

基礎流出率を用いた市街地雨水流出量算定法

URBAN RUNOFF CALCULATION USING THE BASIC RUNOFF RATE

合 田 健*・末石富太郎**・寺西靖治***

By Takeshi Goda, Tomitaro Sueishi and Seiji Teranishi

1. ま え が き

下水道における雨水流出量算定の改善に関する研究は、現在つぎのような方向に向かっている。すなわち、1つは貯留関数を用いる追跡法であり、いま1つは運動方程式と連続方程式を基礎にして純水理学的に解析計算を進める方法である。前者の代表例がマスキンガム法やシカゴ法であり、合理法、経験法は後者に属するが、運動および連続の方程式を極度に簡易化した形で取り扱い、計算の容易化をはかっている。

ところで、現在わが国においてのみならず、欧米先進諸国においても、雨水流出量算定の実際面では合理法および経験法がいぜんとして主流をなしている。たとえば米国においてはコンサルタント会社の大部分が合理法を用いており¹⁾、わが国では東京都ほか大中都市の大部分がやはり本法を利用しており、一方において経験法の利用が、その包蔵する種々の欠点から、逐次減退する方向にあるだけに、その分だけ合理法の利用率は高まってくる勢にある。

それではその名のごとく、合理法が学理的にすぐれた方法かという点、必ずしもそうではなく、実際にそれが用いられるときに、計算の能率化を重視しすぎるためにその合理性のよさを逆に大きく犠牲にしているふしがある。結局、実証による裏付けが貧弱な現在、決定的に両者をへだてる材料が乏しい。しかしながら、同じ流域に対して両方式を用いた場合の流量数値が著しく異なることは、学問的にも実際的にも決して打ち捨てておくわけにいかない問題である。いまの合理法や追跡法による計算は、基本計画で主管きょ配置などをきめるときの概略的な計算には有用であるとしても、実際の下水道施設設計に採用するにあたっては、検討すべき点を多く残している。

一方、シカゴ・ハイドログラフ方式²⁾は、合理法のように一定時間・一定強度の降雨とせず、定められた超過確率に対応する降雨曲線から出発し、地表の流出過程をモデル化し、屋根、芝生、舗装面、側溝、下水管きょなどの流出過程についてそれぞれ浸透、貯留の特性をもと

にして追跡計算を行ない、流下ハイドログラフの変形、合成を行なうやり方である。シカゴにおけるその実際化では、浸透能関数や凹地貯留能の分布などを綿密に調査した点は高く評価されるにしても、数値的には普遍性をもたないものであり、実用性という点から一般に敬遠されがちとなっている。

追跡法としてはこのほかにも種々開発される。シカゴ法はその中であってとくに手続きが複雑で細密な基礎データを生かしていくやり方であるが、総じてこの種の追跡計算では、流域特性をあらわす貯留関数がどのように表現されるかが問題である。わが国の都市のように、再開発が相当な速さで進んでいるような場合、貯留特性の研究がある程度時間をかけてデータの積み重ねを要するだけに、実際の都市の変ぼうについていけないうらみもある。市街地雨水流出量に関しては元来問題のあったところであるが、加えて最近はこの市街地性格の変化、将来想定ということを考慮しなければ意味のないものとなっている。このような速い速度で変ぼうしつつある市街地の計画雨水量を算定するのに、いかにすれば要望にマッチできて、理論的健全性を失わずにすむであろうか。われわれのもっとも関心をもつ点はここにある。

これまで筆者らは、市街地雨水流出の実際を解析して種々の基礎研究を積み重ねてきた³⁾⁴⁾が、その結果、たとえば合理法における流出係数を降雨の強度および継続時間に対応した変数として表わすことは、小規模な実験をやってみて実際には容易でないことが判明した。市街地雨水流出量の計算において、従来その扱いがとくに不明確であったのは損失降雨量の評価であり、計算法を合理化するにあたっては少なくともこの点について前進する必要がある。本研究においてもこの点に注目して、新たに、降雨強度、降雨継続時間、表面こう配に応じて変化する基礎流出率というものをとりあげ、さらに空中写真の導入をはかってより合理的な雨水流出量算定法を編み出そうとするものである。

2. 基礎流出率

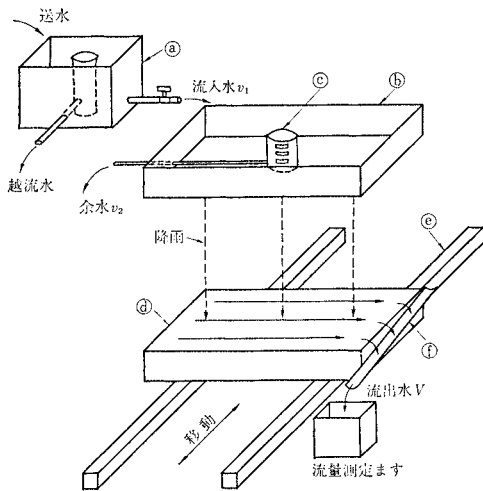
基礎流出率を求めるために用いた実験装置は概略図-1に示すとおりである。実験にあたっては、まず水道水を②を通して①に導き、①からの余水量が定常状態

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部衛生工学科

** 正会員 工博 京都大学助教授 同

*** 正会員 工修 鳥取大学助教授 同

図-1 基礎流出実験, 装置概要図



記号	①	ヘッドタンク (30×50×30 cm)
	②	降雨発生水槽 (100×100×20 cm)
	③	降雨強度調節筒 (φ50 mm)
	④	供試体設置台
	⑤	移動用レール
	⑥	流出水流集用い
工種		新しい瓦 5×4 枚
		古い瓦 5×4 枚
		コンクリート 100×100×5 cm
		アスファルト 100×100×5 cm
		土 100×100×10 cm
		芝生 100×100×10 cm

になるのを待つ。このとき、②の底面にあけた小穴 (φ=0.65 mm, 5~10 cm間隔) からは水滴 (直径約 2 mm) が滴下しており、そのときの降雨強度は、(①からの流量)-(③からの流量)によって求められる。またこの降雨強度は、③の余水吐口の越流水深を変えることによって、0~140 mm/h の範囲にわたって調節が可能である。つぎに、供試体 (基礎表面工種) を④に載せ、所定のこう配に固定したのちに⑤上を移動させて②の直下にそう入する。このとき供試体への降雨が開始されたことになり、雨水が流出を始めてから適当な時間間隔で⑥からの流出水量を連続測定する。

基礎表面工種としては、新しい瓦、古い瓦、コンクリート、アスファルト、土、芝生をとった。一度実験に用いた供試体は十分乾燥するまで放置して再使用するようにした。土および芝生についてはこの点をとくに注意し、洗い流された表面の細砂はその都度補ない、十分に突き固めを行なった。それぞれの場合について代表的なデータを抽出し、そのハイドログラフを描いたものが 図-2~7 である。これらのハイドログラフは、以後の解析に有用な示唆を与えている。最大流出量以外、その流出の過渡的な状態は、本来、水理学的に説明のつく現象であるが、本研究では最大流出量および流出遅滞の時間など大まかな因子のみに注目する。よって実験結果からみられる定性的な事項を記載してみる。

(1) 新品瓦, 古瓦について (図-2,3)

降雨強度が大きいほどハイドログラフの上昇・下降こう配は大きく、降雨が始まってから流出を開始するまでの時間のずれは小さい。また、ハイドログラフの立ち上がりの部分に変動が激しいのは、といの中で初めは表面張力の影響が大きく、このためしばらく滞留を起こすためである。

