

焼成ダム堆砂を骨材に利用した
モルタルの色彩特性

令和2年度
修士論文

三重大学大学院 生物資源学研究科 共生環境学専攻

農業土木学講座 環境施設工学研究室

学籍番号 518M224

専攻生 堀川 元気

目次

第1章	諸言	2
1-1	背景	2
1-2	既往の研究	4
1-3	研究の目的	6
第2章	ダム調査	7
2-1	安濃ダム調査	7
2-2	採取した土砂のふるい分け試験	13
2-3	採取した土砂の密度および吸水率試験	15
2-4	まとめ	22
第3章	使用材料	23
3-1	骨材の性質	23
3-2	骨材のふるい分け試験	34
3-3	骨材の密度および吸水率試験	36
3-4	骨材の焼成試験	38
3-5	まとめ	39
第4章	明度・色彩	40
4-1	明度・色彩について	40
4-2	試料の明度・色彩の測定試験	41
4-3	まとめ	47
第5章	焼成堆砂混入モルタル	48
5-1	焼成堆砂混入モルタルの明度・色彩の測定試験	48
5-2	焼成堆砂混入モルタルの圧縮強度試験	65
5-3	まとめ	70
第6章	まとめ	72
参考文献		74

第1章 諸言

1-1 背景

1-1-1 ダム堆砂問題

近年、ダムやため池などにおいて、堆砂の増加による貯水機能の低下が懸念されている。

現在、日本の多くの山林は個人有のものが多く、スギやヒノキなどの商業用に植樹された人工林になっている。しかし、日本での林業の衰退に伴って、手入れもされずに放置される人工林も多い。手入れがされないと、枝葉が鬱蒼と生い茂って日光を遮り、木の根元には下草も生えず地面が剥き出しになる。すると、降った雨が直接地面を穿つようになり、これにより削られた表土は河川へと流れ込むことになる。(図 1-1) 林野庁による山林への砂防堰堤設置も、下流に民家がないと優先されないなど、かなり難しい対応となっている。



図 1-1 安濃ダム上流域（安濃川）の山林の様子

河川を堰き止めて作られるダムには、この山林からの土砂が流入し堆積していくが、この堆積土砂も考慮されてダムは設計されている。しかし、この設計時の想定を遥かに上回る速度で土砂が堆積しているということが、全国のダムで問題視されている。

このダムに堆積していく土砂を除去するために、各ダムでは様々な対策が講じられている。例として、掘削・浚渫排砂、フラッシング排砂、スルーピング排砂、排砂バイパスなどが挙げられる。

1-1-2 撤去されたダム堆砂の利用方法

撤去されたダム堆砂の利用方法は、現在様々に検討されていて、大きく分けて建設利用、農業利用、窯業利用、環境利用の4つである。建設利用には、コンクリート用骨材としての利用や緑化基盤材としての利用などが挙げられる。例として、安濃ダムでは撤去された土砂を、谷を埋めるための盛土材として利用している。農業利用には、土壌改良材や客土としての利用などが挙げられる。窯業利用には、陶土やレンガ材としての利用などが挙げられる。環境利用には、河川還元材や養浜材としての利用などが挙げられる。(大矢ら 2003)

1-2 既往の研究

ダム堆砂の利用方法に関する既往の研究を紹介する。

大矢ら（2002）はダム堆砂の貯水池内における堆積のしかたを調査し、堆積場所による細粒分含有率などを調査した。その結果として、貯水池内で下流側にいくほど細粒分が多くなると結論付け、また、貯水池内の堆砂を採取する位置によって砂の性質が変わることに着目し、採取位置によって利用方法を検討している。特に、河川還元材への利用に注目をしている。

その後、大矢ら（2003）はダム堆砂の撤去から処理に掛かるコストを検討した。撤去、運搬、処理に掛かるコストを検討し、利用方法や事業化の方法を提案している。また、骨材利用が中心であるダム堆砂の再利用に、養浜材や河川還元材としての利用を提案し、コストやリスクマネジメントを含めたメリットの検討をしている。

鍋島ら（2008）は奈良県北部の布目ダムで採取された堆砂の細骨材資源としての性質を調べた。調査項目は、粒度分布、絶乾密度、吸水率、微粒分量、安定性、実積率である。その結果として、この布目ダムの堆砂は、各調査項目で基準を満たしており、そのままでもコンクリート用細骨材として有力であると結論付けている。

村尾（2014）は奈良県の大迫ダムで撤去された堆砂の細粒堆積土について、植栽基盤材料としての適性を調べた。その結果、植栽基盤材料として各項目において適切であるとしている。ただし、そのままだでは適切な透水性が得られないことや、土壌流亡の懸念もあるため、ある程度の加工の必要性を認めている。また、細粒堆積土でない堆砂については、すでに盛土材として利用されており、この研究は堆砂の盛土場を最終的に緑化するための準備として行われていた。

横濱ら（2006）は北海道のいくつかのダムについて、堆砂の水田への客土利用の可能性を調べた。結果として、ダム堆砂は一般的な地山土の客土材よりも肥沃であり、各種肥料成分も適正であるとしている。また、流域地質が堆砂量に及ぼす影響や、堆砂を客土利用する際に有利となる条件も示されている。

大矢ら（2004）は堆砂の細粒分に関して、河川還元材としてリサイクルした場合の環境影響を、室内試験により調べた。堆砂の処理方法として、セメント系固化材を用いた粒状化処理を中心に、脱水処理についても検討した。また、環境

影響として、水域での濁度発生およびセメント添加によるアルカリ溶出を主な対象として、水中のすりへり試験および流水による浸食試験を行った。結果として、簡易な処理により濁度発生を抑制できることが示され、堆砂細粒分が河川還元材としてリサイクルされる可能性が高まったとしている。

岡野ら（2005）はさらに、佐久間ダムで掘削した堆砂を佐久間ダム下流の秋葉ダムおよび船明ダム下流河川に還元することを想定して、河床変化について計算モデルを用いてシミュレーション等を行った。また、実際に秋葉ダム下流等への土砂供給試験を行った。結果として、シミュレーションでは貯水池上流部で毎年10万 m^3 を掘削すれば河床高が抑えられるという計算になっている。また、土砂供給試験では、還元土砂量が限定されており、正負の両面からの影響評価は困難であるとしている。

1-3 研究の目的

撤去後のダム堆砂の有効利用方法については、現在も様々に議論されている。しかし、既往の研究では堆砂をそのまま利用するものが多く、堆砂に何らかの加工を施してから利用するという事に重点を置いた研究は少ない。加工を施すことは、余分なコストが増えるということでもあるが、得られる効果によっては、それだけの価値があるのではないかと考えた。

そこで本研究では、窯業利用における「焼成する」ということに着目した上で、焼成することによってダム堆砂の色彩が変化することを利用して、骨材として焼成堆砂をモルタルに混入することで、色彩に与える影響を主に検討している。

そのために、まず一例として、安濃ダムとその流域の現状を調査し、撤去された土砂がコンクリート用骨材として利用可能であるかを調べた。そして、真砂土質である安濃ダム堆砂と、火山灰質である牧尾ダム堆砂の、性質の異なる 2 種類の堆砂について焼成試験を行い、明度・色彩の評価を行った。その後、焼成試験の結果を元に焼成した堆砂を用いてモルタルを作製し、通常細骨材からの置換率によって明度・色彩に変化があるかという評価を行った。さらに、圧縮強度への影響を調べるため、焼成堆砂を用いたモルタルの圧縮強度試験を行った。

纏めると、以下のような調査および試験を行った。

- (1)安濃ダム調査
- (2)焼成堆砂の明度・色彩測定試験
- (3)焼成堆砂を用いたモルタルの明度・色彩測定試験
- (4)焼成堆砂を用いたモルタルの圧縮強度試験

第2章 ダム調査

2-1 安濃ダム調査

安濃ダムは、三重県津市にあり、平成元年12月から運用を開始した農業用ダムである。堆砂の堆積状況は、設計時には年間 $8250m^3$ 、80年で $66万m^3$ と想定されていたが、平成26年11月現在で実測堆砂量は $167.1万m^3$ となっている。供用開始から僅か26年で、設計時に80年で $66万m^3$ と計画されていた堆砂量を遥かに上回り、その3倍近い量の堆砂が堆積している。(二村ら 2015)

堆砂対策を含めた機能保全事業では、施設をいかに長く持ちこたせるかということが重要であり、安濃ダムでは貯砂堰堤を作り、供用年数の80年を迎えるまで、5期に分けて堆砂の除去を行うことが経済的であると判断された。そして、ダムへ進入するダム進入道路と、1号貯砂堰堤と2号貯砂堰堤の2つの貯砂堰堤を平成28年10月に設置し、現在第1期対策として平成24年から平成33年の計画で土砂の撤去を行っている。(図2-1) この1期対策では、ダム湖からの撤去で $16000m^3$ 、貯砂堰堤での貯砂分の撤去で $79200m^3$ 、また、貯砂堰堤を設置するための撤去で $36000m^3$ の $13.1万m^3$ を見込んでいる。そして、事業5期の合計で $59.6万m^3$ を見込んでいる。また、砂利組合によって30cm以下の堆砂は一定量持ち帰られている($1500m^3$ 程度)ということもあり、用途は生コンクリートに用いるコンクリート用骨材としてであると考えられる。

撤去した堆砂は、谷の埋め立てが計画された盛土場へ搬出されることになっているが、近隣地域への配慮も含め、約半数を直接盛土場に搬入し、残りの半数をダム近辺の仮置場に搬入し、順次搬出を行っている。盛土場への計画搬出量は $13万m^3$ (受入可能量は $24万m^3$)となっている。



図 2-1 安濃ダムと貯砂堰堤 (出典：東海農政局)

2-1-1 ダム上流河川の調査

安濃ダム流域は 27.5km^2 であり、笹子川流域 4.2km^2 、安濃川流域 13.6km^2 、我賀浦川流域 8.2km^3 、主要な支川や支流を介さず直接ダムに流入する流域 1.5km^2 の概ね 4 流域に区分される。また、最大の流域を持つ安濃川上流では、砂防・治山対策が実施されており、平成 20 年までに計 108 の堰堤が設置されている。安濃ダムに流れ込む堆砂を調べるために、まずはダムに流れ込む河川について調査を行った。調査地点は図 3 に示した笹子川 3 地点、安濃川 1 地点と我賀浦川 1 地点の計 5 地点である。この 5 地点で川岸に堆積している土砂を採取し、ふるい分け試験と密度および吸水率試験を行った。

2-1-2 堆砂の盛土場の調査

貯砂堰堤で撤去された堆砂は、約半数を谷の埋め立てを計画されている盛土場へ搬入され、残りの半数がダム近辺の仮置場へ搬入される。今回、この仮置場の 2 地点と盛土場の 3 地点の土砂を採取し、ふるい分け試験と密度および吸水率試験を行った。

安濃ダムに流れ込む 3 つの河川を遡り、その川岸で土砂を採取した。調査には普通車両で向かったため、車両で進入できる地点を中心に行っている。次の図 2-3 に示すように、河川の調査地点では長辺が 30cm を超える岩石から、細かい砂まで様々な土砂が見られた。また、民家周辺では護岸工事が行われ、コンクリートなどで固められている部分が多かったが、山間部に入ると護岸もされておらず、図 1-1 に示したように山林から直接土砂が流入するような状況となっている。

山林は、スギやヒノキなどの針葉樹が多く見られた。これらは商業用に植えられた人工林だと思われる。部分的に手入れなどがされている場所もあったが、ほとんどの場所で手入れがなされていない様子で、山肌まで光が届かず、下草なども生えずに樹木から落ちた枯葉がそのまま堆積している様子が確認された。また、隣接した道路には山肌から流れ出したと思われる土砂が見られ、それはそのまま河川へと流出しているものと思われる。笹子川で見られた山からの支流では、調査に行った日は雨が降っていなかったため、水量はほとんどなかったが、支流と本流の境目付近には土砂が堆積している様子が確認された。このことから、降水量が多い日などには河川へ流れ出るだけの流量があるのだと考えられる。その際には、土砂も河川へと流出し、それがダムへ流れ込んで堆砂となっているのだと考えられる。

山林の手入れをすることが、ダムに流入する堆砂を減らすひとつの対策になると思われる。しかし、山林は個人有のものが多く、また、林業の低迷によって山の持ち主が手入れをする意味も薄くなっており、放置されている山林が多くなっているというのが現状である。よって、ダムに堆積した堆砂を除去することが、現在では最も効果的な堆砂対策とされている。

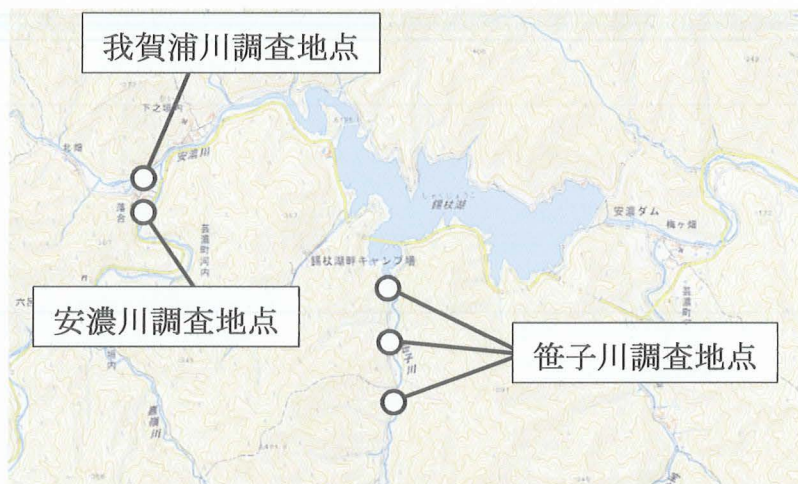


図 2-2 安濃ダム上流河川の調査地点 (出典：Google Map)



図 2-3 河川調査地点 (我賀浦川)

安濃ダムで撤去された堆砂の約半数は谷の計画埋立地へ直接搬入され、残りの半数は仮置場に搬入され、一時的に盛土されて乾燥などが行われた後に、計画埋立地へ搬入する。今回は仮置場の 2 地点と盛土場の 3 地点で試料となる土砂を採取した。各地点で 3 箇所から 5 箇所の場所で採取を行った。このとき、なるべく性質などが違っていきそうな地点を、目視で選定を行った。また、それぞれの地点に偏りが出ないように、ある程度の距離を置いて採取を行った。また、仮置場や盛土場では巨大な岩石が散見され、時には調査に携行した大型のシャベルよりも大きな岩石も見られた。山から流入しているため、自然物として流木のような木片も散見され、実験の際にも水に浮く枯葉の欠片などが見られた。盛土材として使う際には、岩石や木片に関してはほとんど気にされていないようであった。しかし、コンクリート用骨材として用いる際には、あまり大きな岩石は碎石などの処理が必要であるし、有機物に関しては有機酸を生成してセメントの硬化を妨げる可能性があるため、水洗いなどで除去する必要がある。あるいは、本研究の後半で行っているように、焼成をすることで有機物は自然発火などによって除去されると考えられる。



図 2-4 ダム堆砂仮置場



図 2-5 ダム堆砂盛土場

2-2 採取した土砂のふるい分け試験

この試験は、試料の粒度を知るために行い、「骨材のふるい分け試験方法 (JIS A 1102-2014)」に準拠して行った。

2-2-1 使用器具

- (1) はかり (目量 0.1g のもの)
- (2) ショベル
- (3) 試験用網ふるい (公称目開き 75 μ m、150 μ m、300 μ m、600 μ m、および 1.18mm、2.36mm、4.75mm、9.5mm、16mm、19mm のもの)
- (4) 電磁振動式ふるい振とう機
- (5) 乾燥機

2-2-2 実験要領

(A) 試料の準備

- (1) 試験しようとするロットを代表するように骨材を採取し、四分法によってほぼ所定量になるまで縮分した。
- (2) 分取した試料を、105 \pm 5 $^{\circ}$ Cで、一定質量となるまで乾燥させた。乾燥後、試料は室温まで冷却させた。

(B) 試験方法

- (1) (A)で採取した試料の質量を、0.1g まで測定した。
- (2) 受皿の上にふるい目の細かいふるいから順番に積み重ね、最上部のふるいに試料を置き、蓋をしてから電磁振動式ふるい振とう機「ハイシーブ」(MIC-113-0-02)に設置し、ふるい分けを行った。このとき、振動強さは中、振動時間を3分に設定してふるい分けを行った。
- (3) 機械を用いてふるい分けを行ったので、さらに手でふるい分け、1分間の各ふるい通過量が全試料質量の0.1%以下となることを確認した。
- (4) ふるい目に詰まった粒は、破碎しないように注意しながら押し戻し、ふるいに留まった試料と見做した。
- (5) 連続する各ふるいの中に留まった試料の質量を0.1g まで測定した。

(C) 試験結果の整理

- (1) 連続する各ふるいの中に留まるものの質量分率は、ふるい分け後の全資料質量に対する質量分率(%)を計算し、四捨五入して整数に丸めて求めた。
- (2) 各ふるいに留まるものの質量分率を、対象とするふるいおよびそれよりふ

るい目が大きい全てのふるいの、連続する各ふるいの間に留まるものの質量分率(%)を累計して求めた。

各ふるいを通過するものの質量分率を、100%から各ふるいに留まるものの質量分率(%)を減じて求めた。

2-3 採取した土砂の密度および吸水率試験

この試験は、以降の実験に使用した試料の一般的性質を判断し、またコンクリートの配合設計における細骨材の絶対容積を知るために行い、「細骨材の密度及び吸水率試験方法（JIS A 1109-2006）」に準拠して行った。

2-3-1 使用器具

- (1) はかり（秤量 2kg 以上で、目量が 0.1g のもの）
- (2) ピクノメータ
- (3) フローコーン
- (4) 突き棒
- (5) 水槽
- (6) 乾燥機
- (7) ドライヤー
- (8) デシケーター
- (9) ピペット
- (10) 漏斗

