

IV - 9

高潮と地盤沈下および土地利用を考慮した臨海埋立最適地盤高の決定と安全性の評価

—— 徳島県津田木材港の埋立地盤高の試算例 ——

日本大学理工学部 正員 川 北 米 良

1. まえがき. 先に筆者は臨海埋立土地造成に際して, 高潮と基礎地盤の沈下および土地利用を考慮した最適地盤高の決定法と高潮に対する安全性の評価を提案した.¹⁾ その計算 Process は図-1 のようである. そしてその試算例の一つとして徳島県津田木材港の埋立土地造成の場合に適用した.²⁾ その際は埋立地の基礎地盤の沈下が無いものとして計算したが, 本文においては基礎地盤の沈下をも考慮に入れて試算し, 両者の比較を行なった.

2. 埋立地の状況. 埋立地の利用目的は木材関連の商業団地で, 埋立面積 $A=663,000\text{m}^2$, 埋立前の平均水深 $h=T.M.S.L.-3.0\text{m}$ である. 係船岸延長は矢板式 $l_1=790\text{m}$, 水深 $h_1=T.M.S.L.-5.2\text{m}$, 棧橋式 $l_2=185\text{m}$, 水深 $h_2=T.M.S.L.-111\text{m}$; 護岸延長は矢板式 $l_3=2,948\text{m}$, 水深 $h_3=T.M.S.L.-31\text{m}$; 重力式 $l_4=1180\text{m}$, 水深 $h_4=T.M.S.L.-1.9\text{m}$, セルラブロック式 $l_5=2,575\text{m}$, 水深 $h_5=T.M.S.L.-4.2\text{m}$ である. 係船岸および護岸の工費 M_j の推算法は

$$M_j = a_j l_j (y + h_j)^\mu \quad (1)$$

ここに μ は矢板式および棧橋式構造には 1, 重力式およびセルラブロック式には 2 をとるものとする.

a_j の値は l の suffix に対応して係船岸あるいは護岸を意味する. 津田木材港の場合 $a_1=59,530\text{円/m}^2$, $a_2=241,538\text{円/m}^2$, $a_3=27,086\text{円/m}^2$, $a_4=8,693\text{円/m}^2$, $a_5=5,247\text{円/m}^2$ となる. また埋立工事単価 a は 440円/m^3 とする. 既得権の補償費 M_6 としては漁業およびのりの補償費 $245,000,000\text{円}$; 埋立地内の生産設備および付帯設備投資額 M_7 は合計 $14,397,000,000\text{円}$ である. 埋立地の基礎地盤の土層は図-2 のようで, 埋立および上部細砂層は地盤改良可能でその下部の軟弱粘土質シルト層 ($H_1=30\text{m}$) が長期圧密沈下を起すものとする. 圧密沈下の計算はこの軟弱粘土質シルト層を対象とする.

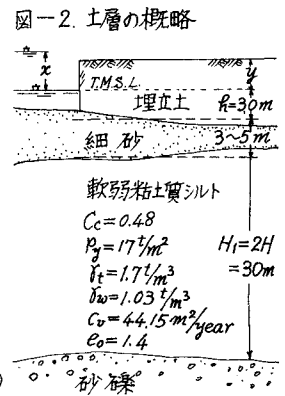
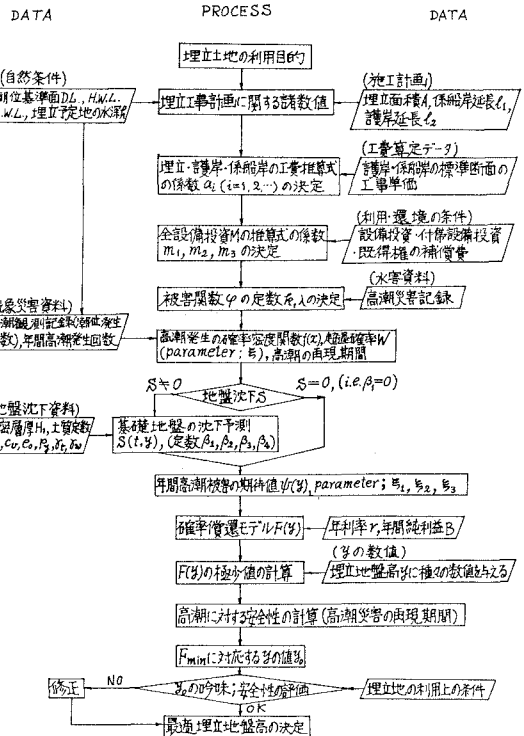
3. 年間純利益 B および年利率 r . 当木材団地の年間純利益は年間生産額の 2~5% で, $B=1,600,000,000\text{円/年}$ と推定する. 埋立地盤高の決定のための確率償還モデルの年利率は $r=0.1$ とする.

