

雨水ますの規模と実用計算法

建設省工本研究所 正 柏谷 衛
建設省都市局下水道課 正 稲場 純久雄
建設省工本研究所 学。横尾 将位

1. まえがき

雨水ますの規模と配置には相互に密接な関係があり、合理的、経済的な路面排水を行なうために必要な計画、設計の資料をうるために本研究を実施してゐた。本論文では路面排水の設計に当って実用的な計算法の確立を主なねらいとしたものである。

雨水ますの形は大きく4つのグループに分けられ、図-1.1に示すように細分される。雨水ますの主要な形について簡単に説明すると、

a). 路肩ます…側溝に面する縁石を通して水流の落口を有するもので、水理学的には側溝流孔と同様の性質である。

b). 側溝ます…側溝(又は路肩)を直接横切つて水流の落口を有するものである。落下口は多様な種類の格子蓋でおおわれる。

c). 結合ます…路肩ますと側溝ますが1単位で働くように配置される。普通路肩ますの前面に直接側溝ますを設置する。この配置を接触結合ますあるいは単純結合ますと呼ぶ。

d). 複式ます…2つの結合ますを1単位として働くように配置される。そしてますの端から端は2重ますと呼ばれる。その他詳細については参考文献¹⁾を参照されたい。

本論文では、路肩ます、側溝ますの2形式についてその規模と配置の関係を考察し、雨水ますの実用的な設計計算法の確立を試みある程度の成果をえた。

2. 雨水ます及びます蓋の種類と構造

前節で示した雨水ますの代表的な形について、その長短を簡単に述べると、

a). 路肩ます…交通障害となる危険性はまったくなく、ごみや土砂などの詰る恐れも少ない。が一般に落下能力は低く特に急勾配の道路や側溝横断面勾配の小さな道路では極度に低下する。

b). 側溝ます…落下能力は全体的に大きく、ます蓋の形を加減することによって、縦断勾配の影響も防止できるが、おみにして交通障害になり易く、またごみや土砂などが詰り易い。

c). 結合ます…落下能力が大きく側溝ます蓋に土砂等が詰った場合でも路肩ますである程度の排水を行なうので排水不能になるような事態は少ない。

d). 複式ます…排水能力は最も大きく建設費が高つく欠点がある。

次にます蓋の種類は、落穴の仕切り方法や使用材料によって区別される。落穴の仕切り方法には、縦仕切り型、横仕切り型、混合型に大別できる。常用されている構造材料は、コレクリートあるいは鉄筋コレクリート、鋳鉄が主な材料であり、現在普及しつつある材料に鋼があげられる。ます蓋の構造は JIS A 5507 で規格化された型があるが、現在各都市で常用されている構造は多様な種類

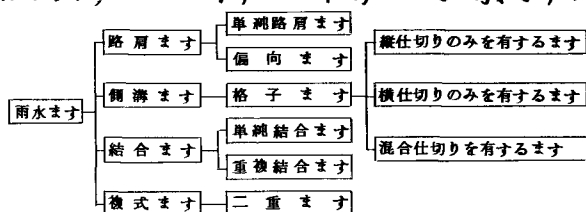


図-1.1 雨水ます分類図

になる。ます蓋はオー・排木能力の大きなことが希望され、同時に自動車荷重等の外力に対しても相当の安全性が必要である。しかし両者の利害は相及するため、両者を十分に満足させるためには、使用材料の選定と同時に仕切り方法を十分検討することが望ましい。現在各都市で常用されているます蓋を参考にして、その構造特性をます蓋全面積と落下穴面積の比で比較してみると、

- a). コーワリート及び鉄筋コーワリート製 3 ~ 10
- b). 鋳鉄製 2 ~ 5
- c). 鋼製 1.2 ~ 1.3

コーワリートあるいは鋳鉄製では、強度的問題と仕切り方法の多様化によって落下穴面積比も大きくその間も大きい。鋼製蓋の場合は、ます蓋全面積を有効に利用できるところを示している。

