実環境におけるパイプラインの促進劣化に 関する実証的研究

伊藤久也¹•鈴木哲也²•河野英一³•青木正雄⁴•青木保憲⁵

1正会員 株式会社日本水工コンサルタント 名古屋事務所 技術部(〒453-0016 名古屋市中村区竹橋町5-10)
 2正会員 博士(工学) 新潟大学准教授 自然科学系 農学部(〒950-2181新潟市西区五十嵐2の町8050)
 3正会員 農博 日本大学教授 生物資源科学部 生物環境工学科(〒252-8510 藤沢市亀井野1866)
 4正会員 博士(農学) 日本大学教授 生物資源科学部 生物環境工学科(〒252-8510 藤沢市亀井野1866)
 5株式会社日本水工コンサルタント 名古屋事務所 技術部(〒453-0016 名古屋市中村区竹橋町5-10)

ライフラインとして供用されている配管材は、内的要因である配管材自体の経年の劣化に加えて、外的 要因がもたらす腐食により管材の損傷が進行する.このために、それらがもたらすパイプラインの損傷に 伴う漏水や道路陥没といった事故が多発している.本研究では、配管材が耐用年数を大幅に下回る供用年 数で管材の化学的侵食が促進しているコンクリートパイプライン(下水道施設)と鋼製パイプライン(農 業用パイプライン)を対象に劣化機構を把握・評価しその特性についてとりまとめた.この結果、コンク リートパイプラインと鋼製パイプラインでは、配管材の材質により化学的侵食による劣化機構が異なると 同時に劣化を促進させる要因によっては、大幅に劣化を進行させる事が明らかになった.

キーワード: ライフライン, 硫化水素, C/Sマクロセル腐食, EPMA, エトリンガイト

1. はじめに

産業用水に代表される上下水道や農業用水は、そ のほとんどが地中に埋設されたパイプラインとして 供用されている.このパイプラインである各種配管 材は、様々な素材で製造・構築されている.配管材 は、内的要因である配管材自体の経年の劣化に加え て、外的要因がもたらす腐食により管材の損傷が進 行する.このために、それらがもたらすパイプライ ンの損傷に伴う漏水や道路陥没といった事故が多発 している(写真-1).下水道施設では、通水されてい る水質を要因とした内面の腐食や埋設された周辺環 境を要因とした内面の腐食や埋設された周辺環 境を要因とした外面からの腐食は、大きな外的要因 になっている¹⁾.しかしながら、これまで配管材の 維持管理を考える上で供用されている環境が関わる 化学的侵食による研究は十分になされてきていない のが現状である.

本研究では、この配管材が耐用年数を大幅に下回 る供用年数で管材の劣化が進行しているコンクリー トパイプライン(下水道施設)と鋼製パイプライン (農業用パイプライン)を対象に、劣化機構を把 握・評価するとともに、その特性についてとりまと めた、コンクリートパイプラインについては2009年 の研究²⁾を引用したものであり,鋼製パイプライン については2010年の研究³⁾について対象地区を拡大 した2地区として本報をとりまとめたものである.

この結果,配管材質の相違によって劣化機構が異なると共に,その劣化要因によっては,大幅に劣化を促進させる事が明らかになった.

2. 配管材質による劣化の特性とメカニズム

(1) コンクリートパイプラインの硫化水素劣化

一般のコンクリート構造物では、中性化・塩害お よびアルカリ骨材反応による耐久性の低下が知られ ている.下水道施設内では、これらに加え硫酸によ る腐食、硝化に伴う液相部の腐食がある.下水道施 設内では、汚水中あるいは汚泥中の硫酸イオンから 始まる硫酸塩還元細菌と硫黄酸化細菌の活性化によ り硫黄循環が生じ、硫酸による気相部でのコンクリ ートの腐食が発生する^{4,5}.

本研究では、下水道施設に特有な硫酸塩還元細菌 による液相から気相への硫化水素ガスの放散および 気相部で硫黄酸化細菌の活動より生成される硫酸に よるコンクリートの腐食を「劣化」として定義し取



写真-1 漏水事故状況

扱う.

