

平成 20 年度土木学会重点研究（研究助成金）

「歴代既存構造物による施工法変遷の影響検証と LCC 最適化に向けた品質検査制度の導入」

成果報告書（概要版）

研究代表者 岸 利治（東京大学生産技術研究所）

1. はじめに

現在の近代化された施工システムは、構造物の建設プロセスの経済合理性を飛躍的に高めたが、その一方で、標準的な施工技術と施工努力のみによって、従前通りの品質と性能が実現されているとの確証は十分ではない。現状の制度では、標準的な施工とプロセス検査および圧縮強度の確認によって十分な耐久性能が実現できることを想定しているが、竣工時における耐久性能の検査は十分とはいえない。仮に、施工の効率性とコンクリートの達成品質のトレードオフが生じているとすれば、まず、その事実を定量的に検証し、共通認識として持つことが必要である。そこで、耐久性の高い歴史的構造物から、それぞれの時代における標準的な施工によって建設された一般的な構造物までの多様なコンクリートを対象として、それらの品質の実態と耐久性能を明らかにし、圧縮強度の確認だけでは保証できない耐久性能の竣工時検証の必要性を明確化し、竣工時に求められる新たな品質検査制度の導入に繋げる提案を行うことが本研究の目的である。

写真-1 に示す信楽高原鐵道の第一大戸川橋梁は、我が国初の本格的ポストテンション PC 桁を採用した鉄道橋であり、1954 年に旧日本国有鐵道により架設された。日常の目視点検以外は、50 年以上にわたり、ほぼメンテナンスフリーで供用され続けてきた第一大戸川橋梁のライフサイクルコスト（LCC）は、必ずしも財務状況にゆとりがあるとはいえない中小の地方鐵道にとって、極めて理想的なものであることに疑いの余地はない。しかし、このように優れた耐久性能は、現在の標準的な施工方法とは少なからず異なる方法で実現されたものであり、現状で同様の品質が達成可能であることの保証はない。その一方で、



写真-1 信楽高原鐵道第一大戸川橋梁

中性化の進行が著しく早い経年 10 年に満たない PC 桁の調査報告もある。ほぼ同一の圧縮強度を有する同様の PC 構造物であっても、その品質と耐久性能は大きく異なっており、現状の検査体制では、十分な耐久性能を有していない構造物が看過される事態が懸念される。そこで、まず、多様な既存構造物のコンクリート品質の実態を定量的に明らかにするために、多くの現地調査を実施した。そして、竣工時点で品質と耐久性能を検証することの必要性を明確にすることの意義について確認した。また、構造物表層コンクリートの品質の相違を踏まえた劣化シナリオおよびライフサイクルコスト（LCC）の相違について幾つかの異なる状況を想定した試算を行い、表層品質確認とその相違を考慮した LCC 評価の重要性を指摘した。

なお、これらの調査研究活動は、重点研究課題の採択を受けて、コンクリート委員会内に「歴代構造物品質評価 / 品質検査制度研究小委員会（JSCE216 委員会）」を設置して実施したものである。

2. 既設構造物の調査概要

既設コンクリート構造物の表層品質の多様性を確認するために、表-1 に示す 27 構造物 / 部材の現地調査を 2008 年度中に精力的に実施した。現地調査では、外観検査、表層透気、表層吸水、テストハンマー、表層含水率、内部含水率等の各試験を実施し、室内分析用のコア採取を行い、中性化深さを確認した。

表-1 本研究課題で2008年度に実施した現地調査構造物一覧表(コンクリート216委員会)

