

海洋構造物へのプレストレストコンクリートの利用  
**БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН** / 中村秀治・訳  
 浮体ケーソンにおける圧縮空気の利用  
*Proc. of A.S.C.E., WW* / 伊藤喜栄・訳  
 データの価値測定のための経営モデル  
*Water Resources Research* / 竹内邦良・訳

## 海洋構造物へのプレストレスト コンクリートの利用

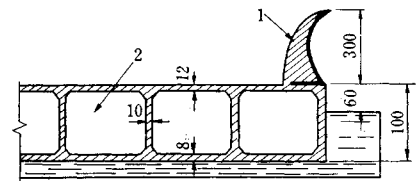
“Преднапряженный Железобетон в  
 Лавулич и Подводных Сооружениях”  
 Бердичевский, Г.И.  
**БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН** pp. 5~7 (1973年3月)

本文は、ソ連およびヨーロッパ諸国の最近の海洋開発におけるプレストレストコンクリートの利用方法とその将来性について概観したもので、とくにコンクリート製のドックや船舶、飛行場、海中トンネル、石油貯蔵タンクなどの開発利用の状況と計画について述べている。

高度の産業の発展にともない、海洋開発が進められてきたが、海洋構造物の建設には様々の困難な問題が起きている。これらの問題解決の一手段として、プレストレストコンクリートによる大規模な海洋構造物の建設が有望視されるようになってきた。

アンカーされずに海上に浮かぶ構造物としては、はしけ、浮き埠頭、ドックなどがある。これらの構造物には管理のいきとどいた工場で作製される軽量コンクリートのプレキャスト部材を用いるのが合理的である。排水量2万5000tまでの船体やドックは、パネルをプレストレスによって結合し建造することが可能である。ソ連では、現在、100隻以上のコンクリート船が利用されており、総排水量は約50万tにのぼっている。コンクリート船やドックの経済上の利点は、鋼材の節約、製作費・維持費の節減、長期の耐用年数などであるが、一方、完全な設計にもとづく自重の減少、コンクリートの施工の精度などが重要な問題として提起されている。

アンカーされて海洋に浮かぶ構造物としては、飛行場、防波堤があげられる。ソ連、イギリスにおいて研究および設計が行なわれ、浮かぶ飛行場の実現性が高められつつある。技術的問題点は、構成要素である中空の箱型ポンツーンを必要な大きさと重量で作製すること、滑走路部分を暴風波浪から十分に防護することであったが、プレストレストコンクリート技術の開発と浮かぶ



1. 防護壁 2. 発泡ポリスチレンで満たされた空洞  
 図-1 浮かぶ飛行場のためのプレストレストコンクリートポンツーンの断面図 (単位 cm)

防波堤の設置により解決された。ポンツーンは図-1に示すように、上下の盤とそれを結合し縦横に交差する壁により構成されており、空洞は発泡ポリスチレン(スチロール樹脂)あるいは他の超軽量材料で満たされている。これによりポンツーンの空洞に浸水しても沈没しないことが保障されている。空洞を発泡ポリスチレンで満たしたコンクリート構造は、他の海洋構造物にも有効に使用できるものである。

海中に設置される構造物としては、海中トンネルがあげられる。ノルウェーの深いフィヨルド、イタリア半島とシシリー島間のメッシナ海峡などに計画されている。普通の中トンネルは負の浮力を持ち、海底に定置されるが、ここに述べる海中トンネルは正の浮力を持ち、アンカーロープにより海上に浮き上がるのを防止している。このような構造物の信頼性と経済性は、検討の結果、同じ程度の交通輸送能力を持つ吊橋に劣らないことが明らかになった。また、表面水域の使用条件と輸送道路の敷設の容易さの点で、吊橋よりすぐれていることも明らかになった。メッシナ海峡の場合について見ると、海中トンネルの工事費は約2億ドルであるのに対し、吊橋では4億ドル以上になるものと試算されている。

海底に基礎を置く構造物には、灯台、埠頭などの港湾設備、潮力発電所、石油貯蔵タンクなどがあげられる。これらの建設には、波浪が仕事の遂行を難かしくするとことから、基礎作りの作業期間の短縮がとくに問題になる。灯台の建設の場合、下部のプレストレストコンクリートのケーソンは乾ドックで作製し、定置する場所に沈下し、上部のケーソンは海洋上で組み立てている。ノルウェー沿岸の大洋に面した位置に建設された石油貯蔵タンクは容量16万m<sup>3</sup>の貯蔵能力を持ち、それ自身コンクリートの島の様相を呈している(図-2, 3)。この場合も下部は乾ドックで造り、上部は海洋上で建設したものである。プレストレスはフレシネー方式により垂直方向と円周方向に導入している。

これらの鉄筋コンクリート、プレストレストコンク

## 浮体ケーソンにおける圧縮空気の利用

“Pneumatic Technique for Buoyant Caissons”  
Krauss, F.E.

