

未利用地産資源を改良活用した無機系構造・仕上材の開発

DB-12414 土田健太

1. はじめに

昨今、左官職人らによる手仕事が再注目されており、住宅や商業施設の壁に自然素材を使用している例が数多く見られる。中でも地産材料である、土や石は左官職人らによって様々な工法で使用されてきており、素材の持つ色がまちの景観に特徴を持たせてきた。

しかしながら、工業化された乾式工法の普及により、土地に根付いた景観が失われつつある。まちの景観を保存再生するためにも、その土地にある材料を最大限に生かした建築材料の開発が急務であるといえる。

そこで本研究では、各地で発生する建設発生土や、未だ有効的な使い道がなく、付加価値の低い土資源を「地産材料」ととらえ、その土の色や質感を活かした構造・仕上げ材の開発を行う。

図1に本研究の流れを示す。研究1では、各地で採取可能な未利用資源のうち風化花崗岩である真砂土(写真a)、そして公共事業に伴い発生する建設発生土(写真b)に焦点を当て検討を進めた。建設発生土に関しては、東京都都市づくり公社の施設にて、都内での公共事業の際に発生する建設発生土の実態調査を行った。研究2では、研究1での検討材料を採取し、それらの物性調査を行った。研究3では、採取してきた未利用資源の活用として、セメント系固結材によるモルタルの作成を行い、その物性評価及び印象評価を行った。

2. 各地の未利用資源に関する調査(研究1)

表1に研究1の調査内容を示す。花崗岩は石英と長石と雲母という3つの造岩鉱物から成っており、真砂土はその花崗岩の風化物を起源とする風化残積土である。この土の性質は、母材である花崗岩の風化程度により幅広く変化することが特徴である。また切土斜面の安定、降雨の際の浸食性に問題を残すため、土砂災害を起ししやすい土である¹⁾。花崗岩は中国地方で多く産出するため、その風化物である真砂土は中国地方の地産材料であるといえる。また地域によっては、この真砂土は第二種建設発生土に指定されていることも確認できた²⁾。よって真砂土を未利用地産資源の改良活用の検討に加え、活用の可能性を模索する。

建設発生土については、全国的にその半数が建設工事のみでは有効利用できておらず、更なる有効利用対策が

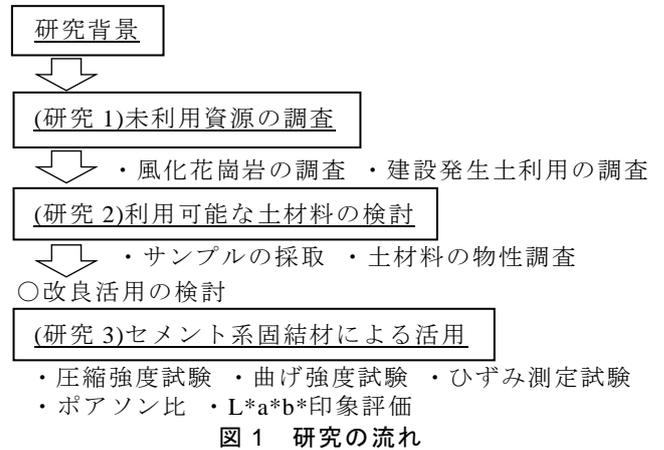


図1 研究の流れ



a) 真砂土採取場(百島) b) 建設発生土処理場(青梅)

図2 未利用地産資源

表1 研究1における調査内容

○風化花崗岩(真砂土)に関する調査 ¹⁾	
真砂土の概要	<ul style="list-style-type: none"> 真砂土は花崗岩の風化物を起源とする風化残積土 母材である花崗岩の性質と風化程度によって幅広く変化するのが特徴 切土斜面の安定、降雨の際の浸食性に問題を残すため、土砂災害を生じやすい土 花崗岩は石英、長石、雲母という3つの造岩鉱物からなる これらのうち雲母や長石は鉱物が気候の変化による物理的風化で粘土質へと変化 よって真砂土は、風化の受けにくい粗粒の石英、雲母、長石が粘土化したもので組成
分布	<ul style="list-style-type: none"> 日本の地質図によれば、中国地方に多く分布していることがわかる 対して、北海道、東北の内陸側、九州四国の太平洋側の分布は少ない 花崗岩の明るい色調は、瀬戸内海に面する地域の景観に影響している 花崗岩が多い地域には、その風化物である真砂土も多く堆積している
○建設発生土に関する調査 ²⁾	
概要	<ul style="list-style-type: none"> 建設発生土は、建設工事に伴い副次的に発生する土砂や汚泥と定義 建設発生土であるとは同時に、その土地に根付いた地産材料である 不法投棄などの不適正な処分が環境に負荷を与えている 発生土の適正利用の促進を図るため、国土交通省「発生土利用基準について」(平成18年)が関係機関へ通知 コーン指数により第一種から第四種発生土そして泥土に区分 礫や砂が多いこれらの第一種、第二種の区分体は、埋め戻しや道路盛り土、土地造成などの土木分野で活用

