生コンの品質向上への取組み

松　永　　篤

生コンの品質確保・向上のために取組んだ課題および施策を紹介する。品質にかかわる課題として，高周波加熱乾燥法，静電容量法およびエアメータ法を用いた単位水量試験の適用性，強度用供試体の作製から型枠の取外しまでの取扱いや保管条件が強度へ及ぼす影響および乾燥収縮ひずみの調査と混和材料による乾燥収縮低減効果を検討した。また，今後の良質な細骨材の枯渇対策として高炉スラグ細骨材および粒形改善砂（ガリバー砂）の適用性を検討した。生コン工場で起こる種々のトラブルを減らすための施策として実施している異常情報の集約と共有化についても紹介する。

キーワード：単位水量試験方法，型枠の取外し，圧縮強度，乾燥収縮，高炉スラグ細骨材，粒形改善砂

1．はじめに

関東宇部コンクリート工業グループは東京都を中心に，神奈川県，千葉県および埼玉県に12の生コン工場を展開している。2007年の建築基準法改正に続く翌年の金融不安の影響による深刻な建設不況下にあって，09年度の総出荷量は2割減の約100万 m^3 と厳しい需要環境にある。

首都圏の生コン工場の特徴として，1日に1000 m^3 以上といった大量の出荷日が多く，1日のうちに低強度から超高強度まで多様な生コンの出荷がある，渋滞の影響を受けて運搬時間が長い・定まらないなど，品質に影響を及ぼす要因が多いことがあげられる。また，都心工場では近隣住民との共存のために環境対策が必要など，技術面以外にも大きな配慮が必要である。こうした環境の中で生コンの品質確保，コスト削減および他社との差別化にかかわる課題に取組むため2001年に技術センターを設置し，実験的検討，工場への技術支援および資格取得教育を行なっている。

本報では，技術センターがこれまでに行なった検討のうち，生コンの品質向上のための取組みおよび新規骨材等の今後に向けた課題，また，工場で起こるクレーム等の異常防止への取組みについて紹介する。

2．品質向上のための取組み

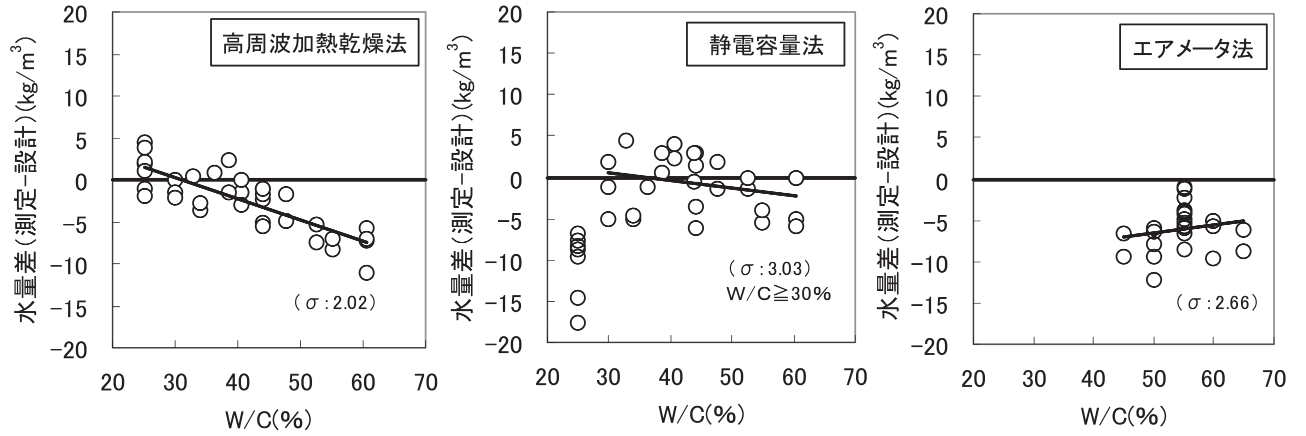
ここでは，①生コンの単位水量管理にかかわる各種単位水量試験方法の検討結果，②強度管理にかかわる脱型までの供試体の取扱いの影響，③耐久性にかかわる乾燥収縮の実態と混和剤による改善効果について述べる。

