都市下水道流域の地形統計則に関する検討

愛媛大学工学部　正　員　渡辺政広
愛媛大学大学院　学生員 ○ 川裾利雄
愛媛県　土木部　正　員　山内武志

1．はじめに

都市下水道流域の雨水流出を解析するにあたり，実用上の立場からは，流出システムのモデリング（単純化，簡単化）が必要となる場合が多い．本報告では，こうした都市下水道流域のモデリングに際しての一つの普遍的な指標（指針）を得るため，自然河川流域で成立する各種の地形統計則を取り上げ，これらの下水道流域への適用性について，松山・大阪両市の合流式下水道流域を対象に検討を行った．

2．調査対象流域

松山市および大阪市の合流式下水道流域の中の 11 の排水区域を調査対象に選んだ．これら区域の集水面積は 72.7～664.3 ha，最高位数は５～６次，１次の河道（管渠）数は 101～1103本，最高位数の平均管渠径は 1465～4787 mm，河道（管渠）密度は 16.4～30.9 1/km である．

3．地形統計則（管渠網統計則）

Horton-Strahler 流の河道位数の概念および Shreve のリンクの概念に基づく各種の地形統計則，これら統計則と密接な係わりをもつ Hack および Melton の関係式について検討を進めた．これらの中の幾つかの統計則・関係式を以下に示す．

① 河道数則　：　$N_i = R_b^{k-i}$　　② 河道長則　：　$\bar{L}_i = \bar{L}_1 \cdot R_l^{i-1}$

③ 集水面積則　：　$\bar{A}_i = A_1 \cdot R_a^{i-1}$　　④ 河道勾配則　：　$\bar{S}_i = \bar{S}_1 \cdot R_s^{1-i}$

⑤ 管径則　：　$\bar{D}_i = D_1 \cdot R_d^{i-1}$　　⑥ 満管等流流速則　：　$\bar{V}_{f,i} = \bar{V}_{f,1} \cdot R_v^{i-1}$

⑦ Hack の関係　：　$L_m = \kappa_0 \cdot A_m^{\kappa_1}$　　⑧ Melton の関係　：　F_D / D_d^2 ＝ 一定

ここに，i：河道位数，k：最高位数，N_i：位数 i の河道数，$\bar{L}_i$, $\bar{A}_i$, $\bar{S}_i$, $\bar{D}_i$, $\bar{V}_{f,i}$：位数 i の河道（管渠）の平均的な長さ，集水面積，勾配，管径，満管等流流速（Manning 式），R_b, R_l, R_a, R_s, R_d, R_v：分岐比（＝ N_i/N_{i+1}），河道長比（＝ $\bar{L}_{i+1}/\bar{L}_i$），集水面積比（＝ $\bar{A}_{i+1}/\bar{A}_i$），河道勾配比（＝ $\bar{S}_i/\bar{S}_{i+1}$），管径比（＝ $\bar{D}_{i+1}/\bar{D}_i$），満管等流流速比（＝ $\bar{V}_{f,i+1}/\bar{V}_{f,i}$），$L_m$：主河道長，$A_m$：$L_m$ の下流端での集水面積，κ_0, κ_1：流域の定数，F_D：河道頻度，D_d：河道密度．

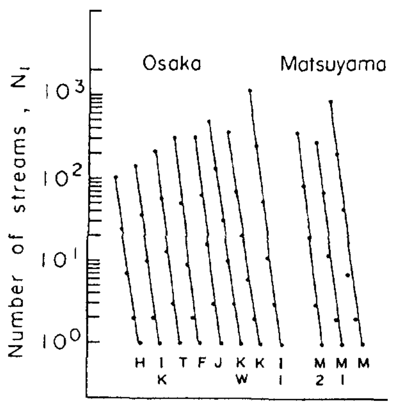

図１　河道数則

表１　管渠網統計則の検討結果

地形統計則・パラメータ	理論値期待値	大阪・松山市 min～max (ave)
河道数則　・R_b	4	3.23～4.51 (3.93)
河道長則　・R_l	2	1.77～2.17 (1.94)
集水面積則・R_a	4, 4.5	3.66～5.27 (4.43)
河道勾配則・R_s	2	1.17～1.83 (1.50)
管径則　・R_d	—	1.48～1.75 (1.61)
満管等流流速則　・R_v	—	1.08～1.25 (1.16)

