

混和材料を活用した 品質確保、生産性向上、資源の有効利用

横浜国立大学 教授

細田 暁

2022.10.17



山口県 第16回

コンクリート構造物の品質確保に関する技術講習会

なぜ、混和材料を活用する必要があるのか？

- 活用しないと品質確保、ひび割れ抑制できないから。**
- 廃棄に多額の費用がかかっている廃棄物を有効活用できるから。**
- 資源を節約することに本当に意義があるとするれば（骨材が不足しているとか、セメントの原料が枯渇する恐れがあるなど）、資源の節約に貢献できるコンクリートを製造・供給できるから。**

講演の概要

(1) 「残コン」やゼロセメントコンクリートの有効活用

(2) スランプ保持型混和剤の活用

(3) 膨張材の適切な活用

**(4) フライアッシュの適切な活用
(沖縄県の事例, 風間 洋さんより資料提供)**

生コンの廃棄物等を資源として 革新的に活用する方法についての 技術研究開発

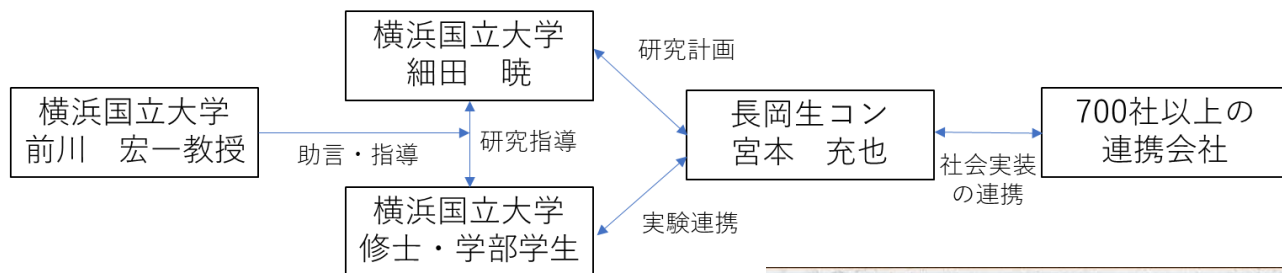
| | | | |
|--------|------|----|----|
| 横浜国立大学 | 教授 | 細田 | 暁 |
| 横浜国立大学 | 大学院生 | 志賀 | 純貴 |
| 横浜国立大学 | 教授 | 前川 | 宏一 |

(インフラサービスにおける省エネ推進・CO₂削減に寄与する研究)

令和3年度「技術（シーズ）マッチング」に関する公募（第2回）

関東地方整備局

研究の実施体制（社会実装促進も含む）



- ・ 生コン工場での実験・実機試験
- ・ 大学の実験室での実験・分析
- ・ 成分分析等（外注）



共同研究者の長岡生コンクリート（生コンポータル）では、全国3000社程度の生コン工場のうち、**700社程度とネットワークを構築**しており、土間用のポーラスコンクリートの**インターネットによる受注と供給体制**も運用している。

本研究の技術開発は、長岡生コンクリートの工場と横浜国立大学の実験室で実施するが、技術開発と並行して、**700社程度のネットワークを活用して社会実装を同時進行させる**。開発した技術の実装は、JIS外品としてスタートし、将来的にJIS化も目論む。

R3年度に開発し、実装した造粒ポーラスコンクリート①

granZ コンクリート

造粒ポーラスコンクリート
(Granulated porous concrete)
+
ゼロセメントコンクリート
(Zero cement concrete)

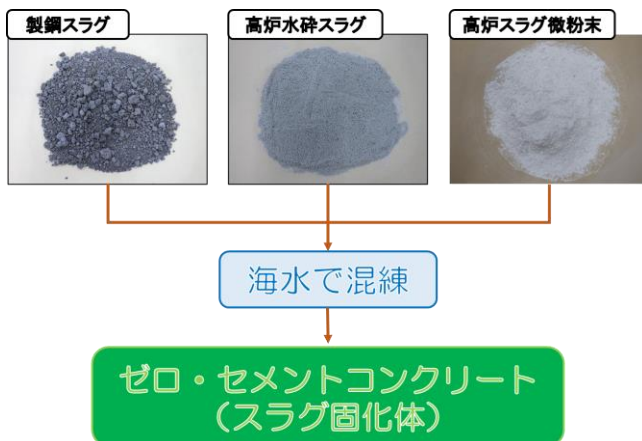
- ・ 海水を使用
- ・ すべて製鉄所からの副産物
- ・ 透水性を有し、防草とぬかるみ対策としての使用

RE-CONZEROEVO
MAPEI

A剤
高分子

+

B剤
急結剤



造粒



(ゼロセメントコンクリートについては、別途、2021年度から奥村組土木興業と共同研究)

granZ concreteの試験練りと試験施工 (2022年2月4日@長岡生コンクリート)

| 配合 | | | C | W1 | S1 | G1 | Air | AD | 合計 |
|--------------|------|--------------------------|----------|-----|-------|-------|-----|-------|------|
| ゼロセメントコンクリート | | | 高炉スラグ微粉末 | 海水 | 水砕スラグ | 製鋼スラグ | 空気量 | AE減水剤 | |
| 水セメント比(%) | 37.0 | 体積(L) | 161 | 170 | 219 | 405 | 45 | - | 1000 |
| 細骨材率(%) | 35.1 | 単位質量(kg/m ³) | 459 | 170 | 605 | 1183 | - | 4.59 | 2417 |

製鋼スラグの割合を増やす配合上の工夫



生コン車のハッチから
材料投入



海水を投入して、
高速攪拌で練り混ぜ



造粒材を添加後、
現場に運搬して打設

granZ concreteの試験練りと試験施工（2022年2月4日）

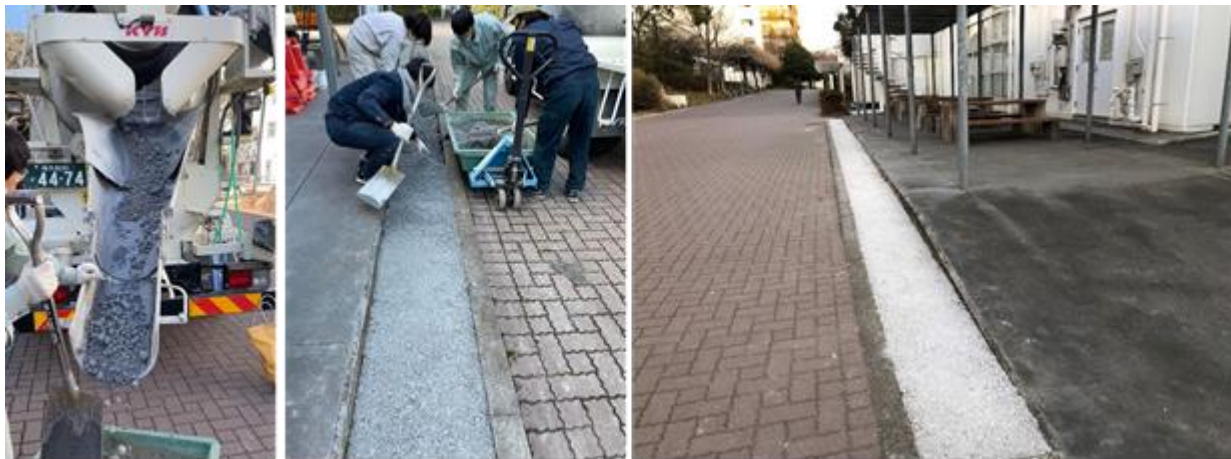
0.5m³のgranZ concreteをアジテータ車で練り混ぜ、
特殊な機材を使わずに施工を完了



[試験練りと試験施工の状況の動画](https://www.youtube.com/watch?v=kTUUGB4-8YI)

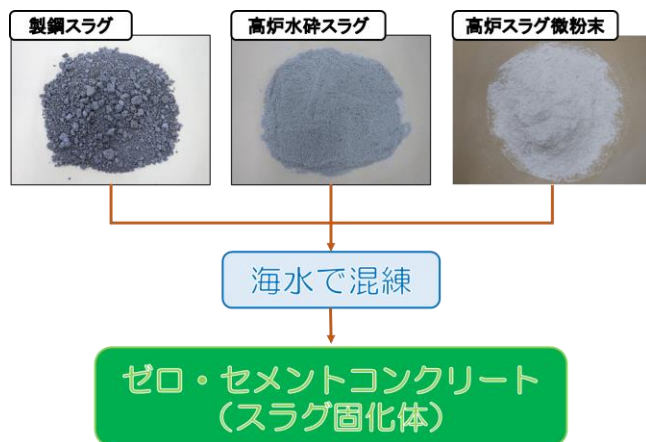
<https://www.youtube.com/watch?v=kTUUGB4-8YI>

土木・建築の構造体には利用が困難な、廃棄物・副産物等を使いこなし、適切な透水性を有するポーラスコンクリートの開発と普及



- ・地面に蓋をしない
- ・防草シートより圧倒的に耐久的
- ・水分保持性も高く、ヒートアイランドも抑制？
- ・廃棄物に高い価値を付与

2022年2月23日に、海水を用いたゼロセメントコンクリートのポーラスコンクリートを施工



造粒



強度試験方法、耐久性、品質管理、製造・施工方法等についての基礎研究が必要

R3年度に開発し、実装した造粒ポーラスコンクリート②



- ・学生による特別な機材を使わない施工
- ・上澄み水による高炉セメントの反応の活性化
- ・廃棄物(回収骨材)への価値の付与
- ・サプライチェーンの構築

2022年2月23日に施工したネガティブコンクリートの 圧縮強度の試験結果

| (7day) | d1 | d2 | d3 | Ave | kN | N/mm ² |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------------|
| No. 1 | 99.1 | 98.9 | 99.6 | 99.2 | 17 | 2.200675 |
| No. 2 | 99.2 | 100 | 100 | 99.73333 | 28.5 | 3.650014 |
| No. 3 | 99.1 | 100 | 100 | 99.7 | 14.7 | 1.883898 |
| Ave | 99.13333 | 99.63333 | 99.86667 | 99.54444 | 20.06667 | 2.578196 |

| (14day) | d1 | d2 | d3 | Ave | kN | N/mm ² |
|---------|----------|------|----------|----------|----------|-------------------|
| No. 1 | 99 | 98.5 | 98.8 | 98.76667 | 27.1 | 3.538986 |
| No. 2 | 98.8 | 99 | 98.8 | 98.86667 | 19.5 | 2.541354 |
| No. 3 | 98.8 | 98.9 | 99.6 | 99.1 | 31.6 | 4.098926 |
| Ave | 98.86667 | 98.8 | 99.06667 | 98.91111 | 26.06667 | 3.393089 |

| (14day) not porous | d1 | d2 | d3 | Ave | kN | N/mm ² |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------|
| No. 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 98 | 12.48408 |
| No. 2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 98 | 12.48408 |
| No. 3 | 100 | 100 | 100 | 100 | 122 | 15.5414 |
| Ave | 100 | 100 | 100 | 100 | 106 | 13.50318 |

R3年度に開発した造粒ポーラスコンクリート③

IWA骨材を用いた
造粒ポーラスコンクリート

戻りコンのスラッジも含む
回収骨材
+
高炉セメント、回収水



長岡生コンのIWA骨材

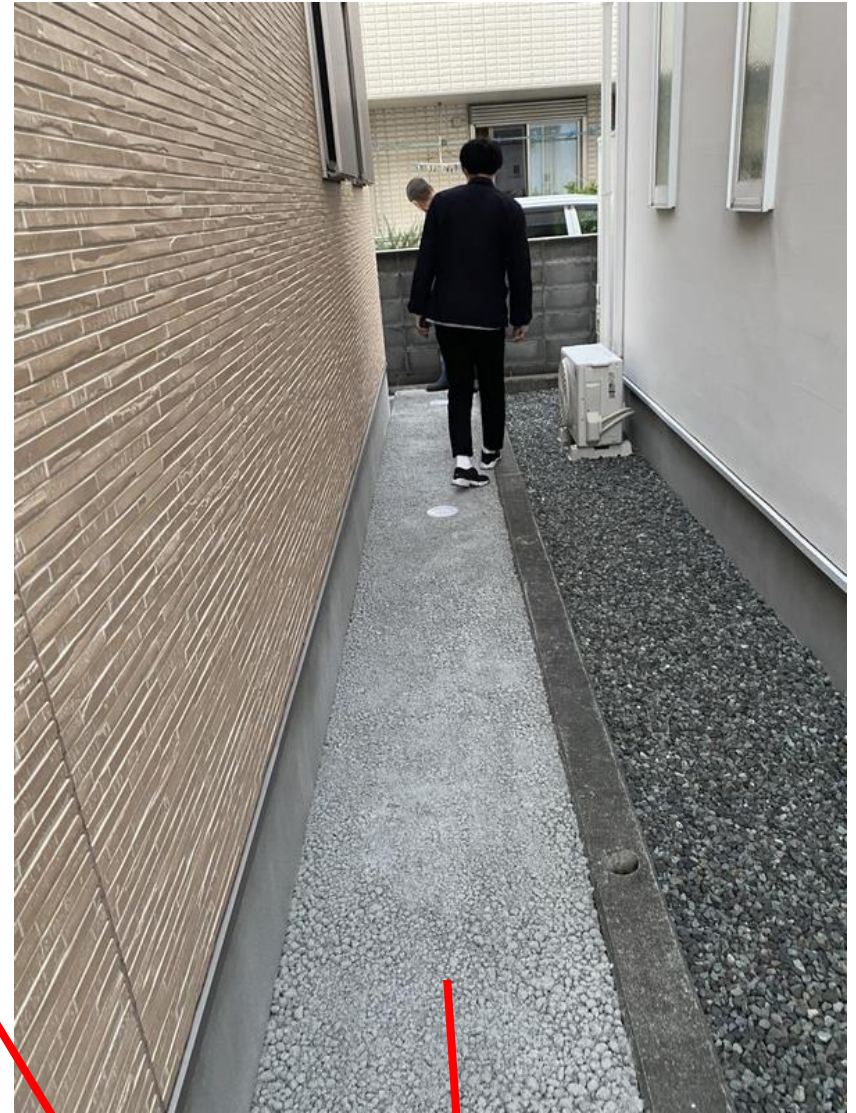


2022年3月11日に試製造

ポーラスコンクリートの過去の施工現場の視察の例



一般的なポーラスコンクリート
「ドライテック」



造粒ポーラスコンクリート（ヴァージン材）

ポーラスコンクリートの過去の施工現場の視察の例



一般的なポーラスコンクリート「ドライテック」

情報発信

YNU > Headlines > 都市イノベーション学府 学生プロジェクト"granZ concrete"が完成

都市イノベーション学府 学生プロジェクト"granZ concrete"が完成

2022年2月23日、環境改善を目的に都市イノベーション学府学生プロジェクト"granZ concrete"として、細田暁教授指導の下、コンクリート研究室の学生たちがZeroセメントの造粒ポーラスコンクリートの高い、透水性コンクリート舗装を行いました。

舗装場所である工学基礎研究棟前のテラスとメインストリートの間には細い土の道があり、夏場は草が生い茂っていました。

"granZ concrete"は、Granulated (造粒された) Zero-cement Concreteから付けられた副産物の高炉スラグ微粉末、水砕スラグ細骨材、製鋼スラグで作られました。剛地帯は呼吸はしますが、雑草は生えてこなくなります。

