

# セメント種類の違いがセメント安定処理土の 一軸圧縮特性に及ぼす影響

亀井 健史\*, 大本 和樹\*\*, 松尾 和俊\*\*\*

\*島根大学総合理工学部 地球資源環境学科

\*\*中国木材(株)

\*\*\*島根大学大学院総合理工学研究科 地球資源環境学専攻

## Effects of Cement Type on Unconfined Compressive Characteristics of Cement-stabilized Soils

Takeshi KAMEI\*, Kazuki OHMOTO\*\* and Kazutoshi MATSUO\*\*\*

\**Department of Geoscience, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering, Shimane University*

\*\**Chugoku Lumber Co., Ltd.*

\*\*\**Department of Geoscience, Interdisciplinary Faculty of Science and Engineering,  
Graduate School of Shimane University*

### Abstract

This paper describes the effects of cement type on unconfined compressive characteristics of cement-stabilized soils. Two cements were used in the present study: the normal portland cement and the portland blast-furnace (B) cement. Results of unconfined compression tests on stabilized soils show that the differences in unconfined compressive characteristics between cement stabilized soil utilizing normal portland cement and portland blast-furnace (B) cement tested at the same compound conditions may be dramatic. In all tests reported herein, the unconfined compressive and deformation modulus of the cement stabilized specimen utilizing portland blast-furnace (B) cement are shown to be quantitatively greater than those of normal portland cement. These findings will lead to proper selection of the cement type for cement-stabilized soils.

### 1. はじめに

地盤の安定処理工法は、工学的に必要な力学的性質を満たしていない軟弱地盤などを構造物の基礎地盤として利用するために、土に安定材を混合し、安定材の化学的硬化作用を利用して、土の性質を改良する地盤改良工法の一つである。対象となる土にセメントを添加・混合し、セメントの硬化作用を利用して地盤改良するものをセメント安定処理工法という。セメントは、我が国の数少ない国産材料であり、入手しやすく、経済的なこと、比較的高い安定効果が得られることなどの利点がある。さらに、セメントの水硬性は、含水性材料の安定化に有利であることなど、数々の特徴がある。セメント安定処理工法は、セメント混合後に、締固めを行うものと、締固めを行わないものに大別される。前者の工法は、路盤、路

床および盛土などの安定を目的とした浅層地盤を対象としている。一方、後者の工法は、高含水比であり、かつ多量のセメント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にしており、セメントそのものの硬化作用あるいは土とセメントとの硬化作用を利用して地盤を改良する<sup>1)</sup>。

このセメント安定処理で最も重要な点は、土とセメントによる強度改善効果である。図-1は、土とセメントの強度増加モデル<sup>2)</sup>を示している。土にセメントを添加・混合すると、まず土粒子の強度をベースとして、セメントの水和反応による含水比の低下、イオン交換や団粒化などによって、塑性指数が低下し、土の物理的特性の改善が行われる。つぎに、セメントの水和反応が進むのに伴い強度が増加し、さらに長期の養生日数を経ることでよりポズラン反応が起こり、安定的な強度の改善が行わ

れる.したがって,セメント安定処理土の強度増加には,セメントの水和反応が大きく寄与している.

地盤のセメント安定処理効果に及ぼす要因は,セメントの性質,対象土の性質と状態,混合処理条件および養生条件に大別される.一般的にセメント安定処理の場合は添加率が高いほど,そして養生日数が長いほど,強度増加する.また,各種のセメントには,対象となる地盤に対して適・不適があり,それぞれの地盤に適合するセメントを選択することが重要である<sup>3)</sup>.さらに,対象土の性質と状態に関しては含水比,有機物の含有量が高くなる,あるいはpHが低くなるほど改良効果は小さくなる<sup>4)</sup>.一方,三浦ほかは,安定処理土を作製する場合,ソイルミキサーによる攪拌時間や攪拌速度の違いが,その強度に影響を及ぼし,対象とする土質の違いによっては,最適な攪拌時間や攪拌速度が異なることを報告している<sup>5)</sup>.安定処理土の養生条件に関しては,改良効果の発現に及ぼす養生温度の影響<sup>4)</sup>,凍結融解による凍上の影響<sup>6)</sup>および浸水による強度変化について報告されている<sup>6)</sup>.近年では,セメント安定処理土の強度変形特性に及ぼす配合条件および養生日数の関係についても定量的

に評価されている<sup>7), 8)</sup>.

