

連載特集

新 コンクリートの はなし

近未来コンクリート研究会

代表 十河 茂幸

・ 一般社団法人 全国土木施工管理技士会連合会 ・

技術トレンド

連載特集 「新・コンクリートのはなし」

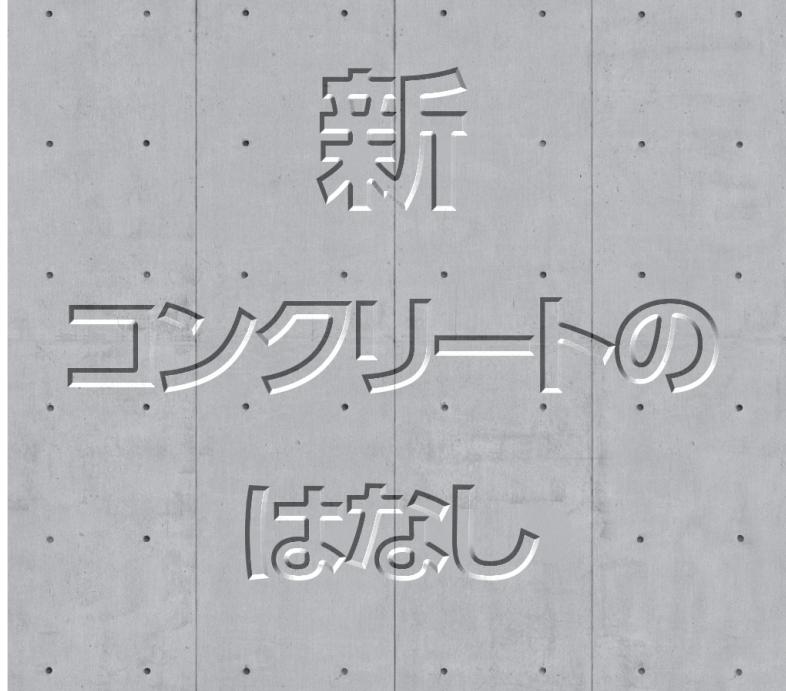
連載を始めるにあたり

脱炭素社会の実現に向けて、セメントコンクリートは多くの二酸化炭素を排出していることから、排出削減を目指していますが、木造建築が着目されたり、セメントを使わないコンクリートを模索したりする動きもあります。しかし、過去の災害事例でもコンクリートは重要な社会インフラを形成してきており、今後もインフラの重要な資源と考えられます。

そこで、2006年の連載した「コンクリートのはなし」を今流に見直して連載することにしました。「新・コンクリートのはなし」は建設業で仕事をする方々にとって知っておきたい基本的な技術と新しい話題を10回に亘り提供します。

1. 持続可能なインフラとしてのコンクリート	2
2. 初期ひび割れは設計段階で予防	4
3. 施工段階で生じる不具合の予防策	6
4. レディーミクストコンクリートの注文方法	8
5. コンクリートの圧送時に潜む危険	10
6. コンクリートの締固めの適切な方法	12
7. コテ仕上げで緻密なコンクリートを	14
8. 冷やすと危険な散水養生	16
9. 定期点検で早期に予防保全を	18
10. 劣化を抑制するための補修方法	20

近未来コンクリート研究会
代表 十河茂幸



近未来コンクリート研究会 代表



十河 茂幸

第1回

持続可能なインフラとしてのコンクリート

セメントの生産時には、炭酸カルシウムが主成分の石灰石を焼いて酸化カルシウムのするために1トン製造するために600kgの二酸化炭素を排出することになります。さらに燃焼するための二酸化炭素を考慮すると多くに二酸化炭素を排出していると指摘されています。

しかし、その後は、空気中の二酸化炭素を吸収し、炭酸化（中性化と呼ばれている）して、逆にカーボンニュートラルに向かいますが、これは長期的に継続することになり、コンクリート構造物を継続的に使用することが脱炭素となると言えます。

■セメント製造時にCO₂を排出

セメントを1トン製造するには、石灰石を約1,200kgと粘土類約240kg、けい石類約40kg、鉄原料他を約30kg、凝結調整のための石こう約30kgで、合計1,540kgを必要とします。さらに、焼成工程では、微粉炭などの化石燃料のほか、廃タイヤ、廃油、廃プラスティック、木くずなど他

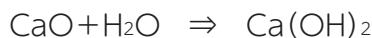
産業の廃棄物や副産物が代用燃料、原料として利用され、廃棄物の多くが有効利用されています¹⁾。セメントの主成分はCaOであり、石灰石(CaCO₃)を燃焼して得られるため、



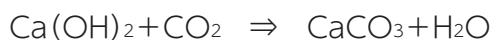
となり、石灰石を燃焼させると多くの二酸化炭素が排出されることになります。

■炭酸化でCO₂を吸収

セメントが水和反応すると、水酸化カルシウムを主成分となり、高アルカリ性を有し、鉄筋を腐食から守ることもよく知られています。

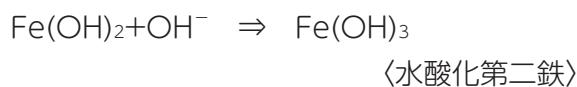
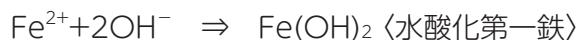


ところが、空気中の二酸化炭素を吸収すると、元の炭酸カルシウム（石灰石の主成分）に戻り、これが中性化と呼ばれる反応で、高アルカリ性から鉄筋を守れない低アルカリ性に変化します。



鉄筋は炭酸化（中性化）により錆びる環境となり、劣化が進むとされています。

炭酸化はCO₂を吸収する反面、耐久性を阻害する要因となっています。鉄筋が錆びると腐食膨張が生じ、体積が2～4倍になり、かぶり部分を剥落させて危険な状態に陥ります。ところが、鉄筋が錆びるのは、酸素と水が必要であり、腐食環境になったからといって、酸素と水の供給を止めると錆びないことになります。



■点検での予防措置がCO₂の低減に繋がる理由

コンクリート構造物の維持管理が重要との認識が根付いてきました。コンクリートは延久構造物として捉えられてきましたが、経年劣化が顕著になり、事後保全から予防保全が必要となっています。剥離や剥落が生じて補修するより、劣化を予見して補修する方が安価になるためです。鉄筋の腐食が進行しないと剥離や剥落は生じないため、予防的な点検は、なかなか困難ですが、塩害環境や中性化環境を予測することで、劣化の予

見が可能となります。これらの技術も習得する必要がありますが、経費を掛けないで点検・診断を行い、予防保全がCO₂の削減に功を奏すると考えられます。なお、鉄筋の腐食は水と酸素が必要となり、劣化環境に置かれても、水と酸素の供給を抑制することで腐食速度が抑えられることも知つておきたいことです。

■長期供用は二酸化炭素の低減策

コンクリートを長期供用することが、二酸化炭素の排出を抑制できるとの考えもあります。要は、長時間の供用こそが、年間の二酸化炭素を削減することに繋がり、安全・安心のインフラを構築することと、低炭素とすることを両立させることができ期待できるはずです。そのためには、二酸化炭素の抑制できるセメントの製造技術と、構築したのちは予防保全で適切な点検技術と診断技術を駆使し、さらに延命化を実現できる補修技術を開発することが必要と考えられます。

【参考文献】

1) 環境にやさしいセメント産業、セメント協会、2021

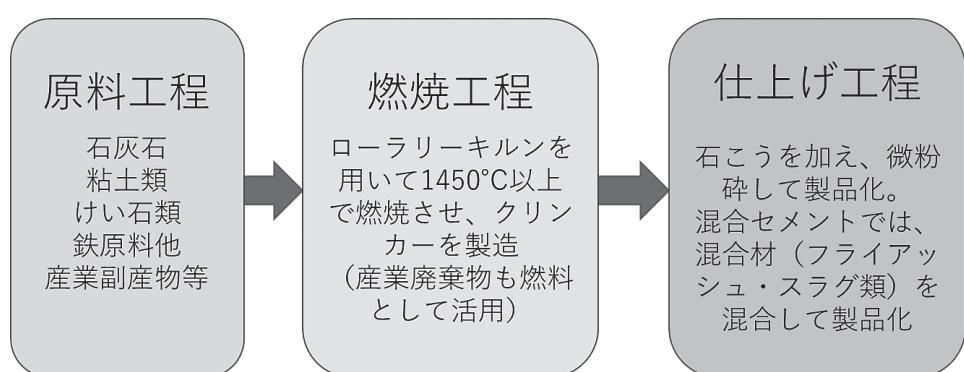
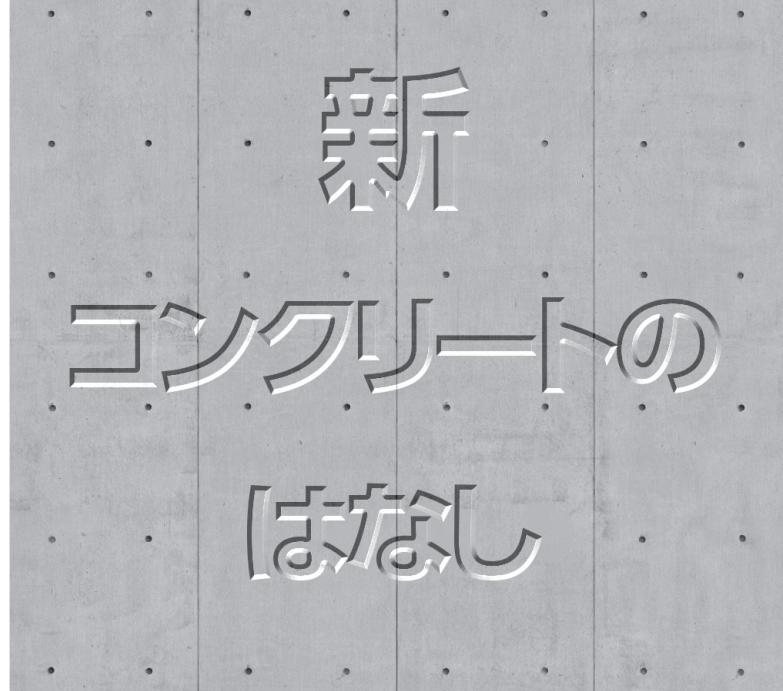


