

JSMCWMTS0102 連続調整式 pH 依存性試験 解説 (案)

JSMCWMTS0103 初期添加式 pH 依存性試験 解説 (案)

<連続調整式の場合>

この解説書は、廃棄物学会試験技術仕様「JSMCWMTS0102 連続調整式 pH 依存性試験」(以下、本試験規格と言う)に関して有用と思われる情報を記述したものである。なお、この解説書は、本試験規格の一部ではない。

目次

1 本試験規格制定の趣旨 (環境最大溶出可能量試験と共通内容)

2 試験条件設定の考え方

3 試験データ集 (参考情報)

4 試験条件の影響に関する検討 (参考情報)

5 予備滴定試験による試薬条件決定方法の検討 (参考情報)

6 初期添加方式での攪拌方法の影響の検討 (参考情報)

(5と6は初期添加式のみ。他は、連続調整式と初期添加式共通。4~6を4章としてまとめる?)

1. 本試験規格制定の趣旨

1.1 システム規格提案の背景

循環型社会の構築に向けて、発生が避けられない廃棄物や副産物（合わせて「循環資源」と呼ぶ）の利用の推進がなされているが、その中でも特に、土石類の代替を主な用途とする「土石系循環資源」は、発生量が極めて膨大であるため、環境安全品質の確保を確実にいき、社会に着実に受け入れられて行かなければならない。

土石系循環資源の環境安全品質確保のための評価法については、影響を受ける媒体が主に土壌・地下水であることから、「環告 46 号」^aや「スラグ JIS 試験」^bなどの判定試験が用いられている。これらの判定試験はシンプルな単一バッチ試験^cであり、環境安全品質の管理という側面において必要十分な機能を発揮すると思われる。一方、土石系循環資源や、それを材料として使用した再生製品や施工現場（「建設系再生製品」または単に再生製品と呼ぶ）の長期的な安全性に対する答えとして、シンプルな判定試験を補完し、様々な使用環境条件や使用期間に対する環境影響の評価方法の開発が求められている。

なお EU では、建設製品指令 基本的要件第 3 項に基づき、天然資源や循環資源に関わらずあらゆる建設製品の環境安全品質評価法を策定するための取り組みが進められている。その成果として、建設製品の様々な使用環境シナリオに対して、既に欧州標準化機構（CEN）で規格化されている pH 依存性試験などの特性化試験を割り当てた評価ガイドラインが提示される予定である¹⁾。

本試験規格をはじめとする一連の特性化試験規格群は、このような EU の考え方を参考とし、建設系再生製品中に含まれる重金属類等無機物質の溶出による土壌・地下水への影響を詳細に評価するための手順を示そうとするものである。規格群は、各試験を適用し評価するための「評価フレーム」と、その中に位置づけられる個々の「試験規格」で構成される。個々の試験規格は評価フレームに基づいて適用することの他、単独での適用においても、それぞれの試験の持つ意義は失われるものではない。

(2008/09/03)

1.2 pH 依存性試験の目的

pH は、ある注目成分の溶出挙動に対する最も重要な影響因子の一つである。pH 依存性試験の目的は、pH を横軸とする注目成分の化学平衡濃度のカーブ（pH 依存性曲線）を得ることである。これにより、環境中において pH が変化した際の溶出挙動を推定することが可能となる。さらに、溶出液と試料との間に化学平衡が成立しているとの仮定のもと、溶出濃度データを geochemical モデルへ入力することにより、多様に変化する環境条件における溶出挙動のより精密な予測計算が可能となる。

^a 平成 3 年環境庁告示第 46 号「土壌の汚染に係る環境基準について」付表

^b JIS K 0058 「スラグ類の化学物質試験方法」

^c 溶出操作（一定量の溶媒と一定量の試料を混合した後、これらの分離を行う一連の操作）を 1 回のみ行う試験方法

2. 試験条件設定の考え方

2.1 基本条件の考え方

pH 依存性試験はアベイラビリティ試験（環境最大溶出可能量試験）とともにオランダを中心とする欧州で開発され、1995年に酒井ら²⁾によって紹介された。両試験は、pHによる影響を評価しようとする点は共通であるが、お互いのコンセプトは異なるため、それぞれを理解し、適切に条件設定を行うことが肝要である。すなわち、pH 依存性試験は試料と溶媒との化学平衡関係によって決まる溶出濃度（mg/L）を求めることを目的とする^{d)}のに対して、環境最大溶出可能量試験は溶解度などの化学平衡による制限を出来る限り受けない環境下において、試料から溶出しうる最大量、すなわち最大溶出可能量（mg/kg）を求めることを目的とする。

本試験規格の基本的な試験条件は、以上のような化学平衡の到達を目指すという考え方から、次のように設定した。

(1) 液固比

溶出成分の潤滑を免れるために、低めに設定するのが望ましい（環境最大溶出可能量試験の逆である）。低液固比条件は、土石系循環資源は路盤を含めた地盤材料や、コンクリートやアスファルトの骨材として実環境中で使用される場合が多いことから、より近い条件との見方も可能である。ただし、pH 依存性試験は極端な pH での試験も行うため、溶媒量を過度に抑えると、高濃度の試薬が大量に必要となり、場合によっては発熱や有害ガス発生などの恐れがある。そこで本試験規格では、これらのバランスを考慮し、液固比は 10 L/kg とした。

(2) 試料粒子径

溶媒と溶出成分との化学平衡により速やかに近づけるためには、試料表面積は大きい方が望ましい。特に、コンクリート二次製品等については、粉砕を行い、粒度調整することが必要である。しかし、粉砕操作によって新たに露出した表面の特性次第では、化学平衡関係に影響する可能性もある。そこで、本試験規格の検討過程では粒度調整の影響について検討が行われた（本解説「4 試験条件の影響に関する検討」参照）。その検討の結果を踏まえ、1 mm 以下に粉砕した試料を用いることとした。

(3) 溶出時間

溶出時間は、長時間に設定するほど、化学平衡に近づけることは可能であるが、実用的な時間内に試験を終了することも必要である。そこで、本試験規格の検討過程では、溶出時間の影響についても最大 48 時間の範囲で検討を行った（本解説「4 試験条件の影響に関する検討」参照）。さらに、Dijkstra³⁾らは 168 時間までの範囲で検討を行っている。両者の結果を踏まえて、溶出時間は 48 時間に設定した。

^{d)} BS EN/TS 14429:2005 Leaching behavior tests – influence of pH on leaching with initial acid/base edition に明記されている。

2.2 連続調整方式と初期添加方式について

欧州規格（European Norm, EN）では、pH 依存性試験は「初期添加方式」^eと「連続調整方式」^fの2つの方式が“技術仕様（Technical Specification, TS）”として規格化されている^g。廃棄物学会試験規格ではこれらの試験方法をベースとし、初期添加方式（JSMCWM-TS0102）と連続調整方式（JSMCWM-TS0103）の2種類の技術仕様を策定した。今後、試験データの蓄積を重ね、精度評価を実施することにより、正式規格化を目指すことが望まれる。

表 A-2 に、2 方式の概要を示す。

初期添加方式は、溶出操作の初期段階（開始から4時間まで）に pH 調整試薬の添加を行い、その後は試薬添加を行わず、攪拌のみを継続するバッチ試験である。そのため、最終的にねらいとする pH を得るための試薬添加量を予測するための予備滴定試験を行う必要があり、また、pH が外れた場合は追加の試験を実施する必要がある一方で、その長所として、反復振とう装置で実施できるため、複数条件を同時に実行するのが比較的容易であることが挙げられる。

それに対して、連続調整方式は、溶液の pH を監視し pH 調整試薬を自動滴下するための装置が必要である。そのため、同時実行可能な検体数は装置数に依存し、必要なバッチ数を実施するために相応の日数を必要とするが、所定の pH にコントロール可能されるため、追加試験をほとんど行わずに着実に試験を完了できる。

なお、両試験の結果の互換性については未確認のため、正式規格化の際には共通試料により相互比較を図ることが望まれる。

表 A-2 pH 依存性試験の方式比較

	初期添加方式 CEN/TS 14429	連続調整方式 CEN/TS 14997
求める pH 範囲と点数	4 より小さい値から 12 より大きい値の範囲で、8 点以上	同左
主な溶出条件	試料粒径 1 mm 以下、 液固比 10±1 以内、 溶出操作時間 48 時間	同左
試薬添加方法	あらかじめ予備試験を行い、試薬添加量を決定する。 本試験開始から4時間後までに試薬を全て添加する。	pH 連続調整装置を用いて pH を連続的にモニタリングし、一定範囲内となるように試薬を滴下する。

^e CEN/TS 14429

^f CEN/TS 14997

^g正式規格（EN）と TS の決定的な相違は、精度評価の実施／未実施の点である。

3 試験データ集 (参考情報)

pH 依存性試験は試料粒径や溶出時間など試験条件に若干の差異があるものの、試験データは比較的豊富である。ここでは参考情報として、一般製品および循環資源 26 種類の pH 依存性試験データがとりまとめられている「スラグ等再生利用促進調査」平成 14 年度報告書（国立環境研究所 平成 14 年度環境省受託業務）のデータを掲載した。

