

研究委員会 非破壊試験によるコンクリートに生じたひび割れの補修評価方法の確立に関する研究委員会

塩谷 智基*1, 西田 孝弘*2, 河合 慶有*3, 濱崎 仁*4, 渡辺 健*5, 今本 啓一*6

要旨 : 2016 年度～2017 年度の 2 年間「非破壊試験によるコンクリートに生じたひび割れの補修評価方法の確立に関する研究委員会」を組織し、主にひび割れに着目した補修方法の整理、その補修効果確認に必要な指標の整理、効果的な非破壊試験を検討した。一方、補修効果確認を実施する上での課題を管理者や施主を対象としたアンケートにより明らかにするとともに、補修効果確認を一般化するための維持管理フローを検討した。その結果、発注者・施工者共に補修効果確認が必要である認識があり、具体的には確認に必要な指標や要求性能を明確化することの重要性が明らかとなった。一方、非破壊試験では、これらの要求性能に応じた手法のブラッシュアップや確認指標の一般化が次の課題であった。最後に、補修効果確認を導入した新たなコンクリート構造物の維持管理フローを提案できた。

キーワード : ひびわれ, 破壊試験, 補修, 補修効果, 要求性能, 補修効果を考慮した維持管理フロー

1. はじめに

コンクリート構造物、とりわけ重要構造物の最適なライフサイクルシナリオを考えた場合、初期の品質（表面のみならず内部まで）を含め供用中の品質を性能限界以上に保持することが重要となる。品質と性能の関係は別として、コンクリート内部性状の合理的評価は、可能な限り早期の劣化や損傷を見だし補修する上で重要であることは予防保全、引いては合理的なライフサイクルシナリオを構築する上で自明といえる。しかし、コンクリート構造物内部の劣化や損傷を表面から推定する手法、得られた損傷の適切な補修工法、さらには、補修の合理性を担保する評価手法などは未だに確立されていない。

このような背景のもと、日本コンクリート工学会では、2016 年度～2017 年度の 2 年間「非破壊試験によるコンクリートに生じたひび割れの補修評価方法の確立に関する研究委員会（委員長：塩谷智基・京都大学）」を組織し必要な WG を編成し議論を重ねてきた。具体的には、全ての劣化、損傷および、これらに応じた補修方法を議論することはできないので、委員会では、内外への物質移動を容易にし、構造物の安全性の低下を早期に引き起こす要因の一つとして考えられているひび割れに着目し、その種々の補修方法を整理するとともにその補修効果を確認するために必要となる指標や非破壊試験方法を整理した。一方、補修効果確認を実施する上での課題を管理者や施工者を対象としたアンケートにより検討し、補修とその効果確認を実施する上での問題点を調査した。最後に、補修の効果確認を一般化するための維持管理フ

ローを提案した。

本委員会の委員構成は表-1 に示すとおりであり、4 つの以下の WG を編成した。

WG1: ひび割れ補修工法の整理および補修方法・目的を考慮した評価項目の抽出（主査：河合慶有（愛媛大））

WG2: ひび割れの補修評価に関する事例の整理（主査：濱崎仁（芝浦工業大学））

WG3: 非破壊検査方法の整理と分類（主査：渡辺健（徳島大学））

WG4: 評価フローの構築と維持管理システムの将来像（主査：今本啓一（東京理科大学））

なお、本委員会は同年に発足した RILEM TC-269IAM（Damage assessment in Consideration of Repair/ Retrofit-Recovery in Concrete and Masonry Structures by Means of Innovative NDT, 委員長：塩谷智基）とも積極的な交流を図っているので交流内容は HP を参照されたい。

2. WG1 ひび割れ補修工法と評価項目

2.1 本委員会で主対象とする補修工法

ここでは WG1「ひび割れ補修工法の整理および補修方法・目的を考慮した評価項目の抽出」に関する活動内容について報告する。コンクリートの補修工法を選定するにあたっては、補修目的や劣化原因を明確にすることが最も重要となる。なかでも、ひび割れの存在は、劣化因子のコンクリート内部への侵入を助長し、美観や第三者影響度にも大きな影響を及ぼす。さらに、補修工法が適用された場合にその補修目的が十分に達成されていない

