

コンクリート構造物の耐久性の向上, 既設構造物の延命化, さらに脱炭素化を目指して ～近未来コンクリート研究会の活動～

Improving the durability of concrete structures, Extending the life of aging structures,
and Aiming for a Decarbonization
～The activities of the Near-Future Concrete Association～

十河 茂幸 竹田 宣典 江良 和徳 坂本 英輔

1. はじめに

建設会社の技術研究所で37年間活動し、広島工業大学で6年間教鞭をとったのちに、近未来コンクリート研究会を立ち上げ、これまでに培った技術を社会に貢献するべく活動しているのは、代表を務める十河茂幸。現在、約7年間の活動で、近年の話題を取り上げ、産官学が集って議論を重ね、提案できる段階にきている。


近未来コンクリート研究会は3つの協議会で構成している。「初期ひび割れの抑制技術研究協議会」の主査を務めるのは、広島工業大学環境土木工学科教授の


竹田宣典である。初期ひび割れが耐久性に影響するか否かは、その発生場所、発生状況、自然環境や使用環境により異なり、すべてのひび割れが耐久性を損なうかと言えばそうではない。しかし、構造物の設計者と発注者は、想定していないため補修を強いることになり、結果的に有害とは言えなくても施工者に負担が来る。それは不合理として、この研究協議会を始めた。


二つ目の協議会は、「既設コンクリート構造物の延命化技術研究協議会」で、主査を務めるのは、(一社)コンクリートメンテナンス協会の技術委員長を務めている江良和徳である。コンクリートはメンテナンス不要と言われた時代は終焉し、21世紀は維持管理の時代と呼ばれ、過去に建造したコンクリート構造物は軒並み維持管理が必要となってきた。これに応じる形で、既設コンクリート構造物の延命化を行うための点検、診断、補修・補強技術の研究協議会を始めている。


三つ目の協議会は、最近の課題を取り上げることにしている。当初は、「構造物の生産性向上技術研究協議会」として活動し、一定の成果が出たことから、その後は「脱炭素コンクリート技術研究協議会」として、現在活動中である。主査を務めるのは、広島工業大学建築工学科教授の坂本英輔である。

本稿では、それぞれの活動状況と研究成果の提案を以下に述べることにする。

 そごう しげゆき / SOGO Shigeyuki
近未来コンクリート研究会代表
工学博士

 たけだ のぶふみ / TAKEDA Nobufumi
広島工業大学工学部環境土木工学科
教授 博士(工学)

 えら かずのり / ERA Kazunori
(一社)コンクリートメンテナンス協会
専務理事 博士(工学)

 さかもと えいすけ / SAKAMOTO Eisuke
広島工業大学工学部建築工学科
教授 博士(工学)

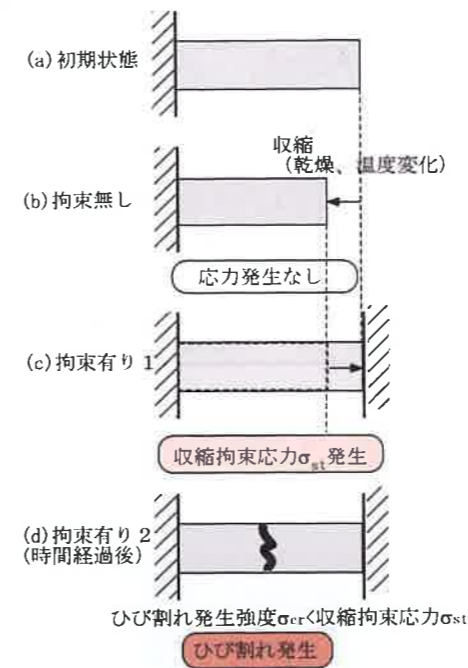


図1 収縮ひび割れのメカニズム¹⁾

2. 初期ひび割れの抑制技術研究協議会の活動

2-1. 活動の背景

コンクリートの初期ひび割れの発生は、古くからの問題でありコンクリート構造物の建設に関わる技術者を悩ませてきた。これまで様々な調査、研究や検討がなされ、学協会や発注機関から多くの指針類が出されている。

