

## カルシア改質土による埋立造成

## Reclamation by CaO Improved Soil

山 越 陽 介*	赤 司 有 三	菅 野 浩 樹
Yosuke YAMAGOSHI	Yuzo AKASHI	Hiroki KANNO
高 木 信 浩	田 中 裕 一	
Nobuhiro TAKAGI	Yuichi TANAKA	

## 抄 録

カルシア改質土は、強度発現特性や液状化抵抗性等から、海面埋立の造成材として適していると考えられる。カルシア改質土の埋立資材としての有用性について、土質特性、配合設計方法、工物品質管理方法、造成後の地盤評価の観点から検証した。1) 土質特性に関し、カルシア改質土は二次圧密係数と圧縮指数の比や繰返しせん断応力比が大きいことから、長期圧密沈下が小さく、液状化しない材料であると考えられる。2) 配合設計法に関し、カルシア改質土はセメント固化処理土と同様の手法で配合設計が可能である。3) 施工管理方法に関し、カルシア改質土の短期強度、湿潤密度の測定により目標強度の達成状況を予測することが可能であり、品質管理手段として有用であることが示唆された。4) 造成地盤の評価に関し、現地のコーン貫入試験結果、表面波探査結果から、目標強度を満足していることを確認した。

## Abstract

“CaO-improved soil” suits with construction material of reclamation, because of its strength and aseismicity. In this study, we examined soil characteristics, and reclaimed artificial ground made of dredged soil and steelmaking slag by using pipe mixing method for the first time. From the result of the survey, 1) Long term consolidation settlement of “CaO-improved soil” is shorter than sand, “CaO-improved soil” is not liquefaction. 2) Designing of mix proportion of “CaO-improved soil” is as same as cement stabilization. 3) Unit weight and short-time strength were useful for predicting sustained strength. 4) Strength of cone and surface wave velocity were useful for assessing ground strength.

## 1. 緒 言

周辺を海洋に囲まれ、国土の狭い我が国では、昔から空港や工業用地の創出のため、海面埋立工事が行われてきた。海面埋立工事には大量の土砂が必要となるが、浚渫土の利活用事例として、中部国際空港人工島造成工事等では浚渫土をセメント改良することで、海面埋立資材として活用されている。埋立資材に求められることとして、所定強度や耐震性を確保できること、配合設計方法が確立されていること、工物品質管理ができること、上記によって造成された地盤が所定性能を満たしていること、が挙げられる。これに対し、カルシア改質土は強度発現特性や液状化抵抗性を有していることから、埋立資材としても有効であると考えた。本報では、カルシア改質土の埋立資材としての有用性について、名古屋製鉄所にて実施した埋立工事事例を用

いて、土質特性、配合設計方法、工物品質管理方法、造成後の地盤評価の観点から検証する。

## 2. 土質特性

## 2.1 短期圧密特性

カルシア改質土の圧密特性を評価するために、管中混合工法を用いたミニプラント打設試験で混練され、打設前に採取されたカルシア改質土から作成した試料（10cm 径×4cm 高）を用いて圧密試験を実施した。なお、浚渫土の含水比は 1.6wL に調泥したもの（含水比=118.4%、細粒分含有率=75.3%、液性限界 wL=74%）を用いて、改質材の混合割合は 30 vol% とした。

試験は強度レベルを変えて 5 ケース行い、圧密試験結果の例を図 1<sup>1)</sup> に、一軸圧縮強さと圧密降伏応力の関係を図 2<sup>2)</sup> に示す。セメント固化処理土と同様に、カルシア改質土で

\* 君津製鉄所 資源エネルギー部 スラグ技術室 千葉県君津市君津 1 番地 〒299-1141

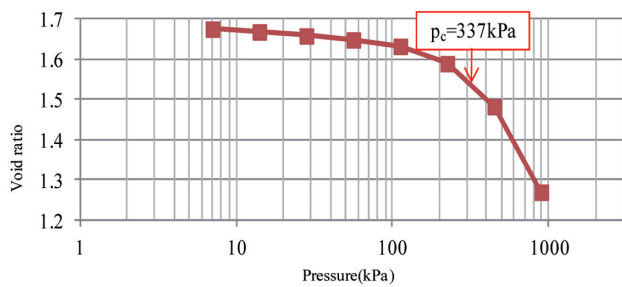


図1 圧密試験結果<sup>1)</sup>  
Experiment of consolidation

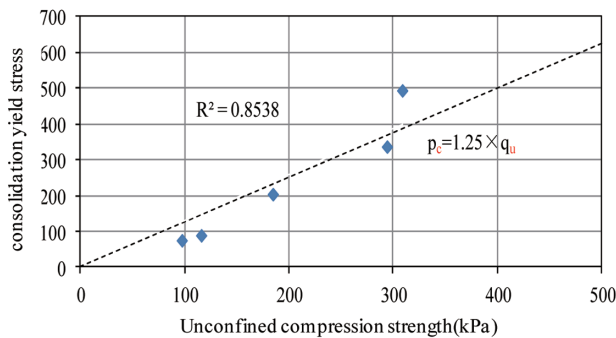


図2  $P_c \sim q_u$  関係<sup>1)</sup>

Relationship between consolidation yield stress and unconfined compressive strength

も明確な降伏点が確認でき、圧密降伏応力  $P_c$  と一軸圧縮強さ  $q_u$  には  $P_c = 1.25 \times q_u$  の関係が得られた。

