# 再生半水石膏を用いた軟弱地盤改良におけるフッ素溶出特性

福岡大学　学生会員　○吉田英史　松崎裕太
福岡大学　正会員　佐藤研一　押方利郎　武下俊宏
ふくおか石膏ボードﾘｻｲｸﾙ研究会　非会員　大山勝寿　森田博史

**1.はじめに**　平成 18 年の環境省からの通達により、安定型最終処分場への廃石膏ボードの埋立が禁止され、紙と石膏に分離して管理型最終処分場に処分することが義務付けられた[1]。この動きに伴う処理費用増加、民間処分場の多くが受入を拒否し、埋立場所を十分に確保できない等の問題から、紙と分離した二水石膏を焼成して得られる再生半水石膏の再利用技術の研究[2),3)]が進められている。しかしながら、有効利用の促進では、再生半水石膏に含有するフッ素の溶出量が土壌環境基準値を上回る場合があることから、フッ素の溶出を抑制させる研究が必要不可欠である。本研究では、昨年度までに半水石膏を用いた地盤改良材としての適用性の検討を行ってきた[4)]。その結果、補助固化材として、高炉セメント B 種を添加することで力学・溶出特性を満足し、締固め材料や地盤改良材として十分に適用出来る知見を得た。そこで本年度は含水比と再生半水石膏添加量に着目し、**図-1** に示すフローチャートに従って、浅層混合処理工法を想定した軟弱地盤の地盤改良材の環境安全性の検討を行った結果について報告する。

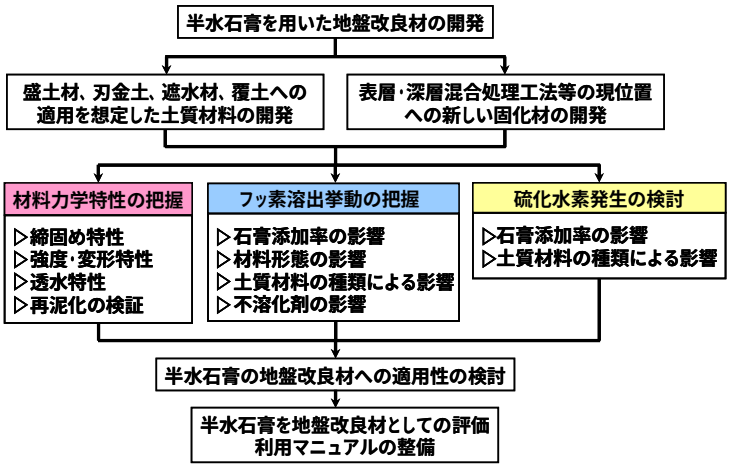


**図-1 本研究のフローチャート**

## 2.実験概要

**2-1　実験に用いた試料**　実験には、土質材料として福岡市内で採取した博多粘土を 2mm ふるいで通過したものを使用した。また、固化材として IH 式半水化装置(焼成温度 125～160℃)で焼成された再生半水石膏、補助固化材として高炉セメント B 種を､助材として石炭灰を使用した。**表-1** に用いた試料単体の溶出試験結果を示す。**表-1** より博多粘土、再生半水石膏、石炭灰自体には、土壌環境基準値を大きく上回るフッ素が含有されていることが分かる。また pH に着目すると、半水石膏は中性固化材としての特徴を示していることが分かる。

**表-1　試料の溶出特性**

| 試料 | 博多粘土 | 再生半水石膏 | 石炭灰 | 土壌環境基準値 |
|---|---|---|---|---|
| pH | 8.08 | 7.46 | 9.93 | - |
| $F^-$(mg/l) | 1.21 | 5.94 | 3.41 | 0.80 |

**表-2　配合条件(高炉セメント B 種添加)**

| 土質材料 | 含水比(%) | 再生半水石膏 ($kg/m^3$) | 高炉セメントB種 ($kg/m^3$) | 養生日数 (day) |
|---|---|---|---|---|
| 博多粘土 | 80<br>100<br>120 | 75<br>150 | 35<br>45<br>55<br>65<br>75 | 7<br>28 |

