

HP公開用の一部抜粋

地産地消材料を用いた 新設コンクリートの高耐久化

2019年6月12日(水)

9:45～10:30

香川高等専門学校

林 和彦

1

実現したいこと

地産地消・品質確保・ 生産性向上を同時に満たす 四国におけるトリレンマの解決

環境負荷低減（地産地消）という時代の要請に
応えつつ、構造物の品質確保と生産性向上をも
同時に満たす、（四国における）トリレンマの
解決（三方よし）

主題：フライアッシュを有効利用した四国のコンクリート
副題：フレッシュ性状の改善効果を活かした建設材料の地
産地消の実現

2

フレッシュ性状を改善する多 様な手法

- 高知：石灰石を使用（微粉などにより流動性の改善）
- フライアッシュを使用して流動性の改善
- 銅スラグ細骨材（収縮改善）＋フライアッシュを利用
- 施工性能を考慮したs/aの変更（材料が変更できない場合）

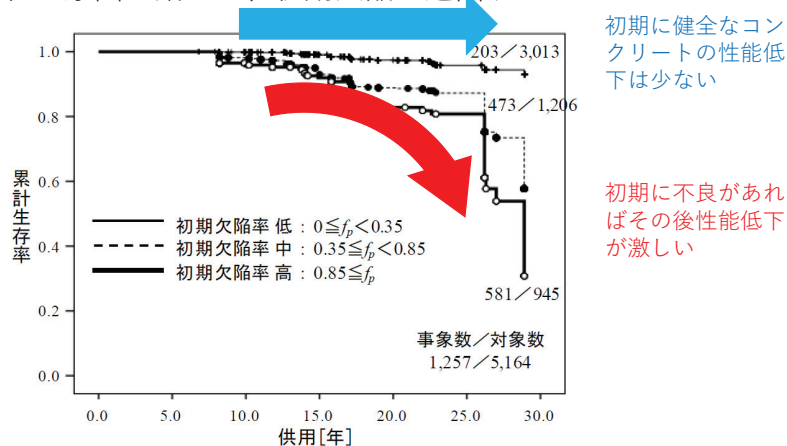
3

劣化と初期欠陥・水

4

初期欠陥と耐久性の相関

- 劣化の原因の殆どは、初期欠陥に起因するとのデータ



高畑、橋本、林、石田：赤外線サーモグラフィ法を用いた損傷抽出結果に基づくコンクリートの劣化定量分析，コンクリート工学年次論文集，2017

5

コンクリート標準示方書2017改訂

- 中性化の予測方法：「中性化残り」から「水の動き」への変革
- 現在は既往手法と同程度のかぶりが確保されているが、データの蓄積と共に、設計上の中性化が問題にならなくなっていく。
- 完成後のコンクリートの緻密性が重要になる。表層品質（養生による向上等）の評価へのパラダイムシフトが期待される。
- 少なくとも、かぶりの確保された土木分野では、中性化に関する混合セメントの不利(のレッテル)が解消される。

6

品質確保を切り口にした コンクリート業界の連携

7

なぜいま新設コンクリートか？

- 将来の維持管理負担を軽減するため
 - 劣化の連鎖を断ち切る
- 品質が中心になっていない現状
 - 密実なコンクリートを作ることが必ずしも評価されない
 - 強度、出来形、ひび割れ、程度
- 現状の受発注関係への疑問
 - ひび割れにまつわる対立構造
 - 現行のマニュアルは万全か
 - 時代・技術が設定した条件、環境は容易に変わりうる
- プレイヤー全員が活躍できる場を作る
 - 発注者-コンサル-建設-生コン-骨材 の縦割りを打破
- 地方が活躍する時代
 - 地産地消（持続性）の実現、人財の制約と育成

8

コンクリートの品質確保とは



狭義には

- 山口県の取組み（いわゆる山口方式）
- 東北地方整備局での復興道路建設
- 群馬県、その他地域での実施

広義には

- 各地での品質を高めるための、既存のルールに縛られない、創意工夫・改善の取組み
- 北陸でのASR対策
- 九州の設計施工指針
- 沖縄での塩害・ASR対策等なんでも