### 2.2 長期圧密特性

粘土系地盤では、上載荷重載荷後に数年かけて長期的な圧密が進み、上部構造物が沈下するといった事象が生じる懸念がある。カルシア改質土の長期的な圧密沈下挙動を把握するために長期圧密試験を行い、二次圧密的なクリープ変形量を求めた。浚渫土の含水比は 1.4wL に調泥したものの（含水比=124.6%，細粒分含有率=88.7%，液性限界=89%）を用いて、改質材の混合割合は 25 vol% とした。長期圧密試験結果から、二次圧密係数と圧縮指数の比  $C_{\alpha}/C_c$  をまとめたものを表 1<sup>1)</sup> に示す。一般的な沖積粘土の  $C_{\alpha}/C_c$  はおよそ 0.03 ~ 0.04 の範囲<sup>2)</sup> であるのに対し、カルシア改質土の  $C_{\alpha}/C_c$  は 0.0012 ~ 0.0106 と 1/10 以下であり、長期的に圧密しにくい材料であることがわかる。

### 2.3 動的特性

カルシア改質土の液状化特性を把握するために、繰返し三軸試験を実施した。なお、浚渫土の含水比は 1.4wL に調泥したものの（含水比=124.6%，細粒分含有率=88.7%，液性限界=89%）を用いて、改質材の混合割合は 25 vol% とした。

図 3<sup>1)</sup> に試験結果を示す。繰返し載荷に伴い、過剰間隙水圧は発生するものの、過剰間隙水圧比は 1.0 に至らず、

表 1 カルシア改質土の二次圧密係数と圧縮指数の比  $C_{\alpha}/C_c$ <sup>1)</sup>  
Ratio of second coefficient of consolidation and compressive index of CaO-improved soil

		Ratio of duration time and finish time of first consolidation	
		$t/t_p = 10$	$t/t_p = 100$
Load of consolidation	0.5 $p_c$	0.0029	0.0012
	1.0 $p_c$	0.0106	0.0028
	1.5 $p_c$	0.0092	0.0028

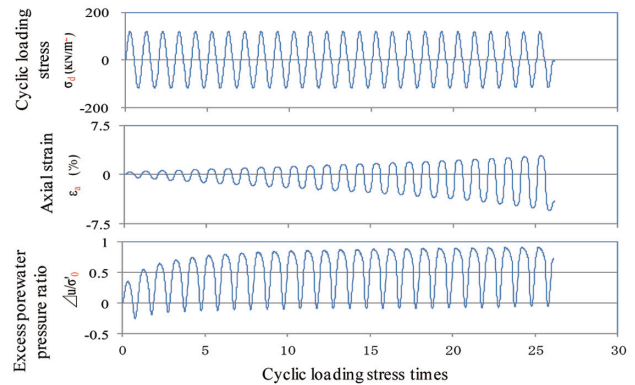


図3 繰返し三軸試験結果<sup>1)</sup>  
Result of cyclic undrained triaxial test

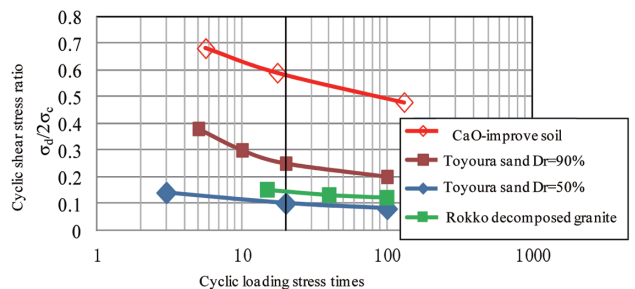


図4 繰返しせん断応力比と繰返し回数との関係<sup>1)</sup>  
Relationship between cyclic shear stress ratio and cyclic loading stress times

載荷中において増加と減少を繰り返している。また、ひずみの変化については、載荷回数に応じて軸ひずみの発生、増加が見られるが、粒度の揃った“きれいな砂”の様な急激なひずみの増加は発生していない。

次に繰返しせん断応力比と繰返し回数との関係を図 4<sup>1)</sup> に示す。また、比較として 1995 年阪神淡路大震災の際に大規模に液状化した六甲まさ土や液状化試験にしばしば用いられる豊浦砂 (Dr (相対密度) = 50%) や締めめた豊浦砂 (Dr = 90%) の結果もあわせて示す。六甲まさ土や豊浦砂 (Dr = 50%)、豊浦砂 (Dr = 90%) と比較してカルシア改質土の繰返しせん断応力比は非常に大きい。これらのことから、カルシア改質土は液状化しない材料であると考えられる。

### 2.4 ピーク後の軟化挙動

カルシア改質土中に混合されている改質材は粒状材料

であるため、強度特性においてピーク強度後に生じるせん断帯の幅が厚くなり、挙動が変化する可能性がある。そこで、圧密非排水試験により、改質材の最大粒径（25mmと5mm）の異なるカルシア改質土について応力～ひずみ関係を整理した。なお、浚渫土の含水比は1.6wLに調泥したもの（含水比=142.4%、細粒分含有率=97.9%、液性限界=89%）を用いて、改質材の混合割合は25vol%とした。

図5りに最大粒径5mm, 25mmの試験結果をそれぞれ示す。両図より、カルシア改質土では、軸ひずみ4%程度で応力のピークを迎えることと、改質材の最大粒径が25mmの場合にはその後の強度低下が小さいことがわかる。