3. 落下率の実験的検討

(1). 実験装置

実験は、長さ8m、幅1.3mの鋼製街路模型(写真-1)を用いて行った。模型の路面部分は、幅0.8m、側溝部分は幅0.5mである。路面はモルタルで被覆し、縦横断面両勾配とも最大10%まで傾斜可能である。ます模型は、上流端より6mの位置に設置し、側溝ます蓋や路肩ますの長さは容易に取換え可能な構造である。

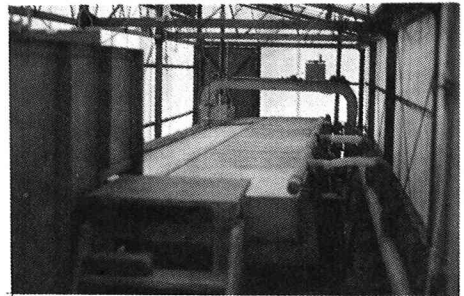


写真-1. 実験装置全影

側溝流量およびます落下流量は、各々直角三角比で測定する。また側面よりの流出量は、φ75mmのベンチュリー管で測定した。尚ます上下流の水深はポイントゲージによって測定した。

(2). 実験条件

- (a). ます蓋形式 ----- 10種類
- (b). 路肩ますの長さ ----- 20, 40, 60 (cm)
- (c). 縦断面勾配 ----- 1, 2, 4, 6 (%)
- (d). 横断面勾配 ----- 1.5, 10 (%)
- (e). 側溝流量 ----- 0.5, 1, 2, 4, 8 (ℓ/s)



写真-2(a). 側溝ます蓋(A型)
(1個の穴面積3×30cm², 穴間隔4cm)

実験に使用したます蓋形式の主な形を写真-2(a~d)に示した。またます蓋の穴面積は表-3.1に示す表-3.1. 側溝ますの実験に使用したます蓋落下穴面積

ます蓋の型式	落下穴面積 (cm ²)		
	穴 1	穴 2	穴 3
A	447.5	268.3	178.7
B	202.4	101.2	50.6
B'	291.5	240.9	190.8
C	202.4	101.6	50.6
D	255.0	181.0	100.0
D'	255.0	181.0	100.0
E	177.5	125.0	72.5
F	177.5	125.0	72.5
G	177.5	126.6	75.0
H	726.0	469.0	220.0



写真-2(b). 側溝ます蓋(B型)
(1個の穴面積17×3cm², 穴間隔11cm
縁石側と穴の間隔5cm)

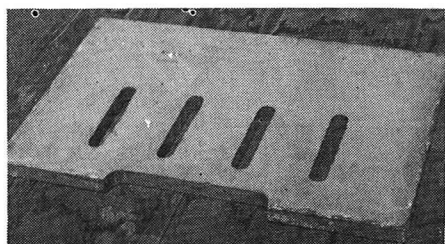


写真-2(c) 側溝ます蓋 (B'型)
(落下穴の寸法は、縦仕切りはA型、
横仕切りはB型と同じ)

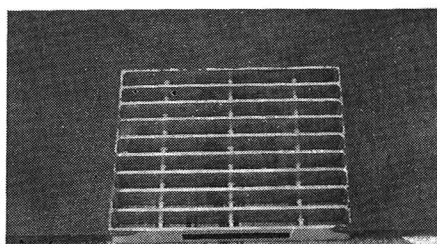


写真 2(d) 側溝ます蓋 (H型)
(全面積は $33 \times 26 \text{ cm}^2$, 仕切り幅 25 mm ,
仕切り厚 5 mm)

(3) 実験結果の考察

実験結果を簡単に考察すると、ますの落下率は、ます蓋の形式、縦横断の配等に大きく作用される。また側溝流量の増加に伴い落下率は一般に低下し、その逆減率に蓋の仕切り方法に大きく左右される。これから実験結果の詳細については参考文献(1)を参照されたい。

4. 雨水ます内隔の最大距離

雨水ますの配置をある程度モデル化して

(1). 雨水ますの落下率は、各ますとも一定である。

(2). 流速は、場所的に一定である。

という2つの仮定に立って検討すると、等間隔配置のます群で、第1ますと第 n ます直前の側溝流量比 ρ は、次式で与えられる。

$$\rho = \frac{1 - (1 - \delta)^n}{\delta} = \frac{1}{\delta} \quad \text{----- (1)}$$

