

水道管内の夾雑物が水質悪化に及ぼす影響

宇都宮大学 学生会員 ○大森 翼

宇都宮大学地域デザイン科学部 正会員 山岡 暁, 近藤 伸也, 松本 美紀

1. 研究の背景

日本の水道水は国民が安全に飲用に適する水準を有している。しかしながら、原水から浄化後、水道管内通過中に無機質の濃度が増加することがある。これは送水管や配水管内に夾雑物が存在することが原因とされている。夾雑物は管内に沈殿、浮遊している堆積物と固着化している付着物の2種類に区分される。

日本に比べて一般に水質水準が低い開発途上国では、水道水を飲用できない。水質水準が低い原因は、通常、原水や浄化方法にあると考えられている。夾雑物が水質悪化に及ぼす影響は十分に解明されていないが、水質悪化への影響が予測される。水道水の水質が問題となっているアジアの途上国としてインドネシアがある。

インドネシアの水道事業の多くは、地方政府に属する地方水供給公社（PDAM ; Perusahaan Daerah Air Minum）が担っている。インドネシアの上水では、供給不足と高い漏水率、原水の水質悪化が問題視されている¹⁾。PDAMは、地域住民は水道水を直接飲用せず、ろ過処理や沸騰後に飲用していると報告している²⁾。

インドネシアでは上水に多くの問題を抱えているが、水道水の水質悪化を引き起こす原因が夾雑物であることは明らかになっていない。

2. 目的

本研究では、国内での研究成果を踏まえ、インドネシアにおける①上水の問題の確認、②水道管内夾雑物の存在の確認、③夾雑物が水質に及ぼす影響の推定を目的とした。これらの目的を達成するため、インドネシアにおいて現地調査を行った。

3. 調査概要

3-1 調査対象地域

本研究の対象地域は、インドネシア国西ジャワ州（Jawa Barat）に位置しているバンドン市（Kota Bandung）、チマヒ市（Cimahahi）、ジャティナンゴール郡（Jatinangor）である。バンドン市、チマヒ市はバンドン県内、ジャティナンゴール郡はスメダン県内の都市である。以上3カ所を

図1に示す。



図1 現地調査位置図

3-2 調査方法

(1) ヒアリング調査

目的①と②を達成するため、対象地域内の浄水場に勤める職員に、ヒアリング調査を実施した。浄水場は、地方政府管轄の地方水道公社（PDAM）及び市役所管轄の浄水場（UPT UNITE）である。直接職員からヒアリングを行った。

ヒアリングの質問内容は、主に水質、水道管、トラブル、維持管理の4つに分類し、各内容の詳細について聞きとりを行った。調査は、2017年11月上旬に行った。

(2) 水質調査

目的①、②、③に対して、現地で水質調査を行い、分析した。日本で確認した夾雑物の主な化学組成から、水質調査を行う無機質5項目を選定した。調査項目は鉄(Fe)、マンガン(Mn)、カルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)、アルミニウム(Al)である。チマヒ市にて原水、浄水場、浄水後、同じ浄水場から供給されている末端給水（7カ所）の計10カ所、バンドン市では原水、浄水場、浄水後の計3カ所における水を各場所で採取した。浄水場から末端給水までの距離と夾雑物の化学成分の濃度の相関を分析するため、末端給水のデータは同じ浄水場から供給されている水質の調査を行った。なお、ジャティナンゴール郡は水の採取許可がおりなかったため、採取できていない。水質はパジャジャラン大学で分析した。

キーワード インドネシア、上水道、夾雑物、ヒアリング、水質調査

連絡先 〒321-8585 栃木県宇都宮市陽東7-1-2 宇都宮大学 TEL. 028-689-6223 E-mail : t142803@cc.utsunomiya-u.ac.jp

4. 結果

4-1 ヒアリング調査結果

各浄水場の実態に関するヒアリング調査結果を表 1 にまとめた。

浄水直後の水は、UPT UNITE とジャティナンゴール PDAM の管理地域では、飲用に適していないことが分かった。水道水として飲用に適している場所はチマヒ PDAM の管理地域のみであり、その他の場所は飲用に適しておらず、沸騰後、飲用していることが分かった。水道水が飲用に適さなくなる原因として、施工不良を挙げている。管の接続部分の施工不良により、小穴や空隙が発生するため、管内水圧が低下し、地下水が流入することで水質悪化を招き、送・配水管通過後に飲用できなくなっている。また、UPT UNITE の見解では、浄水後の水質悪化（特に塩素臭）により浄水後の水が飲用に適していない。

水供給の問題は、バンドン PDAM の管理地域では、一日に供給できない時間帯や、住宅まで届かない地域がある。ジャティナンゴール PDAM の管理地域では、原水の水質が悪いと浄水システムを停止している。

