

土研資料第1198号

土 木 研 究 所 資 料

矢板式基礎模型実験に関する報告

昭和52年7月

建設省 土 木 研 究 所

構造橋梁部 基礎研究室

まえがき

矢板式基礎の構造特性については、理論的な研究および現場載荷試験、模型実験などが最近精力的に進められているが、くい基礎とケーソン基礎の中間的な力学特性をもつといわれている矢板式基礎の複雑な構造特性は、現時点において十分に把握されているとはいえない。この複雑な構造特性は、仮締切兼用矢板式基礎にみられるように従来の基礎形式ではみられない頂版構造、あるいは矢板に一体性を持たせるために設ける継手間のずれ変形に起因するものと考えられる。当研究室においては、この構造特性を解明するため、矢板基礎の継手強度試験¹⁾、気中および土中静的水平載荷試験²⁾、さらに実物実験の資料収集などによって調査研究を行ってきた。

本資料では、上記の土中静的水平載荷試験を受けて、これをさらに発展させ、矢板井筒の形状の差異、井筒径と根入れ長さ、隔壁の有無による耐力差などに着目して実験を行ない、矢板式基礎の構造特性をさらに詳しく検討した。

昭和52年7月

基礎研究室	室 長	矢 作	枢
	研究員	岡 原	美知夫
	技 官	千 野	啓 次
		山 本	洋 司

目 次

まえがき

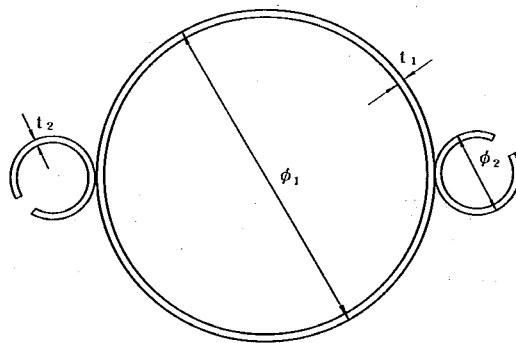
1. 実験地盤	1
2. 試 験 体	1
3. 実験方法	3
4. 実験結果および考察	5
4.1 頭部水平変位	5
4.2 軸方向応力分布	6
4.3 井筒断面応力分布	7
あ と が き	9
実験データ	10

1. 実験地盤

実験に用いた地盤は、縦8 m×幅5 m×深さ4 mのコンクリート実験槽の中に最大粒径2 mm、均等係数1.87、乾燥密度 1.48 g/cm^3 の土質常数を有する山砂を用いて作成した。地盤作成は各層を20 cm程度の厚さに敷き均し、最適含水比状態になるように散水した後ランマーを用いて約15 cm程度の厚さになるように転圧を行ない、最終的に24層となった。地盤作成後に地盤の強度測定を行なうため実験槽内に数ヶ所任意に測定位置を決め、それぞれ標準貫入試験および孔内水平載荷試験(L. L. T)を実施した。標準貫入試験においては、平均値として深さ1 m地点で $N=10$ 、2 mで $N=18$ の測定値を得た。

2. 試験体

試験体には、鋼管矢板(写真-1)を使用し、その諸元は図-1に示すように本管 $\phi 63.5 \text{ mm}$ 継手管 $\phi 15.9 \text{ mm}$ 鋼管の厚さ t_1, t_2 である。本管と継手管の結合は、鋼管内に残留ひずみが生じないように軸方向に20 cmの点溶接とした。試験体は、断面形状より円形断面と短形断面に、円形断面においては、隔壁を有するものと無いもの、根入れ長に差異のあるもの等に分類して全部で4体作製した。これらの試験体の概要を図-2に示す。なお、試験体Aの詳細については図-7、試験体Bについては図-18、試験体Cについては図-27、試験体Dについては図-38に示す。



本 管

ϕ_1 : 直 径 63.5mm

t_1 : 肉 厚 1.6mm

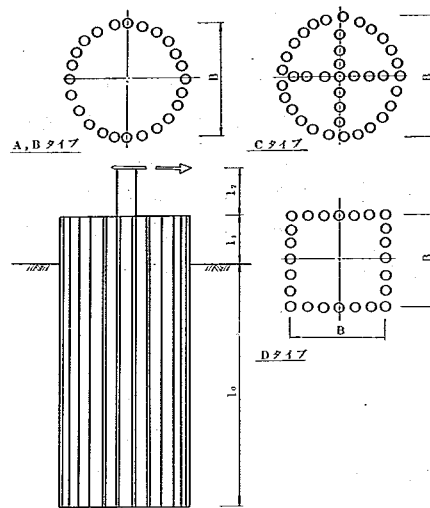
A : 断面積 3.3cm

継手管

ϕ_2 : 直 径 15.9mm

t_2 : 肉 厚 1.6mm

図-1 本管と継手管の諸元



試験体	l_0 (m)	l_1 (m)	l_2 (m)	B (cm)	くい本数	隔壁
A	1.5	0.3	0.3	64.7	24	
B	1.0					
C	1.5			67.4	25	13
D				50.8	24	

図 - 2 試験体概要

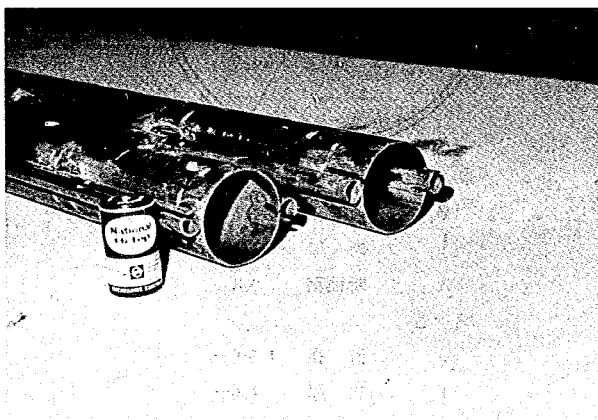


写真 - 1

3. 実験方法

水平載荷により鋼管矢板に生ずる応力度を測定するために、写真-2に示すようにストレインゲージを深さ方向に15 cm間隔に、また最大応力が発生すると予想される箇所には10 cm間隔に貼付した。井筒の断面方向については、頂版下端部と頂版下端部から根入れ長さの $\frac{1}{3}$ 地点および $\frac{2}{3}$ 地点に鋼管1本おきに貼付した。この貼付したストレインゲージを保護する目的で各試験体にプロテクター(テープ)を取り付けた。又、矢板式基礎においては、井筒の剛性を高めるために継手管内に充填材を詰めるが、今回は井筒の特性を明確に把握するため充填は行なわなかった。これらの作業が終了した後、写真-3に示すように地盤を掘削して、試験体が断面変形をおこさないように掘削孔の中に設置し、水締めにより締め固めを行なった。頂版については、試験体の建て込み後に $\phi 9$ mmの鉄筋を放射状に2段に配置し、コンクリートを打設して作成した。頂版部の構造については写真-4に示す。水平載荷の方法としては図-3に示すように、反力壁と油圧ジャッキ(容量20 t)をワイヤーロープで連結し、この油圧ジャッキと試験体の間にロードセル(容量20 t)を設置し応力制御法により実施した。このとき生ずる井筒頂部水平変位は、図-4に示すように、最小目盛り $\frac{1}{100}$ mmのダイヤルゲージを井筒頂版の前面と背面に設置して計測した。なお、水平載荷時において、偏心荷重が試験体に加わらないように注意して行なった。

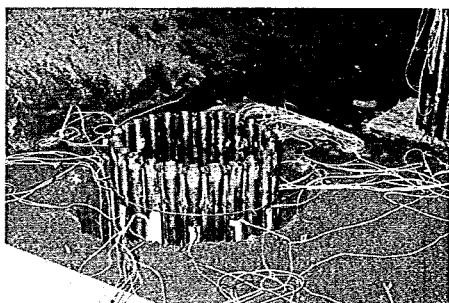


写真-2



写真-3

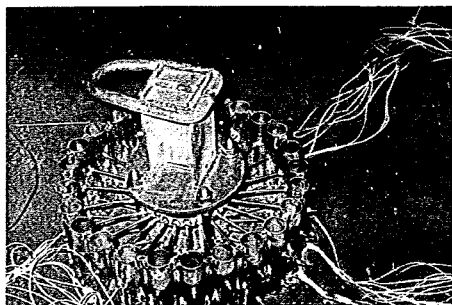


写真-4

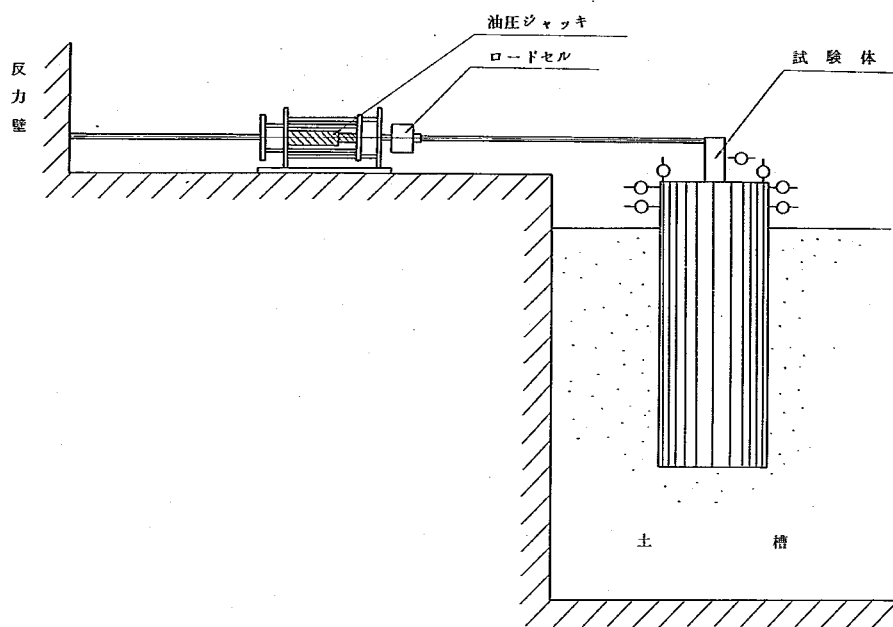


図 - 3 水平載荷試験例

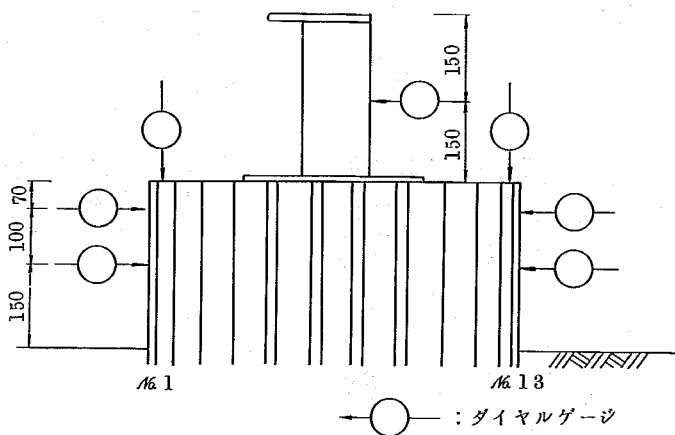


図 - 4 ダイヤルゲージ位置

4. 実験結果および考察

4.1 頭部水平変位

構造物基礎は、上部構造物等から伝達される外力を受け、周辺地盤と力の遣り取りを行ない最終的に平衡状態に落ち着く。このとき基礎躯体は変位および応力を生ずる。外力の作用により生じた変位は、経験的に或いは実験的に明らかにされているように、応力度に比較して基礎躯体を取り巻いている地盤の影響をより敏感に受ける。このことより今回の実験では、各試験体の外力と変位の定量的な関係を得ることを目的とするのではなく、各々の外力-変位関係を相互に比較することによって矢板式基礎の耐力特性を把握することを目指すものである。