試験は pH 監視自動滴定装置を用いた連続調整方式で行われた。液固比は最終的に約 10 となるように調整され、溶出時間は 6 時間とされた点が本試験規格と異なっている。溶出液の pH は 4、6、8、10、12 および 13 に設定されている。

表 A-3 に、実験に用いた試料の蛍光 X 線法による含有量分析データを示す。表 A-4 に、各試料の pH 依存性試験結果を示す。

表 A-3 含有量分析データ

試料		普通ポルトランドセメント	エコセメント	転炉スラグ	高炉除冷スラグ	高炉水砕スラグ	標準砂	骨材(細砂、コンクリート用)	骨材(アスコ用再生砕石)	普通レンガ	アスファルト(密粒度)
Al	%	2.0	2.7	1.7	4.4	1.2	0.02	5.9	6.4	7.3	5.8
Ba	%	0.01	0.05	0.00	0.06	0.01	0.00	0.04	0.06	0.02	0.05
Ca	%	44	41	32	28	34	0.01	2	2	0.070	10
Cl	%	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Co	%	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Cr	%	0.01	0.03	0.12	0.01	0.07	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02
Cu	%	0.02	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	%	1.9	2.1	16	0.41	9.7	0.02	2.7	3.0	3.6	4.5
K	%	0.24	0.00	0.00	0.14	0.01	0.01	0.91	1.28	0.87	1.34
Mg	%	0.89	1.0	2.3	2.5	1.7	0.00	0.89	0.80	0.19	1.7
Mn	%	0.08	0.06	2.03	0.29	4.22	0.00	0.05	0.07	0.00	0.08
Na	%	0.3	0.4	0.1	0.2	0.4	0.00	1.6	1.8	0.1	1.4
Ni	%	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	%	0.05	0.26	0.71	0.02	0.85	0.00	0.02	0.04	0.00	0.04
Pb	%	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
S	%	0.87	2.26	0.04	0.82	0.20	0.00	0.01	0.00	0.00	3.37
Si	%	10	8	6	14	10	47	33	33	40	27
Sn	%	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	%	0.03	0.04	0.02	0.04	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03
Ti	%	0.12	0.28	0.15	0.20	0.54	0.05	0.16	0.20	0.46	0.28
V	%	0.00	0.01	0.10	0.01	0.09	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01
Zn	%	0.05	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Zr	%	0.03	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.02
Sb	%										

試料		尿処理汚泥	都市ごみ厨芥	鶏糞	普通ガラス	硬質ガラス	舗装用カレット	フロントガラス	鉛ガラス	インターロッキングブロック(スラグ入り)	インターロッキングブロック(スラグなし)	コンクリート平板
Al	%	1.99	0.32	0.07	0.7	1.1	0.7	0.6	0.041	5.0	5.3	3.5
Ba	%	0.69	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.01	4.90	0.06	0.05	0.15
Ca	%	4.72	13.6	14.9	5.4	0.01	6.8	5.1	0.16	14	13	27
Cl	%	0.22	2.09	0.52	0.01	0.04	0.01	0.01		0.00	0.00	0.32
Co	%	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00
Cr	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.01	0.01	0.06
Cu	%	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.03	0.09
Fe	%	18.4	0.90	0.27	0.06	0.01	0.02	0.27		2.4	3.0	2.1
K	%	0.62	3.89	4.37	0.50	0.37	0.51	0.36	1.4	0.81	0.77	0.29
Mg	%	1.03	0.68	0.87	2.4	0.0	0.1	2.3		1.2	1.4	1.0
Mn	%	0.04	0.04	0.08	0.00	0.00	0.00	0.01		0.05	0.05	0.06
Na	%	0.77	1.54	0.52	9.4	2.7	9.3	9.6	0.41	2.1	1.9	1.4
Ni	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
P	%	8.35	1.15	2.41	0.00	0.00	0.00	0.00		0.07	0.11	0.46
Pb	%	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	55.00	0.00	0.00	0.01
S	%	1.74	0.95	0.98	0.07	0.00	0.04	0.05		0.29	0.39	0.44
Si	%	2.86	0.96	0.36	33	40	32	31	15	24	25	14
Sn	%	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01		0.01	0.01	0.01
Sr	%	0.04	0.02	0.03	0.01	0.00	0.01	0.00		0.05	0.04	0.03
Ti	%	0.08	0.03	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01		0.19	0.23	0.34
V	%	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.01	0.01	0.01
Zn	%	0.16	0.02	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.04	0.11
Zr	%	0.01	0.00	0.00	0.01	0.04	0.01	0.00	0.24	0.01	0.01	0.01
Sb	%							0.20				

表 A-4 (1) ポルトランドセメント、エコセメント

試験方法	粒径	ポルトランドセメント 粉体						エコセメント 粉体					
		pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13	pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13
pH													
EC	mS/m												
ORP	mV												
Al	mg/L	2.2	0.16	0.12	0.23	0.44	0.05	0.17	0.12	0.15	0.22	0.31	0.02
As	mg/L												
B	mg/L	0.7	0.56	0.19	0.22	0.034	0.01	1.8	1.0	0.86	0.61	8.0	16
Ba	mg/L	1.4	1.2	1.8	2.7	0.27	0.13	1.6	2.0	1.2	0.39	0.094	0.03
Be	mg/L												
Ca	mg/L	24000	24000	6800	12000	2200	620	19000	17000	12000	11000	2500	720
Cd	mg/L	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cr	mg/L	0.002	0.011	0.095	0.15	0.17	0.20	0.004	0.29	0.56	0.60	0.29	0.15
Cu	mg/L	0.27	0.012	0.004	0.005	0.001		0.16	0.016	0.003	0.003	0.010	0.014
Fe	mg/L	7.9	0.01	0.005	0.002	0.002	0.001	0.031	<0.001	<0.001	<0.001	0.051	<0.001
K	mg/L	330	330	300	270	290	300	14	11	11	9.3	8.6	16
Mg	mg/L	340	360	41	24	0.4	0.014	110	87	75	26	0.24	0.007
Mn	mg/L	5.9	5.5	0.16	<0.001	<0.001	<0.001	1.9	0.5	0.097	<0.001	0.001	<0.001
Mo	mg/L	0.22	0.43	0.99	0.95	1.5	1.2	0.81	0.28	0.081	<0.002	<0.002	<0.002
Na	mg/L	160	180	77	83	100	1300	250	210	160	150	78	2500
Ni	mg/L	0.24	0.24	0.025	0.011	<0.002	<0.002	0.81	0.28	0.081	<0.002	<0.002	<0.002
Pb	mg/L	0.016	<	<	<	<	0.077	<	<	<	<	<	0.011
Se	mg/L	<	<	<	<	<	<						
Si	mg/L	31	17	38	18	6	0.3	46	31	36	17	2.8	0.1
Sr	mg/L	7.3	7.5	3.2	5.3	1.5	0.64	7.5	6.6	6.6	6.6	2.5	1.4
Zn	mg/L	3.4	0.19	<	0.001	<	0.024	2.7	0.067	0.001	0.002	0.007	0.081

表 A-4 (2) 転炉スラグ、高炉スラグ (徐冷)

試験方法	粒径	転炉スラグ						高炉スラグ (徐冷)					
		pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13	pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13
pH													
EC	mS/m												
ORP	mV												
Al	mg/L	0.68	0.07	0.70	0.07	0.43	0.25	6.3	0.34	0.16	0.05	0.19	0.29
As	mg/L												
B	mg/L	0.22	0.15	0.17	0.12	0.085	0.096	1.3	0.7	0.56	0.14	0.14	0.12
Ba	mg/L	0.2	0.075	0.088	0.12	0.14	0.071	0.15	0.15	0.2	0.075	0.057	0.063
Be	mg/L												
Ca	mg/L	3300	2600	2800	2500	2100	490	1800	940	660	190	160	100
Cd	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cr	mg/L	0.012	0.009	0.006	0.004	0.002	0.005	0.006	0.001	0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cu	mg/L	0.006	0.01	0.001	0.005	0.001	<0.001	0.009	0.004	0.003	0.011	0.004	0.008
Fe	mg/L	0.021	0.003	0.004	0.001	0.001	<0.001	0.23	0.022	0.012	0.001	0.004	0.002
K	mg/L	3.5	2.9	2.9	5.5	2.5	3.4	45	33	30	18	23	29
Mg	mg/L	23	5.2	4.2	1.7	0.26	0.01	30	7.7	6	0.34	0.12	0.075
Mn	mg/L	2.0	0.38	0.17	0.003	<0.001	<0.001	4.7	0.92	0.13	<0.001	0.08	0.028
Mo	mg/L	<0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Na	mg/L	8.6	7.2	6.9	11	7	510	9.7	5.6	5.3	3.7	120	380
Ni	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Pb	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Se	mg/L												
Si	mg/L	55	45	51	22	2	0.2	140	73	70	16	14	7.1
Sr	mg/L	0.94	0.63	0.73	0.51	0.39	0.23	1.4	0.79	0.6	0.24	0.22	0.18
Zn	mg/L	0.22	0.15	0.17	0.12	0.085	0.097	1.3	0.7	0.56	0.14	0.14	0.12

