Ⅳ-85　長期間に及ぶ地盤沈下がある場合の海面埋立土地の地盤高の決定
―― 東京湾奥部の埋立土地造成の地盤高の試算 ――

日大理工学部　正員　川北米良

1．まえがき．海面埋立による土地造成の際の埋立地盤高は，その海域の海象，特に異常高潮位の発生頻度分布，建設費，土地利用に対応する damege potential の高潮浸水による被害の危険性，地盤沈下などを考慮して適切な高さに決定すべきである．本文においては埋立地盤が工事の竣工後もなお長期間にわたって徐徐に沈下を継続する場合を考え，例として東京湾奥部の埋立地盤高の試算を行なった．

2．最適埋立地盤高の算定モデル．海面埋立地の高潮防災対策は，経費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．埋立地盤高 y を高くすれば土地造成建設費 M は大となり，年間高潮浸水被害の期待値 ψ は小となる．逆に y を低くすれば M は小となり ψ は大となる．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，M と ψ の累年の和の現在価値 J を求めると，J が最小となる場合が investment－risk trade off の状態で，この場合の y の値を最適埋立地盤高と定義する．経過年数 t を $t\to\infty$ とすると J は次式に収束する：

$$J=M+\frac{\psi_0}{r}+\sum_{t=1}^{\infty}\frac{\delta_t}{(1+r)^t} \qquad \text{----------(1)}$$

M は護岸，係船岸，埋立などの工費と整地費及び補償費で構成され $\psi=\psi_0+\delta_t$ と考える．ψ_0 は地盤沈下のない場合の年間高潮浸水被害の期待値，δ_t は第 $t-1$ 年期末から第 t 年期末までの1年間の地盤沈下による高潮浸水被害の期待値の増分である．(1)式は高潮の発生頻度分布を指数分布あるいは対数極値分布と仮定し，地盤沈下量を体積圧縮係数 m_v を用いて計算することにすれば，それぞれ次ぎのように書ける：

指数分布を用いる場合

$$J=m_2y^2+m_1y+m_0+\frac{nk}{\lambda r}e^{-\lambda(y-\xi)}+nk\left[\frac{1}{r}-\frac{1}{\nu\{1+r(1-e^{-\nu})^{-1}\}}\right](\gamma_1+\gamma_2y)e^{-\lambda(y-\xi)} \qquad \text{----------(2)}$$

対数極値分布を用いる場合

$$J=m_2y^2+m_1y+m_0+\frac{nk}{r}\left\{(x_l-\xi_l)\gamma(\kappa,\eta)-(y-\xi_l)(1-e^{-\eta})\right\}+nk\left[\frac{1}{r}-\frac{1}{\nu\{1+r(1-e^{-\nu})^{-1}\}}\right](\gamma_1+\gamma_2y)(1-e^{-\eta}) \qquad \text{----------(3)}$$

ここに m_0，m_1，m_2 は護岸，係船岸，埋立等の工費及び整地・補償費に関する定数，n は平均年間高潮発生度数，k は被害係数；λ，ξ，ξ_l，x_l はそれぞれ指数分布及び対数極値分布関数のパラメータ，$\gamma(\kappa,\eta)$ は第1種不完全ガンマ関数；$\kappa=1-(\lambda_l^{-1})$，$\eta=\{(x_l-\xi_l)/(y-\xi_l)\}^{\lambda_l}$，$\nu$ は土の圧密に関する定数である．

一般に y の変化に対する J の変化の様子は釣鐘形で，単一の極小値を有する連続関数として表示できる．

3．東京湾奥部の埋立地盤高の試算．試算例において想定した埋立計画面積は 100 ha，護岸延長＝2900 m，係船岸延長＝100 m，HWL＝TP＋1.005 m，東京湾奥部の埋立海域の異常高潮の発生状況については，東京晴海検潮所における 1954～1978年の25年間の HWL＋0.636 m 以上の潮位観測資料を用いた．これによると東京晴海における高潮発生頻度分布は図－1のようであり $n=1.28$ で，指数分布及び対数極値分布を近似的に適用した場合の，それぞれの分布関数のパラメータの数値は

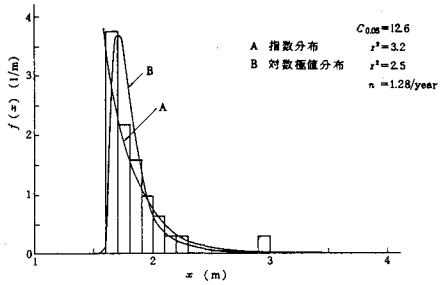
（指数分布）　$\lambda=3.834$　　$\xi=1.575\,m$．

（対数極値分布）　$\lambda_l=3.236$　　$\xi_l=1.397\,m$　　$x_l=1.731\,m$　　$\kappa=0.691$　　$\eta=\left(\frac{0.33435}{y-1.397}\right)^{3.236}$

社会的割引率は将来の維持費も含めて考えることにし $r=0.07$ 及び $r=0.09$ の2通りを考える．また高潮

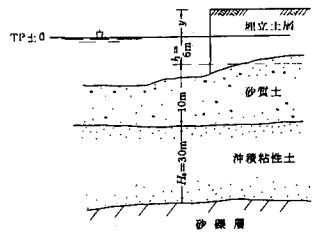
に対する被害関数は巾広い damage potential を考慮して
$k=1\times10^{9}$, 5×10^{9}, 1×10^{10}, 5×10^{10}, 1×10^{11} (yen/m) とする.

