

港 湾 技 研 資 料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 104 June 1970

港研方式杭の横抵抗理論に基づく新しい図式計算法

山 下 生 比 古
稲 富 隆 昌

運輸省港湾技術研究所



港研方式杭の横抵抗理論に基づく新しい図式計算法

目 次

要 旨	3
1. ま え が き	3
2. 図式計算法の原理	3
3. 計 算 例	4
4. あ と が き	5
参 考 文 献	6

**New Graphical Method of Estimating Lateral Resistance
of Pile Based on the PHRI Method**

Ikuhiko YAMASHITA*

Takamasa INATOMI**

Synopsis

A new graphical method of estimating the lateral resistance of a vertical pile is herein proposed on the basis of the PHRI method in which the non-linearity of subgrade soil is taken into account. The principle of this new method is that the calculation procedure in the original PHRI method is equivalent to parallel movement of the standard curves, which show the behaviours of a particular pile called standard pile, in a logarithmic plane. Since the standard curves in a special form are necessary to use the newly proposed method, so arranged standard curves of the built-in head standard pile both for S-type and C-type soil are given in this paper.

* Senior Research Engineer, Structures Division

** Research Staff, Earthquake Resistant Structure Laboratory, Structures Division

港研方式杭の横抵抗理論に基づく新しい図式計算法

山下 生比古*

稲富 隆 昌**

要 旨

港研方式杭の横抵抗計算法は、計算の手順に対数計算を主体とするやや面倒なところがあるので、これを簡単化した図式計算法を提案した。この方法の原理は、港研方式の計算で基準杭の挙動を示している基準曲線を原型杭の場合に変換してやる操作が、両対数方眼紙上で基準曲線の単純な平行移動に対応していることにある。この方法を実際に利用するためには、特定の寸法に拡大された基準曲線の図が必要であるが、本資料ではS型・C型の両地盤の場合の頭部埋込杭の荷重-杭頭変位の関係をそのような形に描いて示した。

1. ま え が き

久保^{1)~4)}、林⁵⁾などによって提案された港研方式杭の横抵抗計算法(以下、これをPHRI法と略称する)は、これをたとえば杭の横抵抗計算法として広く知られているChangの方法と比較したとき、実際の現象に対する近似の度合いが格段に良いこと、地表面が傾斜している場合などでも合理的な計算の可能なことなど大きな利点を持っている。それにもかかわらず、PHRI法が実際の設計の場で使われることが少ないことの理由として様々の事情が考えられるが、何といても、PHRI法では対数計算を主体としたやや面倒な計算を行なわねばならないことが、計算手法の目新らしさと相まって、大きな理由となっているようである。

このような事情から、PHRI法の計算が簡単に行なえるような図式計算法を考えてみた。この方法に従えば、卓上計算機で簡単に行なえる連乗の計算をするだけで、あとは基準曲線の一部をそのまま市販の両対数方眼紙上にトレースすれば、必要な量、たとえば荷重と杭頭変位などの関係がかなり広い範囲に互って一度に得られる。この方法に伴う誤差は、市販の両対数方眼紙の精度と同じであるから、工学上充分許容される範囲におさまっている。ただし、この方法が使えるためには、特定の寸法に拡大した基準曲線を用意しておく必要がある。本資料には、荷重と杭頭変位の基準曲線をこのような形に描

き換えたものだけしか載せていないが他の基準曲線についてもまとめて近く公刊する予定である。

2. 図式計算法の原理

ここでは、新しく提案する図式計算法の原理を説明する。PHRI法の詳細については触れないから、必要に応じて文献⁴⁾を参照して欲しい。PHRI法では、基準杭と称する特定の杭について、杭頭変位など通常の設計々算に必要なとされる量の荷重に対する関係が基準曲線という名前で与えられている^{4)~6)}。任意の与えられた杭(以下、これを原型杭と呼ぶ)については、基準曲線の一部を相似法則に従って変換してやることにより、必要な量を求めている。今、原型杭の与えられた杭頭荷重に対する杭頭変位を求める問題をPHRI法の実際の計算手順に沿って考えてみよう。

相似法則は、当面する問題に関与する種々の量の相似比の間に一定の関係が成立することを要請するもので、我々の問題の場合では、たとえば

$$R_y = R_h^{2m+8} \cdot R_{EI}^{-2} \cdot R_{BK}^2 \quad (1)$$

$$R_F = R_h^{2m+8} \cdot R_{EI}^{-1} \cdot R_{BK}^2 \quad (2)$$

の如き関係が成立していなければならない⁷⁾。ここにRは添字で示される量の相似比を表わし、Yは変位、hは杭の地上部の長さ、EIは杭の曲げ剛性、BKは土の横抵抗常数、Fは杭頭の荷重をそれぞれ表わす。mは地盤がS型るとき1をとり、C型るとき0となる常数である。

* 構造部 構造解析主任研究官

** 構造部 耐震構造研究室

(1), (2)式の意味するところは、通常右辺は既知の量の比であって、荷重や変位の相似比は、これら既知の量の比だけで定められてしまうから、勝手に選ぶことが出来ないということである。ところで、荷重の相似比 (R_F) や変位の相似比 (R_y) はそもそも次式で定義されているものである。

$$R_y = y_p / y_s \quad (3)$$

$$R_F = F_p / F_s \quad (4)$$

ここに、添字 p と s とはそれぞれ原型杭、基準杭を意味している。

我々の問題では、原型杭に作用している荷重 (F_p) が与えられているから、(2)式で定まる R_F を使って、(4)式より

$$F_s = F_p / R_F \quad (5)$$

と基準杭の場合に変換された荷重 (F_s) が得られる。この荷重 (F_s) に対応する杭頭変位 (y_s) を基準曲線から読み取れば、(3)式から

$$y_p = R_y \cdot y_s \quad (6)$$

と所要の杭頭変位が求められることになる。

上の計算の過程を見ると、(1), (2)の如き式による相似比の計算と、基準曲線から読み取った値を(6)式のような形で変換する計算との二つのステップから成っていることが分る。このうち、二つ目のステップの計算については、(6)式を対数の形で書いて、

$$\log y_p = \log R_y + \log y_s \quad (7)$$

となることと、相似比 R_y が杭の地上部長と曲げ剛性・地盤の横抵抗常数などで定まる一定値であることなどから、基準杭の変位 (y_s) から原型杭の変位 (y_p) を求める操作は対数方眼紙上で単純な平行移動の操作に対応していることが分る。荷重についても(7)式と全く同形に書けることから、結局、基準杭の荷重と変位の関係を両対数方眼紙上で適当に (Y 軸に沿って $\log R_y$, F 軸に沿って $\log R_F$ づつ) 平行移動してやれば、原型杭の荷重と変位の関係が得られたことになる。全く同じ事情が、他の諸量、たとえば曲げモーメントや地中部特性長についても成り立っている。

基準曲線の平行移動で原型杭の必要な量が求められることが分ると、基準曲線を両対数方眼紙上に描いておいて、これと全く同一の尺度の透明な両対数方眼紙を基準曲線の上に平行移動分だけずらして重ね、基準曲線の形をそのままぞってしまえば、それが原型杭の挙動であるということになる。これを実際に行なう場合には、かなり大きな図に基準曲線を描かないと誤差が大きくなってしまい、あまり特殊な尺度の両対数方眼紙上に基準曲線を描いたのでは写し取る透明な方眼紙が特製のもの

となってしまふことなどを勘案して、市販の両対数方眼紙を尺度の基準に採ることにする。この尺度で描いた基準曲線を巻末の図-1, 2に示す。図-1はS型地盤の場合の杭頭荷重 (F) と杭頭変位 (y_{top}) の基準曲線、図-2はC型地盤の場合の同じもので、いずれも杭頭部で埋込みの条件のものである。次章で、実際の例につき、これらの図の使い方を説明する。

