

超重量放水口ケーソンの海上設置

Establishment of a huge caisson-type discharged-opening on the Sea

—川越火力発電所4号系列放水口の建設—

-Construction of the discharged-opening, the 4th unit of Kawagoe thermal power station-

阿知波 文夫*・森 勝政**・高橋 正**

Fumio Achiwa, Katsumasa Mori, Tadashi Takahashi

The discharged-opening of the 4th unit of Kawagoe thermal power station is constructed to drain the used water from generator into 2.6km away from the coastal in 44m³/sec(see Fig-1). The depth of the sea where the cassion is constructed is about 11.2m, so the pneumatic caisson method is adopted in the construction on account of the advantage of the method both in economics and construction term. In this method, the blade part of RC-caisson(H=16.3m) is constructed on the land, lifted up and towed by the floating crane, and established at the point. After all equipments are set up, the discharged opening is sunk and constructed with pneumatic cassion method. The total weight of the blade part of cassion is about 3,200tf, so the technical processes for positioning of the cassion, are reported in the paper. We believe that this report should be a good reference for the development of the same kind of construction method in the future.

Keywords : RC-caisson, discharged-opening, the 4th unit of Kawagoe thermal power station

1. はじめに

川越火力発電所4号系列の放水口は、同系列で使用する冷却水44m³/秒を発電所より約2.6km離れた沖合に放水する目的で設置するものである。(図-1参照)設置地点の水深は11.2mであり、建設に当たって築島方式連壁工法、オープンケーソン工法などの比較から、経済性、工期などに優れるニューマチックケーソン工法を選択した。この方法は、陸上製作のケーソン刃口部をクレーン船で吊上げ曳航して所定の海域に設置し、ニューマチックケーソン工法で沈設していくもので、総重量約3,200tのRC製ケーソン(刃口部)据付に関する諸検討、計測結果など、今後さらに巨大化し発展する同種工事の参考となる事例が得られたのでここに報告する。

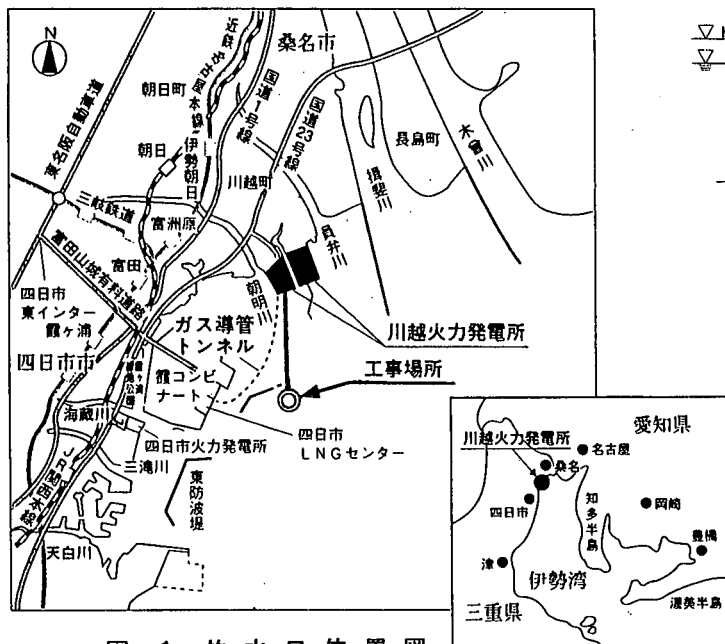


図-1 放水口位置図

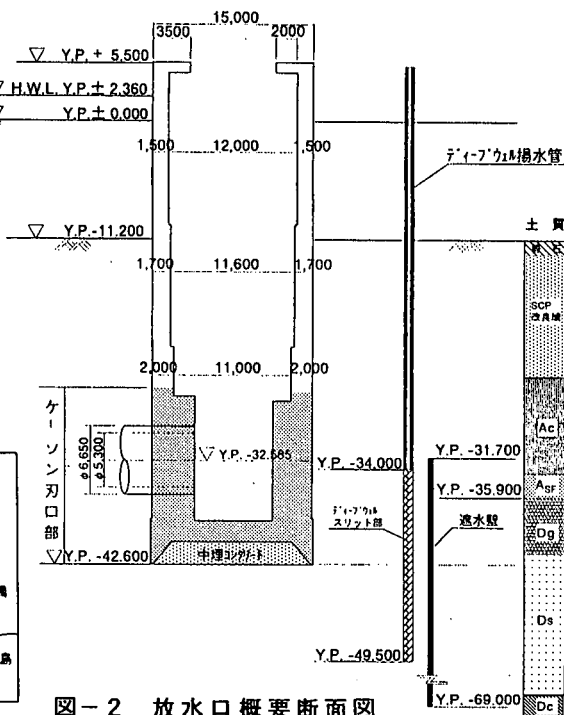


図-2 放水口概要断面図

* フェロー 工博 中部電力(株)川越火力建設事務所 (〒512 三重県三重郡川越町大字亀崎新田)

