

8. サンドポンプ船による潮止め工事の施工計画について

建設省中部地方建設局海岸部 渡 辺 豊

企画室 今 永 幸 人

1. ま え が き

近年、集中豪雨、大型台風などによって、毎年のごとく大きな災害が繰返えされているが、地盤沈下が社会的問題としてとりあげられている臨海工業地帯にこれらの災害が発生した場合、伊勢湾台風の例にも見られるように、その被害は天文学的数字を示すことは明らかである。このような現状においては、防災工事の促進をはかると同時に、災害が発生した場合の応急対策について、平素より研究しておく必要性が年々大きくなってきている。

しかし、従来の応急仮締切り工事を見ると、人海戦術や勘量に頼るなどきわめて原始的な施工がほとんどであり、実施例もあまり残されておらず、その研究は皆無に等しい。

著者は、たまたま昭和34年9月26日、わが国史上最大の被害をもたらした伊勢湾台風に遭遇し、その復旧工事を担当した関係上、この復旧工事に採用したサンドポンプ船による潮止め工事の豊富な実例を解析して、応急仮締切り工事の一つの工法として体系づけることを試みた。

今回は、これらのうち施工計画について述べたい。

2. この工法の概要

この工法を簡単に述べれば、サンドポンプ船によって短時間に破堤箇所にも量の土砂を送砂し、一気に締切る工法である。

破堤箇所に生じる水流の流速があまり大きくないときは、サンドポンプ船からの送砂のみで締切ることもできる。しかし、通常は送砂土砂を有効に利用して経済的な施工と工期の短縮をはかるために、歩留りをよくする目的で、そだ沈床を沈設する。そだ沈床は破堤箇所の川

裏にそれぞれ堤防法線に平行にノ列あるいは2列に沈設し、ノ列の場合は堤防敷側に、2列の場合はその中間に送砂して稀切る。

せだん床は、流勢を弱めめるために、あらかじめ平均潮位面程度まで沈設しておく方が良いが、材料の入手などの関係から土砂の堆積に併行して沈設する場合もある。

3. 潮止めの個所に生ずる水流の流速について

潮止め工事の難易は、その個所に生じる水流の大小によって決定されるのであるから、施工計画をたてるにあたって、その水理現象は重要な要素となってくる。

この水理現象については、従来干拓工学において若干の研究が行なわれている。干拓工学においては、潮止め口を北として考え、これに内水位の変化を加味して解いている。しかし、干拓工事の潮止め口は、あらかじめ十分に床固めをしてあるから堰として考えるのも妥当であろうが、応急工事の潮止め個所では、床固めをする余裕もなく、むしろ深掘れしている個所が多いために、そこに生じる水理現象は、干拓工事の潮止め口のそれとはおのずから異なるものといわなければならない。

応急工事においては、各個所毎に断面が異なり、その水流を普遍的に考えるためには、多少の誤差は止むをえないであろう。このため、善者は潮止め個所の水流を等流とし、背後の港水地内の水位変動を考慮して、内水位および潮止め個所の流速を求める計算式として、つぎの2式を用いることとした。

$$\zeta_{n+1} - \zeta_n = \frac{L}{S} \frac{d\zeta}{nL^{\frac{3}{2}}} \left\{ \frac{1}{4} (4H + \zeta_n + \zeta_{n+1} + \zeta_n + \zeta_{n+1}) \right\}^{\frac{3}{2}} \\ \times \left\{ \frac{(\zeta_n + \zeta_{n+1}) - (\zeta_n + \zeta_{n+1})}{2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \text{--- (1)}$$

$$V = \frac{1}{nL^{\frac{3}{2}}} \left\{ \frac{1}{4} (4H + \zeta_n + \zeta_{n+1} + \zeta_n + \zeta_{n+1}) \right\}^{\frac{3}{2}} \left\{ \frac{(\zeta_n + \zeta_{n+1}) - (\zeta_n + \zeta_{n+1})}{2} \right\}^{\frac{1}{2}} \\ \text{--- (2)}$$

