

海面埋立土地造成における最適地盤高のオペレーションズ・リサーチによる決定法

日本大学理工学部 正員 川北 米良

1. まえがき

従来、海面埋立による土地造成の際の計画埋立地盤高は、その地域の海象条件に基づき期望平均満潮位あるいは台風期の期望平均満潮位に最大潮位偏差と経験的な余裕高を加えた高さとして決定されている。さらに基礎地盤が軟弱な場合は、その高さに埋立竣工後の地盤沈下の予測値が加えられる。また隣接の在来地盤高との関連を考慮して決める場合もある。こうして通常、埋立地盤高は期望平均満潮位上1~2mに定められている^{1), 2)}。

もしその海岸における発生可能な絶対最高潮位がなんらかの方法で求められれば、高潮浸水災害に関する限り、この潮位に基づいて埋立地盤高を決定すれば安全であるが、このような絶対最高潮位の推定は不可能である。よって従来行なわれている計画のための潮位偏差としては既往最大の高潮偏差、あるいはモデル台風が当該地に最大の高潮を生じさせると考えられる経路を通った場合の潮位偏差の推算値が用いられている。けれどもこうして決定された高潮の偏差値は、さらに大きな高潮の発生により計画値としての意味が薄れ、埋立地の高潮に対する安全性を失ない、その都度計画に用いた高潮偏差値の更新と埋立地盤高あるいは防潮施設の天端高の嵩上げの必要に迫られる場合がある。このような計画高潮位の更新にともなう埋立地盤高あるいは防潮施設の嵩上げ工事は、沿岸の土地利用が高度であればあるほど諸機能の活動の障害となり、工事が困難となる。よって海面埋立土地造成においては当初に合理的で妥当な埋立地盤高に計画することが肝要である。

海面埋立土地の造成に際して埋立地を高潮浸水災害から防御するためには、埋立地盤高を高くするか、あるいは埋立地の周辺を防潮堤または防潮壁で包囲する方法が考えられるが、本論文はそれらのない場合の公共の海面埋立土地造成を対象とし、高潮発生頻度、埋立工事の竣工後の地盤沈下の有無、埋立土地の建設費、土地利用に対応する *damage potential* の高潮浸水被害の危険性および土地利用の機能上の利便性を考慮した埋立地盤高の決定法について理論的考察を行なったものである。埋立地盤高の算定モデルは、建設費と高潮浸水被害の期待値の和を最小にする確率的計画法により、本論文においては地盤沈下がないものとみなし得る場合について述べた。そして泉州沖および東京湾奥部の2箇所の仮設の海面埋立土地造成の場合について本論文のモデルを適用し、それぞれの *parameter* を変動させて埋立地盤高の試算を行い、本方法の妥当性と合理性を検討した。

2. 埋立地盤高の算定モデルと最適埋立地盤高

一般に埋立土地造成の建設費 M は埋立地盤高 y を高くすればするほど増大するので、 M は y の関数と考えられる。また埋立予定地の海岸において発生する高潮の潮位 x の発生頻度は、通常、長期的に見るとき

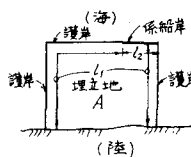
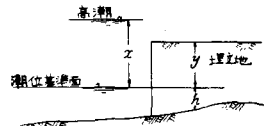


図-1. 埋立地の施設の数量記号



2. 潮位·埋立地盤高·水深

無作為の確率事象とみなされる。したがって埋立地が完成した後に高潮の浸水被害を受けた場合を想定すると、被害の予測値は埋立地の年間高潮浸水被害の期待値 μ で評価することができる。そして埋立地の *damage potential* を一定とすると、 μ は地盤沈下 を考慮に入れると、 y と M の関数と考えられる。ここに y は経過年数であり、 μ は金額表示できるものとする。 x および y はそれぞれある潮位基準面より測った潮位および埋立地盤高である(図-2. 参照)。埋立地盤高の変化に対する建設費と年間高潮浸水被害の期待値との関係は、 y を高くすれば M は大となり、 μ は小となる。逆に y を低くすれば M は小となり、 μ は大となる。すなわち、埋立地の高潮対策はまれに起こる高潮災害に対して、費用を防備のために費すか、被害のために失うかの問題に帰着する。そこで毎年期末の社会的割引率を年率 r の複利計算として、建設費と年間高潮浸水被害の期待値の累年の和の現在価値 J を求める。一般に y の変化に対する J の変化の様子は単一の極小値を有する連続関数である。 J が最小となる場合が

investment—risk trade off の状態で、この場合の埋立地盤高をこのモデルにおける最適埋立地盤高と定義する。この考え方にに基づく最適埋立地盤高の算定モデルの概念は、著者の確率償還モデル(1960)³⁾の誘導過程において、純利益を zero とおいた場合に相当する。