**表-3　配合条件(高炉セメント B 種+石炭灰添加)**

| 土質材料 | 含水比(%) | 再生半水石膏 ($kg/m^3$) | 高炉セメントB種 ($kg/m^3$) | 石炭灰 ($kg/m^3$) | 養生日数 (day) |
|---|---|---|---|---|---|
| 博多粘土 | 80 | 75 | 40 | 10 | 7 |
| | 100 | 75 | 45 | | |
| | | 150 | 40 | 20 | |
| | 120 | 75 | 50 | | |
| | | 150 | 45 | 30 | |

**2-2　実験方法**　溶出試験用の試料は､**表-2** に示す高炉セメント B 種を添加した際の配合条件、**表-3** に示す石炭灰を添加した際の配合条件で混合した後の試料を養生し、一軸圧縮強度を測定した後の破壊断片を回収したものを使用した。破壊断片をプラスチックハンマーで破砕し、2mm 篩を通過させ、**表-4** に示す溶出条件に従い、環告 46 号法試験に準拠した方法で溶出試験を行った。そして、得られた検液はイオンクロマトグラフにより測定した。

**表-4　溶出条件**

| 試料 | L/S | 振とう時間 | 設定pH |
|---|---|---|---|
| 混合試料 | 10 | 6 | 5.8～6.3 |

## 3.実験結果及び考察

**3-1　高炉セメント B 種添加によるフッ素溶出挙動**　**図-2(a)～(e)**にそれぞれの改良材添加量のフッ素溶出濃度及び pH の関係を示す(色枠はフッ素の土壌環境基準値を示している)。フッ素溶出濃度は、全ての条件においてセメント添加量

が増加するにつれて漸次低下していることがわかる。亀井ら[3]は、高炉セメント B 種の水和反応により生成するエトリンガイトにフッ素イオンを固定させることで、半水石膏からのフッ素の溶出を抑制できる事を報告している。このことから、同様なフッ素溶出抑制効果が発生したと推察できる。また、再生半水石膏添加量に着目すると、再生半水石膏添加量の増加に伴い溶出濃度が増加していることがわかる。これは、先述したように再生半水石膏自体に含まれるフッ素が土壌環境基準値を大きく上回っていることに起因していると考えられる。次に含水比の変化に着目すると、設定含水比が高含水比の条件へと推移するにつれて溶出濃度が減少していることがわかる。**図-2(a),(b)**の条件については、顕著に溶出濃度が低下している値が確認できる。また、養生日数に着目すると、養生 7 日と養生28日は同程度の値を示していることから、改良直後においてフッ素の溶出は抑制され、その後も抑制されることが示唆される。また、pH の値は養生とともに低下している。今後厳しい環境条件下での溶出濃度の変化も検討していく予定である。