表 A-4 (3) 高炉スラグ (水砕)、標準砂

試験方法	粒径	高炉スラグ (水砕)						標準砂					
		pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13	有姿 pH 4	pH 6	pH 8	pH 10	pH 12	pH 13
pH													
EC	mS/m												
ORP	mV												
Al	mg/L	9.1	0.09	0.06	0.06	0.13	0.13	0.06	0.02	0.03	0.07	0.23	0.32
As	mg/L												
B	mg/L	0.80	0.60	0.69	0.48	0.32	0.026	0.009	0.009	0.01	0.009	0.009	0.013
Ba	mg/L	0.32	0.15	0.16	0.18	0.23	0.24	0.006	<	<	<	<	<
Be	mg/L							<	<	<	<	<	<
Ca	mg/L	5900	4000	4100	3400	3500	740	<0.71	<0.27	<0.13	<0.12	<0.14	<0.09
Cd	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<	<	<	<	<	<
Cr	mg/L	0.008	0.006	0.005	0.005	0.002	0.004	<	<	<	<	<	<
Cu	mg/L	0.011	0.003	0.001	0.007	0.002	<0.001	<	<	<	<	0.002	0.001
Fe	mg/L	0.04	0.001	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	0.039	0.02	0.025	0.034	0.061	0.084
K	mg/L	15	12	12	12	12	11	0.3	0.3	0.2	0.3	1.1	3.4
Mg	mg/L	100	57	27	10.2	0.46	0.034	0.066	0.035	0.016	0.014	0.014	0.014
Mn	mg/L	33	2.7	2.2	0.032	<0.001	<0.001	0.009	0.002	<	<	<	<
Mo	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<	<	<	<	<	<
Na	mg/L	69	56	57	59	59	59	4.8	6.5	1.6	16	450	1800
Ni	mg/L	0.009	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<	<	<	<	<	<
Pb	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Se	mg/L												
Si	mg/L	76	56	37	40	2.5	0.2	0.21	0.25	0.42	0.49	0.83	1.3
Sr	mg/L	1.4	0.89	0.9	0.71	0.71	0.41	0.004	0.001	<	<	<	<
Zn	mg/L	0.046	0.001	<	<	<	<	0.011	0.002	0.002	0.004	0.003	0.003

表 A-4 (4) コンクリート用細砂、アスコン用砕石

試験方法	粒径	骨材(コンクリート用細砂)						骨材(アスコン用再生砕石)					
		pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13	pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13
pH													
EC	mS/m												
ORP	mV												
Al	mg/L	0.17	0.11	0.29	0.32	0.26	1.9	0.23	0.03	0.14	0.42	2.2	5
As	mg/L												
B	mg/L	0.006	0.016	0.002	0.001	0.003	0.028	<0.001	0.001	0.001	<0.001	0.025	0.031
Ba	mg/L	0.006	0.001	0.002	0.002	0.001	0.004	0.045	0.004	0.003	0.003	0.002	0.003
Be	mg/L												
Ca	mg/L	6.9	0.82	0.60	0.49	0.44	4.1	20	5.4	1.5	0.47	1.4	4.3
Cd	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cr	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cu	mg/L	0.005	0.002	0.002	0.002	0.001	0.004	0.01	0.002	0.002	0.002	0.005	0.004
Fe	mg/L	0.18	0.20	0.73	0.51	0.32	0.027	0.029	0.019	0.1	0.17	0.11	0.011
K	mg/L	0.9	0.3	0.3	0.3	0.8	14	1.2	0.6	0.4	0.4	1.6	7.1
Mg	mg/L	3.2	23.3	0.16	0.13	0.091	0.002	2.3	0.5	0.19	0.062	0.047	0.008
Mn	mg/L	0.032	0.04	0.007	0.008	0.004	<0.001	0.13	0.007	0.014	0.022	0.009	<0.001
Mo	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Na	mg/L	1.8	1.1	2.1	8.9	81	4400	1.7	1.3	1.2	11	170	1500
Ni	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Pb	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Se	mg/L												
Si	mg/L	1.8	1.3	1.9	2.8	4.3	8.1	2.2	1.1	0.9	1.9	6.9	8.5
Sr	mg/L	0.051	0.004	0.003	0.002	0.002	0.048	0.15	0.031	0.009	0.003	0.007	0.031
Zn	mg/L	<	<	0.001	<	<	0.003	0.008	<	0.001	<	<	<

表 A-4 (5) 普通レンガ、密粒度アスファルト

試験方法	粒径	普通レンガ					アスファルト1密粒度スラグなし					
		pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13
pH												
EC	mS/m											
ORP	mV											
Al	mg/L	0.31	0.06	0.06	0.37	1.1	0.05	0.02	0.05	0.45	0.27	0.67
As	mg/L											
B	mg/L	0.003	0.022	0.008	0.008	0.049	0.019	0.046	0.013	0.034	0.008	0.006
Ba	mg/L	0.015	0.003	0.003	0.002	0.002	0.016	0.007	0.004	0.002	0.001	0.001
Be	mg/L											
Ca	mg/L	4.7	2.6	3.1	2.6	1.6	44	30	17	4.2	2.1	2.7
Cd	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cr	mg/L	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.014	0.003	0.003	0.002	0.006	0.002
Cu	mg/L	0.025	0.007	0.003	0.002	0.005	0.014	0.004	0.003	0.002	0.006	0.002
Fe	mg/L	0.13	0.014	0.015	0.026	0.025	0.13	0.004	0.011	0.12	0.01	0.018
K	mg/L	0.6	0.4	0.5	0.7	1.8	1.0	1.0	0.7	0.8	1.1	2.1
Mg	mg/L	0.28	0.2	0.2	0.16	0.047	5.7	3.3	2.1	0.82	0.1	0.024
Mn	mg/L	0.003	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	0.10	0.050	0.030	0.003	0.015	0.001
Mo	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Na	mg/L	0.3	0.3	1	8	140	1.3	1.3	1.1	15	100	420
Ni	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.006	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Pb	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Se	mg/L											
Si	mg/L	0.9	1	0.9	1.7	3.5	0.5	0.6	0.4	1.3	0.6	0.8
Sr	mg/L	0.012	0.007	0.007	0.006	0.004	0.085	0.071	0.046	0.015	0.007	0.013
Zn	mg/L	0.11	0.02	0.012	0.002	0.002	0.024	0.003	<	<	0.003	0.001

表 A-4 (6) 密粒度アスファルト (スラグ 30%)、再生アスファルト

試験方法	粒径	アスファルト2密粒度スラグ30%						再生アスファルト3スラグなし					
		pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13	pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13
pH													
EC	mS/m												
ORP	mV												
Al	mg/L	0.08	0.03	0.08	0.19	0.28	0.29	0.05	0.03	0.10	0.13	0.34	0.30
As	mg/L												
B	mg/L	0.004	0.019	0.008	0.016	0.015	0.005	0.016	0.013	0.004	0.004	0.015	0.004
Ba	mg/L	0.013	0.005	0.003	0.002	<0.001	<0.001	0.011	0.003	0.004	<0.001	<0.001	0.001
Be	mg/L												
Ca	mg/L	37	34	19	5.6	1.8	1.5	36	14	15	2.6	2.1	2.7
Cd	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cr	mg/L	0.030	0.004	0.004	0.005	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.005	0.001	0.002
Cu	mg/L	0.030	0.004	0.004	0.005	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.005	0.001	0.002
Fe	mg/L	0.088	0.003	0.009	0.058	0.013	0.008	0.13	0.003	0.058	0.15	0.019	0.012
K	mg/L	0.5	0.6	0.5	0.6	1.1	2.6	0.8	0.7	0.8	0.5	1.8	2.7
Mg	mg/L	3.5	2.2	1.3	0.7	0.023	0.013	3.9	1.5	1.5	0.54	0.025	0.02
Mn	mg/L	0.036	0.015	0.011	<0.001	<0.001	0.097	0.027	0.029	0.008	<0.001	<0.001	0.016
Mo	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Na	mg/L	0.8	0.9	0.6	8.3	140	730	1	0.9	1.3	12	160	600
Ni	mg/L	0.008	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.005	<0.002	<0.002	0.003	<0.002	<0.002
Pb	mg/L	0.007	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Se	mg/L												
Si	mg/L	0.8	0.5	0.5	0.8	0.9	0.6	0.4	0.4	0.5	0.6	0.9	0.7
Sr	mg/L	0.04	0.04	0.026	0.013	0.005	0.005	0.06	0.03	0.033	0.01	0.008	0.03
Zn	mg/L	0.041	0.002	0.001	0.002	0.001	0.003	0.002	0.008	0.001	0.002	0.001	<

