

現場技術者のためのコンクリート工学 (その1)

— 総 論 —

高 橋 和 雄*

一 講座の内容一

農業土木の工事で構造物にコンクリートを使う例はきわめて多い。現場打ちでは生コンクリート、一方ではコンクリート製品による施工が多くなってきている。このように生コンや製品による施工が多くなったのは、少なくともこれまでの現場練りコンクリートに比べて、品質が均一で良質なコンクリート構造物が施工できるという前提があるからである。すなわち、充実した管理のもとに品質のよいコンクリートや製品が得られるからである。しかし、需要が増大するにつれてコンクリートは生コン工場あるいは製品工場に任せ放しにしているのが実態で、コンクリートのチェック体制がきわめておろそかになっていることは重大な問題である。ここで生コンや製品による施工に当って、改めて品質チェックのための体制を整備しなければならない。

この講座では現場の技術者が良質なコンクリート構造物を施工するために必要なコンクリートに関する知識を重点的に解説する。できるだけ実験データをもとにして説明をし、これを現場のコンクリート施工に役立てたい。

以下に今後の予定をあげておく。

- (その1) 総 論
- (その2) 材 料
- (その3) まだ固まらないコンクリートの性質
- (その4) コンクリートの配合設計
- (その5) 硬化コンクリートの性質
- (その6) コンクリートの施工
- (その7) コンクリートの養生
- (その8) レディミクストコンクリート
- (その9) コンクリート製品
- (その10) 骨材資源の有効利用
- (その11) コンクリートのひび割れ
- (その12) コンクリートの品質管理

* 岩手大学農学部 (たかひし かずお)

キーワード

セメント・コンクリート、粗骨材、ポルトランドセメント、混和剤、AEコンクリート、耐久性、水セメント比、打設、養生

I. はじめに

コンクリートという言葉は、「相共に結合して一体となる」という意味をもっている。コンクリートを構成する材料のうち骨材を結合する役割を果たすセメントは、1824年にイギリスのレンガ職人ジョセフ・アズプジンによってはじめて創り出された。以来、約160年を経過した今日、品質が高められ、これが現在の素晴らしいコンクリート構造物を築造する原動力となった。

たとえば、昭和20年のセメントはモルタルの圧縮強度で約200 kgf/cm²であったものが、現在は約440 kgf/cm²と2倍以上の値を示すまでに改良された。加えてコンクリート構造物の施工技術も飛躍的に進歩した。

農業土木の工事現場でコンクリート構造物の占める割合は大きい。ダム・頭首工・橋梁・トンネル・用排水路・防潮堤や擁壁等はすべてコンクリート構造物である。

かなり以前はコンクリートの配合を容積で示していた。たとえば、1:2:4 (セメント:砂:砂利)は鉄筋コンクリート用、1:3:6は無筋コンクリート用、そして1:4:8は捨コンとされていた。しかし、砂は水分状態によって容積が大きく変化するし、第一にもっともコンクリートに重要な使用水量が示されていないという決定的な理由をもって、コンクリートの配合は重量とすべしということで重量配合に変ったのが農林省関係では昭和24~25年ごろである。現場ごとにパッチャープラントを設けて重量配合でコンクリートが打設された。その後、昭和35~40年に生コンクリートが普及し、設備の整った大きなプラントから品質管理の行き届いたコンクリートが供給されることになり、コンクリートの現場への供給の姿が一変した。これによって現場ではコンクリートの打設そして養生に専念できるようになった。

良質の生コンが常時どこの現場にも供給できるようになったこと、コンクリートの材料や配合に関する配慮がいらなくなったことは現場にとっては大変便利なことであった。しかし一方では、コンクリートはすべて生コン工場に任せるといった風潮が一般的となり、施工技術

