

委員会報告 コンクリート構造物のインフラドック構築フェージビリティ調査研究委員会

大津政康*1, 今本啓一*2, 上田 洋*3, 岡本享久*4, 塩谷智基*5, 濱崎 仁*6, 横沢和夫*7, 渡邊 健*8

要旨: コンクリート既設建設物の維持管理及び点検・診断のための技術と制度の整備は急務とされている。しかし、現状の目視を中心とした点検手法や診断の対策では不十分と考えられるため、「人間ドック」と同様な「インフラドック」の構築を目的とした研究委員会を、持続可能なコンクリート構造物維持のために提案した。委員会は3つのWGにより活動し、インフラドック構築のための点検技術として現場計測法の整備を図り(WG1)、インフラドックに有用な検査法の整理とシナリオ化を提案した(WG2)。さらに、インフラドックでの業務の制度を確立し、それを担当するドクター制度へのコンクリート診断士の活用も検討した(WG3)。それらの成果の概要を以下にまとめた。

キーワード: 非破壊検査, モニタリング, 現場調査, 劣化・損傷機構, 維持管理

1. はじめに

21世紀は Sustainable 社会の世紀であり、長寿化の concept は人間のみならずインフラ施設でも重要である。東日本大震災復興の今後も踏まえれば、コンクリート既設建設物の維持管理及び点検・診断のための技術と制度の整備が必要である。しかし、現状の目視に依存した架け替え時期判定のための点検では不十分であるため、「人間ドック」と同様なインフラドックの構築が持続可能なコンクリート構造物維持のため急務と考えられる。

医療行為では Diagnosis(診断)とは、既に病気など不具合を発症している患者の病原を特定する行為のこととされている。一方、人間ドックのような病気の予防のための検査行為は Prognosis(予後)と定義される。コンクリートに関して、今後の劣化及び加齢構造物の増加を踏まえて Diagnosis(診断)から Prognosis(予後)へと展開することが、インフラドックを提案した理由と言える。

そこで、コンクリート構造物のインフラドック構築のための点検技術として現場計測法の整備を図り、有用な検査法の整理・提案を行い、業務制度の確立と担当するドクター制度の整備について調査研究を実施した成果を提言として取りまとめた。

提案中のインフラドックの概念では、地震やその他の災害による被害に対する防災とか減災という措置は、人体では事故に当たる。人間ドックが対象としているのは、そのような事項の予防ではなく、病気につながると考えられる問題の検出である。これをインフラドックに置き換えれば、今後の耐久性に係わる劣化性状や欠陥の検出と予後に対する処方提案である。

コンクリート構造物の非破壊検査法を人間ドックでの検査行為に対応させたものを図-1に示す。これは、概略図ではあるが、インフラドックのイメージを伝えるには十分かと思われる。



図-1 人間ドックとインフラドックの対応

委員会の運営では、表-1に示すような幹事団をお願いし3つのワーキンググループ(WG)を設置し、委員会活動を行った。それぞれのテーマはWG1:有用なコンクリートの欠陥評価法の整理として、インフラドックでの検査のために、可視化を含めた現場仕様の非破壊試験法の開発と整理を進めること、WG2:インフラドック現場検査手順の確立に関してコンクリート構造物のインフラドック構築のための点検技術として現場計測法を整備しシナリオなどの提案を行うこと、WG3:検査制度の確立と検査員としてのコンクリート診断士の活用を検討することであった。

*1 熊本大学大学院 工博 (正会員)

*3 公益財団法人鉄道総合技術研究所 博士(工学) (正会員)

*5 京都大学大学院工学研究科 博士(学術) (正会員)

*7 持続可能な社会基盤研究会 工博 (正会員)

*2 東京理科大学工学部 博士(工学) (正会員)

*4 立命館大学大学院 工博 (正会員)

*6 芝浦工業大学工学部 博士(工学) (正会員)

*8 徳島大学大学院 博士(工学) (正会員)

表-1 委員会構成

委員長	大津政康
WG1 幹事	塩谷智基, 今本啓一, 渡邊 健
WG2 幹事	上田 洋, 濱崎 仁
WG3 幹事	岡本享久, 横沢和夫
委員	森濱和正, 鈴木哲也, 松山公年 小林信一, 渡辺佳彦, 西脇智哉 加藤絵万, 松田 浩, 桃木昌平 奥出信博, 大野健太郎, 古賀一八 増井直樹, 新村和也, 峰松敏和
通信委員	永山 勝, 湯山茂徳, 込山貴仁
海外通信委員	C. Grosse, M. C. Forde

2012 年度の FS 委員会の設置時には、永山氏に WG2 の幹事をお願いし活躍いただいたが、本委員会では職務のために通信委員に交代いただくことになった。また、後述の通り、海外通信委員には国際会議などで非常に協力いただいた。

