

コア式プレストレストコンクリート管の 調査・診断手法の検討

辻本 昌弘¹・小川 亘²・上島 菜美子³

概要：

独立行政法人水資源機構（以下、「機構」という。）が管理する水路施設のパイプラインでも経年劣化が進行しており、ひとたび漏水・出水が発生すれば、送水はおろか第三者への被害など、多大なリスクが危惧されている。とりわけコア式プレストレストコンクリート管（以下、「PC管」という。）のパイプラインでは、埋設箇所周辺の地下水、土壌中に含まれる侵食性因子により管本体の劣化が進行し、管本体が破裂して大規模な浸水被害、地表面の陥没などに至る出水が顕在化しつつある。

管理費等のコスト縮減を推進する中、このような管本体の破裂による出水を未然に防ぐ一方、より効果的な維持管理の観点から施設の特性に応じた調査・診断に基づく維持管理及び予防保全対策技術の構築が急務である。具体的には、PC管本体の劣化に関するこれまでの知見及び現地調査に基づく劣化要因を体系化し、調査・診断手法を策定する必要がある。

本報告では、これまでに機構内で実施したPC管本体の破裂に関する調査データを一元的に整理とりまとめすることで得られた知見から、調査・診断手法を提示する。

キーワード：PC管、カバーコート、調査・診断手法、非破壊調査

1. はじめに

PC管(図-1参照)は、内外圧に対抗するためにコア管、コア管にプレストレスを与えるPC鋼線、PC鋼線を保護するカバーコートで構成されている。高強度のPC鋼線をコア管の円周方向と縦断方向に配置・緊張することにより、コア管にあらかじめ圧縮応力を与え、内外圧によって発生する引張応力に対抗する不とう性管である。

PC管は、大きな内外圧に耐えるコンクリート管として、昭和30年代から我が国に導入され、農業用水では広く使用されてきた。これまでは、継手部からの漏水が大半であったが、管本体の劣化による漏水・出水が顕在化しつつありその対応が急務となっている。

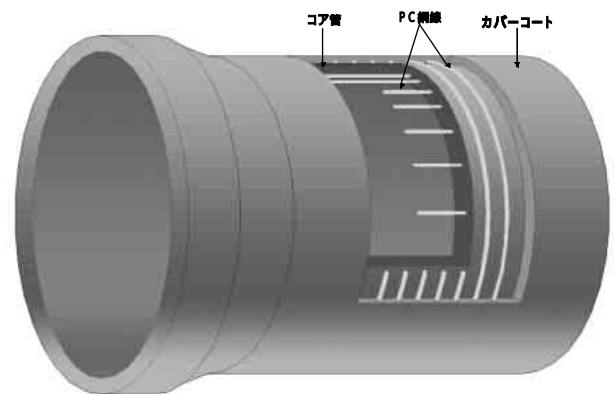


図-1 PC管の構造

-
1. 総合技術推進室 浦和技術センターグループ スタッフ
 2. 総合技術推進室 水路グループ チーフスタッフ
 3. 総合技術推進室 浦和技術センターグループ スタッフ

2. 漏水・出水の特徴と調査・診断手法の必要性

2.1 PC管の漏水・出水の特徴

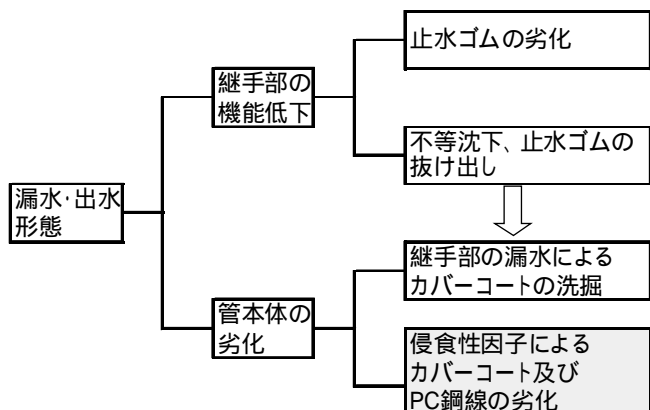


図-2 PC管の漏水・出水形態の分類

これまでの漏水・出水事例からPC管の漏水・出水形態は、継手部の機能低下と管本体の劣化に分類することができる。継手部については、管路の不等沈下や止水ゴムの抜け出しによる漏水と天然ゴムを使用した止水ゴムが微生物により生分解されて漏水する2通りと考える。継手からの漏水・出水に関しては少量の漏水を確認するケースが多く、事後対応で対処可能なケースが多数である。また、現在止水ゴムは、合成ゴムが使用されており、生分解による劣化の問題はほぼ解決している。

