

積上げ堆積における堆積物の浸潤線模 型実験と現場測定の実際について

住友金属鉱山(株)八尾鉱業所

北 美 松

1. 緒 言

送鉱廃泥の堆積場内における浸潤線の状態が、堆積場特に積上げ堆積、かき上げ堆積を採用する堆積場に於ては、法面の安定(注として間隙水圧による堆積物のせん断力の減少)に及ぼす影響は極めて大きいもので、模型によつてその状態を調べ、予め計算値によつて調べた形状と比較し、その相違を明らかにし、更に砂の堆積を実際の状態に準じて行い、種々の条件の下における堆積物の状態、浸潤線、流線網の様子を調べ、法面の安定計算上どのような浸潤線を設定するか、又、実験兼時に於てどのような堆積方法が安定であるか等の検討資料を得る目的で実験を行つた。更に現在(昭和44.1)積上げ堆積も、サンドによる積上げ堤高15mに達したので、堆積場に於ける浸潤線を実測することにより模型実験との比較を行つた。

2. 実験装置

装置は巾50cm高さ100cm長さ240cmの鉄枠、側鉄板一面ガラス張水密性水槽を用い、水槽の背面には堆積物内の *Potential head* を測定するために、縦横間隔10cm毎に $\frac{3}{8}$ "パイプコックを必要箇所に埋込み、これにゴム管及びガラス管を接続、堆積物内の水位を測定できるようにした。水槽底部には $\frac{3}{8}$ "パイプコック2ヶを埋込み水抜きに使用した。

Test 1. においては、水槽中への水の補給はゴム管によりサイフォンを利用して行い、水槽中の水位が常に一定に保つように設計し、*Test 2.* 以下に於ては、尾鉱パルプの放流はピペットにより、上澄水はゴム管によるサイフォンにより排除した。

3. 実験材料及び方法

(1) 実験材料

石塊かん止堤の模型は, *Model Scale 1/100* にて径 $-5mm$ + $3mm$ 砂利を使用, 堆積砂との間にはガーゼにより仕切った。

Test 1 に使用せる堆積砂は, 堆積場内堤体より $5m$, 深さ $0.5m$ の砂を使用, その粒度分布は下表の通りである。

篩の網目 (mesh)	352	200	150	100	65	48	+ 48
	(0.046%)	(0.074%)	(0.104%)	(0.147%)	(0.208%)	(0.245%)	
篩の通過重量 %	4.3	7.5	11.3	19.3	36.9	77.2	22.8

砂は $5cm$ 厚さに敷き均しては木片にて均一によく搗固めた。

Test 2 以下の実験においては, 選鉱場よりポンプにて揚程さされて来るパルプ状の尾鉱をそのまま使用し, 堤体側よりピペットを使用し, サンドスライム混合のまま放流し堆積せしめた。従つて比較的粗砂が上流側に堆積し, スライムは下流側に沈澱し実際の状態に準ずる。

(2) 実験方法

Test 1 に於ては, 模型の成形を終えた後, 砂中の空気を返出するために約 $7cm/H$ の割合で徐々に水位を上げ, 最終水位に達した後常に水位を保つように流入水量を調節しながら, 水槽背面のガラス管水位が一定になるのを待ち, *Potential Head* 及び滲透水量を測定した。

Test 2 以下に於ては各実験目的に従い, 放泥中又は放泥停止後 *Potential Head* を測定した。又, 浸潤線の概略の形状を知るため, ガラス張りの側に於て水際に赤インクを滴下, 赤インクの流線を追跡して浸潤線の形状を知ろうとしたが, 毛細管現象により明瞭な形状を掴むことが出来ず, 浸潤線の形状は主として *Potential Head* よりの流線網の補正により求めた。

Test 2 以下の実験に於けるサンドとスライムの割合については, 模型水槽中に於てサンドとスライムの容重比は, 実際の

堆積場に於ける地形の複雑さを考え、採集中の堆積場に於ける堆積砂の水際よりの長さを基にして、常に一定の長さ(50m)堆積するようにして実験を行った。然し、現在(S.34.1)の状況をみると、堆積砂の長さは78mあり、実験の時の状況よりはサンドの量が多い状態にある。

