Ⅳ-7　臨海埋立土地造成における地盤高の決定に関するO.R.について

日大理工学部 正員　川 北 米 良

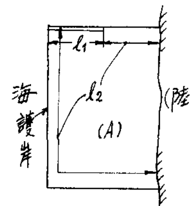
1. まえがき　海面埋立により造成される埋立地の地盤高は，第1に台風時の異常高潮，波浪，津波，第2に地盤沈下などによる災害に対する安全性，第3に埋立土地利用の便，第4に土地造成工費および諸種の設備投資などの経済性を考慮して，適切な高さに決定すべきである．第1項の諸原因による災害に対しては，主として埋立地盤高をできるだけ高くすることにより安全性を増すことが望ましいが，実際には非常な工費の増大となり，また埋立土地利用の便などに制約されて，埋立地盤高を無制限に高くすることはできない．この問題が特に重要視されだしたのは伊勢湾台風による伊勢湾沿岸の臨海工業地帯が大被害を受けて以来のことで，筆者は日本の臨海工業地帯の重要性から，その埋立地盤高の決定の研究に着手し，高潮に対する臨海工業地帯の埋立地盤高の決定方法を発表し，それにもとずく二，三の実例を試算してきた[1),2),3),4),5)]しかしながら，一般に臨海埋立地帯は高潮の外に地盤沈下をともなう場合が多い．本文では高潮と地盤沈下を考慮して，臨海工業地帯を対象とした広大な埋立地を造成する場合の埋立地盤高の決定方法を論ずる．

2. 埋立地における全投資額および年間純利益　埋立土地造成費は埋立工費，護岸工費，けい船岸工費に分け，それぞれ高さの1次および2次関数で表わし，既得権および埋立地の諸施設に対する経費は定数 C と考えると，全投資額 M は次の2次方程式で表わされる：

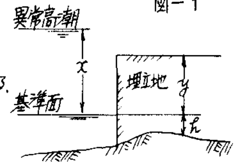
$$M=m_1y^2+m_2y+m_3 \quad (1)$$

ただし　$m_1=a_1l_1+a_2l_2$，　$m_2=2(a_1l_1h_1+a_2l_2h_2)+a_3A$，　$m_3=a_1l_1h_1^2+a_2l_2h_2^2+a_2Ah+C$．

ここに　a_1 および a_2 はけい船岸および護岸工費の式の係数，a_3= 埋立工事単価，h_1 および h_2 はけい船岸および護岸施工箇所の水深である．埋立地の立地工場の年間純利益 B は一定とみなし　B=(年間総収益)−(営業費)−(既務費)−(雑損失費)−(法人税)とする．



図−1



3. 高潮被害の期待値　1回の高潮発生による埋立地内の被害予測額 φ を

$$\varphi(x,y,t)=\begin{cases}0, & (x\leqq y)\\ k\{x-y+S(t,y)\}^{\lambda}, & (x>y)\end{cases} \quad (2)$$

x= 異常高潮の潮位，y= 埋立地盤高，t= 時間，k,λ= 定数，S= 埋立土砂による地盤沈下量．

とする．φ を被害関数と名付ける．次に $f(x)$ を異常高潮発生の確率密度関数とし，x は気象と天文潮の重合潮位とする．n は年間異常高潮発生回数で，ある分布をなすが安全性を考え，平均値よりやゝ大きなある一定値に定める．t_f は埋立による地盤沈下の終了時間で，一般に無限に継続するが圧密度 $U=95\%$ のとき（時間係数 $T=T_f$ とする）終了とみなす．このように考えると，埋立地内の年間高潮被害期待値 ψ は次式で与えられる：

$$\psi(y)=\frac{n}{t_f}\int_0^{t_f}\int_y^{\infty}\varphi(x,y,t)f(x)\,dx\,dt \quad (3)$$

(3)において，高潮の生起確率分布をSlade型とし，定数 x_0，b および c は岩井博士の方法で決定する．即ち：

$$f(x)=\frac{c}{\sqrt{\pi}(x-b)}\exp\left[-c^2\left(\ln\frac{x-b}{x_0-b}\right)^2\right],\quad (b<x<\infty) \quad (4)$$

次に埋立面の沈下曲線 S は初期過剰水圧分布を全圧密層について一定とみなし，Terzaghiの1次元圧密度 $U(t)$ の式を最小自乗法で

$$U(t)=1-\exp(-\alpha T),\quad ただし\quad T=\frac{C_v}{H^2}t,\quad \alpha=2.85808 \quad (5)$$

の形に近似して，計算の便をはかった．この場合の近似式(5)の最大誤差は12％であるが $T=1$ 付近ではほとんどゼロに近い．すなわち，C_v を圧密係数，H を片面透水のとき全層厚，両面透水のとき半層厚にとることにして

$$S(t,y)=S_0(y)\cdot U(t)=\beta_1\left\{1-\exp\left(-\frac{\alpha C_v}{H^2}t\right)\right\}\ln(\beta_2+\beta_3 y)\quad, \quad (6)$$

ここに　$S_0=\beta_1 \ln(\beta_2+\beta_3 y)$，　$\beta_1=0.43429 C_c H_1/(1+e_0)$，
$\beta_2=1+(\gamma_t-\gamma_w)h/p_0$，　$\beta_3=\gamma_t/p_0$，$\beta_4=1/\alpha T_s \cong 1/\alpha \quad (T_s \doteq 1.0)$．　(7)

