

第1回 地盤改良材を中心とした廃石膏ボードの再資源化に関する 研究委員会 議事録

■日 時：2010年12月7日（火）13時30分～16時45分

■場 所：（社）地盤工学会関東支部 東京都文京区千石

■出席者：（16名）[敬称略]

[群馬大学] 鵜飼恵三、[大林組] 井出一貴、[国土交通省] 稲垣 孝、[東京大学] 古関潤一、
[ピーエス三菱] 佐伯博之、[国立環境研究所] 肴倉宏史、[戸田建設] 佐野大作、
[黒岩測量事務所] 樋口邦弘、[日工] 蓬萊秀人、[フジエンジニアリング] 松田哲夫、
[太平洋セメント] 松山祐介、[東亜建設工業] 森澤友博、
[石膏ボード工業会] 山崎良一郎、宮谷賢治、
[デイ・シイ]（事務局）上平謙二、小林正樹

■配布資料

1-1『平成21年度 廃石膏ボードの再資源化促進方策検討業務 調査報告書』

【議事要旨】

(1) 鵜飼委員長より挨拶と本委員会の設立趣意説明がなされた。

(2) 自己紹介（出席委員）

(3) 委員による情報話題提供（MSパワーポイントで発表）

- ・デイシイ社 小林正樹【廃石膏ボードの現状】
- ・日工社 蓬萊秀人【リサイクル石膏のフッ素不溶化技術の概要】
- ・国立環境研究所 肴倉宏史
【国立環境研究所における廃石膏ボード・再生石膏研究】
- ・黒岩測量設計事務所 樋口邦弘
【半水石膏による地盤改良例 ー群馬県内における事例ー】
- ・群馬大学 鵜飼恵三委員長
【地盤改良材を中心とした廃石膏ボードの再資源化 ー研究と実用化ー】

(4) 今後の委員会の進め方について

活動方針およびその具体的な進め方についてディスカッションを行ない、概ね、以下のよう
な方針となった。

- ・この委員会は『地盤改良材を中心とした廃石膏ボードの再資源化に関する』適応条件や適
用範囲を検討し、明確にすするとともに、規準あるいはマニュアル的な資料作りを目標と
する事とした。
- ・来年度以降の委員会開催は1～2回/年を予定する。今年度はこの会で終了。
- ・来年2月頃に群馬県内で施工の地盤改良現場を見学し現地検討会を実施する。
- ・具体的な検討を行うにあたり、今後、検討グループを立ち上げることも検討する。これに
ついては、委員長と事務局に一任いただいた。

(5) その他

次回開催予定〔2011年2月頃に現場見学会にて見学および現地検討会〕

以 上

廃石膏ボードの現状

【地盤工学会 地盤改良材を中心とした廃石膏ボードの再資源化に関する研究委員会】

〔発表資料〕

株式会社デイ・シイ

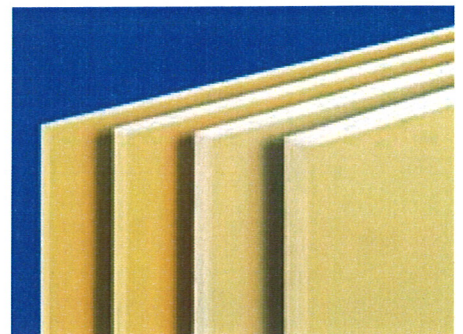
小林 正樹

●石膏ボード

- ・石膏ボードは 1895 年アメリカで発明され、1902 年に工業的に生産されるようになった建築材料、日本では 1921 年に製造が開始された。
- ・国内の製造メーカーは 2 社に集約。(業界：国内 11 社 23 工場)
〔吉野石膏 株式会社〕〔チヨダウーテ 株式会社〕
- ・石膏を芯材として両面をボード用原紙で被覆し、板状に成形したもの。
- ・火に強い、音を通しにくい、狂わない、気密性・断熱性が得られる

