土木研究所報告 第百六号 昭和三十六年三月

土木研究所報告

第106号

三次元土圧計（第2報）……福岡正巳…(1)

路盤の荷重分散効果……竹下春見…(5)

アスファルト舗装用骨材の性質に関する実験的研究……竹下春見，南雲貞夫…(13)

アスファルト混合物の繰返し載荷試験機の試作と
アスファルト混合物の繰返し載荷による変形機構についての2，3の試験結果
……竹下春見，松野三朗，松崎　猛…(23)

A．B．C型アスファルトの二，三の性質について
……竹下春見，松野三朗，松崎　猛，南雲貞夫…(33)

山地流域における一雨雨量の降雨分布について…竹内俊雄，江川太朗，神谷隆太郎…(45)

狩野川洪水の検討
――異常洪水に如何に対処するか――……木村俊晃…(63)

既設ダムの流量係数に関する研究
――1．筑後川夜明けダム―― ……村　幸雄，八木亀助，藤崎利雄…(83)

洪水流出計算機に関する研究（2）
――洪水流出計算機と筑後川の洪水流出解析―― ……木村俊晃…(107)

土壌コロイドに関する研究（第4報）
――地すべり地帯の粘土鉱物の検索……有泉　昌，牧　隆正…(129)

昭和36年3月

建設省土木研究所

三 次 元 土 圧 計 (第2報)

(昭和 35 年 8 月)

福 岡 正 巳*

目 次

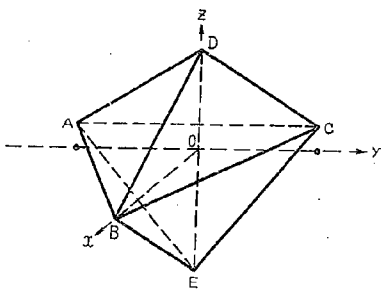
1. は し が き……(1)
2. 非対称六面体型三次元土圧計……(1)
3. 数 値 計 算 例……(2)
4. あ と が き……(3)

1. は し が き

昭和29年9月三次元土圧計の着想が浮かんでからはやくも6年もたってしまった。この間，30年6月に建設省土木研究所報告に「二次元ならびに三次元土圧計の原理」(土木研究所報告92号の6)を発表した。二次元土圧計は三角プリズム，三次元土圧計は六面体の面を受圧面としたものである。受圧面のひずみを測定するため，ワイヤーストレーンゲージを内面に張りつける方法を採用して試作品を作った。二次元土圧計の理想的な形については今もなお正しいと思っているが，三次元土圧計はあれではどうもいけないということが間もなくわかった。その理由は六面体がそれぞれzx，xy面に対して全く対称であるため，6つの応力を求めるための六元一次方程式の解が一元的にきまらないのである。すなわち，前記文献P. 5 (11) 式の$\Delta=0$となり，$\widehat{xx}$, $\widehat{yy}$, $\widehat{zz}$, ……が求まらない。この解決策を与えたのが，この報文である。

2. 非対称六面体型三次元土圧計

前に発表した対称六面体型三次元土圧計のZ軸方向の高さを変化させると応力の6成分がもとまることは次のようにして証明される。



図—1 非対称六面体型三次元土圧計

図—1のDBC，DCA，DAB，EBC，ECA，EAB面の方向係数をそれぞれ$(l_1m_1n_1)$ $(l_2m_2n_2)$ $(l_3m_3n_3)$ $(l_4m_4n_4)$ $(l_5m_5n_5)$ $(l_6m_6n_6)$，また各面に働く垂直応力をそれぞれ$\widehat{\nu\nu_1}$, $\widehat{\nu\nu_2}$, $\widehat{\nu\nu_3}$, $\widehat{\nu\nu_4}$, $\widehat{\nu\nu_5}$, $\widehat{\nu\nu_6}$とする。そのとき0点に働く応力$\widehat{xx}$, $\widehat{yy}$, $\widehat{zz}$, $\widehat{yz}$, $\widehat{zx}$, $\widehat{xy}$の値を求めること

$$\left.\begin{aligned}
&l_1^2\widehat{xx}+m_1^2\widehat{yy}+n_1^2\widehat{zz}+2(m_1n_1\widehat{yz}+n_1l_1\widehat{zx}+l_1m_1\widehat{xy})=\widehat{\nu\nu_1}\\
&l_2^2\widehat{xx}+m_2^2\widehat{yy}+n_2^2\widehat{zz}+2(m_2n_2\widehat{yz}+n_2l_2\widehat{zx}+l_2m_2\widehat{xy})=\widehat{\nu\nu_2}\\
&l_3^2\widehat{xx}+m_3^2\widehat{yy}+n_3^2\widehat{zz}+2(m_3n_3\widehat{yz}+n_3l_3\widehat{zx}+l_3m_3\widehat{xy})=\widehat{\nu\nu_3}\\
&l_4^2\widehat{xx}+m_4^2\widehat{yy}+n_4^2\widehat{zz}+2(m_4n_4\widehat{yz}+n_4l_4\widehat{zx}+l_4m_4\widehat{xy})=\widehat{\nu\nu_4}\\
&l_5^2\widehat{xx}+m_5^2\widehat{yy}+n_5^2\widehat{zz}+2(m_5n_5\widehat{yz}+n_5l_5\widehat{zx}+l_5m_5\widehat{xy})=\widehat{\nu\nu_5}\\
&l_6^2\widehat{xx}+m_6^2\widehat{yy}+n_6^2\widehat{zz}+2(m_6n_6\widehat{yz}+n_6l_6\widehat{zx}+l_6m_6\widehat{xy})=\widehat{\nu\nu_6}
\end{aligned}\right\}\quad(1)$$

この式を解けば

* 工博 機械施工部長 建設技官

$$
\left.\begin{aligned}
\widehat{xx} &= a_{11}\widehat{\nu\nu_1} + a_{12}\widehat{\nu\nu_2} + a_{13}\widehat{\nu\nu_3} + a_{14}\widehat{\nu\nu_4} + a_{15}\widehat{\nu\nu_5} + a_{16}\widehat{\nu\nu_6}\\
\widehat{yy} &= a_{21}\widehat{\nu\nu_1} + a_{22}\widehat{\nu\nu_2} + a_{23}\widehat{\nu\nu_3} + a_{24}\widehat{\nu\nu_4} + a_{25}\widehat{\nu\nu_5} + a_{26}\widehat{\nu\nu_6}\\
\widehat{zz} &= a_{31}\widehat{\nu\nu_1} + a_{32}\widehat{\nu\nu_2} + a_{33}\widehat{\nu\nu_3} + a_{34}\widehat{\nu\nu_4} + a_{35}\widehat{\nu\nu_5} + a_{36}\widehat{\nu\nu_6}\\
\widehat{yz} &= a_{41}\widehat{\nu\nu_1} + a_{42}\widehat{\nu\nu_2} + a_{43}\widehat{\nu\nu_3} + a_{44}\widehat{\nu\nu_4} + a_{45}\widehat{\nu\nu_5} + a_{46}\widehat{\nu\nu_6}\\
\widehat{zx} &= a_{51}\widehat{\nu\nu_1} + a_{52}\widehat{\nu\nu_2} + a_{53}\widehat{\nu\nu_3} + a_{54}\widehat{\nu\nu_4} + a_{55}\widehat{\nu\nu_5} + a_{56}\widehat{\nu\nu_6}\\
\widehat{xy} &= a_{61}\widehat{\nu\nu_1} + a_{62}\widehat{\nu\nu_2} + a_{63}\widehat{\nu\nu_3} + a_{64}\widehat{\nu\nu_4} + a_{65}\widehat{\nu\nu_5} + a_{66}\widehat{\nu\nu_6}
\end{aligned}\right\} \quad (2)
$$

が問題であるが，両者間に次の関係式がある。

こゝに a_{ij} は逆行列式である。

3. 数値計算例

xy 面の三角形が一辺の長さが10cmの正三角形でOD＝3cm，DE＝5cmのような六面体の場合について(2)式の値を計算する（図―1参照）。図―2は非対称六面体型三次元土圧計の上半分の平面図であるが，座標軸の原点からDBC面に下した垂線の点をMとする。OMの長さは図から容易にもとまり，$OM=\frac{150}{\sqrt{52}}$ となる。なお，図―2には $\overline{BC}$ 方向からの側面図が書き添えてある。

OBC面の方向係数を (l_1, m_1, n_1) とすると

$$
\left\{\begin{aligned}
l_1 &= \frac{OM}{OB} = \frac{\frac{150}{\sqrt{52}}}{\frac{100}{\sqrt{3}}} = \frac{1.5\sqrt{3}}{\sqrt{52}}\\
m_1 &= \frac{OM}{OF} = \frac{\frac{150}{\sqrt{52}}}{\frac{100}{3}} = \frac{4.5}{\sqrt{52}}\\
n_1 &= \frac{OM}{OF} = \frac{\frac{150}{\sqrt{52}}}{30} = \frac{5}{\sqrt{52}}
\end{aligned}\right.
$$

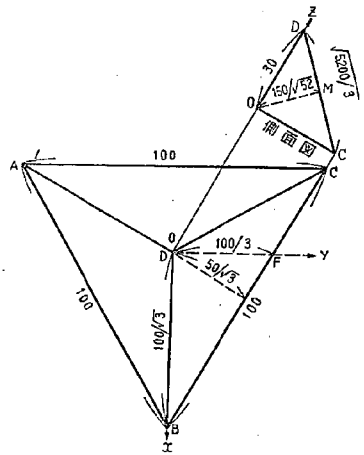
OAC面の方向係数は

$$
\left\{\begin{aligned}
l_2 &= -\frac{\frac{150}{\sqrt{52}}}{\frac{50}{\sqrt{3}}} = -\frac{3\sqrt{3}}{\sqrt{52}}\\
m_2 &= 0\\
n_2 &= n_1 = \frac{5}{\sqrt{52}}
\end{aligned}\right.
$$

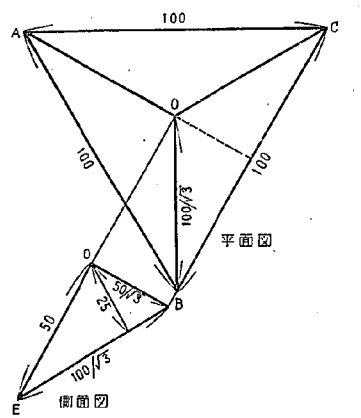
OAB面の方向係数は

$$
\left\{\begin{aligned}
l_3 &= l_1 = \frac{1.5\sqrt{3}}{\sqrt{52}}\\
m_3 &= -m_1 = -\frac{4.5}{\sqrt{52}}\\
n_3 &= n_1 = \frac{5}{\sqrt{52}}
\end{aligned}\right.
$$

図―3は非対称六面体型三次元土圧計の下半分の図である。$\overline{BC}$ 方向の側面図にOからOBC面への垂線の長さは図から計算されたように25となる。前と同様にして各面の方向係数を求めることができる。



図―2　非対称六面体型
三次元土圧計の上半分（単位mm）



図―3　非対称六面体型
三次元土圧計の下半分（単位mm）

ＥＢＣの方向係数は

$$\begin{cases} l_1=\dfrac{\sqrt{3}}{4} \\ m_1=0.75 \\ n_1=-\dfrac{1}{2} \end{cases}$$

ＥＣＡの方向係数は

$$\begin{cases} l_5=-\dfrac{\sqrt{3}}{2} \\ m_5=0 \\ n_5=-\dfrac{1}{2} \end{cases}$$

ＥＡＢの方向係数は

$$\begin{cases} l_0=-\dfrac{\sqrt{3}}{4} \\ m_0=-0.75 \\ n_0=-\dfrac{1}{2} \end{cases}$$

以上をまとめて書くと表―１のようになる。

表―１

	l_i	m	n_i		l	m_i	n_i
1	$\dfrac{1.5\sqrt{3}}{\sqrt{52}}$	$\dfrac{4.5}{\sqrt{52}}$	$\dfrac{5}{\sqrt{52}}$	4	$\dfrac{\sqrt{3}}{4}$	0.75	$-\dfrac{1}{2}$
2	$-\dfrac{3\sqrt{3}}{\sqrt{52}}$	0	$\dfrac{5}{\sqrt{52}}$	5	$-\dfrac{\sqrt{3}}{2}$	0	$-\dfrac{1}{2}$
3	$\dfrac{1.5\sqrt{3}}{\sqrt{52}}$	$-\dfrac{4.5}{\sqrt{52}}$	$\dfrac{5}{\sqrt{52}}$	6	$\dfrac{\sqrt{3}}{4}$	−0.75	$-\dfrac{1}{2}$

(1)式の係数は表―２のようになる。

表―２

	l_i^2	m_i^2	n_i^2	$2m_in_i$	$2n_il_i$	$2l_im_i$
1	$\dfrac{6.75}{52}$	$\dfrac{20.25}{52}$	$\dfrac{25}{52}$	$\dfrac{6.75\sqrt{3}}{26}$	$\dfrac{22.5}{26}$	$\dfrac{7.5\sqrt{3}}{26}$
2	$\dfrac{27}{52}$	0	$\dfrac{25}{52}$	0	$-\dfrac{15\sqrt{3}}{26}$	0
3	$\dfrac{6.75}{52}$	$\dfrac{20.25}{52}$	$\dfrac{25}{52}$	$-\dfrac{6.75\sqrt{3}}{26}$	$-\dfrac{22.5}{26}$	$\dfrac{7.5\sqrt{3}}{26}$
4	$\dfrac{3}{16}$	0.5625	0.25	−0.75	$-\dfrac{\sqrt{3}}{4}$	$0.375\sqrt{3}$
5	$\dfrac{3}{4}$	0	0.25	0	$\dfrac{\sqrt{3}}{2}$	0
6	$\dfrac{3}{16}$	0.5625	0.25	0.75	$-\dfrac{\sqrt{3}}{4}$	$-0.375\sqrt{3}$

８桁の計算機にかけて(3)式の諸係数をもとめると表―３がえられる。

表―３

	$i=1$	2	3	4	5	6
a_{i1}	−0.601 851 81	−0.120 370 35	+1.083 333 2	+0.361 111 11	+0.208 487 60	+0.416 975 20
a_{i2}	+0.120 370 40	−0.842 592 56	+1.083 333 3	0	−0.416 975 17	0
a_{i3}	−0.601 851 99	−0.120 370 40	+1.083 333 3	−0.361 111 1	+0.208 487 57	−0.416 975 20
a_{i4}	+0.416 666 55	+0.972 222 23	−0.749 999 89	−0.250 000 1	−0.144 337 60	+0.481 125 21
a_i	+1.250 000 00	+0.138 888 87	−0.749 999 98	0	+2.288 675 13	0
a_{i6}	+0.416 666 66	+0.972 222 19	−0.750 000 03	+0.250 000 1	−0.144 337 59	−0.481 125 22

4. あ と が き

この型の三次元土圧計は製作しているから計器そのものについては後に発表する予定である。また，他の型の土圧計についても研究してあるが，別の報告で発表することにしたい。

路盤の荷重分散効果

(昭和35年5月)

竹下春見*

要旨

本文は路床上に路盤をつくった場合に，支持力係数がどのように増加するかについて実験室と現場において研究したものである。路盤と路床の強度特性を表現するのにCVT試験とよぶ新しい試験法を提案した。また実験室において路盤の荷重分散効果を正確に測定するために回転式載荷試験槽を作成した。

過去8年間におよぶ研究結果の主要部分は1枚の図面でしめされる。この図面によりローラー転圧および交通締めの効果が明瞭にしめされる。またこの図面は路盤厚の設計に利用できる。

目次

1. 緒言……(1)
2. CVT試験……(1)
3. 回転式載荷試験槽……(2)
4. 回転式載荷試験槽による試験と結果……(3)
5. テストピットおよび現場における試験と結果……(4)
6. 路盤の効果を示す図面……(6)
7. McLeodの路盤常数に対する討論……(6)
8. 路盤の設計法……(6)

1. 緒言

わが国においては通常路盤上での支持力係数が

歷青舗装の場合　$K_{30}>28kg/cm^3$

コンクリート舗装の場合　$K_{30}>15kg/cm^3$

であることが要求されている。しかし現地においてどのような材料をどのような厚さで施工すれば上記の条件が充されるかについては，はっきりした解答があたえられていなかった。

載荷試験を舗装厚の決定に利用しようとする試みは諸外国においていくつか発表されている。その代表的なものは Burmister[1] の理論に根拠をおく米国海軍方式[2]，と McLeod が主になって研究したカナダ方式[3] とがある。しかしわが国において，これらの方法を使用してみると理論的にも実際的にも不合理な点がでてきて，そのままこれらの方法を利用するわけにはいかない。[4]

路盤の荷重分散効果を研究して，路盤の設計に役立てるためには，現場測定，データの解析と実験室における材料の強度特性の研究とが平行していかなければならない。現場測定については建設省要望課題としてとりあげられたこともあり，データはおびただしい数のものが集積されている。しかし現場測定にあたっては，同時に材料の強度特性を正確に把握する時間的余裕がない場合が多いので，特別の例をのぞいては材料の強度特性と路盤の荷重分散効果を関連づけるのに利用できるデータは案外少い。したがって実験室において大型の模型試験をするとともに，材料の強度特性を合理的に表現できる方法を考案して，正確なデータをとるとともに利用できる現場のデータを極力整理するようにつとめた。

2. CVT試験

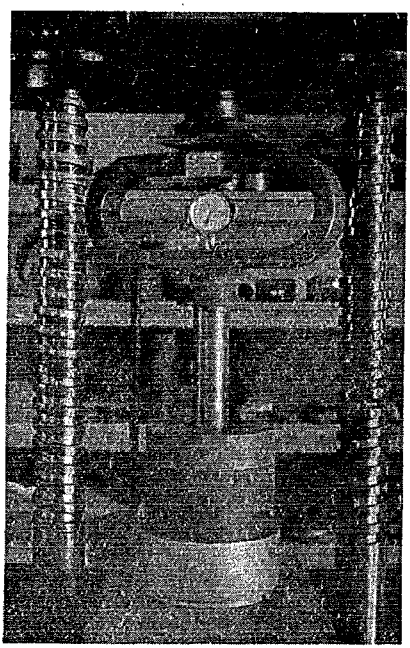
路盤材料と路床土の力学的特性をあらわすには変形係数を用いている場合が多い。そして通常ポアソン比は0.5としている。変形係数を求めるには Kansas法[5] において利用されているように3軸圧縮試験を用いる方法がある。しかし3軸試験を利用する場合には，つぎのような欠点がある。

(1) 3軸試験を行なうときに，側圧をどれだけにしたら現場の状態によく合うのかがわからない。

(2) 土の種類により側圧の大きさは当然異なってくる筈である。また現場の状態では側圧の大きさは垂直圧力の大小によって変ってくる筈である。

*工博 道路部 舗装研究室長

写真—1



写真—2

(3)　3軸試験では試料の側面に働く剪断応力は0であるが，実際土中の状態はこのようなことはありえない。

したがって筆者はCBRのモールドを高さ 10cmにして，モールド中にある材料を上下よりCBRのプランジャーで圧縮する試験法を考案した。これによると

試料の大きさは

直径15cm，高さ10cm

プランジャーの大きさは

直径5 cm

で，直径5 cm，高さ10cm の試料がまわりから同じ状態の土で拘束された状態にあって上下より圧縮をうけるようになる。

モールドによる拘束はCBR試験の場合と同じ程度のものと考えられる。関東ロームを利用して同じ状態の土をこの試験法と3軸圧縮試験とで比較試験を行なった結果では，この試験法による側方拘束力は平均的に3軸圧縮試験の側圧を10 kg/cm²にしたときと同じであった。

試料の上面には必要に応じてCBR試験のときと同様にサーチャージをのせることができる。そのとき試料の下面にはサーチャージに相当する圧力を空気圧によりゴム膜を通して加えることができる。この装置をわれわれはCVT (C value triaxial) とよんでいる。装置の大要と試験した材料の変形係数の実例については "土木技術資料 Vol.1, No. 10" を参照されたい。試験装置およびCVT試験の実施状況は写真1および写真2にしめすとおりである。

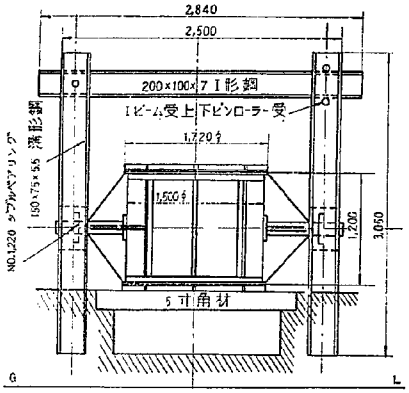
3.　回転式載荷試験槽

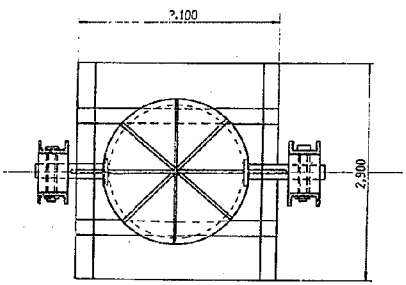
路盤の荷重分散効果を2層問題としてとりあつかうためには，理論において想定しているように路盤と路床とがそれぞれ厚さ全体に亘って力学的に均一なものでなければならない。一般に路床は路盤よりも軟いから，軟かい路床上に硬い路盤を均一につくることは中々困難である。現場においては実際に軟い路床上に硬い路盤をローラー転圧により施工しているわけであるが，問題を簡単化してできるだけ純粋な2層問題としてとりあつかうためには，硬い路盤をさきにつくり，その上に軟かい路床をつくって回転して路盤を上にする方が正確を期しやすい。これらのことを考えて回転式載荷試験槽を作成した。

回転式載荷試験槽は図1にしめすように直径150cm，高さ120cmの鋼製円筒形の槽である。最初に底板を固定して路盤材料を必要な厚さと密度になるまで十分に締固め，ついでその上に路床土を希望する密度に締固めて盛をし，これを回転して路盤を上に路床を下にして底板をとりのぞく。露出した路盤上で載荷試験を行う。載荷試験の状態は写真3にしめすとおりである。写真の中央部に上方から吊り下げられている錘は載荷板，ジャッキ，

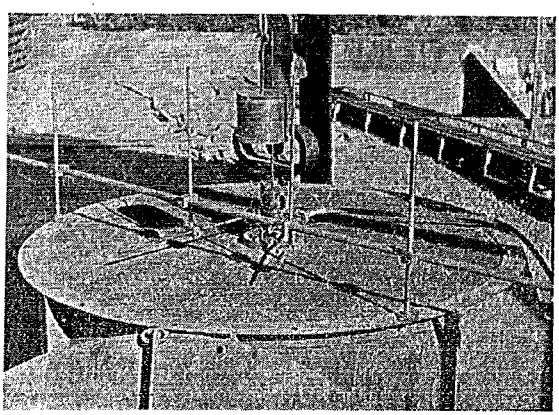
ブルービングリングなどの重量に等しいカウンターウエイトである。

この試験槽で載荷試験を行なうと直径 30cm 以下の載荷板ならば，側壁，底板の影響はほとんどあらわれないことが，土圧計をうめこんで試験した結果判明した。





図—1　回転式載荷試験槽



写真—3

4. 回転式載荷試験槽による試験と結果

2層問題については弾性論的にあるいは粘弾性論的にいくつかの研究が発表されているが，その代表的なものは Burmister, Fox[1] などによる弾性理論である。Burmisterによれば，2層の場合に表面における垂直変位は路床のポアソン比を 0.5 として

$$\triangle = F_w \cdot \frac{1.18pa}{E_2}$$

であらわされる。ここに

△：剛性載荷板による垂直変位（cm）

p：荷重強度（kg/cm²）

a：剛性円形載荷面の半径（cm）

E_2：下層（路床）土の弾性係数（kg/cm²）

F_w：沈下係数，上層（路盤）の厚さを h 弾性係数を E_1 とすれば h/a と E_1/E_2 の函数であらわされる。

回転式載荷試験槽を利用して載荷試験をつぎのように実施した。

（i）いろいろな路盤材料を種々の含水量，締固め度および厚さにつめて路盤を作成する。

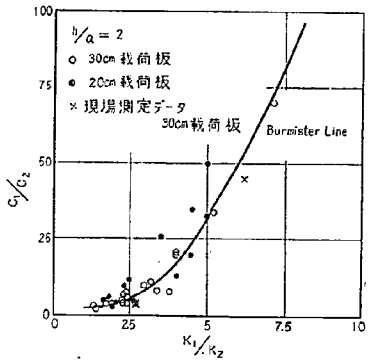
（ii）その路盤上にいろいろの路床土を種々の含水量および締固め度で，路盤厚をのぞいた槽の厚さ全部につめる。

（iii）槽を回転して路盤上で載荷試験を行ないその後路盤材料を掘削して路床土を露出し，路床上で再び載荷試験を行なう。この場合路盤と路床とでは同じ載荷板を使用し，沈下量としては同じ値をとることにした。路床上における支持力係数は K_{30}=0.5～20kg/cm³ の範囲まで行なった。

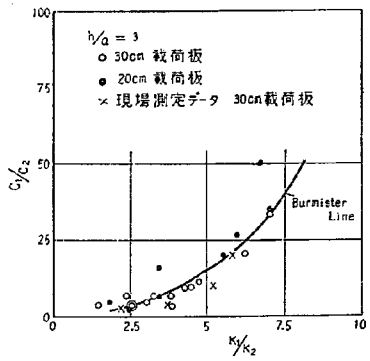
（iv）路盤に使用した材料を同じ含水量のままCVTモールドにより2層にわけて突固めCVT試験を行なう。路盤のCVTとしては，突固めた試料のCVTより内挿法により同じ乾燥密度のときのCVTを路盤のCVTとする。CVTをC値としてあらわす。

（v）路床中より乱さない試料をCVTモールドにより採取して試験をしCVTを決定する。この研究では C_1/C_2=2～70 の範囲まで行なった。

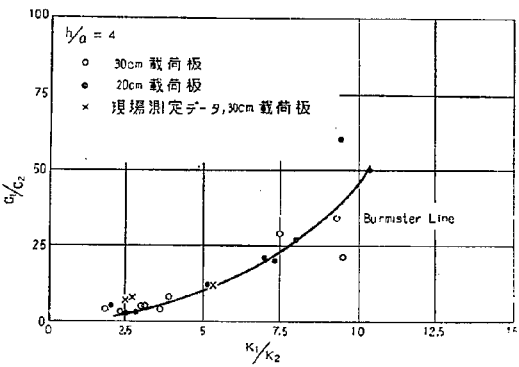
以上の方式により試験を繰返すと，路盤の荷重分散効果をあらわすインデックスとして K_1/K_2 が求められる。ここに K_1 は路盤上での支持力係数，K_2 は路床上での支持力係数をあらわす。支持力係数は沈下量 0.25cm に相当するものをとることにしたが，K_1/K_2 の型で路盤の効果をあらわせば，実際上沈下量のとり方は路盤と路床において同じ値をとる限りどの



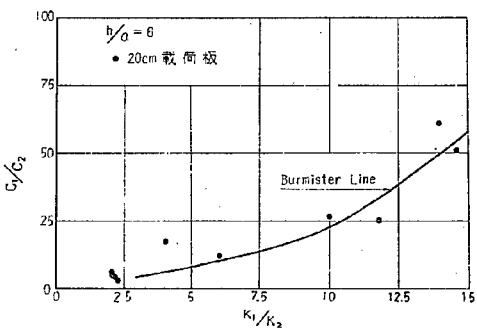
図—2　C_1/C_2 と K_1/K_2 の関係
($h/a=2$ の場合)



図—3　C_1/C_2 と K_1/K_2 の関係
($h/a=3$ の場合)



図—4　C_1/C_2 と K_1/K_2 の関係 ($h/a=4$ の場合)



図—5　C_1/C_2 と K_1/K_2 の関係 ($h/a=6$ の場合)

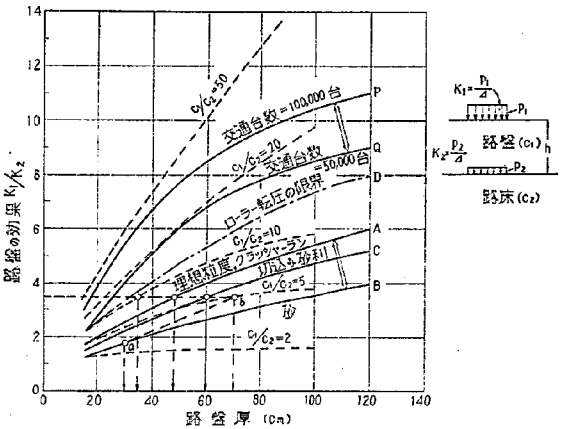
値を限界沈下量としても差支えはない。このことは McLeod[3] の研究などからもわかっている。

路盤と路床の強度特性はCVTによりあらわしC_1/C_2を決定する。C_1は路盤，C_2は路床のCVTをあらわす。試験の結果を縦軸にC_1/C_2，横軸にK_1/K_2をとってプロットすれば図2～図5がえられる。図2は$h/a=2$，図3は$h/a=3$，図4は$h/a=4$，図5は$h/a=6$の場合をあらわす。図2～図5にBurmisterの理論(1)に基くE_1/E_2とK_1/K_2の関係を示すと，図中に示す曲線がえられる。測定データは相当にちらばっているが，Burmister曲線はほぼ平均的な関係をあらわしている。そして直径が20cmの載荷板と30cmの載荷板とでは，本質的な差異はあらわれていない。したがってBurmisterの理論における上層と下層の弾性係数の比E_1/E_2をCVTの比すなわちC_1/C_2でおきかえればBurmisterの理論が近似的に利用できることになる。

図2～図5をとりまとめて図6がつくられる。図6には縦軸にK_1/K_2が示されている。そしてわが国では支持力係数試験は30cm載荷板で行なうのが普通であるから，横軸には30cm載荷板を利用するのに便利なように路盤の厚さが示されている。図中に点線でBurmister曲線を示す。Burmister曲線はC_1/C_2により示されている。

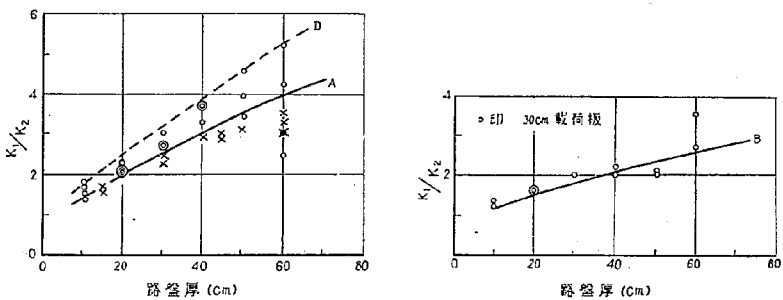
5. テストピットおよび現場における試験と結果

土木研究所赤羽分室構内においてテストピットを掘削し路盤材料を締固めて，路盤厚と路盤の荷重分散効果を測定した結果[7]は図7(a)，(b)に示す。この図より平均線としてA，B，D曲線を引く。この曲線はその後の現場



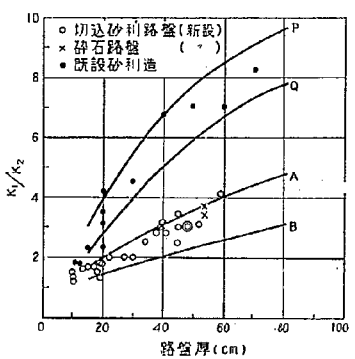
図—6　路盤厚と路盤効果の関係
(路盤厚は30cm載荷板を使用する場合)

測定データを参考にして，土研報告95号に示す直線より少し異なっている。A，B，Dの各曲線を図6に実線で示す。図8は1958年度の直轄技術研究会に発表されたデータおよびその他のデータを図6の図面上にプロットしたものである。◎印は主として切込み砂利よりなる路盤，×印は砕石路盤であって，現場においては締固め厚を15cm以下とし，10tローラーで6～8回転圧している。これによると新設の路盤で現在行なわれている普通の施工法により施工した路盤では，路盤の荷重分散効果はほとんどさきに求めたA，B両曲線の間に入っている。そのほか現場における数多くの測定データもほとんど例外なしにA，B両曲線の間に入る。図6におけるC曲線は図8



(a) 砂利，砂，粘土混合物の路盤　　(b) 砂路盤

図—7　路盤厚による路盤支持力係数の増加割合



図—8　1958年度における現場測定データ
(直轄技術研究会その他)

に示すような現場測定データを数多くプロットした場合の平均線である。

図7におけるD曲線は測定データの上限の線を引いたもので，図6に——・——線で示されている。ローラー転圧の効果をあげるためには，1種類のローラーを用いるよりも2種類のローラーを交互に使用した方が効果的であるということは広くみとめられているところであるが，現場においてタイヤローラーとマカダムローラー，あるいは振動ローラーとマカダムローラーを交互に併用して普通の転圧回数で試験したデータでも，D曲線より上にでる荷重分散効果を示した例はない。したがってD曲線はローラー転圧の実際上の限界を示すものである。

図6のP，Q両曲線は主として南関東地方の国道と県道において既設の砂利道につき調査した結果を，交通開放後の全交通台数につきプロットした結果であり，P曲

線は交通台数が10万台，Q曲線は交通台数5万台に相当する線である。図8には●印で既設砂利道についての試験データが示されている。これらの点はほぼP，Q両曲線の間に入っている。これによると自然交通に開放した場合には，路盤の締固めはローラー転圧によるものと比較して著しく転圧効果が大きいことがわかる。

6. 路盤の効果を示す図面

図6に示される各曲線はつぎのような意味をもっている。

（i） A曲線はクラッシャーランまたはAASHO標準粒度の中央点を通る粒度をもつ砂利，砂，粘土混合物を10tローラーにより6～8回転圧した場合にえられる路盤効果（K_1/K_2）をあらわす。

（ii） B曲線は砂路盤の路盤効果を示す。

（iii） C曲線は切込み砂利の平均線を示す。

（iv） D曲線はローラー転圧の実際上の限界を示す。

（v） P曲線は交通開放後，交通台数が10万台通過した場合の路盤効果を示す。

（vi） Q曲線は交通台数5万台の場合に相当する。P，Q両曲線は交通開放後大体2週間以上経過した場合のデータである。

（vii） 点線はCVTを測定しC_1/C_2を決定した場合に利用できる路盤効果を示す線である。これによれば，普通のローラー転圧ではC_1/C_2は5付近であり，10をこすことはまずないと考えてよい。ローラーを2種類併用した場合でもC_1/C_2は12くらいの見当で，15にはならない。自然交通に開放すると交通台数によりC_1/C_2が20をこえることもある。しかし交通台数が10万台をこえてもP曲線により期待されるK_1/K_2より大きい荷重分散効果は余り期待できない。P曲線は実際上交通転圧の極限であろう。

7. McLeod の路盤常数に対する討議

McLeod の研究によれば路盤の厚さは

$$h = K' \log \frac{P}{S} \quad \cdots\cdots(2)$$

であらわされる。ここに

h：路盤の厚さ（cm）

P：路盤上での支持力（一定沈下量をあたえる荷重 kg）

S：路床上での支持力（　〃　）

K'：路盤常数（cm）

路盤常数K'はMcLeodによれば，載荷板の大きさだけに関係し路盤材料の性質などには無関係であるとしている。そしてたとえば載板の直径が30cmと75cmのときには，K'はそれぞれ89，165としている。

載荷板の半径をaとすれば，

$$P = \pi a^2 p$$

$$S = \pi a^2 s$$

ここにpとsはそれぞれ荷重強度である。いま沈下量をΔとすれば，

$$K_1 = \frac{p}{\Delta} = \frac{P}{\pi a^2 \Delta}$$

$$K_2 = \frac{s}{\Delta} = \frac{S}{\pi a^2 \Delta}$$

であるから

$$\frac{P}{S} = \frac{K_1}{K_2}$$

となる。したがって

$$h = K' \log \frac{P}{S} = K' \log \frac{K_1}{K_2} \quad \cdots\cdots(3)$$

また

$$K' = \frac{h}{\log \frac{K_1}{K_2}} \quad \cdots\cdots(4)$$

回転式載荷試験装置を利用して試験を行なった結果を利用して(4)式よりK'を計算し，これを路盤厚とC_1/C_2の関係につきプロットすれば，代表的な例として図9および図10がえられる。

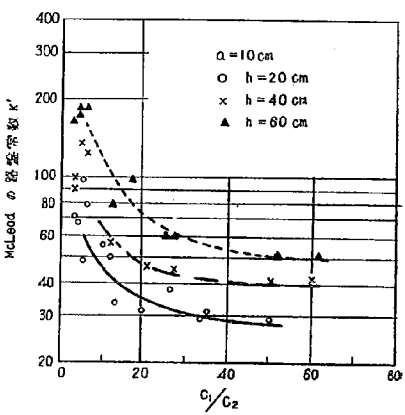
これによると路盤材料の強度特性によりK'は値が異なっており，載荷板の径だけの函数ではないことがわかる。

8. 路盤の設計法

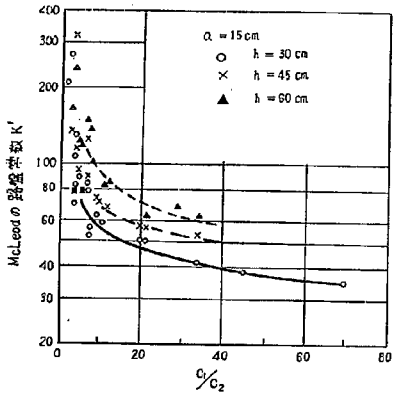
図6を利用すれば路盤厚の設計ができる。ただしこのときローラー転圧はまき厚を約15cm厚とし6～8回転圧するという条件である。図6を利用すれば3層の場合（上層路盤，下層路盤，路床）にも近似的に路盤支持力係数が推定できる。

（i） CVT試験を行なう場合

路床土と路盤材料のCVT試験を行なえばC_1/C_2が決定できる。路床上で30cm載荷板により載荷試験を



図—9　路盤材料の性質とMcLeodの路盤常数との関係（20cm載荷板の場合）



図—10　路盤材料の性質とMcLeod路盤常数との関係（30cm載荷板の場合）

行なえばK_2が決定できる。

K_1は，コンクリート舗装においては，

$$K_1 > 15\ \mathrm{kg/cm^3}$$

アスファルト舗装においては，

$$K_1 > 28\ \mathrm{kg/cm^3}$$

と通常規定されることが多い。

したがって上の規定に合うようにするK_1/K_2がきまる。

以上により設計条件がととのう。

（例）1

路床土より乱さない試料をCVTモールドにより採取してCVT試験をした結果が

$$C_2 = 150\ \mathrm{kg/cm^2}$$

路盤材料をCVTモールドに2層に分けて各層55回突き固めを行なってCVT試験を行なった結果

$$C_1 = 1500\ \mathrm{kg/cm^3}$$

であるとすれば

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{1500}{150} = 10$$

路床上において載荷試験を行なった結果

$$K_2 = 8\ \mathrm{kg/cm^3}$$

であるとする。

アスファルト舗装用の路盤として

$$K_1 = 28\ \mathrm{kg/cm^3}$$

をうるためには

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{28}{8} = 3.5$$

であるから，図6の縦軸において3.5の点から水平線を引いて点線の$C_1/C_2=10$の曲線と交わらせ，垂直に下に線を引き横軸と交わらせれば

路盤の厚さ＝35cm となる。

もし路盤材料が前より不良で

$$C_1 = 750\ \mathrm{kg/cm^2}$$

のときには

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{750}{150} = 5$$

であるから，前と同様にして

路盤厚≒70cm

必要となる。

（例）2

路床土のCVT試験の結果　$C_1 = 200\ \mathrm{kg/cm^2}$

路盤材料のCVT試験の結果　$C_1 = 1000\ \mathrm{kg/cm^2}$

路床上における載荷試験の結果　$K_2 = 10\ \mathrm{kg/cm^3}$

この路盤材料を使用して路盤厚を70cmとすれば，図6より$\frac{C_1}{C_2} = \frac{1000}{200} = 5$　路盤厚＝70cm

に相当する縦軸より

$$\frac{K_1}{K_2} \fallingdotseq 3.5$$

であるから

$K_1 = 3.5$　$K_2 = 3.5 \times 10 = 3.5\ \mathrm{kg/cm^3}$

の路盤支持力係数が期待できる。

（ii）　CVT試験を行なわない場合

（例）3

路床の支持力係数が8 kg/cm³であるとき，路盤を構築して路盤上での支持力係数を28kg/cm³にするにはどのような材料をいくらの厚さにしたらよいであろうか。このときには，

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{28}{8} = 3.5$$

であるから，路盤材料を切込み砂利とすれば，平均的にC曲線を利用して図6より

路盤厚＝60cm

クラッシャーラン，または理想粒度の砂利（砕石），砂，粘土混合物を利用するときにはA曲線を利用して

路盤厚＝49cm≒50cm

となる。

この路盤を交通に開放した場合には，交通台数によりP曲線またはQ曲線に相当するK_1/K_2がえられる。たとえば交通台数が10万台も通過すれば，路盤厚は50cmであるから

$$\frac{K_1}{K_2} = 7.7$$

$K_1 = 7.7$　$K_2 = 7.7 \times 8 = 61.6\ \mathrm{kg/cm^3}$

となり$K_{30} = 60\ \mathrm{kg/cm^3}$くらいの支持力係数が期待できることになる。

（iii）　3層の場合の応用

（例）4

路床の支持力係数が8 kg/cm³のときに，下層路盤として砂層を30cmおけば図6にa点で示すように

$$\frac{K_1}{K_2}=1.7$$

となる。

砂層の上に40cm厚の切込み砂利路盤をつくれば a 点より曲線C（切込み砂利の平均線）に平行線を引き，横軸の70cmのところの垂直線と交わらせれば（b）点をうる。b 点は砂層30cm，切込み砂利路盤40cm合計70cmの路盤厚の路盤効果を表わす。b 点の縦座標は3.5であるから，

$$\frac{K_1}{K_2}=3.5$$

$$K_1=3.5\ K_2=3.5\times 8=28\text{kg/cm}^3$$

となり上層路盤上で28kg/cm³の支持力係数が期待できる。

昭和35年5月

参考文献

1) Burmister, D. M.: The Theory of Stresses and Displacements in Layered System Applications to the Design of airport Runways, Proc. H. R. B., 1943

2) U. S. Navy, Bureau of Yards and Docks, Manual No. 1, "Procedure for Determination of Thickness of Flexible Type Pavements," Revised June, 1943

3) McLeod, N. W.: Airport Runway Evaluation in Canada, H. R. B. Research Report No. 4 B, 1947
McLeod, N. W.: Flexible Pavement Thickness Requirements, Proc. AAPT, vol. 25, 1956

4) Takeshita, H.: The Stability of Gravel Roads in Volcanic Ash-Soil Region, Proc, 4 th-Int. Conf., S. M. & F. E. (London)

5) Kansas State Highway Commission, Design of Flexible Pavements Using the Triaxial Compression Test, H. R. B. Bulletin No. 8, 1947

6) Fox, L.: Computation of Traffic Stresses in a Simple Road Structure, R. R. Technical Paper No. 9, R. R. L.

7) 竹下春見：郷地道路の路床路盤に関する研究，土研報告95号

アスファルト舗装用骨材の性質に関する実験的研究

(昭和35年6月)

竹下春見*
南雲貞夫**

要旨

アスファルト混合物に使用する骨材は，十分な硬さをもち，加熱による影響が少く，また水の影響下におけるアスファルトとの付着性が大でなければならないと考えられる。当研究室においてはこの考えにもとづいて，アスファルト用骨材の標準試験方法と基準値の作成のために全国で使用されている骨材をあつめて試験を行っている。本文はその中間報告である。

目次

1. まえがき……(1)
2. 材料……(1)
3. 骨材の硬さに関する試験……(1)
4. 骨材の加熱による影響に関する試験……(4)
5. 骨材の水浸による影響に関する試験……(4)
6. むすび……(6)

1. まえがき

アスファルト舗装に使用する骨材の試験は，一般にＪＩＳ規格に示されている試験法にしたがって行なわれているが，これらの試験法のみによっては骨材の性質を十分には握することはできない。たとえば花崗岩のような結晶粒の大きい骨材は加熱することにより砕け易くなって使用できなくなるといわれている。また石英などを含んだケイサン分の多い骨材はアスファルトとの付着性に劣り，水の作用を受けると容易にアスファルトひまくがはくりして安定度と耐久性の上から好ましくないとされている。ドライヤーにより骨材が加熱されるときには，部分的には規定温度よりも高温で過熱される可能性がある。加熱されたことにより，くだけやすくならずアスファルトとの付着性が良好な骨材なら，どんな骨材でも使用できる筈である。加熱された骨材の性質，骨材とアスファルトの付着性を判定する方法は現在の規格試験の中には見当らないし，これらの性質がどの程度であったら実際に使用して差支えないかを，判断するためのデータも少い。ここでは数種類の砕石について，二・三の実験を行い，アスファルト舗装用骨材に要求される性質を容易に評価しうる試験方法に関して基礎的な資料を得ようと試みた。

2. 材料

本試験に使用したアスファルトおよび砕石の規格試験の結果は表―1および表―2に示すようである。

表―1　アスファルト試料の性質

針入度 (25°C 100gr 5sec)	100
軟化点 (R&B)	43°C
伸度 (10°C)	>100cm
蒸発量 (170°C)	0.12%
蒸発後針入度	82

3. 骨材の硬さに関する試験

骨材の硬さに関する試験は一般にＪＩＳＡ1120-54のドバル・スリヘリ試験およびＪＩＳＡ1121-54のロサンゼルス・スリヘリ試験にしたがって行い，スリヘリ減量をもって表わす。ドバルスリヘリ試験では試料に衝撃の影響が加味されないので，砕け易い組織を持っていても結晶粒子のかたい骨材では試験値が小さく出てしまう，また骨材粒形の偏平さ，細長さなどの影響が試験結果に表われて来ない，などの理由から実用性に劣るとされている。一方ロサンゼルス・スリヘリ試験は，試験時間もドバルより比較的短かく道路用骨材の性質をかなりよく表わすことができて，実際の使用情況とも良く一致するといわれており，ドバルより一般に広く利用されている。これらの試験法はそれぞれにすぐれた点があるとしても，試験時間が長いこと，試験装置が大型で経費もかかるこ

*工博 道路部舗装研究室長　　**道路部舗装研究室

表—2 骨材試料一覧表

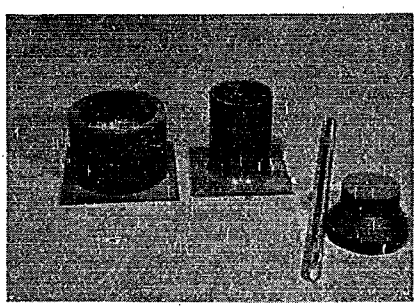
試料番号	骨材	摘要	産地	比重 G_1	吸水量(%) G_1	ロサンゼルス・スリヘリ減量*1(%) G_1+G_2	ドバル・スリヘリ減量*2(%) G_1+G_2
1	花崗岩	黒雲母花崗岩(主)安山岩(変質)硬砂岩	島根県簸川多伎村小田	2.60	1.40	26.3	14.8
2	黒雲母花崗岩		茨城県稲田	2.62	0.55	41.8	22.5
3	石英はん岩	黄鉄鉱を含む	兵庫県西宮市塩瀬町生瀬	2.61	0.91	16.6	5.4
4	輝石安山岩	淡灰色，ち密板状節理黄鉄鉱あり	神奈川県小田原市根無川	2.62	1.96	17.2	6.3
5	かんらん石玄武岩	葉片状に割れる	長崎県佐世保市万徳町瀬戸越	2.86	1.62	17.6	10.7
6	硬砂岩 A	堅硬	茨城県久慈郡大字町大字西金	2.66	0.93	14.9	8.0
7	硬砂岩 B	黒色粘板岩を混入	長野県東筑波郡波田村	2.63	1.07	17.3	9.15
8	硬砂岩 C		福岡県鞍手郡宮田町	2.48	6.00	14.1	
9	硬砂岩 D			2.43	6.32	23.0	
10	蛇紋岩		秩父市槻川	2.64	1.29	17.9	9.6
11	不純石灰岩		栃木県安蘇郡葛生町	2.70	1.50	28.4	17.5
12	石灰岩		同上	2.72	0.54	24.2	11.8
13	玉石砕石	硬砂岩（主）珪質岩粘板岩，はん岩類	埼玉県	2.66	0.79	15.5	
14	砂利	同上	愛知川	2.69	0.99	14.1	
15	灰色石灰岩			2.71	0.48		
16	かんらん石玄武岩			2.79	1.41		
18	スラグ A	平炉スラグ		3.83	0.34	19.4	
19	スラグ B	高炉スラグ		2.44	3.90	33.2	
20	スラグ C	〃		2.46	4.56	38.6	
21	スラグ D	〃		2.39	4.00	33.5	
22	スラグ E	〃		2.40	3.64	31.5	

*1. ロサンゼルス：粒度区分C（5～10mm：2.5kg，10～15mm：2.5kg）による。
*2. ドバル：粒度区分D（5～10mm：50%，10～15mm：50%）による。
*3. 粒度 G_1：12.7～9.52mm，G_2：9.52～4.76mm。

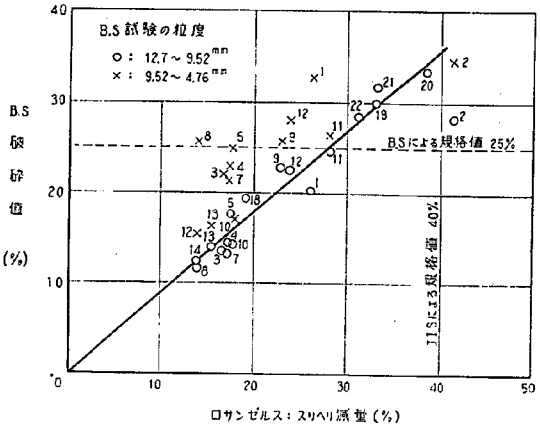
などの欠点があって，道路の現場において，どこでも使用できるというわけには行かない。

英国規格（British Standard）に示す骨材の破砕試験法[1]（付録参照）は40ton以上の圧縮試験機（コンクリート試験用として現場にはかなりの数の手持ちがある）が必要である。そのほかには簡単な鋼製モールド（写真1参照）と若干の付属品があればよく，試験も僅かな時間で完了できる。

表—2の各材料について求めたB・S破砕値の結果は表—3の通りでありロサンゼルス・スリヘリ減量との関係を図—1に示す。試料の粒度は破砕試験では標準としている12.7～9.52mmのものを使用し，ロサンゼルスで



写真—1



図—1　ロサンゼルス・スリヘリ減量とB・S破砕値との関係

はＪＩＳＡ1221に示す粒度区分Ｃに従い，12.7～9.52mmおよび9.52～4.76mmのものを2,500gr づつ等量に混合して試料としている。試験値はいずれも試料の粒度により変動するが，破砕試験において12.7～9.52mmの砕石を使用するときには，破砕試験とロサンゼルス試験とはかなり相関がよく，ロス・スリヘリ試験は破砕試験によって十分代用できることを示している。

図—1によればロサンゼルス・スリヘリ減量とＢ・Ｓ破砕値との関係はほぼ

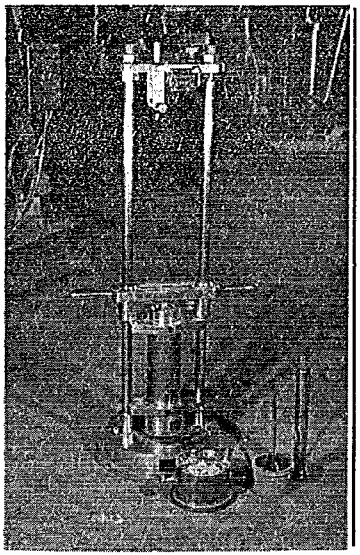
Ｂ・Ｓ破砕値＝0.9×(ロサンゼルス・スリヘリ減量)

となっている。したがって，もしロサンゼルス試験の試料をＢ・Ｓ破砕値の試料と同じものを用いたとすれば，ロサンゼ

表—3　　Ｂ・Ｓ 破 砕 試 験 記 録 表

資料番号	骨材 ＼ 試験法 粒度*1	Ｂ・Ｓ 破砕値 (%) 標準 G_1	標準 G_2	加熱 300°C G_1	300°C G_2	加熱 600°C G_1	600°C G_2	Ｂ・Ｓ衝撃値*2 A G_1	B G_1	$300G_1/sG_1$	$600G_1/sG_1$
1	花崗岩	20.3	32.9	22.5	31.6	23.8		21.2	20.8	1.11	1.17
2	黒雲母花崗岩	28.9	34.8	29.7	41.4	—		32.6	30.5	1.03	—
3	石英斑岩	13.5	22.0	15.3	22.2	17.2		11.9	12.7	1.13	1.27
4	輝石安山岩	14.4	22.8	15.4	24.1	16.5		16.3	15.6	1.07	1.15
5	かんらん石玄武岩	17.6	24.9	19.5	28.5	17.6		16.7	15.5	1.11	1.00
6	硬砂岩 A	—	—	—	—	—		15.9	16.1	—	—
7	硬砂岩 B	13.2	21.4	16.5	22.7	17.1		13.4	14.1	1.25	1.30
8	硬砂岩 C	11.6	25.7	11.2	25.4	—		—	—	0.97	—
9	硬砂岩 D	23.1	25.6	20.7	22.2	—		—	—	0.90	—
10	蛇紋岩	14.6	17.4	16.7	19.4	19.5		13.0	14.0	1.14	1.34
11	不純石灰岩	24.8	26.6	23.9	28.9	26.1		16.5	15.9	0.96	1.05
12	石灰岩	22.5	28.3	23.5	30.8	24.3		19.5	17.5	1.04	1.08
13	玉石砕石	14.0	16.2	14.5	18.0	—		10.8	10.8	1.04	—
14	玉砂利	11.3	15.4	11.7	12.2	—		10.2	11.3	1.04	—
15	灰色石灰岩	28.5	—	—	—	—		22.1	22.3	—	—
16	かんらん石玄武岩										
18	スラグ A	19.4									
19	スラグ B	29.9									
20	スラグ C	33.5						28.9	24.4		
21	スラグ D	31.7						27.1	22.8		
22	スラグ E	28.4						20.7	18.4		

*1. 粒度　G_1：12.7～9.52mm，G_2：9.52～4.76mm，sG_1：G_1骨材につき標準試験
*2. A：試験は重量測定による。B：試験は体積測定による。



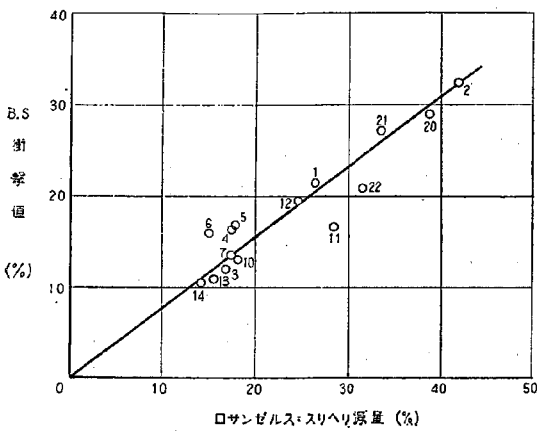
写真—2

材の場合には試験荷重の40 tonを載荷する以前に試料が密に締め固められるため硬さの差が明確に表われないという欠点があって，同様な試験器具を使用しながら異った試験法が提案されている。[2] それは規格試験とは逆に一定の破砕値（10%）を生ぜしめるに必要な荷重をもって硬さを表わす方法であるが，若干の操作が加わることと実用の骨材の範囲では誤差は小さく問題にならないことなどから，従来の試験法で十分間に合うと考えられる。

同様な硬さの試験法として，B・S規格に衝撃値試験[3]が規定されている，これは小型の試験機（写真—2参照）さえあれば網フルイと秤，あるいは秤だけを使用して試験できる簡単な方法であるが，破砕試験に比して試料の量が少ないので（約340 gr）試験値がバラツキ易い欠点をもっている。しかし図—2に示すように十分実用には供せられるであろう。

4. 骨材の加熱による影響に関する試験

加熱混合式のアスファルト舗装では，骨材は通常ドライヤーによって120～170℃に加熱されるが，バーナーの火焔が直接当るような箇処では骨材はあるいはさらに高温に熱せられるであろう。事実乾燥される間に熱の影響をうけて細かに砕けてしまい，舗装用として使用できなくなる骨材がある。骨材のこのような性質を判定する手掛りをうるために次のような試験を試みた。



図—2　ロサンゼルス・スリヘリ減量とB・S衝撃値との関係

試料はフルイ分けて水洗し，105～110℃の炉中で24時間乾燥する。ついで300℃あるいは600℃に保った電気炉の中で約1時間加熱する，加熱した骨材はただちに前節に述べたB・S破砕試験に従って破砕値を求める。その結果は表—3のようであり，標準試験による破砕値と加熱した試料を用いた破砕値との関係は図—3に示すようである。

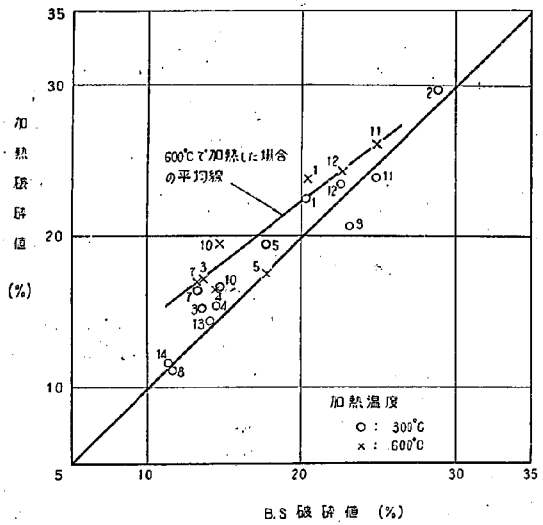
ほとんどの砕石について，加熱の影響が表われており，試験値は図の45℃の線より上方にプロットされている。砕石の種類による差異はあまり明確でないが，300℃よりも600℃に加熱したときの方が明らかに加熱破砕値が大きくなっている。加熱した砕石の破砕値がどれ位なら実用に供しうるかという基準値はこれだけのデータでは見出せないので，今後も多くの試料について同種の試験を継続して行く予定である。

ルス・スリヘリ減量とB・S破砕値とはほとんど同じ値になるのではないかと想像される。（このことは，B・S試験法の註釈に述べられている—付録参照—）図における×印の点はB・S破砕値を9.52～4.76mmの粒度のものにつき行った結果をロサンゼルス試験と比較したもので，小さい粒径のものでは両者の試験法の間に一致は見出されない。

B・S破砕試験では，破砕値が25%以上の軟らかい骨

5. 骨材の水浸による影響に関する試験

アスファルト混合物は水の作用をうけると骨材とアスファルトとの付着性が低下し，骨材表面からアスファルトひまくがはくりする傾向にある。この現象はアスファ



図—3　B・S破砕値と加熱破砕値との関係

ルト舗装の破かいを生ぜしめる主要な原因の一つとされており，舗装の安定度と耐久性に関連して非常に重要な問題である。

はくり現象はアスファルトの原産地，製造法によって変る性質にも左右されるといわれている。しかしアスファルトの品質にとくに著しい変動がない限り決定的な影響を与えることは少いので広範囲に変化する骨材の性質が重要な役割をはたすことが多い。

アスファルトと骨材間の結合は，両者それぞれの固有な性質によるばかりでなく，混合時の諸条件，混合物の種類，その後の環境などの多数の原因に支配されるが，一定条件下における混合物のはくりの状態を知ることは材料を選択する上にも必要であろう。

アスファルト骨材間のはくりの程度あるいは附着性を調べる試験法をはくり試験（Stripping Test）といい，従来いろいろな方法が試みられている。骨材を中心に考えた試験法として概略次のような方法がある。

直接的に測定する方法

1. 煮沸試験
   中性塩，あるいはアルカリ，酸などの稀溶液で一定時間煮沸しはくりの状態を見る方法。
2. 水浸試験
   一定温度の蒸溜水中に一定時間混合物を浸し，あるいは水浸の間中，機械的にかくはんしてはくりの状態を見る方法。
3. 混合試験
   アスファルトと骨材に水を加えながらまた骨材を湿らして混合し，被覆の状況を見る方法。
4. 界面化学的方法
   骨材粒子に一定の方法でアスファルトを接触させ骨材表面に対する接触角を測定して，ぬれの程度を調べる方法。

間接的に測定する方法

1. 水浸圧縮試験
   水浸した供試体の圧縮強度を水浸しないものと比較する方法。
2. 吸着法
   ある種の気体あるいは染料などをアスファルト被膜のはくりした骨材表面に吸着させその量を測る方法。
3. 溶出法
   アスファルト被膜のはくりした骨材表面から，骨材自体あるいはプレコートした物質の溶出する量を測定する方法。

直接的に測定する方法は④を除けば操作が非常に簡単であるが試料に限られた粒度の骨材を使用するため舗装用混合物としたときの性状，とくに使用した砂やフィラーの影響がわからない。ほとんどが肉眼判定によるため個人差が大きく再現性がよくない。このことは特殊な装置または偏光などを利用して機械的，光学的に測定する方法もあって，あるていどは再現性を良くすることもできるといわれているが，現場的な方法とはいえない。間接測定法も①の方法を除いては測定に長時間を要し，経費も大きい。染料やプレコートの物質がはくり現象に影響を与えるであろうことが考えられるし，不正確であるといわれている。

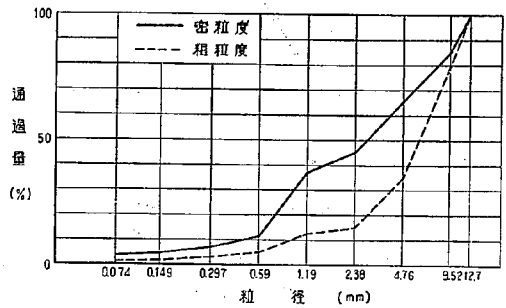
水浸圧縮試験はASTMあるいはAASHO[4]に採用されているが，他の試験法の欠点を補い，水浸の影響を調べるには最もすぐれた方法であるとして，現在のはくり試験は，この方法にしたがうことが多い。

こゝではわが国において広く利用されているマーシャル試験を利用して，水浸マーシャル試験を提案し，表—2の各試料について試験を行なった。つぎにその概略を示す。

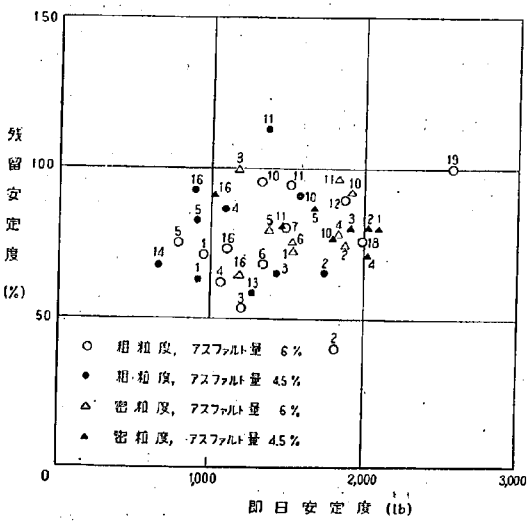
混合物は同じ種類の骨材を利用し，その配合は，粒度を粗粒度および密粒度の二種類とし，アスファルト量をそれぞれ4.5%および6.0%とした。混合物の配合および粒径加積曲線をそれぞれ表—4，図—4に示す。一種類の混合物について15ケの供試体を作製する。1日室温に放置してから，そのうちの5ケにつきマーシャル試験を行ない，他の10ケは60℃の温水に浸す。水浸してから4

表—4　混合物の配合表

		粗粒度(%)		密粒度(%)	
アスファルト		4.50	6.00	4.50	6.00
砕石	1.27~9.52	19.10	18.80	14.32	14.10
	9.52~4.76	42.97	42.30	19.10	18.80
	4.76~2.38	19.10	18.80	19.10	18.80
砂	2.38~0.59	9.55	9.40	32.48	31.96
	0.59以下	2.87	2.82	5.73	5.64
フィラー		1.91	1.88	4.77	4.70
合計		100.00	100.00	100.00	100.00



図—4　混合物の粒度分布



図—5(a)　残留安定度に関する試験結果

日後と7日後にそれぞれ5ケづつマーシャル試験を行ない非水浸安定度にたいする水浸安定度の比を百分率で表わし，これを残留安定度とする。4日水浸と7日水浸との差異はあまり明確でないので後者のデータを省略し，4日水浸したもののみの残留安定度を表—5に示す。

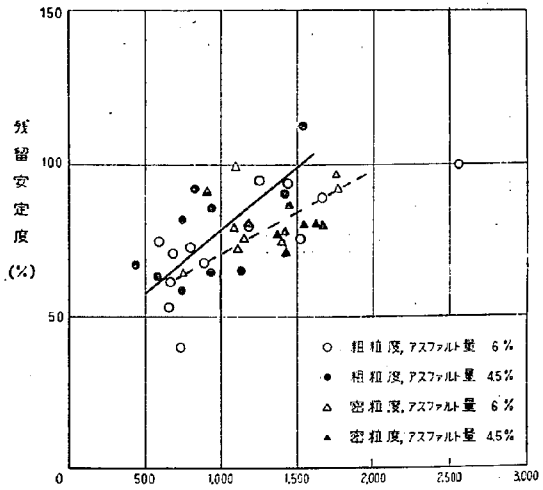
骨材は水との親和性の程度に応じて，親水性骨材(Hydrophilic Aggregate)と疎水性骨材(Hydrophobic Aggregate)とに区別することがある。親水性骨材はアスファルトよりも水との付着，あるいはぬれが容易であるため水の作用をうけたときに骨材表面からアスファルト被膜のはくりが起りやすい。花崗岩，石英粗面岩，などのケイサン分に富んだ酸性火成岩，あるいはそれらを母岩とした堆積岩は，アスファルトとの付着が悪く親水性の骨材が多いと考えられている。これに対し，玄武岩，はんれい岩などの塩基性火成岩，石灰岩などのアルカリ性を示す骨材はアスファルトに対する付着が良好で疎水性のものが多いとされている。

試料の組成を肉眼により判別し，酸性の骨材から塩基性またはアルカリ性の骨材へとその度合に従って並べたものが表—5の順位である。はくりの傾向は密粒度供試体については差が明確に表われていないが，粗粒度のものでは，試料による違いがかなり良く表われており，試料の順位に従ってはくりの程度の減少している傾向を見ることができる。即日安定度と4日水浸安定度に対する残留安定度の関係は図—5に示すようである。

これだけの結果からでは何%の残留安定度があったら水の作用を受けにくい砕石であるといえるか，また混合物として使用できるかどうかの判定を下すことはできないが，この種の試験法が十分利用できそうだという目安を得たので，さらにデータを集積して基準値をうるようにしたい。

6. むすび

道路用骨材，とくにアスファルト舗装用骨材の品質試験として従来行なわれている，ロサンゼルスおよびドバルのスリヘリ試験にかわる破砕試験，加熱の影響をみる加熱破砕試験，およびアスファルトと骨材間の附着性をみる，水浸マーシャル試験を試みた。試験の結果からこれらの試験法が新しい規格試験として十分利用できるであろうという見通しがついた。そしてアスファルト混合物に使用す



図—5(b)　残留安定度に関する試験結果

る骨材については，骨材の硬さ，骨材の加熱による影響および水浸による影響を加味しなければならないということが明らかになった。しかしまだデータの数が不足であるので，さらに多数の試料を集めて現在試験を継続中であるが，その目的は基準値の作成にある。　(完)

参考文献

1) British Standards Institution, "Determination of Aggregate Crushing Value" B. S 812, 1952. British Standard Methods for the Samgling & Testing of Mineral Aggregates Sands & Fillers.

2) F. A. Shergold & J. R. Hosking "A New Method of Evaluating the Strength of Road-stone" Roads and Road Construction vol. 37. No. 438 June 1959.

3) "Determination of Aggregate Impact Value." B. S 812. 1952.

4) "Effect of Water on Cohesion of Compacted Bituminons Mixtures" ASTM Designation D1075-54, AASHO Designation T165-55

附　録

骨材破砕値の決定[1] (Determination of Aggregate Crushing Value)

a．器具[2] (写真1—参照)

i) 円筒形の金属製計量容器，使用中に変形するようなことのないしっかりしたもので寸法は次の通りとする。

内径　4 1/2 in
内高　7　in

ii) ツキ棒，直径5/8 in，長さ24 in 先を丸くとがらせたもの。

iii) 円　筒，上面が開いており，プランジャーと底板を備えたもの。
骨材に接する面は焼入れする。(附図—1参照)

iv) 天　秤，3,000±1 gr

v) 標準フルイ，1/2″，3/8″，7#（B・S）(3/8″，7#はそれぞれJIS10mm，2.5mmで代用する)

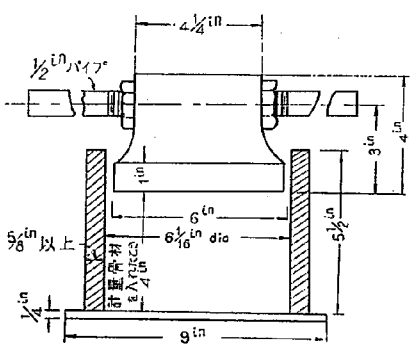
vi) 載荷試験機，40±1/2 ton，毎分4 tonの一様な載荷速度で操作できるもの。荷重は球座を使わずに圧縮プランジャーに垂直に作用すること。

b．試料の準備

試験に用いる骨材の粒度は1/2～3/8 in のもので試験前によくふるい分けておくこと。

試料は次のように計量する。計量容器に約3分の1だけ骨材を入れ，つき棒で25回つく。次いで同量の骨材を加えて更に25回つく。最後に容器にあふれるように骨材を入れ25回ついて余分の骨材はツキ棒を定規にしてならす。容器内の骨材の重量をはかり，2回目の試験もこれと同じ重量の骨材について行なう。これらの骨材は浅い容器に入れて，100～110°Cで4時間乾燥し放冷してから重量をはかる。

c．試験法



附図—1　破砕試験用モールド

表—5　残留安定度一覧表

順位	整理番号	骨材の種類 ＼ 配合 ／ 安定度及密度	粗粒度・アスファルト量6.0%					粗粒度・アスファルト量4.5%					密粒度・アスファルト量6.0%					密粒度・アスファルト量4.5%				
			即日		四日		残留	即日		四日		残留	即日		四日		残留	即日		四日		残留
			密度	安定度	密度	安定度	安定度	密度	安定度	密度	安定度	安定度	密度	安定度	密度	安定度	定度度	密度	安定度	密度	安定度	安定度
1	2	黒雲母花崗岩	2.24	1 813	2.24	725	40.0	2.26	1 738	2.26	1 137	65.4	2.16	1 873	2.18	1 396	74.5	2.12	2 026	2.12	1 633	80.6
2	1	花崗岩	2.20	955	2.22	678	71.0	2.22	921	2.20	578	62.8	2.10	1 540	2.09	1 112	72.2	2.10	2 090	2.11	1 670	80.0
3	6	硬砂岩A	2.22	1 342	2.19	912	67.9						2.12	1 527	2.12	1 152	75.4					
	13	玉砕						2.25	1 264	2.24	741	58.6										
	14	砂利						2.31	654	2.31	443	67.5										
4	3	石英はん岩	2.18	1 188	2.16	646	53.4	2.21	1 426	2.21	927	65.0	2.09	1 176	2.13	1 100	99.3	2.12	1 908	2.14	1 535	80.5
	7	硬砂岩B	2.23	1 476	2.23	1 187	80.4															
5	4	輝石安山岩	2.17	1 059	2.16	657	62.0	2.21	1 089	2.22	939	86.2	2.11	1 824	2.09	1 418	77.7	2.10	2 017	2.10	1 434	71.1
6	5	かんらん石玄武岩	2.25	783	2.27	587	75.0	2.32	910	2.33	750	82.4	2.18	1 379	2.19	1 090	79.0	2.16	1 668	2.18	1 446	86.7
	16	〃	2.23	1 097	2.24	800	72.9	2.16	898	2.19	831	92.5	2.30	1 167	2.28	749	64.2	2.26	1 018	2.28	910	91.0
7	10	蛇紋岩	2.21	1 326	2.21	1 263	95.3	2.25	1 568	2.26	1 424	90.8	2.17	1 916	2.17	1 765	92.2	2.18	1 787	2.16	1 372	76.9
8	11	不純石灰岩	2.30	1 512	2.33	1 426	94.3	2.26	1 364	2.28	1 540	112.9	2.17	1 830	2.19	1 762	96.4	2.21	1 473	2.20	1 189	80.7
9	12	石灰岩	2.35	1 866	2.35	1 668	89.4															
	18	スラグA	3.05	1 990	3.05	1 507	75.8															
	19	スラグB	2.19	2 573	2.19	2 568	99.9															

（注）　密度：g/cm³　　安定度：lb　　残留安定度：%

円筒は底板を下にして据え，試料を3回に入れて各層25回づつツキ棒でつく，骨材表面を水平にならし，プランジャーを入れてこの表面におく。プランジャーは斜めになったり無理に入ったりするようではいけない。取手は試験前にプランジャーからとりはずす，これは軟質骨材の場合試験中に円筒の縁に当るからである。

試料とプランジャーの入った円筒を載荷試験機にかけ40tonまで，毎分4tonの一様な速さで載荷する。荷重を取りのぞき円筒から破砕された試料を取り出し，7番ブルイ（B・S）でふるい分ける。ブルイを通過した細粒部分の重量をはかる。

以上の操作の間，細粒部分を失なわないように注意しなければならない。試験は同種の骨材について2回行う。

d．結果の報告

全試料中の7番ブルイ通過分を百分率で小数以下1位まで計算する。2回の試験の平均値を骨材破砕値として報告する。（以下省略）

註1）粒度が 1/2~3/8 inch の大低の骨材についてこの試験はASTM C.131-47のロサンゼルススリヘリ試験値とほとんど同じ値を示す。非常に軟質の骨材ではロサンゼルスより低い値を示す。

2）旧British Standard B・S 822:1944 にしたがつてもよい。

アスファルト混合物の繰返し載荷試験機の試作とアスファルト混合物の繰返し載荷による変形機構についての2, 3の試験結果

（昭和35年3月）

竹下春見*・松野三朗**・松崎　猛***

目　次

1. まえがき……（1）
2. 試験機の試作……（1）
3. アスファルト混合物の繰返し載荷試験…（5）
4. 試験の結果……（6）
5. むすび……（8）

1. まえがき

舗装は交通車両により絶えず繰返し応力を受けているので，舗装を構成する材料の強度特性は，現場の状況に近似した応力条件下で論ずる必要がある。現在行なわれている各種の材料試験は多くは唯一回の強度試験であり，材料が繰返し荷重をうけるときの強度特性についてはほとんど考慮が払われていないといってよい。一回の載荷による強度が大きい材料は，繰返しによる強度も大きいであろうと推定しているわけであるが，実際に繰返し試験を行なったという例は比較的少なく，材料の疲労現象といった分野の研究もむしろ今後の問題である。

本文においては土あるいはアスファルト混合物が繰返し載荷をうけた場合の変形機構を研究する目的で試作した繰返し載荷試験機とそれを使って試験したアスファルト混合物の繰返し載荷による変形機構について報告する。この研究の最終の目的はアスファルト舗装の設計に繰返し載荷の影響をどのような形で導入するかということにある。本研究はこの困難な問題に手をつけたという段階である。

2. 試験機の試作

（i） 試験機に必要な条件

アスファルト舗装の表面に車輪が乗ったとき，車輪の荷重のために表面がたわむ影響範囲が車輪を中心として半径2mであるとすれば，走行速度が80km/hrの自動車の場合には，車輪はごく大略的に

$$4m/(80,000m/60\times60sec)=0.18sec$$

の時間だけ表層のある一点に載荷し，車輪が通過すると普通の場合表層のたわみが十分回復する時間を経過した後に，別の自動車が通過することになる。

繰返し試験機の作成にあたっては，載荷時間は0.2secくらいのオーダーにし，載荷をとりのぞいてからつぎの載荷にうつるまでの間には，十分な復元時間をもつようにしなければならない。

つぎに繰返し試験機によりアスファルト混合物の曲げ試験と圧縮試験を行なうためには，載荷重はかなり大きいものにする必要がある。これはアスファルト・コンクリートにつき試験をする場合を考えると，骨材の最大粒径を13mmより小さくできないので，供試体はマーシャル試験に使用する供試体よりも小さくはできないためである。いまマーシャル安定度試験を繰返し試験により行なう場合を考えると，マーシャル安定度は60°Cにおいて，1000kgくらいはあるから，少なくともその1/2の500kg程度の載荷重は必要である。

路面に加わる載荷重の型は図-1 (a) のようになるであ

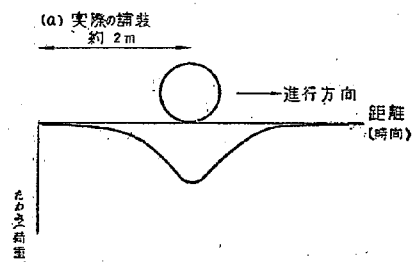


図-1 (a) 舗装のうける応力と時間との関係

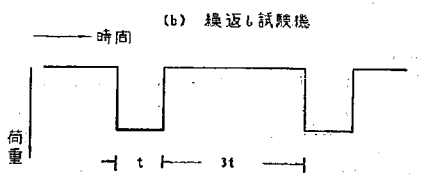


図-1 (b) 繰返し試験機

* 工博　道路部　舗装研究室長
** 〃　道路部　舗装研究室研究員
*** 〃　〃

ろう。この曲線の距離を時間に，たわみを荷重におきかえた状態がもっとも実際に近いと考えられる。しかし実際問題として，この波型の荷重をつくることはかなりむずかしく，また載荷時間や荷重を調整する場合にも困難がともなうと予想されたので，図-1 (b) に示すような矩形波をつくることを目標とした。

(ii) 繰返し載荷を与える方法

現在までのところ土やアスファルト混合物の繰返し載荷試験に利用している載荷方法にはつぎの3種類の方法がある。

1). カムを用いる方法
2). 油圧を用いる方法
3). 空気圧を用いる方法

F.N. Hveem[1] はカムを用い試験を行なった。油圧方式によるものは振動試験に多く用いられているが，繰返し試験には H.B. Seed が用いたことがある。空気圧方式は H.B. Seed や C.L. Monismith[3] が用いており，Hveem もスタビロメーターに空気圧を利用して繰返し試験を始めている。カリフォルニヤ州において広く利用されている Kneading Compactor[4][5] もこの方式である。

以上の3種類の方法にはそれぞれ特色があるが，機構としてもっとも単純なものはカムによる機械的方法である。しかしこの方法ではカムの消耗により数十万回におよぶ試験は困難ではないかと考えたのと，ヒズミに追従して載荷することがむずかしいので一応対称よりのぞいた。油圧方式は大きな荷重をうることができ，危険が少ないことなどの利点があるが，軟かいアスファルト混合物の試験に際しては，1回の載荷により相当大きな変形が予想されるので，図-1 に示すような矩形波を保ちながらしかも 0.2sec 前後の短時間で，変形に追従できるかどうかに疑問がもたれた。しかし十分研究すれば優秀な載荷試験機ができる可能性は十分にあるであろう。

空気圧方式は Kneading Compactor の試験結果あるいは Seed などの試験結果よりみても，大きな変形に対して比較的良好な矩形波をえているので，ゴムダイヤフラムの消耗さえ少なければかなり有用な方法ではないかと考えた。以上の考察から一応，空気圧方式を用いることにし試作にとりかかった。

(iii) 空気圧を利用した繰返し載荷試験機の試作

空気圧は空気圧縮機によりつくられるので，使用する空気圧はせいぜい 8kg/cm² である。これ以上の高圧では2段圧縮機が必要になる。8 kg/cm² の空気圧で約 500 kg の圧力を加えなければならないとすると，加圧面積は 500kg/8 kg/cm²=63cm² 以上でなければならない。この圧力をピストンに加えて繰返し試験をするときには，ピストンとシリンダーとの間の摩擦が大きい。この摩擦は3軸圧縮試験機においても重要な問題であるが，

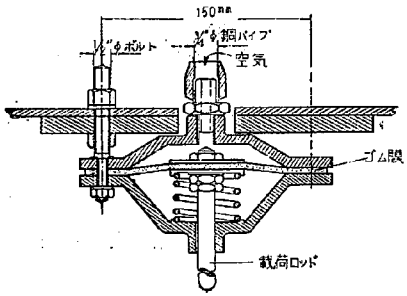


図-2　日野ブレーキチャンバー(断面)

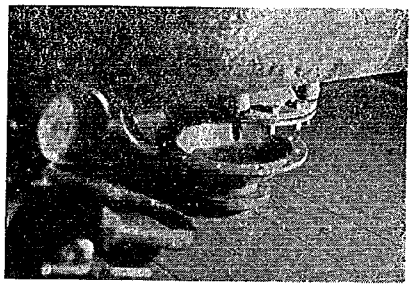


写真-1　ブレーキチャンバー

Seed, Monismith はこの摩擦を少なくする方法としてゴム膜を利用している。[6]

近年貨物自動車のような大型車のエアブレーキに用いられているゴム膜の面積が上述の値に近くまた1回の圧縮のストロークが15mm程度まで可能なのでこれを採用

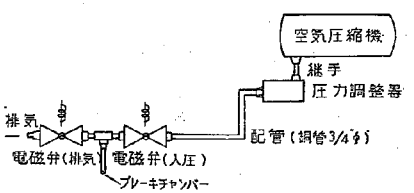


図-3　加　圧　機　構

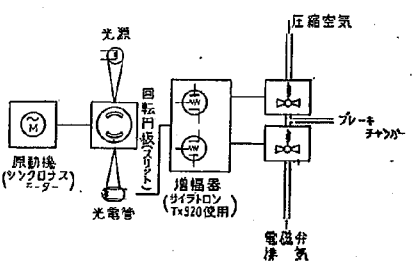


図-4　パルス発生機構

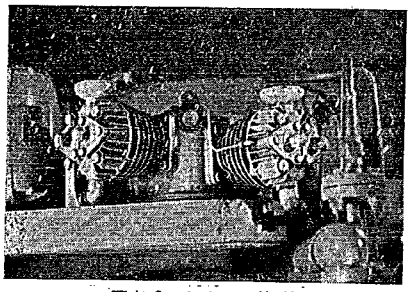


写真-2　空気圧縮機

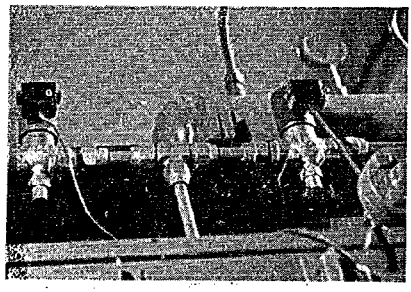


写真-3　電磁弁

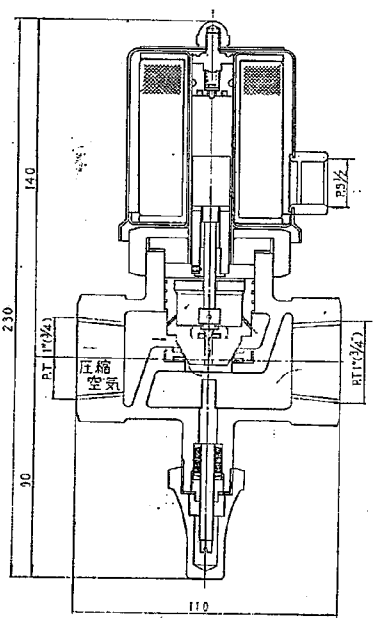


図-5　電磁弁断面図

することにした。用いたのは日野ブレーキチャンバーで図-2はその略図，写真-1は外観を示す。これを用いて20～30万回の載荷試験が可能であることがわかった。

次に矩形波を得るための加圧装置であるが，最初は単純に入圧と排気とを一定時間ごとに作動させる方式を用いた。すなわち，図-3に示すように空気圧縮機より出た圧縮空気は圧力調整器で一定圧に減圧され入気電磁弁を通してブレーキチャンバーに入り排気弁の開放とともに排気される。入気弁，排気弁を作動させるためのパルスは図-4に示すように，まずシンクロナスモータを用いてスリットを有する円板を回転せしめ，そのスリットを通る光を光電管に受けてこれをサイクトロンで増巾し電磁弁に送る方式をとった。この場合スリットの間隔は図-1(b)に示すような載荷時間の3倍の休止時間が得られるようにした。写真-2は用いた空気圧縮機で日立5HPベビコンである。図-5は電磁弁の略図を示し写真-3は外観を示す。

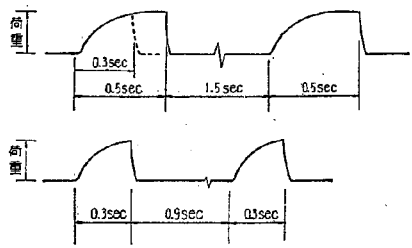


図-6　図-3,4に示す方式により得られた繰返し試験の波形（ワイヤストレンゲージによる）

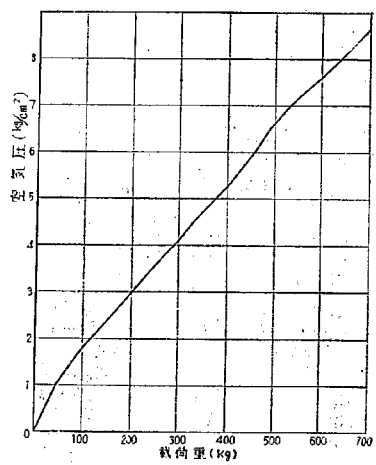


図-7　空気圧と載荷重の関係
（0.5秒載荷，1.5秒休止の場合）

以上の形式は最初の繰返し試験機の形式である。これにより得られた波型の1例を図-6に示す。また空気圧と載荷重との関係は図-7のごとくである。以上の方式による荷重の波形は最初意図した矩形波とは全く異なっ

ている。最初圧力はゆっくり上昇し一定時間後に最大に達し最後は瞬間的に排出されるが圧力の維持は時間がみじかい場合は圧力が完全に上昇しないうちにカットされるような波形を示している。

波形が矩形波とならない原因は，

(1) 排気弁と入圧弁とが同時に作動するため排気弁が完全にしまりきらない間に空気が入り込みその1部がブレーキチャンバーをす通りして圧力の上昇を遅らせる。排気弁が完全にしまってから入圧すればこのようなことはおこり得ない。

(2) 圧力調整器の容量が小さく，これから直接入圧弁へ約 50cm の 3/4″φ パイプを通って空気が入るため入圧弁が開いたとき一時的に圧力調整器以後の空気圧が所定の圧より低くなる。圧力調整器のゲージは 4kg/cm² の圧で試験する場合，常に 2↔4kg/cm² の間を往復しているような状態で使用に耐えなくなった。

波形以外の問題としては空気圧縮機中の水蒸気と油が電磁弁にまで到達し，しばしば電磁弁の作動を不完全にした。また載荷に用いた鉄枠の接合部が不完全でいたずらにたわみが大きかった。

以上の点を改良するため図-8に示す方式を採用した。空気圧縮機よりの空気は吸油器（写真-4）を通り圧力調

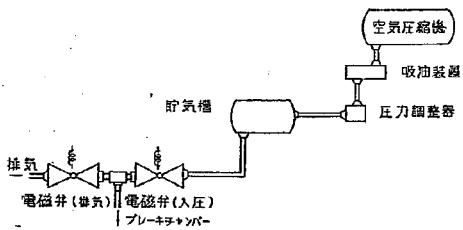


図-8　改良した加圧機構

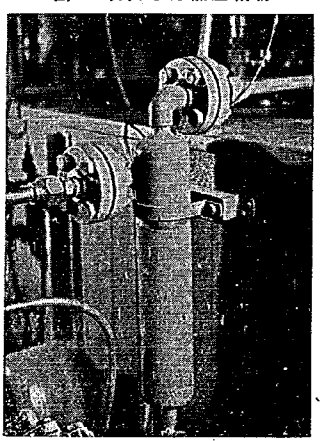


写真-4　吸　油　器

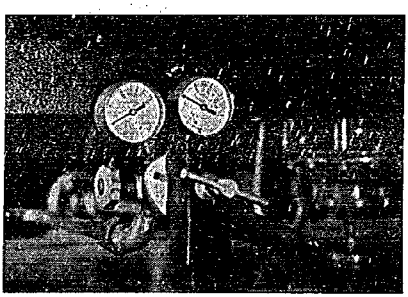


写真-5　圧力調整器

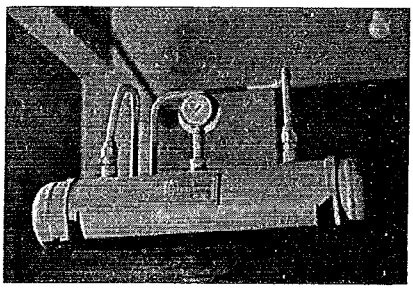


写真-6　貯　気　槽

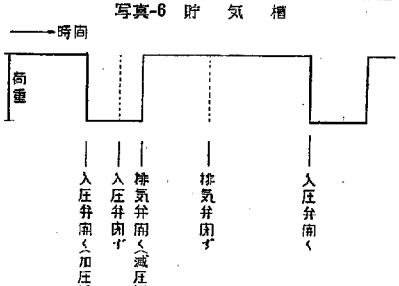


図-9　入圧弁，排気弁の作動

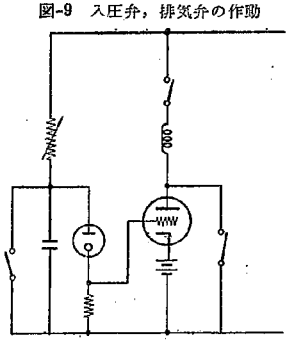


図-10　パルス発生機構

整器（写真-5）を通過した後一時貯気槽（写真-6）に入る。電磁弁の開閉により貯気槽から空気が送られ，また貯気槽とブレーキチャンバーの間のパイプは短いので圧

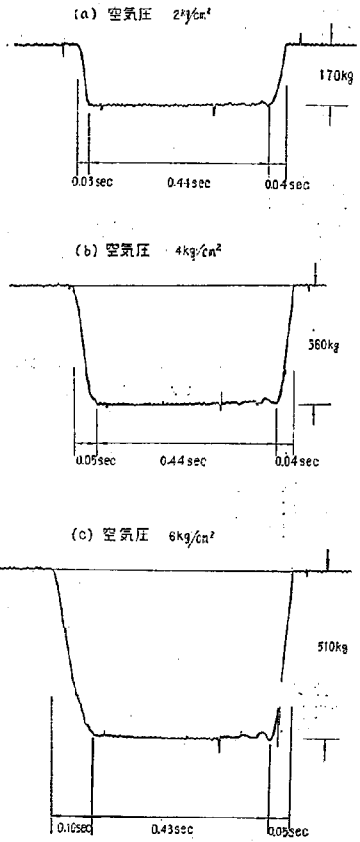


図-11　荷重と時間の関係(載荷時間 0.5sec 休止時間 1.5sec の場合)

縮空気は圧力を低下することなく急速にブレーキチャンバーに入ることができる。電磁弁の開閉は図-9 に示すように入圧弁が完全に閉じた後排気弁が開き，排気弁が完全に閉じた後入圧弁が開く形式をとった。この開閉用のパルスは図-10 に示すように C-R 特性を用いて行なった。