初期ひび割れは、コンクリート自体の「収縮しやすい」という材料の特性により生じる場合が多い(図1)。しかしながら、多くの場合は積極的に抑制対策を講じることなく施工に至り、ひび割れの発生後に補修が行われている。初期ひび割れに対しては、コストを掛ければひび割れの防止は可能であるが、従前の計画、積算では防止は困難な場合が多い。

このような背景から、初期ひび割れの抑制技術研究協議会では、発注者、設計者、レディーミクストコンクリート製造者、建設会社などの実務者、技術者の参加により、初期ひび割れの合理的な抑制技術について協議し、初期ひび割れを抑制する方策を確立することを目的として活動している。参加者は、中国地区にとどま

近未来コンクリート研究会 初期ひび割れ技術研究協議会 初期ひび割れの抑制対策(案)

目次

- 1 はじめに
 - 2 温度ひび割れの抑制
 - 2.1 温度ひび割れの発生メカニズム
 - 2.2 設計面での抑制対策(配筋、誘発目地など)
 - 2.3 材料・配合面での抑制対策
 - 2.4 施工面での抑制対策
 - 3 沈下ひび割れの抑制
 - 3.1 沈下ひび割れの発生メカニズム
 - 3.2 沈下ひび割れの抑制対策
 - 4 まとめ
- 参考資料 事例紹介
(温度ひび割れ対策としてのフライアッシュの活用)

図2 初期ひび割れの抑制対策(案)目次

近未来コンクリート研究会 初期ひび割れ技術研究協議会

初期ひび割れ抑制対策(工事事例集)

1. フライアッシュコンクリート(北陸地区)
2. 低熱ポルトランドセメント+低発熱型膨張剤(上下水道調整池)
3. 低熱高炉セメントB種(重力式擁壁)
4. 高炉セメントC種(バースクレーン基礎)
5. フライアッシュコンクリート(橋脚)

図3 初期ひび割れの抑制対策(工事事例集)

らず北陸地区、四国地区、九州地区からもあり、各地域における初期ひび割れに関する情報や対策事例などの情報提供を頂き、協議会で情報共有している。

2-2. 活動概要

コンクリートの初期ひび割れは、使用材料や配合に起因する場合が多く、施工後に生じることから、施工者にその責任が課せられることが往々にして多いが、本来、設計段階から検討を始めないと制御できないと考えられる。そのため、初期ひび割れの抑制は、構造物の発注者、設計者、コンクリートの製造者、施工者が共同で検討すべき課題である。初期ひび割れの抑制技術研究協議会では、コンクリート構造物に建設に関わる者のうち、だれが何をすれば初期ひび割れを抑制できるかを検討し、その抑制対策の提案に向けて検討を進めている。

初期ひび割れとして検討対象としているものは、主に温度ひび割れに対してであるが、その他ブリーディングに起因する沈下ひび割れについても検討を行っている。具体的には、下記の内容について検討を行っている。



写真1 温度ひび割れ対策として
フライアッシュを用いた橋脚²⁾

- ① 温度ひび割れが発生しやすい構造物の事例と対策
- ② フライアッシュ添加による温度ひび割れの抑制
- ③ 初期ひび割れ抑制のための適切な養生方法
- ④ 初期ひび割れを低減するためのチェックリスト
- ⑤ 「初期ひび割れ抑制対策(案)」, 「初期ひび割れ抑制対策工事事例集」(図2, 図3)の作成

特に、フライアッシュの初期ひび割れ抑制対策としての活用について多くの時間をかけて議論を行った。各地域のフライアッシュコンクリートの適用状況²⁾とフライアッシュを用いる場合の有効な活用方法や課題についての検討を行った結果、フライアッシュの温度ひび割れ対策としての有効性が認識された(写真1, 図4)。また、今後フライアッシュを温度ひび割れ対策として展開して行くに当たり、以下のような課題が抽出された。

