研究論文

環境に配慮した中性無機改良材による 泥水シールド発生土のリサイクル —改良土の環境影響評価と改良材の改良—

竹内雄三*・石徳博行**・丸山俊朗***
鈴木祥広***・續 栄治****・延東 真*****

要 旨

第1報(本誌40頁)において、A液、B液、1粉体で構成する中性無機改良材(「3種型改良材」)を用いた泥水シールド発生土の改良土が個別指定の制度の条件をクリアできたこと、改良土製造の品質管理法について述べた。本報では、改良土の環境影響評価と改良した中性無機改良材(「2種型改良材」)について述べる。改良土の環境影響評価を溶出水の水質試験と魚類毒性試験および改良土の植物生育阻害試験によって行った。その結果、(1)3種型による改良土の溶出水の改良材を構成する成分の濃度は、降水による10倍希釈が許容されるとすれば、 pH 、 Na^+ 、 Al^{3+} 、 EC 、 SiO_2 、 K^+ は河川水の濃度以下になるが、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} はなお河川水の濃度より高いこと、(2)改良土溶出水の魚類毒性は、無希釈溶出水での急性毒性試験では、改良材添加量が多い場合に局所的鰓障害が観られるが、10倍希釈溶出水での亜急性毒性試験では異常は観られないこと、(3)改良土の植物生育阻害性は、改良材添加量が多い改良土の場合に発現するが添加量の少ない場合には対照区(畑土)と差異は観られないこと、などが分かった。

このような結果を勘案して2種型改良材を開発して、これを用いた改良土の溶出水の水質試験を行った。その結果、10倍希釈で PO_4^{3-} のみが河川水よりもわずかに高いものの、改良材所要量は3種型改良材よりも少ない。したがって、2種型改良材の環境への影響は3種型改良材に比較して大幅に改善されていると考えられる。

キーワード: 中性無機改良材、泥水シールド発生土、発生土改良、リサイクル

1. はじめに

第1報¹⁾において、すでに開発した中性無機材料¹⁾によって泥水シールド発生土を改良して、個別指定(埼玉県)に示された条件を満たすことができ、蓄積されている改良土製造に関する多量のデータを整理して改良土の品質管理法を明らかにした。

個別指定に示された改良土の条件とは、(1)土地区画整理事業等の盛土に利用することができ、(2)コーン指数が400kN/m²以上、(3)含水比が50%以下、(4)溶出水の pH が5.8~8.6、(5)土壤汚染に係わる環境基準に定

める有害物質を含まないこと、であった。そこで、中性無機改良材に含まれる土壤汚染に係わる環境基準(土壤溶出基準)の対象となる有害物質を計量し、これらが検出されないことを確認した。

改良土は、土地区画整理事業などの盛土や道路路体などにリサイクルされることから、降雨時には降水が改良材に接触しないしは改良材を透過した排水は、地下あるいは公共用水域に流入する。その場合、改良土は前述(4)と(5)という条件に加えて、溶出物質の量が少なく、水生生物や陸上植物の生育にできうる限り影響を与えないものでなければならない。

*小野田ケミコ(株)技術設計部 Yuzo TAKEUCHI

** (独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構九州新幹線建設局 Hiroyuki ISHITOKU

*** 宮崎大学工学部土木環境工学科 Toshiro MARUYAMA, Yukihiko SUZUKI

**** 宮崎大学農学部食料生産科 Eiji TSUZUKI

***** 東京海洋大学水産学部資源育成学科 Makoto ENDOU

受付日2004年2月16日

受理日2004年4月27日

そこで、本論文では、(1)改良土の振とう溶出水の水質分析と魚毒性試験、ならびに改良土の植物生育阻害試験を行い、改良材をより安全に改良するため改良土から溶出する成分や魚類・植物に対する影響を把握し、(2)その結果から改良材を改良してその振とう溶出水の水質分析を行って、改良材の安全性を検討した。

