

# 石膏廃棄物の再資源化と地盤改良固化材への利用

松田浩\*<sup>1</sup>・中島宏一郎\*<sup>2</sup>・梅本昌秀\*<sup>3</sup>・伊藤幸広\*<sup>4</sup>

## Recycling of Gypsum Waste and used to Ground Improvement Solidification Materials

by

Hiroshi MATSUDA\*<sup>1</sup>, Koichiro NAKASHIMA\*<sup>2</sup>, Masahide UMEMOTO\*<sup>3</sup>, Yukihiro ITO\*<sup>4</sup>

Gypsum waste from plaster board and ceramic mould were recycled with a far-infrared-rays heat-treatment device effectively. Both strength and condensation test of the recycled gypsum were carried out. Mechanical properties of this material used for ground improvement as solidification materials were examined. From the results, it is established that the compressive strength and CBR value are improved when the water of hydration of hemihydrate gypsum is decreased. It is concluded that reclaimed gypsum were effective for ground improvement. Furthermore, process of manufacture for alpha-gypsum hemihydrate are examined.

**Keyword:** gypsum waste, far-infrared-rays device, solidification materials, hemihydrate gypsum

### 1. 序論

建築構造物などに使用された廃石膏ボードが解体工事等で大量に排出されるようになり、2007年は152万t、10年後には倍以上の排出量になると推測されている。廃石膏ボードはかつては破碎処理での安定型処分場で埋立てられることが多かった。しかし、2006年に環境省から、紙と分離した後の廃石膏ボードも安定型処分を禁止し、管理型品目に該当するという通知が出され、廃石膏ボードの処理法が管理型処分とリサイクルに二分されることとなった。廃石膏ボードを管理型品目として埋立処分すると、安定型処分に比べて約3倍のコスト増となる。また、石膏は可燃物ではないので減量化も難しく、リサイクルの促進が課題となる。

また、長崎県においては窯業・造船関連事業所からの型石膏、アルミナ、スラグ等の排出量も多い。これらは純度の高い廃棄物であり、リサイクル技術が確立すれば貴重な原料となり得るものである。廃棄物から再生原料として排出元へ、あるいは選別加工により他事

業所向け原料へと産業廃棄物の再利用の促進と提案を推進していく必要がある。

さらに、最近の原材料費の高騰や輸送費の増大によりリサイクルに対する期待も高まり、安価な輸入原料の使い捨てからリサイクルへの変革を図るべき時機となっている。物資の長距離輸送をなくし、廃棄物の地産地消によりコストを削減し、環境負荷の軽減を実現させるとともに、付加価値の高いリサイクル品の開発を目標とすべきである。

本研究では、廃石膏ボード、陶磁器型材用石膏廢材等を再資源化し、短期・長期の強度アップ機能を持たせた地盤改良用固化材としての再利用可能性、および $\alpha$ 型半水石膏製造方法について検討したものである。

### 2. 廃石膏材料の再資源化

#### 2.1 廃石膏ボードの再資源化の現況

廃石膏ボードを紙と石膏粉に分離し、石膏粉を加熱処理して再資源化される。

平成20年12月15日受理

\*1 構造工学科 (Department of Structural Engineering)

\*2 (株) ダイフク (研究当時、長崎大学大学院生産科学研究科環境システム工学講座修士課程)

\*3 (有) 県央リサイクル開発

\*4 佐賀大学理工学部都市工学科

廃石膏ボードを破砕し、紙石膏分離機で粉粒化させて得られる石膏粉は二水石膏である。これは約 21%に相当する 2 分子結晶水を持つ硫酸カルシウムである。これに 120~160℃の熱を加えると結晶水全体の 3/2 を失って半水石膏が得られる。二水石膏のままではボードやセメントの原料としての再利用に限られる。熱処理することにより種々の再利用の可能性がある。例えば、乾燥炉で付着水を除去し、固化力と品質を保つためセメントや石灰系の固化材と混合して地盤改良材として用いるケースがある。

半水化において、従来のキルン炉や電気炉等の伝導伝熱方式では、まず約 10%~15%の付着水分を加熱・脱水させてからないと、石膏の温度が上昇して結晶水の分解が開始されないため、熱効率が悪く、設備が大きくなったり、加熱時間が長なったり、重油燃料の使用による有害成分の混入等の問題があった。

