

III-135 大型ケーソンによる深い地下工場

神戸製鋼所 正員 肥後春生
 神戸製鋼所 正員 梶本政良
 白石基礎工事 正員 志関秀雄
 白石基礎工事 正員 志村高

I. 内容および目的

神戸製鋼所では、ソ連より技術導入した堅型連続鑄造設備の地下工場として、その巨大な規模と既設工場および土質条件より大型空気ケーソンを採用した。ケーソンの概要は、〈表-1〉のとおりである。また、このケーソンの構造上の特色は、

〈表-1〉 ケーソンの概要

平面寸法	47.750 x 30.000 ^M
沈設深さ	33.500 ^M
掘削土量	48.000 M ³
コンクリート量	20.000 M ³
鉄筋量(異型)	1.700 ㌦
刃口掘付日	1965.4.10.
沈下完了日	1966.1.30.
中埋完了日	1966.2.4.

Ⅰ). 側壁および作業室床版には、二重壁(DOUBLE WALL)および二重床版(DOUBLE SLAB)構造を採用し、曲げ剛性の増大、漏水防止などを有利にした。

Ⅱ). 刃口構造は、沈下時の自重が大きいことと、掘削工法および二次応力の発生を考慮して二段刃口構造を採用し、支持面積を大きくした。また、補強用の中間刃口を入れ、作業室の剛性を大きくした。

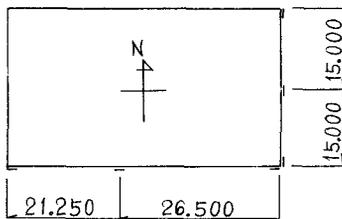
Ⅲ). 内部構造の有孔壁版およびハリの設計にあたって光弾性実験を行ない、応力状態を解析するとともに、施工にあたっては鉄筋応力計を埋設し、その応力度を測定した。また、土圧計を埋設し、側圧を測定した。

Ⅳ). 床版(G.L.-27.500 ~ 1.400 4階)には、各種の機械設備が据付けられるため、竣工時において、設計位置に対する水平および垂直変位量は最小限にとどめる必要があり、対角線方向の許容傾斜量は $1/500$ であったが、実際には $1/1000$ 以上の精度で沈設を完了した。

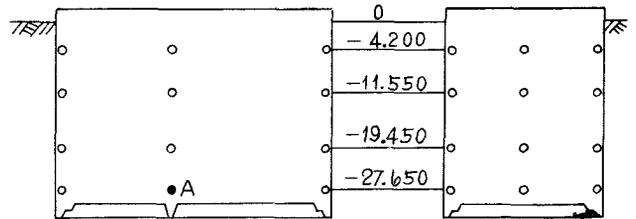
以上、このケーソンは構造上非常に大規模なものであるため、設計条件の検討および合理的な施工管理を実施するため、各種の測定を行なう機会を得たのでその解析結果を報告する。

II. 大型ケーソンの土圧

このケーソンは構造上に種々の特色をもっているが、平面積においても非常に大規模なものであるため、どのような側圧が作用するか、また、理論的な側圧とはどのような差異があるかを検討するため、(図-1)、(図-2)、および(図-3)の要領で土圧計を埋設した。