2. 振とう溶出水の水質

2.1 溶出水の水質

2.1.1 試験方法

(1)中性無機改良材の構成および成分含有量

実験に使用した中性無機改良材²⁾の構成薬剤を表1に、所定の配合の場合の含有成分を表2に示した。

(2)土壌試料

試験に用いた土壌試料は、表3のとおりである。改良土A、Bは泥水シールド発生土の二次処理土(脱水ケーキ)に改良材を添加・混練した改良土であり、改良土Cは宮崎大学の農場の畑土に改良材を添加・混練したもので、土壌Dは農場の畑土のみで改良土Cの対

表1 中性無機改良材の構成

名 称	成 分	真比重	pH
A 液	珪酸ナトリウム ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$)、 珪酸カリウム ($\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$)	約1.40	約13
B 液	燐酸 (H_3PO_4)、 硫酸アルミニウム ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)	約1.40	約2
粉体	焼結石膏 (CaSO_4)、 炭酸カルシウム (CaCO_3)	約2.60	約7

表2 中性無機改良材の成分含有量

項 目	計量値	項 目	計量値
pH(25℃)	7.5	Ca(wt%)	13
Al(wt%)	0.23	SO_4 (wt%)	20
Na(wt%)	6.0	PO_4 (wt%)	0.019
K(wt%)	1.3	T-Si(wt%)	14

(配合がA液7.5ℓ、B液2.5ℓ、粉体20kgの場合)

表3 環境影響評価試験に用いた改良土試料

	改良材の配合(1㎡当り)			発生土種別 (原 土)
	A液	B液	粉体	
改良土A	13.5ℓ	4.5ℓ	20kg	二次処理土
改良土B	7.5ℓ	2.5ℓ	20kg	二次処理土
改良土C	7.5ℓ	2.5ℓ	20kg	農場畑土
土 壌 D	—	—	—	農場畑土

照区とした。改良土は、100ℓ強制練りミキサにより原土を1分間混練した後、これを混練しながらA液、B液、粉体の順に20秒程度の時間差を持って添加し、さらに1分間混練して製造した。

(3)振とう溶出水の水質分析

溶出水は、環境庁告示第46号(平成3年8月)に準拠して溶出試験を行った。なお、上澄水のろ過には孔径 $1.2\mu\text{m}$ のガラス繊維フィルターを用いた。

分析項目(SiO_2 、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Al^{3+} 、 SO_4^{2-} 、 PO_4^{3-})は、改良材を構成する成分とした。分析方法は、次のとおりである。

pH：東亜電波工業製、pHメーターHM-30型。

電気伝導率：東亜電波工業製、電導度計MC-30S。

全有機炭素：島津製作所製、TOCメーターTOC-5000。

シリカ(SiO_2)：シリカモリブデン酸塩法、アルミニウムイオン(Al^{3+})アルミノン法、硫酸イオン(SO_4^{2-})：バリウム比濁法、燐酸イオン(PO_4^{3-})：アスコルビン法：HACH社製、DR-2000型。

ナトリウムイオン(Na^+)、カリウムイオン(K^+)：日立製作所製、偏光ゼーマン原子吸光光度計Z-6100。

カルシウムイオン(Ca^{2+})：キレート滴定法。

2.1.2 振とう溶出水の水質分析の結果と考察

溶出水の改良材を構成する元素の化学分析結果は、表4のとおりである。

各成分の濃度について、受入先での改良土からの流出水が河川に排除されると想定して、比較的汚染の少ない頃(昭和17～34年)の河川水(225河川)の平均水質(表4右欄)と比較して安全性を考察した。