ここに、

- $\eta_n, \eta_{n+1}, \dots$ ある時間の内水位および n 時間後の内水位
 $\xi_n, \xi_{n+1}, \dots$ ある時間の外水位および n 時間後の外水位
 L ----- 破堤箇所幅 (延長)
 S ----- 背後の湛水地の面積
 L ----- 流水の方向の長さ (2 列のせだ沈床の間隔)
 H ----- 平均潮位面以下の平均水深
 n ----- *manning* の粗度係数、伊勢湾台風の資料では
 $n = 2.06$ であった。

これらの式は試算法で求めなければならないとはいえ、現場で容易に用いられる程度に簡易化しており、かつ実例にあてはめるとかなりよい精度をうることができた。

前述のように潮止め工事の施工計画をたてるにあたっては、潮止め箇所の流速を一つの要素として導入しなければならない。しかし、流速は干潮によって時々変化し、干潮潮位差が変化することによって、流速の最大値も日々異なるため、流速を一つの要素として直接導入することは困難であるから、流速に代るべき要素を用いなければならない。流速に關する要素のうちもっとも基準となるものは、背後池の湛水面積 S を破堤総延長 L で除した値 S/L であり、その他の要素はそのうちには人為的にある程度調整できるものもあって、潮止め工事の施工計画にはあまり影響がなく、むしろ施工にあたって考慮すべき性質のものであることが判明した。従って、施工計画をたてるにあたっては、流速の代りに S/L を用いることとした。この方法はまた実際の施工にあたって利用しやすい利点をもっていると考えられる。

潮止め工事に関係する要素は、流速のほかサンドポンプ船のしゅんせつ能力、送砂土砂の歩留りなどがあるが、これらの検討については割愛する。

4 施工計画のたて方

潮止め工事の施工計画は、大きく分けて総合的工事計画、個々の個

所の施工計画、一つの湛水地に対して最後の潮止め箇所となる箇所の
攻め切り工の施工計画の3つに分けられる。

総合的工事計画とは、工事の開始に先立ち各潮止め箇所の施工の順
序を定め、サンドポンプ船の収集計画を立て、資材労力の全所要概数
を求めることである。

個々の箇所の施工計画は、各個所毎の施工計画であって、所要土砂
量の推定、サンドポンプ船の所要馬力数の決定、所要資材労力の推定
などを行なうものである。

他に破堤箇所のある箇所を潮止めする場合は、その箇所を潮止めし
ても他の破堤箇所から湛水地内に水の流出入が行なわれるために、潮
止めは比較的容易に施工できる。すなわち、他に破堤箇所のある箇所
においては、潮止め口を徐々に狭ばめて行く漸縮工の段階でも、最後
の一潮を一気に潮止めする攻め切り工の段階でも、施工計画を変える
必要がなく、この個々の箇所の施工計画に従って施工することができ
ると考えられる。

一つの湛水地に対して最後の潮止め箇所となる箇所の攻め切り工は
全工事のうちもっとも困難な作業であり、潮止め工事全体の成否もこ
の攻め切り工のみにかかっているから、とくに綿密な計画を立てなけ
ればならない。

つぎに、これらの三つの計画のたて方について、詳細は省略して結
論のみを述べる。

Ⅰ) 総合的工事計画

α) 施工の順序を定める。

破堤延長の短い箇所から順に締切るように計画する。

α) サンドポンプ船の収集を計画する。

サンドポンプ船の収集に要する日数は、つぎの要素からなってい
る。

① 注文を受けてから受諾を決定するまでの時間。

② 注文を受けたとき、たまたま他の工事を施工中の場合、その

工事を打ち切るに要する時間。

- ③ 廻船準備に要する時間
- ④ 曳船の到着を待つ時間
- ⑤ 受註当時の作業場所から災害現地までの航海距離
- ⑥ 航海中に寄港または避難に要する時間

これらについて実績資料をまとめてみると次式がえられる。

$$(\text{サンドポンプ船の収集に要する日数}) = (\text{航海距離}) \div 32 + 7 \quad \text{----- (1)}$$

(1) 式から収集に要する日数がえられると実施工日数は次式から求まる

$$(\text{実施工日数}) = (\text{予定工期}) - (\text{サンドポンプ船の収集に要する日数}) \quad \text{----- (2)}$$

