

1. プレキャストコンクリート製品に用いる
リサイクル・未利用資源有効利活用検討部会報告書

平成 31 年 3 月

一般社団法人 東北コンクリート製品協会
リサイクル・未利用資源有効利活用検討部会

はじめに

プレキャストコンクリート製品は、多様な廃棄物を利活用できる可能性を持っています。東北地方では、一般廃棄物や産業廃棄物あるいはそれらの焼却灰を高温で熔融固化した熔融スラグをコンクリートの細骨材として、平成 13 年頃から積極的に利用するようになり、現在では、熔融スラグを細骨材として用いたプレキャストコンクリート製品が、多くの公共工事で利活用されるようになりました。また、熔融スラグ細骨材以外のリサイクル材（再生骨材やフライアッシュなど）についても各県のリサイクル製品認定制度において認定され、プレキャストコンクリート製品の材料に利用されています。

東北コンクリート製品協会では技術委員会の中に、「リサイクル・未利用資源有効利活用検討部会」を立ち上げ、今後コンクリート製品に利用が期待されるリサイクル材料に関する調査・研究活動を行っています。現在すでに利活用されている材料、今後利活用の可能性がある材料について調査し、この度、報告書としてまとめました。具体的にはリサイクル材料の種類と利用状況、将来性等について、まとめています。さらに将来発生量の増加が見込まれ、かつプレキャストコンクリート製品に利用されることが期待される材料として、「再生粗骨材 M」および「フライアッシュ」のふたつの材料を取り上げ、これらの材料をプレキャストコンクリート製品に利用するための、東北コンクリート製品協会版のガイドライン（案）を作成しました。本報告書が、東北地方におけるプレキャストコンクリート製品へのリサイクル材料の利用推進のための一助となれば幸いです。

（一社）東北コンクリート製品協会技術委員長 金子 修

（一社）東北コンクリート製品協会技術委員会
リサイクル・未利用資源有効利活用検討部会

部会長

野 添 勉（中栄コンクリート工業株式会社）

委 員

秋葉正一（株式会社技研）

金 子 修（前田製管株式会社）

菊池宏昭（岩手ハネダコンクリート株式会社）

舟田詔文（株式会社坂内セメント工業所）

山崎克久（岩城ブロック工業株式会社）

旧委員

佐藤敦司（万年コンクリート工業株式会社）

（五十音順、敬称略）

発刊にあたって

わが国の産業は 8 億トンの原材料を輸入し、1.8 億トンの製品を輸出する加工貿易で生計を立てており、先進国において、これだけアンバランスな輸出入物資収支の国は他にはありません。その結果、国土の狭い日本は廃棄物が増える社会構造となっています。国内資源もあわせると毎年廃棄物 5 億トン以上が排出され、この中、中間処理による減量およびリサイクルされるものを除き、最終埋立て処分されているものは約 2,000 万トンです。

一方、コンクリート産業をはじめとした建設業はその規模が大きいために環境に及ぼす影響も正、負の双方において大きく、最も利用される資材は砂、碎石に代表される骨材です。毎年 8~9 億トンという他の資材では例を見ない量が消費されています。昭和 40 年代までは河川骨材が主流でしたが、長年の開発による資源枯渇や環境保全による採取規制区域の拡大等により現在は碎石が主流となっており、そのシェアは今後も増えると考えられます。碎石は石山を削り採取するものであるから、当然山がなくなり、また、骨材資源は無尽蔵なものではなく地域によってはすでに枯渇しているところも増えてきています。

また、レディーミクストコンクリートの出荷量は平成 2 年度の 1.97 億 m^3 をピークに平成 27 年度は 0.9 億 m^3 、工場製品の 0.6 億トンをあわせると年間 2.7 億トンが利用され、これまでに我が国でストックされたコンクリートは 100 億トンを超えています。これらが老朽化する数十年後にはこれと同量のコンクリート廃棄物が排出されることになり、建設業の廃棄物も増えることになります。

このように建設業は環境に対して負のイメージが大きいですが、循環型社会への転換において大きな役割も兼ね備えていると考えています。すなわち、建設業は最終処分される廃棄物を処理できるキャパシティーをもつ唯一の産業なのです。当然、廃棄物をそのまま受け入れようというのではなく、コンクリート資材として利用できるかどうか吟味し、さらに利用できるように加工して受け入れるのです。これまでもコンクリート産業は多くの廃棄物を受け入れてきています。例えば、高炉スラグやフライアッシュなどは他産業の副産物であり、最近ではフェロニッケルや銅スラグも骨材として利用されています。

資源循環型社会の構築のためには、多くの廃棄物についてリサイクル研究を進めなければならず、コンクリート産業はこれまで通り、社会資本整備においてその技術を発揮し、今後もさらに大きな使命を担うと同時に、加えて、これからは資源循環型社会の達成に廃棄物を有効、かつ、多量に利用できる唯一の産業として社会から期待され、それを築くことを託されています。

とくに、プレキャストコンクリート製品への利用については、レディーミクストコンクリートに比べ、以下に示すメリットがあります。

- ① コンクリート製品の品質規格は、性能規格であり、完成品の性能が確認できれば、使用する材料の品質を特に制限する必要は無い。
- ② プレキャストコンクリート製品工場は、一回の製造量が少なく、少量のリサイクル材にも対応可能である。
- ③ 小型のプレキャストコンクリート製品は将来的に交換が可能であるので、万が一、不具合が生じた場合でも、対処が可能である。

さて、今回、東北コンクリート製品協会では技術委員会の中に、「リサイクル・未利用資源有効利活用検討部会」を立ち上げ、東北コンクリート製品協会版のガイドライン（案）を作成しました。主に「再生粗骨材M」と「フライアッシュ」を取り上げております。前者は、全国的に大きな課題となることが予想されており、後者は原子力発電所の減少に伴い、火力発電所への依存が高くなり、とくに福島県を中心に東北地方では大量に発生するものです。

これらのリサイクル材が気象条件の厳しい東北地方で普及すれば全国へも展開するものと期待されております。先のごみ溶融スラグの利用についても東北地方が全国に先駆けて展開し、今日の普及につながっているのです。

本報告書が、わが国の廃棄物の減少とリサイクルの推進に、役立つことを期待したい。

宮城大学 教授 北辻政文

目 次

1. プレキャストコンクリート製品に利用されるリサイクル材料	1
2. 再生粗骨材Mを用いたプレキャストコンクリート製品製造のガイドライン（案）	7
3. フライアッシュを用いたプレキャストコンクリート製品製造のガイドライン（案）	25
4. 再生粗骨材Mに関する参考文献	41
5. フライアッシュに関する参考文献	54

1. プレキャストコンクリート製品に利用されるリサイクル材料

プレキャストコンクリート製品に利用されている、または利用可能なリサイクル材料は数多くありますが、ここでは、JIS 規格として定められている材料や、リサイクル利用の取り組みに関する制度の紹介、実際の各種リサイクル材料の利用状況の概要について述べます。

1. 1 リサイクル材料の関連 JIS

プレキャストコンクリート製品に利用可能と思われる、JIS 規格にあるリサイクル材料の例を以下に示します。

(1)セメント

JIS R 5211:2009 高炉セメント

JIS R 5212:2009 シリカセメント

JIS R 5213:2009 フライアッシュセメント

JIS R 5214:2016 エコセメント

(2)骨材

JIS A 5011-1:2018 コンクリート用スラグ骨材-第 1 部：高炉スラグ骨材

JIS A 5011-2:2016 コンクリート用スラグ骨材-第 2 部：フェロニッケルスラグ骨材

JIS A 5011-3:2016 コンクリート用スラグ骨材-第 3 部：銅スラグ骨材

JIS A 5011-4:2018 コンクリート用スラグ骨材-第 4 部：電気炉酸化スラグ骨材

JIS A 5021:2016 コンクリート用再生骨材 H

JIS A 5031:2016 一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を熔融固化したコンクリート用熔融スラグ

(3)生コンクリート

JIS A 5022:2012 再生骨材 M を用いたコンクリート

JIS A 5022:2016 （追補 1）

JIS A 5023:2016 再生骨材 L を用いたコンクリート

JIS A 5023:2016 （追補 1）

(4)混和材

JIS A 5041:2009 コンクリート用砕石粉

JIS A 6201:2015 コンクリート用フライアッシュ

JIS A 6206:2013 コンクリート用高炉スラグ微粉末

JIS A 6207:2016 コンクリート用シリカフューム

1. 2 東北地方におけるプレキャストコンクリート製品へのリサイクル材料の取り組み

(1)ごみ熔融スラグ利用の東北地方整備局の特記仕様書

東北地方においては、熔融スラグをプレキャストコンクリート製品の細骨材として利用する取り組みは、比較的早くから行なわれてきました。平成 16 年 1 月 1 日以降に東北地方整備局が発注するすべての道路工事において、「熔融スラグを用いたプレキャストコンクリート製品」を使用するよう特記仕様書に記載されました。

これ以降、東北地方では熔融スラグ細骨材をプレキャストコンクリート製品に利用するこ

とが急速に普及し、現在では、東北地方整備局発注の土木工事において広く採用されているほかに、東北六県におけるリサイクル製品認定制度でも多く認定されています。

(2)各県のリサイクル認定制度（2017 年度現在）

東北六県には、各県にリサイクル製品認定制度があり、資源の循環的な有効利活用、廃棄物の減量化、リサイクル産業の育成を目的として、リサイクル製品を認定し、県の工事に使用することを推奨しています。このリサイクル認定制度には、プレキャストコンクリート製品も多く含まれています。それらを以下に紹介します。

東北六県におけるプレキャストコンクリート製品関連のリサイクル認定製品等

①青森県

名称：青森県リサイクル製品認定制度

- ・一般廃棄物溶融スラグを使用したコンクリート製品
- ・産業廃棄物溶融スラグを使用したコンクリート製品
- ・フェロニッケルスラグ、廃ガラスビンを使用したインターロッキングブロック

②岩手県

名称：岩手県再生資源利用認定製品認定制度

- ・ごみ溶融スラグを使用したコンクリート製品
- ・再生骨材 M を使用したコンクリート製品

③宮城県

名称：宮城県グリーン製品認定制度

- ・再生骨材 M を利用したコンクリート製品

④福島県

名称：うつくしま、エコ・リサイクル製品認定制度

- ・溶融スラグを利用したコンクリート製品
- ・銅スラグを利用したコンクリート製品
- ・石炭灰（フライアッシュ）を利用したコンクリート製品
- ・高炉セメント、銅スラグ、石炭灰を利用したコンクリート製品
- ・銅スラグ、石炭灰、再生骨材を利用したコンクリート製品
- ・銅スラグ、高炉除冷スラグを利用したコンクリート製品
- ・銅スラグ、再生骨材を利用したコンクリート製品

⑤秋田県

名称：秋田県リサイクル製品認定制度

- ・溶融スラグを利用したコンクリート製品
- ・フライアッシュを利用したコンクリート製品

⑥山形県

名称：山形県リサイクル製品認定制度

- ・溶融スラグを利用したコンクリート製品
- ・石炭灰（フライアッシュ）を利用したコンクリート製品
- ・廃車のサイドガラスを化粧材として利用したコンクリート製品

東北六県のリサイクル認定制度に使用されているマークを図 1.2.1 に記載します。

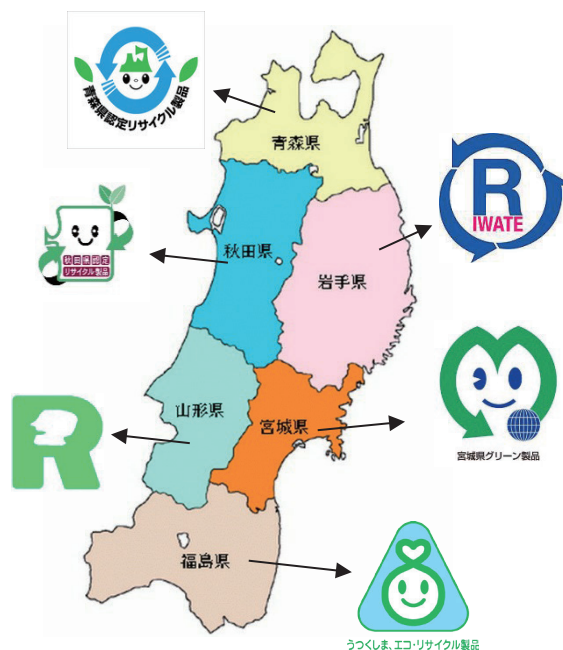


図 1.2.1 東北六県のリサイクル認定マーク

(3) エコマーク認定製品

公益財団法人日本環境協会が認定する「エコマーク製品」があります。

コンクリート製品はエコマーク商品類型 No.131 土木製品 Ver.1.17 としての認定基準があり、これには再生材料の基準配合率などが細かく規定されています。

エコマーク認定のプレキャストコンクリート製品では、高炉スラグ微粉末を 50%以上使用した製品などがあります。



図 1.2.2 エコマーク

(4) グリーン調達品

国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律（グリーン購入法）に基づき国が特定調達品として指定する制度です。これには「透水コンクリート製品」やプレキャストコンクリート製品の材料として利用可能な「コンクリート用スラグ類」、「高炉セメント」、「フライアッシュセメント」、「エコセメント」などがあります。

特定調達品目の他に、継続検討品目群（ロングリスト）というものがあり、次の特定調達品目の候補となっています。継続検討品目群には、「下水道汚泥焼却灰を用いたコンクリート二次製品」や「再生粗骨材 M を用いたプレキャストコンクリート製品」などがあります。

1. 3 各種リサイクル材料とその利用状況

プレキャストコンクリート製品に利用されている、または利用の可能性があるリサイクル材料名とその利用状況の概要は以下のとおりです。

(1)一般廃棄物溶融スラグ

JIS A 5031 の「一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材」で規定しているリサイクル材料です。一般廃棄物の焼却灰を 1,200℃ 以上の高温で溶融し、冷却固化して製造したコンクリート用溶融固化物です。

溶融スラグ骨材はその製造過程の違いにより、水砕スラグ骨材、空冷スラグ骨材、徐冷スラグ骨材に分類され、更に骨材の大きさによって細骨材と粗骨材に分類されています。利用割合が多いのは細骨材であり、東北の各県のリサイクル認定や東北地方整備局発注工事でも多く利用されています。

JIS A 5031 によると、プレキャストコンクリート製品に用いる場合は、35N/mm²以下の無筋コンクリート製品または鉄筋コンクリート製品に適用されています。

(2)下水汚泥溶融スラグ

一般廃棄物溶融スラグと同様に、JIS A 5031 に規定されているリサイクル材料です。下水処理施設で生産される材料で、一般廃棄物溶融スラグと同様の品質基準と適用範囲となっています。一般廃棄物溶融スラグと比較すると流通利用されている量は多くないようです。

(3)産業廃棄物溶融スラグ

一般廃棄物と異なり、産業廃棄物由来の溶融固化コンクリート用溶融スラグ骨材です。一般廃棄物溶融スラグと成分と重金属の含有、溶出に関する基準は類似しており、プレキャストコンクリート製品にも利用されている例があります。なお、JIS A 5031 において一般廃棄物との混合溶融が認められています。

(4)石炭灰（フライアッシュ）

電力業界や一般産業において石炭を燃焼させると、石炭の約 1 割程度の石炭灰が発生しています。この石炭灰のうち、高温の燃焼ガスの中を浮遊している微粒子を集塵機で集めたものをフライアッシュと呼び、コンクリートの混和材に利用されています。予めセメントに混ぜたフライアッシュセメントとして利用する他、コンクリートの混和材として利用される場合もあります。コンクリートの混和材として利用した場合、コンクリートの流動性の向上や耐久性の改善にも貢献できます。コンクリート用フライアッシュは、JIS A 6201 に規定されています。

(5)高炉スラグ骨材・電気炉酸化スラグ骨材

高炉スラグ骨材は、熔鉱炉で銑鉄と同時に生成する材料で、徐冷して粒度調整した高炉スラグ粗骨材と、急冷して粒度調整した細骨材に分類されています。これらは JIS A 5011-1 に規定されています。

電気炉酸化スラグ骨材は、電気炉で生成される材料で、JIS A 5011-4 に規定されています。電気炉酸化スラグ骨材も粗骨材と細骨材があります。

いずれのスラグ骨材も、コンクリートの耐久性に影響を及ぼす有機不純物や粘土、貝殻などを含まないこと、品質のばらつきが少ないこと、アルカリシリカ反応による膨張が認められないことなど、優位な特性があります。また、電気炉酸化スラグ骨材は絶乾密度が約 3.6 g/cm³ 程度であることから、重量コンクリートや放射線遮蔽コンクリートの骨材として利用されることもあります。

(6)フェロニッケルスラグ骨材

フェロニッケルスラグは、ステンレス鋼などの原料となるフェロニッケルを製錬する際に発生する副産物で、粗骨材と細骨材がある。絶乾密度が約 2.8～3.1g/cm³ 程度で、JIS A 5011-2 に規定されており、東北地方では青森県八戸市で細骨材が生産されています。

(7)銅スラグ骨材

銅精錬の際に生成するスラグで、銅ガラミとも呼ばれる。JIS A 5011-3 に細骨材のみ規定されています。ガラス質で絶乾密度も 3.5 g/cm³ 程度と大きく重量コンクリートなどに利用されており、東北地方では福島県いわき市で生産されています。

(8)再生骨材

再生骨材は、解体したコンクリート塊を破砕、粒度調整をして得られる骨材で、今後、コンクリート用骨材としての利用が期待されている材料です。絶乾密度、吸水率、微粒分量などの品質の違いによって、再生骨材は、H、M、L に区分されています。コンクリート製品では、その製造コストと品質の面から再生骨材 M を利用しているケースが多く、再生骨材 M を用いたコンクリートは、JIS A 5022 に規定されており、コンクリート用再生骨材 M は、JIS A 5022 の附属書 A で規定されています。

(9)高炉スラグ微粉末

高炉スラグ微粉末は、熔鉱炉で副産物として発生する高炉水砕スラグを微粉砕して製造される粉体です。潜在水硬性があることから、コンクリート用混和材として利用され、セメントに混合されたものが高炉セメントであり、コンクリート用混和材としてはコンクリート用高炉スラグ微粉末として、JIS A 6206 で規定されています。

コンクリートに高炉スラグ微粉末を使用した場合、コンクリートの化学抵抗性、水密性、長期強度発現性の向上に貢献します。また、アルカリシリカ反応の抑制にも効果があると言われています。

(10)廃ガラス

廃ガラスは、ガラス瓶で代表されるようなガラス製品を破砕処理した骨材で、コンクリート用骨材として利用されている事例があります。コンクリート用骨材としては、ガラスカレットとしてコンクリートの表面に着色ガラスが現れる景観用やガラスによる光の反射を利用

した製品などがあります。破碎時にガラスの破碎面に丸みをつけるなどの加工をして、取り扱い易くした廃ガラスリサイクル材も開発されています。特殊な用途としては、発泡廃ガラスの軽量骨材として加工された粗骨材をプレキャストコンクリート製品に利用した例もあります。ただし、注意すべき事項として、廃ガラスの利用においては、アルカリシリカ反応への配慮が必要となる場合があります。

(11) 碎石粉

碎石粉は、工場で岩石を破碎して乾式で碎石および砕砂を製造する際に、同時に発生する石粉を原料とするものです。コンクリート用碎石粉として、**JIS A 5041** で規定されており、まだ利用事例は多くはありませんが、コンクリート用碎石粉を使用することで、高強度化や高流動化などのコンクリートの品質向上が期待されています。

これらのリサイクル材料の他にも、数多くのリサイクル材料と称される材料がプレキャストコンクリート製品に利用されている例があります。また、現在は利用されていないが、将来は利用される可能性がある材料もまだ多くあると思われます。天然資源の温存とコンクリートの改質、耐久性の向上に貢献するリサイクル材料の活用が期待されています。

2. 再生粗骨材Mを用いたプレキャストコンクリート製品製造のガイドライン（案）

2. 1 総則

2. 1. 1 適用範囲

本ガイドライン（案）は、構造物の解体などによって発生したコンクリート塊に対し、破碎、磨砕、分級の処理を行い製造したコンクリート用再生粗骨材M（以下、再生粗骨材Mという。）を用いたコンクリート（以下、再生粗骨材コンクリートMという。）でプレキャストコンクリート製品の製造を行う場合について一般の標準を示すものである。

製造工程中の締固め方法は、以下の二つに限定する。

- ・振動締固め：型枠にフレッシュコンクリートを投入中又は投入後、振動機を用いて行うもの。
- ・振動・加圧締固め：超硬練りコンクリートを型枠内に十分充てんするように振動をかけながら投入し、脱型時の変形による不都合がないように所定の機械的圧力と振動を所定時間作用させた後、脱型を行うもの。

プレキャストコンクリート製品については、プレキャスト無筋コンクリート製品およびプレキャスト鉄筋コンクリート製品とする。

【解説】締固め方法：締固め方法について、上記以外に遠心力締固め方法があるが、これについては適用しないこととする。また、フレッシュコンクリートを加圧する方法、高流動コンクリートを用いて充てんする方法が考えられるが、これらの場合はコンクリート品質への影響について未知のことが多いため、試験などを十分に行い製品の要求性能を損なわないことを確認することとする。

プレキャストコンクリート製品の種類：プレキャストコンクリート製品の種類については上記以外にプレキャストプレストレストコンクリート製品があるが、JIS A 5364「プレキャストコンクリート製品—材料及び製造方法の通則」により再生粗骨材Mの使用は禁止されている[1]。また、再生骨材コンクリートMには凍結融解抵抗性及び乾燥収縮に関する性能を特に規定しない「標準品」と、それに対して凍結融解抵抗性をもつ「耐凍害品」の2種類があるため製品の要求性能などを考慮して選択しなければならない[2]。