4. 実験項目

実験は堆積場に起り得ると考えられる種々な場合を想定して、下記の項目に従つて行つた。

- (イ) 堆積場の設計に當つて採用した假定に基いて堆積砂を均一なものと考え、計算値との比較を求めたるための実験 *Test No.1*
- (ロ) 実験に準じ、堆積を行つた場合の名堆積段階に於けるサンドとスライムの堆積状況及び積上げ法肩内法より堆積場全面にわたり放澤せる場合及び放澤を停止せる場合の名浸潤線、流線網の状況 *Test No.2* より *Test No.5*
- (ハ) 長期間放澤を停止せる場合の浸潤線の状況 *Test No.6*
- (ニ) 場内水位の異常上昇により水際が積上げ法肩に接近せる場合の浸潤線の状況 *Test No.7*
- (ホ) 場内堆積物及び積上げ法面に豪雨をみた場合の浸潤線の変化。
Test No.8 Test No.9

5. 実験結果

- (イ) *Potential Head* 測定(添附図参照)
- (ロ) 透過水量及び水温の測定(")
- (ハ) 流線網の作図

Potential Head より等 *Potential* 線を描き、流線と等 *Potential* 線とは直交し、かつ、一つの科目は正方形をなすということを利用して *Trial Method* により補正しながら作図(添附図参照)

6. 当初堆積場の設計に使用せる A. Casagrande の方法による浸潤線及び流線網の作図

- (イ) 浸潤線の作図

- i) 石塊かん止堤々体材料は、岩山切崩し採取せる石塊なので透水性は良好と認める。
- ii) 積上げ堆積物は均一な砂で出来、上流側は 15° の勾配で堆積しているものと假定する。
- iii) 浸潤線は二次拋物線と假定する。

上記条件により *A Casagrande* の四式解法によつて計算する。
(石塊かん止堤上流側法先をE点、場内水の水際をB点、堆積砂上流側法先をD点、D点より地盤に垂直に上げた線と水面と交る点をC点、B、Cの名の点をA点と各点をとる)

この二次拋物線はE点を原点とし、堆積物と不透水性層との境界をx軸とし、これに垂直な軸をz軸とした時下式で表わされる。

$$x = \frac{z^2 - S^2}{-2S} \quad S = \sqrt{d^2 + h^2} - d$$

S: 拋物線係数 d: A点のx座標 h: B点のz座標

$$\text{ここに } S = \sqrt{118^2 + 34^2} - 118 = +5.00$$

上式により拋物線を描き、境界条件B点に於て浸潤線と水面が一致することによりこの拋物線を補正して求める浸潤線を描く。

(ロ) 流線網の作図

求めた浸潤線上にz軸2.5mm間隔にて各 *Potential* 点を求め、これを基にして等 *Potential* 線と流線とは直交し、かつ、そ水らが作る柵目は正方形であり、等 *Potential* 線が不透水性層となす角は 90° であるということを利用して *Trial Method* により流線網を求める。

7. 積上げ堆積の特殊性を考慮、考察せる方法による浸潤線の作図

(イ) 作図に先だつて定める条件

- i) 石塊かん止堤は、透水性良好と認めるが、下部に於ける初期堆積に於て遮泥層に接近してサンド中にスライムが混入すること、地形的に下部に於てかん止堤の巾が狭まることより、滲透水の通過する範囲を遮泥層法長mの $\frac{1}{2}$ とする。
- ii) 浸潤線の上端を放淨箇所とする。

iii) 浸潤線は二次拋物線と假定する。

(iv) 浸潤線の基本方程式

上記条件より（石塊かん止堤上流側法先をE点，場内水の水際をB点， $\overline{BC}$ を水平サンド堆積面の長さ， $\overline{BC}$ の1/2の点をA点，A点より地盤に垂直に降した点をD点としたとき，この二次拋物線はE点を原点とし，堆積物と不透水性層との境界をx軸とし，これに垂直な軸をz軸としたとき下式で表わされる。

$$x = \frac{d + \frac{m}{\alpha}}{H^2} z^2 - \frac{m}{\alpha}$$

d: D点のx座標

H: A点のz座標

α ; B; 常数（各堆積場により，建設，堆積条件により定まる）

m; 堆積砂と掘する底泥層の長さ

上式により拋物線を描き，境界条件G点に於て浸潤線端が表われることよりこの拋物線を補正して，求める浸潤線を描く。

(v) 計算作図例

獅子小屋沢堆積場の最終段階に於て，上式により浸潤線を計算作図したものがFig. 6の下段に示してある。

堆積場常数 α , Bは模型実験の結果を考慮して， $\alpha = 3$, $B = 2$ とした。

$x = \frac{d + \frac{m}{\alpha}}{H^2} z^2 - \frac{m}{\alpha}$			
z	z^2	$\frac{d + \frac{m}{\alpha}}{H^2} z^2$	x
0 m	0	0	-9.9
5	25	2.2	-7.7
10	100	8.8	-1.1
15	225	19.7	+9.8
20	400	35.1	+25.2
25	625	54.8	+44.9
30	900	78.7	+69.0