*1 京都大学大学院 博士（学術）（正会員）

*2 京都大学大学院 博士（工学）（正会員）

*3 愛媛大学 博士（工学）（正会員）

*4 芝浦工業大学 博士（工学）（正会員）

*5 徳島大学 博士（工学）（正会員）

*6 東京理科大学 博士（工学）（正会員）

表-1 委員構成

委員長	塩谷 智基 (京都大学大学院)
幹事	西田 孝弘 (京都大学大学院), 今本 啓一 (東京理科大学), 渡辺 健 (徳島大学), 水谷 司 (東京大学) 河合 慶有 (愛媛大学), 濱崎 仁 (芝浦工業大学)
【WG1: ひび割れ補修工法の整理および補修方法・目的を考慮した評価項目の抽出】	
主査	河合 慶有 (愛媛大学)
委員	大野 健太郎 (首都大学東京), 神田 利之 (ケミカル工事), 小室 睦江 (SGエンジニアリング) 鈴木 哲也 (新潟大学), 西田 孝弘 (京都大学大学院), 西脇智哉 (東北大学大学院)
【WG2: ひび割れの補修評価に関する事例の整理】	
主査	浜崎 仁 (芝浦工業大学)
委員	奥出 信博 (東海技術センター), 小椋 紀彦 (CORE技術研究所), 鈴木 哲也 (新潟大学) 西田 孝弘 (京都大学大学院)
【WG3: 非破壊検査方法の整理と分類】	
主査	渡辺 健 (徳島大学)
委員	大津 政康 (京都大学大学院), 大野 健太郎 (首都大学東京), 小椋 紀彦 (CORE技術研究所) 小林 義和 (日本大学), 西田 孝弘 (京都大学大学院), 濱崎 仁 (芝浦工業大学), 水谷 司 (東京大学) 渡部 一雄 (東芝)
【WG4: 評価フローの構築と維持管理システムの将来像】	
主査	今本 啓一 (東京理科大学)
委員	奥出 信博 (東海技術センター), 西田 孝弘 (京都大学大学院), 増井 直樹 (増井デザインソリューションズ) 松山 公年 (日本工営), 渡辺 佳彦 (西日本旅客鉄道)
協力委員	Dimitrios G. Aggelis, Eleni Tsangouri (ブリュッセル自由大学, VUB) P.L. Pahlavan (デルフト工科大学, TU DELFT) Stephan Pirskawetz (ドイツ連邦材料試験研究所, BAM)
顧問	大津 政康 (京都大学大学院)

場合や劣化原因を十分に把握できていない場合は、再劣化を生じることが多く報告されている。そこで、本研究委員会では、既存のひび割れ補修による効果を非破壊試験により評価する方法を確立することを念頭に、ひび割れの補修工法を中心に整理を行った。具体的には、図-1に示すように表面含浸工法、表面被覆工法、断面修復工法、ならびに注入工法、充てん工法、ひび割れ被覆工法などのひび割れ補修工法である。一方、コンクリートの補修が行われる際に、脆弱なコンクリートを取り除くための表面処理工法が適用される。この場合、表面処理の状況がのちの補修効果に大きな影響を及ぼす場合が少なくない。そこで、表面処理工法についても整理した。次節には、各補修工法の目的とその達成度を非破壊試験により評価するにあたり重要となる評価項目・指標について整理する。



図-1 検討対象とした補修工法

2.2 ひび割れ補修工法の整理と評価項目

コンクリートのひび割れを完全に防ぐことは難しい状況のなか、軽微な損傷に対してはひび割れ補修が採用されることが多い。コンクリート構造物に対する補修の主な目的は、①ひび割れやはく離などの修復、②二酸化炭素、塩化物イオンや有害化学物質の浸入による劣化進行の抑制や除去、③水分の浸入抑制、④部材の剛性や耐荷力の回復である。特にひび割れ補修工法の目的は、コンクリートに生じたひび割れからの劣化因子の侵入防止、ひび割れ変状の修復、及びひび割れの充てん接着である。

このようなひび割れ補修の目的を踏まえて補修評価の項目を整理すると、以下の5つに分類することができる。「劣化因子の遮断性」を確保するためにはひび割れ補修材の「充てん度(深さ)」やひび割れ界面における接着性に大きく依存する「一体性」もまた重要な指標となる。一方、前処理により劣化因子を除去した場合においても、部分的に除去できていない残留物質により劣化が進行することも想定される。したがって「劣化の進行に対する抵抗性」や接着力の耐久性と関連する「はく落防止性能」も重要な指標である。これらの5つの評価項目は互いの関連性を考慮し組み合わせることで、性能(安全性、使用性、第三者影響度、美観・景観、耐久性)の評価が可能となるように配慮している。次節には、それぞれの評価項目に対して抽出した補修効果の評価指標について述べる。なお、本委員会を対象とした補修工法に対する評価指標は現在(2018年4月)の技術レベルで必ずしも計測可能ではないものも含まれて

表-2 評価指標：ひび割れ補修（注入）工法

補修工法	補修目的	劣化時期	評価項目	指標など	部材表面	部材表層	鉄筋位置	鉄筋以深	時系列
ひび割れ補修工法 (注入工法)	物質透過抵抗性の回復	潜伏期 進展期	劣化因子の遮断性	塩化物イオン遮蔽性	◎	○	/	/	長期
				二酸化炭素遮蔽性	◎	○	/	/	長期
				酸素遮蔽性	◎	○	/	/	長期
				遮水性	◎	○	/	/	長期
				水蒸気遮蔽性	◎	○	/	/	長期
				水蒸気透過性	◎	○	/	/	長期
	充てん度	充てん深さ	◎	○	/	/	施工直後		
耐久性の回復	進展期	劣化の進行に対する抵抗性	鋼材腐食の抑制	/	/	◎	/	長期	

