

河川の水質汚濁に伴う水棲生物変化に関する研究

田中 光徳*¹ 岡林 悦子*¹

A study on biological changes due to River pollution

Mitsunori TANAKA*¹ and Etsuko OKABAYASI*¹

ABSTRACT: As the rivers in Japan are flowing swiftly, the polluted river-water can directly effect the oceans where they normally discharge. Moreover, the environment has been worsen gradually and that is the main root of pollution. Until now, the public sewage system is undertaking the heavy burden of waste water treatment with increasing demand. The purification counter measures are necessary to treat the domestic waste water by every possible mean of self cleansing and restoration plans. For the above measures, the biological habitat existence, that is the exposure to nature with basic methods should be implemented and upgraded to the fullest possibility. This research is aimed and carried out on the existence of biological environment plan. The porous concretes are placed in the river and analyses are made on the quality of water. This investigation has paved the way to improve the quality of water in rivers.

KEY WORDS: Porous concrete, Environmental material, Continuous void, Purification of river

要旨：多孔性コンクリートによる河川直接浄化の新たな可能性をさぐることに、これに付着した生物相（微生物、水生生物、藻類）と河川の理化学的水質の関係をj知ることを目的として基礎的研究を行った。試験の結果から、多孔性コンクリートは強度および連続空隙性等を考慮するとB/V=40%が適切であり、結合材の改良工夫により河川環境にも耐えうる材料とすることが可能と考えられる。また、水の連続空隙間への透過は、酸素供給を促し生物の付着や棲息環境を多様化させ、その結果、河川の自浄能力の向上に繋げることができるものと考えられる。

1. まえがき

わが国の河川の多くが急峻であり、汚濁した河川水の影響は直ちに海洋汚染へと連動し、身辺環境悪化の元凶ともなっている。従来の公共下水道方式による負荷の低減はもとより、生活系雑排水等の汚染源対策や河川の自浄作用の回復をはかる方策など、新たな浄化

対策が必要となってきた。その中でも生物のハビタットの存在は、自然との接点を創造する基本的なものであり河川の自浄能力を高める可能性を最も秘めていると考えられる。本研究は河川浄化材の適性空隙量を強度面より検討し、直接水際に設置した多孔性コンクリート供試体に付着する生物相の調査および理化学的水質調査から河川浄化材としての利用の可能性を示したものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

使用したセメントはO社製の普通ポルトランドセメント(C)で比重3.16である。高性能減水剤は、ナフタリン系(Sp)を使用した。シラス軽石は、鹿児島県串良産の多孔質天然軽量骨材の不純物を除去し水洗乾燥、整粒し使用した。普通碎石は始良産の安山岩質碎石を用いた。使用した骨材の種類とそれらの物理的性質をTable 1に示し、普通コンクリート供試体配合をTable 2に示した。本研究に使用した多孔性コ

* 土木工学科

ンクリート結合材(バインダー)のコンシステンシーは、混合物中の連続空隙量および均一バインダー厚確保を考慮し、水/結合材比=25%(wt%)を基準として、バインダーのコンシステンシー値を、JIS R 5201試験によるフロー値で240mmとした。また結合材料は透水性を考慮し単体骨材の空隙に対し40%充填する配合とした。

2.2 供試体の作成と養生

供試体の作成にあたり、セメントペーストをJIS型モルタルミキサにより3分間練り混ぜ、その後、所望の結合材、粗骨材を別に計量し強制練りミキサで2分間練り混ぜた。供試体の作成法をFig.1に示す。生物付着試験用供試体には10×10×40cmおよびΦ10×20cmを用い、圧縮強度試験にはΦ10×20cm供試体の両面をキャッピングしたものを使用した。コンクリートの打ち込みにあたってはΦ10×20cm、10×10×40cm供試体ともに2層に分けJIS法による締め固めと、平型バイブレーターによる方法を併用して打設した。養生は強度試験供試体では空中湿布養生2日間、以降試験材令まで水中養生(20±2℃)とした。生物付着試験供試体(10×10×40cm)は打設2日後に脱枠し、その後7日間空中養生後、放流淡水中に28日間養生したものを用いた。Fig.1に練混ぜ方法と養生方法を示す。骨材の比重試験、吸水率試験はJIS A 1109に準じ、単位容積質量および実績率試験はJIS A 1104にそれぞれ準じた。