溶出水A、B、CのpHは6.59～7.12であり、農場

表4 溶出水の化学分析結果

	溶出水 A	溶出水 B	溶出水 C	溶出水 D	河川水 ³⁾
pH	6.59	7.04	7.12	7.07	—
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1453	759	1826	109	111.5
TOC (mg/ℓ)	2.20	3.79	15.6	1.36	—
SiO_2 (mg/ℓ)	37.8	18.3	18.4	12.6	19.0
Na^+ (mg/ℓ)	2.65	1.05	1.74	0.14	6.7
K^+ (mg/ℓ)	5.60	9.50	15.9	6.50	1.19
Ca^{2+} (mg/ℓ)	81.7	202	371	5.30	8.8
Al^{3+} (mg/ℓ)	0	0	0	0	—
SO_4^{2-} (mg/ℓ)	1200	240	1500	2	10.6
PO_4^{3-} (mg/ℓ)	3.84	0.44	0.28	0.23	0.02

畑土に改良材を添加した改良土Cと無添加の土壌Dの溶出水を比較すると改良材の添加によって上昇するpHはわずかに0.05であるので改良材に起因するpHの変化はほとんどないとみなされる。

電気電動度(EC)は、溶出水A, B, Cで759~1,826 $\mu\text{S}/\text{cm}$ であった。清浄で限られたイオン濃度から推測された河川水のECは111.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (18°C)⁴⁾とされるが、一般の河川水は150~200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (25°C)程度である。溶出水のECは河川水の数倍から10倍程度とみられる。

全有機炭素(TOC)は、改良材が無機物質であることから溶出水A, BのTOCが極めて低い。しかし、溶出水CのTOCは溶出水D(対照区)の10倍強になっており、その理由は分からない。

SiO_2 の濃度は、溶出水Aが最も高く37.8mg/ ℓ で、河川水の平均濃度19.0mg/ ℓ の2倍であった。しかし、改良材のT-Si含有量(14wt%)に比較して溶出量は極めて低い。

Na^+ の濃度は極めて低く、溶出水A, B, Cで1.05~2.65mg/ ℓ であり、河川水の6.7mg/ ℓ の1/4程度であった。

K^+ の濃度は、溶出水A, B, CのうちCが最も高く15.9mg/ ℓ であった。この濃度は河川水の13倍強であるが、溶出水D(対照区)の2倍強である。

Ca^{2+} の濃度は、溶出水A, B, Cでそれぞれ81.7, 202, 371mg/ ℓ で、河川水の濃度8.8mg/ ℓ に比べて10~40倍であった。この理由は、 CaCO_3 の溶解度はpHが高い範囲では小さいが、溶出水のpHが中性なので相当量が溶解し、珪酸カルシウムなどの化合物を生成するものの、 SiO_2 量がCa量に比べて少ないために、未反応の Ca^{2+} が残留したのではないかと考えられる。一方、 Ca^{2+} 濃度が高ければ水中の HCO_3^- と反応して CaCO_3 が析出して白濁することが危惧される。しかし、 CaCO_3 の溶解度が8.2mg/ ℓ ⁴⁾を示すpHは10程度であり、中性付近での溶解度は大きくなる⁵⁾ので、かなりの Ca^{2+} 濃度まで CaCO_3 が析出して白濁することはないと考えられる。溶出水Cの Ca^{2+} が371mg/ ℓ の場合には、白濁は認められなかった。

溶出水の Al^{3+} はいずれの溶出水でも検出されず、難溶性の化合物が形成されたと考えることができる。

SO_4^{2-} の濃度は、溶出水Bで240mg/ ℓ で河川水の20倍強であるのに対して、溶出水A, Cでは1,200, 1,500mg/ ℓ と著しく高く110, 140倍に達した。 SO_4^{2-} の起源はB液の硫酸アルミニウムと粉体の焼結石膏であるが、

吸水した石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)の溶解度が49.2mg/ ℓ ⁴⁾と小さく、焼結石膏(CaSO_4)の溶解度が20.5g/ ℓ (25°C)⁴⁾と大きいところから、溶出水の SO_4^{2-} 濃度は硫酸アルミニウムと焼結石膏が支配しているものと考えられる。 SO_4^{2-} 濃度が高いことは、放流水域が嫌気性に陥ったり、地下浸透すれば硫化水素の発生など望ましくない状況を創出する可能性があるので、溶出量が少なくなるように改良材の組成や配合を改良する必要がある。

