

あなたが引き出すコンクリートの底力

コンクリートよろず研究会
「コンクリート用混和剤(材)の選び方・使い方」から

徳山工業高等専門学校 教授

土木学会350委員会 委員長

田村 隆弘

プロローグ コンクリートの力



オランジェリー美術館(フランス)

あなたが引き出すコンクリートの底力とは、

- **コンクリートは、複数の材料が組み合わさって生まれたひとつの命**
 - コンクリートの製造は、いくつかの材料(素材)を複合させて、一つの新しい材料としての命を生み出す行為であり、コンクリート構造物の建設は、この新しい命にインフラとしての役割を与えることである。
 - 従って、コンクリートは、これを構成する材料や材料の割合を変えることで、それぞれ個別の性質を持った命となる。
 - **コンクリート工事の体制(システム)も、複数の工程が組み合わさって生まれるひとつの命**
 - コンクリート工事もまた、複数のプレーヤーによる工程が連携して、一つの新しいプレーヤーとしての命が生まれる。
 - コンクリートの製造工程、あるいは、コンクリート構造物の建設工程において、正しく作業が行われなければ、本来、コンクリートが持っている力(強度, 機能, 耐久性)を引き出すことが出来ず、構造物としての性能も発揮できないことを意味する。
- **コンクリート(材料)の命と、コンクリート工事(体制・システム)の命を大切にすることで、コンクリートの底力を引き出すことが出来る**

