

土 木 研 究 所 資 料

第 336 号

下釜ダム構造模型実験報告書

昭和 43 年 3 月

建設省土木研究所

下 筈 ダ ム 構 造 模 型 実 験 報 告 書

目 次

飯 田 隆 一
尾 畑 実 郎

1	設 計 概 要	1
(1)	相似律と模型材料	1
(2)	実験の概略	2
(3)	載 荷 装 置	5
(4)	応 力 計 算	8
2	小型模型実験	9
(1)	目 的	9
(2)	実 験 結 果	9
(3)	実験結果の考察	9
3	大型模型実験	13
(1)	目 的	13
(2)	実 験 結 果	13
(3)	実験結果の考察	13
(4)	各種荷重時の応力の推定	29
4	計算値と実験値との比較	30

1 設 計 概 要

下釜ダムはその源を阿蘇外輪山に発する筑後川の、玖珠川との合流点より上流20kmのところ位に位置し、右岸側は熊本県阿蘇郡小国町、左岸側は大分県日田郡中津江村下釜峡谷をせき止める高さ980mの多目的アーチダムである。

このサイトは堤頂付近が薄く浅い為、アーチ推力を十分保つことは困難であるのでスラストブロックで補強し、又河床の右岸側下部はテラス状の台地になっており左岸寄りの所を狭い谷を作って河が流れているので、河床部にプラグを設けダム本体のベースはテラスの標高になるようにした。

この様に左右岸の地質地形条件からダムは非対称型になる。

ダムを設計する場合その安全性は本体のみならず、そのサイトに見合った形状を推定し、本体を地質地質との安全性の均衡を計ることが望ましい。近年これらの形状計算は電子計算機を駆使することによって短時間に幾種類もの計算を行ない、任意の形状をも解析することが可能になり本設計でもこれを用いた。

このダムにおいて特に留意した点は、左右岸とも基礎岩盤の安定に問題があり特に左岸には数本の破砕帯があり、下流側の厚みも少なかったのでアーチの中心角を小さくし、アーチスラストを出来るだけ山側に向けるように配慮した点である。

この試みは一応成功し、中心角が小さい割に良好な応力分布が得られた。

アーチダムの様に高次の不静定物になると、その設計々算の過程に多くの仮定や省略等があるので、かなり複雑であるためいく周到に計算を行っても計算結果と実験結果とを比較すると部分的にかなり相違するところがある。

特に前述の様に本ダムでは中心角を減らすことに留意されたので、この種々の設計が理論的には可能でも、実際に可能であるかは極めて興味深いことであった。

そこで理論的に検討されたいいくつかの形状について小型模型実験により検討し、その結果を参考にしつゝ最終形状を決定し、その形状について大型模型実験を行い細部のな検討を行った。

(1) 相似率と模型材料

一般に模型と実物の相似率は使用材料の弾性係数比 E_p/E_m およびダムに作用する荷重の密度比 ρ_p/ρ_m 、模型の大きさの比 ℓ_p/ℓ_m の比率が全部実物と模型で等しければ完全に相似率を満足することができる。

従って条件を満足するこれらの事柄から模型と実物の重み応力、撓みについて関係式を求めてみれば次の式が得られる。

$$\frac{\sigma_m}{\sigma_p} = \frac{G}{n} \quad \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_p} = \frac{G}{n} \cdot \frac{E_p}{E_m} \quad \frac{\delta_m}{\delta_p} = \frac{G}{n^2} \cdot \frac{E_p}{E_m}$$

この式は模型材料の弾性的性質、寸法およびそれに加えるべき荷重密度の相似関係を示す。即ち模型に用いる材料およびその寸法を決めれば模型に加えるべき荷重の密度が決められる。

模型縮尺が小さい小型模型では荷重密度を大きくすることにも限界があり、従ってより良い精度を得るために、使用材料の弾性係数をできるだけ低くすることが望しい。

これらの条件を満足する材料として、本実験では石膏と珪藻土の混合物を使用した。

石膏と珪藻土の混合物を用いた場合に弾性係数を下げる

方法としては次の二種がある。

- 1) 使用材料が石膏のみの場合は、水、石膏比を大きくすることによって弾性係数を下げることができる。
(弾性係数が7,000 Kg/cm^2 程度以下になると分離現象がおこり易い)
- 2) 石膏に珪藻土を混合し、水、石膏比を出来るだけ小さくし、石膏と珪藻土の混合割合を加減することによって弾性係数を低下させる。

下筈ダム模型実験では次の様な弾性係数を採用した。

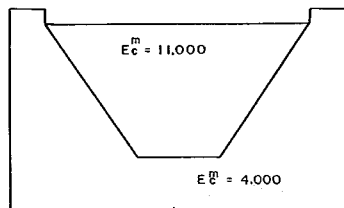


図-1 小型模型弾性係数

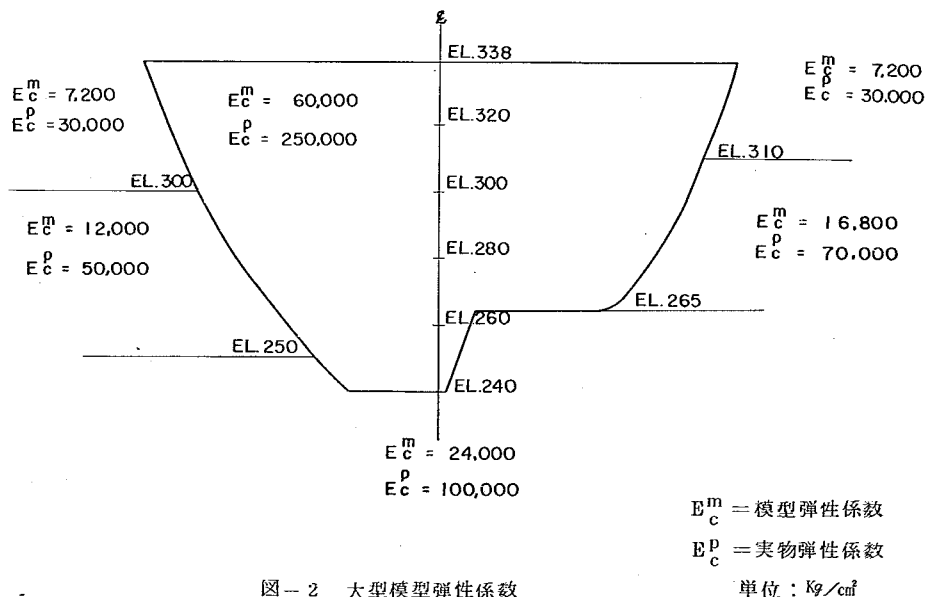


図-2 大型模型弾性係数

(2) 実験の概略

模型の大きさは、小型模型が実物の1/500、大型模型は1/150、で実験誤差、製作誤差を少なくするために同一模型を2個づつ作成し、大型模型には出来る限り現地の状況を再現するために、

実測結果に基づいた岩盤及び本体の弾性係数を実物と模型の比になる様に石膏と珪藻土の配合を変えて模型にとり入れた。

模型実験は弾性領域内での歪測定及び撓み測定を行うもので載荷装置は後記のものをを用いた。

ダムに作用する荷重としては静水圧、堆砂圧、自重圧、温度、地震等があるが、小型模型実験では静水圧（異常洪水位）のみを対象にし、大型模型実験では静水圧（異常洪水位）及び堆砂圧を対象にして載荷するものである。

自重応力は計算で求めこれはすべて片持バりに作用するものとして、後で加算する方法をとった。

小型実験での歪測定は図-3、大型模型実験では図-4に示す位置に電気抵抗線歪計を貼付し、自動歪計装置により約10回、撓み測定は大型模型実験についてのみ $\frac{1}{100}$ mm、及び $\frac{1}{1000}$ mm目盛のダイヤルゲージを用いて約10回の測定を行ないその平均をとった。

小型模型実験

図-3(a) 測定点位置図（上流面）

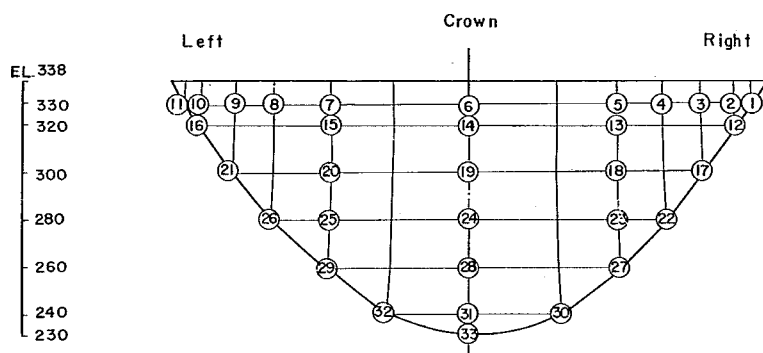
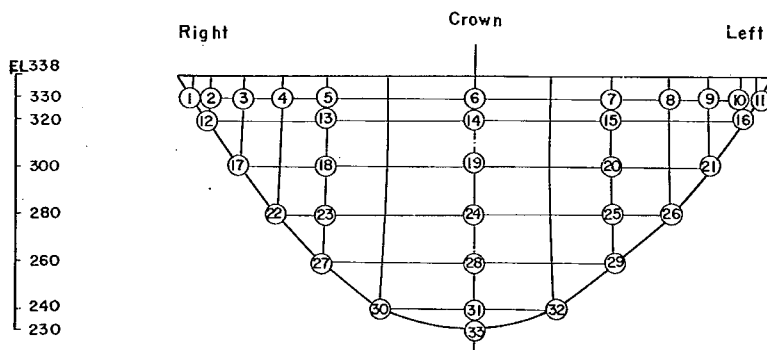


図-3(b) 測定点位置図（下流面）



大型模型実験

図-4(a) 測定点位置図(上流面)

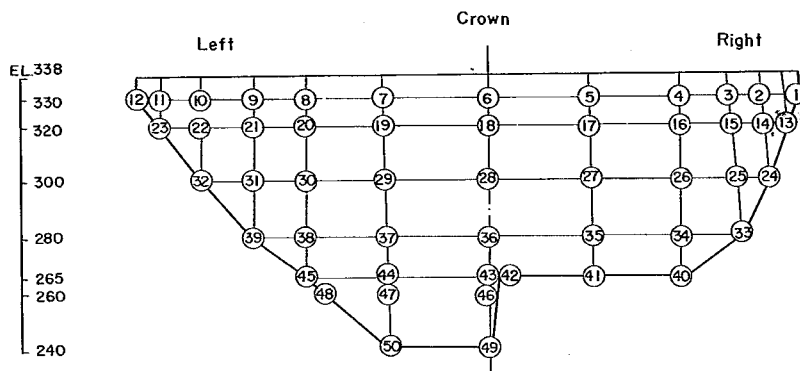
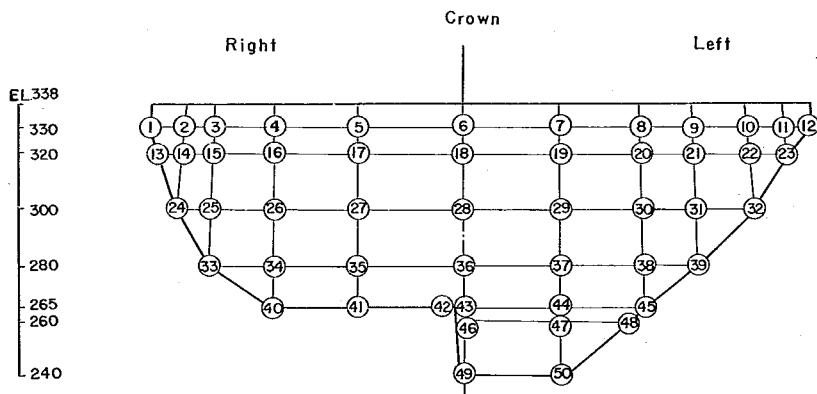


図-4(b) 測定点位置図(下流面)



下 筈 ダ ム 諸 元

型 式	アーチ式
堤 高	98.0 m
堤頂長	2482.3 m
堤体積	235,000 m ³
流域面積	1.85 km ²
湛水面積	2.0 km ²
総貯水容量	59,300,000 m ³
有効貯水容量	52,300,000 m ³
堆砂量	7,000,000 m ³
計画高水量	1,700 m ³ /sec
調節流量	1,350 m ³ /sec
調節後流量	350 m ³ /sec
梅雨期洪水調節容量	51,300,000 m ³
台風期洪水調節容量	22,000,000 m ³
発電容量	52,300,000 m ³
天端高	E.L. 338.0 m
設計水位	E.L. 336.0 m
クレスト面標高	E.L. 329.20 m
台風期制限水位 (7月21日~9月30日)	E.L. 323.00 m
梅雨期制限水位 (6月11日~7月20日)	E.L. 292.00 m
堆砂位	E.L. 290.00 m

(3) 載荷装置

前記の様に荷重強度は模型の使用材料の縮尺によっておのずと異り、小型模型の様に比較的短期間に数種のタイプについて一連の模型実験を行う様な場合には、その載荷装置も簡単に精度のよいものが望ましく、現在最も多く利用されている水銀載荷法を採用した。

