

大規模工業団地計画における流出係数の考え方

武田 宏*

国立防災科学技術センター

Meanings of Runoff Coefficients in Large-scale Industrial Lands

By

Hiroshi Takeda

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

Abstract

According to the recent development of industries in Japan, the land which for industries has come to be much required. From the viewpoint of disaster prevention, the runoff coefficient for the drainage system of such industrial lands must be decided.

No technical standards have been established yet, however, for determination of the runoff coefficient in the large-scale industrial land intentionally reclaimed under the definite planning. "Technical Standards for Retarding Ponds" selects 0.9 as the runoff coefficient for the large-scale residential lands.

As the impervious area occupies 60 % of the total large-scale residential area and 37 % of the total large-scale industrial area, we can take the value 0.78 as the runoff coefficient of the large-scale industrial land assuming that the runoff coefficient is proportional to the ratio of the impervious area.

Advanced study must be carried out about the relation between the runoff coefficient and the safety against flooding in these areas, though the costs of structures in large-scale industrial land are rather low due to a small runoff coefficient.

1. ま え が き

昭和30年代後半から大都市周辺への人口集中は激しく、各地でこれに対応すべく大規模な住宅団地開発が行われている。これが行われると開発区域の内外に大きな影響をもたらすが、洪水流出の増加もその一種である。この問題の解決には多くの実測等が必要で、それらの調査作業は各方面において実施されてはいるがまだ十分な結論をえるまでには至っていない。他方、事業は進捗させねばならないため、実用的な対策として防災調節池による処理が多くなった。これに関し安全な防災調節池を建設するため昭和46年7月「大規模宅地開発に伴う

* 第1研究部風水害防災研究室

調整池技術基準」(案), 昭和49年3月「防災調節池技術基準」(案)が作成された。

一方大都市に集中している工業を地方に分散し均衡ある国上の発展をめざし昭和40年代から工業再配置が推進され, その受け皿として地方に大規模な工業団地開発が行われつつある。この大規模な工業団地開発は住宅団地開発と同様あるいはそれ以上に開発区域内外に大きな影響をもたらしているが, その対策については, 洪水流出に限ってみても技術基準等は作成されておらずおおむね住宅団地開発に準じている。

しかし, 工業団地は土地利用・整地・交通・給排水等の計画, 自然及び社会環境対策等において住宅団地と多々相違する。したがって, 工業団地開発による洪水流出増加分の処理方法は住宅団地開発のそれとは異なる場合もあると推察される。

そこで住宅団地と工業団地の洪水流出の差をみるためにそれぞれの流域特性, 特に計画洪水流量決定のための合理式における流出係数について比較し燃水処理対策への影響について検討するものである。

2. 大規模宅地開発による洪水流出特性

降雨から洪水流出を推定する方法は早くから多くの人々によって研究されており, 現在では水理公式集(土木学会, 1971)によると5種類以上も提案されている。

それらの公式はおおむね自然河川における既往の降雨と流出量から作られたものが多く, 宅地開発のような新しい型の流域特性に適用できる公式は極めて少ない。

そこで「防災調節池技術基準」(案)では, 一般河川に比して面積も小さく現在調査中であること等から宅地開発の洪水流出は合理式によることとしている。

合理式による洪水流出の推定方法とそれによる宅地開発の洪水流出特性はつぎのとおりである。

2.1 合理式による洪水流出の推定方法

合理式は流域面積が比較的小さく, 貯留現象が少なく, 流域の土地利用状況の変化(流出機構の変化等)にも対応しやすく, 計算が簡便であるため, 宅地開発の洪水流出計算には広く用いられている。

合理式による洪水ピーク流量は次式で求められる。

$$Q_p = (1/360) \times f \times r \times A \dots \dots \dots (1)$$

ここに Q_p は洪水のピーク流量 (m^3/S)

f は洪水到達時間内の平均降雨強度 (mm/h)

A は流域面積 (ha)

(1)式のうち, 流域面積 A は地形条件から, 降雨強度 r は地形条件(洪水到達時間), 地域(降雨強度・継続時間曲線)および計画水準(確率年等)によって決められる。

流出係数 f は流域の地質, 形状, 植生, 土地利用状況等によって決めることとされ, 例ば

日本の内地河川については表1の値(物部, 1933)が提案されている。これによると内陸部で宅地開発が行われるような「起伏のある土地及び樹林」地域は流出係数が0.5~0.75となっているが、最小値と最大値では5割もの幅がある。

表1 日本内地河川の流出係数

急峻な山地	0.75~0.90
三紀層山岳	0.70~0.80
起伏のある土地及び樹林	0.50~0.75
平坦な耕地	0.45~0.60
かんがい中の水田	0.70~0.80
山地河川	0.75~0.85
平地小河川	0.45~0.75
流域の半ば以上が平地である大河川	0.50~0.75

また、住宅団地等で既往の降雨、流出量から流出係数を求めると、地形・地質のほかに降雨・洪水の継続時間、降雨強度によっても流出係数が変化し場合によっては1.0を越えることがある(青木佑久, 1971)。

そこで実際に合理式から計画ピーク流量を求める場合の流出係数は、物理的に算定されるほかに上記のような変動がある事を考慮し安全分を加算して決めているのが実情である。

2.2 宅地開発による洪水流出特性

大規模な宅地開発が行われると流出機構が変化し、開発前より洪水の最大流量、総流出量が増加することは経験的に良く知られている。

そこで大規模な宅地開発が行われると流出機構はおおむねつぎのように変化する。

(イ) 流出率(総流出量/総降雨量)の増大

宅地開発によって不透透面積が拡大し、地中への浸透量の減少、洪水時の総流出量の増加等により流出率が増大する。

(ロ) 洪水到達時間の短縮

開発地区内は路面舗装・側溝・管渠等の雨水排水施設の整備、不透透面積の増加により、雨が降ってから河道に流量として現われるまでの時間が短縮され最大流量が増大する。

(ハ) 流域貯留量の減少

開発前は森林・畑・水田等であったところを開発によって建物・宅地・法面・街路等になりさらに雨水は速やかに排水するように設計してあるので開発区域内の貯留効果は減少する。