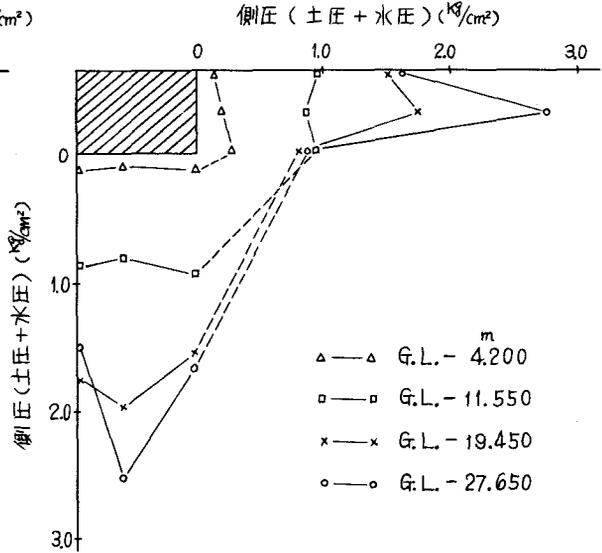
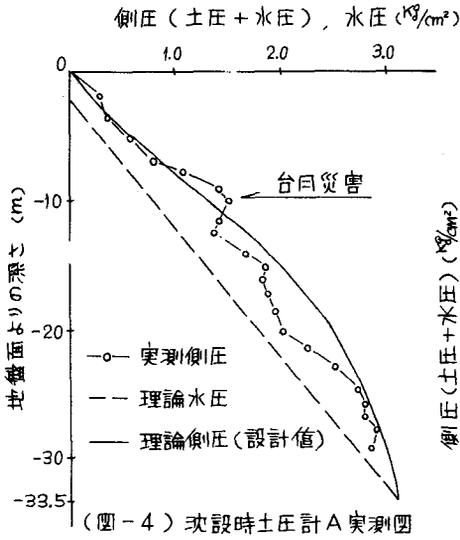


(図-1) 水平断面図



(図-2) 長辺方向側面

(図-3) 短辺方向側面



イ) 沈設時の土圧および設計土圧

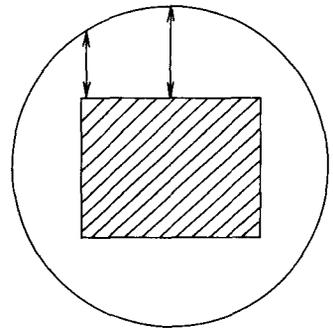
最初に土中へ沈下しはじめた土圧計A (図-2) の挙動について考察すると、(図-4) に示すように実測側圧のうち、水圧によるものがその大部分を占め、土圧による値が小さなものであると推定される。また、設計土圧には放物線分布を仮定したが、とくに深いところで土圧が小さくなり他の土圧分布よりも合理的である。

ロ) 沈下完了後の側圧分布

ケーソン沈下完了後の水平断面の側圧分布を(図-5)に示した。この図より、ケーソン端部と中央部との側圧を比較すると、土被りの深いところでは明らかに中央部の値が大きく、立体土圧の傾向を示しているが、土被りの浅いところではその差がむしろ逆の現象が見られる。しかし、その差はごく微小である。また、長辺方向側圧と短辺方向側圧との差もほとんどない。これは、ケーソンの平面寸法が非常に大きいためと考えられ、従来の平面寸法の小さいケーソンについての過去のデータと異なる点である。

ハ) 平面寸法の大きなケーソン土圧

沈設中のケーソン周辺部の地表面は、一種の土の崩壊面を示すが、中央部は端部に比べて半径の大きな同心円的なき裂の発生が観察された。いま、(図-5)を(図-6)に関連づけると、円型断面より推論するならば、ケーソン側面に対する土のクサビの大きさが各点で異なり、中央で土圧が大きくなり、立体土圧を考慮してもよいのではないかと思われる。



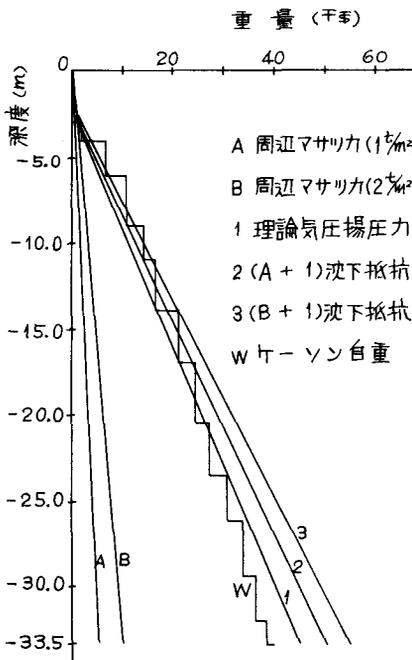
ニ) 大型ケーソンの沈下管理

このケーソンは大型であるとともに、前述のようにG.L.-27.500 (図-6) 円形破壊面図の床版にまで機械設備が据付けられるという特殊な条件があるため傾斜を小さくすることと二次応力の発生を防止することを重要項目として沈下管理を実施した。すなわち、