ここに用いた電磁弁は図-5 に示すような形式であるが，片側に急速に入圧した場合弁は自重のみで作動している関係上一時的に一部の空気をリークする。そこで電磁弁の細孔をいくらか大きくして用いた。加圧ロッドにストレンゲージをてん付して載荷重と時間の関係をオッシログラフにより求めたものが図-11 である。ほぼ矩形波がえられている。図-12 は空気圧と荷重の関係を示すが，空気圧に対して荷重はほぼ直線的に変化し，また周期の変化に対してもほとんどこの関係は変化していない。

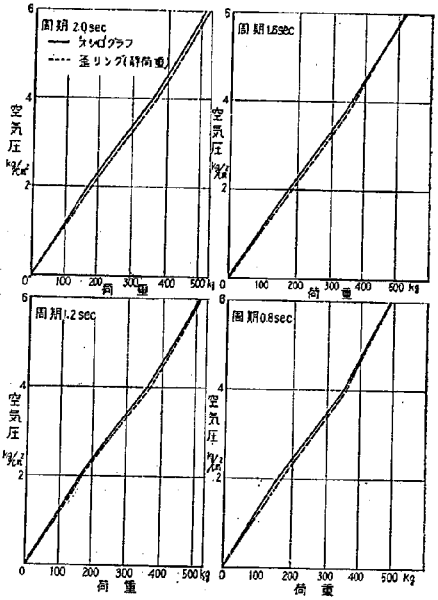


図-12　空気圧と荷重の関係

3. アスファルト混合物の繰返し載荷試験

アスファルト混合物は温度により強度特性（あるいは変形機構）が大きく影響をうけるので，本試験機の載荷部分には恒温槽をとりつけた。恒温槽は −20°C までの低温がえられるようになっている。その外観を写真-7 に示す。繰返し試験機の試験中の全体の状態は写真-8 に示すようで，供試体の変形は写真-9 に示すようにすべてダイヤルゲージにより読みとることにした。

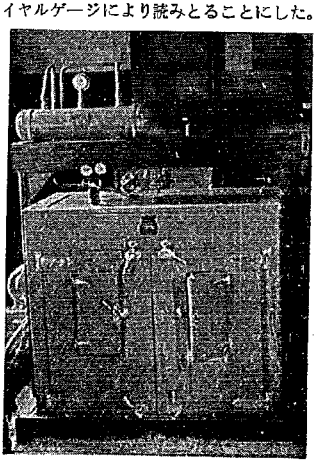


写真-7　恒　温　槽

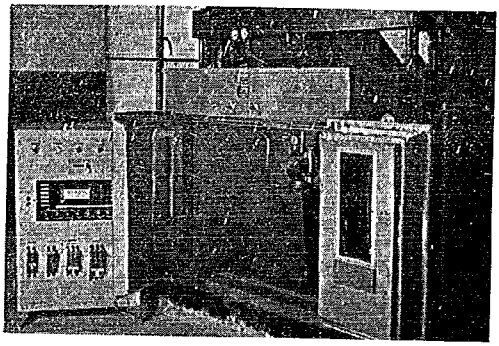


写真-8 載荷状況

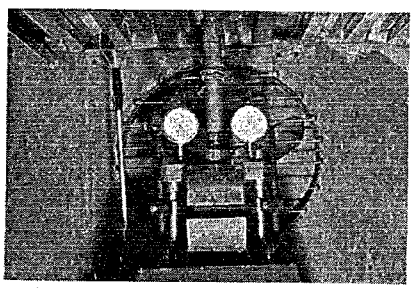


写真-9 載荷状況

アスファルト混合物の試験方法としては幾多の方法が考案されているが，現在もっとも普通に利用されているものはマーシャル試験[7]であろう。したがってマーシャル試験の装置を利用して，マーシャル供試体に繰返し荷重をかけるようにした。今回の研究の目的は

1). 密粒度アスコンと開いた粒度のアスコンが繰返し載荷によりどのような変形機構上の差があるか。

2). アスファルトの種類が繰返し載荷にあたり混合物にどのような影響を及ぼすか。

の2点であったが，2) のアスファルトの種類の影響については低温において試験をする必要がある。しかし今回は大きな荷重を繰返すことがむずかしかったために低温における試験は一応今後にゆずり，高温と常温の場合を一応研究の対照とした。

マーシャル安定度試験は供試体を 60°C において試験をすることになっている。[7] そして試験に対する基準値の中で，安定度とフローとは軽交通，中交通および重交通によりそれぞれ 250，350，500kg 以上；50以下，40以下，20～40 と定められている。[8] マーシャル試験にくらべれば繰返し載荷試験の載荷の方がずっと載荷速度が大きい。一般にアスファルト混合物では載荷速度が大きいほど安定度は大きくなる傾向にある。これがたとえば開いた粒度の場合にマーシャル安定度が 530kg（アスファルト量5%）しかないのに，繰返し載荷試験で 630kg の荷重をかけてもすぐには破壊しない原因である。

繰返し載荷試験の結果を半対数紙上にプロットすると図-15その他に示すような関係がえられる。すなわち繰返し回数の少ない間はほぼ直線的に変形量が増大するが，ある繰返し回数になると急激に変形量が増大し曲線がカーブするが，さらに繰返し回数が増すとまた直線的に変形が進むようになる。

4. 試験の結果

密粒度アスコンと開いた粒度のアスコンの差

表-1 使用アスファルトの性状

性状＼種類	ストレートアスファルト I	II	III
比重 25°/25°C	1.029		
針入度 25°C	93	77	78
伸度 (cm) 25°C	+ 100		
15°C	+ 100		+ 100
10°C	+ 100	+ 100	22.5
5°C	16		
引火点 クリーブランド (0°C)	335		
軟化点 (0°C)	46	47.5	48
蒸発減 (%)	−0.12	529	0.30
残留針入度 (%)	98	77	92
四塩化炭素可溶分 (%)	99.7		
針入指数 (PI)	− 0.8	− 0.8	−0.62
分類	A	A	C

表-2 使用骨材の性状

骨材＼試験	ロサンゼルスすりへり試験 (1)	比重 表乾	比重 カサ	比重 見掛	吸水率 (%)
30～20mm (4号)	24(″)				
20～10 (5号)	25	[2]2.76	2.71	2.86	1.9
10～5 (6号)	28				
5～2.5 (7号)	32				
粗砂		2.56	2.50	2.65	2.1
細砂		2.60	2.54	2.70	2.3
フィラー				[3]2.70	

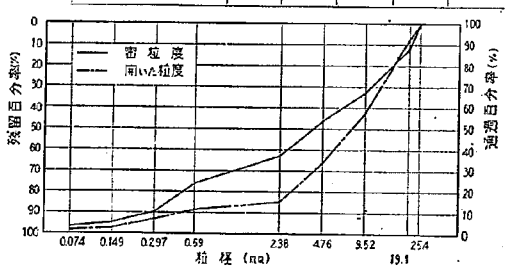


図-13 最大粒度25mm，アスファルト，コンクリート骨材粒度

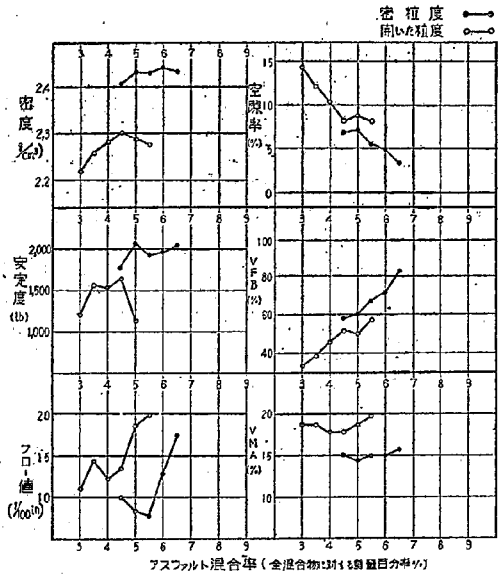


図-14　骨材の粒度と安定度試験値

この場合には載荷時間を 0.5sec とし，1.5sec 休止してまた 0.5sec 載荷する方法をとった。使用したアスファルトの性質は表-1 に，骨材の性質は表-2 に，使用骨材の粒度は図-13に示すとおりである。アスファルトの使用量をかえて安定度試験を行なった結果は図-14に示す。

繰返し試験においては，載荷荷重は 290kg と 630kg，試験温度は 60°C と 25°C の場合について行った。試験結果は図-15～図-18に示す。これよりこの実験の範囲内では，

1)．常温より温度が高い場合には，繰返し回数の log と変形量の関係は変形量が 1.5mm まではほぼ直線関係をなしており，密粒度の方が開いた粒度の場合よりも勾配がゆるやかである。すなわち1回ごとの載荷により変形する量が少ない。したがって初期の間は密粒度の方が変形に対する抵抗性が大きいといえる。

2)．最初1回目の変形量は開いた粒度の方が常に大きい。

3)．破壊変形をするようになると密粒度の方が急激に変形量が大きくなり，開いた粒度の方がよ

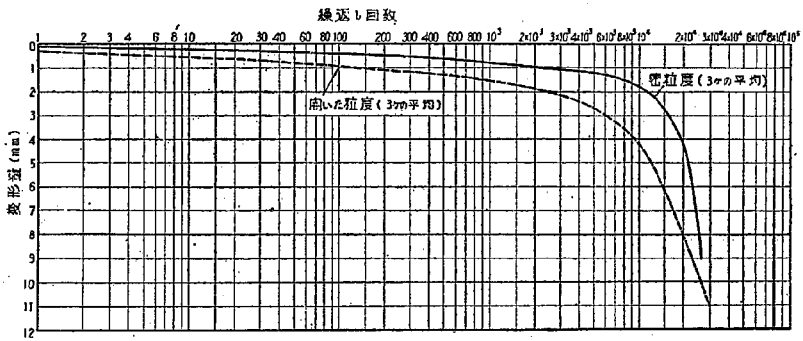


図-15　温度 25°C，圧力 4 kg/cm²，荷重 290 kg，アスファルト量=5%

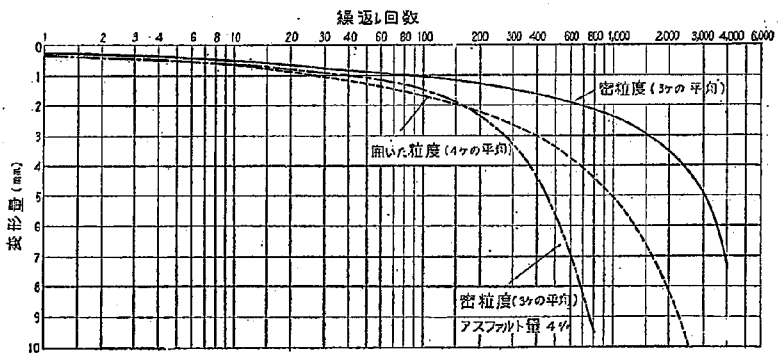


図-16　温度 25°C，圧力 8 kg/cm²，荷重 630kg，アスファルト量=5%

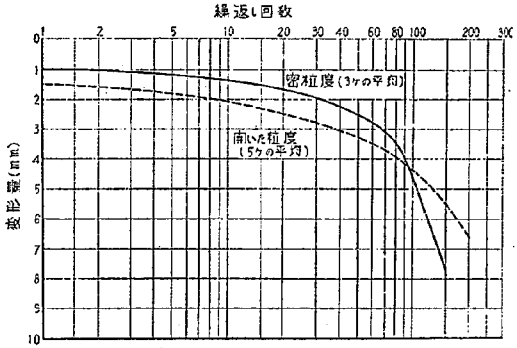


図-17　温度 60°C，圧力 4 kg/cm²，荷重 290kg，
アスファルト量＝5%

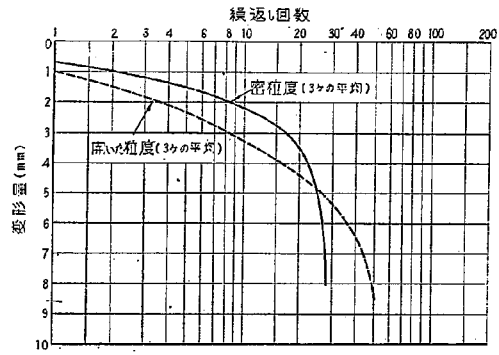


図-18　温度 60°C，圧力 8 kg/cm²，荷重 630kg，
アスファルト量＝5%

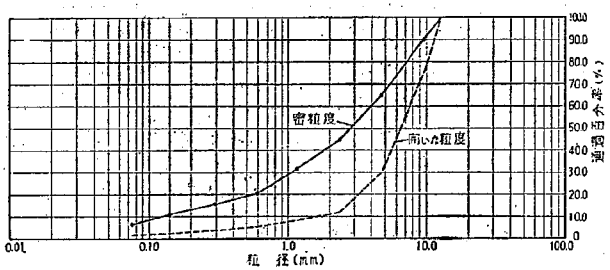


図-19　骨　材　粒　度

りプラスティクな破壊のし方を示す。

アスファルトの種類が混合物に及ぼす影響

アスファルトの種類によって繰返しに対する性状がどのように変化するかをみるため，舗装委員会アスファルト材料小委員会の分類[8]によるA型，C型アスファルトを用いて試験を行なった。アスファルトはA型として表-1に示すストレートアスファルトⅡ，C型としてストレートアスファルトⅢを用いた。骨材粒度は図-19に示す。骨材は粗骨材として安山岩，細骨材としてはクラッシャーランを用いた。なお密粒度に対してはフィラーを加えた。

これらに対してアスファルト混合率を変化せしめて安定度試験を行なった結果は図-20，21に示す。これによると同じアスファルト量でA型とC型により安定度がいちじるしい変化を示している。これは試験の不備によるものかどうか明らかでない。

繰返し回数と変形量を試験温度 25°C の場合につき半対数紙にプロットしたのが図-22，(a)，(b)，(c)，(d)，である。〔D：密粒度，O；開いた粒度，Ⅱ，Ⅲ；アスファルト種類，4；空気圧，(この場合 360kg)〕

図-22より

i）密粒度混合物ではアスファルトの種類にかかわらずアスファルト量が多くなると初期の直線の勾配が急になる。また破壊の状態があらわれるまでの繰返し回数は多くなるようである。

ii）開いた粒度混合物においてもアスファルト量が多くなると初期の直線勾配は急になる。

iii）C型アスファルトの場合には，密粒度のときも開いた粒度のときも，変形量～繰返し回数曲線がアスファルト量の多少にかかわらずかなり接近した状態になり，A型アスファルトと変形機構が異なるようである。

5. むすび

今回の研究は繰返し載荷試験機の試作に重点をおき，材料の変形機構に関しては予備試験を行なったにとどまる。変形機構に関する本格的な研究は目下準備中である。したがって本文に報告した試験結果の解析も今後の問題として今回は試験結果の記述だけにとどめる。載荷試験機の試作に当っては企画課機械係の各位に多大の御援助をうけたことを感謝する。(35年3月31日)

参考文献

(1) F.N. Hveem; Pavement Deflections and Fatigue Failures; Highway Research Board, Bulletin 114, pp. 43～87.

(2) H.B. Seed; Effects of Repeated Loading on the Strength and Deformation of Compacted Clay; Proc. H.R.B. Vol. 34, 1955, pp 541～558.

(3) C.L. Monismith; Flexibility characteristics of

Asphaltic Paving Mixtures ; Proc. The Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 27, 1958, pp. 74～106.
(4) California State Highway Department ; Materials Manual of Testing and Control Procedures.
(5) F.N. Hveem ; Some Concepts Concerning Triaxial Compression Testing of Asphaltic Paving Mixtures and Sabgrade Materials; ASTM Special Technical Publication No. 106, 1950, pp. 25～54.
(6) 竹下春見；アメリカの2，3の土質試験器；土と基礎，No. 25, Feb. 1958, pp. 35～36.
(7) 竹下春見，松野三朗，松崎猛；マーシャル安定度試験について，土研報告，第102号，
(8) アスファルト舗装要綱(案)；日本道路協会

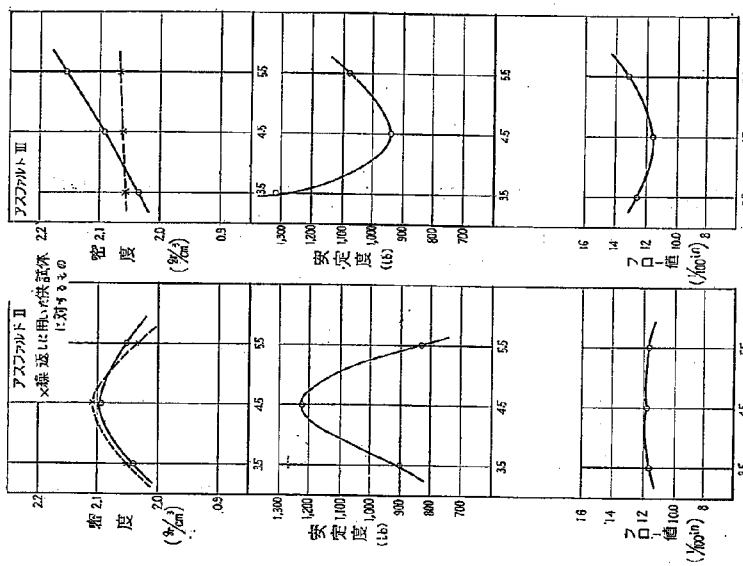


図-21　開いた粒度に対するマーシャル安定度試験値

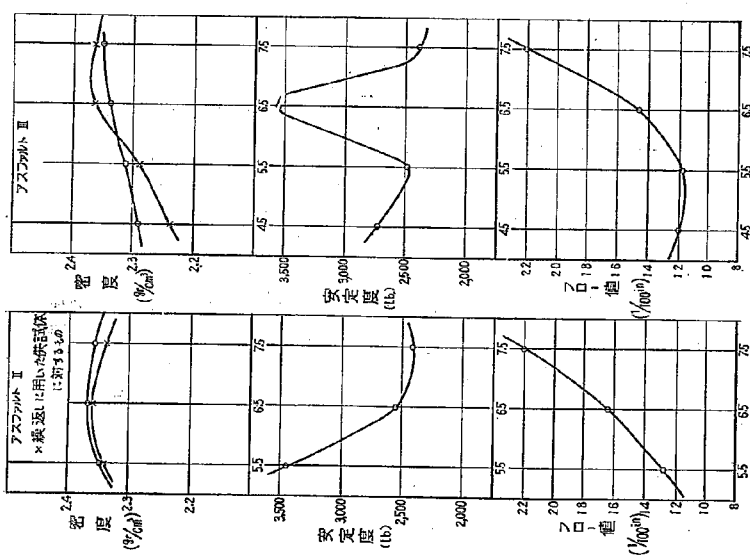


図-20　密粒度に対するマーシャル安定度試験値

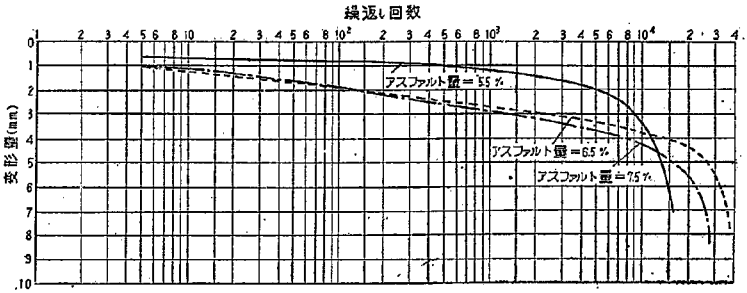


図-22 (a) DII-25-4（密粒度，アスファルトII，温度 25°C，4 kg/cm²)

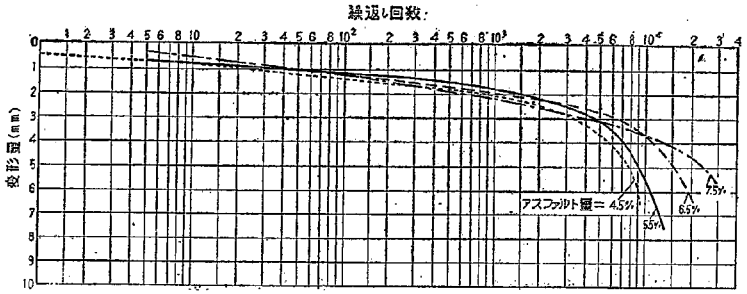


図-22 (b) DIII-25-4（密粒度，アスファルトIII，温度 25°C，4 kg/cm²)

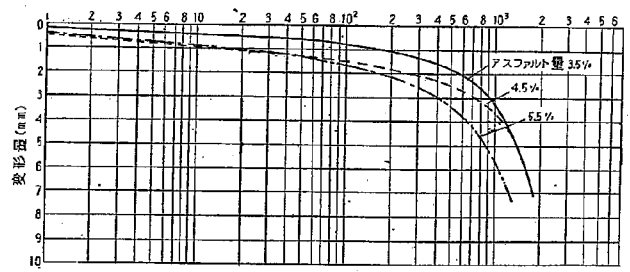


図-22 (c) OII-25-4（開いた粒度，アスファルトII，温度 25°C，4 kg/cm²)

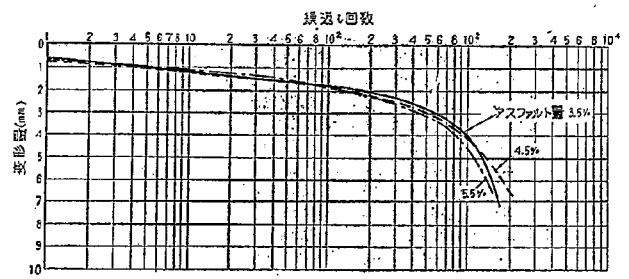


図-22 (d) OIII-25-4（開いた粒度，アスファルトIII，温度 25。C，4 kg/cm²)

A.B.C 型アスファルトの二,三の性質について

竹下春見* 松野三郎** 松崎 猛** 南雲貞夫**

（昭和35年7月）

要 旨：

道路用アスファルトは日本道路協会案によれば低温時の伸度にもとづいて，A，B，C の三種に分類される。

本文は昭和34年度に各現場で使用されたアスファルトについて各種物理試験，力学試験を行ない，道路用アスファルトの現況を知ると同時に，それらの結果がアスファルトの型によってどのように相違するかを調べた報告である。

目 次

1. まえがき……(1)
2. アスファルトの物理的性質……(1)
(1) 針入度と軟化点……(1)
(2) 温度履歴の影響……(7)
(3) その他の物理的力学的性質……(8)
3. 混合物の安定度……(8)
(1) 4°C安定度と 4°C 針入度……(9)
(2) 4°C安定度と 60°C 安定度 ……(9)
(3) ヒズミ速度による安定度の変化…(9)
4. むすび……(11)

1. まえがき

近年アスファルトの製造に際してナフテン基の原油の量が少なく，中近東産の中間基あるいはパラフィン基の原油より製造したアスファルトが道路の現場で使用される機会が多くなっている。このようなアスファルトを従来どおりの施工法にしたがって道路舗装に使用した場合，十分な成果を上げることが期待できないのではないかという疑問が一部にあるようである。日本道路協会アスファルト材料小委員会においては，アスファルトを低温時の伸度にもとづいて，A，B，C の三種に分類し現場において適切な施工を行なうための指針とした。これら三種のアスファルトは温度に対する感受性，低温時の性状，あるいは力学的な性質にかなりの相違があるとされており，実用性能の優劣に関しては多くの議論が行なわれている。

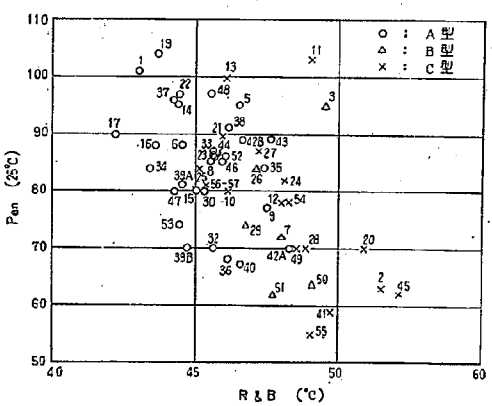
舗装研究室では主として低温時の伸度とアスファルトの物理的，力学的な性質との間にどのような関係があるかを知るために昭和34年度に現場で実際に使用されたアスファルトについてJISの規格試験と結合材として混合物に用いたときの安定度試験とを行なったが，以下にその結果を述べる。

2. アスファルトの物理的性質

実験に使用したアスファルトは表－1に示すように全国の現場から送られた57種類である。表－1には各種物理試験の結果のうち，針入度，軟化点，伸度，蒸発量および規格外のフロール粘度試験の結果が示されている。

(1) 針入度と軟化点

針入度はアスファルトの硬さをあらわすインデックスであり，軟化点はアスファルトが流れ出す温度の大小をあらわしている。表－1のデータより針入度と軟化点をプロットすると図－1に示すようになる。図－1によれば針入度が同一であっても，軟化点は広範囲に変化している。これは 25°C で同じ硬さのアスファルトの温度を上昇させたときに一定の流動性をもつに至る温度がアスファルトによって異なることを意味し，アスファルトの感温性はアスファルトの種類により大いに異なっていることを示している。同一針入度のアスファルトのうち



図－1 軟化点と針入度 (25°C) との関係

* 工博 道路部舗装研究室研究長

** 道路部舗装研究室研究員

表—1　アスファルト試料物理試験一覧表

番号	名称	原産地	製造所	分類	針入度 25°C	針入度 4°C	針入度 25-4-25°C	針入度比 Pen(4)/Pen(25)	針入度比 Pen(25-4-25)/Pen(25)	軟化点 (°C)	P.I	伸度 10°C (cm)	フロール粘度 (sec) 140°C	フロール粘度 (sec) 170°C	蒸発量 (200°C) (%)	蒸発後針入度/原針入度×100 (%)
1	試料 B	—	—	A	101	40	86	39.6	85.1	43.0	−1.42	100	—	—	0.259	84.2
2	試料 C	—	〃	C	63	37	54	58.7	85.6	51.5	−0.29	13.0	145.5	50.4	0.078	61.9
3	試料 D	—	—	B	95	39	89	41.1	93.8	49.5	+0.37	52.0	152.1	51.4	0.364	78.9
4	常総	—	丸善石油													
5	丸善石油	—	丸善石油横浜	A	95	32	83	38.7	87.4	46.5	−0.47	100	—	—	0.259	84.1
6	丸善石油 (N)	—	同上	A	88	22	83	25.0	94.4	44.5	−1.33	100	—	—	0.145	78.4
7	甲府	—	—	B	72	24	62	33.4	86.1	48.0	−0.83	57.0	193.0	50.9	0.245	77.8
8	京浜	—	—	A	85	31	81	36.5	95.4	45.5	−1.10	100	52.6	19.3	1.067	63.5
9	常陸 (60〜80)	サンノーキン	丸善石油下津	A	77	30	76	39.0	98.7	47.5	−0.80	100	—	—	0.538	81.8
10	四号	—	—	C	80	29	79	36.3	98.7	46.1	−1.09	49.0	70.6	22.3	0.121	76.2
11	盤田 (80〜100)	—	大協石油	C	103	37	86	35.9	83.5	49.0	+0.49	47.4	152.7	47.5	0.316	74.8
12	高崎 (60〜80)	—	日本石油	C	78	34	65	43.6	83.4	48.0	−0.62	22.5	—	—	0.075	76.9
13	高崎 (80〜100)	—	同上	C	100	30	82	30.0	82.0	46.0	−0.48	41.0	—	—	0.052	70.0
14	昭和石油 (60〜100)	—	—	A	95	29	87	30.6	91.6	44.4	−1.17	100	56.6	21.7	0.701	77.7
15	富山 (60〜80N)	—	丸善石油	A	80	21	82	26.2	100.3	45.0	−1.42	100	57.8	21.1	0.624	70.0
16	香川 (80〜100)	サンノーキン	丸善石油	A	88	37	83	47	94.4	43.6	−1.62	100	152.3	44.2	0.243	90.9
17	岐阜 (60〜100)	—	日歴化学工業	A	90	35	86	38.9	95.6	42.2	−2.02	100	59.2	22.0	0.396	54.4
18	秋田 (80〜100)	サンノーキン	丸善石油下津	A	98	23	101	23.5	103.0	42.2		100	50.0	17.0	—	—
19	福井 (80〜100)	—	出光興産徳山	A	104	42	101	40.4	97.1	43.7	−1.09	−100	130.1	35.1	0.277	67.3
20	日本石油 (60〜80)	アラビヤ	日本石油下松	C	70	34	64	48.6	91.5	50.9	−0.14	16.2	—	42.8	0.116	72.8

21	日本石油 (80～100)	同上	同上	C	90	40	91	44.5	101.1	45.9	−0.82	39.1	105.2	37.0	0.063	71.0
22	大阪 (80～100)	—	丸善石油	A	97	36	95	37.1	97.9	44.4	−1.07	100	58.3	22.0	0.523	64.9
23	津軽 (80～100)	—	三菱石油	A	86	36	76	41.9	88.4	45.6	−1.06	100	151.7	42.0	0.445	62.8
24	日石下松	アラビヤc	日本石油下松	C	82	34	78	41.5	95.1	48.1	−0.44	25.7	54.1	32.8	0.150	73.2
25	日石麻里布	クラモノ	日本石油麻里布	C	84	27	78	32.1	92.9	45.1	−1.26	42.1	70.4	23.0	0.210	47.6
26	日石秋田	黒川旭川	日本石油秋田	B	84	29	71	34.5	84.5	47.2	−0.64	72.5	77.4	22.9	0.243	65.5
27	日石新潟	アラビヤc	日本石油新潟	C	87	37	75	42.5	86.2	47.2	−0.53	17.6	115.1	44.0	0.092	59.8
28	新潟 (60～80)	—	—	C	70	29	63	41.4	90.0	48.8	−0.70	34.3	54.9	20.9	0.109	58.6
29	南部 (80～100)	—	—	B	74	25	75	33.8	101.3	46.7	−1.12	67.1	53.1	20.3	0.647	51.4
30	福島	秋田院内	昭和石油平沢	A	80	25	77	31.3	96.3	45.3	−1.34	100	70.4	24.3	0.151	52.5
31	広島(丸善) (80～100)	サンノーキン	丸善石油下津													
32	広島(昭和)	秋田院内	昭和石油平沢	A	70	24	67	34.3	95.7	45.6	−1.60	100	78.9	25.5	0.950	42.8
33	広島(出光) (80～100)	クエイト	出光興産徳山	A	87	25	84	28.7	96.6	45.6	−1.00	100	117.1	39.3	0.215	71.3
34	北九州	—	—	A	84	22	79	26.2	94.0	43.4	−1.80	100	59.0	22.2	0.610	61.9
35	福岡 (60～100)	サンノーキン	—	A	84	22	80	26.2	95.2	47.7	−0.49	100	52.6	18.7	0.577	56.0
36	丸善(a) (60～80)	クラモノ	丸善石油	A	68	16	75	23.5	110.3	46.1	−1.52	100	58.3	19.0	—	—
37	丸善(b) (80～100)	(N)	丸善石油	A	96	28	101	29.2	105.2	44.2	−1.16	100	48.3	19.8	—	—
38	丸善(c) (80～100)	アラビア	丸善石油	A	91	37	89	40.7	97.8	46.1	−0.72	100	127.2	36.7	—	—
39a	京都(a)	サンノーキン	昭和石油	A	81	20	90	24.7	111.1	44.5	−1.43	100	67.1	20.2	0.416	67.9
39b	京都(b)	サンノーキン	昭和石油	A	70	20	92	28.6	131.4	44.7	−1.87	100	75.4	21.6	1.219	62.9
40	彦根	クエート	出光興産	A	67	19	63	28.4	94.1	46.5	−1.55	100	119.5	33.1	0.165	65.7
41	日本道路	ワフラー	大協石油	C	59	25	60	42.4	101.7	49.7	−0.89	20.4	144.9	49.2	0.666	67.8
42a	出光 (60～80)	クエイト	出光興産徳山	A	70	25	65	35.7	92.9	48.3	−0.82	100	167.3		0.288	65.7
42b	出光 (80～100)	クエイト	出光興産徳山	A	89	29	85	32.6	95.5	46.6	−0.65	100	136.6	41.0	0.103	61.8
43	間 (80～100)	クエイト	出光興産	A	89	33	76	37.1	85.4	47.6	−0.35	100	125.2	42.7	0.017	71.9

表—1　つづき

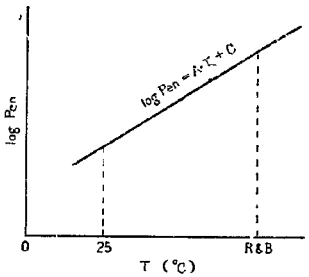
番号	名称	原産地	製造所	分類	針入度			針入度比		軟化点 (°C)	P.I	伸度 10°C (cm)	フロール粘度 (sec)		蒸発量 (200°C) (%)	蒸発後針入度/原針入度×100 (%)
					25°C	4°C	25-4-25°C	Pen(4)/Pen(25)	Pen(25-4-25)/Pen(25)				140°C	170°C		
44	大成 (80～100)	クエイト	出光興産	A	86	29	76	33.7	88.4	45.6	−1.04	100	151.8	43.2	0.027	66.3
45	長崎	クエイト	—	C	62	27	51	43.6	82.3	52.1	−0.16	11.9	214.6	104.7	0.091	66.1
46	改質	クエート	出光興産徳山	A	85	30	84	35.3	98.8	45.9	−0.99	100	132.0	37.0	0.081	75.3
47	三徳	サンノーキン	昭和石油	A	80	29	72	36.3	90.0	44.2	−1.68	100	70.1	21.1	0.279	58.8
48	四号 (80～100)	—	大協石油	A	97	43	96	44.4	99.0	45.5	−0.75	100	—	—	—	—
49	四号 (60～100)	—	日本歴青興業	C	70	28	65	40.0	92.9	48.5	−0.77	17.7	—	—	—	—
50	相模	—	—	B	64	22	59	34.4	92.2	48.8	−0.94	61.3	148.0	49.8	0.175	68.8
51	三島 (70～85)	—	出光興産徳山	B	62	27	64	43.6	103.2	47.7	−1.30	54.4	114.8	50.3	0.024	82.3
52	姫路	—	丸善石油	A	86	28	83	32.6	96.6	46.0	−0.92	100	117.7	36.1	0.140	67.4
53	姫路 (70～85)	サンノーキン	昭和石油	A	74	25	84	33.8	113.5	44.4	−1.82	100	74.8	27.7	0.525	67.6
54	姫路 (70～85)	ラタウイ	大協石油	C	78	35	79	44.9	101.3	48.2	−0.56	47.0	170.7	50.5	0.206	60.3
55	姫路 (70～85)	クエイト	出光興産	C	55	24	52	43.6	94.6	49.0	−1.24	15.0	163.6	47.0	0.104	60.0
56	姫路 (70～85)	クラモノ	日本石油	C	81	29	74	35.8	91.4	45.3	−1.30	138	68.7	25.7	0.089	60.5
57	姫路 (70～85)	ワフラ	太陽石油	A	81	31	72	38.3	88.9	45.3	−1.30	100	157.7	45.8	0.175	70.4

で，軟化点の低いものは感温性が高く，高い軟化点をもつアスファルトの感温性は低い。図－1より次のようなことがわかる。

1. 軟化点の低いアスファルトは針入度が大きい傾向にある。

2. C型は一般に軟化点が高い。46～48°C を境にしてA型とC型は区別されそうである。

図－2に示すように縦軸に針入度を対数でとり，横軸に温度を算術目盛でとると近似的に



図－2　温度と針入度との関係

$$\log Pen = AT + C \quad \cdots\cdots(1)$$

なる関係が成立する。軟化点における針入度を800とし，T.S をつぎのように定義する。

$$T.S = \frac{\log 800 - \log Pen}{R\&B - 25} \quad \cdots\cdots(2)$$

ここに T.S：Temperature Susceptibility

Pen：針入度 (25°C)

R&B：軟化点 (°C)

式(2)は図－2における直線のこう配を表わし，式(1)のAに相当する。さらに

$$T.S = \frac{20 - P.I}{10 + P.I} \cdot \frac{1}{50} \quad \cdots\cdots(3)$$

と表わし，P.Iを針入度指数 (Penetration Index) と呼んでいる。P.I は図－2の直線のこう配の逆数に当るから，P.I の小さいアスファルトすなわち直線のこう配が急で硬さの変化が著しいアスファルトは感温性が高いことになる。同様に P.I の大きいアスファルトは感温性が低い。P.I によってアスファルトはつぎのように分類されている。

P.I＝＋2 以上ブローン型アスファルト，感温性が低い。

P.I＝＋2～－2 普通型アスファルト

P.I＝－2 以下ピッチ型アスファルト，感温性が高い。

軟化点における針入度はアスファルトの種類によって異なり，必ずしも 800 にはならないが，規格試験の結果からノモグラムを使用すれば容易に算出できるので，P.I はアスファルトの感温性の一つの表示方法として広く利用されている。

アスファルトの感温性は針入度のみによって表わすことがある。温度を変えて針入度を測定しそれらの比をとって針入度比とする。普通 0, 25, 46°C などに温度を選ぶが，ここでは針入度比として

$$S.F(\text{Susceptibility Factor}) = \frac{Pen\ (4°C.\ 200gr,\ 60sec)}{Pen\ (25°C.\ 100\,gr.\ 5sec)}$$

を利用した。

Pen (4) と Pen (25) の関係を図－3に S.F と P.I の関係を図－4にそれぞれ示す。

図－3において若干の例外はあるがC型とA型はかなり分布がはっきりしており，直線

$$Pen(4) = \frac{1}{2} Pen(25) - 8$$

を境にして区別される。一般に

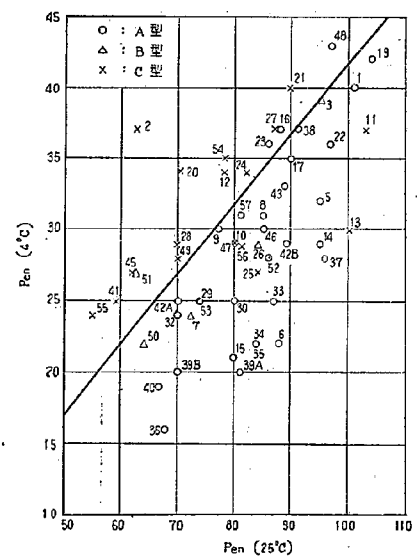
$$Pen(4) > \frac{1}{2} Pen(25) - 8$$

のアスファルトはC型で

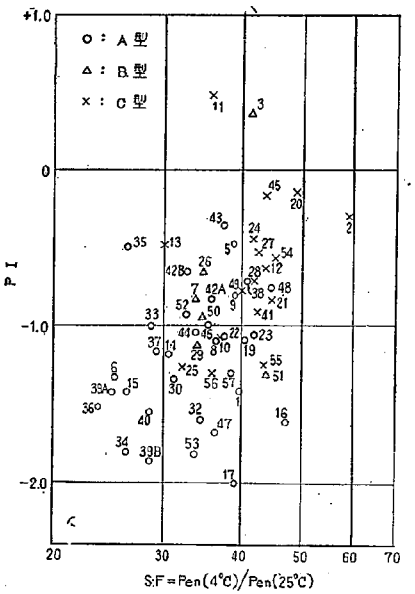
$$Pen(4) < \frac{1}{2} Pen(25) - 8$$

のアスファルトはA型であると考えてもよかろう。

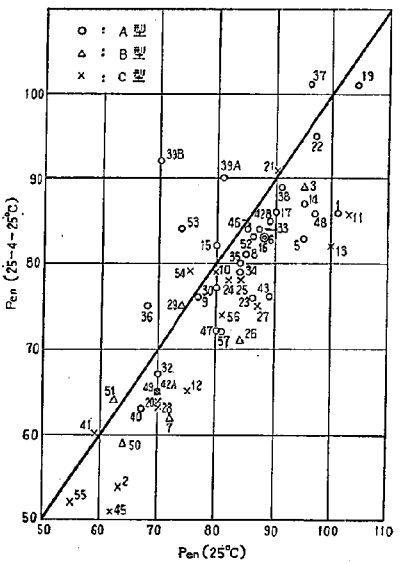
図－3より 25°C で同じ針入度のアスファルトも 4°C では針入度にかなりの差が生じC型アスファルトの方がA型アスファルトよりも低温針入度が大である。低温針



図－3　標準針入度（25°C）と低温針入度（4°C）との関係



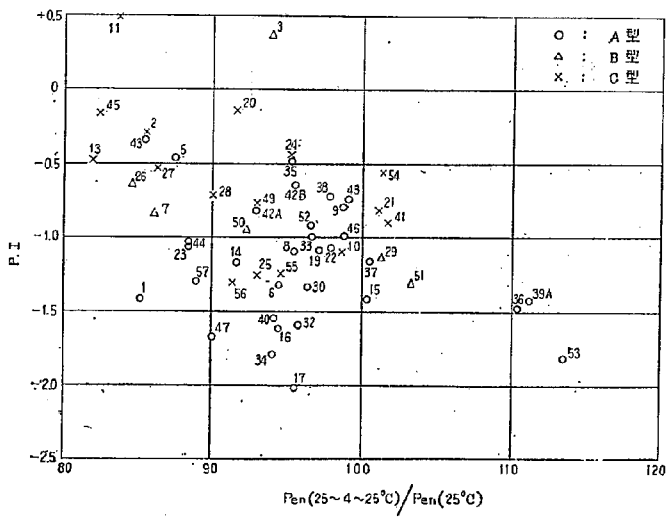
図－4　針入度比（S.F）と P.I との関係



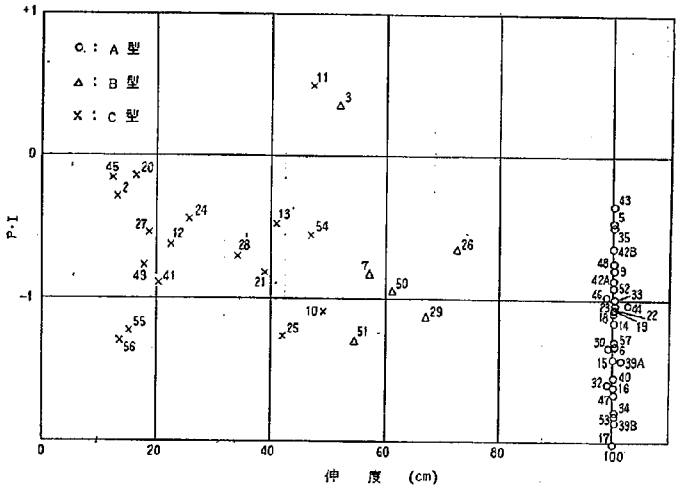
図－5　針入度に対する温度履歴の影響

入度（4°C）の大きいアスファルトすなわち，S.F の大きいものは低温になってもあまり硬化しないはずであるから感温性が低いと考えられる。したがって一般にC型アスファルトはA型アスファルトよりも感温性が低い。これはC型アスファルトは製造過程中にいくらかブローンしている影響があらわれているためであろう。

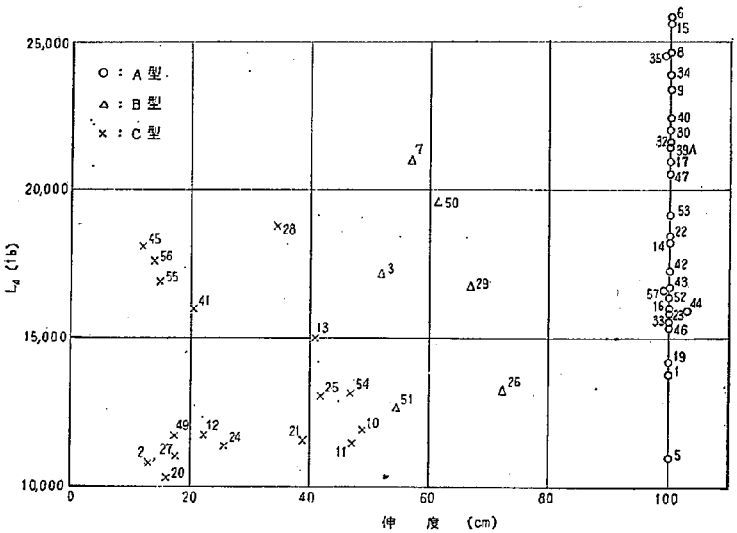
S.F と P.I の関係は図－4に示すようで顕著な関係はみられない。しかしC型はA型に比較してわずか右に偏している傾向があり，P.I が同じならばC型の方が S.F が幾分大きい傾向にある。



図－6　$\frac{\text{針入度(25-4-25°C)}}{\text{針入度(25°C)}}$ と P.I との関係



図－7　伸度(10°C) と P.I との関係



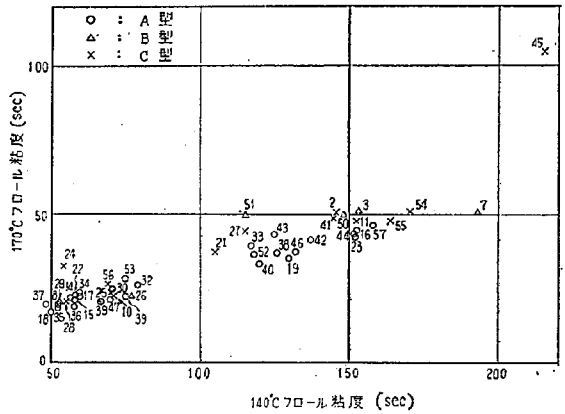
図－8　伸度(10°C)と低温安定度(4°C)との関係

(2) 温度履歴の影響

アスファルトはある一定の温度下では一定の硬さを示す。ところがアスファルトの中には一度低温にさらされると次に温度が上昇しても容易にもとの軟らかさを取りもどし得ないものがある。アスファルトが定常的な軟らかさに達するためにはアスファルトの種類により温度変化に対する時間的な遅れが異なる。

Pen (25°C) －Pen (25-4-25°C) の関係を図－5に P.I－Pen (25-4-25°C)/Pen (25°C) の関係を図－6にそれぞれ示す。Pen (25-4-25°C) は 25°C の温度に保った試料をいったん 4°C の低温に一定時間保ち，その後再び 25°C に温度を上げてから試験を行なったもので各温度にはそれぞれ一時間ずつ保った。

アスファルトの型による差異は明白でないが，ほとんどのアスファルトについて温度履歴の影響が見られる。このような性質がアスファルトのどのような構造組成に



図－9　温度によるフロール粘度の相違

表－2 砕石の材質

岩種	坤石安山岩
比重	2.62
吸水量	1.96%
ロサンゼルススリヘリ減量	17.2%

表－3 混合物の配合表

砕石	12.7～9.52mm	9.5%
	9.52～4.76mm	23.6%
	4.76～2.38mm	18.9%
ダスト		40.6%
フィラー		1.9%
アスファルト		5.5%
合計		100.0%

よるものか，また実際の舗装の品質にどれだけの影響をあたえるかは具体的に明らかでないが，アスファルトの各種試験を行なうにあたって留意しなければならないことと思われる。

(3)　その他の物理的力学的性質

アスファルトの分類は伸度（10°C）によったが単にA型，C型といっても個々のアスファルトでは伸度はそれぞれの範囲内で異なっている。型によってアスファルトの性質に変化があるとすれば，伸度の相違による差異があるはずである。

一般にC型は P.I が大で低温伸度と 低温安定度は小さくなる傾向がある。図－7に伸度と P.I，図－8に伸度と低温安定度を示した。概略の傾向として A, B, C の順に P.I は小さくなっているが必ずしも伸度の大きさにしたがっていない。また低温安定度についても，おおよその傾向しか知ることができない。低温安定度はむしろ4°Cにおける伸度と比較することがより意味があることと思われる。アスファルトの物理的性質は伸度に限らずある一定の温度における値を問題にするだけでなく，可能な温度範囲における性質の変わり具合を知ることが目的であろう。

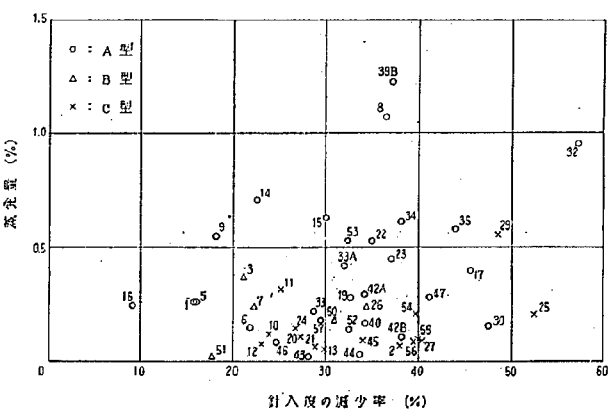
アスファルトと骨材との混合を有効にする要因の一つとして粘度がある。限られた試料について140°Cと170°Cでセイボルト・フロール粘度を測定した。その結果を図－9に示す。普通C型のアスファルトは粘性が大きいとされているが，この結果からはとくにそのような傾向はなく，しいて言えば温度変化に対する粘度の変化はC型よりむしろA型のアスファルトに大きいということである。しかし試料の数が少なく，温度の違いもわずかであったので，さらに実験を続けることが必要であろう。

アスファルトの蒸発減量は老化性に関係している。図－10に200°Cにおける蒸発減量と針入度の減少率との関係を示す。

図によれば蒸発減量が同じアスファルトの場合には，蒸発による針入度の減少はC型の方がA型よりも大きい傾向がある。

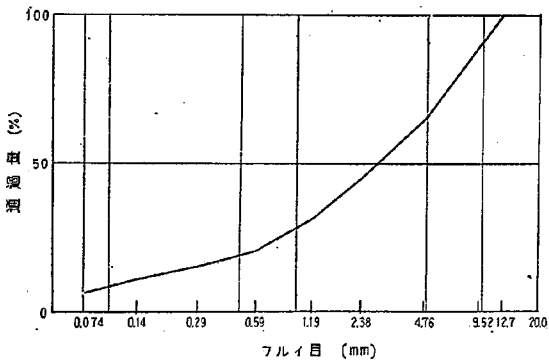
3.　混合物の安定度

アスファルトのA型，B型，C型により，混合物の安定度に差異があるかどうかをみる目的で，アスファルト混合物の安定度について試験を行なった。



図－10　蒸発後針入度の減少率と蒸発量との関係

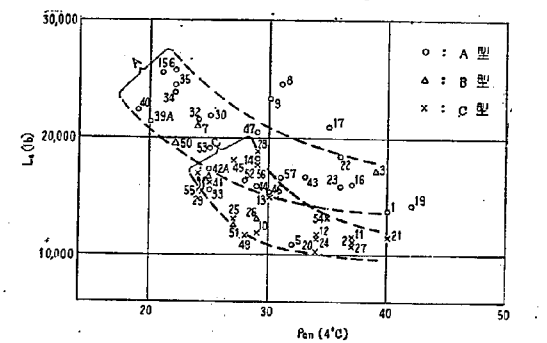
試験は表—1の試料を結合材とし同一の骨材および配合によって供試体を作製し，60°C および4°Cの温度においてマーシャル安定度試験を行なった。骨材は表—2の材質のものを使用し，混合物の配合および粒径加積曲線は表—3，図—11のようである。ヒズミ速度は60°Cにおいて50mm/minおよび1mm/minの二種類とし，4°Cでは1mm/minのヒズミ速度のみを使用した。50mm/minのヒズミ速度のときの安定度を H，1mm/minのときの安定度をLとする。たとえば60°Cにおいてヒズミ速度を1mm/minにおいて試験をしたときの安定度を L_{60} と書くことにする。安定度試験の結果は表—4に示すようである。



図—11 混合物の粒度分布

(1) 4°C 安定度と 4°C 針入度

アスファルト混合物の安定度は骨材粒子間のかみ合わせによる内部マサツ抵抗と結合材の付着力および粘性抵抗とによってきまる。もし骨材と配合が全く同じであれば，混合物の安定度はアスファルトの硬さによって変化し一般にアスファルトの針入度が増加すれば粘性抵抗が減少して安定度は低下する傾向にある。図—12に4°Cにおける安定度と針入度の関係を示したが，これからもその傾向を知ることができる。

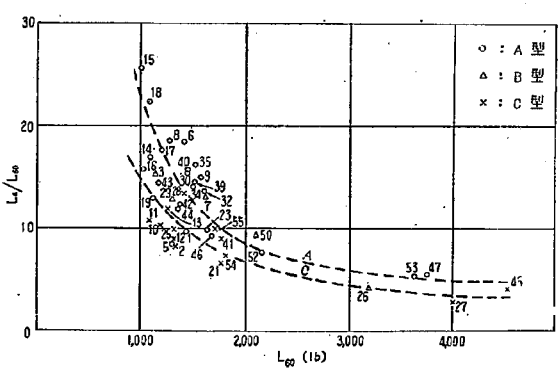


図—12 低温針入度（4°C）と低温安定度(4°C)との関係

図—12によれば，アスファルトはA型とC型により，それぞれ分布領域がわけられる。図によれば同じ低温針入度（4°C）のアスファルトの場合には，C型の低温安定度はA型のそれよりも一般に小さい傾向がある。このような相違はアスファルトのどのような性質によるものか明らかではないが，規格試験の結果のみからでは知ることができない。

(2) 4°C 安定度と 60°C 安定度

アスファルト混合物の安定度は一般に温度が低下すると大きくなる。この傾向はアスファルトの種類によって異なり，大体P.Iの小なるものほど低温安定度は大きくなる。P.Iの小さいアスファルトほど低温針入度が大きくなり易いからであるが，しかし試験温度における針入度が同一であっても安定度に相違のあることは図—12に見る通りである。



図—13 安定度に対する温度の影響

図—13に $L_{60}-L_4/L_{60}$ の関係を示す。L_{60} に対して L_4 は大幅に変化しており，傾向として L_4/L_{60} はC型の場合に小さく，A型では比較的大きい。A型アスファルトの方が温度変化の影響をうけやすいことが安定度試験の結果にも表われている。

(3) ヒズミ速度による安定度の変化

アスファルト混合物は温度によって力学的な特性が変

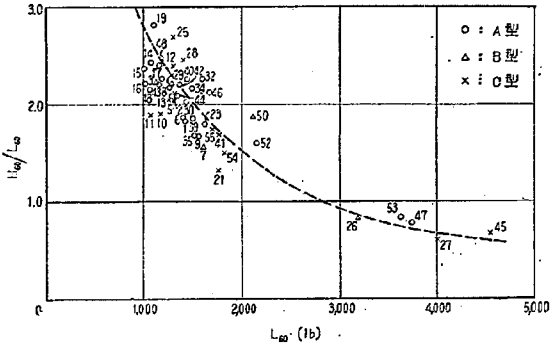
表—4 安定度試験結果一覧表

	名称	分類	H_{60}			L_{60}			L_{∞}		
			密度 (gr/cm³)	安定度 (lb)	フロー (0.01")	密度 (gr/cm³)	安定度 (lb)	フロー (0.01")	密度 (gr/cm³)	安定度 (lb)	フロー (0.01")
1	試料 B	A	2.336	2,600	18.0	2.364	1,420	5.9	2.385	13,750	12.3
2	試料 C	C	2.347	2,760	16.5	2.319	1,310	6.2	2.376	10,820	10.6
3	試料 D	B	2.338	2,500	14.7	2.338	1,118	10.7	2.392	17,225	14.7
4	常総	A	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	丸善石油	A	2.345	2,708	16.2	2.338	1.294	8.7	2.393	10,933	7.8
6	〃 (N)	A	2.362	2,600	14.6	2.362	1,400	7.7	2.397	25,800	7.9
7	甲府	B	2.337	2,510	13.3	2.300	1,600	6.9	2.486	21,090	12.2
8	京浜	A	2.332	2,740	13.4	2.326	1,260	5.5	2.394	24,565	12.8
9	常陸	A	2.333	2,610	12.8	2.326	1,560	6.5	2.376	23,370	9.8
10	四号	C	2.349	2,240	11.6	2.334	1,180	8.3	2.382	11,960	13.5
11	盛田	C	2.332	2,030	14.8	2.354	1,070	6.8	2.377	11,480	7.0
12	高崎 (60～ 80)	C	2.390	3,110	15.9	2.310	1,300	8.9	2.356	11,749	12.2
13	〃 (80～100)	C	2.352	2,570	13.9	2.363	1,250	8.4	2.396	14,985	9.3
14	昭和石油	A	2.321	2,630	13.1	2.293	1,080	5.0	2.434	18,200	9.9
15	富山	A	2.312	2,360	17.1	2.308	1,000	7.7	2.398	25,580	8.3
16	香川	A	2.305	2,250	13.8	2.295	1,020	7.5	2.381	16,000	15.2
17	岐阜	A	2.330	2,680	10.4	2.315	1,188	5.7	2.415	20,935	13.4
18	秋田		2.365	2,300	16.1	2.347	1,070	7.7	2.495	23,700	17.1
19	福井	A	2.360	3,112	15.6	2.329	1,105	6.7	2.392	14,205	12.5
20	日本石油 (80～100)	C	—	—	—	—	3,713	6.9	2.389	10,320	14.9
21	〃 (60～ 80)	C	2.391	2,350	16.9	2.367	1,759	7.1	2.394	11,532	12.3
22	大阪	A	—	—	—	—	1,396	6.8	2.384	18,427	12.6
23	津軽石油	A	2.371	2,900	13.9	2.367	1,620	7.1	2.375	15,860	11.5
24	下松石油	C	2.351	2,906	17.1	2.356	—	—	2.416	11,433	17.7
25	席里布石油	C	2.389	3,491	16.3	2.363	1,299	10.1	2.401	13,100	17.0
26	秋田石油	B	2.348	2,666	16.1	2.345	3,175	8.3	2.396	13,210	10.2
27	新潟	C	2.341	2,864	16.8	2.347	4,000	8.7	2.382	11,053	9.1
28	南部 (60～80)	C	2.190	3,443	16.3	2.217	1,400	9.4	2.392	18,836	12.9
29	〃 (80～100)	B	2.158	2,865	16.2	2.153	1,294	12.3	2.395	16,843	9.9
30	福島	A	2.338	2,882	15.5	2.349	1,429	6.9	2.405	21,986	16.4
31	広島 (丸善)	A	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32	〃 (昭和)	A	2.381	3,606	16.0	2.351	1,596	7.5	2.393	21,543	11.8
33	〃 (出光)	A	—	—	—	—	—	—	2.380	15,543	15.7
34	北九州	A	2.360	3,221	13.6	2.382	1,490	10.9	2.408	23,835	16.4
35	福岡	A	2.351	2,545	15.1	2.354	1,512	6.7	2.416	24,500	13.4
36	丸善 (a)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
37	〃 (b)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38	〃 (c)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
39	京都	A	2.360	2,769	18.8	2.353	1,497	9.5	2.401	21,415	13.1
40	彦根	A	2.366	3,240	13.0	2.353	1,441	10.7	2.400	22,390	14.3
41	日本道路	C	2.351	3,016	17.4	2.370	1,774	12.7	2.368	16,063	9.6
42	出光	A	2.309	2,859	13.5	2.289	1,363	12.5	2.397	17,260	10.6
43	間	A	2.304	2,563	15.3	2.329	1,164	10.7	2.391	16,703	15.0
44	大成	A	2.233	2,809	17.0	2.260	1,343	7.7	2.364	15,940	9.8
45	長崎	C	2.320	3,017	14.5	2.347	4,531	7.9	2.385	18,175	9.8
46	敦賀	A	2.379	3,544	20.7	2.345	1,673	7.0	2.384	15,323	11.6
47	三徳	A	2.337	2,893	14.7	2.345	3,738	10.3	2.412	20,493	7.9
48	四号 (80～100)	A	2.362	2,780	14.9	2.352	1,160	—	—	—	—
49	〃 (60～ 80)	C	—	—	—	—	—	—	2.371	11,740	9.1
50	相模	B	2.378	3,931	17.0	2.368	2,088	10.3	2.395	19,577	13.4
51	三島	B	—	—	—	—	—	—	2.382	12,680	8.2
52	姫路 (80～100)	A	2.381	3,451	19.6	2.394	2,150	11.6	2.390	16,373	7.7
53	〃	A	2.376	3,002	17.7	2.361	3,616	8.4	2.380	19,140	14.6
54	〃	C	2.371	3,283	17.8	2.379	1,812	12.3	2.388	13,230	7.3
55	〃	C	2.357	2,969	15.8	2.361	1,703	7.4	2.393	17,000	9.0
56	〃	C	—	—	—	—	—	6.3	2.401	17,660	12.0
57	〃	A	—	—	—	—	—	9.6	2.400	16,610	9.9

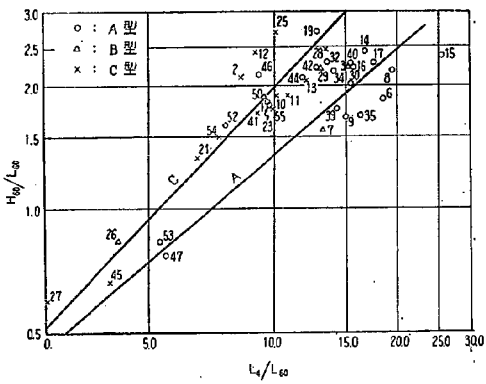
化するばかりでなくヒズミ速度の大小によってもその性状が変化する。試験温度60°C で50mm/min および 1mm/min のヒズミ速度における安定度をそれぞれ，H_{60}，L_{60} とし $L_{60}-H_{60}/L_{60}$ の関係を図—14に示す。

A型C型の種類による相違は特に顕著ではないが，ヒズミ速度の変化による安定度の増加は，温度変化の場合に比べてかなり小さく L_{60} が1,000～2,000の範囲については，60°C から4°C にいたる温度変化の場合に，安定度は5～20倍に増加しているのに対し，温度を一定にしてヒズミ速度を1 mm/min から50mm/min に変化させたときにはわずかに1.5～2.5倍に増加するにとどまっている。

温度変化とヒズミ速度変化の影響はアスファルトの力学的特性に同じような影響をあたえる。すなわちアスファルト混合物はヒズミ速度が大になると温度が低下したのと同様な力学的性質を示す。L_4/L_{60} と H_{60}/L_{60} の関係を図—15に示す。これによると温度の影響をうけやすいアスファルトは大体ヒズミ速度の影響も受けやすいことがわかる。H_{60}/L_{60} の同じアスファルトについてはC型よりもA型の方が温度変化の影響をうけやすいようである。



図—14　安定度に対するヒズミ速度の影響



図—15　安定度に対する温度とヒズミ速度の影響

4. むすび

アスファルトの低温伸度による分類方法に関連して，二，三の基本的なアスファルトの性質を調べるために現在現場で実際に使用されているアスファルトについて規格試験および混合物の安定度試験を行なった。その結果アスファルトの品質に関して大まかな現況を知ることができた。

広範な温度領域における，アスファルトの物理的，力学的性質を多面的に検討することなしには，アスファルトの性状を十分には握することは困難である。そのためには現在の規格試験の範囲では不十分であり，試験室内においては，さらに新しい試験法を利用する必要があろうと思われる。

最後に現地において使用中のアスファルトを送付していただいた全国の工事事務所の各位の厚意に対し深く感謝の意を表する。

山地流域における一雨雨量の降雨分布について

竹内俊雄*・江川太朗**・神谷隆太郎***

(昭和35年8月)

要旨

本研究は利根川支川神流川流域において昭和27年より31年までの5年間に得られた102個の一雨雨量の観測値をもとにして降雨分布を論じたものである。

まず，山地流域の流域平均雨量はその流域に設置された雨量観測所数によってどれ位違うものであるかを調べた。この際流域平均雨量の計算には等雨量線法，テーセン法，算術平均法の3方法を採用した。

次に，流域を唯一つの雨量観測所で代表させた場合，流域平均雨量と流域面積との間にはどのような関係があるかを求めた。この場合地形的にどのような場所に雨量観測所を設置すれば誤差が少ないかについても検討した。

最後に，天気図より推定した降雨原因の型と実際に観測された流域の降雨分布の型との間に相関関係がどの程度あるものであるかについても論じた。

目次

1. 緒言……(1)
2. 基本資料……(2)
3. 流域平均雨量と雨量観測所密度との関係…(3)
4. 流域平均雨量と点雨量との関係……(9)
5. 降雨分布型と降雨原因型との関係……(12)
6. 結語……(15)

1. 緒言

河川技術者は河川流量の特性を充分に理解しておることが必要であるが，その河川流量を支配するものは流域への降雨であるから，我々はさらに流域への降雨に対しても関心を示すわけである。流域に降雨があった場合，この降雨が河川流量になるまでには流域の複雑な要素の支配をも受けるわけであるが，なにしろ第1に決定的な要素は降雨であるから，河川技術者は河川流量に払うのと同程度の努力を雨量観測にも払っておるわけである。流域の降雨について，その場所的分布と時間的分布との両面から考えてみよう。

降雨は場所によって違った値をとることは良く知られている。しかしどれ位違っているかという量的なことになると殆んどわかっていないのが実状ではないだろうか。天気予報ですら雨量の量的予報は未だ一般化していない。このことは平地においてでも未解決なのであるが，河川技術者の取扱っている領域は主として山地であるから問題はさらに複雑である。平地の問題が一応解けて，それからこの問題が山地でどう変形するかというのが問題を取扱う順序のようであるが，ここではそういった正攻法はとらず，初めから実例に入ってしまっている。これは技術者が科学者と違うためにとった立場であって，我々は我々の立場から実際の山地流域において観測し解析し，それ等の資料が積重ねられたところで実用上の一般論を引出そうとしたのである。したがってこの流域だけでは本来の威力を発揮できず，今後他の流域での同様な観測結果を期待しているのである。

次に降雨の時間的分布について考える。誰でも経験しているように，降雨は初めから終りまで一様な強度で降るものではなく，強弱がある。しかし，この特性は気象学的に考究されるべきものであって，現在の程度の雨量計を流域に配置して置いて，これよりその解析の手がかりを得ようとしても不可能であると考える。流域には一雨雨量のような全体の量のみをおさえるのを目的とするような雨量計と，その時間的変動をおさえるのを目的とする雨量計との組合せ配置をするのが理想であって，後者はごく限られた数だけ設置すればよい。現状においては時間変動の研究が進んでいないので雨量計をやたらに自記化しているが，この点は今後大いに考えられねばならぬと思う。かような状況であるので，本研究においては一応降雨の時間的分布には触れないで始めから終りまでをひとまとめにした一雨雨量のみを対象にすることにした。

流域で観測されているのは流域内のほんの幾つかの地点での雨量であって，流域を平均した雨量のようなものは直接観測できない。流域平均雨量は観測雨量を基にして計算により点より面へと引伸すのである。この計算方法としては従来より用いられている等雨量線法，テーセン法，算術平均法を採用した。かようにして求められた流域平均雨量は流域下流端で観測された流量と対比され所謂流出関係の研究が行なわれているのであるが，現在のところ流量の方から雨量の誤差をきめることはできな

* 河川部長
** 前河川部水文研究室研究員
*** 河川部河川研究室

い。これは現在のところ流出関係が充分精度よく定常化していないし，独立して行なわれている流量観測にもかなりの誤差がみられるからである。したがって雨量は雨量としてその誤差を推定しなければならないことになる。将来観測方法が発達して流域の雨量は地面に落ちる前の水蒸気張力から推定されるようになれば別であるが，それができない現在としては雨量観測所をたくさん置いて，それより得られる値を真値と考え，あとは間引き計算によってそれより少ない数に対する雨量の誤差を推定するより致し方ないと考える。したがって，ここで仮定した真値がはたして真値に近いかという絶体的な議論より，一般に配置されている密度より少し詳しく置いたものに比べて精度を調べるという方法を採用していることになる。*

流域平均雨量と雨量観測所の密度との関係を求めたが，この密度の表わし方として2つの場合が考えられる。雨量観測所1ヵ所当りの支配面積を幾 km² として表わすのと，流域全体に対して支配面積を何%であるとする表わし方である。数多くの試験地の観測資料が得られれば一般性に対する結論も得られるであろうが，本研究は一試験地の結果に過ぎないので，この点につきどちらが良い結果を得るかについての判定は示していない。

2. 基本資料

(1) 雨量観測所配置方針

神流川の流域は図-1に見るような細長い形状をしている。この流域に雨量観測所を配置するに際して，最初本川沿いに日巻雨量計を置いた。観測を依託するのに便利なように小学校を選んだため，小学校の位置で場所が決ってしまった。次にいくつかの主要支川のほぼ重心位置に10日巻雨量計を設置した。これは時計の持続日数を日巻より長くして，本川沿いの3つの基地から見廻れるようにした。以後このうち幾つかは日巻と交換し小学校に依託するようにした。最後に，流域の外周に長期の観測ができるように背谷式雨量計を設置した。以上によって流域に対し中央線，外周，両者の中間という3本立で配置を行なった。

雨量観測所の配置を考えたときに，同時に流域の平均雨量の計算方法も考えておらねばならない。上記の配置方針によると支川流域を単位としたような考え方であるようにも見えるが，一支川流域に雨量観測所を2～3個所配置したのではこの中で等雨量線を引くわけにもいかず，終局的にはこれら支川流域の境界の壁を無視して取除き全体を一体として等雨量線を引くことにした。

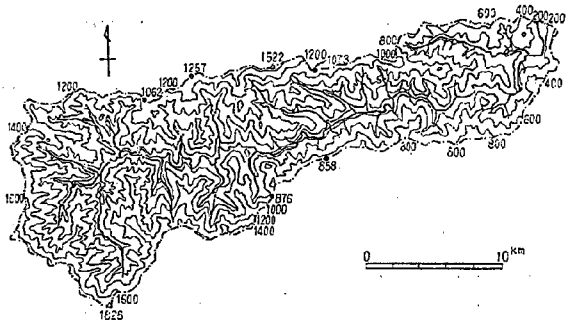


図-1 神流川流域等高線

実際の流出計算に当っては，まず洪水の流下時間を参考にした単位間隔で流域を幾つかの地帯に分割することがある。** 流域全体の一雨等雨量線図を描き，各地帯毎の平均雨量を計算する。次に各地帯内に代表雨量観測所を決め，地帯内の一雨雨量の時間的変動はこの雨量観測所で代表されるとしている。地帯分割法を採用する意図があるなら，最初からそのように観測所を配置すべきであって，同報告図-2のようでは代表雨量観測所の位置は適当でない。

(2) 基本資料

神流川の流域に(1)に述べた方針に従って雨量観測所を図-3に示すように31箇所配置した。図中の番号のうち1～12は日巻雨量計，13～16は10日巻雨量計，31～45は背谷式雨量計を示し，表-1にはその設置された標高が示されている。背谷式雨量計は一雨毎の記録がマークされる雨量計であるが，一雨あってその次の降雨まで無降雨の時間がかなりないとその境界がはっきりしない欠点がある。またこの雨量計では日時のマークは得られない

表-1 雨量観測所標高

雨量観測所番号	標高(m)	雨量観測所番号	標高(m)
31	1,828	39	900
32	1,549	6	450
1	980	40	780
33	1,700	7	370
34	1,580	41	1,420
13	800	8	820
2	700	16	970
35	1,280	9	340
36	1,060	42	770
14	900	10	250
3	540	43	716
15	720	44	700
37	1,460	45	650
4	600	11	260
38	1,220	12	130
5	700		

* この論法は土木研究所報告105. 竹内俊雄，江川太朗，綾田博一「低水流量観測の精度に影響を及ぼす2，3の要素について」と同じ考え方である。
** 土木研究所報告 103. 竹内俊雄「河川流出に関する2，3の計算法」p. 88—89.

から，近くの幾つかの自記雨量計の降雨と対照してその降雨のあった日時を推定するのであるが，この作業は熟練を要するものである。

神流川試験地で用いている雨量計は貯水式の雨量計であるから冬期は凍るのでこの期間は使用できない。したがって冬期には自記雨量計は観測を休むことになっているので，ここでは自記雨量計の動いている5月より10月までの6ヵ月間に得られた資料につき一雨雨量を考えることにする。この場合昭和27年より31年に至る5ヵ年間の観測資料の中より，各観測での一雨雨量がほぼ10mm以上になるようなものを102個* 選んだ。したがって非常に局地的な夕立のようなものは含まれていない。ここで取上げた一雨は3種類の雨量計のうち菅谷式で支配されることになる。この雨量計では一雨毎のくぎりがあまりはっきり出ないことがあるのであまりこまかく細分せず大きく一と纒めにして一雨としたものもある。この場合の降雨継続日数は表-2に示す通りであって，大部分は1～2日であるが，区分できず3～4日に亘ったものが20%以上もある。

表-2　降雨継続日数

降雨継続日数	1	2	3	4	5	計
資料数	25	52	16	8	1	102

3.　流域平均雨量と雨量観測所密度との関係

(1)　基準流域平均雨量

一般に精度というものは正しい値と比べて初めて論ずることができるものである。雨量の場合真値は現実には得ることができないが，現在の段階で得られる最も正しいと考えられるものを以てその代理とすることとし，流域に配置された31個の雨量観測所の観測値を用いて計算した流域平均雨量をもって真値と考え，これを基準流域平均雨量とよぶ。この真値の計算には等雨量線法を採用した。

(2)　流域平均雨量の作図法

ここでは流域平均雨量の作図法として代表的な等雨量線法，テーセン法，算術平均法の3方法を用いた。

(i)　等雨量線法

この方法は一般に最も正確であると考えられているようではあるが，実のところその根拠はあまりはっきりしていない。普通この方法によって描かれた図は図-2の左に示すように降雨の多い地点の囲りに等雨量線が集中しているが，中心附近でかように特に等雨量線を密にしなければならない理論的あるいは実験的な裏づけは証明されていない。山腹の斜面に沿い種々なる高度に数多くの雨量計を配置し，この観測値から高度と雨量とについて何か法則性が導かれたというのならば，2点間の等雨量線を引くのにそれを用いることができる。かような法則が得られていない現状では等雨量線は機械的に引くのが一番良いと考え，図-2の右に示すように2点間の雨量を直線的に変化するものと仮定して作図した。ただし，この場合高度の等高線の形状は幾分これを斟酌することにした。また，出来上った作図は個人差を少なくするため2～3人の目を通してチェックする方法を採用した。

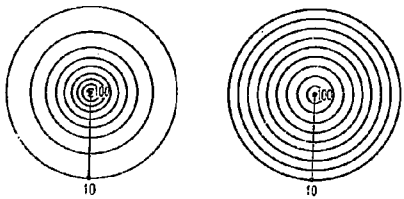


図-2　等高線の描き方

(ii)　テーセン法

この方法では雨量観測所は皆同じウェイトを持っているとしているので，相隣る観測所の支配力はこれら2点を結ぶ直線への垂直2等分線で分割されることになる。等雨量線法とこの方法との比較は流量観測の精度の計算**で論じた標準式とA式との場合に相当し，2点の支配力を2点の大さに応じてこの間で直線的に変化すると考えるか，あるいは2点は同じウェイトを持つとしてこの間の垂直2等分線で境界するかという問題と相似である。ただし流量の場合には問題が1次元であったが，雨量の場合には一つの雨量観測所は周囲の幾つかの観測所と相関を持つ***から問題はさらに複雑となる。

(iii)　算術平均法

各雨量観測所で得られた観測値を算術平均する方法であるが，これは各観測所の支配面積がほぼ相等しいことを前提としていることに注意すべきである。

(3)　雨量観測所の間引き

流域に幾つかの雨量観測所を設置して流域平均雨量を求める場合，観測所の数は同じでもその配置の方法によって差異を生ずるものである。本研究においては最も密な場合が31個所であるが，これを間引いて数をへらしていく場合どういうふうに間引くかが問題になる。この場合降雨分布に対して解析された法則たとえば高度，地形等に関して何か一般性が明らかになっていれば，これを適用できるが現在はそれが得られていないので，ここでは常識的に考えて次の原則によって間引くことにした。

(i)　テーセン法によって多角形を作る場合，観測所は支配面積のほぼ中央附近に位し，その支配面積

* 神流川試験地の観測資料の1次製品は別に発表する筈りであるから，ここでは表-4に2次製品をのせることにした。
** 土木研究所報告 105 竹内俊雄，江川太朗，篠田勝一「降水流量観測の精度に影響を及ぼす2，3の要素について」p.157
*** 土木研究所報告 102 竹内俊雄，田坂行一「流域平均雨量を計算する場合のテーセン多角形の作図について」

は余り差の無いように選ぶ。ただし周辺では支配面積が幾らか小さくなっても致し方ない。

(ロ) 山地部と谷部との観測所の数がほぼ同じ位になるようにする。

(ハ) 観測所が流域の一方向に偏らないように東西南北ほぼ均等になるようにする。

31個所より間引くのに数を半分ずつ減らしていくという方法をとり，31個所を基準として16，8，4個所というように変化させた。図-4，5には16，8個所の場合の配置を示し，表-3には各場合における各観測所の支配面積をテーセン法によって計算した値を示している。しかし，上記原則によって4個所の配置を作ろうとする

表-3　テーセン法による雨量観測所1個所当りの支配面積 (km²)

雨量観測所番号 ＼ 雨量観測所数	31	16	8	4		
				①	②	③
31	6.3					
32	12.5					
1	16.5	33.8	54.0			
33	13.9	15.0	23.5	98.7		
34	11.0					
13	16.0	32.8				97.0
2	14.3					
35	5.7	29.9	56.0		111.7	
36	11.9					
14	15.6					
3	16.4	36.6				102.3
15	13.1					
37	6.3				81.8	
4	14.3	26.1				
38	5.9	17.1		96.0		
5	17.9		57.7			
39	7.6	9.8	35.2			
6	18.7	29.4				
40	4.0					71.7
7	11.0			90.0		
41	8.6					
8	10.7	23.4	49.4		92.7	
16	9.2					
9	17.9	30.7				
42	12.4	17.3	47.0			
10	16.6			88.9		
43	11.0	19.4				
44	18.3	23.1				102.6
45	5.0	14.8	50.8		87.4	
11	13.8					
12	11.2	14.4				
計	373.6	373.6	373.6	373.6	373.6	373.6

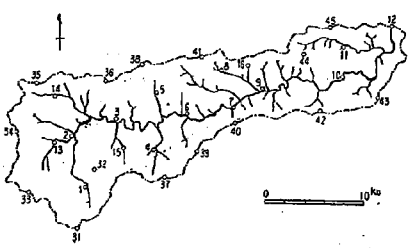


図-3　雨量観測所数 31

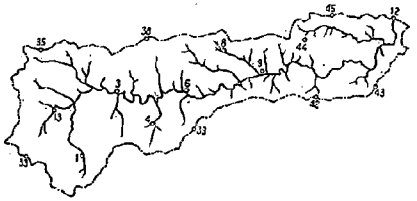


図-4　雨量観測所数 16

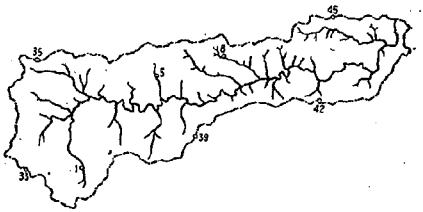


図-5　雨量観測所数 8

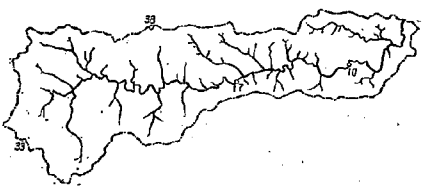


図-6 (1)　雨量観測所数 4

図-6 (2)　雨量観測所数 4

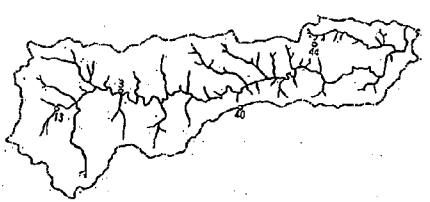


図-6 (3)　雨量観測所数 4

場合，この流域は細長い形状をしているので(4)の観測所を支配面積の中心に置くという条件を満たそうとすればその位置はすべて本川沿いに配置することになり，流域を輪切りにしたような形になるので(5)の条件を満たすことができなくなる。そこでこの場合には(4)の観測所を支配面積の中心に置くという条件を取除くことにするが，その選び方を1つにきめると4つの中で1つでも欠測があるとその影響が大きいと考えられるので，この場合には表-3の右側の欄に示すような3種類のケースを作り，欠測の無いものを選ぶこととしたが，採用の順は各支配面積の差の小さい①②③の順とした。この配置を示したものが図-6(1)，(2)，(3)である。

(4)　流域平均雨量と雨量観測所の密度との関係

流域の31雨量観測所において得られた102個の一雨雨量について雨量観測所数をそれぞれ16，8，4とした場合の流域平均雨量を計算する。この場合雨量計算方法として前述の3方法を採用すると表-4に示すような値が得られる。

雨量観測所の数を減らしていった場合の流域平均雨量が真値に比べてどのように変化するものであるかを調べるために，まず102個の降雨につき観測所数31，16，8，4に対する一雨雨量と真値との偏差を計算しその分布を描くと図-7に示すような結果が得られる。この誤差を絶体誤差とよぶことにする。各一雨雨量を真値で割ってその割合を%で表わしその分布を描くと図-8のような状況を呈する。この誤差を相対誤差とよぶことにする。以上の作業は雨量の3計算方法に対して行なう。図-7，8を見ると頻度分布はおおむね正規分布をしていると考えられるが，観測所数がへるにつれてそのシャープさが減じていく状態に気がつく。

102個の観測値に対して求めた絶対誤差および相対誤差につきそれぞれ平均値mおよび標準偏差σを計算すると表-5に示すような結果が得られ，これを図示したのが図-9である。この場合絶体誤差にはmm，相対誤差には%を用いている。図の横軸には流域面積Aを雨量観測所数nで割ったA/nをとってある。

図-9(1)，(3)において平均値mはA/nが大きくなる，すなわち雨量観測所数が少なくなるにつれて正の方向に増大しているが，これは計算方法による偏りというよりも選択された観測所の位置が多雨地帯にかたよっていたためと考えられる。相対的には算術平均法による方が大きく計算される傾向がみられ，テーセン法によるものは小さく出て来るようである。

図-9(2)，(4)において標準偏差をみると，観測所数8以上すなわち雨量観測所1個所当り支配面積 50km² 以下では等雨量線法とテーセン法とではほとんど差が無いが，算術平均法はこれより大きい値を示している。ただし，観測所の密度が小さくなった場合等雨量線法が逆に悪い結果を示しているのは4個の雨量に対して等雨量線を引くこと自体が無理なためだと考えられる。またテーセン法と算術平均法とでそれぞれの値が近いのは観測所を選定する場合テーセン法の支配面積をほぼ同じようにしたためと推察される。

(5)　基準流域平均雨量の誤差の推定

この研究では31個の観測所を用い等雨量線法により求めた平均雨量を真値と仮定し，これより少ない16，8，

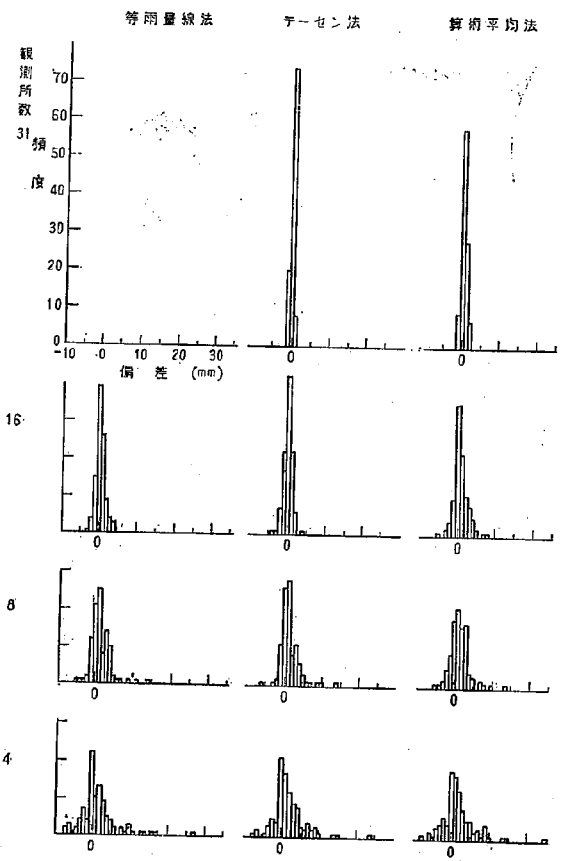


図-7　一雨雨量と真値との絶対誤差(mm)の頻度

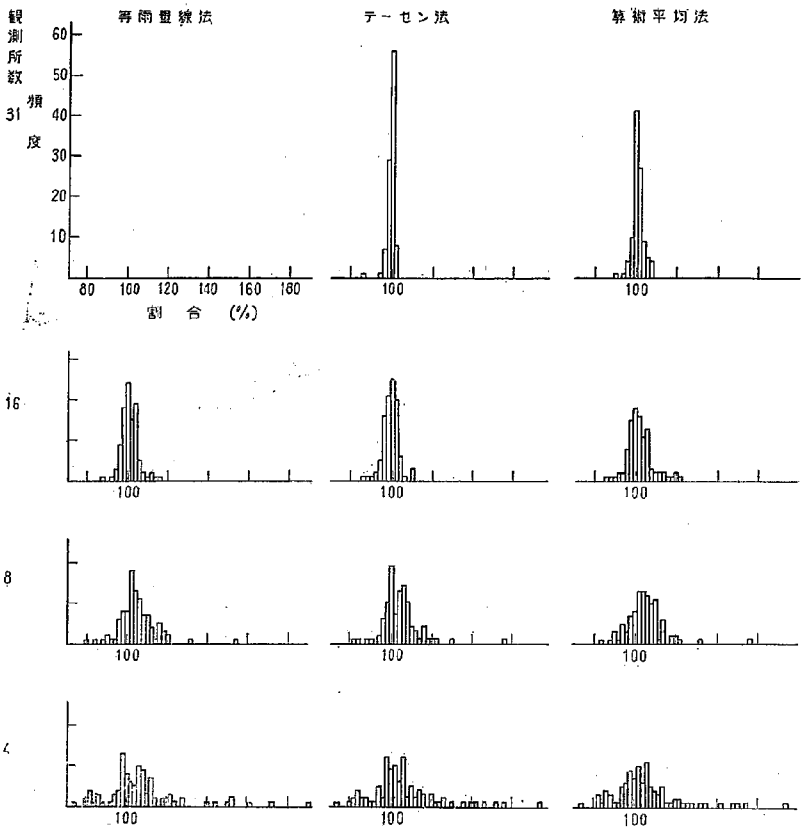


図-8　一雨雨量と真値との相対誤差(%)の頻度

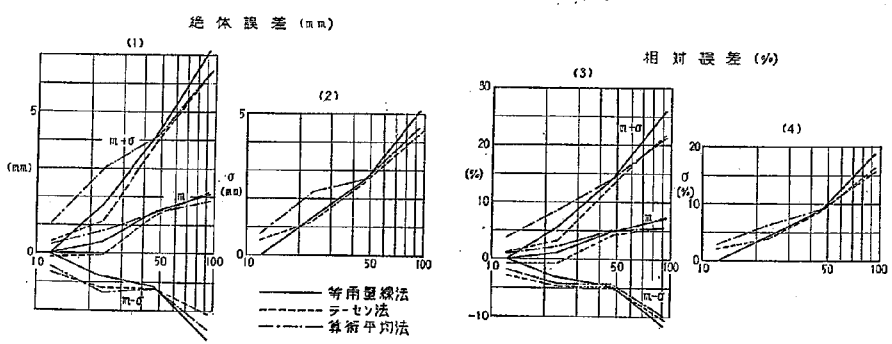


図-9　絶対誤差，相対誤差と雨量観測所密度との関係

4個の観測所の観測値と真値とを対比しているのである。しかしこの31個の場合にも幾何かの誤差が含まれているはずであるので，この値を推定しようというのである。表-5 の等雨量線法の場合相対誤差の標準偏差について考えることにする。観測所数16，8，4に対する標準偏差 σ と観測所数 n との関係を図-10 (1) のように対数紙にプロットすると直線的関係が得られる。この図より n＝31 に対する標準偏差 δ_1 を読取ると

