

土壤による水質浄化法における土壤構造と浄化能との関係

佐藤邦明, 宗村広昭, 森也寸志, 増永二之

目 的

これまで、土壤式水質浄化法の一つとして「多段土壤層法」の開発を行ってきた。土壤に鉄やおがくず等を混合し浄化能を高めた混合土壤をレンガ積層状（混合土壤層）に積み、その間に通水性の高い粒状の資材を充填（通水層）した構造を持つ（第1図）。

これまでの研究から土壤ブロックの構造を小さくし、その表面積を大きくすることで浄化能の高くなることが見出され、汚水をいかに有効に土壤へ接触浸透させるかが重要であると示唆されてきた（Sato K. *et al.* 2005, Chen X. *et al.* 2007）。しかし、土壤ブロック構造の違いと浄化能の関係について水の動きも含めた定量的な評価は今まで行われてこなかった。そこで本研究では、土壤ブロック単位（第2図）で構造を変化させ水の動きと浄化能について①土壤層の高さの違い（土壤層高）、②土壤層を積み上げることの効果（積層効果）、③同一土壤量での分割効果（分割効果）に着目して、比較検討を行った。

方 法

装置として幅21.8cm、高さ3.9~11.7cm、奥行き15cmの亚克力ケースを用いた。土壤層には黒ボク土を幅15cm、高さ2, 3, 6cm、奥行き15cmに充填し、通水層にはゼオライトを充填した。土壤層の高さ2cmで1~3段、3cmで1~2段、6cmで1段の計6装置を作成した。各装置最下段では高さ1cmの仕切りで土壤層と通水層を流れる水を分けて採水した。二段目以上の底面には、中央の1か所のみ排出口を設けて、下段の土壤層中央部に滴下されるようにした（第2図）。以下各装置のことを(2cm)、(2cm×2)、(2cm×3)、(3cm)、(3cm×2)、(6cm)と示す。①土壤層の高さの違いは(2cm)・(3cm)・(6cm)、②積層効果を(2cm)・(2cm×2)・(2cm×3)と(3cm)・(3cm×2)、③分割効果を(2cm×3)・(3cm×2)・(6cm)の装置で比較した（第3図）。また、(6cm)と同じ構造の装置を作成し、水分計を土壤層上部と下部に各2か所ずつ、計4か所挿入して土壤中の水分状態についての調査も行った（第3図）。

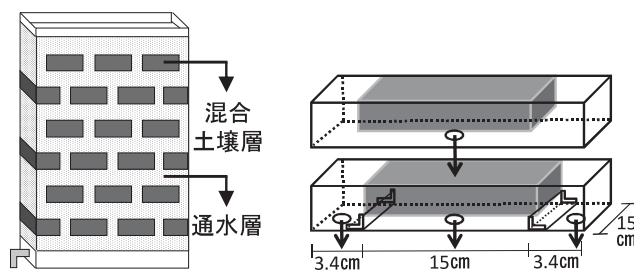
実験期間は2011年10月25日から1月25日（92日間）で、原水には人工排水を用い、10月25日から11月2日までは500l/m²/d、11月2日からは250l/m²/dの負荷量で通水実験を行った。

結果および考察

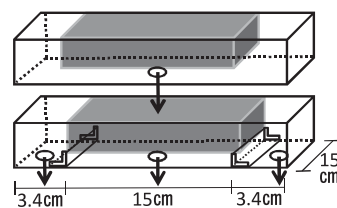
<水の動き>

実験開始当初はどの装置でもほぼ土壤層からの排出だったが、日数が経過すると急激に通水層からの排出率が高くなった。この要因の一つとして、流入に用いたチューブ内で生成した微生物膜の装置への流出があげられた。実際に、土壤層上面に集積した生物膜を除去したところ、土壤層での排出率が増加した。

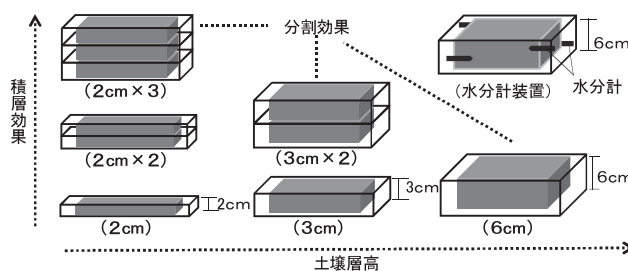
①（土壤層高）の比較では、土壤層からの排出率が(2cm) < (3cm) < (6cm)となった。これは土壤層が高くなるほど、通水層へ下方浸透した汚水が土壤層側面より浸透したためと考えられた。②（積層効果）の比較では、土壤層からの総排出率は2cm系と3cm系での段毎で大きな差は無かった。③（分割効果）の比較では、土壤層からの排出率は(2cm×3) < (3cm×2) < (6cm)となっており、最下段の土壤層高の違いが反映していた。しかし、(6cm)で通水層から排出された水に比べ(3cm×2)や(2cm×3)では上段で通水層を流れた汚水も、下段では土壤層に流入するため土壤との接触効率は高まると推察された。また、水分計の結果では土壤層下部での体積含水率が上部よりも先に高い値を示し、次第に上部の値も上昇し下部と同じ値になっていった。