** 正会員 中部電力(株)川越火力建設事務所土木課

2. 工事概要

外径φ15.0m×全高48.1mの放水口（図－2参照）構築に当たって、刃口を含む全高の1／3（約3,200t）を陸上で製作し、4,100t吊フローティングクレーンで吊曳航し、所定の海域に設置した後、ニューマチックケーソン工法で構築する方法を採用した。ケーソン据付に際しては、据付地盤がN値0の軟弱な沖積粘土層であるため、初期の異常沈下の防止に対してサンドコンパクションパイルおよび砕石置換による地盤改良により対処した。吊曳航に対しては、超重量物であるため事前に吊治具の構造検討や、吊上げ時の躯体応力解析を3次元有限要素法により行うとともに、吊上げ時に吊治具および治具周辺のコンクリート応力を計測監視して施工時の安全性を確認した。

またケーソン沈設時は、掘削最深部（YP.-42.6m）の地盤が洪積の砂礫および砂の透水層で、約4.5kgf/cm²の理論水圧が作用することから、作業性の確保のため函内気圧を低減する目的で、ケーソンを囲む形の遮水壁とディープウェルによる揚水とを組合わせた減圧対策を実施した。

3. 検討内容

3.1 放水口の設置位置

川越火力発電所4号系列放水口の設置位置は、発電所付近の閉鎖的な海城環境を配慮して、現在運転中の1～3号放水口と分離し、霞ヶ浦防波堤の外側に発電所用地前面から約2.6km沖合とした。

3.2 放水口工法選択

放水口立坑の施工にあたっては、下記の条件があった。

- ①シールドトンネルの到達立坑のため、ケーソン沈設深さが40m以上必要である。
- ②放水口設置位置の水深は11.2mと深く、また防波堤の外側に位置し、風波等気象条件の影響が大きい。
- ③地盤は図－2に示すように、海底から深さ約25mまで軟弱な沖積層（N値＝0）であり、その下は洪積層となっている。

これらのことから、aオープンケーソン工法、bニューマチックケーソン工法等が考えられ、比較検討を行ったが、トンネル貫入口を正確な位置に設置する精度や、海域の海洋汚濁等、総合的に判断しニューマチックケーソン工法を選択した。

ケーソン刃口部はニューマチックケーソンを施工するにあたって、水深以上の高さまで製作する必要がある、高さ16mとした。ケーソン本体は鋼製、コンクリート製が考えられたが、搬入方法、施工性、工期などを比較検討しコンクリート製ケーソン方式を選択した。比較表を表－1に示す。

今回のケーソンは重量が大きいため、吊上げ時に、躯体コンクリートに過大な荷重が作用し、吊上げ部の局所的な破壊も懸念される。また破壊に至らなくても破壊荷重に達するまでに種々のひびわれの発生することが西堀らの実験²⁾で報告されており、吊上げ時の応力状態については十分検討する必要がある。

表－1 ケーソンタイプ比較表

	鋼製ケーソン方式	コンクリート製ケーソン方式
施 工 順 序	工場製作→組立→クレーン船にて吊上げ→運搬→据付→コンクリート打設→着底→沈設	陸上構築→大型クレーン船にて吊上げ→運搬→据付→着底→沈設
使用クレーン船	1,050t吊	4,100t吊
施 工 性	・鋼製で重量も220tと軽く、吊上げ時の問題は少ない。 ・据付～着底間は浮遊状態であり、波浪に対して不安定である。	・コンクリート製で重量も3,200tと重く吊上げ時の検討が必要である。 ・浮遊状態とならないので、波浪の影響を受けにくい。
工 期 (海 上)	16.5ヵ月	14.0ヵ月
評 価	・実績は最も多いが、海上での施工期間が長く、また工費も割高である。 △	・海上での施工期間が短く、最も経済的である。 ○