つぎに、施工の順序に従って求めた $\frac{\sum l_i}{\sum l_i}$ の総計 $\sum (\frac{\sum l_i}{\sum l_i})$ の値を用いて次式から所要しゅんせつ土砂量を推定する。

$$\frac{\sum l_i}{\sum l_i} < 2 \times 10^9 \text{ の場合} \quad \sum A = 200 \sum l_i \quad \text{----- (3)}$$

$$\frac{\sum l_i}{\sum l_i} > 2 \times 10^9 \text{ の場合} \quad \sum A = 0.1 \sum \left\{ \left(\frac{\sum l_i}{\sum l_i} \right) l_i \right\} \quad \text{----- (4)}$$

こゝに

$\sum A$ ----- 全所要しゅんせん土砂量

l_i ----- 各個所の潮止め工事着手前の破堤延長

$\sum l_i$ ----- ある個所の潮止め工事着手前において他に破堤個所がある場合、それらの破堤延長の総計。すなわち、いま一つの湛水地に対して破堤延長が $l_1, l_2, \dots, l_n$ なる n 個の破堤個所がある場合 $l_1, l_2, \dots, l_n$ の順に断切ることとし、 l_1 の個所の $\sum l_i$ を $(\sum l_i)_1$ で表わすと

$$(\sum l_i)_1 = l_1 + l_2 + \dots + l_n$$

同様に $(\sum l_i)_2$ では l_1 の潮止めがすでに終つてい

るのでこれを除外して、

$$(\sum l_i)_2 = l_2 + \dots + l_n$$

以下同様に

$$(\sum l_i)_r = l_r + l_{r+1} + \dots + l_n$$

$$(\sum l_i)_n = l_n$$

なる値であり、任意の個所における値を単に $\sum l_i$ で表わすものとする。

なお、 $\frac{S}{\sum l_i} \geq 2 \times 10^3$ の2つの範囲に分けたものは、 $\frac{S}{\sum l_i} < 2 \times 10^3$ の場合はその日個所に生ずる流速が小さく、流れのない場合にしゅんせつしたと同様の値をとると考えられるので、一定値をとり、 $\frac{S}{\sum l_i} > 2 \times 10^3$ の場合のみ $\frac{S}{\sum l_i}$ に比例して所要土砂量が変化すると考えたためである。

つぎに (3) (4) 式から求めた所要しゅんせつ土砂量を用いて、次式によってサンドポンプ船の所要総馬力数を決定する。

$$HP = \frac{\sum A}{\gamma \cdot T_p} \quad \text{----- (5)}$$

ただし

HP-----サンドポンプ船の所要馬力数

$\sum A$ -----全所要しゅんせつ土砂量

γ -----サンドポンプ船/馬力/時間当りしゅんせつ量

T_p -----サンドポンプ船の稼働時間(実績では施工日数の50%)

γ はサンドポンプ船の効率、送砂管延長、しゅんせつ土砂の粒度などによって異なる値をとるが、実績資料(砂の平均粒径 $0.3 \sim 0.7mm$)によれば、大体ディーゼル船で 0.3 、電動船で 0.5 であった。しかし、これは施急工事のみ用いることができると考えられる特殊なしゅんせつ方式を行なった結果であると考えられるので、通常のしゅんせつ方式を行なう場合はもう少し小さい値をとるべきであろう。

c) 資材労力の収集を計画する。

資材のうちもっとも主体となる砂とかますは、施工の順序に従

つて求めた $\frac{S}{\sum l_i}$ を用いて次式から求められる。

$\frac{S}{\sum l_i} > 2 \times 10^3$ の場合

$$(\text{とだの所要枚数}) = 2 \times 10^3 \sum \left\{ \left(\frac{S}{\sum l_i} \right) l_i \right\} - 10 \dots (16)$$

$$(\text{かますの所要枚数}) = 12.5 \times 10^3 \sum \left\{ \left(\frac{S}{\sum l_i} \right) l_i \right\} + 15 \dots (17)$$

$\frac{S}{\sum l_i} < 2 \times 10^3$ の場合は、前述の理由で $\frac{S}{\sum l_i} = 2 \times 10^3$ の場合の値をそのまま用いる。

つぎに労力は次式による。

$\frac{S}{\sum l_i} > 2 \times 10^3$ の場合

$$(\text{労力}) = 40 \times 10^3 \sum \left\{ \left(\frac{S}{\sum l_i} \right) l_i \right\} \dots \dots \dots (18)$$