図1 セメントの製造工程



近未来コンクリート研究会 代表



十河 茂幸

第2回

初期ひび割れは設計段階で予防

コンクリートに生じるひび割れは有害との考えもありますが、劣化に対しては無害と言えるひび割れも存在します。ひび割れが有害ならば、確実に生じないようにすればよいのですが、許容ひび割れ幅を設定していることは無害と言えるひび割れが存在することになります。

今回は、コンクリートに生じるひび割れについて解説します。

■発生時期で異なる原因

ひび割れは、発生時期で異なる原因であることが推定できます。竣工前の施工時期の生じるひび割れは、初期ひび割れと呼ばれ、主として材料の特性として発生するひび割れです。次に竣工後まもなく発生するひび割れは、乾燥収縮が原因となるひび割れと考えられます。コンクリートはそう簡単に乾燥しないため、1～2年後に生じる材料の特性から生じるひび割れとみなせます。さらに、供用中に生じるひび割れとしては、荷重により引張側に生じる曲げひび割れがあります。これは、

設計上引張強度を無視して設計しているため、許容されているひび割れで、許容ひび割れ幅以内となるように設計で配慮されています。以上の、各段階で生じるひび割れは、ひび割れから劣化因子が浸入して劣化することが懸念されるため、許容ひび割れ幅以上になると、劣化させないためのひび割れ注入などの補修が必要となります。

また、供用後、数年から数十年経過したのちに生じるひび割れがあります。劣化して生じるひび割れと考えられます。このようなひび割れは、劣化の原因によりひび割れの発生する時期は異なり、アルカリシリカ反応によるひび割れは、数年～十数年後から顕著になり、塩害や中性化に伴う鉄筋の腐食膨張が原因となるひび割れは、数十年経過後に生じる場合が多いようです。

■初期ひび割れの発生メカニズムと対策

初期ひび割れが生じやすい要因として、①材料の特性として収縮する性質があること、②施工上、

段階的に工事を進めるため、収縮を拘束される条件が存在すること、③コンクリートの引張強度が小さい（伸び能力が小さい）ことなどが挙げられます。図に示すように、収縮が拘束されると引張応力が大きくなり、引張強度が小さいとひび割れが生じることになります。これが初期ひび割れの発生原因で、コンクリートにひび割れが生じる宿命といわれる所以であります。梁に生じる曲げひび割れも、引張強度が小さいために生じるひび割れで、ひび割れ幅が大きいと、劣化因子である水や塩化物イオンが容易に浸入しないようにひび割れ補修が行われます。そのために、許容ひび割れ幅が設定されています。

これらのひび割れは、劣化に伴って生じたひび割れと異なり、構造物の性能面では問題とならないのですが、劣化が懸念されるため劣化因子の浸入防止として補修が行われる場合が多いようです。

■劣化して生じるひび割れは、劣化原因を抑制

劣化したことによりひび割れが生じる場合があります。劣化原因は様々であり、それぞれ抑制対策が異なります。

アルカリシリカ反応によるひび割れは、ある種の骨材を用いた場合に生じ、これに対しては、反応するような骨材の使用を避けるか、反応を起こさないセメントを用いるなどの対策が、生コンの製造時に講じられていると考えてよいと言えます。

寒冷地では凍結融解の繰り返しで生じるひび割れもあります。さらに厄介なのが、塩化物イオンが限界濃度を超えて鉄筋が腐食膨張して生じるひび割れや、中性化して鉄筋が腐食膨張して生じるひび割れです。塩化物イオンは潮風や、凍結防止剤などからもたらされますが、塩化物イオンが侵入しても、中性化が生じてもコンクリート自体の性能は低下しません。鉄筋が腐食膨張してはじめてひび割れが発生することになります。

ひび割れが発生するとすでに劣化が進んでいる

●収縮ひび割れの発生メカニズム

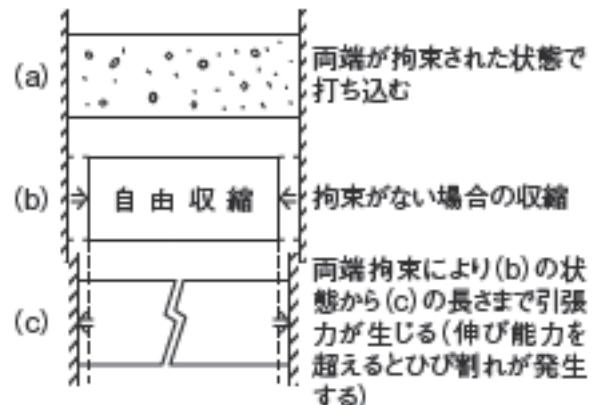


図1 初期ひび割れの発生メカニズム¹⁾

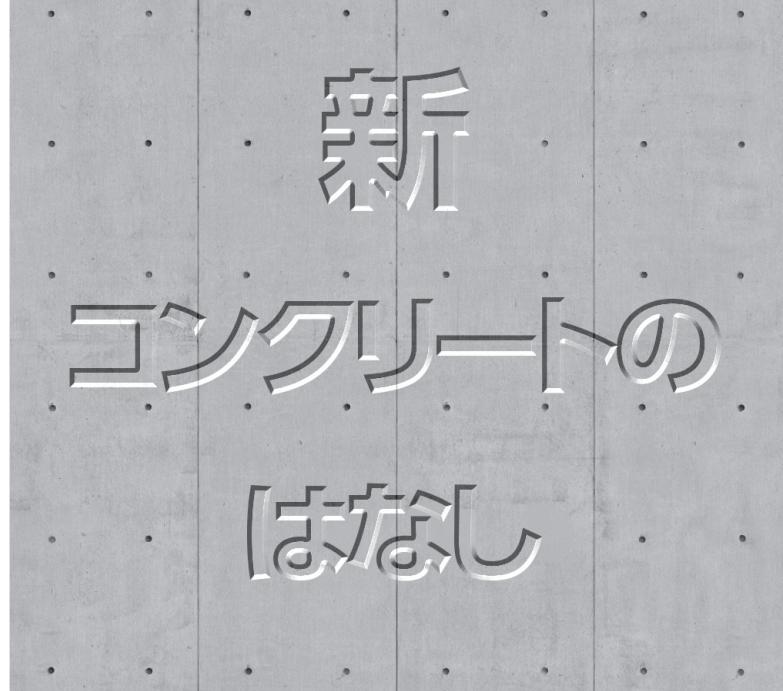
と判断できるから、その段階での補修（補強）は大変となります。予防保全が必要となる事例であり、維持管理で点検を行い、劣化の予測を行うことが必要となります。（今後の連載で詳述する予定）

■設計段階でひび割れを予防

初期ひび割れが半ば宿命であるとされ、一定のひび割れ幅までを許容することが望まれますが、ひび割れが生じること自体を嫌う風潮があります。一般の人がコンクリートにひび割れが発生しているのを見ると、壊れていると感じるためです。また、塩害が生じやすい環境ですと、さらに劣化が進行する可能性が高いため、劣化を止めたうえにひび割れを補修しなければなりません。なお、初期ひび割れは、材料の特性として生じるため、施工段階で打てる対策は限られます。設計段階で対策を打つことが必要です。容易に考えられるのは、ひび割れ誘発目地ですが、どの程度の間隔で設けるかは、正解がないと考えられます。しかし、明らかにひび割れは抑制されるため、設計段階で検討するべきです。

【参考文献】

- 1) 十河茂幸ほか:コンクリート診断士試験重要キーワード130、日経コンストラクション編、2022年1月



近未来コンクリート研究会 代表



十河 茂幸

第3回

施工段階で生じる不具合の予防策

コンクリートの施工は、さまざまな環境下で行われます。例えば、夏期の暑い時期や、冬期の寒い時期に施工され、また、断面の厚い部材もあれば、配筋が困難な薄い部材もあります。そこで、それぞれの条件に適合するコンクリートを製造し、運搬し、それを施工するのですが、それでも何らかの不具合が生じることが多々あります。

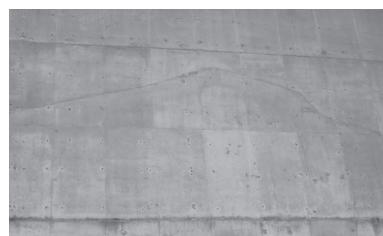
今回は、施工段階で防止可能な不具合対策について解説します。

■施工段階で生じやすい不具合

コンクリートの施工時の不備で、不具合が生じることがまれにあります。思いがけない不具合にびっくりしないように、あらかじめ計画を確認して事に当たりたいところです。不具合の事例としては、初期ひび割れが生じる事例が最も多いのですが、豆板や空洞、コールドジョイント、沈みひび割れ、表面気泡などが生じる事例もあります(写真参照)。

豆板は、粗骨材が集まってできる未充填箇所で

す。コールドジョイントは、打ち重ねる場合に前の層の上に打ち重ねるコンクリートの時間が経過したときのできる一体とならない状態です。沈みひび割れは、ブリーディング水の上昇により沈降が生じた場合に鉄筋の上部で発生するときと、段



a) コールドジョイントの例



b) 沈みひび割れの例

写真 施工時に生じやすい不具合事例¹⁾

差のある箇所で、連続して打ち上げた場合に生じるときがあります。表面気泡は斜面の型枠で生じやすく、大きな気泡が不具合とみなされます。

■初期ひび割れの予防

初期ひび割れには、乾燥収縮ひび割れと温度ひび割れがあります。乾燥には時間がかかるため、供用後にクレームとして扱われることがあります。温度ひび割れは水和熱が外気温と同等に下がった時に生じるため、ほとんど竣工前に発見されます。