(2) コンクリートについて (図-4)

(1)と比較して異なる点は、ハイドログラフの上昇・下降こう配が緩やかとなり、雨水が流出を始めるまでの時間が長くなっていることである。

(3) アスファルトについて (図-5)

(2)の傾向がさらに強まり、とくに降雨終了後の雨水の流出が長時間にわたり継続する現象がみられる。

(4) 土について (図-6)

図-2 基礎流出実験ハイドログラフ
新品瓦 こう配 400/1 000

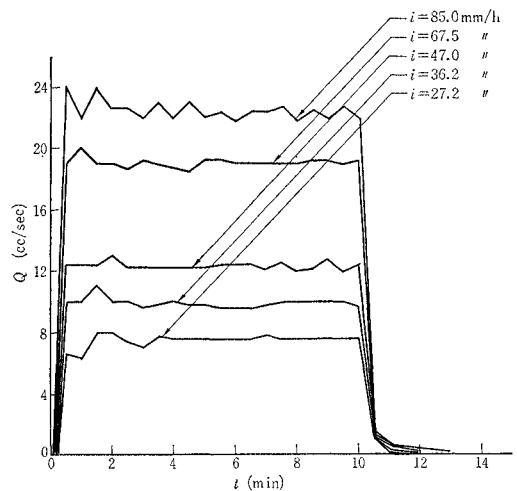


図-3 基礎流出実験ハイドログラフ
古瓦 こう配 400/1 000

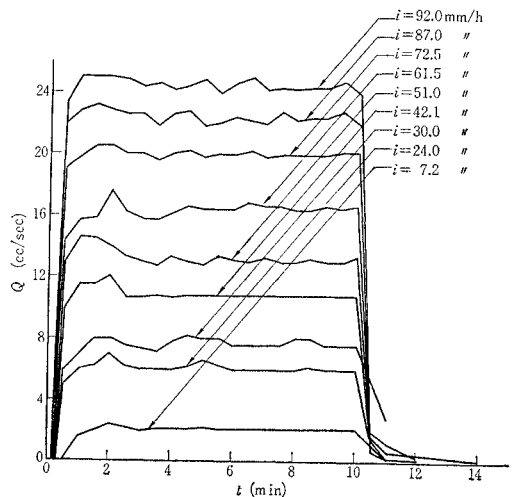


図-4 基礎流出実験ハイドログラフ
コンクリート こう配 25/1000

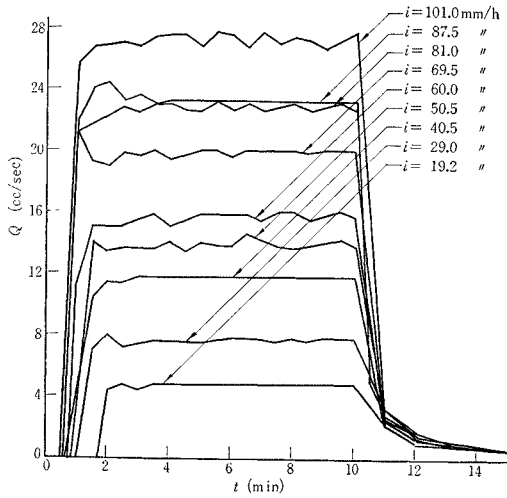


図-7 基礎流出実験ハイドログラフ
芝生 こう配 60/100

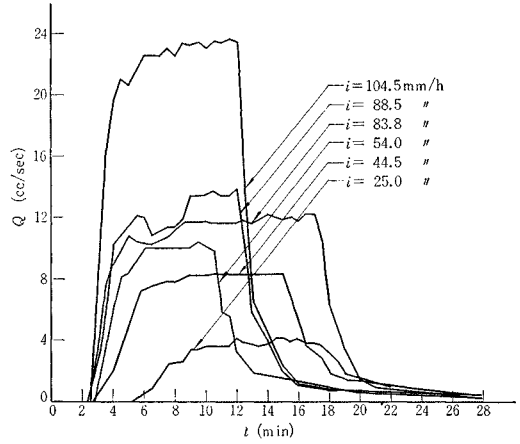


図-5 基礎流出実験ハイドログラフ
アスファルト こう配 25/1000

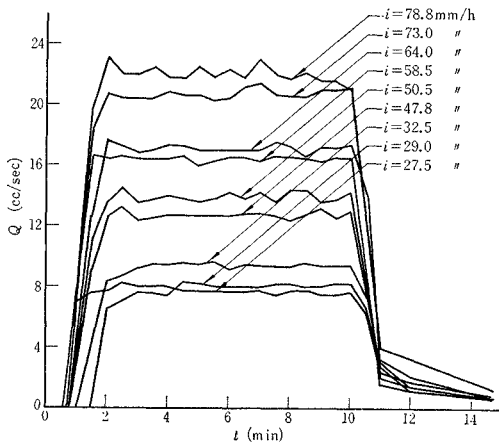


図-6 基礎流出実験ハイドログラフ
土 こう配 60/1000

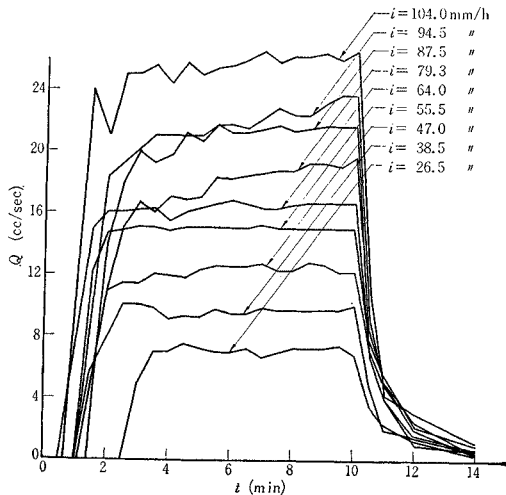
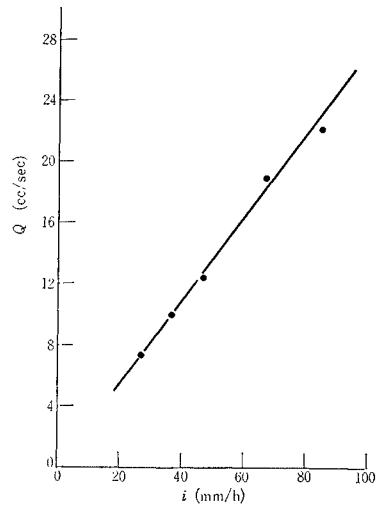


図-8 基礎流出率 新品瓦 こう配 400/1000



流出量が時間の経過とともに次第に増加してきていることがうかがえる。このことはさきの(1)~(3)ではほとんどみられなかった現象であり、貯留能・浸透能の減衰を示しているものといえよう。

(5) 芝生について(図-7)

(4)で述べた傾向がさらに顕著となり、ここにあげた5工種のうちで最も特異なハイドログラフである。なおこの図に示してハイドログラフ群に対応する降雨継続時間は同じではない。

以上のような考察を各工種のハイドログラフについて行なったのち、これらハイドログラフの示す平均的な流出量を各工種に対する基礎流出率と定義する。図-8~13はこのような基礎流出率が降雨強度によってどのように変化するかを示したものである。瓦、コンクリート、アスファルトおよび土に関しては、基礎流出率と降雨強度とはほぼ比例関係にあるが、芝生に関しては様相を異にしている。また、さきに述べたとおり、土および

