

廃石膏ボードから再生した半水石膏の地盤改良材としての有効利用

Effective Use of Bassanite Produced from Waste Plasterboard as Soil Improvement Materials

亀井 健 史 (かめい たけし)

島根大学大学院 マテリアル創成工学専攻

鵜飼 恵 三 (うがい けいぞう)

群馬大学大学院 社会環境デザイン工学専攻

珠 玖 隆 行 (しゆく たかゆき)

(株)大本組

1. はじめに

石膏ボード(写真-1)は、石膏を芯材として両面を石膏ボード用原紙で被覆成型した建築用内装材料で、耐火性、遮音性、寸法安定性、断熱性等の特長を有しており、経済的にも低廉なことから建築物の壁・天井に広く用いられている。そのため、国際的に最も使いやすい建築基礎資材となっており、石膏ボードの生産販売量は年々増加している。一方、石膏ボード廃材(廃石膏ボード)に関しては、今後、建築物の解体等の増加に伴って排出量の莫大な増加が予測されている。石膏ボード工業会は、2005年には138万tの廃石膏ボードが排出されているのに対し、2010年には176万tに急増するとの推計を報告している¹⁾。

廃石膏ボードは、排出プロセスと排出時の形状の違いから、製造時廃材、新築時廃材、解体時廃材の三つに区分されている(図-1)。製造時廃材に関しては全量回収・再利用が実施され、新築時廃材に関しても分別・回収ルートがある程度確立している。しかしながら、解体時廃材に関しては、解体時の分別・選別の困難性、リサイクル市場の不足等から、大部分は埋立て処分されているのが現状である。一方、国内では毎年、約4億5千万tという膨大な量の廃棄物が発生しているため、産業廃棄物の最終処分場の残余年数は全国で約4年、首都圏で約1年という状況にあり、最終処分場の残余容量の逼迫など深刻な状況が続いている。さらに廃石膏ボードは、その埋立て層内において石膏ボードの紙と土中のバクテリア(硫酸塩還元菌など)とが関与して、有害な硫化水素(H_2S)の発生が懸念されることから、中間処理業によって紙と石膏に分離した後、ともに管理型処分場へ廃棄処分することが義務付けられている。そのため、廃石膏ボードの処分コストは今後莫大なものになると考えられる。

したがって、これまでの大量廃棄型社会から循環型社会に転換していくためにも、廃石膏ボードの埋立て処分に替わる再資源化の探求および多量に用いる新しい用途開発が今後の最優先課題であろう。以上のことを鑑み、本研究では、廃石膏ボードを大量に消費できる地盤工学分野の特徴を生かし、地盤改良材としての半水石膏の有効利用に着目し、その適用性・有効性について検討して



写真-1 廃石膏ボードの概観

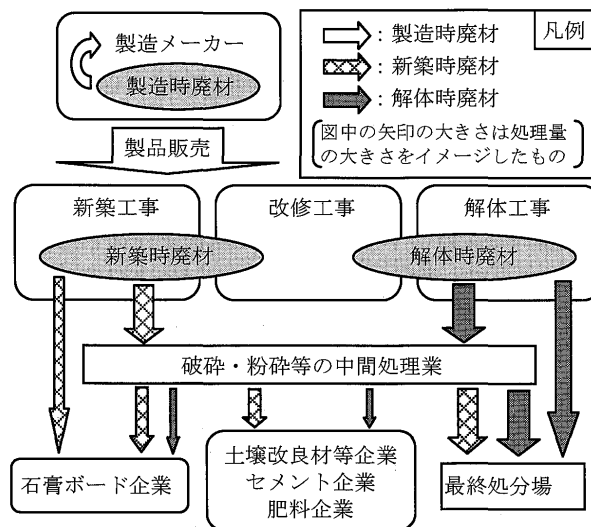


図-1 廃石膏ボードの処理フロー²⁾

いる。本稿ではまず、石膏の基本的な性質と廃石膏ボードの新しい処理フローを簡単に紹介した上で、廃石膏ボードから再生された半水石膏を添加したセメント安定処理土の一軸圧縮強さ特性と添加率との関係、さらにはその支配要因について述べる。

