

要 約

本稿では、漸拡断面を有する沈埋涵を涵上で浮かべたままコンクリート構築を行なう場合の、コンクリート比重計算、涵の吃水、安定性及びたわみの計算、更に沈設時の載荷重量計算を、コンピュータを利用して実施し検討したので、その運用システムと適用例について報告する。

1. はじめに

近年我が国において土木工事業の建設に当って沈埋工法が採用されることが多くなってきている。

今回具体例として取り上げる沈埋涵は、京葉線(鉄道貨物、複線)台場ずい道工事(施工主：日本鉄道建設公団)で用いられた1～7号涵のうちのオ7号涵で、図-1のような、一方が拡幅した漸拡断面を有する涵体である。

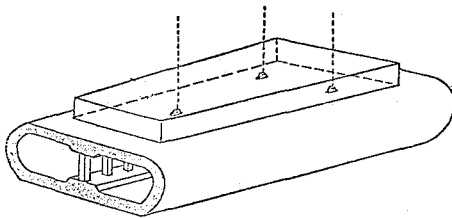


図-1 7号涵概観図

2. 解析の概要

1) コンクリート構築段階での問題

沈埋涵は沈設予定地まで曳航する関係上、コンクリート構築終了時に所定の吃水及び吃水差(長手方向)を保ちつつ安定であることを要求される。

そこで適切なコンクリート比重を定めて涵の安定を確保しなければならぬ。

ところで7号涵では形態上の特徴のため、涵全体を均一比重のコンクリートで打設すると、長手方向の吃水差が大きくなるばかりでなく一端が浮木(て、施工上安全管理上極めて不利になることが予想されたく図-2)。

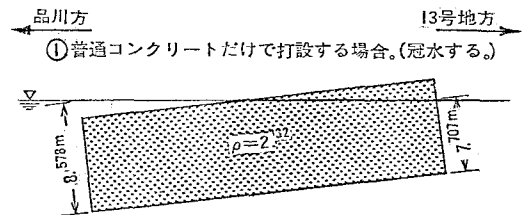


図-2 7号涵の吃水図(例1)

この対策として長手方向に於いて特定の位置でコンクリート打設区分を2分割し、各々異なる比重のコンクリートを打設する案について検討することとした(図-3)。

② 軽量コンクリートと普通コンクリートで打設を行なう場合。(与条件を満たす。)

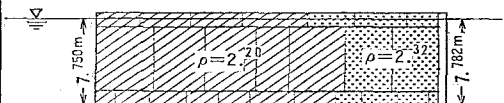


図-3 7号涵の吃水図(例2)

また沈没後他面と接触するために、涵体端部の鉛直を保つ必要があるが、打設順序によっては涵体のたわみが大きくなるのどたわみをできるだけ小さくするような打設計画についても検討した。

2) 碎石載荷段階での問題

沈没に必要な載荷量は、その時の涵の吃水及びクレーンの吊張力更に海底における涵の接地圧を考慮して求めなければならぬ。また碎石を片積みすると涵の安定を損うおそれがあるので注意を要する。そこで碎石の載荷量及び涵のバランスを考慮した載荷高、安定性について検討した。

図-4 にコンピュータプログラムの流れを示す。

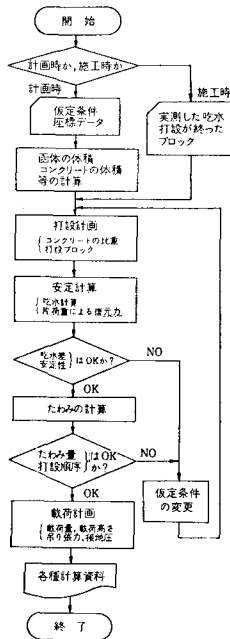


図-4 処理の流れ

このプログラムは運用上かう次の二通りの使い方ができる。図-5 に運用の流れを示す。

- 計画段階で、安全かつ経済的しかも効率の良い施工法を検討するために利用する。
- 施工が行われている段階で、現状を正しく把握し今後の計画を適正化するために利用する。

