

製鋼スラグを利用した埋込み節杭の支持力性能 (その2:実大杭を用いた大型土槽実験)

製鋼スラグ 杭 支持力 (株)ジオトップ 正会員 吉川那穂 国際会員 藪内貞男 西脇醇
 同上 正会員 平尾幸太郎 正会員 須見光二
 同上 国際会員 小椋仁志

1. はじめに

無音・無振動で周囲に砂利や碎石を充填する節杭工法において、砂利等の代わりに膨張性の大きいエージング処理前の製鋼スラグを用いることでその密度を高めて沈下剛性を増大させる工法の検討を行っている。同名報文(その1)では、用いたスラグの基本的な特性と、それを杭周囲に充填する施工法について報告した。

本報では、大型土槽内の造成地盤に実大杭を施工し、1年間の養生期間中に数回の押込み試験を行った結果から、製鋼スラグを利用した埋込み節杭の支持力性能について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2-1. 地盤概要

実験地盤は、長さ6m×幅4m×高さ約5mの大型土槽¹⁾内に、早川砂(山梨産。図1に粒径加積曲線を示す。)を厚さが20cmになるまで投入したあと、パイプロプレートとパイプロランマーを用いて締め固める作業を繰り返して造成したものである。標準貫入試験(トンビ法)を行った結果、図2のようにN値20程度の中密で均一な地盤になった。なお、乾燥や雨などによって砂の湿潤状態等が変化するのを防ぐため、杭の施工後に地表面まで水を満たした。

2-2. 実験条件

試験杭は 440mm(節部径)-300mm(軸部径)、長さ4mのPHC節杭を、(その1)で述べた施工法によって造成地盤内に設置した。根入れ長さは3mである。また、ひずみゲージを杭軸部に約1m間隔で取り付けている。

杭周に充填するスラグは、製鋼スラグ(以下、SS)と、容積比で製鋼スラグ70%と水砕スラグ30%とを混ぜた混合スラグ(以下、MS)の2種類である。SSは膨張性が、MSは固結性が卓越している。また、比較のために杭周充填材として碎石(以下、GR)も用いた。SSとGRの粒径加積曲線は、図1中に併記している。

各試験杭は施工後1年間の支持力性能の経時変化を調べるために、養生期間中に数回の押込み試験(地盤工学会基準JGS1811-2002)を実施した。試験杭の種類と押込み試験の実施時期を表1に示す。表中の試験杭記号Y-SS、Y-MS、Y-GRは、それぞれ製鋼スラグ充填杭、混合スラグ充填杭、碎石充填杭である。なお、全ての押込み試験終了後に、各杭を掘り起こして杭周の状態を観察している。

3. 施工の結果

地盤を造成した後、同名報文(その1)で述べた方法で試験杭を施工した。掘削のあと、孔内に検尺テープを下ろして掘削底面までの深さを測った。その結果、掘削深さ(3m)とほぼ同じ値になっており、掘削孔の崩壊はないものと判断された。次に、スラグの充填量は、両スラグともに1.3m³であった。掘削空隙体積(=掘削体積-杭体積)は、公称オーガー径700mmによると0.91m³になるが、施工時にオーガースクリューや締固めケーシングが少し振れて掘削径は約750mm(地表面での値)になっていたため、実際は1.08m³程度であったと推測される。前述の充填量は地表に置いた状態で測った値であり、その密度は同名報文(その1)で示した最小密度(SSは1.752t/m³、MSは1.592t/m³)程度であったと考え、質量はSSが2.28t、MSが2.07tと推定される。これから相対密度を求めると、SSが約70%、MSが約75%となり、充填されたスラグの密度は「中密」であったと推測される。