(ニ) 流出係数の増大

流出率の増大、洪水到達時間の短縮、流域貯留量の減少等の影響によりピーク流量は増加し流出係数が増大する。

これらの現象を合理式で説明すると洪水到達時間が短くなるので降雨強度 r は大きくなる。(図1)また不透透面積の拡大、貯留量の減少、流出率の増大等により流出係数 f が大きくなる。「防災調節池技術基準」(案)によると標準値として0.9をとるように決められている。

したがって、大規模宅地開発における洪水流出特性としては、たとえ流域面積が変わらない

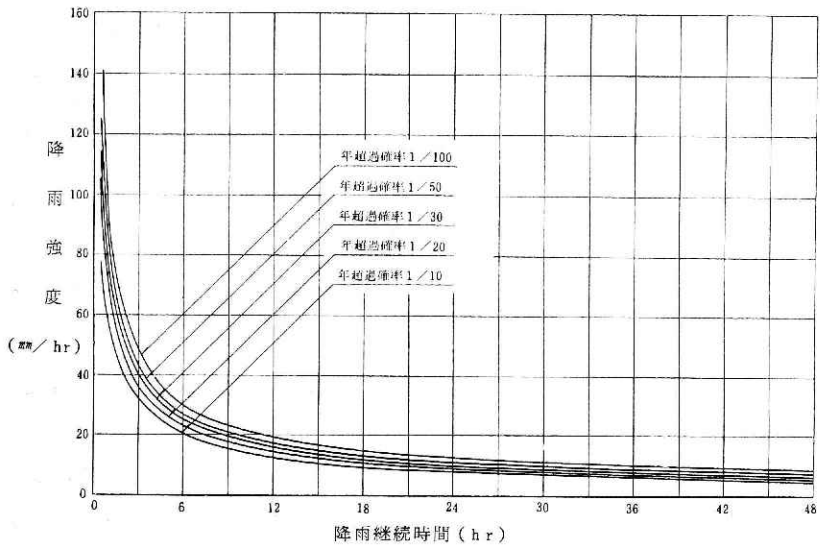


図1 確率降雨強度～継続時間曲線

にしても開発前よりは大幅に洪水流出が増加する傾向にある。

3. 住宅団地と工業団地の流域特性

大規模な宅地開発が行われると洪水流出が増大することは既述のとおりであるが、これは早くから大規模な開発を行っていた住宅団地についての研究である。

工業団地の大規模な開発は昭和30年代後半から行われていたが、その大部分は岡山県の水島、茨城県の鹿島のような臨海部であり洪水流出の処理については特別問題はなかった。しかし昭和40年代後半からは、公有水面埋立免許取得が著しく困難になる等から大規模な工業団地開発は内陸部でも行われるようになり、開発による影響は住宅団地のそれと同様の現象が想定されるようになった。そこで洪水流出の処理については「防災調節池技術基準」(案)によって計画され安全を期してはいる。

しかし住宅団地と工業団地では、土地利用・整地・交通・給排水等の計画・環境対策等に多々相違する部分があり、従って洪水流出特性も異なるものと推定される。

そこで大規模な住宅団地と工業団地の流出特性の基礎的な要因としての流域特性を比較検討してみる。

3.1 調査対象団地

今回の調査対象団地は工業団地が5団地、住宅団地は多数あるが工業団地と同程度の規模で資料収集できたもの6団地である。調査対象団地名は表2のとおりである。

3.2 住宅団地と工業団地の土地利用区分の比較

住宅団地と工業団地では土地利用・整地・交通・給排水計画等で種々異なっているが流域特性を表わすのは主として土地利用区分である。

表 2 調査対講団地名一覧表

住宅団地			工業団地		
名称	所在地	総面積 (ha)	名称	所在地	総面積 (ha)
霧が丘	横浜市	112.7	長田野	福知山市	342.0
大山田	桑名市	194.0	勝中央	津山市	85.8
洋光台	横浜市	207.5	佐賀東部	佐賀市	102.4
鷺尾	厚木市	87.2	長浜	出雲市	81.2
高蔵寺	春日井市	702.0	米沢八幡原	米沢市	430.0
新多聞	神戸市	193.4			

そこで住宅団地と工業団地の土地利用区分を対象11団地について調査した結果は表3、表4のとおりである。また住宅団地と工業団地の代表的な土地利用区分図は図2、図3のとおりである。

この表3、表4から住宅団地及び工業団地の土地利用区分の特徴はつぎのとおりである。
 (1)住宅用地率及び工場用地率は平均では両方とも約60%であるが、個々の団地別にみると、住宅団地ではほぼ同じであるが工業団地ではかなり差がある。

工場用地率が各団地で差がある原因は、周辺の既存市街地への影響、想定立地業種、計画

表 3 住宅団地土地利用表

用地項目	霧が丘団地		大山田団地		洋光台団地		鷺尾団地		高蔵寺団地		新多聞団地		左6団地の割合の平均%
	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	
㉑住宅用地	72.7	64.5	120.8	62.3	137.6	66.3	56.6	64.9	406	57.7	126.8	65.5	63.54
㉒道路用地	20.9	18.5	41.2	21.2	36.9	17.8	14.2	16.3	138	19.7	31.0	16.0	18.25
㉓河川・水路等用地	2.9	2.6	1.9	1.0	0.2	0.1	0	0	0	0	2.0	1.0	0.79
㉔公園・緑地用地	7.2	6.4	11.3	5.8	12.4	6.0	7.4	8.5	54	7.7	10.9	5.6	6.67
㉕教育その他施設用地	9.0	8.0	18.8	9.7	20.4	9.8	9.0	10.3	10.4	14.9	22.8	11.8	10.75
合計	112.7	100.0	194.0	100.0	207.5	100.0	87.2	100.0	702	100.0	193.4	100.0	100.0