(1)式を基礎式として、側溝単位長さの流量を g 、距離 l に等間隔に雨水ますを n 個設置した場合最下流ます直前の側溝流量は、

$$Q = g \left(\frac{l}{\pi} \right) \cdot \left\{ \frac{1 - (1 - \delta)^n}{\delta} \right\} \quad \text{----- (2)}$$

と表わせる。(2)式は $n \rightarrow \infty$ とすると $Q \rightarrow 0$ となる。(2)式で $(1 - \delta)^n$ が1に対して無視できるものとする雨水ます群の最下流ます直前の側溝流量は、

$$Q = \frac{g \cdot l}{\pi \cdot \delta} = \frac{g \cdot L_s}{\delta} \quad \text{----- (3)}$$

ただし $g = A \cdot C \cdot i \cdot W$

C = 流出係数

i = 降雨強度 (mm/hr)

W = 道路の集水幅 (m)

A = 換算係数で $1/k = 3.6 \times 10^3$

Q = 最下流ます直前の側溝流量 (L/s)

l = 設計区間 (m)

δ = 雨水ますの落下率、 n = 雨水ますの設置個数

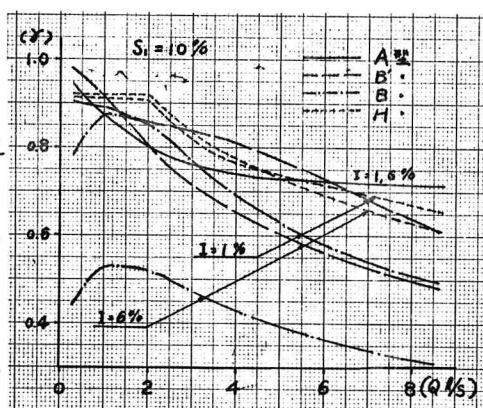


図-3.1. 落下率の変化

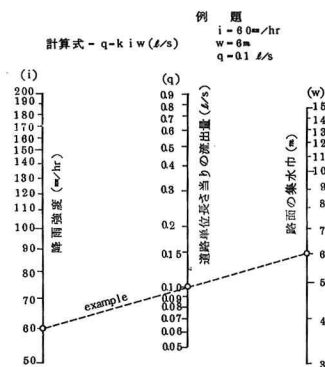
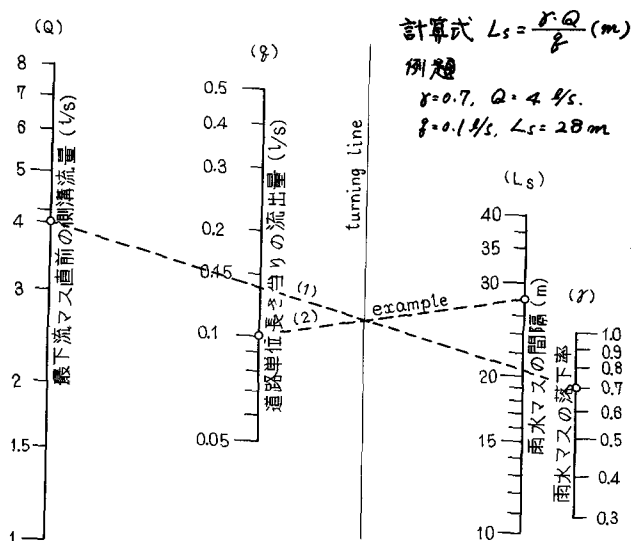


図-4.1. g のノモグラフ

(3)式で、最下流ます直前の許容通水量を縦断面配規規や車両交通に与える影響等を考慮して決定し、落下率は許容通水量より雨水ますの形式あるいはます蓋の種別に応じて特性曲線から読み取れば、雨水ますの最大間隔を求めることができる。図-4.1, 4.2は、(3)式による計算を迅速にするためにノモグラフを与えた。従来の配置計画法に適合すると思われる条件で雨水ます間隔をノモグラフより読みとると表-4.1のようになる。この結果は従来のます間隔と非常に良く適合している。ただ



