

論文 各種非破壊試験による PC 桁損傷度評価

滝澤 雄三^{*1}・金田 昌治^{*2}・堀口 敬^{*3}・佐伯 昇^{*4}

要旨：実橋 PC 桁を対象とした各種非破壊試験によりコンクリート構造物の損傷度評価を行った。調査内容は、レーダ法と X 線透過法による鋼材探査、X 線透過法とサーモグラフィ法による空隙調査、自然電位測定による鋼材腐食調査である。各種非破壊試験のうち、鋼材探査、空隙調査は良好な試験結果を示し、内視鏡調査等と組み合わせることにより、最小限の破壊調査で大きく精度をあげられることが分かった。

キーワード：PC 桁、非破壊試験、レーダ法、X 線透過法、サーモグラフィ法

1. はじめに

コンクリート構造物の多くは社会基盤を支える重要な存在であり、長期間にわたりその役割を維持していかなくてはならない。コンクリート構造物が健全な状態であるためには、建設時のコンクリートの品質・施工管理が重要なことは言うまでもないが、供用期間における維持管理も重要である。近年、様々な劣化によりコンクリート構造物の損傷がみられる中、早期に劣化を発見し、補修する技術は社会資本の充実とともにますます必要になってきている。

本論文では、供用が終了した橋梁から切り出した PC 桁を供試体として、各種非破壊試験を試み、コンクリート構造物の損傷度判定手段としての可能性について検討したものである。

2. 実験概要

2. 1 供試体

実験に使用した桁は、廃橋後の PC 橋梁から切り出してきたものである。橋梁は内陸部に位置し、昭和 32 年から約 35 年供用されていた。橋梁概要を表-1 に示し、桁供試体の全体図を図-1 に示す。

表-1 橋梁の概要

橋種	ポストテンション方式単純 T 桁橋
橋長、幅員	134 m、8.8 m
支間長	23.00 m
橋格	2 等橋
主桁本数	5 本
竣工年数	昭和 32 年

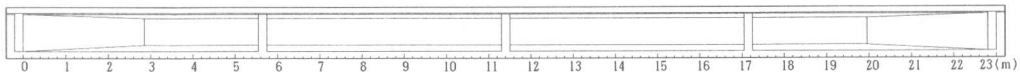


図-1 桁全体図

2. 2 実験方法

PC 桁を供試体とし、桁の損傷状況について各種非破壊試験を行った。表-2 に調査内容の一覧を示し、一部の方法について解説する。

* 1 ショーボンド建設（株）東日本技術センター技術部、（正会員）

* 2 ショーボンド建設（株）九州支店技術部

* 3 北海道工業大学助教授 工学部土木工学科、工博（正会員）

* 4 北海道大学教授 工学部土木工学科、工博（正会員）

表－２ 調査内容

目	的調査方法	内 容
目視検査	目視検査	外観目視により損傷状況を観察する
鋼材探査	レーダ法	電磁波測定により配筋およびかぶり厚さを測定する
	X線透過法	X線撮影で鋼材の位置を調査する
鉄筋腐食	自然電位測定	自然電位を測定し、コンクリート中の鋼材の腐食状況を調査する
	比抵抗測定	一定区間の抵抗を測定し、鋼材の腐食状況を調査する
空洞調査	X線透過法	X線撮影で空洞やシース管未充填状況を調査する
	サーモグラフィー法	赤外線装置で温度を測定し、コンクリート表面状況を調査する

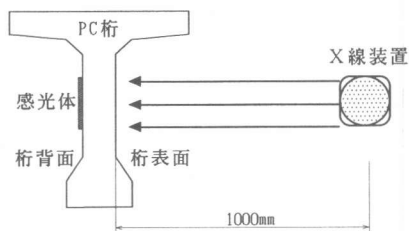
(1) 鋼材探査

P C 桁の鋼材探査はX線透過法、及びレーダ法により行った。X線透過法は桁ウェブを中心に、一部下フランジで実施した。レーダ法は探査用アンテナを橋軸垂直方向に走査して、橋軸方向の鋼材の探査を約2 m間隔で行った。

