

新設コンクリート革命 ～先駆者としてのあり方と使命～

横浜国立大学

細田 暁

2017.9.4 山口県 第11回技術講習会
(コンクリートの品質確保)

参考資料: 「品質・耐久性確保チャンネル」 <http://hinshitsukakuhoch.web.fc2.com/>

本日の講演内容

- 2009年に取組みに出会ったときの衝撃と理由
- 安全性・使用性と, 耐久性(ひび割れ含む)の違い
- システムの効果
- ひび割れ問題の難しさ
- 品質・耐久性確保の全国展開と, 山口の役割

2009年3月に山口システムに出会った ときの衝撃とは

- 温度応力解析を使わない(に頼らない), データベースを活用したひび割れ抑制の成功

→ (温度応力解析(ツール)に溺れてしまう日本人への疑念を感じていた。ただし, 決して温度応力解析技術を否定するものではない。私も研究に活用している。使い方の問題である。)

- すべての前提を整えるための, 施工の基本事項の遵守の実現

→ (元々, ばらつきの大い現象に対して, 設計での対策が実構造物で効果を発揮するための最重要な前提。その後, システムを整備, 改善していく上でも鍵となった。)

安全性、使用性と耐久性

- 安全性(終局限界状態), 使用性(使用限界状態)では, 望ましくない状態に至る確率を低くするように設計するのに対し,
- 耐久性については, 想定する限界状態(例えば, 中性化深さが鋼材腐食発生限界深さに達すること)に, 50%の確率で達することを許容するという考え方である。中性化進行の場合には, 一般に劣化進展が緩やかで構造物の破壊前に様々な対処が可能であるため, そこまでの状態を許容し得る, という側面もある。

紙1枚の衝撃

- 施工状況把握チェックシート
 示方書と現場をつなぐ
 示方書の役割, 地域のガイドラインの役割を
 見直すべき時期に
- 目視評価シート
 (これは, 山口発ではないが, 目視評価法が
 メジャーデビューするきっかけは, 間違いなく山口
 で起こった。H24年12月)
 品質を見る目
 PDCA

チェック項目	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25 上期
	打込みリフト数						
	280	443	368	226	246	158	86
① バイブレータを下層のコンクリートに10cm程度挿入しているか。	9	8	8	2	1	0	1
② バイブレータを鉛直に挿入し, 挿入間隔は50cm以下としているか。	22	13	10	4	0	1	1
③ 締固め作業中に, バイブレータを鉄筋等に接触させていないか。	31	19	6	2	0	3	2
④ バイブレータでコンクリートを横移動させていないか。	10	15	3	2	0	0	0
⑤ バイブレータは, 穴が残らないように徐々に引き抜いているか。	13	29	6	4	1	2	2