2.5 透水性

土の透水係数の概略値は、表2のとおりである。カルシア改質土について、圧密試験より得られた透水係数を図6

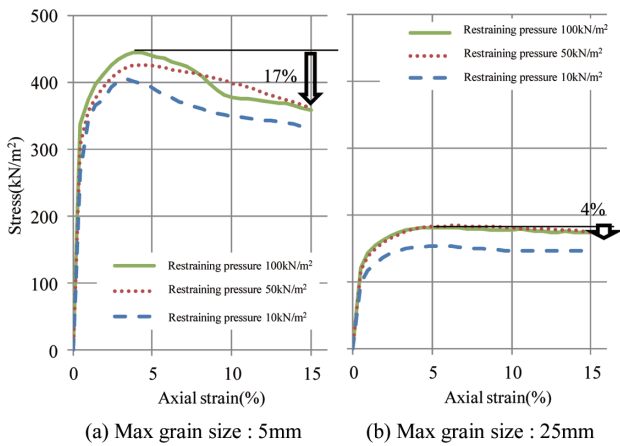


図5 カルシア改質土の応力-ひずみ関係<sup>1)</sup>

Relationship between stress and strain of CaO-improved soil

表2 土の透水係数の概略値  
Coefficient of permeability of soil

	Sand	Silt	Clay
Coefficient of permeability (cm/s)	$10^{-2}$	$10^{-5}$	$10^{-7}$

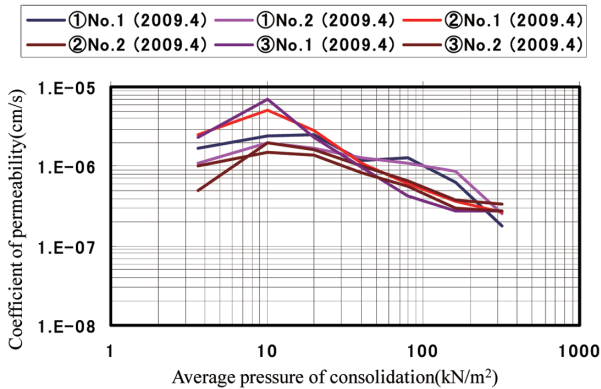


図6 カルシア改質土の透水係数  
Coefficient of permeability of CaO-improved soil

に示す。図6より、カルシア改質土の透水係数は、 $10^{-7} \sim 10^{-6}$  cm/sであり、粘土～シルトの透水係数に該当することがわかる。

3. 施工概要

新日鐵住金(株)名古屋製鉄所の東海元浜ふ頭北公有水面埋立工事にて、埋立柱として初めてカルシア改質土を適用した。施工は東地区（2012年4～5月、約3万m<sup>3</sup>）と西地区（2013年3～9月、約41万m<sup>3</sup>）の2回に分けて実施したが、本報では東地区の施工について述べることにする。埋立工事の平面図を図7に、断面図を図8にそれぞれ示す。

カルシア改質土の混合は、長距離圧送、大規模急速施工に適する管中混合工法を選定した。写真1～3<sup>2)</sup>に施工中の状況を示す。

浚渫土とカルシア改質材の計量は、以下に記述するように実施した。まず、圧送船上のバックホウのバケット内部には、オペレーターが浚渫土投入目安を視認できる目印をあらかじめ設置しておき、土運船から一定量の浚渫土を確保する。次に、写真4<sup>2)</sup>に示すようにベルトコンベアでカルシア改質材の定量切り出しを行い、バケット内部で浚渫土：カルシア改質材=75：25の容積比率となるように計量する。ここで、計量した材料を空気圧送船のホッパーに投

