



Technical Memorandum of  
The Public Works Research Institute  
Ministry of Construction

# 土 木 研 究 所 資 料

第 1 0 1 3 号

複合ダムの接合部におけるフィル堤体の安定解析

A stability Analysis of Earthembankment in the Combined Dam.

昭和50年3月

建 設 省 土 木 研 究 所

# 複合ダムの接合部におけるフィル堤体の安定解析

土木研究所 フィルダム研究室

松 本 徳 久

高 瀬 正 良

東北地建 御所ダム工事事務所

前所長 石 幡 正 留

## 目 次

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 1. は じ め に .....            | 1  |
| 2. 予 備 的 検 討 .....          | 4  |
| 3. 解 折 方 法 .....            | 7  |
| 4. 解 折 結 果 .....            | 9  |
| 5. ま と め .....              | 21 |
| 6. あ と が き .....            | 21 |
| 7. 付 録 (インプットデータの作り方) ..... | 42 |

## 1. はじめに

この報告は、昭和48年度の半ばより昭和49年度までの1年半の間に東北地方建設局の依頼により実施した御所ダムの、接合部における安定解析をまとめたものである。

御所ダムは、北上川水系右支川零石川に建設中の高さ50mのダムで、ダムの型式は右岸側がコンクリート重力式ダム、左岸側が中央コア型ロックフィルダムである。このように二型式のダムを河川中央で結合させた、いわゆる「複合ダム」の型式が採用された理由は、右岸側のダム基礎の地質が安山岩質塊岩で比較的堅硬であるのに対し、左岸側に軟質な岩手火山泥流堆積層が広く分布しているためである。

ダムおよび貯水池の諸元を表-1に、またダム標準断面図および平面図を図-1に示す。

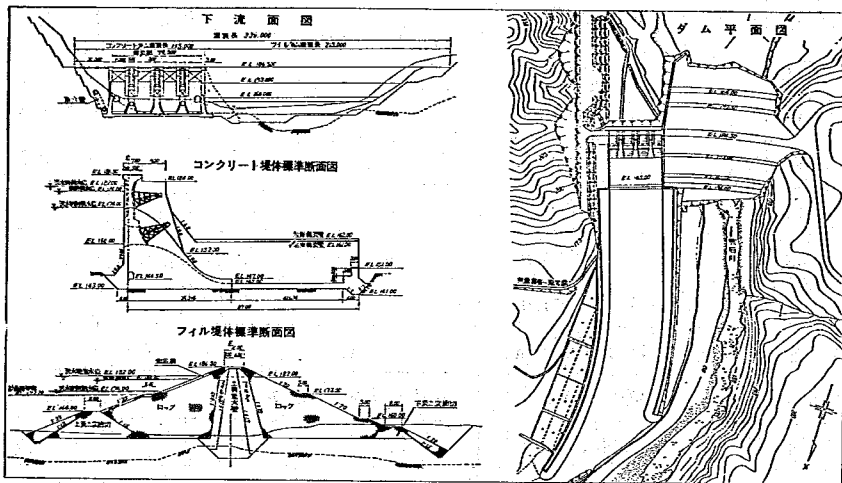


図-1 ダム平面図および標準断面図

重力ダムはほぼ河川中央でフィル堤体と接しており、上下流にセパレートウォールを持っている。セパレートウォールは、フィル堤体から受ける土圧に対して安定であるよう設計されるが、コアゾーンと接する重力ダム部分（接合部）は自分自身の安定のみならず、コア部を安定させる設計であることが要求される。

接合面の設計上の問題点としては、止水性と耐震性が主要な問題点である。まず前者について考えよう。コア材料は築堤中および築堤後自重によってある程度変形（沈下）し、これは避けられない。このとき接合面に亀裂が入ってはならないが、一般のアバットメントのコア岩着の施工の経験からは、アバットの形状について、あまりきつい勾配でないこと、勾配の変化がきつくないこと、凸部や凹部は好ましくないで適切な形状に整形することなどが言われている。これらの点はすべて複合ダムの接合面についても同様にあてはまると考えてよいだろう。またコア部自身については、良質な材料を用い施工を入念に行ない、沈下をできるだけ少なくすることは当然の望ましい措置である。接合面に沿う浸透流に対する考え方としては、浸透流路長を長くするためにコア部、

フィルター部と接合面の接する長さを長くするように重力ダムを設計した例もあり、これも有効な方法である。

表-1 御所ダム及貯水池諸元

|          |                              |             |                               |
|----------|------------------------------|-------------|-------------------------------|
| 河 川 名    | 北上川水系雫石川                     | ダ ム 名       | 御 所 ダ ム                       |
| 流 域 面 積  | 635 km <sup>2</sup>          | 位 置         | 盛岡市繫地内                        |
| 貯 水 池    |                              | 堤 頂 巾       | フィル<br>コンクリート 10.0 m<br>7.0 m |
| 湛 水 面 積  | 6.4 km <sup>2</sup>          | 堤 体 積       | フィル 約 770,000 m <sup>3</sup>  |
| 湛 水 延 長  | 8.0 km                       |             | コンクリート約180,000 m <sup>3</sup> |
| 常時満水位標高  | 180.0 m                      | コンクリート堤体法勾配 | 上流 1 : 0.06                   |
| 洪水時満水位標高 | 182.0 m                      |             | 下流 1 : 0.80                   |
| 制限水位標高   | 174.0 m                      | フィル堤体法勾配    | 上流 1 : 3.3                    |
| 低水位標高    | 172.2 m                      |             | 下流 1 : 2.5                    |
| 洪水調節水深   | 8.0 m                        | 越流設備        | クレストゲート<br>巾11.5 m高さ9 m 4 門   |
| 発電利用水深   | 7.8 m                        | 放流設備        | オリフィスゲート<br>巾5 m高さ6.5 m 3 門   |
| 総貯水容量    | 65,000,000 m <sup>3</sup>    | 地 質         | 安山岩質集塊岩<br>凝 灰                |
| 有効貯水容量   | 45,000,000 m <sup>3</sup>    | 利 水         |                               |
| 堆砂容量     | 20,000,000 m <sup>3</sup>    | かんがい        | 最大取水量 約 17 m <sup>3</sup> /s  |
| 洪水調節容量   | 40,000,000 m <sup>3</sup>    | 上水道         | 取水量 64,800 m <sup>3</sup> /日  |
| 灌漑容量     | 3,000,000 m <sup>3</sup>     | 発<br>電      | 最大有効落差 26.37 m                |
| 発電容量     | 32,700,000 m <sup>3</sup>    |             | 最大使用水量 60.0 t/s               |
|          | 洪水期 1,000,000 m <sup>3</sup> |             | 最大出力 13,000 KW                |
| 上水道容量    | 1,000,000 m <sup>3</sup>     |             | 年間有効出力 61,446 MWH             |
| 計画洪水流量   | 2,450 m <sup>3</sup> /s      | 水 没 補 償     |                               |
| 計画放流量    | 1,200 m <sup>3</sup> /s      | 家 屋         | 520 世帯                        |
| 調節流量     | 1,250 m <sup>3</sup> /s      | 宅 地         | 340,000 m <sup>2</sup>        |
| ダ ム      |                              | 田 地         | 364 ha                        |
| 型 式      | 中央コア型ロックフィル<br>コンクリート重力式複合ダム | 畑 地         | 75 ha                         |
| 堤頂標高     | 186.50 m                     | 山 林 ・ 原 野   | 172 ha                        |
| 堤 高      | 約 50 m                       | 道 路         | 19 km                         |
| 堤 頂 長    | 325 m                        |             |                               |

接合部の耐震性が懸念される理由は、重力式ダムとフィルダムの間で、固有周期が異なるために地震時において両者が相異なる挙動を示し、接合面に沿って亀裂が発生するのではないかと心配されるからである。ただし、実測によればフィル堤体が非線形の力学的性質を持ったために地震動が小さいときに異なる挙動を示していても地震動が大きくなるとフィル部が、コンクリートに追従して振動している傾向がある。地震時における接合部の応力は静的な応力と動的応力を合成したものであり、静的応力が、より安定であれば地震動を受けてもより安定である。したがって、フィル部を静的解析によって大いに安定を確保した構造に設計しておくことは動的安定性の向上にも役立つものである。

本報告では、接合面の安定性について、コア部の静的安定度と接合面の勾配の関係についてのみ問題をしばって検討した。上記に述べた如く、接合面の安定性については浸透水に対する配慮や、耐震性の問題なども、もちろん重要であるが、現在の段階で実験を除いて、限られた時間内で検討可能で、かつ最も問題の解決に有効な方法としてはこの論点であると考えたからである。

次に本報告と同じ論点に関する既往の研究について簡単にまとめることにしよう。

複合ダムの数そのものが少いので、この種の問題を直接論じたものとしては、永源寺ダムの接続部の設計に関連して以下の3文献がある。

1. 藤田他、永源寺ダムの接続部について、土とコンクリートNo 55, 1968
2. 日置 永源寺堰堤における接続部の施工 フィルダムの施工技術, 1970
3. 沢田 コンクリートダムの設計・施工上の諸問題 コンクリートダムの施工技術Ⅲ, 1972

これらの報文から設計の考え方を要約すると次のようになる。

1. アース部または、コア部を半無限弾性体と仮定し、主応力を求める。
2. C,  $\phi$ 材料においては、主応力の方向と  $45^\circ - \frac{\phi}{2}$  の角度をもった方向で安全率が最小となり、すべるとしたら、この方向にすべらう。
3. したがって主応力と  $45^\circ - \frac{\phi}{2}$  の角度で接合面を設計すれば、フィル堤体中に発生する不規則な亀裂の発生が防止されよう。
4. 以上の仮定による設計計算の結果、接合面勾配は1:0.1とする。
5. 地震時の問題がなければ、かならずしも曲面とする必要はないが、振動による沈下に対して曲面の方が自愈作用が有効と考え、アース部をかかえこむ形状とする。
6.  $\phi$ としては、コア自体の設計値が  $20^\circ$  度であるのでコンクリートとアースの接合部の摩擦角として  $20^\circ \times 2/3 = 13^\circ$  とする。

以上の主張について筆者らの検討結果を次に述べよう。

1. 接合面を最もすべり易く設計するという考え方は、適切であろうか。接合面そのものの応力だけでなく、接合面近辺の安定性を検討したい。
2. フィル材料が引張に耐えられず、フィル堤体が順次盛立施工されるという条件を計算に反映さ

せた方がよい。

そこで、上記の筆者らの検討結果を満足させる解析方法を開発し、複合ダム接合面の設計に役立てることにした。

## 2. 予備的検討

予備的検討として、まずフィル堤体を二次元弾性体と仮定して有限要素法による計算を行なった。この計算の仮定は、

1. ダム軸断面をとり出して、二次元等方性弾性体（平面歪）とする。
2. 重力式ダムとコアアの接合面の境界は固定とする。
3. 基礎は変形しない。

この計算モデルを図-2に示す。要素数は260節点数は154である。

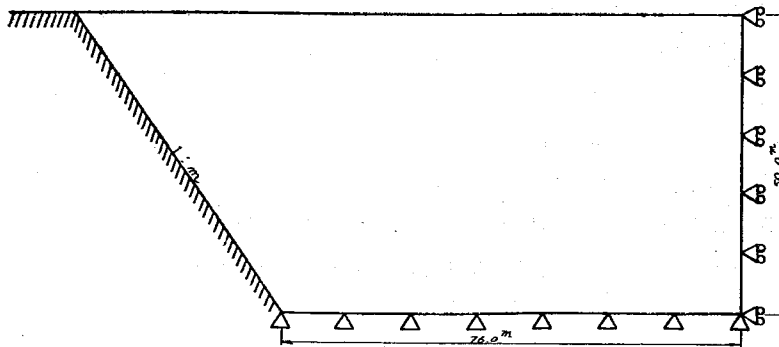


図-2 計算モデル

計算に用いた弾性定数は、 $E = 3000 \text{ t/m}^2$ ， $\nu = 0.4$  単位体積重量は  $\gamma = 2.0 \text{ t/m}^2$  である。

図-3に以上の仮定のもとに計算した主応力図を示す。（接合部付のみ示す。）図-3を見ると次のことがわかる。（単位  $\text{t/m}^2$ ，マイナスが圧縮）

1. 接合部堤頂付近で最大  $23.2 \text{ t/m}^2$  の引張応力が出ている。これは、境界部を固定にしているために自重による沈下を境界（上位標高）が引張っているからである。
2. 接合部下位標高にあっては、第1主応力の方向が、接合面とほぼ直角の向きになる。また全体にも主応力の方向が接合面と直角方向に流れており、接合面がフィル堤体の自重を受けている様子がわかる。

図-4は、図-3に対応して、いわゆる点安全率を記したものである。点安全率  $N_s$  の計算式は、

$$N_s = \frac{\sqrt{(\tau_0 + f \sigma_1)(\tau_0 + f \sigma_2)}}{\frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_2)} \quad (1)$$

ただし、 $\tau_0 = 1.0 \text{ t/m}^2$ ， $f = \tan \phi$ ， $\phi = 30^\circ$

この  $N_s$  の意味については、土木研究所資料 716 号を参照されたい。

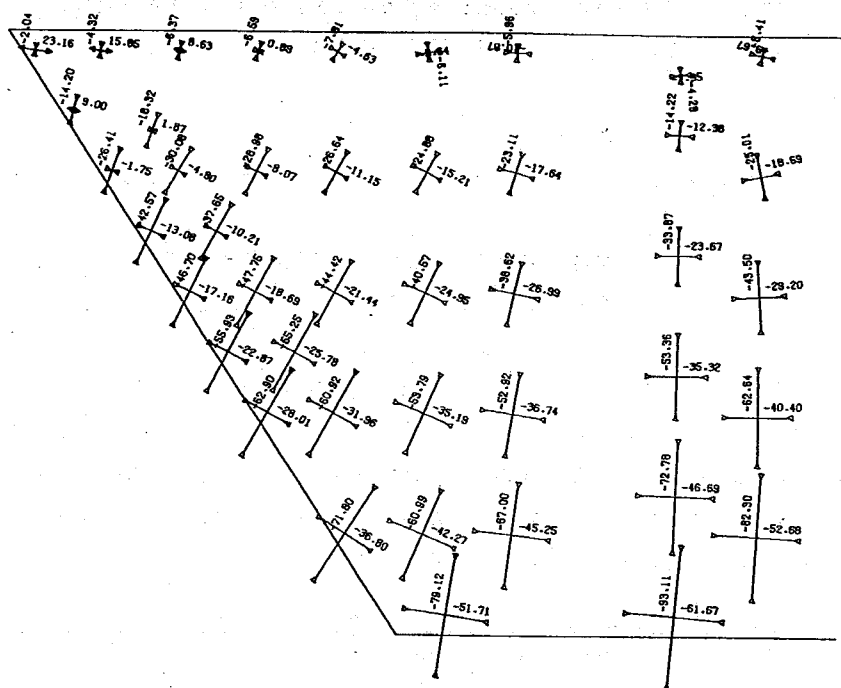


図-3 弾性計算による主応力

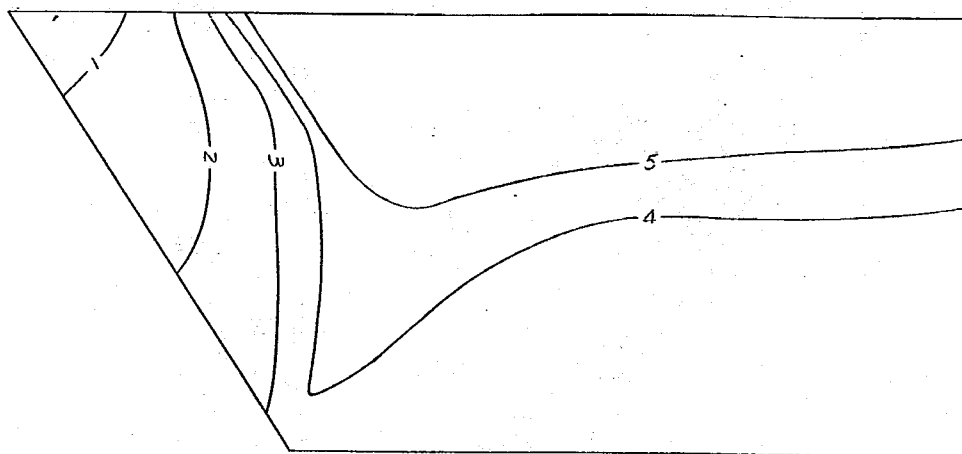


図-4 点安全率（弾性計算）

図-4を見ると、先に述べた接合部堤頂付近の引張領域で安全率が1を下回るゾーンがでている。接合面に沿って下位標高に下るにしたがって安全率が向上している。

東北地方建設局、御所ダム工事事務所では、この二次元弾性計算を接合面の各種法勾配について実施した。そのまとめによれば、

1. 法勾配が急なときには引張応力が上位標高に集中し引張応力の大きさは大きい。
  2. 法勾配が緩かになると引張応力の領域は下位標高まで拡がるが、応力の大きさは小さくなる。
- ということがわかった。

しかし同時に、この計算の限界として

1. ある大きさ以上の引張応力は亀裂を生じ、応力解放され、応力の再配分が行なわれているはずなのに、これを無視して弾性体としている。
2. コアゾーンを一体として考えているが、実際には下位標高から順次盛立てられるから、上位標高の要素はそれより下位標高の変形の影響を受けない。以上の計算はこのプロセスを無視している。