一方、品質面を考慮すると、一般的なキルン炉での再生の場合、乾燥不足だと二水のままのものが多く、乾燥しすぎると無水石膏ができてしまい、二水、半水、無水の 3 種の石膏の入り混じった製品ができてしまうなど、その制御に難しさがある。そこで単独使用に耐える炉を導入するか、既存固化材との混合することで品質を補うか、固化材の需要等、地域性・コスト面をも考慮して判断を迫られている状況にある。

## 2.2 陶磁器型材用石膏廃材の再資源化の現況

石膏型を型材として利用する場合、不可避な問題は廃型の処理である。本研究で再資源化を行った陶磁器型材用石膏廃材も、排出元からひと月当たり約 100 t が排出されている。

型石膏の場合、その形状、高含水などの問題で半水化装置に投入するまでの前処理に技術とコストが掛かり、石膏ボード同様、ごく一部がセメント原料としてのリサイクルされているのにとどまり、大部分が埋め立て処分されている。

また、高品質の石膏にもかかわらず、それを再生原料として用いようとした場合、要求される品質を満足する再生技術が確立していない。輸入原料が安価なため、再生原料の製造の高コスト面もリサイクルの進展を阻む要因となっている。

## 2.3 多目的遠赤外線熱処理装置を用いた廃石膏ボード及び陶磁器型材用石膏廃材の再資源化

上記に鑑み、廃石膏ボード及び陶磁器型材用石膏を対象として、石膏の含水状況及び石膏ボードの水濡れ等にかかわらず石膏粉を得ることができる破砕分離設備を用いた。図-1 に処理工程図を、図-2 にプラントの概要図を示す。

陶磁器型材用石膏廃材 (30cm) を一軸万能破砕機で

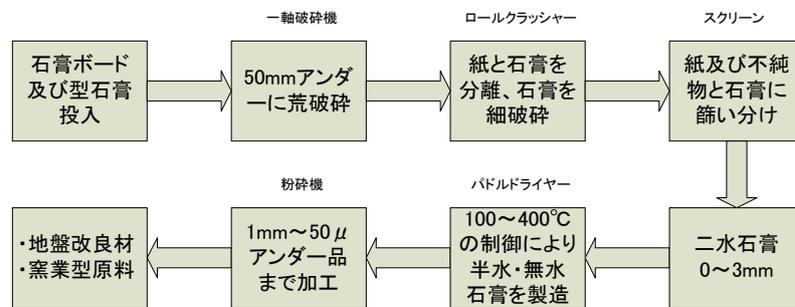


図 - 1 処理工程

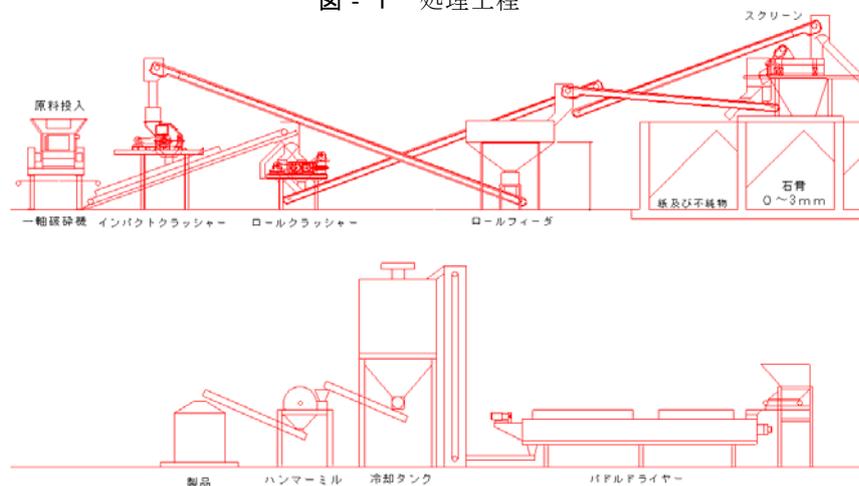


図-2 プラント概要図



図-3 多目的遠赤外線熱処理装置

荒破碎し、ロール及びインパクトクラッシャーで細破碎した後、多段スクリーンにて不純物除去、さらにふるい分けをし、0～3mmの二水石膏を得ることができる。

半水化処理には多目的遠赤外線熱処理装置（図-3）を用いた。これは加熱エネルギーの高い遠赤外線輻射で、有機質、無機質の各種資源を100～400℃で連続加熱処理することができる。ガス遠赤外線バーナー及びパドル内遠赤セラミック板を併用した遠赤外線加熱は、水が吸収する3μmの波長から石膏の吸収帯である10μmまでの遠赤外線を放射する。これによると、セッコウの分解が進行し、加熱時間は大幅に短縮される。遠赤外線を照射すると、二水石膏内部の自由水と結晶水が同時に加熱され、二水石膏が遠赤外線を吸収して自ら発熱し、数分間で良質な半水石膏が生成される。