なお、本ガイドライン（案）に示されていない事項は、土木学会「コンクリート標準示方書」及びJIS規格や各種団体規格の規定によるものとする。

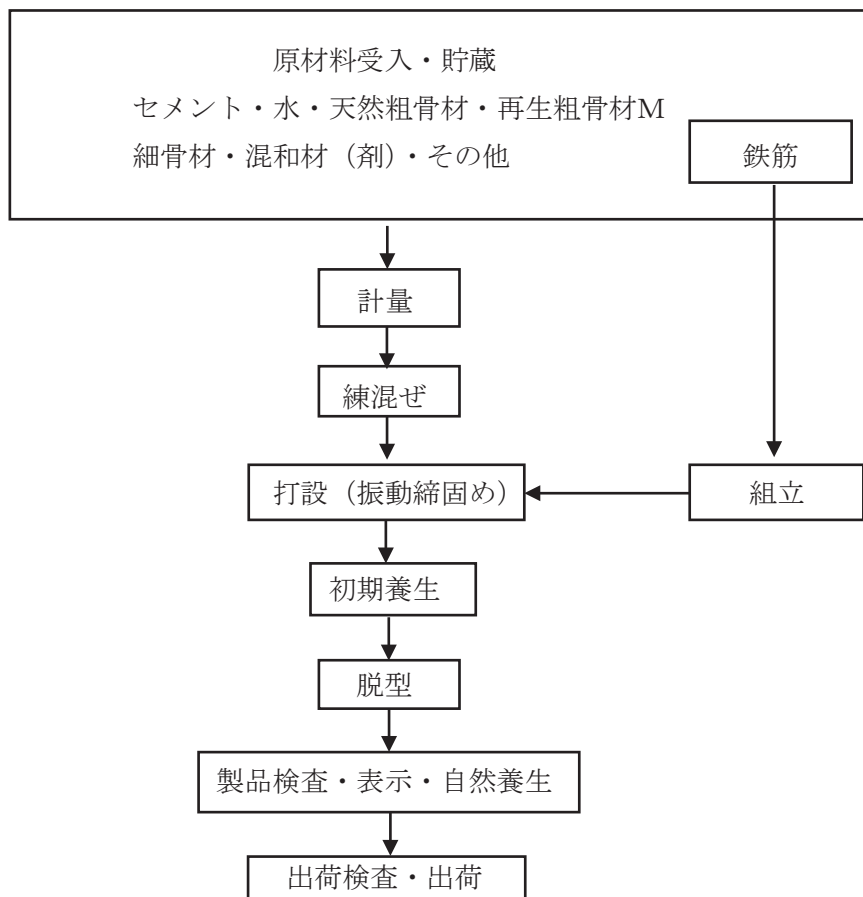


図 2.1.1 振動締固め製品の製造フロー例（概要）



写真 2.1.1 振動締固め工程（例）

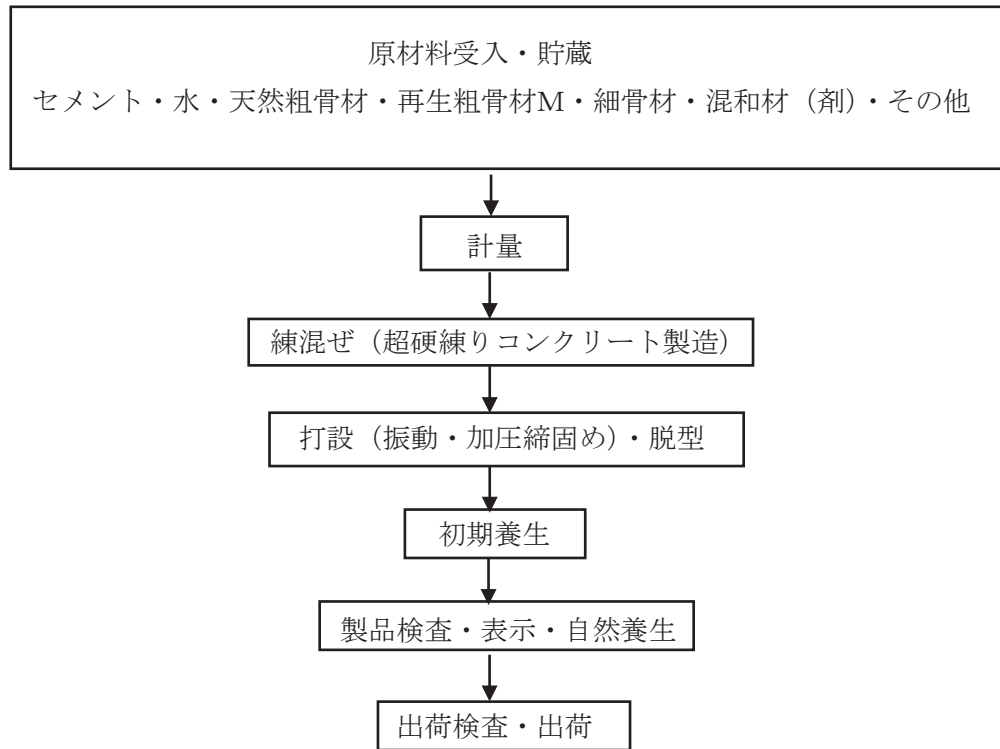


図 2.1.2 振動・加圧締固め製品の製造フロー例（概要）



写真 2.1.2 振動・加圧締固め工程（例）

2. 1. 2 定義

本ガイドライン（案）では、用語を次のように定義する。

- （１）原コンクリート：再生骨材を製造するための原料となるコンクリート塊。
 - （２）原骨材：原コンクリート中の骨材。
 - （３）再生粗骨材M：原コンクリートに対し、破碎、磨砕等の処理を行い、必要に応じて粒度調整した粗骨材で、JIS A 5022 附属書 A に適合したものをいう。
 - （４）再生粗骨材コンクリートM：再生粗骨材Mを用いたコンクリート。
 - （５）標準品：凍結融解抵抗性及び乾燥収縮に関する性能を特に規定しない再生粗骨材コンクリートMをいう。
 - （６）耐凍害品：標準品に対して、凍結融解抵抗性をもつ再生粗骨材コンクリートMをいう。
-

【解説】（１）について 「原コンクリート」は、解体されるコンクリート構造物に使用されているコンクリートで、再生骨材に加工される前のコンクリート塊のことである。

（２）について 「原骨材」は、解体されるコンクリート構造物に使用されている骨材のことである。

（３）について 「再生粗骨材M」は、コンクリート構造物を解体した際に発生するコンクリート塊を破碎・磨砕等の処理を行い、必要に応じて粒度調整した粗骨材のことである。本指針では JIS A 5022 の粒径による区分により粗骨材の最大寸法を 25mm 以下とする。

（４）について 「再生粗骨材コンクリートM」は、JIS A 5022 附属書 A に適合する「再生粗骨材M」を用いたコンクリートとし、「再生細骨材M」に関しては不純物や塩分の混入が多いこと、および既往の研究結果が少ないことから本ガイドライン（案）から除外した[3]。

2. 2 再生粗骨材コンクリートMを用いたコンクリート製品

2. 2. 1 総則

再生粗骨材コンクリートMを用いたコンクリート製品の種類は、JIS A 5371「プレキャスト無筋コンクリート製品」及び JIS A 5372「プレキャスト鉄筋コンクリート製品」とする。

2. 2. 2 種類

再生粗骨材コンクリートMの設計基準強度の範囲は 18～36N/mm²とし、製造したプレキャストコンクリート製品の強度は JIS A 5022 表 2. 2. 1 や各種団体規格の規定に従うこととする。

2. 2. 3 耐久性

再生粗骨材Mを使用したプレキャストコンクリート製品が、その用途・重要性に応じ要求される耐久性を満足することを確認しなければならない。再生粗骨材コンクリートMは標準品と耐凍害品とに分類されおり、JIS A 5022 附属書 A に規定されている品質を満足している事を確認しプレキャストコンクリート製品の用途により選択する。また再生粗骨材コンクリートMに用いる再生粗骨材Mは単独で使用するか、またはF M凍害指数が 0.08 以下のコンクリート用再生粗骨材M

と JIS A 5308 の附属書 A に適合する粗骨材を併用する。但し、本ガイドライン（案）ではコンクリート用再生細骨材 M は使用しないこととする。

【解説】（１）標準品は凍結融解抵抗性及び乾燥収縮に関する性能を特に規定しない再生骨材コンクリート M（以下、再生 M 1 種 標準という。）といい、乾燥収縮及び凍結融解の影響を受けにくい部材及び部位に使用できる。また、耐凍害品（以下、再生 M 1 種 耐凍害品という。）は凍結融解抵抗性をもち JIS A 5022 4.2 の条件を満足するものであり、乾燥収縮の影響を受けにくい部材で、かつ凍結融解作用の影響を受ける部材及び部位に使用できる[2]。

（２）JIS A 5022 附属書 A に基づき照査を行い、再生粗骨材 M のアルカリシリカ反応性が無害でないと判定される場合、あるいは試験を行わない場合には、JIS A 5022 附属書 C（規定）「再生骨材コンクリート M のアルカリシリカ反応抑制対策方法」により対策を講じなければならない。

（３）再生粗骨材コンクリート M を用いたプレキャストコンクリート製品を乾燥収縮の影響を受ける部位に適用する場合には、収縮に伴うひび割れによって所要性能が損なわれてはならない。

表 2.2.1 再生粗骨材コンクリート M の種類

再生粗骨材コンクリート M の種類	粗骨材の 最大寸法 a) mm	スランプ cm	設計基準強度						
			18	21	24	27	30	33	36
標準品	20, 25	8, 10, 12, 15, 18	○	○	○	○	○	○	○
		21	—	○	○	○	○	○	○
耐凍害品	20, 25	8, 10, 12, 15, 18	—	—	—	○	○	○	○
		21							

注 a) 粗骨材 40mm は除いた。

2. 3 物理的性質及び品質

2. 3. 1 再生粗骨材コンクリート M に用いる再生粗骨材 M は、表 2. 3. 1、表 2. 3. 2 の試験項目によって試験を行い適合しなければならない。

表 2. 3. 1 物理的性質

試験項目	再生粗骨材 M
絶乾密度 a) g/cm ³	2.3 以上
吸水率 a) %	5.0 以下
微粒分量 %	2.0 以下
注 a) JIS A 1109 又は JIS A 1110 により行った 1 回の試験結果についても表 2. 3. 1 の規定に適合しなければならない。	

表 2.3.2 不純物量の上限值

分類	不純物の内容	上限値 a) %
A	タイル、レンガ、陶磁器類、アスファルトコンクリート塊	1.0
B	ガラス片	0.5
C	石こう及び石こうボード片	0.1
D	C以外の無機系ボード片	0.5
E	プラスチック片	0.2 b)
F	木片、竹片、布切れ、紙くず及びアスファルト塊	0.1
G	アルミニウム、亜鉛以外の金属片	1.0
	不純物量の合計（上記A～Gの不純物量の合計）	2.0
注 a) 上限値は質量比で表し、各分類における不純物の内容の合計に対する値を示している。 注 b) プラスチックの種類によっては、軟化点が低く、高温になるとコンクリートの品質に悪影響を及ぼすことがあるので、コンクリートに蒸気養生及び／又はオートクレープ養生を施す場合には、プラスチック片の上限値を 0.1%とするのがよい。		

2. 4 再生粗骨材コンクリートMの品質

2. 4. 1 コンクリートの圧縮強度及び製品の曲げ耐力

再生粗骨材Mを用いたコンクリートの圧縮強度及び製品の曲げ耐力の試験方法は、製造したプレキャストコンクリート製品の J I S 規格や各種団体規格の規定に従うこととする。

【解説】再生粗骨材Mを用いたコンクリートの圧縮強度及び製品の曲げ耐力は、JIS A 5371「プレキャスト無筋コンクリート製品」や JIS A 5372「プレキャスト鉄筋コンクリート製品」などの JIS 規格や、各種団体規格の規定に従うこととする。

2. 4. 2 スランプ

スランプの許容差は表 2.4.1、スランプフローの許容差は表 2.4.2 による。

表 2.4.1 スランプの許容差 単位：cm

スランプ	スランプの許容差
8 以上 18 以下	±2.5
21	±1.5 a)
注 a) 呼び強度 27 以上で、高性能 A E 減水剤を使用する場合は、±2 とする。	

表 2.4.2 スランプフローの許容差 単位：cm

スランプフロー	スランプフローの許容差
50	±7.5
60	±10

2. 4. 3 空気量

空気量及びその許容差は表 2. 4. 3 による。

表 2. 4. 3 空気量及びその許容差

単位：％

再生骨材コンクリートMの種類	空気量	空気量の許容差
標準品	4.5	±2.0
耐凍害品	5.5	±1.5

2. 4. 4 塩化物含有量

再生粗骨材コンクリートMの塩化物含有量は、練上がり時点で塩化物イオン（Cl⁻）として 0.30kg/m³ 以下とする。

2. 4. 5 アルカリシリカ反応抑制対策

アルカリシリカ反応抑制対策は、JIS A 5022 附属書 C (規定) による。

1) コンクリート中のアルカリ総量を 3.0kg/m³ 以下に規制する抑制対策の方法

コンクリート中のアルカリ総量を 3.0kg/m³ 以下に規制する抑制対策の方法は次による。

a) 全アルカリ量¹⁾ が明らかなポルトランドセメントなどを使用し、次の式 (1) によって計算されるコンクリート中のアルカリ総量 (R_t) が 3.0kg/m³ 以下となることを確認する。

$$R_t = R_c + R_a + R_{rg} + R_{rs} + R_s + R_m + R_p \cdots \cdots (1)$$

- ここに、
- R_t : コンクリート中のアルカリ総量 (kg/m³)
 - R_c : コンクリート中のセメントに含まれる全アルカリ総量¹⁾ (kg/m³)
 = 単位セメント量(kg/m³) × セメント中の全アルカリ量¹⁾ (%) (kg/m³)
 - R_a : コンクリート中の混和材に含まれる全アルカリ量(kg/m³)
 = 単位混和材量(kg/m³) × 混和材中の全アルカリ量¹⁾ (%) /100
 - R_{rg} : コンクリート中の再生粗骨材Mに含まれる全アルカリ量(kg/m³)
 = 単位粗骨材量(kg/m³) × 再生粗骨材中の全アルカリ量(kg/m³) (%) /100
 - R_{rs} : コンクリート中の再生細骨材Mに含まれる全アルカリ量(kg/m³)
 = 単位細骨材量(kg/m³) × 再生細骨材中の全アルカリ量(kg/m³) /100
 - R_s : コンクリート中の普通骨材²⁾に含まれる全アルカリ量(kg/m³) (%)
 = 単位骨材量(kg/m³) × 0.53 × 骨材中の NaCl の量 (%) /100
 - R_m : コンクリート中の混和剤に含まれる全アルカリ量(kg/m³)
 = 単位混和剤量(kg/m³) × 混和剤中の全アルカリ量¹⁾ (%) /100
 - R_p : コンクリート中の流動化剤に含まれるアルカリ量³⁾ (kg/m³)
 = 単位流動化剤量(kg/m³) × 流動化剤中の全アルカリ量¹⁾ (%) /100

ただし、セメント中の全アルカリ量の値としては、直近 6 カ月間の試験成績表に示されている全アルカリの最大値の最も大きい値を用いる。また、混和材、混和剤中及び流動化剤に含まれる全アルカリ量並びに骨材の NaCl の値は、最新の試験成績表に示されている値とする。

注1) Na_2O 及び K_2O の含有量の総和を、これと等価な Na_2O の量(Na_2Oeq)に換算して表した値で、

$$\text{Na}_2\text{Oeq} (\%) = \text{Na}_2\text{O} (\%) + 0.658\text{K}_2\text{O} (\%) \text{ とする。}$$

注2) JIS A 5308 の附属書 A に適合する骨材。ただし、人工軽量骨材は除く。

注3) 購入者が荷卸し地点で流動化を行う場合に加える。流動化を行う購入者は、この値 (R_p) をあらかじめ生産者に通知しておく必要がある。

b) 再生粗骨材中の全アルカリ量の求め方は、次のいずれかの方法による。

1) 再生粗骨材M中の全アルカリ量を JIS A 5022 附属書Cの C.7 再生骨材中のアルカリ含有量の測定方法により求める。

2) 再生粗骨材Mの全アルカリ量を次の式によって小数点以下2桁まで求める。ただし、再生粗骨材Mの全アルカリ量の最大値は 0.20%とする。

$$r_{rg} = 0.025 \times Q_{rg} + 0.075$$

$$Q_{rg} = aQ_{rg} + 1.64 \sigma$$

ここに r_{rg} : 再生粗骨材Mの全アルカリ量 (%)

Q_{rg} : 再生粗骨材の吸水率 (%)

aQ_{rg} : 過去に製造された再生粗骨材Mの吸水率の平均値 (%)

σ : 標準偏差 (%)

c) 再生細骨材M中の全アルカリ量の求め方は、次のいずれかの方法による。

1) 再生細骨材M中の全アルカリ量を JIS A 5022 附属書Cの C.7 再生骨材中のアルカリ含有量の測定方法により求める。

2) 再生細骨材M中の全アルカリ量を次の式によって小数点以下2桁まで求める。ただし、再生細骨材Mの全アルカリ量の最大値は 0.30%とする。

$$r_{rg} = 0.033 \times Q_{rs} + 0.067$$

$$Q_{rg} = aQ_{rs} + 1.64 \sigma$$

ここに、 r_{rg} : 再生細骨材Mの全アルカリ量 (%)

Q_{rs} : 再生細骨材の吸水率 (%)

aQ_{rs} : 過去に製造された再生細骨材Mの吸水率の平均値 (%)

σ : 標準偏差 (%)

注記 再生骨材Mの全アルカリ量は、再生骨材Mに含まれるセメントペーストの割合と吸水率との関係を1次式で求め、付着するセメントノアルカリ量を1%と仮定して求めた値である。再生骨材Mに付着するセメントペーストに含まれる水量は安全側にゼロとしており、また、再生骨材Mの吸水率と付着するセメントペースト量の関係及びセメントのアルカリ量は、過去の実績値から安全側に試算したものである。

再生粗骨材コンクリートMの配合計画書例を表 2.4.4 に、アルカリ総量の計算例を表 2.4.5 に示す。

No.

表 2.4.4 再生粗骨材コンクリートM配合計画書例

〇〇年〇〇月〇〇日

〇〇〇〇(株) 〇〇工場

適用範囲																	
本配合の適合期間																	
配合の設計条件																	
呼び方	コンクリートの種類 による記号		設計基準強度 N/mm ²		スランブ又は スランブフロー cm		粗骨材の最大寸法 mm		セメントの種類 による記号								
	再生M1種		30		8		20		N								
指 定 事 項	セメントの種類		呼び方欄に記載				空気量		5.5 %								
	骨材の種類		使用材料欄に記載				コンクリートの温度 (最高・最低)		5～35 ℃								
	粗骨材の最大寸法		呼び方欄に記載				水セメント比の目標値の上限		55 %								
	アルカリシリカ反応抑制対策の方法		AL (2.9 kg/m ³)				単位水量の目標値の上限		175 kg/m ³								
	骨材のアルカリシリカ反応性による区分		使用材料欄に記載				単位セメント量の目標値の下限		— kg/m ³								
	水の区分		使用材料欄に記載				又は目標値の上限										
	混和材料の種類及び使用量		使用材料及び配合表欄に記載				流動化後のスランブ増大量		— cm								
	塩化物含有量		0.30kg/m ³ 以下				再生細骨材Mの容積混合率		0 %								
	設計基準強度を保证する材齢		14日 (常圧蒸気養生)				再生粗骨材Mの容積混合率		30 %								
使用材料																	
セメント	生産者名	〇〇〇社				密度 g/cm ³	3.16	Na ₂ Oeq %	0.67								
混和材①	製品名		種類		密度 g/cm ³		Na ₂ Oeq %										
混和材②																	
骨 材	No.	種類	原コンクリートの発生地 又は産地・品名	アルカリシリカ反応性 による区分		粒の大きさの範囲	粗粒率又は実積率	密度 g/cm ³		微粒分量の範囲%							
				区分	試験方法			絶乾	表乾								
細 骨 材	①	砕砂	〇〇〇産	A	化学法	5以下	2.95	2.75	2.78	1～5							
	②																
	③																
粗 骨 材	①	碎石	〇〇〇産	A	化学法	20～5	59.2	2.79	2.80	0～2							
	②	RMG	〇〇〇〇〇〇	B	試験なし	15～5	56.0	2.52	2.61	0～1.5							
	③																
混和剤①	製品名	〇〇〇社		種類	高性能減水剤			Na ₂ Oeq %	0.6								
混和剤②		〇〇〇社			AE剤				0.7								
再生細骨材Mの塩化物物量			— %		細骨材の塩化物物量		0.000 %										
再生粗骨材Mの塩化物物量			0.2 %		水の区分			地下水									
配合表 kg/m ³																	
セメント	混和材①	混和材②	水	細骨材①	細骨材②	細骨材③	粗骨材①	粗骨材②	粗骨材③	混和剤①	混和剤②						
348	0	0	160	790	0	0	766	306	0	1.91	0.104						
水セメント比		46.1 %		水結合材比		— %		細骨材率		42.1 %							
備考																	
<table><tr><td>工場長</td><td>品質管理責任者</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>												工場長	品質管理責任者				
工場長	品質管理責任者																

表 2.4.5 アルカリ総量の計算例

〇〇年〇〇月〇〇日
〇〇〇〇(株) 〇〇工場

アルカリ総量の計算表 (配合名: 再生M1種 30-8-20 N(RMG 30%))					
アルカリ総量の計算			判定基準	計算及び判定	
コンクリート中のセメントに含まれる全アルカリ量 (kg/m ³) Rc Rc = (単位セメント量 kg/m ³) × (セメント中の全アルカリ量 Na ₂ Oeq : %/100)			① = Rc	—	348 × 0.67 / 100 = 2.332
コンクリート中の混和材に含まれる全アルカリ量 (kg/m ³) Ra Ra = (単位混和材量 kg/m ³) × (混和材中の全アルカリ量 : %/100)			② = Ra	—	
コンクリート中の細骨材に含まれる全アルカリ量 (kg/m ³) Rs1 Rs1 = (単位骨材量 kg/m ³) × 0.53 × (骨材中のNaClの量 : %/100)			③ = Rs1	—	790 × 0.53 × 0 / 100 = 0
コンクリート中の砕石に含まれる全アルカリ量 (kg/m ³) Rs2 Rs2 = (単位骨材量 kg/m ³) × 0.53 × (骨材中のNaClの量 : %/100)			④ = Rs2	—	
コンクリート中の再生骨材に含まれる全アルカリ量 (kg/m ³) Rs3 Rs3 = (単位骨材量 kg/m ³) × (再生粗骨材中の全アルカリ量 : %/100)			⑤ = Rs3	—	306 × 0.18 / 100 = 0.551
コンクリート中の混和剤1に含まれる全アルカリ量 (kg/m ³) Rm1 Rm1 = (単位混和剤量 kg/m ³) × (混和剤中の全アルカリ量 : %/100)			⑥ = Rm1	—	1.91 × 0.6 / 100 = 0.011
コンクリート中の混和剤2に含まれる全アルカリ量 (kg/m ³) Rm2 Rm2 = (単位混和剤量 kg/m ³) × (混和剤中の全アルカリ量 : %/100)			⑦ = Rm2	—	0.104 × 0.7 / 100 = 0.001
コンクリート中のアルカリ総量 (kg/m ³) Rt Rt = ① + ② + ③ + ④ + ⑤ + ⑥ + ⑦			Rt	3.0 kg/m ³ 以下	2.9 適・否

備考)

材料名			項目	諸数値	単位
セメント	普通ポルトランドセメント	〇〇〇社	単位量	348	kg/m ³
			全アルカリ量	0.67	%
混和材	—	—	単位量		kg/m ³
			全アルカリ量		%
骨材1	砕砂	〇〇〇産	単位量	790	kg/m ³
			NaCl量	0	%
骨材2	砕石	〇〇〇産	単位量	766	kg/m ³
			NaCl量	—	%
骨材3	再生粗骨材M	〇〇〇産	単位量	306	kg/m ³
			全アルカリ量	0.18	%
混和剤1	高性能減水剤	〇〇〇社	単位量	1.91	kg/m ³
			全アルカリ量	0.6	%
混和剤2	AE剤	〇〇〇社	単位量	0.104	kg/m ³
			全アルカリ量	0.7	%

再生粗骨材の全アルカリ量 (γ rg) の計算
 再生粗骨材Mの吸水率: 3.48% (標準偏差はその10%として0.348)
 γ rg = 0.025 × (3.48 + 1.64 × 0.348) + 0.075 = 0.18

工場長	品質管理 責任者	

2) アルカリシリカ反応抑制効果のある混合セメント等を使用し、かつ、アルカリ総量を 3.5kg/m^3 以下に規制する抑制対策の方法

1) における式 (1) によって求めたコンクリート中のアルカリ総量が 3.5kg/m^3 以下であることを確認し、かつ、次に示す a) ~ c) のいずれかのセメント及び混和材を用いる。

a) JIS R 5211 に適合する高炉セメント B 種又は高炉セメント C 種を用いる。ただし、高炉セメント B 種の高炉スラグの分量 (質量分率) は 40% 以上でなければならない。