この日はgranZ concreteに加えて、もう一種類の環境負荷低減型の透水性コンクリートと名付けていますが、生コン工場が発生するゴミを主材料として製造しました。建設生コン車の洗浄水から回収した水や骨材のみでつくった、「ネガティブな材料」を主材料も、立派に防草対策として機能してくれます。



生コンポータル
現場指導は無料です！
お問い合わせ

HOME 地球に優しい透水性コンクリート 近郊の施工業者に出会える庭コン 仕入れに出発する生コンピニ 生コン交流の場生コンキャンプ 生コンでいいこと取り扱いプロダクト

HOME > オウコン

2022/02/24

【神奈川】「学生らが主体的に開発した造粒ポーラスコンクリート granZ con社会実装」相武生コン・横浜国立大学

LINEで気軽に
お問い合わせ！
かんたんな質問
お答えします。

粗見様もじゃない。
「撤出し(見直し撤去)」するから
安い、早い、安心。
詳しくはコチラ
あとだしじゃんけんワークス

WEBセミナー開催中！

Namakon
気になる検索キーワードを入力して検索ボタンを押してみてください。
検索例：「ジャンカ」「汚れ」「雑音」「雑音」「リサイクル」「エクステリア水回り」「水たまり」「駐車場」

このキーワードで検索

granZ con (造粒ポーラスコンクリート) 初の公共事業 (横浜国立大学発注) における実装。適用は2箇所、配合も2種類。今回はgranZ con 1について紹介。セメントをいらず、副産物や海水だけで製造されたそのコンクリートは環境負荷完全ゼロのスーパーマテリアル。
製造：相武生コン (清水さん)、施工：横浜国立大学学生ら

講演の概要

(1) 「残コン」やゼロセメントコンクリートの有効活用

(2) スランプ保持型混和剤の活用

(3) 膨張材の適切な活用

(4) フライアッシュの適切な活用

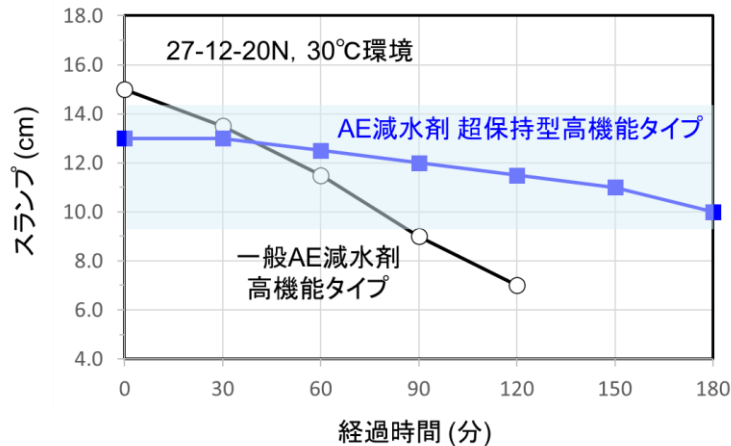
(沖縄県の事例, 風間 洋さんより資料提供)

スランプ保持型混和剤の凝結遅延効果を調べるための 簡易貫入試験に関する検討(その1)

横浜国立大学
ポゾリスソリューションズ株式会社
鹿島建設株式会社

○ 細田 暁 中元奏希 志賀純貴
小泉信一 菅俣 匠 阿合延明
藤岡彩永佳 渡邊賢三 柳井修司

暑中コンクリートにおけるスランプ保持性に優れた化学混和剤の活用と コンクリート標準示方書[施工編]の改訂(2023年版)の動向



- 適切なスランプ保持性と凝結遅延性を有することを、暑中コンクリートを想定した条件で確認する試験方法を制定中。
- これまでに実施された室内・実機での実験結果等を分析し、土木学会規準の試験方法の原案が審議中。
- 土木学会に「暑中コンクリートの設計・施工に関する研究小委員会」(253委員会, 委員長: 細田)が設立され、最終的に設計施工指針を取りまとめる。

示方書改訂の方向性(審議中)

- コンクリートに適切なスランプ保持性と凝結遅延性を与える有する化学混和剤を用いることを条件に、「打込み時の温度が35°Cを超える場合」の打込みを可能とするように改訂。
- プラント添加型と別途添加型の両方を対象。
- 「暑中環境下におけるコンクリートのスランプ保持性・凝結遅延性に関する混和剤の試験方法」(仮称)をJSCE-DXXXとして新たに制定予定。品質評価のための判定基準は、示方書に記載する。
- 暑中コンクリートを想定した温度での試験で合格したスランプ保持型混和剤を使うことで、これまでのように施工ごとに暑中環境を想定して行うコンクリートのフレッシュ性状の試験を省略したい。

はじめに

【背景】

適切に打重ね作業を行うために、現場においてコンクリートの凝結始発前の凝結の進行性状を把握し、管理する必要がある

→プロクター貫入抵抗値の計測(JIS A 1147)では、
打込み位置の日射や風などの環境要因が十分に考慮されない



現場でコンクリート表層部の流動性状や凝結性状を管理する手法として、
簡易貫入試験が提案されている

【目的】

高温環境下においてスランプ保持型のAE減水剤の効果を調べるため、
N式貫入試験とT式貫入試験を実施し、プロクター貫入抵抗値との関係を分析する

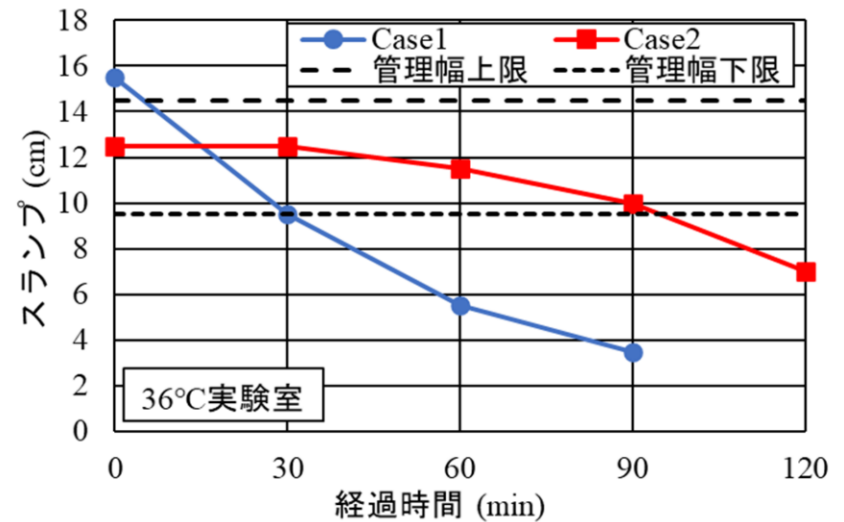
コンクリートの配合とスランプの経時変化

表-1 使用材料

| 材料 | 物性 |
|--------|--|
| セメントC | 普通ポルトランドセメント, 密度 3.16 g/cm^3 |
| 細骨材S1 | 東京都八王子市, 砕砂 表乾密度 2.63 g/cm^3 , FM:2.95 |
| 細骨材S2 | 千葉県富津市, 山砂 表乾密度 2.60 g/cm^3 , FM:1.6 |
| 細骨材S3 | 埼玉県秩父郡横瀬町, 石灰砕砂 表乾密度 2.69 g/cm^3 , FM:2.9 |
| 粗骨材G | 東京都青梅市, 砕石 表乾密度 2.71 g/cm^3 , 実積率59.5% |
| 練混ぜ水W | 上水道水, 32°C |
| 混和剤Ad1 | AE減水剤 遅延形 高機能タイプ リグニンスルホン酸化合物と ポリカルボン酸エーテルの複合体 |
| 混和剤Ad2 | AE減水剤 遅延形 超保持型高機能タイプ リグニンスルホン酸化合物と ポリカルボン酸エーテルの複合体 |

表-2 配合 (27-12-20N)

| Case | W/C | s/a | 単位量 (kg/m^3) | | | | | | 混和剤 | |
|------|------|------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|------|------|-------|
| | (%) | (%) | W | C | S1 | S2 | S3 | G | Type | (C×%) |
| 1 | 53.0 | 46.0 | 170 | 321 | 415 | 166 | 248 | 1000 | Ad1 | 1.15 |
| 2 | | | | | | | | | Ad2 | 1.15 |



スランプの経時変化

凝結性状の確認

【実験概要】

2種類のコンクリートを対象に凝結性状に関する実験を実施

Case1: 土木工事で広く用いられる夏期配合のコンクリート

Case2: **スランプ保持性を大幅に高めた**コンクリート

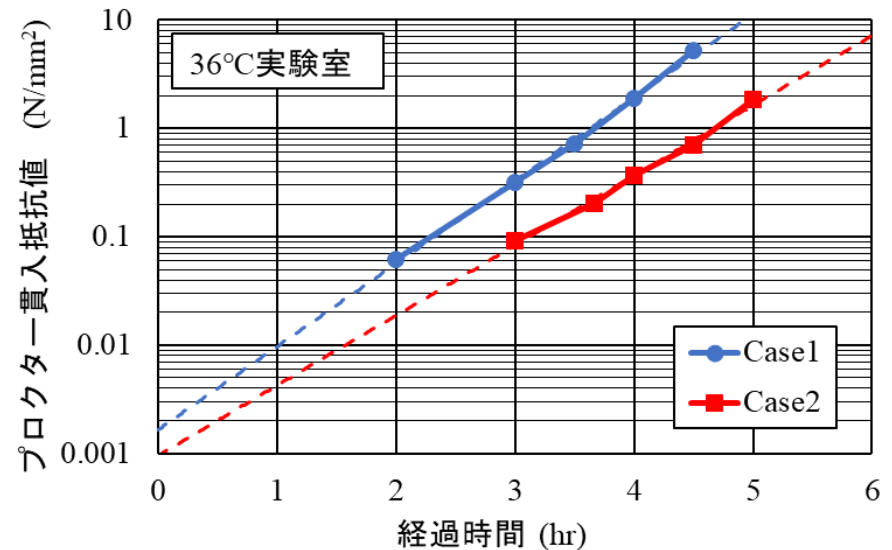
→ 室温36°C、湿度約60%の実験室内で

プロクター貫入抵抗値(JIS A 1147)を計測



【結果】

- ・ ほぼ直線的な関係が見られた
- ・ Case2の方が同じ経過時間において、小さいプロクター貫入抵抗値を示した



実験概要

2種類のコンクリートを衣装ケースにそれぞれ打込み、簡易貫入試験を実施

- ・練混ぜから試験までを室温36°C、湿度約60%の実験室内で実施
- ・内寸441×327×296mmの衣装ケース内に高さ約250mmで打ち込んだ
- ・打込み後、突き棒で上面を100回突き、締固めを行った
- ・締固め後、衣装ケースの変形を防ぐためにケース中央部をテープで固定
- ・締固めから約30分間隔で次項の簡易貫入試験を実施
- ・試験の経時を待つ間はコンクリートの乾燥を防ぐ対策は実施せず



実験概要 - 簡易貫入試験

N式貫入試験

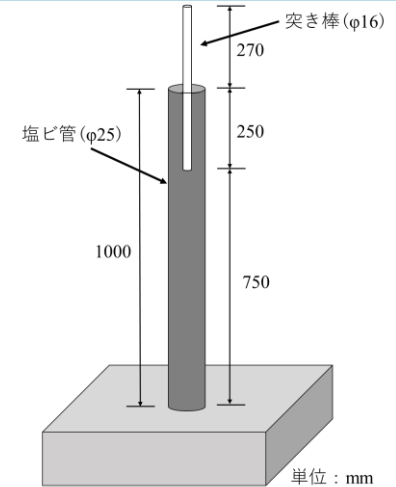
JIS A 1101 (コンクリートのスランプ試験方法)に用いる
突き棒の落下による貫入量の経時変化を測定

T式貫入試験

JIS A 1101 (コンクリートのスランプ試験方法)に用いる
突き棒の人力による貫入量の経時変化を測定

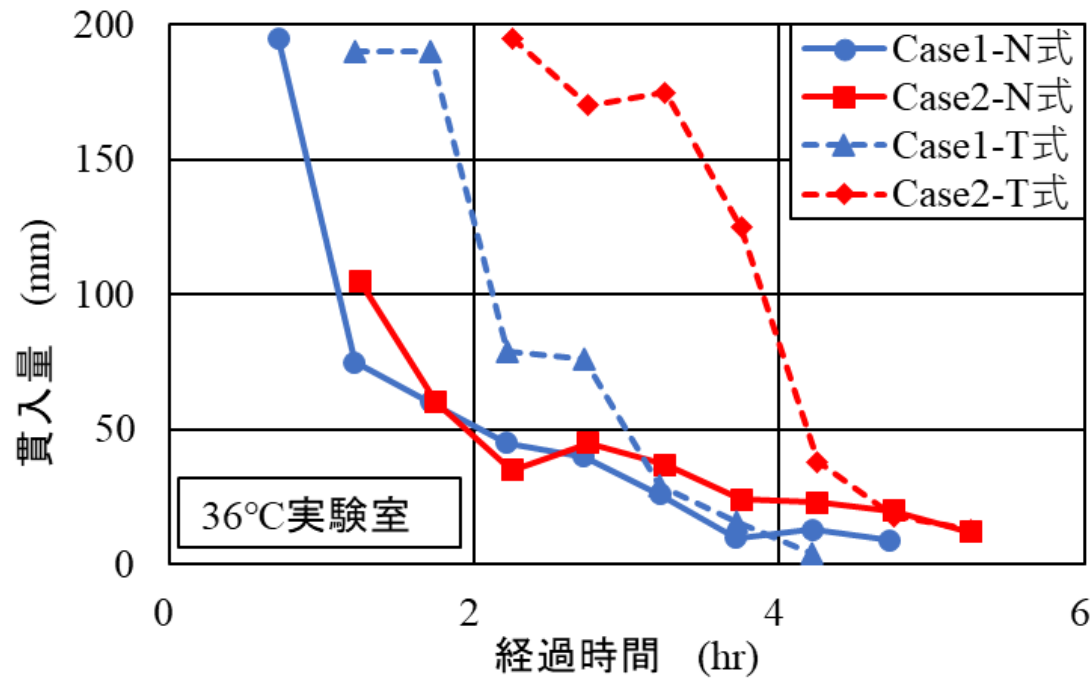


突き棒 … $\phi 16 \times 520\text{mm}$ 、質量 814g



別容器での実施の様子

実験結果



Case1：土木工事で広く用いられる夏期配合のコンクリート

Case2：スランプ保持性を大幅に高めたコンクリート

実験結果

N式貫入試験

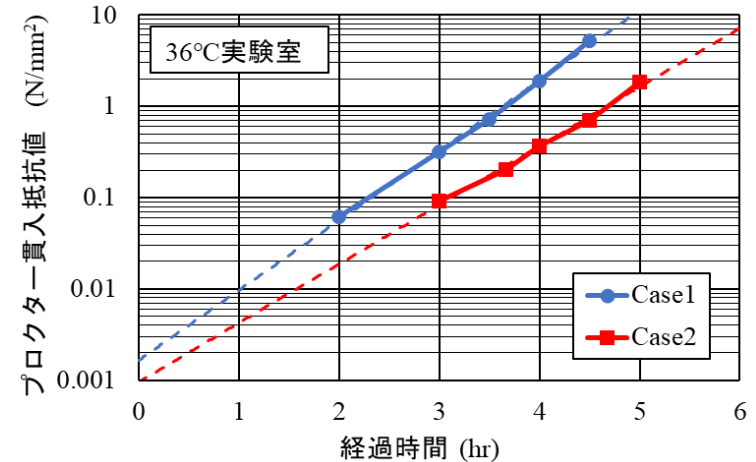
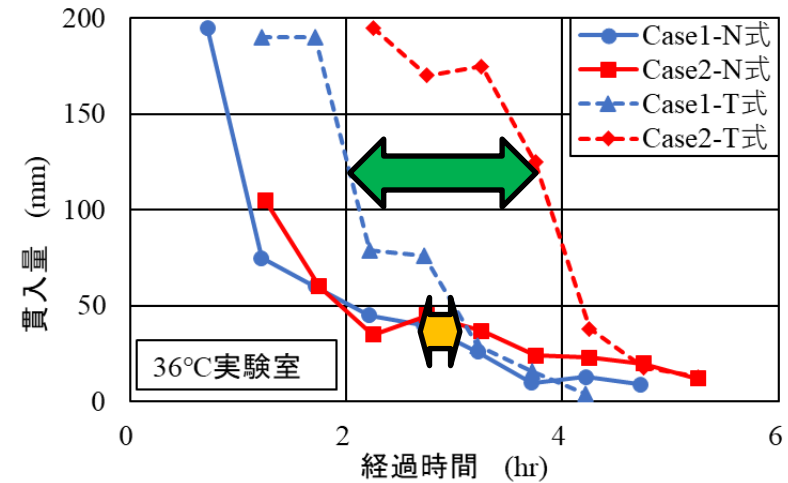
Case1とCase2が一定の経過時間で同程度の貫入量を示した

