コンクリート中への尿酸添加による鋼管材料の コンクリート/土壌系マクロセル腐食抑制手法の検討

中山 紀夫*, 朝倉 祝治**

* 独立行政法人 産業技術総合研究所 環境管理技術研究部門

** 横浜国立大学

A Study of Potential Methods for Controlling Macro-cell Corrosion of Buried Steel Pipes in Concrete/Soil Systems by the Addition of Uric Acid as a Concrete Admixtures.

Norio Nakayama* and Shukuji Asakura**

* *Institute for Environmental Management Technology,
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST),*

** *Yokohama National University*

Severe localized corrosion of steel pipes, buried in concrete/soil systems (known as macro-cell corrosion), is induced by cathodic reactions on those steel surfaces that are located in the concrete, accompanied by anodic reactions (i.e., corrosion) on those surfaces that are located in the soil. The addition of cathodic inhibitors to the concrete, in the form of cement admixtures, is therefore expected to be an effective means of suppressing this phenomenon. Concrete test specimens (ordinary Portland cement; water/cement ratio: 61%), containing uric acid as the inhibitor have been formulated and the inhibitory effect of uric acid on the macro-cell corrosion has been examined by the measurement, over 862 days, of the currents flowing between the steel (SGP) pipes embedded in the concrete test specimens and those buried in soil. Dry mixing of 10% uric acid by weight was shown to decrease the currents, which indicates that macro-cell corrosion can be effectively controlled by uric acid. Addition of 0.3 or 3% uric acid was ineffective. This tendency was also supported by the results of weight-loss measurements of steel pipes buried in soil. The inhibitory effect becomes more predominant as the measurement time increases (inhibition efficiencies: 64% for 0-862 days, 78-91% for 297-862days).

Key words : concrete, macro-cell corrosion, soil, steel, pipe, inhibitor, uric acid

1. 緒 言

土壌中に埋設されているガス管等の鋼管の腐食は周囲の土壌が均質な状態では緩やかに進行するが、コンクリート建築物内を貫通し土壌中に入る配管などでは数年で局部的に腐食孔があくこともあり、この現象はコンクリート/土壌系マクロセル腐食（以下、マクロセル腐食と略記する）と呼ばれている¹⁾。これは、埋設鋼管がコンクリートを貫通したりコンクリート表面と接触したりする場合に、鋼管周囲環境の pH が土壌中よりコンクリートの方が高い (pH 12.5) ため、コンクリート中の鉄鋼電位が土壌中の鉄鋼電位よりも貴となって両者の間に電池が形成され、コンクリート側でカソード反応、土壌側でアノード反応（腐食反応）が進行して両者の間に電流（以下、マクロセル腐食電流と呼ぶ）が流れ、アノード側の土壌中埋設鋼管の腐食が促進される現象である^{1), 2)}。

この対策の一つとして、コンクリート中にセメント添加剤としてカソード反応抑制剤を添加することにより、前記カソード反応を抑制しマクロセル腐食防止を図ることが考えられる。著者らはこの着想に基づき、添加剤と

して尿酸を混合したセメントを用いてコンクリート試験片を打設し、この試験片内部に埋め込んだ鋼管試験片と、同じように土壌内部に埋設した鋼管試験片の間を流れるマクロセル腐食電流を実測し、短期間（116 日間）における測定ではマクロセル腐食電流を抑制する効果があることを実証した³⁾。そこでこの結果を踏まえ、さらに継続して長期間（746 日間、前回との合計で 862 日間）にわたるマクロセル腐食電流測定を行うと共に、測定終了後、コンクリート及び土壌内部の鋼管試験片の重量減少測定を行い、尿酸によるマクロセル腐食抑制効果をさらに詳細に検討した。本報ではこの結果について報告する。