9

品質確保とは何か

参考：品質確保・耐久性を確保していく上でのマネジメント的課題に関する座談会→品質確保CH
HPで無料公開



- 品質確保 → その材料のもつ最大限のパフォーマンスを発揮させること。示方書・仕様書通りに作るという当たり前だけれども非常に難しく、誰もチェック・全体像を把握できていなかったことに焦点を当てた取組み。
- 品質を確保する → 未知の将来に渡り、耐久的で安全な構造物を引き継いでいくこと（土木技術者の本質）
- 品質ファーストを軸にしたPDCAサイクル。
（ルールファースト、減点されないファースト、会計検査ファースト、初期コストファースト、ではない）

10

品質確保が派生するマルチPDCA

- 小さいPDCA：
 - その構造物の品質を確保するためのフィードバック
- 中程度のPDCA：
 - 類似構造物の品質を確保する発注方法、設計方法のフィードバック
 - 技術者が学び、成長していくフィードバック
- 大きなPDCA：
 - 土木に関わる全ての業界（材料、生コン、コンサル、建設、発注者）が適切な技術開発・改善をして、良い構造物が生産されていくフィードバック
 - 各プレイヤーが適切な利潤を確保できるフィードバック
 - 国民の生活が豊かになるフィードバック

11

規準類の改訂

12

道路橋示方書 H29改訂

- 橋梁ごとに設計供用期間として**100年**を目標に、性能を維持するための戦略を示す
- **メンテナンスフリー or 適切な維持管理** のどちらも選択可能
- 設計哲学を変えた改定（国総研*1）
- 部分係数設計法の採用
 - 抵抗係数
 - 部材・構造係数
 - 調査・解析係数

*1 道路構造物ジャーナルNET：「平成29年度 道路橋示方書改定について」国土交通省
国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 橋梁研究室長 白戸真大氏

13

1.3 設計の基本理念

橋の設計にあたっては、使用目的との適合性、構造物の安全性、**耐久性**、維持管理の確実性及び容易さ、**施工品質の確保**、**環境との調和**、**経済性**を考慮しなければならない。

- 施工品質： 性能の照査で前提とする所要の施工品質が確実に得られること。施工の良し悪しが耐久性に及ぼす影響が大きい。
- 環境との調和： 構造物としての周辺環境への影響について記載。ただし、材料・エネルギーとしての環境負荷は未記載。
- 経済性： LCC最小化等。

14

1.5 設計供用期間

橋の設計にあたっては、適切な維持管理が行われることを前提に橋が性能を発揮することを期待する期間として**設計供用期間**を定めることとし、100年を標準とする

- 部材毎に**設計耐久期間**を定め、修繕や更新を行ってもよい。橋の性能や交通に与える影響やライフサイクルコストを勘案して検討する。

15

1.8.1 設計の基本方針

(3)橋の耐久性を満足するために、経年的な劣化を考慮し、所要の橋の耐荷性能が設計供用期間末まで確保されていることが所要の信頼性で実現できるように設計する。

(7)橋の設計にあたっては、橋の性能の前提となる施工の条件を定めなければならない。

- 「**耐久性能**」が、橋の耐荷性能を満足するための「**前提条件**」として位置づけられた。特別なものではなくなったのである。疲労や材料劣化といった経時的影響を前提として達成が保証されなければならない。
- **施工品質が確保され、検査方法が容易で確実でなければならない。** 施工の段階でも検討が必要。

16

道路橋示方書からの方向性

- **高耐久化**： 100年のライフサイクルコストを考慮した設計を行うため、初期建設コストが高くても、高い耐久性をもつコンクリートを採用することが普通となる。

FAコン・高流動コンへの混和材としての適用性拡大

- **施工の確実性の担保**： 施工の質により大幅に耐久性が左右されることが明らかであり、設計時に確実性を担保することが求められる。

フレッシュ性状改善、ポンプ圧送性の改善としてのベーシックな利用が期待（底辺の拡大）

17

「四国におけるコンクリートの品質・耐久性確保」HP開設



- 四国の新設コンクリートの品質確保について、全て集約されたサイト
- <https://sites.google.com/site/shikokuconcrete/>
- 2018-19年度に、日本コンクリート工学会四国支部で、品質確保委員会を始動

18

フライアッシュの現状分析

19

本検討の目的

- 新設コンクリートの品質確保を推進する上で、①コンクリート材料の施工性能（ブリーディング特性、分離抵抗性、締め固め性、ポンプ圧送性等）、②施工技術（施工の基本事項の遵守等）が特に重要である。
- ①については、骨材・混和材・混和剤・配合など様々な解決法があるが、四国の地域性として、フライアッシュの活用がある。本稿では、フライアッシュの現状について分析したものであるが、本委員会の取り組みとしてフライアッシュのみを推進するものではない。

