

鉄鋼スラグを用いた基礎杭の施工

Construct a Pile Foundation with Iron and Steel Slag

(株)ジオトップ ○須見光二
 阪大院理 西脇 醇
 (株)ジオトップ 藪内貞男
 広鉦技建(株) 姫田昌孝

1. まえがき

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の資源再利用が推進されている。そのため、焼却灰溶融スラグ、石炭灰、汚泥スラグなどの他産業廃棄物等のリサイクル資材との競合が始まり、鉄鋼スラグの有効利用を促進するために、その優れた特長を生かした用途開発が望まれている。

特に、エージング処理前の製鋼スラグの強度・比重・水硬性など天然材にない特長を活用して、これまで製鋼スラグ利用にあたって欠点とされてきた膨張して硬化する性質を利用することにより、基礎杭の支持力を増大させる可能性に着目し実用化に向け施工法の開発を進めてきた。

本報告は、新日本製鐵(株)広畑製鐵所内の焼却施設建設工事に際して、基礎杭に既製杭(プレストレスト高強度コンクリート節付杭。以下節杭とする。)による製鋼スラグを充填材とした打撃工法が採用され、併せて本工事とは別に実験場所の提供を受けたことから、これまでに行ってきた実験¹⁾(ドラム缶実験、大型土槽実験、現場規模実験)を現場で検証するために、鉄鋼スラグ等利用の既製杭の低振動・低騒音工法による一連の試験杭を施工し、これらの施工性および鉛直載荷試験によって支持力性能を調査したものである。

2. 試験条件および方法

2-1. 地盤条件

実験場所は新日本製鐵(株)広畑製鐵所構内で、播磨灘の沿岸部に埋め立てられた人工地盤上にあたり、盛土層が広く分布し、それらの下位には軟弱な沖積層が堆積しており、さらに下部では段丘層が分布する地層構成となっている。地盤概要を Fig. 1 に示す。

2-2. 鉄鋼スラグの基本特性

試験に用いたエージング処理前の製鋼スラグおよび水砕スラグの粒径加積曲線²⁾³⁾をそれぞれ Fig. 2 に示す。また成分を Table.1 に示す。

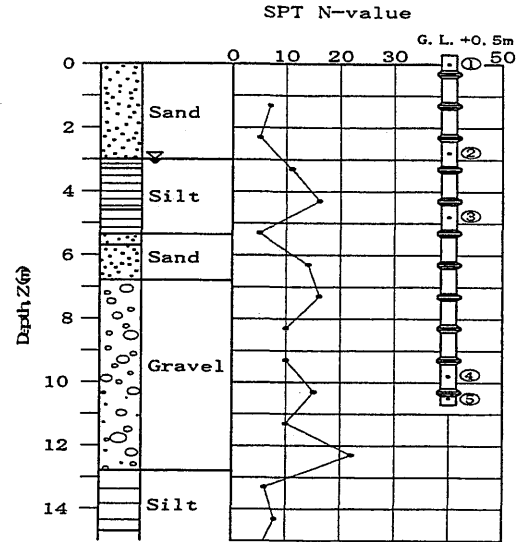
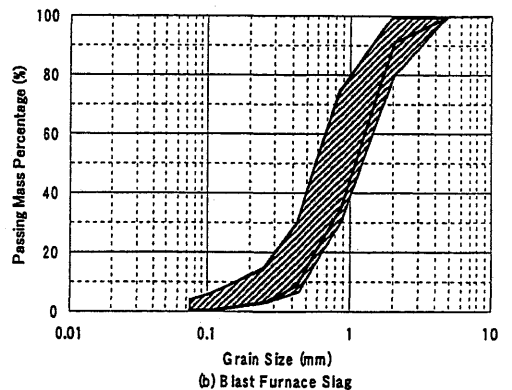
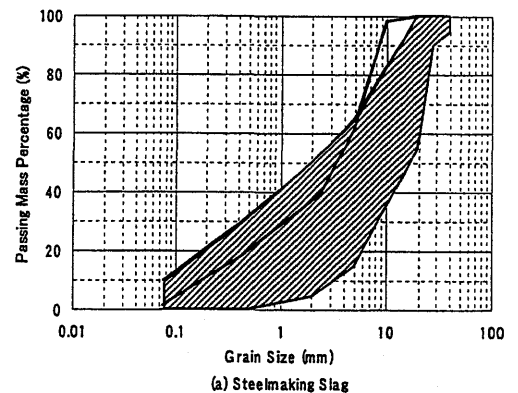