(3)式の関係は雨水ますの形式は問わず普遍的に適用可能であるが、落下率が一定であるという仮定に立っているため、流量の増加に対して落下率の増減率の大きなますに適用するものはかなり危険である。このようなことから落下率が1以下の場合には厳密な設計計算は極めて困難である。

図-4.2 雨水ます間隔の計算図表(ノモグラフ)

表-4.1 雨水ますの間隔(ノモグラフより)

(m以下は省略した値)

集水巾m	5	6	8	10	12	15
ます間隔	33	28	21	17	14	11

(注) $i = 6.0 \text{ mm/hr}$ $Q = 4 \text{ L/s}$ $r = 0.7$ の場合

5. 路肩ますの水理

路肩ますは、水理学的には横断流と同等な性質のもので、横断流に関しては古来多くの研究、実験が行われ、多くの理論式あるいは実験公式が発表されてきたが、現在なお不明な点が多くいくつかの問題を残している。

路肩ますの流れを図-5.1のように考えると、 dx 間での溢流量 dQ は、 $dQ = \frac{2\sqrt{2}g}{3} \cdot C \cdot dx \cdot h^{3/2}$ だから連続の式は

$$dQ/dx = \frac{2\sqrt{2}g}{3} \cdot C \cdot h^{3/2} \quad \text{----- (4)}$$

(4)式は横断流の連続の式と同一である。

(1). 路肩ますの落下流量

落下流量 Q_1 は、(4)式を $x=0 \sim L$ まで積分すると、 $Q_1 = \frac{2\sqrt{2}g}{3} \cdot C \cdot L \cdot h^{3/2}$ となる。ここで h は上下流の平均水深 $(h_1 + h_2)/2$ を取り、単位を合せて整理すると次式で表わせろ。

$$Q_1 = 0.0102 \cdot C \cdot L \cdot (h_1 + h_2)^{3/2} \quad \text{----- (5)}$$

ただし Q_1 = 路肩ますの落下流量 (L/s), C = 溢流係数, L = 路肩ますの長さ (cm), h_1 = 縁石よりの上流端水深 (cm), h_2 = 縁石よりの下流端水深 (cm).

実験結果によると、路肩ますの溢流係数は、 $C = 0.2 \sim 0.6$ であることを見出した。図-5.2には無次元量 (L/h_1) と溢流係数 C の関係を図示したものである。両者の間にはほぼ比例関係があると考えられ、縦断面配による影響もかなり明確である。そこで両者の関係を近似的に直線近似できるものとして、

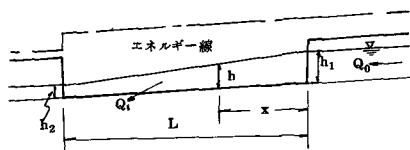


図-5.1 路肩ますの流れ

$C = a(L/h_1) + b$ と表わし、各々係数 (C)
 a および b を求めると次のようになる。

1). 側溝横断面配 $S=10\%$ の場合

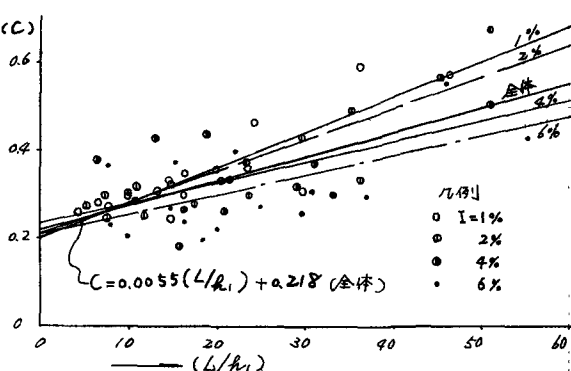
$$C = 0.008(L/h_1) + 0.197 \quad (I=1\%)$$