今回調査した地域では維持管理基準はなく、高圧洗管（Wash Out）工法によって洗浄を行っていた。高圧洗管はポンプ圧力を上げることで管内流速を上げ、夾雑物を除去する手法である。また、洗浄頻度は地域によっ

て異なる。バンドン PDAM 管理地域では給水は自然流下のため、汚れが溜まりにくい標高が高い部分は一週間に 1 回であり、汚れが溜まりやすい標高が低い部分は毎日行っている。また、洗浄した際に排出される茶色く濁った水は標高が高い場所に比べ、標高が低い場所で茶色が濃くなっていることも分かった。

4-2 水質調査結果

チマヒ市で採取した 7 カ所の末端給水の場所（C4～C10）とチマヒ市の市役所が所有する浄水場（C1～3）を図 2 に示す。

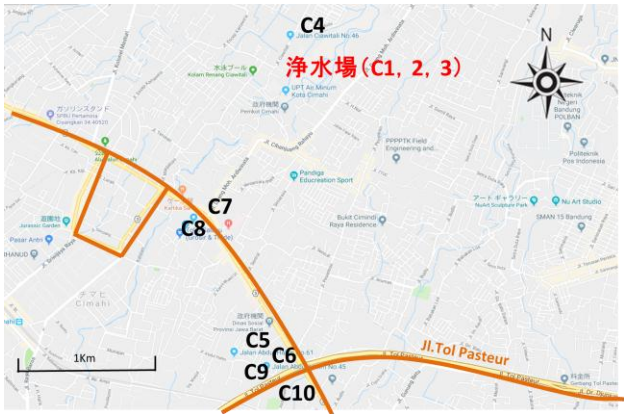


図 2 チマヒ市での水質調査位置図

インドネシアの水質を評価するため、インドネシアの水質基準値と日本の水質基準値との比較、それぞれの基準値と夾雑物の化学成分濃度との比較を行った。インド

表 1 ヒアリング結果

分類	質問項目	場所			
		バンドンPDAM	UPT UNITE*	チマヒPDAM	ジャティナンゴールPDAM
水質	浄水直後の水を飲用に適しているか	適している	適していない	適している	適していない
	送水管、配水管通過後の水は飲用に適しているか	適していない	適していない	適しているが、慣習から沸騰させて飲んでいる	適していない
	水道水が飲めない原因は何か	管の古さ、施工不良	塩素臭が強い		施工不良
水道管	管の規格は何を使用しているのか	インドネシア国家規格（Standard National Indonesia, SNI）			
	水道管に使用されている材質は何か	ポリ塩化ビニル（PVC）、ポリエチレン（PE）、銅、鉄、ダクタイル管			
	規格の中で使用割合が最も多いものは何か	ポリ塩化ビニル（PVC） ポリエチレン（PE） 合わせて約60%	ポリエチレン（PE）		ポリ塩化ビニル（PVC） 約70%
トラブル	上水に関する問題は発生しているのか	発生している			
	どのような問題が発生しているか	供給不足 水質悪化	供給不足 水質悪化	供給不足 水質悪化 水道料金	供給不足 水質悪化 水道料金
	問題の原因は何か	配管中でのトラブル、塩素の多量注入			配管中でのトラブル 原水の水質の低下
維持管理	管内洗浄する基準はあるか	基準はない			
	管内洗浄を行っているか	行っている			
	洗浄方法	高圧洗管（Wash Out, Wo）			
	洗浄頻度	洗浄場所によって異なる	水質が悪化した際 住民からの苦情	一ヶ月に2回	地表で漏水が見つかった際

*UPT UNITEはチマヒの市役所が管理している浄水場を意味する。チマヒのPDAMとは別の浄水場である。

ネシアの水質基準（政令 2001 年第 82 号に基づく水質類型）は水の利用用途により 4 つに分類されている。本研究では、飲料水の基準である I 類型の基準値を使用した。日本の水質基準は水道水の水質基準項目、更に厳しく設定された水質管理目標設定項目の基準値を使用した。カルシウム (Ca) とマグネシウム (Mg) は、インドネシアの水質基準では規定されているが、日本の水質基準では規定されていない。両国の水質基準値と無機質成分濃度との比較結果を表 2 に示す。