管本体の劣化では、コンクリート水路施設の劣化機構で、中性化（炭酸化）、化学的侵食、損食の3通りに分類されている¹⁾が、これまでの機構の調査では中性化（炭酸化）と化学的侵食の明確な違いが得られていないことから、継手部の漏水に伴うカバーコートの洗掘と侵食性因子によるカバーコートの劣化の2通りと考える。なお、損食は、コンクリート水路内に水が流下する際のコンクリート表面の凹凸、障害物によるキャピテーションや、砂礫混じりの水が流下する際の摩擦・すり磨き作用のことをいう。

管本体の劣化の内、前者では、継手部の漏水によりカバーコートが摩滅し、PC鋼線が剥き出しとなり、鋼線の劣化・破断につながる。一方、後者は、カバーコート及びPC鋼線が地下水や土壌の侵食性因子により劣化し、管本体が内外圧に耐えられなくなり、破裂し、大規模に出水する(写真-1、2)。

侵食性因子による管本体の劣化による出水は、機構内で、平成5年の豊川用水伊良湖サイホンで初めて発生し、その後も群馬用水、三重用水で発生した。この

ような出水は、発生が突発的で、大規模であるため、通水停止及び第三者被害が深刻である。図-3に示す通り、継手からの漏水・出水は経過年数に関係なく発生しているが、管本体の劣化による出水は、埋設後25年以上が経過した管に発生してきている。また、平成17年度の調査では三重用水及び香川用水において、管本体が激しく劣化した管が確認され、どちらも埋設後25年以上が経過していた。

継手部の漏水によるカバーコートの洗掘は、後の3.2.3(5)で述べる通り、木曾川用水で確認した。



写真-1 PC管本体の破裂事例1（三重用水）



写真-2 破裂事例1（写真-1）による地表面の陥没状況

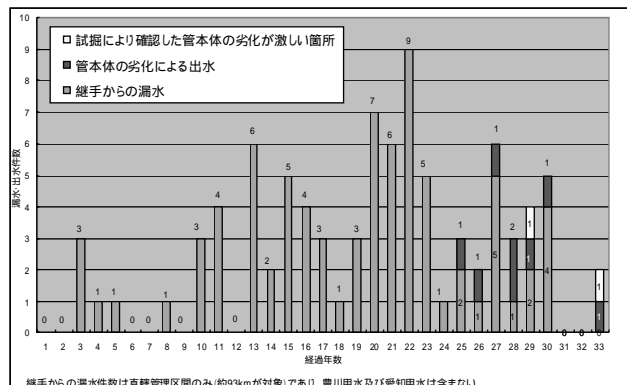


図-3 PC管の漏水・出水件数と経過年数の関係

2.2 調査・診断手法構築の必要性

地下に埋設されたPC管は、日常の巡視点検等では、劣化状況の確認が難しく、利水運用上及び予算の制約から管内調査や試掘調査を全線で実施することは、極めて困難である。また、PC管本体の侵食性因子による劣化に対する調査・診断手法は未だに確立されていない。今後、機構が維持管理していく上で、これらの手法を確立し、侵食性因子による管本体の劣化診断を行い、適切に予防保全対策を行うことで大規模な出水を未然に防ぐことが重要である。

3. 調査・診断手法の概要と平成17年度調査結果

これまで機構では、PC管本体の劣化に関する調査・診断手法を確立するため、PC管を有する各現場において調査を実施してきた。平成16年度までの調査結果からある程度の調査・診断手法の方向性を見出し、平成17年度の調査でその妥当性を検証した。ここでは、平成17年度の調査結果を中心に述べる。

3.1 調査・診断手法の概要

過年度の調査から地下水中に含まれる侵食性遊離炭酸がカバーコートを劣化させる因子ではないかと推察している。またそれ以外の因子についても複数の因子が一定の含有量を有する場合はカバーコートを劣化させると考える。

調査・診断は、大規模な試掘による全線調査や、空水調査を実施できない路線もあることから、地下水の水質や土壌調査の結果から危険箇所を絞り込み、空水による内面からの非破壊調査を実施することで危険箇所の特定及び同一埋設環境から劣化範囲を決定するような調査・診断手法の確立を目指す。ただし、現時点では水質や非破壊調査のみで判断することは難しく、かつ劣化の程度を実際に確認することが重要であるため、劣化の危険箇所を試掘することが必要である。

各段階における調査項目を表-1に、調査のイメージを図-4に示す。

表-1 PC管調査項目

調査段階	調査項目	調査内容
第1段階	既存資料・地域特性の整理	設計・施工時の資料 土地利用状況 既存井戸での地下水位調査
第2段階	水質・土壌調査	地下水の水質及び土壌の成分調査 土壌の透水係数
第3段階	管内からの非破壊調査	超音波による管厚測定 電磁誘導によるPC鋼線の破断測定
第4段階	試掘調査	カバーコートの残存厚 カバーコートの炭酸化深さ PC鋼線の腐食の有無 非破壊調査の精度確認