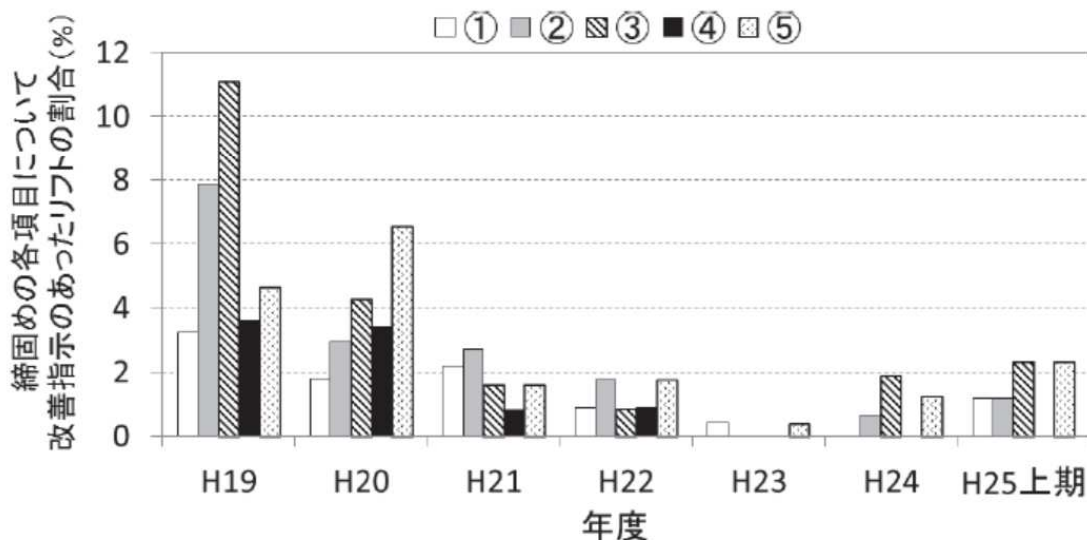


図5 締固め作業に関する改善指示件数の推移

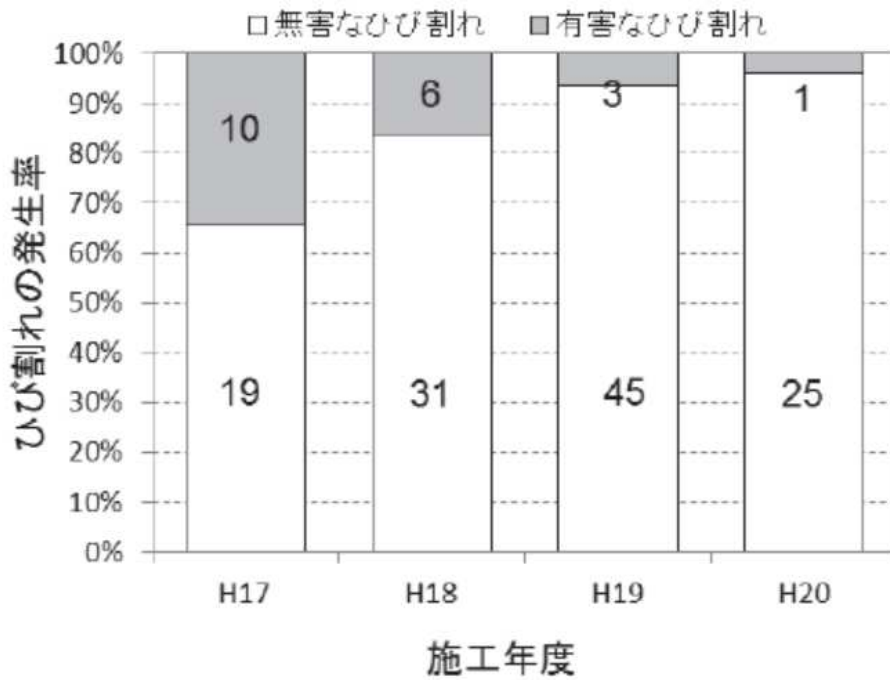


図-7 材料等によるひび割れ抑制対策が不要と判断した場合のひび割れ発生率

細田 暁・二宮 純・田村隆弘・林 和彦: ひび割れ抑制システムによるコンクリート構造物のひび割れ低減と表層品質の向上, 土木学会論文集E2, 70巻, 4号, pp.336-355, 2014

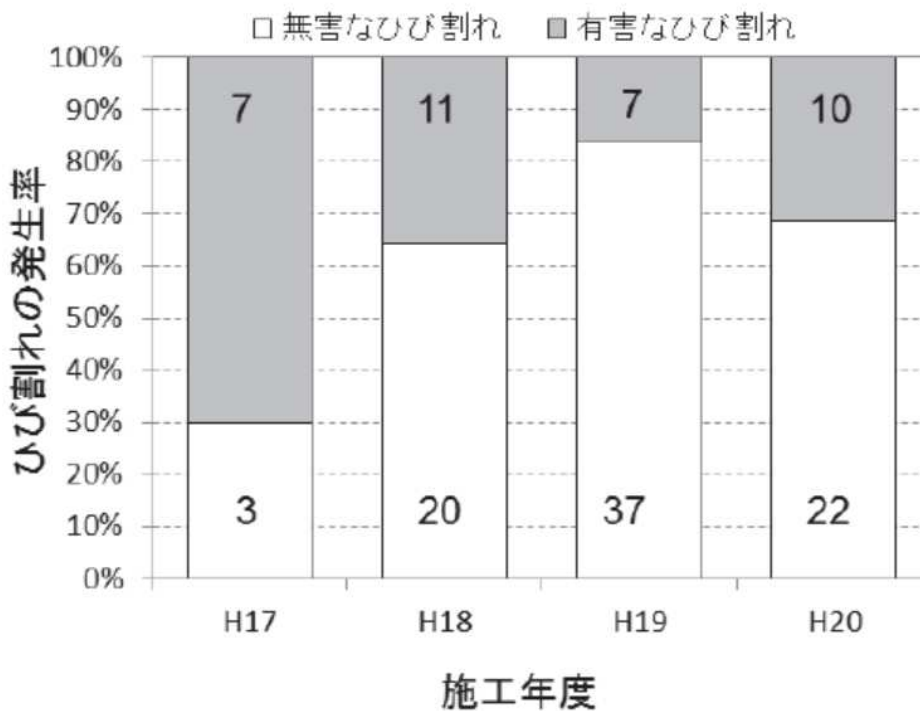


図-8 材料等によるひび割れ抑制対策を行った場合のひび割れ発生率

細田 暁・二宮 純・田村隆弘・林 和彦: ひび割れ抑制システムによるコンクリート構造物のひび割れ低減と表層品質の向上, 土木学会論文集E2, 70巻, 4号, pp.336-355, 2014

データベース構築の成功



作図: 上田 洋, データベースを核としたコンクリート構造物の品質確保に関する
研究委員会報告書・シンポジウム論文集, JCI, 2013

山口県のデータベースの分析から得られた知見

耐久性ポイントと表面吸水試験の結果の相関

コンクリート構造物の耐久設計指針 (案)

$$T_p = 30 + \sum T_p (I, J)$$

- $T_p(1, J)$ 設計作業・部材の形状・補強材の種類・詳細・設計図
- $T_p(2, J)$ 設計ひび割れ
- $T_p(3, J)$ 特別な型枠, 表面防護法
- $T_p(4, J)$ **コンクリート材料**
- $T_p(5, J)$ **コンクリート**
- $T_p(6, J)$ **コンクリート工**
- $T_p(7, J)$ 鉄筋工・型枠工・支保工
- $T_p(8, J)$ PC工の補足事項

算出



A screenshot of a database table with multiple columns and rows of data, representing the 'Yamaguchi Prefecture Real Construction Database'.