備考：◎主として必要、○副次的に必要、△場合により必要、/不必要

いることを注記しておく。

2.3 評価指標の抽出（ひび割れ補修（注入）工法）

2.3 では、表-2 に示すようにひび割れ補修（注入）工法を例にとり、補修評価項目・指標の抽出について記述する。ひび割れ注入工法では、劣化時期として潜伏期・進展期において物質透過抵抗性・耐久性を回復させることが主な目的となる。このような補修目的に対して、補修効果を評価するためには、劣化因子の遮断性、充てん度、劣化の進行に対する抵抗性に関する評価が必要不可欠である。特に、施工直後の評価では、かぶりコンクリートの表層部における充てん度（深さ）が重要な指標となる。さらに補修目的が達成されているかどうかを長期的な視点で評価する上では、効果の持続性にも影響を与える評価指標と考えられる。また物質透過抵抗性の回復を評価する場合は、部材表面及び表層における各評価指標について補修前後や長期的な複数回のモニタリングを通じた非破壊検査により、補修効果の評価を行うことが望ましい。一方、耐久性の回復の観点から評価する場合には、鉄筋位置において鋼材腐食の抑制効果が示されれば補修目的が達成されていることとなる。以上のような評価指標に対して、個々に非破壊試験を用いて評価することは容易ではない。第4章では施工現場において特に重要となるひび割れ補修を対象として既存の非破壊試験を用いた検査方法に関する文献を整理し、補修評価を効果的に行う方法について報告する。

3. WG2 補修後の評価に関する事例の調査

ここでは、WG2「ひび割れ補修後の評価」に関する活動報告を示す。具体的には、ひび割れ等の補修工事に対する現状、つまり、実際に補修後の評価が行われているのか、またどのような評価が行われているのかということをも明らかにすることによって、現状を分析し、問題点の抽出、今後のあるべき方向性を検討した。調査は、アンケート形式による調査および仕様書（仕方書）や技術指針などの文献調査により行った。ここでは、アンケー

ト調査の結果について報告する。

アンケート調査の回答者の属性を表-3 に示す。アンケートの回答者数は104名で、土木分野の回答者、また施工者からの回答が多かった。アンケートは、webアンケート形式で実施し、年次大会および研究委員会関係者からの呼びかけにより回答者を募った。回答者の傾向としては、比較的意識の高い技術者からの回答であったこと、東北および関東地方からの回答が多かったことが挙げられる。

アンケートの主な調査事項を表-4 に示す。回答は、選択式と自由記入形式の両者とした。

補修後の評価の必要性については、発注者側、施工者側のいずれの立場でもほとんどが必要性を感じる、適切な評価方法がある場合には採用したいという回答であった。補修後の評価の採用の一つの障壁になると思われる費用負担については、発注側（発注者・設計者）、施工者側（施工者・材料メーカー）のいずれも7~8割程度が発注者負担とすべきという回答であったほか、施工者側からは双方の折半とすべきという意見もあった。発注者側も費用負担を考えている点は、今後の補修後の評価の導入の可能性を示す点であるといえよう。ただし、追加調査で回答のあった事例は、いずれも施工者側の品質管理の一環として施工者負担で実施されており、現状では検査費用の発注者負担とはなっていないようである。

また、評価の導入に慎重な技術者の意見として、「発注者側の要求性能やそれに対する評価基準が明確でなければ導入すべきではない」、「評価結果に対する責任の所在の判断が困難」という意見などもあり、補修後の評価に対しては、発注時における要求性能や評価基準の明確化なども今後の課題となると思われる。

表-3 アンケート回答者の属性

回答者の立場	回答者分野			計
	土木	建築	その他	
発注者	5	1	-	6
設計者	8	-	1	9
施工者	53	14	-	67

材料メーカー	8	1	3	12
その他	9	—	1	10
計	83	16	5	104

表-4 アンケート項目

項目	内容
回答者属性	立場, 分野, 補修工事への関与
意識調査	評価の必要性, 評価が必要な補修工法, 費用負担, 結果への責任, 構造物の損傷への許容
実態調査	マニュアル等の整備状況, 評価の実施経験
追加調査	(実施例に対して) 対象構造物, 目的, 補修工法, 管理方法, 実施時期, 費用負担等

補修後の評価が必要な補修工法に対する回答結果を図-2に示す。必要性が高い工法として、断面修復工法、ひび割れ注入工法、表面含浸工法が挙げられている。これらの工法について評価すべき性能の回答としては、それぞれ、躯体との一体性、注入材の充てん性、劣化因子の遮断性の必要性が高い。補修後の評価の導入に対しては、これらの工法、性能に対するニーズが高いことが分かる。構造物の損傷に対する許容程度としては、微破壊試験（ドリル削孔や小径コア）まで許容するという回答が80%程度であり、特に発注者側のほとんどの回答が許容できるという回答であった。しかし、調査数量の確保や継続的な供用、連続的な評価などを考えると構造物への損傷は極力小さく、同位置で連続的な評価が可能な非破壊試験であることが望ましく、補修後の評価へのニーズが高い状況と、非破壊試験で評価を行うことのメリットが十分に理解されていないことの双方が表れた結果であるとも考えられる。