表 A-4 (7) 再生アスファルト (スラグ 30%)、同 (スラグ 100%)

粒径 試験方法	再生アスファルト4スラグ30%						アスファルト5スラグ100%						
	pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13	pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13	
pH													
EC	mS/m												
ORP	mV												
Al	mg/L	0.06	0.04	0.12	0.22	0.33	0.37	0.31	0.09	0.08	0.18	0.18	0.33
As	mg/L												
B	mg/L	<0.001	0.001	0.008	0.013	0.017	0.015	0.003	0.018	0.013	0.017	0.012	0.016
Ba	mg/L	0.007	0.003	0.003	0.002	0.001	0.1	0.007	0.003	0.002	<0.001	<0.001	<0.001
Be	mg/L												
Ca	mg/L	18	20	19	5.4	2.7	2.3	2.0	2.0	2.0	0.71	0.56	0.35
Cd	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cr	mg/L	0.016	0.003	0.008	0.005	0.002	0.008	0.042	0.017	0.009	0.004	<0.001	<0.001
Cu	mg/L	0.016	0.003	0.008	0.005	0.002	0.008	0.042	0.017	0.009	0.004	0.005	0.005
Fe	mg/L	0.037	0.005	0.010	0.045	0.013	0.010	0.092	0.033	0.026	0.012	0.022	0.013
K	mg/L	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.8	0.2	0.3	5.9	0.3	0.6	1.8
Mg	mg/L	1.1	0.90	0.82	0.38	0.084	0.036	0.17	0.17	0.14	0.05	0.04	0.016
Mn	mg/L	0.010	0.008	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.008	0.011	0.002	0.001	<0.001	0.001
Mo	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Na	mg/L	0.4	0.4	0.5	12	120	570	0.4	0.7	4.3	27	52	1400
Ni	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.008	0.004	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Pb	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Se	mg/L												
Si	mg/L	0.3	0.2	0.4	0.7	0.3	0.6	0.7	0.4	0.3	0.5	0.4	0.4
Sr	mg/L	0.015	0.017	0.018	0.007	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.001	0.1	0.001
Zn	mg/L	<	0.021	0.003	0.082	0.002	<	0.002	0.04	0.013	0.003	0.002	0.006

表 A-4 (8) アスファルト (粗砂 100%)、尿尿処理汚泥

粒径 試験方法	アスファルト6粗砂100%						尿尿処理汚泥						
	pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13	有姿 pH 4	pH 6	pH 8	pH 10	pH 12	pH 13	
pH													
EC	mS/m												
ORP	mV												
Al	mg/L	0.06	0.12	0.13	0.33	0.94	0.77	0.76	0.75	0.84	9.1	100	260
As	mg/L							0.23	0.24	0.27	0.33	0.64	0.92
B	mg/L	0.005	0.023	0.043	0.005	0.006	0.04	0.93	0.5	0.21	0.2	0.31	0.34
Ba	mg/L	0.006	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004	0.066	0.039	0.058	0.059	0.61	0.87
Be	mg/L							<	<	<	<	<	<
Ca	mg/L	3.7	1.2	1.6	0.92	1.7	3.4	230	32	12	13	50	86
Cd	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.001	0.001	0.001	0.004	0.02	0.033
Cr	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.001	0.002	0.004	0.022	0.033
Cu	mg/L	0.006	0.004	0.001	0.002	0.002	0.003	0.2	0.29	0.31	1.4	4.4	5.7
Fe	mg/L	0.019	0.07	0.074	0.15	0.35	0.014	6.3	6.1	6.1	18	180	370
K	mg/L	0.4	0.3	0.4	0.4	1.1	5.1	190	140	90	80	90	230
Mg	mg/L	0.29	0.14	0.16	0.098	0.073	0.034	95	16	4.2	3.4	12	21
Mn	mg/L	0.047	0.037	0.007	0.005	0.012	0.009	0.7	0.052	0.031	0.048	0.39	0.79
Mo	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.049	0.15	0.2	0.4	0.52	0.52
Na	mg/L	0.6	0.9	3.3	14	97	2100	210	170	110	590	2100	5500
Ni	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.015	0.022	0.02	0.064	0.17	0.21
Pb	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	0.030	<	0.030	0.070
Se	mg/L							<	<	<	<	<	0.06
Si	mg/L	0.2	0.5	0.5	0.6	1.6	1.1	13	6.8	4.5	3.5	6	9.9
Sr	mg/L	0.02	0.005	0.008	0.005	0.009	0.025	0.35	0.036	0.017	0.02	0.17	0.28
Zn	mg/L	0.004	0.007	<	0.001	0.001	0.002	1.3	0.47	0.43	0.83	5.2	10

表 A-4 (9) 都市ごみ厨芥、鶏糞

粒径 試験方法	都市ごみ厨芥						鶏糞						
	有姿 pH 4	pH 6	pH 8	pH 10	pH 12	pH 13	有姿 pH 4	pH 6	pH 8	pH 10	pH 12	pH 13	
pH													
EC	mS/m												
ORP	mV												
Al	mg/L	0.87	0.19	0.36	0.74	4	4.9	0.17	0.1	0.14	1.2	0.13	0.31
As	mg/L	<	<	<	<	0.01	0.01	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.03
B	mg/L	0.32	0.23	0.16	0.12	0.23	0.27	1.7	2	1.9	1.6	1.7	1.6
Ba	mg/L	0.23	0.028	0.005	0.006	0.014	0.018	0.28	0.023	0.023	0.021	0.01	0.028
Be	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Ca	mg/L	880	250	21	11	18	13	2100	220	29	19	18	48
Cd	mg/L	<	<	<	<	<	0.001	0.001	0.003	0.004	0.004	0.005	0.005
Cr	mg/L	<	<	<	<	0.001	0.003	0.007	0.01	0.011	0.011	0.011	0.012
Cu	mg/L	0.009	0.021	0.031	0.016	0.031	0.16	0.16	0.57	0.67	0.72	0.85	0.99
Fe	mg/L	0.35	0.23	0.5	0.28	0.95	2.3	1.3	3.1	4.4	4.6	2.5	2.6
K	mg/L	610	550	420	350	400	560	1900	2000	1800	1500	1900	2600
Mg	mg/L	78	41	6.2	1.9	3.5	4.4	350	150	40	16	16	31
Mn	mg/L	0.91	0.1	0.017	0.012	0.045	0.063	9.3	0.74	0.54	0.71	0.81	1.2
Mo	mg/L	<	<	<	<	<	0.017	0.032	0.11	0.14	0.15	0.15	0.13
Na	mg/L	350	320	250	280	710	2000	340	390	310	650	2000	6600
Ni	mg/L	<	<	0.006	0.008	0.007	0.013	0.03	0.086	0.099	0.099	0.11	0.098
Pb	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0.02
Se	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Si	mg/L	1.4	1	0.99	0.32	2	3.6	2	1.7	1.8	2.5	2.1	2.7
Sr	mg/L	1.4	0.41	0.038	0.015	0.032	0.039	4.1	0.52	0.3	0.25	0.23	0.26
Zn	mg/L	0.11	0.049	0.035	0.04	0.1	0.15	3.6	2.8	3.7	4.8	4.2	4.1

表 A-4 (10) 普通ガラス、硬質ガラス

試験方法	粒径	普通ガラス						硬質ガラス					
		2mm ↓	2mm ↓	2mm ↓	2mm ↓	2mm ↓	2mm ↓	2mm ↓	2mm ↓	2mm ↓	2mm ↓	2mm ↓	
		pH 4	pH 6	pH 8	pH 10	pH 12	pH 13	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10	pH 12	pH 13
pH													
EC	mS/m												
ORP	mV												
Al	mg/L	0.05	0.01	0.02	0.08	0.25	0.25	0.06	0.02	0.02	0.06	0.16	0.18
As	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
B	mg/L	0.009	0.01	0.007	0.008	0.009	0.012	0.61	0.52	0.41	0.46	0.46	0.5
Ba	mg/L	0.006	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	<	<	<	<	<
Be	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Ca	mg/L	2.2	1.8	1.8	0.98	0.91	0.51	0.45	0.09	0.05	0.03	0.05	0.02
Cd	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Cr	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Cu	mg/L	0.007	0.002	0.001	0.001	<	0.001	0.007	0.001	<	0.003	0.002	0.003
Fe	mg/L	0.055	0.004	0.005	0.003	0.003	0.002	0.071	<	<	0.002	0.006	0.009
K	mg/L	0.4	0.4	0.4	0.3	0.9	4.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.7	2.7
Mg	mg/L	0.69	0.59	0.63	0.28	0.042	0.007	0.015	0.004	0.003	0.002	0.002	<
Mn	mg/L	0.003	0.001	<	<	<	<	0.002	<	<	<	<	<
Mo	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Na	mg/L	4.2	4.3	6.2	12	240	2500	0.8	0.6	2.3	14	210	1600
Ni	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Pb	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Se	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Si	mg/L	5.6	6.2	6.7	4.6	6	6.6	0.39	0.49	0.54	1.6	3.1	3.6
Sr	mg/L	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001	<	0.001	<	<	<	<	<
Zn	mg/L	0.019	0.005	0.001	<	0.001	0.005	0.022	0.003	0.002	0.002	0.002	0.005