これらの対策は、収縮を低減することで抑制できますが、対策を講じても防止とまでにいかないのが通常です。収縮の原因は、セメントの硬化収縮、乾燥収縮およびコンクリートの温度収縮などがあります。乾燥収縮はコンクリートが乾燥するのを防ぐことが対策となり、温度収縮は、セメントの発熱を抑制することが対策となるため、単位セメント量を低減するか、低発熱性のセメントを使用することが対策となります。また、セメントが硬化する際の生じる自己収縮がひび割れの伏兵として挙げられますが、これは単位セメント量を低減すると小さくなります。なお、施工時にできる対策もあり、内部と外部の温度差を付けないことが温度ひび割れに効果的であるため、初期養生時に保温することが望ましいと言えます。冷やすと危険になる場合が多いようです。

■沈みひび割れの予防

沈みひび割れは、コンクリートのブリーディング水の上昇に伴う沈降が原因となります。沈みひび割れが沈下量の差で生じるため、梁下でいったん打ち止める行為がひび割れの発生を防ぐこと、鉄筋の上部に生じた沈みひび割れはブリーディングが収束した段階でタンピング（再振動）して修復することで収まることはよく知られています。しかし、型枠面に生じる沈みひび割れは、ブリーディングが生じる限り発生を余儀なくされます。生コンの発注段階で抑制するほかは方法がないようです。型枠面に沈みひび割れが生じるのはブ

リーディング率が大きい場合とみなされ、ブリーディング率の小さいコンクリートを供給してもらうように生コン工場に相談するとよいでしょう。

■コールドジョイントの予防

打ち重ね時間間隔が夏期2時間～冬期2.5時間以上かかると、コールドジョイントの発生する可能性が高くなります。不慮の事態を想定すると、打ち重ね時間間隔はできるだけ短く計画することが重要となります。コールドジョイントが発生すると上下のコンクリートが一体となっていないことから、打ち継ぎの処理と同様の対策が必要となります。前層の締固めが不十分であると締固め不足のコンクリートが存在することになります。打ち重ね時間間隔が長くなるような不慮の事態に遭遇すると、前層のコンクリートを十分に締め固めておくことが必要です。

■表面気泡の防止

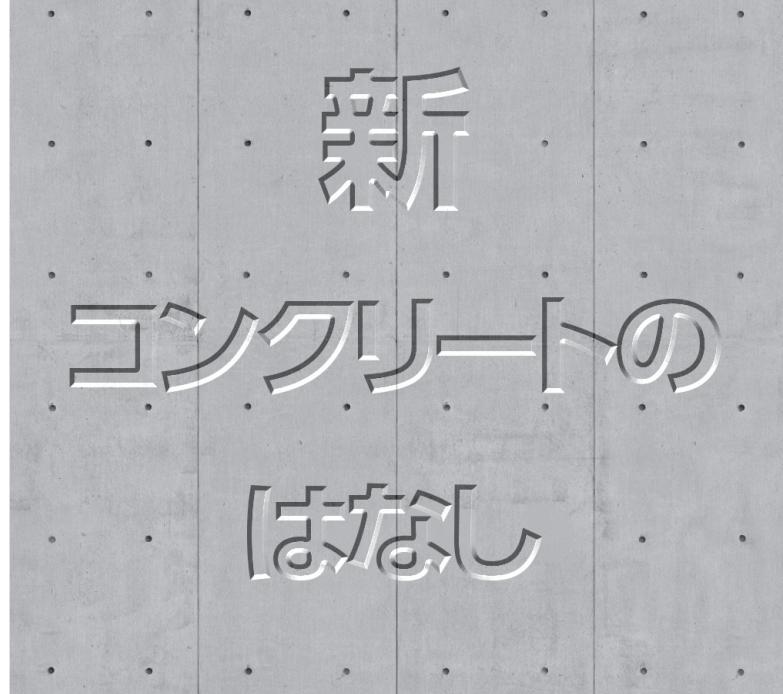
斜面の型枠面では、振動締固めを行うと気泡が上昇し、型枠面に付着します。斜面では、気泡が上面には出難いことが容易に想像できます。斜面の型枠面では、気泡を上部に排出するようにゆっくり打ち上げることが望ましいのですが、近年の施工速度を考えると難しい対応です。斜面型枠面では、締固めをするほど表面の気泡が顕著になるという皮肉なことになります。

■不具合を初期欠陥としないために

様々な原因で発生する不具合があります。原因を取り去ることが予防的な措置として重要ですが、やむを得ずできてしまった不具合も適切な措置を講ずれば、初期欠陥とはみなされないはずです。初期欠陥を生じさせないことが耐久性の高いコンクリート構造物を構築することになりますので、適切な補修も考慮しておきましょう。

【参考文献】

- 1) 十河茂幸ほか：現場で役立つコンクリート名人養成講座改訂版、日経コンストラクション編、2008.10



近未来コンクリート研究会 代表



十河 茂幸

第4回 レディーミクストコンクリートの注文方法

注文すれば現場に届く、便利な生コンも、注文方法を誤ると、施工しにくいコンクリートとなります。荷卸し地点までしか保証されない生コンであるがゆえに、条件を明確にして注文しなければなりません。

今回は、レディーミクストコンクリート（以下、生コン）の注文方法について解説します。

■生コンのメニュー

生コンを注文するときに、骨材の種類などで、「普通」、「軽量」、用途から「舗装」、「高強度」と区分され、呼び強度、スランプまたはスランプフロー、粗骨材の最大寸法、セメントの種類などを指定できるようになっています（表参照）。しかし、発注者からは、構造条件、施工条件に適したコンクリートの種類が指定され、例えば、「普通 24 12 20 BB」と、使われるコンクリートの種類は限られます。メニューに多くの種類が定められているのは、使いたいときにJISに規定されていないと、いざというときに使えないからです。

また、JISは、原則5年ごとに見直され、新しいJISを用いる必要があります。特に生コンのJISは改正されることが頻繁ですが、これは新しい材料が使えるようにするためでもあります。

■協議事項で決められる内容

協議してユーザー側から要求できる項目があり

表1 レディーミクストコンクリートの種類及び区分

コンクリートの種類	粗骨材の最大寸法 mm	スランプ又はスランプフロー ^{a)} cm	呼び強度										曲げ4.5			
			18	21	24	27	30	33	36	40	42	45	50	55	60	曲げ4.5
普通 コンクリート	20. 25	8, 10, 12, 15, 18	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		21	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-
		45	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-
		50	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	-	-
		55	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	○	-	-
		60	-	-	-	-	-	-	○	○	○	○	○	○	-	-
軽量 コンクリート	40	5, 8, 10, 12, 15	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-
舗装 コンクリート	15	8, 12, 15, 18, 21	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	-	-	-	-
舗装 コンクリート	20. 25. 40	2.5, 6.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○
高強度 コンクリート	20. 25	12, 15, 18, 21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-
		45, 50, 55, 60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○	○	-	-

注^{a)} 荷卸し地点での値であり、45 cm, 50 cm, 55 cm 及び 60 cm はスランプフローの値である。

ます。例えば、①セメントの種類、②骨材の種類、③粗骨材の最大寸法、④アルカリシリカ反応抑制対策の方法、⑤骨材のアルカリシリカ反応性による区分、⑥呼び強度が36を超える場合は水の区分、⑦混和材料の種類及び使用量、⑧塩化物含有量の上限値、⑨呼び強度を保証する材齢、⑩空気量、⑪軽量コンクリートの単位容積質量、⑫コンクリートの最高温度又は最低温度、⑬水セメント比の目標値の上限、⑭単位水量の目標値の上限、⑮単位セメント量の目標値の下限又は上限、⑯流動化のスランプ増大量、⑰その他必要な事項などがあります。

ただし、これらの協議事項を使うと、試し練りが必要となるなど、費用負担が生じる場合があり、より望ましい生コンを注文するには、その効果を十分に見極めることが重要となります。

■生コンの保証範囲

生コンは荷卸し地点での品質を保証しています。荷卸しされた後は、場内運搬され、打込み、締固め、仕上げられ、養生されることで品質が変化するためです。荷卸し後の行為で品質変化するものの、耐久性の高いコンクリートを販売するのありますから、経年変化に耐える品質のコンクリートであるべきです。荷卸し地点でなく、耐久性も考慮した品質保証とするよう、保証の範囲を見直して欲しいものです。

■受入検査の矛盾

荷卸し地点での保証のため、受入検査を荷卸し地点で行うことになっています。注文通りの生コンであるかを確認するためですが、一定の変動が許されています。例えば、スランプであれば $12 \pm 2.5\text{cm}$ 、空気量は $4.5 \pm 1.5\%$ など、変動する可能性を考慮して、許容範囲が定められています。この程度なら、許容範囲としても、外れるはずがないと見込んだ許容範囲であり、明確な根拠があるものではありません。ましては、スランプや空気量は変化を常としており、測定時間が異なれば結果も異なります。とくに空気量については、 $4.5 \pm$

1.5% とは $3.0 \sim 6.0\%$ の範囲にあることを意味しますが、下限の3%を下回ると凍害の危険性があると指摘されています。荷卸し地点で下限の3%をクリアしても、その後の変化で3%を下回る可能性があり、凍害を受けることがあります。また上限の6%は強度に影響する可能性がありますが、圧縮強度は供試体で確認することになっています。受入検査方法は見直す時が来ていると感じます。