→スランプ保持型の混和剤の凝結遅延効果を確認するのは困難であった

T式貫入試験

Case1とCase2が同程度の貫入量を示すには時間差がある

→プロクター貫入抵抗値と同様に Case による凝結性状の違いが確認された。



実験結果

N式貫入試験

両 Case ともに経過時間2時間程度以降の貫入量の変化量が小さい

→凝結の進行を確認するのが困難である

T式貫入試験

両 Case ともに経過時間 2 時間程度以降の貫入量の変化量が大きい

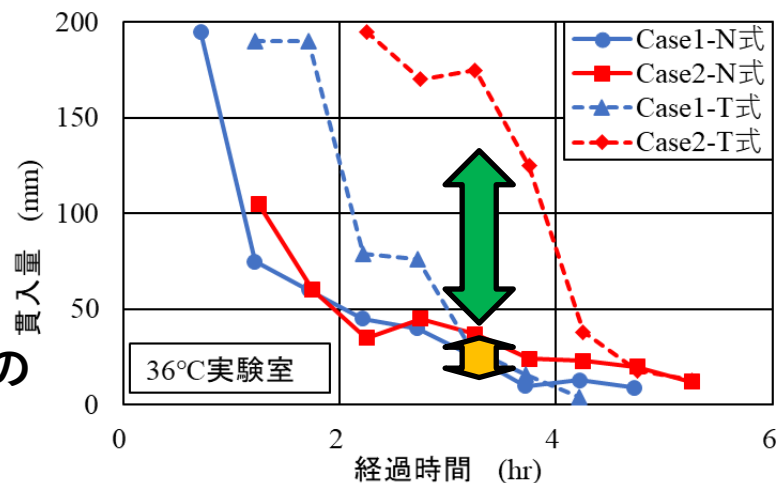
→凝結の進行の検出が容易である

【懸念事項】

T式貫入試験は現場で一定の姿勢が取れると限らない

↔ N 式貫入試験は塩ビ管を垂直に立てるだけ

→試験結果の信頼性や凝結の進行を感度良く把握できる能力など、
簡易貫入試験が現場で適切に活用されるために、さらなる検討が必要



まとめ

◆スランプ保持型の混和剤の凝結遅延効果を調べるため、N式貫入試験とT式貫入試験の2種類の簡易貫入試験を高温の室内で実施し、以下の知見を得た

(1)N式貫入試験ではスランプ保持型混和剤の凝結遅延効果を確認するのは困難であったが、T式貫入試験では凝結遅延効果を明確に把握できた

(2)N式貫入試験では時間経過に伴う貫入量の変化が小さく、凝結の進行の把握が困難であったが、T式貫入試験では時間経過に伴う凝結の進行の検出が容易であった

講演の概要

(1) 「残コン」やゼロセメントコンクリートの有効活用

(2) スランプ保持型混和剤の活用

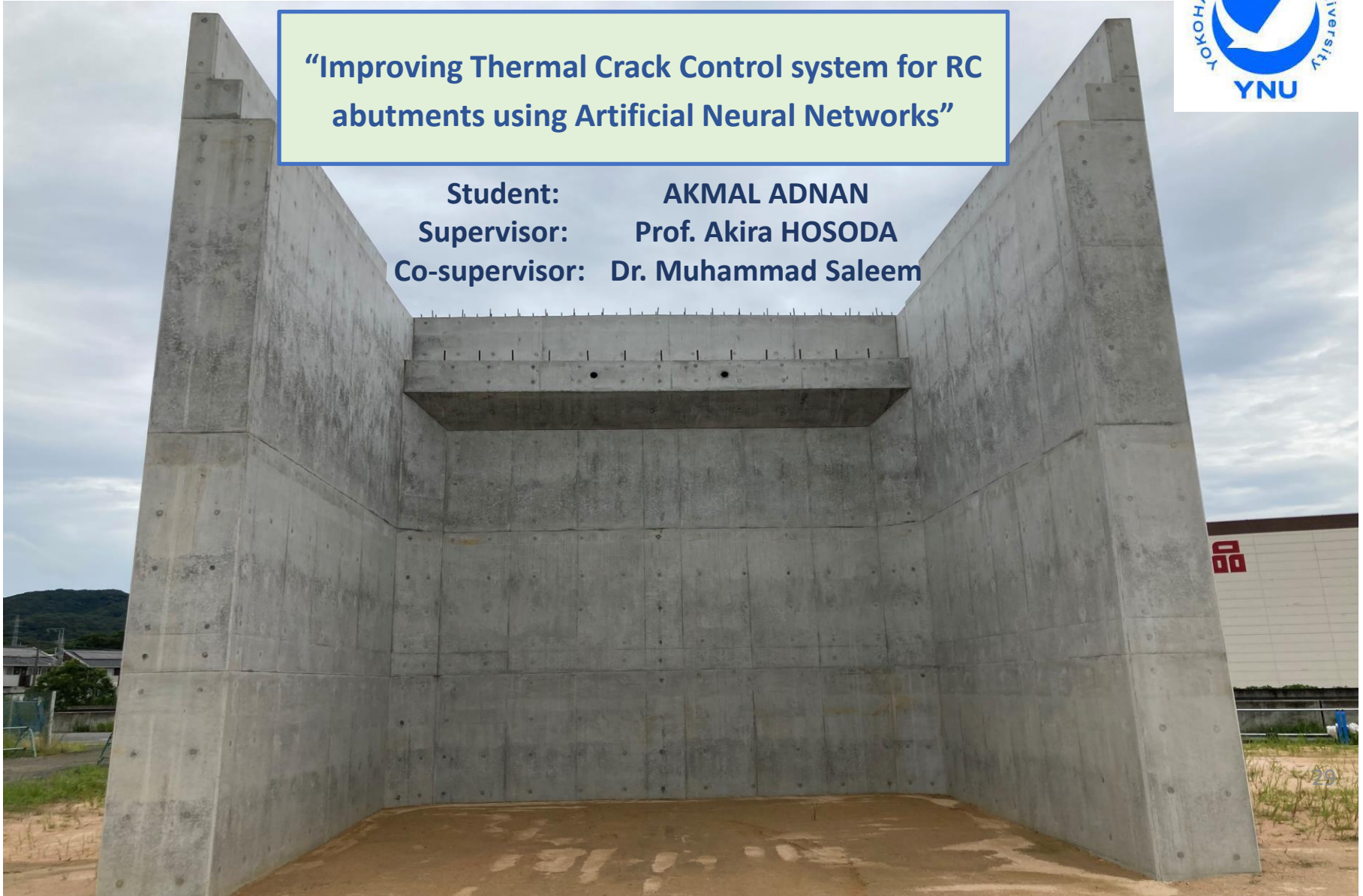
(3) 膨張材の適切な活用

(4) フライアッシュの適切な活用

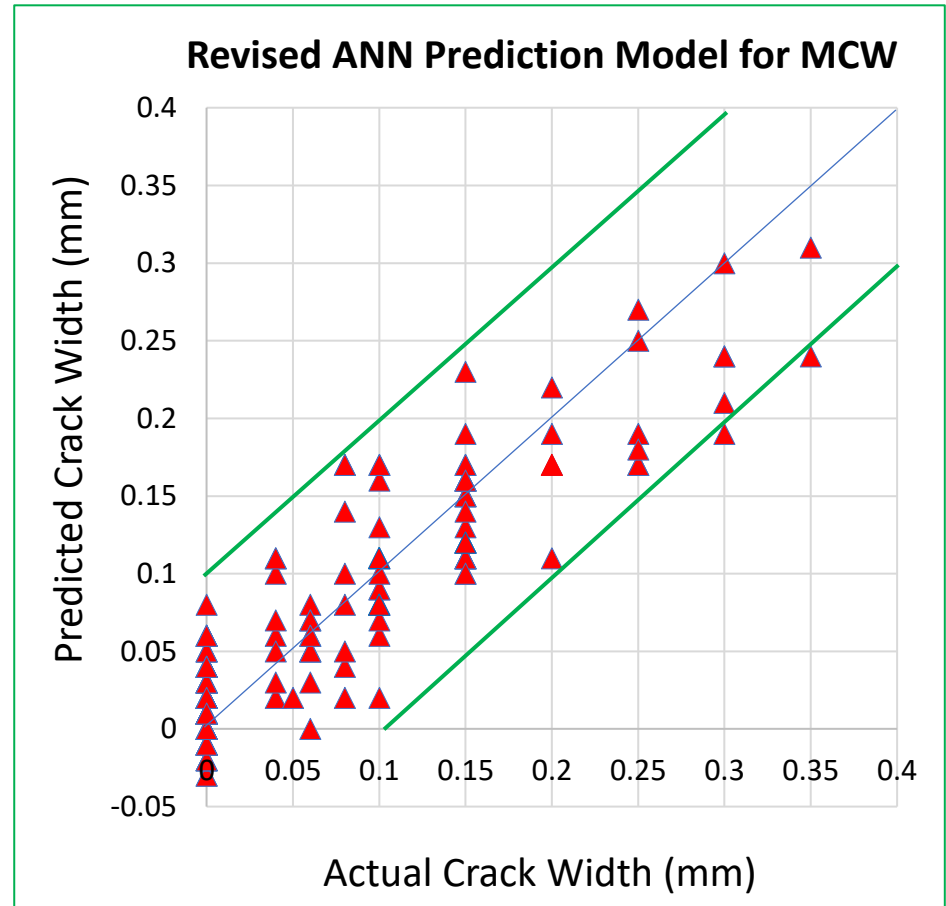
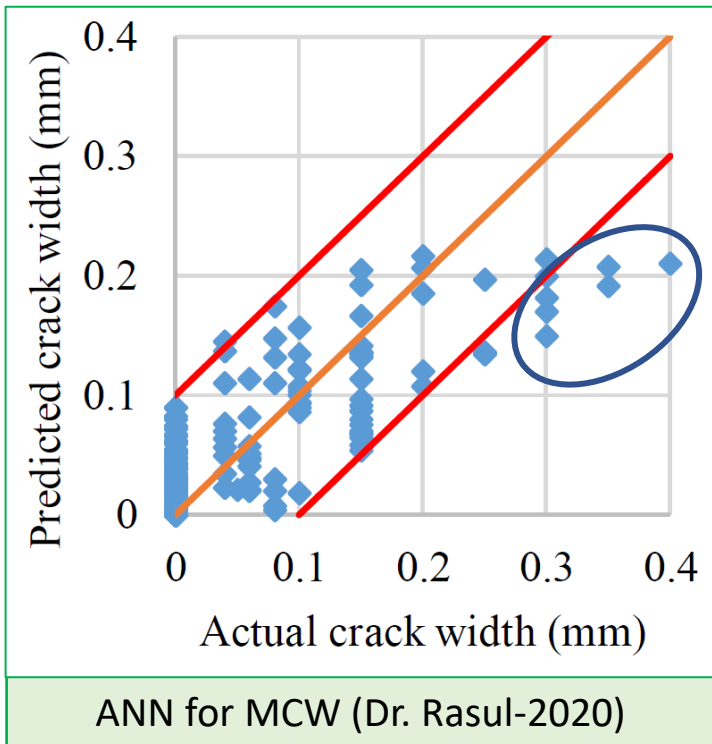
(沖縄県の事例, 風間 洋さんより資料提供)

“Improving Thermal Crack Control system for RC abutments using Artificial Neural Networks”

Student: AKMAL ADNAN
Supervisor: Prof. Akira HOSODA
Co-supervisor: Dr. Muhammad Saleem



