

半水石膏を利用したセメント安定処理土の 一軸圧縮特性に及ぼす乾湿繰り返し作用の影響

亀井 健史¹⁾, 志比 利秀²⁾, 松田 稔史³⁾

¹⁾宮崎大学工学部 土木環境工学科

²⁾島根大学総合理工学部 地球資源環境学科

³⁾広成建設(株)

Effects of wetting and drying repetitions on unconfined compressive characteristics of cement-stabilized soils utilizing bassanite

Takeshi KAMEI¹⁾, Toshihide SHIBI²⁾ and Toshihumi MATSUDA³⁾

¹⁾Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Miyazaki University

²⁾Department of Geoscience, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University

³⁾Kosei Construction Co., Ltd.

Abstract

In the construction site, an improved ground may be exposed to wetting and drying repetitions with rainwater even if we assume it is under air-dried condition. This paper describes the effect of wetting and drying repetitions on unconfined compressive characteristics of cement-stabilized soils mixed with bassanite produced from waste plasterboard. As a result, the unconfined compressive strength of cement-stabilized soils mixed with bassanite with wetting and drying repetitions is about 90% of those under air-dried condition although the unconfined compressive strength of cement-stabilized soil with wetting and drying repetitions decreases to about 70-80% of those under air-dried condition. Bassanite produced from waste plasterboard is effective as improver for soils even if improved soils are exposed to wetting and drying repetitions.

1. はじめに

わが国の高度経済成長は、大量生産・大量消費に基づいた資源浪費型社会に支えられて発展してきた。しかしながら、この資源浪費型社会は大量廃棄をもたらし、近年では廃棄物処分場の容量不足、さらには不法投棄の増加などの産業廃棄物に関する種々の社会問題を引き起こしている。このような社会問題を解決するためには、従来の社会システムを転換し、生産から再利用に至るまでの環境負荷の少ない資源循環型社会を構築することが急務となっている。

平成 18 年度における産業廃棄物の総排出量は約 4 億 1,800 万トンであり、平成 14 年度以降、総排出量は増加傾向にある¹⁾。その中でも建設系廃棄物は、産業廃棄物全量の 18.5% (平成 18 年度) を占めており、建設分野は大量の廃棄物の発生源となっている¹⁾。とくに建築分野は使用される材料の種類が多く、解体段階で不純物の混

入が避けがたいこと等からリサイクルが進みにくい分野であると考えられている。そのため、建設系廃棄物のリサイクルを推進していくことは、わが国の循環型社会構築のためになすべき重要な課題の一つである。

その建設系廃棄物の中でも、近年、建築現場から排出される石膏ボード廃材 (以下、廃石膏ボード (写真-1)) の処理が大きな問題となっている。石膏ボードは、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、他の建材と比較して、耐火性、遮音性、断熱性、施工性などに優れるとともに安価である。このような理由から、主に壁や天井などの建築内装材として広く普及しており、年間約 4.4 億 m² の石膏ボードが国内で生産されている²⁾。一方、廃石膏ボードの排出に関しては、石膏ボードの生産量を反映し、2013 年には 199 万トンに急増すると推計されている³⁾。

廃石膏ボードは、その他の建設系廃棄物と同様に解体時の分別・選別の困難性、リサイクル市場の不足等から、



写真-1 廃石膏ボード

その大部分は埋立て処分されてきた。しかしながら、廃石膏ボードを埋め立て処分すると、廃石膏ボードに含まれる紙などの有機物の存在と硫酸還元菌などの土中バクテリアとが関与し、非常に毒性の高い硫化水素ガス (H_2S) が発生する可能性がある。それに伴って、現在では、廃石膏ボードは紙と廃石膏を分離した後、廃石膏、紙ともに管理型処分場に廃棄することが義務付けられている。この管理型処分場は、一般の安定型処分場と比較して廃棄コストが高いことに加え、平成 17 年度の時点では最終処分場をすべて併せてもその残余年数が 7.7 年と試算されていることからその残存容量が逼迫しているという問題もある⁴⁾。今後も廃石膏ボードの排出量が増加するとの推計に加え、廃石膏の処分が困難になることも予想されることから、廃石膏ボードを大量に再利用できるリサイクル分野が必要であると考えられる。

廃石膏ボードから得られる半水石膏は、適量の水とともに軟弱粘土等に添加すると硬化することが室内実験で確認されている⁵⁾。また、石膏は中性無害で、従来使用されてきた強アルカリ性の消石灰や六価クロムの溶出が懸念されるセメント系固着剤と比較して、環境面においても有利であるという側面も有している。なお、半水石膏の適用に関しても、石膏に含まれているフッ素の溶出量が土壌環境基準を満たさないことが考えられるが、高炉セメント B 種と半水石膏の組み合わせで生成されるエトリンガイトに、フッ素の溶出を抑制させる効果があることが近年明らかにされている⁶⁾。このような石膏の特徴と、先述したような社会的背景を考えると、土木・建設分野が廃石膏の最適有効利用先の一つとして挙げられる。

