

ゼネコン若手技術者に聞く 2016年の焦点 コンクリート技術の開発動向

ゼネコン各社では材料面から工法まで多様なニーズに応えるコンクリート技術の開発に取り組んでいる。近年は品質確保や施工性向上、環境負荷低減などがキーワードとなっている。そこで、大林組、鹿島建設、清水建設、大成建設の4社の若手技術者に2016年の技術開発の動向を聞いた。

大成建設技術センター 山本佳城主任研究員

ナノ材料で性能改善 施工性の向上を目指す

大成建設ではこれまでに設計基準強度300N/mm²の超高強度コンクリートを実用化するなど、高強度化に向けた技術開発を積極的に進めてきたが、今後は高品質、高付加価値なコンクリート技術の開発にも比重を置いて取り組む方針だ。

強度や耐久性といったコンクリートが従来から持っている特性を活かしたまま、さらなる付加価値をつけることを検討している。同社技術センター・建築技術研究所の山本佳城主任研究員はその方向性について、「高機能化にはいろいろな切り口があるが、施工性向上や環境負荷低減など複数のニーズを複合的に捉えながら、ハイブリッドなコンクリートを開発していきたい」と話す。

山本主任研究員がテーマに挙げて取り組んでいるのはナノ材料を活用してコンクリートの性能改善を図る研究だ。ナノ材料とは、平均粒径が非常に小さいもので、代表的なものとして超高強度コンクリートの製造に使用されているシリカフェームがある。山本主任研究員は「シリカフェームに限らず他産業では数多くのナノ材料が活用されている。粒径が小さくて表面積が大きいので、少量を添加するだけでもコンクリートの特性を大きく変えられる可能性のある材料だ」と話す。

ナノ材料を活用して開発を目指すのはこれまで以上に施工性能を向上させたコンクリートだ。良質な骨材の枯渇化や現場技術者の不足などもあり、施工環境は従来にも増して厳しくなっている。山本主任研究員は「施工者が使いやすいコンクリートを開発できれば建築物の品質向上にもつながる。コンクリートの品質を改善できるナノ技術を開発できればあらゆる施工条件に対応できる」と期待を示す。

一昨年に米国に1年間留学し、ナノ材料の専門家の下で、研究に取り組み技術開発のヒントを得たという。また、近年は分析技術の革新で、コンクリートに起こる劣化現象などをナノレベルで材料的・物理的に評価できる手法が確立された。材料面でも混和剤メーカー各社が少ないセメント量でも流動性の高いコンクリートの製造を可能にする増粘剤一液型の混和剤を上市しており、広く活用できる状況にある。このような施工性の高い高付加価値なコンクリートについて、ナノ材料を応用した開発を目指していく。

環境負荷を低減するコンクリートの開発にも継続して取り組んでいる。同社では産業副産物を活用した環境配慮型コンクリートの製造技術を確立している。混合セメントの開発にも取り組んでおり、同社が開発した「E-VKC」はセメントの70%を産業副産物に置換しても高い強度発現と

耐久性を確保できる。2013年には設計基準強度80Nまでの大臣認定を取得するなど、高強度領域まで含めて技術研究している。

山本主任研究員はコンクリートの環境負荷低減技術の今後の展開について、「製造時のCO₂削減だけでなく、建物の供用時においてもCO₂の排出を抑制できるコンクリートの開発ができるかどうかのポイントになる」と話す。

建築工事で採用するに当たっての技術的な課題については、中性化対策を挙げる。山本主任研究員は「環境配慮型コンクリートはセメント量が少ないので、中性化が早くなる傾向にある。このようなコンクリートをさらに普及させるためには、中性化抵抗性を向上させるような検討が必要だ」と指摘する。

中性化の進行を抑制するには、仕上げ材でカバーするという方策もあるが、仕上げ材の劣化対策やメンテナンスが必要になる。山本研究員は材料面からのアプローチとして、コンクリートの表層品質の改善を挙げる。「コンクリートの表面を緻密にできれば中性化の進行を遮断できるうえに、コンクリートが持つ質感も残すことができる。当社がこれまで取り組んできた高強度化技術にはコンクリート表面を緻密化するためのヒントが隠されているかもしれない」（山本主任研究員）。

コンクリートの中性化対策は既存建築物の改修においても重要なキーワードとなる。国土交通省が定める「住宅の品質確保の促進等に関する法律（品確法）」では住宅性能表示制度で住宅の性能をわかりやすく示している。その中では住宅の劣化に影響するものとして、コンクリートの中性化が挙げられており、「今後は、既存建物にも劣化対策等級を確保できる技術が求められるようになるだろう。中性化対策としては、進行したものを回復する技術、抑制する技術、鉄筋を錆びにくくする技術の3つのアプローチがある。コンクリートの緻密化は進行を抑制する技術で、建物の条件に応じて最適な対策を提案できるようにしたい」（同）。今後は新しい材料の開発や既存材料の改良のほか、それらの技術の活用方法や評価の仕方などを検討していく。