2. 石膏の性質

石膏とは、硫酸カルシウム(CaSO_4)の化学組成をもつ鉱物の総称であり、石膏ボードに用いられている石膏は、2分子の結晶水をもつことから二水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)と呼ばれている。この二水石膏を $120^\circ\text{C} \sim 150^\circ\text{C}$ で加熱すると、結晶水の分子全体の $3/2$ を失って半水石膏(別名、焼石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$))になる(なお、 200°C 以上の加熱では、無水石膏(CaSO_4)となる)。

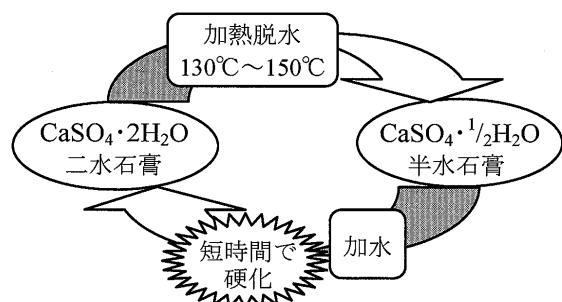


図-2 半水石膏の再生

この半水石膏は、水を加えると水和反応を起こし二水石膏に変化するが、その際に短時間で硬化するという性質を有している（図-2）。このような吸水に伴う硬化作用が地盤改良材として期待されており、これまで、半水石膏と適量の水と軟弱粘土・火山灰土・有機質土を混合すると硬化することが室内試験結果から確認されている。また、石膏は中性無害であり、従来使用されてきた強アルカリの石灰やセメント系固材に比べ、環境にやさしい地盤改良材といえる。

3. 廃石膏ボードの新しい処理

先述したように、建設・建築現場で排出された廃石膏ボードは、中間処理業者によって紙と石膏に分離され、一部は肥料やセメント原料にリサイクルされているものの、そのほとんどが産業廃棄物として最終処分されている。しかしながら最近では、廃石膏を地盤改良材として大量に有効利用できる道が開拓されたため、細粒化した廃石膏を半水石膏化する加熱処理装置等が開発されてきており、これまでの最終処分主体の処理フロー（図-1）に替わる新しい処理フローの構築が期待されている（図-3）。なお、廃石膏ボードから分離される紙は現在処分場で焼却されているが、今後は、①紙を炭化して環境用資材として利用する、②紙を盛土補強材にすることなど、広範な用途が考えられている。本研究は、廃石膏ボードを100%資源化することを最終目標にした研究の一部であり、環境面からの重要性だけでなく、新しい産業の育成の面からも重要である。再資源化という言葉どおり、半水石膏は材料としての価値が創出され、この廃石膏ボードの再資源化事業が完成すると、年間500億円規模の産業になると試算される。

4. 半水石膏のセメント安定処理土への適用

4.1 試料・配合条件

本研究では、高含水比であり、かつ多量の安定剤の添加を必要とする粘性土の改良を目的として、浅層・深層地盤の両方を対象としているセメント安定処理土に着目した。そのふり分析による粒径加積曲線を図-4に、基本的な物理特性を表-1⁴⁾に示す。安定材としては、全セメント生産量の90%を占め、セメント安定処理に多く利用されている普通ポルトランドセメントを使用し、粘土試料には成分調整された工業製品のMCクレー（ $\rho_s = 2.697 \text{ Mg/m}^3$, 砂分0.0%, シルト分35.3%, 粘土

