

文献調査委員会

コンクリートと高分子

- Chemical Engineering*/大塩 明
 土留矢板に作用する土圧の計算
Proc. of A.S.C.E., SM/佐々木 康
 土砂輸送における壁面圧力の低下について
Proc. of A.S.C.E., HY/田畑 茂清
 流量がヘッドに比例する量水ざき
Proc. of A.S.C.E., HY/馬場 洋二

コンクリートと高分子

“Concrete Beckons Polymers
 Chemical Engineering,
 pp. 70~71, March 9, (1970)

プラスチックは道路、橋梁、建築構造物等の材料として静かに浸透している。この動きは土木技術者とプラスチック製造者の世界に改革を約束する。

今までは、プラスチックによる木材、金属そして紙市場の強奪という形で浸透してきたが、土木分野ではプラスチックと他の材料との共合、合成という形が採られている。多くの例はコンクリートとの合成である。また岩石、土、さらに下水汚物や食くずと共用する例もある。

研究者達はこれらの材料とポリマーを混ぜて固めたり、モノマーを材料に含浸させてその後その場で重合させたりしている。

ポリマーは強度、耐久性、耐水性に優れた性質を示す。ポリマーやモノマーとしてはメチルメタアクリレート、ポリエステル、スチレン、エポキシ、ナイロン等広範囲にわたり研究されている。特にメチルメタアクリレートは約 20 c/lb で比較的安価である点と粘性の低い液体であることから多くのポリマーコンクリート研究者から特別の感心を持たれている。

以下に、アメリカ原子力エネルギー委員会の Brookhaven 研究所を中心にして行なわれている研究成果の概要を示す。

薄い鉄筋コンクリート建築パネルにメチルメタアクリレートを含浸し重合したパネルの破壊強度は 2.5 倍になる。また、鉄筋とコンクリートとの付着強度は 3 倍になる。

軽量コンクリートへの応用も研究されている。これは街灯柱、広告柱に使用できる。断熱用軽量コンクリートの圧縮強度は 6~7 kg/cm² であるが、これにモノマーを

含浸させて重合すると 280 kg/cm² の強度にはねあがる。欠点としてはパーライト、膨張頁岩等の骨材を用いた比重 0.4 程度、コンクリートは重合処理をすることにより重量が 2 倍になる。

鉱山やトンネルの壁にモノマーを含浸させて重合し、より安全な壁をつくる研究が行なわれている。メチルメタアクリレートやポリエステルを用いることにより岩石の強度は 3 倍になる。

ポリマーを用いることにより耐久性が向上することに着目し、二、三の実用化研究が行なわれている。

その 1 つは、コンクリート橋梁床版の表面から 3~6 mm の深さまでモノマーを含浸させてポリマーに重合する。試験の結果、凍結融解に対する耐久性の向上を示した。

また、直径 10 cm、長さ 60 cm のコンクリートドレンパイプにメチルメタアクリレートを含浸させ、重合したものをカリフォルニアの高硫酸塩の土壌に埋設した耐久性試験を実施中である。この土壌中では通常のコンクリートは浸食される。

ソイルセメントに対して 0.5% のセルロース系ポリマーを混合し、ハイウエーの路床に使われている。ポリマーは水をはねつける性質があるため路床下からしみ込む湿分を排除し安定した路床にする。

Brookhaven ではポリエステル、エポキシ等の熱硬化性ポリマーを用いたコンクリートで、脱塩水プラントの蒸留水装置を開発している。これはポリマーコンクリートが 150°C 前後の塩水のアタックに耐えるためである。

面白い研究として汚物や食物のくずその他のごみとセメントを混合してコンクリートを造り、モノマーを含浸してから重合する。このコンクリートはかっこの基礎ブロックになる。

また、土や砂に約 1000% のメチルメタアクリレートや他のモノマーを含浸し、加圧下で放射し重合したものは強く剛性に富み建材として適している。

価格はモノマーを含浸して重合するコンクリートパイプを例にとると、同一断面厚で無処理のパイプに比較して約 2 倍になる。しかし強度は 1000 倍になるのでパイプの肉厚を薄くすることによりコストダウンができる。

