

建設資材の施工及び品質管理システムの構築に関する研究

建設資材活用システム（課題番号：167105）

研究期間：平成 28 年 7 月 28 日～平成 30 年 3 月 31 日

研究代表者：藤川拓朗（平成 29 年 8 月 29 日まで）、橋本紳一郎（平成 29 年 8 月 30 日から）

研究員：橋本紳一郎（平成 29 年 8 月 29 日まで）、藤川拓朗（平成 29 年 8 月 30 日から）

1. はじめに

セメント系建設材料（以降、建設資材）の一つである石炭灰混合材料は、セメント、水、石炭灰、土砂を混合して固化させた地盤材料であり、流動性に優れポンプでの圧送による現場施工が可能である。現在は、港湾分野において利用されているものの、材料の長期的な耐久性や環境安全性等の品質管理システムをはじめ、ポンプ圧送時における圧送性の評価手法が確立されていないため、公共工事等で定常的な活用するまでには至っていないのが現状である。周知の通り東日本大震災以降、原子力発電所の稼働が停滞しており、火力発電所から副次的に発生する石炭灰の発生量が年々増加傾向にあるため、石炭灰の有効利用が急務となっている。一方、コンクリートは建設資材の中でも社会基盤構造物の多くに利用されている。しかしながら、施工においては、多くの施工現場でポンプ圧送による施工を行うため、ポンプ圧送によるコンクリートの閉塞や閉塞に起因して圧送管の破裂など非常に危険なトラブルに発展した事例も多く報告されており、長寿命化や高耐久化の観点からも圧送性の評価が重要となる。

このように建設資材の施工性能に関する評価手法や耐久性・環境安全性を考慮した品質管理手法の構築は、社会的需要が高いだけでなく重要な課題である。これらの課題を解決すべく科学研究費の採択を受けたものと認識している。研究期間において、石炭灰混合材料については、耐久性評価試験として乾湿繰り返し試験の乾燥温度または乾燥時間に着目し、耐久性試験が可能な条件を見出した¹⁾。また、施工の安全性を考慮したポンプ圧送簡易評価システムにおいては、施工現場で簡易に圧送性を評価する手法が現在存在しない点に着目し、研究期間において振動加速度計の計測によるコンクリートのポンプ圧送性を現場で簡易に計測し、瞬時に評価できる圧

送性評価・計測システムを構築した。しかしながら、いずれも実用化のためには、更なる研究の継続とデータの蓄積が必要不可欠となる。

そこで本プロジェクトにおいては、構築した建設資材の施工及び品質管理システムに再現性と信頼性を担保させ、実際の施工現場において実用性と有効性を検証することを目的としている。

2. 低強度石炭灰混合材料の耐久性評価手法の検証（藤川）

2-1 石炭灰混合材料の作製条件

本実験では、炭種の違いによる影響を把握するため、事業者の異なる 2 種類の石炭灰（原灰）を使用した。土質試料としてカオリン粘土、固化材には高炉セメント B 種を混練し、これらに所定量の水を加えたものを石炭灰混合材料と定義している。カオリン粘土は、土質材料のばらつきによる誤差を軽減させるため、市販のものを用い、建設発生土の代替材として使用した。表-1 に予備試験の配合条件を示す。供試体の作製において、供試体内の空隙が耐久性に及ぼす影響を把握するため、カオリン粘土の含水比は液性限界（ $w_L=51.7\%$ ）を基準に調整を行った（ $2.5w_L=129.3\%$ 、 $3.5w_L=181.0\%$ ）。セメントと石炭灰は、カオリン粘土の湿潤質量に対し外割り配合で添加している。また、供試体の目標強度を養生 28 日において $q_{u28}=500 \text{ kN/m}^2$ 以下となるように経験的に配合条件を設定した。供試体の打設は、含水比を調整したカオリン粘土に石炭灰を加え、5 分間ホバートミキサーにて攪拌を行い、さらにその後セメントを加えて 5 分間の攪拌を行った。その後、試料を塩ビ製モールド（直径 $\phi=5 \text{ cm}$ × 高さ $h=10 \text{ cm}$ ）に入れ、安定処理土の突固めをしない供試体作製方法（JGS 0821-2009）に準じて供試体の作製を行った。

表－1 予備試験の配合条件

	石炭灰の種類	セメント添加率C(%)	設定含水比w(%)	石炭灰添加率ash(%)	養生日数(日)
Case1	石炭灰D	7	2.5w _L	100	28
Case2			3.5w _L		
Case3		9	2.5w _L		
Case4			3.5w _L		
Case5	石炭灰C	5	3.5w _L		

2－2 乾湿繰返し試験の条件

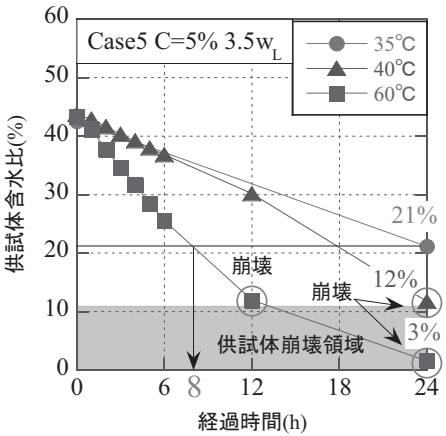
乾湿履歴の与え方は、Wetting and Drying Test (ASTM D-4843)²⁾ に準拠して行った。なお、ASTMでは炉乾燥温度60℃と定められているが、低強度石炭灰混合材料は、湿潤過程において供試体内に侵入する水の影響で間隙中の空気が圧縮されスレーキング破壊が生じることが分かっている^{3)、4)}。そのため、表－2、3に示すように乾燥温度と乾燥時間を変化させ検討を行った。表－3に示す乾燥時間に設定した裏づけとして、図－1に石炭灰Cを用いた供試体の各乾燥温度における、乾燥時間と含水比の関係を示す。なお、崩壊に至った供試体にはプロットを○で示している。炉乾燥温度60℃の場合、24時間後の含水比は3%まで低下し、湿潤過程において崩壊に至った。乾燥温度40℃の場合も同様に、含水比は12%まで低下し崩壊に至っている。一方、表－2に示すような炉乾燥温度35℃で24時間乾燥させた場合は、供試体は21%の含水比を有しており、スレーキングが生じず乾湿繰返し試験が可能であった。これらのことを考慮すると、このあたりに供試体の含水比の閾値が存在すると思われる。裏を返せば、崩壊に至った乾燥温度60℃(ASTMが定める方法)においても適切な乾燥時間を設定することで乾湿繰返し試験が可能であると考えられる。そこで本研究は、乾燥温度60℃において3つの乾燥時間(7h、8h、9h)に着目し、乾湿繰返し試験を実施した。