3. 3 ケーソン吊上げ検討

陸上で製作したコンクリート製ケーソンの吊曳航（写真－１参照）を行うにあたって、重量が約3, 200 tと非常に大きい事により発生する問題として下記項目が考えられ、以下に検討内容を記す。

- ①設計荷重の決定
- ②吊筋形式の選択
- ③吊上げ時におけるコンクリートひびわれの検討

①設計荷重の決定

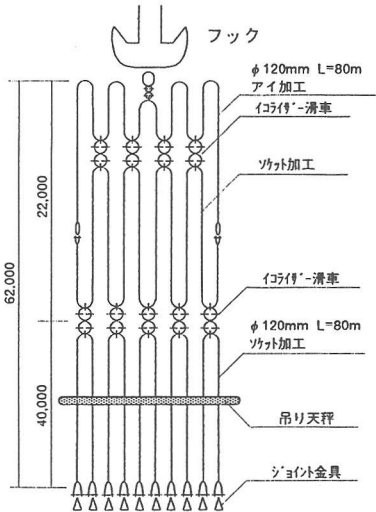
最大吊上げ能力4, 100 tの国内最大のフローティングクレーンを使用したとき、実際の吊上げ可能重量は、 $(4, 100 \text{ t} - 200 \text{ t}) / 1. 15 = 3, 300 \text{ t}$

200t:吊器具+ワイヤ重量、1. 15:船体揺動の加速度による増倍係数

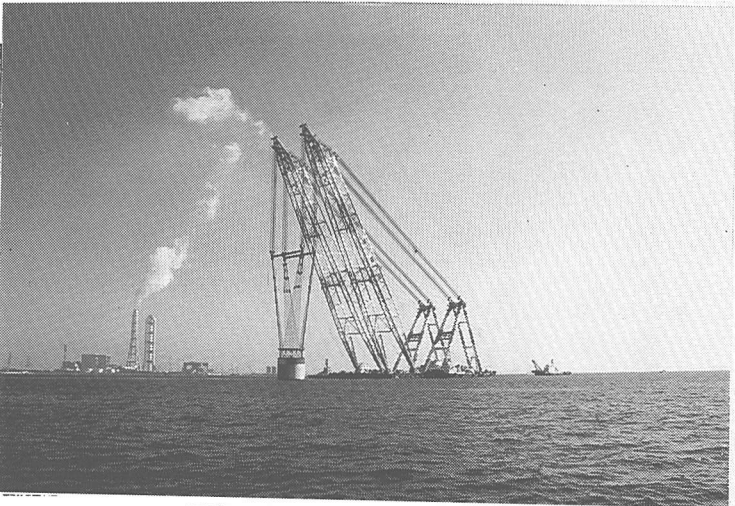
となり、ケーソン総重量は上記重量以下に抑えることとした。吊筋の設計荷重を決定する際、計算上の理論荷重に対して余裕を見込むための安全率を設定する必要がある。一方、吊筋1本当たりの平均荷重と各吊筋に作用する負担荷重との比を不均等係数という。一般に各吊筋の負担荷重は、吊点数が多くなればなる程、図－3に示す①フック部分②イコライザー部分③吊天秤部分等ワイヤーの接触する部分の抵抗にバラツキが生じるため、不均等となりやすい。また吊曳航中の起重機船の揺れによって、各吊筋には動的荷重が生じ不均等となる。

過去数例の大型ケーソン吊上げ実績および設計指針を調査したところ、不均等係数は表－2に示すように1. 56～2. 5となっている。吊筋の設計荷重の決定に必要な安全率は、不均等係数を考慮して決めるが、今回の場合、表－2の値を参考に、さらに吊点数が40点と多いことを配慮して、不均等係数（安全率）を2. 0とした。

今回の吊筋の理論荷重は、構造上重心位置の偏心により表－3に示すように不均等となる（平均値：79.8 t）。したがって、吊筋の設計荷重は、表－3に示す理論荷重の最大値88. 7 t（吊筋番号6）を基にして $w_d = 180 \text{ t} (>88. 7 \text{ t} \times 2. 0)$ とした。



図－3 ワイヤリング図



写真－1 ケーソン吊曳航状況

表－2 不均等係数一覧表

	不均等係数
運輸省注)	1.80
神戸港（実験）	1.56
岩大橋（実績）	2.50

注）港湾の施設の技術上の基準・同解説より

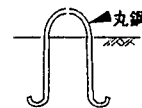
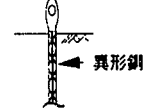
表－3 重心位置の偏心による各吊筋の理論荷重

