

### ケーソン浮上り防止技術の開発

#### － 実大 1/2 モデルでの引抜き試験と現場削孔試験 －

(株) 銭高組 正会員 ○白子将則 竹中計行  
 (株) ヤマハ化工東京 山岸英昭 落合紘一  
 (株) コプロス 藤田優

#### 1. はじめに

地下空間の活発な利用に伴い、シールド機の発進や到達用の立坑としてケーソン工法が多く用いられているが、昨今のシールド用立坑の大深度化により壁厚が厚くなるのが問題となっている。

ケーソンの壁厚は、土水圧による断面力から決定することもあるが、大深度や大断面ケーソンになると完成後の地下水の揚圧力による浮上りから決定することが多い。

そこで筆者らは、ケーソン沈設完了後にケーソン外周面に突起物（フロートストッパー：以後 FS とする）を構築し土のせん断抵抗により揚圧力を負担して、コンクリート壁厚を土水圧から求まる最少厚になるようにする技術を考案し開発を進めている（図-1）。本稿では FS の実大 1/2 モデルにおける引抜き試験と実地盤での削孔試験について報告する。

#### 2. 工法概要

ケーソン浮上り防止技術は、圧入式ケーソンやニューマチックケーソンあるいは鋼製ケーシング立坑での適用を考えている。FS のせん断抵抗で浮上りを防止することで、ケーソンの掘削土量の低減、コンクリート量、鉄筋量や沈設抵抗の低減が可能となる。

#### 3. 室内模型実験（実大 1/2 モデルの引抜き試験）

著者らはケーソン浮上り防止技術の開発にあたり、ケーソン外周面の FS によるせん断抵抗力の効果を把握するため、実大 1/40 に縮小した模型引抜き試験を行い、FS の有効性を確認している<sup>1)</sup>。本稿では実大 1/2 モデルにおける引抜き試験を実施し、実大 1/40 モデルで算定した FS 耐力式についての検証を行った。実大 1/40 モデルの FS 耐力算定式を式 1) に示す。

##### (1) 試験概要

試験装置は、角形容器内の模擬地盤内に模擬ケーソン試験体を設置し、上載圧を加えた状態で試験体を引抜く方法で行った（図-2）。角形容器は一辺 1030mm、深さ 1030mm を使用し、地盤は気乾状態の珪砂 6 号（気状態乾）を用いた。砂の投入方法はノズルから投下する砂をネットに接触させ砂を分散させて撒きだす方法により作成した。なお、珪砂 6 号は相対密度 85% 以上となるように管理して土槽内に投入し、角形容器内壁面およびケーソン外周面は二重に砂と鋼板の摩擦低減対策（テフロンシート 2 枚+シリコングリス）を全面に行った。試験パラメータは、FS の有無、FS 径、FS 長さとし、上載圧は地下 30m 相当を想定し 600kN/m<sup>2</sup> とした。

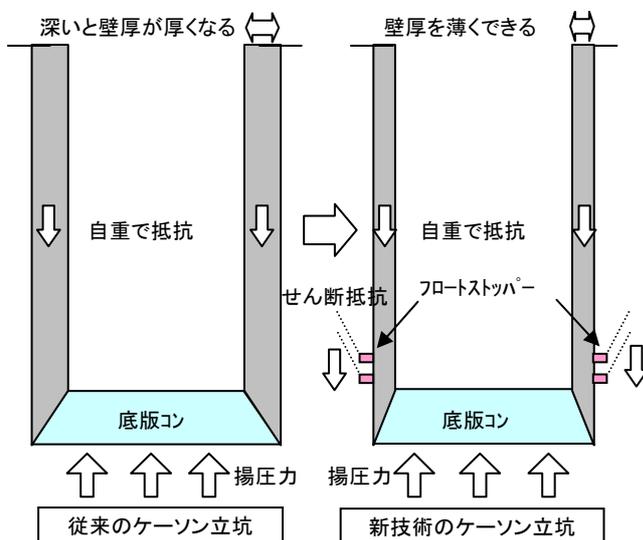


図-1 ケーソン浮上り防止技術の概要

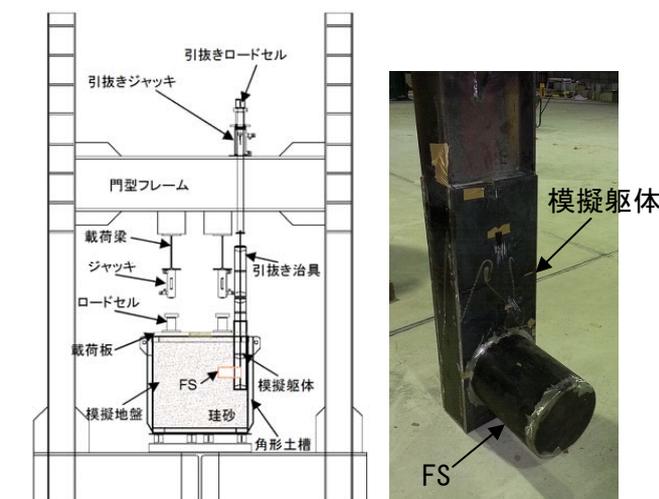


図-2 引抜き試験概要 写真-1 実大 1/2 モデル

Keywords : ケーソン、浮上り防止、薄肉化、フロートストッパー

〒102-8678 東京都千代田区一番町 31 TEL:03-5210-2440 FAX:03-5210-2462

(2) 試験結果

引抜き荷重と引抜き変位の関係を図-3 に、引抜き試験結果を表-1 に示す。FS がない試験体 No.1 は引抜き直後に変位が増大しているのに対し、FS がある場合は FS が引抜き抵抗となり、引抜き荷重が増加している。引抜き荷重は、FS が太くて長い方が大きい値となった。また砂地盤破壊後の FS の状態を確認すると、FS 長が 300mm 程度の試験体 No.3、No.5 では FS 基部が降伏強度に達したため、荷重が増加せず、変形が進んだ状態となった。

