

円形断面柱と箱形断面梁をもつた ラーメン隅角部の設計

友	永	和	夫	*
田	島	二	郎	**
安	浪	金	蔵	***
楠	田	忠	雄	****
竹	中	哲	哉	*****

1. は し が き

この報告は、東海道新幹線大阪駅に使用した円形断面柱と箱形断面梁とよりなる鉄骨ラーメンの隅角部の設計に関して行なつた各種試験に関するものである。

新幹線大阪駅は、淀川の北、東海道本線・北方貨物線・宮原操作場東回線に囲まれた三角地に新たに建設されるもので、そこでは新幹線、東海道本線のほか、大阪市高速鉄道、京阪神急行電鉄、御堂筋が相互に連絡する。新幹線ホームは駅本屋の3階に設けられ、島式(12m×330m)2面、発着線4線で、将来計画としては島式(12m×430m)3面、発着線6線を考え、東海道本線は地平で、大阪市高速鉄道および御堂筋は2階に、それぞれ約60°の交角で本屋を横断し、京阪神急行は北側に並列する。

駅建物の躯体構造はすべて鉄骨ラーメン形式で、基礎工は天満砂礫層まで径4mまたは2.6m、長さ約25mの#筒基礎を下し、その数約200基、鉄骨工事は約14,000tである。

新大阪駅本屋断面は図-1に示すとおりである。

上記のように 躯体ラーメンは3階又は2階に列車荷重が載荷されるため、それによる繰返

* 国鉄構造物設計事務所

** 国鉄構造物設計事務所

*** 三菱造船広島造船所

**** 三菱造船広島造船所

***** 久保田鉄工鋳物事業部

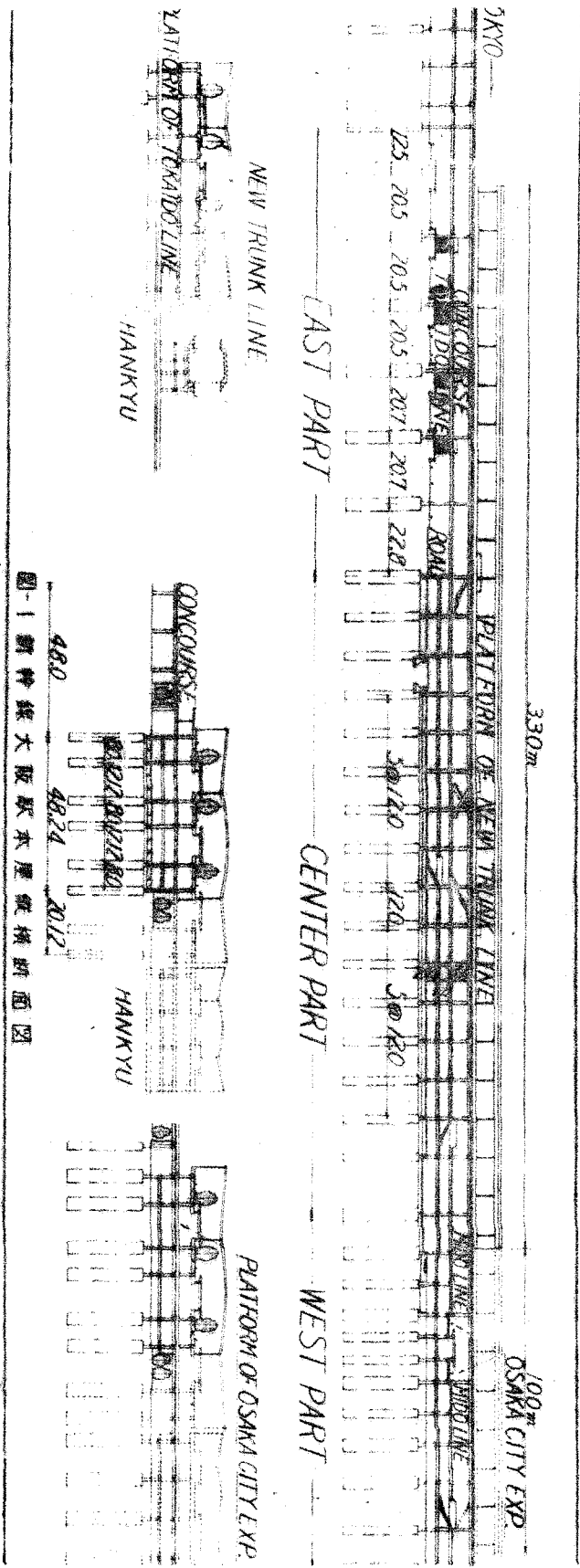


圖-1 新幹線大阪駅本屋縦断面図

し荷重の影響を考慮して仕口部の応力集中を少なくする必要があり、また内部の使用効率を高めるためには、柱はなるべく細く、梁高は低く、また隅角部に大きなハンチを設けることも望ましくないものである。さらに東部および西部高架橋においては、上下の通路が斜交するため、柱の形状は当初より円形断面をもつもので計画がたてられた。ハンチのない、箱形断面梁をもつラーメン隅角部に関しては、四角柱の場合、円柱の場合ともに近年道路橋を対象として首都高速道路公園等において実験が行なわれ、使用上十分な耐荷力をもつた構造で設計、製作が進められているが、応力集中がなく、疲労強度の上からも鉄道橋として満足すべき構造については、新しくそれらを検討しなければならなかった。

すなわち、従来パイプとパイプとの取付けに関しては、ソケット等種々のものが考案されてきたが、円管柱と梁との取付けに関しては、例えば、円管柱と同一直径のまま梁の中に貫通させ、梁を構成する各板と円管柱の外面との交線で突合せ溶接を行ない、円管柱の中に梁のフランジおよび腹板からの力を有効に伝達するための種々の板を設けるような設計が行なわれてきた。このような方法による場合には、特に円管柱内部に設ける各板の溶接を狭い処で施行しなければならぬこと、溶接が拘束溶接になるなどのため、信頼性のある溶接を期待し難い欠点があった。またさらに、曲げモーメントが作用する場合、円管柱と梁との取付け部の隅角部に大きい応力集中が生ずることが避けられなかった。これらの問題を解決するため、友永は、梁と円管柱との取付け部において、鋳造またはプレス加工などによって円管の直径を拡大し、円管の直径の変化部分に丸味をつけて梁のフランジから円管柱への応力の流れを円滑にして応力集中を軽減するとともに、直径の増大するうつり変り部分の肉厚を適当に大にして、上記によって軽減された応力集中をさらに小とし、梁のフランジからの力を十分に円管柱に伝える断面積とし、また一方、円管柱への軸力と円管柱に作用する曲げモーメントに対し、このうつり変り部分に作用するせん断力が許容せん断力以内にあるようにした。従つて、フランジの力の伝達のための円管柱内部のダイヤフラムの必要性をなくし、また、直径を大きくした部分の管厚を適当に撰定して、円管柱と梁との取付け部におけるせん断力による変形を、柱と梁がいずれもI形または箱形である場合の取付け部のせん断変形と同等以上となるようにすることによって、円管柱内部に特にせん断力を梁から円管柱に伝達するためのダイヤフラムを必要としないような従来にない断面を提案した。この新形式の仕口形状は、遠心力鋳造管を採用することによって

