

大型圧気ケーソンの掘削沈下現象

東北電力KK八戸火力建設所 正員 宮坂 節雄

正員 北松 治男

1. 概論 八戸火力発電所基礎の大型圧気ケーソンの沈下現象と、施工実績より推測し、現象に略々適合する設計条件を提示するものである。

2. 結論 概ね砂層上の、浅い八戸ケーソンの沈下諸現象は、次の如く考えられる。

① 静止状態の躯体が沈下するための、周壁平均摩擦力は、 $2.26 \pm 0.05 \text{ t/m}^2$ 。又口の静的平均耐力は、又口面(巾 40 m)と水平に掘削した場合、 $39.9 \pm 2.3 \text{ t/m}^2$

② 沈下過渡接地圧 $\times$ 沈下量は上記と異なり、 $ky_0 \times = 0.230 \pm 0.008 \text{ t}$ 。茲に y_0 = 正規変量

③ 周壁摩擦力の急激沈下による減小率 $n(\%)$ は、 $n = 1.53 \times e^{0.0725H}$ 、茲に H = 急激沈下高(cm)

④ それは、一旦沈下が止まると、 $80 \sim 90\%$ まで瞬時に回復する。但し、完全回復には、時間がかかる。

⑤ 沈設後の自重は、中埋後も周壁と又口が受持っている。前建物載荷による変化を継続測定中である。

⑥ 周壁土圧は壁面傾斜がぬると殆ど0となり、おがむと増す。

⑦ 鉄筋応力は、最大引張 $1/23$ 、圧縮 $2/8\%$ 、歪度 1×10^{-4} であるから、コンクリートの引張応力が大きくきいて、所謂、亀裂以前の状態にある。

⑧ 函内圧による自然の沈下バランス調整作用が、現象の主役を努める。

⑨ 上記の要素をもとに、次の設計条件が 観測に略々適合する。

a. 自重(水、砂荷重共) - 理論函内圧 - 減圧分(2%) = 下向不平衡力

b. 周壁摩擦は長辺側だけに働き、 2.2 t/m^2

c. 予定沈下回数 N に対して $1/(2N)$ の超過確率をもつ又口耐力を②よりきめる。短辺は、先掘りする施工法をとるから又口の

d. a b c の力のバランスより又口の延長が求まるので、これが左右半々に生じる片持条件、中央に生じる中抜条件、対角に生じる挟りの条件の三者について構造強度を決定する。

e. 解は一方向の版として、簡易に求める。

3. 各論

⑩ 地質及び構造。地質は概ね砂層で、 $27 \text{ m} \times 28 \text{ m}$ のボイラーケーソン、 $23 \text{ m} \times 46 \text{ m}$ のタービンケーソンの2基のケーソンを沈設した。2基共、格子構造で、高い作業室をもたせ、2段又口を採用している。工事は、昭和40年10月着工し、昭和41年4月に沈下を終了した。尚発電所の竣工は、昭和43年9月の予定で、昭和42年1月より本館建家の建設を開始した。

⑪ ケーソンの安全管理を主目的として、カールソン型の計番68台を埋設した。沈下中は、主要土圧計6、鉄筋計11の他、函内圧、四隅水準、オシロ測定し、函内との直通連絡により危険と早期に発見する態勢をとった。これはほんの一例で、安全に対しては万全の措置と構えたが、施工の詳細については此処ではふれない。無事に沈下の完了した今日、もはや計番の主目的は達成した訳である

が、
 a. 沈下現象が幾らかはつきりしたほか、
 b. 構造物打設後の温度履歴がわかり、かなり正確にコンクリートの強度を推定できたので、真冬の躯体施工にも拘わらず自信をもつて沈下施工を行えた。
 c. コンクリートの打設直後、鉄筋計には 100 kg/cm^2 程の初期応力を生じている。これは、打設方法と関連があるようである。
 d. コンクリートの硬化に伴う応力変動がはつきりする。砂セメントを使用し、作業室を打設したが、壁の打設に伴い若干の沈下を生じた形跡があり、収縮力の変化が認められる。

⑫ 両ケーソンの沈下22回中15回にわたって測定した記録は、例えば図6～9のオシロ記録と図10に転記し、函内の作業記録と共に解析の基礎とした。オシロ測定以外の計番は、度々静測定を行ったが、沈下期間中例えば函内圧の微妙な変化のみによってものなり躯体が急ぐいて居り、特定時刻の測定値は、何を示しているのか、各件がはつきりせず役立たない事は、既に公にされた各種の測定報告にも明らかな通りである。