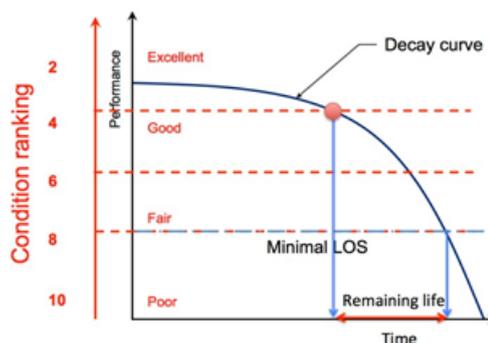
以下に委員会成果として、現状で現場仕様と考えられる検査法の整理結果におけるインフラドックに資するモニタリング最前線 (WG1 担当)、点検内容として考えられるシナリオとしてのインフラドックにおける現場調査 (WG2 担当)、インフラドックの仕組み構築と支える人材の育成 (WG3 担当) の概要について述べる。なお、詳細は 7 月に発刊される委員会報告書を参照されたい。

2. インフラドックに資するモニタリング最前線

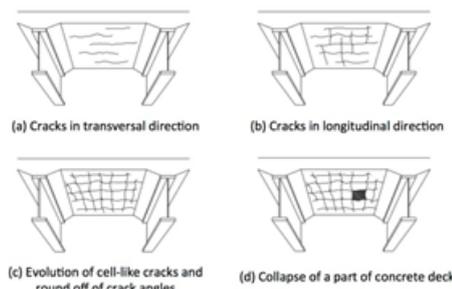
2.1 コンクリートの欠陥・損傷評価

ワーキング・グループ (WG1) では、インフラドックに有用なコンクリートの欠陥評価法の整理に先立って、アンケート調査を実施した。その結果、インフラドックの目指す「予防保全」の考え方が管理者団体によって異なることが確認された。

JCIでの予防保全の定義について、コンクリート診断技術¹⁴ (応用編)を参照すると、建築における予防保全は「維持保全の実施方法」とされており、土木における予防保全は、「点検・調査を基に劣化を予測し、適切な診断をすること」とされている。したがって、点検モニタリングの必要性が示されているが、現状では、事後保全が主であること、各機関で様々な定義が混在していることが問題であることが明らかになった。例えば、損傷 (度) については、構造物の外観上のグレードが示されているが、グレーディング自体が定性的な評価であるため、定量的な評価とその評価結果に基づく劣化予測の実施が行われていない。図-2のように、目視などでの外観調査を等級化して、性能曲線を参照することで余寿命を判断



(a) 健全性評価等級と性能曲線



(b) コンクリート床板の目視評価

図-2 目視に基づく性能評価例

していることが一般的である。その余寿命に関して重要な概念が耐用年数である。例えば、建築物には物理的、機能的および社会的耐用年数の3種類があるといわれる。一般にこの物理的耐用年数は他の機能的、社会的耐用年数よりも長く、仮にこれを更新すると多額の費用が発生する。建物の寿命を決める判断は、これを決める時点において、建物を存続させることの価値 (Vt) とその建物をさらに存続させるために必要な費用 (Ct) の大小関係による²⁾。すなわち、 $Vt > Ct \rightarrow$ 存続 $Vt < Ct \rightarrow$ 解体・更新、である。Ct は一般に算出しやすい。従ってこの寿命評価・予測の要諦はこの Vt を如何に定量的に示すかということになる。

2.2 現場仕様の欠陥検査法の現状

可視化を含めた現場仕様の非破壊試験法の開発と整理を進めるに当たり、調査対象をひび割れ、表層、内部の3種類とし、表面性状の把握および内部欠陥の可視化、鉄筋腐食等を中心として整理を行った。

例えば、ひび割れ及び表層検査について、現状で点検時の価格および検査に要する時間をまとめた結果を表-2に示す。一方、内部検査としては、AE法、トモグラフィ (Tomography) 法、衝撃弾性波法の SIBIE 解析などで実績が認められた。それらの適用事例は、報告書にまとめられている。そこでは、これらをいかにインフラドックの検査のシナリオに組み込むかが、主な検討事項となった。

表-2 検査手法の特徴と費用と測定時間の例

適用手法	概算費用*	計測時間*
レーザースキャニング法	150 万円/km	2.0km/日
CCD ラインカメラ法	150 万円/km	2.0km/日
超音波法	12 千円/測線 (21 測線) ~ 26 千円/測線 (6 測線)	1~2 日/構造物
衝撃弾性波法	8 千円/測線 (30 測線) ~ 24 千円/測線 (6 測線)	1~2 日/構造物
サーモグラフィ法	50 万円/日	市販のデジタルカメラとほぼ同等
自然電位法	2 万円/m ²	20m ² /日
FBG 光ファイバセンシング	2,400 万円	5 年
	・3,000 m ² 程度の表面変位計測 ・5 測線 50 基 (10 基/測線) ・5 年間常時監視	