複雑な問題の捉え方（分析と俯瞰）

- ひび割れ問題は、分析すれば解決できるのか？

<分析的解決法>

分析は、直線的な課題に対する解決手法

コンクリートのひび割れ問題は、コンクリートの収縮が原因ならば



収縮対策をすればよい

<俯瞰的解決法>

俯瞰は、複雑に絡み合った課題を全体を考える解決手法

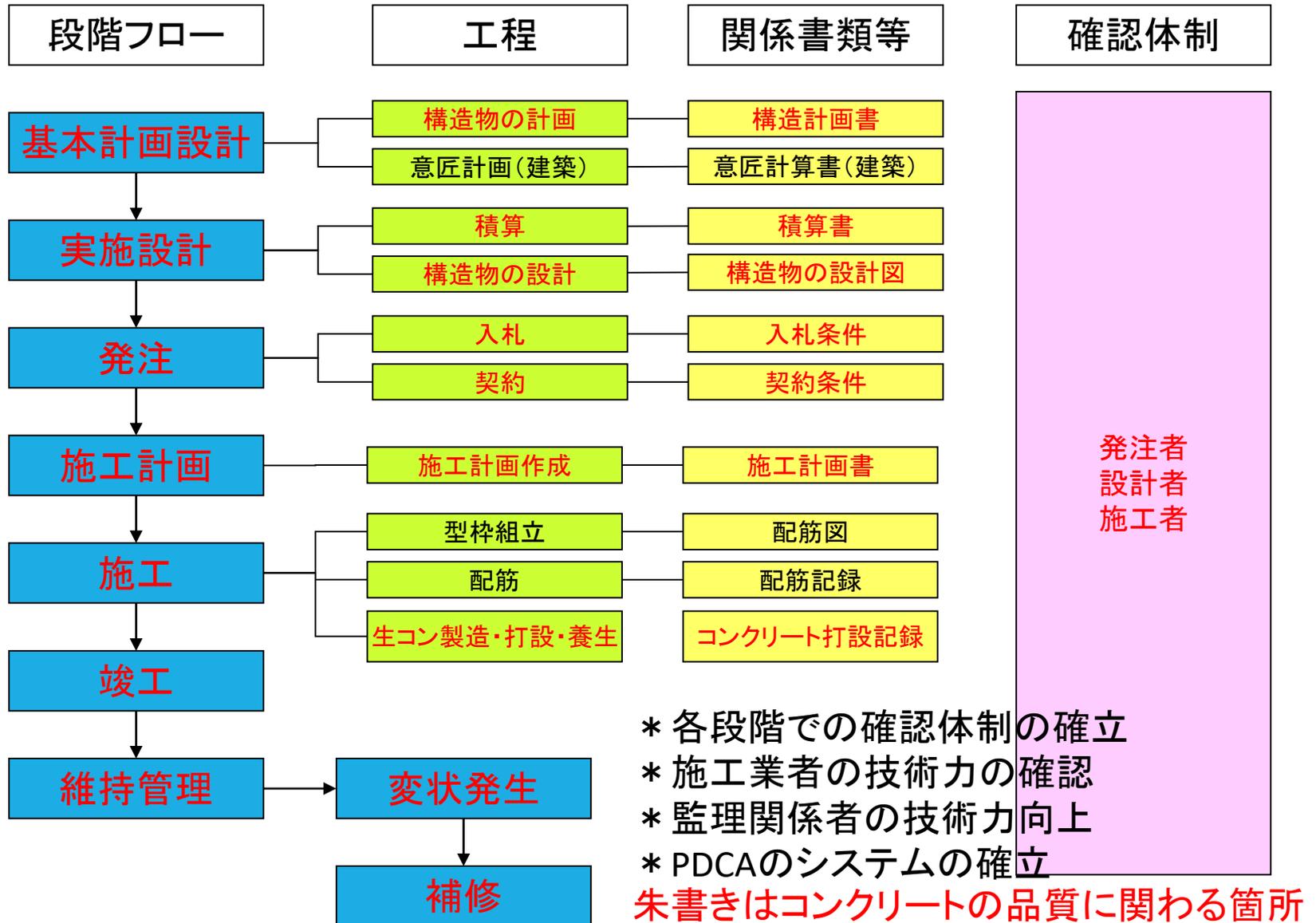
コンクリートのひび割れ問題は、コンクリートの収縮だけでなく、複雑な問題



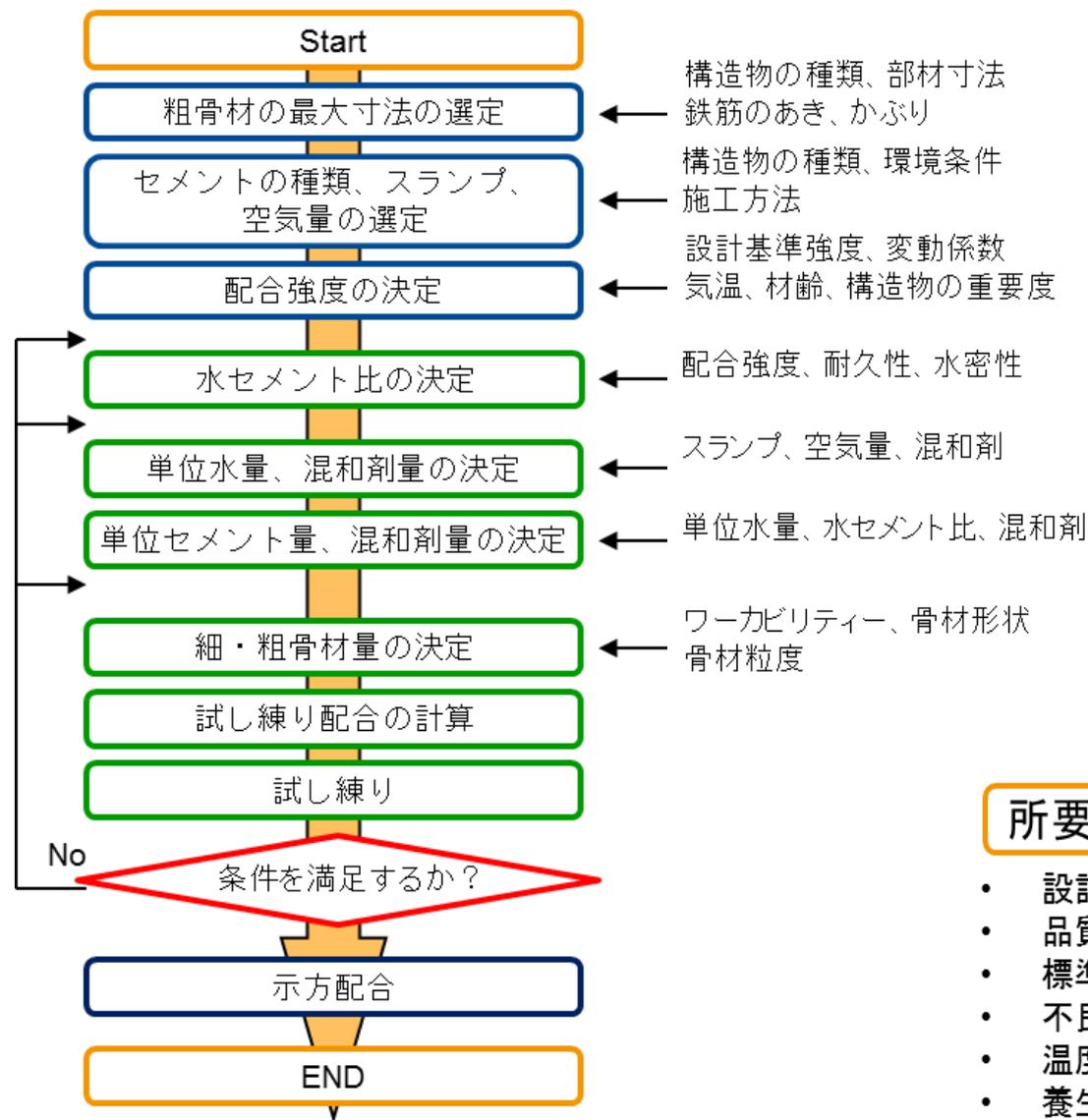
収縮対策だけではすまない。俯瞰的に検討し、解決手段を考える

「木を見て森を見ず」では、ひび割れ問題は解決しない。

コンクリート工事の確認フロー(例)



コンクリートの配調合を決定するためのフローチャート



- 耐凍害性
- 中性化抵抗性
- 塩化物侵入抵抗性
- 鋼材を保護する性能
- アルカリ骨材反応抵抗性
- ひび割れ抵抗性
- 水密性
- 耐火性
- すりへり抵抗性

所要の耐久性

良いコンクリート

所要の強度

- 設計基準強度
- 品質基準強度
- 標準偏差
- 不良率
- 温度補正
- 養生条件

適切な施工性

- 流動性
- 分離抵抗性
- 経時変化
- ポンプ圧送性

図 コンクリートの配調合を決定するためのフローチャート

建設工事は極めて複雑な問題

●建設工事は総合(複合的)問題

- 経済問題・・・**財源問題**, 品質確保問題, 技術の伝承問題
 - 少子化・労働人口減少問題・・・**維持管理**, 品質確保, 技術の伝承問題
 - 入札問題・・・**公平性**, 品質確保, 技術の伝承問題
 - 災害対応問題・・・**応急対応性**, 品質確保, 技術の伝承問題
 - 技術力の問題・・・**新技術の活用**, 品質確保, 技術の伝承問題
 - 現場のマネジメントの問題・・・**生産性、安全性他**, 品質確保, 技術の伝承問題
- ・・・それぞれが品質・耐久性問題につながる複合的な問題
- ・・・全体を俯瞰して, その性格を理解し, 対策を打つことも大切

コンクリートよろず研究会

- 第1期の活動(H14-H16)
「コンクリート構造物のひび割れ対策」
“あなたしか出来ないことがある”

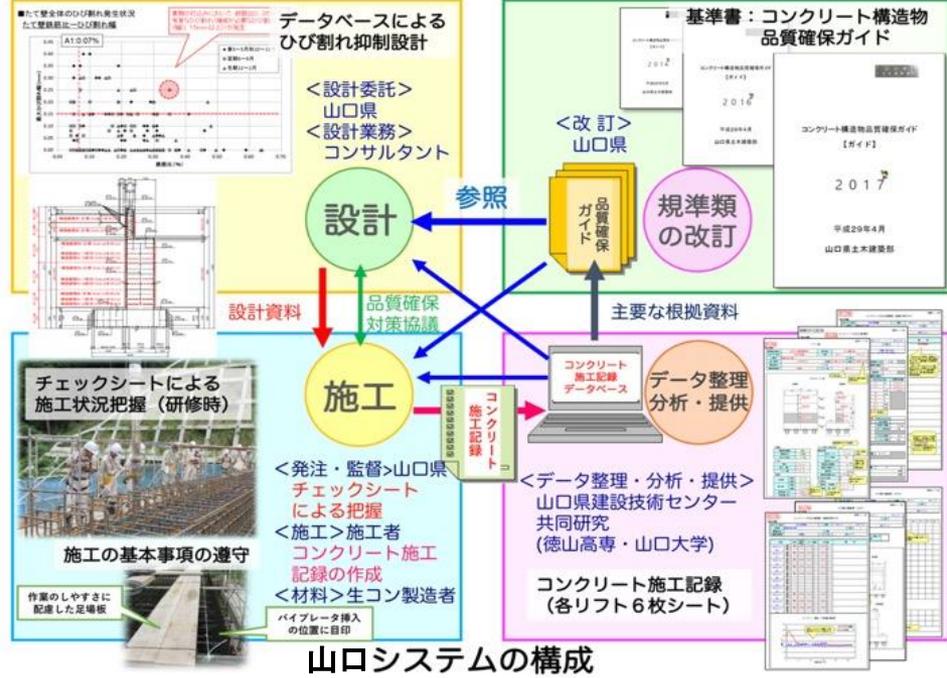
- 最初は寺子屋的な勉強会
- 山口県のひび割れ対策, 品質確保をアドバイス, システム作りを支援
- 全国的な品質確保の動きに広がっていった。



山口システム

コンクリートが正しく製造され、コンクリート構造物が正しい手順で建設されれば、強度、機能、耐久性が確保された構造物が完成する。

- よろず研究会 (第1期)
- 山口県試験施工 → 山口県ひび割れ抑制対策
- 土木学会, コンクリート工学会で関連委員会設置
- 東北震災復興道路構造物の品質確保を支援
- 国土交通省, 全国でチェックシートの活用を試行
- 土木学会技術賞を受賞
- よろず研究会 (第2期)