大林組技術研究所 酒井正樹主任

強度予測手法を開発 積算温度と水分考慮

大林組ではコンクリート関連の研究テーマとして、コンクリートの品質確保や環境配慮などを掲げて取り組んでいる。技術研究所内に一昨年新設した実験棟「オープンラボ2」には、新しいコンクリートやコンクリートの高性能・高品質化を目指す研究開発に必要な不可欠な実験設備・装置を備えた。例えば、セメントの一部を建設副産物に置換することで二酸化炭素排出量を最大8割低減した「クリーンクリート」や増粘型流動化剤を添加することで普通コンクリートを瞬時に高流動化する「フローアップクリート」などの特殊コンクリートの実用化で成果を挙げている。

コンクリートの品質確保では、「温度、水分を考慮した構造体の強度予測」に関する研究に取り組んでいる。同社技術研究所の酒井正樹主任はその意図について「海外での工事を受注する機会が増えており、多様な気象条件の中でもコンクリートの品質を保ちながら施工する技術が必要とされている。コンクリートを管理するうえで重要となるのは強度発現であり、新しく設置した『多目的人

工気象再現室』を活用してコンクリートの強度予測に関する研究開発に取り組んでいる」と話す。

この多目的人工気象再現室は、環境対応材料の研究開発や耐久性に関する実験を行う施設で、高温、低温、降雨、降雪、日射、風の6種類の気象条件を組み合わせることで世界各地の気象を再現することができる。コンクリートの強度を予測する手法としては、積算温度による推定方法が確立されているが、「高温環境下だと強度発現は早くなるが、乾燥している地域では長期的な強度は出にくい。そこで、積算温度に加えて水分を考慮した積算温度含水率という新しい指標を作り、コンクリートの強度予測を行うことを検討している」（酒井主任）という。

多目的人工気象再現室の内部で実際に柱部材、壁部材を作製して多様な気象条件の中でも予測式に基づく強度が出るのかどうかを検証している。コンクリートの表面から内部にかけての強度分布を確認し、品質確保に必要な型枠や支保工の存置期間などを検討している。「現場におけるコンクリートの品質確保は施工者の仕事であり、腕の見せ所でもある。自信を持って提案できるように技術を確立したい」（同）。

コンクリートの高性能・高品質化では、オープンラボ2に設置した『特殊コン対応型モバイルプラント』を活用して特殊コンクリートの適用範囲拡大を目指した研究開発を進めている。練混ぜ性能の高いミキサを搭載した可搬式のコンクリート製造プラントで、特殊な材料や配合のコンクリートを用いた実大の模擬試験体を製作できる。

酒井主任は「特殊コンクリートを実構造物に適用するには試験練りのほかに、実大の部材を使った構造実験などを行って性能を検証する必要がある。しかし、そのために市中のプラントを貸し切ってコンクリートを練るとするのは非常に難しい。自社の研究所に特殊コン対応型モバイルプラントを導入したことで、新しく開発したコンクリートの実大施工実験をスムーズに行えるようになり、実用化までの期間が大幅に短縮された」と話す。

特殊コンクリートの適用範囲拡大では、前述した「フローアップクリート」を軽量コンクリートや重量コンクリートに適用することを検討しており、特殊コン対応型モバイルプラントで実大施工実験を重ねている。

コンクリートの環境配慮については、リサイクルに加えてリユース（再使用）を見据えた研究開発に取り組んでいる。酒井主任はその意図について「リサイクルに関しては天然骨材と同等の品質を持つ再生骨材を使ったコンクリートが実用化の領域に到達した。ただ、今後、高度成長期に建設した建物の解体が本格化することを考えると、既存の地下躯体を再使用する技術も検討していく必要がある」と話す。

リユースを推進するうえで課題となるのがコンクリートの寿命評価だが、同社では中性化深さの進行と補修による抑制効果の評価方法に関して、日本建築センターから国内初の評定を取得。昨年2月には既存コンクリート地下躯体の再利用に向けた劣化の評価・抑制技術を確立した。

技術研究所ではコンクリートの寿命評価手法について、中性化や鉄筋腐食を考慮することでさらなる高度化を図る研究を進めている。その検証実験では多目的人工気象再現室も活用しながら、多様な気象条件における中性化、水分、鉄筋腐食のデータを収集している。実構造物の調査も併せて行い、各種のデータを分析しながら論理を検証し、コンクリートの寿命評価手法の確立を目指す。