を棚上げにして打設された構造物の品質はすべて生コンによって左右されるという間違った認識をもつようになったことは見逃がすことのできない重大な問題である。

コンクリートが硬化したあとでチェックするのでは遅い。たとえば、材令28日の圧縮強度を測定してみたところで28日前に打設したコンクリートの強度が判ったままで、これが所要強度に達していなければ構造物を破壊してやり直すしか方法はない。出来上がった構造物からコアを採取して試験をする方法も決してはめられたものではない。要は、コンクリートが型枠に入る前、いわゆるフレッシュコンクリートのうちに品質を判断することが重要なのである。これが今の現場ではなされていない。とくに生コンが供給されるようになってから、この傾向が顕著になったといえる。コンクリート構造物を施工あるいは監督する人による生コンの品質のチェックがない。いやチェックをするだけのコンクリートに関する知識をもっていないといっても過言ではないように思われる。

現場技術者はここで一度コンクリートの原点に帰る必要がある。現場練り時代に帰ることである。材料の手配や試験・配合設計・試し練り・現場配合への修正・スランプや空気量の測定、現場練り時代ではすべて現場技術者が行った。発注側の監督者もチェックをしたものである。もっともっと生コンに触れることである。「コンクリートは軟らかいうちに勝負せよ」といいたい。そのためには現場技術者一人一人が体でコンクリートを覚えることである。

II. コンクリートとは

1. 容積配合から重量配合へ

以前はコンクリートの配合を表すのに、1:2:4や1:3:6などが使われていた。すなわち、セメント:砂:砂利の割合を容積で示したものである。この配合を慣例配合ともいい、セメントを多く使ったコンクリートほど良質であるという考え方である。

今、同じ容器を用いてセメント1:砂3:砂利6の割合で計り、これに適量の水を入れてコンクリートをつくったとする。これでどれだけのコンクリートが出来上っただろうか。これを確かめるためにすべての材料を重量でも測定しておいた。ところが計算をしたら、このコンクリート1m³にセメントが170kgしか使われていないことが判った。

当時の設計書によれば、無筋コンクリートは1:3:6とし、使用セメント量はコンクリート1m³当り4.4袋(1袋は50kg)、砂は0.45m³、砂利は0.9m³と記されている。しかし、セメントは4.4×50kg=220kgの重

量でもある。したがって、この1:3:6という配合はセメントを重量で、骨材を容積とした「重量と容積」配合の折衷型の配合ともいえるのである。

なぜこのようなことがおこるかといえば、セメント1m³の標準の重量は約1,500kgとしているからである。ところが容器でセメントを計量する場合、1m³が1,500kgとなるように計るのは極めて困難である。ギュウギュウ詰めにしなければならない。なぜならば、セメントの粒子が細かくて空隙が多いからである。したがって、容積配合でセメントを計量する場合はセメントの容器をそれだけ大きくしておかなければならないことになる。

このような容積配合では、所要の性質を満足し、施工の容易なコンクリートを得ることができないことも指摘され、コンクリートの材料はすべて重量によって配合することが強調されてきた。

2. 現場練りから生コンへ

良質で均一なコンクリートをつくるには、材料をすべて重量で計量する、いわゆる重量配合が前提となる。各コンクリートの施工現場には簡易バッチャーが設置された。

このように現場ごとにバッチャーを設置してコンクリートを練ることは大変な仕事であった。現場の責任者はまずコンクリートの材料であるセメント・骨材・混和剤の手配が必要であった。セメントの貯蔵は風化しないように倉庫へ、排水良好な骨材ヤードの設置、そしてミキサプラントの設置もある。

コンクリートの打設日になると、ものすごい仕事量となる。まず労務者の手配である。骨材をベルコンに載せる人、ミキサーマン、ミキサーからの排出作業、バケットで受けて施工現場で運搬する人、填充・締固めをする人、そして養生をする人など大変な人数が必要であった。これに加えて現場責任者はその日打設するコンクリートの配合、とくに骨材の水分・粒度の状態によって示方配合を現場配合へ修正する作業がある。このためにはその日の砂の表面水による水量の補正が必要となる。ミキサーが稼働する前までにこの作業を終了せねばならない。