Fig.1 Soil Boring Log



Commercial Slag

Fig.2 Grain Size Distribution Curve

Table1. Composition of Slag (%)

	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	T-Fe	S	MnO	TiO ₂
Steelmaking Slag	11.3	37.3	3.9	15.7	20.4	0.04	6.1	1.5
B.F.Slag	33.8	42.0	14.4	6.7	0.3	0.84	0.3	1.0

2-3. 製鋼スラグ活用の基礎杭の施工法

節杭は主に杭の摩擦力を増大させる目的で使用されているが、その主な施工法は碎石等を充填しながらディーゼルハンマーや油圧ハンマーを用いて打設する打ち込み工法である。しかし、軟弱地盤で支持層の深い地域や、振動・騒音が問題となる市街地での施工は充填材にセメントミルクを使用した埋め込み工法が多用されている。

打ち込み工法の充填材を従来の碎石の代わりに製鋼スラグにすることで、打ち込み時の振動による動的締固めと併せて、土中での製鋼スラグの膨張・固化による静的締固めにより杭周摩擦力が大きく発現されることが予想される。

一方低振動・低騒音工法による埋め込み杭においても、充填材を従来のセメントミルクの代わりに製鋼スラグを杭周囲に充填することによって、土中での製鋼スラグの膨張・固化による静的締固めにより杭周摩擦力が大きく発現されることが予想される。

下記に代表的な打ち込み工法と、低振動・低騒音埋め込み工法の概要を示す。

①打ち込み工法

節杭を碎石、鉄鋼スラグ等を充填しながら打ち込む工法である。Fig.3 に打ち込み工法の概略図を示す。

②低振動・低騒音による埋め込み工法

施工は、特殊スクリーオーガーで地盤を掘削し掘削孔内に既製杭を挿入する。続いて締固め用先端翼付きケーシングを挿入する。次に地上部から鉄鋼スラグを充填しながらケーシングを回転・引上げ、杭周囲の鉄鋼スラグを締固めて施工が完了する。

Fig.4 に施工手順を示す。

③低振動・低騒音回転埋設工法

施工は、特殊スクリーオーガーで地盤を掘削した掘削孔内に製鋼スラグを地表面まで充填する。その製鋼スラグ柱の中に先端開放鋼管節付杭を回転させながら埋設し施工を完了する。

2-4. 試験杭の種類

試験杭に供した既製杭の形状・寸法および種類を Table.2 に示す。

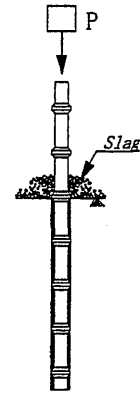


Fig. 3 Method of Driven Pile (Nodular)

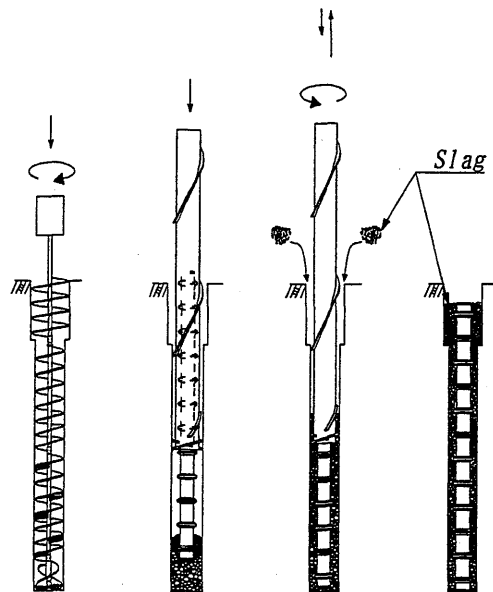
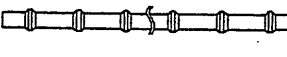
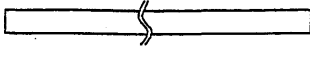
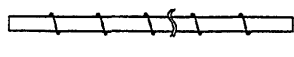


Fig. 4 Method of Bored Precast Pile with Steelmaking Slag

また、各試験杭における既製杭と充填スラグの種類との組み合わせを Table.3 に示す。なお、各試験杭は杭先端が G.L.-10.7m に設置されるように施工を行った。