⑬ 静止状態の躯体が沈下と始める瞬間の力の平衡より、自重+函内圧=刃口平均支持力+周壁平均摩擦力なる2変数実測方程式24個を立て、これが正規分布に従うものとして解いた結果①の数値を得た。

刃口支持力については、式を連立させるため、掘削状況により異なる地耐力を標準の場合に換算する係数を算出し乗じてある。故に刃口支持力については、若干バラツキがあるが、周壁摩擦は精密な値を得た。函内圧とレベルの連続同時記録が整備されているので誤差も少く、一見ラフに見える沈下現象が、非常に厳密な力のバランスに基づいている事が明らかとなった。之等の数値によりかなり高精度で沈下条件と判定できる。

⑭ 沈下瞬間には刃口が急激に土中に押込まれるため、刃口地耐力は、①の静的平均値よりかなり大きい値を示す場合がある。底面土圧計の記録95回は、土圧計下をかなり掘込んでいれば少い値で強力に接地

図-1 圧気ケーソン平面図及び土圧計の配置。

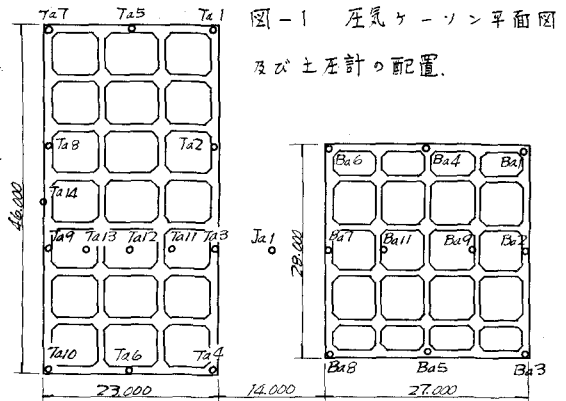


図-2 圧気ケーソン断面図及び接地圧推移図

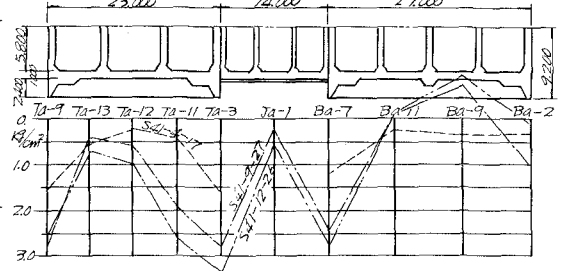
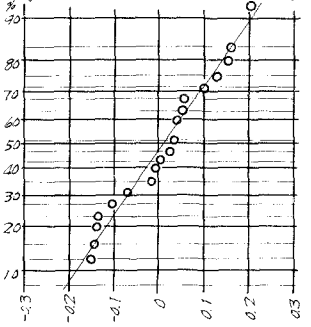


表-1 使用測定器

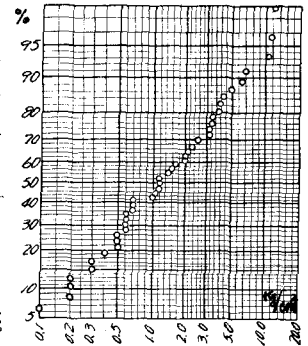
品名	仕様	台数	取付位置及使用目的
土圧計	CE-16P	25	刃口底面18箇所、側面6箇所
鉄筋計	RF-320C	43	作業室1筋、壁1筋、上筋13
電磁オシログラフ	600A型24素子	1	鉄筋計12点、土圧計7測定
動的増幅器	DS6-RX6素子	2	鉄筋計12点、土圧計7
	DPM-6AT6素子	2	刃口圧1コ、ナール4
圧力ヘッド(配管無)	PHA20P 2 kg/cm^2	5	函内圧レベル検出
差圧計	水銀凍凍液	4	ナール検出
プレッシャーゲージ	$0-2 \text{ kg/cm}^2$	1	函内圧較正用
ベビーポンプ	5 kg/cm^2	1	函内圧較正用
タイマー	30秒、50分	1	時間軸
トリップボックス	120°	38	動的測定アダプター
トリップボックス	85°	38	動的測定アダプター
静圧測定器	CM-fF	1	静圧測定
スイッチボックス	NS-24E	2	静圧測定