表 2 両国の水質基準値と無機質成分濃度との比較

水質基準		濃度 (mg/L)		
		Al	Fe	Mn
I 類型の基準値（インドネシア）		—	0.3mg/L以下	0.1mg/L以下
水質基準項目の基準値（日本）		0.2mg/L以下	0.3mg/L以下	0.05mg/L以下
水質管理目標設定項目の目標値（日本）		0.1mg/L以下	—	0.01mg/L以下
都市	サンプル場所	濃度 (mg/L)		
		Al	Fe	Mn
チマヒ	C1 原水	1.881	3.088	0.2761
	C2 送水地内の水	0.0164	0.1183	0.007
	C3 浄水場建屋の水道水	<0.001	0.081	0.0062
	C4 Citeureup	0.0279	0.2214	0.0429
	C5 Cicih	<0.001	0.1389	0.0151
	C6 Karang Mekar	0.0529	0.1459	0.0111
	C7 Cigugur	0.1427	0.1372	0.0335
	C8 Cigugur	<0.001	0.0414	0.0078
	C9 Cigugur	0.0012	0.0346	0.0074
	C10 Haris Kurnianto	0.163	0.1577	0.0268
バンドン	B1 原水	1.8233	1.1415	0.194
	B2 送水地内の水	0.2221	0.128	0.0126
	B3 浄水場建屋の水道水	0.129	0.1182	0.0041

注：C1, B1 は原水であるため比較は行っていない

表 2 から、アルミニウムは、I 類型の基準値に記載されていなかった。鉄は日本と同値、マンガンは水質基準項目の 2 倍、水質管理目標設定項目の 10 倍の値であった。全ての項目において、I 類型の基準値を超過しなかった。水質管理目標設定項目の目標値の超過は、アルミニウムは C7 と C10 の二カ所、鉄は超過する場所はないことが確認された。マンガンは C4, C5, C6, C7, C10 の五カ所で超過した。水質基準項目のアルミニウムの基準値は B2 で超過した。

また、浄水後の配水中の水質変化を調査するため、浄水後の水質と末端給水の水質変化を比較した。その結果を表 3 に示す。浄水場より濃度が増加している数値を二重下線で表している。

各成分濃度が浄水場 C2 地点より増加している傾向は、カルシウム・マグネシウムは 2 カ所、アルミニウムは 4 カ所、鉄は 5 カ所、マンガンは 7 カ所全てで確認された。

図 2 と表 3 から、浄水場から最も離れている C10 では 5 項目すべてが増加していたが、浄水場から最も近い C4 でもマグネシウムを除く 4 項目が増加していた。したがって、成分濃度と距離との相関はないと判断できる。

表 3 チマヒ市の水質分析結果

都市	サンプル場所	濃度 (mg/L)				
		Al	Ca	Fe	Mg	Mn
チマヒ	C2	0.0164	19.654	0.1183	4.437	0.007
	C4	<u>0.0279</u>	<u>20.1201</u>	<u>0.2214</u>	4.2664	<u>0.0429</u>
	C4	<u>0.0279</u>	<u>20.1201</u>	<u>0.2214</u>	4.2664	<u>0.0429</u>
	C5	<0.001	18.4522	<u>0.1389</u>	<u>4.5699</u>	<u>0.0151</u>
	C6	<u>0.0529</u>	17.4916	<u>0.1459</u>	3.9625	<u>0.0111</u>
	C7	<u>0.1427</u>	5.9583	<u>0.1372</u>	2.1238	<u>0.0335</u>
	C8	<0.001	19.3045	0.0414	4.1163	<u>0.0078</u>
	C9	0.0012	18.2465	0.0346	4.0336	<u>0.0074</u>
	C10	<u>0.163</u>	<u>21.2185</u>	<u>0.1577</u>	<u>4.9855</u>	<u>0.0268</u>

バンドン市の末端給水は実際にサンプリングできなかったため、PDAM（バンドン市）の浄水場から供給されている 10 カ所の末端給水の水質結果（2017 年 3 月データ）を使用した。調査位置 10 カ所を図 3 に示す。

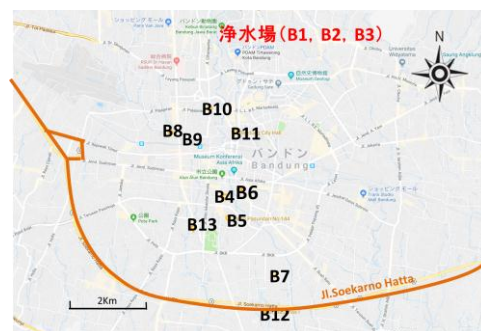


図 3 バンドン市での水質調査位置図

PDAM が供給する水道水は高い濁度と色度に問題があると指摘されている²⁾。本研究では、入手した水質調査結果の項目の中で、濁度、色度に着目した。両国の水質基準値と濁度・色度との比較を表 4 に示す。