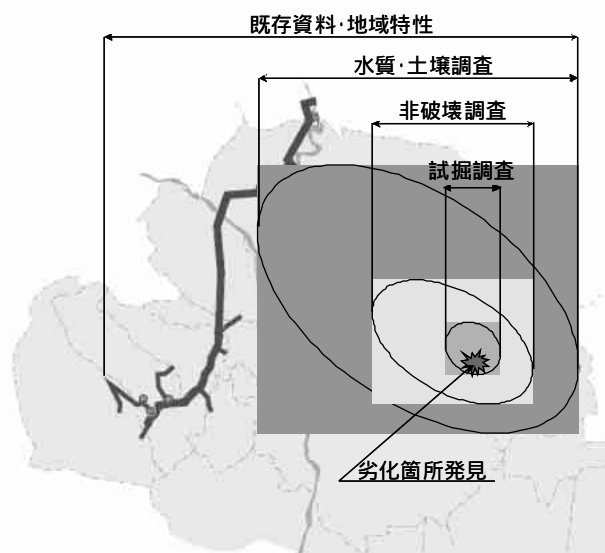


図-4 PC管調査イメージ図

3.2 平成17年度の調査結果

平成17年度の調査は、表-2に示す4事務所において前項に示す調査項目に沿って実施した。

表-2 平成17年度の調査項目

		地下水位調査	水質調査	土壌調査	非破壊調査	試掘調査
豊川用水	東部幹線 高松サイホン					
木曾川用水	左岸幹線					
三重用水	竹谷支線					
	員弁幹線	-	-			
香川用水	高瀬支線				-	
	玉田サイホン					
	高瀬支線 宮川サイホン				-	

3.2.1水質・土壌調査結果

調査項目は、全現場統一の項目で実施した。水質調査項目を表-3、土壌調査項目を表-5に示す。なお、調査項目については一般的にコンクリート及び鋼材を劣化させるとされる項目について選定し、平成16、17年度に実施した管水路施設機能診断手法検討会（農業工学の学識経験者3名を委員として機構で設置した検討会）において確認の上で決定した。

表-3 水質調査項目

項目	結果の利用
水温	他項目の算出に利用
総アルカリ度	
総酸度	
遊離炭酸	
蒸発残留物	
pH	コンクリートの化学的侵食性
硫酸イオン	
硝酸イオン	
侵食性遊離炭酸	カルシウムによる被膜形成度合
カルシウム硬度	
ランゲリア指数	
塩化物イオン	

各現場で対象路線付近の既設井戸及びボーリング孔より水質調査を実施した。その内、平成17年度の試掘箇所近傍の水質調査結果（過去の最大値）を表-4に示す。この結果、コンクリートの劣化の指標である侵食性遊離炭酸が20mg/l²⁾を越える地域が三重用水、木曽川用水、豊川用水で確認された。

一方で、過年度には得られなかった明確な侵食性因子として、香川用水の試掘箇所から硫酸イオンが262.7、571.4mg/l、塩素イオンが266.3、238.5mg/lが得られた。硫酸イオンはカバーコートの劣化因子として、塩素イオンはPC鋼線の劣化因子として測定してきたが、これまでは50mg/l以上の含有量は一度も確認されていない。

これ以外には、ランゲリア指数が-1.0以下では腐食性を示すとされている²⁾が、全地域的に-1.0以下の箇所がほとんどであった。

表-4 試掘調査箇所近傍の水質調査結果

事務所名	路線名	水質調査項目												
		水温	pH	遊離炭酸	侵食性遊離炭酸	ランゲリア指数	塩素イオン	硫酸イオン	硝酸イオン	総アルカリ度	総酸度	カルシウム硬度	溶解性蒸発残留物	全硬度
				mgco2/l	mgco2/l		mg/l	mg/l	mg/l	mgcaco3/l	mgcaco3/l	mgcaco3/l	mg/l	mgcaco3/l
				20以上	20以上	-1.0以下						60以下	500以上	
三重用水	竹谷支線	20.9	6.0	44	39	-2.4	6.1	20	14	47	50	65	95	-
		19.7	5.8	73	63	-2.9	11	23	17	32	83	60	130	-
木曽川用水	左岸幹線	19	6.0	49	46	-4.0	4.2	4.8	7.5	8	56	9.7	49	-
		21.1	5.8	36	34	-3.8	2.6	13	13	10	41	19	71	-
		20.5	5.5	22	21	-4.5	2.2	11	16	4	25	18	67	-
豊川用水	東部幹線	11.6	6.1	113	47	-2.1	26	14	27	130	-	81	350	113
	高松サイホン	12	7.2	12.3	2.4	-0.8	24	77	50	160	-	100	490	136
香川用水	高瀬支線	9	7.0	24	8	-0.4	14.6	0.2	34.5	179	27	157	289	-
	宮川サイホン	-	7.0	22	9	-	238.5	571.4	50.2	152	25	159	275	
	高瀬支線 玉田サイホン	-	6.6	70	4	-	265.3	262.7	56.5	219	79	152	330	