その他施設用地には行政施設、商業施設、上下水道施設等が含まれる。

表 4 工業団地土地利用表

用地項目	長田野団地		勝中央団地		佐賀東部団地		長浜団地		米沢八幡原団地		左5団地の割合の平均%
	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	
㉑工場用地(敷地内緑地)	244.4	71.5	41.6	48.5	56.5	55.2	60.0	73.9	180.1	41.9	58.20
㉒道路用地	31.3	9.2	3.9	4.5	7.7	7.5	3.3	4.1	31.8	7.4	6.54
㉓河川・水路・調節池用地			1.7	2.0	5.0	4.9	3.1	3.8	14.4	3.3	2.80
㉔緑地・公園用地	61.6	18.0	35.5	41.4	27.1	26.5	11.3	13.9	186.6	43.4	28.64
㉕関通・その他施設用地	4.7	1.3	3.1	3.6	6.1	5.9	3.5	4.3	17.1	4.0	3.82
合計	342.0	100.0	85.8	100.0	102.4	100.0	81.2	100.0	430.0	100.0	100.0

—は不明、空欄は項目の値なし。

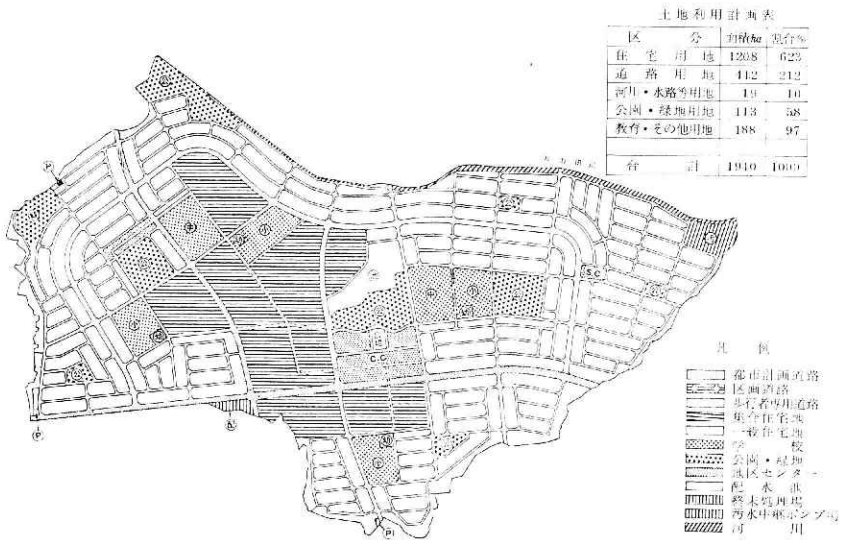


図 2 大山田団地土地利用計画図

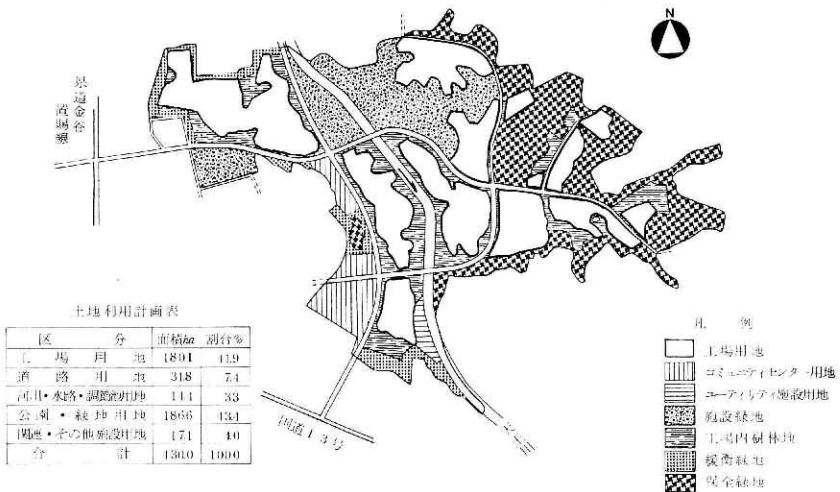


図 3 米沢八幡原中核工業団地土地利用計画図

立案時の経済社会の状況等によるものと推定される。

住宅用地、工場用地は面積率にして最も大きく流出に与える影響も大きいですが、詳細には各々の用地の内にある屋根・アプローチ道路・駐車場等の雨水が浸透しない部分が流出に影響する。これについては後で詳細な調査を行っている。

その他に同じ大きさの住宅用地と工場用地でも1区画の大きさが大きく異っている。特に内陸部の丘陵地帯では造成コストを安くするため住宅団地ではいわゆる雛壇造成になるが工業団地では1区画がある程度の面積を確保する。したがって住宅用地と工場用地では雨水の

貯留効果は工場用地の方が大きいものと推定される。

(c)道路率は住宅団地で20%前後工業団地では5%前後でかなりの差がある。これは1区画の規模が住宅団地と工業団地では大差あるからである。

団地造成の場合の道路は全面舗装するので、道路に降った雨水はすべて流出する。したがって道路からの流出は住宅団地の方が約4倍も大きいことになる。

(d)河川・水路率は地形等によって大きさが決まるので住宅団地と工業団地による差はない。また、その率も小さいので流出に与える影響も小さい。

(e)公園・緑地率は住宅団地で約7%工業団地では30%となっている。これは法規上から住宅団地では3%以上、工業団地では25%以上確保することになっているからと考えられる。