求められている²⁾。建設発生土の中でも、礫や砂が多い第一種、第二種建設発生土は、埋め戻しや道路盛り土、土地造成などの土木分野で活用されている。これら建設発生土を、その地域で未利用地産材料であるにとらえ、土木分野での活用に加えて、上部構造の仕上げ材として活用の可能性を検討する。

3. 利用可能な土材料の検討 (研究 2)

3.1 検討土材料の種類と性質

表 2 に、本研究で検討した土材料の種類と性質を示す。真砂土試料は、産地の異なる二種類に市販されている試料を加えた計 3 種類の試料にて検討を進める。広島県百島産(MaHM)と山梨県塩山産(MaYE)はどちらも、未だ活用方法の見出されていない未利用地産材料である。この真砂土は前述の通り、中国地方に多く産出する土であるが利用価値が低いと見られており、第二種建設発生土として指定されている地域もある²⁾。建設発生土は青梅建設発生土再利用事業所にて採取した 4 種類の建設発生土に、センター内で作成している改良土 1 種類を加えた計 5 種類の試料にて検討を進める。この事業所では、多摩地域で行われている公共系事業からの建設発生土を受け入れ、改良土として供給しており、ストックヤードから色や粒度の異なるサンプルを 4 種類選択し、採取したものを使用する。

図 3 に、検討した各土試料のふるい目通過質量百分率を示す。検討している資料の多くは JIS 砕砂の規定している範囲に収まらないことから、細骨材の標準粒度帯よりも大きいことがわかる。このうち、MaYE(山梨県塩山産)はサンプルの提供元の企業が粒度調整を行っているため、JIS 砕砂の規定範囲に収まる結果となっている。

3.2 検討土材料の基準色データ

図 4 に、色差測定器を用いて検討土材料の L*a*b* 値の測定を行った結果を示す。建設発生土や未利用地産資源などを活用するにあたり、それらの土が本来もつ色や質感などを、仕上げに反映させることは重要であると考えられる。今回サンプルとして採取してきた土試料も、それぞれ特有の色を持っていた。そこで、土の本来持つ色と改良活用後の色とを数値で比較することで、色の再現性を評価するために基準色データを測定した。L*値を比較すると、真砂土は比較的明るい色調であることが言える。a*b*を比較すると、どの土試料も正の値を取っており、赤黄色分布体に位置していることがわかる。

3.3 土試料の粒度構成及び物理特性

表 2 に未利用地産資源各試料の物理特性一覧に加え

JIS A 5308 の規定値を示す。表のうち JIS の規定範囲に収まるものを網掛けで示す。絶対乾密度を比較すると、MaD2・MaYE が規定値を満たしており、MaHE も 2.5g/cm^3 に近い値であることから、真砂土の絶対乾密度は JIS 規定の細骨材と同等の品質であると言える。しかし、建設発生土で規定値を満たしているものはないとの結果が出た。次に吸水率を比較すると、こちらも絶対乾密度同様に真砂土である MaHE、MaD2、MaYE が JIS 規定値を満たさず結果となった。次に微粒分量を比較すると、JIS 規定値を満たす資料はないとの結果が出た。傾向として、真砂土に比べ建設発生土及び改良土の微粒分量は大きい値であることがわかる。75 μm 以下の微粒分が多い土試料は、セメントの水和反応を阻害すると考えられるので、モルタル作成後の強度発現に影響が出ると考えられる。