各試験体の頂版中央部における荷重と変位の関係を試験体Aについては図-8、試験体Bについては図-19、試験体Cについては図-28、試験体Dについては図-39に示す。図-5は、これらをまとめたもので、頂版中央部における前面と背面にセットしたダイヤルゲージの平均値を示したものである。この図より、各試験体の耐力差について考察してみると最も耐力のある井筒が隔壁を有しているもので、次に矩形井筒、円形井筒と続き、最後に根入れ長の短い円形井筒となっている。このことは、井筒内部に隔壁を設けると井筒の剛性が高まり、水平抵抗が著しく増加することを示している。また、矢板本数および根入れ長の同一の井筒においては、井筒形状の相異による耐力差はあまり生じていない。また、終局耐力においては根入れ効果の影響が大きいことがわかった。

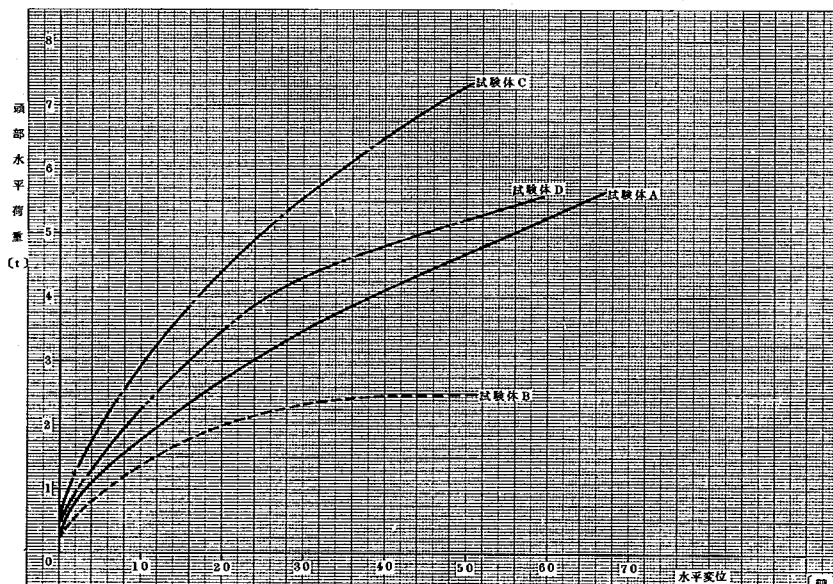


図-5 頂版中央部の水平変位

4.2 軸方向応力分布

これまでの現場実験、模型実験等により明らかにされた矢板式基礎の応力特性についてみると矢板応力は継手のせん断剛性、地盤常数の変化、前面矢板の地盤反力係数と背面矢板の地盤反力係数の比、荷重の大きさの組み合わせ（モーメント：M、水平力：H）等により大きく影響を受ける。

今回の実験結果より得られた軸方向応力分布（ σ_1 、 σ_2 矢板）を試験体Aについては、図-9～12、試験体Bについては、図-20～22、試験体Cについては、図-29～32、試験体Dについては図-40～43、に示す。これらを各試験体ごとにまとめたのが図-17, 26, 37, 48である。これら軸方向応力分布図より、前面矢板と背面矢板に発生する応力度を比較すると、前面矢板に発生するひずみが大きく、応力集中を生ずる傾向にあるといえる。このことは受働土圧の生ずる井筒前面の地盤反力係数と、井筒内部土の地盤反力係数に差があることを応力が示しているともいえる。次に前面矢板と背面矢板における頭部拘束応力を比較してみると、試験体Aを除いた他は、背面矢板に出ている拘束応力が卓越していることがわかる。また、試験体Cを除いた他の井筒の背面矢板に着目してみると、圧縮側には圧縮応力が引張側には引張応力というように前面矢板に生じている拘束応力とは正・負が逆転している。一般に軸直角方向力を受ける頭部固定のくい基礎においては、くい頭部に地中部の応力とは向きが逆である応力が発生することにより、背面矢板から前面矢板に進むにしたがって各矢板の軸方向応力分布はくい基礎的挙動に近づいていることがわかる。

同一荷重における応力度分布を各試験体について比較してみると、隔壁を有している試験体Cが最も小さな応力度を示している。このことは、大径の矢板式基礎を想定した場合、隔壁を考慮してやると有利に設計できることを示唆している。円形断面井筒（試験体A）と矩形断面井筒（試験体D）を比較してみると、深さ方向にはほぼ等しい応力度分布になっているが、頭部拘束応力に着目してみると、矩形井筒のほうが円形井筒に比較して全般的に小さな拘束応力となっている。つまり、矢板本数および根入れ長の等しい井筒における深さ方向応力度分布については、断面形状の差異に左右されず、ほぼ同一の抵抗機構を呈するが、頭部拘束応力においては、形状の差異による影響を受けることを示している。

これらの各試験体に共通な傾向として矢板軸力が生じていないことがわかるが、このことは、各試験体に水平荷重だけを載荷し、鉛直方向には載荷していないことによると思われる。又、各試験体は矢板を打ち込んで設置したものではなく、試験体を建て込んでから水締めにより設置したので矢板の先端閉塞効果が期待できない。このため、井筒底部においては、純井筒断面積と考えられ、矢板先端の反力が期待できない。また鉛直方向変位もあまり出ていないことより、水平荷重（回転モーメント）に対して井筒底面の鉛直地盤反力で抵抗せず、周面の地盤反力つまり矢板の曲げにより抵抗していると考えられる。

4.3 井筒断面応力分布

各試験体の最大応力発生位置における井筒断面 (b-b'断面) の応力分布を試験体Aについては図-13~16, 試験体Bについては図-23~25, 試験体Cについては図-33~36, 試験体Dについては図-44~47に示す。これらの図より, 全般的な傾向として, 前面矢板 (No.1 矢板) に応力集中が起こっていることがわかる。又, 矢板の内側と外側にそれぞれ生ずる圧縮応力度と引張応力度とはほぼ等しいといえる。各井筒の応力度を同一荷重について比較してみると, 隔壁を有する試験体Cが最も小さな応力度を示し, 試験体AとB, Dがほぼ同一の値を示し隔壁井筒の剛性が卓越している。このことは軸方向ひずみ分布においても述べた通りである。又これらの試験体の応力分布は載荷方向に対して, ほぼ対称形を呈しているので偏心載荷がなかったことがわかる。

地盤の耐力機構のうち中詰土の抵抗機構については, 経験的事実として, 井筒径に比べて井筒長さが十分大きい, 比較的細長い井筒においては, 井筒内部の土は外部の土と違った挙動をし, 太径で根入れ長の短い井筒では, 井筒内部の土も, 外部の土と同様の挙動をするといわれている。このことより, 細長い井筒においては井筒断面の変形により生ずる中詰土のせん断抵抗のみを期待でき, 太径井筒においては断面変形によるせん断抵抗と剛体的水平変位により生ずる井筒底面のせん断抵抗の二種類が考えられる。井筒の水平変位に対する地盤抵抗を模式化したものを図-6に示す。

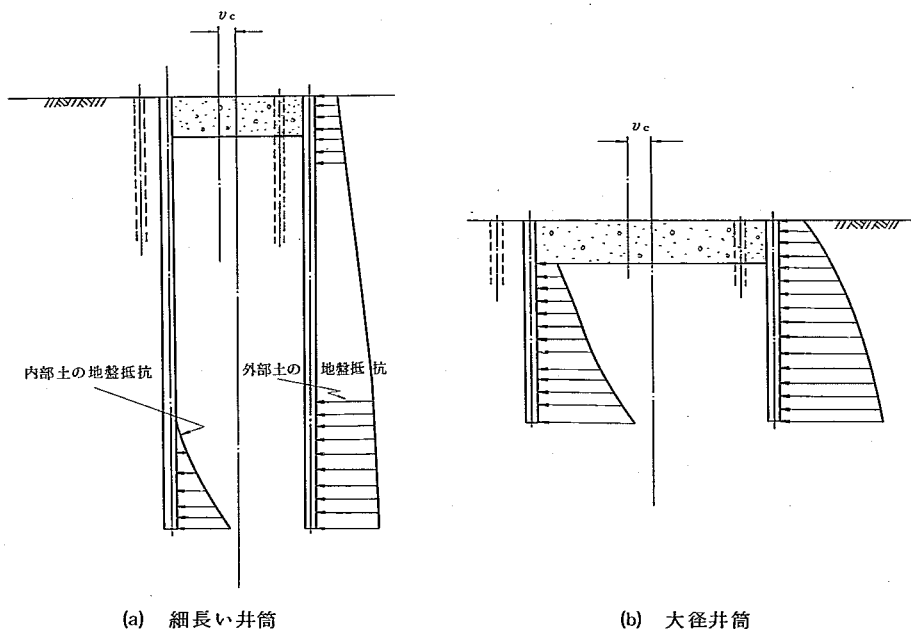


図-6 井筒の水平変位に対する地盤抵抗

今回の模型実験においては、実験方法のところで述べたように中詰土および井筒周辺土は試験体を建て込んでから水締めにより締め固めたものであるため、ランマーで締め固めて作成した実験槽の地盤と比較した場合、多少緩んでいると思われる。このことより、井筒の断面変形による中詰土のせん断抵抗も剛体の水平変位による井筒底面のせん断抵抗もあまり期待できないものと考えられる。この実験槽内への試験体の建て込み方法については、今後の問題であるといえる。

頂版と矢板の結合部は剛結に近い状態に施工されるのが一般的であるが、仮締切兼用矢板式基礎の場合には、その構造上、必ずしも矢板と頂版の結合は剛結であるとはいえず、弾性結合的挙動をするといわれている。今回の模型実験においては、頂版部に十分鉄筋を配しているので剛体として扱って、問題ないと考えられるが頂版と矢板の結合に関しては、矢板頭部拘束応力からみて剛結とはなっておらず、かなりピン結合に近いものとなっている。

あとがき

実験結果より次のことがわかった。

- 1) 同一井筒径における矢板式基礎の耐力は、根入れ長の差異により大きく影響を受ける。
- 2) 矢板本数および根入れ長が同一な矢板式基礎に生ずる矢板応力度は井筒形状の相異にあまり左右されずほぼ同じ値を呈する。井筒変位についてみれば井筒形状の相異が地盤の反力に微妙な影響を及ぼし、その結果として円形井筒は矩形井筒に比べ大きな変位を生じた。
- 3) 隔壁を有する矢板式基礎の耐力は、隔壁の無い矢板式基礎に比較して大きな耐力を発揮する。つまり、隔壁を設けることにより井筒全体の剛性が高まり、井筒の変位、矢板応力度が減少する。

今回の模型実験は、複雑な矢板式基礎の構造特性を更に詳しく検討するため、井筒径と根入れ長さ、井筒形状の相異、隔壁の有無による耐力差等に着目して実験を行なったものであるが、以下の点については満足する結果が得られなかった。

- i) 実験の矢板式基礎の頂版は比較的厚く頂版と矢板の結合部は剛結に近い状態に施工されるのが一般的であるため、今回の模型実験においても剛結とする予定であったが、実際には弾性結合的な挙動を呈し、必ずしも剛結とはなっていなかった。
- ii) 矢板式基礎の隔壁は断面変形を阻止する効果があるといわれているが、実験から定量的に断面変形を測定することはできなかった。
- iii) 試験体の建て込みの関係上、中詰土と井筒周辺土は水締めにより締め固めた。このため、ランマーで締め固めて作成した地盤と比較して多少緩んでいた。

(参考文献)

- 1) 矢板式基礎の構造特性(第1報) 土木技術資料 Vol. 17 42
- 2) 矢板式基礎の模型実験に関する報告 土研資料第1148号

Technical drawing showing a circular structure with a cross-section and a side view. The top view is a circle with a diameter of 647. The cross-section shows a central core with a diameter of 290 and an outer shell with a thickness of 9. The side view shows a rectangular structure with a width of 150 and a height of 10. The drawing includes dimensions for the core, shell, and overall structure, as well as labels for the components.