公園・緑地の中にはベンチ・ブランコ・運動場・各種のコート等の施設も設置されるが大部分は森林・草地等で雨水の浸透可能な地表状態の場所である。

従って住宅団地より工業団地の方が流出は小さくなるものと推定される。

(f)教育・その他の用地率は住宅団地が大きいがこのは日常生活に必要な施設が多いからであろう。

教育・その他の用地の中には住宅用地工場用地と同様に建物・アプローチ道路・駐車場等があり流出に影響する程度はその利用区分を調査せねばわからない。

以上(i)から(f)まで住宅団地と工業団地の土地利用区分の特徴を調べたが流出率・雨水貯留効果等からみて住宅団地より工業団地の方が流出係数は小さい傾向にあると判断される。

3.3 住宅団地と工業団地の不浸透面積率

大規模な宅地開発により洪水流出が増大する要因の1つに流出率が增大することがあげられているが、流出率は主として地表の状態によって影響される。

そこで屋根・舗装道路・駐車場・河川・水路等の浸透しない部分の面積率を不浸透面積率と定義し、これを地表の状態を表わす指標とする。この不浸透面積率が流出率を支配すると考える。

そこで先の表3、表4から不浸透面積率を求めるために各用地項目別に表5のとおり浸透・不浸透の区分を定義した。

なお表5の中で浸透・不浸透が混在している住宅用地・工場用地についてはさらに詳細な調査を行った。また施設用地も浸透・不浸透が混在しているが立地する施設が多様なことと面積率が小さいことからその区分は住宅団地については住宅用地に、工業団地については工場用地に準ずることとした。

a. 住宅用地と工場用地の不浸透面積率

表5 地表面の状態(浸透・不浸透)区分表

区分	土地利用状況	浸透・不浸透の区分
①	住宅(工場)用地	浸透及び不浸透が混在
②	道 路	不 浸 透
③	河川・水路・調節池など	不 浸 透
④	公園・緑地	浸 透
⑤	施設用地	浸透及び不浸透が混在

住宅用地の不浸透面積率は先の6団地の中からは得られなかったので新たに資料を収集し住宅用地内の土地利用区分から不浸透面積率を求めた。その結果は表6のとおりとなり平均で約55%である。なお住宅用地内の土地利用区分の1例は図4のとおりである。

工場用地の土地利用区分は1団地の例しかなかったのでそれから不浸透面積率を求めると約45%である。

表6 住宅用地（団地内の一区画）内の不浸透面積の割合

土地利用区分	I		II		III		IV		V		VI		I~VI の平均
	面積 A (ha)	不浸透部 a (ha)	面積 A (ha)	不浸透部 a (ha)	面積 A (ha)	不浸透部 a (ha)	面積 A (ha)	不浸透部 a (ha)	面積 A (ha)	不浸透部 a (ha)	面積 A (ha)	不浸透部 a (ha)	
住宅建物	0.35	0.35	0.62	0.62	3.40	3.40	1.17	1.17	0.59	0.59	0.95	0.95	
住宅庭	1.09	0.21	1.28	0.11	9.61	0.96	2.76	0.26	1.62	0.07	2.53	0.36	
地小計	1.44	0.56	1.90	0.73	13.01	4.36	3.94	1.43	2.21	0.66	3.48	1.31	
敷地内施設	0.12	0.09	0.31	0.13	1.87	1.63	1.39	1.35	0.27	0.11	0.14	0.04	
敷地内施設 (駐車場・アプローチ 等 etc.)	0.32	0.32	1.17	1.03	1.62	1.33	0.91	0.91	0.44	0.38	1.25	1.21	
敷地内公園緑地	0.17	0.11	1.71	0.99	5.51	3.70	2.52	1.43	0.99	0.85	0.82	0.62	
法面, その他	0	0	0.96	0.30	0.07	0.02	0	0	0	0	0.66	0.36	I~VI の平均
合計 (ΣA , Σa)	2.05	1.08	6.05	3.18	22.08	11.04	8.75	5.12	3.91	2.00	6.35	3.54	
非浸透面積の割合 ($\Sigma a / \Sigma A$)	53%		53%		50%		58%		51%		56%		≒55%

使用資料は土地利用状況を調査した6団地とは異なる。

不浸透部とは建物、道路の様にコンクリートやアスファルト等で被われた部分の面積である。

ΣA =団地内の一区画の敷地面積 Σa =敷地内の不浸透部分の総面積

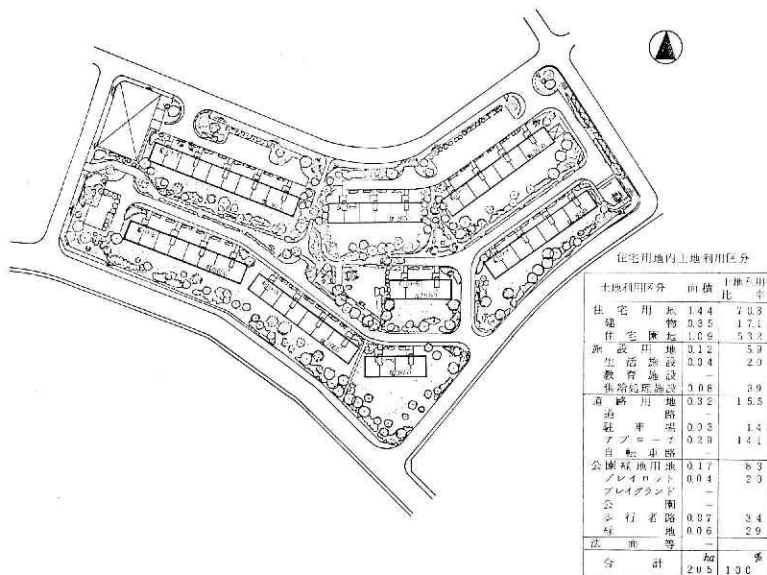


図4 住宅用地内土地利用区分図

b. 住宅団地と工業団地の不浸透面積率

浸透・不浸透が混在する住宅用地，工場用地，施設用地については先の結果を用いて住宅団地，工業団地の不浸透面積率を求めると表7，表8のとおりとなり平均では住宅団地は約60%，工業団地では約37%である。この違いは住宅団地と工業団地の機能面からの相違であり，流出係数が同じでないことを意味するものである。