2-3-2 実験要領

(A) 試料の準備

- (1) 試料は、代表的なものを採取して、四分法によって約 2kg に縮分し、それを四分法によって約 1kg ずつに二分した。試料は、24 時間吸水させ、水温は、吸水時間の少なくとも 20 時間は $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ に保った。
- (2) 吸水させた細骨材を平らな面の上に薄く広げ、ドライヤーによって暖かい風を静かに送りながら、均等に乾燥させるためにときどき掻き回した。
- (3) 細骨材の表面にまだ幾分表面水があるときに、細骨材をフローコーンに注ぎ込むように緩く詰めた。
- (4) 上面を平らに均したあと、試料の上面から突き棒の重さだけで力を加えず速やかに 25 回軽く突いた。次に、フローコーンを静かに鉛直に引き上げた。
- (5) 表面水があれば、(4) で細骨材はコーンの形をそのまま保つため、その場合は再び細骨材を広げて乾燥し、上記の方法を繰り返した。
- (6) フローコーンを引き上げたときに、細骨材のコーンが初めてスランプしたとき、表面乾燥飽水状態であるとした。
- (7) (6) の試料を約 500g ずつ二分し、それぞれを密度および吸水率試験の 1 回の試料とした。

(B)密度試験方法と試験結果の整理

- (1) ピクノメータに水をキャリブレーションされた容量を示す印まで加え、そのときの質量(m_1)を 0.1g まではかり、また水温(t_1)をはかった。
- (2) ピクノメータの水を空けて、(A)(7)の表乾密度試験用試料の質量(m_2)を 0.1g まではかったあと、試料をピクノメータに入れ、水をキャリブレーションされた容量を示す印まで加えた。
- (3) ピクノメータを平らな板の上で転がし、泡を追い出したあと、 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ の水槽につけた。
- (4) 約 1 時間ピクノメータを水槽につけてから、さらにキャリブレーションされた容量を示す印まで水を加え、そのときの質量(m_3)を 0.1g まではかり、また水温(t_2)をはかった。このとき、水槽につける前後のピクノメータ内の水温の差(t_1 と t_2 との差)が 1°C を超えないことを確認した。
- (5) 細骨材の表面乾燥飽水状態における密度(表乾密度)および絶対乾燥状態における密度(絶館密度)は、次の式によって算出し、四捨五入し、小数点以下 2 桁に丸めた。

$$d_s = \frac{m_2 \times \rho_w}{m_1 + m_2 - m_3} \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 d_s : 表面乾燥飽水状態における密度(g/cm^3)

ρ_w : 試験温度における水の密度(g/cm^3)

- (6) 試験は 2 回行い、その平均値を取った。また、平均値からの差が、 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ 以下であることを確認した。

(C)吸水率試験方法と試験結果の整理

- (1) (A)(7)の吸水率試験用試料の質量(m_4)を 0.1g まではかったあと、 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ で一定質量となるまで乾燥し、デシケーター内で室温になるまで冷やし、その質量(m_5)を 0.1g まではかった。
- (2) 吸水率は、次の式で計算し、四捨五入して、2 桁までに丸めた。

$$Q = \frac{m_4 - m_5}{m_5} \times 100 \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 Q : 吸水率(質量百分率)(%)

試験は 2 回行い、その平均値を取った。平均値からの差が、0.05%以下であることを確認した。

次の図 2-6 および表 2-1 に採取した土砂のふるい分け試験と、密度および吸水率試験の結果を示した。凡例の川砂 1-1 から川砂 1-3 は笹子川で採取した土砂で、1 が下流側、2 が中間地点、3 が上流側で採取した土砂である。また、川砂 2 は我賀浦川、川砂 3 は安濃川で採取した土砂である。また、コンクリート用細骨材の密度および吸水率の標準範囲は、密度は $2.50\sim 2.65\text{g/cm}^3$ 、吸水率は $1\sim 3\%$ である。

川砂 1-1 の粒度分布について、採取地点は笹子川ではあるが、2 号貯砂堰堤内で採取した土砂であるため、後述の撤去された土砂と粒度分布が似ている。粗めの砂となっているのは、粒度の細かい砂が貯砂堰堤を超えて水と一緒に流れ出ていくためであると考えられる。実際に、ダム湖内ではシルト質の細かい砂が確認されている。密度および吸水率試験の結果について、双方ともコンクリート用細骨材の標準範囲に収まっていることが分かった。このことから、川砂 1-1 は粒度調整を行えばコンクリート用細骨材として用いることができるということが分かった。

川砂 1-2 は、山から笹子川に流れ込む支流の末端部分で採取した土砂である。粒度分布について、山から流出する土砂は、この地点では粗めの砂が多いということが分かった。または、粗い砂は河川に流出しないで留まり、細かい砂はすでに流出しているとも考えられる。雨などで流量が増えれば、河川に粗い土砂も流出していくと考えられる。密度および吸水率試験の結果については、コンクリート用細骨材の標準範囲に収まっているということが分かった。このことから、川砂 1-2 はある程度の粒度調整を行ったり、あるいは粒度調整を行わなくても、コンクリート用細骨材として利用できるということが分かった。

川砂 1-3 は笹子川の最も上流側で採取した土砂である。粒度分布について、川岸に堆積している砂であったため、細かい砂も多く混じっているという結果となった。コンクリート用細骨材の標準範囲から見ると、この川砂 1-3 が最も適しているということが分かった。また、川砂 1-2 で見られなかった細かい砂が、川砂 1-3 で確認されることから、山からは先に細かい砂が流出しているということが言える。密度および吸水率試験の結果について、コンクリート用細骨材の標準範囲内に収まっていることが分かった。このことから、川砂 1-3 はそのままコンクリート用細骨材として利用できることが分かった。

川砂 2 は、河川に併設されている公園から入ることができる川岸で採取した土砂である。粒度分布から、細かい砂が多く含まれているということが分かった。また、川砂 3 についても、川岸に堆積している土砂を採取した。川岸には細かい砂も多く堆積しているという結果であるが、図 2-3 に示したように、川砂 2 や川砂 3 を採取した河川の周辺では巨大な岩石も散見され、単純にこの結果が各河川の川砂の性質を表しているとは言えない。密度および吸水率については、コ

ンクリート用細骨材の標準範囲内に収まっていた。

巨大な岩石や細かすぎる砂はコンクリート用骨材として利用することはできないが、多様な土砂が採取されるため、コンクリート用骨材として、堆砂となる前に河川で撤去を行うのもひとつの方法である可能性が示された。

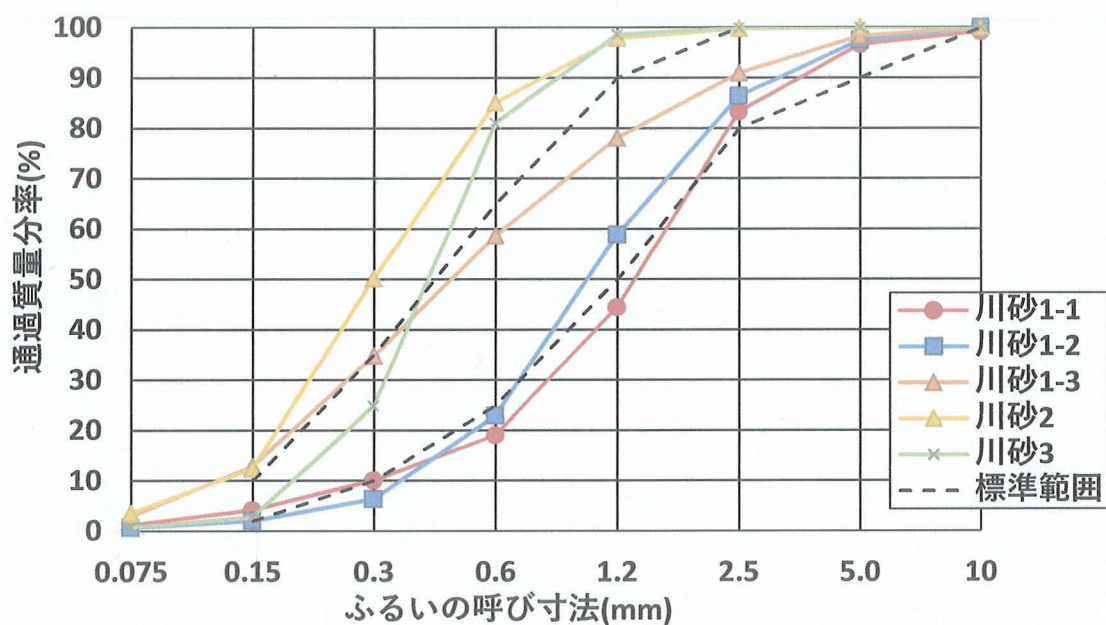


図 2-6 河川で採取した土砂の粒度分布

表 2-1 河川で採取した土砂の密度および吸水率

	密度(g/cm ³)	吸水率(%)	粗粒率
川砂1-1	2.59	1.75	3.43
川砂1-2	2.56	1.79	3.26
川砂1-3	2.55	1.96	2.26
川砂2	2.53	2.10	1.55
川砂3	2.57	1.21	1.93

ふるい分け試験の結果を図 2-7 に示した。安濃ダムの貯砂堰堤から撤去され、仮置場および盛土場に搬入される土砂は、1 号貯砂堰堤および 2 号貯砂堰堤で撤去された土砂をそれぞれ混合して盛土されている。仮置場の 2 地点および盛土場の 3 地点で採取した土砂は、それぞれ離れた地点で採取したものだが、粒度分布ではほぼ同様の結果となっていた。前述の川砂 1-1 の結果から、貯砂堰堤内でも同様の粒度分布の土砂が採取できることから、貯砂堰堤に堆積する土砂の粒度分布が一様になっている可能性がある。また、撤去された土砂が混合されることで、さらに粒度分布の平均化が為されると考えられる。

密度および吸水率試験の結果を表 2-2 に示した。多少の幅があったが、ほとんどコンクリート用細骨材の標準範囲内に収まっていた。ただし、吸水率については、標準範囲内に収まっているものでも、上限に近い値となっており、一部では 3% を超える結果となっていたため、利用の際は注意が必要である。

以上の結果から、粒度については、コンクリート用細骨材として利用する場合には細かい砂を入れて粒度調整をする必要があり、吸水率についても注意が必要であると言える。しかし、コンクリート用細骨材として利用することができる可能性は充分にあると言える。また、貯砂堰堤から撤去された土砂は粒度が一定になっていると考えられる。これは採取したときの品質が一定であるとも言えるため、利用の際の処理もある程度は統一できるのではないかと考えられる。

また、現地調査では図 2-8 に示すような巨大な岩石や、図 2-9 に示すような木片も見られた。岩石の場合は、碎石によって細かく砕くことでコンクリート用骨材として用いることもできるが、ほとんどそのようなことはされていない。また搬出することも難しいため、仮置場に置かれた岩石については、そのまま放置されているというのが現状である。木片についても、コンクリート用骨材として利用するには取り除かなければならない。山林から流入してきた土砂であるため、様々な有機物が含まれている可能性がある。有機物はセメントの硬化を妨げるため、除去しなければならない。そのため、洗浄などの処理が必要であると考えられる。

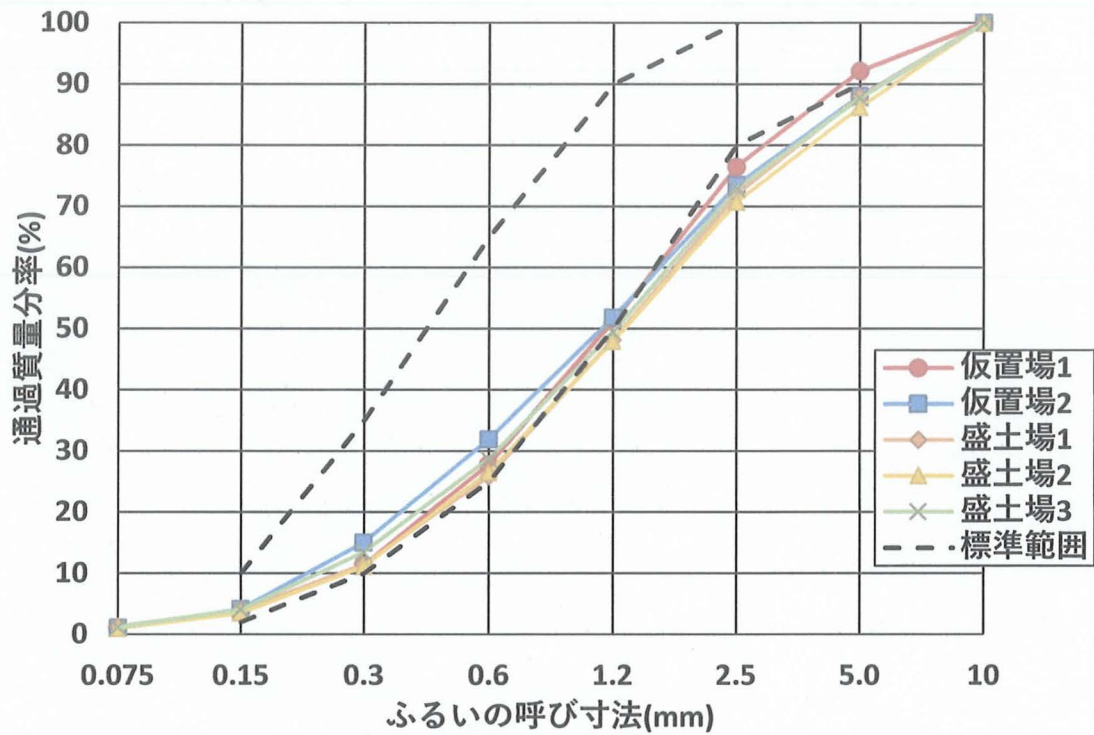


図 2-7 仮置場および盛土場で採取した土砂の粒度分布

表 2-2 仮置場および盛土場で採取した土砂の密度および吸水率

	密度(g/cm ³)	吸水率(%)	粗粒率
仮置場1	2.55	2.77	3.38
仮置場2	2.56	2.96	3.36
盛土場1	2.53	2.54	3.51
盛土場2	2.56	3.02	3.54
盛土場3	2.51	3.10	3.44



図 2-8 仮置場に置かれていた岩石



図 2-9 盛土場に置かれていた木片

2-4 まとめ

河川で採取した土砂について、ふるい分け試験を行い、粒度分布を調べたところ、川砂 1-1、川砂 1-2 および川砂 1-3 ではコンクリート用細骨材の標準範囲内に入っていたが、川砂 2 および川砂 3 は細粒分が多かった。川岸に堆積している土砂を採取したため、細粒分が多くなったのではないかと思われる。

また、コンクリート用細骨材の密度および吸水率の標準範囲は、密度は $2.50 \sim 2.65 \text{g/cm}^3$ 、吸水率は $1 \sim 3\%$ である。密度および吸水率試験の結果から、各川砂はこの標準範囲を満たしていた。

河川では、採取した土砂以外にも、大きな岩石も散見された。そのような岩石が、通常、貯砂堰堤まで流れて行くことはあまりないと思われるが、洪水時には流れ込むことも考えられる。実際、貯砂堰堤内にも大きな岩石が見受けられた。

仮置場および盛土場で採取した土砂について、粒度分布を調べたところ、各採取場所でほとんど同じ粒度分布となっており、それはコンクリート用細骨材の標準範囲で粗めであることを示していた。よって、粒度調整を行って、コンクリート用細骨材として利用することができると言える。

密度および吸水率試験の結果について、おおよそコンクリート用細骨材の標準範囲に近い値を取っていたが、吸水率に関しては上限に近いものや、上限を超えるものがあり、コンクリート用細骨材として扱う際には注意が必要である。

聞き取り調査を行ったところ、仮置場に土砂を運び入れる際に、1号貯砂堰堤と2号貯砂堰堤で撤去した土砂を混ぜて置いているということであった。その影響で、粒度が揃っていたのではないかと思われる。

また、土砂だけでなく岩石も採取されるが、岩石はそのままでの利用はできないため、砕石するなどの加工が必要であるということであった。さらに、盛土場では堆砂と一緒に採取された大きな木片も確認された。盛土の際はほとんど気にされていないようであったが、コンクリート用骨材として利用する場合にはこのような有機物は問題になるため、注意が必要である。

第3章 使用材料

3-1 骨材の焼成試験

X線回折および蛍光X線元素分析法、また、以降の実験を行うに当たって、堆砂1および堆砂2の焼成を行った。

3-1-1 使用器具

- (1) 卓上小型電気炉
- (2) 耐熱容器

3-1-2 実験要領

- (1) 耐熱容器に試料を入れた。
- (2) 卓上小型電気炉に(1)を入れ、焼成を行った。このとき、卓上小型電気炉に以下のようなプログラムを入力して焼成を行った。
(プログラム内容)
 - 1) 150°C/hで所定の温度(500°C、750°Cおよび1000°C)になるまで加熱させた。
 - 2) その後、所定の温度で1時間焼成した。
 - 3) 100°Cになるまで100°C/hで温度を低下させた。
- (3) プログラム完了後、室温まで炉内の温度を低下させ、試料を取り出した。



図 3-1 卓上小型電気炉

3-2 骨材の性質

本研究では、山砂が堆積したダム堆砂である安濃ダム堆砂を堆砂 1、火山灰が堆積したダム堆砂である牧尾ダム堆砂を堆砂 2 と呼称している。また、コンクリート用細骨材として販売されている川砂のうち、白系統の川砂を細骨材 1、黄系統の川砂を細骨材 2 と呼称している。そして、廃瓦破碎材を廃瓦材と呼称している。以降の実験および結果についても、上記の呼称を用いている。

本研究で使用した堆砂 1 および堆砂 2 について、焼成していない状態、「3-1 骨材の焼成試験」の焼成方法によって 500℃、750℃、1000℃で焼成した状態の 4 種類を、蛍光 X 線元素分析法(XRF)と X 線回折(XRD)によって含まれる成分を調べた。

3-2-1 蛍光 X 線元素分析法(XRF)

X 線を照射すると、各元素で固有の蛍光 X 線エネルギーが発生する。この蛍光 X 線エネルギーを調べることによって、試料の中にどのような元素が含まれているかということを知ることができる。

3-2-2 X 線回折(XRD)

結晶は、それぞれの構造によって、独自の X 線回折パターンを持っているので、そのパターンを調べることによって、試料の中にどのような結晶が含まれているかということを知ることができる。

次の表 3-1 に、蛍光 X 線元素分析法を用いて、堆砂 1、堆砂 1 のより細かい砂(細粒分)および堆砂 2 の成分を、無焼成のものと、500℃、750℃および 1000℃で焼成したものについて分析した結果を示した。

成分については、SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、TiO₂、MnO、CaO、MgO、Na₂O、K₂O、P₂O₅が検出されている。ここで、焼成による色彩の変化に関わっていると思われる元素はFe₂O₃である。酸化鉄について、酸化鉄(II) (FeO) は主に黒色であり、焼成を行うとこれがさらに酸化して酸化鉄(III) (Fe₂O₃) となるが、この酸化鉄(III)は赤さびとして知られる赤色を示す。一般的に、レンガや陶器などの土を固めて焼いたものは、もとの土の色よりも赤くなることが知られているが、これはこの酸化鉄(III)の色であると考えられる。

