

水と骨材

講師：河野 広隆*

1. はじめに

プレストレストコンクリートはコンクリートと鋼材からなっています。一方の主要材料のコンクリートは人工の石と考えることができます。コンクリートは、普通の岩石と違い、いかなる形にも成形でき、幅広いレンジの強度のものを作ることができます。これは、骨材という比較的小さな岩石材料とセメントペーストという接着剤をうまく組み合わせ合わせて作っているためです。

ご存知のように、このコンクリートの構成材料の組合せが「配合」（建築では調合）です。配合は、コンクリートの強度のみならず、耐久性や経済性に大きく影響します。このため、配合は常に注意されるわけですが、コンクリートの構成材料については、現場では意外と注目されることが少なくなっているようです。とくに、今回ご紹介する「水と骨材」についてはあまり関心が払われなくなりつつあるようです。これにはいくつかの理由があると思われまます。一つは、ほとんどのコンクリートがレディーミクストコンクリート（以下、生コン）で供給されるようになって、構成材料を直接目にする機会が少なくなったこと、これまでJIS等の規格で規定されていた高品質のものが安価に十分な量が供給されてきたこと、等が挙げられるでしょう。

しかし、状況は少しずつ変化してきており、これまでと同じように、常に高品質のものを使うということが許されなくなるかもしれません。あるいは逆に高性能のコンクリートが必要になった場合には、これまでのものとは違ったものが必要になるかもしれません。そこで、水と骨材のコンクリート中での役割を再確認し、今後の状況にどう対応していかなければならないかを少し考えてみたいと思います。

2. 水に要求される性質

水は比較的どこでも手に入る材料です。そのせいか、以前はコンクリート材料としての規準が真剣には検討されてこなかったと感じています。JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」附属書9で「練混ぜに用いる水」が規定されたのが平成元年です。

一般の生コン工場では、後でご紹介する回収水を除けば、練混ぜ水に上水道水か地下水を用いています。いずれ

も飲用可能なものです。こうしたものを使っている限りは、とくに問題は生じません。

では、どんな場合に問題が生じるのでしょうか。筆者の知っている例では次のようなものがあります。離島で真水が手に入らない、地下水でも塩分が混じっている、温泉地帯の山間部で河川水が酸性である、河川水に有機物が多く含まれる、等です。

海水でコンクリートを練ることは、昔は少なからず行われていたようです。この場合、コンクリート自体にも、凝結が早まったり、長期強度が伸びないなどの、若干の悪影響が見られますが、何といたっても問題なのは鉄筋の腐食を著しく加速してしまうことです。このため、最近ではよほど特殊な場合以外は、海水を使うことはなくなりました。

酸性水はどうでしょう。古いソ連の規準では、pH4までは使えるという規準を見た記憶があります。現在どうなっているのか定かではありませんが、無機酸ではよほど酸性が強くない限りは、問題は少ないようです。有機物、有機酸等を含むと、セメントの凝結やコンクリート強度に影響を与えるとされています。しかし、よほど劣悪な水でもない限りは影響は少ないようです。

複数の不純物が混ざっていると、その相乗効果で悪影響の度合いがひどくなることがあります。しかし、これも工場排水や下水などの、かなり高度に汚れた水で言えることのようにです。

以上のように、非常に劣悪な水を使うような特殊な場合でもなければ、通常は影響が少ないと考えてよさそうです。

最近問題になっているのは、生コンプラントの回収水です。生コンプラントでは製造設備やアジテータ車の洗浄を毎日欠かせません。その際に、多量の洗浄水と、スラッジが出ます。これらは、捨ててしまうと多大な処理費が必要なうえに、量が多いため環境問題を生じます。このため、回収した骨材、回収水、スラッジ水、スラッジを有効に利用することが必要で、一部の利用方法はすでに規格化されています。JIS A 5308附属書9では、回収水の品質を表-1のように定めており、さらにスラッジ水を使う場合には、スラッジ固形分率が3%を超えない範囲で使えると規定しています。スラッジの処理は生コンプラントにとってはかなりの負担であるため、極力スラッジ水として利用したいと

