

都市下水道の管渠網特性－神戸市の場合－

神戸大学工学部 正員 神田 徹
神戸大学工学部 正員 神吉 和夫
(株)建設企画コンサルタント 正員 ○木谷 紋太

1. はじめに

前報では¹⁾，神戸市東灘区排水区を対象にその管渠網特性の検討を行ったが，同排水区は分流式・合流式の下水道が混在していた．本研究では神戸市の中心である中部排水区（分流式）の雨水幹線を対象とし，自然河川流域において成立する地形統計則等について大阪・松山市²⁾と比較した．また主成分分析での分類を行った．

2. 都市雨水幹線の管渠網特性

① 河道位数の概念に基づく管渠網（地形）統計則

Horton-Strahlerの河道位数の概念に基づく管渠網統計則の結果を他の排水区と合わせて表-1に示す．中部排水区には最高位数 $k=1$ の排水区域が30， $k=2$ のものが22， $k=3$ のものが9ある．表-1を見ると， R_b ， R_a ， R_e は理論値あるいは他の排水区とほぼ同じである． $R_i < 1$ のものが多くあり，河道長則は成立しない． R_d は3下水道排水区において同程度で管径則は成立すると思われる．

② Hackの関係

河川における主河道長 L_m と流域面積 A の関係を表すHackの関係は， $L_m = uA^v$ ，中部排水区での関係を図-2に示す．回帰式と相関係数は，

$$L_m = 2.10A^{0.61} \quad (r=0.86)$$

で，比較的高い相関関係にあり，Hackの関係は成立する． v は自然河川と同程度であるが， u はやや大きく，排水面積あたりの主幹線長が長く，排水区域が細長いことを示している．他の排水区では，神戸市東灘区： $L_m = 1.85A^{0.56}$ ，松山1号： $L_m = 2.21A^{0.57}$ ，松山2号： $L_m = 2.67A^{0.53}$ となっており，これらとほぼ同じである．

③ Meltonの関係

水系密度 D_d と水系頻度 F_d の関係を表すMeltonの関係は， $F_d = \beta D_d^\gamma$ ($\gamma=2.0$)，中部排水区での関係を図-3に示す．回帰式と相関係数は，

$$F_d = 3.30D_d^{1.02} \quad (r=0.70)$$

で， $\gamma=1.02$ と小さくなっている．他の排水区では，神戸市東灘： $F_d = 0.35D_d^{2.10}$ ，大阪・松山市： $F_d = 0.34D_d^{2.00}$ となっており，自然河川とも他の排水区とも異なった形で，Meltonの関係は成立していないようである．

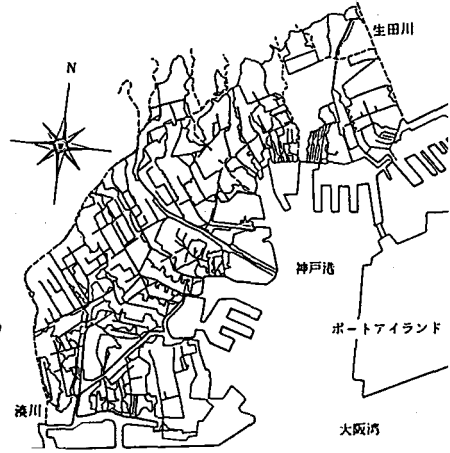


図-1 神戸市中部排水区

表-1 R_b ， R_i ， R_a ， R_e ， R_d の平均値

	神戸市中 部排水区	神戸市東 灘排水区	大阪松山 市下水道	六甲山地 自然河川	理論値
R_b	3.15	3.53	3.93	4.04	4
R_i	2.23	2.45	1.94	2.12	2
R_a	4.76	4.40	4.43	4.78	4
R_e	1.90	3.29	1.50	1.55	2
R_d	1.51	1.88	1.61		

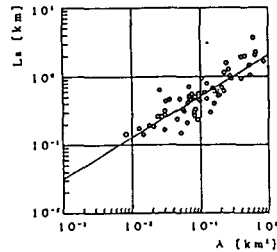


図-2 $A \sim L_m$ の関係

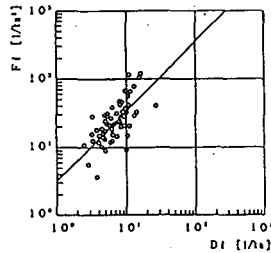


図-3 $D_d \sim F_d$ の関係

④ フラクタル次元解析

フラクタル次元FDをBox Counting法により算出し、表-2にこれらの最大値、最小値、平均値を東灘排水区と共に示す。これより、フラクタル次元は、主幹線のみでは自然河川や他の排水区と同程度であるが、枝線を含めるとこれらより小さいことがわかる。また、Hackの関係は、フラクタル次元FDを用いると、 $L_m = u' A^{FD/2}$ で表せそうである。