表 A-4 (11) 舗装用カレット、フロントガラス

試験方法	粒径	舗装用カレット						フロントガラス					
		pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13	2mm ↓	2mm ↓	2mm ↓	2mm ↓	2mm ↓	2mm ↓
		pH 4	pH 6	pH 8	pH 10	pH 12	pH 13	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10	pH 12	pH 13
pH													
EC	mS/m												
ORP	mV												
Al	mg/L	0.14	0.02	0.02	0.4	0.24	0.41	0.03	0.02	0.01	0.04	0.15	0.23
As	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
B	mg/L	0.008	0.004	0.041	0.027	0.016	0.034	0.022	0.012	0.01	0.01	0.012	0.016
Ba	mg/L	0.007	0.004	0.005	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.001	0.004	<	0.001
Be	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Ca	mg/L	2.6	2.1	2.6	1.7	1.6	0.86	1.9	2.4	2	0.83	0.89	0.72
Cd	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<	<	<	<	<	<
Cr	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<	<	<	<	<	<
Cu	mg/L	0.025	0.007	0.004	0.001	0.001	0.005	0.002	0.001	<	<	<	<
Fe	mg/L	0.043	0.004	0.004	0.006	0.004	0.007	0.018	0.005	0.003	0.004	0.002	0.008
K	mg/L	0.5	0.6	0.7	0.4	0.8	3.7	0.3	0.4	0.4	0.3	1.1	3.3
Mg	mg/L	0.071	0.17	0.1	0.056	0.056	0.007	0.48	0.6	0.5	0.2	0.035	0.059
Mn	mg/L	0.003	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	0.002	<	<	<	<
Mo	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<	<	<	<	<	<
Na	mg/L	3.2	3.8	5.3	11	110	1500	5.6	4.7	4.2	12	340	1900
Ni	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.002	<	<	<	<	<	<
Pb	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Se	mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Si	mg/L	0.9	2.4	2.6	4	6.3	7.3	3.2	5.2	5.3	3	4.3	6.3
Sr	mg/L	0.003	0.004	0.004	0.002	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001
Zn	mg/L	0.028	0.008	0.002	<	<	0.001	0.024	0.014	0.001	0.002	0.002	0.006

表 A-4 (12) 鉛ガラス、インターロッキングブロック

試験方法	粒径	鉛ガラス							インターロッキングブロック(スラグなし)					
		pH2	pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13	pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13
pH														
EC	mS/m	1200	340	30	7.3	9.2	55	3400						
ORP	mV	+444	+216	+250	+175	+117	+39	-128						
Al	mg/L	1.1	<0.05	<0.05	<0.05	0.13	0.20	0.39	2.5	0.1	0.18	0.16	1.5	0.31
As	mg/L	0.041	<0.005	<0.001	<0.001	0.003	0.004	0.015	0.081	0.033	0.066	0.036	0.006	<0.001
B	mg/L	98	35	4.3	2.7	1.6	1.7	6.7	0.51	0.21	0.38	0.33	0.11	0.092
Ba	mg/L													
Be	mg/L								1500	700	1300	1200	520	400
Ca	mg/L	20	8.3	1.5	0.94	0.14	<0.02	0.14	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cd	mg/L	<0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001						
Cr	mg/L								0.11	0.11	0.23	0.20	0.056	0.048
Cu	mg/L	1.9	0.42	0.08	<0.02	<0.02	<0.02	0.56	0.18	0.007	0.005	0.002	0.001	0.003
Fe	mg/L	0.25	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.22	0.002	0.005	0.001	0.002	<0.001
K	mg/L	120	27	2.8	2.5	14	72	2900	8.1	3.9	6.7	7.7	4.8	3.7
Mg	mg/L	0.33	0.16	0.13	0.08	<0.02	<0.02	<0.02	11	1.8	4.3	2.2	0.13	0.07
Mn	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.12	0.011	0.013	<0.001	<0.001	<0.001
Mo	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.03	<0.002	0.027	0.033	0.066	0.06	0.23.022
Na	mg/L	120	27	2.8	2.5	14	72	2900	35	21	31	34	24	23
Ni	mg/L	0.07	0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.021	0.003	0.005	<0.002	<0.002	<0.002
Pb	mg/L	8600	2000	160	0.25	0.81	1.5	440	<	<	<	<	<	<
Se	mg/L	<0.005	<0.005	<0.001	<0.001	<0.001	<0.002	<0.002						
Si	mg/L	19	16	32	20	13	21	91	32	20	27	19	5.3	1.8
Sr	mg/L								1.2	0.54	1	0.94	0.33	0.29
Zn	mg/L	0.51	0.16	0.05	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	0.29	0.021	0.018	<	<	0.001
Cl	mg/L	0.76	0.63	0.20	<0.1	0.46	0.12	0.60						
SO4	mg/L	<0.4	2.1	<0.4	<0.4	<0.4	0.41	6.5						
Cr6+	mg/L	0.11	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02						

表 A-4 (13) インターロッキングブロック (スラグあり)、コンクリート平板

粒径 試験方法	インターロッキングブロック(スラグあり)						コンクリート平板					
	pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13	pH4	pH6	pH8	pH10	pH12	pH13
pH												
EC mS/m												
ORP mV												
Al mg/L	3.1	0.14	0.14	0.12	0.92	0.1	1.5	0.32	0.34	0.25	0.83	0.08
As mg/L												
B mg/L	0.038	0.022	0.037	0.032	0.002	0.011	0.052	0.012	0.025	0.028	<0.001	0.007
Ba mg/L	0.37	0.23	0.34	0.34	0.13	0.088	0.79	0.37	0.51	0.39	0.16	0.001
Be mg/L												
Ca mg/L	1200	820	1300	1400	620	200	2400	990	1500	1600	980	320
Cd mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Cr mg/L	0.062	0.043	0.094	0.097	0.024	0.030	0.030	0.023	0.037	0.067	0.026	0.034
Cu mg/L	0.047	0.005	0.002	0.001	0.001	0.003	0.001	0.026	0.006	0.006	0.005	0.002
Fe mg/L	0.37	0.004	0.004	<0.001	<0.001	<0.001	0.23	0.002	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
K mg/L	38	29	37	38	25	71	52	39	41	39	32	72
Mg mg/L	5.5	2.6	2.7	2.2	0.14	0.025	9.4	0.82	3.8	1.6	0.11	0.007
Mn mg/L	0.11	0.029	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	0.048	0.008	0.039	<0.001	<0.001	<0.001
Mo mg/L	0.011	0.015	0.028	0.03	0.014	0.013	0.012	0.006	0.009	0.012	0.007	0.007
Na mg/L	33	27	32	33	23	1900	59	37	40	36	29	2100
Ni mg/L	0.007	0.003	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.005	<0.002	0.004	<0.002	<0.002	<0.002
Pb mg/L	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Se mg/L												
Si mg/L	37	23	30	27	6.2	0.6	25	1.4	18	1.7	1.8	0.4
Sr mg/L	1.1	0.71	1.1	1.4	0.44	0.24	2	1.2	1.5	1.6	1	0.56
Zn mg/L	0.089	0.009	<	<	<	<	0.033	<	0.006	<	<	0.005

4 試験条件の影響に関する検討（参考情報）

pH 依存性試験の基本的な条件として、溶出時間と粒径区分について検討を行うために、それぞれのパラメータを変更して試験を試行的に行い、影響について確認を行った。

4.1 試料と試験方法

(1) 試料調製

銅スラグと都市ごみ焼却主灰の各 1 検体について、それぞれ 3 種類に粒度調製を行った。銅スラグは銅製錬により発生したものを水砕処理したもの、焼却主灰は焼却炉から排出直後の乾燥状態のもの（水浸前のいわゆる乾灰）である。有姿試料の 50% 粒子径は、銅スラグ、焼却主灰それぞれ 1.2 mm、0.7 mm である。試料をボールミルで軽度に粉砕後に篩い分けにより 0.25～1 mm 画分のもの、および、1 mm 以下画分のもの 2 種類を調製し、有姿試料を加えた合計 3 種類の試料を用いて試験を行った。

