

コンクリートから提案する 使いやすい「低炭素」

—広島工組のフライアッシュ常時少量使用に向けた取り組み

広島県生コンクリート工業組合（小野健司理事長）は近未来コンクリート研究会、広島工業大学と共同でフライアッシュの常時少量使用に向けた研究を進めている。使用量を m^3 あたり25kgとすることで袋体での管理が可能となるほか、品質への影響も抑えられる。使いやすさを追求した生コンサイドから提案する新しい低炭素型コンクリートは、カーボンニュートラルに向けたひとつの答えとなるかも知れない。

（取材、文＝尼口優樹）

低炭素型コンクリートのいま

近年、カーボンニュートラル社会の実現に向けた社会的機運の高まりとともに、CO₂排出量の削減を目的として高炉スラグ微粉末やフライアッシュ（FA）を大量に使用する、いわゆる「低炭素型コンクリート」に注目が集まっている。

ゼネコン各社はそれぞれ独自に低炭素型コンクリートを開発し、ニーズに応じて採用している。これらは大手ゼネコンが開発していることもあり、品質証明も確かで信頼性が高く、発注者としては採用しやすい。

一方で、製品ごとに混和材の種類、品質、使用量などが異なることから、製造する生コン工場としては、混和材の調達、保管設備、計量・投入方法などで個別の対応が必要となることや、継続的な需要がない場合には混和材在庫の廃棄処分が生じるという課題を抱えている。また、混和材使用量が多いケースでは、フレッシュコンクリートのスランプや空気量の管理が困難になるほか、特殊な化学混和剤を使用する必要がある

生じるといった品質管理面での課題もある。

今後も安定的に低炭素型コンクリートを提供していくには、生コン産業がサイロ増設などの大規模な設備投資を行って出荷体制を整備するか、扱いやすく持続可能な出荷体制を築く方法が求められている。

少量常時使用の利点

FAの常時使用は広島工組も参画する近未来コンクリート研究会（十河茂幸代表）で起案された。同会は、インフラの適切な維持管理の推進に向けた支援とともに、これから建設されるコンクリート構造物を長寿命化するための研究を行うことを目的に、産官学の幅広い立場のコンクリート技術者たちが、それぞれの立場で抱える課題を寄せ、解決に向けた検討を行っている。

「今後、発注要件にCO₂削減が盛り込まれるようになることを想定して、研究会内に脱炭素コンクリート技術研究協議会（S協議会、主査：坂本英輔広島工業



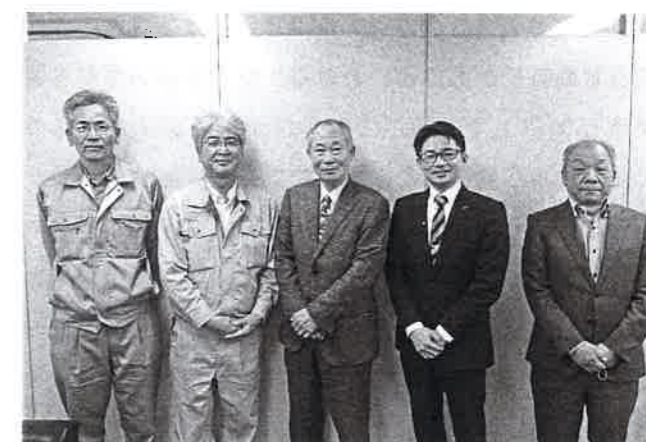
3月10日に広島工業大学で行った公開実験の様子

大学教授）を立ち上げた。4月の生コン技術大会で発表した『練混ぜ時にCO₂を添加したコンクリートの実用化に向けた実験』の成果がある程度確認できたタイミングで、ロットの異なる5種類のFAを m^3 あたり25kg、セメント置換として混合した場合の強度特性を検討する提案があり、具体的な実験を行うこととなった」（十河代表）