$$C = 0.007(L/h_1) + 0.208 \quad (I=2\%)$$

$$C = 0.005(L/h_1) + 0.231 \quad (I=4\%)$$

$$C = 0.004(L/h_1) + 0.210 \quad (I=6\%)$$

$$C = 0.0055(L/h_1) + 0.218 \quad (\text{全体})$$



以上のように $C-L/h_1$ の相関度はかなり高

いものであり、上記関係式から溢流係数 C

図-5.2. $C-L/h_1$ の相関図

を求め、この式から落下流量 Q のある程度妥当な値を見積れる。更具体的な計算法については後述する。

(2) 落下率が1の路肩ますの長さ

路肩ますの落下流量は、この式および $C = a(L/h_1) + b$ の両式から次式で表わせる。

$$Q = 0.0102 \cdot \{a(L/h_1) + b\} \cdot L \cdot (h_1 + h_2)^{3/2} \quad (6)$$

ここで落下率 $I=1$ のとき、 $h_2=0$ 、および $h = \alpha \cdot Q^\beta = \alpha \cdot (h \cdot f \cdot i \cdot A)^\beta$ と表わせるから(6)式は、

$$K_1 \cdot L^2 + K_2 \cdot L - K_3 = 0 \quad (7)$$

となり、 L についての2次式になる。故に求める L は、 $L = \frac{-K_2 \pm \sqrt{K_2^2 + 4K_1K_3}}{2K_1}$ となる。 $L > 0$ であるから

$$L = (-K_2 + \sqrt{K_2^2 + 4K_1K_3}) / 2 \cdot K_1 \quad (8)$$

ただし、 $K_1 = a \cdot \alpha^{1/\beta} \cdot (h \cdot f \cdot i \cdot A)^{2/\beta}$ 、 $K_2 = b \cdot \alpha^{1/\beta} \cdot (h \cdot f \cdot i \cdot A)^{3/2}$ 、 $K_3 = 98.039 \cdot h \cdot f \cdot i \cdot A$ 、

a, b, α, β = 側溝横断面配等によって変る係数、 h = 換算係数で $1/h = 3.6 \times 10^3$ 、

L = 路肩ますの長さ (cm)、 f = 流出係数、 i = 降雨強度 (mm/h)、 A = 集水面積 (m^2)、

(8)式によって落下率が1になるような路肩ますの長さを求めることができる。

6. 側溝ますの水理

(1) ますの落下流量

ます上の流れでは $dE/dx=0$ であるということを利用して、Manningの式をます上下流に適用し、連続の式とから落下流量を理論的に誘導した。即ち、 $dE/dx=I$ 一定とし、径深は、道路側溝のように三角形断面で流下水深に対して流水巾が相当広い場合は $R \approx h/2$ 、また $Q_2 = Q_0 - Q_1$ とすると、

$$Q_1 = Q_0 \{1 - (h_2/h_0)^{8/3}\} \quad (9)$$

ただし Q_0 = ますの落下流量 (l/s)

Q_0 = ます上流端の側溝流量 (l/s)

h_0 = ます上流端の縁石よりの水深 (cm)

h_2 = ます下流端の縁石よりの水深 (cm)

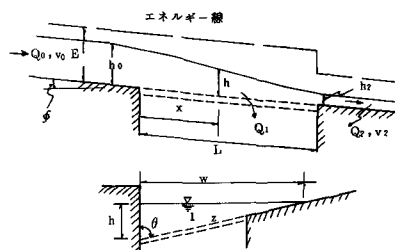
図-6.2で(9)式による計算値と実験結果を比較してみると、

かなり適合度は高く十分信頼性は得られるものと考える。

図-6.1. 側溝ます上の流れ

(2) 落下率が1の側溝ます蓋の大きさ

4節でも述べたように落下率が1以外の場合には厳密な設計計算は困難であり、落下率が1になるよ



な近似計算法を与えた。ますの落下流量 Q_0 は、一般にオリフィスの式を用いると $Q_0 = C \cdot S \sqrt{2gH}$ と表わされ、 h は $(h_0 + h_1)/2$ を用いると $Q_0 = C \cdot S \sqrt{g(h_0 + h_1)}$ となる。この式と(4)が同値と考え、 $\gamma = 1$ のとき $h_1 = 0$ 、水深は $h_0 = \alpha(Q_0)^b = \alpha(h \cdot i \cdot A)^b$ 、ますの流量係数 C は、落下穴面積 S の関数で表わすことができるので $C = aS^b$ とすると

$$\log S = \frac{2-\beta}{2(b+1)} \log(h \cdot i \cdot A) - \frac{1}{b+1} \log h_1 \dots (10)$$