2.3 試験方法

(1) 空隙量と圧縮強度試験

適切な空隙量と強度の関係をみるため、使用骨材別に結合材量を変えた配合の圧縮強度試験を実施した。圧縮強度試験はJIS A 1108に準じて実施した。

(2) 付着生物調査用供試体の設置および調査法

a) 複数河川への供試体設置と生物付着調査 (Run 1)

調査地点は鹿児島湾奥の天降川、手麓川の本、支流の5箇所である。供試体の種類は4種類とし、同一種類の試験供試体(10×10×40cm)を左右対称に丸太に絞め込み、流向に対して平行に打ち込んだ水中杭に固定した。Fig.2とFig.3に調査地点および設置の概要を示す。没漬期間は240日で、その間5回試料を取り外し生物付着調査等を実施した。

b) 同一河川の汚濁性と生物付着調査 (Run 2)

①供試体の設置：使用骨材では碎石系G-5、G-6

Table 1 Physical properties of aggregates and mixing proportion

Kind of aggre.	Size (mm)	Specific gravity	Void ratio (%)	W/C (Wt%)	B/V (Vol%)	Sp/C (Wt%)
P-11	11-6	1.23	47.8	25	40	1.4
P-6	6-3	1.39	50.9	25	40	1.3
G-5	20-13	2.65	43.3	25	40	0.9
G-6	13-5	2.67	44.0	25	40	1.0
G-7	5-2.5	2.67	44.6	25	40	1.3

W: Water, C: Portland cement, B: Binder, V: Void
Sp: Superplasticizer, P: Shirasu pumice,
G: Crushed stone

Table 2 Mixing proportions of normal concrete

Max. size of aggr.	Slump (cm)	W/C (%)	Water (kg/m ³)	Cement (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Gravel (kg/m ³)
20mm	8±2	50	150	300	409	1194

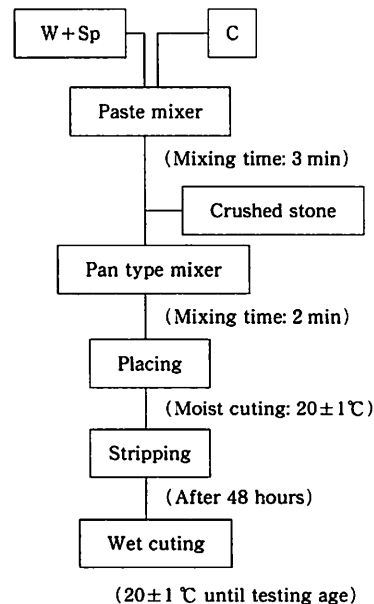


Fig. 1 Mixing and fabrication of specimen

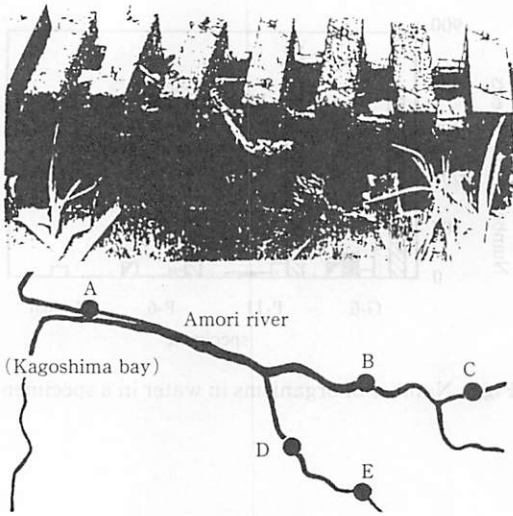


Fig.2 Investigation position and submersion in river (Run1)

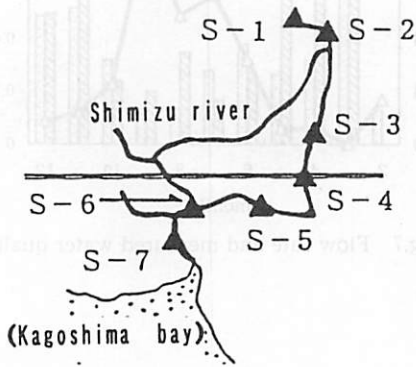


Fig.3 Investigation position (Run2)