少量使用の提案には、生コン工場でFAの在庫管理に苦慮した背景がある。広島地区生コンクリート協同組合は2009年にエリア内の4工場でFAコンクリートを標準化。当時は低炭素材料としてではなく、副産物利用によるコスト削減や品質面での優位性を考慮したうえでの取り組みだったが、発注者に全く普及せず、まれに仕事があっても単発で終わっていた。

まるせの砂田栄治氏は当時を振り返り「ひどいときには3tの在庫を抱えて、廃棄する寸前で物件が出て難を逃れたこともあった。3tのFAを廃棄するには約10 m^3 のコンクリートを練って産業廃棄物として処理することになるため、手間もコストも掛かる」と語る。

混和材を生コン業界で広く普及させるには継続的に採用される環境と、一般的な生コン工場で製造できる体制を整えることが重要となる。JIS A 5308の2024年改正でセメントと混和材の累加計量が許容さ



左から城國氏、砂田氏、十河氏、坂本氏、奈切氏

れば、計量設備は不要となるものの保管するサイロは必要だ。

今回の提案は m^3 あたり25kgのFAを使用するというもの。「25kg」というのがポイントで、FA供給メーカーに25kg/袋の商品を用意してもらうことさえできれば、袋単位の計量投入が可能となる。中国電力が採取するフライアッシュはエコパウダーとしてすでに袋体の製品も販売されているため、実現可能性は高い。膨張材などでは袋体での管理は一般的に行われている。

また、少量であればスランプや空気量などのフレッシュコンクリートの品質管理も比較的容易で、専用の混和剤を用いることなく管理することができる。

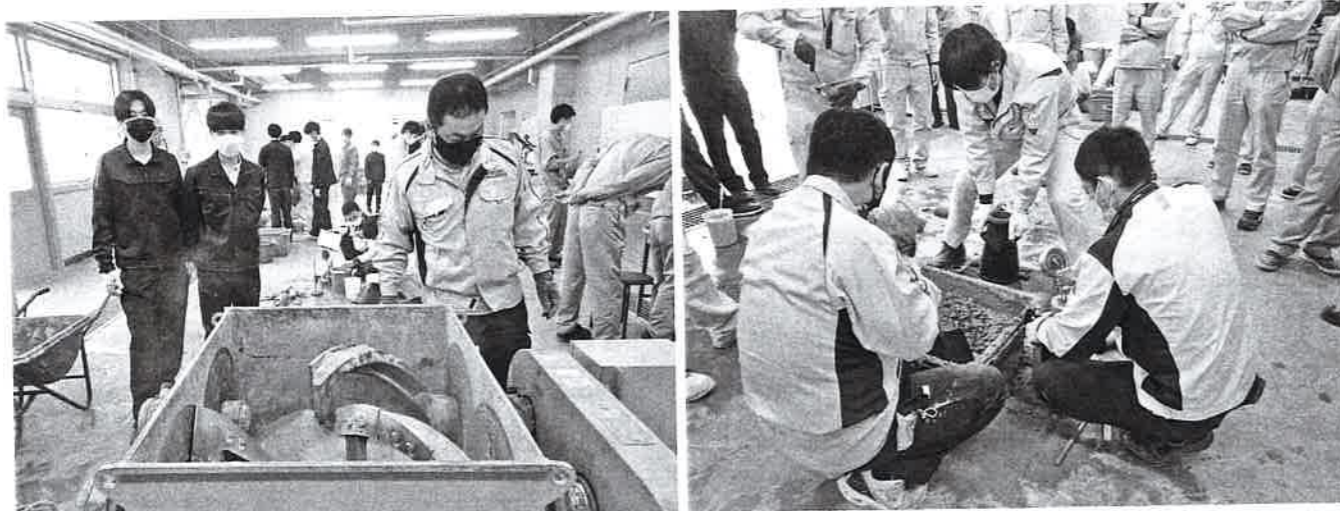
広島地区生コンクリート協同組合共同試験場の城國省二場長は「ただ単に『低炭素』を実現するのでは