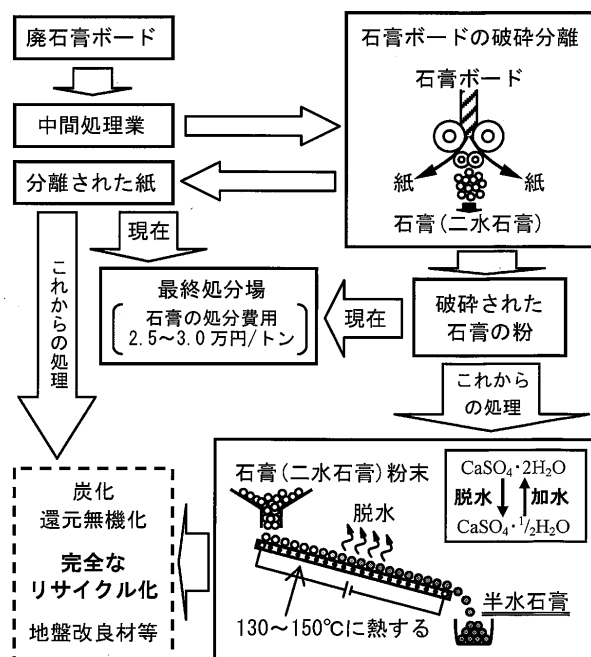
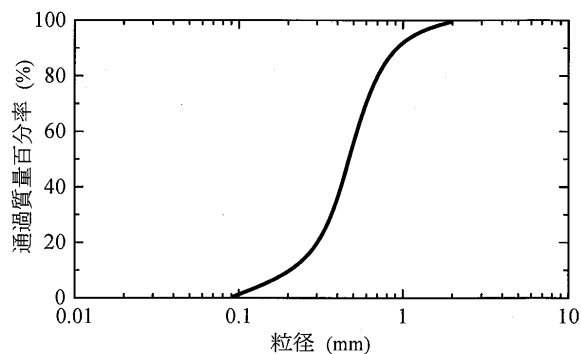
図-3 廃石膏ボードの新しい処理フロー³⁾

図-4 半水石膏の粒径加積曲線

表-1 半水石膏の物理的特性

ρ_s (Mg/m^3)	D_{10} (mm)	D_{30} (mm)	D_{50} (mm)	D_{60} (mm)	均等係数 U_c	曲率係数 $U_{c'}$
2.640	0.220	0.370	0.500	0.600	2.73	1.04

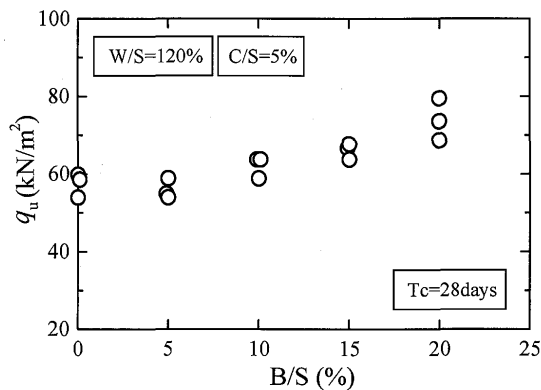
分64.7%)を使用した。また、供試体作製時に必要な混練水には、水質の違いによる強度発現への影響が最も少ないと考えられる蒸留水を使用した。

配合条件は、含水比（W/S）=120%の軟弱粘性土を想定した試料に対して、セメント添加量（C/S）を5%に固定し、半水石膏添加率（B/S）=0, 5, 10, 15, 20の計5配合を設定した。以上の配合条件下で、安定処理土の締固めを行わない供試体作製方法に準じて、セメント安定処理土供試体を作製した⁵⁾。その後28日養生した供試体に対して一軸圧縮試験を行った。

4.2 一軸圧縮強さ

一軸圧縮強さ（ q_u ）と半水石膏添加率（B/S）の関係を図-5に示す。なお、図中には各配合に対して作製し

論文



図一五 一軸圧縮強さと半水石膏添加率の関係

た3供試体から得られた一軸圧縮試験結果をプロットしている。B/S=0%, 5%では q_u 値は60 kN/m²程度で、ほぼ同程度の値を示しているが、その後 q_u 値はB/Sの増大に伴って増加し、B/S=20%では q_u =70~80 kN/m²程度にまで増加した。

