

広島県
 岩田 八興 名越 優
 篠竹中土木 銀林 正勝 三木 貴喜
 正員 ○山本 隆雄 田村 博邦

1. まえがき

近年、大深度のオープンケーソン施工が多々見られる。オープンケーソン工では、ケーソンの傾斜・偏心、異常沈下あるいは沈下不能などの不慮の事態が生じやすく、特に沈設深度 50 m を越す大深度の場合は、これまでの経験的なケーソン沈設管理だけでは不十分となる。広島県海田大橋下部工のオープンケーソン施工においては、土圧測定を主体とした簡便な計測を実施し、測定値からケーソンに作用する外力を推定しながら沈設管理を行い、良好な施工精度のもとで大深度オープンケーソンの沈設を完了した。

本論文では、今回用いた大深度オープンケーソンの沈設管理の手法と計測結果について報告する。

2. 計画概要

対象となった P₆ オープンケーソンは、沈設深度 51 m、外径 11 m の長尺な円形ケーソンであり、当初から沈下荷重不足 (519 tf) が予想されていた。施工時においては、不足荷重量の推定と追加荷重 (インゴット載荷) の載荷時期を事前に予測する必要があった。最近の大規模なケーソンでは、盤圧計、周面摩擦計などの多種の計器を埋設された例もあるが、これらの計器を数多く設置するには、管理上及び費用上からも限界がある。そこで各種の検討結果、刃口部 (第 1 ロット部) と第 3 ロット部に土圧計・水圧計を設置し、ケーソンに作用する土圧を測定することにより、沈設管理に役立つものとした (図-1)。さらに、ケーソンの状態を把握する為、応力計、傾斜計を設置した。

また、沈下促進工として、エアージェット、ウォータージェット、ベントナイト注入等の配管を図-2 のように設置した。

3. 沈設管理手法

ケーソンの沈設管理は正確な沈下関係図の作成が基本となる。沈下関係図の作成に必要な周面摩擦力は、ケーソン沈下に伴って順次計測される土圧から (1) 式で求まる。

$$f = Ca + Ph \cdot \tan \delta \quad (1)$$

ここに、 f : 周面摩擦力、 Ca : 粘着力、 Ph : 土圧、 δ : 壁面摩擦角

(1) 式において周面摩擦力を算定するとき、粘着力についてはスラリー強度を、壁面摩擦角については $\delta = \frac{2}{3} \phi$ 程度を考える。また、ケーソン沈下につれて、周面摩擦力の増大に伴う沈下困難が予想され、そのときの荷重～抵抗力の関係は (2) 式で示される。

$$W < U + Q + \sum \ell \cdot s \cdot f \quad (2)$$

ここに、 W : ケーソン重量、 U : 浮力、 Q : 刃口先端抵抗、 ℓ : 各層の貫入厚、 s : ケーソン周長

(2) 式によって周面摩擦力 f の範囲が求まり、(1) 式で推定された各層の周面摩擦力は (2) 式で修正される。

沈下困難が生じた後、エアージェット、ウォータージェット、ベントナイト注入等の沈下促進工の実施で

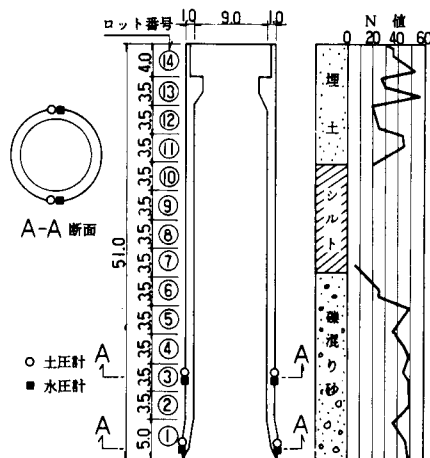


図-1 計器位置図

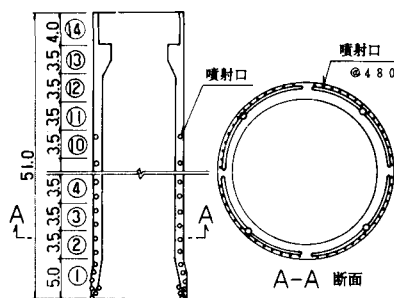


図-2 ジェット配管図

ケーソン沈下が行われる。このときのケーソン沈下直前には(3)式のような荷重のつりあい式が成立する。

$$W = U + Q + \sum \ell \cdot s \cdot f (1 - \alpha) \quad (3)$$

ここで、 α ：周面摩擦の低減率

沈下促進工による周面摩擦力の低下は、工学的には粘着力Ca、壁面摩擦角 δ の低下によると考えられるが、(3)式においては周面摩擦力 f は沈下促進工実施前の値とし、低下量を低減率 α にて評価する。以上のように、ケーソン沈下に伴い、周面摩擦力の推定、沈下促進工の評価を行い、当初の沈下関係図の修正を逐次くり返していく。そして、修正された沈下関係図より、次ロットの沈下予測、最終沈下時の不足荷重量の推定、追加荷重の載荷時期を予測する。