(2) 試験方法

試験は、連続調製方式にて行った。液固比は、試験開始段階で 9 L/kg とし、終了段階で 11 L/kg 以内となるようにした。pH は 4、6、8、10 および 12 に固定した。溶出時間は 6 時間、24 時間、48 時間について個別に実施した。試験装置の概要を図 A-X に示す。分析測定項目は Pb、Cd、Cu、Zn、T-Cr、As、Se および B とした。

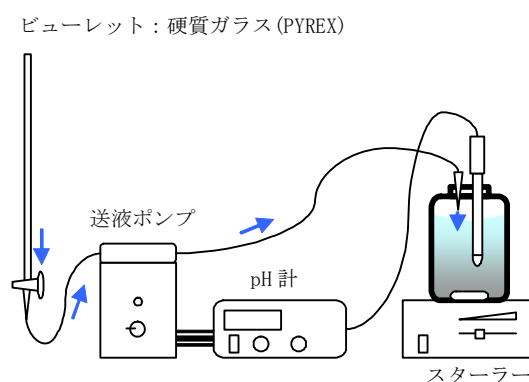
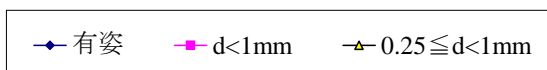
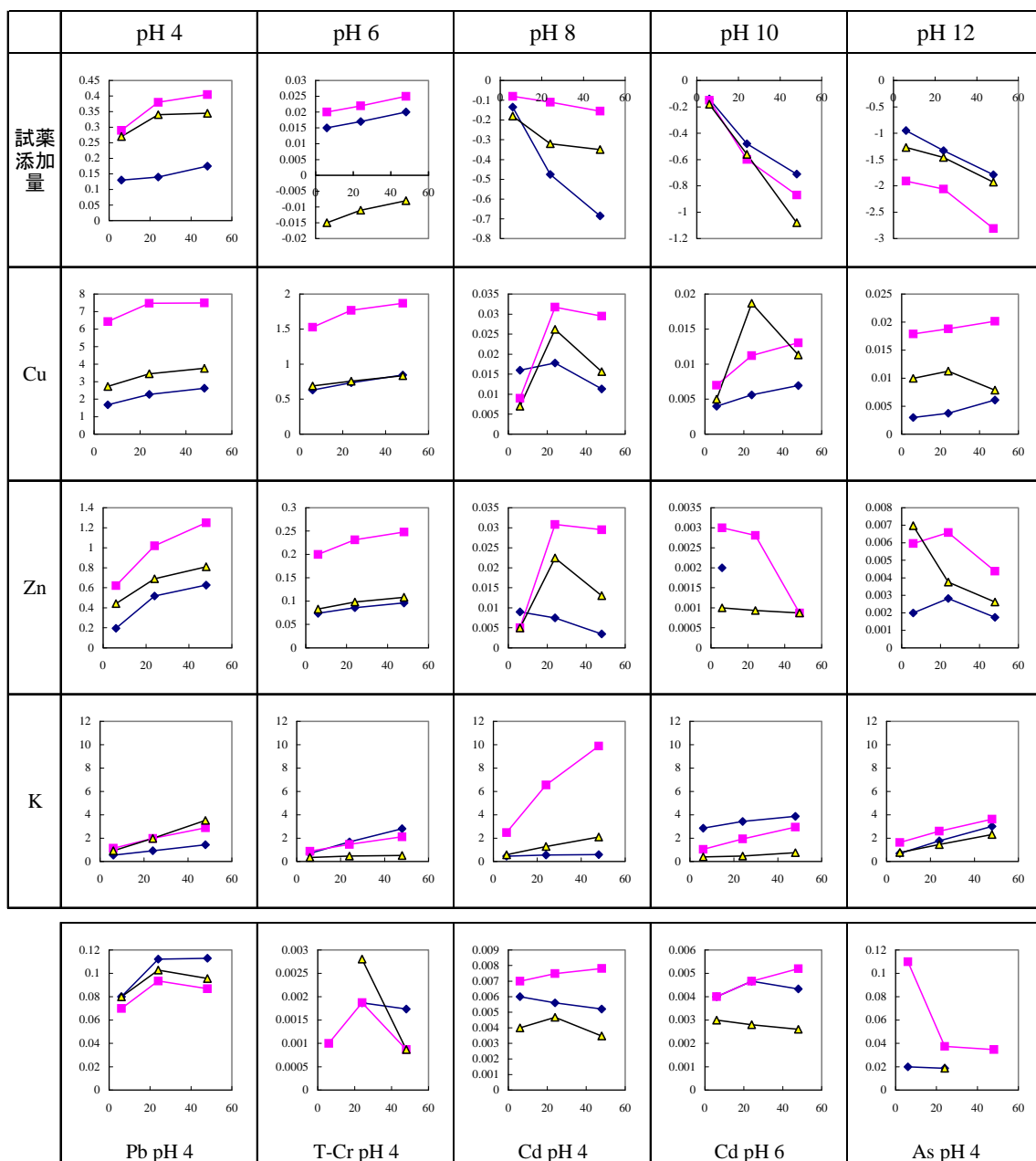


図 A-1 試験装置

4.2 試験結果

銅スラグの結果を図 A-X に示す。1 mm 以下粉砕試料の溶出量が最も多くなる傾向が見られた。また、0.25 mm を除いた試料で変動の大きい場合が幾つか見受けられた。小粒径側をカットすることで試料の粉砕の度合いによる結果のばらつきを防ぐことを意図したが、かえってばらつきが大きくなる可能性が示唆された。そのため、化学平衡の観点から、1 mm 以下を全て使用することが適当と判断した。

溶出時間については、Pb (pH 4) については 24 時間程度で濃度上昇は止まっていることがわかるが、Zn (pH 4) その他、濃度上昇が継続している場合もあり、また pH によっては、経時的に減少する元素も見受けられた。このように 24 時間では化学平衡に達しているとは言い難い結果が多く見られた。焼却灰についても同様であった。48 時間経過時点での傾向については、本検討からは考察し難いところではあるが、Dijkstra ら⁴⁾は 168 時間まで検討しており、その結果 48 時間と 168 時間の差は大きくはなく、48 時間で適当としている。以上のことから、溶出時間は 48 時間以上が適当と結論した。



横軸：時間 (h)、元素縦軸：溶出濃度 (mg/L)

図 A-2 pH 依存性試験における溶出濃度経時変化 (連続調整方式、銅スラグ)

なお、焼却主灰の場合、アルカリ性物質を多く含むため pH 調整試薬の添加量の変動が大きく、試験的な問題が生じた。pH により pH 調整試薬の「総添加量」が大きく異なり、攪拌中の液固比について考慮する必要があることが分かる。また、最終溶媒量を計測した結果、蒸発量 (総液量 - 最終溶媒量) が大きいことが明らかとなり、ビーカーによる開口部が開放された状態では、長時間の攪拌溶出で蒸発の問題が生じるため、容器に蓋を設けておく必要があると考えられた。

5 予備滴定試験による試薬条件決定方法の検討（参考情報）

初期添加方式では、所定の pH の溶出液を得るために酸／アルカリ試薬滴加量を予測するための予備試験（予備滴定試験）と、予備滴定試験の結果を参考に所定の pH の溶出液を得る本試験（初期添加試験と呼ぶ）を順に実施する必要がある。

予備滴定試験方法は CEN/TS 14429 Annex C.2 に記述されている“Titration procedure to estimate the ANC and the BNC”を参考に作成し、付録として掲載した。付録としたのは、予備滴定試験は初期添加試験の重要な参考情報を得るために行われるが、初期添加試験の結果に直接影響を及ぼさないためである。

ここでは、予備滴定試験による初期添加試験の試薬条件の予測性について検討するため、13 種類の試料を用い、予備滴定試験の応答曲線を求めた。

表 A-5 に、ナチュラル pH、および、ANC と BNC の結果を示す。ナチュラル pH とは、試薬無添加の pH をそれぞれ表しており、予備滴定試験は振とう開始から 1 時間後、初期添加試験は 48 時間後の値である。ANC（酸中和容量）と BNC（アルカリ中和容量）は、それぞれ pH 4 および pH 12 に達するまでに要した試料質量あたりの試薬量で、試験データから内挿して求めたものである。

ナチュラル pH はほとんどの試料でアルカリ性を示し、一部のサンプル（下水汚泥焼却灰）を除いて、予備滴定試験と初期添加試験の値はあまり変化していない。BNC は予備滴定試験よりも初期添加試験の方が試薬を多く消費する場合も見られるが、その違いは 3 倍以内であった。一方、ANC については、予備滴定試験で試薬消費量が少ないほど初期添加試験での消費量増加の割合が高くなる傾向が顕著に現れ、最大で 20 倍多く消費する場合も確認された。ANC と BNC の結果は、予備滴定試験から初期添加試験での試薬量を予測する際、酸性側の予測がより困難な場合が多いことを表している。