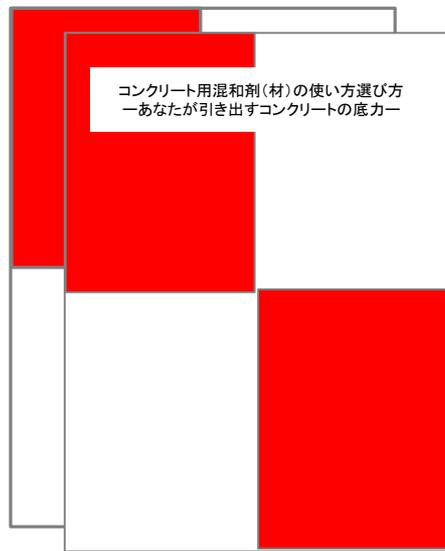
産官学協働による試験施工でひび割れ問題に活路を見いだした



ボックスカルバートでこれまでで最高レベルの作品誕生

コンクリートよろず研究会の復活

- 第2期コンクリートよろず研究会
- H28年 混和材料をテーマとして研究会が再開
混和剤(材)について2年間勉強し、
成果を講習会で発表することを目指す。
- H30年5月 勉強の成果を講習会で発表



講習会用にテキストを作成

2017年(平成29年)7月3日(月曜日) (第三種郵便)

産官学の協働で「コンクリート構造物のひび割れ抑制システム」を構築した山口県を取り組みは、いわゆる山口方式として全国各地に広がりをもせている。その原動力となった徳山工業高等学校の田村隆弘教授を会長とする「コンクリートよろず研究会」が16年4月から約12年ぶりに活動を再開した。現在「コンクリート用混和材料(化学混和剤・混和材)」に焦点を当て、アカデミックな観点に軸足を置き、土木・建築などのマニピュルや指針類で混和材料に関する規格を把握しながら討議を重ね、現場の声を反映したテキスト(冊子)の発行を目指している。

現在、隔月の頻度で部会を開催し、冊子発行に向けた研究テーマの発表、および発表内容に関する全体討議、実務の検証と進捗状況シェアしているが、6月30日には最新のトレンド、既存のマンユアル類では補えていない使用上の留意点、

山口方式「よろず研究会」活動推進の原点

現場でのトラブル解決に
つながる考え方を
高炉スラグ細骨材について、生コンクリートシステム高度利用システムの開発に関する研究発表と討議を行ったほか、混和剤と混和材各グループの進捗よく状況について

粉末を含む鉄鋼スラグや高炉スラグ細骨材について、生コンクリートシステム高度利用システムの開発に関する研究発表と討議を行ったほか、混和剤と混和材各グループの進捗よく状況について

材メーカー 小倉興産 総合庁舎を会場に土木学会350委員会との合同会議を実施。コンクリートよろず研究会は季節変動に対応した配合設計方法・統計的手法の提案 -アルカリ骨材反応の診断と評価技術- コンクリート実構造物における内部拘束ひび割れに関する解析的研究 -等、350委員会は「凍結防止剤散布におけるコンクリート床版の高耐久化」-四国におけるフライアッシュの普及と骨材の現状- 沖縄県の環境作用と高耐久性コンクリートへの取り組み -マイクのコンクリート事情等を発表し、見識を深めた。その後、4月に1年間の討議・活動を受けて実務の検討を開始し、業界関係者にとって分かりやすい冊子の発行に向けた役割分担と活動方針を再確認した。18年4月に冊子を発行し、講演会などを通じて幅広く情報発信していく予定だ。

山口方式「よろず研究会」活動推進の原点

現場でのトラブル解決に
つながる考え方を
高炉スラグ細骨材について、生コンクリートシステム高度利用システムの開発に関する研究発表と討議を行ったほか、混和剤と混和材各グループの進捗よく状況について

材メーカー 小倉興産 総合庁舎を会場に土木学会350委員会との合同会議を実施。コンクリートよろず研究会は季節変動に対応した配合設計方法・統計的手法の提案 -アルカリ骨材反応の診断と評価技術- コンクリート実構造物における内部拘束ひび割れに関する解析的研究 -等、350委員会は「凍結防止剤散布におけるコンクリート床版の高耐久化」-四国におけるフライアッシュの普及と骨材の現状- 沖縄県の環境作用と高耐久性コンクリートへの取り組み -マイクのコンクリート事情等を発表し、見識を深めた。その後、4月に1年間の討議・活動を受けて実務の検討を開始し、業界関係者にとって分かりやすい冊子の発行に向けた役割分担と活動方針を再確認した。18年4月に冊子を発行し、講演会などを通じて幅広く情報発信していく予定だ。

混和材料テキスト発刊目指す

コンクリートよろず研究会 最近の研究活動

第2期の活動(H28.5-現在)

「コンクリート用混和剤(材)の選び方・使い方」

—あなたが引き出すコンクリートの底力—

混和剤抜きでは考えられなくなった最近のコンクリート。しかし、コンクリートに添加される混和材料のことが正しく理解されているだろうか。

今回のよろず研究会では、混和材料の正しい知識を普及させるための取り組みを行った。

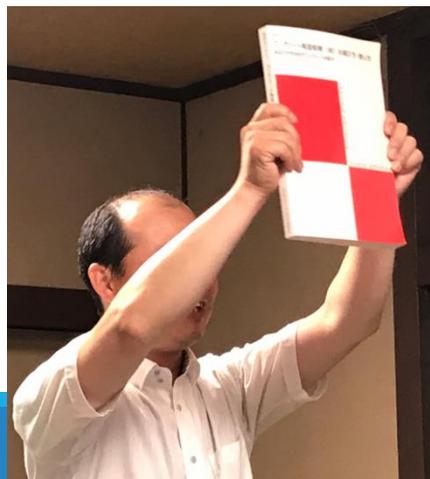


H30.5.25講習会

テレビ山口:YouTubeより



H30.5.25講習会



日刊新周南(H30.5.29)より

1. コンクリートの配合設計と混和材料の関係

1.2 配合設計の考え方

コンクリートの配合設計は、構造物の建造に必要なコンクリートの量を求めるにあたり、例えば 1m^3 あたりのコンクリート(単位量)にセメント、水、細骨材、粗骨材、そして、空気をどれほどの割合で混合させるか決定する作業です。

コンクリートの強度は水セメント比で概ね決まります。従って、まずは造ろうとする構造物が求める強度以上のコンクリートになるように、水セメント比を決めます。

その際、構造物の耐久性を確保するために、水の量をなるべく少なく(セメントの量も必然的に少なくなり経済的)しつつ、コンクリートが材料分離など起こさないようにセメントペーストが全ての骨材を包み込むためのセメントと水の量を求めます。