塩化物含有量は、時間経過が生じても変化しないため工場での測定が許されています。単位水量の検査は、測定誤差の許容範囲が $\pm 10\text{kg/m}^3$ とされていますが、大きすぎる許容範囲あまり意味がないと言えます。むしろ収縮が問題ですので、自己収縮率や長さ変化率を指定する方が望ましいと言えます。沈みひび割れに対しても、ブリーディング率（量）の規定を加えるべきです。そうすることで、よりよい生コンとなり、不具合も減少することになります。

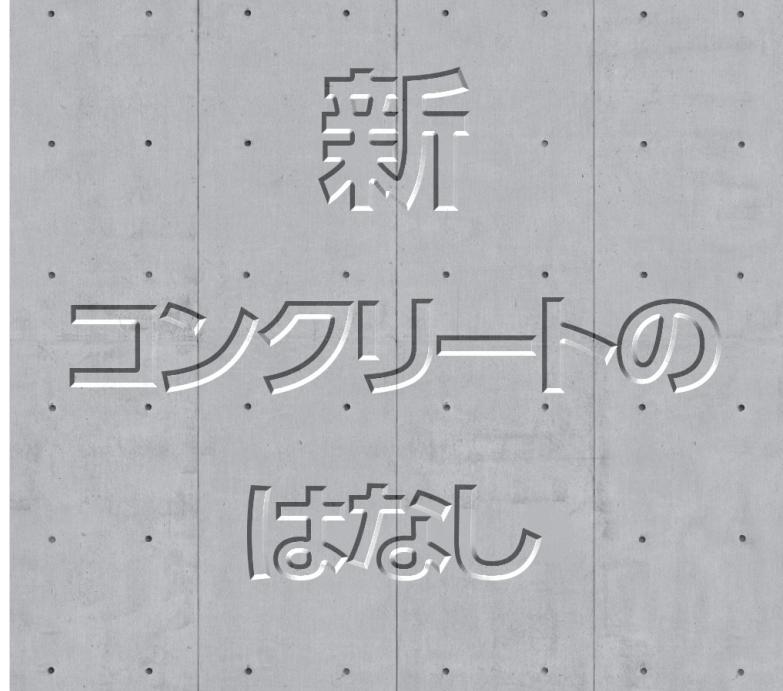
■納入書で配合の確認

配合計画書は、事前に配合を確認し、適切な生コンであることを計画段階で照査するために用います。しかし、生コンは重量で計量して容積で売る商売であり、必ず誤差が生じます。また、計画段階では標準期を想定していても、夏期の納入することもあります。その場合は、計量どころか、配合自体が変更されている場合もあります。それゆえ、1台ごとに納入書が付けられ、そこに計量印字記録から逆算した配合（実際の計量値から換算した配合）が示されることになっています。その生コン車に積載された生コンが仕様に適っているかを確認しないと、例えば水セメント比の上限や単位水量の上限が規定されていても、不適合を見ぬけないことになります。

生コンの品質は、コンクリートの耐久性を支配することを認識しておかなければなりません。

【参考文献】

- 1) 全国土木施工管理技士会連合会編：良いコンクリートを打つための要点（改訂第9版）、令和3年5月



近未来コンクリート研究会 代表



十河 茂幸

第5回

コンクリートの圧送時に潜む危険

コンクリート圧送用のポンプが使用され始めたのは、戦後まもなくですが、高度成長期に生コン工場が多量のコンクリートの供給をできるようになって、打込みも多量になり、圧送量の増加が必要となったからです。その結果、ポンプで圧送しやすいコンクリートとする必要が生じました。施工技術の変化は、コンクリートに要求される条件も変化しますが、変化に対応できないと不具合が生じやすくなります。変化に対応する技術を習得する必要があります。

今回は、コンクリートポンプ工法の留意点について解説します。

■圧送が困難なコンクリート

高流動コンクリートや高強度コンクリートの出現により、コンクリートポンプでの圧送が困難にある事例が増加しました。コンクリートの粘性が高く、圧送負荷が増加したためです。これらのコンクリートは逆に材料分離を生じ難いため、高圧で圧送できるポンプがあればむしろ耐久性の高

い均質なコンクリート構造物を構築することにつながります。

ポンプで圧送する場合に、遠距離にコンクリートを運搬できる利点はありますが、長距離圧送も負荷が大きくなり、300mを超える場合は、注意が必要です。また、下向きに圧送する場合は、連続的に圧送する場合はよいとして、断続的な圧送をすると、負圧が作用して、閉塞する場合もあります。下向きに高さがあると閉塞しないような配慮が必要となります。

圧送に対しては、専門的な知識が必要であるため、登録コンクリート圧送基幹技能者などの資格者の力を借りるとよいでしょう。

■圧送負荷に応じたポンプを選択

コンクリートの粘性に応じて、圧送負荷が生じますが、それは管内圧力損失で計算可能です。管内圧力損失と圧送距離や配管経路などから、ポンプに作用する圧力を算出し、それに安全率を考慮して、この圧力に対応できる最大圧力を有するポン

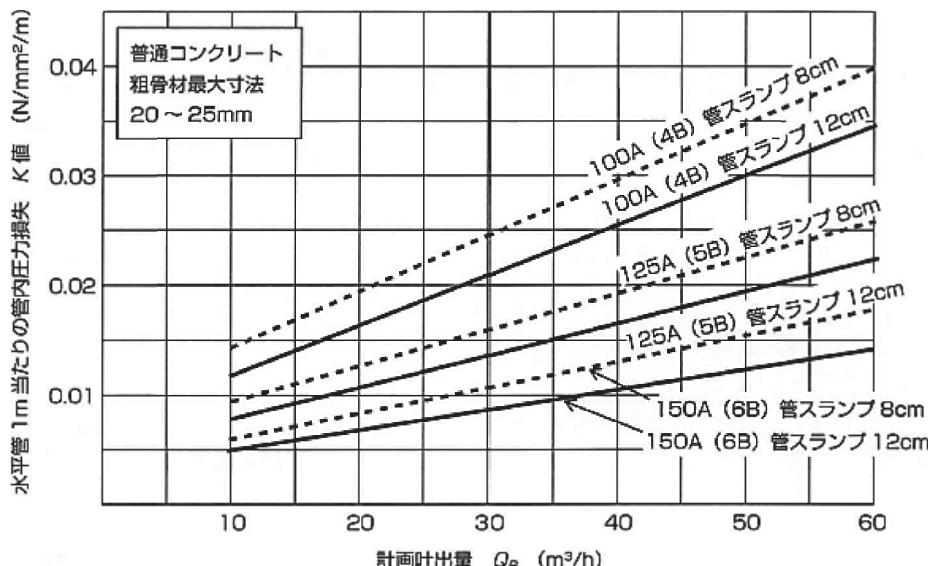


図 普通コンクリートの水平管の管内圧力損失の事例

ンプを選定します。また、輸送管についても圧力を受けたときに破裂しないような耐圧の輸送管を選定しなければなりません。

管内圧力損失の計算例を一例として図に示しますが、スランプが小さいほど、輸送管の直径が小さいほど、吐出量が多いほど、管内圧力損失は大きくなります。

■コンクリート圧送時に潜む危険

高圧（約8 MPa以上）でコンクリートを輸送するときには、当然危険が潜むと考えなければなりません。ポンプの最大主油圧は約30 MPa程度のものもあります。高圧でコンクリートを脈動させながら輸送するので、繰り返し応力をうけて、ブームは疲労する可能性も高いと言えます。しかし、全国調査では、10年以上の経過車の比率は、46.1%と、比較的長期間使用しているのが実情です。ポンプ車も高価であり、圧送単価が比較的低いと新車を買えない事情もあると推察できます。それゆえに、予防的な措置として、日常点検が欠かせません。

また、圧送従事者の年齢層も50歳以上が36.7%と高齢になり、苦渋作業が一般化しているため疲労は労働者も同様に存在します。かくして、事故の発生率も、建設業に従事する中でも多いと感じる次第です。

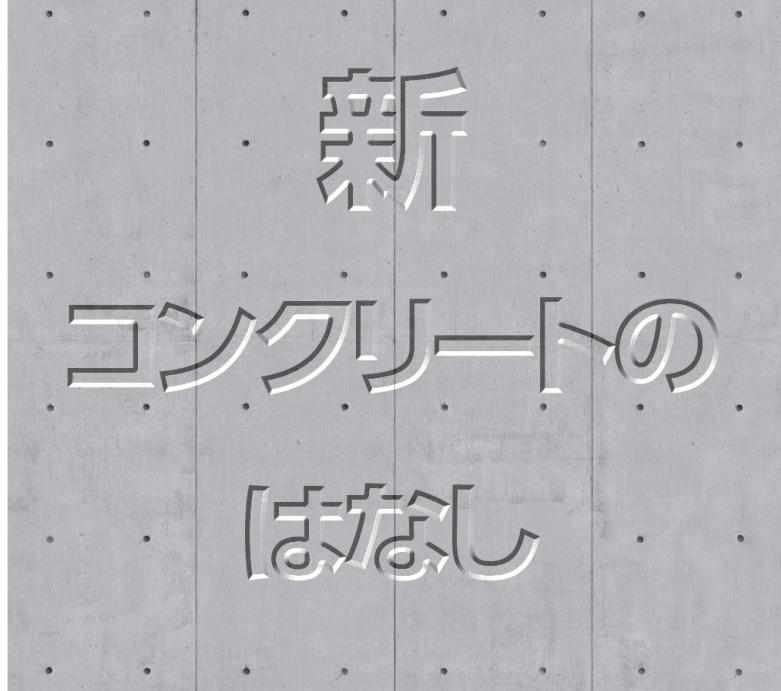
■残コンの処理方法

コンクリートの圧送は効率的な施工ができる反面、輸送管のなかには残コンと呼ばれる余ったコンクリートが存在することになります。型枠内にコンクリートを打ち込むには、少し多めに生コンを注文せざるを得ません。余分に生コンを注文すると、少なくとも最後の1台の生コン車には残コンが残ります。このような残コンは廃棄せざるを得ないわけです。残コンをどのように処理しているかを調べると、現場内に処理をするのが適当であると思われますが、生コン車に戻して集積場所で処理しているのを合わせると約93%との報告があります。これらが廃棄物となれば、SDGsとして不適切と言わざるを得ません。