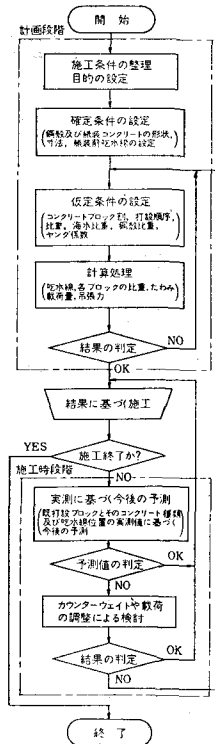
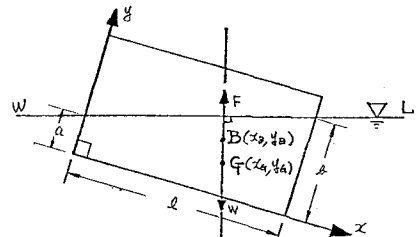


図-5 運用の流れ

3. 計算手法

1) 吃水の計算

沈没涵の形状が長手方向に対してほぼ線対称であること等を考慮して図-6 のような二次元モデルを作成した。



涵底にx軸、涵の左端にy軸をとる。

- | | |
|--------------------|----------------------|
| WL : 吃水線(軸) | $V(a, b)$: 吃水線下排水容積 |
| $B(x_b, y_b)$: 浮心 | $G(x_g, y_g)$: 重心 |
| a : 涵の左端の吃水 | b : 涵の右端の吃水 |
| l : 涵の長さ | ρ : 海水比重 |
| F : 浮力 | W : 排水重量 |

図-6 吃水計算のモデル(縦断面)

吃水線 WL の方程式は

$$y = \frac{b-a}{l} x + a \text{ ----- ①}$$

重心 G と浮心 B を通る直線 BG の方程式は

$$y = \frac{y_B - y_G}{x_B - x_G} (x - x_B) + y_B \text{ --- ②}$$

船がある吃水状態で平衡を保っているとするば、

WL と BG は直交するので、①、②式より

$$\frac{y_B - y_G}{x_B - x_G} \cdot \frac{b-a}{l} = -1 \text{ ----- ③}$$

また排水重量と浮力の大きさは等しい筈であるから

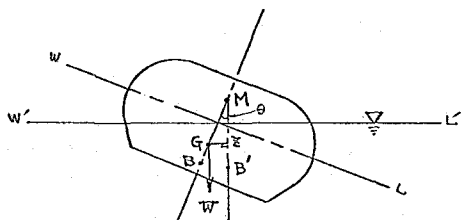
$$W = \rho \cdot V(a, b) \text{ ----- ④}$$

従って船が平衡状態を保っているとするば③、④式を同時に満足するような吃水 a, b だけを求めなければならぬ。逆に③、④式を同時に満足するような吃水 a, b の時、船を左右のどちらかに回転させようとするモーメントは 0 であるから船は平衡を保つと言える。

ここでは③、④式を変形してニュートン・ラフソン法による収束計算を適用し、吃水 a, b を求めた。

2) 安定性の計算

船の形状を考慮して横方向の安定性について検討する。良く知られているように、船の傾斜角が大きくなると場合には船のメタセータ M と重心 G 、浮心 B 間の距離に関して図-7 のようなモデルの場合次の関係が成り立つ。



B : WL での浮心 B' : WL' での浮心

G : 重心 M : メタセータ

Z : G から B までの距離 W : 船の排水重量

I : 水線面 WL の重心に関する慣性モーメント

V : 水線面 WL 下の排水容積

図-7 安定計算のモデル(横断面)

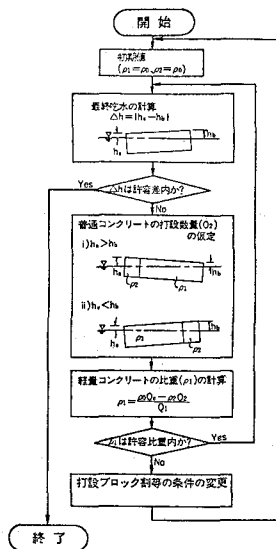
$\overline{GM} > 0$: 安定(船は元の状態に復元する)
 $\overline{GM} = 0$: 中立(船はそのままの状態である)
 $\overline{GM} < 0$: 不安定(船は更に傾斜していく)

$$\text{ただし } \overline{GM} = \overline{BM} - \overline{BG} = \frac{I}{V} - \overline{BG}$$

よって、コンクリート積載途上の各段階及び荷役時の $\overline{GM}$ を求めて安定性の目安とした。

3) コンクリート打ち継ぎ位置の計算

船の形状による左右両端の浮力の差が吃水差を生じさせる原因と思われる。そこで浮力大きい端には大きな比重のコンクリートを用い、浮力の小さい端には小さな比重のコンクリートを用い吃水差は小さくなるであろうという仮定に基づき、図-8 に示すようなシミュレーションを行なって打ち継ぎ位置を求めた。



