

## 「コンクリート資源の循環利用」

岸 利治 (東京大学生産技術研究所 助教授)

コンクリート工学を専門にしております岸と申します。「コンクリート資源の循環利用」というタイトルで話をさせていただきます。

私はこれまで、コンクリートがどのように固まっていき、硬化変遷していくかという状況をシミュレーションする技術の開発に携わってまいりまして、必ずしもコンクリート資源の循環利用というテーマで今日話をさせていただけるような自前の蓄積というものを持ち合わせておりません。しかし、生研に1年半前に移ってまいりましてから、これから10年ぐらいの未来志向のテーマとして、「コンクリート機能・循環工学」という造語を掲げまして、このようなことにも取り組みたいと考えております。

今回こういうテーマを設定させていただきましたが、自前の蓄積がないものですから、関連分野の先行研究等を参考にさせていただき、本日の話の内容を構成しております。したがって、会場には私以上にこのテーマに詳しい方がいらっしゃると思いますし、また、今日話をさせていただく内容が、必ずしも皆さんの必要とされている情報ではないのではという心配もございしますが、その点ご容赦いただきたいと思います。

(スライド1)

私が今日話をさせていただく内容は、コンクリートという極めて狭い範囲の話ですが、まずコンクリートというのが全産業廃棄物の中でどのぐらいの量を占めているのかをみてみたいと思います。

平成7年度の統計ですが、建設業から出る廃棄物が全体の約2割であり、そのうちコンクリート塊とアスファルト・コンクリート塊が7割強を占めています。したがって、全産業の廃棄物に対してコンクリート塊、あるいはアスファルト・コンクリート塊が占める割合は18%となっており、かなりのインパクトがあることが分かります。

(スライド2)

我が国の道路橋建設数の経年分布を見てみますと、現在のところ50年以上供用されたという構造物はあまり多くはありませんが、高度経済成長期にかなりの数の構造物が集

中の整備された関係で、10年後、20年後になりますと、その数が急激に増加していく状況にあることがわかります。

(スライド3)

橋梁の年齢構成を米国と比較してみますと、このような傾向はわが国の場合、特に顕著であることがわかります。米国の場合は、長い期間をかけて構造物を徐々に蓄積してきたので構造物の年齢構成は比較的なだらかな分布となっていますが、日本の場合は、高度経済成長期に多くの構造物を集中的に整備したので、年齢構成に顕著な山があることがわかります。そして、これらの高度経済成長期に建設された構造物が、今から10年先、20年先に50年という供用年数を一斉に迎え始めるわけです。したがって、かつて米国でもコンクリート構造物の劣化が大きな社会不安を招いたわけですが、日本がそういう状況を迎える深刻さは桁違いに大きいといえます。このような状況は、メンテナンスの重要性とともにコンクリートの資源循環を考える上でも重要だろうと思われます。

(スライド4)

今後10年から20年後にどのぐらいの解体コンクリートが出てくるかという試算ですが、今現在の排出量の数倍から5ないし6倍ぐらいになるだろうといわれています。10年ぐらい前までは、そのほとんどを処分場に最終処分するという形で処理してきたわけですが、昨今では特に大都市圏において処分場の枯渇問題が深刻化し、解体コンクリートをリサイクルしていこうという動きが活発になってきています。また、処分場の残容量がかなり逼迫していることから、処分価格もかなり急騰しています。

(スライド5)

これまでにも旧建設省の取り組みによって、建設廃棄物のリサイクルが積極的に進められてきました。その結果、調査を開始した平成2年度においてコンクリート塊の再資源化等率が約50%であったものが、平成12年度には95%を超えるまでになっています。したがって、解体コンクリートを最終処分場に送らないという第一の目的からします

と、ほぼ目標を達成することができているという状況にあります。

(スライド6)

平成7年度には約1300万トンあった最終処分量が、平成12年度には10分の1程度にまで圧縮されています。しかしながらその利用形態をみると、残念ながらコンクリート塊をもう一度コンクリートに戻すというのではなく、ほとんどのものが、路盤材、あるいは埋め戻し材などのコンクリート以外の用途に回されているというのが現状です。

マテリアル・フローという観点でみると、天然骨材から構造物を経て路盤材に一方通行で流れていくということですから、資源の循環という意味ではサイクルが閉じていないということになります。

