

## グラウト材料としてのセメント粒子の球形化に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 24

担当チーム：水工研究グループ（水工構造物）

研究担当者：佐々木隆、佐藤弘行、小堀俊秀

### 【要旨】

近年、超微粒子セメントでも遮水性改良が困難なダム基礎地盤があり、ダム基礎グラウチングの調査・設計・施工法により対応を図っているが、限界がある。ダムのグラウト材料には一般的に流通しているセメントの使用が基本であり、グラウト材料の研究はあまり行われておらず、微細亀裂やマサへの注入性向上が期待できるグラウト材料の開発が求められている。セメント粒子は角張ったり凹凸のある形状をしているが、非球形粒子を球形化することにより亀裂への注入性が向上することが粉体工学等の知見により明らかになっており、ダム基礎グラウチングの研究の一環として、グラウト材料としてのセメントの球形化の検討を行う必要がある。球形粒子としてフライアッシュやシリカなどがあるが、自硬性がない、固化反応が遅いなど、ダムのグラウト材料としては課題が多い。薬液による地盤改良工法も多く開発されているが、耐久性や安全性の観点から水源となるダムのグラウト材料としては適さない。粒子の球形化処理として多様な方法が提案されているが、セメントに適用可能な乾式かつ不純物混合なしの方法として唯一提案されている高速気流中衝撃法は、セメントの球形化方法としては効率が悪く、大量生産も困難であり、実用化されていない。

最終年度である平成 24 年度は、溶射法によりセメントの球形化の検討を行ったところ、粒子形状をほぼ完全な球形にすることができた。球形化したセメントの微粒分および市販の超微粒子セメントで微細亀裂を対象とした室内注入試験を行ったところ、球形化したセメントの浸透性が良好であることを確認した。また、球形化したセメントの基本物性試験を行い、グラウト材料としての基本性能を有していることを確認した。

キーワード：グラウト、セメント、球形化

### 1. はじめに

近年、超微粒子セメントでも遮水性改良が困難なダム基礎地盤があり、ダム基礎グラウチングの調査・設計・施工法により対応を図っているが、限界がある。ダムのグラウト材料には一般的に流通しているセメントの使用が基本<sup>1)</sup>であり、グラウト材料の研究はあまり行われておらず、微細亀裂やマサへの注入性向上が期待できるグラウト材料の開発が求められている。セメント粒子は角張ったり凹凸のある形状をしている（図-1.1）が、非球形粒子を球形化することにより亀裂への注入性が向上することが粉体工学等の知見により明らかになっており、ダム基礎グラウチングの研究の一環として、グラウト材料としてのセメントの球形化の検討を行う必要がある。球形粒子としてフライアッシュやシリカなどがあるが、自硬性がない、固化反応が遅いなど、ダムのグラウト材料としては課題が多い。薬液による地盤改良工法も多く開発されているが、耐久性や安全性の観点から水源となるダムのグラウト材料としては適さない。粒子の球形化処理として多様

な方法が提案されているが、セメントに適用可能な乾式かつ不純物混合なしの方法として唯一提案されている高速気流中衝撃法は、セメントの球形化方法としては効率が悪く、大量生産も困難であり、実用化されていない。

最終年度である平成 24 年度は、溶射法によりセメントの球形化の検討を行ったところ、粒子形状をほぼ完全な球形にすることができた。球形化したセメントの微粒分および市販の超微粒子セメントで微細亀裂を対象とした室内注入試験を行ったところ、球形化したセメントの浸透性が良好であることを確認した。また、球形化したセメントの基本物性試験を行い、グラウト材料としての基本物性を有していることを確認した。