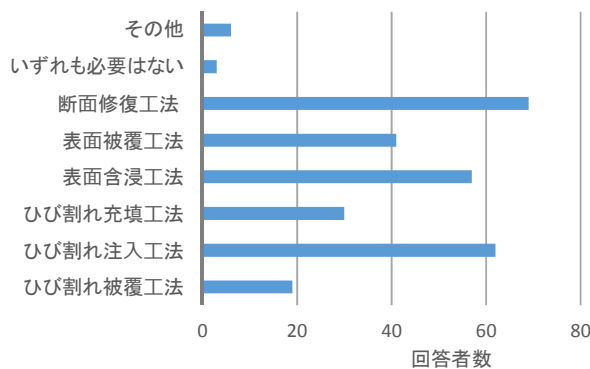


図-2 補修後の評価が必要と思われる補修工法

表-5に実際の導入事例の抜粋を示す。アンケートの回答者からは、多くの事例が寄せられたが、ここでは、前述のひび割れ注入工法、断面修復工法、表面含浸工法に対する事例について紹介する。

ひび割れ注入工法では、建築分野（国交省改修工事監理指針）において、コア採取による方法が規定されてい

ることもあり、コアを採取後に確認するという回答が多かったが、弾性波法や超音波法などの適用事例も見られた。弾性波法の適用については、研究例なども報告されており、WG3での調査報告の結果等も踏まえた評価方法の基準化なども望まれる。

断面修復工法については、施工品質としての躯体との一体性と補修効果としての腐食抑制効果の両者が確認されており、腐食抑制効果については、表面含浸工法と同様に電気化学的評価が適用されている。表面含浸工法では、含浸状況の確認が対象となっているが、非破壊試験とコア採取による評価の両者が実施されている。ここで、土木研究所から提案されている方法（浸透性コンクリート保護材の塗布判別方法(案) ²⁾は、施工後の表面に散水し、ウェスで拭き取った後のコンクリート表面の含水率を静電容量式または電気抵抗式の含水率計で測定し、含水率が検出限界（1%）以下で合格とする方法である。

表-5 補修後の評価を実施した事例

補修工法	非破壊試験による事例	非破壊試験以外の事例
ひび割れ注入工法	<ul style="list-style-type: none"> 目視 超音波法によるひび割れ深さ測定 ガス検知法 弾性波トモグラフィ 	<ul style="list-style-type: none"> コア採取後目視 コア採取後紫外線照射 接着力試験 ひび割れに対して斜め穿孔後内視鏡観察
断面修復工法	<ul style="list-style-type: none"> 打音検査 分極抵抗測定 	<ul style="list-style-type: none"> 接着力（付着力）試験
表面含浸工法	<ul style="list-style-type: none"> 撥水性試験 浸透性コンクリート保護材の塗布判別方法(案)・土木研究所 透気試験 分極抵抗（腐食速度） 	<ul style="list-style-type: none"> コア採取後吸水防止層確認 コア採取後化学分析

以上、本WGでは、事例調査を基に補修後の評価における非破壊試験の導入に関する分析、課題等を検討した。その結果、補修後の評価に対するニーズは高く、発注者・施工者両者の意識も高いことは明らかとなったが、補修工事（工法ごと）に対する要求性能や評価基準の明確化が今後の課題であった。非破壊試験の導入のニーズとして、ひび割れの注入状況、躯体と補修材の一体性、含浸材の含浸状態などが求められるが、現状の非破壊試験技術などを鑑みた場合、注入材の充てん状況の評価に関して、評価方法の標準化と具体的事例の蓄積が望まれる。

4. WG3 非破壊検査方法の整理と分類

本研究委員会のタイトルにもあるように、補修や補強の効果に対する非破壊試験を用いた調査およびそれらの結果を用いた評価への期待は、非常に高いといえる。このWGでは、非破壊試験における補修効果の評価での課題の整理、補修工法に応じた非破壊試験と評価指標の整理、実構造物における非破壊試験を用いた補修効果の確

認事例について整理を行った。

3.1 課題の整理

コンクリート構造物の維持管理行為において、コンクリートの非破壊試験方法は、橋梁であれば定期点検での近接目視や打音による点検、詳細調査におけるかぶりの測定や配筋状況の確認、コンクリートのひび割れや劣化の原因推定への利用において活用されており、また内部状況を可視化する技術やモニタリングによる手法が提案され実用化に向けた取り組みがなされている。一方で、補修や補強を行う構造物においては、基本的に既設構造物を対象とすることになり、本WGで対象とする補修効果の評価を行うためには、補修前後での評価が必要であるといえる。