2. 実 験

2.1 コンクリート試験体

本実験は前報告の測定（116 日間）に引き続き、同じ試験体を用いて電流測定を継続して行ったもので、使用したコンクリート試験体及び電流測定装置は前報のものと同一である³⁾。この実験に使用した、内部に SGP 鋼管試験片を配置したコンクリート試験体（88×129×61 mm）の形状を Fig. 1 に、この試験体におけるセメント、粗骨材、細骨材の配合比を Table 1 に示す。コンクリートの水/セメント比は約 61% である。内部の SGP 鋼管試験片の形状を Fig. 2 に示す。これは通常黒管と呼ばれる配管用炭素鋼鋼管（SGP 管；6A、外径 10.5 mm、内径

* 〒305-8569 つくば市小野川 16-1 (16-1, Onogawa, Tsukuba, 305-8569 Japan)

** 〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79 番 5 号 (79-5, Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama, 240-8501 Japan)

6.5 mm) の黒色の表面皮膜を研磨により除去して鉄鋼材料表面を露出させ、さらに #1000 のエメリー紙で研磨したものである。これを、アセトンで超音波脱脂した後、両端をゴム栓で塞ぎ、さらに 95 mm を露出 (露出面積: 約 31.3 cm²) させて両端を塩化ビニール製絶縁テープで絶縁したものを実験に供した。土壤中に埋設するも

Fig. 1 Schematic illustration of concrete test specimen.

Table 1 Concrete mixture design.

	Water	Cement	Fine Aggregate	Coarse Aggregate
Weight (kg)	0.263	0.428	1.387	1.780
Weight Ratio (%)	6.83	11.1	35.9	46.1

Fig. 2 Schematic illustration of SGP steel pipe test specimen.

のも同一の形状のものを使用した.

コンクリート試験体は尿酸をセメント重量比 0.3, 3.0, 10%添加したもの、及び比較用としてこれを添加しないものを、それぞれ 2 個ずつ作成した。尿酸はセメント（普通ポルトランドセメント）、細骨材（鬼怒川河川敷砂）、粗骨材（3 分砂利：粒径が約 20 mm 以下のもの）中に粉末で混合し、これに純水を加えて生コンクリートを混練した。これを用いて Fig. 2 の形状に打設し、約 2 週間室温（約 23~26℃）で封緘養生したものを、試験体として使用に供した。

2.2 測定方法

Fig. 3 に示すように、樹脂製試験槽 (580×490×180 mm) 内部に土壌 (砂質細粒土) を 70 mm の深さで充填し、この中に Fig. 2 の形状の SGP 鋼管試験片を埋設 (土壌表面より深さ 60 mm) した後、この真上に前節で作成した各濃度の尿酸を含むコンクリート試験体をそれぞれ設置した³⁾。これらのコンクリート試験体それぞれについて、試験体内部に埋めこまれた SGP 鋼管試験片と土壌中の SGP 鋼管試験片とを Fig. 4 に示すように時間制御機能を持つリレーを備えた計測システムに結線し、両者の間を流れるマクロセル腐食電流を測定した。このリレーは、8 個の SGP 鋼管試験片を順次、1 日に 1 度、同時刻に、45 分ずつ無抵抗電流計に接続してマクロセル腐食電流を測定するものであり、この測定結果は記録用コンピ

Fig. 3 Schematic illustration of test container.

Fig. 4 Schematic illustration of method used for measurement of macro-cell corrosion current.

ュータに記録される。測定を行っていない間、それぞれのコンクリート試験体内部のSGP鋼管試験片とこれと対をなす土壌中の鋼管試験片は導通されたままであり、測定を行う際にはそのまま無抵抗電流計に接続される仕組みとなっている。このため両試験片の間の導通は常に保たれ、電流が遮断されることによりマクロセル腐食反応が阻害されることはない。実験はすべて室温で実施し、試験槽の温度制御は行わなかった。実験期間中、K熱電対を用いて室温の変化を測定し、マクロセル腐食電流値と共に記録した。電流値の測定は通算で862日間経過するまで実施した。測定終了後コンクリート中のSGP鋼管試験片の目視観察や土壌中の試験片の重量減少測定を行い、マクロセル腐食抑制効果を詳細に検討した。重量減少の測定は、試験片表面のさびを可能な限り機械的に除去し、残った酸化被膜を0.07 mol/dm³のヘキサメチレンテトラミンを含む3NのHCl水溶液に50℃で3.5分間浸漬して溶出させた後⁴⁾、実施した。土壌の乾燥を防ぐために、乾燥状態にあわせて、適宜、純水を樹脂製試験槽内部に散水(122, 196, 220, 224, 239日目に1200, 1500, 7000, 2500, 2500 cm³)した。さらに、239日以降は自動注水装置を用いて1~2日おきに約250 mlの純水を樹脂製試験槽内部の土壌中に注入した。マクロセル腐食電流の測定には北斗電工製HM-104型無抵抗電流計を用いた。また土壌体積含水率の測定にはDAIKI製のDIK-311A型土壌水分計を用いた。