表－2 乾燥温度に着目した乾湿履歴の与え方

試験条件	乾燥過程	湿潤過程
	炉乾燥 (35±3℃)	溶媒に浸水 液個比5
試験時間	24h	1h冷却+23h
サイクル	乾燥→冷却→湿潤を15サイクル	

表－3 乾燥時間に着目した乾湿履歴の与え方

試験条件	乾燥過程	湿潤過程
	炉乾燥 (60±3℃)	溶媒に浸水 液個比5
試験時間	7h, 8h, 9h	1h冷却+23h
サイクル	乾燥→冷却→湿潤を15サイクル	



図－1 経過時間と含水比の関係(Case5)

また、試験時間および乾湿繰返し試験の1サイクルの工程については表－2及び表－3に示すとおりであり、一連の過程を最長で15サイクル実施した。各サイクルの乾燥・湿潤過程終了後には供試体の高さ、直径、質量を測定している。また、乾湿履歴を与えていない供試体の力学特性の把握を行うために一軸圧縮試験(JIS A 1216)を実施した。乾湿繰返し試験における力学特性の把握に関しては、奇数サイクルの湿潤過程終了後には針貫入試験を行い、一軸圧縮強さに換算した。針貫入試験は、直径5cm、高さ10cmの供試体の側面に手芸用の針(JIS S 3008)を3mm/minの速さで貫入させ、針の貫入量が2、5および10mmの時の貫入抵抗値を測定した。また、Caの溶出量を把握するために平成3年環境庁告示第46号法試験及び平成15年環境省告示第19号法試験に規定された溶出操作を行った。さらに、目視によるサイクル経過に伴う石炭灰混合材料の劣化状況を把握するため、表－4に示す健全度評価⁵⁾を用いている。

表－4 健全度評価基準

	クラック状況	欠落状況
A	外見上、ほとんど変化なし	
B	微細クラック、局部クラック発生	表面剥離が局部的に発生
C	明瞭なクラックが一部に発生	供試体の一部が僅かに欠落
D	明瞭なクラックが全体に発生	供試体がより大きく欠落
E	供試体の一部または全体が崩落（～20%程度）	
F	供試体全体的に崩壊、崩落、供試体としての形は存在	
G	供試体全体が崩壊し、片々は塊状	
H	供試体全体が崩壊し、片々は細粒化～泥状化	
ここで、細粒化とは粒径2mm程度に細分化された状況を指す。		

2－3 実験結果及び考察

(1) 乾湿繰返し試験の乾燥温度が低強度石炭灰混合材料の耐久性に与える影響

図－2に乾湿繰返し試験の乾燥温度(35℃)に着目した、目視による健全度評価結果を示す。Case 2に関しては、一軸圧縮強度が300kN/m²未満であったため、1サイクルの乾燥過程終了後の湿潤過程において浸漬直後

に供試体から気泡が噴出し、スレーキングに伴う崩壊・細粒化が見られ、その後は試験を行うことができなかった。Case 4 に関しては、サイクル初期は劣化が見られなかったが、5サイクルの湿潤過程終了後から徐々に劣化が進行したものの、15サイクルまで試験を実施できることが明らかとなった。写真-1 にそれぞれの条件における15サイクル終了後の供試体の劣化状況を示しているが、Case 4, Case 5 においても供試体の表面が剥離し劣化が進行していることが分かる。また、Case 4 (石炭灰D) とCase 5 (石炭灰C) は、劣化の進行度は異なっているもののスレーキングを起こさず15サイクルまで試験の実施が可能であった。これらの結果から、炭種が異なった場合でも、乾燥温度35℃が適切であることが示

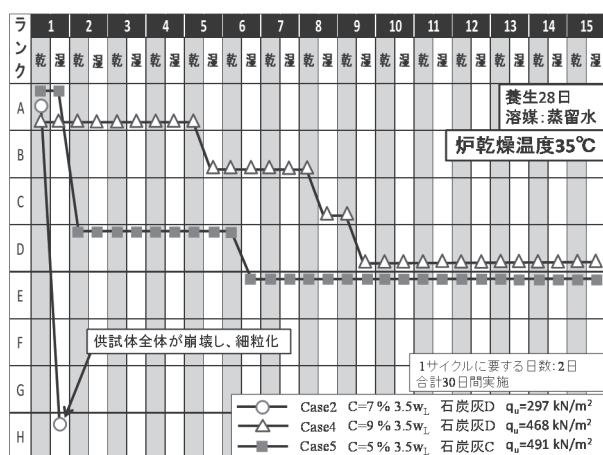


図-2 乾燥温度の違いによる健全度評価結果



Case2 (崩壊時) Case4 Case5

写真-1 供試体の劣化状況(15サイクル終了時)