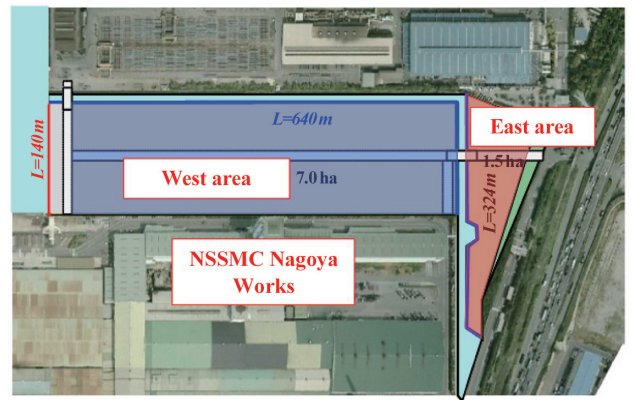


図7 埋立工事平面図  
Plan of reclamation work

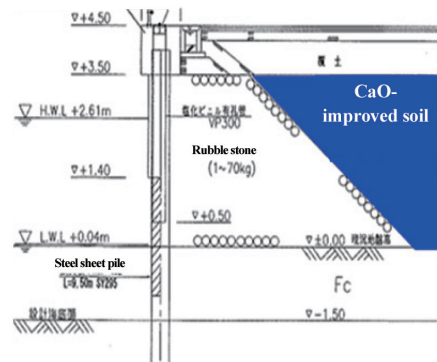


図8 埋立工事断面図  
Cross section of reclamation work



写真1 圧送船<sup>2)</sup>  
Air pressure type transfer vessel



写真3 打設状況<sup>2)</sup>  
Situation of pouring



写真2 埋立エリア<sup>2)</sup>  
Location of reclamation



写真4 カルシア改質材計量状況<sup>2)</sup>  
Situation of measuring steelmaking slag

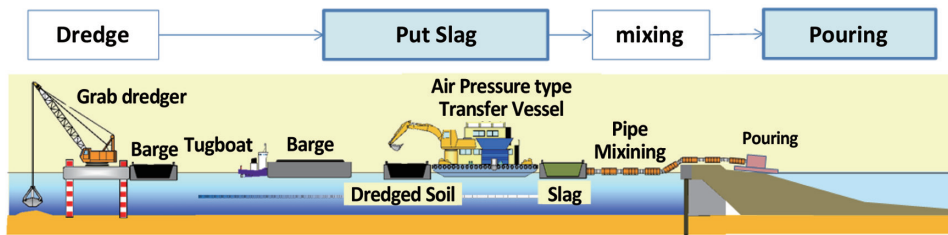


図9 施工フロー<sup>2)</sup>  
Flow of reclamation work

入し、管径 800mm、圧送距離 300m の管中で圧送混合して、埋立地内に設置した減勢サイクロンで貯泥槽に受けた後、コンクリートポンプで2次圧送と打設を行った(図9<sup>2)</sup>)。なお、施工期間中の周辺海域の水質 (pH, SS (浮遊物質量)) については、工事施工区域境界にて1回/日で計測を行い、規制値以下であることを確認した。

#### 4. 材 料

浚渫土は名古屋港周辺の2地点でそれぞれ採取し、カルシア改質材は JIS A 5001 に規定されている CS-20 の粒度相当のものを使用した。各々の材料特性を表3<sup>2)</sup>に、粒度分布を図10<sup>2)</sup>にそれぞれ示す。エリアAの浚渫土はシルト粘土分が多く、エリアBの浚渫土は砂分が多いことがわかる。また、環境省の2009年度環境技術実証事業(ETV事業)において、カルシア改質土について水底土砂基準に適合することをカルシア改質土の実海域適用の実施条件としている<sup>3)</sup>が、これらの材料も各々が当該基準に適合していることを確認している。

表3 各材料の物性値<sup>2)</sup>  
Physical properties of dredged soil and steelmaking slag

		Unit	Dredged soil		Steelmaking slag	
			Area A	Area B		
Soil density		$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	2.644	2.648	3.04
Consistency	Liquid limit	wL	%	109.8	58.5	-
	Plastic limit	wP	%	38.5	31.9	-
	Plasticity index	IP	-	71.3	26.6	-
Grain size distribution (%)	Gravel	-	%	0.14	12.44	75.1
	Sand	-	%	13.8	53.60	22.7
	Silt	-	%	70.2	20.00	2.2
	Clay	-	%	15.9	13.96	
	Max grain size	-	mm	9.5	26.0	25
Wet density		-	g/cm <sup>3</sup>	1.303	1.636	-
Ignition loss		Li	%	11.6	8.5	-
Natural water content		w0	%	171.3	73.3	5.2
Natural water content /liquid limit		w0/wL	-	1.56	1.25	-

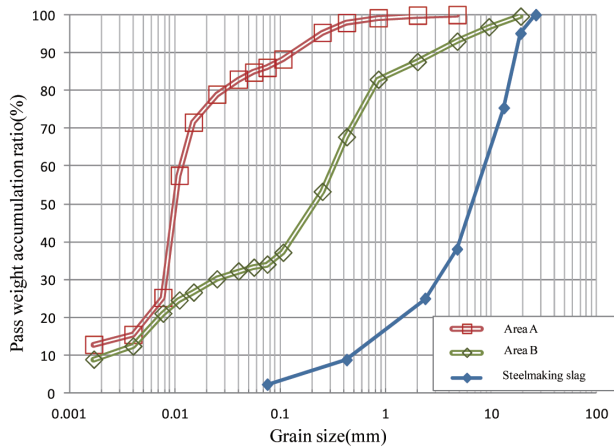


図 10 粒径加積曲線<sup>2)</sup>  
Gradation curve

## 5. 配合設計方法

### 5.1 配合設計の考え方

カルシア改質土の基本的な配合設計思想は、管中混合固化処理工法技術マニュアルに準ずる。図 11<sup>4)</sup> に設計基準強度  $q_{uck}$  と不良率の関係を示す。横軸に一軸圧縮強さ  $q_u$ 、縦軸に頻度  $n$  をとると、強度分布は正規分布を示す。このとき、造成地盤から取得したサンプルの中で、設計基準強度  $q_{uck}$  を下回るサンプルの比率を不良率と定義しているが、不良率が許容値を超えないように管理することとされている。

式 (1) に配合設計式を示す。設計基準強度  $q_{uck}$  に対し、強度比  $\beta$ 、不良率に関する係数  $\alpha$ 、変動係数  $\nu$  を加味して室内配合強度  $q_{ul}$  を算出する。室内配合試験では、この室内配合強度  $q_{ul}$  を満足する最小のカルシア改質材配合率を選定する。

$$q_{ul} = \frac{q_{uck}}{\beta(1-\alpha\nu)} \quad (1)$$

施工時のカルシア改質土の配合を決定するため、事前に該当エリアの浚渫土を採取し、室内配合試験を実施した。造成地盤の設計基準強度は  $q_{uck} = 30 \text{ kN/m}^2$  である。ここで、管中混合固化処理工法技術マニュアルから、設計における不良率の許容値を 25% と設定する。また、カルシア改質土における事前フィールド試験<sup>5)</sup>の結果から現場（水中）平均強度／室内配合強度  $\beta = 0.63$ 、水中打設における強度の変動係数  $\alpha = 0.23$  と設定し、式 (1) に代入すると、室内配合強度  $q_{ul} = 60 \text{ kN/m}^2$  となる。