ただし S = ます蓋の落下穴面積 (m^2),

i = 降雨強度 (mm/hr), A = ます1個の集水面積 (m^2),

h = 換算係数で $\gamma/2 = 3.6 \times 10^6$, $h_1 = a \sqrt{g}$,

α, β = 側溝の縦断面の配管によって変る係数, a, b = ます蓋の形や縦断面の配管によって変る係数,

(10)式で落下率が近似的に1になるようなます蓋の落下穴面積を求めることができる。(10)式に必要な

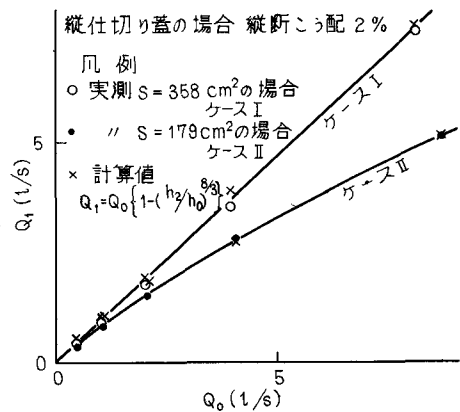


図-6.2, 実験値と計算値の比較

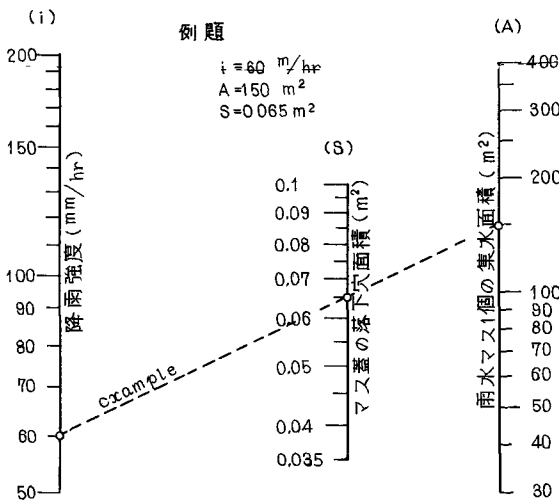


図-6.4. ます蓋落下穴面積の計算例(1モグラフ)

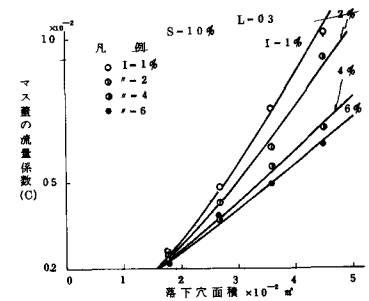


図-6.3, ます蓋の流量係数

表-6.1, 係数 α, β の一覧表

横断面配 係数	10%			
	1	2	4	6
α	1.794	1.637	1.476	1.369
β	0.361	0.386	0.384	0.360

表-6.2, 係数 a, b の一覧表

型 係数	縦仕切型				混合型				鋼製格子蓋				横断面 勾配
	1	2	4	6	1	2	4	6	1	2	4	6	
a	1.156	0.800	0.287	0.221	0.882	0.861	0.301	0.502	0.392	0.183	0.189	0.127	10
b	1.516	1.445	1.195	1.138	1.396	1.452	1.187	1.394	0.977	0.794	0.822	0.726	

係数は、表-6.1, 6.2に一覧表として示した。この計算法の難点は、 a, b, α, β の4つの係数を必要とすることである。(10)式による計算例を1モグラフで示すと図-6.4のようになる。図-6.5, 図-6.6には、各々縦仕切型(A型)、鋼製格子型(H型)の2種類のます蓋について落下穴面積を計算し図化したものである。これらの詳細については、参考文献を参照されたい。