(1) 各種単位水量試験方法の適用性

コンクリートの単位水量の測定は，国土交通省をはじめ，民間でも建設会社独自で施工管理の一環として実施している。生コン工場においても製造工程の品質管理項目として規定し運用している工場が増えている。測定方法には，乾燥法，エアメータ法，静電容量法，塩化物濃度法など，種々の方法があるが統一されておらず個々に測定方法をマニュアル化しているのが現状である。

適用事例の多い高周波加熱乾燥法，静電容量法（ケット）およびエアメータ法について適用性を検討した。結果を**図―1**に示す。試験は表乾状態の骨材を用いて，水セメント比およびスランプを変えて単位水量を測定した。セメントは普通および中庸熱ポルトランドセメント，細骨材は山砂に石灰岩砕砂を40％混合したもの，粗骨材は石灰岩砕石を使用した。なお，高周波加熱乾燥法の場合はウエットスクリーニングしたモルタルを1600 W の電子レンジで4分間乾燥し，蒸発量にセメントの水和による結合水率の補正を行って水量を求めた。エアメータ法は通常の空気室圧力法に用いるエアメータによった。

これらによると，高周波加熱乾燥法は，測定値と配合設計値との差とコンクリートの水セメント比に相関が認められ，他の方法に比べて設計値との差のばらつ



図―1　水セメント比と単位水量の測定値と配合設計値との差

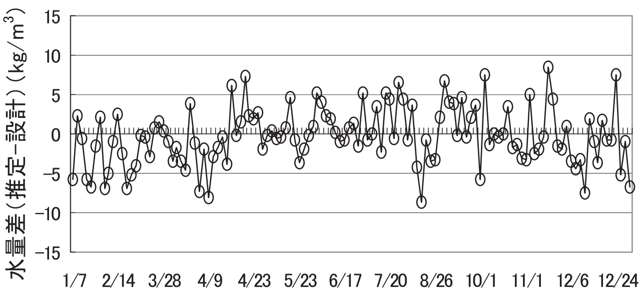
きが小さい。なお，工場が異なると関係線も異なる結果が得られており[1)]，使用材料や電子レンジの若干の性能差の影響が考えられることから，工場ごとに補正値を求める必要があると考えられる。また，ウエットスクリーニング時の振動の与え方，時間も影響するため統一する必要がある。実用的には，このように室内試験で求めた近似式を補正値として用いればよい。

静電容量法は水セメント比が30％以上では測定値と設計値は同等であるが，水セメント比が25％の場合には測定値が極端に小さく，またばらつきが大きい。原因はよくわからないが，高強度コンクリートの場合には適用性が低いと考えられる。測定方法は簡便であるが，装置が高価な点も生コン工場には受入れにくい。

エアメータ法の測定値は設計値よりも小さくなるが，水セメント比の違いによらずほぼ一定となった。高周波加熱乾燥法に比べて測定値のばらつきが大きく，測定試料中の粗骨材量の変動，測定容器の上面仕上げ精度による空気量の変動の影響を受け易いためと考えられる。エアメータ法は空気量の測定時に行なえることから特殊な装置を必要とせず非常に簡便な方法であるが，これらの影響を極力排除するように試料の採取，容器への詰め方に注意を払い，データを十分に蓄積した上で補正値を設定すれば工場の品質管理に適用できる可能性があると考えられる。

いずれの方法も，以上のような点に留意すれば生コンの品質管理に適用可能と考えられる。**図―2**に工場で製造時の工程管理として実施した高周波加熱乾燥法による測定結果を示す。設計値± 10 kg/m^{3}で推移しており，**図―1**に示した室内試験でもばらつきが± 5 kg/m^{3}程度あること考慮すれば，総じて安定した水量管理ができていると考えられる。

当社では高強度コンクリートの出荷時の配合修正の判断にも単位水量測定を活用しており，製造時の流動性が目標から外れた場合の原因を骨材表面水あるいは混和剤量のいずれにあるかを単位水量結果に基づき判断している。単位水量が合っていれば施工性，強度ともほぼ想定どおりのコンクリートが得られる。