下水道施設に特有な硫酸によるコンクリート劣化 のメカニズム^{4),5}は、嫌気性状態の下水中および堆 積した汚泥中で硫酸塩還元細菌による硫酸塩からの 硫化物(H_2S , HS^- , S^2)の生成により液相から気相へ の硫化水素(H_2S)ガスの放散が発生する.この硫化 水素(H_2S)ガスにより硫酸が生成される.この結果, 硫酸とコンクリート中の成分との反応によりコンク リートの劣化が進行する.

この生物反応,化学反応及び物理作用が複合した 現象が劣化のメカニズムであり,図-1のような機 構となる.このため,水温,汚水中の硫酸イオン濃 度や施設の構造等の地域性に大きく影響を受け,気 相部の硫化水素(H₂S)濃度,湿度,気温等の腐食環 境によりコンクリートの劣化速度が大幅に異なる.

(2) 鋼製パイプラインの電気化学的反応による劣化

鋼管やダクタイル鋳鉄管の素材となっている鉄は、 人工的に還元して製造されたものである.これらが、 最も安定した酸化鉄の状態へと反応する現象が腐食 であり、その種類は大別して、腐食化のメカニズム により自然腐食と電食に分類される⁶.自然腐食に は、ミクロセル腐食とマクロセル腐食とに区分され る.

マクロセル腐食は、電位差の異なる箇所が、ある 距離をおいて固定化している場合に起こる腐食であ り、アノードとなる箇所が集中的に腐食する.その 腐食速度は0.1~0.2mm/年⁷⁾と大きく、鋼管の耐用年 数を大幅に下回って数年で漏水事故がもたらされる. マクロセル腐食の区分は以下のとおりである.

a) コンクリート/土壤マクロセル腐食

コンクリート中に設置された鋼管の自然電位は通 常の土壌に比べて概ね0.2~0.3V高となる⁷⁾.このた め、土壌とコンクリートとを跨って鋼管が配管され ている場合には、コンクリート/土壌境界部で、土



図-1 コンクリート腐食メカニズム 5)





壌中の鋼管部分がアノード、コンクリート中の鋼管部分がカソードとなるマクロセルが形成され、土壌側の境界部付近を中心に鋼管の腐食が促進される(図-2).これが、C/Sマクロセル腐食である.さらに、コンクリート中の鉄筋が、そこに設置された鋼管と同じ自然電位になることから、両者が電気的に接触しカソード部の面積が大きくなり、土壌側の鋼管部分(アノード)の腐食が一層促進される.

b) その他のマクロセル腐食

その他のマクロセル腐食には,通気差マクロセル 腐食と異種金属接触腐食があり,通気差マクロセル 腐食は,通気性による酸素量の差異により誘発され る腐食現象である.異種金属接触腐食は,異なる種 類の金属材料が電気的に接触し金属材料自体がもつ 自然電位差よって生じる腐食現象である.



写真-2 計測施設での漏水

3. コンクリート配管材の計測施設・方法

(1)計測対象施設·計測項目

本研究のうちコンクリート配管材の計測対象施設 は、建設後4年から17年が経過した流域下水道施設 である.この施設の人孔部により計測を実施した.

計測箇所は, No.1~No.6の全6箇所の人孔であり 計測項目は, 目視調査・鉄筋探査・中性化深さ調 査・EPMA分析・硫化水素濃度連続測定とした.

なお、「No.2」の箇所における人孔施設において は、表面被覆による防食が施されていたため計測項 目である中性化深さ調査・EPMA分析の計測は実施し ていない.