埋立計画地の土層は図−2のようで，層厚30mの沖積粘性土層が正規圧密状態にあり，これが長期間徐徐に圧密沈下するものとする．圧密層の境界条件は上下両面とも透水性とする．圧密降伏応力$=4\times10^{4}$ kgf/m^2，土の単位体積重量$=1600$ kgf/m^3，初期間隙比$=2.5$，体積圧縮係数$=4\times10^{-6}$ m^2/kgf，圧密係数$=7.3$ m^2/year，埋立地面に想定する鉛直圧力$=5000$ kgf/m^2.



図−1 東京におけるHWL+0.636m以上の高潮発生頻度分布

建設費に関しては次の3通りの場合を試算に用いる．ただし係船岸工費の式の係数 a_2 は一般貨物船2000重量トンを対象として $a_2=31250$ yen/m^3 とする.



図−2 埋立地の土層(仮定)

$a_1=1.2\times10^{4}$ yen/m^3, $a_3=2\times10^{3}$ yen/m^3 の場合

$m_0=145397\times10^{5}$, $m_1=26193\times10^{5}$, $m_2=3.7925\times10^{7}$.

$a_1=1.8\times10^{4}$ yen/m^3, $a_3=4\times10^{3}$ yen/m^3 の場合

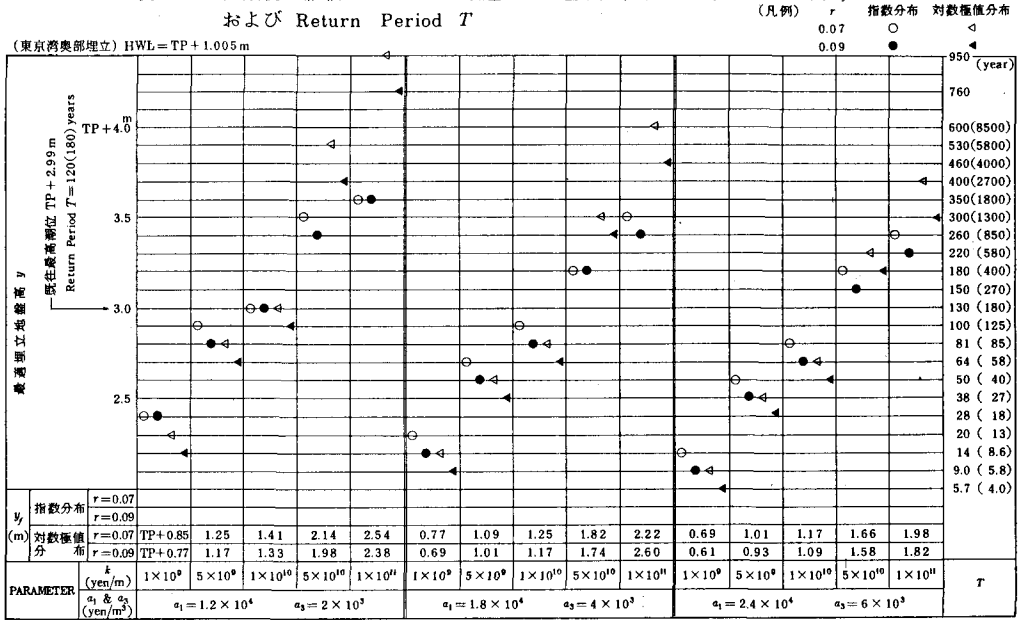
$m_0=276533\times10^{5}$, $m_1=48977\times10^{5}$, $m_2=5.5325\times10^{7}$.

$a_1=2.4\times10^{4}$ yen/m^3, $a_3=6\times10^{3}$ yen/m^3 の場合

$m_0=407669\times10^{5}$, $m_1=71761\times10^{5}$, $m_2=7.2725\times10^{7}$.

以上の数値を(2)及び(3)式に用いて最適埋立地盤高を試算した結果を下の表に示す.

表　長期沈下継続モデルによる最適埋立地盤高 y，沈下終了時の地盤高 y_f および Return Period T



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

4. 結　言. 最適埋立地盤高の計算値は k が大なる程，いいかえれば埋立地の利用が高度になればなる程，最適地盤高は高くなり，また埋立土地造成の建設費が高くなればなる程，最適地盤高はわずかずつ低く算定される．高潮発生頻度分布の関数の選択が最適地盤高に及ぼす影響は指数分布と対数極値分布では大差がない．埋立計画段階では不確定なことの多い定数 k は概数値で良い．社会的割引率の変動に対しては y は r の大なる程低く算定される傾向にあるが軽微である．よってこの算定モデルは経済変動にもかなり安定で合理性を有するものと考えられる．