それから、10年後、20年後にはコンクリート塊の排出量は急激に増えてくるという状況ですから、ほぼ確実な予測として、近い将来、今の利用形態で処理できる量をコンクリート塊の排出量が上回るだろうといわれています。

(スライド7)

このように高度経済成長期にコンクリートの生産量は急激に伸びており、今後、コンクリート構造物は40年、50年の供用期間を経て更新の時期を迎えます。今現在は、解体コンクリートの発生量と路盤材として使用される量とがほぼ拮抗している状態ですが、今後の発生量の増加は著しいと予想され、時間がたつに従ってその乖離は著しくなるという状況です。したがって、今現在の利用形態ではコンクリートのリサイクルはいずれ破綻すると言っても過言ではありません。

(スライド8)

このような状況に対して国土交通省では、さらなる取り組みとして建設関係のリサイクル法を整備し、まずは廃棄物の発生抑制を行うことを対策の第一としています。そして、建設資材としての再利用、マテリアル・リサイクルとしての再利用、さらには熱回収も推奨し、最後の手段として最終処分を行うというシナリオを描いています。

まず始めに行うべき廃棄物の発生抑制ですが、そのためには、今ある既設構造物をより長く使用することが大切です。我々は高度経済成長期にたくさん整備した構造物をストックとして保有しているわけですが、そういうものをできるだけ合理的なメンテナンスによって長持ちさせるということです。

また、我々は今現在も新しい構造物をたくさん造りつけているわけですが、そういう新設構造物をより高耐久化させることにも、我々はもっと努力を傾注すべきと考えます。

そして、本日のメインのテーマですが、どんどん下流へと流れていくマテリアル・フローをもう一度コンクリート

に戻す、マテリアルを循環させるという意味での資源の再利用を今後強力に推し進めていく必要があるということです。

なお、建設リサイクル法では、今から8年後の平成22年度における再資源化等率の目標値を95%に設定しています。

(スライド9)

平成12年度における再資源化等率は95%を超えていますから、8年後における目標値を今現在、既にクリアしているということになります。しかし、先ほど申し上げたような状況ですので、今の状況は一時的なものにとらえるべきであって、何とかしのいでいるこの間に今後多量な解体コンクリートが排出されるときに必要な技術の開発を進めておくことが必要です。そのような技術の開発こそがこの目標値を維持するために不可欠といえます。

先ほど申し上げたように、全産業廃棄物に占めるコンクリートおよびアスファルト塊の割合は約2割に上るものですから、持続可能な社会の形成にとってコンクリートに携わる技術者が果たす役割は極めて重要です。工学として、コンクリート工学が社会の請託に十分に答えるためにはさらなる努力が必要だろうと考えています。

特に先ほど、新設構造物の長寿命化、既設構造物のメンテナンス、それから解体コンクリートの再利用という3点を挙げましたが、これらのことはすなわちコンクリートそのものをサステイナブル化することです。そのような位置付けで解体コンクリートのリサイクルというものもとらえていきたいと思います。

(スライド10)

コンクリートのリサイクルに話を戻します。これから増えつつある解体コンクリートに対して、その循環システムを安定化させ、環境保全への貢献を一層高めるためには、コンクリートを再びコンクリートに戻すことが必要です。これまでに行われてきた路盤材などへの利用という形態も、下流側・排出側へのインパクトを抑制するという形で効果を上げてきたわけですが、コンクリートを再びコンクリートに戻すという形態にすることができれば、さらに上流側・供給側においても環境負荷を減らせることとなります。コンクリートは、かなりの天然骨材を使っていますので、供給側でも環境に対して大きなインパクトを与えてきたわけですから。

骨材事情が悪い西日本では、これまでコンクリート用骨材の一部として瀬戸内海から採取した海砂を使用してきましたが、種々の環境問題からそれが禁止され、今現在は中国から砂を輸入するという状況にあります。一部とはいえ、いままでは自国の環境から得ていたものを現在は隣国のそれに依存しているということになります。したがって解体コンクリートをコンクリート用骨材として再利用し、天然

骨材の消費を減らすことができれば、上流側での環境に対するインパクトを減らすことになり、環境保全へのさらなる貢献という意味でも極めて重要といえます。

(スライド11)

