

筑後川下流用水施設における 機能診断調査での新しい知見と独自の取組

藤野 百江¹・井崎 靖²・松岡 良司³

¹独立行政法人水資源機構 筑後川下流総合管理所（〒830-0071 福岡県久留米市安武町武島 23-1）

²独立行政法人水資源機構 筑後川下流総合管理所（〒830-0071 福岡県久留米市安武町武島 23-1）

³独立行政法人水資源機構 筑後川下流総合管理所（〒830-0071 福岡県久留米市安武町武島 23-1）

筑後川下流用水施設（以下「下流用水施設」という。）の一部では、プレストレストコンクリート管（以下「PC管」という。）を採用している。PC管のカバーコートは、地下水中の侵食性遊離炭酸の影響により中性化、薄肉化し、内部のPC鋼線の発錆を招き管本体の破損に繋がる懸念される。そのため、当該施設の健全度を確保するべく、試掘調査等を実施した結果、カバーコート及びPC鋼線が健全であることを確認した。この要因分析として、年間を通じ地下水位が管頂以上と高いことや地下水の流動性が少ないことなどを立証したうえで、カバーコートの健全性を継続監視する上で効率的かつ経済的な調査手法も確立したことから、報告するものである。

キーワード：侵食性遊離炭酸、カバーコート、地下水、流動性、定点調査

1. はじめに

水資源機構が管理する下流用水施設は、筑後川から取水した水を福岡・佐賀の約3万haの受益地域に農業用水を供給する導水路施設である。

1998年度（平成10年度）の管理開始以降、施設の状態を適切に把握するため、非灌漑期に導水路管内を空水にした機能診断調査を計画的に実施している。

これまでに導水路延長約70kmのほぼ全線の調査は完了し、施設の変状が顕著に見られる区間は、劣化の進行性確認のため再調査を計画的に進めており、2017年度（平成29年度）には施設全体の機能保全計画書の策定を行ったところである。

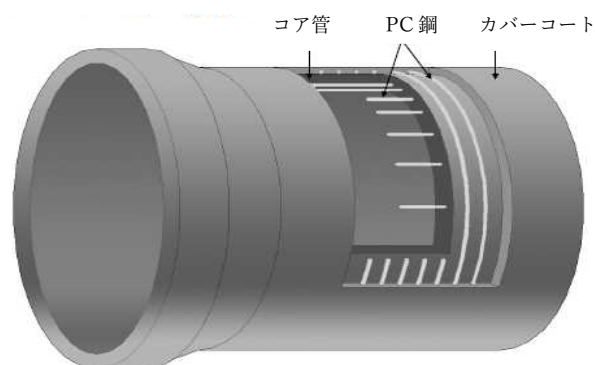


図-1 PC管の構造

2. 機能診断調査での新しい知見

(1) 機能診断調査の実施状況

下流用水施設の管水路区間は、全水路延長の8割以上を占め、採用している管種はFRPM管、鋼管、PC管及びDCIP管など様々である。

そのため、機能診断調査では、管内での近接目視調査のほか、たわみ量調査、塗膜厚調査、継手間隔調査、管底高測量及び可とう管調査などを各管種に応じて選択し実施している。施設の変状や計測値、過年度調査以降の進行性などから総合的に判断し、5段階（S-1～5）での健全度評価を行い、その結果を保全計画書へ反映するものである。



