

## 製鋼スラグサンドコンパクションパイル改良地盤の沈下変形動態観測結果報告

鉄鋼スラグ協会 正会員 ○篠崎 晴彦

広島大学 正会員 土田 孝

国土交通省中国地方整備局港湾空港部 法人会員

鉄鋼スラグ協会 正会員 鈴木 操

## 1. 目的

製鉄プロセスの中の製鋼工程で製造される製鋼スラグは、せん断抵抗角が大きく、単位体積重量が大きいといった特性を有しており、サンドコンパクションパイル(以下、SCP という)中詰め材料などに有効利用されている。<sup>1)</sup> また、鉄鋼スラグは、水和反応により硬化する特性があり、さらなる高強度化のほかに沈下、変形抑制などの効果も期待することができる。そこで、現場での製鋼スラグ SCP 改良地盤の沈下、変形に関する動態観測結果について、既往の SCP 改良地盤の沈下予測式<sup>2)</sup>との対比による沈下変形抑制効果について検討した。

## 2. 施工および計測概要

図-1 に断面図を示す。図より原地盤は、海底面より 20m は軟弱な沖積粘性土(圧密係数  $C_v=189\text{cm}^2/\text{day}$ ,  $c=5.68+1.06z(\text{kN/m}^2)$ ,  $M_v=0.1255 \times p^{-0.915}$ )、その下に洪積砂層から構成されており、埋立護岸直下の沖積粘土層を製鋼スラグ SCP( $D=2.0\text{m}$ , 配置間  $2.1\text{m}$ ,  $A_s=70\%$ )により強制改良した。動態観測を行った部位は全護岸延長の内水深 11.0m の 1 バース分(延長: 230m, ケーソン 16 函分)である。

全体の工事は、H12~H13 年度にかけて海上 SCP を打設後、H14 年度にケーソン据付け、その後裏込施工、裏埋施工の順で行われた。図-2 は、対象部分の全体縦断面図、図-3 はケーソン天端における沈下・変形測定位置を示す。尚、沈下・変形の測定は、ケーソン設置後から裏込め施工までの約 400 日間実施されている。

## 3. 観測結果と考察

図-4 は一例として最も沈下が大きかった No.8 ケーソン天端におけるケーソン設置からの沈下の時刻歴変化を示す。参考として同図には、圧密による沈下予測計算値も合わせて示す。沈下計算は、無処理地盤の沈下予測量  $S_f$  とパロンの近似式にウェルレジスタンスを考慮した吉国の近似式による圧密遅れを考慮した圧密度<sup>2)</sup>および沈下低減係数  $\beta$  を用いて算出した。計算に必要な応力増加  $\Delta P$  については、建設に伴う実際の応力増加  $\Delta P$  の時間的変化の把握が困難なため、ここでは 0 日にケーソンおよび中詰め砂による応力増加および 270 日に裏込めおよびケーソン上の埋立土などを含めた応力増加が生じるものとして単純化した。尚、裏込めに伴う水平土圧、壁面摩擦による偏芯荷重などは考慮していない。以上を考慮した沈下計算は式(1)の

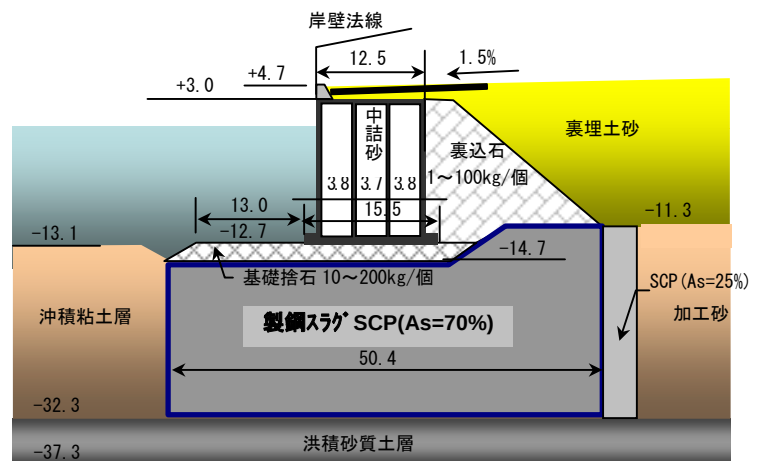


図-1 護岸断面図

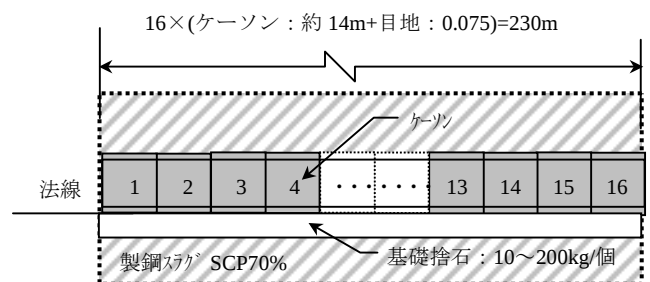


図-2 岸壁縦断面図

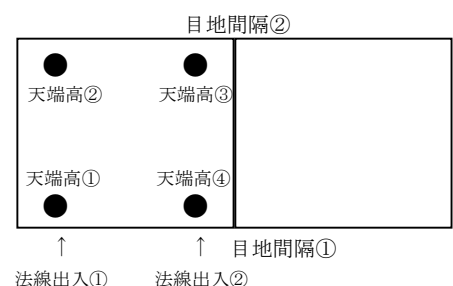


図-3 動態観測測定位置図

キーワード 製鋼スラグ、サンドコンパクションパイル、沈下、変形

連絡先 〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町 3-2-10, 鉄鋼会館 5 階 TEL : 03-5643-6016 FAX : 03-5643-6018

