不屈の信念よく神の試練に耐え得たことはこの発電所の輝しい将来を約束するものと確信する。故野口遵社長の衣鉢を継いだ旭化成が，本社，延岡工場及び水ケ崎現場三位一体となり，終始乱れぬ協力によつてこの成果を得，些か故人の薫陶に酬い得たことは，発電事業のみでなく日本産業再建のあり方に一つの示唆を与えたものと信ずる。

又土木工事を担当した西松建設，大和土建，鹿島建設及び大豊建設の夜を日についだ献身的な協力並びに僅か2ケ月間然も未完成の土木工事と出合い工場で鉄管又は機器の据付を行つた日本鋼管及び日本工営の諸氏の労は利害打算を超越して日本水力技術の真価を再認識させたもので高く評価さるべきものである。

最後に本工事の計画当初から設計施工を通じ終始御指導御鞭韃を賜わつた日本産業再建技術協会久保田豊先生始め協会員各位の協力並びに設計に貴重な示唆を仰いだ東大本間博士の御厚意に対しては本誌を通じ心からの感謝を捧げこの報告を終ることにする。

(昭. 26.4.25)

UDC 627.823.4
624.131.433

堤体の滲透流線決定に関する実験

正員 久保田 敬 一*

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE STREAM LINES THROUGH AN EARTH DAM.

(JSCE July 1951)

Keiichi Kubota, C. E. Member.

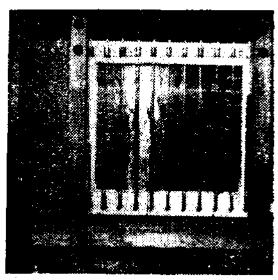
Synopsis The present author discussed the determination of the seepage water quantity under the title "Experimental Research of a Seepage through an Earth Dam (Part I)". In this paper, he explains some results of this experiment of seepage through an earth dam in order to determine its stream lines. As a result, the author found that the all stream lines through an earth dam fit to the parabola of 2nd order exactly, and it is unsuitable to assume the stream lines as the basic parabola always.

要旨 著者は前に土堰堤の滲透に関する実験的研究の中，滲透水量の決定に関する結果について論述した。[1] 今こゝに続報として流線に関する結果を述べることにする。結論として流線は二次抛物線と仮定して差支えないこと及び流線を常に基本抛物線であると仮定することの妥当でないことを確め得た。

1. 実験方法

著者の行つた実験装置は前に説明した通りであつて，[1] 堤体を作つた砂は豊浦砂，相馬砂及び豊浦砂に重量比にして 23.3% の花崗岩粉を混入したものゝ3種とした。水位は水位管 A，B 及び C の3つの読みの平均をとつて求める。又堤体の均一性を充分保たせるために砂を水槽に入れる時には特に考慮して特別の容器で，常に一定の高さから砂を入れるようにした。砂の塡め方及び砂の物理的性質は前に説明した通りである。[1] **写眞—1** は水位管 C の水位上昇状況，**写眞—2** は同じく A 及び B の水位上昇状況を示したものである。但し何れも $h_1=370$ mm，$h_2=160$ mm の場合の一例に過ぎない。A 及び B の読みが違つて見えるのは写真を多少下から上向きにとつた関係であつて両者の読みは常によく一致している。

写眞—1



写眞—2

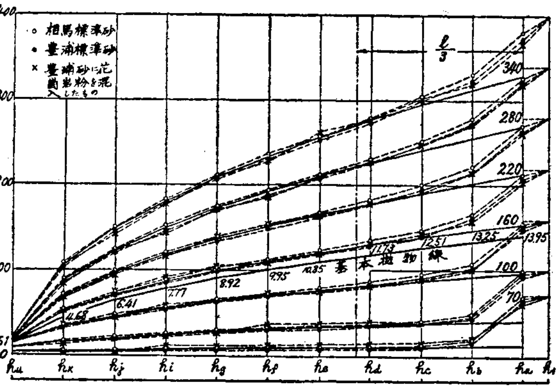
2. 流線の形状

実験は上流側水深 h_1，下流側水深 h_2 を種々に変化せしめてその各々について水位を測定して流線を決定す

* 徳島大学教授，工学部土木教室

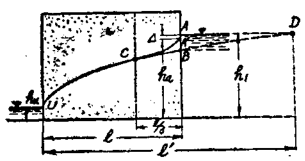
1) 堤体の滲透に関する実験的研究(第1報)土木学会誌 36巻3号

図—1



る。今その一つについての結果は図—1の如くなる。同図は $h_2=0$ の場合で $h_1=40$ cm, 34 cm, 28 cm, 22 cm, 16 cm, 10 cm, 7 cm の流線である。白丸は相馬砂，黒丸は豊浦砂，×印は豊浦砂に花崗岩粉を混入したものである。之によつて見れば堤体を作る材料の如何に拘らず流線は常に一定の形を呈することが明らかである。その一定の形とは二次の抛物線に極めてよく一致する曲線である。実線を以つて示したのはその二次抛物線である。実測流線は二次抛物線とよく一致するが，上流側より $\frac{1}{3}l$ の点において之と離れる。基本抛物線として実線を以つて示してあるのは下流側堤体壁面に焦点を有する二次抛物線であつて，その方程式は次の通りである。