ることができる。一方で、深さ方向の情報は得ることができないため、補修対象のひび割れの深さがどこまであって、それに対してどこまで補修材が入ったかを知ることができない。表面のみの情報で判断できることは限定であるため、そこに非破壊試験の活用が期待されるといえる。弾性波の伝播速度の断面内における2次元もしくは3次元的速度分布を知ることができれば、深さ方向も含めた補修前後の相対的な比較ができることになる。一般的には、補修剤が十分に注入され、それらが硬化すると、補修前に比べて、伝播速度が速くなる。一方で、速度の向上の割合と補修効果は必ずしも1対1の関係とはならず、物性の向上と直接結びつけることは現状では難しいといえる。

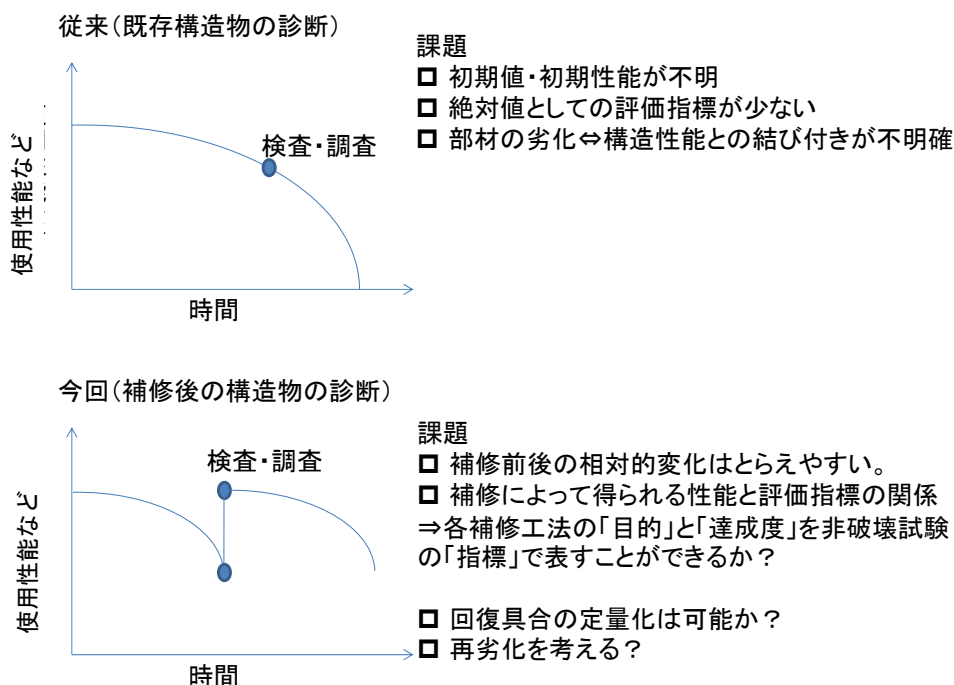


図-3 既存構造物および補修前後での評価イメージ

JCI「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-」に従えば、標準調査や詳細調査によりひび割れの原因を推定し、評価を行い、補修・補強の要否判定を行い、補修、補強を行うことになる。この指針では、補修・補強後については「6.7 検査」および「6.8 補修・補強の記録および経過観察」として記されている。

非破壊試験を適用するにあたり、既設構造物における保有性能や健全度を対象と考える場合と、補修効果の評価する場合を比較して考察すると、図-3に示すようにそれぞれの課題がそれぞれ挙げられる。

ここでひび割れ補修における充てん工法について例に挙げて考察する。目視による外観観察においては、ひび割れの閉塞や漏水の有無でその効果のある程度確認す

ここで、考える必要があるのは、補修において何の性能をどこまで回復することを期待するかを明確にすることである。つまり図-3の図の縦軸は「使用性能など」とされているが、非常に漠然としたイメージであるため、あたかも強度や物性も含めたものが回復するように思うが、具体的に要求される性能を絞り込んで考えておくことが重要であるといえる。以下に弾性波速度を用いた事例を示す。

3.2 実構造物レベルでの検証事例

ここでは、事例収集結果の代表事例として、実構造物から切出した柱部材を対象として、三次元弾性波トモグラフィ手法により樹脂注入前後の三次元速度分布を取得し、注入状況の評価を実施した事例を図-4に示す。図-

表-5 補修工法により得られる効果, 実構造物における効果確認項目の例

工法名		得られる効果	実構造物における効果確認項目
表面処理工法	表面被覆	塩化物イオンの浸透量の低減または遮断による鋼材の腐食停止または腐食速度の抑制	・表面被覆材とコンクリートとの付着強度 ・工法適用箇所のコンクリート中の塩化物イオン濃度分布
	表面含浸		・含浸深さ ・工法適用箇所のコンクリート中の塩化物イオン濃度分布
断面修復工法		塩化物イオンの除去による鋼材の腐食停止または腐食速度の抑制	・断面修復材と既設コンクリートとの付着強度 ・工法適用箇所の塩化物イオン濃度分布 (場合によっては未補修箇所を含む) ・自然電位、分極抵抗等
電気防食工法		防食電流の供給による鋼材の腐食停止	・陽極システムの各種構成材料の劣化状態 ・供給電流値等、電圧値 ・鋼材の電位、復極量
脱塩工法		塩化物イオンの除去による鋼材の腐食停止または腐食速度の抑制	・通電中の電解質溶液中の塩化物イオン濃度 ・適用前、適用直後、数年後のコンクリート中の塩化物イオン濃度分布 ・自然電位、分極抵抗等