鋼材位置の確認は、非破壊試験終了後にワイヤソーで桁を橋軸垂直方向に切断し、切断面から各鋼材の位置を調べる切断面調査と、シース管周辺のはつり調査により行った。

(2) X線透過法

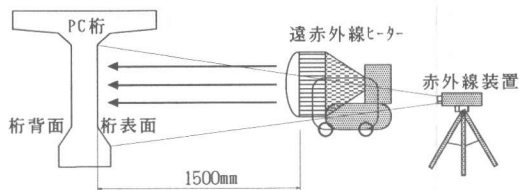
図－2に示すようにX線装置を桁ウェブから1000mm離れた位置に設置し、桁の反対側に感光体を貼り付け撮影する。X線装置は管電圧300kV、感光体にはウェブ撮影にX線フィルム、フランジ撮影にイメージングプレートを使用した。



図－2 X線透過法

(3) サーモグラフィー法

図－3に示すように遠赤外線ヒーターを桁ウェブから1500mm離れた位置に設置し、ヒーター側に赤外線カメラを置いて表面温度を測定する。ヒーターから出る熱が撮影に影響するため、ヒーターは桁表面の斜めから加熱することとした。

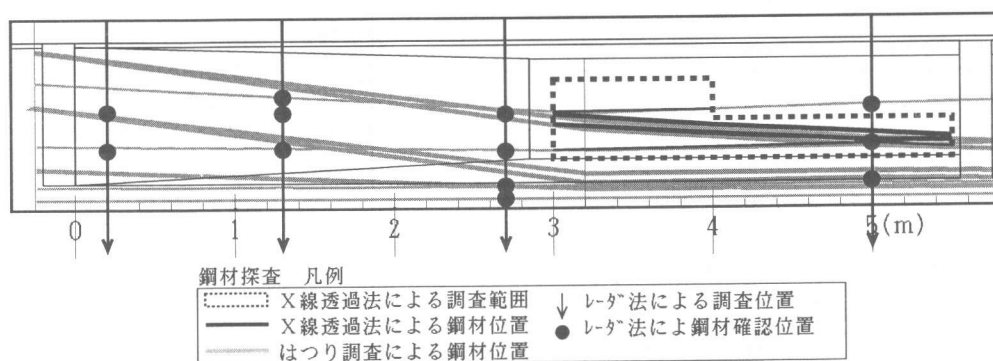


図－3 サーモグラフィー法

3. 結果および考察

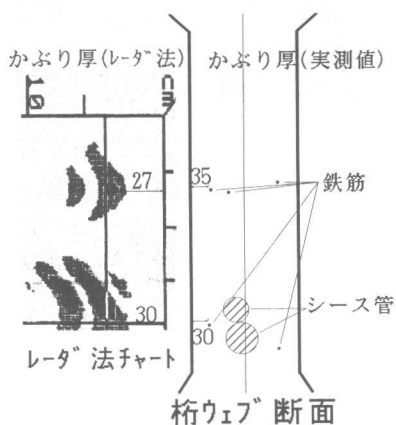
3. 1 鋼材探査

レーダ法およびX線透過法による鋼材探査と、切断面調査及びはつり調査による鋼材位置調査結果の一部を図－4に示す。図－4から、X線透過法とレーダ法の調査範囲では、両方法によりP C 鋼線と鉄筋の位置が探査できていることが分かる。レーダ法だけの調査範囲では、隣接する鋼材を区別できない部分が数箇所観察された。レーダ法では鋼材のピッチが75～100mm以下になると複数の鋼材の区別が難しくなり[1]、鋼材の種類についても鉄筋とシース管を判別することは困難である。これらの点から、レーダ法とX線透過法との組み合わせはP C 桁の鋼材調査に有効な手段であると考えられる。

