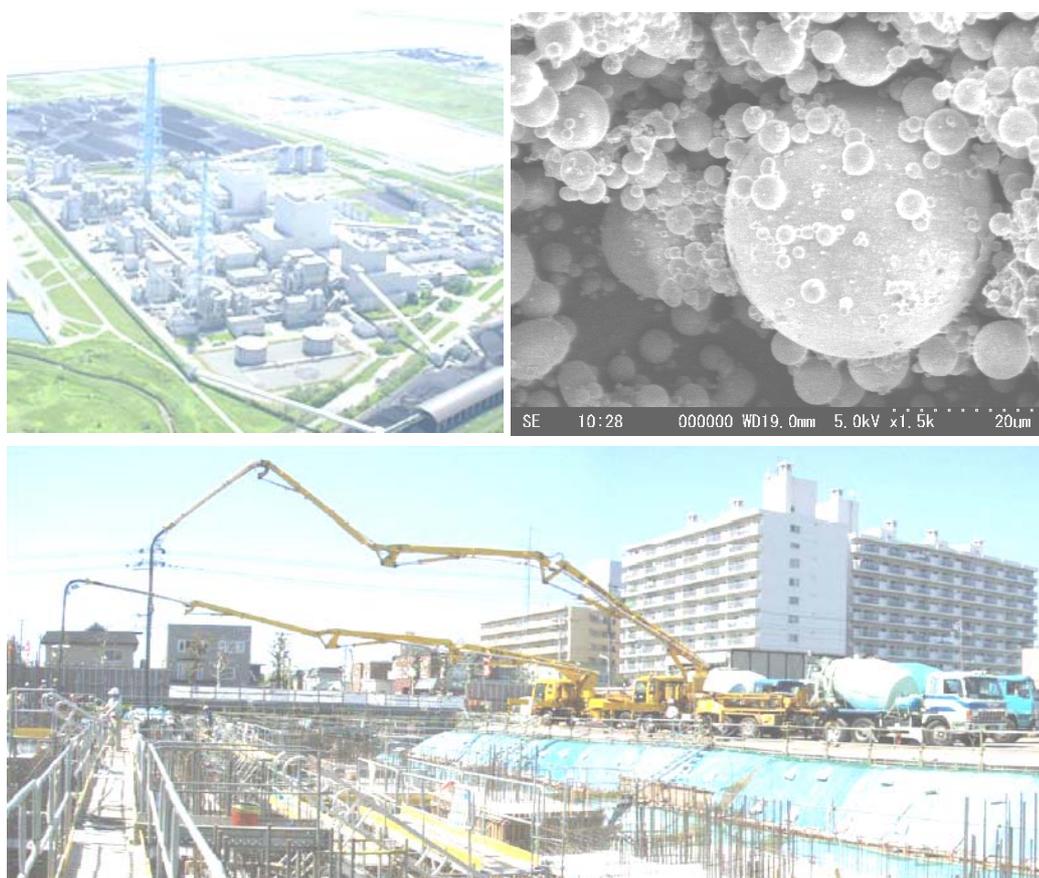


# フライアッシュコンクリート Q & A



平成 27 年 3 月

日本建築学会 北海道支部

特定課題研究委員会 寒冷地におけるフライアッシュの有効利用研究委員会

## はじめに

フライアッシュは石炭火力発電所から産出される副産物であり、北海道内においては3箇所稼働する石炭火力発電所から年間約80万トンのフライアッシュが排出される。フライアッシュの利活用は環境負荷低減に加えて、コンクリートの流動性改善や長期材齢での強度増進、アルカリシリカ反応の抑制などコンクリートの品質を確保する観点からも利点を有する。一方、フライアッシュの品質変動に伴う製造管理や中性化促進に関して、技術的な対応が必要な場合もある。

フライアッシュコンクリートに関しては、北海道に所在する35箇所のレディーミクストコンクリート工場が日本工業規格（JIS A 5308）に基づく認証が取得されており、各地域での出荷体制の整備が推し進められているところである。また、苫東厚真発電所にはブレンディングサイロや大型貯蔵サイロなど全国的にも先進的な設備が準備され、北海道は良質なフライアッシュが安定的に供給される環境下にあるといえる。

しかしながら、建築分野におけるフライアッシュコンクリートの利用実績は増加傾向を示すが、主に基礎部分に対するマスコンクリート対策など限定的な範囲に留まっており、フライアッシュコンクリートが有効に利用されているとは言い難い。

このような状況を踏まえ、本委員会では以下に示すような活動を行ってきた。

### (1) フライアッシュコンクリートに関するアンケート調査

北海道内の発注者、設計者、コンクリート製造者、施工者を対象としたアンケート調査を実施し、フライアッシュに対する利用者認識や利用状況を把握した（資料2）。

### (2) フライアッシュコンクリートの調合に関する調査

北海道におけるフライアッシュコンクリートの調合を配合計画書から調査し、調合を検討する際の基礎資料として整理した（資料3）。

### (3) フライアッシュコンクリートに関するQ&A集の作成

フライアッシュコンクリートには、製造方法（混和材方式、セメント方式）、調合設計（セメント置換、細骨材置換）など、一般的に使用されているコンクリートと比較すると理解しにくい要素が含まれている。そのため、フライアッシュコンクリートに関して、実務者向けに簡素で理解しやすい資料を提供することとした（本書Q&A）。

本書によってフライアッシュコンクリートに対する理解が深まり、環境配慮や品質確保の観点からも使用目的に応じた適切な利用が拡大することに少しでも寄与できれば幸いである。

平成27年3月

日本建築学会北海道支部 特定課題研究委員会  
寒冷地におけるフライアッシュの有効利用研究委員会

(敬称略・順不同)

主査	深瀬 孝之	伊藤組土建(株)	
幹事	谷口 円	北海道立総合研究機構 建築研究本部	北方建築総合研究所
委員	濱 幸雄	室蘭工業大学大学院	
	名和 豊春	北海道大学大学院工学研究院	
	長谷川 拓哉	北海道大学大学院工学研究院	
	齋藤 敏樹	北電総合設計(株) 技術研究所	
	桂 修	元北海道立総合研究機構 建築研究本部	北方建築総合研究所
	牛田 健一	(株) 構建設計事務所	
	小谷 卓司	(株) 北海道日建設計	
	小川 安良	清水建設(株) 北海道支店	
	進藤 毅幸	(株) 大林組 札幌支店	
	松尾 健司	大成建設(株) 札幌支店	
	会田 勝博	北海道ティーシー生コン(株)	
	酒井 亨	會澤高圧コンクリート(株)	
	安藤 睦	北海道電力(株)	(平成25年度)
	加藤 政治	北海道電力(株)	(平成26年度)
	開 洋介	北海道電力(株)	(平成26年度)
	今井 和宏	北電興業(株)	(平成26年度)
	金森 重行	鹿島建設(株) 北海道支店	(平成25年度)
	齊藤 智洋	鹿島建設(株) 北海道支店	(平成26年度)

# 目 次

## I. 共通事項

- Q1. フライアッシュコンクリートとは何ですか？
- Q2. フライアッシュを混和材として使用するコンクリートに関連する用語は？
- Q3. 内割りと外割りの違いは？
- Q4. 北海道におけるフライアッシュコンクリートの種類を教えてください。

## II. 材 料

- Q5. フライアッシュとは何ですか？
- Q6. フライアッシュはどのように製造されますか？
- Q7. コンクリート用フライアッシュの品質基準は？
- Q8. コンクリート用フライアッシュ I 種～IV種の違いは？
- Q9. フライアッシュセメントとは何ですか？その特徴は何ですか？
- Q10. フライアッシュセメントと普通ポルトランドセメントの規格の違いは？
- Q11. フライアッシュの品質に関する情報提供は可能ですか？
- Q12. フライアッシュの品質変動はコンクリートの品質に影響しますか？

## III. 流 通

- Q13. フライアッシュコンクリート（JIS 規格品）はどの地区でも出荷できますか？
- Q14. 北海道におけるフライアッシュの流通の仕組みは？
- Q15. フライアッシュコンクリートと普通コンクリートに価格差はありますか？
- Q16. フライアッシュコンクリートには最小ロットによる制限はありますか？

## IV. 実 績

- Q17. マスコンクリートにおけるフライアッシュの使用目的と実績は？
- Q18. 柱や壁などの躯体に対する実績と留意点は？
- Q19. 日本国内のコンクリート分野におけるフライアッシュの利用実績はどの程度ですか？
- Q20. 日本国内でのフライアッシュコンクリートの出荷実績は？
- Q21. フライアッシュコンクリートの海外での普及状況は？

## V. 特性

- Q22. フライアッシュコンクリートの優れている点と劣っている点は？
- Q23. フライアッシュコンクリートの自己収縮ほどの程度ですか？ひび割れ防止に有効ですか？
- Q24. フライアッシュはコンクリートの乾燥収縮の大小に影響を与えますか？
- Q25. フライアッシュセメントをマスコンクリートのひび割れ対策に使用する場合の有利な点と不利な点は？
- Q26. 打ち上がりの色合いや肌は、普通コンクリートと比較してどのようになるのでしょうか？
- Q27. フライアッシュコンクリートの水和熱は、普通コンクリート・早強コンクリートに比ベどの程度ですか？
- Q28. 北海道の屋外でフライアッシュコンクリートを使用する場合、中性化や凍結融解に対して問題ないですか？
- Q29. フライアッシュコンクリートの強度発現は、普通コンクリートと比較して大きく違いますか？

## VI. 設計

- Q30. 設計図書にフライアッシュが指定されていない場合、フライアッシュを採用する際の確認申請上の手続きは？
- Q31. 設計段階における留意事項はありますか？
- Q32. フライアッシュコンクリートを用いる設計上のメリットはありますか？
- Q33. 中性化抵抗性を確保するためにはどのような対策が必要ですか？

## VII. 製造

- Q34. 空気量を確保するため、混和剤の変更が必要ですか？
- Q35. フライアッシュコンクリートに大臣認定品はありますか？
- Q36. フライアッシュセメントを用いる場合とフライアッシュを混和材として用いる場合に性状の差はありますか？
- Q37. フライアッシュコンクリートの単位水量は普通コンクリートと同等ですか？
- Q38. 生コン工場でのフライアッシュの保管方法に注意点はありますか？

## VIII. 施工

- Q39. フライアッシュコンクリートの施工性を教えてください。
- Q40. フライアッシュコンクリートの構造体強度補正值 S は？
- Q41. マスコンクリートの構造体強度補正值 S は？
- Q42. フライアッシュコンクリートの寒中適用期間における使用は問題ないですか？

## IX. その他

- Q43. フライアッシュコンクリートに関する問い合わせ先は？
- Q44. フライアッシュコンクリートの 2 次製品はありますか？
- Q45. フライアッシュコンクリートでは、普通コンクリートに比ベどの程度の CO2 削減が期待できますか？

資料 1. フライアッシュコンクリートの JIS 認証工場

資料 2. 北海道におけるフライアッシュコンクリートに関するアンケート調査結果

資料 3. 北海道におけるフライアッシュコンクリートの調合に関する調査結果

## Q1 フライアッシュコンクリートとは何ですか？

北海道では、「フライアッシュを混和材として使用するコンクリート」および「フライアッシュセメントを使用するコンクリート」が、フライアッシュコンクリートと呼称されています。

フライアッシュは石炭火力発電所から排出される副産物で、ボイラ内で石炭を燃焼させる際に電気集じん機から採取される石炭灰です。北海道内で使用されるフライアッシュは、主に苫東厚真発電所から排出されおり、フライアッシュの地産地消は環境負荷の低減に貢献することができます。

フライアッシュは球状の微粒子で、フライアッシュを用いたコンクリートでは流動性が向上し、

単位水量が低減する傾向にあります。また、セメントと置換して使用する場合には水和熱が低減し温度ひび割れを抑制できるため、マスコンクリート対策としても有効です。

一方、フライアッシュの使用量（内割り・外割り）や使用量によっては、空気連行性、初期強度発現性、中性化抵抗性などについて配慮する必要もあります。北海道内で出荷されるフライアッシュコンクリートの調合は、レディミクストコンクリート工場ごとにその内容が異なりますので、使用目的に応じたコンクリートを選定することが重要です。

### ■ フライアッシュコンクリート

#### ● フライアッシュを混和材として使用するコンクリート

北海道内では、フライアッシュⅡ種が混和材として使用されています。

#### ● フライアッシュセメントを使用するコンクリート

北海道内では、フライアッシュセメントB種が使用されています。

図 1.1 フライアッシュコンクリートとは

### ■ フライアッシュの主な使用目的

- ・ 単位水量の低減、流動性の改善
- ・ 水和熱の低減
- ・ アルカリシリカ反応の抑制
- ・ 細骨材の粒形・粒度改善
- ・ 環境負荷低減

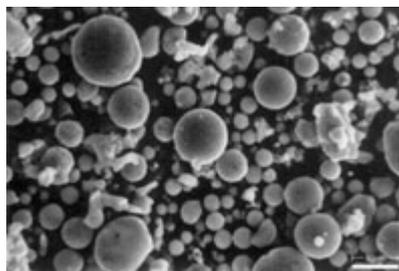


図 1.2 フライアッシュの使用目的<sup>1)</sup>

写真 1.1 フライアッシュの粒形<sup>2)</sup>

#### 参考文献等

1) 日本建築学会, フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説, p.28, 2007

2) 日本フライアッシュ協会

## Q2 フライアッシュを混和材として使用するコンクリートに関連する用語は？ 内割り・外割り，置換率・添加率，結合材など

フライアッシュを混和材として使用するコンクリートには，普段はあまり用いられない用語が含まれています．ここでは，内割りと外割りなどについて，「フライアッシュを使用するコンクリートの

調合設計・施工指針・同解説」<sup>1)</sup>に基づいて解説します．なお，置換率と水結合材比，添加率と水ポルトランドセメント比はそれぞれ内割り，外割りに対して使われる用語です．

- 内割り（セメント置換）

フライアッシュをセメントの一部と置換し結合材として使用する方法で，セメント置換とも呼ばれます．

- 外割り（細骨材置換）

フライアッシュを細骨材の一部と置換して使用する方法で，細骨材置換ともいわれます．この使用方法では，フライアッシュを結合材とはみなしません．

- 結合材

セメント，およびセメントと高炉スラグ微粉末，フライアッシュなどの混合物の総称で，コンクリートの強度発現に寄与する粉体をいいます．

- フライアッシュの置換率

$$\text{フライアッシュの置換率} = \{Fa / (C + Fa)\} \times 100 \quad (\%)$$

- フライアッシュの添加率

$$\text{フライアッシュの添加率} = \{Fa / C\} \times 100 \quad (\%)$$

- 水結合材比

$$\text{水結合材比} = \{W / (C + Fa')\} \times 100 \quad (\%)$$

- 水ポルトランドセメント比

$$\text{水ポルトランドセメント比} = \{W / C\} \times 100 \quad (\%)$$

ここに，Fa：単位フライアッシュ量（kg/m<sup>3</sup>）

C：単位ポルトランドセメント量（kg/m<sup>3</sup>）

Fa'：結合材とみなすフライアッシュ量（kg/m<sup>3</sup>）

W：単位水量（kg/m<sup>3</sup>）

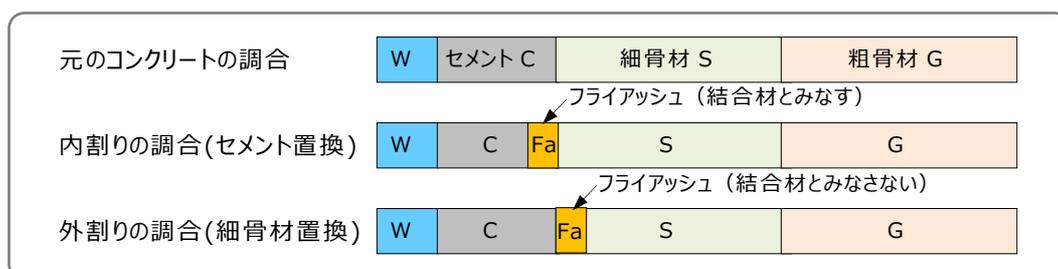


図 2.1 内割りと外割りによる調合の相違

### 参考文献等

1) 日本建築学会，フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説，pp.22-23，2007

### Q3 内割りと外割りの違いは？

混和材としてフライアッシュを使用する場合、内割り、外割り、もしくはその中間的な割合として割合設計を行います。

内割りでは、フライアッシュを結合材としてセメントの一部と置換し、単位セメント量を低減することができます。この方法では、例えば基礎などのマスコンクリートに対して、水和熱を低減し温度ひび割れを抑制することができます。但し、フライアッシュ自体の強度発現性は普通ポルトランドセメントに比べて遅く、呼び強度を保証する材齢が 28 日の割合ではその効果は小さなものとなります。フライアッシュによる長期強度の増進性を活かすためには、呼び強度を保証する材齢を 28 日以降に延長することが有効です。

一方、外割りでは、細骨材の粒形・粒度の改善、細骨材の微粒分の補充、低い強

度のコンクリートにおける粉体量の確保を目的として、フライアッシュを細骨材の一部と置換します。

本来、外割りではフライアッシュを結合材としてみなしませんので、この割合における単位セメント量や水セメント比は、フライアッシュを使用しない普通ポルトランドセメントの割合と同等になります。割合計画において結合材として扱わないフライアッシュも実際にはコンクリートの強度発現に寄与しますので、その強度増進分が上乗せされた安全側の割合になります。また、水セメント比も混和前と同等ですので、特に耐久性上の配慮が求められる場合に採用される割合方法です。

なお、北海道におけるレディーミクストコンクリート工場の割合には、内割りと外割りが混在しています（資料 1 参照）。

表 3.1 フライアッシュの使用目的

使用目的	内割り	外割り
(1) 単位水量の低減	◎	○
(2) 流動性の増大、粘性の確保	◎	○
(3) 乾燥収縮ひび割れの抑制	◎	◎
(4) 水和熱の低減	◎	-
(5) 細骨材の粒形・粒度の改善	-	◎
(6) アルカリシリカ反応抑制	◎	○
(7) 環境負荷低減	◎	○

注 1) フライアッシュセメント B 種を使用する場合、内割りと同様とする。

● 北海道における内割り・外割りなど  
 北海道のレディーミクストコンクリート工場  
 採用している割合方法は次のとおりです。  
 (2015 年 3 月現在)  
 ・内割り： 7 工場  
 ・外割り： 13 工場  
 ・フライアッシュセメント B 種： 15 工場

● 呼び強度を保証する材齢  
 JIS A 5308 (レディーミクストコンクリート) における協議事項のひとつで、標準養生した供試体の圧縮強度が呼び強度の強度値を満足する材齢を示します。この材齢は 28 日が標準ですが、低発熱型セメントに対しては 28 日以降の材齢を指定する場合があります。

## Q4 北海道におけるフライアッシュコンクリートの種類を教えてください。

北海道において、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）に適合することが認証されているフライアッシュコンクリートには製造方法と調合設計の組み合わせがあり、一般的なコンクリートに比べ複雑になっています。現時点において北海道内では以下のような内容が採用されています。

### (1) 製造方法

#### ①混和材方式

フライアッシュⅡ種を混和材として、レディーミクストコンクリート工場で普通ポルトランドセメントに混入して製造します。

#### ②セメント方式

フライアッシュセメント B 種を使用して、製造します。

### (2) フライアッシュの使用方法

#### ①内割り（セメント置換）

フライアッシュを結合材としてセメントの一部と置換する方法です。

#### ②外割り（細骨材置換）

フライアッシュを細骨材の一部と置換する方法です。

### (3) 呼び強度を保証する材齢

標準養生した供試体の圧縮強度が呼び強度の強度値を満足する材齢で、28 日が標準です。マスコンクリート対策では、この材齢を延長する場合があります。北海道では 28 日、56 日、91 日の 3 種類の材齢が準備されています。

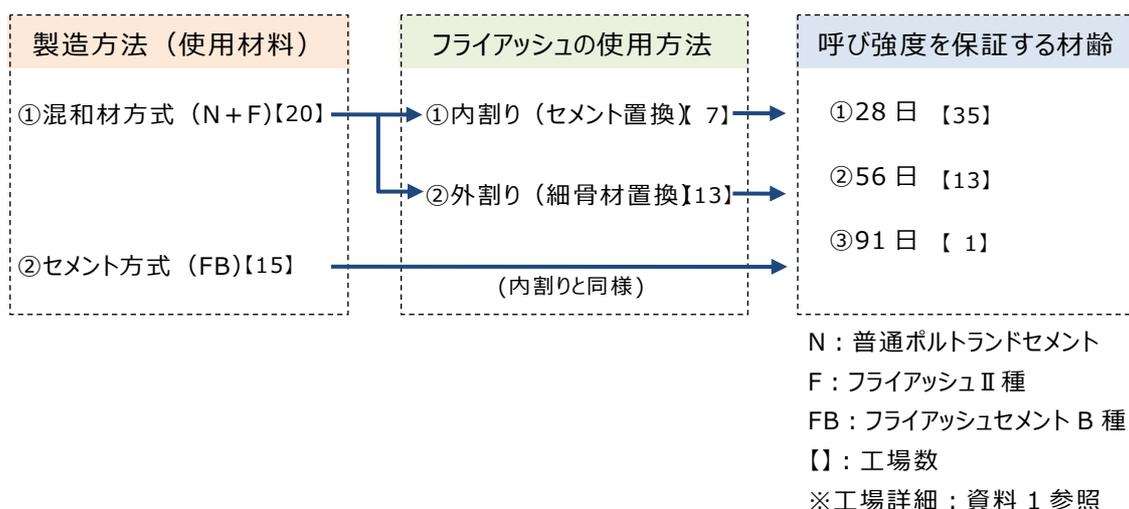


図 4.1 北海道におけるフライアッシュコンクリートの種類

## Q5 フライアッシュとは何ですか？

石炭火力発電所は、石炭を燃料として発電を行っています。石炭の5～20%程度が燃焼により石炭灰となります。石炭灰は燃焼ガス中に浮遊している微粒子を電気式集塵機により回収したフライアッシュと、ボイラ内部で固化したものを回収し粉碎処理したクリンカとに分けられます。石炭灰のうち約90%がフライアッシュであり、約10%がクリンカとなります。北海道では、石炭火力発電所が3箇所で稼働しており、年間約90万トンの石炭灰が発生し

ています。苫東厚真発電所から製造されるフライアッシュは、セメントやコンクリート分野などに幅広く利用されています。

フライアッシュは産業副産物であり、グリーン購入法において「フライアッシュセメント」と「フライアッシュを用いた吹付コンクリート」が特定調達品目に指定されています。また、フライアッシュの主成分や粒子形状などの特性によって、コンクリートの品質向上に寄与することができます。

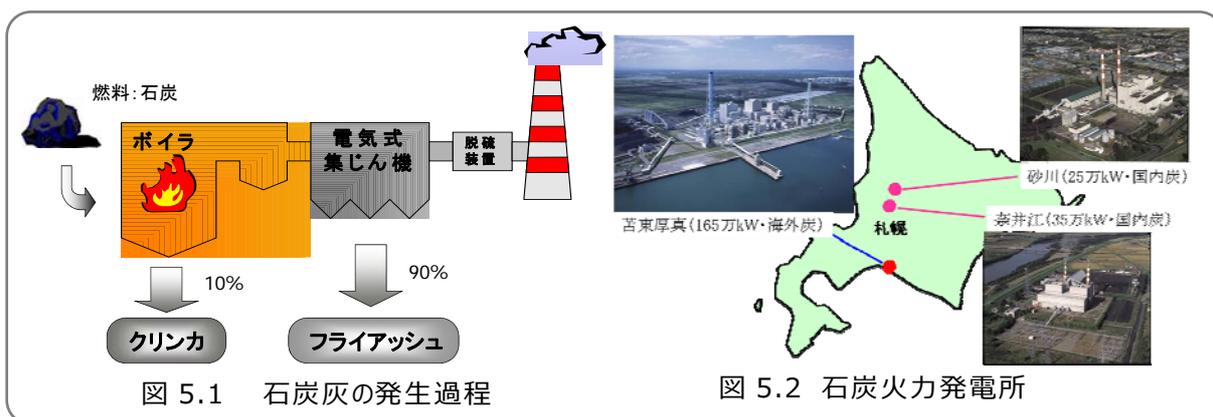


図 5.1 石炭灰の発生過程

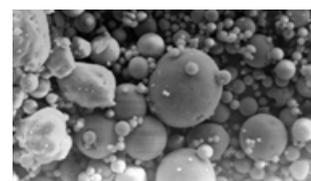
図 5.2 石炭火力発電所

### ■ フライアッシュの特徴

- 微細粒子で表面が滑らかな球形
- 物理的性状
  - ・密度：2.2～2.4 g/cm<sup>3</sup>
  - ・粒度：数μm～0.1mm 程度
- 化学的性状
  - ・主成分：シリカ、アルミナ
  - ・SiO<sub>2</sub> 51～64%
  - ・Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 19～28%



外観



粒子（電子顕微鏡×1000）

図 5.3 フライアッシュの特徴

## Q6 フライアッシュはどのように製造されますか？

北海道内では、苫東厚真発電所から発生するフライアッシュから日本工業規格に適合するコンクリート用フライアッシュ（Ⅱ種）が製造されています。この製造段階においては、生成したフライアッシュを分級し、さらにブレンドिंगサイ

ロで混合することによって、品質の均一化が図られています。また、安定した供給を確保するため、フライアッシュを貯蔵するための大型サイロが準備されています。

### ● 高性能ボイラ

石炭の燃焼を安定化するためのボイラ容積を確保するとともに、高温燃焼バーナーを採用することによって未燃分が少ないフライアッシュが生成されます。この未燃分はカーボン成分で、混和剤などを吸着し、コンクリート品質に影響を及ぼします。

### ● 分級

フライアッシュの粒径を分別する装置（分級装置）を利用することで高品質なフライアッシュが選別されます。

### ● ブレンドिंग

フライアッシュの品質は石炭銘柄や発電所の運転状況によって変化するため、分級装置によって粒径分別したフライアッシュをブレンドिंगサイロに貯蔵して混合することで品質が均質化されます。苫東厚真発電所では、容量 2,500t のブレンドिंगサイロ 2 基により安定的、大量に JIS 規格品のフライアッシュが製造されます。ブレンドिंगサイロにおける製造能力は 1 ヶ月に約 2 ロット、約 60,000 t /年です。

### ● 貯蔵サイロ

フライアッシュ（JIS 規格品）は、苫小牧市内にある大型サイロ 3 基（JIS 規格品需要の約 4 ヶ月分となる 16,000 t の貯蔵が可能）に貯蔵され、出荷予定量の変動と発電所の定期修繕等の製造停止期間における供給の安定化が図られています。



写真 6.1 高性能ボイラ



写真 6.2 分級装置



写真 6.3 ブレンドングサイロ



写真 6.4 貯蔵サイロ

## Q7 コンクリート用フライアッシュの品質基準は？

(JIS 規格，製造者基準，品質確保の取り組み)

コンクリートに使用するフライアッシュの品質は、日本工業規格のコンクリート用フライアッシュ (JIS A 6201) に規定されています。

この規格では、表 7.1 に示す 4 種類の品質が規定されています。

フライアッシュ II 種は、標準的なフライアッシュとして位置づけられ全国で最も多く供給されています。道内でもフライアッシュ II 種が流通し

ており、そのすべてが苫東厚真発電所で製造されています。一般的に、フライアッシュ品質のばらつきは大きいといわれていますが、道内で流通しているフライアッシュ II 種の品質は、製造段階における取り組み（分級，ブレンド）に加えて、表 7.2 に示す JIS 規格以上の製造者基準を設けることにより、品質の向上，安定化が図られています。

表 7.1 コンクリート用フライアッシュの品質(JIS A 6201 : 2015)

項目	種類	フライアッシュ JIS A 6201			
		I 種	II 種	III 種	IV 種
二酸化けい素含有量	(%)	45.0以上			
湿分	(%)	1.0以下			
強熱減量	(%)	3.0以下	5.0以下	8.0以下	5.0以下
密度	(g/cm <sup>3</sup> )	1.95以上			
粉末度	45 μm ふるい残分 (%)	10以下	40以下	40以下	70以下
	比表面積(ブレン方法) (cm <sup>2</sup> /g)	5,000以上	2,500以上	2,500以上	1,500以上
フロー値比	(%)	105以上	95以上	85以上	75以上
活性度指数	材齢28日 (%)	90以上	80以上	80以上	60以上
	材齢91日 (%)	100以上	90以上	90以上	70以上

表 7.2 北海道内で流通しているフライアッシュ II 種の品質

品質	二酸化けい素含有量 (%)	湿分 (%)	強熱減量 (%)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	粉末度		フロー値比 (%)	活性度指数		MB 吸着量 (mg/g)
					45 μm ふるい残分 (%)	比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)		28 日 (%)	91 日 (%)	
JIS 規格	≥ 45.0	≤ 1.0	≤ 5.0	≥ 1.95	≤ 40	≥ 2,500	≥ 95	≥ 80	≥ 90	—
製造者基準			≤ 3.0			4,000 ± 350				≤ 0.8

## Q8 コンクリート用フライアッシュ I 種～IV種の違いは？

コンクリート用フライアッシュ(JIS A 6201)は、粉末度などの品質項目に応じて I 種からIV種の 4 種類に分類されています( I ～IV種の規格値の違いは、Q7 参照)。

もともと 1 つの等級であったフライアッシュの品質を、コンクリート用混和材として、より広範囲な品質で利用することを考慮し、1999 年の JIS A 6201 改正で 4 種類に分類されました。このうち II 種は、標準的なフライアッシュとして位置づけられ、1999 年以前の JIS 規格を踏襲する品質として設定されています<sup>1)</sup>。全国で流通している JIS 規格品で最も流通しているのが II 種であり、道内で流通している JIS 規格品も II 種になります。

日本建築学会では、フライアッシュをセメント

の一部と置換し結合材として使用する場合、I 種または II 種を使用するものとし、フライアッシュを細骨材の一部と置換して、もしくはセメントに添加して使用する場合は、II 種とIV種に限定することとしています<sup>2)</sup>。フライアッシュの使用目的と効果および推奨できるフライアッシュの種類は表 8.1 のように示されています。

また、セメントの一部と置換し結合材として使用する場合の品質は、JIS A 6201 に適合すること、かつ日本建築学会「JASS 5 M-401 結合材として用いるフライアッシュの品質基準」に適合するものとしています。

道内のフライアッシュは、表 8.2 に示す JASS 5 M-401 の品質基準を満足しているものが流通しています。

表 8.1 フライアッシュの使用目的と効果および推奨できるフライアッシュの種類<sup>2)</sup>

使用目的	推奨できるフライアッシュの種類		
	I 種	II 種	IV 種
(1) 単位水量の低減	◎	◎	○
(2) 流動性の増大と粘性の確保	◎	◎	○
(3) 乾燥収縮ひび割れの抑制	◎	◎	◎
(4) 水和熱の低減	◎	◎	—
(5) 細骨材の粒形・粒度が不良の場合の品質改善	○	◎	◎
(6) アルカリシリカ反応抑制対策	◎	◎	○

〔注1〕 ◎は非常に効果がある。○は効果がある。

〔注2〕 I、II 種は結合材として用いる場合、IV 種は結合材として用いない場合をいう。

表 8.2 結合材として用いるフライアッシュの品質基準(JASS 5 M-401)<sup>2)</sup>

項 目		品質基準
強熱減量	%	4.0 以下
粉末度	比表面積 cm <sup>2</sup> /g	3,000 以上
フロー値比	%	100 以上

### 参考文献等

1) 日本フライアッシュ協会、石炭灰ハンドブック、p.I-18、2010.10

2) 日本建築学会、フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説、pp.29-30,117、2007

## Q9 フライアッシュセメントとは何ですか？その特徴は何ですか？

フライアッシュセメントはフライアッシュを混合材に用いたセメントです。混合するフライアッシュの量により、A種(5を超え, 10%以下), B種(10を超え, 20%以下), C種(20を超え, 30%以下)の3種類があり, 日本工業規格にフライアッシュセメント (JIS R 5213) として規定されています。

混合材の置換率が少ない A 種は普通ポルトランドセメントと同様に使用でき, B 種が混合セメントの特徴を表し, 置換率が多い C 種は特別な用途に使用されます<sup>1)</sup>。

混合セメントの特徴を表すフライアッシュセメ

ント B 種の特徴と主な用途を表 9.1 に示します。

フライアッシュセメントの製造は, JIS R 5213 により「クリンカーとフライアッシュに適量の石こうを加え, 混合粉碎してつくるか, またはセメントとフライアッシュを均一に十分混合してつくる。」と規定されています。北海道では, 後者の方法で製造され, 苫東厚真発電所産のフライアッシュⅡ種を用いて, セメント製造工場で普通ポルトランドセメントと混合されています。