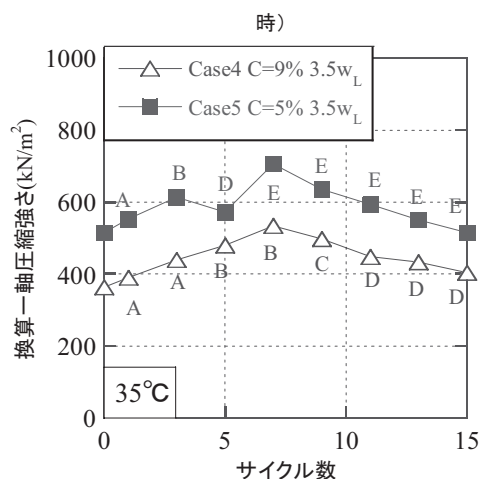


図-3 サイクル数と換算一軸圧縮強さの関係

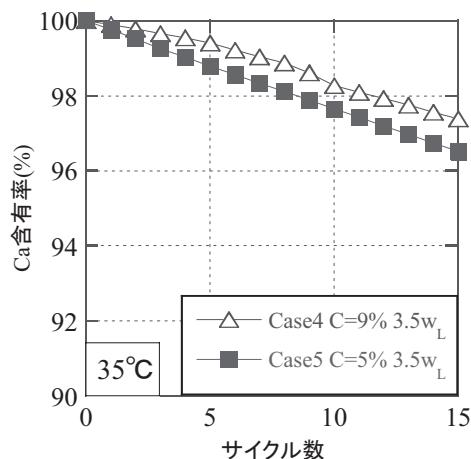


図-4 サイクル数とCa含有率の関係

唆された。図－3にCase 4とCase 5において炉乾燥温度35℃にて試験を実施した、サイクル数と換算一軸圧縮強さの関係を示す。乾燥温度35℃では、サイクル初期に強度増加を示し、サイクル中期にピークを示した後、強度低下に転じており、セメント安定処理土に乾湿繰返し試験を適用した際に見られる劣化の挙動⁶⁾と類似した挙動を示した。さらには、健全度ランクがサイクル数の増加とともに低下していることから、劣化が進行していることが伺える。図－4にサイクル数とCa含有量の関係を示す。ここでCa含有率とは、環告19号法から得られた供試体のCa含有量を基準とし、そこから各サイクルにおけるタンクリーチング試験によって溶出したCa溶脱量を差し引き、初期のCa含有量で正規化したものである。Case 4, Case 5共にサイクル数の増加に伴いCa含有率は低下する傾向にあることが分かる。このことより供試体の劣化要因として、湿潤過程における供試体内部のポーラス化や表面剥離などによる物理的劣化と、Ca溶脱等の化学的劣化⁷⁾により供試体の劣化が促進されることが考えられる。これらの結果から、石炭灰D, Cを用いたCase 4, 5は類似した劣化挙動を示しており、炭種の異なる低強度石炭灰混合材料においても炉乾燥温度35℃が適切であることが示唆された。

(2) 乾湿繰返し試験の乾燥時間が低強度石炭灰混合材料の耐久性に与える影響

図-5に乾燥時間の違いが健全度評価に及ぼす影響の結果を示している。なお、比較のためにCase 5の60℃—8時間の結果も併せて示している。乾燥時間7時間及び8時間では、サイクル数の増加に伴い、徐々に劣化が進行していることが分かる。乾燥時間9時間の場合は、サイクル数の増加に伴い、他の乾燥時間と比較的に劣化が顕著に進行していることが分かる。しかしながら、13サイクルの乾燥過程終了後の湿潤過程にて供試体が崩壊し、その後の試験を行うことができなかった。また、各乾燥時間の劣化状況を写真-2に示している。次に、

図-6に乾燥時間の違いに着目したサイクル数と換算一軸圧縮強さの関係を示す。7時間においてはサイクル数の増加に伴い一軸圧縮強さも緩やかに増加し、劣化の進行は見られなかった。このことは健全度ランクからも裏付けることができる。9時間においてはサイクル初期に強度が増加することが確認された。しかしながら、13サイクルから強度が減少し湿潤過程において崩壊に至り一軸圧縮強さが計測不能となった。一方、乾燥時間8時間においてサイクル初期に強度が増加し、ピークを示した後に強度低下に転じる劣化挙動を示した。また、石炭灰Cを用いたCase 5の60℃—8時間の結果も併せて示し

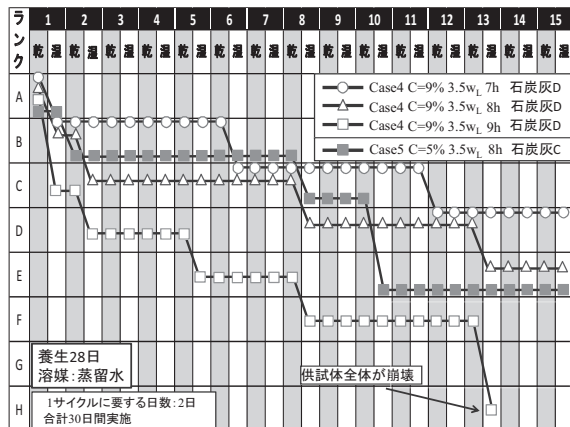


図-5 乾燥時間の違いによる健全度評価結果

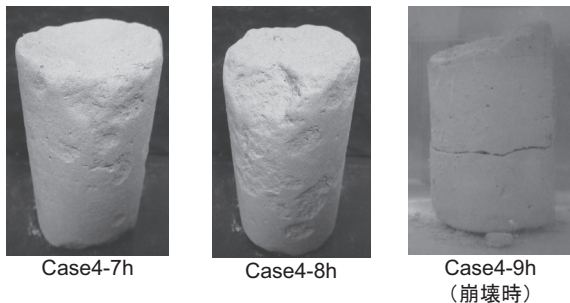


写真-2 供試体の劣化状況(15サイクル終了時)

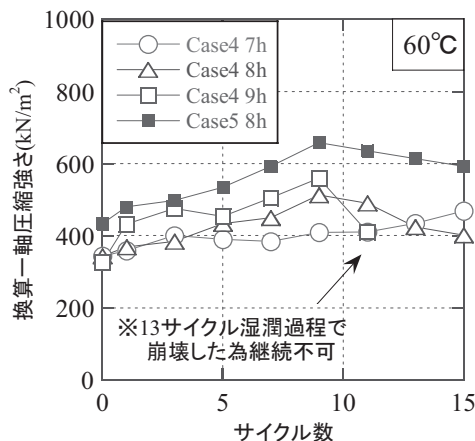


図-6 サイクル数と換算一軸圧縮強さの関係

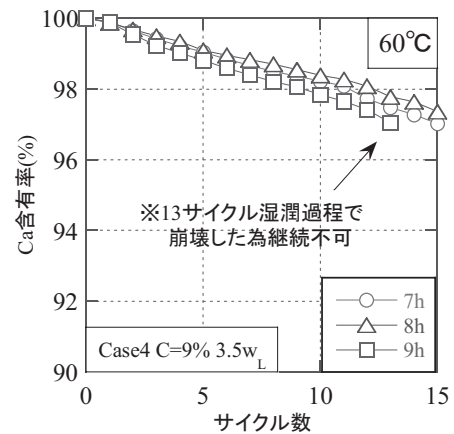


図-7 サイクル数とCa含有率の関係

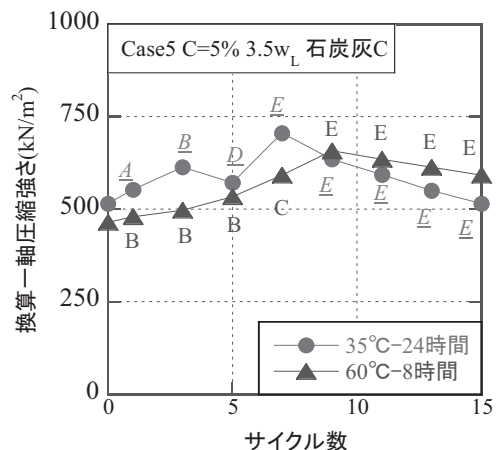
ているが、Case 4の60℃—8時間の条件と類似した劣化挙動を示していることが分かる。図-7にサイクル数とCa含有率の関係を示す。サイクル数の増加に伴いCa含有率は低下し劣化が進行していることが分かる⁷⁾。また、乾燥時間7時間と8時間でCaの低下率はほぼ等しいのに対し、8時間のほう劣化が進行していることが分かる。この要因として、乾湿繰返しに伴う供試体の強度劣化は、物理的劣化と化学的劣化に大別され、今回の条件の低強度石炭灰混合材料においては物理的劣化が卓越していることが原因と考えられる。以上の結果より、低強度石炭灰混合材料をASTMに準拠した乾燥温度60℃で乾燥させる場合、炭種の違いに依存せず乾燥時間は8時間が適切であることが示唆された。