2021年の研究による機械の予測精度向上



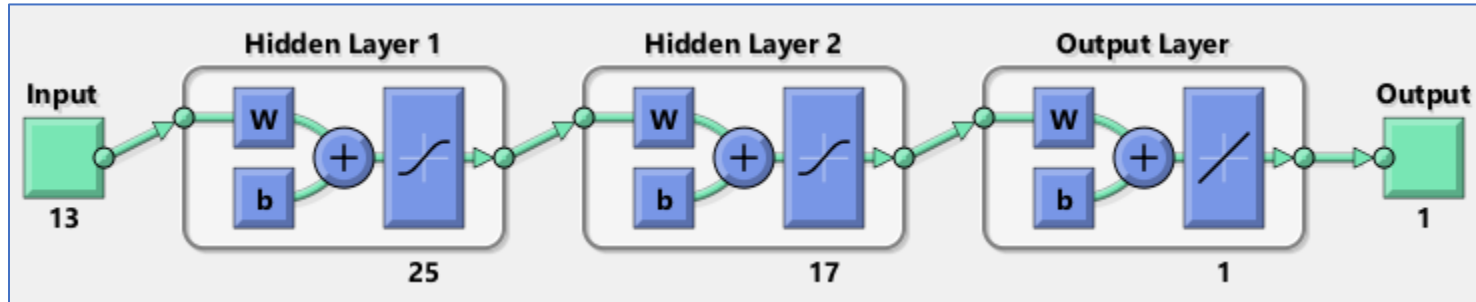
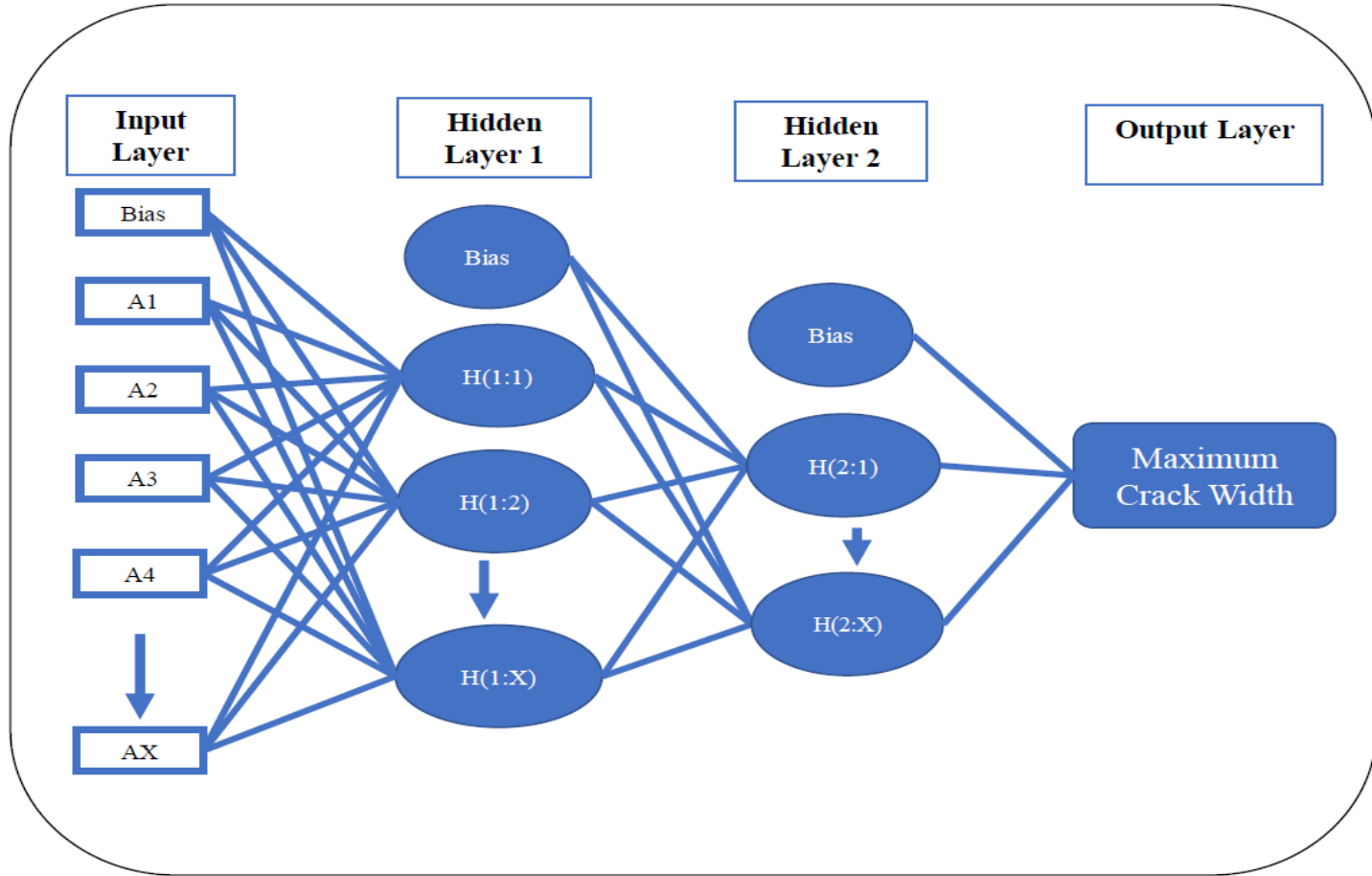
| Model Performance | ANN -2020 (188 Lifts) | REV. ANN (161 Lifts) |
|---------------------|-----------------------|----------------------|
| Error ± 0.10 mm | 95% | 99.0% |
| Error ± 0.05 mm | 79% | 88.0% |

温度ひび割れリスクの極めて小さいデータ等を教師データから除外

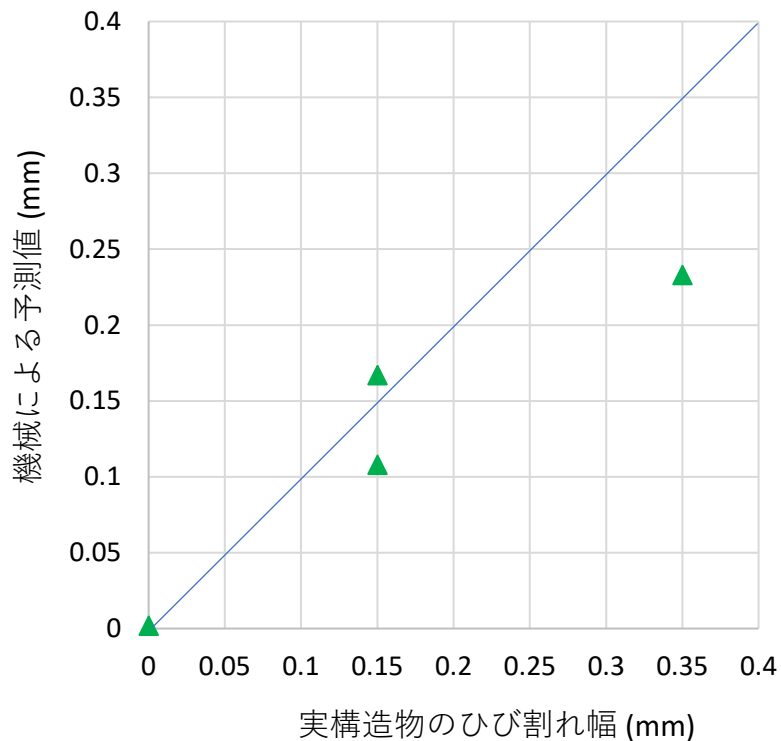
| Data Groups based on CI of vertical wall lifts | | | | | | | |
|--|------------------------------|--------------|----------|--------------|----------|-----------|------------|
| Group | ひび割れ指数 (CI) の範囲 | ひび割れが発生したリフト | | ひび割れなし 山口 | 除外したリフト | | Total |
| | | 山口 | 群馬 | | ひび割れあり | ひび割れなし | |
| Group-0 | No Data | 16 | 5 | 21 | | 21 | 21 |
| Group-1 | 0.5 < CI < 0.60 | 5 | | 0 | | | 5 |
| Group-2 | 0.6 < CI < 0.65 | 5 | | 6 | | | 11 |
| Group-3 | 0.65 < CI < 0.7 | 7 | | 5 | | | 12 |
| Group-4 | 0.7 < CI < 0.75 | 5 | | 6 | | | 11 |
| Group-5 | 0.75 < CI < 0.8 | 12 | | 12 | | | 24 |
| Group-6 | 0.8 < CI < 0.85 | 7 | | 6 | 1 | | 12 |
| Group-7 | 0.85 < CI < 0.9 | 3 | | 11 | | | 14 |
| Group-8 | 0.9 < CI < 0.95 | 7 | | 9 | 1 | | 15 |
| Group-9 | 0.95 < CI < 1.0 | 4 | | 6 | | | 10 |
| Group-10 | 1.0 < CI < 1.25 | 11 | | 16 | 1 | | 26 |
| Group-11 | 1.25 < CI < 1.5 | | | 7 | | 7 | |
| Group-12 | 1.5 < CI < 2.0 | | | 4 | | 4 | |
| | Total= | 79 | 5 | 106 | 3 | 32 | 161 |

ニューラルネットワークの構造の修正

Type of Artificial Neural Networks Used: Feedforward Back Propagation



膨張コンクリートを使用したたて壁



山口県のたて壁において、鉄筋比が0.19%程度の場合、膨張材（20kg/m³）によるひび割れ抑制効果はほとんどないと言ってよいと思われる。



次の4枚のスライドに示すように、胸壁では効果が大きいようである。

鉄筋比

打継ぎ間隔

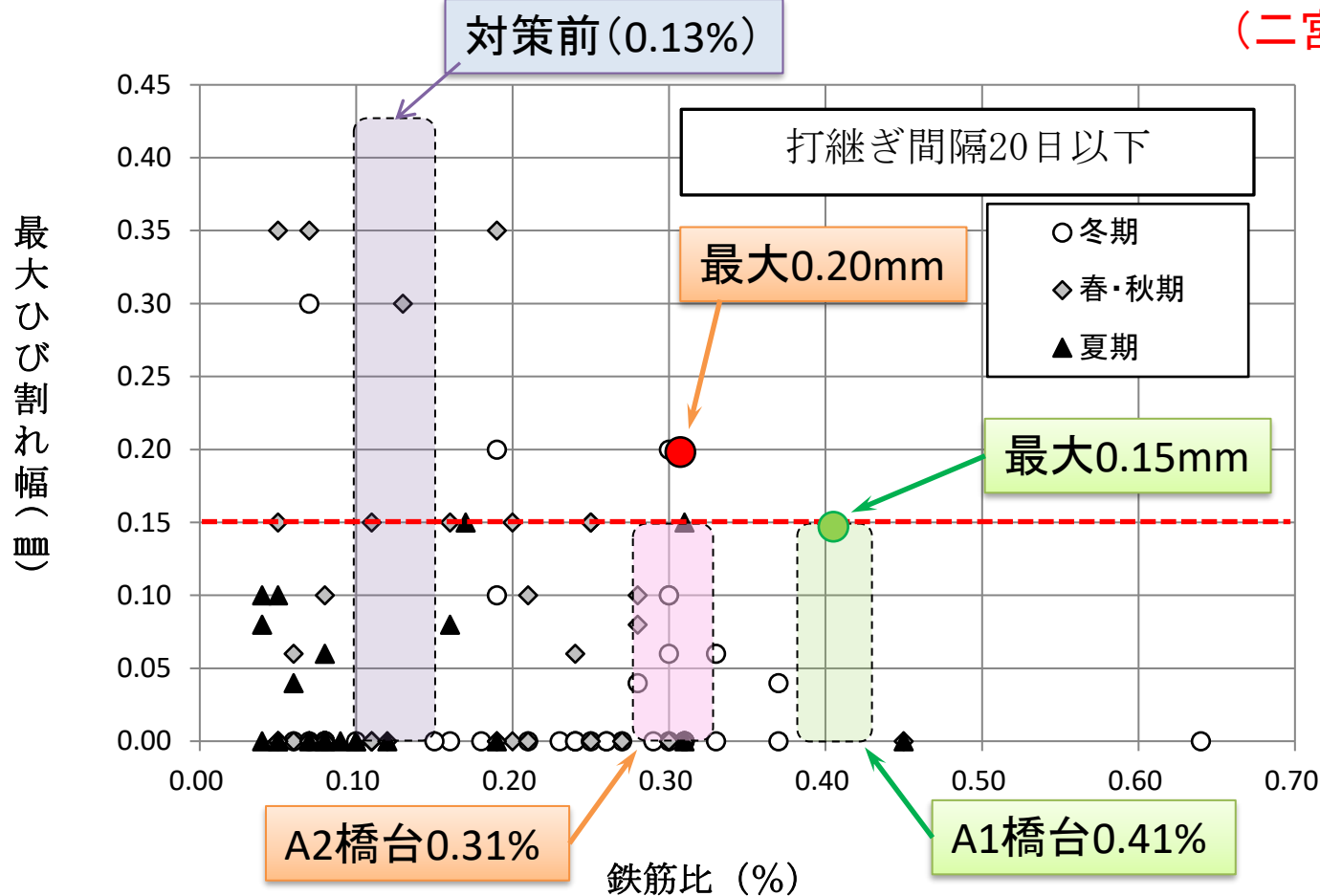
| Lift Ref. | T | L | H | DGR | SVR | RBR | UCC | CONT | AMBT | CCS | CTIL | FRT | CURP | MCW | MCW (NN) |
|--------------|---|------|-----|--------|------|------|-----|------|------|------|------|-----|------|------|----------|
| H18-A-011-02 | 2 | 11.5 | 3.5 | 52.58 | 1.29 | 0.19 | 282 | 12 | 8 | 36.7 | 16 | 21 | 10 | 0.35 | 0.24 |
| H18-A-011-03 | 2 | 11.5 | 3.5 | 88.72 | 1.29 | 0.19 | 282 | 16 | 13 | 36.3 | 27 | 27 | 7 | 0.15 | 0.17 |
| H18-A-011-04 | 2 | 11.5 | 1.7 | 94.71 | 1.59 | 0.19 | 282 | 19 | 15 | 33.9 | 14 | 16 | 7 | 0 | 0.01 |
| H18-A-013-03 | 2 | 11.6 | 4.6 | 262.27 | 1.22 | 0.19 | 294 | 28 | 26 | 35.6 | 104 | 8 | 12 | 0.15 | 0.11 |

ひび割れ抑制設計の事例

(二宮 純 博士論文)

A2橋台(先行)

A1橋台(後続)



・鉄筋比が0.13%では、幅0.15mm以上のひび割れ発生事例が多く、0.3%以上であれば、割れ発生事例が少ない。

A2橋台で鉄筋比を0.3%確保

→ 最大0.20mm (0.15~0.20mm) の2本のひび割れが発生

A1橋台で鉄筋比を0.4%確保

→ 最大0.15mm (0.03~0.15mm) の7本のひび割れが発生

2019.3の東北地整講習会でのスライドをベースに、
手引きの条文や図などは、2021年版のものに差し替え

東北地方のRC床版の耐久性確保の手引き（案） における ひび割れ抑制対策の考え方

横浜国立大学

細田 暁

2019.3.5

抑制の対象とするひび割れ

RC床版の橋軸直角方向に発生するひび割れ
(温度応力, 床版コンクリートの段階施工により生じる応力, 乾燥収縮による)



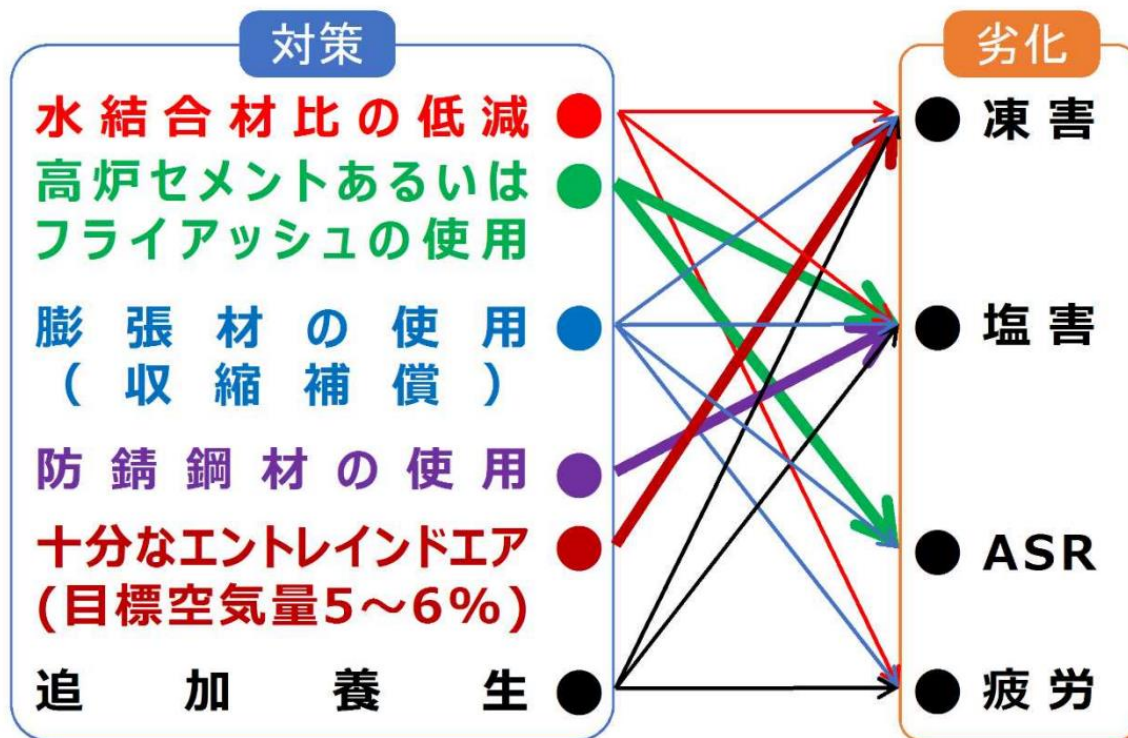
新気仙大橋のRC床版上面
に降雨後に観察できたひび割れ
(ただし, 0.2mm未満)



