「下水道管渠自動設計システム」（Ⅰパークタウン分流式下水道設計を実例として）

大成建設㈱　谷口　季幸　大木　且夫　○並木　裕

1. まえがき　下水道管渠設計には従来多大な労力と時間が必要とされ，更に今後に予想されている膨大な需要増に対して設計を担当する技術者数が不足している現状から設計電算化の持つ意義は大きいと思われる。筆者らにより開発された下水道管渠自動設計システムは排除方式，排水区画割り，排水系路，計画下水量，計画人口等の基本計画が決定された段階で適用され，宅地造成に伴う下水道認可設計，工場敷地内排水設計などに数多く使用されている。本システムへの入力は1人当り計画汚水量，排水面積，使用公式の指定，土被り制限，流速制限などの基礎的データであり，各種積算リスト，管渠縦断図が出力される。

2. システムの特徴　本システムは以下に示す特徴を有している。

ⅰ）流量計算，縦断図作成，積算の各業務を一貫処理し設計業務の合理化を実現する。

ⅱ）設計費用，設計期間ともに大幅な節減となる。

ⅲ）経済設計（トータル掘削土量最小），理想設計（下流流速漸増，下流勾配漸減）のいずれもが可能である。

ⅳ）繰返し計算により実流速による流下時間の算定が可能である。

ⅴ）任意の管渠接合方式（管頂接合，管底接合，管中心接合）を選択することができる。

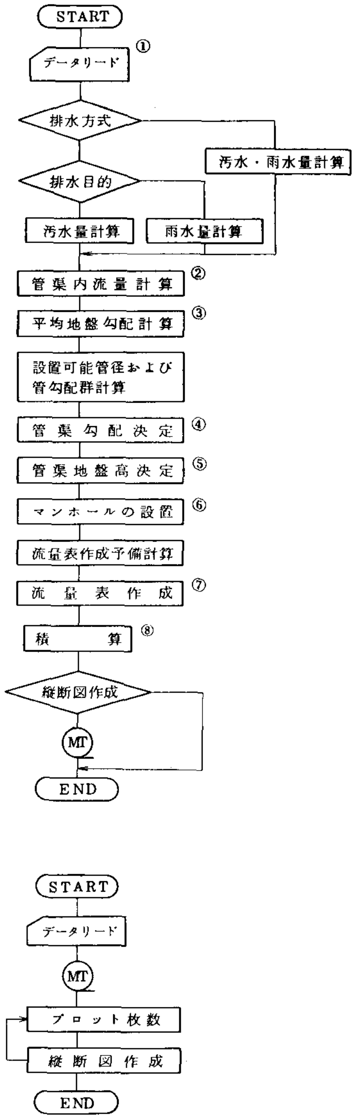
ⅵ）既設地下埋設物などを考慮した設計がなされる。分流式の場合は汚水管と雨水管との交差部分が合理的に処理される。

ⅶ）下水道施設設計指針に示されている設計基準に加えて各種の実務上の設計技術が採り入れられている。

3. システムの構成　全体の構成は流量計算プログラム及び自動作図プログラムから成り，流量計算プログラムは更に自動設計，流量表作成，積算，縦断図用ファイル作成の各ルーチンから構成されている。表－1には本システムのブロックフローを示した。（総ステップ数：10,000，総サブルーチン数98）

① データリード　以下に示す項目について入力する。

全体データ：縦断図作図指示，排水方式の指定，降雨強度公式の指定，流量計算公式の指定，最小土被り，最小最大流速，最小管径，粗度係数，実流量割増高，流入時間，繰返し計算回数，汚水量算定方式指定，汚水量原単位，仮定流速，経済設



表－1　ブロックフロー

計または理想設計の指定，マンホール設置基準の指定

管渠別データ：管番号，流出管番号，排水面積，汚水量，人口（密度），地盤変化点及び地盤高，流出係数，

修正データ（各管渠別）：最小土被り，管径及び勾配指定，最低流速

作図用データ：縮尺，図面間隔，一枚の図面に描く管番号，流入管方向及び管番号

② 管渠内流量計算　汚水に関しては発生汚水量の重ね合わせにより管渠流量を求め，雨水に関しては合理式を使用し，降雨強度にはTalbot型，Sherman型，久野・石黒型が用意されている。

③ 平均地盤勾配　管渠の始点終点地盤高及び管渠長から平均地盤勾配が求まり管渠勾配決定の資料となる。

④ 管渠勾配決定　経済設計（土被り最小）では実流量 Q_i 及び最大流速 v_{max} 最小流速 v_{min} より最大管径 D_{max} 最小管径 D_{min} 計画可能な最大管渠勾配 I_{max} 最小管渠勾配 I_{min} を計算し地盤勾配 I_g が両者の中間の値であれば，管渠勾配 I_i を I_g とし，それ以外の場合には I_{max} または I_{min} とする。すなわち