通りである。また、粘土地盤および砂杭の透水係数はそれぞれ  $1.0 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ,  $3.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$  と仮定し、スラグ杭については硬化に伴う透水係数の低下を文献<sup>1)</sup>を参考にして設定した(初期:  $1.0 \times 10^{-3} \text{cm} \Rightarrow 6$  ヶ月後  $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s}$  に漸減)。この場合式(1)を変形した式(2)により沈下予測値を計算した。

$$S = \beta \cdot \sum_{i=1}^N S_{fi} (1 - \exp \left[ -\frac{8}{F(n) + 0.8L} T_h \right]) \quad (1) \quad S = \beta \cdot \sum_{i=1}^N S_{fi} (1 - \exp \left[ -\frac{8}{F(n) + 0.8L_i} \frac{C_v \cdot (t_i - t_{i-1})}{d_e^2} \right]) \quad (2)$$

ここで、 $S_{fi}$ : i 番目の増加応力  $\Delta P_i$  による無改良地盤の沈下予測値、 $\beta$ : 沈下低減係数

$T_h$ : 時間係数 ( $= C_v \cdot t / d_e^2$ )  $d_e$ : 有効径 ( $= 1.13d$   $d=2.1\text{m}$ )  $d_w$ : ドレーン径  $2.0\text{cm}$   $n$ : ( $= d_e / d_w$ )

$H$ : ドレーン長  $20\text{m}$   $F(n) = \frac{n^2}{(n^2 - 1)} \cdot \log_e n - \frac{(3n^2 - 1)}{4n^2}$

$L$ : ウェルレジスタンス  $L = \frac{32}{\pi^2} \frac{k_c}{k_w} \left( \frac{H}{d_w} \right)^2$   $k_w$ : ドレーン材(SCP 杭)の透水係数  $k_c$ : 粘土地盤の透水係数

同図より、ケーソン天端の各点における沈下量の差はわずかであり、傾斜は無視できうる程度である。

図中に示した沈下の計算値については、砂杭とスラグ杭の場合透水性の差があるが、改良率が大いこと、スラグ杭の初期の透水性が砂杭と同等レベルであることにより、圧密遅れの影響が非常に小さくなっている。

図より、ケーソン天端の沈下量は  $0.01 \sim 0.13\text{m}$  程度であり、沈下低減係数  $\beta = 0.037$  程度となる。今回砂杭による比較の沈下データがないが、従来の砂杭の沈下低減係数  $\beta$  ( $\beta = 1 - A_s$ ) は今回の改良率の場合  $0.3$  (ばらつきの範囲  $0.15 \sim 0.6$ )<sup>2)</sup> に比べて大幅な沈下抑制効果があることが考えられる。

さらに、ケーソンの法線方向の変位については、全て  $\pm 0.1\text{m}$  以下であり、非常に小さいことを確認している。

#### 4. まとめ

今回製鋼スラグ SCP を用いた現場での沈下変形に関する動態観測結果が得られ、製鋼スラグの硬化特性による沈下変形  $s$  抑制の可能性を示す貴重な知見が得られた。今後さらなる現場データを蓄積し、これらの結果とより精度の高い弾塑性 FEM 解析<sup>3)</sup>による詳細な比較とせん断強度定数などとの影響分析を行うことで、さらなる製鋼スラグの硬化特性の有効性を高める検討が期待される。

#### 謝辞

本論文執筆において、国土交通省中国地方整備局港湾空港部から貴重な現場での沈下・変形データのご提供を頂きました。ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1)(財)沿岸開発技術研究センター 港湾工事に用製鋼スラグ利用手引書 2000 年 3 月
- 2)(社)地盤工学会 地盤工学実務シリーズ 11 地盤改良効果の予測と実際 pp.172-174 2000 年 2 月
- 3)例えば、水野健太, 土田孝, 小林正樹, 渡部要一 水平変位の予測精度に着目した粘土の構成モデルと現地計測事例による検証 土木学会論文集C Vol.63 No.4 pp.936-953 2007年

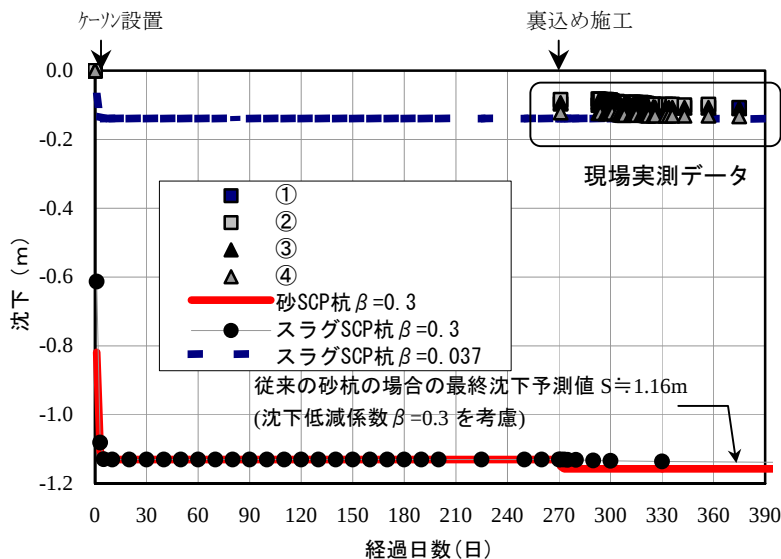


図-4 ケーソン天端の沈下の経時変化 (No. 8 ケーソン)