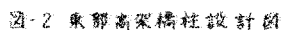


図-2に示した柱の形状の場合、遠心力鋳造管が採用でき、これによれば一般に鋳鋼に対して考えられている巣の問題が解決され、信頼できる均一な材質のものが得られるが、設計上柱の厚さは40-50mmを要することになるので、鋳鋼の材質は強度のほか溶接性も十分考慮

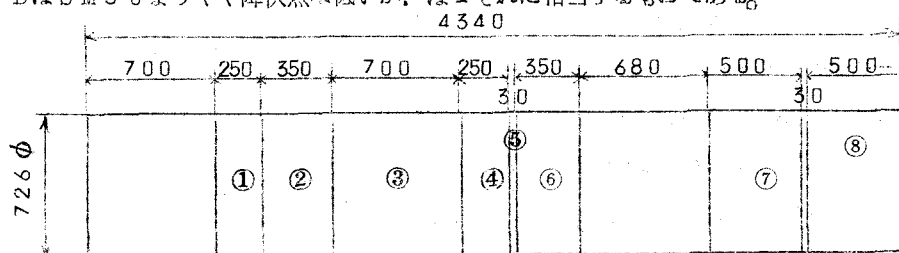
する必要がある。

表-1 試作鋳鋼管の規格

Material Note	Yield Point (Kg/mm^2)	Tensile Strength (Kg/mm^2)	Elongation JIS No 4 T.P.	Carbon Content %
A	$24 \leq$	$40 \sim 50$	$25 \leq$	$0.20 \geq$
B	$30 \leq$	$50 \sim 55$	$20 \leq$	$0.24 \geq$

0℃シャルピー衝撃値 (Vノッチ) は $3.5 \text{ Kg-m/}\text{cm}^2$ 以上

表-1のA、B2種類は試験用に作った鋳鋼管の規格で、AはSS41に対応するものであり、BはSM50よりやや降伏点は低い、ほどそれに相当するものである。



① Fatigue Test and Charpy Test (-20°C , -10°C , 20°C , 40°C)

② Max Hardness Test

③ Austrian Test

④ Tension Test of JIS No 4. T.P and Charpy Test (0°C)

⑤ Sulphur Print (Center)

⑥ Charpy Test for Heat Affected zone

⑦ Tension Test of JIS No 1. T.P.

⑧ Sulphur Print (End)

図-3 試験片採取位置

試験材としては外径72.6mm、厚さ8.7mm、長さ4340mmの管を遠心力鋳造し、図-3のように鋳造材及びその溶接性に関する試験片を採取した。試験材は鋳造し後 20°C 1.2時間保持、 150°C まで炉中冷却の焼鈍を行なっている。

表-2 試験材の化学成分(%)

kind	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ceq
Radle Analysis								
A	0.18	0.51	0.89	0.021	0.020	0.11	0.16	0.37
B	0.22	0.58	1.10	0.014	0.014	0.09	0.18	0.45
Check Analysis								
out	0.17	0.52	0.86	0.020	0.019	0.09	0.15	
A Center	0.18	0.51	0.88	0.021	0.021	0.10	0.15	
in	0.18	0.54	0.90	0.022	0.021	0.10	0.17	
out	0.21	0.56	1.12	0.012	0.013	0.09	0.16	
B Center	0.21	0.59	1.11	0.014	0.013	0.09	0.19	
in	0.22	0.58	1.16	0.014	0.015	0.09	0.19	

Note: $Ceq = C + Si/24 + Mn/6 + Cr/5$

(1) 化学成分

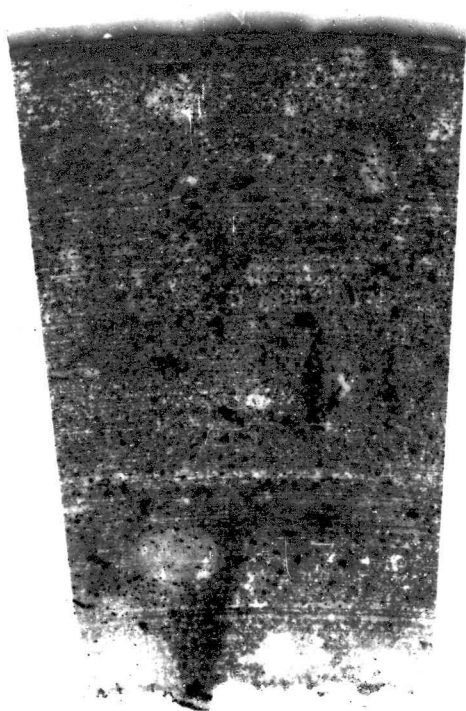
試験材の化学成分は表-2に示すとおりで、レードル分析とチェック分析との差、チェック分析で厚さの内外でのばらつきは殆ど認められなかつた。また全厚さに対するサルファープリントは写真-1に示すとおりで、Sの偏析は極めて少なかつた。

(2) 引張試験

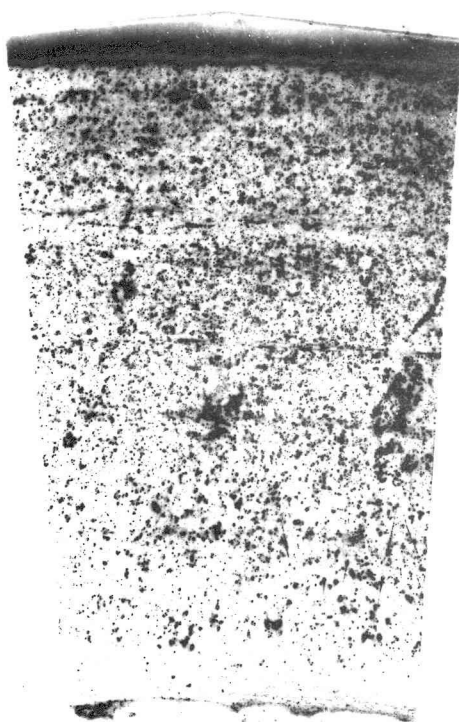
表-3はJIS 4号試験片およびJIS 1号試験片による引張試験の結果である。鋳鋼に対しては、4号試験片により引張試験を行うのがJISの規定であるが、構造用鋼が一般に1号試験片によつてゐるので、ゲージ長の差による伸び率の違いなどを確認し、一般鋼材と比べるため特に2種類の試験を行つたものである。両試験において、構造用鋼板と大差ない機械的性質をもつものと判断された。

(3) シャルピー衝撃試験

素材の衝撃値はJIS Z 2202の4号シャルピー衝撃試験片(Vノッチ)により求めた。試験数は試験温度-20°、0°、20°、40°Cに対して材質A、Bそれぞれ各3本、-10°Cに対しそれぞれ1本である。試験結果は図-4に示すとおりで、建設地が極度の低温にはならない大阪であることから、十分な衝撃値をもつものと考えられた。