Proc. of A.S.C.E., WW, Vol. 99, No. 1,  
pp. 19~26, February (1973)

水中構造物の構築法のひとつに、浮体ケーソンを製作し建設地点まで曳航して沈設する工法がある。本論文では浮体ケーソンの曳航・沈設作業に圧縮空気を有効に用いる方法を、工業用水等の取水管、トンネルの取水口を例にとって紹介している。

ケーソン沈設時の圧縮空気の利用には、

- 1) 浮力タンクに作用する外水圧と相殺するための圧気、
- 2) 圧縮空気による注水バルブの開閉、
- 3) 浮力タンクへの注水作業の遠隔監視、などがある。

### (1) 沈潜型浮体ケーソンの沈設

ケーソンの基本的沈設手順は、注水バルブを開き、浮力タンクに注水して充分浮力を失なわせ、ついで注水・排水バルブを閉じた上で沈降、着底させる。しかしこの方法は、水深が大きくなると、浮力タンクの強度を増さないと外水圧に抵抗できなくなるから他の方法を要す。

注水バルブを開放したまま沈降させると、浮力タンク内に水が侵入し内圧と外圧が平衡する。この方法はケーソンの沈降にともなって浮力タンク内の空気が圧縮され水中重量が増す。しかし小型ケーソンでクレーン能力に余裕がある場合には簡単でよい方法である。一般的には圧縮空気によって浮力タンクに内圧を与える方法がある。この場合には、圧力調整装置によって浮力タンク内に常に外水圧と平衡するよう自動的に内圧を与える。

### (2) 圧力調整器

圧力調整器は空気室に2個の圧力調整弁を取付けたもので、ひとつは浮力タンクへの給気用、他は排気用である。後者はまた、沈設作業中に浮上させる場合や給気弁が故障して閉じなくなった場合に予備弁としても用いられる(図-1 参照)。

### (3) コントロールシステム

沈設時に浮力タンク内に圧力を加えるシステムは、クレーン船の上にコントロールステーションを設けて操作する。水中のケーソンと海上は、自動給気管、手動送気管および圧力検知管により結ばれており、操作盤では、浮力タンク内の空気圧・ケーソンの深度・給気圧力・浮力タンクと外の圧力差を常に監視できる。順調に作業が進んでいるときにはすべて自動的にコントロールされるが、万一浮力タンク内外の圧力が平衡を失うとただち