廃石膏ボードを地盤材料・地盤改良材として再資源化する研究が実施され始めている。半水石膏の軟弱地盤改良材としての有効性については、セメント安定処理土に半水石膏を混入することによって、強度が顕著に改善されることが報告されている。具体的には、セメント安定処理土に少量の半水石膏を混入した場合には、一軸圧縮

表-1 半水石膏の基本物理特性

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	1.040

強さが多少低下するものの、半水石膏添加率の増加に伴って直線的に一軸圧縮強さが増大することが明らかにされている⁷⁾。また、改良地盤が地下水位以深となるような場合も考えられることから、水中養生条件下での強度変形特性についても解明されており、水中養生した場合の一軸圧縮強さは、気中養生した場合と比較しても 2 割程度しか低下しないことがわかっている⁸⁾。

しかしながら、実施工においては、気中養生を行っても、雨水等の影響で、繰り返し水浸条件下となることも考えられる。したがって、半水石膏を混入したセメント安定処理土を気中養生した場合においても、乾湿の繰り返しがその強度変形特性に及ぼす影響を明らかにしておくことが重要となる。

本研究では、廃石膏から再生した半水石膏を地盤改良材として使用した安定処理土を製作して 28 日間気中で養生させた後、乾湿繰り返しを 0 回、1 回、3 回、および 5 回作用させた供試体に対して一軸圧縮試験を行った。その結果、半水石膏を混入したセメント安定処理土の一軸圧縮特性に及ぼす乾湿作用の影響について明らかにしている。

2. 試料

再生された半水石膏 (硫酸カルシウム・1/2 水和物 ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$)) は、建築資材の廃材として排出される廃石膏ボードを破砕分離機で紙と石膏に分離した後、石膏部分 (硫酸カルシウム・2 水和物 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)) を細粒化し、約 130~150°C で加熱処理することによって得られ、一般的には焼石膏と呼ばれている。本研究では、日工(株)で生産された粉末状のものをを用いた。その物理特性を表-1 に、ふるい分析による粒径加積曲線を図-1 に示す。石膏の硬化体は水溶性を有しており、長期間水中に置かれると石膏中の重金属が溶出する可能性がある。したがって、半水石膏を地盤改良材として用いる場合には、重金属の溶出に十分な注意を払う必要がある。半水石膏に対する主な重金属 (ヒ素 (As), 鉛 (Pb), カドミウム (Cd), 六価クロム (Cr(VI))) の溶出試験結果を表-2 に示す。

本研究では、母材として成分調整された工業製品であ

る MC クレー (カオリン) を使用した。その物理特性および化学成分をそれぞれ表-3⁹⁾、表-4⁹⁾ に示す。

安定材には、一般の土木施工にも多用されている高炉セメント B 種を使用した。高炉セメント B 種は、普通ポルトランドセメントと比較して一軸圧縮強さを得やすいこと、および安価であることなどから、強度的にも経済的にも優れた安定材である。高炉セメント B 種の品質は、JIS R 5210 で表-5¹⁰⁾ のように定められている。また、その化学成分を表-6¹⁰⁾ に示す。表より、CaO、SiO₂、Al₂O₃ の三成分の合計が全体の 90% を占め、主要な成分であることがわかる。セメントを過度に添加すると六価クロム

の溶出が懸念されることから、セメントの添加量を比較的 low に設定した。

3. 供試体作製方法および実験方法

3.1 供試体作製方法

本研究では、安定処理土の締め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。配合条件は、超軟弱粘性土を安定処理することを想定し、水土比 (W/S、S は土の乾燥重量を、W は水の重量を表す) を 140% とし¹¹⁾、セメント添加率 (C/S、C はセメントの重量を表す) を 5% および 10% とした。また、半水石膏添加率 (B/S) は、今回対象とした土に半水石膏を混入した際にモールドに打設可能かを検討した上で、0%、10%、20%、40% の 4 配合を設定した。

供試体作製方法を以下に説明する。まず設定した水土比に対応する混練水の 6 割程度を、粘土試料である MC クレーに混ぜ、ソイルミキサーで 5 分程度攪拌した。その間に、セメントと残り 4 割程度の混練水を混ぜ、ミキサーで攪拌した粘土試料と混合し、さらにその試料をミ

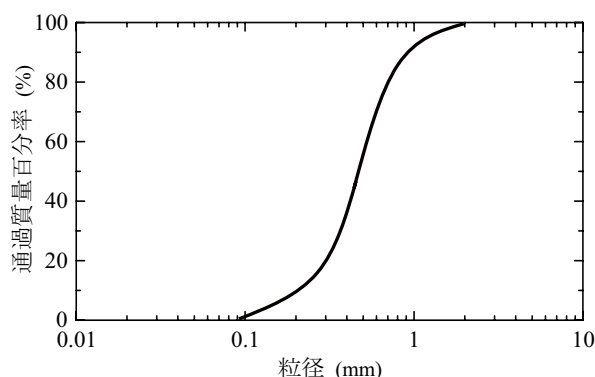


図-1 半水石膏の粒径加積曲線

表-2 土壌の汚染に係る環境基準に対する主な重金属の溶出試験結果 (半水石膏)

