

高潮に対する臨海工業地帯の埋立地面高の決定 に関する Operations Research

鈴木 雅 次*
川 北 米 良**

1. ま え が き

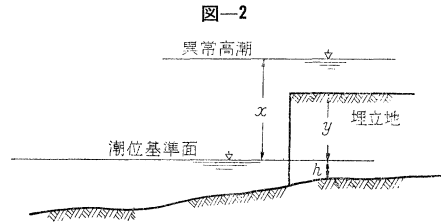
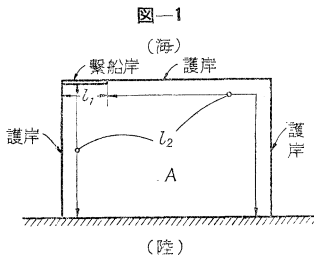
一般に日本の臨海工業地帯は海岸を埋立て造成され、その埋立地面高の決定には、第一に台風時の異常高潮、波浪、地震津波および地盤沈下などによる災害に対する安全性、第二に埋立土地利用の便—例えば工場の施設および繋船岸における荷役などの機能の便—、第三に埋立土地造成工費および工場設備費などの工場立地に対する投資の経済性の三つの事項を考慮して適当な高さに決定すべきである。上記第一項の諸原因による災害に対しては、主として埋立地面高をできるだけ高くして安全性を増すことが望ましいが、実際上は工場立地に対する投資能力および埋立土地利用の便などに制約されて、埋立地面高を無制限に高くすることはできず、また企業者側は工場立地当初の設備投資金の償還年数がなるべく短かいことを望む。ここに臨海工業地帯の埋立地面高の決定が重要問題となる。本文はその場合の Operations Research であって、ここでは地震津波および地盤沈下の顕著な地区を除く臨海地域を対象とし、地震津波および地盤沈下にはふれず、主として高潮災害に対する安全性と工場立地に対する投資の経済性をとりあげる。また埋立土地利用の便よりの制約は土地造成計画全体から見れば局部的であるから無視することにする。

2. 工場立地当初の全設備投資金

埋立地に工場が立地する際に要する投資金を、埋立地面高に関し次のように分けて考える。

(1) 埋立土地造成費

図-1 および 図-2 に示すような工場用地の埋立造成計画において、 A を埋立面積、 l_1 を繋船岸の延長、 l_2 を護岸の総延長、 y を潮位基準面より測った埋立地面高、 h を埋立予定地の平均水深、 h_1 を繋船岸のバースの水深、 h_2 を護岸施工箇所の水深、 M_1 を繋船岸工費、 M_2



を護岸工費、 M_3 を埋立工費、 a_1 および a_2 を係数、 a_3 を埋立工事単価とし、埋立地面高と繋船岸、護岸、埋立などの工費の間に次の関係があるものと仮定する。

$$M_1 = a_1 l_1 (y + h_1)^2, \quad M_2 = a_2 l_2 (y + h_2)^2,$$

$$M_3 = a_3 A (y + h).$$

(2) 既得権の補償費

埋立工事に付帯して補償を要する既得権—例えば漁業権—の補償費の総額を M_4 とする。

(3) 生産設備投資額および付常設備投資額

工場およびその付属建築物、生産施設、港湾荷役施設、用地内通路、荷物専用鉄道引込線、整地費などに対する総投資額を M_5 とする。

M_4 と M_5 は y に無関係な定数とみなせるから $M_4 + M_5 = C$ とおくことにする。

したがって工場立地当初に要する全設備投資金額を M とすれば、 M は y についての二次方程式として次式で表わされる。

$$M = \sum_{i=1}^5 M_i = a_1 l_1 (y + h_1)^2 + a_2 l_2 (y + h_2)^2 + a_3 A (y + h) + C$$

ゆえに

$$M = m_1 y^2 + m_2 y + m_3 \dots \dots \dots (1)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} m_1 &= a_1 l_1 + a_2 l_2, \\ m_2 &= 2(a_1 l_1 h_1 + a_2 l_2 h_2) + a_3 A, \\ m_3 &= a_1 l_1 h_1^2 + a_2 l_2 h_2^2 + a_3 A h + C. \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

3. 年間純利益金

工場の年間純利益はその年の経済状態により変動するが、ここでは平均状態を考え、毎年一定の純利益金 B を得るものとし

$$B = (\text{年間総収益}) - [\text{営業費 (事業税をふくむ)}] - (\text{財務費}) - (\text{雑損失費}) - (\text{法人税}) \dots \dots \dots (3)$$

* 名誉員 工博 元土木学会会長、日本大学教授
** 正 員 工修 日本大学理工学部土木工学科教室

で求められる値とする。

4. 高潮発生を超過確率と高潮被害の期待値

工場立地計画の完成後に異常高潮が発生したとき、その異常潮位が埋立地面高以下の場合には埋立地内に高潮による被害は生じないものとし、埋立地面高以上の場合には埋立地内には異常潮位と埋立地面高との差の深さの浸水により被害が生ずるものとする。

次に高潮の発生は統計的に独立で、その発生頻度分布は統計的に定常であると仮定する。しかし異常高潮の発生には、その年のくせがあるようで、この仮定は厳密には成立しないが、土木計画策定のための考察にはさしかえなないものとして一般に認められている。これらの仮定のもとで、高潮の発生により埋立地内に災害が生じた場合の被害額を推定する。