Dimensions and labels:

- Top view diameter: 647
- Core diameter: 290
- Shell thickness: 9
- Side view width: 150
- Side view height: 10
- Labels: フーチンジ, 30φ700, 25φ400

図 - 7 試験体 A

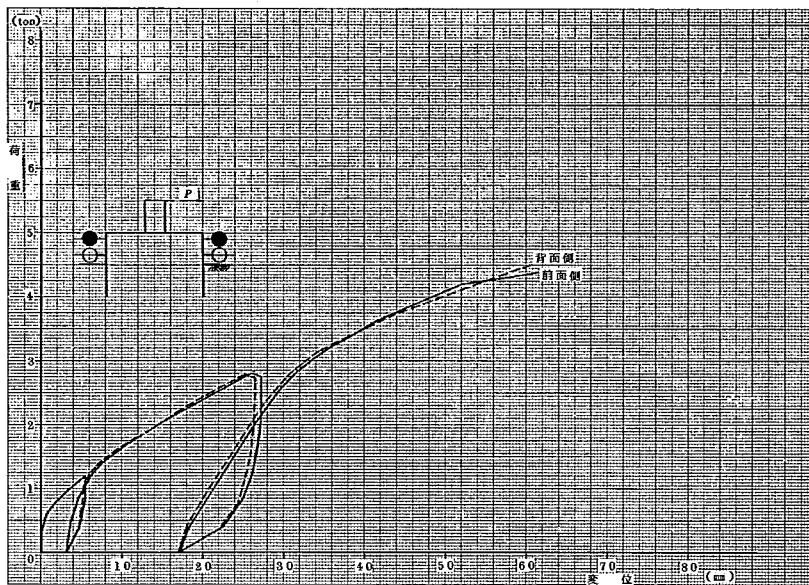


图 - 8 頭部水平変位

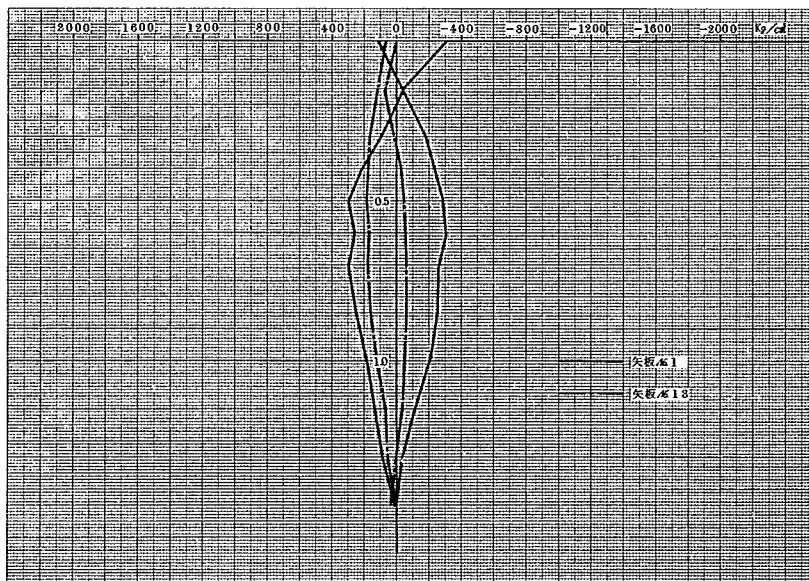


图 - 9 軸方向応力分布図 ($H = 1.2 t$)

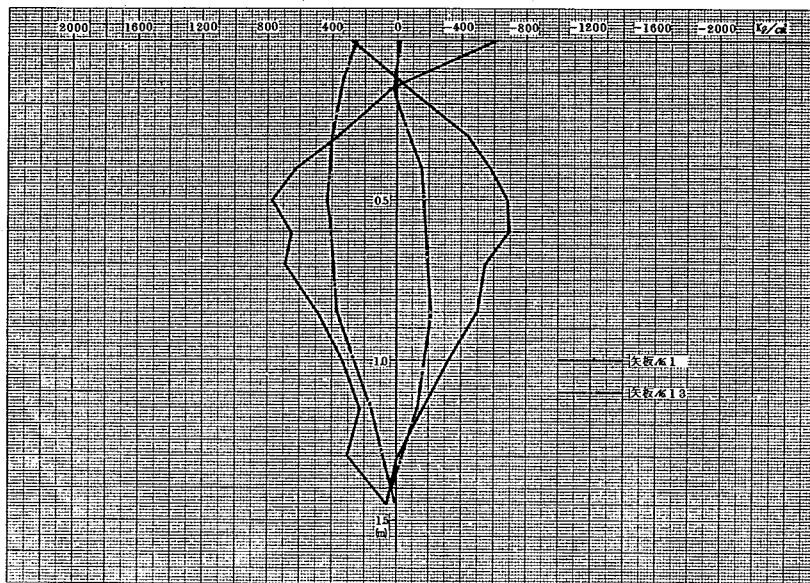


图 - 1 0 轴方向应力分布图 (H = 2.0 t)

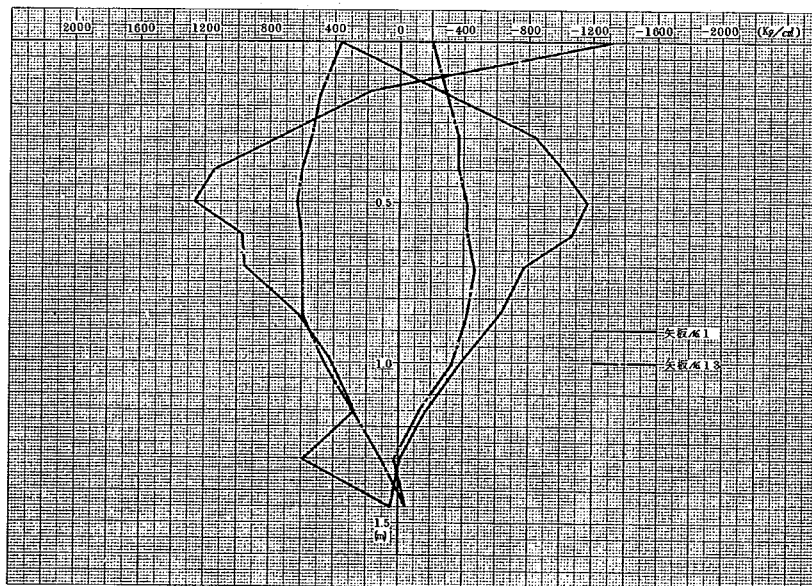


图 - 1 1 轴方向应力分布图 (H = 2.8 t)

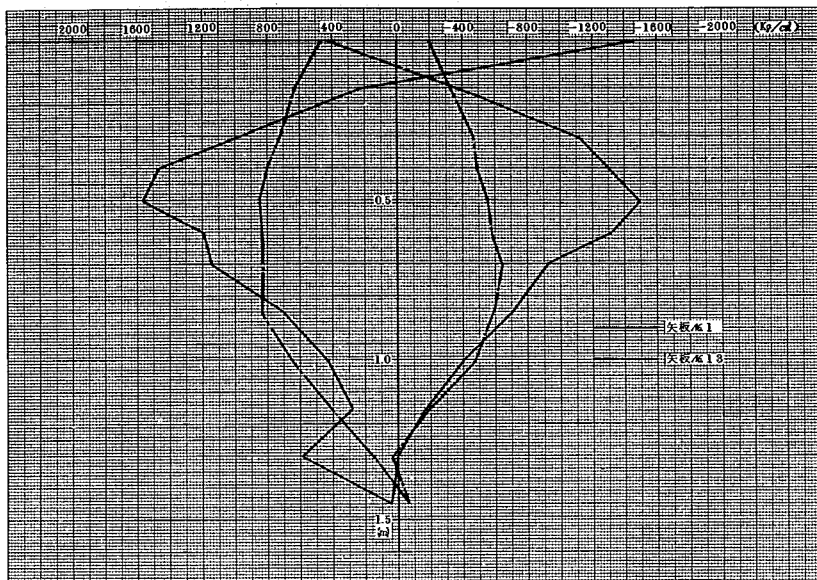


图 - 1 2 轴方向应力分布图 ($H = 3.6 t$)

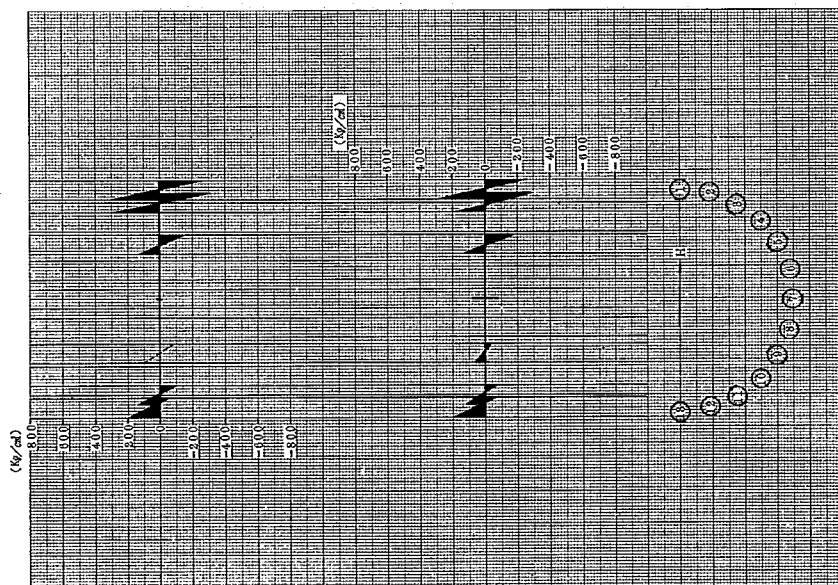


图 - 1 3 断面 (b-b') 应力分布图 ($H = 1.2$)

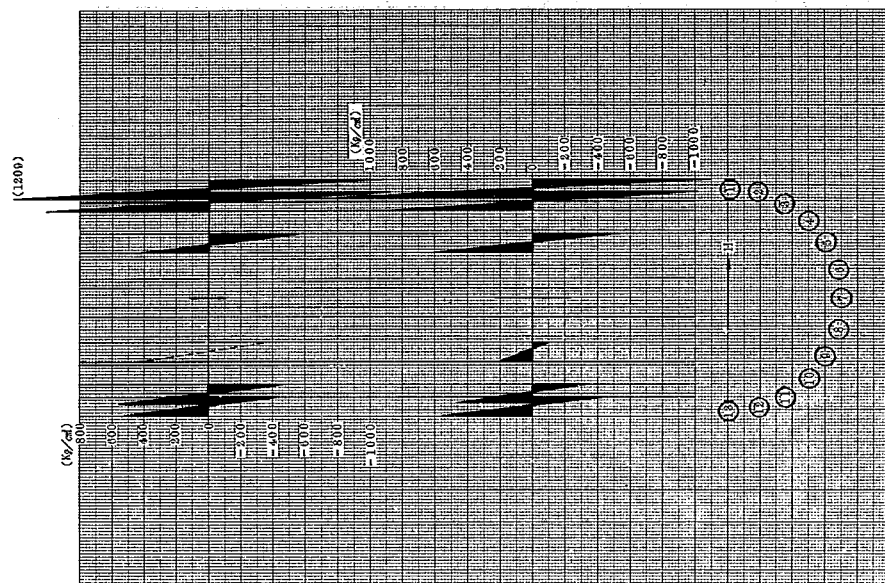


图 - 14 断面 (b-b') 应力分布图 ($H = 2.8 t$)