図―2　工場の単位水量管理状況

(2) 脱型までの取扱いが強度に及ぼす影響

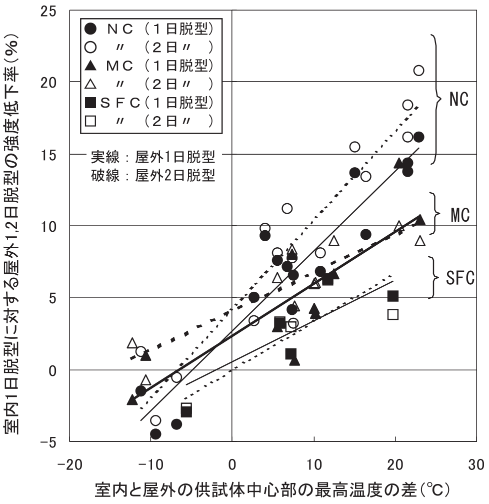
工場の強度管理結果には問題がないが，施工者側から強度が低めだとかバラツキが大きい等との苦情が起こることがある。理由の一つに，日本建築学会のように生コンのJISと検査ロットの考え方が違うため同じ運搬車から採取しないことが考えられる。また，JIS規格では採取から型枠の取外し（脱型）までの取扱いや保管条件に関する要件が定性的で柔軟な対応が可能になっているため，後の養生が同じでも強度へ大きな影響を及ぼす可能性があると考えられる。JIS A 1132「コンクリート強度用供試体の作り方」では，脱型は16時間以上3日以内でその間，衝撃，振動および水分の蒸発を防ぐこと，また，脱型までは常温で保管することと規定されている。また，日本建築学会の高強度コンクリート施工指針（案）には，初期養生対策として，水分の逸散防止や，その後に実施する養生と同一の温度になるような措置を施すように規定されている。具体的には，調合実験時と条件を極力合わせる。供試体上面のラップフィルムによる封かん，初期から

20℃の恒温養生槽を用いるなど。しかし，高強度コンクリートの受入れ現場では上述のJISに準じて現場内で保管される場合が見受けられる。

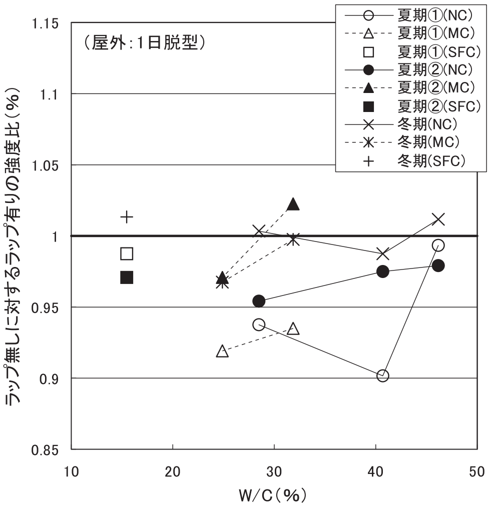
そこで，脱型を行うまでの条件として，脱型材齢，上面のラップフィルム，脱型までの保管場所としての20℃恒温室内，屋外日陰，屋外日向を取り上げ，夏期3回および冬期1回の実験を行った。脱型後は材齢28日まで20℃の水中養生を行った。なお，屋外の日陰および日向の場合は上面に合板で覆いを施した。セメントには普通（NC），中庸熱（MC）およびシリカフュームセメント（SFC）を使用し，呼び強度はそれぞれ36～72，63～83および120とした。

図―3に，脱型までの室内と屋外の供試体の最高温度の差と材齢28日強度低下率との関係を示す。強度低下率は，恒温室内1日脱型に対する屋外1日脱型および2日脱型の場合の低下比率とした。冬期で室内よりも外気温が低く温度上昇が小さくなる屋外保管の場合は強度への影響は認められないが，夏場の室内よりも温度上昇が高くなる場合にはいずれのセメントでも強度発現が小さくなり，また，温度差が大きいほどその傾向が強くなる。標準期の場合は温度の影響を受けるがその影響は比較的小さいのではないかと推察される。セメント別では温度差が同じ場合には普通＞中庸熱＞SFCの順で，低発熱のセメントのほうが影響が小さい。また，普通および中庸熱の場合は1日脱型に比べて2日脱型の強度が低くなる傾向が認められる。なお，図には屋外の日陰および日向，また，ラップの有・無の結果も入れたが，これらの要因にかかわらず温度差で整理できるようである。屋外では日陰に比べて日向に置いた場合のほうが強度発現が小さくなり[2]，これも日射による温度上昇により強度発現が悪影響を受けるためと考えられる。また，**図―4**に示すようにラップ有りのほうが，無しに比べて強度が低くなる場合が多くなった。逆の結果を示す報告[3]もあるが，直射日光が当らないように上面に合板を直接載せればラップ保護がなくても水分蒸発による影響は小さくなると考えられる。