写真-1 PC管の劣化に伴う出水（他地区）

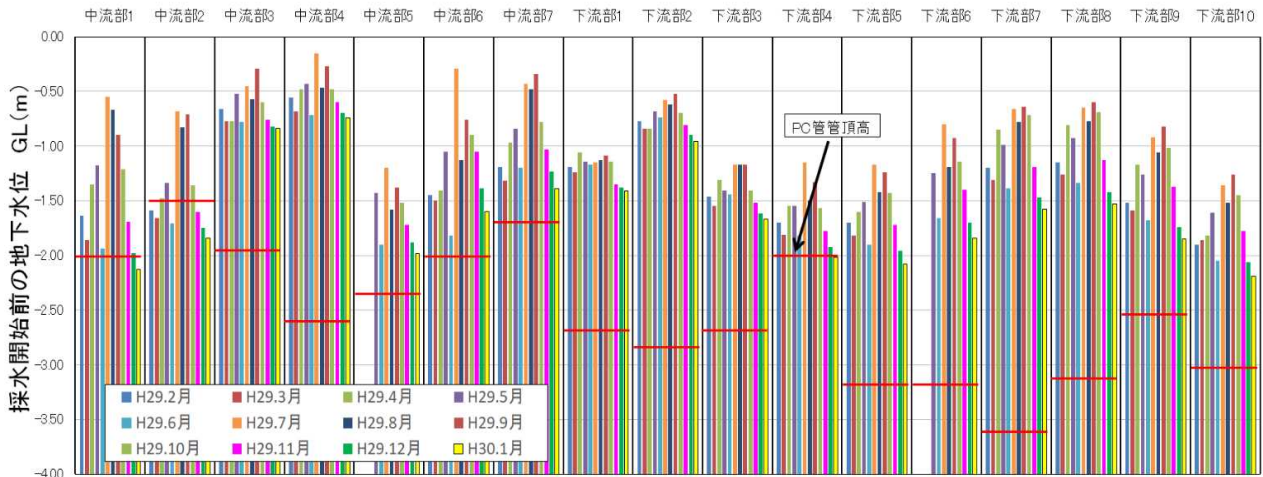


図-2 各観測孔における地下水位の年間推移

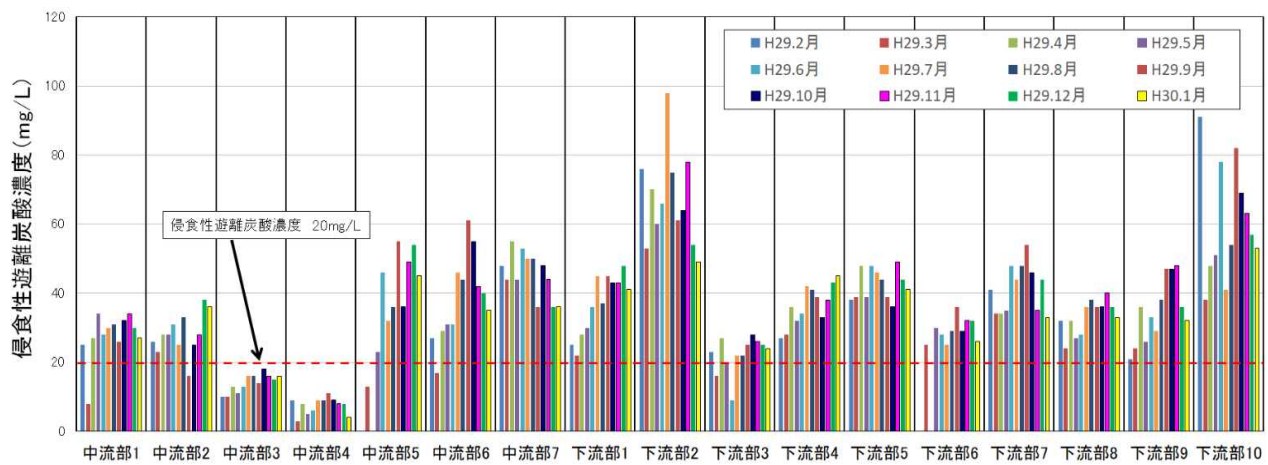


図-3 各観測孔における侵食性遊離炭酸濃度の年間推移

(2) PC管調査

水資源機構が管理する他地区の施設においては、図-1 に示すカバーコートの中性化に伴う PC 鋼線の破断による出水事故(写真-1)が発生している。下流用水施設においては同様の事故は発生していないものの、筑後導水路下流部では、約 5km にわたり PC 管を採用していることから、その劣化状況を把握するため、PC 管の周辺(埋設)環境を調査した。調査にあたり、管路近傍でボーリングを実施し、その後、地下水位観測孔(以下「観測孔」という。)として残置し水質調査等を行った。

a) 土壌調査

土壌調査では、全ての地点で PC 管本体の劣化に関する調査・診断マニュアル(以下「PC 管マニュアル」という。)¹⁾に規定される腐食性評価基準値未満であったことから、PC 管の劣化に影響を与える腐食性土壌では無いことを確認した。

b) 地下水位観測

地下水位観測では図-2 に示すとおり、ほぼ全ての観測孔において年間を通じて PC 管の管頂部以上に地下水位が推移していることを確認した。調査初年度の 2017 年度(平成 29 年度)は、過去 10 年間で 2 番目に降水量が少ない年であったにもかかわらず、PC 管周辺の地下水位は常に高い位置に推移していたも

のである。

c) 水質調査

水質調査において、PC 管のカバーコートの中性化、薄肉化させる重要な因子の一つである侵食性遊離炭酸濃度については、過去の破損事故等の事例に基づき PC 管マニュアルでは閾値 20mg/l を規定している。

図-3 に示すとおり、ほぼ全ての観測孔では年間を通じて閾値 20mg/L を超えており、さらに 3 倍以上の高濃度を示す地点も確認し、PC 管の劣化が懸念される結果となった。

d) 管外調査(試掘調査)