A



B

写真-1 サルファー・プリント

表-3 引張試験結果

Kind	T.P. No.	Yield point (Kg/mm^2)	Tensile strength (Kg/mm^2)	Elongation (%)	Reduction of Area (%)
A	JIS No. 4	2 4.7	4 4.3	3 7.2	5 6.2
		2 5.0	4 4.6	3 9.6	5 2.0
		2 4.6	4 4.5	3 3.2	3 7.7
		AVG.	4 4.5	3 6.7	4 8.6
	JIS No. 1	2 3.8	4 2.3	2 9.6	4 4.6
		2 4.1	4 2.6	3 0.2	4 2.4
		2 4.7	4 2.5	2 8.8	4 4.9
		AVG.	4 2.5	2 9.5	4 4.0
	R	JIS No. 4	3 0.7	5 0.8	2 8.6
			3 1.1	5 0.7	2 4.0
			3 0.6	5 1.4	3 2.6
		AVG.	3 0.8	5 1.0	2 8.4
		JIS No. 1	2 9.8	5 9.4	2 0.0
			3 0.7	4 8.9	2 5.0
			3 1.1	4 9.3	2 4.5
		AVG.	3 0.5	4 9.2	2 3.2

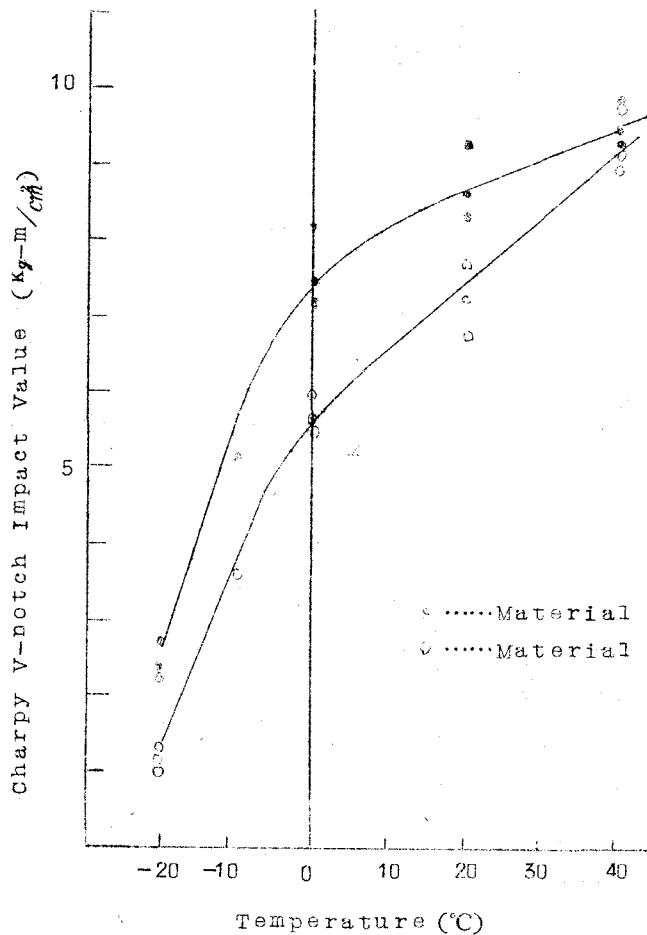


図-4 衝撃試験結果

(4) 疲労試験

A材およびB材の疲労試験を図-5の試験片で小野式回転曲げ疲労試験(8 kg-m, 3000 r.p.m.)により行つた。試験結果は図-6に示すとおりで、A材で殆ど差がなく、疲労限は曲げ応力で約 18 kg/mm^2 程度で、SM41材とはほぼ同等の値であつた。

(5) 最高硬度試験

図-7に示す試験片によりJIS Z 3101に従つて最高硬度試験を行つた。溶接時の温度は室温(12°C)および予熱100°Cとし、溶接棒はA材に対しLB26($\phi 4 \text{ mm}$)、B材に対しLB52($\phi 4 \text{ mm}$)で、各条件について、2ヶづつの試験を行つた。

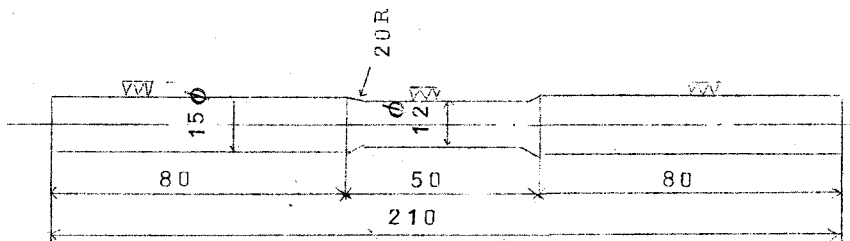
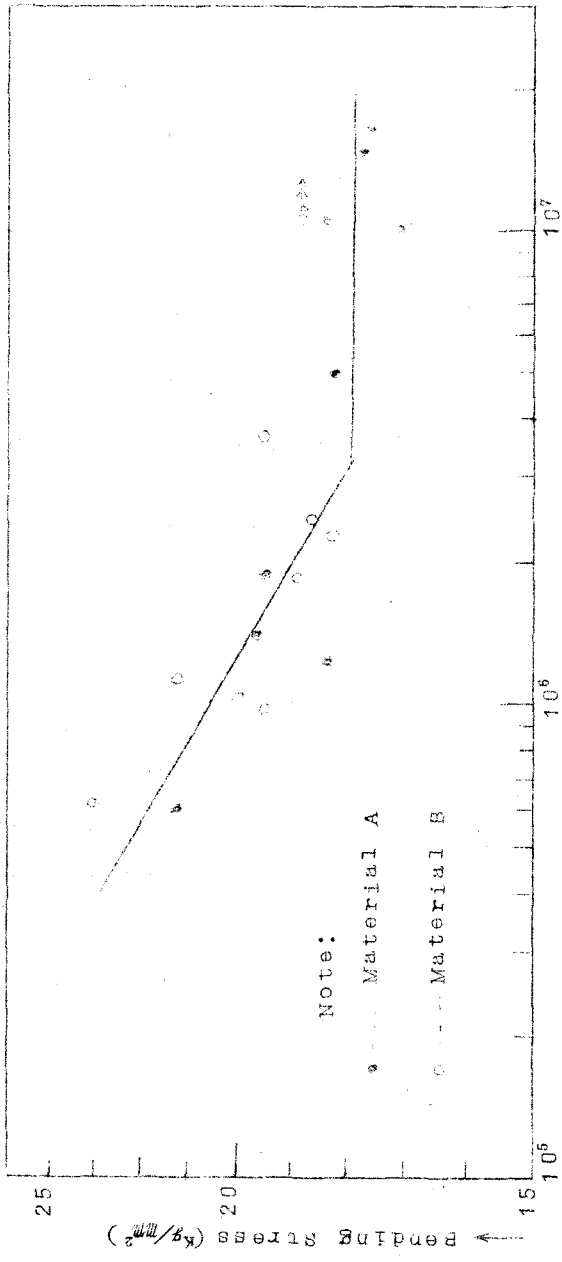


図-5 疲労試験片



→ Number of cycles

图-6 S - N 曲线

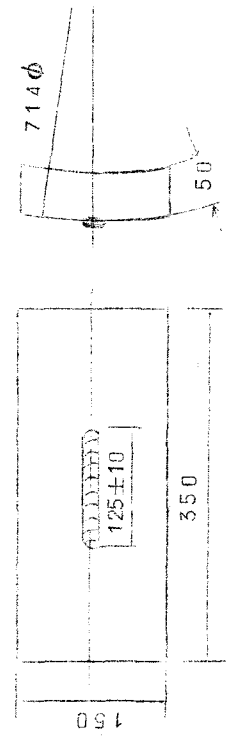


图-7 最高硬度试验片

硬度測定結果は図-8に示すとおりで、A材は予熱の有無にかかわらず最高硬度は低かったが、B材は予熱なしでHV390、100℃の予熱の場合でもHV360を示し、溶接のまま
で用いる場合は鉄道橋としてはやや問題が残ると考えられた。