吊筋番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
理論荷重 (t)	80.0	82.9	85.4	87.4	88.5	88.7	88.5	87.4	85.4	82.9	80.0	77.1	74.3	72.1	70.5	69.8	70.5	72.1	74.3	77.1

②吊筋形式の選択

コンクリートケーソンを吊上げる吊筋としては表-4に示すような形式がある。今回の設計荷重条件、信頼性等から、図-4に示す支圧板型式を採用し、吊筋径を既製品の最大径のものを使用して、吊筋数で40点が可能となった。吊筋は等間隔に配置し、吊上げ時の荷重は極力ばらつきの無いように、全支圧板の高さおよび吊筋のメガネ部分の高さが一定になるよう、組立用架台を設け吊筋と支圧板を設置した。

表-4 吊形式比較一覧表

	U型型式	ツリダック型式	支圧板型式
略図			
材質	U型に加工した丸鋼 (SS400)	高張力異形鋼棒 (KSDT-III)	支圧板(SS400)および高張力鋼棒(KST-III)
荷重伝達方式	丸鋼とコンクリートとの付着およびフィヤの支圧	異形鋼棒とコンクリートとの付着	支圧板上部に作用する支圧力
特徴および問題点	負担重量の大きなものには、適さない	負担重量の大きさと、埋込長が非常に長くなる フシ前面に過度の支圧応力が発生し、載荷時にクラックが生じる恐れがある	棒鋼とコンクリートの付着を切ること、確実に支圧板に荷重が伝達できる。(棒鋼周りのコンクリートに悪影響を及ぼさない)
適否	×	○	○

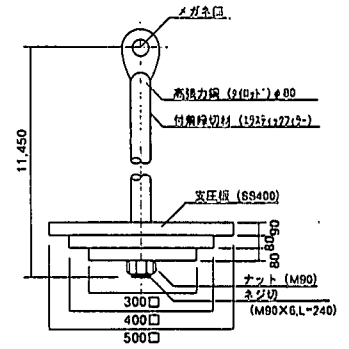


図-4 吊筋および支圧板図

③吊上げ時におけるコンクリートひびわれの検討

吊上げ時には、支圧板付近に多大な応力集中が考えられる。そこで、応力解析を三次元有限要素法 (A B A Q U S) を用いて行った。図-5・6に解析に用いた荷重条件およびメッシュ図を示す。