2.3 劣化フェーズに基づいた調査・維持管理

コンクリート構造物における現状での基本的な点検手法は目視点検である。多くの構造物あるいは部材の状態を短時間で把握可能であるが、その結果は点検者の技量や経験などのノウハウに依存することが大きい。このような不確実性を含んだ点検結果を支援し、定量的に構造物の状態把握を可能とするものが非破壊検査である。しかし、その適用頻度は徐々に多くなっているものの十分であるとはいえない現状にある。また、今日では様々な非破壊検査手法が目覚ましい発展を遂げ、特にコンクリートの可視化技術の進歩は目を見張るものがある。しかし、これら非破壊検査技術の何を、いつ、どのように適用するかは、技術者の判断に依る。

ところで、コンクリートの劣化は時間依存性を有しており、どの劣化状態（フェーズ）にどのような手法を適用するか、あるいは、どの程度の大きさの構造物、部材にどのような検査手法を戦略的に適用するかというシナリオは明示されていないのが現状である。そこで、劣化フェーズ（潜伏期、進展期、加速期、劣化期）に応じた非破壊試験手法の適用事例を検討した。

一般的な鉄筋コンクリート（RC）構造物の劣化進行過程では、潜伏期、進展期、加速期、劣化期の4段階に分けられ、中性化、塩害、化学的侵食などは、かぶりコンクリート部でコンクリートが外的要因を受け劣化し、鉄筋位置の pH の低下等を引き起こした結果、鋼材腐食が発生する。その後、腐食膨張圧の影響により、コンクリ

ート表面にひび割れとしてコンクリートの変状が目視確認できる段階になる。RC 構造物の性能レベルは、鉄筋の腐食状態と密接に関連しており、鉄筋の腐食が生じ始める時点から性能低下が現れ、ひび割れの発生に伴い加速的に低下すると考えられる。その劣化進行モデルは、**図-3**のように示すことができ、時間の経過に伴い保有性能は低下する。本モデルにおいて、現状の点検状況を考えると、外観目視でコンクリート表面の変状が確認されない期間では、特別な点検は行われず、コンクリート表面にひび割れ等の変状が生じた時点で、詳細点検が実施される。また、詳細点検として従来の非破壊試験法による主な点検手法では、コンクリート表層部の状態を定量的に把握可能であるが、コンクリート内部の情報を得ることは非常に困難である。そこで、コンクリートの内部情報が取得可能な最先端の非破壊検査法の現状が調査されて報告書には取りまとめられている。

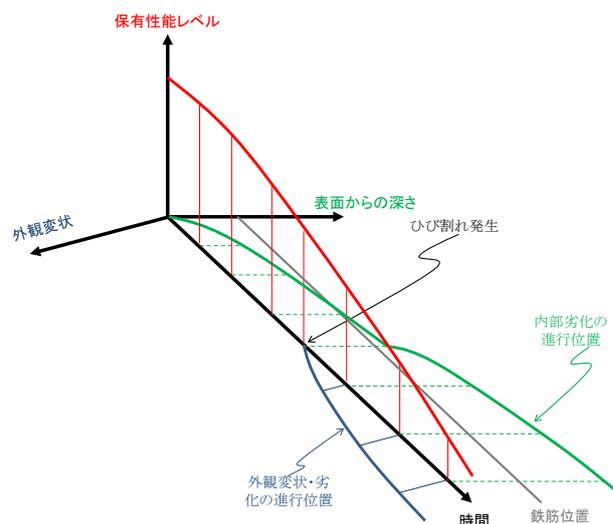


図-3 健全 RC 構造物の性能低下モデル

構造物の維持管理は、一般的に設計段階で考慮された予定供用期間を基本として維持管理計画の策定が行われる。既存構造物の場合では、予定供用期間からこれまでの供用期間を差し引いた残存予定期間を維持管理期間として設定される。社会インフラの延命化が社会的な大きな課題となっている今日では、予定供用期間が当初の設計段階よりも長くなり、明確な供用期間を定めず、延命化が図られている。したがって、残存予定期間を決定づけるのは非常に困難な状況である。このような社会的背景のみならず、管理者や構造物によって予定供用期間あるいは残存予定期間が異なり、維持管理限界値の決定方法が異なるため、一律に維持管理限界値を定めることは適切ではないとの考えから、この図中には維持管理限界値を示していない。

2.4 劣化進行過程評価のための非破壊試験

コンクリート構造物の詳細調査を実施するにあたって、非破壊試験方法の担う役割は大きい。土木学会 331 種委員会では、塩害、床版疲労、ASR の三大劣化について劣化進行過程と点検方法の関係が示されている³⁾。表 1-3 に一例として、ASR 劣化に対する劣化進行過程と点検方法の関係を示す。このように、劣化進行過程に応じて適切な非破壊試験方法を選定することで、構造物の保有性能などを適切に評価することが可能となる。

また、コンクリートの材料劣化の多くは、外的因子（例えば、塩化物イオンなど）の影響を受け、かぶりコンクリート中の内部劣化を経て外観変状に至る。言い換えれば、潜伏期あるいは進展期では水和生成物の分解、反応（ミクروسケール）から微細ひび割れの生成（メソスケール）、さらに加速期以降では目視可能となるひび割れの発生（マクロスケール）へとそのスケールは変化する。現在の非破壊試験方法の多くは、マイクロレベルの劣化を現場で捉えることは困難であるが、メソあるいはマクロレベルの劣化検出は可能となっている。