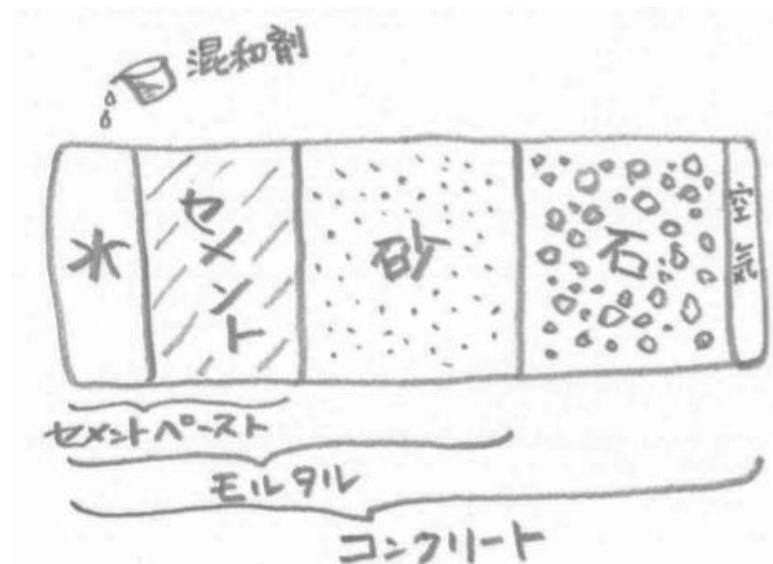


図1 コンクリートの配合イメージ

ポイント1：水・セメントの量とコンクリートの性質

基本：水とセメントの割合（水セメント比）が同じであれば、コンクリートの強度は常に同じ

水の量が多くなると、作業性は向上します。

しかし、“強度を落とさないで”水の量を増加させるためには水セメント比を一定にする必要があるので、水の増加量に応じてセメントの量も増やす必要があります。

すると、結果的にコンクリートの原材料費の値段は高くなります。また、セメント量が多くなるほどセメントペーストが硬化する際の水和熱が大きくなりますので、温度ひび割れが発生しやすくなります。さらに、水の量が多くなるほどコンクリートが硬化後に乾燥収縮を起こしやすくなってしまいます。

この時、混和剤(AE 減水剤等)や混和材(フライアッシュ等)を使えば、ある程度はセメントや水の量を増やすことなく作業性を改善する(スランプを大きくする)ことができます。

ポイント2：昔の配合設計

コンクリートの配合設計が確立する以前（混和剤の無い時代）には、セメント、細骨材、粗骨材の割合を（例えば、有筋で1:2:4、無筋で1:3:6のように）決めた後に、水の量については、必要な強度に対して水セメント比を決めるといった手順でした。

スランプ測定というようなことはしていませんが施工性や分離抵抗性については細骨材、粗骨材の割合を微調整するなどして配慮していたようです。

また当時は、コンクリートは長持ちするものだというコンクリート構造物のメンテナンスフリー神話もあり、コンクリートの耐久性について設計で配慮することは無かったようです。



図2 昔の配合設計



おたるこう さいしよ せいさく
小樽港最初のケーソン製作

みなみほうはてい ていとうぶ たいしょうがんねん
(南防波堤堤頭部 大正元年 1912)

「コンクリートは 強度よりは密度に重点を」

工学博士 廣井 勇

現代語訳 浅田 英祺

ブロックに用いるコンクリートは、その強度よりは密度に重点をおいて、海水にたいして不透性であるようにすべきであつて、各工事においては、そのつもりで用材の質を検査し、工事に適切な配合と処理法を講じなければならぬ。

『築港前編 訂正第五版』

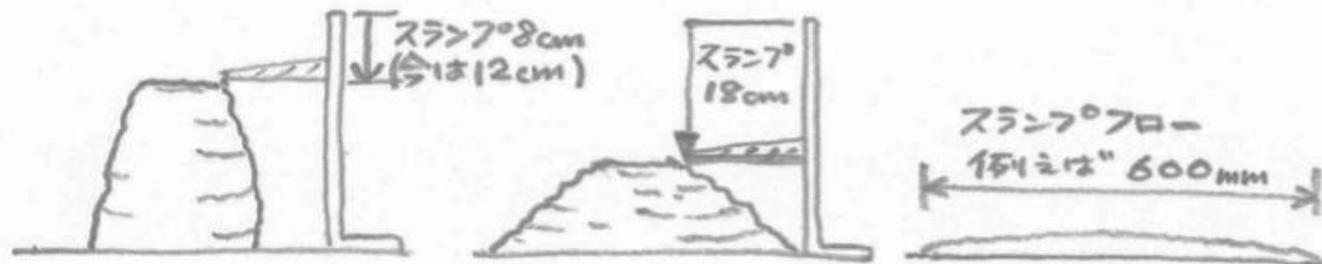
(一九二九・昭和四年刊、一六八頁。)



ポイント3：水セメント比でコンクリートの性能が決まる

その昔の配合設計でも「必要な強度に対して水セメント比を決めていた」とあるように、コンクリートの強度は水セメント比によって決まるということは古くから認識されていました。

厳密に言えば、コンクリートが固まるまで、あるいは固まってからの性質や性能は、水セメント比のみならずコンクリートを構成する材料や配合によって決まりますが、特にセメントペーストを構成する水とセメントの割合(水セメント比)は、コンクリートの強度から耐久性に関わる中性化の予測や塩害の劣化予測まで関係付けられており、様々な性能に影響を及ぼすことが知られています。



(a) 土木のコンクリート (b) 建築のコンクリート (c) 高流動コンクリート

図3 土木のコンクリート、建築のコンクリート、そして、高流動コンクリート

水セメント比とコンクリート強度の関係

ある講習会で「建築ではスランプ18cmでコンクリートを打設しますが・・・」と説明したとき、「そんなコンクリートがあるのか？」といった声（つぶやき）が会場から聞こえてきました。おそらく土木のコンクリートしか扱ったことの無い方の声だと思いますが、ここでひとつ心配になったのは、彼がスランプ18cmのコンクリートと聞いたときにどのような思いで「そんなコンクリートがあるのか？」という言葉が出てきたのかということです。

ひょっとしてこの声の主は、スランプ18cmのコンクリートと聞いて、単に日頃扱っているスランプ8cmのコンクリートに水だけを加えてスランプ18cmにすることをイメージしたのではないのでしょうか。いわゆるシャブコン！？

確かにスランプを大きくするためには、水の量を増加させることになりませんが、コンクリートの強度が水セメント比で決まるという基本を知っていれば、スランプ8cmでもスランプ18cmでも、“水セメント比が同じであればコンクリートの強度は同じになる”ということが理解できます。

ポイント4： コンクリートの強度は何で決まる

では、なぜ“水セメント比が同じであればコンクリートの強度は同じになる”のでしょうか。これは、コンクリートが破壊する際のメカニズムから考えると理解しやすいかも知れません。一般的に使用されるコンクリートでは、細骨材や粗骨材といった骨材が壊れるのではなく、骨材を包み込んでいるセメントペースト(糊)が破壊したり、骨材とセメントペーストの界面が剥離破壊したりする場合があります。というか、コンクリートに使用される骨材はセメントペーストより強度の高いものを選んで使われています。また、骨材とセメントペーストの界面には気泡が溜まりやすく弱点が出来やすいと言えるでしょう。

したがって、セメントを水で溶いた糊(セメントペースト)の強度がコンクリートの強度を支配することになり、水とセメントの割合(水セメント比)が同じならば、コンクリートの強度は同じということになります。

一方、高強度のコンクリートでは、セメントペーストの方が骨材よりも強度が高くなります。セメントペーストと骨材の付着力も高くなります。したがって、高強度コンクリートの強度は、セメントペーストの強度で決まるのではなく、骨材そのものの強度で決まることになり、この場合“水セメント比が同じでもコンクリートの強度は骨材の強度によって異なる”ということになります。