表7 住宅団地内不浸透面積の割合一覧表

地目	霧が丘団地		大山田団地		団洋光台地		鳶尾団地		高蔵寺団地		新多聞地区		左6団地の割合の平均%	
	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)		
不浸透部分	道路	20.9	18.5	41.2	21.2	36.9	17.8	14.2	16.3	138	19.7	31.0	16.0	18.25
	河川・水路	2.9	2.6	1.9	1.0	0.2	0.1	0	0	0	0	2.0	1.0	0.78
	宅地	41.9	37.2	76.8	39.6	86.9	41.9	36.1	41.4	281	40.0	82.3	42.6	40.45
	小計	65.7	58.3	119.9	61.8	124.0	59.8	50.3	57.7	419	59.7	115.3	59.6	59.48
浸透部分	緑地・公園	7.2	6.4	11.3	5.8	12.4	6.0	7.4	8.5	54	7.7	10.9	5.6	6.67
	宅地	39.8	35.3	62.8	2.4	71.1	34.2	29.5	33.8	229	32.6	67.3	34.8	33.85
	小計	47.0	41.7	74.1	38.2	83.5	40.2	36.9	42.3	283	40.3	78.2	40.4	40.52
合計	112.7	100	194.0	100	207.5	100	87.2	100	702	100	193.5	100	100	

表8 工業団地内不浸透面積の割合一覧表

地目	長田野団地		勝央団地		佐賀東部団地		長浜団地		米沢八幡原団地		左5団地の割合の平均%	
	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)	面積 (ha)	割合 (%)		
不浸透部分	工場敷地内	110.0	32.2	18.7	21.8	25.4	24.9	27.0	33.2	81.0	18.8	26.2
	道路	31.2	9.1	3.9	4.5	7.7	7.5	3.3	4.1	31.8	7.4	6.5
	関連施設内	2.0	0.6	1.4	1.6	2.7	2.6	1.6	2.0	7.7	1.8	1.7
	河川・水路	—	—	1.7	2.0	5.0	4.9	3.1	3.8	14.4	3.4	2.8
	小計	143.2	41.9	25.7	29.9	40.8	39.9	35.0	43.1	134.9	31.4	37.2
浸透部分	工場敷地内	134.4	39.4	22.9	26.7	31.1	30.4	33.0	40.7	99.1	23.0	32.1
	関連施設内	2.3	0.7	1.7	2.0	3.3	3.2	1.9	2.3	9.4	2.2	2.1
	緑地・公園	61.6	18.0	35.5	41.4	27.1	26.5	11.3	13.9	186.6	43.4	28.6
	小計	198.3	58.1	60.1	70.1	61.5	60.1	46.2	56.9	295.1	68.6	62.8
合計	341.5	100	85.8	100	102.3	100	81.2	100	430.0	100	100	

4. 工業団地の流出係数の推定と防災調節池容量と建設費への影響

大規模宅地開発後における流出係数は0.9を標準とすることになっているが（日本河川協会，1977）これは住宅団地開発についての研究に基づいて決められたものである。

そこで先に求めた住宅団地及び工業団地の不浸透面積率や種々の基準等から工業団地の流出係数を推算する。

さらにその推算された流出係数と標準の流出係数0.9（河川協会，1977）について防災調節池の容量建設費等に及ぼす影響を比較する。

4.1 工業団地における流出係数の推定

流出係数の推定は不浸透面積率による方法と既定の種々の基準等による方法について検討する。

a. 不浸透面積率による方法

既述のように流出係数は不浸透面積率に影響されているしたがって流出係数と不浸透面積率が単純に比例すると仮定すると住宅団地の流出係数・不浸透面積率から工業団地の流出係数は表9のとおり0.78となる。

表9 不浸透面積率による工業団地の流出係数計算

流域の開発区	分流出係数	不浸透面積率	摘要
住宅団地	0.90	60%	
工業団地	(0.78)	37	
開発前	0.65	(10)	

(注) () 内は推算値

なお表9の中で開発前の流出係数については「起伏のある土地及

表10 種々の基準等による流出係数

1. 物部による日本河川の流出係数

急峻な山地	0.75~0.90
三紀層山岳	0.70~0.80
起伏のある土地及び樹林	0.50~0.75
平坦な耕地	0.45~0.60
かんが中の水田	0.70~0.80
山地河川	0.75~0.85
平地小河川	0.45~0.75
流域の半ば以上が平地である大河川	0.50~0.75

2. 下水道施設基準の流出係数

商業地区	0.7~0.9
工業地区	0.4~0.6
住宅地区	0.3~0.5
公園地区	0.1~0.2

3. 小規模下水道施設基準の流出係数

工種別基礎流出係数標準値

工種	流出係数
屋根	0.90
道路	0.85
その他の不浸透面	0.80
水面	1.00
間地	0.20
芝、樹木の多い公園	0.21
勾配の緩い山地	0.31
勾配の急な山地	0.30

用途別総合流出係数標準値

敷地内の間地が非常に少ない地域や類似の住宅地域	0.80
浸透面の野外作業場などの、間地を若干持つ工場地域や庭が若干ある住宅地域	0.65
住宅公団団地などの中層住宅団地や1戸建て住宅の多い地域	0.50
樹木を多く持つ高級住宅地域や、畑地などが割合残る郊外地域	0.35