を、軽石系のP-11、P-6および普通コンクリート(Nor.)である。これら供試体を鹿児島湾奥に注ぐ清水川に7地点を選定し浸漬した。Fig.3に設置点の概要を示す。

②供試体内部の生物群調査：特徴的な汚濁性をもつ7箇所で、それぞれの汚濁性に対応する水棲生物および微生物群調査を設置供試体を介して行った。また同時に、各地点の理化学的水質調査も併せて実施した。空隙間に棲息する微生物の取出しは布設水中からコン

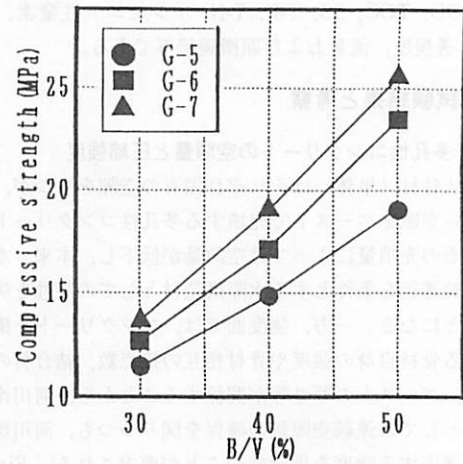


Fig.4 Relationship between compressive strength and B/V

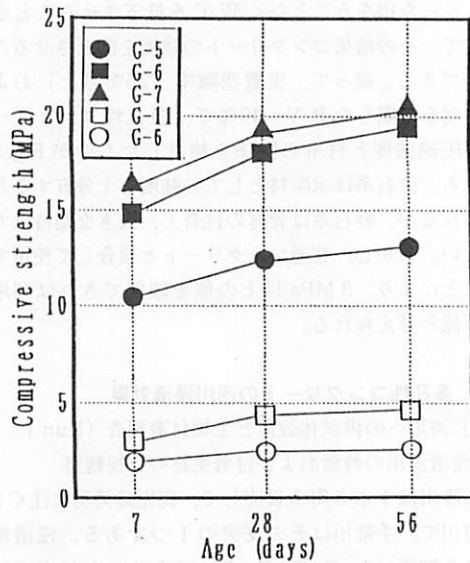


Fig.5 Relationship between compressive strength and age of Po. concrete

テナへ速やかに移動し、表面皮膜接写や藻類の採取をした後、3日間同一静水中に放置し、その後0.3mmフルイに残留した試料を5%ホルマリン液に浸漬し、生物付着個数を求めた。

③調査地点の理化学的調査：水質調査項目はBOD 5, COD, TOC, SS, T-P, T-N, アンモニア性窒素, pH, 透視度, 流量および顕微鏡接写である。

3. 試験結果と考察

3.1 多孔性コンクリートの空隙量と圧縮強度

粒状骨材(単体)はそれぞれ固有の空隙をもつが, それら空隙をペーストで充填する多孔性コンクリートは, その充填量によっては空隙量が低下し, 本来, 水の連続透過を条件とする水際構造材としての特性を失うことになる。一方, 強度面では, コンクリートを構成する骨材自身の強度や骨材相互の接点数, 結合材の強度, ペーストの厚さ等が関係することから, 河川浄化材としては連続空隙量の確保を図りつつも, 河川環境に適應する強度を併せ持つことが要求される。Fig. 4 に示すように使用骨材 G-5 (20~13mm), G-6 (13~5mm), G-7 (5~2.5mm) では, 粒径の小さいものの強度が大となり, 単体空隙に占める結合材容積の割合が大きいものほど空隙量は小となり, 強度は増大する。また, 高性能減水剤を使用することでコンシテンシーを損なうことなく W/C を低下させることが可能で, その結果コンクリートの強度を向上させることができる。従って, 実質空隙率 (25%以上) および強度を考慮した B/V=40% で, 多孔性コンクリートの圧縮強度と材令の関係を検討したものが Fig. 5 である。碎石系は水際材としての強度を十分有すると思われるが, 軽石系は骨材の性質上, 大きな期待はできない。しかし, 普通コンクリートと複合して使用することにより, 3 MPa 以上の値を確保できれば利用は可能と考えられる。