表-4　流域平均雨量

年月日	平均雨量計算法 / 雨量観測所数	等雨量線法 31	16	8	4	テーセン法 31	16	8	4	算術平均法 31	16	8	4
27.	5.27～28	13.2	12.8	11.6	10.8	13.2	13.0	12.9	11.2	13.4	12.9	12.5	11.3
	6. 2	19.9	19.7	20.4	21.5	19.8	19.2	20.5	21.6	19.8	20.9	20.5	21.8
	6. 8～ 9	22.5	20.9	22.7	22.0	22.2	20.6	23.0	22.4	23.7	21.8	22.9	22.5
	6.15～16	21.6	22.3	22.4	23.7	22.1	22.2	22.8	19.0	22.3	21.9	22.0	19.0
	6.18～19	13.8	13.3	13.3	15.7	13.9	13.3	13.6	13.2	14.2	12.9	12.9	13.3
	6.23～25	92.8	93.4	104.2	89.6	92.2	92.6	102.1	90.4	93.2	96.9	102.8	90.5
	8. 4～ 5	44.3	43.6	53.4	37.9	43.3	41.9	54.0	36.9	45.7	39.1	52.0	37.8
	8. 7～ 8	23.9	22.6	27.0	17.4	22.9	22.2	26.2	17.7	24.9	21.8	26.4	17.8
	9. 1～ 2	16.6	16.0	17.1	15.8	16.4	15.6	17.2	16.1	16.5	15.0	17.0	16.0
	9. 7～10	28.5	28.2	29.6	33.7	28.3	27.6	29.0	32.8	28.9	28.2	30.4	32.5
	9.26～29	16.2	16.2	16.4	20.6	16.1	15.7	16.0	20.3	16.5	16.6	18.3	20.3
	10. 6～ 8	23.7	24.5	24.8	26.2	23.7	23.5	24.1	26.4	23.9	25.2	25.9	26.5
	10.15～17	32.0	31.5	37.5	33.6	32.8	32.7	38.3	33.2	32.2	32.9	34.1	33.3
	10.27～28	18.8	18.9	18.6	20.2	18.7	18.7	18.3	20.0	19.2	18.9	18.6	20.0
28.	5. 7～ 9	31.4	30.6	31.6	34.0	31.0	30.3	31.5	33.4	31.0	31.8	29.6	33.5
	5.23～24	51.9	51.6	54.5	53.6	51.8	51.8	54.5	53.7	51.6	52.6	52.7	53.8
	6.12	17.0	17.0	18.6	15.9	16.8	16.3	17.9	16.5	17.0	17.1	17.8	16.8
	7. 3～ 4	57.0	54.0	54.8	58.9	56.2	55.0	55.5	58.8	56.2	54.3	53.5	59.0
	7. 5～ 8	22.3	19.8	18.6	21.9	21.9	19.1	18.9	21.0	21.7	19.0	18.6	21.5
	7. 9～11	40.5	41.9	44.1	45.2	40.1	38.9	44.1	40.4	39.9	43.3	43.4	38.3
	7.16～19	33.8	34.1	34.5	40.8	33.4	33.3	34.0	40.9	35.0	34.1	35.6	40.5
	7.20	68.8	68.5	67.7	67.0	69.0	69.5	67.6	67.4	68.6	68.8	67.5	67.3
	7.21～23	45.6	43.7	45.9	55.8	45.0	43.5	45.4	56.3	46.1	44.2	46.8	56.0
	8.14～15	24.9	23.9	26.7	30.5	23.6	23.4	26.0	30.0	24.8	24.5	27.3	29.5
	9. 4～ 5	15.3	15.0	15.3	16.4	15.2	15.0	15.3	16.6	15.4	15.3	15.6	16.5
	9.16	12.7	13.0	13.5	12.8	12.3	12.8	13.5	12.4	12.2	12.4	14.0	12.3
	9.23～25	112.1	111.6	116.4	111.8	111.1	110.8	115.8	113.4	113.0	112.6	117.0	113.3
	9.29～30	12.9	12.3	13.3	12.5	12.6	12.2	13.4	12.5	12.5	12.3	13.1	12.5
	10. 1～ 2	41.0	39.9	41.1	40.9	40.6	39.9	40.8	40.7	41.3	40.5	42.1	40.5
	10. 9	17.2	17.1	17.5	18.1	17.3	17.2	16.6	17.9	17.3	17.1	16.9	17.8
	10.29～30	24.3	23.8	27.4	25.6	23.9	23.8	27.3	24.9	24.2	25.2	27.5	25.3
29.	5. 7	24.0	23.7	23.1		23.5	23.0	23.1		23.4	23.0	22.1	
	5.15	7.5	7.8	6.0	12.1	6.5	6.8	6.1	11.7	6.7	7.0	6.6	11.5
	5.21～22	58.3	60.6	57.6	74.1	58.2	58.6	57.7	73.0	59.9	60.7	57.8	72.8
	6. 2～ 3	17.8	19.8	16.3	30.5	17.2	18.6	16.1	27.0	17.9	19.8	16.0	26.8
	6. 6～ 7	46.7	46.8	45.8	49.6	46.6	46.2	46.3	49.2	47.6	46.9	45.8	49.3
	6. 9～11	22.2	24.8	25.7	26.0	22.8	24.5	25.3	25.5	23.9	26.3	25.3	25.5
	6.14～15	19.3	22.3	20.7	36.6	19.2	21.3	20.3	33.7	20.8	23.6	20.4	33.5
	6.19～20	38.2	39.9	41.2	37.3	38.3	39.3	41.5	38.4	38.4	42.1	41.1	38.8
	6.22～24	56.6	57.5	60.3	55.9	56.7	57.0	61.1	57.0	57.5	60.4	59.5	57.5
	6.25～26	25.8	26.9	28.4	25.6	25.6	25.9	28.8	28.5	26.2	27.6	28.4	28.3
	6.30	15.7	15.3	15.4	13.4	15.7	15.4	15.2	12.9	15.9	15.3	16.1	13.0
	7. 4～ 7	45.3	44.5	45.9	48.6	44.1	43.9	45.8	46.5	46.0	45.9	45.5	46.5
	7.11～12	15.2	16.0	15.4	18.9	15.0	14.5	15.3	18.3	15.8	15.8	16.4	18.3
	7.14～15	15.4	17.6	20.3	18.5	15.5	16.9	20.1	17.9	16.3	18.5	20.4	17.8
	7.27	21.6	23.0	23.0	24.3	20.6	22.1	23.0	23.0	21.9	24.4	22.4	23.0
	8.18～19	22.3	22.5	23.2	33.7	22.1	21.6	22.1	31.3	22.4	21.2	25.3	30.3
	8.24～25	32.0	30.3	37.4	36.4	31.4	28.3	36.0	36.3	33.2	30.9	38.9	35.8
	8.30～9.3	52.5	52.5	54.8	54.3	51.8	51.4	54.4	53.8	53.1	52.9	55.5	53.5
	9.17～18	123.2	123.0	130.5	133.5	122.9	120.9	130.5	131.6	125.0	126.3	130.0	131.8
	9.27～29	32.1	32.1	33.3	34.0	32.2	32.0	33.4	34.0	32.6	32.9	33.6	34.0
	10.17～18	18.0	17.8	19.0	14.9	18.0	18.2	18.0	19.9	18.3	17.7	19.9	19.8
	10.20～21	22.9	22.7	22.3	24.6	22.9	22.8	22.0	20.3	23.1	22.4	22.4	20.3
30.	5.12	14.4	15.4	17.3	17.6	14.3	14.9	16.7	16.8	14.4	15.3	17.3	16.5
	5.18	30.8	31.4	31.2	29.0	30.4	30.8	30.7	28.9	31.4	32.5	31.0	29.0
	5.21～23	11.9	11.1	14.0	9.5	12.0	11.4	13.7	9.8	12.6	11.6	14.1	9.8
	5.24～25	24.7	24.3	23.6	24.4	24.3	23.9	23.8	24.2	24.6	24.3	23.6	24.3
	5.28～29	17.4	17.8	17.9	18.5	17.2	17.0	17.2	18.2	17.3	18.6	18.1	18.3
	6. 7～ 8	20.0	21.1	21.1	15.8	19.9	20.3	20.8	16.1	20.1	20.1	20.3	16.3
	6.29～30	15.4	16.4	15.2	17.2	15.3	16.2	15.2	17.4	15.2	16.4	14.8	17.5
	7. 7	20.7	21.5	23.2	29.7	20.4	20.6	22.3	29.5	21.1	22.0	22.8	29.5
	7.19	32.7	33.7	33.4	26.7	32.5	33.7	33.7	28.3	33.0	35.8	33.8	28.8
	7.22～24	23.6	23.8	24.1	33.2	22.5	22.9	23.4	30.8	22.6	23.0	26.5	30.0
	7.27～28	47.7	49.1	47.9	40.9	47.0	50.0	47.7	40.0	46.7	45.9	47.1	40.0
	8. 3	24.8	24.7	38.4	24.3	24.2	23.6	38.5	22.7	26.6	29.6	38.5	22.8
	8. 7～ 9	54.3	53.0	49.2	57.7	53.4	53.0	48.1	59.8	54.3	53.7	48.8	59.5
	8.25～28	52.2	56.0	53.6	79.0	51.7	53.5	52.6	76.5	54.6	59.8	51.8	77.0
	8.30～31	27.0	27.6	26.1	40.6	26.0	26.3	25.4	36.6	26.5	27.2	24.4	36.3
	9. 1～ 3	32.8	32.4	35.5	36.5	32.6	31.9	35.6	37.3	33.8	34.3	35.0	37.5
	9. 9	15.5	15.5	15.9	15.1	15.1	15.2	15.3	15.1	15.3	15.6	15.5	15.0

表-4　つづき

年月 ＼ 平均雨量計算法 ＼ 雨量観測所数	等雨量線法 31	16	8	4	テーセン法 31	16	8	4	算術平均法 31	16	8	4
9.14～15	43.6	44.5	46.2	40.9	43.2	43.7	45.1	47.6	43.8	43.4	46.5	47.0
9.27～30	88.5	90.2	92.3	90.9	88.3	89.8	92.1	90.7	89.1	90.1	92.8	90.3
10. 1～ 4	33.6	35.2	37.0	35.9	33.5	33.8	36.3	35.8	33.8	36.4	36.8	36.3
10. 5～ 6	15.9	16.5	18.8	15.9	15.5	15.5	18.7	15.5	16.3	17.1	19.1	15.5
10.10～11	99.6	103.8	98.3	107.7	99.3	101.9	98.7	105.2	99.7	104.7	97.9	105.3
10.18～20	25.6	26.4	27.9	22.7	25.5	26.2	27.0	24.1	25.5	25.9	27.5	24.0
10.25～26	39.9	40.6	40.8	40.9	40.2	40.6	40.7	40.3	40.1	40.9	40.4	40.3
10.28～29	22.0	22.3	23.1	22.4	21.8	21.9	22.7	21.8	21.7	22.4	23.0	21.8
31. 5.14	20.0	19.1	18.8	20.3	20.2	18.2	18.6	20.2	21.5	18.4	18.6	20.0
5.15～16	42.0	40.8	37.5	34.8	41.3	41.5	40.7	36.2	40.7	40.8	40.0	36.5
5.18～19	20.5	19.6	23.8	20.6	21.1	19.9	21.8	20.3	21.6	20.3	22.1	20.3
5.23～24	29.6	28.5	32.5	27.5	30.4	29.0	32.7	26.5	31.8	29.5	32.3	26.5
6. 7～ 8	35.7	35.6	36.1	35.3	35.5	35.5	36.5	35.2	36.0	35.2	36.5	35.0
6.12	15.8	15.8	16.9	15.6	16.0	16.0	17.0	15.7	16.3	16.8	17.0	15.8
6.23	19.7	19.8	21.0	19.4	19.7	19.6	20.9	18.6	20.2	19.3	20.9	18.5
6.29～30	21.1	22.1	21.6	22.2	20.8	21.2	21.2	22.4	21.2	21.5	21.9	22.3
7. 1	53.2	55.7	53.0	59.3	53.1	53.7	52.3	58.2	53.6	54.5	53.9	57.8
7. 5～ 6	24.6	25.3	24.4	20.8	24.6	24.6	24.5	20.8	24.7	26.2	24.5	21.0
7. 6～ 7	26.0	26.6	30.2	26.7	25.9	26.5	30.1	26.4	26.1	26.6	29.8	26.3
7.22	21.7	22.2	25.2	23.9	21.0	21.9	25.0	26.0	20.3	23.2	24.6	26.5
8.22	41.5	42.1	41.9	38.6	41.3	42.1	41.8	38.7	41.7	42.6	41.8	38.8
8.28～29	56.7	58.4	60.4	64.0	56.6	57.4	60.1	63.9	57.4	58.6	61.1	63.3
8.30～31	25.2	24.9	27.3	26.5	25.2	24.8	27.4	26.8	25.9	25.3	27.3	26.8
9.13～14	38.3	37.6	37.0	39.6	38.4	37.9	38.0	39.9	39.2	37.9	38.1	39.8
9.16～17	29.1	29.8	32.1	29.0	29.4	29.8	31.4	29.3	29.4	30.5	31.6	29.3
9.26～27	105.3	108.7	109.2	113.5	105.9	109.1	109.9	112.5	105.9	109.3	110.3	112.3
9.29	14.0	15.3	15.7	14.2	13.9	14.5	15.4	14.4	14.3	15.8	15.5	14.5
10. 1～ 2	43.6	47.1	47.6	41.4	43.2	44.7	47.5	43.1	44.4	50.3	47.3	43.8
10. 9	13.8	13.9	14.0	13.6	13.9	14.0	14.5	13.4	13.9	14.3	14.3	13.5
10.13	21.9	22.7	22.7	22.0	21.8	22.4	23.1	22.5	21.9	22.7	23.3	22.5
10.29～31	63.2	65.2	64.6	66.2	62.5	62.7	63.9	66.3	63.5	66.1	65.4	66.8
11. 6	17.7	17.6	18.5	17.5	17.5	17.6	18.6	17.5	17.7	17.6	18.8	17.5

表-5　誤差と雨量観測所密度との関係

絶対誤差 (mm)

計算方法 ＼ 観測所数	m 31	16	8	4	σ 31	16	8	4
等雨量線法	0.00	0.42	1.49	2.10	0.00	1.29	2.67	5.12
テーセン法	−0.12	−0.05	1.35	2.13	0.52	1.17	2.57	4.26
算術平均法	0.32	0.82	1.44	1.86	0.73	2.18	2.66	4.50

相対誤差 (%)

計算方法 ＼ 観測所数	m 31	16	8	4	σ 31	16	8	4
等雨量線法	100.00	101.08	104.71	107.03	0.00	4.38	9.20	18.82
テーセン法	99.13	99.14	104.10	105.60	2.02	3.89	8.86	16.22
算術平均法	100.98	102.16	104.90	105.47	2.87	6.29	9.13	15.70

$$\delta_1=2.20$$

となる。これで第1近似が求まったことになる。

16，8，4観測所に対する標準偏差の第2近似をそれぞれσ_{16}'，σ_8'，σ_4'と置くと，これとδ_1との間には次のような関係がある。*

$$\sigma_{16}'=\sqrt{\delta_1^2+\sigma_{16}^2}$$

$$\sigma_8'=\sqrt{\delta_1^2+\sigma_8^2}$$

$$\sigma_4'=\sqrt{\delta_1^2+\sigma_4^2}$$

ここに

σ_{16}: 16個の場合流域平均雨量の真値に対する相対誤差の標準偏差

σ_8: 8　〃

σ_4: 4　〃

計算より求められたσ_{16}'，σ_8'，σ_4'と観測所数との関係を図-10(2)のようにプロットすると，前と同様直線的関係が得られるので，図上でn=31に対する標準偏差δ_2を読取ると

$$\delta_2=2.55$$

となる。第3近似σ_{16}''，σ_8''，σ_4''を上式と同様な計算から求め，これと観測所数との関係を図-10(3)のようにプロットし，この直線的関係よりn=31に対する標準偏差δ_3を読取ると

$$\delta_3=2.65$$

となる。

$$\delta_3\fallingdotseq\delta_2$$

であるから第3近似で計算を打止めることにした。31個から計算した真値には2.65の標準偏差が含まれることが

* 誤差の合成あるいは伝播といわれる関係式であって，誤差が正規分布をしておればその加法性が証明できる。佐藤良一郎　数理統計学概説

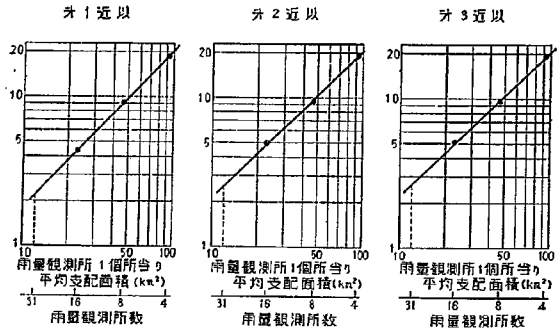


図-10　標準偏差と雨量観測所密度との関係

明らかになった。なお図-10にプロットした値は表-6に示してある。

表-6　標準偏差の第1，2，3近似

雨量観測所数	第1近似	第2近似	第3近似
31	2.20	2.55	2.65
16	4.38	4.90	5.07
8	9.20	9.46	9.55
4	18.82	18.95	18.99

4.　流域平均雨量と点雨量との関係

流域全体の平均雨量を1個所の雨量で代表させた場合，実際の流域平均雨量とその点雨量との間にどれほどの誤差があるかということが問題になる場合が多い。たとえば洪水予報のような計算作業に時間的な余裕の無い場合には流域内の代表雨量観測所の観測値をそのまま，代表値として用いるが，これにはいくばくかの誤差を予め見込んでおくことが必要になる。この場合点雨量の代表性はその代表する面積が大きくなるほど悪くなると考えられるので，誤差と代表面積との関係を調べてみることにする。この場合そのばらつきの大きさがどうなるかということと同時に，場所的にそのばらつきの少ないのは流域のどの地域にあたるかについても考察を加えることにした。

図-11に示すように流域を上流からⅠ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ，Ⅴの境界線で分割し，流域の最も奥からそれぞれの境界までの地域を地域Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ，Ⅴとよぶことにした。各地域の面積とその地域内の観測所数とは表-7に示す通りである。

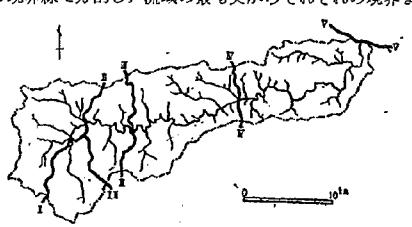


図-11　地　域　番　号

(1)　地域基準流域平均雨量

ここでは地域Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳ，Ⅴをそれぞれ独立した地域として取扱っているのであるから，3(1)で求めた真値と同じ計算法によって地域Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳに対して地域別の真値を求める。この場合作業は31観測所に対して作った等雨量線図をⅠ，Ⅱ，Ⅲ，Ⅳのように区切り各地域毎に流域平均雨量を計算する。これは102個の観測値のすべてについて行なうものである。

(2)　代表雨量観測所の選定

3(4)で説明した相対誤差を各地域について求め，その平均値$\bar{m}$および標準偏差σを計算したものを表-8に示す。平均値は100%を中心としてそれよりのばらつきを±で示してある。

表-7　地　域　面　積

地域番号	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
流域面積	40.2	112.7	157.0	268.3	373.6
雨量観測所数	4	10	12	24	31

これらの値を各地域毎にプロットし，等平均値線を描くと図-12(1)，(2)，(3)，(4)，(5)となり，等標準偏差線を描くと図-13(1)，(2)，(3)，(4)，(5)のようになる。

図-12(1)，(2)，(3)，(4)，(5)においては，等平均値線のうち0，±5%の線のみ記入してある。図中に点線で示してあるのは流域の平均高度線であるが，等平均値線の0および±5%線は平均高度線の近くを通るものであることに気がつく。図-13(1)，(2)，(3)，(4)，(5)において◉印は各地域の重心の位置を示している。図中の等標準偏差線のうち小さい値を示す地域に重心は常に在ることがわかる。

以上の結果より年間あるいは季節のように長い期間の雨量を求める場合には，流域の平均高度に近い所を代表観測所に選ぶとよいことがわかり，また一雨一雨の雨量の精度をよく求めようとするには，重心附近を選ぶことが望ましいことがわかった。したがって流域の雨量を一個所で代表させようという場合にはなるべく重心に近く，かつ平均高度に近い地点を選ぶとよいことになる。

(3)　地域代表雨量観測所の代表雨量の精度

各地域に代表雨量観測所を設けた場合その代表雨量の精度が地域の面積の大きさによってどう変わるものであるかを調べよう。図-13(1)，(2)，(3)，(4)，(5)において重心よりの距離が最も近い観測所を選び，その観測所における標準偏差を表-8(2)より選び出すと表-9に示すよう

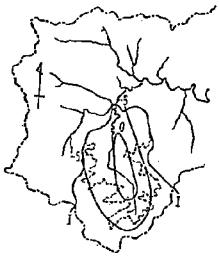


図-12 (1) 一雨雨量と真値との絶体誤差の標準偏差，地域Ⅰ

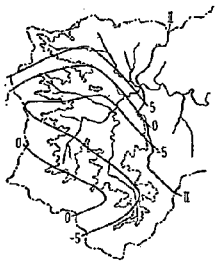


図-12 (2) 一雨雨量と真値との絶対誤差の標準偏差，地域Ⅱ

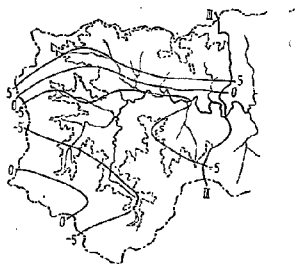


図-12 (3) 一雨雨量と真値との絶対誤差の標準偏差，地域Ⅲ

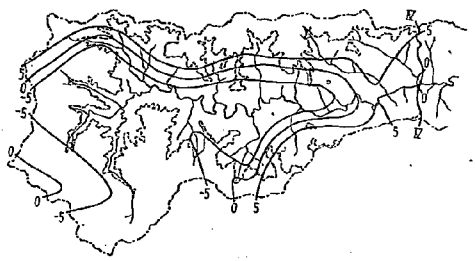


図-12 (4) 一雨雨量と真値との絶対誤差の標準偏差，地域Ⅳ

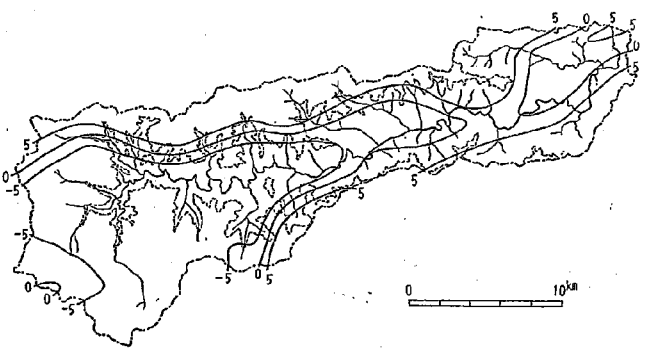


図-12 (5) 一雨雨量と真値との絶対誤差の標準偏差，地域Ⅴ

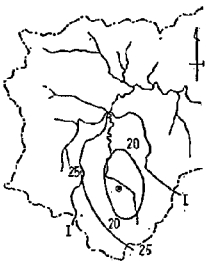


図-13 (1)　一雨雨量と真値との相対誤差の標準偏差，地域Ⅰ

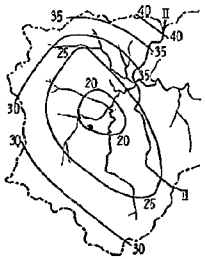


図-13 (2)　一雨雨量と真値との相対誤差の標準偏差，地域Ⅱ

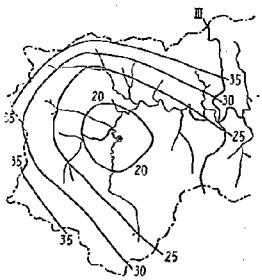


図-13 (3)　一雨雨量と真値との相対誤差の標準偏差，地域Ⅲ

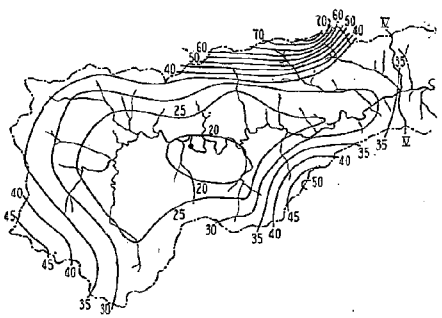


図-13 (4)　一雨雨量と真値との相対誤差の標準偏差，地域Ⅳ

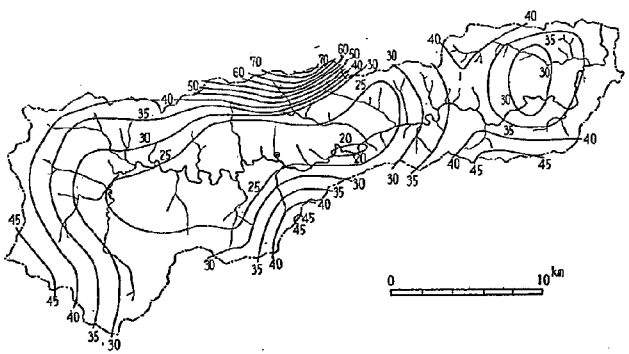


図-13 (5)　一雨雨量と真値との相対誤差の標準偏差，地域Ⅴ

表-8 (1) 平均値

地域番号 / 雨量観測所番号	I	II	III	IV	V
31	−8.74	−12.68	−13.69	−17.63	−19.29
32	−7.38	−11.93	−13.02	−15.99	−17.28
1	1.67	− 3.33	− 4.31	− 7.45	− 9.02
33		4.90	3.80	1.80	0.50
34		− 5.20	− 7.63	− 8.07	− 9.75
13		− 7.13	− 8.09	−10.21	−11.60
2	−0.64	− 7.57	− 8.81	−11.34	−11.83
35		16.27	14.22	11.27	9.02
36		32.37	29.24	24.29	21.36
14		2.10	0.80	− 5.90	− 3.70
3			− 4.90	− 9.71	−11.37
15			0.10	− 4.17	− 5.83
37				3.60	− 0.48
4				− 9.51	−10.98
38				29.74	25.84
5				1.37	− 1.37
39				26.37	21.96
6				−11.24	−14.11
40				5.54	1.29
7				4.80	− 0.10
41				39.15	35.00
8				11.08	6.18
16				5.10	0.57
9				− 1.47	− 5.78
42					12.22
10					− 2.45
43					15.10
44					19.38
45					12.92
11					− 5.00
12					− 6.96

表-8 (2) 標準偏差

地域番号 / 雨量観測所番号	I	II	III	IV	V
31	28.01	32.63	31.15	27.61	28.93
32	20.69	22.97	21.96	24.23	25.61
1	15.82	23.97	23.05	25.11	28.64
33		32.71	36.52	45.75	49.26
34		27.53	29.61	35.32	41.49
13		19.50	20.48	24.09	27.92
2	23.13	18.20	17.28	21.57	25.34
35		34.03	35.87	39.05	45.19
36		40.73	37.67	37.48	38.37
14		24.59	23.57	26.71	31.77
3			23.86	20.33	22.73
15			22.99	19.72	21.99
37				33.32	32.36
4				19.83	21.21
38				62.38	54.73
5				23.07	20.72
39				50.86	46.22
6				23.95	22.54
40				33.50	28.74
7				26.48	19.18
41				79.32	78.53
8				35.69	28.68
16				31.71	24.37
9				35.87	24.52
42					47.25
10					26.95
43					38.54
44					39.81
45					42.62
11					27.50
12					36.30

な値が得られ，これを図示すると 図-14 のようになる。これに対して表-8 (2) より地域内の観測所の中から標準偏差の最小の地点を選ぶと 表-10 に示すような値が得られる。

以上の結果より流域の代表雨量観測所は都合よく選んだとすると，この程度の流域面積で相対誤差の標準偏差を20%程度に考えることが必要である。

5. 降雨分布型と降雨原因型との関係

各一雨について描いた等雨量線図を並べて眺めてみると，大まかに見て良く似たものがかなりあるように思われ，これ等は幾つかの降雨分布型に分類できそうである。4までは降雨分布や降雨原因を分類しないで102個の観

表-9 重心に最も近い観測所の標準偏差

地域名	I	II	III	IV	V
観測所番号	1	13	2	3	6
標準偏差(%)	15.8	19.5	17.3	20.3	22.5

表-10 標準偏差の最少

地域名	I	II	III	IV	V
観測所番号	1	2	2	15	7
標準偏差(%)	15.8	18.2	17.3	19.7	19.2

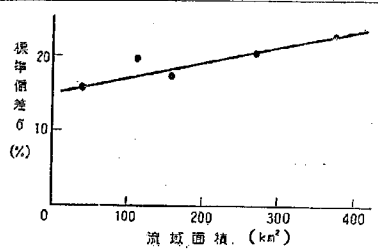


図-14 相対誤差の標準偏差 σ (%) と流域面積との関係

測値を1本にして各雨量観測所の雨量の偏差の模様をみて来たが，もし降雨分布或は降雨原因について型というようなものがみつかり，それぞれの型について偏差を議論すれば全体についてよりその幅は狭ばまるのではないかと考えられる。そこでまず降雨分布型による分類を試みた。しかしこの型は降雨が終って後に初めてわかるものであるから流量を予報するというような問題には利用できない。そこで降雨原因型の分類をも併せ考えることにした。この場合降雨原因による分類は気象庁より発行されている速報天気図をもとにして常識的な分け方をしたが，原因不明のものや種々の原因の重なったと思われるようなものもかなりあった。

(1) 降雨分布型の分類

102個の降雨分布図を眺め，これより図-15，表-11に

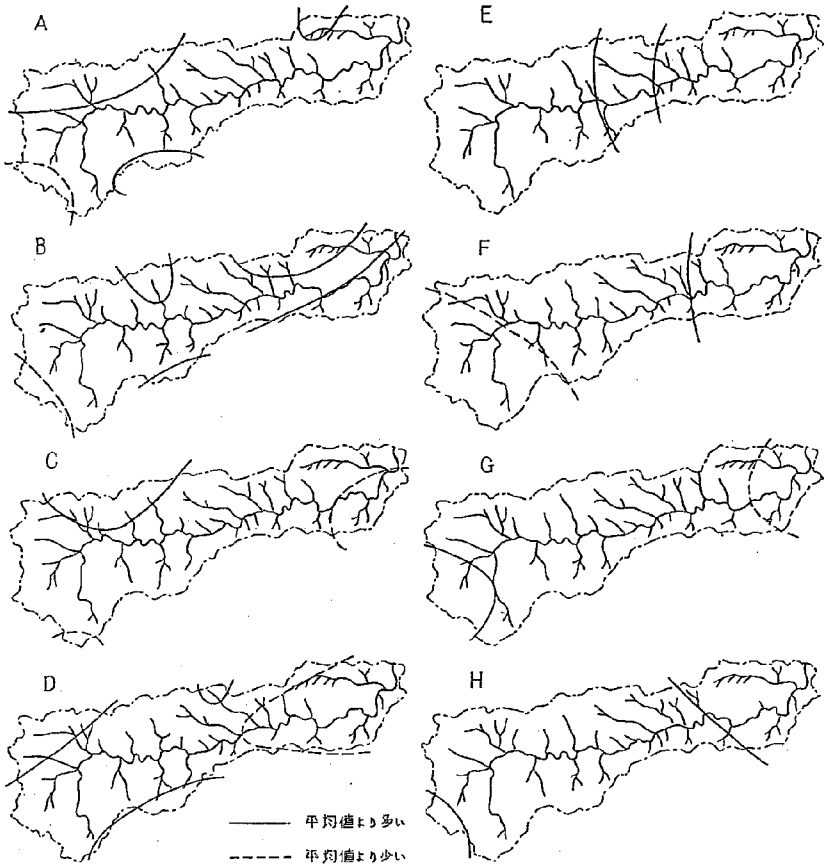


図-15　降雨分布型

示すような特徴を持つA，B，C，D，E，F，G，H，Iの9種類の分類を行なった。ただし，Iはいずれにも属さないと思われるものを一緒めにしたものである。表-12には各種類に属する資料数を示してある。

以上の8種類は視察によるものであるから多少の個人差は避けられない。なるべく個人差の少ない機械的な分類法を得るための一つの方法としてそれぞれの特徴を何か量的な意味を持つインデックスを次に提案した。

図-16に示すように流域をそれぞれ東西および南北方向の3つの帯状に分ける。各帯状に含まれる観測所番号は表-13に示す通りであって，それぞれ10観測所を含んでいる。これら10観測所の観測値の算術平均を以て各帯状のインデックスa，b，c，d，e，fとする。

次に組合せインデックスとしてa/b, c/b, ac/b², d/f, df/e² を計算しその大きさを1.0を境として分類すると資料数は表-14に示すようになる。この結果を特徴づけるために ≥1.0 を＋，1.0> を－で示すと前表は表-15の

表-11　降雨分布型の特徴

型式	代表年月日	特徴
A	昭27. 5.27—28	南北の山地に多く，南西部のみやや少い
B	29. 6.22—24	西部を除いた南北山地が多く，南西部に少い
C	29. 5.21—22	北西部の山地のみ多く，東部又は南西部が少い
D	30. 5.21—23	北西部および南西部が多く，東部が少い
E	30. 6. 7— 8	中部に帯状の多雨地帯がある
F	31.10.29—31	東部に多く，西部に少い
G	30. 7.22—24	西部に多く，東部に少い
H	30. 5.28—29	東部および西部に多く，中部に少い

表-12　降雨分布型別資料数

降雨分布型	A	B	C	D	E	F	G	H	I	計
資料数	14	9	10	10	9	12	7	3	28	102

ようになる。ただし＋，－共に極端でないものには（ ）をつけた。この表に用いた組合せインデックスの数がこれでは充分ではないので各降雨分布型をこれらインデックスの＋，－だけであらゆる場合を表わし尽すことはできていないが，かような表示方法を展開していけば将来大いに役に立つことと思い，ここに参考のため記すことにした。

(2) 降雨原因型の分類

日本列島における神流川流域の位置は図-17に示すように関東地方の北部である。速報天気図を用い各降雨前後の低気圧および前線に注目して102の降雨原因を表-16に示すような特徴によって6つの型に分類した。各分類に属する資料数は表-17に示す通りである。ただしNo. 6は何れにも属さないと思われるものを一纏めにしたものである。それぞれの型の代表的な天気図を示すと図-18のようになる。

(3) 降雨分布型と降雨原因型との関係

102の観測資料について，降雨分布型

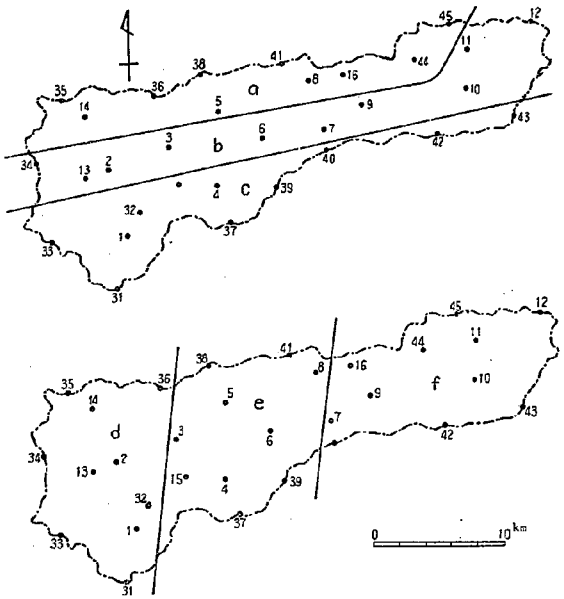


図-16 帯 状 分 割

表-13 帯状別観測所番号

帯状 方向	名称	観測所番号									
東西	a	35	14	36	38	5	41	8	16	44	45
	b	34	13	2	3	6	7	9	10	11	12
	c	33	31	32	1	37	4	39	40	42	43
南北	d	31	32	1	33	34	13	2	35	14	36
	e	3	15	37	4	38	5	39	6	41	8
	f	7	16	9	42	10	43	44	45	11	12

A，B，C，D，E，F，G，Hに属するものと，降雨原因型 No.1，No.2，No.3，No.4，No.5 に属するものとの資料数を調べると表-18に示すような結果が得られる。この表を見ると降雨分布ではDとEとの間に，降雨原因型では No. 2 と No. 3 との間でそれぞれ明瞭な境界線が引けることがわかる。すなわち主たる降雨原因が低気圧と考えられる No. 1，No. 2 の場合の降雨分布は大体A，B，C，D型の分布と，降雨原因が主として

表-14 インデックス

	a/b			c/b			ac/b²			d/f			df/e²		
	≧1.0	1.0>	計	≧1.0	1.0>	計	≧1.0	1.0>	計	≧1.0	1.0>	計	≧1.0	1.0>	計
A	14	0	14	11	3	14	14	0	14	7	7	14	3	11	14
B	9	0	9	7	2	9	9	0	9	0	9	9	2	7	9
C	10	0	10	5	5	10	10	0	10	7	3	10	2	8	10
D	10	0	10	10	0	10	10	0	10	10	0	10	1	9	10
E	10	0	10	8	2	10	10	0	10	4	6	10	0	10	10
F	12	0	12	7	5	12	10	2	12	0	12	12	6	6	12
G	4	3	7	6	1	7	6	1	7	7	0	7	3	4	7
H	2	1	3	2	1	3	2	1	3	1	2	3	3	0	3
I			28			28			28			28			28

表-15 インデックス

	a/b	c/b	ac/b²	d/f	df/e²		a/b	c/b	ac/b²	d/f	df/e²
A	＋	(＋)	＋		(＋)	E	＋	(＋)	＋		
B	＋	(＋)	＋	－	(－)	F	＋		(＋)	－	－
C	＋		＋	(＋)	(－)	G		(＋)	(＋)	＋	
D	＋	＋	＋	＋	－	H					

表-16 降雨原因型の特徴

降雨原因	特徴
No. 1	南岸に前線があって，低気圧が東進する
No. 2	低気圧が関東地方を東進する
No. 3	低気圧は日本海を東進し，これより南北に走る前線がのびている
No. 4	前線が北上する（台風の影響による降雨を含む）
No. 5	前線が南下する
No. 6	その他

表-17 降雨原因型別資料数

降雨原因型	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	計
資料数	46	5	15	16	11	9	102

表-18 降雨分布型と降雨原因型との相関

降雨分布型＼降雨原因型	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	計
A	12	1				1	14
B	8	1					9
C	6	1				3	10
D	7	1	1		1		10
E	2			5	2		9
F	2		3	3	1	3	12
G			2	2	3		7
H			3				3
I	9	1	6	6	4	2	28
計	46	5	15	16	11	9	102

前線の移動によると考えられるNo. 3，No. 4，No. 5の場合の降雨分布はE，F，G，H型の分布と密接に関係していることがわかった。

4の図-13 (5)では全資料102について流域の観測所の相対誤差の標準偏差を求めたが，ここでは降雨分布の型を大きく2種類に分けたそれぞれについて計算してみた。降雨分布型A，B，C，Dに属する43降雨と，降雨原因E，F，G，Hに属する31降雨についてそれぞれ相対誤差の標準偏差を求めると図-19 (1)，(2)が得られる。図-19 (1)の方は図-13 (5)と殆んど変化は見受けられないが，図-19 (2)では縦割りの傾向がかなりはっきり認められる。

6. 結　語

この研究は流出現象に関心を持つ者の立場から山地流域の降雨分布を論じたものであって，特に神流川流域において次の諸点を明らかにした。

(1) 雨量観測所を流域内にほぼ一様に配置しその支配面積をほぼ同じ程度になるようにした場合，誤差の標準偏差を10%にしたいのならば 50km² に1個所位の割合または流域に8個所位の雨量観測所が必要である。また流域 100km² に1個所位である場合（流域に4個所位）には標準偏差は15～20%となる。（図-9）

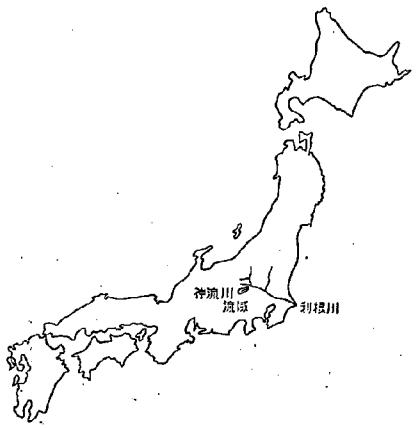


図-17 神流川流域の位置

(2) 流域平均雨量の計算方法として等雨量線法，テーセン法，算術平均法を比べた場合，雨量観測所の数が多くなれば前2者の差は僅かとなる。この場合には計算手

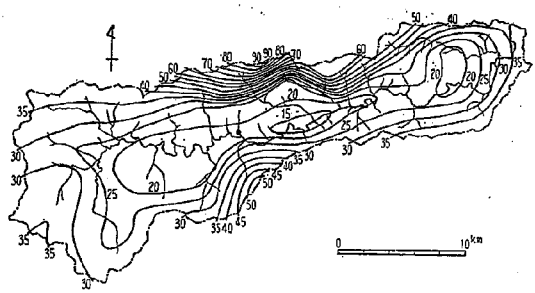


図-19 (1) 一雨雨量と真値との相対誤差の標準偏差
（降雨原因型ABCD）

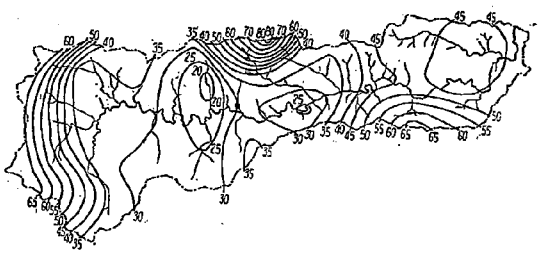


図-19 (2) 一雨雨量と真値との相対誤差の標準偏差
（降雨原因型EFGH）

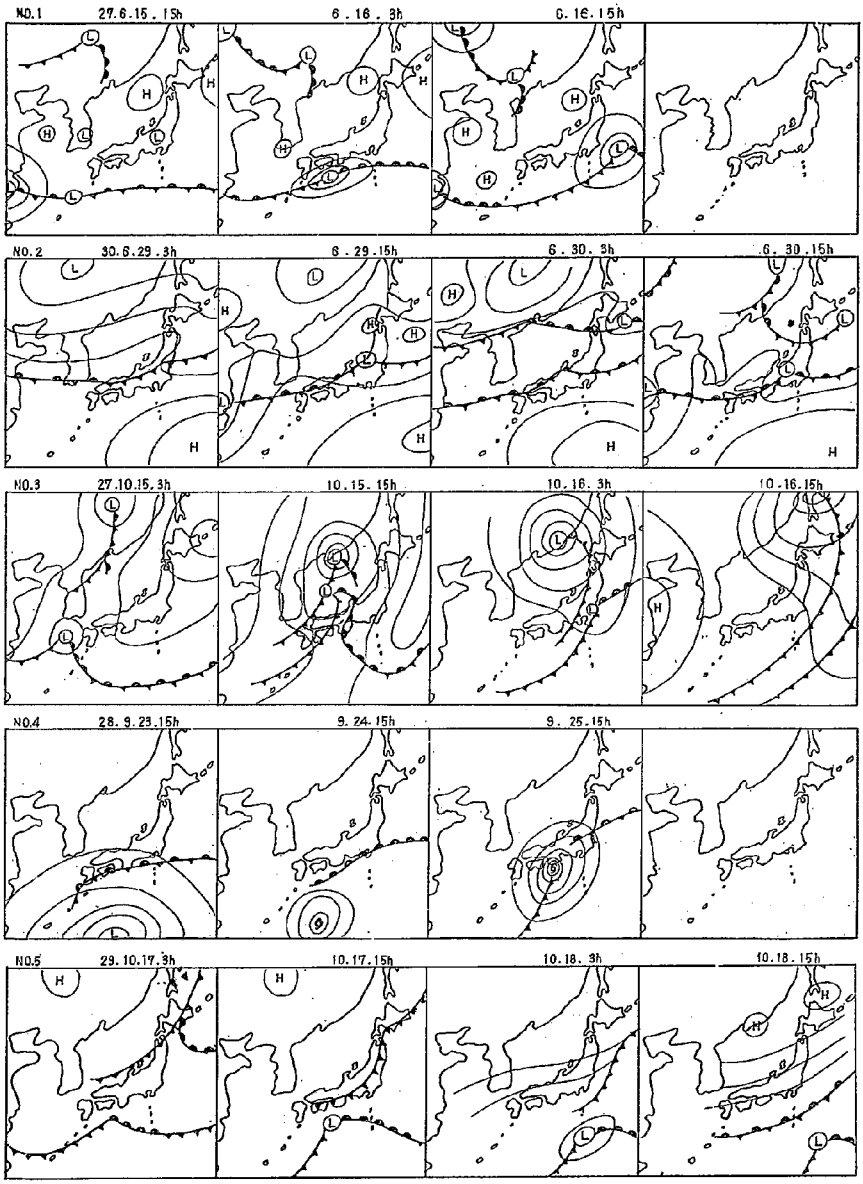


図-18 降雨原因型

間の少ないテーセン法で充分目的は達す。観測所の数が少なくなると等雨量線法を用いること自体が無理である。(図-9)

(3) 流域の平均雨量を1つの雨量観測所の観測値で代表させようという場合には，流域の重心近くでしかも流域の平均高度附近にその位置を選ぶことが望ましい。図-12 (1), (2), (3), (4), (5), 図-13 (1), (2), (3), (4), (5)

(4) 流域面積 40～370km² を重心附近の1つの雨量観

測所で代表させようとすれば，相対誤差としては15～20%の標準偏差が期待される。

(5) 降雨原因型と降雨分布型との間には相関があることが明らかにされ，この程度の資料では2種類に分けられることがわかった。

附　記

本研究は神流川観測所の観測資料を基にして論じたものであるが，その資料は長期間にわたり流域各地で観測に従事して来た観測員の努力の結晶であることを思い起し茲に記して感謝の意を表するものである。資料の整理は水文研究室の全員がこれに当った。

狩野川洪水の検討

——異常洪水に如何に対処するか——

木村俊晃*

（昭和34年1月）

要旨

この報告は，昭和33年9月26日の狩野川台風による異常な局地豪雨のために狩野川流域に起った洪水の実状について述べ，このような大洪水が従来わが国の高水計画において如何に取り扱われてきたかを検討し，わが国の山地流域における洪水の発生頻度の特殊性を指摘して，計画を超過する洪水群に対する対策の必要を強調し，そのための具体的方法について述べたものである。

目次

1. まえがき……(2)
2. 狩野川の概要……(2)
3. 狩野川台風の出水……(5)
(1)洪水の規模……(5)
(2)被害の特徴……(8)
4. 計画高水流量……(10)
(1)従来の考え方……(10)
(2)筆者の考察……(13)
5. 狩野川洪水の教訓……(15)
(1) 一般的なこと……(15)
a．超過確率の真の意味の理解……(15)
b．人命対策と施設対策の分離……(15)
c．地学の河川計画への導入……(15)
d．日本古来の河川改修工法の再評価(16)
(2)改修工事の確率的安全度の評価……(16)
a．余裕高の検討……(16)
b．流過可能洪水群の評価……(16)
c．流過可能洪水群の超過確率の算定(16)
(3)起りうる最大洪水の推定……(16)
a．既往資料による方法……(16)
b．可能最大降雨による方法……(16)
c．地形学的方法……(16)
d．歴史的方法……(16)
(4)超過洪水時における現象の予測……(17)
a．洪水の現地調査……(17)
b．地形学的方法……(17)
c．模型実験……(17)
(5)土地の洪水に対する安全度の評価……(17)
a．施設の規制……(17)
b．地元民への広報……(17)
(6)洪水予報の研究と施設の強化……(17)
(7)超過洪水対策の根本的研究……(18)
a．改修方針……(18)
b．堤防法線……(18)
c．構造物……(18)
d．特殊施設……(18)
e．溢流堤……(19)
6. あとがき……(19)
文献

序

筆者が，その地に数年をすごし，おおいに愛着を感じていた伊豆・狩野川の大災害に感動して，浅学をかえりみず，この一文の筆をとってから，すでに一年余を経過した。その間，昨昭和34年9月には，伊勢湾台風による大被害が発生し，筆者がここでのべたことのいくつかは，いろいろな立場の人々によって，新聞その他に公表され，かならずしも目新らしくはなくなった。もともと，筆者がここで主張しようとしたことの大部分は河川技術者によって早くから考えられていたことであると思われるが，それぞれの立場は自由にその考えを公表することを許さない。しかし，伊勢湾台風以後，大災害に対する社会一般の関心は非常に高まり，われわれ河川技術者の責任はいよいよ重くなってきており，新らしい河川災害対策の体系に対する要求はいよいよ高まってきているように感ぜられる。

横田周平所長のおすすめもあり，ここに，筆者の比較的自由な現在の立場を利して，この粗雑な一文を発表することとしたが，もとより考え違いなども多いであろう。多くの御批判をえて，これがこの問題に対する討論の一資料ともなり，今後の河川技術の発展に多少なりとも役立つところがあれば，筆者のこの上ない幸とするところである。

なお，余裕高については，河川局・治水課・岡崎技官からつぎのような点を考慮する必要を指摘された。ここに記して謝意を表するとともに，これらの点については今後十分な討論を期待したい。

1. 水位の上昇時間など水防上の観点からの余裕
2. 圧密沈下以外に，水位に耐えるために構造上必要な余裕
3. 堤外の流路が不安定で高水位が定めにくいような乱流河川における余裕

（昭和35年5月）

*河川部　水文研究室長　　建設技官

1. まえがき

昨昭和33年9月26日夜，台風22号*によって，伊豆・狩野川に発生した洪水はまったく異常なものであり，このため，その沿岸に甚大な被害を及ぼしたことは，すでに新聞・ラジオその他の報じたところである。

筆者は，先年，中部地建・沼津工事々務所在勤中に，現在工事中の狩野川放水路の流量決定に関連して，狩野川全川の計画高水流量再検討のための調査に従事し，また，その後数年にわたって，今度の出水でも湛水した田方平野の内水調査を行なったものであるが，今回も，幸い出水後に現地を踏査する機会をえたので，その際感じたことを整理しておくことは，河川技術者としての義務と考え，ここに一応まとめたものである。

いまだ，突っこみが足りず，また，多くの独断もあるであろうが，大方の御批判を切にお願いするものである。

2. 狩野川の概要

狩野川はその全域が火山地帯である。すなわち，もっとも古く第三紀に形成され後に沈降した静浦山地，同じく第三紀に噴出した猪越山，第三紀鮮新世から第四紀洪積期初期にかけて噴出した宇佐美火山，同じく洪積期の初期とみられる達磨山，もっとも新らしく第四紀洪積期から沖積期（現世）にかけて噴出した箱根山・愛鷹山・富士山・天城山などからなり，その地質はほとんど火山岩および火成砕屑岩からなっている。とくに，もっとも新らしい富士山と天城山は厚い火山灰と軽石におおわれている。

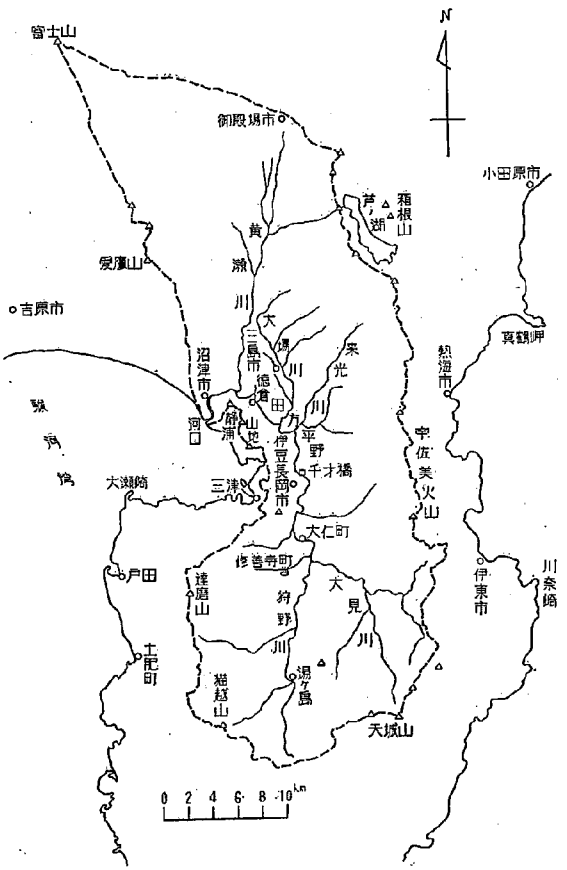
表—1　新世代の区分

新世代（約六千万年）	第四紀（約100万年）	沖積期（現世） 洪積期（更新世）
	第三紀（約6,000万年）	鮮新世 中新世 漸新世 始新世 暁新世

大きくみると水系は伊豆半島の中央部にほぼ東西に並んだ天城連山（1,200～1,400m）に発して北流する本川および大見川，箱根外輪山とその南に連らなる宇佐美火山（500～1,000m）の西側斜面を西流する来光川と大場川，富士山の東斜面に発して箱根山（850～1,000m）と愛鷹山（1,200～1,500m）の間を南流する黄瀬川などが田方平野で合流して西に向い，沼津市で駿河湾に注いでいる。したがって，流域の斜面は，河口をかなめとして，南から東，さらに北に及ぶ細長い扇状に拡がっている。

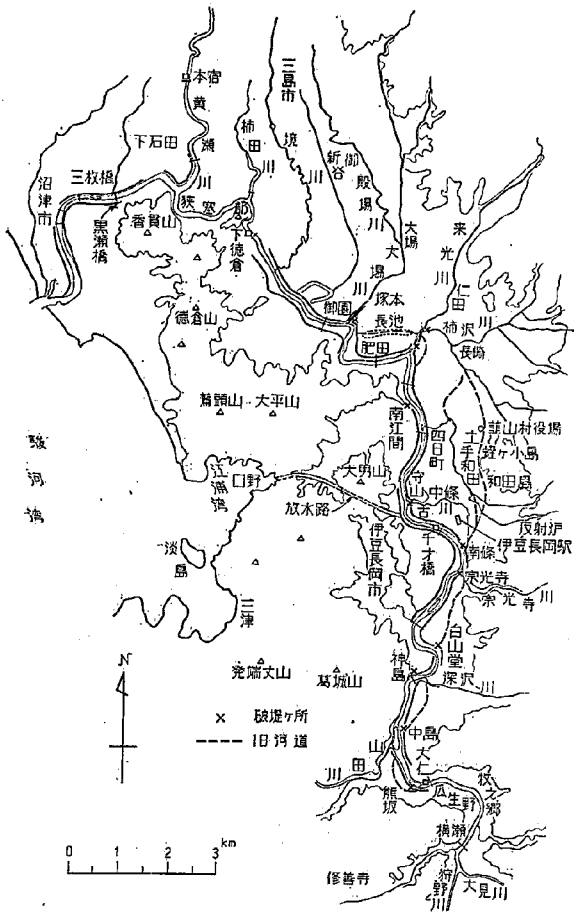
流域面積は，本川および大見川が，修善寺・大仁あたりで，約300 km²，黄瀬川が約270 km²，来光川・大場川を含むその他が約280 km²，計約850 km²であって，ほぼ三分されている。流路延長は，本川が約50 km，黄瀬川が約30 km，大場川が約20 km，来光川が約15 kmである。

これらの各河川がそれぞれ山地を出て集合するところにある田方平野は，その西側に，南北に低く連らなる静浦山地（300～450m）の沈降に伴なって侵入した海湾がこれらの各川の運搬堆積によって埋められてできた沖積平野である。したがって，この平野は，地図を一見して想像されるように，単純に南から北に順次低くなる平地



図—1　狩野川流域図

*後に，気象庁は狩野川台風と命名した。



図—2　田方平野地形概要図

ではない。南半分，修善寺・大仁あたりから，伊豆長岡・韮山をへて，来光川・大場川の合流点附近までは，だんだん幅が広くなり，北に向って低くなる本川の冲積平野であるが，これより北の半分は，黄瀬川の扇状地であって，北に向ってだんだん高くなる。地盤の標高は，大仁で約30mであるのが，急激に低下して，伊豆長岡の千歳橋附近で約13mとなり，このあたりからややコウ配が緩になって，前述の最低個所では7～9mとなるが，これより再び急激に高くなり，大場では12m，三島では約30mとなる。

この平地を北流する狩野川本川の河道は，線倉時代頃は，今度破堤した南条附近から真北に向い，和田島・土手和田・蛭ヶ小島*をへて長崎の東側を通り，大場川・来光川の合流点・蛇ヶ橋附近をへて，改修工事で埋めたという肥田・塚本部落の中間にあった長池にそって西に向い，大場川合流点附近で現在の河道に達していたもののようであるが，河道の西側に位置する静浦山地に比較して，東側に位置する箱根・宇佐美の土砂運搬の方が多量であるために，だんだん西側に押しつけられる傾向があり，上記の河道痕跡と現河道の間に，南条を起点として，四日町の東側をへて北上するものと，伊豆長岡駅の東側を迂廻して，守山の南麓で現河道に達するものと二本の痕跡が存在する。とくに，後者は非常に新らしい時代のもののようであって，河道と河岸は現地でも十分明瞭に認められ，旧河道の凹部を流れる小支川が古川と称せられている。

一方，黄瀬川についても，現河道の外に，西側に，沼津市の北を迂廻するもの，三枚橋と下石田の中間をへて黒瀬橋右岸に達するもの，東側に，柿田川や境川の線，さらに新谷を通る水路の線，大場川の支川御殿川などの痕跡があり，とくに東側のものは湧水が多く，中でも柿田川は有名で，常時約12m³/sécに達する。

このように，扇状地の西側がすでに静浦山地の北端に達しているために，狩野川本川の西への出口はその発達とともに閉塞される傾向にあり，現在の河道はその間をかろうじて突破しているが，この部分は徳倉から現黄瀬川合流点まで，約2.5kmにわたる狭塞部となり，河床コウ配の凸起点となるとともに，洪水時に田方平野からの排水をさまたげている。

狩野川流域の雨量の地域分布は，上述の地形のため，本川上流部・箱根斜面・富士斜面に分かれる。この中，前二者は，黒潮に洗われる太平洋に突出しているので，日本でも有数の多雨地であり，年雨量3,000 mm以上に達する。これに対し，富士の斜面は比較的少ないが，それでも2,000 mm以上である。本川と黄瀬川はまったく谷の方向が逆であるため，両者が同時に大雨となることは少なく，いずれか一方に片よることが多い。

狩野川流域，とくに本川流域の豪雨および大出水は，ほとんど台風によるものであって，これに前線がともなう場合に大雨となっている。とくに，台風が伊豆半島の南方をかすめて通過する場合には，北向きに扇状に開いた本川上流流域に風が吹き込むこととなって，大豪雨と

＊源頼朝の流罪所の跡といわれる。

表—2(a) 狩野川本川下徳倉の流況 (m³/sec)

年度	19	20	21	22	23	24	25	平均
豊水量	42.6	59.1	37.1	31.4	32.1	34.0	41.6	39.7
平水量	32.8	46.8	32.7	30.8	30.5	30.4	35.0	34.1
低水量	25.7	43.5	30.1	30.7	30.3	29.8	31.6	31.7
渇水量	24.8	36.5	29.5	30.7	28.4	29.0	28.3	29.6

表—2(b) 黄瀬川本宿の流況 (m³/sec)

年度	19	20	21	22	23	24	25	平均
豊水量			4.27	3.25	5.34	4.00	5.26	4.42
平水量			3.28	2.53	3.72	3.50	4.59	3.52
低水量			2.54	1.93	3.06	2.80	4.00	2.87
渇水量			1.48	1.37	1.99	1.41	2.01	1.65

なるようであり，今度の狩野川台風がそれであって，10年前，同様に大被害をもたらした昭和23年9月16日のアイオン台風も，伊豆南方では今回とほとんど同じ径路を通過している。

天城山は国有林が多く，林相がはなはだ良好であることも一つの原因ではあるが，とくに富士山および天城山が軽石・火山灰からなる透水性の地層であるために，本川・黄瀬川ともに流況はすこぶる良好であった。

狩野川本川・下徳倉および黄瀬川・本宿における昭和19年より25年までの流況は表—2のとおりである。

一般に，河況係数といわれるものは年間の最大流量と最小流量の比であるが，ここでは，筆者が昭和26年に計算した30年確率洪水量と表—2の平均渇水量との比をとってみるとつぎのとおりである。

本川：2,460/29.6=83.1

黄瀬川：1,045/1.65=675.0

黄瀬川は本川に比べてはるかに大きいが，さきにのべた三島市附近の湧水は，明らかに黄瀬川の流域から来るもので，その平水の一部と考えるべきであるから，12m³/sec を加えて計算しなおすと，

黄瀬川：1,045/13.65=76.6

となり，ほぼ本川と同じ値がえられる。

野満隆治 "河川学" p. 92によると，わが国の河川の河況係数は表—3のとおりであって，狩野川は淀川牧方と同程度の値を有することが知られ，淀川が，琵琶湖の調節作用のために，比較的安定した河川であることを考えれば，小河川である狩野川が如何に良好な流況であるかがわかるであろう。

さらに，表—2の各流量を比流量に改めた値，(低水量/渇水量) および (平水量/渇水量) を求めると，表—4のとおりである。黄瀬川にはすべて湧水 12 m³/sec を加えているが，これを考慮すれば，両川の流況がまったく

表—3 わが国の河川の流況係数

河川名	地点	河況係数	河川名	地点	河況係数
新宮川	高田	1,100	緑川	釈迦堂	176
大野川	川添	500	雄物川	秋田	169
由良川	福知山	436	荒川	川口	149
富士川	鰍沢	400	天竜川	天竜橋	114
紀ノ川	岩出	400	大淀川	宮崎	110
円山川	豊岡	348	木曽川	犬山	108
最上川	新堀	303	淀川	牧方	67
北上川	登米	223	石狩川	対雁	32
吉野川	河口	207	信濃川	熊ノ森	19

表—4 平水の比流量

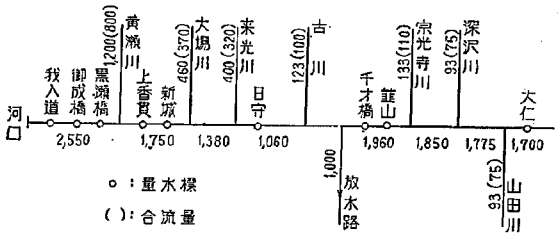
河川名	狩野川本川		黄瀬川	
流域面積 (km²)	575		275	
	Q (m³/sec)	q (m³/sec/km²)	Q (m³/sec)	q (m³/sec/km²)
渇水量(平均)	29.6	0.0515	13.65	0.0500
低水量(〃)	31.7	0.0551	14.87	0.0542
平水量(〃)	34.1	0.0592	15.52	0.0568
低水量／渇水量	1.07		1.09	
平水量／渇水量	1.15		1.14	

表—5 全国各地の平水の比流量

地方	北海	東北	奥羽	関東	北陸	東山	東海	山陰	内海	南海	北九州	南九州	全国
渇水量	0.0121	0.0150	0.0179	0.0187	0.0257	0.0200	0.0193	0.0117	0.0124	0.0153	0.0162	0.0178	0.0173
低水量	0.0178	0.0223	0.0277	0.0266	0.0437	0.0308	0.0314	0.0205	0.0207	0.0280	0.0247	0.0280	0.0274
平水量	0.0271	0.0311	0.0426	0.0410	0.0665	0.0465	0.0490	0.0327	0.0316	0.0435	0.0355	0.0445	0.0415
低水量／渇水量	1.53	1.59	1.65	1.50	1.77	1.58	1.68	1.90	1.71	1.84	1.58	1.66	1.64
平水量／渇水量	2.41	2.27	2.59	2.42	2.79	2.41	2.69	3.09	2.68	3.00	2.34	2.85	2.56

表—6 数河川の平水の比流量

河川名	富士川	筑後川	矢部川	緑川	川内川	大淀川	大野川
地点	沼水端	杖立	蘇木	小川野	宮之城	本八重	日枝
渇水量 (m³/sec)	14.5	6.4	1.0	1.1	20.0	33.6	16.4
低水量(〃)	25.7	7.9	1.7	1.5	26.2	49.8	22.1
平水量(〃)	34.1	9.7	2.5	1.6	36.0	67.2	27.4
低水量／渇水量	1.8	1.2	1.7	1.4	1.3	1.5	1.3
平水量／渇水量	2.4	1.5	2.5	1.5	1.8	2.0	1.7



図—3　狩野川計画洪水流量配分図　(昭33.現在)

類似していることが知られる。

"河川学"によると，わが国を12地区に分けた各地方別の比流量（3カ年平均），（低水量/渇水量）および(平水量/渇水量)は表—5のとおりで，狩野川の渇水比流量 0.05 m³/sec/km² は，全国において最大の北陸地方の約$\frac{1}{2}$倍に近く，また，（低水量/渇水量）および（平水量/渇水量）はともにどの地方よりも例外的に小さく，狩野川の流況の良好さを示している。

参考のため，宮本武之輔"治水工学" p. 123によると，わが国数河川の渇水量・低水量・平水量は表—6のとおりである。

狩野川の改修工事は，昭和2年に着工以来，今日では，本川改修はほとんど終了し，大仁から河口まで，山付きの部分もあるが，約 25 kmにわたって，延々たる連続堤防が完成し，また，支川の大場川・来光川についても，中小河川として，本川に見合う堤防が完成していて，最近の直轄工事の主力は放水路工事に向けられていた。

昭和33年度現在の狩野川の計画高水流量配分図は図—3のとおりであって，これは昭和28年度に中部地建の調査を基礎として，河川局が決定したものである。この流量配分は，本川上流部については，改修工事開始以来の最大洪水であった昭和23年9月16日アイオン台風時における千歳橋流量観測所の実測値 1,860 m³/sec を大仁に換算した 1,690 m³/sec を基礎とし，黄瀬川の固有流量については，同じくその既往最大洪水であった昭和16年7月12日の本宿量水標の最高水位 6.00m を水位流量曲線で換算した1,210 m³/sec を基礎とし，また，その合流量については，黄瀬川合流後の沼津市においても既往最大洪水であった昭和23年9月16日洪水時の合流量 580 m³/sec および黄瀬川の最大洪水・昭和16年7月12日洪水時の合流量 940 m³/sec を考慮して，当初計画の合流量を変更せず，800 m³/sec としたものである[1]。すなわち，この流量配分は既往最大洪水流量を基本としたものということができる。

なお，参考までに，改修計画当初の流量配分は図—4のとおりであり，昭和28年の再検討にさきだち，昭和27年12月に中部地建・沼津工事々務所が確率30年洪水を基礎として作製した流量配分案は図—5のとおりであった[2]。

このように，事務所案では，放水路の流量は 1,500 m³/sec であって，500 m³/sec のトンネル3本を施工することとなっていた。河川局は 1,000 m³/sec に決定する際，一応これを尊重し，将来調査を行なって，さらに詳細に検討することとし，1,500 m³/sec とすることが真に妥当であると確認されれば，これを増加する含みをもって，開水路断面はそのままとし，トンネルのみ3本のうちの中央の1本を実施しないこととしたのである。

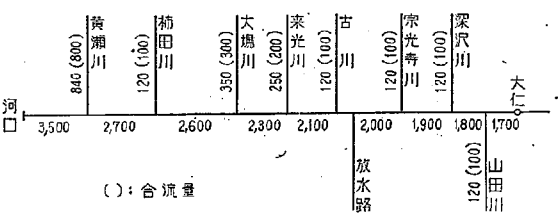
3. 狩野川台風の出水

さて，前置きが少々長くなりすぎたようであるが，今度の出水の実状をみてみよう。

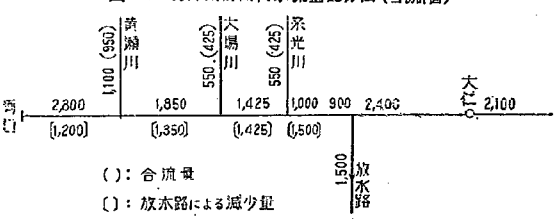
(1) 洪水の規模

台風22号は，一時南方洋上では中心示度 880 mb となり，本土に接近する直前の気象庁の予報では，室戸台風以来の大型台風ということで，その規模の大きさが心配されたのであったが，実際は，接近するにしたがって急速に勢力がおとろえ，伊豆半島の東岸を通過する頃は 950mb で，狩野川など2・3カ所を除き，全国的にはいちじるしい被害はなかったようである。したがって，狩野川本川上流流域の豪雨は，東京に豪雨をもたらしたのと同じ前線の関係，台風の通過径路およびその速度と狩野川本川上流流域の地形の関係によるもののようである。

原因はとにかくとして，このときの雨量がいかに大き



図—4　狩野川計画高水流量配分図 (当初計画)

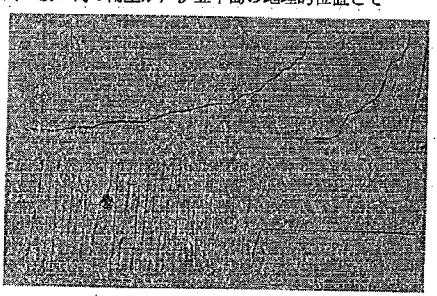


図—5　狩野川計画高水流量配分図 (沼津工事々務所案)

いものであったかを，流域のほぼ中心に位置し，従来から狩野川の代表的雨量観測所であった湯ヶ島雨量観測所（標高218m）の記録について検討してみよう。この観測所は農林省天城営林署にあり，建設省の自記雨量観測所ともなっているもので，管理は非常に良好である。このことは，今回の最大強度120mm/hrに及ぶ雨量の記録を完全に自記記録でとらえている点からもうなずかれよう。

図－7は，筆者が，昭和26年に，時間雨量については昭和5年～16年，日雨量については昭和6年～25年の各年間最大値を用いて，岩井法で計算した確率時間雨量と確率日雨量によって作製した確率降雨継続曲線ともいうべきものであって，これに，今回の降雨継続曲線および記録の存する従来の最大記録である昭和16年7月22日のものを記入してある。これによれば，今回の降雨は，既往の最大はもちろん，26年当時計算した100年降雨をもはるかに突破しており，狩野川にとっては，いかに予想を絶する大豪雨であったかは容易に推察できる。

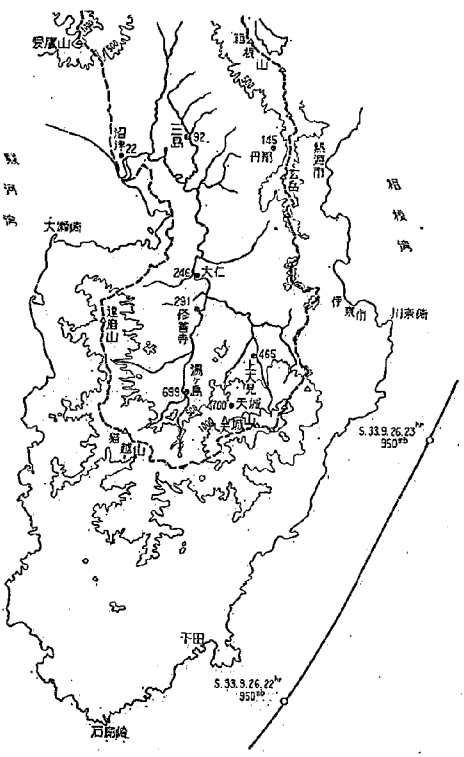
また，120 mm/hrという時間雨量はわが国における最大級のものであり，15時間の総雨量699mmは，これを日雨量としてみても，記録的のものである。このことは表－7および表－8*に示したわが国の1時間雨量および日雨量の記録の上位にランクされることをみれば明らかである。しかし，ここでとくに注意しなければならないことは，今回の湯ヶ島の雨量が，伊豆半島の地理的位置とその地形および全国の従来の記録から考えれば，かならずしも，まったく生起しえない程度のものではないことである。



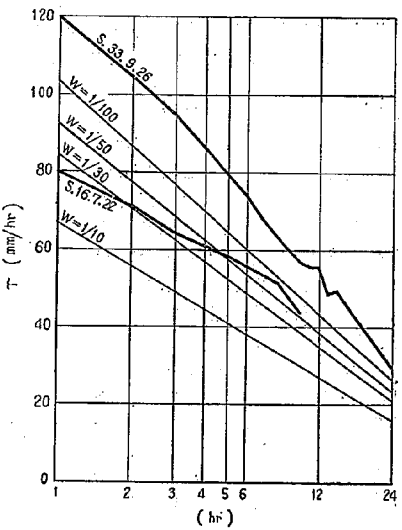
写真－1　湯ヶ島自記雨量計の記録

降雨の時間分布は図－8のとおりであって，典型的な台風型である。同図には標高870mの天城雨量観測所（建設省）の記録が一部記入されているが，これによって，天城観測所での雨量が湯ヶ島のそれとほぼ同程度のものであることがわかる。

*本表の上狩野は湯ヶ島のことである。



図－6　台風経路および降雨分布



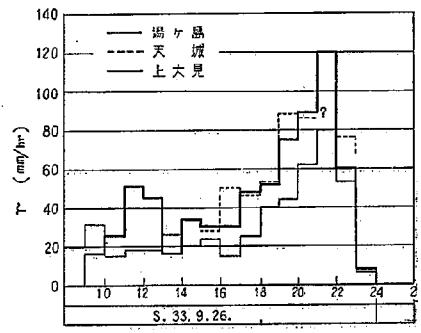
図－7　湯ヶ島降雨継続曲線

表—7　1時間雨量の記録　(野満"河川工学" p.22)

地名	銚子	宮崎	岐阜	石垣島	那覇	名古屋	大分	長崎	徳島	京都
雨量(mm/hr)	123.3	100.2	99.6	96.3	92.6	92.6	90.5	87.7	85.4	83.2
年月日	T.10.8. 3.	T. 5.9.22.	T. 3.7.24.	T.13.7.14.	M.43.8. 8.	T. 8.7.16.	M.41.8.10.	T.12.9. 5.	T.12.9. 5.	T. 7.8.15.

表—8　日雨量の記録　(野満"河川工学"p.23)

地名	雨量(mm/day)	年月日	地名	雨量(mm/day)	年月日
大台ケ原	1,011	T. 12.9.14	本山	556	T. 9.8.15
田辺	902	M.23.8.20	名瀬	547	M.36.5.29
牛深	785	S. 4.7. 6	箱根	545	T. 11.8.23
尾鷲	675	S. 6.9.26	平良	544	T. 3.7.25
富士	669	T. 13.9.14	河合	522	T. 9.8.20
天城	600	S. 2.8.26	福原	506	T. 6.8. 2
彦根	597	M.29.9. 7	宮崎	490	M.19.9.24
長者	593	S. 2.8.26	上狩野	483	M.40.8.24
参野川	587	S. 3.8.17	大河内	474	T. 3.8.29
家代	584	S. 5.8.11	日光	474	T. 8.9.15
気多	583	M.44.8. 4	井川	471	M.45.9.22
穴内	571	T. 14.9.17	前鬼	469	T. 12.9.14



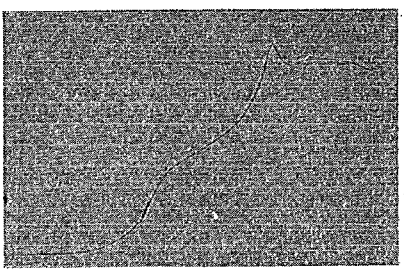
図—6　降雨の時間分布

降雨の地域分布を9月26日の日雨量でみると，図—6のとおりであり，極端な地域差があることがわかる。一般に，今回のような台風の径路であれば，天城および箱根が多雨となることは予想されるのであるが，その程度がとくにはなはだしいことは大きな特徴である。いかに平地にあるとはいえ，天城山からたかだか30kmをへだてた沼津では22mm，三島では92mmにすぎず，丹那や大仁でも150～250mmであることは，とくに注意しなければならない。したがって，出水は本川上流流域にのみ集中したものと推定される。

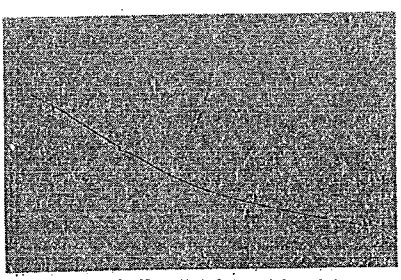
つぎに，水位・流量はどうであっただろうか。このような稀有の大豪雨であったから，確率30年洪水をやや下まわる程度であると考えられるところの前述図—3の計画高水流量がはるかに突破されたことは当然であって，水位は1.5mの余裕高を見込んでいた堤防の天端を越え，全川にわたって溢水した。このことは，減水後に，堤防天端上に，写真—2に示すような木の根が残っていたことからも推定されるが，その後の中部地建の調査によって，溢水深は上流部では70cm程度であろうと推定されている。

このため，徳倉の狭窄部より上流の改修区域では各所に破堤を生じ，したがって，水位の記録はこれらの部分ではほとんどえられていない。自記量水標は大仁および徳倉にあり，前者は水没したが，後者は，(1)安全な狭窄部の高い地盤の場所にあったこと，(2)量水標の床面を計画高水位+2.5m（堤防天端+1m）と十分に高く築造し

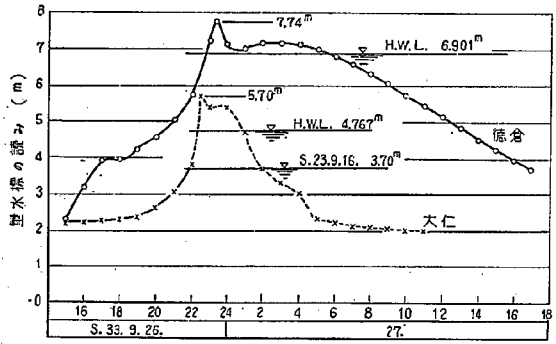
写真—2　堤防上にとり残された木の根



写真—3 (1)　徳倉自記量水標の記録



写真—3 (2)　徳倉自記量水標の記録



図—9　大仁・徳倉の水位記録

ていたこと，(3) 観測員の管理が十分であったことなどのため，写真—3に示すように，完全に働作した。これによれば，破堤によって堤外の水位が低下した様子が明瞭にみとめられる。最高水位は7.74mであって，計画高水位6.901mを約84cm突破している。ちなみに，この地点の既往の最高水位は昭和23年9月16日アイオン台風時の7.00mである。すでにのべた地形的理由のため，従来から，大洪水時には上流が破堤して，約3,000町歩の田方平野が大遊水地と化し，この地点から下流はある限度以上には水位はあがらない。今回も，写真—3および図—9にみられるように，破堤後の頂点の水位は約7m強であって，アイオン台風時のそれにほぼ等しいのである。

大仁自記量水標はすでにのべたように水没し，機械は働作しなかったが，この地点は改修起点附近にあって，流量配分計画の基本となっており，流量に改修工事の影響をうけないので，とくに重要な地点であるが，当日は事務所から派遣された観測員神谷千万夫氏が，困難な状況下にありながら，決死的によく任務を遂行し，図—9のような観測結果をえた。これによれば，最高水位は約5.70mであって，計画高水位4.767mを約1m，既往最高のアイオン台風時の3.70mを2mそれぞれ突破している。この地点は，量水標のある大仁橋の位置でいちじるしく断面がくびれており，流下方向の流速の変化のために従来大洪水時にも水位があまり上らず，これがこの地点のみ計画高水位と既往最高の間に1mの差がある理由と考えられていた*。しかし，今回は，最高水位時には，スパン70mの大仁橋の左岸側に約160mにわたって河道が拡大し，この全面に水が流れたようであるから**，上述したような断面縮小の影響は多少緩和されていたと推定され，このため，かえって水位が上昇したことも考えられる。ともあれ，この最高水位を従来の記録に比較してみると，表—9のとおりであって，降雨の場合と同様に，既往の記録はもちろん，昭和26年当時に推定された確率100年水位をもはるかに突破している。なお，この確率計算は，筆者が昭和3年～26年の各年最高水位を用いて，岩井法で行なった結果であって，計画高水位4.767mの超過確率は1/134となっていた。

表—9　大仁の既往水位

	順位	1	2	3	4	5
既往高水位	水位(m)	3.70	3.55	3.30	2.90	2.90
	年月日	S. 23. 9. 16	S. 3. 10. 8	S. 16. 7. 22	S. 13. 6. 29	S. 15. 8. 26
確率水位	超過確率	1/100	1/50	1/30	1/10	
	水位(m)	4.58	4.14	3.82	3.14	

(2) 被害の特徴

以上のべたように，今回の狩野川本川上流部の降雨は，少なくとも，最近数10年間における既往の記録および計画に採用した洪水の規模をはるかに超えたものであったので，その被害もまた甚大であった。

堤防は全面的に溢水して，11カ所において破堤し，田方平野はほとんど湛水したが，とくに河床コウ配の急な伊豆長岡町から修善寺町の間では，蛇行の平面形がまったく平常とは異なり，洪水の本流が堤防法線とは無関係に流下し，堤防・護岸を破壊，橋梁・家屋を流失した。このような流速の速い流れに部落が押し流されたのは，修善寺町横瀬・瓜生野・熊坂，北狩野村牧之郷，大仁町大仁・中島・白山堂，韮山村の伊豆長岡駅前などの各一部または全部であり，とくに，熊坂・中島・白山堂・伊豆長岡駅前の4部落は一応安全とみられる堤内地にあったことは，とくに注意しなければならない。

中部地建の調査によれば，農地関係を除く一般被害は表—10のとおりで，死者・行方不明者計904名，流失・全壊家屋計1,044戸に及んでいる。この表から，注目すべき点は，死者・行方不明者・負傷者・流失家屋・全壊家屋・半壊家屋などの致命的被害が，上流部とくに韮山村・大仁町・修善寺町にわたる冲積平野の上流部，比較的地盤および河床のコウ配の急な地区に集中していることである。平野の下流部，函南村・伊豆長岡市・韮山村の北部などでは浸水家屋は多数にのぼっているが，上記の致命的被害は比較的少ない。

"この程度の大きさの河川で，今度のように多数の犠牲者を出したこ

* 既往の最高3.7mがほぼ下流の計画高水位と見あうものであり，したがって，今回の水位は実質的には計画高水位+2mである。

** この付近の地形は写真—5または土木学会誌，第43巻，第10号表紙裏の"修善寺・大仁付近航空写真"を参照。

表—10　狩野川台風の一般被害

地区	死者	行方不明者	重軽傷者	流失家屋	全壊屋	半壊屋	床上浸水	床下浸水
函南村	0名	1名	0名	0戸	6戸	0戸	635戸	400戸
伊豆長岡市	2	0	1	4	3	20	621	230
韮山村	36	33	105	56	111	187	810	—
大仁町	123	109	60	59	180	60	301	315
修善寺町	126	375	115	35	233	28	28	—
北狩野村	3	4	1	5	9	22	36	62
中狩野村	0	0	0	15	1	33	57	22
上狩野村	3	6	26	45	76	37	50	—
中伊豆町	38	45	31	92	114	79	180	240
合計	331	573	339	311	733	466	2,718	(1,269)

とは，おそらく，あまり前例のないこと”であって*，この原因については十分に検討し，将来の河川計画および河川管理の参考としなければなるまい。以下，筆者が現地で見聞して感じた二・三の点について簡単にのべ，参考に供したいと思う。

i.　原因の第一は，すでにのべたように，予想を絶する大洪水であったことであって，このような洪水によってひき起される事態について，官民ともに，まったく準備を欠いていたことである。

ii.　つぎに，地元民が堤防の効果について正しい認識をもっていなかったことをあげることができよう。これら改修区域の上流部の築堤はすべて10年前のアイオン台風時の出水以後に竣功したもので，完成後大洪水の洗礼をうけておらず，そのはたす役割は適切に理解されていなかったと推察される。われわれ河川技術者の一部にすら，計画高水流量は起りうる最大流量であり，工事は絶対安全の立場で実施しているとする考え方が存在している状況からすれば，地元民が堤防を全面的に溢流する事態を予測しえなかったのは，まったくやむをえないことであったといわねばならない。

iii.　さらに，気象的原因として，時刻が午後10時頃の夜間であったこと，さきにのべたように，雨の地域分布が極端に山地にのみ偏在し，平地はさしたる降雨でなかったこと，この台風の1週間前にやはり関東をおそった台風21号がこの地方では風台風で，雨は少なく，風の被害のみが身にしみていたことなどをあげることができよう。このため，ほとんどは雨戸を閉め，釘づけにするものすらあったという。そして，上流山地における大豪雨には気付きえなかったのである。

iv.　最後に，増水がいちじるしく急激であったことがあげられよう。さきに示した大仁の水位観測結果によると，水位が最高となった22時30分の直前では，30分間に約1.9mの増水をみている。増水がいかに急激であり，もし堤防に部落の誰かがでていたとしても，おそらく連絡する余地のないものであっただろうことは，当日現場でこれを経験した沼津工事々務所の田中理夫出張所長の言でも了解できる。氏は21号台風で護岸が損傷した白山堂地先**の補修工事を数日前から行なっていたが，当日も現地でこの防護処置を指揮していた。途中で水位が相当増大してきたので，情況を事務所に電話連絡するため約200～300mの距離にある部落に引き返えした。このときは，長年河川工事の経験をもつ同氏ですら，堤防溢水の事態はまったく予測しえなかった。しかるに，連絡を終わり現場にもどることは破堤のためついになしえなったという。

このように極端に急激な増水の原因の一つには，修善寺橋の倒壊をあげることができるのではなかろうか。この橋は3スパンのプレート・ガーダー橋で大被害をうけた地区の直上流にかかっていたのであるが，おそらく流木によって堰上げられた水圧のため，ピアーもろとも倒壊した。これによって，大規模の段波が発生し，下流をおそったと推定される。

以上，狩野川台風による出水の特徴は，

写真—4　倒壊した修善寺橋（対岸中央が橋台）

i　異常な大出水であったこと。

ii　いちじるしく多数の人命を失なったこと。

の2点にあることをのべたが，これからいかなる教訓を引き出すかは後にのべることにして，その前に，河川計画の基本となり，その技術的基本思想をもっとも単的に代表している計画高水流量について，文献によって従来の考え方の変遷をたどりながら，問題の所在を検討して

＊安芸皎一〔1958〕“狩野川台風の教訓—計画には正しい予想を—”朝日新聞，昭和33年12月29日号
＊＊この地点は今回破堤した。

みようと思う。

4. 計画高水流量

(1) 従来の考え方

計画高水流量は，河川の高水工事の外力である洪水の規模の上限を規定するものとされ，河川の高水工事が洪水の円滑な海への排出を目的とする以上，はなはだ重要なものであり，高水工事の計画に当っては，まず第一にこれが決定される。ところで，この重要な計画高水流量は，従来どのように取り扱われ，また今日どのように取り扱われようとしているであろうか。

明治以来，最近まで，計画高水流量としては既往最大流量を採ることが行なわれてきた。すなわち，富永正義氏〔1942〕[3]は，洪水をその規模によってつぎのように分類し，

1. 毎年1回起る程度の洪水
2. 数年に1回起る程度の洪水——普通洪水
3. 10年に1回起る程度の洪水——大洪水
4. 数10年に1回起る程度の洪水——非常洪水

また，これに応じて，高水流量をつぎのように分類して，

1. 毎年1回起る程度の高水流量
2. 数年に1回起る程度の高水流量
3. 10年に1回起る程度の高水流量
4. 既往における最大なる流量——最高流量

"計画高水流量は，原則として，最高流量を採るものであるから，計画高水流量の決定は，結局，最高流量の決定に帰する。ただし，四囲の状況または財政の関係上，上記3. で我慢することもある"，としている*。

このように，かつては，原則として，既往最大流量をもって計画高水流量としたことは，野満隆治〔1943〕[4]，米田正文〔1952〕[5]，石原藤次郎〔1953〕[6]，川村満雄・渡辺隆二〔1954〕[7]，横田周平〔1955〕[8]，矢野勝正〔1958〕[9]などの各氏のひとしく認めるところである。

しかして，既往最大流量を採って計画高水流量とすることは，あくまでも原則であって，ときにはこれより大きくし，ときにはこれより小さくすることもあることはまたひとしく諸氏の認めるところである。この間の事情については，野満隆治氏は"最大洪水量を標準とし，これに，一方では多少の安全率を，他方では経費の制約をにらみ合わせて決定する外はない"とし，川村満雄氏は"計画高水流量は，普通，最大洪水の流出量を基礎として算出しているが，記録が短期間の場合にはこれを増加し，経済効果の面から逆に減少することもある"としている。

したがって，既往最大主義といっても，決して既往最大流量を無条件に計画高水流量とするものではない。当然，経済的・技術的制約が存在したのである。

さて，このように，諸般の制約のため，必らず既往最大を計画に採るわけにはいかなかったのであるが，そこで問題となるのは，既往最大洪水が起りうる最大洪水であると考えられていたかどうかという点である。筆者が眼を通した範囲では，この点について明記したものは見当らない。しかし，矢野勝正氏〔1958〕[10]が，この点に関連して，つぎのようにのべているのは参考になろう。すなわち，"元来，治水問題を処理するにあたって，「絶対安全主義」という考え方と「企業としての経済主義」という考え方があるのではないかと思う。前者は，治水という問題はこと人命に関することであり，多くの人々の財産に関することであるから，絶対に河川が氾濫するということを許さない，したがって，絶対安全な計画をたてるべきだという考え方である。後者は，なるほど人命財産に被害をこうむらしめるが，それは何10年に1回ということで，そのために非常に安全度の高い規模の計画をたてるのは不経済だから，たとえば10年に1回とか，20年に1回とかの程度の洪水を対象にして，これに対しては絶対安全にするが，それ以上の洪水に対してはやむをえないではないかという考え方である。——中略——著者は，治水問題を経済性を過大に重視して，企業的に取り扱うことには賛成しかねる。あやふやなことをしておくと，河川はかえって大きな破堤をして，大災害を与え，その復旧に莫大な経費を必要とすることが多いし，何といっても人命の尊さを考えれば，われわれは絶対安全な立場にたって，河川を処理すべきであろう。

以上のように，治水問題の基本的な考え方にたって，計画高水流量を考えてみると，

1. 安全主義の立場から
   a. 既往最大流量主義
   b. 確率洪水流量主義
   c. 最大可能流量主義
2. 経済主義の立場から
   a. 経済洪水流量主義

に分類することができる"。

1. の a. および b. が絶対安全な計画高水流量であるかどうかは議論の余地があると考えられるが，ともかく，この記述によって，従来の考え方の一端を知ることはできよう。

ところで，第二次大戦後，頻々として大洪水が日本の各地を見舞い，ついに，昭和22年9月には，キャスリーン台風によって，利根川が栗橋その他数ヵ所で溢水による破堤を生じ，これが対策が問題となるに及んで，安芸皎一氏〔1948〕[11]は，当時においては非常に進歩的と考えられる立場から，改修にともなう流量の増大に関連して計画高水流量の問題点を論じ，つぎのように主張した。

*ただし，計画高水位については，"既往の最高水位によってこれを決定する"としていることは注意すべきである。

すなわち，"計画高水流量というのは，河川改修計画を樹てるときに，その対象とする高水流量を指しているのであるから，計画高水流量は，既往の高水流量をもとにして，起りうべき流量を算定し，河川の重要性，氾濫地域の性質，耕地の広狭，種別などによって決定せらるべきものである。したがって，計画高水流量とは，かつて起った最大流量という理ではなく，また，起りうべき最大流量というのでもないのであって，これは，その河川の改修工事を実施する場合の社会的環境あるいは経済的の条件によって，十分に実行しうる工事を対象として考えられる流量をいうのである。"これは，計画高水流量は，原則として，既往最大流量を採るものでもなく，ましてや，起りうる最大流量でもないことを，おそらく，はじめて，明らかにしたものでその意義は大きいと考えられるが，この表現には非常に大きい問題点が残っている。これについては後に触れることにして，今しばらく，従来の考え方をみることにしよう。

石原藤次郎氏〔1949〕[12]は，上記の安芸氏の主張に全面的な賛意を表するとともに，早くから研究を進めていた岩井重久氏〔1947〕[13]の水文統計学的方法によって，計画高水流量の規模が評価さるべきことを主張し，中安米蔵氏〔1950〕[14]は，この考え方を導入して，治水工事の経済効果を論じ，計画高水位以下の洪水によって，堤防がなければ将来起るであろう災害額を統計的に処理して，これを改修工事の防災量と考え，それを工事費と比較することによって，最大効果の改修工事の基礎としての計画高水流量を定める方法を示した。また，米田正文氏〔1952〕[15]も淀川の改修計画の検討に，水文統計学的方法を導入しており，このような考え方は飯塚敏夫氏〔1953〕[16]，土木工学編集部〔1953〕[17]などによっても紹介されている。

しかし，この統計的立場も完全に割り切れたものではなかった。この立場によれば，明らかに計画高水流量以上の出水を表面切って認めるわけであり，すでに矢野勝正氏の見解にもみられたように，人命もしくは民心安定の面からの矛盾が存在したのである。この点について，石原藤次郎氏〔1953〕[18]は，水文統計的経済主義の立場を明らかにした後，結論的につぎのようにのべている。すなわち，"主として，財産を守り，その地域の生産性を高めるという経済的な立場から考察を進めた。したがって，いま一つの重要な点，すなわち，国民の生命を守り安心して生活できるようにするという点にはほとんどふれなかった。このためには，

1. 危険区域から住民を組織的に移住させる。
2. 局部的に信頼の高い防災工事を施す。
3. 河川の全体計画に対して防災対策を考える。

などが考えられるが，それぞれ一長一短があって，決定しにくい場合が多いであろう。つぎに，被災者数・死傷者数の測定・評価はなかなかむつかしいが，各地区・各河川ごとに救済被災者費用比率および救済死傷者費用比率のそれぞれ最大に対応する高水流量のうち，いずれか大きい流量をまず最低の計画量とし，現在の計画量がそれ以下であれば，少なくともその線まで改訂するという方法がある。もちろん，こうした考え方自身にも多くの問題があり，何ものにもかえがたい人命の保護という面から，さらに構想を新らたにして深く研究すべきである。以上のごとく，生命・財産の両面に立って治水計画の規模を比較し，いずれか大きい方の流量を計画高水流量にしたいというのが，われわれの到達した結論である"。

しかし，これでは，計画において多少とも人命の犠牲を想定することとなり，当然ヒューマニズムの立場からの反論が生ずるわけであって，合理性を標ぼうした水文統計学的方法も，単に計画高水流量の統計的評価をなしえたに止まり，ついに計画高水流量に真の合理性を附与しえなかったといわねばならない。

しかし，従来，ともすれば"起りうる最大"と考えられがちであった計画高水流量に対する考え方が，修正されたことは事実であって，現在の建設省の技術規準[19]は，これらの点を採り入れ，かつ，米田正文氏〔1952〕[20]が主張した計画高水の思想をも導入して，つぎのように規定している。すなわち，洪水処理計画を策定する場合に，その基準となる洪水を計画基準洪水として，計画基準地点でこれを定めるものとし，また，計画高水流量は各地点の計画の基準となる流量と定義して，"洪水処理計画の樹立にあたっては，妥当な規模の洪水を決定し，これを合理的に河道および洪水調節ダムに配分して，各地点の計画に必要な計画高水流量を定めるものとする"とし，また，計画基準洪水の決定については，"計画基準洪水は，既往洪水の検討の結果，事業の経済効果ならびに計画対象地域の重要度を総合的に考慮して決定する"とし，この3者について，それぞれ，"計画基準洪水の決定にあたっては最大の既往洪水を重視するものとする"。"治水事業の経済効果は主として同地域内の洪水被害軽減額とし，その計画対象洪水のピーク流量の決定に当っては，これに対応する事業の経済効果が事業費に対してできるだけ大きくなるよう考慮する"。"計画基準洪水のピーク流量の決定に当っては，計画対象地域の重要度に応じて，年超過確率を考慮するものとする*"。と定めている。

これを要するに，既往最大洪水，経済効果による経済洪水，重要度による確率洪水を総合的に検討しようとするものであるが，ここに注意すべきことは，これらはいずれも起りうる最大洪水ではなく，計画洪水または計画高水流量が超過される可能性を有するものであることを

* 計画基準洪水のピーク流量の年超過確率の標準としては，重要度に応じて，つぎのように定めている。
A級：1/80～1/100；B級：1/50～1/80；C級：1/10～1/50.

