

学 位 論 文 の 要 旨

Ground improvement design using recycled bassanite
再生半水石膏を用いた地盤改良に関する実務設計法の提案

氏 名 小 林 正 樹 印

Annual amounts of gypsum waste plasterboards being disposed are increasing every year in Japan. Annual amounts are expected to reach 2.5 million tons in 30 years, and we are expected to enter a period in which large amounts of waste plasterboard are disposed. However, because components used in the production of waste plasterboard can generate hydrogen sulfide under certain conditions, disposing of waste plasterboard in traditional treatment facilities was prohibited since June 2006. Currently, it must either be recycled in the production of additional plasterboard or used in some construction materials, while the majority is buried in the controlled waste disposal sites. This creates a large obstacle for reductions in final disposal amounts, an important goal for the creation of a recycling-oriented society, and rising costs in the price of disposal raise fears of unlawful dumping.

The main reasons that recycling has not progressed are as follows: 1. Quality assurance for usage is still undeveloped; 2. Because plasterboard itself contains small amounts of toxic substances, there are fears that reusing waste plasterboard will pollute the environment; 3. Technologies that prevent the generation of toxic substances during use have not been verified; 4. The construction of a recycling system for use is lagging behind. In other words, use in applications such as soil stabilization has not been verified from a technological or safety standpoint. The establishment of a system flow for the sustainable use of waste plasterboard presents an immediate challenge. This study aims to construct the foundations of waste plasterboard recycling by examining the development of technologies to recycle waste plasterboard as a soil stabilizing material in terms of geotechnical engineering and environmental engineering. We then applied this research to actual soil stabilization project.

In terms of geotechnical engineering, using soil with high water content from an actual soil improvement site as a sample, we constructed a specimen of improved soil by adding blast-furnace slag cement type B and lime to recycled bassanite manufactured from waste plasterboard, and then assessed a variety of mechanical properties. The results showed that the combination of recycled bassanite and blast-furnace slag cement type B produced a comprehensively good result, and that this improved unconfined compressive strength. The results indicated that unconfined compressive strength improved with additional amounts of bassanite, seen especially clearly for soil with high water content. The main cause for this was the generation of ettringite as a result of alumina and calcium oxide, components of blast-furnace slag cement type B, reacting with the plasterboard. In terms of environmental engineering, we verified the

suppression of the elution of fluorine compounds contained in the waste plasterboard. The major fluorine compound found in waste plasterboard is calcium fluoride. When using recycled bassanite manufactured from waste plasterboard as a soil stabilizer material, this calcium fluoride may elute from the material and exceed more than soil environmental standards in Japan. In this study, we monitored on-site construction with the thought that by creating a soil stabilizer material by combining recycled bassanite and blast-furnace slag cement type B, this could effectively suppress fluorine compound elution.

In this study, using X-ray diffraction analysis and a scanning electron microscope (SEM) on ettringite generated in the improved soil, we demonstrated that this mineral increased the strength of improved soil while suppressing the elution of fluorine compounds and the generation of hydrogen sulfide gas. In other words, we showed that increasing the generation of ettringite is effective when using recycled bassanite manufactured from waste plasterboard as a soil stabilizer material from both a geotechnical engineering and environmental engineering standpoint.

We also examined and proposed design modifications for soil improvement and a concrete design method related to soil stabilizer material using locally produced, locally consumed recycled bassanite in actual construction. By introducing some logical considerations into existing design methods, we can reduce the economic burden while realizing the development of methods for the use of recycled materials more effectively than current methods, both from an environmental and economic standpoint of view. When using recycled bassanite to improve weal roadway subgrade soil, as with normal soil improvement, while following standards for road surfaces we introduced the following paradigm and modified designs: “with the aim of forming capital for a recycling-oriented society, strive to promote the use of recycled materials and promote the use of recycled resources as well as materials generated in other products and industries”. By introducing the logical considerations proposed here, we can reduce the economic burden while realizing the development of methods for the use of recycled materials more effectively than current methods, both from an environmental and economic standpoint. In other words, this allows us to secure geotechnical engineering performance and environmental engineering safety at costs equal to or lower than existing products.

As with other recyclable resources, transit costs present an issue in terms of increasing costs. In order to construct an optimized recycling system for waste plasterboard, we must construct and design a system for a regional circulation zone for local production and local consumption. By utilizing funds that would flow out to other prefectures within Gunma prefecture, we can reduce losses both in financial capital and human resources. As this increases the added value of waste plasterboard, it also helps control unlawful dumping.

In addition, we must construct a system to advance operations as a business. In the future, we must advance the creation of a system to promote use together with users and government.

