

社会基盤を支える コンクリート構造物の安全性と耐久性

横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院 准教授

細田 暁 Akira Hosoda

1. 社会基盤を支える コンクリート構造物の 安全性

わが国の地形による特徴、すなわち、急峻な山岳地帯が多く、大小の河川が無数にあり、周囲を海に囲まれていることにより、道路や鉄道などの社会基盤構造物には橋梁、トンネルの割合が多くなる。これらの構造物なしに、人と物を大量に運ぶための道路ネットワークや、特に人を大量に高速に運ぶことのできる鉄道ネットワークは成り立たない。そして、これらのネットワークは平時の国家の活力を担保するだけでなく、2011年3月の東日本大震災における救出活動や応急復旧、そして復興にも不可欠であることが明らかとなった。

古代ローマ帝国が帝国の防衛のためにローマ街道網を整備し、それが経済の発展にも大きく寄与したことは広く知られている。

わが国にコンクリート構造物を建設する際

は、当然に地震に十分な抵抗性を与える必要がある。1923年の関東大震災以降、明確に設計で地震による水平力を考慮するようになった。土木分野のコンクリート構造物では、1978年の宮城県沖地震を契機に許容せん断応力度が池田尚治横浜国立大学名誉教授らの英断により大きく低減され、鉄道構造物等設計標準・同解説(1983年版)では陰な形で、土木学会コンクリート標準示方書(1986年版)では陽な形で、主鉄筋が降伏した後の変形によるエネルギー吸収を考慮した耐震設計法へと進化してきた。

1995年の阪神大震災で多くのコンクリート構造物が被害を受けた(写真1)が、上記の耐震設計法の改善は有効であったことも証明され、さらに耐震性能の要求水準が高まった。いわゆる既存不適格の構造物は、最新の設計基準を参照して耐震補強が鋭意進められている。1995年、2004年、2011年などの大地震において、これらの耐震補強の効果が確認され

写真1 阪神大震災における鉄道構造物の壊滅的な被害の例



写真2 東日本大震災の津波で流失した長さ40mの
プレストレストコンクリート橋梁(人物は筆者)



ている。2004年の新潟県中越地震では、上越新幹線の「とき」が脱線したが、実はこの新幹線が走行していたコンクリート構造物は耐震補強が行なわれており、もし行なわれていなかった場合にどのような事態になっていたかを指摘する専門家は多くはない。土木技術者のまさに縁の下の力持ち的な日夜の努力を国民は知るべきであるし、忘れてはならない。

2011年の東日本大震災では、多くの橋梁が津波により流失するという大被害を受けた(写真2)。津波の浸水域に存在した252もの橋梁で橋げたの流失などの甚大な被害が生じた。耐震補強により津波による被害を免れたものも認められたが、津波による被害の機構解明と耐津波設計や補強方法の検討が、土木学会でも進められている。

わが国において、地震、津波は大きな脅威であるが、そのために設計思想や技術が進歩してきたとも言える。

2. 施工の影響を大きく受ける コンクリート構造物の品質

国民の安全と国土・経済の発展に不可欠なコンクリート構造物であるが、コンクリートは難しい材料である。コンクリートはセメントと水を練り混ぜたセメントペーストに、砂、砂利が加わったものであるが、セメントと水の化学反応である水和反応は、常温・常圧で

ゆっくりと進行するありがたい反応である。この反応のおかげで、我々はコンクリートを生コンクリート工場で練り混ぜ、アジテータ車で現場に運搬し、構造物を造るための型枠の中に打込むことで造ることができる。型枠さえあれば、任意の形状を作製可能と言ってよい。非常に便利な材料である。

物事には必ず両面がある。便利であり、誰でも造ることができるため、施工の影響を受けるのである。生コンクリートの性能はJISで保証されているものの、計量誤差やミス、材料の誤使用なども無いとは言えない。生コンクリートの段階で硬化後の種々の長期間に渡る性能を適切に評価することは非常に困難であり、今でも研究が重ねられている。さらに、施工が不適切な場合は、構造物が初期段階で持つ性能は大きく損ねられてしまう。