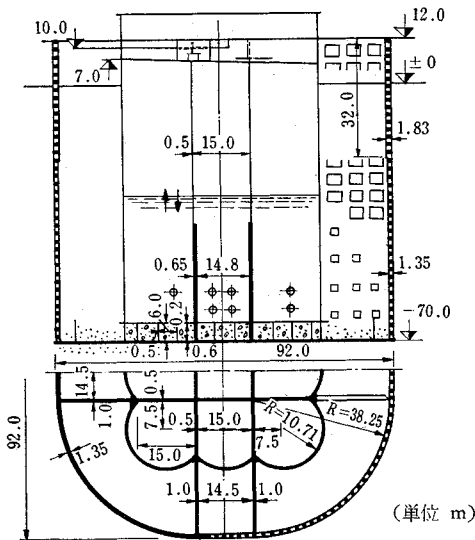


図-2 容量 16 万 m<sup>3</sup> の石油貯蔵タンクの断面図

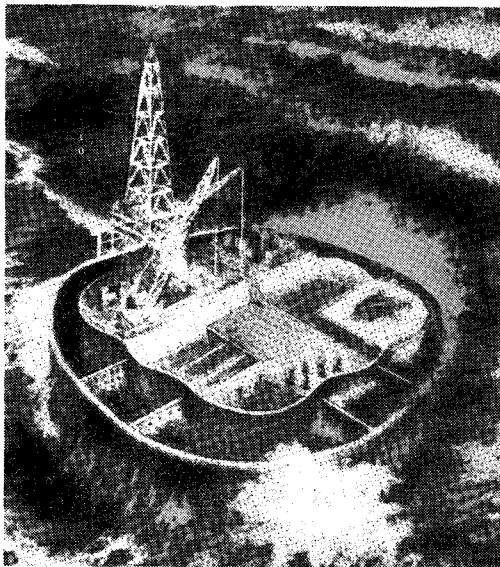


図-3 石油貯蔵タンク

リートを用いた大規模な海洋構造物は、詳細な研究をするのに値するものであり、多数の報告書が発表されている。それらは海洋コンクリート構造物の設計法、環境への影響、耐久性、材料の選択、建設技術、大規模な組立作業、ケーソンを乾ドックから曳航する方法、潜水夫と製作業務の管理、補修方法などの多方面の問題を対象としている。このような多くの研究成果と運輸交通量の増大にともない、プレストレストコンクリートを用いた海洋構造物の建設が今後ますます盛んになるであろうことは、1972年9月に開催された国際プレストレストコンクリート協会(FIP)のシンポジウムでの発表論文からもうかがい知ることができる。

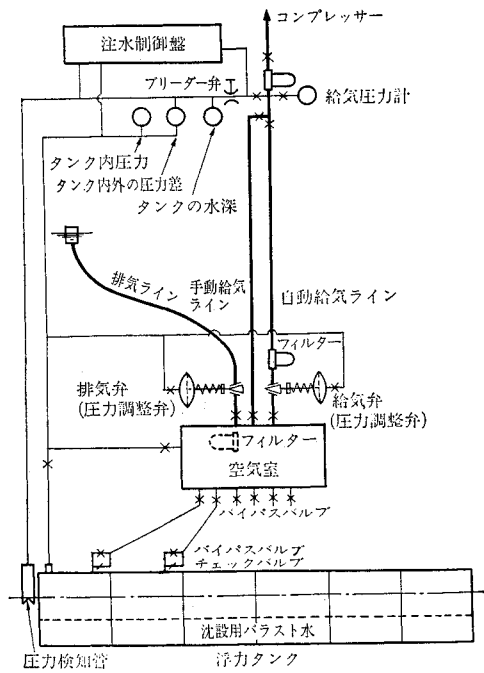


図-1 浮力タンク圧気・監視システム

に圧力計で検知できる。大きなケーソンで重心と浮心の位置がずれている場合には、遠隔操作できる注水バルブと浮力タンク内の水量計を各タンクに設け、常に重心と浮心の位置を一致させるようなプログラムにしたがって注水しなければならない。とくにフック1個でケーソンを沈設するときは重心と浮心を一致させないと横方向の揺れが発生し、とめるのがきわめて困難である。

Zion 取水口のケーソンでは、図-2 に示すバラスト水注水システムを採用した。注水弁はダブルアクションの空気シリンダーで操作盤から作動させる。浮力タンク内に注水したバラスト水の水深を、差圧計によって読み取ることで注水を制御する（図-2 参照）。

Burns Harbor の取水口用ケーソンは一度沈設後、取水の結果が思わしくなければ浮上させ、さらに沖合に移動させるように計画した。上下2段の浮力タンクを設け、ダイバーがそれぞれに圧力調整器を取り付ける。下段の浮力タンクの圧力調整器は、上段のタンクを完全に排水しても、次に下段のタンクを排水したとき、自から浮上しない程度のバラスト水が残るように調整する。海面までクレーンの助けで吊り上げたのち、下段のタンクを完全に排水する。

(4) 経済性

浮力タンクに内圧をかけると、ケーソンの重量と吃水深さが減少する。ケーソンの製作を仮設の乾ドックで行なう場合には、有利な工法である。

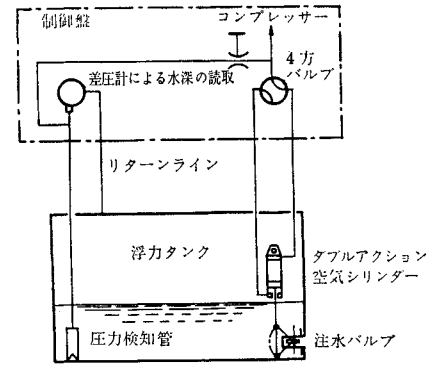


図-2 注水コントロールシステム

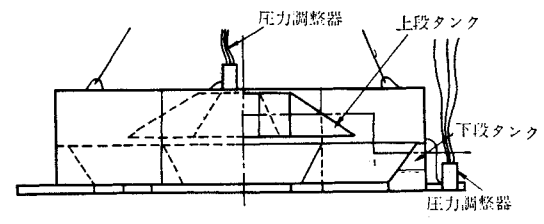


図-3 ケーソンの浮上方法

データの価値測定のための経営モデル

“Management Model as a Tool for Studying the Worth of Data”  
Maddock, III, T.  
Water Resources Research Vol. 9, No. 2,  
pp. 270~280, April (1973)