最も含有量の多いSiO₂は水晶に代表される鉱物であり、結晶は無色透明であることが多い。次に含有量の多いAl₂O₃はコランダムと呼ばれる鉱物であると考えられる。純粋なコランダムは無色透明の鉱物であるが、不純物によって色が付くこともある。花崗岩などの火成岩と共に産出されることも多い。Fe₂O₃に次いで含有量の多いCaOは石灰岩の成分であると思われる。この石灰岩は、鉱物資源の少ない日本でも多く産出される鉱物であり、セメントの原料としても用いられてる。

表 3-1 蛍光 X 線元素分析法結果

サンプル名	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	ig. loss
堆砂1 無焼成	67.56	16.55	4.27	0.62	0.08	5.11	0.60	1.82	2.85	0.19	-
堆砂1 500℃	66.15	17.42	4.72	0.65	0.08	5.14	0.69	1.73	2.73	0.21	-
堆砂1 750℃	65.35	17.08	5.35	0.75	0.12	5.26	0.78	1.75	2.76	0.21	-
堆砂1 1000℃	67.16	17.19	4.15	0.56	0.08	4.90	0.54	1.96	2.93	0.16	-
堆砂1(細) 無焼成	48.43	20.49	17.70	2.10	0.41	3.67	1.95	0.61	3.29	0.56	-
堆砂1(細) 500℃	50.43	20.87	15.46	1.92	0.35	3.75	2.02	0.70	3.21	0.51	-
堆砂1(細) 750℃	49.96	20.53	15.81	1.98	0.37	3.72	2.01	0.75	3.23	0.50	-
堆砂1(細) 1000℃	51.10	20.46	15.35	1.96	0.37	3.60	2.16	0.92	3.20	0.46	-
堆砂2 無焼成	64.18	15.04	4.99	1.24	0.06	2.85	0.36	0.84	2.43	0.25	-
堆砂2 500℃	64.29	15.05	5.00	1.23	0.08	2.71	0.35	0.83	2.43	0.23	-
堆砂2 750℃	66.86	17.09	5.07	1.24	0.06	2.81	0.35	0.88	2.69	0.28	-
堆砂2 1000℃	68.27	17.35	5.13	1.22	0.08	2.82	0.35	0.88	2.63	0.28	-

次の図 3-2 から図 3-5 に、堆砂 1 の X 線回折の結果を示した。

堆砂 1 の X 線回折の結果で見られた鉱物は、主にアルバイト (Ab)、クォーツ (Q)、アノーサイト (An) であった。

アルバイトは曹長石と呼ばれる鉱物で、化学式は $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ である。ケイ酸塩鉱物であり、火成岩や変成岩に普通に含まれる造岩鉱物である。

クォーツは水晶や石英と呼ばれる鉱物である。蛍光 X 線元素分析法でも多く検出された鉱物で、化学式は SiO_2 である。

アノーサイトは灰長石と呼ばれる鉱物で、化学式は $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ である。これもケイ酸塩鉱物であり、火成岩や変成岩に普通に含まれる造岩鉱物である。また、曹長石と連続固溶体というものを形成する。

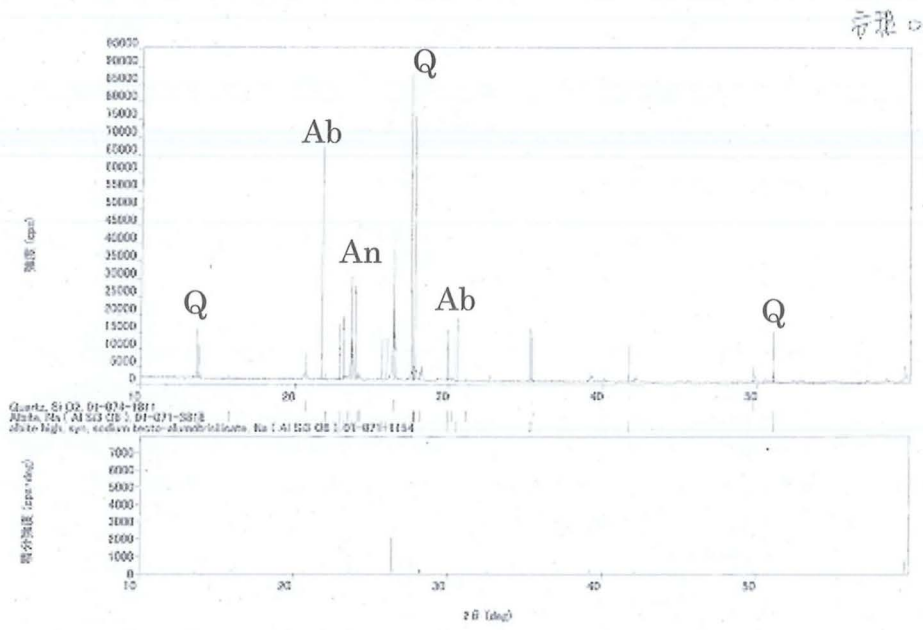


図 3-2 無焼成の堆砂 1 の X 線回折結果

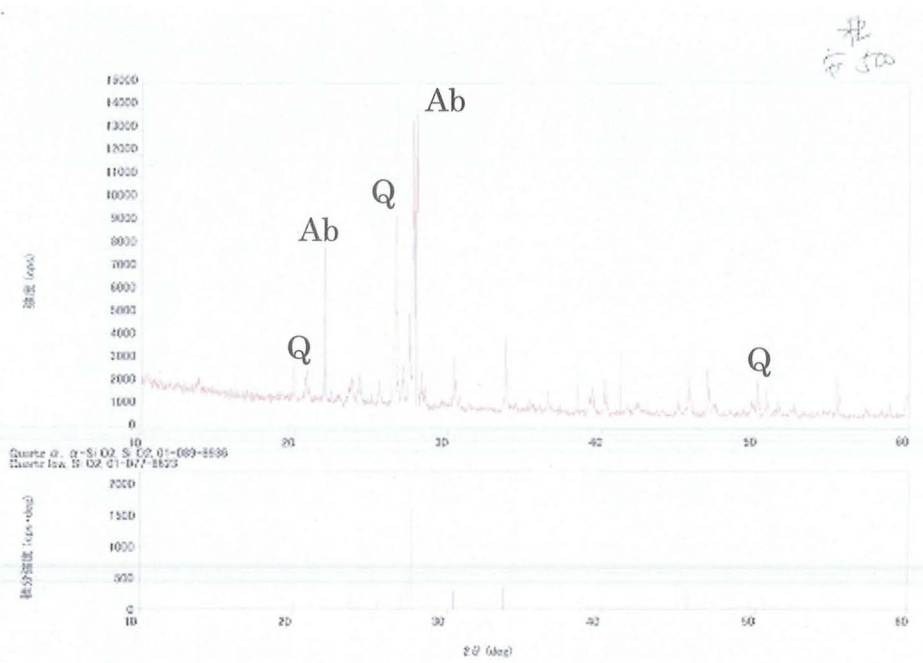


図 3-3 500°Cで焼成した堆砂 1 の X 線回折結果

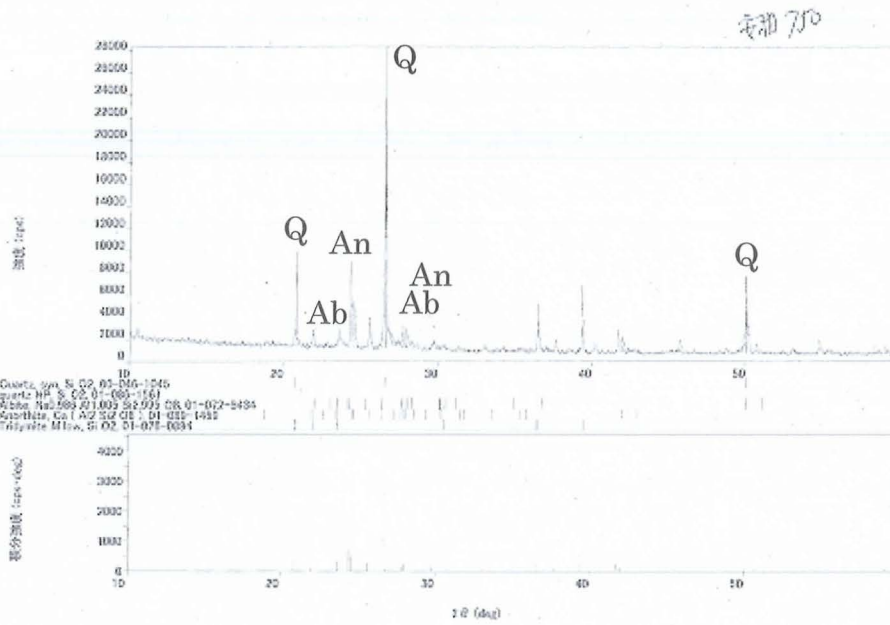


図 3-4 750°Cで焼成した堆砂 1 の X 線回折結果

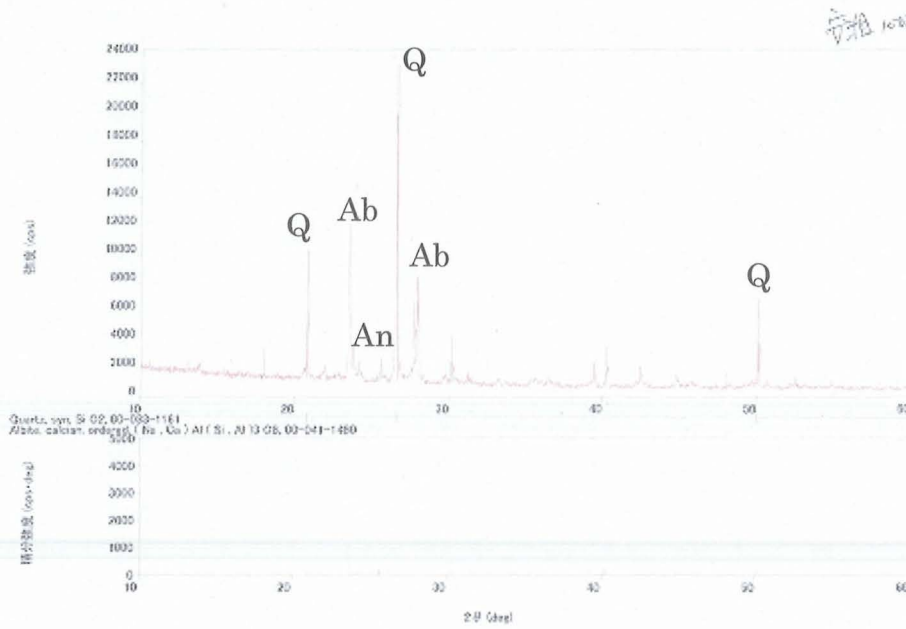


図 3-5 1000°Cで焼成した堆砂 1 の X 線回折結果

次の図 3-6 から図 3-9 に、堆砂 1 細粒分の X 線回折の結果を示した。

堆砂 1 細粒分の X 線回折で見られた鉱物は、主にクォーツ、アノーサイト、ヘマタイト (H)、ノントロナイト (N) であった。

クォーツやアノーサイトは、前述の堆砂 1 でも見られた鉱物である。

ヘマタイトは赤鉄鉱とも呼ばれる鉱物であり、化学式は Fe_2O_3 である。ヘマタイトは光沢のある黒色の鉱物として装飾品として使われることもあるが、傷が付くと赤さびが浮き出る。地球ではありふれた鉱物であり、稀に二酸化チタンを含むこともある。 Fe_2O_3 と TiO_2 は、共に蛍光 X 線元素分析法でも見られた鉱物である。

ノントロナイトは、 $\text{Na}_{0.33}\text{Fe}_2(\text{Si, Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ の化学式で表されるケイ酸塩鉱物である。

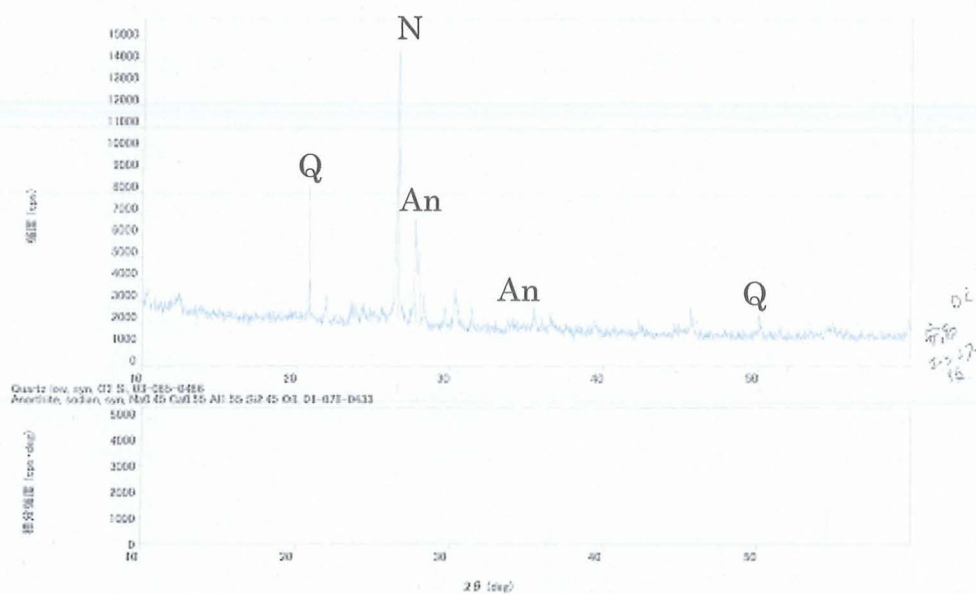


図 3-6 無焼成の堆砂 1 細粒分の X 線回折結果

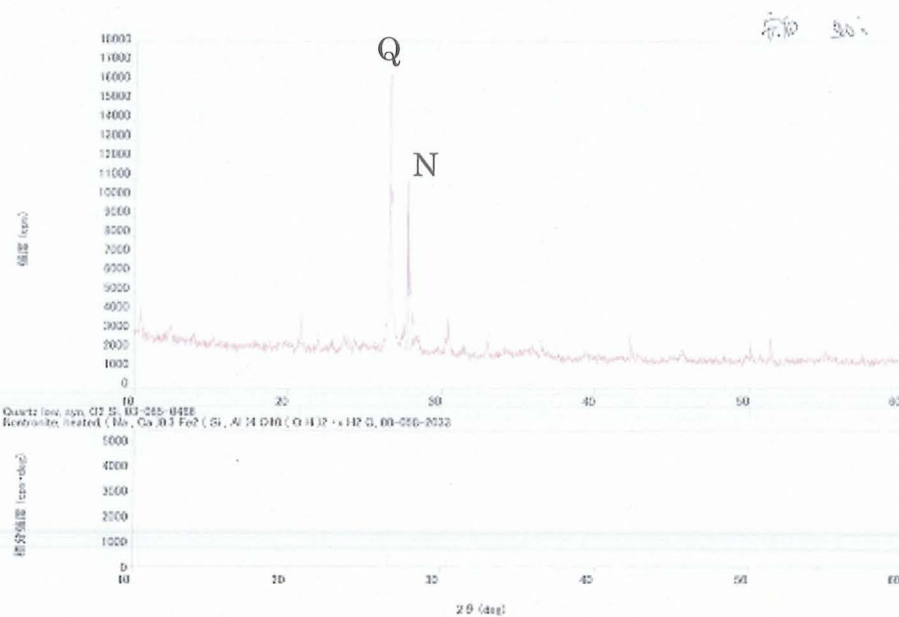


図 3-7 500°Cで焼成した堆砂 1 細粒分の X 線回折結果

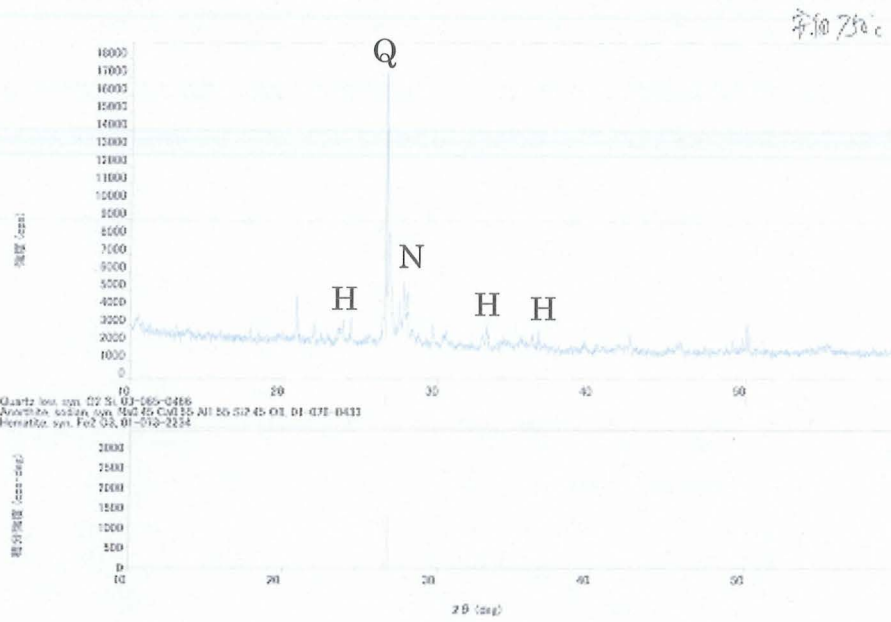


図 3-8 750°Cで焼成した堆砂 1 細粒分の X 線回折結果

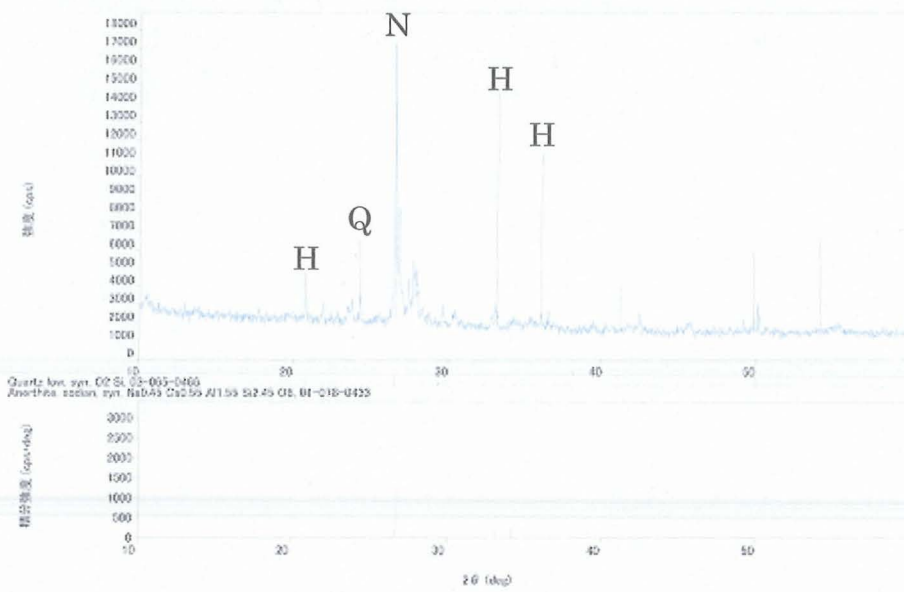


図 3-9 1000°Cで焼成した堆砂 1 細粒分の X 線回折結果

次の図 3-10 から図 3-13 に堆砂 2 の X 線回折の結果を示した。

堆砂 2 の X 線回折で主に見られた鉱物は、クォーツ、アルバイト、クリストバライト (Cr) であった。

クォーツとアルバイトは、先の二つの結果でも見られた鉱物である。

クリストバライトは方珪石と呼ばれる鉱物であり、化学式は SiO_2 である。火山灰には普通に含まれるケイ酸塩鉱物であるが、このクリストバライトは、国際がん研究機関によって粉塵に発がん性を認められており、珪肺 (よろけ) を発症する可能性があるとされている。そのため、この堆砂を用いるときには粉塵を吸い込まないように工夫が必要である。

