

ニューマチックケーソンの施工実績と合理化にむけた取組み

前田建設工業(株) 正会員 ○森田 篤
前田建設工業(株) 正会員 山門隆雄

前田建設工業(株) 正会員 河野浩之
東京理科大学 フェロー会員 龍岡文夫

1. はじめに

ニューマチックケーソン工法で国内最大級深度となる立坑を建設した。ニューマチックケーソン工法で刃先の地盤の安定には、理論的には地盤内の間隙水圧以上の作業気圧が必要である。しかし、土質によっては理論気圧より小さな作業気圧で掘削作業が行われている。それを可能にする要因のひとつとして、地盤の不飽和化による透水性の低下と安定化に着目し、現場計測や室内実験で不飽和化に関する想定メカニズムの検証を行い、さらに不飽和を補助工法として用いることの有効性を検討した。以下、大深度のニューマチックケーソンの不飽和化による合理的施工にむけた一連の取組みについて報告する。

2. 施工データの考察 および現場計測

東京都芝浦水再生センター・森ヶ崎水再生センター間連絡管建設工事において、深度71.8mの立坑をニューマチックケーソン工法により建設した。当施工において、ケーソンの安定的沈設のために実際に加えた作業気圧(函内圧)や地盤中の間隙水圧の変化を計測し、函内圧は地下水圧を下回ること、ケーソン刃口が難透水層(粘土, 土丹)から砂層に変わる際には函内圧を一時的に上昇させたこと、ケーソンから7mほど離れた位置では地下水圧は変化しないことを確認した(図-2)。そして、これら現象の要因として、地盤の不飽和化によるケーソン周辺地盤の透水性の低下を想定した(図-3)。立坑周辺地盤の不飽和化の状況をケーソン脇のボーリング孔での弾性波検層と地表での表面波探査によるP波速度のトモグラフィにより確認したところ、底盤での不飽和領域はケーソン側方に広がり、施工期間中残留していることを確認した(図-4)。さらに、立坑と同じ地盤条件の箇所でもボーリングを行い、ケーシング内に空気圧をかけて、孔底地盤を不飽和化させる場合の透水性の変化を測定したところ、砂層、砂礫層では孔底近傍を不飽和化させることにより、地盤の透水係数が1/10程度に小さくなることを確認した。

3. 室内実験

ケーソン近傍地盤での不飽和化領域の形成により、函内圧を理論値よりも小さくしても、ケーソン内への地下水流入が抑えられることを模型実験で再現し

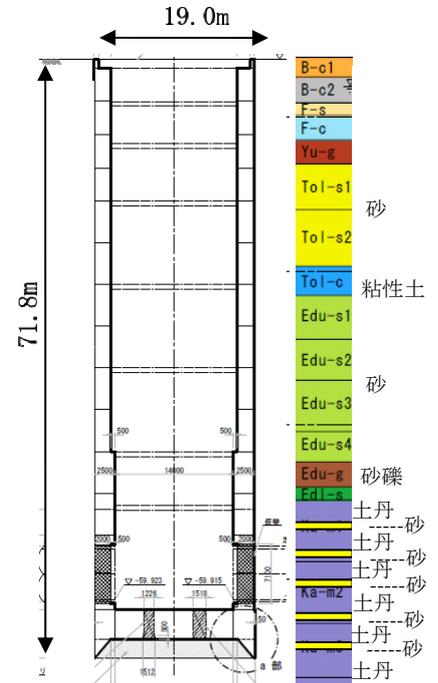


図-1 立坑概要

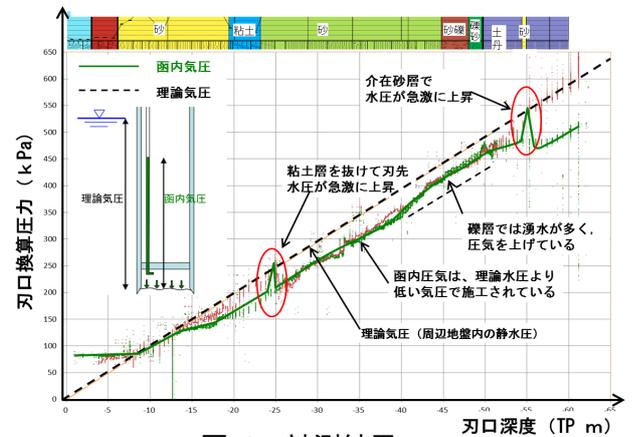


図-2 計測結果

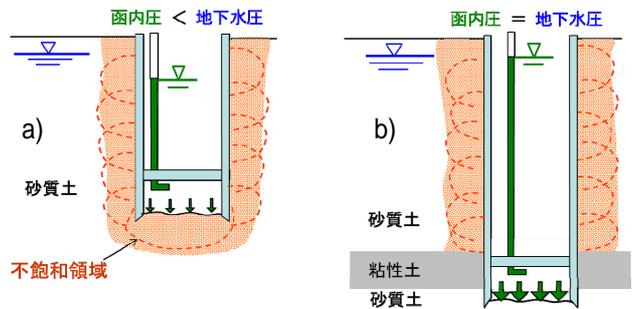


図-3 a)砂質土層内の不飽和領域の形成；
b)粘性土層等不透水層の直下での不飽和領域の未形成

キーワード ニューマチックケーソン, 不飽和

連絡先 〒102-8151 東京都千代田区富士見 2-10-2 前田建設工業(株) 土木事業本部 土木設計部 TEL03-5276-5166

た。実験ではφ600の円筒形土槽に現場で採取した砂で飽和状態の地盤を造り、その中にアクリル製のケーソンを設置した。飽和状態および一度ケーソン内気圧を上げて底部地盤内に不飽和領域を形成させた状態で、ケーソン内に水が入り始める圧力(平衡圧)を測定した。不飽和状態の平衡圧は飽和状態に比べて1kPa(水頭10cm相当、=アクリルケーソンの直径)小さくなった(図-5)。なお、現場採取試料は飽和度が100%から90%に変化すると透水係数が1/5程度になることを、別途不飽和透水試験で確認している。