認めている点にある。

さて，以上で，計画高水流量についての最近の考え方の変遷を検討したのであるが，計画高水流量を論ずるに当って，同時に検討する必要のあるのは，堤防の余裕高であって，両者は本来表裏一体の関係にあるものであるから，以下これについて検討したいと思う。

富永正義氏〔1942〕[21]は，"計画高水位に，安全率として，天端余裕高を加えなければならない"とし，"天端余裕高は1.0～2.0mとし，計画高水流量の大小および河状の如何によって，表—11のように区分する。ただし，これは標準を示したものであるから，特別の場合は適当に考慮する"とし，考慮すべき事項として，

a．計画高水流量を越す大洪水が起るかも知れないこと
b．土砂の堆積による河床の上昇
c．河幅の広い場合の波高
d．彎曲部における水位上昇

などをあげている。

表—11 天端余裕高（富永）

計画高水流量	天端余裕高
300m³/sec 未満	1.0m
300～2,000m³/sec	1.2
2,000m³/sec 以上	1.5
流量極めて大なるか水面コウ配極めて急なる河川	2.0

安芸皎一氏〔1952〕[22]は，"実際に堤防を築設する場合には，基準面以上に，非常出水または波浪などを予想して，相当の余裕をとっておく，これを余裕高という。余裕高は，河幅の広狭，急流または緩流，または，その保護すべき地域の重要性にしたがって決められるべきもので，普通，大河川においては1.5～2m，中小河川では1m内外にとっている"とし，"水衝カ所については水位が上昇するから，これを考慮すべきであり，また，堤防本体または地盤の沈下に備えて余裕高の外にさらに余盛りをしておく"としている。すなわち，考慮すべき要素として，非常出水・波浪・河幅・水面コウ配・堤内地の重要性・水衝による水位上昇をあげているわけである。

川村満雄・渡辺隆二両氏〔1954〕[23]はいっそう突っ込んだ見解を示し，"築堤の高さは計画高水位よりも1～2m高くしてある。すなわち，計画築堤高と計画高水位との差を堤防余裕高という。堤防にはこの外に盛り土の沈下に対する余盛りをみるが，これは余裕高とは別である。したがって，堤防余裕高は計画に対する安全率と考えられる"とし，その必要理由として，計画高水流量算定の確率的不確定性および誤差と河床の予測しえない変化をあげ，

"(1) 計画高水流量・計画高水位の決定は，いかに慎重に行なっても，洪水が降雨という自然現象に起因するものであり，かつ計算の仮定・方法は完全なものでないから，河積には余裕を必要とする。

(2) 河川の河状は変化する場合が多い。計画にはもちろんこれらを考慮しなければならないが，長年月の間には予想以上の堆積を起す可能性もあり，これに対する余裕を必要とする"。とのべている。また，"堤防余裕高をどれだけにとるかを理論的にきめることは困難であり，この問題は，現在，わが国の河川改修計画上の一つの課題となっている"として，表—12を余裕高の最小値として与え，その他に，合わせて考慮されている事項として，改修の経済効果・土砂堆積・風による吹き寄せと波浪・河幅・流木などをあげている。また，橋梁の余裕高については，流木に対する考慮であるとして，"現在は堤防の余裕高と合わせることを原則としている"とのべている。

表—12 堤防余裕高（川村）

計画高水流量（m³/sec）	余裕高（m）
200 以下	0.6以上
200 ～ 500	0.8 〃
500 ～ 2,000	1.0 〃
2,000 ～ 5,000	1.2 〃
5,000 以上	1.5 〃

横田周平氏〔1955〕[24]もほぼこの考えに同調して，改修計画に対する安全率であるとし，また，天端の溢水による破堤の防止のためのものであるとして，考慮すべき要素として，将来の高水位の上昇・経済効果・土砂堆積・波浪をあげている。

そして，最後に，現在の建設省の技術規準[25]では，普通の堤防計画を行なう河川について，計画高水流量に応ずる堤防余裕高の標準として，表—12と同じものをあげ，また，その必要理由としては，やはり，計画高水流量算定の確率的不確定性および誤差と河床の予測しえない変化をあげ，"余裕高は計画に対する安全率であって原則として堤防は溢流させてはならないという前提になっているから，もし，溢流させることを考慮するような特殊な河川計画には，これらの基準はすべてあてはまらない。"とし，その他考慮すべき要素として，経済効果・土砂堆積・風の吹寄せ・波浪をあげている。

以上，各氏の見解を通じて，余裕高が実際には1～2mであるという点は一致しているが，その必要理由ないしは考慮すべき要素については，まったく一貫性にとぼしい。しかし，要するに，余裕高は計画高水流量に対する安全率のようであって，その必要理由の根源は，堤防は溢水を許さないということにあるようであり，不確定要素として，

a．非常洪水（富永・安芸・横田・川村・規準）
b．河床変動（富永・安芸・横田・川村・規準）

c．計画高水流量の計算誤差（川村・規準）

などがあげられ，その他に考慮すべき特殊現象として，

d．風の吹き寄せ（川村・規準）

e．波浪（富永・安芸・横田・川村・規準）

f．水断部の水位上昇（富永・安芸）

g．流木（川村）

があげられ，これらの考察の基礎となる条件として，

h．堤防の機能——溢流堤など（規準）

i．河幅（安芸・川村）

j．コウ配（安芸）

があげられ，最後に，重点を定める尺度として，堤内地の重要度（安芸）または改修の経済効果（横田・川村・規準）があげられているのである。

また，橋梁の余裕高は，流木に対して考慮するもので，堤防のそれと合致させるのが原則とされている。

かくて，計画高水流量と関連した問題点は，

1. 堤防は溢流させない。
2. 非常出水は考慮する。
3. 経済効果も考慮する。

の3項の間に存する矛盾であると考えられる。そして，すでにのべたように，計画高水流量については，安芸皎一氏〔1948〕以来，それが起りうる最大ではなく，超過する洪水があることをはっきりと予想し，従来の考え方に大変革が加えられたにもかかわらず，それと密接不離の関係にある余裕高には，実質的には，まったく変更が加えられていない事実は，とくに注意しなければならない。

なお，余裕高が流量に換算してどの程度の流量に対応しているかを明らかにしておくことが必要であろう。一応の見当をつけるために，狩野川の例について，計画高水位附近の水位—流量曲線のコウ配に余裕高をかけた数字を調べてみると，つぎのとおりである*。

狩野川・大　仁（1,700m³/sec）

約 850m³/sec/m×1.5m＝1,275m³/sec

狩野川・千歳橋（1,950m³/sec）

約 500m³/sec/m×1.5m＝750m³/sec

この数字を計画高水流量に加算したものが，ただちに，堤防の流過可能流量となるわけではないが，これによって，少なくとも，計画高水流量ないしはその安全度を論ずるに当って，余裕高を無視しえないことは了解できよう。

(2) 筆者の考察

さて，ようやく，筆者の見解をのべる段階に達した。まず，考察に先だって，筆者の前提とするところをのべれば，つぎのとおりである。

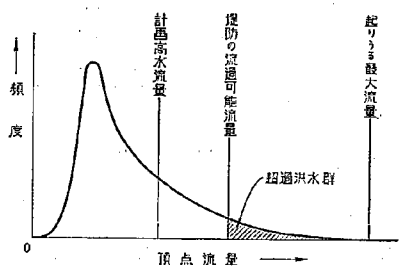
i．狩野川洪水にみられるような異常な大出水に対しても，われわれ河川技術者は絶対に目をつむるべきではなく，真しな態度でこれをとり入れるべきであり，河川行政ないしは河川計画は何らかの形でこのような現象に対する対策を含んでいるべきであること。

ii．洪水による人命の損害に対しては，ヒューマニズムの立場から，100% にこれを防護しうる対策が準備されるべきこと。

iii．対策は経済性をもったものであり，その経費と効果は妥当なバランスを保って，国民経済上十分に実施しうるものであること。

そして，とくに注意すべきことは，堤防やダムを主体とする河川改修工事は，洪水のもたらす被害を軽減するための一つの手段であって，決してそれそのものが目的ではないということである。

そこで，対策の対象とすべき洪水はどのようなものであろうか。これは，今さら筆者がとと新らしくのべるまでもなく，その最大の特徴は，それが自然現象であって，一定の頻度で，ある幅の間において発生することである。この発生頻度分布は，一般に，資料の不足のため，定量的にはかならずしも明確ではないが，定性的には，その状況は水文統計学の示すとおりであり，たとえば，洪水の頂点流量は，概念的には，図—10 のようであって，起りうる最大流量と流量ゼロの間に分布している。そして，計画高水流量および堤防の流過可能流量はともにその中間に位置している。われわれが目的とするのは，このような頻度分布で発生する全洪水群から受ける被害を軽減することであり，決して，堤防の流過可能流量以下の洪水群のみを対象とするのでもなく，計画高水流量以下のそれでもないことは明らかである。



図—10　洪水頂点流量の頻度曲線

ところが，すでにのべた従来の計画高水流量に対する考え方では，堤防の流過可能流量以上の頂点流量をもつ洪水群，すなわち，図—10のハッチした部分の洪水群——以下超過洪水群という——については，計画上まったく考慮されていない。なぜなら，溢水をまったく前提としない従来の堤防では，これらの超過洪水群に対して無力であることは，今度の狩野川の出水をまつまでもなく，明らかであるからである。

このことが，筆者がさきに安芸皎一氏〔1948〕の主張に

* （ ）内は計画高水流量

残された問題点といい，また，石原藤次郎氏ら〔1949～1953〕のわが国の水文統計学が計画高水流量に真の合理性を附与しえなかったといった理由である。また，さきにのべた余裕高に存する矛盾もここにその根源がある。すなわち，起りうる最大値でなく，経済的に制約された計画高水流量に対して，効果の明確でない余裕高を見込み，それで，堤防は溢水されないとする矛盾である。

したがって，安芸氏が計画高水流量は起りうる最大ではないと主張したとき，また，石原藤次郎氏らが，洪水頻度の非対称分布を認め，計画高水流量に数10分の1の超過の確率があることを明らかにしたとき，われわれは計画高水流量以上の洪水群にこそ注目すべきであったし，これに対する対策が科学さるべきであったと考えられる。超過の確率が数10分の1の河川が，かりに数10カ所独立にあれば，全体のいずこかで超過する確率は1であって，この確率は決して無視できる程度に微小とはいいきれない。

このようなわが国の洪水発生頻度の特徴は，つぎに示す一事によっても，ほぼ理解することができよう。すなわち，岩井重久氏〔1953〕[20]によれば，アメリカで水文統計にはじめて着目した W.E. Fuller が，アメリカの河川に対して提案したつぎの式，

$$Q/Q_{ave} = 1 + 0.8 \log_{10} T \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

Q：高水流量（ただし，24時間平均）

Q_{ave}：標本とした各年最大流量の平均値

T：洪水年

と同じ方法を，日本の河川の頂点流量の資料に適用した結果によると，利根川の栗橋*については，

$$Q/Q_{ave} = 1 + 1.4 \log_{10} T \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

がえられ，また，他の二・三の河川について調査した結果では，Fuller の常数0.8の代りに，1.1～1.4という値がえられたという。このことは，同じ洪水年に対応する Q/Q_{ave} の値が，日本ではアメリカにおけるよりもはるかに大きくなることを意味するものであり，種々の係数の値と洪水年に対して，Q/Q_{ave} の値を求めてみると，表—13のとおりである。たとえば，100年洪水をとるとすれば，アメリカでは標本平均値の2.6倍でよいのに，栗橋では3.8倍をとる必要があって，これはアメリカの1,000年洪水の値よりも大であり，1,000年洪水をとるとすれば，栗橋では5.2倍であって，これはアメリカの100,000年洪水の倍数に対応することがわかる。

また，同じく岩井氏によれば，アメリカには表—14に示すようなFullerの洪水年標準というものがあり，1953年当時でもこの表が参照されていたそうである。この表によれば，破損すれば物的・人的被害ともに甚大であり，大規模の永久構造物である堤防やダムについては，10万年ないし100万年 order の洪水年をとる必要があることになるが，このようなことは，わが国の河川ではまったく不可能であり，現在の計画高水流量の洪水年は大部分の河川では数10年，すなわち，10^1 order である。

アメリカにおけるように，超過洪水群の生起確率が $1/10^5 \sim 1/10^6$ というような小さい値であれば，これは工学上十分に無視することが可能であり，計画高水流量はほとんど“起りうる最大”と考えることもできるのであるが，わが国のような生起確率数 10 分の1の超過洪水群は，計画において，無視することは適当でないと考えられる。

ところで，日本とアメリカの間に，このようないちじるしい相異の生ずる原因は，一つの重要な研究課題であるが，これは単に経済力の相異のみによって起るのではなく，(1)式と(2)式の係数の相異にみられるように，気象的・地理的環境の相異に原因するものであろうと推定される。すなわち，今回の狩野川にみられるような局地的豪雨は，小河川においては致命的に重要であるが，大陸の大河川においては，このような雨が全流域に降るわけではないから，全体としては影響が少なく，かつ，大河川は流路が長いので，洪水は途中で十分に偏平化され，下流では，異常に大きい流量の発生頻度は極端に少ないのではなかろうか。もし，このような原因によるとすれば，わが国のような急流河川の洪水処理は，単に従来からいわれているような流況の問題のみでなく，発生頻度の点からも，大河川とは異なった立場で検討する必要があると考えられる。

表—13　Q/Q_{ave} の　値

係数 \ T	10	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6
0.8	1.8	2.6	3.4	4.2	5.0	5.8
1.1	2.1	3.2	4.3	5.4	6.5	7.6
1.2	2.2	3.4	4.6	5.8	7.0	8.2
1.3	2.3	3.6	4.9	6.2	7.5	8.8
1.4	2.4	3.8	5.2	6.6	8.0	9.4

表—14　各種水工計画洪水量に対する Fuller の洪水年標準

種別	破損時の被害程度	$1+0.8\log_{10} T$	洪水年（T）
建設期間中だけの暫定構造物	わずか	1.5～2	$10^{0.625} \sim 10^{1.25}$
小規模の永久構造物	わずか	2～3	$10^{1.25} \sim 10^{2.5}$
暫定構造物	かなり大	2～3	$10^{1.25} \sim 10^{2.5}$
大規模の永久構造物	物的損害のみ甚大	3～5	$10^{2.5} \sim 10^{5}$
〃	物的・人的被害ともに甚大	5～6	$10^{5} \sim 10^{6.25}$

＊ 岩井氏は大正6年から昭和16年までの25年間の資料を用いているが，上流部に相当長大な改修区域のある栗橋地点の流量の統計的健全性については，一応問題がある。

以上，超過洪水群に対する対策が，わが国の河川については，真に必要であることが理解されたと思われるが，では，われわれはどのような対策を準備すべきであろうか。すでにのべたように，平均して数10年に1回という超過の確率は，冷厳な統計的事実であり，溢流させない堤防とダムによる従来の絶対安全主義の改修を続ける限り，流過可能流量は，今後もたびたび，ついには起りうる最大流量に達するまで，氾濫を契機としつつ，増大せざるをえないのであって，これは，すでにのべたように，わが国の環境条件では不可能かつ無意味であり，もし，可能としても，最終状態に達するまでのたびたびの氾濫は許されないのであって，何らかの他の方策を考えなければならない。従来の人道主義と経済主義の相こくは，実は，従来方式による改修にとらわれたところにその原因が存したのである。とにかく，新らしく準備さるべき方策は，従来のように，固定的なものでなく，いろんな意味で，もっと柔軟性をもった幅の広いものでなければならないであろう。

5. 狩野川洪水の教訓

超過洪水群に対する対策は，明治以後のわが国の河川工学・河川行政・河川計画などには，ほとんど考慮されていなかったのであるから，これに着目すれば，まったく新らしい分野が開かれるわけであり，実に問題は多くとうていここに尽くすべくもないのであって，今後とも十分な検討をしなければならないのであるが，ここでは，今回の狩野川洪水を見聞して，筆者が気付いた点をメモして，自分自身の今後の研究の参考にするとともに，大方の御批判をえたいと思う。

(1) 一般的なこと

a. 超過確率の真の意味の理解

われわれは計画高水流量に対する超過確率を，単に計算上のことであるかのように，軽々にあつかいすぎていたようである。たとえば，狩野川のそれが1/30であり，淀川のそれが1/80であるといってもほんとうに，30年なり，80年に1回，今回の狩野川洪水のような事態が起るものとして，これをうけとっていたであろうか。もし，本当に，この意味を理解していたとすれば，筆者がここで提案するような超過洪水群に対する対策はすでに準備されていたであろう。効果が十分に明確でない余裕高に対して安易な期待をしていた結果が，今回の狩野川や，かつての本明川や利根川の洪水として現われているのである。どうしても，余裕高の効果を明確にして，真に，堤防は確率的にどの程度まで安全なのかを把握する必要があろう。

b. 人命対策と施設対策の分離

従来の河川改修に対する考え方のもっとも大きい盲点の1つは，人命と施設をはっきりと分離しなかったことであろう。そこに，人道主義と経済主義の対立が生じ，一方では，"人命といえども金額に換算できる"という極論が生じ，他方では，"人命ないしは治安に関することであるから，絶対安全の工事をなすべきであり，河川改修については経済性は成立たない"とする意見が重きをなしたのである。

筆者は，ここに，経済的制約の中で，とても堤防ではカバーできない超過洪水群から，少なくとも，人命は100% 防護するために，人命対策と施設対策を分離することを提案する。たとえば人命については，洪水が予想される場合には，あらかじめ待避させるとか，洪水予報を強化するとか，ときには非常に危険な地区には居住を禁止することも考えられよう。そして，施設については，超過を予想した工法による経済的規模の改修工事を実施するのである。これによって，従来のような，既往最大洪水と計画洪水のいたちごっこは避けられ，国民経済に見合った改修工事が着々と実施されよう。

この点については，"既往最大まで上げなければ，現実に破堤した地元民を納得させられない。"とする，一見はなはだ現実的反論があろう。しかし，すでにのべたように，既往最大が決して"起りうる最大"ではないことを思い，超過洪水による被害は，堤防が高ければ高い程大きい[27]ことを思えば，結局は真実のP.R.の問題ではなかろうか。現に，今回の狩野川では，"稀有の今回の出水にとらわれて，土地の減少を無視した河幅や堤防敷幅の増大をしないでほしい"という陳情が，一部の地元民から，でていると聞いている。

なお，施設対策については，経済効果は十分に重視すべきであり，従来から行なわれた研究の成果は大いに活用し，さらに，研究を進めるべきであるが，ここに注意すべき点は，従来のように，計画を超過しない洪水群についての被害軽減額のみでなく，計画を超過する洪水群による被害額の増大をも考慮しておく必要があることである。

c. 地学の河川計画への導入

今回の出水における上流山地の崩壊たとえば筏場の"山が割れた"状態，最低の河岸段丘面上に存在した施設の流失，大仁附近における蛇行の様相，中島における土砂の堆積などを見ると，浸蝕輪廻の一過程としての地学的現象であることをしみじみと感ずる。本質的に，このような自然現象にさからわざるをえない河川工事ではあるが，十分に自然の成行きを理解して，無用の摩擦をさけ，最大の効果をあげるように，工法についても地学的観点から十分に検討すべきであろう。

さらに，河川の様相は地学的環境に大きく支配されるのであり，そこに発生する洪水もまた，もちろんその影響下にある。したがって，地勢急峻な日本の小河川と大陸の大河川の下流部とでは，洪水の様相はまったく異な

るはずであり，そのことは洪水に対する対策にも十分に反映しなければならない。今回の狩野川の出水でも，人命の失なわれたのは沖積地の上流部であり，このような土地や扇状地はとくに注意すべきであろう。

また，後でのべるように，超過洪水の流量および蛇行径路の推定，土地の超過洪水に対する安全度の評価などには，とくに地形学的方法が有効と考えられるのであって，この方面の研究がぜひ必要であろう。

d. 日本古来の河川改修工法の再評価

超過洪水群を想定した柔軟な河川工法を考えた場合，ただちに思い当るのは，霞堤・護岸・水制・石張堤・輪中・溢流堤などを用いた日本古来の工法であって，単に経済力がなかった時代のものとして，これらを見捨てるべきではなかろう。今日の経済力をもってしても，やはり，洪水を完全に制御することは不可能であるからである。

また，古いわが国の河川工事は常時補修をなすことによって行なわれてきた[28]のであり，河川工事における維持の必要は多くの河川工学者の認めるところであって[29]当初より維持・補修を前提とする河川改修計画が望まれる。外力に非常な不確定性を伴ない，また，地学的経年変化のいちじるしいわが国の河川工事を，比較的安定した大陸の河川の下流部の工事や，外力が明瞭で安定した地盤の上に造られる建築物などのように，設計し，完成しようとするところに無理があるのではなかろうか。

(2) 改修工事の確率的安全度の評価

超過洪水群に対する対策の第一は，それがどの程度の発生頻度をもつものであるかを知ることにあることは明らかである。

a. 余裕高の検討

これについては，つぎのように改めることを提案する。すなわち，余裕高としては，すでにのべた従来考慮されていた要素のうち，特殊現象によるもの，すなわち

i. 風の吹き寄せ
ii. 波浪
iii. 水衝部の水位上昇
iv. 流木

のみを，局地的に，それぞれ算定して，考慮することとし，明確に算定しうる堤体の圧密および地盤の沈下を余盛りとする。また，橋梁については，堤防の余裕高とは別に，真に流木その他の流下物を通過しうる橋梁余裕高をとる。

これによって，堤高からこれらのものを除外すれば，真の流過可能流量がわかるわけであるから，その超過確率をもって堤防の確率的安全度を表わすこととし，この値を経済効果または重要度によって決定する。

なお，このような考え方に従がえば，非常出水を余裕高決定に当って考慮することは不要であることは明らかであり，計算誤差は表示する確率的安全度の信頼度の問題となり，さらに，河床変動* および予測しえない地盤沈下などの経年変化は，上記安全度が低下するものと考えて，一定の限界に達したときに大補修をするのである。

b. 流過可能洪水群の評価

さらに，一水系については，前項の余裕高を考慮して，まず，全川の各地点において，流過可能流量を定める。しかる後，計画基準地点——この地点は降雨および流量のいずれでもよいが，流量の場合はなるべく改修区域の最上流であることが望ましい。それは流量資料の統計的健全性を確保するためである。——において，種々の降雨曲線または流量曲線を想定し，これを改修後の河道条件において下流に追跡して，各地点の流過可能流量以下で安全に流過しうる最大洪水群を求める。これはハイドログラフの形状によって，頂点流量の異なる一群の洪水となるはずである。

c. 流過可能洪水群の超過確率の算定

計画基準地点における過去の降雨または流量資料を統計的に処理して，前項で求めた流過可能洪水群の超過確率を算定し，これによって，その水系の確率的安全度とする。

以上は原則的考え方を示したものであって，大河川では，実際には局地的考慮のため，さらに複雑となろう。

(3) 起りうる最大洪水の推定

既往の資料によって，流過可能洪水の超過確率は十分に求めうるであろうが，分布の上限である起りうる最大洪水の大きさは，別途に推定方法を研究する必要がある。その方法として，一応考えられるものはつぎのようである。

a. 既往資料による方法

これは全国各地の降雨または流量（比流量）などを調査し，条件の似た地点同志の間で最大のものを交換する方法である。“昔，中国では，ある流域に記録破りの大豪雨があると，その降雨が今計画している流域にあったら，どのような洪水がでるかを計算していた”そうである[30]。

b. 可能最大降雨による方法

気象学的研究によって，起りうる最大降雨を推定するのである。

c. 地形学的方法

上流山地部における河谷の地形を調査して，既往の洪水における流積とコウ配を推定し，かつて起った洪水の流量を算定しようとするもので，後にのべるように，狩野川の例によると有効な方法のようである。

d. 歴史的方法

* ただし，明確に予測しうる河床変動については，適当な期間を考えて余裕高に入れることも考えられよう。

古記録などの調査によって，過去の大洪水の状況を調査し，前項と同様に，その流量を推定しようとするものである。

(4) 超過洪水時における現象の予測

これは，超過洪水が発生した場合に，どのような現象が起るかを予測するもので，堤防その他の構造物の状況調査，破堤カ所の推定，堤内の流況の推定，破堤現象の研究，流木の研究などが行なわれるべきであり，これによって，洪水予報や水防警報を行なう場合にも，適確な事態の予測が可能となり，事前の行政措置も可能となるであろう。

a. 洪水の現地調査

今回の狩野川の洪水のように，実際に起った現象の状況を調査し，集積するのである。これによって，その河川については，もっとも妥当な予測資料がえられるわけであり，また，他の河川にも適用しうる一般的事項も明らかとなるであろう。

たとえば，今回の狩野川の南条地点の破堤のため，伊豆長岡駅前の密集家屋が多数押し流されたが，これは最近設けられた舗装した新道のために，破堤した水の流向が変わったことが一つの原因となっているのではないかと考えられる*。この南条地点は，すでにのべたように，旧河道の分岐点であって，さきのアイオン台風時にも破堤しているが，水は今回のように駅の西側（表側）へは向わず，東側（裏側）へ向ったようである。東側はすなわち旧河道の位置であって，現在でも相当に凹んでおり，もちろん人家はない。この地点の破堤には，直下流の千歳橋に大量にかかった流木も影響していると考えられるし，また，アイオン台風後に築造した護岸のため，破堤カ所がやや下流にさがったらしいことも，道路と相まって，流れが駅の西に向った原因の一つではないかとみられる。このように，全体のバランスを考えないで特定の個所を補強すると，そのため，つぎの大洪水ではまた思わぬ地点が破堤して，被害を生ずることになるので，とくに注意したい。

また，これと関連して，降雨・水位などの調査施設の問題も重要である。たとえば，途中の氾濫した区間の資料がなくても，上流および下流部の資料があれば，その中間の現象を推定することは不可能ではなく，さらに，氾濫区間でも水位の記録があれば，いっそう解析は容易となるであろう。

b. 地形学的方法

河川附近の地形を，現地踏査・航空写真や平地に50cm程度のコンター・ラインを記入した地形図によって，地形学的に検討すれば，超過洪水時に流路となるであろう旧河道や拡大する河幅に含まれる河岸段丘面はほぼ明らかになるようである。写真－5は大仁附近の洪水前後の航空写真を比較したものであるが，今回河道が拡大して人家の押し流された大仁橋左岸は，洪水前の写真でも，地形は河の様相を示しており，また写真－6は中島部落附近であるが，この部分には，水路と田のアゼの模様によって，旧河道が明らかに認められ，今回破堤した水はこの旧河道にそって流れている。このような状況の個所は，さらに下流にも，白山堂－宗光寺間，南条－中条間などにあり，このような旧河道の調査によって，超過洪水時の堤内の流況および破堤個所について，重要な資料がえられるようである。

c. 模型実験

模型実験によって，超過洪水時に起る現象を研究することも必要であろう。

(5) 土地の洪水に対する安全度の評価

前(4)項の調査・研究が十分に行なわれれば，河川附近の土地の超過洪水群に対する安全度はおのずから明らかになる。そして，つぎの処置がとらるべきであろう。

a. 施設の規制

超過洪水時に河道となる可能性の多い土地には，人命の被害や，経済上甚大な被害をうけるような施設は規制されるべきであろう。すでに，地すべり等防止法では**地すべりによる被害の除却または軽減のため，これが実施されている。河川についても，河川附近地制限令および河川予定地制限令で，河川附近または新らたに河川となる土地については，河川に害を及ぼすものを規制する立場からの立法がなされているが***，河川の氾濫から公害を除去し，軽減する立場からの立法がなされていないのは，はなはだいかんである。

b. 地元民への広報

経過の粗筆は十分検討しなければならないが，理想としては，真の河川の安全度を地元民に知らせることが必要であり，さらには，超過洪水時における現象の予測や土地の安全度が十分に広報される必要があろう。これをあらかじめ知っておれば，今回の狩野川におけるような多数の人命の被害は起らなかったかも知れない。

(6) 洪水予報の研究と施設の強化

すでにのべたように，今回の狩野川の出水でも，上流で大豪雨が降っていることを知らなかったことが，人命被害の原因の一つとなっている。

土地の安全度を知っており，かつ，上流で何が起っているかを知っておれば，施設と異なり足のある人命については，被害は起らないはずである。逃げる場所がなかったのではなく，逃げることをしなかったのであり，同

---

* 土木学会誌，第43巻，第10号，表紙裏の写真“伊豆長岡町千才橋上流 320m右岸の欠壊状況”，を参照のこと

** 地すべり等防止法，第24条

*** 河川付近地制限令，第1条，第2条，河川予定地制限令，第3条，第4条

様の地形のところは日本の各地に存在することを思えば，河川管理者のなすべきことは明らかであろう。

洪水予報を行なうためには，推定計算方法の研究ももちろん重要であるが，安定な通信設備を強化することが，絶対に必要である。今回でも 120mm/hr という雨量を知り，計画にとった雨量を知っておれば，詳細な事態の予測まではつかなくても，非常事態であることだけはわかる。ただ，常時から超過洪水時の現象を研究していないと，非常事態だということだけはわかっても，どこの住民がどこへ逃げるべきかというような適確な判断がつかないことをおそれるのである。

超過洪水冊をあらかじめ想定した河川高水計画ということになれば，おそらく洪水予報は改修工事と同等のウェイトをもってくるわけであり，真の洪水対策はこれを車の両輪として行なわれるべきではなかろうか。現在の水防法は主に水防活動がなしうる程度の洪水を対象としているようであり，水防活動がなしえないか，または水防が失敗した場合はほとんど真剣には想定されていないように見うけられる*。

(7) 超過洪水対策の根本的研究

以上は，主に，すでに従来方式の改修が行なわれている場合について考察したのであるが，まったく新らしい立場から，超過洪水を前提とする河川高水処理法が十分に研究さるべきであろう。

a. 改修方針

連続堤を主体とする改修工事のみでなく，霞堤・護岸・水制などを有効にとり入れ，維持を前提とする工法が，地形に応じて，とらるべきであろう。今回の狩野川洪水の破堤状況は図—11に示すようで，河川コウ配と破堤延長の関係は明瞭であり，急コウ配の部分と緩コウ配の部分における現象の相異をよく示している。

b. 堤防法線

上流部では河川の蛇行の研究が非常に重要である。蛇行の平面形状が超過洪水時には常時とはまったく異なっていることは注意を要する。また，これが谷の地形に大きく支配されていることも重要な点であって，これについても地形学的研究が一つの有効な方法を提供するだろう。

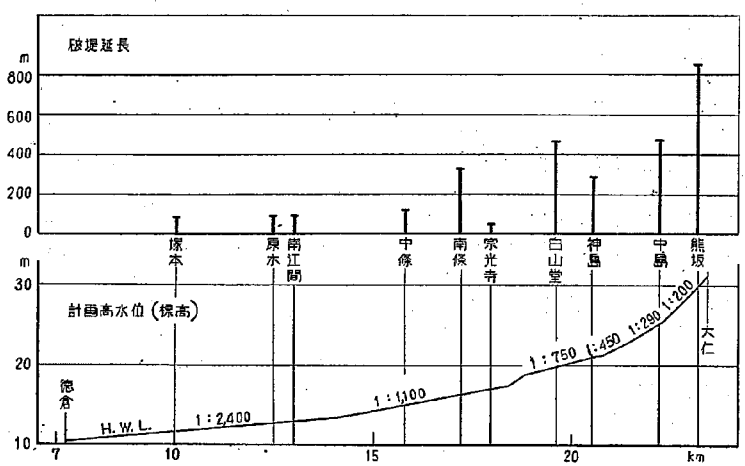
c. 構造物

堤防・護岸などは超過洪水による溢水を前提とする構造が研究さるべきであろう。このような立場に立てば，必要な部分に被覆をほどこした高さの低い堤防も考えられ，堤防用地の減少を考えれば，土砂以外の材料による堤防も研究さるべきであろう**。また，超過洪水については，その超過時間を考慮する必要がある。

また，護岸・水制などについては，それが水の挙動に及ぼす影響を十分検討して，計画する必要がある。全体のバランスをよく検討し，局部的に補強したために，いたずらに，不測の事態を生ずることのないよう十分注意すべきである。

d. 特殊施設

人命および重要施設の保護のためには，輪中，施設の盛土によるかさ上，家屋の永久構造化など各種の特殊施設も考えられよう。流勢が強大でなければ，単なる混水



図—11 狩野川破堤状況

* 水防法，第18条，第19条。

** ミシシッピー川では，高さ約 6.3m の洪水防禦壁（鉄筋コンクリート）が施工されている。
(Engi. News Rec., July 17, 1958)

のみでは致命的被害は生じないことはとくに考慮さるべきである。

e. 溢流堤

従来工法としても，古くから行なわれている溢流堤方式[31]による溢水個所の規制は，とくに再評価の必要があろう。溢水しても，その場所があらかじめ適当な個所を選定してあれば，被害は軽減し，あらかじめ対策を講ることも容易である。実際には，数10分の1の超過確率があることを認めながら，余裕高に頼って，溢水を想定した計画をせず，超過洪水が生ずれば，どこがどういう状態で破堤するのかわからないのが，対策を困難にする一因である。電気にはヒューズ，動力伝導機構にはクラッチやベルトなどのオーバー・ロード対策が講じてある。まして，その被害甚大な河川改修工事においておやである。

6. あとがき

改修計画の想定した洪水の規模をはるかに突破し，甚大な被害を及ぼした狩野川洪水の実状をのべ，従来の溢流を前提としない改修方針の矛盾について検討して，計画を超過する洪水群に対する対策の必要を強調し，その観点から，狩野川洪水からえられる教訓についてのべた。

いずれ，狩野川については，当局の調査にもとずいて適切な改修工事が行なわれることを期待し，今回の出水における犠牲者の方々のめい福を祈りつつ筆をおく。

おわりに，資料については中部地建沼津工事々務所長中島義美技官および同工務課長椎野佐昌技官の御好意によるところが多い。ここに記して謝意を表する。また，文中の今回出水に関する数字は，つぎの資料によったことを附記する。

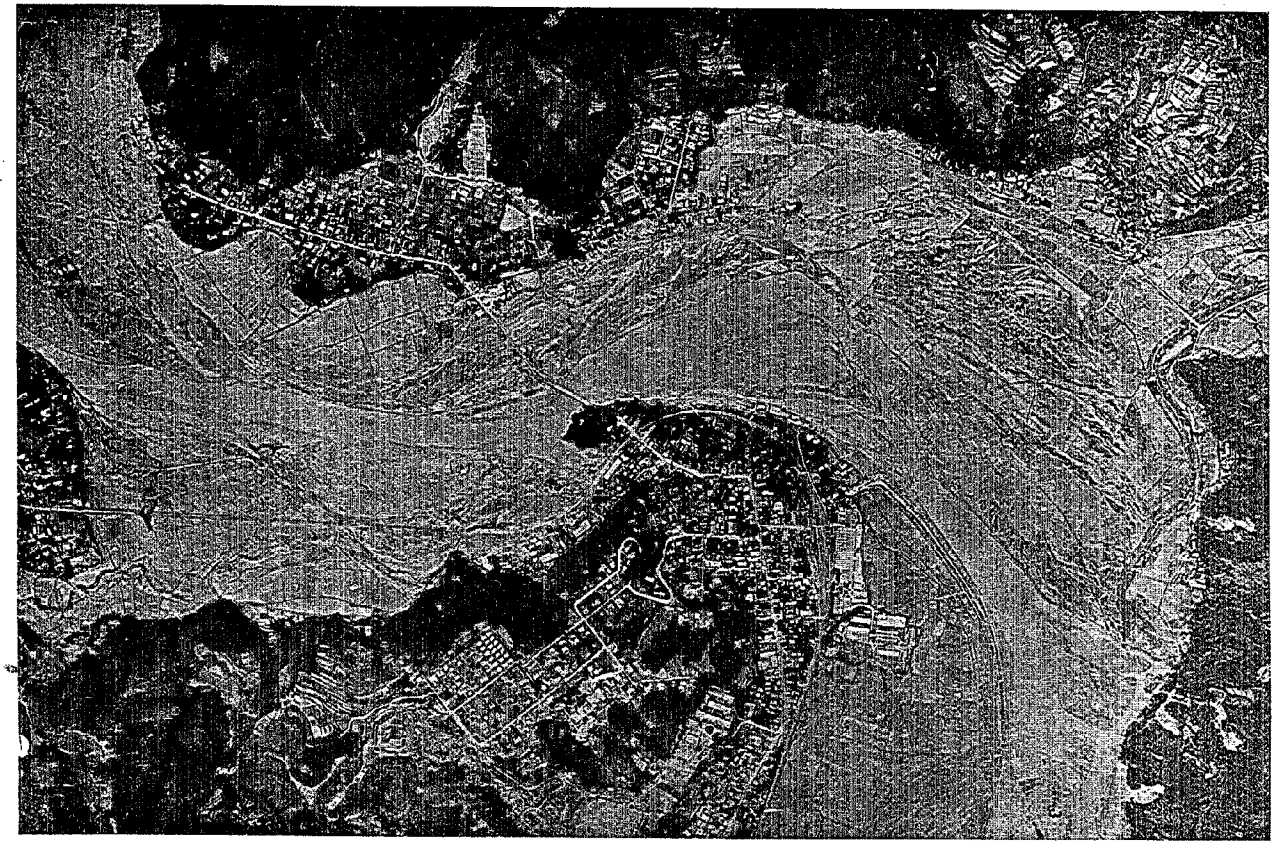
○中部地方建設局〔1958〕"台風22号による狩野川の出水" 昭. 33. 10.

○建設省沼津工事々務所〔1958〕"昭和33年22号台風の出水状況（昭和33年9月26日)"

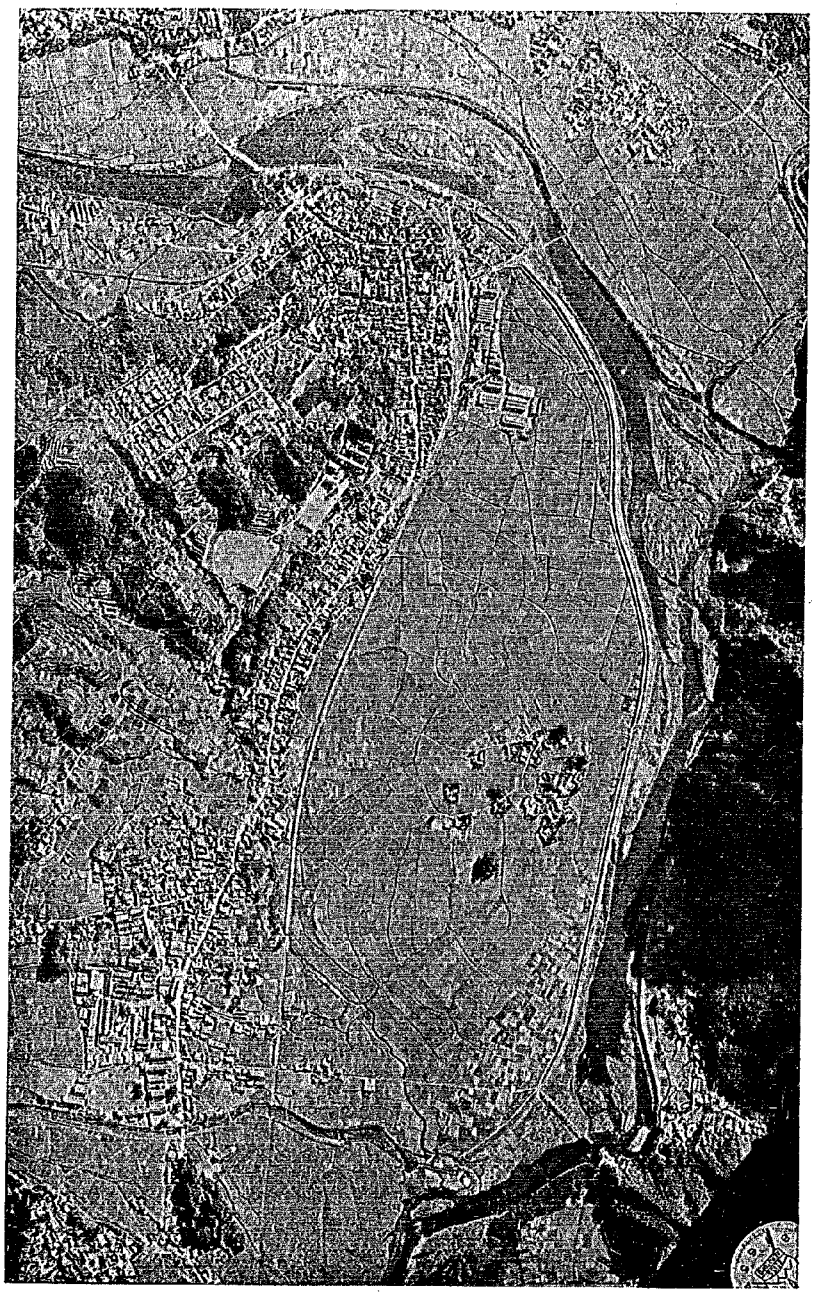
文　献

1) 河川局治水課〔1953〕"狩野川計画洪水量の検討" 昭. 28. 6. 22., 非公刊, ガリバン刷。
2) 建設省中部地方建設局沼津工事々務所〔1952〕"狩野川計画洪水量案に関する説明書" 昭. 27. 12., 非公刊, ガリバン刷。
3) 富永正義〔1942〕"河川", 岩波書店, p. 82, p. 102, p. 110.
4) 野満隆治〔1943〕"河川学", 地人書館, p. 130.
5) 米田正文〔1952〕"淀川計画高水論", 緒言 p. 1, p. 3.
6) 石原藤次郎〔1953〕"計画高水流量について", 土木学会, 水工学の最近の進歩, p. 135.
7) 川村満雄・渡辺隆二〔1954〕"河川工学便覧(上巻)", コロナ社, 第2編, 第2章, 河川改修計画, p. 168.
8) 横田周平〔1955〕"緩流河川工法", 森北出版, p. 17.
9) 矢野勝正〔1958〕"洪水特論", 理工図書, p. 90.
10) 前出 9) に同じ, pp. 89～90.
11) 安芸皎一〔1948〕"計画高水流に就ての2・3の問題" 土木研究, 第1輯, 鹿鳴出版社, p. 3.
12) 石原藤次郎・岩井重久〔1949〕"水文統計学上より見た本邦河川計画の合理化について", 土木学会誌, 第34巻, 第4号, pp. 24～29.
13) 岩井重久〔1947〕"水文学における非対称分布に就て" 土木学会論文集, 1・2合併号, p. 101.
14) 中安米蔵〔1950〕"治水計画における洪水流量について".
15) 前出 5) に同じ。
16) 飯塚敬夫〔1953〕"確率計算法とその応用 (5)" 土木工学, 第2巻, 第9号, pp. 12～15.
17) 土木工学編集部〔1953〕"計画高水量の推計学的検討", 土木工学, 第2巻, 第9号, p. 21.
18) 前出 6), p. 149.
19) 建設省〔1957〕"河川砂防技術基準(案)", 2編, 2章, pp. 1～4.
20) 前出 5), 緒言 p. 7.
21) 前出 3), pp. 143～146.
22) 安芸皎一〔1952〕"河川工学〔訂正版〕", 共立全書14, 共立出版, p. 103.
23) 前出 7), p. 189; p. 191.
24) 前出 8), p. 26, p. 39.
25) 前出19), 2編, 5章, p. 5～6.
26) 岩井重久〔1953〕"米国における水文統計学について" 土木学会, 水工学の最近の進歩, pp. 117～120.
27) 前出 3), p. 140, p. 324.
前出12), p. 28.
前出22), p. 85.
28) 安芸皎一〔1951〕"河相論", 岩波書店, p. 145～146.
29) 前出 3), p. 160～161, p. 324～325.
前出 5), 緒言 p. 2.
矢野勝正〔1953〕"わが国災害の現状とその性格", 土木学会, 水工学の最近の進歩, p. 201.
前出 8), pp. 266～269.
30) 前出 9), p. 92.
31) 前出 3), pp. 137～139., p. 325.
前出22), pp. 96～98.
前出 8), pp. 111～112.

写 真—5(a)　大 仁 付 近 の 航 空 写 真（洪水前）



写 真−5(b)　大 仁 付 近 の 航 空 写 真(洪水後)



写 真—6(a)　中島付近の航空写真（洪水前）

写 真—6(b)　中島付近の航空写真(洪水後)

既設ダムの流量係数に関する研究

1. 筑後川夜明けダム

村　幸雄*・八木亀助**・藤崎利雄***

（昭和35年10月）

目　次

1. 概　要……(1)
2. 模型について……(1)
3. 実験計画……(1)
4. ダム下流水位と流量……(3)
5. 主余水吐自由越流時の水位と流量……(5)
6. 主余水吐門扉等高開放時の水位と流量…(11)
7. 左岸固定堰，右岸固定堰および起伏堰の水位—流量の関係……(20)
8. 結　語……(22)

1. 概　要

洪水時に流量測定を行なうことは，将来の治水計画にも，下流への洪水予報にも必要であるが，浮子または流速計等で洪水時に流量を測定することは，非常な困難をともない，かつ測定結果に高い精度は望みえない。

そこで，既設のダムの流量係数を模型実験によって求め，そのダムを量水堰として利用しようという目的でこの実験が計画され，その第1計画として，筑後川夜明ダムが選ばれた。ここに昭和32年度後半より昭和33年度前半にわたって行なわれた実験の結果を報告する。

夜明ダムは，図—1に示すように，筑後川上流日田市の下流約 10km（河口より約65km）の地点に，九州電力株式会社が建設したもので，その構造概要は，図—2,3に示すとおりである。

2. 模型について

模型は，当所篠崎分室ダム部ダム水理研究室の第3実験場を使用し，実験場の広さと模型に取り入れる上流および下流河床の範囲等の関係から，模型の縮尺は，1/60とした。

ダムの主余水吐部分は，木造としてビニール塗料を塗装し，吸湿乾燥等による木材の変形を防ぎ，右岸および左岸固定堰と起伏堰はモルタル下塗でセメントペーストの上塗りを行ない，砥石で磨いて仕上げた。

ダム上流部（調整池）および下流河床は，九州電力株式会社で昭和32年9月に測量した結果にもとずいて製作し，上流はダム軸より約 400m，下流は約350mまで地形を模型化し，上流端および下流端に，模型で長さ1m程の河床に近似した形の導水路を設け，上流部導水路には整流装置を，下流部導水路端には，ダム下流水位を調節することができるように下流水位調節装置を設けた。

模型流量は，おもに上流鋼製水槽（8m×6m×2.2m）附属の巾3,000粍矩形鋭縁堰で，小流量の場合は下流導水路の操作により，巾400粍，800粍，2,000粍等の矩形鋭縁堰を使用して測定した。

実物に対する本模型による諸量の縮率は，フルードの相似律に従い，長さまたは水深等は 1/60 流量は 1/27,885・6 越流係数または流量係数は 1：1 となる。

3. 実験計画

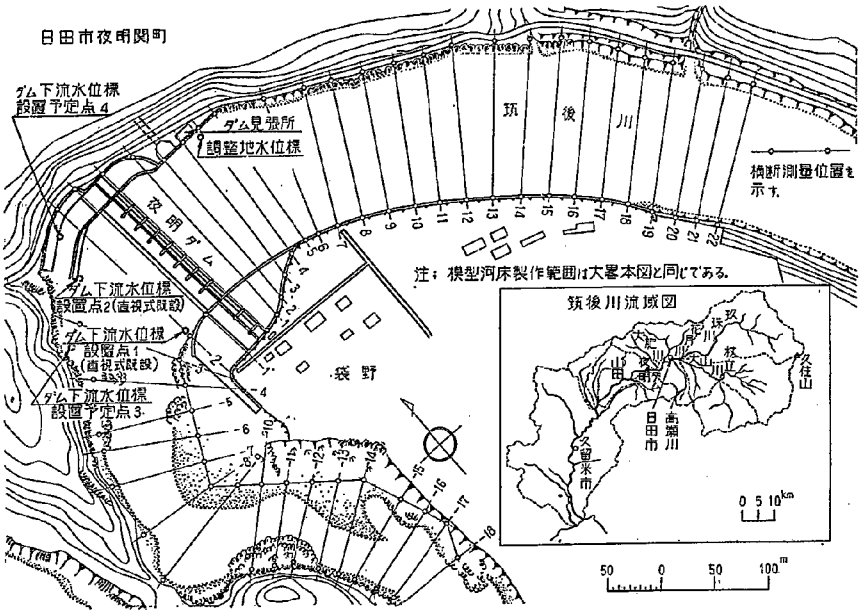
(1) ダム下流水位の問題

種々の流量に対し，ダム下流水位がどのような水位になるかにより，越流状況が完全越流になる場合から不完全越流になる場合までの，さまざまな状態が考えられるのであるが，これについて，流量と下流水位の関係の確実な実測資料がないので，その一つの資料として，昭和28年6月下旬の水害に関する夜明ダム調査報告書（福岡県　大分県）一以下単に「調査報告」と呼ぶ一の推定水位—流量曲線　図—5を参考とし，各種流量に対し，下流水位を「調査報告」記載の水位より低いところから，これより高いところにわたり出来るだけ広い範囲に変えて実験し，現地で実際に観測した下流水位が実験の範囲内に含まれるようにした。

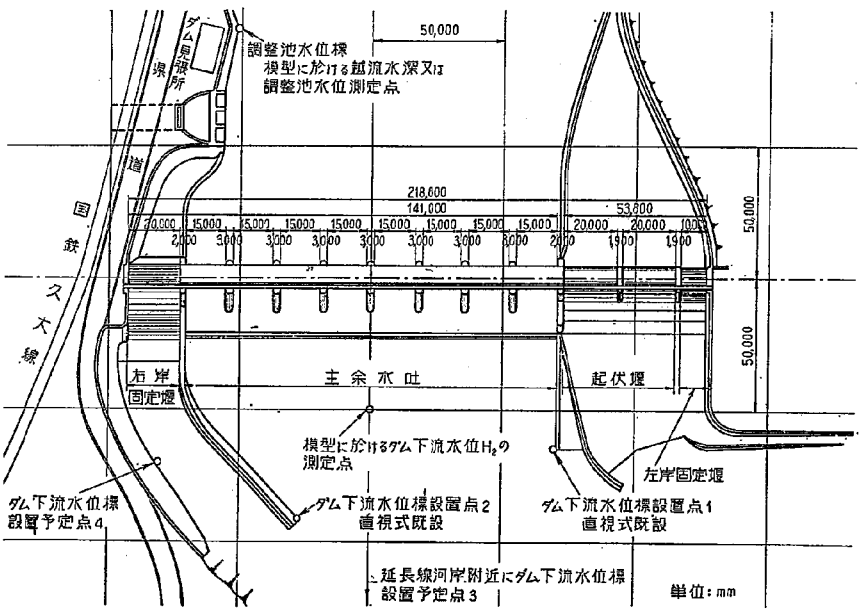
(2) 調整池滞砂の影響

調整池の滞砂状況がダムの流量係数に影響するものであり，ことに本ダムのように低いダムでは，その影響が顕著であることが予想されるのであるが，ある状態に滞積した土砂が洪水時にどのように掃流されるかは，同じ流量でも門扉の開き方で異なり，調整池水位を常時満水

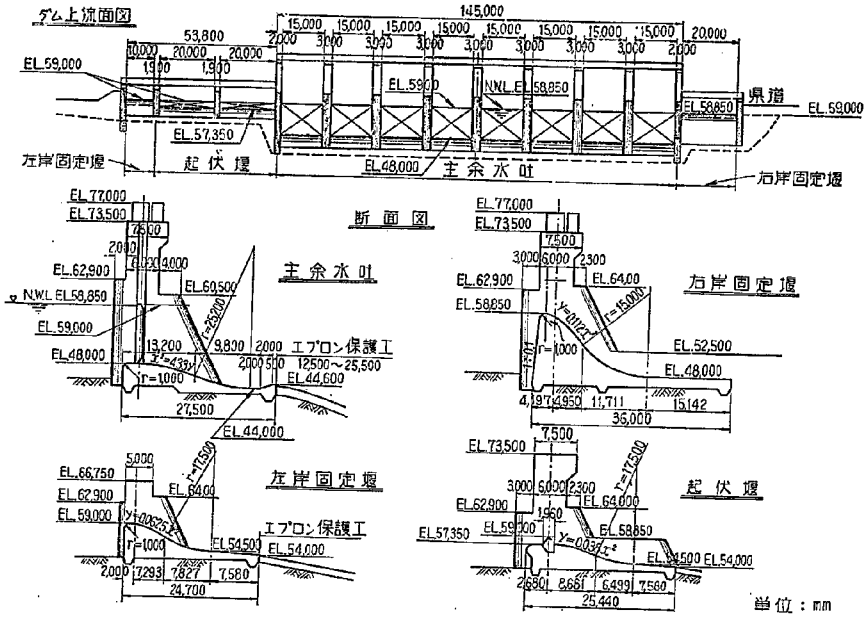
* ダム部長
** 元ダム部ダム水理研究室長　現建設技術研究所研究員
*** ダム水理研究室研究員



図－1 夜明ダム附近平面図



図－2 夜明ダム平面図



図－3　ダム上流面断面図

位近く保ちながら部分開放する場合と，門扉を大きく開放し，調整池水位を常時満水位より低下させて放流する場合とで異なる。また厳密に云えば，洪水流下中の滞砂形と洪水終了後の滞砂形の相違等もあり，本実験において滞砂の掃流状況をも併せて解明することは至難なので，2,3 の滞積土砂の推定掃流形を固定河床模型で，その流量係数への影響を検討することにした。

(3) 門扉の開き方

大洪水の際は，各門扉を全開して放流しなければならないが，中小洪水に対しては，発電上の関係から，調整池水位を満水位附近に保ちながら，門扉の部分開放を行なって余水を放流しなければならない。そういう場合の門扉の開け方は，操作規定で決められていて，開け始めは中央から左右の門扉に移ること，隣接門扉との開度の差は1m以内とすることが定められているが，この規定の範囲内でも門扉の開き方の組合わせは多種多様になり，それらの操作状態はあまりに組合せが多すぎるので，全門扉を等開度に開いて実験することにした。

(4) 主余水吐と左右固定堰および起伏堰の分離実験

左右固定堰と起伏堰部分の流量係数については，主余水吐と分離して別々に実験を行ない，主余水吐に対する実験の場合はそれ等を閉鎖して主余水吐だけについて実験し，流出量は，相互の実験結果を加算することにより求めた。

4. ダム下流水位と流量

(1) ダム下流水位測定位置

この実験結果を利用して，現地で実際の流量を知るためには，調整池水位（越流水深 h_0），門扉の開度 a，およびダム下流水位 H_2 を知る必要があるが，ダム下流水位測定位置としては，水理的に適当であること，水位標設置工事に適した位置であること，維持管理に便なる場所であること等の条件を考え，図－2に示す 1, 2, 3 の3ケ所の候補地点を選び，さらに模型実験流況からその適否を判断した，

3の位置は，ダム軸下流約100m 附近の狭搾部より下流にあり，そこの水位が主余水吐流量におよぼす影響が敏感でなく，ダム下流水位測定点としては不適当であることがわかったので，1，2および4の位置の水位を測ることにし，いずれも河床から銅管（内径10粍）で模型外に導いて内径30粍の硝子管で測定した。

大洪水で門扉全開の場合，および小量の増水で調整池の満水面を保ちながら余水を放流する場合に，ダム下流水位測定に最適の位置を，模型流況から水理的に観察すると，主余水吐中心線上のダム軸下流50mの位置が最良と認められるので，その位置の水位を測定し，これをダム下流水位 H_2 と呼ぶことにした。

本報告で，ダム下流水位 H_2 は，いずれもこの位置の

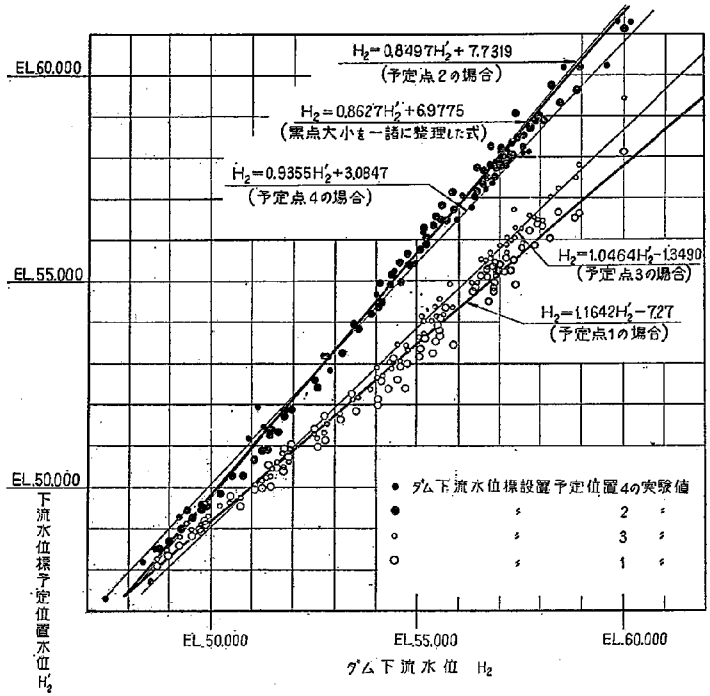


図 — 4　ダム下流水位 H_2 と下流水位標予定位置水位 H_2' との関係

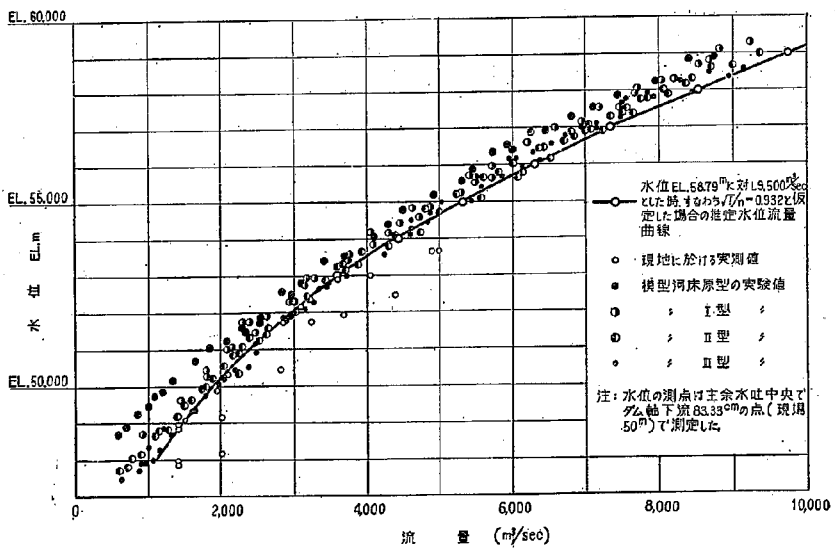


図 — 5　ダム下流水位推定値と実測値・実験値の関係

水位によっている。従って将来実際にダム下流水位の水位標が前記候補地点のどの位置に設けられても，図－4を使用して，その水位を H_2 に換算する必要がある。

(2) 「調査報告」の推定下流水位と実験下流水位

「調査報告」の中で推定されているダム下流水位は，図－5に示すとおりで，模型では，ダムの上流(調整池)には，実物の粗度係数（「調査報告」推定）相当の粗度をつけたのにたいし，ダム下流河床はこれより粗度係数の小さいモルタル仕上げのままとし，ダム下流水位が実物で起る水位より低くなると予想されたにもかかわらず，実験によるダム下流水位と流量の関係は，図－5にしめすとおりであり，「調査報告」推定水位より全般に高い水位をしめている。

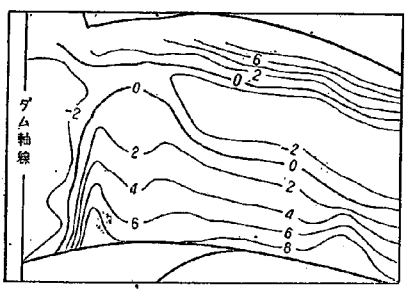
その原因は，昭和28年6月の洪水時よりもダム下流河床が上昇したためではないかと思われるが，はっきりしたことはわからない。しかし今後の河床低下が考えられるので，下流水位がもっと下った場合の実験を行なうために，現地調査の資料に基ずき，下流に砂礫の滞積している部分の模型河床を3種に掘り下げ，下流河床原型に対し，これらを模型河床Ⅰ型，Ⅱ型，Ⅲ型と区別し，各場合の水位と流量の関係を求めた結果，図－5に記載のとおりで，Ⅲ型でようやく「調査報告」推定水位に近いところまでダム下流水位が下ったが，ダム軸下流約100m附近の狭搾部のため，下流河床をこれ以上掘り下げても狭搾部附近に射流を生じ，その上流側にあるダム下流水位測定位置の水位には影響しなくなった。

しかし，このⅢ型のダム下流水位でも，別項説明のように，流量の大きい場合は不完全越流になることがわかったので，完全越流状態での流量係数を求めるために，ダム水叩部下流河床に排水孔を設け，下流水位の影響を除いた場合の実験も行なった。

5. 主余水吐自由越流時の水位と流量

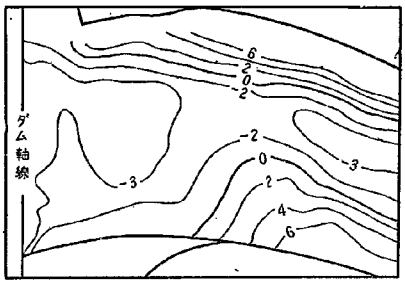
(1) 調整池の滞砂と水位流量の関係

調整池の模型河床は固定河床とし，「調査報告」推定の



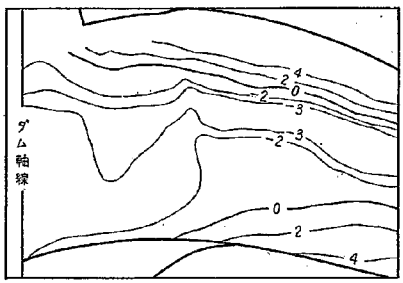
等高線0はEL.48mであり，書込数字は実物値mである。

図－6.1　滞砂型・原型



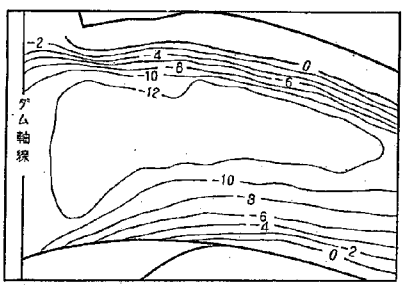
等高線0はEL.48mであり，書込数字は実物値mである。

図－6.2　滞砂形　Ⅰ型



等高線0はEL.48mであり書込数字は実物値mである。

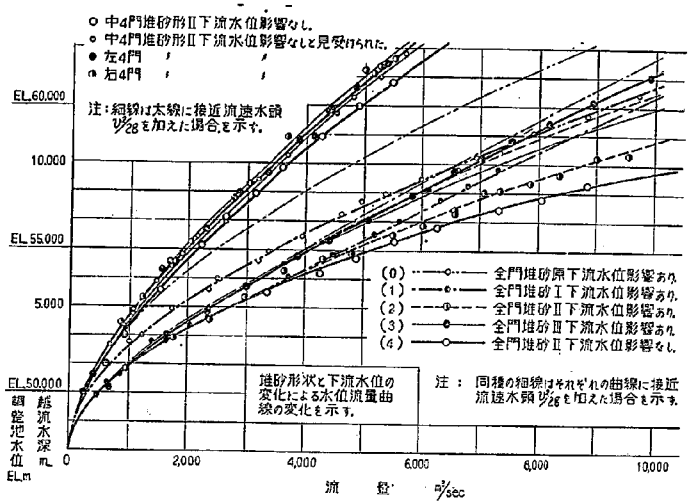
図－6.3　滞砂形　Ⅱ型



等高線0はEL.48mであり，書込数字は実物値mである。

図－6.4　滞砂形　Ⅲ型

$n=0.038$ を 1/60 模型に換算 $n=0.038/60^{1/6}=0.0192$ とし，流量と水面勾配の関係が成り立つように，模型河床に小砂利を張りつけて調整を行なった。この原型滞砂形（昭和32年9月測量)は，図－6.1 に等高線でしめすように，左岸寄りに多く滞積し，ダム近くだけがわずかに洞流されたような形状と見られる。したがって調整池の河床を前記状態に固定河床として作った場合，門扉をわずかに部分開放した場合の流量係数は実物と相似するが，門扉を全開または大きく開けた場合には，調整池の



図－7 主余水吐の水位流量曲線

滞砂形か変ることが予想されるので，調整池滞砂形を2,3種の推定掃流形に変えて実験比較することにした。

図－7，表－1は，これらの滞砂形による水位，流量関係の変化を示すもので，曲線（0）は原型滞砂形の場合の水位－流量曲線である。原型滞砂形の場合は，小流量のとき調整池に射流が生じ，しかも固定河床のため河床形状が変らないのでダム上流の凹部に，右岸寄りの流心部から左岸寄りに向うダムに沿った流れを生じるような流況を呈し，この原型滞砂形は，小開度の部分開放時以外には存在しないものと考えられる。

よって一部の調整池滞砂が掃流されて，図—6.2のようになった場合を想定し，これを滞砂形Ⅰ型とし，実験の結果，図－7の水位－流量曲線(1)をえた。

つぎに，図—6.3の滞砂形Ⅱ型のように掃流された場合について実験の結果図－7の水位－流量曲線(2)をえた。

これら，（0）（1）（2）の水位－流量曲線に接近流速水頭（断面上流4における値）を加算した曲線は，同種の細線でしめされる。

（0）およびそれに接近流速水頭を加えた水位－流量曲線が特に高いのは，調整池水位標附近の河床が高いので水位標水位が高く，かつ水深が浅く流速が大きく流量が実物換算6,000m³/secより少ない場合には，水位標附近からダムまでの間に射流を生じているためと思われる。

水位－流量曲線(1)では，小流量の場合ダム附近に射流を生ずるような状態はなくなったが，流量の大きい場合，原型河床と推定掃流河床のすり付け部付近に射流に近い流れが見受けられた。そのためであろうか接近流速水頭を加えた水位－流量曲線の大流量の部分で，水位が高い傾向が見られた。したがって大洪水時には，滞砂形状はⅠ型よりさらに掃流されたものになると考えられる。

水位－流量曲線(2)は，滞砂形Ⅰ型より上流まで掃流された形状について実験した結果で，ダム附近に射流を生ぜず，水位標の水位は，流量4,000m³/sec附近まで水位－流量曲線(1)と一致し，それ以上の流量に対しては，水位が低くなる。

このように滞砂形が変ると，同一流量に対して調整池水位が変るので，実際には起りえないと考えられるダム築造前の河床よりさらに，図—6.4のように調整池を掘り下げて実験を行なった結果は，水位－流量曲線(3)の通りで，この場合は流速が小さくなるため，接近流速水頭を加算した水位－流量曲線も(3)とほとんど同じである。

以上の結果から，調整池滞砂形の相違が，水位，流量の関係に相当影響することがわかるが，接近流速水頭の補正をすれば，それぞれの場合の水位－流量曲線は大体似ている。ことに滞砂形Ⅱ型とⅢ型では流量6,000m³/sec程度まで大差ないので，Ⅱ型程度に掃流されればさらにそれ以上に掃流される場合があっても，接近流速水頭の補正を行なえば，水位，流量の関係は変わらないものと考えてよい。

流量6,000m³/sec以上の場合については，若干の差があるが，Ⅲ型はダム築造前の河床以下に掘り下げた極端な例で，現実には考えられない河床形であるので，Ⅱ型滞砂形で接近流速水頭の補正を行なった水位－流量曲線を採用するのが適当と考えられる。

したがって以下の各実験では，すべて調整池滞砂形を

表－1

実験番号 10 全門自由越流　滞砂形原型　下流河床原型

番号	模型 越水深 (cm)	模型 接近流速水頭 (cm)	模型 流量 (cm³/sec)	実物 越水深 (m)	実物 流量 (m³/sec)	流量係数	実物 接近流速水頭 (m)
1	6.24	1.13	36.7	3.744	1,022.3	0.207	0.678
2	6.66	1.42	44.8	3.996	1,250.0	0.223	0.852
3	8.20	1.60	62.7	4.920	1,749.8	0.231	0.960
4	9.90	2.03	90.8	5.940	2,531.3	0.249	1.218
5	10.96	2.43	114.5	6.576	3,192.7	0.264	1.458
6	11.49	2.36	120.5	6.894	3,360.0	0.264	1.416
7	12.42	2.63	142.0	7.452	3,960.0	0.275	1.578
8	13.72	2.72	165.7	8.232	4,619.5	0.281	1.632
9	14.42	2.73	178.2	8.652	4,970.1	0.283	1.638
10	14.91	2.91	192.7	8.946	5,374.9	0.289	1.746
11	15.71	3.14	215.2	9.426	6,000.2	0.296	1.884
12	16.98	3.39	248.5	10.188	6,930.3	0.305	2.034
13	18.44	3.48	283.3	11.064	7,900.0	0.312	2.088
14	19.46	3.74	316.5	11.676	8,824.9	0.320	2.244
15	20.67	3.85	347.9	12.402	9,700.8	0.324	2.310
16	22.11	4.04	388.0	13.266	10,819.3	0.328	2.424

実験番号 100　全門自由越流　滞砂形Ⅰ型　下流河床Ⅲ型

番号	模型 越水深 (cm)	模型 接近流速水頭 (cm)	模型 流量 (cm³/sec)	実物 越水深 (m)	実物 流量 (m³/sec)	流量係数	実物 接近流速水頭 (m)
1	2.77	0.05	13.2	1.662	368.1	0.314	0.033
2	4.30	0.16	27.6	2.580	769.6	0.332	0.093
3	5.66	0.35	48.6	3.396	1,355.2	0.372	0.211
4	6.83	0.54	68.1	4.100	1,899.0	0.384	0.322
5	7.85	0.76	88.9	4.710	2,479.0	0.398	0.453
6	8.80	0.95	108.8	5.280	3,034.0	0.404	0.571
7	9.72	1.13	128.2	5.832	3,574.9	0.405	0.680
8	11.50	1.45	165.6	6.900	4,617.9	0.401	0.868
9	12.41	1.54	182.5	7.446	5,089.1	0.396	0.925
10	13.55	1.70	206.5	8.130	5,758.4	0.392	1.019
11	14.36	1.77	222.0	8.616	6,190.6	0.387	1.062
12	15.74	1.97	254.5	9.444	7,096.9	0.386	1.180
13	16.30	2.05	267.6	9.780	7,462.2	0.385	1.230
14	17.24	2.08	284.6	10.344	7,936.2	0.379	1.247
15	18.67	2.12	310.4	11.202	8,655.7	0.370	1.270
16	19.70	2.27	339.1	11.820	9,456.0	0.372	1.364
17	20.37	2.47	364.9	12.222	10,175.5	0.378	1.479
18	22.35	2.76	417.1	13.410	11,631.1	0.375	1.657

実験番号200 全門自由越流　滞砂形　Ⅱ型　下流河床　Ⅲ型

番号	模型 越水深 (cm)	模型 接近流速水頭 (cm)	模型 流量 (cm³/sec)	実物 越水深 (m)	実物 流量 (m³/sec)	流量係数	実物 接近流速水頭 (m)
1	4.71	0.24	33.8	2.826	942.5	0.347	0.144
2	5.15	0.27	40.6	3.090	1,132.2	0.363	0.165
3	6.33	0.34	51.0	3.798	1,422.2	0.334	0.201
4	7.68	0.74	86.7	4.608	2,417.7	0.401	0.443
5	8.40	0.88	100.8	5.040	2,810.9	0.403	0.527
6	9.18	0.99	115.9	5.508	3,231.9	0.404	0.595
7	10.07	1.19	135.2	6.042	3,770.1	0.404	0.714
8	10.96	1.42	157.7	6.576	4,397.6	0.390	0.852
9	11.37	1.61	173.0	6.822	4,824.2	0.418	0.966
10	12.50	1.80	198.3	7.500	5,529.7	0.414	1.079
11	13.04	1.97	217.1	7.824	6,054.0	0.420	1.185
12	13.76	2.17	236.7	8.256	6,600.5	0.421	1.302
13	13.95	2.12	236.5	8.370	6,594.9	0.415	1.271
14	15.00	2.14	254.0	9.000	7,082.9	0.404	1.285
15	15.07	2.29	263.4	9.042	7,345.1	0.411	1.375
16	15.47	2.51	282.8	9.282	7,886.1	0.419	1.507
17	16.02	2.64	300.2	9.612	8,371.3	0.421	1.587
18	17.01	2.74	323.0	10.206	9,007.1	0.416	1.642
19	17.14	3.02	341.8	10.284	9,531.3	0.426	1.814
20	18.05	2.99	356.7	10.830	9,946.8	0.418	1.793

実験番号 220　右4門自由越流　滞砂形Ⅱ型　下流河床　Ⅲ型

番号	模型 越水深 (cm)	模型 接近流速水頭 (cm)	模型 流量 (cm³/sec)	実物 越水深 (m)	実物 流量 (m³/sec)	流量係数	実物 接近流速水頭 (m)
1	3.73	0.02	10.1	2.238	281.7	0.314	0.014
2	5.58	0.03	19.9	3.348	554.9	0.336	0.018
3	7.33	0.10	31.3	4.398	872.8	0.349	0.062
4	8.85	0.15	44.0	5.310	1,227.0	0.368	0.093
5	10.90	0.24	64.0	6.540	1,784.7	0.389	0.141
6	12.10	0.26	73.2	7.260	2,041.2	0.366	0.155
7	15.45	0.37	108.8	9.270	3,034.0	0.391	0.223
8	18.15	0.45	130.9	10.890	3,650.2	0.369	0.269
9	19.65	0.49	157.7	11.790	4,397.6	0.394	0.296
10	22.00	0.52	179.0	13.200	4,991.5	0.378	0.313
11	21.84	0.55	185.2	13.104	5,164.4	0.395	0.332
12	22.54	0.53	187.4	13.524	5,225.8	0.382	0.319
13	22.71	0.58	197.2	13.626	5,499.0	0.396	0.348

実験番号 250 中4門自由越流 滞砂形 Ⅱ型 下流河床 Ⅲ型

番号	模型 越水深 (cm)	模型 接近流速水頭 (cm)	模型 流量 (cm³/sec)	実物 越水深 (m)	実物 流量 (m³/sec)	流量係数	実物 接近流速水頭 (m)
1	5.33	0.06	19.2	3.198	535.4	0.347	0.036
2	6.15	0.08	24.0	3.690	669.3	0.349	0.046
3	7.96	0.13	37.9	4.776	1,056.9	0.372	0.080
4	8.14	0.13	38.1	4.884	1,062.4	0.362	0.080
5	9.80	0.19	53.0	5.880	1,477.9	0.379	0.115
6	10.75	0.22	61.8	6.450	1,723.3	0.384	0.134
7	12.40	0.28	78.0	7.440	2,175.1	0.390	0.168
8	13.24	0.37	94.9	7.944	2,646.3	0.427	0.222
9	15.64	0.40	113.7	9.384	3,170.6	0.400	0.240
10	19.50	0.53	162.0	11.700	4,517.5	0.408	0.318
11	20.44	0.54	171.8	12.264	4,790.8	0.404	0.324
12	21.63	0.59	189.1	12.978	5,273.2	0.408	0.354
13	22.90	0.61	204.4	13.740	5,699.8	0.405	0.366

実験番号 240 左4門自由越流　滞砂形　Ⅱ型　下流河床Ⅲ型

番号	模型 越水深 (cm)	模型 接近流速水頭 (cm)	模型 流量 (cm³/sec)	実物 越水深 (m)	実物 流量 (m³/sec)	流量係数	実物 接近流速水頭 (m)
1	3.37	0.02	8.6	2.022	239.8	0.311	0.012
2	4.40	0.04	15.0	2.640	418.3	0.362	0.027
3	7.24	0.11	32.0	4.344	892.3	0.363	0.066
4	7.30	0.11	32.6	4.380	909.1	0.365	0.067
5	10.05	0.21	56.2	6.030	1,567.2	0.387	0.124
6	10.90	0.22	61.5	6.540	1,715.0	0.375	0.130
7	11.40	0.25	67.9	6.840	1,893.4	0.386	0.148
8	12.83	0.30	82.6	7.698	2,303.3	0.392	0.180
9	14.63	0.35	99.9	8.778	2,785.8	0.389	0.208
10	16.14	0.40	116.9	9.684	3,259.8	0.393	0.238
11	17.96	0.46	139.7	10.776	3,895.6	0.399	0.277
12	18.20	0.51	148.9	10.920	4,152.2	0.416	0.307
13	19.83	0.49	157.8	11.898	4,400.4	0.389	0.292
14	20.95	0.53	173.6	12.570	4,840.9	0.394	0.316
15	22.36	0.57	192.6	13.416	5,370.7	0.396	0.342

実験番号 300 全門自由越流 滞砂形Ⅲ型 下流河床 Ⅳ型

番号	模型 越水深 (cm)	模型 接近流速水頭 (cm)	模型 流量 (cm³/sec)	実物 越水深 (m)	実物 流量 (m³/sec)	流量係数	実物 接近流速水頭 (m)
1	3.61	0.02	24.2	2.166	674.8	0.395	0.012
2	6.75	0.09	62.1	4.050	1,731.7	0.392	0.054
3	8.18	0.14	83.3	4.908	2,322.9	0.392	0.084
4	9.52	0.21	107.1	5.712	2,986.5	0.389	0.126
5	11.27	0.30	139.0	6.762	3,876.1	0.399	0.180
6	12.20	0.36	157.2	7.320	4,383.6	0.399	0.216

実験番号 300 全門自由越流 滞砂形III型 下流河床 IV型

番号	模型 越水深 (cm)	模型 接近流速水頭 (cm)	模型 流量 (cm³/sec)	実物 越水深 (m)	実物 流量 (m³/sec)	流量係数	接近流速水頭 (m)
7	13.45	0.44	181.6	8.070	5,064.0	0.396	0.264
8	14.80	0.52	208.0	8.880	5,800.2	0.392	0.312
9	16.20	0.61	235.2	9.720	6,558.7	0.385	0.366
10	17.01	0.76	251.3	10.206	7,007.7	0.379	0.456
11	15.11	0.57	219.8	9.066	6,129.3	0.400	0.342
12	18.00	0.71	269.5	10.800	7,515.2	0.376	0.426
13	19.03	0.78	293.6	11.418	8,187.2	0.376	0.468
14	20.26	0.85	319.0	12.156	8,895.5	0.371	0.510
15	21.81	0.96	354.5	13.086	9,885.4	0.369	0.576
16	24.50	1.13	416.9	14.700	11,625.5	0.363	0.678

実験番号 290 全門自由越流(下流水位影響なし)
滞砂形II型　下流河床III型

番号	模型 越水深 (cm)	模型 接近流速水頭 (cm)	模型 流量 (cm³/sec)	実物 越水深 (m)	実物 流量 (m³/sec)	流量係数	接近流速水頭 (m)
1	5.33	0.49	52.2	3.200	1,455.6	0.420	0.294
2	6.50	0.58	68.2	3.900	1,901.8	0.409	0.348
3	8.17	0.88	96.4	4.900	2,688.2	0.400	0.528
4	9.17	1.45	120.1	5.500	3,349.1	0.392	0.870
5	10.25	1.55	153.2	6.150	4,272.1	0.427	0.930
6	11.17	1.76	174.8	6.700	4,874.4	0.425	1.056
7	12.05	1.99	198.8	7.230	5,543.7	0.427	1.194
8	13.00	2.23	225.2	7.800	6,279.8	0.428	1.338
9	14.00	2.68	263.0	8.400	7,333.9	0.436	1.608
10	14.58	3.00	288.9	8.750	8,056.1	0.443	1.800
11	15.50	3.23	317.0	9.300	8,839.7	0.442	1.938
12	17.17	3.64	370.6	10.300	10,334.4	0.441	2.184

実験番号 230 中4門自由越流(下流水位影響なし)
滞砂形II型　下流河床III型

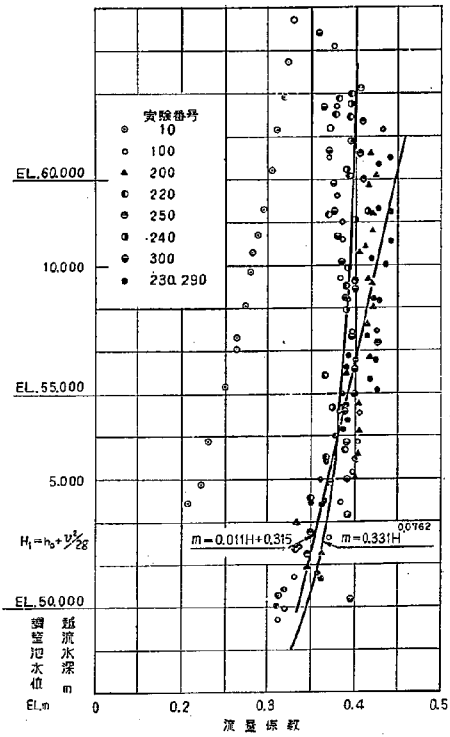
番号	模型 越水深 (cm)	模型 接近流速水頭 (cm)	模型 流量 (cm³/sec)	実物 越水深 (m)	実物 流量 (m³/sec)	流量係数	接近流速水頭 (m)
1	5.80	0.10	22.0	3.000	613.5	0.432	0.060
2	6.62	0.14	33.1	3.972	923.0	0.425	0.084
3	9.20	0.24	55.2	5.520	1,539.3	0.430	0.144
4	11.82	0.32	78.4	7.102	2,186.2	0.418	0.192
5	13.50	0.37	94.7	8.100	2,640.8	0.414	0.222
6	14.90	0.44	112.2	8.940	3,128.8	0.422	0.264
7	16.40	0.48	128.9	9.838	3,594.5	0.420	0.288
8	18.27	0.56	154.0	10.962	4,294.4	0.426	0.336
9	19.95	0.62	176.2	11.970	4,913.4	0.427	0.372
10	21.25	0.67	196.3	12.750	5,473.9	0.432	0.402

II型にして実験を行なった。

全門扉を全開した場合は，滞砂形が少なくともII型程度に掃流されなければ，一部に射流を発生することが固定河床模型で認められたこと，およびもしそれ以上に深く掃流されても，III型の接近流速水頭補正水位—流量曲線が，II型のそれと大差ないことの二点から考えれば，推定掃流形II型での実験値は，大体妥当なものと考えられる。

滞砂形原型，I型，II型，III型の各実験値，表—1から，流量係数 m を次式で求めたものは，図—8にしめすとおりである。

$$m=\frac{Q}{BH_1\sqrt{2gH_1}} \quad \cdots\cdots(1)$$



図—8　主余水吐自由越流時の流量係数

m=流量係数　　Q=流量 m³/sec
B=越流巾 m　　$H_1=h_0+(v^2/2g)$ m
h_0=越流水深 m　　$v^2/2g$=接近流速水頭 m

同図から，原型以外の滞砂形の場合は越流係数が大体近似していることがわかったので，最少自乗法により，これらの場合の係数を

$$m=0.331\,H^{0.0762} \quad \cdots\cdots(2)$$

の形に整理した。

(2)　越流係数に対するダム下流水位の影響

前述のように，調整池滞砂形としてII型を用いるのが妥当と思われるが，図—7の曲線(2)はダム下流河床をIII型に掘り下げてもなお下流水位の影響を受けていることをしめしているので，ダム下流水位の影響を受けない，完全越流状態の流量係数を求めるため，ダム水叩下流部に排水孔を設け，ダム下流水位の影響を全く受けないようにして実験を行なった結果求められたのが，図—7の水位—流量曲線(4)で，曲線(2)と(4)との差が下流水位の影響であり，流量4,000 m³/sec附近から下流水位の影響があらわれ始め，流量が大となるにしたがって影響も大きくなっていることを示している。

表 — 2

実験番号　210　全門自由越流　滑砂形II型　下流河床III型

番号	越流水深 h_0	接近流速水頭 h_a	$H_1=h_0+h_a$	流量	ダム下流水深 H_2	m	m'	H_2/H_1	m'/m
1	2.604	0.048	2.652	554.9	2.280	0.344	0.245	0.860	0.712
	4.536	0.024	4.560		4.530	0.365	0.107	0.993	0.293
	5.700	0.017	5.717		5.688	0.378	0.076	0.995	0.201
	6.516	0.014	6.530		6.510	0.387	0.063	0.997	0.163
2	2.850	0.131	2.981	964.8	1.270	0.348	0.353	0.426	1.014
	2.940	0.127	3.067		2.280	0.348	0.338	0.743	0.971
	3.420	0.106	3.526		3.006	0.354	0.274	0.853	0.774
	4.200	0.081	4.281		4.014	0.362	0.205	0.938	0.566
	6.156	0.046	6.202		6.120	0.383	0.129	0.987	0.337
	7.530	0.033	7.563		7.554	0.398	0.087	0.999	0.219
	8.190	0.028	8.218		8.208	0.405	0.077	0.999	0.190
3	3.900	0.300	4.200	1,770.7	1.632	0.361	0.387	0.389	1.072
	3.984	0.291	4.275		2.718	0.362	0.377	0.636	1.041
	4.632	0.237	4.869		4.020	0.369	0.310	0.826	0.840
	6.066	0.156	6.222		5.790	0.383	0.215	0.931	0.561
	7.680	0.106	7.786		7.596	0.401	0.153	0.976	0.382
	10.368	0.062	10.430		10.430	0.430	0.099	1.000	0.230
4	4.536	0.447	4.983	2,398.2	2.810	0.370	0.406	0.564	1.097
	4.848	0.407	5.255		4.030	0.373	0.375	0.767	1.005
	5.904	0.299	6.203		5.500	0.383	0.292	0.887	0.762
5	4.536	0.457	4.993	2,428.8	2.652	0.370	0.410	0.531	1.108
	4.938	0.407	5.345		4.068	0.374	0.370	0.761	0.989
	5.796	0.316	6.112		5.334	0.382	0.302	0.873	0.791
	8.100	0.182	8.282		7.890	0.406	0.192	0.964	0.473
	10.000	0.125	10.125		9.852	0.426	0.142	0.984	0.333
	12.660	0.079	12.739		12.540	0.455	0.101	0.984	0.222
6	5.292	0.549	5.841	2,975.4	3.730	0.379	0.397	0.639	1.047
	5.448	0.524	5.972		4.670	0.381	0.384	0.782	1.008
	7.476	0.314	7.790		7.100	0.401	0.258	0.911	0.643
7	6.240	0.640	6.880	3,658.6	5.200	0.391	0.382	0.756	0.977
	6.600	0.586	7.186		5.830	0.394	0.358	0.811	0.909
	8.856	0.354	9.210		8.350	0.416	0.246	0.907	0.591
8	6.666	0.807	7.473	4,322.3	5.690	0.397	0.398	0.761	1.003
	7.074	0.727	7.801		6.360	0.401	0.373	0.815	0.930
	8.370	0.546	8.916		7.760	0.413	0.306	0.870	0.741
	9.144	0.467	9.611		8.660	0.421	0.273	0.901	0.648
	11.508	0.299	11.807		11.190	0.445	0.201	0.948	0.452
9	6.822	0.966	7.788	4,824.2	5.930	0.401	0.418	0.761	1.042
	8.070	0.723	8.793		7.340	0.412	0.348	0.835	0.845
	11.472	0.375	11.847		11.230	0.445	0.223	0.948	0.501
10	7.500	1.079	8.579	5,529.7	5.990	0.409	0.414	0.698	1.012
	9.528	0.706	10.234		8.800	0.428	0.318	0.860	0.743
	13.296	0.369	13.665		12.870	0.465	0.206	0.942	0.443
11	7.824	1.185	9.009	6,054.0	5.660	0.414	0.420	0.628	1.014
	11.970	0.546	12.516		11.216	0.413	0.257	0.896	0.622
	12.972	0.465	13.437		12.437	0.463	0.231	0.926	0.499
12	8.256	1.302	9.558	6,600.5	6.820	0.420	0.421	0.714	1.002
	9.336	1.046	10.382		8.950	0.429	0.371	0.862	0.865
	13.140	0.539	13.679		13.000	0.466	0.246	0.950	0.528
13	8.370	1.271	9.641	6,594.9	7.150	0.421	0.415	0.742	0.986
	10.986	0.765	11.751		10.490	0.444	0.308	0.893	0.694
	12.072	0.636	12.708		11.800	0.455	0.274	0.929	0.602
14	9.000	1.285	10.285	7,082.9	8.810	0.428	0.404	0.857	0.944
	9.516	1.159	10.675		9.470	0.432	0.382	0.887	0.884
	11.784	0.768	12.552		11.300	0.453	0.300	0.900	0.662
15	9.042	1.375	10.417	7,345.1	8.790	0.430	0.411	0.844	0.956
	10.338	1.068	11.406		9.890	0.441	0.359	0.867	0.814
	11.910	0.810	12.720		11.410	0.455	0.305	0.897	0.670
16	9.282	1.507	10.789	7,886.1	9.290	0.434	0.419	0.861	0.965
	11.484	1.003	12.487		11.090	0.452	0.336	0.888	0.743
	12.426	0.859	13.285		12.010	0.461	0.307	0.904	0.666
17	9.612	1.587	11.199	8,371.3	9.680	0.438	0.421	0.864	0.961
	10.908	1.249	12.157		11.030	0.449	0.372	0.907	0.829
	13.008	0.883	13.891		12.550	0.468	0.304	0.903	0.650
18	10.206	1.642	11.848	9,007.1	10.340	0.445	0.416	0.873	0.935
	11.400	1.325	12.725		11.030	0.455	0.374	0.867	0.822
19	10.284	1.814	12.098	9,531.3	10.450	0.448	0.426	0.864	0.951
	11.478	1.466	12.944		11.030	0.457	0.385	0.852	0.842