コンクリートと人のアナロジーを用いるなら、所定の性能を持つように工場で練り混ぜられた段階が「誕生」、現場に運搬されて型枠に打込まれて落ち着くまでの段階が「幼少期～小学校」、現場で養生される段階が「中学校～大学」、供用される段階が「社会人」と思っている。厳しい荒波の社会でも大活躍できる社会人のように、厳しい環境作用の下でも簡単に劣化せずに社会基盤としての性能をしっかりと発揮できる構造物を造らねばならない。そうでない場合は、逆に国民に負担を強いることになる。

3. コンクリート構造物の 完成後の表層品質の 評価手法

コンクリート構造物の耐久性を確保するためには、構造物の骨である鉄筋をまもるための皮膚と言える、かぶりコンクリートの厚さがしっかりと確保されることと、かぶりが十分に緻密であり、劣化因子が容易に侵入でき

ないことが必要である。さらに、砂や砂利などの骨材に起因する劣化や、セメント中のアルカリ分などに起因するアルカリ骨材反応などもあり、様々な環境において長期間における耐久性を確保するのは容易ではない。

かぶり厚さを測定する様々な非破壊試験の開発、実務への適用が鋭意進められている。コンクリート構造物の劣化のほとんどには、液体の水が関与するため、私の研究グループでは、コンクリート構造物の表面から完全非破壊で容易に測定のできる、表面吸水試験装置を開発し、表面吸水試験によるかぶりの緻密さ(表層品質)の評価方法の研究を日夜行っている¹⁾。また、究極の非破壊試験と言える目視評価法も開発し、実構造物での品質評価に活用している²⁾。

人間は誰かから見られていたり、「適切に」評価される仕組みでは全力で仕事をするものである。コンクリート構造物の品質、性能を評価する手法の開発、実務への適用が、適切な材料が用いられ、適切な施工がなされることにつながるよう、全体のシステムを構築する必要がある。

高等な診断技術も重要であるが、とにかくコンクリート構造物の数は膨大である。目視等による日常点検は今後ますます重要になるであろうし、劣化しないための予防保全が最重要である。人間の歯の機能を保つために、毎日の適切な歯磨きが最重要であるのと同じである。また、そもそも劣化が生じにくいように設計・施工に適切にフィードバックすることが非常に重要である。

4. 山口県のひび割れ抑制システムによるコンクリート構造物の品質向上

山口県では、コンクリート構造物の施工中

に発生する温度ひび割れ^{※1}を抑制するシステムを構築した³⁾。山口県がシステムの構築に着手した最大の要因は、県内建設業界からの発注者への強い要請であった。発注者は、工事の発注にあたって仕様を示し、施工中に監督し、引き取る前に検査するという役割を持ち、それぞれを適正かつ迅速に遂行する能力を求められている。しかしながら、ひび割れに関わる問題は、建設業者にとってコスト管理や工程管理に大きな負荷を生じさせるため、発注者に対する不満と不信が顕在化したと考えられる。

山口県は、この問題に対して真正面から取り組み、実構造物のデータを積み重ねたデータベースを活用し、産官学の「協働」により解決への道を歩むことになる。

平成17年度に、実構造物で種々のひび割れ抑制対策の効果を調べる「試験施工」が始まった。この試験施工では、「施工の基本事項を遵守すること」の重要性が浮き彫りになったことが大きな成果の一つであった。多くの関係者が注目する実構造物での試験施工が始まった途端に、不適切な施工に起因すると思われる、ある種のひび割れが激減し、また同時にかぶりコンクリートの品質が大幅に向上したのである。構造物の耐久性は大幅に向上するものと期待される。

一方で、「施工由来のひび割れ」がほぼ根絶されたとしても、多くの温度ひび割れが構造物に発生する事実が浮き彫りになり、このようなひび割れを防止したり、無害なひび割れに抑制するためには、設計段階で十分に検討することが必要なことを関係者が認識した。

山口県のひび割れ抑制システムは、施工者の努力で根絶すべきひび割れと、発注者も積極的に関与して設計段階から抑制を検討すべきひび割れとを仕分けをすべきであることを、実構造物から得られたデータにより明示した点が特筆すべき特徴である。