項目	測定値 [mg/l]	環境基準値 [mg/l]	分析方法
カドミウム	<0.005	<0.01	JIS K 0102 55.2
鉛	<0.005	<0.01	JIS K 0102 54.2
砒素	<0.005	<0.01	JIS K 0102 61.3
六価クロム	0.025	<0.05	JIS K 0102 65.2.1

表-3 MC クレーの物理特性⁹⁾

ρ_s (Mg/m ³)	w_L (%)	w_P (%)	I_P	砂分 (%)	シルト (%)	粘土分 (%)
2.679	73.1	36.7	36.4	0.0	35.3	64.7

表-4 MC クレーの化学成分⁹⁾

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
68.1	24.8	0.14	0.15	0.02	0.02	1.54	0.56

表-5 高炉セメント B 種の品質¹⁰⁾

品質 種類	比表面積 (cm ² /g)	凝結		性 安定	圧縮強さ (MN/m ²)			酸化マグネシウム (%)	三酸化硫黄 (%)	強熱減量 (%)	全アルカリ (%)	塩化物イオン (%)
		始発 (min)	終結 (h)		3 日	7 日	28 日					
高炉セメント B 種	3000 以上	60 以上	10 以下	良	10.0 以上	17.5 以上	42.5 以上	6.0 以下	4.0 以下	3.0 以下	—	—

表-6 高炉セメント B 種の化学成分¹⁰⁾

セメントの種類	Ig.loss (強熱減量)	Insol. (不溶残分)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O	TiO	P ₂ O	MnO	Cl
高炉セメント B 種	0.8	0.2	26.3	8.7	1.9	54.1	3.7	2.0	0.26	0.42	0.54	0.69	0.08	0.28	0.007

養生条件		養生日数															
		1	2	~	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	
n=0(回)	気中	→															
	水中																
n=1(回)	気中	→															
	水中																
n=3(回)	気中	→															
	水中																
n=5(回)	気中	→															
	水中																

図-2 乾湿繰り返しスケジュール

キサーで3分程攪拌した。その後、半水石膏粉末を粘土スラリー中に混入し、半水石膏粉末がスラリー中で均質に混ざるように再度ミキサーで1分程度攪拌した。完成した供試体は、含水比と湿潤密度の測定を行った後、鋳鉄製のモールド ($\phi=50\text{mm}$, $H=100\text{mm}$) に5層程度に分けて打設した。その際、供試体とモールドの付着、および水分の流出を防ぐため、モールドにシリコングリースを薄く塗布するとともに、シリコングリースを薄く塗布したOHPシートをモールド内側に貼り付けた。また、均質な供試体を得るため、層ごとにゴムハンマーを用いてモールドに打撃を加え、打設時に含まれる気泡を除去した。モールドに打設した供試体は、ポリエチレン製の袋で被い、恒温室 ($20\pm 2^\circ\text{C}$) で24時間養生した。その後、モールドから供試体を取り出し、両端面を成形し、再びポリエチレン製の袋で被い、所定の養生期間28日まで気中養生した。

乾湿繰り返しは、供試体を上記の方法で作製・養生した後作用させた。乾湿繰り返しの1サイクルは、24時間の水浸とその後の24時間の気中養生からなるものとし¹²⁾、サイクル数は、0回、1回、3回、および5回を設定した(図-2)。なお、水中から取り出したときは、供試体表面の水を軽く拭き取り、その後ポリエチレン製の袋で覆って静置した。

3.2 実験方法

本研究では、半水石膏を混入したセメント安定処理土の強度・変形特性を評価するために、一軸圧縮試験を行った。一軸圧縮試験は、三軸圧縮試験より簡便で、試験時間が比較的短く、地盤工学の設計に多く用いられている。使用した試験装置は、ひずみ制御式圧縮装置、荷重計、変位計から構成される一軸圧縮試験装置である。軸圧縮速度は、JGS 0511に基づいて1%/minとした。また、強度・変形特性に及ぼす端面摩擦の影響を軽減するために、一軸圧縮装置の上下加圧板の表面にシリコングリースを薄く塗布した。試験後には、供試体の上部、中部および下部の含水比を測定し、結果の整理には、その平均

値を用いた。

4. 実験結果および考察

種々の添加率で半水石膏を混入したセメント安定処理土を気中養生した場合およびその後乾湿繰り返しを1回、3回、5回行った場合の代表的な応力-ひずみ曲線を図-3、図-4に示す。なお、図-3はC/S=10%、図-4はC/S=5%の場合である。