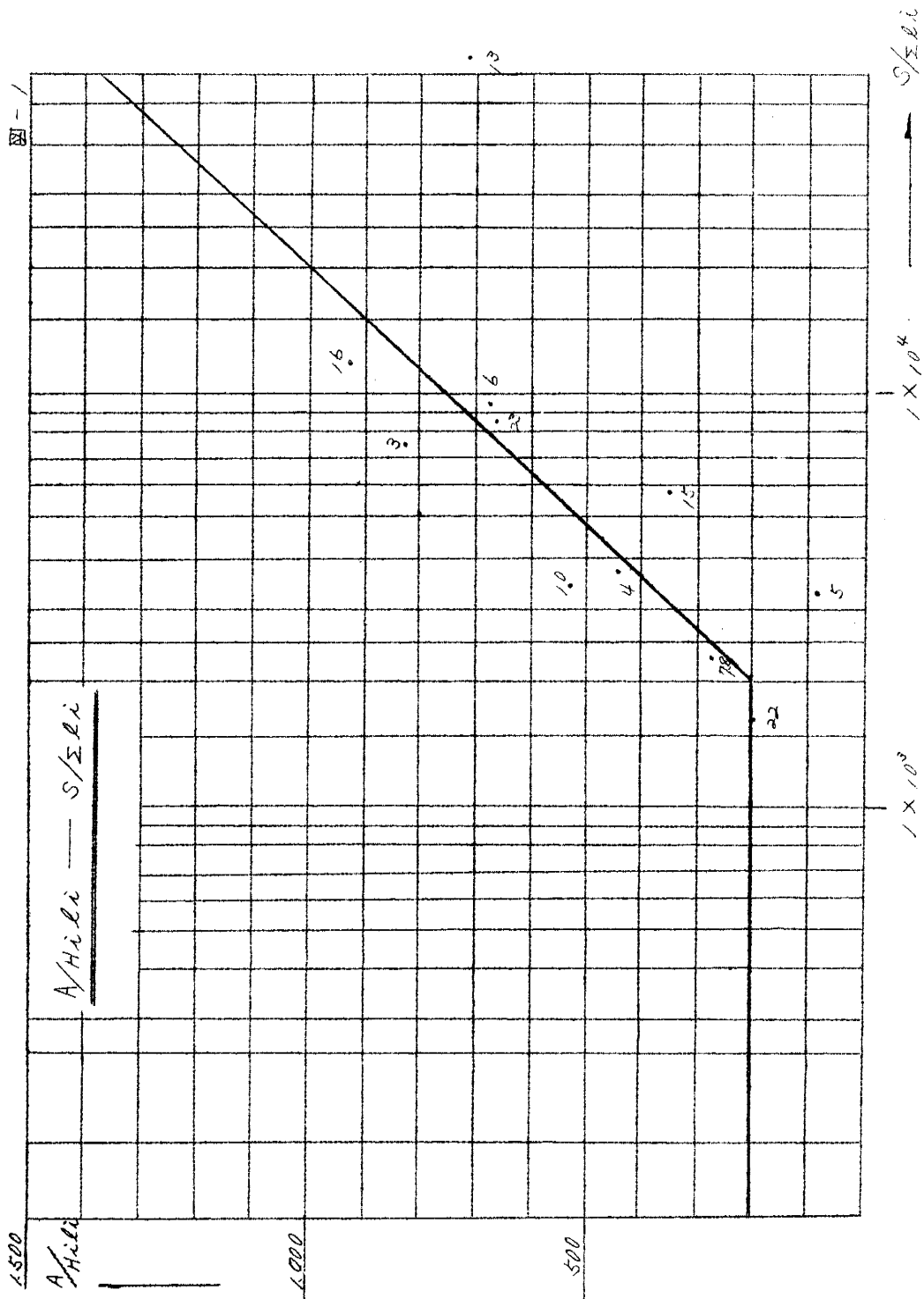
II) 個々の個所の施工計画

a) 所要しゅんせつ土砂量の決定

その個所の工事着手前の破堤延長 l_i 、平均水深 H_i および $\frac{S}{\sum l_i}$ を用いて次式(図ノ参照)から所要しゅんせつ土砂量 A_w を求める