表-1 杭の諸元

杭番号	地上部長 (m)	外径 (cm)	肉厚 (cm)	EI (kg·cm ²)
1	14.0	71.12	1.27	3.57 × 10 ¹¹
2	11.2			
3	8.4			
4	5.6			

註1：地上部長は法面と杭軸との交点より上の部分の長さである。

表-2 地盤条件

法面勾配	地盤のタイプ	N 値	k _c (kg/cm ^{2.5})	Bk _c (kg/cm ^{1.5})
1 : 1.8 (29°)	C型	約4	1.5	71.12

表-3 C型地盤の基準杭の諸元

h (cm)	50.0
EI (kg·cm ²)	4.5024 × 10 ¹⁰
Bk _c (kg/cm ^{1.5})	40.0

表-4 相似比 (交換係数)

杭	地上部長比 R _h	地げ剛性比 R _{EI}	地盤常数比 R _{Bk}	荷重の交換係数 R _F	変位の変換係数 R _y
1	28.0	7.929	2.667	1.544 × 10 ⁷	4.274 × 10 ¹⁰
2	22.4			5.059 × 10 ⁶	7.171 × 10 ⁹
3	16.8			1.200 × 10 ⁶	7.180 × 10 ⁸
4	11.2			1.581 × 10 ⁵	2.801 × 10 ⁷

3. 計算例

例題として図-3に示す場合を考える。この例題は横棧橋を想定したもので杭表面が傾斜しているが、ここでは簡単のために、各杭と斜面の交点の位置で地表面が水平となっているものとして計算を進める。杭および地盤の諸元はそれぞれ表-1, 2に示す通りであるとし、表-3に与えられている基準杭の諸元の表とから、各量の

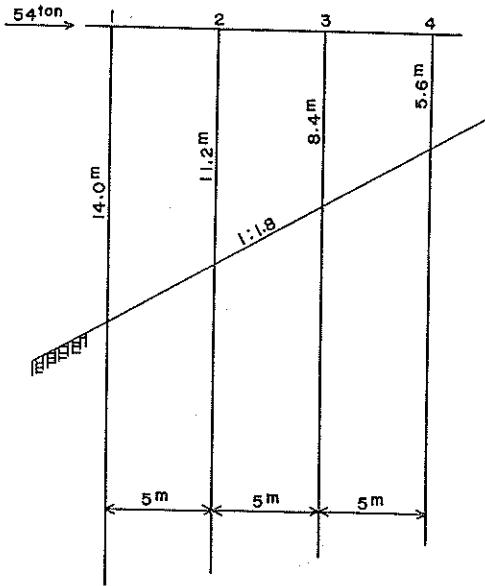


図-3 計算例

相似比(変換係数)を求めたのが表-4である。この計算は対数の形で出す必要がないから、連乗の出来る卓上計算機があれば容易に行なえる。さて、各量の相似比(変換係数)が求められたので、実際の計算の手順を図-4に依って説明して行こう。

図-4の原図は市販のA4判のトレース用対数方眼紙である。この用紙の上に、まず自分の欲しい範囲の単位を書き込む。例題の場合だと、荷重は全体で54tonであるから、各杭に分配される荷重は広く見ても500kg~50ton=50,000kgの範囲で良いと思われる。これを縦軸にとり、横軸の杭頭変位としては0.1cm~100cm位とする。平行移動するには基準曲線全体を考える必要はない。一つの点を基準曲線の図の上で選んで、この点が我々の用意している両対数方眼紙上のどの点に移るかだけを定めれば、あとは両図の縦横が平行になるように紙を重ねれば良い。表-4に示されている杭1の R_y と R_F とを乗じてここで選んだ範囲におさまるような点を図-2で深すと同図の $F_s=10^{-4}\text{kg}$, $(y_{top})_s=10^{-10}\text{cm}$ の点が適当のようである。この点が、我々の用意した両対数方眼紙上で、 $F_p=1.544 \times 10^3\text{kg}=1.544\text{ton}$, $(y_{top})_p=4.27\text{cm}$ の点に移るものであることは、(6)式と同じ形の式を考え、その式に表-4の相似比をあてはめてやれば暗算で分る。図-4で、1と番号をつけた点がそれである。この点を図-2の $F_s=10^{-4}\text{kg}$, $(y_{top})_s=10^{-10}\text{cm}$ の点に合わせて両図を重ね、縦横を合わせて図-2の基準曲線を必要と思われる範囲だけ、トレース用の方眼

紙上に写したものが、図-4にPile 1と記入した曲線である。これで、杭1についての杭頭における荷重と変位との関係が必要な範囲をカバーするように求められたことになる。杭2についても同様にして、図-2の上で一点 $F_s=10^{-3}\text{kg}$, $(y_{top})_s=10^{-9}\text{cm}$ を選べば、表-4の相似比を使って、この点と図-4の上で2と番号のついている点($F_p=5.059 \times 10^3\text{kg}=5.059\text{ton}$, $(y_{top})_p=7.171\text{cm}$)とが対応していることが分る。両点を一致させるように、図-2の上にトレース用の方眼紙を重ねて基準曲線を写すと、図-4でPile 2と書かれている曲線が得られ、これが杭2の杭頭における荷重と変位との関係を示すものである。残された杭3, 4などについても全く同じようにして、それぞれ図-4のPile 3, 4と記入されている杭線が曲頭の荷重-変位関係を与えるものとして得られる。図-4の左上に、同図で1から4までの番号をつけられている各点が、それぞれ図-2の上のどの点と対応しているのかまとめて示しておく。

この方法は単杭の計算の場合でも計算の手間を大巾に軽減しているが、栈橋のような群杭構造のものでは一層その威力が発揮される。図-4でその説明をしよう。上で述べたようにして、杭1から杭4までの杭頭における荷重と変位との関係が求められると、次に各杭の荷重の合計が所要の荷重(例題では54ton)をはさむように適当な杭頭変位量を二つ選ぶ(図-4では3cmと7cmとが選ばれている)。この選び方は極く大雑把なもので構わない。さてこの二つの変位に対応する各杭の荷重を読み取り、その合計をそれぞれの変位について計算する(例題では、 $(y_{top})_p=3\text{cm}$ のとき $\Sigma F_p=33,050\text{kg}$, $(y_{top})_p=7\text{cm}$ のとき $\Sigma F_p=58,550\text{kg}$)。これらを、トレース用方眼紙のあいている部分に、縮軸に荷重の和、横軸に変位をとってプロットすると、図-4の右下の部分のA, Bで示されている二つの点を得られる。A, B两点を直線で結び、その直線上で所要の全荷重(54ton)に相当する点(図-4のC点)を定める。この点の変位(5.5cm)が与えられた全荷重に対する群杭頭部の変位量である。各杭に分配される荷重は個々の杭の荷重-変位曲線上で変位が5.5cmのところの荷重を読み取ることにより定まる。実際の計算では、各杭の分担する荷重は図-4に示す如く、杭1から順に4.9ton, 8.0ton, 14.2ton, 27.0tonとなり、合計すると54.1tonでぴったり54tonとはなっていないが、誤差としてはきわめて僅かで問題とする必要はないと言って良い。