劣化進行過程と得られる情報次元の関係により、複数の点検方法を組み合わせ、時間的に離散的なデータを得ることで、対象とする劣化フェーズやスケールに応じた非破壊試験方法の選定に役立つと考えられる。

3. インフラドックにおける現場調査

3.1 シナリオの提言と現場調査の位置付け

インフラドックとして構造物の維持管理を行う場合の対象構造物について、構造物の種類、環境条件、維持管理のレベルなどを考慮したシナリオを想定している。

限られた予算、人材という条件の中で効率的な維持管理を継続していくためには、画一的な点検・調査を行うのではなく、対象となる構造物ごとのシナリオが重要である。

そこで、多様な主体がインフラの維持管理を実施することを想定し、それぞれの主体によって実施されている維持管理の事例を示すことで、技術者の参考資料となることを意図している。一方、長期的な供用中にはシナリオとしてあらかじめ想定したこと以外の想定外の事象も起こりえる。これらに対応するための高度な技術者による維持管理の例や技術的な判断を支援するための調査の事例を示した。さらに、最新の技術を用いて構造物の健全性の評価や劣化の原因を推定したり、継続的にモニタリングする事例なども紹介することにした。

インフラドックにおいて実施する調査結果を有効に活用するためには、それぞれの調査の目的を明確にすることが必要である。コンクリート構造物の維持管理に携わる技術者が、対象とする構造物に対して知りたいこととして、例えば以下のような事柄が挙げられる。

- ①現時点での供用に問題はないか
- ②将来の供用に問題はないか
- ③（問題がある場合には）どうしたら良いか
- ④（対策をした場合には）対策をした効果はあったか

これらを知るためには、例えばコンクリート構造物の現状についてその力学的性能や構成材料の劣化状態を知ることが必要になる。また、構造物の破壊や供用が困難になるような大規模な変状、コンクリートや付帯設備の落下といった問題がどのようなプロセスで起こるかのシナリオづくりや、設定したシナリオに基づいた劣化進行

表 1-3 ASR 劣化における劣化進行過程と点検方法³⁾

調査項目	点検方法 (非破壊検査法)	劣化進行過程			
		潜伏期	進展期	加速期	劣化期
ひび割れ (幅, 密度, 深さ)	デジタルカメラ画像解析	←		→	
	超音波法		←	→	
	パイ型変位計, 亀裂変位計			←	→
鋼材の位置と腐食状況	自然電位法, 分極抵抗法		←		→
	弾性波法, パルス電磁波			←	→
鋼材の損傷の有無	過流探傷法			←	→
	電磁誘導法+超音波法			←	→
	波動伝播とパターン認識			←	→
変色・ASRゲル滲出	デジタルカメラ画像解析	←	→		
コンクリート 強度, 弾性係数	反発度法			←	→
	超音波法			←	→
	弾性波法, AE法			←	→
変形・変位	光ファイバー レーザー式変位計測			←	→
温度, 湿度, 日射, 雨掛	気象観測	←	→		
海水, 凍結防止剤の影響	近赤外分光法	←			→
密実性の指標 (超音波伝播速度等)	超音波法	←	→		

←→ : ある程度定量性あり, ←---→ : 定量性不明, 検討段階

性の把握が必要になる。インフラドックにおいて実施する各種の調査が、技術者が知りたいことのどこに合致するのが明確になり、かつそれが関係者間で共通の認識となれば、その効果は、より大きくなると期待される。

3.2 シナリオづくりの重要性

前項で述べた事柄のうち、特に「②将来の供用に問題はないか」および「③（問題がある場合には）どうしたら良いか」を知るためには、対象とする構造物がどのようなメカニズムで劣化進行や性能低下に至るかを知らずには想定すること、すなわち問題発生に至るまでの「正しいシナリオづくり」が大切である。その上で、以下に示すように「現在はそのシナリオのどこにいるか」、そして「今後はどうなるのか」を知ることになる。

- (1) 問題発生に至るシナリオづくり
- (2) 現在はそのシナリオのどこにいるのか
- (3) 今後はどうなるのか

問題発生を解決するためには、変状原因推定のための調査などが該当する。そのきっかけは、目視調査や異音検知、異常振動検知、あるいは体感的に「何か変だ」といった気付き等々、技術者の五感に頼るところが大きい。コンクリート構造物の維持管理においては、このような気付きが重要であり、今後はモニタリング等による異常値検出等がきっかけとなる場合も増えてくると思われるが、多分にアナログ的な判断となり、技術者の力量が大きく問われることになる。その後、原因を正しく推定するために、必要により機器を用いた調査を併用することになる。これらの調査は、現地の状況に応じて調査を進めるため、一般的な調査項目は抽出しにくいとも言える。現在の問題の解決にあたって、これは例えば塩害の進行程度を知るための塩化物イオン量等が該当するが、このようにシナリオ（この例では、塩害による鋼材腐食とその結果としての構造物の性能低下）が推定されると、一般的な調査項目がある程度抽出できるようになる。