4より注入前では全体的に低速度の領域(黒い領域)が多いが、注入後は全体的に弾性波速度が速くなっていることが確認されている。これらの結果から、本研究で実施したひび割れ注入により、内部のひび割れが充填され、弾性波速度分布が上昇したことが推察され、弾性波トモグラフィ手法により外観からは確認できない内部のひび割れ充填状況を評価できる可能性が認められた。

5. WG4 システム構築

本WGでは、本研究委員会での成果を全体の維持管理システムの一部にとらえ、構造物のライフスパンの中での運用方法を整理するため、以下①～③の3項目についてとりまとめ、④に示す提案を行った。

- ① 道路橋における国内外の維持管理システム
- ② 鉄道コンクリート構造物(JR 西日本を中心とした)の維持管理の具体的事例
- ③ 劣化過程における補修と非破壊試験の位置づけ
- ④ 補修評価を伴う維持管理の基本体系

5.1 道路橋における国内外の維持管理システム

道路橋に関する国内の維持管理においては、国土交通省道路局国防防災課の橋梁定期点検要領(平成26年6月)が一般に用いられているが、ここでは点検方法として近接目視を基本とし、必要に応じて触診・打音等の非破壊試験を含むものとされている。一方、補修後の点検として明示されているものの一つに、土木研究所のコンクリート構造物の補修対策施工マニュアル(平成28年8月)がある。ここでは図-5に示すように、補修の設計施工および補修後の検査・点検が明示されている。また、補修後の点検頻度として、補修後1年以内に補修後の再劣化が生じることが多く、環境条件(気温・湿度)の変動による影響があるため、季節が一巡した補修後の定期点検は施工後1年程度で実施するとしている。