図-9 基礎流出率
古瓦 こう配 400/1 000

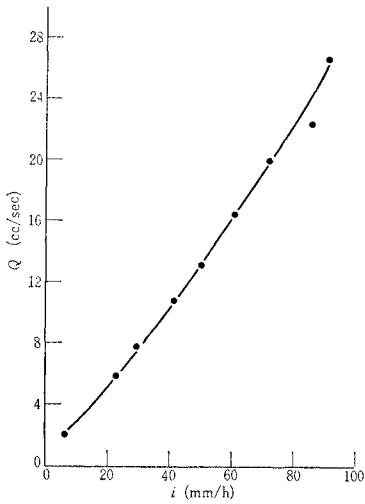


図-10 基礎流出率
コンクリート こう配 25/1 000

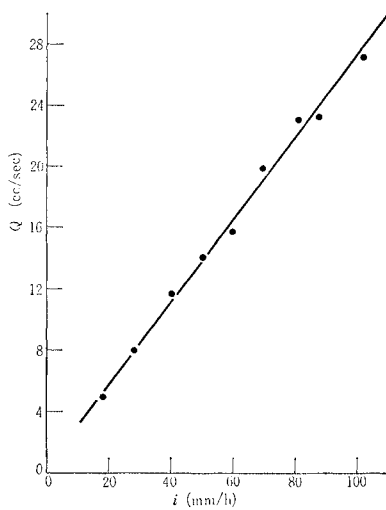


図-11 基礎流出率
アスファルト こう配 25/1 000

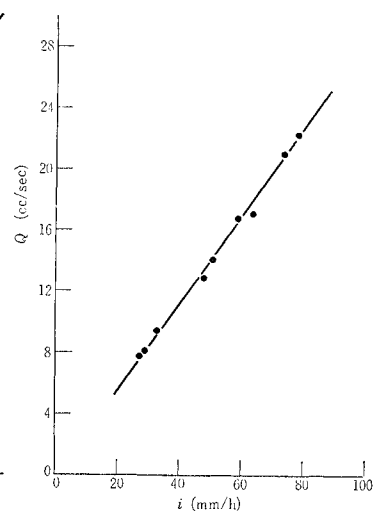


図-12 基礎流出率 土 こう配 60/1 000

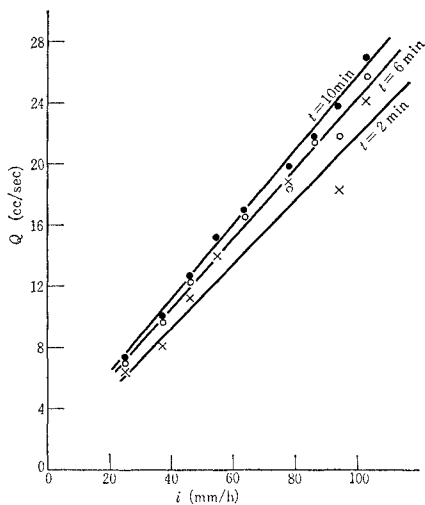
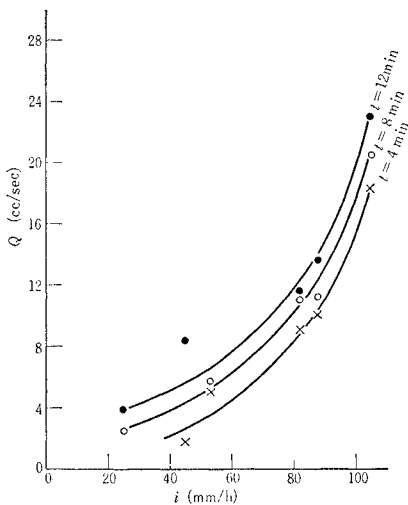


図-13 基礎流出率 芝生 こう配 60/1 000



芝生では、降雨の継続とともに流出量が増加していく傾向があり、このような変化を定量的に扱いやすくするため、降雨継続時間をパラメーターとする基礎流出率～降雨強度関係が図-12,13 に表わしてある。

図-8～11 の各グラフにおいて、 i の増加に伴って、 Q/i がわずかながら増加していく現象がみられるが、このことは流出量をたとえば合理法における $Q=ciA/360$ として表わすならば、 $Q/i=cA/360$ すなわち、降雨強度の大・小によって流出係数が増・減していることを表わしている。一方、図-12 および図-13 の一部についてはその逆の傾向がみられる。この現象を実験データの範囲内で解釈するならば、まず 図-12 については降雨強度が大きくなるにつれて相対的な貯留量が增加するためと思われる。また、図-13 については降雨強度が小さい場合には雨量に対して貯留(芝生による表面の凹凸に起因する貯留)される比率が大きく、降雨強度が大となると降雨初期において凹地または芝生自体にただちに貯留量が飽和されるものと考えられる。

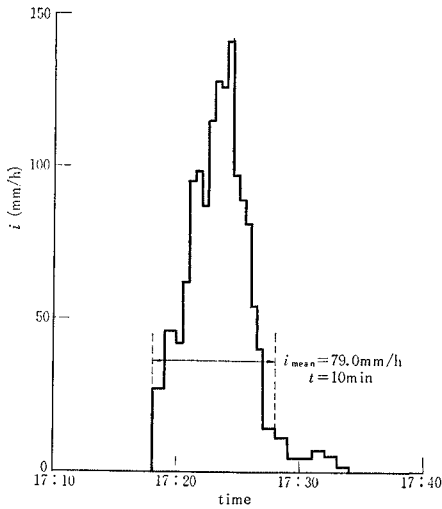
最後に、基礎流出率および基礎表面流速(後述)を求めるための実験装置の規模は、これから雨水流出量の計算を行なおうとする排水区域特性を無視して決定することは必ずしも好ましくはない。たとえば、単一工種でその流下距離がかなり大きいときには、その上流部と下流部とは雨水流下現象(流量および流速)が異なっていることが予想されるが、このような場合にその工種面の一部分を代表するような小面積を対象とした実験では当然誤差が生じる。今回用いた実験装置およびその操作方法は以上のことを十分考慮して、当初から後の計算例であげる神戸市 A 排水区域特性(とくに表面工種の分布状態と単一工種の流下長、こう配など)と設計降雨条件を対象にしたものである。

3. 基礎流出率を用いた雨水流出量算定法⁴⁾

さきの操作によって求めた基礎流出率と、対象とする排水区域内の空中写真とによって雨水流出量の計算を行なってみる。

計算には、筆者らが数年にわたって雨水流出観測を行なってきた神戸市域に実在の A 排水区域（排水面積 9.311 ha、平均地表こう配 45/1 000）を対象ととり、降雨条件としては実測データのうちの 1 つを採用する。図 14 に示すごとく、この降雨は最大強度 141 mm/h（30 秒間平均）をもった短時間継続のいわゆる単一強雨であるが、これを 10 分間に平均化すると 79 mm/h となる。よって降雨条件としては、降雨強度 $i=79 \text{ mm/h}$ 、降雨継続時間 $T=10 \text{ min}$ を与えるものとする。

図-14 Rain No. 15 (1964. 7.16)



以下つぎに述べる計算順序にしたがって計算を進めていく。

Step 1. 空中写真の原図から、地表こう配、形状、既設雨水管きょ系統、道路網、表面工種の分布状態などを考慮して排水区域をブロック分割したものが 図-15 で、ブロック数は 41 である。