さて次に、図-3の主応力の中で引張応力を示している要素について、その引張応力の方向には、ヤング係数を0とし、応力伝達を妨げる、いわゆる No tension 法による計算を行った。6回の繰り返しで、応力の基配分を行ったときの主応力は図-5となる。接合部堤頂付近の主応力は大きく変わり、ほとんど引張応力が消えている。また第2主応力の圧縮力は増加しより安定の応力状態に移った。接合面下位標高の応力は、ほとんど変わっていない。

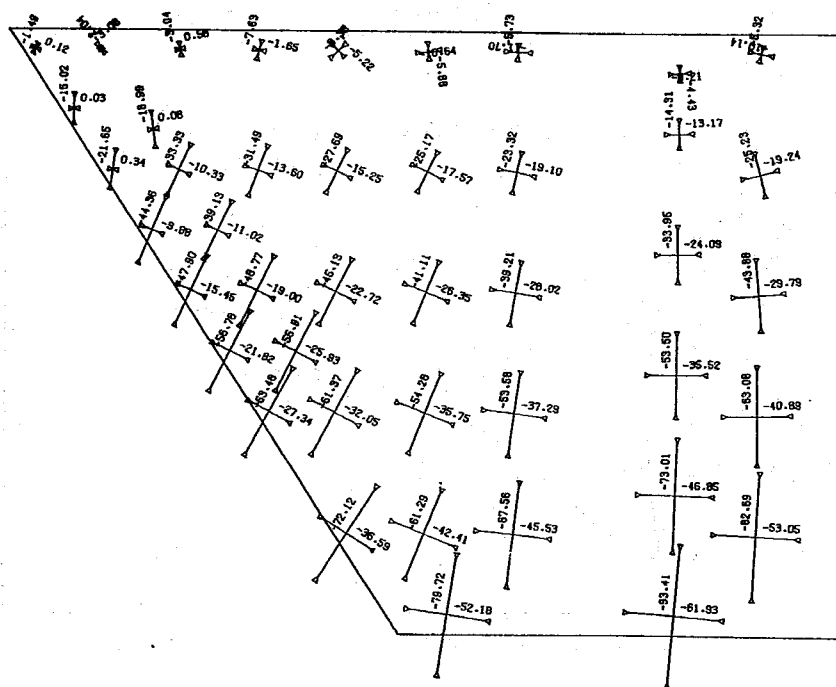


図-5 No Tension 法による主応力

図-5に対応した点安全率を図-6に示す。堤頂付近の安全率が増加し、1以下の領域は存在しない。中位標高部が2を下回り、相対的に弱い領域となっている。ただし、このNo Tension 計算

は、コア材が引張応力に耐えられないという物性を反映しているが、盛立順序を考慮していないので、次にこの点を改良することにした。

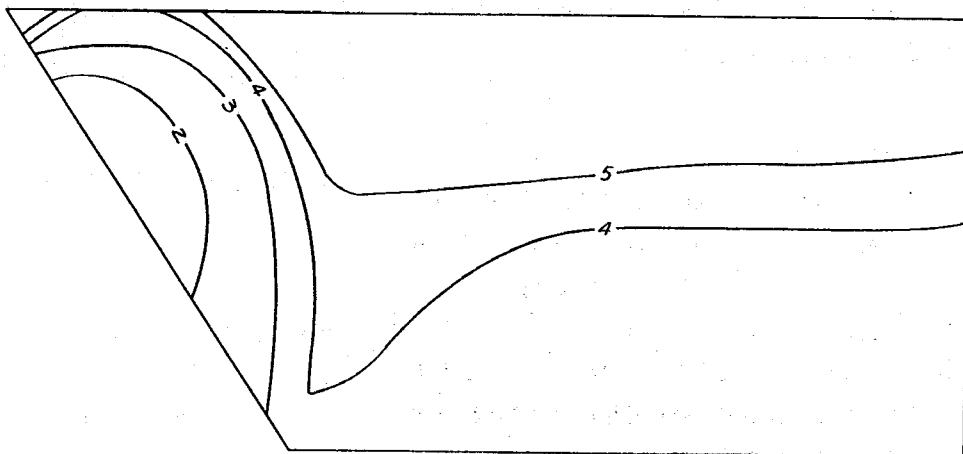


図-6 点安全率 (No Tension 法)

### 3. 解析方法

以上の予備的検討の結果、(A)盛立過程を考慮し、(B)引張応力を解放する解析が必要となった。

#### (A) 盛立過程の模型

フィル部の盛立過程を力学的に表現すると、

1. 第1層を基盤に乗せる。第1層には自重による応力と歪が発生し変形する。しかし、圧密を無視すれば、変形が終了した時点で歪と変形は問題でなくなり、自重による応力のみわかっていればよい。
2. 次に第2層を第1層の上に盛立てる。第2層は第1層に対して荷重として作用するので第1層は、1の自重による応力に加えて第2層の荷重応力が加わった状態になる。第2層の応力は、1の第1層に似た応力にある。
3. 以上を繰り返す。

実際のフィルダムの薄層まき出し転圧を考えると、厳密には上記と異なるが、計算の便宜のため上記のプロセスを仮定し、各層を弾性体要素としよう。

ある簡単な境界条件の場合には、上記のプロセスの結果得られた応力と一回の弾性計算の結果得られた応力とはほとんど差がない。しかし、接合部の計算のように、ある種の境界条件の場合には、盛立過程を考慮するかしないかで結果に差がでる。

図-7を参照して、簡単な例で考えよう。

いま、Eという弾性体があったとしよう。いまこれを(a)のように一体で支えたときと、(b)のように、EをE<sub>1</sub>とE<sub>2</sub>に2等分割し、まずE<sub>1</sub>を支え（このときの変形は微小とする）、次にE<sub>2</sub>

を  $E_1$  の上に乗せたとき、両者の A 点の応力は異なるのである。(b) の場合、A 点は  $E_1$  の自重の影響を全く受けないので、(a) の場合の約 1/2 になっているはずである。(ただし  $E_1$  と  $E_2$  の接触条件によって(b)における A 点の応力は大きく異なる)

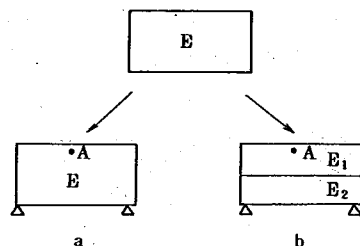


図-7 載荷順序による応力の差

## (B) 引張応力の解放

フィル部の材料の降伏条件としては、引張応力の解放のみを問題にしてきたが、これだけでは不十分であることは言うまでもない。しかし、実際に計算を実行

してみると、圧縮領域はすべてモールクーロンの破壊基準で判断すると、安全領域となることがわかったので、これで実用上大きな誤りはないと考えた。

さて、(A)、(B)を合成して複合部計算における解析方法をまとめてみよう。図-8 の計算ステージに基づいて具体的手順を示す。

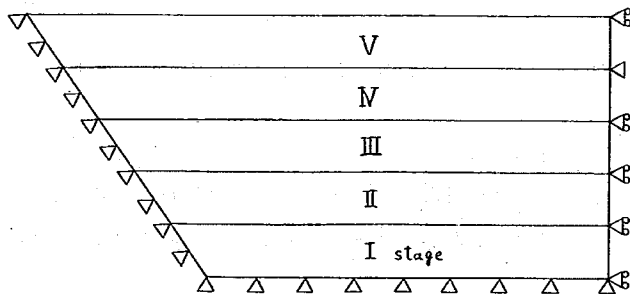


図-8 計 算 ス テ ー ジ

1. まず第1ステージのみを弾性計算する。
2. この結果、破壊引張力  $\sigma_T$  以上の応力がでていればその主応力方向には応力は伝わらない（剛性 = 0）と仮定し再計算する。
3. 2を繰り返し収束するまで行なう。収束したときの応力状態を  $\sigma_I(I)$  とする。（ここまでは、いわゆる No Tension 法）
4. 次にIステージの上に、IIステージの要素を追加し、荷重としてはIIステージの自重のみを考慮し、弾性計算をする。これで得られたI、II各ステージの応力をそれぞれ、 $\sigma_I(II)$ 、 $\sigma_{II}(II)$  とする。
5. Iステージについては、 $\sigma_I(I) + \sigma_{II}(II)$ 、IIステージについては、 $\sigma_{II}(II)$ で破壊条件に対してYES、

NOの判断をする。破壊していれば、2と同様、引張主応力方向の剛性を0として、4の再計算を行ない、新しい $\sigma'_I(III)$ ,  $\sigma'_H(III)$ を求め、判断は前と同様に、 $\sigma'_I(I) + \sigma'_I(III)$ ,  $\sigma'_H(III)$ に関して行なう。これを収束まで繰り返す。

すなわち、盛立てという性質上、たとえばIIステージの要素は、Iステージの自重と無関係であり、IステージとしてはIステージだけで安定した応力分は、一定不変で、新たに加わったIIステージ以上の自重による応力が、IIステージを通じてこれに重ね合わされるとしたものである。

#### 4. 解析結果

まず、計算ケースを表-2に示す。法勾配を1:0.2から1:1.0まで変え、1:0.70については、テラ勾配と逆テラ勾配の曲面の接合部（ダム軸断面で）も計算してみた。

材料の物性値は表-3に示す。

表-2 計 算 ケ ー ス

| 計算ケース | 勾 配        | 注         |
|-------|------------|-----------|
| 1     | 1 : 0.2    |           |
| 2     | 1 : 0.4    |           |
| 3     | 1 : 0.6    |           |
| 4     | 1 : 0.65   |           |
| 5     | 1 : 0.7 NC | 曲面（テラ勾配）  |
| 6     | 1 : 0.7 RC | 曲面（逆テラ勾配） |
| 7     | 1 : 0.8    |           |
| 8     | 1 : 1.0    |           |

表-3 物 性 値

| ヤング係数 E                | ポアソン比 $\nu$ | 粘 着 力 C             | 摩 擦 角 $\phi$ |
|------------------------|-------------|---------------------|--------------|
| 3,000 t/m <sup>2</sup> | 0.4         | 10 t/m <sup>2</sup> | 30°          |

まずはじめにケース4について、3.解析方法の項で述べた過程をたどってみよう。（図-9参照）

Iステージでは破壊引張応力を越えるものがなかったので、1回だけの計算でよい。しかし、IIステージからは引張応力が発生し、収束計算を要している。最終のVステージでは、3回繰り返しの結果収束した。これに対応して、各ステージの最終結果についての安全率を図-10に示す。Iステージでは盛立標高がまだ低いために、安全率はすべて7以上ある。IIステージから接合面付近にやや相対的に、安全率の低い領域が現われるが、すべて2.5以上ある。最終Vステージでは安全率2.5をやや下回る（ただし2.0以上）1:0.65領域が接合面に沿って現われるが、堤頂部付近

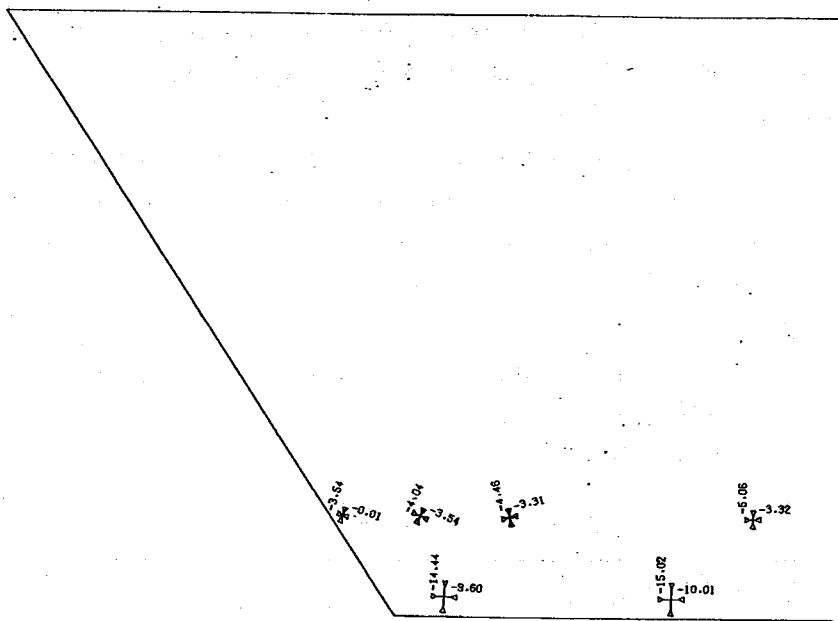


図 9 - 1 I ステージ

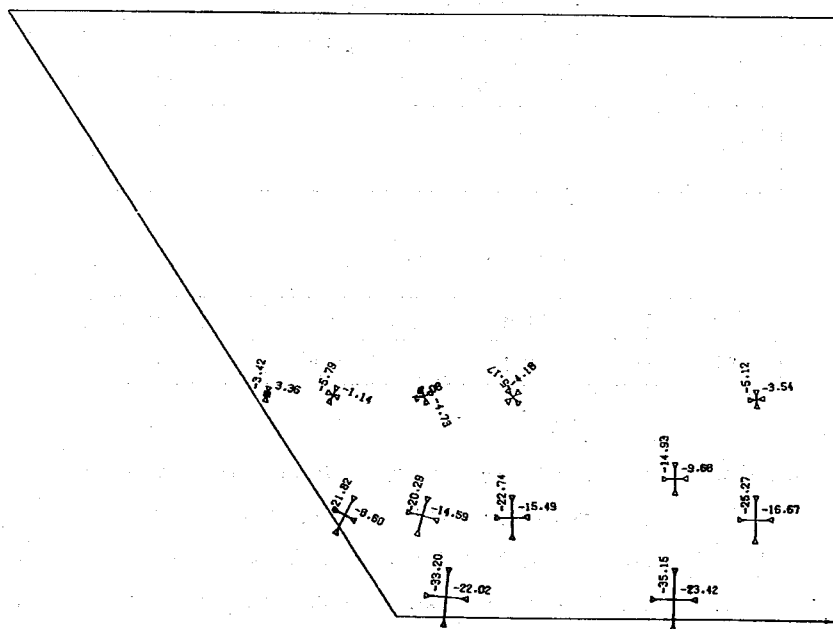


図 9 - 2 II ステージ(1)

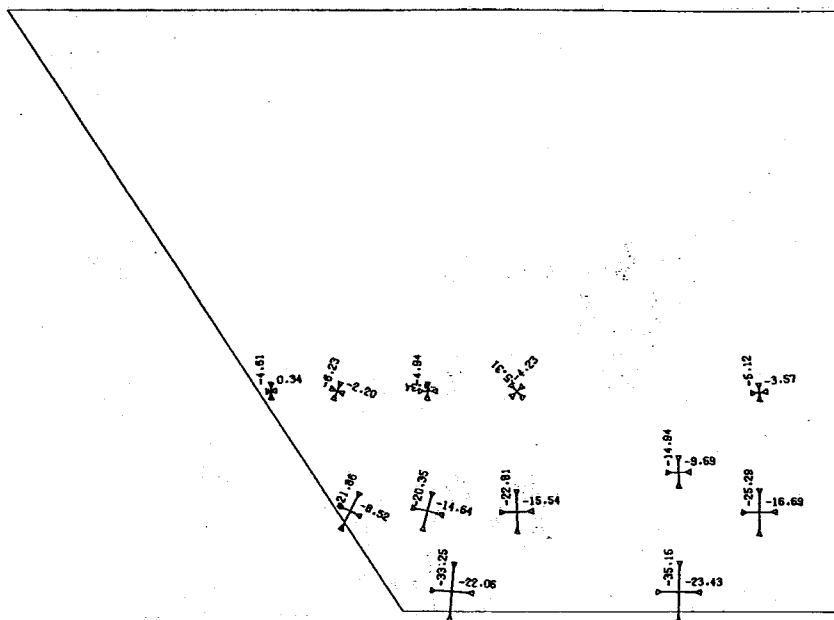


図 9 - 3 II ステージ(2)

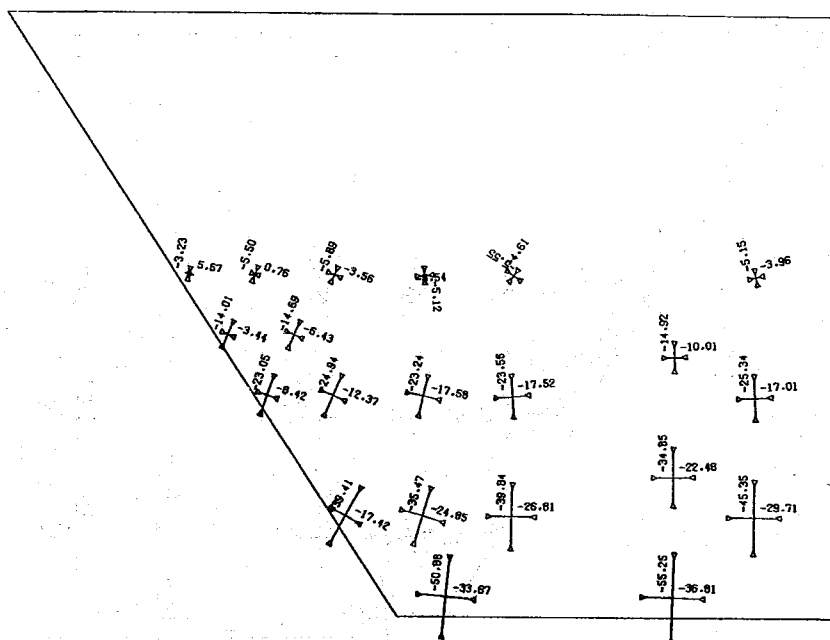


図 9 - 4 III ステージ(1)