モデルの定式化を簡単にするため、埋立土層は圧縮締固めがすでに終了し、計画強度を有するように施工され、埋立土層の厚さはもはや変化しないものとする。

計画埋立地盤高はモデルからの最適埋立地盤高の計算値に、係留施設その他の土地利用の機能上の支障の有無、地盤高を越える高潮発生 return period, 事業予算、隣接地域との関連性などについての適否の検討が加えられて最終的に決定されるものとする。埋立地の水際線における波浪の越波および津波などに対する防護施設は必要に応じて別途計画されるものとして、ここでは論及しない。また高潮と津波の同時発生の可能性は非常に小さいから、このような複合現象は考えないことにする。計画埋立地盤高の決定の process を流水図に示せば図-3. のようである。

次に地盤沈下が生ずることなく、計画埋立地盤高が一定に保持されるものとみなし得る場合についての、埋立地盤高の算定モデルを考える。

地盤沈下のない場合の年間高潮浸水被害の期待値を特に γ_0 で表わすことにする。 γ_0 は y のみの関数となる。土地利用開始の年を初年度とすれば第 x 年期末の J は次式のように書ける：

$$J = M + \sum_{i=1}^x \frac{\gamma_0}{(1+r)^i} = M + \frac{1}{r} \{1 - (1+r)^{-x}\} \gamma_0 \quad (1)$$

埋立土地の耐用年数は理論的には無限大とみなされ、埋立地周辺の護岸や係船岸などの諸施設の耐用年数についても $x=50 \sim 80$ 年とかなり大きな値である。また社会的割引率については、 $r=0.06 \sim 0.1$ の値が想定される。したがって (1) 式において $(1+r)^{-x}$ の値は 1 に比してはるかに小さいので、この項を省略する。よって建設費と年間高潮浸水被害の期待値の累年和の現在価値は $x \rightarrow \infty$ に対する (1) 式の収束値

$$J = M + \frac{\gamma_0}{r} \quad (2)$$

を用いることができる。(2) 式で与えられる J は y のみの関数である。(2) 式の J を最小ならしめる y の値が地盤沈下のない場合の最適埋立地盤高で、この地盤高を y_0 で示す。 y_0 が最適埋立地盤高であるための条件は (2) 式において $dJ/dy = 0$ から

$$\frac{d\gamma_0}{dy} / \frac{dM}{dy} = -r \quad (3)$$

である。(3) 式は地盤高に関する年間高潮浸水被害の期待値の変化率と建設費の変化率の比が社会的割引率の -1 倍に等しくなるときの地盤高が、最適埋立地盤高 y_0 であることを意味する。

次に (2) 式の中に含まれるそれぞれの要因について述べる。

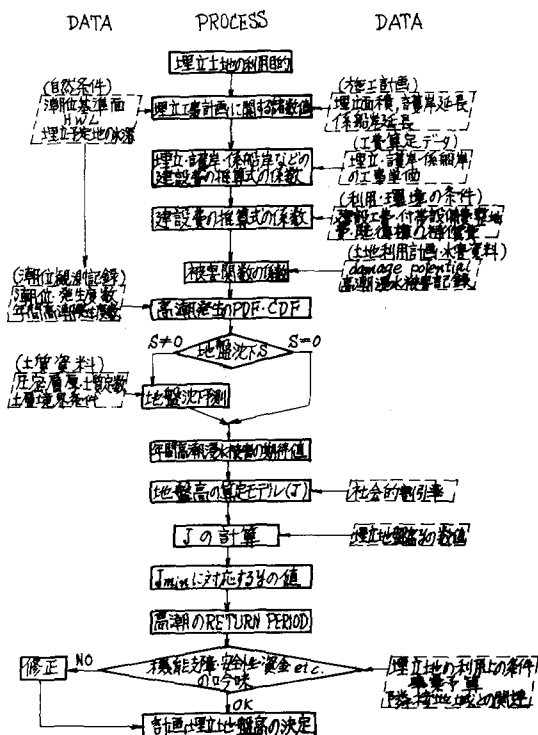


図-3. 計画埋立地盤高の決定 PROCESS

3. 建設費

埋立土地造成の建設費 M を護岸工費 M_1 、係船岸工費 M_2 、埋土工費 M_3 および その他諸費 M_4 の項に分け、 M_4 をのぞいてそれぞれ埋立地盤高 y の連続関数として最適埋立地盤高を中心にしてその近くにおいて近似的に

$$M_1 = a_1 l_1 (y + h_1)^2, \quad M_2 = a_2 l_2 (y + h_2)^2, \quad M_3 = a_3 A (y + h) \quad (4)$$

で表わせるものとする。ここに l_1 は護岸延長、 l_2 は係船岸延長、 A は埋立面積、 h は埋立予定地の平均水深、 h_1 は護岸施工箇所的水深、 h_2 は係船岸のバース水深、 a_1 および a_2 はそれぞれ最適埋立地盤高を対象とする護岸および係船岸の工費の式の係数、 a_3 は単位体積当りの埋土工事単価である(図-1参照)。 M_4 は整地費、補償費など埋立地盤高に関係しない諸費を一括した定数である。そのほか埋立地の完成後に年数の経過とともに維持費が必要となるが、この経費は他の費用に比べてはるかに小さいので年間高潮被害期待値に含めて考慮することにする。