酒井主任は技術開発の方向性について、「今後もコンクリートの高性能・高品質化やリユースを見据えたさらなる環境配慮に向けた研究開発を推進していきたい」としている。

清水建設技術研究所 吉武謙二主任研究員

ダンパーで橋梁耐震化 耐力向上を簡易に実現

清水建設ではコンクリート関連の研究テーマとして、構造物の耐震化技術や新設工事における施工性向上技術などを掲げて取り組んでいる。特に注力しているのが、「慣性質量ダンパーを用いた橋梁制震システム」で、首都高速道路と共同で研究開発を進めている。

この制震システムは、地震時に橋桁が水平移動する力をおもりの回転運動に置き換えて吸収することができるもので、超高層ビルなどの建築工事で採用実績がある。それを土木に応用し、橋桁と橋脚間に設置することで地震時における橋桁の慣性力を低下させるとともに、橋桁側から橋脚や基礎部にかかる力を減らすことで橋脚の損傷を低減できる。

同社技術研究所の吉武謙二主任研究員はシステムのメリットについて「コンパクトだが実質量の数百～数千倍の質量効果を有するダンパーにより、橋脚などへの作用力を減らすことで、損傷を低減する仕組みのため、橋脚や基礎部の補強が不要になる。慣性質量ダンパーによる制震システムは橋梁の立地条件的に耐震補強ができないケースなどで、効果的に活用できると思っている」と話す。

制震システムは首都高速道路が昨年6月に改定した「橋梁構造物設計施工要領（V耐震設計編）」に示されている耐震設計基準をクリアしている。同要領では災害発生直後に道路を特定緊急輸送路として活用することを想定しており、復旧性を重視した耐震基準が定められている。吉武主任研究員は「制震システムは橋梁構造物設計施工要領の耐震基準に見合うものを目指して開発した。橋脚を構成する材料であるコンクリートの損傷を可能な限り限定的なものにとどめて、災害が発生しても道路としての機能を維持することができる」と話す。

近年、社会問題化している老朽化した橋梁の更新にアプローチできる技術としても展開する。「耐力を上げることなく橋梁全体の耐震性能を向上できる新しいシステムである。橋脚を鋼板巻きなどで高強度化、高靱性化して壊れにくくするというアプローチもあるが、それをやると本来、外力がかかって壊れるはずの橋脚基部が壊れずに力が損傷検知の困難な基礎部にかかって壊れる可能性も出てくる。車両の通行を考えると別の補強対策が必要になってしまう」（吉武主任研究員）。

現時点では実採用の実績はないが、今年2月に土木研究所で橋桁や橋脚、支承などの橋梁全体をモデル化した装置にダンパーを設置した振動実験を予定している。首都高速道路ではインフラの大規模更新を予定しており、既存橋梁の効果的な耐震化技術として提案していく。また、新設構造物においても制震システムを入れることを前提に設計することで、橋脚などのスリム化が図れるメリットもある。既設、新設を問わず広く採用を提案していく方針だ。

新設工事における施工性向上技術では、施工性向上による工期短縮と品質向上を課題に挙げて、ボックスカルバート構造物のハーフプレキャスト化に取り組んでいる。配筋の施工性とコンクリートの充填性を改善するために、せん断補強筋の代替として鋼板を用いた構造を提案し、構造実験などによりその性能を確認している。鋼板を用いることで、せん断補強筋の錯綜を回避できるため、現場でのコンクリートの充填性が確保できる。

吉武主任研究員はその経緯について、「耐震設計基準が厳格化されたことで、土木構造物においても鉄筋が高密度化しており、施工性およびコンクリートの充填性という課題解決のために、今までに研究してきた孔あき鋼板ジベルなどを用いた合成構造の知見を活かして開発を実施している」と

話す。

同社では高周波誘導加熱で成形した拡径部による機械式鉄筋定着工法であるTヘッド工法も開発しており、数千を超える施工現場で採用され、施工性向上や充填性の確保に寄与してきた。また、この工法的设计手法が1931年発行の土木学会コンクリート標準示方書のままであることから、配筋の高密度化が顕著である鉄筋コンクリート構造物の柱はり接合部に適用する先駆的な研究も実施し、「梁および柱の軸方向鉄筋の定着仕様が接合部に及ぼす影響」などの論文が、コンクリート工学年次論文集に掲載されている。これらの知見を活かし、今後、提案したハーフプレキャスト構造を部材接合部なども含めて適用するための研究開発も続けていく予定だ。