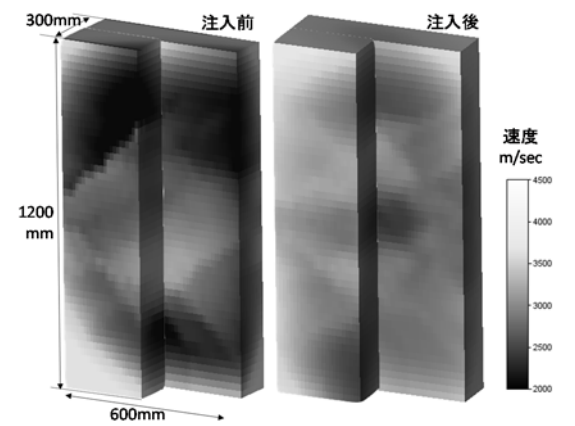


図-4 ひび割れ注入前後の三次元弾性波速度分布³⁾

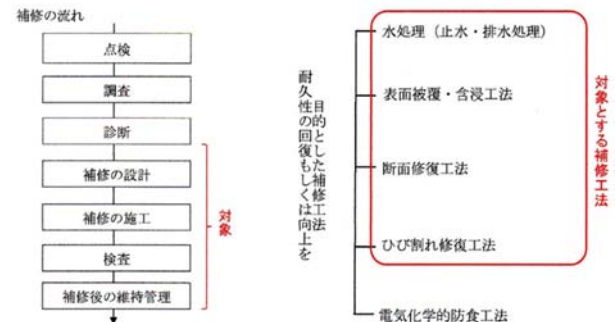


図-5 マニュアルの対象範囲

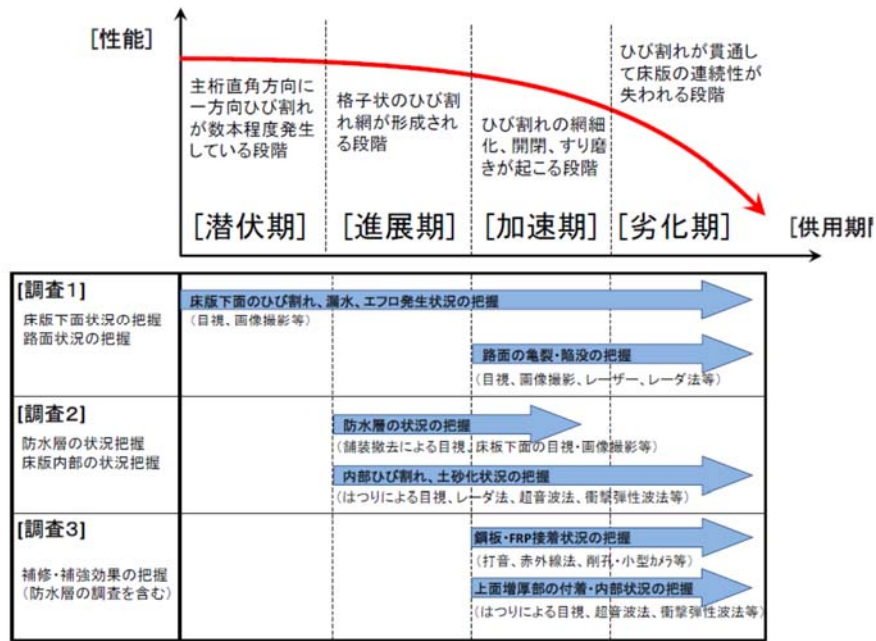


図-6 床版疲労の劣化過程における調査のイメージ

一方、米国では道路橋に関する維持管理に対して、1990年代の初めに、連邦道路庁（FHWA）が、カリフォルニア州道路局の支援を受けて、アセットマネジメントの手法を取り入れて、橋梁マネジメントシステム“Pontis”を開発した。Pontis では予防保全を中心とした管理技術が骨組みとなっている。Pontis において、橋梁のコンクリート構造物の状態の把握に、非破壊試験が有効な手段であると位置づけられている。補修前および補修後の点検として、FHWA（連邦道路庁）が運用することを規定している The National Bridge Inspection Standards（NBIS）（2004）では定期点検を2年以内に行うこととし、“Fracture Critical Member”の定期点検および詳細点検では、目視のみならず非破壊試験を含むこととしている。また現在、各州では道路局が制定している“橋梁点検マニュアル”に非破壊試験を導入する方向にある。

5.2 JR 西日本を中心とした維持管理の具体的事例

JR 西日本では「コンクリート補修施工管理技士」制度を設けて維持管理の運用を行っている。現状では、完成検査項目を工法ごとに定めており、例えば断面修復工法では、はつり深さ、鉄筋ケレン状態、断面修復（鉄筋背面の充填状況、付着試験）などを検査することとしている。今後に向けて、マクロセル腐食の評価・物質透過性の評価を非破壊的に評価するとともに、鉄筋腐食の進行を予測する手法・経年に伴う物質透過性の変化に対する評価手法の確立が意識されている。

5.3 劣化過程における補修と非破壊試験の位置づけ

ここでは塩害と床版疲労に関して劣化過程における

調査、対策と非破壊試験の位置づけについて検討を行った。例えば塩害に対して表-5を挙げている。

床版疲労の劣化過程に対する調査と各劣化過程における調査と補修、補強の効果確認のための調査を合わせてイメージとして示すと図-6のようになる。これらの図には、このように、床版の劣化過程に応じて適した調査方法を選定し、対象構造物の劣化過程を把握するとともに、対策効果の確認を行う必要があることを提案した。

5.4 補修評価を伴う維持管理の基本体系

前述までの調査・検討を踏まえ、構造物の管理タイプをⅠ（標準）からⅢ（重要度高）に分類し、一例として管理タイプⅢについては維持管理フローを図-7～図-9のように提案した。補修評価プロセスへの移行の契機は、随時実施される補修施工及び定期点検の2種類とした。補修評価プロセスでは、補修施工後に必ず「補修評価フロー」に進む。「補修評価フロー」では、工種や要求性能に基づき、非破壊検査手法も含めた検査手法を選定・実施する。ここで要求性能を満たさない等の課題が生じた場合は、再度補修計画に戻る。本プロセスの要点は、課題が見出されない場合においてもプロセスを完了するのではなく、さらに1年後に再検査を設けた点である。つまり、補修直後に実施する検査結果と、その1年後の検査結果が連続して問題がない場合のみ、補修評価プロセスの完了と判断し、定期点検フローに戻ることができる。1年後に再検査を定めた理由としては、季節変動による影響を考慮したことと、補修後1年以内に再劣化が生じることが多いことによる。なおこの頻度については、