モノマーをポリマーにする方法としては放射線、加熱、触媒による接触反応等が用いられる。

工場内でコンクリートや他の材料を重合する場合には放射線による方法が良い。触媒による方法は取扱いが難しいからである。一方、鉱山やトンネルの壁コンクリート等現場で重合する場合には加熱手段が良い。今のところ良い移動用放射線機器が完成していないからである。

(委員 大塩 明・訳)

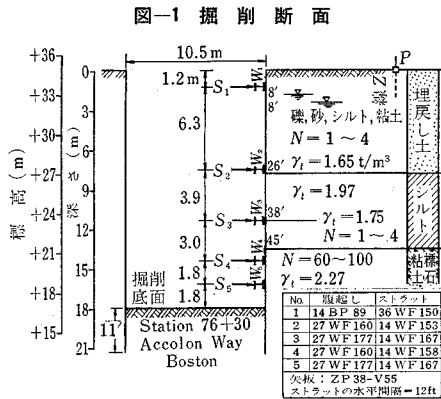
土留矢板に作用する土圧の計算

“Predicted Performance of Braced Excavation”
 Golder, H.Q., Gould, J.P., Lambe, T.W.,
 Tschebotarioff G.P., and S.D. Wilson
 Proc. of A.S.C.E., SM, Vol 96, No. 3,
 pp. 801~815, May (1970)

図-1 に示すような掘削を行なう際の土留矢板の変形、土圧分布、ストラットの分担する荷重ならびに周辺地盤の挙動について Golder, Gould, Tschebotarioff, Wilson の4名がそれぞれ独自に計算を行ない。その結果を公開の席上で討議した。この報告は、4名の権威者による計算結果と討議の結果を Lambe がとりまとめたものである。

図-1 に示す掘削は実際に行ない、またその施工中に実測した土圧の計測結果については別途報告されている。

計算条件は、この実際の掘削計画をもとに Lambe が作成したもので、次のようなものである。



計算条件 掘削の計画断面と土質分類は図-1 に示すとおりで、上部の 7.8m は埋戻し土であり、この下に厚さ 5.7m のシルトおよび有機質シルトがあり、さらに底部の 4.5m は漂石粘土である。掘削の施工順序は次のとおりである。1) 矢板の打込み、2) 深さ 3m までの掘削、3) 最初の腹起しの設置、4) 次の腹起しを入れるまで掘削し腹起しを設置する。ストラット No. 1 のみプレロードを加えない。矢板の外側の地下水位は +30m に保つものとする。

問題 1) 掘削完了直後の土圧分布とストラットの荷重を求めよ。2) 掘削完了後の矢板の水平変位量を求めよ。3) 図-1 に示す点 P の垂直ならびに水平変位量を求めよ。4) 図-1 に示す線 z に沿う間げき水圧分布を求めよ。

このような計算条件と問題に対して出された4者の解答をまとめて示したのが 図-2~4 である。図-2 は全土圧分布を比較したものであり、また 図-3 は有効応力の分布を比較したものである。図-4 は各ストラットに作用する荷重の計算結果を図示したものである。

図-2 全応力分布の計算値

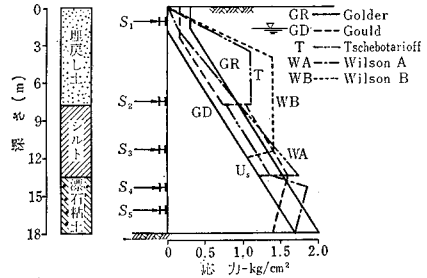
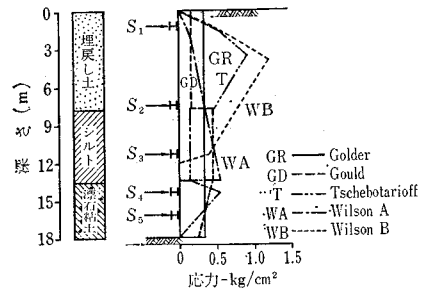


