

電子計算機とその応用 (4)

建設工事における応用例 (アーチ ダムの型ワクの測点座標計算)

西村 真三郎*

序 言 電子計算機は今まで技術計算としてはむずかしい複雑な計算を行なうものとされてきた。しかし最近はその計算速度の速い点を利用して計算は簡単でも計算量の多い場合に電子計算機を使うことがさかんになり、その結果工事期間の短縮、設計変更に対してただちに対応できるようになった。

例えば、むずかしい計算としては、

- a) ダムの強度計算, b) 津波による港湾の冠水状況の計算,
- c) 橋梁等の構造物の強度計算, d) 土圧の計算等。

多量の計算をするのは、

- a) 測量データの整理, b) 自動車, 電車等の交通量の分析,
- c) 河川の洗量統計, d) 貯水池の利用度の計算等である。

この二面は従来技術計算, 事務計算と呼ばれていたものであるが, 最近の電子計算機と, そのプログラムシステムの発達には, いわゆる技術計算に事務計算の要素を, 事務計算に技術計算の要素を持ちこむこととなり, 事務計算の中へ LP, OR の考えがとり入れられ, また技術計算の中へ上の例のごとく, 単純な計算式であっても多量の計算を行なわなければならない場合が多くなってきた。

今まで技術者が考えていた電子計算機の利用面は, 主としてむずかしい計算をする面が強調されていて, 単純な計算でも計算量の多い場合にも電子計算機が活用されることが忘れられがちであった。そこでここでは技術計算におけるデータ プロセシングの見地に立ち, 多量の計算を行なう場合の例としてアーチダムのコンクリートの型ワクの測点座標を計算する問題をとりあげてみよう。

1. アーチダムの型ワクの測点座標計算概要

アーチダムの形は一般に図-1のごとく上にむけて上形をした半円形をしている。

その形は水平面で切った切口の円弧の中心とその半径が水平面の高さの関数としてあたえられている。このダムを実際につくる場合にはコンクリートを打つための型ワクを作るのであるが, その型ワクを置く場所を決めるためには, そのワクに応じた測点をつくり, その座標値を計算しておいて, それにあわせることとなる。

そこで, この測点について上の状況によってその座標を計算する必要がある。このための測点の数はダムの大きさにもよるが一つのダムで数千から数万点になる。

またこの測点はダムを数分割したブロックをつなぐ継目と, そのブロックの中を分別した断面とにわけられている。ここでは主として継目上の測点の座標計算を説明するが断面上の測点の計算についても同様に考えられる。

まずダムの中心線上に x 軸をとり, y 軸をそれと直角に, z 軸を垂直方向にとり座標の中心をダムの最上の外円 (基準円) の中心にとる。もし座標がこれと異なる場合は一応この座標系で計算しておいてあとは座標変換の公式で計算する。さてこのように座標系をとると, おおのの水平面で切った切口に出る円弧の中心点は高さの関数として, x 成分は

$$\left. \begin{aligned} O_u &= F_u(z) \quad (\text{上流}) \\ O_D &= F_D(z) \quad (\text{下流面}) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

となり y 成分は当然 O である。またこれらの円の半径は直接あたえられることよりも多くの場合ダムの表面の型として与えられることの方が多いため, 表面の形を高さの関数として表わすと, x 式分は

$$S_u = y_u(z) \quad (\text{上流面}) \quad S_D = y_D(z) \quad (\text{下流面})$$

となり y 式分はこれも当然 O である。

まず joint の基準円上の位置がダムの中心よりの距離 l で与えられる。いま z なる高さの所を考えると, そのときの円の中心 O_D が (1) 式であたえられる。 A, O_D を結ぶ直線が円 BC と交わる点を B として, B が z の変化につれてえがく軌跡が joint の下流面の形である。