これらの物理特性値、色データを踏まえ、改良活用後のモルタル試料の考察材料とする。

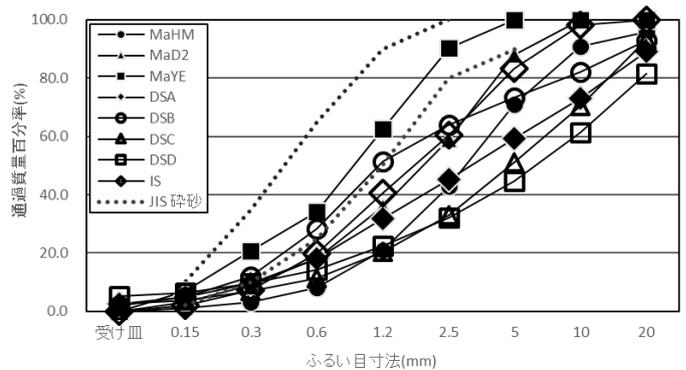


図 3 土試料の通過質量百分率

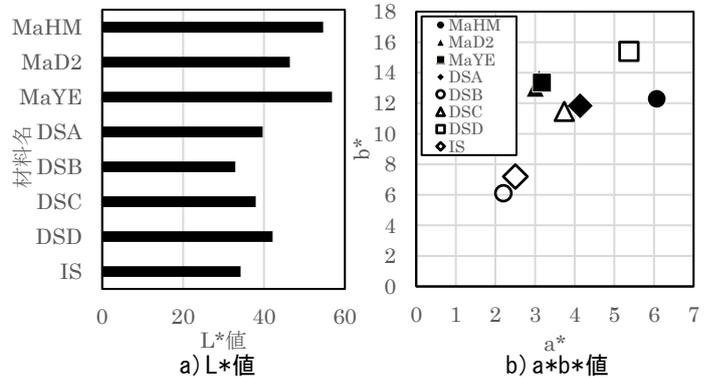


図 4 土材料の色データ

表 2 土試料の粒度構成及び物理特性

種類	記号	粗粒率 (%)	表乾密度 (g/cm ³)	絶対乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	微粒分量 (%)	単位容積質量 (kg/l)	粒度分布(通貨質量百分率%)							
								20 mm	10 mm	5 mm	2.5 mm	1.2 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm
真砂土(百島)	MaHM	4.65	2.53	2.46	2.95	4.40	1.53	96.00	91.00	88.00	59.00	36.00	18.00	9.00	3.00
真砂土(市販)	MaD2	3.26	2.56	2.51	1.68	3.44	1.60	100.00	100.00	88.00	59.00	36.00	18.00	9.00	3.00
真砂土(塩山)	MaYE	2.85	2.59	2.52	2.75	5.98	-	100.00	100.00	99.88	90.38	62.54	34.25	20.55	7.07
建設発生土A	DSA	4.69	2.20	2.01	9.42	19.06	1.26	89.25	73.06	59.17	45.23	31.74	17.96	9.68	4.74
建設発生土B	DSB	3.91	2.22	2.02	9.61	15.39	1.27	92.83	82.21	73.38	63.87	51.35	28.29	11.85	4.80
建設発生土C	DSC	3.98	2.29	2.14	6.95	20.97	1.12	93.22	70.31	51.05	33.04	20.26	11.18	6.85	3.72
建設発生土D	DSD	5.28	1.95	1.76	10.37	22.53	1.12	81.47	61.23	44.69	32.06	22.50	14.32	9.62	6.36
改良土	IS	3.88	2.28	2.17	5.32	14.62	1.26	100.00	98.20	83.23	60.52	40.57	19.93	7.28	1.94
JIS 砕砂	JIS A 5308 規定値	-	-	2.5以上	3.5以下	3.0以下	-	-	100	90~100	80~100	50~90	25~65	10~35	2~10

4. 実験概要 (研究 3)

4.1 使用材料及び実験の水準

表 3 に地産資源活用モルタルの使用材料を示す。この中で、建設発生土及び改良土は 10mm のふるいにてふるい分けを行い、通過した骨材のみを使用した。改良を加えられていない建設発生土の利用率は 60% 程度であったが、改良土は 95% と高い利用率であることがわかる。