なお、高炉スラグの分量をセメントの試験成績表によって確認した上で、高炉スラグ微粉末を添加し高炉スラグの分量を 40% 以上とした場合には、高炉セメント B 種として使用してよい。

b) JIS R 5213 に適合するフライアッシュセメント B 種又はフライアッシュセメント C 種を用いる。ただし、フライアッシュセメント B 種のフライアッシュの分量 (質量分率) は 15% 以上でなければならない。なお、フライアッシュの分量をセメントの試験成績表によって確認した上で、フライアッシュを添加しフライアッシュの分量を 15% 以上とした場合には、フライアッシュセメント B 種として使用してよい。

c) ポルトランドセメント又は普通エコセメントを使用する場合は、JIS A 6201 に適合する高炉スラグ微粉末又は JIS A 6201 に適合するフライアッシュを混和材として用いる。ただし、高炉スラグ微粉末は、ポルトランドセメント又は普通エコセメントと高炉スラグ微粉末との質量の総和に対して 40% 以上、フライアッシュは、ポルトランドセメント又は普通エコセメントとフライアッシュとの質量の総和に対して 15% 以上でなければならない。

3) アルカリシリカ反応抑制効果のある混合セメント等を使用し、かつ、アルカリ総量を 4.2kg/m^3 以下に規制する抑制対策の方法。

1) における式 (1) によって求めたコンクリート中のアルカリ総量が 4.2kg/m^3 以下になることを確認し、かつ、次に示す a) ~ c) のいずれかのセメント及び混和材を用いる。

a) JIS R 5211 に適合する高炉セメント B 種又はセメント C 種を用いる。ただし、高炉セメント B 種の高炉スラグの分量 (質量分率) は 50% 以上でなければならない。なお、高炉スラグの分量をセメントの試験成績表によって確認した上で、高炉スラグ微粉末を添加し高炉スラグの分量を 50% 以上とした場合には、高炉セメント B 種として使用してよい。

b) JIS R 5213 に適合するフライアッシュセメント C 種を用いる。なお、フライアッシュの分量をセメント試験成績表によって確認した上で、フライアッシュを添加しフライアッシュの分量を 20% 以上とした場合には、フライアッシュセメント C 種として使用してよい。

c) ポルトランドセメント又は普通エコセメントを使用する場合は、JIS A 6201 に適合する高炉スラグ微粉末又は JIS A 6201 に適合するフライアッシュを混和材として用いる。ただし、高炉スラグ微粉末はポルトランドセメント又は普通エコセメントと高炉スラグ微粉末との質量の総和に対して 50% 以上、フライアッシュは、ポルトランドセメント又は普通エコセメントとフライアッシュとの質量の総和に対して 20% 以上でなければならない。

4) アルカリシリカ反応抑制効果のある混合セメント等を使用し、かつ、単位セメント量の上限値を規制する抑制対策の方法

表 2.4.6 のいずれかの方法による。

表 2.4.6 混合セメントを使用及び単位セメント量の上限による抑制対策の方法

再生粗骨材 コンクリートMの種別	アルカリシリカ反応抑制対策の種別		付帯事項
再生 M1 種 耐凍害又は 再生 M1 種 標準	高炉セメント	スラグ分量（質量分率） 40%以上（C.3 参照）	単位セメント量の上限值 400kg/m ³ 以下
	フライアッシュセメント	フライアッシュ分量（質量分率）15%以上（C.3 参照）	
	高炉セメント	スラグ分量（質量分率） 50%以上（C.4 参照）	単位セメント量の上限值 500kg/m ³ 以下
	フライアッシュセメント	フライアッシュ分量（質量%）20%以上（C.4 参照）	

5) 安全と認められる骨材を使用する抑制対策の方法

JIS A 5022 附属書Aで規定する区分“A”の再生骨材Mを使用する。また、JIS A 5308 の附属書Aに適合する骨材を用いる場合には、JIS A 1145 又は JIS A 1146 の試験結果によって無害と判定された骨材を使用する。

2. 5 配合

2. 5. 1 再生粗骨材 M の含有率

再生粗骨材 M の含有率は、粗骨材の全質量の 20%以上とする。

【解説】本規定は、「コンクリート副産物の再生利用に関する用途別品質基準」（平成 28 年 3 月 31 日付け国官技第 379 号）に準ずる。

2. 5. 2 水セメント比

水セメント比は 50%以下とする。

【解説】JIS A 5022 : 2012「再生骨材 M を用いたコンクリート」解説 4.1 e) 再生粗骨材コンクリートMの呼び強度の範囲によると、再生粗骨材 M の吸水率の範囲、すなわち 5%以下の範囲では、水セメント比をおおむね 50%以下にすることで、低い耐久性指数となる確率はかなり小さくなると考えられる。

2. 5. 3 空気量

本ガイドライン（案）では耐凍害品とし、空気量は $5.5 \pm 1.5\%$ とする。

【解説】JIS A 5022 : 2012「再生骨材 M を用いたコンクリート」解説 4.1 d) 再生骨材コンクリート M の空気量によると、耐凍害品を設定するに当たって、空気量の規制値をより適切に設定する必要があった。最低でも 4.0% の空気量を確保することが望ましいことから、耐凍害品の空気量は $5.5 \pm 1.5\%$ とした。また、フライアッシュを使用する場合は、フライアッシュ用 AE 剤やプレフォーム型の AE 剤を使用することにより、未燃カーボンの影響をあまり受けることなく空気を連行することができる。

2. 6 製造

2. 6. 1 受け入れ

再生粗骨材 M の受け入れは一般の粗骨材と同様に行う。

【解説】再生粗骨材 M は、一般の粗骨材のようにダンプトラックによるバラ運搬が一般的と考えられる。受け入れ時は、一般の粗骨材と同様に、目視により粒度・不純物・数量の確認等を行う。但し、不純物は JIS A 5022 : 2012「再生骨材 M を用いたコンクリート」附属書 A A.2.1 に種類毎の不純物量の上限值と不純物量の合計の上限值が規定されており、不純物量が概ね上限値以下であることの確認となる。

2. 6. 2 貯蔵

再生粗骨材 M の貯蔵は、種類毎に仕切り壁で区切り、上屋又はシート等で覆い不純物の混入の無い構造であること。また、プレウェッチングを行う設備は、床をコンクリートなどとし、散水及び排水の設備を持ち、1 日分以上の使用量を貯蔵できる大きさで、不純物の混入の対策を備えていること。

【解説】再生粗骨材 M の貯蔵は、一般の粗骨材の貯蔵と同様の設備及び管理方法とする。JIS A 5022 : 2012「再生骨材 M を用いたコンクリート」附属書 B B.3 では「骨材は、使用前日までにプレウェッチングを終え、水切りをして、使用時には表面水率が安定した状態になるようにしておかなければならない。」とあり、散水設備と散水した水が地中に浸透しないように排水設備が必要となる。

2. 6. 3 計量

再生粗骨材 M の計量は、質量による。計量器は、計量誤差内で計り取ることでできる精度のもので、計量した値を計量誤差の精度で指示できる指示計を備えたものでなければならない。

再生粗骨材 M の計量誤差は $\pm 3\%$ とする。

【解説】再生粗骨材 M の計量は、一般の骨材と同様とするが、再生粗骨材 M の含有率が低い場合や練り混ぜ量が少ない場合は、計量指示計の最小目盛によって、計量誤差を超える場合があるので注意する。

2. 6. 4 練り混ぜ

再生粗骨材 M を用いたコンクリートの練り混ぜは、一般のコンクリートと同様に行う。

【解説】再生粗骨材 M を用いたコンクリートの練り混ぜは、一般のコンクリートと同様に行う。但し、再生粗骨材 M のプレウェッチングが不十分な場合や表面が乾燥しすぎた場合は、練り混ぜ中にコンシステンシーが小さくなる場合があるので注意する。

2. 6. 5 打設

再生粗骨材 M を用いたコンクリートの打設は、一般のコンクリートと同様に行うことができる。

【解説】再生粗骨材 M を用いたコンクリートの打設は、一般のコンクリートと同様に行うことができる。ただし、プレウェッチングが不十分な場合などの原因で、スランプロスに注意する必要がある。

2. 6. 6 養生

再生粗骨材 M を用いたコンクリートの養生は、一般のコンクリートと同様に行うことができる。

【解説】前置き時間を 2 時間、最高温度を 65℃以下、温度上昇勾配を 20℃/h 以下が一般的な蒸気養生と思われる。一般のコンクリートよりブリーディング終了が遅れる場合は、前置き時間を延長する。

2. 6. 7 表示

再生粗骨材 M を用いたコンクリート製品及びカタログ等には、その旨の表示をしなければならない。

【解説】JIS A 5361 6.d) に、リサイクル材料を使用している場合は、その旨の表示をすることが規定されている。含有率は、粗骨材全質量に対する再生粗骨材 M 質量の割合を百分率で表す。“リサイクル材料含有率の主張”をする場合、シンボルの使用は任意であるが、シンボルを使用する場合はメビウスループとし含有量を併記しなければならない。メビウスループを使用する場合は、JIS Q 14021 7.8 に基づいて表示しなければならない。

表示内容例

1. シンボルマーク（国際標準規格 ISO 1402:1999 に準じたマーク）
2. 再生粗骨材 M（RMG）、含有率の表示

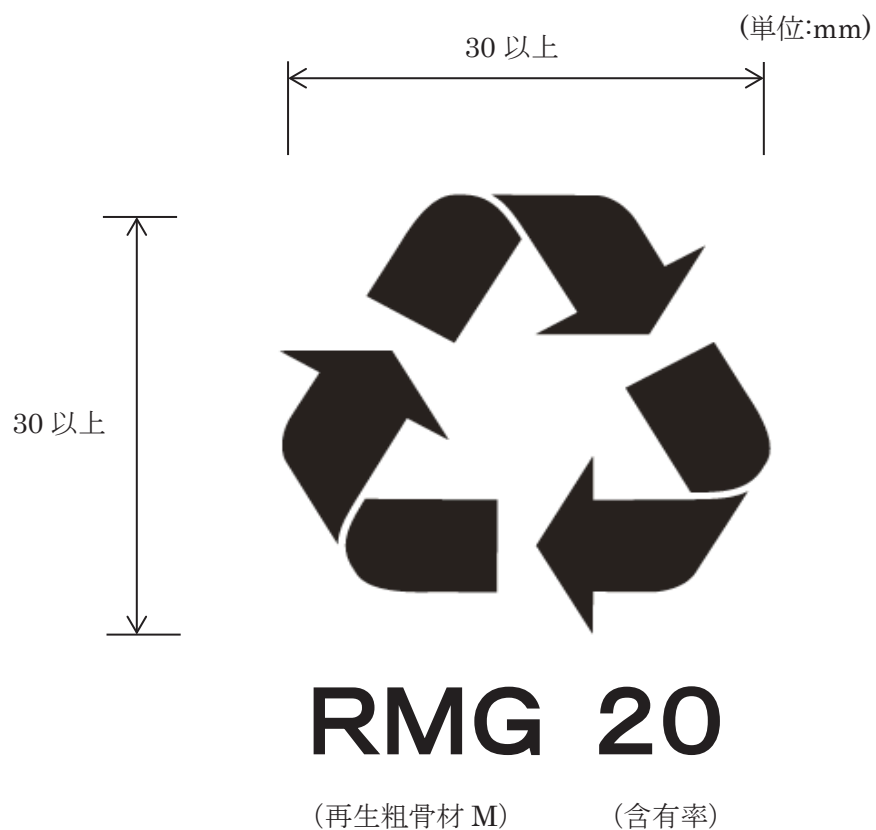


図 2.6.1 表示例

※寸法は製品へ表示する場合の例であり、カタログなどへの表示は任意の大きさとする。
エコマーク認定商品の場合は公益財団法人日本環境協会で定めた表示方法に従う。

2. 7 再生粗骨材Mコンクリート製品例及び施工例



写真 2.7.1 歩車道境界ブロック

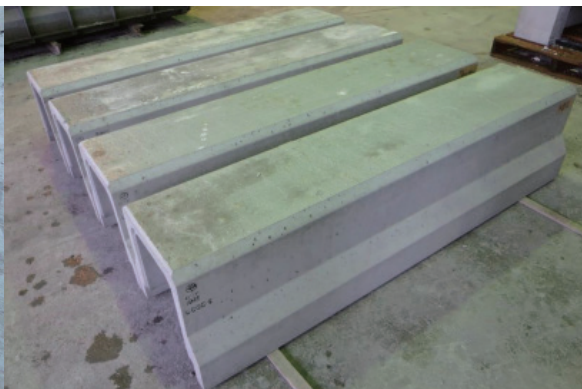


写真 2.7.2 落ちふた式 U 形側溝

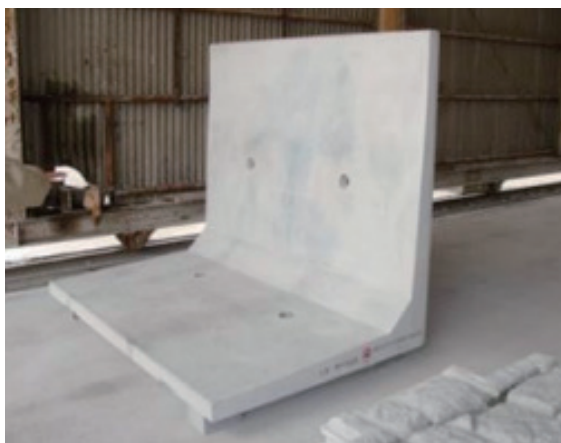


写真 2.7.3 L 形擁壁



写真 2.7.4 落ちふた



写真 2.7.5 宮城県 農業農村整備事業



写真 2.7.6 福島県福島市飯坂町地内



写真 2.7.7 山形県山形市飯田町地内



写真 2.7.8 青森県三戸郡階上町地内

<引用文献>

- [1] 一般財団法人日本規格協会：JIS A 5364:2016 プレキャストコンクリート製品—材料及び製造方法の通則
- [2] 一般財団法人日本規格協会：JIS A 5022:2012 再生骨材Mを用いたコンクリート
- [3] 社団法人日本コンクリート工学協会：プレキャストコンクリート製品の設計と利用研究委員会報告書、pp.339-358、2009.8

3. フライアッシュを用いたプレキャストコンクリート製品製造のガイドライン（案）

3. 1 総則

3. 1. 1 適用範囲

本ガイドライン（案）は、JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」に規定するⅡ種適合品を混和材として用いるプレキャストコンクリート製品の製造について一般の標準を示すものであるが、試験により品質確認ができる場合や発注者の合意が得られる場合には、Ⅱ種適合品以外の利用を妨げるものではない。

製造工程の中の締固め方法は、

- ・振動締固め：型枠にフレッシュコンクリートを投入中又は投入後、振動機を用いて行うもの。
- ・振動・加圧締固め：超硬練りコンクリートを型枠内に十分充填するように振動をかけながら投入し、脱型時の変形による不具合がないように所定の機械的圧力と振動を所定時間作用させた後、脱型するもの。

の2つの方法に限定する。

プレキャストコンクリート製品の種類については、プレキャスト無筋コンクリート製品及びプレキャスト鉄筋コンクリート製品とする。

【解説】締固め方法：締固め方法については上記以外に遠心力締固め方法やフレッシュコンクリートを加圧する方法、高流動コンクリートを用いて微振動ないし無振動で充填する方法等、いろいろな方法が考えられる。ただし、これらの場合はコンクリート品質への影響について未知なことが多いため、試験等を十分に行い、製品の要求性能を損なわないことを確認すること。

プレキャストコンクリート製品の種類：プレキャストコンクリート製品の種類については上記以外にプレキャストプレストレストコンクリート製品があるが、圧縮強度や耐久性などコンクリート品質への影響については未知のことが多いため、試験等を十分に行い、製品の要求性能を損なわないことを確認すること。

本ガイドライン（案）に示されていない事項は、土木学会「コンクリート標準示方書」及びJIS規格や各種団体規格の規定によるものとする。

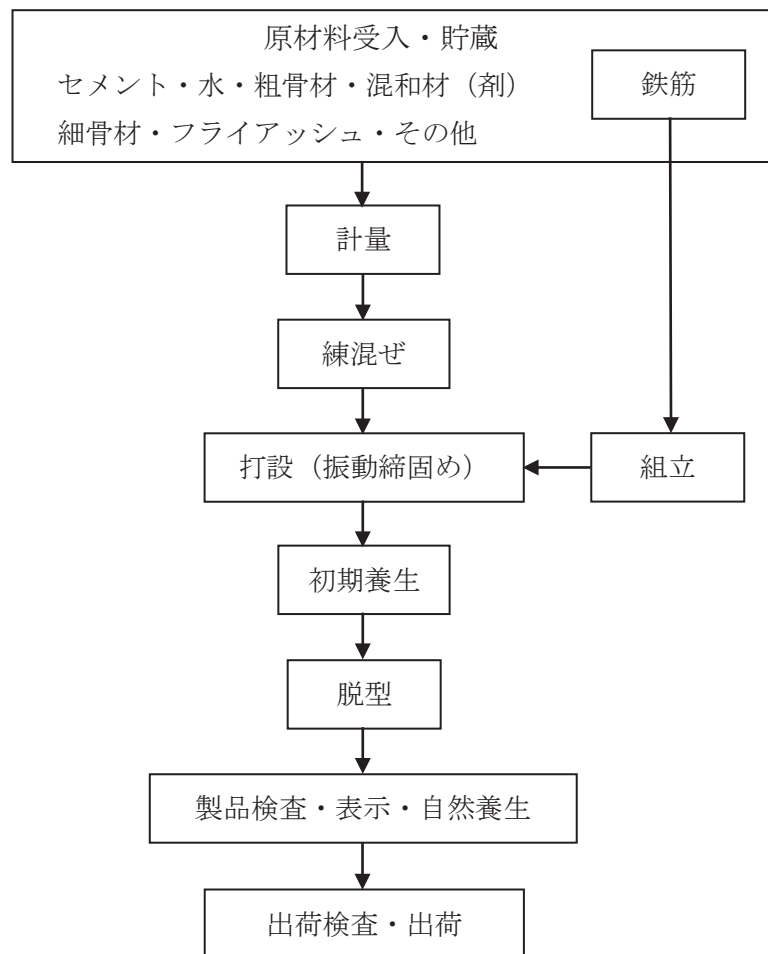


図 3. 1. 1 振動締固め製品の製造フロー例（概要）



写真 3. 1. 1 振動締固め工程（例）

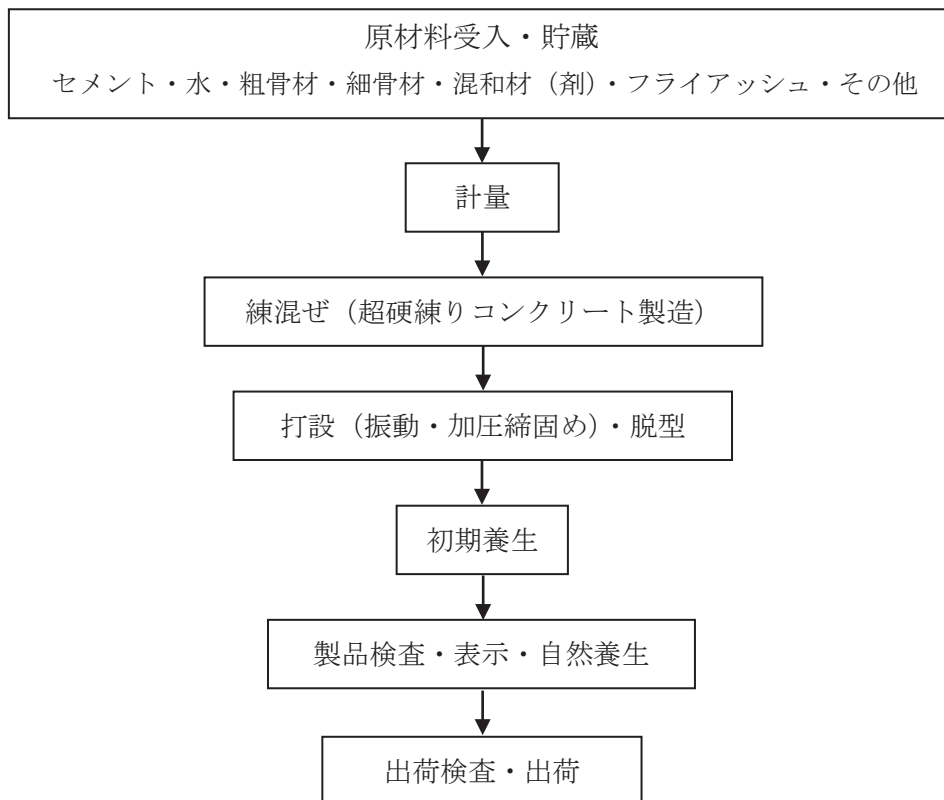


図 3.1.2 振動・加圧締固め製品の製造フロー例（概要）

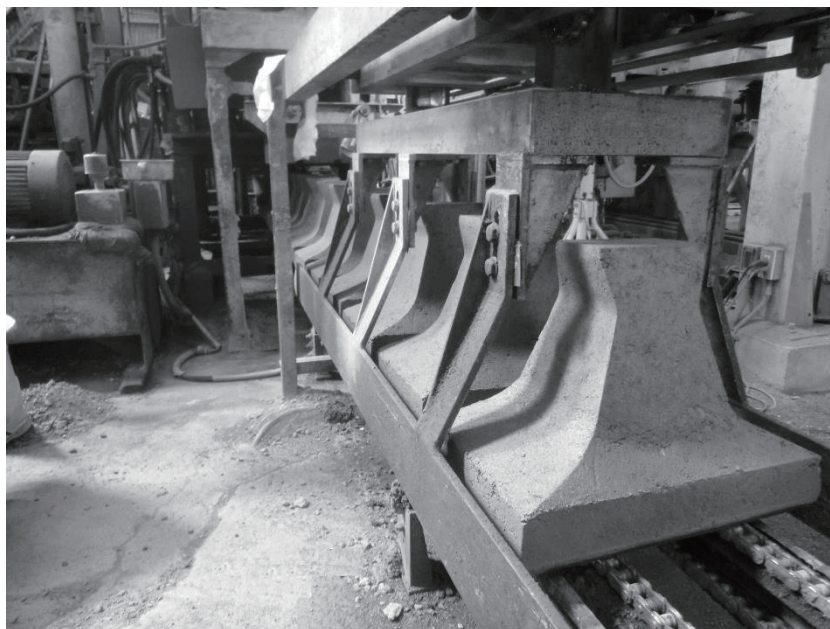


写真 3.1.2 振動・加圧締固め工程（例）

3. 1. 2 定義

石炭火力発電所において微粉炭を燃焼した際に発生する灰を総称して石炭灰と呼んでいる。

石炭灰は、発生箇所により次のように定義する[1]。

- (1) ボトムアッシュ : 微粉炭燃焼ボイラの炉底に落下採取された石炭灰
- (2) クリンカアッシュ : クリンカホッパーに落下した灰を収集し、破碎・脱水・粒度調整したもの
- (3) シンダアッシュ : 微粉炭燃焼ボイラの燃焼ガスが空気予熱器・節炭器などを通過する際に落下採取された石炭灰
- (4) フライアッシュ (FA) : 微粉炭燃焼ボイラの燃焼ガスから電気集塵器で採取された石灰炭
- (5) フライアッシュ原粉 : フライアッシュとシンダアッシュの混合物
- (6) 粗 粉 : 原粉を分級し粒度調整をした粗いもの
- (7) JIS フライアッシュ : 原粉を分級選別した細粉で JIS A 6201 に適合するもの

【解説】石炭灰には、図 3.1.3 のとおりクリンカアッシュとフライアッシュの 2 種類の石炭灰が発生するが、ここで述べるフライアッシュは図 3.1.3 に示す発生過程において、電気集塵機によって集塵された微粉の状態、つまりフライアッシュ原粉を対象としている。このフライアッシュ原粉は、集塵された段階においても JIS A 6201「コンクリート用フライアッシュ」のⅡ種に概ね該当するものであるが、フライアッシュセメントとして出荷する際の品質を安定化させるために分級処理を行い、その細粉分を「JISⅡ種品」として出荷されている現状がある。

