

進水時の動揺を制御したケーソン進水工法の施工管理 —波浪条件と進水設備基礎杭の施工管理手法と実績—

東北電力株式会社 正会員 大高昌彦
鹿島・庄司共同企業体 河津幸治
鹿島・庄司共同企業体 正会員○ 鈴木哲哉

1. はじめに

東北電力㈱原町火力発電所の防波堤ケーソン（W=2000～3550t）の進水工法は、製作ヤード及び進水海域の広さ等から、シンクロリフト工法が採用されているが、工程及び波浪条件から、進水中のケーソンの波浪による動揺対策として動揺制御機構（図-1□印）を設け対処している。

本稿では、シンクロリフト工法によるケーソン進水時の動揺制御の原理及び進水時の設備維持・施工上の安全確保のため、気象・波浪状況の測定等の管理方法を報告する。

2. 動揺制御について

(1) 構造の原理

ケーソン進水時の動揺を極力抑える目的で、あらかじめホイスト基礎杭及びケーソンに防衝設備を設置した。この設備はケーソンの動揺が小さいうちに、ケーソンに作用する波及びケーソンの衝突エネルギーを直接、基礎杭に伝え、杭の曲げ剛性で抵抗させる“たわみ杭式”で、前列杭にはコンクリート中詰めをし、杭の局部座屈に対処させ、前列杭と後列杭（各4本、計8本）をストラットで結び、より剛性を高め、その前列杭に防衝材を左右2箇所づつ取り付け、そこでケーソンと接触させる。

(2) エネルギーの釣合い式

動揺制御工を用いた進水時の釣合い式の例を示す。（H1/3=0.27m, T1/3=7.4sec）

$$E = E_1 + E_2$$

$$K \times \delta^2 / 2 = Pw \times \delta_1 / 2 + v^2 / 2g \times M$$

ここで、E : 基礎全体のたわみエネルギー (t·m) Pw : ケーソンに作用する波圧 Pw=74t (解析)

E1 : 波圧によるエネルギー (t·m)

δ_1 : 波圧のみによる杭頭変位量 $\delta_1 = 3.7\text{cm}$

E2 : ケーソン衝突によるエネルギー (t·m)

v : ケーソンの衝突速度 $v = 5.4\text{cm/s}$ (実測)

K : 基礎全体系の水平ばね

g : 重力加速度 $g = 9.8\text{m/sec}^2$

$$K = 2000\text{t/m}$$
 (解析)

$$M : \text{ケーソン+台車+付加質量}$$

$$\delta : \text{基礎杭頭変位量 } \delta = 5\text{cm}$$
 (実測)

$$M = 8000\text{t}$$
 (推定)

進水時のケーソン動揺量が片振幅で20cm・杭頭変位量が5cmの場合、Eは2.5t·m、E1が1.3t·m、E2が1.2t·m程度となる。万一、動揺制御工なしで、ケーソンの動揺を50cm程度まで許容とすると、E2は7.4t·m、E1との合計が8.7t·mと、現計画の約3.5倍となり、設備の破壊に近づく。このように動揺振幅を小さくすることで、ケーソン衝突エネルギーを大幅に制御でき、設備の安定化が図れる。

3. 管理値の設定

管理対象は基礎杭の応力・杭頭部コーピングコンクリートの応力・基礎地盤の水平方向支持力の3項目とし、ケーソン進水時のシンクロリフト基礎の健全度を立体フレームモデル（図-2）で解析し、管理値の設定を行った。