上記のような研究成果によりセメント安定処理土の工学的特性に及ぼす影響因子は,種々の角度から研究が進められている.しかしながら,セメントの種類の違いがセメント安定処理土の一軸圧縮特性に及ぼす影響については,定量的に明らかにされていないのが現状である.

以上の観点から,本研究では土質安定処理でよく使用されている2種類のセメント(普通ポルトランドセメント,高炉セメントB種)を用いてセメント安定処理土供試体を作製した.その供試体に対して,種々の養生日数(1~28日)において一軸圧縮試験を行うことにより,セメントの種類の違いがセメント安定処理土の一軸圧縮特性に及ぼす影響について,定量的な観点からの検討を行った.

## 2. 試料および実験方法

### 2.1 試料

本研究では,土木,建設工事に多く使用されており,セメント安定処理土の安定材としても多用されている普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種の2種類のセメントを使用した.普通ポルトランドセメントは,セメント全生産量の大半を占め,長短期においてバランスのとれた強度を発現するセメントである.一方,高炉セメントB種は,高炉スラグとポルトランドセメントクリンカーに,少量の石膏を加え粉砕した混合セメントである.普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種の品質は,JIS R 5210で表-1のように定められている<sup>9)</sup>.また,両セメントの化学成分を表-2<sup>10)</sup>に示す.いずれのセメントもCaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の3成分の合計が全体の約90%程度であり,主要な成分であることがわかる.セメ

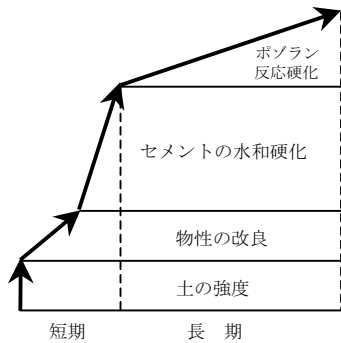


図-1 土とセメントの強度増加モデル<sup>1)</sup>

表-1 セメントの品質<sup>9)</sup>

品質 種類	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	凝結		安定性	圧縮強さ (MN/m <sup>2</sup> )			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					
普通ポルトランド セメント	2500 以上	60 以上	10 以下	良	12.5 以上	22.5 以上	42.5 以上	5.0 以下	3.0 以下	3.0 以下	0.75 以下	0.02 以下
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-2 セメントの化学成分<sup>9)</sup>

セメントの種類	Ig.loss	insol	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	R <sub>2</sub> O	TiO	P <sub>2</sub> O	MnO	Cl
普通ポルトランド セメント	0.8	0.1	21.8	5.1	3.0	63.8	1.7	2.0	0.32	0.50	0.65	0.34	0.11	0.16	0.007
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

単位 : (%)

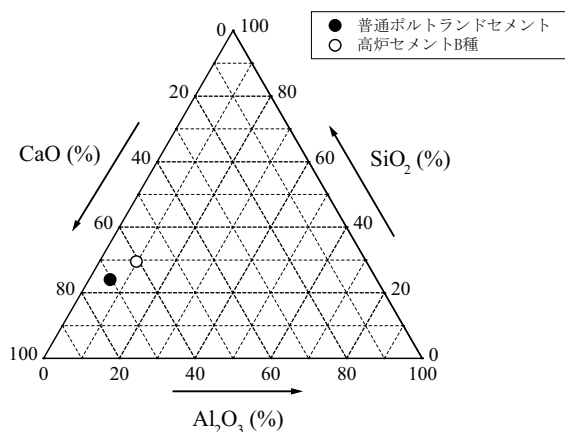


図-2 セメントの主要な成分と組成鉱物の割合

表-3 MC クレーの物理的特性

$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$w_L$ (%)	$w_P$ (%)	$I_p$	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<sup>11)</sup>

Ig.loss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
4.54	68.1	24.8	0.14	0.15	0.02	0.02	1.54	0.56

単位：(%)

ントの主要な成分である CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の比率を、図-2 に示す。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、SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の比率が大きく、逆に CaO は少なくなっている。さらに、高炉スラグの潜在水硬性の発現により長期にわたり強度が増進する。