Step 2. 基礎表面工種としては、屋根、コンクリートおよびアスファルト舗装、無舗装、緑地、裸地面および未開発地（グラウンド類を含む）、鉄道敷地、その他の合計 7 工種を採用する。これらの工種の占める面積を各ブロックごとに集計したものが表-1 中に示してある。

Step 3. さきに行なった基礎流出実験によって、図-8 ~13 がすでに得られているので、それぞれのグラフから $i=79 \text{ mm/h}$ 、 $T=10 \text{ min}$ に対する基礎流出率を求め、同じく実測によって基礎表面流速を求めると表-2 のごとくなる。

Step 4. Step 2 および Step 3 で得た数値による各ブ

図-15 排水区域ブロック分割図

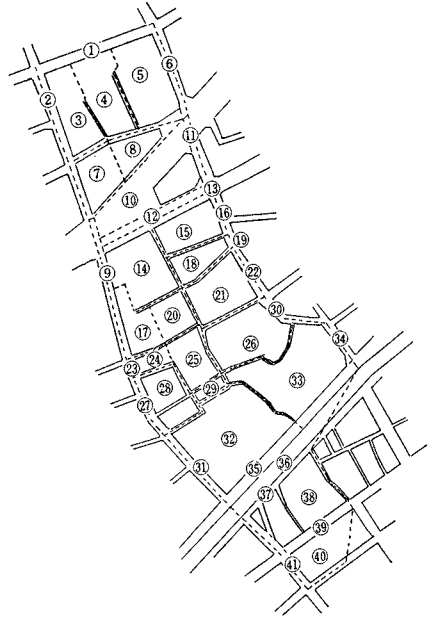


表-1

ブロック No.	工 種	面 積 (m ²)	基礎流出率 (10 ⁻⁶ m ³ /s/m ²)	流 出 量 (m ³ /s)	ブロック 流出量 (m ³ /s)
1	コンク・アス	1480	21.6	0.032	0.032
2	コンク・アス	690	21.6	0.015	0.015
3	屋	1884	21.6	0.041	0.063
	コンク・アス	329	21.6	0.007	
	緑	479	11.4	0.005	
	他	807	12.2	0.010	
25	屋	978	21.6	0.021	0.042
	コンク・アス	325	21.6	0.007	
	無	186	20.0	0.004	
	裸・未	495	11.5	0.005	
	他	398	12.2	0.005	
39	屋	830	21.6	0.018	0.018
40	屋	2108	21.6	0.046	0.055
	コンク・アス	184	21.6	0.004	
	裸・未	200	11.5	0.002	
	他	261	12.2	0.003	
41	コンク・アス	590	21.6	0.013	0.013

表-2 Rain No. 15 に対する基礎流出率および基礎表面流速

工 種	基礎流出率 (m ³ /sec/m ²)	基礎表面流速 (m/sec)
屋 根	21.6×10 ⁻⁶	0.080
コンクリートおよびアスファルト舗装	21.6×10 ⁻⁶	0.067
土(無舗装)	20.0×10 ⁻⁶	0.033
緑 地	11.4×10 ⁻⁶	0.022
裸地面(グラウンドを含む)および未開発地	11.5×10 ⁻⁶ *	0.025*
鉄 道 敷 地	12.2×10 ⁻⁶ *	0.025*
そ の 他	10.8×10 ⁻⁶	0.025*

* 印: 推定値

ロックごとの雨水流出量の計算は一括して表-1中に示してある。

Step 5. 流入時間の算出にあたっては、つぎのごとき近似計算を用いることにする。すなわち、面積比率の大きい工種、あるいは基礎表面流速の大きい工種によって、そのブロック内の平均流入流速が支配されるものとみなして、Step 3で求めた工種別の基礎表面流速をその工種が各ブロック内で占める面積比率によって加重平均を行ない合成する。流入距離としては、流出雨水が上流側から雨水管きよまで到達する線流線の平均距離を用いる。これらの計算過程は表-3のとおりである。以上の諸

図-16 ハイドログラフの合成

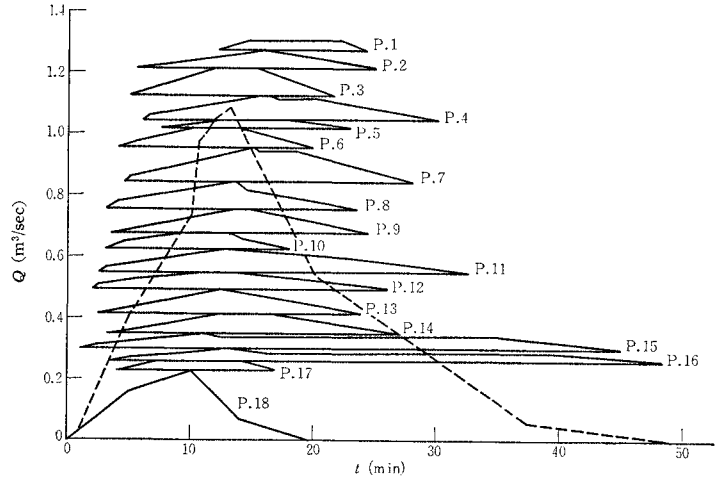


表-3 ブロック流入時間

ブロック No.	工種	(A) 面積比率	(B) 基礎表面流速 (m/s)	A×B	合成表面流速 (m/s)	流入長 (m)	流入時間 (min)
1	コンク・アス	1.000	0.067	0.067	0.067	10	2.5
2	コンク・アス	1.000	0.067	0.067	0.067		5
3	屋	0.540	0.080	0.043	0.058	35	10.1
	コンク・アス	0.091	0.067	0.006			
	緑	0.137	0.022	0.003			
	他	0.232	0.025	0.006			
25	屋	0.411	0.080	0.033	0.054	40	12.3
	コンク・アス	0.136	0.067	0.009			
	無	0.078	0.033	0.003			
	裸・未	0.208	0.025	0.005			
	他	0.167	0.025	0.004			
39	屋	1.000	0.080	0.080	0.080	5	1.0
40	屋	0.766	0.080	0.061	0.069	20	4.8
	コンク・アス	0.067	0.067	0.004			
	裸・未	0.073	0.025	0.002			
	他	0.094	0.025	0.002			
41	コンク・アス	1.000	0.067	0.067	0.067	5	1.2

数値によって各ブロックごとにハイドログラフを描き得るわけであるが、後の操作を簡単にするために、流下系統上に18箇所の点を想定し、それぞれの点の近傍のブロックからのハイドログラフをそれぞれの点において合成すると図-16で示した個々のハイドログラフとなる。

Step 6. Step 5の作図によって求めた各点での最大流出量の値を用い、マンニング公式によって雨水管きよ内を流下する平均流速を求め、最下流点までの流下時間を計算すると表-4のようになる。

Step 7. Step 5で求めたブロック・ハイドログラフを、Step 6で算出した流下時間を考慮して、最下流点で全体的に合成したものが図-16中の点線である。これで本排水区域における降雨強度79mm/h、降雨

表-4 各 Point からの流下時間

Point No.	P. 18 までの流下長 (m)	q (m³/s)	v (m/s)	流下時間 (min)	Point No.	P. 18 までの流下長 (m)	q (m³/s)	v (m/s)	流下時間 (min)
1	809	0.031	1.15	11.7	10	339	0.048	1.82	3.1
2	613	0.064	1.90	5.4	11	480	0.073	2.67	3.0
3	613	0.089	2.07	4.9	12	241	0.056	2.23	1.8
4	717	0.080	2.22	5.4	13	350	0.076	2.55	2.3
5	560	0.024	1.32	7.1	14	428	0.066	2.28	3.1
6	506	0.063	2.06	4.1	15	143	0.049	2.32	1.0
7	626	0.110	2.28	4.6	16	248	0.039	1.08	3.8
8	565	0.089	2.85	3.3	17	131	0.030	0.47	4.6
9	478	0.081	2.22	3.6	18	—	—	—	—