4. 杭頭荷重・周面抵抗・先端支持力～沈下量関係

図3は、押込み試験の結果得られた杭頭荷重Po～杭頭沈下量So曲線を、各充填材の種類別に描いたものである。図

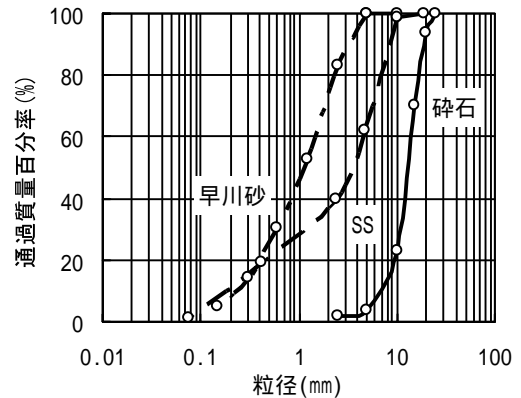


図1. 粒径加積曲線

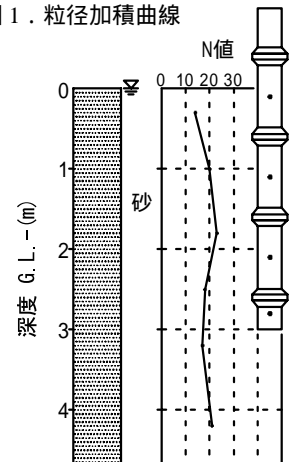


図2. 造成地盤のN値分布

表1. 実験種類

| 試験杭記号 | 杭種 | 充填材 | 押込み試験 | | | |
|-------|-----------------|-------|---------|---|---|----|
| | | | 養生期間(月) | | | |
| | | | 1 | 3 | 6 | 12 |
| Y-SS | 440-300 L=4m | 製鋼スラグ | | | | |
| Y-MS | | 混合スラグ | | | | |
| Y-GR | | 碎石 | - | | | |

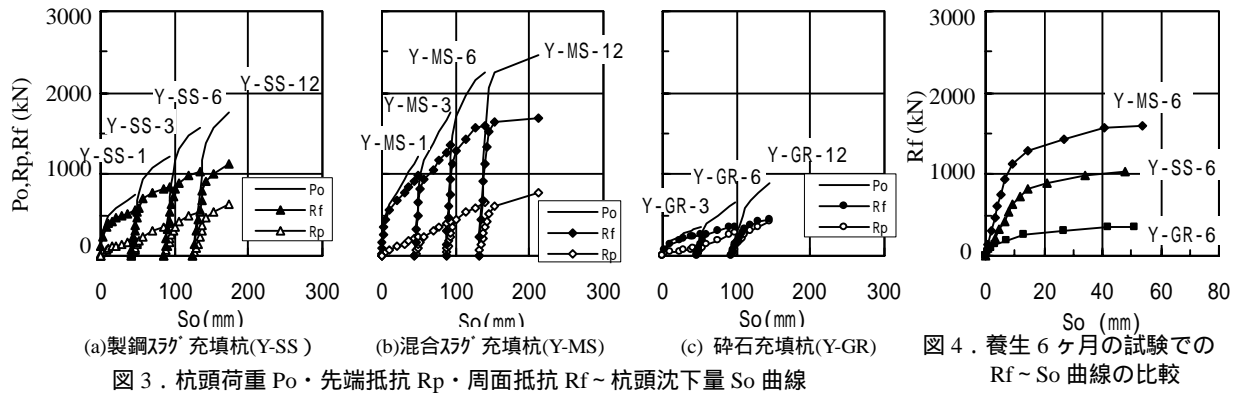


図3. 杭頭荷重 Po・先端抵抗 Rp・周面抵抗 Rf ~ 杭頭沈下量 So 曲線

図4. 養生6ヶ月の試験での Rf ~ So 曲線の比較

中の記号は“試験杭記号 - 養生期間”を示す。3ヶ月養生以降の試験での So は、それまでの最終沈下量を加えてある。これらの図には Po を先端抵抗 Rp (最下端節部位置での抵抗) と周面抵抗 Rf (=Po-Rp) とに分けた値も示している。図4は、6ヶ月養生での試験の Rf ~ So 曲線を載荷前の So を 0 として描いた比較図である。表2には、図3において So が節部径 Do の 10%(44mm)、20%(88mm)、30%(132mm)および 40%(176mm)に達した時の Rf の値を示している。これらの So は、Y-SS と Y-MS では養生期間がそれぞれ 1,3,6,12ヶ月の試験時に、Y-GR ではそれぞれ 3,6,12ヶ月の試験時に生じている。表には、Y-GR の So=0.1Do 時の Rf と各 Rf との比の値を()内に併記している。これらの図や表から以下のことが分かる。

表2. 各沈下量時の周面抵抗力

| 試験杭記号 | 各沈下量時の周面抵抗 Rf (kN) | | | |
|-------|--------------------|------------|------------|------------|
| | So = 0.1Do | So = 0.2Do | So = 0.3Do | So = 0.4Do |
| Y-SS | 551(2.3) | 823(3.4) | 1024(4.2) | 1127(4.7) |
| Y-MS | 929(3.8) | 1286(5.3) | 1574(6.5) | 1663(6.9) |
| Y-GR | 242(1) | 343(1.4) | 427(1.8) | - |