4. あとがき

ここで述べた方法を使えば、PHRI法の計算は非常に

- POINT 1 ↔ $(10^{-4}, 10^{-10})$
 * 2 ↔ $(10^{-3}, 10^{-9})$
 * 3 ↔ $(10^{-3}, 10^{-9})$
 * 4 ↔ $(10^{-2}, 10^{-8})$

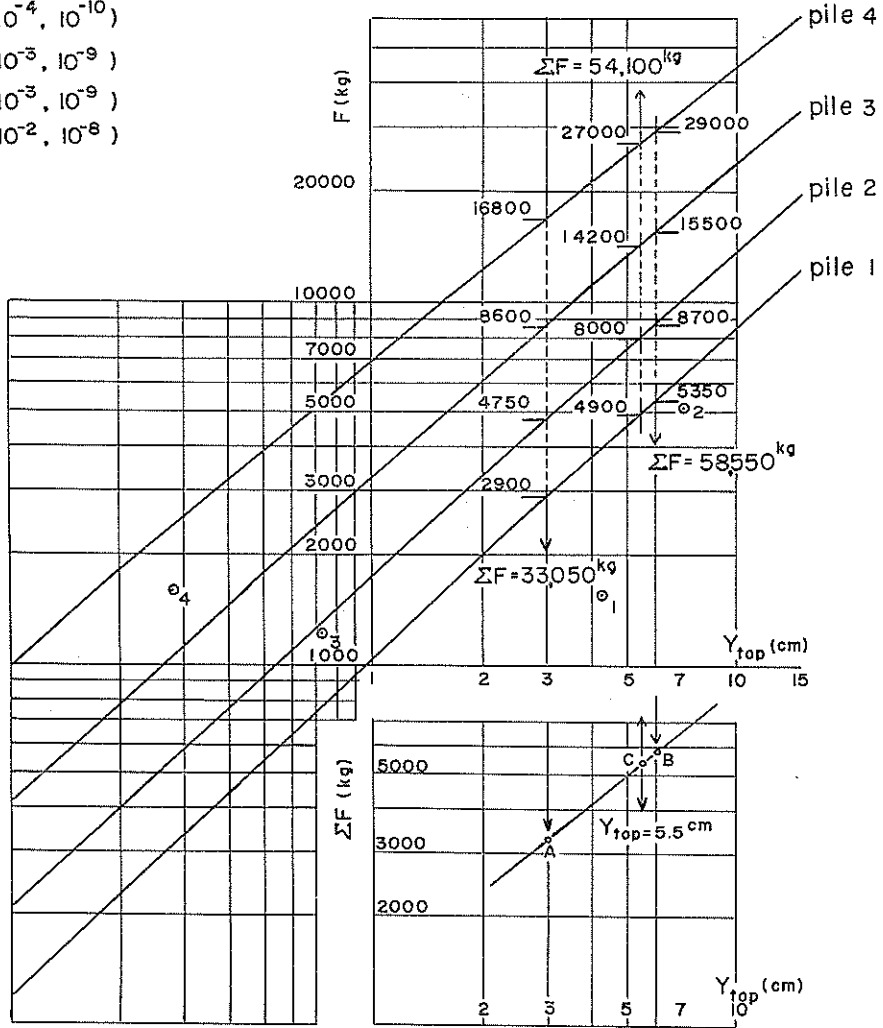


図-4 新しい図式計算法の説明

簡単になる。しかし、第2章で指適した PHRI法の計算の二つのステップのうちの第一のもの、すなわち、相似比(変換係数)を求めるための連乗計算に関しては人手を煩わすという状態がそのまま残っている。この計算は連乗の出来る卓上の計算機があればさほどの労力を必要としないが、それがなくなるとかなり面倒で、結局、対数表の御世話になるということにもなりかねない。

計算図表学の立場から言えば、連乗計算などは簡単なノモグラムを作って解決出来るのであるが、実際にはそう簡単ではない。その理由は、相似比(変換係数)の計算にかなり多くの回数の連乗計算を必要とするため、簡単なノモグラムでは、非常に大きなものとなって実用性を失うか、さまなければ精度が極端に悪くなるかのいず

れかになってしまうからである。たとえば、市販の両対数方眼紙の精度を保持しようとする、単純なノモグラムでは長さが1.5mにもなってしまって殆んど実用性を失う。こういった理由から、若干複雑になる恐れはあるが、通常のノモグラムに工夫を加えた形の計算図表を作成し、まえがきでも述べたように、本資料に含まれていない基準曲線の計算図表を公刊する際に、併せて発表したいと思っている。

参考文献

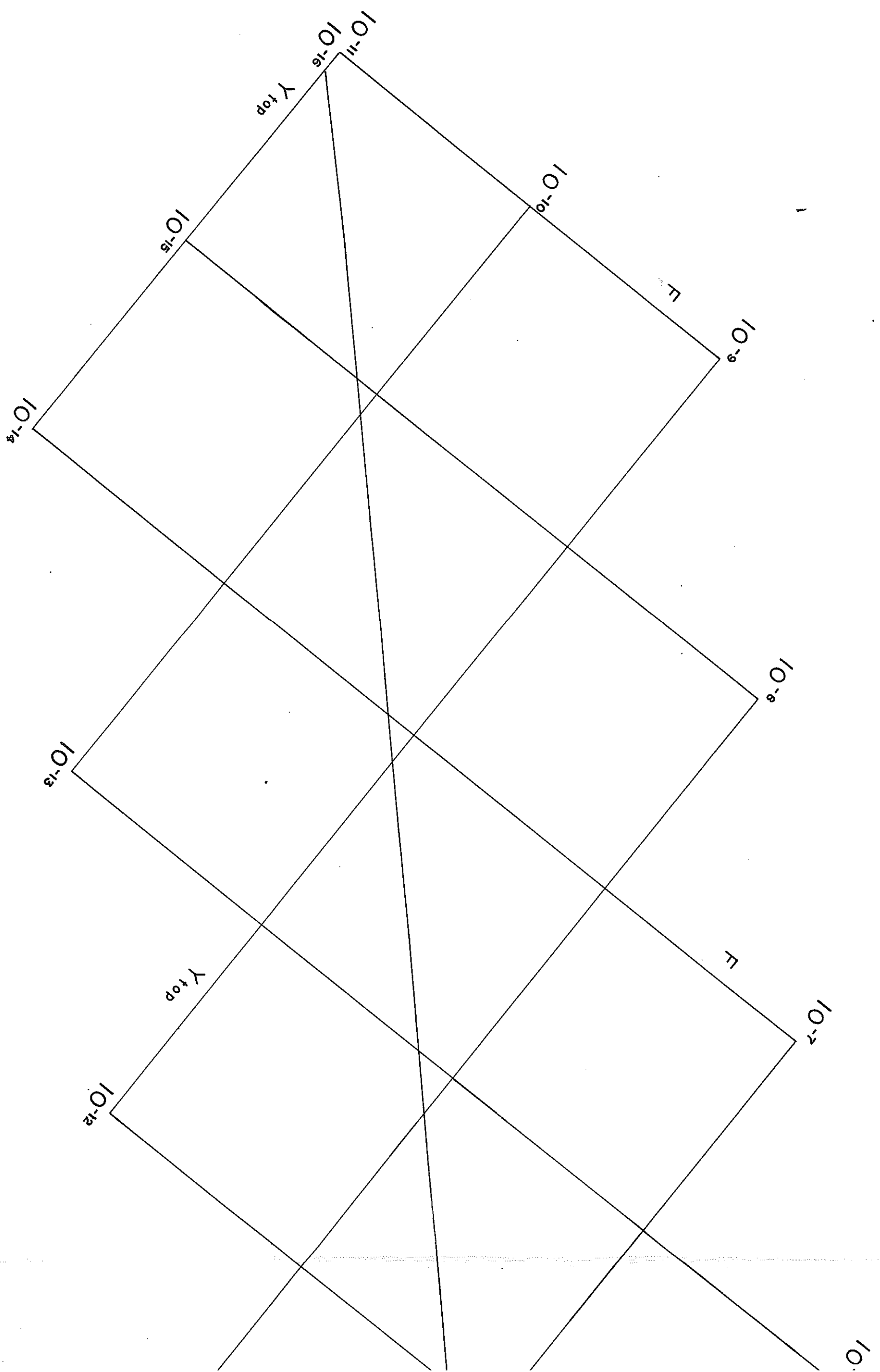
- 1) 篠原登美雄・久保浩一
 “杭の横抵抗に関する実験的研究(その1)”
 運輸技術研究所報告, 第11巻6号, 1961, 7