(2)試験方法

本研究の試験方法は,目視調査・鉄筋探査・中性 化深さ調査(供試体採取)・EPMA分析・硫化水素濃度 連続測定を実施した.

a)目視調査

目視調査は、デジタルカメラを用いて異常個所を 目視確認する.主要な確認項目は、ひび割れの有無、 打検棒による表面浮きの判定、剥落の有無、表面状 態の良否、漏水または漏水痕の有無の5項目とした.

b) 鉄筋探査

レーダー方式鉄筋探査機(型式:NJJ-95B, 製造: 計測技術サービス)を用いて,非破壊により鉄筋の 配筋状況およびコンクリートかぶり厚さを確認した.

c) 供試体採取

採取方法は、「コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」として規格JIS A1107:2002に準じて採取を行った.鉄筋探査により 確認し、鉄筋の配置されていない部分によりコンク リートコアドリルを用いて、中性化深さ調査および EPMA分析に用いるコンクリートコア(供試体)を採取 した.

d) 中性化深さ調査

測定方法は,「コンクリートの中性化深さの測定 方法」規格JIS A1152:2002に準じて測定を行った.

中性化深さ測定位置は、コンクリートコアを中心 より割裂し、その面にフェノールフタレイン1%エチ ルアルコール溶液を噴霧して、表面からの未着色部 分(中性化領域が未着色、非中性化領域は赤色)を、 両側面5mmを除き7点測定した.

なお、「No.3」の箇所は、中性化深さの基準位置 は躯体コンクリートの表面の位置とした.

e) EPMA分析

一部のコア試料表面に劣化が見られたため,最初 にメタクリル樹脂を塗布して補強を行った.続いて コア試料の表面より約45mmで横方向に切断した後, 試料の深さ方向の断面を得るために縦方向に切断し て,縦横約45mm,厚さ約15mmの大きさに加工した. ただし,断面修復層を持つ「No.1」の箇所は,縦方 向の大きさを約60mmとした.

分析試料にメタクリル樹脂を含浸させた後,分析 面を研磨した.研磨した分析面にメタクリル樹脂を 含浸させた後,再度分析面を研磨した.分析面に対 し導電性を与える目的でカーボンを蒸着し,電子線 マイクロアナライザー(EPMA)による面分析を行った. ピクセル数は,「No.1 試料1」,「No.1 試料2」 については600×400(60mm×40mm)とし,それ以外の

については600×400(60mm×40mm)とし,それ以外の 箇所については400×400(40mm×40mm)とした.

f)硫化水素濃度連続測定

拡散式硫化水素濃度測定機(型式:GHS-7 AT,製造:ミドリ安全)により,対象施設の硫化水素濃度を1週間連続して測定した.測定は,人孔内部に測 定機を吊り下げ,蓋を閉めた状態で行った.

4. 鋼製配管材の調査施設・方法

(1)調査対象施設

調査対象施設は、H地区およびM地区の2地区の農業用パイプラインである.この付帯施設では、建設後20年程が経過し、現在までにH地区で33件、M地区では5件の漏水事故が発生している(写真-2).事故発生の時期として短期間の箇所では、完工後わずか10年未満で鋼管部分にC/Sマクロセル腐食が確認され、早期損傷が懸念されている.

調査対象のパイプラインの内,H地区は果樹園の 多目的利用畑地かんがい施設として建設され,昭和 50年に着工,平成元年に完工された.M地区は,畑 地かんがい施設として建設され,昭和49年に着工,



図-3 管対地電位測定

平成9年に完工された.本研究では,基幹水利施設 である幹線パイプライン及び付帯する施設(H地区 83箇所,M地区90箇所)を対象とした.

なお,M地区では,他地区の調査結果より簡易な コンクリート二次製品を使用した側塊構造の施設 (61施設)は,C/Sマクロセル腐食発生の可能性が

極めて少ない事から調査対象外としている.

(2)調査項目・測定方法

本研究では、調査対象の鋼製パイプラインの内, 幹線水路に付帯する全施設(173施設)について、施 設近傍の鋼管における漏水事故の主因と考えられて いるC/Sマクロセル腐食状況を定量的に評価・判定 するためにC/Sマクロセル腐食発生の判定に必要な 土壌抵抗率、管対地電位および電気的導通特性の3 項目を計測した。

調査対象の鋼製パイプラインに付帯する施設(以 後,付帯施設と称す)の種類は,空気弁工,分水工, 排泥工,制水弁工および流量計工ほかである.