図—2

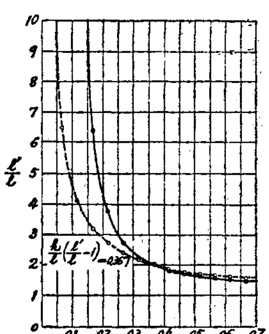


$$y^2=3.2x+2.6 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

この場合の h_u は $h_u=1.61$ cm となる。

次に二次抛物線が上流側水面と交わる点Dの距離 l' が h_1 の変化と共に如何に変化するかを調べて見ることにし，その結果を図示して見ると図—2の如くなる。同図によつて次の事が了解できる。

図—3



（1） 堤体の滲潤線が上流側の水面と交わる点の位置 l' は上流側水深 h_1 が増大するにつれて次第に小となる。

著者の実験においては $h_1=7$ cm の時 $l'=32\,l$, $h_1=22$ cm の時 $l'\fallingdotseq 2\,l$, $h_1=40$ cm において $l'=1.5\,l$ となる。

（2） 上の結果から $h_1<4$cm なる或る値に対して $l'=\infty$ となること，又 $h_1=\infty$ の時 $l'=l$ となることが仮定できる。今図—3から $h_1=0$ の時 $l'/l=\infty$, $h_1=\infty$ の時 $l'=l$ を満足するような双曲線を仮定し，之によつて l'/l と h_1/l との関係を式によつて表わして見ると次のようになる。

$$\frac{h_1}{l}\left(\frac{l'}{l}-1\right)=0.367 \quad \cdots\cdots\cdots(2)$$

図—3において黒丸を以つて表わしたのは実験値，白丸を以つて表わしたのは（2）式によつて求めたものである。この両者の間には相当の差異のあることが認められる。

3. $\varDelta$ 及び滲透面 h_s の変化

$h_1-h_a=\varDelta$ とする。$\varDelta$ は上流側湛水池の静水が金網を通して運動領域に入り，急に流動する為めに損失水頭として表われるものである。理論的に流線，等ポテンシャル線を考える場合には $\varDelta=0$ とするが，実際には堤体の土質如何に拘らず必ず現われるものである。

今下流側湛水池の水深が $h_2=0$ なる場合について之を検討して見れば次の如くである。即ち豊浦砂，相馬砂及び花崗岩粉を豊浦砂に混入した場合の3つの材料について夫々の h_a の平均をとりその値を用いて $\varDelta$ を求めて見れば表—1の通りである。

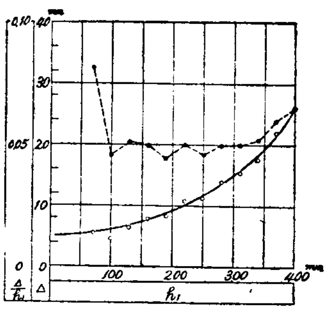
表—1

h_1(mm)	h_a(mm)	$\varDelta$(mm)	$\frac{\varDelta}{h_1}$
400	373.7	26.3	0.066
370	348.0	22.0	0.066
340	322.3	17.7	0.052
310	294.5	15.5	0.050
280	266.0	14.0	0.050
250	238.5	11.5	0.046
220	209.0	11.0	0.050
190	181.5	8.5	0.045
160	152.0	8.0	0.050
130	123.4	6.6	0.051
100	95.3	4.7	0.047
70	64.3	5.7	0.081

又この関係を図示すれば図—4の如くなり，$\varDelta$ は h_1 が大きくなれば大きく，小さくなれば小となる。又 $\frac{\varDelta}{h_1}$ と h_1 との関係は破線を以つて示したようになつて，h_1 には無関係に大体において $\frac{\varDelta}{h'}\fallingdotseq 0.05$ 即ち $\varDelta\fallingdotseq\frac{1}{20}h_1$ として差支えないことが解る。次に h_s を