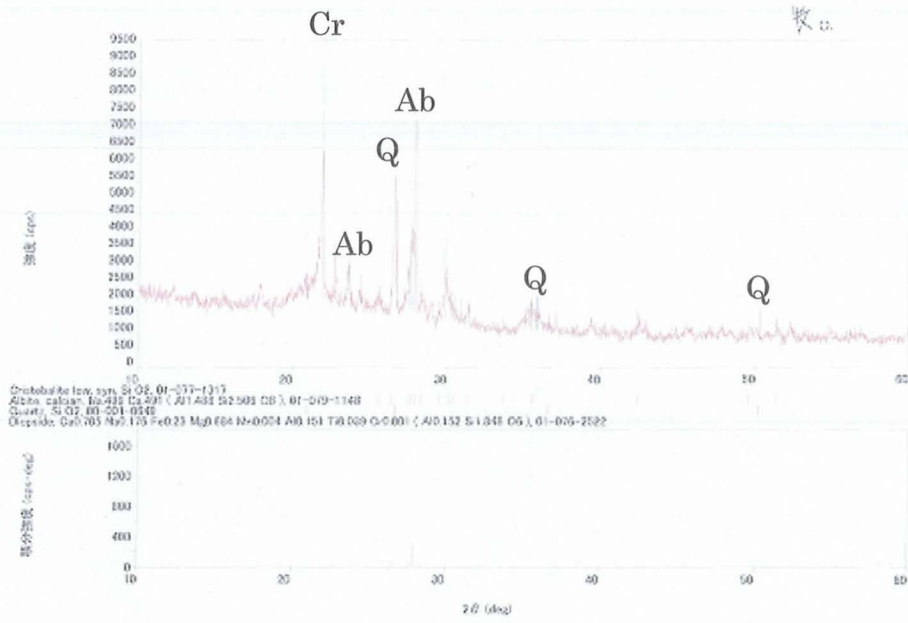


図 3-10 無焼成の堆砂 2 の X 線回折結果

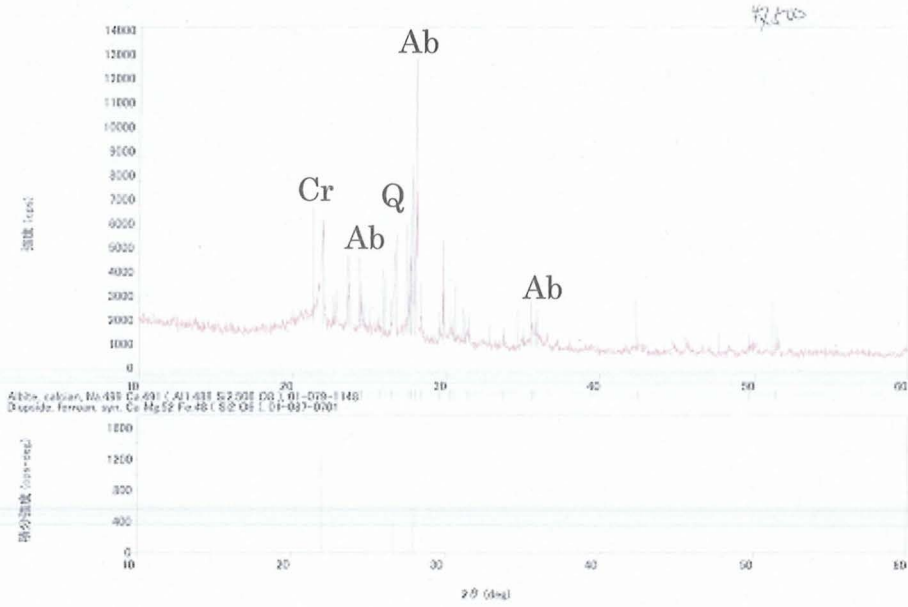


図 3-11 500°Cで焼成した堆砂 2 の X 線回折結果

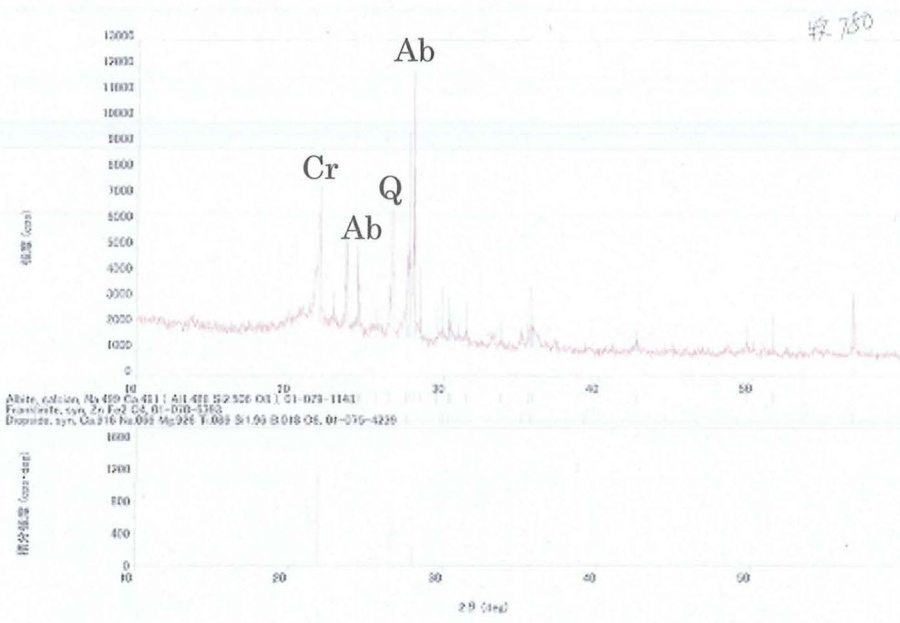


図 3-12 750°Cで焼成した堆砂 2 の X 線回折結果

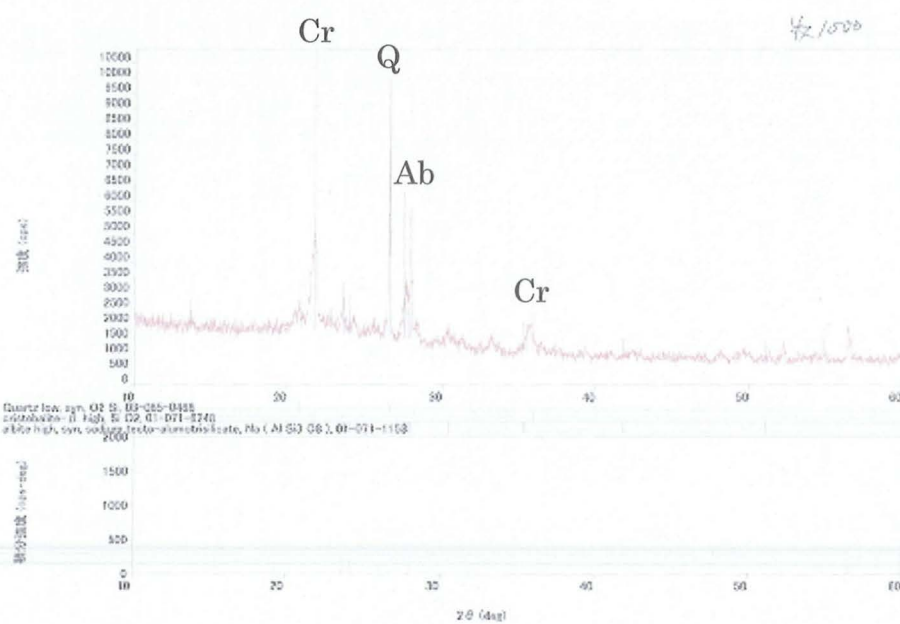


図 3-13 1000°Cで焼成した堆砂 2 の X 線回折結果

3-2 骨材のふるい分け試験

この試験は、以降の実験に使用した試料の粒度を知るために行い、「骨材のふるい分け試験方法（JIS A 1102-2014）」に準拠して行った。

実験については、「2-2 採取した土砂のふるい分け試験」と同様に行った。

実験に使用した試料のふるい分け試験の結果を図 3-14 に示した。この結果から、廃瓦材を除き、各試料は概ねコンクリート用細骨材の標準範囲内に収まっているということが分かった。

堆砂 1 と細骨材 1 に関しては標準範囲にちょうど収まるような粒度分布になっていた。堆砂 2 に関しては、標準範囲の下限に沿うような粒度分布になっており、コンクリート用細骨材としては細かい粒度であるということが分かった。また、細骨材 2 に関してはコンクリート用細骨材としては粗い粒度であり、粒度調整をした上で実験を行った。

廃瓦材に関しては、コンクリート用細骨材としてはかなり細かい粒度であるが、コンクリート用細骨材としての利用ではなく、コンクリートの着色材としての利用を検討して、実験を行った。

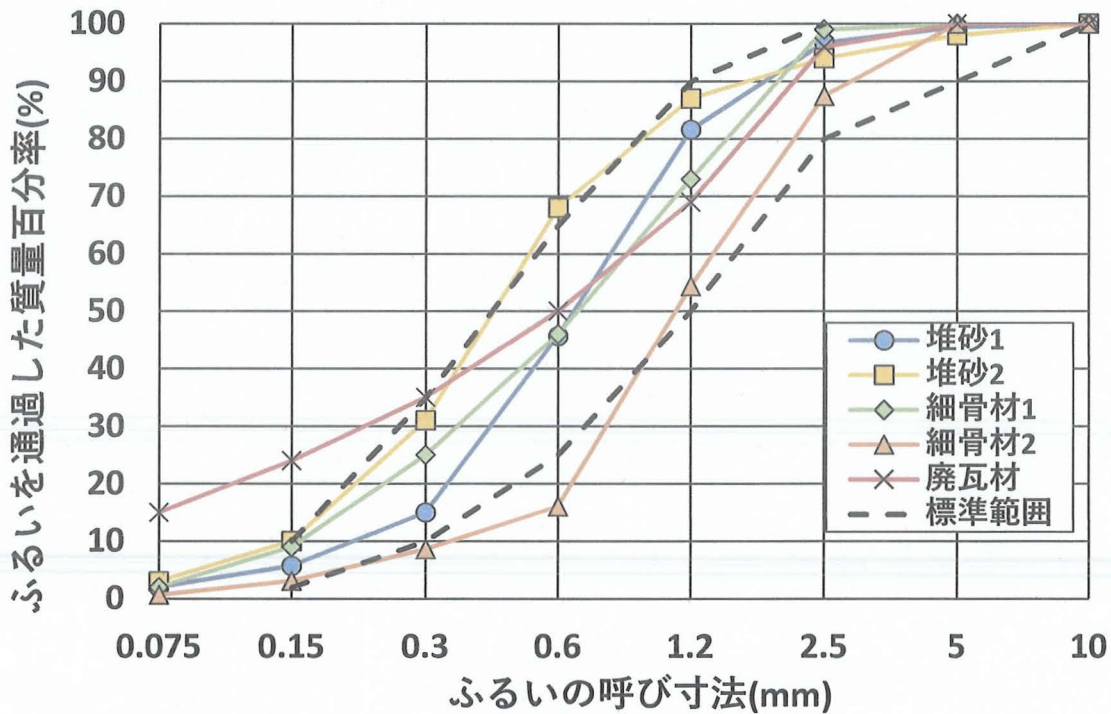


図 3-14 使用した試料の粒度分布

3-3 骨材の密度および吸水率試験

この試験は、以降の実験に使用した試料の一般的性質を判断し、またコンクリートの配合設計における細骨材の絶対容積を知るために行い、「細骨材の密度及び吸水率試験方法（JIS A 1109-2006）」に準拠して行った。

実験については、「2-3 採取した土砂の密度および吸水率試験」と同様に行った。

堆砂 1 のみ本研究で密度および吸水率試験を行い、それ以外については、事前に試験されたデータを用いた。纏めたものを表 3-2 に示した。

コンクリート用細骨材の密度および吸水率の標準範囲は、密度は 2.50～2.65g/cm³、吸水率は 1～3%である。この結果から、堆砂 2 と廃瓦材は標準範囲には入っていないことが分かった。そのため、この試料を実験で扱う際には、十分に注意を払った。

表 3-2 密度および吸水率試験の結果

	密度(g/cm ³)	吸水率(%)
堆砂1	2.56	2.30
堆砂2	2.31	6.90
細骨材1	2.57	1.92
細骨材2	2.56	1.90
廃瓦材	2.25	11.8

3-5 まとめ

蛍光 X 線元素分析法の結果について、 Fe_2O_3 の割合が焼成温度によって変化していることが分かった。これは後の明度・色彩の測定にも影響していると考えられる。また、X 線回折の結果から、火山灰性堆砂である堆砂 2 にはクリストバライト（方珪石）と呼ばれる結晶の存在が示され、このクリストバライトは国際がん研究機関によって発がん性が認められている。よって、堆砂 2 を扱う際には防塵マスクを着用するなどの対策を取って実験を進めた。

粒度分布について、各試料はコンクリート用細骨材の標準範囲内におおよそ入る結果となった。堆砂 2 に関しては標準範囲の中でも細かい粒度となっていた。細骨材 2 に関しては標準範囲を外れるところもあり、粒度調整が必要な粗い砂となっていた。また、廃瓦材に関しては、標準よりもかなり細かい粒度となっていた。

密度および吸水率について、細骨材の標準範囲は、密度は $2.50\sim 2.65\text{g/cm}^3$ 、吸水率は $1\sim 3\%$ である。この標準範囲から外れていたのは堆砂 2 と廃瓦材で、密度は標準範囲より小さく、吸水率は標準範囲より大きくなっていた。

第4章 明度・色彩

4-1 明度・色彩について

明度・色彩の測定を行うに当たって、色彩色差計である「カラーリーダー CR-13」（コニカミノルタ社製）を用いた。この色彩色差計では $L^*a^*b^*$ 表色系を用いている。

4-1-1 $L^*a^*b^*$ 表色系について

$L^*a^*b^*$ 表色系では、 L^* 値、 a^* 値、 b^* 値の3値を用いて明度と色彩を表現している。 L^* 値は明度を表しており、数値が小さいほど暗く、数値が大きいほど明るいということを示している。 a^* 値と b^* 値は色彩を表しており、それぞれ a^* 値は緑から赤を、 b^* 値は青から黄を表している。 a^* 値では値がマイナス方向に大きくなるほど緑が鮮やかになり、プラス方向に大きくなるほど赤が鮮やかになる。また、 b^* 値では値がマイナス方向に大きくなるほど青が鮮やかになり、プラス方向に大きくなるほど黄が鮮やかになる。図解を以下の図 4-1 に示した。

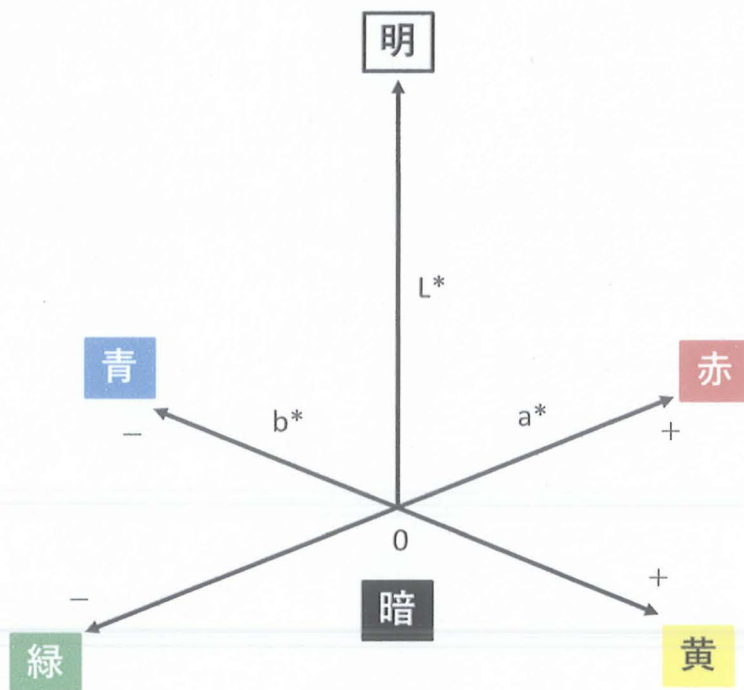


図 4-1 $L^*a^*b^*$ 表色系図解

4-2 試料の明度・色彩の測定試験

堆砂 1、堆砂 2、細骨材 1、細骨材 2 および廃瓦材の各試料の明度・色彩の測定試験は、色彩色差計「カラーリーダー CR-13」（コニカミノルタ社製）を用いて行った。堆砂 1 および堆砂 2 については、無焼成のものと、500℃、750℃および 1000℃で焼成したものを測定した。また、明度・色彩の測定は、色彩色差計の説明書に従って行った。