表 9.1 フライアッシュセメント B 種の特徴と主な用途<sup>1)</sup>

特 性	用 途
a. 普通ポルトランドセメントに比べ, ワークビリティがよい。 b. 十分な湿潤養生をすれば普通ポルトランドセメントに比べ, 長期強度は大きい。 c. 乾燥収縮が小さい。 d. 水和熱が小さい。 e. アルカリシリカ反応を抑制する。	ポルトランドセメントと同様な工事 マスコンクリート 水中コンクリート

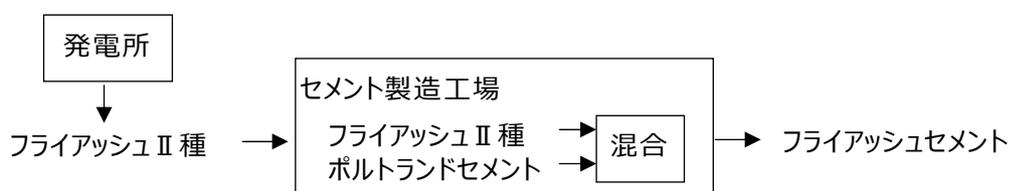


図 9.1 フライアッシュセメントの製造工程

### 参考文献等

1) 日本建築学会, 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート, pp.205-206, 2009

## Q10 フライアッシュセメントと普通ポルトランドセメントの規格の違いは？

フライアッシュセメントは、混合するフライアッシュの量により、A種(5を超え、10%以下)、B種(10を超え、20%以下)、C種(20を超え、30%以下)の3種類があり、JIS R 5213で品質が規定されています。フライアッシュセメントの品質(JIS R 5213:2009)および普通ポルトランドセメントの品質(JIS R

5210:2009)を表 10.1 に示します。

フライアッシュセメントと普通ポルトランドセメントの品質を比較した場合、もっとも大きな違いは圧縮強さになります。セメントの圧縮強さ試験は、同一水セメントでの試験であるため、フライアッシュの混合量が多いと圧縮強さの規定も小さくなっています。

表 10.1 フライアッシュセメントおよび普通ポルトランドセメントの JIS 規格

項目	種類	フライアッシュセメント JIS R 5213			普通ポルトランド セメント JIS A 5210
		A 種	B 種	C 種	
比表面積	(cm <sup>2</sup> /g)	2500 以上	2500 以上	2500 以上	2500 以上
凝結	始発 (min)	60 以上	60 以上	60 以上	60 以上
	終結 (h)	10 以下	10 以下	10 以下	10 以下
安定性	パット法	良	良	良	良
	ルシャテリ工法 (mm)	10 以下	10 以下	10 以下	10 以下
圧縮強さ	3 d (N/mm <sup>2</sup> )	12.5 以上	10.0 以上	7.5 以上	12.5 以上
	7 d (N/mm <sup>2</sup> )	22.5 以上	17.5 以上	15.0 以上	22.5 以上
	28 d (N/mm <sup>2</sup> )	42.5 以上	37.5 以上	32.5 以上	42.5 以上
酸化マグネシウム	(%)	5.0 以下	5.0 以下	5.0 以下	5.0 以下
三酸化硫黄	(%)	3.0 以下	3.0 以下	3.0 以下	3.5 以下
強熱減量	(%)	5.0 以下	—	—	5.0 以下
全アルカリ	(%)	—	—	—	0.75 以下
塩化物イオン	(%)	—	—	—	0.035 以下
フライアッシュの分量 [少量混合成分の含量]	(質量%)	5 超え 10 以下	10 超え 20 以下	20 超え 30 以下	[0 以上 5 以下]

### ■コラム 『混合セメントの評価について』

普通セメントと混合セメントを比較する場合、セメント試験のように同一水セメント比で比較すると、混合セメントのコンクリート品質が低く評価される場合があります。混合セメントを検討する場合は、実際の使用条件（呼び強度や外気温等）の比較で検討することをお勧めします。

## Q11 フライアッシュの品質に関する情報提供は可能ですか？

北海道内で製造されているフライアッシュ（JIS 規格品）の品質は、JIS 規格に上乘せした製造者基準（Q7 参照）での管理によって、品質が安定するように製造されています。

品質に関する情報については、製造者から任意の期間に対してのデータが入手可能です。

同様に、製造者基準として管理されているメチレンブルー吸着量についても、データの入手が可能です。

また、納品されるフライアッシュの品質については、セメント同様に月毎に試験成績表が提出され、これによってその品質を確認することができます。

表 11.1 フライアッシュの品質変動データ（例）

試験成績書 発行月	採取日	二酸化 けい素 %	湿分 %	強熱減量 %	密度 g/cm <sup>3</sup>	45μふるい 残分 %	ブレン 比表面積 cm <sup>2</sup> /g	フロー値比 %	活性度指数	
									28日 %	91日 %
JIS規格 フライアッシュⅡ種		≥45.0	≤1.0	≤5.0	≥1.95	≤40	≥2,500	≥95	≥80	≥90
平成25年12月	H25.11.18	64.7	0.18	1.5	2.31	6	4,040	108	81	99
平成26年 1月	H25.12.17	63.5	0.15	1.4	2.30	8	4,010	110	88	100
平成26年 2月	H26.1.20	65.8	0.07	1.5	2.30	6	4,100	110	84	98
平成26年 3月	H26.2.18	65.4	0.08	1.4	2.32	6	4,220	109	84	106
平成26年 4月	H26.3.18	65.6	0.14	1.6	2.31	6	4,040	108	81	99
平成26年 5月	H26.4.16	63.3	0.15	1.8	2.32	7	3,880	111	82	101
平成26年 6月	H26.5.16	63.9	0.11	1.6	2.34	6	4,050	109	83	96
平成26年 7月	H26.6.18	65.5	0.17	1.5	2.28	12	3,830	108	88	98
平成26年 8月	H26.7.15	62.6	0.16	1.8	2.31	9	3,890	109	81	97
平成26年 9月	H26.8.18	63.7	0.19	1.6	2.31	13	3,960	108	84	98
平成26年10月	H26.9.18	65.8	0.12	1.7	2.29	11	4,040	108	83	97
平成26年11月	H26.10.17	65.7	0.12	1.7	2.30	8	4,020	107	85	97
平均値		64.6	0.14	1.6	2.31	8	4,007	109	84	99
最大値		65.8	0.19	1.8	2.34	13	4,220	111	88	106
最小値		62.6	0.07	1.4	2.28	6	3,830	107	81	96
標準偏差		1.2	0.04	0.2	0.02	3	106	2	3	3
中央値		65.1	0.15	1.6	2.31	8	4,020	109	84	98

## Q12 フライアッシュの品質変動はコンクリートの品質に影響しますか？

フライアッシュは一般的に石炭銘柄などにより品質がばらつくと認識されています。フライアッシュ品質のばらつきはコンクリート品質に対して図12.1に示すように強度・スランプ・空気量に影響を与えます。

しかし、北海道内で製造しているフライアッシュ（JIS規格品）は、コンクリート品質へ与える影響を小さくするため、JIS規格に上乗せした製造者基準（Q7参照）での管理が行なわれています。

- フライアッシュ品質がコンクリート品質へ与える影響
  - ・ブレン比表面積及び活性度指数：強度のばらつき
  - ・フロー値比：スランプのばらつき
  - ・メチレンブルー吸着量及び強熱減量：空気量のばらつき

図 12.1 フライアッシュ品質がコンクリート品質へ与える影響

### ■コラム 『フライアッシュ管理項目の関係』

コンクリート品質に関係するフライアッシュの品質の主だったものに、「ブレン比表面積」「活性度指数」「フロー値比」「強熱減量」「メチレンブルー吸着量」があります。これらの品質は、コンクリートの強度やフレッシュ性状に及ぼす影響が大きいため重要な管理項目であり、これらの品質同士も密接な関係性を持っています。

- ・「ブレン比表面積」はフライアッシュの粉末度を表しており、コンクリート強度を支配する重要な因子の一つとなっています。
- ・「活性度指数」は圧縮強度の指標であり、粉末度（ブレン）の影響を受け、粉末度が高いほど活性度指数は高くなります。
- ・「フロー値比」はフライアッシュの流動性付与効果を示していますが、粉末度と強熱減量の影響を受け、強熱減量が小さく粉末度が高いほどフロー値比は大きくなります。
- ・「強熱減量」は未燃炭素の比率の指標であり、凝結硬化に影響します。さらに、メチレンブルー吸着量とも密接な関連があり混和剤吸着に影響します。
- ・「メチレンブルー吸着量」は未燃炭素中の活性炭素成分がAE剤や減水剤を吸着しその効果を低減させます。

このような品質の関連性を把握することは、コンクリート用フライアッシュを製造管理する上で重要です。



## Q14 北海道におけるフライアッシュの流通の仕組みは？

(混和材, フライアッシュセメント B 種)

北海道で流通しているコンクリート用フライアッシュは、苫東厚真発電所で製造されたものです。製造されたフライアッシュは苫小牧市内

にある貯蔵サイロで保管され、フライアッシュセメントの製造工場や各地域のレディーミクストコンクリート工場に運搬されます。

### ■ 混和材とフライアッシュセメントとしての流通

#### ● 混和材として使用する場合（フライアッシュⅡ種）

貯蔵サイロからレディーミクストコンクリート工場のサイロへ運搬されます。

供給エリア：全道（離島は協議が必要です。）

製造者：北海道電力（株）

#### ● フライアッシュセメント B 種として使用する場合

貯蔵サイロからセメント製造工場へ運搬し、フライアッシュセメント B 種が製造されます。その後、セメント製造工場からレディーミクストコンクリート工場へ運搬されます。

供給エリア：全道（使用数量・運搬距離等により協議が必要な場合があります。）

製造者：セメント製造会社

図 14.1 フライアッシュⅡ種とフライアッシュセメント B 種



写真 14.1 フライアッシュ運搬車両

## Q15 フライアッシュコンクリートと普通コンクリートに価格差はありますか？

北海道において、普通コンクリートと混合セメントを使用したコンクリート（混和材方式を含む）に価格差はなく、粗骨材最大寸法、スランプおよび呼び強度が同じであれば、同一価格となります。

生コンクリートの価格は、生コンクリート協同

組合および生コン工場で決定されています。

生コンクリート協同組合の問い合わせ先を表 15.1 に示します。また、フライアッシュコンクリートの JIS 認証工場に関する情報を資料 1 に添付します。

表 15.1 フライアッシュコンクリートの JIS 認証工場が所属する生コンクリート協同組合

所 属	工場数	住 所	電 話	
協 同 組 合	札幌生コンクリート協同組合	10	札幌市白石区東札幌 1 条 4 丁目 24-5	011-832-5110
	後志生コンクリート協同組合	1	倶知安町南 3 条東 6 丁目 2	0136-22-1710
	岩宇生コンクリート協同組合	2	共和町梨野舞納 124 番地	0135-62-7150
	苫小牧生コンクリート協同組合	7	苫小牧市入舟町 2 丁目 5-11	0144-34-1431
	空知生コンクリート協同組合	1	滝川市栄町 4 丁目 9-1	0125-24-6024
	室蘭生コンクリート協同組合	1	室蘭市東町 2-21-10	0143-43-1186
	西胆振生コンクリート協同組合	1	伊達市末永町 205 番地 2	0142-23-2115
	旭川地方生コンクリート協同組合	1	旭川市永山 1 条 19 丁目 1-13	0166-48-3911
	富良野地区生コンクリート協同組合	1	中富良野町東町 6 番 14 号	0167-44-4674
	函館生コンクリート協同組合	1	北斗市清水川 142 番地 29	0138-77-2277
協同組合に所属していない工場	9	資料 1 参照		

## Q16 フライアッシュコンクリートには最小ロットによる制限はありますか？

混和材方式で JIS 認証を取得しているレディーミクストコンクリート工場はフライアッシュ専用サイロを保有しているため、いつでもフライアッシュコンクリートが出荷可能であり、普通コンクリート同様、工場に対応できる最小練り混ぜ量が、最小ロットになります。

一方、セメント方式(フライアッシュセメント B 種)で JIS 認証を取得しているレディーミクストコ

ンクリート工場は、フライアッシュセメント専用のサイロを保有していないことがあります。その場合、フライアッシュコンクリート出荷のためにサイロ内のセメントを入れ替える必要があり、最小ロットの制限が生じます。セメント方式のレディーミクストコンクリート工場を使用する場合は、専用サイロの有無や最小ロットなどについて工場に確認する必要があります。

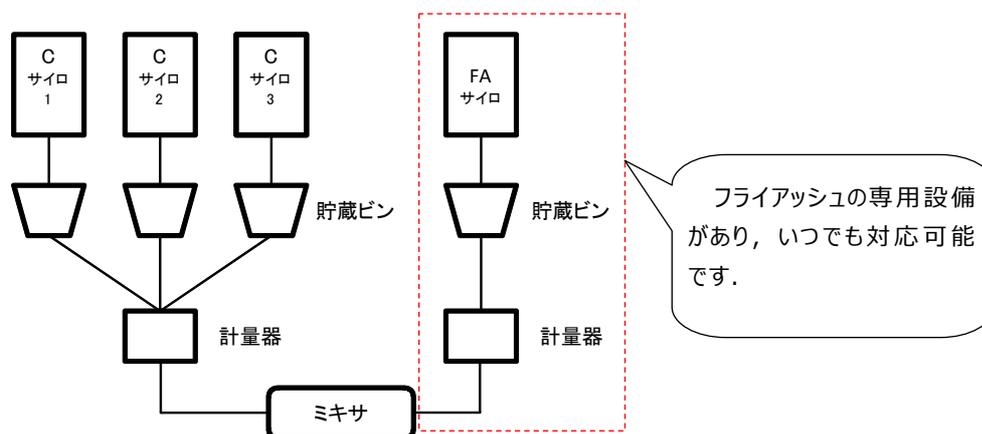


図 16.1 混和材方式のレディーミクストコンクリート工場設備の例

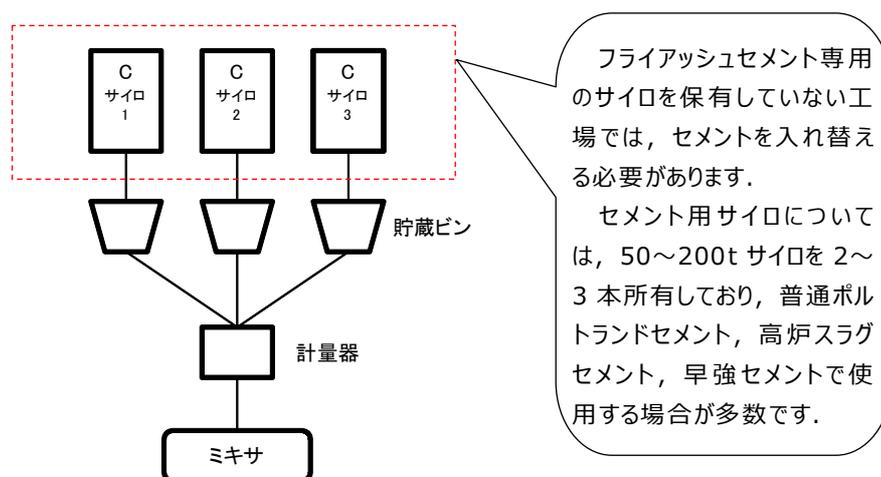


図 16.2 セメント方式のレディーミクストコンクリート工場設備の例

## Q17 マスコンクリートにおけるフライアッシュの使用目的と実績は？

### ■使用目的

マスコンクリートは、「部材断面の最小寸法が大きく、かつセメントの水和熱による温度上昇で有害なひび割れが入るおそれがある部分のコンクリート」と定義されています<sup>1)</sup>。

マスコンクリートにおけるフライアッシュの主な使用目的は水和熱の低減です。この場合には、単位セメント量を減少し、水和熱による温度上昇を抑制するため、フライアッシュをセメントの一部に置換します。

フライアッシュの置換率を大きくするほど水和熱の低減効果は大きくなりますが、耐久性上の対策が必要になる場合があります。

北海道におけるフライアッシュコンクリートに関しては、フライアッシュセメントB種またはフライアッシュII種の置換率が20%以下の範囲で使

用されていますので、一般的な建築物に対してはかぶり厚さ、耐久設計基準強度の割増しは行わなくともよいこととなります<sup>2)</sup>。

### ■使用実績

北海道内の建築分野において、表17.1に示すようにフライアッシュコンクリートをマスコンクリートに使用した実績はすでに多数存在しています。

近年、建物の高層化や大スパン化に伴い、構造部材が大断面となる建物も多く、品質確保、環境負荷低減の観点から、今後この分野でのフライアッシュの有効利用が期待されるところです。

表 17.1 北海道内のマスコンクリートでの使用実績（平成 16～25 年度）

部 位	建築用途	使用区分	件 数	コンクリート数量(m <sup>3</sup> )
耐圧盤 基 礎	商業ビル	混和材方式	20	54,000
		セメント方式	3	6,900
	マンション	混和材方式	21	26,000
		セメント方式	1	2,200
	工 場	混和材方式	11	18,000
		セメント方式	5	7,900
	病院・ホテル他	混和材方式	10	22,300
		セメント方式	8	11,800
合 計			79	149,100

※セメント方式：フライアッシュセメントB種を使用した。

### 参考文献等

- 1) 日本建築学会，建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート，p.5，2009
- 2) 日本建築学会，フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説，p.32，2007

## Q18 柱や壁などの躯体に対する実績と留意点は？

フライアッシュコンクリートを柱や壁などの躯体に使用することは可能であり、表 18.1 に示すように北海道内の建築工事での使用実績もあります。しかし、中性化に対する懸念や型枠の存置期間延長などの関係から、特に地上部躯体に対するフライアッシュコンクリートの採用実績は基礎に比べると少ない傾向にあります。

フライアッシュセメント B 種またはフライアッシュ II 種の置換率が 20% 以下の範囲で使用する場合、耐久設計基準強度やかぶり厚さの割増しは行わなくともよいとされており<sup>1)</sup>、この使用範囲における中性化抵抗性は一般のコンクリートと同等であると判断することができます。なお、北海道におけるフライアッシュの標準的な利用方法はこの範囲に含まれています。

型枠の存置期間については、フライアッシュ

セメント B 種またはフライアッシュを結合材として使用する場合、日数の延長が必要になることがあります。型枠の存置期間の管理には、コンクリートの材齢で管理する方法と圧縮強度で管理する方法があり、前者の場合には日数の延長が必要になります<sup>1)</sup>。

一方、コンクリートの圧縮強度で管理する場合は、必要強度を確認することで型枠の取り外しができます。フライアッシュコンクリートの強度発現性は、同一の呼び強度とする一般コンクリートに比べて若干遅れる程度です。型枠取り外しに必要な積算温度の目安をみても普通ポルトランドセメントと比較して 5°D・D 程度の差であり<sup>2)</sup>、圧縮強度で管理することで一般コンクリートと同程度の存置期間で施工できると考えられます。

表 18.1 北海道内の柱や壁などの躯体での使用実績（平成 16～25 年度）

部 位	建築物名	使用区分	件 数	コンクリート数量(m <sup>3</sup> )
軀 体 (柱・壁など)	商業ビル	混和材方式	13	19,400
		セメント方式	5	7,400
	マンション	混和材方式	6	4,000
		セメント方式	1	1,000
	工 場	混和材方式	3	3,100
		セメント方式	2	1,600
	病院・ホテル他	混和材方式	2	3,700
		セメント方式	3	9,000
合 計			35	49,200

※ セメント方式：フライアッシュセメント B 種を使用した。

### 参考文献等

- 1) 日本建築学会，フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説，p.32,p.62，2007
- 2) 日本建築学会，寒中コンクリート施工指針・同解説，p.76，2010

## Q19 日本国内のコンクリート分野におけるフライアッシュの利用実績はどの程度ですか？

石炭エネルギーセンターによる石炭灰利用に関するデータでは、平成 25 年度の石炭灰発生量が 1,289 万 t（電気事業が 993 万 t、一般産業が 296 万 t）であり、表 19.1 に示すように有効利用量が 1,249 万 t となっています。<sup>1)</sup>

そのうち、フライアッシュ（JIS 規格品）を使用したコンクリート分野での内訳は、セメント混合材、コンクリート混和材、コンクリート 2 次製品であり、その利用量は 21 万 t 程度になります。

表 19.1 平成 25 年度石炭灰有効利用分野別の内訳<sup>1)</sup>

(単位：千トン)

分野	項目	電気事業		一般産業		合計	
		利用量	構成比 (%)	利用量	構成比 (%)	利用量	構成比 (%)
セメント分野	セメント原材料	6,138	64.15	2,083	71.24	8,221	65.81
	セメント混合材	77	0.80	21	0.72	98	0.78
	コンクリート混和材	78	0.82	1	0.03	79	0.63
	計	6,293	65.77	2,105	71.99	8,398	67.23
土木分野	地盤改良材	281	2.94	169	5.78	450	3.60
	土木工用	569	5.95	82	2.80	651	5.21
	電力工用	21	0.22	0	0.00	21	0.17
	道路路盤材	48	0.50	128	4.38	176	1.41
	アスファルト・フィラー材	6	0.06	0	0.00	6	0.05
	炭坑充填材	405	4.23	0	0.00	405	3.24
計	1,330	13.90	379	12.96	1,709	13.68	
建築分野	建材ボード	119	1.24	291	9.95	410	3.28
	人工軽量骨材	0	0.00	0	0.00	0	0.00
	コンクリート2次製品	29	0.30	0	0.00	29	0.23
	計	148	1.55	291	9.95	439	3.51
農林・水産分野	肥料（含：融雪剤）	31	0.32	7	0.24	38	0.30
	漁礁	27	0.28	0	0.00	27	0.22
	土壌改良剤	35	0.37	52	1.78	87	0.70
	計	93	0.97	59	2.02	152	1.22
その他	下水汚水処理剤	3	0.03	0	0.00	3	0.02
	製鉄用	1	0.01	5	0.17	6	0.05
	その他	1,700	17.77	85	2.91	1,785	14.29
	計	1,704	17.81	90	3.08	1,794	14.36
有効利用合計		9,568	100.00	2,924	100.00	12,492	100.00

※ 赤囲み部は JIS 規格品を示す。

### ■コラム 『セメント原材料とセメント混合材』

セメント成分のうち  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  は粘土質原料からなっています。石炭中には灰分として各種の鉱物質が存在しますが、その大部分は粘土質です<sup>2)</sup>。粘土資源の確保が難しいことと石炭灰の有効利用の観点から石炭灰（フライアッシュ、クリンカアッシュ含む全て）がセメント原材料として用いられています。なお、混合セメント製造時に用いるフライアッシュ（JIS 規格品）がセメント混合材です。

### 参考文献等

- 1) 石炭エネルギーセンター，石炭灰全国実態調査報告書，p.16，2015.3
- 2) 日本フライアッシュ協会，石炭灰ハンドブック，p. II-50，2010.10

## Q20 日本国内でのフライアッシュコンクリートの出荷実績は？

全国 47 都道府県のうち 26 都道府県で、フライアッシュコンクリートの JIS 規格品が整備されています。表 20.1 に示すフライアッシュコンクリートの出荷実績からも全国各地域で使用されていることがわかります。その中でも、近畿地方、特に大阪の工場数および出荷実績が多

くなっています。その要因としては、日本建築学会近畿支部において「フライアッシュ使用コンクリートの特性に関する調査研究」が進められ、建築工事への出荷実績が増加したことが考えられます。なお、調査研究の技術資料は、平成 26 年 7 月に発刊されています。

表 20.1 全国におけるフライアッシュコンクリート（JIS 規格品）の平成 24・25 年度の出荷実績

地域区分	都道府県	工場数	フライアッシュコンクリート出荷実績(推定) <sup>※1</sup> (m <sup>3</sup> )	
			H24 年度	H25 年度
北海道	北海道	35	93,400	93,100
東北	秋田	3	19,200	43,400
	福島	3	14,200	15,400
関東	東京	5	2,300	0
	神奈川			
中部	富山	17	76,500	33,100
	石川	7		
	福井	7		
	東海	愛知		
近畿	兵庫	18	5,100	41,400
	大阪	40	157,800	199,400
	和歌山	2	12,700	0
	京都	2	3,700	9,100
	奈良	2	0	0
	滋賀	1	200	0
中国	島根	4	0	12,500
四国	徳島	9	147,100	148,600
	高知	11	58,600	68,600
	愛媛	7	48,600	62,900
	香川	1	25,700	24,300
九州・沖縄	福岡	14	153,100	115,400
	熊本	8	37,800	88,200
	大分	6	18,000	21,200
	佐賀	5	26,800	28,200
	長崎	8	42,400	58,200
	鹿児島	1	0	200

※1 北海道および秋田以外は、出荷フライアッシュ量<sup>1)</sup>からコンクリート量を推定しています。(土木・建築含む)

### 参考文献等

1) 資料提供(フライアッシュ出荷量) 日本フライアッシュ協会

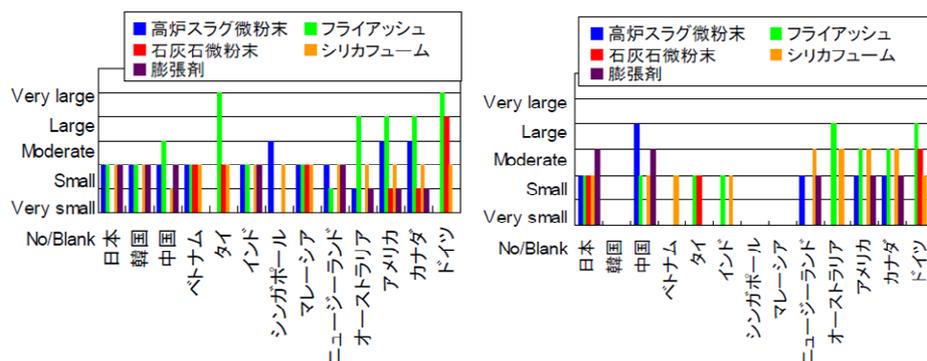
## Q21 フライアッシュコンクリートの海外での普及状況は？

タイ、米国、カナダ、ドイツ、オーストラリアでは、積極的にフライアッシュがレディーミクストコンクリート工場において使用されており<sup>1)</sup>、ドイツ、オーストラリアではプレキャストコンクリートにおいても積極的に使用されています。

セメント規格の混和材混合率でみると、米国は日本の規定値よりも高い上限値となっています。さらに欧州では日米の規格よりも高い上限値が規定されています。欧州では低強度領域において混和材を使用したセメントへの需

要が高まっています<sup>2)</sup>。日米欧のセメント規格における混和材の混合率を表 21.1 に示します。

なお、鉄鋼スラグ協会の調べによると、欧州では混合セメント（シリカフェーム、高炉スラグ、フライアッシュ等を混合したセメント）の使用比率が増加しており、日本におけるポルトランドセメントの比率が概ね 75%程度であるのに対し、欧州における 2009 年のポルトランドセメントの比率は 24%まで低下しています。



(1)レディーミクストコンクリート (2)プレキャストコンクリート  
図 21.1 各国の混和材料の利用状況<sup>1)</sup>

表 21.1 日米欧のセメント規格における混和材の混合率<sup>2)</sup>

	混和材の混合率
日本 JIS R 5213	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆フライアッシュセメント                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・フライアッシュセメントA種 (5% &lt; FA ≤ 10%)</li> <li>・フライアッシュセメントB種 (10% &lt; FA ≤ 20%)</li> <li>・フライアッシュセメントC種 (20% &lt; FA ≤ 30%)</li> </ul> </li> </ul>
米国 ASTM C 595	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆Type IP - Portland-pozzolan cement : ポルトランド・ポゾランセメント                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・ポゾランが質量の40%以下</li> <li>※フライアッシュ以外にもポゾラン活性を示す混和材をポゾランとして使用することが可能である。</li> </ul> </li> </ul>
欧州 EN 197	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆CEM II - Portland-fly ash cement : ポルトランド・フライアッシュセメント                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・CEM II/A-V, CEM II/B-V (6% ≤ FA ≤ 20%)</li> <li>・CEM II/A-W, CEM II/B-W (21% ≤ FA ≤ 35%)</li> </ul> </li> <li>◆CEMIV - Pozzolan cement : ポゾランセメント                             <ul style="list-style-type: none"> <li>・CEMIV/A (11% ≤ FA ≤ 35%)</li> <li>・CEMIV/B (36% ≤ FA ≤ 55%)</li> </ul> </li> <li>※フライアッシュ以外にもポゾラン活性を示す混和材をポゾランとして使用することが可能である。</li> </ul>

※FA：フライアッシュ，（）内は混和材の混合率を示し，単位は質量%である。

### 参考文献等

- 1) 魚本健人，信田佳延，山田一夫：コンクリート材料ならびに関連規格の国際調査研究委員会委員会報告，コンクリート工学年次論文集，Vol.32, No.1, pp.11-22, 2010
- 2) 土木研究所，平成 23 年度プロジェクト研究報告書 7.1 低炭素型セメントの利用技術の開発，pp.2-3, 2011

## Q22 フライアッシュコンクリートの優れている点と劣っている点は？

フライアッシュコンクリートは同じ水結合材比の普通コンクリートと比べて、次のような特徴があります。

〔長所〕

### 1. 長期的な強度の増進

フライアッシュコンクリートはフライアッシュのポゾラン反応が長期間継続するため、同じ水セメント比の普通コンクリートよりも長期的に強度が増進します。

### 2. 乾燥収縮の低減(関連 Q24)

フライアッシュコンクリートはフライアッシュの置換率が高いほどセメント量が少なくなるため、乾燥収縮率が小さくなり、ひび割れが生じにくくなります。

### 3. アルカリシリカ反応の抑制

フライアッシュコンクリートはセメントの水和によって生成する  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  が少なく、ポゾラン反応によって  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  が消費されるため、アルカリシリカ反応を抑制します。

### 4. 水和発熱の抑制(関連 Q25, Q27)

フライアッシュのポゾラン反応による水和発熱量はセメントと比べて小さいため、フライアッシュコンクリートの水和発熱が抑制され、マスコンクリートなどでの温度ひび割れ対策に有効です。

### 5. 水密性、化学抵抗性の向上

フライアッシュセメントの水和生成物は不溶性で緻密な組織であるため、フライアッシュコンクリートは水密性が高いです。また、硫酸塩、海水等に対する化学抵抗性が高いです。

### 6. ワークビリティの向上(関連 Q37, Q39)

フライアッシュは微細な球形をしておりボールベアリング効果により流動性が改善され、単位水量を低減できます。

〔短所〕

### 1. 初期強度発現の遅延(関連 Q29, Q42)

フライアッシュコンクリートは初期材齢の水和反応が緩慢なため、普通コンクリートと比べて初期強度が小さいです。

### 2. 空気連行性の低下(関連 Q34)

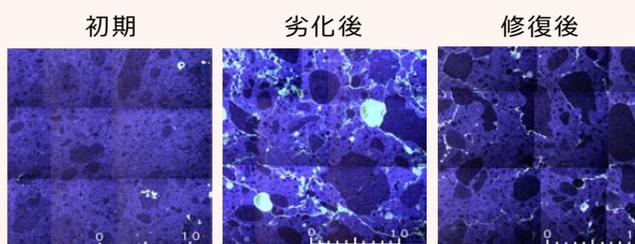
フライアッシュの未燃カーボンが AE 剤を吸着するため、空気連行性が低下し、AE 剤使用量が多くなります。

### 3. 中性化抵抗性の低下(関連 Q28, Q33)

フライアッシュコンクリートはポゾラン反応により組織は緻密になりますが、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$  量が減少するため、中性化の進行が早いです。

### ■ コラム：フライアッシュコンクリートは微細なひび割れを自ら治す能力（自己修復性）を有する

フライアッシュのポゾラン反応は長期的に持続することから、凍結融解や乾燥収縮によって生じた微細なひび割れをポゾラン反応生成物で充填してコンクリート自ら修復する高いポテンシャルを有しています。



## Q23 フライアッシュコンクリートの自己収縮はどの程度でしょうか。ひび割れ防止に有効ですか。

自己収縮とは、「セメントの水和反応の進行によって、コンクリート、モルタル及びペーストの体積が減少し、収縮する現象」(JIS A 0203)と定義されています<sup>1)</sup>。