第1図 多段土壤層法



第2図 装置詳細図



第3図 実験系詳細図

<水質浄化能>

COD濃度は土壌層<通水層となっており、COD除去には土壌の寄与が大きいと示唆された(第1表)。①(土壌層高)の比較では、土壌層が高くなるほど除去率が高くなった。これは、浄化に寄与する土壌量が増えたためと考えられた。しかし、(3cm)と(6cm)の除去率の差は小さく、一概に土壌量に比例して除去率が高くなるわけではなかった。②(積層効果)の比較では、(2cm)(3cm)の両系で、積層されるにつれ濃度は低くなった。1段の装置では土壌層と通水層との濃度差が大きく、通水層を通った汚水は土壌との接触が低いと考えられた。そして2段以上ある装置ではその濃度差が小さく、それは上段で土壌と接触した汚水が通水層を流れたためと推察された。③(分割効果)の比較では、除去率が(6cm)<(3cm×2)<<(2cm×3)となり、(2cm×3)の除去率は(6cm)の約1.3倍であった。これは土壌層の分割によって土壌と汚水との接触効率が向上したためと推察された。

TP濃度では土壌層<<通水層となっており、リン除去には土壌によるリン吸着の寄与が大きいと示唆された(第1表)。①(土壌層高)の比較では除去率が、(2cm)<(3cm)≐(6cm)となった(第1表)。CODと同様に、土壌層を高くすることで浄化能は高くなるが、土壌量に比例して除去率は高くならなかった。②(積層効果)の比較は、(2cm)(3cm)両系において積層するほど浄化能が高かった。そして、COD除去に比べ積層による除去率の向上効果が高く表れていた。③(分割効果)の比較では、除去率が(6cm)<<(3cm×2)<(2cm×3)となった。これも土壌層の分割によって土壌と汚水との接触効率が向上し、リン除去能が向上したと推察された。

窒素については、本実験は10月後半から行い気温が低

かったためか、処理水の硝酸・亜硝酸濃度は低く硝化反応はみられなかった。また、各装置で土壌層と通水層の平均TN濃度に違いがあまり無く、資材による窒素除去能力の差は見られなかった。TN除去率において①(土壌層高)の比較では(2cm)<(3cm)<(6cm)の順となった(第1表)。②(積層効果)の比較では(2cm)(3cm)の両系において、積層するほど除去率が高かった。③(分割効果)の比較では、除去率は(6cm)<(3cm×2)≐ (2cm×3)となった。分割による窒素除去能力への影響は、CODやリンに比べ小さく、それは土壌層と通水層で窒素処理能力に差があまりなかったためと推察された。

今回の調査では、水排出率の結果より土壌層が高くなるほど土壌層側面からの浸透が増加すると考えられた。しかし、土壌層上面と比べ側面からの浸透ではCODやリンの浄化効率は低くなると推察された。また、土壌層の分割効果は有機物、リン、窒素で異なっていた。土壌の浄化への寄与が高いリンと有機物においては、土壌層構造によって水の動きを制御し、土壌との接触効率を高めることが効果的であると示唆された。

引用文献

Chen, X., Sato, K., Wakatsuki, T. and Masunaga, T. (2007) Effect of structural difference on wastewater treatment efficiency in multi-soil-layering systems: Relationship between soil mixture block size and removal efficiency of selected contaminants. *Soil Science and Plant Nutrition*, **53**: 206-214

Sato, K., Masunaga, T. and Wakatsuki, T. (2005) Water movement characteristics in a Multi-Soil-Layering system. *Soil Science and Plant Nutrition*, **51**: 75-82

第1表 各装置における土壌層及び通水層での平均濃度と除去率

	COD (mg/L)			TN (mg/L)			NH ₄ -N (mg/L)		TP (mg/L)		
	土壌層 (mg/L)	通水層 (mg/L)	除去率 (%)	土壌層 (mg/L)	通水層 (mg/L)	除去率 (%)	土壌層 (mg/L)	通水層 (mg/L)	土壌層 (mg/L)	通水層 (mg/L)	除去率 (%)
原水		277.2			73.0			22.6			3.2
2 cm	187.5	237.7	30.8	52.4	55.1	24.4	29.0	28.7	1.6	2.6	31.0
2 cm×2	158.6	195.3	34.6	40.9	47.8	31.9	24.9	31.7	0.4	1.9	56.6
2 cm×3	96.3	132.2	62.0	30.3	35.8	53.5	16.0	20.2	0.3	1.0	77.4
3 cm	154.7	209.5	43.8	49.3	51.8	32.6	30.7	27.8	0.7	2.7	49.0
3 cm×2	141.1	175.2	50.7	34.7	36.6	51.2	19.9	26.0	0.4	1.5	70.4
6 cm	153.4	182.7	46.8	44.1	50.2	39.0	25.5	23.9	0.9	2.6	53.5