また、管中混合工法で打設する場合、施工性を確保するため、空気圧送時の流動性及び材料分離特性を確認する必要があるが、明確な基準はないが、シリンダーフロー値（JHS A 313）で 90 ～ 110 mm 程度が一般的な目安とされている。

### 5.2 配合試験結果

事前配合試験では、施工量の 9 割以上を占めるエリア A 浚渫土を用いた。原泥の含水比は 1.56 wL であったが、実

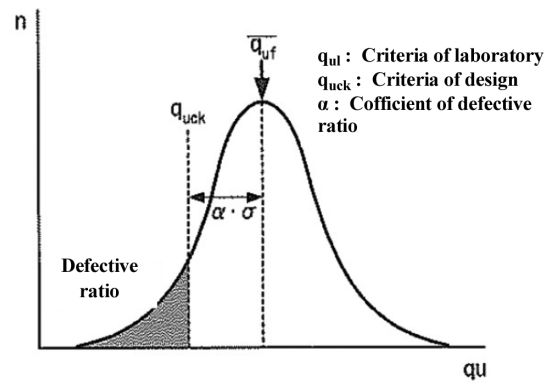


図 11 設計基準強度と不良率の関係<sup>4)</sup>  
Relationship between criteria and defective ratio

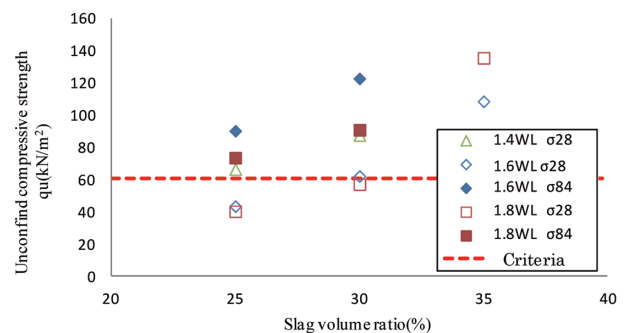


図 12 一軸圧縮強さ試験結果（室内）<sup>2)</sup>  
Unconfined compressive strength of laboratory

際の施工時には日々含水比が変動することを想定し、配合試験では含水比を 1.4 ～ 1.8 wL の範囲で変化させて試験を行った。ここで、カルシア改質材の配合率は、浚渫土を含む全体容積に対する比率を表しているが、30% 程度の配合率とするのが一般的であるため、30% ± 5% で配合率を変化させて配合試験を行い、恒温室で気中養生させた後に一軸圧縮強さ試験を実施した。混練後、3 か月以内に室内配合強度  $q_{ul} = 60 \text{ kN/m}^2$  を達成することを可否判断の基準とした。

図 12<sup>2)</sup> に一軸圧縮強さ試験の結果を示す。液性限界比別、養生日数別に結果をプロットすると、30%、35% 配合では 28 日時点で目標を達成できていることがわかる。また、25% 配合の場合にも、養生 84 日で室内配合強度  $q_{ul} = 60 \text{ kN/m}^2$  を達成し、強度品質を満足することを確認した。

また、図 13<sup>2)</sup> に配合試験のカルシア改質材の配合率と改質土のフロー値の関係を示す。全ケースでフロー値は 90 ～ 120 mm 程度と一般的な目安と同等程度であり、材料分離は確認されなかった。

上記の試験結果から、カルシア改質材の容積比率 25% を施工時の基本配合として選定した。

### 5.3 施工結果

#### (1) 強度

カルシア改質土の水中部強度比  $\beta = 0.63$ <sup>5)</sup> から、設計基

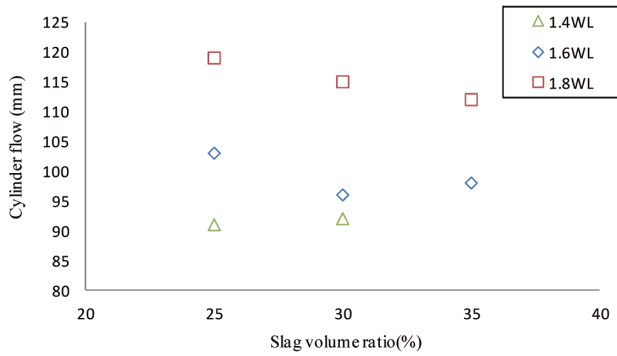


図 13 シリンダーフロー試験結果 (室内)<sup>2)</sup>  
Cylinder flow test of laboratory

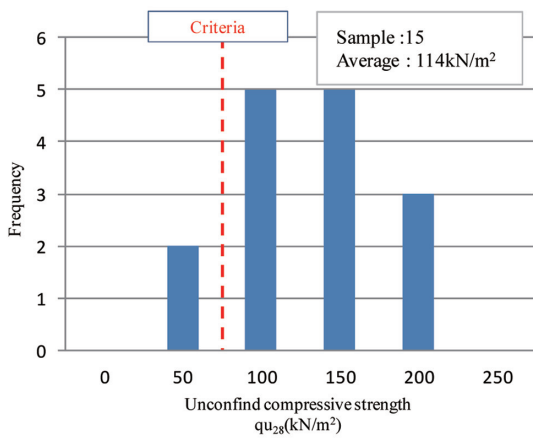


図 14 カルシア改質土の $\sigma_{28}$  一軸圧縮強さ分布<sup>2)</sup>  
Histogram of unconfined compressive strength in site