$\frac{S}{\sum l_i} > 2 \times 10^3$ の場合

$$A_w = (800 \log_{10} \frac{S}{\sum l_i} - 2.441) l_i H_i \dots \dots \dots (19)$$



6) サンドポンプ船の所要馬力数の決定

$$HP = \frac{A \cdot W}{\gamma \cdot T_P} \quad \text{--- (10)}$$

ここに、 γ は(5)式で用いた値を用い、 T_P はサンドポンプ船の稼働時間であるが、一昼夜フル運転するとしても、故障その他の時間を見込み12時間程度を見ればよい。

7) 所要資材労力の推定

$$(\text{そだの所要枚数}) = 2 \times 10^{-3} \left(\frac{S}{\Sigma L_e} \right) L_e - 10 \quad \text{--- (11)}$$

$$(\text{かますの所要枚数}) = 12.5 \times 10^{-3} \left(\frac{S}{\Sigma L_e} \right) \cdot L_e + 15 \quad \text{--- (12)}$$

$$(\text{労 力}) = 40 \times 10^{-3} \left(\frac{S}{\Sigma L_e} \right) L_e \quad \text{--- (13)}$$

Ⅲ) 一つの湛水地に対して最後の潮止め箇所となる箇所の攻め切り工の施工計画

a) 攻め切り工の際の潮止め口の幅を求めて攻め切り工の可否を検討する。

使用するサンドポンプ船が決まっている場合は、湛水面積 S 、攻め切り工の際の潮止め口の幅 L_e 、同じく平均水深 H_e の値を用いて次式(図-2参照)より攻め切り口の幅 L_e を求める。

$$L_e = \frac{1}{52.8 H_e} (A' - 434 \times 10^{-4} S H_e) \quad \text{--- (14)}$$

ここに A' は攻め切り工に要するしゅんせつ土砂量であり、次式によって求める

$$A' = \gamma T_e HP \quad \text{--- (15)}$$

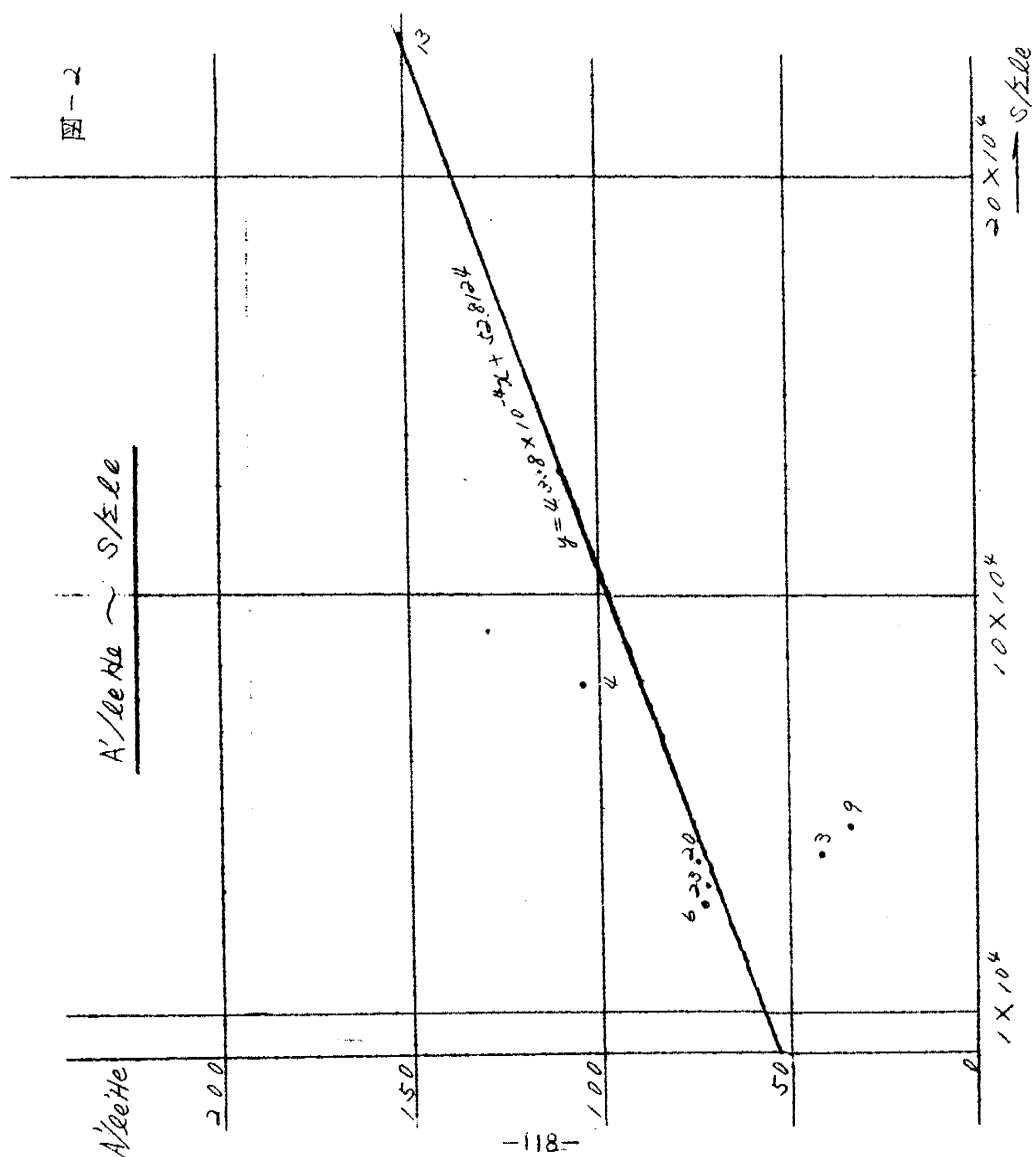
この場合の T_P は一潮の時間として6時間を取り、 γ は(5)式に述べたとおりである。