ここで B 点の位置を高さの関数として表わすには

$$(A_x - O_D) : (B_x - O_D) = \overline{AO_D} : \overline{BO_D} = A_y : B_y$$

であるから

$$B_x = O_D + \frac{(A_x - O_D) \overline{BO_D}}{\overline{AO_D}}$$

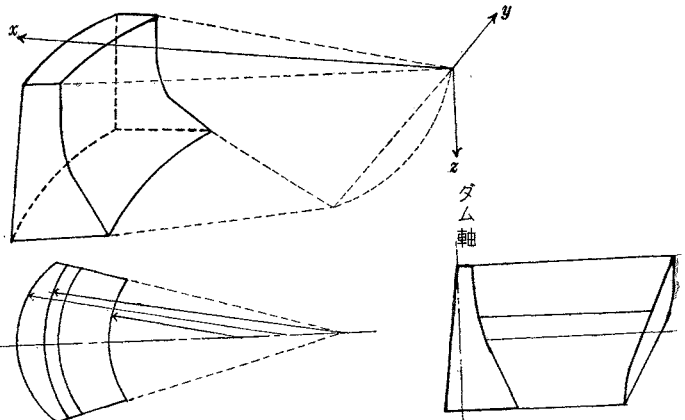
$$B_y = \frac{A_y \cdot \overline{BO_D}}{\overline{AO_D}}$$

$$\text{ここに } \overline{AO_D} = \sqrt{(A_x - O_D)^2 + A_y^2}$$

$$\overline{BO_D} = \overline{CO_D} = S_D - O_D = y_D(z) - F_D(z)$$

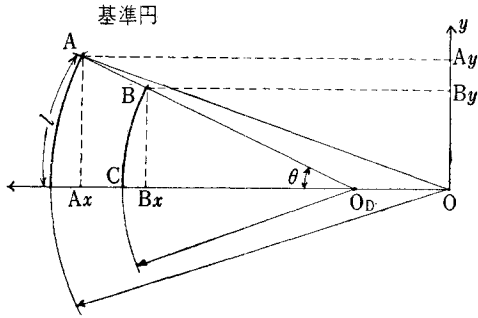
$$\text{である。 } A_x = R \sin \theta \quad A_y = R \cos \theta$$

図-1



* 日本 IBM 計算センター

図-2

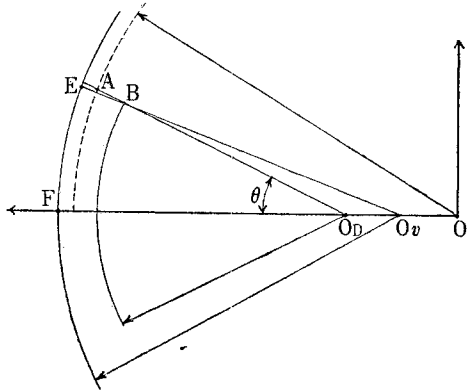


上流面については前図の $\overline{BO_u}$ の延長が弧の上流面と交わる E 点の軌跡である。

$\overline{BO_u}$ の方程式は

$$m = \frac{B_y}{B_x} \text{をといて}$$

図-3



$$y = m(x - O_D)$$

円 EF の方程式は

$$(x - O_u)^2 + y^2 = (S_u - O_u)^2 = r^2$$

であるから、上の2式を連立させてとくと

$$x^2 - 2 O_u x + O_u^2 + m^2(x^2 - 2 x O_D + O_D^2) - r^2 = 0$$

$$(1 + m^2)x^2 - 2(O_u + m^2 O_D)x + (O_u^2 + m^2 O_D^2 - r^2) = 0$$

$$\therefore \begin{cases} x = \frac{(O_u + m^2 O_D) \pm \sqrt{(O_u + m^2 O_D)^2 - (1 + m^2)(O_u^2 + m^2 O_D^2 - r^2)}}{(1 + m^2)} \\ y = m(x - O_D) \end{cases}$$

ここに $x > 0, y > 0$ と考えて $\sqrt{\quad}$ の前の符号は+をとった。またブロックの間を N 分割して断面の形を決めるのであるがこれは各 joint の基準円上の点の間を N 分割してこれを基準点として上の計算をくりかえすことになるので、ここではこの部分は一部省略する。

2. プログラムを書くための式の整理

さて以上で計算すべき内容はわかったわけであるが、電子計算機のプログラムを書くためには、もう少し整理して計算手順をはっきりさせたものを書かなければならない。ここでは一応、各 Block の間の joint のみを計