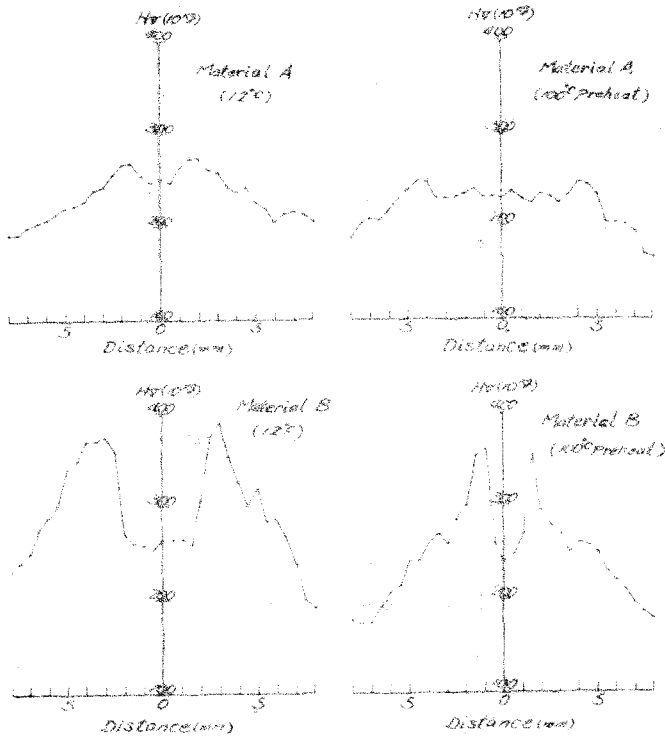


図-8 最高硬度試験結果

(3) オーストラリア試験

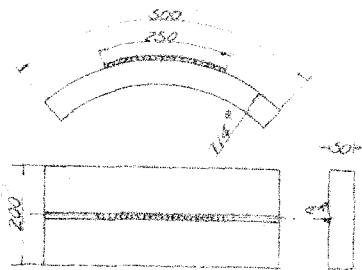


図-9 オーストラリア試験

図-9に示す試験片によりJIS Z 3161に従ってオーストラリア試験を行つた。溶接時の温度は室温(12℃)および予熱100℃とし、溶接棒はA材に対しLB26($\phi 5mm$)、B材に対しLB52($\phi 5mm$)で、各条件について3ヶづつの試験を行つた。曲げ試験は溶接後12日経過して行われ、治具および曲げ角度の測定は図-10に示すとおりである。この際、試験機的能力上試験片は溶接後巾100mmに仕上げ、曲

げ試験前1時間氷塊中に保持した 後直ちに試験
を行つた。荷重速さは50^{mm}/min である。
試験結果は表-4に示すとおりで、A材は約
70° でいずれもワレを認めず、B材は44°
から59° で熱影響部にワレが生じた。写真-
2は試験片の写真である。

表-4 オーストラリア試験結果(0℃)

Kind	no preheat	100℃ preheat
A	71°	69°
	77°	72°
	70°	66°
B	45°	44°
	45°	46°
	46°	59°

A: No crack was occurred after bend test.

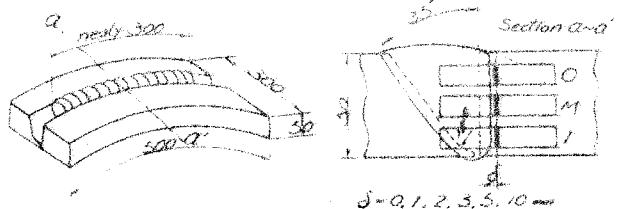
B: bend angle that crack was occurred

(7) 熱影響部の衝撃試験

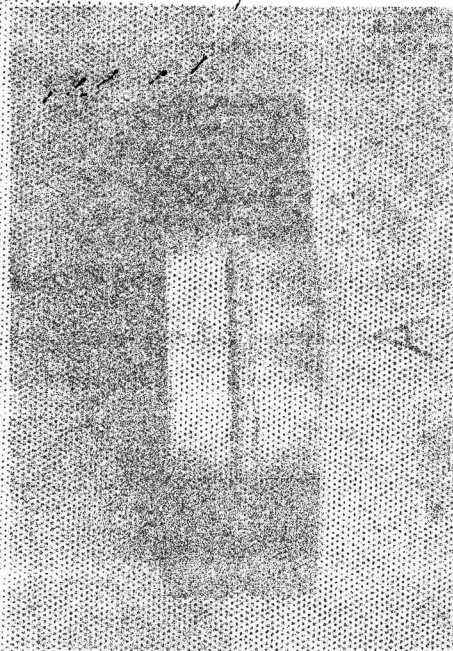
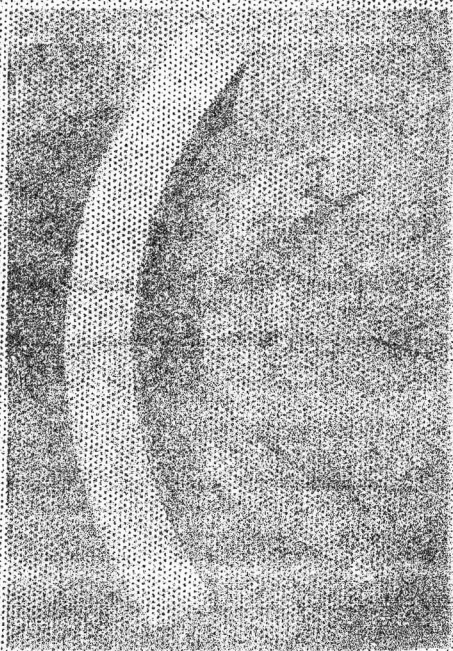
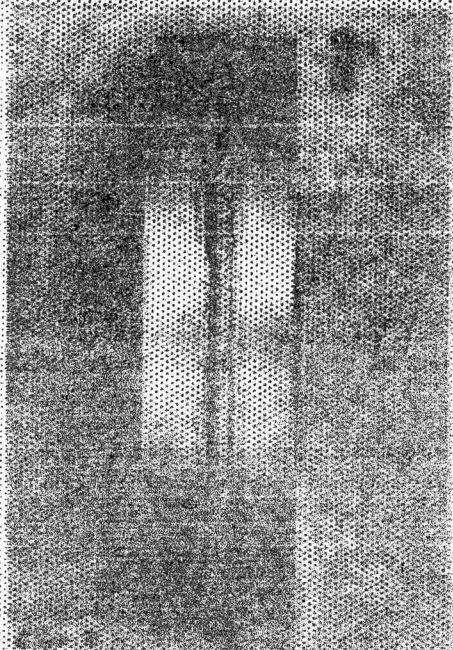
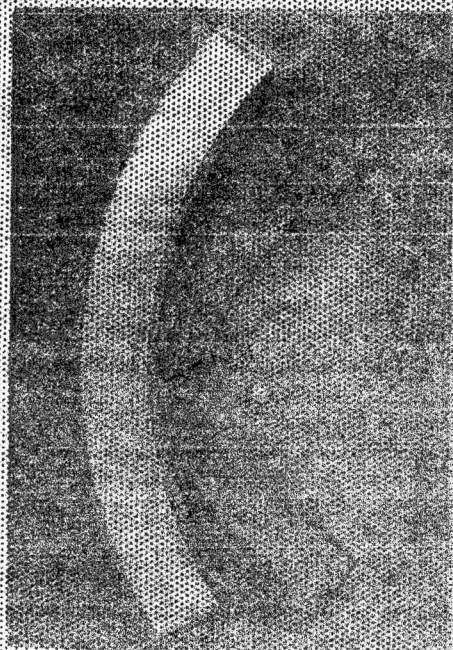
JIS Z 2202 の4号シャルピー衝撃試験片(Vノッチ)を図-11に示すように溶接
境界線からの距離 $\delta=0, 1, 2, 3, 5, 10\text{mm}$ にVノッチが当るように、かつ各位置で厚さ方向