攻め切り口の幅 L_e は経験上20～30m程度が適当である。しかし $\frac{S}{L_e}$ が非常に大きくなれば潮止め口の流速は非常に速くなり、施工ができなくなる場合も生じる。いま、実績資料について $\frac{S}{\Sigma L_e}$ と潮汐の振幅 $2a$ との相関を取り施工の経験的な難易度を求めてみると図-3のようになる。

(14)式求めた L_e を用いて求めた $\frac{S}{L_e}$ とそのときの潮汐の振幅 $2a$ との関係が図-3の施工困難の範囲に含まれているか、あ

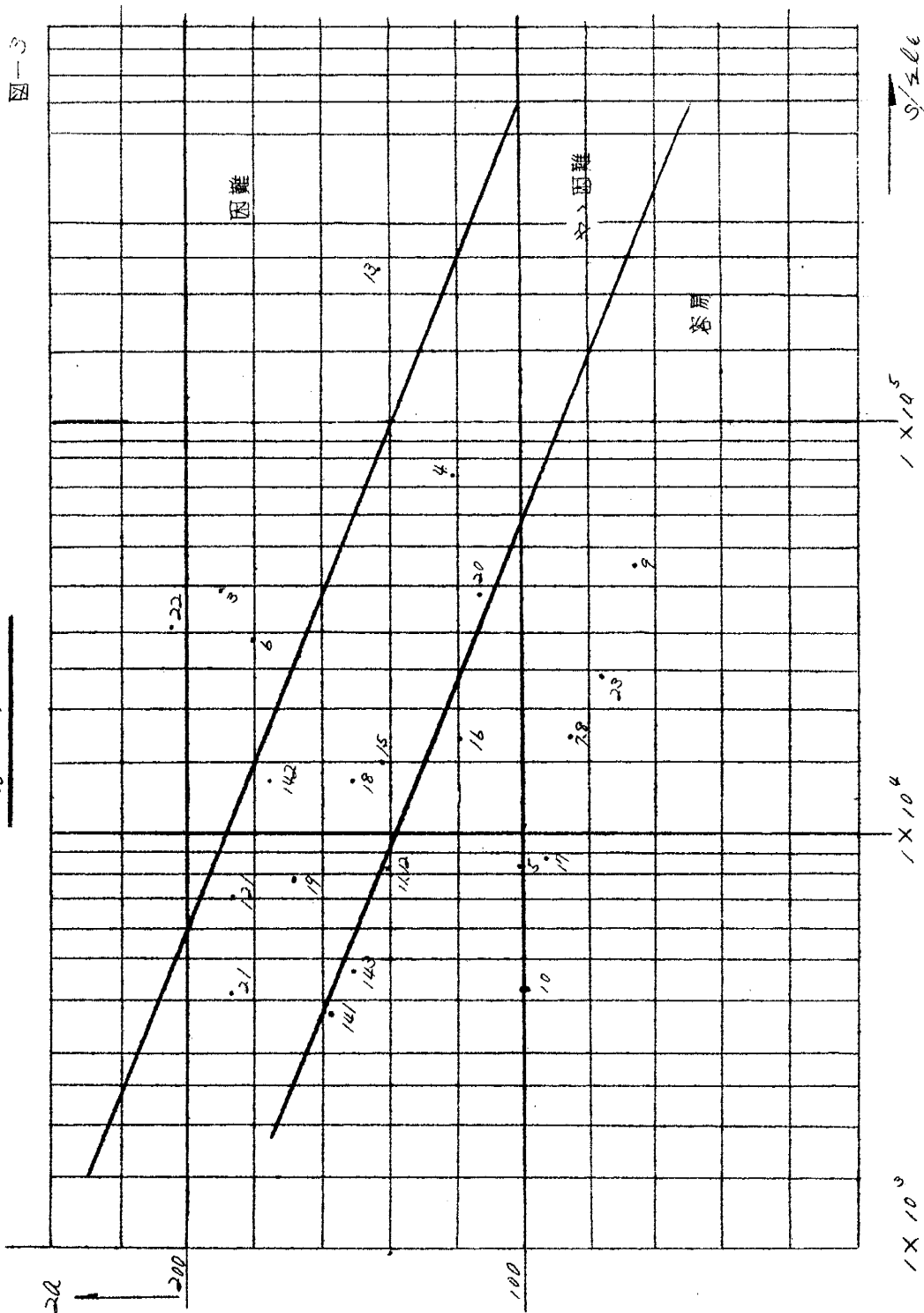
るいは(14)式から計算した L_e が負数となれば、施工が非常に困難あるいは使用サンドポンプ船のみでは攻め切りができないことを表わしているの、攻め切り箇所を必要に施して2箇所以上送る各箇所を同時に攻め切るように計画しなければならない。

また、 $\frac{S}{L_e}$ が図-10の施工容易の範囲内であれば、 L_e を20m以下にもとれるし、サンドポンプ船の能力が大きければ、30m以上の幅を一気に攻め切ることもできる。



$2a - S/\Sigma L_0$

图-3



6) サンドポンプ船の能力の決定

取め切り工の幅 le をあらかじめ決めてサンドポンプ船の能力を定める場合は、 s, le, He の値を用いて次式からサンドポンプ船の所要馬力数を求める。