番号	名称	構造物 施工情報		構造物種別	特 徴	設計 or 推定 W/C	圧縮 強度	調査日
		施工	経年			(%)	(kg/cm ³)	開始
1	第一大戸川橋梁 (第二次調査)	1954	54	鉄道橋PC桁 型	1954年に施工された日本最初のポステンPC鉄道橋。経年50年超の現在でも健全	36	450	2008/5/8
2	第一大戸川橋梁 橋台	1954	54	重力式橋台	PC桁と同時期に施工された一般的なコンクリート構造物	60~65	30~37	2008/5/8
3	第一大戸川橋梁 旧橋台	1933	75	鉄道橋重力式橋台	1933年に施工された開業当時のコンクリート構造物(桁改築後土留壁として存置)	不明		2008/5/8
4	トンネル覆工N	1915	93	鉄道トンネル覆工	我が国コンクリート創世記に施工された経年約100年のコンクリート覆工	不明		2008/6/26
5	撤去PC桁A	1966	42	道路橋PCポステン桁	実際に使用されていた比較的古いPC構造物	37	61.5 N/mm ²	2008/7/15
6	繊維プレテン 試験体	1990	18	歩道橋PCプレテン 暴露試験桁	経年20年程度のPCコンクリートで繊維緊張材を使用した試験体	45		2008/7/15
7	RC軌道桁	1975	33	鉄道(リニア) RC軌道桁	施工年代が1975年頃であり、いわゆるコンクリート不遇時代のRC構造物	不明		2008/7/25
8	RC橋脚A	1975	33	鉄道橋RC橋脚	施工年代が1975年頃であり所謂コンクリート不遇時代のコンクリート	55程度		2008/7/25
9	撤去PC桁B	1967	41	道路橋プレテン桁	結構古いPC桁であり架け替えのため撤去されて試験施設内に存置されている	不明	400	2008/8/8
10	RC橋脚B	1971	37	道路橋RC橋脚	一般的な道路橋橋脚			2008/8/12
11	RC橋脚C	1995	13	道路橋RC橋脚	一般的な道路橋橋脚			2008/8/12
12	撤去PC桁C	1951	57	道路橋PC桁	日本で最初の道路PC桁	32~35	63.9 N/mm ²	2008/8/21
13	撤去PC桁D	1953	55	鉄道橋PC桁	日本で最初の鉄道PC桁	33	678	2008/8/21
14	PC試験桁	2004	4	道路橋PC鋼製 波形ウェブ桁	波形ウェブでの載荷試験体	39.7	50 N/mm ²	2008/8/21
15	トンネル 覆工O	1934	74	鉄道トンネル覆工	昭和9年に施工された経年約70年のコンクリート覆工	不明		2008/8/22
16	アーチ橋	1941	67	鉄道アーチ橋	資材が不足していた時代のコンクリート構造物	55	120	2008/9/13
17	ダム提体A	1963	45	アーチ提体ダム	戦後巨大ダムの監査廊コンクリート			2008/10/18
18	ダム提体B	1940	68	アーチ提体ダム	戦前巨大ダムの監査廊コンクリート			2008/10/18
19	RC橋脚D	1965	43	RC橋脚	経年40年程度で九州地区の一般的な構造物			2008/11/13
20	トンネル 覆工K	2007	1	新設トンネル覆工 コンクリート(未供用)	未供用の新設覆工コンクリート			2008/11/14
21	トンネル 覆工ST	2005	3	2車線トンネル覆工 (供用中)	供用済みの新設覆工コンクリート			2008/11/14
22	高架橋H-K	1952	56	ラーメン高架橋柱	戦後の一般的な鉄道構造物			2008/11/29
23	高架橋K	2006	2	ラーメン高架橋	新設時にひび割れが生じた構造物			2008/12/1
24	橋台S	1983頃	約25	マスコンクリート	巨大なコンクリート構造物			2008/12/12
25	橋脚O	1942	66	9連のRCローゼ橋	アーチから桁を吊る鋼線をコンクリートで巻いた構造物			2008/12/13
26	撤去桁K	1923	86	鉄骨鉄筋コンクリート桁	沖縄県で最も古いコンクリート			2009/1/12
27	護岸K	2000	9	海洋護岸	フライアッシュを試験配合した実構造物			2009/1/13