継続時間10minの集中型降雨に対する最終的なハイドログラフが得られた。

4. 検 討

3. で示した計算例の計算過程については、2,3 検討の余地がある。

Step 1で用いる空中写真原図はカラー写真の方がより好都合であるが、パンクロ写真でも容易に表面工種の識別を行ない得る。

Step 2で基礎表面工種の面積の算出を行なう場合、空中写真原図から工種1つ1つを抽出してその寸法、面積などを計算に要望される程度の精度をもって測らなければならないが、この作業にはかなりの手数と時間を要する。したがって、対象とする排水面積が非常に広大な場合、あるいは基礎表面工種の分布が複雑である場合などのときには、要求される精度に応じて、局部的に類似した工種が密集している部分を包括して1つの基礎表面工種と見なさざるをえない。

Step 3で用いた基礎表面流速とは、雨水が単一工種表面上を流下するときの流速である。また、一部の基礎表面工種について基礎表面流速および基礎流出率の推定を行なった。その方法は、基礎表面流速や基礎流出率の値がすでにわかっている工種と、これから推定せねばな

らない工種とが有するそれぞれの流出係数比によって、比例按分的に求めたものである。

Step 4 において、ブロック別流出量の計算を行なう場合、基礎表面工種自体の流出時間と設計降雨継続時間との大小関係によって、工種ごとの流出のずれが生じることがある。これは1ブロック内に、基礎表面流速が大きく異なる2種以上の工種が同時に存在するとき、あるいは、ある工種の流下距離が他のものとくらべて非常に長く、流出時間も長いときに問題となってくる。したがって、最初のブロック分割を行なうときに、あらかじめ設計降雨継続時間を考慮に入れて、これらの影響が無視できるようにせねばならない。

Step 5 において、ブロック・ハイドログラフの作図を行なう場合、ブロック流入時間 t と設計降雨継続時間 T (ここでは 10 min) との大小関係によってハイドログラフが異なってくるが、その作図法は 図-17 で示した例に従うものとする。また、各ブロックに関する合成流入時間は、基礎表面流速の工種別面積比率による加重平均値と全流下距離から求めたが、この方法は1種の機械的操作であって、水理学的に問題がある。いま、幾何学的な基礎表面工種配置の代表例として 図-18 で示すごとく、直列結合あるいは並列結合の状態に分布していることが考えられる。これらをそれぞれ一括したブロックとして取り扱うとき、平均的な流速を求めるためにはまず各工種ごとに、流速、流量、流入距離、こう配、表面粗度などを考慮して計算を行なわなければならない。市街地の排水区域で、すでに下水管きょがある程度敷設されている場合、または新たに下水道施設が計画される場

図-17 ブロックハイドログラフ作図法

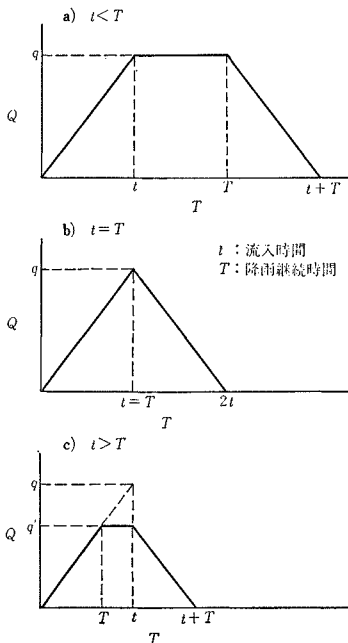
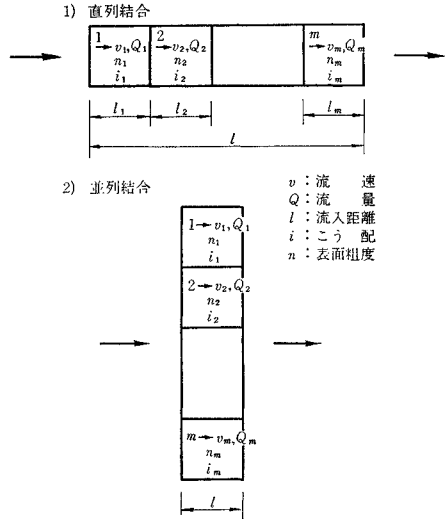


図-18 基礎表面工種の結合状態



合においては、一般的には並列結合の状態に近いものと考えてよいであろうが、いずれにしても、厳密な解析はかなり困難である。そこでここでは、いくつかの例をあげて検討を行なってみる。さきに行なった計算例では排水区域内の基礎表面工種は、屋根、舗装道、その他の3工種で約 76 パーセントを占めているので、ここでは1ブロックの中にこれら3工種が並列結合の状態にあるものとし、計算上の諸条件はさきの計算例のものと同じものを用いる。また、このモデル・ブロックの面積は、41ブロックの平均値である 2700 m² を用いる。ハイドログラフは、a) 3工種それぞれの基礎表面流速を用いて別々にハイドログラフを作り、最後に合成したもの、b) さきの計算例のように、それぞれの基礎表面流速を、面積加重平均を行なって合成したもの、と分類して両者の比較を行なう。図-19 case 1~19 case 3 は3工種等比率で流入距離を変えた場合のハイドログラフ、図-19 case 4~19 case 9 は1工種の面積比率を変えて他の2工種を等比率として正方形とみなした場合のハイドログラフである。この場合、b) の方法では流入距離が2種類得られるので、それぞれについて流入時間を求め、面積比率の異なる1工種の流入距離を用いたものを実線で他の2工種の流入距離によるものを破線でハイドログラフを描いている。これらの結果から、基礎流出率および基礎表面流速のより小さい工種の面積比率が大きく、また、その流下距離が長くなるほど a), b) 両ハイドログラフの相違が著しくなることがわかる。なおこの例では、降雨継続時間が 10 min と非常に短いものであったので、大きな相違が現われるケースも起こったが、設計降雨継続時間が十分に長い場合であれば、このような誤差はなくなってくる。したがって設計降雨継続時間の長・短によって生じる誤差をなくすためには、できれば最初