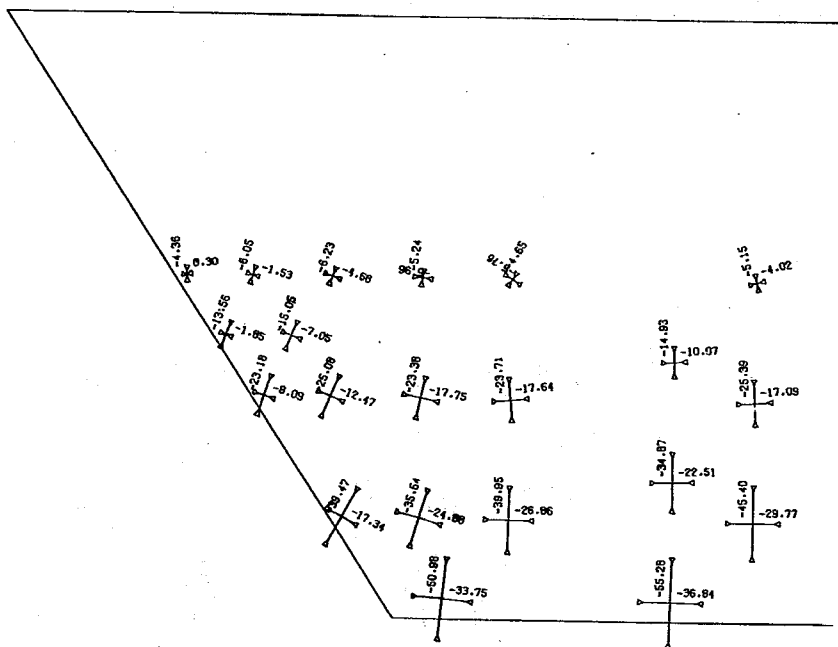


図 9 - 5 III ステージ(2)

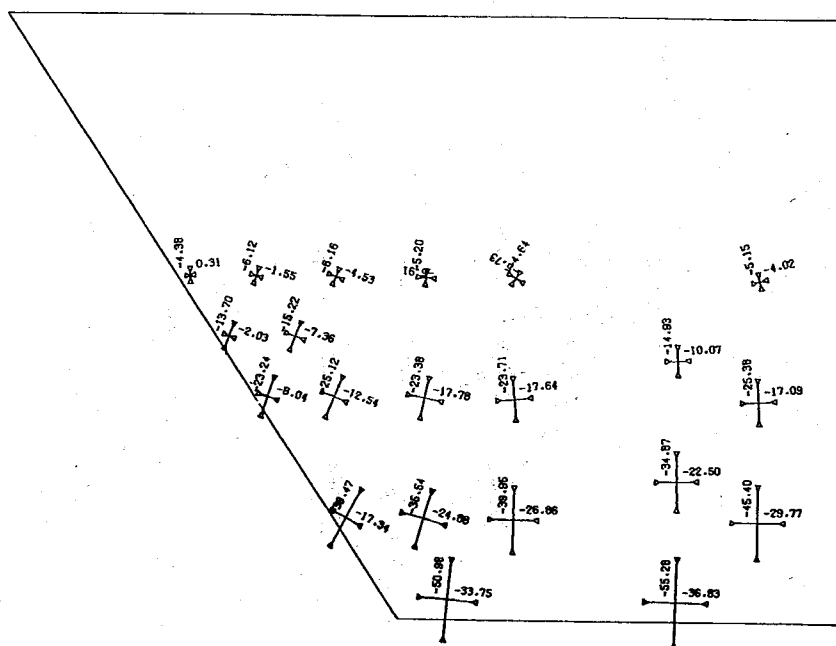


図 9 - 6 III ステージ(3)

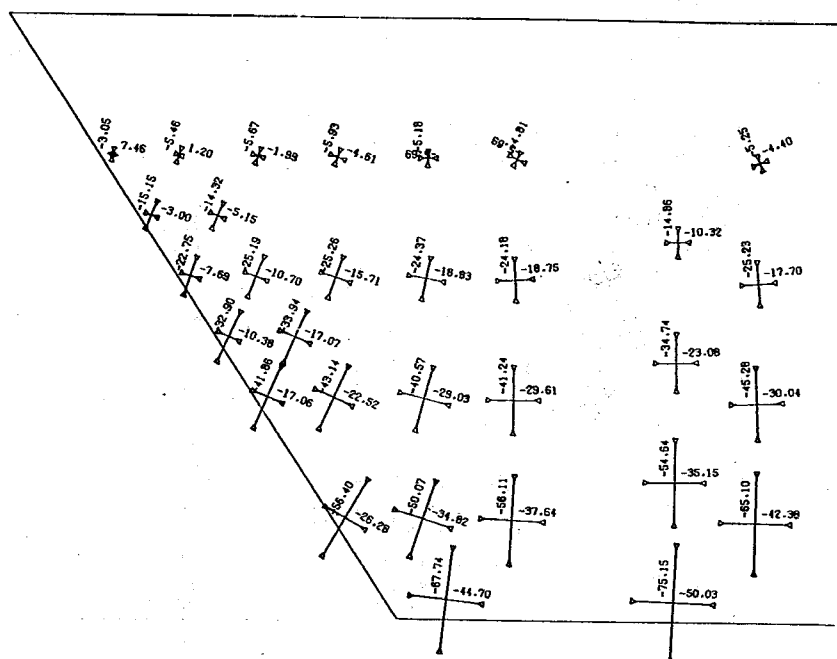


図 9-7 IV ステージ(1)

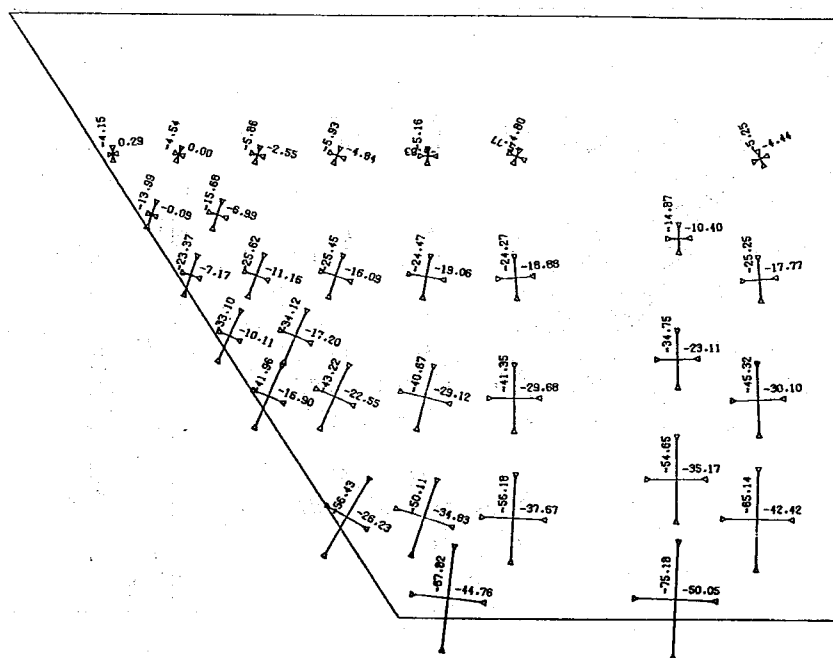
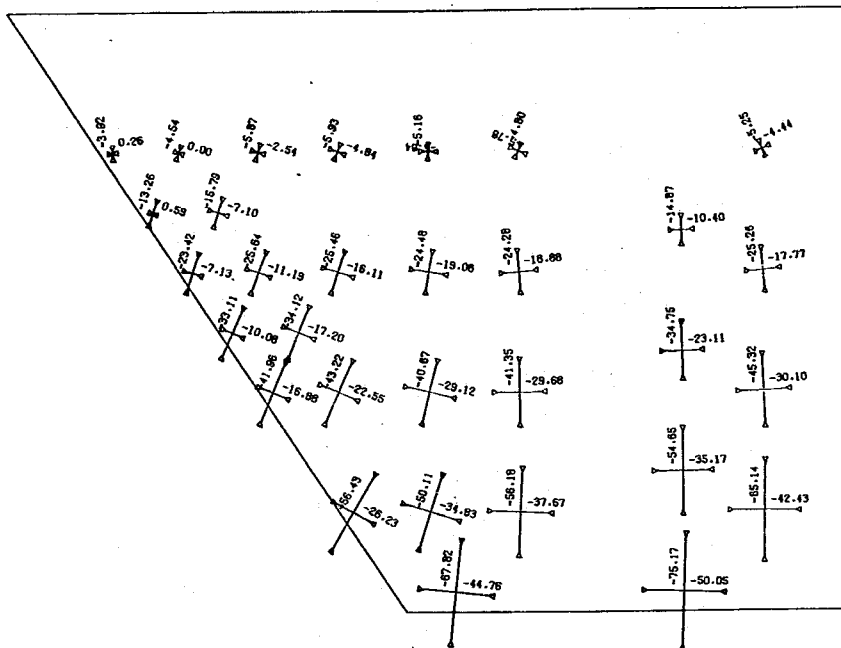


図 9 - 8 IV ステージ(2)



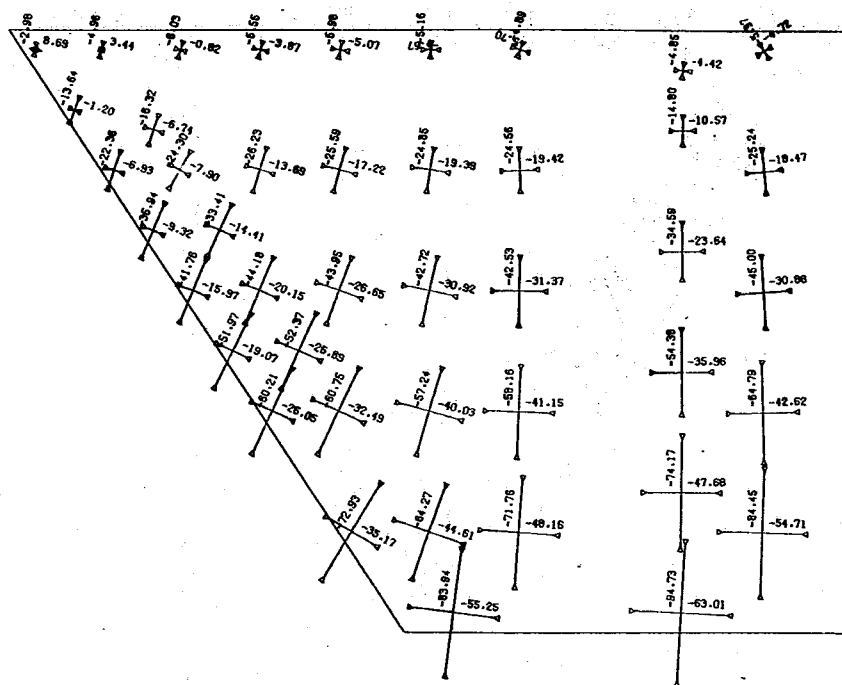


図 9 - 11 V ステージ(1)

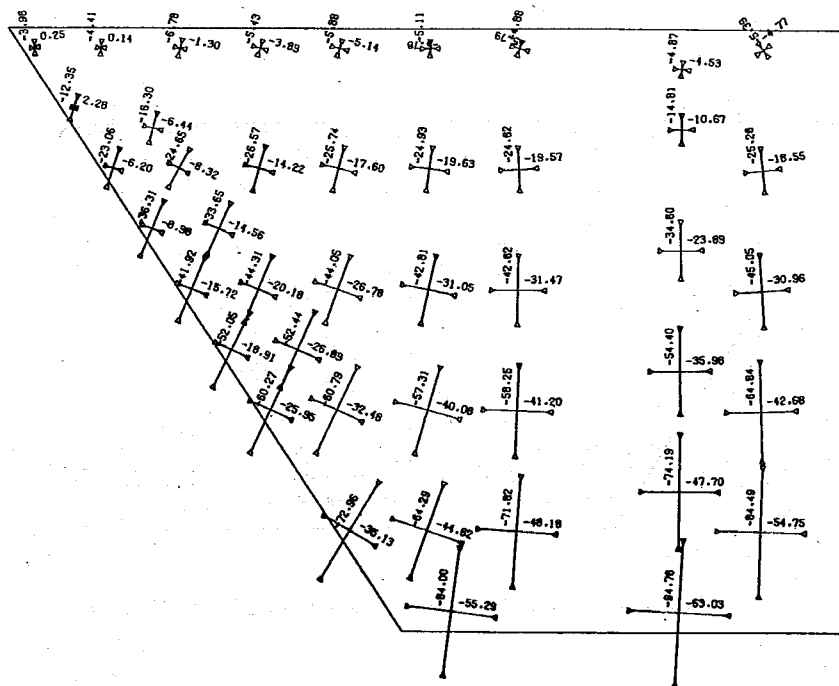


図 9 - 12 V ステージ(2)



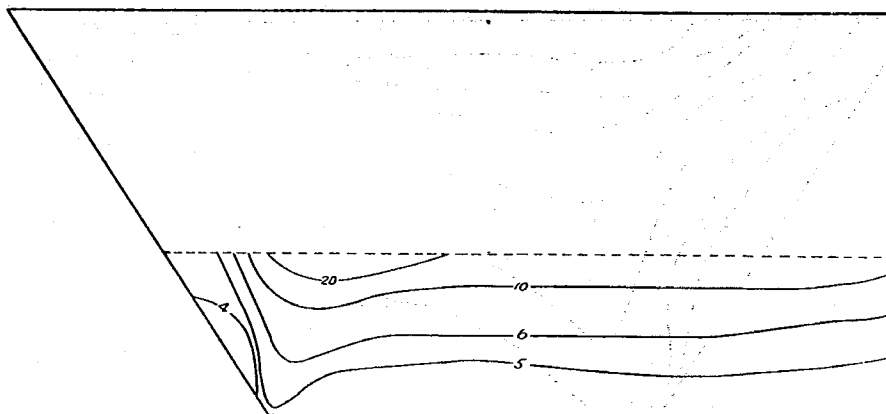


図 10-2  $H = 20 \text{ m}$  のとき

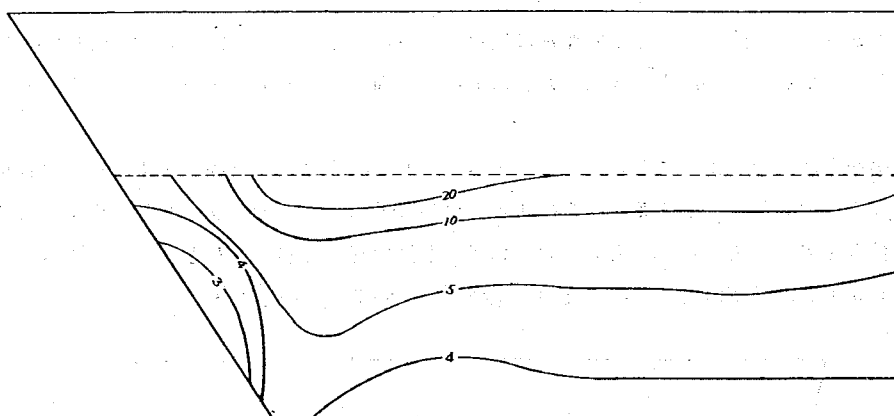


図 10-3  $H = 30 \text{ m}$  のとき

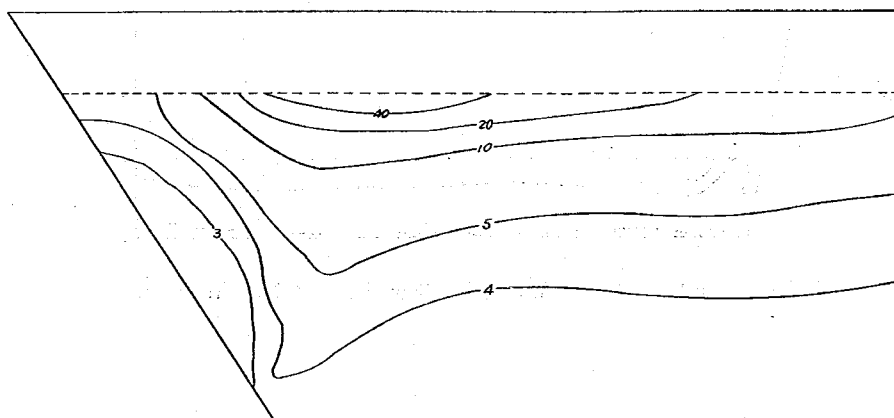


図 10-4  $H = 40 \text{ m}$  のとき

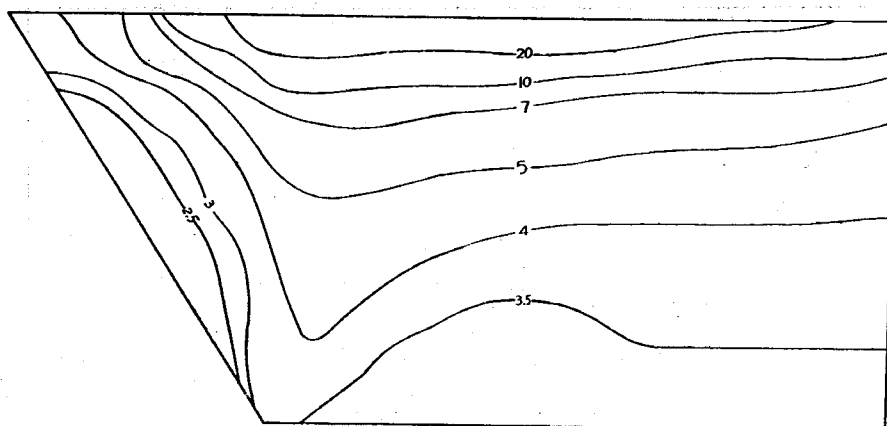


図10-5 H=50mのとき

は3.5～4.0あり，弾性計算と違って非常に安定している。図-10と図-6を比較してみると，盛立過程を考慮すると，No Tension 計算以上に接合面近辺の安全率が増加していることがわかる。

