

日本コンクリート工学会
鉄筋コンクリート構造物の複合劣化機構の解明とその対策に関する研究委員会
第3回全体委員会 議事録

日時場所：平成30年1月29日（月） 13：30～18：00 於 JCI 第3会議室

出席者：宮里委員長，伊藤幹事，上原子幹事、斎藤幹事，松沢幹事，小林委員，崎原委員，櫻庭委員，須田委員，高橋委員，野村委員，谷口委員，松林委員，山本委員，渡邊委員，岡田氏

配布資料

- 3-1：第3回全体委員会 議事次第
- 3-2：第2回全体委員会 議事録（案）
- 3-3-1～17：複合劣化の文献調査結果の紹介
 - 3-3-1：No.1～3（渡邊委員）
 - 3-3-2：No.4～8（上原子幹事）
 - 3-3-3：No.9～11（小林委員）
 - 3-3-4：No.12～19（高橋委員）
 - 3-3-5：No.20～23（山本委員）
 - 3-3-6：No.24～25（谷口委員）
 - 3-3-7：No.26～28（松林委員）
 - 3-3-8：No.29～30（伊藤幹事）
 - 3-3-9：No.31～32（吉田委員）
 - 3-3-10：No.33～36（櫻庭委員）
 - 3-3-11：No.37～40（野村委員）
 - 3-3-12：No.41～43（崎原委員）
 - 3-3-13：No.44～46（須田委員）
 - 3-3-14：No.47～49（宮本委員）
 - 3-3-15：No.50～53（近藤委員）
 - 3-3-16：No.54～55（権代委員）
 - 3-3-17：No.56～58（松下委員）

議事内容

1. 委員長挨拶

今回と次回全体委員会で文献調査を進めて方針を決定し、それ以降はWGに分かれて活動していく予定である（宮里委員長）。

2. 議事録確認・・・資料 3-2

特に指摘事項はなく承認された。

文献調査対象については、建築分野も含めて、2004 年以降を対象とする（宮里委員長）。

3. 複合劣化の文献調査結果の紹介・・・資料 3-3-1～17

3-3-1 : No.1～3（渡邊委員）

No.1 : 実構造物における複合劣化評価

・雨掛かりの影響もあるのではないかと（野村委員）。

→雨掛かりの影響も含んだパラメータを求め、検討されている（渡邊委員）。

No.2 : シラン・シロキサン系表面含浸材を用いたコンクリートの積雪寒冷環境下における長期耐久性に関する検討

・含浸材の塗布量の増加に伴って中性化深さが増大するのはどのようなメカニズムかと（斎藤幹事）。

→撥水層の形成により吸水抵抗性が増加するため、内部が乾燥しやすくなるためである（渡邊委員）。

・中性化深さの測定は、フェノールフタレイン噴霧により行っているのか。含浸材による撥水効果で測定が正しく行われていない恐れはないかと（野村委員）。

→作業性を考慮してフェノールフタレイン噴霧で測定している。過去に、熱分析による測定と概ね対応することを確認しているが、撥水効果が中性化深さの測定に影響している可能性はある（渡邊委員）。

・含浸材の効果の持続期間はどの程度であるのか（山本委員）

→紫外線作用やコンクリートのアルカリ作用によって含浸材は劣化するが、実績では 15 年程度撥水効果があることを確認している。ただし、表面への汚れの付着による吸水の恐れがあるため、調査時には表面を削って撥水効果を確認する必要がある。ドイツでは、40 年以上撥水効果が確認されている事例もある（渡邊委員）。