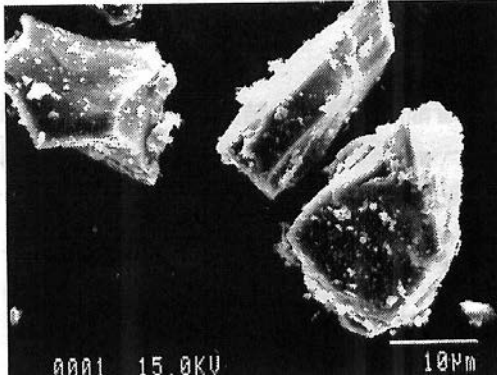


図-1.1 普通ポルトランドセメントの電子顕微鏡写真

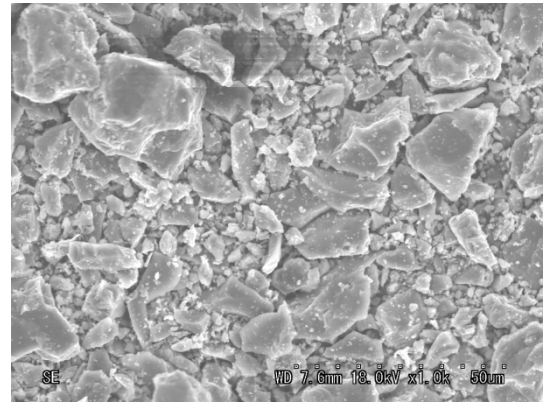


図-2.1 球形化処理前のセメント粒子の電子顕微鏡写真

## 2. 溶射法による球形化セメントの開発

溶射法により、セメント粒子の球形化の検討を行った。なお、本研究課題の終了後も、溶射法による球形化方法を用いてセメントの球形化の研究を続ける予定であるため、セメントの球形化の方法の詳細については記述を控える。図-2.1 が球形化前のセメント粒子、図-2.2 が球形化後のセメント粒子の電子顕微鏡写真である。本研究で使用した方法により、セメント粒子をほぼ完全な球形にすることができた。なお、球形化セメントの原料としては、溶射法による最初の検討であったため、普通ポルトランドセメントを使用した。

### 2.1 基本物性試験

普通ポルトランドセメントについて、球形化処理前後のセメントを用いて、フロー試験、一軸圧縮強さ、密度試験を行った。フロー試験および密度試験はJIS R 5201、一軸圧縮試験はJISA1108に従って試験を行った。水、セメントおよび標準砂の配合は1:2:6とし、JSCE-F 506-2010に従って供試体を作製した。

表-2.1と図-2.3にフロー試験、図-2.4に一軸圧縮試験、図-2.5に密度試験の結果をそれぞれ示す。

表-2.1と図-2.3を見ると、普通ポルトランドセメントのフロー値の平均値は168mm、球形化セメントのフロー値の平均値は243mmとなっており、球形化セメントのフロー値が75mm程度大きくなっている。セメント粒子を球形化することにより、モルタルの流動性が大きく向上している。流動性がよいということは、ダム基礎岩盤中の多様な幅、形状の亀裂に浸透しやすくなると考えられ、グラウト材料として良好な性状であると考えている。

図-2.4を見ると、球形化セメントの7日および28日の初期強度は普通ポルトランドセメントよりも小さくなっているが、球形化セメントの91日一軸圧縮強度は普通ポルトランドセメントの一軸圧縮強度と同程度以上の結果となっている。球形化セメントの初期強度が小さい原因は、溶射法による加熱

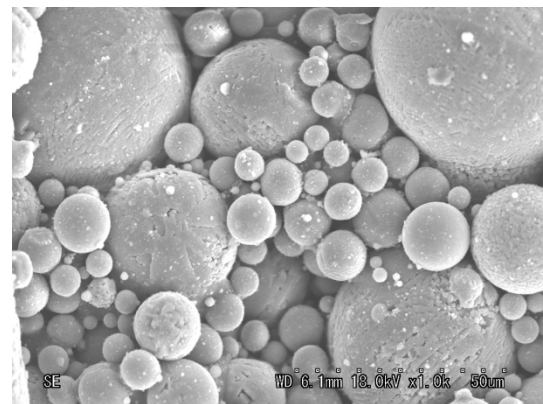


図-2.2 球形化処理後のセメント粒子の電子顕微鏡写真

によりセメントの成分が変化したものと考えているが、7日材齢の供試体は十分に固化しており、グラウト材料としては問題ないものと考えている。

図-2.4を見ると、材齢に関わらず、球形化セメントの供試体密度は普通ポルトランドセメントの供試体密度よりも0.06~0.1g/cm<sup>3</sup>程度大きくなっている。これは、セメント粒子が球形になったことにより、供試体が密になったことによるものと考えられる。供試体が密で密度が大きいことは、透水性が小さいと考えられ、グラウト材料として良好な性状であると考えている。

以上から、今回作製した球形化セメントにより、フロー値はかかなり大きくなり、供試体の密度も大きくなった。また、一軸圧縮強度については、球形化セメントで作製した供試体の7日および28日の初期強度は小さくなるが、91日強度は普通ポルトランドセメントで作製した供試体と同程度かそれ以上となる結果になった。基本物性については、グラウト材料として必要な性能を有していることを確認した。

