

製鋼スラグを利用した埋込み節杭の支持力性能 (その1:スラグの特性と施工法)

製鋼スラグ 杭 支持力

(株)ジオトップ
同上
広鉦技建(株)

国際会員 藪内貞男
正会員 平尾幸太郎
芝本真吾

正会員 須見光二
正会員 吉川那穂

西脇醇

1. はじめに

近年、循環型社会形成推進基本法が制定され、地球環境保全のために資源の再利用が叫ばれている。製鋼スラグは製鋼の過程で発生する再利用が可能な資源であるが、膨張する性質があるため、路盤材やサンドコンパクションパイル材などに用いる場合には、エージング処理を施して膨張量を小さくする必要がある。一方、節杭は以前はその周囲に砂利や採石を充填しながら打ち込んでいたが、騒音や振動が問題になった。無音・無振動で砂利を充填する施工法では砂利の密度が小さくなり、その結果、節杭の沈下剛性が低下し第2限界抵抗力が不十分になる¹⁾。そこで、筆者らは製鋼スラグの欠点とされてきた膨張する性質に着目し、節杭の周囲にエージング処理前の製鋼スラグを充填することで、施工後の密度の増加によって支持力性能を満足する工法の開発を試みた。

本報では、スラグの基本的な特性を調べるために行った成分・粒度・膨張率・三軸試験などの結果を示すとともに、節杭の周囲にスラグを充填する施工法について述べる。

2. スラグの成分と粒径

製鉄の過程で発生する鉄鋼スラグには、高炉による高炉スラグ(このうち溶融スラグに加圧水を噴射するなどして急激に冷却したものを水砕スラグと呼ぶ)と転炉や電気炉による製鋼スラグがある。水砕スラグは固結性があり、セメントの原料など用途も広い。製鋼スラグ(ここでは転炉によるスラグをいう)は膨張性があり、それを小さくするためにエージング処理が施されることが多いが、本報ではその処理を施さないものを対象とする。

表1と図1に、実験に用いた水砕スラグ(最大粒径約2mm)と製鋼スラグ(同約10mm)の成分試験と粒度試験の結果をそれぞれ示す。表1には参考のため、普通ポルトランドセメントの成分も併記している。両スラグとも、化学組成は普通ポルトランドセメントに類似している。CaOおよびSiO₂を主成分として、水砕スラグはAl₂O₃とMgOが、製鋼スラグはFeOとMgOが普通ポルトランドセメントよりも多くなっている。粒径は、製鋼スラグよりも水砕スラグの方が1mm付近に集まっている。

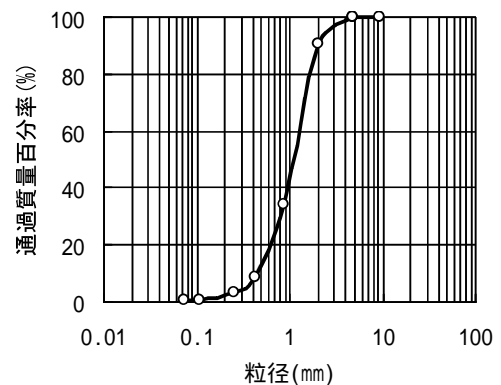
3. 杭周に充填したスラグの基本特性

杭周に充填するスラグには、膨張性が大きい製鋼スラグ(以下SS)の他に、製鋼スラグと水砕スラグを容積比で7:3の割合に混合したもの(以下、混合スラグ、MS)の2種類を用いた。混合スラグは膨張性ととも水砕スラグによる固結性を期待したものであって、そのために最適な混合比を予備試験によって決めた。

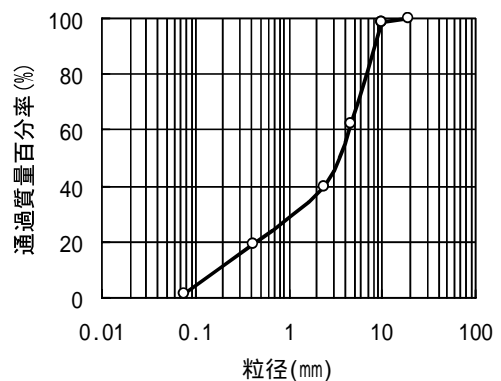
これらのスラグの基本特性を調べるために、最大・最小密度試験(JIS A1224)、粒子の密度試験(JIS A1202)、三軸圧縮試験(JGS0524)および膨張試験(日本道路協会水浸膨張試験法)を行った。三軸圧縮試験と膨張試験の供試体は、当初検討していた施工

表1. 各スラグの化学組成(質量%)

成分	水砕スラグ	製鋼スラグ	普通ポルトランドセメント
SiO ₂	33.8	13.8	22.0
CaO	42.0	44.3	64.2
Al ₂ O ₃	14.4	1.5	5.5
T - Fe	0.3	17.5	3.0
MgO	6.7	6.4	1.5
S	0.8	0.1	2.0
MnO	0.3	5.3	-
TiO ₂	1.0	1.5	-
その他	0.7	9.6	1.8



(a) 水砕スラグ



(b) 製鋼スラグ

図1. 各スラグの粒径加積曲線

Bearing capacity of bored nodular pile packed with steelmaking slag (Part 1: The property of slag and piling method)

S.Yabuuchi, M.Sumii, A.Nishiwaki, K.Hirao, N.Yoshikawa (GEOTOP Corp.) and S.Shibamoto (HIROKOU-GIKEN Co.,Ltd.)