セメント安定処理土の粘土試料には、一軸圧縮強さに及ぼすセメントの種類の違いによる影響が明瞭に現れるように、成分調整された MC クレーを使用した。MC クレーは、天然のろう石を精製して得られる鉱物の粉末である。その構成鉱物は、パイロフィライト、カオリナイト、セリサイトである。MC クレーの物理的特性および化学成分を、表-3 と表-4 に示す<sup>11)</sup>。また、セメント安定処理土の作製に使用する混練水には、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用いた。

## 2.2 供試体の作製方法

本研究で使用した供試体は、JSF T 821-1990「安定処理土の締固めをしない供試体の作製方法」<sup>12)</sup>に従って作製した。供試体寸法は、 $\phi = 50\text{mm}$ ,  $H = 100\text{mm}$  である。配合条件は、いずれのセメントを用いた場合にも、土セメ

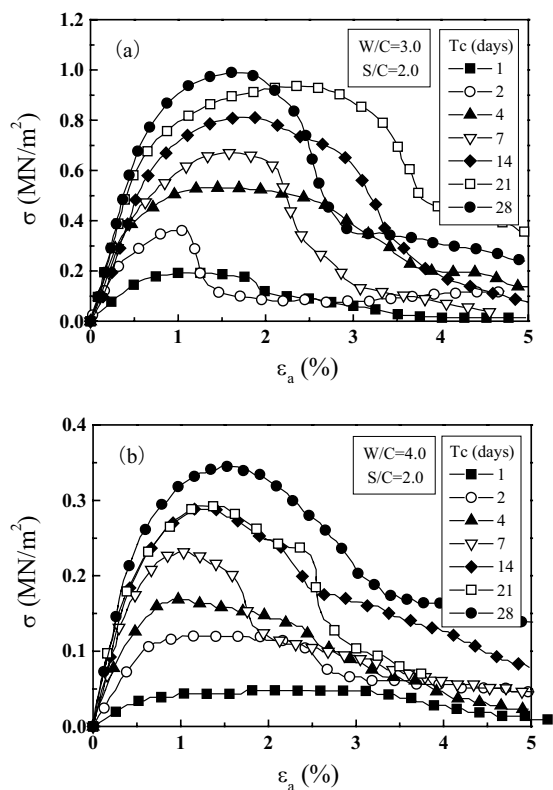


図-3 応力-ひずみ曲線 (普通ポルトランドセメント)

ント比 (S/C) を 2.0 とし、水セメント比 (W/C) を 3.0 としたものと、流動性を高めた W/C = 4.0 の 2 種類を設定した。試料を打設した後、モールドの口をラップシートで密閉し、恒温室(20℃)で所定の日数まで気中養生した。養生日数は、1, 2, 4, 7, 14, 21, 28 日の 7 種類を設定した。所定の養生日数を経た供試体は、両端面を成形し、実験に用いた。

## 2.3 実験方法

本研究では、土の最も基本的な強度、変形特性を評価する手段として一軸圧縮試験を行った。一軸圧縮試験は、ひずみ制御方式で行い、せん断時のひずみ速度は 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、一軸圧縮試験装置の上下加圧板の表面にシリコングリスを薄く塗布した。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 応力-ひずみ曲線

図-3 (a), (b) は、水セメント比 (W/C) が 3.0 と 4.0 とした場合の普通ポルトランドセメントを用いたセメント安定処理土の応力-ひずみ曲線を示している。図より、応力は、軸ひずみの増加に伴って顕著な立ち上がりを示し、1.0~2.5%程度においてピーク値に達する。応力-ひ

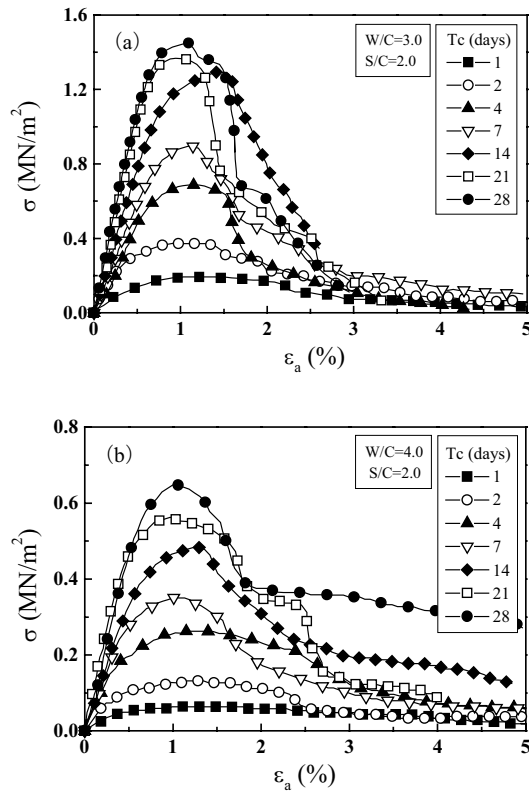


図-4 応力-ひずみ曲線 (高炉セメントB種)