新気仙大橋のRC床版下面
(一部はエフロレッセンスが確認,
自己治癒現象とも見える)

なぜ、ひび割れ抑制対策が必要か？

- ・点検結果により、従来のRC床版にはひび割れが発生している。
- ・RC床版の高耐久化により、単位粉体量が増加し、一般的には温度応力によるひび割れのリスクは高まると思われる。実際に、高炉セメントを用いた新気仙大橋では、竣工検査時点で0.2mm未満であったものの、ひび割れが発生した。



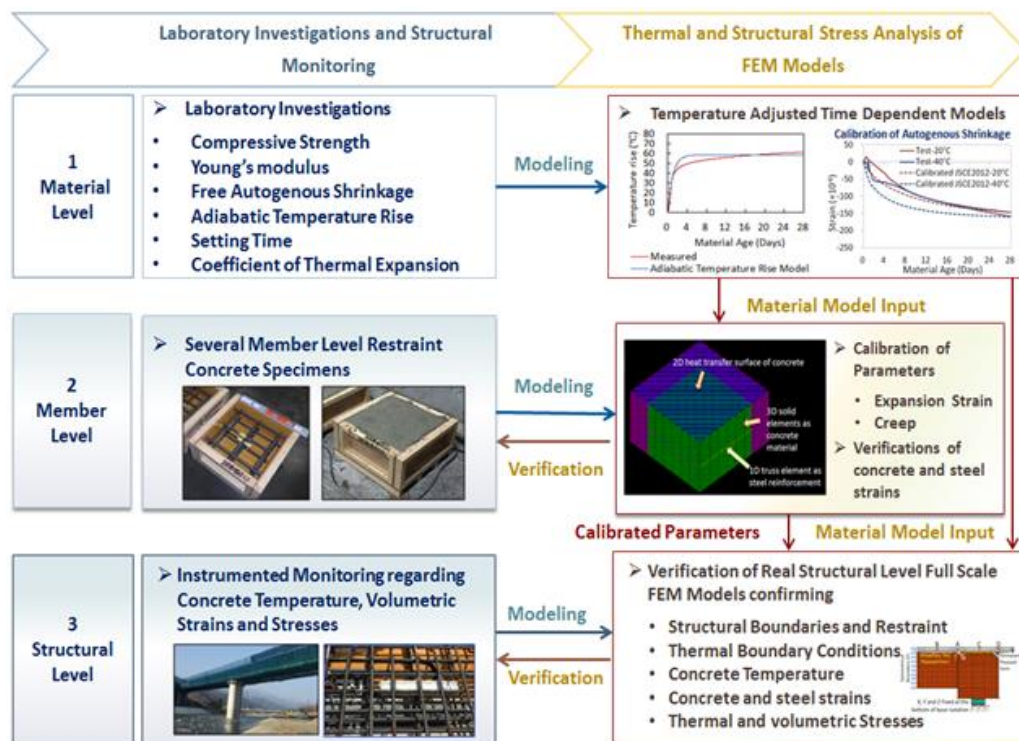
さて、どのように対策するか？

- 高炉セメントを用いた複数の試行工事で、材料物性の計測、部材試験体の作製、実構造物での計測、ひび割れ発生状況の観察で勉強
- 材料-部材-構造物の3レベルで徹底的な検証を重ねて温度応力解析モデルを構築 (Dr. Arifa Iffat ZERINの博士論文, 2018.9)

- 構造形式（単径間，2径間連続，3径間以上連続）ごとにひび割れリスクを分析

- なるべく簡単なシステムに落とし込みたい

- フライアッシュを用いた場合については十分に分析できていないが、高炉セメントの場合よりもひび割れリスクは小さいと思われる。



3.4 ひび割れ抑制対策

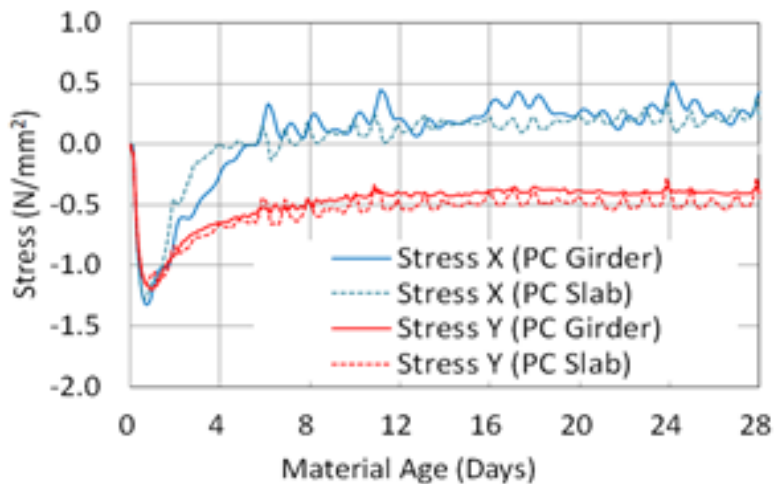
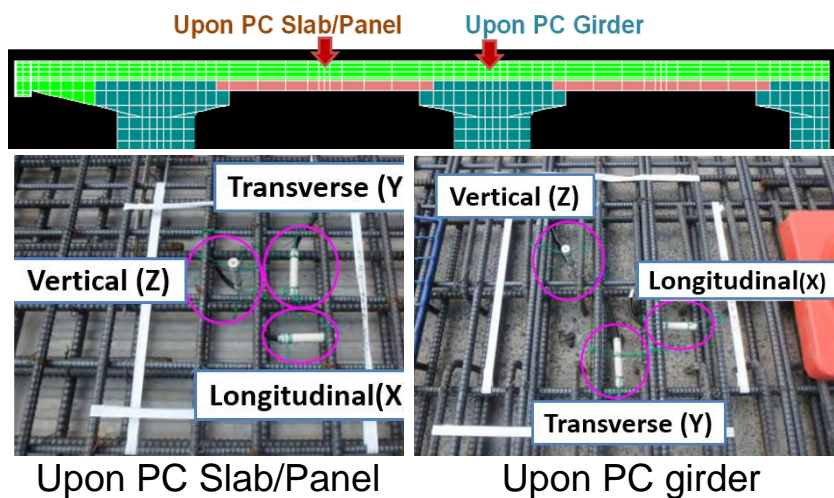
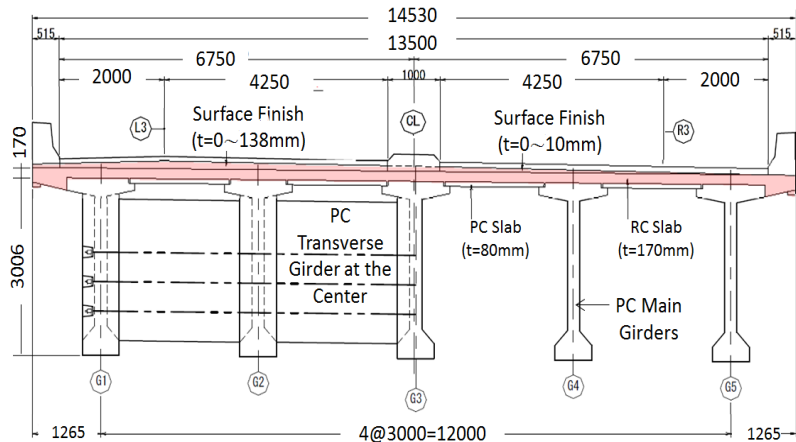
- 1) 本手引きによって設計・施工されるRC床版においては、ひび割れを有害でないものに抑制するために、適切なひび割れ抑制対策を行うものとする。
- 2) 単径間の橋梁のRC床版においては、本手引きに示す基本事項を遵守した施工を行うことで、ひび割れ抑制対策とみなしてよい。
- 3) 鋼橋の2径間以上の連続桁においては、段階施工により生じる引張応力により、先行して施工した床版にひび割れが発生しないように施工を行うものとする。
- 4) 鋼橋の3径間以上の連続桁においては、有害なひび割れの発生が懸念されるため、床版の橋軸方向鉄筋量が1.0%以上となるように補強鉄筋の配置を検討するものとする。また、有害なひび割れの発生が懸念される場合には、単位膨張材量を標準使用量よりも増やすことを検討してもよい。
- 5) この手引きにおけるひび割れ抑制対策は一般的な構造形式を対象としており、特殊な構造形式の場合は、学識経験者を含め適切にひび割れ抑制対策を検討するのがよい。
- 6) 実施したひび割れ抑制対策と、ひび割れが発生した場合のひび割れ状況については、適切に記録・保存するものとする。

3.4 ひび割れ抑制対策

- 1) 本手引きによって設計・施工されるRC床版においては、ひび割れを有害でないものに抑制するために、適切なひび割れ抑制対策を行うものとする。
- 2) 単径間の橋梁のRC床版においては、本手引きに示す基本事項を遵守した施工を行うことで、ひび割れ抑制対策とみなしてよい。
- 3) 鋼橋の2径間以上の連続桁においては、段階施工により生じる引張応力により、先行して施工した床版にひび割れが発生しないように施工を行うものとする。
- 4) 鋼橋の3径間以上の連続桁においては、有害なひび割れの発生が懸念されるため、床版の橋軸方向鉄筋量が1.0%以上となるように補強鉄筋の配置を検討するものとする。また、有害なひび割れの発生が懸念される場合には、単位膨張材量を標準使用量よりも増やすことを検討してもよい。
- 5) この手引きにおけるひび割れ抑制対策は一般的な構造形式を対象としており、特殊な構造形式の場合は、学識経験者を含め適切にひび割れ抑制対策を検討するのがよい。
- 6) 実施したひび割れ抑制対策と、ひび割れが発生した場合のひび割れ状況については、適切に記録・保存するものとする。

単径間の橋梁のひび割れリスクの検討

彦平橋（福島県）での勉強

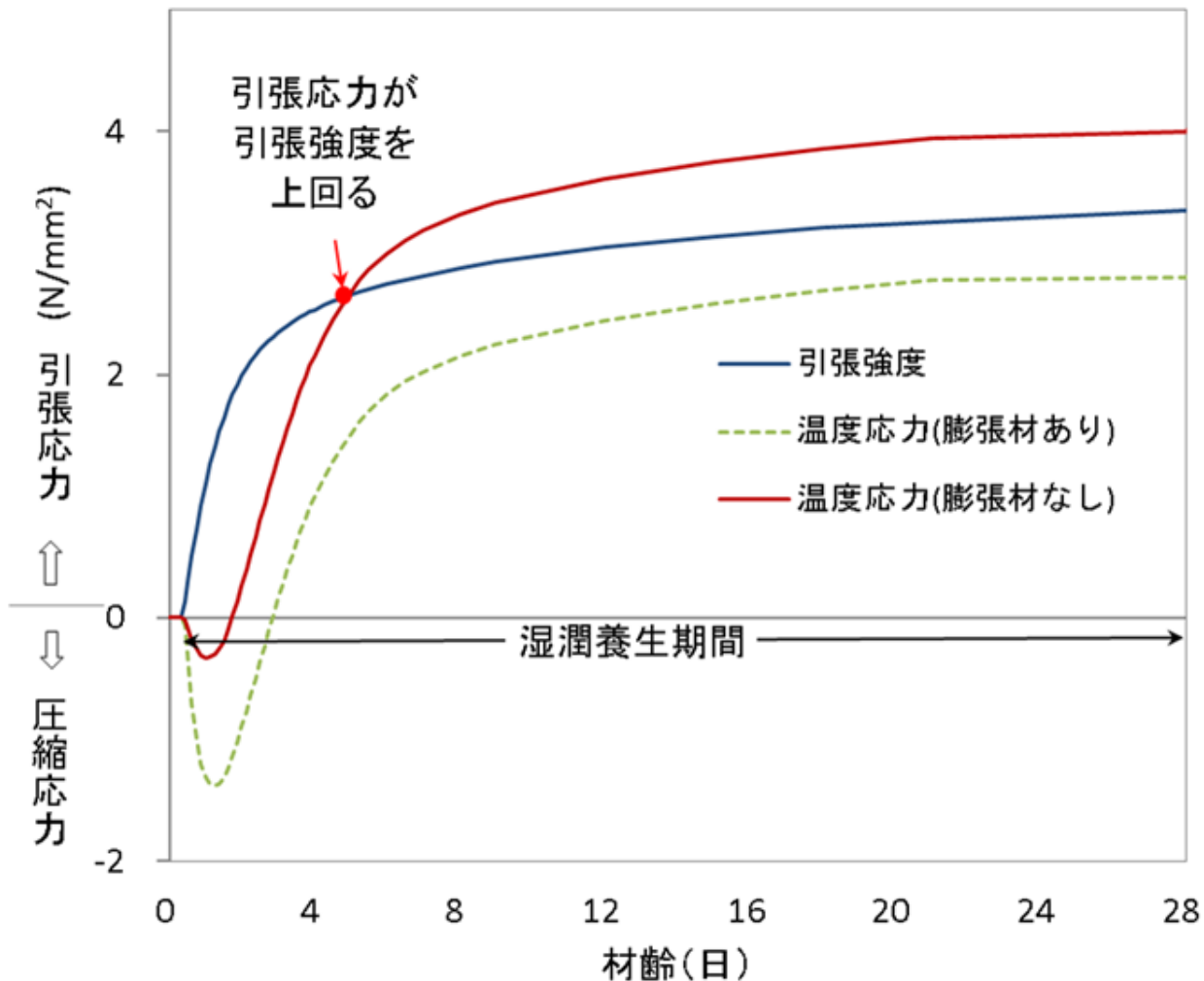


PC桁上と80mmの埋設PC板の上にひずみ計設置

x方向（橋軸方向）の引張応力が発生

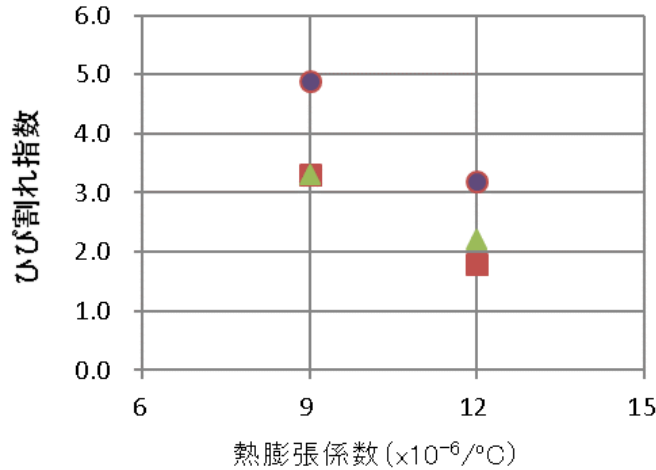
RC床版の橋軸方向の引張応力

湿潤養生期間中の引張応力と引張強度を比較して、ひび割れリスクを評価



単径間の橋梁のひび割れリスク

単径間PCコンポ桁橋

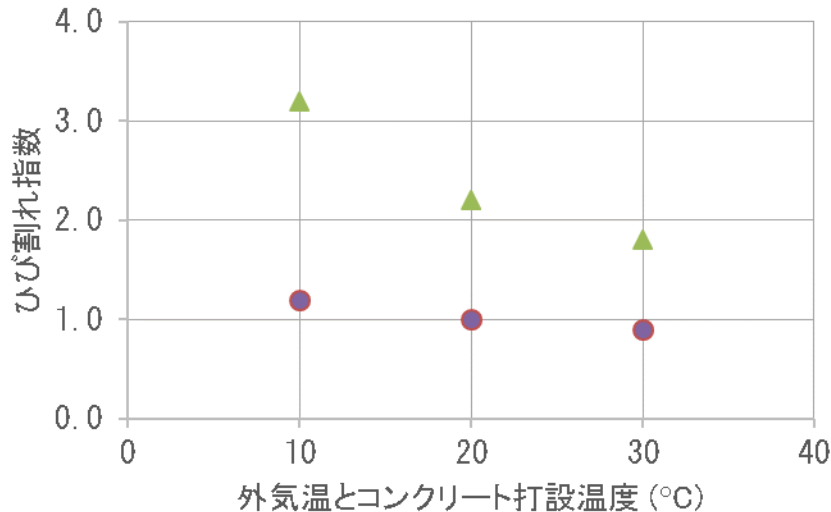


- 外気温とコンクリート打設温度=30° C
- ▲ 外気温とコンクリート打設温度=20° C
- 外気温とコンクリート打設温度=10° C

**ひび割れ指数
= 引張強度 / 引張応力**

ただし、乾燥収縮の影響は考慮していない

膨張材の影響 (単径間のPCコンポ桁)