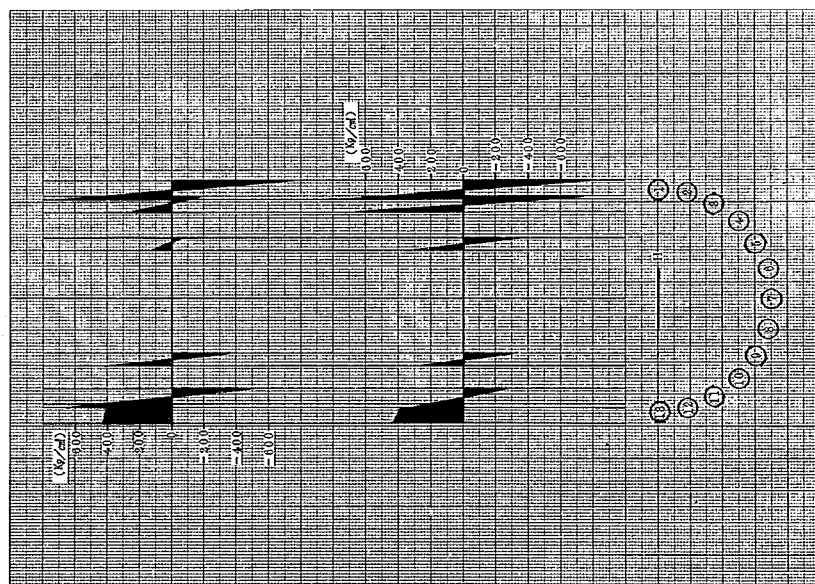


图 - 15 断面 (b-b') 应力分布图 ($H = 2.0 t$)

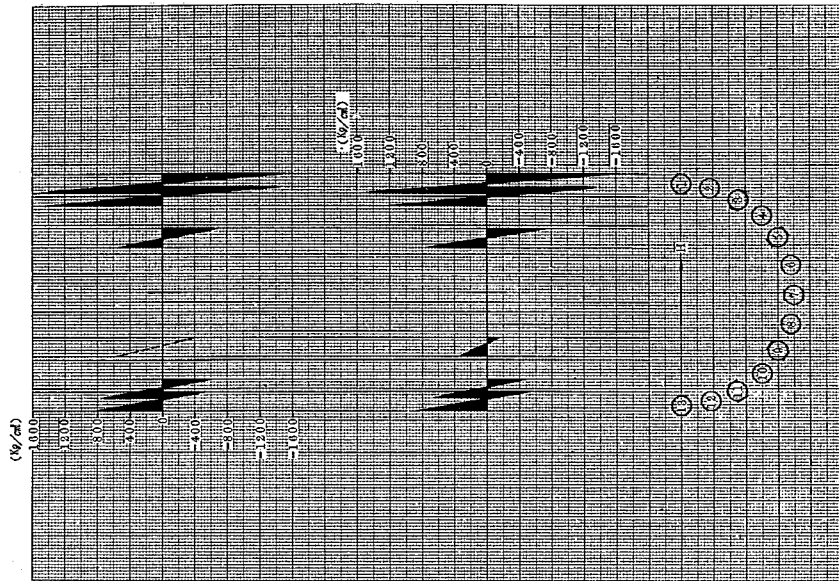


圖-16 断面(b-b') 应力分布图(H=3.6 t)

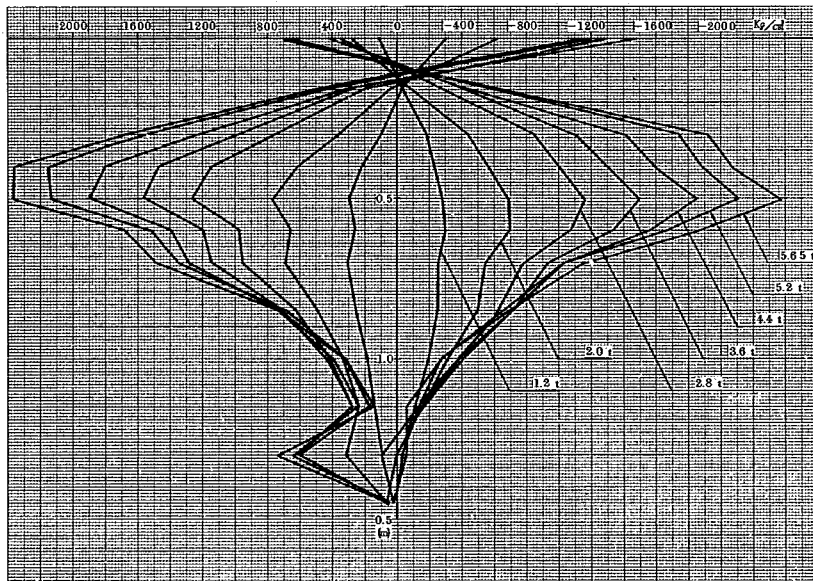
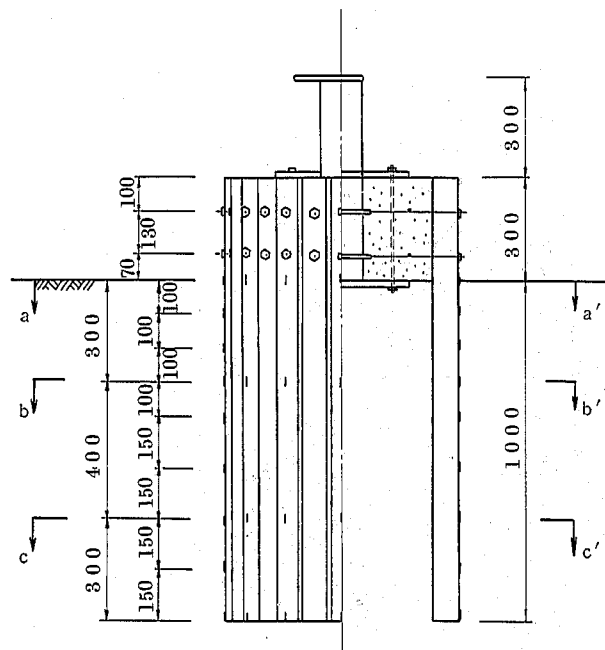


圖-17 各荷重軸方向应力分布比較圖



1: ストレインゲージ

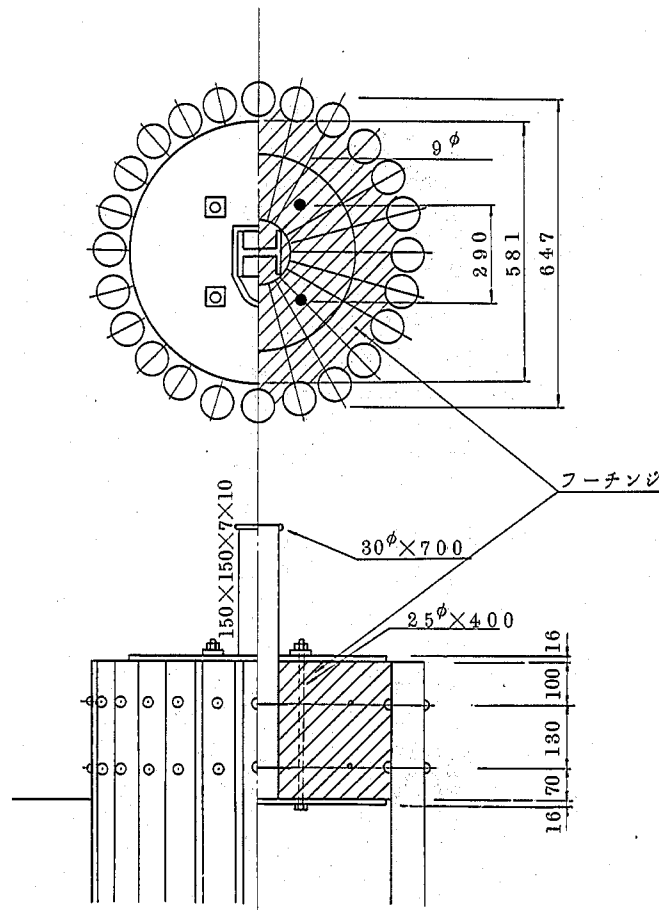


図 - 18 試験体 B

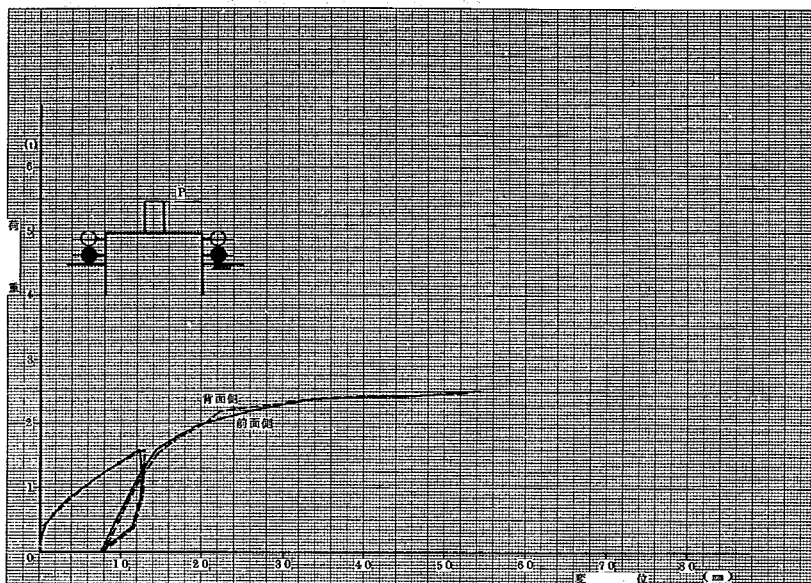


图 - 1 9 頭部水平変位

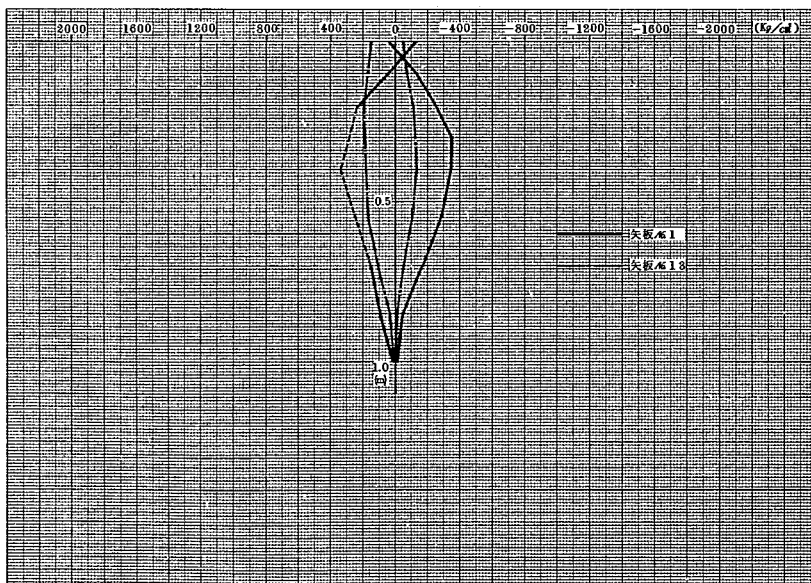


图 - 2 0 軸方向応力分布図 (H = 1.2 t)