H_1＝圧密層厚，C_c＝圧縮指数，e_0＝圧密層の自然間ゲキ比，

p_0＝先行荷重，γ_t＝埋立土砂の単位体積重量，γ_w＝海水の単位体積重量(＝1.03 t/m³)．

(3)に(2)，(4)～(7)を用いれば ψ は次のように書ける：

$$\psi(y)=nk\left[(x_0-b)\exp\left(\frac{1}{4c^2}\right)\cdot W(\xi_2)-(y-b)W(\xi_1)+\beta_1 W(\xi_1)\left\{1-\beta_4+\beta_4\exp\left(-\frac{1}{\beta_4}\right)\right\}\ln(\beta_2+\beta_3 y)\right] \qquad (8)$$

地盤沈下がない場合は(8)の［　］内の第3項がゼロとなり，筆者がすでに発表した式[2)]に一致する．ここに

$$W(\xi)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_{\xi}^{\infty}\exp\left(-\frac{\xi^2}{2}\right)d\xi, \quad \xi_1=\sqrt{2}\,c\ln\frac{y-b}{x_0-b}, \quad \xi_2=\xi_1-\frac{1}{\sqrt{2}\,c} \qquad (9)$$

4. 確率償還年数と最適埋立地面高

全設備投資の毎年の償還額を$(B-\psi)$とし，年利率 r の期末払の複利計算とする償還モデルを設定すれば，確率償還年数 t は次式で与えられる：

$$t=\left\{\log_{10}\frac{1}{1-F(y)}\right\}\Big/\log_{10}(1+r), \quad \text{ここに} \quad F(y)=\left(\frac{rM}{B}\right)\Big/\left(1-\frac{\psi}{B}\right) \qquad (10)$$

(10)で求められる $F(y)$ が最小となるとき t は最小となり，この時の y の値が最適埋立地盤高 y_0 となる．このことはまた実質的平均年間純利益$(B-\psi)$が M に比し最大となることを意味するので合理的である．

(10)に(8)を代入すれば，y_0 は次式で与えられる $F(y)$ を最小ならしめる y の値として計算できる：

$$F(y)=\frac{\frac{r}{B}(m_1 y^2+m_2 y+m_3)}{1-\frac{nk}{B}\left[(x_0-b)\exp\left(\frac{1}{4c^2}\right)W(\xi_2)-(y-b)W(\xi_1)+\beta_1 W(\xi_1)\left\{1-\beta_4+\beta_4\exp\left(-\frac{1}{\beta_4}\right)\right\}\ln(\beta_2+\beta_3 y)\right]} \qquad (11)$$

5. 計算例

東京湾沿岸に図－1のような埋立計画を想定し，$A=10^6\,m^2$，$h=0.5\,m$，$l_1=330\,m$，$l_2=2520\,m$，$h_1=12\,m$，$h_2=1.0\,m$，$a_3=800$ 円/m³，$C=5\times10^{10}$ 円，$B=8\times10^9$ 円/年，$r=0.1$，けい船岸は棚式$(y+h_1=16\,m)$で工費 5×10^6 円/m，護岸は鋼矢板式$(y+h_2=5\,m)$で工費 1.4×10^6 円/m，埋立地には $H_1=20\,m$ の両面排水の粘土層があり，$e_0=2.6$，$\gamma_t=1.8\,t/m^3$，$p_0=12\,t/m^2$，$C_c=0.84$，$c_v=18.92\,m^2$/年，$k=5\times10^{10}$ 円/m とする．高潮生起確率分布については東京湾霊岸島量水標(A.P.)による1923～1955年の33年間の潮位観測記録を利用し，

$x_0=2.672\,m$，$b=2.406\,m$，$c=1.0064$，$\xi_1=3.2773\log_{10}(y-2.406)+1.8848$，$\xi_2=\xi_1-0.7026$，また n は年平均0.55回であるから $n=1$ 回/年 とした[1)]．これらの数値を(11)に与えれば

$$F(y)=\frac{0.00184y^2+0.0154y+0.64337}{1-2.12781W(\xi_2)+(6.25y-15.0375)W(\xi_1)-8.48913W(\xi_1)\ln(1.03208+0.15y)} \qquad (12)$$

となり，$F(y)\rightarrow min.$ なるとき　$y=y_0=4.3\,m$（最適埋立地盤高）を得る．

参考のために地盤沈下がない場合を計算すれば，次式により；

$$F(y)=\frac{0.00184y^2+0.0154y+0.64337}{1-2.12781W(\xi_2)+(6.25y-15.0375)W(\xi_1)} \qquad (13)$$

$F(y)\rightarrow min.$ なるとき　$y_0=3.9\,m$　となる．

6. むすび

この計算方法により，さらに実例を多数計算して，その妥当性を検証したい．

1) 鈴木雅次，川北米良：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，1959，土木学会誌 45－8

2) 川北米良　：横浜市根岸湾臨海工業地帯の埋立地盤高の試算，1963．災害の研究 VI．

3) 〃　：東京港12号地の石油配分基地の埋立地盤高の決定に関するオペレーションズ・リサーチ，1975．災害の研究 VIII．

4) 〃　：江戸川区の海岸地帯の土質と埋立による地盤沈下，1970．　災害の研究 VII．

5) 〃　：浦安海岸地帯の土質と埋立による地盤沈下，1970．　災害の研究 VII．