破碎選別施設より得られる0～3mmの二水石膏を多目的遠赤外線熱処理装置で120～150℃に加熱し、半水化を行う。廃石膏ボードの場合は粒径の調整が不要であるが、陶磁器型材用石膏廃材では単に半水化するだけでは粉体にならないため、生成された半水石膏を粒径1.1mm及び50μm以下の2種類に粉碎調整した。

再資源化された陶磁器型材用石膏廃材の主成分は半水石膏である。半水石膏の品質における最大の課題は、二水や無水と比べて、半水化した石膏の割合が安定しにくい点にある。

一般的なキルン炉での再生の場合、乾燥不足だと二水のままで、乾燥しすぎると無水石膏ができてしまい、二水、半水、無水の3種の石膏が混じった物質ができる可能性がある。地盤改良固化材としての利用には、半水率の高低にはある程度対応できる。しかし、石膏原料としての使用するには、割合にばらつきがあると利用しにくくなる。そこで精度の高い温度と加熱時間の制御が容易であり、半水石膏と無水石膏及び二水石膏との含有比率を自由に調整できる多目的遠赤外線熱処理装置を用いることにより、従来方式では難しかった陶磁器型材石膏の再生を可能にした。

### 3. 再生石膏の物性

再生石膏の物性を把握するため、廃石膏ボード、陶磁器型材用石膏の廃材（1.1mm）およびバージン材料について、混水量試験、ビカー針試験、曲げ・圧縮試験を実施し比較検討した。

#### 3.1 混水量試験

混水量試験は、JIS R9112「陶磁器型材用石膏の物理試験方法」にもとづいて試験を行った。混水量は次式で算定した。

$$\text{混水量 (\%)} = \frac{100\text{g (水の質量)}}{\text{使用した試料の質量(g)}} \times 100$$

廃石膏ボード、陶磁器型材用石膏の廃材およびバージン材料の混水量を表-1に示す。

廃石膏ボードは型材用に比べ、流し込み成形のために多くの水量を要することがわかる。これは、不純物として含まれる石膏ボードの紙分が吸水するためであると考えられる。

陶磁器型材用石膏の廃材はバージン材料の約2倍の水量が必要であった。標準的な混水量は、α型半水石膏では36.7%、β型半水石膏では84.7%である。陶磁器型材用石膏廃材は直接加熱脱水乾式製造法で再資源化されたものであるためβ型半水石膏である。本実験結果での陶磁器型材用石膏廃材混水量は標準β型半水石膏の84.7%とほぼ同じ混水量83%になっている。一方、バージン材料ではα型半水石膏にみられる余剰水のブリーディングが観察された。α型の標準的な値（36.7%）に近い混水量40%であった。なお、廃石膏ボード、陶磁器型材用石膏廃材において、焼き戻し温度による混水量の違いは認められなかった。

表-1 混水量試験結果

石膏の種類	焼き戻し温度	混水量
廃石膏ボード	120～130℃	111%
	150～160℃	110%
型材用廃材	120～130℃	83%
	150～160℃	83%
型材用バージン材	-	40%

#### 3.2 凝結時間試験

半水石膏に水を加えると水和反応が起こり、石膏スラリーは時間の経過とともに次第に粘性と流動性を失って、そのままの形を保持し、さらに時間がたつに従って硬化し、強度が発揮される。半水石膏を使用する際、短時間に硬化しても、また、長時間固まらなくても不都合であるため、凝結試験を行い凝結時間を把握する必要がある。本研究ではビカー針試験機を用いて、JIS R5201「セメントの物理試験」を参考にし、

半水石膏の凝結時間が極めて短いことを考慮して試験を行った。鑄込み成形用石膏型の標準となる3種の水石膏比、硬型(56%)、普通型(75%)、軟型(100%)についてビカー針試験を行った。廃石膏ボード、陶磁器型材用石膏の廃材およびバージン材料の凝結時間を表-2に示す。

廃石膏ボードの凝結時間は陶磁器型材用石膏廃材に比べて短い。陶磁器型材用石膏の廃材とバージン材の凝結時間には大きな違いが見られた。廃材では全体的に凝結時間が短く、バージン材では長い時間を要した。