以上のように，脱型までの供試体の取扱いは強度に大きな影響を及ぼす。特に夏期は屋外に保管するとセメントの水和熱による高温履歴の影響を受けて強度発現が阻害される。高強度コンクリートの構造体の強度管理においては，供試体採取直後から室内等の実験時と同じ一定温度の条件で保管し，できるだけ早期に脱型して，水中養生に移すことが望ましいと考える。



図―3　屋外保管による供試体の最高温度の差と強度低下率



図―4　ラップフィルムによる封かんの影響

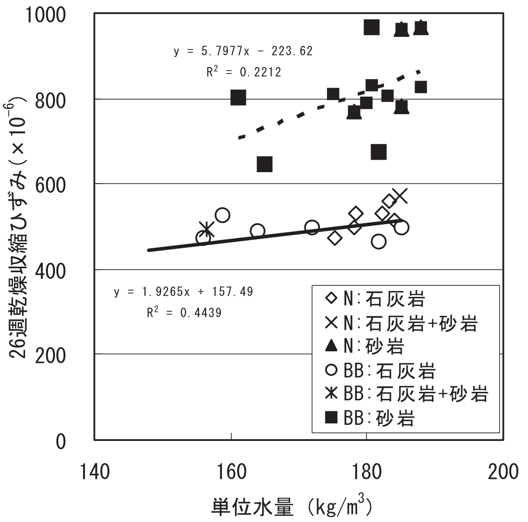
(3) 乾燥収縮の実態と混和材料による改善効果

2000年の品確法（住宅の品質確保の促進等に関する法律）の施行以来ひび割れ抑制が重要視されるようになり，独自に生コンの乾燥収縮の実態を調査している建設会社もみられる。対策として膨張材を使用する事例が増えており，最近では石灰岩粗骨材が指定されるケースも見受けられ，生コン側も対応に苦慮する場合が出てきている。一方で，土木学会コンクリート標準示方書2007年版に続き，日本建築学会鉄筋コンクリート工事標準仕様書JASS5においても2009年の改正で乾燥収縮ひずみ規定され，ますます乾燥収縮が重要視されるようになってきている。

生コンのJISでは乾燥収縮の要求がないこともあり，生産者側からのデータの開示は非常に少なかったが，これらを受けて全国生コンクリート工業組合連合会では実態調査[4]を実施している。

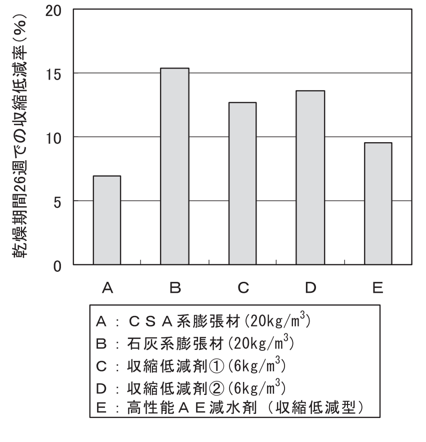
当社においては，これに先立つ2005年に実際の出

荷生コンを用いて乾燥収縮を調査した。結果を**図—5**に示す。呼び強度は21～30，セメントは普通および高炉セメントB種である。これによれば，粗骨材に石灰岩系砕石を用いたほうが，砂岩系の場合に比べて乾燥収縮が半分程度に小さくなった。砂岩系の粗骨材の場合は8×10^{-4}を超える場合もあるが，概ね単位水量が185 kg/m^3以下であればそれ以下になるようであった。



図—5　単位水量と乾燥収縮ひずみ

乾燥収縮の低減方法として，一般的には単位水量の低減，粗骨材量の増加といった配合の改良が挙げられるが，流動性や打込み易さといった施工性能を落とさずに配合を大きく変更することは難しく，従って収縮性能を大きく改善することは難しいと考える。そこで，市販の混和材料で収縮を低減できるといわれる膨張材，収縮低減剤および収縮低減型の高性能AE減水剤について性能を確認した。結果を**図—6**に示す。コンクリートの配合は呼び強度27，スランプ18 cmで，使用材料としてセメントは普通，粗骨材は砂岩系砕