20

最近10年の規準や社会の変革

- 規準類の改訂
 - 道路橋示方書 2017(H29) 改訂
 - コンクリート標準示方書 2017年度版 発刊
 - スランプ8cmの撤廃（国交省：2017.7.1以降）
- 生産性向上、担い手不足
 - 人材確保＞建設コスト増
 - 高流動コンクリート、プレキャスト推進
- 地域に根ざした規準の登場
 - 北陸3県のFA利活用、北陸新幹線工事での義務化
 - 沖縄のFA活用（空気量確保の撤廃）
- 建設投資の先行きが不透明
 - 地方では過度なコストカット、将来需要不安から設備投資↓
- 高温化（酷暑化）
- 環境配慮の推進
 - ただし建設分野の地方・中小は余裕なし

強度・出来形→品質ヘシフトが進行、ただし企業は弱体化

21

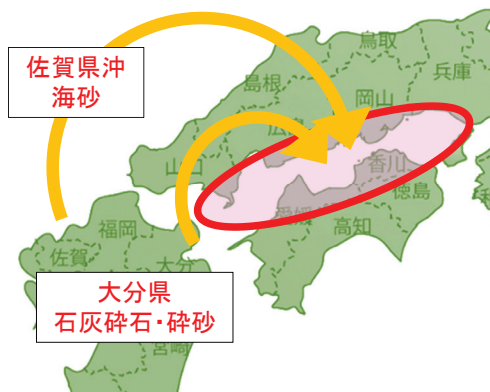
四国のおかれる現状

22

四国の骨材供給の現状

四国の規模

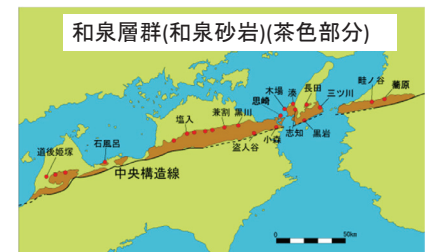
面積5% 人口・経済3% 生コン4%



- 1934年 瀬戸内海国立公園指定
- 瀬戸内海側河川砂利：1970年全面採取禁止
- 瀬戸内海海砂：1978年徳島、2005年香川、2006年愛媛で採取禁止
- 海砂代替として、四国内砕石・砕砂の利用の検討（FA添加）
- 一部、九州から海砂、石灰砕石・砕砂の海上運搬（香川で各30%）。
- 高知から他県への石灰石の移動は無し。
- 高知は海砂が利用可能だが、将来は抑制か？

23

四国の骨材性状



和泉層群の主な化石産地（茶色の部分が和泉層群の分布域）

- 四国山地、讃岐山脈を形成する和泉砂岩(中央構造線)は、形状、収縮等に劣る。単位水量・ブリーディング大。
※和歌山の垂井高架橋も和泉砂岩
- 一部の生コンでは品質向上を狙って、九州の石灰砕石・砕砂、海砂を海上輸送で利用。
- 四国内では、生コンプラント毎に骨材が異なり、生コンの性質が違う。
→コンクリート構造物の品質のばらつき