4-2-1 使用器具

- (1) 色彩色差計
- (2) 円筒容器

4-2-2 実験要領

- (1) 円筒容器に試料を詰め、上面が平らになるように均した。
- (2) 色彩色差計の測定ガラス面と試料が密着するように押し当て、測定ボタンを押下した。測定が完了したのを確認した後、同様に 2 回、計 3 回の測定を行った。
- (3) 平均値ボタンを押下し、測定した計 3 回の値を平均し、その値を記録した。



図 4-2 色彩色差計

使用した材料の明度・色彩の測定試験の数値結果を次の表 4-1 から表 4-3、グラフ化したものを図 4-3 に示した。

明度を表す L^* 値 (図 4-3 (1)) について、堆砂 1 および堆砂 2 の結果から、無焼成と 500°C で焼成したときの間で明度が大きく下がることが分かった。以降、 750°C と 1000°C で焼成したときでは、 500°C で焼成したときとほとんど変わらない明度となっていた。

色彩を表す a^* 値 (図 4-3 (2)) と b^* 値 (図 4-3 (3)) について、堆砂 1 よりも堆砂 2 の方が変化率が大きかった。 a^* 値については堆砂 2 において 750°C で焼成したときに変化が最も大きく、堆砂 1 についても 750°C で焼成したときに最も変化率が大きくなり、 750°C から 1000°C では変化率が小さくなっていた。 b^* 値について、堆砂 1 では焼成による変化はほとんど見られなかったが、堆砂 2 では 750°C で最も変化が大きくなっていた。

以上の結果から、各堆砂で、 750°C で焼成したときが最も明度・色彩の変化が大きくなると判断し、以降、モルタルの作製を行う実験では堆砂 1、堆砂 2 共に 750°C で焼成した堆砂を用いた。

表 4-1 焼成前後の堆砂の明度・色彩の測定試験結果

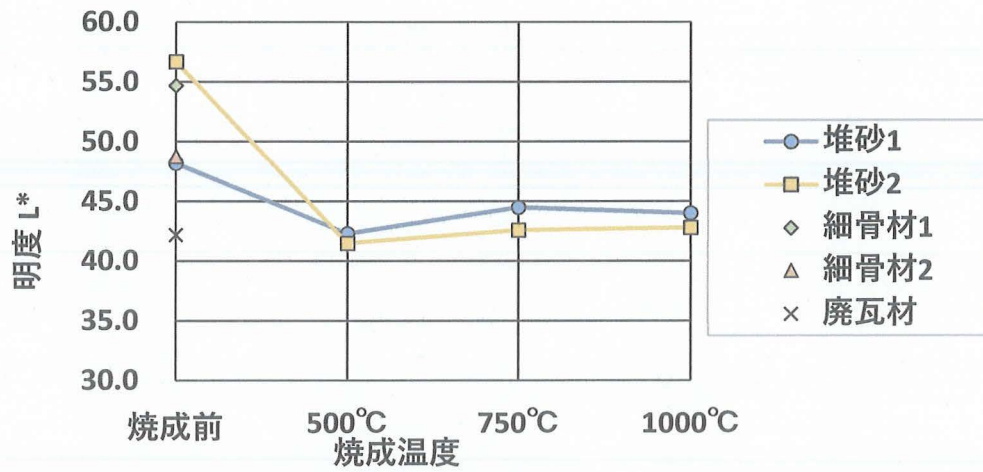
	堆砂1			堆砂2		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*
1000°C	37.3	+14.0	+14.8	42.8	+23.0	+26.3
750°C	35.9	+12.3	+16.1	42.6	+24.4	+25.4
500°C	30.2	+8.8	+12.2	41.5	+14.3	+18.9
焼成前	38.9	+5.0	+13.5	56.7	+0.0	+11.2

表 4-2 細骨材の明度・色彩の測定試験結果

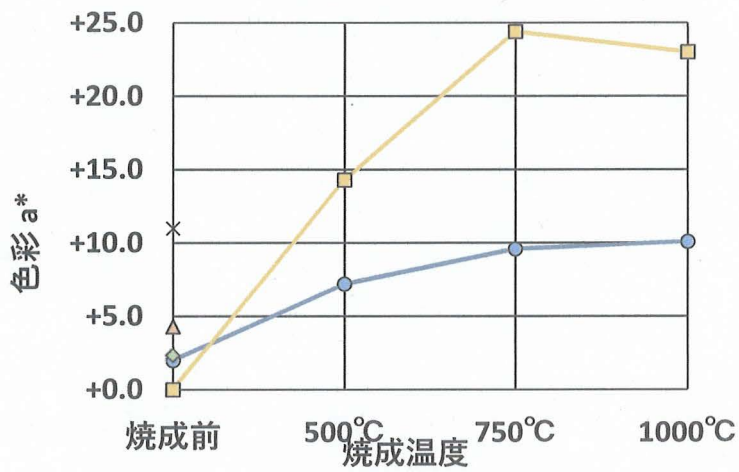
細骨材1			細骨材2		
L*	a*	b*	L*	a*	b*
60.1	+2.2	+7.7	57.3	+1.0	+6.6

表 4-3 廃瓦材の明度・色彩の測定試験結果

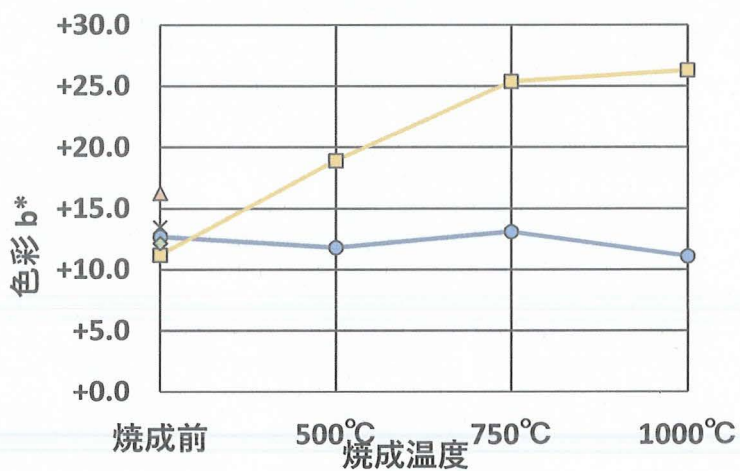
廃瓦材		
L*	a*	b*
42.2	+11.0	+13.5



(1)使用材料の明度 L*



(2)使用材料の色彩 a*



(3)使用材料の色彩 b*

図 4-3 試料の明度・色彩の測定試験結果

図 4-4 および図 4-5 に、焼成前後の堆砂を比較した写真を示した。このとき、見た目でも 750℃で焼成したときが色彩の変化が大きいことが分かった。

堆砂 1 では、より赤味が強くなるように見えた。また、焼成前には鉱物などの様々な色が見られたが、焼成を行うことによって色の種類自体も少なくなったように思われる。

堆砂 2 では、朱色が強くなるように思われ、これは赤味と黄味が強くなったと言える。また、焼成前には灰色であったが、焼成によって色が大きく変化したことが分かった。焼成温度によっても色が変わっていることが分かった。

焼成することによって、堆砂に含まれていた木片などが焼失していることが確認された。焼成するにはエネルギーを必要とし、それはデメリットであると考えられる。しかし、有機物が燃焼されるというのは、コンクリート用骨材として利用する際のひとつのメリットである。また、砂に含まれる成分などによって色彩が大きく変わると考えられることから、それぞれ採取された地域の特有の色彩というものを、焼成することによって得られるのではないかと思われる。

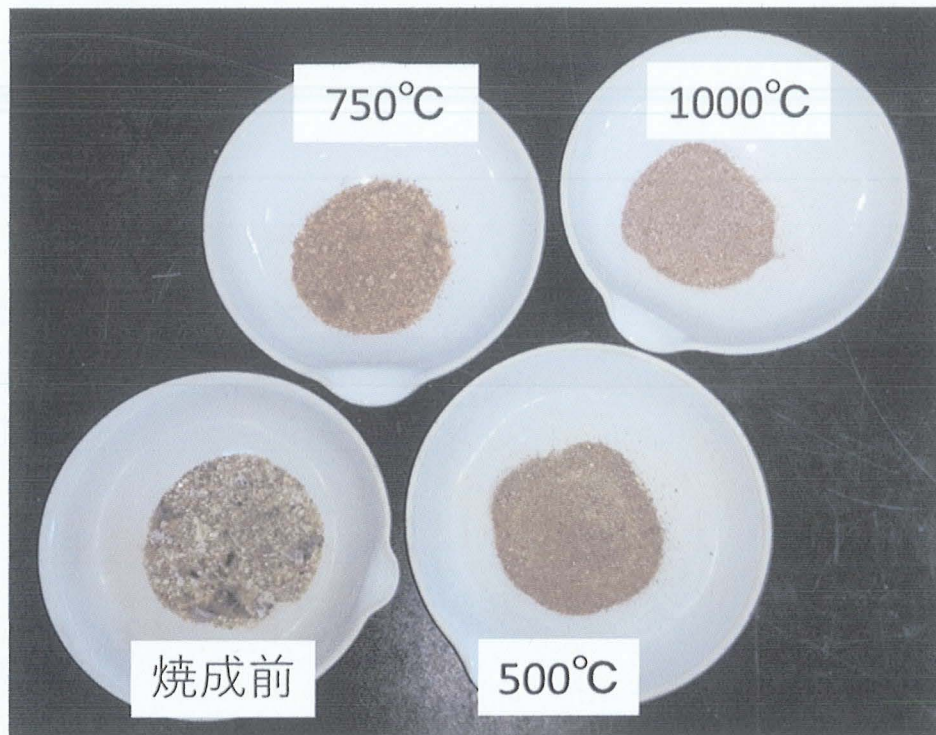


図 4-4 堆砂 1 を焼成したものの比較

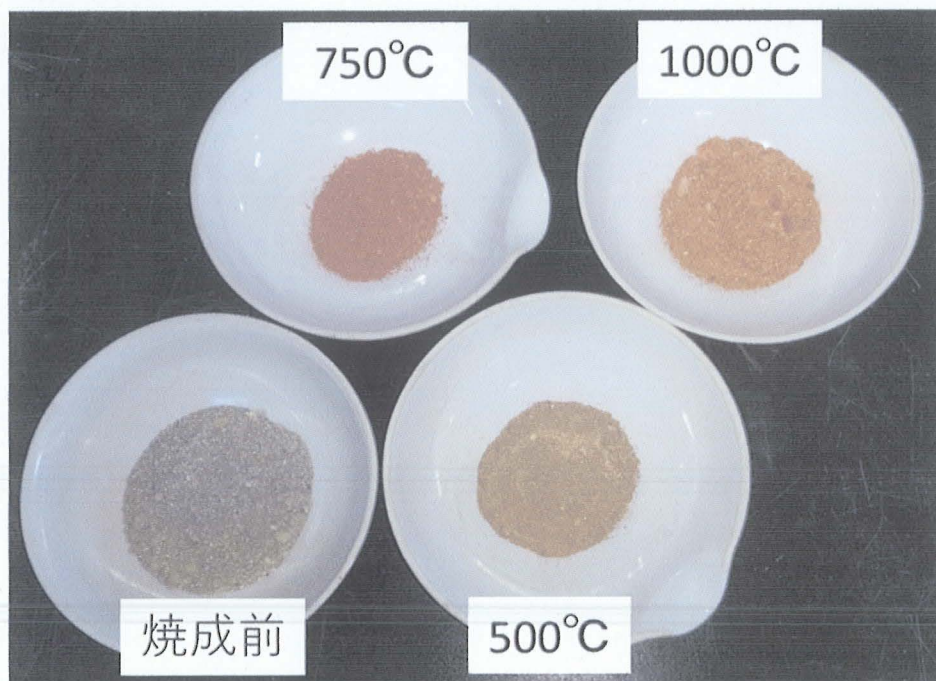


図 4-5 堆砂 2 を焼成したものの比較

4.3 まとめ

焼成を行うことによって、堆砂の明度や色彩に変化が見られた。明度を表す L^* 値について、堆砂 1 および堆砂 2 の両方で、 500°C で数値が大きく減少し、以降の変化は少なかった。 L^* 値での数値の減少は、明度の減少を表し、暗くなることを示している。色彩を表す a^* 値と b^* 値について、 a^* 値では堆砂 1 および堆砂 2 の両方で、焼成温度が大きくなるにつれて数値が増加していたが、堆砂 2 では特に顕著であり、 750°C で変化率が最大となった。 a^* 値での数値の増加は、赤がより鮮やかになることを示している。また、 b^* 値では堆砂 1 は変化が少なかったが、堆砂 2 は焼成温度が大きくなるにつれて数値が増加しており、 750°C で変化率が最大となった。 b^* 値での数値の増加は、黄がより鮮やかになることを示している。このことを考慮して、以降の焼成堆砂混入モルタル作製には、堆砂 1 および堆砂 2 は 750°C で焼成したものをを用いている。

細骨材 1 と細骨材 2 では、最初は肉眼で白系統（細骨材 1）と黄系統（細骨材 2）を分けていたが、数値を比較してみると、明度を表す L^* 値では細骨材 1 が細骨材 2 よりも大きくなっていった。また、色彩を表す a^* 値と b^* 値では細骨材 2 が細骨材 1 よりも大きくなっていった。

廃瓦材の各値は焼成を行った堆砂 1 に類似していた。廃瓦材は廃瓦を破碎した材料であり、窯業に関わりがある。窯業では粘土などを焼いて製品を製造するため、特に山砂由来の堆砂である堆砂 1 を焼成した焼成堆砂と類似していたのではないかと考えられる。

第5章 焼成堆砂混入モルタル

5-1 焼成堆砂混入モルタルの明度・色彩の測定試験

750℃で焼成した堆砂と廃瓦材を用いて、通常のコングリート用細骨材から一定割合で置換したモルタルを「コングリートの強度試験用供試体の作り方 (JIS A 1132-2014)」に準拠して作製した。その後、色彩色差計を用いてモルタルの明度・色彩の測定試験を行った。

5-1-1 配合設計

焼成堆砂混入モルタルの配合設計は、以下の表 5-1 の通りに行った。

表 5-1 明度・色彩の測定試験用焼成堆砂混入モルタルの配合(1回の練り混ぜ量)

種類	細骨材の 組み合わせ	細骨材 (g)	セメント (g)	水 (g)	水セメント 比等(%)	焼成砂の置換率 (%)
堆1+細1セメント	堆砂1+細骨材1	1528	611	336	55	0, 20, 40, 60, 80, 100
堆1+細2セメント	堆砂1+細骨材2	1528	611	336	55	0, 20, 40, 60, 80, 100
堆2+細1セメント	堆砂2+細骨材1	1528	611	336	55	0, 20, 40, 60, 80, 100
堆2+細2セメント	堆砂2+細骨材2	1528	611	336	55	0, 20, 40, 60, 80, 100
堆1+細1ジオ	堆砂1+細骨材1	1528	382 ^{※1}	382 ^{※2}	100 ^{※3}	0, 20, 40, 60, 80, 100
廃瓦材セメント	廃瓦材+細骨材1	1528	611	336	55	2, 4, 6, 8, 10

※1 高炉スラグ微粉末

※2 水ガラス：珪酸ソーダ 1号を水道水で2倍に希釈したもの

※3 粉体溶液比

セメントモルタルでは、750℃で焼成した堆砂1および堆砂2、細骨材1および細骨材2の組み合わせで4種類の細骨材の組み合わせを作り、それぞれについて、細骨材から焼成堆砂への置換を0%、20%、40%、60%、80%、100%の6種類の置換率で作製した。

ジオポリマーモルタルでは、750℃で焼成した堆砂1と、細骨材1の組み合わせで、0%、20%、40%、60%、80%、100%の6種類の置換率で作製した。

廃瓦材セメントでは、廃瓦材と、細骨材の組み合わせで、0%、2%、4%、6%、8%、10%の置換率で作製した。他の堆砂よりも置換率が小さいが、これは粒度

の細かい廃瓦材が、市販のコンクリート用着色材のような働きをするのではないかと期待しての置換率である。

5-1-2 使用器具

- (1) 供試体製造用型枠 (φ5 × 10cm のプラスチックモールド)
- (2) キャッピング用押し板
- (3) 段ボール板
- (4) 小スコップ
- (5) コンクリート切断機
- (6) 色彩色差計

5-1-3 実験要領

(A) 供試体の準備

- (1) コンクリートを、供試体製造用型枠に 2 層のほぼ等しい層に分けて詰めた。
- (2) 各層を詰める際、締め固めおよび気泡の除去のために、供試体製造用型枠の底を 20 回ずつ段ボール板に打ち付けた。
- (3) 最上層は、型枠頂面まで詰め、型枠の上端より上方のコンクリートは取り除き、表面を注意深く均した。
- (4) コンクリートを詰め終わった後、3 日間硬化を待って型枠を取り外した。
- (5) 型枠を取り外した後は、セメントモルタルは水中養生を、ジオポリマーモルタルは封緘養生を行い、材齢 14 日で供試体を半分に切断した。切断した後は、明度・色彩の測定試験を行うまで気中養生を行った。

(B) 明度・色彩の測定試験

- (1) 材齢 28 日で型枠面と切断面において色彩色差計を用いて明度・色彩の測定を行った。このとき、異なる 3 点で測定を行い、その平均値を記録したが、切断面では気泡などを避けるように測定点を決定した。

材齢 28 日（水中養生 14 日後、気中養生 14 日の計 28 日）時点の型枠面での明度・色彩の測定試験の数値結果を、次の表 5-2 および表 5-3、グラフ化したものを図 5-1 に示した。

材齢 28 日時点の型枠面での明度 L^* 値（図 5-1 (1)）について、各供試体で明確な傾向があるようには見えなかった。増加傾向を示すものもあるが、減少傾向を示すものもあり、また、増減を繰り返すものもあった。明度 L^* 値については、使用する骨材や混入率で変化の傾向があるとは言えないことが分かった。また、 L^* 値の範囲は 0～100 であるが、各供試体は 60 を超えていた。表 4-1、表 4-2、表 4-3 から、使用材料の明度は細骨材 1 の 60.1 が最も大きい数値となっているが、それよりも高い値となっているのは、セメントの明度が影響しているものと思われる。