熱膨張係数=12 $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

- ▲ 温度応力(膨張材あり)
- 温度応力(膨張材なし)

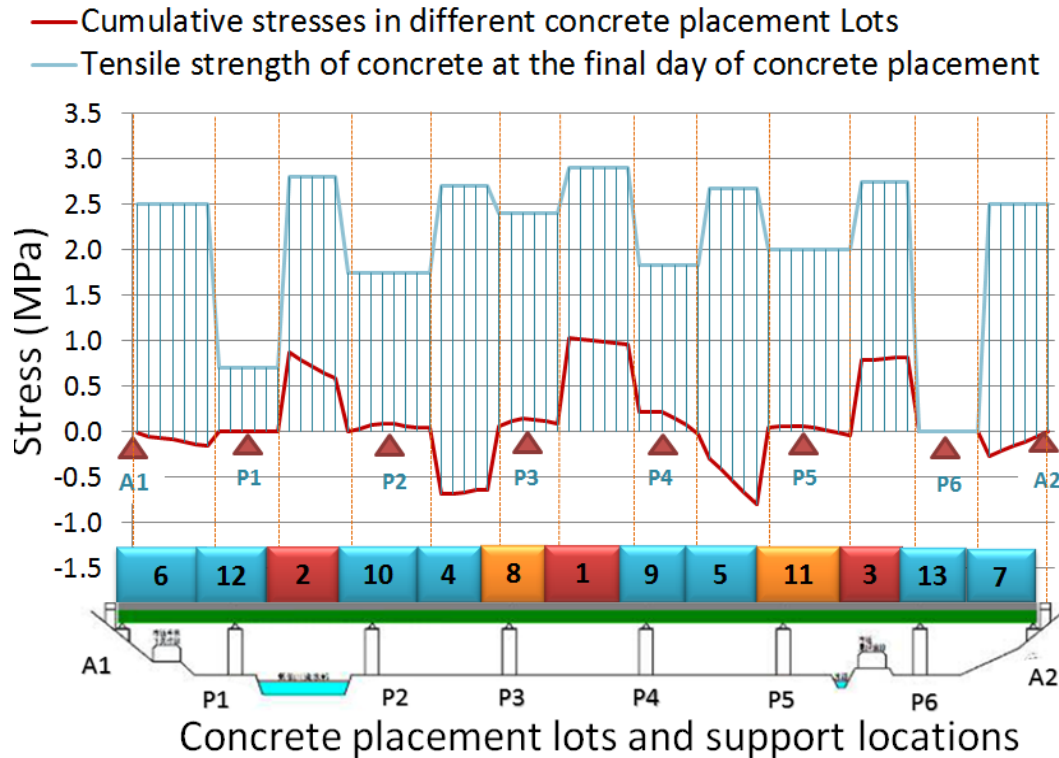
膨張材は必須。

3.4 ひび割れ抑制対策

- 1) 本手引きによって設計・施工されるRC床版においては、ひび割れを有害でないものに抑制するために、適切なひび割れ抑制対策を行うものとする。
- 2) 単径間の橋梁のRC床版においては、本手引きに示す基本事項を遵守した施工を行うことで、ひび割れ抑制対策とみなしてよい。
- 3) 鋼橋の2径間以上の連続桁においては、段階施工により生じる引張応力により、先行して施工した床版にひび割れが発生しないように施工を行うものとする。
- 4) 鋼橋の3径間以上の連続桁においては、有害なひび割れの発生が懸念されるため、床版の橋軸方向鉄筋量が1.0%以上となるように補強鉄筋の配置を検討するものとする。また、有害なひび割れの発生が懸念される場合には、単位膨張材量を標準使用量よりも増やすことを検討してもよい。
- 5) この手引きにおけるひび割れ抑制対策は一般的な構造形式を対象としており、特殊な構造形式の場合は、学識経験者を含め適切にひび割れ抑制対策を検討するのがよい。
- 6) 実施したひび割れ抑制対策と、ひび割れが発生した場合のひび割れ状況については、適切に記録・保存するものとする。

複数径間のRC床版の段階施工により生じる引張応力

7径間連続の新気仙大橋では、段階施工により生じた引張応力（蓄積）の大きかったロット1, 2, 3においてひび割れが顕著であった。



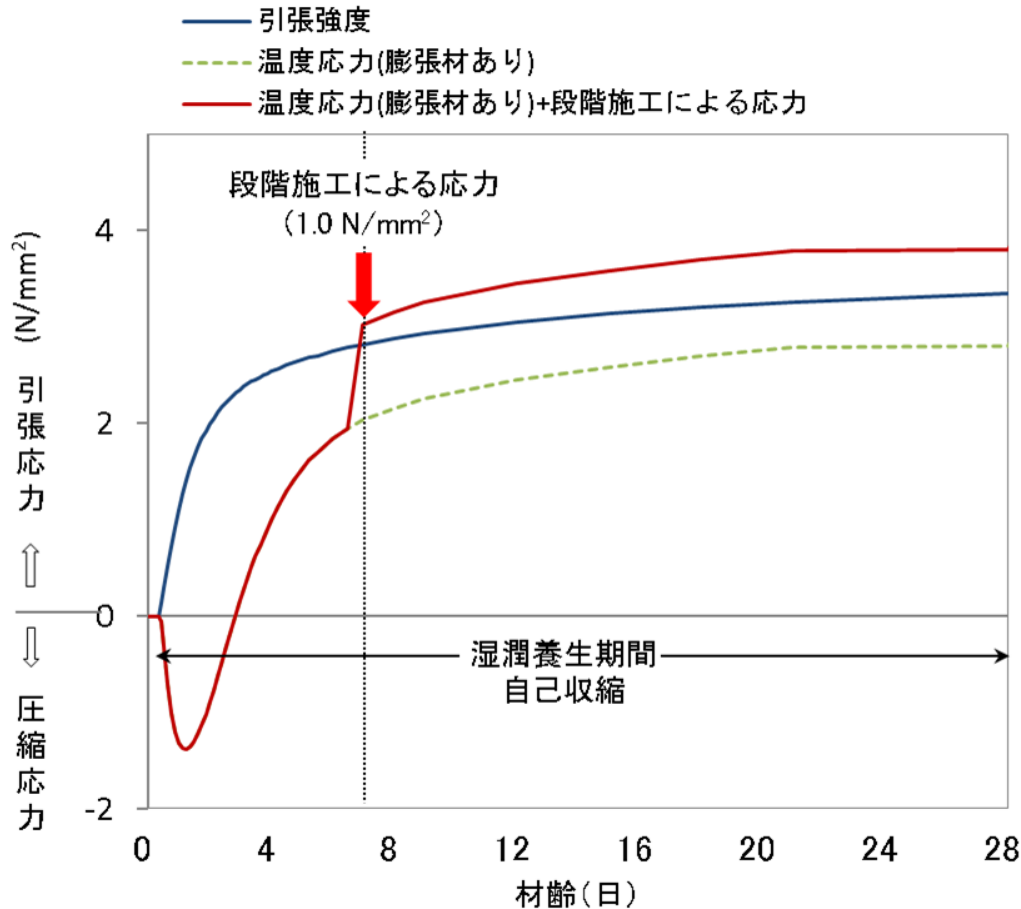
温度応力と、段階施工による応力、さらには乾燥収縮応力の重ね合わせでひび割れが発生

まずは、段階施工による応力で、打込み時にひび割れが発生しないよう事前に応力解析でチェックすることとした。

- Cracked (Lot 1, 2 and 3)
- Partially Cracked (Lot 8 and 11)
- Uncracked (Lot 4, 5, 6, 7, 9, 10, 12 and 13)

3径間以上の連続桁（鋼橋）の場合

現実の橋梁（新気仙大橋，小佐野高架橋）でひび割れが発生している。



段階施工による応力が，最大で $1.0N/mm^2$ 程度生じていた。
（応力解析結果）

熱膨張係数の大きいコンクリート，自己収縮の大きいコンクリート等を使って施工せざるを得ない場合も想定され，竣工検査時点で0.2mm未満のひび割れとするためのひび割れ抑制対策が必要と思われる。

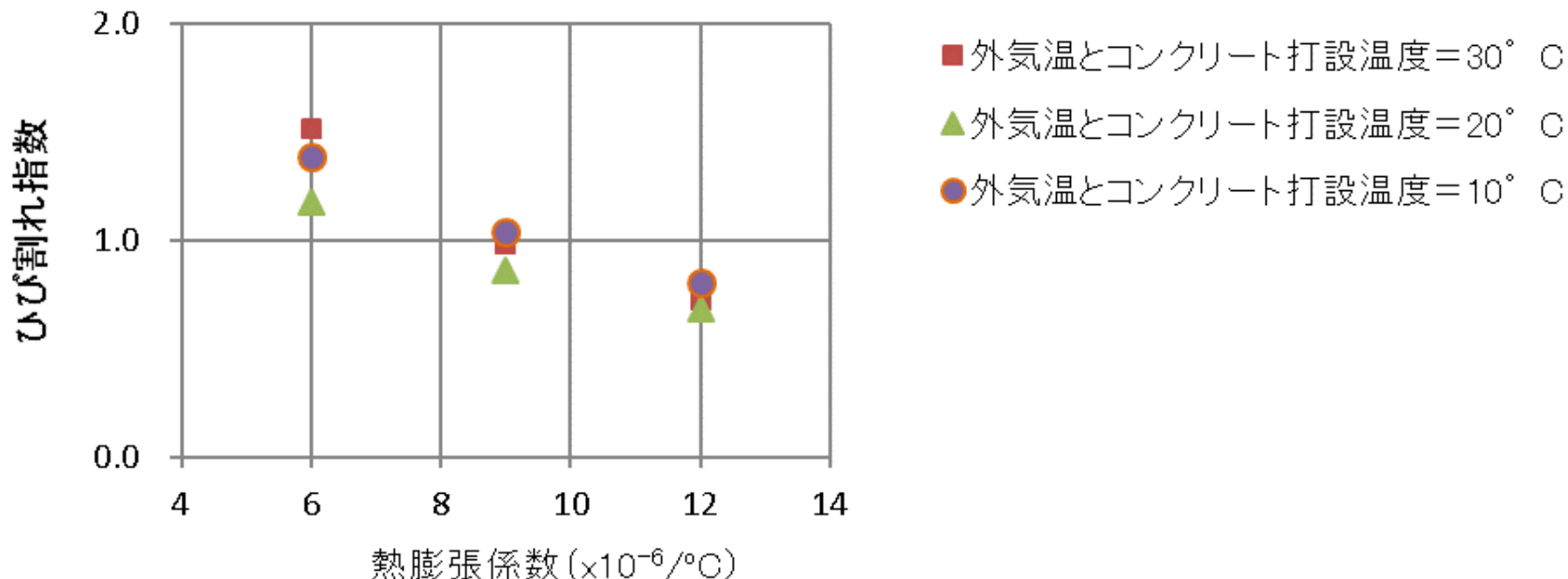
3径間以上の連続桁（鋼橋）のひび割れリスク

温度応力解析のパラメトリックスタディーにより，段階施工による応力を重ね合わせて計算したひび割れ指数は1.0を下回る場合が少なくない。

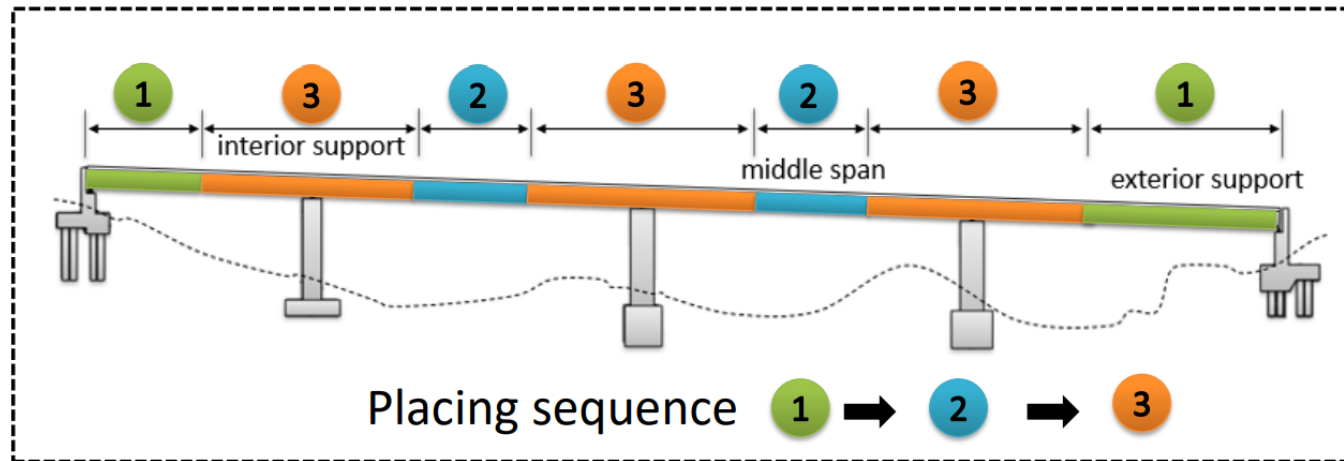
乾燥収縮の影響も考慮していない。新気仙大橋の最もリスクの高い箇所で，ひび割れ指数が0.8程度であった（実績）。