準強度  $q_{uck} = 30 \text{ kN/m}^2$  に対し、現場目標強度は  $30/0.63 = 48 \text{ kN/m}^2$  となる。これに対し、現場での 15 日間のカルシア改質土施工における一軸圧縮強さ (材令 28 日) の分布を図 14<sup>2)</sup> に示すが、現場平均強度は  $114 \text{ kN/m}^2$  であり、現場目標強度を達成できていることを確認できた。また、材令 28 日においても  $48 \text{ kN/m}^2$  を下回った試料は全 15 試料中 2 試料であり、不良率  $= 2 \div 15 \times 100 = 13\%$  となることから、配合設計時に設定した不良率の許容値 25% 以下についても達成していることを確認できた。

(2) 施工性

フロー値と圧力勾配の関係について、この結果と文献値<sup>4,5)</sup>を合わせて図 15<sup>2)</sup> に示す。本施工では浚渫土の初期含水比がエリア A では  $0.4 \sim 1.6 \text{ wL}$ 、エリア B では  $0.5 \sim 1.5 \text{ wL}$  と変動があったため、その影響でカルシア改質土のフロー値も  $82 \sim 156 \text{ mm}$  と変動が大きくなったが、施工期間中に圧送トラブルは生じなかった。

なお、空気圧送の管径が大きくなると圧力勾配は小さくなること、実施した  $800 \text{ mm}$  径の大管径においても、セメント固化処理土を  $710 \text{ mm}$  径で圧送した時と圧力勾配は同等であること、カルシア改質土のフロー値と圧力勾配の関係は、粘性土系、砂質土系の浚渫土共にセメント固化処理土と同等であることがわかった。

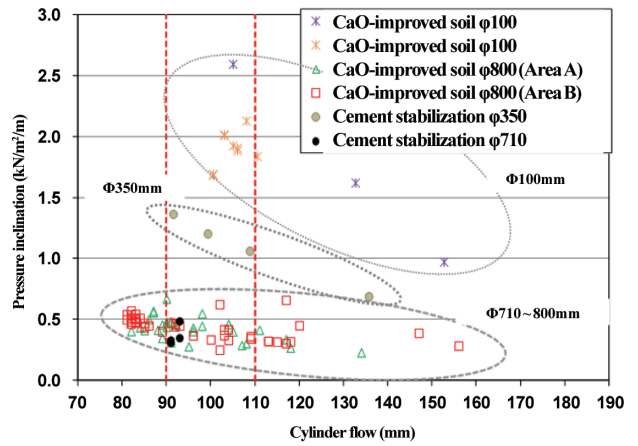


図 15 フロー値と圧力勾配<sup>2)</sup>  
Relationship between cylinder flow and pressure inclination

上記より、カルシア改質土においても、セメント固化処理土と同様の手法で配合設計が可能であることを実証した。

6. 施工品質管理方法

6.1 カルシア改質土の短期強度と長期強度の関係

施工管理上の課題は、現場浚渫土の含水比の変動等の不確定要因に対して、設計基準強度を満足するように日々管理する評価手法を構築することであるが、それには、強度を短期間で予測し、必要に応じて施工にフィードバックし品質を確保する手段が必要である。セメント系固化材による改質において、短期強度から長期強度を予測して品質管理を行った事例が知られている<sup>4)</sup>が、カルシア改質土でも同様の管理が可能であるか検証した。

現場での 15 日間の施工中に貯泥槽で採取したカルシア改質土を現場養生し、一軸圧縮試験 (材令 3 日, 7 日, 28 日) を実施した結果を図 16<sup>2)</sup>, 図 17<sup>2)</sup> に示す。浚渫土の初期含水比がエリア A では  $0.4 \sim 1.6 \text{ wL}$ 、エリア B では  $0.5 \sim 1.5 \text{ wL}$  と変動があったため、カルシア改質土の強度の変動は大きくなったが、材令 3 日と 28 日の間には  $y = 2.30x$  ( $R^2 = 0.79$ )、材令 7 日と 28 日の間には  $y = 1.55x$  ( $R^2 = 0.88$ ) の高い相関があり、短期強度から長期強度を精度よく予測することが可能であることがわかった。これより、カルシア改質土の品質管理方法として、短期強度から強度を予測することが可能であることが示唆された。

6.2 カルシア改質土の湿潤密度と強度の関係

6.1 より短期強度から強度を予測することが可能であることが示唆されたが、打設後のより早い段階で強度を予測できれば固化材投入量の適正管理につながる。そのため、打設当日の評価方法の構築に取り組んだ。

カルシア改質土の含水比が大きいのほど強度が小さくなるが、表 3 よりカルシア改質材の表乾密度  $3.04$ 、浚渫土エリア A, B の土粒子密度  $2.648, 2.644$  に対し、海水の密度は  $1.03$

