

一般社団法人日本コンクリート診断士会

第1回業務体験発表会 報告集

平成26年2月26日

一般社団法人日本コンクリート診断士会

目 次

		頁
1.	大井コンテナ埠頭における電気防食の維持管理	1
2.	ひび割れに着目したコンクリート構造物の診断	7
3.	建設から 60 年が経過したポストテンション方式 PC 橋の健全性調査報告	9
4.	東名高速道路跨道橋のはく落防止対策工事	15
5.	トンネルの劣化変状と THI を用いた健全度評価手法	21
6.	無人ヘリによるコンクリート構造物の点検事例	25
7.	無機系簡易ひび割れ補修材の効果に関する検討報告	29
8.	PC 道路橋の補修補強工事（グラウト再注入・ PC 鋼材の再緊張について）	33
9.	セレコンによる断面修復の品質向上技術	37
10.	井桁擁壁の酸性水劣化調査	40
11.	見内橋劣化調査・補修設計	46
12.	赤外線調査における内部要因によるノイズの推察と除去	52

※本業務発表会は、技術部会（部会長：奥田由法，副部会長有本尚巳）が担当しました。

注) 1.～9. は報告あり。10.～12. は投稿のみ。  
氏名の後の（ ）内は所属する地区診断士会名である。

## 大井コンテナ埠頭における電気防食の維持管理

東京 診断士会事務局 ○峰松 敏和

## 1. 大井コンテナ埠頭棧橋の概要と維持管理の重要性

大井コンテナ埠頭は、我が国の貿易・物流の拠点として稼動する重要港湾施設である。本施設の棧橋は、1970～1973年に建設され、1972～1975年に供用が開始された棧橋（上部面積：約113,650m<sup>2</sup>、岸壁長：2,300m）と1996～2002年に船舶の大型化への対応や荷役作業の効率化、施設の近代化などを目的とした再整備事業に基づき既設棧橋の海側に前出し建設された新設棧橋（3～7バース）および既設棧橋の上部工を撤去し、新設した棧橋（1, 2バース；一部既設棧橋残存）から構成されている（写真-1参照）。本棧橋は、東京湾に位置し、比較的穏やかな塩害環境にあるが、防波堤開口部が卓越風向きである南側に位置していることや船舶の航行による波浪の影響を直接受けるため、既設棧橋では、時間の経過とともに塩害劣化の進行が認められた。この対策として、劣化部の調査と補修を適宜実施したが、その規模の拡大を受け、補修工法の選定などを合理的に実施すべきであるとの結論に至り、これまでに実施した劣化度調査や各種補修工法の適用性の検討、非補修箇所への調査および補修箇所の追跡調査、解析等を行い、1994年に調査や補修に関するマニュアル（案）<sup>1)</sup>を刊行した。本マニュアル（案）に準拠した補修工事は、再整備工事と並行して実施した<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>、<sup>4)</sup>。延べ対象面積約160,000m<sup>2</sup>に適用する補修工法は、塩化物イオンの拡散方程式に基づくシミュレーションを実施し、①補修なし、②断面修復、③表面被覆、④断面修復+表面被覆、⑤電気防食の各工法を解析結果に基づき適用した。なお、再整備事業により新設された前出し棧橋には、この既設棧橋の塩害の状況を考慮し、エポキシ樹脂塗装鉄筋やプレキャストPC桁の採用など塩害に対する措置（事前対策）が施されている。この新設棧橋の運用に対しては、既設棧橋の健全性が非常に重要である。すなわち、既設棧橋は、建設から約40年を経過し、新設棧橋より約25年間の供用実績を多く有している。新設棧橋の供用期間を50年と仮定した場合でも、75年の耐用年数が必要となる。本施設は、利用上非常に重要な施設であるため「建設後100年間の供用を目指す」など、更に長期の供用を考慮し、維持管理計画の修正を繰り返すことにより、施設の長寿命化を図ることも考慮している。大井コンテナ埠頭の機能を維持して行くためには、新設棧橋の維持管理は勿論のこと、既設棧橋



写真-1 大井コンテナ埠頭（再整備後）の状況

キーワード：棧橋施設、維持管理計画、電気防食、遠隔監視制御システム

連絡先：千葉県習志野市津田沼7-15-2（有限会社テクノミネッツ） TEL：047-451-0114 FAX：047-408-2290

の維持管理の重要性が非常に大きいことが明らかである。このような状況を鑑み、維持管理を的確に実施して行くための土木施設維持管理マニュアル<sup>5)</sup>を2004年に刊行した。本マニュアルは、栈橋上部工や下部工、鋼矢板や護岸、ヤード等の港湾施設全体の維持管理マニュアルであるが、ここでは栈橋上部工の維持管理について紹介する。なお、先に刊行した調査・補修マニュアル(案)<sup>1)</sup>は、再整備事業での実際の工事に基づく見直しを行い、同時にマニュアル<sup>6)</sup>として刊行した。また、これらのマニュアルは、維持管理の最近の進歩に合わせた見直しを行い、2012年に改定が行われた。

## 2. 大井コンテナ埠頭栈橋の維持管理計画と点検調査

土木施設維持管理マニュアルは、大井コンテナ埠頭および青海コンテナ埠頭(第3・4バース)の維持管理計画を取りまとめたものであるが、栈橋構造物の点検や調査は、船外機船を用いる等、陸上構造物とは異なる手法が必要である。また、本維持管理計画において特徴的なことは、電気防食の数量が69回路、照合電極：275か所、施工面積：約20,000m<sup>2</sup>と膨大であるため、電気防食の維持管理には、遠隔監視制御システム<sup>7)</sup>ほかを適用していることであり、このシステムを活用した維持管理計画になっている。マニュアルにおける点検の種類を表-1に示すとともに点検および調査の概要を以下に示す。

表-1 大井コンテナ埠頭栈橋の維持管理の概要

点検の種類		調査手法	頻度	調査担当
一次点検	日常点検	目視調査(栈橋上面巡回調査)	1回/月	管理者等
	定期点検	目視調査(栈橋下面船舶踏査調査)	1回/2年	管理者等
		詳細調査(栈橋下面仮設足場調査)	1回/5年	専門技術者
	臨時点検	目視調査(栈橋上面巡回・下面踏査調査)	災害発生時	管理者等
二次点検		詳細調査(栈橋下面仮設足場調査)	必要時	専門技術者

### ①日常点検

栈橋における日常点検は、構造物下面の点検が不可能であるため、栈橋上面を供用している利用者からの変状などの情報をもとに点検箇所を選定し、荷役作業が中断している昼休みに点検を実施する。また、電気防食の施工箇所は、遠隔制御モニタリング装置が設置してあり、停電、その他の異常は警報機が作動するため、これを基に点検を実施する。

### ②定期点検【目視(全体)調査および詳細調査】

定期点検は、1回/年(マニュアルでは1回/2年)で実施する目視調査と1回/5年で実施する詳細調査で構成されている。目視(全体)調査は、栈橋下面全体を船外機船による外観踏査・目視調査(劣化箇所の図化、写真撮影)、損傷状況確認等の打音検査、および2007年から実施している電気防食部全体の遠隔監視制御システムを用いた調査に基づく通電電流量の調整等である。また、詳細調査は、年度ごとに対象となる調査対象部に仮設足場を設置して実施する外観の詳細調査、塩化物イオン含有量調査、自然電位および分極抵抗測定、はつりによる鉄筋の腐食度調査、表面塗装皮膜の付着強度試験等であり、電気防食に対しては、電源装置部での電位の測定および電源装置の清掃を実施している。表-2に2010年度に実施した定期点検の内容を示す。また、前年度の定期点検において二次点検や対策工事が必要と判断された箇所においては、これらを実施した。

## 3. 点検調査結果の概要とその対策

上記において紹介した点検調査概要に基づいて実施した結果の概要およびその対策を以下に紹介する。

### (1) 外観調査

定期的な外観調査の結果、非補修部、断面修復部、断面修復+表面塗装部等で軽微な損傷(写真-2参照)が認められ、これらの対策工事を適宜、実施している。また、第7バースにおいては、比較的大きい損傷(写真-3参照)が確認されたため、塩化物イオン含有量等の二次調査を実施した。その結果、鉄筋位置での残存塩化物イオン濃度は、断面修復部では0.00~0.92kg/m<sup>3</sup>と少ないが、非断面修復部では1.73~4.39kg/m<sup>3</sup>と多



表-2 2010年度維持管理調査内容

点検調査	調査項目	調査対象数量	調査対象箇所
定期点検 目視調査	外観踏査・目視調査	栈橋下面全面積	大井・青海全バース
	電気防食部遠隔装置電位調査	69回路、275照合電極	大井電気防食全回路
定期点検 詳細調査	外観詳細調査	72m <sup>2</sup>	大井第6バース 青海第4バース
	塩化物イオン量測定調査	19か所	
	自然電位測定調査	24m <sup>2</sup>	
	分極抵抗測定調査	24m <sup>2</sup>	
	鉄筋腐食度はつり調査	10か所	
	塗膜付着強度試験	11か所	
	電気防食電源装置電位測定調査	14回路、56照合電極	大井第6バース
電気防食電源装置清掃	1基		
二次点検	照合電極作動確認調査	2か所	大井第4、6バース
対策工事	照合電極取替工事	2か所	大井第7バース
詳細調査・二次点検・対策工事前足場設置・撤去		118m <sup>2</sup>	大井第4、6、7バース 青海第4バース

量であった。写真-3のひび割れの状況は、写真中央部で寸断された形態を示しているが、この中央部は、断面修復を実施した箇所であることから、この損傷にはマクロセル腐食が関与しているものと推察される。これらの状況を考慮すると、何らかの対策が必要と評価・判定されたため、塩害対策として最も信頼性が大きい電気防食の追加工事を現在実施中である。また、既設栈橋において荷役用のクレーンが設置されていた箇所の桁部は、他の桁より、桁高が大きく、桁下部は干満帯に位置しており、写真-4のような損傷確認された。再整備工事の最初に実施した第7バースの施工時には、干満帯での電気防食に対する確たる技術的知見が不十分であった。このため、その適用を見合わせたが、その後の技術の進展に基づき、一般桁部の電気防食の追加工事に併せて、大気中と干満帯を回路分けした電気防食の工事を実施中である。一方、電気防食部の外観としては、面状陽極では被覆モルタルのひび割れや軽微な浮きが認められ、また、陽極を縦に入れた帯状陽極方式では写真-5のような、陽極かぶり不足によるモルタルの変状が認められたため、縦置きを横置きに変更するなどの補修も同時に実施中である。（2012年3月完了）

## (2) 塩化物イオン含有量等の調査

塩化物イオン含有量、自然電位、分極抵抗等の塩害の進展に関係する調査の結果では、現在までのところ、



写真-2 表面被覆部の再劣化の例（杭頭部）



写真-3 第7バース：一般梁部の再劣化の例



写真-4 第7バース：クレーン桁部の再劣化の例



写真-5 縦置き帯状陽極の変状の例

際立った変化は認められていない。また、はつりによる鉄筋腐食調査の結果も同様である。一方、表面塗装では、付着強度の平均値が基準値の $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ （劣化調査・補修マニュアル基準）を下回っている箇所もあり、外観目視調査結果からも、剥がれ、ひび割れ、浮き等が比較的多く確認され、劣化の顕在化を裏付ける結果となっている。これは塗装が施されて約10年以上経過しており、塗膜の紫外線劣化に加え、塗装が施される前のコンクリート中の残存塩化物イオンが拡散した塩害等の影響によるものと推測できる。

### (3) 遠隔監視制御システムによる点検調査

電気防食施工部に設置した遠隔監視制御システムを用いた点検調査の結果、以下のような改善や新たな知見が得られた。

#### (a) 干満帯における防食基準の検討

大井コンテナ埠頭栈橋の既設のクレーン桁の内、第1バースおよび第5～7バースは、桁下部が干満の影響を受ける位置に存在する。干満帯における電気防食の電位は、大気中よりも卑側に移行する傾向が強く、 $-1,000\text{mV}$  (vs.CSE、以下同様) より卑側となり、過防食の防食基準を満足できない箇所が存在した。そのため、本防食対象構造物はRC造であることを考慮し、遠隔監視制御システムの過防食基準を  $-1,500\text{mV}$  に設定した。遠隔監視制御システムで設定する過防食基準は、この値より卑側な電位となった場合にシステムが自動的に通電電流量を低減するため、 $-1,000\text{mV}$  の設定では、 $100\text{mV}$  シフトの防食基準を満足できなくなることを考慮した変更である。図-1は、第1バース、第1回路の大気中と干満帯との電位の挙動を示したものである。この図における大気中での電位の挙動は、大気中での一般的な挙動を示しているが、干満帯での電位の挙動は、インスタントオフ電位 (INS電位) が卑側に非常に大きい電位を示しているとともに、復極量は防食基準の $100\text{mV}$  シフトを満足していない。これは、防食対象が干満帯に位置するため、鋼材電位の復極に必要な酸素の拡散が非常に遅くなるためと推察される。一方、インスタントオフ電位は、海洋鋼構造物の防食基準である  $-850\text{mV}$  より卑を満足しており、干満帯での電気防食は、十分に達成されていると判断されるため、コンクリート構造物の防食基準に加え、干満帯においては、鋼構造物の防食基準も併用した判定を行うこととした。

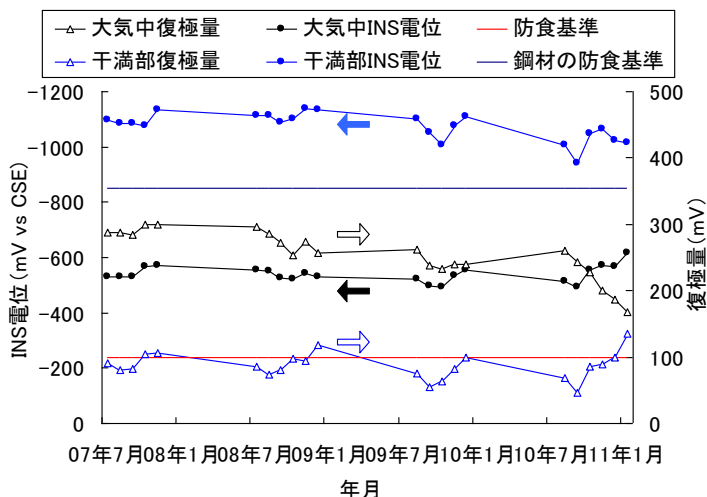


図-2 遠隔監視制御システムを用いた電流調整結果の例

**(b) 通電電流量の低減による陽極耐久性の向上および電力量の低減**

遠隔監視制御システムでは、過防食時の通電電流量の調整は、自動的に実施するが、防食基準（100mVシフト）を満足している場合の自動での調整は実施しない構成となっている。通常、電気防食による分極は、通電材齢の経過とともに増大して行くが、陽極の耐久性や経済性を考慮した場合、好ましい防食基準としては100～200mV、（更に好ましくは100～150mV）範囲と考えられる。すなわち、この範囲内に防食電位をコントロールできれば、防食効果を確保し、防食に必要な通電電流密度を低減することが可能となる。防食電流量の低減は、陽極の耐久性が積算電流量によって支配されることを考慮すると、電流量の低減により陽極の耐用年数を延ばすこととなり、また、消費電力量の低減につながる事となる。これらを考慮し、2007年から遠隔監視制御システムによる強制的な通電電流量の低減を実施した。この一例として、低減効果が比較的顕著であった第5バース第6回路の低減の状況を図-2に示す。この図から明らかなように、防食基準を満足した状態での通電電流密度の低減およびこれに伴う通電電圧の低減が可能となり、陽極耐用年数の延長および消費電力量の低減が順調に進行中である。図-2の例では、通電電流量が1/2程度に低減されており、陽極の耐用年数が陽極の積算電流量によって決定されるため、陽極耐用年数は約2倍に延長され、消費電力は約18,250kW（供用40年として）低減された。大井コンテナ埠頭全体での通電電流密度の低減効果を表-3に示す。大井コンテナ埠頭棧橋の上部工では、3種類のチタン系陽極が適用されており、これらを個別に表-3に示した。この結果に基づくと、通電電流密度の低減は1/3程度であるため、陽極耐用年数の延長は、1.5倍程度と推定され、消費電力の低減は198,220kW（供用40年として）であった。なお、2010年の電源電圧が2007年より増加しているのは、計測データが冬季にかかり、コンクリート自体の電気抵抗が増加し、同一電流を流すために必要となる電圧が増加したためである。

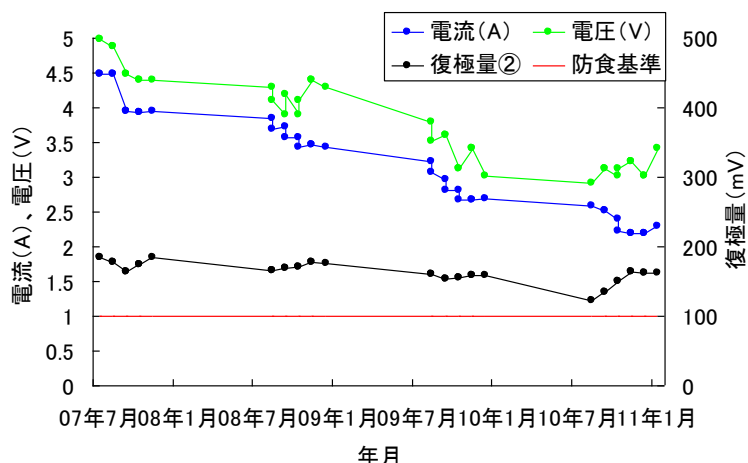


図-2 遠隔監視制御システムを用いた電流調整結果の例

**(c) 照合電極不良の確認方法**

大井コンテナ埠頭棧橋の電気防食部には、2種類の照合電極が適用されている。鉛照合電極：219か所、ハフニウム照合電極：56か所である。再整備事業2期（1998年度）までは両者の併用で、3期目以降は全て鉛照合電極である。これらの内、ハフニウム照合電極の不良を照合電極の電位の挙動から推定するための特性を把握することができたため、ここに紹介する。図-3は、不良と推定されるハフニウム照合電極の電位の挙動とこれを鉛照合電極に取り換えた後の電位の挙動である。ハフニウム照合電極の不良の確認は、オン電位（ON電位）およびインスタントオフ電位（INS電位）が電気防食適用時には、通常ありえない貴側の電位を示すこと、およびオン電位とインスタントオフ電位の差が非常に小さくなること、復極量が防食基準を満足していないことなどが不良の判定基準として適用できると推察される。この基準を判

表-3 遠隔監視制御システムによる電力量等の低減

陽極種類	回路数	計測年度	電流密度 (mA/m <sup>2</sup> )	電源電圧 (V)
チタンメッシュ	33	2007	8.36	4.05
		2010	5.40	3.78
		低減率	0.65	0.93
チタンリボンメッシュ	29	2007	12.61	7.36
		2010	9.26	7.51
		低減率	0.73	1.02
チタングリッド	7	2007	14.18	15.38
		2010	9.57	16.20
		低減率	0.67	1.05

計測年 2007年：2007年7月2日  
計測年 2010年：2010年12月2日



定材料として、大井コンテナ埠頭棧橋においては、11か所のハフニウム照合電極を鉛照合電極に置き換えた。鉛照合電極においても、その挙動から不良が危惧される照合電極が2か所存在しており、2010年に専門技術者による調査を実施した。その結果、「不良の可能性もあり」との判定で、2011年度に取り替えることとした。不良と推定された鉛照合電極の電位の挙動を図-4に示す。鉛照合電極の不良の判定は、現在までのところ、ハフニウム照合電極ほど明確になっていないが、今後、同様な事例が確認できる可能性も存在するため、継続的な維持管理を行うことでの対応を実施する計画である。電気防食の維持管理においては、モニタリングのための照合電極の重要性は、非常に大きく、今後、更なる長期耐久性を有する照合電極が開発されることを希望する。

#### 4. 大井コンテナ埠頭棧橋の維持管理の今後

大井・青海コンテナ埠頭棧橋の維持管理は、東京港埠頭(株)の「大井埠頭棧橋劣化調査・補修マニュアル」および「土木施設維持管理マニュアル」に準じて作成された岸壁点検計画

に基づいて実施されている。大井コンテナ埠頭での点検調査項目としては、毎年実施する定期点検調査（外観踏査・目視調査）および各バースを5年サイクルにて実施する定期詳細点検調査（塩化物イオン含有量、鉄筋腐食調査、塗膜附着試験等）、これに加え、下部工での鋼管杭のライニング調査、鋼管杭の腐食調査、鋼管杭電気防食の流電陽極残量調査等の健全度調査である。また、大井コンテナ埠頭の既存棧橋上部コンクリートの電気防食部の点検調査も毎年実施しており、遠隔監視制御システムによるモニタリングにおいて、防食効果確認等を定期的に行っている。今後も、これらを継続的に実施して行く予定である。今後、これらの棧橋は、経年とともに施設の老朽化が急激に進展する時期に来ており、施設の延命化を図って行く取組みが不可欠となっている。最新の補修技術を考慮し、予防保全を積極的に取り入れた効率的な維持管理に努めていきたい。

#### 《参考文献》；

出典；小田桐，宮本，峰松，鹿島：大規模棧橋におけるコンクリート構造物の維持管理—大井コンテナ埠頭—土木施工，2011.9，pp33-37

- 1) 財団法人東京港埠頭公社：大井埠頭棧橋劣化調査・補修-マニュアル（案）-，1994.3（2012.11改定版発刊）
- 2) 奥平ほか：大型港湾構造物への電気防食工法の大規模施工-東京港・大井埠頭-，セメント&コンクリート，No.668，pp.52-58
- 3) 大野ほか：塩害を受けた大規模棧橋の総合補修計画に基づく補修工事，コンクリート工学，Vol.36. No.2，pp.19-23
- 4) 福手ほか：大規模棧橋における塩害劣化の評価と補修工法の選択，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.1，pp.269-274
- 5) 財団法人東京港埠頭公社：土木施設維持管理マニュアル，2004，3（2012.11改定版発刊）
- 6) 財団法人東京港埠頭公社：大井埠頭棧橋劣化調査・補修-マニュアル-，2004，3
- 7) 鹿島ほか：通電電流量の調整による維持管理コストの縮減と陽極耐用年数の長期化の検討，土木学会第63回年次学術講演会講演概要集，VI-091，pp.181-182

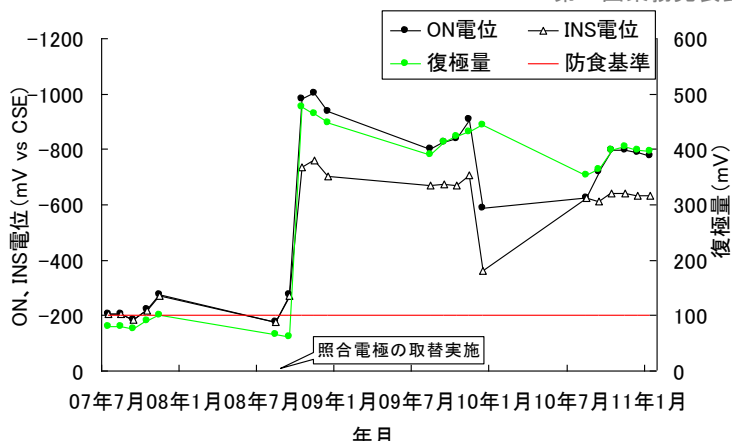


図-3 不良と判定されたハフニウム照合電極電位の挙動の例

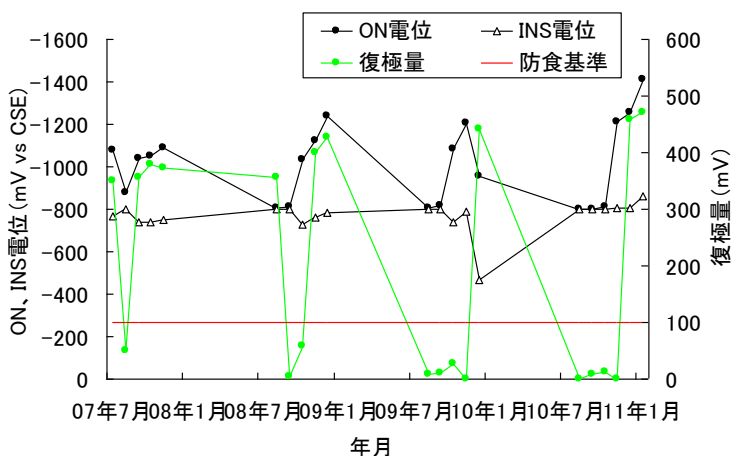


図-4 不良と推定される鉛照合電極電位の挙動の例

## ひび割れに着目したコンクリート構造物の診断

東京 (株)C&amp;Rコンサルタント 小野 定

## 1. 目的

コンクリート構造物で発生する変状は、初期欠陥、劣化、損傷、および構造に起因する変状に分類される。劣化を引き起こす主な劣化機構(原因)は、中性化、塩害、アルカリシリカ反応、凍害、化学的腐食(侵食)、疲労、およびすり減りが上げられる。これらの原因により、構造物に様々な変状が発生するが、ひび割れは、全劣化機構に共通する変状であり、また、化学的腐食を除いて全て目視できる現象である。見方を変えると、ひび割れは、構造物の診断を行う上で重要な指標であると考えることができる。

本報告は、ひび割れに着目してコンクリート構造物の劣化診断を実施する際のポイント、ひび割れの診かた、ひび割れに着目した診断例をとりまとめたものである。

## 2. コンクリート構造物の診断の基本的な考え方

コンクリート構造物の診断は、外観目視調査等の結果に基づいて実施される。調査データの内容に対応して一次診断、二次診断と診断レベルが高くなるが、外観目視調査は診断レベルにかかわらず診断で最も重要な調査と考えられる。

外観目視調査は、躯体の表面に顕在化したひび割れ、浮き・はく離、はく落などの変状、構造物全体の変形状況等を目視観察や簡単な器具等を使用して確認する調査であり、その結果を基に変状原因の推定等を行うことになる。この概念を図1に示す。図1に示すように、見えない壁をとおして躯体内部の劣化機構を究明することになる。

外観目視調査結果で診断を実施する場合、顕在化した変状で、ひび割れは特に重要な情報となる。ひび割れに関する情報としては、発生部位(壁、柱、はり、スラブ)、規則性有無、発生時期(確認時期)、貫通有無、変形との関係、ひび割れ幅、ひび割れ長さ、ひび割れ部の状態等が上げられる。これらの情報を基にひび割れ発生原因(劣化原因)を究明することになるが、筆者はひび割れと変形を関連付けた究明が効果的であると考えている。

具体的には、まず図1に示すように顕在化しているひび割れからひび割れを生じさせた変形を推定し、次にそのような変形を発生させた断面力を推定する。さらに、推定した断面力を発生させた要因(原因)を推定することになる。

## 3. 変形と断面力との関係

変形、断面力、および断面力を断面力の発生要因との関係を、図2に示す。ひび割れを発生させる変形は、軸変形(引張、圧縮)、曲げ変形、せん断変形、ねじり変形、膨張変形、収縮変形、および膨張・収縮変形に分

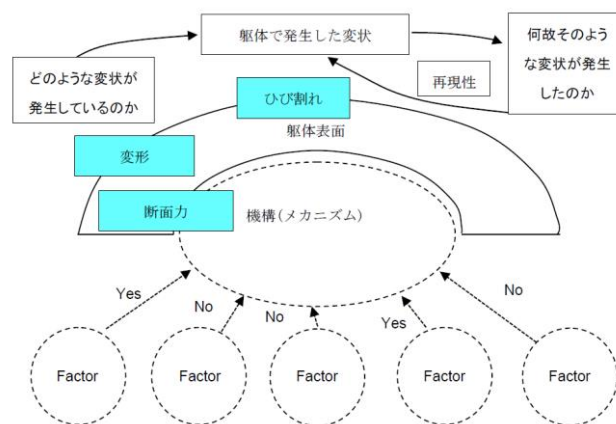


図1 ひび割れに基づく診断の基本的な考え方

キーワード：ひび割れ、変状、劣化、診断、変形

連絡先：東京都国分寺市本町2-23-3富沢ビル3F TEL：042-328-0337 FAX：042-320-5506

類することができる.それぞれの变形に対応する断面力は,軸力,曲げモーメント,せん断力(押抜きせん断力を含む),ねじりモーメント,膨張力,収縮力,および膨張・収縮力である.