$$\overline{BC} = 70 \text{ m}$$

$$d = 94 \text{ m}$$

$$H = 34.4 \text{ m}$$

$$m = 29.7 \text{ m}$$

$$\frac{m}{\alpha} = 9.9 \text{ m}$$

8. 堆積場内に於ける浸潤線の実測

使用中の堆積場は、積上げ堆積も相当進行しているのど、定期的にオーガーボーリングにより浸潤線を測定しているが、その測定結果は Fig. 5 に示してある。

5. 34. 1. 27. 測定の際には、同時に、浸潤線附近に於ける堆積物の粒度分析、含水比の測定を行つた。

堆積物の深さによる粒度、水分の変化 (浸潤線 - 6.8 m)

堆積物表面よりの深さ	含水比 W	+65 mesh (0.208 mm)	65~200 mesh	-200 mesh (0.074 mm)
4.5 M	14.30%	43.60	38.96	17.44
5.0	16.95	44.30	37.35	18.35
5.5	20.40	49.70	33.33	16.97
6.0	17.65	53.61	31.33	15.06
6.5	19.05	73.21	15.48	11.31
砂の温度	12.5°C			

9. 図式解法、模型実験及び実測に対する比較考察

(イ) 尾鉱パルプのサンド、スライムの分離堆積する状態は、最初の假定に反し、水際の連続線附近を境界としてサンドとスライムの二層に別れ、スライムの層の透水は非常に僅かである。

(ロ) 模型実験の各段階に於て、堆積サンド中の流線網中に流線をさえざる難透水帯が存在しているのが認められた。

この難透水帯は、流線を上へ押上げ浸潤線の上昇をうながす一つの原因となる。この難透水帯の生じる原因としては、ガラス面からの観察によれば、湛水面を急激に上げることによつてスライムの層がサンド中にクサビ状に介入して来るためであり、この点より湛水面は連続的に上げ、急激に上げることが望ましい。

(ハ) 模型実験によれば、浸潤線が最も上昇する場合は、場内水位の異常上昇による水際の積上げ法肩への極端な接近であり、この場合浸潤線は積上げ法面には額を出さないが、法面の上部は

毛細管現象により一面湿润状態となり，例えば場内水が法面をオーバーしないとしても，堆積物に弱点があれば水が渗透流出し，決かいるものと考えなければならない。

- (ニ) 瞬間的な豪雨をみた場合（この場合降雨強度 100 mm/H で 1 時間連続）の模型実験に於ては，浸潤線には大きな影響がない。これは表面的に湿润状態に達し，下部に渗透する以前に大部分の降雨量が法面を流下してしまうためで，この場合法面附近に弱点があれば，水の湿润飽和により崩壊することが考えられるが，局所的なものと思われる。

- (ホ) 堆積場に於ける実験によれば，長期降雨をみた場合の浸潤線と，渇水期に於ける浸潤線の位置についてはかなりの相違がみられる。渇水期に於ける浸潤線の位置は，実験値に比較的よく一致するが，長期間に亘つて降雨がある時には，殆んどの降雨が堆積砂中に渗透し，浸潤線の上昇をうながすように思われる。

模型的に考えると，浸潤線の上方にある毛管水帯に降水が達し，毛管水帯の平衡を乱し，流線となり，浸潤線の上昇をうながすと考えるのが適當と思われるが，実験によると，浸潤線附近には顕著な毛管水帯が認められない。この問題は今後に残された課題である。

- (ハ) 模型実験 No. 6 によれば，長期間放津を停止すれば浸潤線は堆積サンドの最下部にまで下つてしまう。従つて堆積が完了し，放置しておけば堆積場は，浸潤線の点より非常に安定なものとなる。

- (ト) 模型実験に於ても，又，堆積場の実験によつても，積上げ堆積では放津箇所附近に於て浸潤線の位置は，湛水面の水位より高くなる。故に放津中には不連続的に水際が放津箇所にあるものと考えなければならない。