図-19 モデルブロックによるハイドログラフの合成

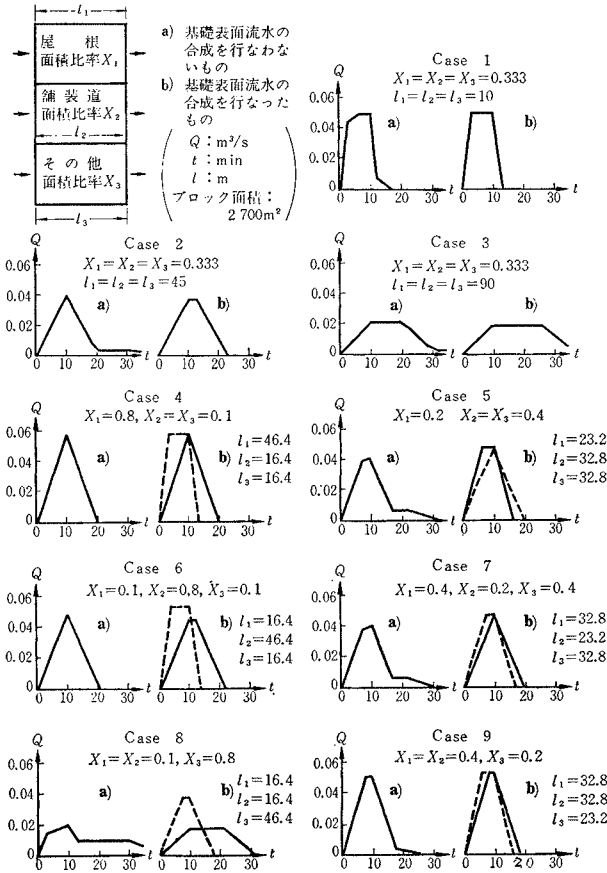
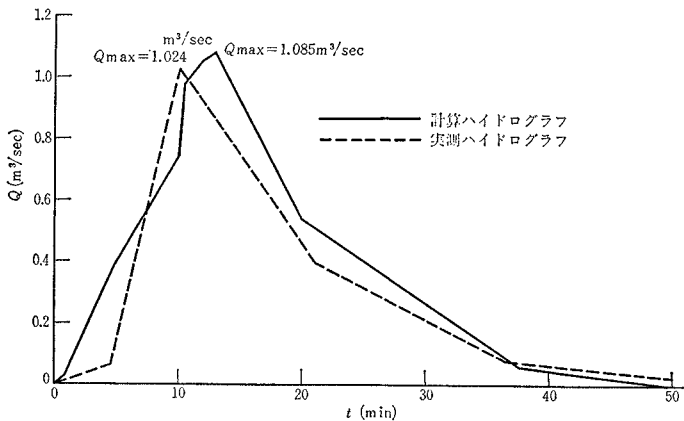


図-20 計算値と実測値との比較図



のブロック分割の段階において、基礎流出率および基礎表面流速の値の相近い工種を集めて1ブロックを構成することが望ましい。

Step 6 において、雨水管きょ系統上に想定した各点から排水区域の最下流点までの流下時間の計算で、各点をそれぞれ独立して取り扱ったが、この理由は、対象とした降雨の継続時間が 10 min という非常に短いものであったため、各点から流下していく雨水はその流下過程

において互いに合流する機会が比較的少ないものと仮定したことによる。

最終的に得られた計算ハイドログラフ(図-16)と、実際の観測によって得られた実測ハイドログラフとを比較するために、同一グラフ上にこれら両曲線を描いたものが 図-20 である。計算で得たハイドログラフは観測で得たそれにくらべて立ち上がり方がやや早く、ピーク時点は3分ほど遅れ、流出は17分前に終わっている。両ハイドログラフの始端および末端でのずれは、管きょ内貯留によるものであり、また、ピーク時点のずれはさきに述べた Step 6 における仮定に起因するものと思われる。しかし全体として両曲線はかなりよく一致した形を示しており、ピーク流量の誤差もわずか5.5パーセントという結果が得られている。

なお、本法による雨水流出量計算に要する時間を、ここであげた計算例で示すと、Step 1—2 時間、Step 2—24 時間、Step 4—3 時間、Step 5—8 時間、Step 6—2 時間、Step 7—2 時間、合計 41 時間くらいであった。ただし、Step 3 で用いるような、あらかじめ定めておくべき数値の算出に要する時間はここでは除外されている。

5. 本法と合理法との関連性

実用上においていくつかの不合理と思われる仮定や手続きを含みながらも、なお今日合理法がその使用頻度において最も大きな割合を占めていることはすでにふれたとおりである。今後ますますこの合理法の採用が促進されようとしている。したがって、計算作業、時間を現状より著しく複雑、長時間にしない範囲で合理法、本法改良の必要性の認識と、実際の合理化とが急務と考えられる。そこで、本論文で述べた方法が本質的には合理

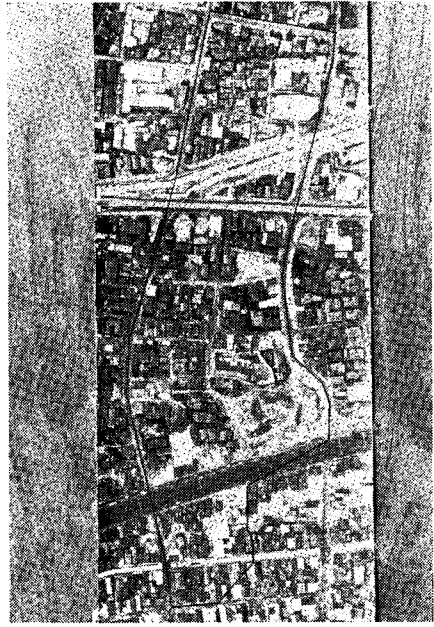
法と変わりのないものであるが、どのような点に差異があり、また、いかに従来の合理法の欠点を補い得たかについて論じてみたい。

合理法では、設計降雨強度と流出係数とが与えられるという点でどの計算法も共通している。この2つの要素は、実用上では、互いに独立したもののように扱っているが、実際には密接な関係を有している。たとえば、最も普遍的なのは、雨水の流集時間に相当する降雨継続時

図-21 (a) 神戸市 A 排水区域空中写真(1960年撮影)



図-21 (b) 神戸市 A 排水区域空中写真(1964年撮影)



間をとって、それに合う統計学上の所要頻度をもった強度の雨が、排水区域全域に降雨するものと仮定する。これは遅滞現象の起きない限界での最大の降雨という配慮からくるものであるから、この考えを忠実に生かすためには、まずより正確な流速時間の決定が必要となってくる。さらにこの流速時間は、実はその流出ストリップを流下する流量によって左右されるわけで、つまり流出係数のいかにかかってくるわけである。流速時間の選定にあたっては、しばしば排水区域に応じた一定値を経験的に与えているようであるが、これはあくまで設計計算を早めるための便宜的なものであって、もとより厳密ではない。結局、ビュルクリーチーグラフのような経験式によって計算すると理論的健全性を欠く点ではあまり相違がない。この流速時間が正確に得られないということは、確率降雨の採択において十分な検討をすることと対応せず、1つのアンバランスを感じしめる。つまり、手順のうちのある部分に理論的根拠の十分なものがあっても、そのことを実際に生かし切れないうらみがある。このように考えてくると、合理法を最も合理的に活用するためには、現在の同法に加えて、(a)排水区域を構成する表面工種の面積比率と分布状態を適確に把握すること、(b)流入時間および流下時間を正しく見積ること、であることがわかる。まず、(a)については、現状のみでなく採来の発展、変化、これまでの変化をも評価する必要があるところから、通常の平面図に頼るよりは空中写真を用いる方が能率的でもあり、有利なことがあげられる。この場合、地表こう配の問題があるので、等高線の入った図面もやはり併用する必要がある。ここで、都市の発展に基づく排水区域の特性の変化に関して一例を

あげておく。図-21 (a) はさきにとりあげた神戸市 A 排水区域の1960年の写真であり、図-21 (b) は1964年の写真である。4年間で局所的にかなりの様相の違いを示している。工種別面積比率を空中写真から求める場合、細かい面積を短時間に計りとるために、写真の色分け、その他作業上の能率化の工夫をせねばならない。