ずみ曲線にピークが認められた後、応力値は荷重の継続に伴い、徐々に減少していく。図-3 (a) に着目すると、 $T_c = 1$  日の一軸圧縮強さ ( $q_u$ ) は  $0.19 \text{ MN/m}^2$  であるが、 $T_c$  の長期化に伴い徐々に増加してゆき、 $T_c = 28$  日には  $q_u = 0.99 \text{ MN/m}^2$  に達する。 $T_c$  の経過に伴う  $q_u$  値の増加は、 $W/C$  が異なる図-3 (b) でも認められた。破壊ひずみ ( $\varepsilon_f$ ) は、いずれの  $W/C$  においても  $0.5\sim 2.5\%$  の範囲でばらついており、 $\varepsilon_f$  値と  $T_c$  の間に明瞭な関係は認められなかった。つぎに、応力-ひずみ曲線の初期勾配を示す変形係数 ( $E_{50}$ ) に着目する。図-3 (a) において、 $T_c = 1$  日の  $E_{50}$  値は  $29 \text{ MN/m}^2$  であるのに対して、 $T_c = 28$  日の  $E_{50}$  値は  $141 \text{ MN/m}^2$  まで増加している。 $q_u$  値と同様に  $E_{50}$  値が、 $T_c$  の長期化に伴い増加する傾向は、 $W/C$  が異なる図-3 (b) においても認められた。さらに、応力ピークの後の強度低下は、 $T_c$  が長期化するほど大きくなった。

$W/C=3.0$  と  $4.0$  とした場合の高炉セメントB種を用いたセメント安定処理土の応力-ひずみ曲線を図-4 (a), (b) に示す。図より、応力は、軸ひずみの増加に伴って顕著な立ち上がりを示し、 $1.0\sim 1.5\%$  程度においてピーク値に達する。図-4 (a) に着目すると、 $q_u$  値は  $T_c = 1$  日では  $0.19 \text{ MN/m}^2$  であるが、 $T_c$  の長期化に伴い増大しており、 $T_c = 28$  日では  $1.44 \text{ MN/m}^2$  まで増加している。また、 $E_{50}$  値は、 $T_c$  の長期化に伴い増加する ( $E_{50}=29\sim 220 \text{ MN/m}^2$ ) 傾向を示している。このような  $T_c$  の経過に伴う  $q_u$  値と  $E_{50}$  値の増加は、 $W/C=4.0$  の場合 (図-4 (b)) においても認められた。