- (チ) 堆積場の安定計算のとき浸潤線の形状を何等かの手段によつて算定しなければならないが，最も確実な方法は実験による方法であるが，実験によらない場合を考えて，四式による方法を

考察してみた。

現在、一般に広く使われている方法は、*A. Casagrande*による図式解法であるが、鉱山に於ける堆積場に於ては実情にそぐわない点があるので、その特殊性、即ち、堤体形状の相異。野水氾堤ではないこと。普通の氾堤では堤頂と考えられる箇所も放濇によつて浸水の状態にあるが、然もそれは不完全な状態に於てであること等を考慮し、同様にかき上げ堆積に於ても適用出来ると思われる。

この式に於て、 α 、 β の値はその堆積場の特性により異り、石塊かん止堤上流側法先附近のドレーンとしての役割が充分期待出来るような場合、又、長期間放濇を停止するような場合には、 α は比較的大きな値をとることが出来るし、放濇箇所が積上げ堤法肩より遠くなれば β の値も小さくなる。 α 、 β の値が定まれば後は自動的に算出される。

10. 結 語

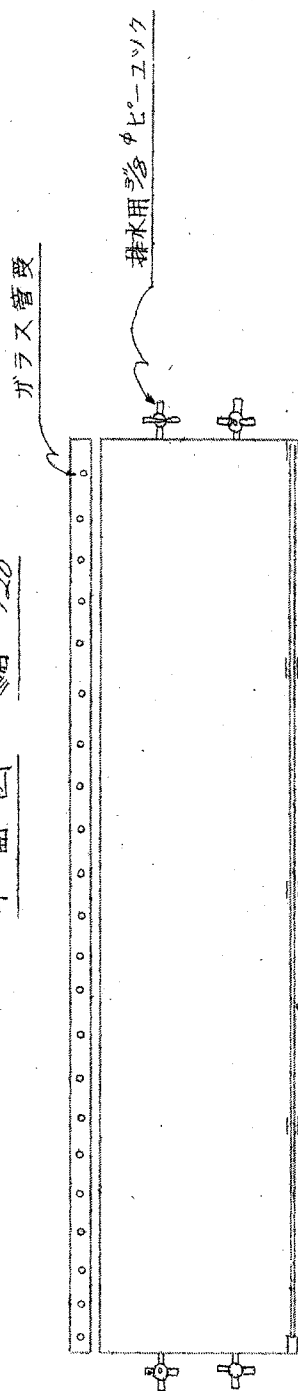
堆積場に於ける浸潤線の形状は、その堆積物が複雑な形状で堆積し、又、地形、降雨等種々な要因が重なつて、明確に定めるのは非常に困難なことである。然し堆積場を建設するためには、浸潤線の形を假定しなければ安定計算は出来ないのもので、その参考のために一連の模型実験を行い、更に堆積場に於ける浸潤線の実測、図式解法による浸潤線の算定の考察を行つた。

これらの模型実験ではまだ不十分な点があり、又、実際の堆積場に於ては更に不確実な要素が混入しているので、目的にはまだ程遠いものがあると思われますので、先輩諸兄の忌憚のない御有批を得たいと存じます。