有効利用の方法も提案されていますが、いまだに残コンの多くは廃棄されているのが実態です。今後の課題と言えます。

【参考文献】

- 1) 全国コンクリート圧送事業団体連合会編：最新コンクリートポンプ圧送マニュアル、2020年11月
- 2) 全国コンクリート圧送事業団体連合会編：令和2年度経営実態アンケート調査報告書、2021年10月
- 3) 日本コンクリート工学会編：残コン・戻リコンの発生抑制及び有効利用に関する技術検討委員会報告書、2012年1月



近未来コンクリート研究会 代表



十河 茂幸

第6回

コンクリートの締固めの適切な方法

コンクリートの多くは構造材料として利用されます。その場合は強度が要求されますが、製造時や運搬時に気泡が入り込むと強度が低くなります。締固めは、余分な気泡の除去の役目と考えられます。締固めを怠ると強度低下の原因となります。締固めをすることで、均質で緻密なコンクリートを造ることになります。

今回は、コンクリートの締固めの要領について概説します。

■締固めの方法について

かつては、突き棒や締固め棒が使われましたが、多量の施工をするには機械式が望ましいと言えます。振動締固め機（バイブレータ）を使用すると効率的に締固めができるから、バイブレータが主流になりましたが、電気式で楽であるがゆえに乱暴な使い方をすることができます。コンクリートを横流しするのに使うと、コンクリートが分離して均質にならないなどの不具合も生じます。高周波にするほど、効率的であるから、周波

数も高いものとなり、便利な振動機ですが、誤った使い方をしないようにしましょう。バイブレータの使い方を図に示します。

振動の伝わる範囲を考えて、50cm間隔で振動機を操作させ、適切な振動時間を与えた後は、振動機をゆっくりと引き抜くことが必要です。また、打ち重ねてコンクリートを施工する場合は、前層に10cm程度差し込んで締め固めると、一体の構造物とすることができます。

■バイブレータの種類と性能

バイブレータも様々なものが開発されています。通常はフレキシブルバイブレータを用いますが、かぶり部分の振動締固めを行える細径バイブルータや、届きにくい箇所には長尺なバイブルータを使用します。ただし、振動部分の長さは、せいぜい40～50cm程度であり、その部分で振動を与えて締固めることを理解して使用なければなりません。これらのバイブルータは内部振動機と呼ばれますか、このほかに外部振動機と呼ばれる型

●振動機を使う際の留意点

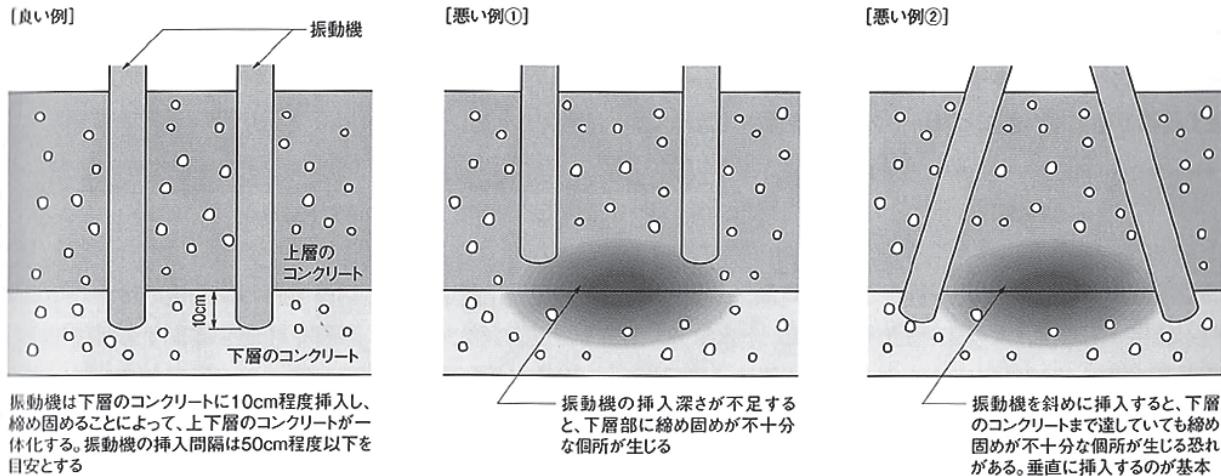


図 振動機の使い方¹⁾

枠バイブレータもあります。型枠から振動を与えるので、型枠近傍の気泡の除去に役立ちますが、使い方を誤ると、むしろ型枠面のできる気泡が多くなる可能性もあります。

振動数（周波数）は通常200～240Hzのものが多く、長い電源コードが付いています。充電式で電源コードをなくした機種もありますが、周波数は小さくなります。また、振動部分の直径は、通常直径は40～50mm程度ですが、ダム用振動機では75mmのものが多く、重量も大きく、固練りのコンクリートの締め固めを行うため、バックホーに装着したバイブレータが使用されます。

■締固め不足より過振動の方がまし

振動時間は、コンクリート標準示方書²⁾では5～15秒程度が適切とされています。これは、通常のスランプでは、軟練りの場合に5秒程度、固練りの場合に15秒程度と理解できますが、現場でコンクリートのスランプを判断して締め固めをすることは困難です。したがって、コンクリートの状態を見ながら締め固めをする方が適切と言えます。振動不足の場合は、緻密にできないことになり、場合によっては空洞ができることになります。過振動では、材料分離が生じます。どちらが良いかは、一目瞭然、過振動の方が望ましいと言えます。コ

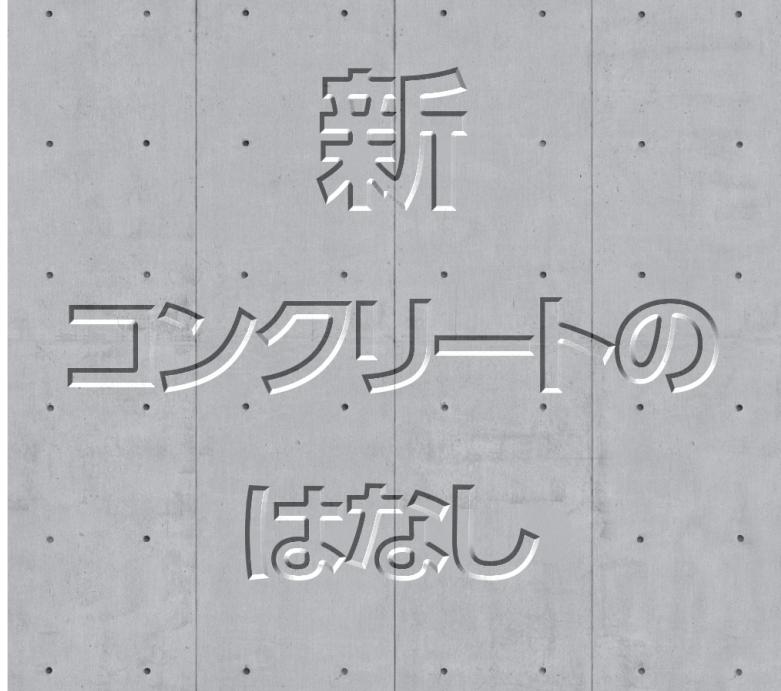
ンクリートの柔らかさは時間とともに変化しますので、秒数で判断するより、コンクリートの状態を見て過振動になりそうな段階（気泡が出なくなり、ペーストが浮いた状態）で振動を停止するのがよいと思います。

■過振動で必要な気泡が減るか？

コンクリートには必要な気泡と不要な気泡が混在しています。エントレインドエア（連行気泡）は、微細な気泡により耐凍害性の高いコンクリートとするため、混和剤で気泡を連行します。それに対して、エントラップトエア（巻き込み気泡）は、練り混ぜ中や、運搬中に巻きこまれる大きな気泡で、耐久性を阻害します。振動締め固めで除去されるのは、大きな気泡です。振動を掛け過ぎると微細気泡まで除去されるとの報告もありますが、微細気泡が振動させても出にくい性質がありますので、過振動の方が望ましいと言えます。

【参考文献】

- 1) 日経コンストラクション編：現場で役立つコンクリート名人養成講座改訂版、2008年10月
- 2) 土木学会編：2017年制定コンクリート標準示方書【施工編】、2018年3月



近未来コンクリート研究会 代表



十河 茂幸

第7回

コテ仕上げで緻密なコンクリートを

コンクリートの上面は、コテ（鎧）で仕上げるのが一般的です。コンクリートは平たんに仕上げることが要求されますが、コンクリートが柔らかい段階では、歩くこともできません。次第に凝結から硬化することになりますが、どの段階でコテを使って仕上げるかは、コンクリートの材料と配合、温度などにより凝結速度に違いがあり、仕上げのタイミングは異なります。今回は、コンクリート上面の仕上げ方法について概説します。

■上面仕上げの要領

コンクリートの上面仕上げの要求性能は、示されていない場合が多いようです。基本的には仕上げをしない面と同等以上の品質であることが求められます。そのため、平たん性、緻密さ、強度などが要求性能と考えられます。コンクリートの上面は、ブリーディングが生じて、レイタンス層ができる事から脆弱になりやすいため、適切な時機にタンピング（再振動）を行って強化します。コテ仕上げでは、凝結の始発前に再振動を行うこ