今後の問題を解決するための手段としては、いわゆる劣化予測や各種のモニタリング等が該当する。ここでは、推定したシナリオをもとに実施することになり、定量的な劣化予測のほかに技術者の五感に基づく予測も含まれるであろう。また、コンクリート構造物に対するモニタリングが最も活きる場面でもある。

コンクリート構造物が、破壊や供用困難あるいは維持管理が困難になるような変状、付帯設備を含めた落下等の問題発生に至るシナリオを、想定のし易さで分類するといくつかの種類に分けられる。

- ①建設時に想定したシナリオに近いもの
- ②現在は知られているシナリオだが、建設時には想定されていないもの
- ③想定されていなかったシナリオ

④その他

①については、塩害が起きる可能性を想定し実際にそのシナリオが主となっている場合等が該当する。報告書では、海底油田開発用コンクリートプラットフォームにおいて、塩害を考慮したモニタリング等の維持管理事例が示されている。

②については、例えば昭和 50 年代以前に建設された構造物でのアルカリシリカ反応等が該当する。これらは、当初から想定することは困難であったが、現在の技術では十分に想定でき得るので、コンクリート構造物の維持管理においてはこのようなシナリオで劣化が進行する可能性を考えることが必要になる。

③については、例えば昭和初期に建設されたコンクリート構造物において、セメントを節約するために混和された珪藻土が原因となってコンクリートが軟化した例や、補修材に含まれる成分に起因した thaumasite 劣化により補修材が軟化した例等がある。このように、想定されていないシナリオで劣化を生じること実構造物においてはしばしば見られるので、現場における技術者の気づきが重要になる。

④については、①～③に明確に分類しきれないもの等が該当する。例えば、状況により①にも②にもなるシナリオとして、除塩不十分な海砂の使用による塩害や、かぶり不足による鋼材腐食やかぶりコンクリートの剥落等があげられる。また、状況により②にも③にもなるシナリオとして、水の影響によるコンクリートの劣化や鋼材腐食、新しい構造物でのアルカリシリカ反応、遅れエトリンサイト生成（DEF）によるコンクリート構造物の劣化等があげられる。

①はシナリオとして設定されやすいが、予測技術が進んでいないシナリオに対しては対応が遅れやすい可能性がある。また、③があることに留意する必要がある。このことは、既往の劣化機構に当てはめるのではなく、技術者が考えることが重要であることを示している。

3.3 現場調査手順

インフラドックのシナリオとして、実際の現場における調査の進め方は様々であるが、一般的には日常的・定期的な点検から始まり、何らかの事象が確認された場合や一定の周期で実施する一次調査、劣化や損傷の程度や原因を把握し、将来的な予測や対策を検討するための二次調査、三次調査へと進んでいく。その他、事故や災害時などの偶発的な要因による点検・調査が実施される場合もある。調査の手法も調査の段階によって異なる。日常点検や一次調査では目視調査が主体であり、目視調査とそれを補完するための簡単な計測程度が行われる。二次調査以降では原因推定や定量化のための調査となるが、初期の段階では非破壊試験や微破壊試験を活用した方法

が適用されるが、調査精度の確保や分析・評価の手法によっては、コア採取やはつり調査が必要な場合が生じる。

調査の箇所やサンプル数の考え方についても、目視調査では、見え掛かりもそうでない箇所も含めてできるだけ広範囲の調査を行うのに対し、一次調査、二次調査へと進んでいくほど調査の箇所が限定され、できるだけ目立たないような場所が選定される。サンプル数も必要最低限の数量となり、やむを得ない場合に限りサンプル数を追加することになる。このように、調査のレベルに応じて、調査の方法、範囲、数量等が異なってくる。つまり、インフラドックとして実施する調査についても、様々なレベルがあり調査の実施者も異なる。

マンションの場合を例にとると、一次調査では、建築の技術者であるものの必ずしもコンクリート工学の専門的な技術者ではない場合も多い。特に建築物の場合にはコンクリート躯体、仕上材、設備など様々な要素を少ない人数で調査するため、コンクリート工学の専門家ではなく建築士が調査を実施している場合も多い。二次調査や三次調査の段階では、専門的な知識を持った技術者が実施することが多く、調査・診断の専門業者やゼネコンの技術者等が実施する場合が多い。さらに、特殊な原因であったり高度な対策を要する場合には、高度な知識・経験を有する技術者・有識者などによって検討が行われる場合もある。

3.4 調査事例にみる簡易なインフラドックの例

報告書では市民等による道路の維持管理の一例として長崎県の道守の事例⁴⁾を紹介している。観光立県を推進する長崎県では、教会群等の観光資源が半島や離島に点在し、それらを結ぶ多数の渡海橋や港湾等のインフラ構造物の老朽化が進行している。この問題を解決すべく長崎大学は長崎県と連携して、科学技術戦略推進費事業によりインフラの維持管理を担う技術者の養成を開始した。図-4に実施例を示す。