* Hiroataka KAWANO：建設省 土木研究所 コンクリート研究室長

ころです。このため日本コンクリート工学協会 (JCI) で、数年前に調査をし、4%~5%程度までは固形分率を上げてもよさそうだという提案を出しています。ただし、スラッジ水の場合、スラッジそのものとその含有率の品質の変動が激しいため、あくまで品質の安定というのが提案の条件にはなっています。

表-1 JIS A 5308附属書9に示された回収水の品質

項 目	品 質
塩化物イオン量	200ppm以下
セメントの凝結時間の差	始発は30分以内、終結は60分以内
モルタルの圧縮強さの比	材齢7日および材齢28日で90%以上

3. 骨 材

骨材はコンクリート中で最も大きい体積を占める材料です。その役割は、文字どおり、コンクリートの骨格をなすもので、このため、骨材の品質はコンクリートの強度、耐久性、経済性に大きな影響を与えます。ここでは骨材に求められる品質、その生産状況、今後の問題を概観したいと思います。

3.1 骨材の分類

骨材はもともと岩石です。岩石が、自然にあるいは人工的に砕かれたものが骨材として使われます。日本のコンクリート分野では、5mmより小さいものを細骨材、大きいものを粗骨材と言います。土木と建築の分野では定義が若干異なります。土木分野および JIS A 0203 (コンクリート用語) では、

細骨材：10mmふるいを全部通り、5mmふるいを質量で85%以上通過する骨材をいう

粗骨材：5mmふるいに質量で85%以上留まる骨材をいうとなっています。

余談になりますが、この境になっている5mmは本来便宜的なものです。すっきり定着しています。ところが、今原案ができていた ISO 規格では、4mmが境になったものが主流ということになっているようです。なぜ、こんなことになったかということ、日本や米国、欧州などで使われているふるいの体系が、歴史的な経緯もあって微妙に異なっているためです。日本の JIS は、日本が WTO に参画しているため、相当する ISO 規格がある場合には、JIS を ISO に合わせなければなりません。この細・粗骨材の境の4mmに限らず、ISO の動向次第では、日本の規格規準類は大変な変更を余儀なくされる可能性があります。この話は、今回の主題ではないのでこれ以上の記述はしませんが、今後もぜひ注目していただきたい事項です。

骨材の分け方には、細骨材・粗骨材のほか、いろいろな分類方法があります。以下にいくつかの例を示します。

生産方法：天然骨材、碎石・砕砂、人工骨材、副産骨材、再生骨材

密度：普通骨材、重量骨材、軽量骨材

採取場所：川砂利(砂)、陸砂利(砂)、山砂利(砂)、海砂利(砂)、碎石・砕砂、玉砕

用 途：構造用、非構造用

3.2 良い骨材とは 一骨材に求められる品質一

では、どのような骨材が良い骨材と言えるのでしょうか。少し考えてみます。今はやりの「性能規定」的に言えば、「要求されるコンクリートの性能を経済的に満たす」ような骨材が良いと言えるでしょう。しかし、これではあまりに抽象的なので、少し具体的に考えてみます。

昔から、コンクリートの配合設計の大原則は、施工できる範囲で単位水量のなるべく少ないコンクリートをつ造ることです。これはなぜでしょうか。

先に、コンクリートは骨材をセメントペーストという接着剤で固めたものと述べました。一般に、コンクリートの中で骨材はセメントペーストに比べ、強度的にも強く、弾性率も大きく、物理的・化学的に安定しており、しかも安価です。これに比べ、セメントペーストは逆の性質があります。セメントペーストが増えると、セメントの単位価格が高いため不経済になりますが、それ以上にさまざまな問題が生じてきます。セメントペーストは一般に、セメントが水和するのに必要な量以上の水を含んでいます。これは、フレッシュコンクリートのワーカビリティを確保するのに、ある程度の量の水が必要なためです。この水の分はセメントペーストの硬化後は、セメント硬化体の欠陥部となってしまいます。さらに、セメントペースト自体も硬化の過程で、セメントと水の体積を足した体積より縮んでしまいます。セメントペーストに限らず、ほとんどの接着剤の悩みの種が、この硬化時の収縮です。収縮して小さくなった分は、やはり欠陥となってしまいます。この欠陥が多いと、強度は低下し、透水性・透気性が増し、耐久性低下の原因となります。さらに、乾燥によって余分な水が抜けるときには乾燥収縮が生じ、ひび割れの原因となります。