こうして練り混ぜられたコンクリートは、スランプ試験や空気量試験などによって所要の性質をもつものか確かめられる。よくコンクリートの打設日は戦争のようだという。この現場練りコンクリートにも便利というか、すぐれている点もあった。たとえば、バッチごとに配合の修正が可能であったし、プラントが打設現場に近いために打設の状況を見ながらコンクリートの供給ができる。コンクリートの供給量と打設量のバランスをとる

ことが可能であるという点である。

一方、この現場練りコンクリートに代って生コン、すなわち、レディミクストコンクリート (Readymixed Concrete) が初めて使用されたのが米国で、1913年である。プラスチックでまだ固まらない状態のコンクリートのままで購入者の現場に配達納入されるコンクリートのことで、一般に生コンと呼んでいる。土木学会示方書では「整備されたコンクリート製造設備をもつ工場から随時購入することのできる、まだ固まらないコンクリートをいう」と定義している。

昭和24年、わが国で初めて生コン工場が設置された。この時、A E 剤が米国から入って昭和25年、初めてA E コンクリートが製造、販売され、コンクリートの品質が大きく改善された。さらに油圧により攪拌ができる、いわゆるアジテータトラックが考案され、ここで昭和28年に最初の JIS 5308 レディミクストコンクリートが制定された。しかし、日本で一般の土木工事に生コンが使用されたのは昭和38年ごろからである。現在では現場打ちコンクリートではダムなどを除けば、ほとんどが生コンによって施工されている。

3. 良質なコンクリートとは

いま、硬化したコンクリートを割ってみよう。その断面には肉眼でははっきり見えるほどの大小さまざまな気泡や空隙をみることが出来る。これらの気泡や空隙は主としてコンクリートの混合や打設の過程で入ったもの、あるいは混合のときに入った水が蒸発したあととよい。したがって、この気泡や空隙の多いコンクリートほど強度が小さく、耐久性に乏しい、水密性にも欠けるコンクリートとなる。言い換えればコンクリートを打設するに当って、いかにしてこの気泡や空隙を少なくするかが良質なコンクリートをつくる条件である。このためにはコンクリートを練り混ぜるときいかに水を少なくできるか、そして施工に当っては振動機などを用いていかにしてコンクリートに入っていく空隙を除去できるかである。もちろん、コンクリートの中の気泡で肉眼では見えない20~100 μ のA E 剤によって導入した気泡は別で、これについては後述する。

すなわち、良質のコンクリートとは、大きな粗骨材の空隙は小さい粗骨材が埋める。小さい粗骨材の空隙は砂が埋め、砂の空隙はセメントペーストが埋める。こうして一体となったものである。セメントが加水分解によって硬化するためにはセメント重量の30%の水があればよいといわれている。しかし、水セメント比30%では施工可能なコンクリートは得られない。したがって一般には、コンクリートの水セメント比は少なくとも45%ぐら

い、大きくなると65%にもなる。それは生コンを型枠の中に入れて鉄筋のまわりや型枠の隅々まで行きわたらせ、密実なコンクリートをつくるために必要だからである。中には強力なプレスと振動を与えながらつくる即時脱型のコンクリート製品などでは、この水セメント比は35~40%になる。したがって、セメント重量の30%を除いたあとの水量はコンクリート施工のために必要となる。このために、施工したあとではできるだけこの水を除去することが良質なコンクリートにする一方法でもある。真空コンクリート工法 (後述)などはまさにこのための施工方法である。

ところで、コンクリートというのはセメントペーストという糊で砂や砂利を糊づけしているものとみてよい。いま2枚の紙を糊づけしようとする。このとき糊の厚さをいかに厚くしても別に付着力が増すわけではない。それよりも濃い糊を薄く延ばして付着させればとてもよくつく。コンクリートも全く同様に、糊であるセメントペーストの濃いもので骨材を付着させるのである。このとき、ペーストの量は骨材を付着させるために最小量でよい。この糊は量ではなく質が問題なのである。たとえば、図-1のように、コンクリートの外部から水が浸透しようとするとき、普通の骨材を用いていけば水は骨材の中は通らない。必ずセメントペーストの道を通っていくであろう。