建設費 M は(4)式を用いて次のように書ける：

$$M = \sum_{i=1}^4 M_i = m_2 y^2 + m_1 y + m_0. \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ここに} \quad m_0 &= a_1 l_1 h_1^2 + a_2 l_2 h_2^2 + a_3 A h + M_4, \quad m_1 = 2(a_1 l_1 h_1 + a_2 l_2 h_2) + a_3 A, \quad m_2 = a_1 l_1 + a_2 l_2. \end{aligned} \right\}$$

4. 高潮浸水の被害関数

埋立土地の利用計画にしたがって想定された *damage potential* に対する高潮浸水被害の関数形の仮定に際しては、埋立地盤高の算定モデルの定式化の便と地盤高の計算値に及ぼす影響の程度を考へ合わせる。すなわち、高潮が発生したとき、その潮位が埋立地表面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、潮位が埋立地表面以上の場合には埋立地内に潮位と埋立地盤高との差の浸水深さに比例した高潮被害が生ずるものと仮定し

$$\varphi(x, y) = \begin{cases} h(x - y), & (x > y) \\ 0, & (x \leq y) \end{cases} \quad (6)$$

とおく。ここに $\varphi(x, y)$ は1回の高潮の発生による埋立地内の浸水被害の想定額で、これを被害関数と呼ぶことにする。また h は被害の程度を表わす係数である。(6)式の仮定の妥当性を調べるために、1967年の水害統計⁽⁴⁾に示されたデータを用い、浸水深さを地表面から測定することに修正して、被害率と浸水深さの関係を図示すると図-4(1)~(6)のようになる。これらの図は被害率が浸水深さにほぼ比例することを示す。この結果から見て(6)式はある浸水深さの範囲で妥当であると考えられる。(6)式の係数 h の値は埋立土地利用計画の内容と過去の水害記録の統計資料を参考にして、概数値を与えれば充分である。

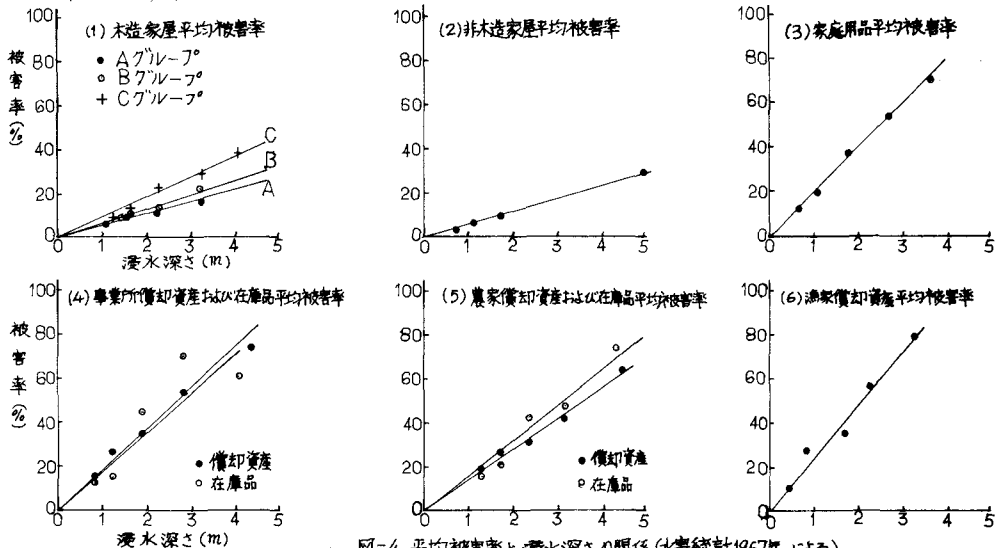


図-4 平均被害率と浸水深さの関係(水害統計1967年, による)

5. 高潮の発生頻度分布とRETURN PERIOD

式(7)の要因 η_0 を計算するためには被害関数の他に当該埋立計画海域における高潮の発生頻度分布が必要である。高潮の発生頻度分布については、その潜在的存在性の理論も分布関数形の定説も未だないが、ここでは、その分布の存在を仮定し、高潮の偏差過高値と天文潮位の合成潮位を变量とし、その特定値以上の潮位を母集団とする。そして高潮頻度の分布形は埋立地盤高の計画がまれに起こる大きな高潮を対象とするから、变量の下限が有限あるいは $-\infty$ で、上限が $+\infty$ の関数形が考えられる。本論文では高潮の発生頻度分布として指数分布、対数極値分布および Gumbel 分布を仮定し、これらを地域特性に応じて選択することにする。すなわち;

[1] 指数分布

$$\text{PDF : } \left. \begin{aligned} f(x) &= \lambda e^{-\lambda(x-\xi)}, & (\xi \leq x < \infty) \\ &= 0, & (x < \xi) \end{aligned} \right\} (7)_1 \quad \text{CDF : } \left. \begin{aligned} F(x) &= \int_{\xi}^x f(u) du = 1 - e^{-\lambda(x-\xi)}, & (\xi \leq x < \infty) \\ &= 0, & (x < \xi) \end{aligned} \right\} (7)_2$$