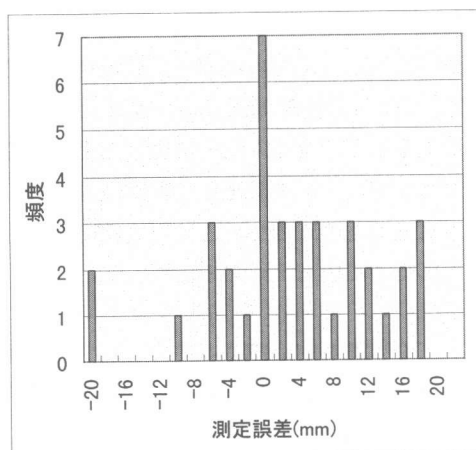


図－４ 鋼材探査図

続いて、レーダ法による鋼材のかぶり厚調査結果について説明する。鋼材のかぶり厚調査は、レーダ法で調べた各鋼材のかぶり厚と切断面調査で実測したかぶり厚の差を測定誤差として比較したものである。レーダ法と切断面調査におけるかぶり厚の測定例を図－５に、かぶり厚測定値と実測値の差のヒストグラムを図－６示す。この図から、測定数が少ないためはっきりとした傾向はつかめないが、測定誤差は0～2mmを中心に分布しており、測定誤差10mm以内に全体の80％が含まれていることが分かった。[2]



図－５ かぶり厚の測定例

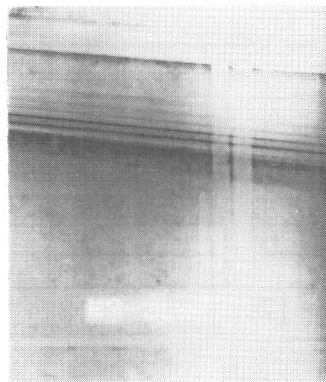


図－６ かぶり厚の測定誤差の分布

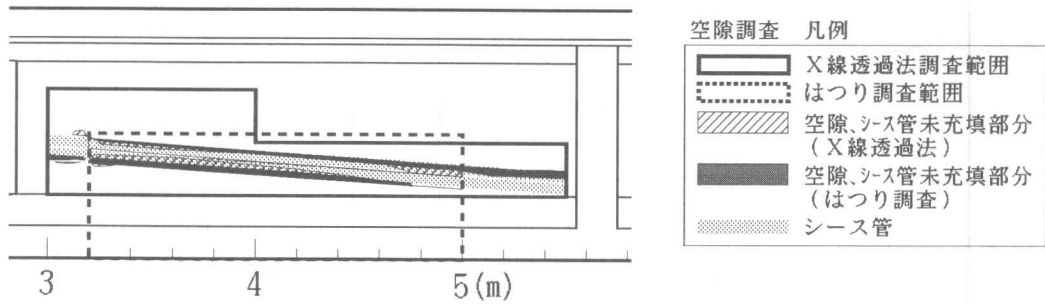
3. 2 空隙調査

(1) X線透過法による空隙調査

桁の空隙、シース管の未充填部分をX線透過法とはつり調査により調べた結果の一部を図－７に示す。X線透過法による空隙調査の結果、シース管周辺には空隙が、シース管内部にはグラウト材未充填部分が観察された。はつり調査結果でも未充填部分はほぼ一致した結果を示し、シース管周りの空隙についても多少ばらついているものの撮影結果に近い位置に存在していることが分かった。X線画像の一部を写真－１に示す。写真－１ではP C鋼線に沿って黒い筋（未充填部分）が写っている。



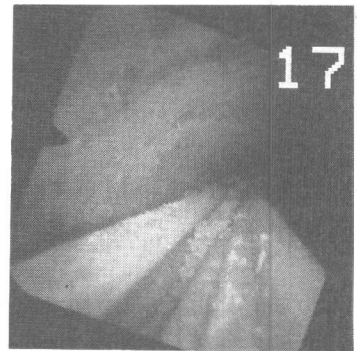
写真－１ 未充填シース管X線画像



図－7 X線撮影による空隙調査

(2) 内視鏡によるシース管充填性確認

今回X線撮影後、シース管充填の有無を確認することを目的とし、部分的な破壊を伴う内視鏡による調査を行った。その方法は、X線で調査した箇所をドリルで穿孔し、内視鏡で内部状況の確認を行うものである。穿孔は全部で3箇所、2箇所はシース管に未充填部分が認められたところ、さらに1箇所はシース管が充填していると認められたところである。内視鏡による未充填シース管の状況を写真－2に示す。写真－2はシース管内の未充填状況を表している。この写真ではシース管内の空隙とP C鋼線の状況が認められ、シース管内側に錆が発生している様子も見られている。