この装置は図-5に示す様に水銀をダム上流面のゴム袋を介して油圧発生装置によって所定の圧力を送り設計荷重として静水圧のみを載荷する装置で、その取り外し組立も比較的簡単に行なうことができるので小型模型実験のみに採用した。

水銀を用いて小型模型実験を行なった場合の測定精度は電気抵抗線歪計の固有誤差が $\pm 2.0 \times 10^{-6}$ あるものとして、弾性係数が $11,000$ であるから模型応力で $\sigma_m = 11,000 \times 2.0 \times 10^{-6} = \pm 0.22$ 実物の応力に換算すると $\sigma_p = \frac{500}{136} \times 0.22 = \pm 8\%$ となり、小型模型実験ではこの程度の測定精度

で行われた。小型模型実験の目的はダムの形状に対し、大きな修正が必要であるか否かをみることにあるので、この程度の精度で充分であると考えられたが、最終形状に対しての最終的な検討を目的とした大型模型実験では、これより高い精度で実験する必要がある。

相似律によれば模型に生ずる歪と、実物に生ずる歪とが等しいときに測定を行なうことがよいとされている。

しかし石膏・砂土の混合物の歪応力曲線はコンクリートよりも直線的に変化するので模型に生ずる歪の方がやゝ大きくなっても差支えないと考えられる。

歪計の測定誤差をできるだけ小さくして相似律からくる条件を満足させるためには $\frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_p} = 15 \sim 20$ 程度にとることが理想的である。

こゝで水銀を用いて大型模型実験を行った場合 $\frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_p} = \frac{136}{150} \times \frac{250000}{60000} = 0.38$ となり極めて小さい。従って水銀以外の载荷方法が必要になり大型模型実験ではゴムチューブ式のものを採用した。

この装置は土木研究所ダム構造研究室において考案したもので、図-6に示すように模型の上流面に沿って水平な10層のチャンバーを仕切り、各アーチのチャンバーにゴムチューブを入れて、これにオイルを送入して加圧するものである。

これらのチューブに送られるオイルは単一のオイルポンプから特殊な減圧弁を通じて自動的に減圧され、各層間の圧力は一定比に保たれる様になっている。

この方法に依れば荷重はその液体の比重が変化する様な形で任意に調整することが可能であり、液体に近い形で上流全面に分布させて加圧することが出来る。

大型模型実験での荷重強度 G は $1303p$ (载荷板最下層部での圧力 p) でこの模型の歪と実物の歪との比は $\frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_p} = \frac{G}{\pi} \cdot \frac{E_p}{E_m} = \frac{1303 \times 250000}{150 \times 60000} p (=1.66 [P=4.6\%])$ である。従って歪計の誤差が $\pm 2.0 \times 10^{-6}$ ありとし、これを実物の応力に換算すると、 $\pm 41\%$ となり、大型模型実験ではこの程度の精度で測定されるものである。

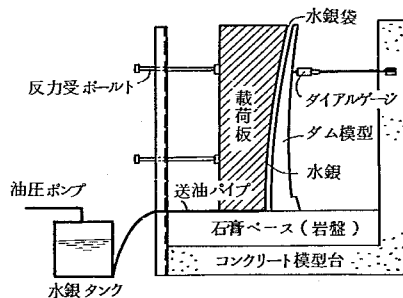


図-5 小型模型実験载荷装置

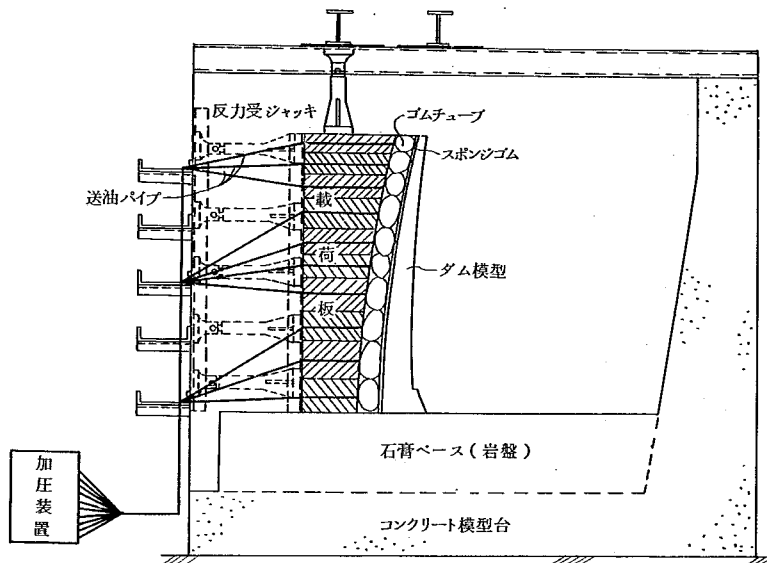
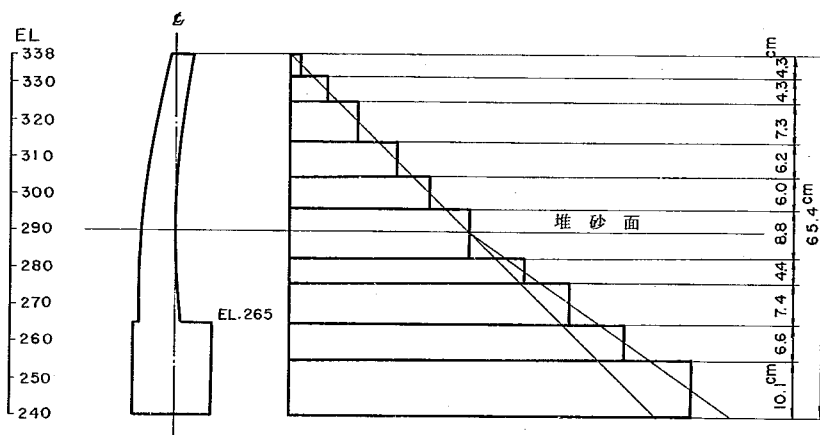


図-6 大型模型実験載荷装置



加重比 $P_1 : P_2 : P_3 : P_4 : P_5 : P_6 : P_7 : P_8 : P_9 : P_{10} = 1.5 : 4.5 : 8 : 12 : 16 : 21 : 27 : 33 : 40 : 48$

図-7 載荷装置荷重分布図

(4) 応力計算

模型実験より求めた歪を次式により算出した。

$$\sigma_{HP} = \frac{n}{G} \frac{E_m}{1-\nu^2} (\epsilon_{Hm} + \nu \cdot \epsilon_{Vm}) + \frac{n}{G} P_m \frac{\nu}{1-\nu}$$

$$\sigma_{VP} = \frac{n}{G} \frac{E_m}{1-\nu^2} (\epsilon_{Vm} + \nu \cdot \epsilon_{Hm}) + \frac{n}{G} P_m \frac{\nu}{1-\nu}$$

$$\tau_{HVP} = \frac{n}{G} \frac{E_m}{2(1+\nu)} \{ 2\epsilon_{Dm} - (\epsilon_{Hm} + \epsilon_{Vm}) \}$$

$$\sigma_{p1} = \frac{\sigma_{HP} + \sigma_{VP}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{HP} - \sigma_{VP}}{2}\right)^2 + \tau_{HVP}^2}$$

$$\sigma_{p2} = \frac{\sigma_{HP} + \sigma_{VP}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{HP} - \sigma_{VP}}{2}\right)^2 + \tau_{HVP}^2}$$

$$\tan \theta = \frac{2\tau_{HVP}}{\sigma_{HP} - \sigma_{VP}}$$

上式において算出したものはすべて実物のダムにおけるものを示し、 σ_H , σ_V , τ_{HV} はダム表面上の測点を原点とする直角座標における水平応力、鉛直応力、及びせん断応力を示し、その符号は圧縮側を正とする。 σ_1 , σ_2 その点における最大主応力を示し、圧縮の大きい方を第一主応力、小さい方を第二主応力とする。符号は圧縮の場合を正とする。

P は水平荷重強度を示し、上流面のみを考慮する。

尚、自重応力 断面諸力は次式により算出した。

i) 自重応力

$$\sigma_u = \frac{W_{cu}}{A_{cu}} + \frac{M_{cu}}{I_{cu}} \cdot \ell g_u$$

$$\sigma_d = \frac{W_{cd}}{A_{cd}} - \frac{M_{cd}}{I_{cd}} (T - \ell g_d)$$

ii) 断面力

$$H_s = \frac{T}{2} (\sigma_{Hu} + \sigma_{Hd})$$

$$M_s = \frac{T^2}{12} (\sigma_{Hu} + \sigma_{Hd})$$

$$H_c = \frac{A_c}{T} [\sigma_{Vu} (T - \ell g_u) + \sigma_{Vd} \cdot \ell g_d]$$

$$M_c = \frac{I_c}{T} (\sigma_{Vu} - \sigma_{Vd})$$

$$V = \frac{I_c}{T} [\tau_{HVu} (T - \ell g_u) + \tau_{HVd} \cdot \ell g_d]$$

$$M_t = \frac{I_c}{T} (\tau_{HVu} - \tau_{HVd})$$

但し

σ_u : 上流面自重応力

σ_d : 下流面自重応力

H_s : アーチスラスト

H_c : カンテレバースラスト

V : 接線方向せん断力

M_s : アーチモーメント

M_c : カンテレバーモーメント

M_t : 戻り曲げモーメント

2 小型模型実験

(1) 目的

下釜ダム設計に際しては次の二点について熟慮した。

- 1 基礎岩盤の安定性を増すためにアーチ中心角を小さくすること。
- 2 これに応じた良好な応力分布を得る。

理論的検討により中心角を小さくするには、三心アーチ及び放物線アーチの採用により可能であることが分った。

この観点から設計を進め、各々のタイプで応力分布が良好な範囲で中心角が最も小さいと思われる SG-3-84 (三心不等厚アーチ)、SZ-2-60 (放物線) の二つについてその特性を調べることが小型模型実験の目的である。

(2) 実験結果

三心不等厚アーチ SG-3-84 タイプの応力分布を示せば図-8 の如くである。即ち

- (i) 最大圧縮応力は80%前後で、上流面 EL 280m のクラウンおよび下流面 EL 300~280m のアバットメントに生じている。
- (ii) 引張応力は下流面 EL 260m 以下のクラウンに水平方向に生じていて、EL 230m では凡そ 40Kg/cm^2 に達している。

また放物線アーチ SZ-2-60 タイプの応力分布は図-9 の如くである。すなわち

- (i) 最大圧縮応力は70%程度で、上流面 EL 280m のクラウンおよび下流面 EL 300m のアバットメントに生じている。
- (ii) 引張応力は下流面 EL 240m 以下で生じ EL 240m のアバットメントで凡そ20%である。

以上二つのタイプを比較すると

- (i) 応力は全般に放物線アーチの方がよく、最大圧縮応力も10%程度小さい。
- (ii) 下流面下部のクラウンに生ずる水平引張応力については両タイプとも生じているが SZ-2-60 の方がかなり小さい。
- (iii) 逆に下流面下部に生ずるアバットメント沿の応力については、SG-3-84 ではほとんど零に近い応力を示しているが SZ-2-60 ではかなり大きな引張応力となっている。

(3) 実験結果の考察

EL 260m 以上は SZ-2-60 の方がやゝ応力分布はよいが、いづれにせよこの部分に対しては三心アーチであれ、放物線アーチであれ中心角を大巾に減らすことは可能であることが判明した。しかし EL 260m 以下のスパンが小さく、厚さが大きい部分ではいづれのタイプとも改善すること

ことが必要であると考えられた。

たまたま小型模型実験は右岸側のテラスを掘削し、対称で行っているが、右岸側のテラスは岩盤はかなり良好であるので、この部分の掘削を止め、河床部にプラグを設け、EL 260m以上をダム本体として設計すれば下部の引張応力も回避し得ると考えられた。

これから最終案としては、EL 260m以下の河床部にはプラグを設け、ダム本体をEL 260m以上にし、三心アーチを用いてSG-3-84 およびSZ-2-60 タイプ程度の中心角まで小さくするように設計することにした。