4. 不飽和を活用した補助工法

室内実験において、ニューマチックケーソンの必要作業気圧は地盤内に不飽和領域が形成されることで小さくできることを確認した。一方、現場では土丹層に介在する砂層では掘削時には流入水が増えて作業気圧が大きくなったのは、図3bに示すメカニズムによって砂層が飽和状態であったためと想定した。そこで、一部の介在砂層を対象に、ケーソン脇に削孔したボーリング孔から空気を注入して、掘削に先立って不飽和化させることで作業気圧の低減を試みた。その際、地盤を乱さないよう、薬液注入工法の一つであるダブルパッカー工法を応用し、深度方向に33cmの間隔でステップ注入によりボーリング孔から空気を浸透注入させた。その結果、空気注

入しなかった介在砂層で発生したような、ケーソン刃先が介在砂層に達した時の多量湧水と管内圧力上昇が発生せず掘削できて、事前の不飽和化による作業気圧の低減効果が確認された。対象とした層での作業気圧は理論気圧より0.13MPa、(水頭13m分)小さかった。図-7に管内への地下水流入量(ポンプ揚水量)と[理論気圧と管内圧の差]を示す。ただし、事前に空気注入した層(○印)については一時的に管内圧を施工限界まで下げた場合を、その他の層(●印)については通常施工(計画圧)の場合を示している。事前に空気注入した層とその他の層とでは、同一の揚水量に対して[理論気圧と管内圧の差]に0.3MPa(水頭30m相当)の違いがある。この全てが同一の透水係数での「理論気圧-管内圧」の差ではないが、介在砂層を事前に不飽和化することで必要作業気圧を低減できたことは確認できる。事前の不飽和化を補助工法として用いることはニューマチックケーソンをより合理的に施工できる他、透水性が鉛直方向に大きく変化する地盤における一時的な多量湧水や圧力変動およびそれに伴う地盤の緩みを防止する効果も期待できる。

6. おわりに

地盤の不飽和化がニューマチックケーソン施工の合理化に有効であることを確認した。今後、不飽和化の効果をより定量的に予測できるよう、実施工の計測や実験とその再現解析で検討する予定である。最後に、ご協力頂いた関係者の方々に感謝の意を表します。

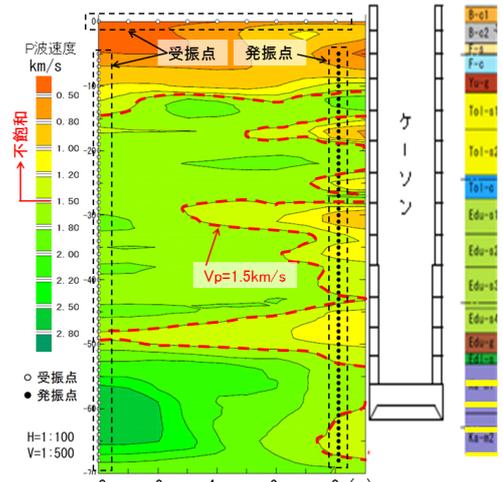


図-4 弾性波(P波)分布

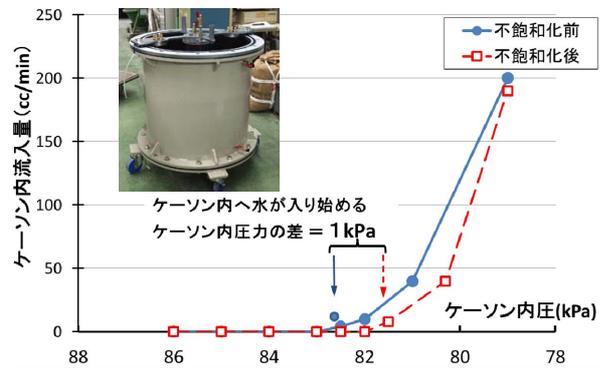


図-5 土槽実験結果

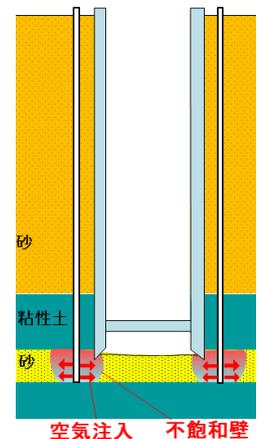


図-6 事前空気注入概要

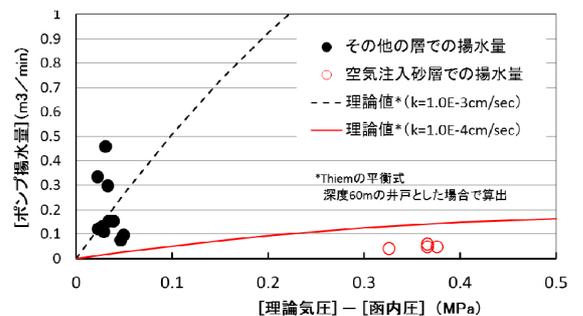


図-7 揚水量と圧力差の関係