

塩害を受けたコンクリート桁への X 線など 非破壊検査の適用

石田 雅博^{*1}・宇佐美 惣^{*2}

高度経済成長期に建設された膨大な道路橋ストックの高齢化が急速に進むなかで、近年、国内では PC 鋼材の腐食・破断などが発生している。これら主部材の腐食損傷については橋全体系の安全性に重大な影響を及ぼす可能性があり、構造物の状態を適切に調査・診断するための技術が求められている。こうした調査・診断を行うために有効である X 線など非破壊検査の適用性および他分野での各種非破壊検査手法の橋梁検査への適用の可能性について現状を報告する。

キーワード：コンクリート，調査診断，非破壊検査

1. はじめに

高度経済成長期に建設された膨大な数の橋梁の高齢化が進展するなかで、さまざまな劣化要因による損傷事例が報告されている。これらの損傷に対し合理的かつ適切に維持管理を行っていくために、検査技術や評価手法の確立が求められている。しかし、劣化損傷や変状の要因が多岐にわたるとともに、橋梁の構造特性や周辺環境、交通量等によっても耐荷性能や耐久性能に与える影響が大きく異なる。

劣化損傷を適切に評価する手法を確立していくためには、これらの劣化損傷等に関するデータの蓄積が必要不可欠である。（独）土木研究所では、劣化損傷の生じた実橋の実態や耐荷性能を把握すべく、撤去された橋梁について非破壊検査や載荷試験、解体調査を実施し、検査技術や評価手法の確立に向けて研究を行っている。本論では、塩害により鋼材腐食の生じたコンクリート桁に対して現状を把握するために実施した非破壊検査の適用性および現在開発中である他分野での各種非破壊検査手法の橋梁検査への適用の取組みについて報告する。

2. 撤去桁における非破壊検査の適用性確認

2.1 調査対象橋梁

本橋は石川県宝達志水町の主要地方道金沢田鶴浜線の相

見川を渡河する自歩道橋（能登海浜自転車道線）である。

能登有料道路の本線（上り線）に渡河し、海岸線より約 90 m の位置に架かる 2 連の単純ポストテンション PCT 桁橋である。（写真 - 1）。表 - 1 に本橋の主な橋梁諸元、図 - 1 に桁の標準断面を示す。過去二度の詳細調査にて塩害による鋼材腐食に起因するはく落や浮きが桁全体に確認され、はつり調査において全 PC 鋼材 8 本のうち、2 本にて一部素線破断が確認された。そのため、ライフサイクルコスト（LCC）比較により架替えが優位と判断され、供用から 38 年経過した後撤去された。



写真 - 1 撤去前の状況

表 - 1 橋 梁 諸 元

橋 梁 名	相見川海浜橋（自歩道橋）
路 線 名	主要地方道 金沢田鶴浜線（管理：石川県）
橋長・支間長	44.0 m（支間長 19.2 m + 23.24 m）
橋 梁 形 式	単純ポストテンション PCT 桁橋
適用示方書	S43 PC 道路橋示方書（竣工年より推定）
竣 工 年	昭和 47 年（1972 年）
点 検 履 歴	平成 19 年 点検・調査 平成 21 年 詳細調査

2.2 調査対象橋梁の調査内容

(1) ひび割れ・浮き・はく離

載荷試験前の損傷状況を図 - 2 に示す。

対象の桁は橋台側で PC 鋼材の破断が確認されて撤去された桁である。ひび割れ・浮き・はく離は、桁中央よりも



^{*1} Masahiro ISHIDA

（独）土木研究所
CAESAR 上席研究員



^{*2} Osamu USAMI

（独）土木研究所
CAESAR 主任研究員

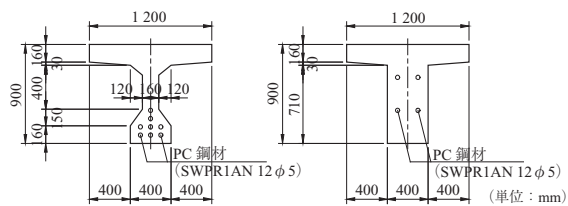


図 - 1 標準断面

橋台側で、特に山側の側面と桁下面に多くみられる。

(2) PC 鋼材腐食

図 - 3 に両桁端および支間中央部における PC 鋼材の断面減少率を示す。なお、PC 鋼材の断面積の測定は、長さ 30 cm の 12 本束の素線を採用し、JCI-SC1「コンクリート中の鋼材の腐食評価方法」に準拠した除錆を行ったのち、各素線において 50 mm ピッチにて最小径とそれと直行する径をノギスによって計測した。その計測結果から各素線全長 30 cm における断面積の平均値を算出し、同様の方法で計測した健全な素線の測定結果を基準にして断面減少率を算出している。図中の断面減少率は、各素線の断面減少率（平均値）をさらに各シース内の 12 本において平均した値と、12 本中の断面減少率（平均値）の最大値である。橋台側桁端部において最も腐食の程度が顕著であり、山側の最下段の PC 8 は腐食によりシースが消失し、断続的に 12 本全ての素線が破断していた。