したがって、水の通るセメントペーストの道をできるだけ狭くしておくことである。さらに、水は濃いセメントペーストの道は通りやすく、薄いセメントペーストは通りやすいのである。いかにセメントペーストの量が多くて薄いペーストであれば良質なコンクリートは得られないのである。このことを実験的に証明したのが、いわゆるエブラムスの水セメント比という学説である。

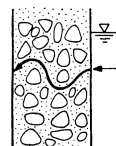


図-1 コンクリートの水みち

III. コンクリートの現状

1. コンクリートの劣化と耐久性

コンクリート構造物が耐久性を失っていく原因を、一つには外的要因として気象作用、いま一つはコンクリートの材料・配合や施工など内的要因に分けて考えることができる。農業土木構造物では部材厚の薄い、表面積、容積比の大きいものが多く、これらは直接外的因子の影響を強く受けることになる。そして、内的因子では施工の困難さが耐久性と大きくかかわってくる。

コンクリートの劣化は、凍害・塩害などによって促進

される。この中で、凍害は寒冷地では避けて通れない現象である。すなわち、硬化したコンクリートの空隙の中に水が浸透し、この水が凍結するときに体積を約9%増大することによって生ずる結氷圧によってコンクリートの中にクラックが発生する。この中に再び水が浸透し、再び凍結と融解を繰り返す。この現象を凍害と呼んでいる。主として東北・北海道に発生が多い。

塩害は海水や潮風の影響を直接受ける構造物のコンクリートや鉄筋が侵食され劣化を進行させる。とくに山形、新潟など日本海側の構造物の塩害による劣化が激しく、対応が急がれている。沖縄県では鉄筋コンクリートの建築物に塩害が大きく発生し問題となっている。

2. コンクリートのひび割れ

最近、とくにコンクリート構造物にひび割れの発生が多くなった。もともとセメントに水を加えると水和作用の過程で発熱が起こる。そして粉末度の高いセメントほどこの水和熱が高い。セメントが硬化する過程で収縮する。この収縮する力をベースコンクリートや岩盤が拘束する。このためにコンクリートに引張応力が働く。コンクリートの引張応力はきわめて小さく、圧縮応力の1/10~1/13である。したがって、簡単にひび割れが発生する。

なぜ、ひび割れの発生が多くなったのであろう。その要因に、①生コンで打設するためコンクリートが富配合になった、②ポンプ打設となったこと、③養生が十分でない、などを挙げることができる。

生コンを使うようになってからは、砂防堰堤・防波堤や防潮堤などマスコンクリートでも粗骨材の最大寸法が40mm(一般のコンクリート構造物における粗骨材の最大寸法は25mmとなる。)となるため富配合となる。すなわち、使用セメント量が多く、このためコンクリートの発熱はより高くなる。

打設能力をあげるという理由から、コンクリートをポンプで打設する現場が多くなった。生コンの使用により大型のミキサ車によるコンクリートの供給能力が増加し、そのために現場でも打設能力をあげる必要となったこともポンプ打設に拍車をかけたといえる。ところがポンプ打設のコンクリートはモルタルを多くしなければならない。ということは単位水量の多いコンクリートとなる。これがひび割れを誘発する。

さらに現場練り時代に比べて養生作業が不十分になった。これらはいずれもコンクリートは生コン工場任せ、ポンプ打設は圧送屋任せという観念からくるものと思われる。生コンであろうが、現場練りであろうが養生作業に変わりはないはずである。