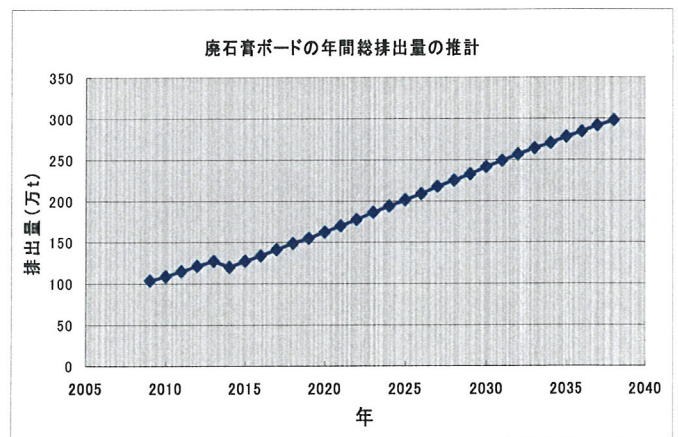
●石膏ボードの製造

- ・国内生産量は 1997 年に約 7 億 m^3 のピークを迎え、現在は約 5 億 m^3 で横ばい。
- ・製造は、【焼成】→【成型】→【乾燥】の工程。
- ・原料は、【副産石膏：約 60%】【天然石膏：約 35%】
【廃ボード石膏：約 5%】【廃ダンボール】
【廃新聞紙】



●廃石膏ボードのリサイクル状況

- ・廃石膏ボードを処理する場合の処理費用
(平成 19 年 9 月時点 工業会調査)
新築系：10,000 円/t
解体系：15,000 円/t
- ・廃石膏ボードのリサイクル実績
石膏ボード原料用・・・3 万 t/年
土壌固化材用・・・数万 t/年



●廃石膏ボード処理上の留意点

- ・硫化水素の発生：保管時等で一定の条件が揃った場合に硫化水素の発生が起るため、環境安全性の管理を徹底する必要がある。
- ・有害物質の含有、溶出：フッ素、砒素、カドミウム等のモニタリングを行い、必要に応じ管理が必要。

●今後の課題と目標

今後、解体系を中心として、膨大な廃石膏ボードが排出されることが予想されるが、現状では大量にリサイクルできる用途がない。

廃石膏ボードを地盤改良材としてリサイクルすることは喫緊の課題であり、技術と施工方法の確立、法の整備は急務であると考えます。

リサイクル石膏のフッ素不溶化技術の概要

平成 22 年 12 月 7 日

日工株式会社

蓬莱

石膏ボードの年間生産量は 500 万 t を上回っており、その原材料の半分以上が化学石膏と呼ばれる排煙脱硫石膏が使用されている。排煙脱硫石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) は石炭焚き火力発電所などで石炭が燃焼するのに伴い生成する有害な硫黄酸化物 (SO_x) を消石灰 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) で中和することにより得られる。これと同時に、石炭に含まれる微量のフッ素化合物が石炭の燃焼により有害なフッ化水素 (HF) を生成し、これが硫黄酸化物と共に消石灰で中和されフッ化カルシウム (CaF_2) を生成する。このようにして微量のフッ化カルシウムが排煙脱硫石膏に混入することになる。フッ化カルシウムは石膏ボードに混入して建築物の内装材として使用される限りでは人畜無害である。しかしながら、廃石膏ボードから紙と石膏粉とに分別して、この石膏粉をリサイクル石膏として土壌の改良材などにリサイクルした場合、地下水や雨水の影響を受けてフッ素が溶出し、土壌の環境基準である 0.8 mg/l を超過する場合がある。したがって、土壌の改良材として廃石膏ボードをリサイクルする場合このフッ素の溶出を物理的ならびに化学的処置により不溶化する必要がある。

本フッ素不溶化技術は、廃石膏ボードから製造した半水石膏に少量の高炉セメント B 種を添加して土壌のセメント安定処理材として使用することにより、それらの化学成分であるアルミナ (Al_2O_3)・酸化カルシウム (CaO)・石膏 (CaSO_4) とが化学反応を起こしてエトリンサイト ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$) を生成することを実験により明らかにしている。さらにこのことが、土壌の強度発現とフッ素の不溶化に密接な関係があることを示している。エトリンサイトの生成とフッ素不溶化の関係は、まず、走査型電子顕微鏡 (SEM) によりエトリンサイトの存在を可視化することにより確認し、さらに粉末 X 線回折により、エトリンサイト生成量とフッ素溶出濃度との間に密接な相関関係があることを明らかにしている。実験では、高炉セメント B 種を 5% 添加することにより、エトリンサイトが生成され半水石膏添加率 10~40% のセメント安定処理土からのフッ素溶出濃度は土壌の環境基準である 0.8 mg/l を大きく下回ることを報告している。

さらに、エトリンサイトの生成量は化学成分のアルミナ量に支配されることを化学当量式より導き出し、アルミナを豊富に含んでいる産業副産物である石炭灰を添加することにより、エトリンサイトの生成量が増大しフッ素不溶化に有効であることを明らかにしている。これにより、高炉セメント B 種の添加率を 2.5% まで減じることが可能であるとしている。また、これらのことは、エトリンサイトがフッ素イオン (F^-) を、水酸基 (OH^-) や硫酸基 (SO_4^{2-}) と置換してエトリンサイト内部に取り込むためであると考えられる。