断面力の発生要因は,変状が劣化の場合には,水和物(水酸化カルシウム,エトリンガイト),骨材,鉄筋,水,および二水石膏とC<sub>3</sub>Aとの反応により生成されるエトリンガイトの膨張,床版の上載荷重が上げられる.

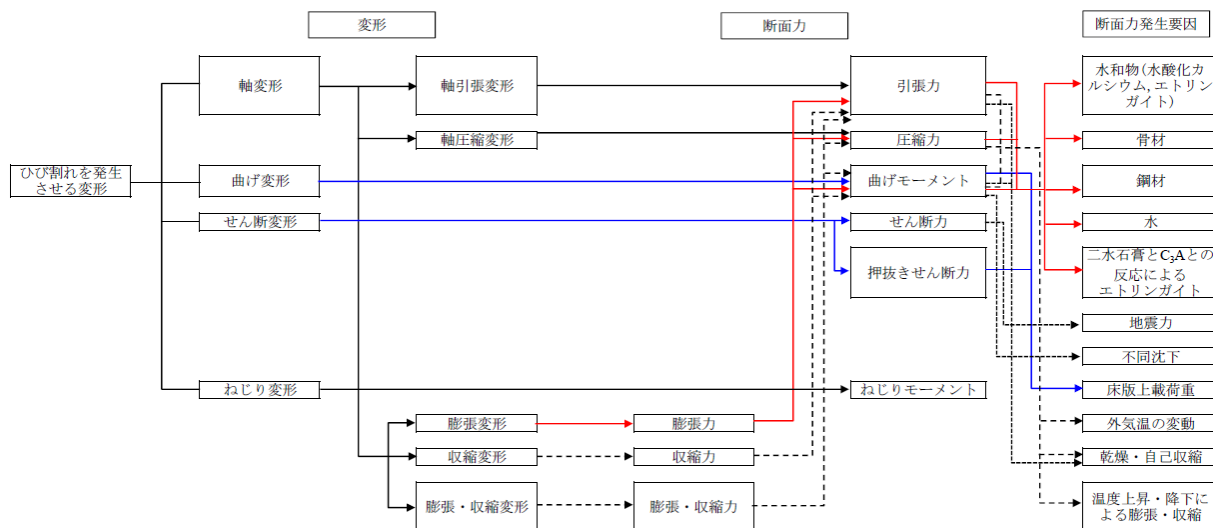


図2 変形,断面力および断面力発生要因との関係

4. 診断事例

(1)事例1 写真1に示すように,天端に軸方向,側面には上方部に横方向のひび割れが発生している.

**STEP1**: 推定される変形は,天端は軸と直交方向の膨張変形,側面は上方への膨張変形. **STEP2**: 膨張変形を発生させた断面力は,引張力. **STEP3**: 引張力を発生させた要因として,骨材,鋼材,および水が考えられる.

**STEP4**: 無筋コンクリート,ひび割れ発生パターン,から骨材,つまりアルカリシリカ反応の可能性が考えられる.



写真1 事例1:防波堤パラペット

(2)事例2 図2に示すように,中央部に鉛直方向(VC),横方向には,高さ方向にほぼ中央(HC2)と下方(HC1)に2箇所ひび割れが発生している.建設後,約10年以上経過,未だ供用されていない.

**STEP1**: 推定される変形は,VCは軸変形と曲げ変形,HC1とHC2は軸変形(膨張変形). **STEP2**: VCの軸変形と曲げ変形を発生させた断面力は,引張力と曲げモーメント,HC1は膨張力,HC2は引張力. **STEP3**: 引張力を発生させた要因は,VCは「温度上昇・降下による膨張・収縮」,HC1は鋼材,HC2は「外気温の変動,乾燥収縮」が考えられる. **STEP4**: 環境条件,ひび割れ部の状態から,ひび割れ原因は,VCは温度応力,HC1はコールドジョイントが進展したもの,HC2は中性化,塩害と評価される.

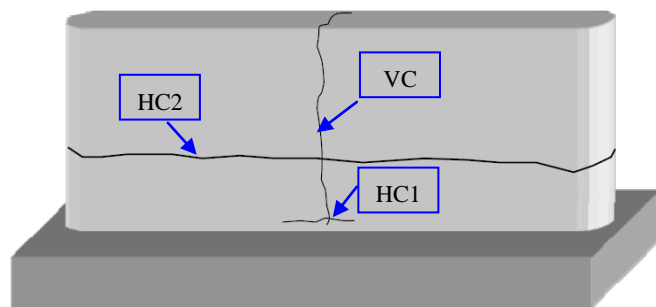


図2 事例2:橋脚

5. まとめ

ひび割れに着目した診断は,まず,ひび割れから変形を推定し,次に推定した変形を発生させた断面力(応力)を推定する.そのような断面力(応力)を引き起こした要因がひび割れ原因,つまり劣化原因となる.



## 建設から60年が経過したポストテンション方式PC橋の健全性調査報告

福井 日本ピーエス ○天谷 公彦  
 福井 日本ピーエス 原 幹夫  
 福井 日本ピーエス 濱岡 弘二

## 1. はじめに

十郷橋は、わが国初のポストテンション方式のPC道路橋で、昭和28年6月に福井県坂井郡東十郷村に架橋された。建設から60年が経過した現在でも、県道として供用されその機能を果たしている歴史的な橋梁である。

建設当時の十郷橋の外観を写真-1.1に示す。十郷橋は3ブロックのセグメント工法で建設されており、工場で製作したプレキャストセグメントを運搬、接合、緊張し、グラウト作業後に二又を用いて架設された。PC鋼材の緊張作業の状況を写真-1.2に示す。主ケーブルには12φ5のPC鋼材が用いられており、緊張作業は水圧を用いた緊張ジャッキで行われた。

今回、60年という節目にあたり十郷橋の健全性調査を実施した。調査では、外観調査、コア供試体を用いた試験、非破壊検査等を実施し、十郷橋の劣化・損傷の状況、コンクリートの品質、グラウト充填性について評価した。さらに、十郷橋と同時期に施工され、水害によって落橋した石徹白橋の橋桁片にて、十郷橋を補完する調査を実施した。本稿は、これらの調査で得られた結果について報告するものである。



写真-1.1 建設当時の十郷橋



写真-1.2 緊張状況

## 2. 十郷橋の構造諸元

十郷橋の構造諸元を表-2.1に、構造一般図を図-2.1に、主桁詳細図を図-2.2に示す。十郷橋は、橋長7.850m、桁長7.350m、有効幅員7.200m、斜角60度のポストテンション方式単純PC床版橋である。コンクリートの設計基準強度は、主桁が375kg/cm<sup>2</sup>、桁間が250kg/cm<sup>2</sup>のものが用いられた。PC鋼材は主ケーブル、横締めケーブル共に12φ5のPC鋼線が用いられており、主桁には2本のPC鋼線が配置されている。主ケーブルを挿入するダクトは、型枠内の所定の位置に中詰めしたゴムチューブを配置し、コンクリート硬化直後に抜き取ることで形成している。そのため、主桁内部にシーすは配置されていない。

表-2.1 十郷橋の構造諸元

橋	長	7.850 m
桁	長	7.350 m
支間	長	7.170 m
総幅員 (有効幅員)		8.000 (7.200) m
PC 鋼材	主ケーブル	12φ5 フレシネーケーブル
	横締めケーブル	12φ5 フレシネーケーブル
コンクリート	主桁	375 kg/cm <sup>2</sup>
	桁間	250 kg/cm <sup>2</sup>

キーワード：構造物調査・診断、プレストレストコンクリート

連絡先：福井県敦賀市若泉町3 TEL：0770-22-1400 FAX：0770-22-5830

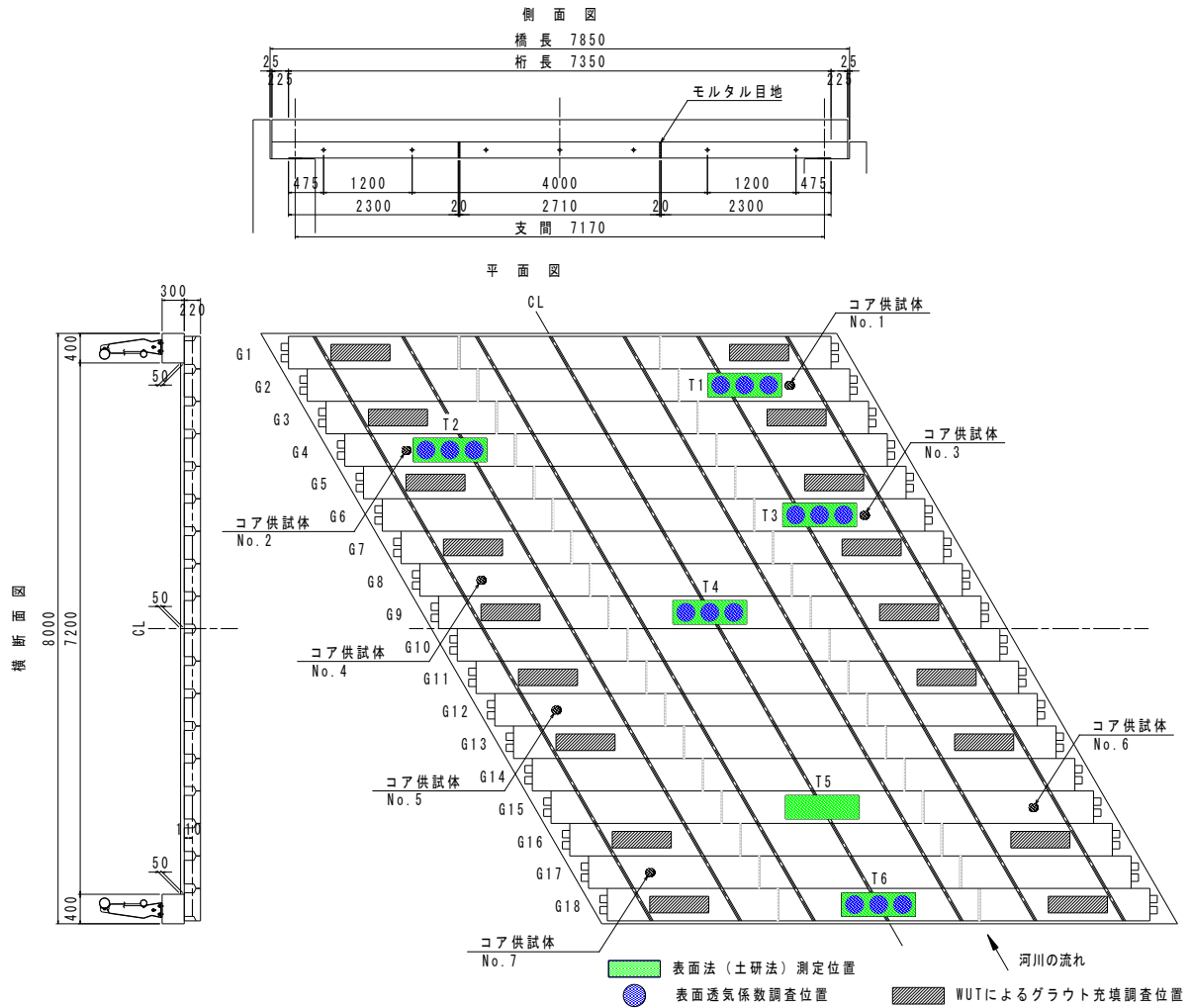


図-2.1 十郷橋の一般図および調査箇所図

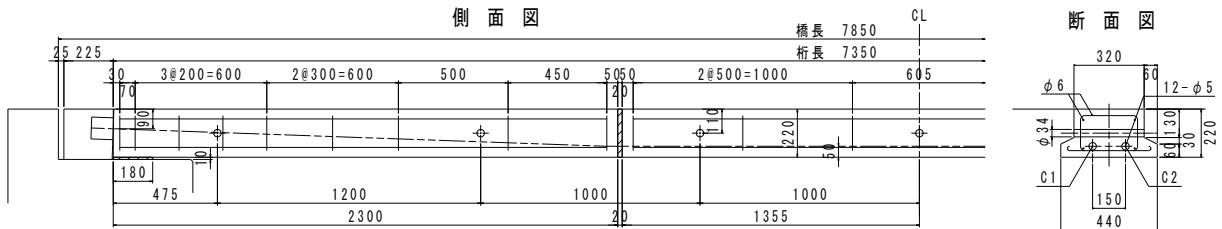


図-2.2 十郷橋の主桁詳細図

### 3. 調査項目と概要

十郷橋で実施した調査項目の一覧を表-3.1に、各種調査の調査箇所図を図-2.1に示す。十郷橋では、コア供試体による調査と非破壊検査を用いた調査を実施した。なお、PC鋼材に関する調査は供用中の十郷橋ではできないため、十郷橋（昭和28年6月竣工）と同時期に施工され、水害により落橋している石徹白橋（昭和28年10月竣工、昭和39年に落橋しその橋桁片が川岸に放置されていた）から試験体を採取して実施した。この石徹白橋は、十郷橋と同構造であり、同じ種類のPC鋼線（12φ5）が使用されている。

表-3.1 調査項目の一覧

調査対象	調査項目	調査方法
橋梁全体	外観調査	目視、打音調査
コンクリート	強度特性	圧縮強度、静弾性係数試験
	中性化深さ	フェノールフタレイン溶液噴霧法
	塩化物イオン濃度	電位差滴定法
	超音波伝搬速度	表面法（土研法）、透過法
	透気係数	トレント法
PC 鋼線	状態確認	はつり調査
	引張強度	引張試験
	化学組成	成分分析
グラウト	グラウト充填性	広帯域超音波法&電磁波レーダ法

### 3. 1 外観調査

十郷橋の外観目視調査および打音調査を実施し、劣化・損傷の発生状況を確認した。

### 3. 2 コンクリートに関する調査

#### (1) 強度試験

主桁下面より  $\phi 45 \times 90$ mm のコア供試体 (図-2.1、No. 2、No. 3、No. 7) を採取し、圧縮強度および静弾性係数を測定した。

#### (2) 中性化深さ

主桁下面より  $\phi 45 \times 90$ mm のコア供試体 (図-2.1、No. 5、No. 6) を採取し、割裂面にフェノールフタレイン溶液を噴霧して、中性化深さの測定を行った。

#### (3) 塩化物イオン濃度の分布

主桁底面より  $\phi 45$ mm のコア供試体 (図-2.1、No. 4) を採取し、表面から5cmの深さまで1cm毎にスライスして、各層での全塩化物イオン量を測定した。塩化物イオン量の測定は、「JIS A 1154-2012 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準じ、電位差滴定法を用いて実施した。

#### (4) 超音波伝搬速度

主桁底面で超音波伝搬速度を測定し、ASTMの基準 (表-3.2) を用いてコンクリートの品質を評価した。超音波伝搬速度は、表面法 (土研法) で6点 (図-2.1、T1~T6)、透過法で6点 (図-2.1、No. 1~No. 3、No. 5~No. 7) で測定を行った。このうち、3点 (T1~T3) は両方の手法で伝搬速度を測定した。

#### (5) 表面透気試験

主桁底面で表面透気試験 (トレント法) を実施し、得られた透気係数から表-3.3に基づきコンクリート表層の品質を評価した。透気試験は、5測点 (図-2.1、T1~T4、T6) で実施し、1測点あたり3箇所測定を行った。

### 3. 3 PC鋼材に関する調査

石徹白橋の橋桁よりPC鋼線を採取し引張試験、成分分析を行った。また、試験体採取時にPC鋼線の状態を確認した。

#### (1) 引張試験

引張試験を実施し、機械的性質についてJIS規格との比較を行った。

#### (2) 成分分析

燃焼-赤外線法、ICP発光分光分析法を用いてPC鋼線の化学組成を分析し、JIS規格との比較を行った。

### 3. 4 グラウト充填性の調査

グラウト充填性の調査は、広帯域超音波法<sup>1)</sup> (Wide Range Ultrasonic Testing: 以下、WUTと称す) と電磁波レーダ法で実施した。WUTは原理としてシーすからの反射波を用いるが、本橋はシーす配置されていないため、コンクリートとグラウトの界面反射波で判断することになる。そこで、探査精度を補完する目的で、電磁波レーダ法を併用してグラウトの充填性を評価した。なお、電磁波レーダ法は、鋼製シーす配置されている場合はシーす内部の空洞が探知できない。本橋は、シーす配置されていないため、電磁波レーダ法による探査が可能であった。

WUTによる調査は図-2.1に示される箇所で実施し、電磁波レーダ法による調査は全桁で実施した。

## 4. 調査結果

### 4. 1 外観調査

外観目視調査および打音調査の結果を図-4.1に、桁下の状況写真を写真-4.1に示す。図中に示される数字は損傷の範囲を示している。十郷橋の主桁は、剥離などの損傷や、セグメント継目部の損傷、曲げひび割れ

表-3.2 ASTM の評価基準

伝搬速度 (m/sec)	品質
4570 以上	優
3660~4570	良
3050~3660	やや良
2130~3050	不良
2130 以下	不可

表-3.3 トレント法の評価基準

透気係数 : kT	透気性評価
kT < 0.01	優
0.01 < kT < 0.1	良
0.1 < kT < 1.0	一般
1.0 < kT < 10	劣
kT > 10	極劣

等は見られず、健全な状態であった。主な損傷として、主桁底面の6箇所で錆の発生、上流側横締め着部の4箇所保護コンクリートの損傷および一部PC鋼材の露出が見られたが、いずれも損傷程度は軽微なものであり、耐荷力および耐久性に影響を与えるようなものではなかった。

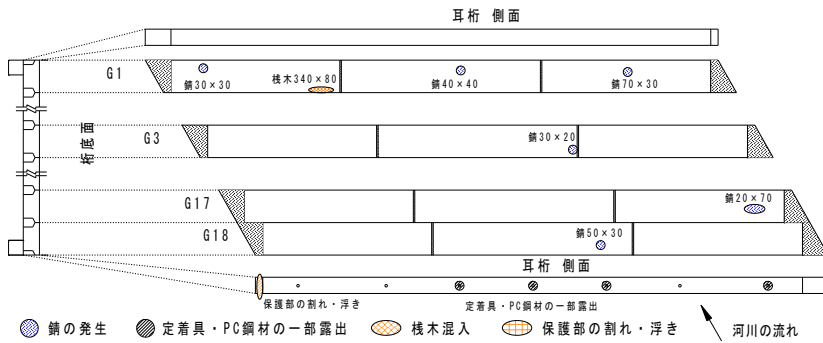


図-4.1 外観調査および打音調査結果



写真-4.1 桁下状況

## 4.2 コンクリートに関する調査

### (1) 強度試験

主桁コンクリートの強度試験結果を表-4.1に示す。強度の平均値は78.3N/mm<sup>2</sup>であり、設計基準強度(36.8N/mm<sup>2</sup>)を大きく上回った。静弾性係数は、現在のコンクリート標準示方書から算出される値(E<sub>c</sub>=37830N/mm<sup>2</sup>)に対しては妥当な値であったが、昭和36年制定の「プレレストコンクリート設計施工指針」に示される値と比較すると小さい値であった。

表-4.1 主桁コンクリートの強度特性

供試体 No	単位体積質量 kN/m <sup>3</sup>	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	静弾性係数 N/mm <sup>2</sup>
No. 2	2.40	80.7	35939
No. 3	2.39	70.8	39935
No. 7	2.36	83.4	43057
平均	2.38	78.3	39644

### (2) 中性化深さ

中性化深さの測定結果を表-4.2に、供試体の呈色状況を写真-4.2に示す。No.5供試体は、コンクリート表面まで朱色に呈色し、中性化は認められなかった。No.6供試体は、部分的に若干の中性化が認められ、中性化深さの平均値は1.6mmであった。

表-4.2 中性化深さの測定結果

供試体 No	中性化深さ						平均値
	1	2	3	4	5	6	
NO.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NO.6	0.0	0.0	0.0	5.8	3.7	0.0	1.6

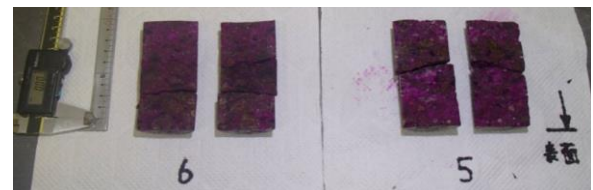


写真-4.2 コア供試体の呈色状況

一般に、コンクリートが緻密であるほど中性化速度は遅くなる。また、環境面では中程度の湿度で最も中性化が速度が速くなる。十郷橋は緻密なコンクリートが打設されたことに加え、橋梁下面が用水路であり湿度が高い状態が保持されたため、中性化が進行しなかったのではないかと推定される。

### (3) 塩化物イオン濃度の分布

塩化物イオン濃度の測定結果を図-4.2に示す。塩化物イオン濃度は、コンクリート表面~10mmまでの位置で0.54kg/m<sup>3</sup>となり、10mm以深はほぼ一定であった。この結果から、Fickの第2法則に基づきコンクリート表面の塩化物イオン濃度C<sub>0s</sub>および塩化物イオンの見かけの拡散係数D<sub>aps</sub>を算出すると、それぞれC<sub>0s</sub>=0.678 kg/m<sup>3</sup>、D<sub>aps</sub>=4.62×10<sup>-5</sup> cm<sup>2</sup>/yearとなる。

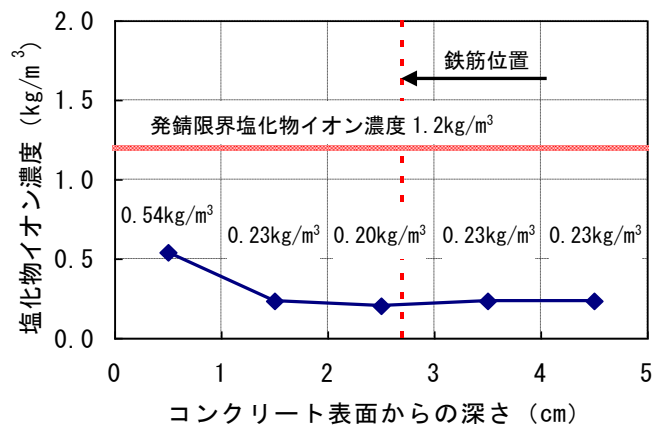


図-4.2 全塩化物イオン濃度の分布



これらの値を用いて鉄筋位置での塩化物イオン濃度を予測すると、現在は0.200 kg/m<sup>3</sup>程度であり、建設から100年を迎える2053年でも0.203 kg/m<sup>3</sup>程度となる。よって、本橋の維持方法などの環境が変わらなければ、今後も塩化物イオンによる劣化は生じないと考えられる。

(4) 超音波伝搬速度

超音波伝搬速度の測定結果を表-4.3に示す。表面法と透過法の両方で測定した箇所は、透過法の伝搬速度を用いて品質評価を行っている。

一般にコンクリートの超音波伝搬速度は、静弾性係数や密度と高い相関関係があることが知られており、高品質なほど伝搬速度が大きくなる傾向にある。本橋の伝搬速度は、全ての測点でASTMの基準の「優」に分類され、主桁コンクリートが密実であると判断できる。

(5) 表面透気試験

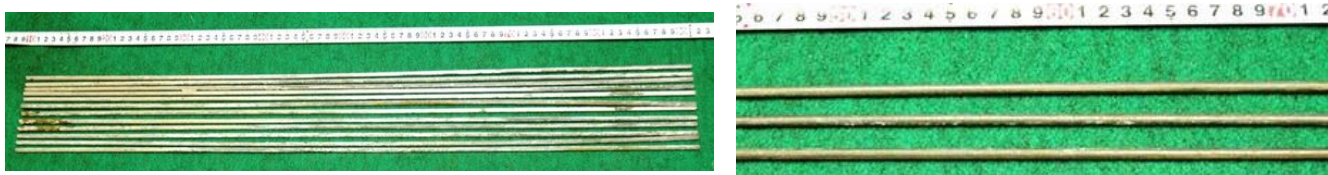
表面透気試験の結果を表-4.4に示す。透気試験は1測点あたり3箇所で行われ、15点中11点で「優」、2点で「良」、2点で「一般」という結果であった。ここで、試験後にT4の測点のコンクリート表面状態を確認したところ、表面に筋が確認された。透気試験はコンクリートの表面状態の影響を大きく受けるため、これら2点の計測結果を異常値として除外して各測点の透気係数を対数平均したところ、全ての測点で透気性グレードが「優」という結果であった。

小野ら<sup>2)</sup>は、セメントの種類と水セメント比をパラメータとし、耐久性と透気係数の関係について検討を行っており、中性化深さや塩化物イオンの浸透量と透気係数には高い相関が認められる結果が得られている。今回の調査結果から判断すると、本橋は中性化や塩分浸透に対する高い抵抗性を有していると考えられる。

4. 3 PC鋼材に関する調査

(1) PC鋼線の状態確認

石徹白橋のコンクリート片から採取したPC鋼線の試験体を写真-4.3に示す。試験体は、洗浄してグラウト等を取り除いて試験に供した。なお、PC鋼材を採取する際にグラウトおよびPC鋼材の状況を確認したところ、グラウトは充填されておらず、PC鋼線も発錆や腐食による孔食・欠損などはほとんど認められなかった。



(a) 洗浄前の試験体

(b) 洗浄後の試験体

写真-4.3 試験体の状況

表-4.3 超音波伝搬速度の測定結果

測点		主桁 No	超音波伝搬速度 (m/s)		ASTMによる 品質グレード
表面法	透過法		表面法	透過法	
T1	No. 1	G2	4470	4686	優
T2	No. 2	G4	4631	4669	優
T3	No. 3	G6	4625	4679	優
T4	—	G9	4844	—	優
T5	—	G15	4573	—	優
T6	—	G18	4717	—	優
—	No. 5	G12	—	4671	優
—	No. 6	G15	—	4639	優
—	No. 7	G17	—	4681	優

表-4.4 表面透気試験結果

測点	透気係数 kT × 10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>	透気性 グレード		透気係数 対数平均 × 10 <sup>-16</sup> m <sup>2</sup>	透気性 グレード		備考	
		1	優		1	優		
T1	T1-1	< 0.0010	1	0.001	1	優		
	T1-2	< 0.0010	1					優
	T1-3	< 0.0010	1					優
T2	T2-1	0.0010	1	0.001	1	優		
	T2-2	< 0.0010	1					優
	T2-3	< 0.0010	1					優
T3	T3-1	0.0019	1	0.002	1	優		
	T3-2	0.0012	1					優
	T3-3	0.0015	1					優
T4	T4-1	0.1600	3	0.001	1	優	※	
	T4-2	< 0.0010	1				優	
	T4-3	0.2600	3				一般	※
T6	T6-1	0.0130	2	0.008	1	優		
	T6-2	0.0230	2					良
	T6-3	0.0015	1					優