(3) 低強度石炭灰混合材料の乾湿繰返し試験条件の提案

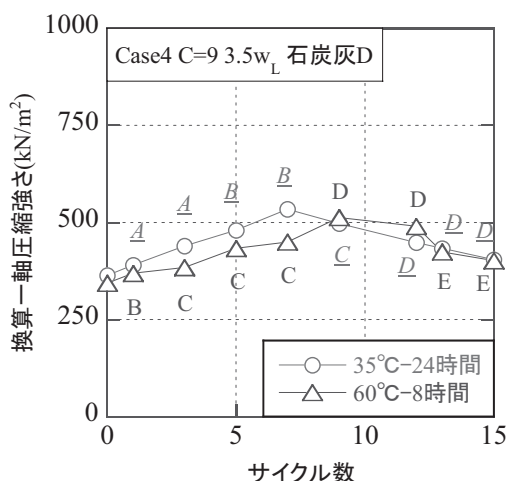
排出事業者の異なる2種類の石炭灰を用いて低強度石炭灰混合材料の乾湿繰返し試験条件の検討を行った結果、適切な乾燥温度もしくは乾燥時間を設定することにより、乾湿繰返し試験が実施可能であり、それは炭種の違いに依存しないことが実験的に明らかとなった。低強度石炭灰混合材料において適切な試験条件であると考えられる2つの条件をまとめたグラフを図-8に示す。石炭灰Cを用いて検討を行った結果を図-8(a)に、石炭灰Dを用いて検討を行った結果を図-8(b)に示す。これらの図から分かるように、8時間の条件と35℃で24時間乾燥させた条件は、炭種の違いに関係なくいずれもサイクル中盤にピークを示すような類似した挙動を示すことが判明した。また、サイクル数の増加に伴い健全度ランクが低下しており、劣化の進行が起こっていることが考えられる。

図-9にCase 4における経過時間と含水比の関係を示す。炉乾燥温度35℃の場合24時間後の供試体の含水比は13%まで低下するが乾湿繰返し試験が可能であった。ここで炉乾燥温度60℃に着目すると、乾燥時間8時間付近で含水比が炉乾燥温度35℃—24時間と同様の13%にな

り、炉乾燥温度60℃—8時間が適切な試験条件であることの裏づけとなっている。次に、図-10に乾燥時間と含水比低下率の関係を示す。



(a) 石炭灰 C



(b) 石炭灰 D

図-8 サイクル数と換算一軸圧縮強さの関係

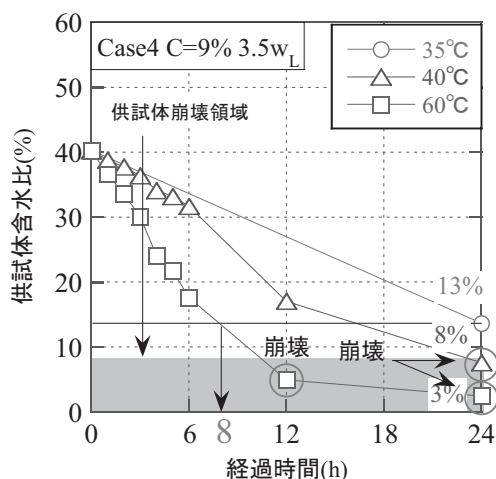


図-9 経過時間と含水比の関係
(Case4)

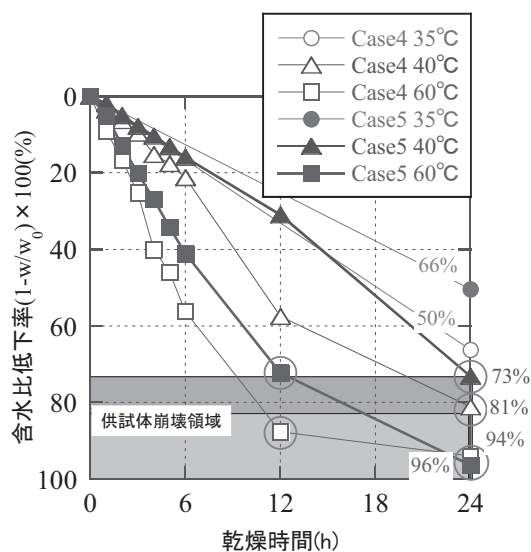


図-10 乾燥時間と含水比低下率の関係

このグラフは、用いた石炭灰によって石炭灰混合材料の初期含水比が異なることを考慮し、各乾燥時間における含水比を初期の含水比で正規化したものである。石炭灰Dを用いたCase 4において40℃—24時間乾燥させた場合、含水比低下率は81%となり湿潤過程にて崩壊に至った。また、石炭灰Cを用いたCase 5も同様に40℃—24時間乾燥させると含水比低下率は73%になり崩壊に至っている。このことから、供試体の含水比が70%～80%程度低下すると、低強度石炭灰混合材料は乾湿繰返し試験による耐久性の評価ができなくなることが示唆された。以上の結果から、低強度石炭灰混合材料は、乾燥温度を35℃に設定するか、乾燥温度をASTMに準拠した60℃で実施する場合、乾燥時間を8時間に設定することにより、炭種違いに関係なく乾湿繰返し試験の実施が可能であり、ピーク挙動を示すことが明らかになった。

3. ブーム付きポンプ車への振動加速度計を用いたコンクリートのポンプ圧送性評価の適用（橋本）

近年、建築・土木分野を問わず、コンクリートのポンプ施工は、施工現場での搬送効率を考えると必要不可欠となっており、多くの施工現場で用いられている。一方で、施工条件の多様化により、通常の圧送とは異なる特殊な配管条件や圧送条件、また、良質な天然骨材の枯渇やコンクリートの使用材料の多様化により、特殊なコンクリートや配合・調合も増えていることから、圧送管内は常に一定の状態で圧送されているとは言えない。しかし、現状では、ピストン式ポンプ車においてはピストン稼働の状態や筒先からのコンクリート排出状況を確認する他に、圧送中のコンクリートの圧送状態を確認・評価する方法がないため、圧送性により急激に搬送効率を下

げるトラブルを発生する場合がある。圧送中のトラブルの中でも、その多くが閉塞であり、また、輸送管の破裂など閉塞に起因する非常に危険なトラブルに発展した事例も報告⁸⁾されている。以上から、圧送中のコンクリートの圧送状態を施工現場で直接把握できる方法が必要である。