なく、これまで生コン産業が使命としてきた高品質な生コンクリートの安定供給との両立を考えた。発注者・施工者・生コン製造者・材料供給者が脱炭素に向けて認識を揃え、少量使用を一般化して広く使用すれば、全体利用量の増加に繋がる。実績が増え、生コン設備や供給体制が整備されればFA使用量の増加も対応可能となる。そのための第一歩として少量使用を提案していきたい」と語る。

実験結果は上々↑↑

FAはコンクリート用混和材として使用した場合、ワーカビリティや長期強度の向上、水和熱の低減、耐塩害性等耐久性の改善、アルカリシリカ骨材反応の抑制などの特長があるといわれる。ただし、いずれも置換率15%以上での使用で有効性が得られるとされているため、少量使用したときの効果を検証する必要がある。

近未来コンクリート研究会に参画する広島工組と広島工業大学は研究委託契約を結び、圧縮強度特性や各種性状の確認を目的とした実験を進めている。今年3月10日に広島工業大学のキャンパス内で中国地区セメント技術委員会とコンクリート用化学混和剤協会中国・四国ブロック会からも協力を得て公開実験を行った。



実験には学生も参加。「学内で行った公開実験の成果は大学の卒業研究に活用するため、Win-Winな関係」と坂本教授

実験では、中国電力の2カ所の発電所から採取されたⅡ種相当のFAを、製造時期の異なる5種類使用し、高炉セメントをベースに25kgを単純にセメントと重さで置き換えた(8~9%)コンクリートとFAを20%内割置換したコンクリート(FA20)を製造。4月7日に材齢28日の圧縮強度をベースコンクリートと比較した結果、4週強度はFA20がベースの8割程度となったのに対し、少量使用の場合はベースコンクリートとほぼ変わらない値となった。

フレッシュ性状についても少量使用であればFA専用の混和剤を用いずとも制御可能であることも分かった。一般的にFA中に含まれる未燃炭素がAE剤を吸着する性質を持つため空気が入りにくいといわれるが、少量使用であれば通常のAE剤でも問題なくコントロールできたという。「ただ、これについては近年の混和剤価格の高騰により、一般のAE剤とFA専用のAE剤価格にほとんど差がなくなっているため、一般のコンクリートにもFA専用のAE剤を使用することも検討している。これが実現すれば専用の混和剤タンクも不要となるため、設備投資が一切必要なくなる」(砂田氏)

今後は、材齢56日、91日強度を確認するとともに各種耐久性を検証する。また、中性化についても「土木学会コンクリート標準示方書では、混和材を使用す

ると中性化速度係数の設計値を普通セメントと比べて大きい値に設定することとされているが、これを発注者・設計者・施工者がどのように考えるかも考慮しなければならない」としており、促進中性化試験だけでなく暴露試験を行うことで、もっとも中性化が進みやすいとされる相対湿度50~60%環境下における変化も確認する予定だという。

水結合材比での運用は必須

実用化・普及に向けてはもちろん課題はある。

FAコンクリートは普通コンクリートに比べ初期材齢の強度発現が小さい。長期的にみればむしろ完成後の強度は増加するものの、管理材齢を長くとることを承認できないとする発注者もいるし、施工面では養生期間が長くなるとして、敬遠する施工者もいれば、養生を短期に切り上げると強度不足となる懸念が生じる。

強度管理材齢を延ばさず28日強度で管理する場合はワンランク上の配合設計が求められるが、低炭素・コストの両面から無駄が多いため発注者に強度管理材齢を延ばすことを認めてもらう必要がある。