図-11

熱影響部の衝撃
試験片



に3ヶ所から採取した。試験材の溶接に当つては予熱の有無を比較したが、溶接による材片
の温度上昇が実際の工作物におけるそれと甚しく異なることをさけるため、扉間温度を予熱な
しの場合は50℃以下、予熱100℃の場合は、100~150℃を保つようにした。溶接
棒はA材においてLB26、B材においてLB52である。



試験温度は0℃とし、その結果を図-12に示す。一般に境界部の衝撃値は他の部分に比べて高い値を示しているが、 $\delta=0$ でその値が下つているものがあるのは、試験片採取の際Vノッチの位置がややずれて溶着金属内に入ってしまったためである。

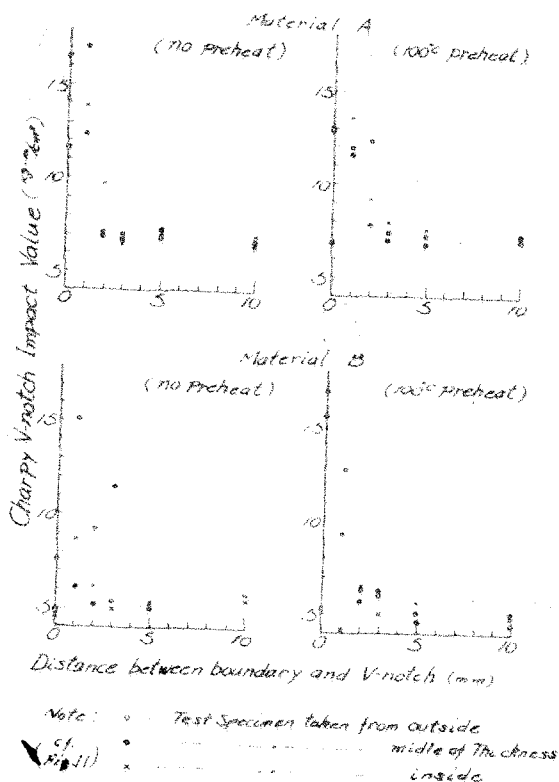


図-12 熱影響部の衝撃試験結果

上記各種の試験の結果、機械的性質はA材、B材とも十分であるが、設計上必要とする肉厚40～50mmの鋼管柱に対し鉄道橋としてはB材は溶接上やや難点があると考えられたので、今回、本工事に使用する材質としては、慎重を期する意味と、地震時の構造物の変形をできるだけ小さくすることが望ましいので、A材に相当するものとし、表-5に示すような規格のものを使用することとした。従つて、鉄鋼管に対する許容応力はS S 4 1に対して規定されたものを用いた。

表-5 工事に使用した遠心力鋳鋼管の規格

1) Chemical composition (Radle Analysis) (%)

C	P	S	Ceq
0.20 ≥	0.030 ≥	0.030 ≥	0.42 ≥

$$\text{Note: } c_{eq} = c + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5}$$

2) Mechanical properties

Tension Test 1)			
Yield Point (kg/mm^2)	Tensile Strength (kg/mm^2)	Elongation (%)	Reduction of Area (%)
24 ≤	41 ≤	25 ≤	35 ≤
Bending Test 2)		Impact Test 3)	
Bend Angle (°)	Rad. of Inside (mm)	0 °C (kg-m/cm^2)	
120	25	3.5 ≤	

Note: 1) No.4 Test Specimen specified JIS Z 2201

2) No.5-A Test Specimen specified JIS Z 2204

3) No.4 Test Specimen specified JIS Z 2202

3. 仕口部試験

(1) 試験体

図-2 に示す仕口部の応力分布および耐力を確認し、設計の良否を検討するため、実物の約1/2縮尺の模形によつて隅角部の試験を行つた。

試験体の形状は図-13、14 に示すとおりで、A 形試験体は水平荷重ならびに鉛直荷重をうける仕口試験用とし、荷重としては A-1 には圧縮を、A-2 には引張を作用させた。C 形試験体は2 方向に梁が交叉している場合の影響をみるため鉛直荷重による立体仕口の試験用とした。

試験体素材の機械的性質は表-6 に示すとおりで、SS 41 鋼板の降伏点が規格の下限 23 kg/mm^2 より相当高いため、強さに釣合をもたせるため鋳鋼管も表-5 に示した規格よりやや強いものを使用することにしたものである。これらの値および実測寸法を用いて計算した試験体の降伏荷重、塑性崩壊荷重は次のとおりである。

Kind	Note	Yield point (Kg/mm^2)	Tensile Strength (Kg/mm^2)	Elongation (%)	Reduction of Area (%)
Cast)	A-1	3 1.1	4 9.8	2 3.9	2 8.5
Steel	A-2	2 9.9	5 1.8	2 3.1	3 2.0
	C	2 8.0	5 0.1	2 2.9	2 7.3
2) Plate	t=10	2 9.1	4 4.8	3 2.8	
	t=13	2 9.9	4 6.2	3 1.2	