まず、半水石膏を混入せず、セメントのみを10%添加した供試体(B/S=0%, C/S=10%)の応力-ひずみ関係に及ぼす乾湿繰り返しの影響に着目する(図-3(a))。乾湿繰り返しを行わない場合(n=0回の場合)の応力-ひずみ曲線は、軸ひずみ量の増加に伴い応力値が増加し、軸ひずみ量1.5%程度で最大値(150kN/m²程度)に達している。しかしながら、軸ひずみ量がさらに増加すると応力値が急激に減少しているのがわかる。一方、乾湿繰り返しを行った場合(n=1, 3, 5回の場合)に着目すると、いずれの乾湿繰り返し回数においても、軸ひずみ量が1.0~1.5%程度までは応力値が増加し、その最大値は110~130kN/m²程度を示すものの、n=0回と比較して小さな値となった。また、n=0回の場合と同様に、軸ひずみ量をさらに増加させると応力値は急激に減少した。

次に、セメントを10%、半水石膏を10%混入した供試体(B/S=10%, C/S=10%)の応力-ひずみ関係に及ぼす乾湿繰り返しの影響(図-3(b))に着目する。乾湿繰り返しを行わない場合(n=0回の場合)の応力-ひずみ曲線は、軸ひずみ量の増加に伴い応力値が増加していき、軸ひずみ量2.0%程度で最大値(100kN/m²程度)をとった。軸ひずみ量がさらに増加しても、応力値はその最大値近傍を維持しており、半水石膏混入時によく認められる粘り強さ^{7), 8)}が確認できた。乾湿繰り返しを行った場合に着目すると、いずれの乾湿繰り返し回数においても、軸ひずみ量が1.0~1.5%程度までは応力値が増加しているが、その最大値はn=0回の場合と比較して小さな値となった。しかしながら、乾湿繰り返しを行った場合においても、半水石膏を混入することによって、応力-ひずみ曲線に明瞭なピークは存在せず、軸ひずみ量が増加しても、応力値はその最大値程度の値を維持することが明らかになった。また、B/S=20%およびB/S=40%でも同様の傾向が認められた。なお、C/S=5%の場合においてもC/S=10%の場合と同様の傾向が確認できた(図-4)。

以上のことから、乾湿繰り返しによる強度の低下はあるものの、乾湿繰り返し回数の違いやセメント添加率の違いによらず、半水石膏を添加することによって、粘り強い材料となることがわかる。

乾湿繰り返しが一軸圧縮強さと半水石膏添加率の関係に及ぼす影響を図-5に示す。また、半水石膏混入に伴う

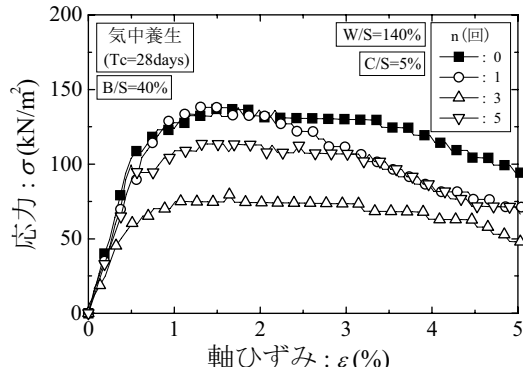
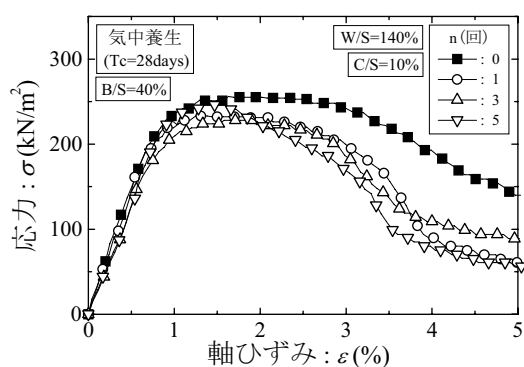
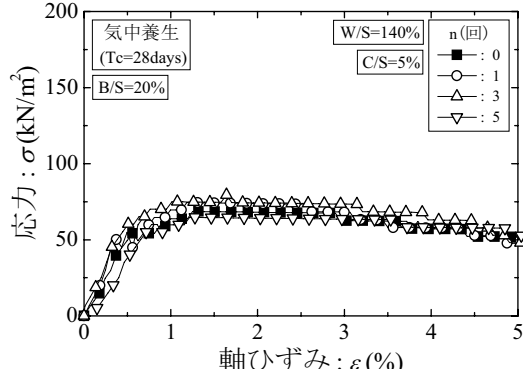
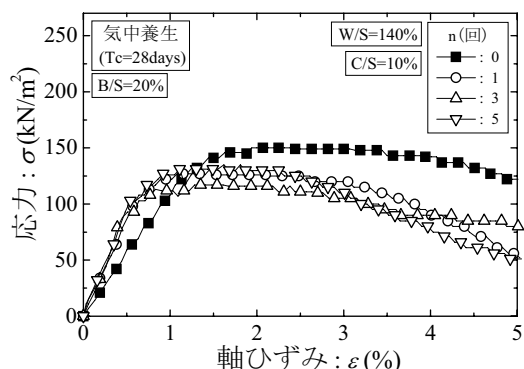
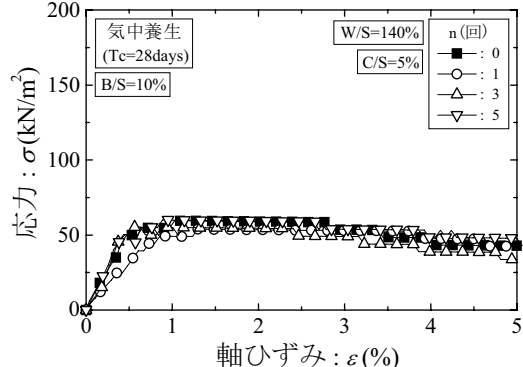
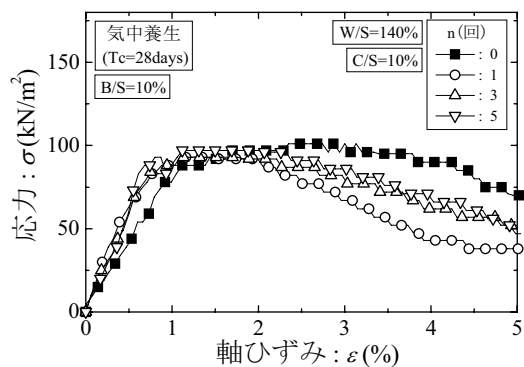
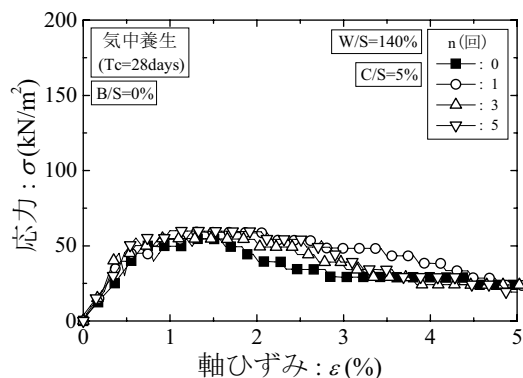
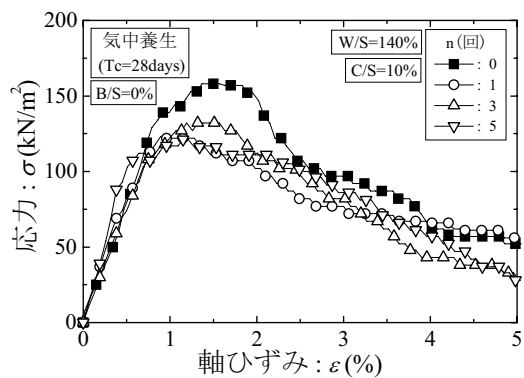