$$HP = \frac{1}{\eta T_P} (4.34 \times 10^{-4} s He + 52.8 le He) \quad (16)$$

この場合、 η は (5) 式に並べた値、 T_P は 6 時間をとればよい。(16) 式によって所要馬力数を計算した場合、所要馬力数が大きくてサンドポンプ船 3 隻以上の使用を要求するならば、ノ箇所当り 2 隻を用いるから、必要に応じて取め切り個所数を増さなければならぬ。

4 あ と が き

以上がサンドポンプ船による潮止め工事の施工計画のたて方の骨子であるが、これによって、まかりなりにもこの工法の施工計画の指針を見出すことができたと思っている。

この工法は、他の工法に比べて資材労力があまりいらない矣、段取りが簡単な矣、堤防敷に夾雑物を残さない矣などから考えて、今後平時の干拓工事などにも応用できるのではないかと考えている。

なお、こゝで言及しなかった施工法その他の詳略な研究については先に発表した著書（渡辺）の論文⁽¹⁾および近く発刊を予定している工事誌⁽²⁾を参照されたい。

最後に、この研究に当って終始御指導御鞭達を賜わった、京都大学教授石原謙次郎博士に衷心より感謝する。

参考文献

- (1) 渡辺豊：サンドポンプ船による潮止め工事とその施工に関する研究、昭和 36 年 8 月
- (2) 建設省中部地方建設局：伊勢湾高潮対策事業工事誌（仮称）、現在編集中