以上。

「国立環境研究所における廃石膏ボード・再生石膏研究」

(独)国立環境研究所 肴倉宏史・遠藤和人

以下の内容についてプレゼンテーションを行った。

はじめに、「廃石膏ボードリサイクルの必要性」「建設系混合廃棄物不法投棄現場」「諸外国の廃石膏ボードリサイクル」「廃石膏ボードリサイクルの問題」について概要を述べた。

次に、多量の硫化水素が発生する条件を挟み、国環研での研究について紹介を行った。具体的には、次の2つを紹介した。

- 平成14～17年「安定型最終処分場における高濃度硫化水素発生の解明ならびにその環境汚染防止対策に関する研究」(本研究成果は、平成18年6月1日付け「廃棄物処理施行令の安定型廃棄物の範囲(通知)」に反映)
- 平成21～22年「廃石膏ボードの再利用技術システムの構築に関する研究」

研究の具体内容として、硫化水素ガス発生試験について紹介した。バイアル瓶による培養試験であり、砂質土、沖積粘土、関東ロームにおけるガス発生実験結果を示した。

続いて、「再生石膏を用いた改良土からのフッ素溶出挙動に関する基礎的研究」(2010年8月地盤工学研究発表会での発表)を紹介した。主な結果は下記の通りである。

- 環告46号試験結果への風乾方法による影響は見られなかった。
- 石膏飽和溶液中のF⁻溶解度は約1.0mg/Lであるが、環告46号試験結果はいずれもこれを上回っていた。
- F⁻濃度は酸性側で上昇するが、アルカリ性側では大きな変化は無かった。
- まさ土との混合でF⁻の溶出に遅れ？が見られた。
- 石膏中のFは主にCaと結合、一部CaおよびPと粒子を構成している。

最後に、再生石膏混合材料を含めた再生製品の利用促進に向けて考え方を紹介した。すなわち、安全面でややグレーゾーンの材料は数多いことから、サイト概念モデルや新しい埋立類型の構築が必要であるとの考え方である。石膏自体は有用な資源であり、基幹産業の

副産物でもあることから、有効利用の促進を図り、安全性のみの確保ではなく、経済性の確保をみつつ、最適解を見つけていくことが必要であることを述べた。

以上

話題発表：半水石膏による地盤改良例 ー群馬県内における事例ー

(株)黒岩測量設計事務所 樋口 邦弘

群馬県内では右図に示すように半水石膏を用いた地盤改良事例が室内試験実施中の実施例を含めて 4 件ある。

群馬県で最初の事例は軟弱地盤の路床改良で、県道の碎石置換工法による路床改良工事箇所の一部区間においてに半水石膏をスタビライザーで攪拌する地盤改良を試験施工として取り入れた。施工後 5 年経過した現在においても良好な道路が保たれている。

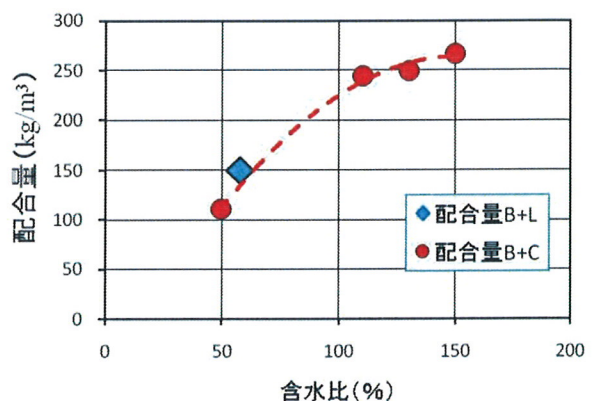
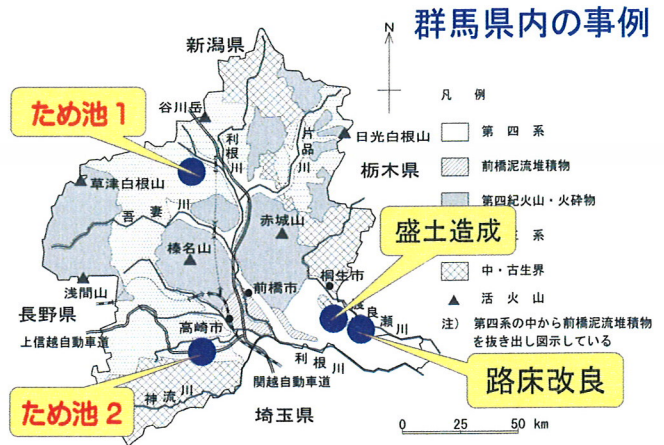
盛土造成工事では、谷部に堆積した軟弱地盤を改良し、その上に高盛土が造成されてほぼ 1 年が経過しようとしている。