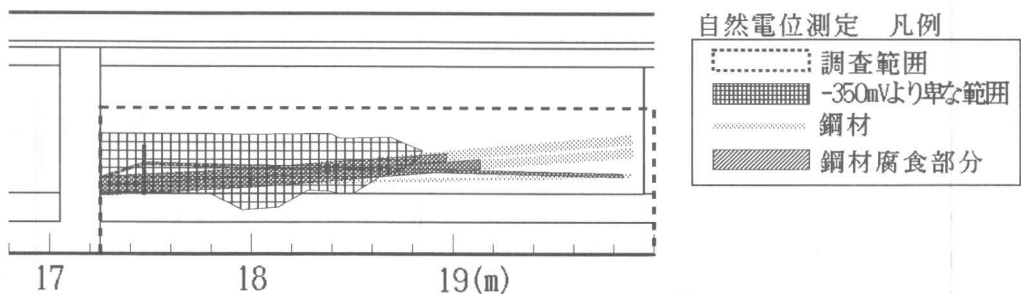


写真－2 未充填シース管内部

このように、穿孔による内視鏡調査を併用することにより現場でも破壊を最小限に押さえた方法で精度の高い調査を行うことができると考えられる。

3. 3 鋼材腐食調査

自然電位測定とはつり調査による鋼材腐食調査結果を図－8に示す。図－8から自然電位測定結果と実際の鋼材の発錆状況を比較すると、発錆範囲と -350mV より卑な範囲が必ずしも一致していない箇所が観察されている。発錆状況と自然電位の関係について検討を加える。



図－8 鋼材腐食と自然電位分布

はつり調査で発錆状況を観察すると、鉄筋の錆はごく表面的で、断面欠損を伴うようなものは見られない。これに対し、シース管の錆は鉄筋に比べると面積も大きく、部材が薄いため腐食が進行してひび割れている箇所が見られた。これらの状況から、鋼材の腐食面積とその位置における自然電位の関係を表-3、図-9に表した。グラフの腐食面積率とは鋼材表面積における腐食面積の割合を意味する。グラフから自然電位と腐食面積には負の相関がみられ、腐食面積が大きい箇所では自然電位が卑の方向になる傾向が確認された。

表-3 自然電位と腐食面積率の相関行列

腐食面積率 自然電位	
腐食面積率	1
自然電位	-0.50115 1

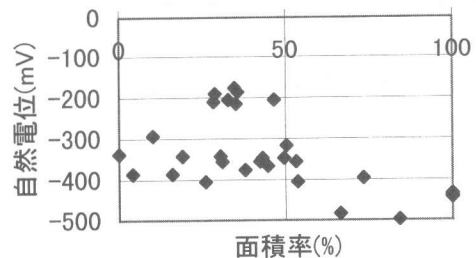


図-9 自然電位と腐食面積率の分布

3. 4 サーマグラフィ法

ヒーター加熱による桁ウェブのサーモグラフィ法測定結果を図-10～図-12に示す。図-10はサーモグラフィ法の調査範囲の外観状況であり、図-11は加熱時の赤外線画像、図-12は加熱後放冷時の赤外線画像である。図-11の加熱時の画像は図-10の桁表面とよく似た状態を示している。これは、使用した赤外線カメラが中・長波長タイプに比べて周囲からの赤外線の影響を受けやすい短波長タイプであったため、遠赤外線ヒーターの放射熱がコンクリート表面で反射し赤外線カメラに写ったものであると考えられる。また、図-12はヒーター加熱後の放冷時の画像であるが、中央付近に温度の高い部分が検出されており、この画像を目視検査の結果と重ねると、モルタルで補修した箇所と同じ位置であることが分かった。

次に、図-13はX線撮影で観察された未充填シース管の位置の表面温度をサーモグラフィ法で測定した結果である。測定位置は図-14に示すように、測点1、2、3は未充填シース管位置に、測点4、5はシース管のない位置に設定した。これらの結果を比較すると、シース管位置ではない測点4の表面温度が最も高い値を示し、他の測点の温度には差はみられず、シース管未充填部分を特定