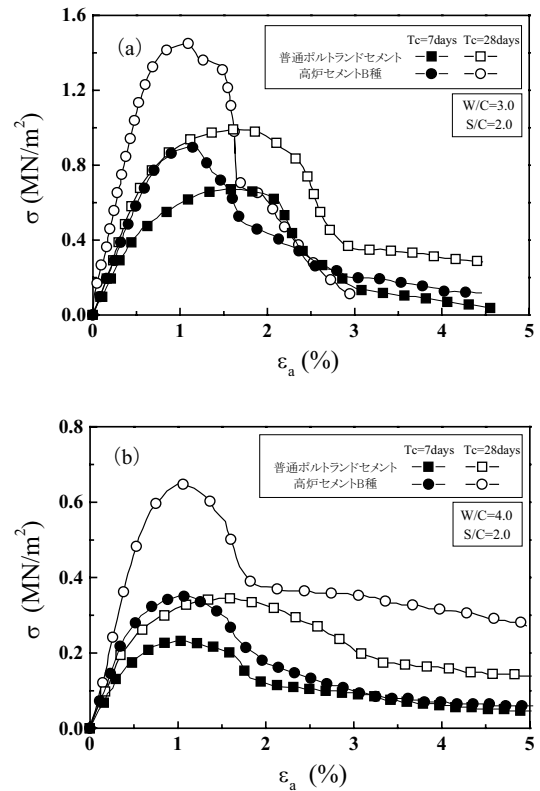


図-5 セメントの違いが応力-ひずみ曲線に及ぼす影響

つぎに、普通ポルトランドセメントと高炉セメントB種を用いた場合の応力-ひずみ曲線の比較を試みる。図-5 (a), (b) は、 $W/C=3.0$  および  $4.0$  の場合の  $T_c=7, 28$  日の応力-ひずみ曲線を示している。図-5 (a) より、 $T_c=7$  日では、高炉セメントB種を用いた場合の  $q_u$  値は、普通ポルトランドセメントを用いた場合の  $q_u$  値の約  $1.3$  倍程度となっている。さらに、 $T_c=28$  日では、両者の差は拡大し、約  $1.4$  倍となっている。このような傾向は、 $W/C=4.0$  の場合 (図-5 (b)) においても認められ、いずれの養生日数および  $W/C$  においても、高炉セメントB種を用いた場合の  $q_u$  値は、普通ポルトランドセメントを用いた場合の  $q_u$  値より大きくなることの実験的に明らかとなった。また、 $E_{50}$  値に関しても、高炉セメントB種を用いた場合の  $E_{50}$  値が、普通ポルトランドセメントを用いた場合の  $E_{50}$  値より大きくなっている。

### 3.2 一軸圧縮強さと養生日数の関係

セメントの種類の違いが、一軸圧縮強さ ( $q_u$ ) と養生日数 ( $T_c$ ) の関係に及ぼす影響を明らかにするために、一軸圧縮強さ ( $q_u$ ) と養生日数 ( $T_c$ ) の関係を図-6 に示す。図-6 (a), (b) は、それぞれ水セメント比 ( $W/C$ ) が  $3.0$  と  $4.0$  の場合である。図から高炉セメントB種を用いた供試体の  $q_u$  値は、 $T_c$  によらず普通ポルトランドセメントを用いた供試体と比較して、すべて大きな値を示しており、 $T_c = 28$  日では  $1.5\sim 1.8$  倍の値を示している。