ここに $f(x)$ は高潮の発生確率密度関数、 $F(x)$ は $f(x)$ の累積分布関数である。また λ および ξ は parameter である。

[2] 対数極値分布⁴⁾

$$\text{PDF : } f(x) = \frac{\lambda}{x - \xi_L} \exp(-\xi - e^{-\xi}), \quad \xi = \lambda_L \ln \frac{x - \xi_L}{x_L - \xi_L}, \quad (\xi_L < x < \infty). \quad (8)_1$$

$$\text{CDF : } F(x) = \int_{\xi_L}^x f(u) du = \exp(-e^{-\xi}). \quad (8)_2$$

ここに λ_L , ξ_L および x_L は対数極値分布の parameter で $\lambda_L > 0$, $\xi_L > 0$, $x_L > 0$. また ξ は規準極値变量である。

[3] Gumbel 分布⁵⁾

$$\text{PDF : } f(x) = \lambda_g \exp(-\xi - e^{-\xi}), \quad \xi = \lambda_g(x - x_g), \quad (-\infty < x < \infty). \quad (9)_1$$

$$\text{CDF : } F(x) = \int_{-\infty}^x f(u) du = \exp(-e^{-\xi}). \quad (9)_2$$

ここに λ_g および x_g は Gumbel 分布の parameter で $\lambda_g > 0$, $x_g > 0$, また ξ は規準極値变量である。高潮の return period T は (7)₂, (8)₂, (9)₂ のいずれが適合度の良い分布から $F(x)$ を求めて次式で計算する:

$$T = \frac{1}{n(1-F(x))}, \quad n = \text{平均年間高潮発生度数}. \quad (10)$$

指数分布はこの場合のような部分統計値の母集団に対して合理性を有するが、地域によっては満足な適合度が得られない場合がある。対数極値分布および Gumbel 分布は年最大あるいは最小値の母集団に対する分布であり、この場合の潮位資料に対して理論的には適当といえない。しかし、これらの分布は平均年間高潮発生度数が 1~2 回程度となるような、かなり高い潮位以上の高潮統計資料に対して良い適合性を有する。この事実は図-5~8 に示すように東京(晴海), 名古屋, 淡輪, 小松島の各地における 1954~1978 年の 25 年間の $HWL + 0.636 \sim 1.166 \text{ m}$ 以上の高潮観測値の分布に指数分布と対数極値分布を適用した場合、および同じく図-9 に示す 1954~1978 年の 25 年間の三角における $HWL + 1.866 \text{ m}$ 以上の高潮観測値に指数分布, 対数極値分布, Gumbel 分布をそれぞれ適用した場合の χ^2 検定による分布関数の適合度の計算結果において、対数極値分布および Gumbel 分布の適合度が指数分布のそれより優れていることから知られる。その理由は使用する資料が年最高潮位の統計にほぼ近く、実質的に極値統計に近似するためであると考えられる。

各地の高潮発生頻度分布を比較すると、東京, 名古屋, 淡輪および小松島においては、おおむね類似の分布形を示し、対数極値分布および指数分布が近似的に適用できる。三角においては有明海の特徴がはっきり現れ、Gumbel 分布, 対数極値分布および指数分布の近似的应用が考えられる。さらに詳細に見ると東京と淡輪, お

よび名古屋と小松島の分布が良く近似していることがわかる。各地の高潮の発生頻度分布の parameter は表-1 のようであり、東京と淡輪の return period を例として示せば、表-2~3 のようである。return period については既往最高潮位を越えるあたりから、指数分布による計算値と対数極値分布や Gumbel 分布による計算値の差が大きくなり、その傾向は潮位の増大と共に著しく、信頼性が薄くなる。しかしこれらの分布を埋立地盤高の算定モデルに使用した場合の最適埋立地盤高の計算値に及ぼす影響は、後に記す計算例に見られるように小さく、許容されるものとみなされる。ここに潮位基準面は東京湾平均海面 (TP) とする。