3. 結果および考察

3.1 マクロセル腐食電流測定結果

0.3%, 3.0%, 10%の尿酸を添加したコンクリート試験体について全期間(0~862日、前報の測定期間116日分含む)におけるマクロセル腐食電流の測定結果(露出部単位面積あたりに換算した電流密度)をFig. 5~7に示す。同図においては比較のために尿酸を添加しないコンクリ

Fig. 5 Electric currents flowing between SGP steel pipe test specimens. (0-862 days; 0 and 0.3% uric acid dosage)

Fig. 6 Electric currents flowing between SGP steel pipe test specimens. (0-862 days; 0 and 3.0% uric acid dosage)

Fig. 7 Electric currents flowing between SGP steel pipe test specimens. (0-862 days; 0 and 10% uric acid dosage)

ート試験体の測定結果も併せて示し、また、コンクリート試験体から土壌方向への電流を正の値として表示している。連続注水開始前(0~239日)においては試験槽に散水した直後、一時的に急激な電流の増大が見られたが、連続注水開始後(239日以降)は土壌中の含水率が安定するとともに比較的安定した電流が得られた。この電流がほぼ安定した期間(297~862日)におけるマクロセル腐食電流密度の測定結果を Fig. 5~7 の下部に、さらに詳細に示した。連続注水以前の測定値と比較してすべての試験体で電流値が増大する傾向があるのは、土壌への注水頻度を増大させたことに伴い、土壌の含水率が増大したことに起因すると考えられる。測定期間中の土壌の体積含水率の変化を Table 2 に示す。表中、測定位置(a), (b)は Fig. 3 に示す位置に対応している。連続注水前(122日)に比較し、連続注水後(329~862日)においては14%程度体積含水率が増大しており、これに伴い土壌の比抵抗が減少し、電流値が増大したものと考えられる。測定位置(a)と(b)における体積含水率の差は小さく土壌含水率は試験槽内部でほぼ均一と予想されるので、各試験体の電流値を相対的に比較するうえで、特に問題はないと考えられる。いずれの試験体についても約500~640日の期間に電流の減少が見られるが、これはこの期間が冬季に当たり、室温が低下したためと考えられる。今回の測定では尿酸を10%添加したコンクリート試験体については二体とも安定したマクロセル腐食電流抑制効果が見られた反面、添加量が3.0%以下の場合には、明瞭な電流抑制効果が見られなかった。

Table 2 Changes in volumetric moisture of soil in test containers.

Elapsed Time (days)	Measurement Position*1	
	(a)	(b)
122	0.323	0.307
329	0.430	0.418
356	0.446	0.409
799	0.426	0.429
862	0.446	0.439

*1: positions illustrated in Fig.3

腐食抑制効果を定量化しさらに詳細に特性を検討するため、前報告と同様に電流に基づくマクロセル腐食抑制率(マクロセル腐食電流抑制率) I_c (%) を式(1)により定義する³⁾。

