

## 土壌ろ材を用いた降雨時道路路面排水の処理に関する基礎的研究

大阪工業大学大学院 学生員 宮川善年

大阪市立環境科学研究所 正会員 新矢将尚

大阪工業大学工学部 正会員 笠原伸介 石川宗孝

### 1. はじめに

近年、都市活動の高密度化、活性化に伴いノンポイント汚濁負荷は増加の傾向にある。その汚染源の中でも、特に汚濁ポテンシャルが高いと考えられる道路路面からの降雨時汚濁負荷に関する対策が急務である。そこで本研究では、その削減対策の一つとして挙げられる土壌浸透処理を選定し、土壌ろ材として、水中の窒素・リン除去に対する有効性が示されている赤玉土・鹿沼土<sup>1)</sup>を使用し、実際の降雨時道路路面排水に対する土壌浸透処理特性について検討すると共に、両土壌の有効性の比較検討を行った。

### 2. 実験方法

本研究で実験対象とした原水（道路路面排水）は、初期降雨時に高架高速道路（集水面積 1,082m<sup>2</sup>）の橋脚部排水管口から流出する排水を採取し、2000 μm のステンレス製ふるいを用いて粗大成分を分離除去した（連続通水実験では 425 μm のふるいでろ過した）ものである。また、土壌として、乾燥機で乾燥させた粒径 2~4 mm の赤玉土と鹿沼土を 2 種類使用した。

回分吸着実験：1 L ビーカー内において、排水中に 0.1~50 g の土壌を添加し、ジャーテスターを用いて 24 時間攪拌し、攪拌中の NH<sub>4</sub>-N 及び PO<sub>4</sub>-P 濃度を測定した。

カラム通水実験：表 1 に各カラムの通水条件を示す。アクリル製カラムに所定量の土壌を充填し、ポンプを用いて排水をカラム上部より滴下した。土壌上部には、ガラスウール・レキなどを設置することにより、滴下された排水が均一に浸透するよう調製し、充填土壌の流出を防ぐためカラム上下部に孔径 1mm のメッシュを設置した。また、間欠通水実験では、あらかじめ活性汚泥を種汚泥として各土壌に 20mL 添加し、3 日に 1 回、表 1 に示す通水量で 3 時間通水した。

表 1 各カラムの通水条件

column	通水方法	使用土壌	間隙率 (%)	保水率 (%)	(cm)	土壌容積 (cm <sup>3</sup> )	土壌重量 (g)	通水量 (ml/min)	使用排水
C1	連続	赤玉	75.7	31.2	1.3	40.0	28.48	0.7	n.6
C2						2.1			
C3						0.7			
C4						2.1			
C5						0.7			
C6						2.1			
C7		鹿沼	84.4	31.7		40.0	14.54	0.7	n.6
C8						2.1			
C9						0.7			
C10						2.1			
C11						0.7			
C12						2.1			
C13	間欠 (3日に1回3hr)	赤玉	75.7	31.2	15	3532.5	2098.52	16.67	n.1
C14		鹿沼	84.4	31.7			1077.09		n.2 n.3 n.4 n.5

### 3. 実験結果及び考察

**3-1. 回分吸着実験**... 図 1 にリン酸及びアンモニア性窒素に関する Freundlich 吸着等温線<sup>2)</sup>を示す。これより、赤玉土・鹿沼土におけるリン酸の吸着定数 k 及び吸着指数 1/n を比較すると、赤玉土の k は鹿沼土の約 1.5 倍となり、1/n は共に 1.3 程度であった。同様に、アンモニア性窒素と比較すると、赤玉土の k は鹿沼土の約 2 倍となり、1/n は共に 3.5 程度であった。これより、この排水中のリン酸・アンモニア性窒素に対する吸着力は、鹿沼土より赤玉土の方が優れていると言えた。しかし同時に、アンモニア性窒素は 1/n が 2 以上であることから、土壌に対して吸着されにくい物質であることも確認された。

**3-2. 連続通水実験**... 表 2 に目詰まり及び飽和までの通水量を示す。目詰まりまでの通水量において赤玉土・鹿沼土を比較すると、鹿沼土は赤玉土の約 2 倍まで目詰まりしがたく、同様に、飽和までの通水量を比較すると、鹿沼土は赤玉土の約 0.5 倍で飽和にいたった。これより、鹿沼土は赤玉土よりも吸着性が低いと言えた。

表 3 に各成分の土壌 1 g 当たりの累積除去量を示す。土壌厚の違いにおける各測定項目の除去量を比較すると、PO<sub>4</sub>-P では土壌厚が減少するほど除去量が大きく、NH<sub>4</sub>-N・DOC では土壌厚が増すほど除去量が小さくなる。これは、PO<sub>4</sub>-P では吸着力が大きく、ろ層上部でほぼ除去されるが、NH<sub>4</sub>-N・DOC ではろ層全体で除去されるためだと言える。同様に、通水量の違いにおける除去量を比較すると、全て通水量が少ないほど除去量が大きいく。これは、除去性能に関与するものが接触時間であると言えた。