- 2) 久保浩一
“杭の横抵抗に関する実験的研究(その2)”
運輸技術研究所報告, 第11巻12号, 1962, 2
- 3) 久保浩一
“杭の横抵抗に関する実験的研究(その3)”
運輸技術研究所報告, 第12巻2号, 1962, 3
- 4) 久保浩一
“杭の横抵抗の新しい計算法”
港湾技術研究所報告, 第2巻3号, 1964, 3
- 5) “Hパイルの水平抵抗に関する研究”
港湾技術研究所・八幡製鉄KK, 1963, 3
- 6) 山下生比古・荒田昌潔
“C型地盤における頭部埋込杭の基準曲線”
港湾技術研究所資料, No. 65, 1969, 3
- 7) 山下生比古
“横力を受ける杭の相似法則に関する考察”
港湾技術研究所資料, No. 65, 1969, 3

記号表

- EI : 杭の曲げ剛性 ($\text{kg}\cdot\text{cm}^2$)
 F : 杭頭の水平荷重 (kg , または ton)
 h : 杭の地上部長 (cm , または m)
 m : PHRI 法に出て来る無次元の定数。S型地盤なら $m=1$, C型地盤なら $m=0$ である。
 P : 原型杭の量であることを示す添字。
 R_A : 物理量Aの比で, $R_A=A_p/A_s$ である。相似比, または変換係数と呼ばれている。
 s : 基準杭の量であることを示す添字。
 y : 水平方向変位, あるいは撓み (cm)
 y_{top} : 杭頭変位 (cm)

(1970.3.31 受付)