図の出典 <http://www.museum.tokushima-ec.ed.jp/bb/chigaku/fossils/izumi.html>

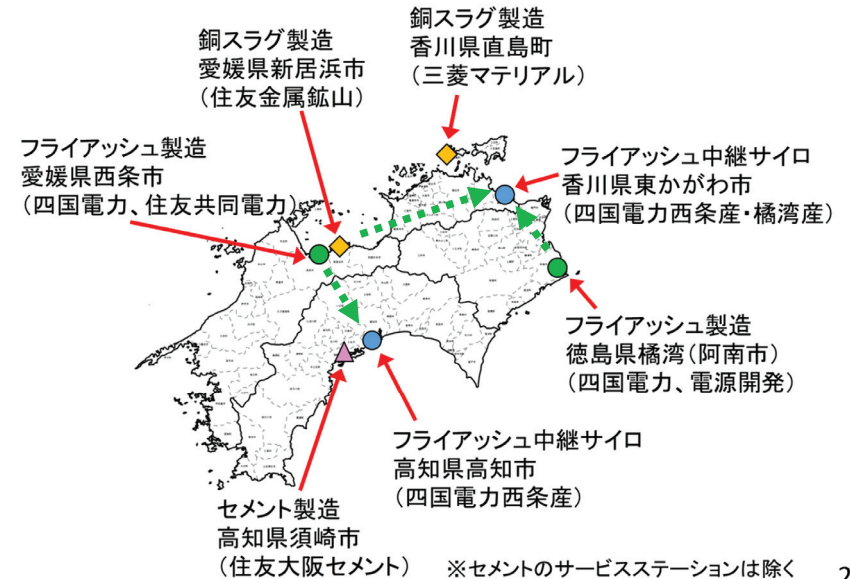
24

四国内の産業副産物の発生

- フライアッシュ（石炭火力発電所）：
 - 四国電力（愛媛県西条市→ⅠⅡⅣ種、徳島県橘湾→ⅡⅣ種）
 - 住友共同電力（愛媛県西条市）→Ⅱ種 加熱改質CfFA
 - Ⅰ種（分級FA）→セメント置換、トンネル吹付け用の需要増
 - Ⅱ種→セメント置換、骨材置換
 - Ⅳ種→骨材置換
- 銅スラグ（銅精錬所）：
 - 三菱マテリアル（香川県直島）
 - 住友金属鉱山（愛媛県新居浜市）
- 製鉄所（高炉）：四国内になし
 - 四国外から高炉セメントを運搬するグリーン購入法の意味
 - セメント生産は高知(住友大阪)のみ

25

四国のFAの供給地点



26

四国のFA使用目的

- 主としてフレッシュ性状の改善 【普段使い】
 - 細骨材補充混和材：いわゆる細骨材置換（外割）。
 - 海砂に代わり、砕砂と組み合わせて、ブリーディング抑制、施工性能改善の目的で使いたい。
 - 立米20～50kg程度の少量添加。
 - あくまでもNやBBとしての出荷のため、価格は変わらない。
 - W/Bの読み替えができず、国交省W/C上限値で縛られる低強度(18,21,24)領域では製造コストが厳しい
- ASR、塩害、温度抑制対策（個別案件） 【高級】
 - 利用件数は多くないが、発注者側の要求事項であり、使用は問題にならない。

27

四国のFAの特徴

- フライアッシュをJIS化して定常利用している工場が、16%ある。地域差はあるが、全域で使われている。
→あくまでもNコンやBBコンの中に混和材としてFAが含まれているため施工者が気づかずに使用している例は多い。
- フライアッシュをJIS化していないが出荷できる工場は、30-16=14%ある。主として、四国電力・住友電力の工事案件と思われる。
- セメントサイロ・計量器を追加で新規で購入すると3000万円程度の出費になるため、新規導入は現実的でないが、定常利用していない工場（14%）が今後定常利用するための方策も必要。

28

FAの利用の分類

仮に生コンに限定（プレキャストは別途）

29

FA利用方法の分類

- 普通コンクリートの範疇（単価アップNG）
 - ブリーディングの改善
 - 粉体量の確保（材料分離抵抗性、ポンプ圧送性）
→ただし、できて当たり前、できなくても不合格にはならない理不尽さ
- 高性能材料としての範疇（単価アップが基本）
 - 水和熱抑制
 - アルカリシリカ反応抑制
 - 塩害対策
 - 高流動コンクリート

高性能材料としては一定のニーズがあり、使いたい発注者がいれば使われてきたため、ボトルネックは余りないのではないか？ 推進策としては弱い。

30

利用ニーズの変化

ただし、

- 酷暑化に伴い、夏期は常に暑中コンクリート、マスコンクリートとしての対応が求められる
- ASRが厳しい地域では、骨材インフラとして、**ASR対策をしたものを普段使いコンクリート**として扱う必要がある（→北陸3県、沖縄）
- 塩害も同様（→沖縄）
- 骨材の多様化（未知のASR懸念）、再生骨材の流通における**恒久的ASR対策として、低アルカリを基本**とする考えもある（今気づかないだけかもしれない）