すなわち、使用するセメント系材料の種類および調合により自己収縮ひずみは異なります。

図 23.1 および 23.2 に自己収縮測定結果の例を示します。

図 23.1 より、混和材無混合のコンクリート(OPC)と比較して、フライアッシュを混合(OPC+FA)すると自己収縮は低減されることが分かります。

図 23.2 より、自己収縮ひずみはフライアッシュの置換率 25%の場合はフライアッシュ無置換(OPC30%)と同程度ですが、置換率 50%の場合は自己収縮が低減できるのが分

かります。

以上より、フライアッシュは自己収縮ひずみによるひび割れ防止に対し、調合(水セメント比など)によりその効果は変わりますが、高強度・高流動においては有効と考えられます。

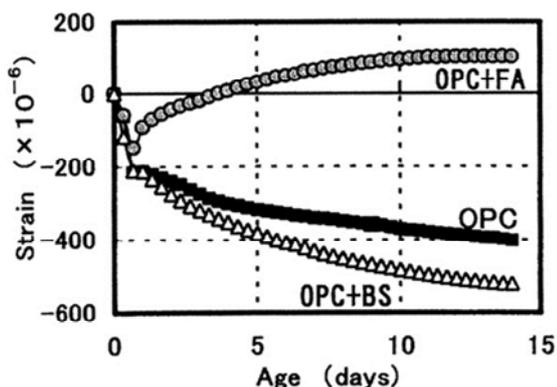


図 23.1 自己収縮測定結果 1<sup>2)</sup>

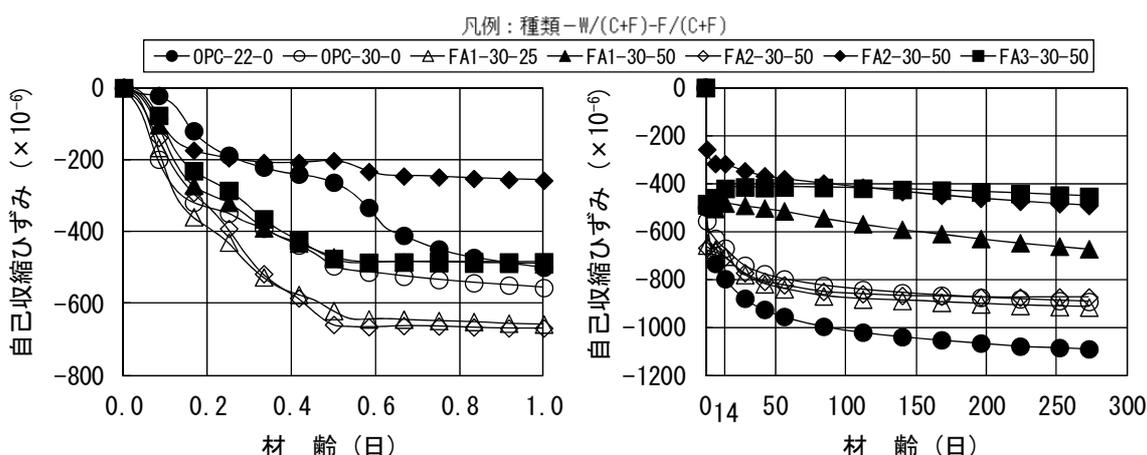


図 23.2 自己収縮測定結果 2<sup>3)</sup>

### 参考文献等

- 1) JIS A 0203「コンクリート用語」
- 2) 矢野めぐみ, 名和豊春, 萩原淳平, 堀田智明: 高流動コンクリートの自己収縮に関する実験的研究, セメント・コンクリート論文集, No.54, pp.673-679, 2000.2
- 3) 林透, 名和豊春, 齋藤敏樹: フライアッシュコンクリートの自己収縮に関する研究 その1 フライアッシュ置換の効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp.103-104, 2003.9

## Q24 フライアッシュはコンクリートの乾燥収縮の大小に影響を与えますか？

乾燥収縮とは、「硬化したコンクリート又はモルタルが乾燥によって収縮する現象」(JIS A 0203)と定義されています<sup>1)</sup>。

コンクリートの乾燥収縮ひずみは、使用材料(骨材品質、セメント種類、混和剤など)および調合(単位水量、水セメント比など)の影響を受けます。

日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説」では、図 24.1 に示すように低熱ポルトランドセメント(L)の乾燥収縮が最も小さく、

次いで早強ポルトランドセメント(H)、中庸熱ポルトランドセメント(M)、フライアッシュセメントA種およびB種(FA,FB)が同じような乾燥収縮ひずみを示しています。また、図 24.2 に示すように、セメントの種類によるひび割れ発生日数は異なり、フライアッシュセメントB種(FB)が最もひび割れ防止に効果があることを示しています。

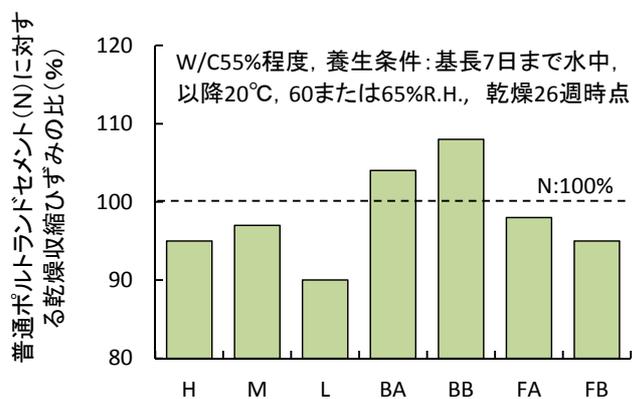


図 24.1 セメントの種類が乾燥収縮ひずみに及ぼす影響 (普通ポルトランドセメントに対する相対比較)<sup>2)</sup>

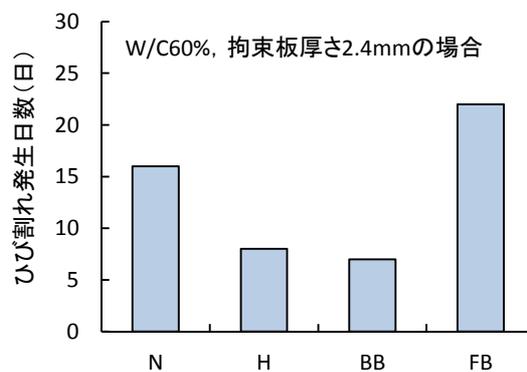


図 24.2 セメントの種類によるひび割れ発生日数の違い<sup>2)</sup>

### 参考文献等

1) JIS A 0203「コンクリート用語」

2) 日本建築学会, 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説, pp.100-117, 2006

## Q25 フライアッシュセメントをマスコンクリートのひび割れ対策に使用する場合の有利な点と不利な点は？

マスコンクリートのひび割れの主な原因は、セメントの水和発熱によるコンクリートの温度上昇です。コンクリートの温度上昇は、セメントの種類および単位セメント量が大きな影響を与えます。

図 25.1 に各種セメントの断熱温度上昇近似曲線<sup>1)</sup>を示します。

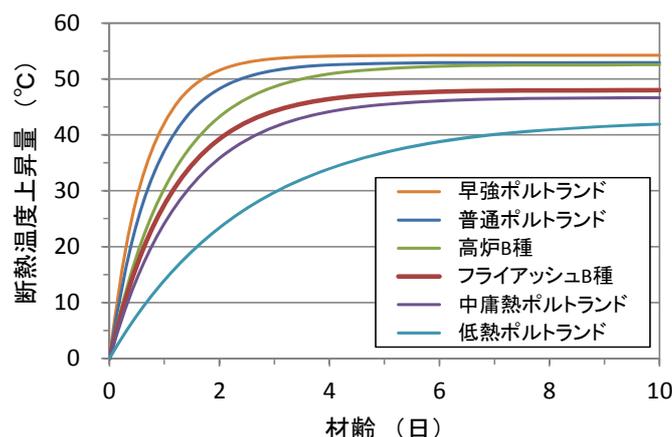
図 25.1 より、早強セメントが最も早く温度が上昇し最も高温になり、次いで普通、高炉 B 種、フライアッシュ B 種、中庸熱、低熱セメントの順に温度上昇が遅くかつ低くなるのが分かります。

しかし、温度上昇が遅いと言うことは、強度発現も遅いことを示します。すなわち、脱型するまでの日数が長くなります。

他方、中庸熱セメントおよび低熱セメントは、北海道において入手するのが難しい場合があります。

以上のように、マスコンクリートの温度ひび割れ対策には、コンクリートの温度上昇が低い低熱セメントが最も有利ですが、強度発現が遅くなることや容易に入手できない可能性があることなどの懸念があります。

しかし、フライアッシュセメントは、低熱セメントより温度上昇は高いですが、普通ポルトランドや高炉 B 種セメントより低く、入手しやすい材料といえます。



【単位セメント量 325kg/m<sup>3</sup>、打込み温度 20°C の場合】

図 25.1 各種セメントの断熱温度上昇近似曲線<sup>1)</sup>

### 参考文献等

1) 日本建築学会, マスコンクリートの温度ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説, p.51, 2008

---

Q26 打ち上がりの色合いや肌は、普通コンクリートの場合と比較しどのようになるのでしょうか？

---

フライアッシュは、写真 26.1 に示すように普通ポルトランドセメントより若干灰白色ですが、フライアッシュセメント B 種(置換率 15%程度)の場合色の違いはほとんどありません。

コンクリートでの打ち上がりの色合いや肌も普通コンクリートと大きな違いはありません。

ただし、施工条件および方法により色ムラができる可能性もありますので、必要に応じて確認されるといいでしょう。



写真 26.1 普通ポルトランドセメント、フライアッシュセメント B 種、フライアッシュ



写真 26.2 普通コンクリートとフライアッシュコンクリート  
(材齢 3 日で脱型, 1 日乾燥)

## Q27 フライアッシュコンクリートの水和熱は、普通コンクリート・早強コンクリートに比べどの程度ですか？

一般にフライアッシュを混和したコンクリートは、普通ポルトランドセメントまたは早強ポルトランドセメントのみを用いたコンクリートと比較して発生する水和熱は小さいとされています。その程度は、フライアッシュを混和する割合によって異なりますが、セメントに対する置換率が大きくなる程、水和熱は低く抑制されます。普通ポルトランドセメントに対しフライアッシュⅡ種を 0, 20, 40, 60%置換したコンクリートについて、簡易断熱温度上昇試験を行った結果<sup>1)</sup>、図 27.1 に示すように単位セメント量が小さく（フライアッシュセメントに対する置換率が大きく）

なるほど、終局断熱温度上昇量が小さくなるのがわかります（北海道のフライアッシュでも同程度の値が報告されています<sup>2)</sup>）。また、粒度分別された分級フライアッシュを用いた高強度コンクリートの発熱特性について検討された例<sup>2)</sup>では、終局断熱発熱量として、セメント量に対して、 $24.9 \times 10^4 \text{ J/kg}$ 、分級フライアッシュ量に対し  $5.8 \times 10^4 \text{ J/kg}$  と報告されています（図 27.2）。フライアッシュは、コンクリートの水和熱を抑制出来、マスコンクリート等、水和熱対策が必要な場合に有効といえます。

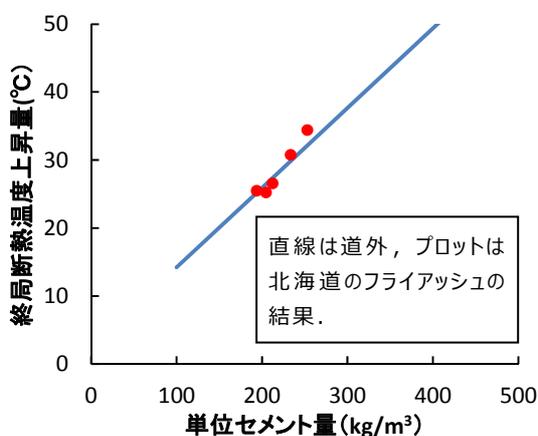


図 27.1 単位セメント量と終局断熱温度上昇量の関係 1)より構成。図中データは 2)より構成

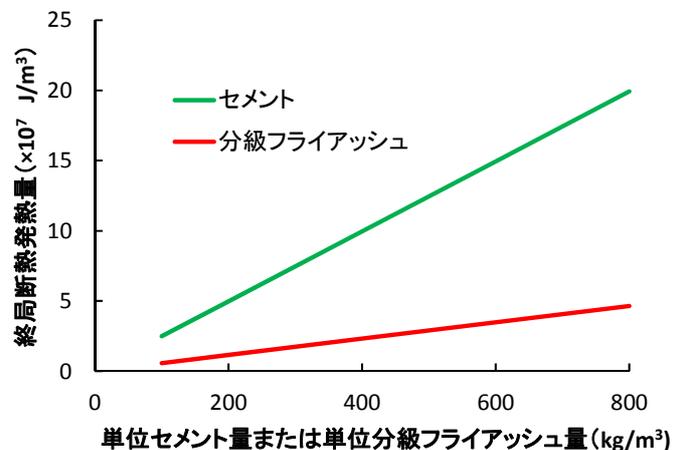


図 27.2 単位セメント量または単位分級フライアッシュ量と終局発熱量の関係 2)より構成

### 参考文献等

- 1) 細川大介他 3 名：フライアッシュ多量添加によるコンクリートの水和熱抑制効果に関する検討，コンクリート工学年次論文集 Vol.33, No.1, pp.179-184, 2011.7
- 2) 齋藤敏樹，開洋介：フライアッシュコンクリートの断熱温度上昇に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，投稿中，2015
- 3) 手島則夫，中村成春，榎田佳寛：高粉末度フライアッシュを使用した高強度マスコンクリートの発熱特性，日本建築学会構造系論文集第 508 号，pp.9-15, 1998.6

## Q28 北海道の屋外でフライアッシュコンクリートを使用する場合，中性化や凍結融解に対して問題ないですか？

フライアッシュを混和したコンクリートは，ポゾラン反応によって水酸化カルシウムが消費されるため中性化進行が早いとされています<sup>1)</sup>。図 28.1 は，28 日圧縮強度と屋外暴露条件の中性化速度係数の関係<sup>2)</sup>を示したものです。これによれば，フライアッシュセメントと普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの自然環境下での中性化速度係数を比較すると，若干大きい傾向が伺えるものの，違いは小さいことがわかります。日本建築学会編「フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説」<sup>1)</sup>では，フライアッシュ II 種で置換率が 20% 以下の場合，耐久設計基準強度の割り増しは不要とされています。

また，北海道のような寒冷地に用いる場合，耐凍害性が問題となります。フライアッシュを混和すると，耐凍害性に影響する空気連行性・

空気量の経時変化・気泡組織に大きな影響を及ぼすことが報告されています<sup>3)</sup>。図 28.2 にフライアッシュを混和したコンクリートの耐凍害性について，気泡間隔係数と耐久性指数の関係を示します。材料・調合に特段の配慮がない場合，フライアッシュを混和すると混和していない場合に比べ耐凍害性が小さくなる傾向がみられます。しかし，フライアッシュ混和について材料・調合に配慮（この実験では専用混和剤の使用）した場合は，両者に大きな違いはない結果となっています。材料・調合に留意することでフライアッシュを混和したコンクリートでも十分な耐凍害性が確保可能といえます。

以上のことから，フライアッシュを混和したコンクリートは，使用する材料や調合に留意することで，北海道の屋外に使用しても耐久性上支障のないものとするのが可能といえます。

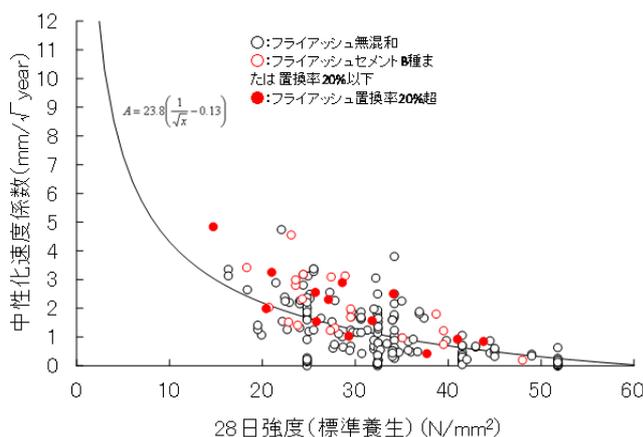


図 28.1 28 日強度と中性化速度係数の関係<sup>2)</sup>より構成

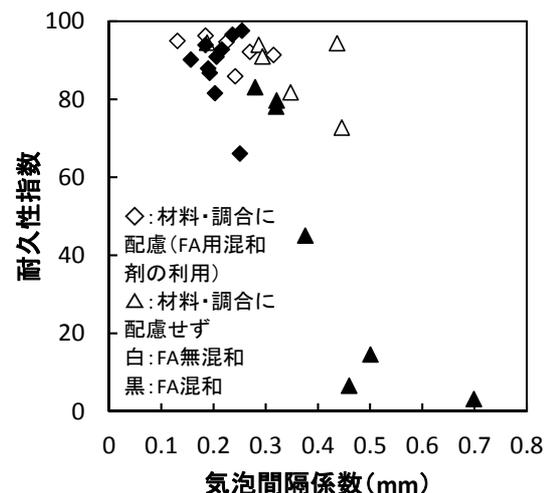


図 28.2 気泡間隔係数と耐久性指数の関係<sup>3)</sup>より構成

### 参考文献等

- 1) 日本建築学会，フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説，pp.32-33，2007
- 2) 長谷川拓哉，千歩修：文献調査に基づく屋外の中性化進行予測，コンクリート工学年次論文集 Vol.28，No.1，pp.665-670，2006.7
- 3) 千歩修，浜幸雄：フライアッシュコンクリートの空気連行性・気泡組織と耐凍害性，日本建築学会構造系論文集第 558 号，pp.1-6，2002.8

## Q29 フライアッシュコンクリートの強度発現は、普通コンクリートと比較して大きく違いますか？

フライアッシュでセメントの一部を置き換えて作製したコンクリートの強度発現は、フライアッシュの粒子が大きいほど、置き換えた量が多いほど、コンクリート温度が低いほど初期の強度が低下します<sup>1)</sup>。

一方で、使用するセメント量を同じにしたコンクリートにフライアッシュを混合した場合（外割）には、フライアッシュを使用しないコンクリートと同等の強度増進を示します。

図 29.1 にフライアッシュⅡ種を使用し、呼び強度をそろえたコンクリートについて、養生温度を変えて強度増進を検討した結果の一例を示します<sup>2)</sup>。

N30 は呼び強度 30 フライアッシュを無混和のコンクリート、FB30 は呼び強度 30 のフライアッシュセメント B 種を使用したコンクリートです。

セメント種類にかかわらず、ほぼ同様の強度発現を示しています。呼び強度を同じとした場合には、初期材齢から普通コンクリートと同等の強度を示すと考えられます。

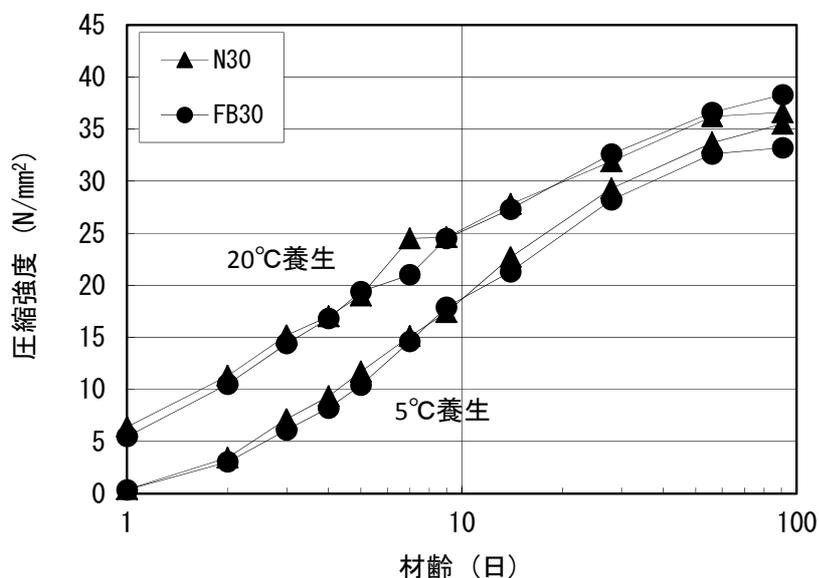


図 29.1 呼び強度が同じフライアッシュコンクリートと普通コンクリートの圧縮強度増進

### 参考文献等

- 1) 日本建築学会：フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説 p.31, 2007
- 2) 開洋介, 齋藤敏樹：フライアッシュコンクリートの強度発現性に関する検討, 日本建築学会 2015 年度大会 (関東) 学術講演梗概集に投稿中

---

## Q30 設計図書にフライアッシュが指定されていない場合、フライアッシュを採用する際の確認申請上の手続きは？

---

確認申請や計画通知を受けた後に普通コンクリートからフライアッシュコンクリートに変更する場合、設計基準強度が同一である限り、建築基準法施行規則第3条の2第九号（構造耐力上主要な部分である部材の材料

又は構造の変更）に合致する材料の変更に該当することから、軽微な変更として取り扱われることが一般的と考えられます。ただし、念のため建築主事の判断を仰ぐことをお勧めします。

表 30.1 建築基準法施行規則 第3条の2（抜粋）

**【計画の変更に係る確認を要しない軽微な変更】**

第3条の2 法第6条第1項（法第87条第1項において準用する場合を含む。）の国土交通省令で定める軽微な変更は、次に掲げるものであって、変更後も建築物の計画が建築基準関係規定に適合することが明らかなものとする。

一～八：略

九 構造耐力上主要な部分である部材の材料又は構造の変更（変更後の建築材料が変更前の建築材料と異なる変更及び強度又は耐力が減少する変更を除き、第十二号の表の左欄に掲げる材料又は構造を変更する場合にあっては、同表の右欄に掲げる材料又は構造とする変更に限る。）

## Q31 設計段階における留意事項はありますか？

構造設計上、普通コンクリートと同様の取り扱いをしてほぼ問題はありません。ただし、「住宅の品質確保の促進等に関する法律」に基づく「日本住宅性能表示制度」において規定される、劣化対策等級（構造躯体等）の等級3もしくは等級2に適合させる場合には、以下に留意する必要があります。

鉄筋コンクリート躯体の劣化対策等級は、「平成13年国土交通省告示第1347号 評価方法基準」において、水セメント比と最小かぶり厚さによって規定されています。フライアッシュセメントを使用する場合、混合物を除いた質量をセメント量として水セメント比を算出することになります<sup>1)</sup>。この水セメント比は配合

計画書に記載される水セメント比よりも大きな数値となりますので、注意を要します。

現在、北海道内で製造されているフライアッシュセメント B 種のフライアッシュ分量は 15±2%として管理されていますが、劣化対策等級における水セメント比を算出する場合には、フライアッシュ分量を製造者に確認する必要があります。

同様に、「長期優良住宅の普及の促進に関する法律」に係る「長期使用構造等とするための措置及び維持保全の方法の基準」<sup>2)</sup>においても、フライアッシュセメントを使用する場合の水セメント比には、混合物を除いた質量を用いることと規定されています。

表 31.1 平成13年国土交通省告示第1347号  
(最終改正平成21年国土交通省告示第354号)における  
評価方法基準の概要(劣化対策等級)

最小かぶり厚さ (右表参照)		水セメント比
等級3	(い)項の部位に応じ, (ろ)項(イ)項	50%以下 (45%以下)
	(い)項の部位に応じ, (ろ)項(ロ)項	55%以下 (50%以下)
等級2	(い)項の部位に応じ, (ろ)項(イ)項	55%以下 (50%以下)
	(い)項の部位に応じ, (ろ)項(ロ)項	60%以下 (55%以下)

(イ) : 軽量コンクリートの水セメント比を示す。

表 31.2 平成21年国土交通省告示第209号  
(最終改正平成26年国土交通省告示第153号)における  
評価方法基準の概要(長期優良住宅)

最小かぶり厚さ (右表参照)		水セメント比
長期 優良 住宅	(い)項の部位に応じ, (ろ)項(イ)項	45%以下
	(い)項の部位に応じ, (ろ)項(ロ)項	50%以下

表 31.3 最小かぶり厚さ

(い)			(ろ)	
部 位			最小かぶり厚さ	
			(イ)	(ロ)
直接土に 接しない 部分	耐力壁以外の壁 又は床	屋 内	2 c m	3 c m
		屋 外	3 c m	4 c m
	耐力, 柱又はは り	屋 内	3 c m	4 c m
		屋 外	4 c m	5 c m
直接土に 接する 部分	壁、柱、床、はり又は基礎の 立上り部分	4 c m	5 c m	
	基礎（立上り部分及び捨て コンクリートの部分を除く。）	6 c m	7 c m	
注) 外壁の屋外に面する部位にタイル貼り、モルタル塗り、 外断熱工法による仕上げその他これらと同等以上の性能 を有する処理が施されている場合にあっては、屋外側の部 分に限り、(ろ)項に掲げる最小かぶり厚さを1 cm減ずるこ とができる。				

### 参考文献等

- 1) 住宅の品質確保の促進等に関する法律に基づく住宅性能評価制度の評価方法基準, 平成13年国土交通省告示第1347号(最終改正平成21年国土交通省告示第354号)
- 2) 長期使用構造等とするための措置及び維持保全の方法の基準, 平成21年国土交通省告示第209号(最終改正平成26年国土交通省告示第153号)

## Q32 フライアッシュコンクリートを用いる設計上のメリットはありますか？

副産物であるフライアッシュを用いることによって環境に配慮した設計が可能となります。例えばフライアッシュセメントは CASBEE(建築環境総合性能評価システム)の環境配慮指標の評価点向上にも寄与し、「躯体材料におけるリサイクル材の使用」の項目に対して評価点の取得が可能となります<sup>1)</sup>。

同様に副産物を利用した環境配慮型のコンクリート材料として高炉セメントも存在しますが、高炉セメントと比較し、フライアッシュセメン

トの方が高いひび割れ抵抗性を有しており<sup>2)</sup>、建築躯体には適していると考えられます。

また、普通コンクリートよりも発熱量が小さいため、例えば低層から中層建物の基礎梁など、本格的なマスコンクリート対策を要しない、やや大きな断面に対しては、低発熱型セメントの代替として、コストを掛けずに温度ひび割れ対策ができることもメリットの一つと考えられます。

表 32.1 CASBEE 評価マニュアル (抜粋)<sup>1)</sup>

2.3 躯体材料におけるリサイクル材の使用	
■適用	■用途
基本/実施・竣工	事・学・物・飲・会・病・ホ・工・住
用途	事・学・物・飲・会・病・ホ・工・住
レベル 1	(該当するレベルなし)
レベル 2	(該当するレベルなし)
レベル 3	主要構造部にリサイクル資材をひとつも用いていない
レベル 4	(該当するレベルなし)
レベル 5	主要構造部にリサイクル資材を用いている
■解説	
<p>本項目は躯体材料におけるリサイクル資材の使用状況を評価する。評価対象は(財)日本環境協会が認定している「エコマーク商品」及び「国等による環境物品等の調達等の推進等に関する法律(グリーン購入法)(平成12年5月制定)」で認定されている「特定調達品目」の内、躯体材料とする。</p> <p>極端に少量の場合を除き、一部でも使用されていたら、使用されているものとする。木造建築物の基礎にリサイクル資材を使用している場合も、主要構造部にリサイクル資材を使用しているものとする。</p>	
■リサイクル資材の例	
①グリーン調達品目(公共工事)	
高炉スラグ骨材, フェロニッケルスラグ骨材, 銅スラグ骨材, 電気炉酸化スラグ骨材, 高炉セメント(コンクリート), FAセメント(コンクリート), エコセメント(コンクリート), 製材など, 再生木質ボード	
②エコマークを取得した「木材などを使用したボード」(エコマーク商品類型 111)	
③エコマークを取得した「間伐材, 再・未利用木材などを使用した製品」(エコマーク商品類型 115)	
④エコマークを取得した「建築製品(内装工事関係用資材)」(エコマーク商品類型 123)	

### 参考文献等

- 1) 日本サステナブル・ビルディング・コンソーシアム「建築物総環境性能評価システム CASBEE 新築評価マニュアル(2014版)」
- 2) 日本建築学会 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御設計・施工指針(案)・同解説, pp.100-117, 2006

## Q33 中性化抵抗性を確保するためにはどのような対策が必要ですか？

一般的に、フライアッシュコンクリートのデメリットとして、中性化抵抗性が低いことが挙げられます。しかし、この特性は使用材料や調合方法などによって大きく異なります。

内割とする調合では、置換率の増加（水ポルトランドセメント比の増加）に伴って、中性化抵抗性が低下する傾向が認められています。

一方、外割りとする調合、内割りで水ポルトランドセメント比が同じ調合では、フライアッ

シュを混和していないコンクリートと同等の中性化抵抗性が示されます<sup>1)</sup>。

中性化抵抗性に配慮し、耐久性を確保するためには、鉄筋のかぶり厚さを適正に確保するとともに、計画供用期間に応じた水セメントおよび耐久設計基準強度を満足させることが重要です。

表 33.1 および表 33.2 に示すような指針類における水セメント比の最大値などを参考にし、設計仕様を決定することを推奨します。

表 33.1 フライアッシュⅡ種を混和材として使用する場合（置換率を 20%以下）  
水結合材比 W/B, 水ポルトランドセメント比 W/C の最大値<sup>2)</sup>

計画供用期間		耐久設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	セメントの一部と置換する場合 (内割り) ※ 単位結合材量 290kg/m <sup>3</sup> 以上	細骨材の一部を置換する場合 (外割り) ※ 単位セメント量 270kg/m <sup>3</sup> 以上
長期	約 100 年	30	W/B : 45%	W/C : 50%
標準	約 65 年	24	W/B : 50%	W/C : 55%
短期	約 30 年	18	W/B : 60%	W/C : 65%

表 33.2 フライアッシュセメント B 種を使用する場合  
水セメント比 W/C の最大値<sup>3)</sup>

計画供用期間		耐久設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	フライアッシュセメント B 種 ※ 単位セメント量 270kg/m <sup>3</sup> 以上
長期	約 100 年	30	W/C : 60%
標準	約 65 年	24	
短期	約 30 年	18	

### 参考文献等

- 1) 日本建築学会, フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説, pp.162-163, 2007
- 2) 日本建築学会, フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説, pp.4-5, 2007
- 3) 日本建築学会, 建築工事標準仕様書 JASS5, pp.10-18, 2009

## Q34 空気量を確保するため、混和剤の変更が必要ですか？

コンクリートに空気を連行させるためには、AE 剤を使用します。一般的なコンクリートでは、AE 剤の添加量を増加させると、連行される空気量も増えていきます。しかしながら、フライアッシュコンクリートでは、AE 剤を増やしても空気量が増加しない場合や時間の経過に伴い空気量が急激に低下する場合があります。

これらの現象はフライアッシュに含まれる未燃炭素に AE 剤が吸着されるために起こります。未燃炭素とは、フライアッシュの未燃焼分中に含まれる活性炭素のことを示します。活性炭素は、有機物を吸着する性質を有するため、AE 剤や減水剤などの成分を吸着してしまい、その効果を鈍らせます。未燃炭素の量が増えると吸着される混和剤量が増えるため、一般的なコンクリートと比べて所要の空気量を得る

ために必要な混和剤量は増加します。

フライアッシュの JIS 規格では、未燃物質の含有量を「強熱減量」で評価し、その種類ごとに上限値を規定しています。

各混和剤メーカーではフライアッシュ用 AE 剤として未燃炭素の影響を受けにくい AE 剤を開発しています。フライアッシュ用 AE 剤を用いることで、フライアッシュコンクリートにおいても安定した空気量を確保するとともに、時間経過に伴う空気量の低下を抑制することができます。

これらのことから、フライアッシュを用いない一般のコンクリートと比較して、空気量が不安定となる場合や AE 剤の使用量が過大となる場合については、フライアッシュ用 AE 剤を使用する必要があります。

表 34.1 フライアッシュの強熱減量  
(JIS A 6201 : 2015)

種類	強熱減量 (%)
I 種	3.0 以下
II 種	5.0 以下
III 種	8.0 以下
IV 種	5.0 以下

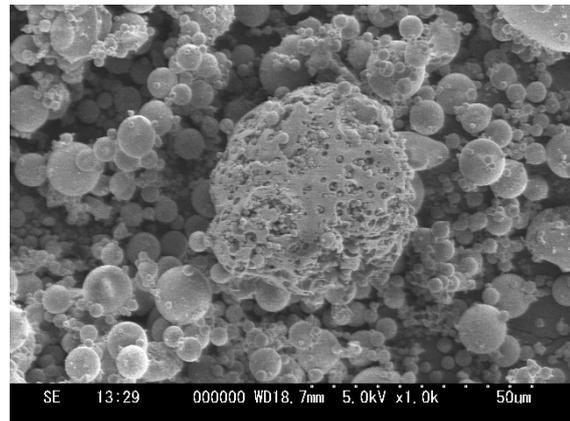


写真 34.1 フライアッシュ中の未燃粒子

## Q35 フライアッシュコンクリートに大臣認定品はありますか？

1998年に改正・2000年に施行された建築基準法第37条（建築材料の品質）において、コンクリートは指定建築材料に指定されました。同条第一号では、建築物の基礎、主要構造部等に使用するコンクリートの品質は、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）の規定に適合するものと定められています。