4. アメリカ土木学会の流出係数

地域の用途別平均流出係数		工種別基礎流出係数	
商業地域	0.50~0.95	道路	0.70~0.95
下町	0.70~0.95	アスファルト	0.70~0.95
下町の近接区域	0.50~0.70	コンクリート	0.80~0.95
住居地域	0.25~0.75	レンガ	0.70~0.85
1戸1家族の区域	0.30~0.50	歩道、駐車場	0.75~0.85
1戸多数家族で建物の離れている区域	0.40~0.60	屋根	0.75~0.95
1戸多数家族で建物の近接している区域	0.60~0.75	砂層土の芝生	0.05~0.20
アパート区域	0.50~0.70	勾配0~2%	0.05~0.10
郊外	0.25~0.40	勾配2~7%	0.10~0.15
工業地域	0.50~0.90	勾配7%以上	0.15~0.20
余り密集していない区域	0.50~0.80	ち密土の芝生	0.13~0.35
密集している区域	0.60~0.90	勾配0~2%	0.13~0.17
緑地	0.10~0.40	勾配2~7%	0.18~0.22
公園、墓地	0.10~0.25	勾配7%以上	0.25~0.35
競技場	0.20~0.35		
鉄道操車場	0.20~0.40		
未改良区域	0.10~0.30		

び樹林」を採用（物部，1933）した。

また不浸透面積率については調査例がないので住宅団地の道路・水路（表3）の半分の10%と仮定した。

b. 種々の基準等による方法

流出係数については国内外で種々の基準があり関係するものを調査した結果は表10のとおりである（日本河川協会，1976）。

表10から工業団地に相当する流出係数を抽出すると

下水道施設基準工業地区 0.4~0.6

小規模下水道施設設置基準浸透面の野外作業場などの間地を若干持つ工場地域や庭が若干ある住宅地域 0.65

アメリカ土木学会

工業地域

余り密集していない地域 0.5~0.8

となっている。

c. 工業団地の流出係数

種々の基準による流出係数は0.4~0.8とかなり広い範囲になっているので不浸透面積率から推定した0.78を工業団地の流出係数として考えることが可能である。なお、この係数は当然のことながら今回収集した資料から推定したものであり、今後多数の資料により検照の必要がある。

4.2 流出係数の差が防災調節池の容量等に及ぼす影響

現在の工業団地の洪水流出計算では流出係数を0.9を使用しているが、今回の検討では0.78程度と試算された。

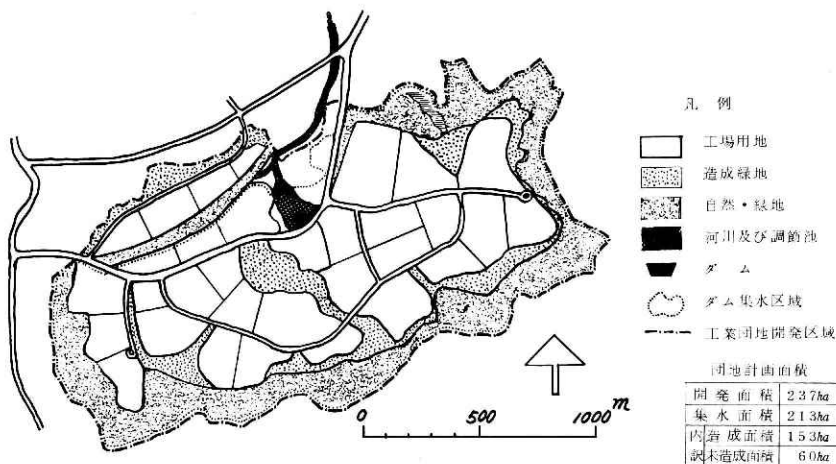


図5 A中核工業団地平面図

そこで流出係数が0.9と0.78では
洪水流出ならびに防災調節池の容量
等にどの程度影響するか事例により
試算する。

試算に使用するのは地域振興整備
公団で造成されたA中核工業団地の
B防災調節池である。(図5)

a. 流出計算例

集水面積

開発区域 237.044ha

調節池集水面積 213.436ha

内訳 造成面積 153.167ha

未造成面積 60.269ha

計画降雨

計画対象確率年 1/30

計画降雨強度 R

$$R = \frac{14300}{t + 75}$$

R : t 分間内の降雨強度

(mm/hr)

洪水到達時間 T (min)