これらに対して、著者らは圧送中のコンクリートの圧送状態を施工現場で確認する手法として、振動加速度計により計測する簡易な圧送性の評価手法を提案している^{9)、10)}。圧送の際にはコンクリート中の粗骨材が粗骨材粒子群同士あるいは管壁と衝突を繰り返すことにより微細な振動が生じることが明らかとなっており¹¹⁾、この測定方法はこれら微細な振動を加速度計により、直接輸送管に取り付けて計測する方法である。これまでの室内試験と試験圧送の計測結果から、圧送性の違いなどを評価可能であることを示唆している^{10)、12)}。また、これまでの検討により、ポンプ車に近い位置のベント管で計測した加速度のピーク値とその先の直管で計測した加速度のピーク値の差を用いることにより圧送性の判定を行うことができ、その際に不安定や閉塞が生じる圧送性判定の閾値は約 3 m/s^2 以上とすることを示した¹³⁾。その他、テーパ管での計測結果の特性や100m程度の位置であっても、その位置のベント管で計測した加速度のピーク値とその先の直管で計測した加速度のピーク値の差を用いることにより圧送性の判定を行うことができることも示した¹⁴⁾。

これまでに検討してきた配管での圧送性評価に対して、ブーム付きポンプ車を用いたブームによる圧送の評価を検討した。ポンプ車に備え付けの配管に直接取り付けした振動加速度計によって発生する振動の周波数特性を計測し、計測結果からブームによる圧送性の特性や評価した結果を報告する。

3-1 計測概要

(1) 計測機材

振動加速度計は、小型4チャンネル式のハンディタイプのデータレコーダーに端子で取り外し可能な直径1.5cmの小型の加速度センサーを取り付けて使用した。加速度センサーは、先端をマグネット式に加工されたもので、被測振動体（輸送管）にはマグネットで直接取り付け、固定ができるものである。また、配管に取り付けた加速度センサーは、コンクリートの圧送による配管の振動では、外れないことも確認している。

(2) 計測箇所及び計測方法

写真-3に加速度センサーの取り付け箇所をマル(○)で示す。計測箇所はベント管1箇所、テーパ管1箇所の直管1箇所、計3箇所で行った。

ベント管では、写真-4に示すように筒先に向かって進行方向順に計2点（進行方向順に測定点：ベント1、

ベント2、の2点）とした。ポンプ車から筒先に向かって右側を外側とし、計測位置は全て外側で行った。テーパ管では、既往の研究¹⁵⁾を参考に、写真2に示すようにテーパ管の入口に1点、テーパ管の径が細くなる中間位置に2点、テーパ管の出口に1点の計4点（進行方向順に測定点：テーパ1、テーパ2、テーパ3、テーパ4の4点）で計測した。また、直管では筒先に向かって進行方向順に計2点（進行方向順に測定点：直1、直2、の2点）とした。

計測後、計測した加速度の評価及びFFT解析により

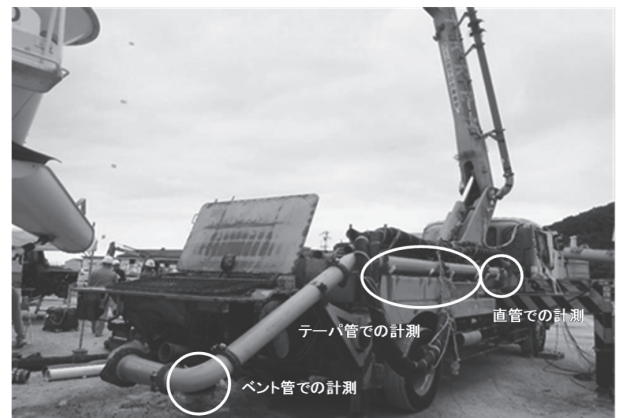
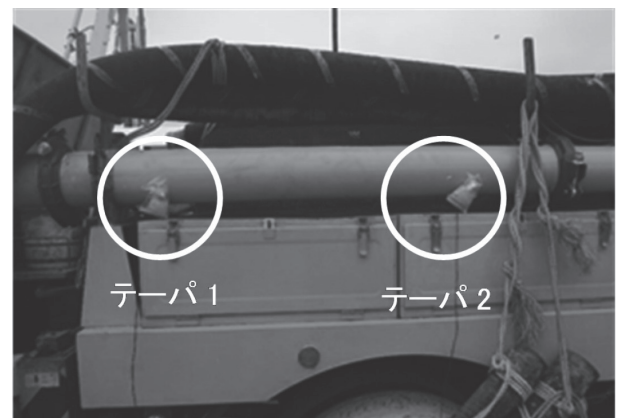


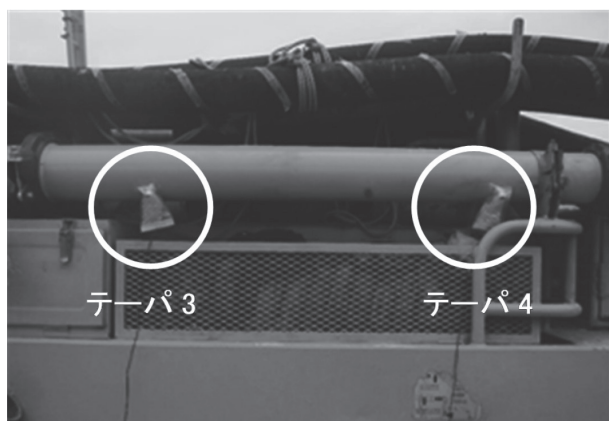
写真-3 振動加速度計による計測の状況 (全体の計測箇所)



ベント管での計測状況



テーパ管での計測状況 (その1)



テーパー管での計測状況(その2)



直管での計測状況

写真－4 振動加速度計による計測の状況
(各計測位置の詳細)