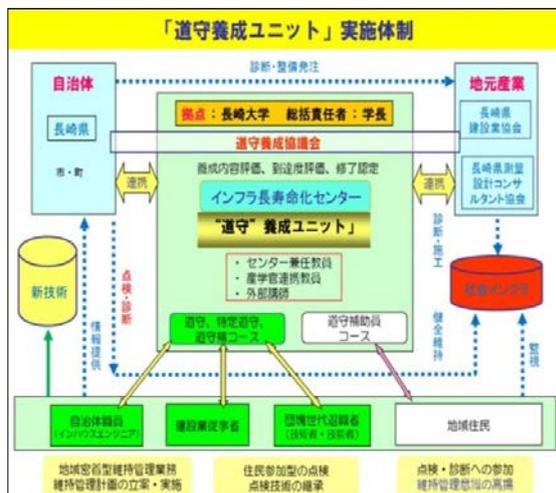


図-4 道守養成講座の実施体制

身近なインフラ構造物の異常を発見し、スマートフォンやPCを活用して道路管理者に報告を行う「道守ポータル」の活用も行っており、県内の安全安心な社会の形成に貢献している。これらの取り組みは、インフラの維持管理における人材不足を解決するために長崎県で独自に実施されたものであり、全国的にも極めて先駆的な取り組みである。

長崎大学インフラ長寿命化センターでは、道守講座修了者が道路構造物の不具合や変状を発見した際には、Faxやeメールでインフラ長寿命化センターに道守シートを通報する異常通報システムを構築している。この通報システムは、インフラ長寿命化センターが道守修了者から通報を受けるとすぐに管理者に連絡し、補修が修了すると管理者から補修終了の連絡を受け、その結果を通報者にフィードバックするシステムである。このような事例は地域住民が社会資本ストックを維持管理する公共サービス参加という観点から画期的な取り組みと言える。

3.5 インフラドックのシナリオの検討

本委員会でもとりまとめた事例からインフラドックのシナリオ（モデルケース）の検討を行うため、それぞれの事例について「技術者の気づき」、「調査・分析」、「モニタリング」などの観点から事例の分析・整理を行った。

表-4 ビルの調査項目例

調査項目	調査時期	
	1回目 (竣工後 10年程度)	2回目以降 (竣工後 20年以上)
書類調査、アンケート調査	●	●
目視調査（打診含む）	●	● (足場を使用す)
付着力調査	●：塗装 (○：タイル)	●
コンクリート圧縮強度調査	—	○
コンクリート中性化深さ調査	○	● (●：打放し)
鉄筋腐食度調査	—	○

●：必ず実施する。あるいは実施することが多い。
○：必要に応じて（劣化、損傷状況に応じて）実施する。

現在までの建築物の場合は、大規模修繕工事前に劣化状況を把握し、工事の具体的な計画の検討を行うための

基礎資料を得ることを主な目的として点検を実施する
 場合が多い。また、ひび割れなどの損傷の原因を明確にし
 たい場合も専門技術者による詳細調査が必要になる。

表—4 に建築物での竣工後 1 回目の場合（竣工後 10
 年程度）と、2 回目以降となる場合（竣工後 20 年以上
 経過）の調査項目例ならびに調査結果例を示す。

これらを参考に、報告書ではいくつかのモデルケース
 について、インフラドックのシナリオを想定し、それに
 あわせたセットメニュー（調査体制、方法、時期等の標
 準的なもの）を検討している。その考慮点は、

- ・ 建築物（マンション）、土木構造物（海上橋梁等）を
 想定（各スペックは標準的なものを想定）
 - ・ シナリオのパターンとして、
- ① 比較的マイルドな劣化進行（劣化要因は中性化、乾燥
 収縮ひび割れ程度）
 - ② 劣化環境下に置かれるもの（例えば、塩害が想定され
 る港湾構造物）
 - ③ すでに劣化事象が顕在化したもの（腐食ひび割れ発生
 等）の維持管理

表—5 ビルのインフラドックのメニュー例

現地検査の種類	① 目視調査を 主にしたもの	② 物性調査を含 むもの
検査内容	日帰りコース	1 泊コース
検査項目 の例	1) 資料調査、 聴き取り調査 2) 目視打診調 査 3) データ整理、 報告書作成	1) 資料調査、聴 き取り調査 2) 目視打診調 査 3) コンクリート 圧縮強度調査（9 本） 4) コンクリート 中性化深さ（9 本 ＋ 3 箇所） 5) コンクリート 含有塩分量調査 （3 試料） 6) 鉄筋腐食度調 査（3 箇所） 7) データ整理、 報告書作成
概算費用	■30 万円	■140 万円前後