土壌調査については、水質調査のような明確な劣化因子が確認されていない。

表-5 土壌調査項目

項目	結果の利用
電気伝導度	他項目の算出に利用
pH	
Redox電位	
含水比	
硫化物イオンの有無	鋼材の侵食性
ANSI A 21.5	
第二鉄イオン	
塩素イオン	
電気比抵抗	コンクリートの化学的侵食性
硫酸イオン	
硝酸イオン	
全炭酸	
強制酸化時のpH	

3.2.2管内からの非破壊調査結果

(1)超音波による管厚測定

超音波による管厚測定は、管内面から超音波を入力し、管内を伝わる往復の伝播時間を測定し、伝播速度との積により管厚を求める。求めた管厚からコア管の設計値を引くことで残存カバーコート厚とする手法である。

カバーコート厚の規格値は25mmであるが、三重用水で測定した管の中には、0～10mm程度の結果となった管があり、実際の試掘でカバーコートがほとんどない劣化した管を確認し、ある程度の診断成果を示した。

誤差については、現時点で±数mm程度を生じる場合が多い。誤差の要因としては大きく二つあり、一つは管径の違い及びカバーコートの劣化度により超音波の伝播速度が異なるためである。超音波法による管厚測定は、伝播速度の正確な把握が精度に直結する。現在、各管径ごとの音速値は図-5に示すとおり把握できつつあるが、カバーコートの劣化度による音速値の違いについては課題が残っている。

もう一つの要因は、管の製造時の許容誤差である。コア管は製造誤差を管径により±数mm許容している。これについてはコア管のみを正確に測定する手法がないのが現状である。

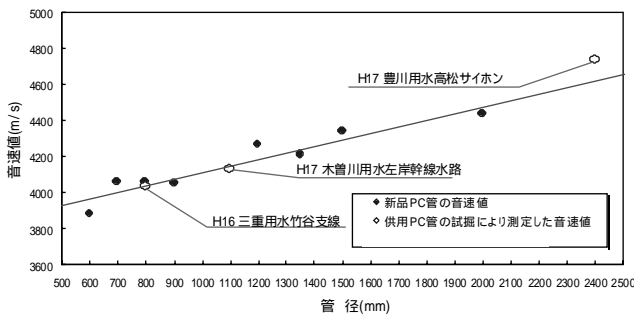


図-5 管径と音速値の関係

(2)電磁誘導によるPC鋼線の破断測定

電磁誘導によるPC鋼線の破断測定は、PC鋼線に発生させた渦電流を検出器により電圧値として測定する手法である。健全な管では直線的な波形を示すのに対して、破断部では渦電流が迂回して流れるために電圧が変動し、ジグザグの波形を示すことで破断の有無を確認することができるとして、今回初めてPC管に適用する。測定結果では、三重用水及び木曽川用水において1管ずつPC鋼線が破断していると評価され

た。試掘により確認した結果、三重用水においては実際に破断していたが、木曽川用水では露出した部分での破断は見られなかった。三重用水の事例からはPC管への適用の可能性を示したが、木曽川用水で電圧が乱れた原因等に対する検証の課題が残る。

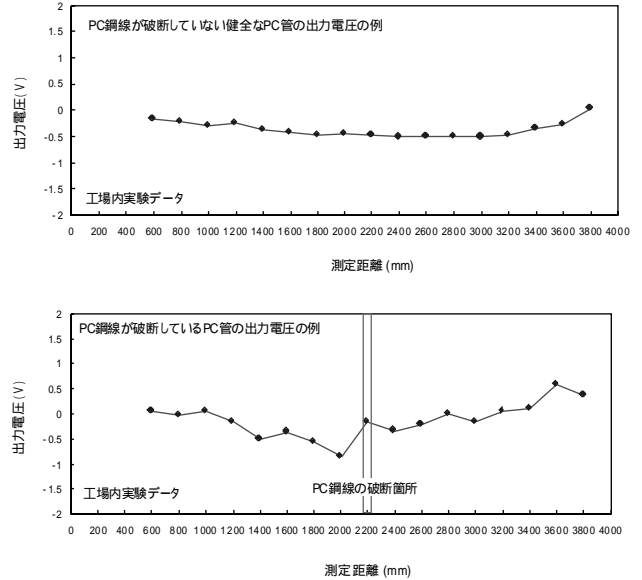


図-6 PC鋼線の破断測定の検出事例
(上段：健全な管、下段：鋼線の破断した管)

3.2.3試掘調査結果

試掘調査では、実際の管の劣化状態を確認することで、PC管本体の劣化は一様な劣化現象ではなく地域や環境、さらには管1本単位で劣化状態が異なることが確認された。以下に確認された劣化状態について列記する。

(1)管側面からの劣化状況

管が地下水に触れることで劣化すると考えられ、基本的に侵食性因子を有した地下水位がPC管底よりも上の箇所は劣化の可能性がある。管側面の劣化が激しいことが特徴であり、写真の箇所では、カバーコートがほとんどなくなり、PC鋼線の錆が浮いている状態であった。