流入時間 t_1

$$t_1 = 1.67 \times 10^{-3} \times (420 \div$$

$$\sqrt{50 \div 420})^{0.7}$$

$$= 0.24/\text{hr}$$

$$= 14.5\text{min}$$

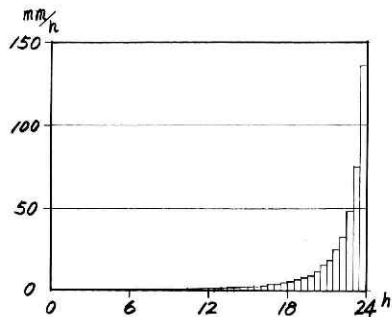


図6 後方集中型降雨波形

表11 計画降雨・流出量計算表

n	t (min)	降雨強度	後方集中型 計画降雨	流出量	
		$R = \frac{14,000}{t + 75}$		流出係数 0.78	流出係数 0.9
1	30	136.1mm	136.1mm	60.0m ³ /s	66.9m ³ /s
2	60	105.9	75.6	33.3	37.2
3	90	86.6	48.1	21.2	23.7
4	120	73.3	33.3	14.7	16.4
5	150	63.5	24.4	10.8	12.0
6	180	56.0	18.6	8.2	9.2
7	210	50.1	14.7	6.5	7.2
8	240	45.3	11.9	5.3	5.9
9	270	41.4	9.8	4.3	4.8
10	300	38.1	8.2	3.6	4.1
11	330	35.3	7.0	3.1	3.5
12	360	32.8	6.0	2.7	3.0
13	390	30.7	5.3	2.3	2.6
14	420	28.8	4.6	2.0	2.3
15	450	27.2	4.1	1.8	2.0
16	480	25.7	3.6	1.6	1.8
17	510	24.4	3.2	1.4	1.6
18	540	23.2	2.9	1.3	1.5
19	570	22.1	2.7	1.2	1.3
20	600	21.1	2.4	1.1	1.2
21	630	20.2	2.2	1.0	1.1
22	660	19.4	2.0	0.9	1.0
23	690	18.6	1.9	0.8	0.9
24	720	17.9	1.7	0.8	0.8
25	750	17.3	1.6	0.7	0.8
26	780	16.7	1.5	0.7	0.7
27	810	16.1	1.4	0.6	0.7
28	840	15.6	1.3	0.6	0.6
29	870	15.1	1.2	0.5	0.6
30	900	14.6	1.1	0.5	0.6
31	930	14.2	1.0	0.5	0.5
32	960	13.8	1.0	0.4	0.5
33	990	13.4	0.9	0.4	0.5
34	1,020	13.0	0.9	0.4	0.4
35	1,050	12.7	0.8	0.4	0.4
36	1,080	12.3	0.8	0.4	0.4
37	1,110	12.0	0.8	0.4	0.4
38	1,140	11.7	0.7	0.3	0.4
39	1,170	11.4	0.6	0.3	0.3
40	1,200	11.2	0.6	0.3	0.3
41	1,230	10.9	0.6	0.3	0.3
42	1,260	10.7	0.6	0.3	0.3
43	1,290	10.4	0.5	0.2	0.3
44	1,320	10.2	0.5	0.2	0.3
45	1,350	10.0	0.5	0.2	0.3
46	1,380	9.8	0.5	0.2	0.2
47	1,410	9.6	0.5	0.2	0.2
48	1,440	9.4	0.4	0.2	0.2

流下時間 t_2

$$t_2 = 1165\text{m} \div 2.0\text{m/s}$$

$$= 9.7\text{min}$$

$$T = t_1 + t_2$$

$$= 14.5 + 9.7 = 24.2 \div 30\text{min}$$

計画降雨波型

降雨波型は後方集中型とし計画降雨強度及び洪水到達時間より計画降雨波型を求めると表11, 図6のとおりである。

流出係数

流出係数は開発区域内のうち造成区域を0.9と0.78, 未造成区域を0.65とする。

ただし防災調節池の集水区域は造成地と未造成地が混在しているので各々の面積比により平均の流出係数を求める。

造成区域を0.9の場合の平均流出係数 f_1

$$f_1 = \frac{153.167 \times 0.9 + 60.269 \times 0.65}{213.436} = 0.829$$

造成区域を0.78の場合の平均流出係数 f_2

$$f_2 = \frac{153.167 \times 0.78 + 60.269 \times 0.65}{213.436} = 0.743$$

流出量計算

降雨波型, 流出係数(0.9と0.78の2ケース)から合理式によって流出量を計算すると表11のとおりとなる。

b. 調節計算例

調節池及びダムの諸元

調節池の水位～容量

調節池の水位～容量は表12のとおりである。

ダムの放流口の大きさ

ダムの放流口の大きさはつぎの2ケースとした。

流出係数が0.9の場合 $2.5 \times 2.5\text{m}$

流出係数が0.78の場合 $3.0 \times 2.5\text{m}$

なおダム放流口の敷高はT.P14.0mとしてある。

調節池の放流量

調節池からの放流量は, ダム放流口の高さ2.5mまでは自由越流公式を, それ以上はオリフィス公式で求めた。

自由越流公式(土木学会, 1963)

$$Q = C \times B \times h^{3/2}$$

Q : 越流量(m^3/s)

表12 調節池水位・容量表

調節池水位	容 量
14.0 m	0 m^3
15.0	4,756
16.0	10,096
17.0	16,068
18.0	22,720
19.0	30,100
20.0	38,256
21.0	48,424
22.0	58,592
23.0	68,760
24.0	78,930

C : 越流係数 = 1.832

B : 放流口幅 = 2.5 or 3.0

h : 越流深

表13 調節池水位・放流量表

調節池水位 m	ダム放流口 2.5m × 2.5m		放ダム流口 3.0m × 2.5m	
	越流量 m ³ /s	流出量 m ³ /s	越流量 m ³ /s	流出量 m ³ /s
14.0	0		0	
.5	1.621		1.945	
15.0	4.580		5.496	
.5	8.413		10.096	
16.0	12.952		15.542	
.5	18.105		21.726	
17.0		21.962		26.355
.5		24.903		29.884
18.0		27.531		33.038
.5		29.930		35.916
19.0		32.150		38.580
.5		34.226		41.071
20.0		36.183		43.420
.5		38.040		45.648
21.0		39.810		47.772
.5		41.505		49.806
22.0		43.133		
.5		44.702		
23.0		46.218		
.5		47.686		
24.0		49.109		