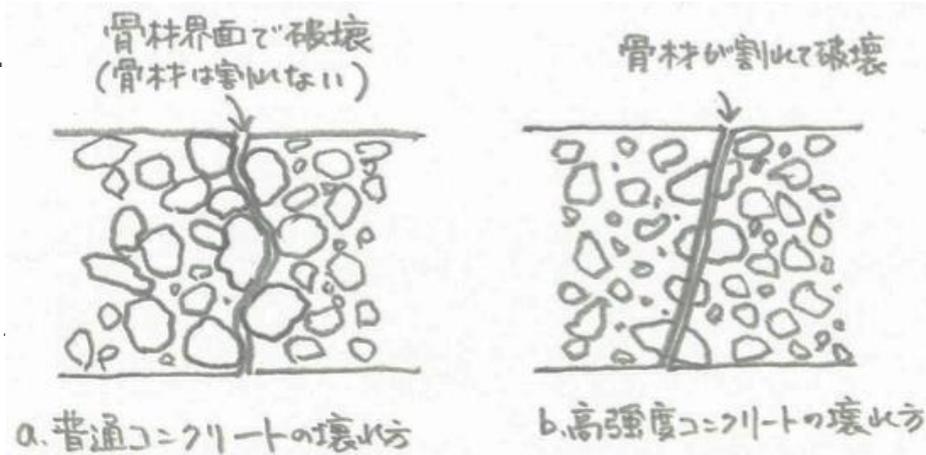


図4 コンクリートの破壊のメカニズム

ポイント5: 永遠の課題, コンクリート用骨材の変化

コンクリートは、骨材の枯渇問題や環境負荷の軽減、ゼロエミッションの観点から材料が変化してきました。現在でも、静岡県のある地域ではコンクリートの骨材として玉砂利が採取されているようですが、現在、我が国のほとんどの地域でそうした良質の骨材が枯渇し、碎石が粗骨材や細骨材として使われています。

碎石は岩石を砕いて製造するために、どうしても骨材に角(カド)があり、コンクリートに使用すると玉砂利と同じ水セメント比でコンクリートを製造した場合に比べて流動性が低下します。

このため、水の量を増やす必要があります。このとき、強度を落とさないためにはセメント量も増やす必要があります。そうすると、前述の水和熱や乾燥収縮によるひび割れのリスクが高まります。したがって、ここでも水の量を増やさずコンクリートの流動性を確保するために混和材料が活用されます。

ポイント6： 進化する機械化（ポンプ打設）とその対応

我が国の高度成長を支えたコンクリート構造物ですが、その施工速度を著しく改善したのが建設工事の機械化です。中でも、コンクリートポンプ車は極めて大きな貢献をしたと言えるでしょう。今尚、コンクリートポンプ車による施工は、より高く、そして、より遠くへと、その性能の向上が求められています。

このとき、ポンプによって運ばれるコンクリートの性能が、ポンプ車による施工性に大きく影響することは容易に予想できます。ここで言うコンクリートの性能の一つは流動性ですが、流動性が悪いとコンクリートがホース内に詰まってポンプ車のエンジンを痛めたり、ホースが裂けるといったトラブルが発生したりします。また、遠距離のポンプ圧送によるスランプの低下（スランプロス）も問題になります。

したがって、こうした場合でもコンクリートの流動性を改善するために、混和材料が利用されます。



写真1 ポンプ車による打設

ポイント7: スランプの上限要求は理不尽なオーダー

近年、コンクリート構造物の品質確保の観点から施工性を向上させるために生コンクリートのスランプの(許容値の)上限要求が、さも当然のように行われる風潮が現れています。(硬めのコンクリートとか、柔らかめのコンクリートと言った注文もあるようです。)しかし、こうした注文は、品質管理基準の盲点をついた理不尽なオーダーです。

その昔、スランプに許容値が定められたのには、当時の生コンクリート工場の品質管理の環境にも配慮して、±のように許容の誤差の範囲であれば、構造物の品質にさほど影響がないと判断したことに依りますが、実際には、スランプ8cmで設計したコンクリートが、スランプ5.5cmで出来上がった場合とスランプ10.5cmで出来上がった場合では明らかに品質は異なります。このバラツキの主たる原因は、骨材の表面水の量の変動にあると考えられ、これはコンクリートの品質に影響します。

ポイント7: スランプの上限要求は理不尽なオーダー(つづき)

最近では、生コンクリート工場の品質管理も高度化し、ほとんどの生コンクリート工場で精度良くスランプをコントロールできるようになって来ました。また現在は、混和剤を使用したAEコンクリートが標準になっていますが、この混和剤の量を変化させることでスランプも容易にコントロールすることができます。

生産性向上の流れを受けて、平成29年7月には国土交通省から土木構造物のスランプの標準を8cmから12cmに変更する通達が出されました。これにより、スランプの上限要求など理不尽なオーダーをすることなく、部材に適したスランプの選定が行えるようになりました。

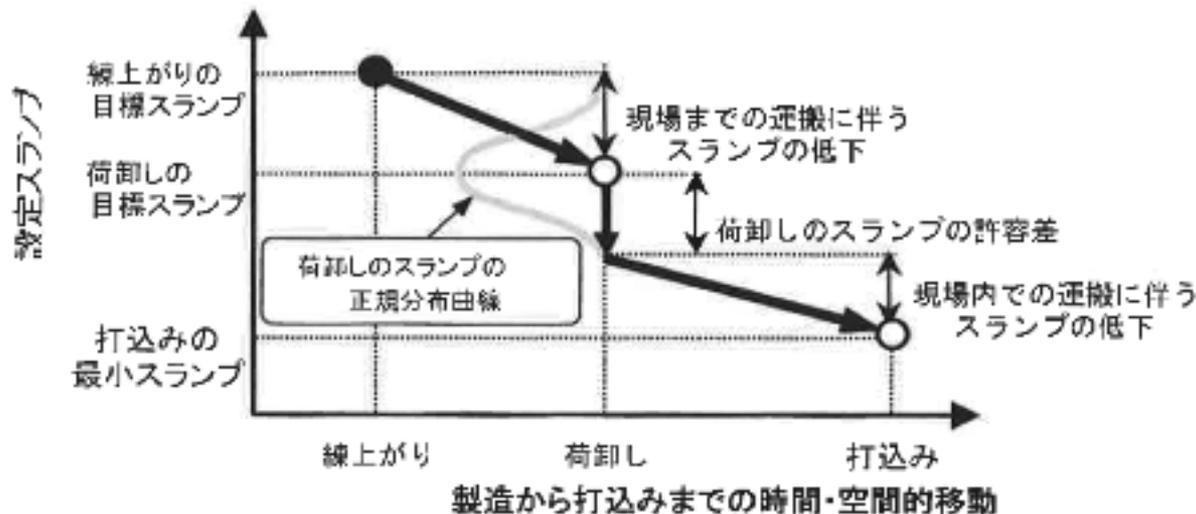


図5 各施工段階の設定スランプと経時変化の関係

ポイント8: 空気量をなぜ確認するのか

建設現場に収められるコンクリートの品質検査の中で、「空気量」はコンクリートの凍害と施工性の確認のために行われています。

●空気がコンクリートの凍害対策になる理由は、

コンクリートの練り混ぜでは、セメントの水和に必要な量以上の水が使われています。したがって、コンクリート中には必ず未水和の水が留まっています。この水が、冬季に 0°C 以下になると氷となって体積膨張することによって、コンクリートが内部から膨張破壊する凍害が発生します。このとき、コンクリート中に空気の穴(気泡)があると(もちろん、極めて小さな気泡ですが)水がこの穴の中で凍結するため、コンクリート自体の破壊に至らないで済むというものです。

