.0	329.1	41	1315.1	
	4- 1	812.8		118.0	11971.4	4224.1	41	16897.1	2.5
	4- 1C	812.8		118.0	1713.5	605.1	41	2422.1	2.5
	4- 1A	711.2		121.0	600.0	214.1	41	858.1	
	4- 1B	812.8	711.2	116.0	550.0	162.1	41	648.1	
	4- 1D	812.8		124.0	600.0	280.1	41	1120.1	
	5- 1	711.2		116.0	13175.0	3614.1	41	14455.1	
	5- 1A	609.6		117.0	530.0	132.1	41	527.1	
15	5- 1B	711.2	609.6	112.0	550.0	106.1	41	422.1	
	5- 1D	711.2		121.0	600.0	214.1	41	858.1	
	6- 1	609.6		112.0	10819.0	1914.1	41	7657.1	6.2
	6- 1C	609.6		112.0	1424.0	253.1	41	1012.1	6.2
	6- 1A	558.8		112.0	500.0	81.1	41	324.1	
	6- 1B	609.6	558.8	9.5	300.0	40.1	41	162.1	
	6- 1D	609.6		117.0	530.0	132.1	41	527.1	
	7- 1	558.8		9.5	11099.8	1428.1	41	5713.1	
	7- 1A	406.4		110.0	440.0	43.1	41	172.1	
	7- 1B	558.8	406.4	7.9	800.0	74.1	41	296.1	
7- 1D	558.8		112.0	500.0	81.1	41	324.1		

図-8 鋼板の切断計画図 (図化機の作業をそのまま印刷した)



しかしながら、上記のような方法は、形式の確定しているような構造物には非常に有効であるが、先に述べたような構造的変化を伴う構造物や創造的要素をもつ構造物の設計に即応できないという難点がある。そこで、このような構造物の設計を効果的に行なうために、従来のように、設計の手順までを固定化して Automatic Design を行なわせるのではなく、自動化機、あるいは、CRT Display 装置などの周辺機器を利用することによって、また、目的別言語 (Problem Oriented Language) によって Computer Aided な Design (CAD) を行なわせようとする考え方があつた。これは、設計のもつ創造性をも生かせる点で非常に有効な考え方であり、M.I.T.

で開発されている ICES (Integrated Civil Engineering System) なども、このような CAD の思想に基づくものといえる。

この報告で述べた支持型煙突の設計自動化システムは、上述のような難点を少なくするために、内容の追加、変更などを容易に、しかも、local に行なえるようプログラムしているが、十分に満足できるシステムだとは考えていない。今後の設計の自動化にあたっては、Automatic Design の考え方だけでなく CAD の有利性をも考慮したシステムを開発するつもりである。

なお、本報告は名大成岡教授のおすすりもあつて、投稿したものであることを付記する。(1970. 4. 27・受付)

土木図書館蔵書目録	1967	● 700 円	会員特価	600 円 (〒 100)
	第1集			
土木図書館蔵書目録	1968	● 200 円	会員特価	150 円 (〒 50)
	第2集			
土木図書館蔵書目録	1969	● 220 円	会員特価	200 円 (〒 50)
	第3集			
土木図書館蔵書目録	1970	● 220 円	会員特価	200 円 (〒 50)
	第4集			
土木図書館蔵書目録	1970	● 220 円	会員特価	200 円 (〒 50)
	第5集			