廃石膏ボードの年排出量は年々増加する傾向であり、30年後には250万トンになると予測されており、廃石膏ボードの大量廃棄時代が来ることが予想される。ところが廃石膏ボードは製品に使われている成分により、一定の条件下では硫化水素が発生するという性質があることから、平成18年6月に安定型処分場への持ち込みが全面禁止となり、石膏ボード製品への再利用や一部の建設土木資材等への利用があるのみであり、大部分は管理型処分場への埋立処分のみ現状である。このことは、循環型社会形成

の重要な考えである最終処分量の削減に対する大きな障害を作り、他方では処分費用の高騰による不法投棄の恐れを増大させている。

再資源化が進展していない主な理由は、①用途に対する品質保証が未整備なこと、②石膏ボード自体に微量の有害物質が含まれていることから廃石膏ボードを再利用すると環境汚染が懸念されること、③利用の際に有害物質の発生を防止する技術検証がなされていないこと、④利用に関しての再資源化システムの構築が遅れていることである。即ち、地盤改良等で利用する場合の技術面と安全面の検証がなされていないためである。廃石膏ボードの持続可能なシステムフロー形成は緊急の課題となっている。そこで本研究論文では廃石膏ボードリサイクルの基盤構築を目指して廃石膏ボードを地盤改良材として再資源化する技術の開発を地盤工学的側面と環境工学的側面から検討し、実際の地盤改良工事に適応させた研究をおこなった。

地盤工学的側面からは、実際の地盤改良現場の高含水土壌を試験材料として、これに廃石膏ボードから製造した再生半水石膏とB種高炉セメントおよび生石灰を添加して改良土の供試体を作成して各種力学特性の評価を行った。その結果、再生半水石膏とB種高炉セメントとの組み合わせが総合的に良い結果となり、一軸圧縮強さの改善が認められた。一軸圧縮強さは半水石膏の添加量を増量させるほどその強度は増加し、これは対象土壌の含水量が高含水になれば顕著な現象となる結果となった。このことは、B種高炉セメントの含有成分であるアルミナ分と酸化カルシウムが石膏分と反応してエトリンサイト鉱物を生成したことが要因である。環境工学的な側面からは、廃石膏ボードに含まれるフッ素化合物の溶出量を抑制させる検証を行った。廃石膏ボードに含まれるフッ素化合物は大部分がフッ化カルシウムである。廃石膏ボードから製造した再生半水石膏を地盤改良材として使用する場合、このフッ化カルシウムが溶出して土壌環境基準を超過する場合がある。本研究では、再生半水石膏とB種高炉セメントを配合して地盤改良材とすることにより、フッ素化合物の溶出抑制に効果があると考え現場施工でもモニタリングを行った。

本研究では改良土壌中に生成するエトリンサイト鉱物を回折X線分析や電子顕微鏡（SEM）などにより、この鉱物が改良土壌の強度増大とフッ素化合物の溶出抑制や、硫化水素ガスの発生抑制に効果があることが解明できた。即ち、廃石膏ボードより製造した再生半水石膏を地盤改良材として適用させる場合、このエトリンサイト鉱物の生成を増加させることが地盤工学的にも環境工学的にも有効であることを明らかにした。

一方、本研究では地盤改良工事の設計変更と実際の工事に関する地産地消の再生半水石膏を用いた地盤改良材に関する実務設計法を検討し提案した。従来の設計方法に一部分だけ合理的な考え方を導入することで、経済的な負担を軽減することができ、環境面と経済面で従来の工法よりも効果の優れた再生材利用方法を考案することが可能となる。再生半水石膏を路床改良材として使用する場合も通常の改良工事の場合と同じように、道路舗装のための基準類に従いながら、『循環型社会資本の形成を目指す観点から、再生材の使用促進に努めることや、他の建設産業や他産業の発生材・再生資源などの利用を勧める』思想を導入し、設計変更をおこなう。今回提案した合理的な考え方を導入することで、経済的な負担を軽減することができ、環境面と経済面で従来の工法よりも効果の優れた再生材利用方法を考案することが可能となる。即ち、地盤工学的性能と環境工学的安全性を確保しながら、既存製品と同等程度

以下のコストになることが可能である。

また、コスト増加の要因として循環資源に共通する輸送費用の問題があるが、廃石膏ボードの最適なリサイクルシステムを構築するためには地産地消の地域循環圏を構築しシステム設計を行うことが必要である。他都道府県へ流出する資金を群馬県内で活用することにより、県内での金銭的資金面、人的雇用面で損失が少なくなる。これは、廃石膏ボードの付加価値が上昇するため、不法投棄の抑制にもつながる。

さらに産業界でも、ビジネス（産業）として事業を推し進める体制を構築し、行政を含めたユーザー側も使用を推し進める体制作りを今後は共同して進めなければならない。