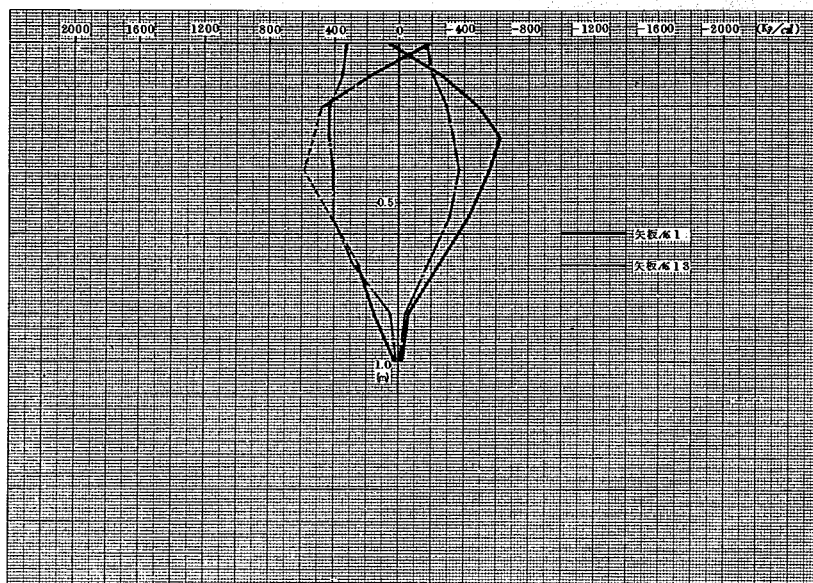


图 - 2 1 轴方向应力分布图 (H = 2.0 t)

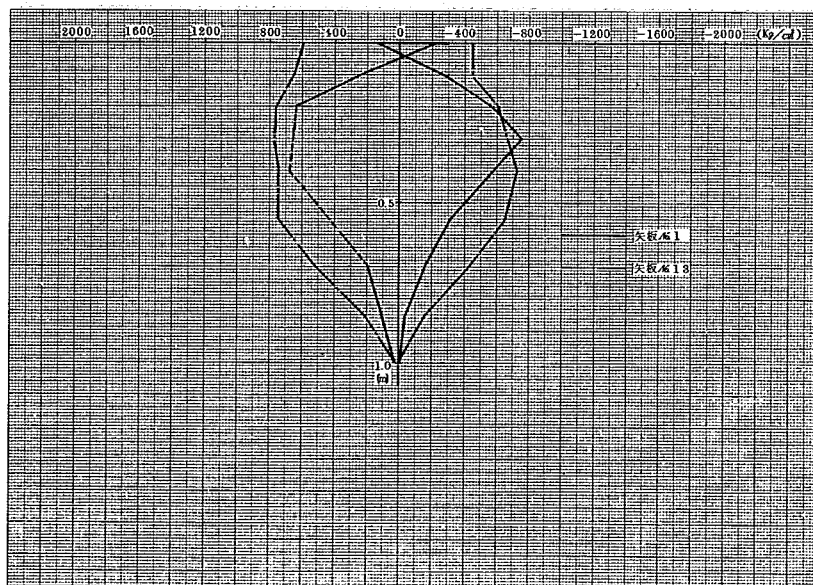


图 - 2 2 轴方向应力分布图 (H = 2.5 t)

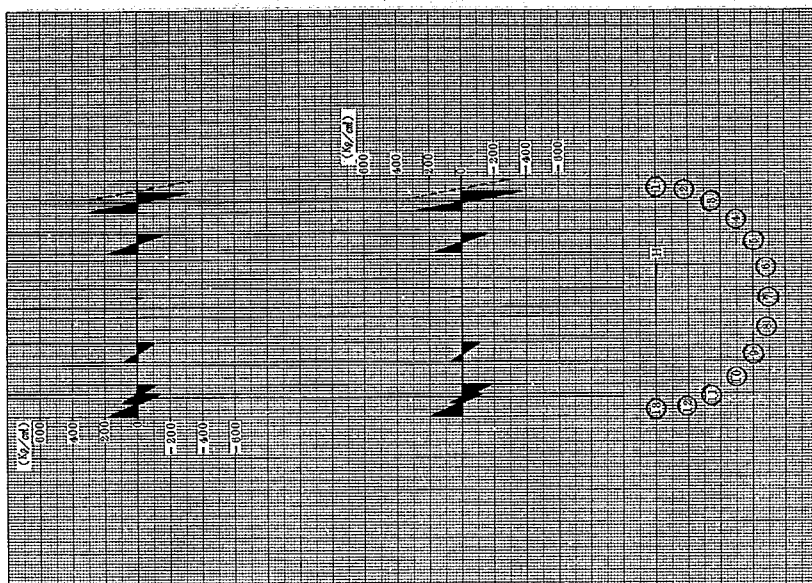


图 - 2 3 断面 (b-b') 应力分布图 (H=1.2 t)

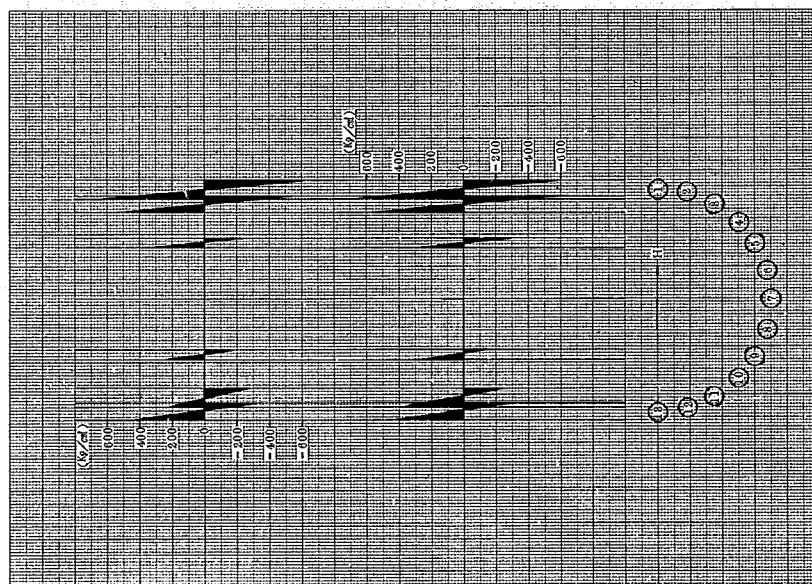


图 - 2 4 断面 (b-b') 应力分布图 (H=2.0 t)

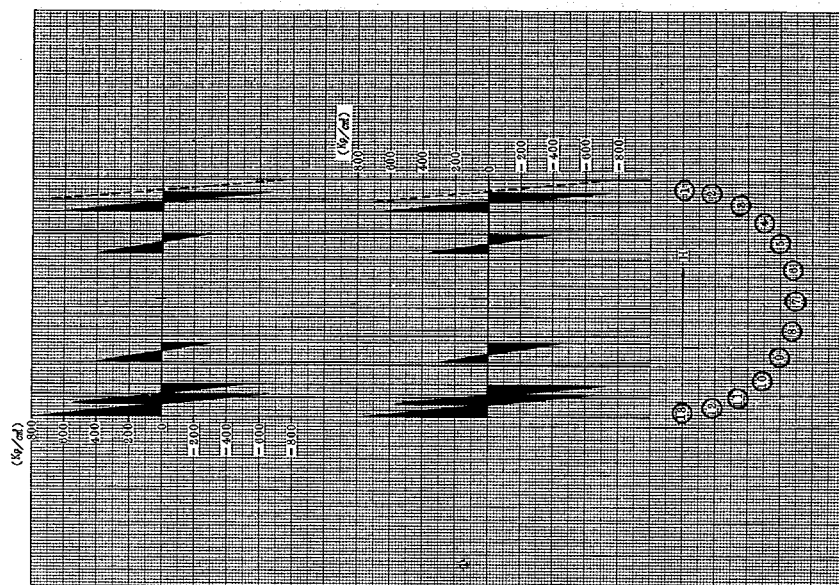


图-25 断面 (b-b') 应力分布图 (H=2.5 t)

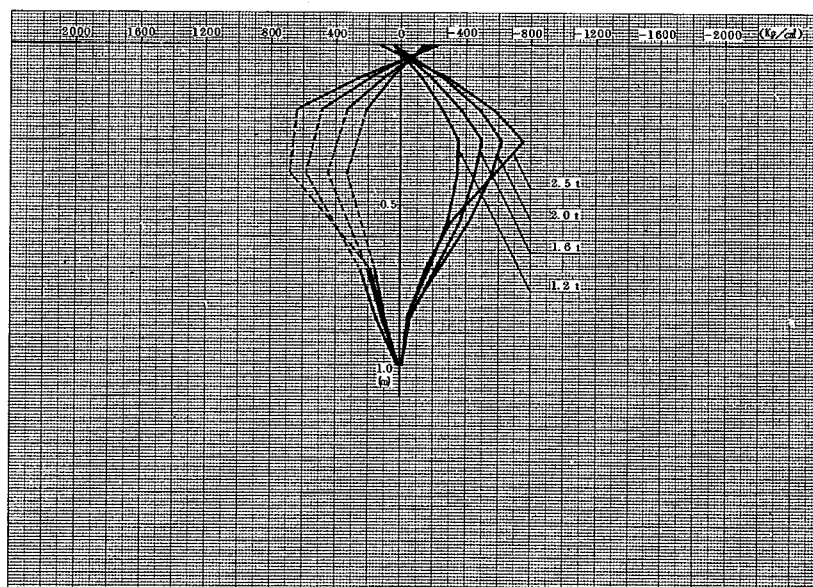
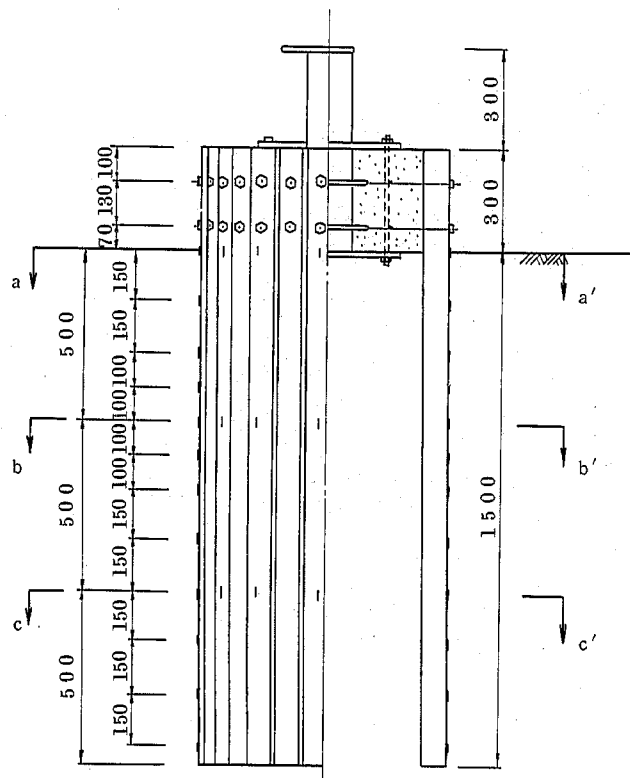