加速度スペクトルから加速度のピーク値と周波数を算出し、圧送性の評価・判定を行った。

3-2 実験結果及び考察

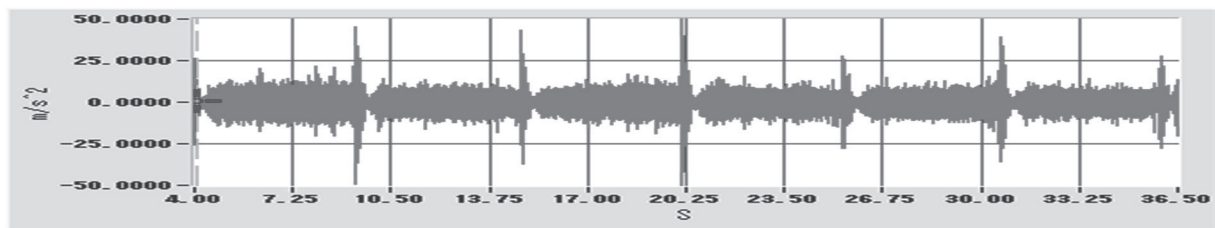
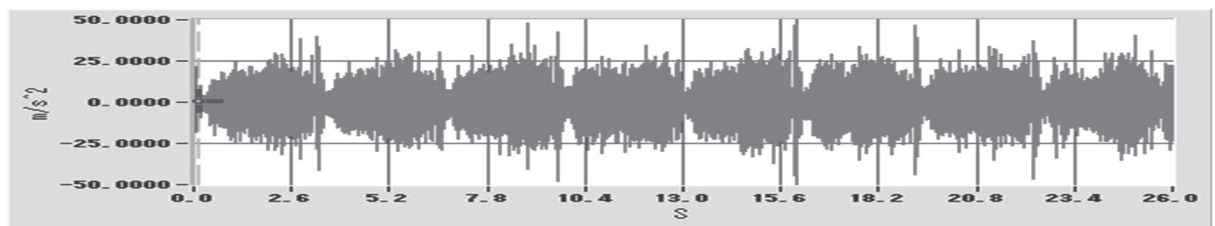
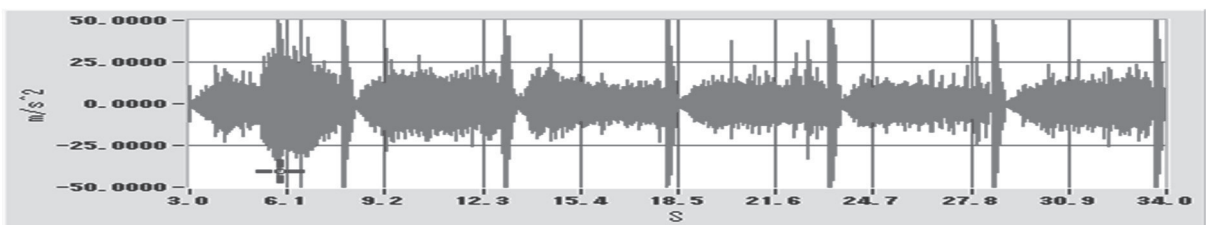
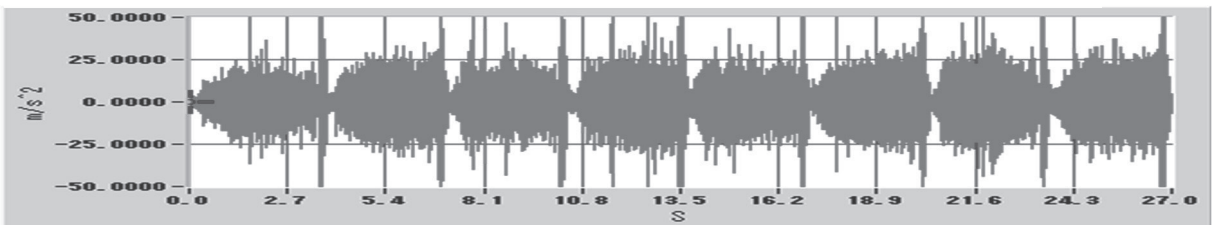
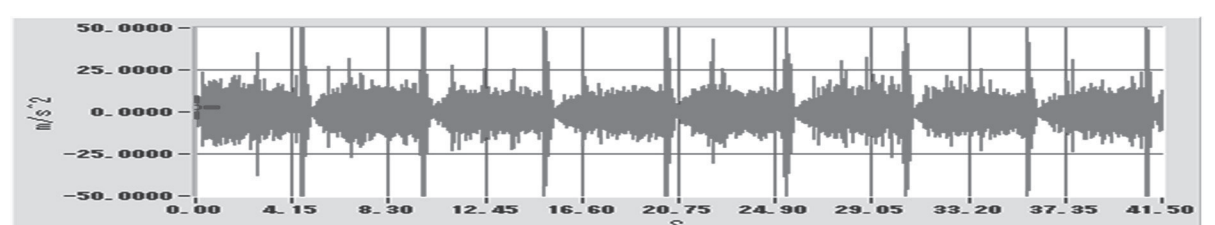
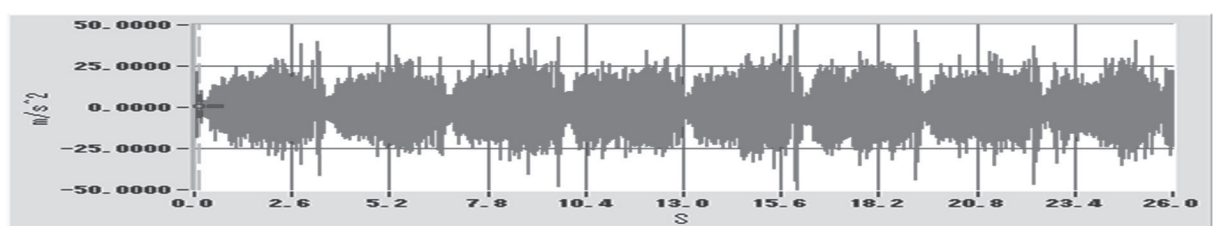
本計測において、評価対象としたコンクリートの調合は、普通コンクリート2種類（調合①：30-18-20-N、調合②：24-12-20-N）、高流動コンクリート（調合：③）、高強度コンクリート（調合：④）、軽量コンクリート（調合：⑤）である。また、ブーム姿勢や筒先形状の影響については、これら全ての調合ではなく、一部の調合において検討した。本計測手法は、従来、配管式の圧送において閉塞回避のための検討してきた計測方法である。そのため、今回の計測においては、主として調合種類の違いや一部の調合においてブーム姿勢及び筒先形状の違いについて、振動加速度計による計測結果により検討した。

(1) ベント管での計測結果

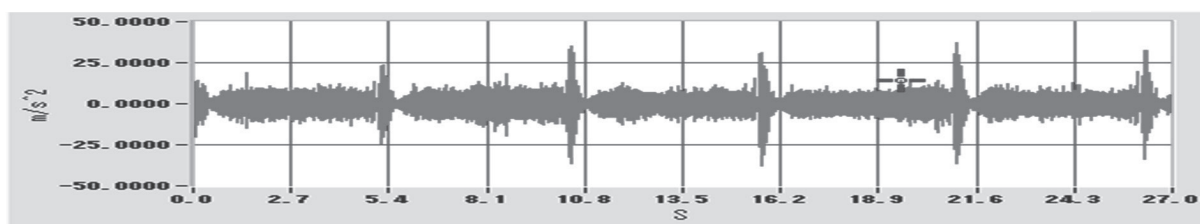
図-11から図-15にベント管の計測位置：ベント1で計測した各調合の計測時間と加速度の値の関係を圧送速度順に示す。ブーム姿勢はI型（A）、筒先形状はフレキシブルホースである。加速度の値は、一定の時間間隔で加速度の値が示されており、圧送速度が速くなるに従い、加速度の値が示される時間間隔は短くなり、値が大