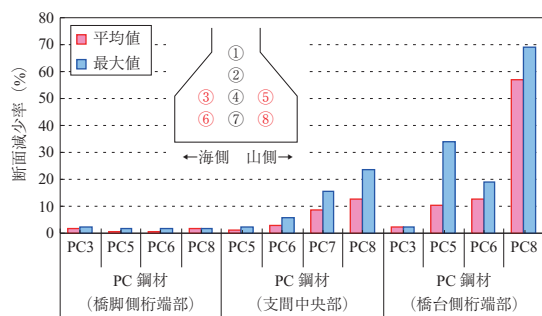


図 - 3 PC 鋼材の断面減少率

(3) 鉄筋腐食

鉄筋腐食については、切断によって3分割された桁のうち、腐食の激しい橋台側のブロックおよび中央ブロックの2ブロックにおいて、解体による鉄筋の腐食量調査を実施

した。なお、軸方向に配置される主鉄筋と、断面の周方向に配置されるスターラップとは分けて調査した。腐食の激しかった橋台側ブロックでは、広範囲にかぶりコンクリートのはく離があり、鉄筋腐食が発生していた。最下段の主鉄筋（以降、下段と表現）と下から2段目の主鉄筋（以降、上段と表現）、スターラップについて断面減少率の測定を実施した結果、主鉄筋の断面減少率は下段で0～60%程度、上段で0～30%程度となっていた。スターラップの断面減少率は海側と山側の両面で測定し、腐食の著しい山側で0～30%程度、海側で0～10%程度の断面減少率となっていた。また、中央ブロックについて主鉄筋は橋脚側寄り支間中央付近の海側の側面に、スターラップは橋脚側半分に鉄筋の腐食が発生し、主鉄筋、スターラップともに0～30%程度の断面減少率となっていた。

(4) グラウト充填状況

一部グラウトの充填不足が確認されたが、おおむね充填状況は良好であった。詳細は2.3.2 適用性の検討結果(1) X線透過法に示す。

(5) 材料物性値試験

解体調査時にコンクリートコアを採取し、コンクリート圧縮強度、引張強度、静弾性係数の各種物性値試験を実施した。コンクリートおよび鋼材の材料物性値結果の平均値を表 - 2 に示す。

表 - 2 材料物性値試験結果

(a) コンクリート		
	試験値	標準値(道路橋示方書)
圧縮強度 (N/mm ²)	58.9	40
引張強度 (N/mm ²)	3.16	2.69
静弾性係数 (kN/mm ²)	21.6	31.0

(b) 鋼 材				
	鉄筋 (SD295)		PC 鋼材 (SWPR 1 AN 12 φ 5)	
	試験値	規格値	試験値	規格値
降伏強度 (N/mm ²)	373	295	1 675	1 400
引張強度 (N/mm ²)	553	440	1 806	1 600
静弾性係数 (kN/mm ²)	213	200	203	200

試験の結果、圧縮強度、引張強度ともに試験値が標準値を上回る値を示していたが、静弾性係数は標準値を下回っていた。これはアルカリ骨材反応の影響によるものと考えられた。また、鋼材の引張強度試験は、載荷試験後、桁を

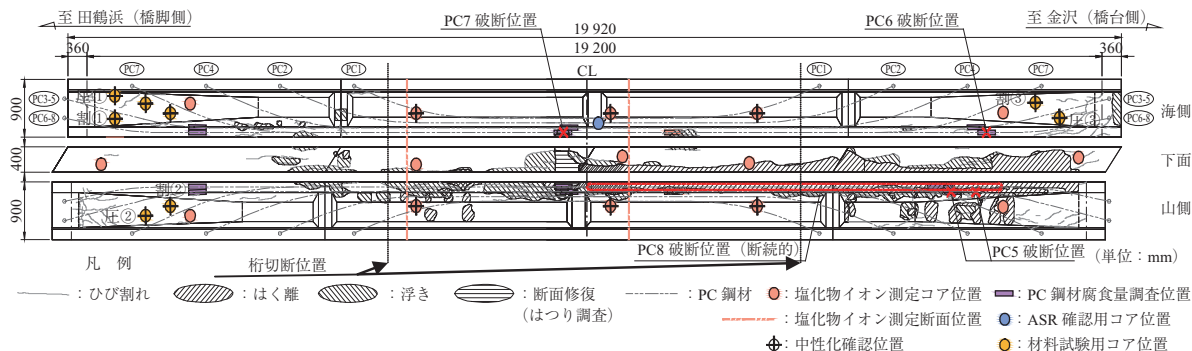


図 - 2 載荷試験前の損傷状況

切断した端桁から取り出した鋼材で実施した。

試験片の引張軸方向に、単軸ひずみゲージを貼り付けてひずみを測定し、応力ひずみ曲線、降伏強度、引張強度、静弾性係数を測定したが、どれも規格値以上の値であった。

(6) 中性化深さ測定

中性化深さ測定結果を表 - 3 に示す。

中性化深さは、海側に比べ山側のほうがやや中性化が進んでいる傾向が確認されたが、調査を実施した箇所における最大値は山側の橋脚側桁端部の 26 mm 程度であった。

表 - 3 中性化深さ測定結果 (mm)

	圧① (海側)	圧② (山側)	圧③ (海側)	割① (海側)	割② (山側)	割③ (海側)
最 大	0	26	0	0	13	0
最 小	0	6	0	0	4	0
平均値	0	11	0	0	8	0