図-3 代表的な応力-ひずみ関係 (C/S=10%)

図-4 代表的な応力-ひずみ関係 (C/S=5%)

q_u 値の変化をより定量的に評価するために、 $\bar{q}_u / \bar{q}_{u(B/S=0\%)}$ と半水石膏添加率の関係を図-6 に示す。なお、図-6 の (a) は C/S=10% の場合を、(b) は C/S=5% の場合を示している。

C/S=10% の場合に着目すると、図より、乾湿繰り返し

を行わなかった場合、B/S=10% の q_u 値は、B/S=0% の q_u 値と比較して 4 割程度低下している。しかしながら、B/S のさらなる増加に伴って q_u 値は徐々に増加し、B/S=20% で B/S=0% の q_u 値と同等程度となり、B/S=40% では B/S=0% の q_u 値の 1.5 倍以上を示す結果となった。また、

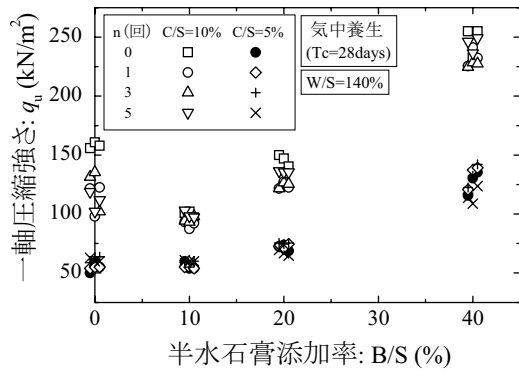


図-5 乾湿繰り返しが一軸圧縮強さと半水石膏添加率に及ぼす影響

乾湿繰り返しを行った場合も、乾湿繰り返し回数によらず、半水石膏を少量添加した際の q_u 値は $B/S=0\%$ の場合より低下しているが、半水石膏添加率を 10~40% まで増加させると、その添加率の増加に伴って、 q_u 値は増加し、 $B/S=40\%$ の場合の q_u 値は $B/S=0\%$ の場合の q_u 値よりも 1.5~2.5 倍程度に増加している。