また、同条第二号では、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）の規定に適合しないコンクリートに対しては、品質に関する技術的

基準に適合するものであることについて国土交通大臣の認定を取得することが規定されていません（これを大臣認定と呼びます）。

大臣認定を取得するには指定性能評価機関で性能評価を受ける必要があります。フライアッシュコンクリートにおいても例外ではありません。

札幌近郊において、フライアッシュコンクリートに関する大臣認定を取得している工場は1工場です。

表 35.1 レディーミクストコンクリートの種類（JIS A 5308）

コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法 mm	スラブ又はスランプフロー <sup>(1)</sup> cm	呼び強度													曲げ 4.5	
			18	21	24	27	30	33	36	40	42	45	50	55	60		
普通コンクリート	20, 25	8, 10, 12, 15, 18	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—
		21	—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—	
	40	5, 8, 10, 12, 15	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
軽量コンクリート	15	8, 10, 12, 15, 18, 21	○	○	○	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	
舗装コンクリート	20, 25, 40	2, 5, 6, 5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	
高強度コンクリート	20, 25	10, 15, 18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—	
		50, 60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	○	○	—	

[注] (1) 荷卸し地点の値であり、50cm及び60cmがスランプフローの値である。

## Q36 フライアッシュセメントを用いる場合と混和材として用いる場合に性状の差はありますか？

フライアッシュコンクリートの製造には、フライアッシュセメントを使用する方法（セメント方式）とフライアッシュを混和材として使用する方法（混和材方式）があります。

フライアッシュセメントは、フライアッシュをセメント工場等で混合し製造した混合セメント（JIS R 5213）です。フライアッシュセメントはフライアッシュの混合比率からA種、B種、C種に区別されていますが、北海道内ではフライアッシュセメントB種が流通しています。

一方、フライアッシュを別途計量し、混和材として用いる方法では、レディーミクストコンク

リート工場がセメントとフライアッシュを別々に受け入れ計量し、コンクリートを製造します。混和材として使用する場合、北海道内ではフライアッシュⅡ種が使用されています。

いずれの場合も、フライアッシュの種類およびセメントとの混合比率が同等であれば製造されたコンクリートの性状に差はありません。

但し、フライアッシュを細骨材の一部と置換する場合（外割り）には、細骨材の品質や調合方法により、コンクリートの粘性が高くなるなど、性状に差が生じる場合があります。

### (1) セメント方式

- ①フライアッシュセメントB種を使用して製造する方法

### (2) 混和材方式

- ①フライアッシュⅡ種を普通ポルトランドセメントの一部と置換（内割り）して製造する方法
- ②フライアッシュⅡ種を細骨材の一部と置換（外割り）して製造する方法

図 36.1 北海道における標準的なフライアッシュコンクリートの製造方法

表 36.1 フライアッシュセメントの種類及びフライアッシュの分量  
(JIS R 5213:2009)

種類	フライアッシュの分量（質量%）
A 種	5 を超え 10 以下
B 種	10 を超え 20 以下
C 種	20 を超え 30 以下

## Q37 フライアッシュコンクリートの単位水量は普通コンクリートと同等ですか？

フライアッシュは、微粉炭の燃焼により熔融した灰分が飛散し冷却され球状になった微細粒子です。

セメントの一部に球形粒子であるフライアッシュを置換した場合、ボールベアリング効果により、普通のコンクリートと比べて流動性が改善され、単位水量を低減させることができます。また、同一のコンシステンシーを得るための単位水量は、フライアッシュの置換率の増加に伴い減少します。特に、同一のスランプを得るための単位水量は、フライアッシュの粒子が細かく、置

換率が大きいほど低減します。

細骨材の一部をフライアッシュと置換した場合、細骨材の粒形・粒度が悪いほど、単位水量の低減に効果を発揮します。

最近では、コンクリート構造物の高性能化のニーズに応じ、フライアッシュの性質を利用して高流動コンクリートなどに使用されています。

高品質・高耐久性のコンクリートを製造するためには、良質なフライアッシュは大きな役割を果たす材料といえます。

● フライアッシュをセメントの一部と置換する場合  
置換率の増加に伴い、単位水量は減少する

● フライアッシュを細骨材の一部と置換する場合  
細骨材の品質が悪いほど、単位水量の低減効果は大きい

図 37.1 フライアッシュの使用方法与単位水量の関係

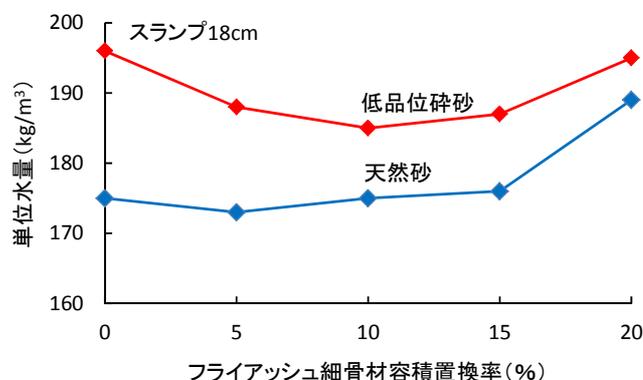


図 37.2 FA 細骨材置換率と単位水量の関係<sup>1)</sup>

参考文献等

1) 日本建築学会, フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説, p.51, 2007

## Q38 生コン工場でのフライアッシュの保管方法に注意点はありますか？

フライアッシュの生コン工場での保管は、セメント同様にサイロでの保管となります。

保管の注意点は、一般的に使用するセメントと同様に、フライアッシュが空気中の水分を吸収し劣化することを防止するため、空気の流通を少なくするか、遮断することが大切です。



写真 38.1 フライアッシュ紙袋 外観

試験練り等で使用するため紙袋の荷姿で保管する場合は、セメント同様に屋内に保管し、湿気等の水分に注意が必要です。

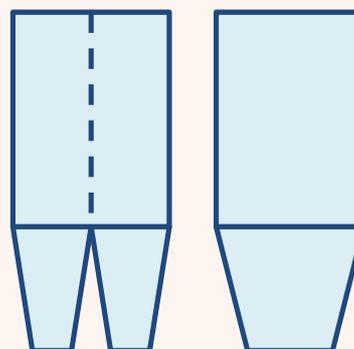


写真 38.2 フライアッシュサイロ 外観

### ■コラム 『フライアッシュの流動性』

フライアッシュは、球形の微細粒子であることから、コンクリートに使用した場合に流動性を付与する効果があります。その流動性は、握ってもつかめないほどで、中仕切り壁を設け分割したサイロに保管した場合、隔壁の溶接継目から漏れ出すこともあったことから、現在では中仕切り壁のない独立したサイロでの保管が多くなっています。

フライアッシュは、流動性が高くサイロ壁面への付着が少ないため、精度の高い残量管理が可能です。



分割タイプ

独立タイプ

図 38.2 サイロ形状の概要図

## Q39 フライアッシュコンクリートの施工性を教えてください。

コンクリート打込み作業で材料の施工性を判断する時、主にスランプ保持、ポンパビリティー、ワーカビリティー、充填、締固め、上面仕上の観点から検討されます。北海道内で流通しているフライアッシュを使用した生コンクリートについて、これらはいずれも普通コンクリートと大きな差はみられません。微細な球状の粒子であるフライアッシュの特性からフライアッシュコンクリートの一般的傾向としてワーカビリティーの改善、粘性の増大によるポンパビリティーや充填性の低下、

凝結時間やブリーディング時間の増加が明らかになっています。これらはフライアッシュの品質や使用量（置換率）にも起因し、現在の道内規格品コンクリートで大きな問題となることはありません。

一方、低強度のコンクリートでは、単位セメント量が少なく分離しやすいため、フライアッシュを細骨材の一部として混和（外割）して粉体量を増加させることで、ワーカビリティーやポンパビリティーを改善することができます。

### ■コラム 『フライアッシュコンクリートの施工実績』

場内プラントを設置し、約 5,400t のフライアッシュを混和材として使用した製造・品質管理の紹介記録<sup>1)</sup>の‘むすび’から

#### 6. おわりに

フライアッシュは、石炭火力発電所から発生する産業廃棄物として捉えられがちだが、一方では貴重な再生資源とも考えられ、建設材料として CO<sub>2</sub>削減や天然資源保護に役立てられることが望ましい。ところで、リサイクル材には、工夫すれば使えるものは多いが、「また使いたい」という気持ちにさせるものは少ないように思われる。しかし、今回用いたフライアッシュは、「また使いたい」と思わせるものであった。それは品質の安定したフライアッシュコンクリートの製造により、良好な躯体の施工をなし得たことによるものである。地味ではあるが、コツコツと成功事例を積み重ね、リピーターを増やすことが、フライアッシュの普及推進において重要なことではないかと考えられる。

地産地消される建設材料として、品質および供給の安定化、低価格化が進み、さらに成功事例が積み重ねられリピーターが増えることに期待したい。

### ■コラム 『北海道内における官公庁での実績』

最高裁判所発注の札幌高地裁庁舎耐震改修工事では、厚さ 1,500mm の基礎スラブにフライアッシュコンクリートが使用されています。

#### 参考文献

- 1) 黒田泰弘, JR 博多シティーの建設におけるフライアッシュコンクリートの利用, コンクリート工学, Vol.52 No.5, pp.432-438, 2014.5

## Q40 フライアッシュコンクリートの構造体強度補正值 S は？

レディーミクストコンクリートの発注に際して、呼び強度を指定することになります。この呼び強度は、耐久性を確保するための水セメント比の最大値と調合管理強度を満足するように定めることとなります。

調合管理強度は、品質基準強度（設計基準強度もしくは耐久設計基準強度のうち、大きい方の値をいう。）に構造体強度補正值を加えた値として定義されています。

表 40.1 及び表 40.2 に示されるように、現

行指針類における構造体強度補正值  $mS_n$  は  $m$  を 28 日、 $n$  を 91 日としていることに留意する必要があります。一般的な構造部材に関して、 $m$  日を 28 日以降 91 日以内に延長する場合には、構造体コンクリート強度が確保できない可能性もありますので、試験や信頼できる資料によって検証することが必要です。

なお、 $m$  日を 28 日以降とするマスコンクリートに関しては、「Q41 マスコンクリートの構造体強度補正值は」を参照してください。

表 40.1 構造体強度補正值 S の標準値

日本建築学会 JASS5 (2009 年)<sup>1)</sup>、公共建築協会公共建築工事標準仕様書 (平成 25 年)<sup>2)</sup> 抜粋

セメントの種類	m	n	打込みから材齢 28 日までの予想平均気温	
			8℃以上	0℃以上 8℃未満
普通ポルトランドセメント	28 日	91 日	8℃以上	0℃以上 8℃未満
フライアッシュセメント B 種	28 日	91 日	9℃以上	0℃以上 9℃未満
構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ (N/mm <sup>2</sup> )			3	6

表 40.2 構造体強度補正值 S の標準値

日本建築学会 フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説 (2007 年)<sup>3)</sup> 抜粋

セメントの種類	m	n	打込みから材齢 28 日までの予想平均気温		
			16℃以上 25℃未満	9℃以上 16℃未満	4℃以上 9℃未満
普通ポルトランドセメント	28 日	28 日	16℃以上 25℃未満	9℃以上 16℃未満	4℃以上 9℃未満
※混和材としてフライアッシュを使用する場合	28 日	91 日	9℃以上 16℃未満	4℃以上 9℃未満	2℃以上 4℃未満
構造体強度補正值 $_mS_n$ (N/mm <sup>2</sup> )			3	6	9

$m$  : 調合管理強度を定めるための基準とする材齢で、原則として 28 日です。この材齢は JIS A 5308 における「呼び強度を保証する材齢」に対応させる必要があります。

$n$  : 構造体コンクリート強度が品質基準強度を保証する材齢で、91 日が標準です。この材齢は旧指針類では 28 日としていましたが、JASS5、公共建築工事標準仕様書において、それぞれ 2009 年、平成 22 年版から 91 日に改定されています。この材齢の長期化に伴って、現行指針類に示されている構造体強度補正值 S は旧指針に比べ減少しています。なお旧指針類では、この材齢は「構造体コンクリートの強度管理材齢」とも呼ばれていました。

### 参考文献等

- 1) 日本建築学会, 建築工事標準仕様書 JASS5, p.17, 2009
- 2) 国土交通大臣官房官庁営繕部, 公共建築工事標準仕様書 (建築工事編) 平成 25 年版, pp.53
- 3) 日本建築学会, フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説, p.7, 2007

## Q41 マスコンクリートの構造体強度補正值 S は？

部材断面が大きく、セメント水和熱に起因する温度上昇によって有害なひび割れが発生するおそれがあるマスコンクリートに関しては、調合強度を定めるための基準とする材齢m日を28日以上91日以内に定めることができます。材齢m日を延長し、単位セメント量を低減することは、マスコンクリートの調合上の対策において最も有効な方法です。

JASS5では、表41.1に示すようにマスコンクリートに対しても一般部材と同等の構造体強度補正值(m=28, n=91)が示されています。マスコンクリートが適用されるような大断面部材の構造体強度補正值に関して、材齢m日を28日以降とした方が合理的と判断できるが、その強度増進分は調合条件によって

大きく異なるため、材齢m日を延長した構造体強度補正值を示さずに、試験などによって定めることにしています。

表41.2に示される指針においては、マスコンクリートでは長期的な強度増進や養生が期待できるものとして、材齢m日を28日以降とする標準値が示されています。但し、温度ひび割れを低減し、構造体コンクリートの品質を確保する観点から、この調合上の対策のみに留まらず、材料、調合、養生方法などを含めた総合的な対策を講じることが重要です。

なお、マスコンクリートが適用される部材の最小断面寸法は、壁状部材80cm、マット状・柱状部材100cm以上が目安となります。

表 41.1 構造体強度補正值 S の標準値 (マスコンクリート)

日本建築学会 JASS5 (2009年)<sup>1)</sup>、公共建築協会公共建築工事標準仕様書(平成25年)<sup>2)</sup>抜粋

セメントの種類	m	n	打込みから材齢28日までの予想平均養生温度	
普通ポルトランドセメント	28日	91日	8℃以上	0℃以上8℃未満
フライアッシュセメントB種	28日	91日	9℃以上	0℃以上9℃未満
構造体強度補正值 $_{28}S_{91}$ (N/mm <sup>2</sup> )			3	6

注1) 暑中期間を除く。

表 41.2 構造体強度補正值 S の標準値 (マスコンクリート)

日本建築学会 フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説(2007年)<sup>3)</sup>抜粋

セメントの種類	m	n	材齢n日までの予想平均養生温度(℃)		
普通ポルトランド ※フライアッシュの置換率は30%以下とする。	28日	28日	16℃以上	9℃以上16℃未満	4℃以上9℃未満
		56日	4℃以上	2℃以上4℃未満	-
		91日	2℃以上	-	-
	56日	56日	17℃以上	10℃以上17℃未満	6℃以上10℃未満
		91日	7℃以上	3℃以上7℃未満	2℃以上3℃未満
		91日	17℃以上	10℃以上17℃未満	6℃以上10℃未満
構造体強度補正值 $_mS_n$ (N/mm <sup>2</sup> )			3	6	9

### 参考文献等

- 1) 日本建築学会, 建築工事標準仕様書 JASS5, p.554, 2009
- 2) 国土交通省大臣官房官庁営繕部, 公共建築工事標準仕様書(建築工事編)平成25年版, p.76
- 3) 日本建築学会, フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説, p.19, 2007

## Q42 フライアッシュコンクリートの寒中適用期間における使用は問題ないですか？

日本建築学会「寒中コンクリート施工指針・同解説」<sup>1)</sup>では、JISR5213 フライアッシュセメントに適合するセメントは、低温による強度増進の遅れに配慮して使用することができるとしています。

日本建築学会「フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説」<sup>2)</sup>では 11 章に「寒中コンクリート工事」が示されています。フライアッシュをセメントの一部と置換し結合材として使用すると、コンクリートの凝結と強度増進が遅れ、物性的にフライアッシュコンクリートを寒中で用いる強度上のメリットがない

としています。しかしながら、細骨材の一部と置換するなどの場合は、寒中コンクリート工事に使用するメリットがあるとされています。

表 42.1 には、初期養生期間に予想される養生温度と圧縮強度  $5\text{N/mm}^2$  が得られるための日数を呼び強度に対応させて整理した表<sup>3)</sup>を示します。2, 5℃では普通ポルトランドセメントに比べて、若干多くの日数を必要としますが、大差ありません。

信頼できる資料に基づく計画と、しっかりとした管理を行うことで、問題のない寒中施工が可能と考えられます。

表 42.1 圧縮強度  $5\text{N/mm}^2$  が得られる材齢 (AE 減水剤使用)<sup>3)</sup>

セメントの種類	呼び強度	調合強度	養生温度に対応する養生日数(日)				
			2℃	5℃	10℃	15℃	20℃
普通ポルトランドセメント	21	25	5	4	3	2	1.5
	24	28	5	3.5	2.5	2	1.5
	27	31	4.5	3.5	2.5	2	1.5
	30	35	4	3	2	1.5	1.5
	33	38	4	3	2	1.5	1
	36	42	3.5	3	2	1.5	1
	40	46	3.5	2.5	2	1.5	1
早強ポルトランドセメント	21	25	3.5	2.5	1.5	1	1
	24	28	3.5	2.5	1.5	1	1
	27	31	3	2.5	1.5	1	0.5
	30	35	3	2.5	1.5	1	0.5
	33	38	3	2	1.5	1	0.5
	36	42	3	2	1.5	1	0.5
	40	46	3	2	1.5	1	0.5
高炉セメントB種	21	25	9	6.5	4.5	3	2
	24	28	8	6	4	2.5	2
	27	31	7.5	5.5	3.5	2.5	1.5
	30	35	6.5	5	3	2	1.5
	33	38	6	4.5	3	2	1.5
	36	42	5.5	4	2.5	2	1.5
	40	46	5	4	2.5	1.5	1
フライアッシュセメントB種	21	25	6	4.5	3	2.5	2
	24	28	5.5	4	3	2.5	1.5
	27	31	5	4	2.5	2	1.5
	30	35	5	3.5	2.5	2	1.5
	33	38	4.5	3.5	2.5	2	1
	36	42	4.5	3	2	1.5	1
	40	46	4	3	2	1.5	1

### 参考文献等

- 1) 日本建築学会, 寒中コンクリート施工指針・同解説, p.5, 2010
- 2) 日本建築学会, フライアッシュを使用するコンクリートの調合設計・施工指針・同解説, pp.68-73, 2007
- 3) 日本建築学会, 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事, p.297, 2009

## Q43 フライアッシュコンクリートに関する問い合わせ先は？

フライアッシュコンクリートの製造・出荷に関しては、各地域の生コンクリート協同組合またはフライアッシュコンクリートの JIS 認証工場が問い合わせ先になります。また、フライアッシュやフライアッシュコンクリートの品質などに関しては、フライアッシュ販売者に問い合わせることになりま

す。

フライアッシュコンクリートは計画調合や使用材料によって異なる特性を示しますので、採用にあたってはその使用目的を明確にすることが重要です。

表 43.1 フライアッシュコンクリートの JIS 認証工場が所属する生コンクリート協同組合

所 属	工場数	住 所	電 話	
協 同 組 合	札幌生コンクリート協同組合	10	札幌市白石区東札幌 1 条 4 丁目 24-5	011-832-5110
	後志生コンクリート協同組合	1	倶知安町南 3 条東 6 丁目 2	0136-22-1710
	岩宇生コンクリート協同組合	2	共和町梨野舞納 124 番地	0135-62-7150
	苫小牧生コンクリート協同組合	7	苫小牧市入舟町 2 丁目 5-11	0144-34-1431
	空知生コンクリート協同組合	1	滝川市栄町 4 丁目 9-1	0125-24-6024
	室蘭生コンクリート協同組合	1	室蘭市東町 2-21-10	0143-43-1186
	西胆振生コンクリート協同組合	1	伊達市末永町 205 番地 2	0142-23-2115
	旭川地方生コンクリート協同組合	1	旭川市永山 1 条 19 丁目 1-13	0166-48-3911
	富良野地区生コンクリート協同組合	1	中富良野町東町 6 番 14 号	0167-44-4674
	函館生コンクリート協同組合	1	北斗市清水川 142 番地 29	0138-77-2277
協同組合に所属していない工場	9	資料 1 参照		

表 43.2 フライアッシュ販売者

会 社 名	住 所	電 話
北電興業(株)土木環境部 石炭灰技術営業 G	札幌市中央区北 1 条東 3 丁目 1 番地	011-261-1484

## Q44 フライアッシュコンクリートの2次製品はありますか？

北海道内の12工場でフライアッシュコンクリートを使用した2次製品が製造されています。

このうちの1工場ではフライアッシュを使用した高流動コンクリートを用いて、建築用PCカーテンウォールが製造されています。それ以外の工場における製品品目は、コンクリートポール、鉄筋コンクリートU型類、鉄筋コンクリート管

類、擁壁類、縁石類、雨水桝類、環境製品(ブロック)などです。

PCカーテンウォールに使用するフライアッシュ高流動コンクリートはFaLC(ファルコ)という名称で呼ばれ、全国3社の建築プレキャストメーカーが研究会(FaLC研究会)を設立し、実用新案を取得しています。

表 44.1 フライアッシュコンクリートを使用した2次製品

製品品目	
PCカーテンウォール	擁壁類
コンクリートポール	縁石類
鉄筋コンクリートU型類	雨水桝類
鉄筋コンクリート管類	環境製品(ブロック)



写真 44.1 FaLC 使用例 (写真提供, 三暁プレコンシステム, FaLC 研究会会員)

## Q45 フライアッシュコンクリートでは、普通コンクリートに比べどの程度の CO<sub>2</sub> 削減が期待できますか？

環境省は、地球温暖化対策における CO<sub>2</sub> 排出削減対策の一つとして混合セメントの利用拡大を推進しています。

フライアッシュセメントはセメント製造時の CO<sub>2</sub> が削減されることから、コンクリートの CO<sub>2</sub> も削減できます<sup>1)</sup>。

LCI データからセメント製造時の CO<sub>2</sub> 削減量を算定すると、フライアッシュセメント B 種では、普通ポルトランドセメントと比較し 1kg あたり 16%の削減ができます。

また、コンクリートにフライアッシュセメント B 種を使用する場合、図 45.1 に示すような試算条件に対してはコンクリート 1,000m<sup>3</sup> あたり約 28t の CO<sub>2</sub> が削減できることとなります。これは、スギの木（40 年生）1 本が 1 年間に吸収する CO<sub>2</sub> 量（8.8 kg/年<sup>2)</sup> で換算すると約 3,200 本分に相当します。

なお、具体的な CO<sub>2</sub> 削減量については、使用工場の調合条件を用いて算出する必要があります。

- LCI データによるセメント製造時の CO<sub>2</sub> 発生量<sup>1)</sup>
  - ・普通ポルトランドセメント(N) : 764.3g/kg
  - ・高炉セメント B 種(BB) : 444.1g/kg
  - ・フライアッシュセメント B 種(FB) : 643.4g/kgN と比較する場合の 1kg あたりの CO<sub>2</sub> 発生量  
BB : 42%削減, FB : 16%削減  
(FB の削減率 :  $(1-643.4/764.3) \times 100 = 16\%$ )

- フライアッシュコンクリートの CO<sub>2</sub> 削減量の試算例  
札幌 A 工場の調合（30-15-20, 呼び強度を保證する材齢 28 日の場合）
  - ・普通コンクリートの単位セメント量(N) : 355kg/m<sup>3</sup>
  - ・フライアッシュコンクリートの単位セメント量(FB) : 378kg/m<sup>3</sup>N と比較する場合の 1m<sup>3</sup> あたりの CO<sub>2</sub> 削減量  
 $N (764.3\text{g/kg} \times 355\text{kg/m}^3) - \text{FB}(643.4\text{g/kg} \times 378\text{kg/m}^3) = 28,121\text{g/m}^3$   
1,000m<sup>3</sup> あたりの削減量 : 約 28t

図 45.1 CO<sub>2</sub> 削減の試算例

### 参考文献等

1) セメント協会, セメントの LCI データの概要, 2013.7

2) 林野庁ホームページ, 森林はどのぐらいの量の二酸化炭素を吸収しているの？

# 資 料

資料1．フライアッシュコンクリートの JIS 認証工場

資料2．北海道におけるフライアッシュコンクリートに関するアンケート調査結果

資料3．北海道におけるフライアッシュコンクリートの調合に関する調査結果

資料1. フライアッシュコンクリートのJIS認証工場

(平成27年3月作成)

No.	工場名称		地区	組合加入	FA使用方法	添加率(%) [添加量] (kg)	セメント 置換	細骨材 置換	調合					所在地	電話番号	備考	
									呼び強度	スランブ (cm)	粗骨材 (mm)	呼び強度 保証材齢 (日)	高減水型 AE減水剤				高性能 減水剤
1	會澤高圧コンクリート(株)	白石工場	札幌	○	混和材方式 (普通ポルト ランドセメン ト+フライ アッシュⅡ 種)	10, 15	○		18~45	8~21	20	28, 56		○	札幌市白石区菊水上町4条4丁目15-3	011-814-2841	
2	會澤高圧コンクリート(株)	清田工場	札幌	○		15	○		27~40	8~21	20	28, 56	○		札幌市清田区平岡1条4丁目302番2	011-881-7891	
3	會澤高圧コンクリート(株)	苫小牧工場	苫小牧	○		15	○		18~40	8~21	20, 40	28, 56			苫小牧市入船町2丁目10	0144-31-4181	
4	岡本興業(株)	札幌生コン工場	札幌	○		15		○	18~40	8~18	20	28, 56			札幌市真駒内本町1丁目1番1号	011-831-6156	高強度:大臣認定
5	北海道デンカ生コンクリート(株)		札幌	○		15	○		18~40	8~21	20	28, 56	○		札幌市手稲区西宮の沢4条2丁目3番40号	011-663-5601	
6	北海道ティーシー生コン(株)	札幌工場	札幌	○		15	○		18~40	8~21	20	28, 56			札幌市東区苗穂町1丁目2番1号	011-731-1121	
7	越智化成(株)	伊達工場	西胆振			[40]		○	18~40	8~21	25	28	○		伊達市長和町245-45	0142-21-2567	
8	越智化成(株)	苫小牧工場	苫小牧	○		[60]		○	18~40	8~21	25	28			苫小牧市字沼ノ端2番地89	0144-55-0585	
9	越智化成(株)	富良野工場	富良野	○		[30]		○	18~30	8~21	20	28	○		富良野市字山部2388-25	0167-39-6565	
10	越智化成(株)	比布工場	旭川	○		[40]		○	18~40	8~21	20	28			上川郡比布町北4線4号	0166-58-9218	
11	越智化成(株)	長万部工場	北渡島			[30]		○	18~40	8~21	20	28			山越郡長万部町字長万部333-1	01377-2-4650	
12	越智化成(株)	北見工場	北見			[80]		○	18~40	8~21	25	28			北見市端野町緋牛内548-1	0157-57-2180	
13	道南生コン(株)	洋蹄工場	後志	○		[40]		○	18~40	5~21	20, 40	28	○		虻田郡京極町字川西124番地	0136-42-3511	
14	東洋コンクリート(株)	北央工場	札幌			[60]		○	18~40	8~21	25	28			北広島市大曲772番地	011-377-6662	
15	東洋コンクリート(株)	銭函工場	札幌			[40]		○	18~40	8~21	20	28	○		小樽市銭函3丁目273-2	0134-61-5225	
16	東洋コンクリート(株)	千歳工場	千歳			[30]		○	18~40	8~21	25	28			千歳市流通1丁目4番3号	0123-27-7007	
17	東洋コンクリート(株)	由仁工場	道央			[30]		○	18~40	8~21	25	28			夕張郡由仁町光荣216	0123-82-2250	
18	大翔興業(株)	苫小牧工場	苫小牧	○		[60]		○	18~40	8~21	20	28			苫小牧市字錦岡20番地11	0144-67-3366	
19	(株)旭ダンケ	札幌工場	札幌	○		15	○		18~45	5~21	20, 40	28, 56, 91	○	○	石狩市新港中央2丁目759番地	0133-64-1511	
20	(株)北海道宇部	札幌工場	札幌	○		15	○		18~40	8~21	20	28, 56			札幌市東区東苗穂1条1丁目2番37号	011-781-3411	
21	(株)ホッコン	札幌工場	札幌	○	-	-	-	18~45	5~21	20, 40	28, 56	○	○	札幌市西区発寒16条14丁目6-87	011-667-7700		
22	(株)ニレミックス	丘珠工場	札幌	○	-	-	-	18~45	8~21	25	28, 56		○	札幌市東区北丘珠1条2丁目590番地1	011-781-3535		
23	(株)北興生コン	共和工場	岩宇		-	-	-	18~40	5~21	20, 40	28	○		岩内郡共和町梨野舞納251番地1	0135-67-7075		
24	(株)北海道宇部	後志工場	岩宇	○	-	-	-	18~40	5~21	20, 40	28, 56			岩内郡共和町老古美152番地	0135-62-6060		
25	(株)田村工業		岩宇	○	-	-	-	18~40	5~21	20, 40	28, 56			岩内郡共和町梨野舞納220番地1	0135-62-1080		
26	北海道ティーシー生コン(株)	苫小牧工場	苫小牧	○	-	-	-	18~33	8~21	20	28			苫小牧市入船町2丁目5-11	0144-38-5130		
27	會澤高圧コンクリート(株)	鶴川工場	苫小牧	○	-	-	-	18~40	5~21	20, 40	28			勇払郡むかわ町晴海67	0145-42-2196		
28	ケイホク生コンクリート(株)	苫小牧工場	苫小牧	○	-	-	-	18~40	5~21	20, 40	28			苫小牧市明野町1丁目3番15号	0144-57-7622		
29	ケイホク生コンクリート(株)	伊達工場	西胆振	○	-	-	-	18~40	5~21	20, 40	28	○		伊達市長和町245-6	0142-25-5666		
30	(株)友井建材店	夕張工場	道央		-	-	-	18~40	5~21	20, 40	28			夕張市南清水沢4丁目	0123-59-7331		
31	室蘭生コンクリート(株)	室蘭工場	室蘭	○	-	-	-	18~40	5~21	20, 40	28			室蘭市東町4-12	0143-44-2788		
32	(株)コネック滝川	滝川工場	空知	○	-	-	-	18~40	5~21	20, 40	28	○		滝川市西滝川228	0125-23-0123		
33	アサヒ生コン(株)	苫小牧工場	苫小牧	○	-	-	-	18~40	5~21	20, 40	28			苫小牧市字沼ノ端602番地3	0144-55-5566		
34	札幌生コン(株)		札幌	○	-	-	-	18~40	8~21	25	28, 56			札幌市東区北丘珠2条4丁目1-47	011-785-6788		
35	函館生コンクリート(株)		函館	○	-	-	-	18~33	5~18	20, 40	28	○		亀田郡七飯町字鳴川369番地	0138-65-9080		
【JIS認証予定】 北海道太平洋生コン 小樽工場, 道南生コン 仁木工場																	

## 資料 2. 北海道におけるフライアッシュコンクリートに関するアンケート調査結果

### (寒冷地におけるフライアッシュの有効利用研究委員会中間報告)

正会員 ○深瀬 孝之<sup>\*1</sup> 正会員 長谷川拓哉<sup>\*5</sup> 正会員 小谷 卓司<sup>\*8</sup> 会員外 進藤 毅幸<sup>\*12</sup>  
 正会員 谷口 円<sup>\*2</sup> 正会員 齋藤 敏樹<sup>\*6</sup> 正会員 小川 安良<sup>\*9</sup> 会員外 金森 重行<sup>\*13</sup>  
 正会員 安藤 睦<sup>\*3</sup> 正会員 桂 修 会員外 会田 勝博<sup>\*10</sup> 正会員 松尾 健司<sup>\*14</sup>  
 正会員 濱 幸雄<sup>\*4</sup> 正会員 牛田 健一<sup>\*7</sup> 会員外 酒井 亨<sup>\*11</sup> 正会員 名和 豊春<sup>\*5</sup>