図—6　混和材料による乾燥収縮低減率

石，細骨材は砂岩系砕砂，石灰岩系砕砂および山砂の混合とし，混和材料を使用しないベースコンクリートの26週後の収縮ひずみは850×10^{-6}である。

いずれもベースコンクリートよりも収縮が低減され，膨張材の場合7～15%，収縮低減剤および収縮低減型の高性能AE減水剤の場合は10～15%であった。これらを使用することにより乾燥収縮ひずみを8×10^{-4}以下にすることができるが，石灰岩系の粗骨材を用いる場合に比べると効果は小さいようである。膨張材は標準使用量でありこれ以上の効果は期待できないが，収縮低減剤および収縮低減型の高性能AE減水剤の場合は使用量を増加させることによりさらに低減させることが可能と考えられる。なお，骨材の岩種の変更も含めていずれの対策についてもコストアップになるため，構造物の重要度，使用部位や配合を特定して選定されることが必要と考える。また，安易な骨材の岩種の変更は資源の有効利用の観点からも好ましくないと思われる。

なお，当社では乾燥収縮のほか，鋼材腐食にかかわる塩分浸透および中性化，コンクリートの劣化にかかわる耐凍結融解性のデータも所持している[5]。

3. 新規材料への取組み

ここでは，良質な細骨材の減少に対する生コンの品質確保のための①高炉スラグ細骨材の適用性および②粒形改善砂（ガリバー砂）の適用性についての検討結果を述べる。

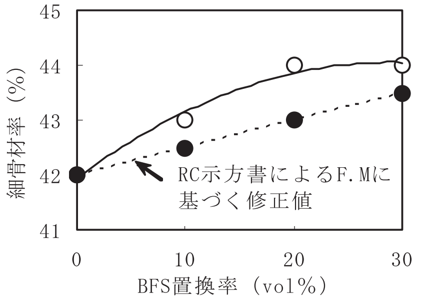
(1) 高炉スラグ細骨材の適用性

採取規制や品質の低下により天然のコンクリート用骨材が少なくなっており，粗骨材はほとんどが砕石に，細骨材も砕砂との混合に置き換わってきている。首都圏の細骨材の最大の供給先である千葉県でも良好な粒度の山砂の確保が難しくなってきており，生コン工場では砕砂と混合して使用する事例が見受けられるようになっている。砕砂としては，九州・四国・東北・北海道からの海送による石灰岩系，近県からの陸送による砂岩系や石灰岩系のものが用いられている。一方で，砕砂ではないが，近年の輸送費の高騰に伴い骨材価格が上昇している点，また，安定供給の面から，近場で生産され輸送費の影響が少ない骨材として，高炉スラグ細骨材が考えられる。首都圏ではあまり着目されていないが中国地方では既に多くの実績がある材料である。高炉スラグ細骨材は，粗鋼生産時に高炉から副産される約1500℃のスラグに加圧水を噴射して急冷し

た水砕スラグを粒度調整し，固結防止剤を添加したもので，JIS規格も制定されている。なお，この水砕スラグは高炉セメントの原料としても利用されるものである。

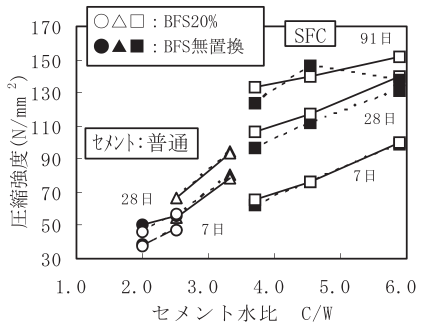
高炉スラグ細骨材（以下，BFS）の適用性をみるため砕砂と山砂の一部代替として使用した場合の評価を行なった。高炉スラグ細骨材は千葉県内の鉄鋼会社から入手したJIS A 5011-1の粒度区分5-0.3に相当する密度2.77 g/cm^3, 粗粒率（FM）3.33のものを使用した。

