

座談会

コンクリート技術の 課題と展望

出席者

鹿島建設 建築生産グループ上席研究員 依田和久氏
大林組 技術研究所 生産技術研究部主席技師 近松竜一氏
埼玉太平洋生コン常務取締役 佐野雅二氏
東京エスオーシー常務取締役 伊藤司氏
コンクリート用化学混和剤協会技術委員長 齊藤和秀氏
(所属・役職は当時)

ひび割れ抑制や暑中コンクリート対策、環境負荷低減などコンクリートに求められる要求は多様化しており、それに対応する形でコンクリートの性能が多機能化している。施工者が求めるものに生コン製造者、混和剤メーカー各社が応える形で新しい技術・製品が生まれている。コンクリートに求められる性能や今後の展望について、ゼネコン、生コン、混和剤の5者に語ってもらった。

ひび割れ抑制対策

温度も重要な品質／適材適所の発注を

——コンクリートの品質に関する要求性能の中で最も重視されるのは耐久性で、それに大きな影響を及ぼす要因の一つがひび割れですが、対策についてはどのように考えていますか。

依田 建築工事で発生するひび割れは主として乾燥収縮ひび割れ、温度ひび割れ、自己収縮ひび割れの3つが多い。最も代表的なのが乾燥収縮ひび割れで、温度ひび割れはマスコン、自己収縮ひび割れは高強度コンクリートを使用した場合に生じる。

乾燥収縮ひび割れについては、基本的には単位水量の低減や骨材を収縮低減効果の高いものに切り替えることで対応している。それが難しい場合には膨張材や収縮低減剤を使用する。温度ひび割れについては温度応力解析を行うとともに、セメントの種類や単位セメント量の低減を考慮したり、骨材を線膨張係数の小さいものに切り替えるなどして対応している。自己収縮ひび割れについては収縮低減剤や膨張材を使って対応している。

収縮低減剤が性能・コストの両面でもう少し使いやすくなれば特定の骨材が入手し難い地域でもJASS5で示された性能を満足するレベル以下に乾燥収縮率を小さくできるのではないかと思います。

近松 土木構造物は一般に部材が大きく、マスコンクリートになるので、温度ひび割れ対策が重要になる。高減水性の混和剤を用いてセメント量を減らして温度上昇を小さくするほか、膨張材を使用する場合もある。低発熱系セメントも有効な対策だが、供給面の制約で容易に対応できないケ

ースもある。マスコン向けのセメントを汎用的に選択できるようになれば温度ひび割れ対策が講じやすくなると思っている。

打込み時のコンクリート温度を下げるのも効果的な対策の一つだ。強度やスランプと同様に、温度も生コンの重要な品質の特性値として扱うべきだと思う。設備面で限度があるかもしれないが、できるだけコンクリート温度が低い生コンを供給してほしい。

佐野 生コン工場の設備は立地と規模で異なる。一般の生コン工場で常備しているセメントは普通、高炉、早強の3系統が基本だ。ただし、都市部では低発熱系のセメントや混合セメントなどのニーズが多いので、基本の3系統に加えてさらに数系統のセメントを揃えて対応しているところもあり、その意味ではゼネコン側のニーズに合わせた設備の増設が進んでいる地域もある。地方ではそのような設備増強は難しいが、基本の3系統のうちその時期に出荷量の少ないセメントのサイロを空けて、品種を入れ替えることで対応をしているケースが多い。

乾燥収縮ひび割れ対策で石灰石骨材への切り替えが求められるケースが多い。最近は技術提案の流れもあり、土木工事でも石灰石骨材を指定されるケースがある。ただ、供給量は限られており、価格もこの2年で急騰している。必ずしも全ての要望に対応できるわけではない。当社では石灰石骨材をスポットで使う場合にはゼネコンから事前に相談をいただいている。石灰石骨材を100%使えない場合には石灰石骨材と硬質砂岩を併用したり、必要に応じてこれに膨張材を併用するなど用途に応じた使い分けをしながら対応している。用途に応じて最適な骨材があるので、ゼネコン側には適材適所での発注をお願いしたい。

伊藤 ゼネコンからの要望に柔軟に対応するには生コン工場でそれ相応の設備を整えておく必要がある。都市部の大型工場であればそれが可能かもしれないが、それを揃えている生コン工場はほんの一握りしかない。まして地方の生コン工場でゼネコン側の全ての要望を応えるような設備を整えることはできないだろう。需要がどの程度あるのかがわからないということも対応を難しくしているように思う。