11-01

Y_{top}

10-10

F

10-5

6-01

Y_{top}

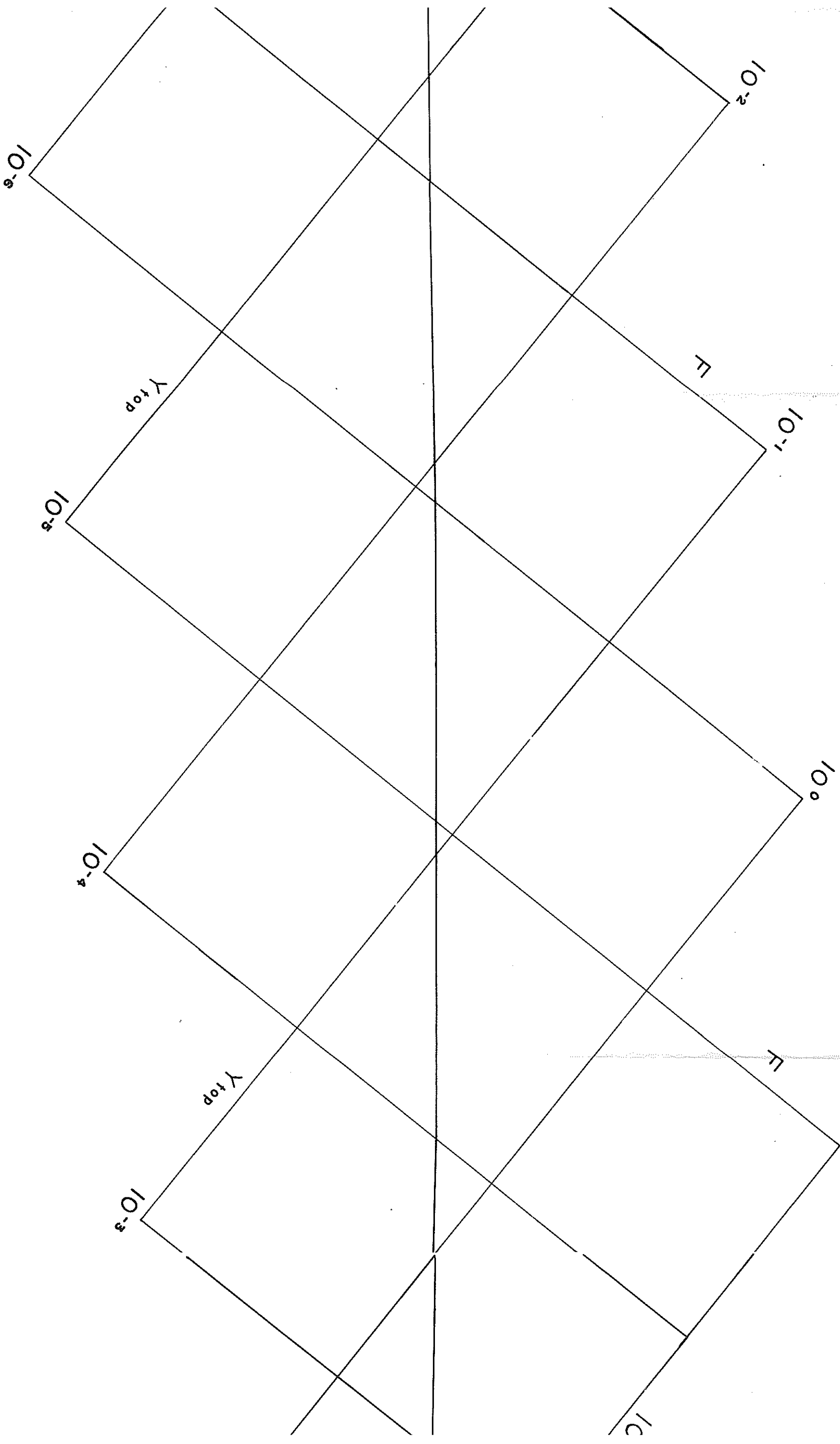
10-2

6-01

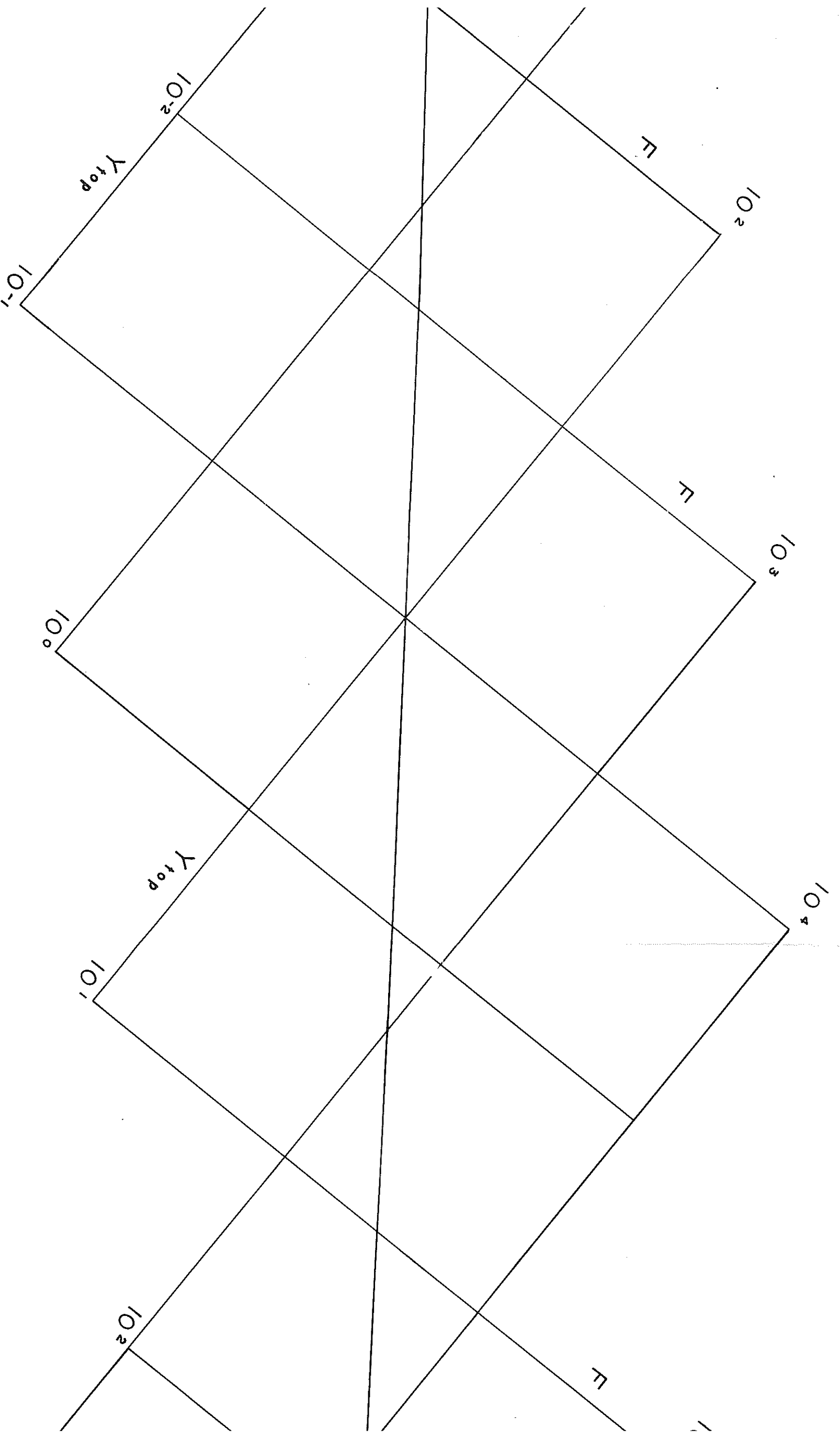
F

10-3

10



o |



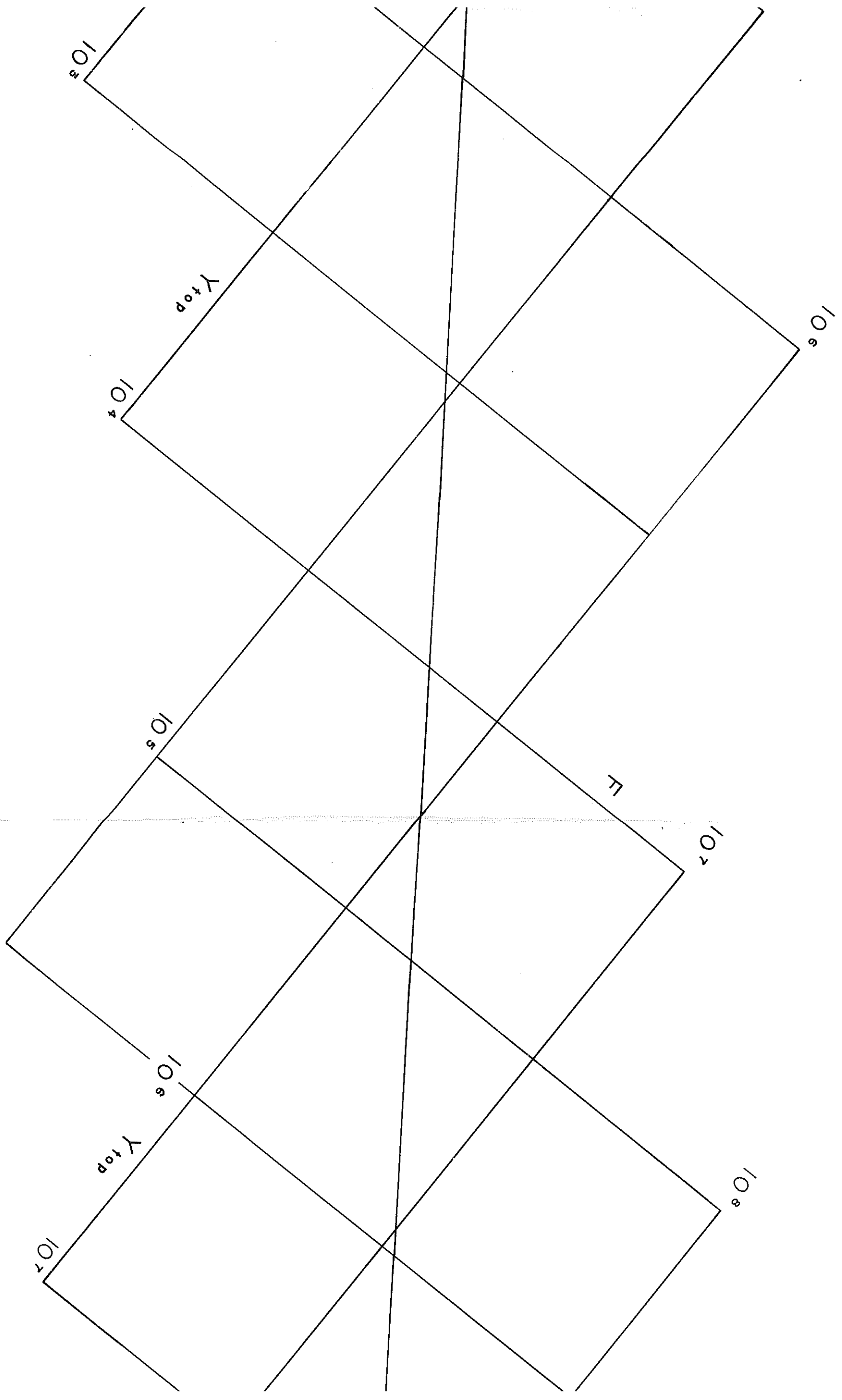