図-8(a) 主応力図(自重加算)上流面

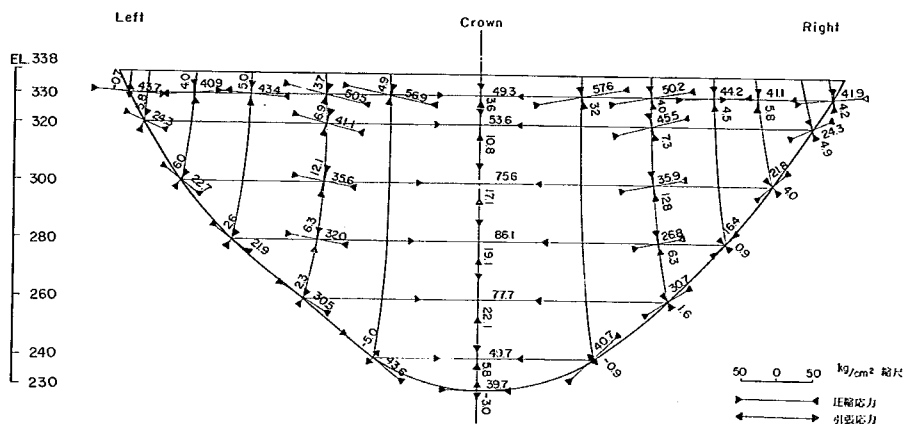


図-8(b) 主応力図(自重加算)下流面

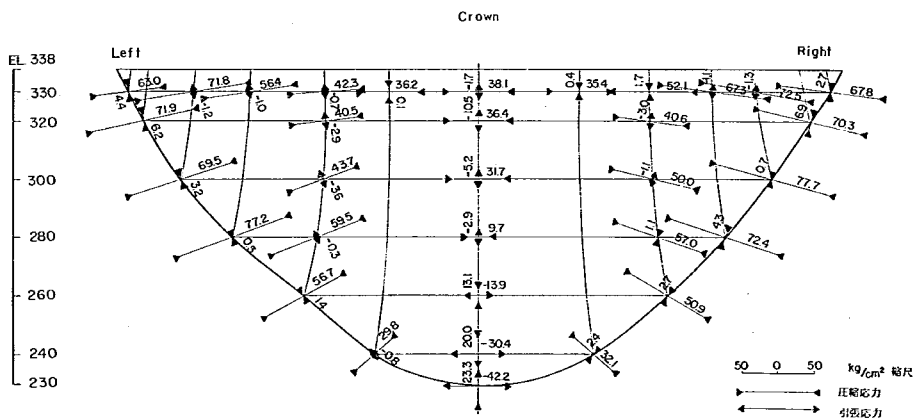


図-9 (a) 主応力図 (自重加算) 上流面

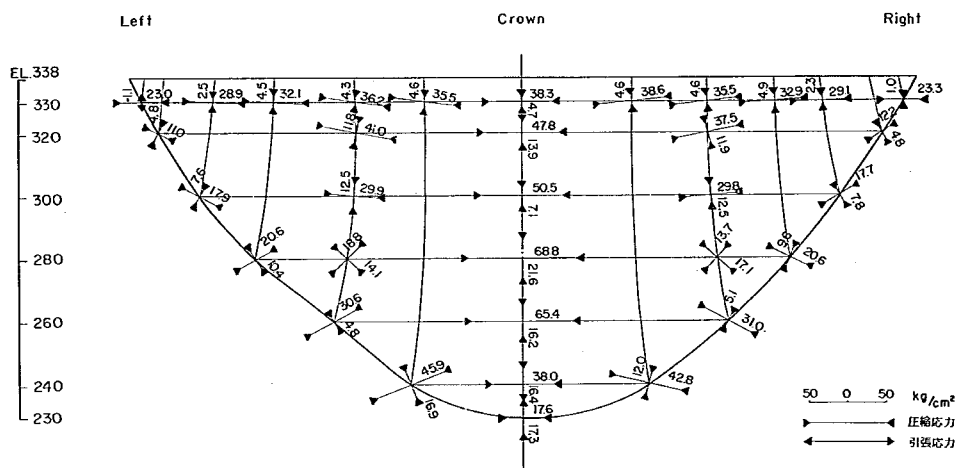
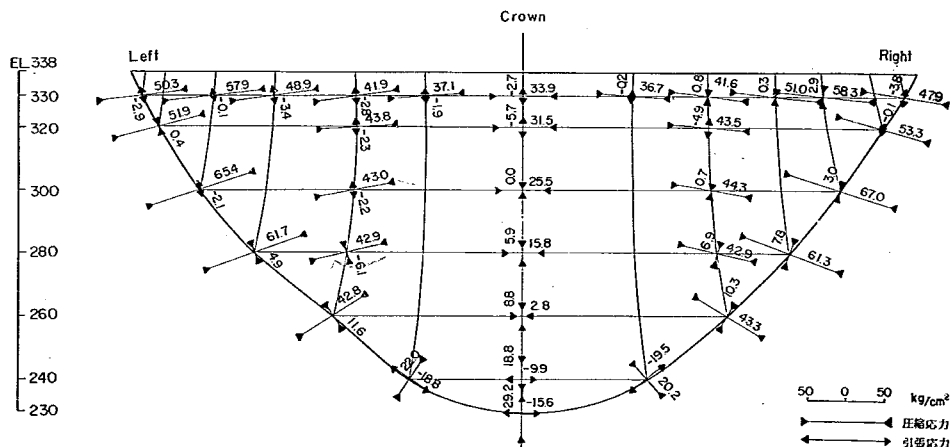


図-9 (b) 主応力図 (自重加算) 下流面



3 大型模型実験

(1) 目 的

小型模型実験結果を参照にして最終形状SN-5-72が決定された。

この最終案について大型模型を作製し、これについて応力分布、及び撓みの測定を行い形状修正の必要があるか否かを検討することを目的として大型模型実験を行った。

又、本体とプラグの取付部に局部応力が発生する懸念があるがこれについても充分検討する必要があるものと思われる。

(2) 実験結果

大型模型実験タイプSN-5-72の撓みは図-10、応力分布は図-11~16の如くである。

- (i) 上流面に於る最大水平圧縮応力はEL320クラウン付近に32 ㎏前後を示し、又EL240mプラグベースでも左岸側アバットメントに直角に約31 ㎏を生じている。
- (ii) 下流面では、概して左岸側アバットメント沿に大きく現れているが、最大圧縮応力はEL300mで35 ㎏を示している。
- (iii) 上流面に於る引張応力については、EL265mのクラウンでわずかに7 ㎏くらいである。
- (iv) 下流面での引張応力は各ELとも左右に少しづつはでているが、EL260mで-7 ㎏前後、EL240mの左岸側アバットメントに沿って最も顕著なる値を生じ15 ㎏を示している。

(3) 実験結果の考察

- (i) 右岸側のテラスの掘削を止め河床部にプラグを設けることによりダム本体の高さを低くしたために応力は小型実験の結果に比べてかなり小さくなっている。

このために極めて良好な応力分布を得、プラグを設けた事は成功であった。

- (ii) 圧縮応力、引張応力とも比較的小さく充分許容し得る範囲内である。
- (iii) 懸念されたダム本体とプラグとの取付部の応力はやや乱れてはいるが、値そのものは小さく問題はなく、特に補強は必要ないと考えられる。
- (iv) 基礎のプラグ部に約15 ㎏前後の引張応力が発生しているが、この部分はかなり厚い断面であるため止むを得ない現象であると思われる。

なお、この部分の断面は十分な厚さがあるので、この程度の応力の場合に有効アーチを考えるならば、充分安全であると見なしうるので、特に対策を構じる必要はないと考えられる。

図-10(a) 半径方向撓み図

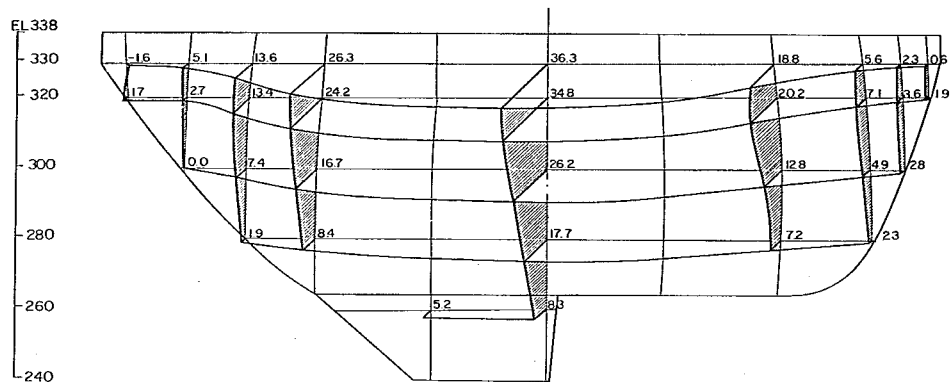
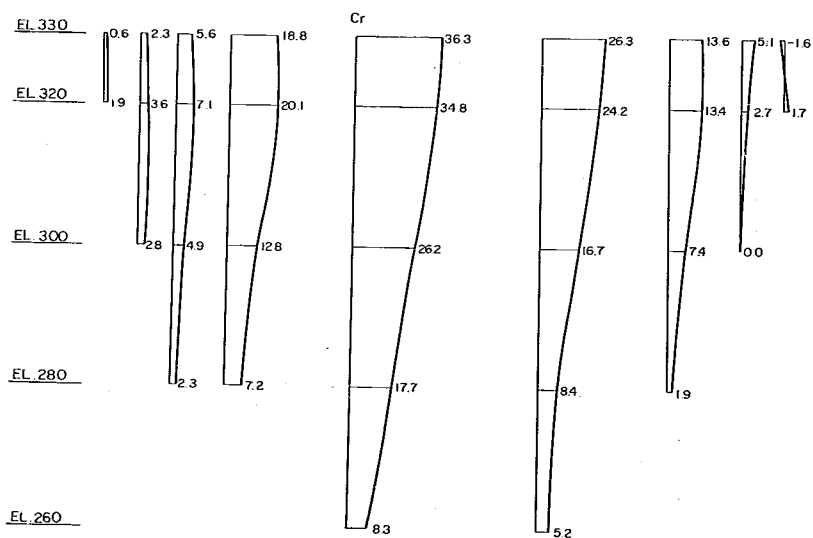


図-10(b)



☒ - 10(c)

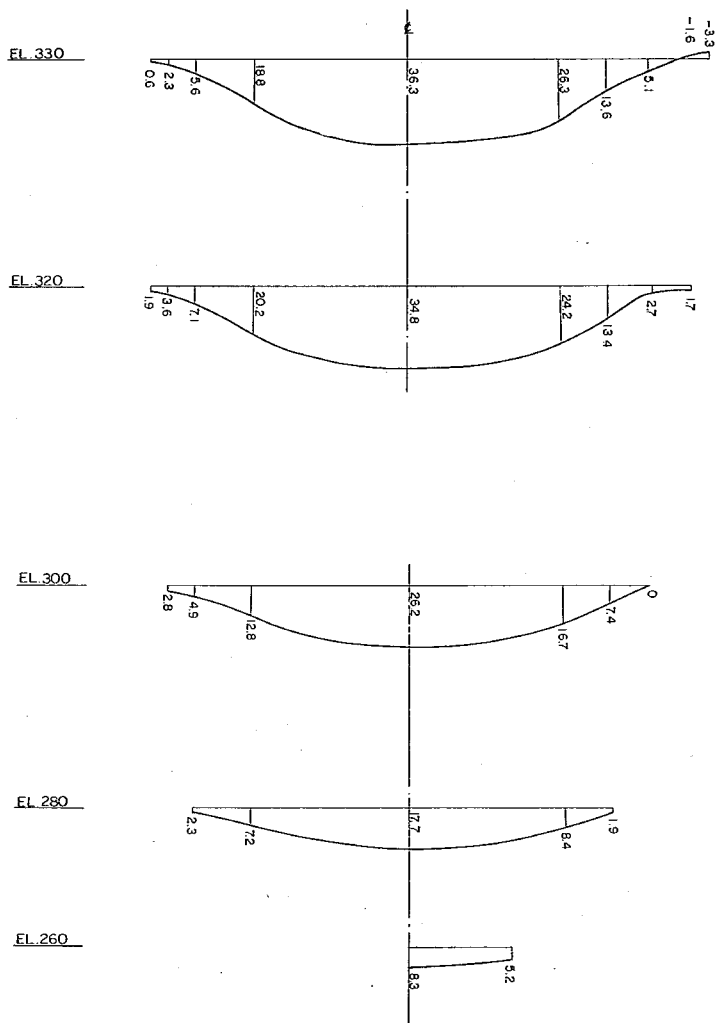


图 - 11(a) 水平方向应力分布图上流面

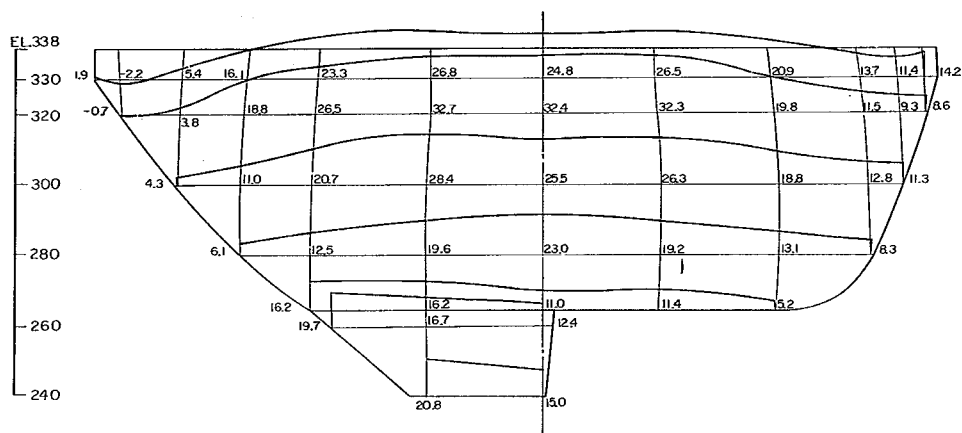


图 - 11(b) 水平方向应力分布图下流面

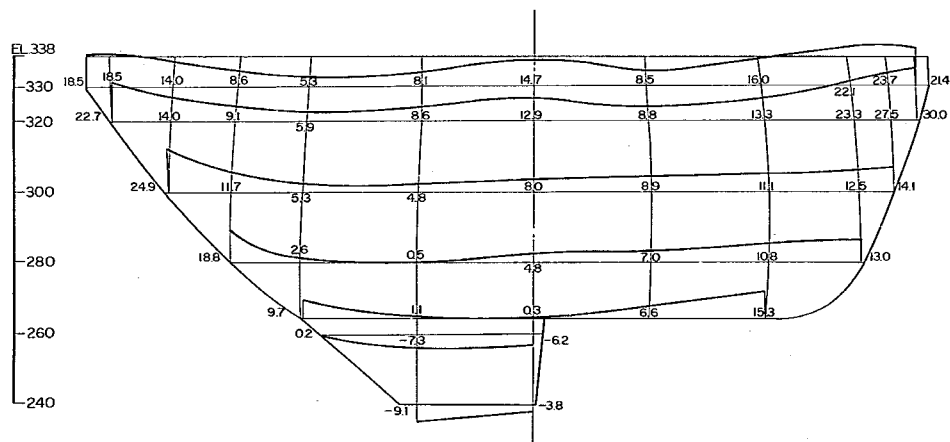


图 - 12 (a) 铅直方向应力分布图上流面

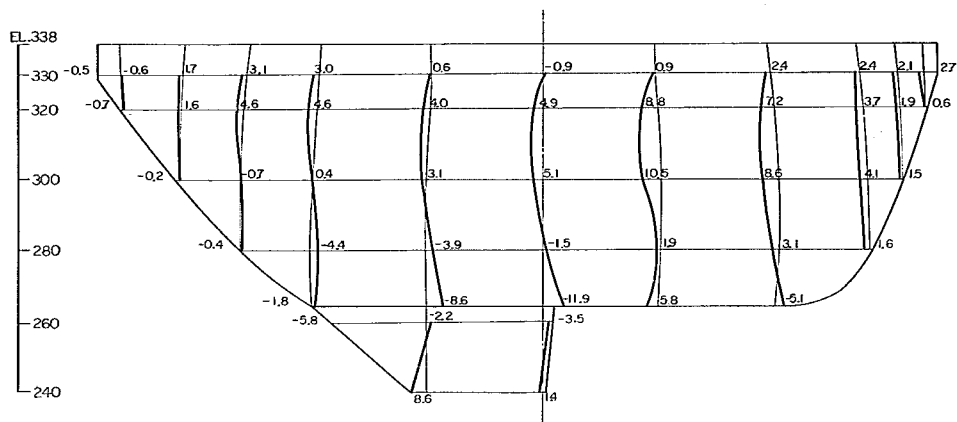


图 - 12 (b) 铅直方向应力分布图下流面

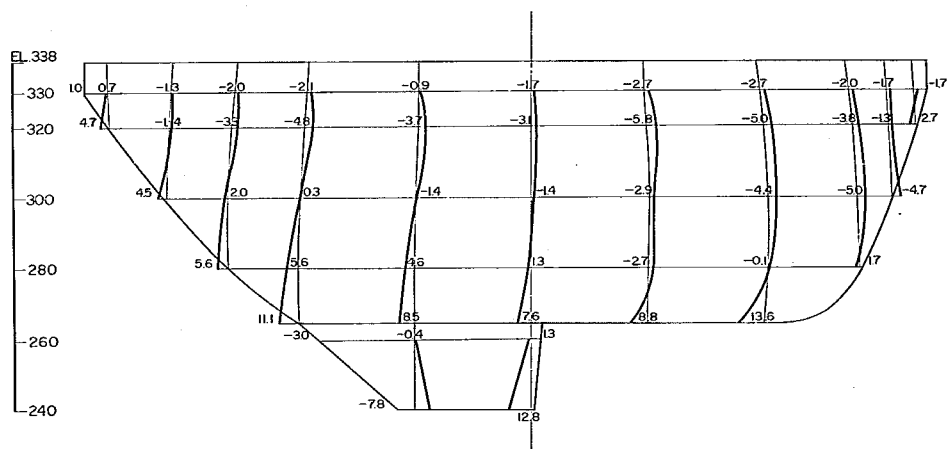


图 - 13(a) 铅直方向应力分布图 (自重加算) 上流面

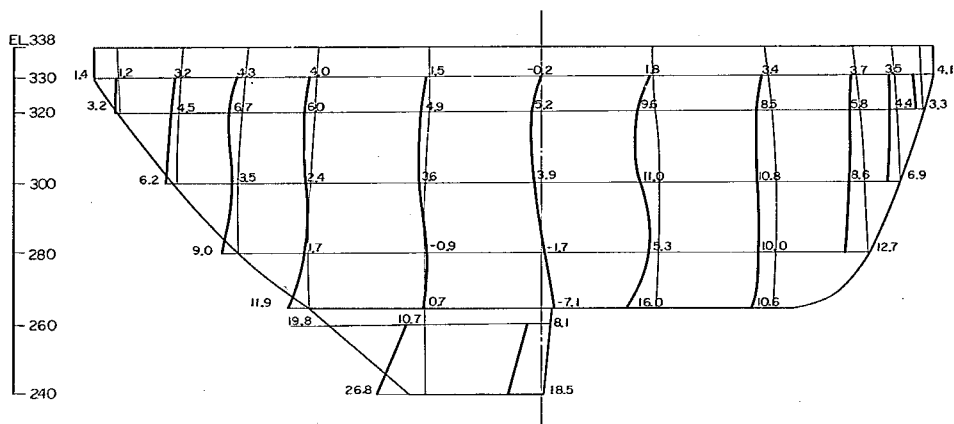


图 - 13(b) 铅直方向应力分布图 (自重加算) 下流面

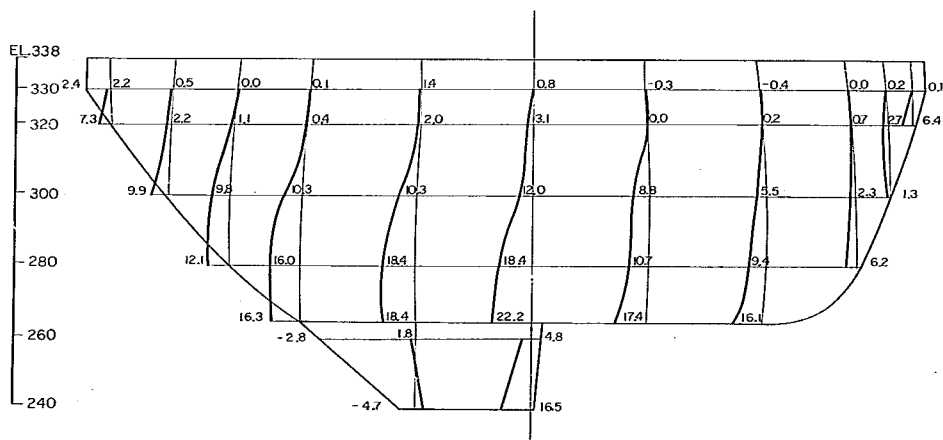


图 - 14(a) 剪断应力图上流面

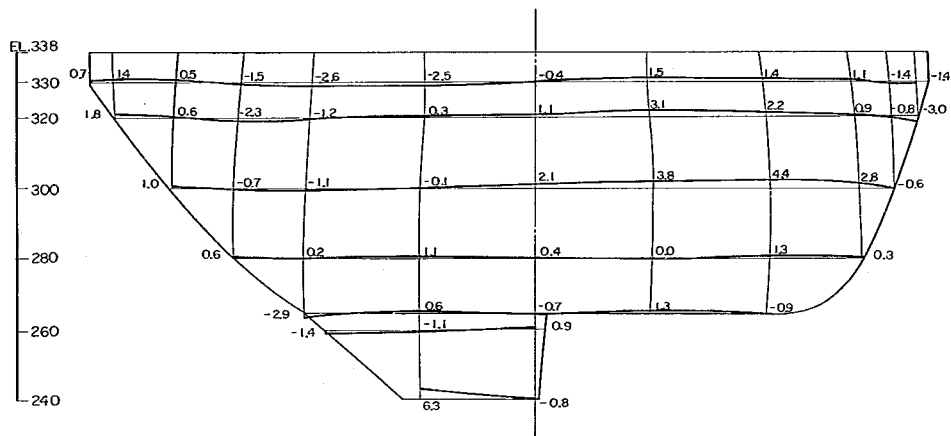


图 - 14(b) 剪断应力图下流面

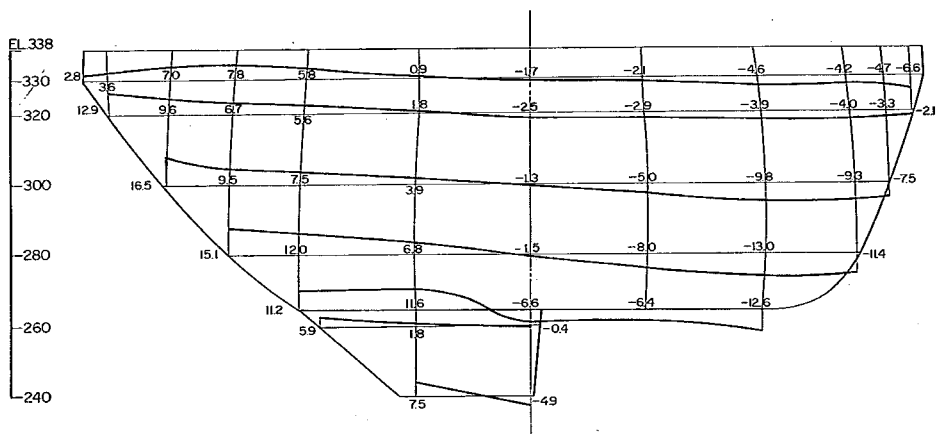


图 - 15(a) 主应力图上流面

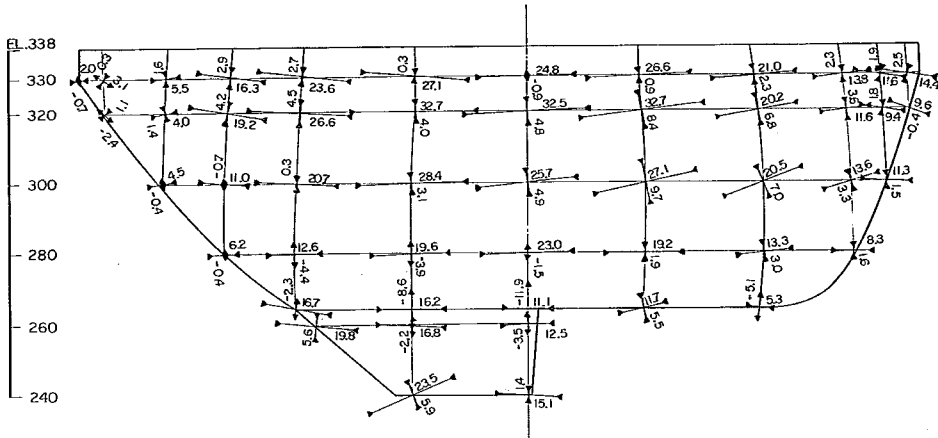


图 - 15(b) 主应力图下流面

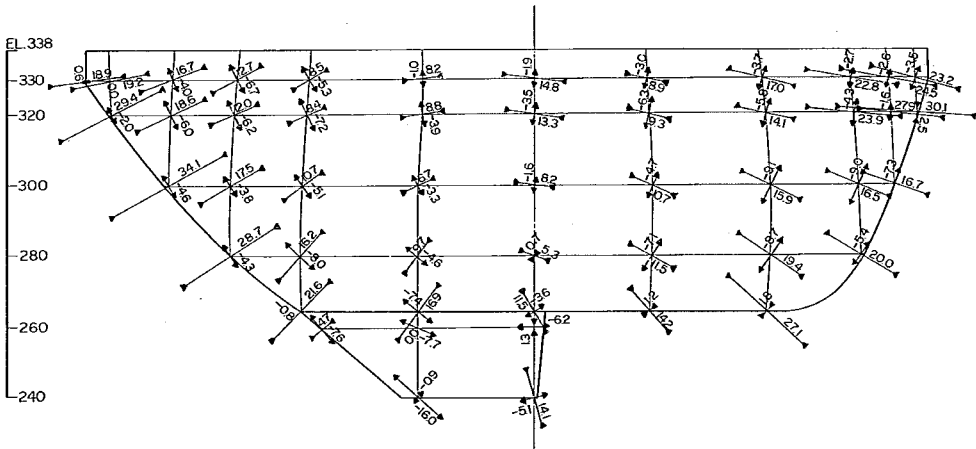


图-16(a) 主应力图(自重加算)上流面

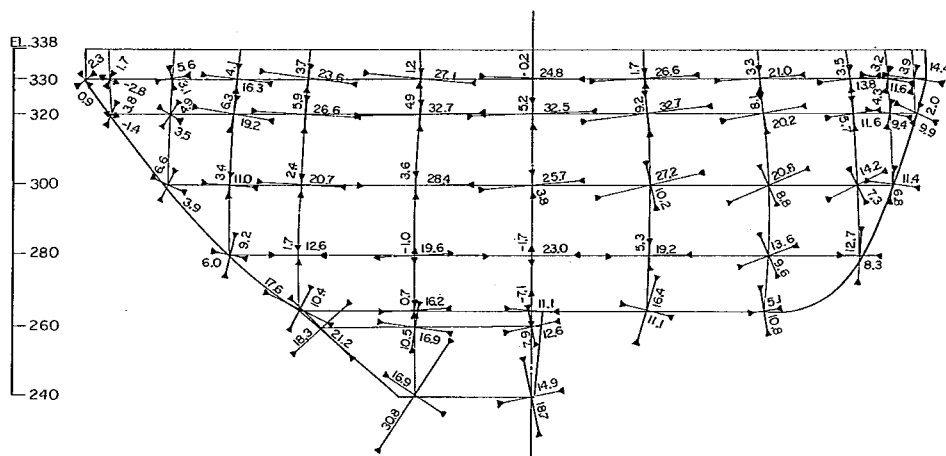


图-16(b) 主应力图(自重加算)下流面

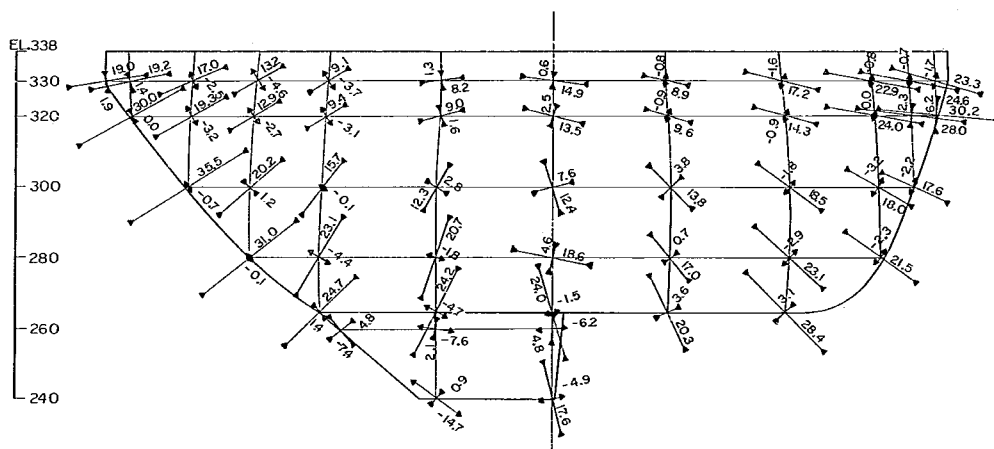


図-17(a) 水 平 応 力

(完全調整)

常時満水時毎重
 $H_0 = 79.0$
 $H_0 = 78.0$
 $K = 0.24$

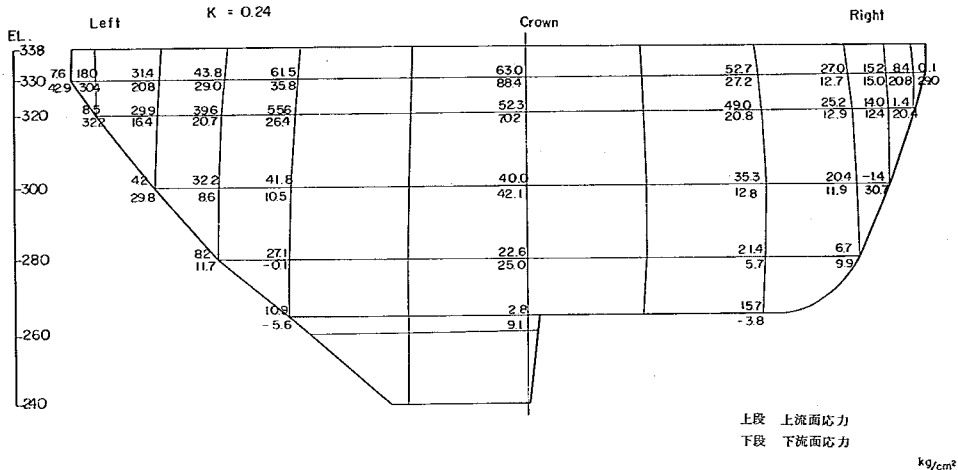


圖 - 18 (a) 水 平 應 力

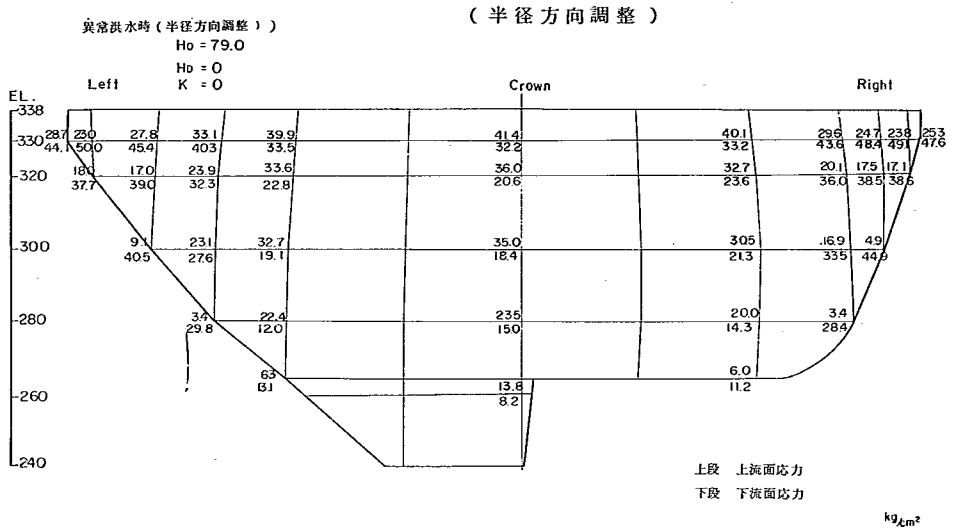


圖 - 18 (b) 鉛直応力（自重加算）
 （半径方向調整）

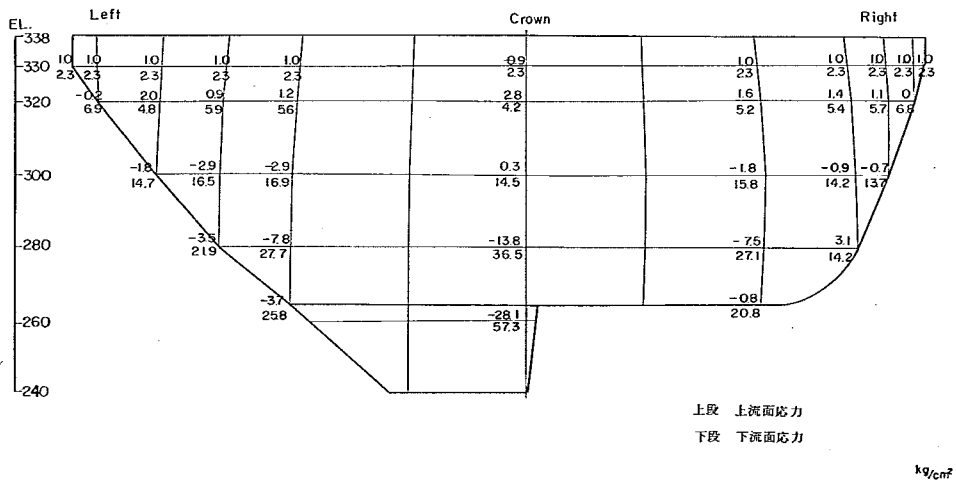


図 - 19 (a) 水 平 応 力

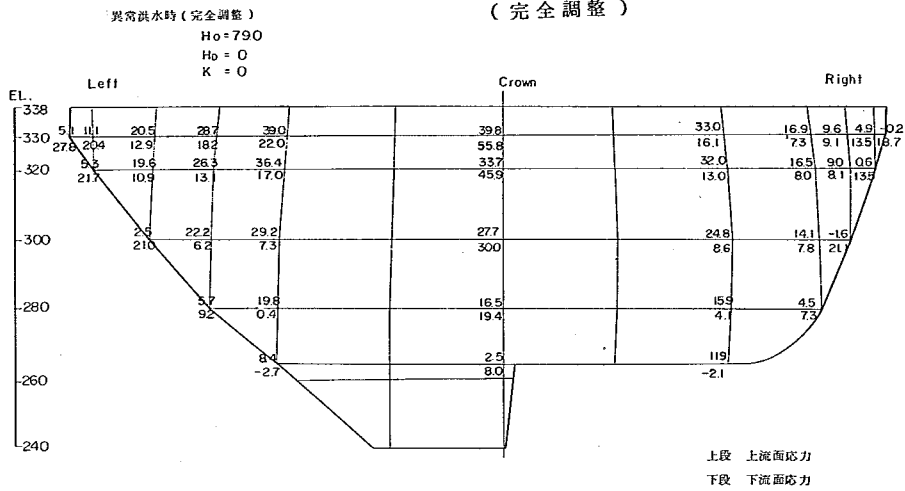


図 - 19 (b) 鉛 直 応 力 (自 重 加 算)

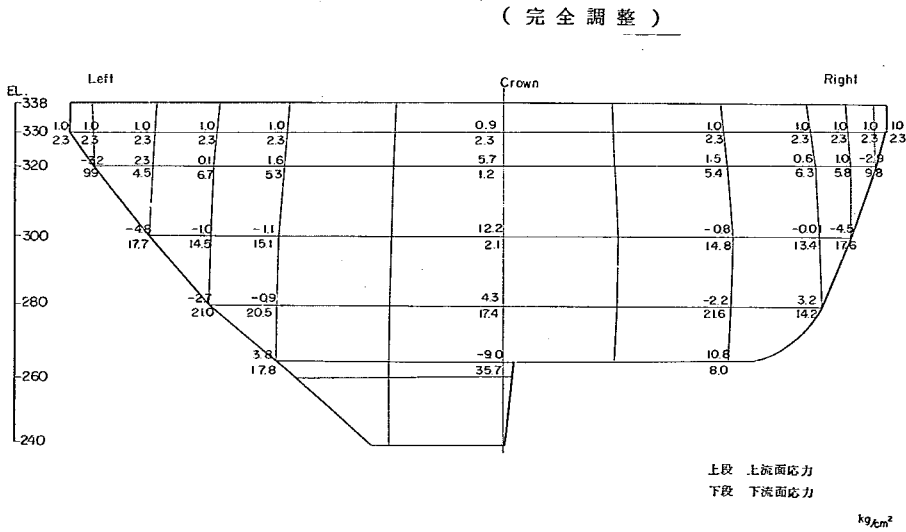


表-1 (a) 常時満水時荷重による水平応力

上流面応力

EL	位置	温度応力		計 算 値			実験値	推 定 値		
		冬 期	夏 期	常時満水時 荷重応力	常満応力 + 冬期	常満応力 + 夏期		常時満水時 荷重応力	常満応力 + 冬期	常満応力 + 夏期
330	Cr	-2.1	4.3	64.0	61.9	68.3	24.8	39.1	37.0	43.4
320	"	0	2.3	52.3	52.3	54.6	32.4	49.4	49.4	51.7
300	"	1.1	0	40.0	41.1	40.0	25.5	32.0	33.1	32.0
280	"	-0.8	-1.0	22.6	21.8	21.6	23.0	26.8	26.0	25.8
260	"	-0.2	1.5	2.8	2.6	4.3	12.4	14.7	14.5	16.2
330	Right abut	-0.6	7.8	0.1	-0.5	7.9	4.2	22.4	21.8	30.2
320	"	0.1	3.8	1.4	1.5	5.2	18.6	14.1	14.2	17.9
300	"	0	3.2	-1.4	-1.4	1.8	1.3	17.1	17.1	20.3
280	"	-0.7	0.2	6.7	6.0	6.9	18.3	11.9	11.2	12.1
260	"	-0.1	0.9	15.7	15.6	16.6	5.2	5.4	5.3	6.3
330	Left abut	-1.2	13.0	7.6	6.4	20.6	1.9	2.9	1.7	15.9
320	"	0	6.3	8.5	8.5	14.8	-0.7	-0.5	-0.5	5.8
300	"	0.2	2.1	4.2	4.4	6.3	4.3	6.8	7.0	8.9
280	"	-0.7	0.3	8.1	7.4	8.4	6.1	10.0	9.3	10.3
260	"	-0.3	0.8	10.9	10.6	11.7	16.2	17.7	17.4	18.5

下流面応力

EL	位置	温度応力		計 算 値			実験値	推 定 値		
		冬 期	夏 期	常時満水時 荷重応力	常満応力 + 冬期	常満応力 + 夏期		常時満水時 荷重応力	常満応力 + 冬期	常満応力 + 夏期
330	Cr	-2.9	10.8	88.4	85.4	99.2	14.7	23.9	21.0	34.7
320	"	-0.4	8.2	70.2	69.8	78.4	12.9	20.8	20.4	29.0
300	"	0.9	4.7	42.1	43.0	46.8	8.0	16.0	16.9	20.7
280	"	-1.2	1.2	25.0	23.8	26.2	4.8	11.1	9.9	12.3
260	"	-0.4	2.0	9.1	8.7	11.1	-6.2	0.3	-0.1	2.3
330	Right abut	-0.3	3.2	29.0	28.7	31.9	21.4	33.2	32.9	36.4
320	"	0.2	1.1	20.4	20.6	21.5	30.0	46.3	46.5	47.4
300	"	0.2	-0.3	30.7	30.9	30.4	14.1	21.2	21.4	20.9
280	"	-0.4	-0.2	9.9	9.5	9.7	13.0	16.9	16.5	16.7
260	"	-0.2	1.9	-3.8	-4.0	-1.9	15.3	19.9	19.7	21.8
330	Left abut	-0.7	6.7	42.9	42.2	49.6	18.5	28.2	27.5	34.9
320	"	0.1	3.6	32.2	32.3	35.8	22.7	34.2	34.3	37.8
300	"	0.2	0.3	29.8	30.0	30.1	24.9	35.6	35.8	35.9
280	"	-0.5	0.3	11.7	11.2	12.0	18.8	22.6	22.1	22.9
260	"	-0.3	2.2	-5.6	-5.9	-3.4	9.7	7.4	7.1	9.6

表-1 (b) 常時満水時荷重による鉛直応力

上流面応力

E L	位置	温度応力		計 算 値			実験値	推 定 値		
		冬 期	夏 期	常時満水時 荷重応力	常満応力 + 冬 期	常満応力 + 夏 期		常時満水時 荷重応力	常満応力 + 冬 期	常満応力 + 夏 期
330	C r	0	0	-1.0	-1.0	-1.0	-0.2	3.3	3.3	3.3
320	"	-0.4	1.1	3.7	3.3	4.8	5.2	5.2	4.8	6.3
300	"	-0.4	4.4	13.1	12.7	17.5	3.9	5.9	5.5	10.3
280	"	0.1	5.6	1.5	1.6	7.1	-1.7	-2.6	-2.5	3.0
260	"	-0.3	4.7	-18.8	-19.1	-14.1	8.1	-4.2	-4.5	0.5
330	Right abut	0	0	-0.1	-0.1	-0.1	4.2	6.4	6.4	6.4
320	"	-0.3	2.3	-8.5	-8.8	-6.2	3.3	4.0	3.7	6.3
300	"	-0.3	3.7	-11.4	-11.7	7.7	6.9	9.3	9.0	13.0
280	"	-0.1	2.6	-1.0	-1.1	1.6	12.7	12.4	12.3	15.0
260	"	-0.1	2.1	6.7	6.6	8.8	10.6	18.2	18.1	20.3
330	Left abut	0	0	-0.1	-0.1	-0.1	1.4	0.7	0.7	0.7
320	"	-0.2	2.2	-8.5	-8.7	-6.3	3.2	2.0	1.8	4.2
300	"	-0.3	3.7	-11.8	-12.1	-8.1	6.2	5.8	5.5	9.5
280	"	-0.2	3.4	-9.4	-9.6	-6.0	9.0	8.0	7.8	11.4
260	"	-0.1	2.7	-3.1	-3.2	-6.4	-11.9	14.2	14.1	16.9

下流面応力

E L	位置	温度応力		計 算 値			実験値	推 定 値		
		冬 期	夏 期	常時満水時 荷重応力	常満応力 + 冬 期	常満応力 + 夏 期		常時満水時 荷重応力	常満応力 + 冬 期	常満応力 + 夏 期
330	C r	0	0	4.3	4.3	4.3	0.8	0	0	0
320	"	0.4	-1.2	3.4	3.8	2.6	3.1	4.1	4.5	2.9
300	"	0.5	-4.6	2.0	2.5	-2.1	12.0	11.6	12.1	7.0
280	"	-0.1	-5.9	21.6	21.5	15.6	18.4	19.9	19.7	13.8
260	"	0.3	-5.2	47.8	48.1	42.9	4.8	34.9	35.1	29.6
330	Right abut	0	0	3.4	3.4	3.4	0.1	-3.1	-3.1	-3.1
320	"	0.3	-2.3	15.4	15.7	13.1	6.4	6.4	6.7	4.1
300	"	0.3	-3.9	25.0	25.3	21.1	1.3	1.8	2.1	-2.1
280	"	0.1	-2.7	19.0	19.1	16.3	6.2	6.7	6.8	4.0
260	"	0.1	-2.4	12.7	12.8	10.3	16.1	20.4	20.5	18.0
330	Left abut	0	0	3.3	3.3	3.3	2.4	2.5	2.5	0
320	"	0.2	-2.3	15.3	15.5	13.0	7.3	8.7	8.9	6.4
300	"	0.3	-3.8	25.2	25.5	21.4	9.9	11.4	11.7	7.6
280	"	0.2	-3.5	28.6	28.8	25.1	12.1	14.2	14.4	10.7
260	"	0.1	-2.9	25.7	25.8	22.8	16.4	18.0	18.1	15.1

表-2 (a) 温度荷重による水平応力

		EL	半 径 方 向 調 整				完 全 調 整	
			C-1 冬期温度	C-2 夏期温度	C-3	C-4	C-1 冬期温度	C-2 夏期温度
上 流 面	ク ラ ウ ン	330	-1.2	3.8	-1.7	3.2	-2.1	4.3
		320	0.1	0.5	-0.3	0	0	2.3
		300	0.7	-1.0	1.6	-0.1	1.1	0
		280	-0.4	-1.4	-0.3	-1.3	-0.8	-1.0
		260	-0.2	0.6	-1.0	-0.2	-0.2	1.5
	右 岸 ア バ ッ ト	330	-1.9	11.0	-4.7	8.2	-0.6	7.8
		320	-0.4	6.8	-2.9	4.3	0.1	3.8
		300	0.2	4.8	-0.7	3.8	0	3.2
		280	-0.7	1.8	-1.7	0.8	-0.7	0.2
		260	-0.4	1.8	-1.5	0.6	-0.1	0.9
	左 岸 ア バ ッ ト	330	-1.9	10.3	-4.4	7.7	-1.2	13.0
		320	-0.3	6.6	-2.8	4.1	0	6.3
		300	0.3	4.1	-0.5	3.4	0.2	2.1
		280	-0.7	1.9	-1.8	0.8	-0.7	0.3
		260	-0.3	1.8	-1.6	0.6	-0.3	0.8

		EL	半 径 方 向 調 整				完 全 調 整	
			C-1 冬期温度	C-2 夏期温度	C-3	C-4	C-1 冬期温度	C-2 夏期温度
下 流 面	ク ラ ウ ン	330	-2.2	12.4	-5.4	9.2	-2.7	10.8
		320	-0.5	8.7	-3.8	5.4	-0.4	8.2
		300	0.2	5.3	-0.9	4.2	0.9	4.7
		280	-0.8	2.6	-2.1	0.8	-1.2	1.2
		260	-0.5	2.2	-1.8	0.8	-0.4	2.0
	右 岸 ア バ ッ ト	330	-1.4	4.9	-2.4	4.0	-0.3	3.2
		320	-0.1	2.1	-1.1	1.0	0.2	1.1
		300	0.6	-1.1	1.5	-0.2	0.2	-0.3
		280	-0.3	-1.4	-0.1	-1.3	-0.4	-0.2
		260	-0.1	0.2	-0.5	-0.2	-0.2	1.9
	左 岸 ア バ ッ ト	330	-1.4	5.6	-2.6	4.5	-0.7	6.7
		320	-0.1	2.3	-1.2	1.2	0.1	3.6
		300	0.6	-0.4	1.2	0.2	0.2	0.3
		280	-0.3	-1.5	-0.1	-1.3	-0.5	0.3
		260	-0.2	0.6	-0.8	-0.1	-0.3	2.2

単位: Kg/cm²

表-2 (b) 温度荷重による鉛直応力

			半 径 方 向 調 整				完 全 調 整	
			C-1	C-2	C-3	C-4	C-1	C-2
上 流 面	ク ラ ウ ン	330	0	0	0	0	0	0
		320	-0.2	1.5	-0.7	1.1	-0.4	1.1
		300	-0.4	5.0	-1.9	3.5	-0.4	4.4
		280	-0.2	6.7	-2.0	4.9	0.1	5.6
		260	-0.5	6.2	-2.5	4.2	-0.3	4.7
	右 岸 ア バ ッ ト	330	0	0	0	0	0	0
		320	-0.2	1.2	-0.5	0.9	-0.3	2.3
		300	-0.2	2.7	-1.1	1.9	-0.3	3.7
		280	-0.1	2.0	-0.7	1.4	-0.1	2.6
		260	-0.2	2.8	-1.1	2.0	-0.1	2.1
	左 岸 ア バ ッ ト	330	0	0	0	0	0	0
		320	-0.1	1.1	-0.4	0.8	-0.2	2.2
		300	-0.2	2.5	-1.0	1.7	-0.3	3.7
		280	-0.2	2.8	-1.0	2.0	-0.2	3.4
		260	-0.2	3.2	-1.2	2.2	-0.1	2.7

			半 径 方 向 調 整				完 全 調 整	
			C-1	C-2	C-3	C-4	C-1	C-2
下 流 面	ク ラ ウ ン	330	0	0	0	0	0	0
		320	0.2	-1.5	0.7	-1.1	0.4	-1.2
		300	0.4	-5.2	2.0	-3.7	0.5	-4.6
		280	0.2	-7.1	2.1	-5.2	-0.1	-5.9
		260	0.5	-7.0	2.8	-4.7	0.3	-5.2
	右 岸 ア バ ッ ト	330	0	0	0	0	0	0
		320	0.2	-1.2	0.5	-0.9	0.3	-2.3
		300	0.2	-2.8	1.1	-1.9	0.3	-3.9
		280	0.1	-2.1	0.7	-1.5	0.1	-2.7
		260	0.2	-3.2	1.2	-2.2	0.1	-2.4
	左 岸 ア バ ッ ト	330	0	0	0	0	0	0
		320	0.1	-1.1	0.5	-0.8	0.2	-2.3
		300	0.2	-2.6	1.0	-1.9	0.3	-3.8
		280	0.2	-3.0	1.0	-2.1	0.2	-3.5
		260	0.2	-3.4	1.3	-2.4	0.1	-2.9

単位: kg/cm^2

(4) 各種荷重時の応力推定

これまで述べてきた実験結果で対象とされた荷重は、最高水位での水圧荷重、堆砂圧及び自重でこれらの荷重のときの応力分布、安全性等は充分検討してきた。

しかし設計の対象となる荷重はこの他に

(a) 常時満水圧荷重+堆砂圧+自重+地震荷重+温度荷重(夏期)

(b) " " " " " (冬期)が対象になる。

このため最高水位時の荷重と上記の二種について各々半径方向調整計算、完全調整計算を行い(図-17~19)、これを実験値と対比することにより各荷重時の応力の推定を行った。

その方法は計算での各荷重時のモーメントスラストの比が実験値に対しても保たれるものとして求めている。

その結果は表-1の如くである。

i) 先ず(a)の荷重について考察すると

圧縮応力の最大は水平応力では、上流面EL320mクラウンに於て51.7%、鉛直応力では下流面EL260クラウンで29.6%を示し、いずれも小さく、引張応力も最大-31%である。

ii) 次に(b)の荷重時の応力について考察すると

最大圧縮応力は同じく上流面EL320mクラウンに生じ49.4%で引張応力は最大-4.5%である。

iii) 実験で懸念されたプラグと本体の取付部分に生じた局部応力及びプラグでの引張応力は各荷重時の計算結果からみて、特に増大する恐れはない。

以上から 各種荷重時の応力は比較的小さく、本ダムはダム本体の応力からみて充分安全であると言い得る。

4 計算値と実験値との比較

以上行った実験結果と同じ荷重状態における半径方向調整計算結果および完全調整計算結果とを比較すれば図-20-26の如くである。

その結果を要約すると

- i) 撓みについては、クラウンでは完全調整計算結果は実験値より僅かに小さい値を示しているが、アバットメント近くでは逆に大きな値を示している。一方半径方向調整計算結果は曲線の型は実験値とかなり類似しているが値は、実験値よりも5割〜10割増の値を示している。

最高値はEL 330mクラウンに於て半径方向調整計算結果で70.6mmを示し、実験値は36.7mmを示している。

- ii) 水平方向応力については、上流面ではEL 330mのクラウンに於て最高値を示し、半径方向調整計算結果で41.4kgf/cm²、完全調整計算結果で39.8kgf/cm²、実験値24.8kgf/cm²を示している。

全般的にみてそれ以外のクラウン付近では完全調整計算結果は実験値とほぼ類似の値を示しており、半径方向調整計算結果では、やや前二者よりも大きい値を示している。

一方アバットメント付近では半径方向調整計算と完全調整計算とはかなりよく一致し、実験値より大きい。

下流面に於ては、完全調整計算はクラウンで大きな値を示しているが、実験値及び半径方向調整計算結果ではアバットメントの方が大きい値を示している。

全体の傾向としては半径方向調整計算結果は実験値と類似した曲線を示しているが全般に5〜10割大きい値を示しているが、完全調整計算結果ではかなり分布は異っている。

- iii) 鉛直応力については、上流面においては、クラウンでのみ完全調整計算結果が、実験値、半径方向調整計算結果よりも圧縮側の値を示しているが、その外に於ては全て実験値の方が圧縮側の値を示している。

下流面では、実験値は何れのところに於ても完全調整計算結果、半径方向調整計算結果よりも小さな値を示している。

- iv) 片持梁モーメントは総じて実験値、完全調整計算、半径方向調整計算の順に出ているがクラウンEL 260mに於て-35208(tm)を示している。

- v) アーチ曲げモーメントについては、上部に於ては、三つの値ともほぼ同じ様な値を示しているが、下部ではかなり乱れている。

- vi) アーチスラストについては、総じて完全調整、半径方向調整の方が実験より5割〜10割増の値を示している。

- vii) 完全調整計算上流面主応力については、EL 330mクラウンで最大圧縮応力39.8kgf/cm²を示している。引張応力は左右アバットに於て少しづつ出ているが最高はEL 320m右岸に-9.8kgf/cm²を示しているが問題はないものと思われる。

下流面主応力については、圧縮応力はEL 330mクラウンで最大55.8kgf/cm²、引張応力はEL 280mに於て-10.0kgf/cm²を示している。

図 - 20 (a) 撓 み 図

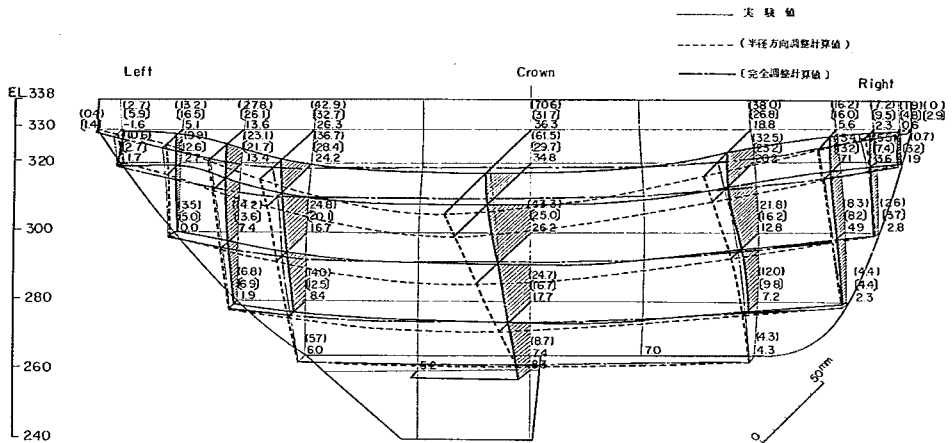


図 - 20 (b) 撓 み 図

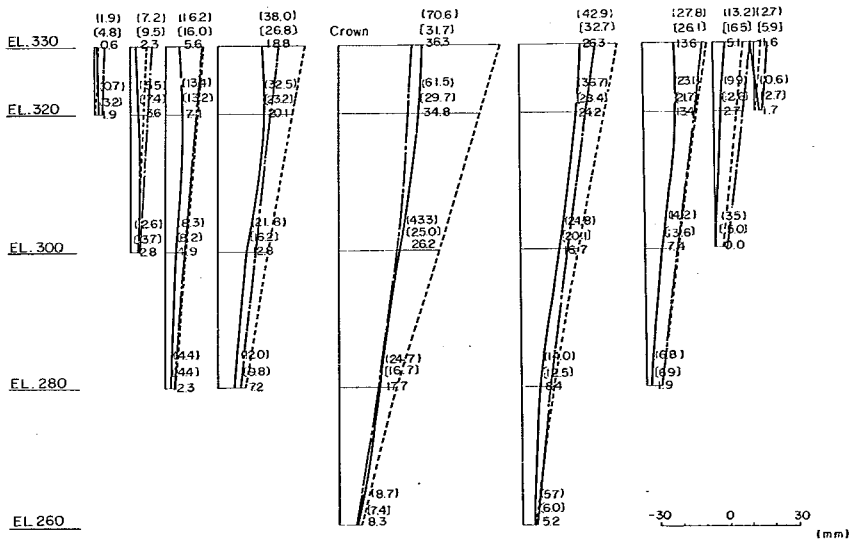


図 - 20 (c)

撓 み 図

— 実 験 値
 - - - (半径方向調整計算値)
 — (完全調整計算値)

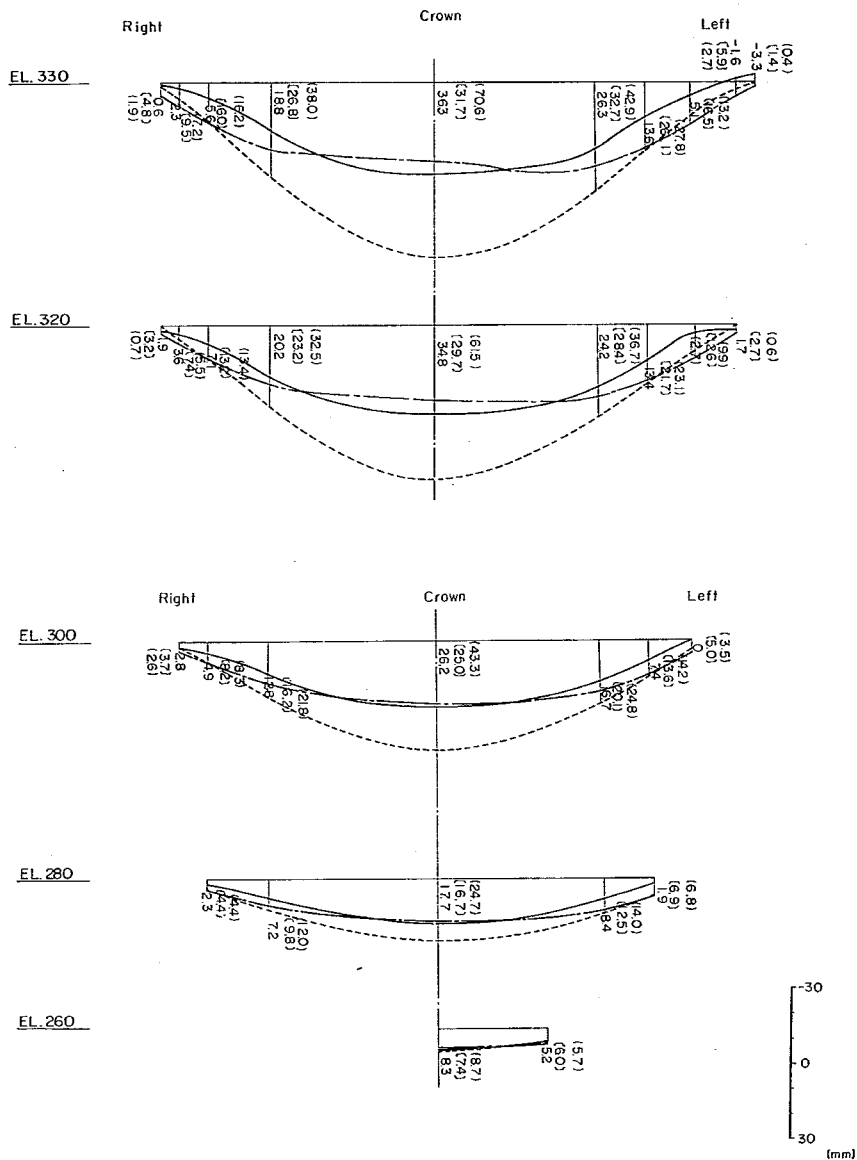


图-21(a) 水平方向应力分布图 (上流面)

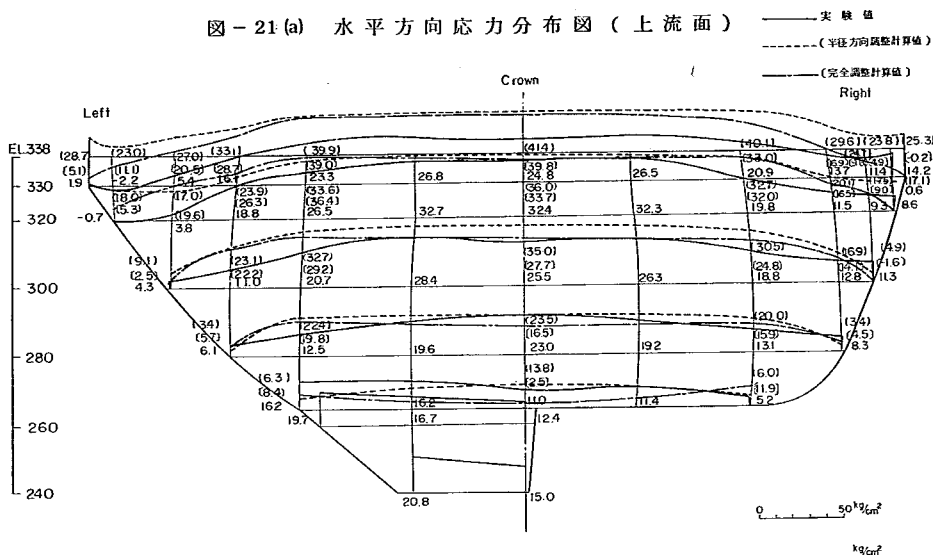


图-21(b) 水平方向应力分布图 (下流面)

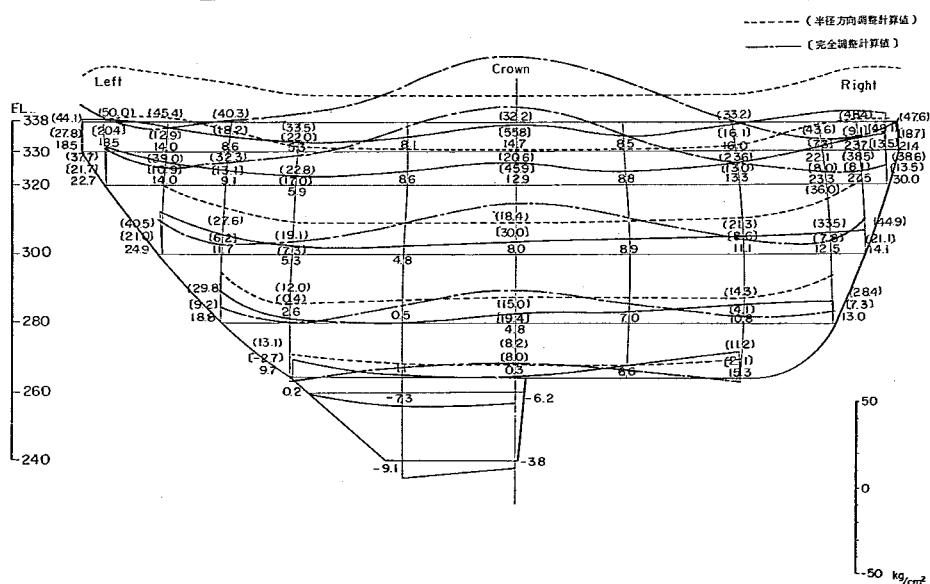


图-22(a) 铅直方向应力分布图(自重加算)上流面

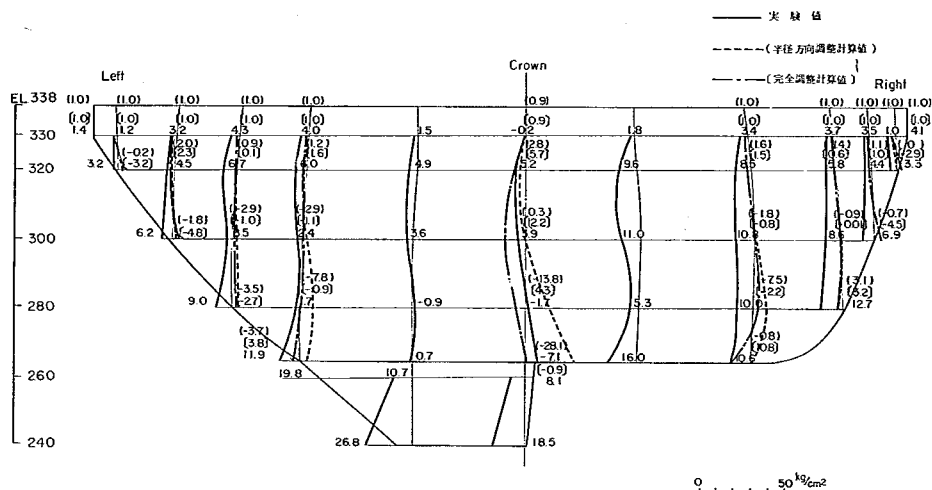


图-22(b) 铅直方向应力分布图(自重加算)下流面

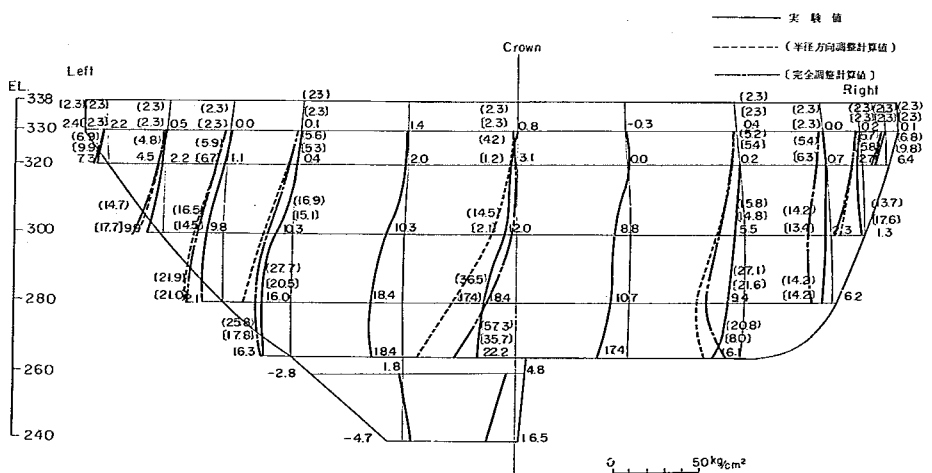


图-23(a) 剪断应力图 上流面

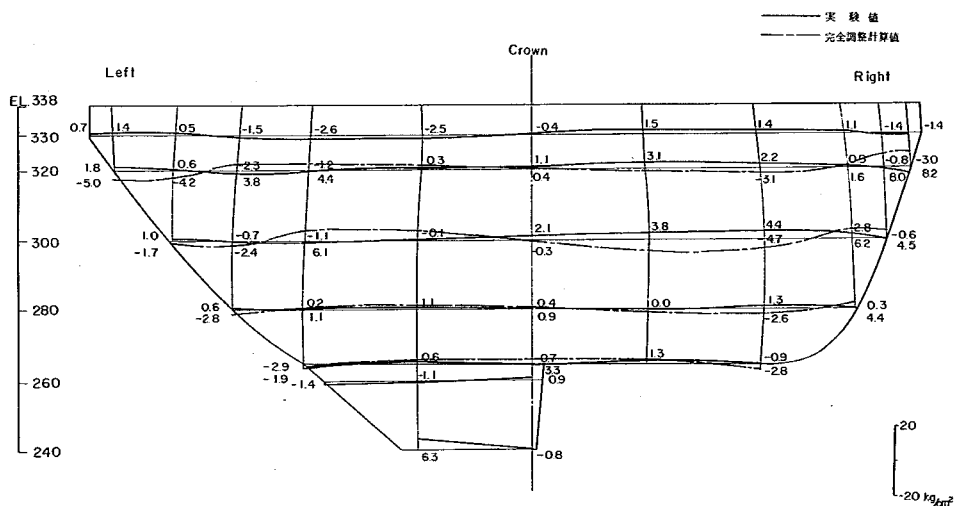


图-23(b) 剪断应力图 下流面

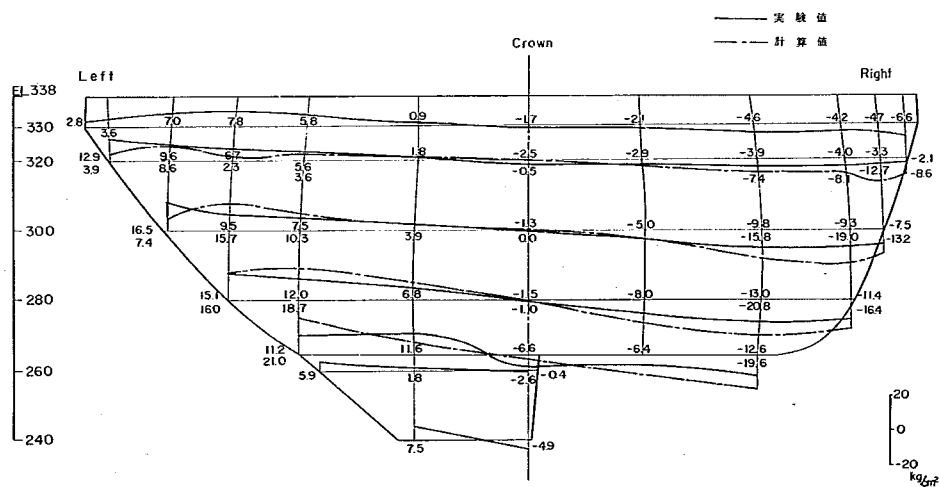


図-24 片持梁モーメント分布図

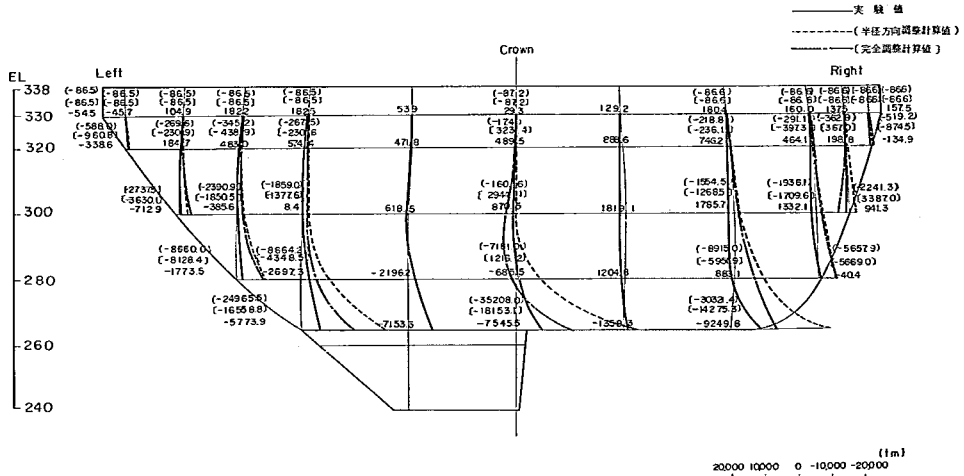


図-25 アーチ曲げモーメント図

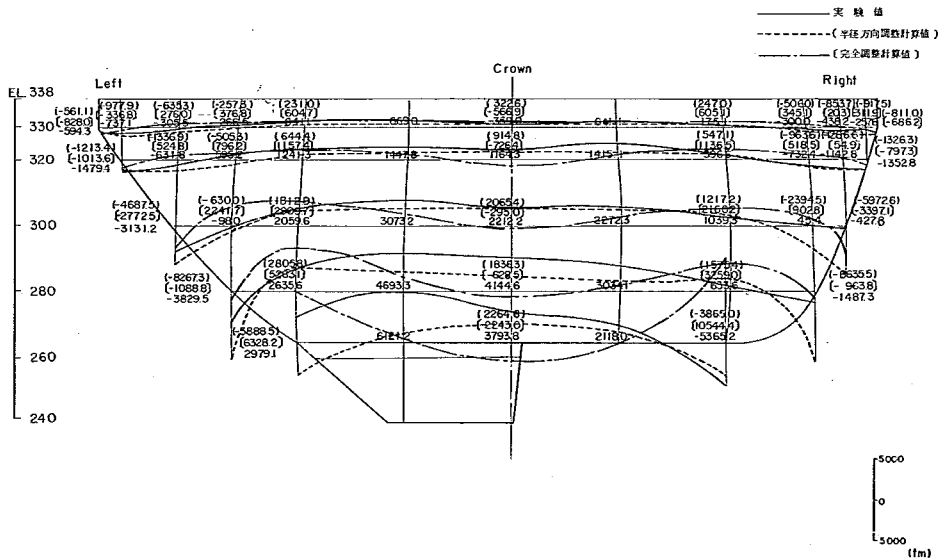


図-26 アーチスラスト分布図

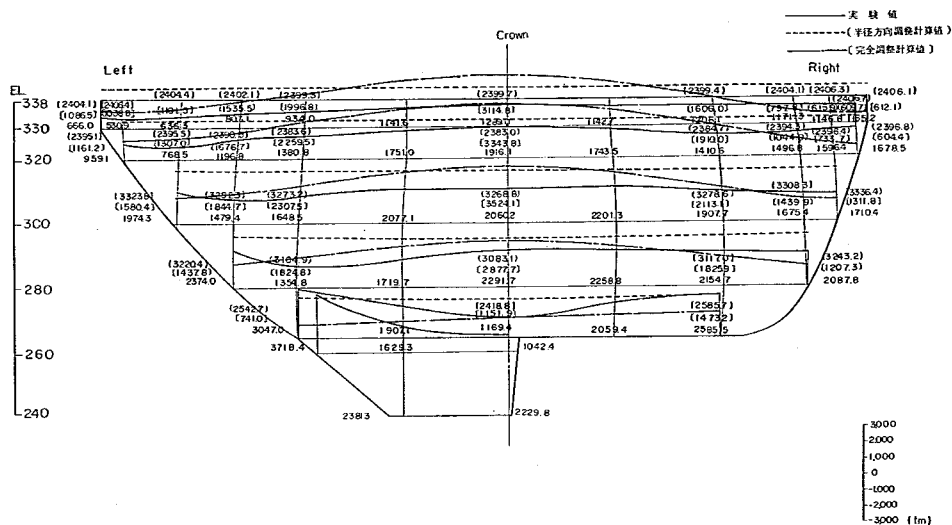


图-27(a) 主应力图(自重加算)上流面

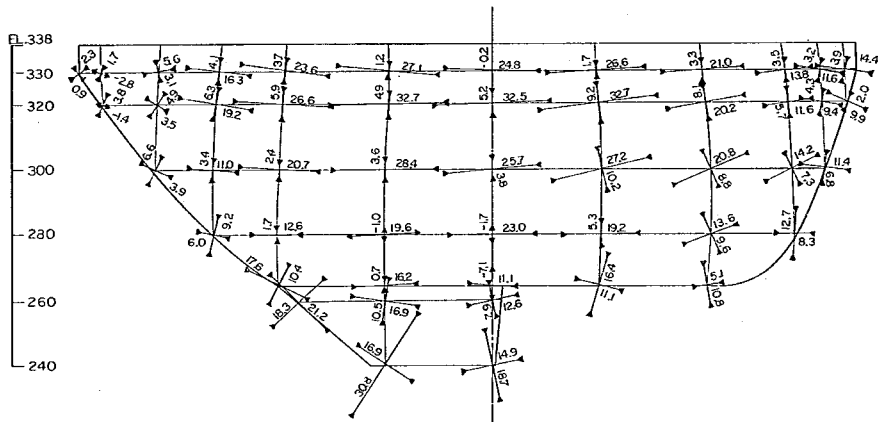


图-27(b) 主应力图(自重加算)下流面

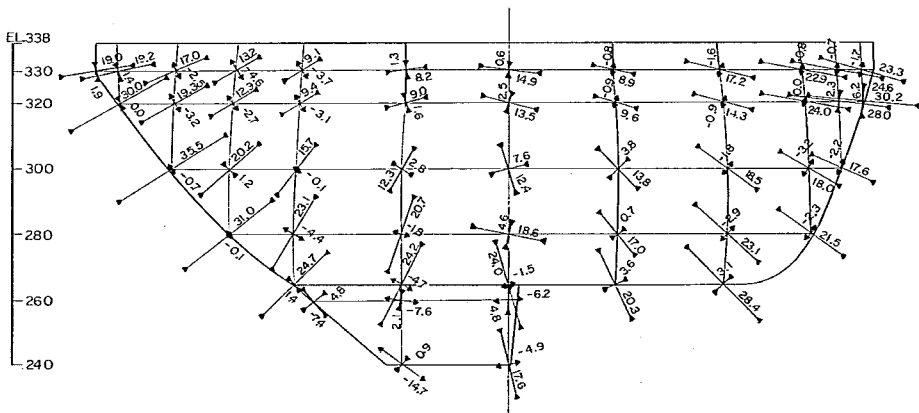


图-28(a) 主应力图上流面
(完全调整)

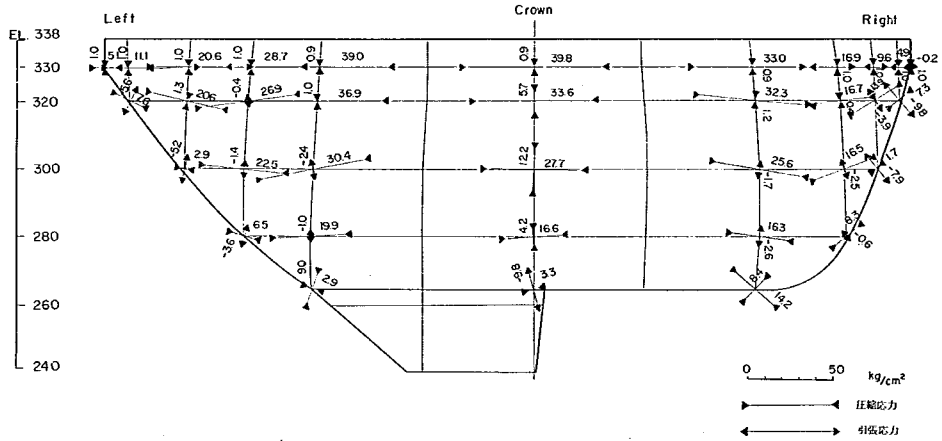


图-28(b) 主应力图下流面
(完全调整)