※「圧」は圧縮強度試験、「割」は割裂強度試験コアを示す。

(7) 塩化物イオン濃度測定

塩化物イオン濃度測定は、採取コアにより確認した。

採取コアによる濃度分布は図 - 4 のとおり、比較的健全な橋脚側は塩化物イオン濃度が山側・海側ともに低い結果であった。一方、支間中央部の山側や損傷が顕著な橋台側桁端部の山側および桁下面において塩化物イオン濃度が高く、PC 鋼材位置における濃度が 1.2 kg/m^3 を超えていた。また、同箇所における表面付近の濃度が小さくなっていた。同図に各山側側面の中性化深さ（コア全周 8 等分点の計測値のうち最大値）を示すが、おおむね中性化深さとの相関が確認でき、中性化による塩分濃縮が生じていると考えられる。

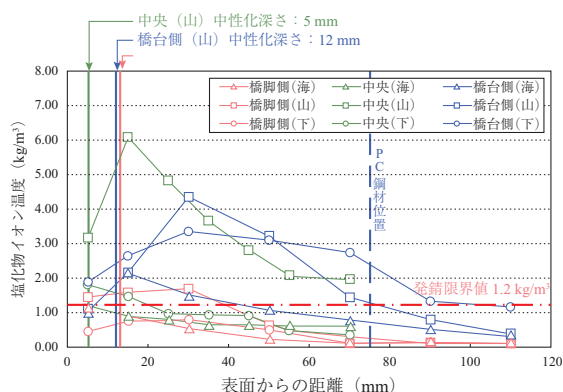


図 - 4 塩化物イオン濃度分布（電位差滴定法）

(8) 載荷試験

載荷試験は図 - 5 に示すとおり、支間中央にて曲げ載荷および各桁端にて 1 回ずつのせん断載荷（以降、橋台側桁端部：せん断載荷試験 -1、橋脚側桁端部：せん断載荷試験 -2）の計 3 回の載荷試験を行った。結果を図 - 6 に示す。せん断載荷試験 -1 は、せん断ひび割れが確認されたのち、荷重 - 変位曲線にて PC 鋼材の降伏の予兆が確認されたため、せん断載荷試験 -2 への影響を勘案し、500

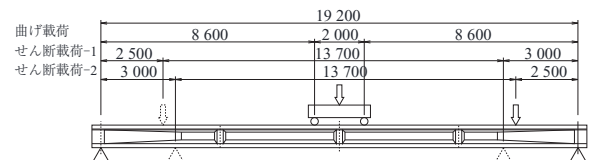


図 - 5 載荷試験方法

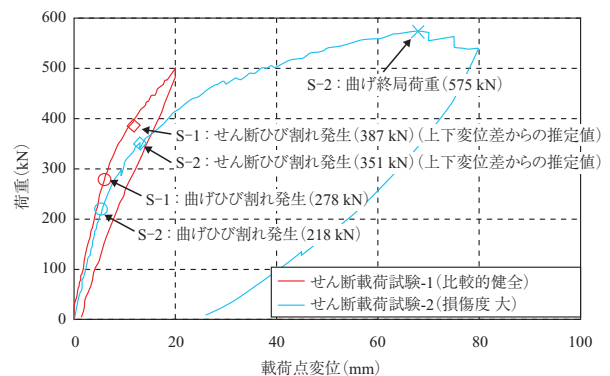


図 - 6 荷重 - 変位曲線（せん断載荷試験）

kN で除荷している。せん断載荷試験 -2 は、曲げひび割れ発生荷重まではせん断載荷試験 -1 とおむね同様の挙動を示したが、それ以降はせん断載荷試験 -1 より大きな変形を呈しながら、最大荷重 575 kN を計測した。

2.3 非破壊検査の適用性検討

2.3.1 非破壊検査手法の概要

以下の非破壊検査手法の適用性について検討を行った。

(1) X線透過法（写真 - 2）

ウェブに配置された PC 鋼材を対象として、X 線透過法によるグラウト充填度調査を実施するとともに、供用中の調査により破断が確認された箇所や外観目視により鉄筋腐食が確認された箇所についても X 線透過法による撮影を行い、鋼材の破断や腐食に対する適用性について確認を行った。

(2) 振動計測（写真 - 3）

せん断載荷試験 -1 の実施前および載荷試験後に、常時微動および衝撃加振により振動特性の確認を行った。衝撃による加振方法は砂袋（10 kg）による加振とし、計測点 8 箇所に加速度計（サーボ型）を設置して計測を行い、1 ～ 3 次モードの固有振動数を把握し、載荷による供試体の損傷状態と固有振動数の変化の関係を確認した。

(3) 光学的全視野計測法¹⁾（写真 - 4）

長崎大学および佐賀大学にて技術開発された光学的全視野ひずみ測定装置を用い、載荷点付近における下フランジ側面およびウェブを対象として、載荷時に変位やコンクリートのひずみ分布を計測した。計測システムは、カメラ型およびスキャナ型にて計測を実施したが、ここではせん断載荷試験 -2 にて実施したカメラ型を用いたデジタル画像相関法（以降、DICM）の計測結果について報告する。

(4) レーザーを用いた計測（写真 - 5）

遠方から試験体に設置したターゲットにレーザーを照射し変位を計測する手法について、別途設置した接触式変位

計との比較を行うとともに、振動計測も実施し適用性の検討を行った。

(5) 蛍光 X 線による塩化物イオン計測²⁾ (写真 - 6)