現行のように、細粉を分級製造するなどフライアッシュの品質安定化を図った上でコンクリート混和材として有効利用を図る場合、有効活用が困難な粗粉が発生することとなり、リサイクルは完全な形とは成り難い[2]。このため、集塵されたままの状態のフライアッシュ原粉を JISⅡ種の品質に相当する「JISⅡ種適合品」として有効に活用する手法について紹介するものである。

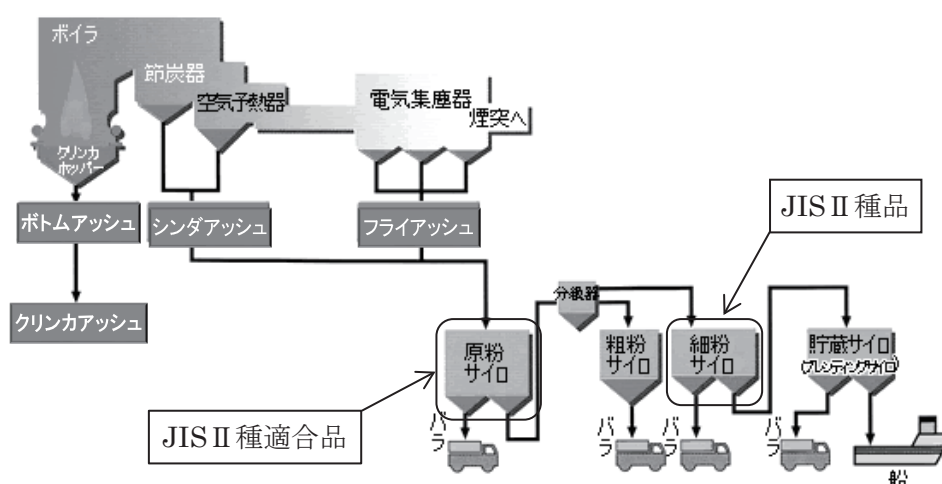


図 3.1.3 フライアッシュ生成のプロセス（例）（九州電力 HP より）

3. 2 フライアッシュを用いたプレキャストコンクリート製品

3. 2. 1 コンクリートの圧縮強度及び製品の曲げ耐力

フライアッシュを用いたコンクリートの圧縮強度及び製品の曲げ耐力は、製造したプレキャストコンクリート製品の JIS 規格や各種団体規格の規定に従うこととする。

【解説】フライアッシュを用いたコンクリートの圧縮強度及び製品の曲げ耐力は、JIS A 5371「プレキャスト無筋コンクリート製品」や JIS A 5372「プレキャスト鉄筋コンクリート製品」などの JIS 規格や、各種団体規格の規定に従うこととする。

3. 2. 2 耐久性

(1) アルカリシリカ反応抑制の観点からは、蒸気養生でもその抑制効果が得られるなどフライアッシュの添加は非常に有効である。中性化については強度と同様にセメント置換では抵抗性が小さく、細骨材置換では抵抗性が大きくなる傾向となり、耐塩害性能についてはフライアッシュの添加により抵抗性は向上する。

(2) 振動締固めで製造したフライアッシュを用いたプレキャストコンクリート製品を凍結融解の影響を受ける可能性のある箇所に用いる場合、適切な空気量を有する AE コンクリートにしなければならない。

【解説】(1) アルカリシリカ反応抑制に推奨されるフライアッシュのセメントに対する置換率は、JIS II 種適合品の場合、表 3.4.1 に示すように予防保全的な対策レベルで 15%以上、高いレベルの対策で 20%以上が推奨される。

(2) 凍結融解抵抗性については、凍結融解危険度を考慮し、特に凍結融解性能を必要とする AE コンクリート製品の場合には、フライアッシュの緻密な組織構造に適した微細気泡を得ることのできるフライアッシュ用 AE 剤を使用することが好ましい[3]。

フライアッシュの吸着能力を表すものとしてメチレンブルー吸着量を取り上げ、この値と AE 剤使用量(空気量 4%)との関係を調べた結果を図 3.2.1 に示す。この場合 OPC の吸着能力を 0 とすると、特殊イオン界面活性剤(A6)についてはどのフライアッシュについてもほぼ直線上に値が並んでおり、メチレンブルー吸着量とフライアッシュの置換率から AE 剤使用量の予測が可能であるとしている[4]。

また、ムース状の微細な空気泡を先に生成したプレフォーム型の AE 剤を練混ぜ時に投入することにより、未燃カーボンの影響を低減し、耐凍害性を高めることを試みた報告[5]や、非 JIS フライアッシュコンクリートへのプレフォーム型 AE 剤利用[6]の研究報告もなされている。

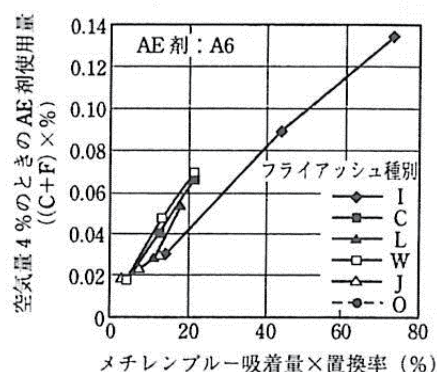


図 3.2.1 吸着能力と AE 剤使用量との関係

3. 2. 3 特定有害物質の溶出量及び含有量基準

フライアッシュを用いたプレキャストコンクリート製品は、同配合のコンクリート供試体から作製した試料による特定有害物質の溶出及び含有量基準の確認試験の結果、土壤汚染対策法で定められている表 3. 2. 1 の基準に適合したものでなければならない。

表 3. 2. 1 特定有害物質の種類と指定区域の指定基準（重金属抜粋）等

平成 14 年 12 月 26 日 環境省令第 29 号

区分	特定有害物質の種類 (令第 1 条)	指定区域の指定基準（法第 5 条 1 項）	
		土壤溶出量の指定基準 (則第 18 条第 1 項, 別表第 2)	土壤含有量の指定基準 (則第 18 条第 2 項, 別表第 3)
第二種 特定有害物質	カドミウム及びその化合物	0.01 mg/L 以下	150 mg/kg 以下
	六価クロム化合物	0.05 mg/L 以下	250 mg/kg 以下
	水銀及びその化合物	0.0005 mg/L 以下 アルキル水銀；不検出	15 mg/kg 以下 (－)
	セレン及びその化合物	0.01 mg/L 以下	150 mg/kg 以下
	鉛及びその化合物	0.01 mg/L 以下	150 mg/kg 以下
	砒素及びその化合物	0.01 mg/L 以下	150 mg/kg 以下
	ふっ素及びその化合物	0.8 mg/L 以下	4,000 mg/kg 以下
	ほう素及びその化合物	1 mg/L 以下	4,000 mg/kg 以下
試験方法 (参考)		JIS K 0058-1 利用有姿：最も配慮すべき 暴露環境	JIS K 0058-2 利用有姿：最も配慮すべき 暴露環境

【解説】現在のところコンクリート用フライアッシュの環境影響評価の側面からの規格化はなされていないが、石炭灰の有害物質の溶出特性は、炭種によって、六価クロム、砒素は僅かながら検出されており、これ以外に銅や亜鉛等が低濃度で検出されることもある[7]。

コンクリート製品製造者は、1 ヶ月に 1 回以上の頻度で特定有害物質の溶出量と含有量の検査を実施し、1 年間以上の期間全ての基準を満たしていることが確認できた場合には、3 ヶ月に 1 回以上の試験頻度として試験記録等を 5 年間保管[8]としている例もあるが、発注機関との協議によって試験頻度、試験方法及び記録保管年数等を決定するのがよい。尚、試験費用に関してはコンクリート製品製造者が負担しているのが実情である。

3. 3 フライアッシュ

3. 3. 1 フライアッシュの品質

コンクリート用フライアッシュの品質は、表 3. 3. 1 とおりとする。

表 3. 3. 1 フライアッシュの品質 (JIS A 6201)

項 目		I 種	II 種	III 種	IV 種
二酸化けい素含量 %		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 ³		1.95 以上			
粉末度	網ふるい方法 (45 μm ふるい残分) %	10 以下	40 以下	40 以下	70 以下
	ブレン方法 (比表面積) cm ² /g	5000 以上	2500 以上	2500 以上	1500 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

【解説】表 3. 3. 1 に示すとおり、JIS A 6201 に規定されるフライアッシュの規格値は、品質グレードごとに I 種～IV 種の 4 種に分けられており、日本フライアッシュ協会で、主力製品として販売されているのは、II 種に該当するフライアッシュである。

東北地方における石炭火力発電所の位置を図 3. 3. 1 に、各発電所の JIS A 6201 適合品生産範囲を表 3. 3. 2 に示す[9]。

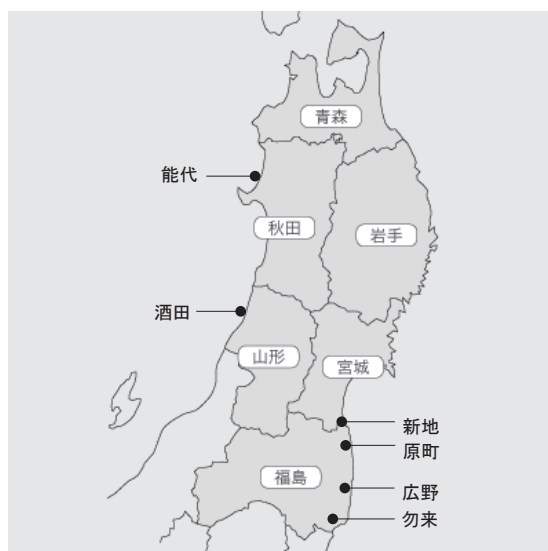


図 3. 3. 1 東北地方の石炭火力発電所の位置

表 3. 3. 2 発電所別 JIS A 6201 適合品生産範囲 (抜粋)

H27.10

発電所	事業者	フライアッシュ種類			
		I 種	II 種	III 種	IV 種
能代	東北電力		○		○
酒田共同	酒田共同火力発電		○		○
新地	相馬共同火力発電				
原町	東北電力				○
広野	東京電力				
勿来	常磐共同火力		○		

3. 3. 2 フライアッシュを用いたコンクリートの特長

フライアッシュを用いたコンクリートの特長について、標準的な品質のⅡ種を例に示すと次のとおりである。

- ・ 単位水量の低減
- ・ 流動性の向上
- ・ 長期強度発現性の向上
- ・ アルカリシリカ反応の抑制
- ・ 乾燥収縮ひびわれの低減
- ・ 水和熱の低減
- ・ 水密性の向上

【解説】上記の特長は、プレキャストコンクリート製品に対しても利点とされる。フレッシュ性状としては置換率に応じて単位水量を低減することができ、また、流動性の向上が図れる。硬化後においてはポゾラン反応による長期強度発現性の向上、乾燥収縮ひびわれの低減、水密性の向上、アルカリシリカ反応の抑制効果等がある。ただし、セメント置換（内割り）した場合は、初期強度の低下、空気連行性の低下、中性化の増大が懸念されるため、その対策案については3.

4 配合で紹介する。

また、フライアッシュ中の未燃カーボンを1%以下に除去した新しいコンクリート用混和材として高品質フライアッシュ(CfFA : Carbon-free Fly Ash)が開発されており、コンクリートに混和することによって上記の特長に加え、遮塩性の向上、耐凍害性の向上、滑らかな表面仕上げ等の効果が得られ、より高品質なコンクリート構造物の建造が可能とされている例もある[10]。

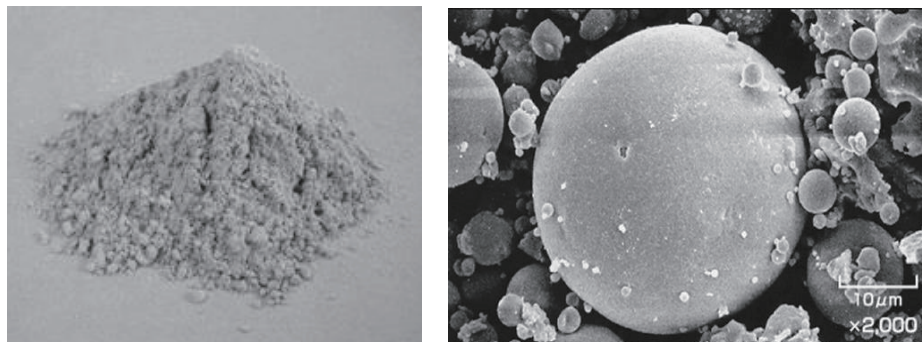


写真 3.3.1 フライアッシュ／電子顕微鏡写真（右）

3. 4 配合

3. 4. 1 添加量の選定

JISⅡ種に適合するフライアッシュは、添加量によって、コンクリートの物性に及ぼす影響が異なるので、フライアッシュの使用目的が達成されるよう、適切に選定する必要がある。

【解説】JISⅡ種に適合するフライアッシュを混和したコンクリートには、一般のコンクリートとは異なる特徴があり、フライアッシュの添加量によって、コンクリートの物性に及ぼす影響が異なる。例えば、フライアッシュをセメントの置換で使用すると初期強度が低くなる傾向となり、砂置換すると強度増進につながる。フレッシュ性状においては、フライアッシュを砂置換した場合においても、フライアッシュの粉体増量を考慮した結合材総量に見合った最適細骨材率で配合設計を行うと、水結合材比の水準に応じて減水効果が生じるフライアッシュの添加量が得られる。土木学会の提案によると、フライアッシュ単位量が 20～120kg/m³ であれば、配合修正や化学混和剤添加量の調整によってフライアッシュが有効に利用できるとされている。

図 3.4.1 に土木学会の提案する配合の概念図を示す。減水効果が得られるフライアッシュの添加量を求め、強度等の所定品質を得るために必要な品質となるよう、セメント置換と細骨材置換の添加割合を決定する。このフライアッシュの添加割合を決定する所定品質には、耐久性やアルカリ骨材反応抑制などの要求性能が挙げられる。

アルカリ骨材反応抑制の観点からは、蒸気養生においてもその抑制効果が得られるなどフライアッシュの添加は有効であり、表 3.4.1 に示す置換率によって決定すればよい。

耐久性の観点からは、中性化については強度と同様にセメント置換では抵抗性が小さく、

細骨材置換では抵抗性が大きくなる傾向となり、耐塩害性能についてはフライアッシュの添加により抵抗性は向上する。凍結融解抵抗性については、凍結融解危険度を考慮し、特に凍結融解性能を必要とする AE コンクリート製品の場合には、フライアッシュの緻密な組織構造に適した微細気泡を得ることのできるプレフォーム型の AE 剤やフライアッシュ用 AE 剤を使用することが

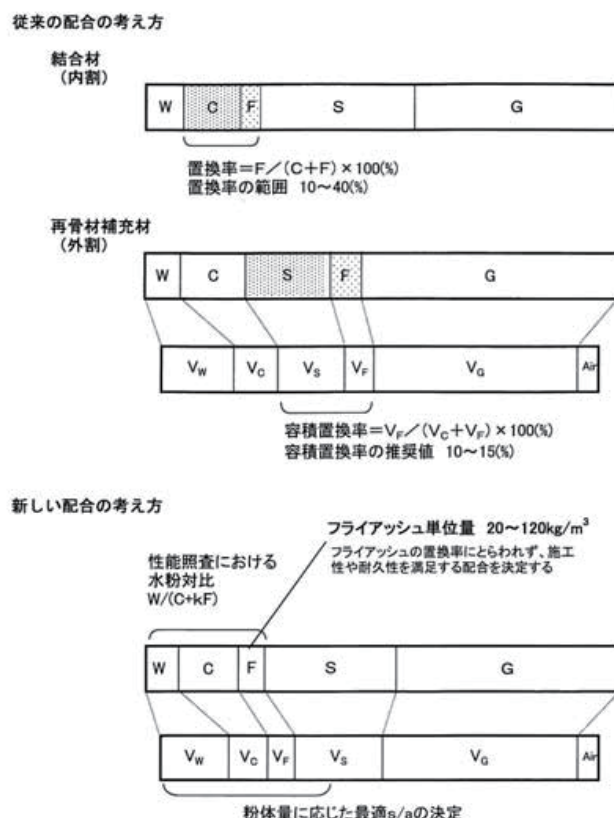


図 3.4.1 フライアッシュの配合概念図[3]

表 3.4.1 ASR 抑制に推奨される
フライアッシュ置換率[3]

フライアッシュの品質	予防保全的な対策レベル	高いレベルの対策
JISⅡ種適合品 ¹⁾	15%以上	20%以上

1) 比表面積 (ブレン方法) 2,500cm²/g 以上、強熱減量 5.0%以下

好ましい。

フライアッシュを混和する場合の要求性能に対応する望ましいフライアッシュ添加方法等を表 3.4.2 に示す。この表により、プレキャストコンクリート工場にてあらかじめ試験を行い、製品の要求性能に対して、フライアッシュの使用目的を達成する種類と置換率を選定すればよい[3]。

表 3.4.2 フライアッシュのプレキャスト製品への活用（推奨方法）[3]

項目／用途	FA 活用の目安	活用可能な FA 品質等
FA 単位量	FA 単位量の目安：20～120kg/m ³ 〔試し練りで減水効果が得られる量〕	【対象とする FA】 Ⅱ 種適合品 【活用用途】 ～流動性改善効果、セメント低減効果、ASR 抑制対策・保全効果、粉体充填効果、中性化抑制（外割り）
配合設計	マチュリティに応じた k 値による $\sigma_{ck} = a (C/W + k \cdot F/W)$ 上記 FA 単位量で強度が得られる配合となるよう、セメント置換と砂置換の置換えバランスを考慮して決定する量	
凍結融解性能	凍害危険度により non-AE、AE を判断 凍害危険度が特に大きいなど耐凍害性が求められる場合は、FA 用 AE 剤を推奨	
ASR 抑制効果	高いレベルでの抑制対策 ・ブレン比表面積 2,500cm ² /g 以上の FA をセメントの 20%置換以上 予防安全措置 ・ブレン比表面積 2,500cm ² /g 以上の FA をセメントの 15%置換以上	
中性化性能	上記 FA 単位量により決定 OPC と対比して： 〔セメント置換：中性化性能低下〕 〔細骨材置換：中性化性能向上〕 BB と対比して：同等以上	
オートクレーブ養生製品	ブレン値が低いほど良好 〔トバモライト生成が増加〕	Ⅱ 種適合品：評価必要
高強度製品	ブレン値が高いほど良好 〔Ⅱ 種適合品：確認必要〕	Ⅱ 種適合品：評価必要
高流動コンクリート製品	FA 添加量によって流動性増大 （中流動の領域でも分離抵抗向上）	Ⅱ 種適合品
即脱製品	FA 添加によって締固め性能向上	Ⅱ 種適合品

注) 普通ポルトランドセメントコンクリート及び早強ポルトランドセメントコンクリートにフライアッシュを添加する場合について示したものである。

3. 4. 2 単位粗骨材容積、細骨材率及び単位水量の概略値

「フライアッシュを用いたコンクリートの施工指針（案）」（土木学会）に記述されるフライアッシュⅡ種を置換率 20%とした場合の単位水量の概略値を、Ⅱ種適合品に相当するフライアッシュに適用し、表 3. 4. 3 に示す[11]。

【解説】(1) この表に示す値は、骨材は普通の粒度の砂（粗粒率 2.80 程度）および碎石、フライアッシュⅡ種適合品を置換率 20%でそれぞれ用い、水結合材比 0.55 程度、スランプ約 8cm のコンクリートに対するものである。

(2) 使用材料またはコンクリートの品質が(1)の条件と相違する場合には、表 3. 4. 3 の値を表 3. 4. 4 により補正する。

表 3. 4. 3 コンクリートの単位粗骨材容積、細骨材率及び単位水量の概略値 1

粗骨材の 最大寸法 (mm)	単位粗骨材 容積 (%)	AE コンクリート				
		空気量 (%)	AE 剤を用いる場合		AE 減水剤を用いる場合	
			細骨材率 sf/a (%)	単位水量 W (kg)	細骨材率 sf/a (%)	単位水量 W (kg)
15	59	7.0	46	173	47	163
20	63	6.0	43	168	44	158
25	68	5.0	41	163	42	153
40	73	4.5	38	158	39	148

表 3. 4. 4 コンクリートの単位粗骨材容積、細骨材率及び単位水量の概略値 2

区 分	sf/a (%) の補正	W (kg) の補正
フライアッシュの置換率が 10%だけ大きい（小さい）ごとに	0.5 だけ小さく（大きく）する	2～4kg だけ小さく（大きく）する
砂の粗粒率が 0.1 だけ大きい（小さい）ごとに	0.5 だけ大きく（小さく）する	補正しない
スランプが 1cm だけ大きい（小さい）ごとに	補正しない	1.2%だけ大きく（小さく）する
空気量が 1%だけ大きい（小さい）ごとに	0.5～1 だけ小さく（大きく）する	3%だけ小さく（大きく）する
水結合材比 0.05 だけ大きい（小さい）ごとに	1 だけ大きく（小さく）する	補正しない
sf/a が 1%だけ大きい（小さい）ごとに	—	1.5kg だけ大きく（小さく）する
川砂利を用いる場合	3～5 だけ小さくする	9～15kg だけ小さくする
砕砂を用いる場合	2～3 だけ大きくする	6～9kg だけ大きくする

なお、単位粗骨材容積による場合は、砂の粗粒率が 0.1 だけ大きい（小さい）ごとに単位粗骨材容積を 1%だけ小さく（大きく）する

3. 4. 3 配合例

配合の一例として、フライアッシュをセメントの質量に対して 20%置換した「内割り」、細骨材の容積に対して 10%置換した「外割り」、比較用の普通コンクリートの 3 種類とし、表 3. 4. 5 に示す。

【解説】配合条件として、普通コンクリートおよび外割りコンクリートは水セメント比 53%、内割りコンクリートは水結合材比 53%に設定し、目標スランプを $8.0 \pm 2.5\%$ 、目標空気量を $4.5 \pm 1.5\%$ とした[11]。

表 3. 4. 5 コンクリート配合例

配合名	配合条件								単位質量 (kg/m ³)					AE 減水剤	AE剤	
	セメント の種類	粗骨材 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント 比 W/C (%)	水結合材 比 W/B (%)	フライ アッシュ 置換率 (%)	細骨材率 s/a (%)	水 W	セメント C	フライ アッシュ FA	細骨材 S	粗骨材 G	一般構造 物用 標準型 (kg)	一般コン クリート 用 (kg)	フライ アッシュ 用 (kg)
普通コンクリート	普通 セメント	20	8.0 ±2.5	4.5 ±1.5	53	-	-	46.9	158	299	0	846	1046	0.748	0.006	-
内割りコンクリート (セメント置換20%)					-	53	20%	45.9	152	230	57	831	1071	0.718	0.006	0.069
外割りコンクリート (細骨材置換10%)					53	-	10%	42.9	152	287	73	705	1142	0.718	0.006	0.138

3. 5 製造

3. 5. 1 総則

フライアッシュを混和したプレキャストコンクリート製品の製造方法に関する標準については、JIS A 5364 に準じるとよい。

【解説】JIS A 5364 では JIS A 6201 に適合するフライアッシュの使用が認められており、本ガイドライン（案）では JIS II 種に適合するフライアッシュを使用する場合のプレキャストコンクリート製品の製造方法は、これに従ってよいとした[3]。

3. 5. 2 受け入れ

フライアッシュの利用用途・量に応じて、経済性を考慮した手段で、受け入れ手段をとらなければならない。

【解説】生コン混和材などの用途向けには、ジェットパック車による陸上輸送が多用されている。さらに使用量が少ない小口の場合は、袋詰め品の通常のトラック輸送も行われている。いずれもサイロやストックヤード等、フライアッシュ専用の貯蔵施設に受け入れることとする[12]。