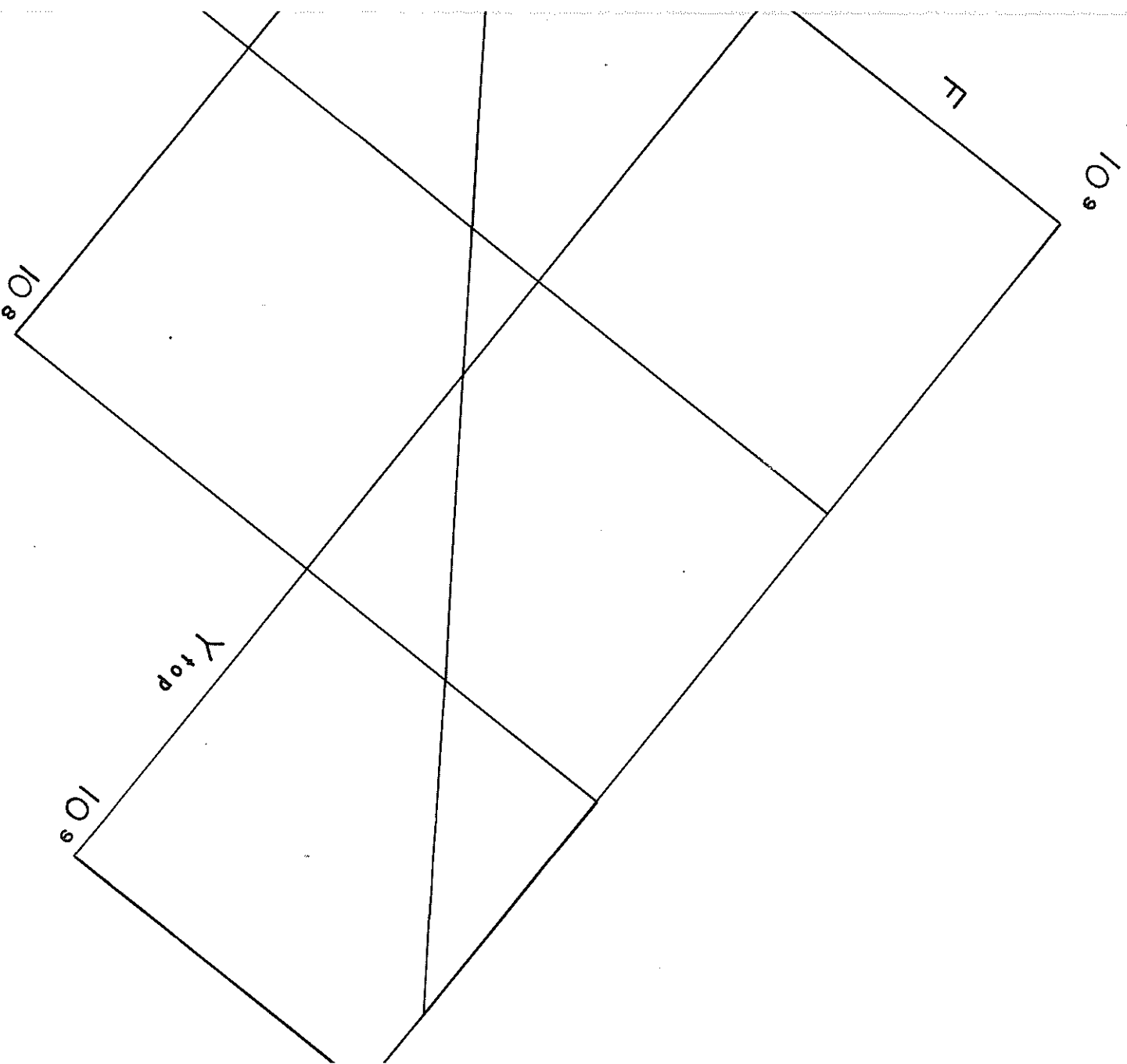
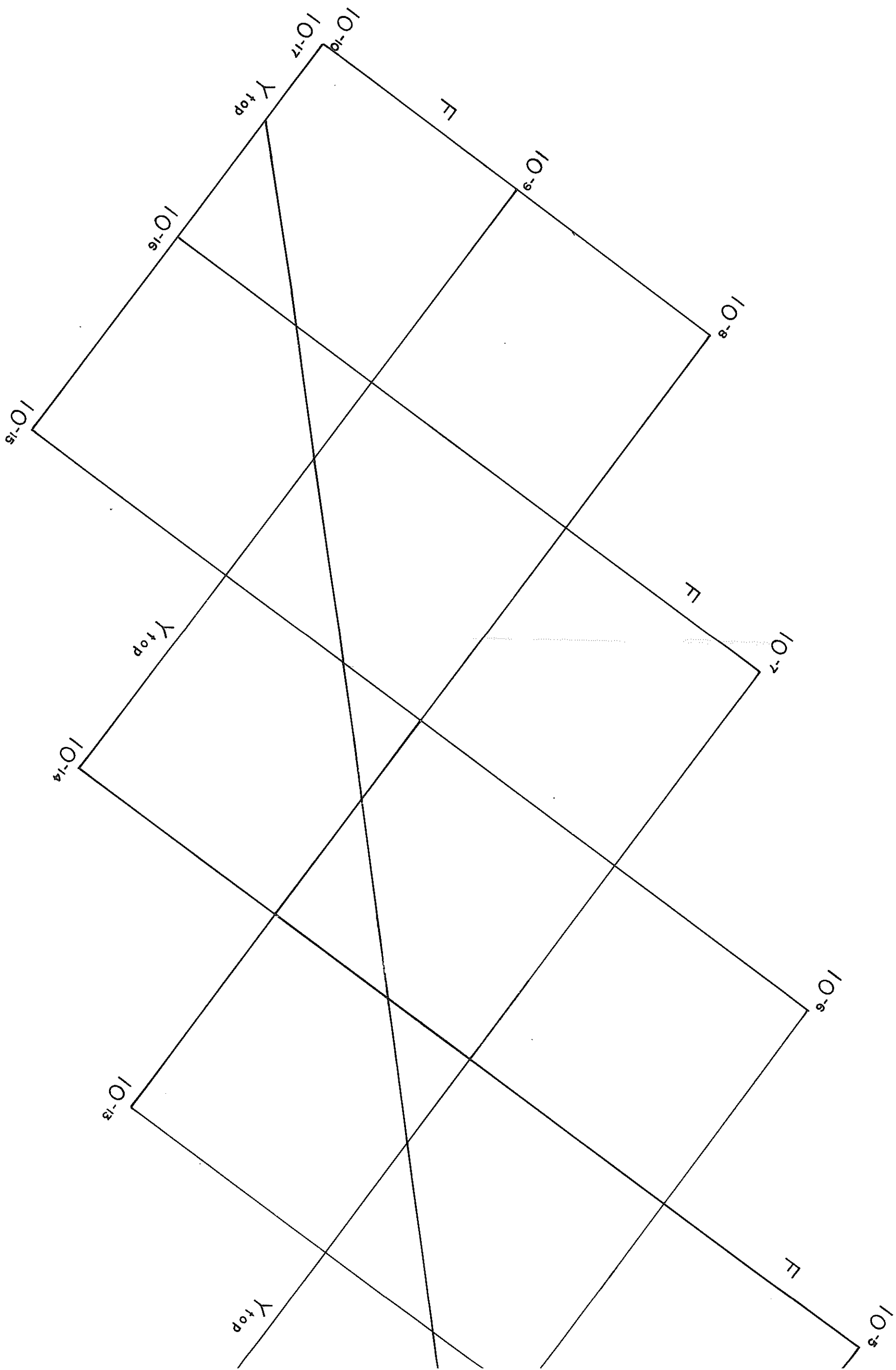
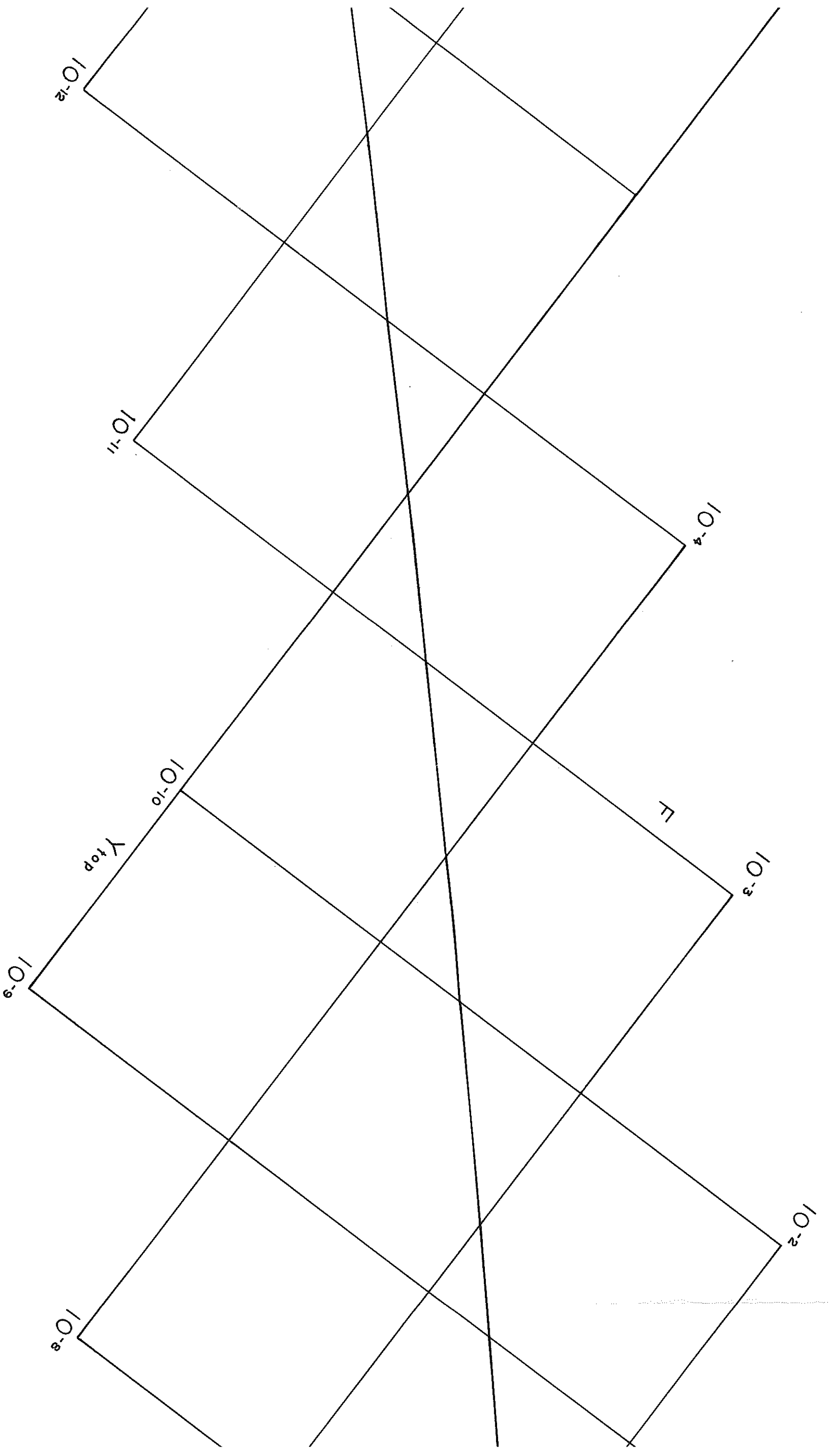
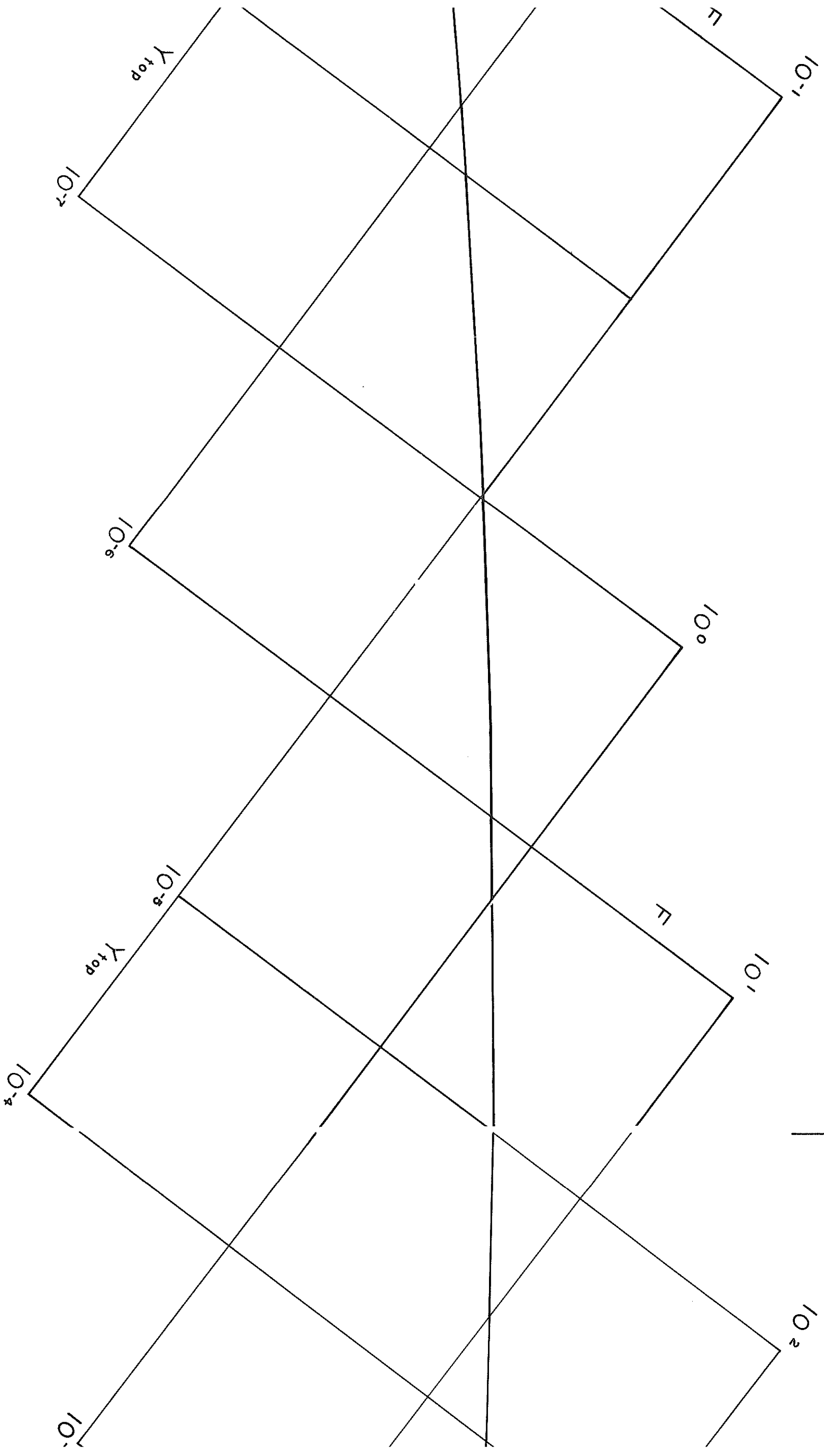