色彩を表す a^* 値（図 5-1 (2)）については、各供試体で増加傾向にあった。これはつまり、赤が鮮やかになることを示している。焼成堆砂の混入率が大きくなるに伴って増加傾向にあるということは、焼成堆砂の色彩が供試体の色彩にも影響しているということが言える。また、セメントモルタルの供試体では置換率が 0%（全て細骨材 1 または細骨材 2）のものでは、ほとんど 0 に近い値を取っている。これは、赤から緑の色空間内での色彩がないことを示している。ジオポリマーセメントモルタルでは、置換率が 40% を超えるまでは赤側よりも緑側の色彩が出ていることが分かった。

同様に色彩を表す b^* 値（図 5-1 (3)）についても、各供試体で増加傾向にあった。これはつまり、黄が鮮やかになることを示している。こちらも焼成堆砂の混入率が大きくなるに伴って増加傾向にあるため、 b^* 値についても焼成堆砂の色彩が供試体の色彩にも影響しているということが言える。使用材料の中でより b^* 値が高かった堆砂 2 を混ぜたセメントモルタルで高くなっていたが、各供試体で大きな違いはなかった。

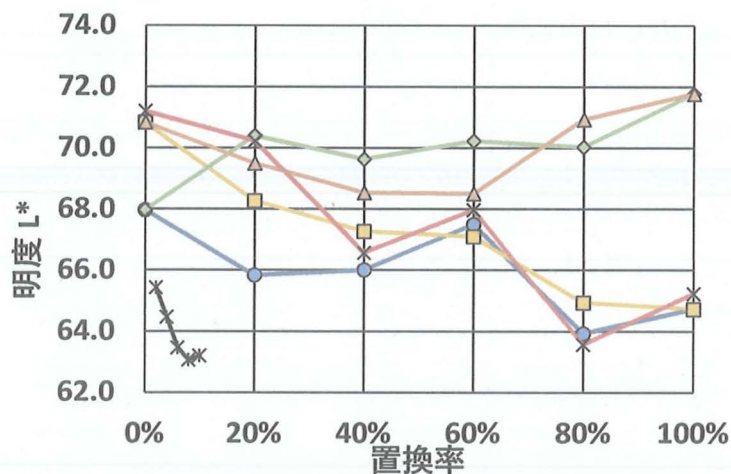
以上から、焼成堆砂の混入によるモルタルの明度 L^* 値への影響は少ないと思われるが、色彩 a^* 値と b^* 値は影響があり、 a^* 値はより影響が大きくなることが分かった。

表 5-2 焼成堆砂混入モルタルの明度・色彩の測定試験結果（型枠面）

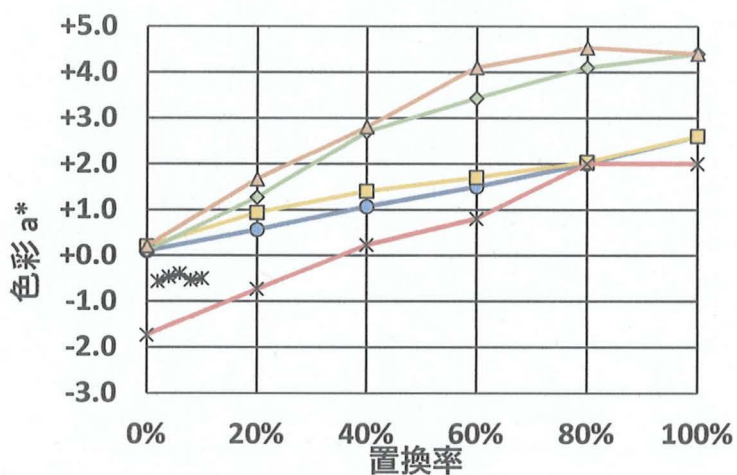
置換率	材齢	セメント											
		堆砂1						堆砂2					
		細骨材1			細骨材2			細骨材1			細骨材2		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0%	28日	68.0	+0.1	+4.4	70.8	+0.2	+5.0	+68.0	+0.1	+4.4	+70.8	+0.2	+5.0
20%	28日	65.8	+0.6	+4.0	68.3	+0.9	+5.5	70.4	+1.3	+4.9	69.5	+1.7	+5.0
40%	28日	66.0	+1.1	+4.8	67.3	+1.4	+4.9	69.6	+2.7	+6.2	68.5	+2.8	+6.1
60%	28日	67.5	+1.5	+5.0	67.1	+1.7	+5.5	70.2	+3.4	+6.5	68.5	+4.1	+7.0
80%	28日	63.9	+2.0	+5.4	64.9	+2.0	+5.3	70.0	+4.1	+6.7	70.9	+4.5	+6.2
100%	28日	64.7	+2.6	+5.9	+64.7	+2.6	+5.9	71.8	+4.4	+6.3	+71.8	+4.4	+6.3

表 5-3 比較検討用モルタルの明度・色彩の測定試験結果（型枠面）

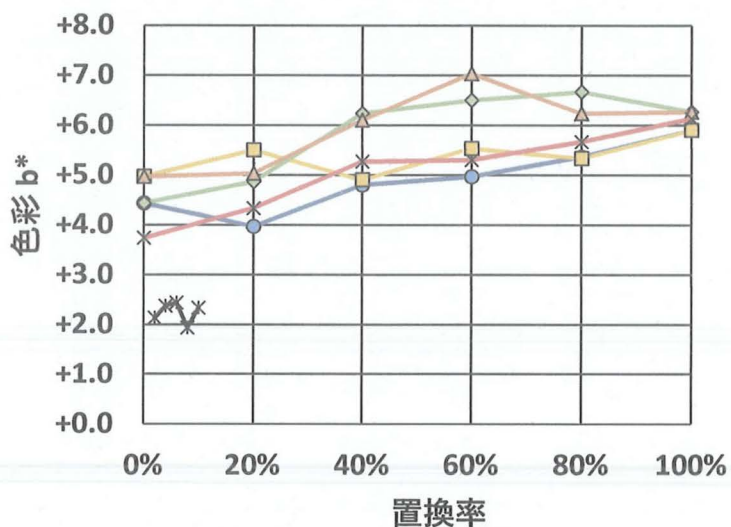
置換率	材齢	比較検討用					
		ジオポリマー			廃瓦材（着色剤）		
		堆砂1+細骨材1			廃瓦材+細骨材1		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
0%	28日	71.2	-1.7	+3.7			
20%	28日	70.2	-0.7	+4.3	65.4	-0.6	+2.1
40%	28日	66.6	+0.2	+5.3	64.5	-0.5	+2.4
60%	28日	68.0	+0.8	+5.3	63.5	-0.4	+2.4
80%	28日	63.6	+2.0	+5.7	63.1	-0.5	+1.9
100%	28日	65.2	+2.0	+6.1	63.2	-0.5	+2.3



(1)材齢 28 日の型枠面の明度 L*



(2)材齢 28 日の型枠面の色彩 a*



(3)材齢 28 日の型枠面の色彩 b*

図 5-1 材齢 28 日での明度・色彩の測定試験結果 (型枠面)

材齢 28 日の切断面での明度・色彩の測定試験の数値結果を、次の表 5-4 および表 5-5 に、グラフ化したものを図 5-2 に示した。

材齢 28 日の切断面での明度 L*値 (図 5-2 (1)) について、各供試体で若干の減少傾向が見られた。ただし、堆砂 1 を用いたセメントモルタル供試体では置換率 100% (全て堆砂 1) のものが置換率 80%のものよりも明るいという結果が出ていた。また、切断面でも明度は 60 を超える数値となっており、使用した骨材よりも明るいという結果になっていた。型枠面と同様に、セメントの色を反映しているものと思われる。

色彩 a*値 (図 5-2 (2)) について、堆砂 1 を使用したモルタルと堆砂 2 を使用したモルタルでは違いが顕著であった。堆砂 2 ではより変化が大きくなっており、赤が鮮やかになっていることを示していた。堆砂 1 では、セメントモルタルとジオポリマーモルタルで、置換率が大きくなるほど、a*値は収束していくという結果になった。また、ジオポリマーモルタルでは置換率 0% (全て細骨材 1) のものでは緑の色彩が出ていることが分かった。

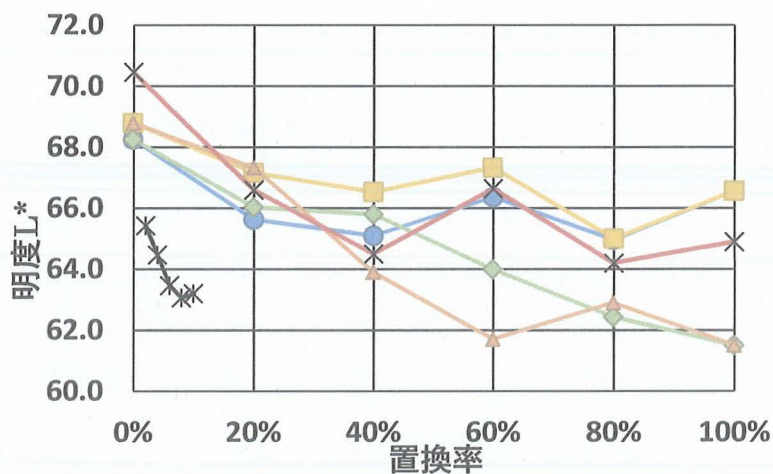
色彩 b*値 (図 5-2 (3)) について、堆砂 2 を用いた 2 種類の供試体では置換率が増加するにつれて値も増加傾向にあった。その他の供試体についても、値の変動は小さかったが、増加傾向にあると思われる。つまり、置換率が増加するにつれて、黄が鮮やかになっていることを示していた。

表 5-4 焼成堆砂混入モルタルの明度・色彩の測定試験結果（切断面）

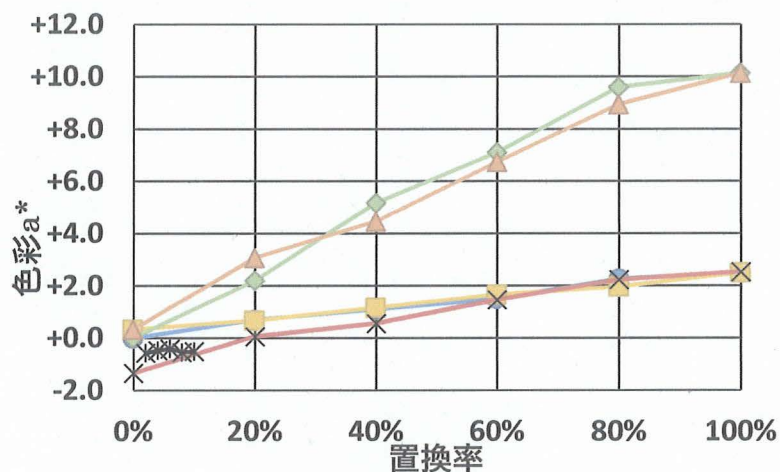
置換率	材齢	セメント											
		堆砂1						堆砂2					
		細骨材1			細骨材2			細骨材1			細骨材2		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0%	28日	68.3	+0.0	+4.1	68.8	+0.3	+5.0	68.3	+0.0	+4.1	68.8	+0.3	+5.0
20%	28日	65.6	+0.7	+4.5	67.2	+0.7	+5.4	66.0	+2.2	+6.0	67.3	+3.1	+7.1
40%	28日	65.1	+1.1	+4.3	66.5	+1.2	+5.5	65.8	+5.2	+8.1	63.9	+4.5	+7.7
60%	28日	66.4	+1.5	+4.7	67.3	+1.7	+5.4	64.0	+7.1	+9.8	61.7	+6.7	+9.1
80%	28日	65.0	+2.3	+5.7	65.0	+2.0	+5.5	62.4	+9.6	+12.3	62.9	+8.9	+11.3
100%	28日	66.6	+2.5	+5.5	66.6	+2.5	+5.5	61.5	+10.1	+11.5	61.5	+10.1	+11.5

表 5-5 比較検討用モルタルの明度・色彩の測定試験結果（切断面）

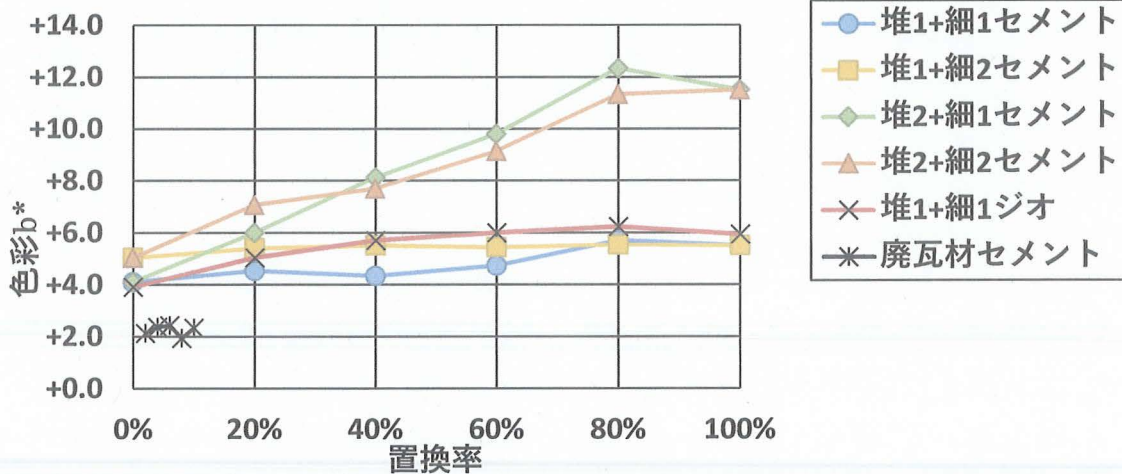
置換率	材齢	比較検討用					
		ジオポリマー			廃瓦材（着色剤）		
		堆砂1+細骨材1			廃瓦材+細骨材1		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
0%	28日	70.5	-1.3	+3.9	/	/	/
20%	28日	66.6	+0.1	+5.0	65.4	-0.6	+2.1
40%	28日	64.5	+0.6	+5.7	64.5	-0.5	+2.4
60%	28日	66.6	+1.5	+6.0	63.5	-0.4	+2.4
80%	28日	64.2	+2.2	+6.2	63.1	-0.5	+1.9
100%	28日	64.9	+2.5	+5.9	63.2	-0.5	+2.3



(1)材齢 28 日の切断面の明度 L*



(2)材齢 28 日の切断面の色彩 a*



(3)材齢 28 日の切断面の色彩 b*

図 5-2 材齢 28 日での明度・色彩の測定試験結果 (切断面)

材齢 180 日の型枠面での明度・色彩の測定試験の数値結果を、次の表 5-6 および表 5-7 に、グラフ化したものを図 5-3 に示した。

材齢 180 日の型枠面での明度 L^* 値 (図 5-3 (1)) について、細骨材 1 の置換率 0% (全て細骨材 1) のセメントモルタルとジオポリマーモルタル以外では高めの値となっていた。これは、気中養生を続けていたため、乾燥によってセメントの白っぽさが際立つ結果となったのではないかと思われる。対して、ジオポリマーモルタルでは L^* 値は置換率が増加するにつれて減少傾向であった。

色彩 a^* 値 (図 5-3 (2)) について、各供試体で置換率が増加するにつれて増加傾向であった。これはより赤が鮮やかになっていることを示している。セメントモルタルでは、堆砂 1 を使用したものよりも、堆砂 2 を使用したものの方が値が大きくなっていた。また、ジオポリマーモルタルでは堆砂 2 を使用したセメントモルタルと近い値となっており、より堆砂 1 の色彩を反映しているものと思われる。

色彩 b^* 値 (図 5-3 (3)) について、堆砂 1 を用いた 2 種類の供試体では変化が小さく、細骨材 1 を用いた供試体では増加傾向だったが、細骨材 2 を用いた供試体ではほとんど変化がなかった。堆砂 2 を用いた 2 種類の供試体は、置換率が増加するにつれて増加傾向であった。また、ジオポリマーモルタルは変化が小さかったが、値は堆砂 2 を用いた供試体より大きくなっていた。

セメントモルタルの供試体では、堆砂 1 を用いた 2 種類の供試体と、堆砂 2 を用いた 2 種類の供試体で、それぞれの a^* 値と b^* 値は同様の値に収束する傾向にあった。このことから、型枠面では時間の経過によって使用した骨材の色彩がより強く反映されるようになるのではないかと思われる。

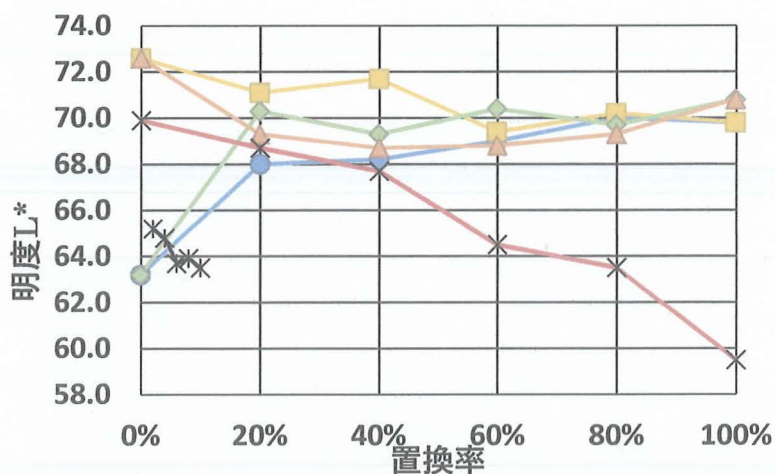
ジオポリマーモルタルの供試体では、セメントモルタルの供試体と比べても b^* 値が特に大きく変化していたことから、セメントにあたる高炉スラグ微粉末と水ガラスは、時間の経過によって黄がより鮮やかになる変化をするのではないかと考えられる。