3. 5. 3 貯蔵

フライアッシュの貯蔵設備は、貯蔵中に品質が変化せず、また、他の物質が混入しない構造のものでなければならない。

【解説】フライアッシュの貯蔵設備に要求される事項は、基本的にセメントの貯蔵施設に要求される事項と同じで、湿気や通気を避けなければならない。また、他のセメントや混和材などが混入しないようにしなければならない。このため、フライアッシュの貯蔵には、専用の設備を使用することとする[13]。

3. 5. 4 計量

(1) フライアッシュの計量設備は、専用のものであることとし、所定の計量値の許容差内で計量できるものでなければならない。

(2) フライアッシュは1バッチ分ずつ質量で計量しなければならない。

(3) フライアッシュの計量値の許容差は、1回計量分に対して2%以下でなければならない。

【解説】(1) フライアッシュの計量を正確に行うことは、重要事項の一つである。フライアッシュは、コンクリートの品質に特に敏感に影響を与える材料であるため、計量値の許容差が大きい場合には、所定の品質のコンクリートが得られないばかりか、構造物の使用に支障を及ぼすこともある。

したがって、フライアッシュの計量は、専用の設備を基本とする。ただし、少量利用で専用の計量設備がない場合、これと同等の計量が確認できればよいものとする。

(2) フライアッシュは、(1)の理由から1バッチ分ずつ、所定の計量値の許容差内となるように計量する。

(3) 計量値の許容差については、通常の混和材と同様に2%以下とする[13]。

3. 5. 5 練混ぜ

フライアッシュを添加したコンクリートは、均等質のコンクリートが得られるように、十分にこれを練混ぜなければならない。ミキサへのフライアッシュの投入は、セメントと同時にあるいはセメントに引き続いて直ちにミキサへ投入するのがよい。なお、練混ぜ時間は、あらかじめ試験によって定める[3]。

【解説】フライアッシュはセメントなどの粉体に比べて密度が小さいため、フライアッシュを用いたコンクリートは、コンクリート中にフライアッシュが均等に分散するように、十分練混ぜなければならない[13]。

3. 5. 6 打設

フライアッシュを用いたコンクリートの打設は、一般のコンクリートと同様に行うことができる。

【解説】フライアッシュを用いたコンクリートの運搬および打ち込みに要する時間は、普通コンクリートと同等の範囲で管理できる[13]。

フライアッシュを用いたコンクリートは簡易な振動により充填および締固めでき、製品の仕上がりは向上する。逆に、過度の締固めを行うと、仕上がり面に未燃カーボン等が浮くことがあるため、あらかじめ試験製造により締固め時間を決定することが好ましい。また、「4. 配合」で示した手法で配合した場合、フライアッシュを混入しないコンクリートと比較して、凝結時間は若干遅延する場合もあるが、蒸気養生を行う場合には大きな問題とならない。フライアッシュを混和した場合、打ち込んだコンクリート上面の粘性が大きくなるので、通常の仕上げより早期に仕上げる必要がある[3]。

3. 5. 7 養生

フライアッシュを用いたコンクリートの養生は、一般のコンクリートと同様に行うことができる。

【解説】フライアッシュを混和した結合材では、一般に凝結時間が遅くなるが、フライアッシュの強度発現は養生温度依存性が高くなることから、一般に蒸気養生においては有利な条件とはなる。しかし、一般のコンクリートと同様に、養生の条件を決定する場合には事前に試験を行って確認しなければならない。確認試験は実物大で実施することが望ましい。

促進養生は、コンクリート標準示方書施工編（2007 年）の手順に沿って、適切な養生を行うものとする。蒸気養生については、一般的に、蒸気養生を開始するまでの前置き時間は長く、温度上昇速度は遅く、設定することにより良質な製品となる。また、比較的製品寸法の大きな場合は、最高温度を低めに設定して、取り出し時の冷却不足を防止するとともに、断熱温度上昇に伴う温度応力の制御にも配慮する必要がある。フライアッシュを添加したコンクリートは、養生条件の影響は余り大きく作用せず、部材寸法の大きい場合の内部発熱量は少ない傾向となるが、確認試験を実施して養生条件を決定することが望ましい。一般のコンクリートと同様に、フライアッシュの特性を十分理解した上で、プレキャストコンクリート製品の部材寸法等を勘案した適切な養生方法を選定する必要がある[3]。

3. 5. 8 表示

フライアッシュを用いたプレキャストコンクリート製品又はそのカタログや技術資料には、その旨の表示をしなければならない。

【解説】JIS A 5361 6.d) に、リサイクル材料を使用している場合は、その旨の表示をすることが規定されている。含有率は細骨材又はセメント量全質量に対するフライアッシュ質量の割合を百分率で表す。“リサイクル材料含有率の主張”をする場合、シンボルの使用は任意であるが、シンボルを使用する場合はメビウスループとし含有量を併記しなければならない。メビウスループを使用する場合は、JIS Q 14021 7.8 に基づいて表示しなければならない。

表示内容例

1. シンボルマーク（国際標準規格 ISO 14021:1999 に準じたマーク）
2. 「フライアッシュ」の表示

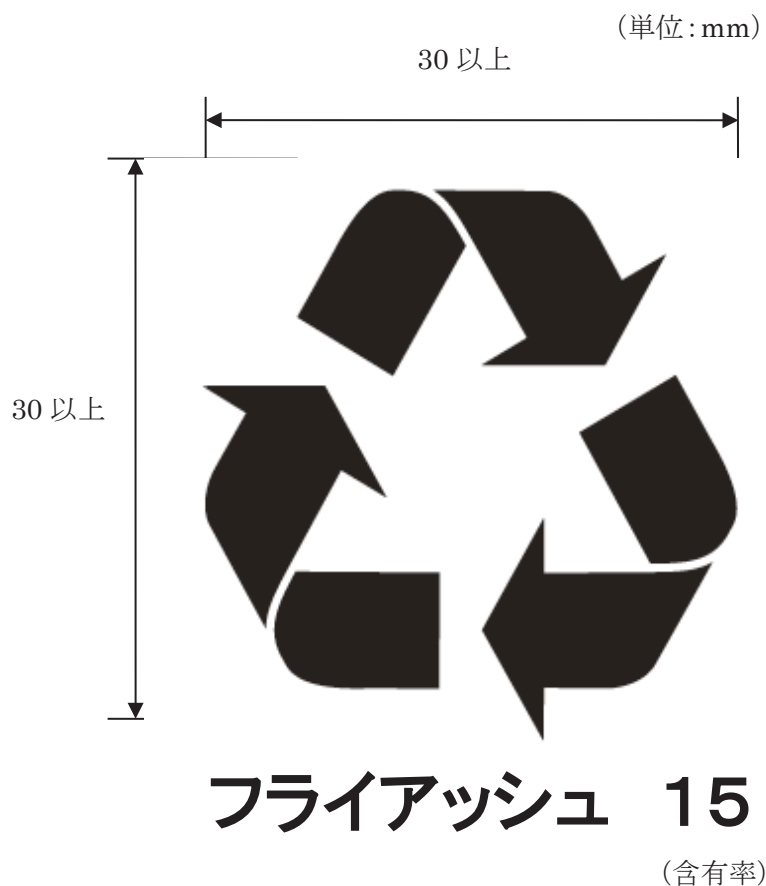


図 3. 5. 1 表示例

※寸法は製品へ表示する場合の例であり、カタログなどへの表示は任意の大きさとする。

エコマーク認定商品の場合は公益財団法人日本環境協会が定めた表示方法に従う。

<引用文献>

- [1] コンクリート工学技術フォーラム 大賀宏行「フライアッシュや石炭灰を用いたコンクリート」1996.6
- [2] JCI「大濱委員会最終」フライアッシュ 1
- [3] (社)日本コンクリート工学協会：プレキャストコンクリート製品の設計と利用研究会報告書、pp.366-373、2009.8
- [4] (社)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・同解説付録、p.150、2007
- [5] 北辻政文・青山宏昭・齋藤和秀：フライアッシュコンクリートへのプレフォーム型 AE 剤利用、コンクリート工学年次論文集、Vol.29、No.1、p.207-212、2007.7
- [6] 北辻政文・青山宏昭：非 JIS フライアッシュコンクリートへのプレフォーム型 AE 剤の利用
- [7] 港湾・空港等リサイクル推進協議会：港湾・空港等整備におけるリサイクル技術指針、p.2-76、2004.3
- [8] 秋田県フライアッシュ混合プレキャストコンクリート製品使用基準、p.2、2012.9
- [9] JCI 委員会報告書案（石炭灰編）「3.未利用資源の利活用の実態」
- [10] (株)ゼロテクノ／(株)ゼロテクノジャパン：コンクリート用混和材 高品質フライアッシュ (CfFA)、2012.6
- [11] 社団法人土木学会：循環型社会に適合したフライアッシュコンクリートの最新利用技術－利用拡大に向けた設計施工指針試案－ コンクリートライブラリー132 2009.12
- [12] 社団法人土木学会・エネルギー土木委員会・新技術・エネルギー小委員会・石炭灰有効利用分科会：石炭灰有効利用技術について－循環型社会を目指して－ 報告書、p.66-3～112003.9
- [13] 長崎県土木部：長崎県におけるフライアッシュコンクリートの配合・製造及び施工指針、pp.2-9 - 2-12、2015.1

4. 再生粗骨材Mに関する参考文献

「北辻政文、丹野恒紀、吉田修栄、遠藤孝夫：再生粗骨材Mのプレキャストコンクリート製品への利用に関する基礎的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol. 32、No. 1、pp. 1469-1474、2010」

「開米浩久、北辻政文、澤田達哉、遠藤孝夫：震災コンクリートがらから製造した再生粗骨材Mのプレキャストコンクリート製品への利用、コンクリート工学年次論文集、Vol. 37、No. 2、pp. 415-420、2015」

論文 再生粗骨材 M のプレキャストコンクリート製品への利用に関する基礎的研究

北辻 政文^{*1}・丹野 恒紀^{*2}・吉田 修栄^{*3}・遠藤 孝夫^{*4}

要旨：コンクリート廃材は、循環型社会の観点から再生骨材としてコンクリート材料への再利用が求められている。特に再生粗骨材Mは、製造コストが比較的低く、かつ回収率が高いことからその期待が大きい。しかし、乾燥収縮が大きいことと耐凍害性が低いため、その利用は地下構造物に限定されている。そこで本研究では、これらの課題を解決するために、再生粗骨材Mをプレキャストコンクリート製品へ利用することを検討した。研究の結果、再生骨材Mを用いたプレキャストコンクリート製品の強度および耐久性は、普通コンクリートと同等の品質を有することが明らかとなった。

キーワード：再生粗骨材 M, 耐凍害性, フライアッシュ, 乾燥収縮, プレキャストコンクリート製品

1. はじめに

コンクリート廃材は年間 3,500 万トン排出され、建設系廃棄物の中では 42%を占めている¹⁾。これらの廃材は、主に下層路盤材料（クラッシュラン）として再利用が行われているもののコンクリート用骨材（再生骨材）としてはほとんど利用されていない。しかし、コンクリート廃材の発生量は増加の一途をたどると予想されているため、下層路盤としての利用だけでは処理能力に限界があり、資源循環型社会の構築の観点から、コンクリート用骨材としての再利用が期待されている。

現在、コンクリート用再生骨材はその品質を H, M, L の3ランクに分けて、それぞれ JIS 規格が制定された²⁾。再生骨材 H は、レディーミクストコンクリートへも利用が可能であり、その品質は天然の骨材と同等である。しかし、それを製造するためのエネルギーが多量で高コストであるため廃棄費用の大きい大都市以外の地域では現実的ではない。さらに、高度処理によって取り出せる粗骨材量はコンクリート廃材全体の 30~40%程度で、残りは微粉となり、その処理が課題となっている。

一方、再生骨材 M と L は、H に比較して骨材製造は簡易となるものの、使用範囲が限定されており、とくに再生骨材 L は品質が極度に悪いため、水分管理が行えず、コンクリートの品質を一定水準に保つことが難しく、高い強度や耐久性が要求されない裏込めや捨てコン等にしか利用できない。再生骨材 M は品質と製造コストの面から最も利用普及の期待が大きいものの、乾燥収縮や凍結融解作用の影響からその使用にあたっては、地下構造物のみに限定されており、東北地方などの寒冷地では一般の構造物には利用できない状況にある。

そこで、本研究では、これらの課題を解決するために、再生粗骨材Mをプレキャストコンクリート製品へ利用することを検討した。プレキャストコンクリート製品に利用した場合、部材寸法が小さく、乾燥収縮による不具合が発生しにくいこと、また、凍結融解抵抗性についても土木研究所により簡易の判定法³⁾が提案され、耐凍害性の有無を容易に判断できるようになったことが利点としてあげられる。

再生骨材のプレキャストコンクリート製品への利用に関する研究は、日本コンクリート工学協会北海道支部⁴⁾によってプレキャスト無筋コンクリート製品への適用について検討されている。また、プレキャスト鉄筋コンクリート製品については北辻ら⁵⁾⁶⁾の研究がある。

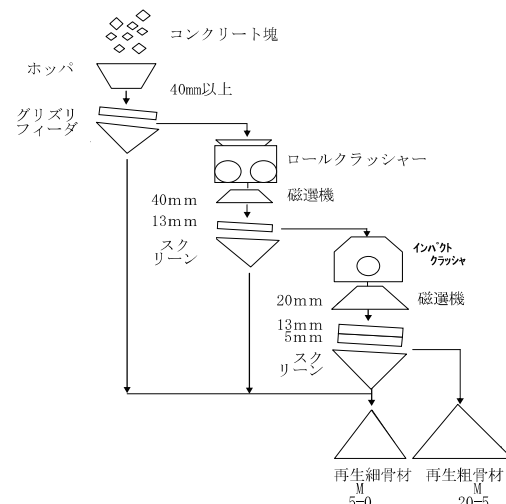


図-1 再生骨材Mの製造フロー

*1 宮城大学 食産業部環境システム学科 教授 博（農）（正会員）

*2 宮城大学 食産業部環境システム学科

*3 吉田セメント工業（株）

*4 東北学院大学 工学部環境建設工学科 教授 博（工）（正会員）

表-1 再生粗骨材Mの品質

試験項目		試験値	再生粗骨材 M JIS 規格値
密度 g/cm ³	表乾	2.51	—
	絶乾	2.41	2.30 以上
吸水率	%	4.31	5.00 以下
微粒分量	%	0.11	1.5 以下
不純物量	%	0.00	3.0 以下
塩化物量	%	0.008	0.04 以下
粗粒率		6.53	—
骨材修正係		0.5	—
簡易凍結融解*	%	1.03	5.0 以下

*土木研究所法³⁾による

2. 実験概要

2.1 使用材料

(1) 再生粗骨材M

再生粗骨材 M は、中間処理業者から入手した。再生粗骨材 M の製造に用いられる破砕機は、再生骨材 H に比べ簡易であり、多くの中間処理業者で既に有している。再生骨材 M の製造の一例を図-1 に示す。先ずロールクラッシャーやジョーラッシャー等で一次破砕後、インパクトクラッシャーやボラウダー等により 1~2 回の二次破砕を行い、脆弱なモルタル分を除去したものを粒度調整して製造される。再生粗骨材 M の回収率は 50~60% である。

使用した再生粗骨材 M の品質を表-1 に示す。試験結果は大きな問題となる点が一つもなく、JIS 規格値を満たしている。また、骨材修正係数が、0.2~0.8% 程度あることから、空気量の管理には留意する必要がある。

ここで、再生細骨材は木片やプラスチックなどの夾雑物や融雪剤等の塩分含有量が高いこと、および吸水率の規格値を満足できないことから、本研究では対象外とした。

(2) その他の材料

セメントは普通ポルトランドセメント（密度 3.15g/cm³、比表面積 3,280 cm²/g）を用いた。粗骨材は最大寸法 20mm の砕

表-2 フライアッシュの品質

試験項目		試験値
二酸化ケイ素	%	67.7
湿分	%	0.1
強熱減量	%	4.0
密度	g/cm ³	2.17
粉末度	45μ ふるい 残分%	18.1
	比表面積 cm ² /g	3840
フロー値比	%	100
活性度指数 %	材齢 28 日	78
	材齢 91 日	87
メチレンブルー吸着量	%	0.89

石（表乾密度 2.65g/cm³、吸水率 0.87%、粗粒率 6.68）を用いた。細骨材は砕砂（表乾密度 2.62g/cm³、吸水率 1.74%、粗粒率 2.71）を用いた。また混和材としてフライアッシュ原粉を用いた。フライアッシュ使用の目的は、アルカリシリカ反応対策のためである。すなわち出所不明の雑多なコンクリート解体材を原料としているため、アルカリシリカ反応の有無を判断することが困難であるため、製造された再生骨材は「無害でない」と判断し、対策を講じている。フライアッシュの成分および物理試験結果を表-2 に示す。試験結果より、今回用いたフライアッシュは活性度指数を除くと JIS フライアッシュ II 種に相当する品質であることがわかる。

混和剤には、ポリカルボン酸系化合物を主成分とする高性能減水剤（密度 1.04g/cm³）と樹脂酸塩を主成分とする AE 剤（密度 1.04g/cm³）を用いた。

2.2 実験方法

配合を表-3 に示す。配合設計ではプレキャストコンクリート製品工場で用いられる配合を基準とし、設計基準強度 30N/mm² を満足するための水セメント比として 45% に統一した。また、アルカリシリカ反応の対策としてコンクリート中の総アルカリ量を 3.0kg/m³ 以下に規制し、フライアッシュを使用した。すなわち、1) 普通コンクリート、2) 総アルカリ

表-3 コンクリートの配合

配合名	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							
			水 W	セメント C	フライアッシュ FA	細骨材 S	粗骨材 G		混和剤 (C×%)	
							砕石 CG	再生骨材 RG	減水剤 AD	AE 剤 AE
NP	45.0	38.0	162	360	—	671	1108	—	0.70	5A*
RG290			162	360	—	671	787	290	0.70	5A
FARG			162	360	54	605	—	1003	0.70	30A

*1A=C×0.002%

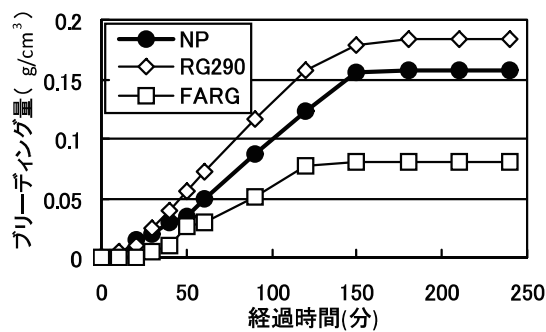


図-2 ブリーディング試験結果

量を 3.0kg/m^3 とするために再生粗骨材Mで碎石を290kg置換したもの、および3)粗骨材全量を再生粗骨材Mで置換し、アルカリシリカ反応の対策としてフライアッシュを混和材に用いたものの3種類とした。ただし、フライアッシュを使用する場合、コンクリートの初期強度が低下する恐れがあるため、セメントの外割りで15%使用した。これは、フライアッシュセメントB種相当の置換率となる。

すべての配合においてスランブ $10\pm 2.5\text{cm}$ 、空気量 $5\pm 1.5\%$ とした。以下、普通コンクリートをNP、再生粗骨材Mで290kg置換したものをRG290、再生粗骨材Mで全量置換したものをFARGと記す。

試験項目は、ブリーディング量試験 (JIS A 1223)、圧縮強度試験 (JIS A 1108)、曲げ強度試験 (JIS A 1106)、引張強度試験 (JIS A 1113)、静弾性係数試験 (JIS A 1149)、凍結融解試験 (JIS A 1148 A 法)、コンタクトゲージ法による乾燥収縮試験 (JIS A 1129 - 2)、中性化促進試験 (JIS A 1153)、およびプレキャストコンクリート製品の曲げ試験 (JIS A 5372 推奨仕様 5-3)である。

圧縮、割裂引張強度および静弾性係数試験用の供試体は $\phi 10\times 20\text{cm}$ の円柱供試体とし、曲げ強度、乾燥収縮、中性化促進および凍結融解試験用は $10\times 10\times 40\text{cm}$ の角柱供試体とした。

コンクリートの練混ぜ方法は、NPとRG290についてはセメントと細骨材を15秒間の空練り後、練混ぜ水を注入し60秒間練り、粗骨材を投入して45秒間の本練りを行った。一方、FARGは注水後を180秒間練混ぜた。

練り上がったコンクリートはそれぞれ型枠に詰め、テーブルパイププレートを用いて30秒間締固めて、型枠のまま蒸気養生を行った。

蒸気養生は、通常工場で行われている前置き2時間、最高温度 65°C 、保持2.0時間を目標とし約24時間後に脱型して、試験材齢まで屋外気中養生とした。すべてのコンクリートにおいて、脱型までの目標マチュリティーは約 $800^\circ\text{C}\cdot\text{hr}$ に統一した。なお、比較のために標準養生も行った。

3. 試験結果と考察

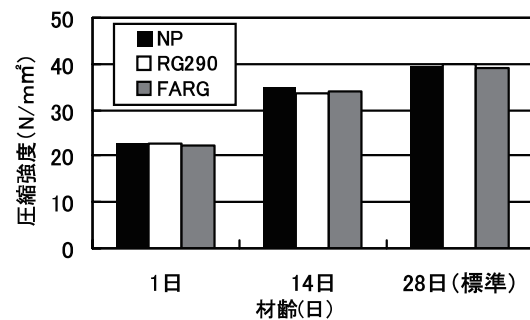


図-3 圧縮強度試験結果 (製品同一養生)

3.1 フレッシュコンクリートの性状

練り上がり後のフレッシュコンクリートの性状試験値は、スランブ $10\pm 2.5\text{cm}$ 、空気量 $5\pm 1.5\%$ であり、いずれも目標範囲内であった。ただし、フライアッシュには未燃カーボンが含まれるため、AE剤を吸着して空気が連行しにくい⁷⁾ことが知られており、AE剤の使用量を他の配合と比べて増やしている。

室内試験で採取したフレッシュコンクリートのブリーディング量試験結果を図-2に示す。FARGはブリーディング量を抑制する効果が確認された。これは、再生粗骨材Mの吸水率が適度に高く親水性であるため、練混ぜ水と骨材中の水が引き合っていること、および結合材料多いこと等が理由として考えられる。一方、RG290とNPでは大差はなく、再生粗骨材Mの置換率が低い場合、ブリーディング抑制効果は認められなかった。

3.2 硬化コンクリートの性質

(1) 強度特性

図-3に圧縮強度試験結果を示す。いずれの材齢においても3種類のコンクリートの強度はいずれも同等であった。一般的にフライアッシュを混和材に用いると初期強度が小さいことが知られている⁸⁾。しかし、今回はフライアッシュをセメントの外割りで使用したために強度低下は認められなかった⁹⁾。

また出荷材齢である14日の強度は、設計基準強度 30N/mm^2 を満足していることがわかる。

図-4に曲げ強度、図-5に引張強度試験結果を示す。一般に曲げ強度は圧縮強度の $1/5\sim 1/8$ 、引張強度は $1/9\sim 1/15$ の範囲にある。曲げ強度はすべての配合において、一般的な範囲内に入っている。一方、引張強度はやや低い値となった。これは再生粗骨材Mに付着したモルタルがコンクリート骨材の界面において悪影響を及ぼすためであると考えられる。今後、引張強度の低下の原因についてはさらに検討が必要である。

図-6に静弾性係数試験結果を示す。コンクリート標準示方書では、普通コンクリートの圧縮強度が 30N/mm^2 のとき、一般的な静弾性係数の値として、 28 kN/mm^2 としている。NPとRG290は、土木学会基準と同等であるが、再生粗骨材の置