ご存知のように、コンクリートの水とセメントとの比率、すなわち水セメント比は、コンクリートに要求される強度によってほぼ決まります。このため、セメントペーストの量が増えるということは、すなわち水の量が増えるということです。良いコンクリートをつ造るには、セメントペーストを減らすことが必要で、これがすなわち、「施工できる範囲で単位水量のなるべく少ないコンクリートをつ造る」ということです。実は、このことに骨材の性質が大きく影響します。

セメントペーストの量を減らすためには、単位体積のコンクリート中の骨材の占める割合をなるべく大きくすればよいわけですが、これにはまず、寸法のなるべく大きな骨材を使い、次にその間を次々となるべく球形に近い小粒の骨材で埋めていけばよいわけですが、実際には、施工時に、型枠に詰めたり、鉄筋間を通過させなければなりませんので、それほど大きな骨材は使えません。さらに、理論的に最も充填率の高い粒度分布と、フレッシュコンクリートの締固めという作業で得られる充填率の高い粒度分布には差があります。骨材の形状も球形ではありません。こうしたことから、施工条件に応じた粗骨材最大寸法や、標準的な粒度分布の幅が、経験的に決められているのです。

単位水量に影響するという点で、粒度分布が重要なこと

は分かりました。では、骨材自体の性質はどうでしょう。その前に、現在、骨材に要求されている品質の項目を、表-2に列挙してみました。いつもいつも、この表の全項目が要求されるわけではありませんが、この項目をもとに骨材に要求される品質を見てみます。

表-2 骨材に要求される品質の項目

調整不可能(できにくい)な項目	調整可能な項目
密度, 吸水率, (粒形)	粒度, 実積率
凍結融解安定性, 耐すり減り性	微粒分量
アルカリ骨材反応性, (軟らかい石片の量)	有機不純物量
比重1.95の液体に浮くものの量	塩化物量
	粘土塊量

まず、骨材の強度・弾性率・物理的安定性があります。一般に、岩石の強度は、通常使われるコンクリートの強度より大きいので、骨材の強度が不足することはまれです。強度の低い骨材は、骨材の中に空隙が多く、このため凍結融解耐久性が低かったり、すり減り抵抗性が低かったりします。こうした性質は、もちろん直接、凍結融解試験を行ったり、すり減り試験を行ったりして確認できますが、骨材の密度や吸水率でだまかに推定することができます。

このほかの物理的な問題としては、骨材の形、表面の特性があります。骨材の形状が悪いと、骨材のつまり方が悪くなり(実積率が低下し)、単位水量が増えます。骨材の表面の特性次第では、セメントペーストとの付着が悪く、強度に悪影響を及ぼすこともあります。

次に、化学的安定性も骨材に要求される重要な性質です。一般には岩石は化学的に安定なものが多いのですが、中にはフレッシュコンクリートの性質に影響を及ぼしたり、長期的な安定性に欠けるものもあります。前者の例としては、モンモリロナイト等があります。モンモリロナイトは、よく見られる粘土鉱物ですが、その中に含まれる金属イオンがセメント中の金属イオンと交換し、凝結に影響を与えます。後者の代表例はアルカリ骨材反応です。ここ20年ほどの間、日本でも大きな問題となりました。この現象については詳しくは述べませんが、骨材中のある種の鉱物がコンクリートの高アルカリ下で化学反応を生じ、結果としてコンクリートに著しいひび割れを生じさせます。現在では、JIS A 5308をはじめ、アルカリ骨材反応対策がしっかりととられています。アルカリ骨材反応以外にもコンクリート中で長期的な安定性に欠ける骨材は種々ありますが、わが国ではこれまでそれほど大きな問題にはなっていないようです。