Table.2 Pile Types

Shape			
Size	Max Diameter (Do):440mm Minimum Diameter (D):300mm Length:11m	Diameter (Do):450mm Length:11m	Max Diameter (Do):450mm Minimum Diameter (D):300mm Length:11m
Pile Type	Nodular Pile B type	Straight Pile B type	Steel Nodular Pile Thickness:10.3mm

2-5. 鉛直載荷試験

各試験杭の支持力性能を評価するために鉛直載荷試験を実施した。試験方法および結果の整理は、「建築基礎構造設計指針(日本建築学会, 2001)」および「クイの鉛直載荷試験基準・同解説(地盤工学会)」に準じて行った。載荷装置は試験杭に対し反力杭 8 本を配置し、架構と試験杭の間に 3500kN 用電動油圧ジャッキを挿入した。主な計測項目は、杭頭部および先端部の沈下量ならびに杭体のひずみ量である。

3. 試験の結果

鉛直載荷試験の結果として、Fig.5 に各試験杭の杭頭荷重 P_o ~ 杭頭沈下量 S_o 曲線図を示す。

また、Fig.5 およびその他の荷重 P_o ~ 沈下量 S_o ~ 時間 t の関係図より、支持力性能の判定を行った結果を Table.4 に示す。

ただし、試験杭 No.2,6 は、基準支持力(杭径 D_o の 10% 沈下時の荷重)に達していないため、外挿法による推定値を示した。

Table.3 Test Types

Test No.	Method	Pile Type	Kind of Slag
1	Bored	Nodular Pile	Lateral: Steelmaking Slag Point: Steelmaking Slag
2			Lateral: Steelmaking Slag Point: S.S.+30% B.F.Slag
3			Lateral: S.S.+30% B.F.Slag Point: S.S.+30% B.F.Slag
4		Straight Pile	Lateral: Steelmaking Slag Point: Steelmaking Slag
5		Steel Nodular Pile	Lateral: Steelmaking Slag Point: Steelmaking Slag
6	Driven	Nodular Pile	Lateral: Steelmaking Slag Point: Steelmaking Slag

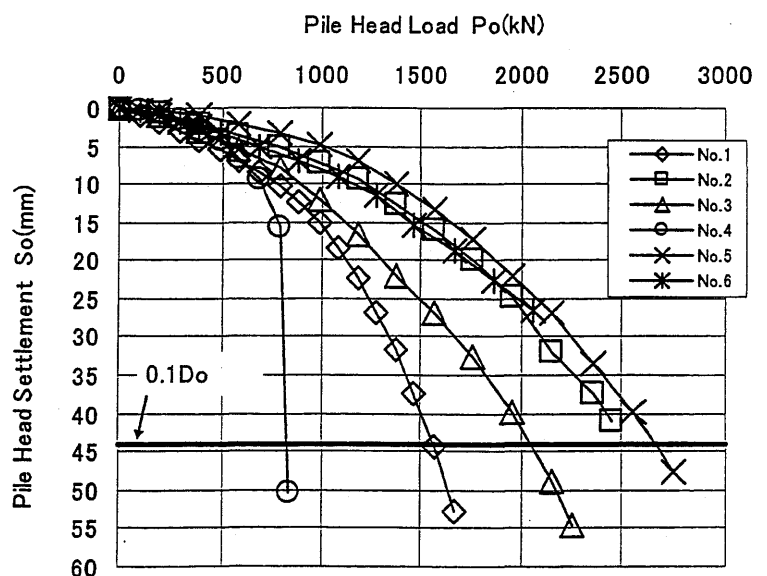


Fig.5 P_o ~ S_o Curve

これらから、 $P_o \sim S_o$ 関係の比較では、沈下剛性が、

- ① 施工法別では、埋め込み工法杭<打ち込み工法杭<埋め込み回転埋設工法杭
- ② 杭種別では、PHC 円筒杭<節杭<鋼管節付杭
- ③ 充填スラグ別では、製鋼スラグ単体<混合スラグ(製鋼スラグ 70%+水砕スラグ 30%)の順に高いことがわかる。

また、支持力性能の比較では、

- ① 施工別では、節杭による埋め込み工法杭(試験杭 No.1,2,3)では、施工のばらつきによる支持力の相違が見られるが、現時点(1ヶ月養生)のところ、打ち込み工法と埋め込み工法は同等程度の支持力性能と見られる。