- ① 製造施設(サイロ, 投入方法など), ②フライアッシュの品質変動, ③強度の管理材齢(強度発現), ④発注者の仕様書における水セメント(W/C)の規定, ⑤養生の手間, ⑥コンクリートの価格, ⑦CO₂低減の定量化

フライアッシュの初期ひび割れ対策として効果的な活用を図るために、上記の課題について発注者、設計者、製造者、施工者がともに問題点を共有し、解決策を提案して行く予定である。

2-3. 今後の展望

現在までに「初期ひび割れの抑制対策(案)」および「初期ひび割れ抑制対策工事事例集」を作成しているが、さらに抑制対策(案)のブラッシュアップと初期ひび

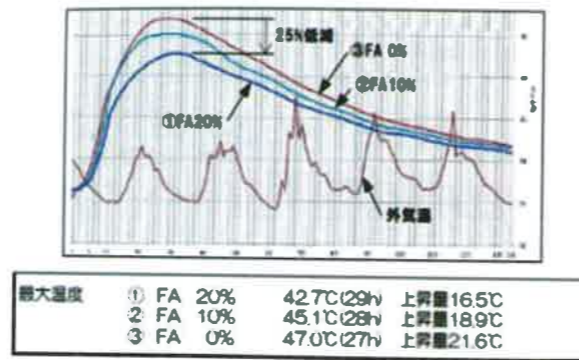


図4 フライアッシュを用いた
コンクリートの簡易断熱温度上昇²⁾



写真2 小規模橋梁の簡易点検要領(案)Ver.2.0

割れの抑制対策を行った工事事例を増やし、発注者、設計者、製造者及び施工者へ広く展開を図ることに伴い、初期ひび割れ対策に対する意識向上の働きかけを行う予定である。

3. 既設構造物の延命化技術研究 協議会の活動

3-1. 協議会の活動概要

わが国の社会資本ストックの根幹をなすコンクリート構造物は、環境条件や使用材料によってさまざまな要因により劣化が進行しつつあり、今やそれら社会インフラの長寿命化、延命化の方策は喫緊の課題である。しかし、これらの状況に対して適切な維持管理技術の構築、延命化のための予算や人材確保などにおいて課題も多く、未だ抜本的な解決の糸口は見出されていない。そこで本協議会では、コンクリート構

表1 小規模橋梁の簡易点検要領(案)を適用した橋梁とその実施項目

自治体	橋梁名	実施項目
呉市	無名橋2橋	全橋共通で以下の項目を実施 ・形状寸法測定 ・外観目視調査(ひび割れ, 浮き等) ・打音検査(テストハンマ) ・鉄筋かぶり厚さ測定(電磁波レーダ)
東広島市	堀田橋3号線1号橋	・圧縮強度推定(リバウンドハンマ)
安芸高田市	工業団地橋, 小原橋, 砂田線1号橋	・中性化深さ(ドリル法)
尾道市	坂石線2号橋, 中川橋	・塩化物イオン量(簡易塩分測定)
大竹市	玖波3号線1号橋	
廿日市市	可愛ヶ丘1号線跨線橋	



写真3 対象構造物の例
(可愛ヶ丘1号線跨線橋; 廿日市市)

造物の適切な延命化、長寿命化を図るための維持管理について、現状の把握と課題の抽出整理を行うとともに、課題解決のための具体的な方策について検討することを目的として掲げた。

まず協議会内で維持管理分野に関する問題点や課題を抽出し、現状の把握および改善策の模索についてディスカッションを行った。抽出された主な課題として、①コンクリートの劣化(特に複合劣化, 再劣化など), ②LCC評価(残存供用年数, 補修後の耐用年数評価など), ③事後保全と予防保全(予防保全の簡易度など), ④発注形態や事業体制(特に小規模な自治体が抱える経済的, 人的資源の問題)などが挙げられる。これらのディスカッションを経て本協議会にて具体的に取り組んでいく課題を絞り込んだ結果、主な活動内容として小規模自治体が管理する小規模橋梁の維持管理について重点的に協議することとした。