将来は電子管式読みとり装置の開発などが最も期待される方法である。(b)については、これまでの合理法においては、流入時間はたとえば5~15minとして与えられ、排水区域の性格に応じて設計者が経験的直観的に選定するものであったが、表-3で計算例を示したように、ある局所的には、表面工種の構成状態あるいは雨水管きょ、側溝の配置によって非常に長い流入時間をもつことがあり、通常考えられているように、排水区域上流端からの流達時間が最も長いということは必ずしもあてはまらない。流入時間の算出方法において、さきの計算例では、降雨の継続時間が短かったために、管きょ系統上で適当な点を設け、その点に直接流入するブロックからの流入量を求め、各点からそれぞれ最下流端までの所要時間を計算する方法をとったが、今後実際の設計にあたっては、降雨継続時間は最大流達時間と等しくとって、その間の降雨強度が均等というやり方によらず、シカゴ・ハイドログラフ法のように、浸水防御上重要とみられる降雨型に注目し、それにあたる降雨曲線(ハイトグラフ)から一様に出発し、計算を進めるということも当然考えられるであろう。この場合は当然、流速計算や流量加算は上流から進めていく以外にない。また、こうした計算法のほうが、最大流達時間の推定に混乱を生じないですむ。現在のように、流達時間を降雨継続時間

に等しくとるという考えが強く残っていると、複雑な結合排水区域を1つの排水単位として設計する場合、ラフな便法をとりやすい。石黒は九州地方各都市のハイトグラフについての研究で、宮崎地方の降雨型では災害に関係の深いハイトグラフはピークの後方にずれた右上がり型のものであることを指適している⁵⁾。もしこれが普遍的な事実であるなら、市街地におけるこれまでのような長方形型の想定ハイトグラフによる設計法は大いに反省を要する。シカゴの場合にも、雷雨で浸水を起こしやすい降雨型がある定まった型の非対称分布型であることが指摘されている。われわれとしては現在、ここに提案した計算方式が、その地区に適応したハイトグラフと直接結びついて適用されるべきものと考えている。

最後に、本法および合理法の根本、すなわち、基礎流出率と基礎流出係数は本質的には同義のものであるので、両方法を同一条件のもとで、正しい基礎流出率および基礎流出係数を用いて計算を行えば両者による結果は同一となる。しかしさきにも述べたように、基礎流出率、基礎流出係数はともに実験などによって正しい値を求めておかねばならないが、後者では降雨強度、降雨継続時間、こう配、その他のファクターに対して正確な値を予測することが困難であるが、前者はその点が明確である。

6. む す び

本研究は、当初から、実験の立場に立脚して、市街地雨水流出量計算の合理化をはかってきた。そして、ここに新たに、降雨強度、降雨継続時間、こう配などに応じて基礎表面工種と与えられる基礎流出率というものを定義し、降雨損失の表現方法をより明確にした。排水区域内の基礎表面工種の識別には空中写真を用い、さきの基礎流出率を合成して雨水流出量の算定を行なう方法を提案した。空中写真の原図上では、排水区域内の局所的な特性を考慮において、全体を適当なブロックに分割して、個々のブロックについて流出量を算出し得るように

した。これによって、排水区域全体についてのハイドログラフ、および流入管きよの始点、途中でのハイドログラフを描き得るよう計算順序を示した。

つぎにこの方法により、神戸市 A 排水区域をモデルとし、ここで得られた実測データを用いて計算例をあげてみた。本法による計算値と実測値とがかなり近い結果となったことは、本法をこれから展開応用していくうえで好ましいことであるが、それが何によってきたものかその吟味はまだ十分でない。今後の検討を必要とする点も多いので、いま過大に評価することは控えたい。

また、本法における計算手法の一部を合理法に適用し合理法をより合理化する方法にも言及するとともに、本法と合理法とのつながりを明らかにした。

以上述べてきた基礎流出率を用いた市街地雨水流出量算定法は、もちろん、現在はまだ実験段階であって、いわば方法論として確立したにすぎない。今後はより多くの基礎データを集積して、多様な実際排水区域に本法を応用し、その適合性を吟味していかなければならない。そのためには、裏付けを行なうべく実測データも必要となってくるので、本法の確立のためにはなお多くの日数を要するであろう。

参 考 文 献

- 1) 合田 健：下水道および下水処理施工 一とくに雨水流出量計算と沈殿池設計について一、土木学会関西支部、都市環境衛生 昭 37 講習会テキスト、p. 26
- 2) A.L. Tholin, M. ASCE and Clint J. Keifer, A.M. ASCE: The hydrology of Urban Runoff, Jr, of the Sanitary Eng. Div. Proc. of the ASCE 1959
- 3) 合田 健・末石富太郎・寺西靖治：基礎流出係数に関する実験的研究、日本下水道協会第2回下水道研究発表会講演概要集、昭 40、pp. 7-9
- 4) 合田 健・末石富太郎・寺西靖治：基礎流出率を用いた市街地雨水流出量算定に関する実験的研究、土木学会第21回年次学術講演会講演概要集、第II部、昭 41、pp. 143-1~143-2
- 5) 石黒政儀：第3回災害科学 シンポジウム論文集、1966. 11. 4

(1967. 3. 16・受付)

土木学会出版案内

編著者名	図書名	判型	ページ数	定価	備考
土木学会編	新潟地震震害調査報告	B 5	904	10 000	
同	建設/創造/技術(写真集)	A 4	280	3 800	彰国社刊
同	土木年鑑・1967	B 5	484	3 500	鹿島出版刊
同	土質実験指導書	B 5	65	320	データシート 26 枚
同	土木材料実験指導書	B 5	140	460	データシート 56 枚
同	水理実験指導書	B 5	38	250	データシート 21 枚
同	水理公式集	A 5	603	1 400	
同	土木製図基準	A 4	170	1 300	折込 20 葉色刷 4 葉
同	土木技術者のための 振動便覧	A 5	450	2 400	
同	土木技術者のための 岩盤力学	B 5	489	3 600	
同	第 4 回 海岸工学講演集	B 5	244	300	オフセット
同	第 6 回 海岸工学講演集	B 5	150	400	
同	第 9 回 海岸工学講演集	B 5	162	1 000	
同	第 10 回 海岸工学講演集	B 5	184	1 200	
同	第 11 回 海岸工学講演集	B 5	286	1 500	
同	第 12 回 海岸工学講演集	B 5	257	1 500	
同	第 13 回 海岸工学講演集	B 5	319	2 200	
同	Coastal Eng. in Japan	B 5	147	250	
	”	B 5	122	300	
	”	B 5	125	500	
	”	B 5	122	700	
	”	B 5	160	1 200	
	”	B 5	131	1 000	
	”	B 5	147	1 200	
	”	B 5	151	1 200	
	”	B 5	171	1 500	