表—2

実験番号 250 中4門自由越流 滑砂形II型 下流河扉III型

番号	越流水深 h_0	接近流速水頭 h_a	$H_1=h_0+h_a$	流量	ダム下流水深 H_2	m	m'	H_2/H_1	m'/m
1	3.690	0.046	3.736	669.3	2.148	0.356	0.349	0.575	0.980
	3.744	0.038	3.781		3.294	0.357	0.343	0.871	0.961
	4.500	0.035	4.535		4.410	0.365	0.261	0.972	0.715
	5.358	0.027	5.385		5.370	0.374	0.202	0.997	0.540
	6.360	0.021	6.381		6.366	0.385	0.156	0.998	0.405
	7.230	0.017	7.298		7.278	0.395	0.128	0.999	0.324
2	4.776	0.081	4.856	1,056.9	0.228	0.368	0.372	0.470	1.011
	4.812	0.080	4.892		3.528	0.369	0.368	0.721	0.997
	5.106	0.073	5.173		4.638	0.372	0.338	0.896	0.909
	5.610	0.063	5.673		5.544	0.377	0.294	0.977	0.780
	6.732	0.047	6.779		6.624	0.390	0.225	0.977	0.577
	7.590	0.039	7.629		7.536	0.399	0.189	0.988	0.474
	8.658	0.031	8.689		8.616	0.411	0.155	0.992	0.377
3	4.884	0.080	4.964	1,062.4	3.793	0.370	0.362	0.764	0.978
	7.572	0.039	7.611		7.518	0.399	0.191	0.988	0.479
	9.450	0.026	9.476		9.178	0.419	0.137	0.969	0.327
	9.528	0.026	9.554		9.372	0.420	0.136	0.981	0.324
4	5.880	0.115	5.995	1,477.9	0.402	0.381	0.379	0.067	0.995
	5.892	0.115	6.007		3.762	0.381	0.378	0.626	0.992
	6.228	0.105	6.333		5.760	0.385	0.349	0.910	0.906
	6.948	0.088	7.036		6.672	0.392	0.298	0.948	0.760
	8.052	0.068	8.120		7.854	0.404	0.240	0.967	0.594
	8.814	0.058	8.872		8.670	0.413	0.211	0.977	0.511
	9.732	0.049	9.781		9.600	0.423	0.182	0.981	0.430
5	6.450	0.134	6.584	1,723.3	0.516	0.387	0.384	0.078	0.992
	6.840	0.123	6.963		6.132	0.392	0.353	0.881	0.901
	7.692	0.101	7.793		7.368	0.401	0.298	0.945	0.743
	8.478	0.085	8.563		8.082	0.409	0.259	0.944	0.633
	9.606	0.068	9.674		9.324	0.421	0.216	0.964	0.513
	10.764	0.054	10.818		10.584	0.434	0.182	0.978	0.434
6	7.440	0.168	7.608	2,175.1	0.930	0.399	0.390	0.123	0.977
	7.386	0.168	7.554	2,152.8	3.240	0.398	0.390	0.429	0.980
	7.650	0.162	7.812	2,175.1	6.186	0.401	0.375	0.792	0.935
	7.944	0.150	8.094		6.864	0.404	0.356	0.848	0.881
	8.376	0.138	8.514		7.674	0.409	0.330	0.901	0.807
	9.462	0.108	9.570		9.048	0.420	0.277	0.945	0.660
	10.326	0.102	10.428		9.948	0.430	0.243	0.954	0.565
	11.190	0.078	11.268		10.896	0.439	0.217	0.967	0.494
7	7.944	0.222	8.166	2,646.3	1.680	0.405	0.427	0.206	1.054
	8.652	0.192	8.844		7.110	0.412	0.379	0.804	0.920
	9.240	0.174	9.414		8.418	0.419	0.345	0.894	0.823
	10.290	0.138	10.428		9.888	0.430	0.296	0.948	0.688
	11.454	0.114	11.568		10.926	0.442	0.253	0.945	0.572
	12.054	0.102	12.156		11.652	0.449	0.235	0.959	0.523
	12.852	0.090	12.942		12.528	0.457	0.214	0.968	0.468
8	9.384	0.240	9.624	3,170.6	2.664	0.421	0.400	0.277	0.950
	9.414	0.240	9.654		4.542	0.421	0.398	0.470	0.945
	9.456	0.234	9.690		5.574	0.422	0.396	0.575	0.938
	9.618	0.228	9.846		7.560	0.423	0.386	0.768	0.913
	10.200	0.204	10.404		8.370	0.429	0.356	0.804	0.830
	10.866	0.180	11.046		9.798	0.437	0.325	0.887	0.744
	11.826	0.156	11.982		11.166	0.447	0.288	0.932	0.644
9	10.740	0.250	10.990	3,686.5	8.646	0.436	0.381	0.787	0.874
	11.220	0.230	11.450		9.852	0.441	0.358	0.860	0.812
	12.168	0.196	12.364		11.190	0.451	0.319	0.905	0.707
	12.750	0.178	12.928		12.000	0.457	0.299	0.928	0.654
	13.578	0.158	13.736		12.912	0.466	0.273	0.940	0.586
10	12.282	0.288	12.570	4,517.5	10.140	0.453	0.382	0.807	0.843
	12.864	0.264	13.128		11.334	0.459	0.358	0.863	0.779
	13.680	0.234	13.914		12.402	0.468	0.328	0.891	0.701
11	12.654	0.306	12.960	4,790.8	9.588	0.458	0.387	0.740	0.845
	12.966	0.294	13.260		10.884	0.461	0.374	0.821	0.811
	13.812	0.258	14.070		12.318	0.470	0.342	0.875	0.728
	14.574	0.234	14.808		13.308	0.478	0.317	0.899	0.663
12	13.398	0.330	13.728	5,273.2	10.326	0.466	0.390	0.752	0.837
	13.686	0.318	14.004		11.292	0.469	0.379	0.806	0.808
	14.520	0.282	14.802		12.738	0.478	0.349	0.861	0.730

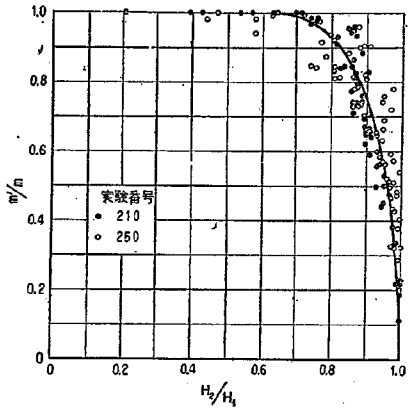
曲線(4)は，ダム下流水位の影響を受けない状態での，水位—流量曲線であるが，水叩部下流に排水孔を設けたため，各種流量に影響を与えはじめる臨界下流水位を測定することはできなかった。

洪水時に全門を開放した場合，流量が 4,000m³/sec 以上になれば，ダム下流水位の影響が水位—流量曲線にあらはれることがわかったが，その場合，ある特定の流量に対して，実際のダム下流水位がどの位になるかは不明なので，そのつど測定したダム下流水位を用いて，越流量を知ることができるようにした。

ダム下流河床をⅢ型にしても，ある限界以下には下流水位が下らず，水叩部下流に排水孔を設けたのでは，下流水位の影響を受けた場合の実験ができないので，下流水位の影響の測定は，門扉を4門だけ門放した状態で行なった。この場合開放門扉の位置による影響の程度を検討するため，それぞれ左岸4門，中央4門，右岸4門を使用した3種の結果を比較した。

それらの結果は，水位流量については，図—7に，流量係数については，図—8にしめすように，相互に大きな違いがなく，代表として中4門の場合を採用しても支障ないものと思われる。

以上の8門全開および4門全開の実験値から，下流水位の影響を求めた H_2/H_1 と m'/m との関係を，図—9，表—2に示す。この場合の H_1 は，接近流速水頭を加算したダム越流水深，H_2 は，ダム下流水深，m は，水位—流量曲線(4)のほか測定資料のうち，ダム下流水位がダム越流頂より低い完全越流時のものとダム下流水位がダム越流頂附近で完全越流と判定された資料を選び，



図—9　自由越流時の H_2/H_1 と m'/m の関係

式-(1)で求めた流量係数を最少自乗法で整理した式-(3)で求めたもので

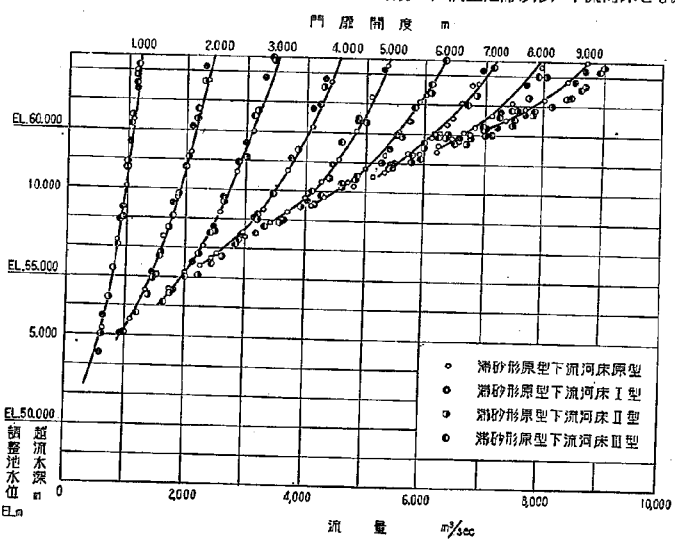
$$m=0.011H_1+0.315 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

m' は，式-(1)で求めた不完全越流時の流量係数である。

6. 主余水吐門扉等高開放時の水位と流量

門扉を一部分開く場合の実験は，先に述べたように複雑な開け方の組合せを避け，全門等高に一斉に開いた場合について実験を行った。門扉の開きは，1mから10mまで1m間隔の10種類である。

最初に，調整池滞砂形，下流河床とも原型とし，ダム



図—10　主余水吐の水位流量曲線

表 — 3

実験番号 000 全門等高操作時 滞砂形原型 下流河床原形

番号	門扉開度	模型 (cm l/sec) 越流水深	$v^2/2g$	流量	実物 (m. m^3/sec) 越流水深	$v^2/2g$	$H_1=h_0+v^2/2g$	流量	流量係数
1	1.00	8.65	0.17	22.1	5.190	0.104	5.294	616.3	0.504
2		10.39	0.14	25.6	6.234	0.085	6.319	713.9	0.534
3		14.66	0.09	32.7	8.796	0.053	8.849	911.9	0.578
4		16.72	0.07	35.6	10.032	0.044	10.076	992.7	0.389
5		18.55	0.06	38.1	11.130	0.037	11.167	1,062.4	0.598
6		22.48	0.05	42.4	13.488	0.028	13.516	1,182.3	0.605
7	2.00	9.13	0.47	39.0	5.478	0.280	5.758	1,087.5	0.427
8		10.84	0.45	48.4	6.504	0.270	6.774	1,349.7	0.488
9		13.94	0.36	59.7	8.364	0.219	8.588	1,664.8	0.535
10		16.12	0.29	67.0	9.672	0.171	9.843	1,868.3	0.561
11		18.69	0.23	74.7	11.214	0.140	11.354	2,083.1	0.582
12		22.73	0.18	83.7	13.638	0.105	13.743	2,334.0	0.593
13		26.76	0.16	91.6	16.056	0.096	16.152	2,554.3	0.598
14	3.00	10.87	0.74	63.0	6.534	0.446	6.980	1,756.8	0.418
15		11.87	0.77	72.3	7.122	0.465	7.587	2,016.1	0.459
16		13.41	0.72	82.6	8.046	0.431	8.477	2,303.4	0.496
17		15.30	0.63	92.5	9.180	0.376	9.556	2,579.4	0.524
18		17.64	0.52	102.8	10.584	0.311	10.895	2,866.6	0.545
19		19.90	0.56	112.3	11.940	0.338	12.278	3,131.6	0.561
20		23.26	0.33	118.2	13.956	0.197	14.155	3,296.1	0.550
21	4.00	12.20	0.86	79.1	7.320	0.513	7.833	2,205.8	0.371
22		12.28	0.89	80.9	7.368	0.531	7.899	2,255.9	0.378
23		12.65	0.95	87.6	7.590	0.570	8.160	2,442.8	0.403
24		12.95	0.95	90.5	7.770	0.569	8.339	2,523.6	0.411
25		14.16	1.03	106.8	8.496	0.619	9.115	2,978.2	0.464
26		15.50	1.00	119.1	9.300	0.602	9.902	3,321.2	0.497
27		17.74	0.84	132.0	10.644	0.505	11.149	3,680.9	0.519
28		20.17	0.73	146.9	12.102	0.440	12.542	4,096.4	0.544
29		22.70	0.63	158.0	13.620	0.376	13.996	4,405.9	0.554
30	5.00	14.00	1.09	108.0	8.400	0.654	9.056	3,011.6	0.377
31		14.80	1.20	122.6	8.880	0.722	9.602	3,418.8	0.415
32		15.37	1.27	132.5	9.222	0.763	9.985	3,694.8	0.440
33		16.15	1.30	143.6	9.690	0.781	10.471	4,004.4	0.466
34		17.10	1.26	153.2	10.260	0.753	11.013	4,272.1	0.485
35		18.37	1.07	163.1	11.022	0.641	11.663	4,548.1	0.501
36		20.02	1.03	173.4	12.012	0.621	12.633	4,835.4	0.512
37		21.93	0.90	182.2	13.158	0.543	13.701	5,080.8	0.517
38		23.66	0.83	192.0	14.196	0.497	14.693	5,354.0	0.526
39	6.00	18.64	1.49	191.3	11.184	0.894	12.078	5,334.5	0.482
40		20.06	1.37	199.8	12.036	0.822	12.858	5,571.5	0.487
41		21.73	1.26	212.3	13.038	0.756	13.794	5,920.1	0.500
42		22.10	1.25	216.2	13.260	0.750	14.010	6,028.9	0.505
43		25.20	1.07	235.7	15.120	0.642	15.762	6,572.6	0.519
44		15.80	1.44	146.5	9.480	0.864	10.344	4,085.2	0.399
45		16.24	1.48	154.0	9.744	0.888	10.632	4,294.4	0.403
46		17.10	1.52	168.6	10.260	0.912	11.172	4,701.5	0.441
47		17.88	1.51	179.1	10.728	0.906	11.634	4,994.3	0.459
48	7.00	16.88	1.65	172.0	10.128	0.988	11.116	4,796.3	0.387
49		17.45	1.71	183.8	10.470	1.026	11.496	5,125.4	0.407
50		18.17	1.73	196.3	10.902	1.040	11.942	5,471.2	0.426
51		18.85	1.73	206.1	11.310	1.038	12.348	5,747.2	0.440
52		19.67	1.74	219.3	11.802	1.043	12.845	6,115.3	0.459
53		19.95	1.75	224.0	11.970	1.050	13.020	6,246.4	0.466
54		20.80	1.68	231.7	12.480	1.008	13.488	6,461.1	0.473
55		21.66	1.57	235.8	12.996	0.943	13.939	6,575.4	0.473
56		22.71	1.48	242.6	13.626	0.888	14.514	6,765.0	0.478
57		22.73	1.54	246.5	13.638	0.922	14.560	6,873.8	0.484
58		20.38	1.72	228.3	12.228	1.032	13.260	6,366.3	0.470
59	8.00	17.70	1.77	191.2	10.620	1.063	11.683	5,331.7	0.367
60		18.75	1.87	212.3	11.250	1.120	12.370	5,920.1	0.396
61		19.26	1.91	223.2	11.556	1.147	12.703	6,224.7	0.411
62		19.67	1.97	232.8	11.802	1.180	12.982	6,491.8	0.424
63		19.68	1.94	231.6	11.808	1.166	12.974	6,458.3	0.422
64		20.00	1.88	238.4	12.000	1.130	13.130	6,647.9	0.432
65		20.00	1.98	238.5	12.000	1.187	13.187	6,650.7	0.439
66		20.31	2.00	244.5	12.186	1.197	13.383	6,818.0	0.439
67		20.99	1.99	255.0	12.594	1.196	13.790	7,110.8	0.451

68		21.82	1.99	267.3	13.092	1.194	14.287	7,453.8	0.464
69		23.80	1.81	285.3	14.280	1.086	15.366	7,955.8	0.478
70	9.00	18.90	2.00	223.0	11.340	1.201	12.541	6,218.5	0.367
71		19.55	2.05	235.1	11.730	1.230	12.960	6,555.9	0.381
72		19.85	2.07	241.6	11.910	1.244	13.157	6,737.2	0.389
73		20.79	2.18	263.2	12.474	1.306	13.780	7,339.5	0.414
74		21.41	2.22	276.2	12.846	1.333	14.179	7,702.0	0.428
75		21.93	2.27	288.0	13.154	1.363	14.521	8,031.1	0.441
76		23.00	2.20	301.2	13.800	1.320	15.120	8,399.1	0.452
77		24.10	2.13	313.5	14.460	1.275	15.735	8,742.1	0.461

実験番号 001　全門等高操作時　滑砂形 原型　下流河床 I型

番号	門扉開度	模型 (cm l/sec) 越流水深	$v^2/2g$	流量	実物 (m.m³/sec) 越流水深	$v^2/2g$	$H_1=h_0+v^2/2g$	流量	流量係数
1	1.00	7.27	0.25	21.0	4.362	0.150	4.512	585.6	0.517
2		9.39	0.14	22.6	5.634	0.086	5.720	630.2	0.496
3		10.95	0.12	27.3	6.570	0.074	6.644	761.3	0.556
4		15.10	0.09	33.8	9.060	0.052	9.112	942.5	0.588
5		15.55	0.08	34.0	9.330	0.049	9.379	948.0	0.583
6		19.23	0.05	37.7	11.538	0.033	11.571	1,051.3	0.582
7		22.21	0.05	41.6	13.326	0.028	13.354	1,160.0	0.598
8		23.64	0.04	43.7	14.184	0.026	14.210	1,218.6	0.609
9		25.79	0.04	45.3	15.474	0.023	15.497	1,263.2	0.604
10	2.00	8.36	0.43	33.4	5.016	0.258	5.274	931.4	0.382
11		11.83	0.41	52.5	7.098	0.247	7.345	1,463.9	0.508
12		15.80	0.28	64.2	9.480	0.116	9.646	1,790.3	0.543
13		20.15	0.19	75.0	12.090	0.114	12.204	2,091.4	0.563
14		23.50	0.16	82.3	14.100	0.093	14.193	2,295.0	0.573
15		26.00	0.13	86.3	15.600	0.080	15.680	2,406.5	0.572
16	3.00	10.83	0.80	65.0	6.498	0.482	6.980	1,812.6	0.431
17		14.46	0.67	89.0	8.676	0.402	9.078	2,481.8	0.517
18		19.26	0.44	107.3	11.556	0.266	11.822	2,992.1	0.545
19		27.60	0.28	133.6	16.560	0.166	16.726	3,725.5	0.572
20		12.49	0.75	76.7	7.494	0.450	7.940	2,138.4	0.476
21		16.20	0.56	94.6	9.720	0.337	10.057	2,637.9	0.562
22		22.94	0.34	118.0	13.764	0.204	13.968	3,290.5	0.552
23	4.00	13.96	1.05	105.5	8.376	0.628	9.004	2,941.9	0.461
24		14.99	0.99	113.2	8.994	0.596	9.590	3,156.6	0.480
25		18.44	0.78	134.2	11.064	0.469	11.533	3,742.3	0.519
26		21.24	0.64	146.5	12.744	0.382	13.126	4,085.2	0.531
27		22.87	0.59	154.1	13.722	0.351	14.073	4,297.2	0.539
28		26.43	0.49	169.3	15.858	0.295	16.153	4,721.0	0.553
29	5.00	14.16	1.18	114.3	8.496	0.709	9.205	3,187.3	0.396
30		16.01	1.37	145.5	9.606	0.821	10.427	4,057.4	0.473
31		18.12	1.16	159.4	10.872	0.693	11.563	4,445.0	0.492
32		20.57	0.98	174.0	12.342	0.587	12.929	4,852.1	0.494
33		23.50	0.83	190.2	14.100	0.500	14.600	5,303.8	0.523
34		26.12	0.75	205.2	15.672	0.447	16.119	5,722.1	0.537
35	6.00	16.80	1.56	166.1	10.080	0.936	11.016	4,631.8	0.437
36		19.01	1.51	194.9	11.406	0.907	12.313	5,434.9	0.486
37		20.60	1.37	207.0	12.360	0.824	13.184	5,772.3	0.499
38		24.54	1.10	231.0	14.724	0.661	15.385	6,441.6	0.515
39		28.71	0.94	258.0	17.226	0.562	17.788	7,194.5	0.535
40	7.00	18.06	1.73	194.4	10.836	1.037	11.873	5,421.0	0.423
41		18.17	1.75	197.0	10.900	1.049	11.949	5,493.5	0.427
42		19.92	1.74	222.8	11.952	1.044	12.996	6,212.9	0.463
43		23.50	1.43	249.0	14.100	0.855	14.955	6,943.5	0.483
44		25.72	1.32	268.1	15.432	0.792	16.224	7,476.1	0.499
45	8.00	17.95	1.81	196.8	10.770	1.083	11.853	5,487.9	0.380
46		19.70	2.01	235.6	11.822	1.208	13.028	6,569.8	0.428
47		21.17	2.02	260.0	12.702	1.213	13.913	7,250.3	0.457
48		22.75	1.90	275.8	13.650	1.140	14.790	7,690.8	0.471
49		25.11	1.68	294.0	15.066	1.010	16.076	8,198.4	0.481
50	9.00	20.34	2.21	258.2	12.204	1.327	13.527	7,200.1	0.410
51		21.10	2.30	275.8	12.660	1.378	14.038	7,690.9	0.433
52		21.68	2.34	288.2	13.010	1.403	14.413	8,036.6	0.443
53		22.95	2.28	305.6	13.770	1.367	15.137	8,521.8	0.458
54		23.59	2.21	311.0	14.154	1.323	15.477	8,672.4	0.461
55		24.28	2.12	316.8	14.568	1.274	16.842	8,834.2	0.464
56		25.82	2.00	330.9	15.490	1.197	16.687	9,227.4	0.472

実験番号 002　全門等高操作時　　帯砂形 原型　下流河床 II型

番号	門扉開度	模型 (cm l/sec) 越流水深	$v^2/2g$	流量	実物 (m.m^3/sec) 越流水深	$v^2/2g$	$H_1=h_0+v^2/2g$	流量	流量係数
1	1.00	8.44	0.18	21.9	5.064	0.109	5.173	610.7	0.505
2		10.43	0.14	25.9	6.260	0.085	6.345	722.2	0.540
3		12.13	0.11	27.9	7.278	0.065	7.343	778.0	0.541
4		14.95	0.08	32.1	8.970	0.048	9.018	895.1	0.561
5		18.13	0.06	36.0	10.878	0.035	10.913	1,003.9	0.572
6		20.76	0.05	39.0	12.456	0.029	12.485	1,087.5	0.579
7		23.09	0.04	41.0	13.854	0.024	13.878	1,143.3	0.578
8		26.74	0.04	46.0	16.044	0.021	16.065	1,282.7	0.602
9	2.00	10.58	0.51	49.9	6.348	0.304	6.652	1,391.5	0.508
10		11.66	0.45	54.0	6.996	0.271	7.267	1,505.8	0.526
11		12.94	0.39	57.8	7.764	0.233	7.997	1,611.8	0.537
12		14.41	0.34	62.5	8.646	0.202	8.848	1,742.9	0.552
13		16.24	0.29	68.0	9.744	0.173	9.917	1,896.2	0.567
14		18.41	0.23	73.1	11.046	0.140	11.186	2,038.4	0.574
15		20.54	0.20	78.0	12.324	0.121	12.445	2,175.1	0.580
16		22.67	0.17	83.0	13.600	0.104	13.704	2,314.5	0.588
17		24.94	0.15	86.2	14.964	0,088	15.052	2,403.7	0.583
18	3.00	10.72	0.80	63.7	6.432	0.479	6.911	1,776.3	0.424
19		13.00	0.74	80.3	7.800	0.443	8.243	2,239.2	0.489
20		14.44	0.70	90.2	8.664	0.420	9.084	2,515.3	0.524
21		15.92	0.59	95.0	9.552	0.355	9.907	2,649.1	0.528
22		18.42	0.51	108.6	11.052	0.308	11.360	3,028.4	0.564
23		21.10	0.39	114.0	12.660	0.236	12.896	3,179.0	0.555
24		23.91	0.35	124.0	14.346	0.212	14.558	3,457.8	0.569
25		26.76	0.30	132.8	16.056	0.177	16.233	3,703.2	0.577
26	4.00	11.73	0.98	80.2	7.040	0.588	7.628	2,236.4	0.381
27		12.80	1.07	94.6	7.680	0.639	8.319	2,637.9	0.430
28		14.90	1.06	116.0	8.940	0.633	9.573	3,234.7	0.492
29		18.93	0.78	139.0	11.360	0.467	11.827	3,876.1	0.530
30		22.47	0.62	154.5	13.480	0.369	13.849	4,308.3	0.545
31		25.80	0.53	170.5	15.480	0.316	15.796	4,754.5	0.563
32	5.00	14.85	1.33	129.2	8.910	0.795	9.705	3,602.8	0.435
33		15.68	1.35	140.7	9.410	0.813	10.223	3,923.5	0.462
34		17.33	1.28	157.7	10.400	0.767	11.167	4,397.6	0.495
35		20.48	1.04	178.9	12.290	0.625	12.915	4,988.7	0.523
36		23.92	0.88	200.0	14.350	0.529	14.879	5,577.1	0.544
37		27.65	0.73	217.8	16.590	0.439	17.029	6,073.5	0.554
38	6.00	14.91	1.35	131.2	8.946	0.810	9.756	3,658.9	0.368
39		15.82	1.47	148.3	9.492	0.883	10.375	4,135.4	0.403
40		17.28	1.57	173.5	10.368	0.941	11.309	4,838.2	0.451
41		18.25	1.50	189.0	10.950	0.903	11.853	5,270.4	0.480
42		19.70	1.47	201.5	11.820	0.884	12.704	5,619.0	0.495
43		22.23	1.27	219.0	13.340	0.762	14.102	6,107.0	0.510
44		24.31	1.15	233.0	14.590	0.689	15.279	6,497.4	0.521
45	7.00	18.31	1.90	207.4	10.986	1.139	12.125	5,783.5	0.447
46		19.17	1.82	214.8	11.502	1.090	12.592	5,989.8	0.454
47		19.72	1.88	228.2	11.832	1.130	12.962	6,363.5	0.475
48		19.92	1.84	228.8	11.952	1.103	13.055	6,380.2	0.475
49		22.10	1.62	245.9	13.260	0.974	14.234	6,857.1	0.489
50		22.20	1.68	251.5	13.320	0.008	14.320	7,013.2	0.498
51		24.33	1.44	261.3	14.598	0.863	15.461	7,286.5	0.498
52		26.10	1.33	274.0	15.660	0.797	16.457	7,640.7	0.506
53	8.00	19.73	2.14	243.3	11.838	1.283	13.121	6,784.6	0.441
54		20.12	2.18	252.5	12.070	1.309	13.379	7,041.1	0.453
55		20.85	2.16	263.5	12.510	1.296	13.806	7,347.9	0.465
56		21.33	2.15	270.6	12.800	1.289	14.089	7,545.8	0.473
57		22.02	2.10	278.1	13.212	1.257	14.469	7,755.0	0.480
58		23.27	1.96	288.6	13.962	1.178	15.140	8,047.8	0.487
59		24.92	1.79	300.0	14.950	1.074	16.024	8,365.7	0.492
60	9.00	19.37	2.18	240.0	11.622	1.309	12.931	6,692.5	0.389
61		19.86	2.24	251.9	11.916	1.346	13.262	7,024.4	0.403
62		20.46	2.35	268.3	12.276	1.412	13.688	7,481.7	0.423
63		21.05	2.40	281.0	12.630	1.441	14.071	7,835.9	0.437
64		21.53	2.44	291.8	12.918	1.464	14.382	8,137.0	0.449
65		22.03	2.46	301.9	13.218	1.478	14.696	8,418.7	0.459
66		22.74	2.43	312.0	13.644	1.459	15.103	8,700.3	0.468
67		23.83	2.32	323.0	14.298	1.392	15.690	9,007.1	0.476
68		25.43	2.13	335.5	15.258	1.275	16.533	9,355.6	0.481

実験番号 003　全門等高操作時　　潜砂形原型　下流河床III型

番号	門扉開度	模型 (cm l/sec) 越流水深	$v^2/2g$	流量	実物 (m. m³/sec) 越流水深	$v^2/2g$	$H_1=h_0+v^2/2g$	流量	流量係数
1	1.00	8.50	0.18	22.2	5.100	0.110	5.210	619.1	0.511
2		14.01	0.09	31.1	8.406	0.054	8.460	867.2	0.561
3		14.88	0.08	32.0	8.928	0.049	8.977	892.3	0.561
4		17.98	0.06	35.7	10.788	0.035	10.823	995.5	0.570
5		20.33	0.05	37.6	12.200	0.028	12.228	1,048.5	0.564
6		22.54	0.04	41.4	13.524	0.026	13.550	1,154.5	0.590
7		23.60	0.04	42.3	14.160	0.025	14.185	1,179.6	0.590
8		27.77	0.03	46.8	16.660	0.020	16.620	1,305.1	0.602
9	2.00	8.41	0.48	35.6	5.046	0.289	5.335	992.7	0.404
10		9.60	0.50	43.2	5.760	0.299	6.059	1,204.7	0.461
11		11.79	0.45	54.5	7.074	0.269	7.343	1,519.8	0.528
12		12.96	0.39	58.2	7.776	0.235	8.011	1,622.9	0.540
13		15.14	0.31	64.2	9.084	0.188	9.272	1,798.6	0.556
14		17.97	0.24	71.0	10.782	0.141	10.925	1,979.9	0.564
15		21.17	0.19	78.6	12.702	0.111	12.813	2,191.8	0.576
16		24.36	0.15	85.2	14.616	0.091	14.707	2,375.9	0.583
17	3.00	10.25	0.79	59.7	6.150	0.475	6.625	1,664.8	0.406
18		11.75	0.81	73.1	7.050	0.487	7.537	2,038.4	0.466
19		14.26	0.70	88.6	8.556	0.417	8.973	2,470.7	0.518
20		18.19	0.48	103.0	10.914	0.286	11.200	2,872.2	0.539
21		20.79	0.40	113.0	12.474	0.241	12.715	3,151.1	0.555
22		24.13	0.33	123.5	14.480	0.197	14.677	3,443.9	0.564
23	4.00	12.52	1.00	88.4	7.512	0.597	8.109	2,465.1	0.407
24		13.84	1.07	105.2	8.304	0.644	8.938	2,933.6	0.462
25		15.22	1.00	116.3	9.132	0.601	9.733	3,243.1	0.489
26		16.38	0.93	124.0	9.828	0.560	10.388	3,457.8	0.505
27		17.70	0.85	132.7	10.620	0.512	11.132	3,700.4	0.522
28		21.50	0.66	151.7	12.900	0.397	13.297	4,230.3	0.546
29		24.61	0.55	163.8	14.766	0.330	15.096	4,567.7	0.553
30	5.00	13.54	1.08	102.6	8.124	0.648	8.772	2,861.1	0.364
31		14.64	1.18	119.4	8.784	0.709	9.493	3,329.5	0.407
32		16.65	1.25	146.9	9.990	0.749	10.739	4,096.4	0.471
33		19.41	1.02	164.5	11.646	0.611	12.257	4,587.2	0.493
34		20.66	0.96	173.3	12.396	0.573	12.969	4,832.6	0.505
35		24.68	0.77	195.2	14.808	0.464	15.272	5,443.3	0.524
36	6.00	16.30	1.44	153.2	9.780	0.866	10.646	4,272.2	0.411
37		17.01	1.48	164.9	10.206	0.889	11.095	4,598.5	0.433
38		17.48	1.53	174.0	10.488	0.917	11.405	4,852.3	0.451
39		17.93	1.52	180.0	10.758	0.911	11.669	5,019.6	0.461
40		19.98	1.40	200.0	11.988	0.839	12.827	5,577.3	0.489
41		21.47	1.26	209.0	12.882	0.758	13.640	5,828.3	0.495
42		22.79	1.19	219.0	13.674	0.716	14.390	6,107.1	0.505
43		24.12	1.12	227.3	14.472	0.670	15.142	6,338.0	0.511
44	7.00	18.80	1.74	205.5	11.280	1.043	12.323	5,730.7	0.439
45		19.36	1.75	214.4	11.616	1.051	12.667	5,978.9	0.452
46		19.97	1.76	224.5	11.982	1.057	13.039	6,260.5	0.466
47		21.59	1.64	240.0	12.954	0.985	13.939	6,692.8	0.482
48		23.75	1.46	255.4	14.250	0.878	15.128	7,122.2	0.492
49		25.47	1.35	267.6	15.282	0.808	16.090	7,462.4	0.501
50	8.00	18.54	1.94	213.1	11.124	1.163	12.287	5,942.4	0.399
51		19.46	2.03	232.6	11.676	1.215	12.891	5,942.4	0.425
52		20.35	2.06	249.2	12.210	1.234	13.444	6,486.2	0.446
53		21.32	2.10	267.3	12.790	1.261	14.051	6,949.1	0.470
54		23.32	1.89	284.0	13.990	1.135	15.125	7,453.8	0.479
55		24.66	1.79	296.5	14.796	1.075	15.871	7,919.5	0.488
56	9.00	19.98	2.26	255.0	11.990	1.357	13.347	7,110.8	0.407
57		20.82	2.26	269.0	12.490	1.357	13.847	7,501.2	0.422
58		21.32	2.32	281.1	12.792	1.394	14.186	7,838.6	0.435
59		22.08	2.49	304.0	13.250	1.492	14.742	8,477.2	0.462
60		22.62	2.43	310.0	13.570	1.459	15.029	8,644.5	0.466
61		23.62	2.34	321.0	14.170	1.404	15.574	8,951.3	0.474
62		24.18	2.30	327.7	14.510	1.379	15.889	9,138.1	0.480

表－4

実験番号 130　全門等高操作時　帯砂形Ⅰ型　下流河床Ⅳ型

番号	門扉開度	模型 (cm l/sec) 越流水深	$v^2/2g$	流量	実物 (m.m³/sec) 越流水深	$v^2/2g$	$H_1=h_0+v^2/2g$	流量	流量係数
1	1.00	5.10	0.05	16.5	3.060	0.028	3.088	460.1	0.493
2		7.78	0.05	21.6	4.670	0.027	4.697	602.3	0.523
3		11.22	0.04	27.8	6.730	0.025	6.655	775.2	0.566
4		14.65	0.04	32.3	8.690	0.022	8.712	900.7	0.574
5		18.70	0.03	37.9	11.220	0.019	11.239	1,056.9	0.593
6		23.84	0.03	42.8	14.300	0.015	14.315	1,193.5	0.594
7	2.00	4.92	0.17	31.3	2.952	0.103	3.055	872.8	0.470
8		6.49	0.18	37.9	3.894	0.107	4.001	1,056.9	0.497
9		8.29	0.17	43.5	4.974	0.100	5.074	1,213.0	0.507
10		9.95	0.17	50.0	5.970	0.100	6.070	1,394.3	0.533
11		11.66	0.16	55.0	6.996	0.094	7.091	1,533.7	0.542
12		13.57	0.14	58.1	8.142	0.084	8.222	1,620.2	0.582
13		16.21	0.13	66.1	9.726	0.076	9.802	1,843.2	0.554
14		19.49	0.11	73.2	11.694	0.065	11.759	2,041.2	0.560
15		23.42	0.09	80.8	14.052	0.055	14.107	2,253.2	0.565
16	3.00	9.39	0.39	72.9	5.634	0.232	5.866	2,032.9	0.527
17		11.74	0.33	81.0	7.044	0.200	7.244	2,258.7	0.527
18		14.82	0.30	94.5	8.892	0.182	9.074	2,635.2	0.549
19		18.90	0.24	106.6	11.340	0.146	11.486	2,972.6	0.550
20		19.06	0.25	108.4	11.436	0.149	11.585	3,022.8	0.557
21	4.00	10.00	0.60	95.8	6.000	0.362	6.362	2,671.4	0.498
22		12.99	0.54	112.4	7.794	0.325	8.119	3,134.3	0.518
23		14.21	0.51	118.6	8.530	0.308	8.838	3,307.2	0.524
24		16.30	0.48	129.8	9.780	0.288	10.068	3,619.6	0.537
25		19.40	0.42	143.1	11.640	0.250	11.890	3,990.4	0.545
26		22.39	0.36	154.0	13.434	0.218	13.652	4,294.4	0.547
27	5.00	11.92	0.89	133.7	7.152	0.532	7.684	3,728.3	0.506
28		14.06	0.83	149.3	8.440	0.499	8.939	4,163.3	0.524
29		16.81	0.74	165.9	10.090	0.444	10.534	4,626.2	0.537
30		20.60	0.61	183.8	12.360	0.367	12.727	5,125.4	0.541
31		23.15	0.56	197.0	13.890	0.334	14.224	5,493.5	0.548
32		25.20	0.52	206.7	15.120	0.311	15.431	5,764.0	0.552
33	6.00	14.00	1.15	175.2	8.400	0.690	9.090	4,885.6	0.508
34		15.98	1.11	193.9	9.588	0.666	10.254	5,407.0	0.530
35		16.57	1.07	197.1	9.942	0.642	10.582	5,496.3	0.530
36		19.75	0.90	214.1	11.850	0.540	12.390	5,970.3	0.532
37		22.06	0.82	227.7	13.236	0.492	13.728	6,349.6	0.538
38		22.23	0.81	228.0	13.338	0.486	13.824	6,357.9	0.536
39		24.78	0.73	241.6	14.868	0.438	15.306	6,737.2	0.540
40	7.00	15.21	1.41	208.7	9.126	0.846	9.972	5,819.7	0.496
41		16.73	1.36	224.1	10.038	0.816	10.854	6,249.2	0.510
42		19.02	1.26	244.0	11.412	0.756	12.168	6,804.1	0.525
43		21.21	1.13	258.0	12.726	0.678	13.404	7,194.5	0.528
44		24.05	0.99	272.1	14.430	0.594	15.024	7,587.7	0.526
45		25.87	0.94	286.0	15.522	0.564	16.086	7,975.3	0.535
46	8.00	15.08	1.57	218.5	9.048	0.942	9.990	6,093.0	0.454
47		15.71	1.61	229.9	9.426	0.967	10.393	6,410.9	0.468
48		17.54	1.64	257.0	10.524	0.981	11.505	7,166.6	0.497
49		18.82	1.57	269.8	11.292	0.943	12.235	7,523.5	0.506
50		20.40	1.47	282.0	12.240	0.880	13.120	7,863.7	0.511
51		22.47	1.34	296.5	13.482	0.803	14.285	8,268.1	0.515
52	9.0	18.47	1.79	282.6	11.082	1.075	12.157	7,880.5	0.473
53		19.50	1.82	300.0	11.700	1.089	12.789	8,365.7	0.489
54		22.28	1.48	309.0	13.368	0.889	14.255	8,616.7	0.477
55		21.19	1.72	316.5	12.714	1.029	13.743	8,825.8	0.498
56		21.89	1.69	324.7	13.134	1.015	14.149	9,054.5	0.504
57		23.49	1.56	334.0	14.094	0.933	15.027	9,313.8	0.503

実験番号　230 全門等高操作時　　溜砂形II型　下流河床III型

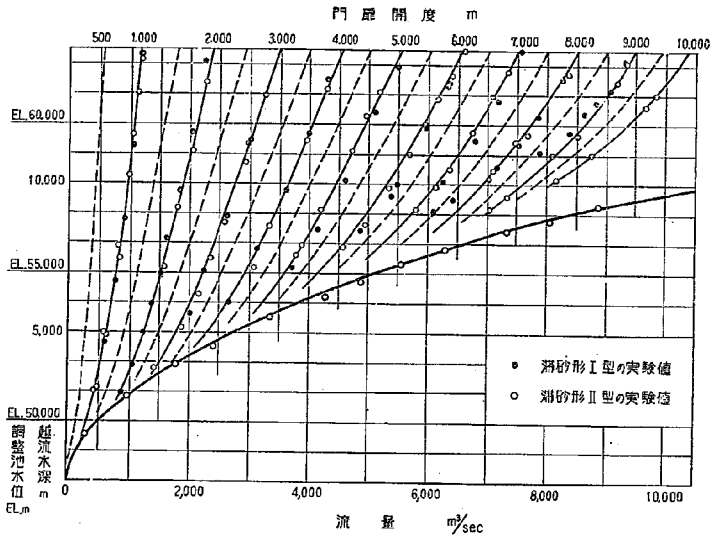
番号	門扉開度	模型 (cm l/sec) 越流水深	$v^2/2g$	流量	実物 (m. m^3/sec) 越流水深	$v^2/2g$	$H_1=h_0+v^2/2g$	流量	流量係数
1	1.00	2.61	0.04	10.6	1.566	0.024	1.590	295.6	0.441
2		5.19	0.05	17.3	3.114	0.030	3.144	482.4	0.512
3		8.18	0.04	22.4	4.908	0.024	4.932	624.6	0.529
4		12.53	0.04	30.0	7.518	0.024	7.542	836.6	0.573
5		17.13	0.03	35.7	10.278	0.018	10.296	996.1	0.584
6		21.72	0.02	40.5	13.032	0.012	13.050	1,130.2	0.589
7		25.57	0.02	44.2	15.342	0.012	15.354	1,231.7	0.592
8	2.00	10.00	0.17	50.4	6.000	0.101	6.101	1,405.4	0.536
9		12.03	0.16	56.9	7.218	0.095	7.313	1,586.7	0.552
10		15.03	0.14	65.1	9.018	0.084	9.102	1,815.4	0.566
11		18.54	0.12	73.6	11.124	0.072	11.196	2,052.4	0.577
12		22.31	0.10	81.8	13.386	0.062	13.448	2,281.0	0.585
13		25.65	0.09	88.2	15.390	0.055	15.445	2,459.5	0.589
14	3.00	6.86	0.27	47.9	4.116	0.159	4.275	1,335.7	0.405
15		8.57	0.39	67.9	5.142	0.231	5.373	1,893.4	0.513
16		10.42	0.37	76.8	6.252	0.219	6.471	2,141.6	0.528
17		12.53	0.32	84.5	7.518	0.195	7.713	2,356.3	0.532
18		14.45	0.31	93.0	8.670	0.184	8.854	2,593.4	0.547
19		17.85	0.27	105.0	10.710	0.159	10.869	2,928.0	0.557
20		21.59	0.23	117.2	12.954	0.136	13.090	3,268.2	0.567
21		25.96	0.20	133.1	15.576	0.120	15.696	3,711.6	0.588
22	4.00	12.04	0.60	110.5	7.224	0.358	7.582	3,081.4	0.527
23		14.29	0.52	119.9	8.574	0.313	8.887	3,343.5	0.528
24		19.08	0.42	142.0	11.448	0.254	11.702	3,959.8	0.545
25		21.91	0.38	154.0	13.146	0.228	13.374	4,294.4	0.553
26		24.33	0.35	164.7	14.598	0.212	14.810	4,592.8	0.562
27		26.00	0.37	180.9	15.600	0.222	15.822	5,044.5	0.597
28	5.00	12.66	0.82	135.5	7.596	0.492	8.088	3,778.5	0.500
29		13.22	0.81	139.8	7.932	0.486	8.418	3,898.4	0.506
30		15.18	0.73	150.1	9.108	0.438	9.546	4,185.6	0.510
31		16.93	0.65	156.4	10.158	0.390	10.548	4,361.3	0.506
32		18.53	0.64	169.8	11.118	0.384	11.502	4,735.0	0.526
33		20.40	0.59	178.2	12.240	0.354	12.594	4,969.2	0.527
34		21.75	0.56	186.0	13.050	0.336	13.386	5,186.7	0.534
35	6.00	13.11	1.13	164.1	7.866	0.678	8.544	4,576.0	0.496
36		14.36	1.13	177.8	8.616	0.678	9.294	4,958.1	0.510
37		16.46	1.03	191.7	9.876	0.618	10.494	5,345.7	0.518
38		18.34	0.94	203.9	11.004	0.564	11.568	5,685.9	0.525
39		20.10	0.86	213.5	12.060	0.516	12.576	5,953.6	0.527
40		21.39	0.82	221.1	12.834	0.492	13.326	6,165.5	0.530
41		22.73	0.79	229.9	13.638	0.474	14.112	6,410.9	0.535
42		24.10	0.74	236.9	14.460	0.444	14.904	6,606.1	0.537
43	7.00	15.22	1.40	208.3	9.132	0.840	9.972	5,808.6	0.495
44		16.52	1.34	220.1	9.912	0.804	10.716	6,137.6	0.504
45		17.52	1.29	228.3	10.512	0.774	11.286	6,366.3	0.510
46		19.61	1.17	242.0	11.766	0.702	12.468	6,748.3	0.514
47		21.56	1.07	254.5	12.936	0.642	13.578	7,096.9	0.518
48		24.67	0.94	272.5	14.802	0.564	15.366	7,598.8	0.521
49	8.00	17.73	1.56	254.0	10.640	0.937	11.577	7,082.9	0.485
50		19.00	1.52	267.8	11.400	0.911	12.311	7,467.8	0.501
51		19.91	1.54	282.0	11.944	0.925	12.869	7,863.7	0.516
52		22.42	1.38	299.5	13.425	0.828	14.253	8,351.7	0.521
53		17.42	1.63	255.0	10.452	0.979	11.431	7,110.8	0.495
54	9.00	15.30	2.04	252.5	9.180	1.224	10.404	7,041.1	0.457
55		16.02	2.04	263.4	9.612	1.224	10.836	7,345.1	0.467
56		17.14	1.98	271.6	10.284	1.188	11.472	7,573.7	0.468
57		17.33	2.00	278.5	10.398	1.200	11.598	7,766.1	0.477
58		17.42	2.05	286.7	10.452	1.230	11.682	7,994.8	0.489
59		20.02	1.93	309.1	12.012	1.158	13.170	8,614.4	0.497
60		21.18	1.92	324.1	12.708	1.152	13.860	9,037.7	0.508
61		23.46	1.79	335.2	14.076	1.074	15.150	9,347.3	0.502
62	10.00	16.98	2.26	292.8	10.188	1.356	11.544	8,164.9	0.452
63		18.35	2.23	313.7	11.010	1.338	12.348	8,747.7	0.469
64		21.04	2.09	346.9	12.624	1.254	13.878	9,673.5	0.489
65		21.73	2.05	355.0	13.038	1.230	14.268	9,899.4	0.493
66		25.30	1.74	377.5	15.180	1.044	16.224	10,526.8	0.492

表－5

実験番号 270　中4門門扉操作時　　潜砂形II型　下流河床III型

番号	門扉開度	越流水深 h_0	接近流速水頭 h_a	$H_1=h_0+h_a$	流量	ダム下流水深 H_2	m	m'	H^2/H_1	m'/m
1	1.00	4.776	0.005	4.781	298.6		0.514	0.514		1.000
		4.842	0.005	4.847		0.990	0.535	0.511	0.204	0.994
		5.790	0.004	5.794		2.358	0.555	0.467	0.407	0.841
		6.930	0.003	6.933		3.258	0.570	0.427	0.470	0.749
		7.992	0.003	7.995		4.278	0.575	0.398	0.535	0.692
		8.544	0.002	8.546		4.912	0.580	0.385	0.575	0.664
		10.476	0.002	10.478		6.588	0.585	0.347	0.628	0.593
		11.226	0.001	11.227		7.368	0.588	0.335	0.656	0.570
		11.862	0.001	11.863		7.800	0.590	0.326	0.658	0.553
2		12.912	0.003	12.915	562.2		0.589	0.589		1.000
		13.080	0.003	13.083		0.024	0.590	0.585	0.002	0.992
		13.098	0.003	13.101		0.888	0.590	0.585	0.067	0.992
		13.452	0.003	13.455		3.240	0.592	0.577	0.241	0.975
		13.704	0.003	13.707		3.252	0.593	0.572	0.240	0.965
		14.070	0.002	14.072		3.492	0.595	0.564	0.248	0.948
		15.192	0.002	15.194		4.372	0.597	0.543	0.288	0.910
3	2.00	4.692	0.018	4.710	559.0		0.485	0.485		1.000
		4.776	0.018	4.794		1.718	0.485	0.481	0.358	0.992
		5.658	0.014	5.672		2.776	0.520	0.442	0.489	0.850
		6.402	0.011	6.413		3.518	0.540	0.415	0.549	0.769
		8.460	0.007	8.467		5.490	0.565	0.362	0.648	0.641
		10.206	0.005	10.211		6.966	0.575	0.329	0.682	0.572
4		9.558	0.015	9.573	937.6		0.570	0.570		1.000
		9.558	0.015	9.573		3.180	0.570	0.570	0.332	1.000
		9.996	0.014	10.010		4.290	0.575	0.555	0.429	0.965
		12.660	0.009	12.669		5.996	0.580	0.496	0.473	0.855
		14.682	0.006	14.688		7.900	0.585	0.460	0.538	0.786
5	3.00	4.830	0.042	4.872	766.9		0.436	0.436		1.000
		4.830	0.042	4.872		2.244	0.436	0.436	0.461	1.000
		5.502	0.034	5.536		3.140	0.485	0.409	0.567	0.843
		7.080	0.019	7.099		4.704	0.530	0.361	0.663	0.681
		8.160	0.018	8.178		5.644	0.540	0.337	0.690	0.624
		9.126	0.015	9.141		6.660	0.550	0.318	0.729	0.578
		9.906	0.013	9.919		7.344	0.555	0.306	0.740	0.551
		12.000	0.009	12.009		9.342	0.565	0.278	0.778	0.492
6		7.284	0.042	7.326	1,119.6		0.519	0.519		1.000
		7.284	0.042	7.326		1.710	0.519	0.519	0.233	1.000
		7.284	0.042	7.326		3.240	0.519	0.519	0.442	1.000
	3.00	7.584	0.039	7.623		4.046	0.535	0.509	0.531	0.951
		8.670	0.031	8.701		5.004	0.550	0.476	0.575	0.865
		10.878	0.020	10.898		6.680	0.560	0.426	0.613	0.761
		12.504	0.015	12.519		8.260	0.565	0.397	0.660	0.703
7	4.00	8.250	0.071	8.321	1,613.7		0.526	0.526		1.000
		8.250	0.071	8.321		4.496	0.526	0.526	0.540	1.000
		8.736	0.064	8.800		5.208	0.530	0.512	0.592	0.966
		9.324	0.057	9.381		5.816	0.550	0.496	0.620	0.902
		10.530	0.045	10.575		6.744	0.558	0.467	0.638	0.837
		11.904	0.035	11.939		7.690	0.560	0.440	0.644	0.786
		13.692	0.027	13.719		9.272	0.562	0.410	0.676	0.730
		15.264	0.022	15.286		10.710	0.565	0.388	0.701	0.687
8	5.00	9.732	0.093	9.825	2,194.0		0.527	0.527		1.000
		9.732	0.093	9.825		5.370	0.527	0.527	0.547	1.000
		11.082	0.072	11.154		7.308	0.532	0.495	0.655	0.930
		12.192	0.060	12.252		8.024	0.538	0.472	0.655	0.877
		13.230	0.051	13.281		8.912	0.543	0.453	0.671	0.834
		14.598	0.042	14.640		9.854	0.546	0.432	0.673	0.791
9	6.00	9.222	0.134	9.356	2,035.5		0.501	0.501		1.000
		9.222	0.134	9.356		4.008	0.501	0.501	0.428	1.000
		9.534	0.126	9.660		6.240	0.505	0.493	0.646	0.976
		11.052	0.095	11.147		7.618	0.520	0.459	0.683	0.883
		12.018	0.082	12.100		8.274	0.525	0.441	0.684	0.840
		13.020	0.069	13.089		8.962	0.530	0.424	0.685	0.800
		13.920	0.061	13.981		9.656	0.535	0.410	0.691	0.766
		14.862	0.053	14.915		10.398	0.540	0.397	0.697	0.735
10	7.00	9.426	0.168	9.594	2,793.7	0.036	0.485	0.485		1.000
		9.426	0.168	9.594		5.694	0.485	0.485	0.593	1.000

		9.756	0.162	9.918		6.546	0.490	0.477	0.660	0.973
		10.182	0.150	10.332		7.284	0.495	0.467	0.705	0.943
		12.432	0.102	12.504		8.854	0.520	0.424	0.706	0.815
11		9.984	0.162	10.146	2,904.6	0.070	0.490	0.490		1.000
		10.098	0.162	10.260		6.292	0.493	0.488	0.613	0.990
		10.476	0.150	10.626		7.374	0.500	0.479	0.666	0.958
		11.262	0.126	11.388		8.080	0.510	0.463	0.710	0.908
		13.374	0.090	13.464		9.456	0.525	0.423	0.702	0.806
		14.826	0.078	14.904		10.440	0.530	0.405	0.700	0.764
12	8.00	11.832	0.204	12.036	3,686.3	0.846	0.500	0.500	0.070	1.000
		12.090	0.192	12.282		8.272	0.505	0.495	0.674	0.980
		12.654	0.174	12.828		9.052	0.510	0.484	0.706	0.949
		13.848	0.150	13.998		10.102	0.515	0.464	0.722	0.901
13	9.00	10.986	0.258	11.244	3,842.6	1.220	0.475	0.479	0.109	1.008
		11.208	0.252	11.460		6.418	0.475	0.475	0.560	1.000
		11.406	0.240	11.646		7.508	0.480	0.471	0.645	0.981
		11.766	0.228	11.994		8.574	0.485	0.464	0.715	0.957
		12.924	0.186	13.110		9.534	0.500	0.444	0.727	0.888
		14.982	0.144	15.126		10.890	0.508	0.413	0.720	0.813



図－11　主余水吐の水位流量曲線

下流水位は，模型で下りうる最低水位として，各開度で種々の流量に対する調整池水位を測定した。図－10 表－3の曲線群は，各開度別の調整池水位と流量の関係をしめす。

次に同図に調整池滞砂形はそのままで，下流河床を，Ⅰ型，Ⅱ型，Ⅲ型と順次低下させた場合の実験結果を記入して見た。これは，同じ流量に対し，下流水位を順次低下させた結果になるが，開度7m位までは，下流水位の低下が調整池水位に影響していないことをしめしている。

調整池滞砂形を　Ⅰ型およびⅡ型にかえた場合について実験した結果は，図－11，表－4にしめす。曲線はⅡ型の実験値をもとにして描いたものであるが，Ⅰ型の場合の測点も，開度の大きい時にはいくぶん相違しているが，開度の小さい時には，Ⅱ型の場合と殆んど一致している。

すなわち，門扉等高操作の場合は，調整池滞砂形の影響は，開度の大きいとき，または，調整池水位を低下させたとき以外，ほとんど無視できるほど小さいということをしめしている。これを調整池滞砂形原型のとき，図－10と比較して見ると，門扉開度3m以下，越流深8m以上の部分はほとんど一致している。

図－11にしめす門扉操作時の水位-流量曲線のうち，調整池水位の高い場合の流出状態は，開度7m以下の場合下流水位の影響を受けない完全流出と見られ，それ以上の開度の場合と，調整池水位の低い時は，不完全流出

となっていたがいずれの場合でも，水中流出の状態は見受けられなかった。

調整池潜砂形原型，Ⅰ型，Ⅱ型の3種の状態に対し，主余水吐門扉全門を1m～9m等高に開放した場合の越流水深と流量係数の関係を以上の実験値から次式を使用して計算すれば，表—3,4 にしめすとおりである。

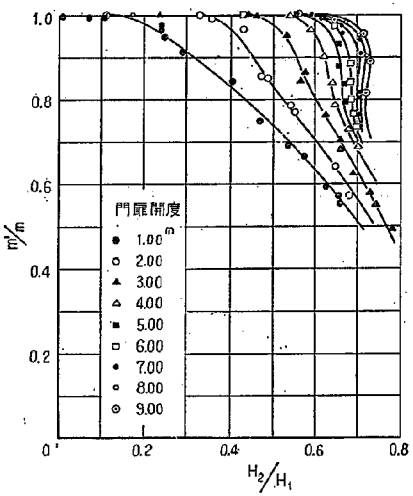
$$m=\frac{Q}{aB\sqrt{2gH_1}} \quad \cdots\cdots(4)$$

m＝流量係数　　Q＝流　量 m³/sec

a＝門扉開度 m　　B＝越流巾 m

$H_1=h_0+v^2/2g$ m　　h_0＝越流水深 m

$v^2/2g$＝接近流速水頭 m



図—12　門扉操作時のH_2/H_1とm'/mの関係

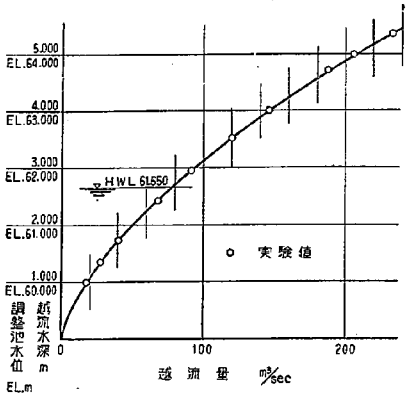
完全流出，不完全流出，水中流出等の臨界下流水位と不完全流出時のダム下流水位の影響程度は，門扉開度調整池水位等により相違があり，これらの修正を加える資料として，門扉全開自由越流時と同様に，完全流出時の流量係数をm 不完全流出時の流量係数をm' ダム越流頂を基準として接近流速水頭を加えたダム上流水深をH_1，ダム下流水深をH_2としH_2/H_1とm'/mの関係を，図—12，表—5にしめす。

7.　左岸固定堰，右岸固定堰および起伏堰の水位—流量の関係

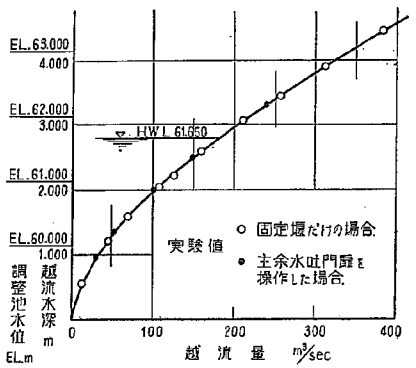
左岸固定堰，右岸固定堰，起伏堰等は，主余水吐の門扉を閉じ，かつ3ヶ所を別々に分離して実験した。

実験値を，左岸固定堰，右岸固定堰の場合は，式—(6)を，起伏堰については，式—(7)を使用して算出した流量係数は，表—6のとおりである。

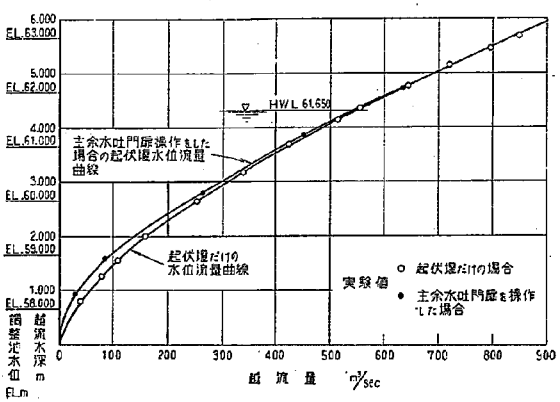
左岸および右岸固定堰　　$C=\frac{Q}{BH^{3/2}}$ ……(6)



図—13　左岸固定堰の水位流量曲線



図—14　右岸固定堰の水位流量曲線



図—15　起伏堰の水位流量曲線

表 — 6

右岸固定堰

	番号	越流水深 h_0 m	接近流速水頭 h_am	$H_1=h_0+h_a$	流量 m³/sec	流量係数
固定堰だけ放流した場合	1	0.568	0	0.5680	13.94	1.628
	2	1.222	0.0001	1.2221	44.90	1.662
	3	1.600	0.0001	1.6001	69.71	1.722
	4	2.050	0.0002	2.0502	108.47	1.848
	5	2.230	0.0003	2.2303	124.93	1.876
	6	2.602	0.0005	2.6025	158.95	1.893
	7	3.076	0.0008	3.0768	210.82	1.953
	8	3.454	0.0011	3.4551	256.00	1.993
	9	3.910	0.0016	3.9116	313.71	2.027
	10	4.444	0.0017	4.4461	383.15	2.044
主余水吐門扉も同時に操作した場合	1	0.982	0.0001	0.9821	30.67	1.577
	2	1.366	0.0001	1.3661	53.26	1.668
	3	2.002	0.0002	2.0022	103.18	1.821
	4	2.500	0.0004	2.5004	146.68	1.855
	5	3.328	0.0010	3.3290	239.54	1.972

左岸固定堰

	番号	越流水深 h_0 m	接近流速水頭 h_a m	$H_1=h_0+h_a$	流量	流量係数
	1	0.996	0	0.9960	17.29	1.739
	2	1.366	0	1.3660	28.44	1.781
	3	1.726	0	1.7260	40.27	1.776
	4	2.430	0.0001	2.4301	68.32	1.804
	5	2.951	0.0001	2.9511	90.91	1.793
	6	3.525	0.0002	3.5252	119.91	1.812
	7	4.000	0.0003	4.0003	145.84	1.823
	8	4.696	0.0004	4.6964	187.39	1.841
	9	4.978	0.0005	4.9785	205.80	1.853
	10	5.344	0.0007	5.3447	233.12	1.887

	番号	越流水深 h_0 m	接近流速水頭 h_a m	$H_1=h_0+h_a$	流量 m³/sec	流量係数
起伏堰だけ放流した場合	1	0.796	0	0.7960	39.04	0.310
	2	1.264	0	1.2640	78.08	0.310
	3	1.558	0	1.5580	109.03	0.317
	4	1.996	0.0010	1.9970	160.62	0.321
	5	2.614	0.0020	2.6160	251.81	0.336
	6	3.184	0.0030	3.1870	339.37	0.337
	7	3.688	0.0040	3.6920	424.98	0.338
	8	4.144	0.0050	4.1490	515.88	0.345
	9	4.349	0.0060	4.3460	554.64	0.346
	10	4.768	0.0070	4.7750	645.55	0.349
	11	5.128	0.0090	5.1370	722.24	0.350
	12	5.458	0.0100	5.4680	796.97	0.352
	13	5.680	0.0110	5.6910	851.07	0.354
主余水吐門扉も同時に操作した場合	1	0.952	0.0001	0.9521	29.28	0.178
	2	1.594	0.0002	1.5942	86.45	0.243
	3	2.800	0.0018	2.8018	264.08	0.318
	4	3.856	0.0043	3.8603	451.19	0.336
	5	4.690	—	—	635.51	—

起伏堰　$$m=\frac{Q}{BH_1\sqrt{2gH_1}}\quad\cdots\cdots(7)$$

Cまたはm＝流量係数　Q＝流量 m³/sec

B＝越流巾 m　$H_1=h_0+v^2/2g$

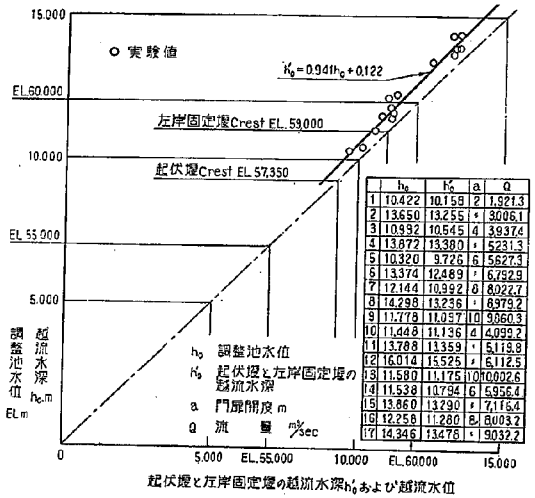
h_0＝越流水深 m　$v^2/2g$＝接近流速水頭 m

越流水深と流量の関係は，図—13，14，15，表—6にしめす。

この実験は，主余水吐門扉を閉鎖して行ったのであるが，主余水吐門扉を同時に開放した場合には，右岸固定堰と起伏堰の越流水深と流量の関係が，各々図にしめすように変ると共に，実験の結果によると，調整池水位標の水位と起伏堰および左岸固定堰附近の水位との間に，図—16にしめすような関係がある。したがって，調整池水位標の読みを，次式によって換算した上で起伏堰およ

表－7

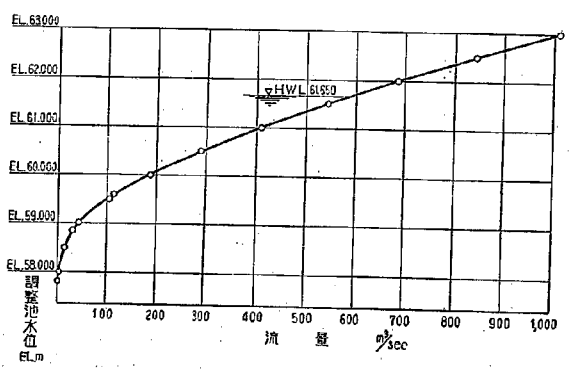
番号	調整池水位 EL m	右岸固定堰流量 m³/sec	修正水位 EL m	左岸固定堰流量 m³/sec	起伏堰流量 m³/sec	合計流量 m³/sec
1	57.350	0	56.90	0	0	0
2	57.500	0	57.03	0	0	0
3	57.820	0	57.35	0	0	0
4	58.000	0	57.50	0	2.0	2.0
5	58.500	0	58.00	0	14.0	14.0
6	58.850	0	58.30	0	30.0	30.0
7	59.000	2.0	58.45	0	40.0	42.0
8	59.500	16.0	58.95	0	88.0	104.0
9	59.600	20.0	59.00	0	93.0	113.0
10	60.000	41.0	59.40	5.0	145.0	186.0
11	60.500	73.0	59.85	14.0	214.0	287.0
12	61.000	115.0	60.32	27.0	294.0	409.0
13	61.500	165.0	60.80	43.0	378.0	543.0
14	62.000	219.0	61.25	61.0	467.0	686.0
15	62.500	278.0	61.73	82.0	567.0	845.0
16	63.000	344.0	62.20	104.0	657.0	1,011.0



	h_0	h_0'	a	Q
1	10.422	10.158	2	1,921.3
2	13.650	13.255	〃	3006.1
3	10.992	10.545	4	3.937.4
4	13.672	13.380	〃	5231.3
5	10.320	9.726	6	5627.3
6	13.374	12.489	〃	6,752.9
7	12.144	10.992	0	8022.7
8	14.298	13.236	〃	8979.2
9	11.778	11.057	10	9860.3
10	11.448	11.136	4	4.099.2
11	13.788	13.359	〃	5,118.8
12	16.014	15.525	〃	6,112.5
13	11.580	11.175	10	10092.6
14	11.538	10.794	6	5,956.4
15	13.860	13.290	〃	7,116.4
16	12.258	11.280	6	8,003.2
17	14.346	13.478	〃	9032.2

起伏堰と左岸固定堰の越流水深 h_0' および越流水位

図—16　調整池水位と起伏堰および左岸固定堰の越流水深との関係図



図—17　左岸固定堰，右岸固定堰および起伏堰を合計した水位—流量曲線

び左岸固定堰の流量を求めなければならない。

$$h_0'=0.941\ h_0+0.122$$

h_0'＝起伏堰および左岸固定堰附近の水位 EL m

h_0＝調整池水位標の水位 EL m

ただし，右岸固定堰については，調整池水位標の読みをそのまま使用する。

調整池水位 h_0 に対する上記の修正を考慮して，3ケ所の流量を合計した，水位と合成流量の関係を求めれば，図—17，表—7のようになる。

8. 結　語

厳密にいえば，門扉1門を開いた場合の流量は，橋脚による端収縮の影響を受けて，全門を開放した場合の 1/8 にはならない。また2門，3門開いた時，あるいは，全門を不等高に開いた時等，いずれも橋脚による端収縮の影響の相違を免れない。しかし本実験のように，調整池水位ならびにダム下流水位の動揺が大きく，水位測定の精度に限度があり，さらに門扉の開度の精度以上は望みえないこと，また一方，操作規程にあるように，門扉はなるべく等高に開き，隣接門扉との開度差を1m以内にするという条件を考え合わせた場合，橋脚による端収縮の影響が門扉の開き方の相違によって異なるということを無視しても，流量の推定上，大きな差はないものと考えられる。

以上の考え方にしたがい，前掲実験資料により流量を求める順序を一括して述べる。

(1)　主余水吐自由越流時流量を知る方法

実際には，洪水の終りに，調整池滞砂を掃流させるような特殊な目的で行なわれるほかには起らない操作状態であるが，調整池水位54.000m（ダム越流水深6m）以下で，門扉を全開操作する場合には，調整池滞砂形の影響，ならびにダム下流水位の影響は少ないものと考えてよいから，図—7の曲線(2)または(4)より，調整池水位標の読み h_0 を使って直ちに流量を求めうる。

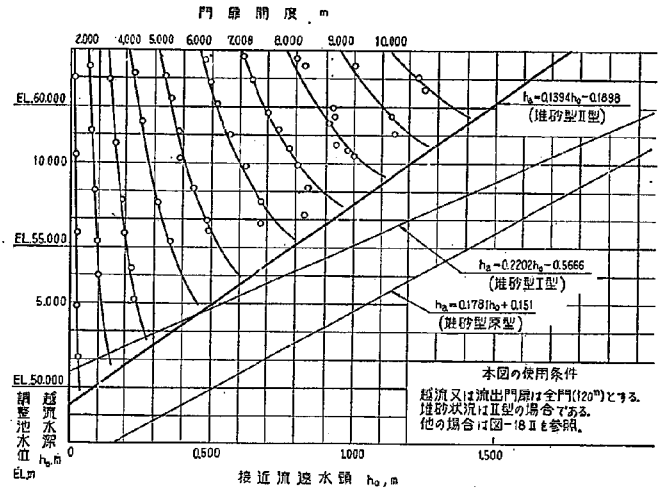


図 — 18　越流水深と接近流速水頭との関係図 I

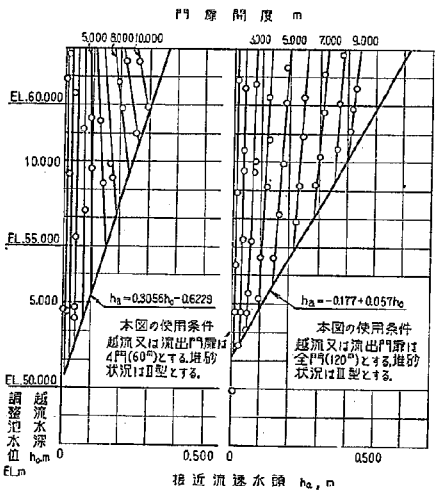


図 — 18　越流水深と接近流速水頭との関係図 II

調整池水位54.000m 以上の場合は，水位標水位 h_0 を用い，ダム下流水位の影響を受けてない曲線 (4) により流量を求め，後にダム下流水位の影響を加味して流量を修正しなければならない。

この修正は，図—9によるものであるが，同図の越流水深 H_1 は，接近流速水頭を含むことに注意しなければならない。そこで，使用上の便宜をはかるため，自由越流時の h_0 と接近流速水頭 h_a との関係を，図—18にしめす。この図表を参考にし，調整池水深 h_0 の観測値より h_a をもとめ，$H_1=h_0+h_a$ をもとめるとともに，今後ダム下流水位標をどの候補地点に設置するにせよ，現地観測ダム下流水位 H_2' は，図—4を使ってダム下流代表水深 H_2 に換算しなければならない。次に，H_2/H_1 を算出し，それに対応する m'/m を図—9からもとめ，その値を，図—7の曲線(4)から得た流量に乗ずればよい

さらに，左岸固定堰，右岸固定堰および起伏堰を越流した場合には，図—17からそれらの越流量を求めて主余水吐流量に加えれば，その時の全流量となる。

(2) 門扉を部分開放した場合の流量を知る方法

上流からの洪水予報による，予備放流その他特別の事態が起きないかぎり，調整池水位を常時満水位57.850mより大きく低下させて，門扉を部分開放することはないので，図—11の曲線群中必要となるのは，主として，EL.58.000m附近からEL62.000mまでである。開度の小さいうちは，流量が少なく，ダム下流水位が低いので，下流水位の影響を受けないが，開度が大きく，流量が大となれば，下流水位の影響を受けるものと予想される。

門扉開度の扱い方は，一応全門扉が開いてある場合はその平均開度に等高に開けたものと見なして，図—11から流量をもとめる。また開度が小で一部門扉が閉じている場合には，閉鎖門扉分を按分で差引くか，後述の1門扉当りの流量をもとめて合計する。

a.　全門扉等高開放時流量を知る方法

調整池水位 h_0 を測定し，図—11の曲線群から流量をもとめる。図—18を参考に，h_0 に対する接近流速水頭 h_a をもとめ $H_1=h_0+h_a$ とする。

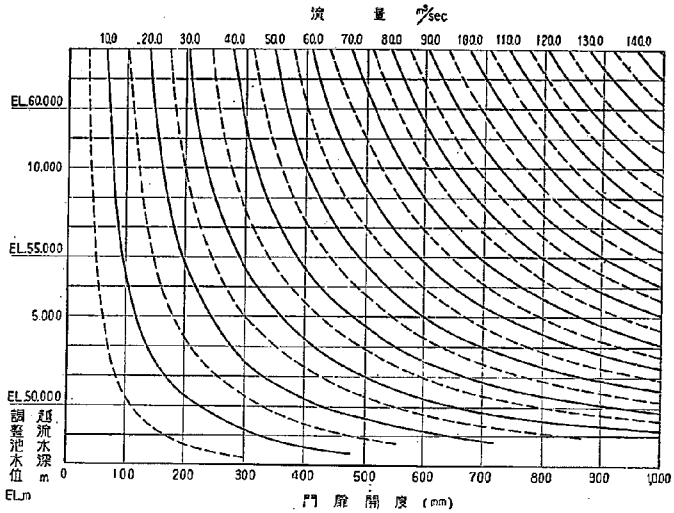
ダム下流水位 H_2' から図—4により，ダム下流水深 H_2 を知り，図—12によって H_2/H_1 に対する m'/m の値をもとめる。下流水位の影響を受けているならば $m'/m<1$ の筈である。したがって，図—11よりもとめた流量に，m'/m の値を乗じ，ダム下流水位の影響を修正する。

以上によって真の流出量を知ることができる。もしこの場合1門扉が閉鎖されている場合はさら7/8 を乗ずる。

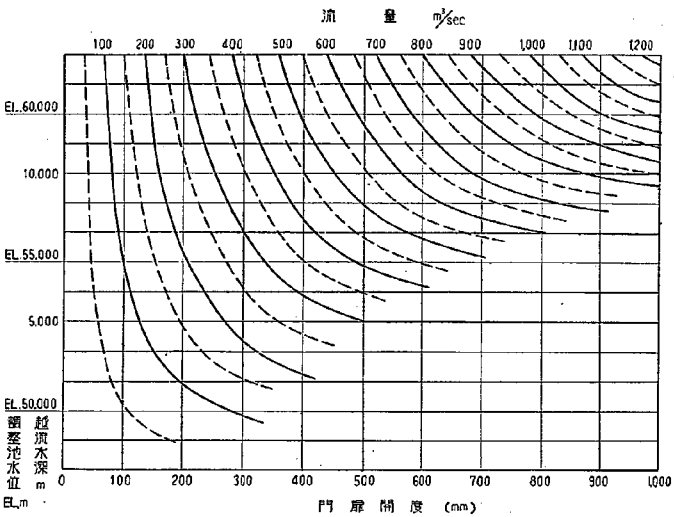
b,　1門扉当りの流量図表により流量を知る方法

洪水流量を知るのを主な目的とする本実験としては，あまり重要ではないが，小開度の放流量を知るために，図—19に，調整池水位と門扉開度との関係を，1門扉当りの流量を，パラメーターとした図をしめす。

調整池水位を，常時満水位近く保ちながら，1m以下の開度で余水を放流する場合は，ダム下流水位の影響を



図—19 門扉1門当りの門扉開度と水位流量図



図—20 門扉1門当りの門扉開度と水位流量図

受けないと考えられる。したがって，調整池水位 h_0 を得たならば，開度1m以下では接近流速水頭は小さく，これを無視できるので，種々の開度に対し流量をもとめることが出来る。2門扉以上の場合は上述のようにして，各門扉の流量をもとめて合計すればよい。

開度1m以上の，1門扉当り流量図表は，図—20に示す。この場合流量が2,000m³/sec以上のような場合は，図—18を参考として接近流速水頭を加算して流量を求める。

調整池水位の低い時，あるいは開度の大きいときには下流水位の影響が予想される。このような場合には，既述の場合と同様に，図—12から H_2/H_1 に対する m'/m を知り修正する。

以上のように，各実験資料を，洪水の状況に応じ，現地の経験等も織りまぜて適宜使いわけ，洪水予報，流出量推定等をさらに精密に行なわれるように希望する。

最後に，本実験を行うにあたり多大の御協力を戴いた，建設省九州地建筑後川工事々務所，日田工事々務所，九州電力株式会社の関係者各位に御礼申し上げます。

洪水流出計算機に関する研究(2)

——洪水流出計算機と筑後川の洪水流出解析——

木　村　俊　晃*

(昭和35年7月)

要　旨

この報告は，建設省九州地方建設局から依頼をうけた有明海流入河川調査の昭和34年度成果報告であり，洪水流出計算機の概要と代表係数法および貯留関数法による筑後川の洪水流出解析の結果についてのべたものである。

1. まえがき……(1)
2. 洪水流出計算機……(1)
(1) 概　要……(1)
(2) 基礎方程式と演算方式……(1)
(3) 解析計算……(2)
(4) 追跡計算……(3)
(5) 構　成……(4)
(6) 計算所要時間と精度……(5)
3. 筑後川の洪水流出解析……(6)
(1) 概　要……(6)
(2) 基礎資料……(6)
(3) 降雨解析……(7)
a. 代表係数法……(7)
b. 連続雨量と欠測値の推算……(11)
c. 流域平均連続雨量の算定……(12)
d. 代表係数の推定……(12)
(4) 流出解析……(13)
a. 概　説……(13)
b. 夜明上流流域の解析……(13)
c. 夜明—瀬ノ下間流域の解析……(16)
d. 解析結果の適用……(18)
e. 解析結果の考察……(20)
4. あとがき……(20)
参考文献

1. まえがき

有明海地域については，有明海の大規模干拓を骨子とする綜合開発計画が進められているが，その沿岸各河川の洪水および水資源の実態を明らかにすることは，計画のための基礎的要件であり，九州地方建設局によって，有明海流入河川調査が実施されている。本調査は，その一環として，有明海に流入する各河川の洪水流出の実態をアナログ・コンピューターによって解析し，綜合開発計画における洪水対策を樹立するために，第一次的に必要な水文学的基礎資料を整備しようとするものである。

昭和34年度は，昨年度に引続き，洪水流出計算機(解析器)の製作を実施してそれを完成し，その綜合調整を行なうとともに，有明海地域内の最大の河川であるところの筑後川について詳細な洪水流出解析を実施し，その流出機構を明らかにするとともに，今後の全地域に対する洪水流出解析について各種の重要な指針をえた。

2. 洪水流出計算機

洪水流出計算機については，"洪水流出計算機に関する研究(1)——流域・河道用洪水流出計算機の基本設計——"(土研報告，105号)にすでに報告しているので，ここでは，その概要についてのべる。

(1) 概　要

洪水流出計算機は，貯留関数法[1]を基礎として，降雨流出の推定計算および河道の洪水追跡計算を自動的に実施する電子管式・低速度型・アナログ計算機であって，与えられた降雨および流量の資料から河川の水文学的定数を解析し，また，それらの定数を設定して，降雨または流入量から流出量を計算し，ハイドログラフとして記録する機能をもっており，流域・河道・貯水池のいずれに対しても適用できる広い応用範囲をもっているだけでなく，汎河川用であって，定数を設定しなおすことにより，わが国のどの河川に対しても適用することが可能である。

今回製作した装置は，追跡計算の場合において，流域または河道の単位区間を4区間まで設定しうるものであり，その外観は写真-1に示すとおりであって，本体・ブラウン管オッシロスコープ・ペン書レコーダーおよびペン書レコーダー用増巾器などの各部からなっている。

(2) 基礎方程式と演算方式

洪水流出計算機において採用している貯留関数法の基

* 河川部　水文研究室長　建設技官

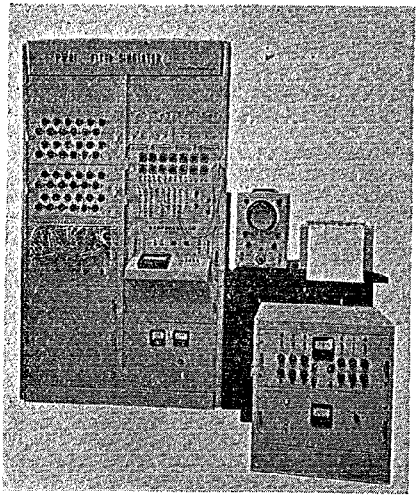


写真-1　洪水流出計算機の外観
左　：本体
右上：ブラウン管オッシロスコープとペン書レコーダー
右下：ペン書レコーダー用増巾器

礎方程式はつぎのとおりであり，この式は図—1 に示したⅠ，Ⅱ，Ⅲなどの区分流域やⅣのような河道区間のそれぞれについて成立するものである。

$$\sum_{j=1}^{n} f_j \cdot I_j - O_i = \varphi(O_i)\frac{dO_i}{dt} \quad \cdots\cdots(1)$$

$$O_i(t) = O(t+T_i) \quad \cdots\cdots(2)$$

ここに，

I_j：流入量群（区分流域の雨量および支川流量）

O：流出量

f_j：流入係数（流入量のボリウムを調整する係数で，洪水ごとに定数と仮定する）

$\varphi(O_i)$：貯留関数（流域または河道の貯留水量と流出量の関係を示す関数）

T_i：遅滞時間（洪水ごとに一定値と仮定する）

とくに，降雨流出において，流入量として流域平均雨量 r_{ave} を用いる場合には，(1)式はつぎのようになり，流入係数 f は従来の流出率に相当するものを与える。

$$f \cdot A \cdot r_{ave} - O_i = \varphi(O_i)\frac{dO_i}{dt} \quad \cdots\cdots(3)$$

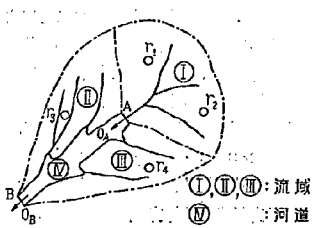


図-1　流域の模式図

これらの基礎方程式を比較的よい近似で実際河川に適用するためには，単位区間の広さや長さについて制限が存在するが，これまでの適用結果によると，流域では面積2,000～3,000km²，河道では約100km程度においても十分な適用性を示しており，わが国において現在実施されている水文観測施設の状況から判断すると，ほとんどの河川に対して適用が可能なようである。

なお，これらの基礎方程式の特徴の主要点は，

i. 最近における水文学的研究の結果明らかになってきたところのわが国の洪水の非線型性を貯留関数によって簡単な形で導入していること，

ii. 水量の連続性についてとくに考慮をはらい，佐藤清一・吉川・著者〔1954〕[3]や著者〔1956〕[3]などの狩野川に関する研究結果を基礎として，流入係数による線型仮定を採用していること

などである。

つぎに，演算方式としては，すでに，京都大学〔1955〕[4]や土木研究所・河川研究室〔1959〕[5]で研究されている洪水用アナログ・コンピューターにおいて採用されている直接相似方式を採らず，電子管式微分解析器の方式を採用した。このことは，すでに示したように，基礎式が比較的簡単であり，かつ，その形式が微分解析器の基本回路とよく一致しているので，経済的にもその採用が容易であったことが重要な要因となっているが，このために，この計算器は取り扱いが非常に容易で，操作に当って特別な電気的知識はほとんど必要がなく，また，十分な汎用性を発揮することができる。

(3)　解析計算

洪水水文学にあっては，流入量および流出量の実測値から定数を解析することが問題の重要な部分を占め，かつ，困難をともなっているのであるが，従来の洪水計算機では，この点にあまり関心がはらわれていない。この計算機では，この点にとくに留意し，まず，与えられた流入および流出量を設定して，定数の解析計算を実施できるように構成した。

すなわち，(1)式を変形して積分すると，

$$\int\left(\sum_{j=1}^{n} f_j \cdot I_j - O_i\right)dt = \int \varphi(O_i)\,dO_i + C \quad \cdots\cdots(4)$$

C：積分定数

となるから，図-2 の回路によって，任意時間関数発生器で流入ハイドログラフ $I_j(t)$ および流出ハイドログラフ $O_i(t)$ を発生し，I_j にはポテンショメーターで f_j を掛け，O_i は正負変換器で符号を変えて加算積分器の入力側に加えれば，その出力側に貯留関数の O_i による積分値がえられる。よって，それをブラウン管オッシロスコープのY軸に加え，一方，O_i を X 軸に加えて，このリサージュ図形が一価関数となるように，ポテンショメーターの調整と T_i の切り換えを行なって，試算的に f_j

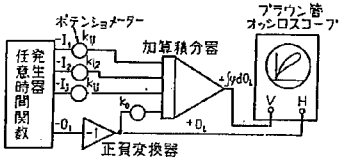


図-2　解析計算のためのブロック線図

および T_1 を決定する。また，一価関数となったときのブラウン管上の図形が貯留関数 $\varphi(O_t)$ を与えるから，それを写真またはX－Yレコーダーを用いて記録する。

写真-2 は，図-3 に示した筑後川の夜明ダムと瀬ノ下地点との間の河道において，流入量(I_1)として本川の夜明ダム地点の流量，流入量(I_2)として支川宝満川の大板井地点の流量を採用し，昭和32年7月洪水を解析した場合のブラウン管上の貯留関数を示したものであり，I_1（夜明）のみによる解析では十分ではないが，流入量として I_1(夜明) および I_2(大板井) の二つを採用すれば，貯留関数がほとんど一価関数となっているようすが見られる。なお，この写真で図形が不連続な縦線で現われているのは，流出量が後述するように階段近似であるためであって，その中点を結んで見ればよいわけである。

(4)　追跡計算

各単位区間の多数の洪水についてそれぞれ独立に定数を解析し，それらの結果を総合的に整理検討して各単位区間の定数が確定すれば，それらの定数を各単位区間に相当する単位回路に設定し，それらをたがいに水系の状態に応じて接続することによって，河川水系は回路網で模擬されたことになるから，その回路網の入力側に降雨または上流側の流入量に相当する波形を任意時間関数発生器で発生して与えてやれば，自動的に追跡が実施され，任意の単位区間の下流端における流出ハイドログラフはペン書きレコーダーによって記録される。

なお，(2)式は単なる時間ずれであるから，最下流端から流路にそって各流入量(I_t)に至る間の遅滞時間の合計の時間だけ，それぞれの流入量(I_t)の発生を遅らせておけばよいわけであり，各単位区間の回路は(1)式を回路化することによって，図-4のように構成される。この回路は，さきに示した図-2の解析回路において，流出量 O_t の発生を止め，また，ブラウン管のかわりに折線近似関数発生器を接続して，そこに貯留関数を設定し，積分器からの出力によってえられる $\int \varphi dO_t$ を O_t に変換して，積分器の入力側にフィード・バックするものである。

写真-3はさきに示したのと同じ筑後川の夜明ダム－瀬ノ下間における昭和32年7月洪水について追跡計算した結果のペン書きレコーダーによる記録であり，4のハイドログラフが1の I_1（夜明）および2の I_2（大板井）の流入ハイドログラフから追跡した瀬ノ下地点の流出ハイドログラフであり，これを解析に当って使用した流出ハイドログラフすなわち5の実測値と比較することによ

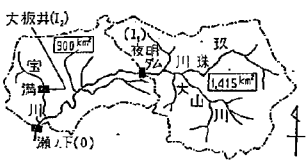


図-3　筑後川流域概要図

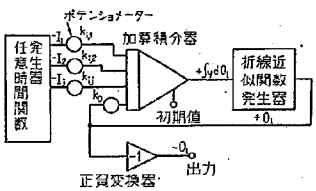
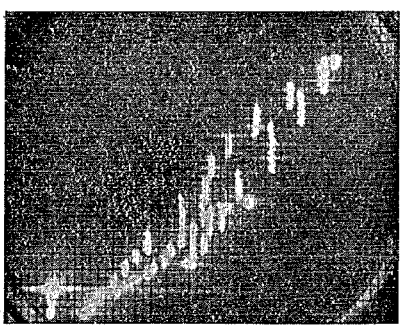
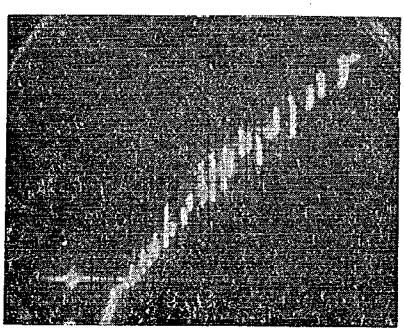


図-4　追跡計算の単位区間のブロック線図

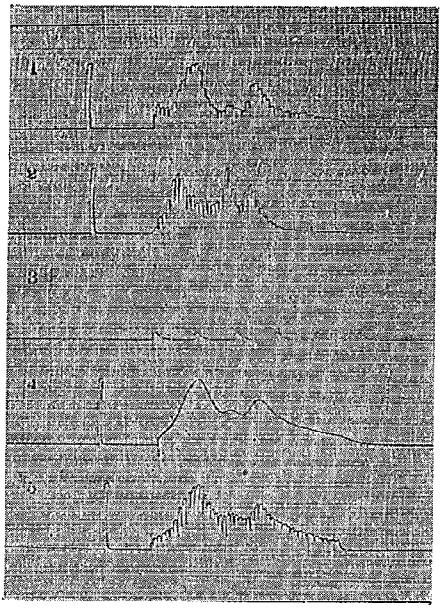


(a)　I_1（夜明ダム）のみの場合



(b)　I_1 および I_2（大板井）による場合

写真-2、筑後川・夜明—瀬ノ下間の貯留関数（昭和32年7月洪水）



1. 夜明(本川)の流量 I_1〔実測〕
2. 大板井(支川宝満川)の流量 I_2〔実測〕
3. タイムマーク（1秒）
4. 瀬ノ下の流量 O〔計算〕
5. 同上〔実測〕

写真-3　追跡計算結果のペン書きレコーダーによる記録（筑後川・夜明—瀬ノ下・昭和32年7月洪水）

って，推算の精度をみることができる。

なお，たとえば，この計算機の4単位区間を用いて，図-1 に示した流域を構成してみると，図-5 のようになる。

(5) 構　成

洪水流出計算機はつぎの各部からなりたっている。

a.　任意時間関数発生器

流入量 I_1 および流出量 O のハイドログラフに相当する電圧の時間変化をつくる装置であって，コミュテーター方式によって，51×51の階段近似で4コまでの時間関数を発生することができ，遅滞時間 T_1 のために，それぞれ5区間だけハイドログラフを時間軸上で移動することができる。

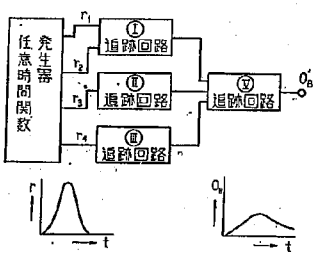


図-5　追跡計算のブロック線図の一例

写真-4 はこの装置の設定盤であって，上部の4列が時間軸であり，下部の8列が電源で，左から0～50Vの1V間隔であり，これと上記の時間軸とをコードで接続することによって，各種のハイドログラフがえられる。一番上は指示灯で時間軸の2区間ごとに1コ，中間の4列は接続用のU端子である。