3-2. 小規模橋梁の維持管理に関する取組み

国内に約73万橋存在するといわれる橋長2m以上

の道路橋を管理者別に見ると、その約66%の約50万橋が市町村などの地方自治体が管理していることが分かる。しかし、この膨大な数の橋梁を管理する小規模な市町村では予算不足と人材不足が特に厳しい状況にある。そのような状況を鑑み、2019年5月に近未来コンクリート研究会から「小規模橋梁の簡易点検要領(案)(執筆: 十河茂幸代表)」の初版が発刊された。

本書には小規模橋梁の特化した点検計画および具体的な点検要領、健全度診断の考え方や記録など一連の作業内容について記載されており、維持管理業務を少しでも簡素化する方策として提案する内容となっている。特に、維持管理業務の簡素化には予防保全的な観点が必要であり、本書での記述も予防保全を強く意識した内容となっている。また、本書の記載内容をさらに本協議会内で検討を行い、それらを反映させる形で2020年5月に「小規模橋梁の簡易点検要領(案)Ver.2.0」¹⁾(写真2)として発刊した。

さらに、本協議会では小規模橋梁の簡易点検要領(案)に準じて実際の橋梁の点検作業を実施し、適用性評価および改善点抽出を行うための社会実装に取り組んでいる。(一社)広島県土木協会の協力のもと、広島県内の市町村が管理する小規模橋梁を対象として劣化状況の情報や点検作業フィールドの提供を受け、本書で提案した維持管理手順に準じて簡易点検を実施している。これまでに実施した内容を表1に、対象橋梁の例を写真3に示す。本橋は竣工後45年以上経過しており、かつ凍結防止剤に起因する塩害環境に位置しているため、塩害および中性化による劣化を想定した点検内容としている。具体的な実施項目



写真4 ドリル粉末採取状況(塩化物イオン量測定用)



写真5 中性化深さ試験状況(ドリル法)

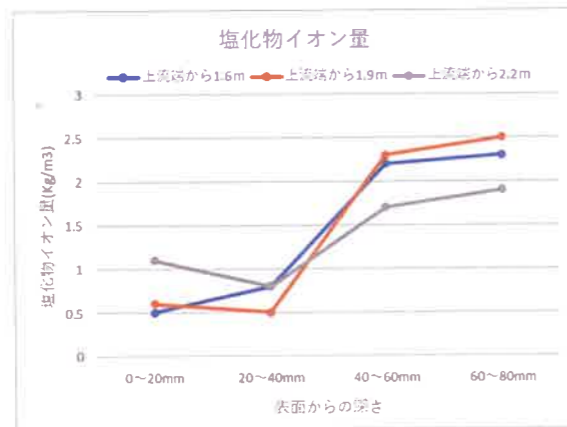


図5 塩化物イオン量測定結果の例



写真6 自治体職員向け現場見学会の状況

は、変状の把握を目的とした「形状寸法測定、外観目視調査、打音検査、鉄筋かぶり測定」と、想定される劣化に関する調査を目的とした「塩化物イオン量測定、中性化深さ測定」とした。ただし、作業内容をできる限り簡素化するために、塩化物イオン量はドリル粉末を採取して簡易試験キットにより測定した。このとき、ドリル粉末はコンクリート深さ方法に0~20mm, 20~40mm, 40~60mm, 60~80mmに区切って採取し、深さ方向の濃度分布も把握した。ドリル粉末採取状況を写真4に示す。また中性化深さもドリル法を採用し、フェノールフタレイン溶液を浸み込ませたろ紙にドリル粉末を落とし、呈色が現れた時点のドリル孔深さを中性化深さと評価した。中性化深さ試験の状況を写真5に示す。これらの測定値から塩害、中性化の劣化過程を評価するためには鉄筋位置の情報が不可欠であるが、小規模橋梁の場合には竣工図書などの橋梁基本情報が保存されていないことが多いため、初回点検時