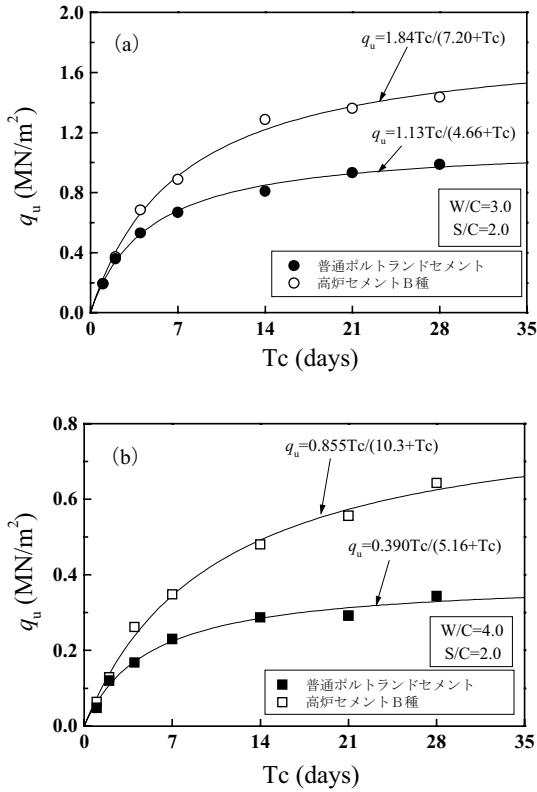


図-6 一軸圧縮強さと養生日数の関係

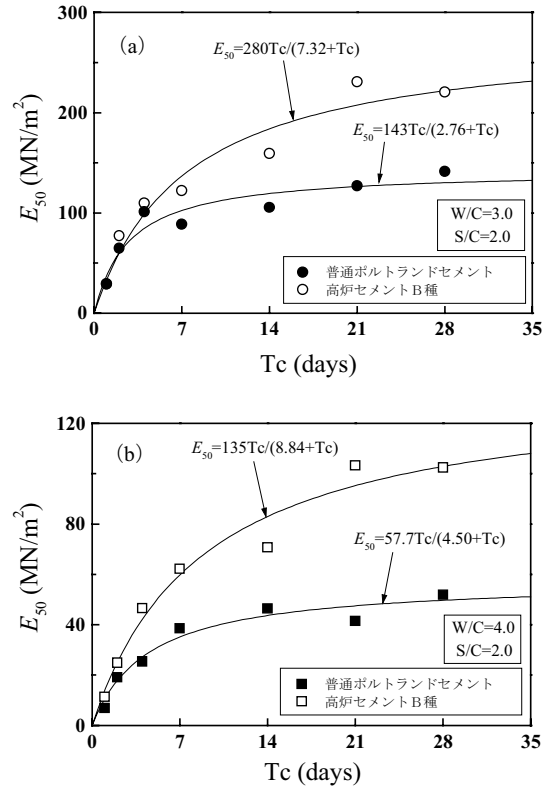


図-8 変形係数と養生日数の関係

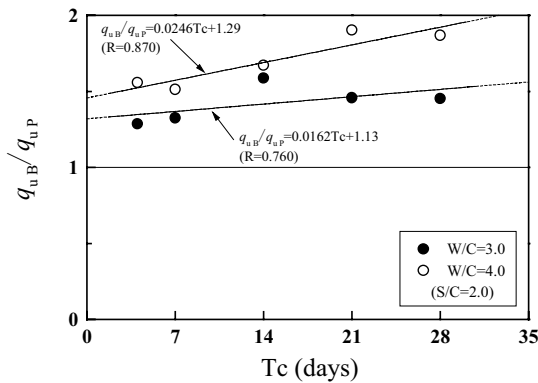


図-7 養生日数と  $q_{uB}/q_{uP}$  値の関係

図-6 (a) に着目すると、セメントの種類の違いによらず  $q_u$  値は、 $T_c = 7$  日までは急激かつ直線的に増加している。しかしながら、 $T_c$  が長期化するのに伴い、 $q_u$  値の増加傾向は緩やかになっている。また、高炉セメント B 種を用いた場合は、普通ポルトランドセメントを用いた場合と比較して、養生初期の  $q_u$  値の増加が急勾配であり、 $q_u$  値の増加量も大きくなる傾向が認められた。上記のような傾向は、W/C=4.0 の場合 (図-6 (b)) においても認められた。さらに、 $q_u$  値は、セメントの種類の違いによらず、 $T_c$  が短い場合には急激に増加し、 $T_c$  が長期化するのに伴い増加傾向が緩やかとなる双曲線近似によって定式化できた。

つぎに、W/C=3.0 および W/C=4.0 の各々において、高

炉セメント B 種を使用した場合の  $q_u$  値 ( $q_{uB}$  値) を普通ポルトランドセメントを使用した場合の  $q_u$  値 ( $q_{uP}$  値) で正規化することにより、セメントの種類の違いによる  $q_u$  値の変化を定量的に評価する (図-7)。図より、( $q_{uB}/q_{uP}$ ) 値と  $T_c$  の間には高い相関性を有する直線関係が認められる。この関係式より、 $T_c$  の経過に伴い、( $q_{uB}/q_{uP}$ ) 値は増大していくことがわかる。またこの関係は、W/C を大きくした配合の場合に顕著に現れている。このことから、流動性を高くしたセメント安定処理土ほど、セメントの種類の違いによる影響が顕著に現れる可能性が示唆された。

### 3.3 変形係数と養生日数の関係

図-8 (a), (b) は、それぞれ水セメント比 (W/C) が 3.0 と 4.0 の場合の変形係数 ( $E_{50}$ ) と養生日数 ( $T_c$ ) の関係を示している。図から、 $E_{50}$  値は  $T_c$  によらず高炉セメント B 種を用いた供試体が普通ポルトランドセメントを用いた供試体よりすべて大きな値を示しており、 $T_c = 28$  日では約 2 倍の値を示している。図-8 (a) に着目すると、 $E_{50}$  値は、セメントの種類の違いによらず  $T_c = 4$  日までは急激かつ直線的に増加しているが、 $T_c$  が長期化するのに伴い、 $E_{50}$  値の増加傾向は緩やかになっている。また、普通ポルトランドセメントを用いた場合と比較して、高炉セメント B 種を用いた場合は、 $T_c$  の増加に伴う  $E_{50}$  値の増加率が大きく、 $E_{50}$  値の増加量も大きくなる傾