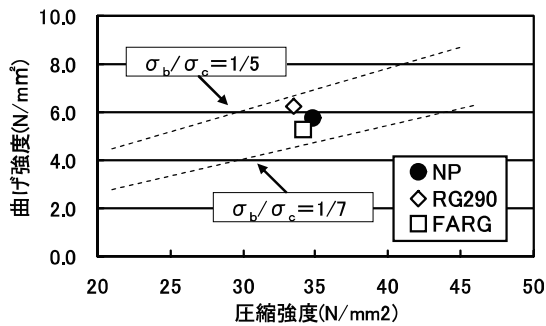


図-4 曲げ強度試験結果

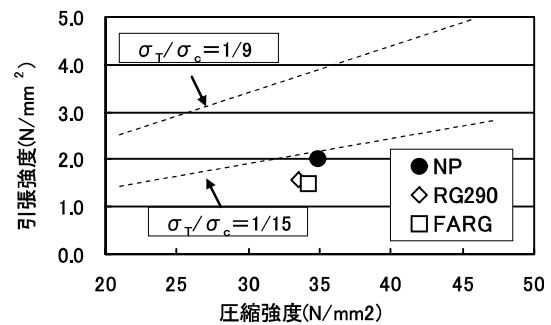


図-5 引張強度試験結果

換率が高くなると静弾性係数が小さくなるとの報告¹⁰⁾が多く、FARGは既報告と同様に小さくなる傾向となった。しかしながら、FARGにおいても25 kN/mm²を超えており、鉄筋コンクリートの設計上問題となる程の低下はないと判断される。

(2) 凍結融解試験結果

寒冷地コンクリートにおいて、耐凍害性能が高いことは不可欠な条件である。

発生源が不明な原コンクリートはAEコンクリートであるとは限らないため、耐凍害性に留意する必要がある。とくに、JIS A 5308 レディーミクストコンクリートにおいてAE剤の使用が義務付けられたのは1978年であり、それ以前のコンクリート構造物にはAE剤が使用されていない可能性もある。つまり吸水率が大きい再生骨材は、凍結融解作用により骨材そのものが崩壊し、それを用いたコンクリートは、ポップアウトや亀裂が生じる危険性があるのである。このため、再生骨材Mを用いたコンクリートでは、地下構造物に利用範囲を限定している。

一方、(独)土木研究所では、再生骨材の簡易な凍結融解試験法³⁾を提案している。これによると、再生骨材を水中凍結(-20℃)16時間—水中融解(20℃)8時間を1日1サイクルとして10日間行い、質量減少率が10%未満の場合、耐久性指数は60%以上、5.0%未満の場合、耐久性指数は85%以上を確保できると判断するものである。さらに、この試験で用いられた再生骨材は、L相当の品質のものが多く、本試験で使用しているMよりも品質が劣るものであり、かつAE剤の混入の有無に拘わらないとしている。本研究の試験結果は1.03%であった。判断基準の5.0%を大きく下回り、今回用いた再生粗骨材Mの凍結融解抵抗性は高いと推察される。

図-7および図-8は、JIS A 1148 A法(水中凍結—水中融解)により凍結融解試験を行った結果である。蒸気養生を行った供試体は、脱型後は屋外空中養生を行ったため乾燥している。乾燥により水和反応が一時低下したコンクリートが試験中に水分の供給を受け、再び水和反応が促進されるため、試験中に動弾性係数が増加することがあり、劣化による動弾性係数の低下だけを見ることが難しくなる。このため本研究

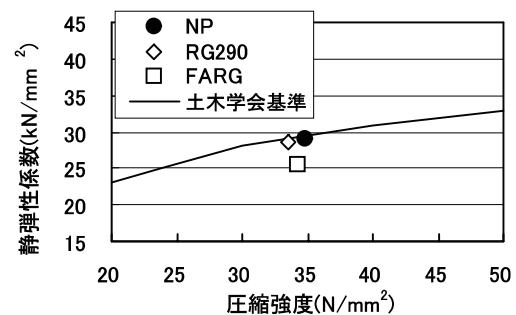


図-6 圧縮強度と静弾性係数の関係

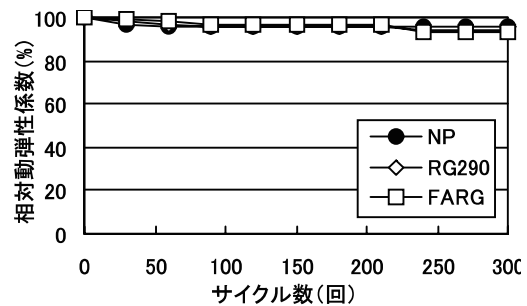


図-7 凍結融解試験結果(相対動弾性係数)

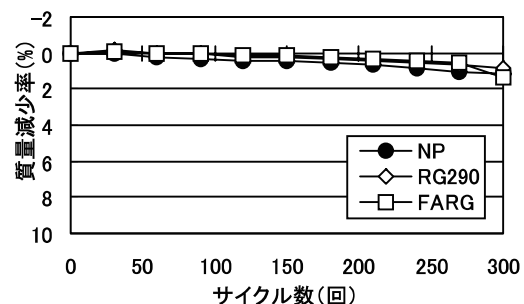


図-8 凍結融解試験結果(質量減少率)

では、試験前の2週間、水中養生を行うこととした。その結果、動弾性係数の増加は認められなかった。

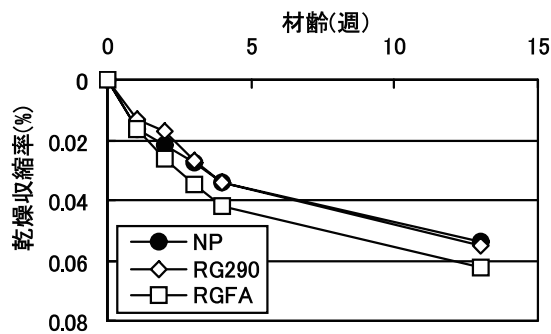


図-9 乾燥収縮試験結果

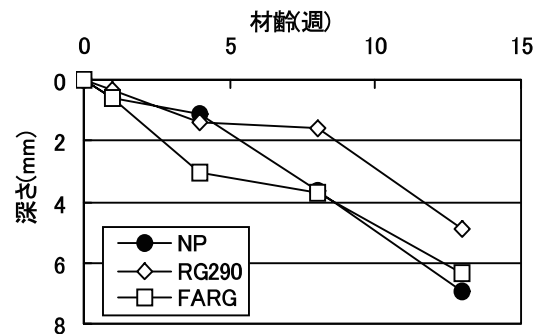


図-10 中性化促進試験結果

図-7 から、すべてのコンクリートにおいて 300 サイクル終了時の相対動弾性係数は、90%以上を確保していることが分かる。プレキャストコンクリート製品は、小断面であることが多いことから、劣化判定基準は 85%となるが、この値を大きく上回っており、十分な耐凍害性能を有していると判断できる。また、図-8 より 300 サイクル終了時の質量減少率は、いずれのコンクリートも 1%程度で、大きなスケーリングやポップアウトも認められず、極めて良好な結果であった。このことは(独)土木研究所で提案している簡易凍結融解試験法の結果と一致している。

(3) 乾燥収縮試験結果

乾燥収縮試験の供試体は蒸気養生後、材齢 1 日で脱型して直ちに基準長さを測定した。測定長さは 300mm である。乾燥条件は温度 $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $60 \pm 5\%$ とした。試験結果を図-9 に示す。一般的に、吸水率が大きい低品質な再生骨材を使用したコンクリートでは、乾燥収縮が大きくなるが¹¹⁾、モルタルの付着を抑えた高品質の再生骨材を使用した場合、普通コンクリートと同等の性質を有すること¹²⁾が知られている。粗骨材の 27%を再生粗骨材で置換した RG290 は、普通コンクリートと同等であった。これに対し、再生粗骨材 M を粗骨材として全量使用した FARG は、前 2 者に比べわずかながら収縮率が大きい傾向は認められたものの、その数値差は小さいと思われる。コンクリートの品質に悪影響を及ぼすものではないと判断される。

(4) 中性化促進試験結果

用排水路等の小断面のプレキャストコンクリート製品では、十分なかぶり厚さを確保することが難しい。このため、中性化が大きいコンクリートは鉄筋の腐食の危険性が高く、不向きである。そこで、中性化促進試験を実施した。供試体は蒸気養生後、材齢 14 日まで室内で気中養生を行い、その後促進中性化試験を開始した。試験結果を図-10 に示す。コンクリートの中性化速度は、二酸化炭素の拡散速度に関係する細孔構造と細孔溶液の pH 特性に関係するカルシウム量に依存する。一般的にフライアッシュを混和したコンクリートはポズラン反応によりカルシウムを消費するため中性化が進むが、

材齢が経過し、ポズラン反応が進行するとセメント硬化体の細孔径分布のピーク位置が微細側に移行するため¹³⁾¹⁴⁾、二酸化炭素の拡散速度が抑えられ、中性化は抑制される。試験結果では、フライアッシュを用いた FARG の初期値は大きく、材齢が経過するにつれてその値は落ち着き、既報告と同様の結果が得られた。材齢 13 週において、FARG は普通コンクリート同等の値を示した。一方、RG290 は普通コンクリートに比べ小さい値となったが、この理由は定かでない。

(5) プレキャストコンクリート製品の試作

試作したプレキャストコンクリート製品は内幅 300mm、長さ 2,000mm の落ちふた式 U 形側溝 (JIS A 5372 推奨仕様 5-31 種 300A) の本体および蓋である。配合は表-3 の FARG とした。プレキャストコンクリート製品の外観を図-11 に示す。出来上がったプレキャストコンクリート製品にはジャンカおよび材料分離も認められず、外観上問題となる点はなかった。

プレキャストコンクリート製品の曲げ強度試験は工場出荷可能材齢である 14 日とした。本体および蓋の JIS 規格値はそれぞれ 22.0kN/m、8.0kN/m である。JIS 規格値まで荷重をかけたが、いずれもひび割れは発生せず、良好な結果であった。

さらに、作製したプレキャストコンクリート製品は福島県内の国道工事現場へ設置した。製品の設置状況を図-12 に示す。敷設後約 5 ヶ月間が経過したが、乾燥収縮等によるひび



図-11 再生骨材コンクリートの外観

割れ等は発生していないことが確認された。今後も継続して観察し、再生粗骨材 M を使用したプレキャストコンクリート製品の実用化へ向けて、さらにデータを蓄積する予定である。

4. 総括

再生粗骨材 M を用いたプレキャストコンクリート製品に関する研究を行い、以下のことが明らかとなった。

- 1) 粗骨材の 290kg (約 27%) および全量を再生粗骨材 M で置き換えたプレキャストコンクリートは、強度および耐久性において普通コンクリートと同等の性質である。
- 2) 簡易凍結融解法において合格した再生粗骨材 M を用いたコンクリートの耐凍害性は高かった。
- 3) 再生粗骨材 M の吸水率は 4% を超えていたが、乾燥収縮による悪影響は認められなかった。
- 4) 再生粗骨材 M を用いたプレキャストコンクリート製品は JIS の曲げ強度試験値を満足した。

5. おわりに

再生粗骨材 M とフライアッシュを用いたコンクリートは室内試験、フィールド試験ともに良好な結果であった。したがって、プレキャストコンクリート用骨材としての利用の可能性を確認できた。しかし、データ数が少なく、同様な実験を行い、品質の変動等を把握するためのデータの蓄積が必要である。なお、今後、高炉セメントと再生骨材 M の組合せについて検討する予定である。

また、現状では再生粗骨材 M を製造可能な工場が極めて少なく、安定的な供給ができない状況である。これらの製造工場の普及とフィールド試験をさらに増やし、再生粗骨材 M を用いたプレキャストコンクリート製品の拡張に努力したい。

謝辞：本研究は(社)東北建設協会と宮城大学の共同研究で行われたものである。フィールド試験において国土交通省東北地方整備局東北技術事務所の協力を得た。ここに記して感謝申し上げる。

引用文献

- 1) (社)日本コンクリート工学協会：骨材の品質と有効利用に関する研究委員会報告書，pp13-15，2007.7
- 2) JIS A 5021, JIS A 5022, JIS A 5023, 再生骨材 H, M, L を用いたコンクリート，2007
- 3) 片平博，渡辺博志：再生骨材の簡易凍結融解試験法の提案，コンクリート工学年次論文集，Vol.27, No.1, pp.1351-1356, 2005.7

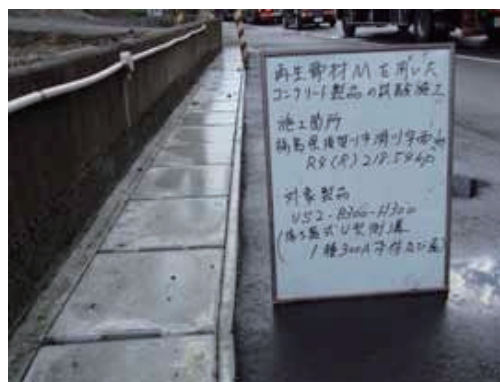


図-12 製品の設置状況

- 4) (社)日本コンクリート工学協会北海道支部：リサイクル研究委員会報告書，pp.1-43，2002.4
- 5) 北辻政文，遠藤孝夫，夢田正明，万木正弘：混合セメントおよび再生骨材のプレキャスト製品への利用に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.27, No.2, pp.589-594, 2005.7
- 6) 北辻政文：電柱から取出した再生骨材を用いたコンクリート製品に関する研究，プレキャストコンクリート製品の課題と展望に関するシンポジウム論文集，pp101-106，2008.2
- 7) 須藤祐未，佐藤嘉昭，清原千鶴，大谷俊浩：石炭灰の未燃炭素がコンクリートのフレッシュ性状に及ぼす影響，日本建築学会大会学術講演梗概集A-1材料施工，pp.25-26, 2004.8
- 8) 平野利光，畑元浩樹：石炭灰の利用(その 2)，電力土木，No.254, pp.69-75，1994.11
- 9) 高巢幸二，松藤泰典：再生骨材を使用したフライアッシュ外割混合コンクリートの強度性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.29, No.2, pp.589-594，2007.7
- 10) 柳啓，松井勇，笠井芳夫：再生骨材コンクリートの静弾性係数に関する一考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1035-1036，2000.9
- 11) 杉山一弥，内山則之，長谷川英規，神山行男：解体コンクリートのコンクリート用骨材への適用に関する研究，コンクリート工学論文集，第 7 巻，第 1 号，pp.91-101，1996.1
- 12) 柳橋邦生，米澤敏男，神山行男，井上孝之：高品質再生骨材の研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21, No.1, pp.205-210，1999.7
- 13) 山本武志ほか：フライアッシュのポゾラン反応に関する研究，電力中央研究所報告，N04008，pp.1-27，2004.10
- 14) 小早川真ほか：ダムコンクリートにおけるフライアッシュのポゾラン反応率の考察，コンクリート工学論文集，Vol.15, No.1, pp.45-56，2004.1

論文 震災コンクリートがらから製造した再生粗骨材Mのプレキャスト コンクリート製品への利用

開米 浩久^{*1}・北辻 政文^{*2}・澤田 達哉^{*3}・遠藤 孝夫^{*4}

要旨：東日本大震災からの早期復興が求められている中、建設資材や作業員不足により復旧工事が遅れている。特にコンクリート用骨材不足は深刻な状況にあることから、本研究では震災により発生したコンクリートがらから再生粗骨材 M を製造し、これを用いたプレキャスト製品（以下、PCa 製品という）の利用可能性を検証した。研究の結果、震災コンクリートがらから製造した再生粗骨材 M の品質は、放射能汚染や津波による塩化物の影響も少なく良好であった。さらに、それらの再生粗骨材 M を用いたコンクリートおよび PCa 製品の強度および耐久性は、普通コンクリートと同等の品質を有することが明らかとなった。

キーワード：震災コンクリートがら、再生粗骨材 M、PCa 製品、耐凍害性、放射能

1. はじめに

東日本大震災は、地震、津波および放射能汚染の 3 重の災害となり、歴史的な惨事であった。この震災からの早期な復興が求められている中、建設資材や作業員が不足し、復旧が遅れている。とくにコンクリート用骨材の不足は深刻な状況にあり、コンクリートの価格が高騰している。東日本大震災による震災廃棄物の処理について、環境省¹⁾によれば、コンクリートがらは建設資材として利活用することを示している。また、震災で発生したコンクリートがらは膨大なため、一般的に利用される路盤材（RC-40）以外にも震災復興で大量消費が期待できるコンクリート用粗骨材（以下、再生骨材という）としての利用が望まれている。

再生骨材は H、M、L の 3 つのランクに分類される。再生骨材 H はレディーミクストコンクリートに利用できるものの製造コストが高いことや回収率が少ないことが課題となっており、大都市を除けば殆んど利用実績はない。また、再生骨材 L は、水分管理が難しく、汎用的な鉄筋コンクリート製品への利用は難しい。これに対し、再生骨材 M は、乾燥収縮や耐凍害性が小さいことから、地下構造に限定されているものの、北辻ら^{2), 3)}は、プレキャストコンクリート製品（以下、PCa 製品という）に限定すれば、利用は可能であるとしている。その理由として、プレキャストコンクリート製品は、部材寸法が小さく乾燥収縮の影響を受けにくく、小ロット製造が可能であることから品質のバラつきを少なくできること、耐凍害性については片平ら⁴⁾により、簡易試験方法が提案され、再生骨材を用いたコンクリートの耐凍害性評価が容易であることを挙げて

いる。さらに、出所の不明なコンクリートがらから製造された再生骨材のアルカリシリカ反応は評価が難しく、対策として高炉スラグまたはフライアッシュを用いた混合セメント利用を前提としている。

そこで、本研究では東日本大震災で発生したコンクリートがらの復興資材としての利用を目的として、再生粗骨材 M を用いた PCa 製品の実用性検証結果を報告するものである。

2. 震災ガレキの有効利用

2.1 震災コンクリートがら

東日本大震災により発生した災害廃棄物の総量は 2,700 万トンにも及び、災害廃棄物の総量に対するコンクリートがらの割合は重量ベースで約 50%を占め、最も多い震災廃棄物となっている⁵⁾。

震災で発生したコンクリートがらは、道路用コンクリート製品、コンクリート舗装版、津波により被災した家屋の基礎構造物、更に、取壊しを予定しているコンクリートの住宅、工場等が発生源となる。

コンクリートがらには、海水塩分、土砂、陶磁器、石膏ボードや木片などの異物が混入していることが予想され、破碎・分級して建設資材として再生利用する場合には品質低下が懸念されるため、分別の徹底や状況に応じて水洗浄を行う必要がある。また、注意すべき課題として、東京電力 福島第一原子力発電所の放射能漏れ事故による放射性物質による汚染が挙げられ、これについては放射線量を十分確認した上で再利用を行うことが必要である。

岩手、宮城県のがれきは、2 次仮置き場（図-1）に集め

*1 (株) 復建技術コンサルタント (正会員)

*2 宮城大学 食産業学部環境システム学科 教授 博 (農) (正会員)

*3 東日本旅客鉄道 (株) 仙台支社

*4 東北学院大学 工学部環境建設工学科 教授 博 (工) (正会員)

られ、その大部分が再生クラッシャラン（図-2）となり、海岸防波堤、地盤沈下盛土、路盤材として利活用された。両県のがれきは、2014年3月までに全量処理された。しかし、図-3に示すように、がれき処理が終了した地域でも住宅基礎部分のコンクリートは、境界が不明となるため、撤去されていない。このため、地域整備が行われる際には、今回集積された量と同程度のコンクリートがらが発生すると見込まれている。また、福島県の浜通りでは、放射線量が高いこともあり、図-4に示すように手つかず状態である場所も少なくない。



図-1 コンクリートがらの保管状況
(仙台市内、2012年3月)



図-2 再生クラッシャランの保管状況
(仙台市内、2012年3月)

2.2 震災再生粗骨材Mの製造

震災再生粗骨材の製造フローを図-5に、2次破碎機の概略を図-6に示す。

この工程では、コンクリートがらをローラクラッシャーやジョークラッシャー等で一次破碎後、インパクトクラッシャーで二次破碎を行い、付着モルタルや微細クラックによる脆弱部分を除去している。一般的に、再生粗骨材 M の回収率は 50%程度である。これら破碎設備は中間処理業者が既に有している簡易的な破碎機のため、製造は容易である。

図-6は再生骨材製造のために開発されたもので、骨材同士が接触し揉みすりを行うために、骨材形状が丸みを帯びる。



図-3 住宅基礎の状況
(名取市内、2014年12月)



図-4 放置コンクリート塊の状況
(南相馬市内、2014年12月)

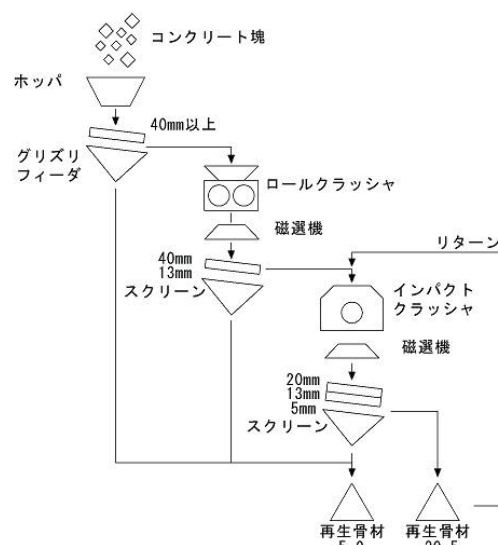


図-5 再生粗骨材製造フロー

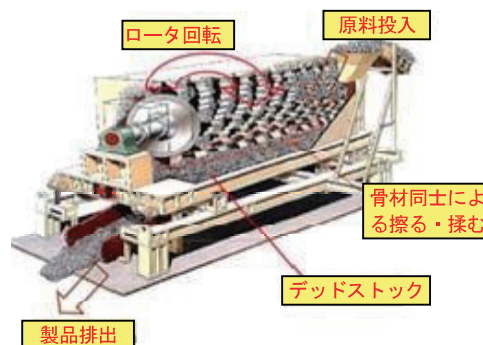


図-6 2次破碎機

仮置場に集積されたコンクリートがらを用いて、2種類の震災再生粗骨材 M を製造した。製造した震災再生粗骨材 M の外観を図-7 に示す。再生粗骨材 M1 は仙台市で発生したコンクリートがらを図-5 に示した従来型クラッシャー機により製造したものである。一方、再生粗骨材 M2 は宮城県本吉郡南三陸町で発生したコンクリートがらを図-6 に示した 2 次破碎機で製造したものである。



再生粗骨材 M1 再生粗骨材 M2

図-7 再生粗骨材の外観

2.3 震災再生粗骨材 M の物性

製造した震災再生粗骨材 M の品質を表-1 に示す。黒瀬ら⁶⁾によれば、震災再生粗骨材 M は付着モルタルの影響から密度および吸水率の JIS 規格を満たすことが困難と言われている。しかし、今回製造した震災再生粗骨材 M は、すべての項目において JIS 規格を満たした。これは、二次破碎を複数回行うことにより、微細クラックや脆弱なモルタルの大部分を除去したことによると考えられる。

津波の影響により、骨材中に含まれる塩化物イオン量が多いことが予想されるため、塩化物含有量試験(JIS A 1154, イオンクロマトグラフ法)を実施した。その結果、塩化物含有量は 0.004% と規格値を満たしていた。これは、震災

表-1 再生粗骨材 M の品質

		M1	M2	JIS 規格値
ふるい分け(FM)		6.69	6.70	—
表乾密度	(g/cm ³)	2.50	2.49	—
絶乾密度	(g/cm ³)	2.40	2.39	2.3 以上
吸水率	(%)	4.20	4.37	5.0 以下
微粒分量	(%)	0.58	0.60	1.5 以下
塩化物イオン	(%)	0.004	0.004	0.04 以下
不純物量	(%)	0.69	0.65	3.0 以下
単位容積質量	(kg/t)	1.42	1.46	—
実積率	(%)	59.10	61.30	—
簡易凍結融解による質量減少率	(%)	1.90	0.40	5.0 以下
最大寸法	(mm)	20	20	—