同様の過程を法勾配が急であるときに（ケース-1）見てみよう。（図-11）この場合Ⅲステージ目から安全率が2.0以下の領域が発生する。最終のⅤステージでも安全率2.5以下の領域が接合面堤頂付近まで達しており，急勾配の場合には，中位標高まで盛立てたときからやや不安定になり，最終盛立後なお堤頂盛立付近に安全率の低い領域が残ることを示している。

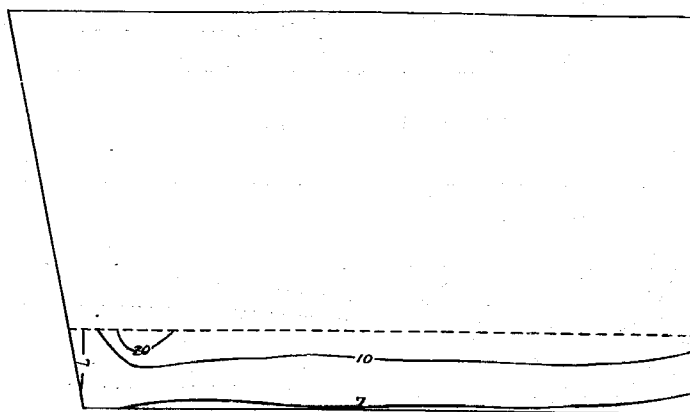


図-11-1 1:0.2勾配の場合の安全率と盛立高H (H=10m)

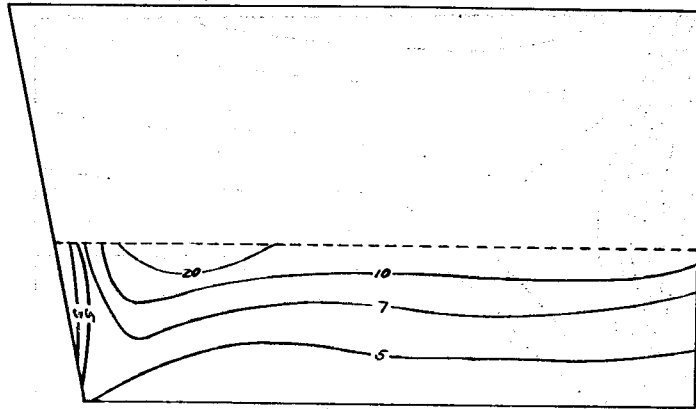


図 11-2  $H=20$  m のとき

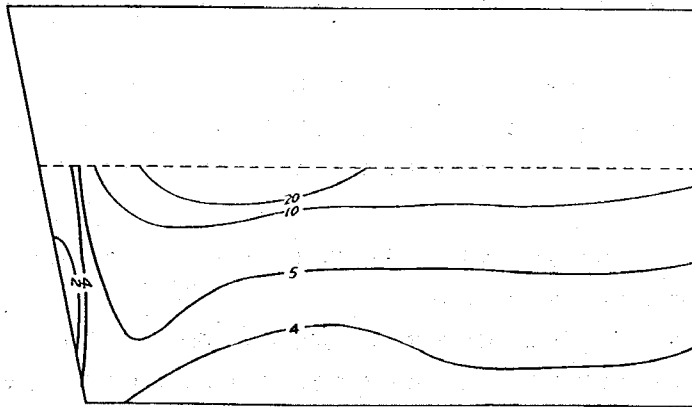


図 11-3  $H=30$  m のとき

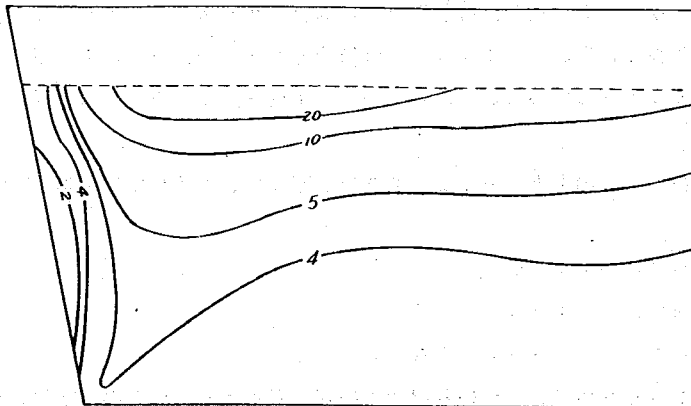


図 11-4  $H=40$  m のとき

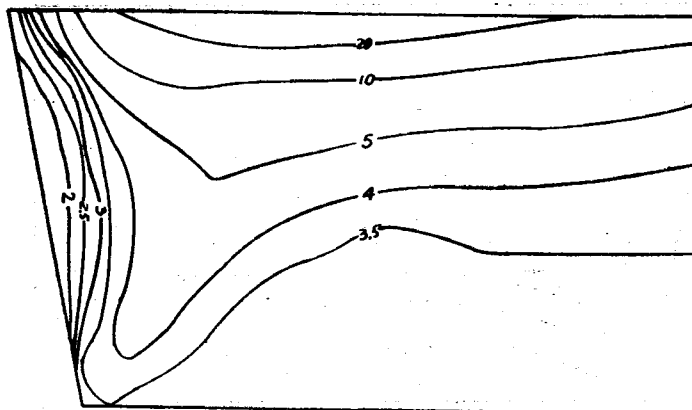


図11-5 H=50 mのとき

図-12~18は、ケース1とケース4を除く各計算ケースの主応力図である。(要素応力、節点応力)

1 : 0.2のように接合面の勾配がきついときには、接合面下位標高での第1主応力が、勾配がゆるいときに比べて小さく、しかも第1主応力の方向は接合面と $45^\circ$ に近い向きになる。

図-19~24は、ケース1とケース4を除く各計算ケースに対する点安全率図である。これらの図の特徴を列記しよう。

1. 接合面の勾配が1 : 0.6より急であるときには、安全率が2以下(1.5以上)の領域ができる。その領域の面積は急であるときほど大きい。
2. 接合面の勾配が1 : 0.65より緩かになると、安全率は最低2は確保される。1と同様に安全率2.0~2.5の面積は1 : 1.0から1 : 0.65に急な勾配になるにしたがって大となっている。
3. 接合面の底から鉛直線を立てこれを境に接合面と反対側のフィル部の安全率は3.5以上あり、接合面の勾配にあまり関係しない。
4. ケース5およびケース6の接合面を曲面とした場合、ケース5のテラ勾配では、安全率2以下の領域がやや上位標高に現われ、1 : 0.7の直線接合面の場合より安定上おちる。ケース6の逆テラ勾配では、安全率2以下の領域があるものの、下位標高であり、堤頂付近の安全率はかなり高い。
5. 表-3の物性値の条件のもとで安全率を2.0以上確保できる接合面勾配は、ダム高Hと密接な関係にあり、

H = 30 mでは 1 : 0.2

H = 40 mでは 1 : 0.6

H = 50 mでは 1 : 0.65 となる。

すなわちH = 30 mまでは、きつい勾配でよいが、H = 40 m以上のときは、徐々にゆるやかな勾配にしなければならない。

## 5. ま と め

本報告書では、複合ダムフィル堤体の安定性について、次のような仮定の下で検討した。

1. 静的な自重応力を受けるフィル堤体を二次元化し、フィル堤体の盛立施工ならびに、フィル材料が引張に耐えられないという条件で応力を求める。この応力に対し、点安全率を求める。
2. 地震時応力、浸透流の作用、三次元的応力、圧密については考慮していない。

その結果得られた事柄は、

1. 接合面の勾配は緩い方がフィル堤体は安定である。同じ条件のもとで比較すると、ダム高が高くなるにつれて勾配を緩くしてやらないと同じ安全率がとれない。点安全率2以上を確保することを目安とすると、50mの御所ダムでは、1:0.65付近が適当であろう。
2. 接合面を曲げる（ダム軸断面内で）ことは得策ではない。特にテラ勾配は好ましくない。

## 6. あ と が き

この研究は、昭和48年8月、飯田（土研ダム部長）、松本が御所ダムに出張し、石幡所長（当時）ら現場責任者と御所ダム接合部の設計について議論したことを機に開始した。

しかるに、この研究の生みの親である石幡所長が昭和49年5月殉職されたことはまことに遺憾であった。

謹しんで氏のご冥福を祈る。

昭和50年3月

松 本 徳 久

高 瀬 正 良

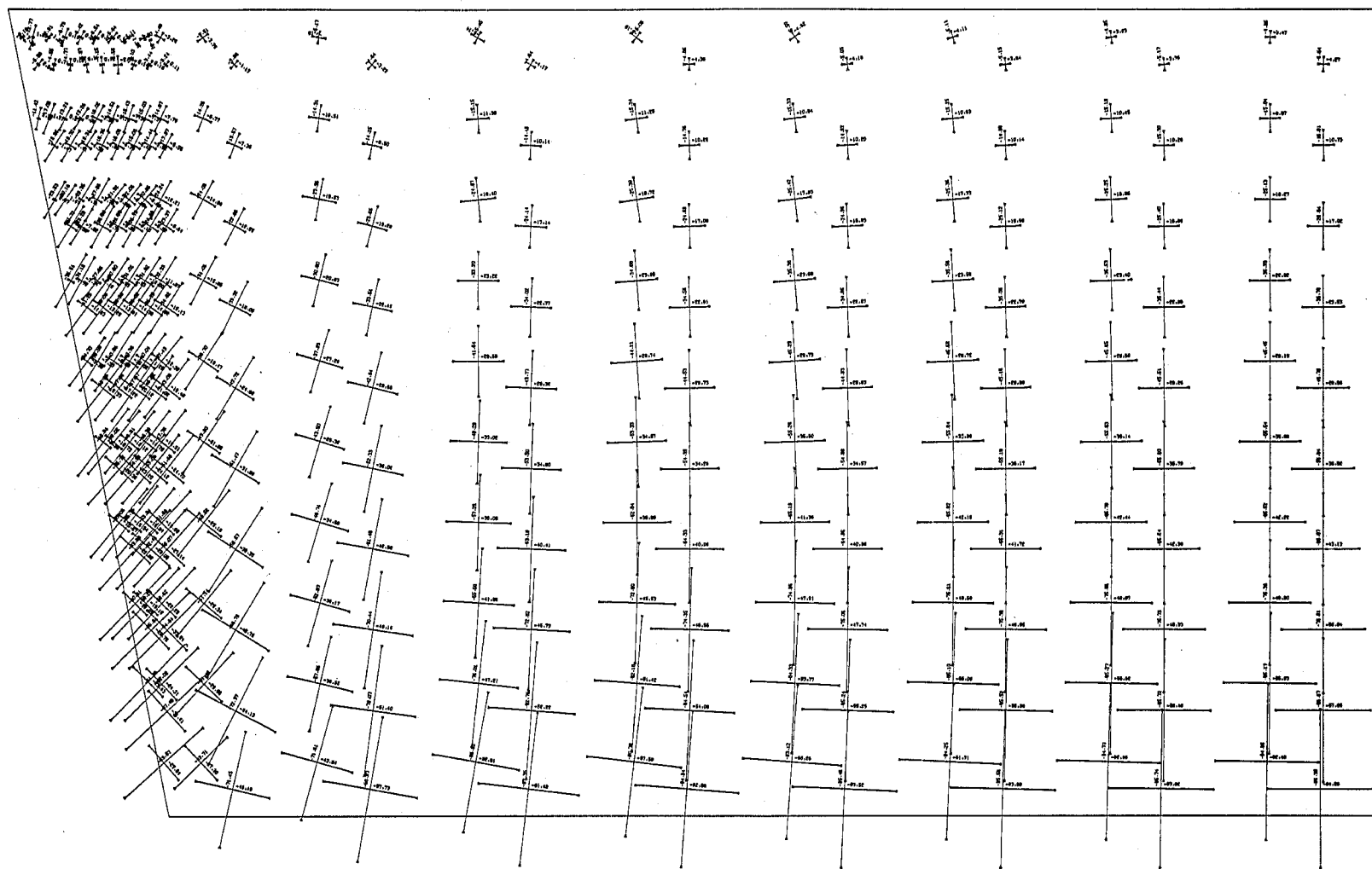


图-12-1 1:0.2 勾配主応力 (要素)

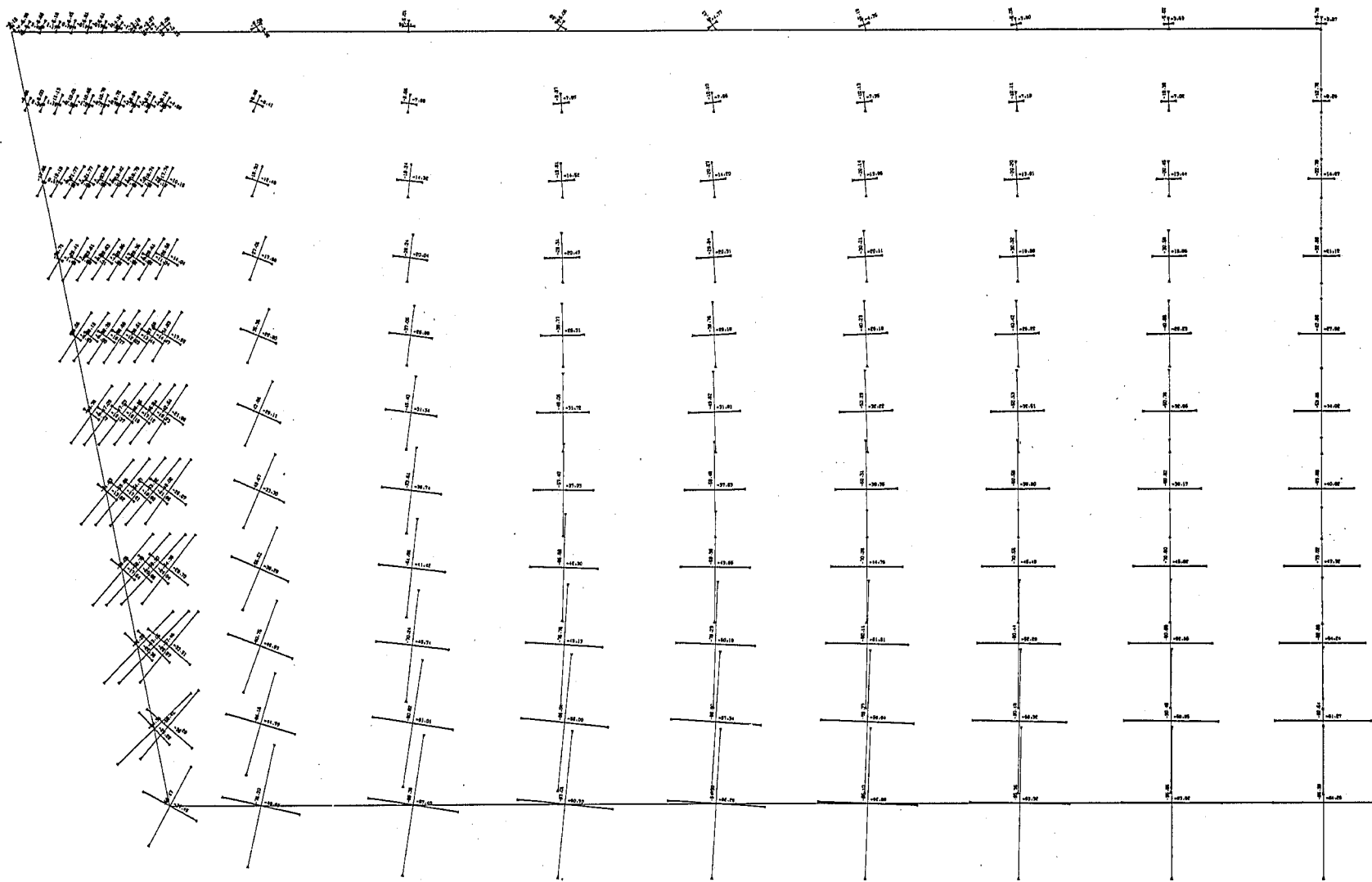


图-12-2 1:0.2 勾配主応力 (節点)