表-2 ビカー針試験結果

石膏の種類		W/G (%)	凝結始発 [m-s]	凝結終結 [m-s]
廃石膏ボード		56	02-30	05-30
		75	05-00	14-00
		100	10-00	27-00
陶磁器型材用石膏	廃材	56	03-46	05-00
		75	07-00	15-00
		100	16-00	34-00
	バージン材	56	30-00	43-00
		75	32-30	45-00

### 3.3 強度試験

本研究では再生セッコウの物性を把握するため、曲げ強さ・圧縮強さ試験を実施した。試験法は JIS A 6904「石膏プラスター」を参考にし、40×40×160mm のモルタル供試体成形用型を用いて、各石膏の種類ごとに3体製作した。まず、曲げ試験を実施し、その後曲げ強さ試験によって切断された折片を使用して、圧縮試験を実施した。

曲げ・圧縮試験結果を表-3に示す。水石膏比を小さくすると曲げ・圧縮強さの差が大きくなり、廃石膏ボードの方が型材用石膏廃材より上回る結果となった。水石膏比が少ないほど硬化体が、空隙の少ない密実な二水石膏になり、廃石膏ボードに不純物として含まれる紙分の架橋効果が顕著に表れたものであると考えられる。

表-3 曲げ・圧縮強度試験結果

石膏の種類		W/G (%)	曲げ強さ [MPa]	圧縮強さ [MPa]
廃石膏ボード		56	5.0	12.5
		75	3.7	6.4
		100	1.4	2.9
陶磁器型材用石膏	廃材	56	3.1	10.8
		75	2.8	6.4
		100	1.6	2.9
	バージン材	56	8.2	18.7
		75	5.3	11.2
		100	2.8	6.2

なお、廃石膏ボード、陶磁器型材用石膏廃材において、焼き戻し温度による混水量の違いは現れなかった。これは 120℃~160℃の間で安定して半水石膏が生成されているものと判断できる。

## 4. 石膏廃材の再利用

### 4.1 陶磁器型材原料としての再利用

陶磁器型材用石膏(150~160℃)の再生原料としての利用を目標として、バージン材とほぼ同じ粒度である 50μm アンダーの石膏廃材を用い、混水率 75%で、バージン材との混合使用の試験を行った。

試験結果を表-4に示す。150~160℃再生石膏の添加によりバージン材に比べ若干曲げ強度は低下した。バージン材との 100%置換利用を考えると強度及び凝固時間を改良する必要がある。焼成温度を適切に選定し半水と無水の最適比率の調整を行うことにより、100%置換も可能と考えられる。しかしながら、物量及び精度を要求される使用においては、コストを考慮するとともに、強度改善と凝固遅延材を使用して、バージン材併用による再生石膏の利用促進を図る方が得策と考える。

表-4 再生石膏混入試験結果

再生石膏混入比率	0%	10%	20%	30%
曲げ強度 (MPa)	5.40	4.93	5.37	5.11
含水率 (%)	15.9	16.3	17.9	18.0
吸水時間 (s)	491	524	575	542
吸水重量 (g)	17.8	18.3	18.9	18.6

### 4.2 廃セッコウ材料へのアルミナ添加の効果

廃石膏材料と耐火煉瓦用アルミナ廃材を添加する効果について検討した。水石膏比 56%において廃アルミナ添加率 1~5%の間での添加効果及びバージンアルミナとの比較を行なった。

試験結果を表-5に示す。陶磁器型材用石膏への廃アルミナおよびバージンアルミナの添加により、曲げ・圧縮ともに強度が上昇した。廃アルミナにはシリカ分(28%)等の不純物が存在するが、バージンアルミナと変わらず 5%程度までの添加であれば短期強度の改善効果が認められる。

アルミナの添加により長期強度が上昇することが報告されているので、今後、土壌固化材としてのアルミナ成分の長期強度に及ぼす効果及び汚染土壌の改善効果について検証を行なう予定である。

表-5 アルミナの添加試験結果 (W/G=56%)

	廃アルミ ナ添加率	曲げ強さ [MPa]	圧縮強さ [MPa]
廃アルミナ	0	3.2	10.5
	1	3.9	11.2
	3	4.5	12.2
	5	3.9	11.3
バージンアルミナ	0	3.2	10.4
	1	3.0	11.7
	3	3.3	12.2
	5	3.7	11.8