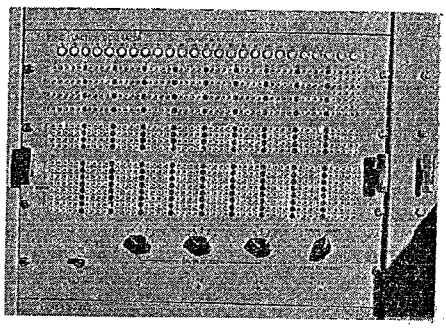


写真-4　任意時間関数発生器

なお，下部にあるつまみのうち，左端は，設定電圧の最大値を50Vと10Vに切り換えるスイッチ，中央の三つは，遅滞時間 T_1 の切り換え用スイッチ，右端は解析計算と追跡計算における関数発生の繰り返えしと繰り返えさないのとの切り換え用スイッチである。

b.　加算積分器（4台）

入力電圧を加算して積分する装置であって，図-4に示したように，追跡の単位回路に1台ずつ含まれている。

また，解析計算の場合はこの中の1台を利用する。

c.　正負変換器（2台）

電圧の正負を変えるためのものである。

d.　加算器（2台）

正負変換器のうち2台を加算器としたもので，普通には正負変換器として用いる。

これらの線型演算器（加算積分器・正負変換器・加算器）の増巾器は写真-1の本体の右上の部分にある。

e.　折線近似関数発生器（4台）

追跡計算の場合に，図-4に示したように，貯留関数の設定に用いるもので，6区間の折線で第1象限の任意関数を近似する。

写真-5 はそのパネル面を示したもので，上下2台あり，1区間が2コのダイヤルと1コのスイッチからなっていて，ダイヤルは直線の起点とコウ配に対応し，スイッチはコウ配の正負を定める。この装置では各区間の設定はまったく独立である。

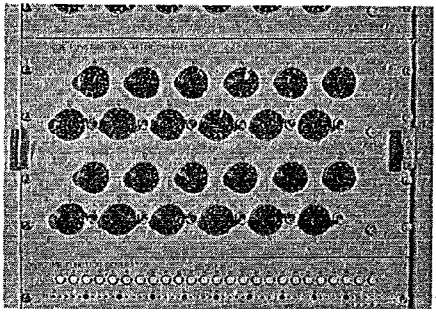


写真-5　折線近似関数発生器

f. ポテンショメーター（14コ）

一定係数を設定するためのもので，このうち10コは流入係数 f_i 用であり，4コは電源を内蔵していて，加算積分器の初期値設定用である。

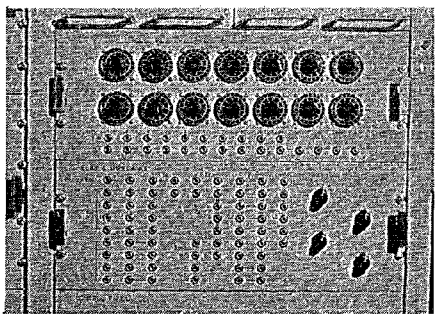


写真-6　ポテンショメーター盤（上）とリレーおよびインピーダンス盤（下）

写真-6の上がポテンショメーター盤で，f_i 用の10コは入出力端子，初期値用の4コは出力端子のみを有している。なお，このポテンショメーターは10回転で0から1に変化し，1回に100目盛であるから，読取りは1/1,000まで可能である。

g. リレーおよびインピーダンス盤（1台）

解析計算の場合の時間関数発生の繰り返しや初期値の設定に必要なリレーと線型演算器の演算インピーダンスを実装するとともに，パネル面には，写真-6のように，任意時間関数発生器・線型演算器・折線近似関数発生器などの入出力端子が集中的に設けられており，ここで回路を組立てることができる。右端の4コのつまみは加算積分器の演算コンデンサーの容量の切り換え用である。

h. 制御盤（1台）

電源の投入・切断，各部のゼロ点の調整，計算の開始・停止，計算中の過電圧の指示，ペン・レコーダーの始動・停止など各種の制御を行なう。写真-7にみられるボルト・メーターにはスイッチの切り換えで各部を呼び出し，50，5，0.5，0.1Vのレンジで測定をすることができる。

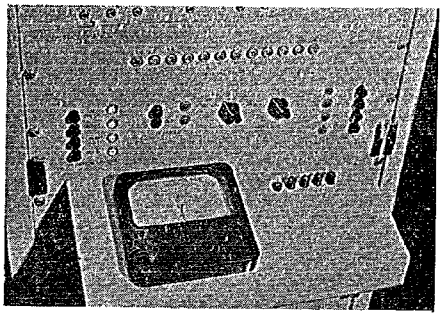


写真-7　制御盤

i. 電　源（1式）

写真-1の本体の下部にあり，各部に必要な各種類の電圧を安定化して供給する。

j. 筐　体（1式）

各パネルを収容する。

k. ブラウン管オッシロスコープ（1台）

解析計算の際に，貯留関数の解を表示するためのもので，5″の残光性ブラウン管を使用している。解析の場合の1回の計算所要計算時間は6秒であるから，残光によって，貯留関数の解は十分継続してみることができる。

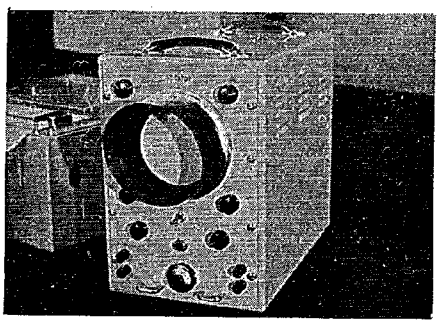


写真-8　ブラウン管オッシロスコープ

l. ペン・レコーダー（1台）

追跡計算の際に，各地点のハイドログラフを記録するためのもので，6チャンネルのものを使用している。

(6) 計算所要時間と精度

この計算機は低速度型アナログ・コンピューターとしては計算速度は速い方に属し，時間関数の発生時間は5秒である。追跡計算では関数発生の終了後もそれが降雨の場合は計算を継続するから計算時間は一定しないが，解析計算の場合は，5秒間の計算と1秒間の休止を繰り

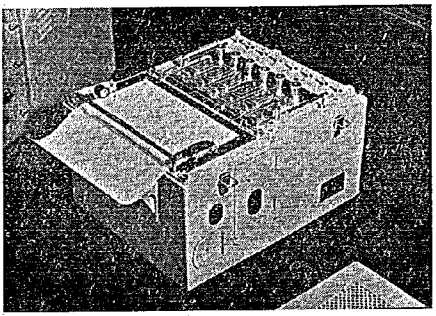


写真-9　ペン・レコーダー

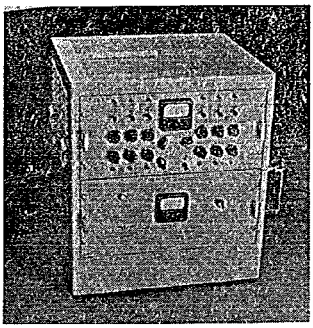


写真-10　ペン・レコーダー用増巾器

返えすから結局1回の計算所要時間は6秒であり，一般に20～30回の繰り返えしで1洪水の解析は終了する。

ポテンショメーター，演算コンデンサー，演算抵抗などの精度は±0.5%である。これに対して，時間関数発生器は51区間の近似で最大値に対して2%までしか近似できないが，追跡計算にあってはこの発生関数は被積分関数であるから，追跡結果の精度は十分1%以下を期待できる。

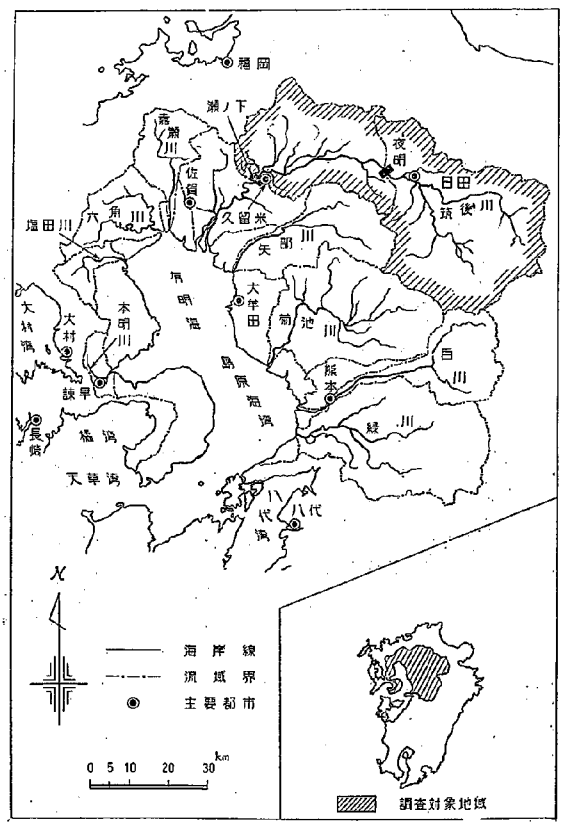


図-6　有明海沿岸流域概要図

3.　筑後川の洪水流出解析

(1)　概　要

この調査は，図-6のとおり，有明海沿岸の流域全体を対象とするものであるが，本年度はそのうち最大の流域であるところの筑後川の解析を実施した。

解析に当っては，流域の面積・形状・資料の存否などを考慮して，図のように，この流域を夜明ダム上流の流域(流域面積 1,415 km²) と夜明ダムから瀬ノ下流量観測所までの流域（流域面積900 km²）の二つに区分し，これらの二つを解析の対象流域とした。

解析の内容は降雨解析と流出解析に大別される。すなわち，前者は降雨資料を解析して流域平均時間雨量を計算することであり，後者はかくて求めた流域平均時間雨量と流出地点の流量との関係を解析して，各流域の水文学的定数を求めることである。ここでは，前者については代表係数法[6]，後者については貯留関数法を適用した。

(2)　基礎資料

a.　解析対象期間

筑後川では，昭和28年6月の大洪水以後，水文資料がとくに整備されてきている。よってこの調査における解析対象期間は昭和29年～33年の5年間とした。

b. 解析対象雨量観測所

解析対象雨量観測所として，表-1のとおり，34カ所の観測所を選定し，そのうちの自記雨量観測所のなかから，流域平均時間雨量を算定するための代表雨量観測所として，表-2のとおり，夜明上流流域について5カ所，夜明一瀬ノ下間流域について3カ所，瀬ノ下上流流域について5カ所を選定した。

表-1　解析対象雨量観測所一覧表

No.	観測所名	摘要	No.	観測所名	摘要
1	川		18	司	
2	渡		19	馬	
3	小		20	塩	
4	国		21	瀬	
5	湯		22	井	
6	杖		23	枝	
7	黒		24	吉	
8	上		25	角	
9	中		26	三	
10	鶴		27	秋	
11	大		28	草	
12	飯		29	久	
13	野	時間雨量ハ川辺	30	留	
14	森		31	三	
15	子		32	二	
16	浦	時間雨量ハ地蔵原	33	吉	
17	畑		34	原	
18	田				
19	月				
20	日				
21	花				

表-2　代表観測所一覧表

夜明上流流域		夜明一瀬ノ下間流域		瀬ノ下上流流域	
No.	観測所名	No.	観測所名	No.	観測所名
3	小　国	23	角　枝	8	川　辺
8	川　辺	28	久留米	11	地蔵原
11	地蔵原	34	原　田	16	日　田
13	森			23	角　枝
16	日　田			34	原　田

なお，これらの配置状況は図—7のとおりである。

c. 解析対象流量観測所

解析対象流量観測所としては，夜明ダムおよび瀬ノ下流量観測所の2地点を選定した。

これらの地点の毎時流量の値は毎時水位を水位—流量曲線によって換算したもので，とくに夜明については放流量に使用水量を加算した。

d. 解析対象洪水

解析対象洪水としては，表-3のとおり，約35洪水のなかから，降雨解析の対象として29洪水，夜明上流流域の流出解析の対象として11洪水，夜明一瀬ノ下間の流域の流出解析の対象として4洪水を選定した。

これらの解析対象洪水は，必要な降雨および流量資料があり，かつ，なるべく大きい洪水を選定したものである。

e. 調査項目と資料

解析のために必要な調査項目はつぎのとおりである。

i. 日雨量　解析対象洪水時，解析対象雨量観測所について

ii. 時間雨量　解析対象洪水時，代表雨量観測所について

iii. 時間水位・流量　解析対象洪水時，解析対象流量観測所について

iv. 流量観測値　解析対象期間中，解析対象流量観測所について

よって，九州地方建設局はつぎの資料を作製した。

i. 筑後川水系日雨量表（昭. 29.～33.，解析対象洪水時，解析対象雨量観測所）

ii. 筑後川水系時間雨量表（昭. 29.～33.，解析対象洪水時，代表雨量観測所）

iii. 筑後川水系毎時水位・流量表（昭. 29.～33.，解析対象洪水時，解析対象流量観測所）

iv. 筑後川水系流量観測表（昭. 29.～33.，解析対象流量観測所）

以下に報告する解析はこれらの資料にもとずくものである。

(3) 降雨解析

解析対象洪水の流域平均時間雨量を算定するために，代表係数法による解析を実施し，夜明上流・瀬ノ下上流および夜明一瀬ノ下間流域のそれぞれについて，すでに表-2に示した代表観測所に対する代表係数を推定した。

a. 代表係数法

代表係数法は統計的方法によって観測所の代表面積を定めようとするもので，その概要はつぎのとおりである。

(a) 代表係数

代表係数法では，流域平均雨量R_{av}と数カ所の代表観測所の雨量R_iとの間に雨量を測定する期間，すなわち，時間・日・連続・月・年などにかかわらず，つぎの関係があるものと仮定する。すなわ

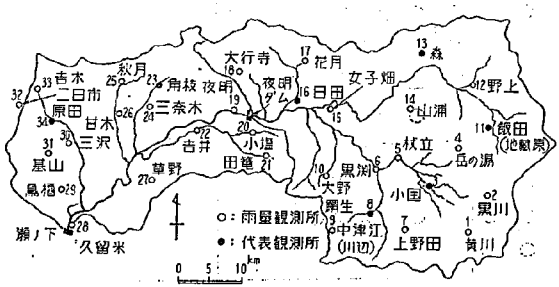


図-7　筑後川流域雨量観測所配置図

表-3 解析対象洪水一覧表

No.	期間	雨量 3	8	11	13	16	23	28	31	流量 夜明	漸ノ下	解析対象洪水 降雨	夜明	夜明—漸ノ下
1	S.29.5 17~27	○	○	○		○		□	□	□ 1,125	○ 1,015	●		
2	6.25~7.7	○	□	○	○	○	○	○	○	○ 1,962 2,652	○ 1,900 2,910	●	● (2-1,2-2)	● (2-2)
2′	7. 8~13	○		○	○	○	○	○	○	○ 1,782	□			
3	7.16~22	○	□	○	□	○	○	□	○	□ 1,636	○ 2,580	●		
4	7.25~8.2	○	□	○	□	○	○	□	□	○ 507	○ 754	●		
5	8.16~20	○	□	○	○	○	○	○	○	○ 1,045	○ 856	●		
6	9.12~16	○	○	○	○	○	○	○	○	○ 1,625	○ 1,615	●	●	
7	9.24~28	○	○	○	○	○	○	○	□	○ 1,606	□ 2,575	●	●	
8	S.30.4.14~18	○	○	○	○	○	○	○	○	○ 1,519	○ 2,050	●	●	●
9	6.17~20	○	○	○	○	○	○	○	○	○ 2,003	○ 2,030	●	●	●
10	7. 5~11	○	○	○	○	○	○	○	○	○ 1,635	○ 2,000	●	●	●
11	7.22~26	○	○	○	○	○	○	○	○	○ 1,839	○ 1,615	●	●	
11′	9.28~10.3	○	□	○	○	○	○	○	□	○ 1,524	□ —			
12	S.31.5.29~31	○		○	○	○	○	○	○	○ 255	○ 421	●		
13	6. 5~10	○		○	○	○	○	○	○	○ 641	○ 1,140	●		
13′	6.15~20	○		○	○	○	○	○	○	○ 344	□ 606			
14	6.25~27	○		○	○	○	○	○	○	○ 1,006	○ 872	●		
15	6.28~7.10	○		○	□	○	○	○	○	○ 933	○ 1,275	●		
16	7.15~18	○		○	○	○	○	○	○	○ 394	○ 505	●		
17	7.20~23	○		○	○	○	□	○	○	○ 100	○ 571	●		
18	8.15~20	○	○	○	○	○	○	○	○	○ 1,125	○ 1,365	●		
19	8.26~9.1	○	○	○	○	○	□	○	○	○ 627	○ 1,900	●		
20	9.12~24	○	○	○	○	○	○	○	○	○ 810	○ 1,210	●		
21	9.25~29	○	○	○	○	○	○	○	○	○ 603	○ 960	●		
22	S.32.4.18~25	○		○	□	○	○	○	○	○ 964	○ 1,035	●		
23	5.10~13	○	□	○	○	○	○	○	○	○ 442	○ 554	●		
24	6. 4~ 7	○	○	○	○	○	□	○	□	○ 1,521	○ 1,110	●	●	
25	7. 1~ 8	○	○	○	○	○	○	○	□	○ 2,002 1,366	○ 3,010 2,110	●	C(25-1,25-2)	
26	7.23~8.1	○	□	○	○	○	□	○	○	○ 787	○ 1,600	●		
27	S.33.4.20~25	○		○	○	□		□		○ 1,129	○ 1,275	●		
28	6.27~7.1	○	□	○	○	○			○	○ 215	○ 379	●		
29	8.12~16	○	○	○	○	○	○		○	○ 2,112	○ 2,170	●		
29′	8.27~30		○			○	□		○					

〔注〕 ○：資料あり，□：1部欠，流量の数字：頂点流量 (m^3/sec)，●：解析対象洪水

表—4 筑後川解析対象雨量観測所の連続雨量一覧表

解析対象雨量観測所番号 i ⟶

洪水番号 j	期間	日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	29. 5. 18～24	7	(256. 8)	248. 0	250. 0	254. 0	(214. 6)	233. 0	312. 0	223 0	210. 0	126. 0	223. 0	138. 0	191. 0	83. 0	188 0
2	6. 25～7. 7	13	(563. 5)	760. 0	609. 0	659. 9	(579. 9)	577. 0	662. 0	582. 0	568. 0	504. 0	544. 0	424. 0	434. 0	466. 0	467. 0
3	7. 16～21	6	(99. 3)	(127. 6)	122. 0	89. 7	(125. 2)	160. 0	113. 0	155. 0	169 0	205. 0	131. 0	113. 0	156. 0	(132. 4)	213. 0
4	7. 25～8. 1	8	(264. 4)	160. 0	231. 0	163. 9	(177. 7)	224. 0	330. 0	259. 0	247. 0	100. 0	103. 0	155. 0	113. 0	(161. 1)	131. 0
5	8. 16～18	3	(70. 0)	212. 0	80. 5	176. 0	(169. 8)	82. 0	83. 0	84. 0	36. 0	100. 0	348. 0	250. 0	158. 0	209. 0	48. 0
6	9. 12～14	3	(174. 1)	286 0	197. 0	(308. 3)	(271. 0)	169. 0	203. 0	196. 0	124. 0	193. 0	509 0	398. 0	245. 0	275. 0	113. 0
7	9 24～28	5	(154. 6)	142. 0	169. 0	(138. 3)	(150. 1)	178. 0	182. 0	183. 0	201. 0	(165. 5)	155. 0	129. 0	168. 0	136. 0	179. 0
8	30. 4. 14～17	4	(241. 1)	216. 0	229. 0	208. 8	(225. 6)	279. 0	295. 0	294. 0	(275. 6)	(241. 2)	171. 0	(175. 1)	176. 0	204. 0	(309. 2)
9	6. 18～19	2	(155. 4)	176. 5	159. 0	172. 1	(195. 9)	238. 7	187. 0	261. 0	(253. 6)	(198. 7)	180. 0	143. 2	174. 0	(155. 2)	(180. 5)
10	7. 6～10	5	(232. 3)	242. 2	212. 0	185. 5	(183. 0)	(228. 4)	287. 6	246. 0	264. 1	208 6	255. 0	137. 0	140. 0	114 3	(149. 8)
11	7. 22～24	3	(140. 3)	143. 9	146. 0	226. 0	(203. 6)	(138. 7)	168. 0	138. 0	111. 3	152. 4	203. 0	194. 6	149. 0	188. 1	(127. 2)
12	31. 5. 29～31	3	86. 8	71. 3	75. 3	(53 6)	66. 0	76. 9	104. 3	68. 0	70. 3	(56. 2)	63. 0	39. 3	36. 0	49. 5	53. 3
13	6. 6～ 8	3	69. 2	49. 0	68. 6	(59. 5)	86. 7	74. 1	118. 6	96. 0	79. 3	96. 2	124. 0	82. 5	74. 0	80. 6	103. 2
14	6. 26～27	2	132. 4	117. 2	90. 2	(90. 6)	84. 9	102. 2	123. 0	117. 0	54. 1	62. 0	86. 0	76. 9	53. 2	68. 4	68. 9
15	6. 28～7. 10	13	356. 6	350. 6	311. 8	(301. 7)	256. 2	282. 5	459. 4	355. 0	268. 8	269. 8	345. 0	217. 5	203. 0	215. 7	235. 3
16	7. 16～17	2	89. 3	45. 7	36. 0	40. 1	48. 5	35. 3	104. 2	56. 0	64. 1	75. 0	35. 0	44. 2	55. 0	70. 5	79. 7
17	7. 20～21	2	0. 2	57. 0	15. 1	2. 1	0	0. 5	0. 1	2. 0	0	0	0	17. 3	3. 0	4. 2	24. 3
18	8 16～18	3	99. 3	184. 4	167. 9	109. 8	155. 5	162. 3	198. 3	198. 0	178. 0	(145. 7)	147. 0	78. 2	89. 5	124. 3	139. 0
19	8. 27～31	5	195. 0	305. 8	310. 0	265. 7	242. 1	326. 9	322. 6	321. 6	358. 7	(219. 7)	213. 0	165. 8	156. 0	201. 7	171. 5
20	9. 12～22	11	363. 4	335. 1	379. 4	336. 3	313. 8	308. 0	451. 3	336. 0	364. 4	284. 0	280. 0	314. 1	275. 1	334. 4	244. 3
21	9. 25～26	2	118. 9	106. 5	117. 8	116. 7	134. 1	122. 8	135. 9	133. 0	105. 2	80. 0	119. 0	125. 0	105. 0	119. 6	99. 5
22	32. 4. 19～23	5	314. 5	248. 0	229. 3	274. 5	287. 2	264. 8	392. 0	393 0	(350. 8)	255. 3	231. 0	204. 2	145. 0	(174. 5)	167. 1
23	5. 10～12	3	110. 6	91. 8	104. 2	107. 1	110. 0	109. 3	131. 0	122. 1	(96. 9)	67. 8	90. 3	95. 1	82. 5	(87. 7)	65. 5
24	6. 5～ 7	3	212. 8	138. 7	151. 9	134. 4	175 6	189. 5	189. 6	256. 9	113. 7	185. 8	66. 0	102. 4	108. 4	129. 0	136. 1
25	7. 1～ 7	7	447. 5	384. 9	458. 6	387. 4	(386. 4)	465. 8	486 8	569. 2	489. 5	396. 7	367. 0	354. 0	299. 3	365. 4	415. 3
26	7. 24～29	6	366. 0	316. 0	345. 2	317. 3	286. 0	369. 1	472 2	448. 2	(397. 5)	274. 0	297. 0	259. 7	303. 0	255. 9	225. 1
27	33. 4. 20～23	4	301. 1	257. 7	233. 8	158. 0	193. 1	202. 7	267. 2	322. 1	266. 5	186. 3	164. 0	147. 3	91. 9	139. 1	131. 9
28	6 29～30	2	10. 8	8. 4	28. 7	21. 5	31. 3	(40. 8)	74. 9	54. 0	73. 7	36. 4	20. 0	14. 3	13. 3	26. 5	16. 9
29	8. 13～15	3	346. 2	468. 7	353. 5	324. 5	292. 7	(351. 2)	396. 3	386. 0	399. 6	270. 0	262. 0	151. 1	165. 1	161. 7	148. 5

〔注〕 ( ) は欠測の推算値

表—4 のつづき

16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
180.2	188.0	197.0	(187.2)	(189.1)	(199.0)	183.1	224.7	197.0	(192.4)	178.0	(183.1)	165.0	172.0	170.0	166.0	203.0	(186.4)	180.0
368.9	356.0	(391.1)	(381.8)	(353.4)	(461.8)	389.0	280.0	264.0	(259.1)	258.0	(299.4)	(312.2)	340.0	286.0	315.0	218.0	(203.0	177.0
312.0	211.0	303.0	(244 9)	(301.5)	(346.9)	226.0	282.0	238.0	237.0	220.0	(231.0)	(312.9)	253.0	264.0	260.0	306.0	(269.6)	297.0
96.0	105 0	125.0	(122.8)	(118.1)	(107.1)	(101.1)	222.0	208.0	344.0	259.0	(286.9)	(219.1)	210.0	316.0	308.0	468.0	(410.4)	437.0
50.0	65.0	56.0	(49.4)	(70 4)	(48.7)	42.0	62.0	51.0	96.0	50.0	(25.3)	43.0	106.0	76.0	114.0	109.0	(109.2)	79.0
67.0	34.7	(46.0)	(59.9)	73.0	(86.0)	51.0	40.0	36.0	(15.9)	27.0	(32.6)	39.0	34.0	18.0	32.0	18.0	(27.9)	10.0
175.0	151.0	347.0	(236.9)	228.0	(231.4)	229.0	252.0	216.0	(226.9)	210.0	(230.0)	261.0	245.0	261.0	259.0	227.0	222.0	261.0
288.0	(260.7)	433.0	(393.1)	345.0	346.0	402.0	283.0	321.0	324.0	304.0	338.0	394.0	441.0	382.0	438.0	363.0	353.0	407.0
172.0	(155.3)	186.0	(183.2)	184.0	171.8	179.0	105.0	92.0	81.5	76 0	148 5	110.0	96.0	71.0	72.0	56.0	(56.8)	61.0
132.0	152.4	137.0	(133.0)	137.0	156.8	127.0	279.3	218.0	(268.4)	221.0	(201.2)	230.0	273.0	336.0	335.0	313.0	(260.8)	368.5
98.0	120.5	104 0	(102.2)	114.0	40.0	94.0	70.0	65.0	(91.0)	95.0	54.4	102.0	94.0	76 0	79.0	107.0	(104.5)	90.0
44.0	43.5	69.0	44.6	61.0	64.6	60.0	58.8	50.0	63.0	63.0	67.5	75.0	92.0	112.0	106.0	65.0	61.2	78.0
127.0	134.2	156.0	167.4	155.0	108.4	148.0	94.5	90.0	(89.9)	(91.1)	118.4	108.0	101.0	94.0	97.0	78.0	61.9	80.0
47.0	(68.2)	67.0	80.9	96.0	74.8	52.0	66.0	39.0	(70.9)	78.0	50.8	37.0	44.0	54.0	56.0	60.0	76.0	58.0
194.0	248.5	283.0	(248.0)	236.0	223.3	246.0	381.0	256.0	(250.0)	(202.6)	192.7	237.0	368.0	232.0	324.0	188.0	(158.0)	234.5
72.0	37.6	16.0	44.7	97.0	84.1	35.0	108.0	77.0	(64.5)	70.0	44 2	25.0	44.0	40.0	23 0	49.0	(49.6)	60.0
25.0	48.6	45.0	127.2	52.0	16 6	138.0	81.0	88.0	(54.9)	75.0	12.8	28.0	138.0	62.0	78 0	14.0	15.0	41.5
124.0	91.0	(150.5)	106.3	156.0	177.9	104.0	77.5	71.0	(68.5)	74.0	124.9	101.0	103.0	116.0	104.0	108.0	72.8	92.0
168.0	186.6	(278.6)	(194.1)	233.0	248.6	181.0	222.5	145.0	(197.8)	(153.4)	180.7	186.0	161.0	169.0	209.0	240.0	257.3	212.0
198.8	176.6	(245.2)	217.6	222.0	315.0	199.0	340.1	283.0	(288.6)	253.5	236.0	244.0	271 0	291.0	337.0	288.0	(247.9)	308.0
85.0	96.4	(132.0)	147.0	121.0	111.6	121.0	109.5	116.0	(86.9)	(89.3)	96.8	97.0	64.0	29.0	51.0	51.0	51.1	48.0
161.9	194.6	218.0	184.4	177.0	233.9	191.0	230.5	203.0	128.3	209.5	205.1	218.7	232.0	228 3	252.0	164.0	168.9	177.0
63.1	96.6	46.0	46.0	53.0	77.8	53.0	50.5	56.0	34.0	25.0	63.6	51.5	70.0	47.0	55.0	47.0	46.0	44.0
148.7	101.2	119.9	137.6	115.7	116.7	146.1	122.2	135.5	64.5	100.0	154.8	157.6	167.0	131.2	166.0	176.0	(174.2)	107.0
503.1	326.5	416.0	465.3	462.0	(561.4)	479.2	417.3	403.0	407.5	338.0	430.8	360.8	420.0	418.6	464.0	381.0	265.0	442.0
243.3	229.7	267.0	259.5	267.0	387.5	255.0	331.6	271.0	203.4	175.0	152.4	277.0	325.0	302.0	299.0	300.0	221.4	290.0
126.9	129.0	127.0	(150.9)	138.0	198.7	151.0	92.5	155.0	95.3	92.3	101 0	115.0	156.0	146.0	162.0	203.0	(192.9)	151.2
27.5	22.5	76.0	(75.2)	50.0	40.6	75.0	103.0	131.0	106.0	88.0	89.5	131.0	152.0	121.0	118.0	63.0	(60.9)	76.0
171.1	169.7	170.0	(216.2)	(179.1)	162.0	224.0	193.5	143.0	(151.8)	189.0	202.8	188.0	173.0	195.0	180.0	143.0	(128.8)	152.3

ち，

$$R_{ave}=\sum_i \alpha_i \cdot R_i \quad \cdots\cdots(5)$$

ここに，α_i は代表観測所ごとに一定の定数で，これを代表係数と称している。代表観測所の代表面積 A_i，全流域面積 A とすると，つぎの関係がある。

$$\alpha_i=A_i/A \quad \cdots\cdots(6)$$

(b) 代表観測所の選定

代表観測所は，目的に応じて，それぞれつぎのように選定する。

i) 流域平均時間雨量の算定の場合は自記雨量観測所

ii) 既往降雨の流域平均値を算定する場合はその当時に存在し現在も存在する雨量観測所

iii) 洪水予知の場合は通報雨量観測所

なお，調査計画において，自記雨量観測所や通報雨量観測所とすべき観測所を現在ある観測所の中から選定したり，多数の雨量観測所の一部を残して他を整理することを検討したりする場合には，(5)式の左辺の実測値と代表係数による右辺の推算値との相関がもっともよくなるように代表観測所を選定する。

(c) 代表係数の推定

数年間程度の解析対象期間中の30コ程度の降雨について，各雨量観測所の連続雨量を求め，また，流域平均連続雨量 R_{ave} を計算し，これを(5)式の R_{ave} および R_i として与えると，多数の一次方程式がえられるから，それを最小自乗法で解いて代表係数を推定する。

(d) 流域平均連続雨量の算定

流域平均連続雨量 R_{ave} は，流域内のすべての雨量観測所の日雨量を用いて，ティーセン法・等雨量線法・支配図法などの方法で計算する。この際に用いる観測所の中には，代表観測所も含まれており，その数は一般に代表観測所の数よりははるかに多い。

なお，欠測値は，従来の方法では無視する場合が多かったが，この方法では，各雨量観測所の連続雨量の単相関や重相関を解析した結果によって推定する。

(e) 流域平均雨量の推算

代表係数が定まれば，(5)式によって，代表観測所の雨量（時間・日・連続・月・年）から，流域平均雨量を推算する。とくに，代表係数の解析の対象とした降雨の流域平均時間雨量を推算する場合には，その流域平均連続雨量は既知であるから，代表係数による流域平均時間雨量の推算の後に，連続雨量が既知の値に一致するように，時間雨量を比例的に修正するのが適当である。

b. 連続雨量と欠測値の推算

筑後川について29コの一連降雨を選定し，すでにのべた34カ所の解析対象雨量観測所について，連続雨量を計算した結果は表—4のとおりである。

表—4には相当数の欠測値がみられる。ここでは，これを推算するために，周囲の数カ所の観測所との間の重相関関係を表—4の資料を基礎として解析した。この場合に適用した回帰式はつぎのとおりである。

$$R=\sum_i k_i \cdot R_i + R_0 \quad \cdots\cdots(7)$$

R：推定すべき観測所の連続雨量

表-5 重相関を解析した観測所一覧表

R の観測所番号	R_s の観測所番号				
	$s=1$	$s=2$	$s=3$	$s=4$	$s=5$
1	2	3	7		
2	3	11			
4	2	3	11	14	
5	3	4	6	14	
6	3	8	10	14	
9	8	10			
10	6	8	15	21	
12	4	11	13	14	
14	4	6	12	13	15
15	10	14	16	17	
17	15	16	18		
18	16	17	20	23	
19	18	20	22		
20	16	18	21	22	
21	10	16	20		
22	18	20	23	27	
25	23	26	33		
26	24	27	34		
27	22	24	26	29	30
28	27	29			
33	32	34			

表-6 重相関の推定結果一覧表

R の観測所番号	k_s					R_0(mm)	γ	n
	$s=1$	$s=2$	$s=3$	$s=4$	$s=5$			
1	−0.0040	0.2299	0.6462			− 1.3	0.961	18
2	0.8008	0.3483				−15.7	0.953	28
4	0.5912	−0.0633	0.0394	0.5227		−12.1	0.974	23
5	−0.1179	0.5930	0.2783	0.1859		13.2	0.985	17
6	0.5239	0.2543	0.3163	−0.1339		4.1	0.990	25
9	0.7604	0.2555				−13.3	0.960	24
10	0.1531	0.2936	0.5433	−0.0728		5.1	0.919	23
12	−0.1265	0.4181	0.3664	0.2958		5.2	0.973	28
14	−0.0340	0.1796	0.7490	−0.1153	0.2036	− 3.3	0.978	24
15	0.1602	0.1488	0.4157	0.3264		− 5.3	0.977	25
17	0.4799	0.0529	0.2710			14.5	0.926	26
18	−0.7758	0.3320	1.5250	0.0903		−28.4	0.966	23
19	0.0499	0.1754	0.7595			5.7	0.994	13
20	0.5170	0.2731	0.1339	0.0134		19.5	0.987	23
21	0.1771	0.4189	0.6599			−24.5	0.926	21
22	0.3989	0.6864	−0.0126	−0.0881		− 1.7	0.956	28
25	0.1185	0.7330	0.2547			−13.4	0.954	13
26	0.3764	0.2380	0.2029			12.9	0.966	25
27	0.5781	0.1002	0.3846	−0.6415	0.5821	0.5	0.965	21
28	0.4819	0.4789				− 1.2	0.973	26
33	1.0652	−0.2269				11.0	0.960	13

〔注〕 γ：相関係数，n：資料数

R_s：上記観測所の周囲の観測所の連続雨量

k_s：定数係数

R_0：定数

なお，欠測のある観測所と推算に使用した観測所は表-5のとおりであり，k_s および R_0 の推定結果は表-6のとおりである。表-6には実例値と推算値の相関係数 γ を示してあるが，最低が0.919でよい推算精度であることがわかる。

また，この重相関関係による欠測の推算結果はすでに表-4に記載してある。

c. 流域平均連続雨量の算定

表-4に示した解析対象雨量観測所の連続雨量を用いて，ティーセン法で流域平均連続雨量を計算した。この場合のティーセン区分面積は表一7のとおりであり，流域平均連続雨量の計算結果は表一8のとおりである。

表-7 ティーセン区分面積一覧表

観測所番号	ティーセン区分面積 (km²)		
	夜明上流流域	夜明一瀬ノ下間流域	瀬ノ下上流流域
1	81.3	—	81.3
2	72.1	—	72.1
3	61.3	—	61.3
4	69.0	—	69.0
5	45.0	—	45.0
6	51.8	—	51.8
7	80.4	—	80.4
8	50.6	—	50.6
9	43.4	—	43.4
10	82.4	—	82.4
11	105.3	—	105.3
12	121.0	—	121.0
13	115.0	—	115.0
14	91.3	—	91.3
15	95.0	—	95.0
16	55.3	—	55.3
17	81.0	—	81.0
18	81.8	26.8	108.6
19	10.0	35.6	45.6
20	9.6	25.3	34.9
21	12.4	52.3	64.7
22	—	92.0	92.0
23	—	77.2	77.2
24	—	40.3	40.3
25	—	54.8	54.8
26	—	61.3	61.3
27	—	107.4	107.4
28	—	41.0	41.0
29	—	75.7	75.7
30	—	49.8	49.8
31	—	53.8	53.8
32	—	20.0	20.0
33	—	45.9	45.9
34	—	40.8	40.8
計	1,415.0	900.0	2,315.0

d. 代表係数の推定

表-8の流域平均連続雨量を(5)式の R_{ave} とし，表-4の各代表観測所の連続雨量を R_i として，最小自乗法によって，代表係数を推定すると表-9のとおりであり，代表係数による流域平均連続雨量の推算結果は表-10のとおりである。また，これらの推算値と表-8の値との

表-8 流域平均連続雨量一覧表（単位：mm）

洪水番号	夜明上流流域	夜明一瀬ノ下間流域	瀬ノ下上流流域
1	200.9	186.2	195.2
2	514.4	308.9	434.5
3	164.3	262.0	202.3
4	165.5	244.2	196.1
5	136.9	66.2	109.4
6	222.6	37.7	150.7
7	172.0	240.4	198.6
8	247.4	365.7	293.4
9	179.8	115.5	154.8
10	188.0	233.5	205.7
11	154.2	83.0	126.5
12	60.4	70.7	64.4
13	95.3	107.9	100.2
14	82.6	60.2	73.9
15	281.8	258.7	272.8
16	56.4	54.9	55.8
17	15.2	67.7	35.6
18	135.3	104.2	123.2
19	232.2	197.0	218.5
20	303.3	268.8	289.9
21	114.0	89.8	104.6
22	238.3	204.9	225.3
23	90.6	52.3	75.7
24	140.5	135.9	138.7
25	406.7	423.2	413.1
26	306.9	262.9	289.8
27	181.1	136.9	163.9
28	31.0	95.0	55.9
29	252.3	181.6	224.8

表-9 代表係数の推定結果

（a） 夜明上流流域（相関係数 γ=0.997）

代表観測所の番号	3	8	11	13	16
代表係数 α	0.2600	0.1654	0.1424	0.2640	0.1572

（b） 夜明一瀬ノ下間流域（相関係数 γ=0.987）

代表観測所の番号	23	28	34
代表係数 α	0.2628	0.5969	0.1236

（c） 瀬ノ下上流流域（相関係数 γ=0.990）

代表観測所の番号	8	11	16	23	34
代表係数 α	0.2431	0.1820	0.2437	0.1530	0.1162

表-10 代表係数による流域平均連続雨量の推算結果

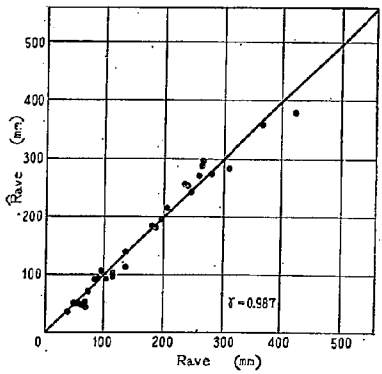
（単位：mm）

洪水番号	夜明上流流域	夜明一瀬ノ下間流域	瀬の下上流流域
1	212.4	179.8	194.0
2	504.6	281.8	393.8
3	166.2	297.6	215.2
4	162.5	243.2	189.9
5	133.9	51.7	114.6
6	231.3	35.0	163.9
7	168.1	254.3	184.2
8	224.2	359.9	263.4
9	183.1	100.8	161.3
10	189.8	256.3	223.9
11	144.4	90.4	115.6
12	56.2	69.9	56.8
13	90.9	99.2	100.6
14	76.5	46.6	72.4
15	273.0	270.6	281.9

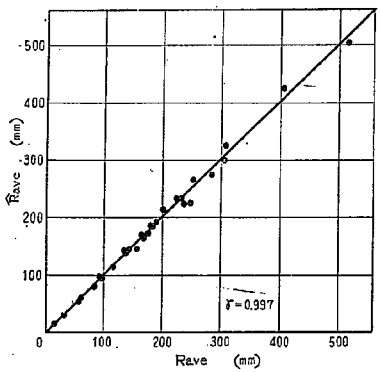
（次頁へつづく）

16	49.4	50.7	61.0
17	9.0	43.1	23.8
18	140.5	92.0	127.7
19	231.7	195.7	216.6
20	298.0	273.1	268.9
21	110.6	92.6	97.0
22	221.2	213.0	232.9
23	91.8	49.5	74.3
24	143.4	139.4	141.8
25	423.7	379.7	443.0
26	324.4	288.3	306.8
27	181.6	111.7	170.8
28	27.1	114.7	48.1
29	263.5	181.9	230.5

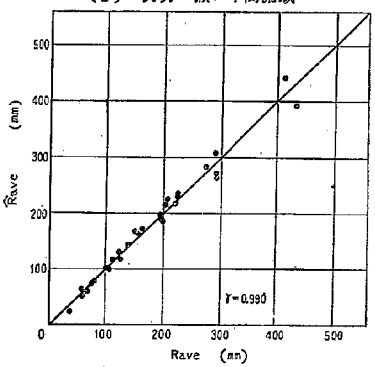
相関関係を図で示せば図—8のとおりであって，非常によい相関を示している。



（b） 夜明—瀬ノ下間流域



（a） 夜明上流流域



（c） 瀬ノ下上流流域

図-8　解析対象雨量観測所による流域平均遅総雨量（R_{ave}）と代表観測所によるもの（$\hat{R}_{ave}$）との相関図

(4) 流出解析

a. 概　説

夜明上流流域（1,415km²）および夜明—瀬ノ下間流域（900 km²）について，すでに推定した代表係数を用いて算定した流域平均時間雨量と流出量との関係を，洪水流出計算機を用いて，貯留関数法解で解析し，これら2流域の流入係数・貯留関数・遅滞時間などを明らかにした。

b. 夜明上流流域の解析

この場合は単純な降雨流出であるから，基礎式は (3) および (2) 式であり，与えられた流域平均雨量 r_{ave} および流出量 O によって，これらの式中の流入係数 f，貯留関数 φ および遅滞時間 T_l を解析した。

ただし，流出量 O については，研究の結果，初期流量 O_t を降雨に無関係な基底流出として差し引いておくのが適当であることが明らかになっているので，降雨による正味の流出量としては（$O-O_t$）を取り扱った。

すでにのべた11コの解析対象洪水の解析結果を総括すれば，表-11のとおりであり，各洪水ごとの貯留関数の解析結果を図示すれば，それぞれ図—9のとおりである。

表-11　筑後川夜明上流流域解析結果一覧表

No.	洪水番号	期　間	O_t m³/sec	T_l (hr)	fA (km³)	f
1	2-1	S. 29. 6. 26. ～28.	119	2	731	0.517
2	2-2	S. 29. 6. 29. ～7. 1.	119	2	833	0.589
3	6	S. 29. 9. 13. ～15.	89	2	772	0.546
4	7	S. 29. 9. 25. ～27.	90	2	785	0.555
5	8	S. 30. 4. 15. ～18.	27	2	664	0.469
6	9	S. 30. 6. 18. ～20.	78	0	937	0.662
7	10	S. 30. 7. 6. ～10.	80	2	707	0.500
8	11	S. 30. 7. 23. ～25.	68	1	1,069	0.755
9	24	S. 32. 6. 5. ～ 7.	27	1	1,029	0.727
10	25-1	S. 32. 7. 2. ～ 4.	64	0	965	0.682
11	25-2	S. 32. 7. 4. ～ 8.	64	2	845	0.597
平均			75.0	1.5	849	0.600

図-9において，$\int\varphi dO_t$ の値はすなわち貯留量であるが，その絶対値は洪水ごとに相当変動している。しかしその O_t による微分値すなわち貯留関数 φ の値は洪水ごとにほぼ一致していることがうかがわれる。$\int\varphi dO_t$ の変動には初期損失なども関係するから，$\int\varphi dO_t$ の絶対値は無視し，φ すなわち流出量（$O-O_t$）が増加しはじめてか

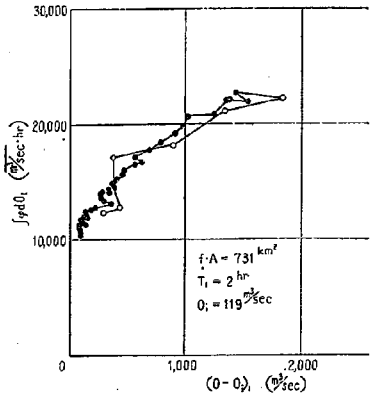
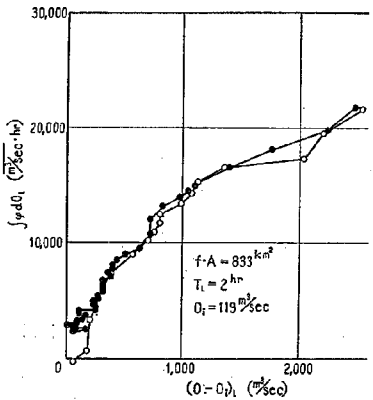
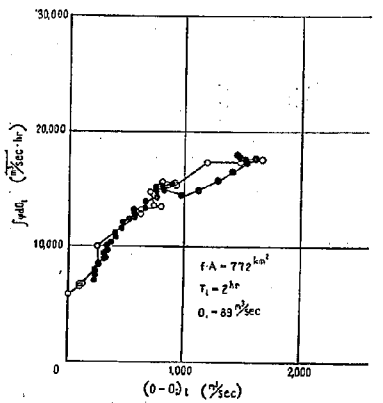


図-9 筑後川夜明上流流域の貯留関数（洪水ごと）

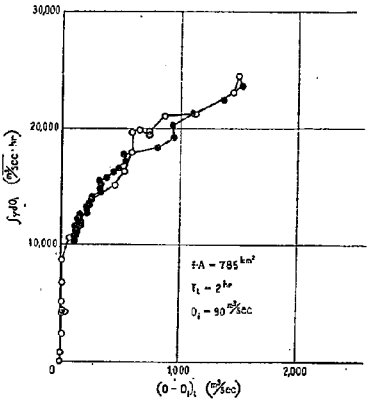
（a）昭. 29. 5. 26. ～28.（洪水番号 2－1）



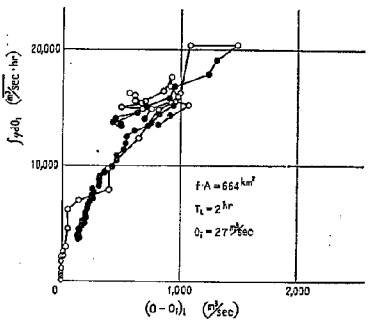
（b）昭. 29. 6. 29. ～7. 1.（洪水番号 2－2）



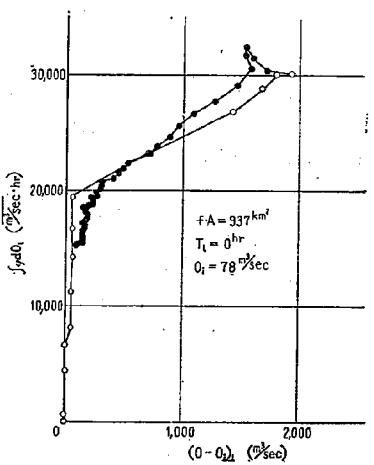
（c）昭. 29. 9. 13～15.（洪水番号 6）



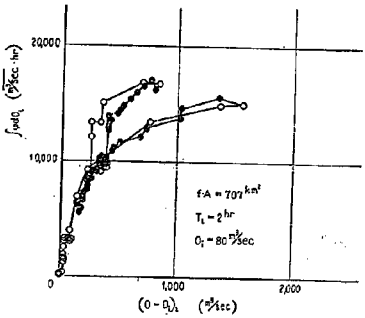
（d）昭. 29. 9. 25. ～27.（洪水番号 7）



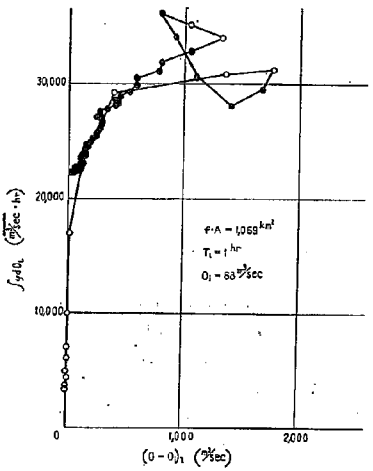
（e）昭. 30. 4. 15～17.（洪水番号 8）



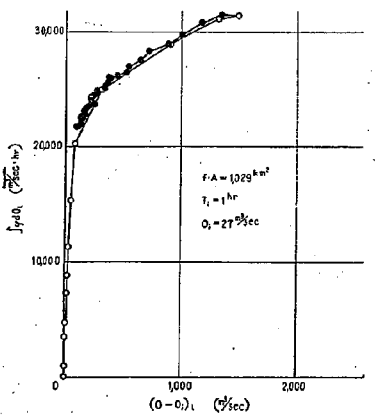
（f）昭. 30. 6. 18. ～20.（洪水番号 9）



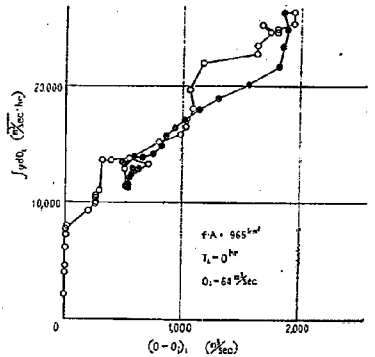
（g）昭.30.7.6.～10.（洪水番号 10）



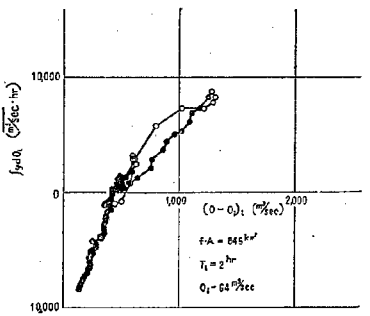
（h）昭.30.7.23～25.（洪水番号 11）



（i）昭.32.6.5～7.（洪水番号 24）



（j）昭.32.7.2.～4.（洪水番号 25—1）



（k）昭32.7.4.～8.（洪水番号 25—2）

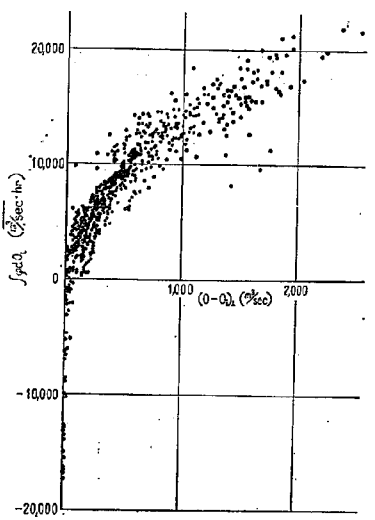


図-10　筑後川夜明上流流域の貯留関数（総合）

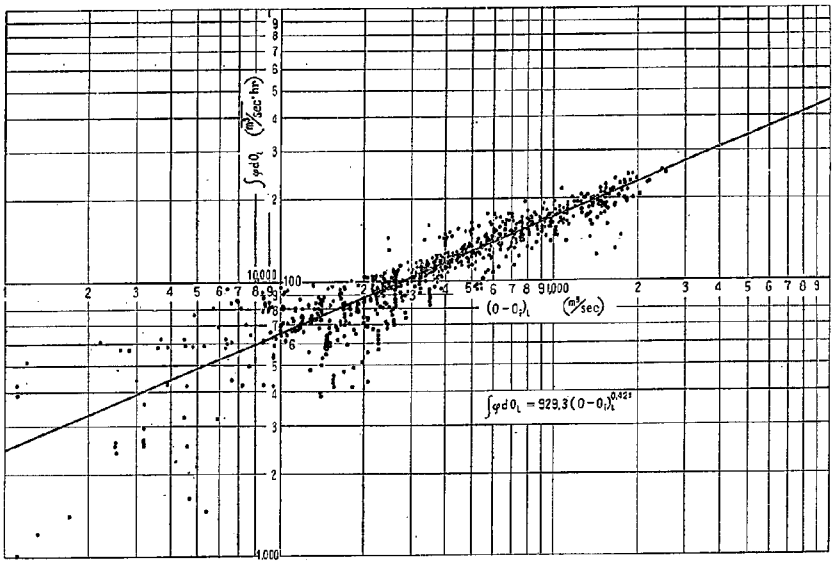


図-11　筑後川夜明上流流域の貯留関数（総合）

らの$\int\varphi dO_t$の変化に着目することとして，各洪水の貯留関数の図形がなるべく一致するように重ねてみると，図—10がえられる。また，これが両対数方眼紙上で直線関係となるように，縦軸を調整してプロットすると，図—11のとおりであり，これによって，筑後川夜明上流流域の平均的な貯留関数としてつぎの式がえられた。

$$S_t=929(O-O_s)_t^{0.421} \quad \cdots\cdots(8)$$

$S_t \equiv \int\varphi dO_t$: (m³/sec)·hr

O, O_t : m³/sec

c.　夜明—瀬ノ下間流域の解析

(a)　一般的考察

この場合は，いわゆる残流域をともなう河道であるから，解析はやや複雑である。ここでは，この流域の洪水流出の機構を図—12のように考えて処理した。すなわち，夜明の流量 I_1 はただちに河道に入るが，残流域の降雨は流域の流出機構を経て流入量 I_2 となり，それが I_1 とともに河道に流入して，瀬ノ下の流量 O となると考える。そして，流域の流出機構を表わす基礎式としては，(3)および(2)式が成立し，同様に，河道の流出機構を表わす基礎式としては，(1)および(2)式が成立するものとする。このように考えた場合の洪水流出計算機の回路は図—13のようである。

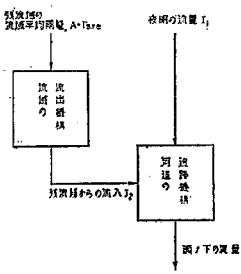


図-12　残流域のある河道の洪水流出機構

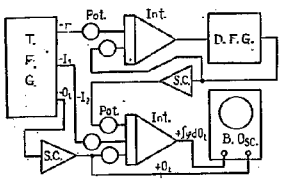


図-13　残流域のある河道の解析のためのブロック線図

ところで，この場合には，未知の水文定数は，

i）流域の流出機構について，f_b, φ_b, $T_{t,b}$

ii）河道の流出機構について，f_1, f_2, φ_c, $T_{t,c}$

の7コであるが，このうち，f_1 および f_2 は明らかに1であり，また，I_2 の遅滞時間としては$(T_{t,b}+T_{t,c})$を考慮すればよいから，結局，未知定数は f_b, φ_b, φ_c, $T_{t,c}$, $(T_{t,b}+T_{t,c})$ の5コとなる。

計算機を利用しているから，試算を行なうことは容易ではあるが，このように未知数が多くては解析が困難なので，二つの貯留関数 φ_b および φ_c のうち，二次的な重みであるところの残流域の貯留関数 φ_b としては，その近似値として，総合貯留関数を適用することとした。これによって，未知数は1コ減少して4コとなり，解析が

可能となった。

なお，残流域については，初期流入量 I_i および初期流出量 O_i の差 (O_i-I_i) が残流域からの流入の基底流量であると考えたが，河道については，基底流量は考慮しなかった。

(b)　総合貯留関数

総合貯留関数は日本の山地河川流域の貯留関数を総合的に整理したもので，ここで概要を説明する。

(3) 式の両辺を一定値 $f\cdot A$ で除すれば，

$$r_{ave}-O_i/f\cdot A=\varphi(O_i)\frac{d}{dt}(O_i/f\cdot A) \quad \cdots\cdots(9)$$

ここで，

$$O_i/f\cdot A=q \quad \cdots\cdots(10)$$

とし，また，貯留関数 $\varphi(O_i)$ を q の関数に改め，

$$\varphi(O_i)=\varphi_0(q) \quad \cdots\cdots(11)$$

さらに，

$$\varphi_0(q)dq=d\{s_0(q)\} \quad \cdots\cdots(12)$$

とすれば，(9)式はつぎのようになる。

$$r_{ave}-q=\varphi_0(q)\frac{dq}{dt} \quad \cdots\cdots(13)$$

または，

$$r_{ave}-q=\frac{d}{dt}\{s_0(q)\} \quad \cdots\cdots(14)$$

著者は，日本各地の 10 数河川（流域面積 100～2,000 km²）の大洪水について，(12) 式の形で整理した場合の関数 $s_0(q)$ について研究した結果，近似的に，この関数はいずれの河川流域についても一定の関数とみなしうることを明らかにした。これが総合貯留関数であり，つぎの式で与えられる。

$$s_0=40.3q^{0.600} \quad \cdots\cdots(15)$$

s_0 : mm

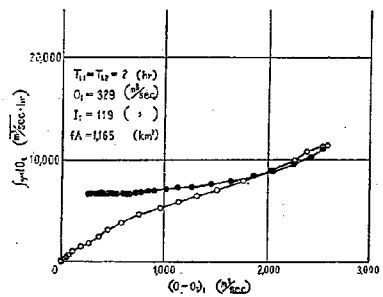
q : mm/hr

このような総合貯留関数を適用すれば，貯留関数法において解析すべき未知数は減少して，流入係数 f および遅滞時間 T_l の二つとなる。

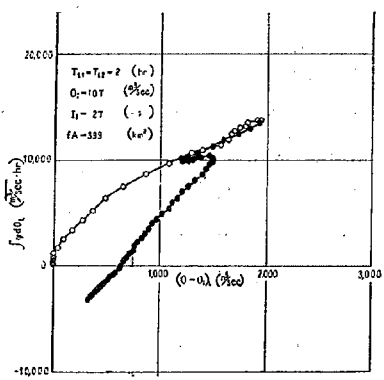
(c)　解析結果

すでにのべた 4 コの解析対象洪水の解析結果を総括すれば，表-12のとおりであり，各洪水ごとの貯留関数の解析結果を図示すれば，それぞれ図—14のとおりである。

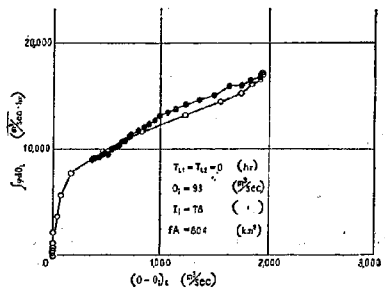
ところで，この場合には，貯留量 $\int\varphi dO_i$ の絶対値はとくに意味がないから，図-14の縦軸を調整して，なるべく各洪水の貯留関数が一致するように重ねてみると*，図



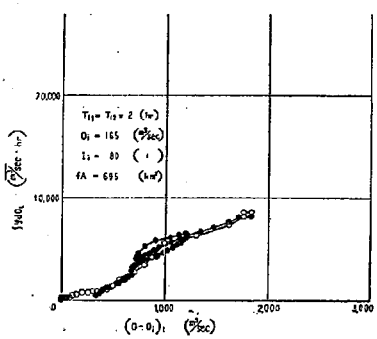
（a.）昭29.6.29.～7.1.（洪水番号２—２）



（b）昭.30.4.15.～17.（洪水番号８）



（c）昭.30.6.18.～20.（洪水番号９）



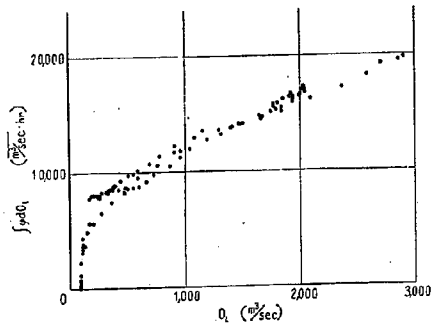
（d）昭.30.7.6.～10.（洪水番号10）

図-14　筑後川夜明—瀬ノ下間河道の貯留関数（洪水ごと）

* この場合は流量の上昇側に着目した。

表-12　筑後川夜明一瀬ノ下間流域解析結果一覧表

No.	洪水番号	期　間	I_t (m³/sec)	O_t (m³/sec)	T_{t1} (hr)	T_{t2} (hr)	fA (hm²)	f
1	2-2	S.29.6.29～7.1	119	329	2	2	1,165	1.293
2	8	S.30.4.15～18	27	107	2	2	399	0.443
3	9	S.30.6.18～20	78	93	0	0	804	0.893
4	10	S.30.7. 6～10	80	165	2	2	695	0.772
平均			76.0	173.5	1.5	1.5	765.8	0.852



図—15　筑後川夜明—瀬ノ下間河道の貯留関数（総合）

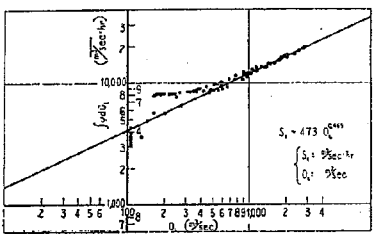


図-16　筑後川夜明—瀬ノ下間河道の貯留関数（総合）

—15がえられる。また，両対数紙上で直線関係となるように，縦軸を調整してプロットすると，図-16がえられ，これによって，筑後川夜明—瀬ノ下間の河道の平均的な貯留関数としてつぎの式がえられた。

$$S_t = 473\ O_t^{0.465} \quad \cdots\cdots (16)$$

$S_t \equiv \int \varphi dO_t$: (m³/sec)·hr

O_t : m³/sec

d.　解析結果の適用

(a)　概　説

夜明上流流域および夜明—瀬ノ下間流域について洪水流出解析を行ない，それぞれの水文定数を明らかにしたが，その適合度をみるために，解析した定数を適用して，降雨から流出量を推算した結果についてのべる。

推算は夜明上流流域および夜明—瀬ノ下間流域の両者の流域平均時間雨量がそろっている4洪水（洪水番号2-2, 8, 9, 10）について実施した。また，貯留関数は流域について平均したものを4洪水を通じて使用したが，流入係数・遅滞時間・初期流量については，洪水ごとの解析結果または実測の与えられた値をそのまま使用した場合と流域ごとに各洪水を平均した値を4洪水を通じて使用した場合との二つについて実施した。

(b)　夜明上流流域

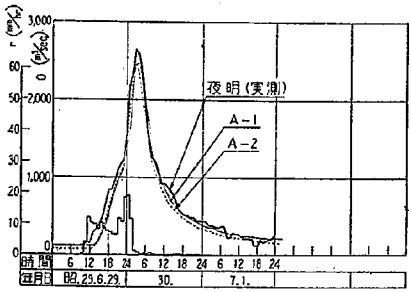
夜明上流流域の推算条件は表—13のとおりであり，4洪水について，それぞれ洪水ごとと平均の2種類，結局全部で8種類である。

なお，この場合には，すでに総合貯留関数についての

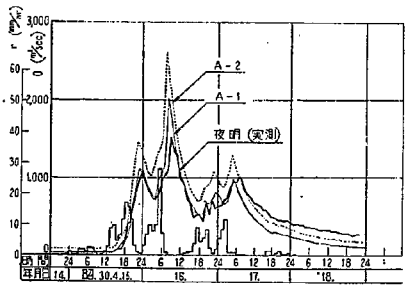
表-13　夜明上流流域推算条件一覧表

洪水番号	洪水年月日	I	O	T_t (hr)	$f \cdot A$ (km²)	O_t (m³/sec)	Case 番号
2-2	昭.29.6.29.～7.1.	流域平均雨量(実測)	夜明	2	833	119	A-1
		〃	〃	1.5	849	75	A-2
8	昭.30.4.15.～17.	〃	〃	2	664	27	A-1
		〃	〃	1.5	849	75	A-2
9	昭.30.6.18.～20.	〃	〃	0	937	78	A-1
		〃	〃	1.5	849	75	A-2
10	昭.30.7. 6.～10.	〃	〃	2	707	80	A-1
		〃	〃	1.5	849	75	A-2

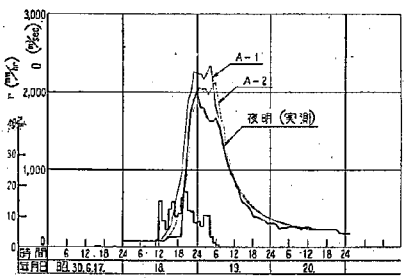
〔注1〕 Case 番号：
A（夜明上流流域）
1（洪水ごとの定数を適用）　2（流域ごに平均した定数を適用）
〔注2〕 本表の平均値は11洪水の平均である。



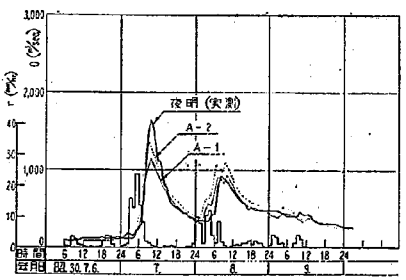
(a) 昭.29.6.29～7.1 (洪水番号 2-2)



(b) 昭.30.4.15.～17. (洪水番号 8)

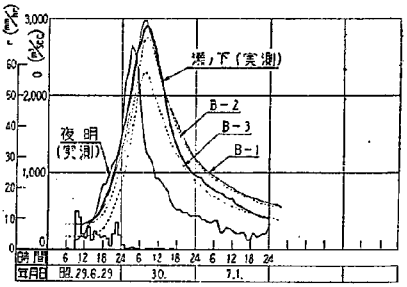


(c) 昭.30.6.18.～20. (洪水番号 9)

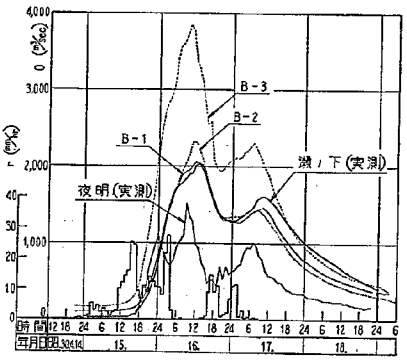


(d) 昭.30.7.6.～10. (洪水番号10)

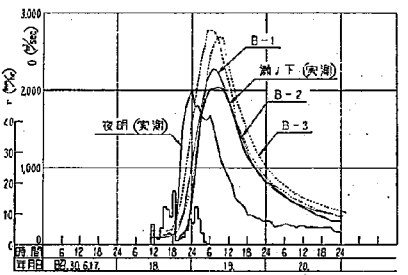
図-17　夜明上流流域の推算ハイドログラフ



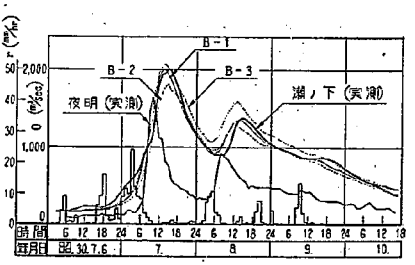
(a) 昭.29.6.29.～7.1.(洪水番号2-2)



(b) 昭.30.4.15.～17. (洪水番号 8)



(c) 昭.30.6.18.～20. (洪水番号 9)



(d) 昭.30.7.6.～10. (洪水番号10)

図-18　夜明—瀬ノ下間流域の推算ハイドログラフ

表-14 夜明一瀬ノ下間流域推算条件一覧表

洪水番号	洪水年月日	I_1	I_2	O	T_{l1} (hr)	T_{l2} (hr)	f_1	$(f\cdot A)_2$ (km²)	$(I_1)_t$ (m³/sec)	O_t (m³/sec)	Case番号
2-2	昭.29.6.29.～7.1.	夜明流量（実測）	夜明一瀬ノ下流域平均雨量（実測）	瀬ノ下	2	2	1.00	1,165	119	329	B-1
		夜明流量（推算）	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	B-2
		〃	〃	〃	1.5	1.5	〃	766	76	173	B-3
8	昭.30.4.15.～17.	夜明流量（実測）	〃	〃	2	2	〃	399	27	107	B-1
		夜明流量（推算）	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	B-2
		〃	〃	〃	1.5	1.5	〃	766	76	173	B-3
9	昭.30.6.18.～20.	夜明流量（実測）	〃	〃	0	0	〃	804	78	93	B-1
		夜明流量（推算）	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	B-2
		〃	〃	〃	1.5	1.5	〃	766	76	173	B-3
10	昭.30.7. 6.～10.	夜明流量（実測）	〃	〃	2	2	〃	695	80	165	B-1
		夜明流量（推算）	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	B-2
		〃	〃	〃	1.5	1.5	〃	766	76	173	B-3

〔注〕 Case 番号： B（夜明一瀬ノ下間流域）
1（夜明流量は実測値を適用し，洪水ごとの定数を適用）
2（夜明流量は推算値を適用し，洪水ごとの定数を適用）
3（夜明流量は推算値を適用し，流域ごとに平均した定数を適用）

べた基礎式の変換にならって，貯留関数(8)式をつぎのように整理しなおし，降雨 r_{ave} から(14)式と同じ形の式によって q_* を求めた後，(19)式によって $(O-O_t)$ を計算する方法をとった。

$$s_{0*}=39.3q_*^{0.421} \quad \cdots\cdots(17)$$

ここに，

$$s_{0*}=S_t/f\cdot A \ \ (\mathrm{mm}) \quad \cdots\cdots(18)$$

$$q_*=(O-O_t)/f\cdot A \ \ (\mathrm{mm/hr}) \quad \cdots\cdots(19)$$

ただし，

$f=0.600$, $A=1,415(\mathrm{km^2})$

推算結果は図—17のとおりである。

(c) 夜明-瀬ノ下間流域

夜明—瀬ノ下間流域の推算条件は表—14のとおりであり，4洪水について，それぞれ洪水ごと（夜明流量：実測値および推算値）と平均（夜明流量：推算値）の3種類，結局全部で12種類である。

なお，この追跡計算は，解析計算のまったく逆を行なったわけであり，河道の流出機構は図—12を適用した。

推算結果は図—18のとおりである。

e. 解析結果の考察

解析した定数を適用した推算結果によって明らかなように，各洪水ごとに解析された定数をそのまま適用した場合には，対象流域の面積が900および1,415 km² でやや大きすぎるにもかかわらず，推算の精度は十分であり，瀬ノ下地点の流量を降雨のみから推算する場合にもよい精度を期待することができる。

しかし，流域ごとに平均した定数を適用した場合には，推算結果に相当の誤差をともなう場合がある。このことは，洪水ごとに定数が変動することに原因があるわけであり，流入係数・遅滞時間・貯留関数の3定数のうち，流入係数の変動がもっとも影響が大きいことが認められる。

このような流入係数の変動は，洪水ごとの流域の保水状態の相違に原因しているものと考えられ，したがって，流入係数の値を精密に推定するためには，流入係数と流域の保水状態との関係を解析することが必要なようである。ただし，洪水予報のように，各種の規模の洪水の推算が問題となる場合と異なり，本調査のように，計画に採るべき大洪水を想定することが必要な場合にあっては，中小洪水における流入係数の推定はあまり問題ではなく，大洪水時に流入係数がどのような値となるかということがとくに問題であり，この点については，来年度の課題とする予定である。

なお，他の2定数，すなわち，遅滞時間および貯留関数については，洪水ごとの変動は比較的少なく，計画の大洪水の推定にあたっては，本調査の結果による流域ごとの平均値を適用すれば十分であると判断される。

4. あとがき

本年度は，

i. 洪水流出計算機の製作

ii. 筑後川の洪水流出解析

の2項目について調査を実施し，洪水流出計算機を完成し，筑後川については，その夜明ダム上流流域および夜明—瀬ノ下間流域の2流域に対して，流域平均雨量を計算する場合の代表観測所の代表係数を推定するとともに，貯留関数法の定数を解析し，貯留関数および遅滞時間については，両流域に対する平均値を決定した。ただ，流入係数については，洪水ごとの変動が認められるので，大洪水時におけるこの値を決定することが今後の課題として残された。

したがって，来年度は，大洪水時において流入係数がどのような値となるかを明らかにするとともに，調査対象流域を有明海地域の全体に拡大し，地域内各流域の代表係数および貯留関数法の各定数を決定して，有明海地域の全地域的観点からみて計画の対象とするべき大洪水の流入ハイドログラフを確定する予定である。

なお，本調査において採用した代表係数法および貯留関数法は，一つの新らしい洪水流出解析法を提供するものであり，とくに，夜明—瀬ノ下間流域の解析に適用した方法は，一般的に，**残流域をともなう河道の解析法**として有効な方法であると考えられる。また，従来，流出解析において問題となっていた降雨の初期損失および流出成分の分離については，前者はまつたく考慮せず，後者は初期流量を一定に差し引くという簡明な方法をとっているにもかかわらず，十分な推算の精度を得ていることは，洪水流出解析法に一つの重要な示唆を与えるものとして注目すべきである。

終りに，経済企画庁，建設省河川局，同九州地方建設局などの本調査の関係者各位，ならびに，御指導をいただいた元河川部長佐藤清一博士，河川部長竹内俊雄技官および洪水流出計算機の製作に当った日立製作所，代表係数法のディジタル・コンピューターによる計算を実施した日本建設コンサルタント株式会社の関係者各位に深甚の謝意を表するとともに，調査の担当は，九州地方建設局・企画室（基礎資料の収集）および土木研究所・水文研究室（解析）が当ったことを附記する。

参考文献

1）木村俊晃〔1959〕"洪水流出の推定法に関する研究(1)——貯留関数に関する一考察——"，土木研究所報告102号，pp.9～16.

建設省・土木研究所・水文研究室〔1959〕"貯留関数法の理論とその計算法"．建設省直轄技術研究会資料，非公刊.

2）佐藤清一・吉川・木村〔1954〕"降雨から流出を推定する一方法，"土木研究所報告，87号，pp.27～42.

3）木村俊晃〔1956〕"洪水時における流域の貯留量と流出量の関係およびその流出推定への応用について"，土木工学，5巻，2・3・5号.

4）石原藤次郎・石原安雄〔1955〕"洪水追跡用アナログ・コンピューターについて"，土木学会論文集，24号，pp.44～57.

5）伊藤剛・佐藤・吉川・芦田・鈴木・土屋〔1959〕"洪水流に関する研究"，土木研究所報告，100号，pp.145～160.

6）木村俊晃〔1960〕"相関関係の解析を基礎とした流域平均雨量の計算法"，土木技術資料，2巻，5号，pp.1～7.

土壌コロイドに関する研究（第4報）

地すべり地帯の粘土鉱物の検索

（昭和35年10月）

有泉　昌*
牧　隆正**

目　次

まえがき……（1）
〔1〕試料と実験方法……（1）
〔2〕実験結果……（3）
〔3〕実験結果の検討……（3）
〔4〕考察……（37）
〔5〕結言……（42）

まえがき：我国各地地辷り粘土中の粘土鉱物について。

前報で第三紀層に見られる代表的地辷りである長野県茶臼山地辷り地帯における地辷り粘土中の粘土鉱物を検索した結果をのべた。ここでは我国各地方に見られる地辷りについて同様な調査研究を実施した結果についてのべる。

〔1〕試料と実験方法

地辷り粘土の試料の多くは県砂防課より送付されたものであり，一部は当研究所砂防研究室に保管されたものを含んでいる。

粘土は1μ以下の粒子を Ca 粘土として分離し，試料の化学分析，X線分析，DTA等は既報の方法に準じたのでここでは省略する。X線分析の場合 Time Constant を4秒，Multiplier 1 としたが，Scale Factor はL.M.R. 試料を8とした外はいづれも16とした。エチレングライコル処理の場合はA-1，B-1，E-1，E-2，F-1，F-2については32，D-5，D-6については16としたほかはいづれも8とした。DTAの場合の試料の量はA試料については0.55g 前後，その他の試料については 0.40g 前後である。ピペリヂン処理試料についてはB-1で 0.16g，JおよびG-1で0.22g，そのほかは 0.35gを標準とし，αアルミナでうすめる。

赤外線スペクトルはパーキンエルマー社の分光器を用い，KBr錠剤法（0.20%）によった。また電子顕微鏡写真は主として日本電子光学研究所製のものによる。

（i）秋田県小又川地辷り（A-1～A-16）

この地辷り地域は秋田県北秋田郡前田村根森田にある。秋田県に見られる他の地辷り地域と同様に地質的には第三紀の谷地層に属し，硬質頁岩を主体としこの上部に角礫質凝灰岩および砂質頁岩層を有する。これらの地層中には安山岩，熔岩床，集塊岩をふくむ。[1]

小又川地辷り地域では第三紀層は森吉火山の作用を顕著にうけ，著るしく複雑化し乱れている。地辷り地は主に粘土質，砂質の頁岩層でこの中に風化凝灰岩層が介在し，これらの風化物が頁岩層上を滑動している。

A-1 試料は地辷地域北部のG沼よりの排水水路に沿つて約50mの下流部で，水路の底部に見られる青色風化角礫凝灰岩層である。この層の上部を水が湧出する。この層が辷り面と考えられている。

A-2 試料は地辷地域西北部H沼より下流約 50m で，水路の壁面に露出する暗赤色頁岩で，この上部は軟質粘土となっている。この下方にはキレツのある赤色安山岩がある。地辷り粘土を造りやすい。

A-3 試料は地辷地域中央部でG沼より南方約400mの水路の壁面をなす角礫まじりの粘土である。角礫凝灰岩の風化物と見られ，年間約20m滑動し湿地帯である。

A-4～A-16 試料は地辷り地域内の各地点より採取した地辷り粘土または，容易に地辷り粘土化する風化した岩石類である。

（ii）埼玉県尾坂地辷り（B-1，B-2）

尾坂地辷りは埼玉県秩父郡国神村尾坂地域にある。この地域は秩父盆地東北隅で長瀞系よりなる宝登山の南稜尖端部にあり，長瀞系と秩父盆地第三系の境界線にあたる。地辷り地の主体部を構成する岩石は粗雲母片岩であり，これに滑石片岩，石墨片岩の薄層またはレンズを多

*地質化学部長　**化学研究室主任研究員

く夾在させている。地辷り地帯上部より不動地域にかけて緑泥片岩が主となり，これに滑石片岩または絹雲母片岩の薄層が互層をなして随伴している。[2]

B-1 試料は地辷り地域の上部で見られる辷り面であり，下方の不動部をなす緑泥片岩の風化したものである。

B-2 試料は地辷り地域中央部の滑石採取個所で見られる辷り面であり，滑石緑泥雲母片岩の風化したものである。

(iii) 埼玉県門平地辷り (C-1, C-2)

秩父郡日野沢村門平地域は南北600m，東西300mの矩形をなし，上部は緩勾配であり，下半部は日野沢川に向い急傾斜をなす。基盤は秩父古生層であるがこの上に輝緑凝灰岩，黒色粘板岩が乗り，著るしく粘土化が進んでいる。[3]

C-1 は地辷り地域西部の河岸に見られる辷りの境界をなす部分であり，粘板岩と泥岩の互層で風化している。

C-2 は地辷り地域東部の河岸に見られる辷りの境界をなす部分であり，頁岩の風化したものである。C-1, 2 は共に地辷り地域の上部である。

(iv) 福島県沼平地辷り (D-1～D-6)

福島県麻耶郡山都町の沼平地のすべりは阿賀川支流一の井川に沿い，その面積は約42町歩である。正確な地質調査の結果は報告されていないが，砂岩および凝灰岩よりなる第三紀層であり，この地区に見られる地すべり地域とその地質は大体同じである。[4]

D-1 は狸小屋地点での崩壊土であり，灰白色をした表層土の下部の土である。D-2 は D-1 の上部の表層である。

D-3 は用水路地点の崩壊土であり，在来の地盤面上に崩落したことが確認されている。

D-4 は同様に用水路地点の崩壊土であり，しかもその表層部で，灰白色で植物の根を含くみ所々にスレート片が見られる。

D-5 は公会堂下方地点での崩壊土で灰白色粘土であり，D-6も同地点の灰白色粘土で頁岩の細片と黒色化した植物根をふくむ。

(v) 山形県水沢地辷り (E-1, E-2)

水沢地辷りは西村山郡西山村水沢部落西方600m にある。この地域を構成する地質は第三紀の砂岩，頁岩，凝灰岩および洪積期砂礫層である。頁岩は地辷り地周辺の殆んど全域に分布し，時に砂岩の薄層をはさみ基盤をなしている。この頁岩は新鮮な場合は黒灰色を示すが，地表では灰白色を示し，キレツに富み分解して粘土化しやすい。地辷りはこの頁岩層に起こっている。地辷り地区は二つの地質構造線で境された中央部であり，隣接地区と連絡を断ちきられて運動している。[5]

E-1 は地辷り地域中央部のF-3とF-4点間の標高265m地点でのボーリング試料であり，深さ12mのもの。青灰色の頁岩である。E-2 は同じボーリング試料で深さ19mのもの。

(vi) 山形県大網地辷り (F-1, F-2)

大網地辷りは東田川郡朝日村大網地区にあり，この地域の地質は新第三紀層よりなる。この層は下部は安山岩で上部は主として頁岩よりなる水成岩に分けられる。この第三紀層に石英粗面岩が迸入する。地辷り地は大体第3紀層の断層郡により，多くの地域に分割されている。[5]

F-1 は地辷り地域南西端部，C線上標高 265m 付近の崩壊地でのボーリング試料で，深さ 8 mのもの。F-2は深度25mのもので粘土質であり，著るしく乱だされている。

(vii) 石川県甚之助地辷り (G-1, G-2, G-3)

甚之助谷は手取川左支牛首川石支柳谷上流で，標高1,500～2,100mの間にある。この流域の基盤は主として手取層郡中の桑島層で，砂岩と頁岩の互層であり，この上に白山火山の熔岩が乗っている。桑島層中では頁岩が特に著るしい破砕をうけ，この破砕帯が温泉変質等により粘土化している。甚之助谷地辷りはこの桑島層中の粘土層の上部に乗る桑島層および安山岩熔岩ならびに桑島層の岩層が移動していることにより説明される。[6]

G-1 は甚之助第4号砂防ダム右岸袖部で河床より約10m 上方の粘土層。G-2 は飯場付近の粘土で黒色がかったもの。

G-3 は固定点 No. 2 より万才谷の方向へ約20mの所に存在する青色をおびた粘土層。

(viii) 富山県芦峅寺地辷り (H)

富山県中新川郡立山村芦峅寺地域では，片麻岩上に手取層が，さらにその上に第三系が乗っている。第三系の層序は甚だ複雑であり，最上層は更新統の礫層とこれにはさまれた黄色シルト質凝灰岩および安山岩質集塊泥流よりなる。地辷りは更新統の礫層，凝灰岩およびそれに由来する粘土層に関係がある。[7]

試料は常願寺川護岸基礎一帯の粘土であり，緩傾斜で部落方面に連らなり，地辷りと密接な関係あるものと考えられている。

(ix) 佐賀県人形石山地辷り (I-1, I-2, I-3, I-4)

佐賀県伊方里市山代町人形石山地辷りは，佐賀県および長崎県北部に見られる地辷りの代表的なものである。第三紀層上部に玄武岩が乗り，両者の境界部は玄武岩を通しての滲透水のため帯水層をなし，両者は風化が著るしい。この地辷りでは上部の玄武岩が滑動する。[8]

I-1 は第三紀頁岩の粘土化したもので辷り面をなす，I-2 は I-1よりやや粒度が粗い。

I-3 は玄武岩が風化したもので粘土化しており，辷り

面土に一部残留している。I-4は玄武岩が著るしく風化しており，黄褐色多孔質化し指頭で容易にくだくことができる。地辷り土中に存在し地辷り粘土を造りやすい。

（x）石川県地辷り（J）

石川県の地辷りで第三紀層に見られる辷り面と確認された粘土。正確な採取地が明らかでない見本試料。

（xi）新潟県地辷り（K）

新潟県第三紀層に見られる代表的地辷り地において，辷り面粘土と確認された粘土。正確な採取地が明らかでない見本試料。

（xii）富山県稲積寺地辷り（L-1，L-2）

富山県中新川郡上市町湯田に見られる地すべり地は第三紀凝灰岩が火山噴出物により被覆された状態になっており，地すべりは凝灰岩の表面に存在する白色粘土に起っていると考えられている。火山噴出物も旧地すべり堆積物とされる。L-1 試料は腰湯田地区のウエル工事現場に見られる地下約10mの粘土であり，L-2 試料は地すべり面粘土とされる凝灰岩をおおう白色粘土であり，田畝附近で採取したものである。

（xiii）新潟県猿供養寺地辷り（M-1，M-2，M-3）

猿供養寺地辷りは新潟県中頸城郡新井市郊外地区にあり，土木研究所新潟地すべり試験場はこの地区内にある。地質は第三紀層であることは確実であるが，その詳細を知る資料がない。M-1～3試料は何れもこの試験場内に見られるすべり面粘土である。

（xiv）群馬県小林山地辷り（R）

小林山地辷りは群馬県高崎市吉高町地区に見られ，地質は第三紀層とされる。地下約30mにすべり面を持つとされる。試料は亜炭採掘坑道内で明瞭に見られるすべり面粘土である。

〔2〕実験結果

粘土の化学分析結果を表—1に示す。

X線回折図を図—1，これより算出した網面間隙を表—2に示す。エチレングライコール処理試料についてのX線回折図を図—2に，加熱または塩酸処理試料等についてのX線回折図を図—3に示す。

DTA曲線は図—4に，またピペリヂン処理試料については図—5に，電子顕微鏡観察を写真—1に，赤外線吸収スペクトルを図—6に示す。

表—1　化　学　分　析　結　果

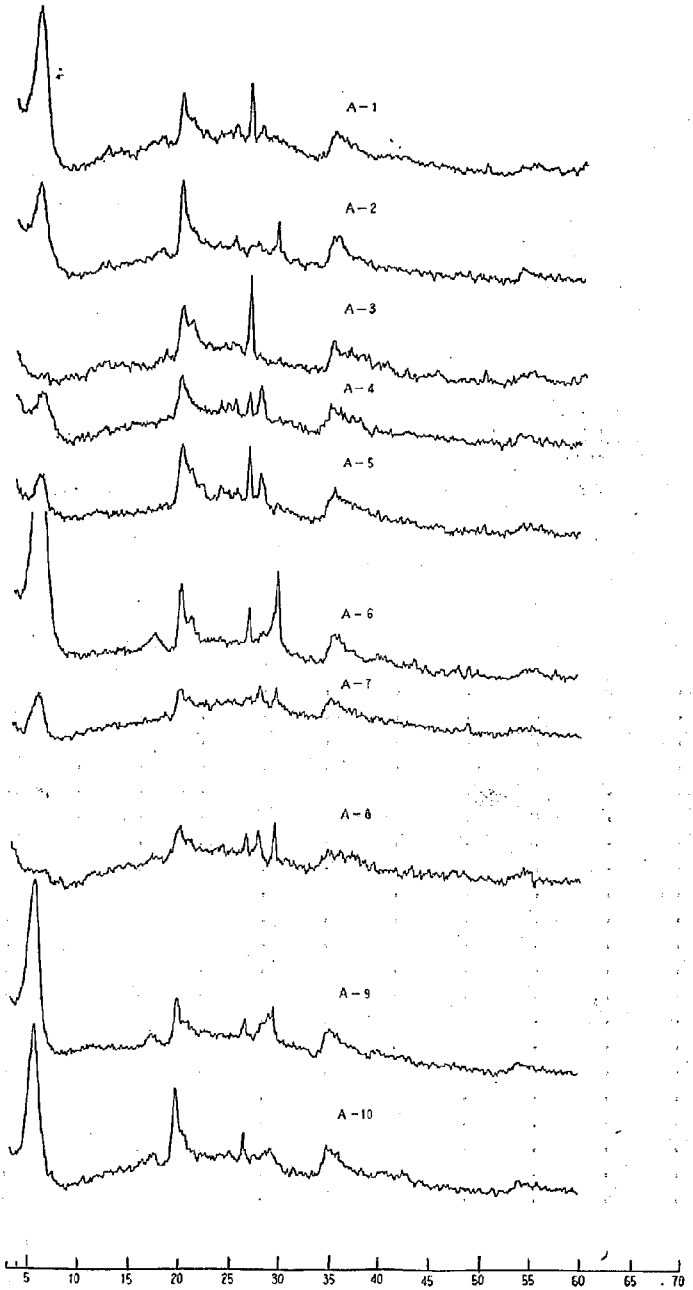
試料名	H_2O^-	H_2O^+	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	MnO	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$
A—1	9.57	5.91	50.80	6.06	19.47	2.78	4.25	—	—	—	4.45	3.73
A—2	9.34	7.90	44.05	6.93	22.71	3.95	1.91	0.92	0.88	—	3.30	2.78
A—3	4.47	10.91	40.94	8.97	28.41	1.70	2.18	0.22	0.35	—	2.44	2.04
B—1	4.10	9.83	30.07	19.81	17.55	3.41	12.75	0.39	0.27	0.61	2.91	1.72
B—2	1.82	6.13	44.72	5.08	10.43	3.18	26.71	0.22	0.18	0.26	7.30	5.55
C—1	1.62	6.14	44.94	10.67	21.33	0.96	4.28	0.61	8.07	0.45	3.60	2.72
C—2	1.10	7.47	43.99	11.24	26.39	2.49	2.19	0.54	7.83	—	2.82	2.22
D—1	3.43	7.67	57.95	4.26	20.01	1.68	1.47	0.34	3.77	—	4.92	4.35
D—2	3.97	9.36	58.04	3.10	19.04	3.82	1.03	—	—	—	5.22	4.74
D—3	6.27	3.38	66.97	4.69	11.41	1.65	2.72	—	—	—	10.00	7.95
D—4	6.53	4.00	62.72	5.24	13.88	1.81	2.14	—	—	—	7.65	6.20
D—5	9.03	8.00	53.97	2.89	15.58	8.70	1.03	0.27	1.00	—	5.86	5.25
D—6	10.20	7.47	56.73	3.25	16.09	5.43	1.35	0.24	1.13	—	6.00	5.34
E—2	7.41	10.97	57.58	1.40	9.91	6.27	4.36	—	—	—	9.90	9.05
F—2	19.63	7.32	47.55	2.54	17.66	2.47	3.69	—	—	—	4.60	4.18
G—2	2.07	6.69	49.87	4.19	24.49	2.30	2.47	0.34	6.93	—	3.46	3.12
H	3.75	7.35	51.03	7.05	28.25	1.73	1.43	—	—	—	3.06	2.64
I—1	6.94	8.12	46.17	5.88	24.37	1.40	2.60	0.35	5.27	—	3.20	2.78
I—3	11.19	10.31	37.75	9.35	27.21	0.88	1.36	0.28	0.76	—	2.37	1.94
J	8.07	10.42	46.27	6.91	19.02	3.85	2.49	—	—	—	4.14	3.34
K	5.25	11.12	47.75	7.21	21.70	3.35	2.28	—	—	—	3.74	3.08