a) 土壤抵抗率测定

土壌抵抗率測定は、大地比抵抗測定器(型式:3244 型,製造:横河電機)を用いた.この測定器により、 対象となる施設の地表面上で、一直線に4本の電極 (接地極C1、補助接地電極P1,電位電極P2,電流電 極C2の順)を間隔aで均等に配置し、P1とP2の間の電 位差をC1とC2の間で流れた電流で割った抵抗値 R(Ω)を計測した.

b) 管対地電位測定

管対地電位測定は、高感度電圧記録計(型式:EPR-1FA型,製造:東亜電波工業)および飽和硫酸銅照合 電極を用いた(図-3).これらの機器により、照合電 極を高感度電圧記録計のマイナス端子に接続し、鋼 管に設置した測定用リード線をプラス端子に接続し て両極間の電位差を測定した.また、電位差として は、照合電極を施設のコンクリート壁部から0.5m, 1.0m, 2.0m, 3.0m以降1.0m間隔で鋼製パイプライン 直上部の土壤表面を移設して、各地点におけるもの を測定した.



写真-3 コンクリート配管材における骨材の露出

c) 電気的導通特性測定

電気的導通特性の測定には、管対地電位測定と同 様の高感度電圧記録計および飽和硫酸銅照合電極, これらに加えてシャント抵抗器,仮設電極および仮 設直流電源装置を用いた.この機器により、管路, シャント抵抗器,高感度電圧記録計,仮設直流電源 装置および仮設電極からなる直流の電気回路を形成 した.この電気回路により、鋼製パイプライン外表 面をマイナス極,仮設電極をプラス極として土壌を 介し仮設直流電源装置により0N-0FF操作を一定間隔 で繰り返しながら通電して,通電電流の大きさを測 定した.

5. 結果および考察

(1) EPMA分析による硫化水素影響範囲の同定

目視調査の結果,**写真-3**のように硫化水素に起 因するコンクリートの劣化が確認され,いずれの現 象も骨材の露出が顕著になっている.

中性化深さ測定結果としては、中性化深さは 0.0mm~3.5mmの範囲で確認され、中性化が極端に進 行している人孔は見られなかった. EPMA分析による 硫黄浸透深さは、採取した供試体表面より0.0mm~ 12.0mmの範囲で、硫黄浸透深さを確認した.分析で は、二水石膏およびエトリンガイトについても上記 の値の範囲で確認している.硫化水素濃度測定の結 果、硫化水素濃度は、最大値で1.2ppm~31.7ppmの 範囲であり、平均値で0.7ppm~7.7ppmの範囲として なった.

a)硫化水素濃度分布

硫化水素濃度測定結果として,各施設における測 定結果のうち,計測期間で一時的に最大値を示した 箇所は「No.1」であり,計測期間の平均最小は 「No.5」,平均最大は「No.6」であった.この結果,



図-4 No.5 人孔 EPMA 分析による元素分布状況図

表-1 施設別 EPMA 分析結果と平均硫化水素濃度

調査 箇所	供用 年数 (年)	平均硫 化水素 濃度 (ppm)	試料 番号	EPMA による浸 透(mm)	劣化 速度 (mm/年)	劣化深度 推定式 (1) による値 (mm)
No.1 人孔	4	4.0	1 2	1.5 1.0	0.4 0.3	5.3
No.2 人孔	6	1.3				3. 7
No.3 人孔	10	3.4	3 4	6.0 0.0	0.6	7.8
No.4 人孔	17	1.2	5 6	10.0 10.0	0.6 0.6	6.0
No.5 人孔	15	0.7	7 8	12.0 10.0	0.8	4.3
No.6 人孔	12	7.7	9 10 11	7.0 5.0 9.0	0.6 0.4 0.8	12.8

^{※「}No.2」の箇所における人孔施設においては,表面 被覆による防食が施されていたため試料は,採取して いない。

連続測定の値より硫化水素濃度は,最大値で1.2ppm ~31.7ppmの範囲で確認され,平均値で0.7ppm~ 7.7ppmの範囲で確認された.