石灰石骨材については湾岸部の生コン工場では比較的入手が可能だが、内陸部の生コン工場では確保が難しいだろう。自然現象によって供給が滞るというリスクもある。今年2月に発生した関東の大雪の際には交通網が麻痺して供給できない状況が生じた。必ずしも100%対応できない場合もあることをご理解いただきたい。

——混和剤メーカー各社では各種ひび割れ抑制対策製品をラインナップしていますが、市場の反応はいかがですか。

齊藤 ひび割れ抑制に効果がある製品として収縮低減剤があるが、JISがないことがネックとなって簡単に使うことができない状況にある。最近では、ひび割れ抑制対策として収縮低減タイプの混和剤が採用されるケースが増えている。収縮低減タイプの混和剤はJISA6204の範疇で設計されており、汎用品と同様に使用できることが特徴の一つである。採用されている地域には差があり、石灰石骨材の入手しやすい関東ではあまり実績がないが、骨材事情が悪く石灰石骨材の入手が困難な関西を中心に使用実績が増えている。

暑中コンクリート

近畿の対策参考に／関東一区でデータ収集

——温暖化で暑中コンクリート対策の重要性が増していますが、現状の対応と今後は課題について

てどのようにお考えですか。

依田 当社の暑中コンクリート対策は練り上がり温度を下げるとか、アジテータ車に遮熱塗料を塗るなどの一般的な技術で対応している。ただ、それらの対策を講じても打込み時のコンクリート温度が35度を超えるケースはある。暑中期の工事で懸念しているのはコンクリートのスランプロス、打重ね時間間隔の確保、強度などだ。良質な構造物を構築するには打重ね時間を守って構造躯体の一体化を図ることが重要であり、生コン工場との協議事項の中で暑中コンクリート対策としてどのような対応が取れるのかを話し合っている。例えば冷水中で練混ぜ水の温度が下げられる生コン工場ではそれで対応してもらっている。

暑中コンクリート対策では日本建築学会近畿支部と大阪広域生コンクリート協同組合が「暑中コンクリート工事における対策マニュアル」を策定し、その中で打込み時のコンクリート温度の上限値を38度まで緩和することが示された。スランブを18cm以上に設定して遅延形の混和剤を使用することで打込み時のコンクリート温度が38度までであれば品質的に問題ないものをつくれることが提案されている。非常に参考となる提案であり、今後、JASS5に盛り込まれれば暑中コンクリート対策の選択肢が増えることになる。

近松 暑中コンクリート対策としては生コン工場との連携が特に大切だと思っている。生コンが現場に着いたら速やかに打ち込めるように配慮する必要がある。現場の打込み作業の状況は時々刻々と変化するため、生コン工場と現場で連絡を密に取りながら適切なタイミングで生コンを供給することが重要だ。

伊藤 スムーズな打設を行うために生コン車を現場で数台待機させるケースがあるが、暑中期の工事では待機することで生コンの品質に影響が出やすい。特に都市部はアスファルトやコンクリートで囲まれており、路面の温度が上昇しやすく、コンクリート温度に影響を及ぼしやすい。ゼネコン側にはそのような状況があるということ考慮して発注してほしい。

生コン工場で直接的にコンクリート温度を下げるという対応を取ることは非常に難しい。冷却設備は非常に高価であり、それを備えている生コン工場は数えるほどしかない。現実的に取れる方策はこれ以上コンクリート温度を上げないように維持するというものだけだろう。

佐野 生コン工場のできる対策はバッチャープラントでなるべく熱を上がることを防ぐということに尽きる。バッチャープラントに材料を引き上げるベルトコンベアカバーやアジテータ車のドラムに遮熱塗料を塗って直射日光の影響による温度上昇を軽減したり、骨材サイロもコルゲート製ではなくてコンクリート製のものにして急激な温度上昇を防いだりしている。セメントも工場直送品とSS経由品では温度が若干異なってくる。選択ができる場所はそこでの対応もしている。そこまで対策を講じてでもコントロールできる温度は1～2度程度でしかない。

伊藤 先ほど関西地区での取り組みが話に出たが、全国生コンクリート工業組合連合会関東一区地区本部の技術委員会ではコンクリート温度が35度超えおよび以下のフレッシュコンクリートと硬化コンクリートの性状に関する実験を行った。硬化コンクリートについては耐久性に影響する中性化や凍結融解抵抗性および乾燥収縮にまで踏み込んで検討した。