PO_4^{3-} は溶出水Aで最も高く3.84mg/ ℓ であるが、河川水の濃度と比較すると約200倍に達する。改良土Aの磷酸を含むB液の添加量が他の試料の場合の2倍であることが溶出水の PO_4^{3-} を高くしたと考えられるが、溶出水B, Cの PO_4^{3-} 濃度の2倍よりもはるかに高く理解し難い。 SO_4^{2-} の場合も同様であるが、この種の溶出量が単純に改良材の等量的関係が成り立たない複雑な反応が起こっているためと考えられる。 PO_4^{3-} については富栄養化原因物質の一つであるので、 PO_4^{3-} 溶出量の少ない配合やB液の磷酸含有量を必要最小限にする改良が必要である。

溶出試験の結果、ほとんど溶出しない成分からかなり溶出する成分までであることが分かった。このようなイオンごとの溶出の差は、配合の違い、原土の違い、混練の違い、ゲル化に対する各成分の過不足などが複雑に影響していると考えられる。

このような結果から環境影響をみるにあたって、改良土が盛土材として利用される場合、溶出成分の環境に排出される状況も考慮する必要がある。すなわち、第一に改良材成分が排出されるのは降雨時で相当に希釈されており、第二に現場では溶出試験のような条件(6時間の連続往復振とうにより粒子が微細化されて溶出量が多くなる条件)での溶出は起こり得ないことである。

pH, TOC, Na^+ および Al^{3+} は溶出量が極めて少なく、溶出水自体の濃度が河川水より低く、環境には影響を与えないと考えられる。改良土から改良材構成物質が環境に流出するのは主に降雨時である。排水基準は、環境基準の10倍希釈を期待して定められている。この考え方を適用して、希釈倍率を10倍が許容されているとするとEC, SiO_2 , K^+ は、河川水濃度以下になる。10倍に希釈されてもなお河川水濃度より高くなる成分は Ca^{2+} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} である。これらの溶出量を低下させる改良材の組成や配合あるいは混練方法の改善が必要である。 Ca^{2+} , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} の溶出量を減少

させることができれば、水生生物への影響は少なくないと考えられる。

3. 魚 類 毒 性

3.1 試 験 方 法

魚類毒性試験は、上記の化学分析に用いた溶出水(表4)を試験水とし、観賞魚店から購入したヒメダカ(*Oryzias latipes*)とキングヨ(*Carassius auratus*)を供試魚とした。供試魚は観賞魚店から購入後、病気予防のため50ppmホルマリンで一晩消毒し、1週間大学構内の池で飼育し、毒性試験の前日からえさ止めた。供試魚の平均体重は、ヒメダカ0.15g、キングヨ6.7gであった。各々の溶出水そのものをA区、B区、C区、D区とし、活性炭処理水道水の対照区を加えてヒメダカによる急性毒性試験(48時間)を行った。1ℓポリビーカーに各液を600ml入れ、曝露開始後24時間後に全数換水する条件とし、実験を2回繰り返した。さらに溶出水A、B、Cの10倍の希釈水をA区、B区、C区とし対照区を加えてキングヨによる亜急性毒性試験(7日間)を、8ℓアクリル水槽に各液5ℓを入れ、24時間で全数を換水する条件で行った。生残魚は全てパラフィン包埋し、薄切後ヘトマキシリン・エオシン染色(一般染色)とアルシアンブルー・PAS染色(粘液染色)を施して、病理組織学的検査を行った。

3.2 魚毒性試験の結果と考察

急性毒性試験の第1回目、第2回目の結果と環境条件を表5に示す。また、表6に亜急性毒性試験の結果を示す。

急性毒性試験において第1回目試験ではD区(畑土)で24時間後に死亡尾数9尾、48時間後に全滅した。A区とC区においても1～3尾死亡した。C、D区は畑土であり、特にD区の強い毒性は土壌に残留した農薬が関与しているのではないかと考えられる。なお、第1回目と第2回目の畑土は異なった場所から採取している。