〔3〕実験結果の検討

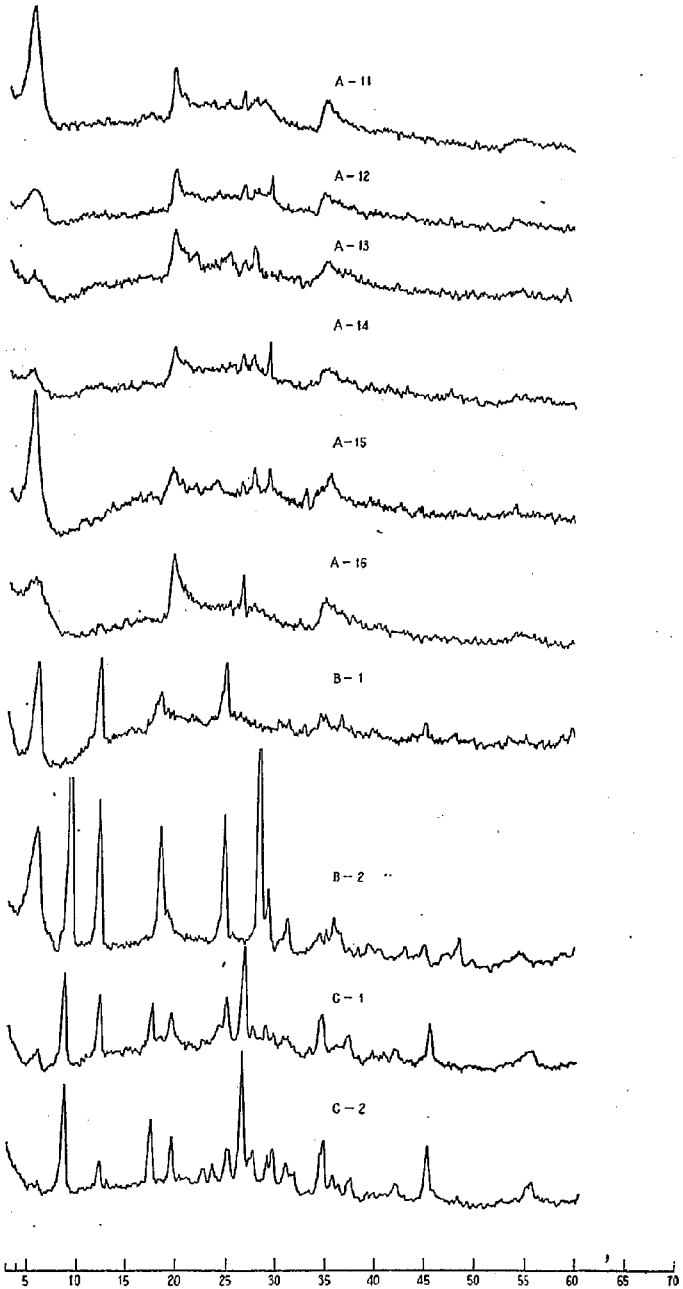
上記の実験結果より供試試料について考察し，粘土鉱物を検索した結果をのべる。

（i）A 試 料

A-1，A-2 試料のX線回折実験によれば，モンモリロナイトを主成分として結晶度の良好でないハロイサイトを副成分とすることが示される。エチレングライコール処理を行つたものは何れも17.4Åを与える。A-1にはこ

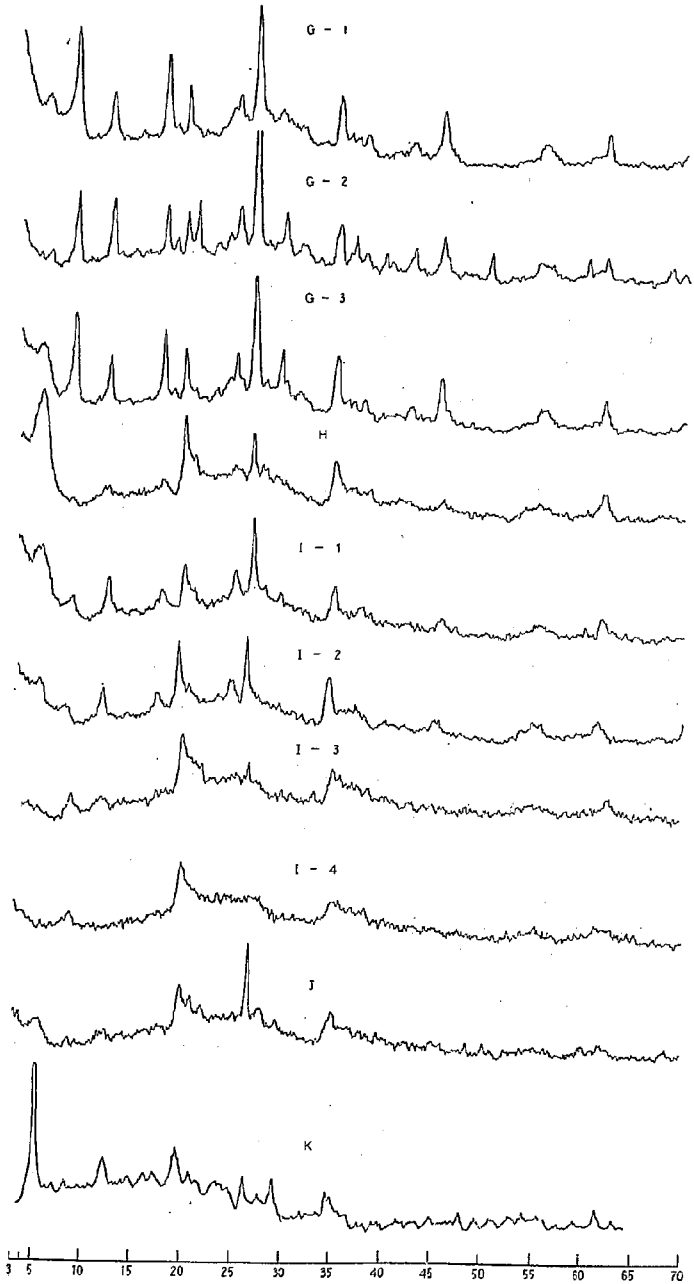


図—1 (a) 粘土試料のX線回折図

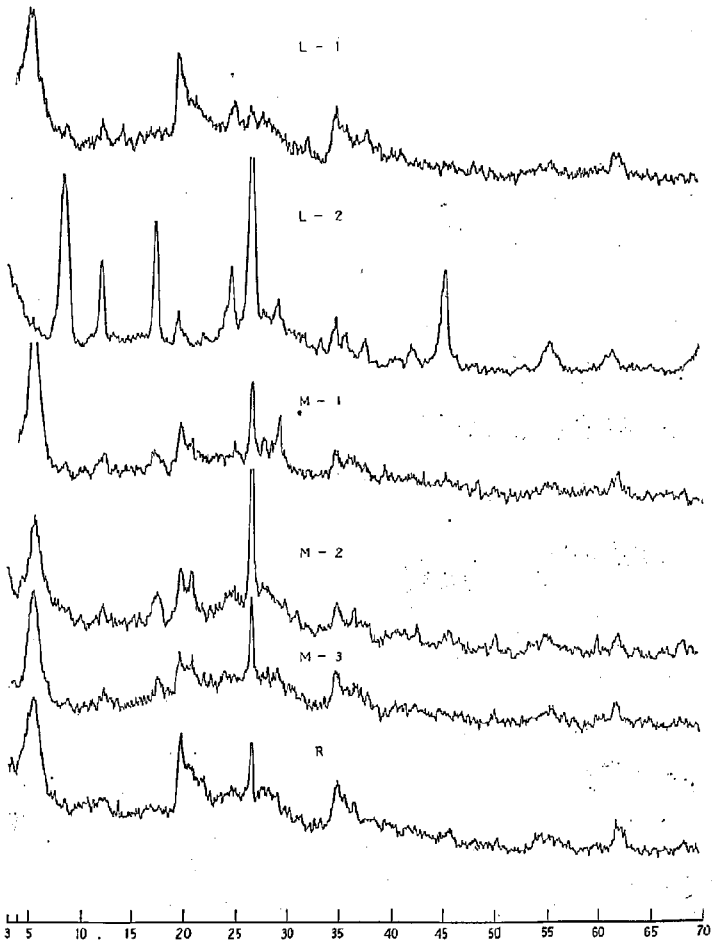

A－11
A－12
A－13
A－14
A－15
A－16
B－1
B－2
C－1
C－2
5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70

図—1 (b)

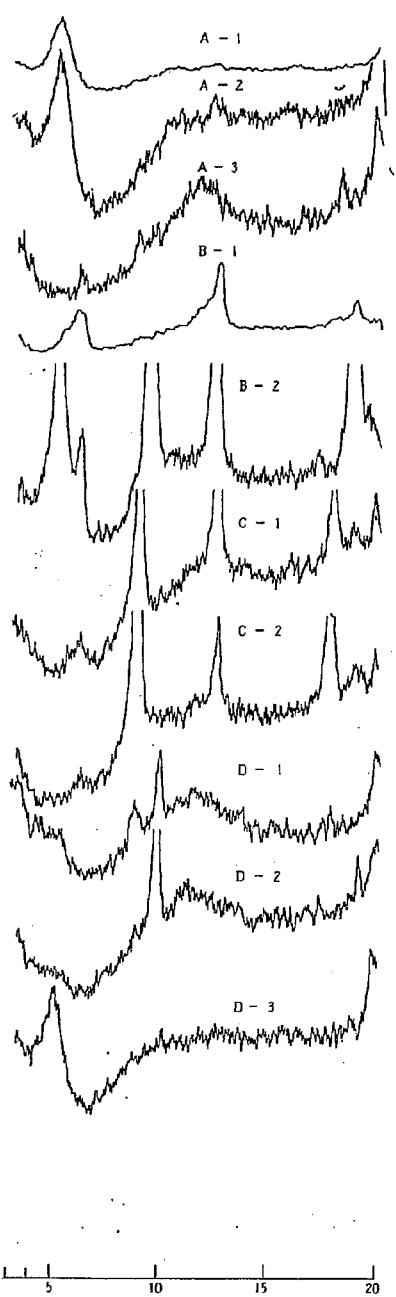
図—1 (c)



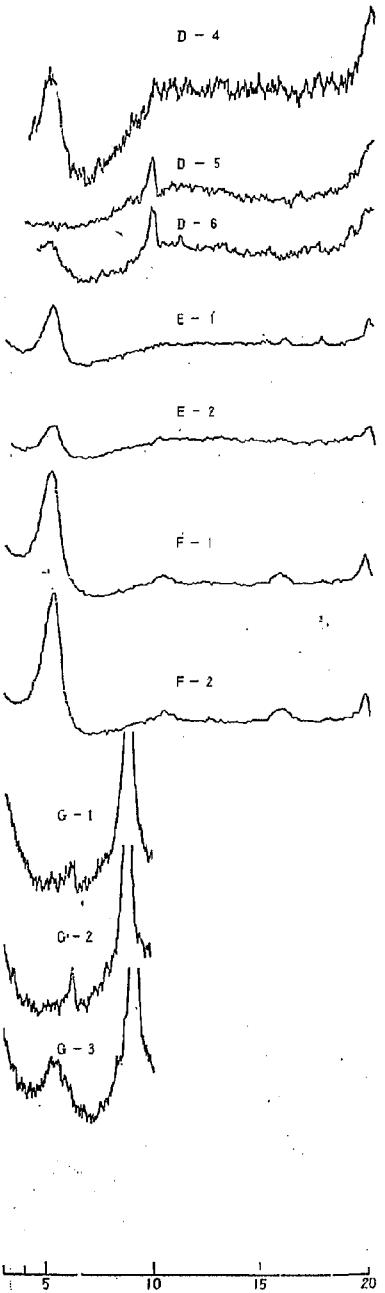
図—1　(d)



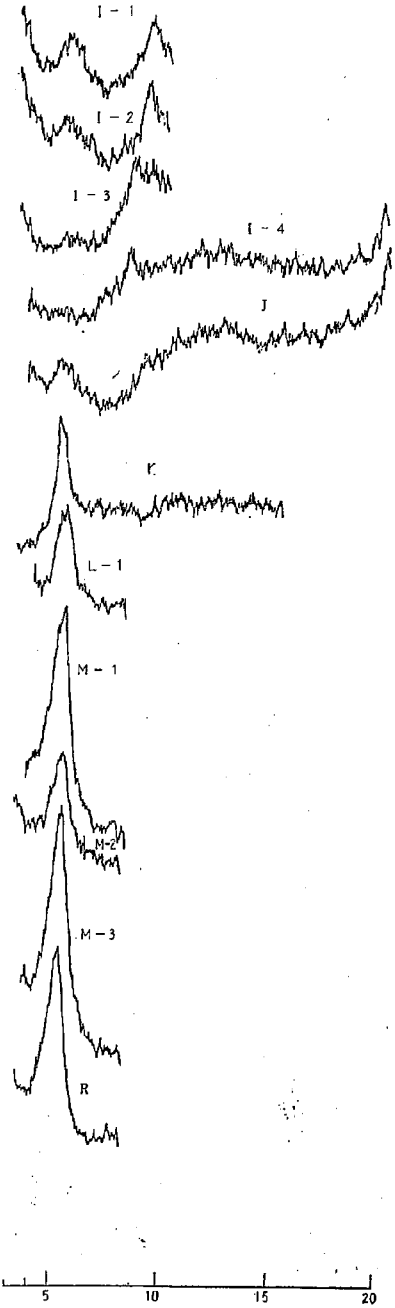
図—1 (e)



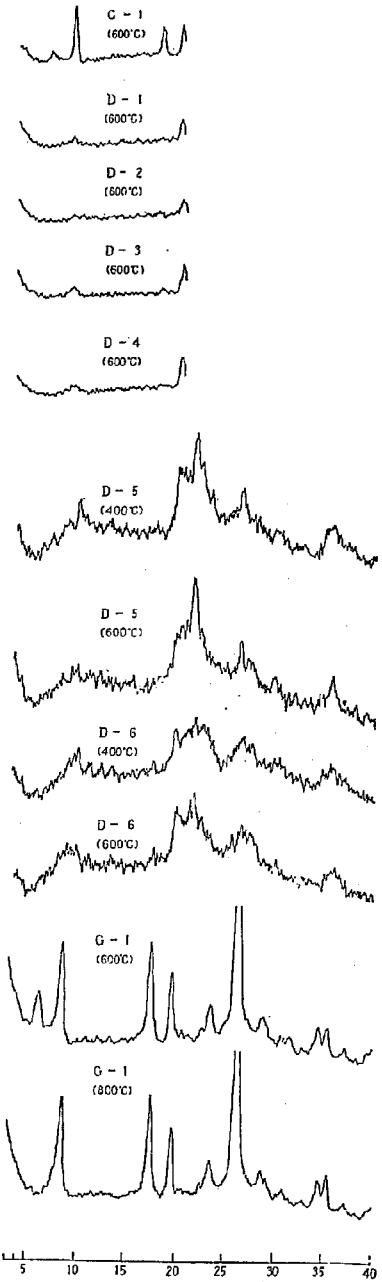
図―2 (a) エチレングライコル処理試料のX線回折図



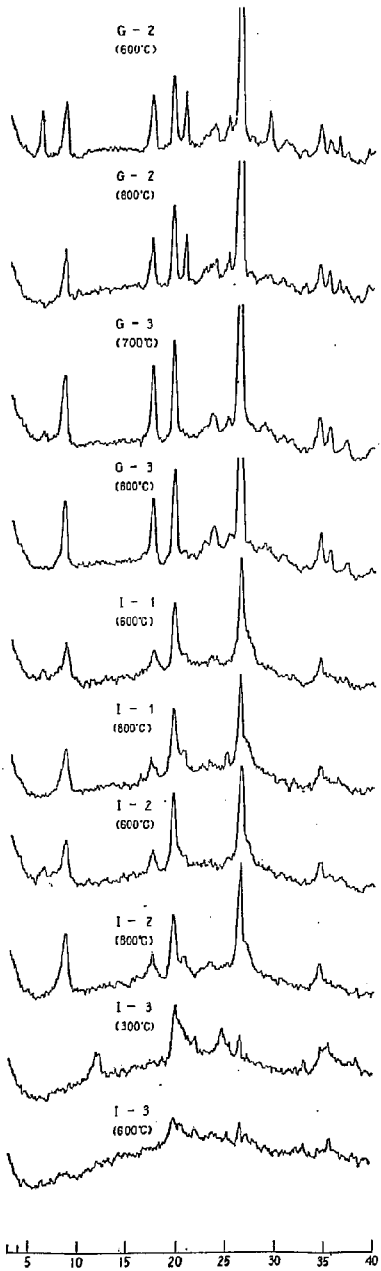
図―2 (b)



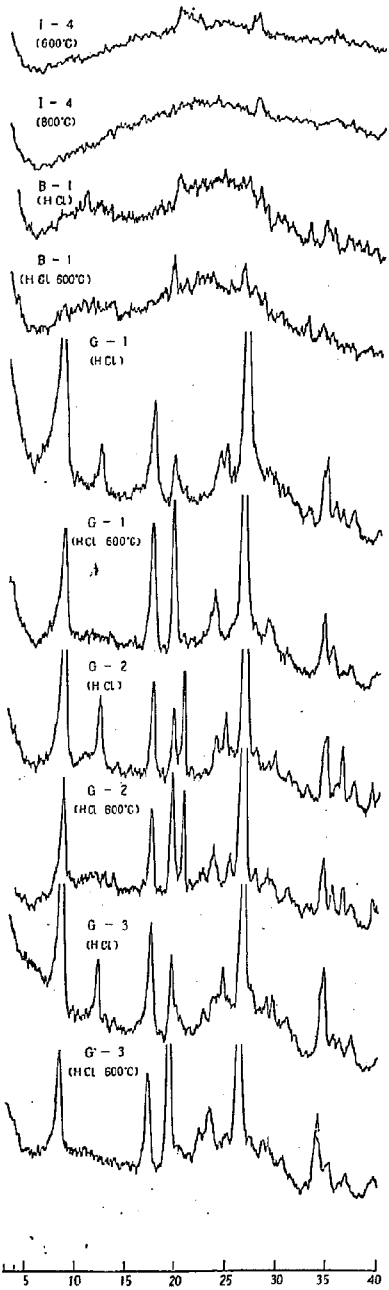
図—2 (c)



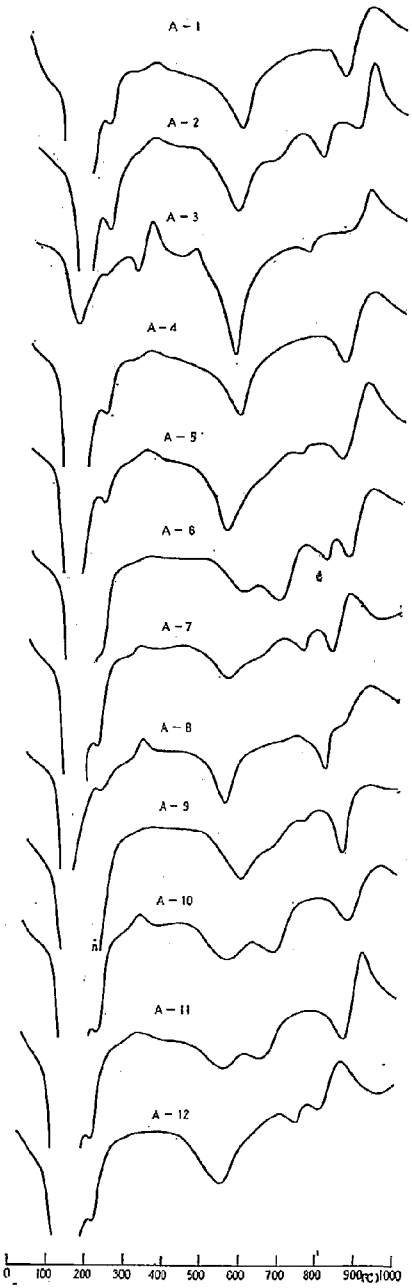
図—3 (a) 加熱または塩酸処理試料等のX線回折図


G－2
(600°C)
G－2
(800°C)
G－3
(700°C)
G－3
(800°C)
I－1
(600°C)
I－1
(800°C)
I－2
(600°C)
I－2
(800°C)
I－3
(300°C)
I－3
(600°C)
5
10
15
20
25
30
35
40

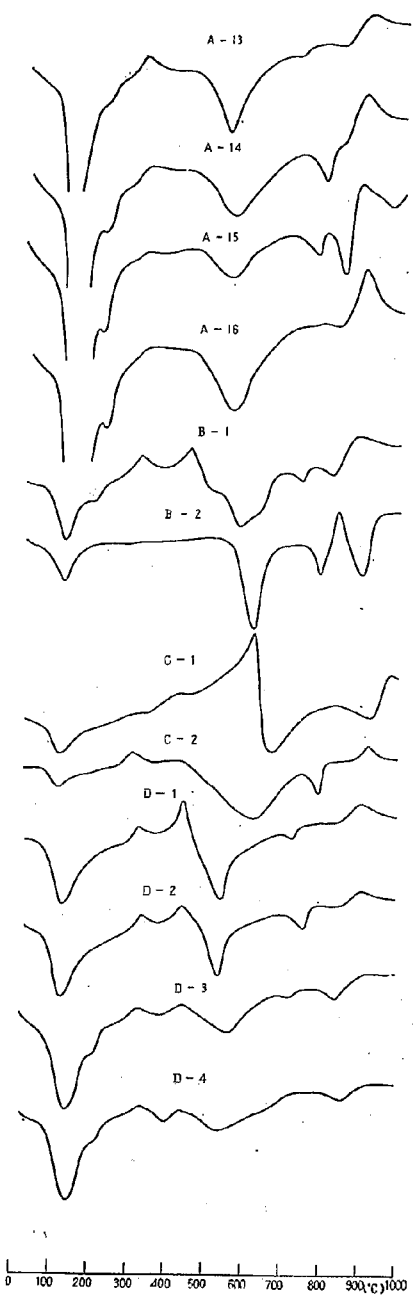
図—3　(b)


I－4
(600°C)
I－4
(800°C)
B－1
(HCL)
B－1
(HCL 600°C)
G－1
(HCL)
G－1
(HCL 600°C)
G－2
(HCL)
G－2
(HCL 600°C)
G－3
(HCL)
G－3
(HCL 600°C)
5
10
15
20
25
30
35
40

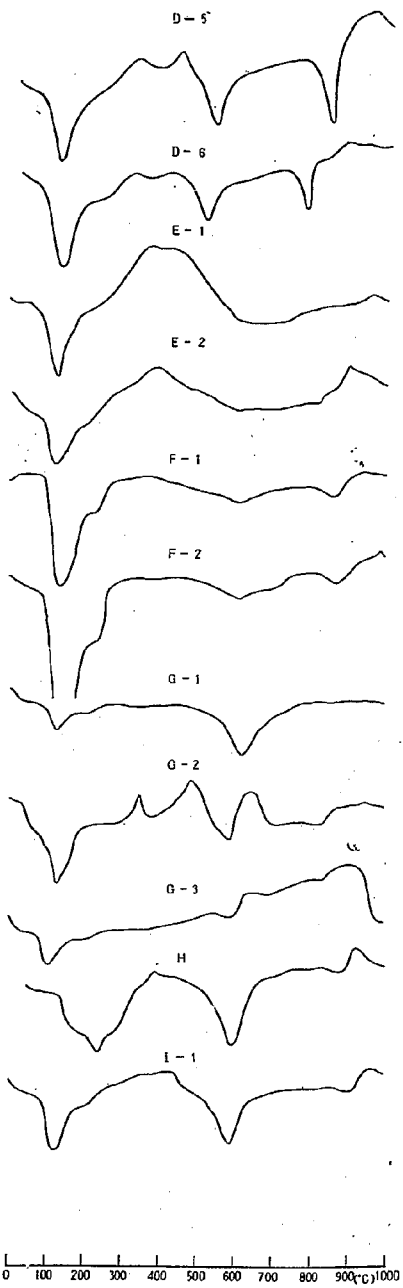
図—3　(c)



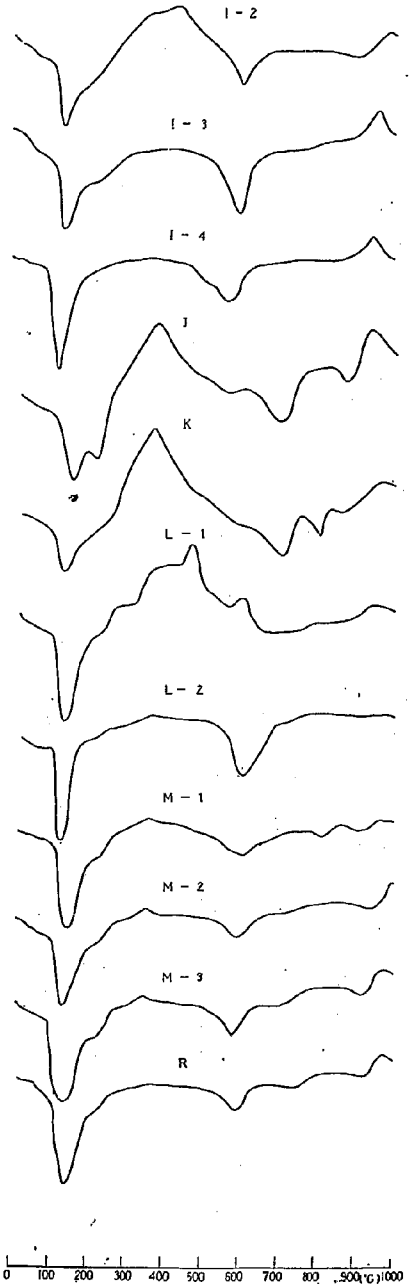
図—4 (a) DTA曲線



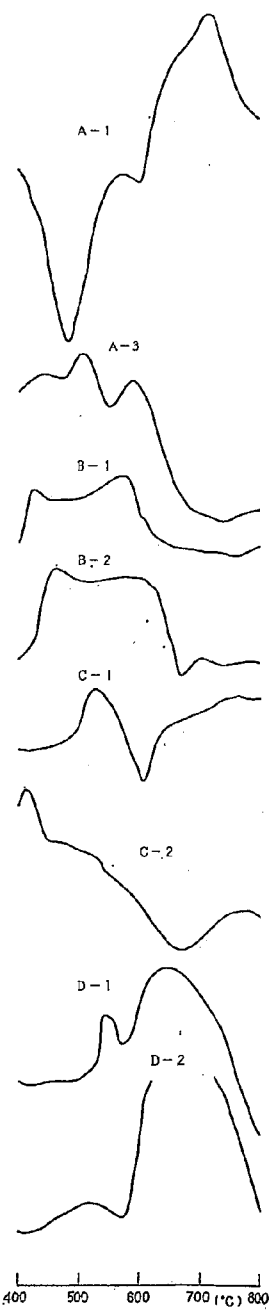
図—4 (b)


D－5
D－6
E－1
E－2
F－1
F－2
G－1
G－2
G－3
H
I－1
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900(℃)1000

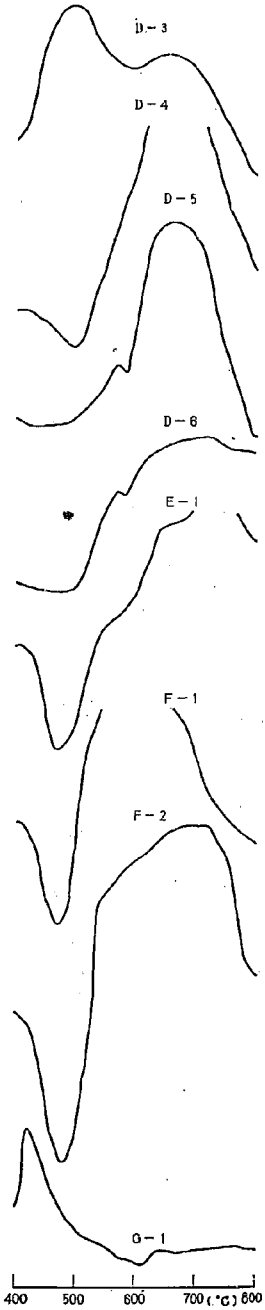
図—4 (c)


I－2
I－3
I－4
J
K
L－1
L－2
M－1
M－2
M－3
R
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900(℃)1000

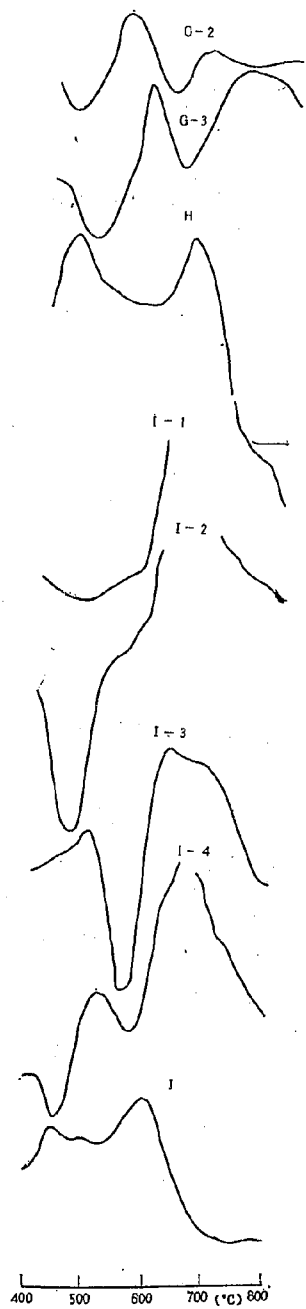
図—4 (d)



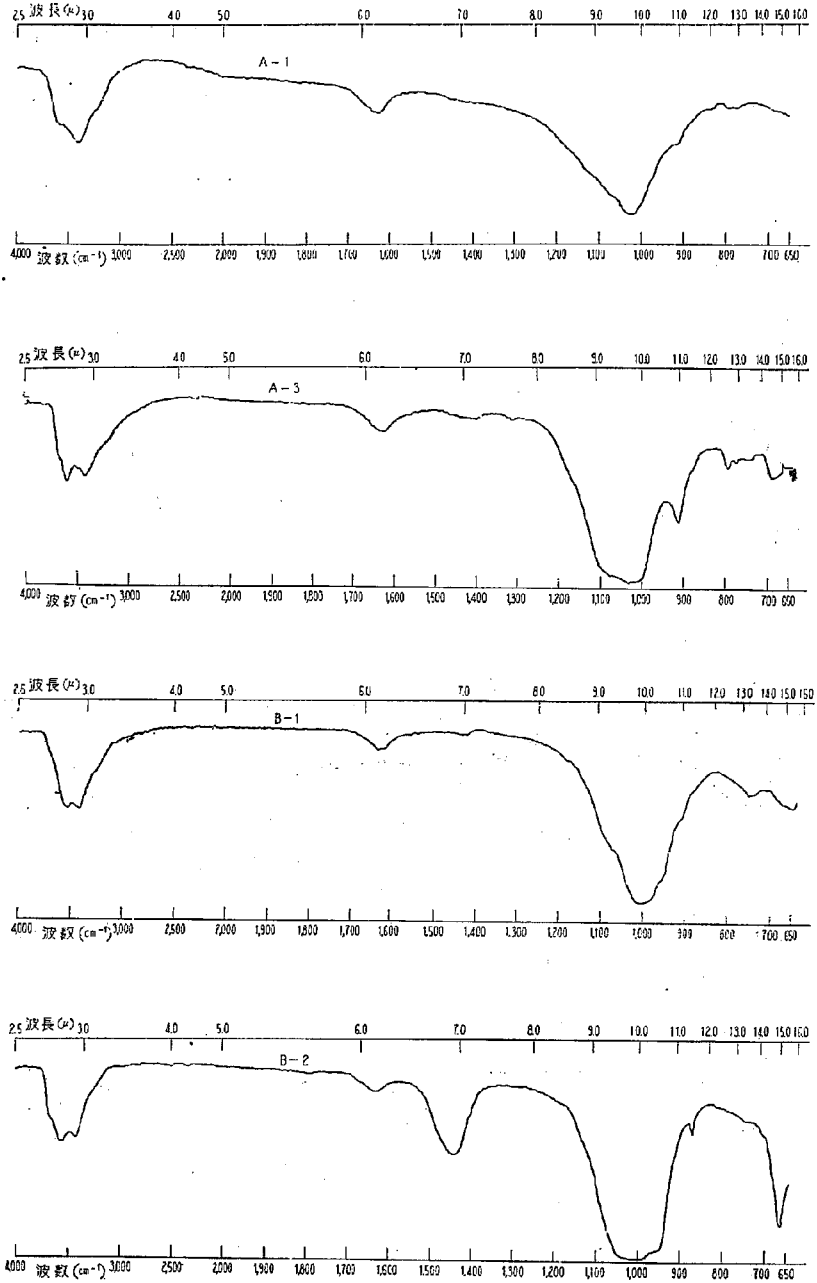
図—5 (a) ピペリヂン処理試料のDTA曲線



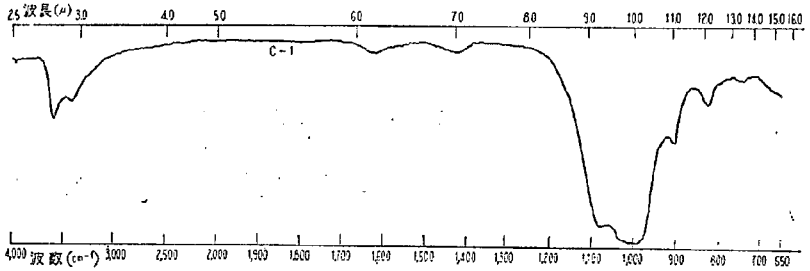
図—5 (b)

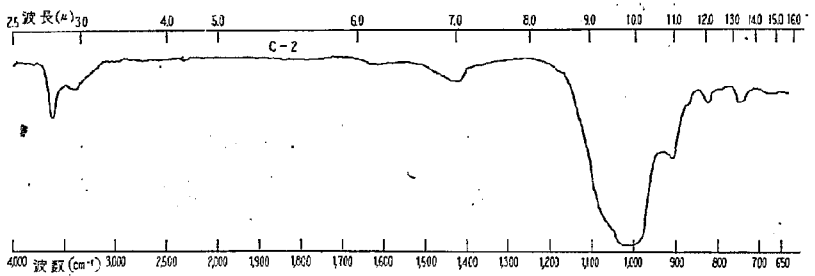


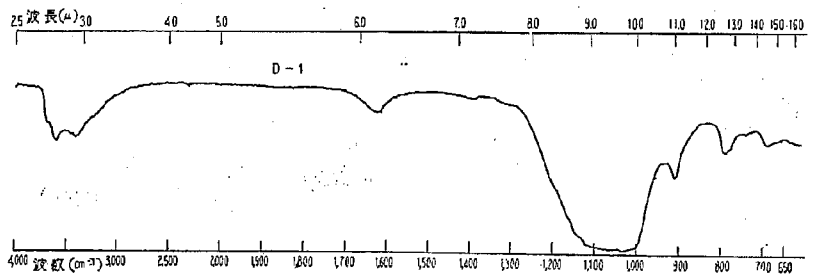
図—5 (c)

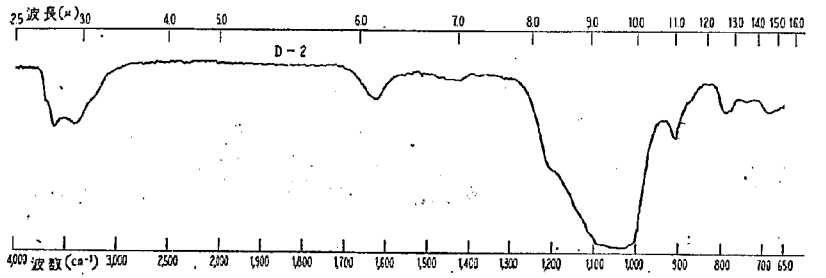


図－6 (a) 赤外線吸収スペクトル

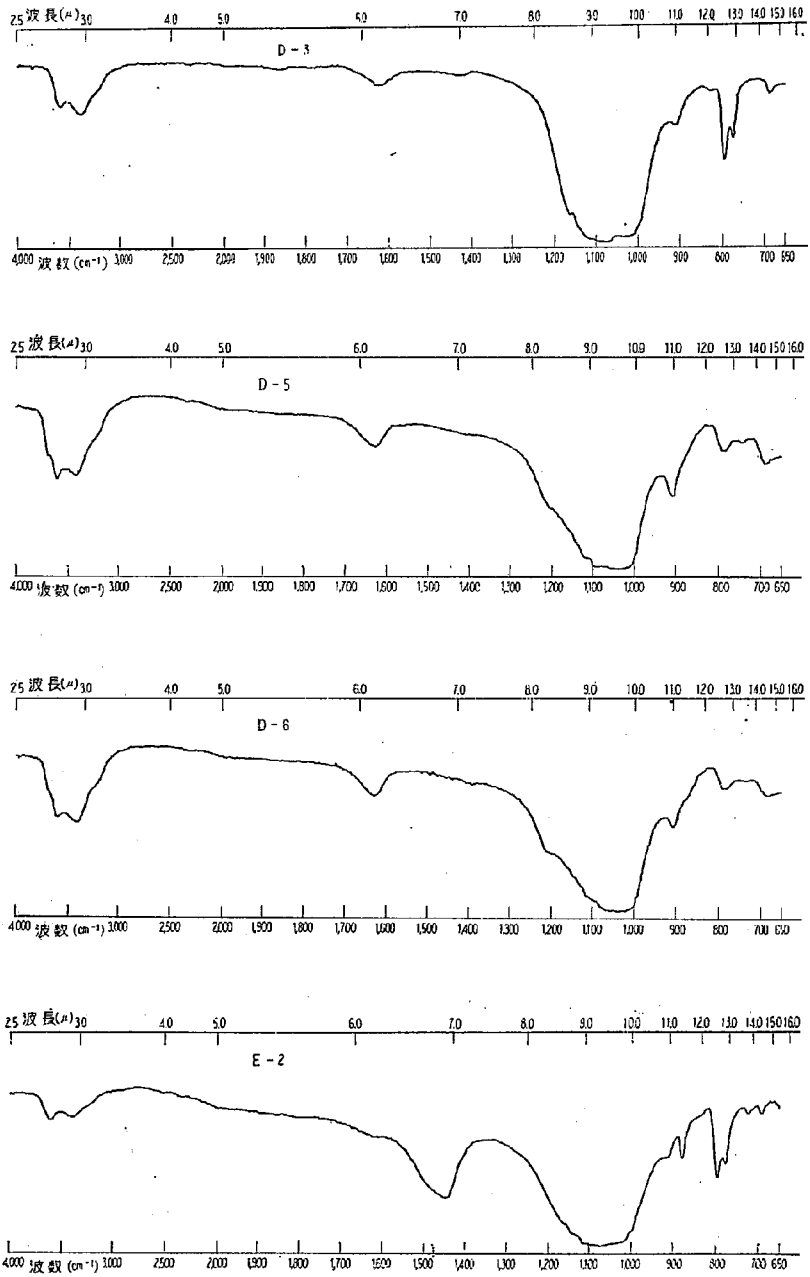




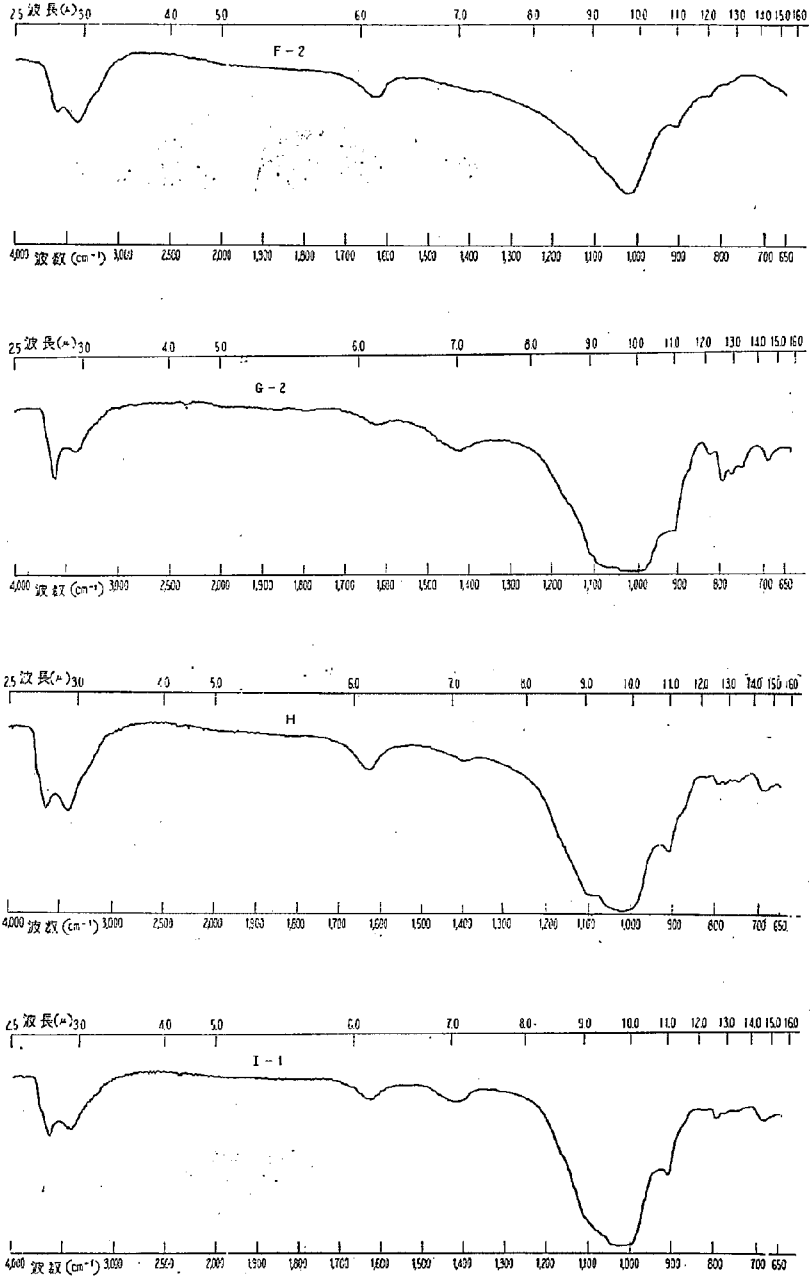




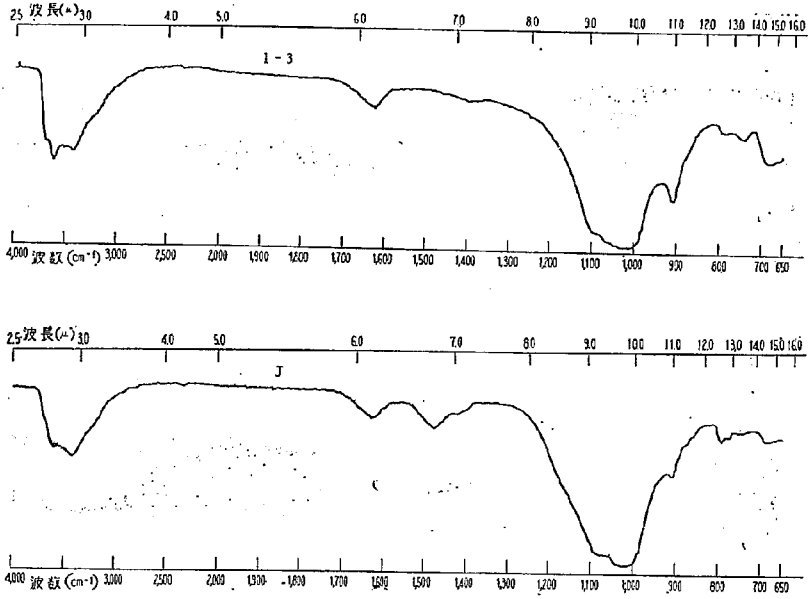
図—6 (b)



図—6 (c)



図—6 (d)



図—6 (e)

の外に一部の石英と長石類とが，A-2 には少量の方解石と長石類が含有されると推定できる。ハロイサイトはその (001) による粉末線が明瞭でなく，7.5～8.5Å に著るしく拡散した線となっており，関東ローム中のハロイサイトに見られているのと同様である。

DTA 曲線はA-1 試料では，150°Cの深い吸熱ピーク，220°C の吸熱ピーク，570°C および 840°C の吸熱ピーク，さらに 900°Cの発熱ピークを示す。570°Cのピークは結晶度の良好でないものとしてはやや高温側に偏するが，粒径分布も広いハロイサイトによるものと考えられ，それに引きつづいて 600～700°C に吸熱ピークが存在することが示される。DTA 曲線はモンモリロナイトとハロイサイトの共存を示す。ピペリヂン処理試料のDTA曲線は 700°Cに顕著な発熱を示し，モンモリロナイトの存在を示している。A-2 試料はA-1と同様であるが 600～700°C の吸収ピークがはっきりハロイサイトと分離され，この外に 790°Cに吸熱ピークが見られるがその基因は明らかでない。少量であるが方解石の存在が推定され，このコロイド部分の方解石の熱分解は低温で行われると予想されるので，この 790°Cのピークは方解石に関連するとも考えられる

A-3 試料のX線回折実験によれば，7.5Å を中心とする著るしく拡散した粉末線と明瞭な石英の粉末線を与える。エチレングライコール処理により7～9Å の拡散した線も明瞭となるが，10Å 線も僅かに見られ，14Å 線は変位しないことが示される。一方 (02)，(13) 線等も明瞭に認められ，底面反射の弱いハロイサイト系鉱物の存在が知られる。関東ローム中の粘土鉱物がしばしば (001) 線を欠くことが知られており，ハロイサイトと加水ハロイサイトの混合層鉱物の生成が推定されていることに似ていると考えられる。モンモリロナイトは，X線回折法の限界内で単独には存在しているとは考えられず少量存在する14Å 鉱物がクロライトかバーミキュライトかは不明である。なおこの試料中にはジプサイトの存在が認められ，少量の長石類の存在も推定される。DTA曲線は結晶性のすぐれないハロイサイトの存在と，ジプサイトによる 300°Cの吸熱ピークを示す。しかし詳細に注意するとハロイサイトによる吸熱ピークは600°C 越えても基線にもどらないので，700°Cまでに吸熱反応のあることを示す。750°Cの小吸熱ピークは14Å 鉱物として推定されるクロライトと関連するのかも知れない。ピペリヂン処理試料のDTA曲線は500°Cの発熱ピークの外に 600°Cにも発熱ピークを認め，モンモリロナイトの存在を推定させる。X線回折ではモンモリロナイトの (001) 線を認めがたいがDTA曲線からはその存在が十分推定できる。したがってモンモリロナイトは単独では存在しないのであり，恐らく不規則混合層鉱物を造っていると推定する。

A-1, 2, 3 試料の化学分析結果によれば，A-1 および A-2 は近似した組成を与えるが，A-3 は H_2O および

SiO_2/R_2O_3 については A-1, 2 と相当異なった組成を与える。A-3 は MgO 含量がやや大きいがハロイサイトと加水ハロイサイト系鉱物を主とすると考える方が合理的である。A-1 は MgO 含量が多く，A-2 は CaO 含量が多いがA-1がモンモリロナイト含量が多く，A-2が少量の方解石を含むことに関連があると思われる。

赤外線吸収スペクトル図ではA-1, A-3について吸収位置 (cm^{-1}) はそれぞれ次のようである。

A-1 3600 3400 1625 1150～950 920 830 795 775 690

A-3 3600 3400 1625 1150～950 920 875 795 775 750 690

両者の吸収位置は殆んど一致しているが，その大きさおよび巾は相当に異なる。A-1 はA-3と比較して3600cm^{-1}が小さくて3400cm^{-1}が大きく，1150～950cm^{-1}の吸収は著るしく拡散しており，910cm^{-1}の吸収は小さい。またA-3 は石英による吸収以外に 750cm^{-1} にも明らかな吸収が見られる。これらのことはA-1がモンモリロナイトの量多く，A-3はモンモリロナイトの量少なくむしろハロイサイトの量が多いことを示している。A-3 の方が石英の含量が多く，ジプサイトによる吸収は見られない。

電子顕微鏡写真は最も一般的な視野と時々見られる視野を多くの写真の中から選んで簡単に説明し，一部の視野または結晶については電子回折を試み網面間隔を求めた。

写真A-1-a は不定形のゲル状の集塊体と，ゲル状の板状体を示す。ゲル状板状体は不規則板状のものや，不規則短冊状のものが多くモンモリロナイトであろう。塊状のものもその周辺はゲル状化しており，棒状または短冊状体が突出したりしている。モンモリロナイトと著るしく結晶度の低いハロイサイト等の団粒体であろう。ほかに不定形の小塊が見られるが石英等であろう。この視野の回折図は粉末線を与えその網面間隔 (Å) は次のようである。

4.6 (s), 2.5 (s), 2.25 (w), 1.67 (m), 1.48 (s), 1.27 (w), 1.25 (w)

この外に3.1～4.6, 1.9～2.3にハローが見られる。

写真 A-1-c はゲル状の塊状体が極めてうすい不定形板状よりなる場合や，棒状または短冊状体と不定形板状体との集合体である場合が示されている。塊状体の分散程度の異なる場合も見られる。モンモリロナイトと結晶度の低いハロイサイトであろう。ゲル状物の電子回折図 (A-1-d) はハローを認め回折線を示めさない。

写真A-1-e は多くの視野で一度見られたもので回折図は単結晶を示し混入しているセリサイトではないかと考えられる。

写真 A-2-a はA-1-aと大体同様の視野であり，A-2-b も同様であるがハロイサイトと考えられる棒状結晶も認められる。写真 A-2-cは一視野に見られたやや六角板状晶であり伸長状結晶がゲル状物質で一定方向に規則的に集合させられたものである。この回折図は A-2-d に示すように粉末線を与えず，回折点の分布は対称的でない。えられた網面間隔は次のようである。

7 (w), 3.5 (m), 3.0 (s), 2.38 (s), 2.15 (m), 1.80 (w), 1.66 (s), 1.61 (w), 1.48 (m).1.43(w)

これらの値は興味ある結果を与えるのであるが，ここではこれ以上にふれない。

写真A-3-a はゲル状の無定形のうすい板状体が見られること等はA-1, A-2 試料の場合と同じであるがハロイサイトと思われる棒状晶が他の試料より多く見られ，また加水ハロイサイトに見られる輪郭の明瞭でない伸長状体も多く見られる。写真 A-3-b は A-3-a と大体同様であるが，何れも A-1, A-2 試料に比べて不規則板状晶が多く認められる。写真A-3-bではこの外に非常にうすい膜が見られるが，この膜の見られる視野は少ないのであり，何によるのか不明である。この試料ではモンモリロナイトは不規則混合層鉱物を造ると推定されるが，電子顕微鏡写真からはこの問題に関連して論ずることは不可能である。

以上の実験結果を総合すると A-1 および A-2 はモンモリロナイトを主成分とし，結晶度の余り良好でないハロイサイトを副成分とし，A-3 は拡散した (001) 面よりの反射を与えるハロイサイトを主成分とし，微量のクロライト様鉱物およびジプサイトを含有すると云うことができる。またモンモリロナイトは単独でなく，不規則混合層鉱物として存在すると推定される。この外 A-1および A-3 には石英が存在し，A-2 には方解石が，またA-1 および A-2 には長石類の存在が推定される。

A-4～A-16 試料はX線回折とDTAのみを試みたのでこの実験結果より推論する。

A-4はX線回折図も DTA 曲線も A-1 と殆んど同様であり，長石類の粉末線が A-4 の方が顕著である。

A-5はA-4 と殆んど同じと考えてよい。

A-6はモンモリロナイトが多量であり，石英の存在の外に方解石の存在が推定される。

A-7はA-2 と大体同じと考えられる。

A-8 は A-3 に似ているがモンモリロナイトの一部が含有され，方解石も少量存在すると推定される。。ハロイサイトは結晶性がよくない。

A-9はモンモリロナイトが主であり，吸熱ピークが600°Cにあり，7Å線が殆んど見られないことよりモンモリロナイトの一部はパイデライト化していると推定される。ハロイサイトは存在しても結晶性は不良である。方解石の少量が存在すると推定される。

A-10はA-2と大体同じと考えられるが，方解石が存在せず石英が存在する。

A-11 は A-10 と殆んど同じと考えられる。

A-12 は A-7 と殆んど同じと考えられる。

A-13は少量のモンモリロナイトが見られジプサイトが見られないことを除けば，A-3と同じと考えられる。

A-14は方解石の存在が推定される点を除けば，A-13と殆んど同じと考えられる。

A-15はA-7と大体同じと考えられる。

A-16はA-1と大体同じと考えられる。

以上の実験結果より小又川地辷り地帯における地辷りと関係ある粘土，または地辷り粘土を生成しやすい風化岩石中に含まれる粘土鉱物は何れもモンモリロナイトを主要成分としており，この外に(001)面よりの反射が拡散している結晶性の不良なハロイサイトを含有している。しかし実験したものの内でA-3試料のみモンモリロナイトがX線回折では認められず，恐らく不規則混合層鉱物を造っていると推定される。A-3試料以外のものでこのような形のモンモリロナイトを含有するものがあると思はれるが，その量的割合が明確ではない。A-3試料は少量ではあるがジプサイトを含有し，特に結晶性の不良なハロイサイトが主要な組成分であった。このようなものは関東ロームの表層によく見られるのである。このような組成を示すことは風化の連続した過程の各段階を示しているものであり，生成過程の相異によるとは考えがたく，この点は今後の研究にまたねばならない。すでに報告した長野県茶臼山地辷り地帯の粘土と同様に，コロイド粒径の部分にも方解石が存在し，このことはモンモリロナイトをCa粘土とさせていることに関係があり，地辷り粘土の流動性に関与していると考えられる。この地帯の地辷り粘土がモンモリロナイトと結晶度の不良なハロイサイトより構成されていることは，地辷り機構および地辷り運動と必然的の関係があることを示している。

（ii） B試料

B-1試料のX線回折実験によれば14Å，7Å線が認められる。14Å線はエチレングライコール処理により変位しないので，モンモリロナイトは殆んど存在せずクロライトまたはバーミキュライトの存在が考えられる。14Å線は(002)，(003)，(004)線をともなう。またクロライトとカオリン鉱物が共存するときはカオリン鉱物の存在はこの結果だけでは判明しない。試料を1：1 HClで1時間加温したものの回折結果では14Å線を(001)とした場合(002)，(003)，(004)線は共に消失している。したがってこの14Å線はFe_2O_3の含量の比較的多いクロライトと考えてよく，さらに7Å線も消失することより，カオリン鉱物は著るしく結晶度の低いものは別にして一応存在しないと推定できる。なおHCl処理試料には7～12Åに亘るハローが見られ，600°Cに加熱してもこのハローは消えない。

DTA曲線は140°C，200°C，400°C，500°C，580°C，750°C，830°Cの吸熱ピークと880°Cの発熱ピーク，400°Cの発熱ピークを持つ。580°C，830°C，880°Cのピークはクロライトによると考えられ，400°Cの発熱ピークは有機物によると推定され，この発熱と同時に起る吸熱反応は一部の含水酸化鉄によるものであろう。580°Cのピークは500°Cのピークに引きつづき，さらに600°C位より始まる吸熱反応につづいている。結晶度の異なるクロライトの混合物を示すのかも知れないし，X線回折では知られないが結晶度の低いカオリン鉱物またはモンモリロナイト等の共存を示すのかも知れない。140°Cに吸熱が示されること，200°CにCaイオンによる小吸熱ピークの存在は上にのべた推定とも関連する。ピペリヂン処理試料のDTA曲線は470°Cの吸熱ピークの後に575°Cに僅かではあるが発熱ピークを示すことより，モンモリロナイトが何等かの形で存在するのか知れないが，この点は詳細なる検討を要する。

化学分析結果ではFe_2O_3，MgOが著るしく多量であり，SiO_2：Fe_2O_3：Al_2O_3：MgOは約4:1:1:2であり，著るしく塩基性に富んでいる。クロライトは同形置換するイオンの種類および範囲が広いのであるが，他の鉱物が混在しないとすれば化学組成からはシャモサイト，デレサイト等が推定される。

赤外線吸収スペクトル図では吸収の位置（cm^{-1}）は次のようになる。

3,550，3,400，1,625，1,100～950，750，650

この内3,550 cm^{-1}，3,400 cm^{-1}，1,625 cm^{-1}はOH基および水の存在状態に関係し，1,100～950cm^{-1}間のピークはSi-O，O-Al-OHによるものである。B-1試料はこのピークの巾が狭い。O-Al-OHによる910cm^{-1}の吸収は殆んど認められず，O-Fe-OHによる853cm^{-1}および820cm^{-1}の吸収も見られない。750cm^{-1}の吸収および650cm^{-1}の吸収が明瞭に認められるがその原因は不明である。

電子顕微鏡写真は各視野とも殆んど同様であるが，その代表的のものをB-1-a，B-1-bに示す。何れも伸長状の比較的大きい板状結晶と無定形の塊状体が見られる。この塊状体は著るしくうすい板状晶および羽毛状体の集合体らしく思はれる。この外ゲル状体も少く見られる。大きい板状晶はクロライトと考えられるが塊状体を構成するものは明らかでない。

以上の実験結果を綜合するとB-1試料はFe_2O_3の多いクロライトの種を主要鉱物とし，モンモリロナイトの何等かの形での存在も推定されるが詳細な点は今後の研究にまたねばならない。

B-2試料のX線回折実験によれば，14Å，10Åおよび7Å線が認められる。14Å線はエチレングライコール処理により大部分が17.4Åに変位するが，一部は14Å線として残る。また14Å線は明瞭な(002)，(003)，(004)をともなう。したがって14Å線はモンモリロナイトとクロラ

イトの存在を示すと考えてよい。10Å線は9.6Å を与え強い (003) 線をともない滑石の存在を示す。Cu を対陰極とする場合はクロライトの (002) と (003) による粉末線はその強さが殆んど同じとされているので，7Å線はクロライトの (002) によるのであると考えてよいが，一部はカオリン鉱物によるのかも知れない。

DTA曲線には 130°C, 630°C, 800°C, 900°C の吸熱ピークと840°C および950°C の弱い発熱ピークが認められる。630°C のピークはクロライトにより，一部はモンモリロナイトにもよると考えてよく，800°C のピークは主としてクロライトによるが一部はモンモリロナイトにより，850°C の発熱はクロライトによるものであり，900°C のピークは滑石によるものである。またモンモリロナイトがサポナイトとして存在してもDTA曲線の説明は可能である。ピペリヂン処理試料のDTA曲線では600°Cの発熱ピークを認め，サポナイトを推定することも可能である。DTA曲線よりはカオリナイト又はハロイサイトの存在は否定され，X線回折結果ともよく一致する。

化学分析結果では MgO が 26.7% に達している。$(Al_2O_3+MgO)/SiO_2$ は約1であり，Al_2O_3/MgO は約0.14である。MgO が全部滑石として存在すれば SiO_2 は不足する。したがって Al が Si と置換した鉱物種を考える必要がある。

赤外線吸収スペクトル図では吸収位置 (cm^{-1}) は次のようになる。

3,580, 3,400, 1,625, 1,440, 1,100～950, 870, 810, 750, 665

滑石の赤外線吸収は670cm^{-1} に認められることが特徴であるが，この試料でもこの部分に顕著な吸収を認める。3,580cm^{-1}, 3,400cm^{-1}, 1,625cm^{-1}および1,100～950cm^{-1}の大きい吸収は SiO_2, Al_2O_3 よりなる粘土鉱物に見られるのであるが，本試料では1,440cm^{-1} に大きい吸収と 870cm^{-1} に小さい吸収，750cm^{-1} に僅かな吸収が見られる。この吸収が何によるかは現在明らかでないが，マグネサイトにはこの位置に同様な吸収が見られることと何等かの関連があると考えられる。しかしX線ではマグネサイトを認めないので今後の研究を要する点と考える。

電子顕微鏡写真は殆んどすべての視野が同様であり，その代表的なものを B-2-aに示す。不定形の結晶が大部分であり，不定形板状のものでも伸長形のものが多く，MgO および Fe_2O_3 含量の多い鉱物の特性を示す。不定形の塊状を示すものも板状晶の集合体である。伸長状結晶でも長方形の比較的大きいものも見られる。B-2-b はさらに分散が十分行われている場合であり，うすいゲル状を示すものが見られる。B-2-c はワセリン法で分散させ，十分に分散していないがやはり伸長形の不定形板状晶の集合が見られ，さらにそれらの結晶中には羽毛状の結晶も見られる。B-2-d は B-2-a の視野の回折図であり，粉末線を与え網面間隙（Å）を次に示す。

4.7 (s), 2.62 (m), 1.71 (m), 1.51 (s), 1.30 (w)

この結果からは滑石，モンモリロナイト，クロライト等の識別はできない。

X線等の実験結果では滑石，モンモリロナイト，クロライト等が確められているが，最も多量に存在する滑石は不定形板状晶であるとされ，クロライトも伸長性を持つとされているが，この視野に見られる結晶をそれぞれ識別することはできない。モンモリロナイトは B-2-bよりその存在は推定でき，滑石やクロライトの存在も伸長性の点から肯定することは無理ではないと思われる。

以上の実験結果を綜合すれば，この試料中には滑石を主とし，モンモリロナイトとクロライトの少量が存在する。カオリン鉱物は認めがたい。

この地すべりは古生層に起る場合であり片理または層理に沿ってすべる層すべりの傾向を持つものであり，B-1試料は緑泥片岩の風化物で，すべり面をなすものとされている。このすべり粘土は大部分が緑泥石よりなりモンモリロナイトが存在するらしいが詳細なことは明らかでない。しかしクロライト粘土でも地すべり層を形成する場合のあることが解る。B-2 試料は滑石緑泥片岩の風化物ですべり面をなすものとされ，滑石を主とするがモンモリロナイトも存在し，モンモリロナイトの存在のために地すべり粘土となりやすいのか，滑石自体が地すべり粘土となりやすいのかは今後の検討を要する点である。

(iii) C 試料

C-1, C-2 試料のX線回折実験によれば，14Å，10Åおよび7 Å線が認められる。14Å線はエチレングライコール処理で変位しないのでモンモリロナイトは存在しないと考えられる。したがって14Å線はクロライトまたはバーミキュライトによるのであるが，クロライトとしては (002), (004), (005) をともなうが，(003) は明瞭でない。クロライトは存在しても少量である。7 Å線はクロライトの (002) としては強度が大きすぎ，600°C に加熱することにより消滅するので，カオリン鉱物によると推定される。10Å線はエチレングライコール処理で変位せずセリサイトによると考えてよい。この外に少量の長石類の存在が推定される。C-1 の方がC-2 よりもカオリン鉱物およびクロライトの含量が多い。

DTA曲線はC-1 については有機物による600°C までの緩除な発熱のために，カオリナイトおよびセリサイトの吸熱ピークがマスクされるが，900°C の吸熱ピーク，950°C の発熱ピークおよび120°C の吸熱ピークによってもセリサイトの存在が推定される。DTA曲線がむしろ結晶度のすぐれた点を示すことより，イライトよりセリサイトに近いと考える方が妥当である。C-2 はC-1 より

120°C の吸熱ピークは小さく，900°C の吸熱ピークを欠き，一方 800°C の吸熱ピークを持つ。800°C のピークは一部のクロライトによると考えられ，600°C の吸熱ピークの大きさはクロライトの存在を思はしめ，さらにこのピークが非対称性であることよりカオリナイトの吸熱ピークが重複していると考えることができる。ピペリヂン処理試料についてのDTA曲線はモンモリロナイトの存在について否定的である。

化学分析結果での特徴は C-1，C-2 がそれぞれ K_2O を8.1%，7.8%含有すること，Fe_2O_3 の含量が10%を越えていること，および $(H_2O)^-$ が甚だ少ないことである。この外にC-1は MgO の含量が4.3%に達している。K_2O 含量が多いことはセリサイトに帰せしめることが妥当であり，$(H_2O)^-$ の少ないことはモンモリロナイトが存在せず，セリサイト等も割合結晶度がよいことを示し，Fe_2O_3 および MgO はクロライトに関連すると考えられる。X線回折では遊離の $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$ 等は見られないので，Fe^{3+} または Fe^{2+} としてクロライト等を造ると考えられる。

赤外線吸収スペクトル図では吸収の位置（cm^{-1}）は何れも次のようになる。

3,600, 3,400, 1,630, 1,425, 1,075, 1,010, 905, 870, 825, 800, 750

この内 3,600cm^{-1}, 3,400cm^{-1}, 1,630cm^{-1} は水の存在状態に関係し，特にC-1において吸着水は少なく，OH 基でも水素結合を持つものは比較的少ないことを示す。1,100～950cm^{-1} 間の吸収ピークは Si-O，O-Al-OH によるのであるが，その巾は比較的せまい。905cm^{-1} は O-Al-OH によるのであるが，O-Fe-OH による吸収は 853cm^{-1}, 820cm^{-1} とされる。本試料で 825cm^{-1} に割合大きい吸収は上記の Fe の形態に関するものであり，870cm^{-1} の吸収もやや位置は異なるが同様に考えられる。800, 750cm^{-1} に見られる弱い吸収は恐らくカオリンにより，1,425cm^{-1} の拡散した弱い吸収はイライトに見られるものであると考える。

電子顕微鏡写真はC-1，C-2 試料ともすべての視野は殆んど同様であり，不定形板状の薄い結晶よりなり，所々にくずれた六角形を示すもの，伸長状六角形を示すものまたは短冊状を示すものが見られる。C-1 試料の方が一般にC-2 試料より伸長状六角形や短冊状を示す結晶が多い。この視野からはモンモリロナイトらしいものは認められず，形態からはセリサイトに近いものが大部分であり，六角形を示すものははカオリナイトと推定される。C-1-b は C-1-a 視野の回折図であり，粉末線を与えその網面間隙（Å）は次のようである。

4.5 (s), 2.56 (s), 2.19 (m), 1.63 (w), 1.45(s), 1.25 (w), 1.22 (w), 外に 4.51, 2,19 に相当する環の外側にハローがある。

C-2-a の電子回折図は C-2-b に示すように粉末線を与え，その網面間隙（Å）は次のようである。

4.5 (s), 3.0 (wbr), 2.50(s), 2.22(w), 1.9(wbr), 1.63(w), 150 (s), 1.26 (w), 1.23 (w)

この網面間隙からはカオリナイト等とセリサイト等を区別することができない。C-1 試料に見られるハローは C-2 試料では3.0，1.9Åに拡散した線としてえられるのであり，セリサイトの (003)，(005) に関連すると考えられるが明らかでない。

以上の実験結果よりC-1，C-2 試料は主としてセリサイトよりなり，カオリン鉱物と少量のクロライトを含有し，モンモリロナイトはふくまれない。ほかに長石類の存在が推定される。

門平地こりでは古生層上の頁岩，粘板岩が風化し，これらの存在が地こり運動に関係しているのであるが，風化岩中にはセリサイトが主要粘土鉱物として存在する。この場合はモンモリロナイトが存在しないのが特徴である。セリサイトのように板状晶をなしているものは，一定方向に配列する傾向も見られるので，地こり運動と関係深い土質を生成するものであろう。

(iv) D 試 料

D-1，D-2のX線回折実験によれば，15～16Å線，10Å線，9.1Å，8.0Å線等を認め，7Å線は確認できない。エチレングライコール処理により15～16Å線は17.4Åを中心とする拡散した線に移行し，10Å線は変らないし，9.1Å線も変らない。7Å線は未処理の場合は見られなかったのが，7～8.5Åの拡散した線を与える。したがって15～16Å線はモンモリロナイトにより，10Å線は恐らくイライト等によると考えられ，この外に著るしく結晶度の低いハロイサイトの存在も推定される。えられた粉末線の内モンモリロナイトおよびハロイサイトの持つ粉末を除いても多くの明瞭の粉末線が見られ，とくに4.00Å線は特徴的である。D-2 試料の方がD-1 試料より 9.1Åを示す鉱物が多く含有されている。この鉱物は粘土鉱物とは考えられず，この粉末線に該当するものとして沸石鉱物中の輝沸石 (Heulandite) が問題となる。輝沸石のX線粉末線は小泉，桐山[9] により与えられており，その値を次に示す。（カッコ内は強度，単位Å）

11.95？(10), 9.936？(14), 8.934(77), 8.425？(12), 7.971(14), 6.810(13), 5.644？(11), 5.404(12), 5.246 (13), 5.126(13) 4.671(16), 4.506(11), 4.396(11), 3.969 (26), 3.917 (19), 3.739 (12), 3.520 (12), 3.427 (13), 3.314 (11), 3.187 (11), 3.132 (14), 3.089 (14), 2.988 (25), 2.805 (13), 2.739 (15), 2.529 (11), 2.442 (10), 2.362 (9), 1.977 (9), 1.961 (9), 1.929 (9), 1.794 (10), 1.771 (9)

実験よりえられた粉末線は，D-2 試料では$2\theta = 40°$ までの範囲では 6.8，3.74Å線を除いて大部分が輝沸石の

粉末線に一致し，同様にD-1試料でも 9.1Å線にともなう輝沸石の強に粉末線を持っている。加熱処理を行った場合のX線回折結果については同様に輝沸石を含有するD-5，D-6試料についてのべる。この試料中には輝沸石が一部存在すると考えられる。外に石英およびクリストバライトが少量存在すると推定される。

DTA曲線は130°C の吸熱ピーク，260°C の小吸熱ピーク，370°C の拡散した吸熱ピーク，550°C の大きい吸熱ピーク，600～700°C の拡散した吸熱ピーク，740°C の小吸熱ピーク，400°C の発熱ピーク，900°C の発熱ピークを与える。550°C の吸熱ピークと900°C の発熱ピークは結晶度の低いカオリン鉱物，恐らく550°C ピークの形よりハロイサイによると考えられ，600～700°C のピークと900°C のピークはモンモリロナイトによると考えられる。輝沸石の吸熱ピークは上記の小泉等の報告によれば340°C とされているので，370°C のピークはやや高温側にかたよるが輝沸石によると推定される。400°C の発熱ピークは370°C の吸熱ピークにマスクされているが恐らく有機物によるものであろう。750°C のピークは何によるか明らかでないがモンモリロナイトに関係するのかも知れない。またピペリヂン処理試料のDTA曲線は何れも 600～650°C に大きい発熱ピークを持つことより，モンモリロナイトの存在が知られる。

化学分析結果によれば $(H_2O)^-$ は余り多くなく，$(H_2O)^+$が概して大きいのでモンモリロナイトの量は特に多いとは云えない。SiO_2/Al_2O_3，SiO_2/R_2O_3 は約5ないしは4.5であり，石英の存在量がより多いD-2がこの値は小さい。K_2O はD-1について約3.8%でありこの原因をセリサイト等に帰せしめることはできない。分析値はX線回折結果等と必ずしも一致しない点は今後さらに研究を要する点と思う。

赤外線吸収スペクトル図によれば吸収の位置 (cm^{-1}) はD-1，D-2について殆んど同じで次のようである。

3,600，3,400，1,625，1,200～950，910，790，780，745，690

この内 3,600cm^{-1} は OH により 3,400cm^{-1} は水素結合を持つ OH に，1,625cm^{-1} は吸着水に，1,200～950cm^{-1} は Si-O，O-Al-OH により，910cm^{-1} は O-Al-OH による。790，780，745，690cm^{-1} はカオリン鉱物に見られるものである。輝沸石による吸収はどのような位置にあるかは不明であるが，カオリン鉱物，モンモリロナイトの存在を考えればこの吸収スペクトルは予想される所である。

電子顕微鏡写真では D-1 試料は，D-1-a に示すようにすべての視野で無定形のうすい板状体が見られる。これらの板状体は周辺がゲル状をなしているものが多い。概してこれら板状体は伸長状のものが多く，時には先端のほころびた棒状ないし短冊状になったり羽毛状となるものがしばしば見られる。恐らくモンモリロナイトまたは結晶度の低いハロイサイトであろう。D-1-b も同様の視野で無定形体が伸長状体，羽毛状体，短冊状体およびゲル状物質よりなることを示す。D-1-c は D-1-a の視野の回折図であり，粉末線を与え，その網面間隔(Å)は次のようである。

4.60 (s)，2.50 (s)，2.55(m)，1.70 (m)，1.50(s)，1.40 (m)，1.29 (m)，1.24 (w)

この外に1.9～2.2，および1.1～1.2にハローが見られる。

D-2試料ではD-2-aが代表的の視野であり，D-1試料の場合と殆んど同じである。D-2-bはワセリン法で分散させたものであり，ハロイサイトらしい棒状結晶が見られ無定形体は羽毛状等を示す微細な結晶と棒状体の集合体であることが見られる。

D-1，D-2試料は各視野とも殆んど同じ電子顕微鏡写真を与え特に異った形状のものは見られないし，モンモリロナイトと結晶度の低いハロイサイトが存在することを推定するに十分である。なお輝沸石の形態は不明であり，それを識別できないと同時に回折結果でもそれを知ることができない。

以上の実験結果を綜合するとD-1，D-2 試料は殆んど同じ鉱物組成を持つのであり，組成鉱物はモンモリロナイト，結晶度の低いカオリン鉱物恐らくハロイサイトまたは加水ハロイサイト，時にはそれらの不規則混合層鉱物らしいもの，および輝沸石であり，副成分として少量の石英およびクリストバライトが推定される。

D-3，D-4 試料の X 線回折実験によれば，D-3 は強い16Å線と著るしく弱い10Å線と，7.2Å の弱い拡散した粉末線を与え，この外に石英による顕著な粉末線をも与える。16Å線はエチレングライコール処理で17.4Å線に変位するのでモンモリロナイトを示す。10Å線と7.2Å線は同じ処理で10～6 Å に亘る連続した拡散した反射を与え，著るしく結晶度の低いカオリン鉱物の存在を推定させる。300°C に加熱した場合は10.2Å のみが見られ，7 Å鉱物が明瞭には見られないことより，モンモリロナイトの外にカオリン鉱物は存在しても少量と考えられる。600°C に加熱すれば10.2Å線はやや顕著となり5.0Å線をともなう。10Å線は一部のイライトによるのかも知れない。著るしく弱い粉末線であるが6.65，5.94Å線は何によるかは明らかでない。D-4 試料の粉末線は D-3 試料と比較すれば石英の粉末線がやや弱く，10Å および7 Å の拡散した粉末線を認めがたいことと，9.1Å に弱い線ではあるが明瞭な粉末線を認めることである。エチレングライコール処理および 300°C，600°C 処理試料では D-3 試料と同じ回折像を与える。9.1Å線については D-5，D-6 試料の場合と同じく輝沸石または束沸石によるらしいことが，9.1Å 以外の粉末線から，および 300°C 加熱試料で 9.1Å線は残る

が600°C 加熱で消失することからも推定できる。なおD-4 試料には長石類とクリストバライトらしいものが推定される。

DTA曲線はD-3，D-4 試料とも 150°C 吸熱ピーク，210°C の吸熱ピーク，400°C の吸熱ピーク，550°C の巾の広い吸熱ピーク，850°C の吸熱ピーク，940°C のゆるやかな発熱ピークを持つ。550°C の吸熱ピークは D-4 の方が高温側に傾斜がゆるく，700°C を超える温度範囲まで吸熱を認める。400°C の吸熱ピークは何によるか明らかにしえないが輝沸石によるのかも知れない。ピペリヂン処理試料のDTA曲線は D-3 試料では500°C に大きい，また 650°C にやや大きい発熱ピークを与え，D-4 試料では650°C に単一な大きい発熱ピークを与える。

DTA曲線からはモンモリロナイトの存在が認められるが，このモンモリロナイトはピペリヂン処理および未処理試料についての結果を綜合すれば，D-3 試料はノントロナイトの多い種であり，D-4 はノントロナイトの少ない種であると云える。DTA曲線ではカオリン鉱物の存否は明らかでない。

化学分析結果によれば Fe_2O_3，MgO の量は Al_2O_3 の量に比して多く，Fe_2O_3/Al_2O_3 および MgO/Al_2O_3 は，D-3 試料についてそれぞれ 0.26，および 0.60，D-4 試料について0.26および0.39である。これらの点より石英等の存在のため SiO_2/Al_2O_3 は信頼できないが，Fe_2O_3 MgO，Al_2O_3 の量的関係は DTA 曲線と相関性のあることが示される。

赤外線吸収スペクトル図では D-3 試料についての吸収位置（cm^{-1}）は次のようである。

3,600，3,400，1,625，1,170，1,080，1,020，910，825，795，775，690

この吸収の内 1,170，1,080，795，775，690 cm^{-1} は石英によるものであり，他の吸収はモンモリロナイトによると考えてもよい。825cm^{-1} の吸収はノントロナイトに見られるものであり，O-Al-OH による 1,120 cm^{-1} の吸収は Al 含量が少ないこと，および石英の存在に影響されていると考えられる。赤外線吸収スペクトルでは一部のノントロナイトを含有するモンモリロナイトの存在を石英と共に考えてもよい。

電子顕微鏡写真では D-3-a に示す視野が代表的であり，うすい不定形板状結晶および不定形の小塊がいたる所に見られる。小塊の中には四角形の結晶をしたものも見られ，恐らく石英と推定される。薄片状のものはモンモリロナイトであろう。D-3-b はワセリン法で分散させた場合で分散が不十分であるので凝集しておるが，その周辺は明瞭な線を与えなくゲル状である。しかしこのゲル状物は羽毛状のもの，羽毛状のものを集め束ねたようなものがからみ合った状態をしている。石英らしい結晶も見られる。この羽毛状のものはモンモリロナイトの結晶が1つの辺を軸にしてまるまったものであろう。

D-4-a は D-4 試料の代表的視野である。羽毛状の集合体よりなる無定形のゲル状体，やや伸長形の短形または短冊形のうすい板状晶，細い棒状晶，紐状をしたゲル状体，石英らしい定形または不定形塊状体等が見られる。D-4-b も大体同様の視野である。D-4-c はワセリン法で分散させたものであり，分散は不十分であるが集合体の構造が示されている。電子顕微鏡写真によればD-3，D-4 試料は殆んど同じ視野を与え，モンモリロナイトと石英の存在を考えてもよい。

以上の実験結果を綜合すれば D-3，D-4 試料とも Fe_2O_3 の多いモンモリロナイトをふくみ，結晶度の著るしく低いカオリン鉱物をふくむらしいが，この点は明確にはできない。外に D-4 試料には少量の輝沸石をふくむと推定できる。

D-5，D-6 試料の X 線回折実験によれば，何れも D-1，D-2 等に認められたと同様に輝沸石の粉末線に相当する粉末線の大部分が認められるので，輝沸石の存在を考えてよい。なお輝沸石はまた上記した小泉等の研究によれば，300°C に加熱しても本質的構造変化は認めないが，400°C では高温型に転移し，500°C に到ると格子の収縮をともないながら崩壊し，700°C では無定形となるとされる。D-5，D-6 試料を 400°C に 30 分間加熱したもののX線回折像は未処理のものに比べて，輝沸石による回折線の強度は何れも弱くなっている。しかし格子の収縮を示すまでには至っていない。加熱試料は加熱直後に密封するような操作を行わなかったので一部低温型に変ったからかも知れない。しかし600°C に加熱したものは殆んど輝沸石の回折線を示さない。これらの事実より輝沸石の存在が考えられる。

D-6 は強い 16Å線を示し，エチレングライコール処理で17.4Åに変化するのでモンモリロナイトの存在が考えられる。しかし D-5 では16Å線は明瞭には認められないし，エチレングライコール処理したものでも同様に認められない。また10Å線も認められなく，さらに7Å線は明瞭には認められないのみならず，沸石の8.04Å，6.92Å線等にさまたげられて，拡散した粉末線の存否も明瞭ではない。一方D-5 試料はそれにもかかわらず 4.46，2.53，1.68 (br)，1.50Å線等の (001) 以外の粉末線を示し，粘土鉱物の存在を示す。この場合は不規則混合層鉱物の存在が推定される。ほかにクリストバライトが存在すると推定される。

DTA 曲線は D-5，D-6 試料とも 130°C の吸熱ピーク，260°C の小吸熱ピーク，370°C の巾の広い吸熱ピーク，530°C の吸熱ピーク，570～700°C 亘る巾広い吸熱ピーク，780°C (D-6) および 850°C (D-5) の吸熱ピーク，900°～950°C の円味のある発熱ピーク等を

示す。この内130°C, 370°Cのピークは輝沸石と関係あると考えられ，260°Cのピークは東沸石の共存によるかも知れないが，確かなことは明らかでない。530°Cの吸熱ピークは結晶度の特に低いカオリン鉱物によると思われ，570°～700°Cの吸熱ピークはモンモリロナイトによると推定できる。D-5はX線回折ではモンモリロナイト，カオリン鉱物の明瞭な(001)線を与えないが，DTA曲線では両者の存在が推定されるのである。このような例は須藤[10]の酸性白土に関する研究でも示されているように，モンモリロナイトとカオリン鉱物の不規則混合層鉱物とも考えられる。ピペリヂン処理試料のDTA曲線はD-5は650°Cに，D-6は700°Cを中心にした発熱ピークを持っている。このことから両試料ともモンモリロナイトの存在が示される。このように考えればX線回折とDTA曲線の関係を説明でき，D-5は不規則混合層鉱物が主であり，D-6はモンモリロナイトの他に一部の混合層鉱物を含むと推定できる。なお780°Cおよび850°Cの比較的大きい吸熱ピークは，X線回折でも赤外線吸収スペクトルで方解石を認めないので，その原因を何に帰すべきか明らかでない。

化学分析結果によれば CaO の含量が多く CaO/Al_2O_3 は D-5，D-6 試料でそれぞれ 1.0，0.62 であり，Fe_2O_3 は概して少なく Fe_2O_3/Al_2O_3 がそれぞれ 0.12，0.14である。SiO_2/Al_2O_3 はそれぞれ 5.9，6.0 である。D-5 試料では輝沸石以外の鉱物成分やモンモリロナイトの交換性Caイオンを考慮しないならば，$CaO : Al_2O_3 : SiO_2 : (H_2O)^+$は1 : 1 : 5.7 : 3.2となり，輝沸石の $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 5H_2O$ と極端に離れているものではない。化学組成から考えても輝沸石の存在をある程度推定できる。

赤外線吸収スペクトル図ではD-5試料とD-6試料は殆んど同一の吸収位置を持ち，その値(cm^{-1})はそれぞれ次のようである。

3,600, 3,400, 1,630, 1,250～950, 910, 785, 690

1,250～950 cm^{-1} の吸収部の中に1,220, 1,120, 1,030 cm^{-1} にそれぞれ吸収を持っている。3,600, 3,400, 1,630cm^{-1} はOH基および吸着水によるものであり，1,250～950cm^{-1} はSi-O, O-Al-OHによるものである。この吸収の谷はSi-Oによる1,030cm^{-1}, O-Al-OHによる1,120cm^{-1}, を比較的明瞭に示す。他の吸収はカオリン鉱物等に一般に見られるものである。1,220 cm^{-1} の小さい吸収は何によるか明らかでない。赤外線吸収スペクトルではモンモリロナイト，カオリン鉱物の存在を否定することはできないし，また輝沸石の存否についても何等知ることができない。

電子顕微鏡写真ではD-5-a，D-5-bに示す視野が代表的であり，不定形塊状物の他に加水ハロイサイトに見られるような伸長状微小結晶があり，うすい無定形板状体も見られ，この板状体中には微細な伸長状体や羽毛状体がからまり合っている。不定形塊状体は上にのべた無定形板状体と伸長状体，時にははっきりパイプ状の伸長状体等の集合体である。また所々にハロイサイトと推定されるような比較的大きい中空棒状物も見られるが，両端がほころびたりしており結晶度は低い。ほかに著るしく細長い棒状結晶も少し見られる。この視野にはモンモリロナイトらしい外観を示すものは少なく，多くは結晶度の劣るハロイサイト系鉱物らしいものが見られ，両者の不規則混合層鉱物が存在するとした場合にどのような形をなすかは不明であり，形態だけからは論じることができない。また輝沸石の存在が知られているがこの写真中でそれを指摘することはできない。

D-6-a，D-6-bはD-6試料の代表的電顕視野である。写真はD-5試料の場合と殆んど同じである。ただD-5試料の場合よりゲル状を示すモンモリロナイトと推定される物質の量が多く伸長状結晶の量が少ない傾向が見られる。

以上の実験結果を綜合してD-5，D-6試料には輝沸石の存在を認めうるし，モンモリロナイトも存在し，D-5試料ではモンモリロナイトはカオリン鉱物と不規則混合層鉱物を造り，D-6試料にもこの種鉱物が一部存在すると推定することができる。

福島県沼平地辷り地の地辷り粘土を造る各場所の崩壊土中には共通してモンモリロナイトの存在が示され，モンモリロナイトは一部ノントロナイト化しているとともに，一部はカオリン鉱物と不規則混合層鉱物をなすと推定できる。カオリン鉱物は結晶度は著るしく低いものである。このほか輝沸石が明らかに認められるものが2カ所であり，残りの1カ所では存在が推定されるものと，この実験方法では認めえない程度の量がふくまれるものとがある。結局モンモリロナイトと輝沸石，低結晶性カオリン鉱物の存在は量的問題を除けば共通していると云うことができる。モンモリロナイト，低結晶性カオリン鉱物の存在は地辷り性土質を与えると云えるが，沸石の存在が土質にどのような影響を与えているかは不明である。この地辷りの場合も粘土の含有鉱物の間に相関性のあることが考えられる。

(v) E試料

E-1，E-2試料のX線回折実験によれば16Åの強い粉末線が見られ，エチレングライコール処理によって17.3Åに変位する。したがってモンモリロナイトの存在は明瞭である。この外に何れも石英の存在が明確に認められるとともに，長石類の存在も推定できる。カオリン鉱物はX線では見られない。

DTA曲線は何れも130°C, 220°C, 500～800°Cの巾の広い吸熱ピークと，有機物によると思はれる400°Cの発熱ピーク，900～1000°Cの発熱ピークを示す。モン

表—2　X 線 粉 末 線（Å）

A-1		A-2		A-3		B-1		B-2		C-1		C-2		D-1		D-2		D-3		D-4	
d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I
16.0	vs	16.0	s	14.5	vw	14.7	vs	14.5	s	14.7	w	14.0	vw	14.7	w	16.0	vw	16.3	s	16.3	s
7.3	w	7.6	w	7.6	wbr	7.25	vs	9.61	vs	10.16	vs	10.2	vs	10.4	w	10.0	vw	10.4	vw	9.1	vw
6.6	vw	7.2	w	4.90	w	5.79	vw	7.25	s	7.19	s	7.19	w	9.11	w	9.11	s	7.2	wbr	5.15	w
5.8	vw	5.0	w	4.50	s	4.90	w	4.79	s	5.01	m	6.90	vw	8.04	vw	8.04	m	5.9	vw	4.55	s
5.1	w	4.55	s	4.31	m	4.79	s	4.64	w	4.55	m	5.06	s	5.98	vw	6.06	w	5.12	vw	4.31	m
4.53	s	4.29	vw	3.98	w	4.64	w	4.53	w	3.67	w	4.51	m	4.53	m	5.60	vw	4.53	m	4.13	w
4.29	w	4.07	w	3.73	vw	4.15	vw	3.59	s	3.56	m	3.92	w	4.29	m	5.30	w	4.31	s	4.02	w
4.07	w	3.83	vw	3.60	vw	3.59	s	3.14	vs	3.34	vs	3.75	w	4.13	m	5.15	w	3.36	vs	3.75	w
3.56	w	3.56	w	3.36	vs	3.41	vw	3.06	m	3.24	w	3.53	m	4.00	w	4.69	w	3.73	w	3.36	vs
3.38	s	3.29	w	3.27	w	2.97	w	2.86	m	3.08	w	3.36	vs	3.80	w	4.53	s	3.11	w	3.13	w
3.24	w	3.07	m	3.05	vw	2.87	w	2.60	w	2.02	vw	3.22	w	3.36	s	4.31	m	2.58	mbr	3.09	w
3.00	vw	2.59	m	2.58	m	2.73	w	2.56	w	2.90	vw	3.05	w	3.25	vw	4.13	w	2.47	m	3.00	w
2.58	m	2.55	m	2.46	w	2.61	m	2.51	m	2.86	vw	3.00	m	3.00	m	4.00	s	2.29	m	2.85	vw
2.50	w	2.34	w	2.36	w	2.57	m	2.35	vw	2.67	vw	2.87	w	2.93	vw	3.91	w	2.25	w	2.57	m
2.46	w	1.71	w	2.29	w	2.46	m	2.29	w	2.59	m	2.79	w	2.81	vw	3.56	vw	2.14	w	2.47	m
1.82	w	1.51	m	2.24	w	2.40	w	2.23	vw	2.39	w	2.60	m	2.59	m	3.45	w	1.99	w	2.29	w
1.72	w	1.43	w	2.14	w	2.28	w	2.10	w	2.27	vw	2.57	m	2.51	w	3.36	m	1.82	m	2.13	w
1.67	wbr			2.00	w	2.01	m	2.01	w	2.21	vw	2.51	w	2.47	w	3.18	w	1.68	wbr	2.00	w
1.55	m			1.81	w	1.89	w	1.93	wbr	2.15	w	2.38	w	2.40	vw	3.06	w	1.55	m	1.82	m
1.51	m			1.67	wbr	1.87	vw	1.88	m	1.99	m	2.14	w	2.30	w	3.00	s	1.51	wbr	1.68	wbr
1.38	w			1.57	w	1.72	w	1.83	w	1.65	wbr	2.00	m	2.13	w	2.81	m	1.46	vw	1.54	w
				1.54	w	1.67	w	1.68	wbr	1.51	m	1.88	vw	1.95	vw	2.76	w	1.38	m	1.51	m
				1.51	m	1.59	w	1.54	w			1.73	vw	1.82	w	2.56	m			1.43	w
				1.49	m	1.55	m	1.53	w			1.67	w	1.80	vw	2.51	m			1.37	w
				1.42	w	1.52	w	1.51	vw			1.65	w	1.70	w	2.44	vw				
				1.38	w	1.40	w	1.40	m			1.53	vw	1.67	w	2.36	vw				
												1.51	w	1.63	w	2.31	vw				
														1.51	m						
												1.43	vw	1.46	w	1.83	vw				
												1.36	w	1.43	w	1.50	mbr				