## 5. 地盤改良材としての再利用

軟弱土に石膏を固化材として添加し、土の抵抗力を向上させることを目的として次の4種の試料土について実験を行なった。

- ・試料土1：砂・礫質土，最適含水比24%，
- ・試料土2：砂質土，最適含水比24%
- ・試料土3：橋梁下部工工事発生土利用橋台裏込め土
- ・試料土4：有明有機質粘土

### 5.1 サンプル土による CBR 試験

試料土1，試料土2を所要の含水比（突固め試験から求まる最適含水比）に調整し、湿潤添加率で10%で固化材を添加し、15cm モールドに突固め、CBR 試験(JIS A1211)を行なった。固化材として陶磁器型材用石膏(150～160℃)の1.1mm 製品と市販の固化材を用い、また、無添加の場合と合わせ比較実験を行なった(表-6, 7)。

固化材の最適配合率やコスト面は考慮しない試験結果であるが、配合率10%における CBR 値の試験結果で

表-6 試料土1

固化材	配合率 [%]	w0 [%]	w1 [%]	CBR	
				2.5%	5%
ナシ	0	14	24	2	5
市販固化材	10	14	24	53	46
廃型材石膏	10	14	24	75	65

表-7 試料土2

固化材	配合率 [%]	w0 [%]	w1 [%]	CBR	
				2.5%	5%
ナシ	0	11	14	2	5
	0	9	14	2	5
市販固化材	10	9	14	14	25
廃型材石膏	10	9	14	25	34

は、試料土1，試料土2において石膏型再生品の土壌固化材としての効果は初期段階において十分に発揮できるものとなった。

### 5.2 実現場への適用 CBR 試験（試料土3）

試料土3として橋梁下部工（下流側）工事における発生土を安定処理して橋台裏込め土の安定処理のための添加材及び配合量を決定するための配合試験を行なった。配合試験は、新設橋台の裏込め部分（幅1～3m，長さ13m，高さ3～4mの狭窄部分）に軟弱な発生土を安定処理して埋戻す。まず、軟弱な発生土を掘り上げてヤードに搬出し、安定処理後、養生なしで、裏込め部分に埋戻し、タンバやハンドガイドローラの人力転圧により締め固めた。

安定処理方法はヤードにおけるバックホウを用いて粉体混合とした。発生土は礫混り砂質粘土状の土砂で含水比が高いためヘドロ状を呈するが、円礫主体の礫分と砂分の混入量が多い河川堆積物で、含水比が低下すれば転圧施工により良好な支持力を期待できる。軟弱土の安定処理において所定の強度を発現させるためには、処理後に十分な締め固めができる状態に改良することが前提条件である。今回はヘドロ状の土砂を安定処理した直後に、人力施工で締め固め可能なトラフィカビリティに改良しなければならなかったため、このための配合量を、CBR 試験体を用いてコーン試験から求めることとした。今回の処理用土の適用箇所が橋台裏込め土であるので、目標の安定処理強度は CBR 値で20%以上とし、目標コーン指数は7kgf/cm<sup>2</sup>以上として試験を行い配合量を求めた。試験方法は CBR 試験に準じて行なった。試験体作製直後に整形面でコーン貫入試験を行なってコーン指数を測定した。さらに、その供試体を再度整形して、水中養生(4日)後に貫入試験を行って CBR 値を測定した。試験結果を表-8に示す。目標コーン指数を満足する配合率を設計配合率とし、その時の乾燥密度と CBR 値を求めた。

廃型材石膏は目標コーン指数を満たす設計配合率での CBR 値も目標値を満たす結果となった。ただし、含水比を低下させる効果が比較固化材と比べて小さいので、高含水のヘドロ状土砂では適当なトラフィカビリティが得られる配合量が多くなり、比較固化材の2倍以上の配合量となった。また、配合率12%では石灰量が過多となったため、配合率8%より CBR 値が低い数値となった。なお、8%以下の配合率の土砂においては他の固化材より高い数値を示す結果となった。以上より、適切な使用条件を考慮することにより地盤改良材としての機能を十分果せるものと考えられる。

表-8 試料土 3

固化材	配合率 %	含水比 %	コーン指数 kgf/cm <sup>2</sup>	CBR値 %	設計配合率 %	設計配合率での値		
						乾燥密度	CBR	配合量
市販固化材	2	26.1	3.2	12.3	3.5	1.559	41.5	55
	6	23.4	13.0	90.4				
	10	20.0	30.8	142.3				
生石灰	2	25.7	3.8	10.8	4.8	1.575	88.5	76
	6	22.7	8.3	120.2				
	10	18.3	30.8	176.8				
廃型材石膏	4	25.7	4.2	87.1	7.0	1.597	117	112
	8	23.3	8.0	127.7				
	12	21.7	25.1	104.2				