表 4 に実験の要因と水準を示す。材齢は 7 日、28 日、91 日とした。養生方法は、真砂土は気乾養生、発生土は水中養生とした。これは、真砂土モルタルの水セメント比を低く設定したことによる表面の脆さから判断した。

表 5 には試験体概要を示す。真砂土モルタルの W/C は 20%、30%、40% とし、モルタル物理試験用型枠を用いて 4mm×4mm×16mm の寸法で作成した。加えて、JIS A 1132 に準じて φ10×200mm の円柱試験体も作成した。建設発生土は 3 種類、改良土を 1 種類用いた。各試験体の W/C は 40%、60%、90% と設定し、φ50mm×100mm の円柱試験体を 9 本、40mm×40mm×160mm の角柱試験体を 12 本作成した。

4.2 実験方法

表 6 に試験項目及び試験方法を示す。材齢 7 日、28 日、91 日で圧縮試験を行った。養生方法は水中養生で一定とし、試験 24 時間前に水からあげ、高温恒湿室 (20°C, 60%RH) で乾燥させた。真砂土モルタルでは、圧縮試験の際に、コンプレストメータを、発生土モルタルではひずみゲージ (PL-60) を 3 本接着させ、軸方向及び水平方向のひずみを測定した。しかしながら、W/C の低いシリーズでは、脱型面に凹凸が発生しており、満足にひずみゲージが附着せず、データにばらつきが生じているものと考えられる。

印象評価は、色差測定器を用いて脱型時、材齢 7 日、28 日で測定を行い、その土が本来持つ色の再現性及び、経年による色変化を評価した。

5. 未利用地産資源活用モルタルの基礎力学特性 (研究 3)

5.1 真砂土モルタルの力学特性

図 7、8 に真砂土モルタルの力学特性を示す。固結剤として普通ポルトランドセメント、ホワイトセメントの二種類を用いて比較したが、力学特性に大きな違いは見られなかった。また、真砂土を用いた場合、圧縮強度は見込めるが、ヤング率は普通コンクリートの 50% 程度であり、剛性に乏しい結果となった。この真砂土は、西日本に多く産出する地産材料であるが、関東近郊、山梨県などでも出土することが確認されている。出土する地域により骨材の物性が異なるため、品質を一定にすることが安定した仕上げ材料の作成には重要であると考えられる。

表 3 使用材料及びその性質

記号	種類	主な性質	
土 材 料 S	MaHM	真砂土	広島県百島産 (密度 2.53g/cm ³)
	DSA	建設発生土	発生土再利用センター (密度 2.20g/cm ³)
	DSB	建設発生土	発生土再利用センター (密度 2.22g/cm ³)
	DSD	建設発生土	発生土再利用センター (密度 1.95g/cm ³)
	IS	改良土	発生土再利用センター (密度 2.28g/cm ³)
固 結 材	wC	セメント	白色セメント (JIS R 5210 準拠)
	C	セメント	普通ポルトランドセメント (JIS R 5210)
W	水	水道水	

表 4 実験の要因と水準

要因	水準
材齢	7 日、28 日、91 日
養生方法	水中養生、気乾養生
試験体寸法	Φ100×200, Φ50×100, 40mm×40mm×160mm

表 5 試験体概要

種類	記号	W/C (%)	S/C (%)	材齢	養生	
真砂土 (百島)	I	20	300	7 日	気乾	
	II	30	300			
	III	40	300			
建設発生土 A	DSA40	40	300	7 日	水中	
	DSA65	65	300			
	DSA90	90	300			
建設発生土 B	DSB40	40	300			
	DSB65	65	300			
	DSB90	90	300			
建設発生土 D	DSD40	40	300	28 日	水中	
	DSD65	65	300			
	DSD90	90	300			
改良土	IS40	40	300	91 日		水中
	IS65	65	300			
	IS90	90	300			

表 6 試験項目及び試験方法

試験項目	試験方法
フレッシュ性状	モルタルフロー試験 (JIS R 5201 準拠)
力学特性	圧縮強度試験 (JIS A 1108 準拠) 曲げ試験 (JIS R 5201 準拠) ポアゾン比
破壊特性	体積ひずみ
印象評価	L*a*b* 色差値の測定