3.2 多孔性コンクリートの河川浸漬効果

(1) 河川への供試体設置と生物付着調査 (Run 1)

1) 浸漬河川の特徴および付着生物の目視観察

天降川は1市5町を貫流して, 鹿児島湾奥に注ぐ2級河川で, 手籠川はその支流の1つである。浸漬地点は5箇所 (A, B, C, D, E) であり, A 地点では生活排水, D 地点では温泉排水の影響をそれぞれ受ける。

a) 目視観察：浸漬して2週間後, 供試体表面全体が濃茶色に変色 (普通コンクリートには変化なし) し, 50日後には全面に藻類膜が形成され, 70日後には, C 地点 (流速大, 水質良好) と A 地点 (緩速, 汚濁性大) の相違が歴然となり, C 地点ではささばも, やな

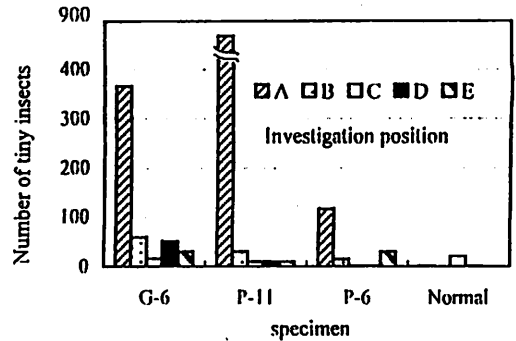


Fig.6 Number of organisms in water in a specimen

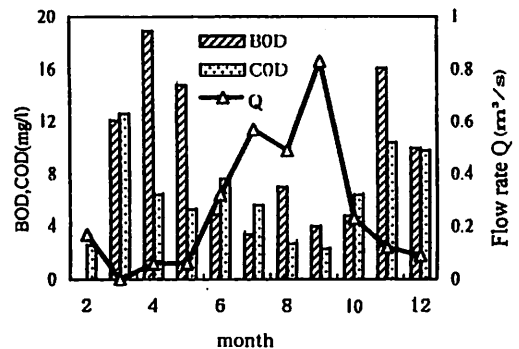


Fig.7 Flow rate and measured water quality

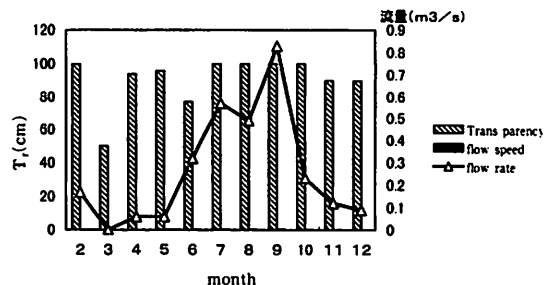


Fig.8 Flow rate and Transparency

ぎも等の大型藻類が付着した。また、A地点では河底に近い部分には、酸化されない硫化鉄によると思われる黒色底泥がみられた。

b) 藻類付着：単細胞～大型藻類は汚濁物質中の窒素やリンを取り込むと共に水中の炭酸ガスを同化する。単細胞のアオミドロ、ミカズキモ(写真1)や藻類の他に南九州特有のオオイシソウ(紅藻)(写真2)や大型藻類、沈水性多年草のささばも、やなぎもなどが着生した。

2) 使用骨材の種類別水棲生物数変化

天降川へ設置112日後の使用骨材別付着水棲生物数をFig. 6に示す。碎石G-6と軽石P-11を用いた種類に多く付着しP-6がそれに次ぐ。清水川に設置したものは空隙の大きいG-5がG-6に比べて微生物の付着量、藻類の種類ともに多く優れた結果を示した。軽石を用いたP-11では表面が凹凸に富んでいる事と凝結時に生じた微細な細孔のため、全面に亘り多数の藻類が付着した。藻類は珪藻(写真3)、ミカズキモ、マルボックス(緑藻)、チリモ属の一種や緑藻シオグサ属の藻類が多く見られた。水棲生物数の平均個数はG-6(279個)、P-11(223個)、P-6(108個)、普通コンクリート(5個)と碎石、軽石いずれの供試体も普通供試体に比べて多量の生物付着が見られた。