昔、玉石コンクリートというのがあった。砂防堰堤や

頭首工堤体に使われたものである。コンクリートを打設しては玉石を入れ、またコンクリートを打つという具合である。使用する玉石はセメントよりはるかに強度・耐久性が大きい。何よりも玉石を入れただけコンクリート量を減少できる。とすれば、コンクリートの発熱量もそれだけ少なくなり、ひび割れの現象も防止できる。重くて丈夫なひび割れないコンクリート構造物ができたのである。ところが設計(玉石の量)や施工が悪かったためにいつの間にか姿を消してしまった。よく現場でみかけるが、昔に造った玉石コンクリートの堰堤が、そのまま健全であるのに、最近造った生コンの堰堤がこわれているのはどうしたことだろう。

3. アルカリ骨材反応

NHK、朝7時のトップニュースで、「アルカリ骨材反応でコンクリートの寿命が短くなった…」というフレーズとともに、ひび割れの発生した構造物の写真のクローズアップを偶然に見た。ニュースを読んだのは現在、TBSに移籍した森本アナウンサーである。解説はまだ続く。原因は、「骨材に使う輝石安山岩である」という。これが大変な反響を呼んだ。構造物の設計者も施工者も、そしてだれよりも驚いたのは骨材業者である。当然、研究室にも問合せの電話が飛び込んだ。ここでコンクリートはマスコミの注目するところとなり、続けてコンクリートの塩害や骨材の問題がテレビで取上げられた。団地の奥さんたちがローンでようやく手に入れたマンションのひび割れや雨漏りをみて、ローンの支払いが終らないうちにマンションが壊れてしまうのではないかと話題にもなった。

「アルカリ骨材反応」という現象は、はじめ1930年代にアメリカのダムや国道で発見された。すなわち、活性の骨材がセメントのアルカリと反応を起こして過度膨張し、これによってコンクリートにひび割れが発生するという現象である。これまで日本ではほとんどないといわれていた。しかし、西日本の一部にこのような活性の砕石が産出される山があることは確かめられていた。これが高度成長時代に新幹線・高速道路・建築ラッシュなどで多量の生コンの供給に迫られ、一部、このような骨材が使用されたのではないかと推定される。

もっとも、以前は骨材というほとんどが河川骨材で使用実績のあるものだけが使われていた。この時代では活性の骨材は日本では出ていない。しかし、昨今のように河川骨材の採取が禁止されたために、今まで全く使用実績のない砕石が多く使われるようになったが、これまでのようにアルカリ骨材反応の起こる骨材はないという保証のないことも事実である。

日本には、このアルカリ骨材反応を起こす骨材についての規格、試験法はまだない。専らアメリカのASTMの規格、試験法を使っているのが現状である。化学法では2～3日で試験結果が得られるが、モルタルバーによる判定となると約6カ月を要する。

IV. コンクリートの将来

1. セメントについて

セメントの原料である石灰岩の豊富な日本では、生産量でソ連について第2位であったが、混合セメントを主体とした中国が急迫してきて、今や完全に追抜かれてしまい第3位となった。また生産量の割合をみると、ポルトランドセメントが87%、混合セメント13%で、とくに高炉セメントの伸びが顕著である。このセメントのうち68.4%が生コンに、そしてコンクリート製品に15.3%が使用されている。(昭和59年度)

さて、コンクリートにとってセメントは欠くことのできない重要な材料である。原料の石灰岩の豊富な日本では昔から最も石灰分の多いポルトランドセメントが使用されてきた。このままで石灰岩を採取していくと、あまり遠くない将来に掘り尽くされるときがやってくる。恐らくこれだけ素晴らしい接着力をもった材料が、これだけ安い価格で生産されることは他にはないといつてよい。資源は有限である。ここで原料である石灰岩の使用を節約し、セメントの延命を図らねばならない。このためにはまず、混合セメントの使用を積極的に進めることである。コンクリートの水和熱低下、アルカリ骨材反応の防止、耐薬品性、耐海水性および防水性にすぐれた性質をもつ混合セメント、すなわち、高炉セメント、フライアッシュセメントの使用である。高炉スラグやフライアッシュを混和材料としてセメントの中に混合したものである。