とで強度増加が図れるとされています。

どのタイミングでコテを用いた仕上げをするかは、コンクリートの凝結の速さによります。コンクリートが移動しやすい柔らかさの段階で平たん性を確保し、凝結が始まる前の再振動可能な時期に押さえるとコンクリートは沈みひび割れを消し去ることができ、上面のコンクリートは強度の向上が図れます。

目的は、平たんに均すための「コテ均し」と、表面を強化するための「コテ押え」の作業目的に分ける方がわかりやすいと思います。最終的な上面仕上げを「コテ仕上げ」と呼ぶ方が適切です。

■木ゴテと金ゴテの使い分け

コテに使い方には、大きく二つあります。コテで平たん性を確保するために「均す」行為と、コテを用いて再振動を与えてコンクリート表面を強化する「押え」の行為です。均すにはトンボと呼ばれる器具を使うことがあります、大きな面で均す方がやりやすいので、コテを使う場合は、木

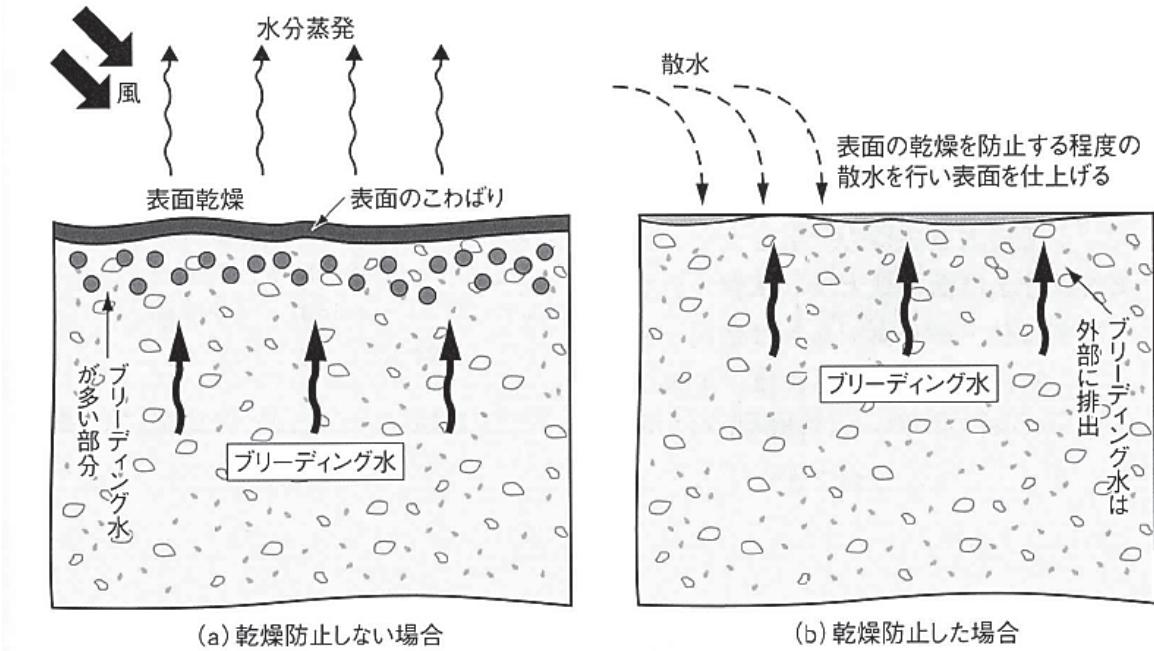


図 ブリーディングが少ないコンクリートの表面仕上げ

ゴテを使います。コンクリート表面を強化するには力が必要となり、金ゴテを使う方がやりやすいことになります。

多くのコテを使い分けることが不合理な場合は、一つのコテで目的に応じて使い分けることを考えるといいでしょう。

■ブリーディングが生じない場合の仕上げ

コンクリート上面にブリーディングが生じると、上面コンクリートは乾きにくいため、ブリーディングが生じなくなるタイミングで凝結速度を判断できます。つまり、凝結が進行するとブリーディングが生じなくなるためです。ところが、単位セメント量の多い高強度コンクリートなどでは、ブリーディングが生じにくいため、表面が乾くことにより、凝結が判断できなくなります。表面が乾燥し、コンクリート内部が凝結していないとプラスティックシュリンケージと呼ばれる不具合が生じるだけでなく、コテ押さえのタイミングが

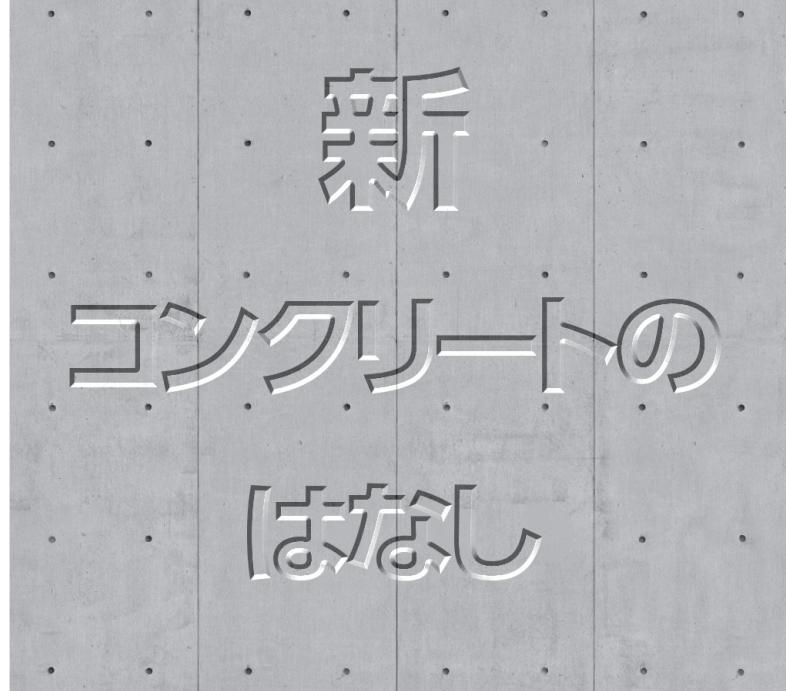
計れることになります。また、ブリーディング水が少ないと、表面が乾燥し、その下部にブリーディング水がたまる現象も想定され、それが硬化後に空隙となる場合もあります。高強度コンクリートなどの仕上げでは、乾燥防止のために、霧程度の散水をすることも効果的と考えられます。

■緻密なコンクリートとするための上面仕上げ

コンクリートは元来、耐久性の高い材料です。コンクリートの上面に不具合ができるとそこから劣化が進みます。脆弱層のできる可能性がある上面を強化することこそが重要です。コテ仕上げはそのための行為と考えなければなりません。コテの使い方を理解して仕上げを行いましょう。

【参考文献】

- 1) 十河茂幸、竹田宣典：コンクリートの施工のコツがわかる本、コンクリート新聞社、2021年2月



近未来コンクリート研究会 代表



十河 茂幸

第8回 冷やすと危険な散水養生

コンクリートは、セメントの水和反応で成長する材料です。水和反応は、セメントの湿潤養生で反応率が変わります。水分をたっぷり与えると水和が進み、反応ですから温度も影響します。適温で水分を十分に与えることが望ましいと言えます。今回は、コンクリートの養生方法について解説します。

■コンクリートの養生の基本

コンクリートの養生は、セメントの水和反応を促進することが目的ですが、それは、硬化する前に外力が作用すると壊れてしまうからです。つまり、外力に抵抗できるまでは養生を行うことが必要です。その養生とは、水和反応をさせるために、水分を十分に与えることですが、小さな供試体と異なり、実際の部材では表面のみしか水分が届かないため、湿潤養生は保水が目的となり、乾燥を防止することが必要となります。基本的に型枠のある面は乾燥しにくいため封緘養生となり、水の出入りのない状態で、どの程度の養生日数を確保

するかが必要な養生期間となります。それは、強度が確保されるまでの期間であり、セメントの種類で異なります（表1参照）。また、この期間は温度によっても異なることになります。

表1 湿潤養生期間の標準¹⁾

日平均気温	普通ポルトランドセメント	混合セメントB種	早強ポルトランドセメント
15°C以上	5日	7日	3日
10°C以上	7日	9日	4日
5°C以上	9日	12日	5日

■養生方法のいろいろ

養生方法としては、湛水養生、散水養生、被膜養生、保湿養生、保温養生、断熱養生、蒸気養生、高温高圧養生などがあります。また、供試体の養生方法としては、標準養生として水中で $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ の条件で継続する方法と、水の出入りのない封緘

養生とする方法があります。標準養生は理想的な水分を与えられる方法で、構造物の供用期間中の強度を、例えば普通コンクリートであれば材齢28日で早期に判定するためのものです。これに対して、封緘養生で行うと、構造物のコアの部分の強度発現を想定できると考えられます。

湿潤養生を行うことを推奨しているのは、乾燥しやすい表面部分つまりかぶり部分の強度を確保し、耐久性の確保が目的と考えてよいと言えます。

■封緘養生は構造物の強度を想定

水中養生した場合の強度発現と、封緘養生した場合の強度発現を比較した事例を図1に示します。これでわかつることは、標準養生の材齢28日の強度が、封緘養生した材齢91日の強度とほぼ同等であるとみなせることです。つまり、91日は、供用期間とみなせることで、供用時の強度を標準養生の材齢28日で早期判定していると言えます。標準養生の材齢28日の強度を管理材齢としていることは、供用時の強度を管理するためです。