(2) 同一河川の汚濁性と生物付着調査 (Run 2)

1) 浸漬河川の特徴および付着生物の目視観察

清水川は隼人町を流れる流路4.5km、流路人口5,800人、生活雑排水未処理人口87%を占める生活雑排水の影響が大きい河川である。水田から3団地を含む住宅地および水田を経て鹿児島湾に注ぐ。供試体設置地点は水源から下流までS-1～S-5の5箇所であり、上流から下流まで一斉採水による水質変化の測定はS-1～S-7の7箇所、年間水質変化の計測ならびに水棲生物変化はS-5地点で行った。生活排水の影響はS-3から見られS-4では団地A、Bの、S-5では団地Cの生活排水の影響が顕著である。目視観察ではS-4までは透明度も高く流量、流速もあるがS-5では流速も落ちて河川水には細菌類による白濁が見られる。河床の藻類はS-3から増加し、S-4でささばもなどの大型藻類が最大となりその後急激に減少してS-5ではヒビミドロなどの下等な藻類だけになり、S-6では藻類は見られない。

2) 理化学的水質と供試体付着生物特性

清水川のS-5地点の水質測定項目はBOD₅、COD、TOC、SS、T-P、T-N、アンモニア性窒素、pH、透視



写真1 : Closterium moniliferum

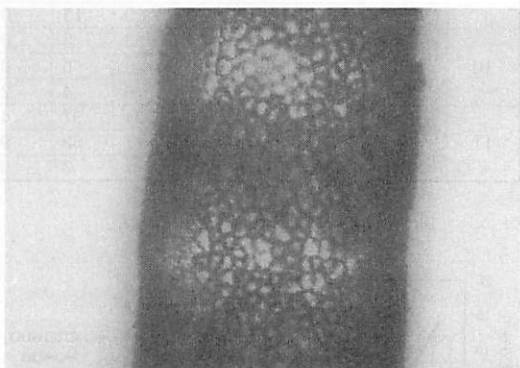


写真2 : Compsogor oishi OKAMURA

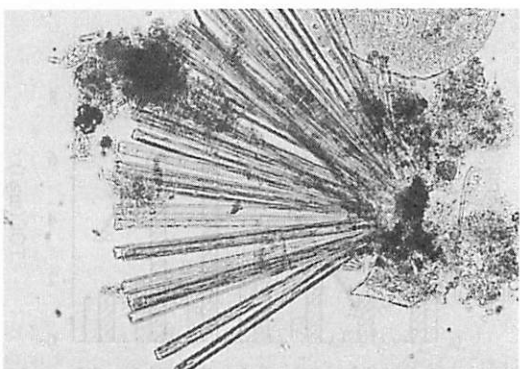


写真3 : Asterionella

Table 3 Monthly variation of number of organisms in water

month	position	1			2			3			4			5			
		G-5	G-6	P-11	G-5	G-6	P-11	G-5	G-6	P-11	G-5	G-6	P-11	G-5	G-6	P-11	
4	As	0	0	0	235	192	72	33	81	24							
	Ch	0	0	0	92	44	10	132	254	87							
	To	5	0	0	11	0	0	4	0	0							
5	As	0	0	0	300	124	335	8	4	0	14	12	5	0	0	2	
	Ch	0	0	0	30	58	33	32	73	15	7	13	3	0	0	2	
	To	0	0	0	42	12	8	3	1	0	3	2	1	0	0	2	
6	As	0	0	0	104	113	112	41	85	101	13	4	8				
	Ch	0	0	0	2	10	5	11	33	11	10	5	0				
	To	1	0	0	17	25	11	7	3	8	0	0	0				
7	As	0	0	0	0	135	1	12	22	0	1	10	0				
	Ch	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0				
	To	0	0	0	9	11	0	0	4	0	3	2	0				
8	As	0	0	0	10	95	2	8	15	0	0	4	0				
	Ch	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	To	0	0	0	6	4	0	0	3	0	2	3	0				
9	As	0	0	0	24	89	0	2	0	0	0	0	0				
	Ch	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0				
	To	1	4	0	0	15	0	15	6	2	9	1	6				
10	As	1	0	0	3	3	0	4	47	3	14	5	0				
	Ch	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
	To	6	5	1	6	4	2	2	5	2	5	1	1				
11	As	0	0	0	31	97	4	21	3	0	2	1	14				
	Ch	0	0	0	17	33	9	1	0	0	1	3	2				
	To	10	6	0	2	3	0	2	9	2	1	7	1				