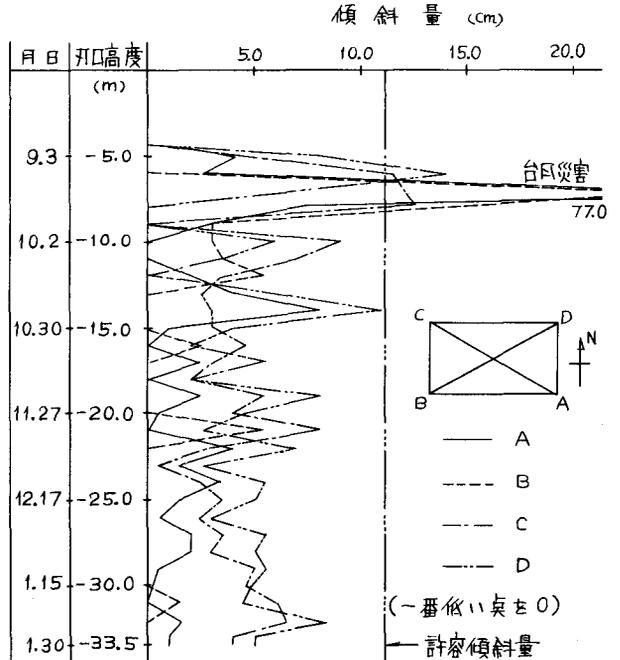
イ) 二次応力の発生を予知し、掘削方法を検討するために鉄筋応力計を基礎バリー、中開口およびハリの鉄筋に埋設した。

ロ) 沈下方法は自然沈下を原則とし、ケーソン自重、水荷重などにより極力傾斜の発生を防止した。しかし、周辺マサツカと水荷重の限界から最終段階にいたって減圧沈下工法を採用した。また、自然沈下の無理な場合および傾斜修正の必要の場合を考慮して、あらかじめ、側壁に有孔パイプを埋設しておき、エアージェットを使用して周辺マサツカを軽減した。

ハ) 日常管理は、(図-7)および(図-8)に示すように、沈下関係図に基づいて掘削し、沈下状況を毎日観測した。なお、沈下速度は一日平均25~30cmで、一日最大沈下量は、76.8cmであった(12月17日)。その開口高度は、G.L.-25.044で土質は暗灰色砂質シルトであった。



(図-7) 沈下関係図



(図-8) 沈下-傾斜関係図

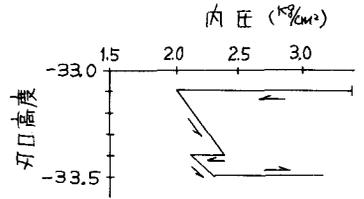
ニ) 最終沈下時における沈下量と内圧との関係は(図-9)に示すとおりとなり、開口高度は設計どおり沈設できた。なお、(図-7)に示したように、設計計算においてはケーソン側壁と土とのマサツカは、 $f = 1.0, 20 \text{ kg/cm}^2$ と仮定したが、(図-9)および(表-2)より実際の場合を推定すると、 $f = 3.6 \text{ t/m}^2$ となる。