骨材に含まれる不純物も、コンクリートに物理的・化学的な悪影響を及ぼすものがあります。粘土塊や軟らかい石片は単位水量を増やしたり、コンクリートにひび割れを生じさせたりしますし、耐久性も低下させます。有機不純物はセメントの硬化に悪影響を及ぼします。塩分は、セメントの硬化やコンクリートの長期強度に影響を及ぼしますが、何といたっても鉄筋の発錆を著しく促進させることが問題です。

これらのことをまとめると、良い骨材の条件は次のよう

になります。

- ① セメントペースト以上の強度をもち、耐衝撃性やすり減り抵抗性があるなど、堅硬で強固なこと
- ② 乾燥や湿潤、温度変化、凍結等の繰返しに対し、崩壊したり、コンクリートに有害な影響を与えたりせず、物理的に安定なこと
- ③ 水、セメント等と反応したり、可溶性物質の溶出をしたりせず、化学的に安定なこと
- ④ 清浄で、有害物(有機不純物、塩分、粘土塊、75 μ より小さいもの等)を有害量含んでいないこと
- ⑤ 粒形が立方または球に近く、極端に扁平であったり、細長かったりしないこと
- ⑥ 粒度分布が適当であり、実積率が高いこと
- ⑦ セメントペーストとの付着力の大きな表面組成をもつこと
- ⑧ 所要の重量をもつこと
- ⑨ 骨材の物理的性質などの品質のばらつきが少なく、骨材の品質管理がしやすいこと

3.3 骨材の生産について

骨材はその生産量も多く、コンクリート用のみならず、道路用や鉄道用としても多用されています。鉄鋼・セメント・木材等と並んで、いわばわが国の産業経済の基礎物資です。

ここ最近の年間の総需要量は、約8億t～9億tであり、セメントの約8千万t、鉄鋼の約8千万tと比較しても、骨材がいかに重要な資材であるかが分かります。その需要量の推移を見ると、図-1に示すように昭和48年のオイルショックまでは毎年急激な増加が見られ、その後は多少上下しながら漸増の傾向にあります。

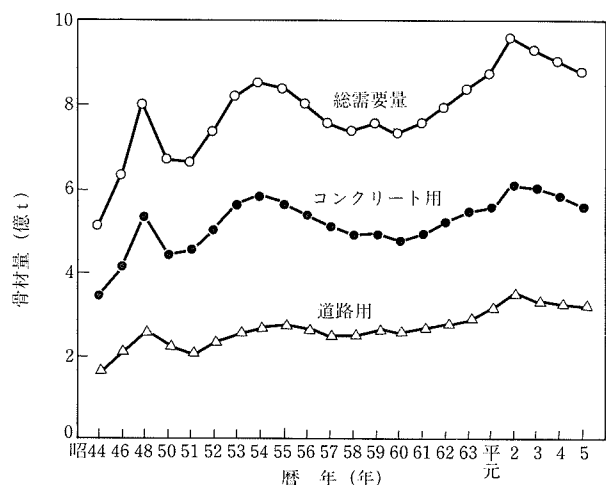


図-1 骨材需要量の推移(通商産業省生活産業局窯業建材課資料より作成)

骨材はもともと地域性の高い資源です。骨材価格に占める輸送費の割合が高いため、その地域に産出する資源を利用するのが原則でした。平成2年の日本建築学会の調査^{1), 2)}では、生コンプラントで受け入れている骨材は、細骨材は約7割、粗骨材は約8割が自県から供給されていました。ただし、関東地区では細・粗骨材とも、近畿地区では細骨材

がいずれも半分以上が他県から搬入されていました。とくに関東では北日本や西日本からの碎石の搬入が多く見られました。骨材の輸送距離は全国平均で細骨材が41km、粗骨材が46kmでしたが、自県から供給率の低い関東では、それぞれ75km、140kmとなっており、自県からの供給率が高い四国の16km、18kmと比較しても著しく長いものとなっています。この距離はさらに長くなっていくものと思われます。