上記の調査結果を踏まえ、管の状態を直接確認するため管外調査(試掘調査)を実施することとした。



写真-2 管表面のマーキング状況



写真-3 チッピング箇所での地下水の浸出

調査地点は土地利用状況を踏まえ、2地点を選定した。試掘調査では地下水を排水するものの、翌朝には管頂以上に水位が回復している状況であったことから前述のb)地下水位観測の内容を裏付けるものであった。

PC管の目視調査では、写真-2のとおり、PC管表面に建設当初の管製造番号等のマーキングが残っていたことと写真-3のとおりチッピング箇所におけるフェノールフタレイン溶液による中性化試験の結果及びPC鋼線の状況等から、カバーコートの侵食は少なく、PC管は比較的健全な状態であることが窺える結果であった。

そこで、カバーコートの健全性を詳細に確認するため、チッピングした箇所から採取したカバーコートの破片を組成鉱物に基づいて判定するX線回折分析を行った。表面部及び内面部における水酸化カルシウムの検出量と炭酸カルシウムの検出量を比較すると、劣化生成物である炭酸カルシウムが多く検出された。この結果から、カバーコート内では少なからず侵食性遊離炭酸濃度の高い地下水の影響を受けて中性化が進行する恐れがあることが判明した。

さらに、写真-3で判る通り、チッピングした直後は、地下水が浸出した状況も写し出していることから、その要因を確認するため、カバーコートの密度試験を行った結果、密度は2.25 g/cm³であった。これは地下水の浸透やJISで規定されている圧縮強度350kg/cm²を満足するために製造メーカーが定めている基準の密度(比重)をほぼ満足していたが、カバーコート内部への地下水の浸透を完全に防ぐことが出来ないことも確認することが出来た。

したがって、管外調査では、侵食性遊離炭酸濃度の高い地下水がカバーコート内部へ浸透しているにも関わらず、カバーコートが中性化・薄肉化することなく、PC鋼線が発錆することなく健全な状態であることが確認出来た。

e) 地下水の流向流速測定

前述の結果を踏まえ、侵食性遊離炭酸濃度が同様に高いにも関わらず、劣化が進行していない要因について、更に踏み込んで検討を行うこととした。

まず、当該地区と他地区との違いに着目したところ、当該地区で注目すべき事項としては恒常的に地下水水位が高いことが挙げられる。管外調査箇所における地下水水位は、前項で述べたとおり、管頂以上の高い位置に推移しており、観測孔における地下水水位の測定結果も高いことを踏まえ、地下水の流れに着目することとした。他地区の破損事例から、地下水が基礎材を流出させている事例もあったことから、当該地区における地下水の流れを把握するため、流向流速測定を実施した。2地点の観測孔での測定結果を図-4に示す。流速は98~112cm/日(0.068~0.078cm/分)程度と地下水の流動性は低い結果であった。これは、当該地区が広大な筑紫平野に平地部に位置しており、傾斜地や山間地、丘陵地の地下水と比較すると導水勾配がほとんど無いことが影響していると言える。

f) 新しい知見

これまでの調査結果を整理し、当該地区のPC管の健全性の根拠を整理する。

- ① 試掘調査の結果、地下水が含まれていたにも関わらずカバーコートやPC鋼線は健全であった。
- ② PC管周辺の地下水中には、高濃度の侵食性遊離炭酸が含まれており、PC管の劣化が懸念された。
- ③ PC管周辺の地下水は、年間を通してPC管の管頂以上と高く、PC管が常時地下水中に浸された状態である。
- ④ 平地部に埋設されていることから、地下水の導水勾配が殆ど無く、PC管周辺の地下水の流動性は低い。

以上の調査結果から、侵食性遊離炭酸濃度が高い地域であっても、地下水中に管が浸されていることでカバーコートが乾湿を繰り返さないこと、すなわちPC管に新たな地下水が連続的に供給されないことで、カバーコートの健全性が保たれていることが本調査によって立証できた。