図-3 有効応力の計算値



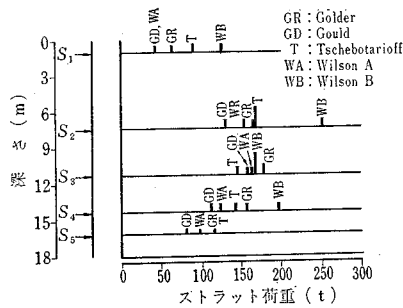
各自の計算法はそれぞれ異なっているため有効応力の分布は非常に異なっているが、有効応力と水圧を加えた全応力の分布は Tschebotarioff と Wilson B (Wilson は A, B 2種の解を与えた) の解における上部の形を除いて、ほぼ似かよっている。これは全応力の値はその大部分が水圧から成ることと、Gould 以外は水圧分布は掘削前と変わらないと仮定したためである。

Goulder は、土留背後の土塊が主動応力状態になるまで十分土留が移動するものと仮定して土圧分布を算定しており、Gould は完全な主動応力状態と静止状態との中間の有効応力を仮定して計算している。Tschebotarioff および Wilson の B の解ではこれに対して Terzaghi-Peck が設計のために提唱した台形分布の土圧を仮定している。ただし Tschebotarioff と Wilson B では漂石粘土の土圧の取扱いが異なっている。Wilson A では埋戻し土とシルトの部分の土圧を単純な三角形分布と仮定して計算を行なっている。

また、ストラットの荷重を求めるのに Wilson および Tschebotarioff は最上部を除くストラットの点でヒンジを仮定し、各ヒンジ間を単純ばりとして全応力から荷重を求めている。Golder は全応力の分布をなめらかな曲線におきかえた後、各ストラットの中間を通る線での

応力を分割し、分割線となめらかな曲線とで囲まれる面積で表わされる応力を各ストラットが受持つと仮定した。これら三者と異なり Gould は土留壁を連続ばりとして解析して各ストラットの荷重を求めている。これらと比較したのが 図-4 である。

図-4 ストラット荷重の計算値



上部2段のストラットに関する Wilson の B の解を除いて各ストラットの荷重の各者の計算結果はそれほど散らばっていない。このことはストラット荷重の大部分が水圧によるものであることを考えると予測できないことではない。

土留の水平変位の計算結果は表-1に示すとおりである。この値は Gould が連続ばりの解析から求めた。他は実例による経験を生かして求めたものである。

表-1 土留矢板の変形

	最大変位量	最大変位の生ずる位置
Golder	7.5~10 cm	ストラット No. 2
Gould	5~6.3	〃 No. 2 の上部
Tschebotarioff	3.8	〃 No. 2 と No.3 の中間
Wilson	10	〃 No. 3 と No.4 の中間

また、掘削による周辺地盤への影響に関しては、全員が水平変位は微小であるとしているのに対して点 P の垂直変位は、Tschebotarioff の 1.3 cm から Wilson の 10 cm まで大きく異なっている。

なお、線 α に沿う間げき水圧分布は全員がはなはだ難しいとしているが、Gould と Wilson は静水圧分布になるとしている。掘削による周辺の地下水位は現状を維持できるものと全員が考えているが、ただ Gould のみが漂石粘土の浸透を土圧算定の際に考慮に入れている。

ここに述べた計算値は設計に直ぐに使えるというのではなく、実際に生じるであろう値に他ならない。換言すればこの値を設計に用いるとすれば安全率は 1 に等しいということになる。

土留矢板の応力、ストラット荷重、変形等に関する研究は重要であり、もっとも効果的な研究法は実際の施工に際してこれらの値を観測することである。地下水位以下の掘削では、全土圧の 3/4 あるいはそれ以上は水圧に

よるものである。したがって、土圧論よりも間げき水圧の分布を求める信頼できる方法を確立することの方が重要である。

(委員 佐々木 康・訳)