解体コンクリートから製造した再生骨材、およびそれを使用して作った再生コンクリートの研究には既に数十年の蓄積があります。そこで、その間に分かってきたことについて簡単に整理させていただきます。

コンクリートの品質にとっては天然骨材の使用が一番良いわけですが、コンクリートを小割した再生骨材を使用すると、同じ施工性能、流動性能を確保するための単位水量が多くなります。単位水量が多くなるということは、硬化した後のコンクリート中の空隙が多くなるということです。外部からの劣化因子の侵入が容易となって耐久性が劣ることになります。

それから強度、弾性係数も小さくなりますし、乾燥を受けた場合の収縮量は大きくなります。したがって耐久性という意味でも、あるいは構造性能という意味でも不利な点を抱えた材料になるといえます。

再生骨材の品質は内部にどのぐらいの空隙を持っているかという吸水率によっておおよそ代表させることができます。したがって解体コンクリートの原料となる原コンクリートがいいもので緻密であれば、それから製造した再生骨材もいいものになるし、原コンクリートが悪ければ品質のいいものにはなりにくいということになります。

そして、我々がこれから対象としなければならないコンクリートの多くは、まさに高度経済成長期に整備されたものですから、必ずしもいいものとは限らないのです。

なお、高度な破碎処理をして、元々の天然骨材の周りに付着したセメントペースト分をできるだけ排除し、中の天然骨材だけを取り出すことができれば、それは本当に良質な骨材といえます。しかし、元々の粗骨材は、体積にしてコンクリートの25～30%程度しかありませんので、そういう高度処理を行うと、天然骨材以外の70%近くの部分がセメントペーストと砂からなる微粒分として残ります。そして、この微粒分は内部に空隙をたくさん含んでいるために、通常はコンクリート用材料には適しません。したがって、高度処理をすればするほど粗骨材そのものの品質は向上しますが、出てきた微粒分の処理には頭が痛いということになります。

(スライド12)

再生骨材は、原コンクリート粉碎の過程で導入される微細ひび割れを内包し、また、空隙を含むセメント硬化体も骨材の一部となるので、天然骨材に比べて品質が劣ります。品質の差は、もともとの品質があまりよくない原コンクリートを使用した場合は特に顕著です。したがって、原コンクリートを単に粗割りしただけの低処理品が、天然骨材と

同等に使えないのは当たり前のことといえます。そして、天然骨材が非常に安価に手に入ることから、天然骨材と同等な性能が出ない再生骨材は普及しないというのが今のコンクリートリサイクルが抱えている悩みです。

路盤材等にまわっている再生骨材は、単に破碎をして粒度調整をしただけのものです。現在でも、構造部材以外であれば、このような低品質再生骨材をできるだけコンクリートに使うことが推奨されています。しかし、その考えをさらに一歩進めて、性能規定の枠組みの中で、要求性能さえ満足すれば適材適所に積極的に使うという枠組みが整えられ、できる限りそういう形で解体コンクリートの再利用を進めることができれば、それが一番望ましい姿だろうと思われます。

ただし、このような使用形態では受容できる量に限りがありますので、再生コンクリートの品質改善に向けた幾つかの技術的なトライアルがなされています。

一つは、原コンクリートを粗割りしたコンクリートがらに対して、さらにすりもみ等の二次処理を行い、骨材周りに付着している脆弱部分を徹底的に削ぎ落とすことによって、本当に天然骨材に近いものだけを取り出して高品質な粗骨材を製造するというものです。

先ほど、そういうやり方では7割が微粒分として残ってしまうと申し上げましたが、微粒分に対してさらにすりもみ等の高度処理を行って、天然の細骨材(砂)までも回収し、残った3割はセメント硬化体の粉だけという処理を目指そうという取組みもあります。

もう一つは、比較的低処理の骨材あるいは空隙を含む微粒分を使用した再生コンクリートの品質を何とか向上させて、通常のコンクリートとの性能の格差を縮小させる技術の開発を目指すトライアルです。

それでは、これまでに各方面で開発されてきたいくつかの技術について紹介したいと思います。

(スライド13)

まず一つは、加熱すりもみ法といわれるものです。コンクリートはカルシウムとシリカおよび水の結合体ですので、300°Cぐらいまで熱しますと、水が飛ぶことによって大分破碎しやすくなります。そして、弱くなったところですりもみを行うことによって、骨材のみを効率的に取り出すという技術が開発されました。