表—2 の つづき

D-5		D-6		E-1		E-2		F-1		F-2		G-1		G-2		G-3		H		I-1	
d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I
16.0	vw	17.0	s	16.0	vs	16.0	s	16.0	vs	16.0	vvs	15.2	s	14.7	w	16.0	s	16.0	vs	16.0	s
9.12	m	9.12	s	6.1	vw	4.51	m	5.15	s	7.25	vw	10.1	vs	10.28	s	10.28	s	10.4	vw	10.4	wbr
8.0	w	8.04	w	5.1	w	4.31	s	4.53	s	5.18	sbr	7.25	s	7.25	s	7.25	m	7.4	wbr	7.25	s
6.8	w	6.90	vw	4.53	s	4.23	w	4.27	m	4.51	s	5.90	vw	6.10	w	5.07	s	5.1	w	6.2	vw
5.3	w	5.31	w	4.31	s	3.83	w	3.75	w	4.33	vw	5.07	s	5.07	s	4.77	vw	4.50	s	5.40	vw
5.2	w	4.70	w	3.74	w	3.75	w	3.37	s	3.98	vw	4.77	vw	4.77	w	4.53	m	4.31	w	5.07	w
4.67	w	4.58	s	3.36	vvs	3.42	w	3.23	m	3.59	w	4.55	m	4.53	m	4.29	vw	3.63	wbr	4.53	s
4.46	s	4.46	s	3.13	w	3.36	vvs	3.10	m	3.37	m	4.19	vw	4.31	m	3.90	w	3.36	m	4.25	w
4.39	w	4.35	vw	3.08	w	3.20	w	3.06	m	3.11	sbr	3.70	m	3.93	w	3.70	w	3.26	w	3.77	vw
4.11	s	4.11	s	2.57	mbr	2.93	s	3.02	w	2.59	m	3.59	m	3.74	w	3.60	m	3.21	vw	3.59	m
4.02	s	4.02	s	2.47	m	2.69	vw	2.92	vw	2.56	m	3.36	vs	3.59	m	3.36	vs	3.12	w	3.36	s
3.93	w	3.93	w	2.29	m	2.57	wbr	2.60	m	2.46	w	3.09	w	3.36	vs	3.24	vw	3.00	vw	3.22	vw
3.49	w	3.59	w	2.25	w	2.47	w	2.54	w	2.34	w	3.00	vw	3.05	m	3.06	m	2.59	m	3.06	w
3.37	m	3.45	w	2.14	w	2.43	vw	2.49	wbr	2.17	vw	2.88	w	2.86	w	3.02	vw	2.46	w	2.87	vw
3.24	w	3.24	vw	1.98	w	2.29	w	2.44	w	1.70	w	2.59	s	2.71	vw	2.88	w	2.31	w	2.58	s
3.19	w	3.19	w	1.82	s	2.25	vw	2.29	w	1.67	vw	2.50	vw	2.58	m	2.58	s	2.20	vw	2.41	w
3.11	w																				
3.00	m	3.15	vw	1.68	wbr	2.20	w	2.22	vw	1.51	m	2.40	w	2.47	m	2.49	vw	1.99	w	2.30	vw
2.85	vw	3.09	vw	1.64	vw	2.14	w	2.15	w			2.15	wbr	2.40	w	2.46	vw	1.82	w	2.00	w
2.81	w	3.00	m	1.55	m	2.03	w	2.10	vw			2.00	s	2.29	w	2.40	w	1.71	w	1.95	vw
2.75	w																				
2.57	m	2.82	w	1.50	w	1.99	w	1.82	w			1.66	mbr	2.22	vw	2.15	w	1.67	wbr	1.88	vw
2.53	m	2.75	vw	1.38	m	1.82	m	1.67	wbr			1.51	m	2.14	m	2.00	m	1.54	vw	1.82	vw
2.48	w	2.58	m																		
2.25	vw	2.53	m			1.81	w	1.61	vw			1.43	vw	2.00	m	1.97	vw	1.50	m	1.72	vw
2.14	vw	2.46	w			1.68	wbr	1.54	vw					1.92	vw	1.88	vw	1.46	vw	1.67	wbr
		2.43	w			1.55	m	1.51	m					1.83	m	1.66	mbr	1.43	vw	1.54	w
2.00	vw	2.31	w																		
1.93	vw																				
1.86	vw	2.13	vw			1.50	w	1.38	vw					1.67	mbr	1.51	m	1.37	vw	1.50	m
1.78	vw																				
1.75	vw	1.97	vw			1.46	w							1.62	w					1.46	vw
1.68	wbr	1.84	vw			1.38	m														
1.63	w													1.55	w					1.38	w
		1.75	w																		
1.50	wbr	1.50	mbr											1.51	w						
1.43	vw	1.44	w											1.37	w						

表—2 の つ づ き

I-2		I-3		I-4		J		K		L-1		L-2		M-1		M-2		M-3		R	
d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I
16.0	m	16.0	w	10.28	m	16.0	s	16.0	vs	15.0	vs	10.4	vs	15.2	vs	15.2	s	15.2	vs	15.0	vs
11.0	m	10.3	m	4.50	s	10.2	w	10.5	vw	10.0	w	7.20	s	10.4	vw	7.25	w	10.4	vw	10.6	vw
7.35	s	7.5	mbr	3.82	w	7.4	mbr	7.25	s	7.2	w	5.10	s	7.13	m	5.10	m	7.25	w	7.4	wbr
5.07	m	6.6	vw	3.70	wbr	6.3	vw	5.4	w	6.2	w	4.52	m	5.10	m	4.48	m	5.00	w	6.5	w
4.59	s	6.4	vw	3.3	mbr	5.1	w	5.2	w	4.48	s	4.04	vw	4.48	s	4.27	m	4.48	m	5.2	vw
4.33	w	5.1	vw	2.56	m	4.50	s	4.53	s	4.19	w	3.62	m	4.25	w	3.59	mbr	4.25	w	4.51	s
3.80	vw	4.50	s	2.53	vw	4.30	m	4.25	w	3.53	m	3.34	vs	3.56	w	3.35	vs	4.07	w	4.27	w
3.60	m	4.21	vw	2.43	vw	4.07	w	4.13	vw	3.36	w	3.06	w	3.36	s	3.23	vw	3.97	vw	4.07	w
3.37	s	4.09	w	2.30	w	3.56	vw	3.80	wbr	3.21	w	2.70	vw	3.22	w	2.99	vw	3.70	w	3.62	wbr
3.03	vw	3.90	w	1.67	wbr	3.36	vs	3.35	s	2.79	w	2.57	m	3.13	vw	2.88	vw	3.35	s	3.36	s
2.88	vw	3.70	vw	1.52	w	3.24	m	3.21	w	2.56	m	2.51	w	3.03	m	2.70	vw	3.16	vw	3.23	w
2.83	vw	3.60	wbr	1.50	vw	3.06	w	3.06	s	2.51	w	2.40	m	2.56	m	2.56	m	3.06	w	3.16	vw
2.59	s	3.37	m	1.48	w	2.90	vw	2.81	vw	2.44	vw	2.15	m	2.49	w	2.47	w	2.96	vw	2.97	vw
2.43	w	3.27	vw	1.45	vw	2.58	s	2.57	m	2.38	w	2.00	s	2.46	vw	2.37	vw	2.86	vw	2.85	vw
2.25	w	3.24	vw	1.43	w	2.46	w	2.54	m	2.31	vw	1.66	mbr	2.40	vw	2.13	w	2.57	m	2.57	m
2.15	vw	3.02	w			2.38	w	2.46	w	2.25	vw	1.52	m	2.29	w	1.99	w	2.47	w	2.53	w
2.01	w	2.92	w			2.29	w	2.29	w	2.20	w	1.51	m	2.09	w	1.82	w	2.38	w	2.48	w
1.99	w	2.71	w			2.01	vw	2.17	vw	2.13	vw			2.01	w	1.67	w	2.23	w	2.29	vw
1.73	vw	2.58	m			1.98	vw	2.02	w	1.90	w			1.92	w	1.54	w	2.14	vw	2.17	vw
1.71	vw	2.54	w			1.88	w	1.90	w	1.84	vw			1.87	w	1.50	m	2.03	vw	1.99	w
1.67	mbr	2.46	w			1.82	w	1.83	w	1.66	w			1.81	vw	1.37	w	1.82	w	1.82	vw
1.50	m	2.42	w			1.80	vw	1.81	w	1.51	m			1.67	wbr			1.66	w	1.71	w
		2.35	w			1.76	vw	1.70	w	1.49	m			1.51	w			1.65	w	1.69	w
		2.25	wbr			1.67	vw	1.65	w					1.50	m			1.62	vw	1.67	wbr
		2.13	w			1.54	w	1.62	vw					1.43	vw			1.54	vw	1.50	m
		1.68	wbr			1.50	w	1.55	vw									1.50	m	1.49	w
		1.49	m			1.38	w	1.496	m											1.48	w
								1.475	w											1.37	w

モリロナイトのDTA曲線の特性を示しているが，500～800°C のピークが著るしく広がっているのが特徴である。モンモリロナイト属鉱物の内でもバイデライトは吸熱ピークが600°C であり，ノントロナイトは 550°C，サポナイトは 800°C，モンモリロナイトは 700°C である。

ピペリヂン処理試料（E-1）のDTA曲線では550° C より発熱があり，その発熱ピークは750°C であり，未処理試料についてのDTA曲線の吸熱ピークに大体対応する。一方化学分析値（E-2）では Fe_2O_3 含量が少ないし，石英の存在量にもよるが Al_2O_3 含量も少ないので低温側の吸熱は説明しがたいのであるが，Al_2O_3/MgO は 1.0 であり，またX線で方解石が認めれないにかかわらず CaO が6.3%も含有され，CaO/MgO も約1であることが何等かの関係があると考えられる。今後の研究を要する問題である。

赤外線吸収スペクトル図では，E-2 試料について吸収の位置（cm^{-1}）は次のようである。

3,600, 3,400, 1,630, 1,450, 1,150～950, 910, 875, 795, 775, 725, 695

この内795, 775, 695cm^{-1} および 1,150～950cm^{-1} の吸収に見られる 1,090cm^{-1} は石英によるものであり，3,600 および 3,400cm^{-1} はOHにより，1,630cm^{-1} は吸着水により 1,150～950cm^{-1} は石英の存在のために吸収ピークの巾は大きくなっているが Si-O, O-Al-OH によるものである。しかし 1,450cm^{-1} の大きい吸収，875cm^{-1} および 725cm^{-1} の吸収は一般の粘土鉱物には見られない。この吸収は方解石の吸収位置に一致するのであるが，X線回折等では方解石を認めないのでこの実験結果からは説明ができない。今後の研究にまたねばならない。

電子顕微鏡写真によれば E-2 試料は E-2-a に示すようにゲル状物質よりなり，ゲル物質が集合している。また E-2-b に示すようにゲル状物質が薄膜状をしている場合も見られ，その周辺は膜の一辺がまかれ状態のものもあるし，棒状をしたゲル状物質およびそれらの集まりも見られる。モンモリロナイトと考えられる。この視野の電子回折結果は粉末線を与え。その網面間隔（Å）は次のようである。

4.35(m), 3.5(w), 3.2(w), 2.50(s,br), 2.30(m), 1.76(w), 1.61(w), 1.46(w), 1.26(w), 1.23(w)

3.5Å, 3.2Åは斑点として与えられ粘土鉱物以外の鉱物によるものであろう。

以上の実験結果を綜合すると E-1, E-2 試料は 殆んど同様な組成を持ち，粘土粒径の範囲内の石英の相当量とモンモリロナイトより成る。少量の長石類をふくむがカオリン鉱物等はふくまれない。モンモリロナイトはOHの脱出温度の範囲が著るしく広く，CaO含量も相当高いこと等も考慮してその種別を推定することができない。また赤外線吸収スペクトルを測定すると 1450cm^{-1} に大きい吸収を認める。これらの点は今後の研究にまつのであるが，モンモリロナイトの存在は明瞭である。

水沢地辷りはこのモンモリロナイトを含有する頁岩層に起こり，12mおよび19m のボーリング試料が何れもモンモリロナイト質であることは，この頁岩類が容易に粘土化しやすいことと関係があり，同時に地辷り運動およびその機構とも関係すると考えられる。

(vi) F 試料

F-1, F-2 試料のX線回折実験によれば，16Åの著るしく強い粉末線が見られ，エチレングライコール処理によって17Åに変位することが認められ，この際(002)をもともなっている。この粉末線を与えるものはモンモリロナイトであり，その結晶度はよい。この外に少量であるが石英と長石類に基くらしい粉末線が示される。F-2 試料には僅かであるがカオリン鉱物の（001）の粉末線が見られる。

DTA曲線は何れも 130°C, 220°C, 500～750°C のの巾の広い吸熱ピーク，850°C の吸熱ピークおよび 950°C の小さい発熱ピークを持つ。F-2 の 950°C の発熱ピークは高温側に偏し少量のカオリン鉱物の存在を推定させる。このDTA曲線はE試料の場合と同様にその温度範囲が著るしく広いことであり，特に F-2 の場合は一部 700°Cの吸熱部を持っている。ピペリヂン処理試料についてのDTA曲線は F-1 が 600°C に発熱ピークを，F-2 が 550～750°C に発熱ピークを持ち，何れもモンモリロナイトの存在を示す。F-1 の方が F-2 よりバイデライト形に近いと思われる。

化学分析結果（F-2）では $(H_2O)^-$ が著るしく多量であり，Fe_2O_3 の含量は少ない。SiO_2/Al_2O_3 は約4.6であるが SiO_2/Al_2O_3+MgO は約 3.0 であり Ca は交換性イオンとして存在するとして，モンモリロナイトと考えることも妥当である。

赤外線吸収スペクトル図では，F-2 試料について吸収の位置（cm^{-1}）は次のようになる。

3,600, 3,400, 1,625, 1,200～950, 910, 825

この内 3,600cm^{-1}, 3,400cm^{-1} は OH 基によるものであり，3,400cm^{-1} の方が 3,600cm^{-1} より吸収が大きく，1,625cm^{-1} の吸収も比較的大きく，1,200～950cm^{-1} の吸収ピークは巾も広いし，910cm^{-1} および 825cm^{-1} の吸収をもともない，モンモリロナイトの吸収曲線をすべて示している。

電子顕微鏡写真によれば F-2 試料は無定形のゲル状の塊状体を与える。伸長状の極めてうすい不規則板状体と羽毛状体もゲル状塊の周辺に見られる。モンモリロナイトであろう。電子回折結果は粉末線を与え網面間隔（Å）は次のようである。

4.48(s), 2.50(s), 2.24(w), 1.67(m,br), 1.48(m)

1.27(m), 1.23 (w)

以上の実験結果を綜合すると F-1，F-2 試料は殆んど同様な組成を持ち，モンモリロナイトが主成分であり，少量の石英および長石類を混じている。ごく僅かのカオリン鉱物が F-2 に見られる。モンモリロナイトは OHの脱出温度が広範囲に亘っており，Si と Al との置換がある巾で行はれていることを示す。

大綱地辷り地帯のボーリング試料では，少くも 8 mから25mに亘って地下に相当の厚さに達するモンモリロナイトを主成分とする粘土質物質が存在する。地辷り運動にこのモンモリロナイトが密接な関係があることが想定される。

(vii) G 試 料

G-1，G-2 はX線回折試験によれば，何れも 14Å 10Å，7 Åの粉末線を示す。10Åを示すものはエチレングライコール処理により変位せず，加水ハロイサイトによるものではない。300°C, 600°C, 800°C に加熱した場合でも (001) と共に (002)，(003)，(004)，(005) に基づく粉末線を示し，セリサイトの存在が知られる。(060) による反射は1.50Åに見られ，(002) による反射が強いことより Dioctahedral の Al 系雲母型のセリサイトと推定される。セリサイトの持つ他の粉末線をすべて示す。

14Åを示す鉱物はエチレングライコール処理により変位しないのでモンモリロナイトは存在しないものと考えられ，クロライトかバーミキュライトの存在が推定される。クロライトは (001) の外に (002)，(003)，(004) 等をともない，400～800°C に加熱すれば (001) が強く，(002) および (003) は弱くなるとされている。600°C に加熱した場合は (001) が顕著に明瞭化され，(002) は消失し (003) も微弱となる。したがって加熱試料についての回折結果で明らかなように14Å鉱物の一部はクロライトと推定できる。また HCl (1：1) で1時間加熱した場合はクロライトの (001)，(003)，は何れも消え，(002) は著るしく弱まる。このことからも14Å線はクロライトによると考えることができる。しかしこの実験結果からはクロライトをさらに細別することができないし，またバーミキュライトの存在を否定することもできない。

7 Åを示す鉱物はクロライトの共存の下では判別しがたいのであるが，クロライトの (001) 線の強度と比較すれば7 Å線は著るしく強度も高かいし，600°C に加熱した場合完全に消滅し，さらにHCl処理試料でも 7 Å線は弱くなるが残存ししかも600°C に加熱すれば消える。このことより，7Å線は一部はカオリン鉱物によると考えることができる。この外にG-2試料中には 2.71Å，2.24Å 1.92Å，1.62Åで示されるパイライトの存在が見られ，石英の存在も認められる。G-2 の方が G-1 よりセリサイトの含量が多い。

X線回折の結果では G-1，2試料ともセリサイトが主であり，一部のカオリナイトとクロライトが共存し，粘土鉱物以外のものとして G-2 に石英およびパイライトが認められる。

G-3 試料は G-1，G-2 試料と大部分同じであるが，エチレンブライコール処理試料が17.4Åの粉末線を示す点が異なり，モンモリロナイトの存在が認められる。また HCl 処理試料およびその 600°C 加熱試料についての回折結果からもクロライトとカオリンの共存を知る。

DTA曲線では G-1 は代表的なセリサイトの DTA 曲線を示し，カオリン鉱物およびクロライトはその含有量が少ないためかその存否は明瞭でない。G-2 の DTA曲線は100～200°C の吸熱ピークが大きいこと，350°C での有機物によると思われる発熱ピーク，パイライトによる500°C の発熱ピークが見られること，650°C の不明な発熱ピークが見られること等を除いて，G-1 試料の DTA 曲線と大体同じである。G-3 の DTA 曲線は 600°C, 700°C, 850°C および微少な 220°C の吸熱ピークが見られ，900°C に発熱ピークがある。DTA 曲線からはモンモリロナイトの存在が推定され，セリサイトの存在も推定される。しかしカオリン鉱物の存否は明らかでない。

ピペリゲン処理試料の DTA 曲線では，G-3 は 700°C に顕著な発熱ピークが存在し，モンモリロナイトの存在を示し，G-2 では 500°C に一部の発熱ピークを示すが 700°C のピークを示さず。モンモリロナイトが存在しないことを示す。G-1 も G-2 と同様にモンモリロナイトの存在を示さない。

化学分析，電子顕微鏡観察，および赤外線スペクトルは G-2 試料について実験した。分析結果ではで $(H_2O)^-$ は 2.1 %吸着水は少量で，K_2Oが 6.9%に達し，$(H_2O)^+$ は 6.7 %である。SiO_2/Al_2O_3 および SiO_2/R_2O_3 はそれぞれ3.46および3.12であり，セリサイトを主成分とすればやや大きすぎるが，X線回折で石英の存在が明瞭であることを考慮する必要がある。MgO は 2.5%であるがクロライトに関係していると考えられる。分析結果からもセリサイトが主要成分であることが肯定される。

電子顕微鏡による観察では分散が十分でないが，G-2 試料では結晶度の良好な多くの板状結晶および一部の伸長状板状結晶と少量の薄い不規則板状結晶および棒状ないしは繊維状体の集合体が見られる。結晶度の良好なものはセリサイトと推定できるがその他については明らかでない。薄い不規則板状晶の電子回折結果より粉末線を求めると網面間隔（Å）として次の値をうる。

4.46(s), 2.60(s), 2.25(m), 1.72(m), 1.68 (w), 1.51(m), 1.31 (m), 1.26(m), 1.13(m), 1.05(w)

またG-3試料では分散不十分のための集塊状が見られる外にゲル状物質および不規則の形をした伸長状の極めて薄い板状体が見られる。不規則六角板状体も見られる。ゲル状体は恐らくモンモリロナイトであり，不規則六角板状体はセリサイトと推定される。極めてうすい板状体はモンモリロナイト系鉱物とも考えられるが明確にしえない。電子回折では次の網面間隙（Å）を与える。

4.35(m), 2.74(s), 2.47(s), 2.12(m), 1.90(w), 1.52(m), 1.45(w), 1.27(w), 1.22(w)

この結果よりセリサイトとは考えられず，むしろ結晶度の良好でないカオリナイトと考えられる。

赤外線吸収スペクトル図では吸収位置（cm^{-1}）は次のようである。

3,620, 3,420, 1,650(br), 1,430(br), 950~1,150, 910, 825, 795, 775, 745, 690

3,620cm^{-1} はOHにより，この吸収は大きいが水素結合を示す3,420cm^{-1} は小さい。1,650cm^{-1} は吸着水であり，950~1,150cm^{-1} は粘土鉱物に共通であり，910cm^{-1} もO-Al-OHによるので粘土鉱物に一般に見られる。795cm^{-1}，775cm^{-1} および690cm^{-1} は石英によるものであり，石英の存在は1,100cm^{-1} 前後の吸収を大きくしている。1,430cm^{-1} の吸収は何によるか明らかでないが，イライトには1,430cm^{-1} に弱い吸収が見られるとされているので，この吸収はセリサイト—イライト系によると推定される。745cm^{-1} の吸収は明らかでない。赤外線吸収スペクトルでは，モンモリロナイト，カオリナイト等を明確に識別しがたいのであり，この場合セリサイトが存在すると考えてもよく，またカオリン鉱物の共存を否定する資料も与えていない。

以上の実験結果を綜合すればG-1，G-2試料にはセリサイトを主とし一部のカオリン鉱物とクロライトの存在が見られ，G-3試料には上記のほかモンモリロナイトの存在が見られる。

石川県甚之助地辷り地の試料粘土3種の内右岸側の2試料は位置が相当離れているが何れも同じで，モンモリロナイトは殆んど存在しないと考えられる。一方左岸側のものにはモンモリロナイトが存在する。モンモリロナイトの含有される粘土の方が地辷り運動とより密接な関係があると考えられるが，今後多くのボーリング試料等について研究を進めれば，地辷り機構が未だ解明されていないこの地区地辷りと粘土鉱物の関連性が知られるものと期待される。

(viii) H試料

H試料のX線回折実験によれば，強い16Å線，弱い拡散した7.4Å線および微弱な10Å線が認められる。16Å線はエチレングライコール処理で確実に17.3Åに移るのでモンモリロナイトの存在を示す。10Å線は(002),(003),(005)等をともなうので少量のセリサイト等の存在を推定させる。7.4Å線はハロイサイトによるものである。他に長石類と少量の石英の存在が考えられる。

DTA曲線は100°C~300°C間に巾の広い吸熱ピークがあり，その中心は240°Cである。また580°Cの吸熱ピーク700°Cに小さい吸熱ピークを，860°Cの吸熱ピークと920°Cの発熱ピークを持つ。580°Cの吸熱は結晶性の低いハロイサイトの吸熱ピークとしては高温側に偏するし，920°Cの発熱ピークに比してその面積も大きすぎる傾向があるので，ハロサイトの吸熱ピークにともないモンモリロナイトの吸熱反応が起ると考えねばならない。モンモリロナイトはAl_2O_3の多い種で600°C位より分解が始まると推定できる。860°Cの吸熱はモンモリロナイトにより，920°Cの発熱はモンモリロナイトとハロイサイトによるものである。なおイライト等の存否はDTA曲線では明らかでない。ピペリヂン処理試料のDTA曲線は620°Cに大きい発熱ピークを持ち，モンモリロナイトの存在を示す。

化学分析結果によれば$(H_2O)^-$がやや少ないがSiO_2/Al_2O_3，SiO_2/R_2O_3がそれぞれ3.06，2.64でありAl_2O_3，Fe_2O_3の多いモンモリロナイトであると推定される。

赤外線吸収スペクトル図では吸収位置（cm^{-1}）は次のようである。

3,600, 3,400, 1,625, 1,400, 1,150~950, 910, 790, 775, 745, 690

この吸収はハロイサイト，モンモリロナイトの共存を考えるには妥当であり，一部の石英の存在も知られる。なお1,400cm^{-1} の弱い吸収はイライトによるのかも知れないが，明確な説明はできない。

電子顕微鏡写真によれば不定形のゲル状塊状体が主として見られ，ゲル状体は羽毛状または伸長性の極めてうすい板状を示すものを持っている。塊状を示さない極めてうすいゲル状を示すものでも伸長性の不定形の板状体が同一方向に並んだものが多い。ハロイサイトと思はれる不完全な管状体がゲル状塊の所々に見られる。ゲル状体はモンモリロナイトであろうし，むしろバイデライト的な形を持つと云える。カオリン鉱物の存否は電顕写真では明らかでないがハロイサイトらしい管状体がゲル状塊の中から突出しているので一部の存在は推定しうる。

視野の電子回折結果は完全な粉末線を与え，網面間隙（Å）は次のようである。

4.35 (s,br), 2.50 (s,br), 2.20 (w), 1.67 (w), 1.47 (m), 1.27 (w), 1.22 (w)

以上の実験結果を綜合するとこの試料にはAl_2O_3，Fe_2O_3に富むモンモリロナイトが主要成分として存在し，この外に結晶度の割合に低いハロイサイトも存在し，さらに副成分として石英と長石類が存在する。イライト系鉱物については明らかでない。

地辷りの辷り面を構成する粘土が主としてモンモリロ

ナイトであることは，地辷り運動機構に粘土鉱物としてモンモリロナイトが関与していると考えられる。

(ix) I 試料

1-1，I-2 試料のX線回折実験によれば，16Å，10Å，7Åの粉末線が認められる。エチレングライコール処理により，16Å線は大部分17.4Åに変化するが一部が14.0Åとして残るし，10Å線はそのまま残る。600°Cに加熱すれば7Å線は消滅し，14Å線が残り，16Å線が消失して10Å線が強くなる。また700°C，800°Cに加熱しても10Å線は残り，(002) および (003)をともなう。したがって16Å線はモンモリロナイトに，14Å線はバーミキュライトかクロライトに，10Å線はセリサイトまたはイライトに，7Å線はカオリン鉱物に基づくと考えられる。14Å線は (003) をともなわないが加熱した場合に14Å線は明瞭となることより，バーミキュライトよりむしろ鉄の多いクロライトらしく思はれる。10Å線はセリサイトまたはイライトによるのであるが (005) が余り強い線ではないし，(003) は石英の最強線と重複しているので明らかでない点もあるが，(002) は800°C 加熱試料でも認められる等を考えれば，むしろセリサイトに近いと思われる。外に石英の存在が明らかであり，長石類の存在も推定できる。X線回折の結果ではモンモリロナイトとカオリン鉱物およびイライト等が主要成分でありクロライトまたはバーミキュライト，石英，長石類が副成分と考えられる。

DTA 曲線は130°C の吸熱ピーク，220°C の小さい吸熱ピーク，590°C の吸熱ピーク，900°C の小吸熱ピーク，970°C の円味のある発熱ピークを示す。590°C のピークは普通のカオリナイトよりやや高温側にありまた巾が広く，500°C より吸熱が始まり，650°C より高い温度範囲にも吸熱が見られ，特に1－2では600°C より高温側でピークの傾斜がゆるやかである。さらに細かく見れば，550°C に変曲点を持っている。DTA 曲線はモンモリロナイト，カオリン鉱物およびイライトの混合物の存在を示すものと考えてよい。またピペリヂン処理した試料についての DTA 曲線は何れも650°C に大きい発熱ピークを持つので，モンモリロナイトの存在を知る。

化学分析は I-1 試料について行ったが，K_2O が5.7%に達しセリサイト等の存在を示し，MgOが2.6%含有されることはモンモリロナイトの存在と関係し，$(H_2O)^-$ が7%で比較的多いこともモンモリロナイトに関係がある。SiO_2/Al_2O_3 が3.2であり石英等の少量を考えてもセリサイト，モンモリロナイトの存在を考えることに無理はない。

電子顕微鏡写真は I-1 試料について求めた。写真によると集塊状のゲル状物質を主に認め，この塊状体中には方向性を持った羽毛状物質が配列している場合も見られる。一部の伸長状のうすい不規則の板状体も見られる。セリサイト，カオリナイト，ハロイサイト等と明瞭に判別されるような形態のものは認められがたい。ゲル状体はモンモリロナイトであろう。電子回折結果は拡散した粉末線を与え，網面間隙は次のようどある。

4.35 (s,br), 3.08 (w), 2.45 (s,br), 2.18 (w), 1.64(w), 1.46(m), 1.24(w), 1.21(w)

赤外線吸収スペクトル図では I—1 の吸収位置(cm^{-1})は次のようである。

3,620, 3,400, 1,625, 1,425, 1,150～950, 910, 795, 745, 680

この吸収位置の内3,620cm^{-1} は OHにより，3,400cm^{-1} は水素結合を持つ OH により，1,625cm^{-1} は吸着水によるものであり，1,150～950cm^{-1} はカオリン鉱物，モンモリロナイト等に共通して見られ，910cm^{-1} はカオリン鉱物に特に強く見られモンモリロナイトでは弱い吸収である。795，745，680cm^{-1} はハロサイトに一般に見られる吸収である。この外1,425cm^{-1} に明瞭な吸収が存在するが，イライトに見られる吸収と一致するのでイライトまたはセリサイトの存在に関係するものと考えられる。なお I-1 の吸収と I-3 の吸収を比較すれば，I-3 の方がカオリン性が大きいと云うことができる。

以上の実験結果から I-1，2 試料は主としてモンモリロナイト，カオリン鉱物，セリサイトの外に少量の恐らくクロライトを含むと考えてよい。粘土鉱物の他の成分としては石英の少量の存在の外に長石類が推定される。

I-3 試料のX線回折実験によれば，弱い 16Å線，割合大きい10Å線および拡散した7.5Å線が認められる。回折線の数は一般に少なく，拡散している。エチレングライコール処理試料では17.4Å線がはっきり認められるので一部のモンモリロナイトの存在が知られ，クロライト等は見られない。同様な処理によって10Å線は10～10.8Åの拡散した線となる。300°C に加熱すれば10Å線は消え7.5Åの拡散した線は7.35Åとなる。さらに600°C に加熱すれば明瞭な底面反射は消える。また (06) による回折線は1.49Åである。これらのことより10Å線は加水ハロサイトに，7.5Å線はハロサイトに，16Å線はモンモリロナイトによると云える。しかも結晶度は余り良好でない。外に長石類の少量が推定される。

I-4 試料の場合は14Å線が見られなく，エチレングライコール処理の場合も明瞭ではない。10.3Å線は同様の処理で 10.8Åとなり，未処理の場合に明瞭でない7Å線が7～9Åに亘る著るしく拡散した線となる。これらの線は600°C に加熱すると消える。回折線の数も少なく一般に拡散している。I-4 は I-3 より結晶度が良好でなく，加水ハロイサイトと共に，ハロイサイトと加水ハロイサイトの混合層鉱物の存在が推定され，モンモリロナイトの存在は確認できないが (06) 線が1.51Å

と1.48Åとになる。

DTA曲線はI-3試料では130°C, 220°C, 600°Cの吸熱ピークと960°Cの発熱ピークが存在する。600°Cピークは非対称性でありハロイサイトの特性を示すが，ピーク温度が600°Cでやや高温側にかたよっている。Alの多いモンモリロナイトの一部が共存するとすれば説明が可能であるし，650~750°Cにわたって僅かの吸熱が認められ，220°Cの吸熱とも合せてモンモリロナイトの存在も十分示されている。ピペリジン処理試料のDTA曲線で630°Cに発熱ピークが見られることもモンモリロナイトの存在を示すものである。

I-4試料では570°Cの吸熱ピークの形状がハロイサイトのものと相当異なっている。X線回折の結果では結晶度の不良の加水ハロイサイト等と考えたが，それにしては940°Cの発熱ピークの温度がやや高すぎ，570°Cのピークも高すぎる。この吸熱部には530°Cを境とした2つの物質による吸熱反応を考えねばならない。一方ピペリヂン処理試料のDTA曲線では600°Cから始まる650°Cの発熱ピークが見られるのでモンモリロナイトの存在が推定される。Alの多いバイデライト様なモンモリロナイトが存在すると考えれば，I-4のDTA曲線は説明できる。しかしX線回折の結果ではモンモリロナイトが示されていないのであるが，例えば須藤が我国酸性白土で認めているようにモンモリロナイトとハロイサイトの不規則混合層鉱物を考えればX線回折結果とDTA曲線を一応解釈することができる。化学分析結果（I-3）によれば$(H_2O)^-$, $(H_2O)^+$ともに10%を超し，SiO_2/Al_2O_3またはSiO_2/R_2O_3が2.4または1.9でありカオリン鉱物に近かく，加水ハロイサイトの存在を思はしめる。Fe_2O_3の含量が9.35%に達するがその存在状態は，X線およびDTAではゲータイトが推定され難いので，その多くはモンモリロナイトまたは少量存在するクロライトの構成成分であろう。K_2Oが0.76%存在するが長石類の成分となっているであろう。

電子顕微鏡写真はI-3試料について求めた。不規則な板状または短冊形をした極めてうすい結晶の外に結晶度の低いハロイサイトらしい結晶が見られる。不規則な塊状体も伸長状を示す傾向が見られ，明瞭な輪郭を示す部分もあり，ハロイサイトらしい短冊状体が突出している場合も見られる。外にゲル状物質も認められる。結晶度の低いハロイサイトまたは加水ハロイサイトにしばしば見られると同様な視野のものが多い。集塊状体の電子回折はハローに近かい回折図を与え，その網面間隙(Å)は次のようである。

4.5, 2.55, 2.45, 1.97, 1.64, 1.50, 1.27, 1.23

赤外線吸収スペクトル図でI-3の吸収位置(cm^{-1})は次のようである。

3,600, 3,400, 1,625, 1,150~950, 910, 795, 745, 680

この吸収位置の内3,600cm^{-1}はOHにより，3,400cm^{-1}は水素結合を持つOHにより，1,625cm^{-1}は吸着水によるものであり，1,150~950cm^{-1}はカオリナイト，モンモリロナイト等に共通して見られ，910cm^{-1}はカオリン鉱物等に特に強く見られる。795, 745, 680cm^{-1}はハロイサイトに一般に見られる吸収である。赤外線吸収スペクトル図よりはハロイサイト，モンモリロナイトの存在は肯定される。

以上の実験結果からI-3，4試料にはハロイサイト，加水ハロイサイトまたはそれらの不規則混合層鉱物を主として認め，同時に一部のモンモリロナイトを単独またはI-4におけるようにハロイサイトとの不規則混合層として存在することを推定させる。外に僅少量の長石類が推定できる。

人形石山地辷りの辷り面をなす頁岩は風化してモンモリロナイト，カオリン鉱物，セリサイトを含む粘土を造り，一方地辷り粘土を生成しやすい風化玄武岩はハロイサイトまたは加水ハロイサイトの結晶度の低い鉱物のほかにモンモリロナイトを単独または不規則混合層鉱物として含有し，風化の進行したものほど不規則混合層が多く，結晶度が低下している傾向を示す。またこのことは同じ風化条件の下でも母材の差により粘土生成状況が異なることを示す。

この地辷りのように頁岩上を玄武岩が滑動する場合に，両者の何れもがモンモリロナイトや結晶度の低い鉱物を含有すれば，地辷り粘土は生成されやすく，著るしく含水量も多く地辷り運動に密接に関係する土質を生成すると云える。

（x）J試料

J試料のX線回折実験によれば，相当拡散した16Å線，弱い10Å線および7~8Åの著るしく拡散した粉末線を与える。エチレングライコール処理試料については16Å線は17·4Å線に変位し，10Å線は変位しない。7~8Å線は10Åの位置までひきつづき拡散した回折線を与える。したがってモンモリロナイトの存在が認められ，結晶度の低いハロイサイトも存在するが，ハロイサイトは加水ハロイサイトと不規則混合層鉱物を造っているとも考えられる。ハロイサイトの(002)に相当する粉末線は弱い線であり，石英の粉末線を除けばモンモリロナイトとハロイサイトの粉末線となり，何れも明瞭な線を与えない。10Å線が加水ハロイサイトによるか，イライトによるかは明らかでない。石英の外にクリストバライトおよび長石類の存在が推定され，また明瞭に認められる。1.88Å線が何によるかは明らかでない。

DTA曲線は150°Cの吸熱ピーク，220°Cの吸熱ピーク，550°Cの小吸熱ピーク，700°Cの大きい吸熱ピーク，860°Cの吸熱ピーク，930°Cの発熱ピーク，370°Cの発

熱ピークを与える。370°C の巾広い発熱ピークは有機物の混入によるものであり，550°C の吸熱ピークはハロイサイトによるものであり，この両者を除けば代表的なモンモリロナイトの DTA 曲線となる。550°C の吸熱ピークの形よりハロサイトの結晶度は低いことと，その割合はモンモリロナイトに比して相当少ないことが知れる。ピペリヂン処理試料についての DTA 曲線は実験に用いた量が一般の場合の半分であるが，600°C に顕著な発熱ピークを示している。このことよりもモンモリロナイトの存在を知ることができる。

化学分析結果では SiO_2/Al_2O_3 および SiO_2/R_2O_3 は 4.14 および 3.34 でやや高いが，石英の存在も考慮せねばならない。Fe_2O_3 はゲータイト等としてはX線でも DTA でも判別しがたいが，その含量は約7％であるので一部は Al と置換したモンモリロナイトを造っていると考える。CaO の含量は交換性イオンとしてはやや高すぎる。分析結果はモンモリロナイトが主要成分であることを肯定する。

赤外線吸収スペクトル図では，吸収の位置（cm^{-1}）は次のようである。

3,600, 3,400, 1,625, 1,475, 1,415, 1,150～950, 910, 795, 778, 750, 695

この内 3,600cm^{-1} は OH により，3,400cm^{-1} は水素結合をともなう OH により，1,625cm^{-1} は吸着水により，1,150～950cm^{-1} はカオリナイトおよびモンモリロナイト等に共通であり，910cm^{-1} も同様に共通である。795, 778, 695cm^{-1} は石英により，1,150～950cm^{-1} の吸収の巾が広いことにも石英の存在は関係がある。3,600cm^{-1} より 3,400cm^{-1} の吸収が大きいこと，1,625cm^{-1} の吸収が大きいこともモンモリロナイトとハロイサイトの存在を肯定する。なお 1,475cm^{-1} の大きい吸収とそれに引きつづく 1,415cm^{-1} の吸収はその原因が何であるか明らかにしえない。

電子顕微鏡写真によれば，モンモリロナイトと考えられるゲル状物質が主で，その多くは極めて薄いやや六角形の板状晶である。それらの団粒したものの中にはハロイサイトらしい棒状晶が見られる。この視野の電子回折結果では粉末線を与え，その網面間隙（Å）は次のようである。

4.60(s), 4.07 (w, スポット), 2.50 (s, 二重線で班点の密集部がある), 2.23 (w), 1.67 (w), 1.48 (m, 班点の密集部がある), 1.30 (w), 1.26 (w)

この結果より結晶度も低くいことが推定される。4.07Å はクリストバライトによるものであろう。

以上の実験結果を綜合すると本試料はモンモリロナイトを主要成分とし，結晶度の低いハロイサイトを副成分とし，石英と一部のクリストバライトおよび長石類を含有することを知る。このハロイサイトは明瞭な (001) を与えず，著るしく拡散した粉末線を与えることを特徴としている。

地こり面粘土である本試料がモンモリロナイトより主としてなることは，地こりと土質との関連性があることを示すものである。モンモリロナイトの外の成分である結晶度の低いハロイサイトの存在も土質と関係すると考えてよい。

(xi) K 試料

K試料のX線回折実験によれば，強い16Å線，余り強度の大きくない7.2Å線と著るしく弱い10Å線が認められる。16Å線はエチレングライコール処理で確実に17.3Å線に移るのでモンモリロナイトの存在が認められる。

7.2Å線はクロライト等による14Å線を認めないので，カオリン鉱物によるものであるが，ハロイサイかカオリナイトかは識別できない。(002) 線はそれ程明瞭でないし，結晶度は低いものである。10Å線は加水ハロイサイトかイライトによるものと思はれるが，何れか決定できない，しかしその存在量はモンモリロナイトの量に比すれば相当に少ない。外に少量の石英と長石類が推定される。DTA 曲線は140°C の吸熱ピーク，220°C の小吸熱ピーク，360°C の有機物によると考えられる発熱ピーク，それに引きつづく 500～600°C に亘る巾の広い吸熱ピーク，700°C の吸熱ピーク，800°C の吸熱ピーク，850°C の小吸熱ピークおよび 950°C の発熱ピークを持つ。800°C の吸熱ピークは何によるか明らかでないが，クロライトおよび方解石等がX線で認められないので別の原因を考えねばならない。もし粘土を分離する過程で $(CH_3COO)_2Ca$ がアルコールで十分洗滌除去されないと，350°C の発熱ピークと 800°C の吸熱ピークをともなうので，このような原因とも考えられる。しかしこの点は明らかにしていない。500～600°C の吸熱は結晶度の低いカオリン鉱物によると推定される。

化学分析結果によれば $(H_2O)^-$ がやや少なく，Fe_2O_3 がやや多いが SiO_2/Al_2O_3，SiO_2/R_2O_3 は 3.74 および 3.08 でありモンモリロナイトとカオリン鉱物の共存を考えてもよい。CaO が 3.63 ％でやや多いが一部は交換性 Ca^{++} であり，一部は DTA 曲線でもふれた $Ca(CH_3COO)_2$ に帰させることもできる。この場合 CaO の約2倍の $(H_2O)^+$ が $Ca(CH_3COO)_2$ によるものであるから $(H_2O)^+$ がやや多い傾向とも一応一致する。

電子顕微鏡写真によれば，ゲル状物質が多く認められこれら物質は著るしくうすい無定形板状よりなる部分が多いし，一部はそれよりやや厚い不規則板状晶を示している。団粒している部分もあるが周辺はゲル状物質よりなり，分散の十分でないことを示している。ほかにうすいノントロナイト等に見られる短冊状の結晶，ハロイサイトらしい棒状結晶，石英等かも知れない電子線を通しがたい不規則な形の塊状結晶がある。うすい無定形板状晶

はモンモリロナイトと考えられ，やや厚い不規則板状晶は結晶性の低いカオリン鉱物またはイライト等と想像される。不規則板状晶の回折結果ではNパターンを与え，その網面間隙（Å）は次のようである。

4.6(vs), 2.55(s), 2.25(w), 1.67(m), 1.47(s), 1.30(w), 1.27(w),

以上の実験結果を綜合すれば，本試料は主としてモンモリロナイトよりなり，結晶度の低いカオリン鉱物も見られ，イライトの存否は明らかでないしもし存在しても少量であろうことが知られる。少量の石英も知られる。

地辷り面粘土である本試料がモンモリロナイトより主としてなることは，地辷り土質との関連性があることを示すものである。

(xii) L 試料

L-1 試料のX線回折実験によれば15Åに強い粉末線が見られ，エチレングライコール処理によって17Åに変位する。したがってモンモリロナイトの存在は明瞭である。カオリン鉱物も少量存在するし，10Å線も僅かに見られるが加水ハロイサイトかイライトか判別できない。外に長石類および石英の存在も推定される。なおここで注意すべきことは 6.24Å，2.79Å線の存在である。この鉱物はいずれ別の機会に報告するが，強い上記の回折線の外に 3.90, 3.35(?), 3.10, 2.26, 2.13, 2.03, 1.90, 1.85Å線をともない，時に我国路床土中に見られ，その DTA 曲線の特異なことと共に識別は容易であるが，この鉱物種は現在明らかにしていない。6.23Å線はレピドクロサイトに一致するが，他の回折線は一致しないのでレピドクロサイトと同定することはできない。

DTA 曲線は上記の未知鉱物の影響をうけ複雑であるが，モンモリロナイトの存在は肯定される。なお上記未知鉱物の DTA 曲線は 130°C，200°C，230°C，400°C 800°C に吸熱ピークを持つ外に450°C に鋭い発熱ピークを持つ。この試料の DTA 曲線でも 450°C に発熱を示し 550°C のカオリナイトによる吸熱について600~750°C に巾の広いモンモリロナイトによる吸熱が見られる。100~300°C の吸熱曲線の変曲状況は モンモリロナイトによる吸着水，交換性イオンである Ca^{++} イオンの脱水，および上記の同定不可能な鉱物の吸熱を考慮すれば説明ができる。

L-2 試料のX線回折実験によればセリサイトとカオリン鉱物の存在が知られる。実験は定方位試料について行ったので (001) 線のみが特に強く示されており，この結果からだけではカオリン鉱物の分別はできない。モンモリロナイトの (001) 線は見られない。DTA 曲線は 130°C に吸熱ピーク，600°C に広いが浅い吸熱ピークを持つが，900°C 以上で発熱が殆んど見られない。DTA 曲線からはカオリン鉱物の存在量は少ないと推定できるし，モンモリロナイトの存在は確認できない。なお 130°C の吸熱ピークはセリサイトに帰せしめることは不可能であり，モンモリロナイトが存在しないとすればハロイサイトまたはゲル状物質によると考えねばならない。

これらの試料についての実験は完了していないので，実験資料を集めて検討すべきであるが，X線回折および DTA 曲線のみからでも L-1 試料はモンモリロナイトを主要鉱物として少量のカオリン鉱物その他特殊な鉱物を含有し，L-2 試料はセリサイトを主要鉱物としカオリン鉱物も含有することは考えてよい。しかし L-2 にモンモリロナイトが存在するか否かを今後明確にする必要がある。

L-2 試料は凝灰岩の表層が風化粘土化し，地すべり面となるとされるが，すべり面粘土と推定されるものがセリサイトよりなる例である。このような例はC試料およびG試料にも見られたがモンモリロナイトに変化して行く過程かも知れないし，母岩である凝灰岩内の坑道内湧出水の水質が別に報告するように特異なものであり，この地区にはまた鉱泉も見られる等は粘土の生成に関係があるのかも知れない。

L-1 試料は火山噴出物が旧地辷りで堆積したものであり，水田として利用されているが田植時腰まで没入することと関連して考えてもモンモリロナイトの存在は明白であり，地すべり運動と関連のあったことおよび今後も関連を持つことが十分想定される。

(xiii) M 試料

M-1～3 試料のX線回折実験の結果は殆んど同じであり，いづれも15Åに強い粉末線を認め，エチレングライコール処理で17Åに変位する。したがってモンモリロナイトの存在は明瞭である。カオリン鉱物も少量存在するがその結晶度は良好でない。他に10Å線が僅かに見られるが，イライトか否かは明らかでない。石英が少量存在するが M-2 に多い。長石類の存在も推定される。なお M-1 試料には少量の方解石が存在し，M-3 試料にはクリストバライトが検出される。

DTA 曲線は各試料とも150°C の大きい吸熱ピーク，220°C の Ca^{++} イオンの脱水による吸熱ピーク，500~650°C の巾の広く浅い OH の脱出による吸熱，650~750°C の拡散した吸熱，920°C の吸熱ピークと 950~980°C の発熱曲線を持つ。500~650°C の吸熱はカオリン鉱物にもよるが，一部はそれに引きつづく700°C を中心とする拡散した吸熱と共にモンモリロナイトにもよるものと考えられる。900~1,000°C の曲線の形状が異なるのは化学組成によるものであろう。なお M-1 試料の 800°C の吸熱は微粒方解石によるものである。モンモリロナイトは元素間の置換の割合がそれぞれ試料によって異なるものであり，バイデライトまたはノントロナイト等に近いものも推定できるが，この点は今後の検討を要

すると考える。

この地すべり地域内のすべり面粘土と考えられるもの3個について実験した所，何れもモンモリロナイトと少量のカオリン鉱物の存在を認め，多少の化学組成の相異する鉱物種はあろうが，大体同じ鉱物組成を示すと考えられる。一部の試料に方解石が見られることも既報の茶臼山の場合と同じである。第三紀層地域に見られる地辷りでは，モンモリロナイトの存在が地辷り機構に関係があることは十分考えられることであり，この場合も粘土鉱物組成の持つ意義を考える必要が認められる。

(xiv) R 試 料

R試料のX線回折実験によれば15Åに強い回折線が見られ，エチレングライコール処理により17Åに変位する。モンモリロナイトの存在は明瞭である。ほかに7Åおよび10Åの回折線が見られる。7Å線は拡散しており，10Å線は僅かに認めうる程度である。7Å線は結晶度の低いカオリン鉱物によると考えられるが，10Å線はイライトによるか否かは判別しがたい。ほかに石英が認められる以外に少量のクリストバライトおよび長石類の存在が推定される。

DTA 曲線は 150°C, 220°C, 590°C, 750°C, 920°C に吸熱ピークを，970°C に発熱ピークを持ち，モンモリロナイトとカオリン鉱物の共存が知られる。600°C の吸熱は結晶度の低いカオリン鉱物としてはやや高温側に偏っている。

この地辷りでもすべり面粘土がモンモリロナイトを主要構成鉱物とすることは，地辷り機構とモンモリロナイトの性質の間に相関性のあることを示すものである。

〔4〕 考 察

既報において第三紀層に起る代表的な地すべりである長野県茶臼山地すべり地帯の土および岩石の地表上およびボーリング試料について，コロイド部分を分離して粘土鉱物を検索し，また原土等についても定性的な推定を試みた。その結果モンモリロナイトとハロイサイトが共存し，方解石も一部試料に見られることを報告した。

本節においては我国の著るしく多数の地すべり地域のうち14カ所について，地すべりと関係のある土について粘土鉱物を検索した。地すべりと関係のある土とは，地すべり面（ある厚さを持つことが一般である），地すべり地内の粘土で地すべりの構成材料である地すべり粘土，または地すべりと直接の関係があると十分推定されている土等である。

実験の結果は 表-3 に示したようである。ここに取扱った試料は第三紀層に見られる地すべりが大部分をしめ，ジュラ紀手取層に見られる温泉作用が原因とされるものが1カ所（G試料），結晶片岩と第三紀層の境界部に見られるものが2カ所（B, C試料），第三紀層とその上に乗る玄武岩の境界部に見られるものが1カ所（I試料），また第三紀層であるが断層にともなう地すべりが2カ所である。

表—3　試料コロイド中の存在鉱物

試料名	比較的多く存在するもの	比較的少く存在するもの
A-1	M,H (結晶度低い)	Q, F
2	M,H (〃)	Cal, F
3	H, M-H	Q, F, 14Å鉱物
B-1	Ch (Fe 多し)	M (?)
2	T,M	Ch
C-1	S,K	Ch, F
2	S,K	Ch, F
D-1	Heul,K(結晶度低い), M	I (?), Q, Cris
2	Heul,K(〃), M	I (?), Q, Cris
3	M (Fe多し), K (〃)	Q, Cris
4	M (Fe多し), K (〃)	Heul, Q, Cris
5	M-K, Heul	Cris
6	M, M—K, Heul	Cris
E-1	M, Q	F
2	M, Q	F
F-1	M (Al 多し)	Q
2	M (〃)	Q, K
G-1	S, K	Ch
2	S, K	Ch, Q, Py
3	S, M, K	Ch
H	M (Al,Fe 多し), H	Q, F, I, (?)
I-1	M, K	I, Ch, Q, F
2	M, K	I, Ch, Q, F
3	H·H, H·H-H, M	F
4	H·H, H·H-H, M-H	F
J	M, H (結晶度低し)	Q, Cris
K	M, H (〃)	Q
L-1	M, K	Q, 10Å鉱物 (?), 6.2Å鉱物
2	S, K	M (?)
M-1	M, K	Q, F, 10Å鉱物(?)
2	M, K, Q	F
3	M, K	Q, F, Cris
R	M, K (結晶度低し)	Q,Cris,F,10Å鉱物(?)

M: Montmorillonite, S: Sericite, Ch: Chlorite, Heul: Heulandite, K: Kaolin mineral, H: Halloysite, H·H: Hydrated Halloysite, I: Illite, Q: Quartz, F: Felspar, Cris: Cristoballite, Gib: Gibbsite, Cal: Calcite, Py: Pyrite, -: Mixed layer mineral T: Talc

試料の内の大部分，とくに第三紀層地すべりでは共通してモンモリロナイトを主成分として含有する。モンモリロナイトでも底面反射を明瞭には示さないものがあり，A-3，D-5，I-4 等はこの例である。これらの試料はDTA曲線，ピペリヂン処理物のDTA曲線，エチレングライコール処理等でモンモリロナイトを認めるのであり，カオリン鉱物等と不規則混合層鉱物を形成していると考える。一方モンモリロナイトでもE試料，

F試料のように (001) 線が鋭どい結晶度も高いがOHの脱出温度範囲の広いものがある。またAl, Feの多いモンモリロナイトもD-3, D-4, F-1, F-2, H試料等に見られる。X線回折やDTA曲線でモンモリロナイトを認めない試料はC-1, C-2, G-1, G-2試料であり，B-1試料ではその存否が確認できないが，手取層とか秩父長瀞系に関連ある試料である。

またモンモリロナイトが石英等との共存は別にして単独に存在することはE-1, E-2試料を除いては稀であり，殆んどがカオリン鉱物と共存するのが一般である。カオリン鉱物は結晶度の低いものが多く，ハロイサイトと推定されるものが割合に多いし，I-3, I-4試料のように加水ハロイサイトと考えられるものもあるし，モンモリロナイトと不規則混合層鉱物を造ると考えてよいもの，または(001)面よりの反射が著るしく弱くハロイサイトと加水ハロイサイトとの不規則混合層鉱物の存在が推定されるものもある。なお特殊な例であるがD試料では輝沸石の存在が明瞭であり，モンモリロナイト，カオリン鉱物と共存する。イライトの認められる場合はI-1, I-2試料のように母材である頁岩の風化が十分進んでいない場合であり，D-1, D-2試料でも少量が存在するかも知れない。しかしL-2試料を除いては一般にはイライトは見られないし，クロライト等も殆んど見られない。

第三紀層以外の地すべりであるG試料，結晶片岩地帯の地すべりであるB，C試料では，構成粘土鉱物は相当の変化がある。G-1, G-2, C-1, C-2試料ではセリサイトが大部分を占め，カオリン鉱物と共存し，一部のクロライトをふくむ。B-1試料はFe含有量が多いクロライトが主要構成分であり，B-2試料は滑石が主要鉱物とするがモンモリロナイトも共存する。G試料は破砕帯の温泉変質による粘土であるが，セリサイト，カオリナイトの外にモンモリロナイトを含むものと含まないものがあり，モンモリロナイトを含むものの方が風化が進行していると考えられる。

以上の外にA-2試料のように方解石，A-3試料のようにジプサイト，E-1およびE-2試料のように石英の多量を認めるものもあるが，石英，クリストバライト，長石類等が副成分として少量づつ共存している場合も多い。

以上の実験結果から第三紀層の地すべりにおいては，すべり面を構成しているものは勿論地すべり粘土を構成する材料中のコロイド成分中には，共通してモンモリロナイトが存在し，しかもモンモリロナイトの含量が優位のものが一般であり，同時に結晶性の低いカオリン鉱物が共存している。モンモリロナイトもノントロナイト，バイデライトに近いものもあり，結晶度の高いものもあるし，カオリン鉱物と不規則混合層鉱物を形成しているものもある，カオリン鉱物はハロイサイトに近いものが多い。カオリン鉱物を殆んど欠く場合にモンモリロナイトの結晶度は良好であり，モンモリロナイトを明瞭に認める場合ほどカオリン鉱物の結晶度は余り良好でないのが一般的傾向である。またカオリン鉱物とモンモリロナイト間で不規則混合層鉱物が生成する場合には，カオリン鉱物が優位の場合はモンモリロナイトの底面反射が消え，モンモリロナイトが優位の場合はカオリン鉱物の底面反射が弱化する傾向が見られる。またI-3, I-4試料に見られるように，風化の進んだ方がモンモリロナイトの底面反射が見られがたい事実より，すべての場合に適合するのではなかろうが，母材の風化にともないモンモリロナイトが生成し，ついで地下水との接触により塩基が溶脱されてカオリン鉱物が生成され，その中間には不規則混合層鉱物が生成すると考えることも可能である。このことは地すべり地帯の陸水ではCa, Mg等の塩基の溶脱が著るしく，またCaよりもMgの方がよりよく溶脱されることは，地すべり地帯の陸水の水質に関する研究として別にのべる予定であるが，これらの事実も上記の粘土鉱物生成過程と関連するものである，

既報でのべた長野県茶臼山地すべりの場合は，結晶度の良好なハロイサイトをしばしば認めたが，ここで実験した試料ではこのような例は見られないし，方解石の明瞭な存在も殆んど見られない。茶臼山地すべりではより若い地層中にモンモリロナイトと方解石が多く，ハロイサイトは少ないか殆んど見られない事実，さらに陸水中のCaおよびMgの溶脱のはげしい事実等も上にのべた粘土鉱物生成過程の一つの考え方と相反するものではない。しかしこのような考え方を一般化させるためには広範な調査とさらに厳密な粘土鉱物学的の検討が必要である。

我国の第三紀層に見られる地すべり粘土には，すでにのべたようにモンモリロナイトの存在，結晶度の低いカオリン鉱物の共存，両者の間に相関性のあることは等の特性があり，母材が異なっても大体同様な風化生物が生じることは事実であり，第三紀層を構成する岩石自体がこのような潜在能力を持つと同時に，風化を起させる環境自体も共通しているものであろう。地すべり自体がこの環境の内どの程度を占めているか等と共に，この環境については今後検討せねばならない。なお輝沸石が認められる例があるが特殊の場合であり，母材等の特殊性によるものであろう。

中生層に見られしかも温泉作用により生成した粘土層が地すべりと密接な関係があると推定されるG試料の場合は，セリサイトとカオリン鉱物が主要な構成粘土鉱物であり，その板状であることが地すべり粘土としての特性を示しているのかも知れない。G試料の場合でもモンモリロナイトにまで風化した部分も見られ，地すべり粘

土としての特性を示すものもある。また結晶片岩地帯に見られるB試料，C試料ではクロライト，滑石，セリサイト等を主要粘土鉱物とする地すべり粘土もあり，一部のモンモリロナイトが見られるが，必ずしもモンモリロナイトの存在が地すべりに関連するものでないことが示されている。

地すべりは剪断応力が増加されるような条件と剪断抵抗が低下するような条件が重なり，それらがある関係に至ったとき地すべりとしての現象が見られるのである。剪断抵抗の低下は内部摩擦角の低下と粘着力の低下に基づき，間隙水圧の増加および凝集力の減少も剪断抵抗を小ならしめる。剪断抵抗の低下は材料そのものに内在するのであり，水の侵入により起る。土質力学的に剪断力の低下と云うこともその内容は Thixofropy をふくむ物理化学的性格が基本的性格となっていることは疑の余地がない。結局は材料である土のコロイド成分である粘土と水系の表面化学的構造が主要な役割を演じていることになる。このように考えれば粘土の種類が剪断抵抗の小さい地すべり粘土と関係があることに到達する。このような考え方から土の剪断強度に対してもう少し深く考えて見る必要が生じるので，現在までに多くの人々により論及されている実験的または経験的事実について簡単な説明を試みる。

土の強さは水の膜の厚さと間隙水圧に支配されるのであるから，この両者に最も関係するのは土の中に存在する粘土鉱物である。粘土鉱物の種類とその交換性カチオンにより剪断抵抗の変ることについては Winterkorn 等[11]の実験的研究もあり，例えばバイデライト粘土では Ca> H> K> Na の順で強度は大であり，Na 粘土の三軸試験の場合は透水係数の小さい粘土を与えるので間隙水圧の影響が見られる。

土に加えられる力と変位の間には時間の要因も考えねばならないし，Rheology の分野と考えられる。粉末体と水系の Rheology 的性質としては物理化学的現象として Thixotropy と Dilatancy が見られる。この現象が土質の面ではどのような性質として現われるかは Terzaghi および Peck[12] の説明もある。例えば飽水した砂では急速に撹乱されるとそれまでは緊密であった充塡度がゆるやかとなり，剪断抵抗は大きくなる。Dilatancy を示す乱されない砂では応力が急速にえられない限り流動し応力を去れば初めの緊密充塡組織にもどる。これとは反対に元来ゆるやかな充塡度を持つシルト等は飽水させて急に力を加えると，空隙中に水が入る間に粒子がそれぞれ安定の位置を占めるので剪断抵抗が小さくなる。これは Thixotropy 的性質である。一般的に Dilatancy は砂等に，Thixotropy は粘土等によく見られる。

粘土鉱物の組成いかんは土の含水量による剪断抵抗の変化に対し敏感であることが知られている。モンモリロナイト粘土の剪断抵抗は交換性カチオンで変化し Al> Ca> Na の順であり，カオリン粘土ではカチオンによる影響は殆んど見られず，Al-ベントナイト（Wyoming 産）程度の大きさであるとされている。また自然土で Ca を交換性カチオンとするバイデライト粘土は K イオンで交換させれば，摩擦角は 19° より 22° に増加し，カオリン粘土では変化はないとされている[11]。

Thixotropy を持つ粘土は振動とか急速な荷重を加えると構造が破壊され剪断力には弱いが，練り直して放置すると破壊前の強度には至らないが除々に強度を回復する性質がある。この性質はモンモリロナイトでは特に大きく，イライトがこれにつぎ，カオリナイトではこの性質は小さい。練り直しにおける強度の回復がモンモリロナイト粘土で最も大きいことは例えばメキシコ市の地盤についても認められ，またノルウェーのイライト粘土である氷河粘土の場合もよく知られ事実である。地すべり粘土について山口[13]は鋭敏比の大きいことを認めている。

地すべりにおいて剪断抵抗の低下は Terzaghi[14] によれば次のような原因により起るという。種々の応力による土の中での充塡度の変化，粒子間の結合，交絡，粘着力等の風化等による破壊，間隙水圧の増加による内部摩擦力の低下，および膨潤性粘土による内部摩擦力または粘着力の低下等がその原因とされる。これらの要因にはそれぞれ粘土鉱物の水に対する性質が関与している。したがって地すべり粘土の粘土鉱物について関心が持たれるのである。

地すべり地帯の土壌コロイドの粘土鉱物については著者の報告[15]もあるが，この問題には須藤[16]もふれているし，大平および中村[17]森本[18]等の報告がある。大平は我国第三紀の地すべりでは，モンモリロナイトの存在が一般であると報告しているが，X線回折等の測定資料が提出されていない。モンモリロナイトの存在は地すべり調査においてベントナイトの存在が以前よりすでに知られており，このような例は例えば高野[19]により多く記述されているように，モンモリロナイトの存在自体は一応知られてはいた。しかし共存粘土鉱物とかモンモリロナイトであることの証明等は殆んどされておらず，例えば茶臼山地すべり地で白色ベントナイトと記載されているものはハロイサイトである場合のように，必ずしもモンモリロナイトの存在を無条件でうけ入れることはできない。

著者は地すべりに関係する粘土として第三紀層の場合は共通してモンモリロナイトと結晶度の低いカオリン鉱物が含有されること，両者の間にもある関係があること等を認め，特殊の場合として輝沸石の存在する例とか，第三紀層に乗る玄武岩よりの地すべり粘土の場合でも上にのべた関係のあること等を認めた。また結晶片岩地帯

の地すべりではモンモリロナイトを認めることもあるがクロライト，セリサイト，滑石等を主要構成鉱物とする場合もあり，今市地震の際絶好のすべり面となったものは，ロームに挟まれた一部粘土化した浮石層すなわち今市土で，そのX線回折結果では加水ハロイサイトを与えるとの森本[19]の報告もあるように，モンモリロナイトの存在が地すべり粘土に必要条件であるとは必ずしも云えないことも認めた。また外国での地すべり粘土の場合も同様のことは認められ，Anderson Ranch Dam (Idaho) におけるすべり面はパイデライト粘土であり，Grand Coulee Dam (Washington) における地すべり層である Nespelem 層はモンモリロナイト，イライト，加水雲母でクロライトーバーミキュライト系粘土も含有している。ノルウェーの氷河粘土で地すべりを起こす青粘土は主として加水雲母より成る等と記載されている。

Thixotropy を持つ土は練り返り静置により強度を回復する性質が著るしいので，静置している間は平衡を維持して見かけ上安定していても，振動等の応力が与えられると急に液状に変り急激な破壊が起るのである。地すべり等にはこのような現象が見られる。このような Thixotropy を表示する一つの尺度として "Stiffening Limit" が用いられる。たとえばノルウェーの氷河粘土では液性限界は40であるが "Stiffening Limit" は65よりも大きい値をとることが知られている。液性限界が30～60位のものは Thixotropy が小さいのであるが，"Stiffening Limit" が100以上のものは Thixotropy が大きいのである。Thixotropy 的性質は粘土鉱物を5％以下ふくむ砂である粘着性の土にでも見られ，3％程度のモンモリロナイトを含むロスにも見られる。このロスの場合その構造はシルトや砂の表面にあるモンモリロナイトの水による膜で維持されるのである。Thixotropy は粘土の接する周囲の水中の電解質により顕著に影響される事実も知られている。Thixotropy はモンモリロナイトが最も大きいことも衆知の事実である。

Thixotropy が地すべり等の重要な要因であることはすでにのべた練り直しの影響とか，液性限界等よりも多量の水の存在におけるコンシステンシーに関係するからである。土の力学的性質が土に存在する粘土鉱物と水系の Rheology 的性質に支配されることが明らかであるから，粘土鉱物の Atterberg Consistency について言及する必要がある。

塑性限界 (PL)，液性限界 (LL)，塑性指数 (PI) は土の流動性を規定し，親水性の尺度でもあり，1μ 以下の粒子の量と性質に支配されるが，その表面の性質が最大の要因である。石英等は1μ 以下にしても塑性を示さないが，粘土鉱物は塑性を示し，モンモリロナイト (Na型) は LL で400～700，PLで50～100に達する場合もあり，Ca型ではそれぞれ120～140，40～90程度である。イライトはそれが生成される過程（モンモリロナイト―加水雲母―黒雲母）のどの位置にあるかで広い範囲に変動するが，モンモリロナイトにつぎ，カオリナイトは粒径分布にもよるがイライトにつぐ。ハロイサイトや加水ハロイサイトおよびアロファンは塑性が著るしく小さいとされる[20]。また "Atterberg Limits" に対する交換性イオンの影響も研究され[11]，例えば LL では Na＞Ca＞Al＞Mg＝H＞K，PL では K＞Ca＞AL＞Mg＝Na＞H，PI では Na＞Ca＞Al＞H＞Mg＞K とされる。またカオリナイト等で "Atterberg Limits" が小さくても少量のモンモリロナイトを添加すれば顕著に変化する事実も知られている。さらに Na 型でないモンモリロナイトでも，その交換性イオンの15％を Na で置きかえると Na 型と殆んど同じコンシステンシーを与えることも知られている[21]。

本研究で用いた試料については種々の土質試験は実施していないので，土の性質を部分的ではあるが表示する "Atterberg Limits" について測定し検討を加えること

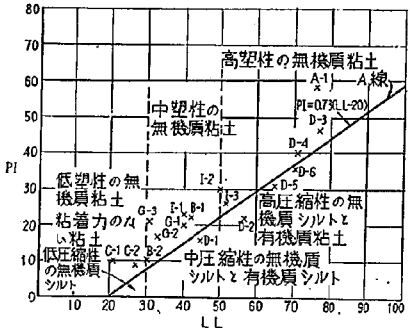
表―4 Atterberg Limits と粒度分析

試料	Atterberg Limits			粒度分布					土の分類	PI/粘土 (2μ)
	LL	PL	PI	<2μ	<5μ	<50μ	<250μ	<2mm		
A-1	76.0	18.0	58.0	1.0	2.5	29.0	57.0	100	砂質ローム	58
B-1	42.0	20.4	21.6	7	16.5	53.0	64.5	100	ロ　ー　ム	3.1
B-2	30.5	20.4	10.1	9.0	14.2	45.0	75.0	100	砂質ローム	1.1
C-1	20.5	10.3	10.2	6.0	12.0	27.0	60.0	100	砂質ローム	1.7
C-2	26.7	17.5	9.2	12.0	16.5	38.0	49.0	100	砂質ローム	0.8
D-1	45.0	28.9	16.1	12.0	21.5	53.5	70.5	100	粘土質ローム	1.3
D-2	57.0	35.2	21.8	10.0	23.0	58.0	82.5	100	粘土質ローム	2.2
D-3	77.0	30.6	46.4	7.0	11.0	34.5	50.0	100	砂質ローム	6.6
D-4	71.0	31.1	39.9	8.0	11.0	28.0	44.0	100	砂質ローム	5.0
D-5	65.1	34.4	30.7	5.0	7.0	18.0	33.0	100	砂	6.2
D-6	69.8	34.3	35.5	3.0	5.0	14.5	30.0	100	砂	11.8
G-1	40.0	21.5	19.5	12.0	19.0	45.0	61.0	100	砂質ローム	1.6
G-2	33.0	16.6	16.4	7.0	10.0	35.0	70.0	100	砂質ローム	2.3
G-3	31.2	10.0	21.2	12.0	18.5	39.0	61.0	100	砂質ローム	1.8
I-1	40.0	18.0	22.0	—	—	—	—	—	—	—
I-2	50.5	20.5	30.0	—	—	—	—	—	—	—
I-3	52.0	25.8	26.2	—	—	—	—	—	—	—

とした。測定結果を 表-4 に示す。粒度分析結果をも示す。粒度分布は“地こり粘土”と云うてその塑性のために粘土と名づけているが，粒度分布からは砂質ローム程度のものが多い。

LL，PL，PI は何れも砂質ローム等としては一般に高い値を示すが，モンモリロナイトを僅かしか含有しない B，C 試料は特殊の数値を示す。セリサイトを主とする G-1，G-2 はやや小さい値を示す。Winterkorn[11] 等によれば PI は粘着力のある土では，内部摩擦角と直線的関係がある。LL が35以上で，PI が 0～15 では摩擦角が大きく，PI が 5 以下では粘着力が殆んど認められないが 5 以上では粘着力は大きいとされる。また LL が35以上，PI が 15 以上にするために粘土を加える場合には Na 型モンモリロナイトでは最少量で足りることも認められている。PI は粘土の量とその組成鉱物に支配されることはすでにのべたのであるが，例えば A-1 試料では 2μ 以下の粒子が 1％以下でも PI が58の値を示すようにモンモリロナイトの存在の顕著な影響が見られる。土の PI は含有粘土量（0.002mm以下）と関係があるので Skempton[22] は，Colloidal Activity として PI/粘土量の値をとり，粘土を構成する材料の性質の相異を考え，この値が0.75以下が非活性粘土，0.75～1.25が通常の粘土，1.25以上が活性粘土としている。この説明によれば供試試料の内，モンモリロナイトを主体とするものは何れも著るしく活性の部類に属し，B-2 の滑石系のものおよび，C-1，C-2，G-1，G-2，G-3 等のセリサイト系のものは通常粘土かまたはやや活性粘土に属することになる。B-1 のクロライト系のものは 3.1 でモンモリロナイトの共存が確認できないのでその原因については明らかでない。D-1，D-2 はモンモリロナイトが僅かに認められるにすぎないので活性度の低下は期待される。D 試料では X 線回折図との関係が明瞭に認められモンモリロナイトの持つ活性度が理解できる。なおこれらの値は交換性イオンによっても影響される点が著るしいし，Grim[23] が認めるように塑性を示さないとされるハロイサイトも加水ハロイサイトとハロイサイトの間の転移的状態にあるものとか，部分的に加水ハロイサイト化したものとかは著るしく塑性を示すことも認められているので，これらの点も考慮せねばならない。これらの例は I-3 試料等に見られると推定できる。

また塑性限界と液性限界の関係を塑性図として 図-7 に示す。A線は Cassagrande による無機質粘土と有機質粘土を区分する線である。試験試料は何れも A線の近くに分布するが A-1 は特に異常である。D-1～D-6 試料は大体一直線上にあり，沸石を含有するものが A線より下方にある。セリサイト系の試料は中塑性ないし低塑性粘土の範囲内にあり，大体A線に平行した線上にある。Hogentogler[24] によれば石英粉末にカオリン，ベントナイトを混合した場合のそれらの混合割合を P とすれば，P と PI および LL の間には次の関係があるとしている。



図—7

$PI=0.15P=0.71$ (LL−18)……カオリン

$PI=3.3P=1.0$ (LL−18) ……ベントナイト

PI を 5 とするためには LL はカオリンで25，ベントナイトで23であり，混合すべき量はカオリンで33％，ベントナイトで1.5％である。ベントナイトは少量でも PI を大ならしめるので，A-1 試料の場合の PI の値をモンモリロナイトの量より十分想定することができる。

すでにのべたようにモンモリロナイトの存在はコンシステンシーに関して特殊の性質を土に与えるのであるが，セリサイト等に関しては実験結果はモンモリロナイト程明確ではない。地すべり粘土の特性はモンモリロナイトの存在と関係あることは考えてよいが，セリサイト等についてはこの実験に関する限り余り明らかでない。しかし今後さらに十分検討する必要があると考えられる。

土の Atterberg Limits は土の力学的性質と関係するのであることは理解されているが，この値より特定の力学的性質を定量的に表示することはできない。粘土と水系の表面化学的性質がこの値の内容であるから，必然的に粘土鉱物の構造の問題が関連してくることは確かであるので，多くの実験的事実が積み上がれば粘土鉱物と土の力学的性質の相関性がさらに明確化することが期待できる。

すでに十分ふれておいたように粘土鉱物の交換性イオンが土質に著るしい影響を与え，ノルウェーの地すべりでは溶脱による交換性イオンの変化にともないすべりやすいとされている[25]。すでに地すべり地帯の陸水について著者の報告[26]もあるが，地すべり地の陸水を媒体として物質交換が行はれ，その結果は水質として表示される。したがって陸水についての地球化学的研究が必要となる。この問題については次節に触れる。

なおモンモリロナイトは後にふれるように化学的方法でその性質を変更することが容易であり，今後地すべりの化学的防止方法研究の対象としては興味ある問題を提供するものと考えられる。

〔5〕結言

茶臼山地すべり地域での土壌，岩石等に含有される粘土鉱物の検索について，各地の地すべり地での地すべり粘土について同様の実験を試み，考察を加えた，実験結果を要約すれば次のようである。

第三紀層に起る地すべりでは殆んどの場合にモンモリロナイトが存在する。モンモリロナイトはカオリン鉱物と不規則混合層鉱物を造る場合もあると推定できる。モンモリロナイトの外に結晶度の低いカオリン鉱物が共存する場合が多く，両者の間に相関性がある。蛸沸石の共存，イライトの共存を認める場合があったが，このようなことは一般的ではない。

第三紀層以外の地すべりである結晶片岩地域ではセリサイトを主成分とするもの，クロライトを主成分とするもの，滑石を主成分とするものがある。また中生層の温泉地すべりの一例ではセリサイトを主成分として，モンモリロナイト，カオリン鉱物と少量のクロライトを含有するものがある。

土の剪断抵抗と粘土鉱物の関連性については，モンモリロナイトを含有する土は練り直しで強度が低下するが，また強度の回復も著るしいこと等が知られていることと等に触れ，地すべり粘土の力学的性質がモンモリロナイトの存在に基因すると推定できることをのべた。

地すべり粘土試料の塑性限界，液性限界，塑性指数，粒度分布を測定し，砂質ローム程度の土質としては塑性性状が粘土に近いことをのべ，コロイドの粘土鉱物組成がその原因となっていることをのべた。粘性指数と2μ以下の粘土量との比はモンモリロナイトを含有する地すべり粘土において特に高いことが，地すべり粘土の特性の一つであることものべた。セリサイト，イライトクロライト，滑石等をコロイドとする地すべり粘土も，地すべり機構と何等かの関係があると考えられるので今後の検討が必要である。

モンモリロナイトを始め粘土鉱物はその交換性イオンの種別によりその性質が顕著に影響をうけることが知られており，また粘土鉱物生成変換の環境の問題があるので，地すべり地帯における陸水の水質について研究されねばならないことをのべた。なお化学的安定処理の対象としてはモンモリロナイトを選ぶことが必要であり，その化学的に活性を持つ点は今後の安定処理の上からは有利であることをのべた。

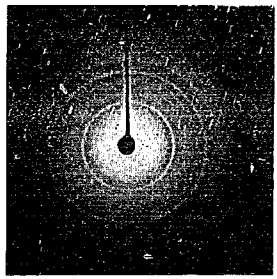
この研究を行うに際し試料を送付していただいた県砂防課の方々に，試料の一部を与えられた砂防研究室および地質研究室に謝意を表する。また赤外線吸収スペクトルの実験をお願した赤羽政亮氏，電子顕微鏡写真の一部をお願した鈴川謙一氏に謝意を表する。

文献

1）秋田県砂防利水課，地辷研究 43p，1955～1956
2）埼玉県土木部河川課，昭和28年度砂防調査
3）埼玉県土木部河川課よりの送付資料による
4）福島県よりの送付資料による
5）小倉 勉，地辷研究 27p，1955～1956
6）芥川真知，土研報 100，33，昭34
7）建設省土木研究所，芦舘寺地辷調査報告
8）野田光雄，地辷り調査報告（佐賀県）4p．昭32
9）小泉光恵，桐山良一，鉱物学雑，1，334，1954
10）須藤俊男 Clay Minerals Bulletin，2，193.1954
11）H.F. Winterkorn，R.B. Moorman，Highway Res. Board Proc.，21，415，1941
12）K. Terzaghi，R.B. Peck，Soils Mechanics in Engineering Practice，John Wiley and Sons 566p. 1948
13）山口真一，京都大防災研年報，73，昭32
14）K. Terzaghi，Mechanics of Landslides，Geo. Soc Am. Barkley p83，1950
15）有泉 昌，土木研報 95，145，昭31；100．45，昭32，；101，65，昭33
16）須藤俊男，粘土鉱物，岩波書店 p130，1953
17）大平成人，中村忠春，農技研報 F—9，41，昭31
18）森本良平，地震研彙報，29，349，1951
19）高野秀夫，地すべりと防止工法，地球出版社，1960
20）W.A. White，Am. Mineralogist，34，508，1949
21）H. F. Winterkorn，A. S. T. M. Special Tech. Pub. 142，44，1953
22）A. W. Skempton，Proc. 3rd. Intern. Conf. Soil Mech. Found. Eng. 1，57，1953
23）R. E. Grim，Geotechnique 1，139，1949
24）C. A. Hogentogler 土の工学的性質（岩都宮寿夫訳）142頁 昭28 コロナ社
25）E. Ackermann Geo. Rundschau，36，1948
26）有泉 昌，牧 隆正 土木研報 No.85,155，昭28

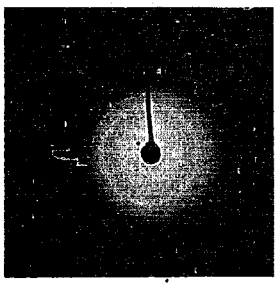
A-1-a (×15,000)

A-1-b

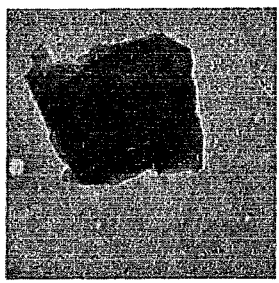


A-1-c (×15,000)

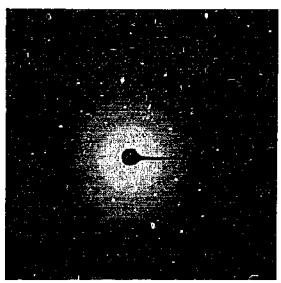
A-1-d



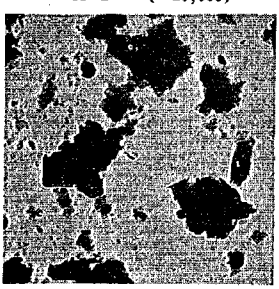
A-1-e (×15,000)



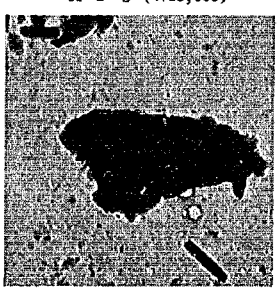
A-1-f



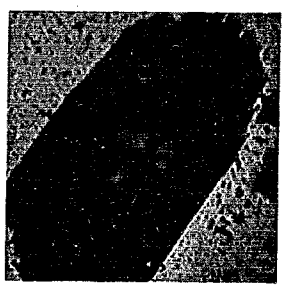
A-2-a (×10,000)



A-2-b (×15,000)

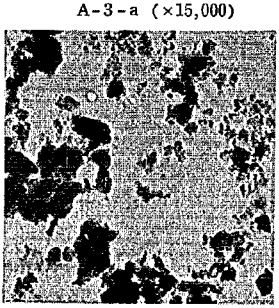


A-2-c (×15,000)

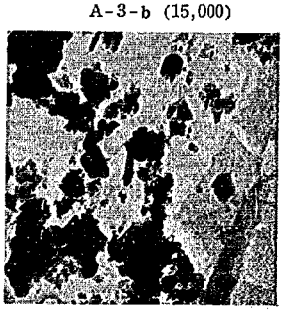


A-2-d

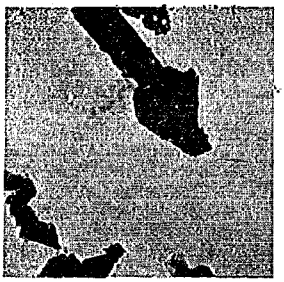
A-3-a (×15,000)



A-3-b (15,000)

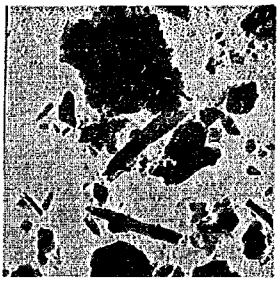


B-1-a (×10,000)

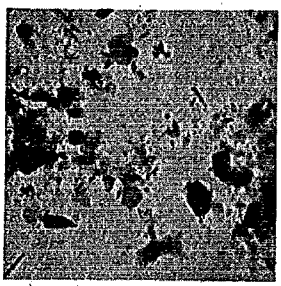


B-1-b (×10,000)

B-2-a (15,000)

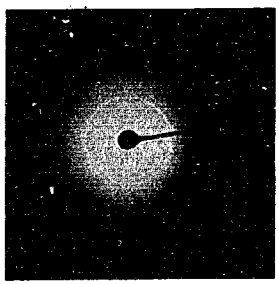


B-2-b (×15,000)

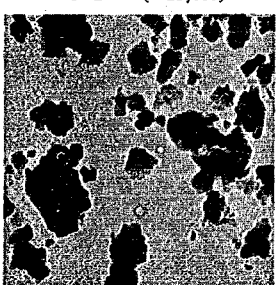


B-2-c (×10,000)

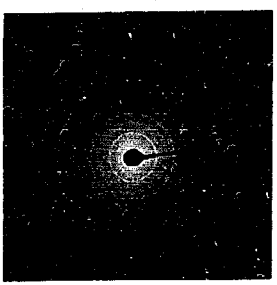
B-2-d



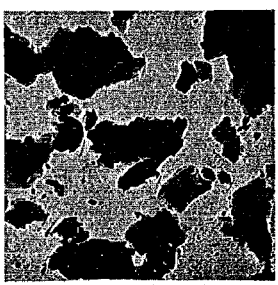
C-1-a (×15,000)



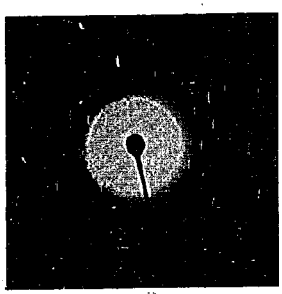
C-1-b



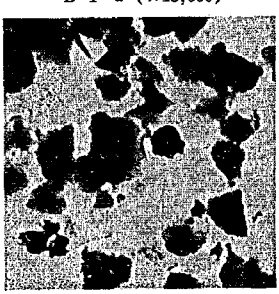
C-2-a (10,000)



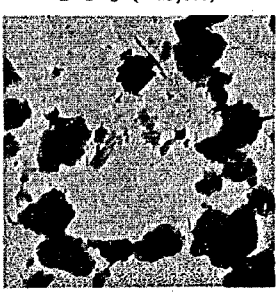
C-2-b



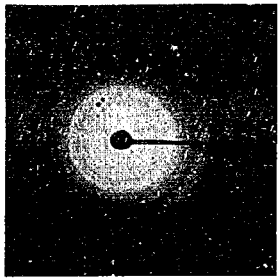
D-1-a (×15,000)



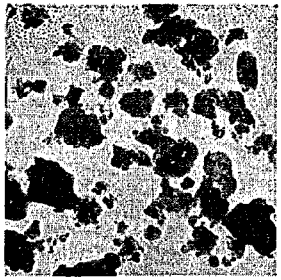
D-1-b (×15,000)



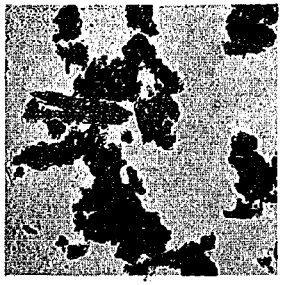
D-1-c



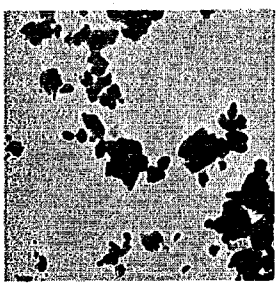
D-2-a (×15,000)



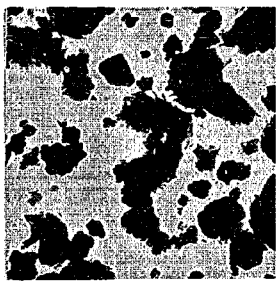
D-2-b (×10,000)



D-3-a (×15,000)



D-3-b (×10,000)

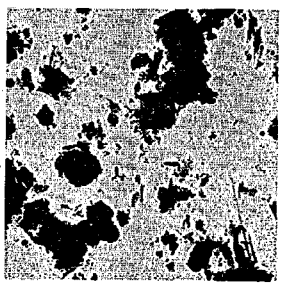


D-4-a (×15,000)

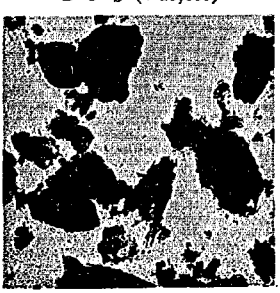
D-4-b (×15,000)

D-4-c (×10,000)

D-5-a (×10,000)

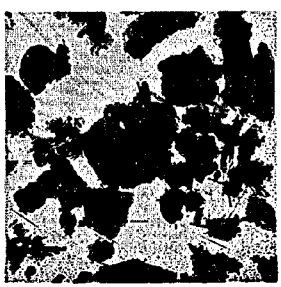


D-5-b (×10,000)

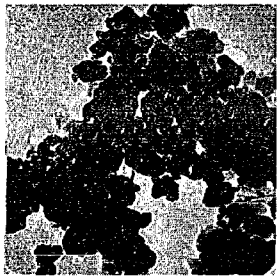


D-6-a (×15,000)

D-6-b (×10,000)

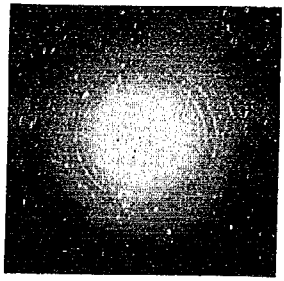


E-2-a (×5,000)



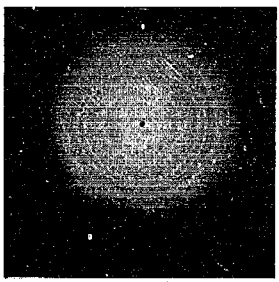
E-2-b (×14,000)

E-2-c

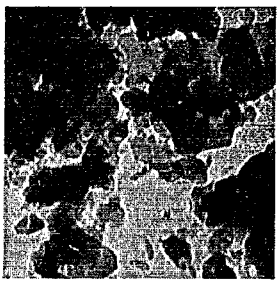


F-2-a

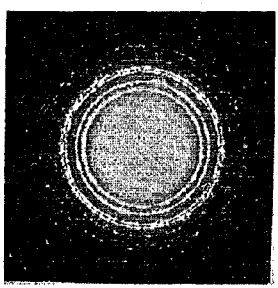
F-2-b



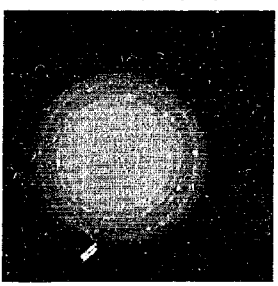
G-2-a (×14,000)



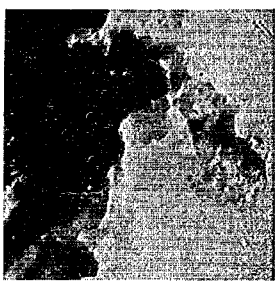
G-2-b



G-3-a (×14,000)

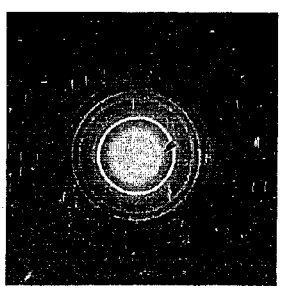


G-3-b



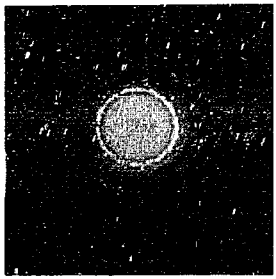
H-a (×14,000)

H-b

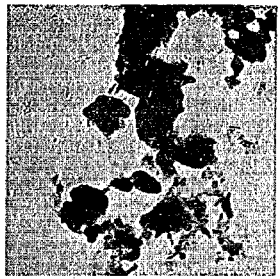


H-1-a

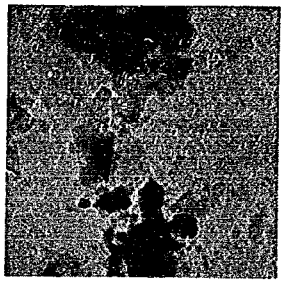
I-1-b



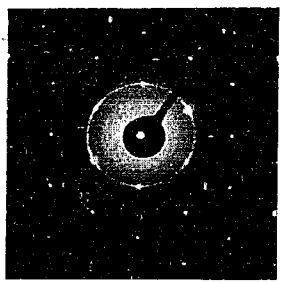
I-3-a (×14,000)



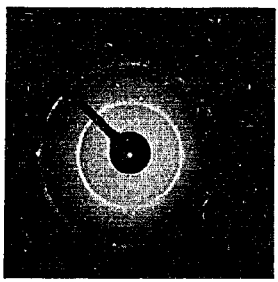
J-a (×10,000)



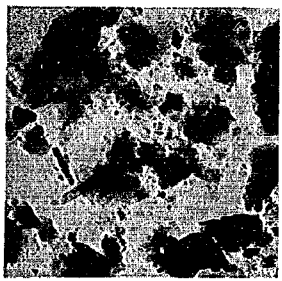
J-b



K-a (×10,000)



K-b



Report
of
The Public Works Research Institute
Ministry of Construction

Vol. 106, March 1961

CONTENTS

1. M. Fukuoka
Three Dimensional Earth Pressure Cell (NO.2) ····· (1)
2. H. Takeshita
Effects of the Base Course on Stress Distribution ····· (5)
3. H. Takeshita and S. Nagumo
Experimental Studies on Strength Characteristics of Asphalt Paving Aggregates ····· (13)
4. H. Takeshita, S. Matsuno and T. Matsuzaki
Trial Design of a Repeated Loading Apparatus for Asphaltic Mixtures and Some Results of the Test on the Deformation Mechanism of Asphaltic Mixtures under Repeated Loading ····· (23)
5. H. Takeshita, S. Matsuno, T. Matsuzaki and S. Nagumo
Some Properties of A, B and C type Paving Asphalt ····· (33)
6. T. Takenouchi, T. Egawa and R. Kamiya
Variation in Storm Rainfall over Mountainous Basin ····· (45)
7. T. Kimura
A Report on the Flood due to the Kano-gawa Typhoon in the Kano River Basin
——How to Cope with Unusually Large Floods in Small Mountainous Basins—— (63)
8. Y. Mura, K. Yagi and T. Fujisaki
Research on Discharge Coefficients of Existing Dams
——1. The Yoake Dam, Chikugo River—— ····· (83)
9. T. Kimura
Studies on the Electronic Analog-Flood Simulator (2)
——Electronic Analog-Flood Simulator and Flood Runoff Analysis of the Chikugo River Basin—— ····· (107)
10. A. Ariizumi and T. Maki
Studies on Soil Colloids (Ⅳ)
——Clay Minerals in the Soils of Landsliding Areas of Japan—— ····· (129)