(1) 杭の剛性・コンクリート部分の剛性・地盤ばねを仮定した立体フレームモデルを作成した。

(2) 防衝工の接触箇所に単位荷重を作用させた場合の応力・杭頭変位量・部材応力の関係を各深度別に計算した。

(3) 衝突荷重以外の荷重（ケーソン自重、浮力等）と衝突荷重の合成荷重が、各部材応力及び支持地盤

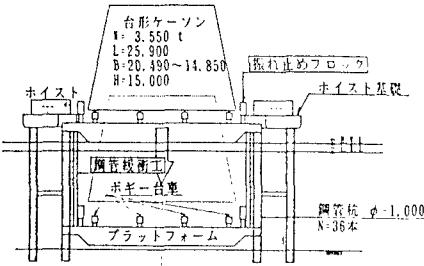


図-1 ケーソン進水状況図

反力の許容値になる場合の荷重を許容衝突荷重とした。また、その時の杭頭変位量を許容変位量とし、地盤の許容反力は、最大反力が弾性範囲内となるようにした。（表-1）

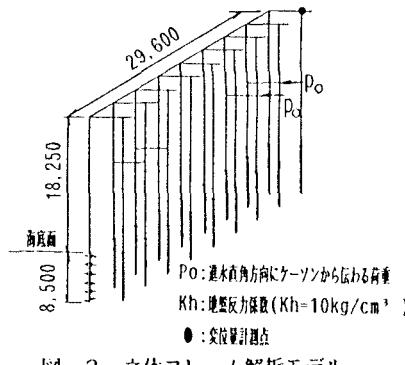


図-2. 立体フレーム解析モデル

表-1 杭の許容応力及び許容変位量一覧表

潮 高 m	許容変位量の計算				計測発生応力と安全率				
	波力供 給の応 力 kg/cm ²	波力の許 容応力 kg/cm ²	波力の許容 モーメント t m	許容杭頭 変位量 cm	δ = 1cm衝撃応力 kg/cm ²	計測変 位量 t m	発生応 力 kg/cm ²	安全 率	
-1	630	1342	161	12.6	12.8	107	-	-	-
-2	507	1490	179	12.9	13.9	116	1.0	116	2.86
-3	415	1601	192	13.0	14.8	123	0.7	86	3.23
-4	336	1696	204	12.9	15.8	131	2.2	288	3.03
-5	260	1787	215	12.0	17.9	149	3.5	522	2.50
-6	183	1880	226	10.6	21.3	177	4.5	797	2.08
-7	183	1880	226	10.0	22.6	188	3.5	658	2.43

4. 施工管理

(1) 進水前の管理

波圧は直接測定しにくいので、進水時の波高と周期から推算した。進水当日の波浪条件を、日本気象協会の推算システムと進水地点に設置した容量式波高計記録を基に推算し、重複波圧理論により作用波圧を推定した。これによって求めた波圧と構造解析により求めた許容波圧からの限界波浪条件を決定し管理基準とした。更に海上工事（進水工、曳航、仮置）の施工性から決まる条件を加味して、最終的な限界波浪条件を決定した。（表-2）

(2) 進水中の管理

シンクロリフト基礎等の設備の健全度を対象とした施工管理は、基礎陸側に設置した光波測距器によりケーソンが防衝突した時の基礎杭頭の変位量を測定し、許容変位量との比較で管理した。なお管理対象は、杭応力、コンクリート応力、地盤水平支持力の3項目であるが、杭応力に関する許容荷重が最も小さいため、杭応力を中心に管理した。

5. 管理結果

(1) 波高(H1/3)、周期(T1/3)と杭頭変位量の測定結果

現在まで約50箇所の進水作業を完了しているが、ホイストの杭頭変位量は最大 6.9cm であり、許容変位量の約50%となっている。このため、進水設備等の健全性は十分確保していると思われる。

(2) 実測波力と計算波力の関係

管理方法の妥当性の確認のため、現場実測の杭頭変位量から求めた実測波力と重複波理論から求めた計算波力の比較を行った。その結果、近似した数値になっており、管理手法の妥当性が検証できた。（図-3）

6. あとがき

当初、シンクロリフト工法によるケーソン進水作業は、太平洋岸のように長周期波浪出現箇所での実績がなく、作業限界波浪条件をどう設定するかが、この工事の大きなポイントになっていた。しかし、防衝設備の設置により、心配された波浪条件による進水作業待機時間も減少でき、ケーソン製作工程への影響も見られず、順調に工事が進捗している。

表-2 進水時の管理基準H1/3

周期	前日判定	当日判定	進水中
5s	60cm	80cm	100cm
8	40	50	60
10	30	40	50
12	25	30	40

前日：限界値×0.6、当日朝：
×0.8、進水中：×1.0

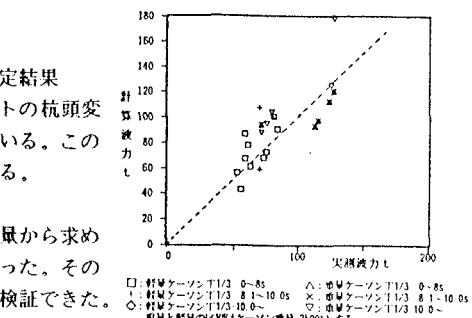


図-3. 実測波力と計算波力の比較