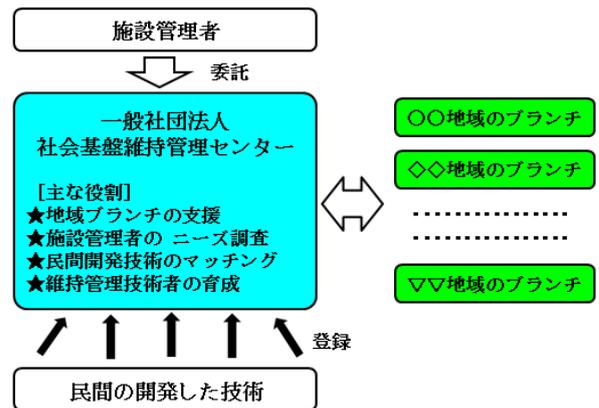
この他に、調査の時期と時期ごとの調査内容、範囲、
 変状が確認された場合の対応、想定外の事象が起きた場
 合の対応、将来的な長期の調査計画、さらにコスト的な
 検討も試みている。参考としたのは FS 委員会で提案し
 た表—5 のようなメニュー例である。

4. インフラドックの仕組み構築と支える人材の育成

4.1 提案するインフラドックの概要

提案するインフラドックは、施設管理者の委託を受け
 て、コンクリート構造物の点検、診断、評価を実施する
 ことを想定した機関である。その組織は、図—5 に示す
 ように実施機関である地域に分散している地域ブランチ
 と支援機関として全国のブランチをとりまとめる社会基
 盤維持管理センターで構成されている。地域のブランチ
 は、先端技術や処理技術を導入して日常点検の無人化・
 機械化を進めること、インフラドクターによる評価会議
 を招集することなどの役割を担う。インフラドクターは、
 地域の大学や工業高校の教員、自治体職員、建設産業関
 連の技術者およびブランチの職員で構成されており、構
 造物の健全性診断書を作成する。

近年、地方自治体のインフラに対する危機意識を反映
 して、前述のように「橋守」や「道守」のような組織が
 全国に多数存在する。これら地域の小さなグループを非
 営利団体として組織化することで、課題のひとつである
 「国民の理解と協力」の解決策に繋がると考えている。



図—5 インフラドックの組織（案）

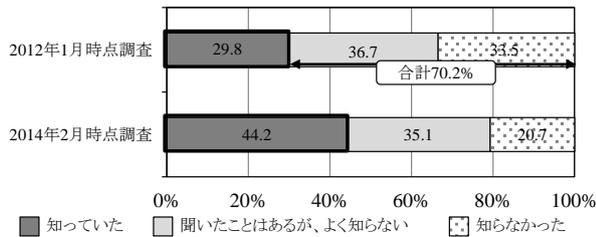
4.2 インフラドックが解決すべき課題

社会インフラの老朽化問題において常に背景にある
 のが、維持管理費の増大に対する建設投資額の減少と技
 術者不足の問題である。ここでは、維持管理費の多くが
 税金により賄われている事実に基づいて税金を負担して
 いる国民の意識調査結果を解説する。

図—6 は、社会インフラの老朽化が国民にどの程度認
 知されているかを示すものである。図に示すように 2012

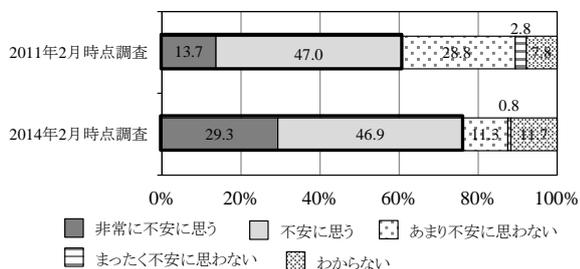
年1月時点では約7割の回答者が十分な認識を持っていないことがわかる。しかし、2012年12月2日に起きた笹子トンネル天井板落下事故を経験した後の2014年2月時点の調査では、国民の社会インフラの老朽化に対する関心は高まりつつあるが、まだ半数以上の国民には認知されていないともいえる。

我が国では、これまでに多くの社会資本が整備され生活が豊かになった半面、施設の老朽化により、今後多くの施設が更新時期を迎えます。あなたは、社会資本に老朽化の問題があることを知っていましたか。(ひとつだけ)



図一六 社会インフラの老朽化の問題の認知度⁵⁾

一方、図一七は、老朽化する社会インフラへの今後の不安について表したものであり、これも笹子トンネルの事故以降、不安に思う人の割合が7割以上と高くなっていることが分かる。



図一七 社会インフラの今後について不安に思う程度⁵⁾

実際には、笹子トンネル事故よりも以前に、コンクリート構造物の維持管理の重要性を認識させる契機となった事故があった。それは、1999年に発生した山陽新幹線福岡トンネルの覆工コンクリート剥落事故である。JR西日本では、事故の原因のひとつとして「コンクリートの維持管理に関する専門知識を有した人材が少ない」との認識を踏まえ、コンクリートの補修材料、補修工法に関して品質向上を目的に、一定の知識を有する技術者を工事現場に常駐させるコンクリート補修施工管理技士制度を発足させ、約1,000人の有資格者を誕生させている⁶⁾。これからわかるように、インフラドック制度の構築には、人材育成の問題を避けては通れない。