4．検討（検証）結果

検討結果の例を，図1～図3および表1に示す．得られた主要な知見の幾つかを，以下に述べる．

i）両市の下水道流域において，河川流域で成立する各統計則（①～④）はいずれもよく適合する（図1）．R_b，R_l および R_a の値は，河川流域でのものにほぼ一致する．またそれらの平均値は，統計解析的に求められている理論値（期待値）に近い（表1）．

ii）R_d，R_s および R_v は下水道流域に特有の値をもち，平均値はそれぞれ 1.61，1.50 および 1.16 である（表1）．R_v=1.16 は，下水管渠網の全域にわたって下水道施設設計指針に定める流速基準（V_f＝0.8～3.0 m/sec）を理想的に満足させる値である．

iii）河川流域で成立する Hack および Melton の関係式は，下水道流域においても成立する．両式のパラメータ値から，下水道流域での形状係数に相当する値は，河川流域での 1／2 程度となる（図2，3）．

5．普遍性に関する考察

大阪・松山両市で得られた管渠網統計則に関する諸結果の普遍性について考察を加えた．それらの幾つかを，以下に示す．

i）両市の下水道流域における共通点は，市街地に布設された下水道流域という点だけである．ところが，このような両流域で，管渠網統計則がよく適合し，しかもパラメータ値がよく近似している．

ii）全国各市町村の下水道流域を対象に，下水管渠密度（河道密度）を調査した．大阪・松山両市のものと対比して，図4に示す．これより，下水道流域の規模については1～2オーダの違いも見られる．しかし管渠密度については，大阪・松山両市のものを含め，概ね同程度（20～30 km/km²）である．

iii）下水管渠網は人工の所産であるとは言え，下水管渠を布設する必要のある場所あるいはそれを布設するのに適切な場所などは，地形条件や空間的制約にかなり左右され，純粋に作為的ではない（かなりランダムである）．したがって，下水管渠の発生・合流のランダム性が唯一の出発点である各種統計則が下水管渠網で成立することは，統計理論的にはむしろ予測されるべき結果である．

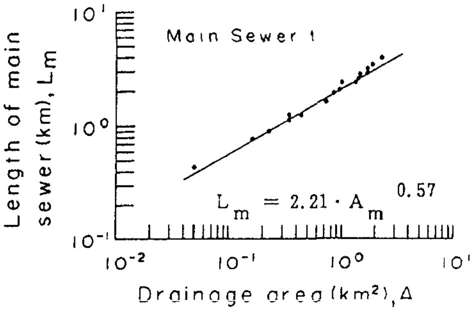

図2　Hack の関係（松山市）

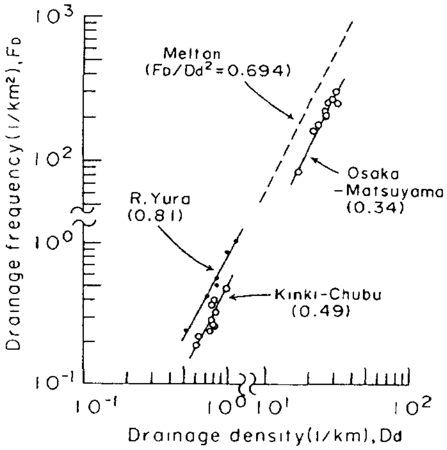

図3　Melton の関係

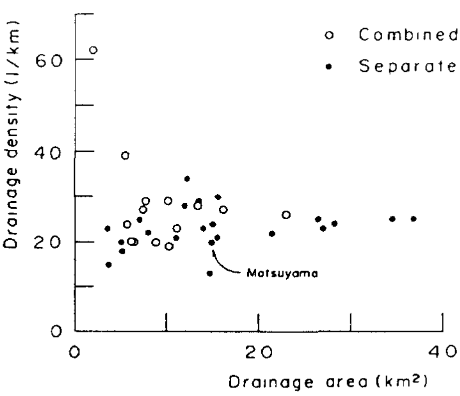

図4　下水管渠密度

これらより，各地の下水道流域における下水管渠ネットワークの諸特性は，大阪・松山両市のものと近似している可能性が高いと考えられる．すなわち，ここに得られた諸結果は，各地の下水道流域で一般的に成立するであろうと考えられる．