- ② 杭種別では節杭の支持力は PHC 杭に比べ約 3 倍の支持力性能があることがわかる。

- ③ 充填スラグ別では、スラグの種類による支持力性能の相違は見られない。

次に、杭体のひずみ量より、Fig.6 に深度方向の軸力分布を、Fig.7 に土質別における杭周摩擦応力度 τ ~ 沈下量 S の関係を、Table.5 に土質別における最大杭周摩擦応力度 τ_{max} を示す。

Table.4 Bearing Capacity

Test No.	Pmax (kN)	Smax (mm)	Py (kN)	P _{0.1D_o} (kN)	Ra (kN)
1	1667	52.67	1049	1559	520
2	2452	40.50	1716	(2550)	850
3	2256	54.64	—	2050	684
4	834	16.15	686	824	275
5	2746	47.66	1775	2658	886
6	2059	26.60	—	(2550)	850

Pmax:Max Load Smax:Max Settlement
P_{0.1D_o}:2nd.Limited Load Py:1st.Limited Load
Ra:Allowable Bearing Capacity

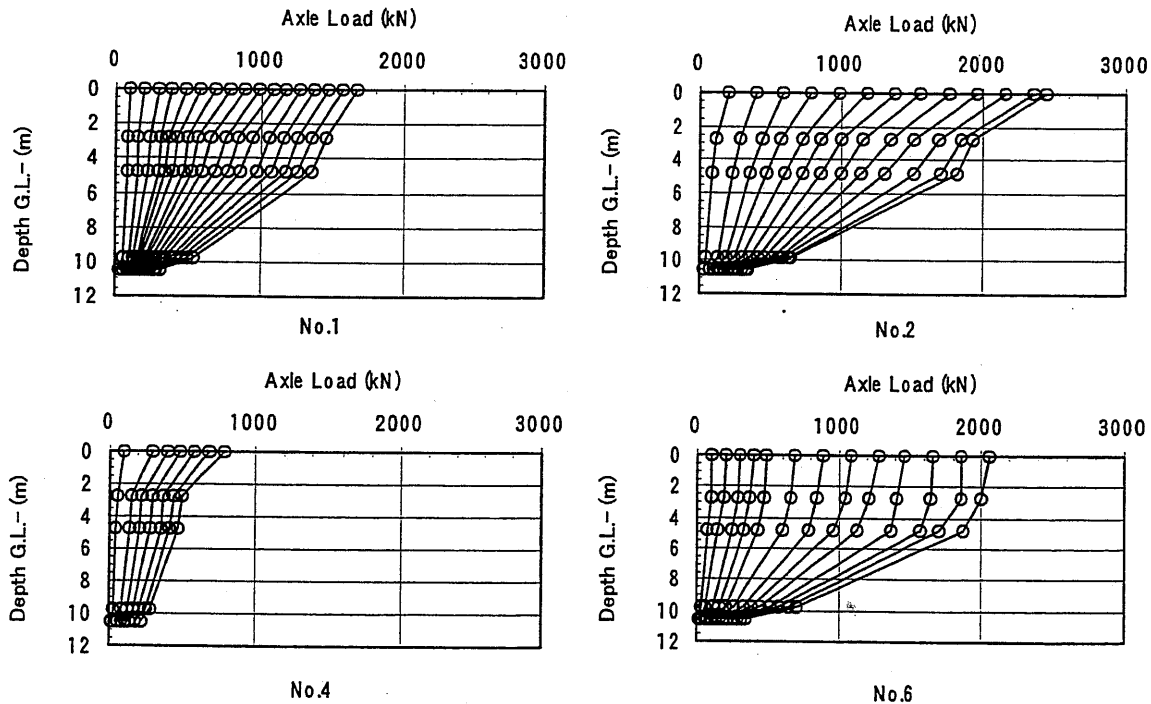


Fig.6 Distribution Map of Axle Load

これらから、摩擦応力度 τ について以下のことが指摘できる。

- ① 地下水位は約 G.L.-3m のところにあり、地表から約 3m の区間の砂質土地盤内ではスラグが乾燥~湿潤状態にあり、混合スラグを充填材とした試験杭 No.3 が最も摩擦力が大きく発揮している。
- ② G.L.-3m~5m 間の飽和された粘性土地盤内ではスラグも飽和状態にあり、杭種別の相違を除いて、