(3). 従来のます蓋や配置計画法の問題点

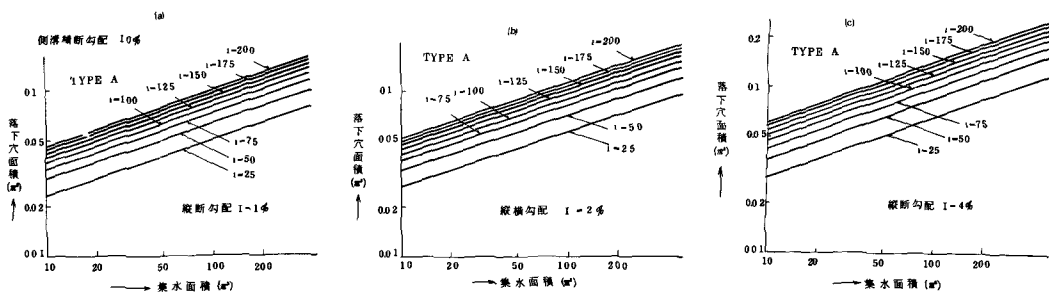


図-6.5. 落下穴面積計算図 ($r=1$)

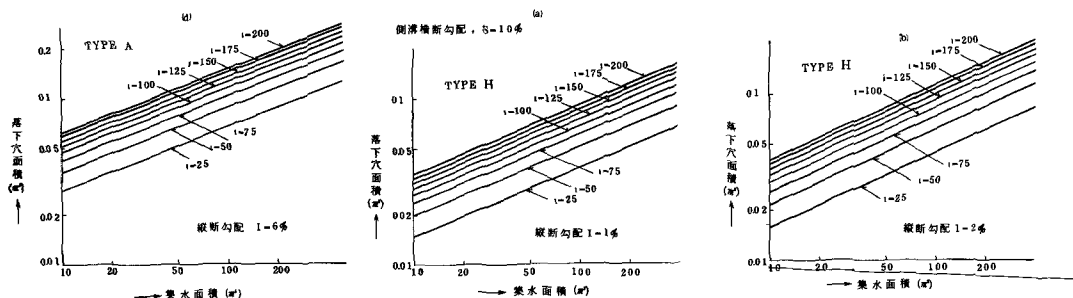


図-6.5. 落下穴面積計算図 ($r=1$)

従来の各都市の実状は、15~30 mのます間隔が普通である。図-6.7によると500~800 cm²の落下穴面積が必要となり従来のそれと比べて大きくなる。この事は路肩ますについて同様で、従来の設計条件($i=60 \text{ mm/m}$, $A=120 \text{ m}^2$, $I=1\%$)で、(6式)により路肩ますの必要長さ($r=1$)を計算すると $L=1.02 \text{ m}$ となり従来の30~40 cmと比べると非常に大きな差がある。

(2)節で示した落下穴面積比を意味するとす蓋の全面積は、コレクリート、又は鋳鉄製で約4.3~4.5 m²が必要となり、この実からも鋳鉄蓋の有利さがうかがえる。反面、路肩ますの場合には、その長さが30 cmから1 mに伸びてもほとんど変質を与えなるとみてよい。こういった事から、側溝・路肩ますを比較すると、ますの落下率が低い時は側溝ますが有利であるが、落下率が1あるに近づくと極めて高い場合は路肩ますの方が経済的にも有利になる。

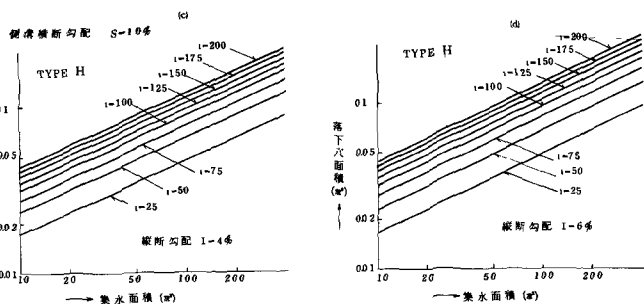


図-6.6. 落下穴面積計算図 ($r=1$)