以 上

堆積場浸潤線測定模型実験用水槽

平面図 縮 1/20



浸潤線観測用側面

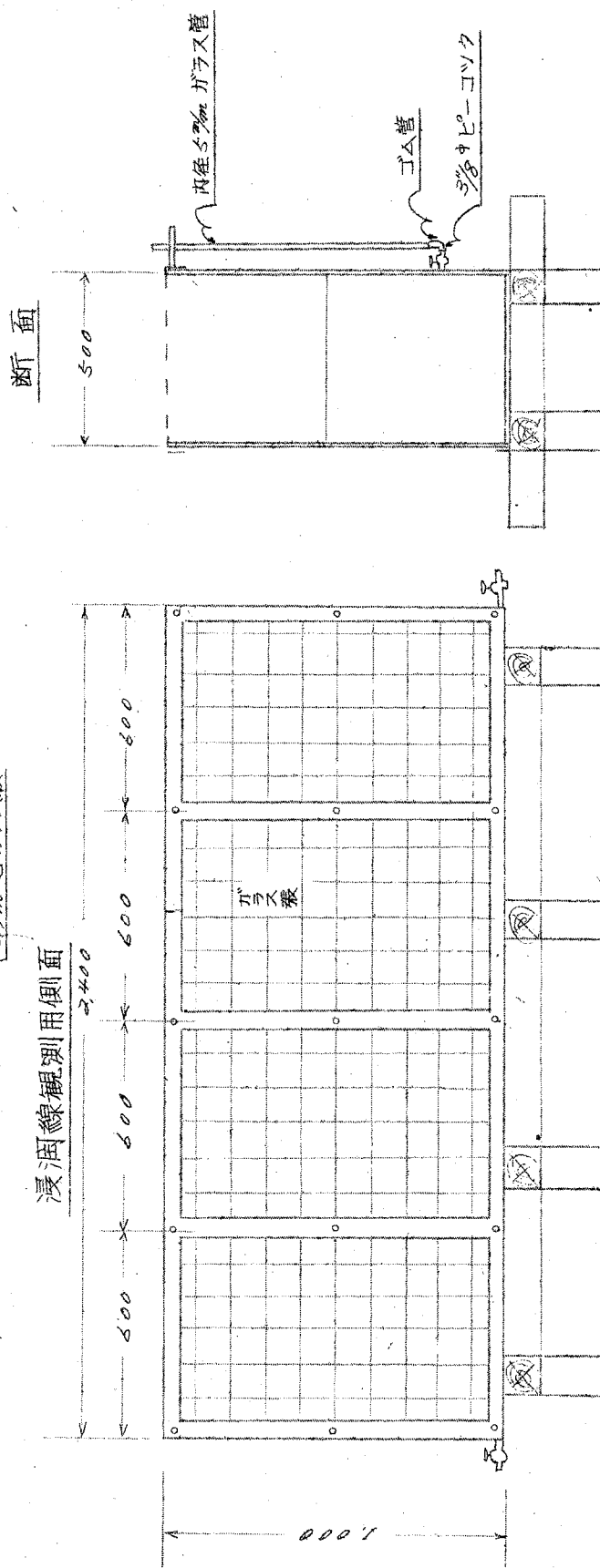
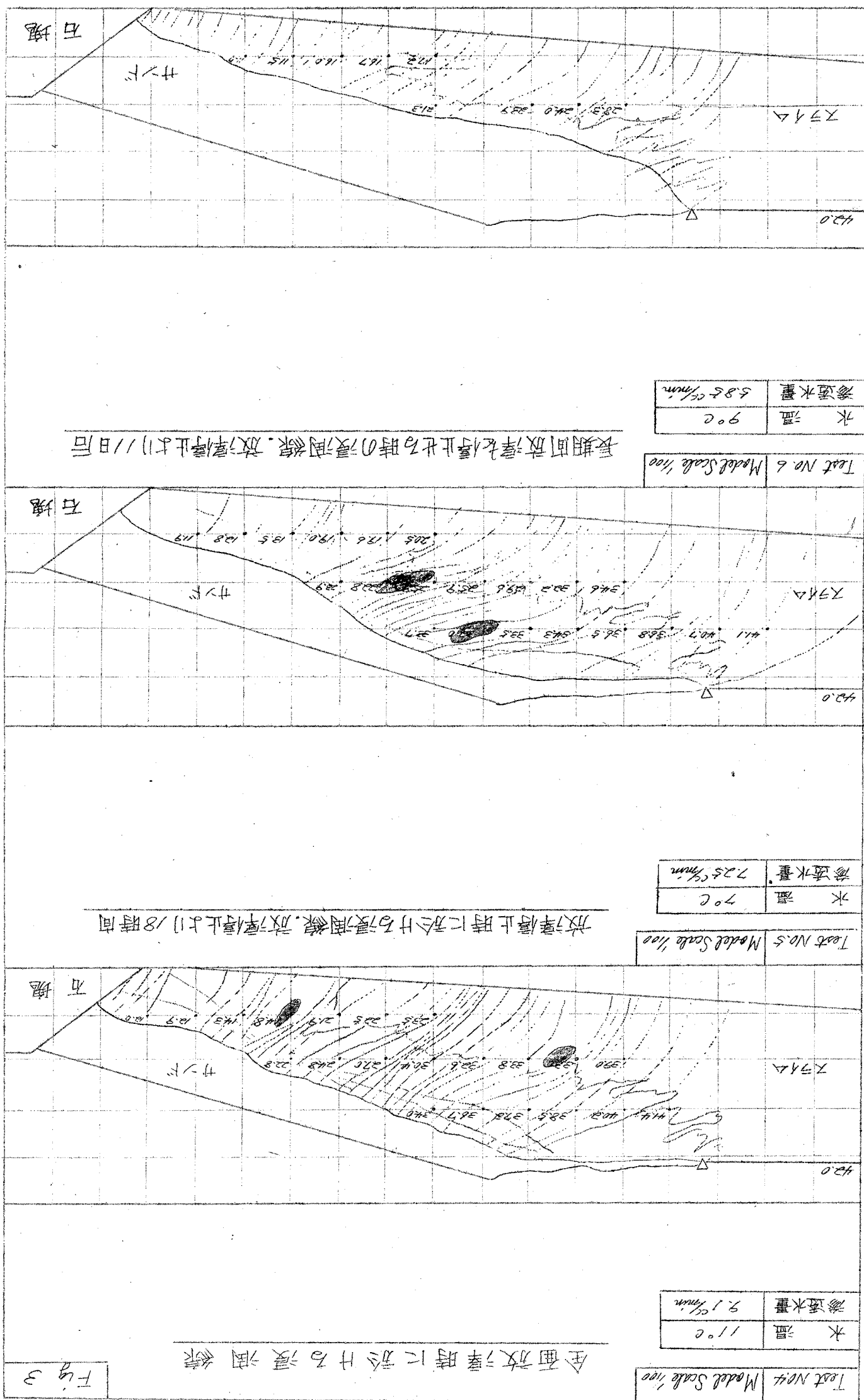