4.3 コンクリート診断士の課題

日本コンクリート工学会のコンクリート診断士制度が発足したのは2001年であり、福岡トンネルの事故が起

きた1999年時点では発足していない。コンクリート診断士は、2014年4月1日現在10,500人誕生している。もしも、福岡トンネルの事故当時に「コンクリート診断士」が存在していても、JR西日本は「コンクリート補修施工管理技士」制度を発足させていたものと推察される。ここに、コンクリート診断士が抱えている課題があると考えている。

コンクリート診断士は、コンクリート補修施工管理技士に求められている「コンクリートの維持管理に関する専門知識」を十分に備えているものと思われる。しかし、同じ維持管理であっても構造物の種類、利用状況、置かれた環境などにより要求性能が異なる。したがって、施設管理者は、対象となる構造物を専門としてきたか、数多くの構造物を経験している人材が望ましい。また、コンクリート診断士の力を借りようと思っても、どこと連絡を取ればよいのか分からない面も多いものと思われる。そこで、次の2つの課題が指摘できる。

【課題一】

コンクリート診断士にコンクリート診断技術を核にして、今後も増加することが予測される施設管理者独自の資格も併せ取得するための計画的で実践的なプログラムを準備することが必要である。

【課題二】

インフラドックの組織である社会基盤維持管理センターや地域のブランチのように、コンクリート診断士を支援する機関が必要である。コンクリート診断士会に支援機関となることを期待したい。そのためには経営感覚やマネジメントに秀でた人材の育成が課題となる。

インフラドックを軌道に乗せるためには、車の車検制度が参考になる。車は2~3年に1度の自動車検査登録制度(車検)が義務付けられ、怠るとその車は公道を走ることには許されない。人によっては面倒と感じる車検制度であるが、道路走行の安全・安心の一端を担っている。この安全・安心を生む制度が車のマーケット形成に一役買ったとも言える。インフラドックは、車検制度と同様、社会インフラや集合住宅などに安全・安心を提供するもので、いずれ車検同様制度化されることが望ましい。

建設業やコンクリート製品メーカーに代表される建設産業は、どこの地域にも存在する。インフラドックは、建設産業を活用して地域の活性化もめざしている。「橋守」や「道守」などで先駆的な地域で試験的にインフラドックの取り組みをスタートさせることが望ましい。そして、国、地方自治体などの支援を受けてモデル地域としてあるべき姿に近づけることを考えている。

5. あとがき

本委員会は、2012年にFS委員会として設置され、2013

年から2年間の研究委員会としての活動を含めて3年間に及んだ。この間に、FS委員会のまとめとして2013年3月12日に京都大学東京オフィスでJCIフォーラム「インフラドック制度への期待」を開催し、パネル討論を行うじて今後の活動について議論した。

国際的には、海外通信委員 C.Grosse 教授【ミュンヘン工科大】および M.C.Forde 教授【エディンバラ大学】との連携・協力に基づいて、国際集会 6th Kumamoto International Workshop on Acoustic Emission Fracture and NDE in Concrete - KIFA-6 を2013年9月に熊本で委員会の協力で開催した。2014年7月には、M.C.Forde 教授が主催する Structural Fault & Repair 2014, London において、大津委員長に依頼があり委員会でのインフラドックに関する内容を Keynote として “Toward Establishment of Infra-Dock for Concrete Structure” の講演を行った。さらに、2015年5月には Vrije Universiteit Brussel (ベルギー) で開催予定の 6th International Conference on Emerging Technology in Nondestructive Testing (ETNDT6) において大津委員長による Plenary Lecture として “Basics and Applications of NDE based on Elastodynamics toward Infra-Dock for Concrete Structures” の招待講演が予定されている。

このように国内外において活発な成果の公表に努めた。そして、本委員会の最終報告会は、「コンクリート構造物の最先端診断技術に関するシンポジウム」と共催で7月30日(木)に東京理科大学 森戸記念館で開催予定である。

参考文献

- 1) 日本コンクリート工学会編：コンクリート診断技術’14 応用編，日本コンクリート工学会，2014
- 2) 友澤史紀：建築の寿命に対する考え方，建築雑誌，pp.8-9，2002. 10
- 3) 土木学会：続・材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能，コンクリート技術シリーズ 85，2009
- 4) インフラ長寿命化センター編：長崎の地域特性を考慮したインフラ再生技術者育成のためのカリキュラム構築，平成 26 年度「成長分野における中核的専門人材養成等の戦略推進事業」2015.2
- 5) 国土交通省「国民意識調査」，2014
- 6) 恒尾 徹，荒巻 智：山陽新幹線高架橋の維持管理，コンクリート工学，Vol. 46, No.9, pp.46-50, 2008.9