$$I_c = 100(i_m^0 - i_m) / i_m^0 \quad (1)$$

ここに、 i_m^0 及び i_m は尿酸添加前及び添加時におけるマクロセル腐食電流の実測値(鉄鋼露出部表面積より換算した電流密度; A/cm²)である。Fig. 7 の電流密度実測値(尿酸10%添加)を用いて求めた I_c の値(経時変化)を Fig. 8 に示す。ここで i_m^0 には当該時刻における尿酸無添加の試験体(A), (B)の電流密度測定値を平均した値を用いている。10%の添加によって、2個の試験体とも全期間を通じ、良好な電流抑制効果が得られた。 I_c は時間の経過とともに上昇しており、抑制効果は長期にわたり持続するものと予想される。同図で試験体(B)においては、 I_c が一時的に100%を超える期間(593~675, 722~742, 798~862日経過時)があるが、これは Fig. 7 において、同時期に一時的に負方向(土壌よりコンクリート試験体方向)の電流が観測されることに対応している。これは、この期間においては、通常とは逆に、コンクリート側のSGP鋼管試験片がアノードとなり、コンクリート内部の試験片のマクロセル腐食が進行していることを示しているが、後述するようにこの腐食量は軽微であり、また負方向の電流は時間とともに減少する傾向を見せているので、実用上大きな問題は生じないものと予想される。

Fig. 8 Inhibition efficiency evaluated from the macro-cell corrosion current (I_c) as a function of time (10% uric acid dosage).

Fig. 9 Relationship between inhibition efficiency and uric acid dosage to the concrete test specimens. (I_c : Efficiency evaluated from macro-cell corrosion current; I_w : efficiency evaluated from weight loss.)

各尿酸添加量の試験体について、Fig. 5～7の全期間(862日間)における電流密度の平均値から式(1)により求めた I_c の値(I_c の尿酸添加濃度依存性)をFig. 9に示す。ここで、 i_m^0 には尿酸を添加しない試験体について求めた全期間における電流密度の平均値(試験体(A): $0.57 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, 試験体(B): $0.43 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)を、さらに平均した値($0.50 \mu\text{A}/\text{cm}^2$)を用いている。また、負方向の電流値は土壌中のSGP鋼管試験片のマクロセル腐食を促進しないため、これを0と補正して平均電流値を求めている。3%以下の添加では抑制効果が不安定であるが、10%の添加では安定した抑制効果(試験体(A), (B)とも約64%)が得られた。同図には、10%添加の試験体について297～862日間のみの電流値を用いて同様に求めた I_c の値も併せて示した。 I_c の値は全期間よりも増大(試験体(A): 78%, 試験体(B): 91%)しており、経時的に抑制効果が増大することと対応している。これらのマクロセル腐食電流測定結果から、尿酸を10%添加することによりマクロセル腐食を効果的に抑制することが可能であると考えられる。

3.2 SGP鋼管試験片の目視観察及び重量減少測定結果

3.2.1 土壌中のSGP鋼管試験片

長期試験終了後(862日経過後)における土壌中のSGP鋼管試験片は褐色の酸化被膜に覆われ、この被膜を除去した鉄鋼母材表面は全面腐食を呈しており、孔食はほとんど見られなかった。SGP鋼管試験片の重量減少実測結果 W_g (露出部単位面積あたり; g/cm^2)をTable 3に示す。(A), (B)などの表記はFig. 5～7の図中の試験体のものと対応している。式(1)と同様に重量減少に基づくマクロセル腐食抑制率 $I_w(\%)$ を式(2)により定義する。

$$I_w = 100(W_g^0 - W_g)/W_g^0 \quad (2)$$

ここに、 W_g^0 及び W_g は尿酸添加前及び添加時における露出部単位面積あたりの

重量減少測定値(g/cm^2)である。 I_w の計算にあたり、 W_0 には尿酸を添加しない試験体(A), (B)における値の平均値($0.075 \text{ g}/\text{cm}^2$)を用いた。 I_w の尿酸添加濃度依存性をFig. 9に示す。尿酸添加量が3.0%以下のものについては重量減少に抑制効果が見られなかったが、10%添加したものについては重量減少が抑制され、 I_c と同様の傾向が見られた。