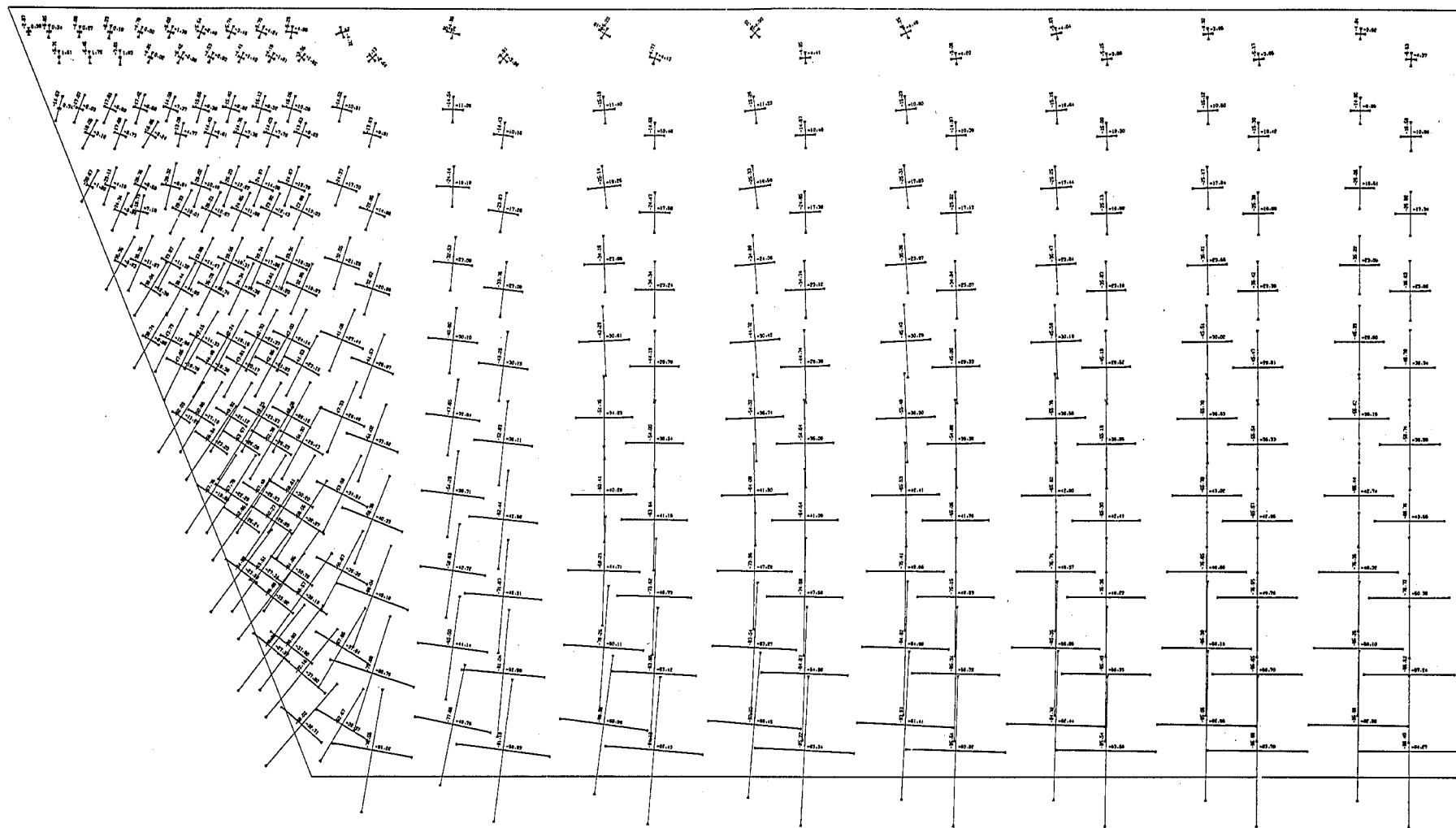


图-13-1 1:0.4 勾配主応力 (要素)

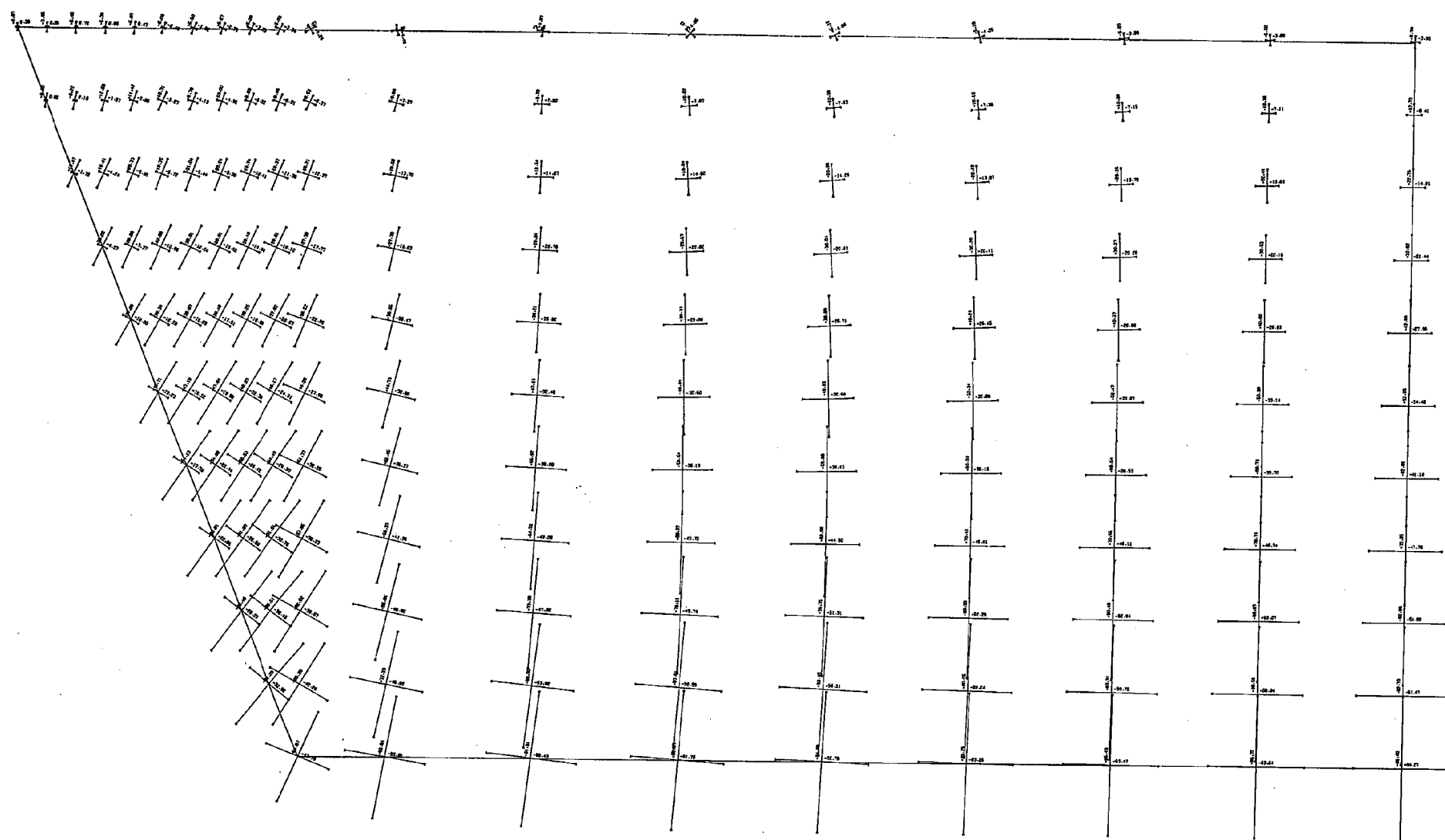


图-13-2 1:0.4 勾配主応力 (節点)

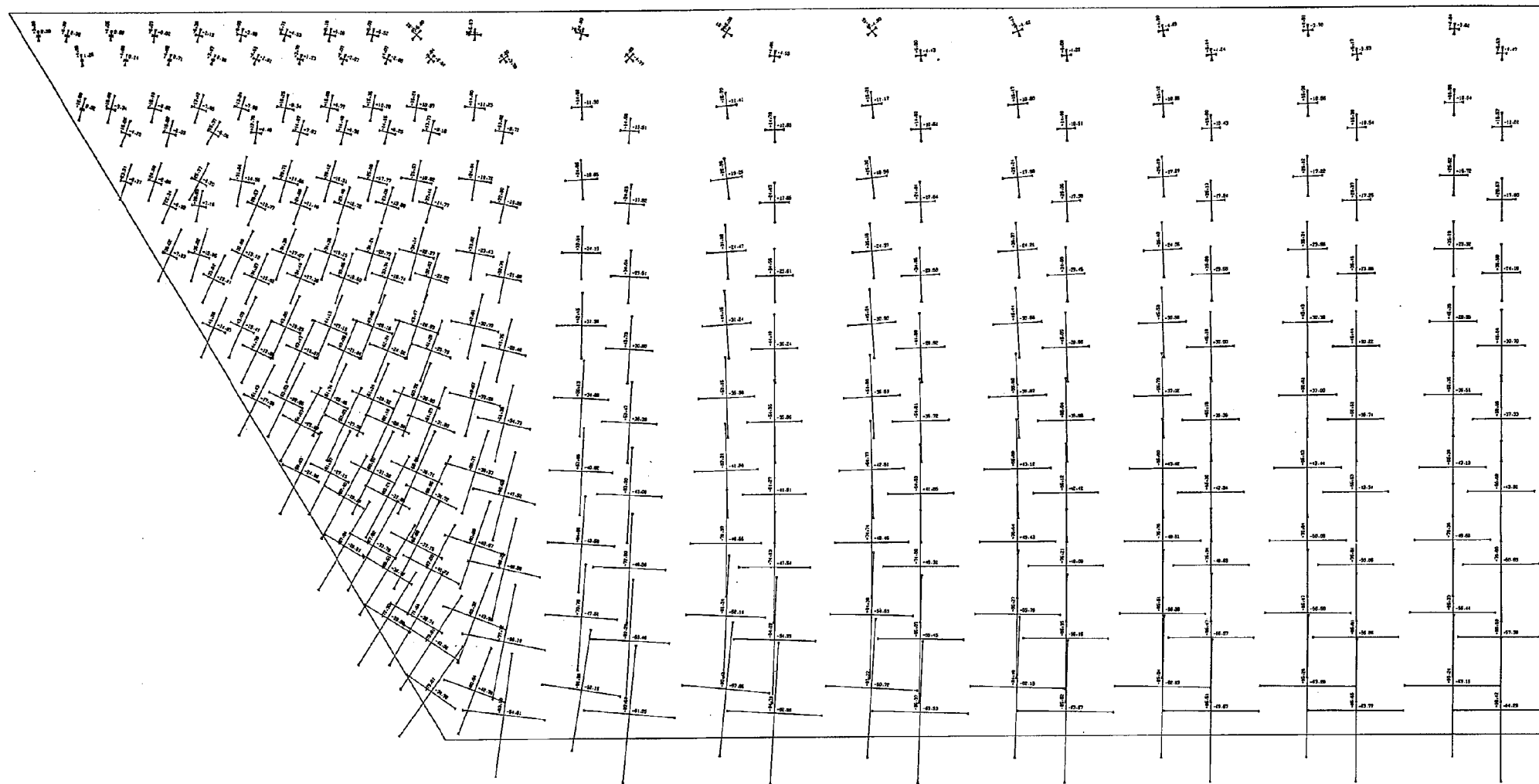


图-14-1 1:0.6 勾配主応力 (要素)

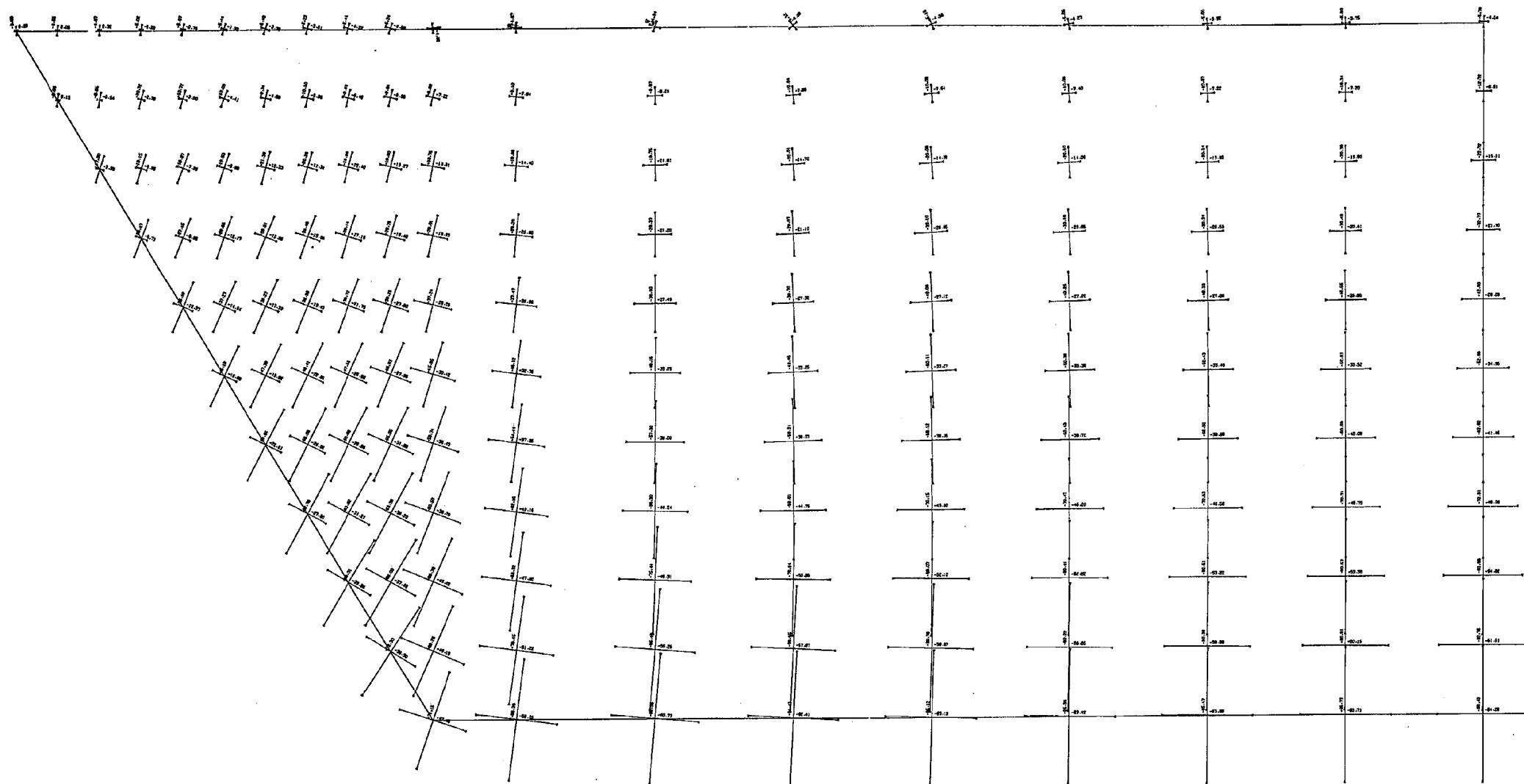


图-14-2 1:0.6 勾配主应力 (節点)

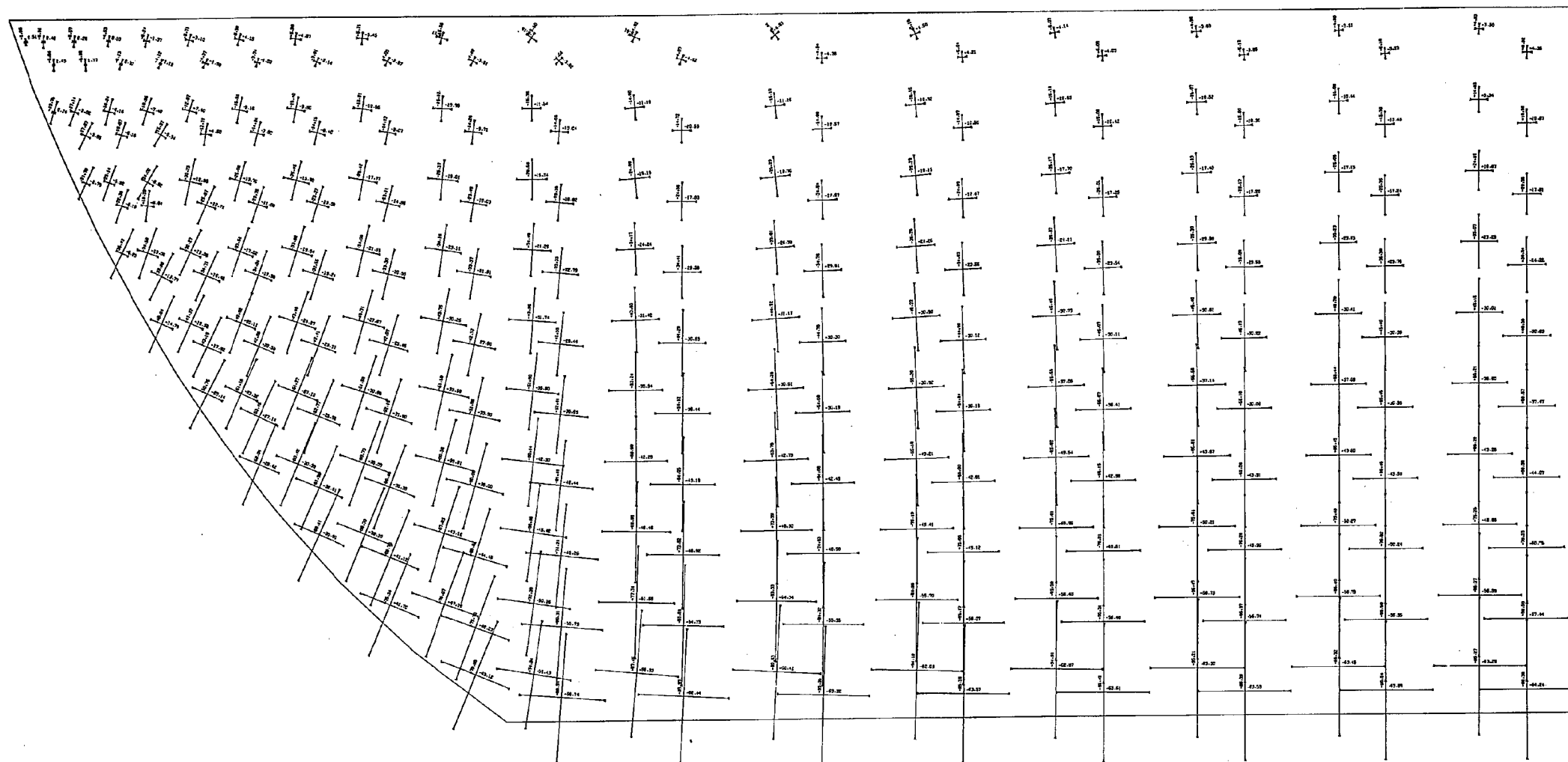


図-15-1 テラ勾配主応力 (要素)