施工法および充填材の違いによる摩擦応力度の相違は少ない。

- ③ G.L.-5m~10m 間の飽和された砂礫地盤内ではスラグも飽和状態にあり、節杭を用いた試験杭は施工法が違って摩擦応力度は大きく発現しているが、充填材の違いによる相違はあまり見られない。

4. まとめ

本試験により以下のことが確認された。

- ① 施工が十分に可能で、製鋼スラグの使用による支持力の増大効果は、節杭との組み合わせで顕著である。
- ② 地下水位以浅の地盤内では、混合スラグ(製鋼スラグ70%+水砕スラグ30%)は製鋼スラグ単体よりも早期強度が大きく発現している。
- ③ 地下水位以深の地盤内では養生期間1ヶ月程度では、充填材の違いによる相違は見られなかった。

5. おわりに

本報では、鉄鋼スラグの有効利用として基礎杭の支持力を増大させる可能性が検証できた。

また、今回の現場実験は養生期間1ヶ月で行ったもので、節杭の埋め込み工法は打ち込み工法に比べてスラグ充填量が約3倍(埋め込み工法：平均3.2m³、打ち込み工法：約1.0m³)で、今後さらに経時的な変化による支持力増強が期待される。従って、経時的な支持力変化を確認するために養生期間3ヶ月で再度載荷試験を実施する予定である。

今後は、より多くのデータの蓄積・解析等により、地盤に即した支持力算定法を確立し、より一層合理的な設計法を検討していきたいと考える。

謝辞

本研究は、新日本製鐵株式会社広畑製鐵所および太平洋工業株式会社のご協力のもとで実施したことを記し、関係者各位に謝意を表します。

《参考文献》

- 1) 西脇ら：CAMP-ISIJ,14(2001)-942
- 2) 鐵鋼スラグ協会：港湾工事に用いる製鋼スラグ利用手引書,平成12年3月,P5
- 3) 鐵鋼スラグ協会：港湾工事に用水砕スラグ利用手引書,平成元年8月,P11

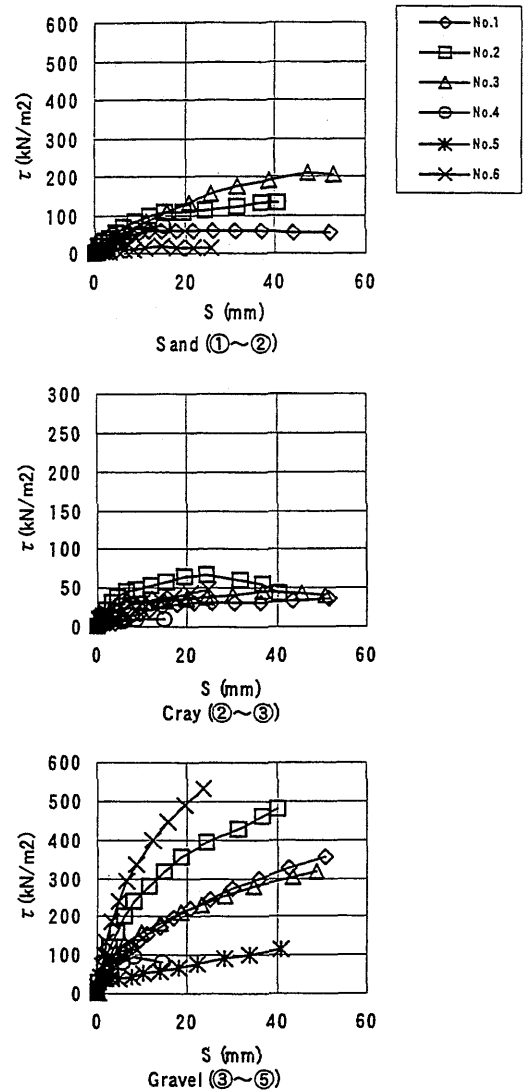


Fig.7 τ ~ S Curve

Table.5 τ max

Test No.	τ (kN/m ²)		
	Sand ①~②	Cray ②~③	Gravel ③~⑤
1	59.4	35.7	356.2
2	132.9	66.3	481.1
3	209.8	44.9	317.4
4	70.9	10.0	94.4
5	—	—	115.6
6	17.8	46.9	532.2