Fig 1



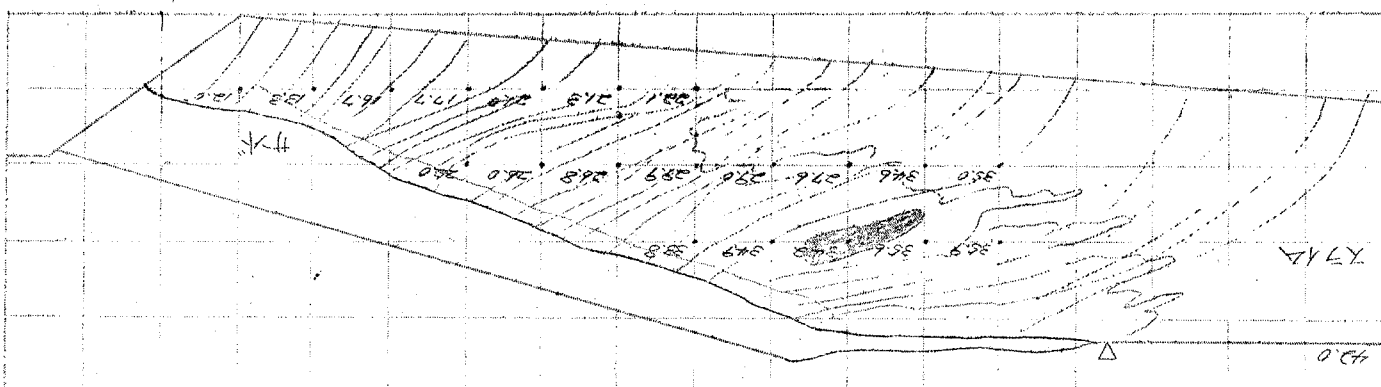
Test No 7	Model Scale 1/100
-----------	-------------------

Test No 8	Model Scale 1/100
-----------	-------------------

A hand-drawn map of a river section, oriented horizontally. The river is depicted by two parallel lines, with the right bank being higher and more irregular. The left bank is labeled 'H 24' and the right bank is labeled 'H 24'. The river is divided into several sections by dashed lines. Measurements are written along the river: 11.0, 12.0, 15.5, 16.4, 16.9, 17.9, 26.8, 27.3, 28.5, 29.5, 30.5, 31.5, 32.5, 33.5, 34.5, 35.5, 36.5, 37.5, 38.5, 39.5, 40.5, 41.5, 42.5, 43.5, 44.5, 45.5, 46.5, 47.5, 48.5, 49.5, 50.5, 51.5, 52.5, 53.5, 54.5, 55.5, 56.5, 57.5, 58.5, 59.5, 60.5, 61.5, 62.5, 63.5, 64.5, 65.5, 66.5, 67.5, 68.5, 69.5, 70.5, 71.5, 72.5, 73.5, 74.5, 75.5, 76.5, 77.5, 78.5, 79.5, 80.5, 81.5, 82.5, 83.5, 84.5, 85.5, 86.5, 87.5, 88.5, 89.5, 90.5, 91.5, 92.5, 93.5, 94.5, 95.5, 96.5, 97.5, 98.5, 99.5, 100.5. There are two shaded areas in the river, one near the left bank and one near the right bank. A small triangle is marked on the right bank near the bottom right corner.