図-5 東京における HWL+0.636m (=TP+1.605m) 以上の高潮発生頻度分布

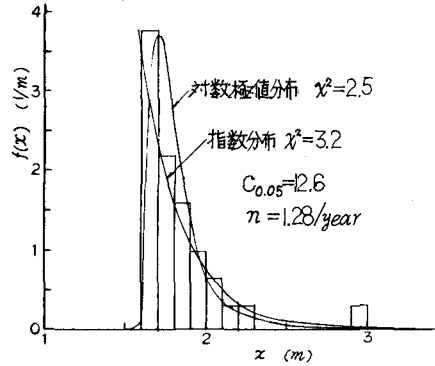


図-6 名古屋における HWL+0.777m (=TP+2.005m) 以上の高潮発生頻度分布

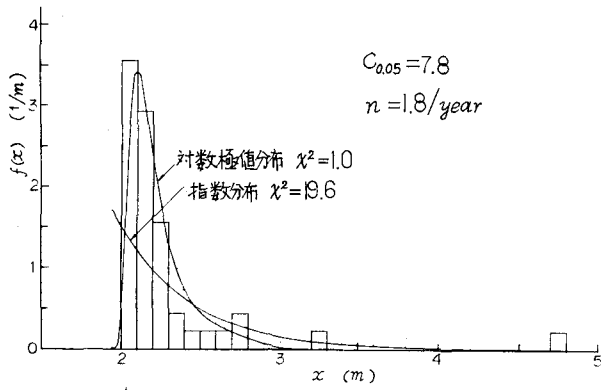


図-7 淡輪における HWL+0.943m (=TP+1.705m) 以上の高潮発生頻度分布

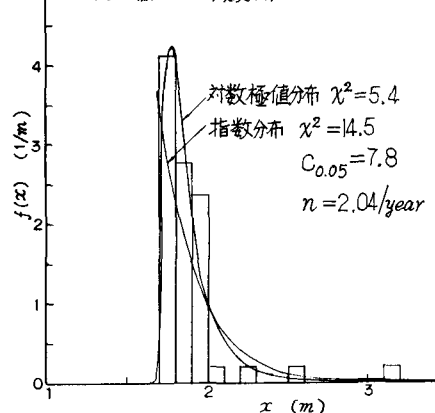


図-8 小松島における HWL+1.166m (=TP+2.005m) 以上の高潮発生頻度分布

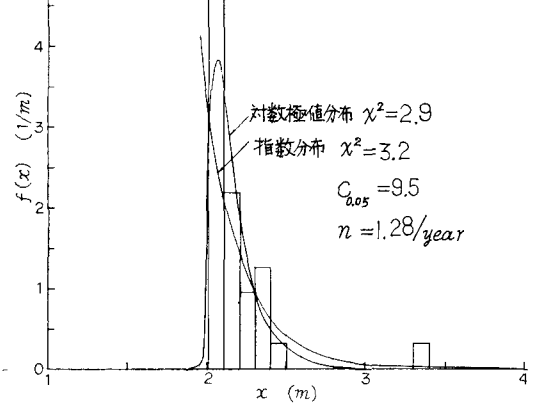


図-9 三角における HWL+1.866m (=TP+3.705m) 以上の高潮発生頻度分布

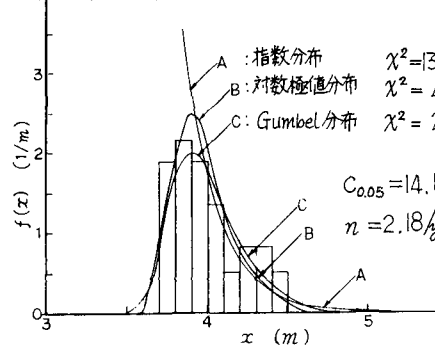


表-1 各地の高潮発生頻度分布の parameter

(N は sample 数)

parameter	東京	名古屋	淡輪	小松島	三角
λ_1	3.236	2.500	3.195	3.333	12.195
σ_1 (m)	1.397	1.847	1.508	1.752	2.087
x_1 (m)	1.731	2.137	1.797	2.087	3.905
λ_2	—	—	—	—	5.366
x_2 (m)	—	—	—	—	3.903
λ	3.934	2.236	4.340	4.095	4.668
σ (m)	1.575	1.832	1.658	1.942	3.789
N	25	25	51	32	37
n (year)	1.28	1.8	2.04	1.28	2.18

表-2 東京におけるHWL+0.636m(=TP+1.605m)以上の高潮発生
RETURN PERIOD

x (m)	T (year)	x	T	x	T	x	T
TP+		2.6	⁵⁰ (40)	3.34 ^{*)}	²³⁰ (670)	4.3	850
1.7	^{1.0} (1.3)	2.7	⁶⁴ (58)	3.4	²⁶⁰ (850)	4.4	950
1.8	^{1.9} (1.9)	2.8	⁸¹ (85)	3.5	³⁰⁰ (1300)	4.45 ^{*)}	1000
1.9	^{3.3} (2.7)	2.9	¹⁰⁰ (125)	3.6	³⁵⁰ (1800)	4.5	1100
2.0	^{5.7} (4.0)	2.99 ^{*)}	¹²⁰ (180)	3.7	⁴⁰⁰ (2700)	4.6	1200
2.1	^{9.0} (5.8)	3.0	¹²⁰ (180)	3.8	⁴⁶⁰ (4000)	4.7	1300
2.2	¹⁴ (8.6)	3.1	¹⁵⁰ (270)	3.9	⁵³⁰ (5800)	4.8	1400
2.3	²⁰ (13)	3.17 ^{*)}	¹⁷⁰ (350)	4.0	⁶⁰⁰ (8500)	4.9	1600
2.4	²⁸ (18)	3.2	¹⁸⁰ (400)	4.1	⁶⁸⁰ (12000)	5.0	1800
2.5	³⁸ (27)	3.3	²²⁰ (580)	4.2	760		

*) 東京霊岸島検潮所で観測された既往最高潮位 (AP+4.12m), 1917年10月1日発生。

*) 伊勢湾台風(1959年9月26日)規模の台風が、1917年10月1日の台風経路で通過したとする場合に生ずる偏差の計算値2.17mをHWL上に想定したときの潮位。