表-2.1 モルタルフロー試験結果

| フロー試験 | 普通ポルトランドセメント |     |       | 球形化セメント |     |       |
|-------|--------------|-----|-------|---------|-----|-------|
|       | d 1          | d 2 | AVG   | d 1     | d 2 | AVG   |
|       | (mm)         |     |       | (mm)    |     |       |
| 1回目   | 166          | 164 | 165.0 | 241     | 246 | 243.5 |
| 2回目   | 170          | 171 | 170.5 | 240     | 246 | 243.0 |
| 3回目   | 158          | 162 | 160.0 | 251     | 246 | 248.5 |
|       |              |     | 167.8 |         |     | 243.3 |



図-2.3 モルタルフロー試験結果  
(上：普通ポルトランドセメント、  
下：球形化セメント)

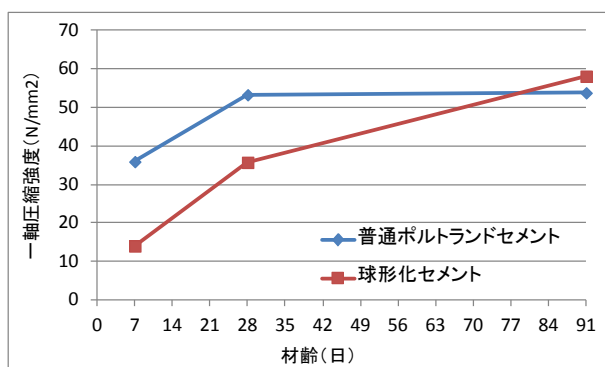


図-2.4 一軸圧縮強度の比較

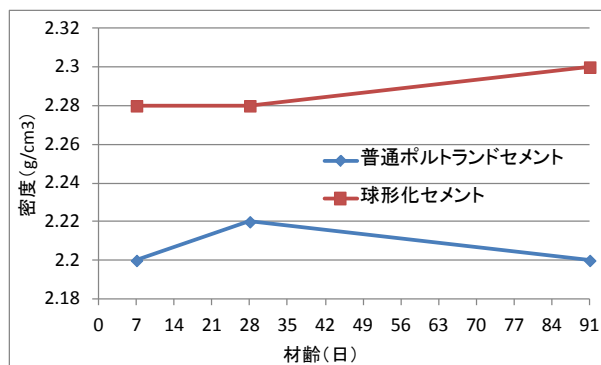


図-2.5 密度試験結果の比較

## 2.2 室内注入試験

### 2.2.1 試験方法

室内注入試験装置の概要を図-2.6に示す。スリット注入試験装置は図-2.7に示すとおりであり、外径138mm、高さ125mm、スリットでの注水孔径は46mm、注水孔から外面への浸透路長は46mmである。スリット注入装置の中央部に図-2.8のスリットを設けた。スリットは中央の注水孔から四方向に切削されており、開口幅は50 $\mu$ mである。試験においては、所定の圧力でグラウトを注入し、スリット外側に透過して落下したグラウトを集めて電子秤で計測した。

試験に用いたグラウトは、水セメント比4:1、分散剤には花王(株)マイティ150を使用し、B型粘度計による事前検討から分散剤を3wt%添加して練り混ぜて作製した。注入圧力は0.3、0.5MPaの2ケースとし、試験開始から終了まで一定圧とした。試験中は攪拌子により圧力容器内のグラウトを攪拌した。

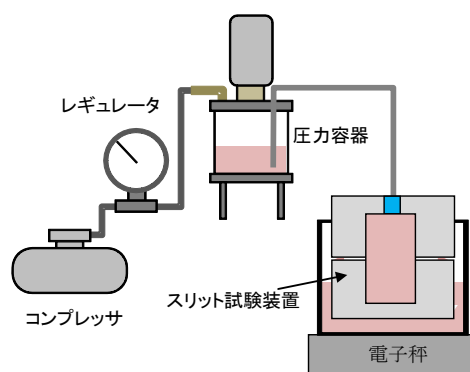


図-2.6 試験装置概要



図-2.7 スリット注入試験装置



図-2.8 スリット

## 2. 2. 2 試験結果

図-2.9 と図-2.10 に室内注入試験における累積透過量を示す。

図-2.9は、水セメント比W/Cが4、注入圧力が0.5MPaの試験結果である。球形化したセメントグラウトの累積透過量の方が、超微粒子セメントの累積透過量よりも大きい。これは、セメント粒子が球形化されたことにより、亀裂への浸透性が向上したことによる影響と考える。

図-2.10 は、水セメント比 W/C が 4、注入圧力が 0.3MPa の試験結果である。図-2.9 の試験条件よりも注入圧力が小さいためグラウトの累積透過量は全体的に少なくなっているが、球形化したセメントグラウトの累積透過量の方が、超微粒子セメントの累積透過量よりも大きい。これは、図-2.9 の結果と同様に、セメント粒子が球形化されたことにより、亀裂への浸透性が向上したことによる影響と考える。