構造物の維持管理・更新が注目されているが、同社では先端的な現場計測と数値診断を組み合わせた構造物の健全度評価や大規模更新に貢献する技術開発も進めていく方針だ。

鹿島建設技術研究所 渡邊賢三主任研究員

養生高度化で品質向上

美シール工法 復興道で試験適用

鹿島建設はコンクリートの表層品質を向上させる技術を開発し、実構造物への適用を図っている。横浜国立大学の細田暁准教授と共同で、目視によるコンクリート構造物の表層品質評価手法を開発し、これまでに東北の震災復興工事や東京外環自動車道工事などで適用されている。適用を通じて品質確保に対するニーズや課題などが出てきており、同社では目視による表層品質評価手法に加え、材料や養生を工夫することでコンクリートの表層品質向上を図る技術開発に取り組んでいる。

昨年4月に発表した「美シール工法」はコンクリートの養生を高度化して表層品質を向上する技術で、復興道路の長部高架橋の一部で試験的に適用されている。高撥水性を持った特殊シートを型枠表面にあらかじめ貼り付けた状態でコンクリートを打設し、脱型後に表層に残置させる工法で、シートでコンクリート中の水分を閉じ込めることで表層品質を向上させる。同社と東京大学の石田哲也教授、積水成型工業の3者で共同開発した。

同社技術研究所土木材料グループの渡邊賢三主任研究員は工法開発の経緯について「コンクリートの表層品質を向上するには水セメント比を小さくすることや、新たな混合材を添加するなどの材料面からのアプローチが考えられるが、ひび割れなどの不具合の発生やコストアップにもつながる。そこで、施工者として知識、熱意を持って取り組める工夫として、養生の高度化に行き着いた」と話す。

美シール工法を採用することで得られるメリットは多い。高撥水性特殊シートが水分の逸散を抑制することで、セメントの水和反応が長期間にわたって継続し、コンクリートの表層部が緻密化する。表面気泡が減少する効果もある。中性化抵抗性が向上する効果があることも実証されており、同工法を採用することでコンクリート構造物の耐久性を格段に向上させることができる。外観も光沢のある美しいコンクリートになる。型枠にシートを貼るだけの工法のため、コストも低価格で抑えられる。

近年は競争入札方式においてコンクリートの養生方法に関する技術提案が増えている。「ゼネコン

各社が様々な養生工法を提案しており、差別化のポイントとなっている」(渡邊主任研究員)。

同社では美シール工法が試験適用された長部高架橋工事でデータを収集し、効果の検証を行う予定で、適用前に作製した供試体から塩分浸透性や中性化、耐凍害性など耐久性に関するデータを収集している。また、長部高架橋工事では非破壊検査によるデータ収集のほか、建設時にあらかじめ破壊試験を想定したブロックを作製し、同じ環境下でのデータも収集できる体制を整えている。同社では給水に頼らずにコンクリートの湿潤状態を保てる低コストな養生工法として広く提案していく考えだ。

コンクリートの表層品質向上を図る技術としてはブリーディングを抑制する「ブリデーズ工法」も同社とフローリックの2者で展開している。同工法は、J I S A 6 2 0 4 (コンクリート用化学混和剤) に適合した増粘剤一液タイプのA E減水剤を用いることでコンクリートの流動性を確保しつつ、材料分離を抑制する。

同工法を採用することでブリーディング量は10～40%低減(室内試験結果)できる。同社では福岡県で建設中の五ヶ山ダムの仮設骨材ピット工事に同工法を適用した。ピットの底版を半分に区切り、通常のコンクリートとブリデーズ工法を用いたコンクリートを打設し、約2時間後のコンクリート表面(天端)の状態を比較した結果、ブリーディング量を通常の5分の1に低減できることを確認した。

渡邊主任研究員はブリデーズ工法のメリットについて「ブリーディングを抑えるためにW/Cを小さくしてセメント量を増やすと、温度ひび割れの発生など別の問題が出てくる。ブリデーズ工法は使用する混和剤をJ I S A 6 2 0 4に適合した増粘剤一液タイプのA E減水剤に置き換えるだけでブリーディングを低減できるので、企業者への説明も容易だ」と話す。同社では表層品質評価手法と組み合わせて、ブリーディング量の増大が懸念されるコンクリート構造物への適用を推進している。

構造物の品質に大きく影響するコンクリートの材料分離を防ぐため、「OKホース」を開発、実用化した。コンクリートポンプの先に取り付けるフレキシブルホースは硬いゴムでできているため、構造的な問題でコンクリートの材料分離が生じてしまう。OKホースは扁平状のホースで、コンクリートが通るとホースが膨らみ、自由落下をさせずに圧送することができる。「コンクリートをホースで包み込みながら筒先に落とせるので材料分離が生じない。広く一般的に採用できてかつコンクリートの品質確保にもつながる」(同)。すでに現場での適用事例も出ており、同社ではコンクリート構造物の品質確保対策として広く提案していく。

(コンクリート新聞2016年1月7日付掲載)