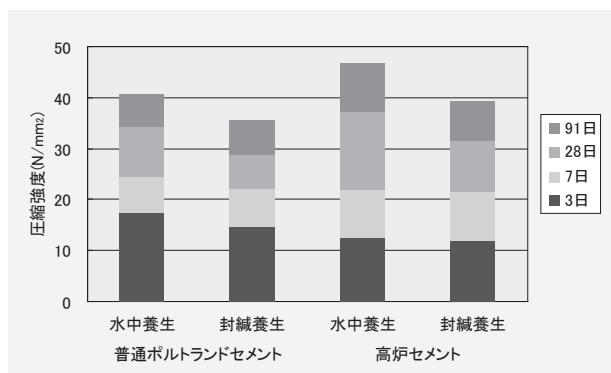
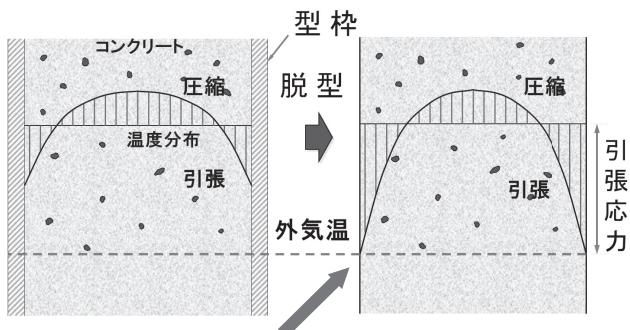


図1 水中養生と封緘養生の比較

■ひび割れ抑制のための養生

養生の不備でひび割れが発生する恐れがあります。乾燥収縮ひび割れは乾燥収縮の抑制のため、十分な湿潤養生を行うことが予防的な措置として考えられます。乾燥収縮するのは材料の特性であり、養生の違いは影響が小さいと考えられます。これに対して水和熱に伴う温度ひび割れに対しては、温度に対する保温養生が効果的です（図2参

照）。保温養生は、内外の温度差が小さくなり、温度応力の低減に効果的です。マッシブな部材の場合は、保温養生をできるだけ長い期間継続することが望まれます。



内部の温度上昇により、内部は圧縮応力が増加し、表面は引張応力が増加する。型枠を外した後に養生を継続する場合、型枠の保温効果がなくなり、表面の引張応力が増加する。この時の冷たい水で散水すると、さらに引張応力が増加し、ひび割れは生じる可能性が高まる。

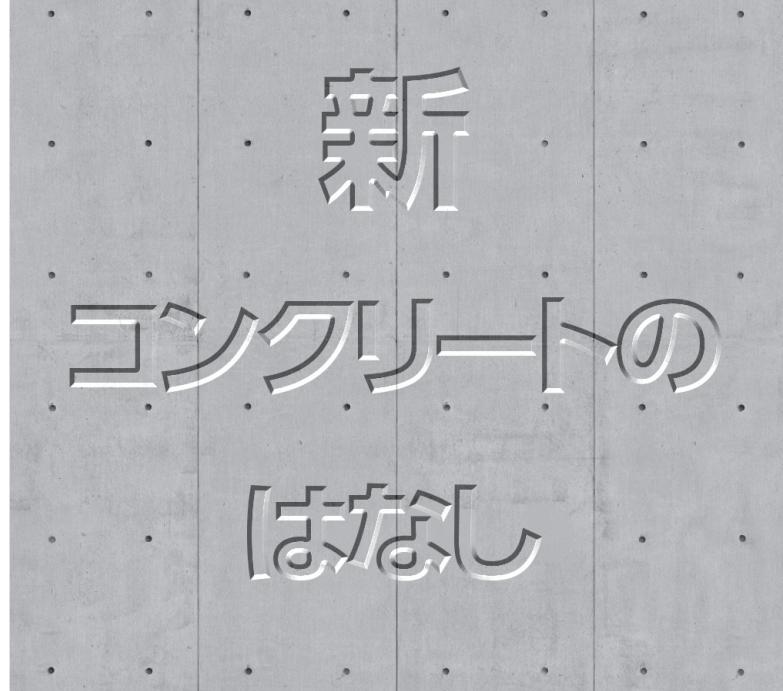
図2 温度上昇に伴う温度応力の発生メカニズム

■冷やすと危険な散水養生

養生としては、水分の供給と適切な温度管理が重要です。しかし、型枠を外した後に、養生を継続しなければならない場合に、養生を継続するため散水するとその水の温度が外気より低くなる夏期には表面を冷やすことになります。コンクリート表面を冷やすと温度差応力が増加して、ひび割れの危険性が増します。特に、夏期に散水養生を行うと、図2に示すようにコンクリートの表面を冷やすことになり、温度ひび割れが生じる可能性が高まります。散水養生の際には、その水の温度についても適切に管理することが重要です。散水養生をする際に冷やすと危険であると考えるべきです。

【参考文献】

- 1) 土木学会編：2017年制定コンクリート標準示方書【施工編】、2018年3月



近未来コンクリート研究会 代表



十河 茂幸

第9回 定期点検で早期に予防保全を

早めの点検で劣化を予測して、必要な対策を講じる方が安価に延命化を図れることになります。劣化をしているのを見つけて事後保全するのでは、補修が大掛かりになるからです。特に鉄筋コンクリート構造物では、ひび割れを発見したときは、すでに鉄筋の腐食膨張が激しくなっています。そのための補修は、場合によっては補強が必要となるほどです。今回は、予防保全を目的とした点検の要領を解説します。

■鉄筋コンクリート構造物の劣化のメカニズム

コンクリート自体は永久構造物と言っても過言ではないと考えられますが、内部の鉄筋が腐食すると、腐食膨張を生じてかぶり部分のコンクリートにひび割れを生じさせ、ついには剥落が生じます。つまり、鉄筋コンクリート構造物は、鉄筋の腐食で寿命が存在します。写真は、劣化した橋梁の姿です。

塩化物イオンの侵入や、中性化による影響は、

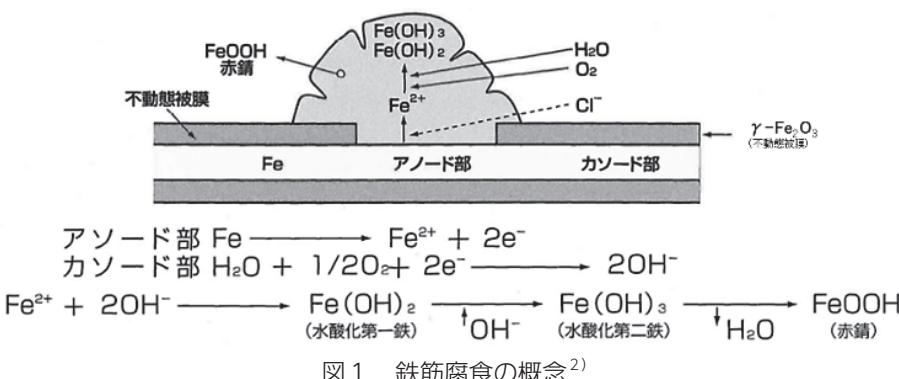
コンクリート自体が劣化するのではなく、腐食環境となることが問題です。腐食環境になると、鉄が腐食するための酸素と水があれば次第に腐食していきます。そのメカニズムは図の通りです。

■塩害による劣化の進行過程

塩化物イオンがコンクリート内部に浸透してもコンクリート自体は健全です。中性化が生じても



写真 鉄筋コンクリート橋の劣化状況¹⁾



コンクリート自体はむしろ強度は高まるとされています。しかし、高アルカリ下で不動態皮膜がつくられ腐食から守られていた鉄筋も、塩化物イオン濃度が高まると不動態皮膜が破壊され、図1に示すように腐食が進行します。また、中性化が進行すると、同様に腐食環境になります。

これらの劣化進行過程を、潜伏期、進展期、加速期、劣化期と区分していますが、鉄筋の腐食膨張で劣化によるひび割れが生じるのは、加速期からです（図2参照）。

鉄筋の腐食膨張によるひび割れが生じる前に発見するのが予防保全と言えますが、外観上は何も変化がないので、予防保全段階で劣化の兆候を掴むのは、塩化物イオン濃度の程度や中性化深さがどこまで進んだかを調べなければなりません。

■見えない劣化を見つけるための点検

劣化によるひび割れが生じる前の段階、つまり鉄筋位置が塩化物イオン濃度の限界を迎える前に見つけるには、塩化物イオン濃度分布を調査することが必要です。そのためには、ドリル法¹⁾で深さ方向の塩化物イオン濃度の分布を測定しなければなりません。中性化についても同様に中性化深さを測定しなければなりません。

塩化物イオン濃度の測定には、ドリル粉末を用いた簡易塩化物イオン測定装置が使えます¹⁾。中性化深さの測定には、ドリル粉末でフェノールフタレン溶液が呈色するまでの深さから判断できます。それらの測定結果から将来予測をすることで、延命化のための措置を考えることが必要です。