図3では、養生期間が長くなるほど Po は大きくなっている。これは、それまでの載荷履歴による支持力の増加が主因であるが、Po ~ So 曲線の連続性からみると Y-SS の養生期間が 1ヶ月と 3ヶ月との間での増加が大きい。Rf ~ So 曲線も同様であることから、充填した製鋼スラグが膨張したことによって Rf が増大したものと推察される。

混合スラグ充填杭の Po ~ So 曲線を見ると、初期剛性が大きくなっている。Rf ~ So 曲線も同じ傾向を示している。これは充填した混合スラグの固結によるものと推測されるが、詳しくは文献2)で考察する。

いずれの杭でも Rp ~ So 曲線の包絡線はほぼ直線状になっており、スラグの膨張や固結の影響は見られない。Rp は極限值には達しておらず、同じ沈下量時の Rp の値は Y-MS > Y-SS > Y-GR の順に大きい。Rf に比べると差は小さい。

Rf ~ So 曲線でも Rf は増加し続けて、ピークが見られない。各沈下量での Y-GR と Y-SS、Y-MS との Rf の比は、沈下量(養生期間)によらずほぼ一定で、Y-SS は約 2.4 倍、Y-MS は約 3.8 倍になっている。使用した碎石の粒径が一般に用いられるものより大きかったために Y-GR の支持力が小さくなった可能性はあるが、スラグを充填すると周面抵抗が大きくなるのは確かなようである。そのメカニズム等については、文献2)で検討する。

5. 軸力分布

図5に、各試験杭の So = 0.1Do ~ 0.4Do 時の軸力分布図を示す。Y-GR は GL.-1m 以浅に比べて GL.-1m 以深の周面抵抗が大きくなっている。それに対し、Y-MS では GL.-1m 以浅の、Y-SS では GL.-1 ~ 2m 付近の周面抵抗が他の深さ大きな傾向が見られる。地盤がほぼ均一な飽和砂であることを考えると、スラグの膨張や固結の程度は上載圧によっても異なる可能性がある。

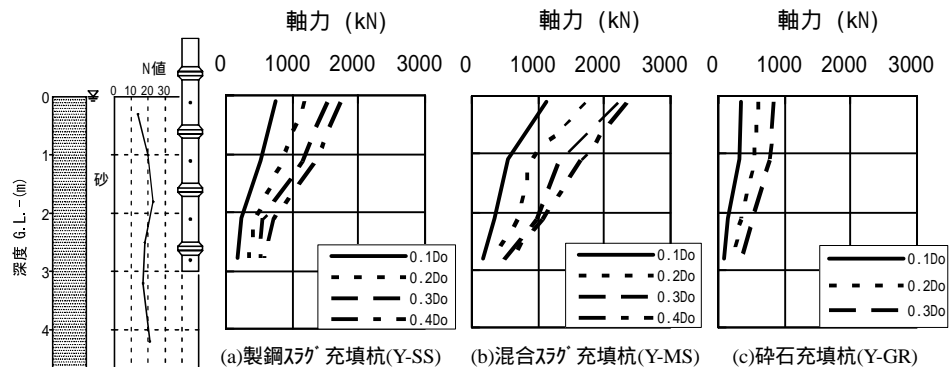


図5. 軸力分布図

6. おわりに

本報では、大型土槽内に造成した地盤に施工した2種類のスラグと碎石を充填した節杭に対する押込み試験の結果を述べた。本実験で得られた周面抵抗については、本実験での掘り起こし試験や同名報文(その3)で述べる現場実験の結果と合わせて文献2)で考察を加える。最後に、本実験結果の検討に際して貴重なご意見をいただきました(社)建築研究振興協会「鉄鋼スラグの杭基礎への活用委員会」(委員長: 岸田英明 東京工大名誉教授)の委員各位に謝意を表します。

参考文献 1) YOSHIMI, Y., HOSOKAWA, Y., KUWABARA, F., TOKIMATSU, K.: LARGE-SCALE CYCLIC SHEAR BIN TO EVALUATE METHOD FOR MITIGATING LIQUEFACTION HAZARD, SOILS AND FOUNDATION, Vol.26, No.3, pp.137-142, 1986.9
2) 小椋・吉川・平尾・桑原: 製鋼スラグを利用した埋込み節杭の周面抵抗機構の検討, 第39回地盤工学研究発表会