山口県の実構造物
データベース

+

山口県材料業者の
方へのヒアリング

表面吸水試験 (SWAT, Surface Water Absorption Test)

横浜国立大学で開発。完全非破壊で表面吸水試験の実施が可能。自動計測も可能。表層品質を定量的に評価可能。「良」「一般」「劣」の3段階でのグレーディング評価が、東北地整の品質確保の手引きに示されている。

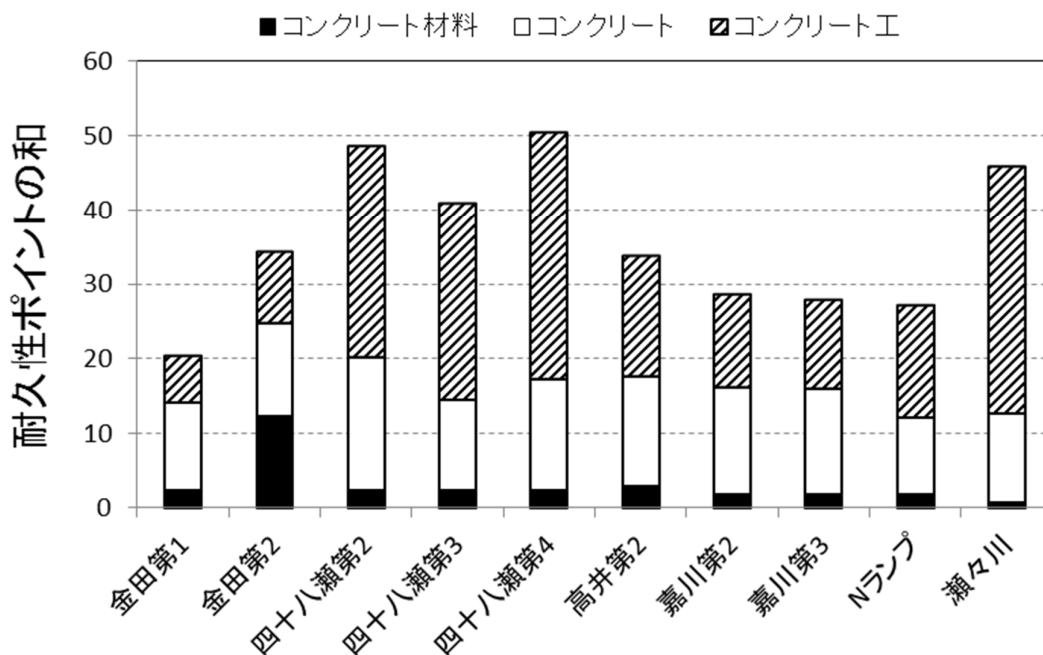


山口県の構造物での計測



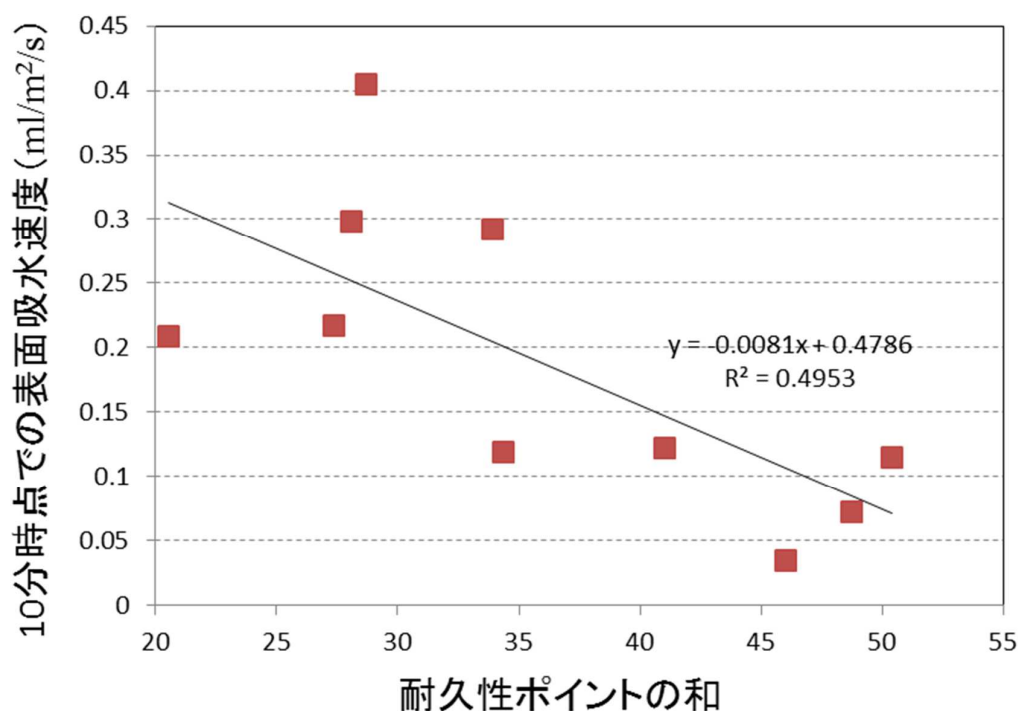
トンネルの天井部での計測

山口県の構造物の耐久性ポイント



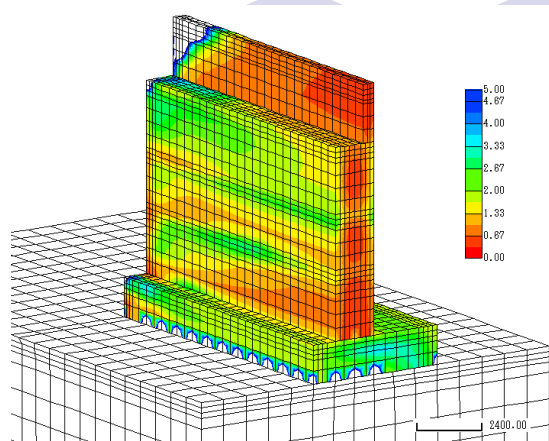
細田 暁・二宮 純・田村隆弘・林 和彦: ひび割れ抑制システムによるコンクリート構造物のひび割れ低減と表層品質の向上, 土木学会論文集E2, 70巻, 4号, pp.336-355, 2014