写真-3 側面の劣化状況
(三重用水 竹谷支線)



写真-5 上面の劣化状況
(香川用水 高瀬支線)

(2) 管上面からの劣化状況

(1)とは違い、管上面部が激しく劣化している状況が三重用水の竹谷支線及び香川用水の高瀬支線で確認された。どちらも地下水位より高い位置に埋設されていた管で確認された。両地域は地下水位は低いが上面の土地利用が三重用水が水田、香川用水が茶畑+透水性の高いマサ土と上面から水が供給される環境下に埋設されていた。この事例から、地下水位が低い箇所でも上面の土地利用から水の供給が多量にある地域では注意が必要なが確認された。写真の箇所ではカバーコートがほとんどなく、剥き出しの錆びたPC鋼線の内、数本が破断していた(写真-4)。一方、全体にカバーコートが残っているが、脆くなっており、健全部はほとんどない状態でPC鋼線に発錆が見られた(写真-5)。



写真-4 上面の劣化状況
(三重用水 竹谷支線)

(3) 部分的な劣化状況

1本の管の中でほとんどの部分は健全だが、部分的に劣化が進行していることがある。これより考えられることは、周辺の環境から管の部分的に地下水や地表水が供給されることや、部分的な腐植土による影響等である。

部分的であれカバーコートが劣化しているためPC鋼線の錆びから管本体を破裂させる可能性があり、このような劣化因子が存在する管周辺一帯はPC管を劣化させる埋設環境と判断する必要がある。写真の箇所は、所々にカバーコートの薄肉化やPC鋼線の錆の浮きを確認された(写真-6)。



写真-6 部分的な劣化状況
(木曾川用水 左岸幹線)

(4) 継手部(挿し口)の劣化状況

PC管の連結部の挿口側は、製品の規格として当初からカバーコート厚が薄く製造されている(図-7)。このため、カバーコートが少しでも侵食されるとPC鋼線が剥き出しとなり易い状況にある。実際に管の挿

口で、円周方向にPC鋼線が錆びた管が見つかっており、挿口部が構造上弱点となっていることがわかる(写真-7)。このままPC鋼線の錆が進行すれば、管本体の破裂につながる恐れがある。

メーカーによっては、独自対応として管の止水性能向上を目的とした止水性塗料が塗布されており、その結果、挿口側が保護されている場合があるが、塗布の有無は試掘以外では確認ができないため、今後調査を行う上では、挿口部の状況についても入念な確認が必要である。

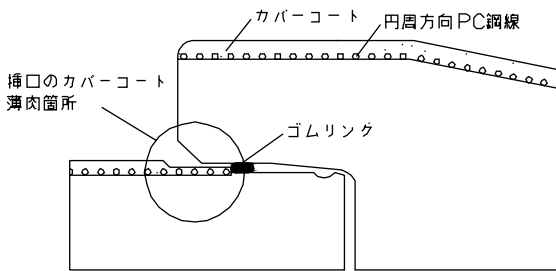


図-7 PC管の継手部の構造



写真-7 継手部（挿口）の劣化状況
(木曾川用水 左岸幹線)

(5) 継手部の漏水によるカバーコートの洗掘

継手部の漏水がカバーコートを洗掘し、PC鋼線を露出させた状態が確認された。この場合、鋼材の侵食性因子（塩素イオン等）が含まれている環境では、管本体の破裂につながる恐れがある。



写真-8 継手部の漏水によるカバーコートの洗掘
(木曾川用水 左岸幹線)

4. 調査結果の考察と調査・診断手法の提示

4.1 調査結果の考察

平成17年度の調査では、試掘調査を確実に実施することで実際に様々な劣化状態を確認することができた。この結果から、PC管本体の劣化状況を判定する劣化度判定表を作成した(表-6)。表の右2列に示すコンクリート診断技術05⁴⁾のコンクリートの劣化に対する基準を参考として、劣化度を、-1、-2、という各段階に分けた。劣化度の指標の一つである健全な残存カバーコート厚の基準(10mm)については、三重用水竹谷支線で採取した劣化PC管(写真-4の管)でPC鋼線の錆が浮いた箇所とそうでない箇所を数点実測し、錆の境界が残厚7~8mmであることを確認し余裕代を見込んだ10mmと設定した。