まず既往の異常高潮の観測値を拾集して、その母集団の分布を調べる。ここでとりあげる異常高潮は台風あるいはその他の異常気象による気象潮と定周期的な天体潮との重合による潮位であるが、主として台風に基因するものである。しかし臨海工業地帯の埋立地面高は少なくとも天体潮の満潮位以上でなければ実用的価値がないから、埋立地面高は期望平均満潮位以上のある値に決定されるものとして、母集団は期望平均満潮位よりいくぶん高いある潮位 b_0 以上の高潮観測値を集めて作る。いま x を異常高潮の潮位、 $f(x)$ を高潮発生の確率密度関数、 $W(x)$ をある潮位 x 以上の異常高潮の発生確率(超過確率)、 $\varphi(x, y)$ を1回の高潮発生による埋立地内の被害推定額(被害関数)、 $\psi(y)$ を1回の高潮発生により埋立地内に生ずる被害の期待値、 n を異常高潮の年間発生回数とすれば、次式が得られる。

$$\psi(y) = \int_y^{\infty} \varphi(x, y) f(x) dx \dots\dots\dots (4)$$

異常高潮の年間発生回数 n はまた一つの頻度分布を持ち、その頻度分布は日本へ襲来する台風の頻度分布から推察して、一般に Poisson 分布に近い分布をなすものと考えられる¹⁾。しかし期望平均満潮位よりいくぶん高い潮位 b_0 以上の異常高潮の年間発生頻度分布の範囲は、実際には狭い範囲である。一例を示せば、東京湾霊岸島量水標(A.P.)における1923~1955年の潮位観測資料によれば、A.P.+2.5m以上の異常高潮の年間発生回数は1~2回で、平均0.55回である。したがって n の値は近似的に異常高潮の平均年間発生回数ないし最高年間発生回数の中間の数をとることにし、その決定は最近数年間の高潮発生頻度と埋立地の安全性を考慮し、安全性を大きく見込む場合ほど n の値を大きくとることにする。このように n を近似的に一定値として扱うことは、以下に述べる最適埋立地面高の算定にほとんど影響なく、実用上十分な妥当性を有することが後述の東京湾奥部の臨海工業地帯の埋立地面高の試算例において実証さ

れる。

このように n の値を定めれば、埋立地内の年間高潮被害の期待値は近似的に $n\psi(y)$ と書ける。

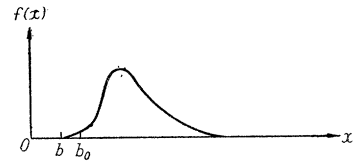
次に埋立地内の高潮被害推定額は浸水深さの λ 乗に比例するものと考え、被害関数を

$$\varphi(x, y) = \begin{cases} 0, & (x \leq y) \\ k(x-y)^{\lambda}, & (x > y) \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

と書き表わせるものとする。ここに λ および k は埋立土地利用計画と高潮発生の際に予想される被害高の程度に関する定数で、それらは既往の高潮被害の調査資料を参考にして、財および施設の被害はもちろん、工場の操業停止による欠損なども考慮して決定すべきである。

高潮の発生確率密度関数 $f(x)$ は、各地ともまだ統計的に十分な観測資料がないので明らかではないが、一般に図-3のように mode が中央より左寄りの分布を示す。そこで計算

図-3 高潮の発生確率密度分布



の便と、高潮の発生確率密度を x の大なる右端でやや大きいめに見込み後に述べる埋立地面高を安全側に決定することを考慮して、 $f(x)$ の型が、 x の下限が有限で上限が無限大の Slade 型分布²⁾にしたがうものとする。すなわち $f(x)$ は正規分布の確率変数を対数変換して得られる分布で、 ξ を x に関する適当な対数関数とすれば

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\xi^2}{2}} \frac{d\xi}{dx} \dots\dots\dots (6)$$

と書かれる。ゆえに x より大なる高潮の発生する確率は

$$W(\xi) = \int_x^{\infty} f(x) dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\xi}^{\infty} e^{-\frac{\xi^2}{2}} d\xi \dots\dots (7)$$

より計算される。ここに ξ は x の関数であるから、 x に値を与えて ξ の値がわかれば、その ξ の値に対する $W(\xi)$ の値が正規分布表より求められる。

(6)において、 ξ を次の対数関数

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \sqrt{2} c \log \frac{x-b}{x_0-b} = \sqrt{2} c_0 \log_{10} \frac{x-b}{x_0-b}, \\ \therefore x &= (x_0-b) e^{\frac{\xi}{\sqrt{2}c}} + b, \quad \frac{d\xi}{dx} = \frac{\sqrt{2}c}{x-b}, \\ c_0 &= 2.3026 c \end{aligned} \right\} \dots\dots (8)$$

で変換すれば

$$f(x) = \frac{c}{\sqrt{\pi}(x-b)} e^{-c^2 \left(\log \frac{x-b}{x_0-b} \right)^2} \quad (b < x < \infty) \dots\dots (9)$$

となる。(9)は x_0 を中央値、 c を分散に関する定数、 b を x の下限とし、上限無限大の確率密度関数である。 N 個の高潮観測値 x_1, x_2, \dots, x_N が得られたとすれば、定数 x_0, b および c は岩井博士の方法を用いて次式で定められる³⁾。

$$\log_{10} x_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log_{10} x_i, \quad b = \frac{1}{m} \sum_{s=1}^m b_s,$$

ただし $b_s = \frac{x_0^2 - x_s x_t}{2x_0 - (x_s + x_t)}$.