にのみ鉄筋かぶり調査を実施する必要がある。塩化物イオン量測定および中性化深さ試験の結果の例を図5に示す。本橋においては塩害と中性化の複合劣化による塩分濃縮の影響により表層部の塩化物イオン量が減少している状況が認められた。これら一連の現地作業には協議会メンバーおよび自治体職員を招いて現場見学会(写真6)を開催し、実際に自治体職員が現場作業を体験する機会を設けた。

これらの点検結果より、現時点での劣化過程(潜伏期、進展期、加速期前期など)を評価する。塩害や中性化の潜伏期と判定された場合には劣化予測を行い、鉄筋が腐食環境に陥るまでの期間を予測する。その期間が十分長いと評価される場合には、以後の定期点検の頻度を下げたり点検項目を省略したりするなどの維持管理業務の簡素化が図れる可能性がある。塩害や中性化の進展期と判定された場合には、内部の鉄筋は既に腐食環境にあるため、できるだけ変状を



写真7 川上ダム見学会

頭在化させないように鉄筋腐食抑制効果を考慮した予防保全対策を実施することで、将来の変状発生を遅らせることができる。劣化過程が加速期前期に達した後は事後保全対策の範疇であり、速やかな補修工事が必要となる。

3-3. 今後の展望

「小規模橋梁の簡易点検要領(案)Ver2.0」の発刊およびその社会実装を経て、さらなる改善点抽出や課題整理を行い、要領書の改訂に取り組んでいる。次年度には「小規模鉄筋コンクリート橋梁の予防保全を目的とした点検要領(案)」として発刊し、普及活動に取り組んでいく所存である。

4. 脱炭素コンクリート技術研究協議会の活動

4-1. 活動の背景

少子高齢化に向かうわが国では、建設業においても次世代を担う技術者・技能者の不足が予見され、建設現場の生産性が課題とされている。そこで、構造物の生産性向上に資する技術を検討するため、近未来コンクリート研究会発足当時は、構造物の生産性向上技術研究協議会としてスタートした。協議会では、現状の把握と課題の抽出・整理を通して課題解決のための具体的な要望・提案を行うとともに、協議会メン

バーから寄せられた話題提供や事例紹介などについての情報交換や議論などを行ってきた。そのような議論の中で、急激な社会情勢の変化にともない、コンクリート工事におけるSDGsの達成やカーボンニュートラルの実現が急務であることが協議会メンバーの共通の認識となった。そのため、2021年度からは協議会名を脱炭素コンクリート技術研究協議会に変更し、コンクリート工事における脱炭素技術についての情報収集・整理・分類および脱炭素コンクリート技術の提案を行うことを目的として2期目の活動をスタートした。

4-2. 活動の概要

構造物の生産性向上技術研究協議会では、コンクリート工事を対象として、①建設分野へのIT活用、②合理的な設計、③施工フローにおける合理化、の3項目に分類し、現状の把握と課題の抽出・整理を通して、課題解決のための具体的な要望・提案を行った。また、現状すでに進められている生産性向上技術の事例調査および見学会(写真7)を行うとともに、産官学の様々な立場の協議会メンバーからの話題提供・事例紹介といった情報交換・共有の場として活用され、一定の成果を収めた。

2021年度からは、脱炭素コンクリート技術研究協議会として、脱炭素社会の実現に向けた、脱炭素社会のあるべき姿についての議論、コンクリート工事における脱炭素技術に関する調査、脱炭素コンクリート技術の提言・技術提案に向けた検討を開始した。まず、脱炭素社会のあるべき姿については、コンクリート構造物は品質の良いコンクリートを用いて適切に施工され、予防保全により維持管理されることが重要であることを共通認識としたうえで、地球温暖化が待ったなしの現状において、産業構造や社会経済の変革のポジティブな機会と捉えて議論を進めていくこととした。

次に、ゼネコン・メーカー・学協会などの取り組みについての調査(情報収集・整理・分類など)を行った。2021年10月には、曾澤高圧コンクリート(株)における日本初となるカーボンキュア社の技術導入の状況を現