Fig. 9で全体的に I_w の絶対値が I_c より小さい傾向を示すのは、実測された重量減少(W_g)にはマクロセル腐食以外にミクロセル腐食に起因するものも含まれているためと考えられる。これを考察するため、各コンクリート試験体に対する測定全期間(0～862日)におけるマクロセル腐食電流密度の平均値から式(3)により腐食減量 W_i (g/cm^2)を求めた。この結果をTable 3に併せて示す。

$$W_i = i_{av} M_{Fe} T / (2F) \quad (3)$$

ここに、 i_{av} はマクロセル腐食電流密度の全期間における平均値(A/cm^2)、 F はファラデー定数、 M_{Fe} は鉄の原子量(55.85)、 T は反応時間(862日; 74476800 s)である。前節でFig. 9の I_c を求めた場合と同様に、平均電流値を算出するに当たり、負方向の電流(コンクリート側がアノードとなる)は土壌中のSGP鋼管試験片の腐食を促進しないため、これを0として求めている。Table 3には W_i と実測の重量減少 W_g との比 R_w の値(W_i/W_g)も併せて示した。 R_w は0.06～0.17で、これはマクロセル腐食よりもミクロセル腐食による腐食減量が大きかったことを示している。また、尿酸無添加の場合についてSGP鋼管試験片の重量減少から鉄の密度 $7.87 \text{ g}/\text{cm}^3$ を用いて減肉速度を求めると、試験体(A), (B)とも約 $0.04 \text{ mm}/\text{y}$ で、この値は土壌中における鋼管の通常の腐食(ミクロセル腐食)によるもの(最小 $0.0036 \text{ mm}/\text{y}$, 最大 $0.064 \text{ mm}/\text{y}$, 平均で $0.02 \text{ mm}/\text{y}$ 程度)⁶⁾と同程度であった。このように今回の実験条件では、マクロセル腐食よりもミクロセル腐食による腐食減量のほうが支配的であったため、Fig. 9で、 I_w には I_c に比べ、マクロセル腐食抑制に伴う腐食抑制効果が現れにくかったものと考えられる。

3.2.2 コンクリート試験体中のSGP鋼管試験片

コンクリート試験片内部のSGP鋼管試験片の目視観察結果をTable 4に示す。0.3%を添加した試験片(B), 及

Table 3 Averaged macro-cell corrosion currents and weight losses estimated from the currents (0-862 days).

Uric Acid Dosage to Concrete Test Specimen	Weight Loss (measurement) (W_g ; g/cm^2)	Averaged Current (i_{av} ; $\mu\text{A}/\text{cm}^2$)*1	Weight Loss (Estimated from Current) (W_i ; g/cm^2)	R_w (W_i/W_g) (-)
No Dosage (A)	0.074	0.57	0.012	0.17
No Dosage (B)	0.076	0.43	0.009	0.12
0.3% Uric acid (A)	0.087	0.54	0.012	0.13
0.3% Uric acid (B)	0.075	0.47	0.010	0.13
3.0% Uric acid (A)	0.083	0.63	0.014	0.16
3.0% Uric acid (B)	0.079	0.41	0.009	0.11
10% Uric acid (A)	0.053	0.18	0.004	0.07
10% Uric acid (B)	0.068	0.18	0.004	0.06

*1: Currents less than zero are converted to 0 for the estimation of weight losses.

び10%を添加した試験片(A), (B)でそれぞれ露出面積の約2, 6, 12%, いずれも試験片端部に褐色の変色が見られたが, これ以外のものについては全面腐食, 孔食, 変色とも認められなかった. 変色の見られた試験片を土壤中の鋼管試験片と同様に酸洗い処理して変色部を除去したところ孔食や識別可能な腐食損傷は認められなかった. また, 最も変色面積の大きい10%添加試験片(B)でも有意差以上(約0.25 g; 8 mg/cm²)の重量減少は観測されず, この変色はコンクリート中の鋼管を使用する上で特に大きな影響はないと思われる.