で m は $N/10$ に最も近い整数とする。また $t = N - (s-1)$ で s は標本を大きい順に並べた時の順位である。

$$c_0 = \frac{1}{\sqrt{\frac{2}{N-1} \sum_{i=1}^N \left(\log_{10} \frac{x_i - b}{x_0 - b} \right)^2}},$$

$$c = \frac{c_0}{2.3026}.$$

(10) において $b_s < 0$ となるものに対しては $b_s = 0$ として計算する。一般に b は b_0 よりやや小さな値になる傾向がある。(4) に (5) および (9) を代入すれば、1 回の高潮発生による被害の期待値は

$$\psi(y) = \frac{kc}{\sqrt{\pi}} \int_y^{\infty} \frac{(x-y)^{\lambda}}{(x-b)^{\lambda}} e^{-c^2 \left(\log \frac{x-b}{x_0-b} \right)^2} dx \quad \dots (11)$$

で表わされる。(8) を用いて x を ξ に変換して

$$\xi_1 = \sqrt{2} c \log \frac{y-b}{x_0-b} = \sqrt{2} c_0 \log_{10} \frac{y-b}{x_0-b} \quad \dots (12)$$

とおけば

$$\psi(y) = \frac{k}{\sqrt{2\pi}} \int_{\xi_1}^{\infty} \left\{ (x_0-b) e^{\frac{\xi}{\sqrt{2}c}} - (y-b) \right\}^{\lambda} e^{-\frac{\xi^2}{2}} d\xi$$

..... (13)

と書ける。 λ が正整数の場合は (13) は (7) を用いることにより、次のように表わされる。

($\lambda=1$ の場合)

$$\psi(y) = k \left\{ (x_0-b) e^{\frac{1}{4c^2}} W(\xi_2) - (y-b) W(\xi_1) \right\}$$

..... (14)

ここに $\xi_2 = \xi_1 - 1/(\sqrt{2}c)$ (15)

($\lambda=2$ の場合)

$$\psi(y) = k \left\{ (x_0-b)^2 e^{\frac{1}{c^2}} W(\xi_3) - 2(x_0-b)(y-b) e^{\frac{1}{4c^2}} W(\xi_2) + (y-b)^2 W(\xi_1) \right\}$$

..... (16)

ここに $\xi_3 = \xi_1 - \sqrt{2}/c$ (17)

($\lambda=3$ の場合)

$$\psi(y) = k \left\{ (x_0-b)^3 e^{\frac{9}{4c^2}} W(\xi_4) - 3(x_0-b)^2 (y-b) e^{\frac{1}{c^2}} W(\xi_3) + 3(x_0-b)(y-b)^2 e^{\frac{1}{4c^2}} W(\xi_2) - (y-b)^3 W(\xi_1) \right\}$$

..... (18)

ここに $\xi_4 = \xi_1 - 3/(\sqrt{2}c)$ (19)

$\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4$ はいずれも y の関数である。 λ が正整数でない場合は $\psi(y)$ の計算は (13) によらなければならないが、実際問題においては $\lambda=1, 2, 3$ の範囲で近似させ、上記の (14), (16), (18) のいずれかを用いれば十分である。これらの式は正規分布表を利用して計算することができるので便利である。

5. 設備投資金の確率償還モデル

工場立地当初の全設備投資金の毎年の償還額は、純利

益金から年間高潮被害の期待値を差し引いた額 $(B-n\psi)$ とし、当初の全設備投資金に対する利子は年利率 r の期末払の複利計算とすれば

第 1 年末の未償還金の元利合計

$$= M(1+r) - (B-n\psi),$$

第 2 年末

$$= M(1+r)^2 - \{ (B-n\psi)(1+r) + (B-n\psi) \},$$

第 3 年末

$$= M(1+r)^3 - \{ (B-n\psi)(1+r)^2 + (B-n\psi)(1+r) + (B-n\psi) \},$$

第 t 年末

$$= M(1+r)^t - \{ (B-n\psi)(1+r)^{t-1} + (B-n\psi)(1+r)^{t-2} + (B-n\psi)(1+r) + (B-n\psi) \} \dots \dots \dots (20)$$

である。これを確率償還モデルと呼ぶことにし、また t 年間で全設備投資金 M が全額償還される場合、この t を確率償還年数と名づけることにする。その場合の償還条件式は (20) を 0 に等置することにより次のように表わされる。

$$(B-n\psi)/M = r \{ 1 - 1/(1+r)^t \} \quad \dots \dots \dots (21)$$

ゆえに確率償還年数は (21) より次式で与えられる。

$$t = \left\{ \log_{10} \frac{1}{1 - F(y)} \right\} / \left\{ \log_{10}(1+r) \right\}, \quad \dots \dots \dots (22)$$

ここに

$$F(y) = \left(\frac{rM}{B} \right) / \left\{ 1 - \left(\frac{n\psi}{B} \right) \right\}. \quad \dots \dots \dots (23)$$

この確率償還モデルにおいて、償還可能なるためには (22) および (23) は次の償還可能条件を満足しなければならない。

$$0 < F(y) < 1, \quad 0 < n\psi < B, \quad 0 < rM < B - n\psi. \quad \dots (24)$$

M には (1) を、 ψ には (14), (16), (18) のいずれかを与え (23) より $F(y)$ を求めれば、全設備投資金の確率償還年数は (22) で計算される。

6. 最適埋立地面高の決定

埋立によって造成される臨海工業地帯が高潮に対する安全性を増すためには、埋立地面高をできるだけ高くすることが望ましい。しかし企業者側は、工場立地当初の全設備投資金の償還年数なるべく短かいことを望む。この二つの要望の間立って、高潮の災害に対する相当の安全性と工場立地当初の投資の経済性を調和し、最適埋立地面高を決定する。