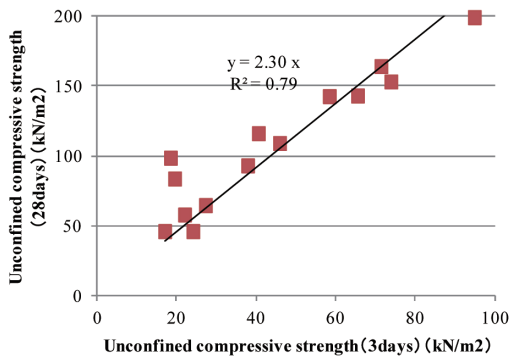


図 16 一軸圧縮強さ  $\sigma_3$ - $\sigma_{28}$ <sup>2)</sup>

Relationship between age of 3days and 28days of unconfined compressive strength

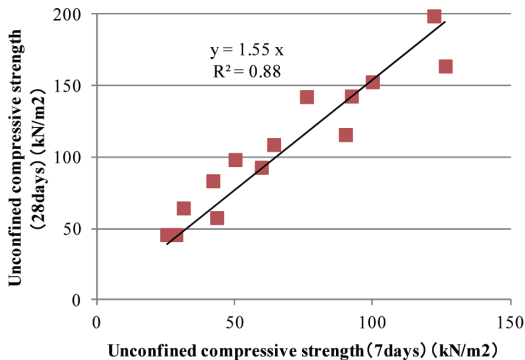


図 17 一軸圧縮強さ  $\sigma_7$ - $\sigma_{28}$ <sup>2)</sup>

Relationship between age of 7days and 28days of unconfined compressive strength

と小さいため、含水比が大きいほどカルシア改質土の湿潤密度が小さくなる。そのため、筆者らはカルシア改質土の湿潤密度を計測することで日々の含水比の変動による強度の変動を表現できるのではないかと考えた。

施工期間 15 日間中の一軸圧縮強さ（材令 28 日）と湿潤密度（日平均値）との関係を図 10 に示す。湿潤密度は、2 次圧送前に計測し、一軸圧縮強さについては、採取したカルシア改質土を現場養生して試験を実施した。浚渫土の初期含水比がエリア A では 0.4 ~ 1.6wL, エリア B では 0.5 ~ 1.5wL と変動があったため、カルシア改質土の湿潤密度の変動は大きくなったが、強度と正の相関が認められた。

なお、湿潤密度の変動は、混合ばらつきに起因するカルシア改質材の混入量ばらつきによっても発生する。混練ばらつき状況を把握するため、同じ土運船バージで打設したカルシア改質土の湿潤密度のばらつきを検証する。そこで、1 日の中で 1 時間毎に 4 試料、5 時間の間に合計 20 試料を採取したカルシア改質土サンプルの湿潤密度の分布の一例を図 11 に示す。このときの浚渫土の含水比は 30.3%であった。湿潤密度の変動係数は 0.011 と小さく、混合ばらつきは小さいと考えられる。これより、カルシア改質土においては、浚渫土の含水比の差異に起因する強度発現の差異を、湿潤密度の計測によって確認できることが示唆された。

上記より、カルシア改質土の短期強度、湿潤密度の測定により目標強度の達成状況を予測することが可能であることが示唆された。

## 7. 造成地盤の評価

埋立地盤の設計基準強度は、一軸圧縮強さで管理することとしている。しかし、カルシア改質土において、打設時に設置した塩化ビニール管やブロックサンプリングでの表層試料採取は可能であるが、一定深度以上では試料採取が困難であることが既往の調査からわかっている<sup>6)</sup>。そのため、深度方向の調査が可能なコーン貫入試験、地盤全体の評価が可能な表面波探査を組み合わせることで造成地盤の評価に取り組んだ。

### 7.1 深度方向における評価

造成地盤 16000m<sup>2</sup> について、計 5 点で電気式静的コーン貫入試験を埋立 1 か月、3 か月の時点で実施した。図 18<sup>2)</sup> に、事前フィールド試験<sup>5)</sup> で得られた  $q_c = 12.1 \times q_u$  を用いてコーン先端抵抗値を一軸圧縮強さに変換した値を示す。縦軸の深度 (m) は、カルシア改質土の天端からの距離を意味している。ここで、設計基準強度 30kN/m<sup>2</sup> と比較すると、深度方向全体で目標強度を達成できていることが示された。また、2 点で行ったブロックサンプリングの一軸圧縮強さ試験結果と比較すると、コーン貫入試験の値とほぼ同等であることを確認できた。

### 7.2 地盤全体の評価

埋立 3 か月後の造成地盤における表面波探査の結果を図 19<sup>2)</sup> に示す。深度 0 ~ 1 m の範囲は覆土に該当し、深度 1 ~ 6 m の範囲がカルシア改質土に該当する。ここで、計測