耐久性ポイントと表面吸水速度に、統計上有意な相関



細田 暁・二宮 純・田村隆弘・林 和彦: ひび割れ抑制システムによるコンクリート構造物のひび割れ低減と表層品質の向上, 土木学会論文集E2, 70巻, 4号, pp.336-355, 2014

山口県の実構造物のデータベースの 温度応力解析による分析



横浜国立大学 大野又稔
細田 暁

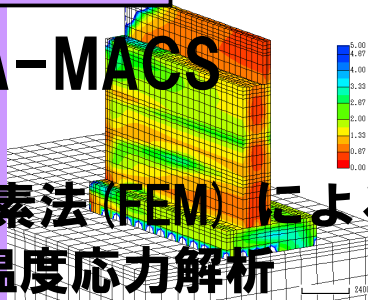
(2012年 JCI年次大会発表より抜粋)

解析条件

解析ソフト

ASTEA-MACS

有限要素法(FEM)による
3次元温度応力解析

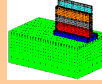


対象：橋台たて壁・胸壁
67構造物158 リフト

橋台 たて壁	高さ 1.1-5.4	厚さ 0.9-3.0	長さ 3.1-25.0
データ数	鉄筋比 (%)	ひび割れ 幅 (mm)	最高温度 (° C)
136リフト	0.04-1.27	0.00-0.40	40.2-75.5
構造形式	寸法 (m)		
橋台 胸壁	高さ 0.5-3.6	厚さ 0.5-1.5	長さ 5.4-25.0
データ数	鉄筋比 (%)	ひび割れ 幅 (mm)	最高温度 (° C)
22リフト	0.10-1.13	0.00-0.40	23.3-56.5

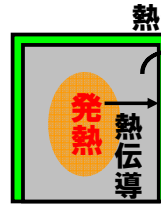
解析フロー

メッシュ作製



構造物形状
施工リフト
要素分割

温度解析



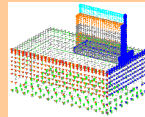
比熱
熱伝導率
密度
断熱係数
温度上昇量

熱伝達率
固定温度
外気温

セメント種
単位セメ
打込み温
打込み日

月平均
日平均
日変動
現場計測

応力解析



ヤング係数
引張強度
自己収縮

セメント種
水セメント比
クリープ
ポアソン比
線膨張係数

拘束方向
※鉄筋・乾燥
は未考慮

解析結果

温度、強度、応力、
ひずみ、ひび割れ指数

解析条件 標準解析・同定解析

標準解析 (マスコン指針準拠)

打込み温度：平均気温+5°C

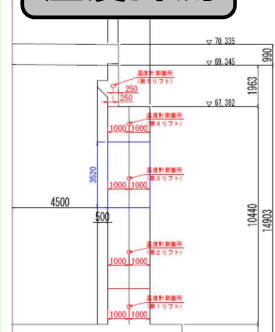
現状の設計手法

熱伝達率：指針参考値

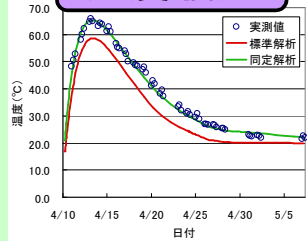
158 リフト

同定解析 (温度履歴一致)