-30-

A-1 試験体 降伏荷重 51.8 t 塑性崩壊荷重 72.8 t

A-2 試験体 47.5 t 64.9 t

C 試験体

大梁 203.6 t 228.1 t

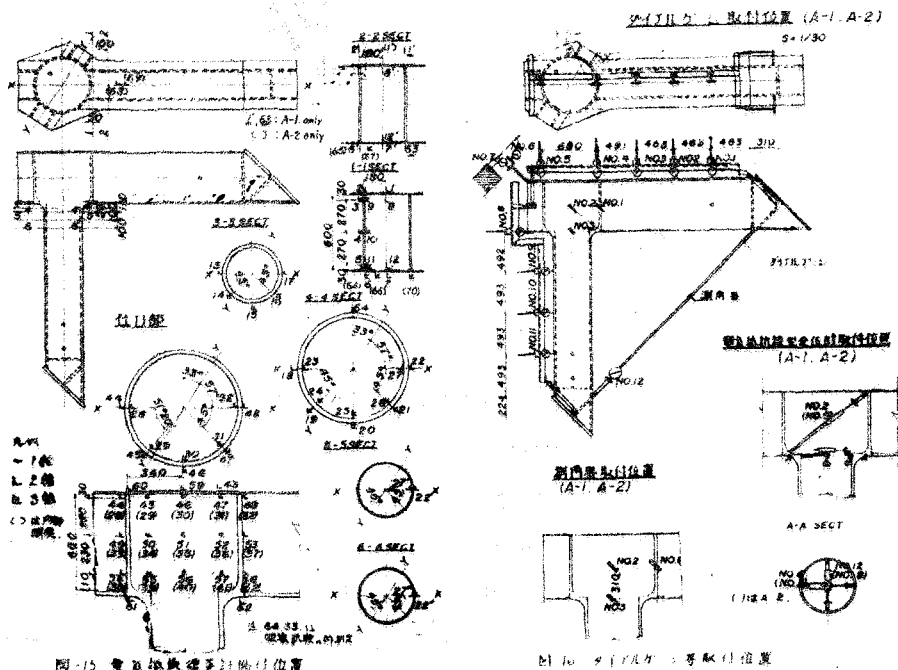
小梁 230.7 t 264.1 t

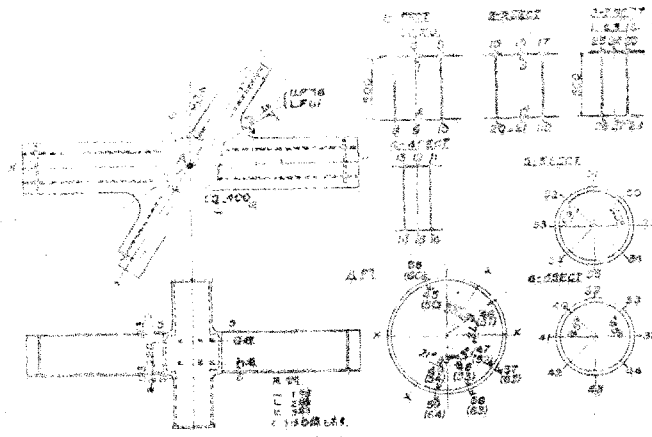
ここに、降伏荷重とは縁応力が降伏点に達した荷重とし、A試験体において上記の各値は円柱上端すなわちRの始端において計算した値である。またC試験体における計算断面は、鋭角側フランジ縁を延長した交点における計算値である。

(2) 計測種類ならびに計測点

A-1、A-2、C試験体について、歪は電気抵抗線歪計、たわみはダイヤルゲージ、管径変化は電気抵抗線型変位計、仕口部角度変化は測角器より測定した。これらの計測点をそれぞれ図-15～18に示す。

試験に用いた試験機は、三菱造船広島造船所の200 t構造物試験機である。試験状況を写真-3,4,5に示す。





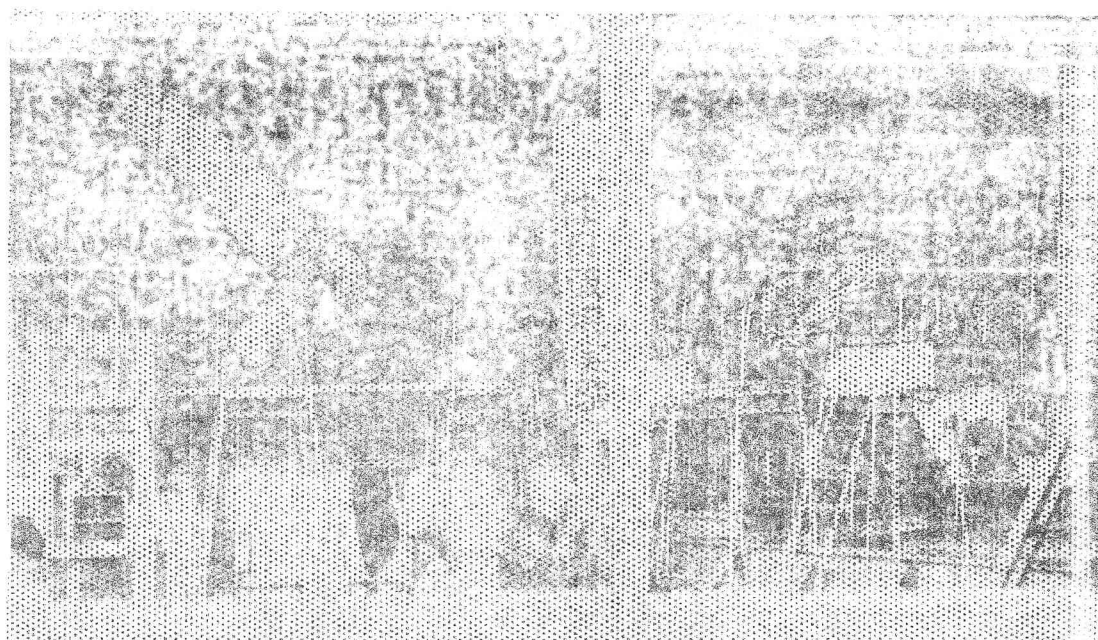
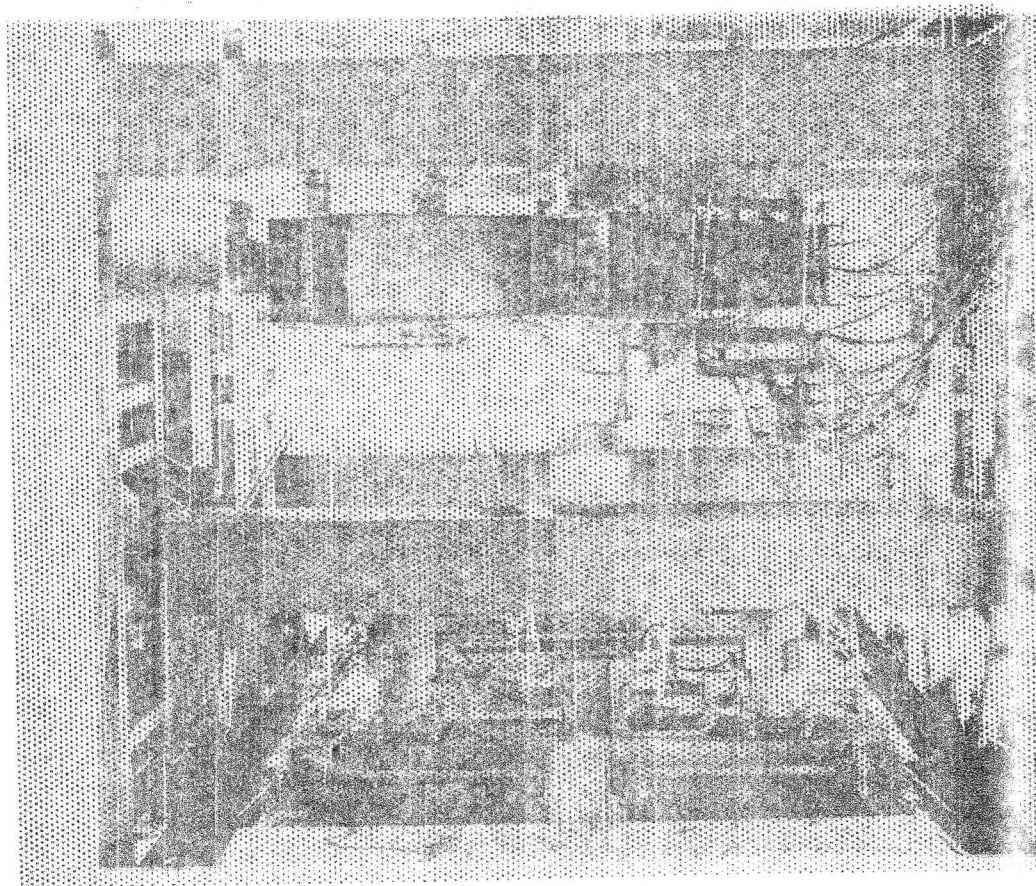