土木学会論文集在庫一覧

編著者名	論文名	判型	ページ数	定価	備考
猪股俊司	論文集 17 号 プレストレストコンクリート桁に関する研究	B 5	90	250	
高野俊介	論文集 26 号 打込み温度がマッサコンクリートの強度におよぼす影響の研究	B 5	56	180	
仁杉巖	論文集 27 号 支間 30 m のプレストレストコンクリート鉄道橋（信楽線第一大戸川橋梁）の設計、施工およびこれに関連して行った実験研究の報告	B 5	56	160	
伊丹康夫	論文集 37 号 ブルドーザによる土工の設計に関する研究	B 5	50	120	
猪股俊司	論文集 48 号 プレストレスト コンクリート スラブ式 2 ヒンジ ラーメン橋の設計法に関する研究	B 5	68	200	
岩佐義朗	論文集 59 号(別冊 3-1) 巾の漸変する水路における水流の遷移現象と境界特性との関連に関する理論的研究	B 5	32	150	
奥田秋夫	論文集 59 号(別冊 3-2) コンクリート舗装の施工合理化に関する研究	B 5	54	250	
大久保・西原相馬	論文集 61 号(別冊 3-1) 発電用河川流量の研究	B 5	32	150	
太田誠一郎	論文集 61 号(別冊 3-3) 骨材の表面積と新面積法による構築混合物の検討とその応用に関する研究	B 5	48	220	
三村・鈴木谷上野・細	論文集 65 号(別冊 3-2) ロッドミルによる製砂方法に関する研究	B 5	15	80	
永井荘七郎	論文集 65 号(別冊 3-3) 防波堤に働く碎波の圧力に関する研究	B 5	38	160	
国分・河原・太斎	論文集 68 号(別冊 3-2) 各種フライアッシュの共通試験報告	B 5	32	100	
井田至春	論文集 69 号(別冊 3-2) 広巾員開水路の定常流一断面形の影響について一	B 5	18	100	
室田明	論文集 70 号(別冊 1-1) 開水路分水工の研究	B 5	34	200	
嶋・萩原	論文集 71 号(別冊 4-1) On Water-Hammer Pressure due to Periodic Opening and Closure of Valve (英文)	B 5	12	70	
国分ほか 12 名	論文集 71 号(別冊 4-3) フライアッシュ・シンポジウム提出論文集録	B 5	66	230	
森麟	論文集 71 号(別冊 4-4) 舗装後の路床状態の変化についての研究とそれにもとづく CBR 試験法の改善に対する一提案	B 5	16	100	
島田静雄	論文集 72 号(別冊 3-1) 弾性針金の変形と応力	B 5	16	100	
山本稔	論文集 72 号(別冊 3-3) 不完全合成 T 型桁橋の曲げ理論とその応用	B 5	24	150	

土木学会論文集編集委員

委員長	○西村俊夫	副委員長	○嶋祐之	委員	須田中熙	委員	沼田淳
委員	青木康三	委員	柏谷徳衛	委員	丹保七郎	委員	伯野元彦
〃	秋山政成	〃	○神山尚一	〃	高野隆博	〃	福前嘉一
〃	秋山博洋	〃	工藤哲夫	〃	塚山明夫	〃	松浦由一
〃	阿岩橋武士	〃	神月良笑	〃	中村野昭	〃	三宮尚
〃	井井都馬	〃	合田健彰	〃	中西啓和	〃	宮田田
〃	宇都村明郎	〃	沢井吉雄	〃	西中村利	〃	○山
〃	岡田樹	〃	桜井水	〃	二重作	〃	山口
〃	川崎浩司	〃	清水	〃		〃	田口
委員兼幹事	西脇威夫	〃		〃		〃	杉
		〃	○印部会長				

昭和42年12月15日印刷
昭和42年12月20日発行

土木学会論文集 第148号

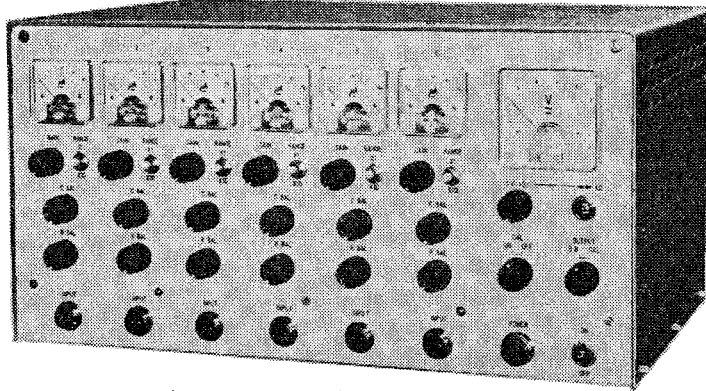
定価 200円(〒20円)

編集兼発行者 東京都新宿区四谷一丁目
印刷者 東京都港区赤坂1-3-6

社団法人 土木学会 羽田 巖
株式会社 技報堂 大沼正吉

発行所 社団法人 土木学会 振替東京 16828 番
東京都新宿郵便局区内 新宿区四谷一丁目 電話(351)代表 5138 番

水理実験波高解析にどうぞ!!



(CA-101型 水位計増幅器)

- ☆波高計(抵抗式)と記録器をつなげばOK
- ☆簡単な取扱いで直線性良好
- ☆価格低廉
- ☆豊富な納入実績を持っています

カタログ請求先

計測技研株式会社

東京都武蔵野市中町3丁目29番地19号

TEL (0422) (51) 8958

MARUI

短時間 **厚さ及び構造物の弾性係数が判定** できる

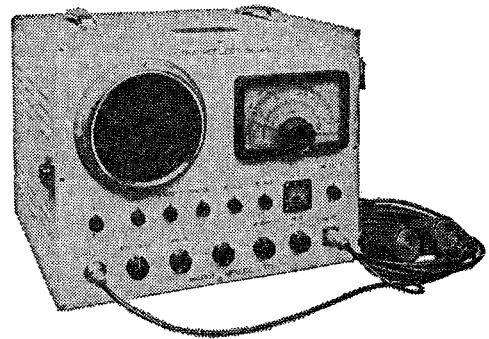
- ① 時間の節約になります (時代に即応)
- ② 正確な判断の参考資料となります
- ③ 無破壊で常に測定出来ます

用途


- 型枠取除き判定 (経済助力となる)
- グム・コンクリート等の品質管理
- 道路隧道の厚さ及ボイドの判定
- コンクリートの経年変化・強度の推定等

営業品目

セメント・コンクリート・土質・アスファルト
水理各試験機・無破壊試験器・計量器・各種材料試験機



超音波反射測定器

 株式会社 **丸井製作所**

本社 大阪市城東区蒲生町4-10番地
電話 大阪 931-3541 番(代表)
東京出張所 東京都港区西新橋3-9-5(吉田ビル)
電話 東京 431-7563 番

PARTNER

K12

パートナー
エンジンカッター

切る

■誰でも切れる

スターターを引張るだけで誰にでも簡単にエンジンがかけられます。切断作業は一人で行い、特別の熟練を要しません。

■どこでも切れる

小型で軽量ですから持ち運びに至便です。その割に馬力は強く、どの様な姿勢でも操作出来、どこでも切れます。

■何でも切れる

鉄、コンクリート、その他何でも切れます。ヒューム管、土管、鉄骨、鉄筋など土木建設、その他種々の業務の切断作業に威力を発揮します。

■はやく切れる

例えばコンクリート道路で3cmの深さ、15mの長さに要する切断時間はわずか約15分です。

■きれいに切れる

切口はきれいに切れます。切断作業の後バリトリとか仕上とかの必要はほとんどありません。

■安全に切れる

特にパートナーカッター用に製作したディスクを用いておりますので切断作業は極めて安全且、迅速に行えます。



- 鋳 鉄 管
- ダ ク タ イ ル 管
- ヒ ュ ー ム 管
- 道 路
- ワ イ ヤ ー ・ ケ ー ブ ル

日本アレン機械部

東京都豊島区巣鴨7丁目1875番地 TEL(944)1711(代)
 本社 東京都千代田区内神田2丁目4-4 TEL(256)6551(代)
 大阪支店 大阪市北区牛丸町55東洋ビル内 TEL(312)4571(代)
 福岡営業所 福岡市露町149 TEL(53)1515
 広島営業所 広島市三川町10-13 TEL広島(47)6351
 北海道出張所 北海道苫小牧市菅羽町13の11 TEL(苫小牧)5016