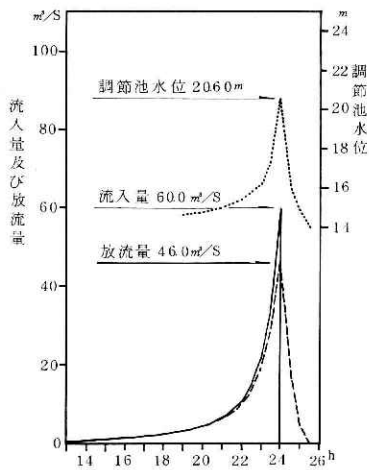


図7 流出係数0.78の場合の洪水調節図

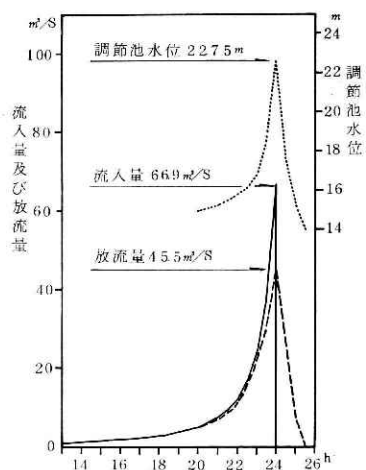


図8 流出係数0.90の場合の洪水調節図

大規模工業団地計画における流出係数の考え方—武田

表14 洪水調節計算表

n	t (min)	流出係数 0.78			流出係数 0.90		
		流入量 (m ³ /s)	放流量 (m ³ /s)	調節池水位 (m)	流入量 (m ³ /s)	放流量 (m ³ /s)	調節池水位 (m)
1	30	0.2	0.2		0.2	0.2	
2	60	〃	〃		〃	〃	
3	90	〃	〃		〃	〃	
4	120	〃	〃		0.3	0.3	
5	150	〃	〃		〃	〃	
6	180	〃	〃		〃	〃	
7	210	0.3	0.3		〃	〃	
8	240	〃	〃		〃	〃	
9	270	〃	〃		〃	〃	
10	300	〃	〃		〃	〃	
11	330	〃	〃		0.4	0.4	
12	360	0.4	0.4		〃	〃	
13	390	〃	〃		〃	〃	
14	420	〃	〃		〃	〃	
15	450	〃	〃		〃	〃	
16	480	〃	〃		0.5	0.5	
17	510	〃	〃		〃	〃	
18	540	0.5	0.5		〃	〃	
19	570	〃	〃		0.6	0.6	
20	600	〃	〃		〃	〃	
21	630	0.6	0.6		〃	〃	
22	660	〃	〃		0.7	0.7	
23	690	0.7	0.7		〃	〃	
24	720	〃	〃		0.8	0.8	
25	750	0.8	0.8		〃	〃	
26	780	〃	〃		0.9	0.9	
27	810	0.9	0.9		1.0	1.0	
28	840	1.0	1.0		1.1	1.1	
29	870	1.1	1.1		1.2	1.2	
30	900	1.2	1.2		1.3	1.3	
31	930	1.3	1.3		1.5	1.5	
32	960	1.4	1.4		1.6	1.6	
33	990	1.6	1.6		1.8	1.8	
34	1,020	1.8	1.8		2.0	2.0	
35	1,050	2.0	2.0		2.3	2.3	
36	1,080	2.3	2.3		2.6	2.6	
37	1,110	2.7	2.7		3.0	3.0	
38	1,140	3.1	3.1	14.66	3.5	3.5	
39	1,170	3.6	3.6	.75	4.1	4.1	
40	1,200	4.3	4.1	.80	4.8	4.6	15.00
41	1,230	5.3	5.1	.95	5.9	5.6	.15
42	1,260	6.5	6.1	15.05	7.2	6.9	.30
43	1,290	8.2	7.6	.25	9.2	8.5	.50
44	1,320	10.8	10.0	.50	12.0	11.2	.80
45	1,350	14.7	13.4	.83	16.4	15.0	16.20
46	1,380	21.2	19.8	16.35	23.7	21.2	.90
47	1,410	33.3	29.4	17.45	37.2	30.6	18.65
48	1,440	60.0	46.0	20.60	66.9	45.5	22.75
49	1,470	0	18.7	16.25	0	25.3	17.60
50	1,500	0	4.1	14.80	0	7.5	15.40
51	1,530	0	0	14.00	0	0	14.00

オリフィス公式 (土木学会, 1963)

$$Q = C \times A \times \sqrt{2g \times H}$$

Q : 流量 (m³/s)

C : 流量係数 = 0.60

A : 放流口断面積 (2 ケース)

$$2.5 \times 2.5 = 6.52 \text{m}^2$$

$$3.0 \times 2.5 = 7.50 \text{m}^2$$

g : 重力の加速度 = 9.8

$$H : = \text{貯水位} - 1.25$$

上記の計算による水位～放流量は表13のとおりである。

調節計算

下流河川の流下能力等より調節池からの最大放流量は約46m³/sに制限されている。

また調節計算は連続式 $I - Q = dV/dt$ より計算した。

計算結果は表14, 図7, 図8のとおりでありおおむね所定の流量まで調節できた。

c. 流出係数の差による防災調節池の容量と建設費の差

流出係数0.78と0.9による防災調節池の諸元を比較すると表15のとおりである。

表15によるとダム高で2.1m低くなり, 調節池容量で11,690m³減少し, ダム高が2.1m低くなったことにより, ダム基礎の掘削土量が400m³, ダム本体のコンクリート量が2,220m³減少した等により, 建設費で39百万円安くなった。

表15 流出係数の差による調節池諸元

ダム諸元 流出係数	ダム高	調節池容量	ダム放流口 幅高	建設費
0.90	22.75m	66,218m ³	2.5m × 2.5m	203円百万
0.78	20.60	54,528	3.0 × 2.5	164

ダム放流口数高14.00m

5. むすび

流出係数0.78と0.9とではそれらより推算された洪水流量及びそれらを調節するための防災調節池の建設費に表15のとおり大きな差があらわれる。これによってわかるように流出係数の僅かの差は洪水処理費の大きな差をもたらすもので, 費用負担などを考え併せるといたずらに大きい流出係数がよいとはいいい切れない。すべての防災施設がそうであるように, 大きければいいのではなく, 国民的合意の得られる防災施設の規模を流出係数と建設費用で比べてみたもので, このような観点からフィードバックして精度の高い流出の調査研究が防災の面から待望されていることが明らかになるであろう。

本報文の作成について資料その他の提供をいただいた地域振興整備公団工業再配置第一部長を始め関係各位の方々に深くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 青木佑久 (1971) : 洪水の流出率とラショナル式の流出係数, 土木技術資料, Vol 13, 2-12.
- 2) 土木学会 (1971) : 水理公式集, 土木学会, 616 PP. P. 117-125参照.
- 3) 土木学会 (1963) : 水理公式集, 土木学会, 603PP. P. 174, 195参照.
- 4) 物部長穂 (1933) : 水理学, 587PP. P. 350参照.
- 5) 日本河川協会 (1976) : 建設省河川砂防技術基準 (案) 調査編, 山海堂, 647PP. P. 150-151参照.

(1980年7月11日 原稿受理)