高機能（よそ行き、少数）から
普通（普段使い、多数）へと変わりつつある

普通コンクリートへ期待する内容の変化
底辺の拡大が期待される（パラダイム転換）

31

FAの使われ方の現状

32

土木分野

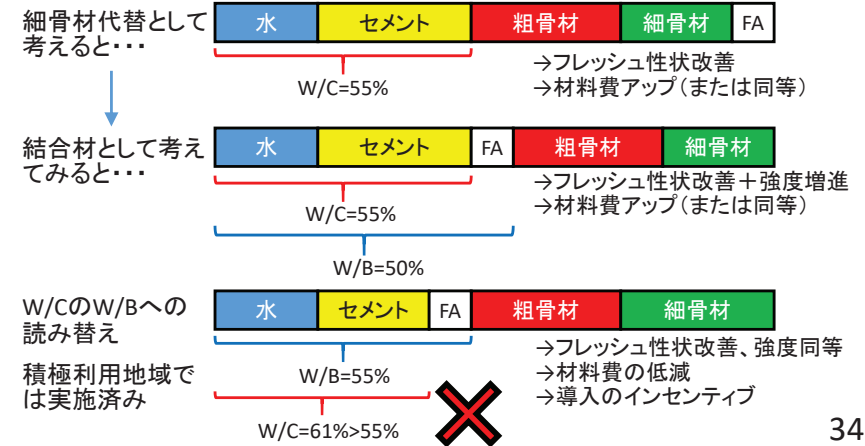
- 平成13(2001)年 国土交通省の通達
耐久性確保のため水セメント比(W/C)の上限値
 - 鉄筋コンクリート：55%
 - 無筋コンクリート：60%
- 多くの地域・工場において、
呼び強度21でW/C=60%、
呼び強度24でW/C=55% 等となる配合を採用する。
本来はより高いW/Cで十分にもかかわらず。
- 強度過多、発熱量上昇、セメント使用量大の弊害
- 一部先進地域では、フライアッシュを結合材
(Binder)として水結合材比W/Bを水セメント比W/Cに
そのまま読み替える判断をし、強度抑制・発熱抑制。
 - 結合材としての置換率は10%が多く、超えると混和材扱い

33

FAのセメントとしての読み替え

- フレッシュ性状改善のための、 30kg/m^3 程度のFA添加
- FAはポズラン反応により硬化するため、実際には結合材(B)として寄与
- 運送費を含めたⅠ・Ⅱ種FAの単価：骨材<FA<セメント

※FA=30kg→C×10%としての試算



あくまでも、NまたはBBのコンクリートであり、フレッシュ性状改善・施工性能の向上が実現

わかりづらさ・誤解

セメントによる生コンの分類

- JIS A 5308「レディーミクストコンクリート」では、「普通コンクリート」の中に、セメントの種類(N、BB、FA等)があるが、「普通コンクリート」の持つ語感が誤解を与える。
- セメントに、普通ポルトランドセメント(N)、高炉セメントB種(BB)を用いていれば、混和材(結合材、細骨材)としてFAを入れても、あくまでもN、BBであり、FAではない。→ 一般理解が難しい。
- 一般の理解(誤解)では、セメントにNセメント、BBセメント、FAセメント(ダム利用で流通、一般流通稀少)を使用すると、それぞれ「普通コンクリート(×)」「BBコンクリート(○)」「FAコンクリート(○だが稀少)」という組み合わせで呼ぶと思っている人が多い。

実務の世界では、上記について、誤解が生じてきた／生じていることに、常に留意しなければならない。

「混和材にFAを利用したコンクリート」に対して適切な呼び名がないことも、理解を困難にさせている。

35

36

FAに関する各種の誤解

- 品質は悪くないのか？
 - 30年前の粗悪品の影響を引きずっている。その後の改善と普及を理解（情報収集）できていない。
- 強度が低下するのでは？
 - 材料としては同一材齢の強度は低下するが、生コン工場がそれに応じて別途配合設計するため、呼び強度は確保される。
- コンクリートの価格が高いのでは？
 - 普通コンクリートとして発注する場合、あくまでもNセメント、BBセメントなので、同じ単価であり気にすることない。
- Airが低下するのでは？
 - 少なくとも四国においては、FA品質も安定し、生コン工場で問題なく出荷できており、発注者や施工者が気にするレベルではない。
- 黒ずむのでは？
 - 過去の粗悪品が尾を引いている。今は問題ない。ただし現在でも配合によっては気になるとの意見もあり、注意は必要。ブリーディングは許して、黒ずみは許さないのは何なのか？

37

現状の運用

主として土木分野

38

公共土木工事における利用

- セメントは、BBが多く利用されている
 - 理由は、低価格であるため。（国交省）
 - 力学上のNもBBの制限はしていないが、結果として現状の積算の標準がBBである。
 - 施工者側からNを使う提案があれば問題なく使用できるが、コストアップする場合には、施工者負担となる。
 - 高炉セメントはグリーン購入法指定品目であるが、**グリーン購入法に設定されていることが選定理由になっていない**。（現在、フライアッシュ単体は指定されていない）