2.1 コンクリート表層の物質透過性指標と強度指標の比較

コンクリート標準示方書設計編に従って、要求される耐久性を満足するように設定されたコンクリートの品質は、主に W/C といった代表パラメータによって配合設計上担保され、施工においてはフレッシュコンクリートや施工に係わる十分な管理・検査を伴って達成されるのが一般的である。しかし、配合通りのコンクリートを用いても、現場技術者の力量や判断に頼るところが大きい施工管理・検査の如何によっては、打込み、養生等の施工品質が低下し、それに敏感に反応するコンクリートの表層品質が損なわれてしまう可能性がある。実際その様な事例が少なくないことは、近年このテーマに関する研究が活発なことから推察される。この問題を打開する一つの方法論として、非破壊試験技術の開発・高度化により竣工検査体制を整え、施工後の品質確認をもって耐久性を検証する体系へのシフトが挙げられる。本検討では、前述のとおり、歴代既存構造物の表層品質を把握するとともに（表-2 参照）、構造物竣工検査における耐久性検証システムの確立に向けた各種非破壊試験技術の適用性評価を目的とした。コンクリート構造物の強度特性評価として適用実績が豊富なテストハンマー試験、ならびに物質移動抵抗性の非破壊評価方法として期待され、主に欧州で検討されている Torrent 法表層透気試験に着目し、それぞれの非破壊評価結果を比較した。その結果、図-1 に示すように、概して、基準反発度が高いものほど、透気係数は小さい傾向が認められるものの、必ずしも一対一の関係にはないことが明らかとなった。これは、コンクリート表層の物質移動抵抗性に及ぼすコンクリート配合や施工品質の影響が、強度特性への影響と等価でないことを示唆するものと捉えることができる。実際、室内実験において配合や養生の条件を変化させたコンクリート供試体では、透気係数と基準反発度の関係に相違が認められた。特に、養生期間が不足した場合には表層の透気係数が増大し易い結果が得られた。一方、図-1 で示した透気係数はコンクリート表層の電気抵抗率によって補正された数値であり、Torrent らが提示する関係式に従って、表層透気試験に及ぼすコンクリート中の水分の影響を考慮したものである。しかし、材齢初期（1~3 ヶ月程度）のコンクリートに対しては、この補正が十分でないことを示す実験結果も得られており、この点は今後の検討課題と考える。以上、幾つかの課題が抽出されたが、表層透気試験および反発度試験の両非破壊試験方法がそれぞれ物質移動抵抗性、強度特性の独立評価に資するものであり、検査に取り入れることでより合理的に品質判定できる可能性が示された。

なお、採取コアを用いた室内試験は幾つかの構造物に限定して実施し、最終報告書に盛り込む予定である。

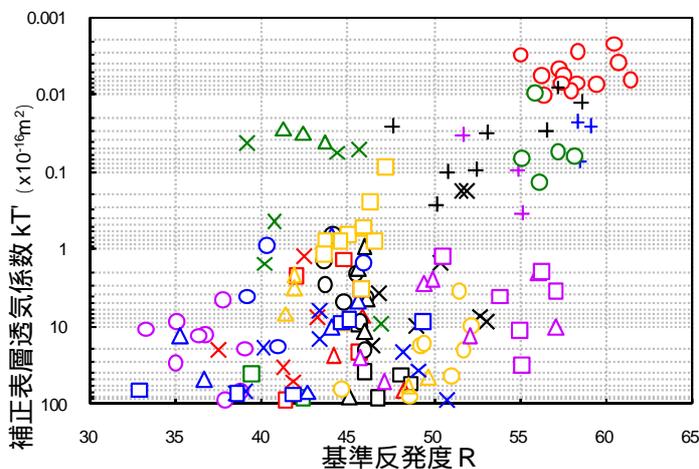


図-1 テストハンマー試験で測定された反発度と Torrent 法表層透気試験によって得られた表層透気係数の関係

表-2 調査構造物の一覧^{注)}

種類	構造物略号	経年*	プロット
PC 桁	桁 A	57	+
	桁 B	55	+
	桁 C	54	
	桁 D	4	+
RC 橋脚**	橋脚 A	69	
	橋脚 B ₁	66	
	橋脚 B ₂		
	橋脚 C ₁	56	
	橋脚 C ₂		
	橋脚 D ₁	43	
	橋脚 D ₂		
	橋脚 E	37	×
	橋脚 F ₁	33	
	橋脚 F ₂		
橋脚 F ₃	×		
橋脚 G	13		
トンネル 覆工	覆工 A	93	×
	覆工 B	74	
カルバート	カルバート A	68	
	カルバート B	45	
護岸	護岸 B	9	
マスコンクリート	マスコン n	25	
	マスコン e		
	マスコン s		
	マスコン w		×

注) 構造物の略号は表-1 と対応していない
 * 経年数は調査時の値
 ** 同アルファベットは同一構造物を表し、添数字は異なる橋脚であることを示す
 *** 略号の英小文字は調査面の指す方向を表す