既存の研究では硫化水素濃度は0.1ppmでも約 0.3mm/年のコンクリート腐食が進行することが確認 されている⁵⁾ことから,各調査対象箇所で発生して いる硫化水素は,十分にコンクリートの硫酸腐食を 進行させる濃度であることが確認された.

b) E P M A

EPMA分析結果の代表図を図-4 に示す.本図より, 表面防食を施してあるものを除いて各供試体表面より1.0mm~12.0mmの範囲で,硫黄浸透深さを確認した.また,同様に中性化深さについても二水石膏の 浸透深さとして最大3.5mmであり,差異はあるもの のコンクリート劣化の進行状況について確認された.

(2) EPMAによる硫化水素劣化とその特性

EPMAは、2次電子及び反射電子を用いて試料の表 面観察を行うとともに、同時に発生する元素特有の X線を用いることによって微小部の元素情報を得る 装置であり、コンクリート中に発生している事象を 判断することに用いる.

本研究では、コンクリート劣化現象の一つである、 コンクリートへの硫酸(硫黄)の浸入深さの分析調査 を行った.コンクリート中に硫酸イオンが侵入する とコンクリート中の成分と反応し、エトリンガイト が生成され、結合水を取り込んで膨張するため、構 造物の脆弱化を起こす.さらにエトリンガイトは、 pH(H₂0)が低下すると二水石膏を生成⁸⁾する.この二 水石膏は、pH1~2でパテ状になり汚水の飛沫など少 しの衝撃でも剥離する状態となる.また、表面から の硫酸供給が継続すると、表面の二水石膏層と内部 のエトリンガイトの層は、より深部へと移動する.

本研究での調査結果より,各調査箇所の硫化水素 濃度とEPMA分析による硫黄浸透深さの関係につて 表-1 のとおりとなった.

この結果から,劣化速度を推定すると0.3mm/年~ 0.8mm/年となり,試料による差異は見られるものの 2.6倍程度のばらつきの範囲となっている.吉本ら は,平均硫化水素濃度と供用年数を指標としてコン クリート腐食深度推定に次式⁹⁾を提案している.

 d=1.33×(C×T)^{0.5}
 (1)

 d:腐食深度(mm)
 (1)

 C:平均硫化水素濃度(ppm)
 (1)

 T:供用年数(年)
 (1)

この式(1)により,算出した値とEPMA分析による 硫黄浸透深さの値は,1.3~4.2倍の差が生じた. これは,当該施設の平均硫化水素濃度が,いずれの 箇所も10ppm以下と比較的低い値であり腐食環境条 件¹⁰としては,腐食速度が小さい環境であることに

表-2 土壤抵抗率

腐食性	土壤抵抗率 (Ω・m)
激しい	0~10
やや激しい	$10 \sim 50$
中	$50 \sim 100$
小	100~1000
極めて小	>1000

起因しており,低濃度環境での影響によるものと推 測される.硫化水素は,その生成環境として温度・ 湿度の季節的な変動に対する影響が大きく,平均硫 化水素濃度の計測値が,これを反映したものと推察 される.

(3)鋼製配管施設の付帯施設別特性 a)土壌抵抗率特性

農業用パイプラインに付帯する施設近傍の土壌抵 抗率特性は、H地区では、全数の83箇所が10~1000 Ω・mの範囲に分布しており、全体の80%が100~ 1000Ω・mの範囲にある.計測値は、最大値867Ω・m、 最小値32Ω・mを示した.付帯施設近傍の土壌の80% が該当する土壌抵抗率100~1000Ω・mは、**表-2**の基 準によれば、腐食性が「小」として判定される範囲

M地区では、全数の90箇所がH地区と同様10~1000 Ω・mの範囲に分布しており、全体の81%が100~ 1000Ω・mの範囲にある.計測値は、最大値804Ω・m、 最小値23Ω・mである.いずれもH地区と、ほぼ同様 の値を示す結果となり、腐食性「小」として判定さ れる範囲である.