図―7に細目の山砂（FM1.91）と硬質砂岩砕砂（FM2.81）の混合比を6：4の一定としてBFSを容積置換した場合のBFS置換率と最適細骨材率を示す。配合は水セメント比50%，スランプ18 cmで，粗骨材には石灰岩砕石を使用した。BFSで置換すると土木学会コンクリート標準示方書（施工編）を参考にした粗粒率の違いによる細骨材率の補正よりも0.5～1%大きくする必要がある。使用したBFSが微粒部分の少ない粒度のもので，混合砂中の微粒分が少なくコンクリートの粘性が低くなるためと考えられる。なお，置換率30%になるとコンクリートが若干粗々しくなり，20%程度までが適当と考えられる。



図―7　最適細骨材率

細骨材のBFS置換率を20%とした場合のセメント水比と20℃水中養生圧縮強度との関係を**図―8**に示す。図中記号のSFCはセメントにシリカフュームセメントを，粗骨材には硬質砂岩砕石を使用している。150 N/mm^2 以上の強度までBFSを使用しない場合と同等の強度が得られた。なお，10℃および30℃で養生した場合の強度発現性も同等であり，また，静弾性係数および乾燥収縮への影響も認められなかった[6)]。BFSは首都圏では安定的に入手できる可能性がある骨材であり，山砂の粒度の低下を補え，また，輸送費にかかわるこれ以上のコストアップを抑制できる可能性があり，資源の有効利用の観点からも好ましい。但し，現状ではJASS5の高強度コンクリートの材料にはBFSの記載が無く，普及の妨げになっていると思われる。



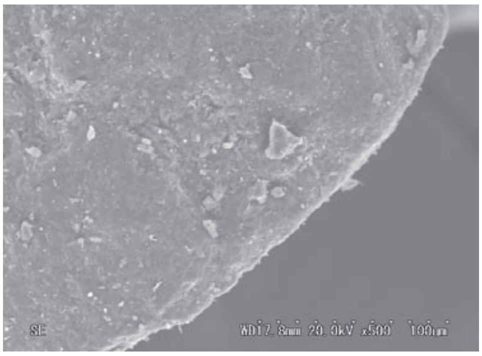
図―8　セメント水比と圧縮強度

(2) 粒形改善砂（ガリバー砂）の適用性

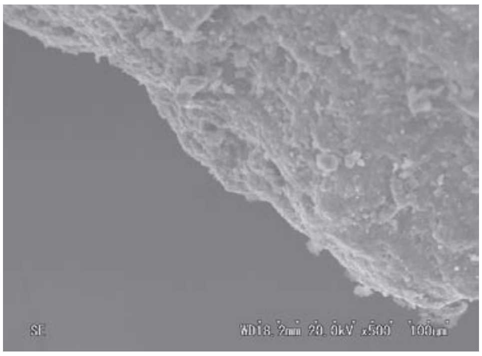
東京都西部の三多摩地区等の内陸部の生コン用骨材は，砕石，砕砂が主である。砕砂は砂岩系がほとんどで，コンクリートの単位水量およびワーカビリティー，また，湿式製造で微粒分が低く管理されていることもあり，ブリーディングの点でも単独での使用は難しく，石灰系の砕砂と山砂を混合して改善する工場が多い。この地域では砂岩系砕砂は近隣で確保できるが，石灰岩は少なく供給面の不安と輸送コストがかかるという問題がある。また，山砂も千葉県産が主で輸送コストの問題がある。

そこで，砕砂の粒形と表面性状を改善しコンクリートの単位水量を低減させるとされる「ガリバー砂」を検討した。製造装置（**写真―1**）の原理は回転ドラムの中に水とともに投入された砕砂を媒体石と称する特別な石で摺り合わせることにより，研磨するというものである。天然の砂までとはいかないようであるが，砕砂の角がとれ，**写真―2**に示すように処理前に比べるとテクスチャーが良くなる。当初はガリバー砂を単独使用あるいは混合でも使用比率を多くするとコンクリートが粗々しくワーカビリティーが悪く，ブリーディングが多くなるものであった。一般の湿式砕砂と同様に微粒分のほとんどを除去する製造システムであったが，そのうちの一部を回収し再混合することを

写真―1　ガリバー砂製造装置



写真―２ ガリバー砂



写真―３ 原砂（処理前）

検討した[7)]。

微粒分を再混合するシステムを組込んだ装置で製造したガリバー砂の物性を**表―１**に示す。研磨された影響と微粒を再混合したため，原料の砕砂に比べて微粒分量が増え，粗粒率が小さく細かくなるが，吸水率および実積率は若干良くなっている。

