

連携記事

高炉水砕スラグを用いた空洞充填材「スマートグラウト®」

SMART GROUT : Filler for Underground Cavities Using Granulated Blast Furnace Slag

林 正宏 JFEスチール(株)スチール研究所
 土木・建築研究部
 Masahiro Hayashi 主任研究員

1 はじめに

軟弱地盤の圧密沈下や地震による地盤の液状化によって、地盤と建築物基礎や道路との間に空洞が生じることがある。空洞は、地面の陥没や構造物の傾斜といった被害の原因となるため、従来は砂やセメント系固化材を主材料とした充填材の注入による埋戻しが行われている¹⁾。基礎スラブなどに注入孔を設けて充填材を注入する施工は、大規模な掘削を伴うことなく修復することができるという利点を有する。しかし、コストの削減や環境影響の観点から、新しい材料が求められている。そこで、この埋戻し材の主原料に鉄鋼スラグの一つ、高炉水砕スラグの適用性を検討し、空洞充填材「スマートグラウト®」を開発した。

高炉水砕スラグは、天然の砂とほぼ同じ粒度分布であるため、充填材の骨材の代替となる。また、アルカリなどの刺激作用によって水と反応して水和物を生成する潜在水硬性を有しているため、セメントの配合量を低減することができ、環境負荷やコストの低減が期待できる。

本稿では、スマートグラウト®の性能、現場での適用性について述べる。

2 空洞充填材の要求性能

スマートグラウト®は、図1に示すように、基礎スラブなどに注入孔を設け、空洞部に注入していく方法で施工される。このような基礎下などに生じた空洞への充填材料には、以下の性能が要求される。

- ①空洞を隙間なく充填できる流動性
 - ②地盤と同等の強度
 - ③空洞に地下水が存在する場合を想定した水中施工性
- 流動性が良いと、空洞を隙間なく充填ことができ、また、充填材の混練プラントから空洞部までの距離が離れてい

る場合に、延長された圧送ホース内をスムーズに流すことができる。流動性は、フロー試験のフロー値により確認する。フロー値は、充填材を入れたシリンダーを静かに引き上げたときの拡がり具合を計測した値である(図2)。

充填材による修復は、設計の考え方により要求される強度が異なるが、基礎下などに用いられる充填材は、地盤と同等以上の強度とする場合が多い。これは、現地盤と同等の材料があれば修復として十分であることと、充填材が基礎杭へ付着しないようにするためである。一般に、充填材の強度と杭との付着は比例関係であるため、充填材の強度が大きくな

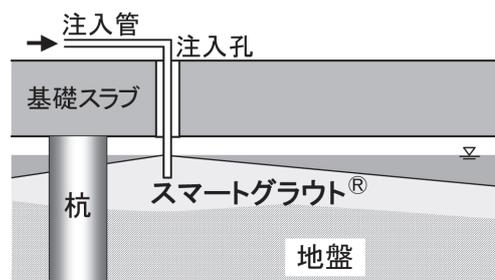


図1 スマートグラウト®の施工

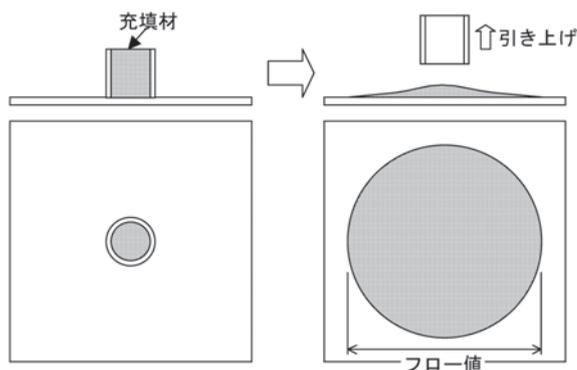


図2 フロー試験

ると付着強度も大きくなり、充填材は基礎杭へ付着してしまう。充填材が基礎杭へ付着した場合、さらなる沈下が発生して充填材と地盤との間に空洞ができると、掘削が困難となり修復ができなくなることがある。さらに、基礎杭へ付加的な荷重が作用し、杭の支持力や杭体に発生する応力を再検討する必要がある。よって、充填材は地盤の沈下に追随する方がよく、その他の埋設管などへ影響を与えないためにも、地盤と同等の強度であることが望ましい。