これまでに2年分のデータを収集したが、それを見る限りでは35度超えであっても確認した温度の範囲では品質劣化はない。現状の規格・規準類では「原則35度以下」と定められているが、各地区で集積されている各種の実験データを活用して弾力的な考え方がされるようになれば生コン側としても対応が取りやすい。

齊藤 「暑中コンクリート工事における対策マニュアル」は基本的に高性能AE減水剤の遅延形

を使用したスランブ 21 cm のコンクリートで対応することが示されている。高性能 A E 減水剤はもともとスランブ保持性能を持っており、遅延形を使えばより長時間品質が保持できる。将来的にはコンクリート温度を下げる混和剤が開発されるかもしれないが、現状ではコンクリート温度が上がっても品質、耐久性に影響が出ないような製品を提供することが混和剤の立場からできるアプローチだ。混和剤メーカーとしては今後もいろいろなニーズを捉えてより良い製品を提案していきたい。

中・高流動コンクリート

免震工事でニーズ／混和剤が普及に役割

——最近では中流動・高流動コンクリートの技術開発、実用化が進んでいますが現状の課題と今後の展開は。

依田 当社ではスランブフロー 45～55 cm のものを中・高流動コンクリートと定義し、スランブフロー 55 cm 以上の高流動コンクリートと分けている。高流動コンクリートは主にコンクリート充填鋼管構造（CFT 造）の充填コンクリートに採用するケースが多い。中・高流動コンクリートを使い始めたのは、建築工事では過密配筋や狭隘な部位、複雑な形状の設計があり、スランブ 21 cm では確実に充填することが困難なケースが出てきたことがきっかけだ。締固め不要の自己充填性のある高流動コンクリートがあったがそこまでの性能は必要としない用途であり、軽微な締固めで施工できるものが必要だということで中・高流動コンクリートを開発した。

これまでの実績は免震構造の基礎工事への適用が多いが、最近では耐震化を目的とした病院などの新築工事が相次いでおり、そのニーズは高い。ただ、建築工事で使用するには建築基準法の関係で、JISA5308 に適合するか、もしくは大臣認定を取得したコンクリートである必要があることが採用におけるハードルとなる。都市部であれば大臣認定品の高流動コンクリートが使いやすい状況にあるが、地方では基本的にスランブ管理の生コンしかない。そこで、当社では JIS 品のコンクリートに流動化剤を現場添加する形で中・高流動コンクリートへのニーズに答えている。

近松 中・高流動コンクリートは構造条件や施工条件に応じて選択の幅を広げる技術として登場した。土木構造物においても高密度な配筋が増えており、従来のスランブ管理のコンクリートでは充填が容易でないものも少なくない。高流動コンクリートは基本的に締固め不要の自己充填コンクリートという位置づけなので、スランブフロー管理で軽微な締固めで充填できるコンクリートとして、「スムースクリート」を開発した。

土木分野で中流動コンクリートの採用が進んだきっかけはトンネルの覆工コンクリートである。NEXCO の「トンネル施工管理要領」の中に中流動覆工コンクリートが盛り込まれたことで実績が増えた。発注者側の仕様にこれまでスランブもので施工していたものを流動性の高いコンクリートで施工することが認められたのが非常に大きく、ゼネコン各社が中流動コンクリートの実用化を進める流れができた。

土木ではコンクリート標準示方書施工編に 07 年から構造・施工条件に応じてスランブを設定するという、「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計」が取り入れられている。今後、スランブフロー管理のコンクリートにも適用範囲が広がれば、今以上に採用されるようになるだろう。

中流動コンクリートの普及には混和剤が大きな役割を果たした。混和剤メーカー各社が高流動コンクリートに対応して開発した増粘剤一液タイプの高性能 A E 減水剤を応用することで、中流動コ

ンクリートの実用化がスムーズに進んだ。

齊藤 増粘剤一液タイプの高性能AE減水剤は高流動コンクリートが盛んに研究されていた、今から20年くらい前に開発されていたものだ。ただ、高流動コンクリートがそれほど普及しなかったこともあり、販売数量は伸び悩んでいた。それが、土木のトンネル覆工に中流動コンクリートが採用される流れができたことで増粘剤一液タイプの高性能AE減水剤へのニーズが高まってきた。最近では混和剤メーカー各社が商品を取り揃えている。従来の高流動コンクリートと中流動コンクリートでは粉体量、スランプフローは異なるので従来品をそのまま使っても性能が確保できない。そこで、増粘成分の中身や比率を改めて見直して中・高流動コンクリートに最適な製品に改良を図った。