Test No. 9	Model Scale 1/100
------------	-------------------

時間/100mm
 /時間后(浸漬量最大)
 /時間半后には降下



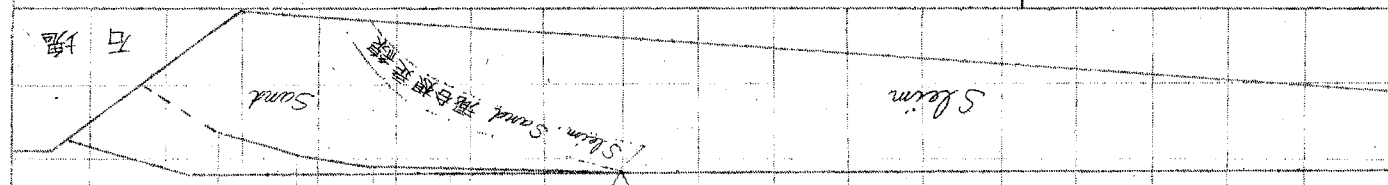
測 定 日 日	5.32.7.29
過去7日間降雨	5 日
降雨量	53.6 mm

堆積場浸潤線實測



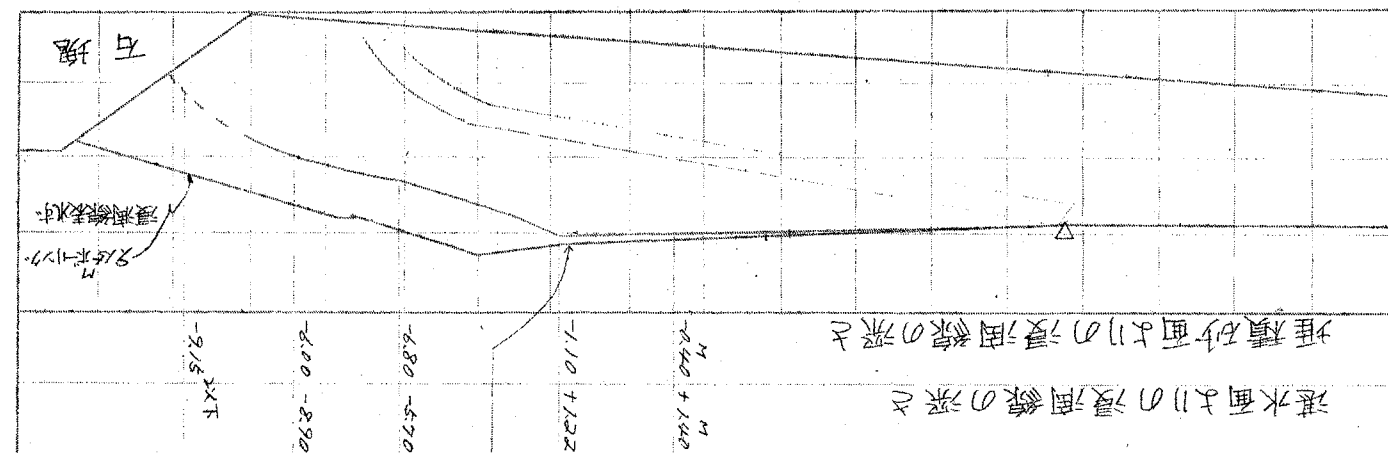
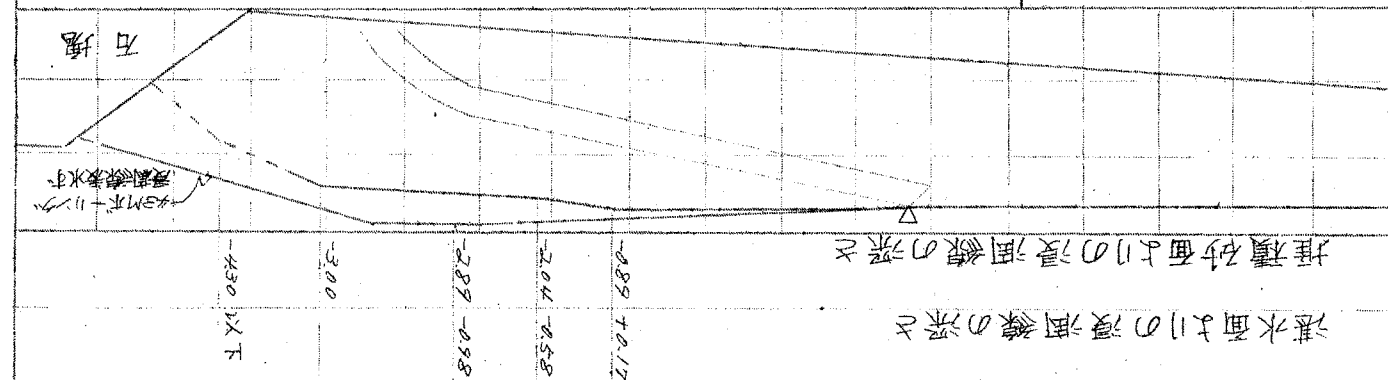
測量月日	5.33.9.5	過去7日間降雨	5日
降雨量	2047mm	降雨量	68.9mm