(注) T の値は、括弧内の数値が対数極値分布で、括弧外の数値は指数分布による。

6. 年間高潮浸水被害の期待値

式Jの要因 ψ_0 は被害関数と高潮の発生頻度分布を用いて求める。すなわち、埋立地が完成した後に高潮の襲来により浸水災害が発生する場合の年間被害期待値は、次式で与えられる。

$$\psi_0(y) = n \int_y^{\infty} \varphi(x, y) f(x) dx \quad (11)$$

(11)式の $\varphi(x, y)$ には(6)式を用い、 $f(x)$ には(7)₁、(8)₁、(9)₁ の式の中から当該埋立計画地に適合する式を選んで用いる。

[1] 指数分布を用いる場合

$$\begin{aligned} \psi_0(y) &= n k \int_y^{\infty} (x-y) f(x) dx = n k \lambda \int_y^{\infty} (x-y) e^{-\lambda(x-\sigma)} dx \\ &= \frac{n k}{\lambda} e^{-\lambda(y-\sigma)} \end{aligned} \quad (12)$$

[2] 対数極値分布を用いる場合

$$\begin{aligned} \psi_0(y) &= n k \lambda \int_y^{\infty} \frac{x-y}{x-\sigma_x} \exp(-\xi - e^{-\xi}) dx \\ &= n k \left\{ (x_l - \sigma_x) \gamma(x, \eta) - (y - \sigma_x) (1 - e^{-\eta}) \right\} \end{aligned} \quad (13)$$

ここに $\gamma(x, \eta)$ は第1種不完全ガンマ関数であり、次式で計算される。

$$K = 1 - \frac{1}{\lambda_x}, \quad (14) \quad \eta = \left(\frac{x_l - \sigma_x}{y - \sigma_x} \right)^{1/K}, \quad (15)$$

$$\gamma(x, \eta) = \int_0^{\eta} e^{-v} v^{-1/K} dv = \sum_{j=0}^{\infty} \frac{(-1)^j \eta^{K+j}}{j! (K+j)}, \quad (j=0, 1, 2, \dots) \quad (16)$$

[3] Gumbel 分布を用いる場合

表-3 淡輪におけるHWL+0.943m(=TP+1.705m)以上の高潮発生
RETURN PERIOD

x (m)	T (year)	x	T	x	T	x	T
TP+		2.3	¹² (8.0)	3.1	¹¹⁰ (260)	3.8	³⁶⁰ (5300)
1.75	^{0.6} (0.7)	2.4	¹⁸ (12)	3.11 ^{4a)}	¹²⁰ (270)	3.9	⁴²⁰ (8300)
1.8	^{0.8} (0.9)	2.5	²⁵ (19)	3.2	¹⁴⁰ (400)	4.0	⁴⁷⁰ (13000)
1.9	^{1.6} (1.4)	2.6	³⁴ (29)	3.3	¹⁷⁰ (610)	4.1	540
2.0	^{2.9} (2.2)	2.7	⁴⁵ (45)	3.4	²⁰⁰ (940)	4.2	610
2.032 ⁴¹⁾	^{3.5} (2.5)	2.8	⁵⁸ (70)	3.5	²³⁰ (1500)	4.3	680
2.1	^{5.1} (3.3)	2.9	⁷⁴ (110)	3.6	²⁷⁰ (2200)	4.4	760
2.202 ⁴²⁾	^{8.3} (5.2)	3.0	⁹² (170)	3.7	³²⁰ (3500)	4.5	850

41) 室戸台風(1934年9月21日)の際の偏差1.27mをHWL上に想定したときの潮位。

42) 伊勢湾台風規模の台風が室戸台風の経路で通過したとする場合に生ずる偏差計算値1.44mをHWL上に想定したときの潮位。

43) 既往最高潮位、1961年9月16日の第2室戸台風の際に発生。

*) 伊勢湾台風規模の台風がKitty台風(1949年8月31日)の経路で通過したとする場合に生ずる偏差計算値2.33mをHWL上に想定した潮位。

*) 伊勢湾台風の偏差3.45mをHWL上に想定したときの潮位。

$$\begin{aligned}\psi_0(y) &= nk \int_y^\infty (x-y) \lambda_g \exp(-x - e^{-x}) dx \\ &= nk \left[-\frac{\psi(0)}{\lambda_g} - (y-x_g) \{1 - \exp(-e^{-\mu})\} \right]\end{aligned}\quad (17)$$

ここに

$$\sigma = \exp\{-\lambda_g(y-x_g)\} = e^{-\mu}, \quad (18) \quad \mu = \lambda_g(y-x_g) \quad (19)$$

$$\psi(\sigma) = \int_0^\infty e^{-u} \ln u \, du = -C - \int_0^\infty e^{-u} \ln u \, du. \quad (20)$$

(20)式のCはEuler定数で

$$\psi(\infty) = \int_0^\infty e^{-u} \ln u \, du = -C = -0.5772156649 \dots \quad (21)$$