#### 1.材料施工－4.特殊仕様のコンクリート フライアッシュコンクリート、アンケート調査

##### 1. はじめに

北海道においては、すでに 30 を超えるレディーミクストコンクリート工場でフライアッシュを使用するコンクリート（以下「FA コンクリート」）の出荷体制が整備されている状況にある。しかしながら、建築工事での利用は基礎部分など限定的な範囲に留まっており、FA コンクリートを一層普及させるためには、利用者の要求を十分に把握するとともに、寒冷地特有な技術的な課題も整理する必要がある。

日本建築学会北海道支部では、寒冷地におけるフライアッシュの有効利用研究委員会（2013～2014 年度）を設置し、FA コンクリートに関する利用状況や課題を把握し、その有効利用を促進させることを目的とした活動を行っている。

本報告では、北海道内の発注機関や設計事務所などを対象とした、FA コンクリートに関するアンケート調査の結果を報告する。

##### 2. 調査概要

北海道の建築工事における FA コンクリートの利用実態や利用者の認識を把握することを目的としてアンケート調査を実施した。

調査対象は、北海道内に所在する発注機関（民間開発業者 6 社を含む）、設計事務所（構造系）、施工会社、FA コンクリートについて日本工業規格の認証を取得したレディーミクストコンクリート工場、コンクリート製品製造工場とした。

アンケートの回収結果を表 1 に示す。全調査対

象に関して、配布数 148 件に対する回収数は 82 件であり、その回収率は 55%であった。なお、調査票の配布・回収は電子メール、郵送、FAX 等によって実施した。

表 1 アンケートの回収結果

対 象	配布数	回収数	回収率
発注機関	31	12	0.39
設計事務所	35	22	0.63
施工会社	37	15	0.41
生コン工場	33	22	0.67
製品工場	12	11	0.92
計	148	82	0.55

##### 3. 調査結果

###### 3. 1 回答者の属性

###### (1) 回答者の所属

発注機関は地方公共団体 75%、民間企業 25%であった。

設計事務所の企業規模は従業員数 10 人未満 (41%) が最も多く、次いで 500 人以上 (23%)、100～500 人未満 (18%)、10～100 人未満 (18%) であった。なお、回答数 22 件の中には施工会社の設計部門 5 件 (23%) が含まれていた。

施工会社に関しては、本社所在地が道内 40%、道外 60%であり、従業員数は 1,000 人以上が 60%を占め、100～300 人未満 27%、300～500 人未満および 500～1,000 人未満がそれぞれ 7%であった。

###### (2) FA コンクリートの理解度

回答者が自己評価した FA コンクリートに関する理解度を図 1 に示す。レディーミクストコンクリート工場の理解度が高く、設計事務所と発注機

関の理解度が比較的低い結果となった。特に設計事務所では「理解していない」が約60%を占めた。

### 3. 2 FA コンクリートの実績

#### (1) 出荷実績

平成24年度の年間総出荷量(土木工事等含む)、および建築工事におけるFAコンクリートの出荷量を図2に示す。FAコンクリートの出荷量は、出荷なし(30%)から10,000m<sup>3</sup>以上(5%)の範囲に広く分布している状況にあった。

図3に示すように、FAコンクリートで出荷量が多い上位3位までの呼び強度は18~30の範囲が比較的多く、高い強度域の実績は少数であった。

#### (2) 調査

日本工業規格に認証されたFAコンクリートの調査を図4に示す。呼び強度18~40、スランプ8~21cmの範囲での認証が大多数を占めた。

呼び強度を保証する材齢に関しては、材齢28日がすべての工場で、加えて材齢56日が43%の割合で取得されていた。

フライアッシュの使用方法は混和材方式が43%、セメント方式が57%であり、それぞれに対する選定理由を図5に示す。混和材方式の選定理由では「供給体制」と「調査設計の自由度」が多い傾向を示したが、セメント方式では「製造設備費用」が過半数を占めた。

混和材方式で使用するセメントおよびフライアッシュの種類は、全回答において普通ポルトランドセメントおよびフライアッシュⅡ種であった。また、置換区分は砂置換とセメント置換が同数であり、置換量はセメント量の15%が50%と最も多く、次いで40kg/m<sup>3</sup>が29%であった。

減水剤の種類では、一般的なAE減水剤が大多数を占め、フライアッシュ用AE減水剤は10%と少数であった。また、AE減水剤と高性能AE減水剤との併用は20%であった。

#### (3) 建築工事における採用実績

発注機関の回答では、建築工事においてFAコンクリートの採用実績があるとの回答は1件で、設計仕様の変更要請によるものであった。設計事務所における採用実績では官庁工事1件、民間工事6件、施工会社では官庁工事2件、民間工事9件であり、基礎(地中梁および耐圧版を含む)や地下躯体に多く使用されていた。FAコンクリートの採用理由としては、水和熱の低減と乾燥収縮ひび割れの抑制との回答が多かった。

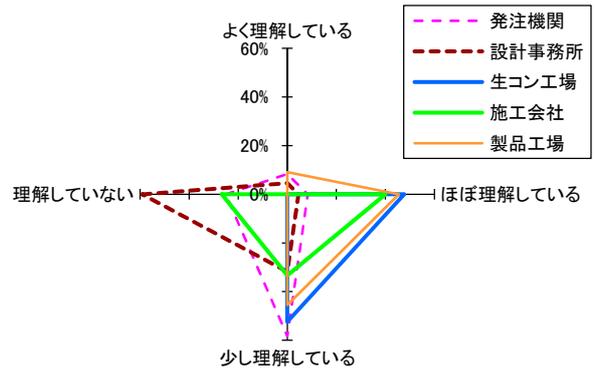


図1 回答者のFAコンクリートに関する理解度

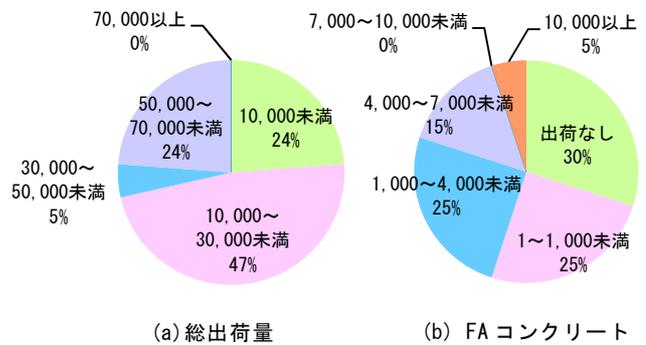


図2 平成24年度の年間出荷量(生コン工場)

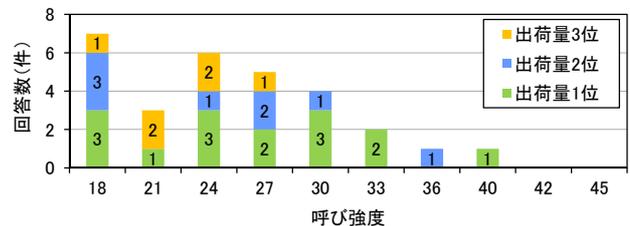


図3 年間出荷量上位のFAコンクリート呼び強度

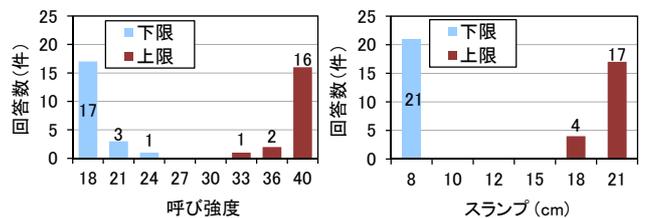


図4 FAコンクリートのJIS認証範囲

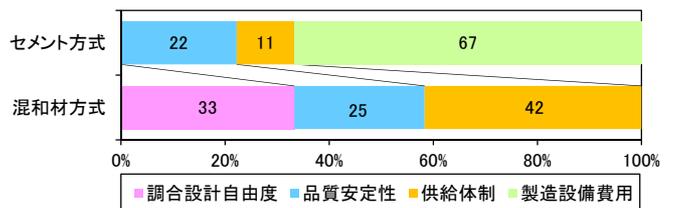


図5 フライアッシュの使用方法の選定理由

### 3. 3 FA コンクリートに対する評価

#### (1) 効果

普通ポルトランドセメントを使用する一般的なコンクリートと比較した場合の FA コンクリートの効果に対する評価（全回答者の集計）を図 6 に示す。

ほとんどの評価項目において、「よい」が半数を超えており、全般的には高い評価が得られた。一方、凍結融解抵抗性および中性化抵抗性に対する評価は低い結果となった。また、凍結融解抵抗性、中性化抵抗性、およびアルカリ骨材反応抑制に関しては「わからない」との回答が約 25%を占め、他の効果に比べその判断が難しいものと考えられる。

#### (2) 品質

普通ポルトランドセメントを使用する一般的なコンクリートと比較した場合の FA コンクリートの品質に対する評価（発注機関を除く回答者の集計）を図 7 に示す。

全体として「同等」に対する割合が高く、16 項目中 11 項目において「同等」が 40~60%程度を占めた。一方、初期強度の発現性、空気連行性、および空気量の変動に関しては、「非常に悪い」を含む「悪い」との回答が多数存在する結果であった。

#### (3) 不安要素

使用部位および回答者の所属別に、FA コンクリートを使用する際の不安要素を図 8 に示す。初期強度の発現性、仕様書・指針類との関係に対する回答が全体的に多い傾向がみられた。なお、FA コンクリートの採用について不安要素がないとの回答は少数であり、基礎・地下躯体の約 5%に留まった。

地上躯体では、耐久性、色合い、仕上がり状態を不安要素とする回答が基礎・地下躯体に比べ増加した。

#### (4) 難易度

普通ポルトランドセメントを使用する一般的なコンクリートと比較した場合において、FA コンクリートの難しさを図 9 に示す。

レディーミクストコンクリート工場および施工会社ともに、品質管理や調査に関して「同等」であるとの回答が多数を占めているが、製造や製造時の品質管理に関しては「難しい」との回答も多く存在していた。

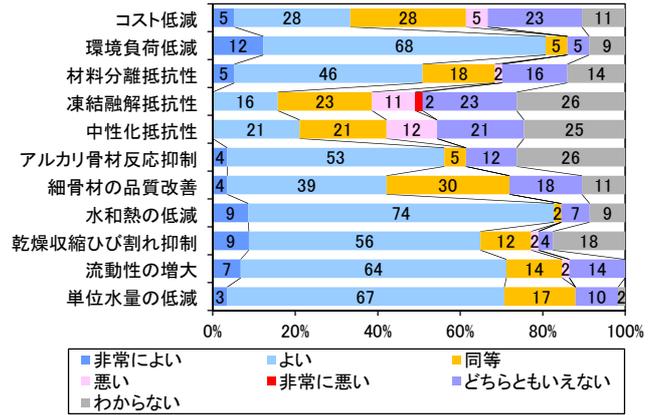


図 6 FA コンクリートの効果

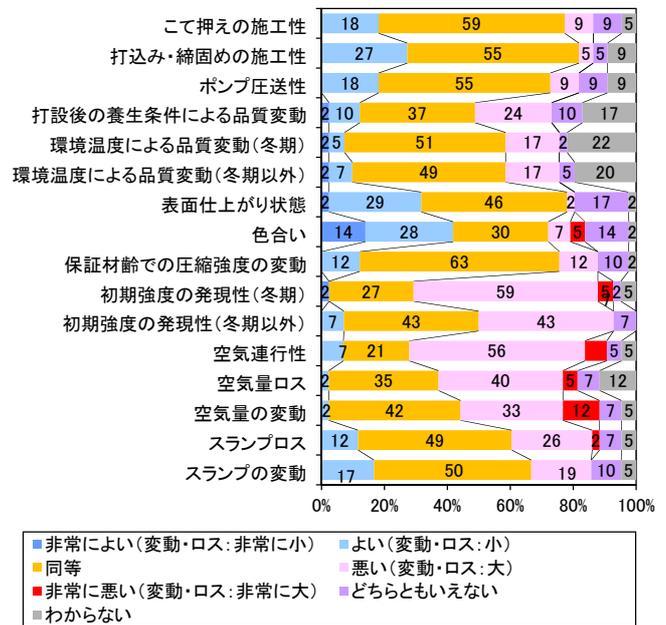
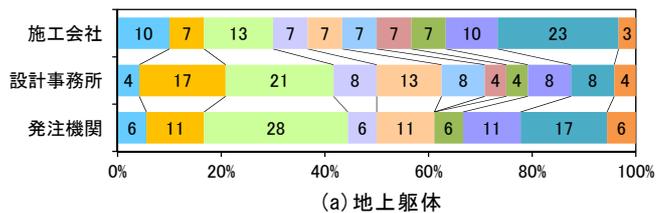
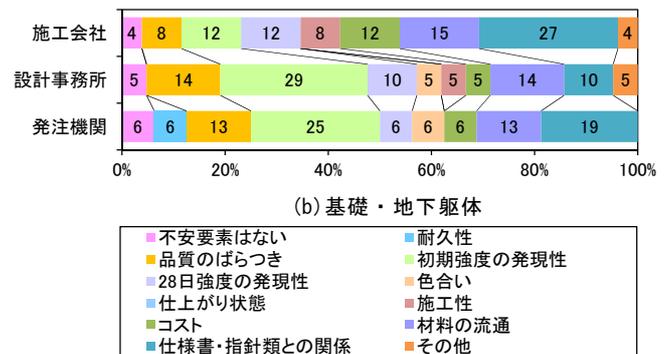


図 7 FA コンクリートの品質



(a) 地上躯体



(b) 基礎・地下躯体

図 8 採用時の不安要素

### (5) 障害

FA コンクリートが設計仕様として指定されていない場合において、その採用にあたって障害となる項目を図 10 に示す。

発注機関による回答では、「品質基準(発注者)」が 21%と最も多く、次いで「設計仕様の変更手続き」、「仕様書・指針類」、「認知度」がそれぞれ 17%であった。設計事務所による回答では「品質」20%、「認知度」17%、「設計仕様の変更手続き」15%の順に多い結果となった。また、施工会社では「設計仕様の変更手続き」が 30%、「認知度」および「品質基準(設計者)」がともに 16%であった。

### (6) 改善事項

FA コンクリートの利用拡大を図るうえでの改善事項を図 11 に示す。

コンクリート製品製造工場を除く回答では、改善事項として「認知度の向上」や「設計による仕様指定」が全体的に多い傾向を示した。

コンクリート製品製造工場においては、上記回答と傾向が異なり、「製造設備の投資支援」と「品質変動の情報提供」が半数近くを占めた。

## 4. まとめ

北海道内に所在する発注機関、設計事務所、施工会社、FA コンクリートについて日本工業規格の認証を取得したレディーミクストコンクリート工場、およびコンクリート製品製造工場を対象としたアンケート調査より以下の知見を得た。

- 1) FA コンクリートは、水和熱低減と乾燥収縮ひび割れの抑制を目的として、民間工事での基礎・地下躯体に利用されることが多い。
- 2) FA コンクリートの効果に関しては、全般的に高い評価が得られたが、中性化抵抗性および凍結融解抵抗性に対する評価は低い。
- 3) FA コンクリートの品質は一般的なコンクリートと同等であるとの回答が多数を占めるが、初期強度の発現性や空気連行性などの評価は低い。

4) コンクリート製品製造工場を除くと、「認知度の向上」や「設計による仕様指定」が利用拡大に向けた改善事項として挙げられる。

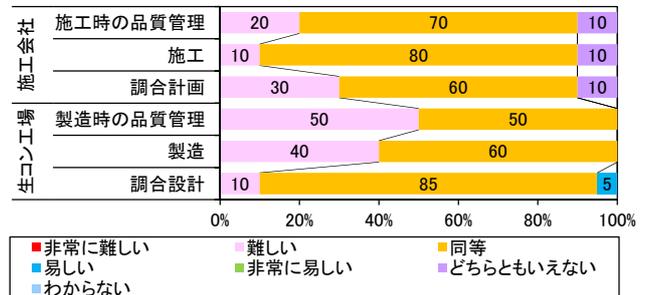


図 9 FA コンクリートの難易度

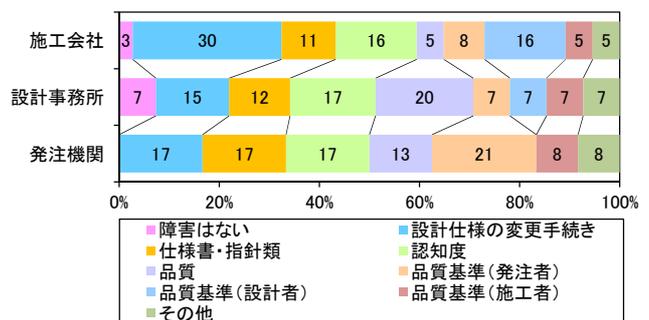


図 10 FA コンクリート採用時の障害

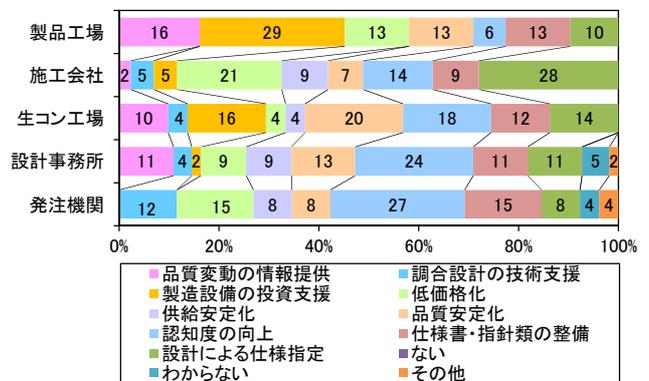


図 11 利用拡大のための改善事項

謝辞

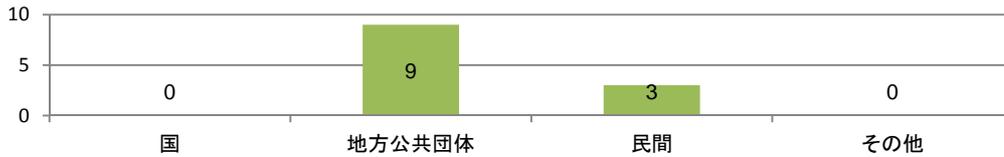
アンケート調査にご協力いただいた方々に深く感謝いたします。

\*1 伊藤組土建(Itogumi Construction Co.,Ltd.), \*2 北海道立総合研究機構北方建築総合研究所(Hokkaido Research Organization Northern Regional Building Research Institute), \*3 北海道電力(Hokkaido Electric Power Co., Inc.), \*4 室蘭工業大学大学院(Graduate School of Muroran Institute of Technology), \*5 北海道大学大学院(Graduate School of Hokkaido Univ.), \*6 北電総合設計 (Hokuden General Engineering Design & Consulting Company Inc.), \*7 構建設計事務所(Kouken Sekkei Corp.), \*8 北海道日建設計(Hokkaido Nikken Sekkei Co.,Ltd.), \*9 清水建設(Shimizu Corp.), \*10 北海道ティーシー生コン(Hokkaido Tei-Si-Namakon Corp.), \*11 會澤高圧コンクリート(Aizawa Concrete Corp.), \*12 大林組(Obayashi Corp.), \*13 鹿島建設(Kajima Corp.), \*14 大成建設(Taisei Corp.)

(1) 発注者のアンケート結果（配布数 31、回答数 12、回収率 39%）

1. 所属について

【問 1-1】所属を選択してください。



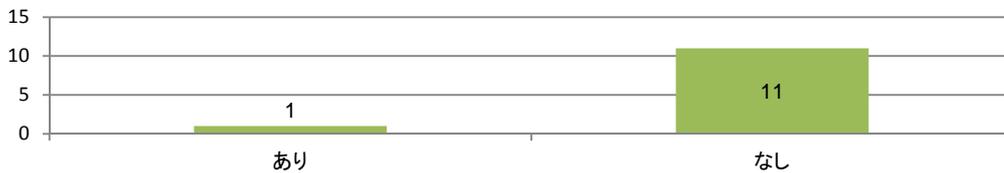
【問 1-2】民間企業に所属している場合、企業規模（従業員数）を選択してください。  
全回答 1,000 人以上（回答数 3）

2. 北海道におけるフライアッシュコンクリートの採用実績について

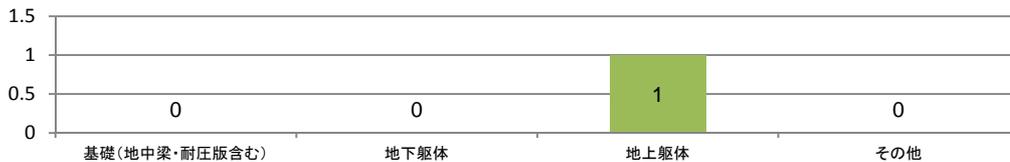
※ 過去 10 年間における、北海道内で発注された建築工事を対象としてご回答ください。

【問 2-1】フライアッシュコンクリートの採用実績の有無を選択してください。

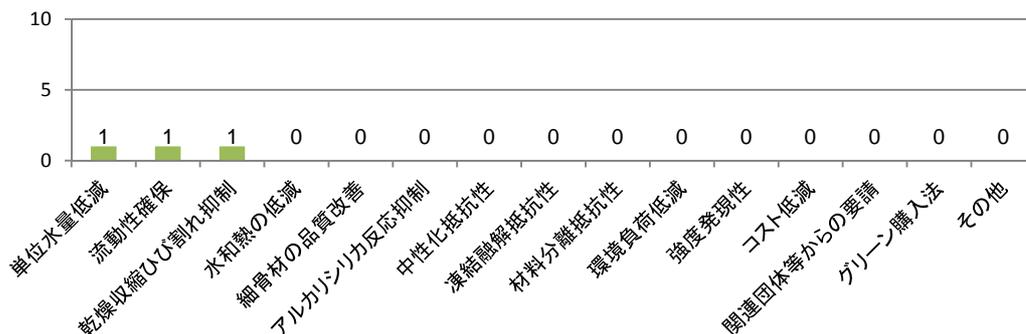
（「実績なし」の場合は、【問 2-4】に進む）



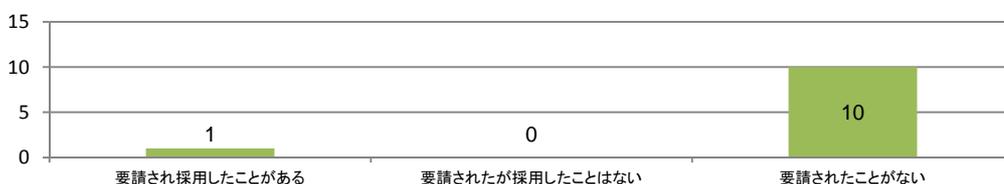
【問 2-2】フライアッシュコンクリートを採用した部位をすべて選択してください。



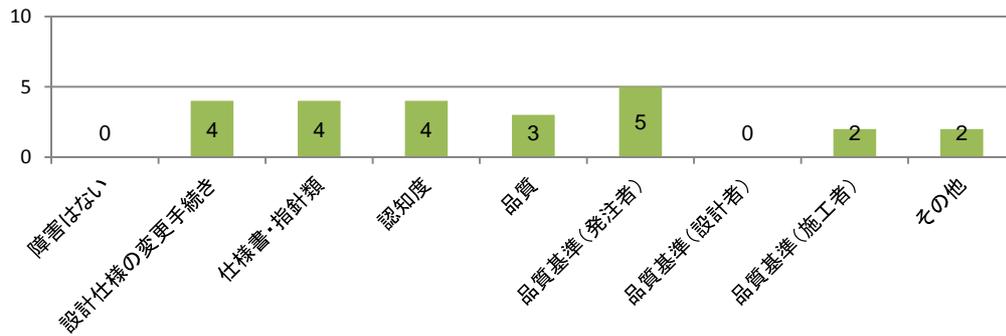
【問 2-3】フライアッシュを採用した主な目的について、該当する項目を最大で 3 個まで選択してください。（最大 3 個）



【問 2-4】フライアッシュコンクリートが設計仕様として指定されていない案件で、仕様変更などの要請によってフライアッシュコンクリートを採用した事例がありますか。

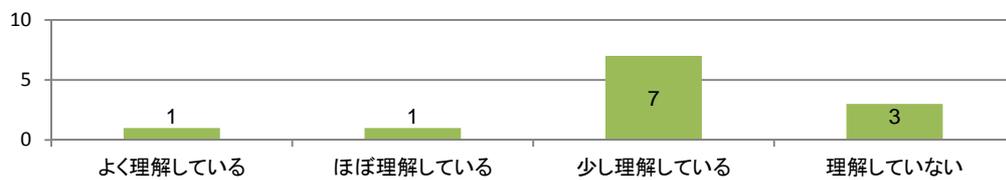


【問 2-5】フライアッシュコンクリートが設計仕様として指定されていない案件で、仕様変更などによって採用する場合に、障害となる項目を最大で3個まで選択してください。(最大3個)

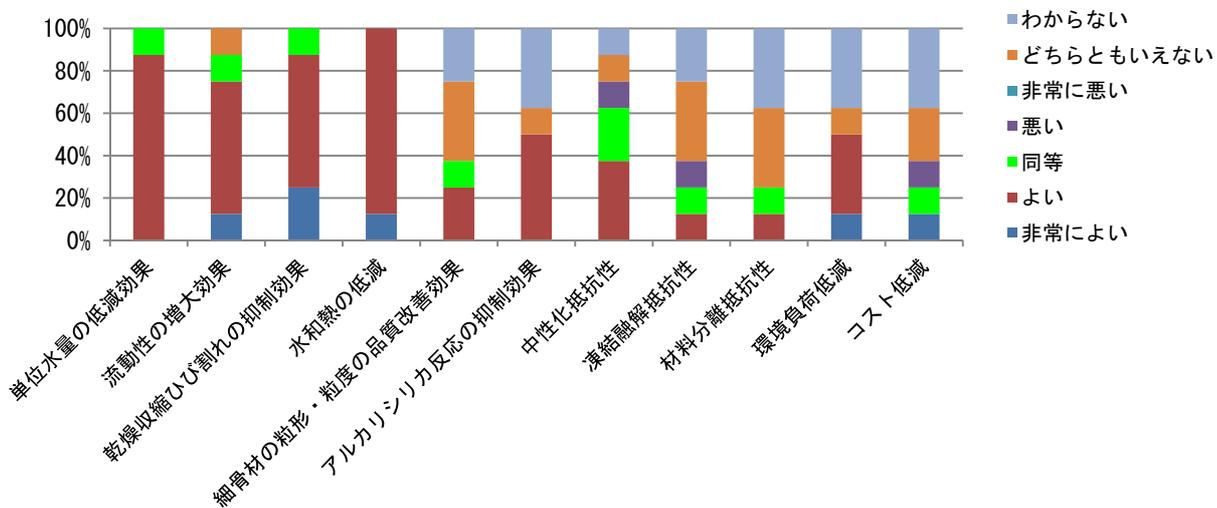


### 3. フライアッシュコンクリートに対するイメージなどについて

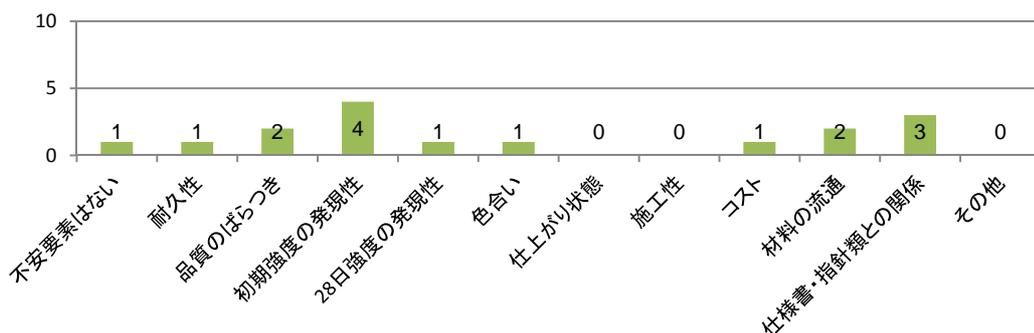
【問 3-1】ご回答者のフライアッシュコンクリート全般に関する理解度を選択してください。(「理解していない」の場合は、【問 4-1】に進む)



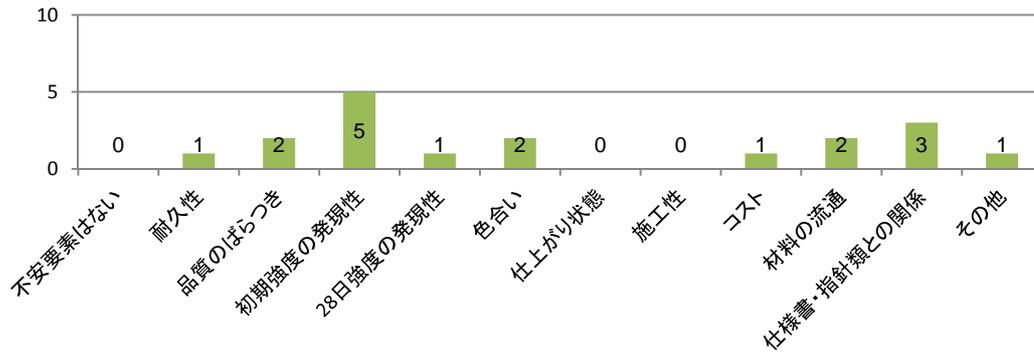
【問 3-2】普通ポルトランドセメントを使用した一般的なコンクリートと比較して、フライアッシュの効果をどのように思われていますか。下記の各項目についてご回答ください。



【問 3-3】基礎や地下部躯体にフライアッシュコンクリートを使用する場合、不安要素となる項目を最大で3個まで選択してください。(最大3個)

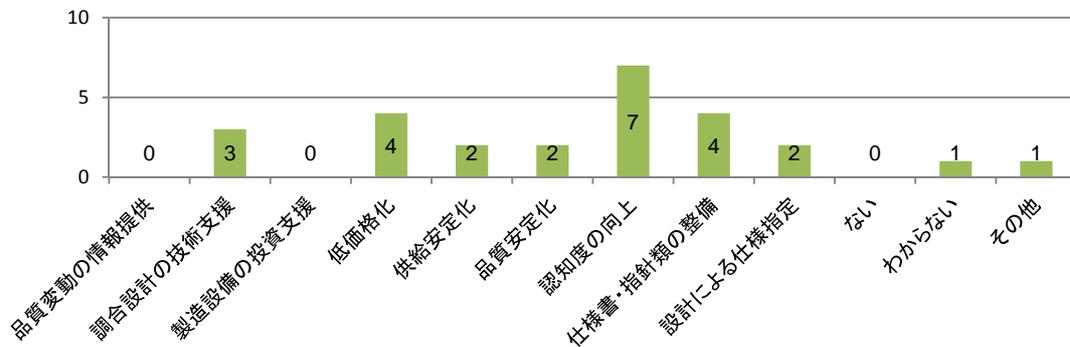


【問 3-4】 地上部躯体にフライアッシュコンクリートを使用する場合、不安要素となる項目を最大で3個まで選択してください。(最大3個)



#### 4. フライアッシュに対する改善事項などについて

【問 4-1】 フライアッシュコンクリートの利用拡大を図るうえで、改善が必要と思われる項目を最大で3個まで選択してください。(最大3個)



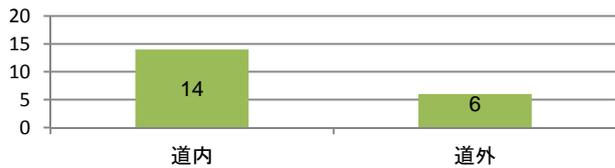
【問 4-2】 フライアッシュコンクリートの利用や普及について、ご要望やご意見などをご記入ください。ぜひ、率直なご意見をお聞かせ下さい。

回答：後記（6）

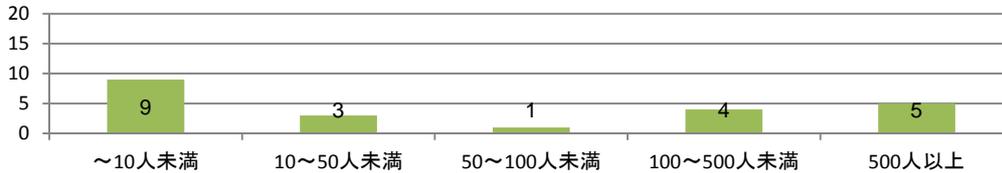
(2) 構造設計者のアンケート結果 (配布数 35、回答数 22、回収率 63%)