3. ライフサイクルコスト算定・評価のケーススタディ

第一大戸川橋梁および現代の一般的なコンクリートを対象とした LCC 算定・比較評価を実施した。想定するコンクリート品質は 3 段階とし、現地における表層透気試験結果として、最も優れた測定結果を示した第一大戸川橋梁コンクリート、良と評価された塩害撤去桁コンクリート、普通と評価されたグラウト試験桁コンクリートの 3 種類のコンクリートに対して、現地で採取したコアを用いて電気泳動法により拡散係数を測定した。また、初期建設コストの算定では、第一大戸川橋梁建設当時の製造・施工法を用いた場合の積算は参考値としつつ、当時の施工法を採用した大戸川コンクリート、現代施工法による一般コンクリート、現代施工法ながら追加養生を行った一般コンクリート、現代施工法による自己充填コンクリート、現代施工法ながら追加養生を行った自己充填コンクリートの 5 ケースについて、初期建設コストの算定を行った。採用する施工法によって実現できるコンクリート品質は限定されるので、3 段階のコンクリート品質と 5 ケースの初期建設コストの現実的な組合せとして 6 ケースを想定し、それぞれのケースに 35mm と 70mm の 2 段階のかぶり(厚さ)を想定して LCC を試算した。なお、今回の検討では、供用途中で補修することなく、劣化期まで至れば更新するという最も単純なシナリオで LCC を算定しており、補修による維持管理コストは考慮していない。検討結果は、コンクリート技術シリーズとして発刊する成果報告書に収録する予定である。

4. まとめ

本調査研究により、竣工検査における強度指標値の確認は必ずしも耐久性にとって重要な物質移動抵抗性を代替しないこと、構造物の LCC 評価にはコンクリート表層品質の確認も重要であることなどを明らかとした。また、実構造物の品質調査を通じて、品質検査技術の現状を整理し、機能的な竣工検査システムの確立に向けた課題を抽出した。さらに、打込みや養生などの施工方法に応じて変化するコンクリート品質がライフサイクルコストに及ぼす影響を試算し、耐久性の確保ならびに検証の重要性を確認した。また、議論を通して、耐久性の竣工時チェックは、施工に対するインセンティブやペナルティーの付与により施工品質の確保に寄与すること、竣工時の品質に基づいた能動的な維持管理（アセットマネジメント）計画の策定が可能となること、構造物の耐久性に及ぼす施工の影響の早期検証が可能となり、技術の普及・進展に貢献することなどの有益性が期待され、竣工検査体系の整備に十分な意義があるとの認識を得た。今後は、本調査研究を進展させ、耐久性照査と対をなす施工後検査内容の充実や、竣工時品質 / 竣工時性能に基づいた合理的な維持管理・品質保証・資産査定などへの広範な展開を図ることが期待される。本調査研究の成果報告書は、コンクリート技術シリーズとして発刊する予定であり、2009 年秋に成果報告会の開催を企画している。

最後に、本小委員会の調査研究活動にあたって構造物の調査を許可していただいた構造物所有者・管理者の皆様および小委員会メンバーの蔵重勲氏（幹事長、電力中央研究所）、審良義和氏（港湾空港技術研究所）、綾野克紀氏（岡山大学）、石田哲也氏（東京大学）、今本啓一氏（東京理科大学）、岩城一郎氏（日本大学）、上田隆雄氏（徳島大学）、上田洋氏（鉄道総合技術研究所）、小椋紀彦氏（(株)国際建設技術研究所）、加藤佳孝氏（東京大学生産技術研究所）、鎌田敏郎氏（大阪大学）、竈本武弘氏（高速道路総合技術研究所）、久保善司氏（金沢大学）、小林薫氏（東日本旅客鉄道）、小林孝一氏（岐阜大学）、佐川康貴氏（九州大学）、清水健志氏（鉄道建設・運輸施設整備支援機構）、杉山隆文氏（北海道大学）、半井健一郎氏（群馬大学）、長谷川昌明氏・春日井敦詞氏（東海旅客鉄道）、林和彦氏（横浜国立大学）、久田真氏（東北大学）、細田暁氏（横浜国立大学）、松田芳範氏（東日本旅客鉄道）、松田好史氏（西日本旅客鉄道）、皆川浩氏（東北大学）、森濱和正氏（土木研究所）、山田義智氏（琉球大学）、山本貴士氏（京都大学）に深甚の謝意を表する次第である。