以上のことから,土壌抵抗率においては,2地区 ともに,地区の約80%が,腐食性「小」として判定 される範囲であり,2地区に分布する多くの土壌は, パイプラインに及ぼす腐食性が小さいと考えられる.

b) 管対地電位特性

である.

調査対象の2地区について管対地電位測定の結果 を取りまとめたものが図-5 である.

H地区では、C/Sマクロセルが形成される-400mV以上の値を示した付帯施設が全体の52%を占めた.付帯施設別では、分水工で50%、制水弁工で80%、排泥工および流量計工ほかでは100%の施設がC/Sマクロセルが形成される-400mV以上の値を示した.空気弁工では、-400mV以上の値を示すものが17%と低い割合を示しており、他の付帯施設と比べて施設構造上の違いからC/Sマクロセルが形成されにくい状態にあると考えられる.H地区では空気弁工を除く53施設を全体の割合で見ると、約72%と多くのものが-400mV以上の値を示しており、鉄筋コンクート構造となっている施設では、C/Sマクロセルが形成さ



図-5 管対地電位特性

れやすい状態にあると考えられる.

M地区では、C/Sマクロセルが形成される-400mV以 上の値を示した付帯施設は、全体の39%に留まって いる.施設別では、分水工で29%、排泥工で50%、 制水弁工で42%, 流量計工ほかでは75%がC/Sマク ロセルが形成される-400mV以上の値を示した.また, H地区では17%と低い割合となっている空気弁工を 見ると、M地区では33%となっておりH地区に比べ-400mV以上の値を示す割合がやや高い傾向にあるこ とが分る.これは、M地区では、調査に当たり空気 弁工のうち簡易なコンクリート二次製品を使用した 側塊構造の施設(61施設)を調査対象から外した事 が影響を与えているものと推測される. この調査対 象外とした61施設を当該調査数量に加え、これら が-400mV以下の値を示すものと仮定した場合,空気 弁工では、-400mV以上の値を示す割合が約10%程度 となりH地区と同様、他の付帯施設と比べて施設構 造上の違いからC/Sマクロセルが形成されにくい付 帯施設であると考えられる.

c) 電気的導通特性

調査対象地区の電気的導通特性を仮通電試験の結 果から所要防食電流密度を算出した.

この結果,H地区では,付帯施設全体の45%,M地 区では,全体の70%の施設においてコンクリート中 の鉄筋と鋼管本体とが接触していると見られる値で ある0.01A/m²以上を示している.また,H地区では, 0.01A/m²以上を示す付帯施設別の割合は,分水工で

表-3 施設別 C/S マクロセル腐食発生

	施設名称	空気弁工	分水工	排泥工	制水弁工	流量計工ほか	全施設	
2地区施設数 (箇所)			57	61	18	22	15	173
日地区	C/S有	(箇所)	7	23	14	10	3	57
	C/S無	(箇所)	23	3	0	0	0	26
M地区	C/S有	(箇所)	10	28	3	8	9	58
	C/S無	(箇所)	17	7	1	4	3	32

46%,排泥工で86%,制水弁工で50%となった.同様にM地区では、分水工で80%,排泥工で50%,制水弁工で92%,流量計工ほかで92%となり、大半の施設でコンクリート中の鉄筋とパイプライン本体が接触していると推察される.

農業用パイプライン付帯施設の構造は、空気弁工 のようにコンクリート二次製品を用いて簡易な小規 模構造として所要の性能を満たすものと、分水工や 排泥工のように各箇所で構造が異なり、鉄筋コンク リート構造として規模も大きくせざるを得ない施設 とがある.よって、カソード側である鉄筋コンクリ ート構造物の規模が大きいため、カソード部の面積 が大きくなり、土壌側の鋼管部分(アノード)の腐 食が促進されているものと推測される.