3-3-2 : No.4～8（上原子幹事）

No.4 : 収縮・クリープと鉄筋腐食進行の併用が RC ラーメン高架橋の水平耐力等に与える影響

・数値解析による検討のみの報告かと（高橋委員）。

→実構造物を対象とした数値解析のみの検討である。区分 B は実構造物に変更する（上原子幹事）。

No.5 : RC 支柱式高欄の劣化原因の推定と補修方法の検討

・アラミドプレキャスト板はどのようなものかと（山本委員）

→コ字形の断面を有した永久型枠であり、内部にグラウトを充填するものである。線路側にアラミドプレキャスト板が面することになる（上原子幹事）。

No.7 : コンクリートの濃厚塩類による劣化の外観

・劣化現象を塩類劣化としているが、化学的腐食の方が適切かと（宮里委員長）。

→化学的腐食の方が適切である。厳密には NaCl、KCl、CaCl₂ の化学的腐食の複合である。濃度

が高いため、一般の塩害とは異なる（斎藤幹事）。

・劣化状況は外観写真のみで分析されているか（吉田委員）。

→外観写真のみであり、内部が層状に劣化しているなどの情報は特に報告されていない。CaCl₂を含む溶液に浸漬した場合は、柱状の結晶(3CaO・CaCl₂・15H₂O(3-1-15))が生成されていた（上原子幹事）。

No.8：塩水の供給による塩害、凍害と ASR の複合劣化機構と表面含浸工法の効果に関する検討

・タイトルに ASR があるが結果には表れていないのか（宮里委員長）

→シラン系含浸材の効果によって、反応性骨材を含む供試体のスケーリングが抑制されている（上原子幹事）。

・凍害はスケーリング量で評価されているのか（谷口委員）

→ご指摘の通りであり、ASTM C672 で試験されている（上原子幹事）。

3-3-3：No.9～11（小林委員）

No.11：鉄道高架橋に適用した電気防食工法の施工 13 年目の追跡調査

・陽極方式（面状、線状、点状）の特徴はどのようなものか（山本委員）。

→例えば、点状のものは取り付けやすいが、多く取り付ける必要があるため、コストが高くなる。

基本的には、施工性とコストのバランスで方式が選定される（小林委員）。

・犠牲陽極は交換が必要か（伊藤幹事）

→基本は外部に取り付けるため交換可能であるが、亜鉛を埋設する場合は交換が困難である（小林委員）。

No.9～11 を通して

・これらの文献では、塩害と中性化が複合する場合でも電気防食は効果があることが確認されている（宮里委員長）。

3-3-4：No.12～19（高橋委員）

No.12：ASR と凍結融解作用との複合劣化が生じたトンネル覆工コンクリートのはく落現象

・はく落はコンクリートの打ち継ぎ部で生じているのか（渡邊委員）。

→セグメント隅角部のはく落している。はく落の直前には気温が氷点下になったことが確認されている（野村委員）。

No.15：複合劣化発生地域の可視化

・対策のためのマップを作成しているため、対策ではなく、予防保全に向けた点検診断に区分される（宮里委員長）。

No.18：Effectiveness of sealers in counteracting alkali-silica reaction in plain and air-entrained laboratory concretes exposed to wetting and drying, freezing and thawing, and salt water

No.19：山間寒冷地における RC 床版の ASR と凍害による複合劣化の事例とその検証実験

・No.18 では凍結融解→ASR で変化がなく、No.19 では ASR→凍結融解で劣化が促進されるな

ど、劣化の順番が重要であることを示す知見である（伊藤幹事）。

・例えば、標高が高い山頂付近では融解が進まないが、凍結融解が促進される標高地点があるなど、劣化の順番に着目して整理することが報告書をまとめる上で重要と考えられる（宮里委員長）。

3-3-5 : No.20~23（山本委員）

No.20 : $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ 微粉末を混入したコンクリートの各種環境での適用性に関する実験的検討

・ $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ 微粉末は副産物あるいは開発されたものか（吉田委員）。

→デンカが開発したものである（斎藤幹事）。

・ 中性化による濃縮は生じているか（須田委員）

→濃縮を示すようなプロファイルは示されていない。中性化深さは、普通セメントのみの場合と比較してやや大きい程度であり、混和材（BB、FA）ほどではない（山本委員）。