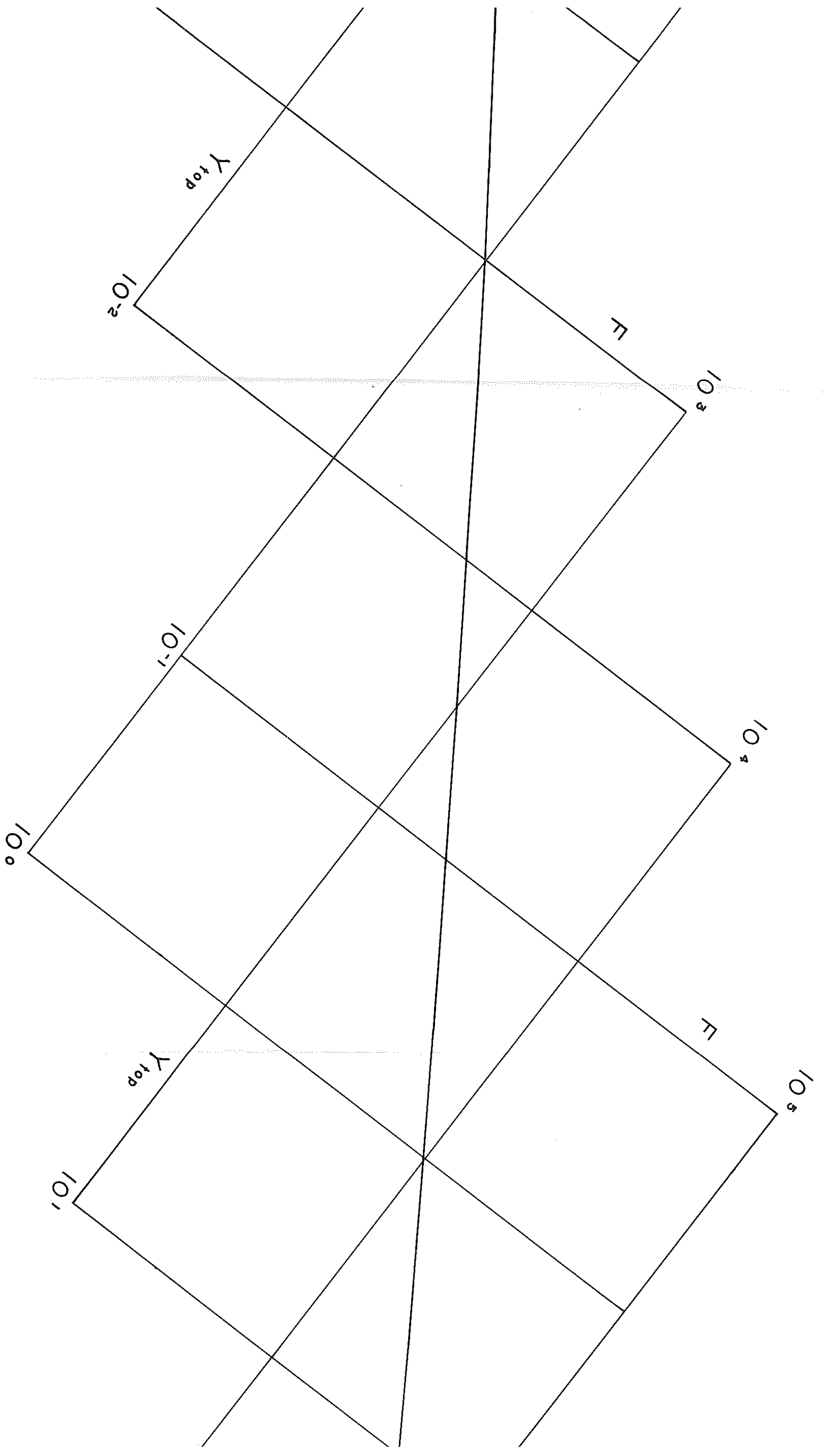
Fig. 1 STANDARD CURVE , F-Y_{top} (S-type)