キーワード：ノンポイント汚染、降雨時道路路面排水、土壌ろ材、土壌浸透処理、吸着

連絡先：〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1 大阪工業大学工学部土木工学科 TEL06-6954-4109 FAX06-6957-2131

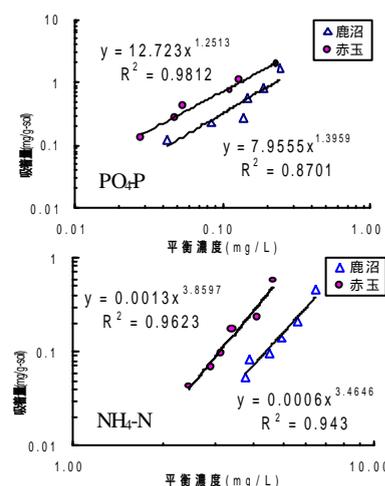


図 1 Freundlich 型の吸着等温線 (対数表示)

表2 目詰まり及び飽和までの通水量

使用土壌	column	土壌厚 (cm)	通水量 (ml/min)	飽和するまでの通水量 (L)		
				目詰まりまでの通水量 (L)	NH <sub>4</sub> -N	DOC
赤玉土	c1	30.1	0.7	7.09	4.089	7.094
	c2		2.1	14.76	1.512	3.035
	c3		0.7	0.27	0.163	0.227
	c4	1.5	2.1	1.53	0.139	0.266
	c5		0.7	6.57		
	c6		2.1	7.94		
鹿沼土	c7	30.1	0.7	17.29	2.015	2.015
	c8		2.1	17.688	0.504	1.029
	c9		0.7	1.008	0.104	0.148
	c10	7.5	2.1	3.024	0.069	0.107
	c11		0.7	16.44		
	c12		2.1	14.49		

\*1は通水終了までの通水量

表3 土壌1g当たりの累積除去量

測定項目	土壌1g当たりの累積除去量 (mg/g-soil)									
	PO <sub>4</sub> -P		NH <sub>4</sub> -N				DOC			
	0.7 (mL/min)	2.1 (mL/min)	0.7 (mL/min)		2.1 (mL/min)		0.7 (mL/min)		2.1 (mL/min)	
使用土壌	赤玉	鹿沼	赤玉	鹿沼	赤玉	鹿沼	赤玉	鹿沼	赤玉	鹿沼
土壌容積 40 (cm <sup>3</sup> )	0.098	0.390	0.198	0.325	0.150	0.138	0.033	0.023	2.672	1.504
土壌厚 30.1 (cm)	*1	*1	*1	*2						
土壌容積 10 (cm <sup>3</sup> )	0.014	0.066	0.061	0.136	0.042	0.027	0.025	0.016	0.600	0.261
土壌厚 7.5 (cm)	*1	*2	*1	*2						
土壌容積 2 (cm <sup>3</sup> )	0.909	2.513	0.609	1.773						
土壌厚 1.5 (cm)	*1	*1	*1	*2						

\*1目詰まりまで

\*2通水終了まで

**3.3. 間欠通水実験...** 図2に通水倍率に対する溶存態窒素の濃度変動を示す。D-T-Nは、通水倍率7倍（流入量24 L）時に処理水が流入濃度を超え、C/C<sub>0</sub>が1以上を示し飽和と考えられる。アンモニア性窒素は通水倍率5倍（流入量20 L）時に処理水が上限を示し、その後低減した。しかし、NO<sub>2</sub>-N、NO<sub>3</sub>-Nが通水倍率5倍以降で、濃度が約5倍まで上昇を示し、結果としてD-T-Nのうちわけが変わったのみで低減していない。このことから、赤玉土・鹿沼土のような粒化した土壌ろ材では、粒状外部で好気状態、内部で嫌気状態となることでの脱窒作用による窒素成分の除去が出来るのではと期待したが、生物による硝化作用は進行するものと示唆された。