いま埋立地面高 y を極端に高くすれば (1) に示す全設備投資金 M が増大し、(13) より得られる高潮被害の期待値 ψ は減少するが実際問題においては一般に (23) の $F(y)$ が増大して (22) で与えられる確率償還年数 t が増大する傾向がある。また y を極端に低くすれば M は少なくて済むが、 ψ が増大し、この場合も $F(y)$ が増大し、その結果 t が増大することになる。したがって償還可能条件 (24) を満足し、かつ y の変域 $b_0 < y <$

∞ の中で (23) の $F(y)$ を最小ならしめ、その結果として (22) の確率償還年数 t を最小にするような埋立地面高 y が一つ存在することが推察される。一方 t が最小となることは (21) より明らかなように高潮による被害額を差し引いた工場の実質的平均年間純利益 $(B-n\psi)$ が工場立地当初の全設備投資金 M に比し最大となることを意味する。

ゆえに $F(y)$ の最小値を F_{\min} で表わし、 $F(y)=F_{\min}$ ならしめる y の値を y_0 とするすことにし、埋立地面高をこの y_0 に選定すれば、高潮災害に対し、相当の安全*

$$F(y) = \frac{(m_1 y^2 + m_2 y + m_3) r / B}{1 - \{(x_0 - b) e^{\frac{1}{4\sigma^2}} W(\xi_2) - (y - b) W(\xi_1)\} nk / B} \dots\dots\dots (25)$$

($\lambda=2$ の場合) : (23) に (1) と (16) を代入して

$$F(y) = \frac{(m_1 y^3 + m_2 y + m_3) r / B}{1 - \{(x_0 - b)^2 e^{\frac{1}{\sigma^2}} W(\xi_3) - 2(x_0 - b)(y - b) e^{\frac{1}{4\sigma^2}} W(\xi_2) + (y - b)^2 W(\xi_1)\} nk / B} \dots\dots\dots (26)$$

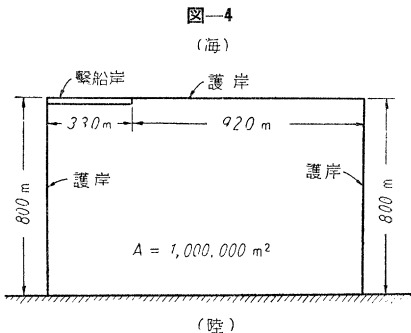
($\lambda=3$ の場合) : (23) に (1) と (18) を代入し

$$F(y) = \frac{(m_1 y^4 + m_2 y + m_3) r / B}{1 - \{(x_0 - b)^3 e^{\frac{9}{4\sigma^2}} W(\xi_4) - 3(x_0 - b)^2 (y - b) e^{\frac{1}{\sigma^2}} W(\xi_3) + 3(x_0 - b)(y - b)^2 e^{\frac{1}{4\sigma^2}} W(\xi_2) - (y - b)^3 W(\xi_1)\} nk / B} \dots\dots\dots (27)**$$

**ここに $W(\xi_1)$, $W(\xi_2)$, $W(\xi_3)$, $W(\xi_4)$ の値は正規分布表より求められる。(25), (26), (27) のいずれか適当な式を用いて $F(y)=F_{\min}$ における y の値すなわち y_0 を求めれば、その y_0 の値が最適埋立地面高である。

7. 東京湾奥部の臨海工業地帯の埋立地面高の試算例

上記の方法にしたがって、東京湾奥部の比較的津波の勢力の小さい地盤沈下のおそれの少ない京葉臨海工業地帯を対象とし、図-4 に示すような工場用埋立地を造成する場合の最適埋立地面高を決定する問題を考える。



ここに $A=1\,000\,000\text{ m}^2$, $h=0.5\text{ m}$, $l_1=330\text{ m}$ (1万重量トン貨物船2バス), $h_1=9\text{ m}$, $l_2=2\,520\text{ m}$, $h_2=1.5\text{ m}$, $a_3=250\text{ 円/m}^3$, $M_4=4 \times 10^7\text{ 円}$, $B=24 \times 10^8\text{ 円/年}$, $r=0.1$ であるとする。ただし $M_5=10^9 \sim 14 \times 10^9\text{ 円}$ の範囲について考察することにする。

(1) m_1, m_2, m_3 の計算

* 性を有し、かつ経済的に有利な工業用地が造成されることになり合理的である。よって最適埋立地面高を y_0 に決定する。

(23) で表わされる $F(y)$ は超越方程式であって、これより y_0 を求めるには数値解析によらなければならない(図-5, 6 および 7 参照)。その場合の計算式は、埋立土地利用計画と高潮が発生したときの被害状況の推定に応じて λ の値を 1, 2, 3 のいずれかに選定すれば(23) は次のように書ける。

($\lambda=1$ の場合) : (23) に (1) と (14) を代入して

繫船岸の形式は重力式岸壁とし、岸壁の天端高 $y=3.5\text{ m}$, $y+h_1=12.5\text{ m}$ の場合の工費を $1\,000\,000\text{ 円/m}$ と考えて係数 a_1 を求めれば

$$a_1 = \frac{M_1}{l_1(y+h_1)^2} = \frac{1\,000\,000}{(12.5)^2} = 6\,400\text{ 円/m}^3.$$