少量の半水石膏混入に伴って強度が僅かに低下する主要因としては、石膏の混入によってセメントの水和反応が制御されていることが考えられる。セメントを構成しているクリンカー鉱物の一つにアルミネート相 (C_3A) があるが、このクリンカー鉱物は、水を加えることで多量の熱を放出しながら急激で瞬時に硬化する性質を有している。通常は、このようなアルミネート相の水和熱を抑制するために、セメント製造過程において、石膏が凝結調整剤として添加されている。本研究で混入した半水石膏も、セメント製造過程で用いられている石膏と同様に凝結調整剤として作用し、アルミネート相の硬化を過剰に抑制し、強度低下を引き起こしたものと考えられる。

一方、半水石膏添加率の増加に伴って一軸圧縮強さが増加した主要因としては、半水石膏量の増加に伴うエトリンサイト生成量の増加が考えられる。エトリンサイト ($Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$) とは、セメント水和時に、セメント中のアルミネート相(アルミン酸三カルシウム, $3CaO \cdot Al_2O_3$) が硫酸カルシウム ($CaSO_4$, 石膏) と反応して生成される針状結晶の水和物である。この針状結晶は、絡み合って構造が緻密になり、しっかりと結合している。このことから、セメント安定処理土に半水石膏を添加した際の強度改善効果や粘り強さといった特徴を有することが説明できると考えられる。

以上のことから、乾湿繰り返し作用の有無に関わらず、半水石膏添加率を増加させることで、強度を改善できることが示された。さらに、半水石膏を混入していない場合には乾湿繰り返しによる強度低下が顕著に認められるが、半水石膏を混入した場合の強度低下は、半水石膏を混入していない場合と比較して小さなものとなった。このことから、半水石膏を添加することは、乾湿繰り返しによる

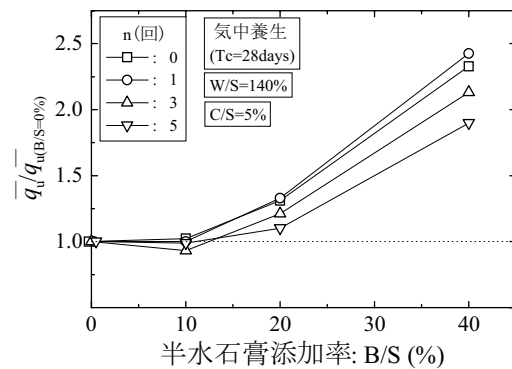
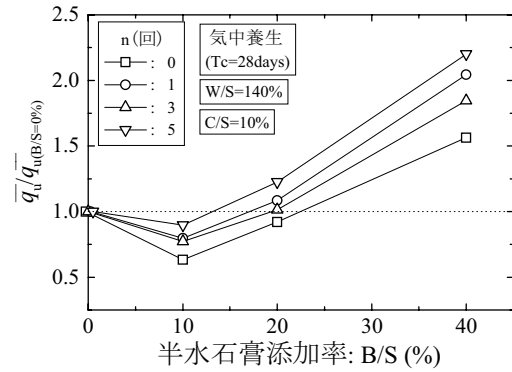


図-6 $\bar{q}_u/\bar{q}_u(B/S=0\%)$ と半水石膏添加率の関係

強度低下に対して有効であることが確認できた。また、図-5 と図-6(b)を比較検討すると、 $C/S=5\%$ の場合においても、養生条件の違いが一軸圧縮強さに及ぼす影響は、 $C/S=10\%$ の場合とほぼ同様の变化傾向となることがわかる。

次に、一軸圧縮強さと乾湿繰り返し回数の関係を図-7に示す。 $C/S=10\%$ の場合に注目すると、 $B/S=0\%$ の場合、乾湿繰り返しによって強度が著しく低下している。しかし、著しい低下が認められるのは乾湿繰り返し回数 1 回目で、2 回目以降の乾湿繰り返しに対しては顕著な強度低下は認められない。一方、半水石膏を混入した場合の一軸圧縮強さは、乾湿繰り返しによって僅かに低下しているが、その低下量は半水石膏を添加していない場合と比較して小さいことがわかる。また、 $C/S=5\%$ の場合においても、乾湿繰り返し回数に伴う強度の変化傾向は、 $C/S=10\%$ の場合とそれほど顕著な差はない。

図-8 は、半水石膏添加率の増加に伴う $\bar{q}_u/\bar{q}_u(n=0)$ の変化を示している。まず、 $C/S=10\%$ の場合に注目する。半水石膏を添加していない供試体の一軸圧縮強さは、乾湿繰り返しを行うことによって、乾湿繰り返しを行っていない場合の 7~8 割程度まで減少するが、半水石膏を添加した供試体の一軸圧縮強さは、9 割程度までしか減少していない。なお、 $C/S=5\%$ の場合には、半水石膏添加の有無によらず、顕著な強度低下は認められておらず、その差異も誤差の範囲内であった。その原因としては、 $C/S=5\%$ の一軸圧縮強さが比較的小さいため、明瞭な結果が得られなかったものと推察される。