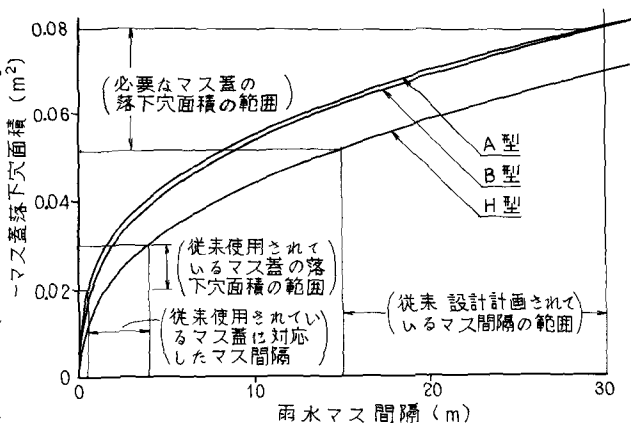


図-6.7. ます間隔と落下穴面積の関係 ($r=1$)

7 雨水ますの実用的な設計計算法

雨水ますの設計に際して、最下流ます直前の許容通水量の目安として図-7.1から判断する。計算法を側溝ます、路肩ますについて各々具体的に述べよう。

(1) 側溝ますについて

(1)式の Q を図-7.1から判断決定し、ます蓋の特性曲線⁽¹⁾から落下率 γ を決定する。(3)式又は図-4.1, 4.2からます間隔 L の値を求め、適当なます間隔を与えて落下率を1にする場合は、(1)式あるいは図-6.5, 6.6等から

必要なます蓋の落下穴面積を求める。ただし 図-7.1, 側溝縦断面勾配と許容通水量
設計条件として、 λ , S , I , B , ます蓋の形式等は与えられているものとする。

(2) 路肩ますについて

設計方針として、ます間隔を求めるか、ます長を求めるかで計算順序は逆転するにしても、計算法には5節の結果がそのまま適用できる。以下具体例として γ , L が与えられた場合を示すと、

1). 図-4.1, 4.2から g , Q を求める。2). $Q_1 = Q \cdot \gamma$, 3). $h_1 = \alpha Q_1^0$, $h_2 = \alpha (Q - Q_1)^0$, 4) h_1 を仮定、5) 溢流係数 C を求める、6). 2), 3), 4)の結果を(1)式に代入してます長 L を求める、7). 6)の結果から h_2 を求める、8). 4)と7)の値が大体等しくなるまで4)以下の手順をくり返し、等しくなった時、6)で求めた L が求めるます長である。 $\gamma=1$ の場合は、(1)式から直接計算できる。 γ, Q が与えられた場合は、1)で g, h_1 を求め以下同順である。このようにtrial and errorで計算してもよいが、(1)式から直接計算することも可能である。

8. おわりに

路面に降った雨水は、雨水ますを経て下水管渠あるいは専門の排水管渠へ流入し排除される。ます密度の大小あるいはます1個の能力の大小が路面水量あるいは下水管渠等への流入水量に直接作用する。ます1個の能力は不変的なものではなく配置計画に左右される。これらの相互関係は度外視しては有機的、経済的な設計は望めない。特に路面水量の増大は、路上交通への多大の被害を与えるため、望むらくはますの落下率を1にした。本論でますの実用的な設計計算法を大体確立したと考えているが、落下率が1以外の時はかなりの誤差を伴うのは事実だ。落下率が1の場合にも多少の誤差はあるが(節4.3)でも述べた如く、落下率を1あるいはそれに近く大きくした場合には、路肩ますの方が側溝ますに比してはるかに有利になる。落下率が低い場合でも従来のます長を10~20cm伸ばすだけで側溝ますに匹敵する能力を得ることが出来る。

参 考 文 献

1. 路面排水に関する研究報告書, 土木研究所資料523号, 土木研究所下水道研究室, S. 44. 7.
2. 雨水ますの落下率・密度および配置, 稻場, 横尾, 下水道協会誌 Vol. 6, No. 56,
3. 道路の雨水ますの配置計画, 稻場, 横尾, 土木技術資料 Vol. 11, No. 8, (S. 44. 8)