写真-3 A₁ 試験体

写真-4 A₂ 試験体



A-1 試験体と同じ、ただし破壊試験の終りは70t-75t → (91.5t) である。

C 試験体

この試験体は、その崩壊荷重が試験機的能力(200t)以上であつたため、破壊まで達することができなかつた。従つて、載荷荷重を大梁と小梁とで支持させ200tまで載荷する試験(下記載荷順序のうち弾性試験と破壊試験1)とがこの状態に相当する)および大梁のみで支持して200tまで載荷する試験(同じく下記破壊試験2)がこの状態にあたる)の2種類について行つた。なお大梁と小梁の荷重分担率を測定する目的で、それぞれの梁の支点にはロードセルを設置した。

弾性試験 5t-25t-50t-75t-100t-125t-150t-100t-50t-5t
(2回)

破壊試験1) 5t-50t-100t-150t-170t-180t-190t-200t-150t
-100t-50t-5t-200t-5t

破壊試験2) 5t-25t-50t-75t-100t-125t-150t-175t-180t
-185t-190t-195t-200t-150t-100t-50t-5t

(4) 試験結果

前記の要領でそれぞれの試験体の試験を行つて次の結果を得た。

1) 仕口部角度変化

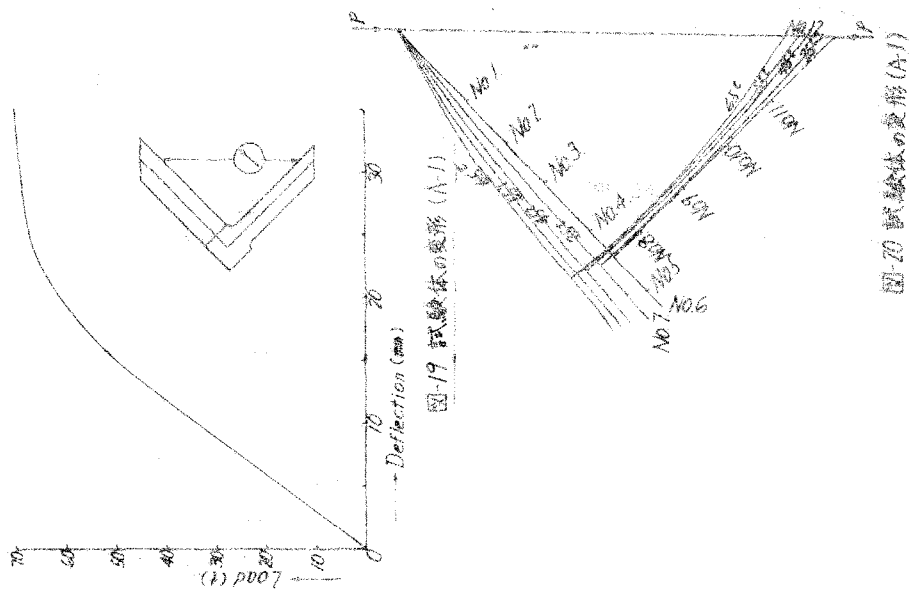
3個の測角器を試験体にとりつけ仕口部軸線の交角の変化を測定したが、仕口部の軸線は同方向に同量だけ回転していて、はじめの軸線交角 90° から変化していない。ただA-1試験体では載荷荷重50tから、A-2試験体では60tをこえると5'の差が測定された。

2) 仕口部管径の変化

仕口部管径の変化は電気抵抗線型変位計によつて自動記録させたものをさらに顕微鏡付きスケールによつて読みとつたが、その変化量は小で、A-1、A-2試験体で50t載荷までに0.15mm以下、C試験体で200t載荷までに、破壊試験1)の場合0.2mm以下、(2)の場合で1.0mm以下であつた。

3) 柱および梁の変形

A試験体において柱および梁のたわみは、50t載荷までは直線変化をしている。図-19、20はA-1試験体の変形状態を示したものである。またC試験体のたわみの



一例を図-21に示す。

4) 応力

全体的にみて、A-1およびA-2試験体においては載荷荷重50tまで、C試験体においては150tまでは、全測点とも弾性域内にあつた。

またと、とくに大きい応力集中も

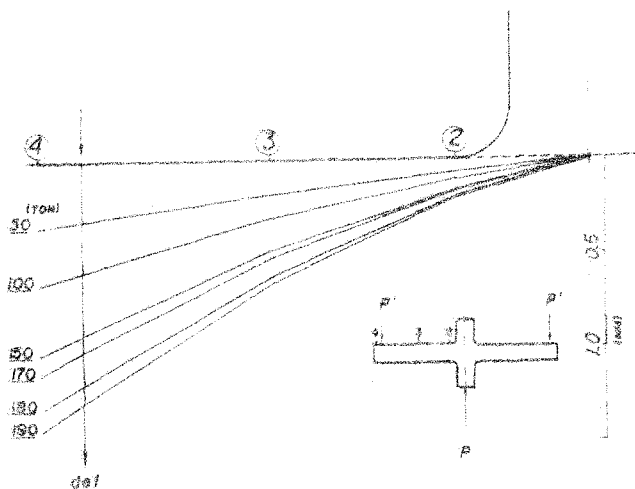
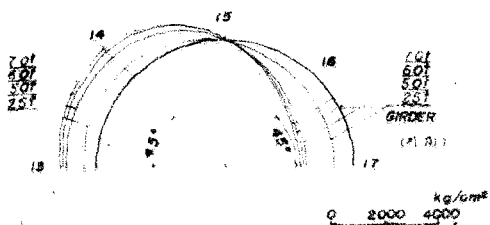


図-21 C形破壊試験(1)小梁のたわみ

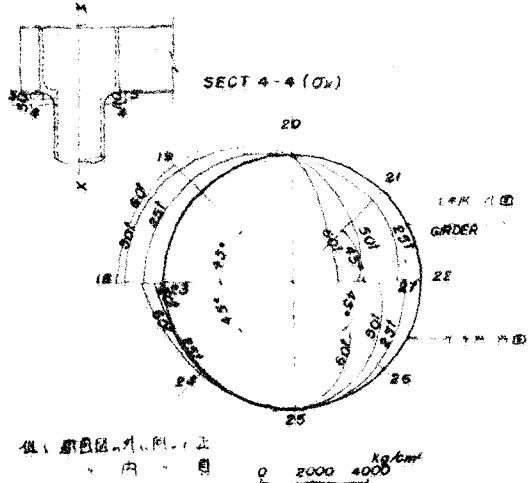
みとめられなかつた。応力図の若干を図-22に示す。

MODEL A-1

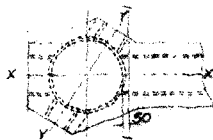
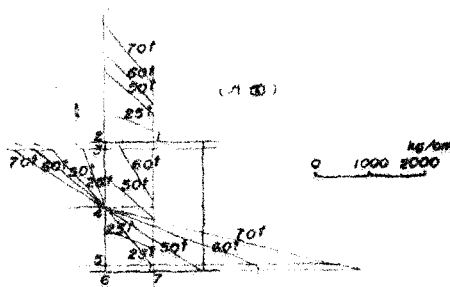
SECT 3-3 (σ_x)