表 2. 各スラグの基本的物性

試料	SS	MS
最小密度 (t/m ³)	1.752	1.592
最大密度 (t/m ³)	2.263	2.030
粒子の密度 (t/m ³)	3.698	3.354

を想定して相対密度が約 150% になるように突固め法で作成し、15 と 80 の恒温槽で養生を行った。三軸圧縮試験は、供試体作成時、1ヶ月養生後、2ヶ月養生後に圧密排水(CD)条件で行った。

膨張試験では、供試体作成後 90 日間の膨張率を測定した。それらの試験の結果を表 2、表 3、図 2 にそれぞれ示す。試験結果から以下のことが分かった。

粘着力は SS よりも固結性を持つ水砕スラグが入っている MS の方が大きい。経過時間による増加率も SS があまり変わらないのに対して、MS は 1ヶ月では下がっているものの 3ヶ月では作成時の 1.5 倍以上に増えている。

内部摩擦角は供試体の密度が高いため、SS、MS ともに 43 度以上と大きな値になっている。SS の方が MS よりもやや大きい、経過時間による増加は両者とも見られない。

SS の膨張率は、養生温度が 80 では 10% を超えるが、常温 (15)では 2% 程度となっている。ただし、養生日数が 90 日を過ぎても増加しており、2~3 年後には 80 の値と同程度になるとされている。MS は養生温度が 80 では膨張率が 6% を超えるが、常温 (15)では 0.3% に留まっている。ただし、膨張剤を加えたセメントミルクの膨張率 (0.2~0.3%) よりは大い。

4. 杭の施工法

節杭の周りにスラグを充填する施工法は、数力所の地盤で試行した結果、最終的には特殊な締固め用ケーシング (以下ケーシング) を用いたプレボーリング埋込み工法とした。表 4 に示す節部径 440mm、軸部径 300mm の PHC 節杭に適用する場合には、図 3 に示す手順になる。まず、700mm の掘削孔崩壊抑止板付オーガースクリューで掘削・排土する。次に、0.4m³ のスラグを底部に落とし込んだ後、節杭を建て込み、ケーシングを掘削孔内に挿入して、杭が所定深度になるまで回転圧入させる。深度を確認後、地表部から掘削孔壁とケーシングの隙間に、杭周りに充填するスラグを投入する。ケーシングを逆転させて、先端に取り付けた羽根でスラグを詰めながら徐々に引上げ、杭頭部までスラグを充填する。

以上の施工法によって、実大杭を用いた大型土槽による実験と実際の地盤による現場実験を行った。これらの実験概要と押込み試験の結果は、同名報文 (その 2) と (その 3) で報告する。

5. おわりに

本報では、製鋼スラグ等の基本的な性質と、それを節杭の周囲に充填する施工法について述べた。最後に、本研究に際して、試験場所の提供など多大のご協力をいただきました新日本製鐵 (株) 広畑製鐵所設備部の道下恭博マネージャーを始め、関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 藪内・平山・山下・上紺屋：周辺に礫を充填した節杭の鉛直支持力特性に関するモデル実験 (その 2: 礫部の径の影響), 第 29 回地盤工学研究発表会, p.p.1479-1480, 1994

表 3. 三軸圧縮試験結果

試料	水温	粘着力 c _d (kN/m ²)			内部摩擦角 φ (度)		
		経過時間			経過時間		
		作成時	1ヶ月	2ヶ月	作成時	1ヶ月	2ヶ月
SS	15	121.9	136.8	94.6	51.8	48.6	50.5
	80	-	*	*	-	*	*
MS	15	199.2	183.2	333.1	43.2	48.1	47.5
	80	-	198.2	*	-	52.9	*

- : 測定なし * : 膨張のため供試体が崩壊

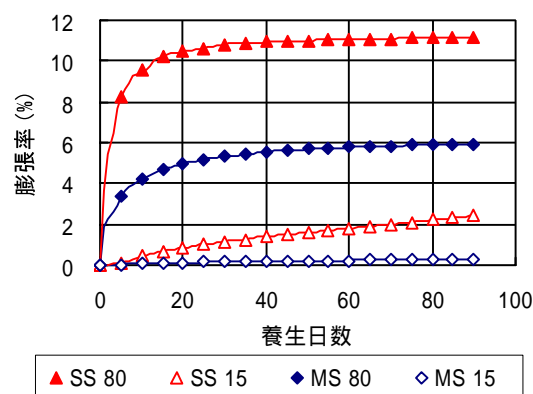


図 2. 各スラグの膨張率

表 4. 試験杭の形状および寸法

形状	
寸法	節部径 (D _o) : 440mm 軸部径 (D) : 300mm 肉厚 (t) : 60mm

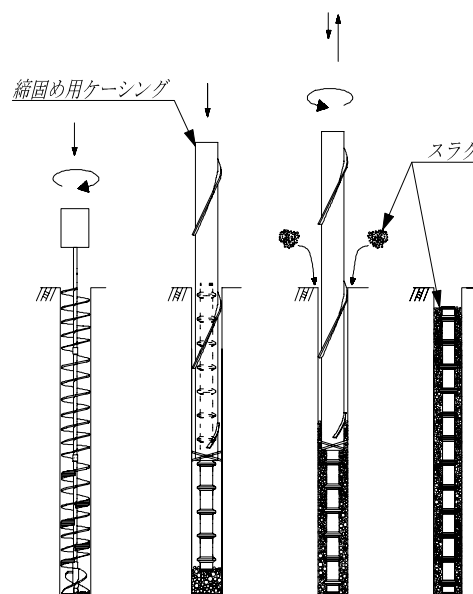


図 3. 施工手順図