コンクリートの物性は**表―２**に示すとおりである。ガリバー砂を使用することにより砂岩砕砂，石灰砕砂および山砂の混合砂を使用した場合と同等の流動性でもブリーディングが低減され，良好な性状が得られる。強度および乾燥収縮率は同等である。

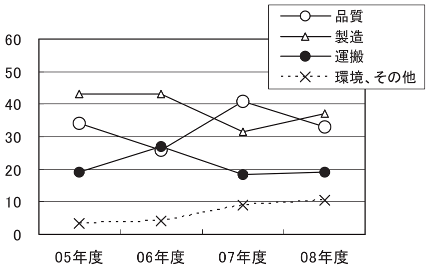
ガリバー砂を適用することによって，骨材の安定供給と生コンの製造コストの抑制が期待できる。まだ，実績は少ないものの，同様の問題を抱える地域においては検討に値する材料ではないかと思われる。

4. 異常防止への取組み

生コン工場での出荷時検査や現場での受入れ時の検査での品質異常による廃棄，製造設備故障での出荷不能等による損失をゼロにすることは永遠のテーマである。現場での返品や品質が不安定な状態が続けば，工場の信用失墜により受注の機会が減るばかりでなく，複数工場を持つ当社の場合には全社的に波及することが予想される。当社ではこうした異常情報を一元管理している。情報の共有化による類似異常の防止を狙って得られた情報を他のグループ工場の他，営業や技術支援部門へもメールを利用して発信している。異常とは，ユーザーからの品質や納入にかかわるクレーム・返品はもちろん，工場内で生じた品質不適合や設備故障，輸送にかかわる事故など，大小にかかわらず生コンの製造から納入までのすべての段階で生じた不具合としている。2005年度から取組み始めたが，グループ全体で毎年200件以上の異常報告がある。

図―９に品質，製造，運搬に分類した場合の報告件数の割合を示すが，品質と製造が30～40%，運搬が20%である。図示していないが，首都圏の湾岸に立地する工場は品質と運搬の割合が高く，内陸の工場は製造の割合が高い。湾岸工場は普通強度から高強度まで多品種のコンクリートの出荷があり，また，距離に比べて運搬時間が総じて長く渋滞などによる変動も大きいため，品質変動の想定から外れることが多く，異常を生じ易いと考えられる。

製造にかかわるものはほとんどが設備の故障であ



図―９ 品質，製造，運搬にかかわる異常発生割合

表―１ ガリバー砂の物性

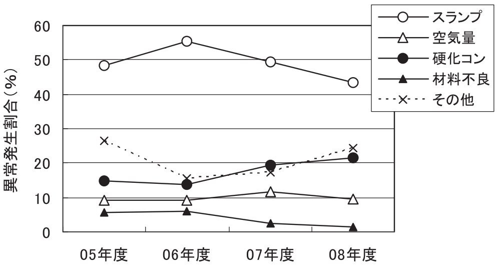
種類	密度（g/cm^3）	吸水率（%）	微粒分量（%）	粗粒率	粒形判定実積率（%）
原砂（砂岩系）	2.64	1.65	3.0	2.94	56.4
ガリバー砂	2.64	1.60	6.6	2.63	56.7

表―２ コンクリートの物性（水セメント比：60%，単位水量：182 kg/m^3，細骨材率：49.5%）

細骨材		スランプ	空気量	ブリーディング量	28日強度	6ヶ月乾燥収縮率
種類	粗粒率	(cm)	(%)	(cm^3/cm^2)	(N/mm^2)	(× 10^{-6})
混合（砂岩：石灰：山砂＝55：20：25）	2.70	20.5	4.3	0.73	35.7	762
ガリバー砂	2.84	21.0	3.8	0.47	37.4	−
混合（砂岩：ガリバー：山砂＝40：50：10）	2.70	20.0	4.3	0.56	35.5	782

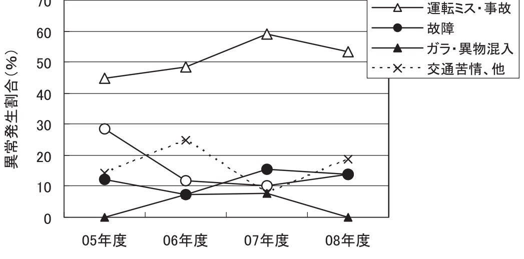
り，立地よりも老朽化の影響が大きい。まれに生コンが切れるといった苦情も受ける。予定どおりの車を準備したが現場の開始時間がずれて出荷が重なる場合に起こることが多い。客先からの電話応対で問題が大きくなる事例もあり，出荷係の技量として重要な要素である。