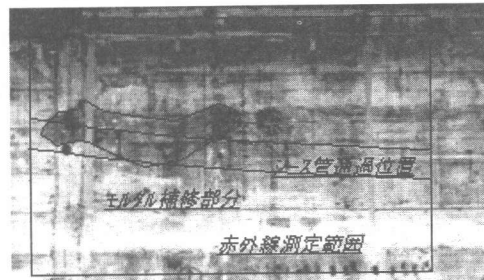


図-10 赤外線調査位置外観図



図-11 赤外線画像(ヒ-タ加熱時)

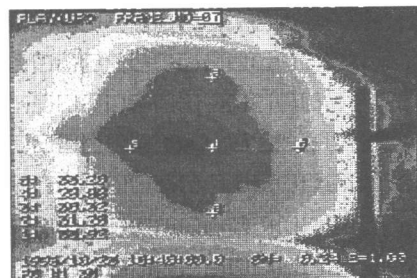
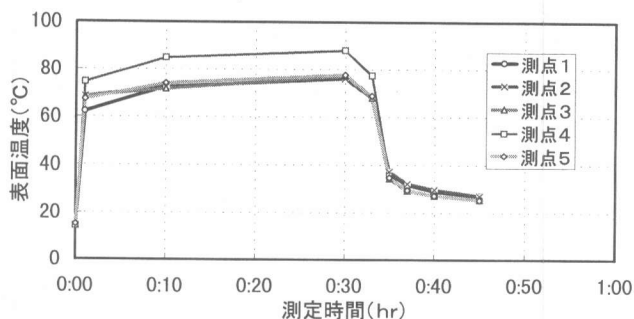


図-12 赤外線画像(モルタル補修部分)

するには至らない結果となった。これらの結果から、サーモグラフィ法により桁コンクリート表面の状況は確認することができたが、かぶり厚さが100mm程度ある桁内部のシース管未充填の様子や空隙の有無については今回実施した方法では難しいことが確認された。



図－１３ 未充填シース管部分の温度変化

4. まとめ

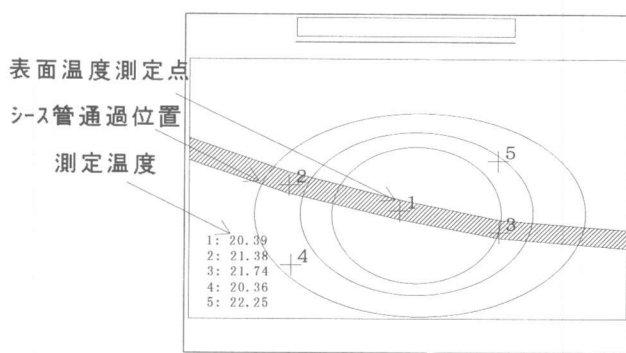
実橋のPC桁を供試体として各種非破壊試験を実施することにより以下の結果を得た。

- (1) 鋼材探査法として、レーダ法は鋼材位置を確認することはできるが、鉄筋間隔が小さい場合や鋼材の種類は判別は難しい。

レーダ法とX線透過法併用法は、配筋状況、鋼材

の種類も判別でき、鋼材探査に有効な手段であることが分かった。

- (2) X線透過法は桁の空隙やシース管の未充填状況を確認するのに有効であり、内視鏡調査を併用することで、さらに精度の高い調査が可能である。
- (3) PC桁の自然電位測定では、鋼材の腐食面積率と自然電位の間に弱い相関が観察され、鋼材腐食を判定する可能性を示した。
- (4) サーモグラフィ法はモルタル浮き等のコンクリートの表面状況を観察することはできるが、今回の遠赤外線ヒーターによる加熱方法ではコンクリート内部の状況を把握することは困難であった。



図－１４ 未充填シース管の測点位置

[参考文献]

- [1] 石井勇五郎、笠井芳夫：コンクリート構造物の非破壊試験法、(社)日本非破壊検査協会、養賢堂、1994
- [2] 魚本健人、加藤潔、広野進共著：コンクリート構造物の非破壊検査、コンクリート構造物の耐久性診断シリーズ5、森北出版、1990