表-9 基礎物性値および粒径分布

液性限界 WL	130%
塑性限界 WP	68.20%
塑性指数 IP	61.8
液性指数 IL	0.9
コンシステンシー指数	0.1
活性度 A	7.36
土粒子密度 $\rho_s$ [g/cm <sup>3</sup> ]	2.639
平均含水比 Wn	123.66%
強熱減量	10.82
最大粒径 [mm]	0.85
60%粒径 [mm]	0.006
50%粒径 [mm]	0.004
30%粒径 [mm]	0.003
10%粒径 [mm]	0.002

5.3 有明粘土への適用（一軸圧縮試験：試料土 4）

試料土には有明海干拓部の上層から採取した有機質粘土を用い含水比 100%以上の軟弱土に廃石膏ボードを添加し一軸圧縮試験を行った。基礎物性値および粒径分布を表-9 に示す。一般盛土材料として必要な改良強さは、一軸圧縮強さで 100~300kPa である。また運搬のために必要な改良強さは、一軸圧縮強さで 50kPa である。本研究では目標強度を 300kPa と定めて実験を行った。

まず、石膏を試料土に添加したときの含水比がどの程度低下するかの把握を行った。初期含水比 155%、132%、117%の試料土に対し、湿潤添加率 9%から 72%まで石膏を添加した。結果を図-1 にまとめて示す。石膏添加による含水比の低下は 50%前後で収束する曲線になることがわかった。湿潤添加率 63%、72%では試料土の状態が粘性・流動性のない粉末状になっている。試料土の塑性限界の 68.2%を境に流動性がなくなっている。したがって、最適添加量は湿潤添加率 30~40% と判断した。

試料土に廃石膏ボードを 10%、20%、30%を添加し、供試体を作成した。成型当日に脱型し、常温空气中に 7日間放置、養生期間終了後に載荷を行った。

試験結果を表-10 および図-2 に示す。湿潤添加率 30%では 700~850kPa の高強度となったが、添加率 10%、20%では低強度であった。試験後含水比から判断して、含水比 30

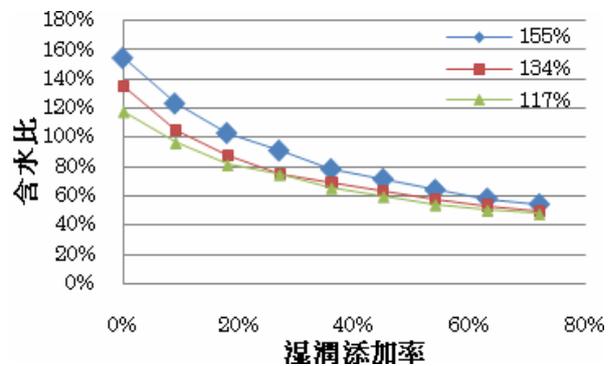


図-1 セッコウ添加による含水比低下

表-10 一軸圧縮強さ

Case	初期含水比	湿潤添加率	添加後含水比	試験後含水比	一軸圧縮強さ [kPa]
1					27.1
2	124%	10%	103%	75%	20.8
3					26.0
4					97.5
5	124%	20%	82%	59%	67.6
6					70.5
7					861.7
8	129%	30%	67%	30%	720.8
9					709.9

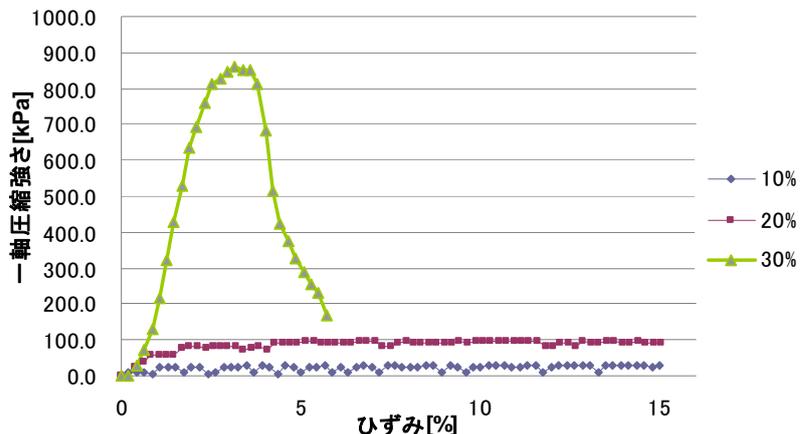


図-2 添加率による一軸圧縮強さ

表-11 廃石膏ボード，型材用石膏の比較

固化材	試験体 No.	初期含水比 (%)	湿潤含水比 (%)	添加後含水比 (%)	試験後含水比 (%)	一軸圧縮強さ (kPa)
型材用石膏	1	173	30	99	40	555
	2			99	46	584
	3			99	39	578
廃石膏ボード	4	167	30	99	36	696
	5			99	43	667
	6			99	37	667