備考について ※異常値と判断し、除外

## (2) 引張試験

PC鋼線の引張試験結果および現行のJIS (JIS G 3536) の規格値を表-4.5に示す。

引張試験では、降伏点、引張荷重、伸びの全ての項目で現行のJIS規格を満足する結果となった。また、ヤング率についても現行のPC鋼材と同等程度の結果であった。

表-4.5 PC鋼線引張試験結果

項目	素線径 mm	引張荷重 kN	伸び %	0.2%降伏点 kN	ヤング率 GPa
No. 1	5.00-5.02	32.5	6.0	29.2	202
No. 2	4.99-5.02	32.8	5.5	28.9	201
No. 3	4.99-5.02	32.5	6.0	29.6	200
JIS規格値	5.00±0.03	≥31.9	≥4.0	≥27.9	—

## (3) 成分分析

PC鋼線の成分分析結果および現行のJIS (JIS G 3502 : SWRS72A) の規格値を表-4.6に示す。化学成分はいずれの元素も現行のJIS規格を満足しており、成分的には現在のPC鋼材とほとんど相違ないものであった。

表-4.6 PC鋼線成分分析結果

元素	C	Si	Mn	P	S	Cu
成分値[wt%]	0.73	0.26	0.49	0.023	0.023	0.09
JIS規格値	0.70-0.75	0.12-0.32	0.30-0.60	0.025≥	0.025≥	0.20≥

## 4.4 グラウト充填性調査

グラウト充填調査結果の一覧を表-4.7に示す。WUTによるグラウト調査は、9本の桁（主ケーブル本数は2本/桁）の両支点部付近で実施し、36箇所中27箇所「○（充填）」判定、9箇所「△（充填の確認に至らない）」判定であった。この△判定の箇所において、電磁波レーダ法による探査を行ったところ空隙は確認されず、全ての箇所でグラウトが充填されていると判断できる結果であった。なお、表-4.7に示されていない主桁については、電磁波レーダ法のみでグラウト調査を実施しており、調査した全ての桁で空隙（充填不良）は確認されず「○（充填）」判定であった。

これらの結果より、十郷橋は全ての主ケーブルでグラウトが充填されていると判断できる。

## 5. まとめ

十郷橋の健全性調査の結果を以下に示す。

- ・外観調査では、耐荷力および耐久性の低下に繋がるような変状は認められず、健全と判断できる状況であった。
- ・コンクリートの強度は、設計基準強度を大きく上回り、中性化の進行、塩化物イオンの浸透も見られなかった。また、超音波伝搬速度や表面透気試験の結果から、主桁コンクリートが高い品質を有していることが確認できた。
- ・PC鋼材の強度・化学組成は、現行のJIS規格を満足する結果であり、十郷橋のグラウトの充填性も確認できた。これらの結果から、石徹白橋と同様に十郷橋のPC鋼材も現在でも健全な状態にあると推定できる。

上記の結果から、十郷橋は建設から60年を経て供用されているにも関わらず、健全な状態にあると判断できる。本橋は今後の維持管理の貴重な資料となりうるため、今後も定期的な観察を実施したい。

## 【参考文献】

- 1) 濱岡弘二ほか：超音波を用いた既設PCケーブル健全度の確認手法の検討，第21回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.287-290，プレストレストコンクリート工学会，2012.10
- 2) 小野聖久，上東泰：非破壊試験による密実性評価とコンクリートの耐久性に関する考察，土木学会第60回年次学術講演会，V-259，pp.517-518，土木学会，2005.9

表-4.7 グラウト充填調査結果の一覧

調査 ケーブル		グラウト充填調査結果				総合 判定
		左岸側		右岸側		
		WUT	電磁波 レーダ法	WUT	電磁波 レーダ法	
G1	C1	○	○	○	○	○
	C2	○	○	○	○	○
G3	C1	○	○	○	○	○
	C2	○	○	△	○	○
G5	C1	△	○	○	○	○
	C2	△	○	○	○	○
G7	C1	○	○	○	○	○
	C2	○	○	○	○	○
G9	C1	○	○	○	○	○
	C2	△	○	○	○	○
G11	C1	○	○	○	○	○
	C2	○	○	△	○	○
G13	C1	○	○	○	○	○
	C2	△	○	○	○	○
G16	C1	△	○	○	○	○
	C2	○	○	○	○	○
G18	C1	△	○	○	○	○
	C2	○	○	△	○	○

○：充填、△：充填の確認に至らない



# 東名高速道路跨道橋のはく落防止対策工事

静岡 診断士会

須山建設(株) 松井 譲

弊社が平成19年より施工してきた、東名高速道路跨道橋のはく落防止対策工事について施工事例を報告させていただきます。

東名高速道路の跨道橋は、日本道路公団により東名高速道路と共に建設されましたが、現在は地方自治体が管理されています。静岡県内にも多くの跨道橋があり、これから何らかの補修工事を行わなければいけない状態にあります。しかし、高速道路の跨道橋であることから、当然、道路管理者である中日本高速道路との協議も関連してきますし、会員の皆様もなかなか経験が無い工事だと思えます。

今後の皆様に少しでも参考になればと思っております。

## 東名高速道路跨道橋のはく落防止対策



## 発表内容

1. 東名高速道路跨道橋の概要
2. はく落防止対策の概要
3. 施工方法
4. 施工の注意点

## 1. 東名高速道路跨道橋の概要

- ◆ 用途: 道路橋、歩道橋、水路橋等
- ◆ 架設位置: 山間部、切土部
- ◆ 架設数: 静岡県内に139橋  
東部地区77橋、中部地区19橋、西部地区43橋
- ◆ 竣工: 1968年前後(昭和43年)建設後44年経過  
1969年5月 東名高速道路全線開通
- ◆ 橋種: 斜材付n型ラーメン橋が多い



## 2. はく落防止対策の概要

- ◆ はく落防止対策とは、  
構造物の初期欠陥、損傷、劣化などの変状

↓  
コンクリート塊、タイル等がはく離落下

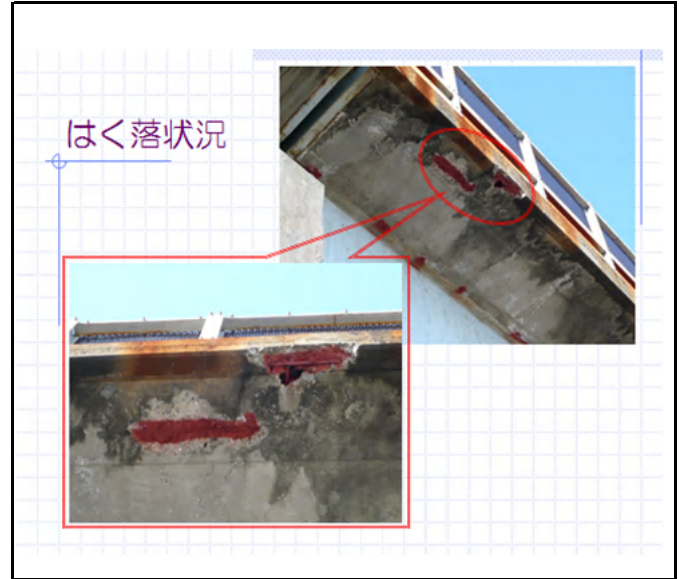
↓  
第三者への影響重大(重大事故発生)

↓  
子防保全対策(はく落防止対策)

既設コンクリート構造物の表面に設置する連続繊維シート接着工法のことを言います。



キーワード：施工技術

連絡先：静岡県浜松市中区布橋二丁目6番1号 TEL：053-471-3161 FAX：053-471-9235



### はく落事故事例

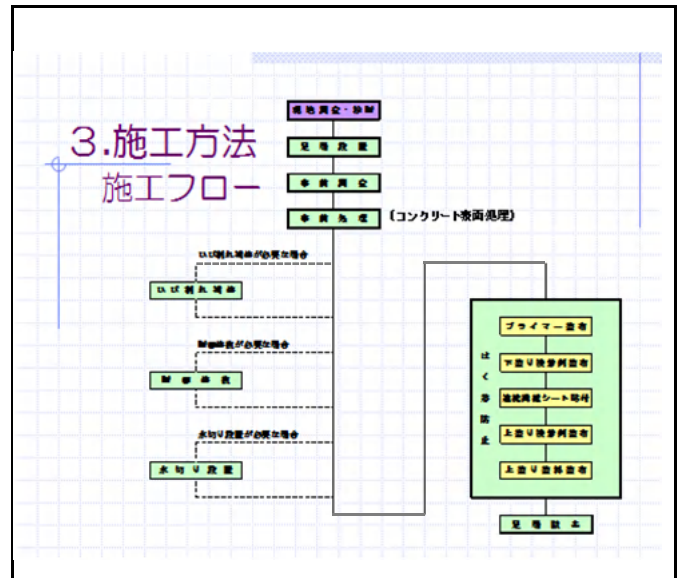
- ◆ 静岡市グランシップ外壁はく落  
天然石を利用した外壁が、平成16年6月以降40回にわたって落下。
- ◆ JR山陽新幹線トンネル内のコンクリートはく落  
平成11年6月、福岡トンネル内のコンクリートがはく落し、走行中の新幹線に直撃。車両の屋根が長さ16m、幅1mに渡ってめくれ上がった。

図文：福岡トンネル事故の概要  
(出典：日経コンストラクション)

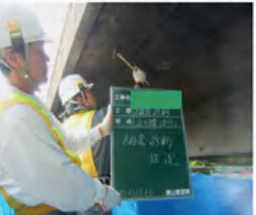
↓

第三者への影響重大(重大事故発生)



### 現地調査・診断

- ◆ 調査診断項目
  - ・書類調査
  - ・目視及び打音検査
  - ・中性化試験
  - ・鉄筋探査
  - ・圧縮強度試験
- ◆ 目視及び打音検査
  - ・コンクリート表面の変状確認。  
(ひび割れ、はく離、鉄筋露出、じゃんか、異物、浮き、空洞等)
  - ・構造物の周辺環境の確認。



### 現地調査・診断

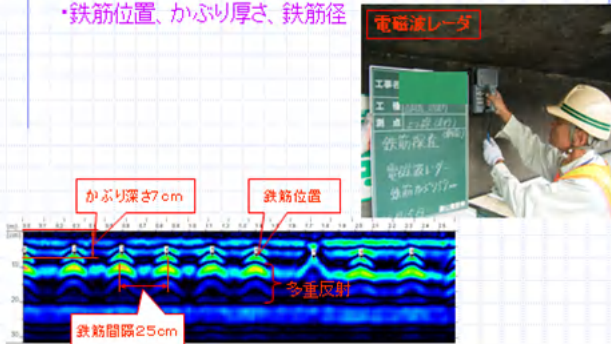
- ◆ 中性化試験(ドリル法)
  - ・コンクリート内部の鋼材に腐食の可能性が生じる。
  - ・フェノールフタレイノ溶液を使用し、色変化により中性化部を判断する。





## 現地調査・診断

- ◆ 鉄筋探査(電磁誘導法、電磁波レーダ法、X線透過撮影法)
- ◆ 鉄筋位置、かぶり厚さ、鉄筋径



## 現地調査・診断



### 劣化原因

- ◆ 跨道橋での劣化が顕著に見られるのは、地覆部の下面の水切り部分である。
- ◆ 躯体部のPCポストテンション後に地覆部を施工するため、振動や環境影響を受け易い。
- ◆ 中性化による鉄筋腐食ではない。健全な状態。
- ◆ PC位置と鉄筋が集中するため、ジャンカ、かぶり厚さ不足による鉄筋腐食が発生し易い。

施工的な要素が大きい

## 足場設置

- ◆ 施工面積により、吊足場か高所作業車を選択。
- ◆ 集中工事期間内に完了できるか、できないか。
- ◆ 施工面積800m<sup>2</sup>以上となる場合は吊足場。
- ◆ 路肩部は構造上ステージ足場を設置。



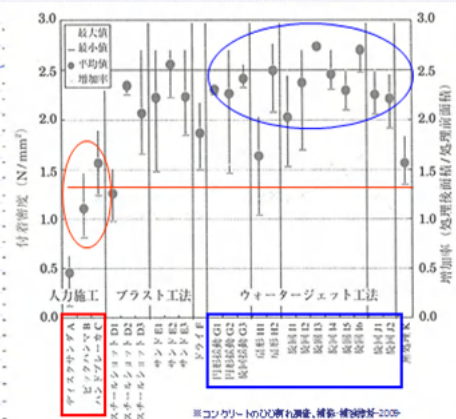
## 足場設置

吊足場(セーフティパネル)



## 事前処理(表面処理)

- ◆ 新旧コンクリートの良好な付着・一体化を図るために、コンクリート表面のぜい弱層、レタナス、ゴミ等の除去及び凹凸の平坦性を行う処理。
- ◆ ウォータージェット工法またはブラスト工法。
- ◆ 従来のブレード等によるチップングでは、処理面にマイクロクラックが発生し新旧コンクリートの一体性状に悪影響を及ぼしたり、鉄筋に損傷を与える。
- ◆ 同時吸引方式では、粉塵や飛散等の環境影響が低減。
- ◆ NEXCOの付着性能基準値 1.5N/mm<sup>2</sup>以上



新旧コンクリートの一体化にはWJ工法が望ましい。

## 事前処理(表面処理)

ウォータージェット表面処理同時吸引工法(NETIS登録)



[付着性能を満足する処理条件]

- ・ウォータージェット工法: 水圧120MPa以上  
※ 高圧洗浄機: 水圧5MPa
- ・バキュームブラスト工法: 噴射密度30kg/m<sup>2</sup>

同時吸引式バキューム回転シート



バキュームブラスト工法(NETIS登録)



## ひび割れ補修

◆ ひび割れ幅に伴う補修方法

- ・0.2mm未満→ひび割れ被覆工法
- ・0.2~0.5mm→ひび割れ注入工法
- ・0.5mm以上→ひび割れ充填工法

ひび割れ注入工法  
(低圧低速注入工法)

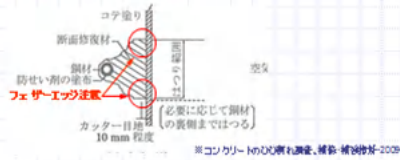


※ ひび割れ幅、変動の有無、ひび割れ面の状態により適切な材料を選定すること。

## 断面修復

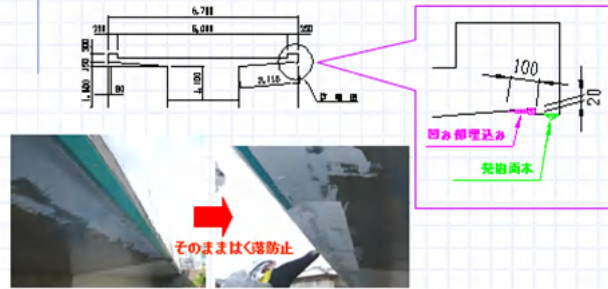
◆ 施工条件、補修規模による補修方法

- ・左官工法: 比較的小規模の場合。左官コテ仕上げ。
- ・打込み工法: 比較的大規模の場合。型枠を組み、流動性に優れたグラウトモルタルやコンクリートを充填する。
- ・吹付け工法: 大規模の場合。湿式工法と乾式工法がある。



## 水切り設置

◆ 鋭角で小断面の凹み部には、はく落防止の連続繊維シートが貼付が出来ないため、凹み部を断面修復材で埋め込み、新たに発泡面木を利用して水切りを設置する。



## はく落防止 施工フロー

プライマー塗布



下塗り接着剤塗布



連続繊維シート貼付け



## はく落防止

◆ 品質管理

- ・押抜き試験: 変位が10mm以上における押抜き荷重が1.5kN以上  
荷重1.5kNは、約50kg程度のコンクリート片のはく落を想定し安全率を見込んだ値。





#### 4. 施工の注意点

- ◆ 現地の確認が出来ない。
- ◆ 高速道路管理者の仕様による施工。
  - ・ 本線工事は集中工事に実施。
  - ・ 施工日数が限定される。
  - ・ 24時間連続作業である。
  - ・ 作業者の確保が難しい。
  - ・ 天候による影響が大きい。
  - ・ 集中工事以外の本線規制は厳しい条件。
- ◆ 適用基準類の選択。
  - ・ NEXCO 構造物施工管理要綱

#### ◆ 現地の確認が出来ない。

現地を確認するにしても高速道路規制が必要となり、現状では規制を掛けてまで事前に現地確認はしていません。不安になりますが、外から眺めるだけになってしまいます。

いきなり高速道路の集中工事となるため、事前の準備が大変重要となります。

#### ◆ 高速道路管理者の仕様による施工。

- ・ 本線工事は高速道路の集中工事に実施。

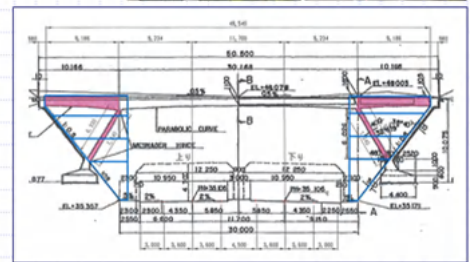
東名高速道路の集中工事は、例年10月の体育の日が含まれた第2・3週目となり、前半週が追越車線、後半週が走行車線と言うように規制車線を切替えて工事を行っています。

本線規制の方は、道路管理者で掛けてくれるので、その後に各施工箇所ごとに作業範囲や出入口等々の規制を掛けてから作業が開始できます。

施工順序は、①路肩部、②追越車線部、③走行車線部と言う流れで施工します。

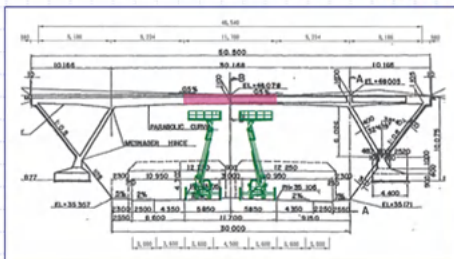
#### 施工順序①

- ◆ 路肩部  
集中工事に関係なく施工可能。



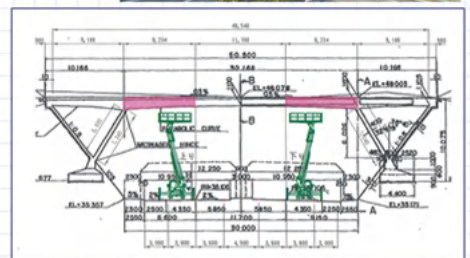
#### 施工順序②

- ◆ 追越車線部  
集中工事に施工。



#### 施工順序③

- ◆ 走行車線部  
集中工事に施工。



- ・ 施工日数が限定される。
- ・ 24時間連続作業である。

はく落防止対策工事では、各車線毎に24時間連続で3日半の時間を頂いており、時間内に出来形図を作成して、中間検査まで受けています。

いきなりの本番ですが、何があっても日程は変更されないの時間との戦いであり、プレッシャーとストレスとの戦いでもあります。

- ・ 作業員の確保が難しい。

このような過酷な条件もあり、「集中工事なら仕事は請けれません。」と言う協力業者が多く、工事価格も通常単価では請負ってくれません。

また、集中工事で配置する規制保安員についても期間が集中してしまうことと、道路管理者からの配置条件があり、作業員と合わせて確保が大変難しくなっています。

### 集中工事配置保安員試験



訓練後に試験実施  
合格者のみ配置可能

### 天候による影響が大きい

- ◆ 台風の影響による未完成部



集中工事は時期的に秋雨や台風シーズンのため、集中工事を一時解除することもあります。

- ・ 集中工事以外の本線規制は厳しい条件。

吊り足場を設置した場合は、撤去をどうしても集中工事期間中に出来ず、はく落防止対策工事業者が単独規制を掛けて吊り足場を撤去する必要があります。その際、道路管理者から許可される条件は、浜松西ー浜松IC間では、土曜日の夜間、若しくは昼間であれば火・水・木曜日となり、上り線では12時から3時、下り線では10時から1時と言うように、かなり厳しい時間的な制約があるなかで工事を行わなければいけません。

- ◆ 適用基準類の選択。

新設工事と比べて維持メンテナンス工事では、仕様書等にまだまだ細かい管理基準が明記されておらず、何を基準にして管理すれば良いのが困ってしまいます。そこで今回紹介させて頂くのは、NEXCOの仕様書である構造物施工管理要綱です。日本道路公団時代より、維持メンテナンス工事に携わってきた経緯より、仕様書も保全編では維持メンテナンスに特化した内容となっており、大変参考になります。こちらは、NEXCO総研のホームページから購入することができます。



## トンネルの劣化変状とTHIを用いた健全度評価手法

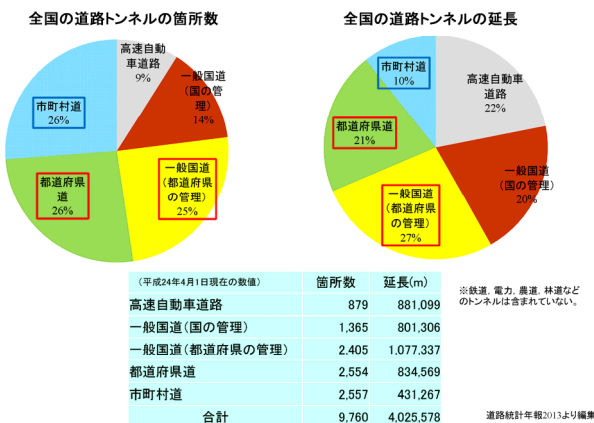
石川県コンクリート診断士会

ナチュラルコンサルタント株式会社 古川 博人

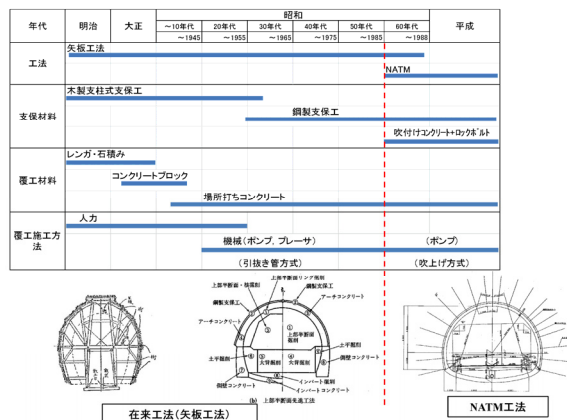
トンネルの点検は、その目的や点検方法に応じて初回点検、定期点検、詳細点検、緊急点検等に区分され、適時実施されています。しかし、実際には点検者の経験や技量などによって、点検時の着目箇所や劣化変状の原因の判断、健全度評価に差異が生じることがあります。そのため、石川県では道路トンネル点検要領（案）を作成するとともに、アセットマネジメントの一環としてトンネルの状態を定量化するための THI（Tunnel Health Index）を用いた健全度評価手法を活用しています。

本報告では、石川県の道路トンネルにおいて点検時に使用する定期点検記録簿（チェックシート）を用いて、主な劣化変状の着目点を事例を交えて示すとともに、THI の算出と健全度ランクの考え方を紹介します。また、私が点検したトンネルから劣化変状の傾向を紹介します。

### 1. 全国の道路トンネル

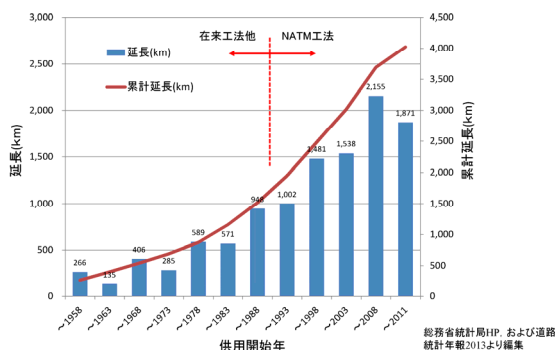


### 2. トンネル施工方法の変遷



### 3. 全国の道路トンネル延長の推移

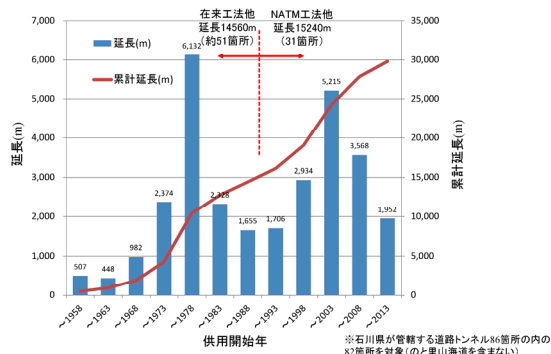
道路トンネルの供用延長の推移を示す。道路トンネルでのNATM工法の導入は、高速道路では1983年(昭和58年)、一般道路では1989年(平成元年)であることから、その半数近くが在来工法(矢板工法)である。



### 4. 石川県における道路トンネル延長の推移

ほとんどが山岳工法のトンネルで、開削工法(ボックス)は3箇所である。

箇所数 在来工法(矢板工法):NATM工法=5:3  
 累計延長 在来工法(矢板工法):NATM工法=1:1



キーワード：アセットマネジメント、維持管理

連絡先：石川県野々市市住吉町12.-27 TEL：076-246-1171 FAX：076-246-4489

### 5.石川県における点検の種類

トンネルの点検を効率的、効果的に行うために、以下の点検区分にて定められた時期に行うとしている。それぞれの目的、方法、間隔、実施者は異なる。

点検種別	点検内容	点検間隔	点検実施者	判定
初回点検	遠望目視+打音検査 ・覆工展開図 ・簡易点検シート ・定期点検記録簿	各トンネル1回 新設トンネルは建設後2年経過後に行う	外部委託(専門コンサルタント)	定期点検記録簿から得られるTHI値を用いて、健全度ランクを求める。
簡易点検	簡易点検シートによる点検指定された箇所状況確認	1~2年以内毎に1回	道路パトロール員、職員	簡易点検シートの判定指標に従う。
定期点検	遠望目視+打音検査 ・覆工展開図更新 ・定期点検記録簿 ・簡易点検シートの再確認	5年以内毎に1回	外部委託(専門コンサルタント)	定期点検記録簿から得られるTHI値を用いて、健全度ランクを求める。
詳細点検	近接目視+打音検査 +調査試験 ・地中レーダ ・レーザースカナーなど	定期点検で問題あれば行う または、供用30年を超えたと行う	外部委託(専門コンサルタント)	石川県トンネル健全度ランク(1~5ランク)で評価する。
緊急点検	遠望目視(または近接目視)	地震や大雨などの自然災害時、国土交通省通達時などに行う	職員(状況により外部委託)	定期点検に準じる。

石川県道路トンネル点検要領(案)より

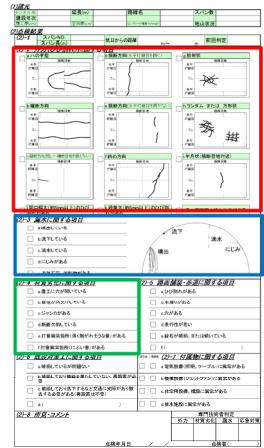
### 6.定期点検記録簿

定期点検記録簿は、各トンネルにおいてスパン毎に作成する。  
変状の分類は以下の3つに区分して、健全度評価や対策工検討が行われているのが実情である。

①外力に起因する変状

②漏水による変状

③材質劣化による変状



### 7. THIの重み付け表と健全度ランク表

定期点検記録簿でチェックを付けた箇所の配点(重み)の合計値が、そのスパンの劣化状態および健全度を示す。

凡例	外方	材質劣化	漏水
0-2 外方に関する項目			
0-1 ハの字型	○		
0-2 縦断方向(長い→連続する)	○		
0-3 縦断方向(短い→継目目地を越えない)	○		
0-4 横断方向(水平打撃目を跨ぐ)	○		
0-5 横断方向(水平打撃目を跨がない)	○		
0-6 斜め方向	○		
0-7 壁形状	○		
0-8 ランダムまたは方形形状	○		
0-9 半月状(横断目地付定)	○		
0-10 開口幅(約50mm以上のひび割れ)	○		
0-11 最大開口幅(約50mm以上のひび割れ)	○		
0-3 漏水に関する項目			
0-12 噴出している			○
0-13 流下している			○
0-14 滴水している			○
0-15 にじみがある			○
0-16 石灰つらら、エフロ			○
0-4 材質劣化に関する項目			
0-17 剥離している		○	
0-18 目地が劣化している		○	
0-19 シヤンクがある		○	
0-20 断面欠損している		○	
0-21 打音異常箇所(音が弱く、または音が異なる)		○	
0-22 打音異常箇所(にぶい音)がある		○	
0-5 緊急点検(劣化)に関する項目			
0-23 水漏りがある			○
0-24 壁石が脱落、または傾いている			○
合計			