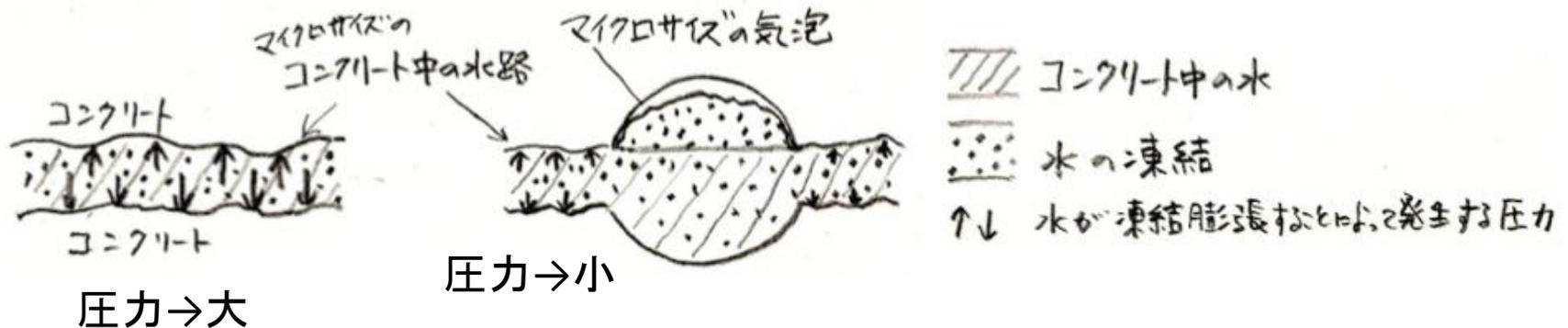


図6 コンクリートの凍結融解

ポイント9: 科学の力, 混和剤の登場

- AE剤の開発のきっかけは凍害に耐えるコンクリートを発見したことにあっただけです。AE剤の発見からまもなく90年になりますが、この間に流動性の発現や材料分離対策等を目的としたさまざまな高機能混和剤が開発されています。

混和剤は、いわゆる水薬の様な役割をしますが、基本的に微量ですので、コンクリートの容積に参入しません。しかし、混和剤は、ほんの僅かな量でコンクリートの性質をコントロールできるだけに、材料との相性や適正量を確認して、正しく使用することが大切です。

- 混和材料によって実現する夢のコンクリート

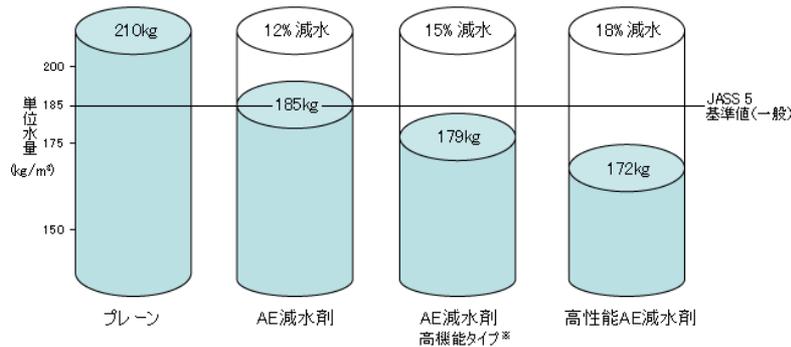
超高強度コンクリート、自己充填コンクリート、水中不分離コンクリート等、最近では様々な夢のコンクリートが現実のものになっています。超高強度コンクリートでは、鉄と同じくらいの圧縮強度を持つコンクリートさえ生まれています。その多くは混和材料を活用することで、コンクリートの水セメント比の原則を覆すことに成功したことによるものですが、混和材料の適切な使用があって初めて実現するものです。

ポイント10. 混和材の登場

- 近年、鉄を作る際の副産物である高炉スラグ微粉末を普通ポルトランドセメントに混合させた高炉セメントを使うことが多くなりました（高炉スラグ微粉末の混合の割合によってA種:5%を超え～30%以下、B種:30%を超え～60%以下、C種:60%を超え～70%以下に分類されます）。
- 鉄鋼産業の副産物である高炉スラグに対して、電力産業の副産物の代表がフライアッシュです。高炉スラグに対して少々スタートが遅れましたが、近年、フライアッシュの長所（アルカリシリカ反応や塩害対策への活用など）が多く見出されており、今後、利用が加速すると考えられています。
- ひび割れ対策の観点から膨張材の利用も盛んになり始めました。その他、石灰石微粉末や石粉もコンクリートの性質を改善するために有効活用されています。

1.3 コンクリート用化学混和剤を使用する前に

コンクリート用化学混和剤の一番の性能である「減水率」とは、何でしょうか。



* 高機能タイプは JIS A 6204において AE減水剤に分類されます。

図1.3.1 各種混和剤使用に伴う減水率³⁾

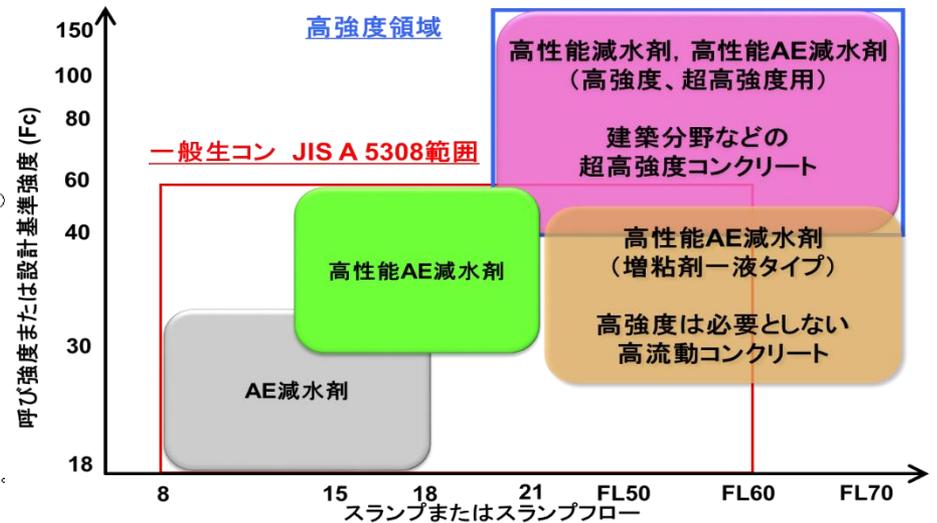
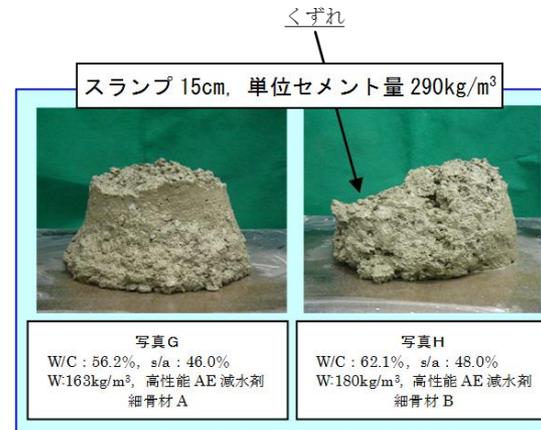