護岸の天端高 $y=3.5\text{ m}$, $y+h_2=5\text{ m}$ の場合の工費を $150\,000\text{ 円/m}$ として係数 a_2 を求めれば

$$a_2 = \frac{M_2}{l_2(y+h_2)^2} = \frac{150\,000}{5^2} = 6\,000\text{ 円/m}^3.$$

ゆえにこれらの値を用いて (2) より $m_1=17\,232\,000$, $m_2=333\,376\,000$, $m_3=370\,092\,000+C=10\,370\,092\,000 \sim 14\,370\,092\,000$ が求められる。

(2) λ および k の推定

(5) において $\lambda=1, 2, 3$ の各場合について試算することにし、 k の値は種々の高潮被害の調査資料⁴⁾ を参考にして次のような範囲の数に推定し、この範囲で k の値を変化させて試算検討することにする。

$\lambda=1$ の場合, $k=2.1 \times 10^9 \sim 8.4 \times 10^9\text{ 円/m}$,

$\lambda=2$ の場合, $k=4.2 \times 10^9 \sim 8.4 \times 10^9\text{ 円/m}^3$,

$\lambda=3$ の場合, $k=1.68 \times 10^{10} \sim 3.36 \times 10^{10}\text{ 円/m}^3$.

(3) 高潮発生時の超過確率 (W)

東京湾奥部の異常高潮発生の頻度分布として、信頼度の高い東京湾壺岸島量水標 (A.P.) による 1923~1955 年の 33 年間の潮位観測記録を利用することにし、この記録をもって周辺地域一帯の高潮発生の頻度を近似的に代表するものとみなす。この観測記録において $b_0=A.P. + 2.5\text{ m}$ として、それ以上の高潮観測値を拾集すれば表-1 のようである。標本数は統計的に十分とはいえない

がやむをえない。これを母集団として (7) より $W(x)$ を計算した結果は 表-2 および 表-3 のごとくで、また $x_0=2.672\text{ m}$, $b=2.406\text{ m}$, $c_0=2.3174$, $c=1.0064$, $\xi=3.2773 \log_{10}(x-2.406)+1.8848$ が得られる⁵⁾。表-1 に示した異常高潮の観測潮位はいずれも台風による気象潮と定周期的な天体潮との重合した潮位である。

表-1 霊岸島における A.P.+2.5 m 以上の潮位観測記録 (1923~1955 年)

発成年月日	潮位 m
1923年 9月 26日	2.50
1923. 10. 11.	2.66
1927. 10. 11.	2.50
1933. 9. 5.	2.50
1934. 9. 21.	2.55
1935. 8. 29.	2.65
1938. 9. 1.	3.10
1943. 10. 3.	2.62
1947. 9. 15.	2.62
1948. 9. 16.	2.69
1948. 10. 5.	2.50
1949. 8. 31.	3.25
1950. 10. 13.	2.60
1951. 10. 15.	2.69
1952. 8. 8.	2.51
1953. 9. 25.	2.84
1954. 8. 19.	2.68
1954. 9. 26.	2.77

表-2 霊岸島における高潮発生の超過確率

$W(x)$	異常高潮位 (x)m
1/10	3.06
1/20	3.25
1/30	3.37
1/50	3.53
1/100	3.77
1/200	4.03
1/300	4.20
1/500	4.41
1/1000	4.74

表-3 霊岸島におけるおもな高潮の生起超過確率

おもな高潮の生起年	月	日	x (m)	W(x)
1917年	10月	1日	4.12	1/250
1911.	7.	26.	3.94	1/162
1949.	8.	31.	3.25	1/20

霊岸島量水標の 1951~1954 年の 4 年間の観測記録より求めた朔望平均満潮位は A.P.+2.060 m である。また霊岸島量水標の基準水面 (A.P.) と東京湾中等潮位 (T.P.) との関係は A.P.=T.P.-1.134 m である。

(4) n の決定および $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4$ の計算

霊岸島で 1923~1955 年の間に A.P.+2.5 m 以上の高潮の発生した回数は 18 回で年間発生回数は平均 0.55 回、最大 2 回であるが、表-1 を見ると最近 1947~1954 年の 8 年間は毎年 1~2 回発生しているから、安全性を見込んで年間高潮発生回数は $n=1$ 回/年 とする。

次に (12), (15), (17), (19) は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \xi_1 &= 3.2773 \log_{10}(y-2.406)+1.8848, \\ \xi_2 &= \xi_1 - 0.7026, \quad \xi_3 = \xi_1 - 1.4052, \\ \xi_4 &= \xi_1 - 2.1078. \end{aligned} \right\} \dots (28) *$$

($\lambda=2$ の場合)

$$F(y) = \frac{0.00072 y^2 + 0.01389 y + (rm_2/B)}{1 - \{0.18991 W(\xi_2) - 0.68690(y-2.406) W(\xi_2) + (y-2.406)^2 W(\xi_1)\} nk/B} \dots (30)$$

ここに $nk/B=3.5\sim 7$ ($1/m^2$) (図-5 参照)