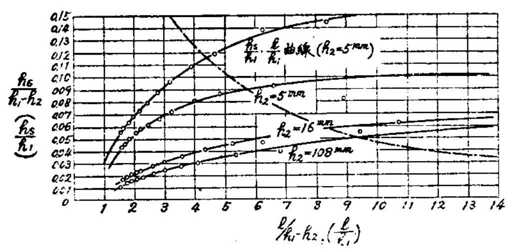
考えて見るのに，先ず $h_2=0$ なる場合をとれば $h_u=h_s$ となるから，h_s の h_1 に対する変化を知ることができる。著者の実験においては $h_2=0$ の場合でも $h_2=5$mm を示したから正確

図—4



に $\dfrac{h_s}{h_1-h_2}$ と $\dfrac{l}{h_1-h_2}$ との関係は 図—5 に示すようになる。($h_2=5$ mm と書いた曲線) 又之を $h_2=0$

図—5

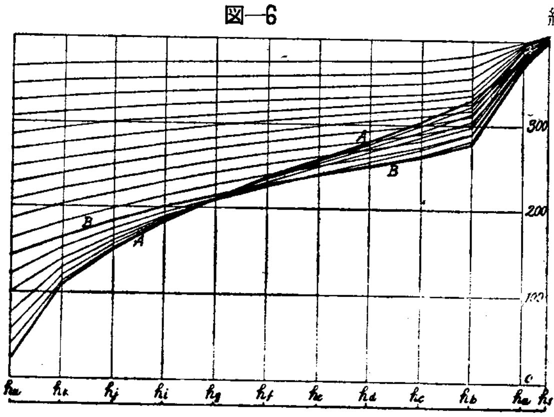


と仮定して $\dfrac{h_s}{h_1}$ と $\dfrac{l}{h_1}$ との関係を図示して見ると一番上の曲線の如くなる。今仮りに流線を基本抛物線であると仮定して $\dfrac{h_s}{h_1}$ と $\dfrac{l}{h_1}$ との関係を図示して見よう。基本抛物線式から次の式を得る。

$$\frac{h_u}{h_1}=\sqrt{1+\left(\frac{l}{h_1}\right)^2}-\frac{l}{h_1}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

(3) 式において，$h_2=0$ として $\dfrac{h_s}{h_1}$ と $\dfrac{l}{h_1}$ との関係を求めて見ると 図—5 において鎖線を以つて示したようになる。之によつて，基本抛物線式より求めたこの関係と著者の実験結果と比較して流線を常に基本抛物線と仮定することの妥当でないことが了解できる。即ち基本抛物線は流線の一つであつて h_1 が $h_1=\dfrac{1}{3}l$ の時に描く特別のものである。又一般的に推論して

図—6

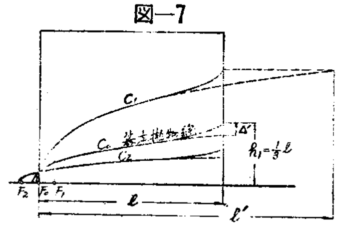


$h_2 \neq 0$ なる時の流線は 図—6 に示すようになる。但し 図—6 は相馬砂の $h_1=40$ cmの場合の一例である。この場合の流線も二次抛物線によく一致するが，h_2 が大きくなるにつれて平らかな抛物線になる。図—6 において太い実線を以つて示された流線（B曲線）を境界として，それより h_2 が増大すると流線は急激にその形を変化する。このB曲線を与える h_2 は $h_2=\dfrac{1}{3}h_1$ であつて，この h_2 より下流側湛水池の水深が増大しても流線の形は B 曲線とあまり変らない。即ち B 曲線はこの堤体に固有な一つの固定流線と考えることができる。A 曲線は h_1-h_2 が大きい場合に描かれる流線である。又実際の流線は既に述べたように抛物線と上流側より $\dfrac{1}{3}l$ の点において之と離れ，上流側堤体壁面において $\varDelta'$ だけの差を表わす。この $\varDelta'$ は l 及び h_1 に関係した値で，h_1 が l に比較して極めて大きい場合を除いては概略

$$\varDelta'=\frac{1}{8}l\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

なる値をとる。図—7 において流線 C_1 の焦点は F_1，C_0 の焦点はF_0，C_2 の焦点は F_2 であつて，h_1 の小なる時に描く抛物線程その焦点は下流側堤外遠くに隔たる。