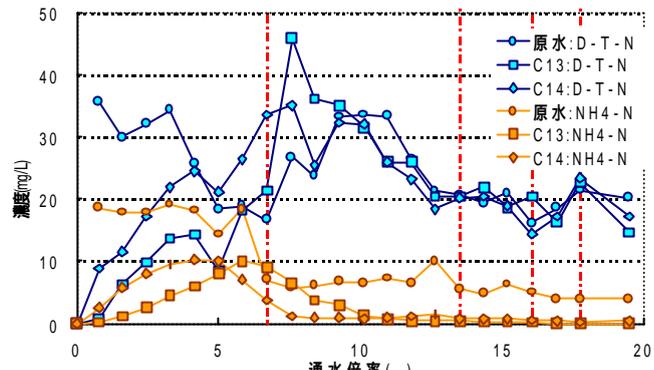


図2 溶存態窒素の濃度変動

表4に各成分の除去率を示す。各測定項目における除去率を赤玉土と鹿沼土と比較すると、SS、TOC、T-Pにおいては、いずれの土壌を用いても十分な除去効果が得られたが、DOCにおいては、赤玉土が鹿沼土の約2倍の除去率であった。また、土壌浸透処理は、流入濃度が変動し不安定である溶存態成分においても、比較的安定した処理性を示しており、実際の降雨を想定した負荷変動にもある程度対応できると考えられる。しかし、窒素の除去率はアンモニア性窒素を除き高い除去率は得られなかった。

表4 各成分の除去率

使用排水	SS (%)	TOC (%)	POC (%)	DOC (%)	T-P (%)	D-T-P (%)	T-N (%)	D-T-N (%)	NH <sub>4</sub> -N (%)	
赤玉	n.1	99.4	87.2	100.0	82.4	97.2	94.8	52.1	58.0	73.3
	n.2	97.7	82.5	99.8	76.9	90.2	83.6	7.9	-10.9	63.9
	n.3	98.4	88.1	99.9	66.4	92.2	60.5	14.4	4.0	97.9
	n.4	96.5	83.7	100.0	74.6	86.6	75.5	20.4	13.7	98.0
	n.5	97.2	87.5	100.0	72.0	89.3	78.2	25.4	15.0	98.7
平均 (%)	97.9	85.8	99.9	74.5	91.1	78.5	24.0	16.0	86.4	
鹿沼	n.1	97.1	63.7	100.0	50.3	84.7	67.2	17.3	26.8	57.2
	n.2	93.6	52.0	93.5	38.7	76.8	59.1	11.6	6.1	85.4
	n.3	97.1	71.6	97.5	23.7	83.1	4.8	9.1	4.1	87.0
	n.4	94.0	55.1	95.2	32.8	76.5	50.4	5.9	7.8	91.8
	n.5	94.0	64.6	99.1	20.6	84.6	58.9	16.6	5.5	94.6
平均 (%)	95.2	61.4	97.1	33.2	81.1	48.1	12.1	10.1	83.2	

表5に各成分の土壌1g当たりの累積除去量を示す。これらの除去量を赤玉土・鹿沼土と比較すると、NH<sub>4</sub>-Nにおいて、鹿沼土が赤玉土の2倍であり、同様に他を比較すると全て鹿沼土が赤玉土よりも1.5~2倍程度であった。これより、土壌1g当たりの除去量は鹿沼土の方が多く、土壌浸透処理に鹿沼土を使用した場合、赤玉土に比べて少量の土壌でもその効果が期待できると思われる。

表5 土壌1g当たりの累積除去量

使用土壌	累積流入量 (mg)	累積吸着量 (mg)	土壌1gあたりの累積除去量 (mg/g-soil)	
D-T-P	赤玉	15.97	14.24	0.006
	鹿沼		10.21	0.010
D-T-N	赤玉	1631.72	312.87	0.142
	鹿沼		216.05	0.215
NH <sub>4</sub> -N	赤玉	635.13	461.86	0.210
	鹿沼		437.37	0.435
DOC	赤玉	8952.60	6983.35	3.180
	鹿沼		3651.33	3.629
SS	赤玉	20914.79	20548.62	9.358
	鹿沼		19908.14	19.788
T-P	赤玉	89.89	83.24	0.038
	鹿沼		72.87	0.072
T-N	赤玉	2158.47	512.90	0.234
	鹿沼		274.51	0.273
TOC	赤玉	13161.80	11181.77	5.092
	鹿沼		7702.63	7.656
POC	赤玉	4209.20	4198.43	1.912
	鹿沼		4051.30	4.027

**4. まとめ**

本研究において、実際の道路路面排水に対する赤玉土・鹿沼土を用いた土壌浸透処理の検討を行ったところ、懸濁成分については90%程度、リンについては80%程度の除去率の得られることがわかった。また、赤玉土と鹿沼土の性能を比較したところ、赤玉土に比べて鹿沼土は、総通水量については2倍程度、土壌1gあたりのリン吸着量については1.8倍程度であることから、土壌浸透処理を行う際、長期的・省スペースでの運転が可能であると考えられる鹿沼土の方が適していると示唆された。今後、スクリーン等の前処理による簡易的な目詰まり抑制方法の開発、脱窒機能を持った処理機構の確立及び、実際の降雨強度を想定した通水速度による検討などを加えていく予定である。最後に、本研究に協力頂いた本学卒業生の川井圭介君、西本長生君に感謝の意を表す。

【参考文献】 1)板坂啓和, 土壌浄化実験 2)井出哲夫, 水処理工学 理論と応用 (1976)