石川県土木部道路整備課より

<参考> 石川県の健全度ランクと国土交通省の点検要領(案)判定区分の対比

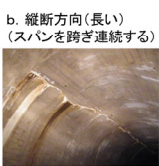
判定区分 (石川県トンネル 健全度ランク)	判定の内容	対応-措置	道路トンネル定 期点検要領 (案)判定区分	道路トンネル 維持管理要領 健全度ランク
1	変状が著しく通行車両の安全を確保できないと判断され、応急対策を実施した上で補修、補強対策の要否を検討する標準調査が必要な場合。	応急対策を即時または1年以内に実施、および標準調査を実施 調査の結果により、対策が必要と判断されれば、程度により1年以内もしくは3年以内に対策を実施	A	3A
2	変状があり、応急対策は必要としないが補修、補強対策の要否を検討する標準調査が必要な場合。	標準調査を実施 調査の結果により、対策が必要と判断されれば、3年以内に対策を実施	D	2A
3	変状はないか、あっても軽微で応急対策や標準調査の必要が無い場合であるが、進捗性の有無がはっきりしない変状が存在する場合。	調査の進捗を確認する計測、監視を実施	A	A
4	変状は軽微で問題ない場合、しかし、継続的な点検程度は必要と考えられる場合。	特に何もしない。	S	B
5	変状が全くない場合、もしくは、軽微な変状があるが、今後、対応が必要が発生しないと考えられる場合。	特に何もしない。		

石川県道路トンネル点検要領(案)より

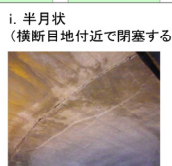
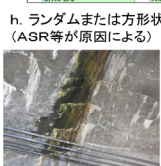
### 8.主な劣化変状の着目点と事例

#### ①外力に起因する変状例

##### a. ハの字型 (主にコールドジョイント)



0-2 外方(ひび割れ)に関する項目	0-3 漏水に関する項目
0-1 ハの字型	0-12 噴出している
0-2 縦断方向(長い→連続する)	0-13 流下している
0-3 縦断方向(短い→継目目地を越えない)	0-14 滴水している
0-4 横断方向(水平打撃目を跨ぐ)	0-15 にじみがある
0-5 横断方向(水平打撃目を跨がない)	0-16 石灰つらら、エフロ
0-6 斜め方向	0-17 剥離している
0-7 壁形状	0-18 目地が劣化している
0-8 ランダムまたは方形形状	0-19 シヤンクがある
0-9 半月状(横断目地付定)	0-20 断面欠損している
0-10 開口幅(約50mm以上のひび割れ)	0-21 打音異常箇所(音が弱く、または音が異なる)
0-11 最大開口幅(約50mm以上のひび割れ)	0-22 打音異常箇所(にぶい音)がある
0-12 剥離している	0-23 水漏りがある
0-13 流下している	0-24 壁石が脱落、または傾いている

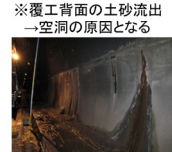
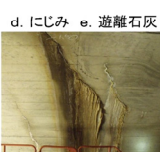


※材質劣化とも関連

※材質劣化とも関連

#### ②漏水に起因する変状

在来工法では覆工背面が防水不完全のため顕著に見られる。



0-3 漏水に関する項目
0-12 噴出している
0-13 流下している
0-14 滴水している
0-15 にじみがある
0-16 石灰、遊離石灰、埃がある

※覆工背面の土砂流出→空洞の原因となる

### ③材質劣化に起因する変状

施工当初から内在している欠陥が顕在化するケースが多い。

(2)-4 材質劣化に関する項目	
<input type="checkbox"/>	a. 覆工に欠けが起きている
<input type="checkbox"/>	b. 目地が角欠けしている
<input type="checkbox"/>	c. ジャンカがある
<input type="checkbox"/>	d. 断面欠損している
<input type="checkbox"/>	e. 打音異常箇所(露れがれ、露れそば)がある
<input type="checkbox"/>	f. 打音異常箇所(目地)にひび割れがある

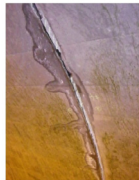
a. 覆工に穴が開いている



b. 目地が角欠けしている



※目地部補修材の浮き、はく離



c. ジャンカがある



d. 断面欠損している



### ④その他に関する項目

トンネルは、中が暗く立ち止まって見ることがないため分からないが、様々な変状が隠れている。

(2)-5 路面積後・歩道に関する項目	
<input type="checkbox"/>	a. ひび割れがある
<input type="checkbox"/>	b. 水溜りがある
<input type="checkbox"/>	c. 欠けがある
<input type="checkbox"/>	d. 変形性が悪い
<input type="checkbox"/>	e. 緑石が破損、または傾いている
<input type="checkbox"/>	f. 〇

歩道に土砂溜りがある



(2)-6 既設対策工に関する項目	
<input type="checkbox"/>	a. 傾斜しているが問題ない
<input type="checkbox"/>	b. 傾斜しており補修を要していない、再設置が必要
<input type="checkbox"/>	c. 傾斜しており落下するなどの交通に支障があり除去する必要がある(再設置は不要)
<input type="checkbox"/>	d. 〇

(2)-7 材質物に関する項目	
<input type="checkbox"/>	a. 電気設備(照明、ケーブル)に異常がある
<input type="checkbox"/>	b. 機械設備(ジェットファン)に異常がある
<input type="checkbox"/>	c. 非常用設備、補修に異常がある
<input type="checkbox"/>	d. 緑石の取付に異常がある

既設導水樋の破損



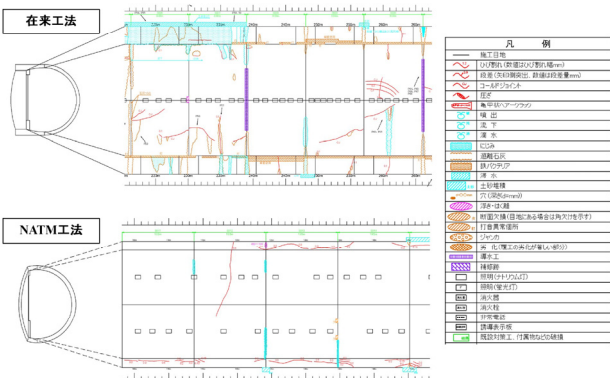
照明の取付アンカーボルトの抜け出し



緑石が破損、または傾いている → 膨張性土圧の作用



### 9.劣化変状展開図(例)

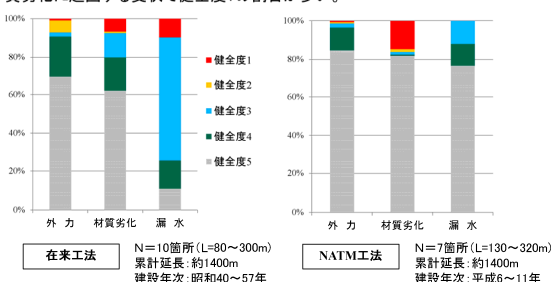


### 10.健全度の割合と劣化変状の傾向

石川県内のトンネルから代表箇所を抽出し、(1)スパン毎の健全度と、(2)定期点検記録簿における劣化変状項目のチェック数を集計した。

#### (1)健全度の割合

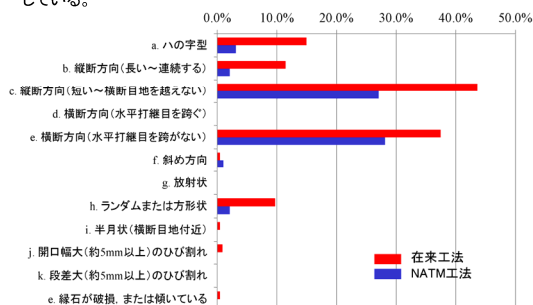
在来工法では、供用年数が35~50年であり、NATM工法と比較して劣化変状が進んでいて、中でも漏水に起因する変状が顕著である。NATM工法では、材質劣化に起因する変状で健全度1の割合が多い。



### (2)劣化変状の傾向

#### ①外力に起因する変状

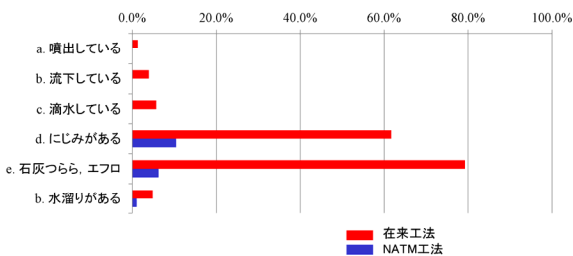
共通して縦横断方向の短いひび割れが多いが、健全度への影響は低い。在来工法では、ハの字型や縦断方向の長いひび割れが多く、主にコールドジョイントに起因するものと見られる。NATM工法になると、変状割合は減少している。



### (2)劣化変状の傾向

#### ②漏水に起因する変状

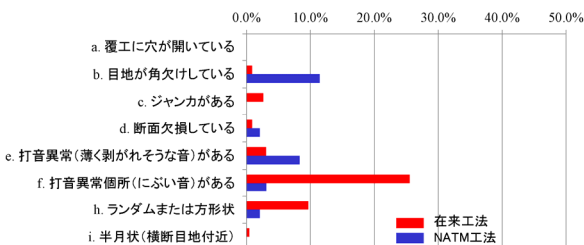
在来工法では、60~80%のスパンで漏水によるにじみおよび遊離石灰が見られるが、NATM工法では10%程度である。



(2)劣化変状の傾向

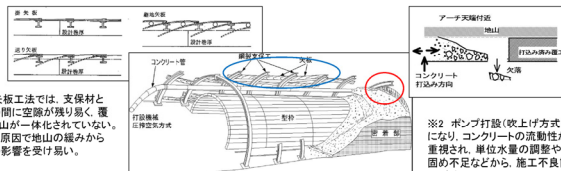
③材質劣化に起因する変状

在来工法では、打音異常箇所(にぶい音)の割合が多いが、背面空洞に起因するものと思われる。反対にNATM工法では、目地の角欠けと打音異常(薄く剥がれそうな音)の割合の方が多く、これは横断目地部のコンクリート締固め不足や補修した跡の浮き・剥離に起因するものと考えられる。



11.施工方法と変状の主な特徴

施工法	変状の主な特徴
在来工法 (矢板工法)	外力起因のひび割れが発生。コールドジョイントからの劣化進行 背面防水の不完全による漏水の発生 背面の空洞残存と巻厚不足による覆工への変状発生(※1) アーチと側壁の不連続面で漏水や充填材の浮き・剥離
NATM工法	覆工硬化時の地山拘束、乾燥収縮等によるひび割れ 背面防水が完備されて漏水は激減 型枠端部(横断目地)付近のコンクリートの打込み不良(※2)

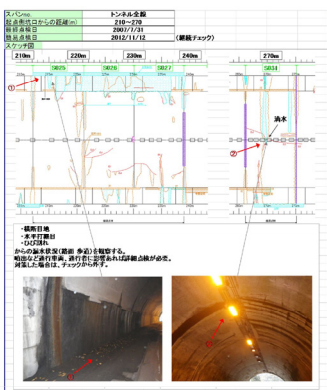


12.簡易点検シート

1~2年毎に実施する簡易点検では、簡易点検シートを使用して、その指示内容に従ってトンネルの状況を確認する。

遠望目視(徒歩)にてトンネルの本体工および付属物の状況を把握し、変状の進行性や新たな変状の早期発見を目的としている。

判定結果によっては、詳細点検や応急対策などの対応をとる。

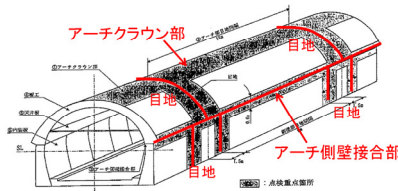


判定結果

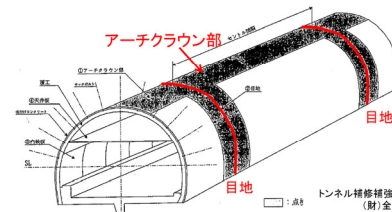
<input type="checkbox"/> 異常なし・次回定期点検で確認	<input type="checkbox"/> 漏水量が増加している
<input checked="" type="checkbox"/> 簡易点検にて、翌年再確認	
<input type="checkbox"/> 詳細点検が必要	
<input type="checkbox"/> 応急対策が必要	

13.トンネル点検の着眼点

在来工法



NATM



今回、石川県内での道路トンネルの定期点検による健全度評価から、在来工法およびNATM工法のそれぞれの劣化変状の傾向を把握しました。これらの傾向は、今後のトンネル点検時における着目点とすることが出来ます。ただし、利用者被害を及ぼすような突発的な変状は、多数の傾向から現れるのではなく少数の中にも隠れています。例えば、局部的な剥落や背面空洞や地山の緩みから生じるひび割れ等は、トンネル全体に症状が見られるものではなく、スポット的に潜在しているものと思われれます。それらの兆候に気が付き注意を促すことが、今後の点検において求められる課題であると考えます。

また、健全度評価手法については、設定されている点数や健全度評価におけるTHIのしきい値が実際の劣化変状の程度と解離している場合も見られます。これについては、今後定期点検を積み重ねてデータを蓄積し、点検項目や各々の重み付け点数の妥当性を検証する必要があると考えます。

【参考文献】

- (社)土木学会：トンネルライブラリー 12 山岳トンネル覆工の現状と対策
- (社)土木学会：トンネルライブラリー 14 トンネルの維持管理
- (社)土木学会：トンネルの変状メカニズム
- (社)日本道路協会 道路トンネル維持管理便覧(平成5年11月)



## 無人ヘリによるコンクリート構造物の点検事例

広島県コンクリート診断士会 広島工業大学 ○十河 茂幸  
ルーチェ・サーチ株式会社 渡辺 豊

**要旨** 広島県においても、最近になりコンクリート片の剥落が頻発している。高度成長期に建設されたコンクリート構造物が想定以上に早く劣化し、コンクリート内部の鋼材の腐食からひび割れが生じ、ついには剥落する事態に達している。鋼材が腐食した原因は塩害、中性化などが考えられるが、これを早期に発見することが剥落による第三者被害を防ぐ方法の一つである。コンクリート表面のひび割れあるいは剥落の兆候を早期に発見するには、日常の点検が効果的であるが、河川や海洋の橋梁下部や高橋脚などでは容易に点検ができない場合が多い。このような条件下においては、遠隔で操作できる無人ヘリの利用が可能となる。ただし、無人ヘリには点検に必要な性能が必要となり、無人ヘリによる測定結果を適切に解析し、解析された情報を診断に生かすためのコンクリート診断に必要な知識と経験が必要である。

この報告は、コンクリート構造物の診断に必要な無人ヘリの性能と、無人ヘリによるコンクリート構造物の点検事例を紹介するものである。



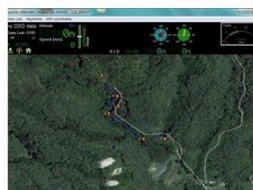
写真 - 1 コンクリートの剥落事例



写真 - 2 無人ヘリの外観

### 機体仕様

- ・重量 3.8kg
- ・サイズ 85cm×85cm×40cm
- ・ペイロード 4000g
- ・飛行時間 20分
- ・駆動 モータ
- ・耐風 15m/s
- ・飛行可能範囲 1,000m



### 無人機（回転翼）の特徴

- 1 自律飛行可能
- 2 半径数mでの離発着可能
- 3 滞空標識・地上測量不要
- 4 オルソ画像作成可能
- 5 3次元（DSM）データ取得可能



キーワード：無人ヘリ、点検、診断、橋梁、ひび割れ

連絡先：広島県広島市佐伯区三宅2-1-1 広島工業大学 TEL：082-921-6932 FAX：082-921-8976

### 飛行ルート設定画面



写真 - 3 バッテリー保護の場合



写真 - 4 自動飛行の設定画面



写真-5 ダムの点検事例

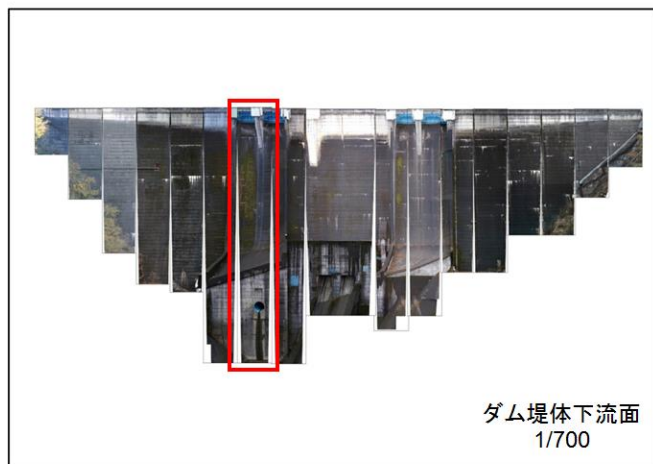


写真 - 6 ダム堤体の調査結果の処理

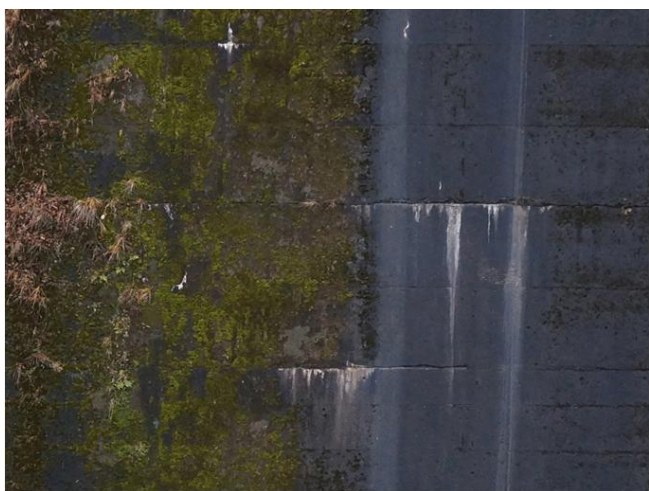


写真 - 7 漏水部の拡大画面



写真 - 8 ダムの点検状況





写真 - 9 橋梁下部工の点検事例



写真 - 10 橋脚の撮影結果

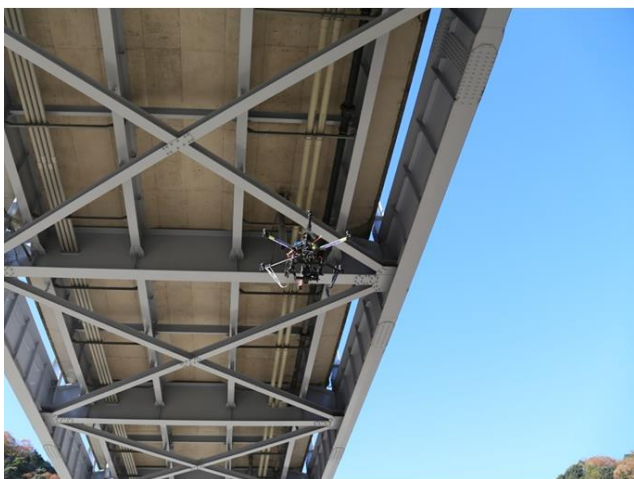


写真 - 11 橋梁下面の点検事例



写真 - 12 上向きカメラ設置状況

死角の補完

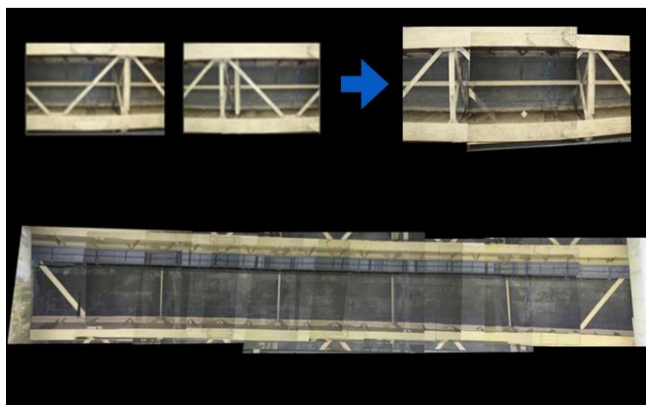


写真 - 13 床版下面の視覚補完



写真 - 14 床版下面の撮影結果





写真 - 15 吹付け法面の点検事例



写真 - 16 サーモカメラの設置状況

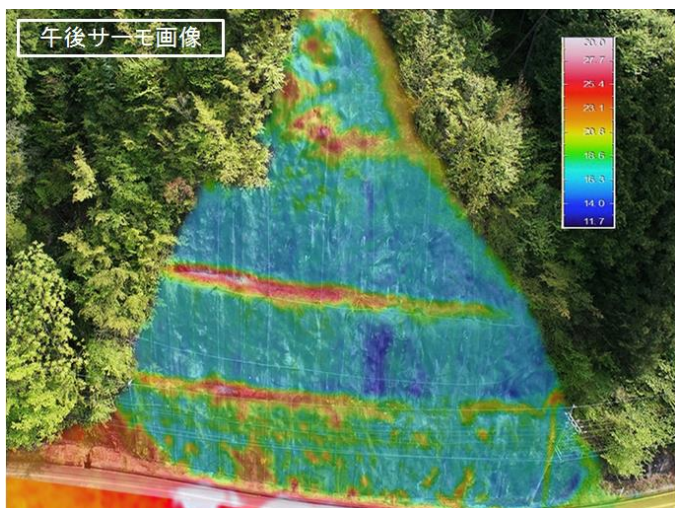


写真 - 17 赤外線撮影の結果



写真 - 18 コンクリート表面の観察



写真 - 19 放射能汚染地区の調査状況

～まとめ～

無人ヘリによるコンクリート構造物の点検は、直接構造物に近寄ることが困難な場合に、足場や点検車を必要とせず、通行止めの必要もないため、効率が良く安価に点検ができる。

現状では飛行時間が短いなどの課題も残されているが、バッテリー、カメラの小型化などの改良により、さらなる用途拡大が期待できる。

コンクリート構造物の診断には、診断士の判断が必要となるが、初期の点検により概略の把握を行い、効率的な調査が可能となり、今後の活用が期待される。



## 無機系簡易ひび割れ補修材の効果に関する検討報告

静岡 (株)フタバコーケン ○天野 智雄  
 法人 全国止水躯体補修工事協同組合 白杵 匠

(要旨) 「補修しなくて良いひび割れが存在して良いのか?」「補修効果があっても美観が損なわれて良いのか?」また「その様なひび割れを誰でも安価に補修する方法はないか?」という観点から注入補修工事の専門者が開発した、**簡易ひび割れ補修材**の有効性について研究を行った成果。

主にひび割れ幅より補修の必要無と判断された初期ひび割れを対象として、超微粒子セメント注入材を表層より約 2cm~5cm 程度に留めて簡易に注入する為の配合検討および、簡易注入工法にて注入した供試体を用いて塩水浸漬試験、透水試験および促進中性化試験を実施し、構造物の耐久性に影響をおよぼす有害物質の侵入を抑制する事が出来ることを明らかにしたもの。

### ひび割れ補修に求められるものとは?

- ◆ 耐久性向上
- ◆ 劣化因子侵入抑制
- ◆ 美観性維持 . . . 等

↓

- ◆ 強度 (圧縮強度・付着強度...)
- ◆ 止水性 (遮水性・防水性...)
- ◆ 塩分遮蔽性
- ◆ 中性化抵抗性
- ◆ 美装性 (色・質感...)

### 疑問

- 補修しなくて良いひび割れがあるのか?
- 軽微なひび割れに多額の費用の掛かる熟練の職人・工法が必要か?
- 機能が保たれば、美観は無視して良いか?