表 A-5 ナチュラル pH、ANC および BNC の測定結果

	ナチュラル pH		ANC (mol/kg)		BNC (mol/kg)	
	PT 試験	MB 試験	PT 試験	MB 試験	PT 試験	MB 試験
銅スラグ	6.2	6.6	0.0016	0.039	0.098	0.16
産廃スラグ (ASR 系)	8.5	9.3	0.018	0.16	0.16	0.14
一廃スラグ	9.1	10.2	0.075	0.58	0.095	0.13
産廃スラグ (焼却灰系)	9.8	10.1	0.22	4.1	0.091	0.23
高炉スラグ	11.5	11.6	0.74	5.1	0.042	0.11
石炭灰 A	11.5	11.4	0.24	0.30	0.069	0.17
廃瓦舗装材	11.9	12.0	1.2	4.5	0.023	0.011
石炭灰 B	12.2	11.9	0.32	0.55	-	0.029
石炭灰 B コンクリート製品	12.6	12.5	1.7	4.4	-	-
一廃焼却飛灰	12.6	12.5	4.0	5.7	-	-
製砂汚泥	12.7	12.6	2.4	3.6	-	-
一廃焼却灰	12.7	12.6	6.4	13	-	-
下水汚泥焼却灰	12.8	10.8	4.0	5.7	-	1.4

PT 試験：予備滴定試験、MB 試験：初期添加試験、一廃：一般廃棄物、産廃：産業廃棄物

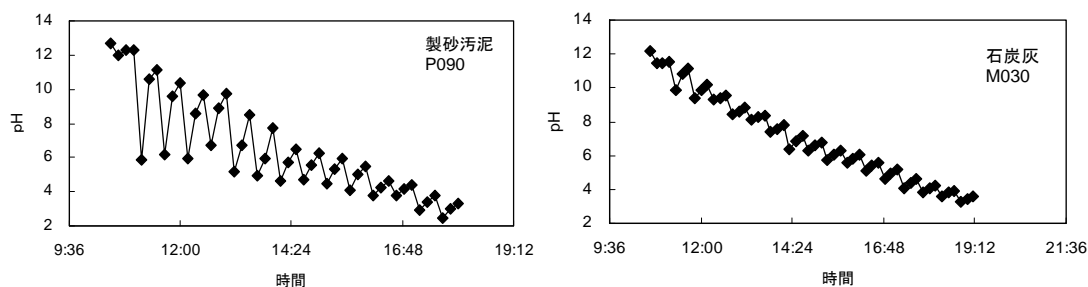


図 A-3 予備滴定試験における pH 変動の例

図 A-3 に、予備滴定試験を実施している間の pH 変化の例を示す。pH 滴下 30 秒後と 30 分後の変動幅は石炭灰 B に比べて製砂汚泥で非常に大きいことがわかる。このように、試薬添加による応答は試料によって大きく異なることから、48 時間を費やす初期添加試験での変化の仕方に大きく影響することが容易に予想される。

図 A-4 に、予備滴定試験と初期添加試験の pH 応答の結果を比較した。横軸はスタートを 0.0 とし、酸添加をプラス側、アルカリ添加をマイナス側に示した。

先述したように、pH が低くなるほど乖離が大きくなるものが多い。変化の傾向に注目して試料を類型化すると次のようである。このような類型化は初期添加試験の pH 予測の際に極めて有用と思われる。

パターン I (銅スラグ、産廃スラグ (ASR 系)) : pH 6 以上で良く一致している。緩衝力が極めて小さく、微少な添加量の違いにより、得られる pH は大きく異なる。pH 6 以下で乖離が大きくなる。

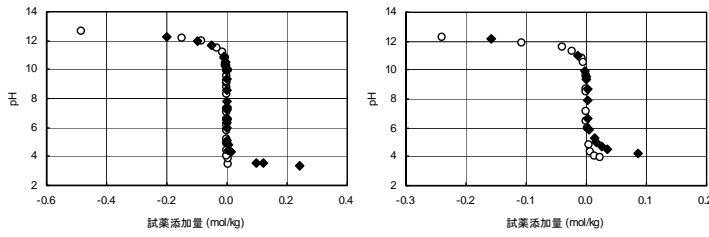
パターン II (一廃スラグ、高炉スラグ、産廃スラグ (焼却灰系)) : ナチュラル pH は 9~12 程度で、それより酸性側で pH 応答性が鈍くなる。予備滴定-初期添加試験結果はアルカリ側は良く一致しているが、酸性側で乖離が大きく ANC は 5~10 倍程度異なる。

パターン III (石炭灰 A、石炭灰 B) : 予備滴定試験、初期添加試験とも、なだらかな変化を描く。両試験間の pH のシフトは小さい。

パターン IV (石炭灰コンクリート、廃瓦舗装材、製砂汚泥) : ナチュラル pH は 12 前後で、酸消費量が比較的多く、また、pH 10 付近と pH 7 付近に酸緩衝領域を持つ。両試験間の pH シフト幅は 2 から 3 倍程度である。

パターン V (一廃焼却灰、一廃焼却飛灰) : ナチュラル pH、ANC ともに最も大きい。pH 9 前後に緩衝領域がある。両試験の pH シフト幅は酸性側で拡大する。

パターン VI (下水汚泥焼却灰) : 他のサンプルと異なり酸性側、アルカリ側ともに緩衝力が大きい。その傾向は初期添加試験で強く現れ、よりなだらかなカーブとなっている。

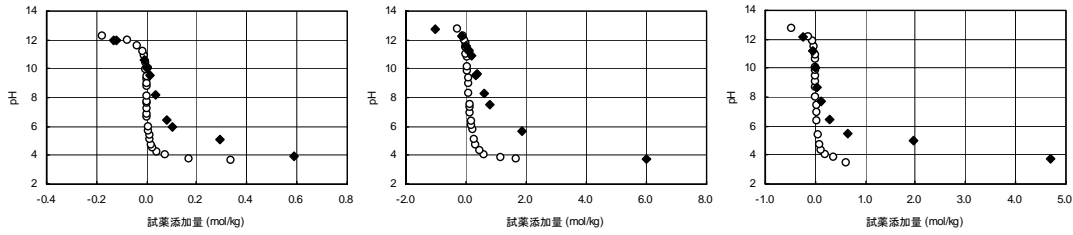


銅スラグ CUS

産廃スラグ IRS

○ プレ滴定試験
◆ メインバッチ試験

パターン 1

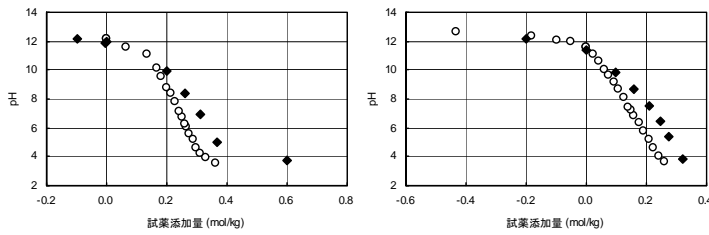


一廃スラグ M014

高炉スラグ M027

産廃スラグ ITS

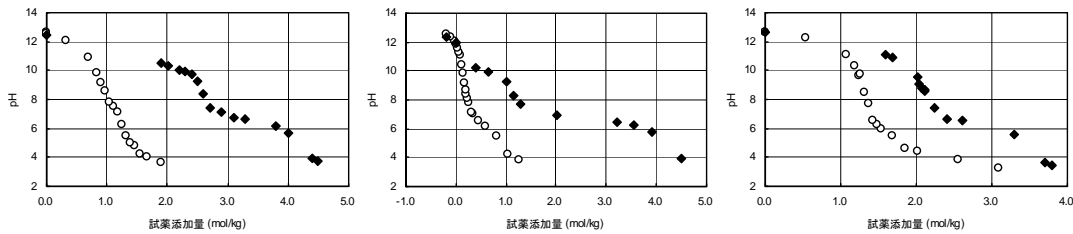
パターン 2



石炭灰 M030

石炭灰 TCA

パターン 3

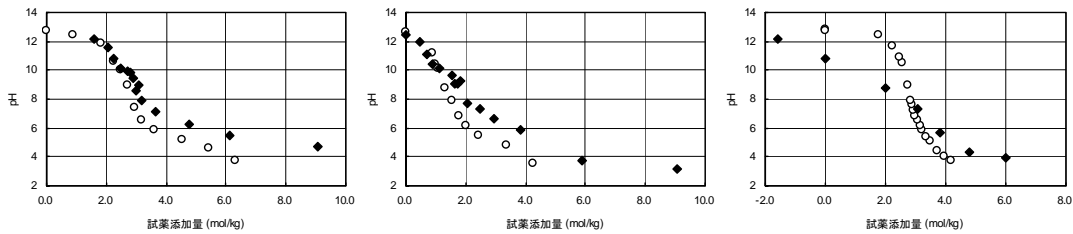


石炭灰コンクリート P030

廃瓦舗装材 P050

製砂汚泥 P090

パターン 4



一廃焼却灰 SBA

一廃焼却飛灰 GFA

下水汚泥焼却灰 M079

パターン 5

パターン 6

図 A-4 予備滴定試験と初期添加試験の pH 応答曲線比較

6 初期添加方式での攪拌方法の影響の検討 (参考情報)