図― 10 に品質にかかわる異常の内訳を示すが，スランプが 50%，空気量と硬化コンクリートが 20% 程度である。スランプと空気量は出荷開始直後の，サイロ内の細骨材の表面水の変動の影響を受け易い時間帯に多く，工場での検査で異常になる場合がほとんどである。現場の受入れ検査で返品になるのは上述の理由により湾岸の工場が多く，内陸の工場は非常にまれである。ほとんどといってよいと思われるが軟目の希望が多く，出荷時の目標範囲を狭くする必要があり対応が非常に難しい。荷卸し時に規定の範囲内であっても，変動が大きいとか，硬くて打てないとかの苦情も起こる。混和剤を遅延形に変えるような季節の変わり目で気温が上がらない場合などにも起こり易い。硬化コンクリートはひび割れや色，強度は現場の工程管理に使う現場水中や封かんの初期強度が低いなど，生コンの管理では想定しにくい苦情がほとんどである。



図― 10　品質にかかわる異常の内訳

運搬にかかわる異常の内訳を**図― 11** に示す。運転操作ミスが多い。交通事故も時々あるが，狭い現場で仮設物に接触する事例もある。また，アジテータ車のドラムの操作レバーが立ち木等に接触して洗浄水が排出されて汚す事例もある。生コンの輸送中は逆転防止ロックを掛けるが帰りに忘れるといったケースがある。納入にかかわるものは少なくなっており，以前は保護具の未着用もあったが，最近は教育がなされマナーが良くなっていると感じられる。



図― 11　運搬にかかわる異常の内訳

現実としてなかなか異常は無くならないが，現場での返品件数とその量はこの間に 20% 減少した。小さな異常も報告される（隠さず報告する雰囲気ができた）ので，問題が大きくなる前に課題として捉えることができる。情報共有化の効果として，工場内，工場と関係個所の意思疎通が良くなった。製造にかかわる苦労が営業に伝わるようになり，クレームが発生した場合に営業と工場，そして技術支援個所が一体で迅速に対応する。言い換えれば，当然の対応ができるようになりユーザーからの信頼度が向上したのではないかと考えている。

5. おわりに

生コンの品質確保および向上のために，当社技術センターが中心となって取組んできた課題として，単位水量管理，強度管理，耐久性，新規骨材にかかわる検討結果および工場で起こる種々のトラブル削減のための施策を紹介させていただいた。参考になれば幸いである。今後も建設業界の動向を注視し，顧客の要求に応える技術の蓄積，同業他社との差別化を目指した課題に取組んでいく所存である。

JCMA

《参 考 文 献》
1）加来正治，松永篤，コンクリートの単位水量試験方法の評価と生コン工場への適用について，第 14 回生コン技術大会発表論文集，pp.207-212，2007
2）加来正治，伊藤智章，松永篤，脱型までの供試体の保管方法が高強度コンクリートの強度に及ぼす影響，第 15 回生コン技術大会発表論文集，pp.83-88，2009
3）長根良美，伊藤司，国井一司，風間美男，原田修輔，高強度コンクリートの強度管理用供試体の保管条件による強度への影響について，第 13 回生コン技術大会発表論文集，pp.67-72，2005
4）全国生コンクリート工業組合連合会技術委員会，乾燥収縮に関する実態調査結果報告書，2009.11
5）伊藤智章，松永篤，吉田浩一郎，大和功一郎，関東地方の生コン工場で製造したコンクリートの耐久性について，第 14 回生コン技術大会発表論文集，pp.69-74，2007
6）松永篤，小林一三，高炉スラグ細骨材を用いたコンクリートの諸性質，第 12 回生コン技術大会発表論文集，pp.1-4，2003
7）松永篤，生コンの製造コストの抑制が期待できる - 砕砂の最新技術：粒形改善砂の適用性について，コンクリートテクノ，Vol.28，No.9，2009.9

[筆者紹介]
松永　篤（まつなが　あつし）
関東宇部コンクリート工業㈱
常務取締役技術統括部長
兼　宇部興産㈱
生コン技術センター長