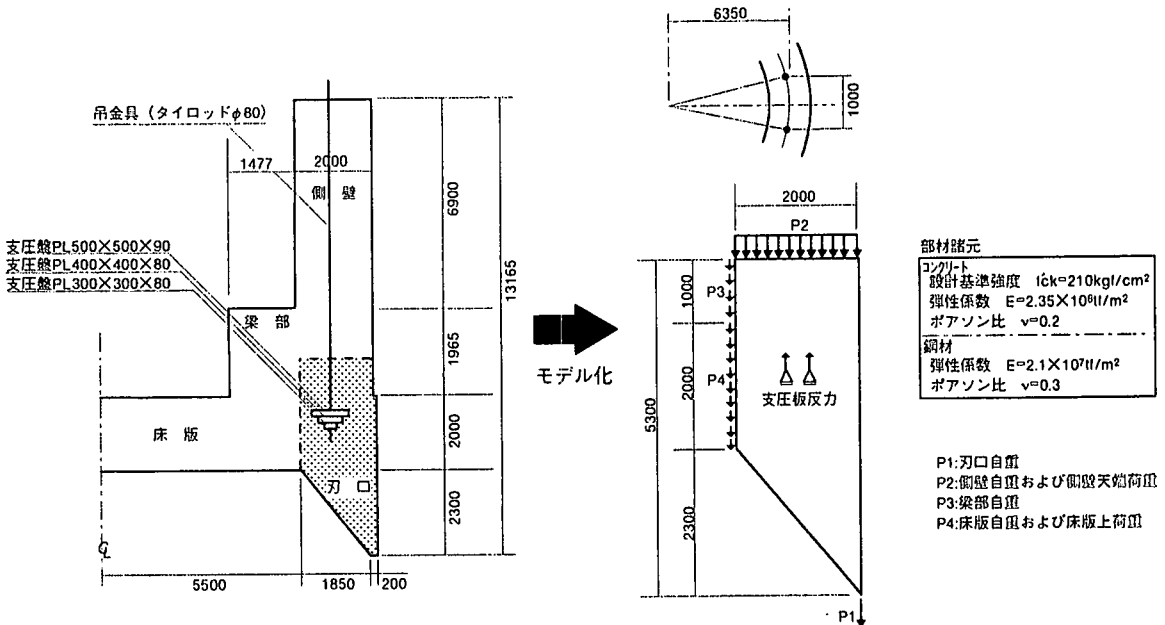


図-5 解析モデルおよび荷重条件

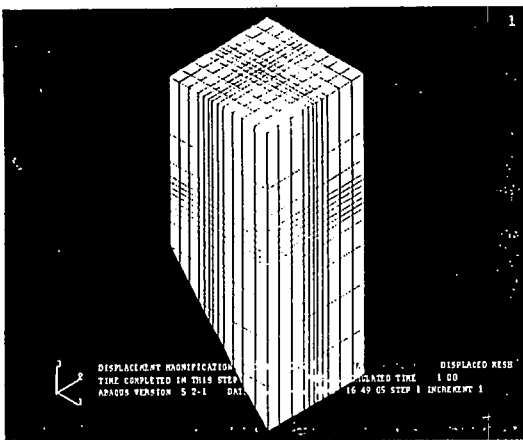


図-6 メッシュ図

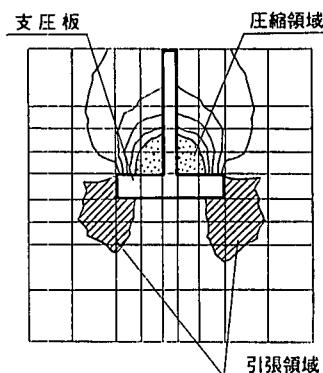


図-7 支圧板周辺の応力分布

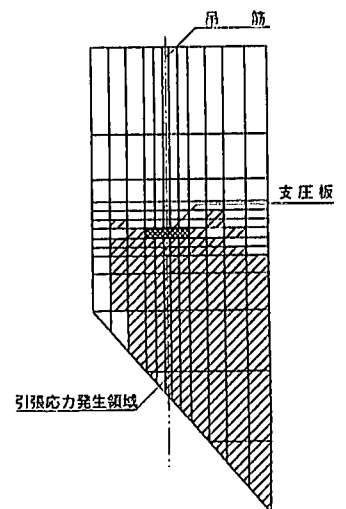


図-8 引張応力発生領域

応力解析の結果、図-7・8に示すように支圧板上部タイロット周辺に多大な支圧応力、また下部には引張り応力の発生が確認された。さらに半径・円周方向にも、支圧板周辺には引張り応力が発生することも明らかになった。躯体コンクリートの許容引張り応力度 2.5kgf/cm^2 に対し、ここでは、支圧板周辺にクラックを発生させないよう 1.0kgf/cm^2 として、それを越える引張り応力が発生する部位に補強筋を配するものとした。

躯体側壁は一樣な壁厚の鉄筋コンクリートではなく、トンネルが貫入してくる部分は鉄板で補強した開口部に発泡モルタルを充填した構造となっている。このため、ケーソンの一部に剛性が低く、重量の軽い部分が存在し、吊上げ時に荷重の偏心による応力分布の著しい偏りが考えられた。そこで、開口部を含めた側壁および床版の応力解析を図-9に示す解析モデルおよび荷重条件で実施することとした。図-10にメッシュ割りを示す。

図-11の解析結果を見ると、側壁上部(①-①断面)には円周方向に若干の引張応力(最大: 0.39kgf/cm^2)が発生するが、許容応力度内に入っている。また、その他の箇所では側壁下部(②-②断面)に代表されるように、圧縮応力(最大: 0.63kgf/cm^2)が大半で値も小さく問題ない事が確認されたので補強は行わなかった。

3. 4 吊上げ時の計測結果

ケーソン吊上げ時の安全性を確認するために、図-12に示すように計40本の吊筋のうち20本に吊筋軸力計を設置し、コンクリート有効応力計を4点および躯体姿勢を計測する傾斜計を2点それぞれ設置し測定した。なおコンクリート有効応力計は、クラックの最も生じやすい箇所のみ設置した。