(1) 概要

いかなる計画立案のためにも基礎となるデータが必要である。しかしながらデータ収集には時間と資金が必要であって、得られたデータの信頼度もその2つの要素の関数となっている。したがって、様々なデータが必要な場合には、どの種のデータにどの程度金をかけるべきかというデータの相対的な価値が問題になる。この論文では、農場を井戸水の汲み上げにより経営する計画のために、どの井戸からいつどれだけの水量をポンプで汲み上げて、どの作物をいつどのくらい栽培するかを、農場からの収穫による利益マイナスポンプの操業コストを目標関数として、これを最大にする条件から決める方式を取った。このような経営モデルを設定すると、そのモデルに用いられるパラメータがもし誤差を含んでいれば、計算上は最大利益をもたらす決定も、実は最大には導かないという結果になってしまう。したがって、真のパラメータからのずれが最大利益にいかなる影響を及ぼすかを調べることによって、データの価値を測定できるであろうというのが基本的な思想である。

〈2〉 経営モデル

Dry Alkaline Valley Form という仮定の農場を考える。ここは土壌の質は良いが、水は地下水の汲み上げに頼らねばならない。作物としてはにんじん、玉ねぎ、じゃがいもを栽培している。井戸は3つある。また計画期間は5年、10シーズンとする。農場経営者の目標は利益を最大にすることであるが、そのためにどのような目標関数  $Z$  を設定し以下の制約条件の下に最大化を図る。

$Z$ : 各期の〈収穫利益-井戸のはじめの揚程が維持されたとした場合の汲み上げ費用-揚程変動による汲み上げ費用の増加分〉を資本還元したものの。

制約条件: 1) 地下水汲み上げに伴う揚程変化の関係式, 2) 最大利用可能土地面積, 3) 栽培規模とかんがい用水需要の関係式, 4) ポンプの最大容量, 5) 地下水位低下の許容値。

このモデルに用いられるパラメータは、ポンプの汲み上げ費用 ( $\$/ac \cdot ft^2$ )、にんじん、玉ねぎ、じゃがいもの価格( $\$$ )、各作物の作付面積あたりの水消費量( $ac \cdot ft/ac$ )、地下水の Transmissivity (Darcy の透水係数  $\times$  透水幅:  $ft^2/sec$ )、地下水の貯留係数、利率の10個である。したがってこのパラメータの誤差が最適決定に与える影響を知ることによってどのパラメータの調査により重点を置くべきかを知ることができる。換言すればパラメータを推定するためのデータの価値はそこから決ってくる。

〈3〉 パラメータの重要性の解析

いま真のパラメータが  $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k)$  であるときに、 $\theta^b$  というパラメータを用いたときの目標関数の最大値を  $Z(\theta^b, \theta)$  とおけば、誤ったパラメータを用いたことによる最大値の違ひは、経営者の後悔 (regret) として、 $R(\theta^b, \theta) = Z(\theta, \theta) - Z(\theta^b, \theta)$  .....(1) で表わされる。この  $R(\theta^b, \theta)$  を  $\theta^b$  のまわりに Taylor 展開すれば、 $R(\theta^b, \theta)$  は  $\theta = \theta^b$  で最小値0をとり、その近傍で convex であるので (注: 抄録者は最小値もとらなければ convex でもないと思う。またこの条件を使うためには式(1)は  $[Z(\theta, \theta) - Z(\theta^b, \theta)]^2$  等で定義されなければならない)、 $R(\theta^b, \theta^b) = 0$ ,  $\frac{\partial}{\partial \theta_i} R(\theta^b, \theta^b) = 0$  となることを考慮して、

$$R(\theta^b, \theta) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k (\theta_i - \theta_i^b)^2 \frac{\partial^2 R(\theta^b, \theta^b)}{\partial \theta_i^2} + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k (\theta_i - \theta_i^b)(\theta_j - \theta_j^b) \frac{\partial^2 R(\theta^b, \theta^b)}{\partial \theta_i \partial \theta_j} \dots (2)$$