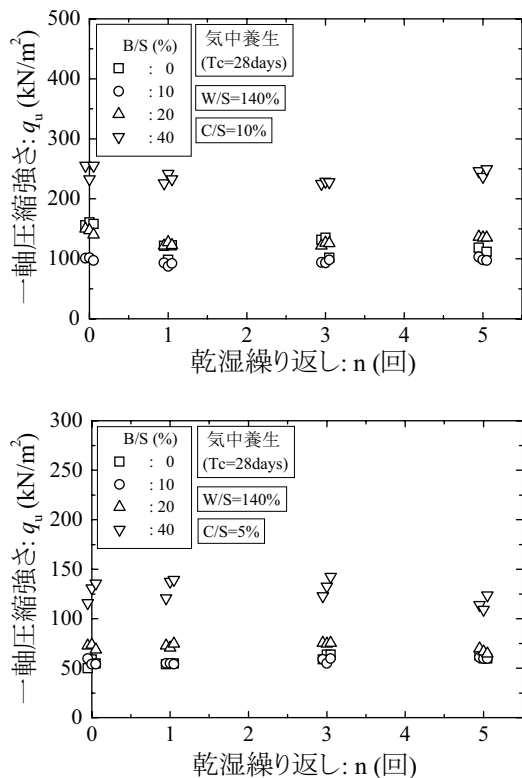


図-7 一軸圧縮強さと乾湿繰り返し回数との関係

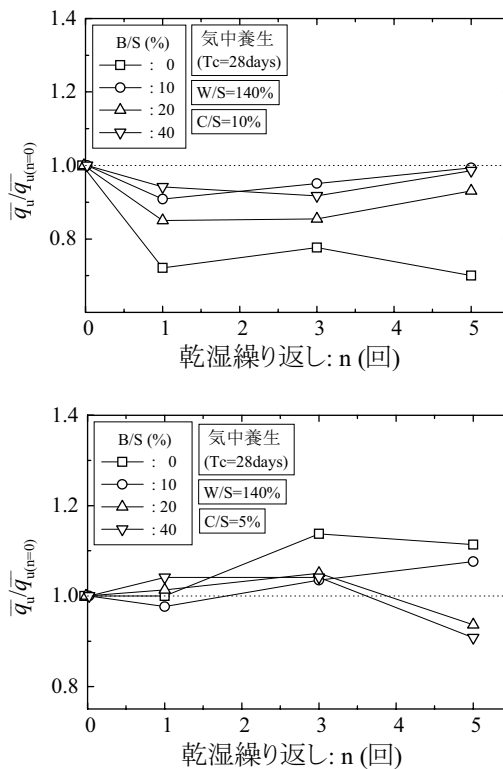


図-8 $\bar{q}_u/\bar{q}_{u(n=0)}$ と半水石膏添加率との関係

乾湿繰り返し返しが半水石膏添加率と乾燥密度の関係に及ぼす影響を検討する(図-9)。まず、C/S=10%の場合に着目する。図より、乾燥密度は乾湿繰り返し作用の有無に関わらず半水石膏添加率の増加に伴って直線的に増加している。半水石膏とMCクレーの土粒子密度はほぼ等しいが、粒度特性が異なる半水石膏を混入することで、供試体中に占める固相(MCクレー、セメント、半水石膏)部分の増加と空隙の減少に伴って、乾燥密度が増加したものと考えられる。一般に乾燥密度が高いほど土構造が密となり、強度が大きくなる傾向があることから、このような半水石膏添加率の増加に伴う乾燥密度の増加が、セメント安定処理土の強度増加に繋がっているものと考えられる。

一方、乾湿繰り返し回数を増やしても乾燥密度の低下はほとんど認められず、いずれの半水石膏添加率においても、乾湿繰り返し回数が乾燥密度に及ぼす影響は極めて小さいことがわかる。このことから、乾湿繰り返し回数の違いが乾燥密度に及ぼす影響は、半水石膏添加率が乾燥密度に及ぼす影響と比較して非常に小さいことがわかる。なお、C/S=5%の場合についても、C/S=10%の場合と同様の傾向を示すことが確認できた。

乾湿繰り返し返しが半水石膏添加率と含水比の関係に及ぼす影響を検討する(図-10)。図より、C/S=10%の場合には、含水比は乾湿繰り返し作用の有無に関わらず半水石膏添加率の増加に伴って直線的に減少していることがわかる。これは、半水石膏添加率の増加に伴って供試体中

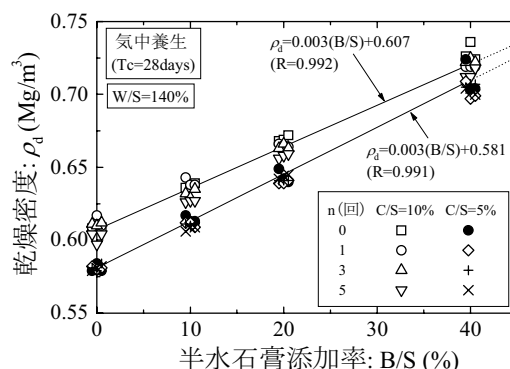


図-9 乾湿繰り返し返しが乾燥密度と半水石膏添加率の関係に及ぼす影響

に占める固相(MCクレー、セメント、半水石膏)の割合が増加することによって、水部分が占める割合が減少するためと考えられる。このような含水比の減少は、乾燥密度の増加と密接に関係しており、結果として強度増加に繋がっているものと考えられる。一方、いずれの半水石膏添加率においても、乾湿繰り返しを行った場合の含水比は、乾湿繰り返しを行わない場合と比較して僅かに大きな値となった。これは、供試体を水浸状態にしたことで、供試体が吸水したためであると考えられる。乾湿繰り返しを行った場合の供試体では、このような含水比の増加が強度低下に繋がったものと考えられる。また、C/S=5%においても、同様の傾向が認められた。