また、発注時に水セメント比を55%以下で指定された場合、外割のFAと普通ポルトランドセメントで製造すると完成後の強度が出すぎてしまう。一般的に、鉄筋コンクリート構造物の設計基準強度は24N/mm²であるが、BBを使用した場合「鉄筋コンクリート構造物の水セメント比の上限値55%以下」の指定により24-12-20BBは使用できず、27-12-20BBを使用することになる。そのため、水結合材比で55%以下を認めてもらうことも必要となる。これについては北陸地方や四国地方で「水セメント比の上限値」を「水結合材比の上限値」として運用するローカルルールの実績があるため、県や自治体に認めてもらえれば有効に活用できるだろう。

これが可能となった場合、FAの割増料金を加算しても、27-12-20BBよりも安価になるケースもあり得る。環境負荷の面からもメリットがあり、この配合の

場合、単位セメント量がm³あたり36kg削減できる。BBセメント中のNセメントの割合が55%とすると、Nの削減量は20kg/m³。セメント1kgあたりのCO₂排出量を0.763kgと仮定するとm³あたり15.3kgのCO₂削減が見込まれる。

このほか、FAを袋化するとコストがセメント並みに上がるため、現状では生コンとしてのコストメリットは薄いことや、今年4月からFA中に含まれる結晶質シリカが発がん性物質に指定されたことなども課題となる。手投入するという事は暴露状態になるため、ゴーグルやマスクを用意することや健康診断での管理や記録を30年保存する必要が生じる。「商流が確立し、需要ができれば手投入機を作ること検討される。少量添加用の地上設備を作ることができれば投入の手間は大幅に改善される」

こうした課題解決には発注者の理解が不可欠だ。坂本教授は「第二段階の実験を今年度中に行う予定であり、県や国土交通省中国地方整備局、NEXCOエンジニアリングなどの方を見学に再度招待したいと考えている。発注されてから仕様変更を行うとなると、施工者が手続きをしなければならず、それが負担となるので敬遠される。発注段階で使用検討を条件付けしてもらえれば、少量利用は広まっていくだろう。最終的にはFAとして適切な効果が得られる20%の常時使用を広島県全域で使用できるようになることを目標としている。事例紹介などを通じて水結合材比による設計や強度管理材齢の考え方をご理解いただきたい」と語る。

脱炭素を追い風に、三方良しなシステムを

名城大学の道正泰弘教授が日本フライアッシュ協会のデータをもとにまとめた2010~2020年度の建築工事におけるFAコンクリートの施工実績によると、セメントの内割置換として使用した際の置換率は16~20%が約75%で、単位FA量はm³あたり50~80kgが全施工量の約66%を占める(図-1~3参照)。その単位量は設計基準強度に応じて決定されることがほ