图-26 各荷重轴方向应力分布比较图



1: ストレインゲージ

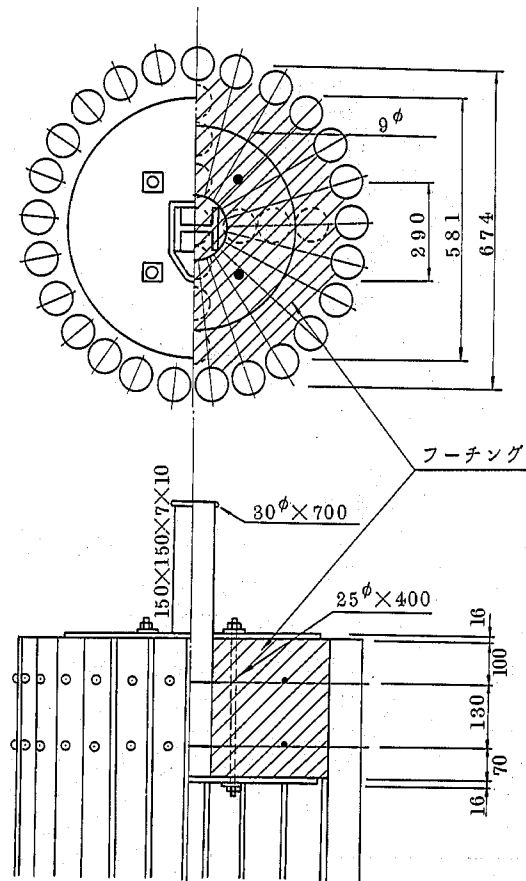


図 - 2 7 試験体C

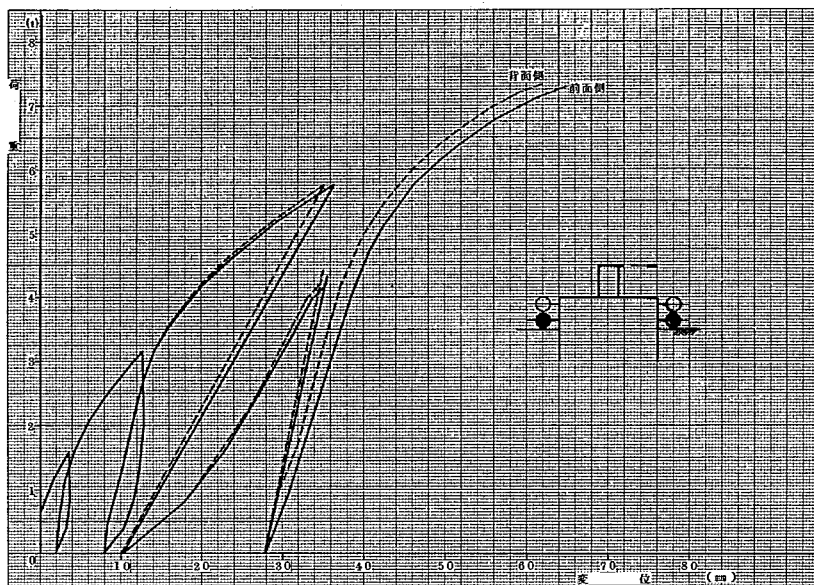


图 - 2 8 頭部水平變位

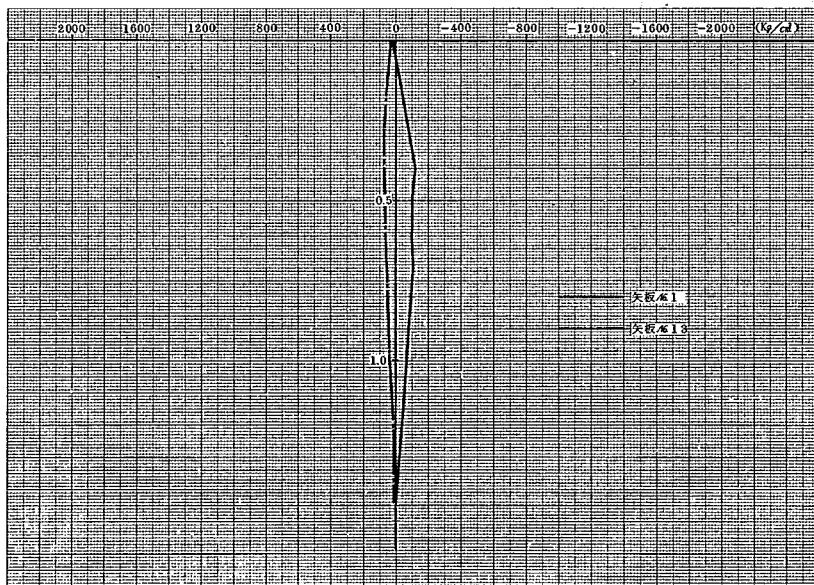


图 - 2 9 軸方向応力分布図 ($H = 1.2 t$)

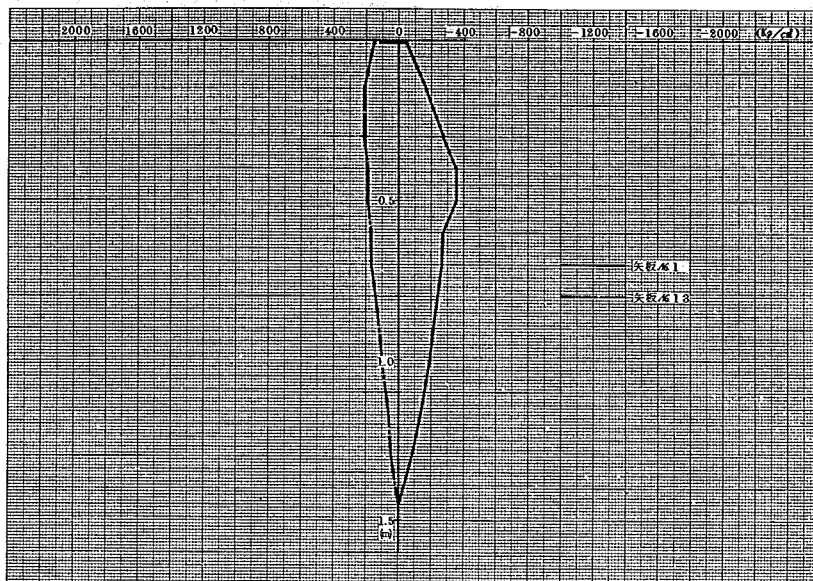


图 - 3 0 軸方向応力分布図 (H = 2.0 t)

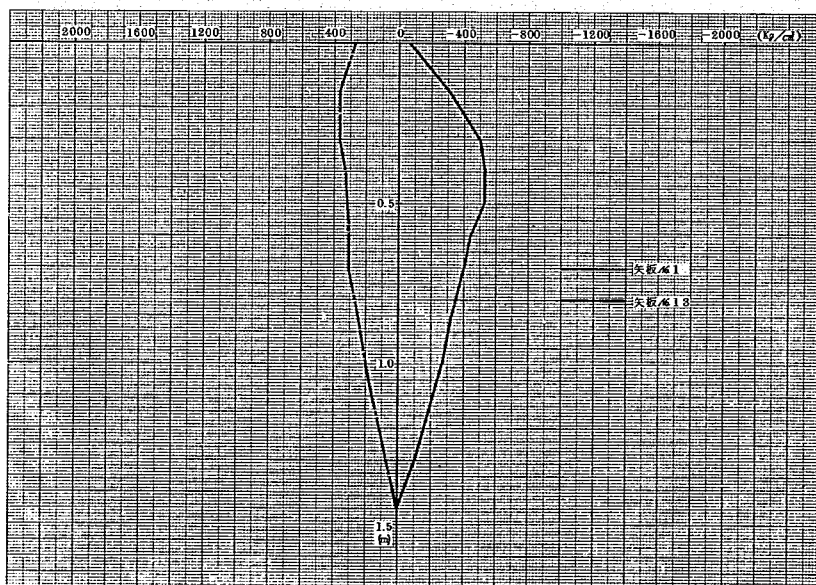


图 - 3 1 軸方向応力分布図 (H = 2.8 t)

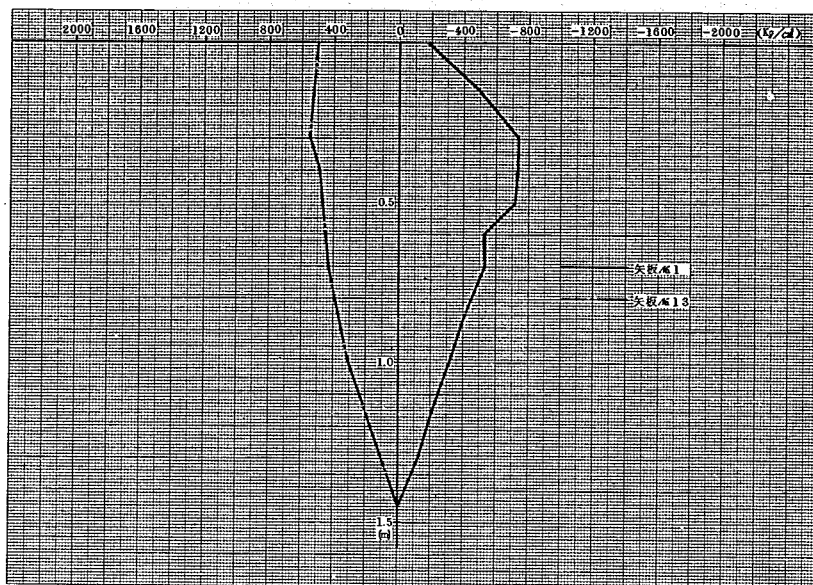


图 - 3 2 轴方向応力分布図 (H = 3.6 t)

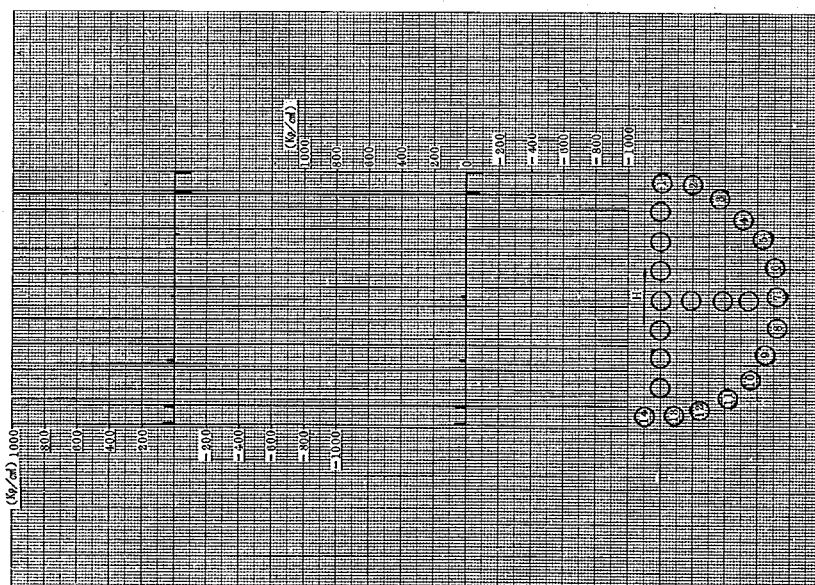


图 - 3 3 断面 (b-b') 応力分布図 (H = 1.2 t)

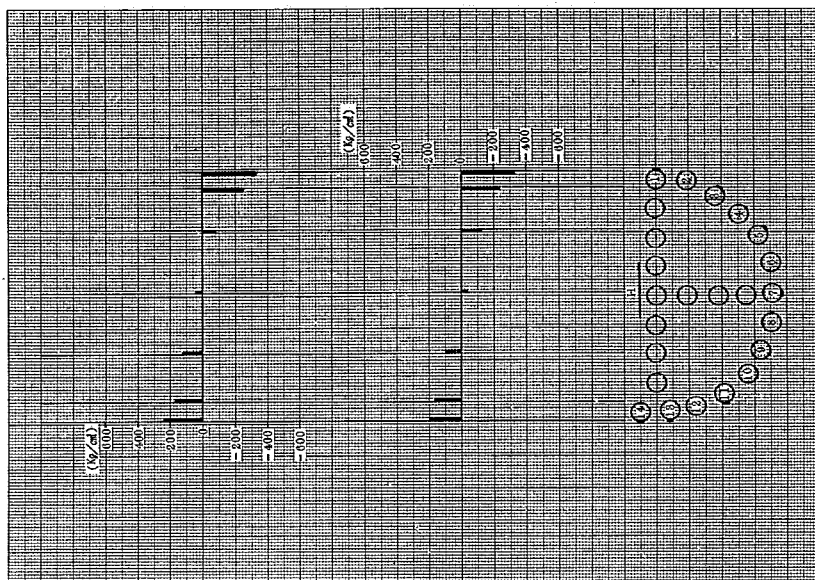


图 - 3 4 断面 (b-b') 应力分布图 (H = 2.0 t)