であり、 $\psi(y)$ は $\sigma \rightarrow \infty$ において $\psi(y) = -C$ を漸近線にもつ。 $\psi(0)$ の値は数値積分により得られる。

7. 埋立地盤高の算定モデルの式J

以上に求めたMおよび ψ_0 を用いて式Jを数値計算可能な形に表わせば次のようである。

[1] 指数分布を用いた場合の式J: (2)式に(5)および(12)式を用いて

$$J = m_2 y^2 + m_1 y + m_0 + \frac{nk}{\lambda r} e^{-\lambda(y-\sigma)} \quad (22)$$

[2] 対数極値分布を用いた場合の式J: (2)式に(5)および(13)式を用いて

$$J = m_2 y^2 + m_1 y + m_0 + \frac{nk}{r} \left\{ (x_g - \sigma_g) \gamma(x, \eta) - (y - \sigma_g) (1 - e^{-\eta}) \right\} \quad (23)$$

[3] Gumbel 分布を用いた場合の式J: (2)式に(5)および(17)式を用いて

$$J = m_2 y^2 + m_1 y + m_0 + \frac{nk}{r} \left[-\frac{\psi(0)}{\lambda_g} - (y-x_g) \{1 - \exp(-e^{-\mu})\} \right] \quad (24)$$

(22), (23), (24)の式の中で当該埋立地に適合する式を選び、Jを最小ならしめるyの値を求めれば、この値が最適埋立地盤高 y_0 である。 y_0 の値はJ式のyに順次値を与えてJの値を数値計算することにより求めることができる。

表-4 泉州沖埋立の場合の最適埋立地盤高 y_0 (凡例)

およびRETURN PERIOD T

r 指数分布 対数極値分布
0.07 〇
0.09 ●

8. 計算例

泉州沖および東京湾奥部の海面を対象とした仮設の埋立土地造成計画について、parameterを変化させて最適埋立地盤高を試算し、理論の妥当性を調べる。ただし地盤沈下はないものとする。

[1] 泉州沖の埋立地盤高の試算

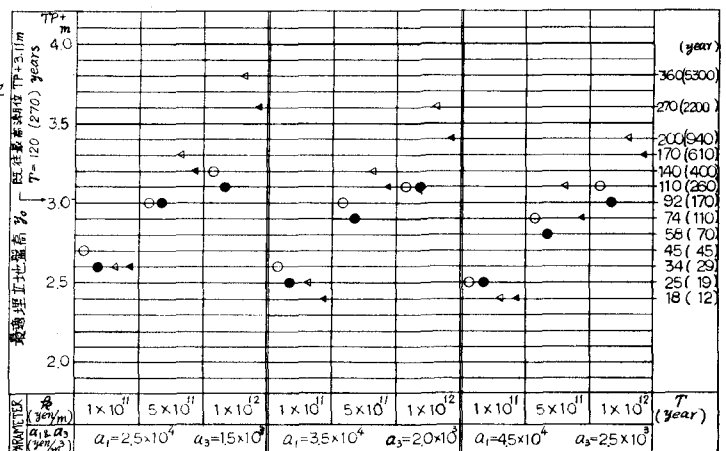
埋立面積 $A = 1230 \text{ ha} = 12,300,000 \text{ m}^2$

護岸延長 $l_1 = 17,000 \text{ m}$

係船岸延長 $l_2 = 300 \text{ m}$

係船岸は総トン数40,000トンの貨物船の接岸を対象とする。潮位については淡輪検潮所の観測値を用いる。

そして $HWL = TP + 0.762 \text{ m}$,



(注) Tの値は無括弧の数値が対数極値分布で、括弧の数値が指数分布による。

埋立計画水域の平均水深 $h = 20.7m$ ，護岸の平均水深 $h_1 = 21.0m$ ，係船岸の平均水深 $h_2 = 21.0m$ であるとする。

係船岸工費の式の係数 a_2 は，単位長さ当りの係船岸工費 $M_2/l_2 = 3 \times 10^7 \text{ yen/m}$ ， $y+h_2 = 24m$ と仮定すれば $a_2 = M_2 l_2^{-1} (y+h_2)^2 = 52,083 \text{ yen/m}^3$ となる。

護岸工費の式の係数 a_1 は， $a_1 = 2.5 \times 10^4$ ， 3.5×10^4 ， $4.5 \times 10^4 \text{ (yen/m}^3\text{)}$ の3通りを試算することにする。

埋立工事単価 a_3 は， $a_3 = 1.5 \times 10^3$ ， 2.0×10^3 ， $2.5 \times 10^3 \text{ (yen/m}^3\text{)}$ の場合について試算する。