この変色の原因について詳細は検討中であるが, 3.1節で述べたように, 10%の尿酸を添加した試験体では負方向の電流が観測され, 一時的にコンクリート試験体内部の鋼管試験片でマクロセル腐食が進行したこととの関連が考えられる. W_f を求めたものと同じ手法でこの電流による腐食減量を求めると, 10%添加時の試験体(A)で約1.6 mg (0.051 mg/cm²), (B)で約7.3 mg (0.23 mg/cm²)である. これから求めた露出部の減肉深さは試験体(A)で約 6.5×10^{-5} mm, (B)で約 3.0×10^{-4} mmであり, また, この電流が変色部の面積((A):露出面積の6%, (B):12%)に集中して流れた場合でも, 減肉深さは 1.1×10^{-3} 及び 2.5×10^{-3} mmである. これらの値は, 前記の土壤中における鋼管の通常の腐食(ミクロセル腐食)に対する減肉速度より求めた862日間の減肉深さ(最小 1.5×10^{-3} mm, 最大 2.7×10^{-2} mm, 平均 8.5×10^{-3} mm程度)と比較しても小さく, また前記の通りこの電流は減少する傾向を見せていることを考慮すると, この電流がSGP試験片の腐食の原因であった場合でも, 実用上特に問題はないと思われる. コンクリート模擬水溶液(飽和Ca(OH)₂水溶液)を用いた検討で⁷⁾, 水溶液中の尿酸濃度が極めて高濃度の場合は, この中に浸漬した鉄鋼表

面のカソード反応が抑制される反面, アノード反応が加速される現象が見られており⁷⁾, 負方向の電流の発生はこれと関連があることも考えられる. 今回の測定では, 10%添加の場合には負方向の電流が見られたが, 3%以下の添加の場合にはこの電流は見られなかった. このため, 3~10%の間に負方向の電流を生ずることなく, かつ効果的にマクロセル腐食を抑制することのできる, さらに最適な尿酸添加量が存在する可能性もあると考えられる.

また, このほかの原因として, SGP鋼管試験片の変色は0.3%の試験体(B)のように負方向の電流が観測されないものにも見られ, また, 変色は試験片両端に集中する傾向を見せていることから, かぶり厚の小さい両端部では水の浸透により試験片周囲の間隙水のpH値が低下したために, 腐食が進行した可能性も考えられる.

以上のように, 今回の検討により尿酸をセメント重量比で10%添加することにより効果的に土壤中のSGP鋼管試験片のマクロセル腐食を抑制できることを確認することができ, また, 尿酸添加がコンクリート内部のSGP鋼管試験片に実用上問題となるような支障を引き起こさないことが分った. 本手法は, 埋設配管がコンクリート建築物の床, 土間などを鉄筋と接触することなく貫通する場合や, 犬走り(建築物屋外の回廊)の下部などで配管の上部がコンクリート内に埋め込まれた状態で土壤中に埋設されている場合など, 比較的小規模の設備で, 従来の絶縁継ぎ手などが使用できない事例には特に好適に適用できるものと考えられる.

4. 今後の予定

今回の実験条件では, マクロセル腐食よりもミクロセル腐食による腐食減量のほうが支配的であり, SGP鋼管試験片の重量減少測定結果には顕著なマクロセル腐食抑制効果が現れなかった. これについては, 土壤の体積含水率を上昇させたり土壤中のSGP鋼管試験片をコンクリート試験体により近接させて埋設することなどにより, 土壤中とコンクリート中のSGP鋼管試験片間の電気抵抗を減少させ, マクロセル腐食電流を増大させた条件で実験を行うことによって, 明瞭な抑制効果が得られるよう改善できるものと考えられるので, 今後実施する予定である. また, 前章で述べたような, 負方向の電流を生じず, 効果的にマクロセル腐食を抑制することのできる最適な尿酸添加量の探索実験や, コンクリート中のSGP鋼管試験片の変色の原因が鋼管試験片両端部からの水の浸透によるものか否かを明らかにすることを目的とした, 両端部のかぶり厚を大きくしたコンクリート試験体を用いた実験も行う予定である. さらに, 実用化に向けた, 実規模に近い条件での性能実証試験も実施していく予定である.