写真8 公開実験

地視察させていただいた。また、2023年1月には、中国電力(株)の大崎クールジェンにおける実ガスのCO₂を使用したカーボンリサイクル実証研究拠点の現地視察を行わせていただいた。現地では、CO₂を有効利用したコンクリートの適用範囲拡大に向けた、実大規模の試験体を用いた炭酸化技術の実証研究を見学した。

それらの調査と並行して、より現実的な脱炭素コンクリート技術の提案に向けた議論を行い、公開実験などにより検討を行っている。2022年3月と7月には、広島県生コンクリート工業組合と共同で、コンクリートの練混ぜ時にCO₂を固化したドライアイスを粉砕した状態で添加した場合の固定化量およびコンクリート諸物性を確認するための公開実験を実施した(写真8)。実験結果によれば、CO₂の添加率の増加に伴う圧縮強度の増加傾向(図6)が確認されている。詳細については参考文献4)を参照されたい。また、現在、広島県生コンクリート工業組合と共同でフライアッシュの常時少量使用に向けた検討⁵⁾を進めており、2023年3月に引き続き、2024年3月に公開実験を実施する予定である。

4-3. 今後の展望

産官学の様々な立場のメンバーが集う協議会ならではのメリットとフットワークの軽さを生かし、できることから手を付け試行錯誤しながら、脱炭素コンクリート技術の提言・技術提案に向けた様々な取り組みを推し進めていく所存である。

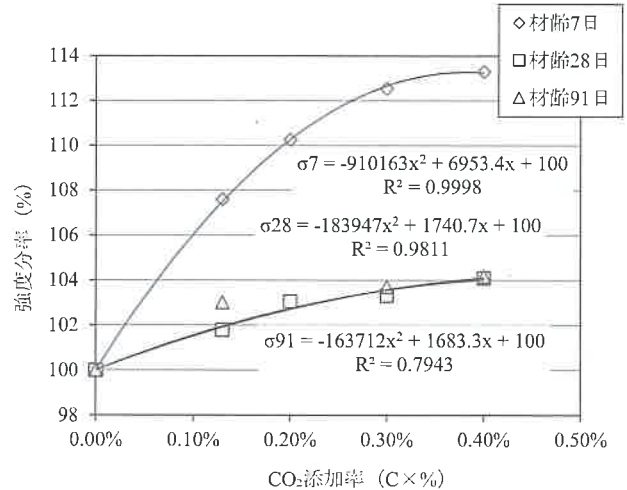


図6 CO₂添加率と強度分率⁴⁾

5. おわりに

近未来コンクリート研究会の発足にあたり、なぜ近未来なのかと聞かれる。代表の十河は高齢であり、そんなに先まで生きられないからと答えている。しかし、各協議会の主査は若いので、この活動は継続してくれると信じている。産官学が集うこのような技術の交流は未来のコンクリートを良くしてくれると考え、活動を続ける予定である。広島で始めた研究会であるが、全国からの参加者も多く、是非とも希望される方は、HPを開いていただきたい。

最後に、誌面を割いて下さったセメント協会の編集委員の皆様、およびこの活動にご協力いただいた皆様に感謝申し上げます。

[参考文献]

- 1) 十河茂幸, 河野広隆/コンクリートのひび割れがわかる本, セメントジャーナル社
- 2) 生駒和久, 横田昭彦/夏期における高強度コンクリートのマスコンクリートの施工について~温度ひび割れ対策としてのフライアッシュの活用~, 第24回土木施工管理技術論文報告集, 2020年6月
- 3) 小規模橋梁の簡易点検要領(案)Ver.2.0; 近未来コンクリート研究会, コンクリートメンテナンス協会, 2020年5月
- 4) 實兼稔, 砂田栄治, 寺下良行, 坂本英輔, 十河茂幸/練混ぜ時にCO₂を添加したコンクリートの実用化に向けた実験, 第22回(2023年)生コン技術大会研究発表論文集, pp.91~96, 2023年4月
- 5) 月刊コンクリートテクノ: コンクリートから提案する使いやすい「低炭素」-広島工組のフライアッシュ常時少量使用に向けた取り組み, (株)セメント新聞社, Vol.42, No.6, pp.16~20, 2023年6月