表-2 コンクリートの配合

配合名	最大寸法 Gmax (mm)	空気量 の範囲 (%)	水結合 材比 W/B (%)	細骨 材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)									
					水 W	結合材 B			細骨材 S	粗骨材 G		AE 減水剤 AD	空気量調整剤 AE*	
						普通 C	高炉 B 種 BB	フライッシュ F		砕石 CG	再生 RG		MAE	PAE
BB(N)	20	5 ± 1	42	38.0	158	—	375	—	671	—	1058	2.20	0.01	—
BB			42	45.1	160	—	381	—	800	—	973	1.38	0.02	—
FA1			35	47.4	170	395	—	85	780	—	813	4.32	—	1.50
FA2			35	42.0	160	340	—	60	702	—	939	3.00	—	2.00
N			40	40.5	160	364	—	—	702	1067	—	3.28	4.00	—

MAE : 普通 AE 剤, PAE : プレフォーム型 AE 剤

コンクリートがらへの塩水の浸透が小さかったことや塩化物が降雨等によって洗い流されたものと推察される。

製造した震災再生粗骨材 M には木くず、ゴム、ビニールなどの様々な不純物が混入していたが、その量は、0.69 ~ 0.65% と規格値を満足していた。また、比較的軽量な不純物であることから、骨材製造後に風選除去の実施により、品質を高めることができると判断される。

気象条件の厳しい東北地方では、耐凍害性が求められることから、簡易凍結融解試験⁴⁾により耐凍害性を判断した。粗骨材を水中凍結 16 時間(-20℃)ー水中融解 8 時間 (20℃) を 1 日 1 サイクルとして 10 日間行い、質量減少率が 10% 未満の場合、耐久性指数は 60% 以上、5.0% 未満の場合、耐久性指数は 85% 以上を確保できるとするものである。

本研究で使用した震災再生粗骨材 M の質量減少率は 1.9 ~ 0.4% と耐凍害性判断基準の 5.0% を大きく下回り、耐久性指数 85% 以上を確保できると判断される。

福島第一原子力発電所の事故を受け、再生骨材の安全性を確認する必要がある。そこで、震災再生粗骨材 M の放射能濃度をヨウ化ナトリウムシンチレーション放射能測定装置で計測した。測定核種はセシウム 137, セシウム 134 とし、環境基準は経済産業省の砕石出荷基準濃度 100Bq/kg を目安とした。測定結果は、いずれも非検出(ND)で安全性が確認された。これは、セシウムがコンクリート表面のみに付着しており、全体として少量だったこと、降雨等によって洗い流されたこと、および破碎工程に於いて細骨材に移行したことなどが挙げられる。また M2 の骨材の製造は、発災から 3 年以上経過しており、線量が自然減少したことによると推察される。

しかしながら、福島第一原子力発電所近郊では、依然として高い放射線量が予想されることから、材料の使用基準を改めるなど地域事情に応じた対応が待たれる。

3. 再生粗骨材 M を用いたコンクリート製品の製造

3.1 使用材料およびコンクリートの配合

宮城県内の 2 か所および山形県内の 1 か所の PCa 工場において、再生骨材を用いてコンクリート試験体および製品を作製した。コンクリート配合を表-2 に示す。すべての配合において、骨材の再大寸法を 20mm とし、目標空気量は 5% とした。また粗骨材全量を再生粗骨材 M で置換した。

配合 BB(N)は一般のコンクリートがらから製造された市販の再生粗骨材 M (表乾密度 2.50g/cm³, 吸水率 4.2%) を用いたものである。配合 BB および FA1 は、震災コンクリートがらより製造した再生粗骨材 M1 を、FA2 は震災コンクリートがらより製造した M2 を用いた。また FA1 は高流動コンクリートの配合であるため、粉体量が多くなっている。さらに普通コンクリートと比較するため一般碎石 (5~20mm) を用いた N も作製した。

高炉セメントやフライアッシュセメント等の混合セメントは、初期強度の発現が小さいことから、促進養生を行う PCa 製品に用いられることは少ないが、再生骨材の原骨材は出所不明な震災コンクリートがらであることから、事前に ASR 対策として混合セメントを用いた。配合 BB(N) および BB は高炉セメント B 種を用いたものである。また、フライアッシュを用いたものは、酒田火力発電所から排出されるフライアッシュ原粉 (密度 2.33g/cm³) を粉体の 15~18% 混合した。陶山ら⁷⁾によれば、フライアッシュには未燃カーボンが含まれるため、AE 剤を吸着し空気が連行しにくいとされている。このため、FA1 および FA2 のコンクリートでは、未燃カーボンの影響が少ないプレフォーム型 AE 剤 (PAE)^{8), 9)}を用いた。減水剤はポリカルボン酸系の物を用いた。

3.2 試験方法

練り上がったコンクリートはそれぞれ型枠に詰め、テーパーパイプレータを用いて 30 秒間締め固め、型枠のまま蒸気養生を行った。蒸気養生は、通常工場で行われている前置き 2 時間、最高温度 65℃、保持 2.0 時間を目標とし約 24 時間後に脱型して、試験材齢まで屋外気中養生とした。

試験項目は、圧縮強度試験 (JIS A 1108)、曲げ強度試験 (JIS A 1106)、引張強度試験 (JIS A 1113)、静弾性係数試験 (JIS A 1149)、凍結融解試験 (JIS A 1148 A 法)、コンタクトゲージ法による乾燥収縮試験 (JIS A 1129 - 2)、およびプレキャストコンクリート製品の曲げ試験 (JIS A 5372 推奨仕様 5-3) である。

圧縮、割裂引張強度および静弾性係数試験用の供試体は $\phi 10 \times 20 \text{cm}$ の円柱供試体とし、曲げ強度、乾燥収縮および凍結融解試験用は $10 \times 10 \times 40 \text{cm}$ の角柱供試体とした。強度試験は、いずれも出荷可能材齢である 14 日に実施した。

凍結融解試験では、材齢 14 日まで屋外気中養生を行った後、標準養生を 14 日行い、材齢 28 日から試験に供した。

乾燥収縮試験は、蒸気養生終了後の材齢 1 日を基長として 26 週まで測定した。

3.3 試験結果

(1) 圧縮強度試験結果

圧縮強度試験結果を図-8 に示す。すべてのコンクリートにおいて、初期強度 (1 日) は脱型に必要な 12N/mm²、出荷材齢 (14 日) では目標とする設計基準強度 30N/mm² を

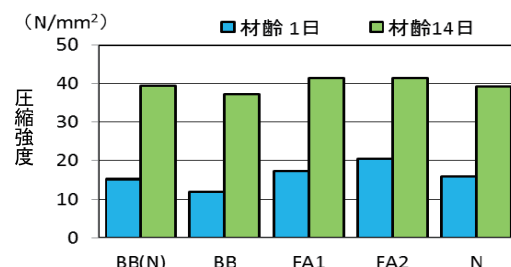


図-8 圧縮強度試験結果

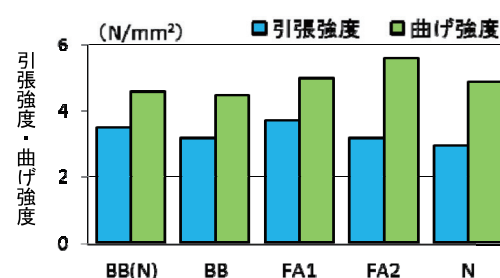


図-9 引張強度および曲げ強度試験結果

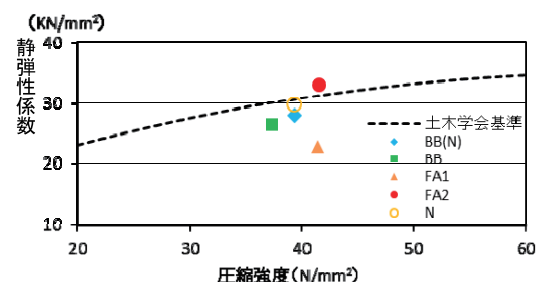


図-10 静弾性試験結果

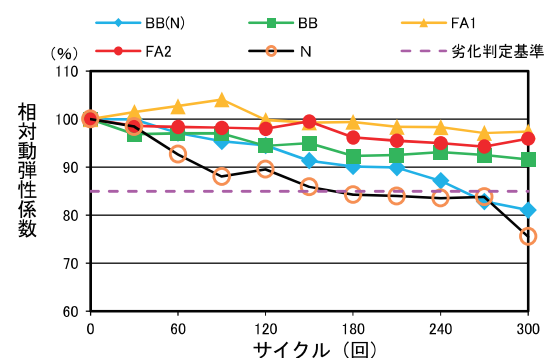


図-11 凍結融解試験結果

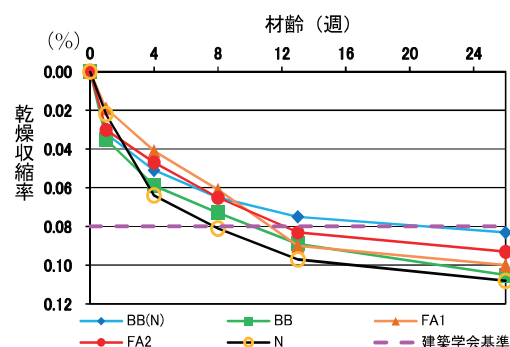


図-12 乾燥収縮試験結果

いずれも上回った。とくに BB(N), FA1, FA2 の強度が高かったのは、水結合材比の影響であると推察される。

(2) 引張強度および曲げ強度試験結果

引張強度および曲げ強度試験結果を図-9 に示す。普通コンクリートの場合、引張強度は圧縮強度の 1/10～1/13、曲げ強度は 1/5～1/8 の範囲にある。引張強度はいずれも標準範囲にあるが、曲げ強度はやや低い値を示しているものの 4.0N/mm² 以上を確認しており、構造上問題ない範囲であると判断される。

(3) 静弾性試験結果

静弾性係数試験結果を図-10 に示す。土木学会コンクリート標準示方書¹⁰⁾では、設計基準強度（圧縮強度）が 30N/mm² の場合、静弾性係数は 28kN/mm² としている。FA2 を除き、土木学会基準よりわずかに小さい値を示しているが、柳ら¹¹⁾によれば、再生粗骨材の置換率が高くなると静弾性係数が小さくなると報告されており、本試験においても同様の結果となった。

(4) 凍結融解試験結果

凍結融解試験結果を図-11 に示す。東北地方で用いられるコンクリートは、耐凍害性が高いことが必要不可欠である。コンクリートに凍結融解作用が働くと、スケーリングやポップアウト等の劣化が生じる。このため、耐凍害性確認を目的として凍結融解試験（JIS A 1148 A 法（水中凍結－水中融解））を行った。一般のコンクリートは、300 サイクル終了時の相対動弾性係数が 60% 以上で耐凍害性が高いと判断されるが、PCa 製品は小断面のため、85% と厳しい劣化判定基準が設けられている。

再生コンクリートのうち BB(N)が 85%を下回る結果となったが、他については 300 サイクル終了時においても劣化判定基準を満足しており耐凍害性が確保できていると判断できる。BB(N)についても、空気量を多めに設定するなどのコントロールで対応可能な範囲と判断される。なお、300 サイクル終了時の質量減少率は最大 2% 程度と小さかった。

(5) 乾燥収縮試験結果

吸水率が大きい再生粗骨材を用いたコンクリートは、普通コンクリートと比較して乾燥収縮が大きくなるといわれている¹²⁾。また、高炉セメントを添加したコンクリートは収縮率が大きくなることが知られている。

日本建築学会では、乾燥収縮率 0.08% 以下の場合、構造物に悪影響を及ぼさないと示されている。

乾燥収縮試験結果を図-12 に示す。本試験では材齢 13 週で 0.08% に達していることから、収縮低減剤、膨張剤等の添加による乾燥収縮対策が必要と考えられる。ただし、本研究で想定している PCa 製品は、道路側溝や L 型擁壁である。そのため、鉄筋による拘束力は小さくなく、製品寸法も 2.0m 以下であることから、乾燥収縮の悪影響を受け

にくいと考えられ、ひび割れ発生の危険性は小さいものと推察する。

(6) 再生粗骨材 M を用いた PCa 製品の製作

震災コンクリートがらより製造した再生粗骨材 M を用いて製造した PCa 試作製品（L 形擁壁、落蓋式 U 形側溝）の外観を図-13、図-14 に、落蓋式 U 形側溝の設置状況を図-15 示す。いずれの製品も締固め不良などは見られず良好な外観を呈し、色も普通コンクリートと同色であった。

PCa 製品の曲げ試験は、落蓋式 U 形側溝本体および蓋について行った。規格値はそれぞれ 22.0kN/m および 8.0kN/m である。JIS 規格値まで荷重をかけたが、ひび割れはいずれの PCa 製品にも発生せず、規定強度を満足し、普通コンクリート（配合 N）と同等の性能を確認できた。再生骨材 U 形側溝は、宮城県内の工事現場に 20m 敷設しており、乾燥収縮によるひび割れ、凍害による表面変状等の経過観察を行っている。



図-13 L 形擁壁の外観



図-14 落蓋式 U 形側溝の外観



図-15 落蓋式 U 形側溝の設置状況

4. まとめ

本研究では、材料不足対策の一つとして、震災により発生したコンクリートがらから再生粗骨材 M を製造し、これを用いた PCa 製品の利用の可能性を検証した。その結果、以下のことが明らかとなり、再生骨材使用 PCa 製品は復興資材として利用が可能であると判断された。

- 1) 宮城県内の震災コンクリートガラから生成した再生粗骨材 M は JIS 規格値を満足した。また、放射能や津波による塩分の影響も少なく、品質は良好であった。
- 2) 粗骨材の全量を再生粗骨材 M で置き換えたプレキャストコンクリートは、強度および耐久性において普通コンクリートと同等の性能を有し、高品質であった。
- 3) 再生粗骨材 M を用いたプレキャストコンクリート製品の曲げ強度試験値は JIS 規格値を満足した。また、外観上も普通コンクリートに遜色なかった。

5. おわりに

本研究において、震災コンクリートがらの復興資材として利用の可能性が高いことが分かった。震災復興には、まだ長い期間が要すると考えられる。本研究が、建設材料不足を補い、東日本大震災からの復興の一助となれば幸いである。

謝辞：本研究は、平成 25 年度日本学術振興会科学研究費補助金（基盤 B 一般 25292146）によって行われたものである。ここに記して感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 環境省：東日本大震災に係る災害廃物処理方針（マスタープラン）
https://www.env.go.jp/jishin/attach/haiki_masterplan.
- 2) 北辻政文，遠藤孝夫，刃田正明，万木正弘：混合セメントおよび再生骨材のプレキャスト製品への利用に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，No.2，pp.589-594，2005.7

- 3) 北辻政文，丹野恒紀，吉田修栄，遠藤孝夫：再生粗骨材 M のプレキャストコンクリート製品への利用に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，No.1，pp.1469-1474，2010.7
- 4) 片平博，渡辺博志：再生骨材の簡易凍結融解試験法の提案，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，No.1，pp.1351-1356，2005.7
- 5) 環境省 HP: 災害廃棄物処理の経過，
http://kouikishori.env.go.jp/disaster_waste/progress/
- 6) 黒瀬英樹，江本幸雄，橋本紳一郎，吉里哲郎：中品質再生骨材を用いたコンクリートの基礎的研究，土木学会第 63 回年次学術講演会，pp.781-782，2008.9
- 7) 陶山裕樹，小山智幸，小山田英弘，伊藤是清，松藤泰典：フライアッシュスラリーの品質管理に関する研究（その 1 スラリー中の未燃カーボン量測定についての提案），日本建築学会九州支部研究報告，第 47 回，pp.29-32，2008
- 8) 北辻政文，青山宏昭，小川誠一郎：FA コンクリートへのプレフォーム型 AE 剤の適用に関する基礎的研究，Vol.29，No.1，pp.207-212，2007.7
- 9) 小林 忠司，遠藤 孝夫，北辻政文，俵谷 祐吉：品質の異なるフライアッシュのプレキャストコンクリート製品への利用，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.1，pp.121-126，2013.7
- 10) コンクリート標準示方書 設計編，土木学会 pp.39，2013.3
- 11) 柳啓，松井勇，笠井芳夫：再生骨材コンクリートの静弾性係数に関する一考察，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1035-1036，2000.9
- 12) 松村嘉之，勝木太，福田萬大：再生骨材がコンクリートのフレッシュ性状と乾燥収縮に与える影響，土木学会第 60 回年次学術講演会，pp.769-770，2005.9

5. フライアッシュに関する参考文献

「小林忠司、遠藤孝夫、北辻政文、俵谷祐吉：品質の異なるフライアッシュのプレキャストコンクリート製品への利用、コンクリート工学年次論文集、Vol. 35、No. 1、pp. 175-180、2013」

論文 品質の異なるフライアッシュのプレキャストコンクリート製品への利用

小林 忠司^{*1}・遠藤 孝夫^{*2}・北辻 政文^{*3}・俵谷 祐吉^{*4}

要旨：主に強熱減量 5%を境にして分別され、大量に発生する JIS 規格外のフライアッシュをプレキャストコンクリート製品に利用するため、混和剤の種類およびフライアッシュの品質がフレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの特性に及ぼす影響、蒸気養生までの前置時間が強度に及ぼす影響、凍結融解抵抗性などを検討した。その結果、品質のばらつくフライアッシュを用いても、適切な混和剤を選定したうえでフライアッシュの品質に応じて添加量を管理することによって、強度、耐久性などを満足したプレキャストコンクリート製品の製造が可能であることを明らかにした。

キーワード：フライアッシュ、プレキャストコンクリート製品、空気量、AE 剤、メチレンブルー吸着量

1. はじめに

石炭火力発電所から発生するフライアッシュ（以下 FA）は、炭種および燃焼方法の多様化から、近年、品質に大きなばらつきが生じている。この FA を JIS の規格品と規格外品に分別するには、先ず強熱減量の試験が行われる。一般的には、強熱減量が 5%を超える FA は JIS 規格外品として扱われ、国内外のセメント原料として使用されるか、埋立処分されている。

従って、コンクリート用として使用する JIS 規格の FA の量は限られており、大量に発生する JIS 規格外の FA の活用が望まれている。山形県内の石炭火力発電所における FA の発生状況を表-1 に示す。この表より 2011 年度の JIS 規格品は僅か 1.7%に留まっていることが分かる。

2009 年 8 月に「フライアッシュを用いたプレキャストコンクリート製品のガイドライン試案」¹⁾が示されたものの、東北地方ではこれまでプレキャストコンクリート製品への FA の活用はほとんどなされていない状況であり、その活用技術の確立が課題であった。

そこで本研究では、強熱減量 5%で分別される JIS 規格外の FA を有効活用することを目的として、混和剤および FA の種類がフレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの特性に及ぼす影響、蒸気養生までの前置時間が強度に及ぼす影響、また使用地を想定した凍結融解抵抗性や環境安全面からの有害物質の溶出量等を把握し、

品質の異なる FA のプレキャストコンクリート製品への利用を検討したものである。

2. 実験方法

2.1 使用材料

(1) セメント (C)

セメントには、普通ポルトランドセメント（密度 3.16g/cm³、比表面積 3310g/cm²）を使用した。

(2) フライアッシュ (FA)

FA は、約 4 箇月間で無作為に 3 回採取した 3 種類の乾灰（FA1、FA2 および FA3）を使用した。これらの品質を表-2 に示す。本実験で使用した FA の強熱減量は 2.6～6.6%であった。

(3) 骨材

細骨材(S)には、山形県鶴岡市関根産砕砂と酒田市黒森産山砂を質量比で 8:2 に混合（表乾密度 2.64 g/cm³、F.M.2.78）したものを、粗骨材(G)には鶴岡市関根産碎石 2005（表乾密度 2.67 g/cm³、実積率 59.9%）を使用した。

(4) 減水剤 (SP)

減水剤には、プレキャストコンクリート製品用として汎用されているナフタレン系（Na 系）とポリカルボン

表-1 山形県内火力発電所の FA 発生状況(千 t)

種類		2009年度	2010年度	2011年度
フライアッシュ	JIS規格品	4	5	4
	JIS規格外品	145	145	231
	JIS規格品の割合	2.7%	3.3%	1.7%
クリンカアッシュ		17	18	27

表-2 FA の品質

項目	FA1	FA2	FA3	JIS II 種 規定値
二酸化けい素 (%)	60.0	52.4	55.9	45.0以上
水分 (%)	0.36	0.27	0.10	1.0以下
強熱減量 (%)	6.6	2.6	4.8	5.0以下
密度(g/cm ³)	2.16	2.38	2.23	1.95以上
ブレーン比表面積 (cm ² /g)	4710	5190	4160	2500以上
メチレンブルー吸着量 (g/mg)	0.85	0.95	0.55	—
フロー値比 (%)	92	102	92	95以上
活性度指数 (%) 材齢28日	82	94	87	80以上

*1 前田製管（株）品質・安全管理部（正会員）

*2 東北学院大学 工学部環境建設工学科 教授 博（工）（正会員）

*3 宮城大学 食産業部環境システム学科 教授 博（農）（正会員）

*4 元国土交通省 酒田河川国道事務所長

酸系（Po系）の高性能減水剤（I種）を使用した。

(5) AE 剤（AE）

AE 剤には、次の 4 タイプを用いた。

- a) ポリオキシエチレンアルキルエーテル硫酸ナトリウムを主成分とした一般用の AE 剤（AE0）
- b) 機能性有機リン酸エステルを主成分とした FA 用の AE 剤と上記 AE0 を質量比で 5:1 に混合したもの（AE12）
- c) 高アルキルカルボン酸系陰イオン界面活性剤と非イオン界面活性剤の複合体からなる FA 用の AE 剤（AE3）
- d) エーテル型アニオン活性剤を主成分とし、あらかじめムース状にした微細な空気泡を練混ぜ時に投入するプレフォーム型²⁾の AE 剤（PAE）

2.2 混和剤の種類に関する実験（実験ケース 1）

実験ケース 1 では、混和剤の種類が空気量、スランプおよび圧縮強度に及ぼす影響を検討し、一部の配合については気泡間隔係数の測定、凍結融解ならびに微量有害成分溶出の実験を行った。コンクリートの配合を表-3 に示す。ここで FA を混和しない普通コンクリート（以下 N コンクリート）の配合は、材齢 14 日で設計基準強度 30N/mm² を保証するプレキャストコンクリート製品用のものである。FA を 50L/m³ 混和したコンクリート（以下 FA コンクリート）の水セメント比 51.3% は、材齢 14 日で N コンクリートと同等の強度になるよう、予備試験

を行って決定した。

(1) 練混ぜ

容量 50L のパン型強制練りミキサを用いてコンクリートを練り混ぜた。N コンクリートでは空練り 15 秒＋本練り 90 秒とした。FA コンクリートの場合は、FA の分散を考慮して、練混ぜ時間を長くした。水に混合するタイプの AE 剤では空練り 15 秒＋本練り 180 秒、あらかじめムース状の泡を作る PAE では、モルタル先練りとして、空練り 15 秒＋モルタル練り 120 秒＋PAE 投入後 20 秒＋粗骨材投入後 90 秒の練混ぜ時間とした。

(2) スランプおよび空気量

JIS A 1101 および JIS A 1128 に準じてスランプと空気量を測定した。測定は、コンクリート排出直後と排出から 10、20 および 30 分後に行った。

