廃棄物護岸を対象とした汚染物質漏出リスク評価手法の検討

大成建設株式会社　正会員　○根岸昌範　正会員　副島敬道　正会員　樋口雄一　正会員　今村　聡

１．はじめに

我が国の海面埋立処分場は，全体の処分場数に対してわずか 2%しかないにも関わらず注目を集めている．これは，内陸型処分場と比較して大規模（内陸型平均 15 万 m^3，海面平均 260 万 m^3）であり，東京湾や大阪湾など日本を代表する都市の最終処分場が海面に依存していることによるものと考えられる．

本報告では，焼却灰からの汚染物質溶出性状を確認し，海面埋立処分場における護岸構造の安全性を客観的に評価することを目的とし，廃棄物層からの汚染物質の長期的な漏出リスク算定手法の検討を行った．

２．焼却灰からの汚染物質溶出性状

2.1　試験方法

廃棄物試料として流動床焼却炉から排出された焼却灰を使用した．焼却灰の性状を表-1 に示す．焼却灰 1g に対し硫酸酸性 pH 値 4.0 に調整した純水を 100mL 添加後に密閉し，往復振とう器で 6 時間振とうした後有害金属類および pH の測定を行った．有害金属類の測定はﾌﾚｰﾑﾚｽ原子吸光光度計を使用した．対象とした有害金属類は陰イオンの形態で移行性の高いと考えられるクロムおよびヒ素とした．その後，試料溶液を遠心分離器にかけて上澄みを棄てた後，再度硫酸酸性溶液を 100mL 添加して繰返し溶出試験を実施した．

表-1　焼却灰の性状

元素組成(%)	Na	3.7
	Mg	1.9
	Al	6.9
	Si	10.5
	P	1.6
	S	2.0
	Cl	19.3
	K	5.6
	Ca	39.3
	Ti	2.2
	Cr	—
	Mn	0.2
	Fe	5.0
	Cu	0.7
	Zn	1.1
含有量(mg/kg)	Cr	39.8
	As	43.4

2.2　試験結果

繰返し溶出試験結果を図-1 に示す．横軸は溶出回数，縦軸はクロムおよびヒ素濃度と溶出液の pH である．クロムに関しては初期の溶出濃度が高く，15 回繰返し程度まで漸減し，その後はほぼ一定の濃度で推移した．一方，ヒ素に関しては初期溶出濃度は低いものの，溶出試験の繰返しでアルカリの緩衝作用が失われて pH が低下すると，溶出濃度が 10 倍程度高くなった．このように，汚染物質の種類によっては周辺雰囲気の変化によって，長時間経過した後でも溶出するリスクを抱えていることを確認した．

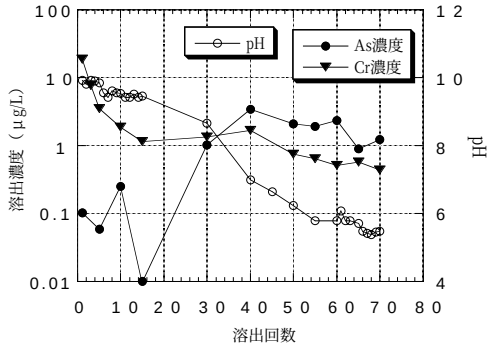


図-1　繰返し溶出試験結果

３．リスク評価手法

3.1　汚染物質の発生モデル

廃棄物層からの汚染物質の発生は，廃棄物層中の固相と液相（間隙水）の間の分配係数と間隙水の置換回数で決定すると考えられる．分配係数は固相濃度（mg/kg）に対する液相濃度（mg/L）の比で表され，汚染物質の漏出量を規定する．実験結果から分配係数は pH などの条件で様々な値をとり，特にヒ素においては pH 条件によっては 10 倍以上溶出値に違いがみられた．これは，焼却灰の緩衝作用によるものと考えられる．液相の pH の変化は間隙水の置換回数に依存するため，廃棄物層の間隙が降雨や地下水の移動などで洗浄されることで，分配係数が変化して汚染物質の溶出が促進される．

キーワード：廃棄物護岸，リスク，焼却灰，移流分散解析
〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設（株）技術ｾﾝﾀｰ地盤環境研究室 TEL045-814-7217
FAX045-814-7257

今回想定した廃棄物地盤の性状および分配係数を表-2 に示す．また，土壌含有濃度を 100mg/kg とした場合の汚染物質の発生濃度の経年変化を図-2 に示す．分配係数は図-1 の試験結果を参考にして，クロムに関しては初期値と定常値を，ヒ素に関しては pH 値に依存した値を設定した．発生濃度は，繰返し溶出試験時の抽出液量と設定流速による洗浄流量から分配係数の経年変化を予測し，漏出濃度を設定した．