コンクリート用骨材としては、骨材の物性や粒度分布などから、川砂・川砂利が最も適していると言われてきました。また採取も比較的容易なため、かつては骨材の大部分は河川に産する砂利や砂でした。地域によっては河川の河道計画や環境問題から、早くから河川での砂利採取が困難になって、全体としても河川砂利への依存度は年々低下し、その分が海や陸地部からの骨材あるいは碎石へと移行してきています。図-2に示すようにここ20年を見ると海砂利、山・陸砂利の採取量はほぼ横ばいで、碎石の生産量が著しく増加しています。

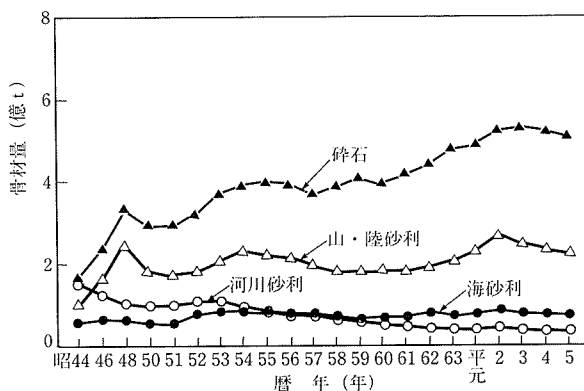


図-2 骨材供給量の推移(通商産業省生活産業局窯業建材課資料より作成)

こうした状況は土木学会のコンクリート標準示方書にも反映され、平成3年版からは、それまで長年にわたって標準として示されていた砂利を用いたコンクリート配合の概略値が、碎石を用いたものに変更されています。

地域的に見ると、中部地区ではいまだに河川産骨材の割合が比較的高いです。粗骨材については東日本では河川、山・陸からのいわゆる天然骨材が比較的多いものに対して、西日本では碎石が多く使われています。細骨材については東日本では山・陸からの砂が多いものに対して、西日本では海砂の割合が高くなっています。

天然骨材では長時間かけて自然に堆積した資源を短期間に多量に利用してきたため、自然に供給される資源量をはるかに上回るペースで採掘されてきました。一部でダムの堆砂を利用することが検討されるなど、新しい資源の開発も検討はされていますが、基本的には天然骨材への依存度は低下していき、碎石・砕砂への依存度が増していくものと考えられます。さらには、一部利用の始まっている輸入骨材等の利用も状況によっては拡大していくものと考えられます。

天然骨材と碎石を除く、その他の骨材としては人工軽量骨材とスラグ等がありますが、これらの量は全体として数%以下となっています。今後も、地域によっては、あるいは用途によっては使用されていくでしょうが、骨材の主体とはなり得ないでしょう。

3.4 将来の骨材に関する問題

今後の骨材の生産量については、わが国の経済活動や、公共事業の位置付けの問題等で予想するのは難しいです。コンクリート自体の生産量は大きく増えるとは予想しにくいし、急激に低下することもないと思います。骨材生産を取り巻く状況は、環境問題等を考えると、厳しくなることはあっても、楽になることは考えにくいでしょう。こうした状況でも、良質なコンクリートを生産していかねばなりません。

骨材技術の今後を考える場合に、次の3点は重要な問題であると思います。

- ① 骨材品質の低下、多様化
- ② 高強度化、高流動化等に伴う要求品質の多様化
- ③ 再利用、副産物の利用

これらに対応していくためのキーワードは「適材適所」です。そして、その追い風になるのが「性能規定化」であると思います。

一つの例を挙げます。現在、解体されるコンクリート構造物は増加の一途を辿っています。それに伴ってコンクリート副産物の量も増えていて、毎年3000万t以上の解体コンクリート材が出ています。建設省では、将来的にはこれらすべてを有効利用することを目標にしていますが、現在はコンクリート副産物の約3分の2が再利用されています。再利用の用途は、ほとんどが道路舗装の路盤材です。

コンクリート副産物からコンクリート用の再生骨材を造り、再生骨材を用いたコンクリートを使っていくのが、本当のリサイクルであるという意見もあります。しかし、筆者は再生材が路盤材に使われているのは、適材適所で良いことであると考えています。これには理由があります。