### 新しい簡易補修材の提案

セメント系簡易ひび割れ表面注入工法(ひび割れ表面限定注入)



◆セメント系注入材をひび割れ表面より直接加圧注入し、ひび割れ表層数cmを充填、補修効果を図る補修工法

### 簡易型の施工方法の違い

<p>□ 一般的な注入</p>  <p>メリット</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ ひび割れのより深部への充填が図れる</li> <li>◆ 実績が豊富で認知度・信頼性が高い</li> </ul> <p>デメリット</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 工程が多く時間がかかる・コストが高い</li> <li>◆ 熟練性を要する</li> <li>◆ 補修跡が残る(傷・汚れ)</li> </ul>	<p>□ 簡易的な注入</p>  <p>メリット</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 工程が少なく短時間で施工可能・コストが低い</li> <li>◆ 簡単(熟練性不要)</li> <li>◆ 補修跡が比較的目立たない</li> </ul> <p>デメリット</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 実績に乏しい</li> <li>◆ 限定的な注入であるため、深部に空隙が残る</li> </ul>
---	--

キーワード：簡易補修、セメント系注入材、ひび割れ注入、増粘剤、ポリマー

連絡先：〒101-0043 東京都千代田区神田富山町14番地2 全国止水躯体補修工事協同組合 TEL03-6206-9890



## 注入材の効果（既往の研究）

「ひび割れに樹脂注入したコンクリート梁の強度性状と防食効果」（星野らの研究H12）※エポキシ樹脂注入  
 ※ひび割れ表層2cm程度の注入で劣化因子の遮断が可能  
 補修目的に応じた注入深さ  
 ※ただし、樹脂の紫外線劣化による美観の低下を懸念している



無機系ひび割れ注入材で同様の効果が得られれば、簡易補修工法で機能性・美観性の両立が可能になるのではないか？

## 本工法の補修効果の検証

**研究目的** ・ひび割れ表層への注入性と静止性(チクソ性・揺変性)が両立できるか？  
 ・補修性能をどの程度確保できるか？

### 研究手法

①注入材の配合の選定

⇒アクリル板注入試験

※注入性・静止性における適正配合の選定

②注入材の注入深さについて検討

⇒コンクリート注入試験

※実施工により近い状況での検証

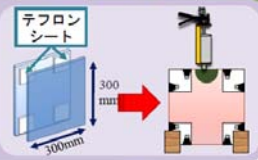
③コンクリートに対する補修効果の検討

⇒塩水浸漬試験・透水試験・促進中性化試験

## アクリル板注入試験概要

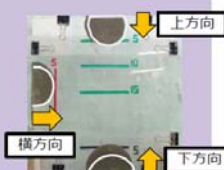
### 実験の目的

注入性が良好でなおかつ、注入圧力解放後ひび割れ表層で静止しやすい配合の選別（注入性と揺変性(チクソ性)の両立)



### 試験条件

ひび割れ幅  
 0.2mm



13

## 配合方法

### アクリル板注入試験

ひび割れ表層で静止しやすい配合の選定

### 使用材料

#### セメント

N(3300)  
 BB(3760)  
 HS(8000)  
( )内は比表面積 (cm<sup>2</sup>/g)

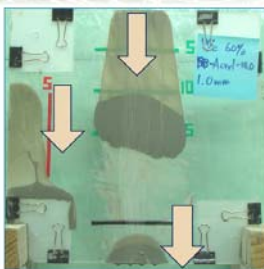
#### 増粘剤添加量

0%  
 1.5%  
 3.0%  
 6.0%  
水量に対する比率

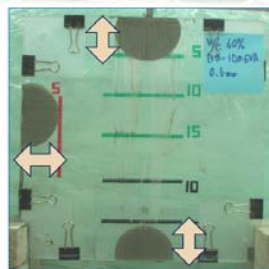
#### ポリマー

無  
 PAE  
 EVA  
 SBR  
セメントに対して10%添加

## 判定内容



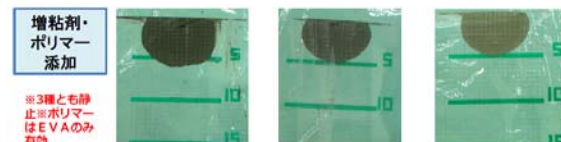
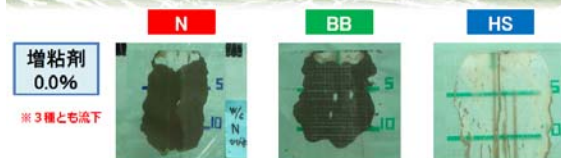
重力の影響により鉛直方向に流下



注入方向に関わらずひび割れ表層で静止



## 配合試験結果(アクリル板注入試験)



### コンクリート注入試験

**実験の目的**  
 コンクリートに注入した場合の、注入材の注入深さの検討（より実際のひび割れ補修に近い状況を再現）

**試験条件**  
 ひびわれ幅  
 0.2mm

**測定項目**  
 注入深さ

### コンクリート注入実験 ポリマーなし

### コンクリート注入実験 ポリマーあり

### コンクリート注入結果まとめ 1

セメントの比表面積が大きくなるにつれて、注入深さは大きくなる。  
 比表面積が大きいほど、増粘剤の添加量によって注入深さは変化しやすい。

### コンクリート注入結果まとめ 2

アクリル板では半楕円型に広がるが、コンクリート中は骨材が注入性状に影響をおよぼす

- ①骨材に沿って注入材が進行している
- ②骨材が注入材を止めている
- ③注入の障害が少ない箇所はより深く注入されている

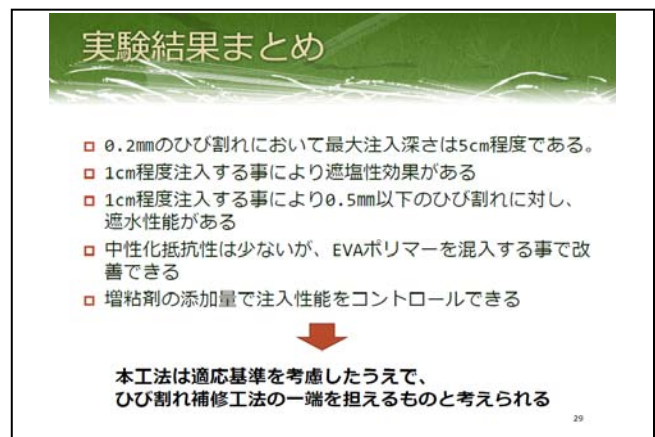
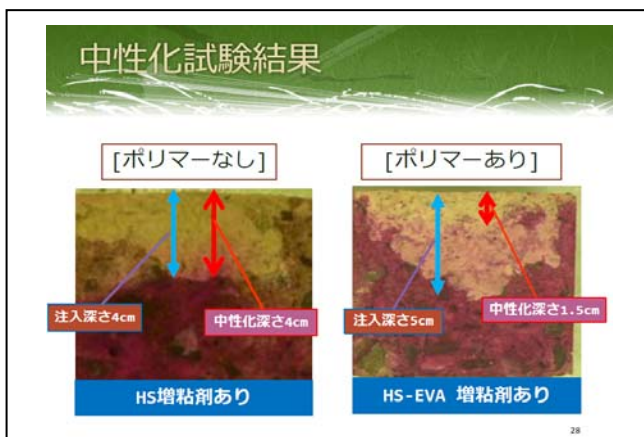
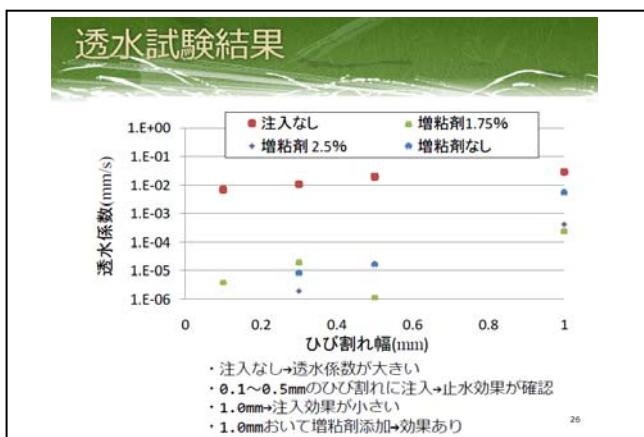
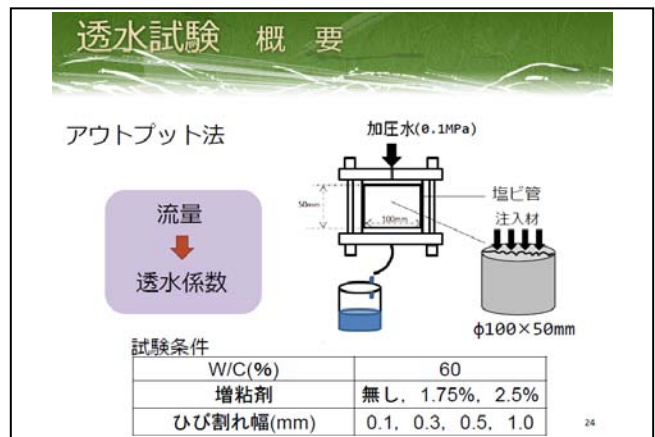
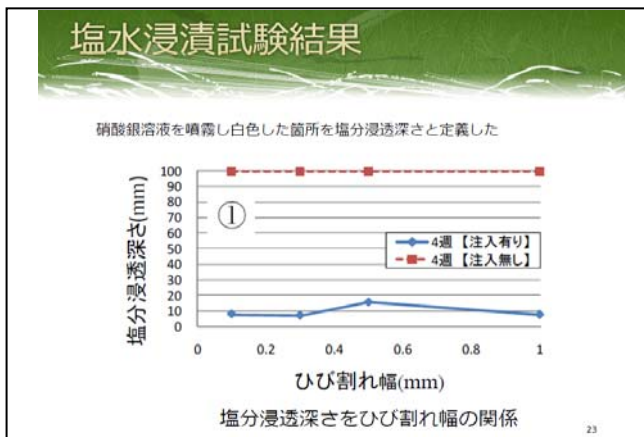
### 塩水浸漬試験 概要

試験条件	W/C(%)	60
	増粘剤	2.5%
	ひび割れ幅(mm)	0.1, 0.3, 0.5, 1.0

供試体を3%食塩水に4週間浸漬

【注入無し】      【注入有り】      ↓: 測定深さ







## PC 道路橋の補修・補強工事

～ グラウト再注入・PC 鋼材の再緊張について ～

高知	栄宝生建設株式会社	○濱渦	康博
高知	高知工業高等専門学校	横井	克則
高知	大和生コンクリート工業株式会社	原田	隆敏
高知県	高知土木事務所	熊崎	幸典

## 1.はじめに

港橋（以下、本橋）は、昭和 48 年に竣工されたポストテンション方式 PC 単純 T 桁橋である。架橋地点は、太平洋を望む龍馬像の建立されている桂浜近隣に位置し、観光客の利用も多い道路である。

本橋は、歩道幅員が 0.75m と狭いことから、利用者の危険を回避すべく、歩道拡幅が計画されたが、某社調査段階にて既設桁に遊離石灰を伴う変状（写真-1, 2）が確認されたため、先に補修する必要が生じた。



【写真-1 変状1】



【写真-2 変状2】



【写真-3 ナット緩み】

主桁側面に生じている遊離石灰を伴うひび割れは、PC 鋼材に沿って発生していた。架橋年から推測して防水層が未設置であること、当時の PC グラウトはある程度のブリーディングを生じる事例が発生していたことから、近年、問題が顕在化されている PC グラウトの充填不良を起因とした劣化が懸念された。グラウト充填調査の結果、主桁 PC 鋼材については、56 本中 20 本（35.7%）、床版・横桁横締め PC 鋼材については、120 本中 60 本（50%）の PC グラウトの充填不良が確認された。これより、本工事において、グラウトの再注入が計画された。また、横桁横締め PC 鋼材定着部のナットに緩み（写真-3）が生じていることも確認されたため、追加実施した超音波探傷試験にて判明した横桁横締め PC 鋼材の破断（両端部からそれぞれ 2565mm, 2123mm の箇所）についても本工事にて補強が計画された。

しかし、PC 橋へのグラウト再注入工事は高知県では施工実績が少ないうえ、某社の調査結果ではグラウトの充填不良箇所が特定されておらず、先ず PC グラウトの充填不良箇所を特定する必要が生じた。さらに、横桁は上載荷重（橋面荷重、活荷重）を隣り合う主桁に分配させる構造物であるが、各主桁が単独で変形すると、各主桁にたわみ差が生じたり、ねじり変形が増大したりと、構造物の耐荷力・耐久性に有害な影響を与えることが懸念される。このような梁構造としての機能を回復する横桁補強方法についての施工例も少ないため、この補強方法についても検討する必要が生じた。

このような背景のもと、本工事にて実施した PC グラウト再注入に関する充填不良区間の測定方法やグラウト材料の選定やその注入方法について、また、荷重分配横桁の補強方法について報告する。

キーワード：グラウト充填度調査、グラウト再注入、PC 鋼材の再緊張

連絡先：高知県高知市塚ノ原 352 番地 TEL：088-843-2122 FAX：088-843-1791

## 2.PC グラウト充填不良区間の確認

### 1)鋼材探査の実施

調査段階にて充填不良と判断された主桁，床版・横桁 PC 鋼材ともに，再注入孔削孔箇所近傍の PC 鋼材位置が探査されておらず削孔できない状況であった（写真-4,5）．そこで，PC グラウト再注入に先立ち，RC レーダーを用いた鋼材探査（写真-6）を実施し，充填不良の懸念される曲げ下げ部の起終点や，各々の主桁中間位置の PC 鋼材位置を把握した．



【写真-4 主桁部】



【写真-5 床版部】



【写真-6 鋼材探査状況】

### 2)グラウト充填不良区間の確認

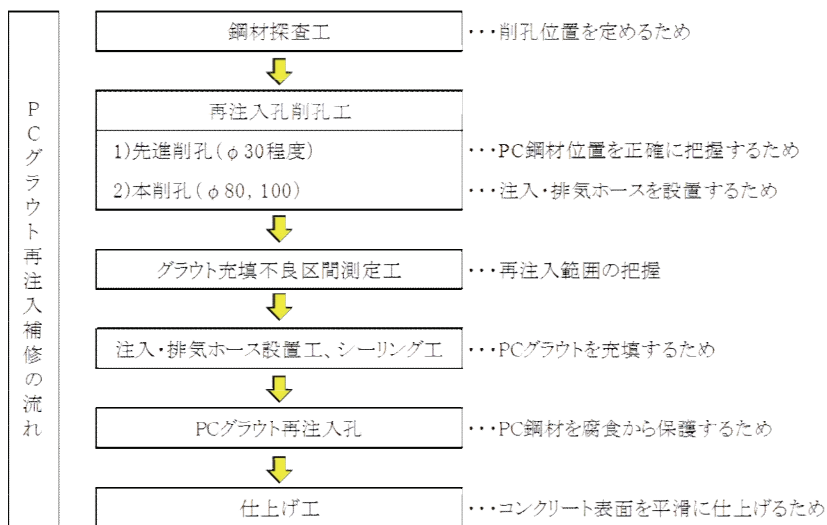
PC グラウトの再注入すべき範囲を把握するため，再注入孔から検測尺をシース内に挿入して直接的に計測（写真-7）する方法を採用した．既設 PC 鋼材を損傷しないよう，メタルセンサー付電工ドラムを使用（写真-8）し，先進削孔（φ30）にて PC 鋼材までの深さや鋼材探査とのずれを把握した後，本削孔（φ80 又は φ100）にて削孔した．下図（図-1）に本工事で実施した再注入要領を示す．



【写真-7 検測尺】



【写真-8 メタルセンサー】

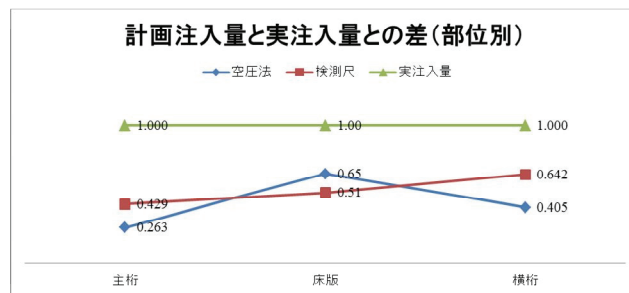


【図-1 グラウト再注入補修の流れ】

### 3) グラウト充填不良区間の測定結果

実注入量を 1 とした場合の計画注入量（空圧法および検測尺）との比率を（図-2）に示す．

図から，当初設計の空圧法と比べ，約 1～2 割程度の推定注入量の精度が向上していることがわかる．両者とも実注入量との差異が大きいのは既設コンクリートからのグラウト漏れや，排気口から一定量の PC グラウトを排出し，混入した空気排出時のロスが主要因と判断する．



【図-2 計画注入量と実注入量との差 (部位別)】



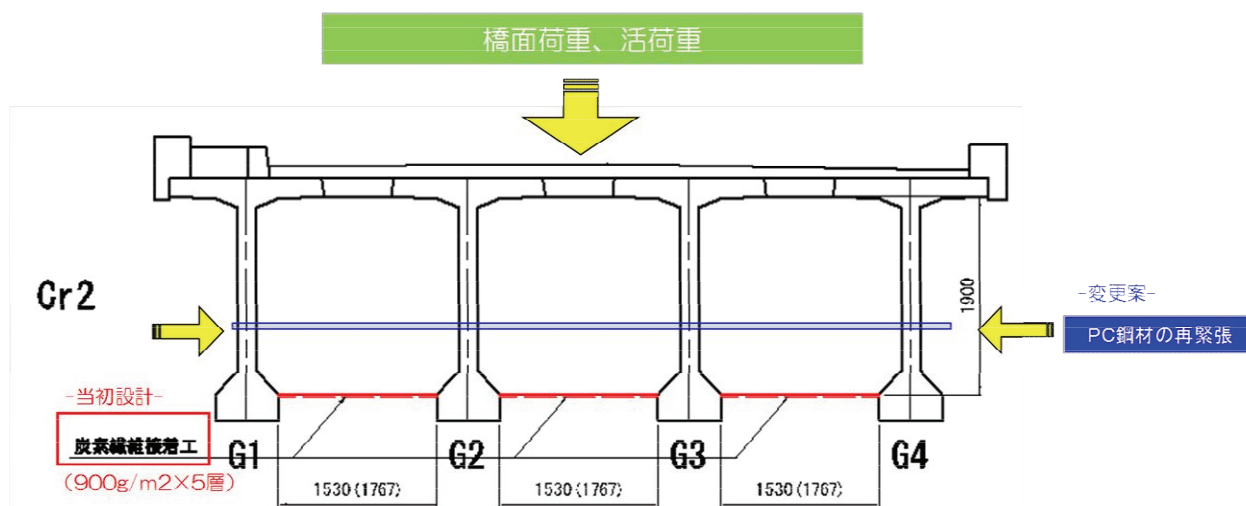




#### 4.破断した横桁横締め PC 鋼材の補修

##### 1)横桁補修方法の検討

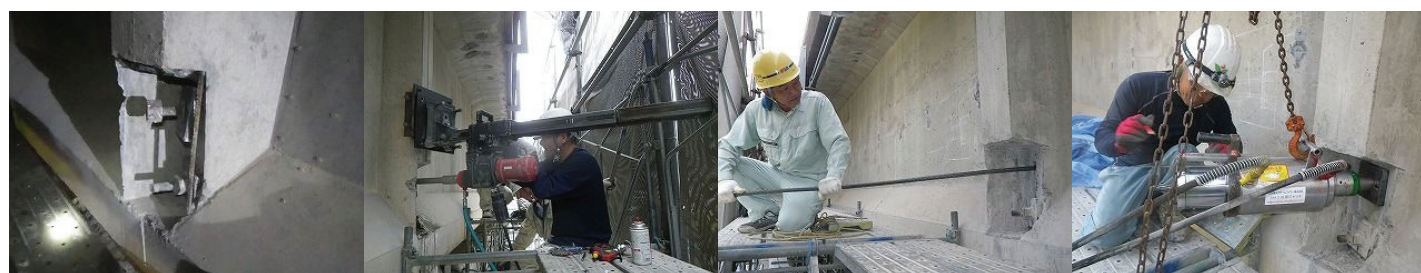
当初設計では、横桁横締め PC 鋼材の破断についての補修方法として、横桁下面（幅 210mm）に炭素繊維シート（繊維目付：900g/m<sup>2</sup>）を 5 層貼り付ける要領となっていた。しかし、横桁は前述したように上載荷重（橋面荷重、活荷重）を隣り合う主桁に分配させる構造物であるため、この補修方法では主桁と横桁の接合部に対する補修が施されていないため、機能回復には至らないと考え、破断した PC 鋼材をコア削孔にて抜き取り、新たに挿入した PC 鋼材を再緊張する案を提示した。（図-5）



【図-5 横桁 PC 鋼材再緊張要領（案）】

##### 2) 横桁横締め PC 鋼材の再緊張

まず、既設 PC 鋼材の撤去として、既設 PC 鋼棒（φ23mm）の跡埋め定着部コンクリートをはつり、定着具を撤去した後、コアボーリングマシンにて 8m 程度の横桁コンクリートを貫通させた。既設 PC 鋼材の撤去後、新たに製造した PC 鋼材（1 S19.3）を挿入し、専用の緊張ジャッキ、ポンプにて緊張後、グラウト、定着部跡埋め処理を施し、補修完了とした。（写真-13, 14, 15, 16）



【写真-13 定着部はつり】

【写真-14 コア削孔】

【写真-15 PC 鋼材挿入】

【写真-16 PC 鋼材緊張】

#### 5.今後に向けての課題

PC グラウトの再注入については、計画注入量の把握方法および、既設コンクリートのジャンカ跡や、主桁・横桁との接合部からのグラウト漏れを事前に処理する方法が課題であると考えます。また、参考としたマニュアルは主桁 PC 鋼材の曲げ下げ部のみについての注入方法が一般的であり、主桁 PC 鋼材の下縁側や床版横締め PC 鋼材のような注入延長の長くなる直線区間、かつ盛り替えが必要となる PC グラウトの再注入方法についての効率の良い注入・充填方法を模索する必要を感じた。

#### 6.おわりに

本工事は、平成 25 年 8 月に無事完遂することができた。本稿の『PC 道路橋の補修・補強工事』の流れが今後の補修・補強対策の参考になれば幸いである。

最後に本工事の施工にあたり多大なるご指導、ご尽力を頂いた関係各位に深く感謝の意を表す。

## セレコンによる断面修復の品質向上技術

法人会員 ㈱エコバンク 鈴木 輝彦

コンクリート構造物のひび割れ補修では、ひび割れ部からの漏水処理は漏水量が多い場合、親水性ポリウレタン樹脂などが使用されてきました。しかし、止水できて3～4年を経過すると縮んで隙間ができ再び漏水が始まり、モルタルと補修面の剥離を繰り返すため補修頻度が増加する問題がありました。これに対し、本材料は無機系材料を基本として、止水と充填が同時にできること、および自己治癒モルタルにより表面部の自己再生が可能になる、などにより問題点を改善し、断面修復の品質向上を図ります。

経済性では全て無機系の材料を使用するため劣化が少なく補修後の構造物の寿命を延伸し、補修頻度が減少するなどのコスト削減が期待できます。実証に当たっては平成24年～25年にかけて、地下構内の試験工事を始めとする現場施工を行ったので、その結果と材料の特徴などについて報告します。

**Q=20ℓ/分の湧水を止める**

無機系の止水兼用充填材と自己治癒修復材 **セレコン**

**断面修復の品質向上技術**

株式会社 エコバンク

〒171-0014  
東京都豊島区池袋2-51-14 飛翔ビル6F  
Tel : 03-5950-3343  
Fax : 03-5950-3342

**セレコンとは？**  
擁壁、トンネル、地下壁、水路などのコンクリート構造物の新しい補修材

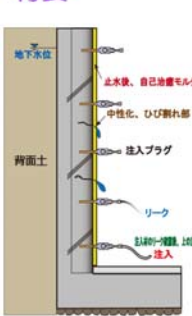
**セレコン**

止水 + 充填材      自己治癒材料

セレコンは無機系補修材の優れた機能を活用して断面補修を行う材料です。

コンクリート構造物では、漏水はひび割れや豆板、打ち継目などから生じるものが多く、これらの補修には止水兼用の充填材および自己治癒機能を持つ自己治癒モルタル等の補修材を使用して、断面修復の品質向上を図ります。

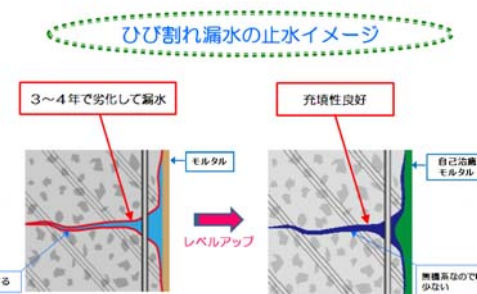
**特長**



- ① 劣化しにくい  
セレコン止水材は、従来の親水性ポリウレタン樹脂系止水材に対して劣化が少なく、コンクリートと一体的に補修できる充填性の良い無機系材料です。
- ② 無機系材料による品質向上  
セレコンは、止水・充填・表面保護の全てに無機系材料を使用するのでコンクリートと相性が良く、品質の良い補修を行います。
- ③ 水に馴染みやすい止水材料  
有機系の止水材料と比較してセレコンは水に馴染みやすい性状のため、漏水補修に有効な材料です。
- ④ 維持管理が軽減  
止水後、コンクリート表面は、従来はモルタル補修を行っていますが、自己治癒モルタルを使用すれば、ひび割れが発生しても自己治癒機能により修復するので維持管理が軽減されます。

**従来の止水材とセレコンの相違点**

ひび割れ漏水の止水イメージ



親水性ポリウレタン樹脂系止水材      無機系止水材セレコン

キーワード：補修技術，止水，充填，リニューアル

連絡先：東京都豊島区池袋2-51-14 飛翔ビル6F TEL：03-5950-3343 FAX：03-5950-3342



## セレコン止水材の配合

### セレコン止水材の基準配合

- 混和材：  
カルシウムを主成分（溶液）
- セメント：  
超微粒子高炉スラグセメント（粉体）
- 反応促進材：  
けい酸塩を主成分（溶液）

これらの材料を現場で混練りして使用します（反応促進材は最後に混入）。

### 配合重量比

混和材：超微粒子高炉スラグセメント：反応促進材  
= 1：2：2

### 止水のメカニズム

- けい酸塩はカルシウム分と反応に反応し、2分程度でゼリー状にゲル化し、止水効果を発揮します。
- 図のようにくさび状に粒子の網目構造（ゲル）が形成され、この網目構造の中に水を取り込んで止水します。



粒子の網目構造（ゲル）



けい酸コロイド

## 施工手順

### ひび割れ幅 0.2mm以上の場合



3種混合のグラウト

### ひび割れ幅 0.2mm以下の場合

ひび割れ幅0.2mm以下ではセレコングラウト注入が以下の手順に変わります。



混和材と反応促進材が反応して生成されたカルシウムシリケート（白い箇所）



微細ひび割れ注入実験

## 注入器具類

セレコン止水材に使用する主な注入器具



導水と注入

### ポンプ



ケミカルポンプ



クラウド材注入ポンプ

### 注入プラグ



高圧注入用プラグ



高圧注入用プラグ



コック付特殊注入プラグ

## 止水実験



橋型供試体

セレコン止水材注入

止水完了直後

止水後形状



コア抜き



析採取コア：No.2（村舎10号）  
2013年5月18日  
コアによるひび割れ充填確認

## 地下通路の止水 2012.5~6



- 天井版厚1m、側壁80cm厚（逆巻き）
- 天井版と側壁の接合部からの漏水が多い
- 側壁に耳を当てると水の流れる音が聞こえる



- 地下通路側壁から漏水
- 漏水の多い通路2箇所を掘工コバンクで施工
- 最大20ℓ/分の箇所は応急措置として漏水版により噴出を抑止

## 地下通路内漏水箇所 Max20ℓ/分 止水中の状況



漏水状況

さらに漏水量が減少

周辺からの注入により漏水量が減少（当初は試験の水一時的な漏水量20ℓ/分）

## 止水中の各種作業



ハンマードリルによる注入孔穿孔



ケミカルポンプによる注入と特殊プラグ



導水しながら止水



止水材のリークで充填確認

## 施工結果

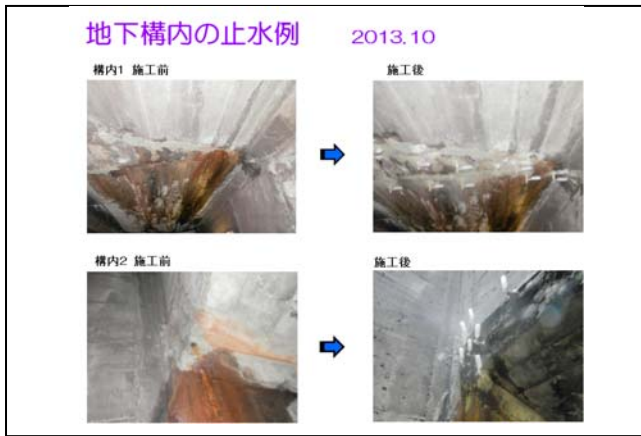


施工前  
最大20ℓ/分の漏水（漏水版内側）



施工後  
漏水なしで表面乾燥





### 自己治癒セメント

コンクリートにひび割れが生じても、コンクリート自らがひび割れを閉ざす「自己治癒」する性質を持つセメント

- ① 膨張材
- ② 膨潤する材料
- ③ ひび割れ部分に析出した生成物の結晶性を高める材料

これらを添加し、複合効果によりコンクリートを自己治癒

### 特徴

- ① 補修工事が不要  
ひび割れを自ら治癒するので、補修工事の頻度が減少
- ② 信頼性の向上  
自己治癒性能をコンクリートに与え、構造物の長期的信頼性を向上
- ③ 地上構造物にも適用可能  
道路や鉄道等の地上のコンクリート構造物の場合でも、雨や人工的な散水により自己治癒させることが可能

### 自己治癒のメカニズム

Ca<sup>2+</sup>は水和材により供給

ひび割れ

CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>: 炭酸イオン  
Ca<sup>2+</sup>: カルシウムイオン  
CaCO<sub>3</sub>: 炭酸カルシウム

溶解度の低い炭酸カルシウム生成がひび割れ部を充填

自己治癒経過



### まとめ

#### メリット

- ① セレコンによる補修は、止水、充填、自己治癒モルタルを使用することによってコンクリート構造物を緻密で一体的に補修し、断面補修の品質が向上します。
- ② セレコンによる止水は、Uカット、Vカット等の導水の補助工法を省略することも可能です。
- ③ 自己治癒モルタルは、表面部に細かなひび割れが入っても修復するので維持管理が容易になります。
- ④ 断面修復の品質向上により、長期的に補修したコンクリート構造物の維持更新を図ることができ、補修頻度が減少するのでコスト縮減が可能になります。

#### 留意点

止水の場合、多量の漏水では注入量の増大が問題であり、見積りが困難になります。ひび割れや豆板の状況が確認できれば的確な止水ができるので今後、ひび割れ形状、鉄筋位置を把握する調査技術が求められます。