1. 貴社について

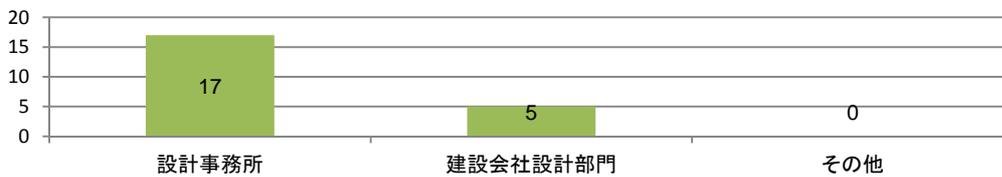
【問 1-1】 本社の所在地 (道外：都府県、道内：市) を入力してください。



【問 1-2】 企業規模 (従業員数) を選択してください。



【問 1-3】 所属企業の種別を選択してください。



2. 北海道におけるフライアッシュコンクリートの採用実績について

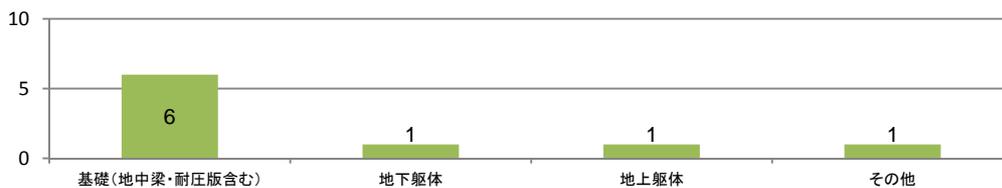
※ 貴社の過去 10 年間に於ける、北海道内の建築工事を対象としてご回答ください。

【問 2-1】 フライアッシュコンクリートの採用実績の有無を選択してください。

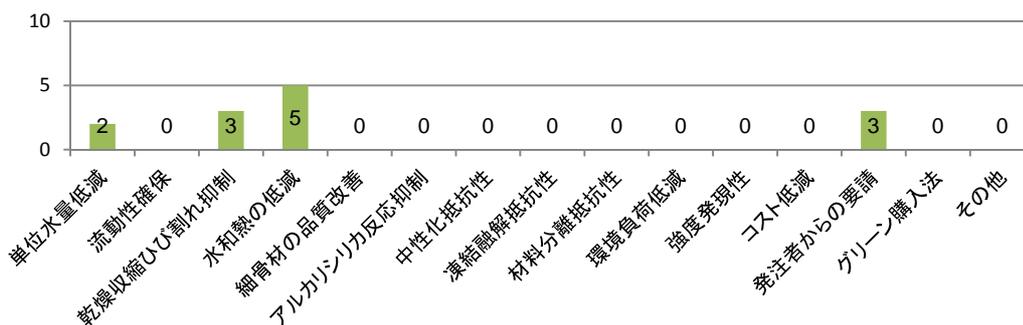
(「官庁工事・民間工事とも実績なし」の場合は、【問 2-4】に進む)



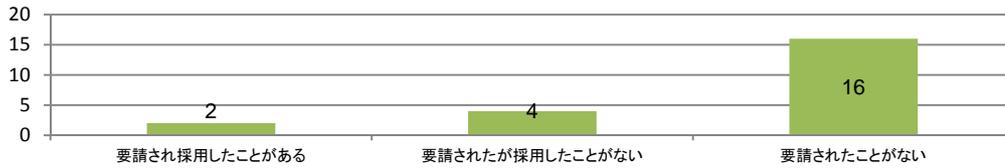
【問 2-2】 フライアッシュコンクリートを採用した部位をすべて選択してください。



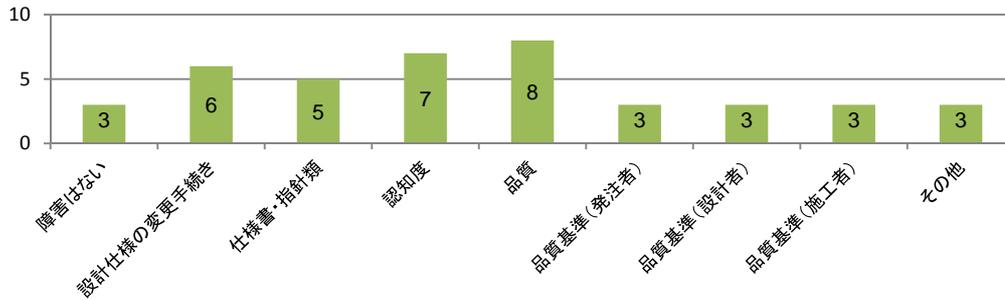
【問 2-3】 フライアッシュを採用した主な目的について、該当する項目を最大で 3 個まで選択してください。(最大 3 個)



【問 2-4】フライアッシュコンクリートを設計仕様として指定していない案件で、仕様変更などの要請によってフライアッシュコンクリートを採用した事例がありますか。

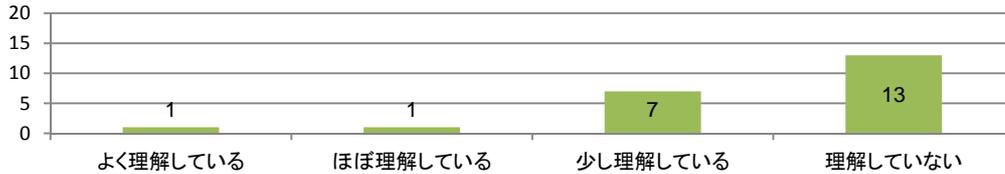


【問 2-5】フライアッシュコンクリートを設計仕様として指定していない場合、仕様変更などによって採用する場合に、障害となる項目を最大で3個まで選択してください。(最大3個)

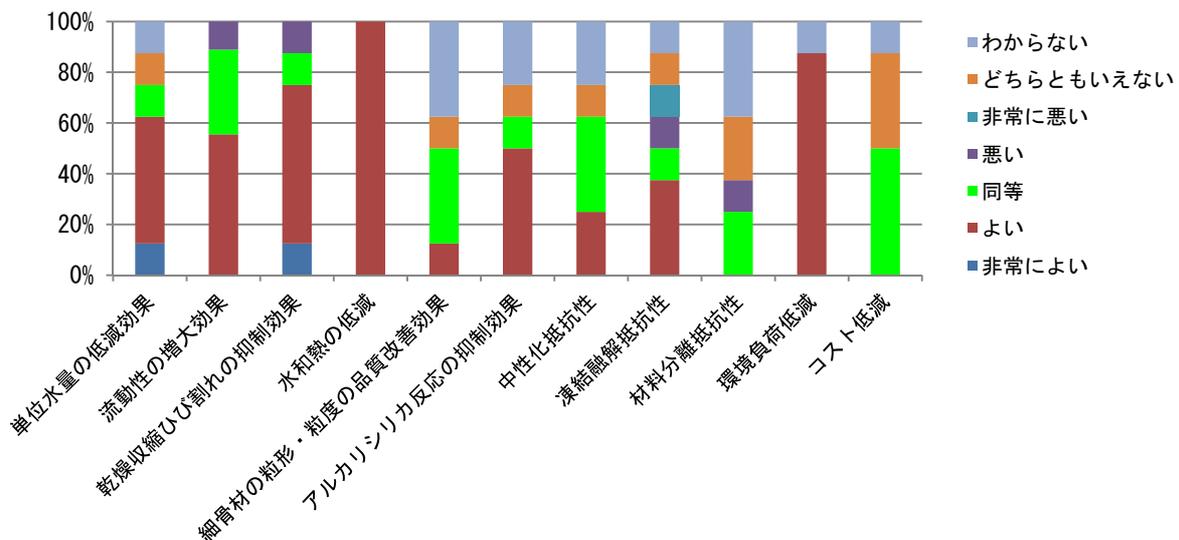


### 3. フライアッシュコンクリートに対するイメージなどについて

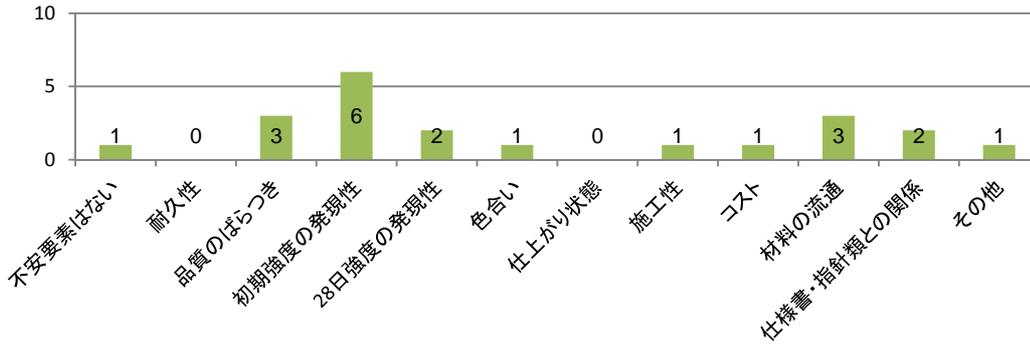
【問 3-1】ご回答者のフライアッシュコンクリート全般に関する理解度を選択してください。(「理解していない」の場合は、【問 4-1】に進む)



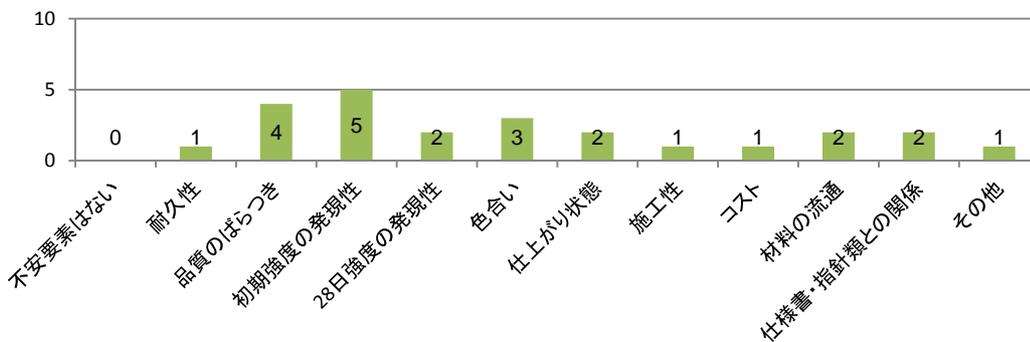
【問 3-2】普通ポルトランドセメントを使用した一般的なコンクリートと比較して、フライアッシュの効果をもどのように思われていますか。下記の各項目についてご回答ください。



【問 3-3】基礎や地下部躯体にフライアッシュコンクリートを使用する場合、不安要素となる項目を最大で3個まで選択してください。(最大3個)

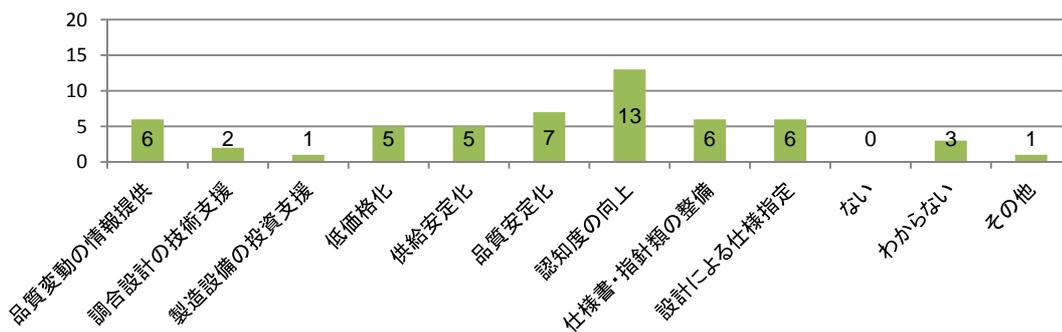


【問 3-4】地上部躯体にフライアッシュコンクリートを使用する場合、不安要素となる項目を最大で3個まで選択してください。(最大3個)



#### 4. フライアッシュに対する改善事項などについて

【問 4-1】フライアッシュコンクリートの利用拡大を図るうえで、改善が必要と思われる項目を最大で3個まで選択してください。(最大3個)



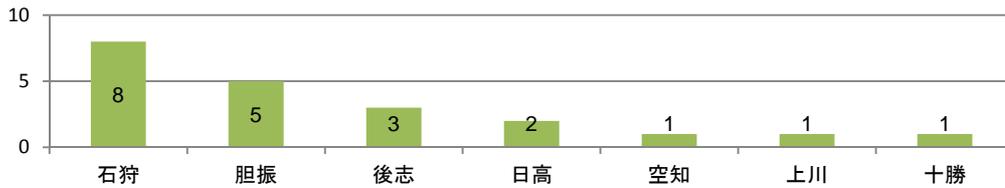
【問 4-2】フライアッシュコンクリートの利用や普及について、ご要望やご意見などをご記入ください。ぜひ、率直なご意見をお聞かせ下さい。

回答：後記（6）

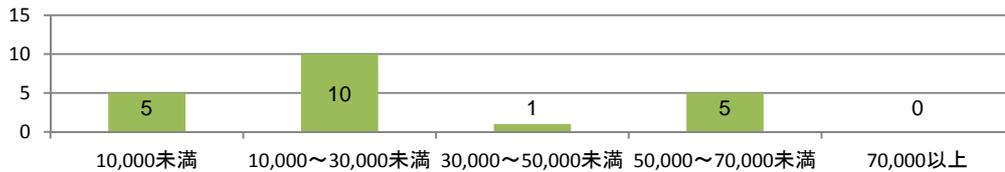
(3) 生コン製造者のアンケート結果（配布数 33、回答数 22、回収率 67%）

1. 貴社工場について

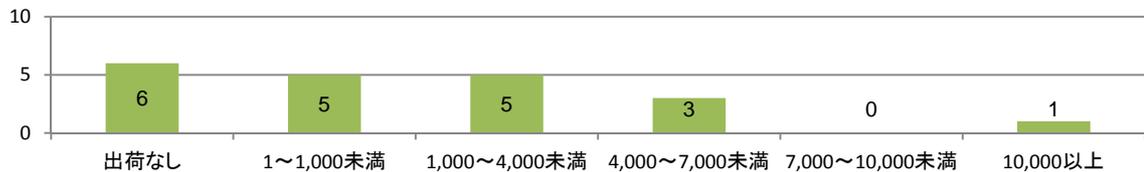
【問 1-1】 工場の所在地（市町村）を入力してください。



【問 1-2】 平成 24 年度の年間出荷量（全体）を選択してください。  
※ この設問のみ、建築分野以外も対象としてください。

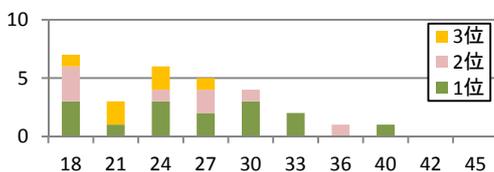


【問 1-3】 平成 24 年度のフライアッシュコンクリートの年間出荷量（建築分野）を選択してください。

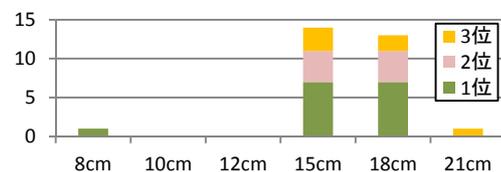


【問 1-4】 前問の出荷量（建築分野）のなかで、出荷量が多い 3 調合についてご回答ください。

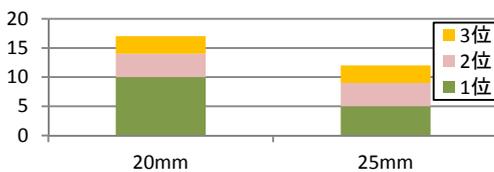
・呼び強度



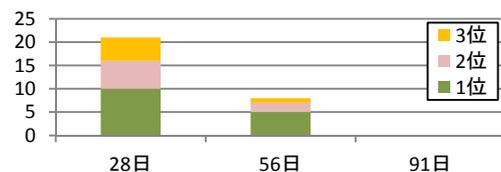
・スランプ



・粗骨材の最大寸法



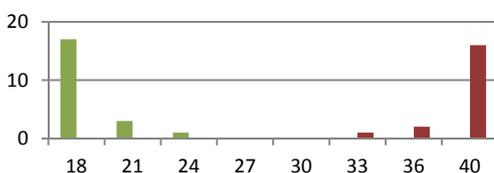
・呼び強度を保證する材齡



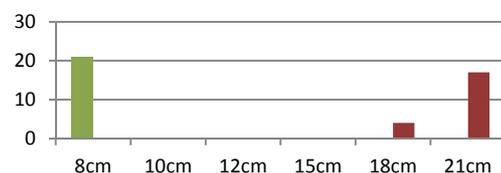
2. 貴社工場におけるフライアッシュコンクリートの JIS 認証範囲について

【問 2-1】 フライアッシュコンクリートの JIS 認証範囲について、該当する項目をすべて選択してください。※粗骨材の最大寸法 40mm の調査は除外してください。

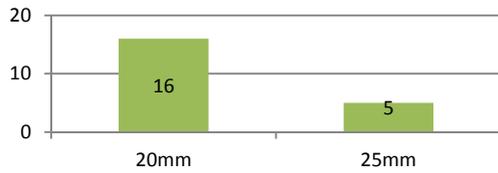
・呼び強度



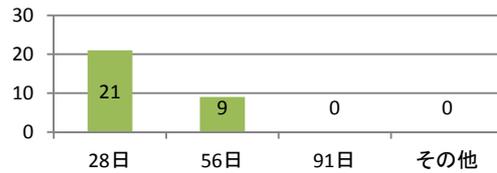
・スランプ



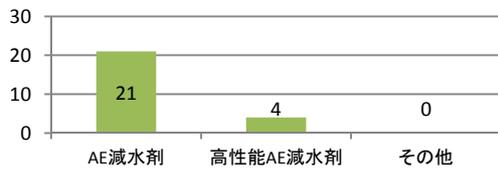
・粗骨材の最大寸法



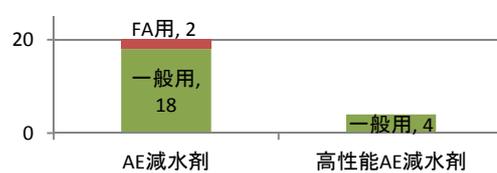
・呼び強度を保証する材齢



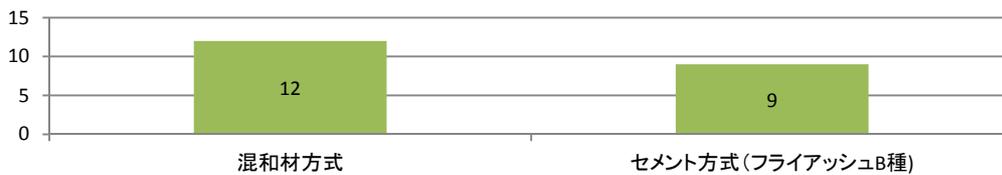
・減水剤の種類



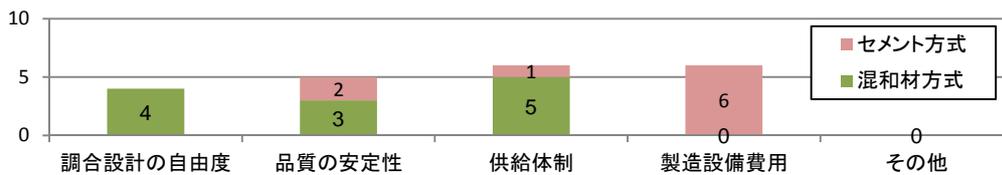
・AE剤の種類



【問 2-2】フライアッシュの使用方式を選択してください。

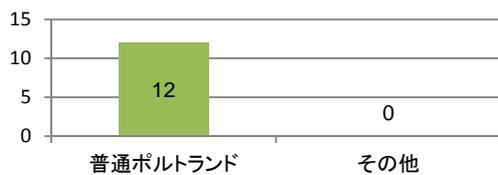


【問 2-3】前問の使用方式に関して、最も大きな採用理由を選択してください。

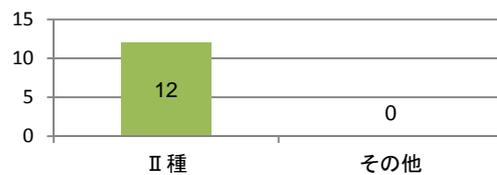


【問 2-4】混和材方式における、使用セメント、フライアッシュの種類や置換率などを選択してください。※セメント方式の場合は、問 2-5 にお進みください。

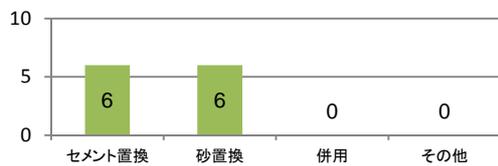
・セメント種類



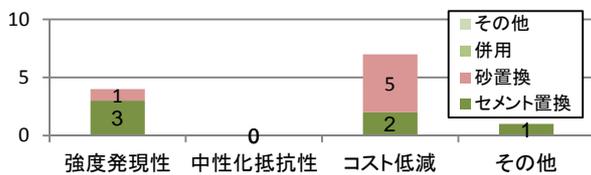
・フライアッシュ種類



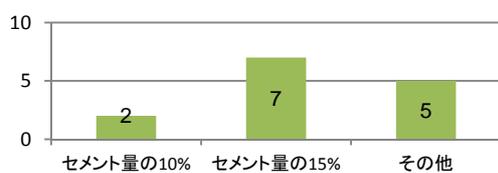
・結合材区別



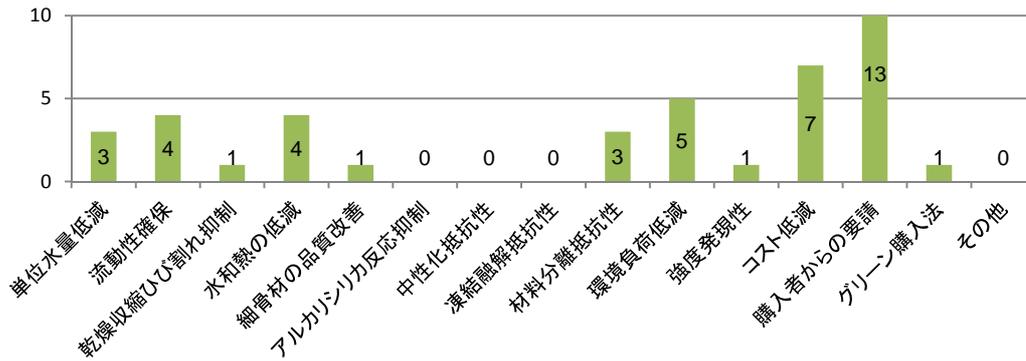
・結合材区別の採用理由



・置換率 (量)

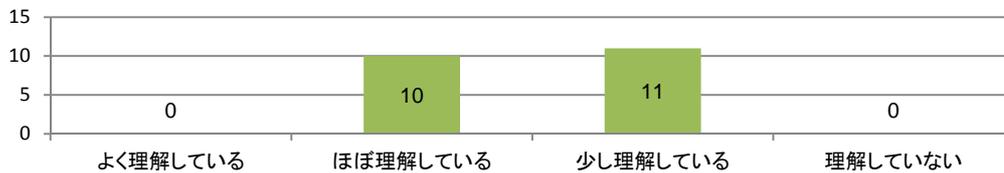


【問 2-5】フライアッシュを採用した主な目的について、該当する項目を最大で 3 個まで選択してください（最大 3 個）

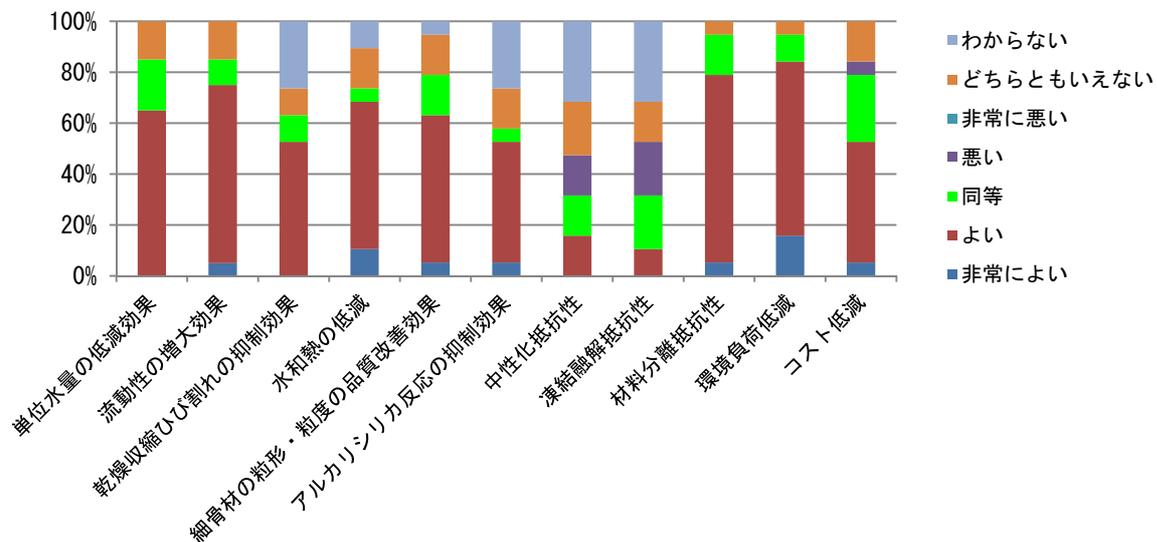


### 3. フライアッシュコンクリートに対するイメージなどについて

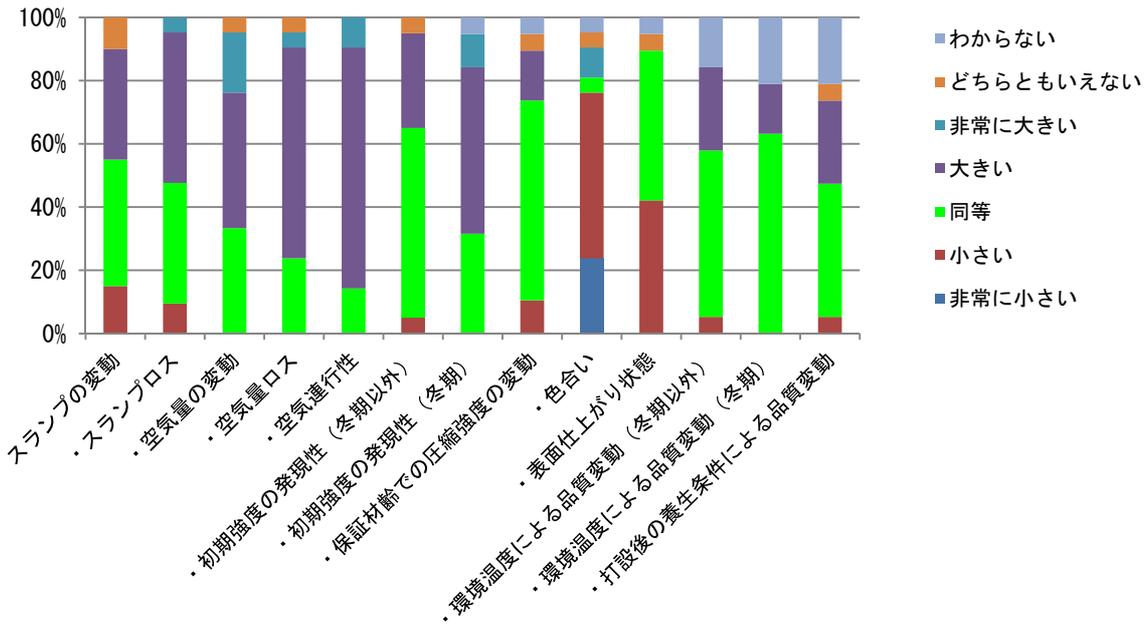
【問 3-1】ご回答者のフライアッシュコンクリート全般に関する理解度を選択してください。（「理解していない」の場合は、【問 4-1】に進む）



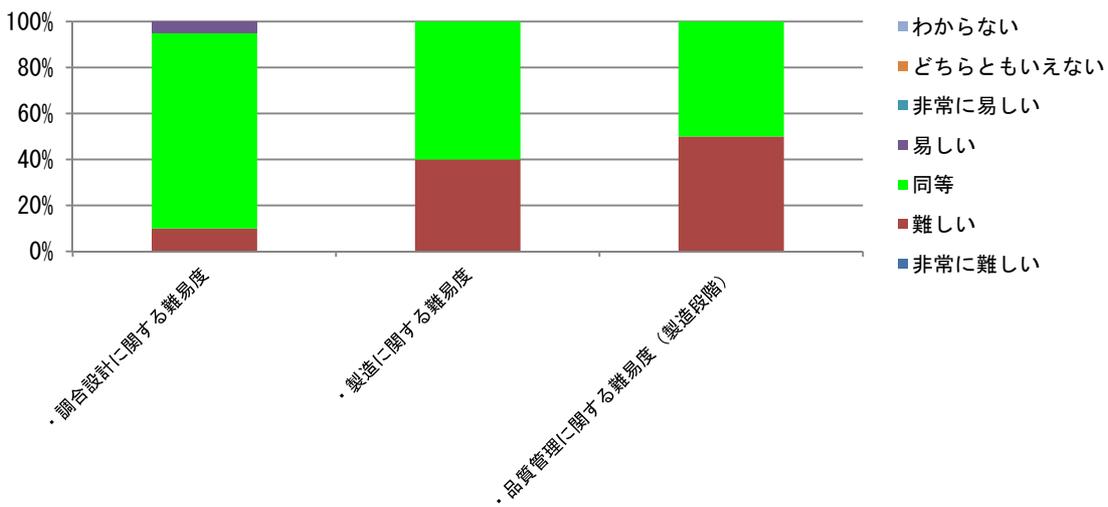
【問 3-2】普通ポルトランドセメントを使用した一般的なコンクリートと比較して、フライアッシュの効果をもどのように思われていますか。下記の各項項目についてご回答ください。



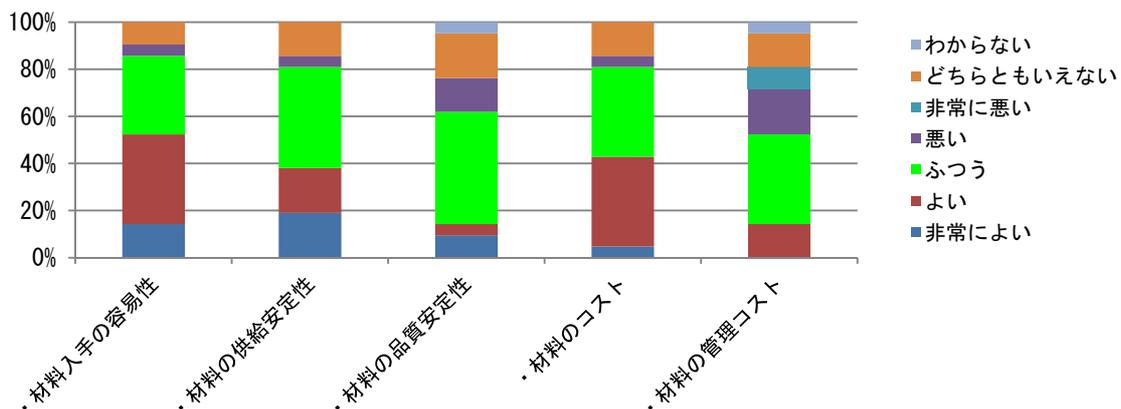
【問 3-3】 普通ポルトランドセメントを使用した一般的なコンクリートと比較して、フライアッシュコンクリートの品質をどのように思われていますか。下記の各項目についてご回答ください。



【問 3-4】 普通ポルトランドセメントを使用した一般的なコンクリートと比較して、フライアッシュコンクリートの難しさをどのように思われますか。下記の各項目についてご回答ください。