吊上げ前日および直前に試験吊を行い、総重量の30~80%と段階的(10%刻み)に荷重を負荷し、各計測値に異常がないことを確認した後、吊上げを実施した。なお曳航中は躯体の安定を計るため、ケーソンの一部を水浸(約5m)させた。

(1) 吊筋軸力について

最大理論荷重が作用する吊筋番号6における吊筋軸力は図-13に示すように地切後に最大値107tを示し、これから不均等係数は1.33となった。また、吊筋番号1・2の軸力はケーソンを所定の場所に曳航後、海面上に吊上げた直後にそれぞれ105tと130tを示し、それぞれ不均等係数は1.31、1.63となり、設計値 $f = 2.0$ を下まわっていることが確認できた。

(2) 躯体コンクリート応力について

図-14に示す躯体側壁部に発生した応力の時間的変化を見ると、躯体側壁部には図-11(②-②)に示す解析結果の通り、測定箇所では引張応力の発生は認められず、吊曳航、据付中を通して一様に圧縮応力が作用していたことがわかる。また、地切り~据付時、外壁部に注意して目視による観察を行ったが、測定箇所以外においてもクラックの発現は全く見られなかった。

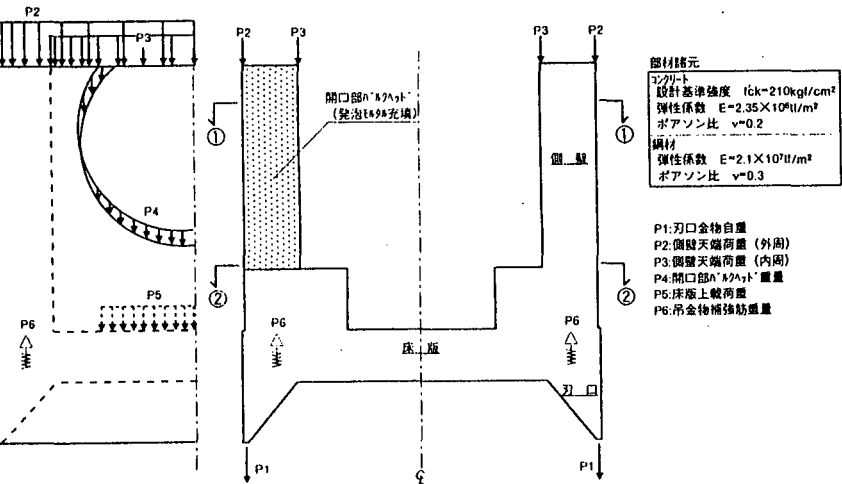