※1
温度ひび割れ
セメントの水和反応で発生する水和熱により施工中に発生するひび割れで、構造物の耐久性を損ねる。

図1 山口県のひび割れ抑制システムのフロー

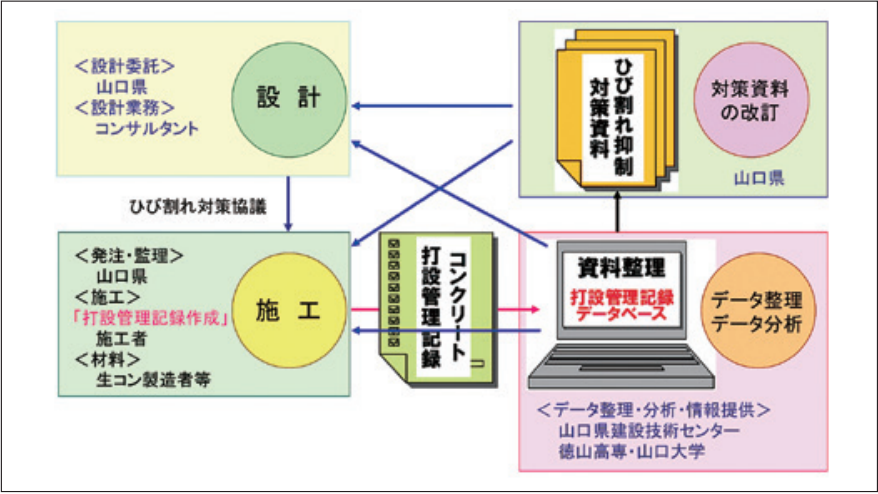


図2 山口県のひび割れ抑制システムで用いられている施工状況把握チェックシート

【 施 工 状 況 把 握 チェックシート（コンクリート打込み時）】									
事務所名	〇〇土木建築事務所			工事名	県道〇〇線 道路改良工事		工区	1	
構造物名	〇〇橋 A1橋台			部位	たて壁		リフト	2	
受注者	〇〇建設（株）			確認者	〇〇技師				
配合	27-8-20BB			確認日時	2012/10/11（木） 7:30～13:30				
打込み開始時刻	予定	8:00	実績	9:10	打込み開始時気温	22.0℃	天候	曇のち晴	
打込み終了時刻	予定	12:00	実績	13:30	打込み量（m ³ ）	100	リフト高（m）	3.0	
施工段階	チェック項目							記述	確認
準備	運搬装置・打込み設備は汚れていないか。							—	○
	型枠面は湿らせているか。							—	○
	型枠内部に、木屑や結束線等の異物はないか。							—	※1
	かぶり内に結束線はないか。							—	○
	硬化したコンクリートの表面のレイタンス等を取り除き、ぬらしているか。							—	○
	コンクリート打込み作業人員 ^{（※）} に余裕を持たせているか。							8人	○
	予備のバイブレータを準備しているか。							4台中1台	○
	発電機のトラブルがないよう、事前にチェックをしているか。							—	○
運搬	練り混ぜてから打ち終わるまでの時間は適切であるか。							50分	○
打込み	ポンプや配管内面の潤滑性を確保するため、先送りモルタルの圧送等の処置を施しているか。							—	○
	鉄筋や型枠は乱れていないか。							—	○
	横移動が不要となる適切な位置に、コンクリートを垂直に降ろしているか。							—	○
	コンクリートは、打込みが完了するまで連続して打ち込んでいるか。							—	○
	コンクリートの表面が水平になるように打ち込んでいるか。							—	○
	一層の高さは、50cm以下としているか。							50cm	○
	2層以上に分けて打ち込む場合は、上層のコンクリートの打込みは、下層のコンクリートが固まり始める前に行っているか。							—	○
	ポンプ配管等の吐出口から打込み面までの高さは、1.5m以下としているか。							約1.8m	※2
締固め	表面にブリーディング水がある場合には、これを取り除いてからコンクリートを打ち込んでいるか。							—	○
	バイブレータを下層のコンクリートに10cm程度挿入しているか。							—	○
	バイブレータを鉛直に挿入し、挿入間隔は50cm以下としているか。							—	○
	締固め作業中に、バイブレータを鉄筋等に接触させていないか。							—	○
	バイブレータでコンクリートを横移動させていないか。							—	○
	バイブレータは、穴が残らないように徐々に引き抜いているか。							—	○
	硬化を始めるまでに乾燥するおそれがある場合は、シートなどで日よけや風よけを設けているか。							—	○
	コンクリートの露出面を湿润状態に保っているか。							—	○
養生	湿润状態を保つ期間は適切であるか。							10日間	○
	型枠および支保工の取外しは、コンクリートが必要な強度に達した後であるか。							—	○
要改善事項等	※1 型枠内部に結束線（3本）が落ちていたため、打込み前に取り除かせた。								
	※2 排出口から打込み面までの高さが、明らかに1.5m以上であるため、口頭で注意したところ、是正された。								
上記※1、※2については是正を確認するため、次回打込み時も施工状況把握を行うことを、工事打合せ簿にて通知する。									
※コンクリート打込み作業人員・・・コンクリートの打込み・締固め作業時の人員のうち、直接作業に携わらない者（監理・主任技術者やポンプ車運転手等）を除いた人員									