図1.3.2 コンクリート用化学混和剤の適用範囲例



資料 図 3.2.3 スラップの比較 2



資料 図 3.2.5 スラップの比較 4

表1 コンクリート用**化学混和剤**でできること, 注意点

用いる混和剤	できること	注意点
高性能減水剤 高性能 AE 減水剤 流動化剤	単位水量低減 単位セメント量低減 流動性向上	セメント量削減でフレッシュ性状が変化するため、貧配合ではワーカビリティ低下の可能性がある。
AE 剤	エントレインドエア連行 対凍害性向上 単位水量低減	同一水セメント比では、空気量が増えると圧縮強度が低減するが、単位水量を低減し水セメント比を小さくすることで強度低下を防ぐことができる。
AE 減水剤高機能タイプ 高性能 AE 減水剤	スランプロス低減	使用量が少ない場合、効果が出ない可能性がある。冬季はスランプが増加することがある。
AE 減水剤遅延形 高性能 AE 減水剤遅延形	コールドジョイント防止 スランプロス低減	気温に対して使用量が多い場合、凝結が著しく遅れる可能性がある。
凝結促進剤 耐寒性向上	初期強度発現促進 初期凍害防止	混ぜるな危険！ 主成分の異なる促進剤を混ぜると有毒ガスが発生する可能性がある。
収縮低減剤 AE 減水剤収縮低減タイプなど	乾燥収縮低減 自己収縮低減	使用量が少ない場合、効果が出ない可能性がある。使用量と収縮低減量の確認が必要。
ブリーディング抑制剤 材料分離低減剤 増粘剤含有高性能 AE 減水剤	ブリーディング抑制 材料分離抑制	使用量が少ない場合、効果が出ない可能性がある。骨材の種類により、効果変動する

1. 4 コンクリート用混和材を使用する前に

表2 コンクリート用混和材でできること, 注意点(その1)

混和材	できること	注意点
高炉スラグ微粉末	水密性の向上 塩害抵抗性の向上 アルカリシリカ反応抑制 硫酸塩・海水に対する抵抗性の向上	高炉スラグ微粉末の様々な特長を発揮させるには、特に初期の養生が重要である。 初期養生が不十分な場合は、緻密な組織形成が得られなくなり、強度低下の他に水密性の低下や中性化速度が速くなるといった問題が生じる。そのため、初期養生期間を通常よりも2日間ほど長くするなどの対策が必要となる。
フライアッシュ	水密性の向上 水和熱低減 アルカリシリカ反応抑制 長期強度増進 ブリーディングの抑制 (細骨材置換) ワーカビリティの向上 (高流動コンクリート)	フライアッシュの反応は緩やかであるため、セメントの内割で使用した場合、水和熱の低減と引き換えに、中性化速度の増加や初期強度の低下といった点に注意が必要となる。 10~20%程度のセメント置換であれば、長期強度は無添加のコンクリートと同等以上が得られるため、管理材齢を56~91日と長くするなどの対策が有効である。
膨張材	ひび割れ抑制	十分な膨張性能を発揮させるには、7日程度の湿潤養生が必要となる。 極低温下では、膨張反応が遅れて発現して不具合を生じたり、組み合わせられるセメントの種類によって膨張反応が異なったりするので注意が必要である。また、コンクリート1m ³ あたりの使用量が約20kg/m ³ と比較的少ないため、均質に分散されるよう練混ぜ時間を長くするなどの配慮が必要である。
石灰石微粉末	ブリーディングの抑制 粉体量の確保 (高流動コンクリート)	石灰石微粉末がセメントのC ₃ S(エーライト)の水和促進に寄与することが複数の研究で判明している。 しかしながら、セメントの内割で使用した場合、10%を超えると強度低下やDEF(エトリンタイトの遅れ生成)が危惧されるため、コンクリートに材料分離抵抗性を付与するための粉体量確保であれば、セメントの外割(細骨材置換)で使用するのが望ましい。

1. 4 コンクリート用混和材を使用する前に

表2 コンクリート用混和材でできること, 注意点(その2)

できること	混和材	注意点
ブリーディングの抑制	フライアッシュ	ブリーディングが抑制できる根拠はセメントとフライアッシュの密度差と粒度差にある。したがって、使用するフライアッシュは置換率が大きいほど、粒度が細かいほど抑制効果が大きい。それによって生ずる弊害、例えば中性化・初期強度低下などには注意しなければならない。
	石灰石微粉末	使用量が過度であると DEF(エトリンタイトの遅れ生成)可能性がある。注意を要する。
ワーカビリティの向上 (高流動コンクリートなど)	フライアッシュ	球形粒子であるボールベアリング効果は単位水量の減少、流動性の向上となるため、高流動や中流動コンクリートに適用できる可能性があるが、単独使用ばかりではなく、特殊化学混和剤との併用なども見込みながら、使用量を決定する必要がある。
粉体量の確保 (高流動コンクリート)	石灰石微粉末	強度発現に寄与しないという永年の説であったが、石灰石微粉末がエーライト水和の促進に寄与することが複数の研究で判明している。 ちなみに、普通・早強ポルトランドセメントには 5%以下の混合材適用が認められているが、その多くは石灰石微粉末で、材齢 28 日材齢までの強度増進に寄与することがわかっている。 しかしながら混和材として適用する場合、セメントに対する内割使用では 10%を超えると強度低下や DEF の危惧が生じる可能性がある。注意を要する。粉体量を増加し流動性を高めるという考え方に基けば、外割使用として対応するべきである。 なお、石灰石である以上 CaCO_3 の純度が求められ、JIS R 5210 ポルトランドセメントの混合材としては純度 95%が規定されている。この点は他の碎石粉とは一線を画す必要がある。
ひび割れ抑制	膨張材	7 日程度の湿潤養生が必要。 凝結の遅い配合は膨張材との相性に注意。
水和熱低減	フライアッシュ	水和熱低減割合は置換率の半分 (5 割程度) であるので、中性化の進行や初期強度発現の遅延といったデメリット要素も考慮して、置換率を決定しなければならない。

表2 コンクリート用混和材でできること、注意点(その2つづき)

水和熱低減	フライアッシュ	水和熱低減割合は置換率の半分（5割程度）であるので、中性化の進行や初期強度発現の遅延といったデメリット要素も考慮して、置換率を決定しなければならない。
長期強度増進	フライアッシュ	10～20%程度のセメント置換で、概ね材齢56～91日材齢で無添加コンクリートとの強度が等しくなり、以降は上回る強度増進となるが、養生管理が徹底されることが大前提である。
水密性の向上	高炉スラグ	高粉末度の場合に収縮増大。 初期養生が不足すると中性化が進行する。
	フライアッシュ	使用量の過多や初期養生が不足すると中性化が進行する。 単位水量の低減、ブリーディングの低減効果で水密性は確実に向上するが、フライアッシュの使用量の増加による初期材齢強度の低下には注意を要する。
塩害抵抗性の向上	高炉スラグ	高粉末度の場合に収縮増大。 初期養生が不足すると中性化が進行する。
	フライアッシュ	水密性の向上やアルカリシリカ反応抑制効果がそのまま塩害抵抗性の向上につながるが、フライアッシュの使用量によっては、中性化や初期強度の低下となること十分考慮しなければならない。
アルカリシリカ反応抑制	高炉スラグ	高粉末度の場合に収縮増大。 初期養生が不足すると中性化が進行する。 高炉セメントの場合、B種でスラグ分量40%以上を有するもの、もしくはC種を使用することが、JIS A 5308 レディーミクストコンクリートで規定されている。スラグ分量40%未満のB種やA種では効果が得られないか、もしくは希薄となる。
	フライアッシュ	JIS A 5308 レディーミクストコンクリートでは、フライアッシュセメントB種ならば分量15%以上、もしくはC種を適用しなければならない。A種や15%未満のB種では効果が得られない。フライアッシュを混和材として使用する場合も、フライアッシュセメントでの使用法に準じることが必要である。
硫酸塩・海水に対する抵抗性の向上	高炉スラグ	高粉末度の場合に収縮増大。 初期養生が不足すると中性化が進行する。