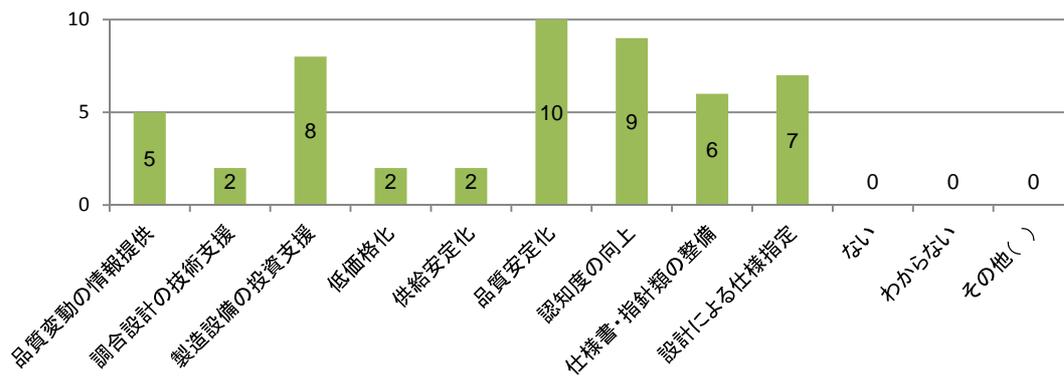


【問 3-5】 貴社工場におけるフライアッシュまたはフライアッシュセメントの下記項目に関して、どのように思われますか。



#### 4. フライアッシュに対する改善事項などについて

【問 4-1】フライアッシュコンクリートの利用拡大を図るうえで、改善が必要と思われる項目を最大で3個まで選択してください。(最大3個)



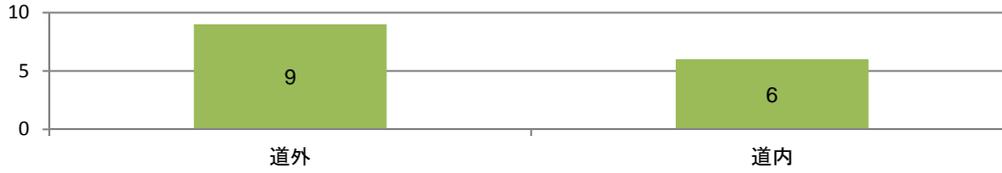
【問 4-2】フライアッシュコンクリートの利用や普及について、ご要望やご意見などをご記入ください。ぜひ、率直なご意見をお聞かせ下さい。

回答：後記（6）

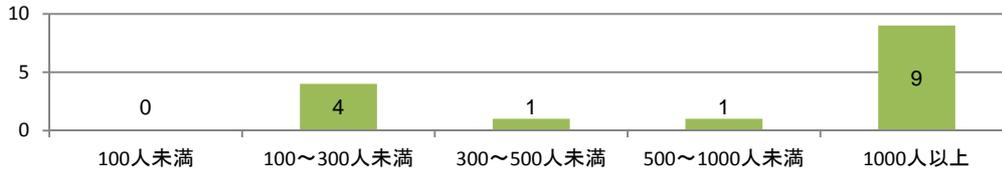
(4) 施工者のアンケート結果（配布数 37、回答数 15、回収率 41%）

1. 貴社について

【問 1-1】 本社の所在地（道外：都府県、道内：市）を入力してください。



【問 1-2】 企業規模（従業員数）を選択してください。

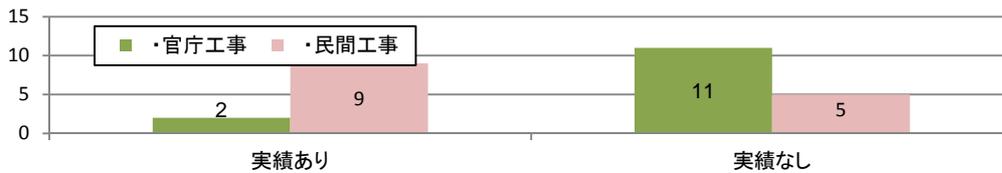


2. 北海道におけるフライアッシュコンクリートの施工実績について

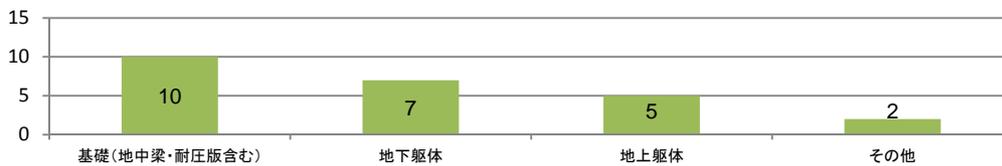
※ 貴社の過去 10 年間に於ける、北海道内の建築工事を対象としてご回答ください。

【問 2-1】 フライアッシュコンクリートの施工実績の有無を選択してください。

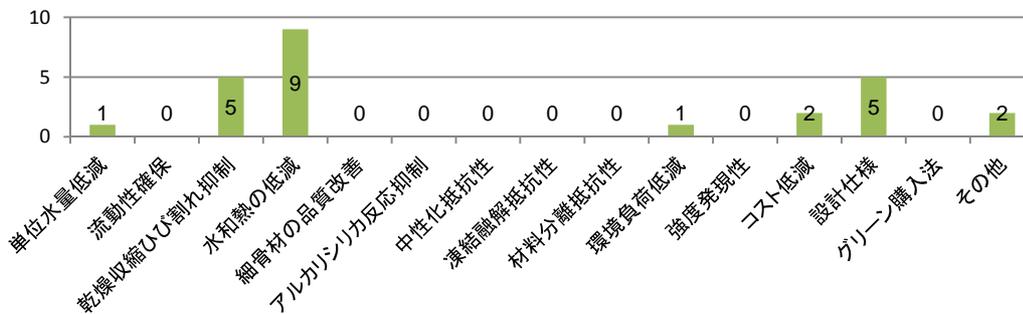
（「官庁工事・民間工事とも実績なし」の場合は、【問 2-4】に進む）



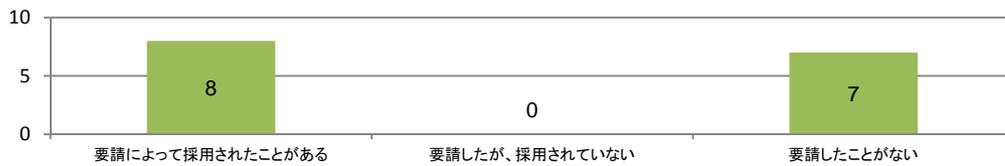
【問 2-2】 フライアッシュコンクリートを使用した部位をすべて選択してください。



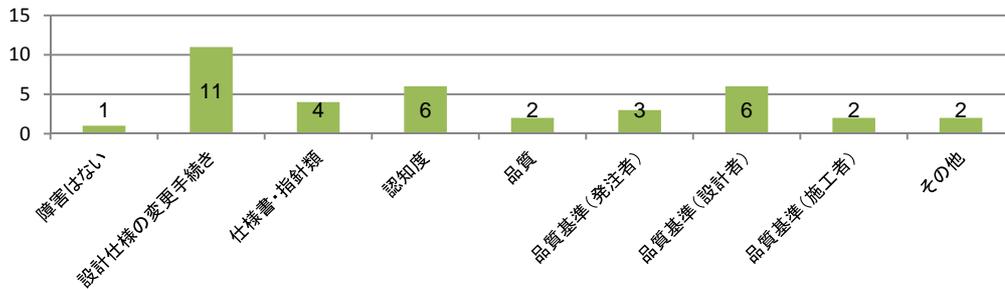
【問 2-3】 フライアッシュを採用した主な目的について、該当する項目を最大で 3 個まで選択してください。（最大 3 個）



【問 2-4】フライアッシュコンクリートが設計仕様として指定されていない案件で、仕様変更などの要請によってフライアッシュコンクリートが採用された事例がありますか。

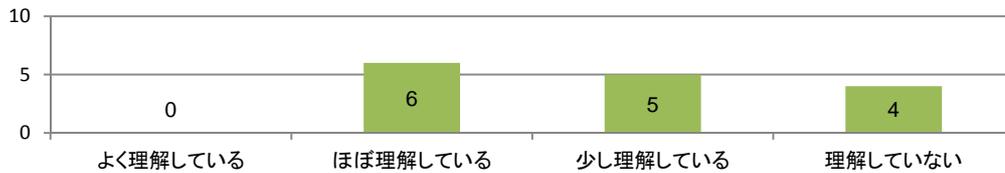


【問 2-5】フライアッシュコンクリートが設計仕様として指定されていない案件で、その採用にあたって障害となる項目を最大で3個まで選択してください。(最大3個)

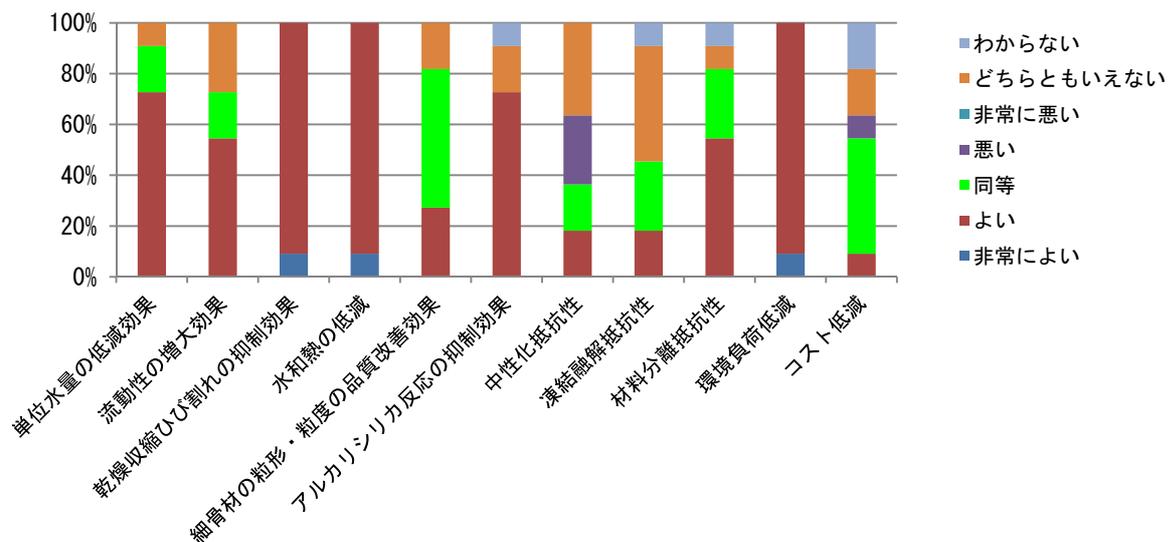


### 3. フライアッシュコンクリートに対するイメージなどについて

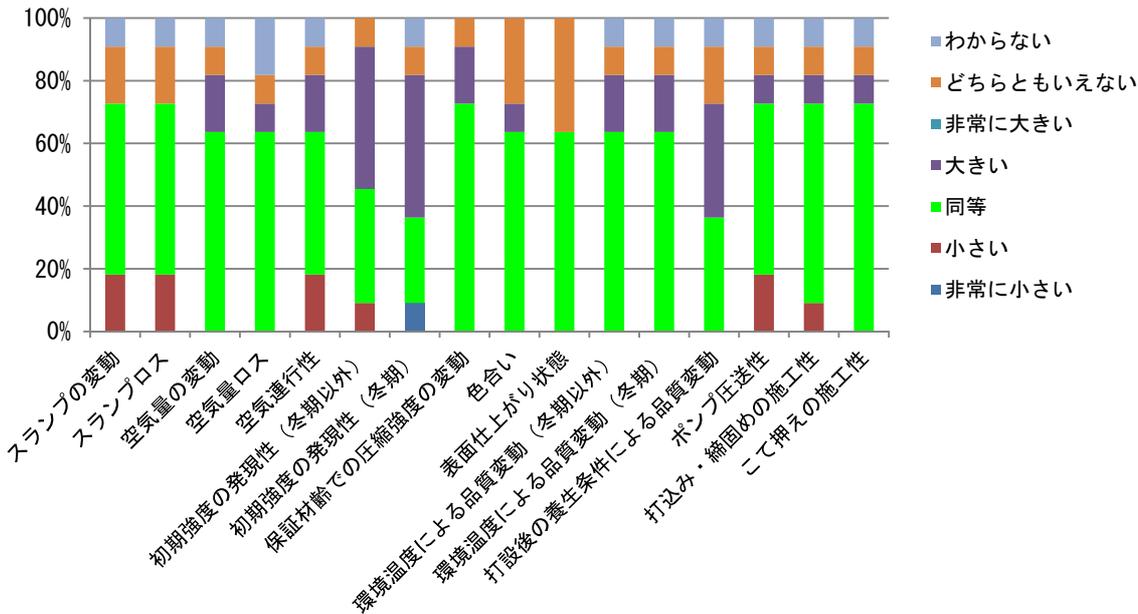
【問 3-1】ご回答者のフライアッシュコンクリート全般に関する理解度を選択してください。(「理解していない」の場合は、【問 4-1】に進む)



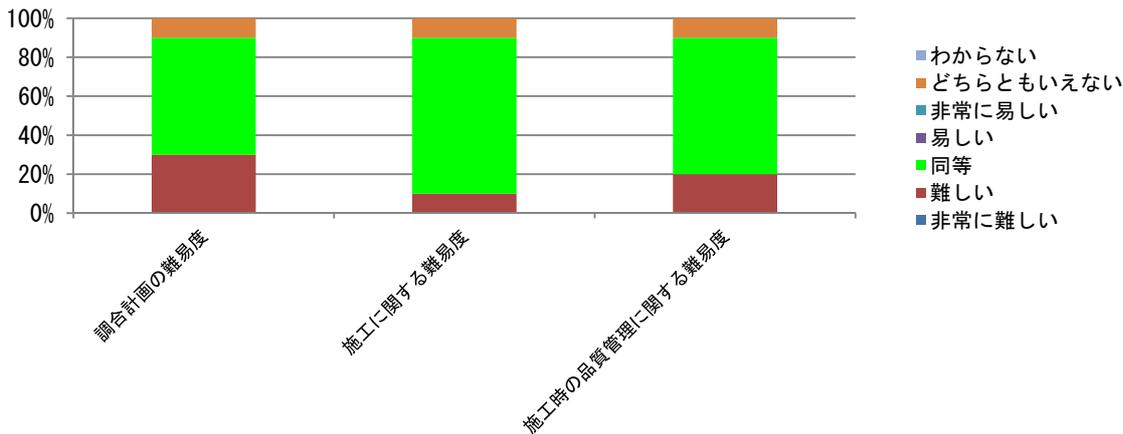
【問 3-2】普通ポルトランドセメントを使用した一般的なコンクリートと比較して、フライアッシュの効果をごどのように思われていますか。下記の各項目についてご回答ください。



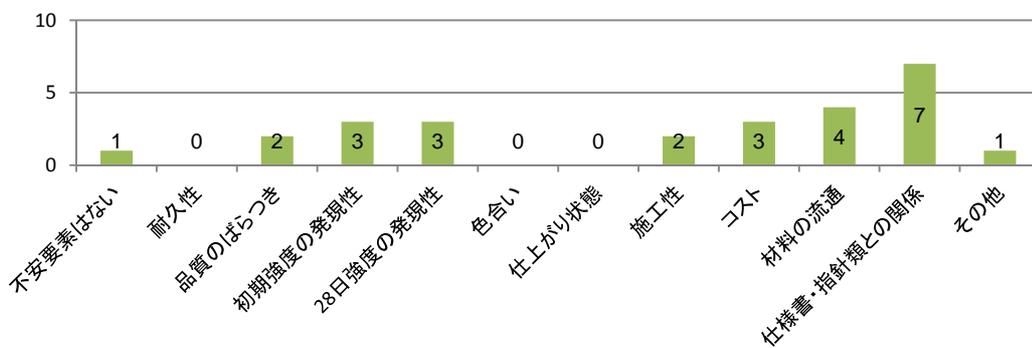
【問 3-3】 普通ポルトランドセメントを使用した一般的なコンクリートと比較して、フライアッシュコンクリートの品質をどのように思われていますか。下記の各項目についてご回答ください。



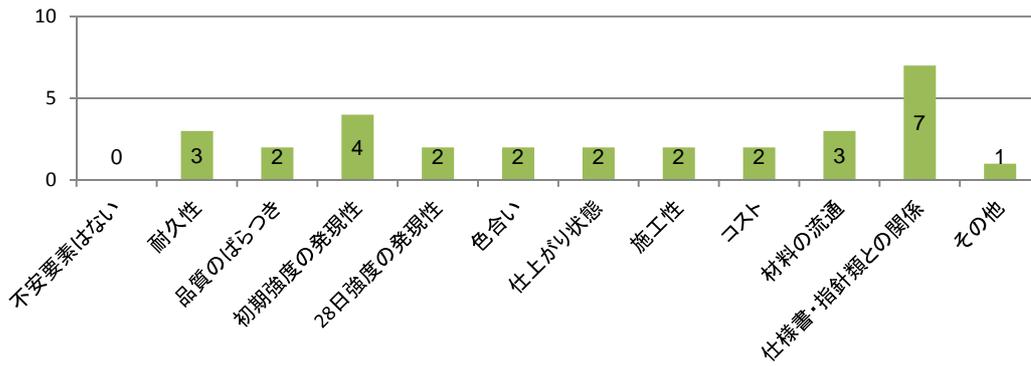
【問 3-4】 普通ポルトランドセメントを使用した一般的なコンクリートと比較して、フライアッシュコンクリートの難しさをどのように思われますか。下記の各項目についてご回答ください。



【問 3-5】 基礎や地下部躯体にフライアッシュコンクリートを使用する場合、不安要素となる項目を最大で 3 個まで選択してください。(最大 3 個)

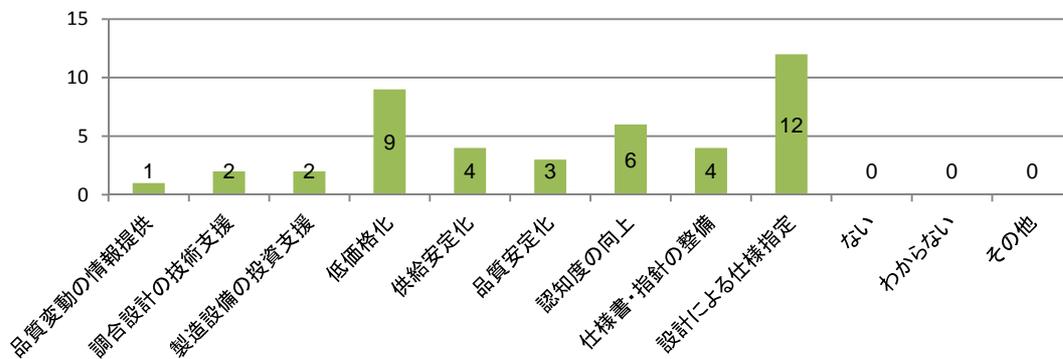


【問 3-6】 地上部躯体にフライアッシュコンクリートを使用する場合、不安要素となる項目を最大で3個まで選択してください。(最大3個)



#### 4. フライアッシュに対する改善事項などについて

【問 4-1】 フライアッシュコンクリートの利用拡大を図るうえで、改善が必要と思われる項目を最大で3個まで選択してください。(最大3個)



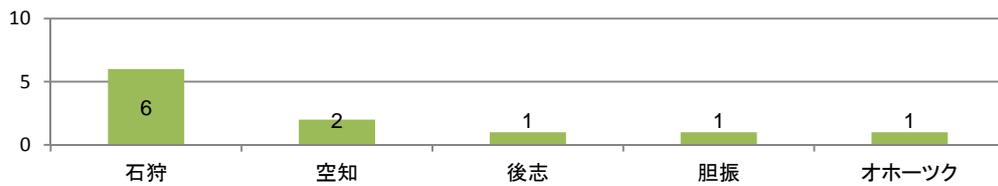
【問 4-2】 フライアッシュコンクリートの利用や普及について、ご要望やご意見などをご記入ください。ぜひ、率直なご意見をお聞かせ下さい。

回答：後記（6）

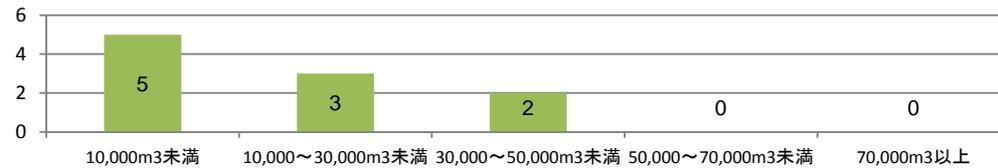
## (5) コンクリート製品製造者のアンケート結果（配布数 12、回答数 11、回収率 92%）

### 1. 貴社工場について

【問 1-1】 工場の所在地（市町村）を入力してください。



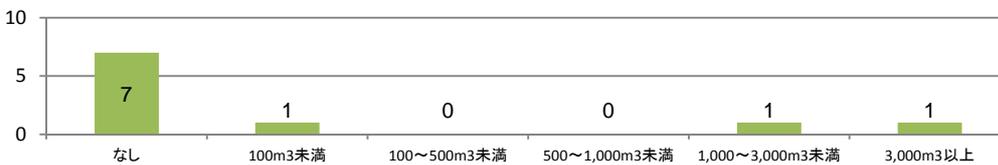
【問 1-2】 平成 24 年度における年間出荷量（建築以外を含めた工場全体）を選択してください。  
※ 建築分野以外も対象としてください。



【問 1-3】 貴社工場でのフライアッシュコンクリートの利用状況を選択してください。

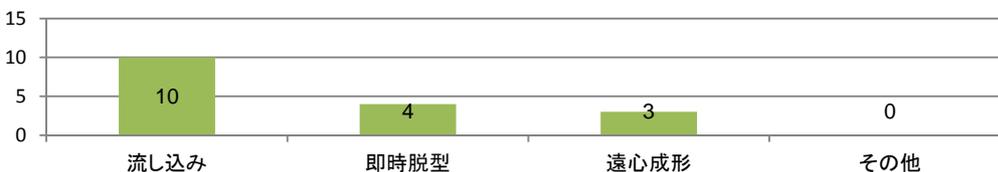


【問 1-4】 平成 24 年度のフライアッシュコンクリートの年間出荷量（建築分野）を選択してください。



【問 1-5】 フライアッシュコンクリートを利用して製造している製品を入力してください。  
空洞ブロック、コンクリートポール、コンクリートブロック、平板類、基礎ブロック類、  
縁石類、柵類、U 形、RCP など

【問 1-6】 貴社工場での製造方法をすべて選択してください。



### 2. 貴社におけるフライアッシュコンクリートの利用状況について

※ フライアッシュを工場製品にしていない場合は、3 にお進みください。

【問 2-1】 フライアッシュコンクリートの利用範囲について、ご回答ください。

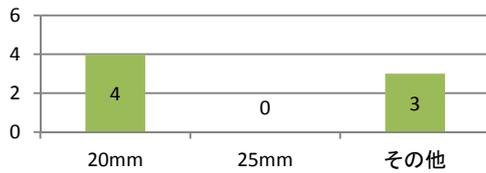
・設計基準強度

回答：8N/mm<sup>2</sup>～65N/mm<sup>2</sup>

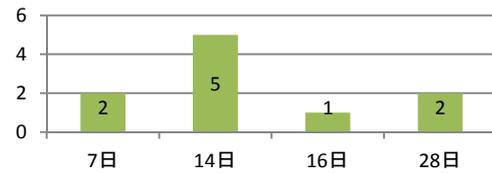
・スランプ、スランプフロー

回答：0cm～フロー60cm

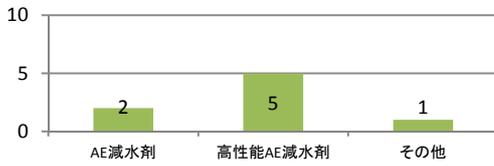
・粗骨材の最大寸法



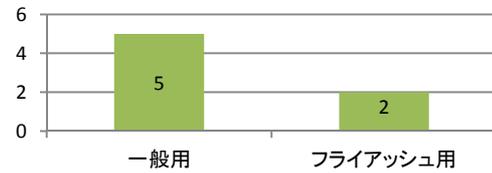
・設計基準強度を保證する材齡



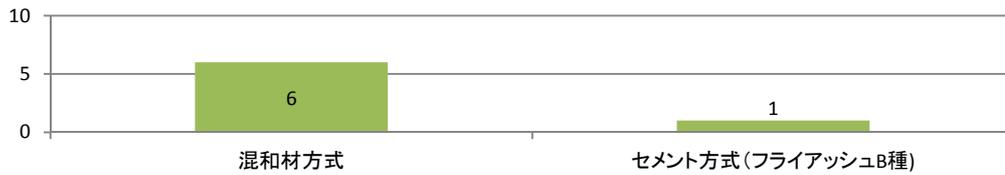
・減水剤の種類



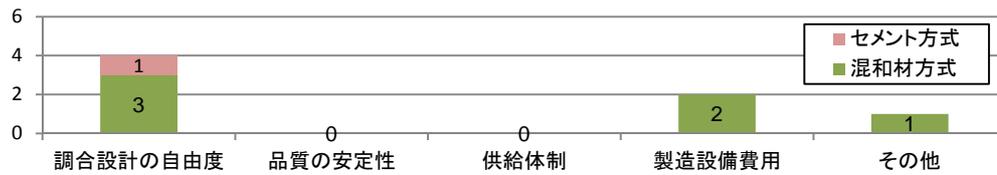
・AE剤の種類



【問 2-2】 フライアッシュの使用方法を選択してください



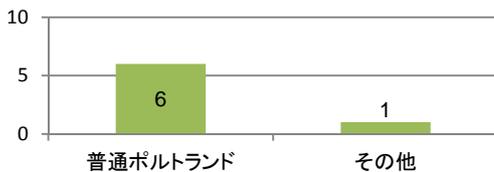
【問 2-3】 前問の使用方法に関して、最も大きな採用理由を選択してください。



【問 2-4】 混和材方式における、使用セメント、フライアッシュの種類などについてご回答ください。

※セメント方式の場合は、問 2-5 にお進みください。

・セメント種類



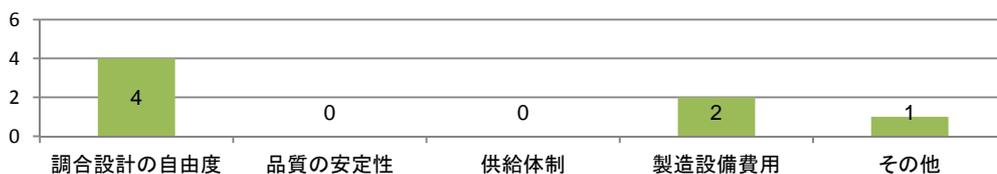
・フライアッシュ種類



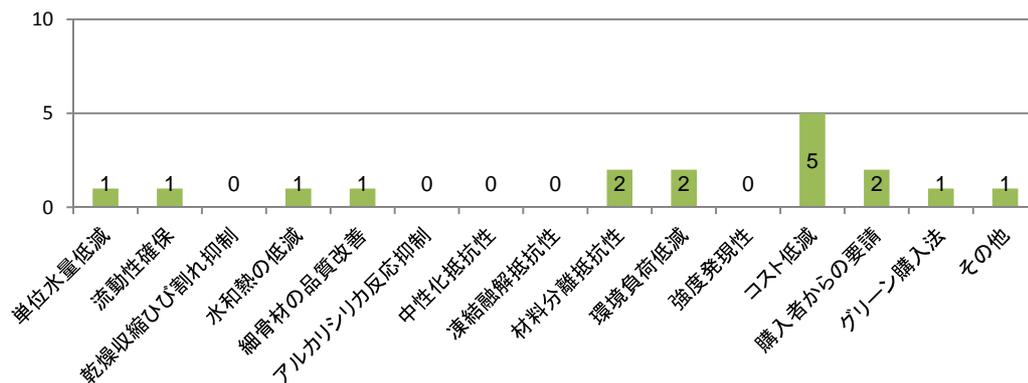
・フライアッシュ混入前と比較して、調合上の相違についてご回答ください。

- ・セメント量をフライアッシュに置き換えた。
- ・セメント量の概ね 10% を骨材に置き換えた。
- ・製品などは管理材齡 14 日が多く、初期の強度を考慮すると外割りの関係式となる。
- ・細骨材の代替として使用しているため、粉体材料増大による美観の向上
- ・全質量の 10% をフライアッシュと置換する。

・上記調合方法について、最も大きな採用理由を選択してください。

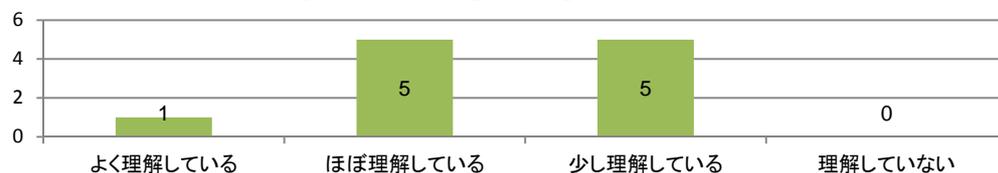


【問 2-5】フライアッシュを採用した主な目的について、該当する項目を最大で3個まで選択してください。（最大3個）

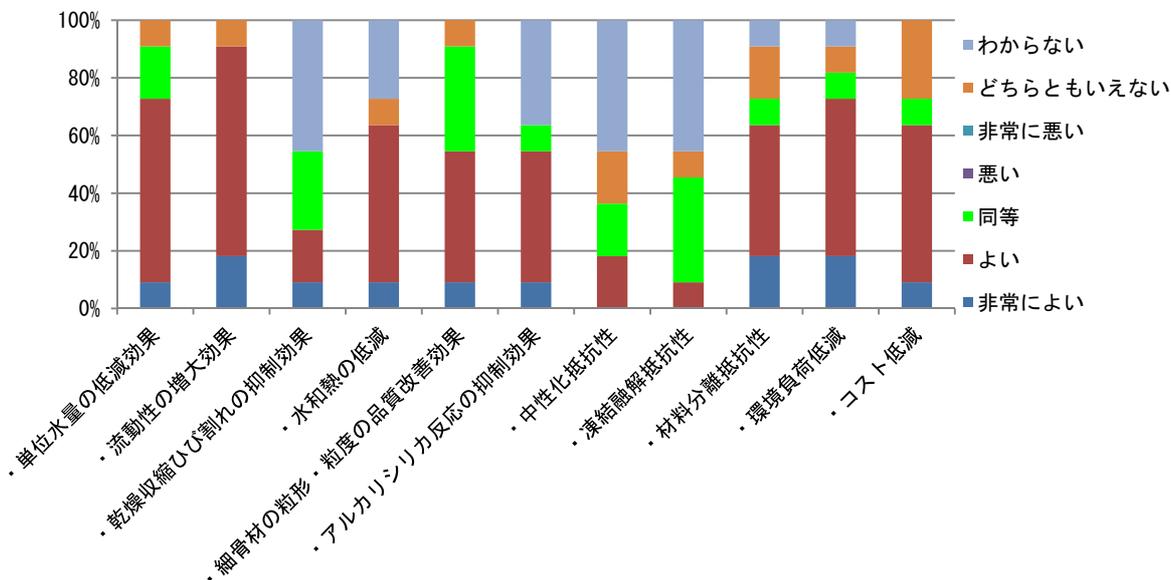


### 3. フライアッシュコンクリートに対するイメージなどについて

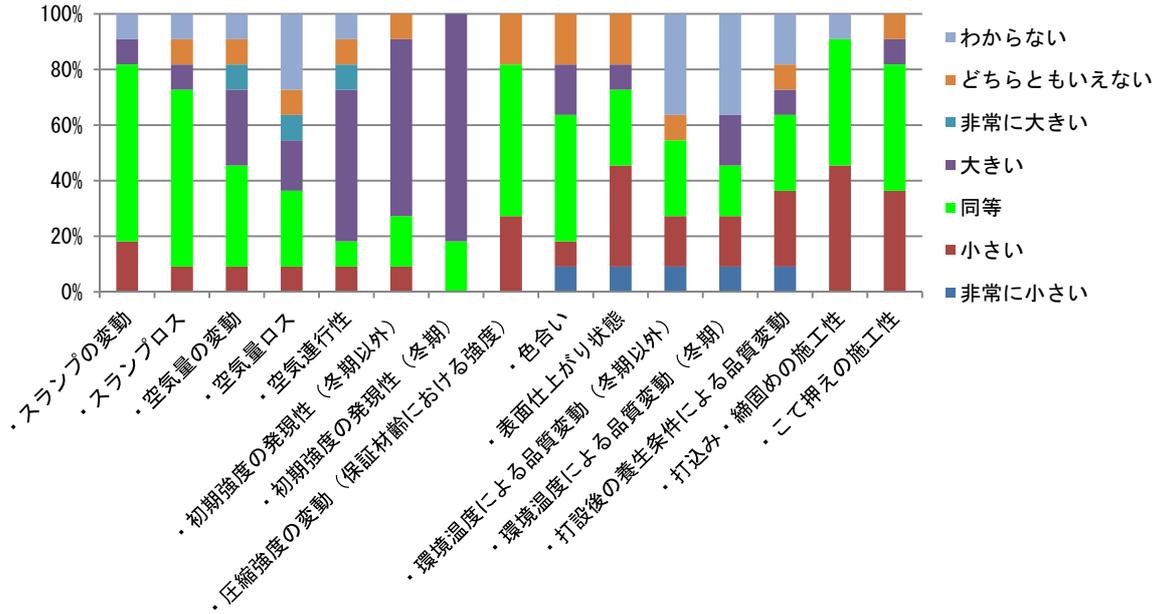
【問 3-1】回答者のフライアッシュコンクリート全般に関する理解度を選択してください。（「理解していない」の場合は、【問 4-1】に進む）