## 井桁擁壁の酸性水劣化調査

大分 東洋技術(株) 仁木 孟伯  
大分大学 佐藤 嘉昭

## 1. はじめに

本報告は、降雨災害対策工として採用された井桁擁壁土留工が湧水により変状を生じたことから、管理者より大分大学を通じ今後の対策に関し相談があり、当診断士会が現地調査を行い見解を示したものである。

当現場の斜面の安定は吹付法枠工で図られていたものであるが、降雨時に斜面崩壊を生じたことから、対策工として背面滞水を生じ難く安定度の高い井桁擁壁土留工が採用された模様である。湧水があることは事前に把握され、雨水と共に排水路は確保された計画となっている。しかし、湧水の水質については事前の検討はなく、工事完成後にコンクリート表面の変状が判明したことから、水質調査が3回に亘り実施されている。本報告は、これらの調査結果も取り込み、完成後1.2年経過時の現地観察事項をベースに取りまとめたものである。

## 2. 現地の状況

現地は、大分県西部の標高600m程度の山間部である。写真-1に示すように、斜面の安定は従前の吹付法枠工を一部残し、新設のNo.1～No.3井桁擁壁土留工及び植栽工で構成している。湧水箇所は、最上段のNo.3井桁擁壁土留工の背面に位置しており、排水路は2系統設置されている。



①～④：鉄イオン、硫酸イオン測定箇所（試料採取日:24.1.23）

②～④：pH 測定箇所（試料採取日:24.1.20、23.10.28）

写真-1 現地の状況及び水質検査箇所

キーワード：湧水、硫酸イオン、pH、劣化予測、コンクリート品質、劣化環境

連絡先：東洋技術(株) 大分県大分市大字畑中433番地 TEL：097-554-5330 FAX：097-554-5328

大分大学 大分県大分市大字旦野原700番地 TEL：097-554-7932 FAX：097-554-7938

## 2.1 井桁擁壁の概要

図-1に井桁擁壁工の標準断面図を示す。井桁本体の部材は工場製品であり、メーカーにより若干異なるが、最小部材厚は100mm程度で、細径鉄筋が挿入されており、かぶりは20mmが確保されている。

基礎コンクリート、不透水層コンクリート及び天端コンクリートは生コン使用無筋コンクリートの現場施工である。

それぞれの使用コンクリートの品質を表-1に示す。現場施工コンクリートに比べ、井桁コンクリートの水セメント比は大幅に小さく、工場製品であることと相俟って緻密な組織になっていることが十分に推察される。

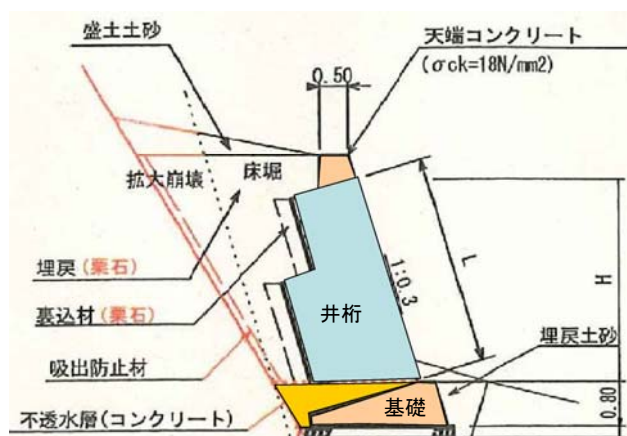


図-1 井桁擁壁工標準断面図

表-1 使用コンクリート

コンクリート種類	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	セメント種類	水セメント比 (%)	単位セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	粗骨材最大寸法(mm)	細骨材率 (%)
基礎・不透水層 (生コン)	18.0	高炉セメント B種	61.6	246	40	41.4
井桁 (工場製品)	40.0	普通ポルトランドセメント	39.7	403	20	45.0

## 2.2 水質の状態

表-2は現地調査以前に実施された3回の水質調査の結果を取りまとめたもので、測定時の流量などの詳細は不明である。pHの測定結果は2.00~5.85に分布しており、酸性水であることを示している。また、湧水箇所鉛直方向下部で採取した試料①③④のpHは、湧水箇所から水平方向に離れた箇所採取した試料②よりも相対的に小さい。このことから、湧水が酸性水の主因であることが推定される。

表-2 採取箇所と水質の関係

試料採取日	24.1.23			24.1.20	23.10.28
項目 箇所	鉄 (mg/L)	硫酸イオン (mg/L)	pH (計算値)	pH (測定値)	pH (測定値)
① No.1土留工下部	50	360	2.13	—	—
② No.2土留工下部	0.11	42	3.07	—	5.85
③ No.3土留工下部	84	350	2.15	3.55	2.62
④ パイプ先	140	490	2.00	3.27	—



## 2.3 主要な観察事項

**観察 1 井桁の赤褐色化**

湧水流下箇所及びその周辺のコンクリート表面は、赤褐色を呈している。

**観察 2 井桁の表面侵食**

常時湧水が流下していると見られる箇所のコンクリートは、表面のモルタルが流失し、粗骨材が”洗い出し状態“を呈しているものがある。

**観察 3 井桁の表面侵食深さ**

フェノーフタレン撒布試験の結果を踏まえ、現状の劣化深さは概略 1~2 mm程度と判定される。

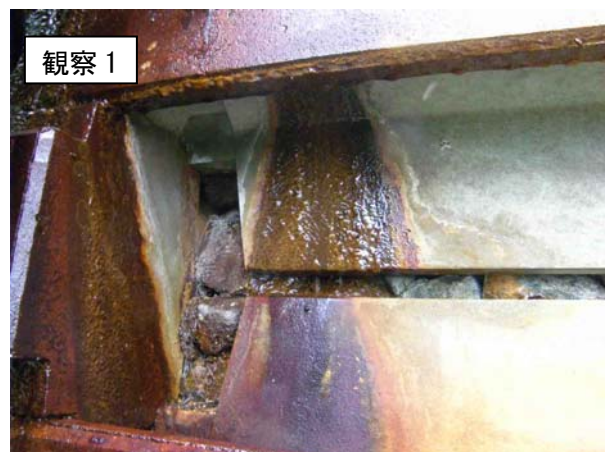
**観察 4 基礎コンクリートの状態**

基礎コンクリートは”洗い出し状態“は呈していないが、表層部はハンマーにより容易に赤褐色層が剥離し、表層が脆弱化している。

剥離層厚は 2~3 mm程度で、劣化深さは井桁部より大きい。

**観察 5 無着色部コンクリートの状態**

着色していないコンクリート部は打音及びフェノールフタレン散布試験の結果、健全な状態と判定される。



## 2.4 変状に関する検討

### (1) 赤褐色化

写真-2 は現地付近で採取した岩石の破断面である。鑑定結果によれば、熱水変質作用を受けたデイサイト（石英安山岩）で、周囲の白色～褐色部は熱変質を示している。

熱水的作用に関しては、「変質作用に伴って形成される黄鉄鉱などの硫化鉱物の分解により酸性水が発する」ことや、「この酸性水が流れた箇所は褐色となる」ことが知られている<sup>1)</sup>。

写真-3 は現地排水溝の河川への落ち口で、周辺が褐色を呈している状態が見られる。

以上のことから、現地の湧水は熱水変質作用により生じた酸性水であり、コンクリートの赤褐色化はその鉄分が沈着したものと判断される。



写真-2 採取岩石破断面



写真-3 排水溝の河川落ち口

### (2) 粗骨材露出

洗い出し状態を呈している粗骨材露出は、表-2 に示す湧水の分析値が示すように、硫酸イオンの存在による低 pH 水が、コンクリート表面を侵食したものであることが分かる。酸により劣化した表面のモルタル分が、流水により除去された形態である。

### (3) 表層脆弱化

表層の脆弱化状態は、骨材露出の場合と同様に低 pH 水による表面劣化であるが、平面を流れる湧出水の流速が小さく、劣化部分が剥離することなく留まっているため、脆弱化層を形成しているものと見られる。

## 3. 今後の対処策

### 3.1 コンクリートの劣化予測

#### (1) 観察数値に基づく中性化深さの推定

今後の劣化進行に関し、これまでの劣化状況をベースに、 $\sqrt{t}$  則に従うものとし算定する。観察数値は、1.2 年経過時で基礎及び不透水層コンクリートの中性化深さ 3mm、井桁コンクリートの中性化深さ 2mm である。予測結果を図-2 に示す。

結果は、中性化深さが 10mm まで進むに要する機関は、基礎及び不透水層コンクリートでおよそ 13 年、井桁コンクリートでおよそ 30 年である。

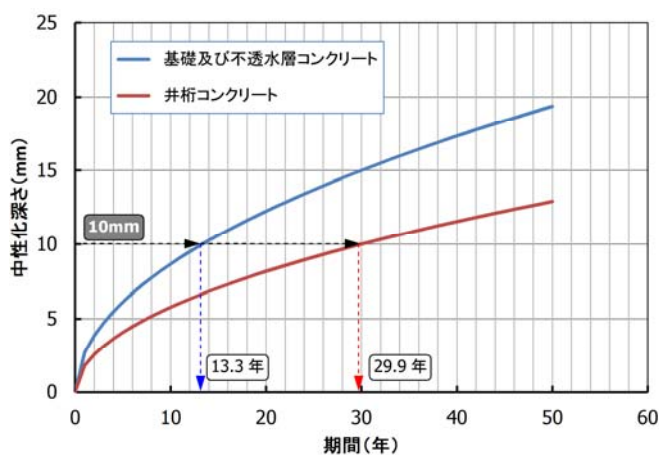


図-2 観察数値に基づく中性化深さの予測



(2) 硫酸侵食に関する既往の予測式に基づく中性化深さの推定

硫酸浸漬に関して既往の文献から中性化深さに関する実験データを収集し、それに基づいた予測式が提案されている<sup>2)</sup>。この予測式は、以下に示すように、水セメント比、硫酸溶液の pH および混和材（フライアッシュ、高炉スラグ微粉末）の混入率の各要因を考慮したもので、硫酸溶液浸漬実験に対して比較的精度よく推定できることが示されている。しかしながら、図-3 に示すように、浸漬溶液の温度が高い場合や流速がある場合のような実際の環境下で、また、弱酸域のようにゆっくりと侵食が進行していく環境において、この予測式の適用性は明らかになっていない。

$$C_c = K_c \cdot \sqrt{t}$$

$$K_c = f_1(C/W) \cdot f_2(pH) \cdot f_3(Ad)$$

$$= (0.387 + 0.094 \cdot C/W) \cdot (2.368 \cdot e^{-1.860 \cdot pH} + 0.005) \cdot f_3(Ad)$$

(フライアッシュの場合)

$$f_3(Ad) = 1.000 - 0.010 \cdot FA + 0.0003 \cdot FA^2$$

(高炉スラグ微粉末の場合)

$$f_3(Ad) = 1.0$$

t: 経過時間 (日)

C/W: セメント水比 [適用範囲 :1.4~3.3(W/C :30~70%)]

pH: 硫酸溶液の pH [適用範囲 :0.3~3.0]

本予測式を適用した計算では、C/W は実際の配合の W/C から求め、pH については水質調査結果の中で最も不利な条件である pH=2.0 を用いた。予測した結果を図-4 に示す

図-4 から分かるように、中性化深さは 50 年経過しても 5mm 程度となっているが、これは、温度や流速などの影響が考慮されていないことによるものである。図中には温泉浸漬（明礬温泉 pH=2.5 程度）の結果から中性化速度を算出し、中性化深さを求めた結果も示しているが、これによると、流れがあって温度が高い環境の場合の中性化は早く進み、その速度は静置された硫酸溶液（温度 20℃程度）における速度の 10 倍近くになっている。

このように、環境条件によって中性化深さは大きく異なることになるが、図-2の予測結果と合わせて判断すればこのことが強調される。

3.2 井桁土留工の今後の処置について

以上の調査結果のポイントと共に、井桁土留工の今後の処置についての見解を以下に示す。

- (1) コンクリートの酸性水による劣化は、pH3 を境に大きく異なるとの温泉地暴露実験の報告<sup>3)</sup>があるが、本現場の pH は 3 未満の箇所が確認されていることから、今後とも劣化は継続すると判断される。
- (2) 劣化の速度は、環境条件の影響を大きく受けるので、精度の良い劣化予測は困難である。特に本現場の場合は、湧水量や降雨の影響による劣化面への物理作用の影響が大きいのと思われる。

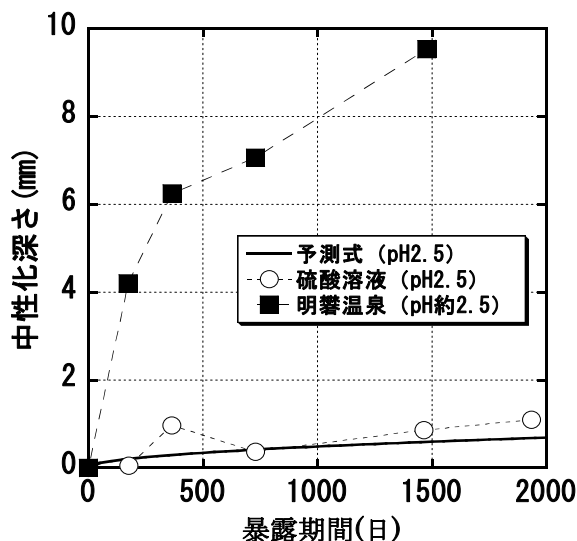


図-3 硫酸溶液に浸漬した結果の一例

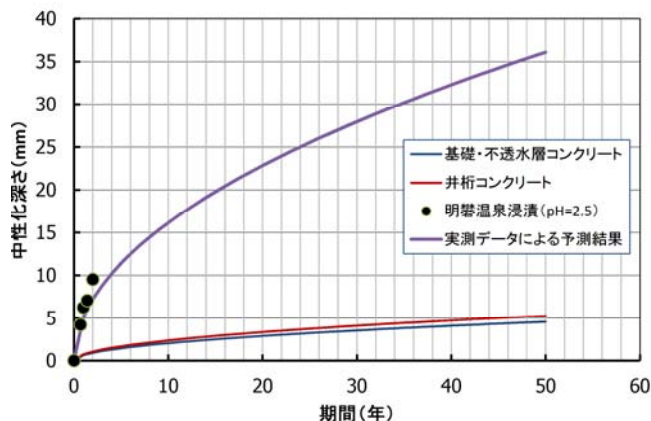


図-4 硫酸侵食予測式に基づく中性化深さの予測



- (3) 基本的な対策は、湧水とコンクリートの接触を避けることであるが、部材の被覆あるいは湧水の全面的な回避は、現時点ではコストパフォーマンスから現実的な対策とはいえない。
- (4) 現時点での劣化状況や関連資料から、今後劣化が急速に進展する可能性は小さく、また現状の劣化は局所的であることから、井桁の構造上からも今後短時間で土留工の機能が失われることは考えがたい。
- (5) 当面の対処は、定期点検や異常時（大雨、地震）点検を強化することを推奨する。点検結果から劣化の進展状況を十分に把握した上で、対策の要否、時期、手法を検討することが肝要である。
- (6) 点検内容としては、全体目視変状調査、定点写真撮影及び劣化深さ測定（3箇所程度）、湧水 pH 測定（3箇所程度）等で、経時変化が判り易い記録とする。

#### 4. 終わりに

今回の調査により、湧水があり周辺が褐色になっている場合には、構造物の計画には湧水の事前水質調査が不可欠であること、また止むを得ず、酸性水のある場所にコンクリート構造物を計画する場合には、酸性水との接触を避けるための、事前の方策の検討が肝要であることの認識を深めた。

#### 参考文献

- 1) 熱水変質資料  
北海道大学理学部地質学鉱物学科出身の石井正之氏のホームページ  
“地質と土木をつなぐ”の熱水変質と土木工事より
- 2) 硫酸侵食を受けるコンクリート構造物の補修材料に関する研究  
(その6. 別府明礬温泉における暴露5年の結果)  
大分大学工学部福祉環境工学科 佐藤嘉昭他  
(日本建築学会九州支部研究報告, 第51号・1, 構造系, 2011年3月)
- 3) 各種セメントを用いたコンクリートの温泉地長期暴露試験  
三菱マテリアル株式会社 今橋太一他  
(第45回セメント技術大会講演集1991) +

## 見内橋劣化調査・補修設計

鳥取県 アサヒコンサルタント株式会社 奥村 智洋

### 1. はじめに

本橋見内橋は、鳥取県八頭郡若桜町の八東川に架かる橋梁で、橋長 63m の 2 径間単純 PC 下路桁橋である。昭和 55 年の竣工から約 27 年（調査時、平成 19 年現在）が経過していた。

見内橋は、上部工・下部工ともにアルカリ骨材反応（以下、ASR と称する）によるものと思われるひび割れが多数発生しており、一部では幅 5mm 以上の大きな開口も見られた。また、広範囲の浮きや破断した鉄筋の露出なども見られ、耐久性だけでなく耐荷性能についても低下している可能性が考えられた。

本報文は、現地調査や載荷試験を行って見内橋の劣化原因や劣化の度合い、現状の耐荷性能を把握し、それを基に検討した補修設計の内容について報告する。

### 2. 調査概要

架橋位置は、鳥取県南東部に位置する山間地内の谷間部である。県境に近く谷が深いため全体的に日照時間が少なく、冬季は積雪が 1m 以上となることもまれでなく、凍結融解の劣化環境が顕著な地域である。

#### 2.1 架橋位置：鳥取県八頭郡若桜町地内

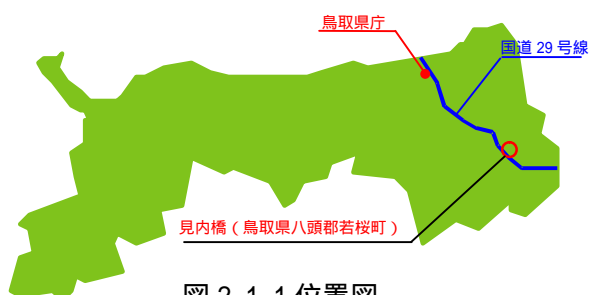


図 2.1.1 位置図



写真 2.1.1 見内橋橋脚

#### 2.2 検討フロ -

外観のひび割れ発生状況などから、当橋は ASR の影響によって劣化している可能性が高いと考えられた。よって、劣化原因の推定および劣化状況の把握のための詳細な調査と現状の耐荷性能を評価するため載荷試験を実施し、それを基に対策工を検討することとした。検討フローを図 2.2.2 に示す。

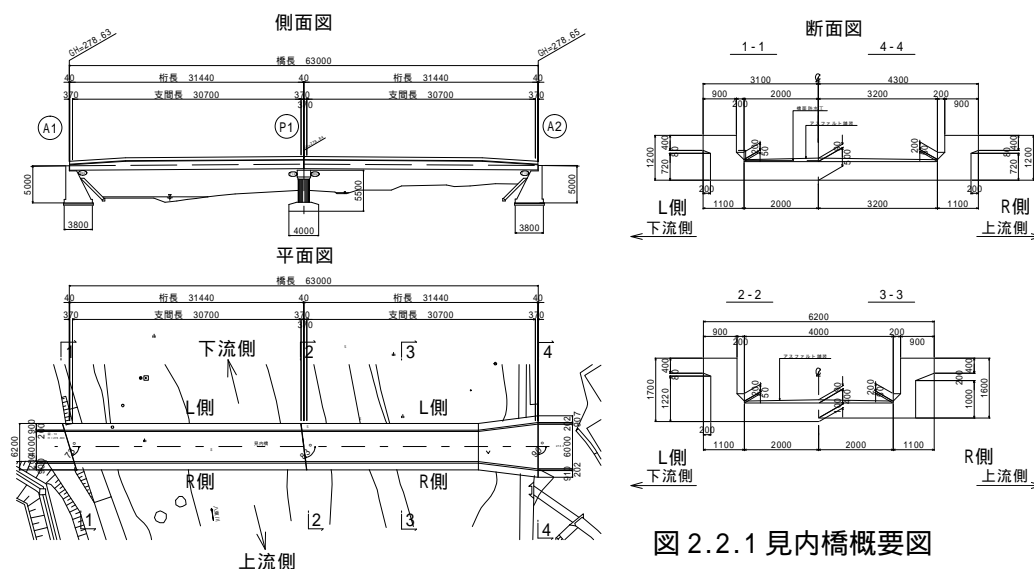


図 2.2.1 見内橋概要図

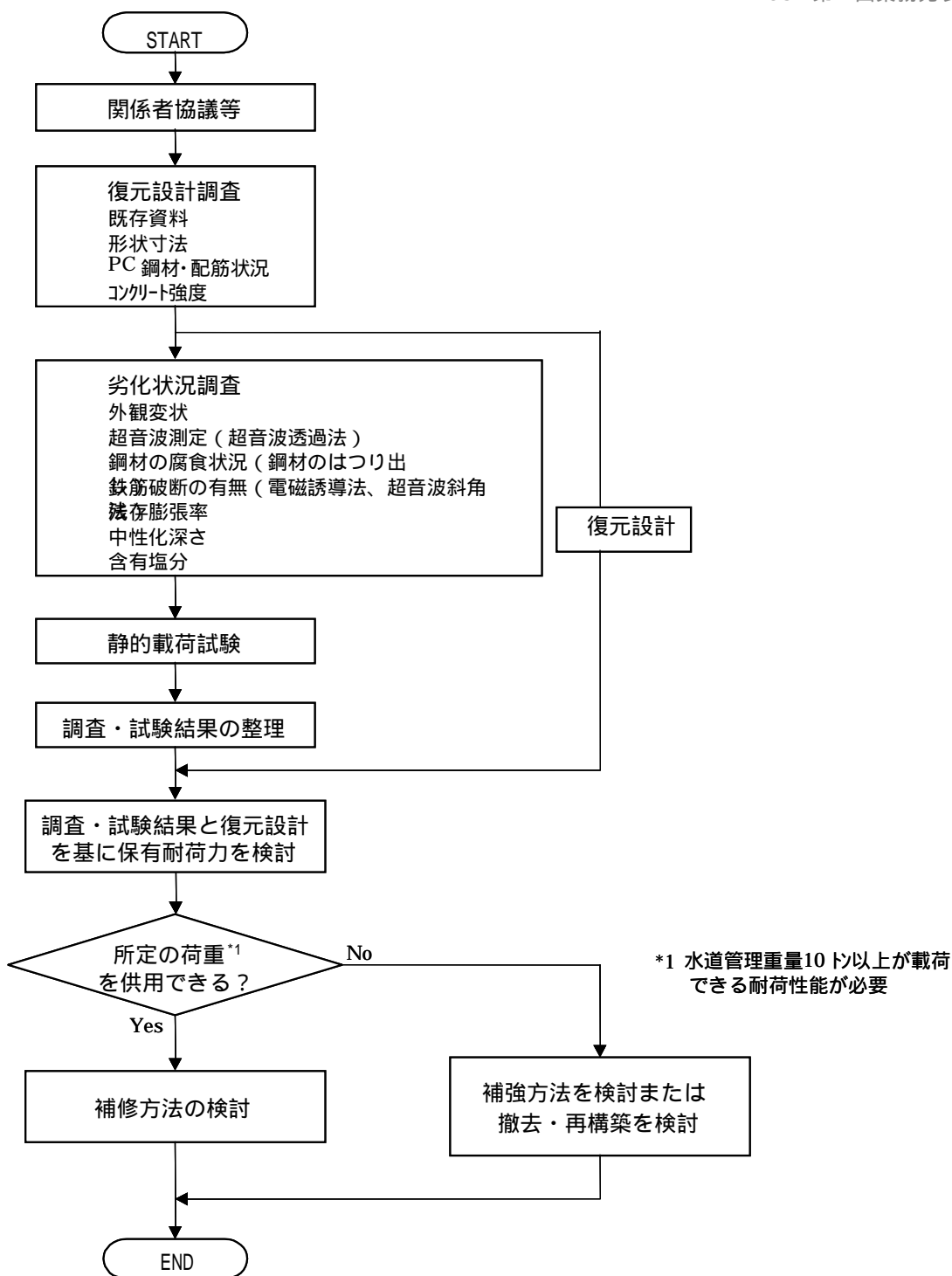


図 2.2.2 検討フロー

### 2.3 調査・静的載荷試験結果概要

調査及び静的載荷試験結果の概要を下記に示す。

#### 1) 劣化状況調査

##### (1) 外観変状調査

- ・上部工の桁部には橋軸方向に伸展するひび割れが多数発生していた。とくに、天端面のひび割れは幅が大きく、ほとんどが 1mm 以上で最大 7mm に達するものもあった。また、内面はゲルと思われる白色の析出物が著しく、とくに A1～P1 では L 側・R 側ともに天端付近から地覆部までが覆われていた。



- ・桁部には、上縁側を中心に広範囲の浮きもあり、A1～P1 径間では L 側・R 側ともにほぼ全体で内面の 1/3～1/2 の範囲が浮いていた。
- ・P1 周辺の外観変状は著しく、一部では割れた箇所から破断した鉄筋が露出していた。また、R 側の天端付近では盛り上がるような変形も見られた。
- ・桁部外面のひび割れの幅は天端面と比較すると小さく、白色析出物も軽微であったが、A1～P1 の下縁には広範囲の浮きが見られた。また、P1 付近下縁の割れからは破断鉄筋が露出していた。
- ・A2 橋台は、幅 1mm 以上のひび割れが多数発生していた。とくに打ち継ぎ部に発生した水平方向の割れは開きが大きく、最大 7.5mm に達していた。
- ・P1 橋脚は全面にわたって多数のひび割れが発生しており、梁部中央には水が滲出している箇所も見られた。梁部の端面および下面には、L 側・R 側ともに広範囲の浮きがあり、また下縁の隅角部には下縁に沿って伸展する大きな割れが生じていた。



写真 2.3.1 L 側桁部内側の状況



写真 2.3.2 R 側桁部内側の状況



写真 2.3.3 R 側桁部内側の状況

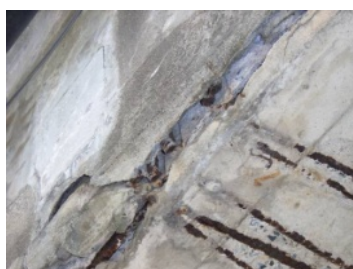
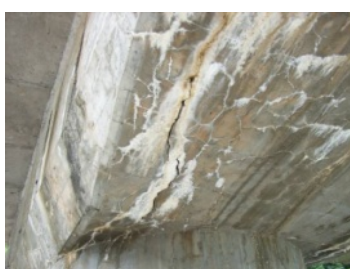
写真 2.3.4 L 側桁部内側の状況  
(破断鉄筋の露出)写真 2.3.5 L 側桁部外側の状況  
(P1 近傍、破断鉄筋の露出)

写真 2.3.6 橋脚梁部 R 側下面

## (2) 超音波測定

- ・上部工では、外観変状の著しい桁上部で測定した。A1～P1 の R 側は、A1 近傍と A1 から 25m～31m の範囲に劣化が顕著な傾向が見られた。L 側は、全体で劣化が顕著な傾向が見られた。
- ・P1～A2 では、両側ともに P1 から 1m～7m 程度までの劣化が顕著で、それ以降は比較的軽微な劣化の傾向であった。

- ・下部工については、P1 橋脚の梁部と柱部で測定を行った。梁部は、R 側張出し部の下方と L 側張出し部の上方で内部劣化が顕著な傾向が見られた。
- ・柱部は、全体的に梁部よりも内部まで劣化が進行していると考えられる。