堆積場浸潤線実測



測量月日	5.34.1.27	
測定時積雪	50 cm	渗透水量
測定14日周降雪	106 cm	堆積砂溫度
		12.5℃

堆積場浸潤線実測

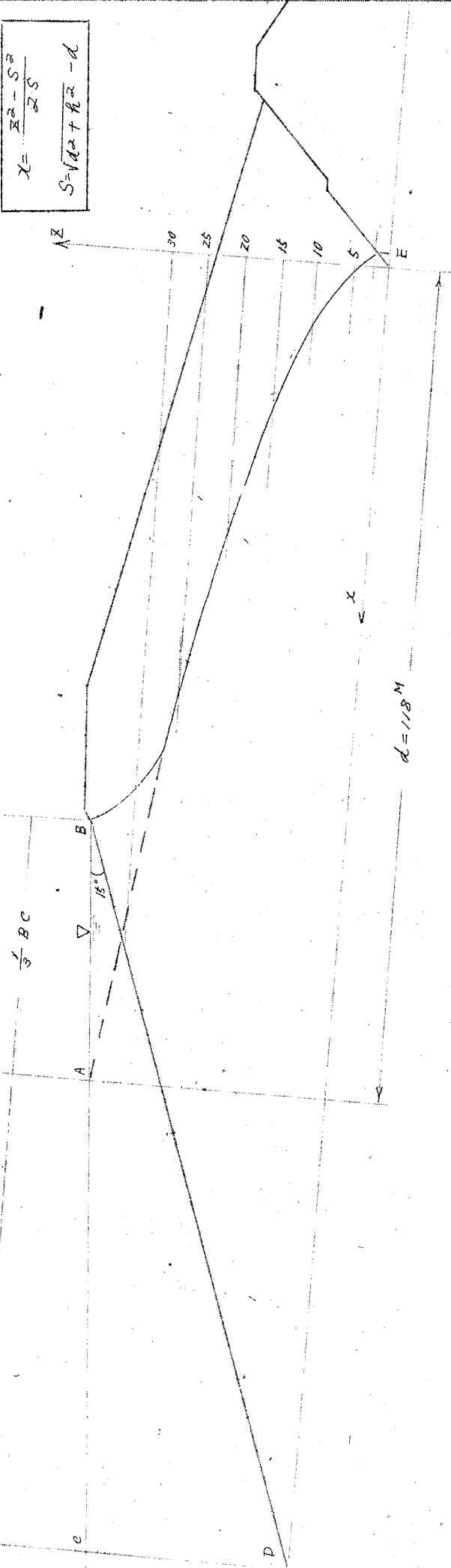


横江、M離州、北地、京、乙、放、澤

A. Casagrande の公式による浸潤線

$$\chi = \frac{z^2 - S^2}{2S}$$

$$S = \sqrt{d^2 + \frac{m}{\alpha} z^2} - d$$



横比が堆積に於ける下式による浸潤線

$$\chi = \frac{A + \frac{m}{H^2} z^2}{\alpha}$$

$$\alpha = 3$$

$$\beta = 2$$