$Q_i/v_{min} \rightarrow D_{max}$，$I_{min}$，$Q_i/v_{max} \rightarrow D_{min}$，$I_{max}$，$I_{max} > I_g > I_{min} \rightarrow I_i = I_g$，$I_g \geqq I_{max} \rightarrow I_i = I_{max}$，$I_{min} \geqq I_g \rightarrow I_i = I_{min}$

次に管渠勾配 I_i 及び実流量 Q_i より管径 D_i，管渠勾配 I_i 及び管径 D_i より流速 v_i が定まる。ただし使用可能な最小管径が上式で計算される D_{min} よりも大きい場合はこの値が D_{min} となる。また使用可能な最小管径が上式で計算される D_{max} よりも更に大きい場合にはこの値を D_i とし管渠勾配は V_{min} から求めるかまたはインプットにより無条件で平均地盤勾配に一致させる。

⑤ 管渠地盤高決定　各管渠の始点終点の管渠高が最小土被り条件及び管渠接合条件を考慮して決定される。

⑥ マンホールの設置　平面上の管渠屈曲点，合流点またはマンホール最大段差の指定がない場合には最大マンホール間隔にて管渠が分割される。次にそれぞれの分割された管渠は各種条件を満たす範囲で地表面方向へ平行移動され，段差が0.6 *m* 以上のときは指定により副管付きマンホールとなる。

⑦ 流量表作成　決定された管渠データ及び地盤データから流量表作成のために必要な総ての項目が計算，整理されてプリンタにより出力される。

⑧ 積算　土量，管径別管長，種類別マンホール数が積算されプリンタ出力される。

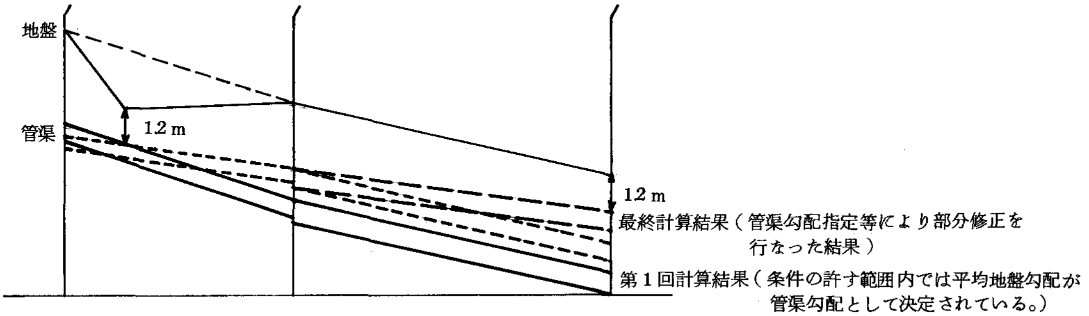
4. 実施設計例　Iパークタウンは平均勾配1～1.5％のなだらかな傾斜地に計画され全体規模では面積1,000ha，人口50,000人である。今回は第2期開発地域160ha（計画人口10,000人）について下水管渠自動設計を行った。排水方式は分流式とし，雨水管渠と汚水管渠の交差部分は雨水管渠の上方に汚水管渠が計画されているため計算手順としてはまず汚水管渠を経済設計により可能な限り上部に計画し，次に雨水管渠を交差部分の最小土被り条件を加えて理想設計により計画した。

汚水管渠設計：計画地域上流側に将来，住区の拡張が予定されているため計画地域境界5ケ所に将来の流入汚水量を想定し大口排水量として扱った。また学校等の施設は昼間に排水量ピークが考えられ，住居では夜間に考えられるので排水が合流する管渠

設計条件	汚水管渠	雨水管渠
流速条件	最小流速 v_{min}=0.8m/sec 最大流速 v_{max}=2.5m/sec 但し350ϕ 以上は下流側流速を漸増させる。	最小流速 v_{min}=1.0m/sec 最大流速 v_{max}=2.5m/sec 但し総ての管径に対して下流側流速を漸増させる。
土被り制限	1.2m ～ 3.0m	1.2m ～ 3.0m
最小管径	250 ϕ	250 ϕ
排水管管種	遠心力鉄筋コンクリート管	遠心力鉄筋コンクリート管
管接合方式	管頂接合	管頂接合
人孔	総ての口径に対して最大人孔間隔を50mとする。 但し段差600mm以上の場合は副管つきとする。	以下に示す最大人孔間隔とする。 300ϕ 以下：50m 600ϕ 以下：75m 1,000ϕ 以下：100m 1,100ϕ 以上：130m 但し副管つき人孔は使用しない。
その他	計画最大汚水量： 890 ℓ/日・人	流出係数：0.7 降雨強度式： i=7,300/(t+50)
粗度係数	0.013	0.013