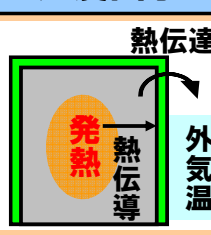
温度計測



温度履歴



温度因子



比熱
熱伝導率
密度
断熱係数
温度上昇量
セメント種類
単位セメント量
打込み温度
打込み日

熱伝達率
固定温度
外気温

最高温度と最高温度到達材齢が一致するように

打込み温度

熱伝達率 を決定

※養生期間のみ変更

位置：断面中心付近
時間：3回/日

実現に近い

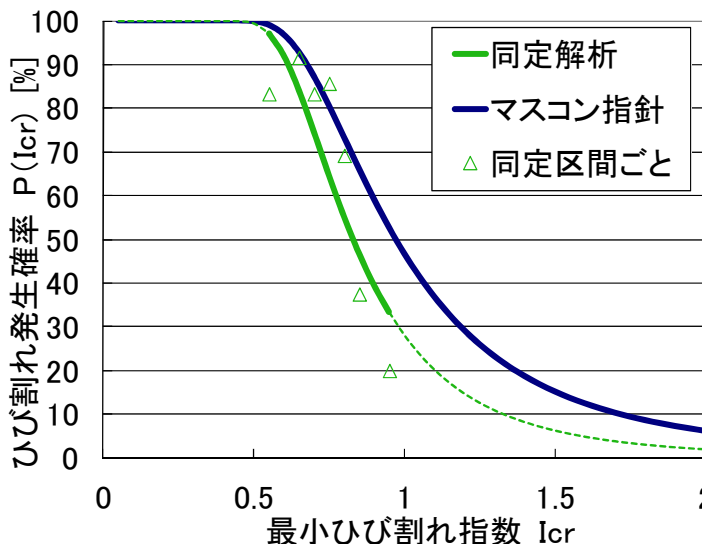
99 リフト

ひび割れ予測精度 ひび割れ発生確率

ひび割れ発生確率曲線

ヒストグラム ⇨ 各区間のひび割れ発生確率をプロット

⇨ ワイブル分布に適合するとしてひび割れ発生確率曲線



ひび割れ発生確率が小さい

要因：**ひび割れ発生強度**の増加
 ※高炉セメント+良質な施工と養生
 環境負荷低減

曲線勾配の増加

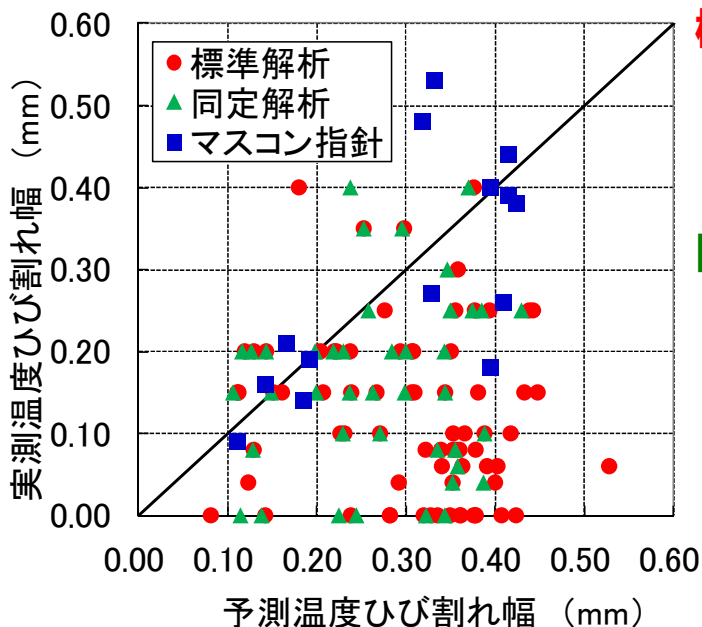
要因：**ばらつき**の減少
 ①温度精度 → 予測精度が向上
 ②実構造物のばらつきが抑制
 +データの信頼性が高い

ひび割れ予測精度 ひび割れ幅

温度ひび割れ幅予測式(マスコン指針)