段階施工による応力を考慮し，正確な温度応力解析を実施して，ひび割れリスクを逐一評価するのは労力が過大（全くお薦めしません。）

7径間連続桁の解析例（段階施工による応力=1.0 N/mm²）



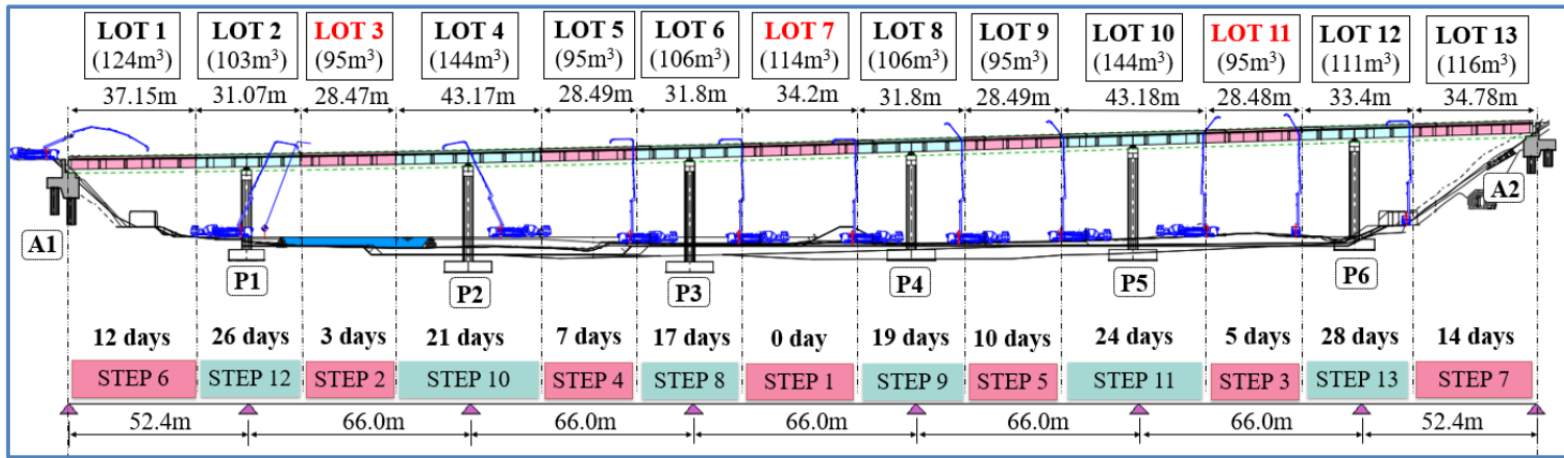
Effective Stepwise Construction Strategy



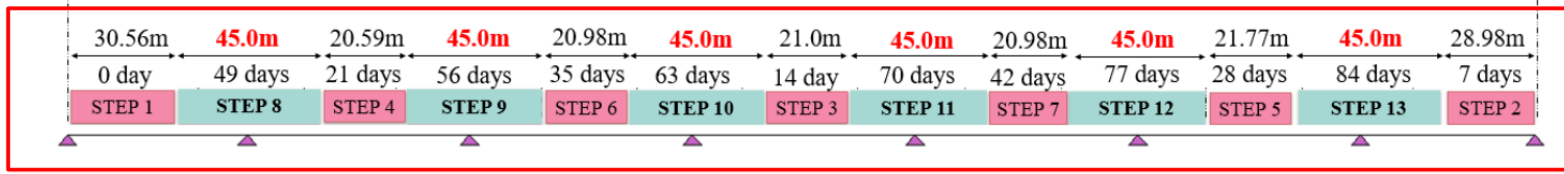
- (1) The **longer time intervals** between construction steps are preferable in order to reduce the risk of early-age transverse cracking by increasing allowable tensile stress.
- (2) The **larger the concrete volume of interior support lots** is, the smaller tensile stress due to stepwise construction will be generated. In other words, the length of interior support lots should be longer enough. However, the capacity of concrete volume selected so that its concrete volume (around 150m³) in terms of placing management should also be considered.
- (3) The **interior support lots** should be placed **after** finishing **exterior supports and middle span lots**. Among exterior support lots and middle span lots, the exterior support lots should be placed earlier.

Guideline for ensuring durability of RC slabs in Tohoku region, **MLIT, 2021** [9]

Back Analysis of 7-span Shinkesen Bridge



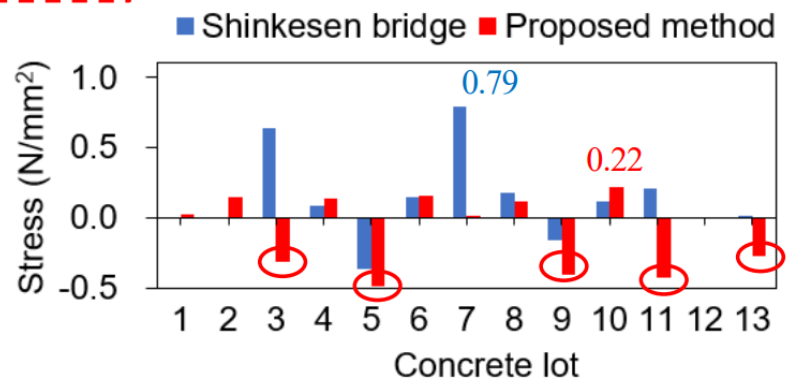
The **actual** stepwise construction method in Shinkesen Ohashi bridge



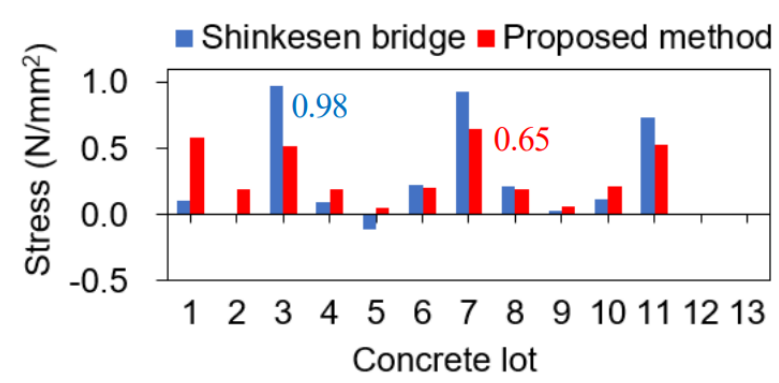
Proposed method

- Interior support lots: 45.0m
- Placing sequence: 1-2-3

Maximum residual tensile stress



Maximum experienced tensile stress



Compressive stresses were remained in several lots, which will be effective for mitigating transverse cracking

Crack-free 4 span continuous steel box girder RC deck slab bridge



本手引きのひび割れ抑制対策

構造形式ごとのひび割れ抑制対策

表4-① 構造形式ごとのひび割れ抑制対策

| 抑制対策 \ 橋種 | 単純桁の鋼桁 ・PCコンポ桁※ | 2径間の鋼桁 | 3径間以上の鋼桁 |
|-------------------------|--------------------|-------------------------------|--|
| ひび割れ抑制対策① 施工の基本事項の遵守 | 必須 | | |
| ひび割れ抑制対策② 段階施工による応力 | — | 段階施工による応力で ひび割れが発生しないように配慮 | |
| ひび割れ抑制対策③ (構造形式別の対策) | — | — | <ul style="list-style-type: none"> ・必要に応じて橋軸方向の鉄筋比を1.0%程度となるまで補強 ・必要に応じて単位膨張材量を標準使用量よりも増やす |

※PCコンポ桁の連結桁形式で、中間支点上の横桁を床版コンクリートの施工よりも前に連結する場合は別途検討を行うものとする。

講演の概要

(1) 「残コン」やゼロセメントコンクリートの有効活用

(2) スランプ保持型混和剤の活用

(3) 膨張材の適切な活用

(4) **フライアッシュの適切な活用**

(沖縄県の事例, 風間 洋さんより資料提供)

土木学会西武支部沖縄会講演会

沖縄県におけるコンクリート構造物の耐久性向上を 目的とした取り組み

暴露試験場

令和4年9月8日

アール・アンド・エー

代表 風間 洋

技術士(建設部門)

コンクリート診断士

一級土木施工管理技士

写真: 伊良部大橋(伊良部島側から宮古島方向を見て)

台湾産川砂利・川砂
(遅延膨張性反応性骨材)
によるASR

伊奈武瀬海岸の
消波ブロックと防波堤



台湾産川砂利・川砂によるASR

山下垣花高架橋 橋台豎壁（1988年建設）
2007年2回目の補修時の劣化状況



(写真提供：琉球大学名誉教授大城武先生)

台湾産川砂利・川砂によるASR

海岸線の埋め立て部に建設された橋脚フーチング

フーチング側面のひびわれ



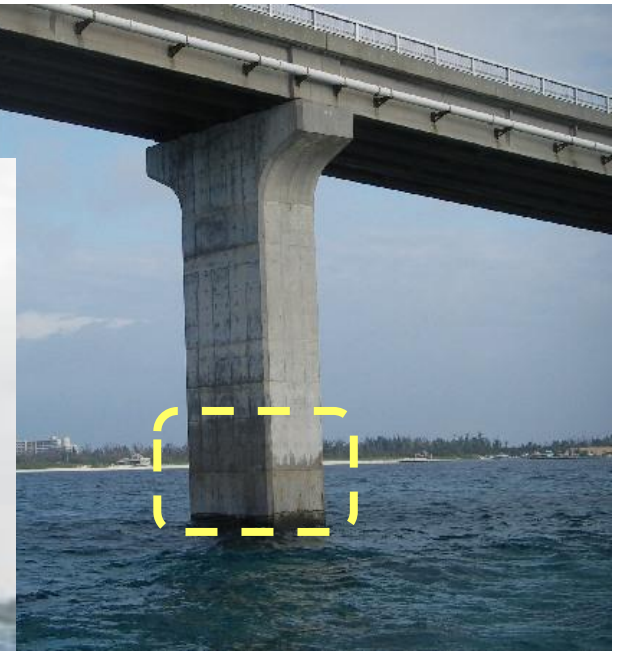
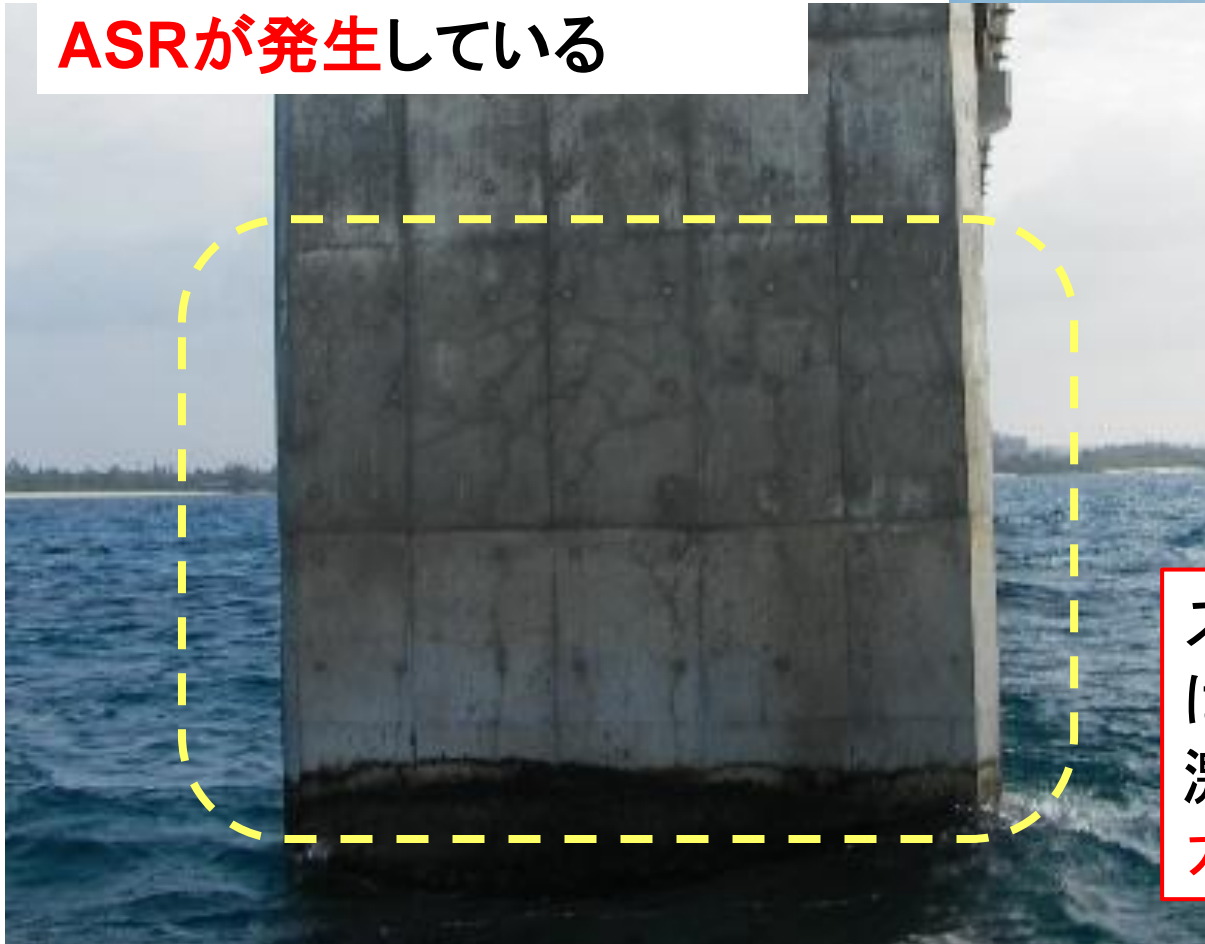
フーチング上面のひびわれ



フーチング曲げ鉄筋破断状況

台湾産川砂によるASR

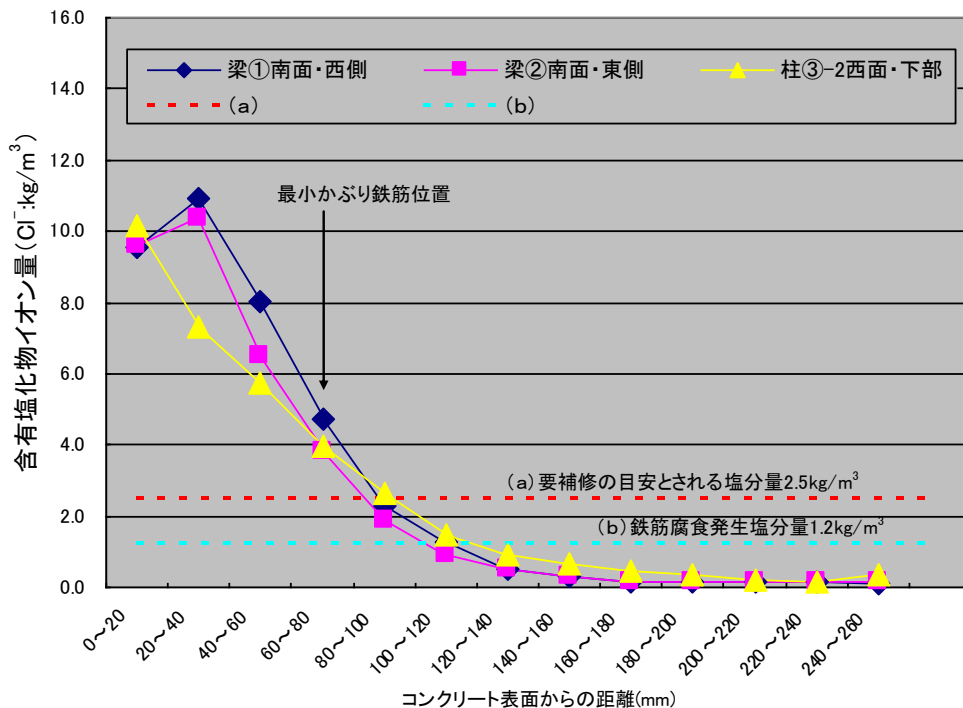
海上橋の橋脚
スプラッシュゾーンのみに
ASRが発生している



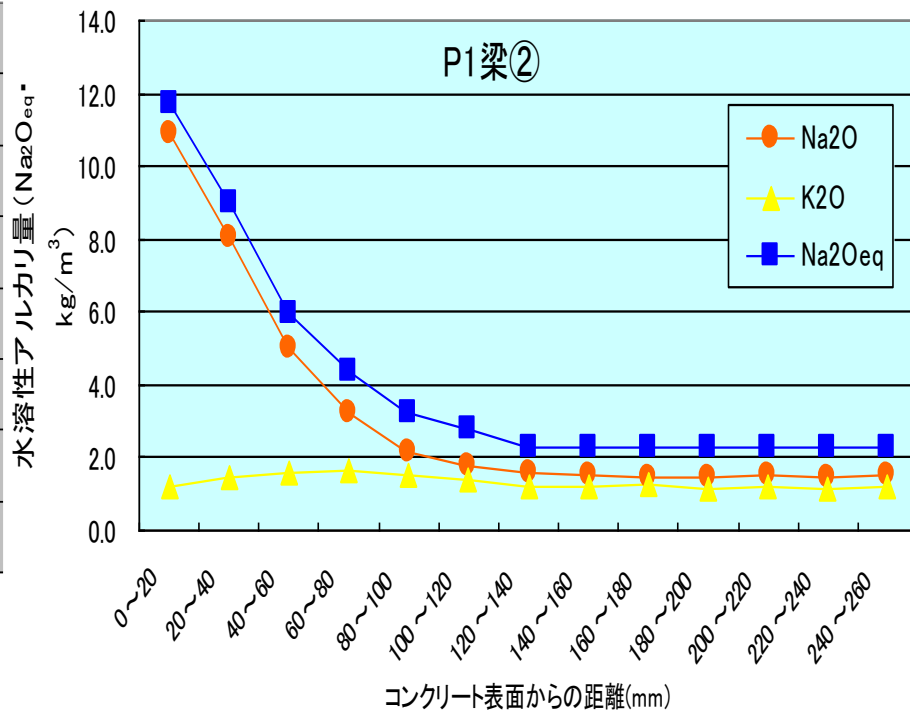
スプラッシュゾーン
は、乾湿繰り返し
が激しく、塩分・アル
カリの浸透量が多い

海水飛沫からの塩分・アルカリの浸透例 (池間大橋(H21)調査結果)