表 5-6 焼成堆砂混入モルタルの明度・色彩の測定試験結果（型枠面）

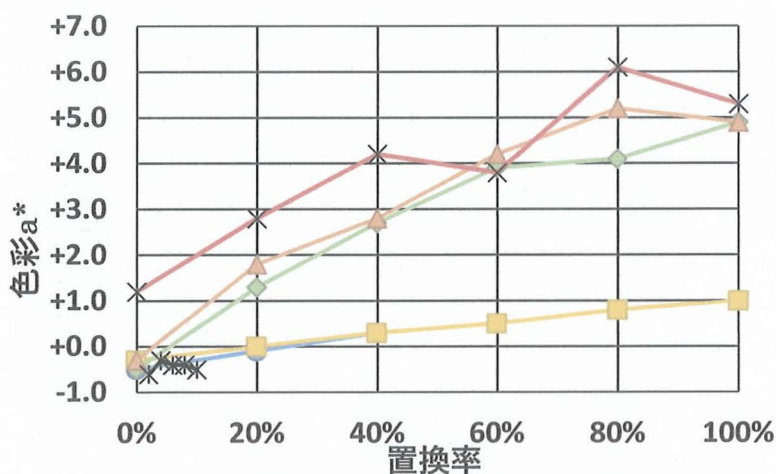
置換率	材齢	セメント											
		堆砂1						堆砂2					
		細骨材1			細骨材2			細骨材1			細骨材2		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0%	180日	63.2	-0.5	+3.0	72.6	-0.3	+3.9	63.2	-0.5	+3.0	72.6	-0.3	+3.9
20%	180日	68.0	-0.1	+3.4	71.1	+0.0	+3.9	70.3	+1.3	+5.0	69.3	+1.8	+5.2
40%	180日	68.2	+0.3	+4.4	71.7	+0.3	+4.5	69.3	+2.7	+6.1	68.7	+2.8	+6.2
60%	180日	69.0	+0.5	+4.3	69.4	+0.5	+4.3	70.4	+3.9	+7.1	68.8	+4.2	+7.2
80%	180日	70.0	+0.8	+4.4	70.2	+0.8	+4.1	69.7	+4.1	+6.8	69.3	+5.2	+7.7
100%	180日	69.8	+1.0	+4.7	69.8	+1.0	+4.7	70.8	+4.9	+6.8	70.8	+4.9	+6.8

表 5-7 比較検討用モルタルの明度・色彩の測定試験結果（型枠面）

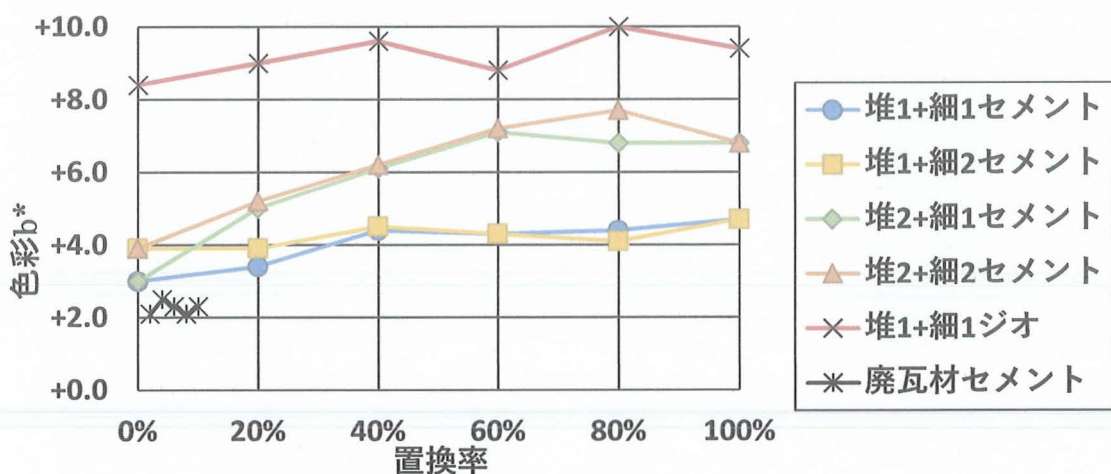
置換率	材齢	比較検討用					
		ジオポリマー			廃瓦材（着色剤）		
		堆砂1+細骨材1			廃瓦材+細骨材1		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
0%	180日	69.9	+1.2	+8.4	63.2	-0.5	+3.0
20%	180日	68.7	+2.8	+9.0	65.2	-0.6	+2.1
40%	180日	67.7	+4.2	+9.6	64.8	-0.3	+2.5
60%	180日	64.5	+3.8	+8.8	63.7	-0.4	+2.3
80%	180日	63.5	+6.1	+10.0	63.9	-0.4	+2.1
100%	180日	59.5	+5.3	+9.4	63.5	-0.5	+2.3



(1)材齢 180 日の型枠面の明度 L*



(2)材齢 180 日の型枠面の色彩 a*



(3)材齢 180 日の型枠面の色彩 b*

図 5-3 材齢 180 日での明度・色彩の測定試験結果 (型枠面)

材齢 180 日の切断面での明度・色彩の測定試験の数値結果を表 5-8 および表 5-9 に、グラフ化したものを図 5-4 に示した。

材齢 180 日の切断面での明度 L*値 (図 5-4 (1)) について、いずれの供試体でも、置換率が増加するにつれて減少傾向にあった。セメントモルタルでは型枠面の L*値はセメントの白っぽさが際立つ結果となっていたが、切断面では L*値が減少していることから、セメントよりも使用した骨材の L*値がより強く影響しているのではないかとと思われる。

色彩 a*値 (図 5-4 (2)) について、いずれの供試体でも、置換率が増加するにつれて増加傾向にあり、赤がより鮮やかになることが分かった。また、堆砂 1 を用いた供試体では、セメントモルタルとジオポリマーモルタルで、置換率が増加するにつれて同様の値に収束する結果となっていた。堆砂 2 を用いた供試体でも、各置換率で同様の値に収束していた。

色彩 b*値 (図 5-4 (3)) についても、いずれの供試体も置換率が増加するにつれて増加傾向にあり、黄がより鮮やかになることが分かった。堆砂 1 を用いた供試体では、変化は小さかったが増加傾向にあった。また、セメントモルタルとジオポリマーモルタルでは a*値と同様、置換率が増加するにつれて値が収束する結果となっていた。堆砂 2 を用いた供試体でも、各置換率で同様の値に収束する傾向にあった。

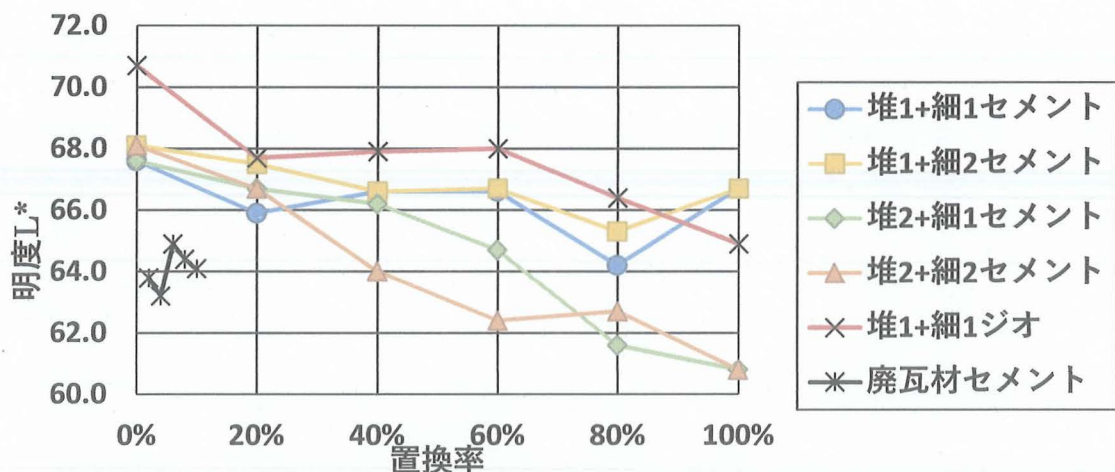
色彩 a*値、b*値では、堆砂 1 と堆砂 2 でそれぞれ、同様の値に収束するという結果が出ていた。このことから、切断面では使用した骨材の色彩が反映されるのではないかと考えられる。

表 5-8 焼成堆砂混入モルタルの明度・色彩の測定試験結果（切断面）

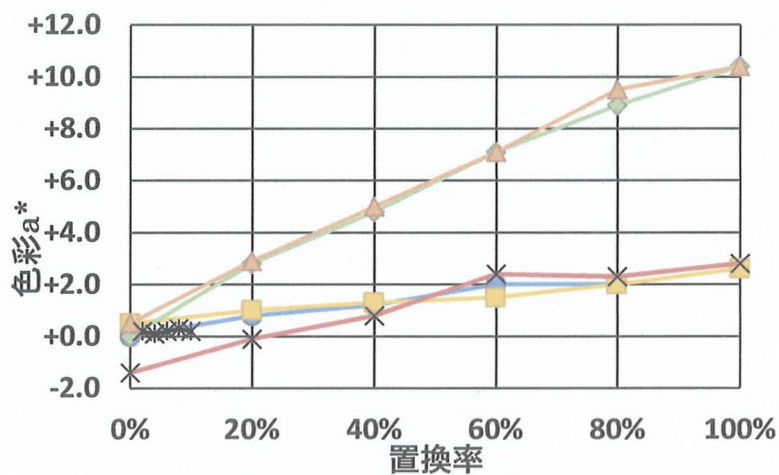
置換率	材齢	セメント											
		堆砂1						堆砂2					
		細骨材1			細骨材2			細骨材1			細骨材2		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
0%	180日	67.6	+0.0	+4.0	68.1	+0.5	+5.3	67.6	+0.0	+4.0	68.1	+0.5	+5.3
20%	180日	65.9	+0.8	+4.7	67.5	+1.0	+6.0	66.7	+2.8	+6.6	66.7	+2.9	+6.6
40%	180日	66.6	+1.2	+4.5	66.6	+1.3	+5.4	66.2	+4.8	+8.1	64.0	+5.0	+8.6
60%	180日	66.6	+2.0	+5.1	66.7	+1.5	+5.3	64.7	+7.1	+9.9	62.4	+7.1	+9.6
80%	180日	64.2	+2.0	+5.4	65.3	+2.0	+5.6	61.6	+8.9	+10.5	62.7	+9.5	+12.0
100%	180日	66.7	+2.6	+5.6	66.7	+2.6	+5.6	60.8	+10.4	+11.6	60.8	+10.4	+11.6

表 5-9 比較検討用モルタルの明度・色彩の測定試験結果（切断面）

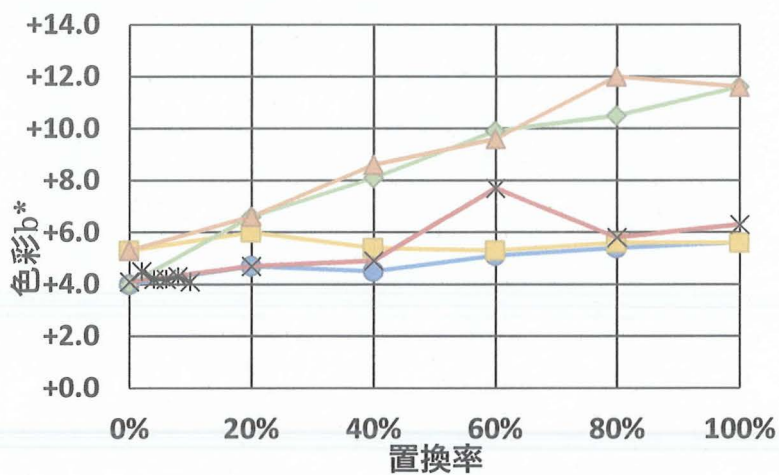
置換率	材齢	比較検討用					
		ジオポリマー			廃瓦材（着色剤）		
		堆砂1+細骨材1			廃瓦材+細骨材1		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
0%	180日	70.7	-1.4	+4.1			
20%	180日	67.7	-0.1	+4.7	63.8	+0.2	+4.5
40%	180日	67.9	+0.8	+4.9	63.2	+0.1	+4.2
60%	180日	68.0	+2.4	+7.7	64.9	+0.2	+4.2
80%	180日	66.4	+2.3	+5.8	64.4	+0.3	+4.3
100%	180日	64.9	+2.8	+6.3	64.1	+0.2	+4.1



(1)材齢 180 日の切断面の明度 L*



(2)材齢 180 日の切断面の色彩 a*



(3)材齢 180 日の切断面の色彩 b*

図 5-4 材齢 180 日での明度・色彩の測定試験結果 (切断面)

材齢 28 日での型枠面と切断面で比べた場合、切断面では堆砂 1 を用いた供試体と堆砂 2 を用いた供試体で色彩 a^* 値と b^* 値の違いが大きく出る結果となっていたが、型枠面では違いが小さくなっていた。また、明度 L^* 値について、型枠面では明確な傾向は見られなかったが、切断面では減少傾向が見られた。これは、材齢 28 日時点では、供試体表面が十分に乾燥しておらず、型枠面では水分の影響で L^* 値が安定しなかったのではないかと考えられる。

材齢 180 日で、型枠面ではセメントモルタルにおいて明度 L^* 値は同様の値を取るような結果になっていたが、これは乾燥することによって、よりセメントの色が反映されるようになったのではないかと考えられる。切断面では材齢 28 日時点と同様に、置換率の増加に伴って、 L^* 値は減少傾向にあった。また、 a^* 値と b^* 値について、型枠面では材齢 28 日時点よりも、堆砂 1 と堆砂 2 での違いが大きく出る傾向にあった。ジオポリマーモルタルにおいては、色彩がより鮮やかに出る結果になっていた。一方、切断面では、ジオポリマーモルタルは同様の配合のセメントモルタルと近い値を取る傾向にあった。セメントモルタルの各供試体において、型枠面と切断面で色彩 a^* 値と b^* 値は、堆砂 1 および堆砂 2 を用いた各配合で同様の値になる傾向があった。このことにより、時間の経過によって使用した骨材の色彩が反映されるということが考えられる。

明度・色彩の測定試験に実際に使用したモルタルの写真を、次の図 5-5 から図 5-10 に示した。表示されている割合は、細骨材 1 および細骨材 2 から、堆砂 1、堆砂 2 および廃瓦材への置換率である。

これは型枠面で撮った写真であるが、堆砂 1 を用いたセメントモルタルは緩やかに色彩が出ていることが分かる。また、ジオポリマーモルタルでは、セメントモルタルよりもより色が鮮やかになっていた。堆砂 2 を用いたセメントモルタルは堆砂 1 と比べても色彩が強く出ていることが分かる。

廃瓦材セメントについては、コンクリート用着色材としての利用ができないかを検討するために置換率も少なくしていたが、結果としてほとんどモルタルの色は変化していなかった。そのため、着色材としての利用はできないことが分かった。

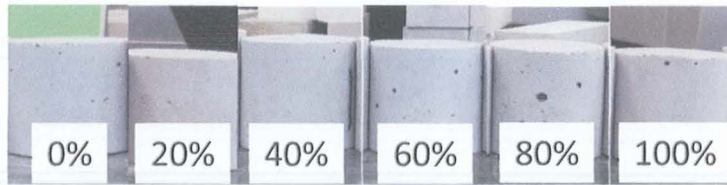


図 5-5 細骨材 1+堆砂 1 のセメントモルタル



図 5-6 細骨材 2+堆砂 1 のセメントモルタル



図 5-7 細骨材 1+堆砂 2 のセメントモルタル

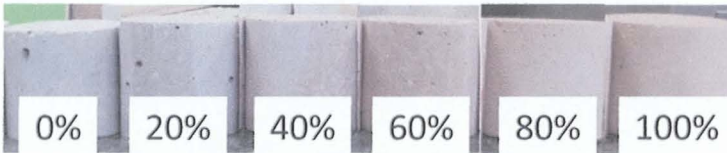


図 5-8 細骨材 2+堆砂 2 のセメントモルタル

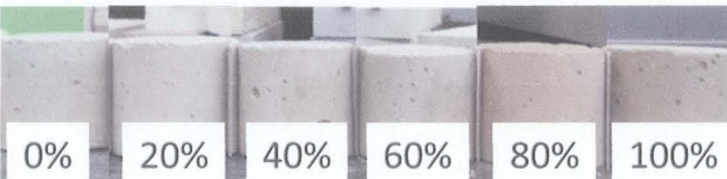


図 5-9 細骨材 1+堆砂 1 のジオポリマーモルタル

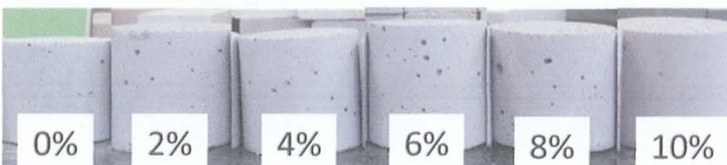


図 5-10 細骨材 1+廃瓦材のセメントモルタル

5-2 焼成堆砂混入モルタルの圧縮強度試験

750℃で焼成した堆砂を用いて、通常のコングリート用細骨材から一定割合で置換したモルタルを「コングリートの強度試験用供試体の作り方 (JIS A 1132-2014)」に準拠して作製した。その後、圧縮強度試験を「コングリートの圧縮強度試験方法 (JIS A 1108-2006)」に準拠して行った。

5-2-1 配合設計

焼成堆砂混入モルタルの配合設計は、以下の表 5-10 の通りに行った。

表 5-10 圧縮強度試験用焼成堆砂混入モルタルの配合設計 (1 回の練り混ぜ量)

種類	細骨材 (g)	セメント (g)	水 (g)	水セメント比 (%)	置換率 (%)
堆砂1+細骨材1	1528	611	336	55	0, 33, 66, 100
堆砂1+細骨材2	1528	611	336	55	0, 33, 66, 100
堆砂2+細骨材1	1528	611	※	※	0, 33, 66, 100
堆砂2+細骨材2	1528	611	336	55	0, 33, 66, 100

※一部の組み合わせで水セメント比が 65%(水 397g)、75%(水 458g)となる供試体があった。

堆砂 1 および堆砂 2 と、細骨材 1 および細骨材 2 の組み合わせで 4 種類を用意した。また、それぞれの種類で、細骨材から堆砂への置換率が 0%、33%、66%、100%の供試体を 3 本ずつ作製した。

堆砂 2 と細骨材 1 の組み合わせでは、一部の置換率でモールドへの打ち込みに必要な流動性を確保できなかったため、さらに水を加え、水セメント比が大きくなった供試体があった。

5-2-2 使用器具

- (1) 供試体製造用型枠 (φ5 × 10cm のプラスチックモールド)
- (2) 小スコップ
- (3) ノギス
- (4) はかり (秤量が 2kg 以上で、目量が 0.1g のもの)
- (5) 圧縮試験装置

5-2-3 実験要領

(A) 供試体の準備

- (1) コングリートを、供試体製造用型枠に 2 層のほぼ等しい層に分けて詰めた。

- (2) 各層を詰める際、締め固めおよび気泡の除去のために、供試体製造用型枠の底を 20 回ずつ段ボール板に打ち付けた。
- (3) 最上層は、型枠頂面まで詰め、型枠の上端より上方のコンクリートは取り除き、表面を注意深く均した。
- (4) コンクリートを詰め終わった後、3 日間硬化を待って型枠を取り外した。
- (5) 型枠を取り外した後、強度試験を行うまで水中養生を行った。