蛍光 X 線分析装置を用いて切断面および側面の塩化物イオン濃度分布を計測した。

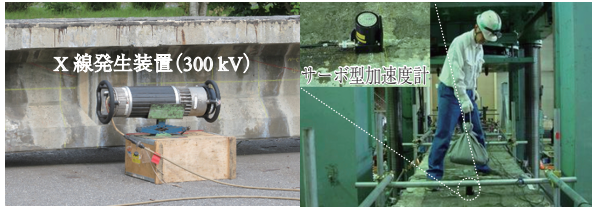


写真 - 2 X線透過法

写真 - 3 振動計測

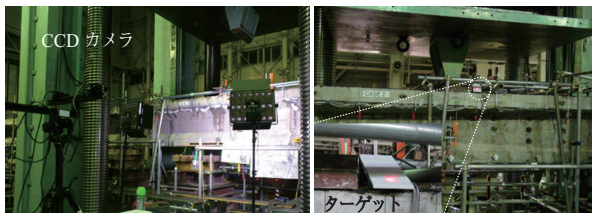


写真 - 4 光学的全視野計測法

写真 - 5 レーザーを用いた計測



写真 - 6 蛍光 X 線による塩化物イオン計測

2.3.2 適用性の検討結果

(1) X 線透過法

X 線透過法によるグラウト充填状況の確認を行った結果を図 - 7 に示す。

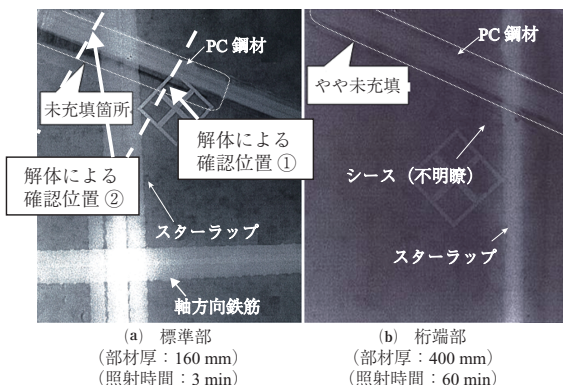


図 - 7 X線透過法によるグラウト確認状況

一部グラウトの先流れもしくはブリーディングによるものと思われる未充填が確認されたが、比較的充填状況は良

好であった。なお、部材厚が 160 mm 程度であれば、X 線の照射時間は 3 分程度で鮮明な X 線画像が撮影できたものの、部材厚 400 mm の桁端部においては、1 時間程度照しても鮮明な画像が得ることができなかった。

また、鋼材の破断や腐食が確認されている箇所に X 線透過法による撮影を試みたが、有意な結果は得られなかった。また解体調査では、PC 鋼材の腐食調査用にはつり出したシースを輪切りにしてグラウト充填状況を確認 (図 - 8) したが、上縁定着部付近 (図 - 8 ②) で一部未充填が確認されたものの、比較的充填状況は良好であり、非破壊検査で得られたものと同様の結果であった。



図 - 8 グラウト確認状況

(2) 振動計測

表 - 4 にせん断載荷試験 -1 の前後に実施した固有振動数計測結果を示す。常時微動についても計測したが、高次モードは検出できなかった。衝撃加振による振動数は、1 次および 2 次モードではほとんど変化がなかったが、3 次モードにて 8 % 程度の低下が確認された。これはひび割れ等による剛性低下の影響と考えられる。

表 - 4 固有振動数計測結果

モード 次数	載荷試験	固有振動数 (Hz)	
		常時微動	衝撃加振
1	前	6.694	6.378
	後	6.458	6.353
	比率	0.95	1.00
2	前	21.301	21.276
	後	21.130	21.047
	比率	0.99	0.99
3	前	判定不能	57.363
	後	判定不能	52.953
	比率	—	0.92

(3) 光学的全視野計測法

せん断載荷試験 -2 において、DICM と接触式変位計およびひずみゲージにて計測した結果との比較を図 - 9 に示す。また、図 - 10 に本計測法により得られたひずみ分布および目視で確認されたひび割れを黒線で示す。おおむね変位やひずみの挙動を捉えており、ひずみゲージではある点でしか計測できないひずみを面的に捉えることができるため、今後さらなる展開が期待される。

(4) レーザーを用いた計測

せん断載荷試験の際に実施したレーザーによる変位計測と接触式変位計と比較したものを図 - 11 に示す。

せん断載荷試験 -1 においては、接触式変位計の計測結果とおおむね一致しており、比較的精度よく変位の挙動を

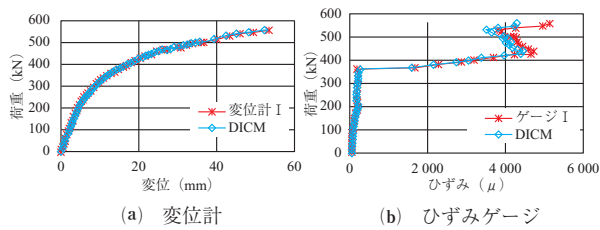


図 - 9 計測結果の比較

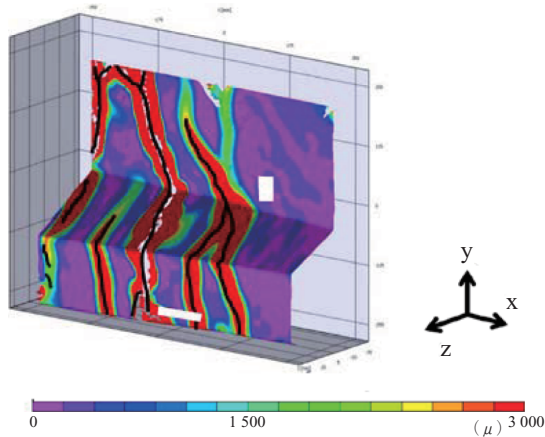


図 - 10 ひずみ分布 (載荷荷重: 520 kN)