これを行いますと、まず最初に粗骨材が効率的に回収されます。ほとんど天然骨材といって差し支えない品質のものを取り出すことができます。

さらにエネルギーを投入することになりますが、粗骨材を取り出した後の微粒分に対してすりもみを行うことによって細骨材(砂)までもほぼ完全な形で回収することができます。そして最終的に残った微粉末は、セメント製造に用いれば二酸化炭素を排出しない非常に良質な原料となり

ますし、内部にたくさんの空隙を有していますので、地盤改良材としても優れたものということです。

多くのエネルギーを投入することになるわけですが、原料を最初の形にまで徹底的に分解をするということで、ある意味、究極のリサイクルの形といえるかもしれません。ただし、ランニングコストに加えて、許容できる設備投資と原コンクリートの輸送コストの折り合いをどうつけるかが課題と思われまます。

(スライド 14)

それから、先ほどの品質には及びませんが、熱を加えることなく、偏心ローターやロッドミルを使ってすりもみを行なうことによって、ほとんど遜色のない高品質の粗骨材を取り出すという技術も開発されています。

同じように設備投資とランニングコストの問題はありますが、エネルギー消費としてはかなり低いレベルに抑えられていますし、また、製造される再生骨材の品質もかなりいいものになるということです。

(スライド 15)

これらの技術では、設備投資とランニングコストについての検討は必要ですが、少なくとも大規模な解体コンクリートの集積地では十分に事業として成り立つと考えられます。

例えば、原子力発電施設の解体では1ヵ所で数十万トンにのぼるコンクリートが解体されますので、定常的に解体コンクリートが出てくれば事業として十分に成り立つ可能性があります。また、このような超一級の構造物では、一般に使われているコンクリートの品質・素性が良く、そこから製造される再生骨材も高品質なものとなることが期待されます。その一方で、日本全国のあらゆるところで解体コンクリートが出てきますので、そういうものに対してどういう手を打つかということも課題であろうと思えます。

一般の解体コンクリート処理工場から出てくる路盤材用の再生骨材は泥が混じったような状態になっていて、先ほどの高度処理品に比べて極めて品質が悪いといえます。実際には、このようなものが一般に出まわっているものですので、この程度の処理状態のものをいかに使用できるようにするかということも、もう一つの技術的課題といえます。

(スライド 16)

先ほど、高品質な粗骨材を取り出したあとに、約7割近くの微粒分が残るということを申し上げましたが、その処理については幾つかの方法が考えられ、最初に紹介したようにさらに高度処理を行って砂だけを取り出すことや、微粒分をセメント原料として使うこと、あるいは地盤改良材・道路資材として利用すること等が考えられます。

それぞれの方法に長所と短所がありますが、今後の解体

コンクリートの大量処理に、いずれも単独で対処するのは難しいのではないかと思います。一方、このような微粒分をコンクリート原料としてコンクリートに戻すために、その改質技術を開発するというアプローチも、もう一つの選択肢として考えられます。

(スライド 17)

再生骨材の中には非常に多くの微細ひび割れ、あるいは空隙が含まれていますが、そういうところに予め動きにくいシリカを液状にして含浸させておき、あとからセメントの水和反応によって供給される水酸カルシウムと反応を起こさせて、内在している微細空隙やひび割れを自己治癒させるという技術が提案されています。コロイダルシリカは非常に高価です。コストを考えますと、あるいは大量のものを処理するというを考えますと、実現するための課題も多いですが、再生骨材の改質をめざすというコンセプトとアプローチは示唆に富むものといえます。

(スライド 18)

コンクリート中では、骨材の下面に水が溜まるブリーディングという現象が生じ、それによって骨材との界面で付着が弱い脆弱層が形成され、強度が出ないということがあります。

このデメリットを解消するために、製造のプロセスの中でコンクリートを密閉容器内で一度減圧させた後、瞬時に復圧させることによって、こういう脆弱部を密着させる技術も開発されています。再生骨材とセメントペーストとの界面を強化することで普通骨材と遜色のない強度にもっていくことができる技術ですが、これもやはり低品質再生骨材の改質によって要求を満たせる可能性があることを示唆しています。