急性毒性試験の結果、第1回目、第2回目の何れも病理組織学的検査では内臓諸器官、筋肉、神経系、皮膚には特筆すべき病変はなかった。しかし、鰓にはA区で二次鰓弁上皮の増生または水腫と局所的鰓弁の融合があり、C区で二次鰓弁毛細血管が拡張していた。アルシアンブルー・PAS染色の結果からは、鰓や体表の粘液細胞の数と粘液物質に異常は観られなかった。第1回目A区の48時間後の3尾の死亡と病変は、改良土Aの改良材A液とB液の添加量が、改良土B、

表5 急性毒性試験結果

	回	A区	B区	C区	D区	対照区
当初尾数	①	10 ^(注)	10	10	10	10
	②	10	10	10	10	10
死亡尾数 (24時間後)	①	0	0	0	9	0
	②	0	0	0	0	0
死亡尾数 (48時間後)	①	3	0	1	1	0
	②	0	0	2	0	0
生存尾数	①	7	10	9	0	10
	②	10	10	8	10	10
DO(mg/ℓ)	①	6.4	7.5	7.3	—	7.4
	②	7.1	7.3	7.4		7.7
pH	①	6.6	7.1	7.5	—	7.2
	②	6.5	7.2	7.6		7.3
WT(℃)	①	25.2	25.0	24.9	—	24.9
	②	24.5	24.5	24.6		24.5

注) 各欄内の上段の数値①は第1回目、下段の数値②は第2回目試験結果を示す。

表6 亜急性毒性試験結果

	A区	B区	C区	対照区
当初尾数	3	3	3	3
死亡尾数(7日後)	0	0	0	0
生存尾数	3	3	3	3
DO(mg/ℓ)	6.2～7.6			
pH	6.9～7.3			
WT(℃)	20.7～22.4			

Cの2倍であったことが影響しているのではないかと考えられる。

亜急性毒性試験の結果では、表6に示すように実験期間中A、B、Cおよび対照区とも死亡魚はなく、遊泳行動等に異常は認められず、病理学的検査やアルシアンブルー・PAS染色でも異常はなかった。

溶出水そのものを試験水とした急性毒性試験の結果から、仮に降雨時に10倍に希釈されるとすれば、魚類毒性は認められないと考えられる。また、亜急性毒性試験の結果からも異常は認められず、改良土の魚類毒性は低いと考えられる。

4. 植物の生育阻害

4.1 試 験 方 法

表3に示す4種類の土壌試料(改良土A、B、Cおよび土壌D)をポリコンテナ(42cm×32cm×21cm)に満たし、コマツナ、ハートボール、ミニトマトを供

試作物として、条間16cm、株間4cm、播種3粒および無肥料の条件で、播種から播種後45日まで調査・観察し、畑土壌と生育の関係を求めた。

4.2 植物生育阻害試験の結果と考察

表7に植物生育阻害試験の結果を示す。

改良土Aでは3種類の作物のいずれにおいても最も生育が劣っており、コマツナは土壌B、C、Dいずれも差異は認められず、ミニトマトは改良土Cが最も生育が優れ、改良土B、土壌D（対照区）間に差異は見られない。ハートボールは改良土Cと土壌D（対照区）の間に差異はなかった。

改良土Aと改良土Bは原土が同じであるが、改良土Aの改良材A液とB液の添加量が、改良土Bの2倍であり、このことが生育に影響しているのではないかと考えられる。

これらのことから、対照土壌（土壌D）に対して改良土が必ずしも植物の生育を阻害するとはいえないが、改良材A液とB液の添加量を少なくすることが必要ではないかと考える。

5. 中性無機改良材の改良と振とう溶出水の水質

5.1 中性無機改良材の改良

溶出水の水質試験と植物の生育阻害試験から、河川

水の水質に比較して濃度の高い溶出成分である Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} および PO_4^{3-} の濃度を低下させることが望ましい。また、より少ない添加量で目的が達せられるよう、改良材を改良する必要があると考えた。