社会的割引率 r は，年率 $r = 0.07$ ， 0.09 の2通りの場合を考え，社会情勢の変動に対する試算とする。

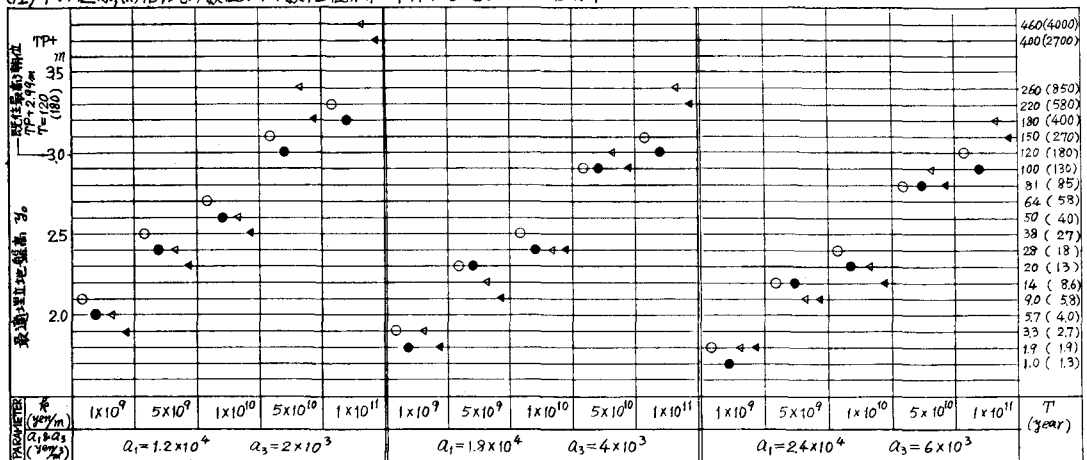
被害関数の係数 b は一般に不確定なことが多いので， $b = 1 \times 10^{11}$ ， 5×10^{11} ， $1 \times 10^{12} \text{ (yen/m)}$ のように根号で大きく3通りに変動させてみることにする。高潮の発生頻度分布は指数分布および対数極値分布を仮定し表-1 の数値を用い，高潮の発生頻度分布形の仮定の仕方による最適埋立地盤高の計算値への影響を調べる。これらのパラメータの変動に対する最適埋立地盤高および return period T の計算結果を統括すれば表-4 のようである。

[2] 東京湾奥部の海面埋立地盤高の試算

埋立面積 $A = 100 \text{ ha} = 10^6 \text{ m}^2$ ，護岸延長 $l_1 = 2900m$ ，係船岸延長 $l_2 = 100m$ とする。潮位については東京晴海接潮所の観測値を用いることにする。また $HWL = TP + 1.005m$ ，埋立計画水域の平均水深 $h = 6m$ ，護岸の平均水深 $h_1 = 8m$ ，係船岸の平均水深 $h_2 = 10m$ であるとする。護岸工費，係船岸工費および埋立工費の式の係数は，それぞれ $a_1 = 1.2 \times 10^4$ ， 1.8×10^4 ， $2.4 \times 10^4 \text{ (yen/m}^3\text{)}$ ； $a_2 = 31,250 \text{ yen/m}^3$ (一般貨物船2,000重量トンを対象とする)； $a_3 = 2 \times 10^3$ ， 4×10^3 ， $6 \times 10^3 \text{ (yen/m}^3\text{)}$ とする。社会的割引率は年率 $r = 0.07$ ， 0.09 とする。被害関数の係数は広い damage potential を考慮して $b = 1 \times 10^9$ ， 5×10^9 ， 1×10^{10} ， 5×10^{10} ， $1 \times 10^{11} \text{ (yen/m)}$ について試算することにする。なお高潮の発生頻度分布としては指数分布と対数極値分布を仮定し，表-1 の数値を用いる。これらのパラメータの変動に対する γ および T の計算結果は表-5 のようである。

表-5 東京湾奥部の海面埋立の場合の最適埋立地盤高およびRETURN PERIOD T

(注) T の値は，黒括弧の数値が対数極値分布で，白括弧の数値が指数分布による。



9. あとがき

J は γ の変化に関して唯一の極小値を有することが試算例で明らかとなった。また J 式の中に用いた高潮の頻度分布の仮定は γ の計算結果において影響が小さいことがわかる(表-4と5)。さらに b の変化に対する γ の変化は， b が大なるほど γ が大となる。すなわち，埋立地の利用が高度になるほど埋立地盤高は高く算定される。一方，建設費が高くなればなるほど埋立地盤高は低く算定される。経済変動により社会的割引率 r が変化した場合の γ に対する影響は r が大きくなるほど γ が小さくなる傾向があるが軽微である。なお埋立計画の策定段階で不確定なことの多い b ， a_1 ， a_2 ， a_3 などには根号数値で良いことがわかった。以上により，本論文は高潮の発生頻度，建設費，社会的割引率，土地利用の状況に対する高潮浸水被害などの自然条件，工学的条件および社会的条件を考慮した算定式による埋立地盤高の決定法として有意義であると考えらる。

(文献) 1)日本港湾協会：港湾構造物設計基準，1968。2)細井正延：海岸防衛，棚田に論，1975。3)鈴木雅次：比根：高潮に対する臨海地帯の埋立地盤高の決定に関する Operations Research，土木学会誌 Vol. 45, No. 8, 1960。4)角屋隆：水文統計論，土木学理，1964。5)Gumbel：Statistics of Extremes, 1958。