ユーザーからはもっと増粘性を改善してほしいとか、もっと水セメント比が大きい配合に対応できるものがほしいという声があり、まだまだ改善の余地があるのではないかと考えている。

——中・高流動コンクリートに対する生コン側の対応は。

佐野 建築で免震構造の基礎部に使うというニーズが定量的にあるのであれば生コン側としては大臣認定の取得まで含めて検討をしておく必要があると思っている。都市部の工事では施工条件が限られるケースが少なくないので免震構造の基礎以外でもニーズがあるのではないかと感じており、対応すべきメニューの一つではあると考えている。

ただ、中・高流動コンクリートと一括りに言っても石炭灰や石灰石粉などを使った粉体系や増粘剤一液タイプの高性能AE減水剤を使った増粘剤系など多様なラインナップがあるうえに、ゼネコンによってもタイプが異なる。生コン工場で全ての要望に応えられるような設備を揃えるのは難しいのでもう少しラインナップを整理してもらえると対応がしやすい。

J I S A 5 3 0 8の星取表の中に中・高流動コンクリートのスペックを盛り込むという話も出ているが、生コン側としても検討が必要だと感じている。実際に盛り込まれれば対応が取りやすいので今後の検討に期待したい。

伊藤 当社ではこれまで土木工事を主体に中・高流動コンクリートが出ていたが、最近は建築工事でもニーズが出てきている。スランプ21cmでも打設が難しい場合に採用されるケースが多いようだ。

近松 ラインナップを整理してほしいとの要望をいただいたが、ボリュームがある場合は現場で流動化する対応は取りにくい。一般には、生コン工場にお願いをして中・高流動コンクリートを製造、供給してもらっているのが現状だ。粉体系と増粘剤系のどちらで対応するかは、施工条件で異なる。例えば、フライアッシュや石粉の入手が容易で設備の制約もなければ粉体系を採用することもあるし、それが難しければ増粘剤系を採用する対応となるにことをご理解いただきたい。

依田 中・高流動コンクリートで大臣認定を取得してくれる生コン工場があれば非常に助かるが、それは容易なことではないだろう。建築では高強度コンクリートの大臣認定取得が進んだが、それは強度が必須のものだからだ。これはいつも議論になるが、施工性は施工者にとっては重要なものだが施主にとってより具体的な効果を示さないとコスト負担をお願いしにくいという側面がある。そこで1つ提案をしたいのはまず、J I S A 5 3 0 8の中にスランプ23cm（スランプフロー45cm程度）を入れてはどうだろうか。それができれば使い勝手が向上し、今後のより高いスランプフローへの展開が期待できる。

佐野 業界ではスランプが軟らかすぎるのは悪だというイメージがあるが、混和剤の性能が改善された現状においてはある程度材料分離抵抗性があれば特段問題はないのではないかと考えている。

中・高流動コンクリートの場合は呼び強度が極端に低いものがないと思うので J I S A 5 3 0 8 の星取表の中にスランプ 2 3 c m を盛り込むということは不可能なことではないだろう。

環境負荷低減対策

使用形態が課題に／設備対応が必要

——環境負荷低減の観点から高炉スラグ微粉末やフライアッシュなどの産業副産物を有効利用した環境配慮型のコンクリートの実用化が進んでいますが、現状の課題と今後の方向性についてどのようにお考えですか。

近松 高炉スラグ微粉末やフライアッシュは最近になって使われ始めた材料ではなく、混合セメントなどとして昔から使われてきたものだ。ゼネコン各社ではそれらを有効活用したコンクリートの製造技術を確立しており、当社は「クリーンクリート」として実用展開している。

2 0 1 1 年に日本コンクリート工学会で混和材料の積極的利用に向けた研究委員会で課題を整理したが、ポイントの一つは使用形態だった。生コン工場で混和材として使うか、セメントにプレミックスして使うかだが、どちらの場合もメリットとデメリットがある。混和材として使うには生コン工場に設備的な負担がかかるし、プレミックスして混合セメントとすればコストアップの可能性もある。副産物の有効活用を図るには地産地消の観点を含めて使い分けを考える必要がある。高炉スラグ微粉末、フライアッシュは用途を限定して適切な施工をすれば品質面でのメリットも大きいので、利用拡大につながる。