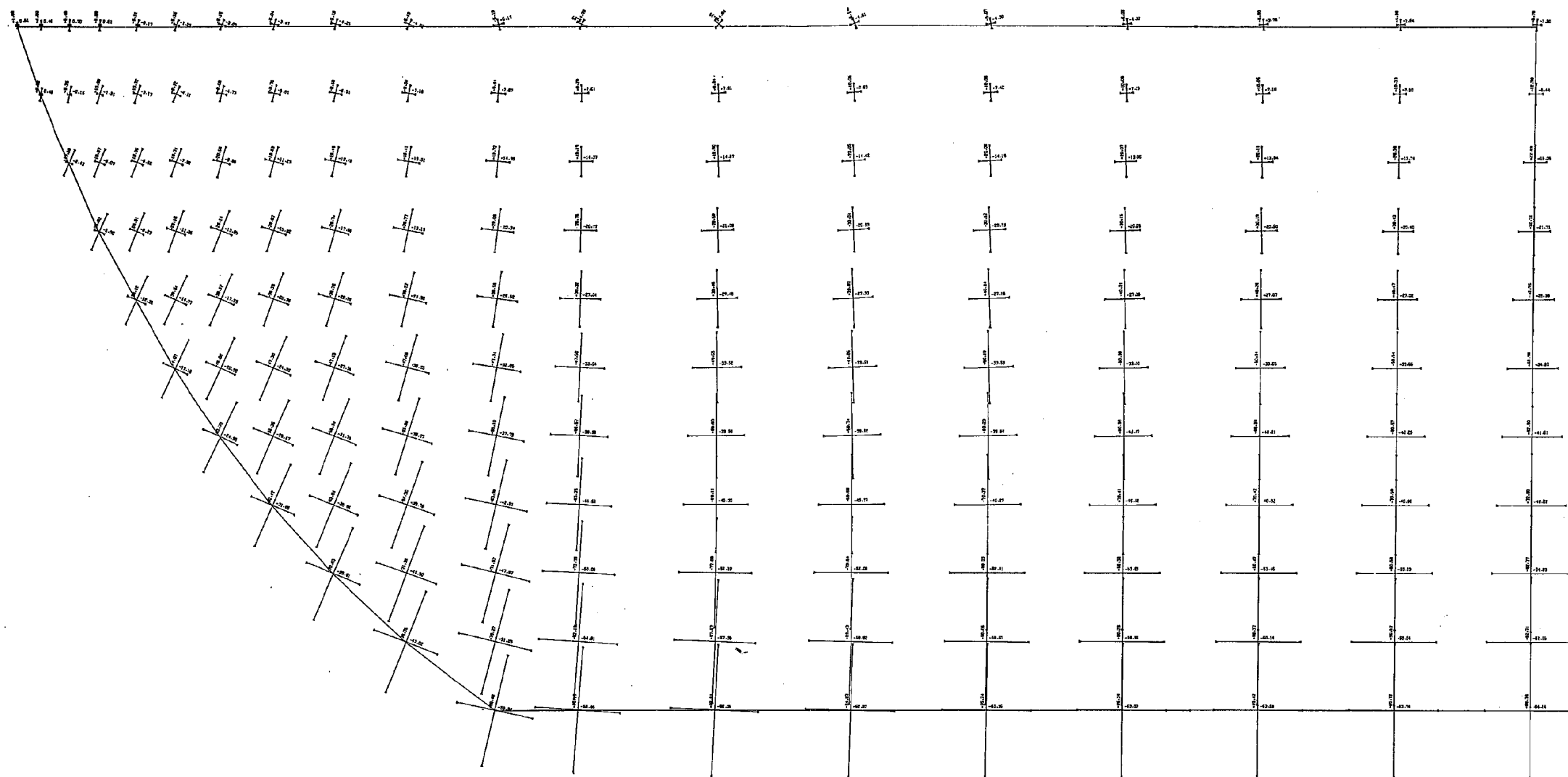


図-15-2 テラ勾配主応力(節点)

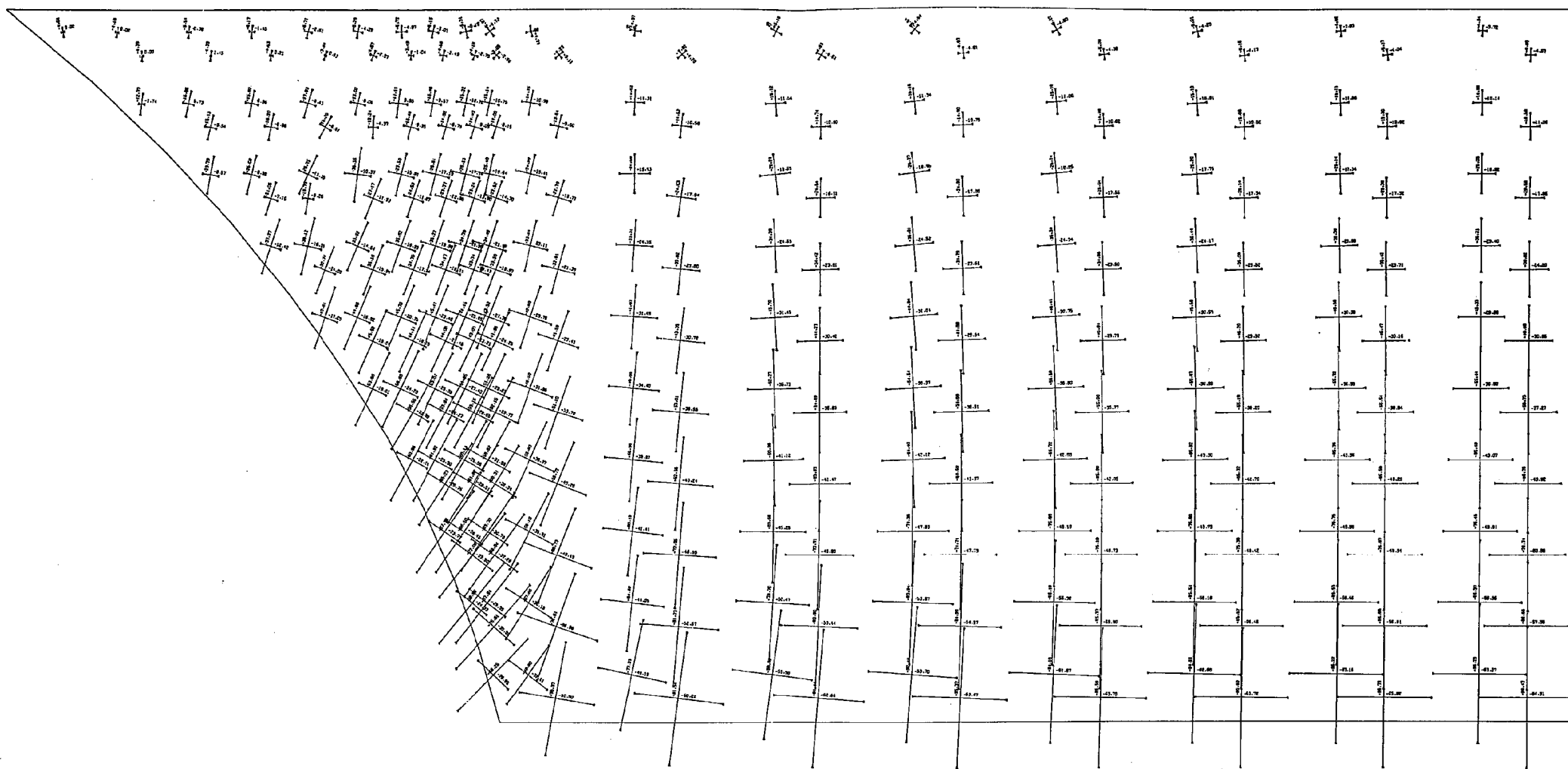


図-16-1 逆テラ勾配主筋力 (要素)

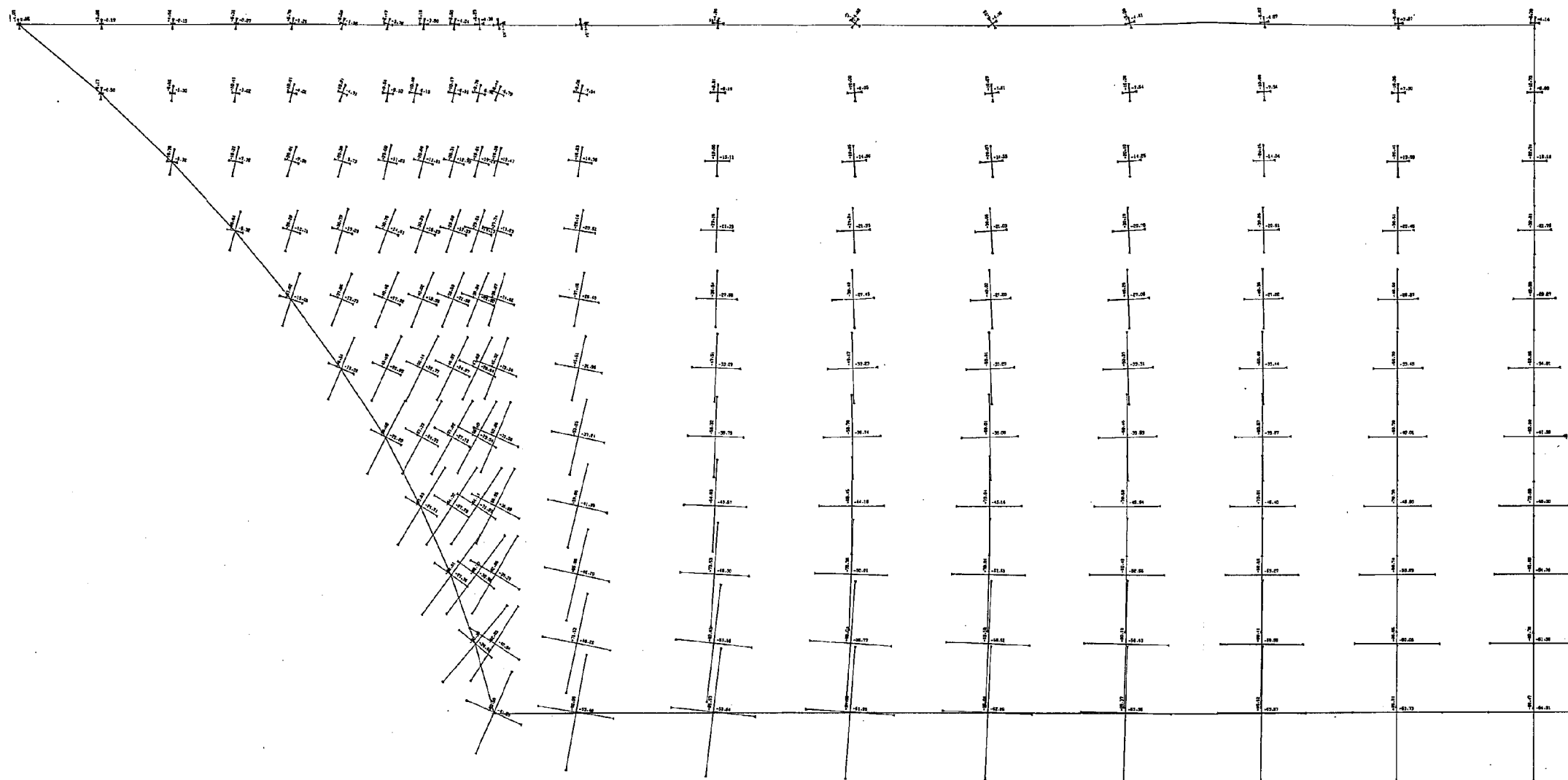


図-16-2 逆テラ勾配主応力 (節点)

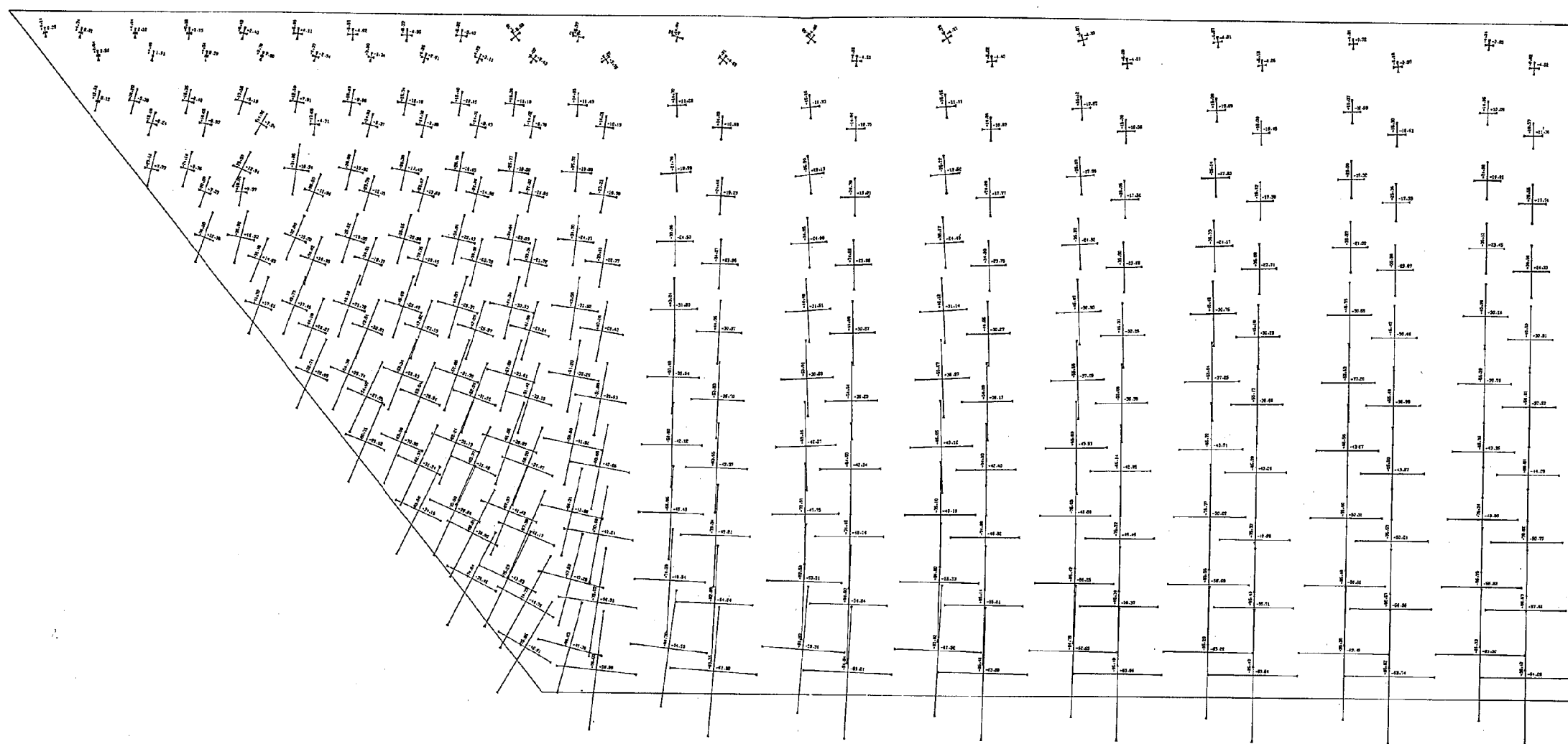


图-17-1 1:0.8 勾配主筋力 (要素)