1.5 混和材料を正しく使用するために

●現場ごとに異なる混和材料の使用方法

混和材料は医薬品と同じように、正しく使用すれば良薬になりますが、間違った使用方法では毒薬となり、コンクリートの耐久性に深刻な影響を及ぼします。このため、土木学会、日本建築学会、混和材料メーカーがそれぞれ規定を設けており、各生コン工場、現場で規定の範囲内で用途に合ったものを選択し、活用されています。また、その使用方法は地域性・環境によって異なる面もあります。例を挙げると、凍害対策の必要な東北地方と、その必要のない沖縄では注意すべきポイントが異なるため、混和材料に求められる機能も異なっています。

さらには、各地域で使用される骨材によっては混和材料が基本性能以上のポテンシャルを導くケースもあり、反対に本来の効果が得られないこともあります。このように、現場によって様々な考察が必要となりますので、事前の打合せ、試し練りでの確認を怠らないようにしましょう。また混和材料を使用するには、生コン工場の設備も確認が必要です。場合によっては、設備の増強や、それに伴うコスト負担も発生しますので、それらを考慮しながら進めていく事はとても大切です。施工者・製造者・販売者それぞれが互いにコミュニケーションをとりながら相互理解の基で進めていく事が重要なのです。

次頁に、混和材料を使用することにより可能となる方策を一覧にしています。混和材料に特化して、設計・仕様・生産性・施工性・耐久性・美観・環境配慮・維持管理の分類を設けています。

表3 コンクリート混和材料でやりたいこと 方策

分類			やりたいこと	混和剤	混和材	方策	関連ページ	備考
大分類	中分類	小分類						
設計・仕様	材料	コンクリート	高強度コンクリート	○	○	高性能減水剤、高性能AE減水剤、シリカフューム、高炉スラグ微粉末	79,115,173	
			水中不分離コンクリート	○		水中不分離性混和剤	81,151	
			気泡コンクリート	○		起泡剤	80,165	
			発泡コンクリート		○	発泡剤	80,165	
			爆裂防止			短繊維(合成繊維)		
			剥落防止			短繊維(合成繊維)		
			曲げ靱性の向上、耐摩耗性			短繊維(鋼繊維・合成繊維)		
生産性	材料	コンクリート	省力化					
			高流動コンクリート (自己充填性を有する)	○	○	粉体系(500kg/m ³ 以上の粉体)	72,73	
				○		増粘剤系(400kg/m ³ 程度以下の粉体)	74	
				○	○	併用系	74	
			中流動コンクリート (振動・締固めを必要とする高流動コンクリート)	○		増粘剤	33,74	
				○		増粘剤含有高性能AE減水剤	74,120	
			流動化コンクリート		○	高炉スラグ微粉末、フライアッシュ等	173,184	
	○		流動化剤	31,129				
施工	コンクリート	工期短縮			プレキャストコンクリート製品			
施工性	材料	コンクリート	ワーカビリティ改善	○	○	単位セメント量(単位粉体量)	32	
						細骨材率の適正化		
			ポンパビリティ改善	○		静電分散型添加剤		
				○		こわばり低減剤		
			打重ね時間改善(遅延)	○		遅延剤、遅延形混和剤	40,141	
			冬期の凝結特性改善(促進)	○		硬化促進剤、促進形混和剤	42,46,161	
	施工時強度の確保	○		硬化促進剤	42			
施工	コンクリート	打込みの最少スランプ						
		スランプロス低減	○		AE減水剤 ⇒ 高性能AE剤	35		
		ブリーディング抑制	○		ブリーディング抑制剤	45		
	○		フライアッシュ、石灰石微粉末	46,184,204				

表3 コンクリート混和材料でやりたいこと 方策 (つづき)

耐久性	材料	コンクリート	アル骨抑制 耐海水性		○	高炉スラグ微粉末、フライアッシュ等	62,64	中性化 ×
			塩害・鋼材腐食抑制			水セメント比 ⇒ 小さく		温度ひび割れ ×
					○	防せい材	65,158	
			温度ひび割れ抑制			低熱セメント、中庸熱セメント		
					○	膨張材(マスコン用)	47,67,194,200	
			収縮ひび割れ抑制		○	収縮低減剤	50,145	
					○	高性能AE減水剤(収縮低減タイプ)	50,119	
						骨材岩種の選定、短繊維	50	
				○	膨張材	50,194		
			中性化抑制			水セメント比 ⇒ 小さく	62	
	耐凍害性(凍結融解抵抗性)	○		AE剤、AE減水剤、高性能AE剤	57			
	防水性	○	○	防水剤、防水材	52			
	ジャンカ抑制	○		分離低減剤	32,151			
		○		流動化剤	31,129			
鉄筋	腐食防止	○	防錆鉄筋	158				
施工	構造	鋼材腐食抑制			かぶり ⇒ 大きく			
	配筋	収縮ひび割れの抑制			ひび割れ低減ネットの配置			
	コンクリート養生	プラスチックひび割れ抑制			初期養生材、被膜養生剤			
		収縮ひび割れ抑制	○		塗布型収縮低減剤	145		
美観	材料	コンクリート	白華(エフロレッセンス)抑制	○		エフロレッセンス防止剤		
			黒ずみ防止、肌面改良	○		黒ずみ防止剤、肌面改良剤	71	
環境配慮	材料	コンクリート	CO ₂ 抑制		○	高炉スラグ微粉末、フライアッシュ等	173,184	
		コーティング材	NO _x 除去			光触媒		
維持管理	測定	監視方法	劣化診断の簡素化			鉄筋近傍の腐食環境の検知		
						鉄筋のひずみ測定		

おわりに「あなたが引き出すコンクリートの底力」

混和材料を使用してコンクリートの底力を引き出すには、施工者・発注者と生コン製造者の相互理解・信頼関係が不可欠です。

前回のコンクリートよろず研究会では、問題発生時に責任を押し付け合う「不機嫌な現場」が存在することが語られました。

これを協働意識の基に改善していく事で「ひび割れ抑制対策」の取り組みに繋がり、現場に携わる一人一人が「あなたにしかできないこと」に対し真摯に向き合い、責任感で繋がり、全国に展開している「山口システム」ができあがりました。

今回は、施工現場の一步手前で、コンクリート構造物の品質確保に向けて、大切なキーとなる混和材料について理解を深めていただくことを呼びかけています。コンクリートの底力を引き出すために全ての段階で、一人ひとりのプレイヤーが品質確保というバトンを渡していきましょう。

ご清聴ありがとうございました。