4.3 含水比

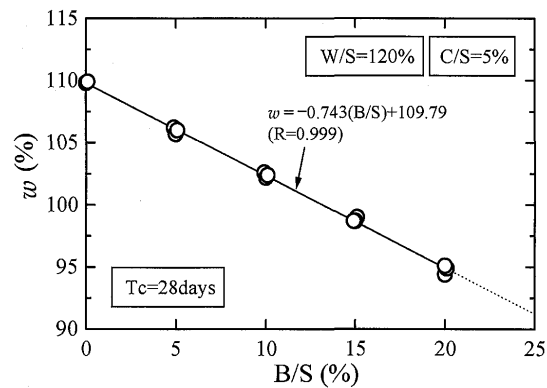
養生28日における含水比(w)と半水石膏添加率(B/S)の関係を示す(図一六)。図より w 値は、B/Sの増加に伴って高い相関性をもって直線的に減少することがわかる。この w 値が減少する主要因としては、半水石膏の二水石膏化に伴う吸水作用による絶対的な水分量の減少によるものと推定できる。このように、半水石膏の添加により含水比が大きく減少することから、半水石膏は、高含水比の地盤改良に適した地盤改良材といえる。

4.4 乾燥密度

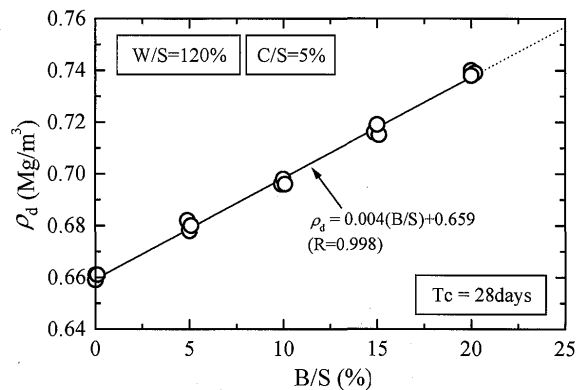
乾燥密度(ρ_d)と半水石膏添加率(B/S)の関係を図一七に示す。図より、 ρ_d 値はB/Sの増加に伴って高い相関性をもって直線的に増加していくことがわかる。このような乾燥密度が増加する主要因として、図一六に示したように、B/Sの増加に伴う w 値の減少が考えられる。

5. おわりに

廃石膏ボードの地盤改良材としての有効性を検討するため、石膏ボードから得られる半水石膏を種々の添加率で添加したセメント安定処理土供試体に対して一軸圧縮試験を実施した。その結果、半水石膏の添加率の増加に伴って一軸圧縮強さが増加することが明らかとなった。この主要因として、供試体の含水比が直線的に減少し、乾燥密度が直線的に増加しているユニークな関係が実証された。以上のことから、廃石膏ボードから得られる半水石膏粉末は、中性無害であり地球環境にやさしい地盤



図一六 含水比と半水石膏添加率の関係



図一七 乾燥密度と半水石膏添加率の関係

材料として将来有効利用できる可能性が示唆された。

今後は、半水石膏を地盤改良材として積極的に有効利用していくために、配合条件や試験条件を種々に変化させた実験を多数実施し、廃石膏ボードの再利用に関する地盤工学的設計手法の体系化と環境への影響を考慮した実務に適用可能な総合的な設計体系を構築していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 鈔石膏ボード工業会：石膏ボード排出量の推計（1996～2013）。
- 2) 廃石膏ボードのリサイクルの推進に関する検討委員会：廃石膏ボードのリサイクルの推進に関する検討調査，環境省，pp. 11～12, 2003。
- 3) 高橋重剛・樋口邦弘・関 晴夫・鵜飼恵三：廃石膏ボードを用いた改良土によるため池改修の試み，第57回農業土木学会関東支部大会，pp. 1～4, 2006。
- 4) 無機マテリアル学会：セメント・石膏・石灰ハンドブック，技報堂，750p. 1995。
- 5) 鈔地盤工学会：土質試験の方法と解説，安定処理土の締固めをしない供試体作製，pp. 225～262, 1990。

(原稿受理 2007.4.11)