図-9 解析モデルおよび荷重条件

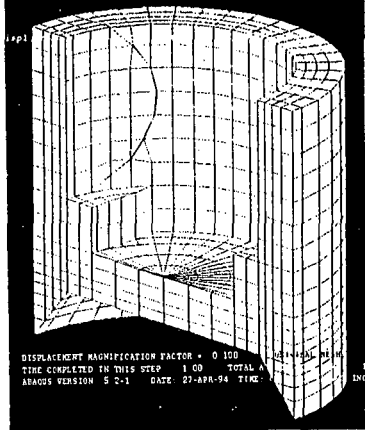


図-10 メッシュ図

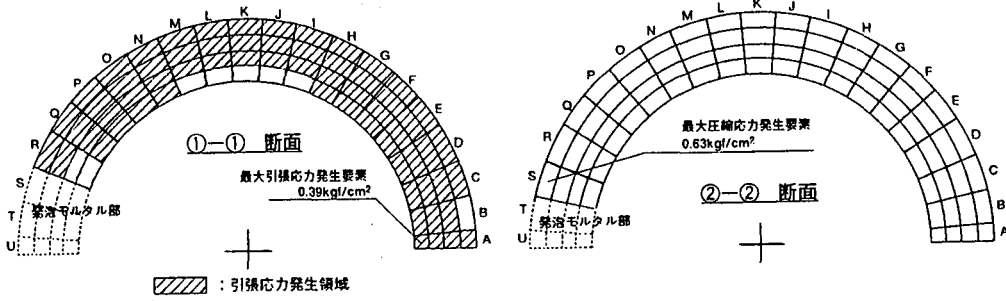


図-11 横断面応力分布

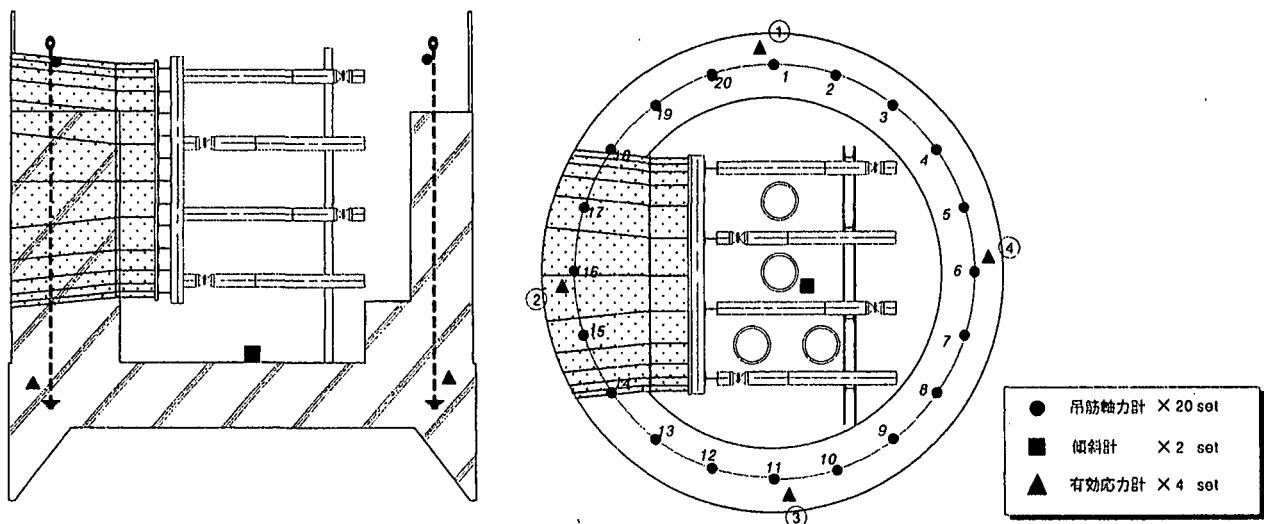


図-12 計測器配置図

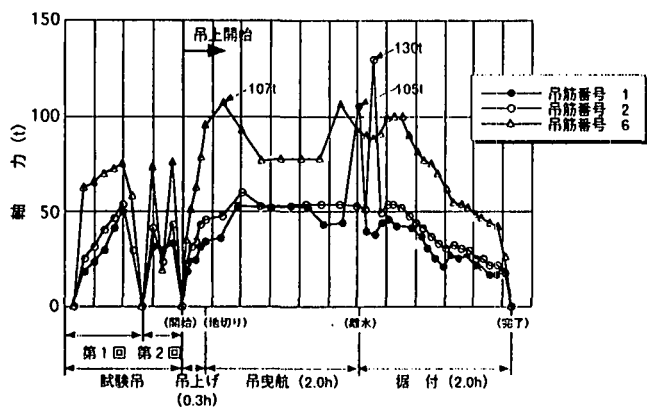


図-13 吊筋軸力の時間的变化

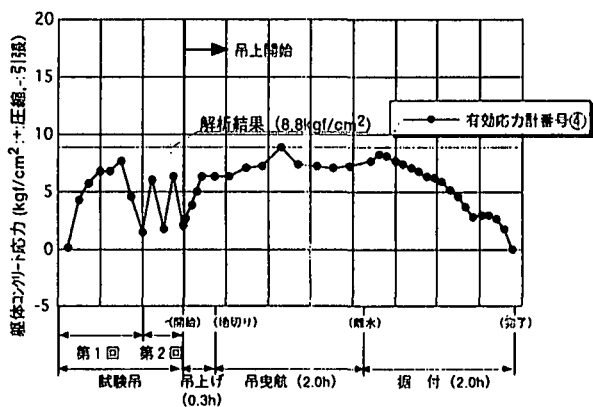


図-14 躯体コンクリート応力の時間的变化

4. おわりに

施工実績の少ない工事であったが、上記のような諸検討、対策を実施した結果、無事放水口を設置することができた。

参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説、1989
- 2) 西堀忠信、浦江恭知他“大型ケーソンの吊筋の力学的性状について”第29回土木学会年次学術講演会概要集、(1974)
- 3) 西堀忠信、飯島昭美他“太径丸鋼を用いた吊筋の研究”第30回土木学会年次学術講演会概要集、(1975)