そこで、表8に示す1液1粉体の改良材を開発した⁶⁾。改良材を区別するため、これまで用いてきたA液、B液および粉体の3種の薬剤からなる改良材を「3種薬剤型改良材（「3種型改良材」）」（表1）とし、改良した1液1粉体からなる改良材を「2種薬剤型改良材（「2種型改良材」）」と称することとする。

2種型改良材のアルカリ性の液体は3種型改良材と同じA液であり、酸性の粉体は3種型改良材と異なる過磷酸石灰を微粉末化したものである。

液体と粉体を各々10ℓ（14kg）と9kgの比率で混合すると混合液のpHが約7となり、発生土のpHによっては液体と粉体の混合比率を変化させることによって改良土のpHを調整することが可能である。

表9に2種型改良材の成分含有量を示すが、表2に示す3種型改良材に比べて Al^{3+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 SO_4^{2-} が少なく、 Ca^{2+} 、 PO_4^{3-} 、T-Siを多くしてある。

2種型と3種型の改良材を用いた改良土のコーン指数の値とその発現状態、改良材所要量、そのコストについて以下に述べる。

2種型と3種型の改良材を泥水シールド発生土に添加した改良土のコーン指数の大きさと経時的発現状態は、表10に示す改良材添加量の場合には、図-1とほとんど同じであった。

その改良材添加量（所要量）は、重量で2種型が3種型の67.6%（=23.0/34.0）である。

また、改良材のコストは、改良材の単価（A液：50

表7 植物の生育阻害試験結果

		改良土A	改良土B	改良土C	土壌D (対照区)
出芽率	コマツナ	90.8%	97.0%	90.0%	91.8%
	ハートボール	17.8%	23.3%	56.5%	47.0%
	ミニトマト	82.0%	79.8%	91.0%	74.3%
コマツナ	草丈	9/25	2.8cm	5.2cm	4.8cm
		10/5	3.5cm	10.1cm	10.1cm
		10/15	4.2cm	15.3cm	15.6cm
	乾物量	9/25	0.03 g	0.05 g	0.06 g
		10/5	0.05 g	0.50 g	0.47 g
		10/15	0.05 g	1.67 g	1.70 g
ハートボール	草丈	9/25	—	—	—
		10/5	2.0cm	2.8cm	3.8cm
		10/15	3.4cm	5.6cm	6.5cm
ミニトマト	草丈	9/25	2.6cm	3.3cm	4.4cm
		10/5	3.9cm	6.4cm	11.3cm
		10/15	4.8cm	13.2cm	20.0cm
	乾物量	9/25	0.02 g	0.04 g	0.05 g
		10/5	0.04 g	0.15 g	0.45 g
		10/15	0.06 g	0.52 g	1.62 g

表8 2種型改良材の構成

	成分	真比重	pH
A液	珪酸ナトリウム ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$)、 珪酸カリウム ($\text{K}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$)	約1.40	約13
粉体	過磷酸石灰 ($\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4$)	約2.35	約3

表9 2種型改良材の成分含有量
(配合がA液10ℓ、粉体9kgの場合)

項目	計量値	項目	計量値
pH(25℃)	7.4	Ca(wt%)	16
Al(wt%)	0.14	$\text{SO}_4(\text{wt}\%)$	0.74
Na(wt%)	1.4	$\text{PO}_4(\text{wt}\%)$	0.068
K(wt%)	0.024	T-Si(wt%)	38.0

表10 改良材添加量（発生土 1 m³あたり）

	2 種型改良材	3 種型改良材
A 液	10 ℓ (14.0kg)	7.5 ℓ (10.5kg)
B 液	—	2.5 ℓ (3.5kg)
粉体	9.0kg	20.0kg
計	23.0kg	34.0kg