混和材としてのフライアッシュがグリーン購入法指定品目になることは望ましいが、十分条件ではない。

39

セメントと呼び強度の関係

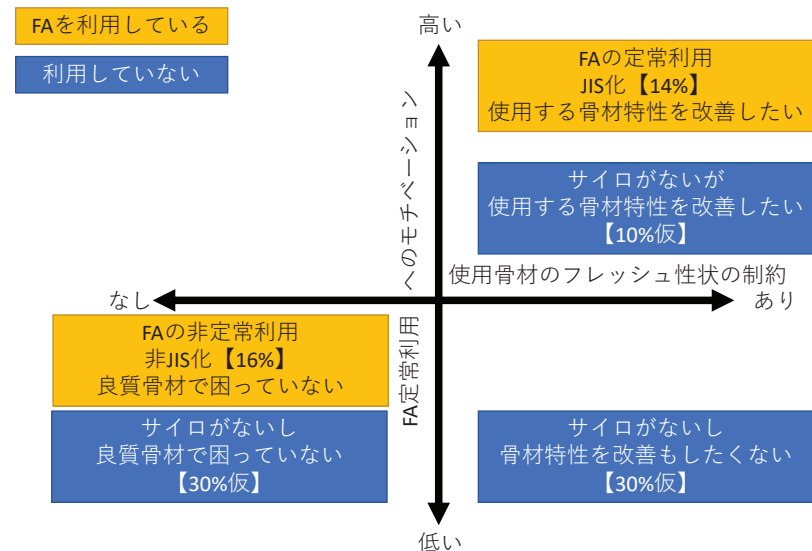
- NとBBを比較すると、BBの強度発現が遅いため、呼び強度を確保するために低いW/Cが用いられる。（ f'_x -C/Wの推定直線が下がる）
- 国交省のW/Cの上限値規定から、下記のような配合になる生コン工場が多い（実質の水セメント比発注）。
- 最近では同じ呼び強度でのNとBBの価格差がない場合が多いが、ランクが変わるため結果としてBBが安くなる。

生コン工場で採用されるW/Cの一例

呼び強度	18	21	24	27
N	0.65	0.60	0.55	・・・
BB	0.60	0.55	・・・	・・・

40

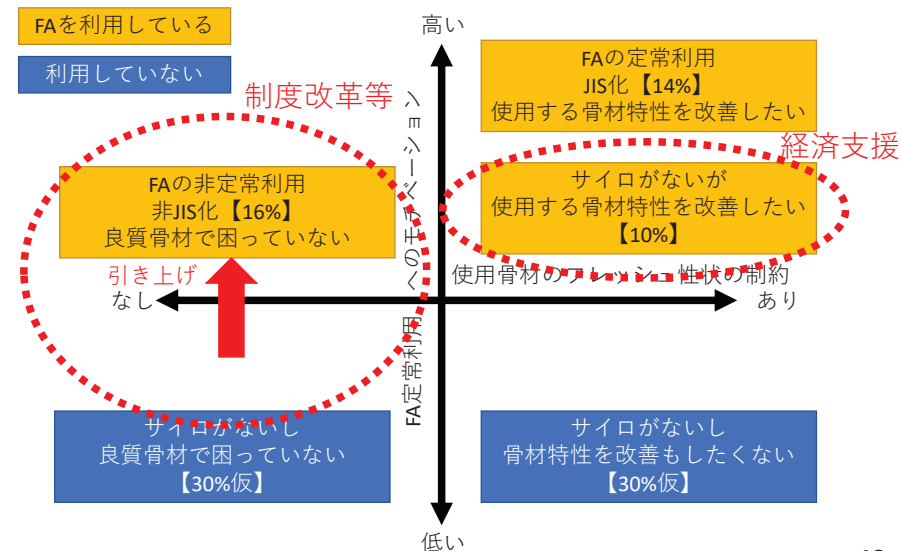
現状の分類



※10%仮、30%仮、の数字は林によるとりあえずの仮の値

41

ターゲットを絞った対策案



※10%仮、30%仮、の数字は林によるとりあえずの仮の値

42

施工性能

43

施工性能の改善

- ・ 施工における不具合の多くは、ブリーディング、材料分離。
- ・ 施工性に影響を与えるのは材料分離抵抗性（ポンプ圧送性）。
- ・ フライアッシュを添加したコンクリートはそれら不具合を劇的に改善する。
- ・ 夏場にブリーディング終了が早い、それに合わせた施工をすれば良い。（それができないと、殺人コンクリート（施工者談））
- ・ 冬場の「残業コンクリート」と「定時退社コンクリート」どちらも価格が同じ。どちらを選ぶか？