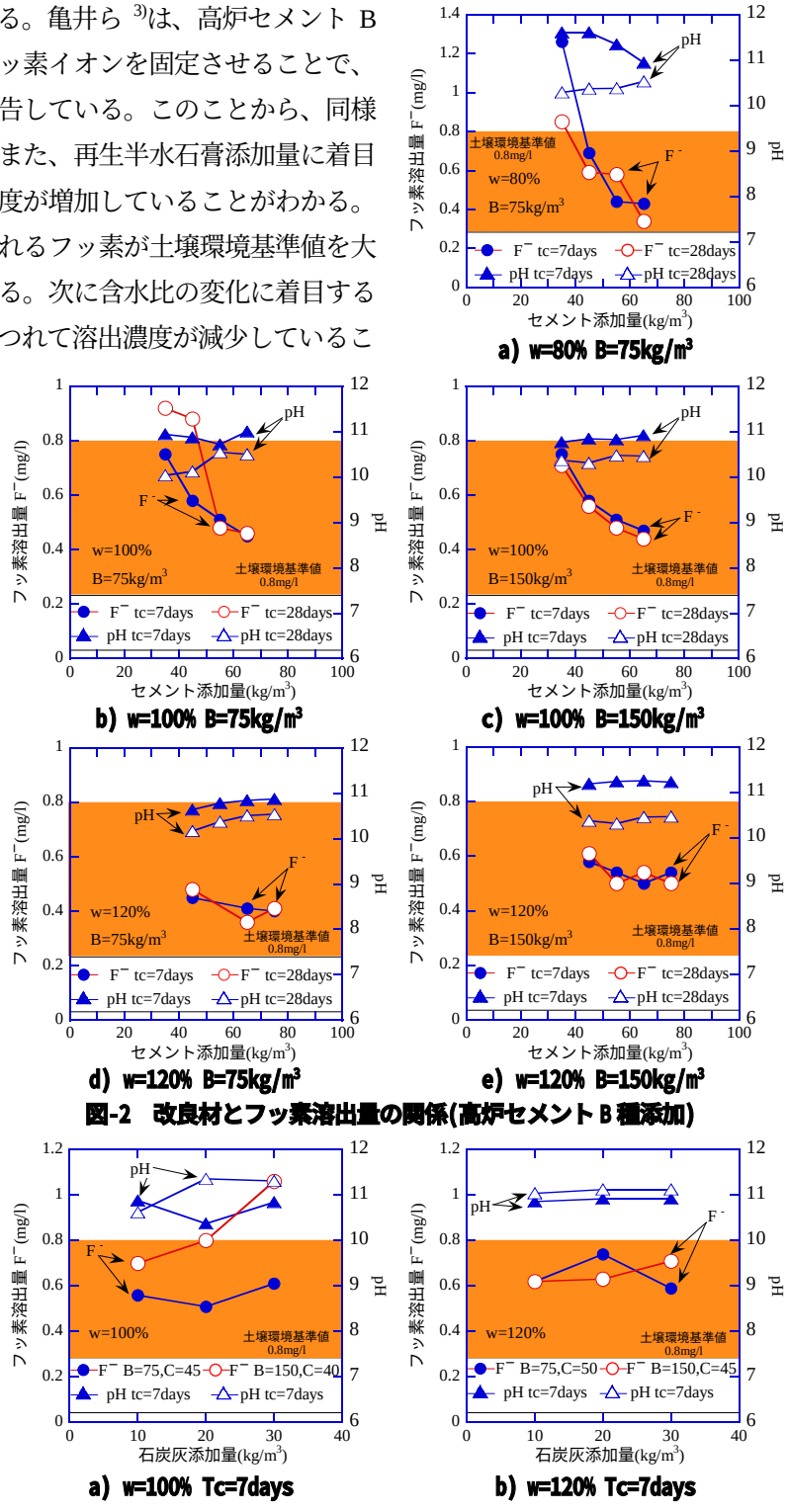


**図-2　改良材とフッ素溶出量の関係(高炉セメント B 種添加)**

## 3-2　石炭灰添加によるフッ素溶出挙動

**図-3(a),(b)**にそれぞれの石膏添加量と含水比の影響によるフッ素溶出濃度と pH の関係を示す。pH に着目すると、石炭灰を添加しても大きな pH の変動は見られず、全ての条件において弱アルカリ性を呈していることがわかる。一方、フッ素溶出濃度については、石炭灰を添加することでフッ素溶出濃度も増加していることがわかる。これは先述したように石炭灰自体に含有しているフッ素による影響であることが考えられる。しかし、フッ素の土壌環境基準値を満足する結果も確認できるため、フッ素が溶出しない石炭灰添加量を定めることで長期的に強度発現効果の望める石炭灰を実地盤にも適用できる可能性があると示唆される。




**図-3　改良材とフッ素溶出量の関係(石炭灰添加)**

## 4. まとめ

再生半水石膏を用いた地盤改良材の環境安全性の検討を行った結果、軟弱地盤を想定した際のフッ素溶出濃度は、再生半水石膏添加量と含水比が大きく影響することが判明した。また、水密性と長期強度発現効果を有する石炭灰の利用可能性も示した。今後、再生半水石膏を用いた地盤改良材からの硫化水素ガス発生特性についても検討していく予定である。

謝辞　本研究は、環境省平成 21 年度循環型社会形成推進科学研究費(No.K2144)および文部科学省化学研究費(No.21560527)の一部として実施された研究である。関係各位に心より感謝申し上げます。

【参考文献】1) 社団法人石膏ボード工業会、http://www.gypsumboard-a.or.jp/index.shtml 2) 亀井ら:半水石膏の地盤改良材としての有効利用，地盤工学ジャーナル，vol.2, No.3, pp.245-252, 2007. 3) 亀井ら;高炉セメント B 種による半水石膏のフッ素不溶化技術の開発，地盤工学ジャーナル, vol.4, No.1, pp.91-98 2007. 4) 佐藤ら：再生半水石膏を用いた地盤改良効果と環境安全性の検討，第 9 回地盤改良シンポジウム論文集，pp.81-86, 2010 年