算するものとして話を進める。

- ① この書き方は同じ計算はできるだけくりかえさない。
- ② 上から順々に計算していく。
- ③ 式の意味は右辺を計算してその値を左辺の分数の値とする。

以上の三つの原則のままで行なう。それから、この計算では何を与えて何を計算するかを明確にしなければならない。これはプログラムの応用範囲の問題であって、すべての数値が定まってい今後変化しない場合と、ある部分の値は後で与えて再計算したい場合とは異ってくる。また何といっても電子計算機は同じ計算をくりかえすようにした方が万事都合がよく、一度しかしない計算はそのプログラムをチェックして間違いを調べている間に手で計算ができてしまうので、どうしても同じ方法でくりかえし計算した方がすべてに都合が良い。それでここでは joint の位置を指定して、その joint の切口の座標を計算するプログラムを作るようにすれば、各 joint ごとに同じプログラムで計算できるので、初めのデータとしては joint の位置をカードで与えることにして、多くの joint については、このカードを何枚も準備して、それで計算をくりかえすようにする。各 joint 間の断面の計算をする場合にはこのカードに joint の位置と次の joint の位置およびその間の分割数を入れるようにすると便利である。さてこのように計算を行なうとした場合でもダムの外形は、この計算を通じて変わらないのであるから、ダムの形を決める計算は joint の位置をあたえる前に計算してしまつた方が便利なので、そのように考えると、まず①水平面の高さ

$$z(1), z(2), \dots, z(N) \text{ ただし } z(1) = 0$$

を初めのデータとしてあたえる。

これは z のふえ方に一定の方法があればプログラムで書いてもよいが、そうでないときは入力データと考える方がプログラムしやすい。

②円の中心を求める

$$\bar{O}_u(I) = G_u(z(I))$$

$$\bar{O}_D(I) = G_D(z(I)) \quad (I=1, 2, \dots, N)$$

ついで円の半径を求める

$$R_u(I) = F_u(z(I)) - x_u(I)$$

$$R_D(I) = F_D(z(I)) - x_D(I) \quad (I=1, 2, \dots, N)$$

$$R = R_u(I) \text{ とする。}$$

ここで関数 G_u, G_D, F_u, F_D についてはあとで一括して計算式を作ればよいのでここでは後まわしにする。

これは単にプログラムの便宜上で実際の計算方法をここで書いてもさしつかえない。

③ joint の位置をダム軸よりの円弧の長さ AL であたえる。

$$\textcircled{4} \quad AX = R * \text{SINF}\left(\frac{L}{R}\right) \quad AY = R * \text{LÖSF}\left(\frac{AL}{R}\right)$$

$I = 1, 2, \dots, N$ にかえて下流面は
 $AOD = \text{SQRTF}((AX - \bar{O}D(I)) ** 2 + AY * AY)$
 * は掛算 ただし $\text{SINF}(\) = \sin(\)$
 ** 2 は 2 乗 $\text{SQRTF}(\) = \sqrt{\quad}$
 $BX = \bar{O}D(I) + ((AX - \bar{O}D(I)) * RD(I)) / A\bar{O}D$
 $BY = AY * RD(I) / A\bar{O}D$

上流面の計算は

$$M = BY / BX$$

$$M_2 = M * M$$

$$A = 1 + M_2$$

$$B = \bar{O}U(I) - M_2 * \bar{O}D(I)$$

$$C = \bar{O}U(I) * \bar{O}U(I) + M_2 * \bar{O}D(I) * \bar{O}D(I) - RU(I) * RU(I)$$

$$X = (B + \text{SQRTF}(B * B - A * C)) / A$$

$$Y = M * (X - \bar{O}D(I))$$

ここで $AL, z(I), BX, BY, X, Y, I$ をプリント

またはパンチして出して I をかえて④の初めより計算というような具合になる。ここでさきの関数について与えられた条件でその計算式を書けばよいわけである。

3. プログラム例

そこで図-4のような場合のプログラムを書いてみると座標系が違うのでそれを修正する計算もふくめて示すと、表-1のごとくなる。

後はこの計算式を電子計算機によませると、これを翻訳して電子計算機用のプログラムにしてくれる。もっとも関数計算の部分は途中で手を少し入れる部分があるが大したことはない。

4. 計算例

このようにして実際に電子計算機による計算が行なわれた一例を示すと表-2のごとくである。この計算は上の例で示したものよりやや複雑な所があり、そのプログラムも上で説明したものよりもっと電子計算機の言葉に