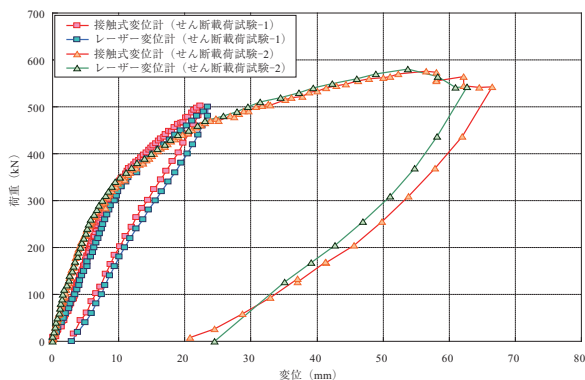


図 - 11 計測結果の比較

捉えていた。せん断載荷試験-2は、最大荷重まではおおむね一致しているものの、最大荷重計測後から除荷時にて両者に3～4 mm程度の差異が生じた。この差異の要因としては、載荷による損傷により何れかの変位計にずれが生じた可能性などが考えられる。また、曲げ載荷試験の前後に同計測手法により振動計測を試みたが、本来であれば曲げひび割れ発生荷重程度では振動数に変化は生じないと推定されるが、載荷試験前後の振動数に差異が生じた。この要因としては、本振動計測は人力により衝撃加振し、平板ターゲットを用いて実施したが、本計測装置の精度は0.5 mmであり、衝撃加振による変位の挙動が1 mm以下であったため、分解能の限界によるものと考えられる。

(5) 蛍光X線による塩化物イオン計測

X線強度から定量化する際に必要となる検量線について補正をしたあとの蛍光X線による計測結果を図-12に示

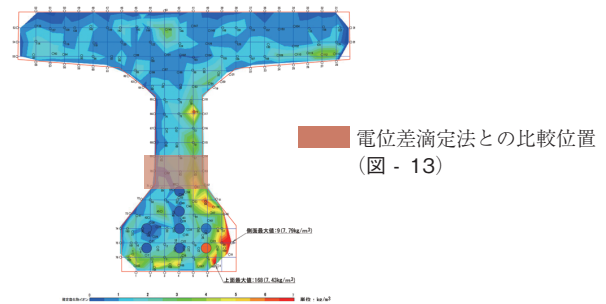


図 - 12 蛍光X線による計測結果

す。

蛍光X線の測定値について、蛍光X線測定面近傍におけるコアの滴定法による測定値との比較を図-13に示す。

おおむね相関が得られているが、やや濃度の低い場合において電位差滴定法による値に比べ蛍光X線の方が高くなる傾向であった。この要因は、粗骨材を避けてモルタル部を計測していることのほか、粗骨材を含んだ粉末試料で検証した検量線の適用性などが考えられる。また、切断面のほかに側面も計測したが、浮きやはく離が生じていない箇所において、全体的には切断面より側面の濃度が低い傾向が確認された。蛍光X線は数十μm程度の非常に薄い厚さの範囲を計測しており、計測範囲に中性化が生じていれば、塩分濃縮が生じていることから計測値は低くなってしまうため、現場での適用にあたっては注意が必要である。

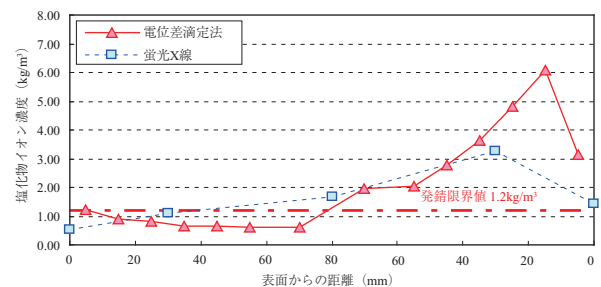


図 - 13 蛍光X線による計測結果

2.3.3 ま と め

非破壊検査手法の適用性について得られた成果を以下にまとめる。

- 1) X線透過法は、計測可能な部材厚には限界があることを再確認し、鋼材の破断や腐食への適用性は有意な結果を得ることができなかった。
- 2) 加速度計(サーボ型)を用いた衝撃加振による振動計測において、高次モードにて損傷を検出できる可能性が確認された。
- 3) 光学的全視野計測法は、ひずみゲージでは捉えることができなかった面的なひずみの挙動を計測することが可能であり、今後の展開が期待される。
- 4) レーザーによる計測手法は、最大荷重を迎えるまでは変位の挙動を比較的精度よく捉えることができたものの、振動計測に関しては現状では本手法の分解能に限界

があり、計測誤差が生じた。

- 5) 蛍光 X 線による塩化物イオン計測は、ある程度塩化物イオン量の計測には有効であるが、コンクリート表面近傍に中性化が生じている場合には計測値が低く、現場適用にあたっては注意を要する。