(4) C/Sマクロセル腐食発生の判定とその特性

C/Sマクロセル腐食発生の有無は、管対地電位 -400mV以上, 電気的導通特性0.01A/m²以上, 土壤抵 抗率10~50Ω·mにより判定した.本研究での判定結 果を表-3 に示す. H地区では, 排泥工, 制水弁工お よび流量計工ほかでは,調査対象とした全てのもの でC/Sマクロセル腐食発生が有ると判定された.分 水工では、全61箇所のうち51箇所と大方のもので発 生が有ると判定された.これらは、コンクリート中 の鉄筋と鋼管とが極めて接触しやすい構造となって いるからであると考えられる. 空気弁工では、特殊 なものを除いて、C/Sマクロセル腐食発生が無いと 判定した.これは、空気弁工では一般に弁室と鋼管 とが分離した構造となっており, 弁室のコンクリー ト中の鉄筋と鋼管が接触しにくい構造となっている ためであると考えられる. なお, M地区の空気弁工 がH地区に比べ、C/Sマクロセル腐食の発生が有ると 判定した割合が高くなったのは、鉄筋コンクリート

表-4 漏水事故履歴

施 設 名 称			空気弁工	分水工	排泥工	制水弁工	流量計工ほか	全施設
漏	冰事故	(箇所)	6	8	21	1	2	38
漏和	水までの 過年数 (最小 〜最大)	(年)	⁸ ~ 17	8 ~ 19	$4 \sim 16$	11	7	4~ 19
管厚		(mm)	4.2	$\begin{array}{c} 4.5 \\ \sim \\ 6.0 \end{array}$	$\begin{array}{c} 4.5\\ \sim\\ 6.9 \end{array}$	6.9	$\begin{array}{c} 6.6 \\ \sim \\ 7.0 \end{array}$	$\begin{array}{c} 4.2 \\ \sim \\ 7.0 \end{array}$
管	資料数	(箇所)	1	5	7	1	1	15
対地電位	(最小 ~ 最大)	(mV)	-590	-500 ~ -180	-395 \sim -60	-400	-150	-590 ~ -60
	資料数	(箇所)	6	8	21	1	2	38
腐食速度	(最小 ~ 最大)	(mm/年)	$\begin{array}{c} 0.25 \\ \sim \\ 0.53 \\ 0.20 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.24 \\ \sim \\ 0.73 \\ 0.40 \end{array}$	0.31 \sim 1.13 0.62	0.63	$0.94 \\ \sim \\ 1.00 \\ 0.07$	0.24 \sim 1.13

構造となっている施設のみを調査の対象としたこと に起因しており、コンクリート基礎部の鉄筋と鋼管 とが接触しやすい構造となっている事が推察できる.

(5)C/Sマクロセル腐食発生の腐食速度特性

調査対象地区の漏水事故履歴が確認されている2 地区の全38箇所について,付帯施設別の漏水発生ま での経過年数と管厚の関係を表-4 に示す.この施 設の内,管対地電位が測定されている施設と漏水発 生までの経過年数との関係を図-6 に示した.

埋設された鋼管については、一般的な腐食速度が 0.14mm/年といわれている¹¹⁾.本研究では**表-4**のよ うに、腐食速度は0.24mm/年~1.13mm/年となってお り、調査対象地区においては、腐食が極端に促進さ れていると考えられる.この腐食の極端な速さは、 調査対象の2地区ともに、腐食性の土壌では無いこ とや構造状況から異種金属の接触等も無く、電食を 発生させる施設等も近傍に無いことから、ミクロセ ル腐食および電食によるものとは考えにくい.

図-6 は、補修前に管理者側で計測した15箇所の 管対地電位データによるものである.H地区とM地区 を比べると、地区の極端な違いは少なく概ね管対地 電位が高い施設において漏水発生に至るまでの経過 年数が短い傾向にあると考えられる.また、この15 箇所の施設のうちの13箇所の管対地電位は、C/Sマ クロセルを形成する-400mV以上の値を示している.



以上のことから,調査対象地区の付帯施設近傍の 農業用パイプラインにおける漏水発生は,C/Sマク ロセル腐食が主要因になっていると考えられる.こ れは,前述のように,多くの付帯施設においてコン クリート中の鉄筋と鋼管とが極めて接触しやすい構 造となっていることに起因しているものと推察した.