バッチ試験を行う際にわが国で広く使われている攪拌方法は、環告 13 号、環告 46 号、環告 19 号に使われている毎分 200 回の反復振とう操作であり、規格案ではこの方法で攪拌を行うこととしている。一方、CEN/TS 14429 では、欧州で普及している end-over-end tumbler 方式または roller table rotating 方式である。そこで、攪拌方法の違いによる結果への影響の有無について確認することとした。roller table rotating について検討を行った。

図 A-5 と図 A-6 に、pH と溶出濃度の測定結果をそれぞれ示す。pH (図 A-5) については、産廃スラグ ITS について、pH 6 以下で反復振とうの方が酸添加量を多く必要としたことを除いては、反復振とうと回転方式でほとんど違いは見られなかった。溶出濃度 (図 A-6) については、検討を行った一廃焼却灰 SBA、一廃焼却飛灰 GFA、銅スラグ CUS のうち、銅スラグ CUS のアルカリ性側で反復振とうの方が溶出濃度が高い傾向が見られた以外は、非常に良く一致している。試料の微細化が影響したかは不明であり、今後更なるデータ収集が望まれる。

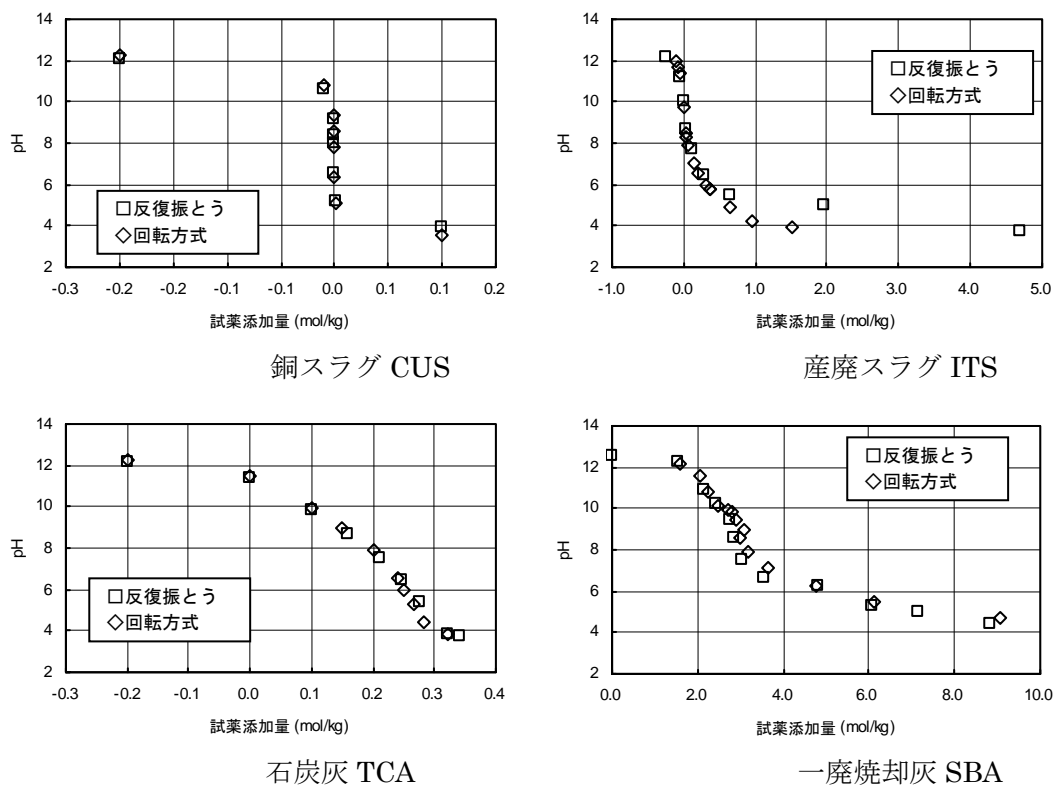


図 A-5 攪拌方法の比較 (pH)

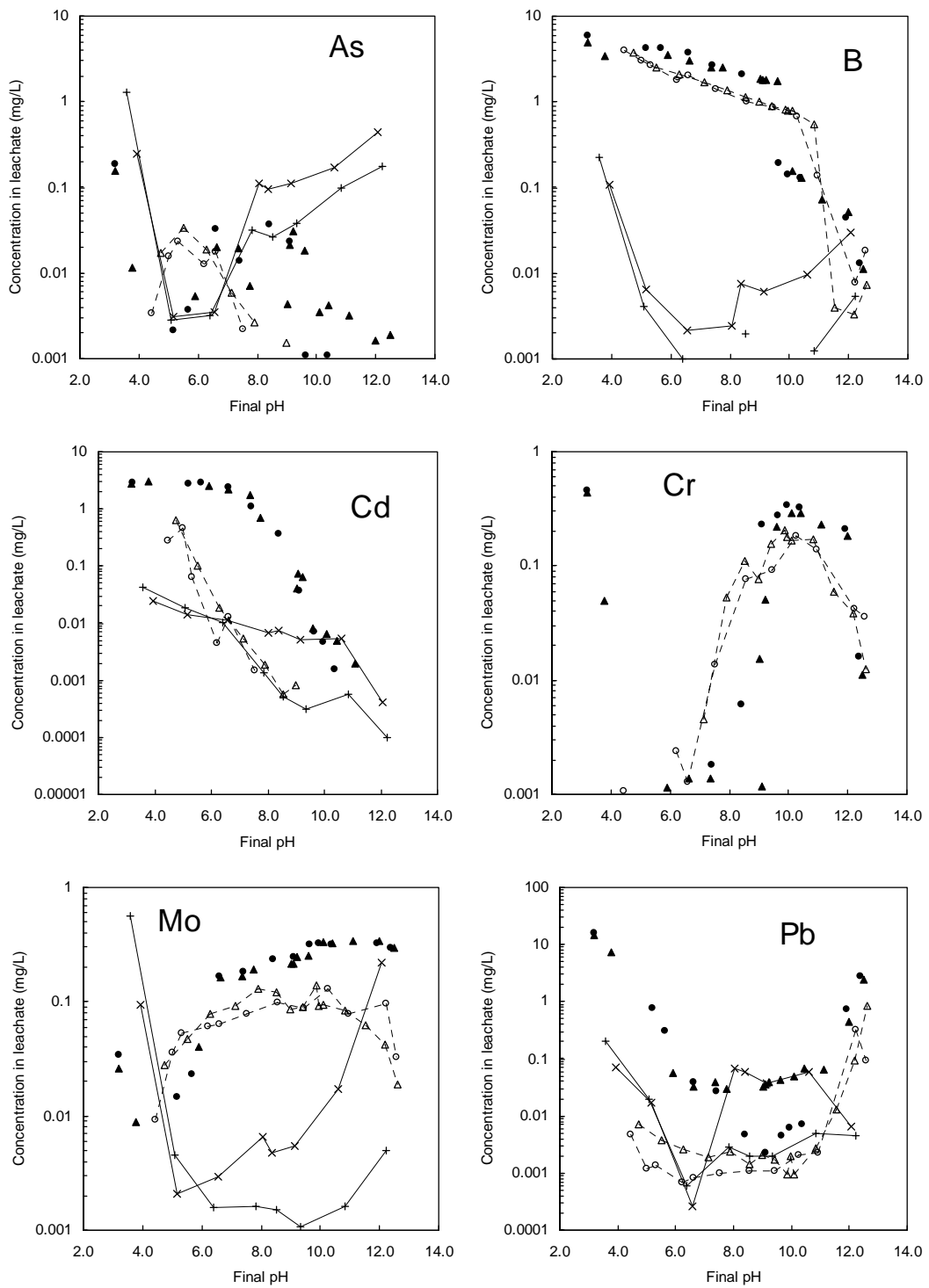


図 A-6 攪拌方式の比較 (溶出濃度)

- 回転 焼却飛灰
- ▲ 振とう 焼却飛灰
- 回転 焼却主灰
- △- 振とう 焼却主灰
- + 回転 銅スラグ
- × 振とう 銅スラグ

参考文献

- ¹ J.J. Dijkstra, H.A. van der Sloot, G. Spanka, G. Thielen (2005) How to judge release of dangerous substances from construction products to soil and groundwater, ECN-C—05-045
- ² 酒井伸一、水谷聡、高月紘、岸田拓郎 (1995) 廃棄物の溶出試験に関する研究—アベイラビリティ試験と pH 依存性試験、廃棄物学会誌、6 (6) 225-234
- ³ J Dijkstra, H van der Sloot, R Comans (2006) The leaching of major and trace elements from MSWI bottom ash as a function of pH and time, Applied Geochemistry, 21, 335-351