No.21~23

・ 著者の福留氏の所属を要確認（宮里委員長）

3-3-6 : No.24~25（谷口委員）

No.24 : 寒冷な沿岸地域における鉄筋腐食抑制を目的としたシラン系含浸材の適用に関する検討

・ 含浸材自体に腐食抑制効果はあるのか（小林委員）。

→含浸材の塗布により、飛来塩分の侵入が抑制されること、および、含水状態が低くなることに起因して腐食が抑制されているものと考えられる。なお、含浸材を塗布した面を暴露し、それ以外の永久型枠で覆われている。ただし、現時点では腐食はそれほど進んでおらず、含浸材の塗布による有意な差はまだ表れていないと思われる（谷口委員）。

No.25 : 塩害・凍害の複合劣化をうけた RC 床版の上面増厚補強法により耐疲労性の評価

・ 撤去床版を実験に用いているが、実験に区分されるか（宮里委員長）。

→実環境で劣化を受けた部材であるため、実構造物に区分する（伊藤幹事）。

3-3-7 : No.26~28（松林委員）

No.27 : ASR および塩害による劣化状況の事例調査に基づく道路構造物の維持管理計画の提案

・ 単独の劣化事例を報告したものであるため、報告書にまとめる際には No.27 は対象外とする（宮里委員長）。

No.28 : 塩害・ASR による劣化変状が顕在化した海上運河部に架かる橋梁の補修・補強設計

・ はつり面に防水剤を塗布するメカニズムは何か（山本委員）。

→4~5 年程度での再劣化を防止することを目的として、既設面の電気抵抗を高めるために塗布している。小断面の断面修復を対象としている（宮里委員長）。

No.3-3-8 : No.29~30（伊藤幹事）

No.30 : ASR と鋼材腐食による複合劣化が生じた RC はり部材の耐荷特性やひび割れ特性

・ X線 CT は部材を対象としているのか（斎藤幹事）

→部材と同じ環境下で試験したテストピースを対象としている（伊藤幹事）。

・ どのような複合劣化なのか（宮里委員長）。

→ASR でスターラップが破断して、その後、塩害による鉄筋腐食が生じた事例である（伊藤幹事）。

3-3-9 : No.31~32（吉田委員）

No.31 : 高炉スラグ微粉末の置換率と少量混合分量がモルタルの凍結融解および中性化の複合劣化に与える影響

・ 中性化によって、40nm~2000nm の細孔量が減少し、凍害に影響する細孔が減少する可能性が示されている（吉田委員）

No.32 : 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの中性化による細孔構造と耐凍害性の変化

・ 中性化によって耐凍害性が向上することが示されている。ただし、過去には、塩類の結晶により劣化し、その後中性化させると引張強度が低下するなど、中性化が負の効果を与える事例もある（吉田委員）。