SECT 4-4 (σ_x)



SECT 1-1 (σ_x)



(内面)

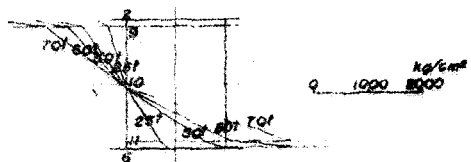
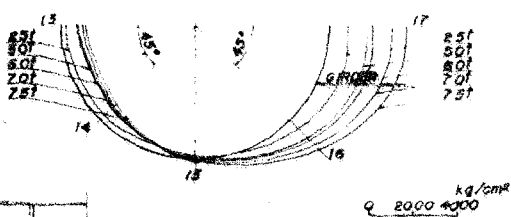


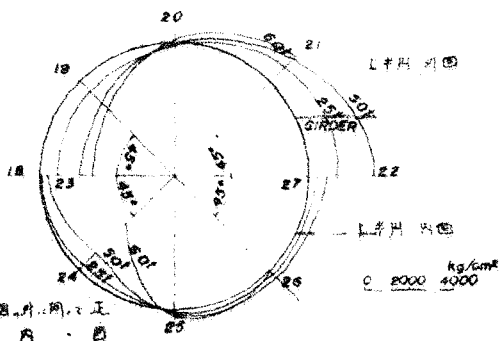
図-221 A-1 試験体の応力

MODEL A-2

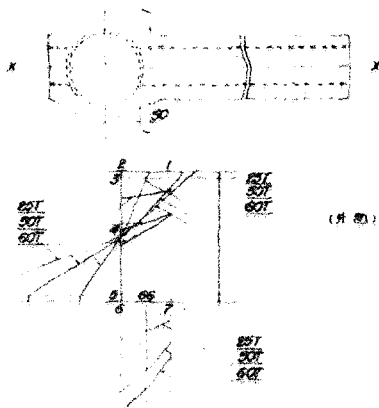
SECT 3-3 (σ_x)



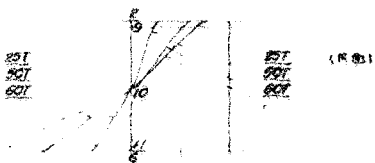
SECT 4-4 (σ_x)



SECT 1-1 (σ_x)



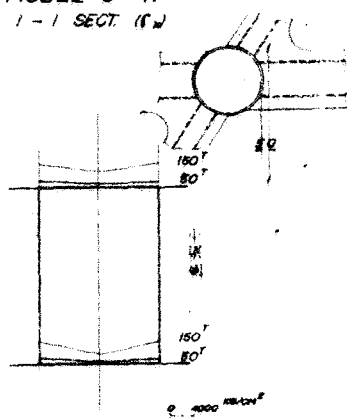
(外面)



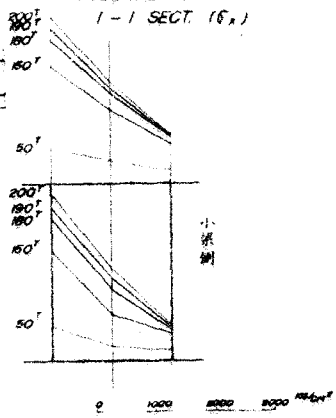
(内面)

図-222 A-2 試験体の応力

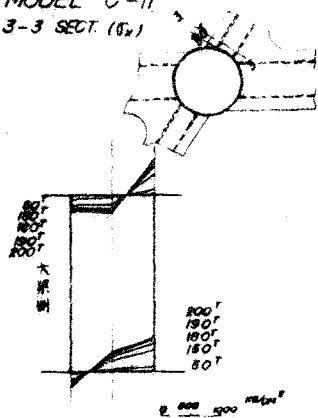
MODEL C-II
1-1 SECT. (σ_x)



MODEL C-I
1-1 SECT. (σ_x)



MODEL C-II
3-3 SECT. (σ_x)



MODEL C-I
3-3 SECT. (σ_x)

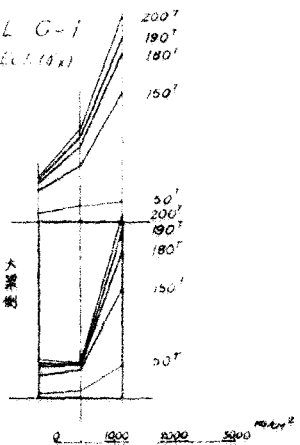
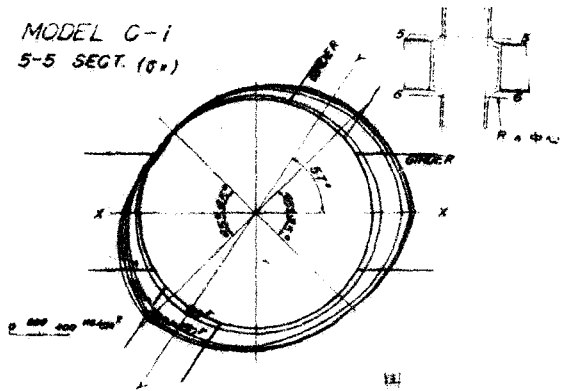
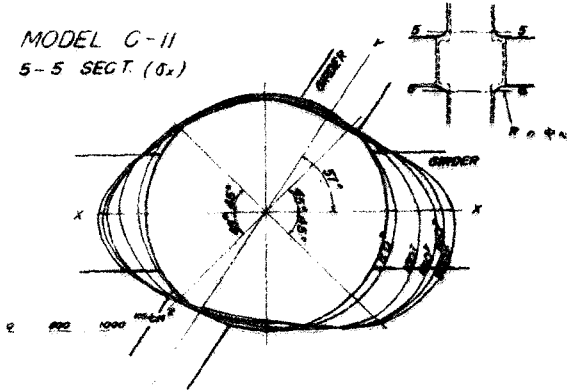


図 22.3 C 試験体梁の応力

MODEL C-I
5-5 SECT. (σ_x)

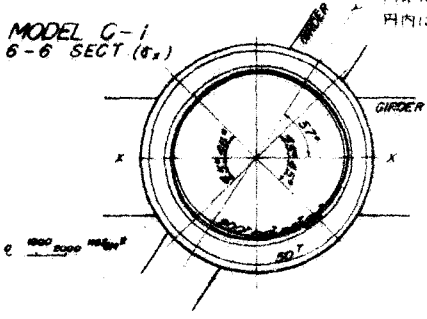


MODEL C-II
5-5 SECT. (σ_x)



注
上半円は内面
下半円は外面
円外は正
円内は負

MODEL C-I
6-6 SECT. (σ_x)



MODEL C-II
6-6 SECT. (σ_x)