ただし、施工性能改善に対して、FAは十分条件であるが、必要条件ではない

44

施工性能の改善方法

- 施工性能改善は、様々な方法で対応できる。
 - 骨材を石灰石へ変更（微粉の増加）
 - 微粉末の添加（石灰石微粉末）
 - 高機能型化学混和剤への変更
 - s/aを工夫する
 - フライアッシュを添加する
- 「性能」の観点では、どれも同じであり、FAのみを優遇する必要はない。

発注者が「ブリーディング量規制」を行えば、
殆どの問題が解決するのではないか

45

環境性能

46

環境性能

- 廃棄物利用、セメント使用抑制、等生産時の環境負荷を低減できる材料である。
- 耐久性の向上から、LCCを下げることができ、結果として環境性能も向上する。
- ただし、品質向上、施工コスト削減、LCCの直接メリット、を加味するだけでもメリットが多数あるため、環境性能との合わせ技で評価しなくても太刀打ちできるポテンシャルを持つ。
- 過去のキャンペーンでは、環境性能ばかりが強調された面もある。

「品質を担保するためのコストメリット」と
「環境性能メリット」を分けて評価したい

47

総括

48

総括

- W/B読み替えは形式上のものであり、早期に解決すべき課題。2018年度、四国地整で前向きに検討中。
→四国地整でクリアしても、県市町村へ波及させないと、配合を2種類用意しなければならなくなり、生コン工場の配合が変わらない。
→誰がドミノを倒すか、県市町村への支援も必要。
- 生コン工場へのアプローチとしては、意識があるが経済・技術的に厳しい工場10%(仮)、設備はあるが現状に満足して使っていない工場16%を引き上げるのが先ではないか。現行14%利用→40%へ（底辺拡大へ寄与）
- トップダウンで日本初の「ブリーディング規制」を行うには時間がかかるかもしれないが、そもそも、過度ブリーディングが諸悪の根源であることの認識を、発注者、コンサル、施工者、生コンが共有する必要あり。

49

発注者の役割

- 品質ファーストで考える。前例<品質、会計検査面倒<品質、過度な根拠資料<品質・・・。
- W/CをW/Bに読み替えない工学的な理由はないため、実施する（規制の撤廃）
- W/C上限値規定、呼び強度のダブル指定は過剰で矛盾を抱えるため見直す。
- 施工の担保ができれば、W/Cの上限値規定（55%、60%）は実質的に不要。※FA以外でも、良質の骨材を使ってセメントが少なくても強度が出る生コンがW/Cがオーバーして選べないのは不合理。
- 施工の担保ができるような、監理・検査システムの確立を。山口県の品質確保システムに加え、ブリーディング規制は有効。
- 生コンがレベルアップするための単価を上げられないか。例えば、東横線複線化の期間限定値上げ。

50

施工者の役割

- 施工性能に優れた生コンを評価する技術と評価システム。
- 施工由来の不具合を解消するために、レベルアップを行う。特に、FAの夏場の施工では、ブリーディングが早期終了することに対応した施工法を確立する。
- 品質確保を徹底した歩掛を完成させる。標準歩掛りは、「強度出来形ファースト時代」の遺産
→改善するのが発注者の役割

51

生コンの役割

- 施工時の情報、完成後の情報、施工者の評価を受け、改善するシステム。
- ブリーディング低減と材料分離抵抗性に優れた生コンになるように自助努力を。
 - FA添加、石灰石利用、高機能化学混和剤利用、s/aを標準よりも高めに、等々色々なレベルの方策はある。

52

コンサルタントの役割

- 標準設計を疑う。過去の「強度出来形ファースト」時代の遺産である。
- 現行の施工承諾で生コンを施工者負担で変更してきたデータを拾い上げ、元設計にフィードバックする。
- コンサルが変れば、構造物が変わる。

53

品質確保を基にした循環システム

2018/9/10時点