3. 表面付着塩分量調査の非破壊検査適用性確認

3.1 調査の目的

橋梁の表面に付着したコンクリート内部の鋼材腐食の要因の一つとして考えられる飛来塩分は、地形や風向などの環境的要因や橋梁構造形式など要因により付着する場所や量が異なってくるといった報告がされている³⁾。

飛来塩分の測定に従来より実施しているガーゼ法やコア抜きによる調査方法では、局所的な数値を代表しているため、面的な分布状況の把握はできていない。

ここでは季節風の影響を受ける PC 橋を対象に分光分析による非破壊検査でコンクリート表面に付着した塩分を面的に測定する方法について従来のガーゼ拭き取り法との比較による測定精度の検証を行った。

3.2 分光分析による付着塩分測定概要

分光分析法は、図 - 14、写真 - 7 に示すようにコンクリート表面にハロゲンランプを照射し、その反射光を波長と吸光度に分けることで非破壊により、コンクリートの表面にある塩分を面的に計測する方法である⁴⁾。本手法は、果物の糖度を光で分ける方法として、すでに一般化された技術であり、それをコンクリートに応用したものである。

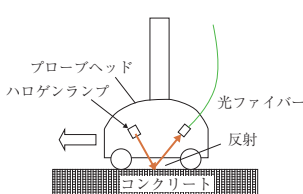


図 - 14 分光分析法概要



写真 - 7 分光分析法測定状況

3.3 調査対象橋梁および調査箇所

調査対象である結橋は沖縄県本島北部の国頭群大宜味村根路銘に位置する 2011（平成 23）年 3 月に竣工した橋長 99 m の 3 径間連結 PC ポステン T 桁橋である。（図 - 15）道路橋示方書の塩害対策区分が S となっているため、塩害対策として最外縁鋼材からの最小かぶり 70 mm を確保したほか、非鉄性のポリエチレンシース管が採用されてい

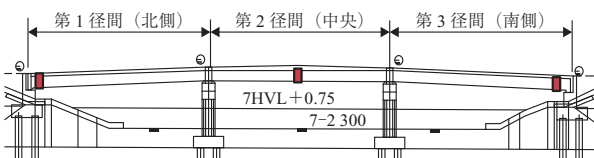


図 - 15 結橋の橋梁側面図

る。

調査箇所は図 - 15 に示すとおりであり、橋軸方向に 3 ブロックに分けて No.1（北側端部）と No.3（南側端部）は陸上部より、No.2（中央部）は海上であるため橋梁点検車を用いて測定した。図 - 16 にガーゼ拭き取り法の計測位置断面図を、図 - 17 に分光分析法の計測位置断面図を示す。

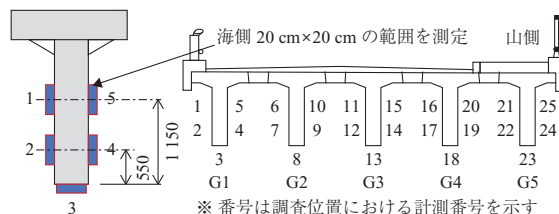


図 - 16 ガーゼ拭き取り法計測位置断面図

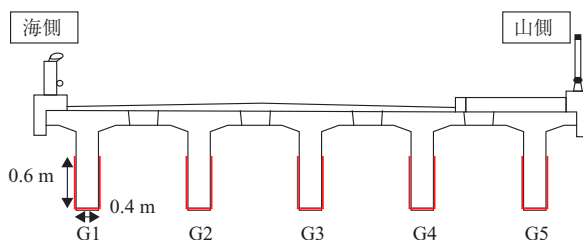


図 - 17 分光分析法の計測位置断面図

3.4 調査結果比較

ガーゼ拭き取り法の測定結果を図 - 18 に示す。

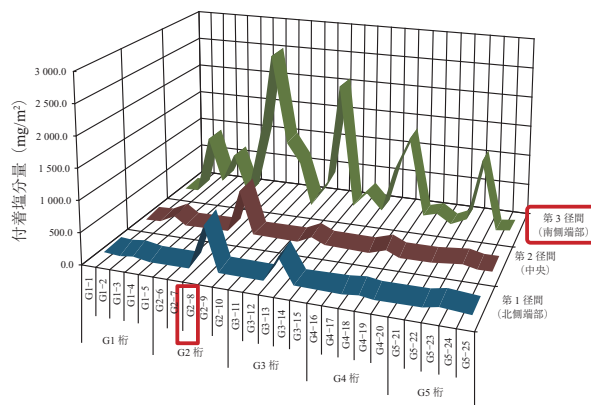


図 - 18 ガーゼ拭き取り法測定結果

各測定箇所での付着塩分量は、いずれの径間においても下フランジ下面で多く付着している傾向であった。

各径間の最大位置は、各径間ともに G2 桁下面（計測位置 8）と、比較的中桁の桁下面で多く付着している傾向であった。径間全体では、第 1 径間および第 2 径間よりも第 3 径間での付着塩分量が顕著に多く、各径間毎の全平均付着塩分量と比較すると、第 1・2 径間に比べ第 3 径間の全平均付着塩分量は約 5 倍も多い結果となった。図 - 19 に分光分析による測定結果を示す。