混合セメントを使うと初期強度が低下することを嫌うむきもある。現在の普通ポルトランドセメントは材令28日のモルタル強度で約440 kgf/cm²も出ている。この強度が材令初期で10%前後低下したところで問題はないだろう。それよりも長期強度の伸びが大きくなることこそ重要である。

とにかく、これからは何でも「普通ポルトランドセメント」ではなく、構造物の種類や規模そして打設時期などの条件によって混合セメントの使用を促進し、限りある石灰資源を少しでも節約して、素晴らしい性質をもつセメントの延命を図るべきである。

2. 骨材について

コンクリートの容積で骨材の占める割合は65～75%に

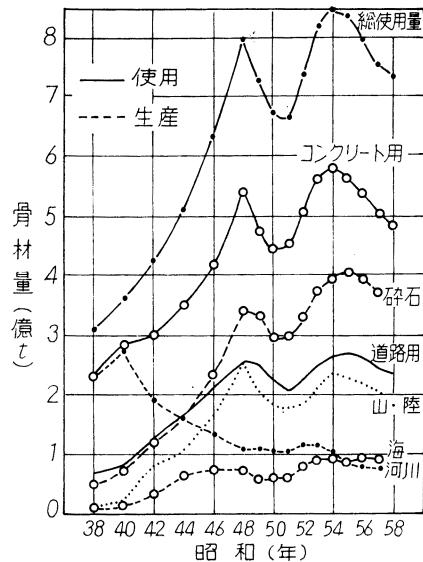


図-2 骨材の需給動向¹⁰⁾

達する。したがって、この骨材がコンクリートの諸性質に及ぼす影響はきわめて大きいといつてよい。

図-2は日本における骨材需要の推移を示したものである。これによると全体的には年を追うごとに増加しており、昭和54年度にはピークに達し経済活動の活発なことを示している。しかし、昭和55年以降は公共投資や民間設備投資が低迷し、骨材の伸びは横ばいあるいは減少の傾向を示している。とくに河川保全のために河川骨材の採取が規制され、年ごとに減少し、これに代って粗骨材は砕石に、細骨材は陸・山・海砂のものが急激に増加を示している。

一般にコンクリート用骨材としての選択条件は、

- ① 硬い強固な石質
- ② 清浄で不純物を含まない
- ③ 大小粒が適当に混合されていること

などが挙げられる。

河川骨材に代って砕石、砕砂が使用されるようになってからかなりの年月が経過した。しかし、骨材の先行きは決して楽観を許さない。中でも細骨材の不足は深刻である。これらに対処する方法として古いコンクリート構造物の再利用、さらに産業廃棄物の利用を積極的に考えねばならない。

良質な骨材を選択して使用する時代は終りつつある。これからは低品質な骨材をいかにしてコンクリートに利用するかを考えねばならない。そのためには従来のようにコンクリート構造物が永久構造物であるかのような考

え方を変える必要がある。これからはむしろコンクリート構造物に一定の寿命をもたせ、構造物の重要度に応じて使用する骨材を選択すればよい。すなわち、低品質な骨材を用いたコンクリート構造物の寿命は短く、ダムや橋梁などのように重要な構造物には良質な骨材を使用するという考え方である。寿命を全うした構造物は破壊し、再生コンクリートの骨材として利用する。このようにして骨材をリサイクルして使用することである。セメントの原料である石灰岩も無尽蔵ではない。ましてやこの数倍を必要とするコンクリート用骨材の有効利用はいまや急務というべきである。

3. 各種混和材料の開発

コンクリートにいろいろな性質を付与するために各種混和材料が開発され、これによってコンクリートの利用範囲が拡大された。

すなわち、良質な AE 剤、減水剤の使用によってコンクリートのワーカビリティが著しく改善され、硬化後は凍結融解作用に対する抵抗性が増大した。最近ではさらに強力な減水効果をもつ高性能減水剤が開発され、水を入れずにコンクリートを流動化し、これがポンプによる打設を容易にし、スランプロスの防止に役立っている。