$$f = (47600 - 1432.5 \times 20) / 5210$$

以上のような沈下性状で沈設を完了し、設計仕様に対する水平および垂直変位量とほとんどなく、計画どおり施工することができた。

IV. 安全管理

施工上の安全対策として、各床版にある種々の開口部よりの転落事故防止



(図-9) 最終沈下-圧力図

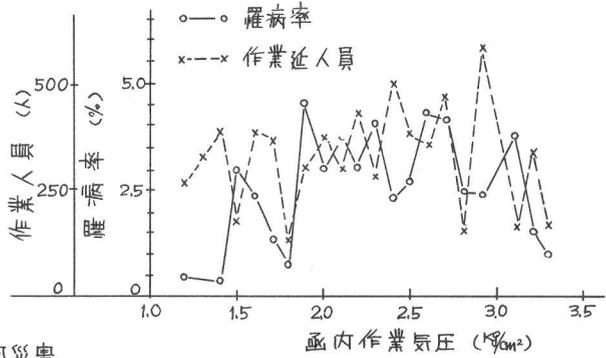
(表-2) 数量表

水重量	47600 ㌦
衣面積	1,432.5 m ²
外周面積	5,210 m ²

涵内作業気圧が高く、潜涵夫の多いことから潜涵病事故防止に重点をおいた。(四-10)は潜涵病の罹病率(罹病延人員/作業延人員)×100%を示している。

V. 日程管理

工事期間の短縮をはかるとともに、工事関係者の工程把握を行なうため、日程管理手法としてPERT(PROGRAM EVALUATION REVIEW AND TECHNIQUE)を実施した。コンクリートはすべてレディー・ミフスト・コンクリートを使用した。1回の打設数量が多く、最大打設数量は1,900 m³台にも及んだ。とくに台風災害によってケーソンが約70 cm傾斜し、作業室が半壊したときPERTにより工事期間(復旧)の短縮と復旧後の日程管理を円滑に遂行し得た。(表-3)は使用した主要機械設備を示しているがCRITICAL-PATHが掘削工事であったため、工期の短縮は掘削工事の短縮を意味し、掘削工事に用いる機械化の推進と潜涵夫の確保に努めた。

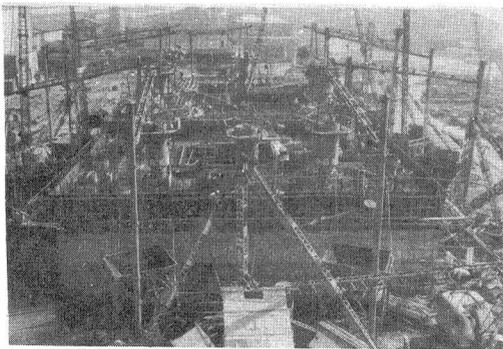


(四-10) 涵内作業気圧-罹病率図

(表-3) 主要機械設備表

名称	能力	数量
コンプレッサー	175 HP	3
コンプレッサー	100 "	4
三脚デリック	30 "	7
単脚ウインチ	30 "	9
涵内フルドーザー	75 "	5
残土ホッパー	10 m ³	9
単脚式キャリヤー	30 HP	9
エヤー・ロッツ		11
マン・ロッツ		2
マテリアル・ラフト	2m, 3m	130

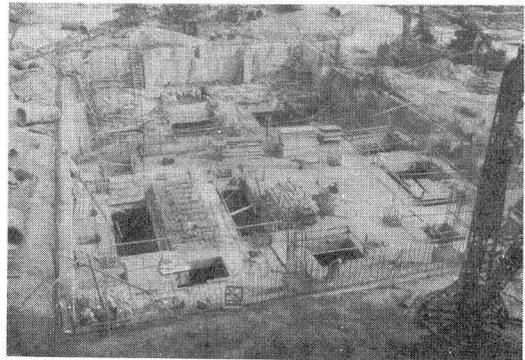
工期の短縮は掘削工事の短縮を意味し、掘削工事に用いる機械化の推進と潜涵夫の確保に努めた。



(写真-1) 沈設中の大型ケーソン

VI. 考察

このような大規模な空気ケーソン工事は初めてのことであったので、極めて慎重を期したが、その実績より、わが国の高度な土木技術によって目的を達し得るとの確信をもつとともに、この経験に基づき、工法の改良、簡易化と工事費の節減をも期得できる。土圧の測定結果より推定されるように、将来、立体土圧を考慮した合理的な設計手法も開発されるものと思う。なお、詳細な報告は講演会にて行なう。



(写真-2) 沈下完了後の大型ケーソン

以上、