(スライド 19)

ただし、この技術も処理量を考えると課題が多く、例えば二次製品工場で使うということであればある程度の実現性はありますが、大量の再生コンクリートを処理するという意味では、さらなる技術開発が必要だろうと思われまます。

少しだけ私どもの検討を紹介させていただきますが、例えば低水セメント比のコンクリートの中で再生骨材を使ってはどうかということについて研究を進めています。

リサイクルは本来、あまりコストをかけずに行うべきものですから、低水セメント比配合という、ある意味高級仕様のもものと組み合わせるリサイクルをする意味があるのかというそもそもの命題があります。しかし、今後再生コンクリート自体を構造用コンクリートとして使うことを考えれば、再生コンクリート自体も耐久的である必要があります。そして再生コンクリート自体を耐久的にしようとするれば、そのペーストマトリックスは十分に緻密である必要があります。そこに低水セメント比配合との組み合わせの潜在的

な必要性があるだろうと思っています。

このような組み合わせの実現可能性についてはまだ判然としませんが、とりあえず、処理に窮する微粒分を低水セメント比配合中で使用するとどういふ影響が表れるかを確かめてみようというのが現在の状況です。

(スライド 20)

これまでのコンクリートは水セメント比 60% 前後で造られていることが多いので、水セメント比 50% の配合でも相対的には低い水セメント比といえますが、それでもセメントがほぼ完全に反応した段階でまだ水のほうが余剰にあるという状況です。この状況で再生砂を混ぜると、普通砂を使ったものに比べて収縮ひずみが多くなります。材齢 7 日の段階で乾燥を始めたものと 1 ヶ月経ってから乾燥を始めたものを比較すると、養生期間を長くしても収縮量に変化はないというのが水セメント比 50% で再生砂を使ったモルタルの収縮挙動です。

(スライド 21)

これに対して、低水セメント比配合で再生砂を使ったらどうなるかということですが、ここでは水セメント比を 25% に設定しましたが、ただ単に低水セメント比配合とただけでは、再生コンクリートの収縮量を低減させることはできないということがわかりました。

そこで、とりあえずどういふことが起こるのかその機構を見極めるために、非現実的ではありますが、型枠を外さない封緘養生期間を 28 日間に延長したらどうなるか、あるいは初期に高温促進水中養生を行なったらどうなるかという二つの極端な条件下での挙動について実験を行いました。

(スライド 22) (スライド 23)

先ほど水セメント比 50% では養生期間を長くとっても最終的な収縮量にはほとんど変化がないと言いましたが、低水セメント比の場合には、養生期間を長くすると、普通モルタルとの元々の収縮量の差 700 マイクロを 300 マイクロ程度にまで低減させることができます。材令 1 週間で乾燥を開始した段階では、まだセメントペーストマトリックスの組織自体が緻密でなかったために、かなり水分が蒸発したのですが、1 ヶ月程度まで封緘養生を行いますと、その間に硬化体の組織がかなり緻密になって、一般的な環境であれば、なかなか水を開放しない程度にまで空隙構造が緻密化します。その結果、収縮量が抑制され、乾燥を開始した以降であっても強度の増進も期待できます。

(スライド 24)

次に養生温度を初期の 1 週間に 85°C と極端に上げた場合ですが、その後温度を 20°C に戻して乾燥させても収縮はほとんど生じませんでした。こちら、乾燥開始以前に組織が緻密になったために、暴露された相対湿度下では水分をほとんど放出せず、なおかつ組織の剛性が高まったの

で、収縮力に対する抵抗性が高くなったと考えられます。

このような養生を行うと、普通砂を使ったモルタルの収縮量を再生砂を使った場合のものが下回る、すなわち逆転するところまでもっていくこともできます。なぜかという、再生砂の中には空隙が多いので、もともと水をたくさん含んでいます。一方、周りの低水セメント比のペースト部分は逆にセメントの未反応部分を残していますので、再生砂が周りのペースト部分に水を供給し、追加の水和反応が生じて組織を一層緻密化すると考えられます。

(スライド 25)

強度の増進で見えますと、初期高温履歴を加えたものはセメントの水和反応自体が促進されますので短期強度が伸びるのは当然ですが、その後、温度を常温に戻して暴露しても水を開放することなく長期にわたって強度増進が期待できるということがわかりました。