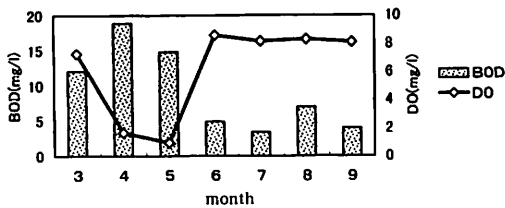


Fig.9 BOD and DO

Table 4 Monthly variation of number of organisms in water

month	4	5	6	7	8	9	10	11
Ch	146	121	17	0	0	0	0	59
To	11	62	53	20	10	15	12	5
As	499	759	329	136	107	113	6	132

month	4	5	6	7	8	9	10	11
G-5	338	372	123	9	16	24	9	50
G-6	236	194	148	146	99	104	7	133
P-11	82	376	128	1	2	0	2	13

Ch: Chironomus yoshimatsu To: The other As: Asellus hilgendorffii

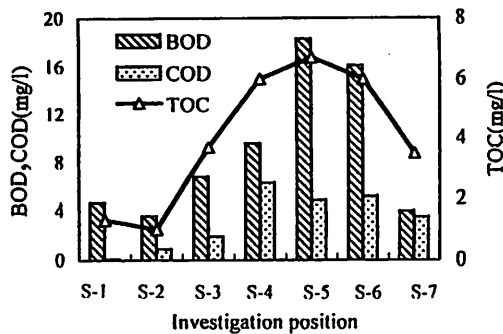


Fig.10 Number of organisms in water and organic pollution

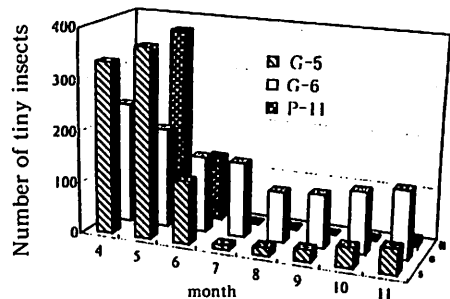


Fig.11 Monthly variation of number of organism in water



写真4: Aselluse

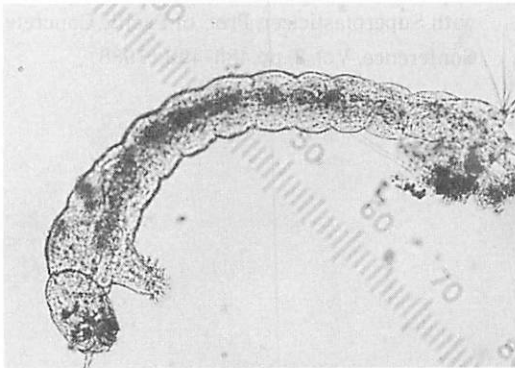


写真5: Chironomus yoshimatsu

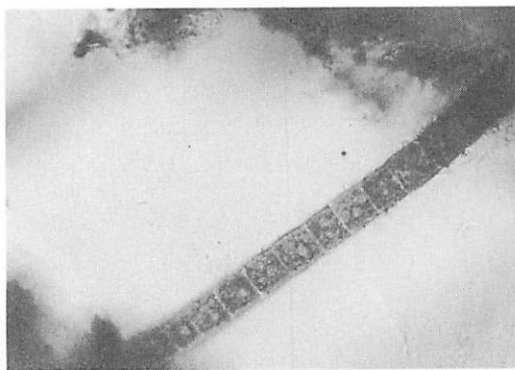


写真6: Ulothrix sp.