3-3-10 : No.33~36（櫻庭委員）

No.33 : 塩分の作用と凍結融解作用を同時に受けるコンクリート中の塩分浸透性および鉄筋腐食性状

・ スケーリングはどのような状況であったか（谷口委員）

→土手を設けた上面で生じており、3%NaCl 溶液で結氷厚さが厚いほどスケーリングが進行していた（櫻庭委員）。

・ 鋼材の腐食発生状況、塩分の浸透状況はどのようなものか（山本委員）

→サイクル試験終了後は、明確に腐食が認められる状態である。塩分は、かぶり位置の全塩分量が測定されている（櫻庭委員）。

・ 塩分分布はどのような状況か（吉田委員）。

→試験体上面（結氷がある場合）からの分布は少なくとも 2kg/m³ 以上、試験体側面からの分布は少なくとも 6kg/m³ 以上である（櫻庭委員）。

No.34 : 凍害と塩害を受けた実構造物を利用した付着試験

・ ASR による劣化や層状ひび割れなどの報告はなかったか（谷口委員）

→それらについては、特に報告されていない（櫻庭委員）。

3-3-11 : No.37~40（野村委員）

No.38 : フライアッシュと亜硝酸リチウムを用いた断面修復材料の適用性に関する検討

・ フライアッシュと亜硝酸リチウムのどちらの効果が表れているのか（小林委員）

→恐らく亜硝酸リチウムによるものと思われる。また、ポリマーセメントは電気抵抗が高く、流れにくいことも要因として考えられる（野村委員）。

No.40 : 炭酸化によって引き起こされるコンクリート中の塩化物、硫酸物及びアルカリ化合物の移動と濃縮

・発表年度は 1990 年である（高橋委員）。

3-3-12 : No.41～43（崎原委員）

No.41 : Li 系電解液を用いた電気化学的補修後に表面含浸材を適用した場合の補修効果持続性に関する検討

・ある程度は Li が浸透しないと効果がないということか（吉田委員）。

→鉄筋付近まで浸透しないと効果がない。Li の浸透深さについては、湿式分析によるものと思われる（崎原委員）。

・通電処理によって浸透させている（宮里委員長）

No.42 : 内在および外来アルカリの供給による塩害と ASR の複合劣化機構に関する検討

・ASR の発生状況はどの程度か（高橋委員）。

→遷移帯でゲルが発生している状況と思われる（崎原委員）。

・遷移帯でのゲルは測定されているのか（渡邊委員）。

→測定はされておらず、推察である（崎原委員）。

3-3-13 : No.44～46（須田委員）

No.44 : NaOH および NaCl 添加した複合劣化コンクリートの中の鉄筋腐食に関する研究

・Cl 量が多い場合に膨張した理由はなにか（斎藤幹事）

→要因について明確な考察はないが、NaCl とともに NaOH も添加しており、Na 量が増加したことによると思われる（須田委員）。

No.45 : 長期的に外来塩の供給を受ける鉄筋コンクリートの塩害と ASR の複合劣化に関する検討

・骨材の産地はどの地域か（吉田委員）。

→北海道産安山岩の砕砂と砕石である。

・骨材の産地に注意して結果をとりまとめる必要がある（宮里委員長）。

・No.44 ではひび割れ後に腐食が促進され、No.45 ではひび割れ後に腐食が抑制されたのはなぜか（渡邊委員）。

→前者では 100 日でひび割れ、後者では 1000 日後にひび割れが生じており、試験期間や供試体の養生の影響によるものと思われる（高橋委員）。

No.46 : フライアッシュと亜硝酸リチウムを用いた断面修復材料の ASR 劣化コンクリートへの適用に関する検討

・ASR 膨張が抑制された期間はどの程度か。また、供試体の寸法、断面修復材の施工面積はどうか（山本委員）。

→供試体の寸法は 100×100×300mm である。断面修復材の施工は、部分的なものである（須田委員）

・コンクリートの内部の方が ASR による膨張は生じやすい。亜硝酸リチウムを内部まで浸透させるのは難しいのではないか（野村委員）。

3-3-14 : No.47～49（宮本委員）

3-3-15 : No.50～53（近藤委員）

3-3-16 : No.54～55（権代委員）

3-3-17 : No.56～58（松下委員）

※担当委員がご欠席のため、3-3-14 は須田委員が、それ以降は宮里委員長が代理で説明された。

No.54 : 塩害および塩害の影響を受けた RC 梁の劣化度と曲げ耐荷挙動について

・区分 A は点検診断だけではなく構造にも該当する。また、No.34 と関連する報告である（宮里委員長）。

文献調査結果全体に対して

・化学的腐食は化学的侵食の方が適切ではないか（吉田委員）。

→化学的侵食に統一する（宮里委員長）。

4. 複合劣化の追加物件（2003～2012、建築学会含む）の調査の進め方

・後になって追加調査するよりも、次回も 2 編程度ずつ調査し、知見を蓄積した方がよいのではないか（松林委員）。

→各委員 2 編を調査し、次回全体委員会で報告するものとする（宮里委員長）。

5. 次回宿題

・各委員 2 編の文献調査

6. その他

・次回委員会：2018 年 3 月 29 日（木）、14:00～18:00

→次回委員会の会場は JCI（半蔵門）ではない。詳細は事務局より別途案内（宮里委員長）。

以上

文責 櫻庭