依田 当社では高炉スラグ微粉末を活用した E C M (エネルギー・CO₂・ミニマム)セメントの実用化を推進している。建築工事では建築基準法や関連規・基準類を考慮して用途を考える必要があるため E C M セメントを使用したコンクリートは基礎躯体や場所打ち杭など適用部位を限定して使っていく。現状では C F T 造を除き上部躯体には適用しない考えだが、基礎躯体および場所打ち杭だけでも相当なボリュームがある。E C M セメントでのスラグ置換率は高炉セメント C 種と同等である。温度ひび割れ抵抗性は汎用的に使われている高炉セメント B 種よりも優れ、中庸熱ポルトランドセメントと同等以上である。コンクリート材料として、また、環境負荷低減材料として優れた特性を有しているため、生コン側の協力を得ながら適材適所で使っていきたい。

伊藤 当社では高炉スラグ微粉末を使ったコンクリートを標準化している。場所打ち杭などの用途で適用されており、マットスラブへの採用を検討するケースなどもある。高炉スラグ微粉末の置換率は 7 0 % なので通常の混和材の計量器では対応できないため専用の計量器を使って対応している。産業副産物を使用したコンクリートは都市部の大型工場のような設備があれば比較的対応がしやすいが地方の生コン工場ではそう簡単にはいかないだろう。ただ、低炭素化が時代の要請であるならばゼネコンの取り組みに対応するかたちで生コン側でも設備的な対応は進めていかないとけないと思っている。

佐野 混和材料としてはゼネコンから高炉スラグ微粉末やフライアッシュ、シリカフュームを使いたいという相談がある。その際に問題となるのは材料の確保と受入設備だ。当社ではニーズに応じてセメントサイロの中身を入れ替えたり、プラントトップの貯蔵ビンへの直接配管を増設するなどして対応している。添加量が少量のものについては膨張材のように手投入するような対応もしている。

——環境負荷低減型のコンクリートでは混和剤にどのようなことが求められますか。

齊藤 竹本油脂ではECMセメント用の混和剤の開発を担当した。高炉スラグ微粉末の含有量が60%以上と多いため、スランプの保持性や初期強度発現性などが課題だった。普通セメントや高炉セメントB種のコンクリートに比べて混和剤の添加量を大きく変えることなく、スランプ保持性を確保できる混和剤が開発できたと思っている。環境配慮の観点から産業副産物を有効利用したコンクリートがこれまで以上に出てくるのが予想されるので、混和剤メーカーとしてもそれに対応して品質が確保できる混和剤を提供していきたい。

——コンクリートにおける環境配慮技術としては回収骨材の有効利用も話題として挙がっています。

伊藤 生コン側としては残コン・戻りコンの有効利用および廃棄物削減の観点からできる限りトレサビリティが保証されている回収骨材を使っていたきたい。JISA5308の改正で回収骨材が追加されて使用できるようになったが、施主などの理解がなかなか得られないこともあり、回収骨材を標準化した工場は都内では1工場もないのが実情だ。

佐野 施主および施工者の理解と建築基準法37条における解釈の問題などがハードルで使われない状況にある。戻りコンから骨材を分級・回収できる生コン工場は相当数あるので解釈がクリアになれば使えると考えている。建築基準法の解釈については全国生コンクリート工業組合連合会が国交省と協議をしている。生コン業界としてはぜひとも環境負荷低減の観点から回収骨材を使いこなしていきたい。

——ゼネコンとしては回収骨材についてどのような印象をお持ちですか。

依田 スラッジ水の利用などの過去の同様な系統の技術を踏まえると本当に品質が確保されていることをいかにユーザーに理解してもらうかが重要である。ただ、個人的には回収骨材はバージン材とそれほど遜色のない品質のものだと思っているので生コン側でデータの蓄積を図り、品質上問題ないことを示していけば良いと思う。それと、回収骨材のような材料を使うことでインセンティブが働くような施策が出てくれば施主や設計者が使用を検討する状況になるのではないかと思う。たとえばCASBEE（建築環境性能総合評価システム）のような評価制度があり、環境に配慮した建物として付加価値が認められるような形になれば話が早い。また、建築は資産価値が重要視されるのでそれに影響せず、むしろ環境性能が向上するということをPRできれば採用の可能性はある。

近松 セメント量が少ない配合では、コンクリートの品質は特に骨材の影響を受けやすい。また、打放しコンクリートでは表面の出来ばえや美観も求められる。耐久性の観点からは表層品質も重要だ。回収骨材のような材料を使用することで、品質面で悪影響がなく、むしろ付加的な効果が示せれば、より使われる状況になるのではないか。

(コンクリート工業新聞2014年10月30日付掲載)