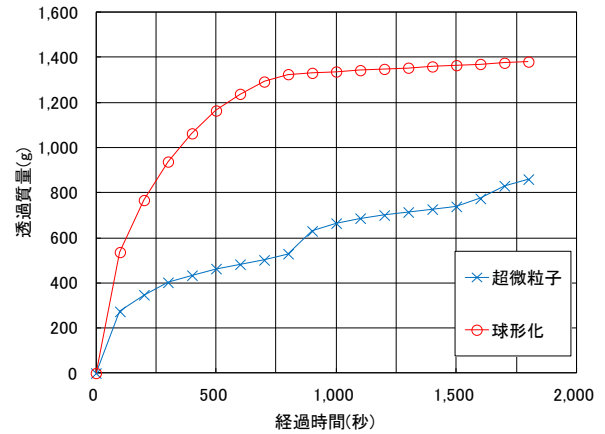


図-2.9 注入試験結果 (W/C=4、注入圧力=0.5MPa)

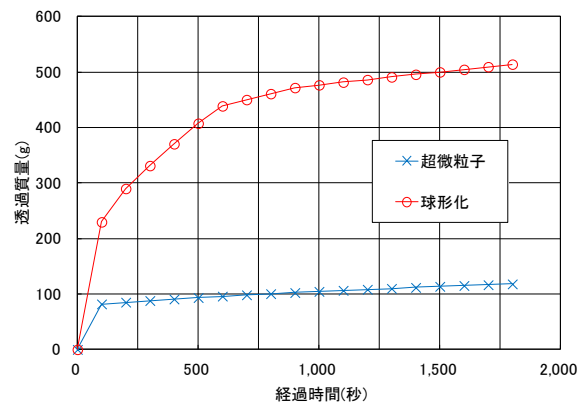


図-2.10 注入試験結果 (W/C=4、注入圧力=0.3MPa)

## 3. まとめ

本研究では、グラウト材料としてのセメント粒子の球形化の検討として、平成 24 年度は溶射法により球形化処理をしたセメントの室内浸透試験および基本物性試験を行った。本研究により以下の成果が得られた。

- 溶射法によりセメント粒子をほぼ完全に球形にすることができた。
- 溶射法により球形化したセメントを使用したモルタルの流動性は、普通ポルトランドセメントを使用した同配合のモルタルよりも良好であり、多様な亀裂への浸透性が期待でき、グラウト材料として良好な性状であった。
- 溶射法により球形化したセメントを使用したモルタルから作製した供試体の一軸圧縮強さは、7日と14日の初期強度は同配合の普通ポルトランドセメントよりも小さくなったものの、十分に固化しており、グラウト材料としては問題ないものと考えている。また、91日強度は球形化したセメントの方が大きくなっており、セメント粒子を球形化することにより供試体が密になったことにより強度が増加したも

のと考えている。

- ・一軸圧縮強度試験に用いた供試体の密度は、球形化したセメントの方が大きくなった。供試体が密で密度が大きいことは、透水性が小さいと考えられ、グラウト材料として良好な性状であると考えている。
- ・溶射法により球形化したセメントの微粒分と、市販の超微粒子セメントを使用して室内注入試験を行った。球形化したセメントグラウトの浸透性は超微粒子セメントよりも良好であった。
- ・本研究で得られた以上の成果から、コストなどの課

題はあるものの、本研究の達成目標であるグラウト材料として浸透性および基本物性が良好なセメント粒子の球形化方法を提案することができた。

#### 参考文献

- 1) (財)国土技術研究センター編集：グラウチング技術基準・同解説、87p.、2003.

## RESEACH ON SPERONIZATION OF CEMENT PARTICLES AS A GROUT MATERIAL

**Abstract** : Cement is a basic material for grouting in dam foundation, but recently in Japan, some dam foundation have difficultiy in improvement of permeability even using ultra-fine cement. Cement particles have nonspherical and irregular shapes. Based on the findings in particle technology, spherical particles can be effectively injected into cracks than nonspherical particles. If the cement particles have spherical shapes, dam foundation grouting will be more effective, so we should try to develop a method to spheronize cement particles.

In the fiscal year 2012, we used the thermal spraying method to spheronize cement particles and they were almost perfectly spheronized. We conducted laboratory grouting tests with 50 $\mu$ m-thick crack model and we found that spheronized cement grout could be injected well. We also conducted flow tests, compression tests and density tests and we found that the spheronized cement had good characteristics as a grout material.

**Key words** : Grout, Cement, Spheronization