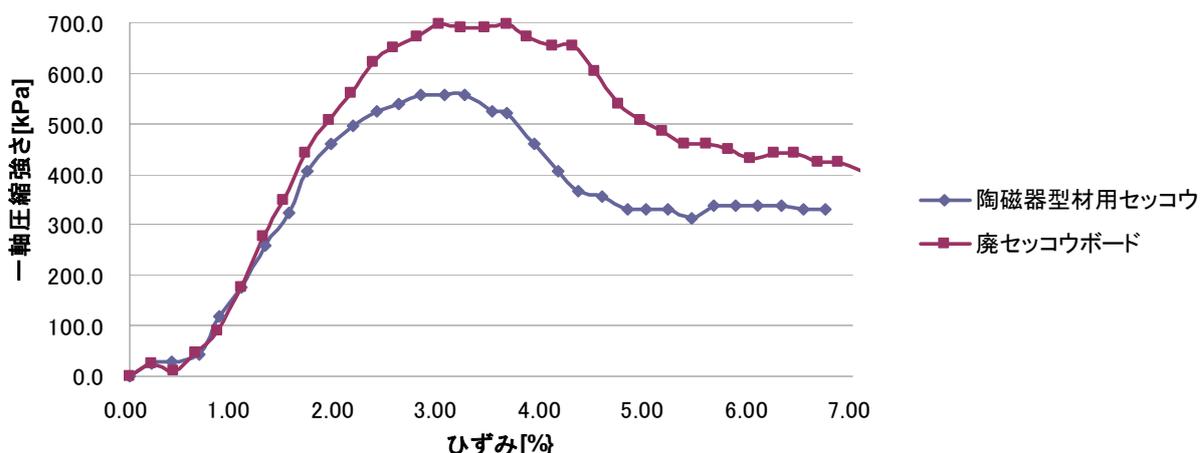


図-3 陶磁器型材用廃石膏と廃石膏ボードの比較（湿潤添加率 30%）

～59%の間に、強度発現の境界点が存在することが推測される。

湿潤添加率 30%では目標一軸圧縮強さ 300kPa 以上を大きく上回り達成した。また、湿潤添加率 20%では運搬のために必要な改良強さ 50kPa 以上を達成した。

廃セッコウボードと陶磁器型材用セッコウ廃材を、固化材として利用したときの改良効果を比較する。湿潤添加率 30%で供試体を作成した。成型した当日に脱型し常温空气中に 7 日間放置、養生期間終了後に載荷を行った。結果を表-11 および図-3 に示す。

一軸圧縮強さは、陶磁器型材用石膏では約 600kPa、廃石膏ボードでは約 700kPa となり、廃石膏ボードの方が約 100kPa 高い一軸圧縮強さになった。廃石膏ボードが不純物として含む紙分が架橋し、土粒子同士を繋ぎ留めているためであると考えられる。

## 6. α型半水石膏の製造

型材用石膏廃材の物性は、そのバージン材料と比較して劣る。これは、バージン材料がα型半水石膏であるのに対して、再資源化した石膏はβ型半水石膏であるためである。α型半水石膏は結晶形状が緻密なため、少ない水石膏比で攪拌できる半水石膏である。よ

りバージン材料に近い性能での再資源化を目的に、オートクレーブを使用して、120～130℃の水蒸気圧下で石膏を加熱し、α型半水石膏の製造を行った。

### 6.1 オートクレーブ装置

オートクレーブは円筒形の本体と試料を入れる容器、圧力計（図-4 右上）および空気調節弁を有する蓋部分、変電機からなる。本体内部には加熱を行うニクロム線が配置されている。図-4に見られる銅製の