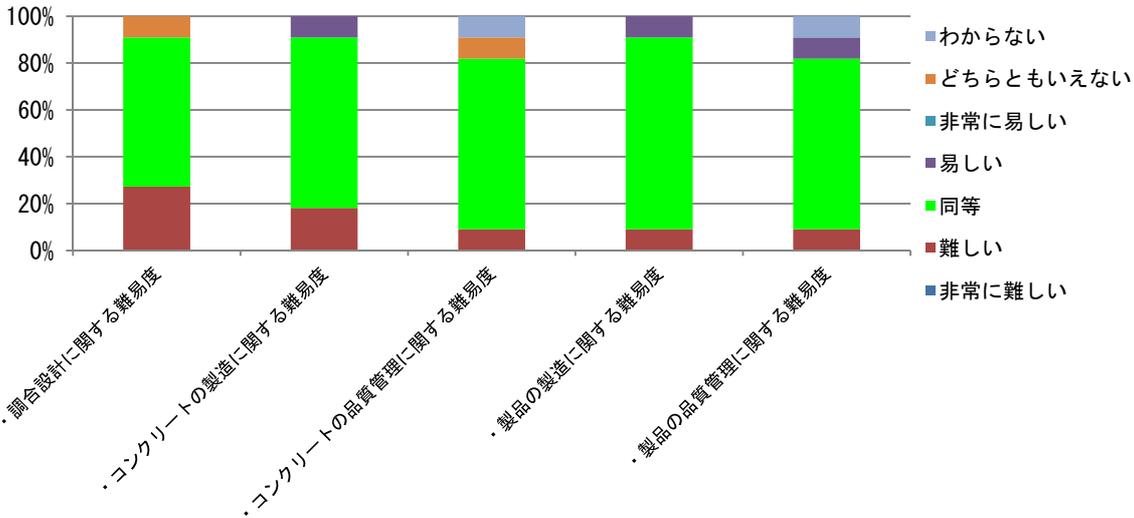
【問 3-2】普通ポルトランドセメントを使用した一般的なコンクリートと比較して、フライアッシュの効果をどのように思われていますか。下記の各項目についてご回答ください。



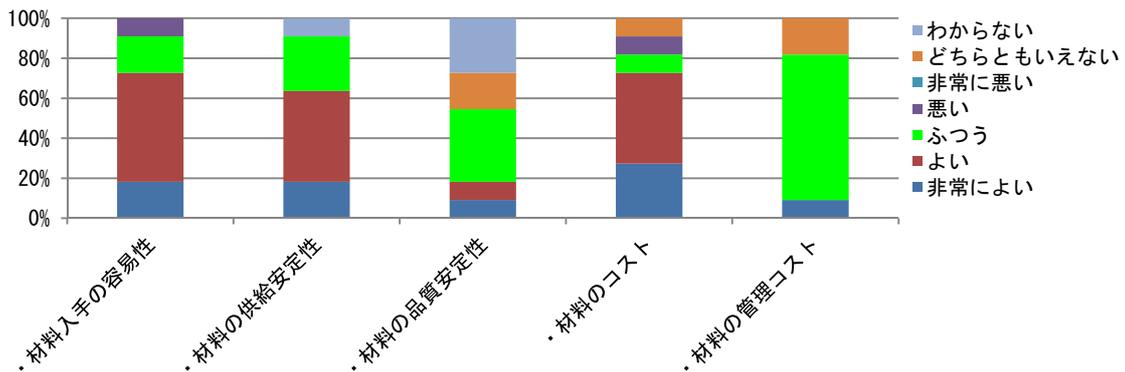
【問 3-3】 普通ポルトランドセメントを使用した一般的なコンクリートと比較して、フライアッシュコンクリートの品質をどのように思われていますか。下記の各項目についてご回答ください。



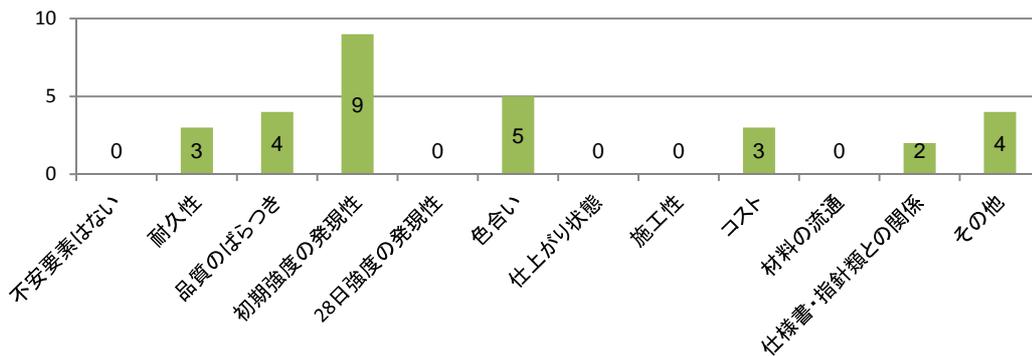
【問 3-4】 普通ポルトランドセメントを使用した一般的なコンクリートと比較して、フライアッシュコンクリートの難しさをどのように思われますか。下記の各項目についてご回答ください。



【問 3-5】 貴社工場におけるフライアッシュまたはフライアッシュセメントの下記項目に関して、どのように思われますか。

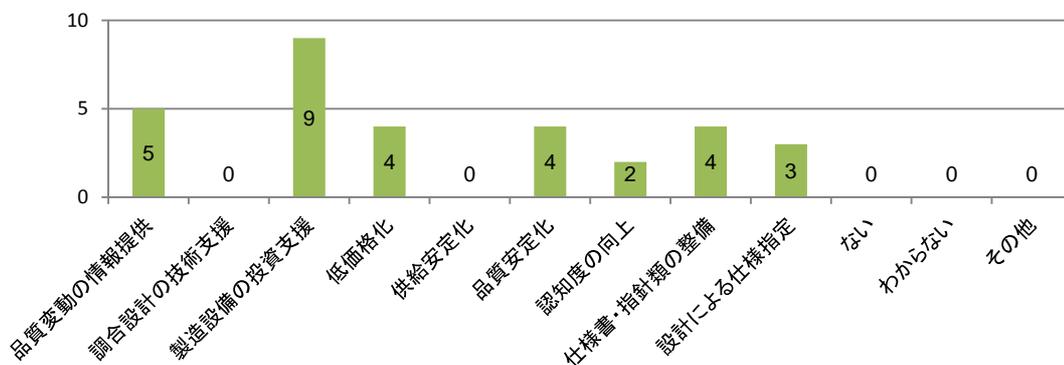


【問 3-6】工場製品にフライアッシュコンクリートを使用する場合、不安要素となる項目を最大で3個まで選択してください。(最大3個)



#### 4. フライアッシュに対する改善事項などについて

【問 4-1】フライアッシュコンクリートの利用拡大を図るうえで、改善が必要と思われる項目を最大で3個まで選択してください。(最大3個)



【問 4-2】フライアッシュコンクリートの利用や普及について、ご要望やご意見などをご記入ください。ぜひ、率直なご意見をお聞かせ下さい。

回答：後記（6）

## (6) フライアッシュコンクリートの利用や普及についての要望や意見について

### 1) 発注者

- ・供給可能工場や価格がわかれば、採用の検討がしやすくなると思います。
- ・コンクリート強度の発現が遅いことは、建築工事においては工事工程や全体工期、ひいては建設費に影響を与えることとなる為、一般的な工事での採用は難しいものと考えておりました。
- ・材料となるフライアッシュの供給安定性、北電との流通協定、プラント受入価格の統一化、混和剤との相関効果を示す実験データの公表等
- ・これまでフライアッシュコンクリートを実務で使用したことがありません。全体に対してどの程度使用されているのでしょうか。未燃炭量や反応性の違いなど品質のばらつきで問題は起こらないでしょうか？
- ・フライアッシュコンクリートの認知度が向上し、かつ、コストが下がれば、利用機会が増えると考えます。

### 2) 設計者

- ・JIS やストックの問題等から小規模案件ではコストアップとなる場合が多いとの認識があり、供給体制を整えることができれば、経済性の面からもメリットが出るのではないかと考える。
- ・弊社では監理業務を行うことが少ないため、フライアッシュコンクリートに関しては、恥ずかしながら教科書程度の知識しかございません。
- ・今後の利用・普及については、品質・特性などに関する認知を広める必要があり、建築業界全体としての取り組みが必要に思われます。
- ・特定の団体（コンクリート、セメント業界など）だけの取り組みでは限界があり、幅広い普及には繋がらないと思います。
- ・フライアッシュコンクリートの利用に対しての利点を理解する機会がない。フライアッシュコンクリートはどこでも利用できるか理解できていない。
- ・フライアッシュコンクリートの知識が自分自身不足しており、もう少し勉強が必要と考えています。現場の施工性、コストが認められれば今後採用したく思う。
- ・発注者意向により、フライアッシュコンクリートの使用が多いのですが、毎回、フライアッシュの品質のばらつきが気になっています。
- ・現状では、設計段階から指定で使うことよりも、施工側から指示されることの方が多いと思うので、構造的なメリット、デメリットを周知する必要があると思います。
- ・フライアッシュコンクリートの認知度・理解度をはかるために、講習会等を行うのがよいのでは。
- ・環境的に優れているのは理解しているが、寒冷地である北海道では採用に踏み切れない部分がある。また以前の熔融スラグ骨材の JIS 不適合問題のように、プラントの誤解によって万が一にでも、指定建築材料となり得なかったという事態になることも懸念される。
- ・高強度コンクリートを採用する機会が少ない。
- ・フライアッシュコンクリートに関する知見（長所・短所）が不足している。
- ・フライアッシュコンクリート利用の必然性が小さい。
- ・全道常時の供給体制（現材札幌・苫小牧程度か？もっと有るのかも知れませんが）
- ・定義の問題ですが、勉強不足だとは承知しておりますが、分からないのでお願いいたします。フライアッシュコンクリートとは、混和剤として使用した場合？セメントとして使用した場合？それともどちらの場合も含む？
- ・使用実績が少なく問 3-2 などの回答は、単に書籍に書いていた程度の理解度です、自分自身で感覚的にわかっているものでもありません。学術的な評価と同時に商品としての理解を深める商業ベースの普及が必要だと思います。

### 3) 生コン製造者

- ・昔から比べ、空気の連行性は良くなってきましたが、空気連行剤の使用量を減量し所定の空気量を確保できればより使用しやすくなります。(希釈の関係により)
- ・設計・管理 及び官公庁に環境負荷低減のアピールをすべきかと思えます。
- ・フライアッシュコンクリートの利用に関して、生コン工場に使用の有無の決定権がなく、設計による使用指定によって使用しているのが現状です。しかし、地域によっては、設計による使用指定されていても生コン工場に設備、調合等の不備のために利用されていないのも現状です。今後、建築構造物にフライアッシュコンクリートを使用する慣習を確立する必要があると思えます。
- ・製品の管理をしっかりとすればフライアッシュなしの生コンより状態は良いがフライアッシュ自体の品質が一定ではなく、ばらつきがあるように思う。設備も動荷重の値がシビアなため、初期段階は設備コストがかかる。
- ・空気量のロスが大きく現場納入のスランプ管理が難しい。
- ・フライアッシュB種セメントを規格化していますが、もう3年ほど出荷実績が無く、また貯蔵設備の問題もあり苦慮しています。

### 4) 施工者

- ・環境負荷低減の名目だけでも大いに利用価値が有ると思えます。各種の試験データでは大きな欠点は見当たらないので広く使われるようになると良いなと感じます。
- ・フライアッシュコンクリートを使用しての実害は聞いたことがない。一方、必要に迫られなければ一般的な(手間のかからない)Nコンクリートとなる。利用するにあたっての動機づけが必要であり、環境意識の更なる高まりと低価格化は必然と考えます。
- ・フライアッシュセメントを使用する場合、サイロの増設が必要となる場合が多い。うち割り15%置換とする場合、JIS認証や混和材サイロの増設が必要となる場合が多い。上記条件について、地方プラントに対応を要請した場合、対応が困難な場合が多い。
- ・当社の北海道内建築工事物件での使用実績はなく、また検討したこともないため、当該コンクリートに関する詳細なコメントはできません。ただし、汎用コンクリートと比較しての性能向上と品質保証に関する仕様が広く知られ、コストを含めたメリットが確保できるなら今後の普及もあると考えます。その場合には、構造体の基本となる品質を確保するための調査や施工条件を加味した検討のうえで、採用を考慮したいと思えます。
- ・品質の安定化(できれば全国レベルで)、スランプ、空気量の管理幅の緩和”
- ・品質確保や環境負荷低減の観点からフライアッシュを使用することは有効であると思う。しかし、発注者や設計者のフライアッシュに関する認識は低い。また、コスト上のメリットが生じるような体制が必要であると思う。
- ・以前に北海道電力の発注工事で、水力発電所の下部が土木工事で上部が建築工事の時にフライアッシュのお話しが有りました。その時、旭川の生コン工場での実績が少ないことと、骨材が当時は厚真の火力発電所の方から輸送してくるので高く付くとのことを聞きました。コストが安くなるのであればVE提案等して採用も考えて行きたいとも思えます。
- ・現在まで使用する機会がなかったので、出来れば冬季施工等に使用してみたい。

### 5) コンクリート製品製造者

- ・フライアッシュの密度変動をセメント同等レベル許容範囲になると良いと思えます。フライアッシュコンクリートの特性は、優位性を示す利点も多く今後利用促進していくと思えます。
- ・電力供給に占める火力発電の割合が増加している。そのような社会的背景から、限りある資源の持続可能性を追求した建設サステナビリティへの関心が高まり、フライアッシュの活用促進の機運が高まっている。これに伴い今後は、サプライチェーンマネジメントの活用に対するインセンティブの付与が始まることを期待する。
- ・製品工場においては、サイロ設置等の費用がかかる。また官公庁が熱心でない。
- ・フライアッシュの品質不安定や空気連行性、初期強度低下などの良くないイメージが設計者や利用者 に定着している傾向があり、それを払拭するようなキャンペーンが必要と思われる。当方は、高流動コンクリートの分離低減用粉体に利用していこうと考えており、そのためF a R C研究会に入会し試験をスタートしました。

### 資料3. 北海道におけるフライアッシュコンクリートの調合に関する調査結果

- ・調査対象：北海道に所在する 35 工場（混和材方式 19 工場、セメント方式 16 工場）
- ・調査調合：呼び強度 30、スランプ 15cm・18cm、空気量 4.5%、粗骨材の最大寸法 20mm または 25mm  
呼び強度を保証する材齢 28 日・56 日、AE 減水剤使用  
普通ポルトランド、フライアッシュコンクリート（混和材方式、セメント方式）
- ・データの属性：表 1.1 に示す。

表 1.1 データの属性

	製造方法	呼び強度を保証する材齢		備考
		28 日	56 日	
混和材方式	19	19	6	※ 強度式に B/W 適用：3 工場
セメント方式	16	16	4	
計	35	35	10	

- ・記号の説明：

N：普通ポルトランドセメントを使用するコンクリート，FA：フライアッシュコンクリート  
 28：呼び強度を保証する材齢 28 日，56：呼び強度を保証する材齢 56 日  
 S15：スランプ 15cm，S18：スランプ 18cm

#### (1) 単位水量

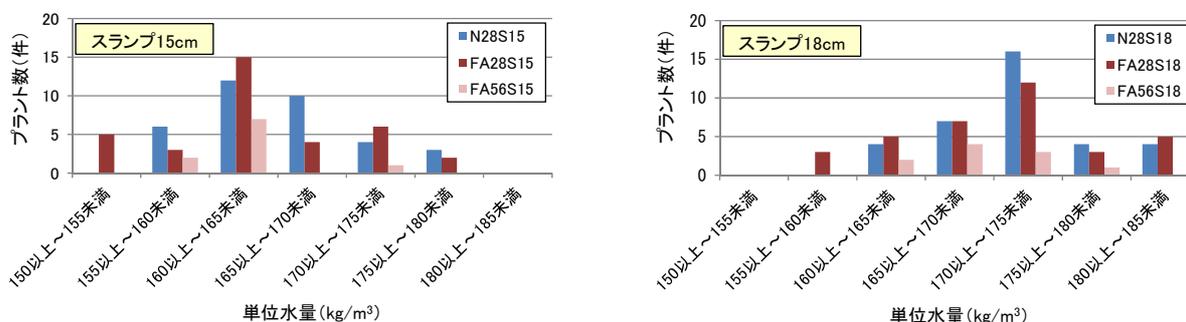


図 1.1 単位水量の分布

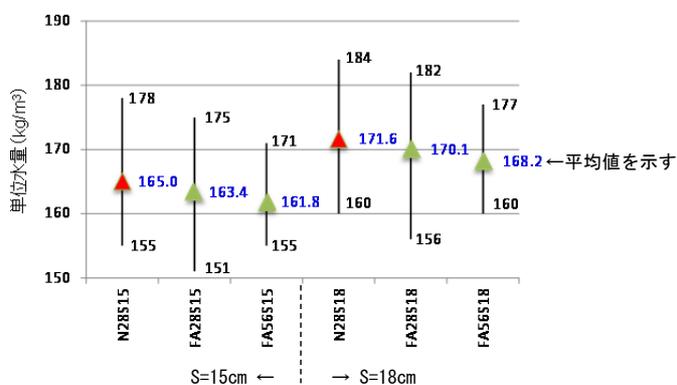


図 1.2 単位水量の範囲

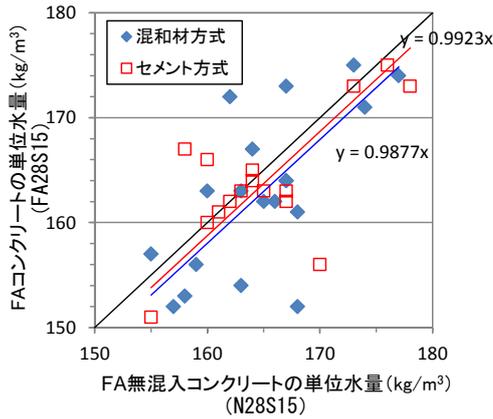


図 1.3 N28S15 と FA28S15 の単位水量

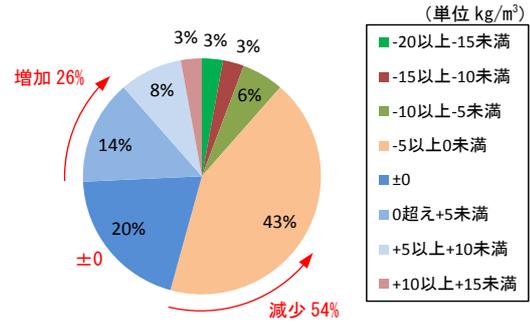


図 1.4 N28S15 に対する FA28S15 の単位水量

- ✓ 各調査における単位水量の範囲（最大値と最小値の差）は、16～26kg/m<sup>3</sup>に分布する。
- ✓ 呼び強度を保証する材齢が 28 日の場合、普通ポルトランドセメントを使用するコンクリートと比較して、フライアッシュコンクリートの単位水量の平均値はスランプ 15cm、18cm とともに約 1.5kg/m<sup>3</sup>（約 1%）減少する。
- ✓ スランプ 15cm の場合、単位水量が減少する調査は全体の 54%（19 件）であり、そのうち減少量が 0 未満から 5kg 以下となる場合が最も多く、43%（15 件）を占める。一方、単位水量が同一となる調査が 20%（7 件）、単位水量が増加する調査が 26%（9 件）である。

## (2) 単位セメント量

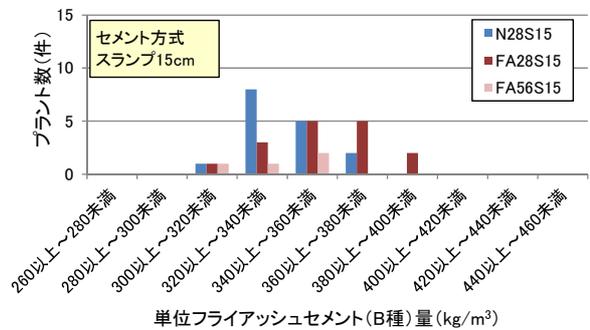
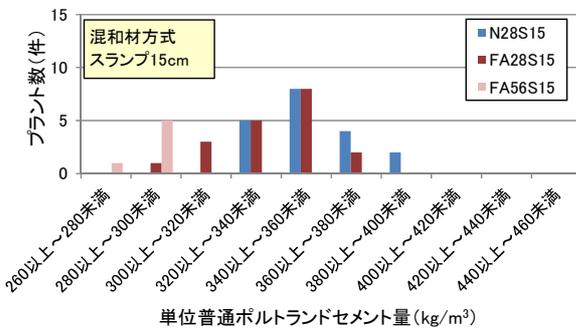


図 2.1 単位セメント量の分布（スランプ 15cm）

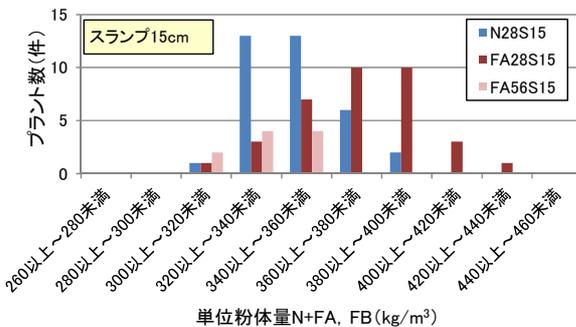


図 2.2 単位粉体量の分布（スランプ 15cm）

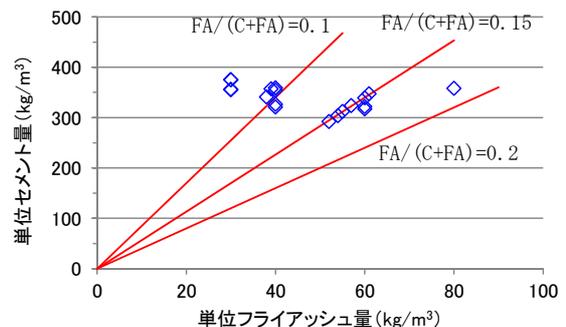


図 2.3 フライアッシュ置換率（FA28S15，混和材方式）

表 2.1 混和材方式の単位セメント量 (kg/m<sup>3</sup>)

	N28S15	FA28S15	FA56S15	N28S18	FA28S18	FA56S18
最大値	384	375	295	403	393	310
最小値	324	292	265	334	301	272
範囲	60	83	30	69	92	38
平均値	351.6	338.6	283.8	365.8	352.4	294.7

※N, FA ともに普通ポルトランドセメントの質量を示す。

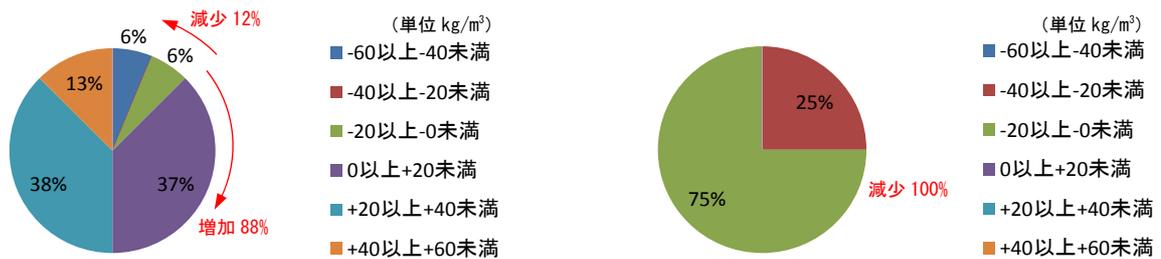
表 2.2 セメント方式の単位セメント量 (kg/m<sup>3</sup>)

	N28S15	FA28S15	FA56S15	N28S18	FA28S18	FA56S18
最大値	378	398	347	389	417	362
最小値	318	318	316	334	328	332
範囲	60	80	31	55	89	30
平均値	340.3	356.1	333.8	353.4	370.4	347.5

※N では普通ポルトランドセメントの質量, FA ではフライアッシュセメント B 種の質量を示す。

表 2.3 単位粉体量 (kg/m<sup>3</sup>)

	N28S15	FA28S15	FA56S15	N28S18	FA28S18	FA56S18
最大値	384	438	347	403	451	365
最小値	318	318	312	334	328	320
範囲	66	120	35	69	123	45
平均値	346.4	372.2	333.9	360.1	386.7	347.0



a. 呼び強度を保証する材齢 28 日

b. 呼び強度を保証する材齢 56 日

図 2.4 N28S15 に対する FA28S15 のセメント量 (セメント方式)

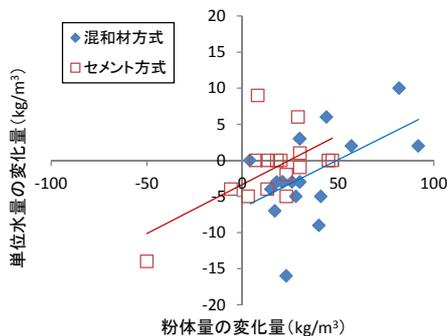


図 2.5 普通ポルトランドセメントの調合と比較した粉体量と単位水量の変化量の関係 (スランプ 15cm)

- ✓ フライアッシュの混入比率 (FA/(C+FA)) は概ね 0.2 以下に分布する。
- ✓ 図 2.4 に示すように、セメント方式 (スランプ 15cm) において、普通ポルトランドセメントを使用する調合と比較すると、材齢 28 日ではセメント量は 88% (14 件) で増加し、材齢 56 日ではすべて減少する。なお、スランプ 18cm についても同一の結果が得られた。

### (3) 水セメント比

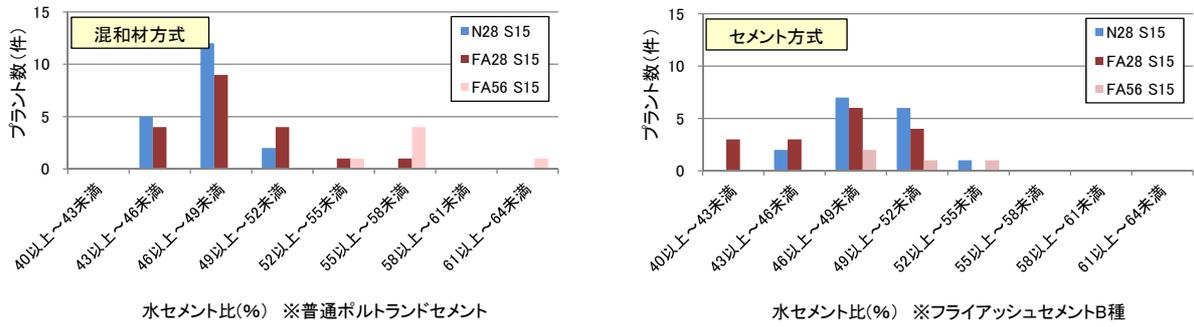


図 3.1 水セメント比の分布 (スラップ 15cm)

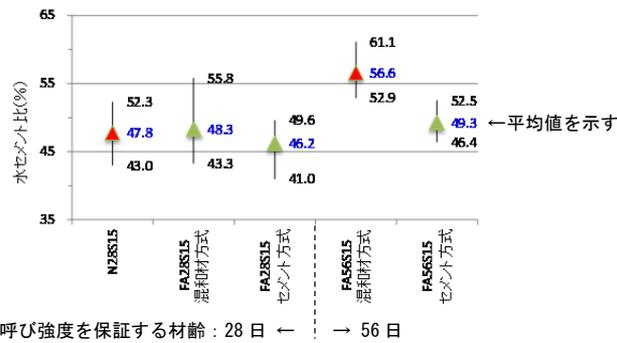


図 3.2 水セメント比の範囲 (スラップ 15cm)

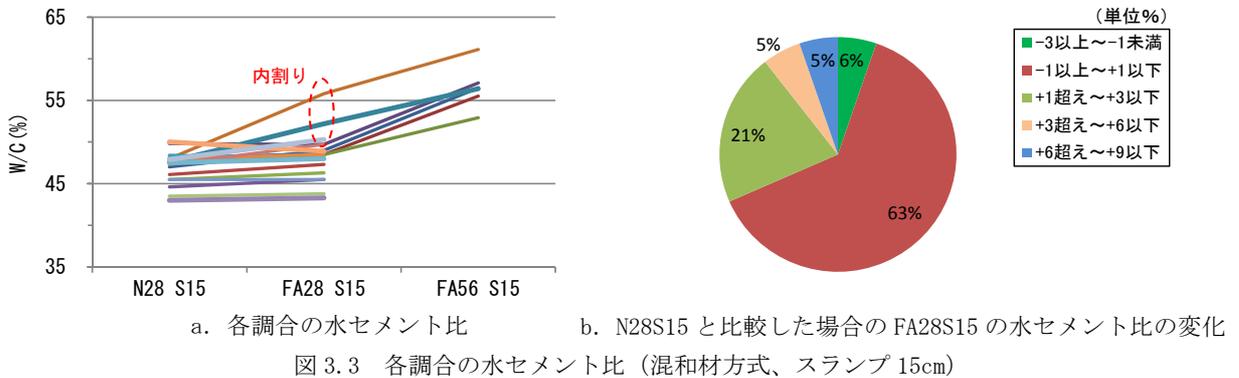


図 3.3 各調合の水セメント比 (混和材方式、スラップ 15cm)

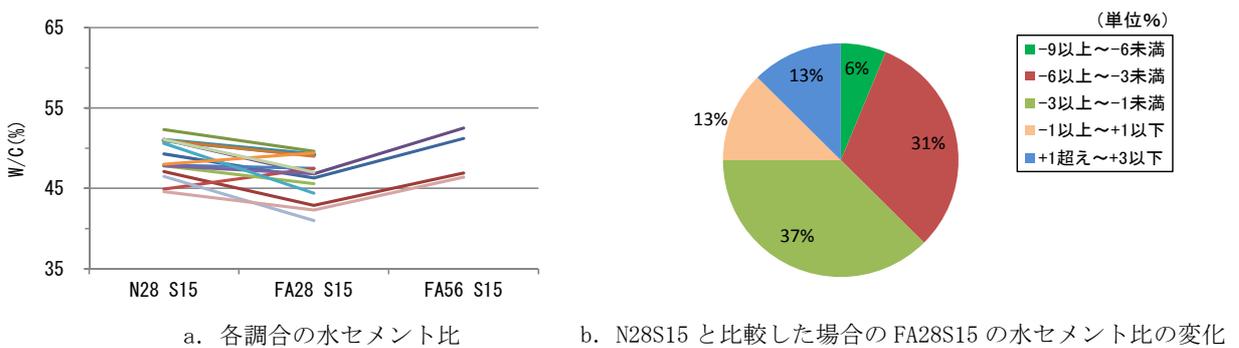


図 3.4 各調合の水セメント比 (セメント方式、スラップ 15cm)

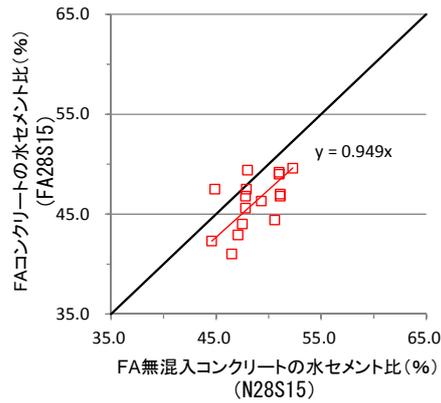


図 3.5 N28S15 と FA28S15 の水セメント比

- ✓ 呼び強度を保証する材齢 28 日、スランプ 15cm の場合、水セメントの範囲は混和材方式 12.5%、セメント方式 8.5% である。
- ✓ 混和材方式の水セメントは、普通ポルトランドセメントを使用する調合と比較すると、その差異が ±1% 以内となる調合が 63% (12 件) を占める。また、水セメント比の増加が 3.0% を超える調合が 10% (2 件) 存在し、これらの調合は内割りである。内割りの調合では普通ポルトランドセメントを使用する調合に比べ、水セメント比は最大で 7.8% 増加している。
- ✓ セメント方式の水セメント比は、普通ポルトランドセメントを使用する調合と比較すると約 5% 減少する傾向を示す。