きくなる傾向を示した。一定間隔で加速度の値を確認できた時間は、ピストンの稼働の1ストロークに要する時間間隔と同様であったことから、ピストン式ポンプ車のピストンの稼働により、一定間隔で加速度の値を確認できたと考えられる。また、圧送速度が速くなり、管内の圧送圧力が高くなるとともに、加速度の値も大きくなったと考えられる。これらの傾向は、既往の報告⁸⁾の配管式の圧送と同様であった。調合別では、圧送速度によらず調合②：24-12-20-Nの値が大きく、また、圧送速度が速くなると高流動コンクリート（調合：③）と高強度コンクリート（調合：④）も大きくなる傾向を示した。また、ベント管の計測位置：ベント2においても同様の傾向を示した。

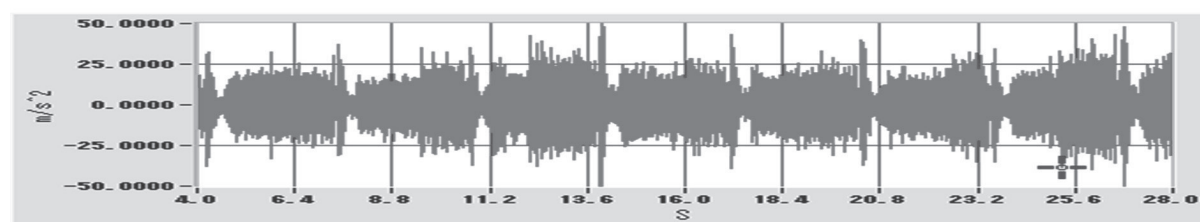
図-16と図-17にベント管の計測位置：ベント1で計測した各調合の加速度の値をFFT解析により加速度のピーク値とそれに対応する周波数の値の関係で示したものである。計測時間と加速度の値の関係の結果と同様にブーム姿勢はI型（A）、筒先形状はフレキシブルホースである。加速度のピーク値を示す周波数は3000～4000Hz程度のあたりで確認でき、この周波数の領域は圧送速度が速くなっても変わらなかった。各調合の加速度のピーク値については、圧送速度：30m³/hの場合、調合②：24-12-20-Nが最も高い値を示し、続いて高強度コンクリート（調合：④）が高い値を示した。全体の中では調合①：30-18-20-Nが最も低い値を示した。圧送速度：50m³/hの場合、圧送速度：30m³/hの場合と異なり、調合②：24-12-20-Nと高流動コンクリート（調合：③）、高強度コンクリート（調合：④）が同程度で高い値を示した。全体の中で調合①：30-18-20-Nが最も低い値を示したのは、圧送速度：30m³/hの場合と同様であった。これらの結果より、普通コンクリート2種類（調合①：30-18-20-N、調合②：24-12-20-N）を比較した場合、調合②：24-12-20-Nは目標スランプが小さく、単位セメント量が少ないため、調合①：30-18-20-Nより圧送性が悪いことが明確に確認できる結果であった。しかし、単位セメント量が多く、粘性が大きく、単位粗骨材量の少ない高流動コンクリート（調合：③）や高強度コンクリート（調合：④）の計測結果（加速度のピーク値）が、圧送速度：50m³/hで大きくなった理由については、配管による圧送ではなく、ブームによる圧送のため表れた結果なのか、今回の計測結果だけでは判断できないため、今後の検討課題とする。以上から、ブームによる圧送において、ポンプ車の取り付けられたベント管で計測した結果により、普通コンクリートの圧送性の違いは確認できた。

【1 普通 30F15A: 圧送速度: 30m³/h、ブームの姿勢: A 型、ベント管①】【1 普通 30F15A: 圧送速度: 50m³/h、ブームの姿勢: A 型、ベント管①】図-11 計測時間と加速度の関係(1普通30F15A、圧送速度: 30・50m³/h、ベント管①)【5 普通 24F15A: 圧送速度: 30m³/h、ブームの姿勢: A 型、ベント管①】【5 普通 24F15A: 圧送速度: 50m³/h、ブームの姿勢: A 型、ベント管①】図-12 計測時間と加速度の関係(5普通24F15A、圧送速度: 30・50m³/h、ベント管①)【4 軽量 27F15A: 圧送速度: 30m³/h、ブームの姿勢: A 型、ベント管①】【4 軽量 27F15A: 圧送速度: 50m³/h、ブームの姿勢: A 型、ベント管①】図-13 計測時間と加速度の関係(4軽量27F15A、圧送速度: 30・50m³/h、ベント管①)

【8 高流動 40F15A: 圧送速度: 30m³/h、ブームの姿勢: A 型、ベント管①】

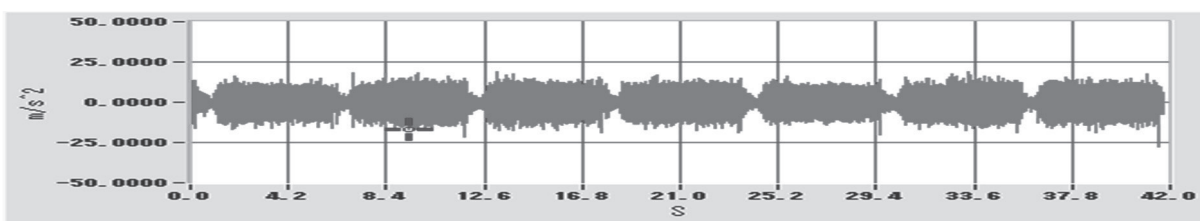


【8 高流動 40F15A: 圧送速度: 50m³/h、ブームの姿勢: A 型、ベント管①】

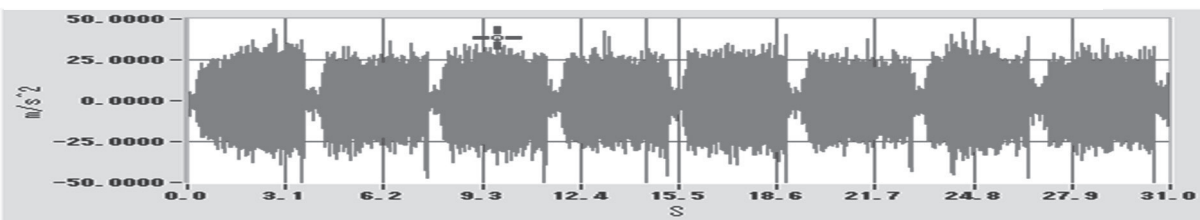


図ー14 計測時間と加速度の関係(8高流動40F15A、圧送速度: 30・50m³/h、ベント管①)