塩化物イオン濃度の分布の高低は、橋軸方向では端部の

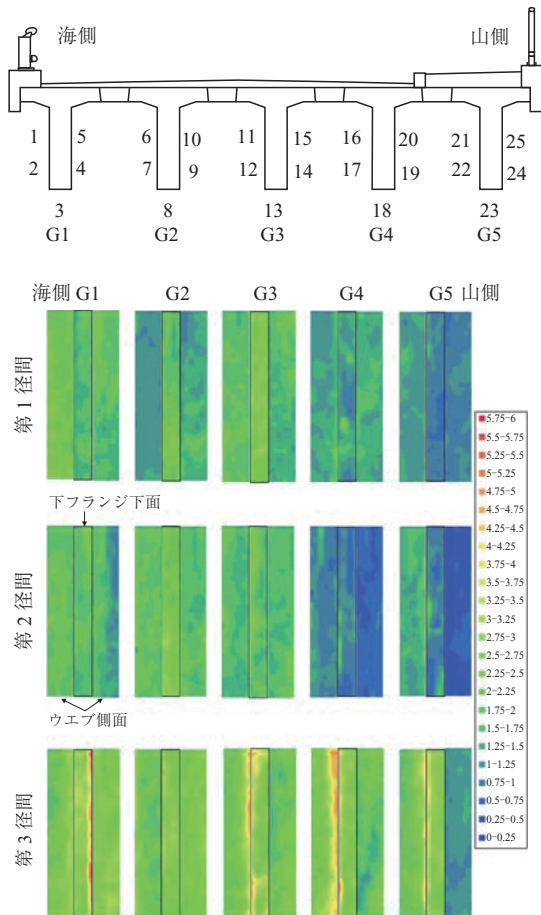


図 - 19 分光分析測定結果

第3径間の数値が著しく高く、第1径間は第2径間より若干高くなる傾向が見られる。橋軸直角方向では、海側が山側より高く下フランジ下面がウェブ側面より高い傾向であった。また桁の上部に行くほど塩化物イオン濃度の数値が低くなる傾向にある。

3.5 ま と め

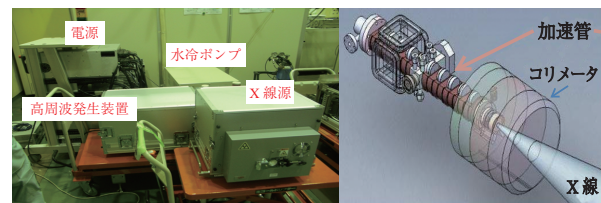
分光分析による非破壊検査は、ガーゼ拭き取り法との相関を確認することができ、その精度を確認することができた。分光分析は面的な分布状況を把握できることから、ガーゼ拭き取りなどピンポイントの調査では測定できていなかった隅角部付近の付着塩分濃度を測定でき、詳細調査や補修範囲の決定のためのスクリーニング技術として使用することが可能といえる。

4. 他分野の各種非破壊検査手法の橋梁検査への適用の可能性調査

4.1 高出力X線源によるコンクリート橋検査技術の開発

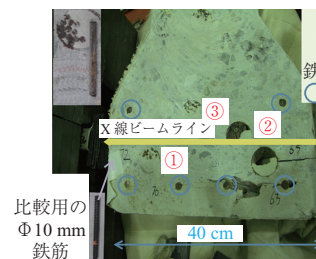
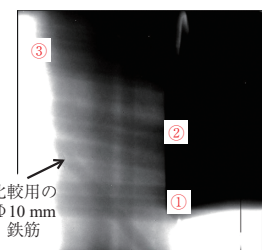
既設コンクリート部材の耐荷力評価のためには、コンクリート内のひび割れ状況や、鉄筋・PC鋼材の位置、直径、腐食状況を把握する必要がある。非破壊検査技術の一つであるX線透過法ではこれらの情報を得ることができ、また、コンピュータトモグラフィ(CT)技術を用いることにより複雑な内部構造を可視化できる可能性がある。しか

し、現在橋梁調査で用いているX線源はその出力が300 keV までであること、適用限界厚さは30～40 cm 程度といわれていること、厚い部材の場合は撮影に時間がかかることなど、従来の非破壊検査技術には限界がある。そこで東京大学などとの連携により、高出力X線源によるコンクリート橋検査技術の開発を行った。X線の利用を規定している放射線障害防止法においては、屋外で使用する場合、橋梁検査に限って4 MeV までの加速器の使用が認められている。そのためX線源として、上坂ら⁵⁾が開発した可搬型3.95 MeV ライナックに注目した。3.95 MeV ライナックの全体像を写真-8に、加速管のイメージを図-20に示す。

写真 - 8 3.95 MeV ライナック 図 - 20 加速管イメージ
ク全体像

装置は、X線源、高周波発生装置、電源、水冷ポンプから構成されている。高出力他装置に比べ重量が小さいのが特徴であり、既存の橋梁点検車に搭載可能なように、X線源等を200 kg 以下に抑えている。開発装置の基本性能を確認するため、撤去橋梁より切り出したプレストレストコンクリート桁の下フランジ部(写真-9)を撮影した。

この部材の寸法は40 cm であり、従来の装置では撮影時間に1時間程度を要していたが、わずか数秒で写真-10の画像を得ている。この桁はポストテンション方式による桁であり、一つのシース内に直径7 mm のPC鋼線が12本配置されている。写真-10は1方向からの撮影であるため、各シース内のPC鋼線は、3本しか確認できていない。また、撮影中心から離れたシース③では、本数までは確認できない。しかし、本装置は角度を変化させた複数枚の画像も短時間で撮影することが可能であり、検出精度向上のため、装置開発と並行してCT技術にも取り組んでいる。