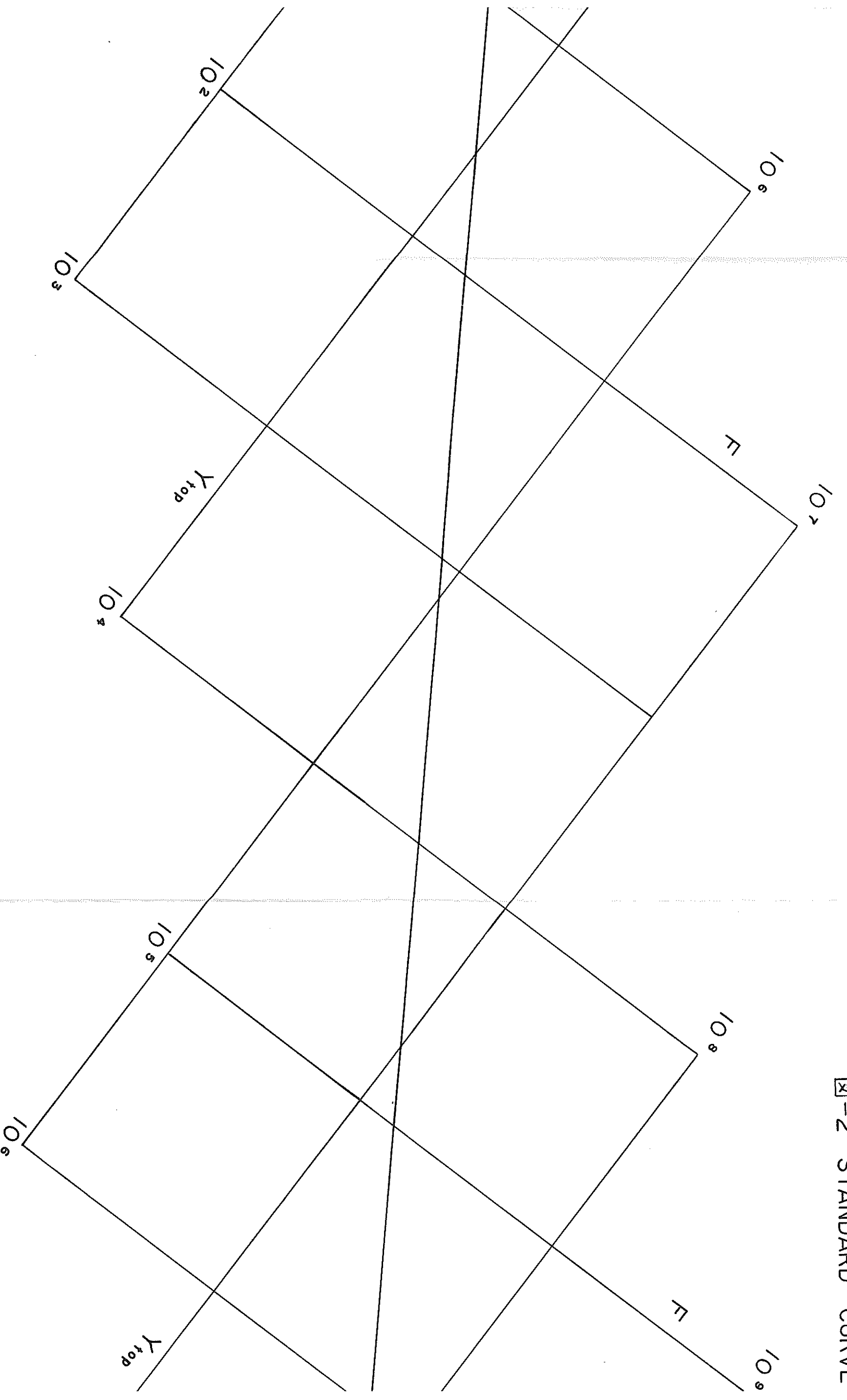




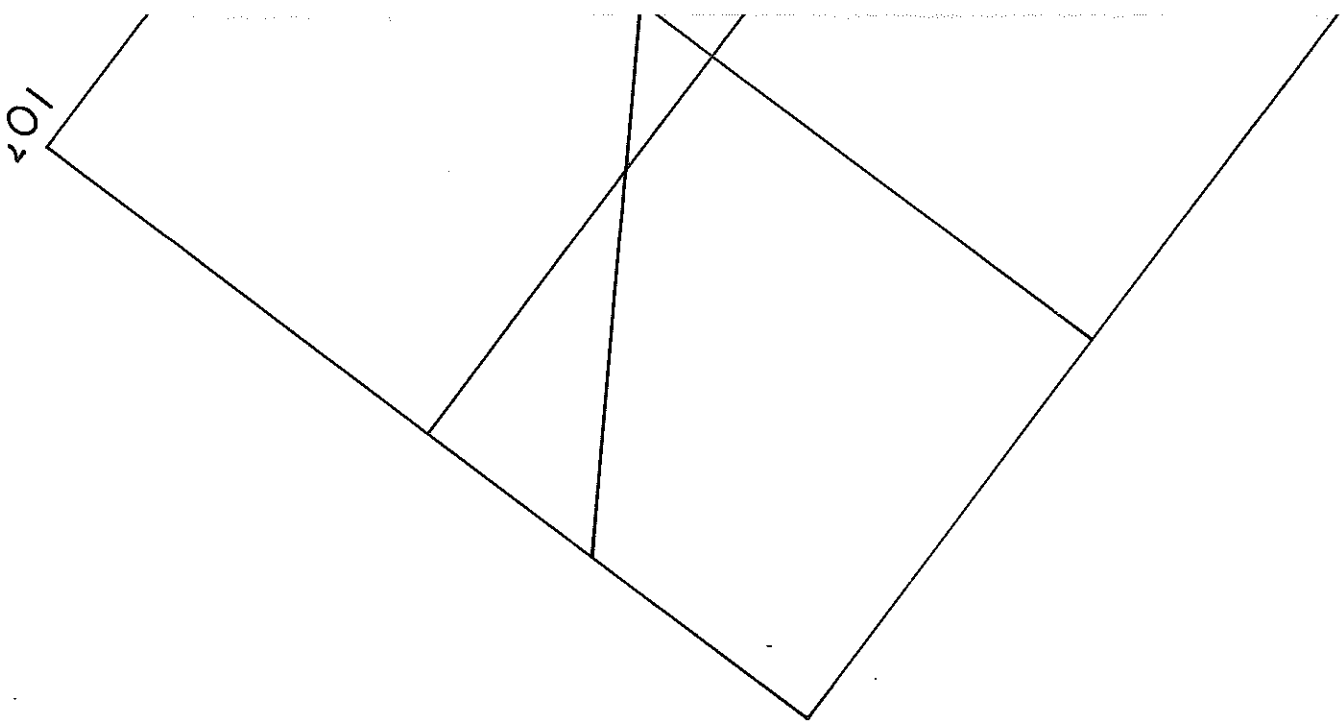




☒-2 STANDARD CURVE



F-Y top (C-type)



港湾技研資料 No. 104

1970・6

編集兼発行人 運輸省港湾技術研究所

発行所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印刷所 大洋印刷産業株式会社
東京都千代田区丸ノ内2-20

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.