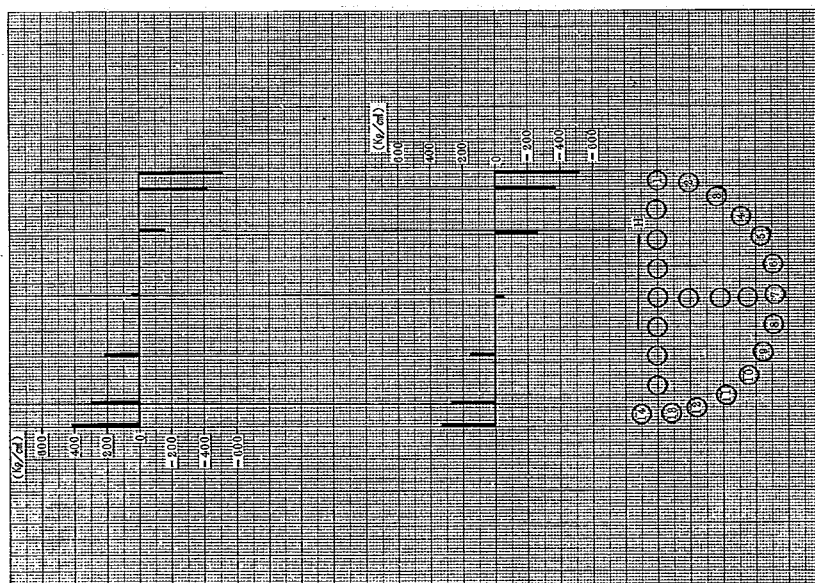


图 - 3 5 断面 (b-b') 应力分布图 (H = 2.8 t)

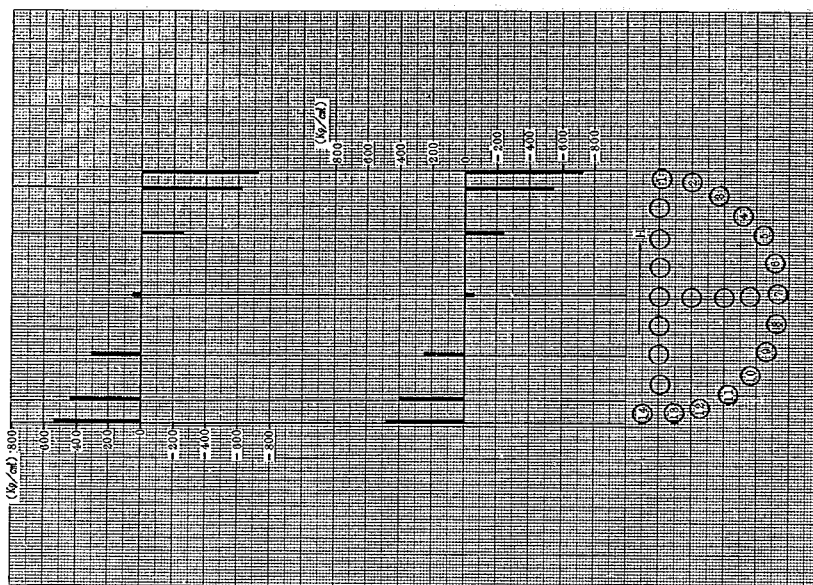


图 - 3 6 断面 (b-b') 应力分布图 (H=3.6 t)

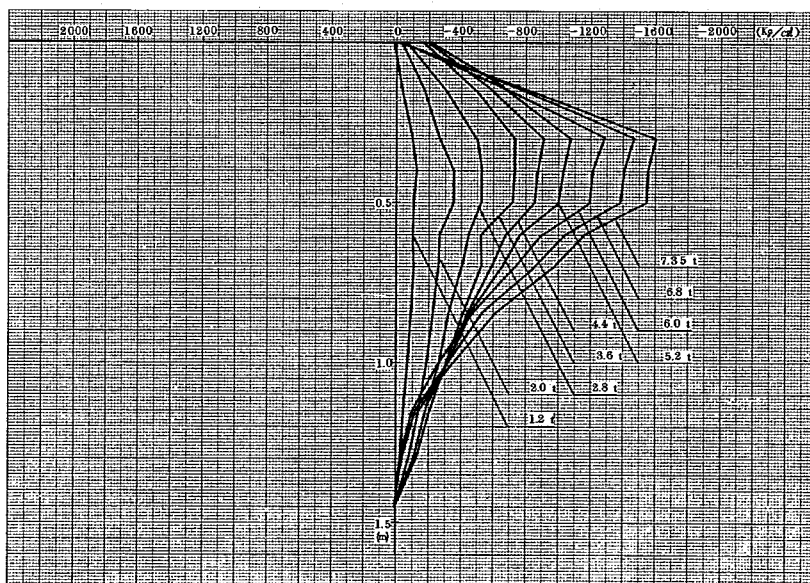
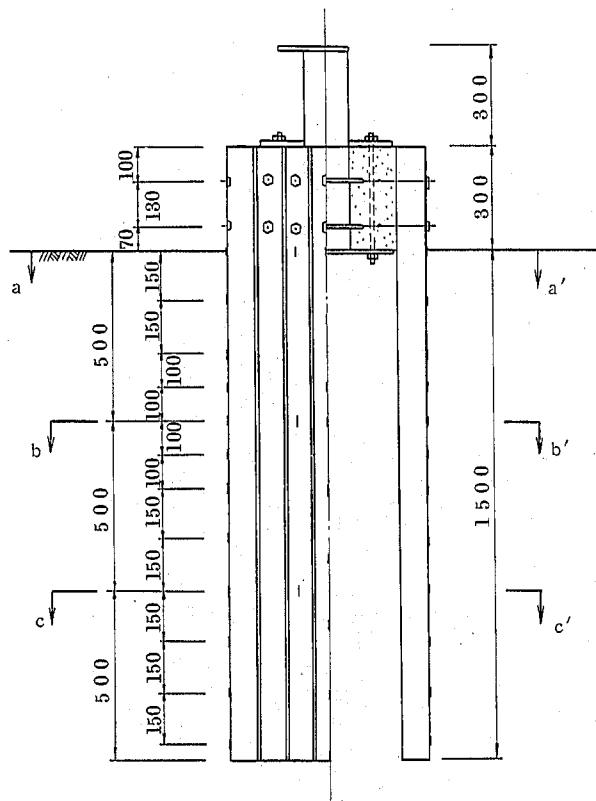


图 - 3 7 各荷重轴方向应力分布比较图



1: ストレインゲージ

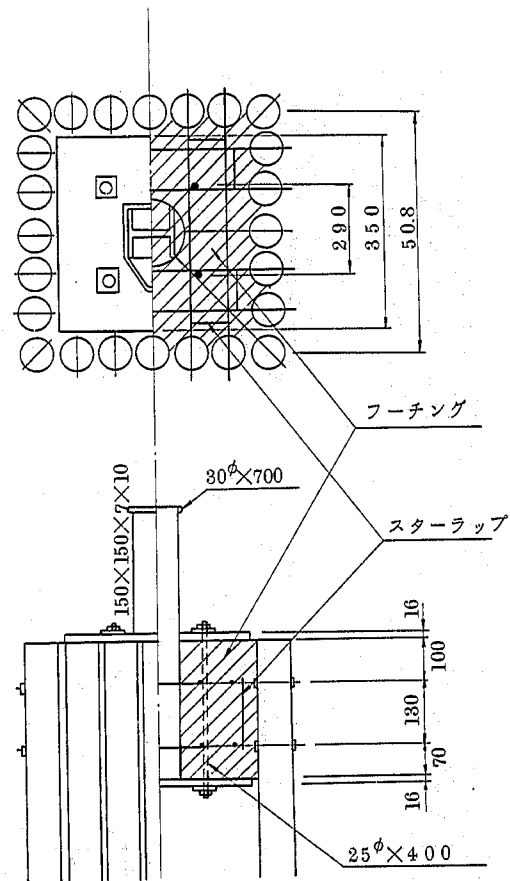


図 - 88 試験体 D

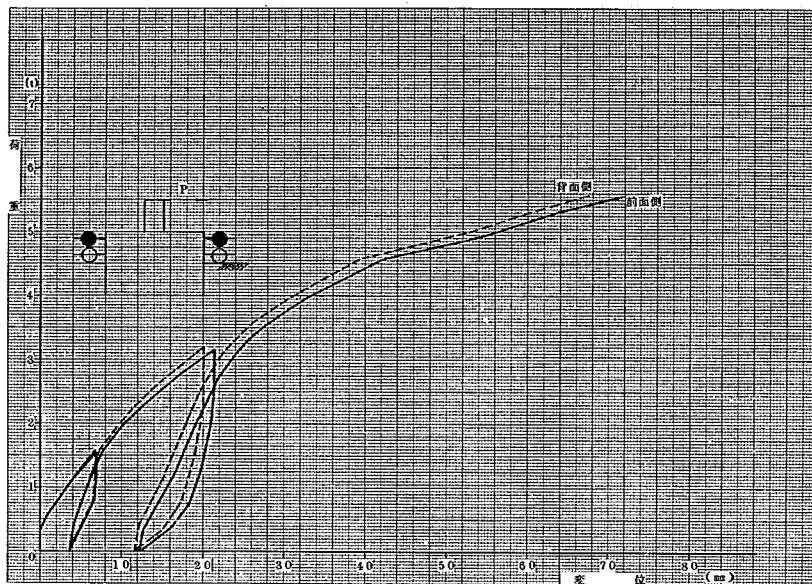


图 - 3 9 頭部水平変位

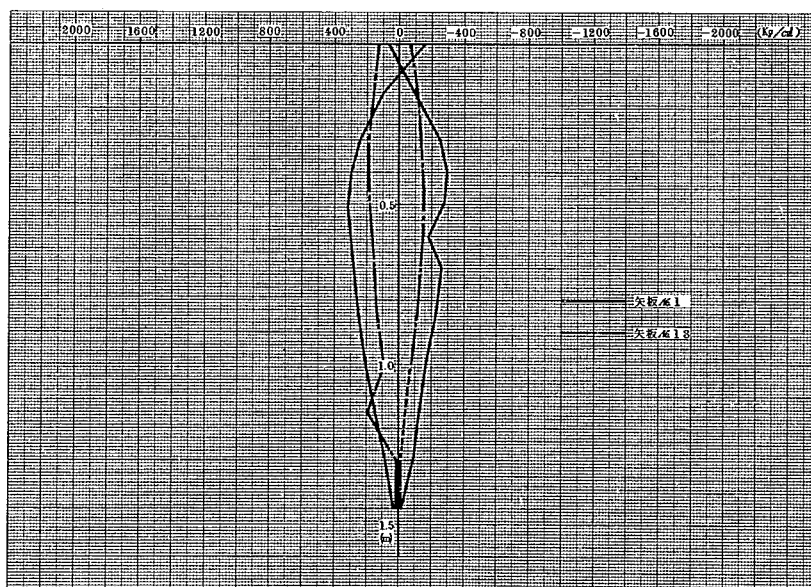


图 - 4 0 軸方向応力分布図 (H = 1.2 t)

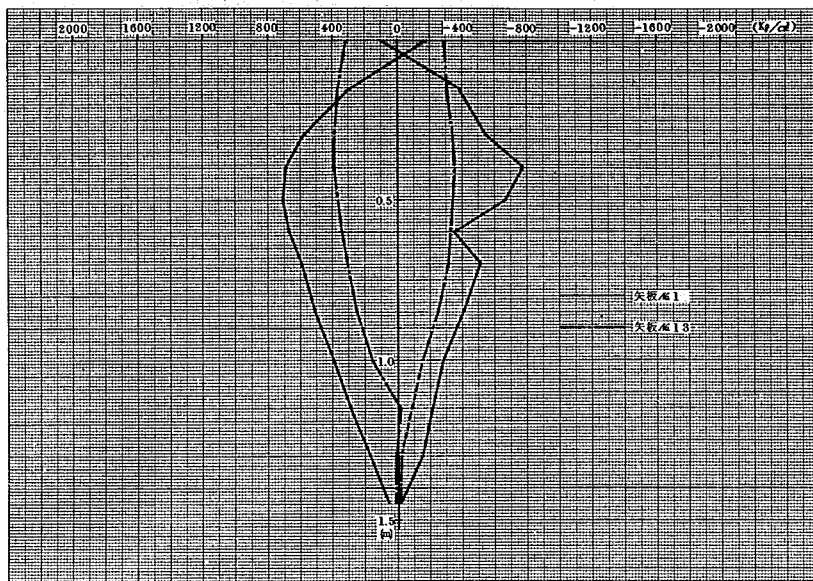


图 - 4 1 轴方向应力分布图 (H = 2.0 t)