$$w_c = (-0.071 / p) \times (I_{cr} - 2.04) \quad \text{実物大実験結果から算出}$$

w_c : 最大ひび割れ幅, p : 鉄筋比, I_{cr} : 最小ひび割れ指数



標準解析 : 9割安全側 **75リフト**

平均 : -0.18mm抑制

最大 : -0.47mm抑制

同定解析 : 8割安全側 **41リフト**

平均 : -0.11mm抑制

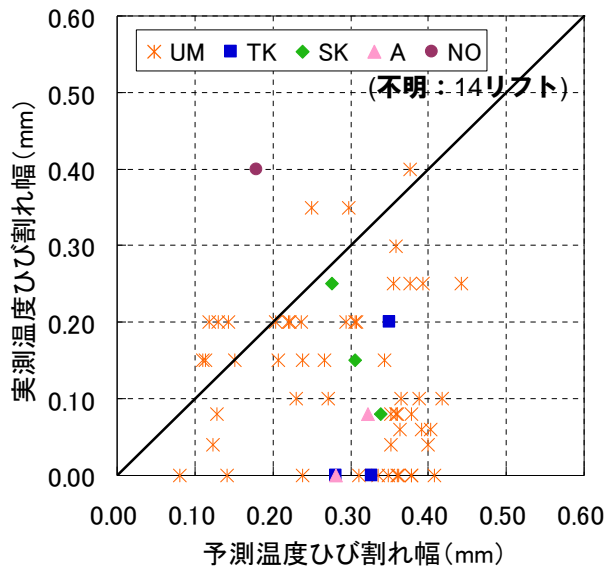
最大 : -0.35mm抑制

**ひび割れ幅予測は
 十分な精度に至っていない**

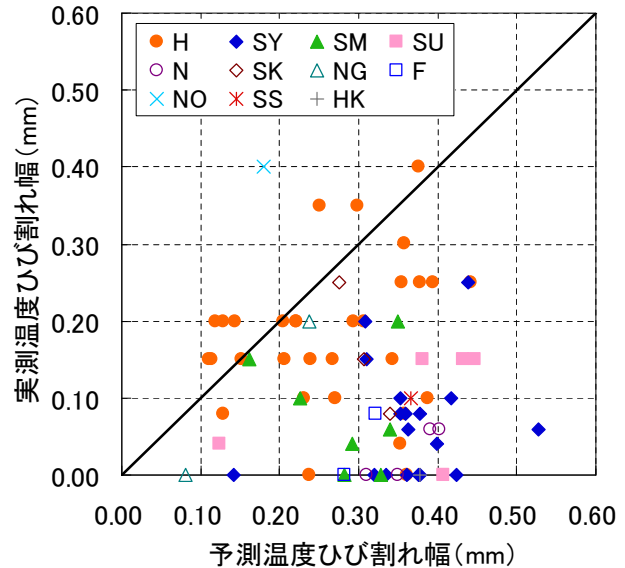
ひび割れ予測精度 ひび割れ幅

コンクリート材料特性

セメント会社別



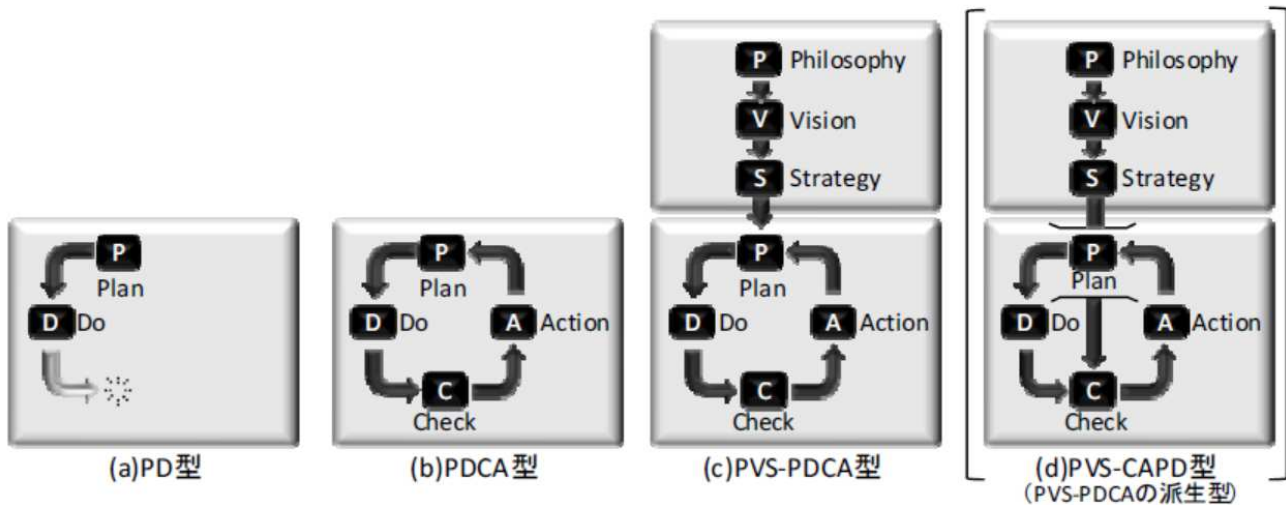
生コン会社別



全国展開と山口の役割

- 私たちの哲学を忘れないようにし、啓蒙を続ける。「善く生きる」「無知の知」
- 手段の目的化、が必ず生じるので、如何に抑制・改善するか。エントロピー増大の法則。
- 規準書の改善、の先導
- 講習会の発展と継続
- 施工記録データベース構築・管理・改善の先駆者
- 施工記録と維持管理をつなぐ

PDCAのあり方、やり方



作図: 上田 洋, データベースを核としたコンクリート構造物の品質確保に関する
研究委員会報告書・シンポジウム論文集, JCI, 2013

ルールの制定, 改善

- ひび割れの設計, 調査, 補修に関する規準書の整備, 改訂
- ひび割れと成績評定制度

ひび割れ調査・補修基準

規準書の標準値を参考にして、各工事の特記仕様書で明示

調査基準 0.10mm以上または水漏れ

補修基準 0.15mm以上または水漏れ

(貫通ひび割れの場合)

ひび割れと成績評定制度の関係

2003年度(成績評定制度開始)

「リセットc」

品質に関する評価が基本13項目の結果に関係なく、ひびわれ割れがあればc評価となる

2007年度(ひび割れ抑制システム運用開始)

「限定リセットc」に変更

補修基準以上のひび割れに限定

2013年度(運用の変更)

「限定リセットc」の廃止

運用開始から6年が経過し、確実な施工の遵守が浸透

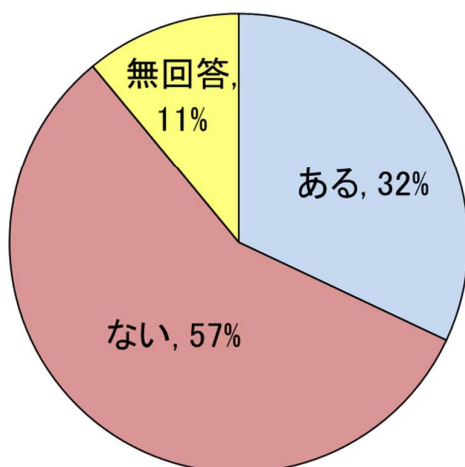
補修基準以上のひび割れがあっても、基本13項目の結果により評価

施工者の不満

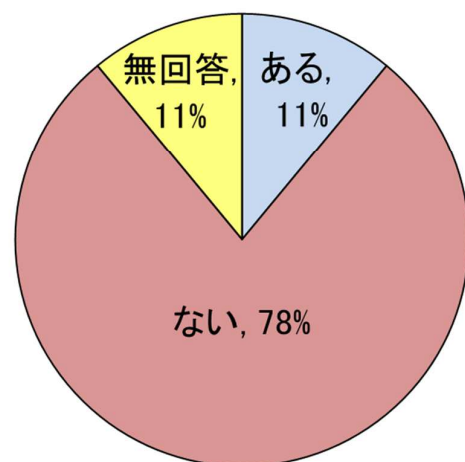
- ・リセットcによる大幅な減点
- ・判定基準が示されず、実態では目視できるひび割れがすべて対象にされる

他県の状況(2009年アンケート調査結果)