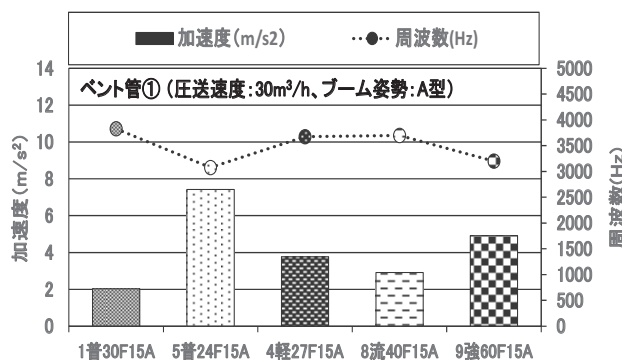
【9 高強度 60F15A: 圧送速度: 30m³/h、ブームの姿勢: A 型、ベント管①】



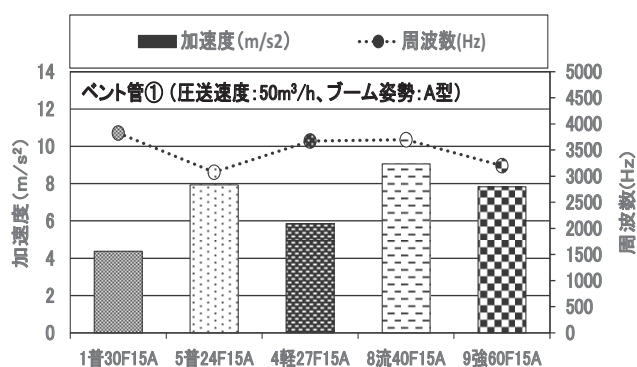
【9 高強度 60F15A: 圧送速度: 50m³/h、ブームの姿勢: A 型、ベント管①】



図ー15 計測時間と加速度の関係(9高強度60F15A、圧送速度: 30・50m³/h、ベント管①)



図ー16 各配合におけるベント管①での加速度のピーク値と周波数の関係(圧送速度30 m³/h)



図ー17 各配合におけるベント管①での加速度のピーク値と周波数の関係(圧送速度50 m³/h)

4. まとめ

- 1) 低強度石炭灰混合材料の供試体内の含水比は、乾湿繰返し試験を実施する際の重要な因子の一つであり、供試体内の含水比が70%~80%程度低下すると湿潤過程においてスレーキング崩壊を生じ、乾湿繰返し試験による耐久性の評価ができなことが示唆された。
- 2) 耐久性試験の乾燥過程における乾燥温度や乾燥時間は、劣化の促進に寄与する重要な因子であることが示された。
- 3) 低強度石炭灰混合材料の耐久性を検討する場合、炭種の違いに関係なく強度レベルに応じた試験条件（炉乾燥温度35℃—24時間、または炉乾燥温度60—8時間）を設定することにより、スレーキングが生じることなく、乾湿繰返し試験を実施することが可能であることが明らかとなった。
- 4) プームによる圧送において、振動加速度計を用いて圧送性の違いを評価する場合、既往の報告の配管による圧送の評価に用いられているベント管とその先の直管を用いた圧送性の閾値評価（ベント管の加速度のピーク値とその先の直管の加速度のピーク値の差分で値を示すこと）は困難である。
- 5) プームによる圧送において、振動加速度計を用いて圧送性の違いを評価する場合、ベント管で計測した結果を用いることにより、普通コンクリートの圧送性の違いは確認できる。また、直管やテーパ管では加速度の乱れが多く、圧送性の評価は困難である。

参考文献

- 1) 例えば 藤川拓朗・佐藤研一・古賀千佳嗣・肴倉宏史：種々の乾湿繰返し履歴を受けた石炭灰混合材料の耐久性及び環境影響評価, 日本材料学会 第11回地盤改良シンポジウム論文集, pp.277-280, 2014.
- 2) Standard Test Method for Wetting and Drying Test of Solid Wastes, Designation: D4843-88, ASTM International
- 3) 梅田真志・佐藤研一・藤川拓朗・古賀千佳嗣：乾湿繰返し試験を用いた石炭灰混合材料の耐久性予測手法に関する研究`W/Cを考慮した実験式の検討`土木学会西部支部発表会, III-102, 2017.3.
- 4) 藤川拓朗・佐藤研一・古賀千佳嗣・梅田真志：低強度石炭灰混合材料の耐久性評価手法の検討（その2：乾湿繰返し時間の影響）, 地盤工学会 第51回地盤工学研究発表会, pp.549-550, 2016.9. 2009.
- 5) 森雅人・高橋弘・熊倉宏尚：繊維質固化処理土の乾湿繰返し試験による耐久性に関する実験的研究, 資源と素材（Shigen-to-sozai）Vol.121, pp.37-43, 2005.
- 6) 中村健・北詰晶樹：セメント安定処理土の耐久性に関する室内試験, 港湾空港技術研究所試料, No.1128, pp.5-6, 2006.
- 7) 寺師昌明・田中洋行・光本司・本間定吉・大橋照美：石炭・セメント安定処理土の基本的特性に関する研究（第3報）、港湾技術研究所報告, 第22巻, 第1号, pp.69-96, 1983.
- 8) 土木学会編：コンクリートライブラリー 135, コンクリートのポンプ施工指針 [2012年版], 2012.
- 9) 渡辺健, 他：ポンプ圧送の脈動時の変形性を評価できる定量的指標に関する実験的研究, フレッシュコンクリートのコンシステンシー評価に関する技術の現状と課題（Ⅱ）一般論文, コンクリート技術シリーズNo.54, pp.23-32, 2003.
- 10) 橋本紳一郎, 江本幸雄, 伊達重之, 橋本親典：コンクリートのポンプ圧送性簡易評価手法の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1186-1191, 2012.
- 11) 辻村直哉, 橋本親典, 丸山久一, 清水敬二：管内を流れるコンクリートの閉塞感知システムの開発に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.10, No. 2, pp.73-78, 1988
- 12) 案浦侑己, 橋本紳一郎, 渡辺健, 橋本親典：振動加速度計を用いたコンクリートの圧送性簡易評価手法の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No. 1, pp.1201-1206, 2013.
- 13) 日本建築学会近畿支部材料・施工部会：第11回圧送技術研究会報告書, 2015.
- 14) 日本建築学会近畿支部材料・施工部会：第12回圧送技術研究会報告書, 2016.
- 15) 日本建築学会近畿支部材料・施工部会：第13回圧送技術研究会報告書, 2017.