ひび割れ抑制システム(図1)では、施工者は、構造諸元や、ひび割れ幅を抑制するための補強鉄筋の追加や膨張材の使用等の採用されたひび割れ抑制対策、コンクリート材料の情報、打込み時の諸条件、打込み後に部材中に埋め込まれたセンサーで計測されたコンクリートの温度履歴、発生したひび割れの諸情報等を含むコンクリートの施工記録を提出する。施工記録はデータベースとして山口県のHPで公開されている。このデータベースを分析した結果に基づいて、ひび割れ抑制対策が対策資料としてまとめられている。ひび割れ抑制対策に基づいて、新たな構造物を設計する際にひび割れ抑制の検討がなされるPDCAシステムである。

施工の基本事項の遵守を達成するために、様々な工夫がなされているが、その一つが「施工状況把握チェックシート」という27項目からなる打込み時の監督員が用いるチェックシート(図2)である。学会の規準類等に記載されている膨大な施工の基本事項群からA4一枚に収まるように27項目を抽出し、監督員がこのチェックシートを持って打込みに立ち会う仕掛けを開発した。言わば、規準類と現場をつなぐシートである。山口県のシステムは、今後、わが国の建設マネジメントを考える上で大いにヒントとなるであろう。

5. 東北の復興道路の品質確保

東北の太平洋沿岸および内陸に復興道路と復興支援道路の建設が行なわれている。平成25年度から「建設ラッシュ」が始まり、多くの橋梁やトンネルなどの構造物が構築される。良質な材料の確保(特に砂)が容易でないこと、生コンクリートの安定的な供給が容易でないことや、発注者、施工者に余裕が無い状態で建設が短期間で行われる状況にあると

認識している。

私たちは、4章で詳述した山口県のひび割れ抑制システムの中の、特に「施工の基本事項の遵守」を達成している仕掛けを、東北の構造物の品質確保に応用すべきと考えており、関係者と連携して実践段階に入ろうとしている。環境条件や使用材料、対象の構造物の構造形式も異なるので、柔軟に対応しながら応用を実践する必要がある。

また、基本事項を遵守した施工がなされたとしても、材料に何らかの問題が仮にある場合には、緻密な表層品質を達成できない場合が生じられると思われる。その際には、施工後に表層品質を向上させる補修技術を試したり、次の構造物の設計、施工で工夫を行い、その結果得られる表層品質を評価して、PDCAシステムを構築すべきであると考えている。

これまでの膨大な研究で蓄積されてきた種々の知見や、要素技術を結集し、まさにオープンイノベーションで、実構造物群の品質確保を達成し、そこで鍛えられた人財や技術が、わが国のコンクリート工学や建設マネジメントをリードすることになるであろう。そうなるように、この機会を活かすべきである。

参考文献

- 1) 林 和彦, 細田 暁: 表面吸水試験によるコンクリート構造物の表層品質の評価方法に関する基礎的研究, 土木学会論文集 E2, Vol.26, No.1, pp.82-97, 2013
- 2) 細田 暁, 坂田 昇, 田村隆弘, 二宮 純: 目視評価を活用した山口県のひび割れ抑制システムによる表層品質向上の分析, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, 2013 (掲載決定)
- 3) 細田 暁, 田村隆弘, 二宮 純: 山口県のひび割れ抑制システムによる各プレーヤーの技術力の向上, 土木技術, 第 67 巻第 10 号, pp.33-38, 2012.10

はそた●あきら

2001年東京大学大学院博士課程修了。JR東日本構造技術センターで実務に従事した後、2003年10月横浜国立大学助教授。コンクリート構造物の耐久性や維持管理に関する研究を基軸に、建設マネジメントや地域の防災力向上のための研究を展開。