写真 - 9 撮影対象(PC桁下
フランジ部)写真 - 10 X線画像(撮
影時間1秒)

4.2 中性子線によるコンクリート橋検査技術の開発

放射線の一種である中性子線を構造物の透過観察に用いるための技術開発について（独）理化学研究所と連携して行っている。X線は原子内の電子との相互作用を生じるため原子番号が大きくなるにしたがって透過しにくくなるが、中性子線は電荷をもたず原子核との相互作用であるために透過性は原子核ごとに異なっている。たとえばX線が透過しにくい鉄を透過することができる一方、水素原子は透過しにくい。この特徴を利用して、すでに生コンクリート圧送配管内の水分計測に中性子線が用いられている。図 - 21 に中性子ラジオグラフィの例を示す⁶⁾。

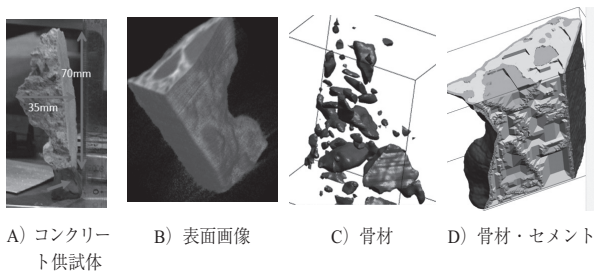


図 - 21 中性子ラジオグラフィ例

図 - 21 は長さ 70 mm、最大厚さ 35 mm のコンクリート供試体を用い、180 度回転させて 0.6 度ごとに撮影した 300 枚の画像を、コンピュータトモグラフィ技術を用いて三次元画像として解析されたものである。ここでは、透過結果から骨材とセメント分とに分離し解析することにより、コンクリートの内部構造まで描き出している。また、水によって大きく減衰するという特徴から、コンクリートひび割れ部における水分移動を可視化した事例もある。中性子線を用いた道路橋の透過観察装置の開発イメージを図 - 22 に示す。現在、可搬可能な小型中性子源システムが理化学研究所内に整備され、小規模な橋梁部材等の撮影が可能となっている^{7, 8)}。

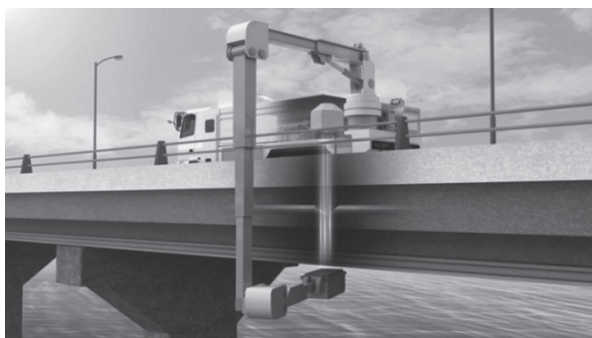


図 - 22 可搬型中性子イメージング装置
(理化学研究所提供)

4.3 ま と め

高出力 X 線や中性子線のコンクリート内部のひび割れや鉄筋・PC 鋼材の腐食状況の把握への適用性について撤去橋梁部材を用いて検出性能を調査するなどの基礎検討を行った。結果、今後の実用化に向けた技術開発により現地における非破壊検査に適用できる可能性があることを確認した。

5. おわりに

インフラの老朽化に対応するため各種非破壊検査の活用が期待されているが、現在の技術では限界も多い。

今後は土木分野以外の異分野の技術も活用し、さらなる技術開発を行っていきたい。

参考文献

- 1) 全視野計測技術研究会、長崎大学工学部インフラ長寿命化センター：光学的非接触全視野計測法によるコンクリート構造物のマルチスケール診断法の開発、国土交通省建設技術研究開発費補助金総合研究報告書、2010
- 2) 金田尚志、魚本健人：塩化物測定用ポータブル型蛍光線分析装置の開発、コンクリート工学年次論文集、Vol.29, No.1, pp.1095 ~ 1100 (2007)
- 3) 花井 拓、岡 智彦、木村嘉富、田中良樹：塩害環境下にある既橋梁への付着塩分と気象・海象条件との関係、土木学会第 67 回年次講演会、2012.9
- 4) 戸田勝哉、内田康平、原田健二、下村 匠：分光分析による融剤の影響を受けた橋梁の塩分分布測定結果、土木学会第 68 回年次学術講演会、2013.9
- 5) Mitsuru Uesaka et.al : "950 keV, 3.95 MeV, 6 MeV X-band Linacs for Nondestructive Evaluation and Medicine", Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A, NIMA53737, S0168900211014586, 10.1016/j.nima. 2011
- 6) Shin-ya Morita et al. : Neutron radiography for the structural simulation using VCAD system, ICANS XIX meeting, 2010
- 7) 木村嘉富：橋梁診断高度化の為の非破壊検査技術、理研から発信する中性子利用の新たな展開、ものづくり産業利用に向けた小型中性子源の開発、(独)理化学研究所、2011.11
- 8) 木村嘉富：コンクリート構造物の非破壊検査、(株)建設図書、橋梁と基礎、第 47 巻第 3 号、pp.49-52, 2013.3

【2014 年 8 月 29 日受付】