表-6 PC管の化学的侵食による劣化度の判定

グレード	劣化の過程	PC管の変状	コンクリート診断技術05	
			グレード	コンクリートの変状
	潜伏期	外観上の変状が見られない	-1	外観上の変状が見られない
			-2	コンクリートの保護層に変状が見られる
	進展期	カバーコートモルタル表面に変状が見られるが、炭酸化していない(健全な)カバーコートが10mmを越え、劣化因子は鋼材位置まで達していない		コンクリートに変状が見られるが、劣化因子は鋼材位置まで達していない
-1	加速期	カバーコートの劣化が激しく、炭酸化していないカバーコート厚が10mm以下となっているところが見られる、又は、PC鋼線の露出や発錆が部分的にみられる	-1	コンクリートの変状が著しく、劣化因子は鋼材位置まで達しており、鋼材にも変状が見られる
-2		カバーコートが広範囲に著しく劣化しており、炭酸化していないカバーコート残厚が10mm以下であり、かつ、PC鋼線の露出や発錆が見られる	-2	コンクリートの断面欠損が大きく、鋼材の腐食が大きい
	劣化期	PC鋼線の劣化による破断が見られるなど、PC鋼線の劣化が著しい		鋼材の腐食が著しく、変位・たわみが大きい

-1- については、補修が必要な状態であると判断する

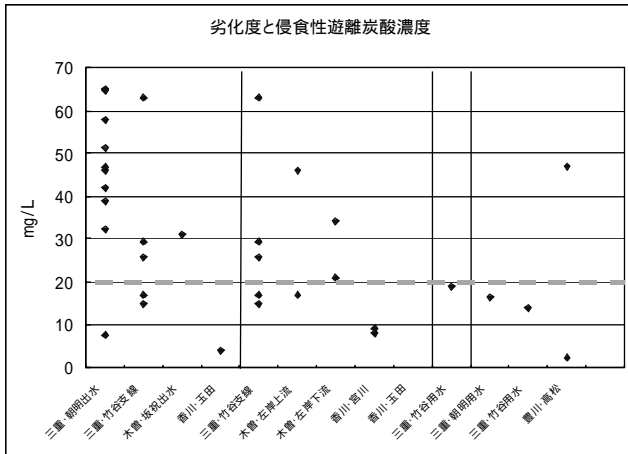
劣化度の判定を試掘調査結果に当てはめた結果を表-7に示す。また、これまでの試掘調査及び漏水箇所と侵食性遊離炭酸濃度の関係を図-8に示す。表から水質調査の結果、侵食性遊離炭酸や硫酸イオン等が明確に存在するところでは管本体の劣化が確認されていることが分かる。また、図-8からカバーコートモルタルの劣化因子としてきた侵食性遊離炭酸と劣化度についての相関関係を確認することができる。濃度についても判断の指標を20mg/l以上としてきたが、ある程度の精度を有しているといえる。

さらには、図-8から1箇所の調査結果に濃度のばらつきがあることが分かる。この調査は、季節毎に測定しており、地下水が季節・年により変動することを示している。このため水質調査は年数回実施することが肝要で一度でも20mg/l以上を示す場合は、侵食性遊離

炭酸による劣化の可能性があると判断する必要がある。しかし、豊川用水の高松サイホンでは唯一、侵食性遊離炭酸が47mg/lと高い数値を有しているにも関わらず劣化度が0であった。侵食性遊離炭酸によるコンクリート施設の劣化は、コンクリートと水との接触面での水の流動性に影響され、水が静止している場合にはほとんど害を及ぼさず、一方、水が流動する場合にはその侵食性が高まる¹⁾とされており、地下水の流動が関係していることが考えられる。このように現場の埋設状況は様々であり水質だけですべて判断できないため、評価の際は、注意が必要である。

表-7 試掘調査箇所の劣化度判定

事務所名	路線名	土地利用	PC管に対する地下水位の位置	PC管の劣化度	水質に含まれる劣化因子と含有量(mg/l)		
三重用水	竹谷支線						
	上流側試掘箇所	水田	下		侵食性遊離炭酸		63
	下流側試掘箇所	水田	下	-1	侵食性遊離炭酸		63
木曽川用水	左岸幹線						
	上流側試掘箇所	集落地	上	-1	侵食性遊離炭酸		46
	下流側試掘箇所	集落地	中	-1	侵食性遊離炭酸		34
豊川用水	東部幹線						
	高松サイホン	水田	上		侵食性遊離炭酸		47
香川用水	高瀬支線						
	宮川サイホン	旧水田	上	-1	硫酸イオン	571.4	塩素イオン 238.5
	玉田サイホン	茶畑	下		硫酸イオン	262.7	塩素イオン 265.3