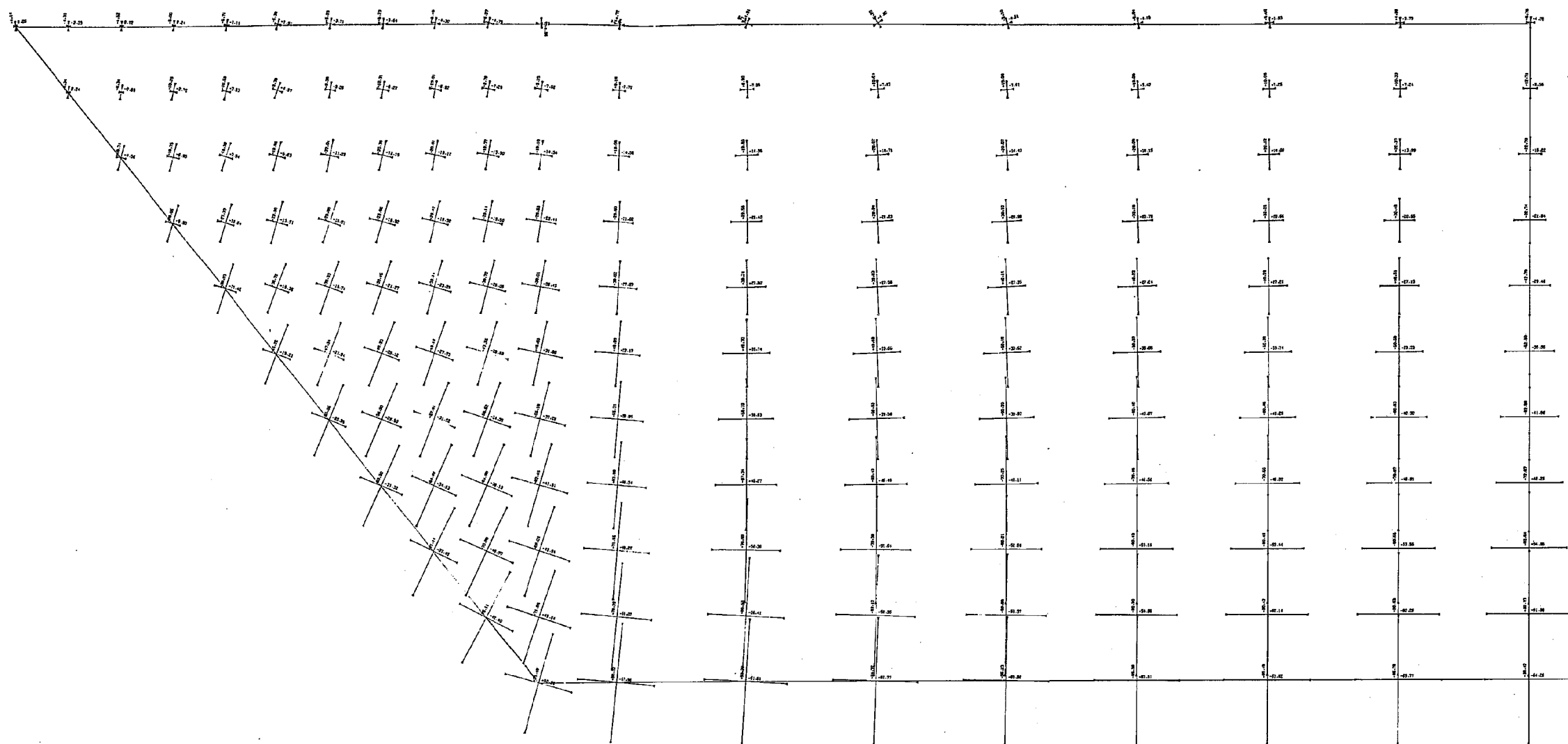


图-17-2 1:0.8 勾配主应力 (节点)

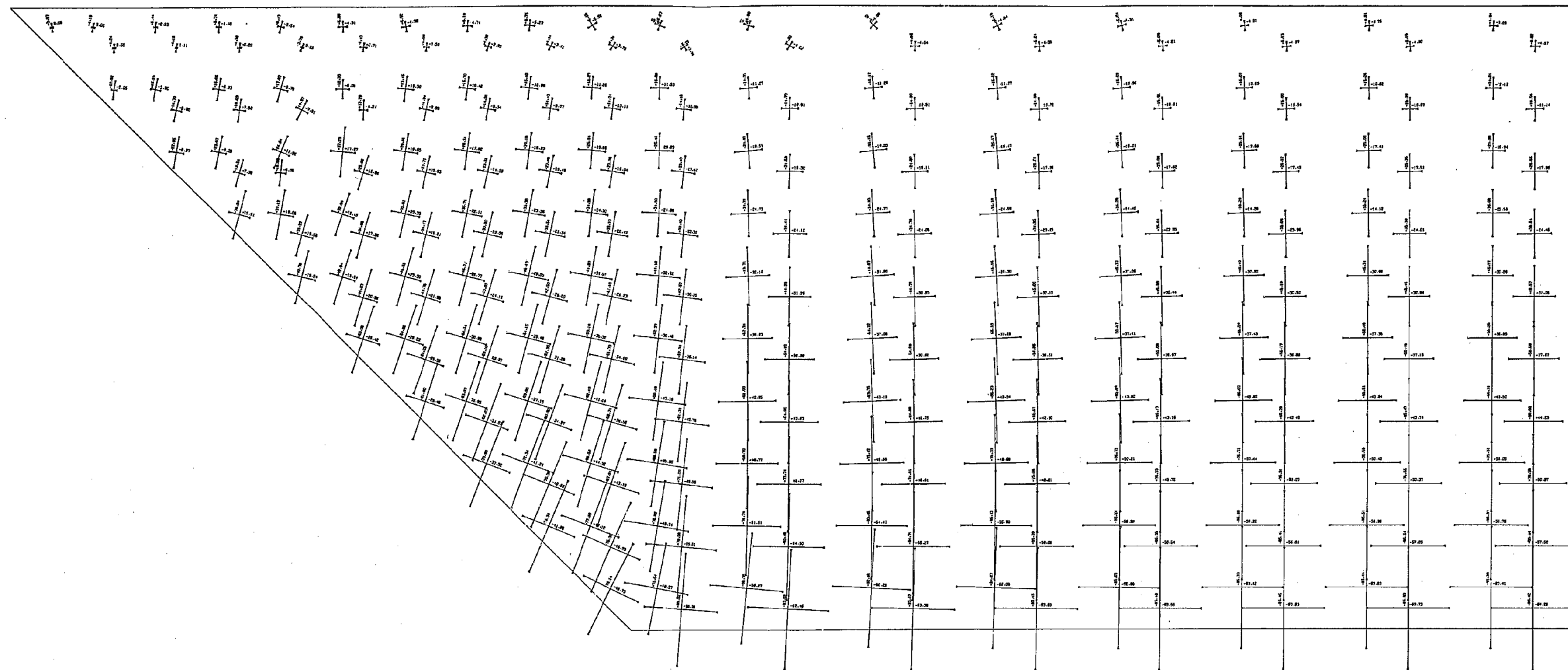


図-18-1 1:1.0 勾配主応力 (要素)

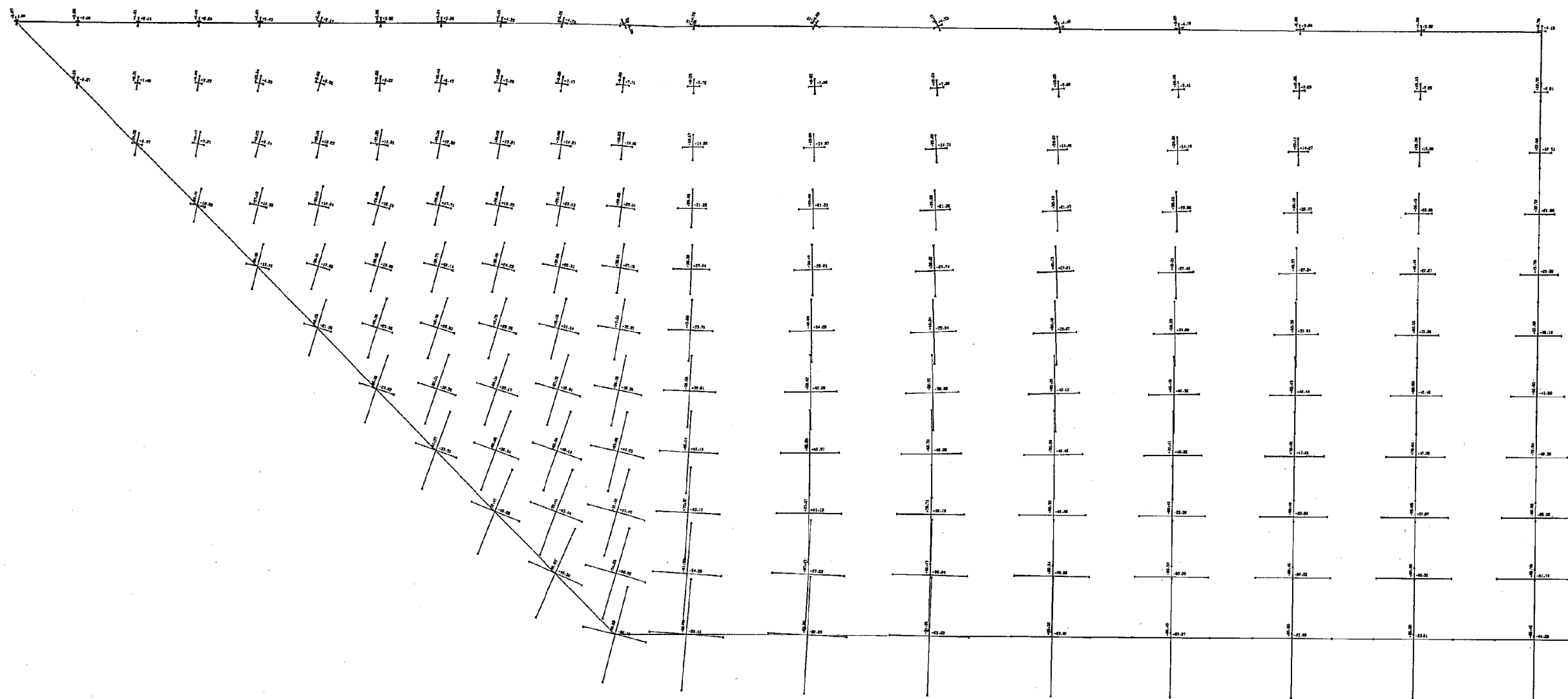


图-18-2 1:1.0 勾配主応力 (節点)

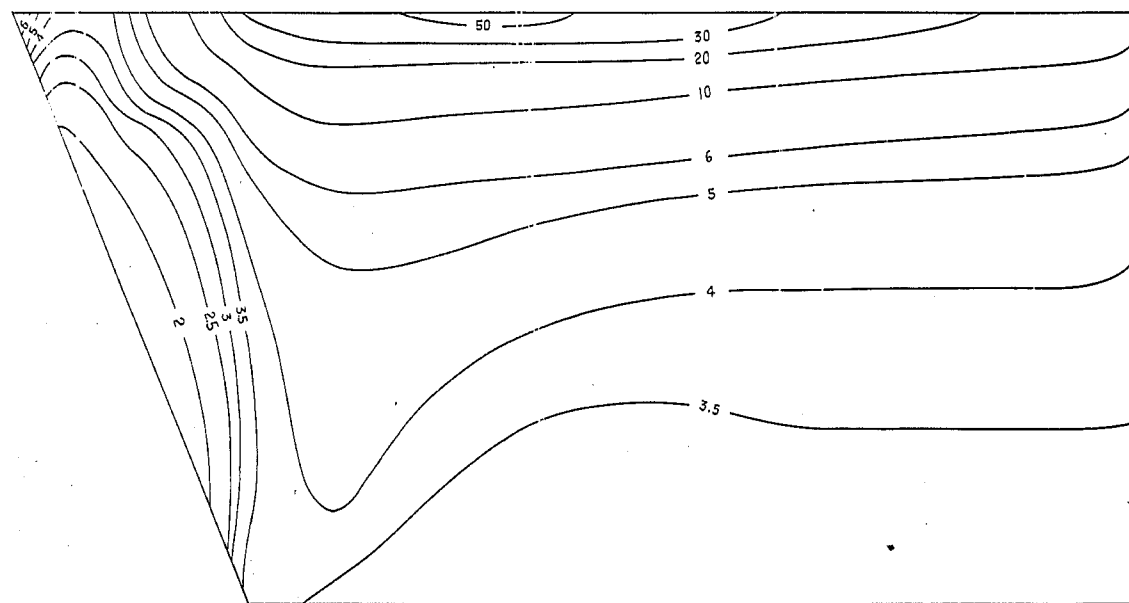


图-19 安全率 (1:0.4)

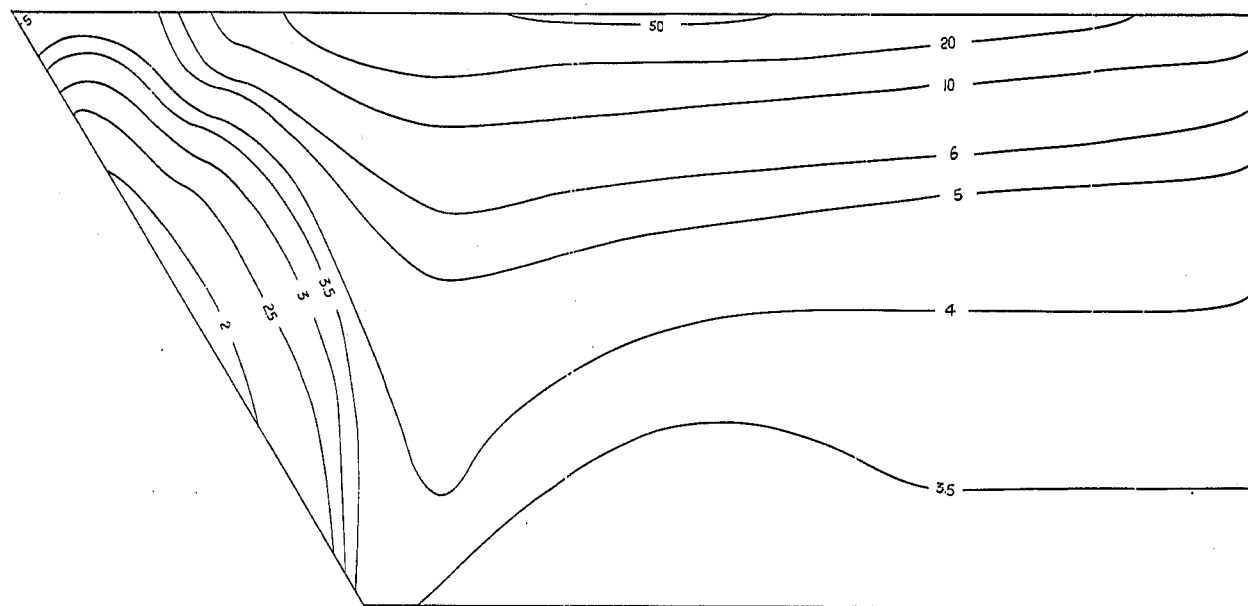


图-20 安全率 (1 : 0.6)

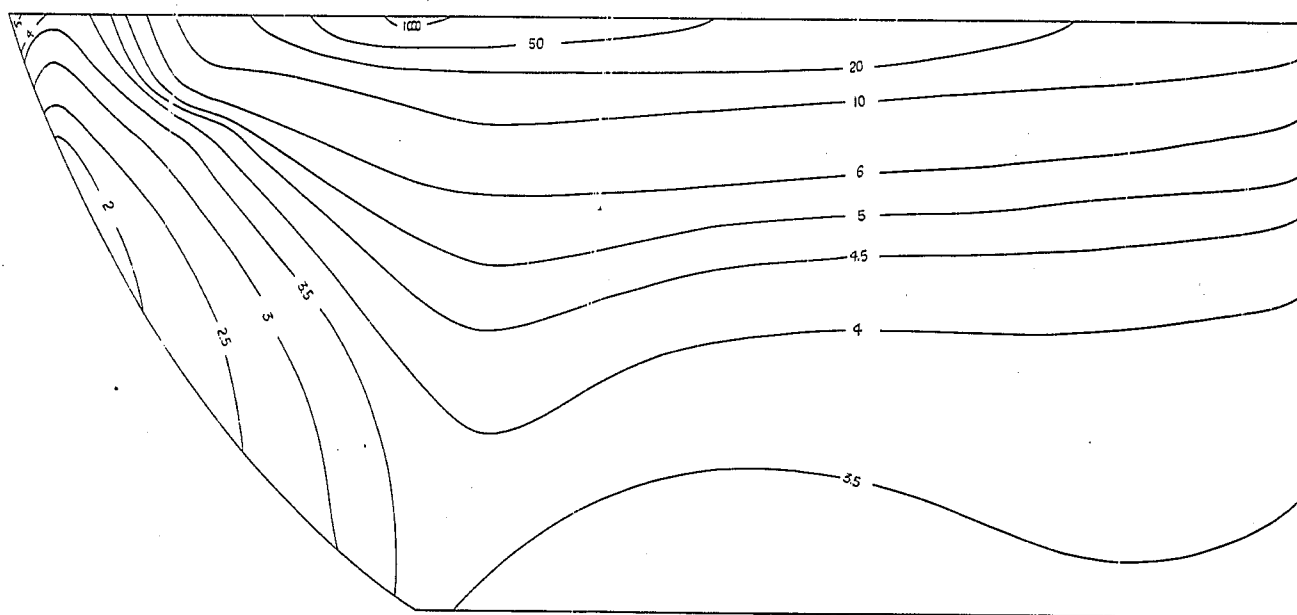


図-21 安全率（テラ勾配，1：0.7）

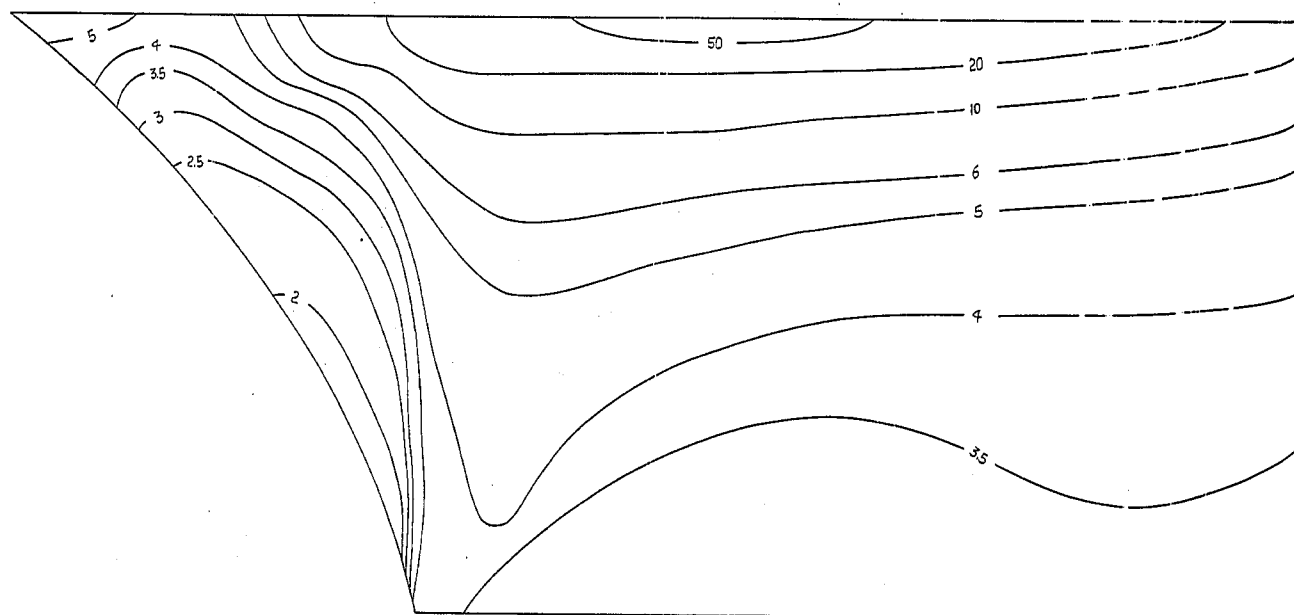


図-22 安全率 (逆テラ勾配, 1 : 0.7)