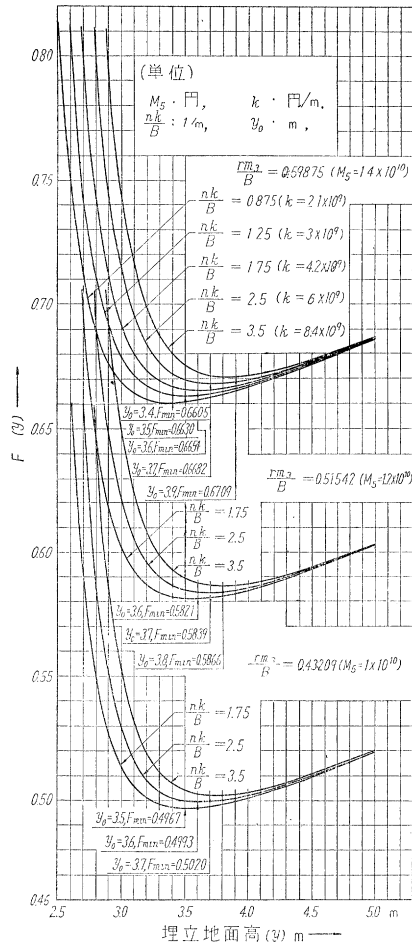
($\lambda=3$ の場合)

$$F(y) = \frac{0.00072 y^2 + 0.01389 y + (rm_3/B)}{1 - \{0.17351 W(\xi_1) - 0.56972(y-2.406) W(\xi_3) + 1.02136(y-2.406)^2 W(\xi_2) - (y-2.406)^3 W(\xi_1)\} nk/B} \dots (31)$$

ここに $nk/B=7\sim 14$ ($1/m^3$) (図-7 参照)

(28) の y に種々の値を与えて $\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4$ を求めれば、 $W(\xi_1), W(\xi_2), W(\xi_3), W(\xi_4)$ の値はそれぞれ正規分布表より求められる。(29), (30), (31) の数値計

図-5 (29) 式による $F(y)$ の曲線 ($\lambda=1$)



* (5) 最適埋立地面高 (y_0) の決定

以上に求めた諸種の値を (25), (26), (27) に代入すれば $F(y)$ は次式で与えられる。

ただし $rm_2/B=0.43209\sim 0.59875$ である。

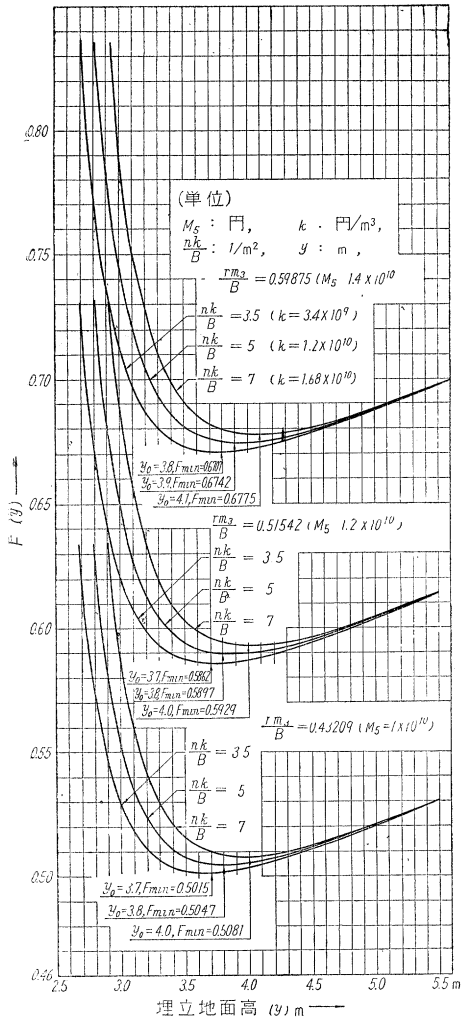
($\lambda=1$ の場合)

$$F(y) = \frac{0.00072 y^2 + 0.01389 y + (rm_2/B)}{1 - \{0.34045 W(\xi_2) - (y-2.406) W(\xi_1)\} nk/B} \dots (29)$$

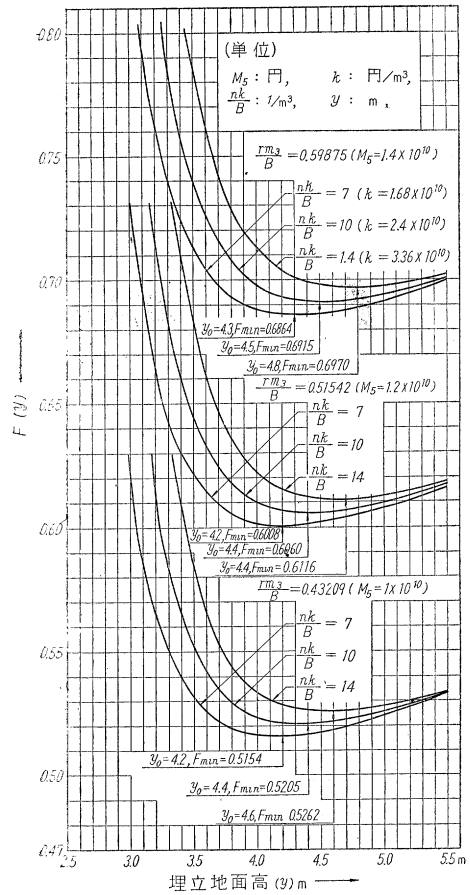
ここに $nk/B=0.875\sim 3.5(1/m)$ (図-5 参照)

算の結果は 図-5, 6, 7 に示すような曲線である。これらの曲線において $F(y_0)=F_{min}$ の点の y_0 の値が求められる最適埋立地面高である。またこれらの F_{min} の値を

図一六 (30) 式による $F(y)$ の曲線 ($\lambda=2$)



図一七 (31) 式による $F(y)$ の曲線 ($\lambda=3$)