圧密沈下や液状化が生じやすい場所は、地下水位が地表に近いことが多い。空洞部は地下水で満たされることを考慮して、充填材は水中で材料が分離しないことと、水以上の重量を有することが必要である。

既存技術であるマイクロサンドエアモルタル²⁾の要求性能を参考に、スマートグラウト®の要求性能と品質確認項目を表1のように設定し、室内試験により配合を検討した。

3 室内試験による配合検討

配合に使用した材料は、骨材としての高炉水砕スラグ（粒径5mm以下に粒度調整、写真1）、固化材としての高炉セメント（B種）、材料分離の低減材としてのベントナイト、軽量化による施工性向上のための起泡剤、および水とした。図3に今回の実験で使用した高炉水砕スラグの粒度分布と、コンクリート標準示方書に規定される細骨材の粒度の標準³⁾を示

す。高炉水砕スラグは、細骨材である砂と似通った粒度分布であることがわかる。しかしながら、高炉水砕スラグは、一般に砂と比べると粒が角張っているため、モルタルとしたときに個々の材料が分離してしまう傾向がある。そこで、材料分離を防ぐためにベントナイトを用いることとした。ベントナイトは粘土鉱物であるので、充填材の粘性を増加させてしまうため、流動性を増すためには起泡剤により生成される気泡を混入し、注入ホース内でもスムーズに圧送ができるようにした。

表2に主な配合試験結果を示す。ここで、配合No.1、2は、既存の基礎下空洞充填材の配合^{1,2)}を参考に、骨材を高炉水砕スラグに置き換えたものとした。配合No.3、4は配合No.1、2の試験結果から高炉セメント、起泡剤の配合量を調整したものとした。試験の結果、配合No.3がフロー値やブリージング率など総合的に見て目標値を満足したため、この配合を基本配合とした。

4 施工性の検証

4.1 流動性の確認

スマートグラウト®の流動性を確認するため、水槽に地下空洞を模擬した模型を作成し、スマートグラウト®を流し込む可視化試験を実施した。水槽は幅300mm×高さ300mm×長さ1,200mmで、底部に空洞として50mmの隙間を設け、地

表1 スマートグラウト®の要求性能と品質確認

項目	要求性能	品質確認項目	目標値	
①	流動性	隙間なく充填かつ長距離圧送可能	フロー値	210mm 以上
②	材料強度	地盤と同等の強度、杭に付着無し	一軸圧縮強さ	0.1N/mm ² 以上(28日養生)
③	水中施工性	材料分離をすることなく施工可能	ブリージング率	5%以下
		水面に浮遊せず、充填可能	単位体積重量	1.0g/cm ³ 以上



写真1 高炉水砕スラグ

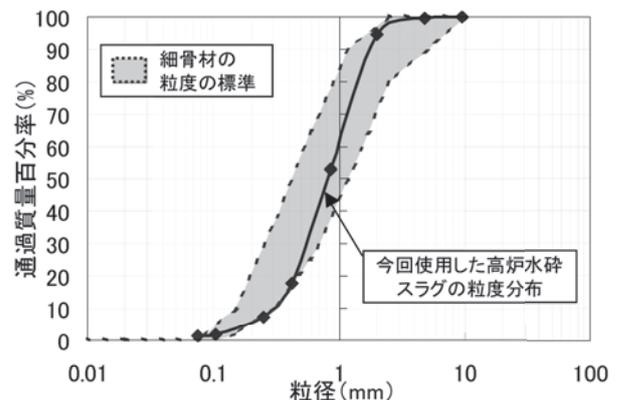


図3 高炉水砕スラグの粒度分布の例

盤を想定して珪砂を敷き詰めた。写真2に示すように、No.3の配合で作製されたスマートグラウト®を左側から注入すると、空洞部は隙間なく充填され、流動性に優れていることを確認した。