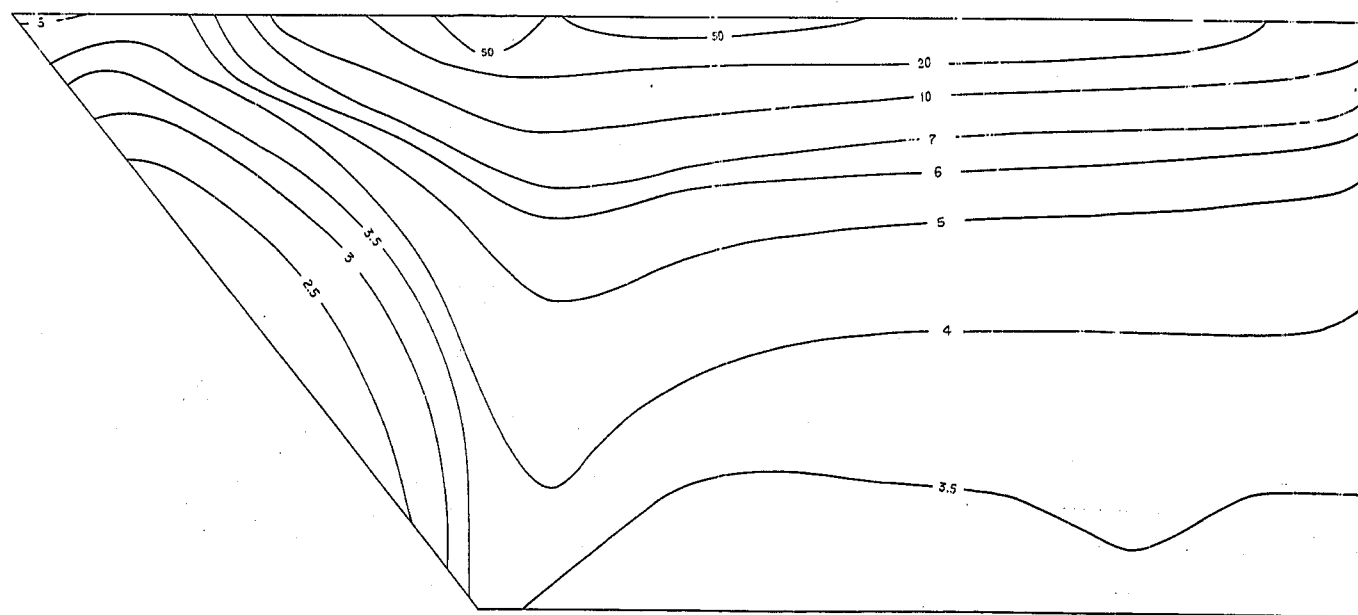


图-23 安全率 (1:0.8)

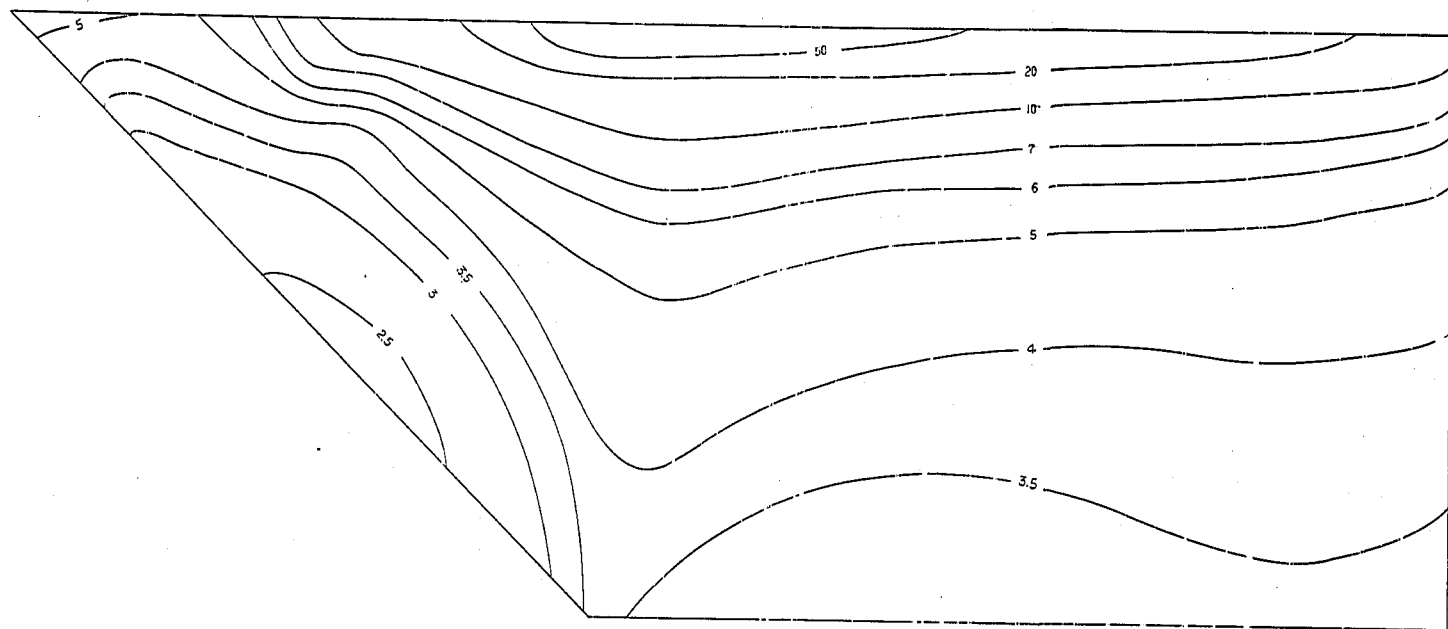


图-24 安全率 (1:1.0)

## 7. 付 録

本報告書の安定解析に使用した計算プログラムのインプットデータの作り方を以下に示す。実際に使用するときには土木研究所フィルダム研究室に相談されたい。

|                                    |                                                                                                                                                                        |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NN1                                | 0 以外の整数 (I4)                                                                                                                                                           |
| NAME                               | タイトル (8A10)                                                                                                                                                            |
| NP $\bar{O}$ IN                    | 全節点数 (I4)                                                                                                                                                              |
| NELEM                              | 全要素数 (I4)                                                                                                                                                              |
| NYM                                | 材質数 (I4)                                                                                                                                                               |
| NKN $\bar{O}$                      | 変位を拘束する自由度 (x + y) (I4)                                                                                                                                                |
| N $\bar{O}$ L $\bar{O}$ AD         | 集中荷重を受ける節点数 (I4)                                                                                                                                                       |
| NP                                 | 平面応力: 1, 平面歪: 0 (I4)                                                                                                                                                   |
| NSTAGE                             | ステージ数 ( $\geq 1$ ) (I4)                                                                                                                                                |
| ITR                                | 繰り返し計算の繰り返し数 (I4)                                                                                                                                                      |
| $\bar{O}$ MEGA                     | 繰り返し計算の加速係数 (1.8 位) (F 12.4)                                                                                                                                           |
| EPE                                | 最大の節点荷重の EPE 分の 1 の誤差まで許す (F 12.4)                                                                                                                                     |
| Qu                                 | 許容最大引張力 ( $\geq 0.01$ ) (F 12.4)                                                                                                                                       |
| INDPL                              | プロッター使用の情報 (I4)                                                                                                                                                        |
|                                    | + 1 節点応力を各繰り返し毎にプロット                                                                                                                                                   |
|                                    | - 1 要素応力 " "                                                                                                                                                           |
|                                    | + 11 節点・要素応力 " "                                                                                                                                                       |
|                                    | + 2 節点応力を各ステージ最終結果毎にプロット                                                                                                                                               |
|                                    | - 2 要素応力 " "                                                                                                                                                           |
|                                    | + 12 節点・要素応力 " "                                                                                                                                                       |
|                                    | + 3 節点応力を最終結果のみプロット                                                                                                                                                    |
|                                    | - 3 要素応力 " "                                                                                                                                                           |
|                                    | + 13 節点・要素応力 " "                                                                                                                                                       |
|                                    | 0 何もプロットしない                                                                                                                                                            |
| KGA                                | 一筆書きの節点の数 (I4)                                                                                                                                                         |
| SCALE1                             | Y 座標の最大値がプロッターの図上で SCALE1mm (F 12.3)                                                                                                                                   |
| SCALE2                             |  $L = \text{SCALE2} * \text{応力値}$ (SCALE2 = 0 とすれば $2 * L$ がエレメントの平均辺長となる) (F 12.3) |
| KZZ                                | プロッターで一筆書きする節点番号 (KGA 個) (I4)                                                                                                                                          |
| J, S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> | 節点番号, x 座標, y 座標 (I4, F 12.4, F 12.4)                                                                                                                                  |
| K                                  | + 1 応力プロット (I4)                                                                                                                                                        |

|                          |     |                                                    |           |          |
|--------------------------|-----|----------------------------------------------------|-----------|----------|
|                          | 0   | プロットなし                                             |           |          |
| NEP                      |     | 材質番号 (I4)                                          |           |          |
| $J_1, J_2, J_3$          |     | 要素の節点番号 (I4)                                       |           |          |
| TH                       |     | モデルの厚さ (F 12.4)                                    |           |          |
| AN                       |     | x 軸と異方性の主軸のなす角 (度)                                 |           |          |
| $\overline{BOF}(1), (2)$ |     | (1): x 軸の単位重量, (2): y 軸の単位重量 (F 12.4)              |           |          |
| IS                       |     | 引張のときは<br>やり直せ                                     | 応力を<br>書け | (I4)     |
|                          | + 1 | ○                                                  | ○         |          |
|                          | 0   | ○                                                  |           |          |
|                          | - 1 |                                                    | ○         |          |
|                          | - 2 |                                                    |           | (なにもするな) |
| MSTAGE                   |     | 各ステージ最終要素番号 (各ステージ毎に節点・要素番号は完結しており, 飛んでいないこと) (I4) |           |          |
| $E_1, E_2$               |     | 弾性係数 (E 10.3)                                      |           |          |
| $P_1, P_2$               |     | ポアソン比 (E 10.3)                                     |           |          |
| $G_1, G_2$               |     | せん断弾性係数 (E 10.3)                                   |           |          |
| $\overline{COH}$         |     | 粘着力 (E 10.3)                                       |           |          |
| FAI                      |     | 内部摩擦角 (E 10.3)                                     |           |          |
| NLOADV                   |     | 集中荷重を受ける節点番号 (I4)                                  |           |          |
| $\overline{FLOADV}(1)$   |     | x 方向の集中荷重の値 (F 12.4)                               |           |          |
|                          | (2) | y 方向 " " (F 12.4)                                  |           |          |
| NNOV(1)                  |     | 変位を拘束する節点番号 (節点番号順に並べること) (I4)                     |           |          |
| NNOV(2)                  |     | 1: x 方向 2: y 方向 (I4)                               |           |          |
| FNÖV                     |     | 拘束される変位量 (F 12.4)                                  |           |          |
| NN2                      |     | 0 なら終了し, 0 以外なら次のケースを計算開始 (I4)                     |           |          |

# CONTROL DATA 3600 DATA INPUT FORM

[illegible]

# CONTROL DATA 3600 DATA INPUT FORM

|    | 1         | 2         | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11        | 12        | 13   | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21        | 22        | 23  | 24   | 25   | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31        | 32        | 33   | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41        | 42        | 43   | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52   | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 |
|----|-----------|-----------|---|---|---|---|---|---|---|----|-----------|-----------|------|----|----|----|----|----|----|----|-----------|-----------|-----|------|------|----|----|----|----|----|-----------|-----------|------|----|----|----|----|----|----|----|-----------|-----------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 01 | 1         | 1         |   |   |   |   |   |   |   |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 02 | 02307     | 0000      |   |   |   |   |   |   |   |    | SEPARATE  |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           | WALL      |     |      |      |    |    |    |    |    |           | CAUSE     |      |    |    |    |    |    |    |    |           | 1.1       |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 03 | 1.50      | 1.60      |   |   |   |   |   |   |   |    | 1         | 1.81      | 1.0  |    |    |    |    |    |    |    |           | 0         | 1.5 | 1.50 |      |    |    |    |    |    |           | 1.10      |      |    |    |    |    |    |    |    |           | 2.50      | 0.0  |    |    |    |    |    |    |    |    | 1.10 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 04 | 1.11      | 1.31      |   |   |   |   |   |   |   |    | 1.66      | 1.67      |      |    |    |    |    |    |    |    | 0.12      |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    | 1.10      | 1.30      | 1.50 |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 05 | 1.5       | 1.1       |   |   |   |   |   |   |   |    | 1.0       | 2.0       | 1.31 |    |    |    |    |    |    |    | 4.3       | 5.6       | 7.0 | 8.5  | 1.01 |    |    |    |    |    | 1.10      | 1.30      | 1.50 |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 06 | 1.1       | 1.3       |   |   |   |   |   |   |   |    | 1.00      |           |      |    |    |    |    |    |    |    | 0.00      |           |     |      |      |    |    |    |    |    | 1.1       |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 07 | 1.2       | 1.1       |   |   |   |   |   |   |   |    | 0.0       |           |      |    |    |    |    |    |    |    | 0.00      |           |     |      |      |    |    |    |    |    | 1.1       |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 08 |           |           |   |   |   |   |   |   |   |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 09 |           |           |   |   |   |   |   |   |   |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 10 | 1.50      | 1.01      |   |   |   |   |   |   |   |    | 0.0       |           |      |    |    |    |    |    |    |    | 5.0       | 0.0       |     |      |      |    |    |    |    |    | 0         |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 11 | 1.50      | 1.11      |   |   |   |   |   |   |   |    | 0.0       |           |      |    |    |    |    |    |    |    | 5.0       | 0.0       |     |      |      |    |    |    |    |    | 0         |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 12 | 1.1       | 1.1       |   |   |   |   |   |   |   |    | 1.1       | 1.0       |      |    |    |    |    |    |    |    | 1.00      |           |     |      |      |    |    |    |    |    | 0.00      |           |      |    |    |    |    |    |    |    | 0.00      |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 13 | 1.1       | 1.1       |   |   |   |   |   |   |   |    | 1.2       | 1.1       |      |    |    |    |    |    |    |    | 1.00      |           |     |      |      |    |    |    |    |    | 0.00      |           |      |    |    |    |    |    |    |    | 0.00      |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 14 |           |           |   |   |   |   |   |   |   |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 15 |           |           |   |   |   |   |   |   |   |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 16 | 2.50      | 1.22      |   |   |   |   |   |   |   |    | 1.50      | 1.53      |      |    |    |    |    |    |    |    | 1.00      |           |     |      |      |    |    |    |    |    | 0.00      |           |      |    |    |    |    |    |    |    | 0.00      |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 17 | 2.60      | 1.22      |   |   |   |   |   |   |   |    | 1.5       | 1.54      |      |    |    |    |    |    |    |    | 1.00      |           |     |      |      |    |    |    |    |    | 0.00      |           |      |    |    |    |    |    |    |    | 0.00      |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 18 |           |           |   |   |   |   |   |   |   |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 19 | 3.6       | 0.0       |   |   |   |   |   |   |   |    | 1.2       | 1.92      | 2.60 |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 20 | 0.200E+00 | 0.200E+00 |   |   |   |   |   |   |   |    | 0.400E+00 | 0.400E+00 |      |    |    |    |    |    |    |    | 0.100E+00 | 0.100E+00 |     |      |      |    |    |    |    |    | 0.100E+00 | 0.100E+00 |      |    |    |    |    |    |    |    | 0.100E+00 | 0.100E+00 |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 21 |           |           |   |   |   |   |   |   |   |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 22 |           |           |   |   |   |   |   |   |   |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 23 | 1.1       | 1.1       |   |   |   |   |   |   |   |    | 0.0       |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 24 | 1.1       | 1.2       |   |   |   |   |   |   |   |    | 0.0       |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 25 |           |           |   |   |   |   |   |   |   |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 26 | 1.20      | 1.1       |   |   |   |   |   |   |   |    | 0.0       |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 27 | 1.20      | 1.2       |   |   |   |   |   |   |   |    | 0.0       |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 28 | 1.50      | 1.1       |   |   |   |   |   |   |   |    | 0.0       |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 29 | 0         |           |   |   |   |   |   |   |   |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| 30 |           |           |   |   |   |   |   |   |   |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |     |      |      |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |           |           |      |    |    |    |    |    |    |    |    |      |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |