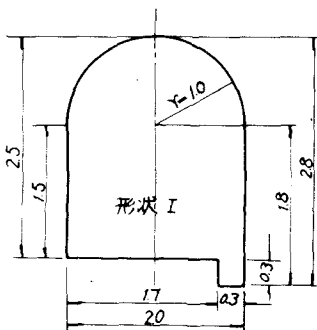


ダム監査廊周辺の応力解析とその応用

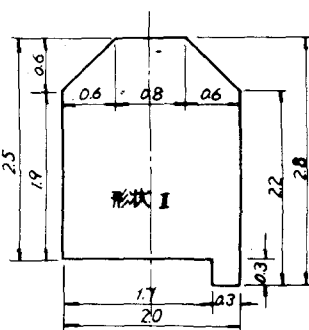
建設省御所ダム工事事務所 正会員 大 隅 義 隆

1 はじめに

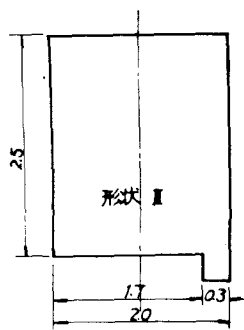
弾性構造物内に開孔断面があるとき、その周辺に応力が集中する。この応力集中については、これまで多くの研究がなされてきたが、円や楕円、矩形などのある特定断面で、おしに引張力を作用させている。また数値計算もめんどりで、現実にあるさまざまな断面形状に適用するにあたっては一定の目安になるが、不安しつきまわっている。さてダムの監査廊は一般に図(1)に示す断面が用いられてきた。これに対して施工性、経済性から図(2)、図(3)のような断面が考えられる。各断面をそれぞれ形状Ⅰ、形状Ⅱ、形状Ⅲとし、安定性、つまり周辺応力をみることにした。応力を求める方法としては構造または光弾性模型実験、有限要素法による弾性計算などが考えられたが、作業、期間、整理、精度、経費等の諸条件を考慮して有限要素法によることにした。



図(1)



図(2)



図(3)

2 応力解析概要

有限要素法の精度をみるため形状Ⅰから側溝をとりのぞき、すでに発表されている光弾性模型と一致させて鉛直方向荷重を作用させた。さらに形状Ⅱ、Ⅲには鉛直荷重および水平荷重を個別に作用させた。荷重は監査廊がない場合に生ずるであろう等分布応力度であり、これを「応力荷重」 σ_0 とした。周辺応力は単位応力荷重 $\sigma_0 = 1$ が作用するとき生ずる応力として求め、これを「応力係数」とした。応力係数は各荷重状態につき、監査廊断面に平行する方向(接線方向)と直交する方向の大きさに整理した。計算は建設省土木研究所の二次元弾性計算プログラムを用い、日本I-B-Mで行なった。その入力条件の概括を表(1)に示す。また同時にこれまで近似的に適用してきた円孔、

テ-タ 形状	節点数 nodal points	要素数 Elements	弾性係数 E_c ($10^8/cm^2$)	ポアソン比 μ	鉛直荷重 σ_{0V} (t/m^2)	水平荷重 σ_{0H} (t/m^2)
I	176	291	210,000	0.2	10	—
II	183	301	210,000	0.2	10	10
III	402	716	210,000	0.2	10	10

表(1) FEM計算条件

楕円孔周辺の応力をも求めておき、比較検討してみた。

3. 計算結果と考察

有限要素法による計算結果のうち、鉛直方向に圧縮単位応力荷重を作用させたときの応力係数の一部を図(4)～(6)に示す。応力荷重 σ_0 が任意の大きさのとき、実際の応力 σ は

$$\sigma = k \cdot \sigma_0 \quad (1)$$

となる。この図の応力係数は配筋に必要な、断面と平行(接線)方向の大きさである。また引張力には(-)符号をつけた。

形状Ⅰの応力係数は光弾性模型実験の結果とはほぼ一致している。また円、楕円孔周辺の応力を適用してきたことにも妥当性はある。したがって有限要素法による応力は信頼できることが確認できたし同様にして計算された形状Ⅱ、Ⅲの応力も信頼できる。形状Ⅱは形状Ⅰとそれほど大きな差はない。一般に形状Ⅲにいくほど引張応力は大きくなり、その分布も広がっている。しかし圧縮応力は平均化されていくようである。また今回始めて側溝をつけて計算したが、この断面の急変する部分には荷重状態によって引張応力、圧縮応力とも最大なものが生ずる。これは現場においては注意を要しよう。

4. 引張面積と配筋量

コンクリート構造物では引張応力に対する配筋が必要であり、何々の引張応力よりも引張応力の分布の大きさが問題になる。鉛直荷重が作用する場合、この最大は明らかに断面の中心軸上に分布する。応力係数 k から求めた最大の引張応力分布を「単位引張面積」 T_0 とすると、応力荷重 σ_0 が任意の大きさのとき、実際の引張面積 T_A は

$$T_A = T_0 \cdot \sigma_0 \quad (2)$$

となる。この T_0 を求めておく。分布曲線が未解決なので、三角形の面積で近似させる。図(7)の各形状中心軸の分布より、頂部では

$$\text{形状Ⅰ} \quad T_0 = 28 \text{ (kg/cm}^2\text{/kg/cm}^2\text{)} \quad (3)$$

$$\text{Ⅱ} \quad T_0 = 32 \quad (4)$$

$$\text{Ⅲ} \quad T_0 = 55 \quad (5)$$

底部では

$$\text{形状Ⅰ} \quad T_0 = 40 \quad (6)$$

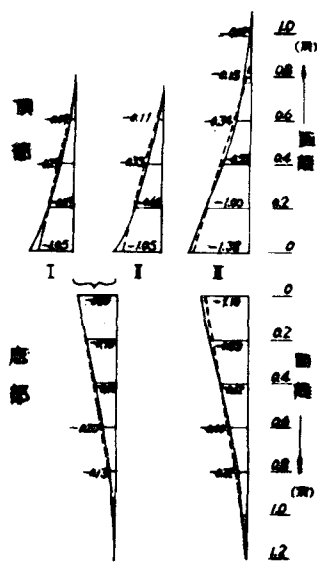
$$\text{Ⅱ} \quad T_0 = 40 \quad (7)$$

$$\text{Ⅲ} \quad T_0 = 60 \quad (8)$$

さらに水平方向に圧縮荷重を作用させたときは図(8)のように側壁部の中央付近に最大の引張応力が分布し、

$$\text{形状Ⅰ} \quad T_0 = 45 \text{ (光弾性より)} \quad (9)$$

$$\text{Ⅱ} \quad T_0 = 55 \quad (10)$$



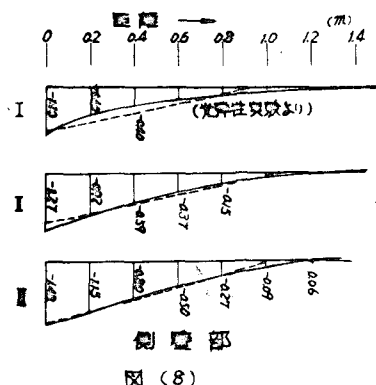
図(7)

$$\text{II} \quad T_0 = 70$$

(11)

となる。これらを式(2)に代入し鉄筋の許容引張力度で除すと配筋量がすぐでることになる。

T_0 の各式をみれば断面形状が、アーチから直線になるほど配筋量が多くなっていくことがわかる。しかし構造物の荷重条件(ϕ_0 の大きさと方向)は多様であり、応力係数 α と引張面積 T_A はその結果で比較されるべきであろう。たとえば御所谷ムでは最大の鉛直荷重が完成直後で $\phi_0 \cdot V = 7 \text{ } \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ で、式(8)を用いて $T_A = 420 \text{ } \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ その後、満水時には荷重条件が変わり、水平荷重 $\phi_0 \cdot H = 4 \text{ } \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ が作用する。式(11)を用いれば $T_A = 280 \text{ } \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ となり、完成直後時の小さい単位引張面積で設計することになる。(これは形状Ⅲを採用した場合である)



図(8)

5. 結 び に

今回、開孔部周辺の応力をくわしく調べてみたが、三つの形状は開孔断面形状の大半を含んでおり、断面形状やその大きさの比率も考慮すれば多くの構造物に適用できると思われる。一般には応力状態がいいということで円弧形状をとりいれてきたが、開孔断面の大きさ、荷重条件によって直線的な形状を採用してもいいであろう。それは鉄筋量は少し多くなるが、鉄筋や型枠の加工、およびそれらの取付けなど、施工性は一段とよくなるのではないだろうか。

参 考 文 献

- 1) 「四十田田ム監査廊周りの配筋計算書」昭和41年3月 建設技術研究所
- 2) "STRESSES AROUND A GALLERY" by H.B. Phillips & C.H. Zangar
- 3) "STRESSES AROUND RECTANGULAR OPENING IN A PLATE" June 1960 by H.B. Phillips & I.E. Allen
- 4) "The Finite Element Method in structural and continuum mechanics" by O.C. Zienkiewicz & Y.K. Cheong.