(22)に代入すれば、その場合の確率償還年数が求められる。すなわち設備投資額 M_s 、被害関数の定数 λ および k をそれぞれ変化させた場合の最適埋立地面高 y_0 と、そのときの確率償還年数 t の計算結果を総括すれば表一4に示すようである。

表一4 最適埋立地面高 y_0 とその場合の確率償還年数

λ	M_s (円)	1×10^{10}		1.2×10^{10}		1.4×10^{10}	
		k	y_0 (m)	t (年)	y_0 (m)	t (年)	y_0 (m)
1	4.2×10^9 (円/m)	3.5	7.3	3.6	9.2	3.6	11.5
	6×10^9	3.6	7.3	3.7	9.2	3.7	11.6
	8.4×10^9	3.7	7.4	3.8	9.3	3.9	11.7
2	8.4×10^9 (円/m ²)	3.7	7.3	3.7	9.3	3.8	11.7
	1.2×10^{10}	3.8	7.4	3.8	9.4	3.9	11.8
	1.68×10^{10}	4.0	7.5	4.0	9.5	4.1	11.9
3	1.68×10^{10} (円/m ³)	4.2	7.7	4.2	9.7	4.3	12.2
	2.4×10^{10}	4.4	7.8	4.4	9.8	4.5	12.4
	3.36×10^{10}	4.6	7.9	4.7	10.0	4.8	12.6

(6) $F(y)$ の最小点 (y_0, F_{\min}) の性質

図一5, 6, 7 からわかるように (25), (26), (27) のそれぞれの式における $F(y)$ の最小点 (y_0, F_{\min}) について、 F_{\min} , y_0 , t , nk/B , rm_s/B および λ の間の関係を列挙すれば次のようである。

- 1) nk/B の大なるほど y_0 は大となる；(a) したがって k および n が大なるほど y_0 は大となる。(b) 年間純利益金 B が大なるほど y_0 は小となる。
- 2) nk/B が一定のときは rm_s/B が大なるほど y_0 は大となる；すなわち既得権の補償費 M_s 、設備投資額 M_0 および年利率 r がそれぞれ大なるほど y_0 は大となる。
- 3) λ の大なるほど y_0 は大となる。
- 4) rm_s/B が大なるほど F_{\min} は大となり、したがって(22)より t が大となる；(a) ゆえに M_s , M_0 および r が大なるほど t が大となる。(b) B が大なるほど t は小となる。
- 5) 以上4つの項目を通して、最適地面高 y_0 を決定する最も重要な要素は高潮発生の確率密度関数 $f(x)$ であり、これに比して nk/B および rm_s/B の変化にともなう y_0 の変化は事実上小さい。

実際問題として、高潮被害高を正確に把握したり予測したりすることはむずかしく、過去の記録も概数値しか判明しない場合が多い。したがって k の値も概数値をとる場合が多い。また異常高潮の年間発生回数 n は、最近数年間の高潮発生頻度と埋立地の安全性を考慮して近似的に平均年間発生回数ないし、最高年間発生回数の間に定数として定めることにしたが、前記の項目 5) は n の変化に対して最適埋立地面高の受ける影響が僅小であることを意味する。

8. あとがき

本文は異常高潮の発生確率密度分布を Slade 型と仮定し、高潮被害の期待値を求め、これを立地予定工場の年間純利益から減じた残額を工場立地の際の投資に対する毎年の償還額として、確率償還年数を求め、それを最小にする埋立地面高を臨海工業地帯の埋立地面高と決定した。この決定法はまた立地工場の実質的純利益を投資額に比し最大にすることと一致し、合理的であり、その計算は正規分布表の活用により便利で、計算結果も実用上妥当であると思われる。しかし、ここでは埋立地域が津波勢力および地盤沈下に対比較的安全な場合についてであって、津波および地盤沈下のはなはだしい地区の埋立地面高の決定については、さらに研究を要する。また土地利用の便より局部的に地面高が制限される場合に

は、その部分に対し適当な高さを別に考慮することはいうまでもない。推定される全地盤沈下量が僅少な場合には、(25)、(26)、(27) のいずれかで求めた y_0 の値に全地盤沈下量を加算した高さを近似的に最適埋立地面高として採用すればよいと思う。

なお本文の埋立地面高の算定には、その地域についてある潮位以上のすべての高潮の発生頻度分布に対する超過確率を用い、従来しばしば論議されてきた年最大標本値の発生超過確率とはおもむきを異にし、標本数も比較的多く拾集できる。

試算例については、東京都港湾局の小林良久氏および落合敏郎氏より参考資料を提供された。ここに両氏に謝意を表する。

参考文献

- 1) 高橋浩一郎：災害に関するオペレーションズ・リサーチ研究時報 9 巻 1 号 (1957 年 3 月)。
- 2) Slade, J.J.: An Asymmetric Probability Function, Trans. Ame. Soc. of Civil Engineers 1936. pp 35~104.
- 3) 岩井重久：Slade 型分布の非対称性の吟味およびその 2, 3 の新解法, 土木学会論文集, 第 4 号 pp 84~104.
- 4) 例えば愛知県：伊勢湾台風による災害の概要並びに要望書 (第 7 報) 昭和 34 年 10 月
- 5) 建設省関東地方建設局計画検査課：河口の潮位 (其の一) 高潮資料-2, 1956 年 11 月。

(原稿受付：昭. 35. 4. 20)