ひび割れの観察・調査、補修基準に関して定めたものがありますか。



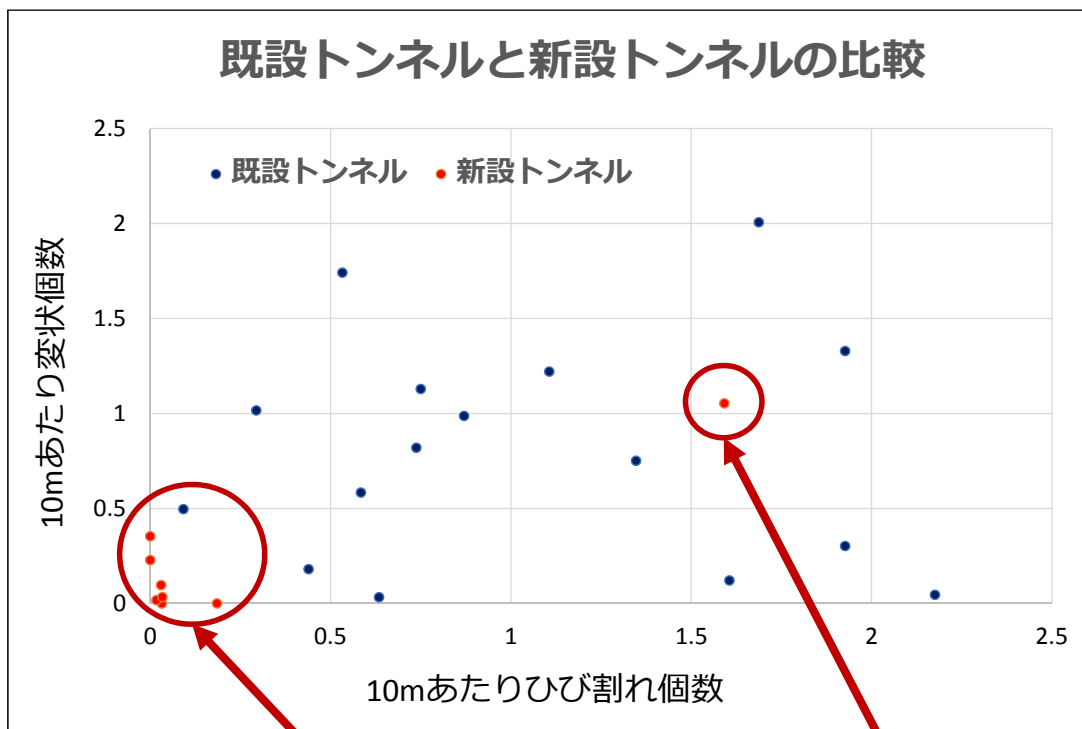
ひび割れ幅を測定する方法を定めたものがありますか。



国土交通省通達に基づく品質確保と成績評定制度を運用するうえで必要性が高まった、ひび割れの判定基準や測定方法を用意していない県が多い

地域ごとの規準書の策定・改善

- 東北地整で、「品質確保の手引き」(一般構造物編, トンネル覆工コンクリート編)が制定され, これを参考に, **全国の地整で品質確保の試行工事**が始まることとなった。**品質確保は100点ではなく, 現場には改善すべき課題も多い。**
- 東北地整で, 「ひび割れ抑制の参考資料」も制定された。全国は？
- 床版の耐久性確保は？
- 群馬県や沖縄県のガイドラインの行く末は？



**多くのトンネルで
変状が抑制されている**

**少数のトンネルでは
例外も存在する**

東北地方整備局
ひび割れ抑制のための参考資料(案)
(橋脚、橋台、函渠、擁壁編)

- 土木学会229委員会(コンクリート構造物の品質・耐久性確保マネジメント研究小委員会)で議論しながら作成。
- 2017年2月に東北地方整備局から通知。

1. 適用の範囲

(1) この参考資料は、東北地方整備局の「コンクリート構造物の品質確保の手引き(案)(橋脚、橋台、函渠、擁壁編)」を用いた品質確保の試行工事に適用されるものである。

(2) この参考資料は、現場打ちコンクリート構造物を対象に、品質確保の一手段として、外部拘束による温度応力を主要因とするひび割れの幅を目標値未満にするための抑制対策を実施する場合に適用する。

東北地方整備局
ひび割れ抑制のための参考資料(案)
(橋脚、橋台、函渠、擁壁編)

2. ひび割れ抑制の考え方

2-1. ひび割れ抑制の目標

(1) 橋脚、橋台には、目標値以上のひび割れを発生させないことを目指すこととする。

(2) 函渠においては、ひび割れ誘発目地以外には目標値以上のひび割れを発生させないことを目指すこととする。

(3) 本参考資料の適用範囲においては、RC 擁壁には、伸縮目地を適切に配置した上で施工の基本事項の遵守を行うこととし、ひび割れ抑制の目標値は設定しないこととする。

2-2. ひび割れ抑制対策の考え方

(1) ひび割れ抑制対策は、橋脚、橋台、函渠、擁壁のそれぞれに適した方法で実施するものとする。

(2) 橋脚、橋台には、目標値以上のひび割れを発生させないように適切なひび割れ抑制対策を実施するものとする。

(3) 函渠においては、目標値以上のひび割れを発生させないように、適切にひび割れ誘発目地を配置するものとする。

(4) RC 擁壁には、伸縮目地を適切に配置するものとし、それ以外の特別なひび割れ抑制対策は実施しなくてよい。

東北地方整備局

ひび割れ抑制のための参考資料(案)

(橋脚、橋台、函渠、擁壁編)

3. 橋脚、橋台のひび割れの照査と抑制対策

3-1. ひび割れの照査

- (1) 橋脚、橋台のひび割れの照査は、既往の実績による評価を用いることを基本とする。
- (2) 既往の実績によりがたい場合は、温度応力解析により照査するものとする。