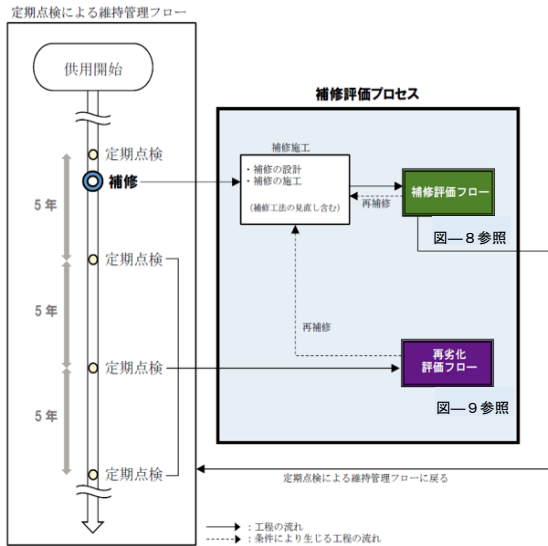


図-7 システムの基本体系

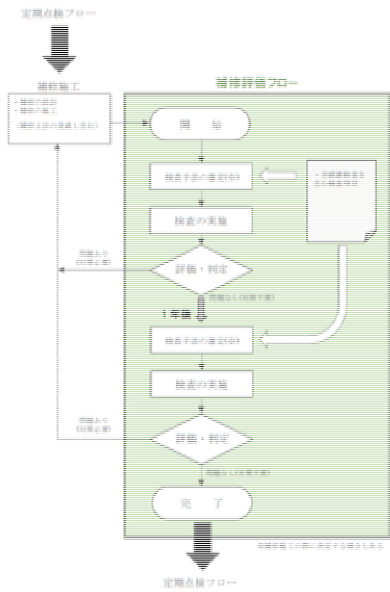


図-8 補修評価フロー

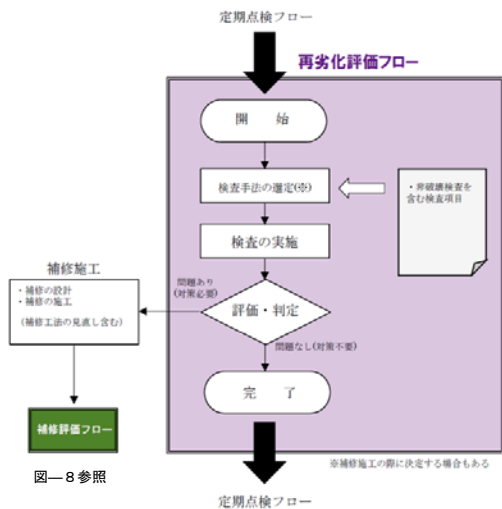


図-9 再劣化評価フロー

『コンクリート構造物の補修対策施工マニュアル：平成28年8月 土木研究所』に示される考え方を踏襲した。一方の定期点検を契機とした補修評価プロセスへの移行は、定期点検において、補修履歴がある箇所を必ず検査するというもので、定期点検において補修履歴がある場合には、「再劣化評価フロー」に進む。「補修評価フロー」と同様に、適切な検査手法を選定・実施し、評価判定を行う。「再劣化評価フロー」においては、評価判定結果、問題がないと判断されれば、定期点検フローに戻る。なお、以上のプロセスは重要度の高い構造物や再劣化事例の多い部材・施工等を対象とする場合の管理タイプⅢである。管理タイプⅠは、標準タイプと位置付けたもので、供用後、補修施工の行為のみを契機として補修評価プロセスを実施する。一度プロセスを完了した後の維持管理は定期点検フローに委ねる管理タイプとした。管理タイプⅡについては、管理タイプⅠとⅢの中間に位置付けられるタイプであり、管理タイプⅡに加え、定期点検時において再劣化が疑われる場合に補修評価プロセスに移行するというものである。

本来であれば、全ての構造物に対して管理タイプⅢを適用することが望ましいが、限られた予算の中で効率的・効果的な維持管理が望まれる昨今においては、構造物の状態や重要度を正確に見定め、適切な管理タイプを選定することが重要である。

6. まとめ

本稿では、非破壊試験によるコンクリートに生じたひび割れの補修評価方法の確立に関する研究委員会の活動結果を記した。主な成果を以下に示す。

- ひび割れ補修の評価項目は、「劣化因子の遮断性」「充てん度（深さ）」「一体性」「劣化の進行に対する抵抗性」「はく落防止性能」である。
- 発注者・施工者ともに補修効果の確認は必要と認識しているが、前提として確認が必要となる要求性能（指標）の明確化が必要である。また、非破壊調査法適用に向けては、明確化された指標に対応した調査法のブラッシュアップと提案が必要といえる。
- 管理タイプを分けて補修を含む維持管理フローを提言した。提言フローには、補修施工後に必ず「補修評価フロー」に進み、「補修評価フロー」では、工種や要求性能に基づき、非破壊検査手法も含めた検査手法を選定・実施する。ここで要求性能を満たさない等の課題が生じた場合は、再度補修計画に戻る。本プロセスの要点は、課題が見出されない場合においてもプロセスを完了するのではなく、さらに1年後に再検査を設けた点である。つまり、補修直後に実施する検査結果と、その1年後の検査結果が連続して問題

がない場合にのみ、補修評価プロセスの完了と判断し、定期点検フローに戻ることができるとしたフローである。

参考文献

- 1) TC-269IAM, RILEM, <https://www.rilem.net/groupe/269-iam-damage-assessment-in-consideration-of-repair-retrofit-recovery-in-concrete-and-masonry-structures-by-means-of-innovative-ndt-347>
- 2) 土木研究所材料地盤研究グループ：コンクリート表面保護工の施工環境と耐久性に関する研究－浸透性コンクリート保護材の性能持続性の検証と性能評価方法の提案－，土木研究資料第 4186 号，2011.1
- 3) 西田孝弘・塩谷智基・橋本勝文・加川順一：弾性波トモグラフィによるひび割れ注入状況の評価，平成 28 年度秋季講演大会 講演概要集，pp.217-218，2016.10