### (3) 鋼材腐食状況調査

- ・A2 近傍の桁部外面の断面修復箇所には、水平方向の大きな割れがあり周辺には褐色の流水跡も見られた。ここで鉄筋をはつり出して状況を確認したが、腐食は見られなかった。
- ・鉄筋破断調査ではつり出した桁部の内面上縁および外面下縁の鉄筋についても、一部に赤錆が見られた程度で顕著な腐食は見られなかった。
- ・桁部外面の下縁付近には主ケーブルに沿った遊離石灰をともなうひび割れが伸展しており、ここを対象に調査を行った。はつり出した P C 鋼材にはわずかな点錆が見られたが、シーに腐食がないこと、およびグラウトも十分に充填されていたことから、施工時に生じた錆と考えられた。

### (4) 鉄筋破断調査

- ・A1 ~ P1 の L 側桁部上縁は、P1 を中心に広範囲にわたって鉄筋が破断していると考えられる(超音波斜角法ではほぼ全長で破断の判定となったが、浮きの影響で適切に評価できていない可能性もある)。R 側も L 側よりは少ないものの P1 付近を中心に多数が破断していると思われる。
- ・P1 ~ A2 径間も P1 付近は多数破断していると考えられるが、支間中央から A2 側については L 側・R 側ともに破断なしと思われる。
- ・実際の状況を確認するために 3 箇所鉄筋をはつり出したが、破断の有無は超音波斜角法および電磁誘導法の判定と合致していた。
- ・橋脚の最も幅の大きな割れのある L 側張出し部の起点側正面で鉄筋をはつり出したところ、ひび割れ直下に重ね継ぎ手があった。継ぎ手部の拘束が不十分で、ひび割れが内部まで進展していたため破断の判定となった。

### (5) 促進膨張率試験

- ・採取したコアにはいずれも微細なひび割れが多数発生しており、また骨材周辺にゲルが滲出しているものや気泡にゲルが析出しているものもあった。
- ・上部工のコアの膨張率は、いずれも 3 ヶ月の促進養生で 0.1% を超える非常に大きな値であった(総プロ法で「異常な膨張」と判定される膨張率は、促進養生 3 ヶ月で 0.05% 以上)。
- ・下部工では、表面付近で採取したコアの膨張率は小さかったが、内部から採取したコアは 0.05% を超える膨張率を有していた。
- ・上部工は、桁部などにすでに顕著な外観変状が現れているが、十分な水分供給があった場合、今後も A S R 劣化が進行する可能性がある。下部工も表面付近の A S R 膨張は収束に近いが、内部はまだ構造物にとって有害な膨張率を有している。

### (6) 中性化深さ測定

- ・上部工の桁部は、外側、内側ともにほとんど中性化していなかった。

### (7) 含有塩分調査

- ・上部工では、表面付近と内部の含有塩分量に大差はなく、また、含有塩分量は  $0.35\text{kg/m}^3$  以下の非常に少ないレベルであった(発錆限界値は  $1.2\text{kg/m}^3$ )。

2) 静的載荷試験

PC 構造物の場合、コンクリートの劣化や鉄筋破断だけでなく、プレストレスの損失が耐力に大きく影響するため、材料的な調査だけで耐力性能を評価することは困難であると判断した。よって、調査結果から想定される幾つかの設計条件によって試験車載荷時の挙動を解析し、それを実際の挙動と比較することにより逆解析的に適切な載荷荷重を求めることとした。

想定した設計条件は下記の 3 つである。有効断面と静弾性係数を変化させており、設計条件-1 は健全時の想定である。外観変状調査において桁部には各所で広範囲の浮きが確認されているので、設計条件-2 および 3 では桁部のかぶりコンクリートを無効と想定した。設計条件-3 では、コンクリートの静弾性係数に採取コアによる試験値の最小値を用いた。

表 2.3.2~表 2.3.3 は、各径間の中央載荷時の測定値（平均値）を解析値と比較したものである。桁部の上下縁のひずみは、応力度で算出された解析値にそれぞれの設計条件で想定した静弾性係数を乗じて求めた。

2 台載荷時の結果として、たわみや桁部上縁のひずみは設計条件-1 に近いが、桁部下縁のひずみは設計条件-2 の解析値をやや上回っていた。載荷試験の結果からも有効断面の損失はごく小さいと考えられるが、A1~P1 の方が解析値との差がやや大きく、P1~A2 よりも断面損失または劣化の度合いが大きい可能性があった。

P1~A2 径間については、1/4・L 断面と 3/4・L 断面の挙動に比較的大きな差があり、1/4 断面の方が断面損失または劣化の度合いが大きいと思われる。

L 側（下流側）載荷時と R 側（上流側）載荷時の挙動は、L 側載荷時の方が大きかった。

表 2.3.1 挙動解析条件

設計条件 - 1	有効断面	全断面有効
	コンクリートの弾性係数	コンクリートの静弾性係数は健全Conと同等 ( $E_c = 3.5 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ )
設計条件 - 2	有効断面	桁部表面の6cm厚を無効（桁部の上面および両側面の表面から6cm厚の部分は無効とする）
	コンクリートの弾性係数	コンクリートの静弾性係数は健全Conと同等 ( $E_c = 3.5 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ )
設計条件 - 3	有効断面	桁部表面の6cm厚を無効（桁部の上面および両側面の表面から6cm厚の部分は無効とする）
	コンクリートの弾性係数	コンクリートの静弾性係数は、採取コアによる試験結果の最低値 ( $E_c = 7.4 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ )

表 2.3.2 実挙動と解析値の比較（2 台載荷：A1~P1 経間）

断面	項目	載荷試験時の実挙動 *1	解析値 *2		
			設計条件-1	設計条件-2	設計条件-3
			全断面有効 $E_c=3.5 \times 10^4 \text{N/mm}^2$	桁部表面の6cm厚を無効 $E_c=3.5 \times 10^4 \text{N/mm}^2$	桁部表面の6cm厚を無効 $E_c=7.4 \times 10^3 \text{N/mm}^2$
1/4・L	桁部上縁のひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	-30	-26	-34	-162
	桁部下縁のひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	21	14	16	75
1/2・L	桁部上縁のひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	-47	-39	-52	-243
	桁部下縁のひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	34	22	25	113
	たわみ (mm)	3.85	3.70	4.90	23.00
3/4・L	桁部上縁のひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	-29	-27	-36	-169
	桁部下縁のひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	21	15	17	79

\* ひずみの符号：+ 引張、- 圧縮、たわみの符号：+ 沈下、- 浮上

表 2.3.3 実挙動と解析値の比較（2 台載荷：P1~A2 経間）

断面	項目	載荷試験時の実挙動 *1	解析値 *2		
			設計条件-1	設計条件-2	設計条件-3
			全断面有効 $E_c=3.5 \times 10^4 \text{N/mm}^2$	桁部表面の6cm厚を無効 $E_c=3.5 \times 10^4 \text{N/mm}^2$	桁部表面の6cm厚を無効 $E_c=7.4 \times 10^3 \text{N/mm}^2$
1/4・L	桁部上縁のひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	-34	-26	-34	-162
	桁部下縁のひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	21	14	16	75
1/2・L	桁部上縁のひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	-42	-39	-52	-243
	桁部下縁のひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	34	22	25	113
	たわみ (mm)	3.76	3.70	4.90	23.00
3/4・L	桁部上縁のひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	-25	-27	-36	-169
	桁部下縁のひずみ ( $\times 10^{-6}$ )	16	15	17	79

\* ひずみの符号：+ 引張、- 圧縮、たわみの符号：+ 沈下、- 浮上





写真 2.3.7 一台載荷試験状況



写真 2.3.8 二台載荷試験状況

### 3 . 補修設計

#### 3.1 補修及び撤去・再構築の検討

本橋について、・補修とした場合 ・撤去再構築とした場合 について比較検討を実施した。双方について概算工費を算出した結果、補修対策とした場合、撤去再構築に比べて工事費は、約 50%程度となった。

このような劣化した橋梁の補修後の供用期間が不明確であることから、撤去再構築する対策も考えられた。検討の結果、補修とする方針とした。

#### 3.2 上部工補修

載荷試験の結果から、上部工はまだ必要な耐荷性能を有していると考えられ、現時点において補強の必要はないと判断した。

上部工の変状の発生状況には場所によって差があるため、補修の仕様は状況に応じて各種の工法を組み合わせたものにする効果的であると考え、図 3.2.1～図 3.2.2 にタイプ分けした補修の仕様とした。

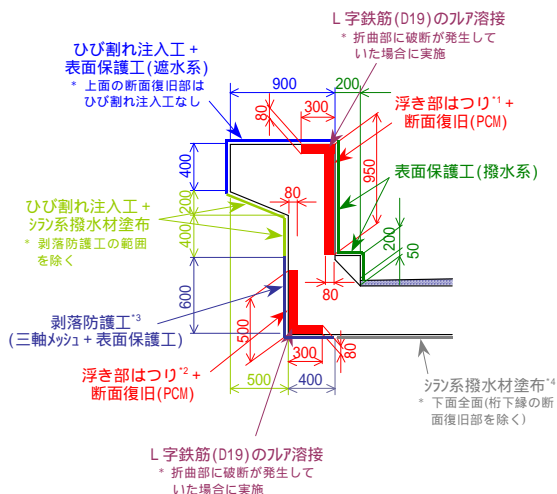


図 3.2.1 補修タイプ 1

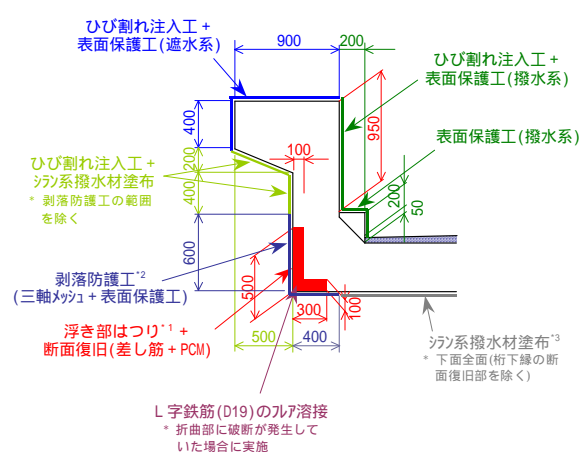


図 3.2.2 補修タイプ 2

### 4 . おわりに

現状の知見では、ASRの進行を完全に阻止することはできないため、定期的に維持管理していくことが必要であると考え。最後に、本橋の調査、補修設計そして報文の発表に多大なご尽力を頂いた、鳥取県若桜町農林建設課の方々に紙面をおかりして感謝致します。

## 赤外線調査における内部要因によるノイズの推察と除去

東海 太啓建設株式会社 沢田 宜之

**概要**：平成 25 年 4 月、都市型マンションの外壁タイルの浮き調査を赤外線調査とゴンドラを使用した直接打診調査を併用して実施した。はじめに赤外線調査を実施したところ、南面のみ同一構造部位に同様な変温部を複数確認し、特異な変温部であると推察した。後日、ゴンドラを使用した直接打診調査で検証した結果、変温部でタイルの浮きは診られず、健全部を浮きと誤診させるノイズであることを確認した。本報告では、同様な物件においてタイルの浮きとノイズを正確に判別できるように、ノイズ要因の推察とノイズ除去方法について検証する。また、実施した赤外線調査方法は JAIRA 一般社団法人 日本赤外線劣化診断技術普及協会から特許許諾された調査法である。(以下、JAIRA 法)

### 1. はじめに

平成 25 年 4 月、某マンション管理組合の依頼で外壁面（タイル張り部）の劣化・損傷（浮き、剥離、剥落及びひび割れ等）の調査を目的とした全面打診等調査（赤外線調査及び直接打診調査）を実施した。調査対象であるマンションは竣工から 11 年経過しており、外壁を含めた大規模修繕が予定されている。なお、愛知県内のマンションは特殊建築物等定期調査の対象外であるため、過去に外壁調査を実施した履歴はなかった。

は、ゴンドラを使用した直接打診調査を採用した。調査方法及び調査範囲は表 2-2 に示す。

表 2-1 建物概要

所在地	愛知県名古屋市中区（内陸部）
用途	集合住宅
構造	鉄骨鉄筋コンクリート造
規模	地上 14 階、地下 1 階、最高高さ 41.25m
竣工年	2002 年 3 月竣工（調査当時 竣工から 11 年経過）
外壁仕様	45 二丁磁器質タイル貼り（艶・凹凸なし）

### 2. 調査概要

#### (1) 調査建物の概要

調査を実施した建物の概要を表 2-1 に示す。

#### (2) 調査方法及び調査範囲

調査方法は赤外線調査、直接打診調査、及びゴンドラを使用した直接打診調査の 3 つを併用した。中庭のガーデンテラスや吹抜に沿って配置された開放廊下の手摺壁は、赤外線サーモグラフィによる効率的な撮影距離を確保できないため、費用対効果を考慮して開放廊下から直接打診調査を採用した。また、商業ビルが隣接しており赤外線調査を適用できない範囲で

表 2-2 調査方法及び調査範囲

調査範囲	調査方法			合計 (㎡)
	赤外線 調査	直接打診 調査 (開放廊下等)	直接打診 調査 (ゴンドラ使用)	
北面	1105	111	0	1216
東面	939	0	0	939
南面	1169	0	582	1751
西面	998	0	0	998
ガーデンテラス・吹抜	351	2723	0	3074
合計 (㎡)	4562	2834	582	7978
調査日	4/9, 10, 11	5/7, 10, 13	5/8, 9	
調査対象外範囲	バルコニー内及び開放廊下内の壁、御影石仕上げ（乾式工法）			

キーワード：赤外線、外壁調査、定期調査、検査技術・診断

連絡先：愛知県豊田市東梅坪町10丁目3番地3 TEL：0565-31-1277 FAX：0565-31-6505

(3) 赤外線調査

使用した赤外線サーモグラフィの仕様を表 2-3 に示す。撮影日の気象条件を表 2-4 に、JAIRA 法による撮影時の温度条件を表 2-5 に示す。調査面それぞれに直接温度計を設置し、調査面温度及び大気温を測定し、撮影時の温度条件を確認後、赤外線調査を実施した。撮影時の南面の温度グラフを図 2-1 に示す。

3. 熱画像解析と検証

(1) 熱画像の解析

熱画像を解析すると、南面のみ同一構造部位に同様な変温部を複数確認し、特異な変温部であると推察した。可視画像を写真 3-1 に、熱画像を図 3-1 に示す。

表 2-3 赤外線サーモグラフィの仕様

項 目	赤外線サーモグラフィ本体	
メーカー	フリー (米国)	
型番	B620	
検出方式	非冷却マイクロボロメータ	
最小検知温度差	0.065°C (@30°C)	
検出波長	7.5~13 μm	
有効画素数 (H×V)	640 (H) × 480 (V)	
ノイズリダクション	通常 OFF (ON 低、ON 高)	
項 目	標準レンズ	望遠レンズ
空間分解能	0.65mrad	0.325mrad
視野角 (H×V)	24° × 18°	12° × 9°

表 2-4 撮影日の気象条件

撮影環境	気象庁 アメダス名古屋観測所の観測値		
撮影日	2013/04/09	2013/04/10	2013/04/11
天候	曇後晴	晴時々曇	曇時々晴
最高気温 (°C)	21.6	16.1	14.5
最低気温 (°C)	7.4	6.8	5.1
日較差 (°C)	14.2	9.3	9.4
平均風速 (m/s)	2.7	4.0	4.2
日照時間 (h)	6.7	9.2	6.9
雨量 (mm)	0	0	0.5 mm 未満
赤外線調査範囲	南面・西面	東面・南面 ・西面	北面・ガーデンテラス

表 2-5 JAIRA 法による撮影時の温度条件

調査面	大気温の状況	調査面の温度変化	
		撮影開始条件	撮影中止条件
北面以外	上昇時 下降時	1 時間当たり 2°C 以上	1 時間当たり 2°C 未満となった時点から 1 時間後まで
北面・夜	上昇・下降時	1 時間当たり 1°C 以上	1 時間当たり 1°C 未満となった時点

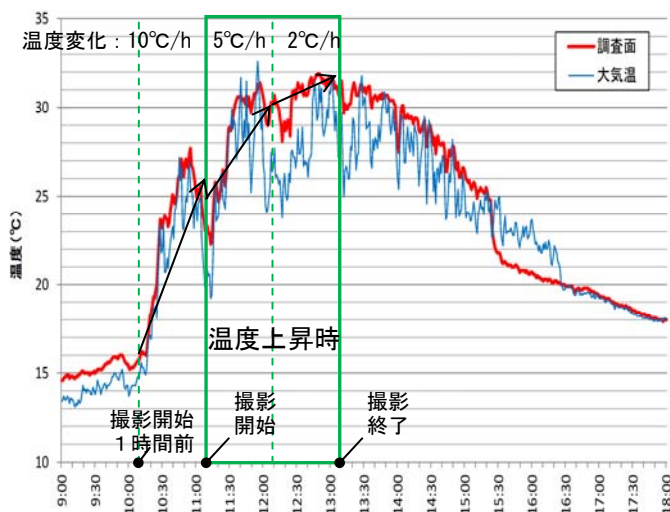


図 2-1 南面 温度グラフ (2013/04/09)



写真 3-1 南面 可視画像

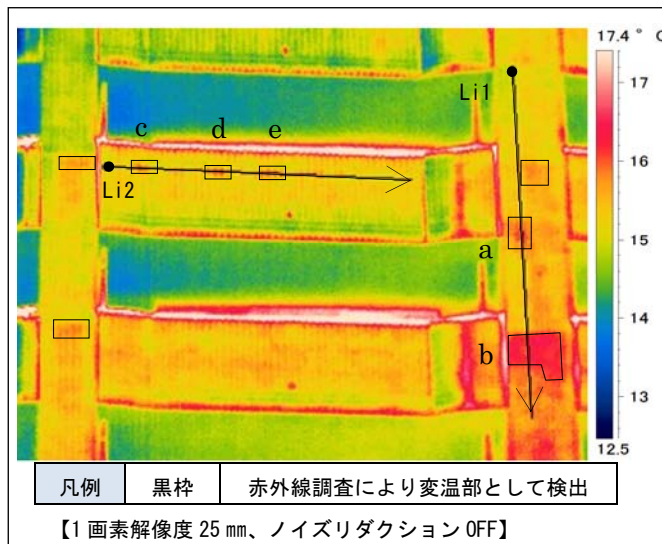


図 3-1 南面 熱画像 (4/9 11:18 撮影)



熱画像からバルコニーと交差した柱の部位にタイル 8~50 枚程度の変温部を 5 箇所確認した。また、バルコニーにタイル 2~6 枚程度の横方向の変温部を 3 箇所確認した。次にこれらの変温部の温度を詳細に解析するため、熱画像の変温部を横断するライン上の温度グラフを作成する。ライン Li1 及び Li2 の温度解析結果を図 3-2 及び図 3-3 に示す。なお、赤外線調査では温度上昇時、浮き部は健全部より温度が高くなる。温度解析した結果、図 3-1 の a から e の変温部は健全部より 1.0℃程度温度が高いことを確認した。また、変温部周辺にひび割れ等の外部劣化は見られなかった。

(2) 直接打診調査による検証

赤外線調査で検出した 8 箇所の特異な変温部をテストハンマーで打診して検証した結果、タイルの浮きは診られず、健全部を浮きと誤診させるノイズであることを確認した。検証結果を表 3-1 に示す。

同様な物件においてタイルの浮きとノイズを正確に判別できるよう、本件ノイズ要因の推察とノイズ除去方法について検証する必要がある。

4. ノイズ要因の推察

前章では特異な変温部がノイズであることを確認し、本章ではノイズ要因を推察する。正面近くから撮影した南面の熱画像を図 4-1 (図 3-1 と同

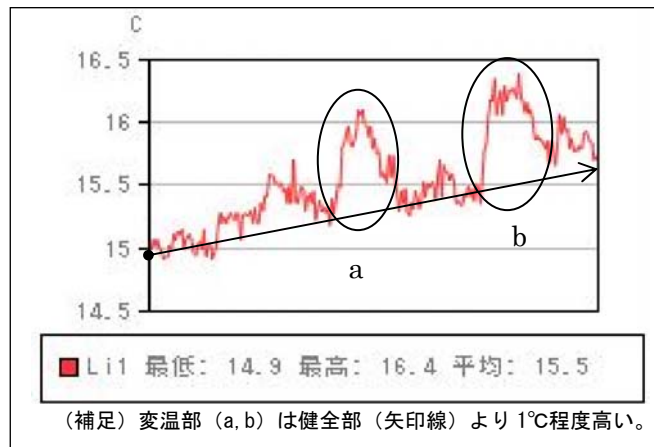


図 3-2 温度上昇時の Li1 温度断面図

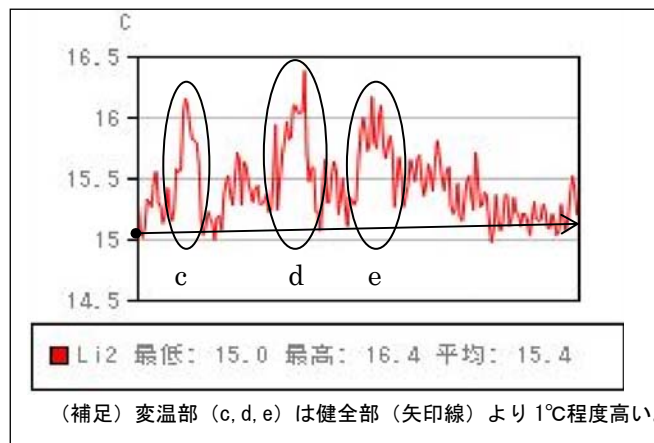


図 3-3 温度上昇時の Li2 温度断面図

表 3-1 変温部の検証結果

調査方法	温度上昇時の赤外線調査	直接打診調査	
	変温部の検出	ノイズ	浮き
柱	5箇所	5箇所	0箇所
バルコニー	3箇所	3箇所	0箇所

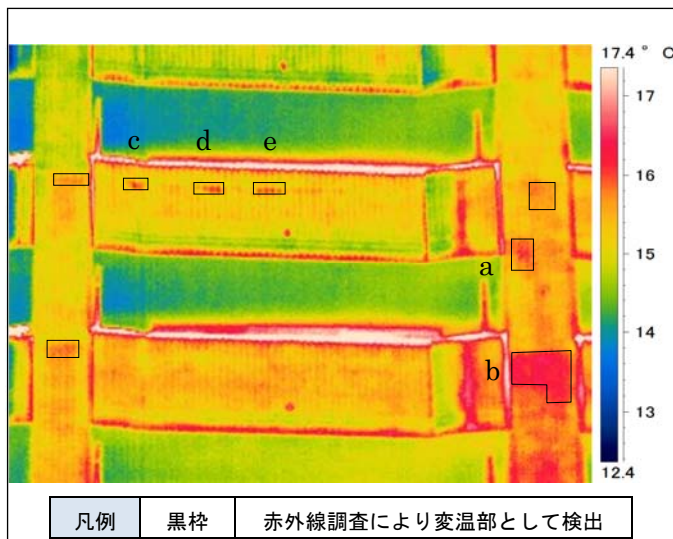


図 4-1 正面近くから撮影した南面 熱画像 (4/9 11:18 撮影)

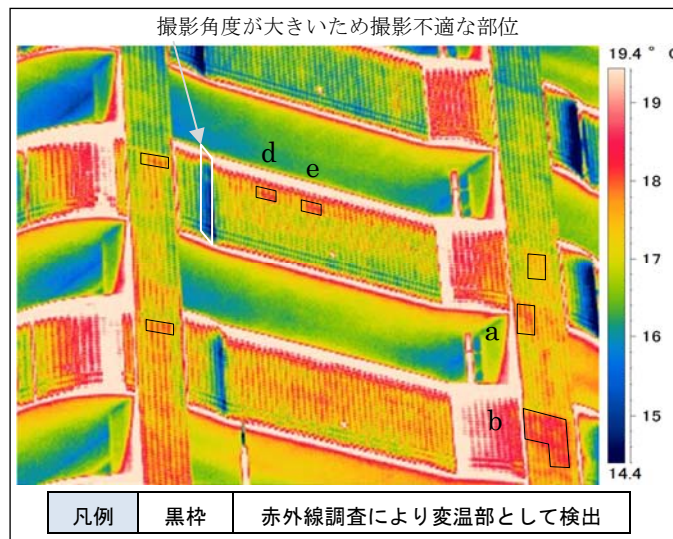


図 4-2 撮影角度を変えた南面 熱画像 (4/9 13:01 撮影)

一画像)に、撮影角度を変えた熱画像を図 4-2 に示す。

赤外線調査では、周辺建物の反射等による外部要因のノイズは、撮影角度を変えることにより除去することができる。熱画像を比較した結果、撮影角度の異なる熱画像にもかかわらず同じ部位に変温部が確認されたため、外部要因のノイズではなく、建物内部からのノイズ要因によるものと推察される。内部要因によるノイズとして、タイル内部に壁つなぎアンカー等の異種材の埋設が考えられるが、壁つなぎアンカー等の形状よりも変温部の範囲が大きいいため、別の要因と推察される。

そこで、南面と他の面との違いについて比較検討してみる。他の面の例として東面の外観を写真 4-1 に、南面の外観を写真 4-2 に示す。東面のバルコニーの配置は柱の外側にあるため、コンクリートの打継位置は柱では上階のスラブ天端となる。また、独立したバルコニーではスラブからバルコニーへと連続打設するため、打ち継ぎはないものと推察される。一方、南面のバルコニーは柱と交差しているため、コンクリートの打継位置は東面と異なり、複雑になることが推察される。南面のコンクリート打設手順と打継位置を図 4-3 に示す。



写真 4-1 東面 可視画像  
(柱とバルコニーが独立している)

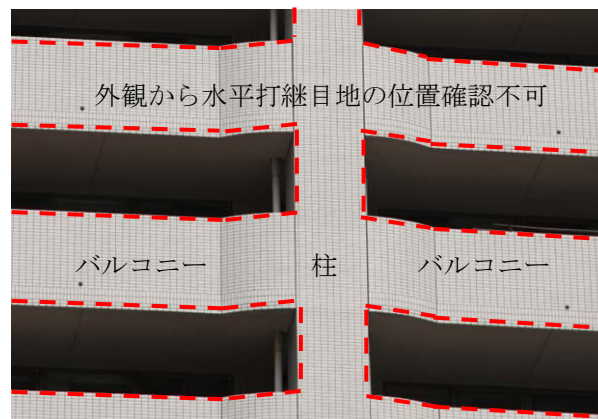


写真 4-2 南面 可視画像  
(柱とバルコニーが交差している)

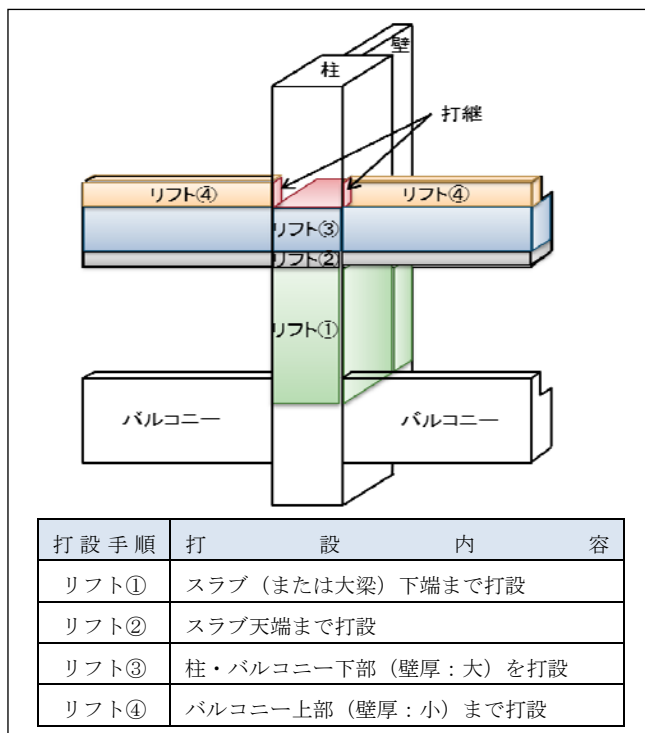


図 4-3 南面 外部柱のコンクリート打設手順

打設部位	初期欠陥が発生する要因	初期欠陥
リフト①~④	打ち重ね時間間隔が長い	コールドジョイント
	打ち重ね時の締固め不足	ジャンカ・空洞
リフト①	高い位置からの打設による材料分離	ジャンカ
リフト③	バルコニーと交差する柱は鉄筋・鉄骨量が多く、コンクリートが充填しにくい	ジャンカ・空洞
	型枠内部にノロが付着して汚れる	表層の欠陥
	型枠のはらみ、倒れ	打継部の段差