(3) 供試体の養生

最後に練ったコンクリートの注水から 4 時間前置きし、蒸気養生（1 時間で 20℃ 上昇、60℃ で 2 時間保持、その後自然冷却）を行い所定材齢まで室内養生するものと、標準養生（20℃ 水中）するもので 2 種類の養生を行った。

(4) 圧縮強度

JIS A 1108 に準じて、φ10×20cm 円柱供試体の圧縮強度試験を行った。

(5) 気泡間隔係数

表-3 混和剤の種類を変えたコンクリートの配合と排出直後の空気量およびスランプの結果

記号	目標 スランプ (cm)	目標 空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					混和剤添加量 (P×%)						空気 量 (%)	スラン プ (cm)
					W	P		S	G	SP		AE					
						C	FA1			Na系	Po系	AE0	AE12	AE3	PAE		
N	12	4.5	45.2	43.9	155	343	-	802	1035	0.80	-	0.026	-	-	-	6.0	17.5
Na系-AE12	12	4.5	51.3	40.8	155	302	108	704	1035	1.40	-	-	0.55	-	-	5.1	12.0
Na系-AE3										1.20	-	-	-	0.50	-	4.2	12.5
Na系-PAE										1.30	-	-	-	-	0.73*	1.8	12.5
Po系-AE12	21	4.5	51.3	40.8	155	302	108	704	1035	-	1.10	-	0.24	-	-	5.2	20.0
Po系-AE3										-	1.10	-	-	0.20	-	5.3	22.5
Po系-PAE										-	0.95	-	-	-	0.61	5.6	19.5

備考) *この添加量で空気量は最大となったが、空気量は1.8%であった。

表-4 FA の種類を変えたコンクリートの配合と排出直後の空気量およびスランプの結果

記号	目標 スランプ (cm)	目標 空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)							混和剤添加量 (P×%)			空気 量 (%)	スラン プ (cm)
					W	P				S	G	SP	AE			
						C	FA1	FA2	FA3			Po系	AE12	PAE		
FA1-1	21	4.5	51.3	46.2	160	312	108	-	-	789	928	1.10	0.18	-	5.7	21.5
FA1-2												0.85	-	0.42	5.2	22.5
FA2-1	21	4.5	51.3	46.2	160	312	-	119	-	789	928	0.70	0.18	-	5.4	19.5
FA2-2												0.60	-	0.42	5.1	20.0
FA3-1	21	4.5	51.3	46.2	160	312	-	-	112	789	928	0.90	0.18	-	9.6	22.5
FA3-2												0.70	-	0.42	10.0	21.5
FA3-3												0.90	0.012	-	6.0	21.0

表-5 前置時間の検討に用いたコンクリートの配合と排出直後の空気量およびスランプの結果

記号	目標 スランプ (cm)	目標 空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					混和剤添加量 (P×%)		空気量 (%)	スランプ (cm)
					W	P		S	G	SP	AE		
						C	FA3			Po系	AE12		
FA3-4	21	5.0	51.3	45.8	160	312	112	775	928	0.70	0.012	6.2	19.5

蒸気養生したφ10×20cm 円柱供試体を、上部（打設面から1cm）・中部（打設面から10cm）・下部（底面から1cm）に切断した。それぞれの断面について、画像解析装置を使用して面積法による気泡間隔係数（La）を求め、式(1)からリニアトラバース法による気泡間隔係数（LI）に換算した。

$$LI = La \times 2.2194 - 107.99 \quad (1)$$

(6) 凍結融解試験

記号 Po 系-AE12 で示す配合では、蒸気養生した材齢14日の10×10×40cm 角柱供試体について、JIS A 1148のA法に準じて凍結融解試験を行った。

(7) 微量有害成分溶出試験

記号 Po 系-AE12 で示す配合では、蒸気養生した材齢14日のφ10×20cm 円柱供試体について、JSCE-G 575-2005に準じて微量成分の溶出試験を行った。

2.3 FA の種類に関する実験（実験ケース2）

実験ケース2では、FAの発生時期による品質の違いが空気量、スランプおよび圧縮強度に及ぼす影響を検討した。コンクリートの配合を表-4に示す。Po系減水剤を使用し、更に空気連行性を改善するために、実験ケース1よりも細骨材率および単位水量を増大させた。

(1) スランプおよび空気量

実験ケース1と同様に、FAコンクリートを練り混ぜ、スランプおよび空気量を測定した。なお、経時測定は空気量のみとした。

(2) 圧縮強度

実験ケース1と同様に、蒸気および標準養生したφ10×20cm 円柱供試体の圧縮強度試験を行った。

2.4 前置時間に関する実験（実験ケース3）

実験ケース3では、蒸気養生までの前置時間がFAコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響を検討した。コンクリートの配合を表-5に示す。空気量の経時低下が若干認められることを考慮し、空気量は4.5%設定から5.0%設定に変更した。

実験ケース1と同様に、FAコンクリートを練り混ぜ、蒸気および標準養生を行ったφ10×20cm 円柱供試体について、圧縮強度試験を行った。なお、蒸気養生までの前置時間は、1, 3, 5および7時間とした。

3. 実験結果および考察

3.1 混和剤の種類の影響

表-3に示したとおり、Po系減水剤では、いずれのAE剤においても比較的少ない添加量で十分な空気を連行できたが、Na系減水剤ではAE剤の添加量は多くなった。なお、Na系減水剤とPAEの組合せでは、2%以上の空気を連行することはできなかった。これは、PAEに含まれる増粘成分がNa系減水剤の組成とは適合しにくい

ことに起因しているものと推察される。

(1) 空気量の経時変化

空気量の経時変化を図-1に示す。いずれのFAコンクリートにおいても、時間の経過と共に空気量は減少する傾向にある。その傾向はNa系減水剤を用いたコンクリートで顕著であった。なお、Na系減水剤における減少傾向はNコンクリートと同程度と判断できる。

Po系減水剤では、いずれのAE剤においても空気量の経時低下は小さく、30分経過後においても減少量は1.7%以下である。

(2) スランプの経時変化

スランプの経時変化を図-2に示す。プレキャストコンクリート製品用の高性能減水剤を使用したため、一般的な現場打設のコンクリートと比較して、スランプは時間の経過に伴って大きく低下した。初期のスランプに違いはあるが、Po系減水剤に比べNa系減水剤を用いたFAコンクリートでスランプの低下傾向は大きい。ただし、Na系減水剤におけるスランプの低下割合は、本実験の限りではNコンクリートよりも小さい傾向にあった。排出から20分経過した時のスランプは5cm程度であるが、締固めは十分に可能である。

表-3のPo系減水剤を用いた配合において、その減水

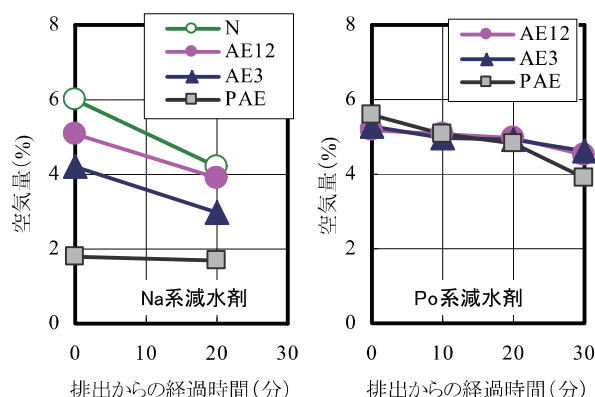


図-1 空気量の経時変化

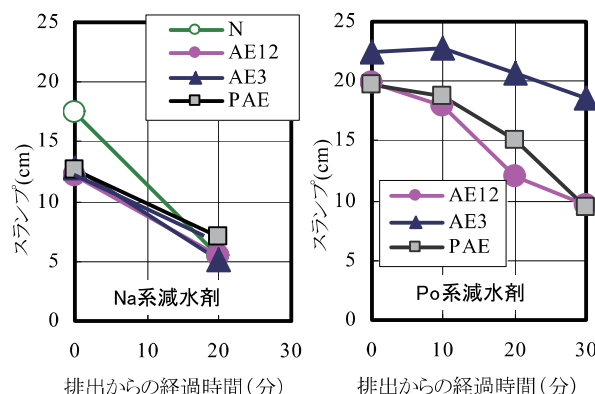


図-2 スランプの経時変化

剤の添加量が最も少なくなる AE 剤は PAE である。AE12 および AE3 のときの減水剤添加量は 1.10% であるのに対し、PAE の場合 0.95% (約 86% の割合) で同程度のスランプとなる。これは、均一な径の連行空気によるボールベアリング作用、また PAE に含まれる増粘成分が関係しているものと考えられる。

(3) 圧縮強度

Na 系減水剤を使用したコンクリートの圧縮強度を図-3 に示す。AE 剤の種類によって 14 日強度に若干差異は認められるものの、FA コンクリートの圧縮強度は N コンクリートと同等の結果が得られた。

Po 系減水剤を使用した FA コンクリートの圧縮強度を図-4 に示す。AE 剤の種類にかかわらず、材齢の経過に伴って、蒸気養生した FA コンクリートの圧縮強度は増大する。標準養生に対する蒸気養生した FA コンクリートの圧縮強度の割合は、材齢 14 日で 79~81%、材齢 28 日で 83~85% である。この割合は、一般的な普通コンクリート³⁾と同等かそれ以上である。前述の Na 系減水剤に比べて、Po 系減水剤を用いた FA コンクリートの 14 日強度は若干高い傾向が認められる。

ここで、表-6 に硬化コンクリートの空気量と気泡間隔係数を示す。いずれの混和剤においても硬化コンクリートの空気量に大きな差異は無いが、気泡間隔係数は Po 系減水剤を用いた FA コンクリートで小さい傾向にある。すなわち、Na 系減水剤に比べて Po 系減水剤の方が、特

に PAE において、強度に影響を及ぼしにくい微細で均一な気泡組織になっていることが考えられる。Na 系減水剤よりも、Po 系減水剤、さらに PAE において FA コンクリートの圧縮強度が増大しているのは、この気泡組織が一因になっているものと推察される。また、PAE では円柱供試体の上部、中部、下部のいずれの断面においても、気泡間隔係数に大きな差異は無かった。

(4) 凍結融解抵抗性

FA コンクリートの 300 サイクル終了時の相対動弾性係数は 97%、質量減少率は 0.1% であった。また、前述の気泡間隔係数は最大で 247 μm であり、一般に十分な耐凍害性があるといわれる 250 μm 以下である。このことから、いずれの混和剤を用いたコンクリートにおいても、凍結融解抵抗性は問題ないものと推察される。

(5) 微量有害成分の溶出

溶出試験結果を表-7 に示す。FA 単独からの溶出試験では、六価クロム、砒素、セレン、ふっ素、ほう素が検出され、六価クロムおよびほう素で基準値を超えている。一方、硬化後の FA コンクリートからの溶出はいずれも定量下限値未満であり、FA コンクリートが土壤環境に及ぼす悪影響は極めて少ないものと判断される。

3.2 FA の種類の影響

(1) 空気量

AE 剤添加量を一定とし、FA の種類を変えたときの空気量を図-5 に示す。FA1 および FA2 においては同一の AE 剤添加量で空気量 5% 前後のコンクリートが得られた。その反面、FA3 では FA1 と FA2 の中間の強熱減量にもかかわらず、10% 前後の多量の空気を連行した。この傾向は、AE12 および PAE においても同じである。

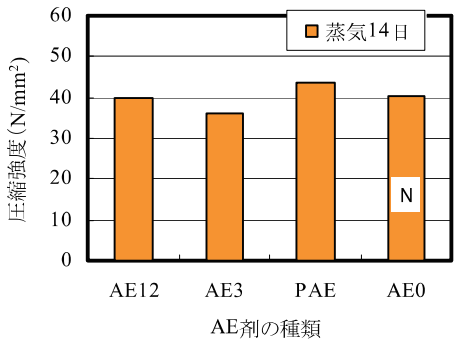


図-3 AE 剤の種類と圧縮強度 (Na 系減水剤)

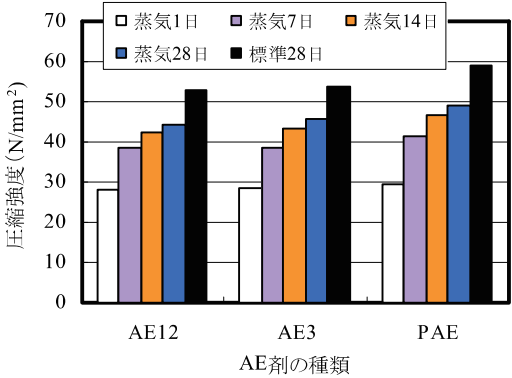


図-4 AE 剤の種類と圧縮強度 (Po 系減水剤)

表-6 硬化コンクリートの空気量と気泡間隔係数

混和剤の種類 (配合の記号)	測定位置	硬化コンクリート の空気量(%)	気泡間隔係数 (μm)
Na系 -AE12	上	4.10	201
	中	3.60	227
	下	3.12	247
Po系 -AE12	上	4.28	161
	中	3.26	201
	下	3.01	212
Po系 -PAE	上	3.81	172
	中	3.88	183
	下	3.01	189

表-7 微量有害成分溶出試験結果

成分	基準値	試験結果	FA単独の 試験結果	定量 下限値
		1~4回目		
総水銀	0.0005以下	<0.0005	<0.0005	0.0005
カドミウム	0.01以下	<0.001	<0.001	0.001
鉛	0.01以下	<0.005	<0.005	0.005
六価クロム	0.05以下	<0.005	0.12	0.005
砒素	0.01以下	<0.005	0.007	0.005
セレン	0.01以下	<0.002	0.009	0.002
ふっ素	0.8以下	<0.08	0.64	0.08
ほう素	1.0以下	<0.02	1.8	0.02

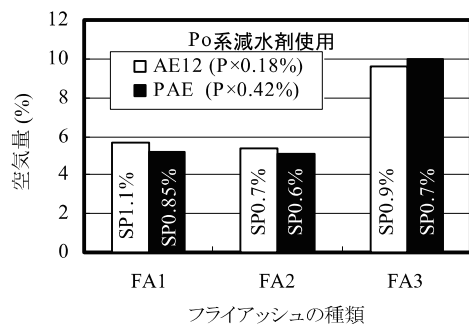


図-5 FAの種類が空気量に及ぼす影響

AE12を用いた配合において、スランブ 21cm、空気量 4.5%を得るための混和剤添加量は表-8に示すようになり、FAの品質によっては、AE剤の添加量が10倍以上も変化することが分かる。

このときの空気量の経時変化を図-6に示す。FA2を用いたコンクリートで若干空気量の低下割合が大きくなっている。FA2はメチレンブルー（以下MB）吸着量が大きいため、AE剤を多量に吸着するFA2の性質が、空気量低下の割合を大きくしたと推察される。

(2) 圧縮強度

FAの種類が圧縮強度に及ぼす影響を図-7に示す。蒸気養生14日の圧縮強度では、FA2において低い傾向を示しているが、標準養生では強度差はほとんど認められない。蒸気養生における強度差は、後述する前置時間の差異に起因しているものと考えられる。全体的には、本実験の範囲では、FAの品質が強度に与える影響は小さいと言える。なお、空気を連行しやすくするために、細骨材率を5~6%程度増加しているが、図-4と比較しても圧縮強度に大きな差異は認められなかった。

3.3 圧縮強度に及ぼす前置時間の影響

圧縮強度に及ぼす前置時間の影響を図-8に示す。前置時間が長いものほど圧縮強度は増大する傾向にあるが、前置時間3時間以上ではその差は小さくなる。前置時間1時間では、材齢28日でも設計基準強度の30N/mm²に達していない。これは、コンクリート中の空気泡が蒸気の熱により急激に膨張することで、組織が損傷を受けたためと推察される。本実験のFAコンクリートでは、前置時間は3時間以上が推奨される。

4. プレキャストコンクリート製品への利用

山形県内の高速道トンネルの側溝として、FAを50L/m³混和したプレキャストコンクリート製品が使用された。製品総質量で14,700t、FAの使用量は740tである。その製品の一例と施工後のトンネルを写真-1および写真-2に示す。

プレキャストコンクリート製品製造時の混和剤は、性能および経済性の観点から、Po系減水剤と、AE12 また

表-8 FAの種類と混和剤添加量

FAの種類	Po系減水剤 (P×%)	AE12 (P×%)
FA1	1.10	0.180
FA2	0.70	0.180
FA3	0.90	0.012

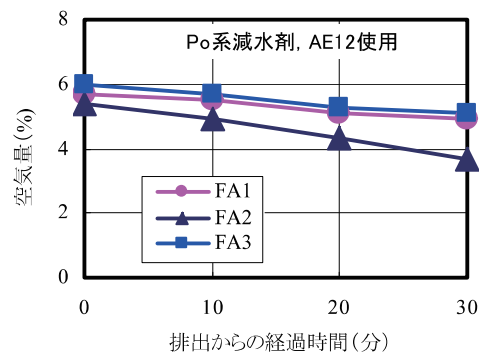


図-6 FAの種類と空気量の経時変化

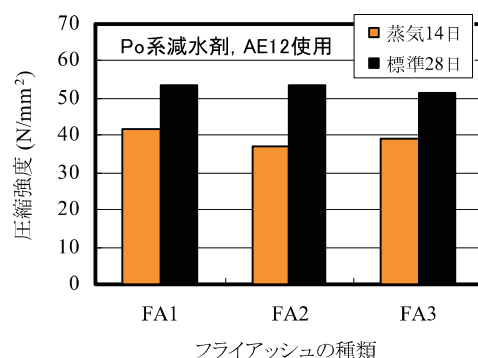


図-7 FAの種類が圧縮強度に及ぼす影響

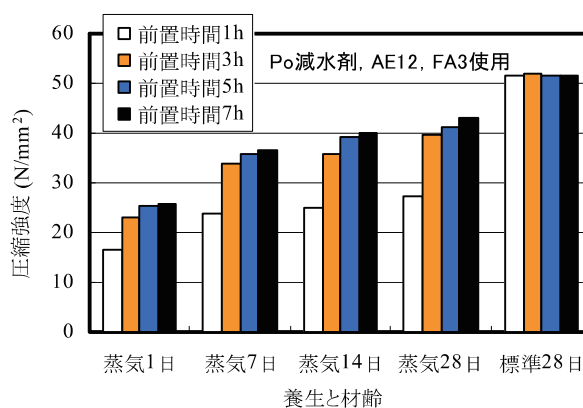


図-8 圧縮強度に及ぼす前置時間の影響



写真-1 製品の一例

写真-2 施工完了後

は PAE の 2 種類の AE 剤を使用した。スランブは製品試作を経て 18cm に設定したが、FA を 50L/m³ 混和したフレッシュコンクリートは適度な粘性があり、テーブル振動機の締固めでも材料分離は無く、打込みやすいコンクリートであった。なお、製品には AE 剤の識別マークを刻印しており、今後両者の耐久性の差異を調査していく予定である。

FA の品質は納入ごとにばらつくため、空気量 5±1.5% を得るために必要な AE12 の添加量は図-9 に示すように変化した。最小の添加量は 0.012%，最大は 0.204% で 17 倍もの差がある。PAE についても同様であり、FA の納入都度 PAE の濃度を変更することによって空気量の調整を行った。これを管理するため、FA と水を混合したペーストのフロー、更にモルタル試験を実施してプラントによる製造へと反映させた。まず、FA ペーストのフローにより減水剤添加量を推定し、その後、モルタル試験でフロー200mm、空気量 10% となる混和剤添加量を室内実験により選定した。その結果からプレキャストコンクリート製品製造時の混和剤添加量を決定している。

その製品製造時における FA の強熱減量および MB 吸着量と AE12 添加量の関係を図-10 に示す。既往の研究で示されている⁴⁾ように、MB 吸着量と AE 剤添加量には高い相関性が認められるが、強熱減量との相関性はほとんど認められなかった。このことから、AE 剤の添加量の管理には、FA の品質のうち MB 吸着量が指標になると再確認できた。

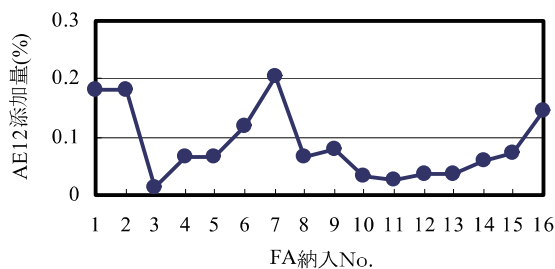


図-9 FA 納入ごとの AE12 添加量の推移

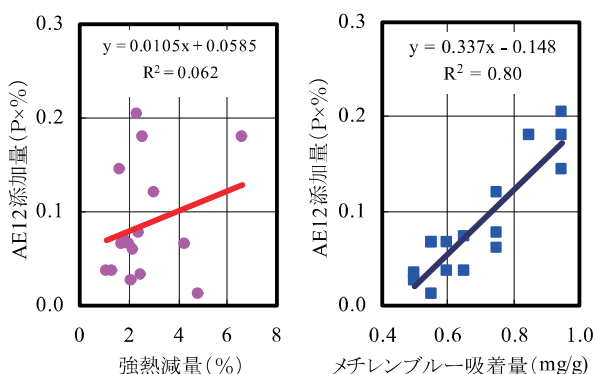


図-10 強熱減量、MB 吸着量と AE 剤添加量の関係

5. まとめ

FA50L/m³ 混和のプレキャストコンクリート製品を対象とした本実験において、得られた知見をまとめれば、次のようになる。

- (1) FA コンクリートの空気量およびスランブの経時変化は FA を混和しないコンクリートと同程度か小さい傾向にある。
- (2) 空気連行性は、FA の強熱減量ではなく、メチレンブルー吸着量と高い相関性があり、メチレンブルー吸着量が多いものほど AE 剤添加量は多くなる。
- (3) FA の発生時期による品質の違いが圧縮強度に及ぼす影響は小さい。一方、蒸気養生までの前置時間が短いと圧縮強度は低下するため、FA コンクリートでは 3 時間以上の前置時間を確保することが推奨される。
- (4) 凍結融解および気泡間隔係数の結果から、空気量を 5% 程度確保すれば、FA コンクリートの凍結融解抵抗性は問題ないものと判断される。
- (5) FA コンクリートからの微量有害物質の溶出は極めて少なく、環境に及ぼす悪影響はほとんどない。
- (6) 混和剤として、ポリカルボン酸系減水剤と FA 用またはプレフォーム型の AE 剤を使用し、FA の品質に応じてそれらの添加量を管理することで、強度、耐久性などを満足したプレキャストコンクリート製品を製造することができた。

謝辞

本実験は、山形県庄内地区に設立された産学官で構成する「コンクリート二次製品への石炭灰活用検討委員会」の活動の一環として実施したものである。その間、ご指導いただいた委員の方々に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) コンクリート工学協会：フライアッシュを用いたプレキャストコンクリート製品のガイドライン試案，プレキャストコンクリート製品の設計と利用研究委員会報告書，pp.366-373, 2009.8
- 2) 北辻政文，青山宏昭，小川誠一郎：FA コンクリートへのプレフォーム型 AE 剤の適用に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.29, No.1, pp.207-212, 2007.7
- 3) セメント協会コンクリート専門委員会：蒸気養生条件がコンクリートの強度発現に及ぼす影響，セメント・コンクリート，No.724, pp.5-14, 2007.6
- 4) 本田悟，椎葉大和：各種フライアッシュがコンクリートの諸特性に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18, No.1, pp.351-356, 1996.7

プレキャストコンクリート製品に用いる
リサイクル・未利用資源有効利活用検討部会活動報告書

平成 31 年 3 月発行

編集	一般社団法人 東北コンクリート製品協会 リサイクル・未利用資源有効利活用検討部会
発行	一般社団法人 東北コンクリート製品協会 仙台市青葉区上杉 3-9-5 TEL 022-204-5768
印刷	株式会社 建設プレス