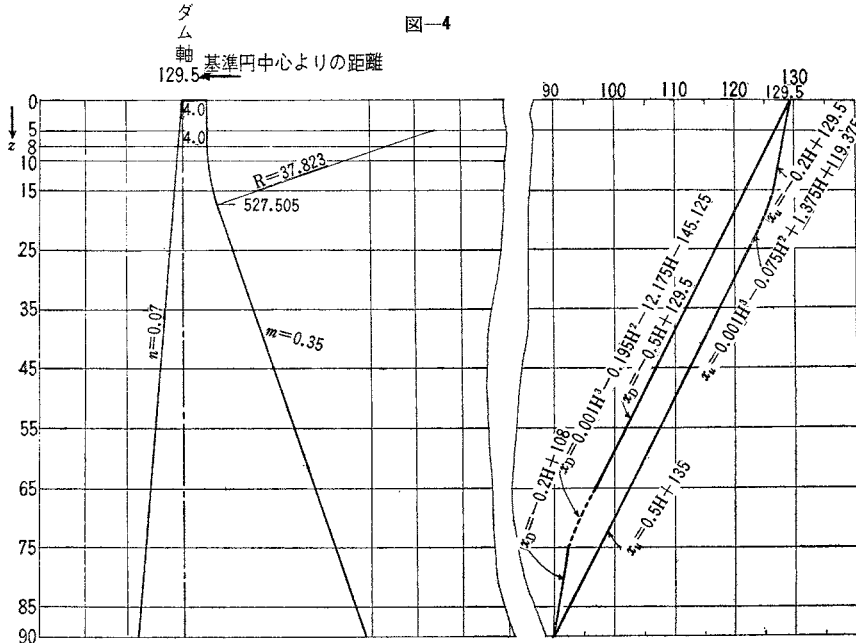


表-1 (a)

FORTANSIT
CODING FORM

PROBLEM		
測点座標の計算		
CODER	DATE	PAGE

FOR COMMENT	CONTINU- ATION	FOR TRANSIT STATEMENT						IDENTIFICATION		
		STATEMENT NUMBER								
1	5	6	7	26	27	36	37	72	73	80
C			SÖKUTEN ZAHYÖ NÖ KAI,SAN							
	10		READ, N							
			READ,(Z(I), I=1, N)							

20		$\bar{D}\bar{O} 21 I=1, N$		
		$\bar{O}U(I)=GUF(Z(I))$		
		$\bar{O}D(I)=GDF(Z(I))$		
		$RU(I)=FUF(Z(I)-\bar{O}U(I))$		
21		$RD(I)=FDF(Z(I)-\bar{O}D(I))$		
		$R=RU(1)$		
30		READ, L		
40		$AX=R*SINF(AL/R)$		
		$AY=R*COSF(AL/R)$		
		DO 41 I=1, N		
	0	$A\bar{O}D=SQRTF((AX-\bar{O}D(I))**2+AY*AY$		
	1)		
	0	$BX=\bar{O}D(I)+((AX-\bar{O}D(I))*RD(I))!$		
	1	$A\bar{O}D$		
		$BY=AY*RD(I)/A\bar{O}D$		
		$M=BY/BX$		
		$M2=M*M$		
		$A=1/M2$		
		$B=\bar{O}U(I)-M2*\bar{O}D(I)$		
		$C=\bar{O}U(I)*\bar{O}U(I)+M2*OD(I)*\bar{O}D(I)$		
		$-RU(I)*RU(I)$		
		$X=(B+SQRTF(B*B-A*C))/A$		
		$Y=M*(X-\bar{O}D(I))$		
	41	PUNCH, AL, Z(I), BX, BY, X, Y, I		
		GOTO 30		
50		END		

表-1 (b)

FORTTRANSIT
CODING FORM

PROBLEM		
測点座標計算に使用する関数の計算		
CODER	DATE	PAGE

FOR COMMENT	CONTINUATION	FOR TRANSIT STATEMENT			IDENTIFICATION
		STATEMENT NUMBER			
		1	26 27	36 37	72 73 80
C			GUF(Z)		
			IF(Z-1.5)1,1, 2		
	1		XU=0.2*Z+129.5		
			GOTO 5		
	2		IF(Z-2.5)3,4,4		
	3	0	XU=0.001*H*H*H-0.075*H*H+119.3		
		1	75		
			GOTO 5		
	4		XU=-0.5*H+135.		
	5		OU=129.5-XU		
C			GDF(Z)		
			IF(Z-6.5)11,11,12		
	11		XD=-0.5*H+129.5		
			GOTO 15		