また最近、川砂が極度に枯渇し海砂の利用が多くなってきているが、ここで海砂中に含まれる塩分量が問題となる。さらに港湾・漁港などの海洋構造物が増大し、海水中の塩分によるコンクリート中の鉄筋のさびの発生が心配される。このための良質な防錆剤が開発されている。コンクリートの塩分はできる限り少ないことが望ましいという考え方が一般的であり、かつ世界的にも塩分を規制する傾向がある。このため混和剤に含まれる塩分も問題となることから、塩化物を含まない混和剤の開発が進められている。

このほかに凝結硬化促進剤や遅延剤などはコンクリートの施工上の問題点の解決に役立ってきた。そして最近コンクリート構造物の多様な要求を満足させるために、さらに新しい混和材料の開発が望まれている。

4. 新しいコンクリート

コンクリートがぜい弱材料であり、ひび割れを生じやすいという欠点もっている。そこで、モルタルやコンクリート中に各種の短繊維を混入して力学的性質を改善する試みは次第に実用化されてきている。これが繊維補強コンクリートである。補強用の短繊維として、鋼繊維、

ガラス繊維、耐アルカリガラス繊維が用いられる。

各種の繊維のうち鋼繊維はコンクリートのひび割れ拘束の能力がで、曲げ、引張強度は繊維無混入のものに比べて、1.3~1.8倍、じん性は約40~200倍にもなるといわれている。これによって曲げ、引張応力をうける構造物に適用する場合の安全率を減少させることが可能となり、また衝撃力に対する抵抗性にもすぐれているといえる。一般に繊維の形状は、 $\phi 0.25 \sim 0.5 \text{ mm}$ 、アスペクト比 $l/d 30 \sim 150$ 、長さ $25 \sim 30 \text{ mm}$ である。実用的な混入率は0.3~2.0%である。

また、これまでコンクリートはセメントという結合材を用いて骨材を結合させたものであったが、この結合材にプラスチックを混合したり、あるいはプラスチックだけを用いたコンクリートをつくろうとするようになった。そして、これまでのセメントを結合材としてつくったコンクリートの重い、曲げ、引張強度が弱いなどの欠点を解決するうえに大いに役立っている。

現在、わが国でプラスチックコンクリートといえば、①セメントの5~20%をポリマーディスページョン(ゴムラテックスや樹脂エマルジョン)を混入し、これを結合材として骨材を結合させたポリマーセメントコンクリート、②セメントを全く用いずにレジン(合成樹脂)だけを結合材としたプラスチックコンクリート、③コンクリートの表面からプラスチックを粘性の非常に小さいモノマーの形で含浸させてポリマーとし、コンクリートとポリマーを合体させたポリマー含浸コンクリートがある。

さらに、最近では硫黄を結合材とした、いわゆる硫黄コンクリートの開発も進められている。

引用文献

- 1) 日本コンクリート会議：コンクリート施工における問題点 (1971)
- 2) 国分正胤：コンクリート便覧，技報堂 (1976)
- 3) 日曹マスタービルダーズ技術資料：混和剤の新しい使用方法，PCT-1002, 1005, 1006 (1976)
- 4) 高橋和雄：コンクリート用材料の現状と将来，農土誌45 (11)，pp. 6~10 (1977)
- 5) 高橋和雄：構造物の劣化と耐久性向上の対策，コンクリート工学15 (9)，pp. ~ (1977)
- 6) 日本コンクリート工学協会：繊維補強コンクリート，コンクリート工学特集，15 (3)，(1977)
- 7) 土木学会：コンクリート標準示方書 (1981)
- 8) 岡田・六車：コンクリートハンドブック，朝倉書店 (1981)
- 9) 高橋和雄：現場コンクリートあれこれ，セメント協会 (1984)
- 10) 重倉祐光：最近の骨材事情，建設材料研究会第回講習会テキスト，'84 (1984)

[1985. 11. 27. 受稿]