4. 結果と考察

(1)沈設管理の経過

当初の沈下計画では、周面摩擦力は埋土層で $f_1=1.3 \text{ tf/m}^2$ 、シルト層で $f_2=1.0 \text{ tf/m}^2$ 、礫混り砂層で $f_3=2.9 \text{ tf/m}^2$ 、沈下促進工による周面摩擦の低減率 $\alpha=15\sim30\%$ 、不足荷重量 519 tf と想定した。ケーソン沈下に伴う深度毎の土圧 P_h の計測値（図-3）と(1)式から、埋土層の周面摩擦力を $f_1=1.4 \text{ tf/m}^2$ に修正した。また、ケーソン刃口がシルト層下部（GL-26m）に達したとき沈下が困難となり、沈下促進工の実施を開始した。このとき、シルト層の周面摩擦力は(2)式から $f_2>1.77 \text{ tf/m}^2$ となり、 $f_2=1.8 \text{ tf/m}^2$ に修正した。礫混り砂層の周面摩擦力は(1)式から $f_3=2.8\sim3.0 \text{ tf/m}^2$ と推定されたが、沈下実績に基づく(2)式から $f_3>3.17 \text{ tf/m}^2$ （刃口深度GL-30m時）となったため、 $f_3=3.2 \text{ tf/m}^2$ に修正した。以上のように、周面摩擦力の修正、沈下促進工の評価（後述）に基づいて沈下関係図の修正を行った。その結果、修正沈下関係図（13ロット沈設時）から、刃口深度-45.3mで促進工によっても沈下が不可能となり、その不足荷重として 464 tf が予測された（図-4）。実際のケーソン沈下では、刃口深度-45.9mで沈下不能となり、追加荷重を載荷した。

(2)沈下促進工による周面摩擦の低減率

エアージェット、ウォータージェット、ベントナイト注入などの沈下促進工の効果については不明な点が多く、これまであまり定量的に取り扱われていない。今回の施工において、ケーソン沈下毎に(3)式より低減率を算出した結果、9ロット沈下時で $\alpha=14.3\%$ 、11ロット沈下時で $\alpha=26.1\%$ 、13ロット沈下時で $\alpha=32.8\%$ 等が得られた。ここで示した低減率は、エアー、ウォーター、ベントナイトを同時注入しているため、それらが合成された値となっている。また、沈下不能（GL-45.9m）直前の低減率は $\alpha=33.7\%$ であり、この値が今回の施工における低減率の極限值と考えられる。さらに、低減率と沈下促進工実施時間（ジェット注入時間）には、図-5に示す関係がみられた。これは、8ロットから13ロットの沈下時における低減率とジェット注入時間を示したものである。図のように、低減率はジェット注入時間に応じて増加し、極限值（ $\alpha=33.7\%$ ）に達した後は一定になるものと考えられる。

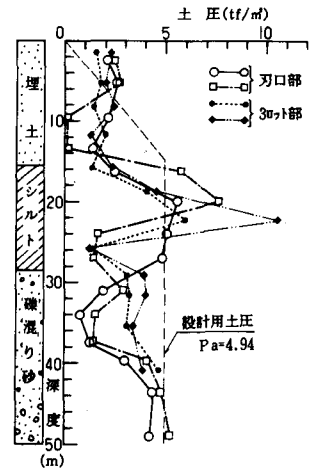


図-3 土圧分布

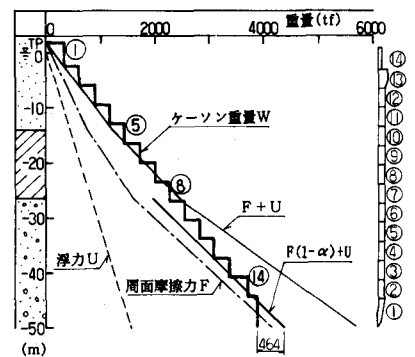


図-4 修正沈下関係図

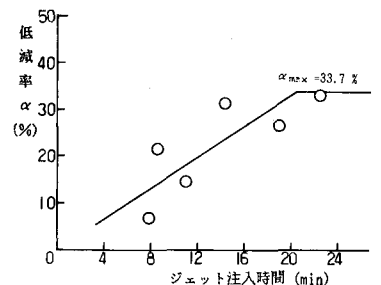


図-5 低減率とジェット注入時間の関係