度、流量であり、そのうち BOD₅, COD, 流量の1年の経月変化を Fig.7 に示す。図から分かるように雨量の少ない冬場を中心に、流量は少なくなり、水質は BOD が S-5, S-6 ともに 10mg/l を越えて強腐水性の水質域となる。これは目視による付着藻類変化とも一致している。同様の傾向は透視度, COD, TOC からいえる。アンモニア性窒素 0.27~3.36mg/l も同様の傾向を示すが、アンモニア汚濁負荷量がほぼ一定となる事から汚濁は尿尿系によるものと考えられる。Fig. 8 は採水地点 S-1~S-7 の7地点の一斉採水測定結果である。COD は S-4 で最も高く、BOD, TOC は S-5 が高い値を示している。調査地点の各種供試体に棲息した生物個数をみると、S-4 ではミズムシ (Aselluse 写真4) が優先種 (α-中腐水性) となり理化学的水質と一致している。S-5 ではセスジユスリカ (Chironomus yoshimatsu 写真5) (強腐水性) が優先種となり、生物数は S-4 の1割程度となる。S-6 では α-中腐水性と強腐水性が優先種となり個体数も減少して汚濁の回復が見られる。これらの変化は理化学的水質変化とよく対応していることが解る。S-7 では生物の棲息は殆ど見られず優先種も見られない。これは汽水域である事と、他の支流排水の影響があるものと考えられる。また、S-5 ではヒビミドロ (Ulothrix sp. 写真6) 等の汚泥に棲息する藻類の付着が顕著である。使用骨材の種類別に見ると、ミズムシの最も成長する5月には、空隙径の大きな、G-5,

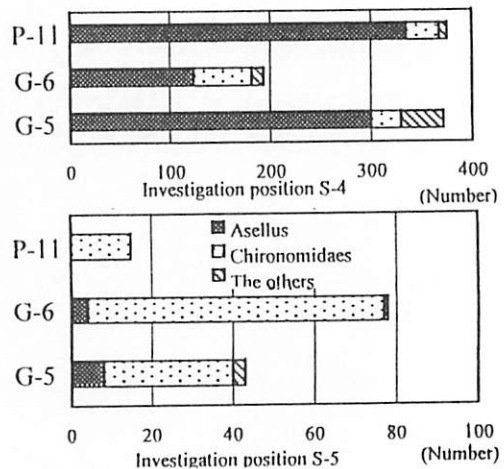


Fig.12 Number of organisms in water and organic pollution

P-11に300個を越す生物が棲息した。これはサーバーネットを用いた水棲生物調査の生物数(20~50個)を遥に越える捕捉である。しかし、7月以降には水生昆虫の羽化などもあって激減した。また、G-6には年間を通して多くの水棲生物の棲息が見られた。Fig. 9およびFig. 10に生物個体数調査の結果を示す。

4. 結論

多孔性コンクリートの河川水際構造物材として可能性を検討したが、次のように要約することができる。

- (1) 粒状骨材の空隙に、結合材を40%添加したG-5, G-6, P-11供試体に生物付着および生物捕捉特性が見られた。
- (2) 理化学的水質指標と捕捉指標生物の相関は、 α -中腐水性から強腐水性水域で顕著に表れ、中腐水性水域では捕捉数が他の水性水域に比べて急激に増加する。
- (3) 藻類の付着は水域環境とほぼ同じであるが、その中でも汚濁に強い緑藻類、藍藻類の付着が速く進行

する。これらのことから、多孔性コンクリートを水際に設置することで生物棲息環境の復元および自浄能力の向上が期待できる。また、水生植物の植生がはかられることと相俟って水際の景観確保や親水性の回復などにも寄与できるものと考えられる。

参考文献:

- 1) 田中光徳, 玉井元治: まぶしコンクリートを用いた河川浄化に関する研究, 土木学会第48回年次学術講演会講演概要集IV-93 pp.105-106 (1993)
- 2) 田中光徳, 岡林悦子: 河川の水質とNFCブロックに棲息する生物特性, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集VII-27 pp.994-995 (1998)
- 3) M. TAMAI: Properties of No-Fines Concrete with Superplasticizer, Proc. of Pacific Concrete Conference, Vol. 2, pp.483-492 (1988)