土砂輸送における壁面圧力の低下について

“Drag Reduction in Hydraulic Transport of Solids”

Poreh, M., Zakin, J.L., Brosh, A. and M. Warshvsky

Proc. of A.S.C.E., HY, Vol. 96, No. 4,

pp. 903~909, April (1970)

(1) まえがき

本文は、CTAB-Naphthol 混合液を管路内の土砂混相流中に入れると、壁面摩擦を減少させ、かつ限界速度（ある粒径の土砂を沈降させることなく流送させるに必要な速度）を低下させることができるということを明らかにしたものである。

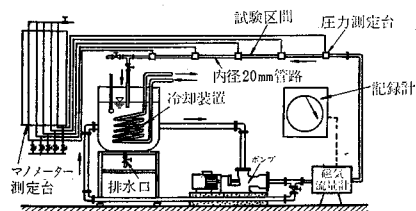
実験は、土砂混相流が管路壁面に与える圧力をマノメータで測定することによって行ない、その圧力がCTAB-Naphthol の混合割合、濃度、温度、作用継続時間および CTAB-Naphthol 以外の溶液の混合などによって如何に変化するかをみた。

その結果、0.18% の CTAB-Naphthol 液を土砂濃度 20% の土砂混相流に入れると、清水にくらべて約 70% もの管路壁面に与える圧力の低下がみられた。また、これ以外の溶液として、ポリマー溶液を混入してみたが、時間的に非常に不安定であるため、長時間にわたる管路壁面に与える圧力の低下はみられなかった。

(2) 実験装置および実験方法

用いた実験装置は 図-1 に示した如くである。土砂混相流はポンプによって循環するように作られている。

図-1 実験装置概要図



土砂濃度の測定は管路の出口で直接採取することによって行なう。

試験を行なう管路の区間は非常になめらかな硬質ガラスできており、管路入口の影響をなくするために最初の 55 cm は準備区間として残し、その下流側に 45 cm ごとに 3 ヶ所マノメータ測定箇所が設置されている。

流量の測定は Magnetic flow meter を用いている。また用いた2種類の土砂の粒径は 0.9 mm と 1.0 mm であり、前者は、花崗岩でできているため比重は 2.61 であり、後者はプラスチック製であるため比重は 1.43 である。

(3) 実験結果と解析

polythylene や guar gum 溶液を清水に混入すると、管路壁面に与えられる圧力が低下するという事は、以前から明らかにされていた。この場合 guar gum 溶液は非常に効果的な圧力低下剤であり、濃度 1000 ppm で約 50% の圧力低下が得られるという。また、polythylene はわずか 10~50 ppm で同様の結果がえられるが、時間的に非常に不安定であり、その効果はすぐに消えてしまうという。

今、土砂混相流およびそれに guar gum 溶液を 0.08 % 混入した場合の管路壁面に与える圧力の低下をみた

図-2 花崗岩土砂の混相流における壁面の圧力低下

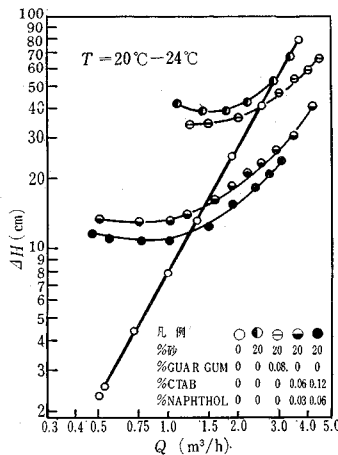
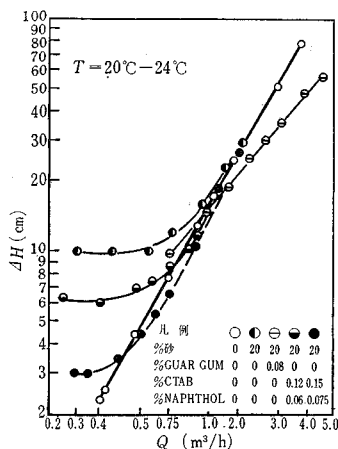