図-4 オートクレーブ装置

管は蒸気を安全に逃がすために設けたものである。オートクレーブ内部の圧力がある設定気圧を超えると図-4の拡大図の中央の柱にある孔から蒸気が出て、一定圧力以上圧力が上がらなくなっている。この設定気圧は柱の上端にあるボルトの締め具合で調節する。拡大図中央左側面の突起は空気の出入りを調節するネジである。ネジを締めるとオートクレーブは密閉され、ネジを緩めると蒸気が銅製の管を通してオートクレーブ外に逃がされる。

## 6.2 α型半水石膏

原料として用いたβ型および本装置で製造したα型半水セッコウの顕微鏡写真を図-5に示す。β型では細長い結晶や板状の結晶が多く見られた。それに対して、加熱処理後の石膏は、粒径のばらつきはあるが、丸く小さい結晶が多く観察できる。

水石膏比 46%、36%と少ない水量で供試体を作成することができた。水石膏比 36%で、水石膏比 56%のβ型半水石膏と同程度以上の曲げ・圧縮強さが得られた(表-12)。凝結終了には数時間を要した。

オートクレーブでの加熱後わずかな水分が残っていたため再び二水化した部分があるものの、α型半水石膏の生成ができたものと判断できる。

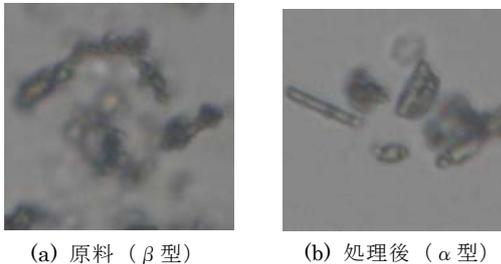


図-5 α型及びβ型半水石膏の顕微鏡写真

表-12 α型半水石膏の曲げ・圧縮強さ

W/G (%)	曲げ強さ (MPa)	圧縮強さ (MPa)
46	2.8	6.0
36	3.1	12.6

## 7. まとめ

本研究結果は以下のようにまとめられる。

- (1) 多目的遠赤外線熱処理装置を用いて、試験範囲である 120℃～160℃において安定して半水石膏が製造できる結果となり、今後の研究・製品開発に有効な処理技術であることが確認された。
- (2) 再生原料としての陶磁器型材用セッコウの利用に関しては、半水石膏と無水石膏の比率調整・粒度調整及び遅延剤を使用し、バージン材との併用し

た利用は有効であるので、コスト面等も勘案して用途の選別を行い利用を促進すべきである。

- (3) 地盤改良材としての再生石膏の利用においては、廃石膏ボードでは混入する紙分の架橋効果により強度が高くなった。品質安定及び環境基準をクリアできれば十分利用可能なものである。
- (4) 廃アルミナ等の添加により強度面で改善できることが確認できた。

今後、石膏廃棄物を再資源化した材料をスラグ類、石炭灰などとの組み合わせることにより長期強度等を検証するとともに、高強度域の固化材としての有効性と実用性を確認する予定である。

謝辞：本研究の一部は、筆者の一人(梅本)が開発してきた地場排出の廃棄物の削減・リサイクルに対する研究および取り組みに対して、「平成 19 年度ゴミゼロながさき環境産業支援事業」の補助により施設整備を進めることができるとともに、それにより得られた生成物の有効利用をについて研究を遂行することができた。また、社会開発工学科の棚橋由彦教授、持下輝雄技術職員には土質実験についてご教示戴きました。ここに、記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 筒井健多:産業廃棄物を用いたモルタルの特性と有効利用に関する研究, 佐賀大学理工学部卒業論文
- 2) 無機マテリアル協会:セメント・セッコウ・石灰ハンドブック
- 3) 村上恵一:新しい資源・セッコウとその利用
- 4) セメント協会:セメント系固化剤による地盤改良マニュアル[第二版]
- 5) 地盤工学会:土質試験—基本と手引き—
- 6) 土木工学全集編集委員会編:第5巻 土質力学
- 7) 日本材料学会:建設材料実験
- 8) JIS A 6904:せっこうプラスター
- 9) JIS R 9200 : 1999 「せっこう及びに関する用語」
- 10) JIS R 9112-1978 「陶磁器型材用せっこうの物理試験方法」
- 11) JIS A 1203:土の含水比試験方法
- 12) JIS A 1210:1999 「突固めによる土の締固め試験方法」
- 13) JIS A 1211:1998 「CBR試験方法」
- 14) JIS A 1216:1998 「土の一軸圧縮試験方法」
- 15) JIS A 1101 「コンクリートのスランプ試験方法」
- 16) 日報アイ・ビー:イー・コンテクチャー, [2006年9月号～2008年3月号]