4. 高潮発生の超過確率. 小松島港における 1953~1977 年の 25 年間の潮位平均満潮位は $T.M.S.L.+0.773\text{m}$ で, この潮位をもとにこの期間における $T.M.S.L.+0.78\text{m}$ 以上の高潮観測記録を調べると 1169 回発生しており, 平均年間発生回数は 46.76 回, 既往最高潮位は $T.M.S.L.+2.27\text{m}$ である. 高潮発生頻度分布は Slade 型分布にかなり良く適合する. そのパラメータを岩井法で決定すれば高潮発生の超過確率 $W(x)$ は (2) および (3) 式で与えられる.

$$W(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{\xi^2}{2}\right) d\xi, \quad (2)$$

$$\xi = 5.3263 \log_{10} (x - 0.671) + 3.5449. \quad (3) \quad \text{ここに } x = T.M.S.L. \text{ 基準の潮位 (m)}$$

図-1. 最適埋立地盤高と安全性の計算 PROCESS



(2)と(3)を用いて高潮の再現期間を計算すると表-1のようである。ただし年間高潮発生回数 n は近年の発生回数の増加傾向を考慮して $n=75$ 年にとることにする。

基準高潮位(m)	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2
再現期間(年)	0.5	2	5	14	36	87	200	400	1000	2000	4000

5. 被害関数 φ 。埋立地が計画機能を発揮した後の高潮被害の数量的予測値は、次式で評価できるものとする。

$$\varphi(x, y, t) = \begin{cases} 0, & (x \leq y) \\ e^{\lambda(x-y+S(y,t))^\lambda}, & (x > y) \end{cases} \quad (4)$$

ここに t =時間, e, λ =定数, $S(y, t)$ =埋立土による在来基礎地盤の圧密沈下量。当木材団地の場合は $\lambda=1$ とする。 e の値は埋立地が0.5mの高潮浸水したとき、(A) $\varphi=M_7/2$, (B) $\varphi=M_7$ に相当する直接間接の被害を受けるものとし、 $e = \varphi / \{x - y + S(y, 0)\}$ より (A)の場合 $e = 1.44 \times 10^{10}$ 円/m, (B)の場合 $e = 2.88 \times 10^{10}$ 円/mとし、以下両者の場合について試算を行なう。 $\varphi(x, y, t)$ を被害関数と名付ける。

6. 基礎地盤の圧密沈下。図-2の軟弱粘土質シルト層の1次元圧密沈下 $S(y, t)$ を計算の便宜上、圧密度を指数関数で近似し、 C_α 法で表わせば

$$S(y, t) = \beta_1 \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{\alpha C_\alpha t}{H^2}\right) \right\} \ln(\beta_2 + \beta_3 y), \quad (5)$$

ここに $\beta_1 = \frac{0.43429 C_\alpha H}{1 + e_0}$, $\beta_2 = 1 + \frac{y_i - \delta_v}{\beta_3}$, $\beta_3 = \frac{y_i}{\beta_2}$
津田港の場合、圧密層は上下両面透水と考え $H=15$ m
とする。 α は圧密度の近似式の定数で $\alpha=2.85808$ である。