まず、図-1に示すように、道路用に用いられている岩石資源は膨大な量です。そして、路盤に用いられている岩石も、コンクリート用骨材に用いられている岩石も、同じものが使われています(厳密に言うとちょっと違いますが)。コンクリート用骨材に要求される品質と、路盤材に要求される品質を比べると、強度や耐久性等の面で、前者が高いです。両者に同じ材料を用いていることは、資源の有効利用という点から見ると、ちょっともったいない話です。

次に、コンクリート副産物からコンクリート用再生骨材を生産することを考えてみます。今現在の技術では、一般の骨材と同等に使えるコンクリート用再生骨材を生産しようとすると、かなりのエネルギーを要します。エネルギーを抑え、安く再生骨材を生産すると、残念ながら耐久性の劣るコンクリートができてしまいます。

こうしたことを考慮すると、現在路盤材に使用されている良質の岩石資源をコンクリートに回し、再生材を路盤材に用いるのが、適材適所で合理的です。もちろん、路盤材用の骨材をそのままコンクリートに用いることはできませ

るので、若干の調整は必要ですが、それは大したことはないでしょう。

さらに、今後骨材品質が多様化していくと、この適材適所の考え方を拡げていかざるを得ないと思います。コンクリートそのものを見ても、捨てコンに使われているようなコンクリートと、比較的高強度のPCに使われているコンクリートが、同じJISに規定され、同じ規格のセメントや骨材を用い、同じレベルの品質管理・検査を要求されていることが不自然です。以前、生コンのJIS A 5308の改訂の際に、捨てコン用のコンクリートを規定して、それにはもっと簡易な検査を適用してもよいのではないかという意見もありました。しかし、実現しませんでした。逆に、高強度コンクリートや高流動コンクリート、RCCP(ローラ転圧コンクリート舗装)用のコンクリートなどを使おうとすると、現状の生コンではなかなか対応できないという指摘もあります。将来的には、骨材問題に取り組むときには、現状の生コンの供給体制と規格を見直す必要があるように思えます。現状のJIS A 5308は、不特定の購入者が、不特定の構造物に生コンを使用することを前提としています。そのため、どこに使われても問題がないように、構成材料には一律に高い品質が規定されています。これはこれで素晴らしいことであり、誰でも安心して生コンを購入し、使えるシステムです。しかし、JIS A 5308に適応した体制は、それ以外のコンクリートが使いやすい体制ではないことも事実です。筆者は全国5 000の生コンプラントのうち、10%が変わってくれば、コンクリートは大きく変わり得ると考えています。この10%のうちには高強度コンクリートや高流

動コンクリートを売り物にする技術力の高いところや、リサイクルの一環として再生骨材を用いたどちらかという低品質のコンクリートを扱うところなど、多様なものがあると思います。従来のコンクリートを同時に扱っても一向に構わないでしょう。もちろん、現在のJIS A 5308一本の規格では、なかなか買ってもらえないでしょうから、規準の方も変わる必要があります。そうすると、再生骨材も使い勝手がよくなるでしょうし、多様化する骨材品質にも対応したコンクリート供給が可能となり、骨材資源の有効かつ効率的な活用につながると思います。

4. おわりに

今回の講座は、水と骨材について一般的な要求品質について紹介するとともに、現在あるいは近い将来に問題となるようなことについても若干触れてみました。もちろん、限られたページ数ですので、詳しい記述はできません。この記事がきっかけで、読者の方に興味をもっていただければ幸いです。骨材の動向に関しては、最近関心も高まりつつあり、関連雑誌等の特集企画³⁾も組まれたりしております。ぜひ、そちらもご覧いただければと思います。

参 考 文 献

- 1) 日本建築学会：コンクリート用骨材に関する実態調査報告書，1990.12
- 2) 日本建築学会：コンクリート用骨材をめぐる諸問題，1992年度建築学会大会材料施工部門研究協議会資料，1992.8
- 3) 例えば，特集「骨材問題を考える」，コンクリート工学，Vol.34，No.7，1996.7
特集「これからの骨材はどうなるのか」，セメント・コンクリート，No.618，1998.8

【1998年12月8日受付】