6. おわりに

本研究では、配管材が耐用年数を大幅に下回る供 用年数で管材の劣化が促進しているコンクリートパ イプライン(下水道施設)と鋼製パイプライン(農 業用パイプライン)を対象に、劣化機構を把握・評 価すると伴に、その特性についてとりまとめた.

コンクリートパイプライン(下水道施設)では, 劣化現象である,コンクリートへの硫酸(硫黄)の浸 入深さを EPMA により分析調査を行った.この結果, 硫黄浸入深さは,0nm~12nm となり劣化速度として は,0.3mm/年~0.8mm/年という劣化傾向を確認した. いずれの箇所も硫化水素の発生により,生成された 硫酸による化学的侵食が進行しているものと推察さ れ,その劣化速度は,計測した硫化水素濃度による 推定式より1.3~4.2倍の差が生じた.これは,温 度・湿度の変動による硫化水素発生濃度の差異によ るものであり,推定式の値とは異なるものの,平均 硫化水素濃度の測定値が10ppm以下の低い腐食環境 下でも硫化水素により生成された硫酸により下水道 施設の劣化を促進させることが明らかになった.

鋼製パイプライン(農業用パイプライン)では, C/S マクロセル腐食による影響を評価した.計測は, 2地区の幹線水路に付帯する施設173箇所に対して 実施し,漏水事故の履歴がある38箇所については 施設別の漏水発生までの経過年数と管厚との関係か ら鋼管の腐食速度を評価し、管対地電位と経過年数 との関係を考察した.この結果、土壌自体が鋼管の 腐食を促進させる強い要因ではないと考えられた. また、管対地電位測定の結果から、空気弁工を除い た付帯施設の72%が-400mV以上の値を示しており、 C/Sマクロセルが形成されやすい状態にある一方で、 空気弁工ではC/Sマクロセルが形成されにくい構造 であることが判明した.更に、漏水事故履歴から、 管対地電位が-400mV以上の電位を示している施設 において漏水発生に至るまでの経過年数が短い傾向 があり、C/Sマクロセル腐食が鋼管の腐食速度を大 きくしていることが推察された.

以上より,研究対象としたコンクリートパイプラ インと鋼製パイプラインでは,配管材の材質の相違 によって劣化機構が異なると同時に,劣化要因によ っては,耐用年数を大幅に低下させる速度で劣化を 進行させる事が明らかになった.

参考文献

- 防錆防食技術総覧編集委員会:防錆・防食技術総覧, 産業技術サービスセンター,1002p,2000.
- 2)伊藤久也,鈴木哲也,青木正雄,河野英一,市座政 由:既設流域下水道施設の硫化水素特性と施設劣化に 関する実証的研究,土木建設技術発表会2090概要集, pp.175-180,2009.
- 3)伊藤久也,鈴木哲也,河野英一,青木正雄:鋼製パイ プライン施設が受けるC/Sマクロセル腐食の影響評価 に関する実証的研究,土木建設技術発表会2010概要集, pp. 213-220, 2010.
- 4)森 忠洋,野中資博:コンクリート微生物腐食の診断 方法,用水と廃水,Vol.33,No.12,pp.23-28,1991.
- 5)池尾陽作:微生物によるコンクリートの劣化, コンク リート工学, Vol. 36, No. 12, pp. 35-38, 1998.
- 6)日本水道協会:水道施設設計指針2000年版,(社)日本 水道協会,781p,2000.
- 7)農林水産省構造改善局:土地改良事業計画設計基準設計「パイプライン」技術書,(社)農業土木学会,497p,1998.
- 8)松下博道,牧角龍憲,浜田秀則:硫酸塩によるコンク リートの劣化に関する基礎的研究,コンクリート工学 年次講演会論文集,第7回,pp.65-68,1985.
- 9)日本下水道協会:下水道管路施設腐食対策の手引き,(社)日本下水道協会, 89p, 2002.
- 10)日本下水道協会:下水道管路施設腐食対策の手引き,(社)日本下水道協会, pp. 49, 2002.
- 11) 電気学会電食防止研究委員会:電食・土壌腐食ハン ドブック,コロナ社,465p,1977.