図-3 周壁摩擦と刃口耐力の2変数方程式の残差



押込の形となれば大きい値を示しているが、個々の土圧計についても全体として見ても、図4のように統計的分布は、対数正規型分布に従うと見られる。よって最大圧力は②に示した如くなる。本式は地質のみでなく、施工の方法・巧拙が影響する所大と考えられ、かなり慎重に大型ケーソンの原則的施工法（短辺先行掘削後長辺一様掘削、1回当り沈下落下量30cm以内）に依った場合と註釈をつけておく。又大きい接地圧は、構造物作業性、土の巻込性などにより短辺先掘りを確実に行ったにも拘らず免れずれば四隅に生じ易かった。

図-4 タービンケーソン
沈下中最大接地圧の分布



⑤ 次に周壁摩擦について述べる。摩擦の性質上、静状態における極限値より動状態における極限値が小さいことは予想される所であり、その程度に従って荷重条件は様相の異なるものとなる。今充分なロウを掘込んだ状態で減圧沈下を行い、ロッキンア沈下が続いても又ロウ反力が生じていないケースを探し、自重・涵内圧・周壁摩擦の三者の力の釣合いを吟味した所、沈下到達時の周壁摩擦力は4ケースを総合して③及び図11のようになった。適用範囲は沈下高30cm以下と考えている。

⑥ 初沈下は一旦涵内空気の圧縮自動昇圧によって止まり同時に周壁摩擦も或程度回復する。図6では89%の回復率を示している。又比較的短時間後に沈下させた2例では4分後に88%、32分後に93%であり砂盤とは云々完全回復にはかなり時間がかかる事と示している。

図-5 過重量沈下のレベル

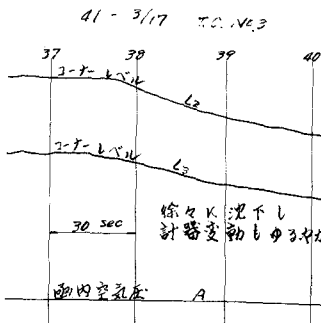


図-6 断気沈下(軽重量)

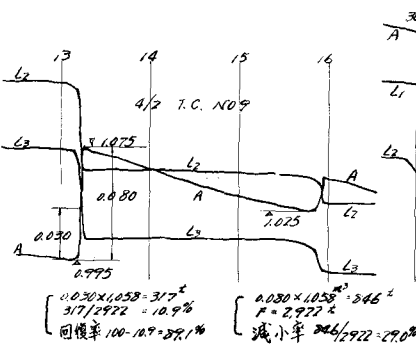


図-7 排気沈下のレベル

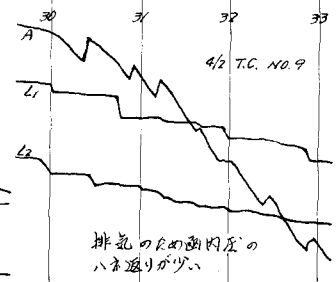


図-8 断気沈下の計器記録

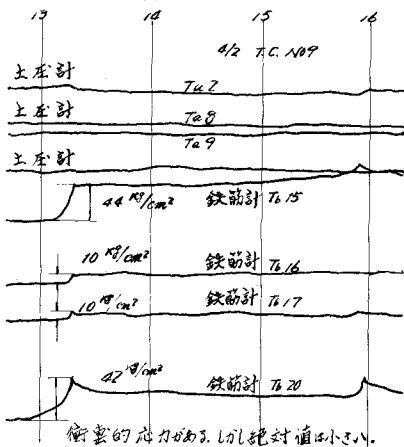
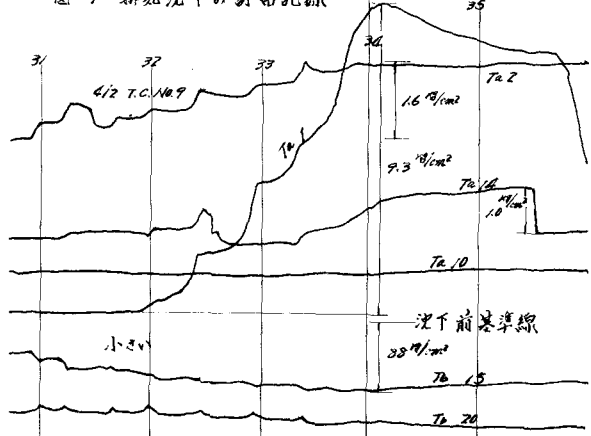