とんどであり、「㎡あたり25kgを使用する」という考え方がいかに革新的かが分かる。

城國場長は「県に対してはこれから毎年働きかけ

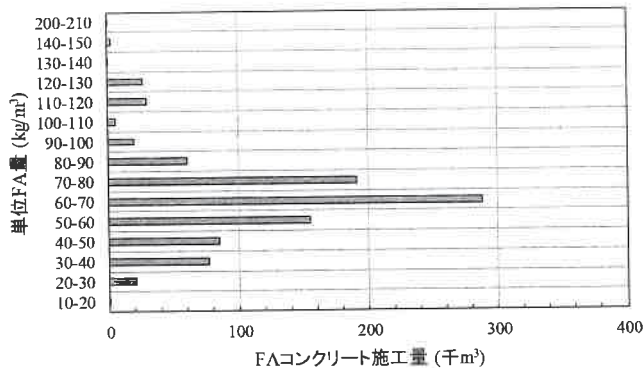


図-1 2010～2020年度の建築工事における単位FA量とコンクリート施工量

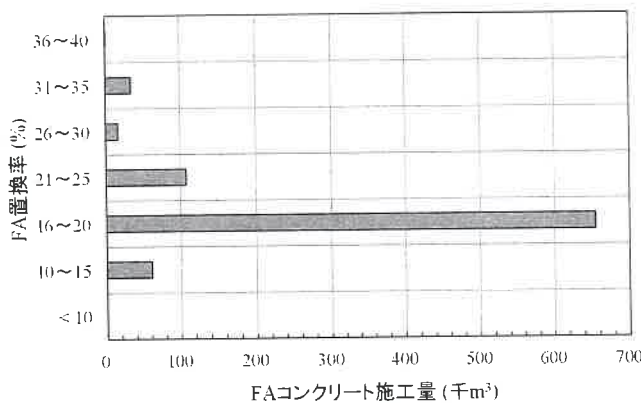


図-2 2010～2020年度の建築工事におけるFAコンクリート施工量とFA置換率（内割換算）

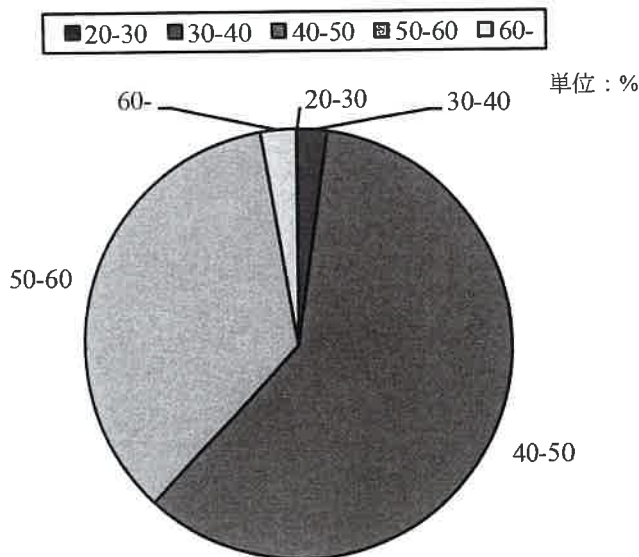


図-3 2010～2020年度の建築工事におけるFAコンクリートの水結合材比別の施工量比率

ていくつもりだ。コンクリート舗装も、10年前に私が広島に来てからずっとアピールし続けた結果、昨年ようやく『これから県は毎年コンクリート舗装を発注する』との言葉が得られた。時間をかけることで当初話を持ち掛けた担当の方が裁量を持つポジションに就かれたことも要因のひとつと考えている。諦めたらそこで終わりであるため、時間をかけて訴えることが重要だ」と語る。

海外を例にみるとタイ、米国、カナダ、ドイツ、オーストラリアなどの生コンクリートでは、フライアッシュが積極的に使用されている。東南アジアのような温暖な気候条件では凍結融解の作用を受けないため、空気量の管理に対して寛容に対応されているものと推察されるが、日本でも気象条件を考慮することや確実に空気量を確保することでさらなる普及が図れるはずだ。英国においては、生コンクリートの85%に高炉スラグ微粉末あるいはフライアッシュが使用され、セメントよりも混和材の流通量が多く、単純計算ではその置換率は50%を超える。

一方、石炭フロンティア機構の統計によると2021年度のわが国のフライアッシュのコンクリート用混和材としての使用量はわずか0.7%に留まり、産業副産物を有効に活用していくためにも、品質向上も見込めるコンクリート用混和材としての普及が望まれる。

坂本教授は「発注者、製造者、子孫世代を含めた国民にとって、三方良しな、みんながよいと思うシステムを作らなければ持続可能性という意味で、どこかに破綻が生じる。これまでは生コン工場がFA廃棄分の費用を負担するといった問題もあった。やはり全員がメリットを享受できる建設材料となることが生コンクリートという素材を今後も長きにわたって活用していくには重要となるだろう」

時代の趨勢により、県や国も脱炭素に取り組む機運が高まっている。カーボンニュートラルを追い風に、低炭素コンクリートの新たなブランドが定着することを期待したい。