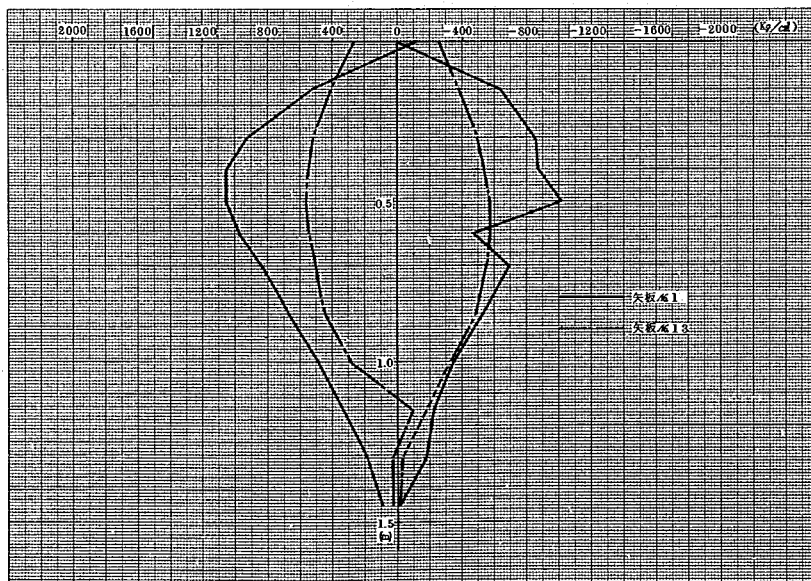


图 - 4 2 轴方向应力分布图 (H = 2.8 t)

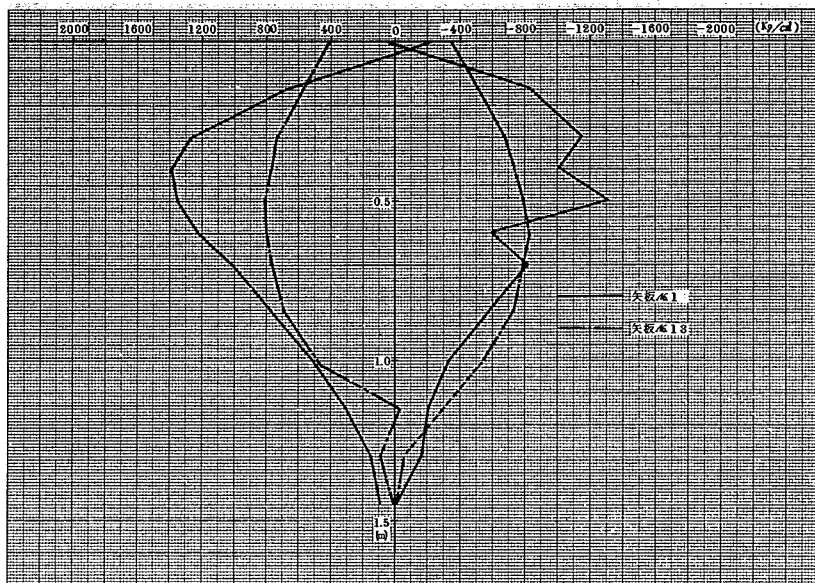


图 - 4 3 轴方向应力分布图 (H = 3.6 t)

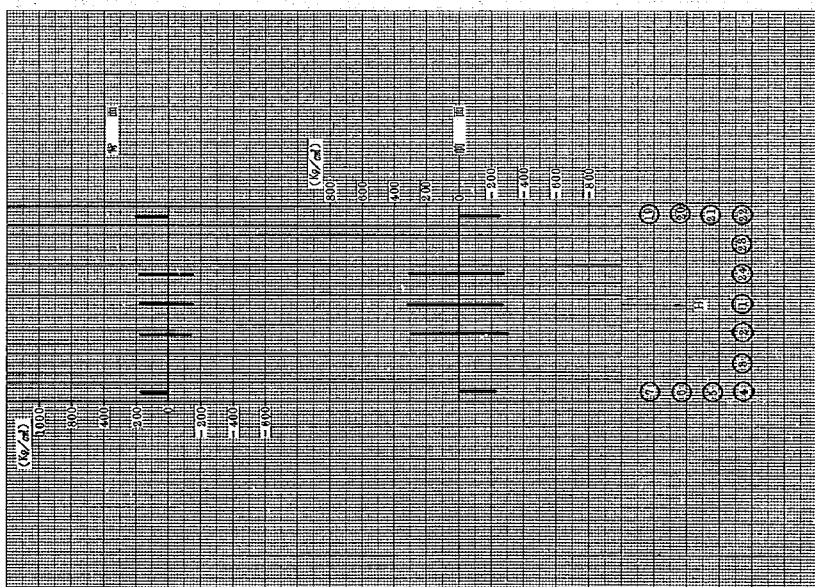


图 - 4 4 断面 (b-b') 应力分布图 (H = 1.2 t)

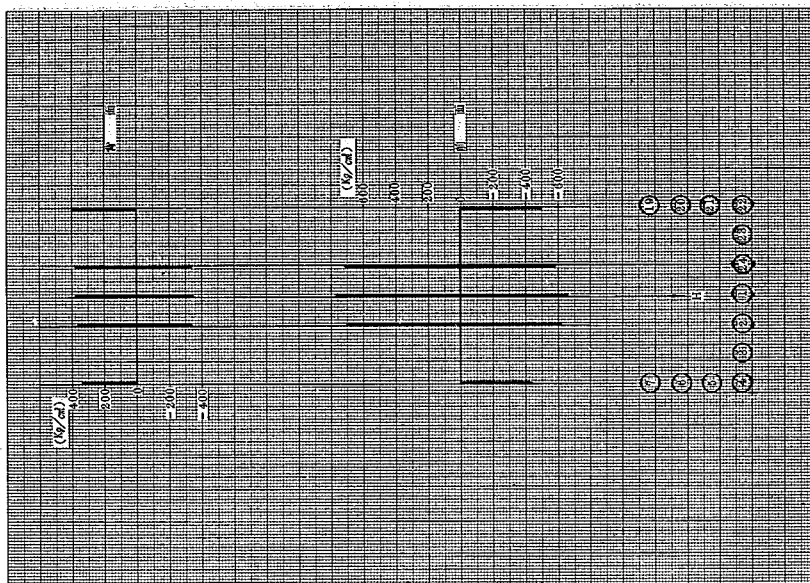


图-45 断面(b-b')应力分布图(H=2.0 t)

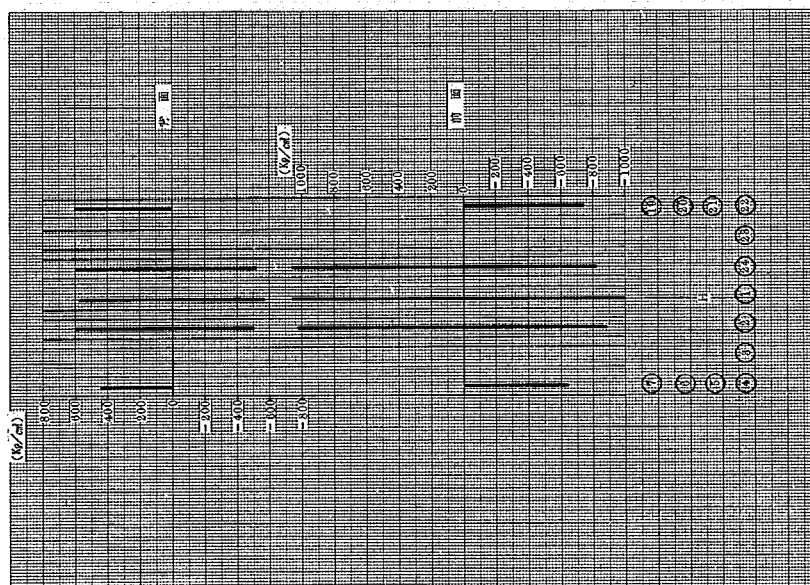


图-46 断面(b-b')应力分布图(H=2.8 t)

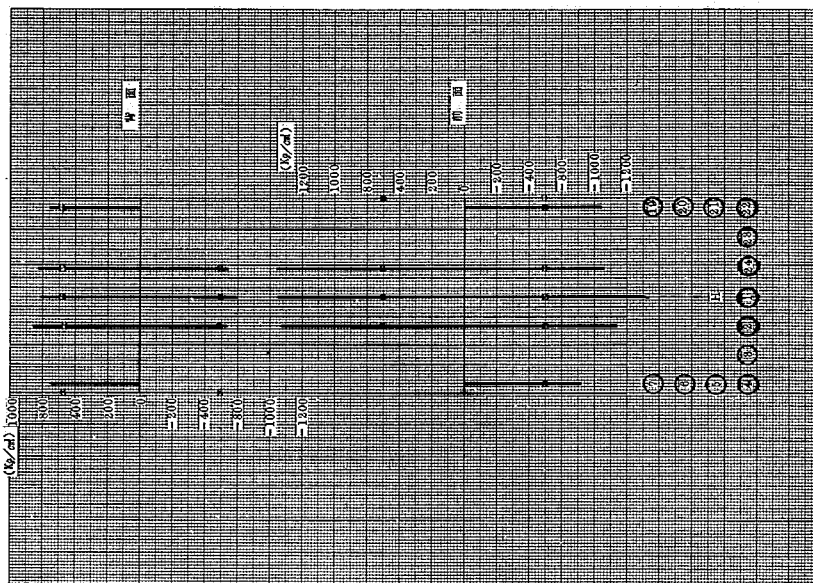


图 - 4.7. 断面 (b-b') 应力分布图 (H=3.6 t)

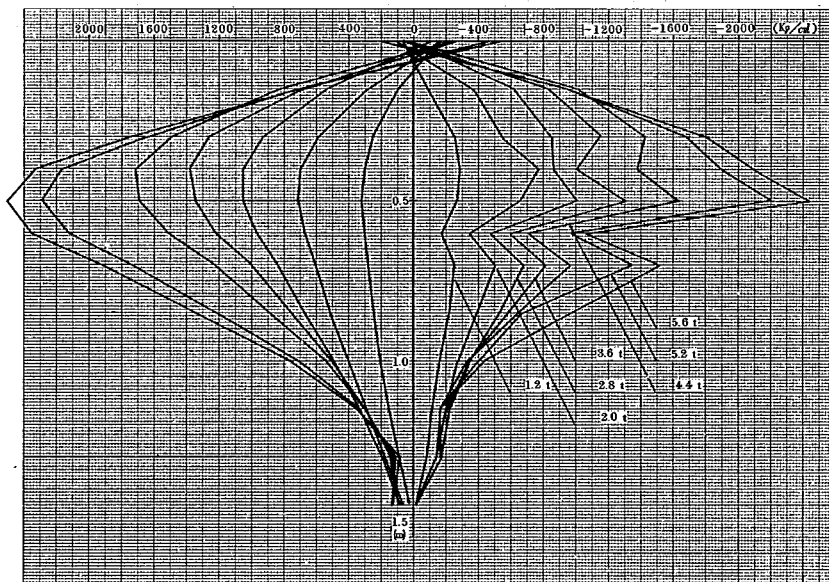


图 - 4.8 各荷重轴方向应力分布比较图