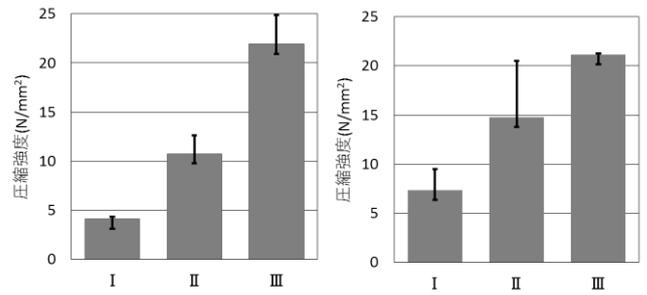


図 7 真砂土モルタル各シリーズの圧縮強度

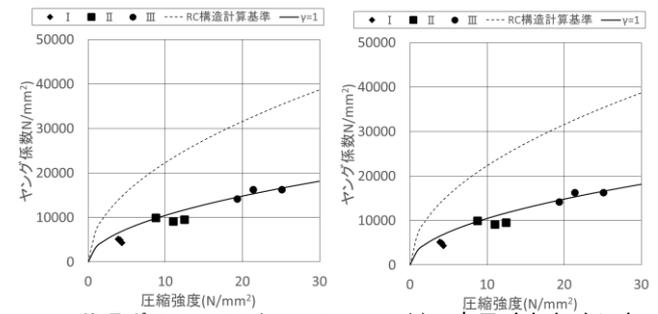


図 8 真砂土モルタル各シリーズのヤング係数

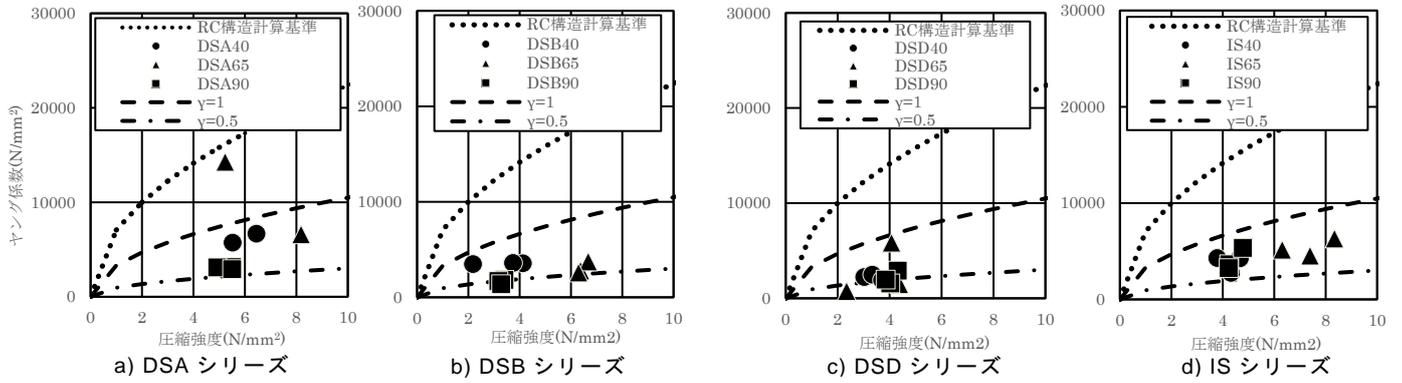


図9 発生土モルタル各シリーズのヤング係数(材齢7日)

5.2 建設発生土モルタルの力学特性

図9に建設発生土モルタルの圧縮強度-ヤング係数のグラフを、図10にこのうちのDSD65シリーズの破壊特性を示す。真砂土モルタルに比べると、圧縮強度の発現は見込めない。 $\gamma=0.5\sim 1.0$ 程度の剛性であることが言える。以上の結果を踏まえ、風土的意匠性を兼ね備えた仕上げ材として活用できる可能性はあると考えられる。

6. 未利用地産資源活用モルタルの印象評価

図11に真砂土モルタル及び建設発生土モルタル(DSD)の脱型時 a^* 値 b^* 値を示す。真砂土モルタルに関しては、図からも読み取れるように、ホワイトセメントを用いた試験体(I w, II w, III w)の方が、本来の真砂土の持つ明るい発色を再現できていると考えられる。建設発生土モルタルに関しては、DSDシリーズの a^*b^* は特に高い分布であることが確認できた。これは、DSDシリーズの微粒分量が、全4シリーズうち最も高いことと関係していると考えられる。