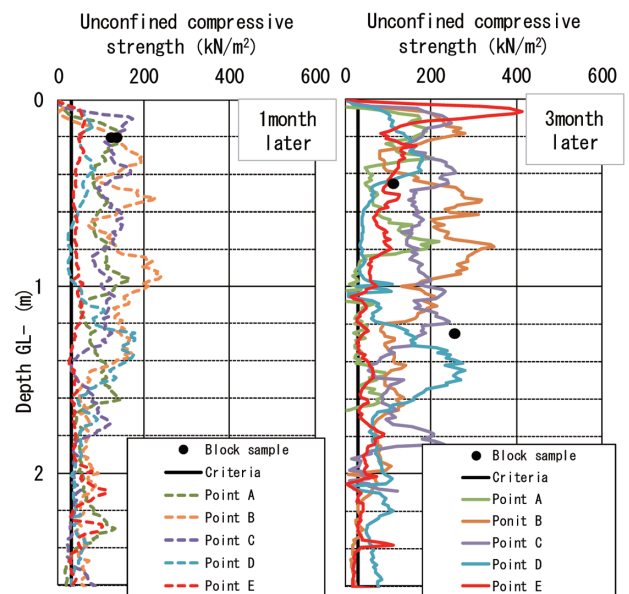


図 18 一軸圧縮強さの深度分布<sup>2)</sup>  
Distribution of depth strength

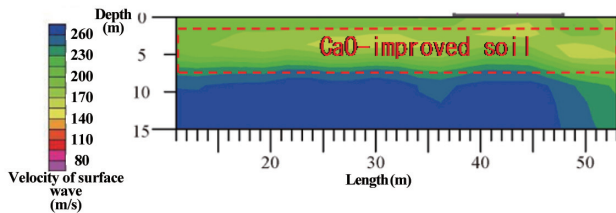


図 19 表面波探査結果<sup>2)</sup>  
Result of surface wave method

された S 波速度  $V_s$  から地盤の一軸圧縮強さ  $q_u$  を推定する。セメント改良土において、楠見ら<sup>7)</sup>が  $V_s$  と  $q_u$  の関係式 (2) を提案している。

$$q_u = 1.0 \times 10^{-5} \cdot V_s^{1.872} \quad (2)$$

計測されたカルシア改質土地盤の  $V_s$  は、およそ 150 ~ 200 (m/s) 程度である。式 (2) に  $V_s$  を代入し、推定  $q_u$  を算出するとおよそ 120 ~ 200 (kN/m<sup>2</sup>) となり、平面方向にも設計基準強度 30kN/m<sup>2</sup> を達成することが示された。なお、本方法で算出した推定  $q_u$  の範囲はブロックサンプリングで得られた  $q_u = 130$  (kN/m<sup>2</sup>) 程度とも合致する。

上記より、静的コーン貫入試験や表面波探査を用いて造成地盤全体が目標強度を達成していることを確認できた。

## 8. 結 言

カルシア改質土の埋立造成材としての有用性について、下記の知見を得た。

- 1) 土質特性に関し、カルシア改質土は二次圧密係数と圧縮指数の比や繰返しせん断応力比が大きいことから、長期圧密沈下が小さく、液状化しない材料であると考えられる。
- 2) 配合設計法に関し、カルシア改質土はセメント固化処理土と同様の手法で配合設計が可能である。
- 3) 施工管理方法に関し、カルシア改質土の短期強度、湿潤密度の測定により目標強度の達成状況を予測することが可能であり、品質管理手段として有用であることが示唆された。
- 4) 造成地盤の評価に関し、現地のコーン貫入試験結果、表面波探査結果から、目標強度を満足していることを確認した。

## 謝 辞

施工中の調査に関して御協力頂いた、五洋建設(株)・東亜建設工業(株)・東洋建設(株)・若築建設(株)共同企業体に感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 赤司有三, 山越陽介, 田中裕一, 大久保泰宏: カルシア改質土で造成された地盤の特徴. 地盤工学会誌. 60 (11), 12-15 (2012)

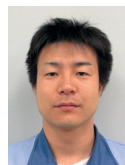
- 2) 山越陽介, 赤司有三, 中川雅夫, 菅野浩樹, 田中裕一, 辻匠, 今村正, 渋谷貴志: カルシア改質土の管中混合による海面埋立. 土木学会論文集 B3. 69 (2), I\_952-I\_957 (2013)
- 3) 環境省: 平成 21 年度環境技術実証事業- 転炉系製鋼スラグ製品による沿岸域の環境改善技術- 実証試験結果報告書. 2009, p. 156
- 4) (財)沿岸技術研究センター: 管中混合固化処理工法技術マニュアル改訂版. 2008
- 5) 田中裕一, 山田耕一, 大久保泰宏, 渋谷貴志, 中川雅夫, 赤司有三, 一村政弘, 山越陽介: カルシア改質土を用いた海面埋立と地盤の評価. 土木学会論文集 B3. p.I\_486-I\_491 (2012)
- 6) 武田将英, 五明美智男, 永留健, 辻井正人, 木曾英滋, 中川雅夫: 浚渫土と転炉系製鋼スラグの混合固化改良の実海域試験- 連続式混合投入施工. 海洋開発論文集. 27, 351-356 (2008)
- 7) 楠見晴重, 芦田譲, 西田一彦, 河口琢哉, 林徹明: S 波反射法による地盤中のセメント混合改良層の連続的な強度分布の評価法. 土木学会論文集. No.666/III-53, 333-338 (2000)



山越陽介 Yosuke YAMAGOSHI  
君津製鉄所 資源エネルギー部  
スラグ技術室  
千葉県君津市君津 1 番地 〒299-1141



赤司有三 Yuzo AKASHI  
設備・保全技術センター 土木建築技術部  
スラグ利用技術室長



菅野浩樹 Hiroki KANNO  
君津製鉄所 設備部 土建技術室  
主査



高木信浩 Nobuhiro TAKAGI  
名古屋製鉄所 エネルギー・資源化推進部  
スラグ室長



田中裕一 Yuichi TANAKA  
五洋建設(株) 技術研究所 土木技術開発部  
担当部長