図-1 改良土のコーン指数の経時変化

円/ℓ, B液:200円/ℓ, 2 種型の粉体:75円/kg, 3 種型の粉体:50円/kg)を各々の添加量に乗じて算出すると, 改良土 1 m³あたり 2 種型は1,175円 (=50×10 ℓ +75×9 kg), 3 種型は1,875円 (=50×7.5 ℓ +200×2.5 ℓ +50×20kg)となる。2 種型のコストは, 3 種型のコストの62.7% (=1,175/1,875)である。

5.2 試験方法

1 m³の泥水シールド発生土に対して, 表10に示す配合で2 種型改良材のA液10 ℓ (14kg), 粉体9 kgを添加・混練して改良土を作成した。この改良土について前述したと同じ条件で振とう溶出液(「溶出水2」)を得て, 前述したと同じ水質項目について同じ方法で分析した。

溶出水2の水質分析結果を, 3 種型改良材を用いた改良土の溶出水である溶出水3(表4の溶出水B)および河川水の平均水質と対比して表11に示す。

5.3 結果と考察

表11より, 溶出水2は溶出水3に比べ, ECとSiO₂, Ca²⁺, SO₄²⁻, PO₄³⁻濃度については低く, TOC, Na⁺, K⁺, Al³⁺濃度がわずかに高い値になっている。特に, 3 種型改良材を添加した改良土の溶出水の化学分析結果で課題となったCa²⁺, SO₄²⁻およびPO₄³⁻は, 溶出水2では著しく低下しているものの, なお河川水より高い。しかし, 降雨時における10倍希釈が許容されるとすれば, PO₄³⁻がわずかに平均的河川水濃度を上回るのみである。したがって, 2 種型改良材を添加した改良土の環境影響は, 3 種型に比較し

表11 溶出水2の化学分析結果

	溶出水2	溶出水3	河川水
pH	7.52	7.04	—
EC (μS/cm)	198	759	150~200
TOC (mg/ℓ)	9.06	3.79	—
SiO ₂ (mg/ℓ)	11.0	18.3	19.0
Na ⁺ (mg/ℓ)	4.40	1.05	6.7
K ⁺ (mg/ℓ)	11.7	9.50	1.2
Ca ²⁺ (mg/ℓ)	26.2	202	8.8
Al ³⁺ (mg/ℓ)	0.02	0	—
SO ₄ ²⁻ (mg/ℓ)	60.0	240	10.6
PO ₄ ³⁻ (mg/ℓ)	0.28	0.44	0.02

て大幅に改善されていると考えられる。

6. まとめ

3 種型改良材による泥水シールド発生土の改良土の環境影響評価を, 溶出水の水質試験, 魚類毒性試験および植物生育阻害試験によって行った。その結果を勘案して改良した2 種型改良材を用いた改良土の溶出水の水質試験を行った。得られた知見は, 次のようにまとめられる。

- (1) 3 種型改良材を用いた改良土の溶出水の改良材構成成分の濃度は, pH, Na⁺, Al³⁺は平均的河川水濃度より低く, 降水による10倍希釈が許容されるとすればEC, SiO₂, K⁺は河川水濃度以下になる。しかし, Ca²⁺, SO₄²⁻, PO₄³⁻は10倍希釈されてもなお河川水濃度よりも高い。
- (2) 3 種型改良材を用いた改良土の溶出水のヒメダカとキンギョに対する魚類毒性は, 無希釈溶出水での48時間毒性では病変は観られないが, A液量の多い場合に局所的鰓弁融合が観られた。10倍希釈溶出液での亜急性毒性試験(7日間)では, 異常は観られなかった。
- (3) 3 種型改良材を用いた改良土のコマツナ, ハートボール, ミニトマトの生育阻害性は, 改良材添加量が多い場合には3 種の植物の生育を阻害したが, 添加量が適量の場合には対照区(畑土)との差異は観られず, 改良材の過剰添加にならないようにしなければならない。
- (4) 以上の結果から3 種型改良材は改良材構成成分の溶出量の低減, 魚類毒性の軽減, 植物の生育阻害の軽減のために改良材の改良と添加量の低減が必要である。