また、劣化因子である侵食性遊離炭酸についても濃度が高い状態は危惧すべき内容であるが、地下水の状態によっては健全な状態が保たれているという新しい知見も得た。

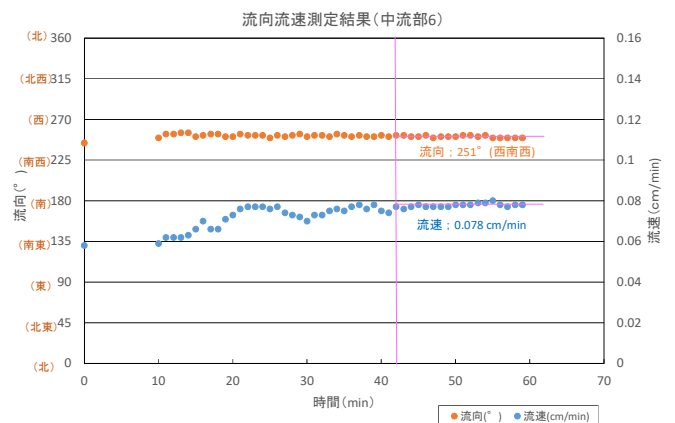


図-4 流向流速測定結果

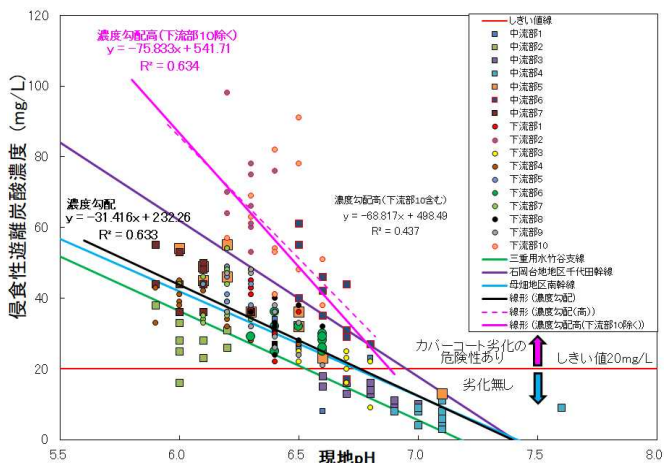


図-5 現地 pH と侵食性遊離炭酸濃度の相関図

3. 独自の取り組み

(1) 後継調査としての定点調査手法

今後、周辺環境の変化により地下水位が管体以下に低下するなど水位変動を繰り返したり、更なる水質悪化が進行する場合には、カバーコートの中性化・薄肉化の進行が急速に早まる危険性もある。そのため、カバーコートの健全性を継続監視する必要があるが、従前より実施している空水調査では費用や手間を要するだけでなく、数年に一度しか実施出来ないことから劣化傾向を掴みにくいことが課題として挙げられる。

この課題を解決するため、効率的かつ経済的な調査手法として、既存の観測孔を利用した地下水位観測を月 1 回実施することとした。また、一般的に、侵食性遊離炭酸濃度と水素イオン濃度 pH とは相関性があると言われていていることに着目し、本調査地区全体の現地 pH と侵食性遊離炭酸濃度の相関図を図-5 に整理した。この相関式を基に、観測孔にて地下水位の観測に併せて現地 pH を計測し、侵食性遊離炭酸濃度を算出して、地下水の変動を確認することとした。万が一、pH が低下し酸性側に変化した場合には、室内での分析を行い侵食性遊離炭酸濃度を詳細に確認することで、管周辺の環境の変化を速やかに把握

し、その結果によっては試掘調査や管内調査などを検討することとした。

定点調査については、現在まで約 4 年間、月 1 回の観測を継続しているが、現地 pH も酸性側へ大きく変動することはなく、地下水位も管頂以上と高い位置に推移しているという傾向が掴めている。なお、侵食性遊離炭酸濃度は依然として高いものと想定されるが、地下水位が高い状態は変わらないことから、カバーコートの劣化のリスクは少ないものと推測出来る。

このことは、継続的に PC 管の状態を把握する上で効率的かつ経済的な調査手法で、通常時でもカバーコートの状態把握が可能となり、下流用水独自の取組として今後も継続したいと考えている。

4. おわりに

今回、PC 管周辺では侵食性遊離炭酸が高濃度であり、調査開始時は PC 管の劣化が危惧されていた。しかし、当該地区特有の現地条件（地下水位が年間を通して管頂以上と高いことや、平地部で動水勾配が小さく地下水の流動性が少ないこと）から、侵食性遊離炭酸等の濃度が高い埋設環境下でも PC 管の健全性が保たれているという新しい知見が得られた。また、施設の状態を継続して把握するために重要な定点調査が、手間と費用に係る試掘調査や管内調査ではなく、観測孔を利用した地下水等の観測を月 1 回実施することで、周辺環境の変化に伴う施設状態の想定が可能となったことは大きな成果である。

今後、施設の老朽化は確実に進行していくため、施設の状態を正確に把握し、適切に保全管理することが求められる。あわせて利用者へ安心安全な水を安定して供給し続けることが、我々施設管理者の使命であると考えます。

参考文献

- 1) 独立行政法人水資源機構. 2012. PC 管本体の劣化に関する調査・診断マニュアル(案)