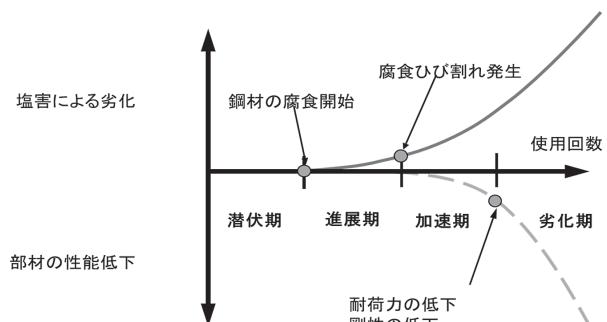


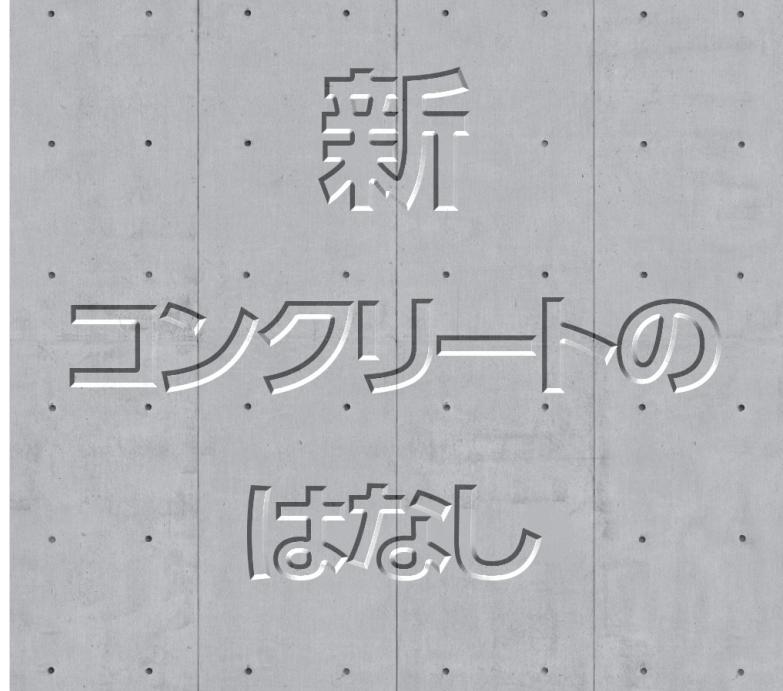
図2 塩害の劣化の進行概念

■点検結果の判断方法

塩化物イオン濃度が限界に達しても、腐食環境になるだけで劣化は生じません。鉄筋の腐食には酸素と水が必要だからです。したがって、防水工をすれば、劣化の進行は遅くなります。早めの点検で劣化を予防できる対策が取れると安価な延命策が可能になります。どのような対策が講じられるかの判断はコンクリート診断士の判断に任せるとして、予防保全を行うことは構造物の延命化に効果的です。

【参考文献】

- 1) 近未来コンクリート研究会編：小規模橋梁の簡易点検要領（案）、令和2年5月
- 2) コンクリートメンテナンス協会編：コンクリート構造物を対象とした亜硝酸リチウムによる補修の設計・施工指針（案）、2020年4月



近未来コンクリート研究会 代表



十河 茂幸

第10回

劣化を抑制するための補修方法

コンクリートが劣化すると、剥落や崩落が生じ危険となります。そうなる前に補修をして延命化を図ることが重要です。脱炭素社会にするためにも、インフラの維持管理を適切に行い、長期間継続して供用することが望まれます。今回は、劣化した構造物の適切な補修方法について解説します。

■劣化の程度で補修方法を選定

コンクリート構造物の劣化の症状としては、ひび割れが発生するのを見て判断できます。しかし、ひび割れが生じる前から劣化は進行しています。その段階で判断できると対策も容易ですが、劣化に伴って生じるひび割れが発見されると、ひび割れを補修すればよいだけではなく、劣化を止めなければなりません。劣化の程度で補修方法を選択することが必要です。

図1は、塩化物イオン濃度が限界を超えた構造物や、中性化による影響を受けた構造物に対する補修方法の選定のフローです。潜伏期、進展期、加速期、劣化期（新コンクリートのはなし 第9回 図2

参照）のそれぞれで選べる工法が決まります。

■鉄筋の腐食を防止する亜硝酸イオン

鉄筋の腐食は、鉄筋周辺の不動態皮膜の破壊で始まります。この不動態皮膜を再生してくれるのが亜硝酸イオンです（図2参照）。亜硝酸イオンは亜硝酸リチウム水溶液により付与することができます。亜硝酸リチウム水溶液を表面から含浸させる工法や、ひび割れから注入する方法、さらには削孔して圧入する方法などが考えられます。劣化の程度と維持管理の方法、つまり確実に腐食を止めるか、点検してその都度抑制する方法とするか、維持管理シナリオを考慮して補修の方法を選択することになります。

■維持管理のシナリオはLCCで考える

構造物の延命化を考えると、計画供用期間がはっきりしているといいのですが、いつまで構造物を使い続けるかははっきりしないのが一般的です。100年間供用するつもりでも、50年で架け替

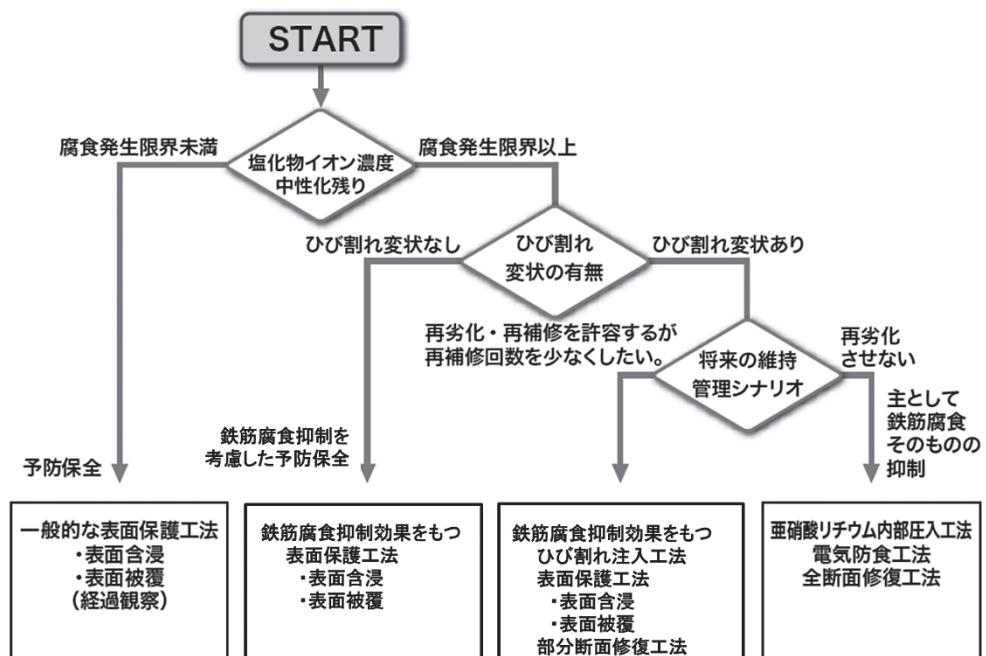


図1 塩害の補修方法の選定フロー

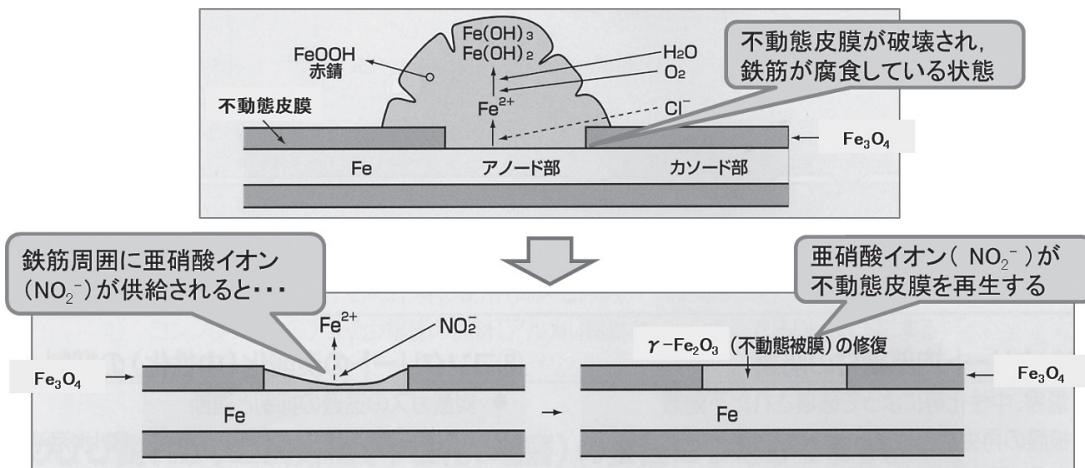


図2 亜硝酸イオン (NO₂⁻) による不動態皮膜再生メカニズム

えが必要となったり、50年間の供用につもりが延長せざるを得なくなったりすることは往々にある話です。ところが、補修方法は計画供用期間で定めなければなりません。LCC（ライフサイクルコスト）を考えて補修をしても、変更がある可能性があれば、その都度補修して経費を抑える方法も検討に値すると考えられます。

■構造物の延命化は脱炭素と考えられる

近年、カーボンニュートラルが持続可能な社会に必要と提言されています。脱炭素社会は、最近

の災害を鑑みても喫緊の課題と言えます。そのためには、せっかく造られたインフラを延命化することこそ重要と考えられます。しかも、延命化のための補修方法についても脱炭素の観点から考えることが必要です。

【参考文献】

- 1) コンクリートメンテナンス協会編：コンクリート構造物を対象とした亜硝酸リチウムによる補修の設計・施工指針（案）、2020年4月

【JCMレポート掲載号】 2022年3月号（2022年3月1日発刊）
～2024年1月号（2024年1月1日発刊）
※2023年5月号並びに7月号は紙面都合により
掲載はお休みさせて頂きました

連載特集 新 コンクリートのはなし

令和7年11月1日 初版発行

発 行 一般社団法人 全国土木施工管理技士会連合会
〒102-0076
東京都千代田区五番町6-2
ホーマットホライゾンビル1F
TEL03（3262）7421 FAX03（3262）7420
<https://www.ejcm.or.jp/>

印 刷 所 第一資料印刷株式会社
〒162-0818
東京都新宿区築地町8-7
TEL03（3267）8211 FAX03（3267）8222
<https://www.d-s-p.jp/>

本書の全部または一部を無断で複写複製（コピー）することは、著作権
法上の例外を除き、禁じられています。

一般社団法人 全国土木施工管理技士会連合会
令和7年11月発行