埋立工事中の初期沈下の様子は理論と異なるが、この種の長期計画問題では結果的に影響は無視できる。この例では $\beta_1=2.60574$ m, $\beta_2=1.03941$, $\beta_3=0.10000$ である。

7. 年間高潮被害の期待値 ψ 。これは t_f を在来基礎地盤の沈下終了時間(年)とすると、次式で与えられる：

$$\psi(y) = \frac{n}{t_f} \int_0^{t_f} \int_y^\infty \varphi(x, y, t) f(x) dx dt \quad (6) \quad \text{ここに } f(x) \text{ は高潮発生確率密度関数である。}$$

当該の津田木材団地の場合 (A)の場合 $\frac{1}{B}\psi(y) = 675 \left\{ 0.2371572 W(\xi_2) - (y - 0.671) W(\xi_1) + 1.746333 W(\xi_1) \ln(1.03941 + 0.1y) \right\}$
(B)の場合 $\frac{1}{B}\psi(y) = 1350 \left\{ 0.2371572 W(\xi_2) - (y - 0.671) W(\xi_1) + 1.746333 W(\xi_1) \ln(1.03941 + 0.1y) \right\}$

ここに $\xi_1 = \sqrt{2} C_\alpha \ln \frac{y - e}{x_0 - e} = 2.31316 \ln \frac{y - 0.671}{0.216}$, $\xi_2 = \xi_1 - \frac{1}{\sqrt{2} C_\alpha} = \xi_1 - 0.43231$, x_0, e, C は $f(x)$ のparameterである。(7)

8. 最適埋立地盤高。毎年の償還額 $(B-\psi)$ による全投資額 M の確率償還モデルにおける確率償還年数を最小ならしめる y の値を最適埋立地盤高 y_0 と考える。 y_0 はまた単位投資額に対する実質的純利益 $(B-\psi)/M$ を最大ならしめることと一致し、(8)で与えられる $F(y)$ を最小ならしめる y の値として求められる。

$$F(y) = \left(\frac{yM}{B} \right) / \left(1 - \frac{\psi}{B} \right) \quad (8) \quad \text{ここに } \frac{1M}{B} = 0.00149y^2 + 0.03848y + 1.04879 \quad (9)$$

式(7)と(9)を(8)に用いて最適埋立地盤高を求めれば (A)の場合 $y_0 = \text{T.M.S.L.} + 2.0$ m, (B)の場合 $y_0 = \text{T.M.S.L.} + 2.1$ mとなり、いずれの場合も沈下を考慮しなかつた場合より0.2m高く埋立る必要がある。これらの地盤高を採用したときの高潮に対する安全性は表-1より再現期間でそれぞれ (A)の場合($y_0=2.0$ m)は1000年、(B)の場合($y_0=2.1$ m)は2000年となり、埋立地盤高10cmの差は高潮再現期間が倍となっており、この間を高潮に対する安全性が非常に増大することを意味する。

9. あとがき。上記の諸要素の中で特に φ は不確定な要素であるが、その変動は埋立地盤高の計算結果に対し微小にしか影響せず、 φ に概略値を与えても実用上全く差支えない。また $F(y)$ の値は無名数で物価単位を含まないので、各種経費および利益の間の比率が変化するれば物価の一年変化に対しては y_0 の値に影響しない。なお投資額の計算には1970年前後の物価を用いた。以上により、この臨海埋立地盤高の計算法は妥当性を有するものとする。本文の試算には徳島県土木部港湾課より資料の提供を受けた。ここに感謝の意を表す。最後に日大理工部 久宝保教授の指導に敬意を表す。

[文献] 1) 川北米良：臨海埋立地造成における地盤高の決定に関するO.R.について、土木学会第32回年次学術講演会 IV-7, 1977

2) " : 徳島県津田木材港の埋立地盤高の試算と高潮に対する安全性の評価, "第34回" II-288, 1979