図-3 プラスチック球の混相流における壁面の圧力低下



実験結果が 図-2 および 図-3 である。図から明らかになることをあげてみると、

1) 管路壁面に与える圧力の値は、流量が少ない場合には、比重 2.61 の花崗岩土砂の混相流の方が、比重 1.43 のプラスチック球のものより、数倍大きい。しかし流量が多くなると、両者とも清水のそれに近づく。

2) 土砂混相流に guar gum 溶液を 0.08% 加えた場合には、流量が少ない時には圧力の低下はわずかであるが、流量が多くなると圧力低下が少々大きくなり、壁面に与える圧力自身は清水のものよりむしろ低くなる。ただし土砂混相流のうちプラスチック球を入れた方は、流量が多くなっても圧力の低下はそう著しくはない。すなわち、清水の場合に効果的であるとされていた guar gum 溶液も土砂混相流の場合にはあまり効果的な圧力低下剤ではないということが明らかである。

3) polythylene に対しても同様の実験を行なった結果、guar gum 溶液より顕著な圧力低下がみられたが、わずか数分で消えてしまい、清水の時よりはるかにやく効果がなくなることがわかった。

それに対して、以下の実験では CTAB-Naphthol 溶液を混入した土砂混相流が著しい圧力低下をまねくということを示したものである。

1) 最も大きい圧力低下をまねく CTAB-Naphthol 混合比をみつけるために、まず実験を行なった。両者の混合比 2:1 をから 1:1 まで変化させてみたところ、2:1 の場合が最も大きい圧力低下をまねくことがわかった。

2) 次に土砂混相流に混入する CTAB-Naphthol 溶液の濃度を決定するために 0.06~0.3% の範囲で実験を行なった結果、0.18% が最も大きい圧力低下をまねくことがわかった。そこで 0.18% 濃度で混合比が 2:1 の場合の作用継続時間と温度の影響をしらべた。

3) 冷却装置を働かせずにポンプで循環して実験を行なうと徐々に温度が上昇する。そこで温度を測定すると同時に壁面に与える圧力を測定すると、温度の上昇とともに圧力の低下程度は著しく減少してくることがわかった。

4) また、逆に冷却装置を働かして長時間実験することによって、混入液の作用継続時間をみてみると、4日目頃まではほとんど初期の圧力に変化がなく、12日目頃で完全に変質してしまい圧力低下剤として作用しなくなる。

5) 以上の特性を考慮に入れて土砂濃度 20% の土砂混相流に CTAB-Naphthol 混合比 2:1 の溶液を 0.09, 0.18% の濃度で混入した場合の壁面に与える圧力を測定してみたのが 図-2 および 図-3 に併せてのせた。この図をみると、50~60% の圧力の低下がみられ、土

砂の管路輸送において必要とされるエネルギーを約30%にまで低下させることが可能であることが明らかとなったわけである。

(委員 田畑 茂清・訳)

流量がヘッドに比例する量水ぜき

“Linear Proportional Weirs”
Sreenivasulu P. and R. Raghavendran
 Proc. of A.S.C.E., HY, Vol. 96, No. 2,
 pp. 379~389, February (1970)

流量がヘッドに比例するような量水ぜきは、フロート使用の開閉装置や流量計などに、非常に有効である。すでに 1896 年、Stout 教授はこのような量水ぜきを考えていたが、彼の設計の段階ではヘッドが 0 のとき、せき幅が無限大にならねばならないという困難を解決していなかった。Sutro は深さ a の長方形断面のせきを取り付けることによって、この困難をはじめて解決した。

この論文は、パラボラ型断面のせきを取り付けた場合のせきの形状決定について論じ、所期の目的を実験によって確認したものである。

(1) 基準線の決定

まずヘッドを測定する基準線の位置を決定する。せきの形状 $y=f(x)$ が x 軸に関して対称であると仮定し、図-1 のように $O-x, y$ および $O'-x', y'$ の座標をとる。すなわち $x'=a+x, y'=y$ である。ここに O' はパラボラの頂点である。パラボラのせきから出る流量を Q_1 、その上部から出るものを Q_2 とすると、全流量 Q は