香川用水の玉田及び宮川は、侵食性遊離炭酸が低い硫酸イオンが高い

図-8 劣化度と侵食性遊離炭酸濃度の関係

4.2 調査・診断手法の提示

これまでの調査計画に昨年度の調査結果を踏まえて、今年度はPC管の管本体の劣化に関する調査・診断手法について提示する。

調査・診断の流れは図-9にフローで示す。

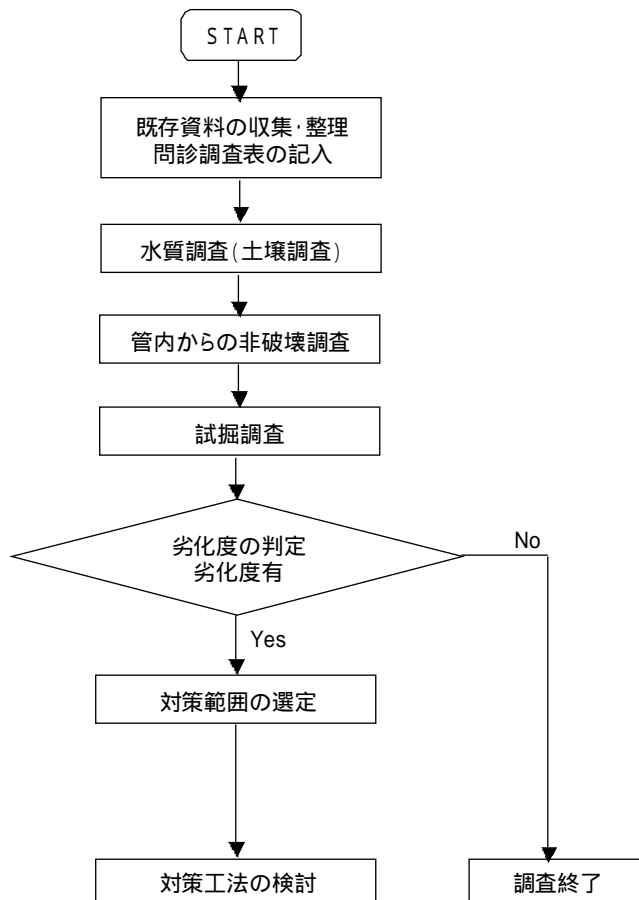


図-9 PC管本体の劣化に関する調査・診断フロー

4.2.1 既存資料の収集・整理（問診調査票の記入）

適切な調査・診断を行うにあたっては、必要な情報

を確実に収集・整理しておく必要がある。そのため、既存資料・地域特性についてとりまとめる統一様式（問診調査票）を作成し、資料を円滑かつ確実にとりまとめる。

表-8に問診調査票（案）を示す。

ここで最終的に劣化範囲を特定するために必要な基礎資料として施設の概要や埋設経過年数、地下水位や土地利用状況について整理し、後の調査の優先順位や範囲を決定する。また、管本体の劣化による出水事例や過去の調査実績については、後の調査結果の一部とできるため、調査項目及び数量の省略を検討することで効率的に調査を実施する。特に出水事例については、明確な劣化の証明であり、早急に対策範囲を決定するため、水質等のデータを収集し、同一埋設環境の範囲を特定する必要がある。

表-8 PC管本体の劣化に関する問診調査票（案）

（様式-1）

パイプライン（PC管本体の劣化に関する）問診調査票	
施設管理者名	水資源機構 用水管理所
調査年月日	2006 / /
調査者名	
【調査項目】	
項目	内容
1. 調査区間の概要	
1) 事業名	
2) 地区名	
3) 路線名	
4) 工事完了年度	昭和 年 工事完了 昭和 年より供用開始（完成区間より順次供用開始）
5) 施設概要	PC管延長 L = m 内訳 m 分水工 箇所 制水弁工 箇所 空気弁工 箇所 水位調整施設 箇所 その他
6) 特異な環境条件	・特異な環境条件に埋設されている ・特異な環境条件ではない ・不明 ・課題大 ; 活火山地帯や温泉地等で土壌に硫酸等が多量に含まれている 海岸付近等で土中に塩分が多量に含まれている その他地域的に特殊な土壌・地下水環境が明確である ・課題小 ; 特異な環境は確認されていない
2. 構造的機能	
1) 埋設経過年数	・20年以上 ・10～20年 ・10年未満
2) 管路周辺の地下水位や土地利用の状況	・管が地下水位に接触する環境にある ・管が地下水位に接触する環境にない ・不明 ・課題大 ; 地下水位がPC管理設置位置より上にある 地下水位が変動し、季節によってPC管理設置位置より上にくる時がある 周辺の土地利用が水田であり、灌漑期に水田水の流入が予想される ・課題小 ; 地下水や流入水に触れにくい環境下に埋設されている
3) 意見・感想等	（構造的機能の問題点等についての意見・感想）
3. 管本体の劣化による出水履歴と補修	
1) 管本体の劣化による出水履歴と補修	・管本体の劣化による出水有り ・管本体の劣化による出水なし 生起年月日 : 昭和 年 月 日 出水・被災の内容 : PC管本体の劣化による破裂・出水 補修内容 : 生起年月日 : 昭和 年 月 日 出水・被災の内容 : PC管本体の劣化による破裂・出水 補修内容 :
2) 意見・感想等	（出水・被災についての意見・感想）
4. 過去の調査履歴の有無	
1) 地下水に含まれる侵食性因子の有無	・多量に含む ・多少含む ・なし ・不明 （ ） ・課題あり ; 侵食性遊離炭酸、pH、及び各種イオン（塩酸、硫酸、硝酸）等が、基準値以上含まれている ・多少課題あり ; 上記物質が、ある程度含まれている （基準値未満であるが高い値を示す項目が複数ある） ・課題なし ; 上記物質が、ほとんど含まれていない 各因子の項目及び基準値は、別途水質調査項目参照
2) 管体の劣化の有無	・劣化度 あり ・劣化度 あり ・劣化度 あり ・劣化度 劣化の要因 （ ） 過去の試掘調査等で管体の劣化が確認されている場合 ・課題あり ; 劣化度 である ・多少課題あり ; 劣化度 である ・課題なし ; 劣化度 である
3) 意見・感想等	（過去の調査における注意点等の記述やその他意見・感想）