ρ_0 : 最低乾状態のコンクリート比重
 ρ_1 : 軽量コンクリートの比重
 ρ_2 : 普通コンクリートの比重
 Q_0 : コンクリート総打設量
 Q_1 : 軽量コンクリート打設量
 Q_2 : 普通コンクリート打設量

図-8 シミュレーションの流れ

4) 函体たわみ量の計算

函体を一本の梁断面の梁として考え、図-9のように函体の重心位置で左右に分割し、それぞれを片持梁としてモデル化し、その変形量を求めた。

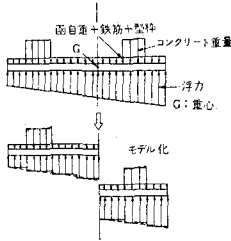


図-9 たわみ計算のモデル

5) 砕石載荷量の計算

函体の対海水比重が1以上になるように砕石を載荷する。この時函及び砕石を合計した水中重量はクレーンの吊張力合計に等しい(図-10)。

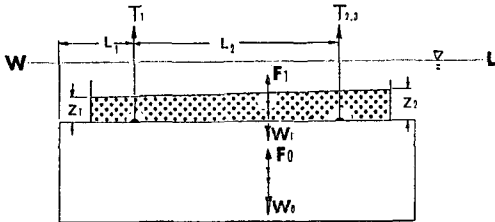


図-10 載荷量計算モデル図

従って砕石載荷重量 W_2 は

$$W_2 = T_1 + T_2 + T_3 + F_0 + F_1 - W_0 \text{ ----- ①}$$

W_0 : 函体重量 W_1 : 砕石重量

F_0 : 函体に対する浮力 F_1 : 砕石に対する浮力

T_1, T_2, T_3 : クレーンの吊張力

更に上記の水中重量は箱底において箱底面が受け持つので、

$$T_1 + T_2 + T_3 = A \times P \text{ ----- ②}$$

A : 函体の底面積 P : 単位面積あたりの接地圧

①、②式より所定の吊張力合計または接地圧に対して砕石載荷重量を求め、沈没時の接地圧が均等になるように載荷高を求めた。

4. 適用結果及び考察

海水比重 1.02 、平均乾砂 $40 \sim 50 \text{ cm}$ 、吃水差 $\pm 5 \text{ cm}$ とし、コンクリート比重を 2.32 及び $1.8 \sim 2.32$ の値の二通りとして、種々の打設ブロック案について検討した結果、前掲図-3のような打ち継ぎ位置と吃水を得た。平均乾砂は 45^2 cm 、吃水差は 3.2 cm である。図-11に吃水と $\bar{Q}_M$ の変化を示す。

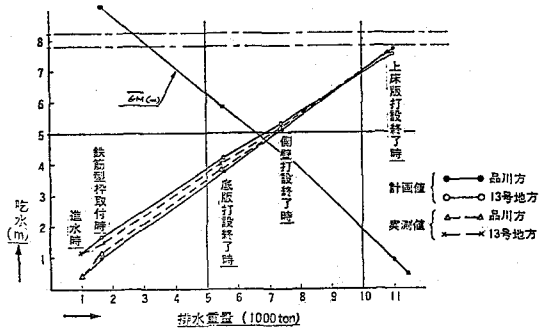


図-11 吃水と $\bar{Q}_M$ の変化

函体たわみ量は底版打設終了時までで最大 2.8 cm となり、許容範囲内の値を得た。

砕石載荷重量は砕石比重 3.28 、空隙率 39% に対して表-1の結果を得、無事沈没を終了した。(総積 677.5 m^3)

水中重量 (ton)	載荷量 (ton)	載荷高さ (m)		吊り張力 (ton)	
		品川方	13号地方	品川方	13号地方
250	1355.5	0.68	0.79	104.6	72.7

表-1 砕石載荷量

実測結果は施工時にコンクリート比重が若干小さい目であったことを考慮すればほぼ計算値通りであり、今回のモデルは妥当であったと考えられる。

このような施工時点における解析では工事開始前と施工時とで計算条件が非常に変わりやすく、施工が進むに従って調整が何度も必要となる。更に施工サイドで発生した問題に対して迅速適確な応答が要求される。

当システムでは計画から管理の段階まで一貫して処理できるように設計しているのですがその点々リットは非常に大きかったと確信している。

終りに今回の計算に際して種々を御協力戴いた、台端がい道企業体のろきに厚く御礼申し上げます。