5. 結 言

尿酸をセメントに添加することにより, コンクリート内部の鉄鋼表面のカソード反応を抑制し, これと導通する埋設鋼管材料のコンクリート/土壤系マクロセル腐食を抑制する手法について, コンクリート試験体と土壤を

Table 4 Visual observation and weight losses of SGP steel pipe test specimens embedded in concrete after electrical connection with those in soil for 862 days.

Uric Acid Dosage to Concrete Test Specimen	Visual Observation	Weight Loss*1 (g/cm ²)
No Dosage (A)	No Corrosion	—
No Dosage (B)	No Corrosion	—
0.3% Uric acid (A)	No Corrosion	—
0.3% Uric acid (B)	Brown Rust (2 % of the surface area) No Pitting	—
3.0% Uric acid (A)	No Corrosion	—
3.0% Uric acid (B)	No Corrosion	—
10% Uric acid (A)	Brown Rust (6 % of the surface area) No Pitting	—
10% Uric acid (B)	Brown Rust (12% of the surface area) No Pitting	Less than Detection Limit (<0.008)

*1: measurements were performed only for the specimen (B) of 10% dosage.

用いた検討を行った。尿酸を添加したコンクリート試験体（水/セメント比：61%）内部のSGP鋼管試験片と、土壌に埋設したSGP鋼管試験片との間に流れるマクロセル腐食電流変化を862日間実測することにより、尿酸をセメント重量比で10%添加することによりマクロセル腐食電流が抑制されること（0～862日間の電流抑制率：約64%）を確認した。この抑制効果は時間と共に増大する傾向が見られた（297～862日間の電流抑制率：78～91%）。0.3%及び3.0%の添加では安定した抑制効果が見られなかった。電流測定終了後に土壌中の鋼管試験片を回収して腐食減量を実測した結果でも同様の傾向が見られた。10%尿酸を混合したコンクリート試験体では一部の期間に逆方向の電流（土壌側からコンクリート側；コンクリート内部の鋼管試験片でマクロセル腐食が進行することに対応）が観測されたが、この電流に相当する腐食減量は軽微（約0.051～0.23 mg/cm²）と考えられ、目視観察上も孔食などの腐食損傷は観測されず、また、電流も時間とともに減少する傾向を示しているため、特に

実用上問題はないと予想される。これらから尿酸を10%添加することにより、土壌中埋設鋼管のマクロセル腐食を効果的に抑制することが可能と考えられる。

参 考 文 献

- 1) M. Yamakawa, *Kukichowa-Eiseikougaku*, **59** [1] 63 (1985).
- 2) B. Husock, *Corrosion*, **17**, 391t (1961).
- 3) N. Nakayama, S. Asakura, *Zairyo-to-Kankyo*, **57**, 449 (2008).
- 4) K. Mabuchi, T. Kikuchi, H. Midorikawa and M. Aizawa, *Zairyo-to-Kankyo*, **45**, 526 (1996).
- 5) G. Okamoto, S. Matsuda and I. Matsushima, "Fushokuhan-nou to sono seigyō," (腐食反応とその制御), Sangyo Tosho, p.430 (2002).
- 6) I. Matsushima, *Boshoku-Gijutsu* (presently *Zairyo-to-Kankyo*), **25**, 563 (1976).
- 7) N. Nakayama and A. Obuchi, *Electrochemistry*, **73** [5] 339 (2005).

(Manuscript received May 27, 2009;
in final form July 29, 2009)

要 旨

コンクリート内部の鋼管との導通により生ずる土壌埋設管のマクロセル腐食（C/Sマクロセル腐食）を、尿酸をセメント添加剤として混合することにより抑制する手法を検討した。尿酸を添加したコンクリート試験体内部の鉄鋼試験片と、土壌中の鉄鋼試験片の間を流れる電流の実測（862日間）及び土壌埋設鋼管の重量減少測定実験により、効果的に上記腐食が抑制されることを確認した。

キーワード コンクリート, マクロセル腐食, 土壌, 鋼管, 腐食抑制剤, 尿酸