(スライド 26)

今後の課題ですが、低水セメント比配合であれば弱点層を改質できる可能性はあるのですが、長期にわたる封緘養生や高温水中養生を一般の構造物に対して行うのは非現実的です。そこで、このような過大なエネルギーを投じることなくより即効性のある形で改質効果を発現させる技術の開発が目標です。現在のところまだ報告できるような成果は上がっていないのですが、今回使用した吸水率 8% を超えるような再生細骨材を使用しても、あまりに非現実的な手段を講じることなく、初期 1 週間程度で 65 N/mm<sup>2</sup> ぐらいの強度を得る目処がつきつつあります。このような低水セメント比配合で天然骨材を使うと、100 N/mm<sup>2</sup> を超えるところまで強度が出ますので、それに対して 65 N/mm<sup>2</sup> という値が微粒分のリサイクルを考える上でリーズナブルなのかという命題は残っておりますが、一つの選択肢として十分検討に値するものと考えています。

(スライド 26)

今回のメインのテーマはコンクリートの持続的なりサイクルですが、コンクリート全体について考えてみますと、それはコンクリートそのもののサステナブル化ということだろうと考えています。すなわち、新設構造物の耐久性を十分高めること、膨大なストックとしての既設構造物の延命化をはかり、なおかつメンテナンスの負担をできるだけ減らすこと、そして最後に、資源循環を効率的に行って環境に対する負荷を減らすことの 3 つの柱によって達成される課題だろうと思います。

(スライド 27)

このような観点から、本日の趣旨とは若干離れますが、既設構造物のメンテナンスと新設構造物の高耐久化という関連する二つのテーマについても若干紹介させていただきたいと思います。

これは沿岸部に建設されたプレストレストコンクリート

橋桁の例ですが、コンクリートとしての性能がさほど悪くなくても、供用数十年という短い期間に内部の鋼材が著しく腐食する場合があります。

(スライド28)

コンクリート構造物というものは、造ってから数年以内に変状が現れるということはあまり無く、とりあえず施主への引渡しを済めば瑕疵期間中に瑕疵が発覚するということはほとんどありません。しかし、コンクリート構造物に本当に求められる性能というのは、数年の間だけ持てばいいというものではなく、50年以上もの長い供用期間中全般にわたる健全性ですので、コンクリート構造物の耐久性はもっと精緻に吟味されなければなりません。

供用開始20年の時点で、はり部材に対して下半分を断面修復工法によって新しいコンクリートに置き換えて延命を図ったものの、その後わずか15年で橋自体を架け替えることになった事例もあります。構造物を使い続けるためには、不具合が生じたら否応なく手をかけざるをえません。しかし、対策の効果が必ずしも保証されていないのが現在のメンテナンスの一つの課題だろうと思います。

(スライド29)

内部鋼材の腐食を促進する外部からの塩分の侵入を遮断するために、コンクリート部材の表面を被覆することもよく行われる補修方法ですが、この場合も表面塗装だけではその後の鉄筋の腐食膨張を止めることができず、補修をしたにもかかわらず供用終了に追い込まれるという事例が間々あります。

(スライド30)

メンテナンスを変状の発生に応じてパッチワーク的にといいますか対症的にやっていると、否応なくコストがかさんでいきます。しかも最終的に橋の架け替えということになれば、ライフサイクルコストは初期建設コストの3倍以上になることもあります。

現状では会計検査の関係もあり、構造物の初期品質を高めるような新材料や新技術を使うことに対して簡単には理解が得られにくい状況ですが、ライフサイクルコストの概念を導入すると共に、それを定量的に評価することによって、技術の進歩を確実にライフサイクルコストの縮減につなげていくことが、コンクリートのサステイナブル化に必要なだろうと思います。

(スライド31)

実はコンクリート構造物の耐久性を確保するという意味では、既に工学的な解は自明です。水セメント比を低くしてより緻密な空隙構造にするとか、あるいは鉄筋までのかぶりを十分に確保するとか、施工をしっかり行うというように、工学的な解は既知なのですが経済性が重視されるあまり、このような選択肢が必ずしも十分にとられないというのが大きな課題と認識しています。

(スライド32)