飛来塩分量の浸透状況



アルカリ金属イオン量の浸透状況



海水飛沫により塩分(Cl^-)が浸透すると同時に、アルカリ金属イオン(Na^+)も浸透している。

アルカリシリカ反応が助長される

現行のアルカリシリカ反応(ASR)抑制対策

- 国土交通省通知（H14）（土木では①、②を優先）

①コンクリート中のアルカリ総量の抑制

コンクリート中のアルカリ総量を、 Na_2O 換算で**3kg/m³以下**

⇒ 実施中、ただし**海洋環境で発生する場合あり**

②抑制効果のある混合セメント等の使用

高炉スラグや**フライアッシュ**をポルトランドセメントと混ぜて

ASRを抑制 ⇒ 沖縄県では現在**フライアッシュ**を利用

③安全と認められる骨材の使用

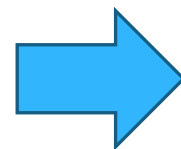
化学法もしくは**モルタルバー法**で**無害**と確認された**骨材**を使用

⇒ 沖縄県の**海砂**や**台湾産骨材**はすり抜ける

沖縄県内の**反応性骨材**の現状

台湾産骨材

本部産ヒン岩

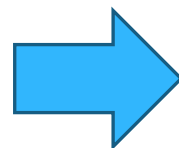


排除済み

県産海砂 は重要な**県内産業**であり、

生コンの品質を確保する上で

必要な材料



排除は難しい！

そこで、沖縄県では
塩害や**ASRの抑制**を目的に

火力発電所から産出する

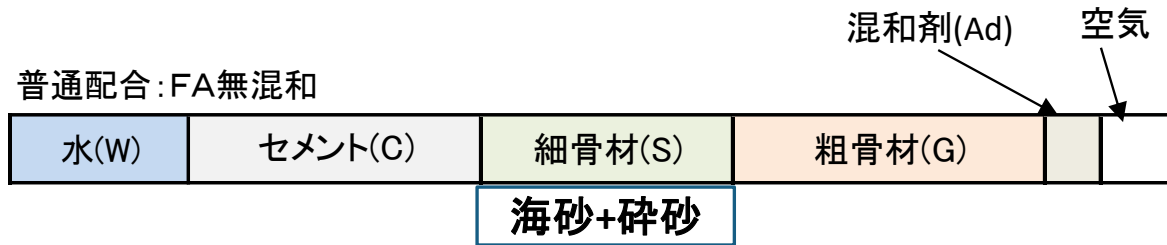
フライアッシュを利用！



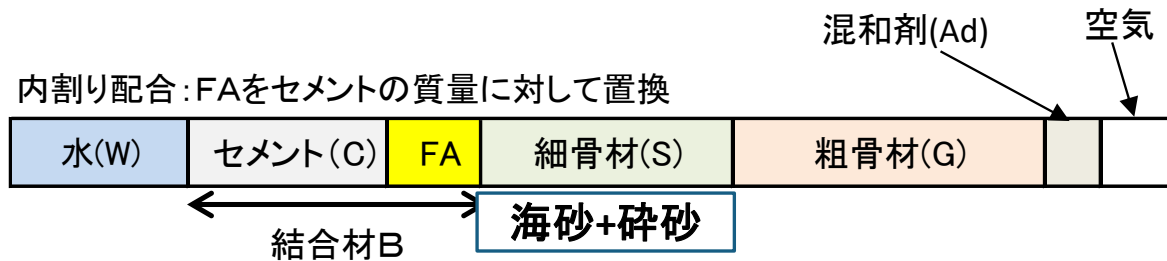
産業廃棄物の有効利用にもなる！

フライアッシュの配合パターン

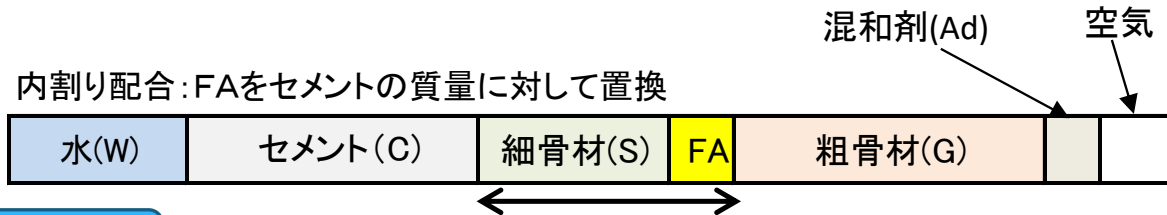
一般的なコンクリートの配合



FA内割り配合

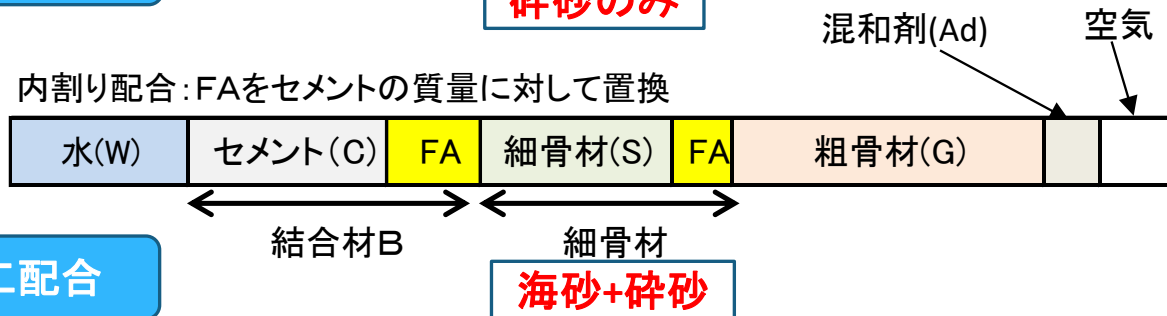


FA外割り配合



伊良部大橋 上部工配合

FA内割り + 外割り配合

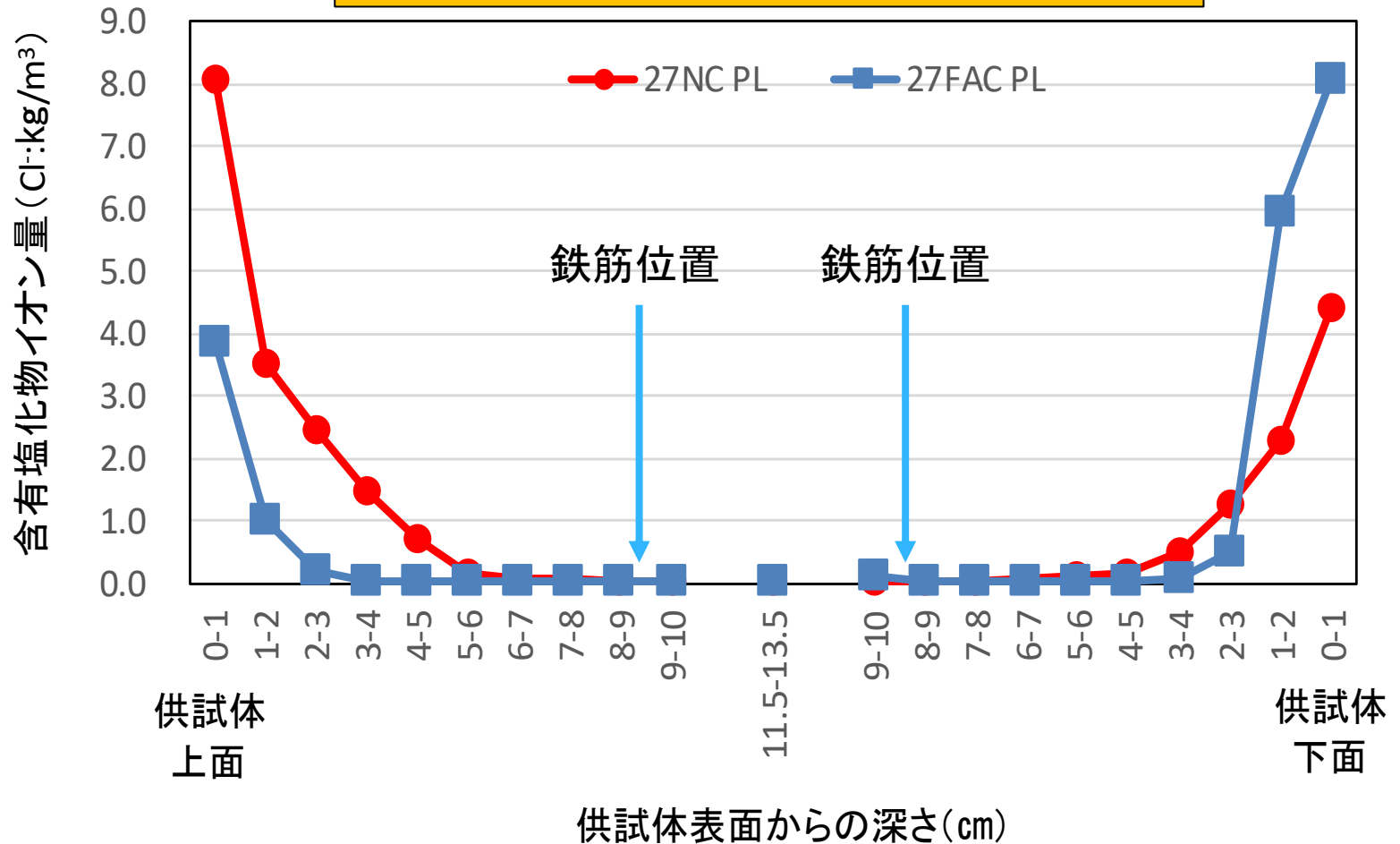


伊良部大橋 下部工配合

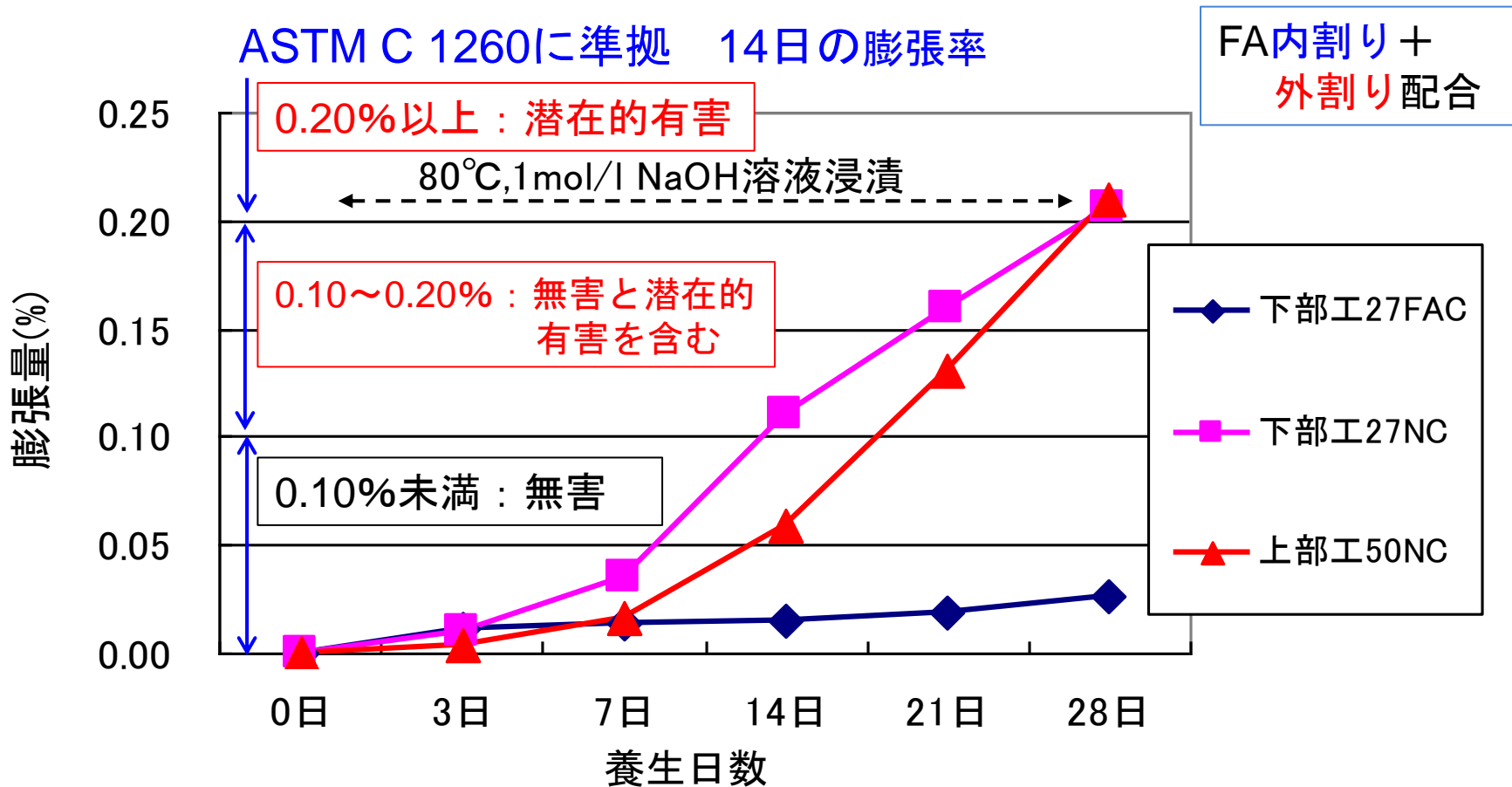
FACの塩分浸透抑制効果

FAC : FA内割り + 外割り配合

伊良部大橋下部工配合 暴露11年の結果



沖縄県産海砂のASR抑制効果確認



促進膨張試験結果 (NaOH浸漬法)

(通称カナダ法促進膨張試験)