老朽ため池における県北部と県南部の 2 箇所半水石膏を用いた堤体改修事例がある。

県北部の老朽ため池 1 件は堤高 4.2m、堤頂 20m、堤体積 700m³ の小規模な老朽ため池で、既存の堤体土とため池内の堆積土を基に半水石膏に石灰系改良材を添加して右の写真に示すように新に均一型の堤体を構築した。この改良土に対してボーリングで採取したコアを用いてフッ素の溶出量試験、およびボーリング孔内の硫化水素濃度の試験を行った結果、フッ素は 0.2mg/L または 0.1mg/L 以下で基準値 0.8mg/L を下回り、硫化水素はガスクロマトグラフ法で 0.001ppm 以下の測定値を示し、安全性を確認した。この均一型の堤体は完成後 3 年を経過している。

県南部の老朽ため池の 2 例目は、堤体土とため池内の堆積土についてそれぞれ室内配合試験を実施しているところであり、半水石膏の不溶化対策として高炉セメントを添加することになっている。

老朽ため池で実施した室内配合試験による土質材料の含水比と半水石膏（添加剤を含む）の配合量の関係の一例を右図に示す。同図の記号 B は半水石膏、L は石灰系改良材、C は高炉セメントを示す。ただし、同図における B:L の割合および B:C の割合が異なっており、点線のような単純な関係にあるとは言い難いが、参考として提示した。



以上

■趣旨

リサイクルできない廃石膏ボードは、2006 年度から管理型処分場に埋立処分せねばならなくなっていますが、処分費用の高騰による不法投棄の恐れが高まっているとも言われており、社会的な対策が急がれています。廃石膏ボードは現在年間 110 万トン排出されていますが、石膏ボードの生産量は年間 500 万トンに達しており、今後廃石膏ボードの排出量が顕著に増加すると予測されています。このため再資源化のための用途とその技術開発が急務になっています。そのひとつとして、廃石膏ボードから資源回収される再生石膏の地盤改良材としての用途が注目されており、地盤改良土としての十分な強度発現や改良土の周辺環境への影響について物理的、化学的に検討して、実用的で安全な改良技術を確立することが必要になっています。廃石膏ボードを地盤改良材として大量に再資源化する道が開かれれば、循環型社会構築の一助となり、環境面と産業面において大きな社会的貢献が期待されます。以上のような背景のもと、本研究委員会では、再生石膏の地盤改良材としての安全性と用途開拓を中心に調査・研究を行います。加えて、他の実用的で経済的な再利用方法についても検討を行います。

■本研究委員会の目的と意義

(目的) 再生半水石膏の地盤改良材としての安全性と用途開拓を中心に調査・研究を行う。加えて、他の実用的で経済的な再利用方法についても検討を行う。

(意義) 管理型処分場へ投棄が義務付けられている大量の廃石膏ボードを再資源化することで、廃棄物のリサイクル化と社会的コストの大幅な削減を実現することができる。

■半水石膏を地盤改良に用いるときの設計、施工法の一私案

1.高炉セメントを添加材とする。 2.対象土に対する室内試験を行う。設計規準(力学(強度・変形)、環境規準(溶出、含有))を満足し、経済合理性を持つ、配合比(セメント/半水)と添加量を決定。 3.施工前にセメントと半水を混合し、現場でこれらを土と混合・締め固め施工。力学規準を満足することを現場で確認。⇒満足しないときの対応策を検討しておく。 4.工事終了後、環境モニタリングをある期間継続的に実施。環境規準を満足することを確認。⇒満足しないときの対応策を検討しておく

■まとめ

1. 廃石膏ボードの再資源化は緊急の社会的課題
2. 熱処理して再生半水石膏にし、地盤改良に利用するのが最適。利用量も多くなる。
3. 廃棄物の再利用は社会的に有意義であるが、コストが合わないと、役所も建設会社も受け入れてくれない。再生半水石膏の価格を低くする努力が必要。
4. 再生半水石膏を安くするには、解体現場からの廃ボード収集⇒石膏と紙の分離⇒石膏の半水化、の過程を一つの業者で請け負うシステムにするなど、価格を下げる努力が必要。それぞれの過程で利益を出そうとする仕組みは割高になる。
5. 廃棄物リサイクルは、輸送コストを減らすために、地産地消が必須。地域内で処理するシステムを作る必要がある。
6. 具体的な事例に即した環境基準の見直しが必要