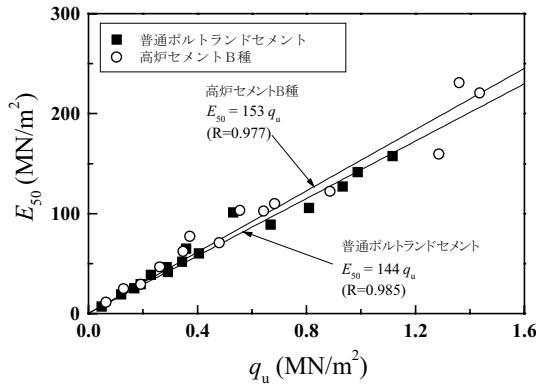


図-9 変形係数と一軸圧縮強さの関係

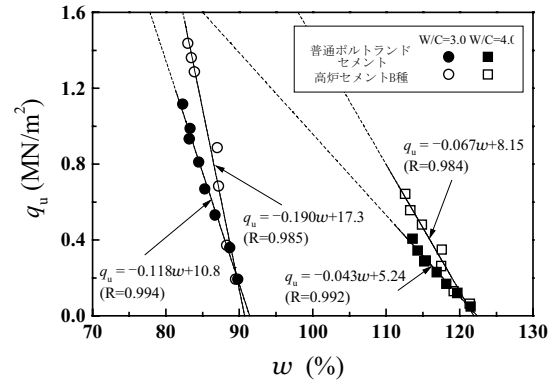


図-10 一軸圧縮強さと含水比の関係

向が認められた. このような傾向は, W/C=4.0 の場合 (図-8 (b)) においても認められた. また, セメントの種類の違いによらず,  $E_{50}$  値と  $T_c$  の関係も, 一軸圧縮強さ ( $q_u$ ) と  $T_c$  の関係と同様に, 双曲線近似により表現することができた.

### 3.4 変形係数と一軸圧縮強さの関係

変形係数 ( $E_{50}$ ) と一軸圧縮強さ ( $q_u$ ) の関係について検討する. セメント安定処理土の  $E_{50}$  値と  $q_u$  値の相関性は高く,  $E_{50}=192q_u^{0.71}$ ,  $E_{50}=640q_u^{0.13}$  および  $E_{50}=80\sim 250q_u^{0.14}$  などの比例関係にあることが報告されている. 本研究で得られた  $E_{50}$  値と  $q_u$  値の関係は, 図-9 に示すとおりとなった.  $E_{50}$  値は, セメントの種類の違いによらず,  $q_u$  値の増加に伴い直線的に増加しており,  $E_{50}$  値と  $q_u$  値の間には, 既往の報告と同様に, 比例関係が認められた. また, 本研究の結果より, 高炉セメント B 種を用いた場合の  $E_{50}/q_u$  値は, 普通ポルトランドセメントを用いた場合と比べるとわずかに大きくなっていることが明らかとなった.

### 3.5 一軸圧縮強さと含水比の関係

図-10 は, 一軸圧縮強さ ( $q_u$ ) と含水比 ( $w$ ) の関係を示している. いずれのセメントを用いた場合にも  $q_u$  値は,  $w$  値の減少に伴い直線的に増大する傾向を示しており, その相関性は非常に高い. また, 水セメント比 (W/C) の違いによらず,  $w$  値の減少に伴う  $q_u$  値の増加率は, 高炉セメント B 種を用いた場合には, 普通ポルトランドセメントを用いた場合よりも大きな値を示した.

### 3.6 一軸圧縮強さと乾燥密度の関係

一軸圧縮強さ ( $q_u$ ) と乾燥密度 ( $\rho_d$ ) の関係を図-11 に示す. 図より, セメントの種類の違いによらず,  $q_u$  値は  $\rho_d$  値の増大に伴い直線的に増加することがわかる. また, 水セメント比 (W/C) が 3.0 と 4.0 のいずれの場合も,  $\rho_d$