図—7



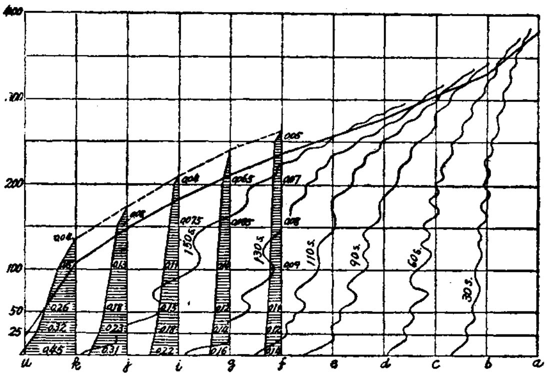
然して下流側壁面上に焦点のある場合即ち基本抛物線を描くのは $h_1=\dfrac{1}{3}l$ である。

4. 流速の分布

或る断面における流速の分布はその測定が困難である為めに適確な結果は得難いが，著者は次の如き方法によつてその大体の傾向を知ることができた。過満俺酸加里の溶液を 100 cc の注射器に入れ，内径 1 mm の長さ約 40 cm の細い真鍮管に之を連結する。その細い管には尖端から小さい孔を 5 cm 間隔にあけておく（写眞—3)。この管を堤体の硝子板に接して鉛直に挿入し，ストップウオッチを押す合図と共に注射器から溶液を押し出す。この溶液が 6 cm の距離を流れ去る時間を測定してその断面における流速と仮定する。図—8 は$h_2=0$，$h_1=370$ mm の時の流速

写眞—3

図—8



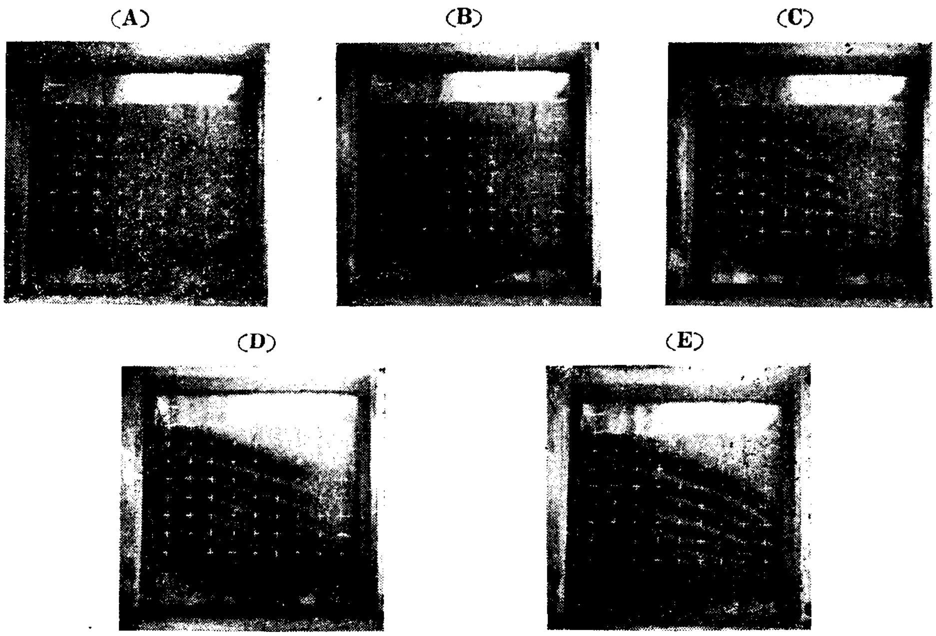
を示した一例である。又同図における波状の境界線は全断面に亘つて一様に溶液を流した場合の状況を図示したものであり，**写真—4** は注射器から注入した溶液の流れ状況を示したものである。之等の事実から次の結論が得られる。*

*（1） 流速は上流側より下流側に至る程大となる。

（2） 一断面についての流速分布は不透水層に近い程流速は大となり，不透水層上で流速は最大となる。その分布曲線の概略は k 断面に見る通りである。

（3） 毛管水流は相馬砂を用いた場合について自由流線より上に約 40 mm の範囲内に亘つている。**写真—4** において自由流線の巾が太く表われているのはこの影響を示したものである。之等のことは Davison 或いは G. Hamel の提唱する理論と大体において一致するが，$h_2 \fallingdotseq 0$ なる場合の流速分布が下流側湛水池の水面附近において最大となる理論的結果と著者の実験結果とは一致していない。又写真に見るように不透水層に近い流線が上向きに凹となる傾向にあることは注目に値する。**

写真—4



**

5. 結　語

著者は以上述べたような結果を長期間に亘る実験によつて得た。然して之等の結果のあるものは理論的結果とよく一致し，又あるものは著しく相違している。之等実験的結果と理論的結果との関係についての研究は後の機会に譲り，こゝには実験結果のみについて述べるに止めた。尚本研究は過去2ケ年に亘つて文部省科学研究費の補助を得て行つたものであることを記して深い感謝の意を表したい。

（昭.25. 12. 28）