プラスより高次の項と書くことができる。

いま  $\theta_i^b$  として、 $X_i$  の  $n_i$  個の標本の平均を用いるならば、 $\theta_i^b$  は

$$\langle X_i \rangle = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} X_i(j) \dots (3)$$

で表わされる。さらに  $\langle X_i \rangle$  の分散を  $\sigma_{\langle X_i \rangle^2}$ 、また

$$\partial^2 R / \partial \theta_i \partial \theta_j = \alpha_{ij} \dots (4)$$

とおけば、 $R$  の期待値  $\mu_R$  は

$$\mu_R(\theta^b, \theta, \sigma_{\langle X_i \rangle^2}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \alpha_{ii} \sigma_{\langle X_i \rangle^2} + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \alpha_{ij} \sigma_{\langle X_i \rangle} \sigma_{\langle X_j \rangle} \rho_{\langle X_i X_j \rangle} \dots (5)$$

となる。ここで  $\rho_{\langle X_i X_j \rangle}$  は、 $\langle X_i \rangle$  と  $\langle X_j \rangle$  の相関係数である。かりに  $X_i$  が互いに独立であるとすれば、右辺の第二項は消えて、

$$\mu_R(\theta^b, \theta, \sigma_{\langle X_i \rangle^2}) = \sum_{i=1}^k \alpha_{ii} \sigma_{\langle X_i \rangle^2} \dots (6)$$

となる。ただしこの  $\alpha_{ii}$  は  $1/2$  をも含ませてある。

$X_i$  の分散を  $\sigma_i^2$  とすると、

$$\sigma_{\langle X_i \rangle^2} = \sigma_i^2 / n_i \dots (7)$$

さらに  $\sigma_i^2$  は未知なのでその期待値を  $\mu_{\sigma_i^2}$  とすると、

$$E_{\sigma}(\mu_R) = \sum_{i=1}^k \alpha_{ii} \frac{\mu_{\sigma_i^2}}{n_i} \dots (8)$$

となる。最後に  $X_i$  のデータを単位量収集するのに  $du_i$  の費用がかかるとすれば、 $du_i$  だけデータ収集費を増加することによる regret の減少分は  $\partial \mu_R / \partial u_i \cdot du_i$  であるから

$$d\mu_R = \sum_{i=1}^k \frac{\partial \mu_R}{\partial u_i} du_i \dots (9)$$

と書き表わされ、式(6)、(7)、(8)を考慮すると、

$$E_{\sigma}(d\mu_R) = - \sum_{i=1}^k \alpha_{ii} \frac{\mu_{\sigma_i^2}}{n_i^2} \frac{\partial n_i}{\partial u_i} du_i \dots (10)$$

の関係式が得られる。ここで右辺の各項は次のような量を用いることにより計算される。

$$\alpha_{ii} = [R(\langle X_i \rangle - j\epsilon, \langle X_i \rangle) + R(\langle X_i \rangle + j\epsilon, \langle X_i \rangle)] / (j\epsilon)^2 \quad j=1, 2, \dots (11)$$

$n_i$ : 実際にある  $X_i$  の標本数。もし  $X_i$  の標本分散がわかっていたら、 $\langle X_i \rangle$  が  $t$  分布する等の仮定から、標本分散が  $S_i^2$  になるように標本数を決めることもできる。

$\mu_{\sigma_i^2}$ :  $\sigma_i$  が  $\Gamma$  分布するとすれば、 $\sigma_i^2$  の期待値は  $\mu_{\sigma_i^2} = S_i^2(n_i - 1) / (n_i - 3)$  となる。

$\partial n_i / \partial u_i$ : 単位資金で得られる  $X_i$  のサンプル数。

以上のようにして単位資金  $du_i$  を  $X_i$  のサンプル数をふやすために投資した場合には、 $\alpha_{ii} \mu_{\sigma_i^2} / n_i^2 \cdot \partial n_i / \partial u_i \cdot du_i$  だけ regret が減少するという形でデータの価値が決められ、その価値にもとずいてどのデータを優先的に収集すべきであるかという決定ができる。

前記の経営モデルを用いた場合には、利率、地下水の物理的パラメータ、作物の水消費量は、 $E_{\sigma}(\mu_R)$  に与える影響は小さく、作物の価格、ポンプ汲み上げのコストは大きい影響を与えるという結果が得られた。