3. 主成分分析

① 主成分分析による分類

各排水区域の主幹線のみ、幹線長、排水面積、平均勾配、平均管径、流域形状比、水系密度、フラクタル次元を变量として主成分分析を行った(表-3)。各主成分の意味するところは、第1主成分 Z_1 :「大きさ」、 Z_2 :「形状」、 Z_3 :「勾配」と考えられる。これらの主成分のうち、 Z_2 と Z_3 の符号判断から各排水区域を4つに分類した。

② 主成分分析によるHackの関係

第2、第3主成分 Z_2, Z_3 の符号がそれぞれ、++ (①)、+- (②)、-+ (③)、-- (④)の4つの分類についてHackの関係を調べた。回帰式と相関係数は次のようになる。

- ①: $L_m = 3.85 A^{0.71}$ ($r=0.95$)
- ②: $L_m = 2.54 A^{0.61}$ ($r=0.91$)
- ③: $L_m = 3.10 A^{0.91}$ ($r=0.97$)
- ④: $L_m = 2.07 A^{0.77}$ ($r=0.94$)

これらはいずれも高相関で、 $A \sim L_m$ の関係に対し主成分分析による分類が可能であることを示している。また、パラメータ v を見ると、②は自然河川に近く、③は大きい。これらの主成分の符号は②と③では正反対になっており、中部排水区での $A \sim L_m$ の関係において、②つまり形状が細長く、緩勾配の排水区域が自然河川流域に近いと考えられる。

4. あとがき

中部排水区では古くから、生田川や湊川の付け替え、街路整備などが行われており、下水道幹線にはその影響があるためMelton関係などが他と異なっただと思われる。今後、下水道の建設過程について検討したい。

参考文献 1) 神田徹・神吉和夫・田中俊行: 都市下水道における形態特性について, 水工学論文集, 第35巻, PP.81~86, 1991.

- 2) 渡辺政広・室田明: 都市域の流出解析(1) - 下水道管渠網特性 -, 自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, PP.9~22, 1989.

表-2 フラクタル次元

排水区域名		主幹線のみFD	枝線を含めたFD
神戸市中部	最大値	1.14	1.07
	最小値	1.00	1.35
	平均	1.07	1.19
神戸市東灘	最大値	1.00	
	最小値	1.28	
	平均	1.12	

表-3 主成分分析結果

		Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
固有ベクトル	幹線長 x_1	0.5125	0.0661	0.1505	-0.1368
	排水面積 x_2	0.5013	-0.1595	0.0474	-0.1060
	平均勾配 x_3	-0.1566	-0.3074	0.6228	-0.6077
	平均管径 x_4	0.4966	-0.1662	-0.1296	-0.1604
	b/L x_5	-0.2759	-0.5539	-0.0320	0.3658
	D ₁ x_6	-0.0824	0.6379	0.3915	0.2611
因子負荷量	7533A2元 x_7	0.2605	-0.1579	0.3324	0.7419
	幹線長 x_1	0.9172	0.0764	0.1478	-0.1119
	排水面積 x_2	0.8990	-0.1678	0.0465	-0.0868
	平均勾配 x_3	-0.2857	-0.3643	0.6175	-0.3339
	平均管径 x_4	0.4828	-0.1259	-0.1272	-0.1717
	b/L x_5	-0.4939	-0.7038	-0.0314	0.3160
固有値	D ₁ x_6	-0.1436	0.6270	0.3664	0.2302
	7533A2元 x_7	0.4452	-0.1671	0.3263	0.6076
	固有値	3.2031	1.4043	0.1637	0.6708
	寄与率	0.4576	0.2006	0.1377	0.0958
累積寄与率		0.4576	0.6582	0.7959	0.8917

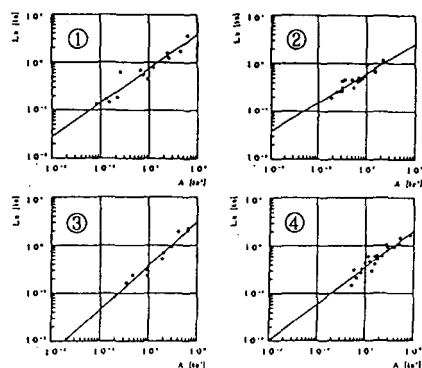


図-4 $A \sim L_m$ の関係 (①~④)

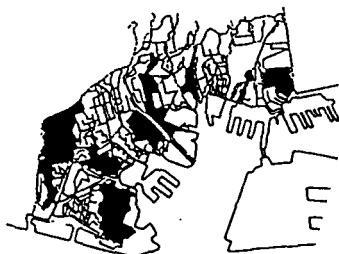


図-5 分類②の分布図