表－2　Iパークタウン下水道管渠設計条件

流量としては両者のうち大きい流量を用いた。まず最初に入力項目のうち全体データにより定められる設計条件のみにより計算を行ない次にこのアウトプットを流量表作成の段階で設計者が検討し，たとえば下図の場合には管渠の勾配を指定して第2回目以後の計算を行ない経済設計の実現を計った。最後に350φ以上の管渠に対しても勾配を指定することにより下流流速の漸増を実現させた。

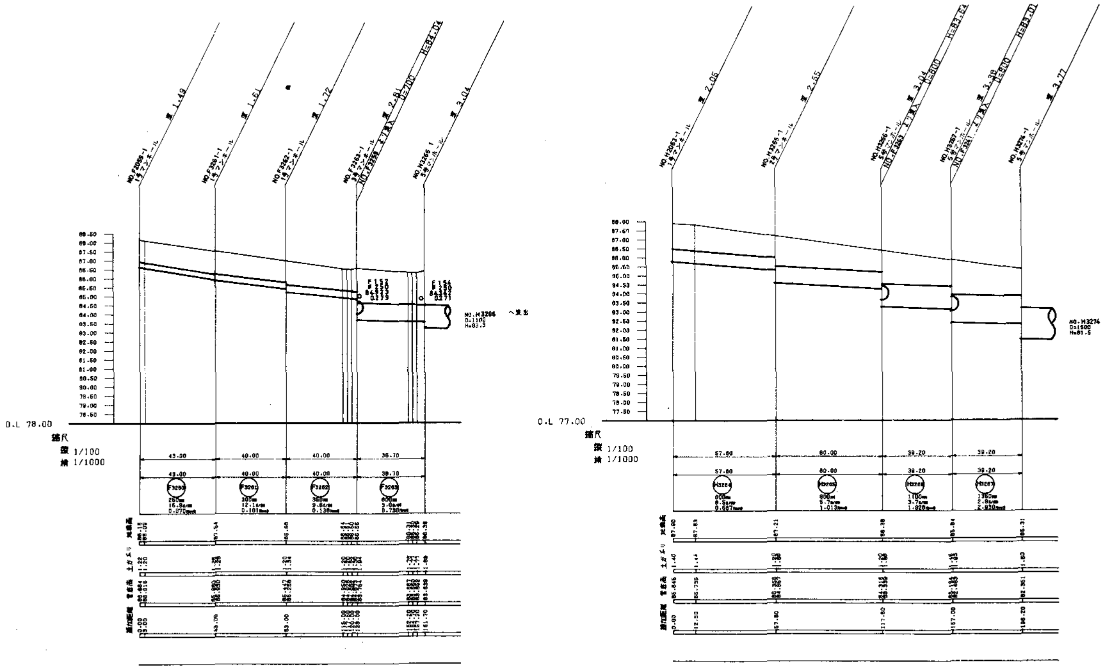


雨水管渠設計：まず汚水管との交差部分229ヶ所について汚水管の埋設深及び各管渠口径により定められている雨水管との垂直方向の間隔より最小土被り条件を指定する。次に計画地域上流の集水域については仮想の管渠ルートを仮定しそれぞれの最上流流速を指定して第1回目の計算を行った。この結果を検討し極端に流速が低く抑えられている部分については中間管渠に最低流速を指定して再度計算することにより全管渠の平均的流速を1.0～1.8 m/s 程度に操作した。また土被りを減少させ得る部分については勾配指定により計算を行ない可能な限り経済性をも考慮した。

上記の方法により流量計算を繰り返して行ない最終的に満足のいく結果を得たのちに縦断図作成用データにより縦断図を自動作図させる。表－3には流量計算表，図－1には縦断図のそれぞれ一例を示す。