↓  
躯体コンクリートに発生した初期欠陥をタイル下地施工前に補修

↓  
コンクリートと補修材は熱伝導特性が異なり、タイル表面温度も異なる

↓  
熱画像に変温部として映り込む

↓  
内部要因によるノイズ発生

図 4-4 内部要因によるノイズ発生フロー



また、南面の柱の外観には水平打継目地が見当たらないため、バルコニーの上部と下部で壁厚が変化する境界を柱の水平打継位置と推察した。推察した理由は、柱の変温部がバルコニー壁厚の変化する境界辺りに集中していたためである。

本打設手順で施工した場合、コンクリート打ち込み時の施工不良によりジャンカ等の初期欠陥の発生が推察される。躯体コンクリートに発生した初期欠陥は、タイル下地を施工する前に補修材で補修される。そして、大気温や太陽光など外部の熱がタイル表面から伝わると、コンクリートとは異なる熱伝導特性をもつ補修材の影響で、タイル表面の温度は異なる温度となる。結果、熱画像に変温部として映り込むものと推察される。内部要因によるノイズが発生するフローを図 4-4 に示す。

表 5-1 撮影日の気象条件

撮影環境	気象庁 アメダス名古屋観測所の観測値
撮影日	2013/08/27
天候	晴
最高気温 (°C)	32.7
最低気温 (°C)	20.0
日較差 (°C)	12.7
平均風速 (m/s)	3.4
日照時間 (h)	12.3
雨量 (mm)	0

### 5. ノイズ除去方法の検証

内部要因によるノイズ除去方法として、撮影時間を変更した熱画像を比較する二時刻法が挙げられる。そこで 8 月 27 日の日没後の温度下降時に撮影した熱画像と 4 月 9 日の日中の温度上昇時に撮影した熱画像を比較した。8 月 27 日の撮影日の気象条件を表 5-1 に、撮影時の南面の温度グラフを図 5-1 に、撮影した熱画像を図 5-2 に示す。また、4 月 9 日の温度上昇時に撮影した熱画像を図 5-3 (図 3-1 と同一画像) に示す。

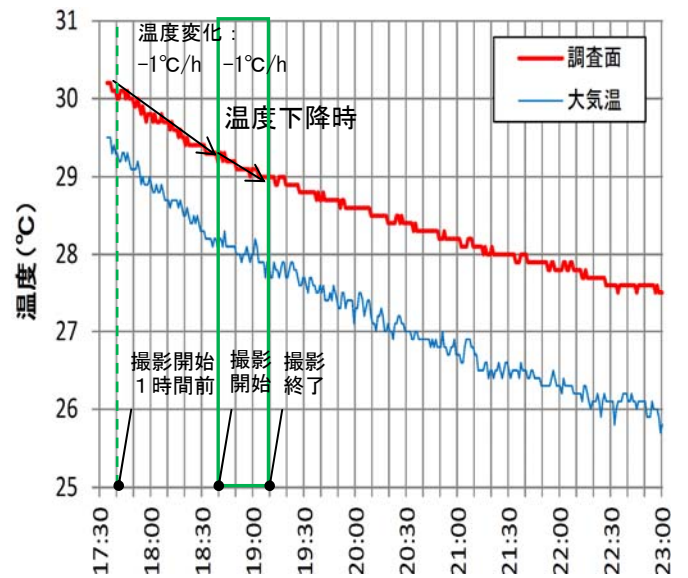


図 5-1 南面 温度グラフ (2013/08/27)

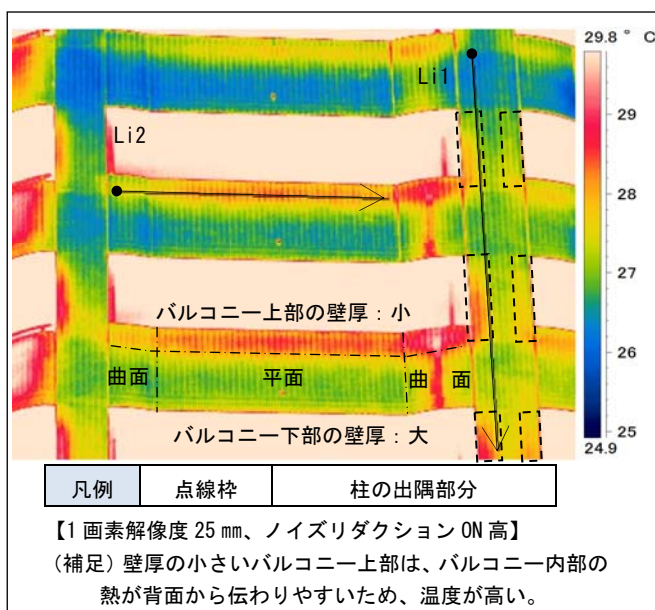


図 5-2 温度下降時の南面 熱画像 (8/27 19:01 撮影)

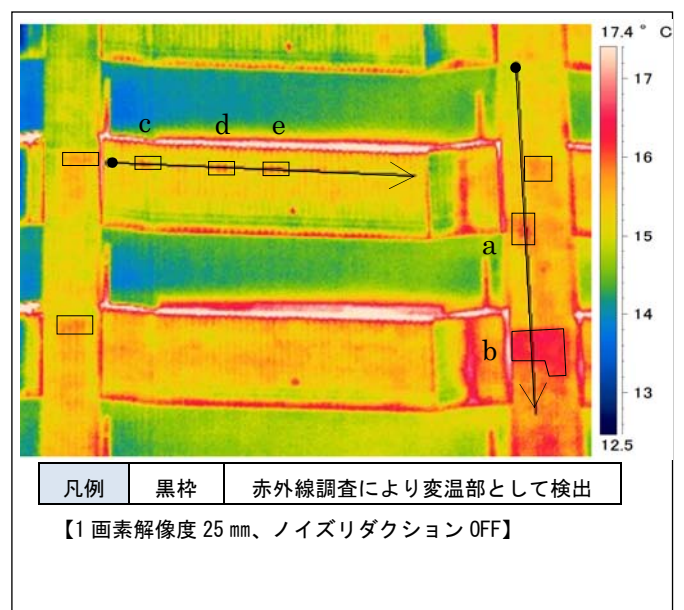


図 5-3 温度上昇時の南面 熱画像 (4/9 11:18 撮影)



図 5-2 の熱画像上のライン Li1 及び Li2 の温度解析結果を図 5-4 及び図 5-5 に示す。なお、赤外線調査では温度下降時、浮き部は健全部より温度が低くなる。温度解析した結果、ライン Li1 上では温度上昇時に検出した柱の変温部は確認されなかった。同様にライン Li2 上も温度上昇時に検出したバルコニーの変温部は確認されなかった。したがって、温度上昇時の赤外線調査で検出された変温部は、温度下降時では検出されず、ノイズであることが検証された。変温部を検証した結果を表 5-2 に示す。

このように二時刻法は、内部要因によるノイズを除去する有効な方法であることを検証した。

## 6. まとめ

本報告において検出されたノイズ要因は、撮影角度を変更した熱画像で比較検討した結果、内部要因によるノイズと判断した。そして、躯体に発生した初期欠陥の補修材の影響で、熱画像に内部要因によるノイズとして映り込むものと推察した。

さらに、内部要因によるノイズ除去方法として、温度上昇時と温度下降時の熱画像を比較検討する二時刻法の有効性を検証した。

また、今回の事例でわかるように技術者には赤外線調査の精度を高めるため、設計図書、補修履歴等から建物の内部構造や各種変状を把握し、ノイズの発生を予測する知識・経験を培うことや、外部要因または内部要因のノイズを適切な方法で除去し、浮き部を判別する技術力の向上が求められる。

### 参考文献

- 1) JAIRA 一般社団法人 日本赤外線劣化診断技術普及協会：特殊建築物等定期調査における外壁の劣化損傷状況の赤外線調査ガイドライン（第二版），2011.4

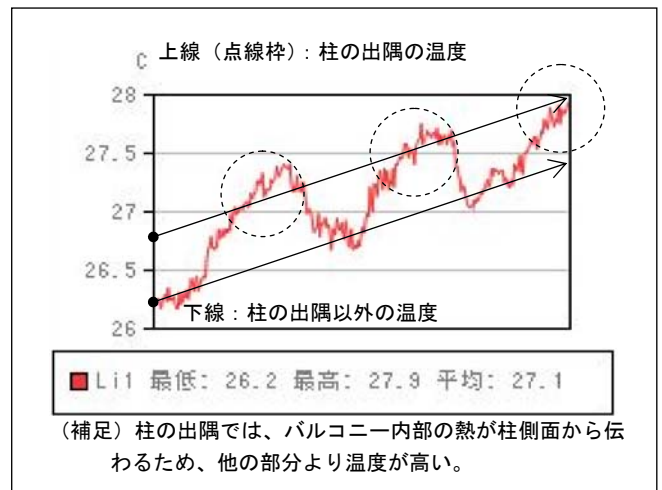


図 5-4 温度下降時の Li1 温度断面図

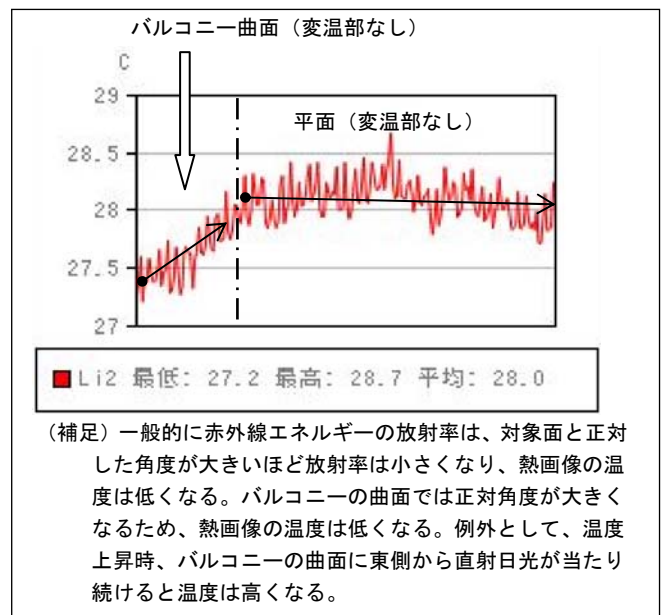


図 5-5 温度下降時の Li2 温度断面図

表 5-2 変温部の検証結果

調査方法	温度上昇時の赤外線調査	直接打診調査		温度下降時の赤外線調査	
	変温部の検出	ノイズ	浮き	変温部の検出	ノイズ除去方法の検証
柱	5箇所	5箇所	0箇所	0箇所	有効
バルコニー	3箇所	3箇所	0箇所	0箇所	有効

# Re

2014.1 NO. **181**

Building Maintenance & Management

特集 | はかる

〈シリーズ掲載にあたって〉

2013年を国土交通省は、社会資本メンテナンス元年と位置づけた。これは、笹子トンネルの天井落下事故が契機であるが、老朽化が進行している社会資本の維持管理への取組みは、喫緊の課題の一つである。

一方建築分野では、維持管理の重要性がすでに認識され、様々な資格制度、技術が開発されてい

るが、体系的にわかりにくいほど入り組んでいる。そこで我々の使命の原点に立ち戻り、これらの維持管理の資格、また最新の技術を取り上げて、読者に分かりやすい形で提供する必要があると考え、「シリーズ・維持管理の資格と技術」をスタートする。なお、掲載は当面順不同であることをご了解いただきたい。

## コンクリート診断士資格制度の背景と現状

### 1 コンクリート診断士制度

コンクリート診断士は、公益社団法人日本コンクリート工学会(以下、日本コンクリート工学会)が、コンクリートの健全性診断と補修や補強並びに維持管理に関する優れた知識と技術を保有していると認定した技術者に付与する資格で、2001年より実施され、現在約1万名が登録されています。

日本におけるコンクリート構造物は1960年以降急増し、図1に示すように、現在、社会資本として日本に存在するコンクリートの総量は、100億 $m^3$ を超えると推定されています。建設後、40年から50年を経過したコンクリート構造物は、いろいろな要因で劣化が始まりますが、適切な処置を講ずることにより構造物としての寿命を延ばすことが可能です。構造体コンクリートの健全性を診断し、補修・補強を行うことによって、先人が築いた貴重な財産を永く供用していくことは、これからの我々の務めと言えます。そのためには、コンクリートの診断、維持管理の技術者を早急に養成しなければなりません。コンクリートの劣化の現象と原因の関係や補修と補強に関する技術に関しては、学問的に系統立った整理はされてお

りませんでした。

このような背景から、日本コンクリート工学会は、長年にわたって蓄積してきたコンクリートの健全性の診断と補修や補強並びに維持管理に関する研究成果をもとに、系統的、総合的に取りまとめるとともに、コンクリートの診断と維持管理に関する幅広い知識を持った技術者を養成し、コンクリート診断士として認定することを通して、社会に貢献することを目的としてコンクリート診断士制度を発足させました。

### 2 コンクリート診断士の職務と受験資格

コンクリート診断士には、前述したように、既

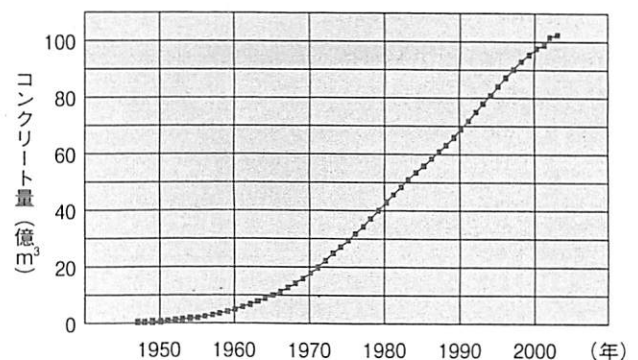


図1 我が国のコンクリート総生産量の推定値  
(日本コンクリート工学会資料より)



存構造物のコンクリートを対象として、その健全性を診断し、その劣化や損傷等の原因追及とともに、補修や補強とその後の維持管理の提案を行うことが求められます。構造物全体としての耐力と耐震性能の判断は、対象物が建築物、道路・鉄道橋、トンネル等多岐にわたり、設計法や解析法もそれぞれ独自のものがあり、一技術者だけで全ての構造物に対応することは困難です。構造物としての診断は、コンクリート診断士が調査したデータをもとにそれぞれの分野の構造設計の専門家が行うこととなりますが、コンクリートの診断のためには構造の知識も必要ですので、コンクリート診断士には、コンクリート診断の調査計画を立案するために必要な構造に関する基本的な知識も求められます。

コンクリート診断士の受験資格は表1に示すとおりですが、コンクリートの劣化診断や補修と補強および維持管理には、コンクリートに関する技術だけではなく、化学や物理学に関する知識も必要です。しかし、化学や物理も含めたコンクリートの耐久性に関しては、いまだ総合的な学問体系が確立されてはいませんので、受験に先立って、コンクリート診断士に必要な基礎知識を総合的に学んでおくために、コンクリート診断士講習を受

講することが義務付けられています。

2013年の場合、コンクリート診断士講習会は、全国8都市(札幌、仙台、東京、名古屋、大阪、高松、広島、福岡)において合計13回開催され、コンクリート診断士試験は、全国9都市(札幌、仙台、東京、名古屋、大阪、広島、高松、福岡、沖縄)において実施されました。全国の受験者数は5,241名(前年度4,945名)で、合格者は694名(合格率13.2%)でした。

試験の合格者が、コンクリート診断士の資格を有するためには、日本コンクリート工学会に登録することが必要です。2013年4月1日現在のコンクリート診断士登録者数は9,939名となり、登録者の業種別内訳は、表2のように、建設業やコンサルタント関係だけでなく、行政など幅広い分野に展開されています。

### 3 日本コンクリート診断士会

一般社団法人日本コンクリート診断士会(以下、日本コンクリート診断士会)は、コンクリート診断士の活動支援、すなわち、診断と補修や補強に関する技術の向上と発展、診断士の技術力と社会的地

資格または学歴	コンクリート関係実務の経験年数	コンクリート診断士講習会
A		
コンクリート主任技士登録者	不 要	受講が必須
コンクリート技士登録者		
一級建築士登録者		
技術士(建設部門)		
技術士(農業部門-農業土木)登録者		
土木技術者(特別上級・上級・1級)登録者		
RCCM(鋼構造及びコンクリート)登録者		
コンクリート構造診断士登録者		
1級土木施工管理技士または1級建築施工管理技士の監理技術者資格者証を有する者		
B		
大学または高等専門学校(専攻科)でコンクリート技術に関する科目を履修した卒業生	4年以上必要	
短期大学または高等専門学校でコンクリート技術に関する科目を履修した卒業生	6年以上必要	
高等学校でコンクリート技術に関する科目を履修した卒業生	8年以上必要	

表1 受験資格

業 種	登録者
官庁	103
独立行政法人・事業団	100
地方自治体・地方公社	436
大学・学校	57
設計事務所	150
コンサルタント	2,306
エンジニアリング	154
セメント	307
混和材料	150
生コンクリート	452
コンクリート製品	276
建設	4,026
調査診断	269
試験機関	61
電力・ガス	217
鉄道	167
道路	215
その他	493
合 計	9,939

2013年4月1日現在

表2 診断士の業種内訳

位の向上、診断士の品位の保持に努め、ひいては、コンクリート構造物の継続使用と長寿命化に貢献することを目的として、2010年7月に設立されました。現在、本部と16の地区診断士会があり、約1,200名の会員と63社の法人会員で構成されています。

日本は南北に長いこと、また、日本海側と太平洋側では気候が異なることから、地域によって環境が異なり、コンクリートの劣化現象も様々です。各地の診断士は、お互いの情報の交換と自己研鑽とを目的とした地区診断士会を発足させてきました。日本コンクリート診断士会は各地区の診断士会同士の情報交換と診断士会の全国的な展開を目的として発足したものです。

コンクリートの劣化現象は気候風土によって異なるので、日本診断士会に所属を希望する診断士は、まず、地区の診断士会に所属することが原則となっており、また、地区の診断士会の会員は、ほぼ全員が日本診断士会の会員となっています。現在の会員状況は表3のとおりですが、地区診断士会はまだ全国的に広がっていないことから、本

部に直接入会することも可能としています。

日本コンクリート診断士会は、会員に向けては定期的な技術セミナーの開催や現場見学会などを開き、さらなる技術の向上・研鑽を図るとともに、ホームページを通じて、各社の保有技術を紹介するなど、コンクリート診断や補修補強、維持管理技術のプラットフォームとしての役割を果たすことができるように組織の拡充に取り組んでいます。また、コンクリート工学会やコンクリートメンテナンス協会など、サステナビリティ関連の学協会との連携にも力を入れています。

コンクリートの診断およびそれに基づく補修と補強に関する技術と知識は専門的なものですが、構造物の管理者や使用者は必ずしもこの専門知識を有しているわけではないので、劣化が始まったコンクリートに対する適切な判断は難しいと思われます。日本コンクリート診断士会では、社会において安心して診断士を使ってもらえるように、会員が守るべき倫理規定を策定し、社会的に信頼される診断士を育成し、安全かつ安心で長寿命な社会基盤の実現を目指しています。

名称	学術会員	正会員	賛助会員	地区合計
福井県コンクリート診断士会	0	85	2	87
鳥取県コンクリート診断士会	2	30	0	32
島根県コンクリート診断士会	1	63	0	64
東京コンクリート診断士会	2	177	10	189
石川県コンクリート診断士会	0	67	5	72
NPO 法人 大分県コンクリート診断士会	1	68	0	69
青森県コンクリート診断士会	2	38	0	40
静岡コンクリート診断士会	0	50	0	50
京滋コンクリート診断士会	0	15	1	16
高知県コンクリート診断士会	2	28	0	30
新潟県コンクリート診断士会	2	97	4	103
長野県コンクリート診断士会	2	42	15	59
北海道コンクリート診断士会	0	112	13	125
東海コンクリート診断士会	0	45	15	60
広島県コンクリート診断士会	2	70	0	72
宮崎県コンクリート診断士会	1	31	62	94
本 部	0	8	1	9
合計	17	1,026	128	1,171

法人会員 63社

2013. 9. 26現在

表3 個人会員種別



写真1 コンクリート内部の欠陥や配筋状況に関する X 線を用いた調査



#### 4 コンクリート診断士の社会的な位置づけ

コンクリート診断士は、日本コンクリート工学会により、相応のレベルのコンクリート診断や維持管理の知識と技術を保有していると認定され、さらにコンクリート工学会に登録した技術者に与えられる資格ですが、法定のものではありませんので、この資格がなければ診断や維持管理の業務ができないわけではありません。しかしながら、資格制度が発足してから10年以上経過し、コンクリート診断士の資格は、徐々に、その専門性が社会的に認められるようになり、工事発注の要件にあげられる例が増えるなど、コンクリート診断士に対する評価は高まっています。

土木分野においては、国土交通省で建設コンサルタント業務を発注する際に使用する「建設コンサルタント業務等におけるプロポーザル方式及び総合評価落札方式の運用ガイドライン(平成23年6月)」において評価対象となる技術者資格として、技術士、博士などに並んで、コンクリート診断士(コンクリート構造物の維持・修繕に適用)が挙げられ、また、東京都や福井県など、地方公共団体でも、「橋梁、浄水場、汚水処理場等のコンクリ

ート構造物初期点検委託業務」や「橋梁長寿命化修繕計画策定業務委託」などにおいて、責任技術者としてコンクリート診断士を挙げる例や総合評価やプロポーザル方式の補修工事における技術者評価において、設計技術者資格(管理技術者)、施工技術者資格(主任技術者又は監理技術者)に対して、コンクリート診断士の資格を評価する例が増えています。今後ますますコンクリート診断士の必要性は高まっていくものと思われます。

建築系の分野では、コンクリート診断士資格に対し、公共工事における評価の対象となる資格として、積極的に活用された例はあまり報告されていません。しかし、写真に示すように、建物の健全度調査や耐震診断における経年劣化調査業務に、専門技術が必要な様々な手法も使われるようになっており、コンクリート診断士の活用は徐々に広まりつつあります。

コンクリート診断士は、構造体のコンクリートを対象として、劣化や損傷の現状と原因を把握し、さらに、今後の劣化進行度を予測した上で、対策を提案できる技術者です。建築構造物を継続的に活用していくためには、耐震診断などの構造的な性能確認だけでなく、耐久性に関する性能確認も重要です。今後、コンクリート診断士の技術と知識が積極的に活用されていくことを期待します。



写真2 外部からの調査の様子

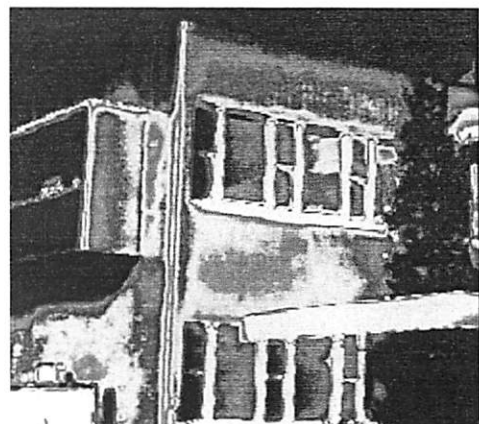


写真3 サーモグラフィによる診断画面



今月の広告主

(株)NTT ファシリティーズ  
 一般財団法人建築コスト管理システム研究所  
 一般社団法人公共建築協会 (株)竹中工務店 (株)明電舎

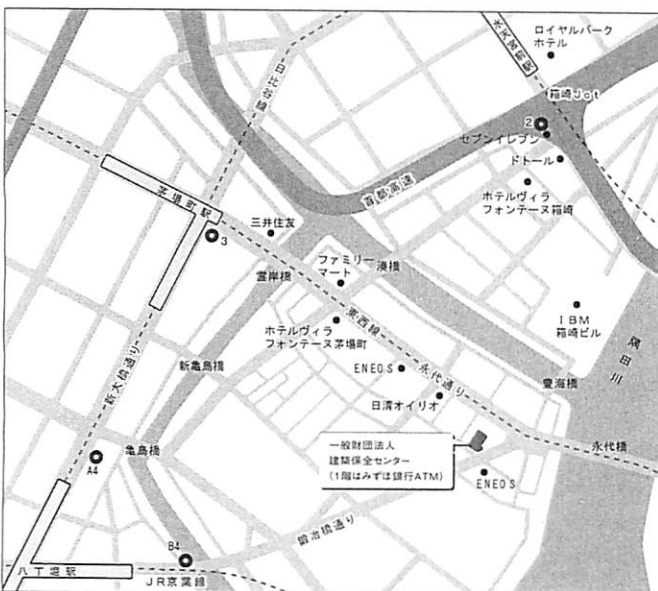
広告については総務部にお問合わせ下さい。

一般財団法人 **建築保全センター**

Building Maintenance & Management Center

一般財団法人建築保全センターは 国や地方公共団体等の建築物の保全に関する調査研究や技術開発などを行い 地球環境の保護や建築ストックの有効活用とライフサイクルコストの縮減のために 公共建築物の適正な保全を支援します

- |   |  |
|---|--|
| <p>■調査研究</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 保全業務の標準化</li> <li>・ 保全業務支援情報システム</li> <li>・ 施設管理マネジメント技術</li> <li>・ 歴史的建築物の評価と保存活用技術</li> <li>・ 耐震診断/劣化診断/グリーン診断</li> <li>・ 施設管理マネージメント技術</li> <li>・ 保有施設の長寿命化計画</li> </ul> | <p>■技術開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 保全技術審査証明事業</li> <li>・ 標準保全マニュアル作成システム</li> </ul> <p>■図書出版</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建築保全業務共通仕様書</li> <li>・ グリーン診断・改修計画基準および同解説</li> <li>・ 公共建築改修工事標準仕様書</li> </ul> <p>■研 修</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建築仕上げリフォーム技術研修</li> <li>・ 建築保全研修</li> </ul> <p>■施設管理</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 庁舎管理マネジメント業務</li> </ul> |
|---|--|



〒104-0033 東京都中央区新川1-24-8  
 TEL 03-3553-0070 FAX 03-3553-6767  
 URL : <http://www.bmmc.or.jp>  
 E-mail : [info@bmmc.or.jp](mailto:info@bmmc.or.jp)

〈アクセス〉

- ・ 地下鉄日比谷線・東西線 茅場町駅  
3番出口より徒歩8分
- ・ 地下鉄日比谷線・JR京葉線 八丁堀駅  
A4またはB4出口より徒歩8分
- ・ 地下鉄半蔵門線 水天宮駅  
2番出口より徒歩12分

大阪事務所 〒540-0028 大阪市中央区常盤町1-2-17 大阪フコク生命ビル  
 TEL 06-6943-1009 FAX 06-6943-1009

設 立 昭和53年4月(建設大臣認可)