4.2.2地下水の水質調査（土壌調査）

問診調査から調査必要箇所と判定された路線は、調査を継続する。第一に周辺の地下水の水質調査を実施する。この調査では、表-3に示す項目を実施するが、特に侵食性遊離炭酸が20mg/l以上と硫酸イオン、塩素イオンが平成17年度調査の香川用水と同程度（200mg/l程度）の含有量に注意する。また過去の調査データ一覧と比較して明確に突出した項目がないかを確認する必要がある。土壌調査についても実施可能な場合は、同様に過年度の調査データとの比較を実施する。

4.2.3管内からの非破壊調査

水質から調査対象路線を絞り込んだら次に、管内からの非破壊調査を実施する。調査は、前述の2手法（超音波法と電磁誘導法）を併用することで管本体の劣化程度を総合的に判断する。現在は、後の試掘調査結果と対比することで非破壊調査の精度確認と精度向上のためのデータ蓄積が必要な段階である。

4.2.4試掘調査

最後に管本体の目視確認と非破壊調査の精度確認のため、試掘調査を実施する。試掘ではできるだけ複数の管を確認する必要がある。これは、隣接する同士でも劣化状況が異なることが分かっているからである。また、管の上半分は確実に露出する程度まで掘ることが必要であり、安全な範囲で下方まで掘ることが望ましい。これは上半分の露出により管上面と側面の異なる劣化状況を確実に確認するためである。

目視調査ではよく土を落とし、細部まで細かく確認することで、管の状態を正確に把握することが必要となる。

カバーコートの劣化は、フェノールフタレイン溶液を使用した炭酸化深さ測定及び残存カバーコート厚の測定を実施する。測定方法は、カバーコートをチップングすることで実測する。その際、PC鋼線を切らないよう注意し、管の円周方向及び延長方向にそれぞれ数点実施し、劣化が一様におこっているのかどうかを判定する。

4.2.5劣化度の判定及び対策範囲の決定

試掘調査の結果確認した管の劣化状況と表-6の劣化度判定表を比較することで管本体の劣化度を判定する。その結果、劣化度が、 の場合は対策範囲を選定し、対策を実施する必要がある。対策範囲の選定は、地下水位や土地利用状況、水質調査（土壌調査）、非破壊調査、地質状況や構造条件等から総合的に同一環境として判断し決定する。

5. おわりに

PC管本体の劣化については上述のように調査・診断手法を提示したが、調査データが不足しており、未解明の現象が存在している。そのため、調査・診断手法は、今後もデータを蓄積することで適宜見直し、修正を行う。また、非破壊調査は、技術が向上していく中で新手法が提案された場合には積極的に活用することでPC管に適用可能な調査手法を見出すことが重要である。

最終的には水質調査項目と管本体の劣化度との相関性の向上や、非破壊調査精度の向上により、必要最小限の試掘調査、または、試掘調査を実施せずに管本体の劣化状態を把握し、管本体の劣化による出水を未然に防ぐことができるような調査・診断手法の確立を目指していくことが重要である。

今回、調査・診断手法をとりまとめたことで、今後は、PC管を保有する各現場で調査を実施し、これまで不明であった埋設PC管の現状を把握し、適切な維持管理を実施していくことが重要である。

最後にPC管本体の劣化に関する調査・診断手法を作成するに当たり、現地調査に協力をして頂いた土地改良区の方々や、調査を実施して頂いた豊川用水、木曾川用水、三重用水、香川用水の方々及び、各種調整をして頂いた中部支社の方々には厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 農業土木学会．農業土木学会誌平成13年5月号「コンクリート水利施設の劣化機構と老朽化判断」野中資博
- 2) 日本水道協会．水道施設設計指針・解説
- 3) 日本水道協会．水道施設維持管理指針
- 4) 財団法人日本コンクリート工学協会．コンクリート維持診断技術05
- 5) 水資源機構総合技術推進室．平成17年度管水路施設機能診断手法検討業務 報告書
- 6) 水資源機構総合技術推進室．PC管劣化調査業務報告書
- 7) 水資源機構総合技術推進室．水路・水源施設の維持管理診断技術の検討業務 平成17年度PC管劣化調査結果報告書