管渠記号	面積(ha) 排水面積(A) 各線	排水面積(A) 追加	流出量換算面積(A×C) 各線	流出量換算面積(A×C) 追加	延長(m) 各線	延長(m) 累長	流達時間(分)	流出量(m³/sec) 雨水量 流出係数(C)	雨水量 1ha当降雨量	雨水量 流出量	時間最大汚水量	その他排水口量	上流から流入下水の量	総水量		下水管渠 断面(mm)	勾配(‰)	流速 m/sec	流量 m³/sec	管渠底高 起点(m)	管渠底高 終点(m)	地盤高(m) スタート点 エンド点	土被り(m) スタート点 エンド点	備考
1049	.02	.59	.02	.41	20.90	220.80	7.5	.70	.224	.006		0	.140	.146	0	350	17.0	1.91	.184	70.666	70.311	73.000 72.765	1.952 2.072	
GO TO 1064																								
1050	.23	0	.16	0	34.00	0	5.4	.70	.256	.059		0	0	.059	0	250	26.5	1.85	.091	78.790	77.888	80.523 79.366	1.455 1.200	
1051	.11	.35	.08	.24	33.00	67.00	5.7	.70	.251	.029		0	.059	.088	0	250	26.6	1.85	.091	77.643	76.766	79.366 78.244	1.445 1.200	
GO TO 1053																								
1052	.18	0	.13	0	42.70	0	5.5	.70	.256	.047		0	0	.047	0	250	17.5	1.50	.074	77.193	76.447	78.671 78.244	1.200 1.519	
1053	.12	.65	.08	.45	46.30	113.30	6.3	.70	.240	.029		0	.135	.163	0	350	16.0	1.86	.179	75.955	75.215	78.244 77.000	1.907 1.403	
GO TO 1055																								
1054	.05	0	.04	0	29.10	0	5.3	.70	.257	.014		0	0	.014	0	250	8.3	1.03	.051	75.737	75.495	77.274 77.000	1.259 1.227	
1055	.08	.78	.05	.55	34.30	147.60	6.6	.70	.232	.018		0	.178	.195	0	400	13.1	1.86	.234	74.627	74.176	77.000 76.738	1.938 2.127	
GO TO 1059																								
1056	.11	0	.08	0	40.00	0	5.4	.70	.256	.028		0	0	.028	0	250	28.0	1.90	.093	78.508	77.389	80.000 78.867	1.213 1.200	
1057	.14	.25	.10	.17	40.00	80.00	5.9	.70	.252	.035		0	.028	.063	0	250	28.0	1.90	.093	77.170	76.049	78.867 77.527	1.418 1.200	
1058	.10	.35	.07	.24	33.30	113.30	6.3	.70	.248	.025		0	.063	.088	0	250	28.1	1.91	.094	75.937	75.002	77.527 76.738	1.312 1.458	
1059	.08	1.21	.06	.84	36.30	183.90	7.0	.70	.216	.017		0	.283	.300	0	450	11.6	1.91	.304	74.126	73.703	76.738 75.711	2.124 1.520	
GO TO 1061																								
1060	.13	0	.09	0	52.80	0	5.6	.70	.255	.032		0	0	.032	0	250	11.2	1.20	.059	74.637	74.044	76.165 75.711	1.250 1.389	
1061	.09	1.43	.07	1.00	36.30	220.20	7.4	.70	.214	.020		0	.333	.353	0	500	10.0	1.91	.376	73.278	72.914	75.711 74.656	1.891 1.200	
GO TO 1063																								
1062	.09	0	.06	•0	42.20	0	5.5	.70	.256	.022		0	0	.022	0	250	12.8	1.28	.063	73.532	72.993	75.056 74.656	1.246 1.385	
1063	.20	1.71	.14	1.20	72.70	292.90	8.3	.70	.214	.043		0	.375	.418	0	600	7.8	1.92	.543	72.032	70.284	74.656 72.765	1.974 1.831	
1064	.05	2.35	.03	1.65	34.30	327.20	8.6	.70	.124	.006		0	.564	.570	0	700	6.3	1.93	.742	69.961	69.745	72.765 72.311	2.046 1.808	
GO TO 1070																								
1065	.14	0	.10	0	50.00	0	5.6	.70	.256	.037		0	0	.037	0	250	28.6	1.92	.094	77.938	76.509	79.492 77.987	1.276 1.200	

表－3　流量計算表



図－1　管渠縦断図

5. 自動設計によるメリット　完全に設計者の判断力を介入させない型で自動設計を行なう場合には起こり得るすべての場合を考え複雑かつ膨大なプログラムを作り，計算手順を計算機に指示しなければならない。またこのためには設計者が行なっている作業そのものが相当標準化されている必要があり意志決定に至る思考過程が明確に示されていなければならないが下水道管渠設計では既設埋設管，伏越し，地盤勾配の複雑な変化等により人間の判断力を用いることがはるかに有利な場合が多々生じてくる。そこで筆者らはいわゆる会話形式の自動設計の考え方により計算機の持つ計算能力，作図能力と設計者の経験につちかわれた判断力との融和を計った。Iパークタウンの実施例では汚水管渠長 25 km 雨水管渠長 30 km の規模で計算回数は汚水管渠 11 回，雨水管渠（3系統）6回行なうことにより最終結果を得ている。設計期間は入力データ作成から縦断図作成まで約1ヶ月（2人）であり手作業による設計と比較して期間的にも費用的にも大幅な節減が実現された。

6. あとがき　現在管渠データとしての排水区画面積，管渠長データ作成に多くの労力が費やされており，また手作業によるデータ作成ミスが生じる可能性も多いことからグラフィックディスプレイ装置により管渠データを作成しカードの型で出力する方針で検討を進めている。