図-9 排気沈下の計器記録



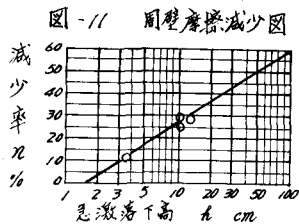
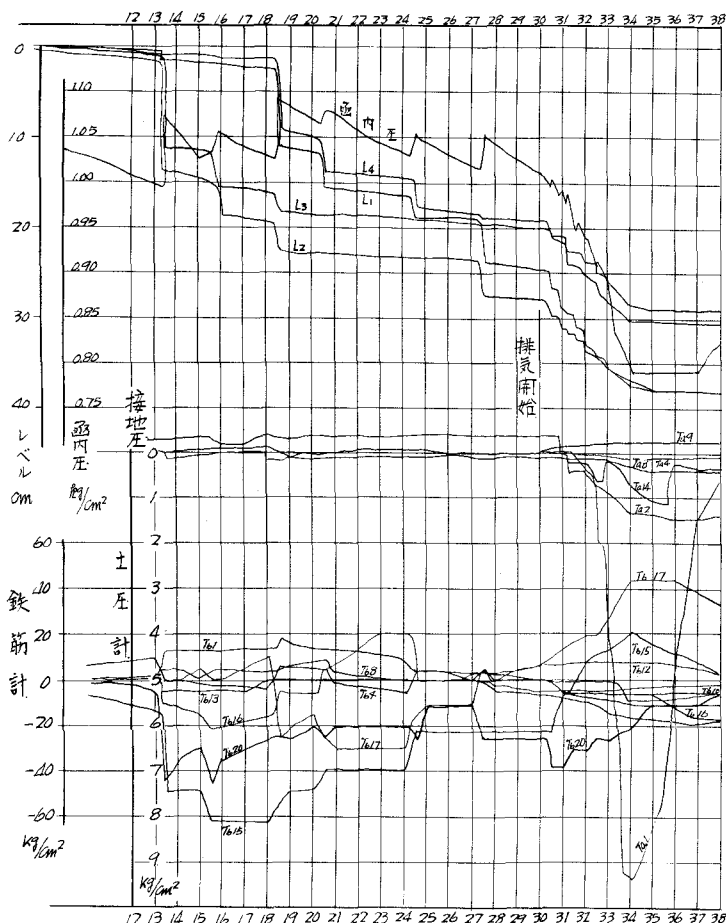


図-10 ハ戸火カ3号増設タービン基礎潜函工事沈下応力測定記録

測定日時 昭和41年4月2日

TC No. 9



⑦ 自重が比較的軽く又口下掘後沈下する場合は、急激な沈下を生じ、エアクッションにより急停止するためかなり顕著なショックがある。

⑧ ④の条件による応力と実測値の対比を表2に示した。実測応力は必ずしも構造物の最大応力を記録していない点と考慮し、適切な余裕をもった条件と考えている。

⑨ ケーソンの沈下バランスはかなり正確なもので、その力を与えなくては全く沈下しないし、一歩適当な力のバランスとならぬと沈下が止まらな。一見精巧な施工を要するもの、如く見え乍ら、実

は函内圧が一方では ちょうど沈下に必要な力のバランス

を与えるように、又危険な荷重状態とならぬように自然に自己調節して要れる。故に沈下の全期間を通じて姿勢制御可能な沈下バランスをとり(実はこれが最も重要な事で、過重量で又口迄相当中を残して沈下するような事態は、底面圧の変動がかなり大きい事実、振削管理の難しさ等から避ける必要がある。)人為的に除去しうる不平衡振削原因をすべて除去する事を基本とすれば、大型ケーソンは極めて安全な工法である事を述べて結びとする。

表-2 ④による計算と実測の一括表

	実測値	計算値	誤差
$+M^{cm}$	450 *	586 *	760
$G_{sc} \frac{kg}{cm^2}$	(-218)	-360	-760
$G_{st} \frac{kg}{cm^2}$	(+123)	+1,230	+270
$-M^{cm}$	300	295	130
$G_{sk} \frac{kg}{cm^2}$	(+68)	+2,820	+70
$G_{sc} \frac{kg}{cm^2}$	(-40)	-93	-93

(*)は誤差最大値
右欄*はコンクリート60.0とした換算値

4. おわりに、ハ戸のケーソンの沈下現象は、かなり説明できたように思う。砂質地盤では全じ考えで設計施工して大過なからうが、異質地盤については、造詣の深い諸氏の御教示を得たい。今回は極力憶測を避け、実測の概略を紹介するに止めた欠点である。