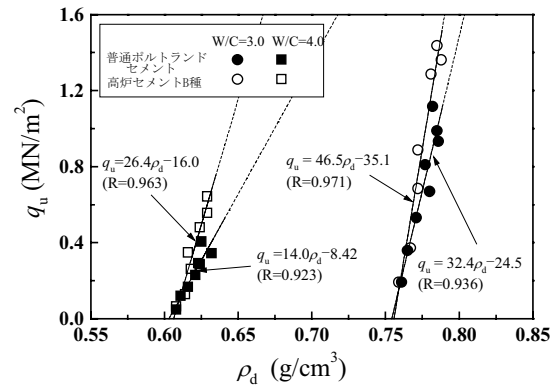


図-11 一軸圧縮強さと乾燥密度の関係

値の増加に対する  $q_u$  値の増加量は, 高炉セメント B 種を用いた場合が, 普通ポルトランドセメントを用いた場合よりも大きくなった. このことから, 高炉セメント B 種を用いた場合には, 普通ポルトランドセメントを用いる場合より, 水和反応による内部構造の発達が著しいものと考えられる.

## 4. まとめ

本研究から得られた主要な結論を以下に示す.

- (1) セメントの種類の違いによらず, 一軸圧縮強さ ( $q_u$ ) および変形係数 ( $E_{50}$ ) と養生日数 ( $T_c$ ) の関係は,  $T_c$  が短い場合には急激に増加し,  $T_c$  が長期化するのに伴い増加傾向が緩やかとなる双曲線近似によって定式化できた.
- (2) いずれの  $T_c$  および水セメント比 (W/C) においても, 高炉セメント B 種を用いた場合の  $q_u$  値および  $E_{50}$  値は, 普通ポルトランドセメントを用いた場合より大きな値を示した. また, その差も定量的に明らかにした.
- (3) W/C を大きくし, 流動性を高くした配合ほど, セメントの種類の違いによる強度発現に及ぼす影響が顕著に現れる可能性が示唆された.

以上のことから, セメント安定処理土に用いるセメン

トの種類としては、高炉セメント B 種が力学的特性の観点から有意であることが明らかとなった。また、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、経済的な面でも安価であることを付記しておく。

### 参考文献

- 1) 地盤工学会:土質試験の方法と解説,第5編 安定化試験,安定処理土の突固めによる供試体作製,pp.236-245,1990.
- 2) 藤田圭一編:実用軟弱地盤対策技術総覧,第2編 第2章,産業技術サービスセンター,1993.
- 3) 中村六史,三浦哲彦,松田応作:有明粘土に対する地盤改良材の適用上の問題と地盤改良についての現地調査,土と基礎,Vol.35, No.5, pp.9-14, 1987.
- 4) 馬場崎亮一,寺師昌明,鈴木健夫,前川 淳,川村政史,深沢栄造:安定処理土の強度に及ぼす影響因子,地盤工学会,セメント系安定処理土に関するシンポジウム発表論文集,pp.20-41,1996.
- 5) 三浦哲彦,古賀良治,西田耕一:有明粘性土に対する生石灰を用いた深層混合処理工法の適用,土と基礎,Vol.34, No.4, pp.5-11, 1986.
- 6) 石田 宏:低含水比火山灰質粘性土の石灰及びセメントによる土質安定処理と凍害防止,土と基礎,Vol.43, No.8, pp.15-18, 1995.
- 7) 亀井健史,大本和樹,志比利秀,松尾和俊:セメント安定処理土の強度変形特性,島根大学総合理工学部紀要シリーズ A, Vol.36, pp.17-24, 2002.
- 8) 亀井健史,大本和樹,志比利秀,松尾和俊:セメント安定処理土の一軸圧縮強さに及ぼす配合条件の影響,島根大学総合理工学部紀要シリーズ A, Vol.36, pp.9-15, 2002.
- 9) 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.194,2002.
- 10) セメント協会:セメント系固化材による地盤改良マニュアル(第二版),pp1~48,1985.
- 11) 山陽クレー工業株式会社:MCクレー分析データ表,2000.
- 12) 地盤工学会:土質試験の方法と解説,第5編 安定化試験,安定処理土の締固めをしない供試体作製,pp.255-262,1990.
- 13) 青木雅路,丸岡正夫,幾田悠康:山留めにおける根切り地盤の壁状改良効果—ソイルセメント改良壁—,第22回土質工学会研究発表会発表講演集,pp.1305-1306,1987.
- 14) 水野恭男,苗村康造,松本淳之介:深層混合処理工法による山砂の改良実験,第23回土質工学会研究発表会発表講演集,pp.2301-2304,1988.