3.2 廃棄物護岸を模擬した計算例

今回想定した廃棄物護岸の構成を図-3 に示す．止水矢板，中詰砂，盛砂および被覆砂の透水係数をそれぞれ 1×10^{-6}cm/s，1×10^{-3}cm/s，1×10^{-1}cm/s とし，止水矢板の内側（左側）に図-2 で示した汚染物質の負荷を与えたときの護岸内での汚染物質濃度を一次元の移流分散解析で計算した．計算式を(1)に示す．ここで，C は浸出水中の物質濃度（mg/L），D は縦分散係数（cm^2/s），u は浸透流の実流速（cm/s）を示す．

$$R\frac{\partial C}{\partial t}=D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}-u\frac{\partial C}{\partial x} \qquad (1)$$

3.3 計算結果

移流分散解析により得られたモデル護岸内の汚染物質濃度分布を図-4 に示す．横軸方向に護岸の座標を縦軸に汚染物質の濃度を示す．クロムに関しては，初期の高濃度の溶出による濃度ピークが経年的に低濃度かつブロードになりながら護岸内を移行していく結果となった．例えば，中詰砂の代わりに透水性の小さい改良土などを利用した場合，さらに汚染濃度のピーク濃度を低減することが可能であると考えられる．一方のヒ素では，廃棄物地盤が洗浄された後に分配係数が低下し，100 年後に高濃度汚染負荷が与えられるため，高濃度のピークが長時間経過した後に出現している．このように，物質の溶出特性によっては長期的なリスクを考慮する必要があることが判った．

４．まとめ

廃棄物護岸からの汚染物質漏出リスクを評価する目的で移流分散解析を行ない，汚染物質ごとの漏出挙動の違いが明らかになった．廃棄物層からの汚染物質発生予測に関して，汚染物質漏出量と廃棄物層の組成や pH などとの相関や，護岸自体の経年的な劣化などに関してさらにデータを収集し，精度を高めていく必要がある．

最終的には，護岸の止水性能や護岸構造ごとのリスク低減効果を評価する手法として確立することを目的として検討を加えていきたい．

表-2　廃棄物地盤性状

廃棄物層	間隙率(%)	50
	乾燥密度(g/cm³)	1.2
	焼却灰含有率 (%)	50
	実流速(m/y)	23
分配係数	Cr 初期(L/kg)	260
	Cr 定常(L/kg)	4000
	As 高 pH(L/kg)	40000
	As 低 pH (L/kg)	8000

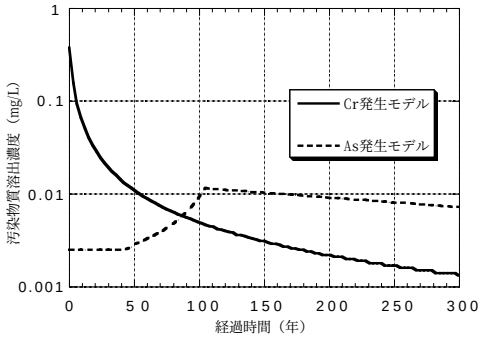


図-2　汚染物質漏出濃度変化

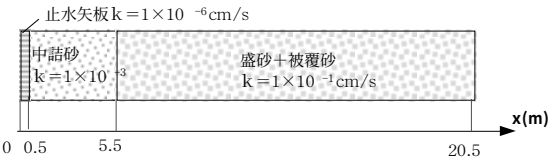
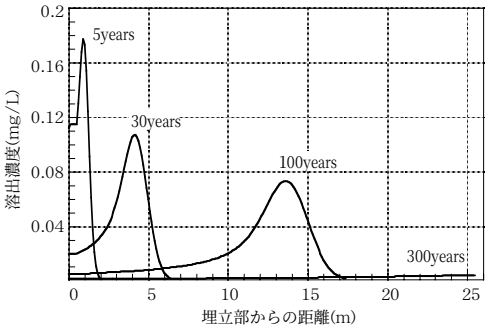
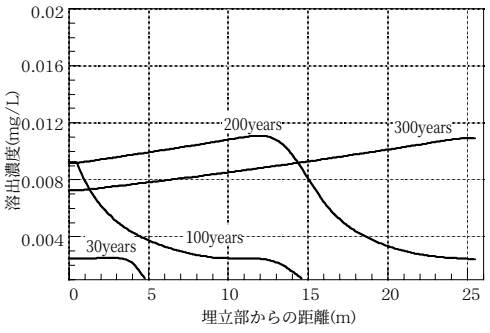


図-3　廃棄物護岸構成



a) Cr 計算結果



b）As 計算結果

図-4　護岸内濃度分布