なお、1/40 モデルで算定した FS 耐力式との比較では砂の支圧強度による耐力の約 0.9 倍、砂礫の支圧強度による耐力の約 0.4 倍となり、過大評価した結果となった。このため、図-4 に示すとおり支圧面積を投影面積として再評価すると、砂の支圧強度による計算耐力の約 1.4 倍、砂礫の支圧強度による計算耐力の約 0.8 倍となった。

よって、安全側を考慮して FS 耐力式は支圧面積を投影面積として評価することとした。

4. 現場削孔試験

FS の実地盤での施工性を検証するため、シールド発進立坑として施工した圧入ケーソン立坑を用いて、FS 削孔確認試験を実施した。

削孔は GL-19.0m 付近の砂礫層 (N=50 程度) でシールド発進部に設けた直接発進用の切削部材間の無筋コンクリート部分にガイド管として塩ビ管 (VP200) を設置し、沈設後に削孔機を用いて削孔を行った。背面地盤は発進防護の地盤改良を施工しているが、止水装置を取り付け、止水性能も併せて確認した。ここで止水装置は 2 段のオイルシール(DWT-136-162-10)を使用し、FS 削孔長はコンクリート 50mm、地盤改良体 250mm の計 300mm とした。

削孔試験結果として 50mm の無筋コンクリートは約 13 分で削孔し、250mm の地盤は約 8 分で削孔した。コンクリートと地盤の削孔スピードは、4mm/min と 30mm/min であった。また、削孔時に送水しながら切削したが、最大水圧 0.4MPa (常時 0.2MPa で管理) でも止水装置からの漏水はなかった。

5. まとめ

FS 実大 1/2 モデルの引抜き試験より 1/40 モデルから算定した FS 計算耐力式の妥当性を検証した。その結果、支圧面積は FS の半円の面積でなく、投影面積とした方がより安全側の評価となることが確認され、砂地盤における支圧強度と FS 支圧面積 (投影面積) の積の約 1.4 倍程度の引抜き耐力が得られた。また、実地盤における削孔、止水性も良好な結果となった。

今後は実現場において施工を行い、FS のデータの蓄積を行うとともに、本工法の優位性について PR していく。

【参考文献】

- 1) 竹中計行、白子将則、山岸英昭、落合紘一 ケーソン薄肉化の開発～概要と模型引抜き試験～第 69 回土木学会年次学術講演会,2014 年 9 月

FS 計算耐力式  $P = \sigma_s \times A \dots$  (式 1)

P : FS の引抜き耐力(kN)

$\sigma_s$  : 支圧強度(kN/m<sup>2</sup>) (道示より)

砂 3000kN/m<sup>2</sup>、砂礫 5000kN/m<sup>2</sup>

A : 支圧面積(m<sup>2</sup>)= $\pi D/2 \times L$  (半円面積)

D : FS 直径(m)、L : FS 長さ(m)

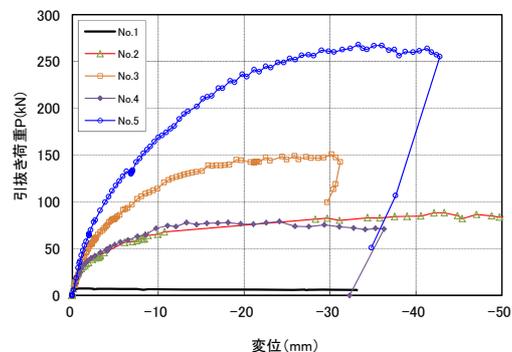


図-3 引抜き荷重と変位の関係

表-1 引抜き試験結果

| 試験体No            | No.1                  | No.2          | No.3          | No.4  | No.5  |       |
|------------------|-----------------------|---------------|---------------|-------|-------|-------|
| FS               | -                     | ○             | ○             | ○     | ○     |       |
| FS径(mm)、FS厚(mm)  | -                     | φ114.3(t=4.5) | φ216.3(t=8.2) |       |       |       |
| FS長さ(mm)         | -                     | 170           | 300           | 100   | 280   |       |
| 引抜き力(kN)         | 6.8                   | 87.6          | 150.1         | 78.0  | 267.2 |       |
| 引抜き力のフランクとの差(kN) | 0.0                   | 80.8          | 143.3         | 71.3  | 260.4 |       |
| 計算耐力(半円面積)       | 3000kN/m <sup>2</sup> | 0.0           | 91.5          | 161.7 | 102.0 | 305.7 |
|                  | 5000kN/m <sup>2</sup> | 0.0           | 152.5         | 269.5 | 170.0 | 509.5 |
| 計算耐力(投影面積)       | 3000kN/m <sup>2</sup> | 0.0           | 58.3          | 102.9 | 64.9  | 181.7 |
|                  | 5000kN/m <sup>2</sup> | 0.0           | 97.2          | 171.5 | 108.2 | 302.8 |

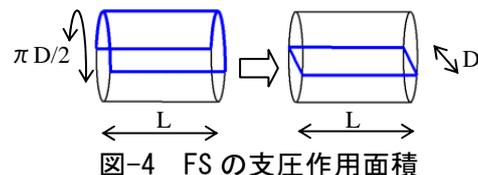


図-4 FS の支圧作用面積



写真-2 削孔試験装置



写真-3 削孔試験後のコア採取状況