表 4 両国の水質基準値と濁度・色度との比較

水質基準		度	
		濁度	色度
I 類型の基準値（インドネシア）		50以下	—
水質基準項目の基準値（日本）		2以下	2以下
水質管理目標設定項目の目標値（日本）		1以下	—
都市	サンプル場所	度	
		濁度	色度
バンドン	B4 Jl. Sasakgantung	0.63	5以下
	B5 Jl. Pasundan	0.47	5以下
	B6 Jl. Pangarang	0.71	5以下
	B7 Jl. Pasir Salam Raya I	0.52	5以下
	B8 Jl. Karang Tengah Barat	0.6	5以下
	B9 Jl. Gedong Delapan	0.53	5以下
	B10 Jl. Cicendo	2.18	5以下
	B11 Taman Love Balaikota	0.65	5以下
	B12 Jl. Batu Mas	2.45	5以下
	B13 Jl. Rasdan	0.89	5以下

注: B1～B3 に関しては濁度、色度は未計測

表4から、I類型の基準値は、濁度は水質基準項目の25倍、水質管理目標設定項目の50倍の値であった。色度は規定されていない。濁度はI類型の基準値超過はなかった。水質基準項目と水質管理目標設定項目の基準値の超過はB10とB12で存在した。B10は浄水場B3から最も離れているが、B12は浄水場に最も近いので、バンドン市の水質は距離と相関がないと判断できる。色度は、基準値と水質結果の値から超過の判断は困難であった。

5. 考察

(1)ヒアリング調査

インドネシアのPDAMとUPT UNITEのヒアリング結果から、職員の問題認識として以下が確認された。

- ・上水の供給量が不足している。
- ・上水道管の施工不良によって地下水が流入し、水質悪化を引き起こされている。
- ・高圧洗管時に茶色の夾雑物が排出されている。
- ・住民が直接飲用する事が不可能である地域が多い。

(2)水質調査

水質調査結果から以下が明らかになった。

- ・インドネシアの水質基準値は日本の水質基準値に比べ低く設定されている項目が存在した。また、日本の水質基準項目に記載されているが、インドネシアの水質基準には記載されていない項目（アルミニウム、色度）が存在した。
- ・チマヒおよびバンドン市の上水は、インドネシアの水質基準は超過しないが、日本の水質基準値を超過する項目（アルミニウム、マンガン、濁度）がある。色度も調査結果から日本の基準値を超過している。
- ・日本の夾雑物の主な化学組成である、アルミニウム、鉄、マンガン等の濃度が浄水場の濃度より増加している場所が水道管通過後に多く存在している。
- ・末端給水の水質と浄水場からの距離との相関はないと判断できる。

6. 結論

目的①のインドネシアの上水の問題の確認に対して、供給不足、原水の水質・配水の過程による水質悪化、住民が直接水道水を飲料できないことを確認できた。

目的②の水道管内夾雑物の存在の確認について、ヒアリングと水質調査から、インドネシアでもその存在が確認された。ヒアリング結果では、洗管時に茶色の排出物が夾雑物として確認されている。更に、水質調査結果よ

り、インドネシアの水道管内に存在する夾雑物の量は日本と同等かそれ以上であることが推測される。また、日本の夾雑物の無機質成分と同様の成分の夾雑物が存在していることが推測される。

目的③の夾雑物が水質に及ぼす影響の推定について、インドネシアでも水道管内に局所的に溜まっている夾雑物が水質に影響を及ぼす要因の一つとして考えられる。上水道管内の夾雑物は高圧洗管によって排出しているが、現地の職員は、その夾雑物を配水中に水質悪化を引き起こす原因として考えていなかった。水質調査結果から、配水管通過中に、無機質濃度が上昇し水質を悪化させていることが判明した。

7. 今後の課題

本研究結果を踏まえて、今後、以下の課題を解決することが必要と考えられる。

- ・水道管内の堆積から付着に至る夾雑物の発生メカニズムの解明
- ・インドネシアおよび開発途上国の水道管内夾雑物の化学組成の分析
- ・本研究で調査した夾雑物の化学組成以外の物質が水質悪化に及ぼす影響
- ・夾雑物の物性の解明
- ・夾雑物を除去するための効果的な洗浄工法の開発

謝辞

本研究に際して、各PDAM、UPT UNITEとのコンタクトをとって頂きましたパジャジャラン大学Dicky Muslim准教授、また、現地調査の際、インドネシア語の通訳をしてくださった、同大学の学生のRiyan Rizki Fauzi氏、Neman氏、現地調査に同行して頂きました宇都宮大学の鈴木啓介氏、狩野陽平氏の皆様に厚く感謝致します。

参考文献

- 1) 日本水道協会, 国際研修 インドネシア水道事業研修概要報告, pp.1__10, 2013
- 2) 山本浩一・小野文也・Sulmin Gumiri・Maria Caroline: インドネシア国中部カリマンタン州パラカラヤ市における生活用水の実態調査, 土木学会論文集 G, Vol. 71, pp. III__91 - III__98, 2015