4.2 混練後の経過時間と流動性の関係

現地施工では、混練プラントから注入現場まで距離がある場合、混練後すぐに注入できないこともある。そこで、配合No.3について、経時的な流動性の変化を確認するため、混練後に時間をおいてフロー試験を実施した。フロー値の時間変化を写真3に示す。混練直後のフロー値は268mmであったが、150分経過後に実施したフロー試験では180mmまで低下していた。スマートグラウト®は、高炉セメントを使用しているため、混練後、水和反応が進み、時間の経過に伴い流動性が低下する様子が見られた。

配合No.3で気泡を混合しない条件となるが、混練後に攪拌を継続した場合と攪拌を行わない場合とでのフロー値の比較を実施した(図4)。攪拌を行わない場合のフロー値は、混練後の時間の経過と共に低下するが、攪拌を継続した場合には、混練後120分までフロー値が低下しないことを確認した。これにより、現地施工では、アジテート車により練り返しを続けながら輸送し、現地で気泡混合すれば、混練直後の流動性を保った状態で施工することができる。

4.3 実機プラントを用いた施工試験

実機プラントを用いた施工試験を実施し、スマートグラウト®の圧送性、および水中施工性を確認した。図5に施工プラントの配置、図6に施工手順、写真4に施工プラントの概観を示す。施工は、各材料をミキサーに投入・混練してモルタル状とし、ポンプで圧送する。途中、モーター付きのラインミキサーを用いて、モルタルと気泡を混合し、注入現場まで圧送する。ラインミキサーを設置することで、気泡が効率よく混ざり、最大200mの圧送を可能とした。強度なども室内

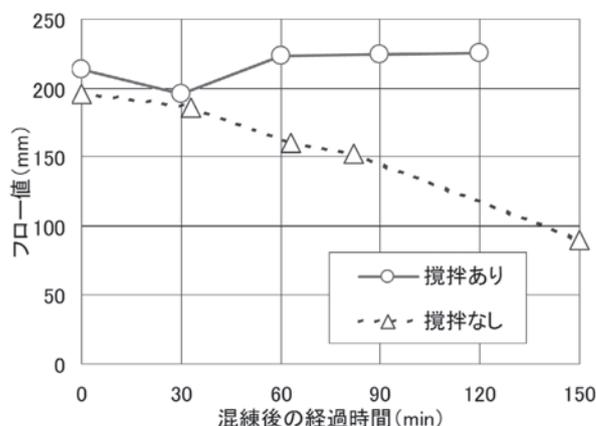


図4 フロー値の経時変化

表2 配合試験結果

配合No.	室内配合 (kg/m³)					試験結果				
	高炉水砕スラグ	高炉セメント	ベントナイト	起泡剤	水	フロー値 (mm)	ブリージング率(%)	単位体積重量 (g/cm³)	一軸圧縮強さ (N/mm²) 7日養生	28日養生
1	958	107	18	0.63	353	218	6.3	1.477	0.114	0.269
2	689	77	26	0.50	510	344	21.6	1.713	0.125	0.403
3	705	46	46	0.50	507	244	0.4	1.333	0.055	0.229
4	622	34.5	34.5	1.00	346	211	0.0	1.011	0.026	0.069