豆 知 識

途方もないコンクリート管

径 4.27 m という、マンモス コンクリート管が米国に出現した。石油輸送管として約 10 km にわたりカリフォルニア海岸地帯に布設されたものであるが、そのうち約 9 km は長さ 7.32 m のソケット付管が用いられたという。この重量は 86 t というからまさに驚異的である。ジョイントにはゴム リングが用いられた。

わが国でもプレキャスト コンクリート界の進展は飛躍的であり、一例をあげると昭和 34 年度の生産量はポール 12 万 t, パ

イル 64 万 t, パイプ 54 万 t にも達している (これはポール・パイプ協会、ヒューム管協会に属している会社のものだけであるが、コンクリート製品協会に属している会社のものも加えると、パイプの総生産量などはこの値を相当上まわるものと思われる)。しかしこの米国のマンモス管、ソ連の建築用プレキャスト部材などを見ると、国情の違いもあるとは考えられるが、大國と小國の差を痛感させられる次第である。

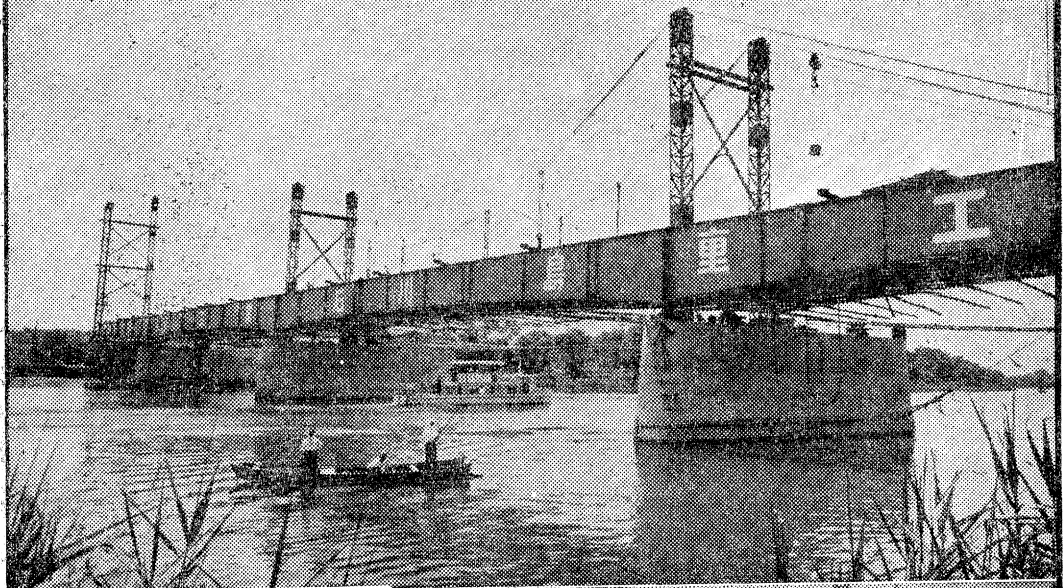
【鉄道技術研究所 樋口・記】

第 7 回 風のシンポジウム講演募集

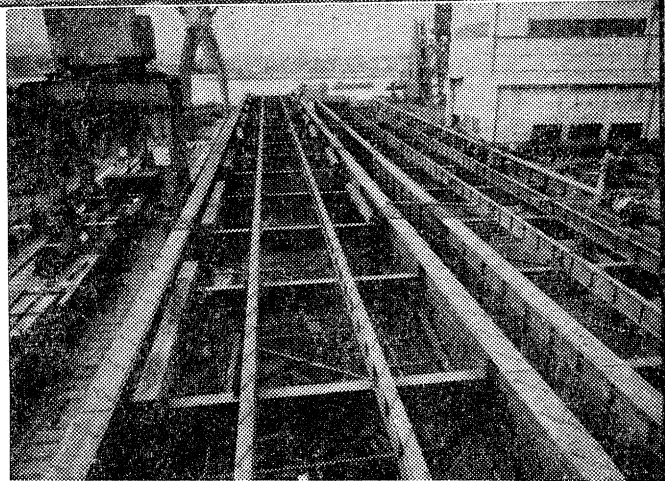
当学会はじめ 10 学協会共催で研究発表会を開催いたします。講演者は次の要領で多数ご応募下さい。

1. と き 11 月 4 日 (金), 5 日 (土) 9.00 時~17.00 時
2. と ころ 日本建築学会 3 階会議室
3. 発表部門 総合, 災害, 拡散, 接地, 模型, 建築, 計測理用の各理論および応用
4. 発表時間 1 題当り 約 15 分
5. 講演申込期限 9 月末日
6. 講演申込先 日本建築学会風のシンポジウム係 東京都中央区銀座西 3 の 1 (電 (561)—1232)

綜合技術の粋 石川島 橋梁



日本道路公団殿御注文
名神高速道路近江大橋(瀬田川)
型式 4径間連続鉄桁
橋長 182^m.00
巾員 19^m.90
計設荷重 20^t(T.L.)
鋼重量 約835噸
本橋の巾員構成は上下線別にな
って居り、桁の中央分離帯内部
に検査路を設置してある。



古くは震災後の隅田川を飾った当社の橋梁技術は近年に到り新鋭専門工場の増設、綜合技術研究所の新設整備、設計陣容の飛躍的拡充等により、愈々躍進の地歩を固めて居ります。



石川島重工業株式会社

本社 東京都千代田区大手町2の4(新大手町ビル)電話(211)2171・3171
札幌・仙台・横浜・新潟・名古屋・大阪・神戸・広島・福岡