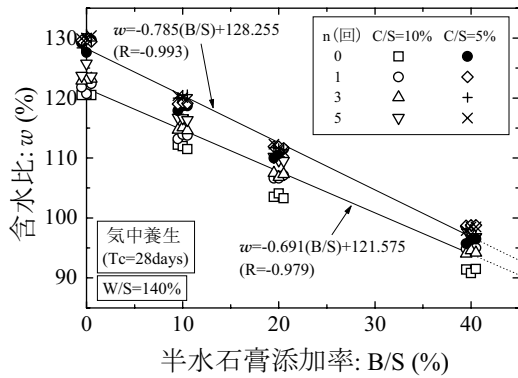


図-10 乾湿繰り返しが含水比と半水石膏添加率の関係に及ぼす影響

5. 結論

本研究では、軟弱粘性土の改良を目的としたセメント安定処理工法に着目し、半水石膏を用いたセメント安定処理土の一軸圧縮特性に及ぼす乾湿繰り返し作用およびセメント添加率の違いによる影響を比較検討した。本研究から得られた主要な結論を以下に述べる。

- (1) 半水石膏を混入したセメント安定処理土は、乾湿繰り返し作用によって強度低下が生じるが、著しい強度低下は、乾湿繰り返し 1 回目であり、2 回目以降の乾湿繰り返しに対しては、顕著な強度低下は生じない。
- (2) 半水石膏を添加していないセメント安定処理土供試体の一軸圧縮強さは、乾湿繰り返しを行うことによって、乾湿繰り返しを行っていない場合の 7~8 割程度まで減少するが、半水石膏を添加した場合の一軸圧縮強さは、9 割程度までしか減少しない。このことから、半水石膏を混入したセメント安定処理土は、乾湿繰り返し作用に対する耐久性に優れていることが明らかとなった。

以上のことから、セメント安定処理工法による軟弱地盤の改良において、半水石膏は地盤改良材として十分に有効であることが明らかとなった。今後は、半水石膏の地盤改良材への有効利用について、詳細な検討を行い実用化していくことで、廃棄物処理問題の解決、さらには循環型社会の構築に大きく貢献できるものと考えられる。

参考文献

- 1) 環境省：環境統計集 3.18 産業廃棄物の業種別廃棄量, <http://www.env.go.jp/doc/toukei/data/09ex318.xls>, 2010.8.
- 2) (社)石膏ボード工業会：石膏ボード製品の生産推移, <http://www.gypsumboard-a.or.jp/6-1-03.pdf>, 2010.8.
- 3) (社)石膏ボード工業会：石膏ボード排出量の推計, http://www.gypsumboard-a.or.jp/haishutsuryou_suikei.shtml, 2010.8.
- 4) 環境省：環境統計集 3.21 産業廃棄物許可件数と最終処分場残存年数の推移, <http://www.env.go.jp/doc/toukei/data/09ex321.xls>, 2010.8.
- 5) 鶴飼恵三：群馬大学地域共同センター報告書—石膏ボードから再生された石膏粉末の地盤改良材としての有効性, 11p, 2005.
- 6) 亀井健史, 蓬萊秀人：フッ素汚染土壌の高炉セメントB種による不溶化技術の開発, 地盤工学ジャーナル Vol.4, No.1, pp.91-98, 2009.
- 7) 亀井健史, 珠玖隆行：廃石膏ボードから再生した半水石膏を混入したセメント安定処理土の一軸圧縮強さ, 地盤工学ジャーナル, Vol.2, No.3, pp.237-244, 2007.
- 8) 亀井健史, 小川靖弘, 志比利秀：半水石膏を利用したセメント安定処理土の水浸条件下における一軸圧縮特性—廃石膏ボードの有効利用—, 土木構造・材料論文集, No.24, pp.122-128, 2008.
- 9) 山陽クレア工業(株)：MC クレー分析データ表, <http://www17.ocn.ne.jp/~cray/sanyo.html>.
- 10) 財団法人 日本規格協会：JIS ハンドブック 10 生コンクリート (第一版), p.202, 2002.
- 11) A. Nakase and T. Kamei: In situ void ratio, strength and overburden pressure anomalies in seabed clays, Proc. IUTAM Symposium on Seabed Mechanics, pp.9-14, 1984.
- 12) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社：NEXCO 試験方法 第1編 土質関係試験方法, pp.23-25, 2009.