	12		$IF(Z-75.)13,14,14$		
	13	0	$XD = ((0.001 * H - 0.195) * H - 12.175) *$		
		1	$H - 145.125$		
			$G\bar{O}T\bar{O} 15$		
	14		$XD = -0.2 * H + 108.$		
	15		$\bar{O}D = 129.5 - XD$		
C			$FUF(Z)$		
			$SU = 0.07 * H$		
			$SU = SU + 129.5$		
C			$FDF(Z)$		
			$IF(Z-5.)21,21,22$		
	21		$SD = 4.0$		
			$G\bar{O}T\bar{O} 25$		
	22		$IF(Z-17.495)23,24,24$		
	23	0	$SD = 41.823 + SQRTF((Z-4.0)**2$		
		1	$+ 37.825 * 2)$		
			$G\bar{O}T\bar{O} 25$		
	24		$SD = -0.35 * Z$		
	25		$SU = 129.5 - SD$		
			END		

表 2

JOINT 11			下 流 面		上 流 面	
Joint No.	Section No.	H	X	Y	X	Y
11	01	5450	*03256022	20026542	*02856493	20045919
11	02	5450	*03245304	19736012	*02845433	19746129
11	03	5450	*03241318	19445313	*02841320	19446164
11	04	5450	*03244068	19154598	*02844155	19146184
11	05	5450	*03253549	18864026	*02853941	18846350
11	01	5435	*03257690	20026948	*02846660	20046383
11	02	5435	*03247346	19736500	*02835743	19746361
11	03	5435	*03243770	19445900	*02831797	19446170
11	04	5435	*03246964	19155305	*02834819	19145973
11	05	5435	*03256925	18864875	*02844810	18845931
11	01	5420	*03259377	20027362	*02836829	20046824
11	02	5420	*03249409	19736999	*02826058	19746567
11	03	5420	*03246248	19446501	*02822279	19446148
11	04	5420	*03249894	19156029	*02825489	19145731
11	05	5420	*03260341	18865745	*02835687	18845479
11	01	5405	*03261081	20027785	*02827001	20047240
11	02	5405	*03251496	19737510	*02816376	19746746
11	03	5405	*03248755	19447117	*02812764	19446097
11	04	5405	*03252855	19156772	*02816162	19145459
11	05	5405	*03263792	18866637	*02826572	18844996
11	01	5390	*03264127	20028160	*02817174	20047631
11	02	5390	*03254929	19738006	*02806698	19746898
11	03	5390	*03252612	19447752	*02803253	19446017
11	04	5390	*03257170	19157569	*02806844	19145156
11	05	5390	*03268601	18867620	*02817466	18844480
11	01	5375	*03272814	20028310	*02807348	20047997
11	02	5375	*03264012	19738414	*02797021	19747022
11	03	5375	*03262124	19448438	*02793749	19445907
11	04	5375	*03267145	19158553	*02797532	19144821
11	05	5375	*03279068	18868929	*02808367	18843930
11	01	5360	*03287507	20028242	*02797524	20048337
11	02	5360	*03279111	19738751	*02787348	19747117
11	03	5360	*03277656	19449202	*02784249	19445767

11	04	5360	*03283142	19159766	*02788226	19144453
11	05	5360	*03295555	18870616	*02799276	18843347
11	01	5345	*03308272	20027977	*02787703	20048650
11	02	5345	*03300286	19739045	*02777678	19747184
11	03	5345	*03299269	19450074	*02774753	19445595
11	04	5345	*03305218	19161241	*02778927	19144054
11	05	5345	*03318122	18872718	*02790194	18842729
11	01	5330	*03335199	20027537	*02777883	20048937
11	02	5330	*03327631	19739321	*02768013	19747222
11	03	5330	*03327056	19451087	*02765264	19445393
11	04	5330	*03333471	19163014	*02776633	19143621
11	05	5330	*03346860	18875277	*02781120	18842077
11	01	5315	*03368414	20026943	*02768066	20049196
11	02	5315	*03361274	19739605	*02758350	19747231
11	03	5315	*03361146	19452271	*02755778	19445159
11	04	5315	*03368021	19165123	*02760347	19143155
11	05	5315	*03381890	18878338	*02772054	18841390
11	01	5300	*03408085	20026214	*02758251	20049428
11	02	5300	*03401376	19739925	*02748691	19747209

近いプログラムで書いたのであるが、この計算をするためプログラムを作るのに約1カ月 90000円かかり実際の計算は約7000点について行なったが、約2時間かかってその費用は110000円ほどであった。

計算例

最後に IBM 計算センターで処理した計算例をいくつかあげると次のとおりである。

- トラス、ラーメンの強度計算
- 曲面構成の鉄骨、ワクなどの寸法計算
- パイプ、板などの応力計算
- コンクリート量、土砂量などの計算
- 河川の流量計算 (原稿受付: 1960.10.5)