風雨に曝される部分に多くのひび割れが入ってしまったコンクリート構造物が今後何年メンテナンスフリーでもつかというのは非常に興味深く、また悩ましいことです。そこで、このような収縮ひび割れが入りやすいというコンクリートの本質的な弱点を抜本的に解決するために、古い歴史を有している材料ですが、膨張コンクリートを今一度見直してその真価を発揮させることはできないか、それによってコンクリート構造物の信頼性を回復させることはできないかということを考えています。

はりの曲げ試験において、その下面に複数のひずみゲージをラップさせて配置し、局所的なひずみを隙間なく測ってみました。

(スライド33)

普通コンクリートの場合には、はりにひび割れが発生すると、ひび割れが入った箇所のひずみゲージの値がぼんと飛びます。すなわち、ひび割れ発生荷重のまま荷重が増加することなくひび割れがある程度開口したことがわかります。

それに対して十分に膨張を拘束しておいた膨張コンクリートでは、ひび割れが発生して以降、ひび割れが入った箇所とそれ以外の箇所のひずみの挙動は分岐するのですが、ひび割れが入った箇所のひずみが増加するには、さらなる荷重の増加を要します。すなわち、ひび割れの進展が非常に緩慢ということがわかります。破壊エネルギーが大きいとか、局所化に対する抵抗性が非常に大きいというふうに解釈できるわけですが、膨張コンクリートはそういう優れた特徴を有しています。

(スライド34)

なぜこういうことが起きるのかといいますと、膨張コンクリートでは、基本的には膨張材が周りのセメントペースト組織を痛めつけつつ全体を膨張させようとし、ところがそれを鉄筋が拘束すると内部に圧縮ひずみが蓄えられます。一方、水和組織は順次水和硬化を起こしていきますので、あたかも刀を鍛えるがごとく組織をタフにしていくと考えられます。このあたりの機構についてはまだまだ解明する余地が残されていますが、十分に膨張を拘束した膨張コンクリートはひび割れに対する抵抗性が極めて高くなるということは確かです。

(スライド35) (スライド36) (スライド37) (スライド38)

セメント化学、コンクリート工学は、すでに工学としてかなりの蓄積を有しており、かなりの技術体系をなしているわけですが、それに加えて最近新たな課題や要求が出現してきており、ある意味ローテクの先端を極める必要性があります。

既設構造物の長寿命化であれば、パッチワーク的に必要

となるメンテナンスのコストに対してそれを例えば半減するというような技術の開発が求められます。あるいは材料コストは全体のコストの中では微々たるものですので、わずかな初期建設コストの増加で新設建造物の耐久性を極めて高くすることができるのであれば、そういう技術を積極的に活用していくことも必要だと思います。また、そのような技術が確実に採用されるためには、定量評価に基づいた説明責任を果たす必要があります。機構の詳細な説明も重要です。さらに本日のメインテーマではありますが、環境に対する負荷をできるだけ少なくするという意味で解体コンクリートのリサイクルを一層促進させることも重要です。

また、原子力分野における低レベルあるいは高レベルの放射性廃棄物処分で、千年あるいは万年オーダーの耐久性が地下構築物に求められています。残念ながらこの分野でのコンクリートの信頼性は極めて低いと言わざるをえません。私自身は何か解決策があるのではないかと考えているのですが、このようなところでのニーズもまだまだあるようです。

(スライド 39)

最後になりますが、少子高齢化を背景として、建設の分

野では量としての拡大は考えられません。したがって、新設の建造物を造りつづけているうちに、コンクリートをコンクリートに戻すという閉じたリサイクルシステムを確立することが重要です。

また、設計においてコンクリート建造物の時間軸におけるふるまいを数値化技術によって精緻に照査し、それによってライフサイクルコスト算定の技術的な裏づけを与えることや、性能を確実に実現・維持するための工学として、施工、検査、維持管理などの高度化が一層重要になると考えられます。

現象の機構分析を進め、その知識を戦略的に使うことによって新規の材料、構造形式、あるいは機構の開発を進めて、新たなニーズにチャレンジしていく、あるいは解を模索していく必要があると考えています。

最後は少し雑駁な話になりましたけれども、コンクリートのサステイナブル化、またその中の解体コンクリートの循環利用について、このようなスタンスで今後も研究を進めていきたいと思っております。

ご清聴ありがとうございました。

(了)