- (5)改良した2種型改良材は、3種型改良材に比べて、同じコーン指数の改良土を得るための改良材必要量は67.6%と少なく、コストは62.7%に低減できた。
- (6)2種型改良材は、同じコーン指数の改良土を得るための改良材添加量において、改良土からの改良材成分の溶出量は著しく低下し、10倍希釈濃度では K^+ 、 Ca^{2+} 、 SO_4^{2-} 濃度が河川水濃度より低くなり、 PO_4^{3-} はわずかに高いに過ぎない。
- (7)以上の結果から、2種型改良材の環境影響は、改良材添加量の削減と溶出量の低下からみて、3種型に比較して大幅に改善されていると考えられる。

参考文献

- 1) 竹内雄三, 石徳博行, 丸山俊朗, 瀬崎満弘: 環境に配慮した中性無機改良材による泥水シールド発生土のリサイクル-改良土の品質管理法-, 環境技術, 33 (9), pp40-48 (2004)
- 2) 日本国特許庁: 公開特許公報, 特開平11-61794, 1999.3
- 3) 半谷高久, 小倉紀雄共著: 第3版水質調査法, 丸善, p.201 (2000)
- 4) 日本化学学会編: 改定4版化学便覧, 丸善, pp. II-162, II-168.
- 5) 丸山俊朗: 炭酸ガスによるアルカリ性排水の中和に関する研究(Ⅱ)・水酸化カルシウムとセメント懸濁液の中和, 下水道協会誌, pp1-12, 1978.6
- 6) 日本国特許庁: 公開特許公報, 特開2001-32254, 2001.2

Recycling of the sludge produced by slurry shield tunneling using environment-friendly the neutral inorganic materials - The environmental influence assessment of improved sludge and the improvement of material -

Yuzo TAKEUCHI, Hiroyuki ISHITOKU, Toshiro MARUYAMA
Yukihiro SUZUKI, Eiji TUZUKI, Makoto ENDO

ABSTRACT

In the previous report, the improved sludge produced by slurry shield tunneling using the neutral inorganic material composed Liquid-A, Liquid-B and Powder (referred to as "3-kinds-type improved material"), could satisfy the conditions for the provision of the individual governmental system, and the technique of the quality control of the improved sludge production was described. This report is described on the environmental influence assessment of the improved sludge and the improved neutral inorganic material (referred to as "2-kinds-type improved material"). The environmental influence assessment of the improved sludge was carried out by the water quality test and the fish toxicity test using the improved sludge-dissolved water and the plant growth inhibition test using the improved sludge. The results are summarized as follows.

(1) As for the concentration of the ingredients of the improved sludge-dissolved water of the improved sludge using the 3-kinds-type, if the concentration is 10 times diluted by the rainfall is acceptable, pH, EC, Na^+ , Al^{3+} , SiO_2 and K^+ are lower, but Ca^{2+} , SO_4^{2-} , and PO_4^{3-} are higher than the concentration of the river water.

(2) As for the fish toxicity of the improved sludge, in the acute toxicity test using the undiluted dissolved water, the local gill disorder is observed locally when much addition quantity of material is used. However in the subacute toxicity test using 10 times diluted dissolved water, a abnormality isn't observed.

(3) The plant growth inhibition of the improved sludge is exhibited when a large quantity of material is added. However it is seen that there is hardly any difference in the inhibition between the improved sludge and the control (field's soil) when the improved sludge is added in a low quantity.

In condition of these results, the 2-kinds-type improved material was developed and the water quality test of the dissolved water of the improved sludge using this material was carried out. As a result, in case of 10 times diluted, although only PO_4^{3-} is slightly higher than the concentration of the river water, the quantity of the improved material required is smaller than that of the 3-kinds-type improved material. Therefore, it is considered that the influences of the 2-kinds-type improved material to the environment to be remarkably improved as compared to that with 3-kind-type improved material.

Key Words : neutral inorganic material, slurry shield sludge, improvement of sludge, recycle