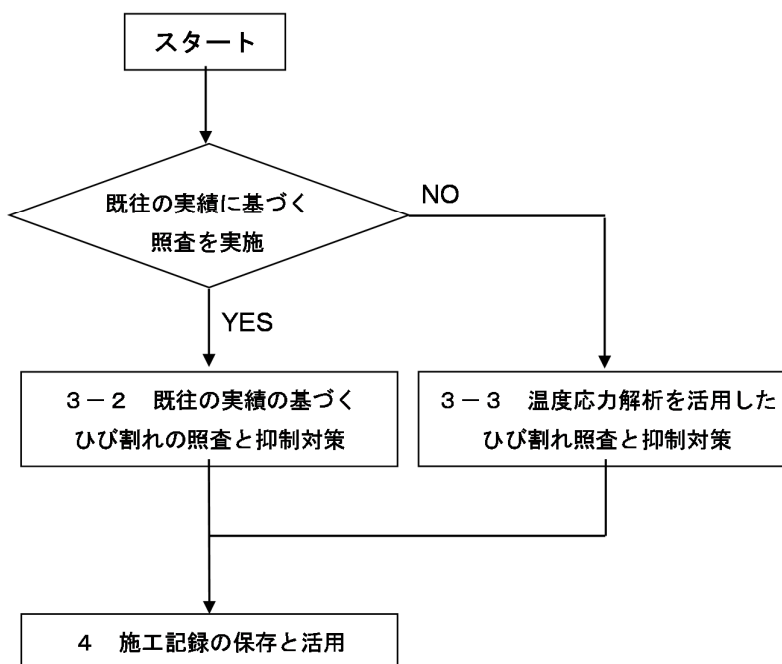
3-2. 既往の実績に基づくひび割れの照査と抑制対策

- (1) 既往の実績に基づく照査においては、対象構造物について、十分信頼できる類似構造物の施工記録を用い、ひび割れ幅が目標値未満であることを確認する。
- (2) 照査の結果、ひび割れ幅が目標値以上になる場合は、既往の実績を活用して、適切なひび割れ抑制対策を行うものとする。

3-3. 温度応力解析を活用したひび割れ照査と抑制対策

- (1) 温度応力解析は、実際の施工時期や温度条件、コンクリートの発熱特性等を反映して適切に実施するものとする。
- (2) ひび割れの発生の有無の判断は、ひび割れ指数を用いて行う。ひび割れの発生は許容するがひび割れ幅が過大とならならないように、当面 1.0 以上のひび割れ指数を目標とする。ひび割れの発生をできるだけ制限したい場合には 1.4 以上を確保することが望ましい。
- (3) 照査の結果、ひび割れ幅が目標値を超えることが懸念される場合には、適切なひび割れ抑制対策を実施するものとする。

橋脚、橋台のひび割れの照査と抑制対策のフロー



おわりに

- 地方にインフラを整備することが、国家として最大の生産性向上につながる。長持ちする良いインフラを整備すること。
- 環境条件の多様な各地方でのインフラ整備は必要不可欠であるが、どのようなきっかけでそれが促進されるモードになるか。
- 新設構造物の品質確保の取組みは、必ずや維持管理における品質確保につながる。

コンクリート構造物の品質確保・耐久性確保に向けた将来展望（「新設コンクリート革命」より）

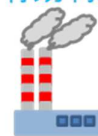
①復興道路等における構造物の耐久性確保

- ・過酷環境（積雪寒冷地、凍結抑制剤散布）での早期劣化
- ・全国標準では耐久性が不足
- ・復興道路の耐久性確保が必要
- ・東北地整の試行工事の成果活用
- ・耐久性確保のための手引き

熊本復興への貢献



②産業廃棄物・副産物の有効利用による耐久性の確保



- ・石炭火力発電の依存増大
- ・石炭灰の処分問題



Ecology & Global



- ・良質なフライアッシュの活用
- ・高炉スラグの活用

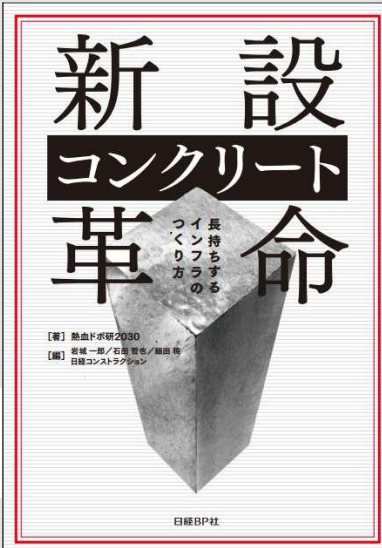
③地方のニーズにあわせた技術基準の策定

- 全国一律 → 地方ごとの基準
- ・設計、維持管理の合理化
- ・国際展開への対応力強化

④施工中の不具合抑制、品質確保

- 東北地整の試行工事の成果活用
- ・品質確保の手引き

良いインフラ、後世に残しませんか？



著 熱血ドボ研2030

編 岩城 一郎、石田 哲也、細田 暁
日経コンストラクション

定価：3,400円（税抜き）
A5判、296ページ
ISBN：978-4-8222-3526-0
発行日：3月16日

CONTENTS

- 第1章 今こそ新設にこだわりを！
- 第2章 東北・山口から始まる革命ののろし
- 第3章 トップエンジニアが語るコンクリートの最先端
- 第4章 2030年に向けて革命の先は？

新設 コンクリート革命

長持ちするコンクリートの作り方

東日本大震災の被災地で、従来の方法にとらわれず、最新の知恵を結集して産官学が一体となり、品質確保・高耐久化にこだわったコンクリートを作る「新設コンクリート革命」が起きています。大学の有識者や発注者、建設会社、道路会社の技術者など、第一線で活躍する当事者が、革命の全貌とコンクリートの最先端の情報をお伝えします。後世に長持ちする構造物を残すための工夫と知恵と哲学が、この1冊に詰まっています。



Webで
購入受付中です！

日経BP書店 <http://ec.nikkeibp.co.jp/item/books/260990.html>
Amazon <http://www.amazon.co.jp/dp/4822235262>