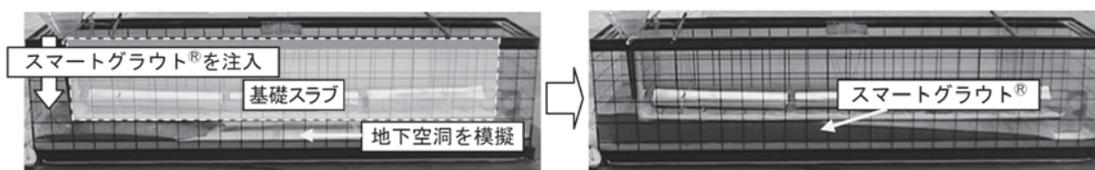


写真2 流動性確認試験

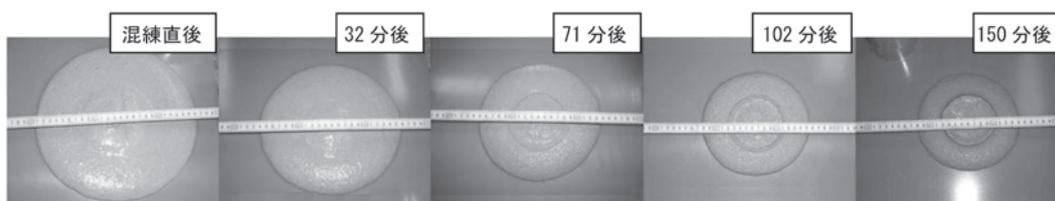


写真3 フロー値の経時変化

試験と同程度の結果が得られた。また、写真5に示すように、水中でも分離することなく打設できることも確認した。

5 おわりに

室内試験により要求性能を満足する高炉水砕スラグを用いた空洞充填材「スマートグラウト®」の配合を検討し、実機プラントを用いた施工試験により圧送性、および水中施工性の確認を行った。その結果、最大200mの圧送が可能であり、水中打設でも分離することなく施工できることを確認した。

東日本大震災では多くの地域で地盤の液状化が生じ、地下にも空洞が発生しているといわれている。スマートグラウト

ト®は、そのような空洞を鉄鋼製品の副産物を利用して、環境負荷を低減しつつ、修復できるため、充填材として利用価値が高いといえる。

参考文献

- 1) 軽量混合処理土工法技術マニュアル (改訂版), 財団法人沿岸技術センター, (2008.7)
- 2) 木寺謙爾, 中川茂, 田村徹, 轟丈詩, 森山紀夫: 建築技術, (1980.11), 351.
- 3) コンクリート標準示方書 規準編, 土木学会, (2007)

(2012年5月16日受付)

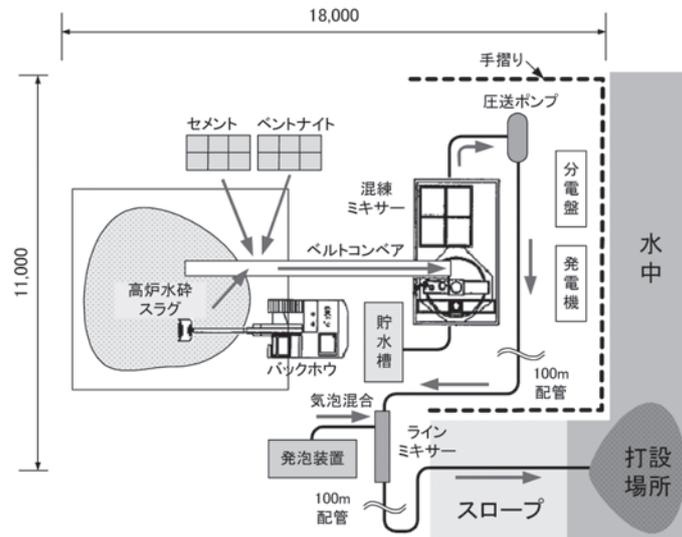


図5 施工プラントの配置

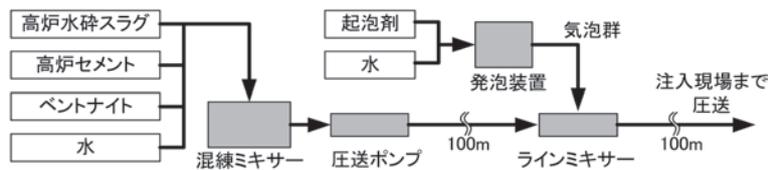


図6 施工手順



写真4 施工プラントの概観



写真5 水中施工状況