また図12に示す脱型時、材齢7日、材齢21日での色推移からは、各シリーズに共通して L^* 値の上昇及び a^*b^* の減少(試験体の白化)がみられた。これは、経年によるアルカリ成分の滲出に起因するものであると考えられる。

7. まとめ

- 1) 未利用地産資源を構造・仕上げ材として活用する検討を行った。本稿ではセメントにて固結させモルタルを作成し、力学的特性の測定及び、色による印象評価を行った。
- 2) 真砂土モルタルを用いた強度試験の結果より、耐久的で風土的意匠を持った仕上材としての活用が可能であると考えられるが、さらなる剛性の確保が必要である。
- 3) 建設発生土モルタルの実験結果より、木毛セメント版($\gamma=0.5$)程度の剛性が確保できていると言える。
- 4) 色差計による $L^*a^*b^*$ 値の比較では、色の再現性は骨材の微粒分量($75\mu\text{m}$ 以下)が多いほど高い傾向が見えた。しかし、経年によるアルカリ性滲出に起因する白化現象がみられ、仕上げ材に使用する際の改善点である。

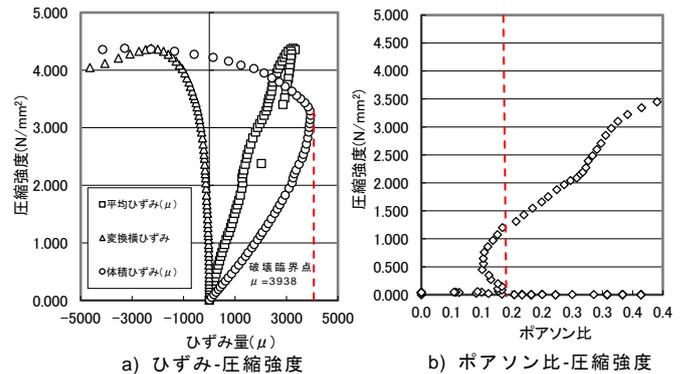


図10 DSD65シリーズの破壊特性

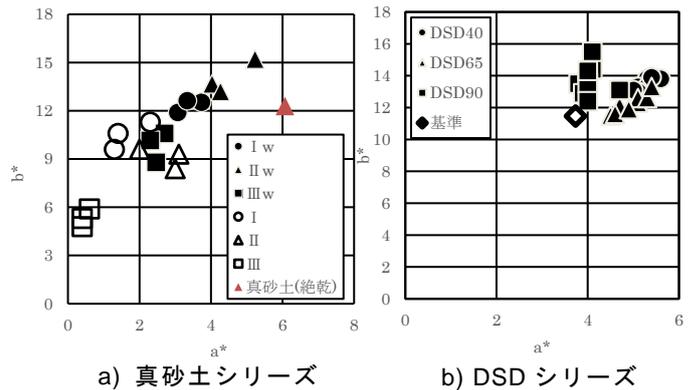


図11 脱型時色データ

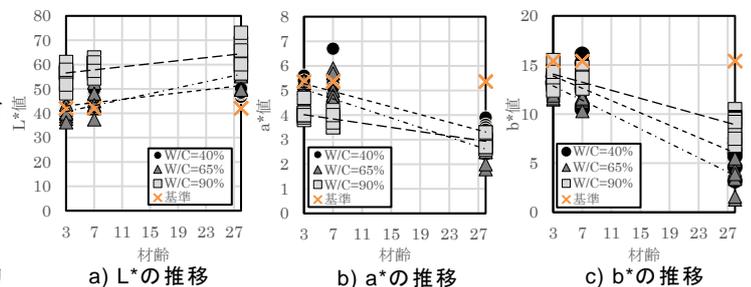


図12 経年による仕上色の変化

参考文献

- 1) 土の百科事典編集委員会編:土の百科事典、丸善出版、2014
- 2) 独立行政法人 土木研究所編著:建設発生土技術マニュアル 第4版、丸善出版、2013

謝辞

本研究実施にあたり、サンプルを提供して頂いた、公益財団法人東京都市づくり公社の関係者各位、株式会社フッコー関係者各位、並びに工学院大学 榎原研究室の学生各位により多大な助力を賜り感謝いたします