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$= \int_0^a 2 C_d \sqrt{2g} \cdot y' \cdot dx' \sqrt{h+a-x'} + \int_0^h 2 C_d \cdot \sqrt{2g} \cdot f(x) \cdot dx \cdot \sqrt{h-x} \quad \dots (1)$$

いま y 軸の下 λa の距離のところに基準線があれば

$$Q = b(h + \lambda a) \quad \dots (2)$$

がヘッドに比例するせきの必要な条件である。ここに b

は比例定数である。 $C = 2 C_d \cdot \sqrt{2g}$ と記すことにし、パラボラ部分の形状を $y'^2 = Kx'$ とすれば、式 (1), (2) より

$$b(h + \lambda a) = CK^{1/2} \int_0^a x'^{1/2} \cdot dx' \sqrt{h+a-x'} + C \int_0^h f(x) dx \cdot \sqrt{h-x}$$

右辺第 1 項を積分して

$$b(h + \lambda a) = CK^{1/2} \frac{(h+a)^2}{4} \left[\frac{\pi}{2} + \frac{1}{4} \sin 4 \cos^{-1} \sqrt{\frac{a}{h+a}} - \cos^{-1} \sqrt{\frac{a}{h+a}} \right] + C \int_0^h f(x) dx \sqrt{h-x} \quad \dots (3)$$

λ の値を決めるには、流量および $Q \sim h$ 曲線の勾配の連続性を使えばよい。すなわち

$$|Q|_{h=0} = |Q_1|_{h=0} \quad \dots (4)$$

$$\left| \frac{dQ}{dh} \right|_{h=0} = \left| \frac{dQ_1}{dh} \right|_{h=0} \quad \dots (5)$$

式 (4) の条件より $b\lambda = \left(\pi a CK^{1/2} \right) / 8$ を、また式 (5)

より $b = \left(\pi a CK^{1/2} \right) / 4$ の関係が得られるから、 $\lambda = 1/2$ となる。したがって、基準線は、パラボラの頂点から $a/2$ 、あるいは y 軸の下 $a/2$ のところにあることになる。

(2) せきの形状 $y=f(x)$ の決定

上で求めた b および λ の値を用いると式 (3) は

$$\int_0^h f(x) dx \sqrt{h-x} - \frac{\pi a CK^{1/2}}{4} \left(h + \frac{a}{2} \right) + \frac{K^{1/2} (h+a)^2}{4} \left[\cos^{-1} \sqrt{\frac{a}{h+a}} - \frac{1}{4} \sin 4 \cos^{-1} \sqrt{\frac{a}{h+a}} - \frac{\pi}{2} \right] \quad \dots (6)$$

と書き直される。上式を h について微分することにより

$$\int_0^h \frac{f(x) dx}{\sqrt{h-x}} = K^{1/2} (h+a) \cos^{-1} \sqrt{\frac{a}{h+a}} + \frac{2K^{1/2} a^{3/2} h^{1/2}}{h+a} - \frac{K^{1/2}}{4} (h+a) \sin 4 \cos^{-1} \sqrt{\frac{a}{h+a}} - \frac{\pi K^{1/2} h}{2} \quad \dots (7)$$

式 (7) は Abel の積分方程式の形をしており 右辺は $h \rightarrow 0$ のとき 0 になる性質を有する。

一般に

$$\int_a^x \frac{f(z) dz}{(x-z)^\alpha} = F(x), \quad 0 < \alpha < 1 \quad \dots (8)$$

の解は

$$f(x) = \frac{\sin \alpha \pi}{\pi} \int_a^x \frac{F'(z) dz}{(x-z)^{1-\alpha}} \quad \dots (9)$$