(B)試験方法

- (1) 直径および高さを、0.1mm まで測定した。直径は、供試体の高さの中央で、互いに直交する 2 方向について測定し、その値の平均を小数点 1 桁に四捨五入して記録した。
- (2) 質量をはかりで測定した。質量は、供試体の余剰水を全て拭き取ったあとに測定した。
- (3) 試験機を点検し、調整した。
- (4) 供試体の上面を平らになるようにやすりで研磨し、その後、上下端面を清掃した。また、試験機の上下の加圧板の圧縮面を清掃した。
- (5) 供試体を、アンボンドキャッピングをした後に、供試体直径の 1%以内の誤差で、その中心軸が加圧板の中心と一致するように置いた。
- (6) 供試体に衝撃を与えないように、一様な速度で荷重を加えた。
- (7) 供試体が急激な変形を始めた後は、荷重を加える速度の調整を中止して、荷重を加え続けた。
- (8) 供試体が破壊するまでに試験機が示す最大荷重を、有効数字 3 桁まで読み、圧縮強度 f'_c を、次の式で計算し、有効数字 3 桁に四捨五入した。

$$f'_c = \frac{P}{\pi(d/2)^2} \dots \dots \dots (3)$$

ここで、 f'_c : 圧縮強度 (N/mm²)

P : (B)(11)で求めた最大荷重 (N)

d : (B)(1)で求めた供試体の直径 (mm)

- (9) 見掛け密度を、次の式によって算出し、有効数字 3 桁に四捨五入した。

$$\rho = \frac{m}{h \times \pi(d/2)^2} \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 ρ : 見掛け密度 (kg/m³)

m : (B)(2)で求めた供試体の質量 (kg)

h : (B)(1)で求めた供試体の高さ (m)

d : (B)(1)で求めた供試体の直径 (m)

圧縮強度試験の結果を表 5-11 に、グラフ化したものを図 5-11 に示した。

圧縮強度について、置換率 0%（全て細骨材 1 または細骨材 2）の供試体と、水セメント比が等しかった配合で比較すると、堆砂 1 または堆砂 2 を混入したモルタルで圧縮強度が大きくなるものがあった。特に、33%混入したモルタルでは比較可能な全ての配合で圧縮強度が大きくなっていた。また、堆砂 2 では吸水率が大きい影響もあり、設計していた水セメント比では打ち込みに十分な流動性を得ることができなかった。

表 5-11 焼成堆砂混入モルタルの圧縮強度試験結果

種類	番号	R(mm)	H(mm)	W(g)	P(kN)	ρ (kg/m ³)	fc(N/mm ²)	fc平均
細骨材1 100	1	49.9	99.1	421.3	60.0	2174	30.7	30.1
	2	49.9	97.2	408.7	59.0	2150	30.2	
	3	50.1	※	※	58.0	※	29.4	
細骨材1：堆砂1 2:1	1	50.0	98.2	415.7	69.0	2156	35.1	35.3
	2	50.1	97.7	415.9	69.0	2159	35.0	
	3	50.0	99.9	424.4	70.0	2164	35.7	
細骨材1：堆砂1 1:2	1	50.0	97.1	413.1	69.0	2167	35.1	34.8
	2	50.1	97.9	419.4	68.0	2173	34.5	
	3	49.9	97.5	416.1	68.0	2182	34.8	
堆砂1 100	1	50.0	98.8	420.6	65.0	2168	33.1	33.4
	2	50.0	98.5	421.5	66.0	2179	33.6	
	3	50.1	97.6	417.8	66.0	2171	33.5	
細骨材2 100	1	50.1	99.9	426.5	66.0	2166	33.5	34.0
	2	50.0	97.8	420.1	66.0	2188	33.6	
	3	50.1	97.6	421.6	69.0	2191	35.0	
細骨材2：堆砂1 2:1	1	50.1	99.1	423.2	66.0	2166	33.5	34.7
	2	50.1	98.5	422.1	68.0	2174	34.5	
	3	50.1	99.0	425.6	71.0	2181	36.0	
細骨材2：堆砂1 1:2	1	50.1	98.4	421.1	66.0	2171	33.5	36.0
	2	50.1	100.1	431.3	76.0	2186	38.6	
	3	50.1	99.4	427.3	71.0	2181	36.0	
細骨材1：堆砂2 2:1	1	50.1	100.2	406.1	57.0	2056	28.9	29.0
	2	50.2	98.8	401.0	58.0	2051	29.3	
	3	50.3	99.3	403.7	57.0	2046	28.7	
細骨材1：堆砂2 1:2	1	50.1	99.5	388.7	51.0	1982	25.9	25.8
	2	50.2	99.7	388.9	50.0	1971	25.3	
	3	50.2	98.4	384.7	52.0	1975	26.3	
堆砂2 100	1	50.1	98.6	376.4	58.0	1936	29.4	29.2
	2	50.1	96.9	370.9	57.0	1942	28.9	
	3	50.2	98.4	377.8	58.0	1940	29.3	
細骨材2：堆砂2 2:1	1	50.2	100.1	419.9	72.0	2119	36.4	37.3
	2	50.1	100.5	421.7	74.0	2128	37.5	
	3	50.1	101.2	423.5	75.0	2123	38.0	
細骨材2：堆砂2 1:2	1	50.2	100.6	405.0	64.0	2034	32.3	33.0
	2	50.2	98.7	396.8	67.0	2031	33.9	
	3	50.2	100.4	402.3	65.0	2025	32.8	

※ 測定漏れがあったため、記入していない。

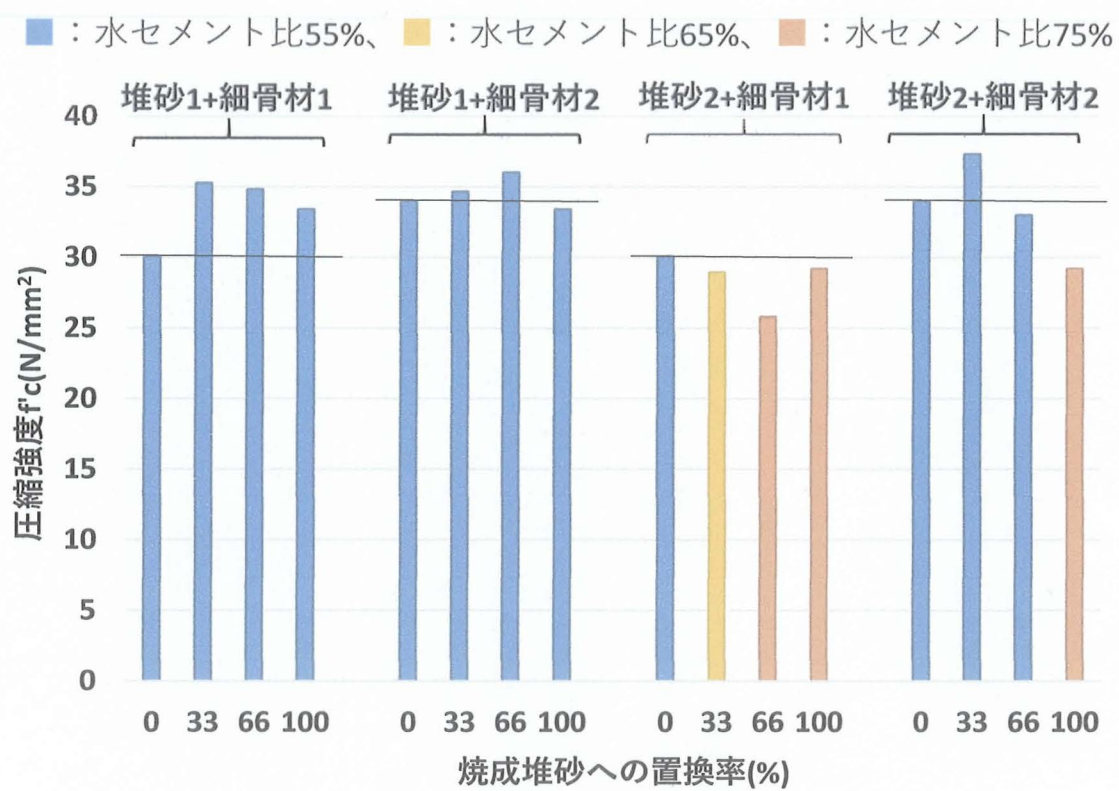


図 5-11 焼成堆砂混入モルタルの圧縮強度試験結果

5-3 まとめ

焼成堆砂混入モルタルの明度・色彩の測定試験では、材齢 28 日時点で、型枠面において、明度を表す L^* 値には明確な傾向は見られなかったが、色彩を表す a^* 値と b^* 値では、各配合で+側へ増加していく傾向が見られた。特に堆砂 2 を混入した供試体では、他の供試体よりも a^* 値が大きく増加する傾向にあり、これは赤がより鮮やかになったことを示している。切断面において、 L^* 値は置換率が大きくなるにつれて減少傾向になっていた。 a^* 値と b^* 値についても各供試体で置換率が大きくなるにつれて増加傾向になっていた。堆砂 2 を用いた配合では、堆砂 1 を用いた配合よりも色彩が鮮やかになる傾向が見られた。また、見た目についても、堆砂 2 に置換した供試体では明確な色の変化が見られた。

材齢 180 日時点で、型枠面において明度 L^* 値は、セメントモルタルの各供試体でおよそ近い値を取り、セメントの色を反映していると考えられる。 a^* 値と b^* 値について、セメントモルタルの各供試体で、置換率が大きくなるにつれて増加傾向にあった。また、ジオポリマーモルタルでは、 L^* 値は置換率が大きくなるにつれて減少傾向にあり、 a^* 値は増加傾向、 b^* 値は他のセメントモルタル供試体よりも高い値でおよそ一定の値となっていた。切断面において L^* 値は、各供試体で置換率が大きくなるにつれて減少傾向にあり、 a^* 値と b^* 値は増加傾向にあった。ジオポリマーモルタルにおいても、型枠面とは違って、セメントモルタルと同様の値を示していた。また、 a^* 値と b^* 値については、堆砂 1 を用いた配合と、堆砂 2 を用いた配合で、それぞれ同様の値に収束する傾向が見られた。

セメントモルタルとジオポリマーモルタルで比較した場合、切断面では測定された数値上では両者の違いは少なかったが、型枠面では時間の経過につれて差が大きくなっていった。見た目に関しては、時間の経過や乾燥によってセメントの色が出てくるセメントモルタルに対して、ジオポリマーモルタルでは細骨材の色が出ているように思われた。セメントにあたる高炉スラグ微粉末と水ガラスは、 b^* 値で特にセメントモルタルと大きな違いがあったため、黄が鮮やかになるような変化があるのではないかと考えられる。

廃瓦材を用いた供試体では、粒度の細かい廃瓦材がコンクリート用着色材のような働きをするのではないかと期待して置換率を小さくしていた。 L^* 値は減少傾向であったが、 a^* 値と b^* 値については明確な変化が見られなかった。見た目についても、各供試体でほとんど変化が見られなかった。

焼成堆砂混入モルタルの圧縮強度試験では、水セメント比 55% で打ち込めた供試体について比較した場合、堆砂 2 と細骨材 2 で焼成堆砂へ 66% 置換した供試体を除き、各配合で通常の細骨材に焼成堆砂が混入した供試体の方が、通常の

細骨材のみで作製した供試体や、焼成堆砂のみで作製した供試体よりも圧縮強度が増加していた。また、通常の小骨材から焼成堆砂へ 33%置換した場合は、水セメント比 55%の比較可能な各供試体で、圧縮強度はいずれも増加していた。よって、通常の小骨材に焼成堆砂を混入することにより、圧縮強度が増加する可能性が示された。

第6章 まとめ

ダム堆砂の現状について、安濃ダム流域の調査と、その後の実験により、ダムの貯砂堰堤で撤去された土砂は、コンクリート用細骨材として利用することができる可能性が示された。ただし、岩石や、木片などの有機物が含まれることがあるため、ある程度の処理は必要であると言える。岩石の場合は砕石を行う、木片などの有機物の場合は水洗いなどで除去するということが必要である。

堆砂に含まれる成分について、X線回折では、堆砂1および堆砂2で、焼成によって Fe_2O_3 の割合が増加していることが分かった。また、蛍光X線元素分析法では、火山灰性堆砂である堆砂2には発がん性物質が含まれている可能性が示唆されたので、取り扱う際には注意が必要であると言える。

堆砂のコンクリート用骨材としての利用について、堆砂1は粒度分布、密度および吸収率において、コンクリート用細骨材として適していると言える。堆砂2は粒度分布においてはコンクリート用細骨材の基準を満たしているが、密度および吸水率においては基準を満たしていなかった。

堆砂を焼成した場合の明度・色彩への影響について、堆砂1を焼成した場合、明度を表すL*値は500°Cで焼成したときに大きく減少し、以降の変化は少なかった。色彩を表すa*値とb*値について、a*値は増加傾向で、b*値の変化は少なかった。以上より、明度が下がり、赤がより鮮やかになったと言える。

また、堆砂2を焼成した場合、L*値は500°Cで焼成したときに大きく減少し、以降の変化は少なかった。色彩を表すa*値とb*値は共に増加傾向で、750°Cで数値が最も大きくなり、750°Cから1000°Cでは変化率は小さくなった。以上より、明度が下がり、赤と黄がより鮮やかになったと言える。

以降の実験では、堆砂1と堆砂2で変化が最も大きくなったと言える750°Cで焼成した試料を用いた。

焼成堆砂を混入したモルタルでの明度・色彩への影響について、材齢28日時点の型枠面では、通常の細骨材から焼成堆砂へ置換した場合、L*値では置換率によって明確な変化の傾向は見られなかった。a*値およびb*値では、各供試体で通常の細骨材から焼成堆砂への置換率が大きくなるにつれて、数値が増加する傾向にあった。切断面においては、L*値は各供試体において、置換率が大きくなるにつれて減少傾向にあった。a*値およびb*値では、各供試体で置換率が大きくなるにつれて増加傾向にあった。また、型枠面と比べて、堆砂1を用いた配

合と、堆砂 2 を用いた配合で a*値と b*値の差が大きくなっていった。

材齢 180 日時点の型枠面では、セメントモルタルでは、L*値は各配合、各置換率でおおよそ同様の値となっていた。これは、時間の経過や乾燥によって、セメントの色の影響がより強く出ているのだと考えられる。a*値と b*値は、置換率が大きくなるにつれて増加傾向にあった。また、ジオポリマーモルタルにおいては、L*値は置換率が大きくなるにつれて減少傾向にあり、a*値は増加傾向、b*値は高い値で一定の値となっていた。切断面では、各配合で、L*値は置換率が大きくなるにつれて減少傾向、a*値と b*値は増加傾向にあった。こちらではセメントモルタルとジオポリマーモルタルで大きな違いはなく、a*値や b*値も、堆砂 1 で同様に配合したセメントモルタルとジオポリマーモルタルで同様の値となっていた。また、堆砂 1 と堆砂 2 で、使用した細骨材によらず、a*値と b*値は同様の値に収束する傾向にあった。

焼成堆砂を混入したモルタルの圧縮強度への影響について、圧縮強度試験を行ったとき、通常の細骨材から焼成堆砂へ置換した場合、各供試体で通常の細骨材と焼成堆砂を混合した際に圧縮強度が増加する可能性が示された。

以上から、焼成することで堆砂は赤と黄が鮮やかになり、それは Fe_2O_3 の影響が大きいと考えられる。また、焼成堆砂を混入することでモルタルは着色され、混入率が大きくなるほど明度・色彩への影響も大きくなる。そして、焼成堆砂の混入による圧縮強度低下への影響は見られなかったため、着色モルタルとして利用することは十分に可能であるということが、結論である。

参考文献

- (1) 東海農政局ホームページ、[online]<https://www.maff.go.jp/tokai/> (参照 2019-12-25)
- (2) 二村 弘喜、志野 尚司(2015)「中勢用水地区安濃ダムの堆砂対策に向けた検討状況について」、材料と施工(54)、p14-p21
- (3) 大矢 通弘、角 哲也、嘉門 雅史(2002)「ダム堆砂の性状把握とその利用法」、ダム工学 12(3)、p174-p187
- (4) 大矢 通弘、角 哲也、嘉門 雅史(2003)「ダム堆砂リサイクルのコスト分析とPFIによる事業化検討」、ダム工学 13(2)、p90-p106
- (5) 鍋島 益弘、井上 聡、山田 優(2008)「細骨材資源としてのダム堆砂について—物理的性質等の調査結果—」、土木学会第 63 回年次学術講演会
- (6) 村尾 弘道「大迫ダム細粒土砂の植栽表土転用に関する検討」、[online]<https://www.kkr.mlit.go.jp/plan/happyou/theses/2014/02.html> (参照 2018-04-09)、平成 26 年度近畿地方整備局研究発表会
- (7) 横濱 充宏、中川 靖起(2006)「ダム堆砂土の客土利用への適性に関する検討」、寒地土木研究所月報、No.642、p39-p49
- (8) 大矢 通弘、角 哲也、嘉門 雅史 (2004)「ダム堆砂の河川還元材利用における環境影響」、ダム工学 14(1)、p4-p19
- (9) 岡野 眞久、菊井 幹男、石田 裕哉、角 哲也 (2005)「貯水池堆積土砂の掘削管理とその下流河川還元に関する研究」、ダム工学 15(3)、p200-p215
- (10) 石川 典夫(2003)「色の測定について・何故色が測れるのか」、繊維製品消費科学 44(7)、p34-40
- (11) 西山 賢一、木村 隆行、磯野 陽子、井上 弦(2011)「色彩計を用いた岩石・土壌の色彩測定法」、応用地質 52(2)、p62-p71
- (12) 藤井 隆史、藤木 昭宏、田中 秀和、綾乃 克紀(2005)「着色剤の添加量がコンクリートの表面色彩に及ぼす影響」、「材料」54(8)、p810-p815
- (13) 佐伯 竜彦、猪口 泰彦、新野 康博、長瀬 重義(2002)「混合骨材コンクリートの諸特性とその推定手法に関する検討」、土木学会論文集 711(56)、p73-p90
- (14) 井上 真澄、岡本 享久、平尾 和洋、小島 孝之(2009)「陶器廃材により着色したコンクリートの力学的特性と色彩評価」、コンクリート工学 47(2)、p14-p20