となり、今の場合 $\alpha = 1/2$ である。したがって、式 (7) の右辺の h を z に変えて、右辺 $= F(z)$ とおき、 $F(z)$ の z に関する微係数を $F'(z)$ とおくと

$$F'(z) = K^{1/2} \cos^{-1} \sqrt{\frac{a}{z+a}} + \frac{K^{1/2} a^{3/2} (a+3z)}{(z+a)^2 z^{1/2}} - \frac{K^{1/2}}{4} \sin 4 \cos^{-1} \sqrt{\frac{a}{z+a}} - \frac{\pi K^{1/2}}{2}$$

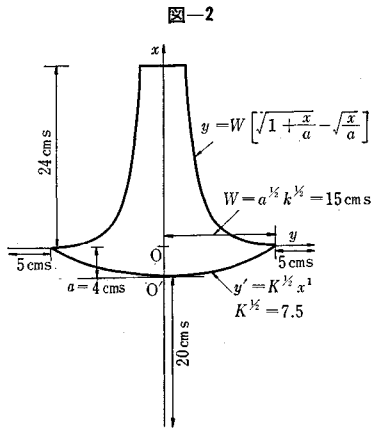
.....(10)

式(10)を式(9)に代入し、 $\alpha = \frac{1}{2}$ を使えば、形状方程式は次式で与えられる。

$$f(x) = a^{1/2} K^{1/2} \left[\sqrt{\left(1 - \frac{a}{x}\right)} - \sqrt{\frac{x}{a}} \right] \dots\dots(11)$$

(3) 実験および結果

図-2に示すような形状寸法のせきを、厚さ1/4 inの軟鋼で入念に作り、比例性の検討の実験を行なった。エ



ッジは45°に鋭くカットし、長さ5.2 m、幅40 cm、深さ62 cmの水路にこのせきを取り付けた。パラボラの頂点は、河床面から20 cmの高さに位置させた。流量の検定は90°三角ぜきで行なった。流量の範囲は最大22 l/secで、実験の様様を図-3に示す。

実験結果は図-4のとおりで、比例性については申し分ない。また図-5には C_d の値の変化を示した。 $H/a > 1.5$ の場合には $C_d = 0.6325 = \text{const.}$ となるが、 $H/a < 1.5$ のときには少し変化しており、この理由は、ナップの縮流の程度が減少するからだと考えられる。著者はさらに実験を行なって、他の形状のせきや接

図-3

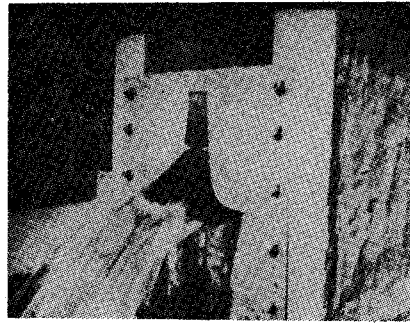


図-4

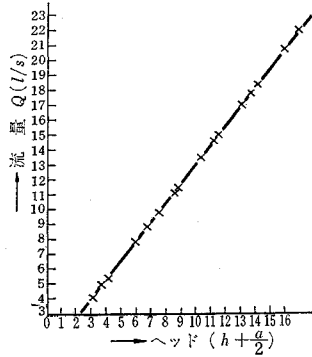
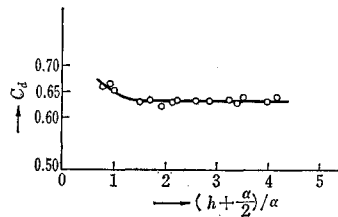


図-5



近流速との関係および $C_d = 0.63$ について検討したいとしている。なお、著者は、同様な目的の論文名および研究内容を集録している。

(委員 馬場 洋二・訳)

大学土木教育の方向を探る——その現状と問題点——

土木学会大学土木教育委員会編

内 容 :

第I章 大学土木教育に関するアンケートの集計結果 第II章 欧米の大学土木教育 第III章 大学土木教育に何を望むか

第IV章 結 語

資 料 編

第I章 土木教育に関する解説ならびに統計 第II章 官庁、会社、民間における土木教育の活躍状況 第III章 全国土木

系大学教員名簿 あとがき

定 価 : 700 円 (千 70 円) 発売中