講義資料/水環境計画ー下水道設計(2)

6/27	**下水道計画(2)：雨水量の合理式による算定と管渠の設計** **雨水管渠の設計や都市の浸水対策，合流式下水道改善事業** **絶対にこれだけはマスターしよう：マニング式，合理式，流出係数，降雨強度，流達率**

宿題

公務員試験 2005 記述 2 次試験 環境衛生工学 [No. 22] の B の(2)下水道に関する問題

提出期間：7 月 4 日～7 月 11 日(月)17:00，緑ヶ丘 1 号館 509 号室浦瀬太郎助教授

授業内容

処理場地点の設定

上水道では、出来るだけ上流で取水することが、エネルギー上有利であり、市街地の上流側の小高い丘の上に配水池を設置する事が出来れば、自然流下ですべて配水する事が可能で理想的である。同じように、下水道は、市街地の下流側に建設するのが自然流下で下水を集めてくるためには、有利であり、地盤高を考えると、川の合流点の三角状のほかには使いようもない不便な土地に建設される事が多い。

計画雨水量の算定（教科書 p131）

分流式の場合の汚水管は，**計画時間最大汚水量**に余裕率を加えて設計する。分流式の場合の雨水管や合流式の場合の合流管を設計するためには，どのくらいの雨水が下水管に流れ込むかを算定しなければならない。厳密な水理学的あるいは微視的な流出モデルに基づいて流量を算定できれば理想的であるが，下水道の目的で考えると，ピーク流量さえ得られればよい。この目的に合致する簡易な方法として，**合理式**(Lloyd 式)がある。この方法について以下に説明する。下水道においても，河川とリンクした流出量算定では，RRL 法，修正 RRL 法が用いられ，この場合にはハイドログラフが得られる利点があるが，本稿では扱わない。水文学あるいは河川工学で勉強してください。河川工学では，タンクモデルも広く用いられるが，下水道では管渠の設計という目的に合致しないので用いられない。

流出係数（教科書 p132）

流出係数とは、降雨のうち、蒸発したり浸透したりする部分を除いた流出部分の割合（したがって無次元）を示す。たとえば、降雨のうち、最初は、良く浸透するが、地面が飽和してくると浸透しにくくなるのではないか、とか土質力学を学んだ人はいろいろ言うかもしれないが、ようするに「がさがさ、こんなものとして設計します」という大雑把な話だ。もちろん、目的によっては、初期の降雨の損失とか、蒸発量に対する気温、地温の影響等を考慮する必要がある。流出係数を見ればわかるように緑地などが開発されて住宅地や舗装面になると、一気に流出量が増加することになる。(典型的な流出係数の値については、教科書 p132)

流達時間（教科書 p132）

降雨があってから、マンホールに入り設計対象管渠に入るまでには、時間がかかる。この時間を流達時間とする。雨の降りだしからマンホールに入るまでの時間を 5〜10 分とし、さらにマンホールへ入ってから設計対象の管渠に到達するまでの時間を加える。広い地域から排水を集めてくる管渠の場合は、もっとも、時間のかかるマンホールからの到達時間を計算する。この設計法の意味は、次の計画降雨強度を理解すればわかる。

計画降雨強度（教科書 p131）

下水道は、経済性を意識して作られる土木構造物である。いくらでも大きい下水管を埋めれば、洪水は起こらないかもしれないが、それでは、経済的な構造物ではない。大きな河川の場合には、「100 年に一度の洪水に対応しましょう」というのが、考え方の基本であって、下水道の場合には、それよりもずっと小さい確率年（通常は 5〜10 年）で設計が行われる。この確率年の差は、土木事業の不整合さを示していると思う人もいるかもしれないが、利根川があふれる事態は、絶対に回避したいが、どこかの下水道があふれて、局地的に浸水したり、アンダーパスの道路が冠水したりするのは、5 年に一度くらいなら許してほしいというわけだ。また、河川の改修の目標も、大きな河川を除けば、50 年以下の確率であり、たとえば、10 年に一回あふれる河川に対して 50 年で設計した下水道を接続してしまえば、それは、浸水の場所を交換しただけの効果しかない。一方、地球の温暖化や都市のヒートアイランドが話題になっているが、これらの現象が降雨量総量を増やすかどうかは明らかではない。しかし、これらの現象が雨の降り方を激しくすることは間違いがないと考えられている。つまり、これからは、短時間に激しい雨が限定された狭い地域で降る可能性があるというのだ。

1 時間に 50㎜ の雨に備えると言うのが東京あたりの雨の降り方をする地区の下水道の設計指針である(概ね 3 年から 5 年確率の降雨に対応)。しかし，1 時間に 50㎜ 降る雨と 2 時間に 100㎜ 降る雨は同じ頻度では生起しない。1 時間に 50㎜ 降る雨が 5 年に一度しかおきないとすると，2 時間に 100㎜ 降る雨はおそらく 10 年に 1 度しかおきないだろう。しかし，12 分に 10㎜ 降る雨は，2 年に 1 回くらいは起こりうる。夕立と普通の雨と長雨の関係を考えれば容易に理解できる。一般に同じ 10 年確率で設計するとすると，降雨継続時間の長い雨ほど降雨強度は小さいはずである。そこで，一般に降雨強度は降雨継続時間の関数として以下の式によって表される。

(式は、教科書 p131 の式 3.2)

a，b は、定数であって、その地区の降雨の特徴から与える。t は、降雨継続時間，I は、降雨強度である。

合理式の考え方

流達時間を降雨継続時間と考えて、以下の式を適用して計画雨水量を算定する。

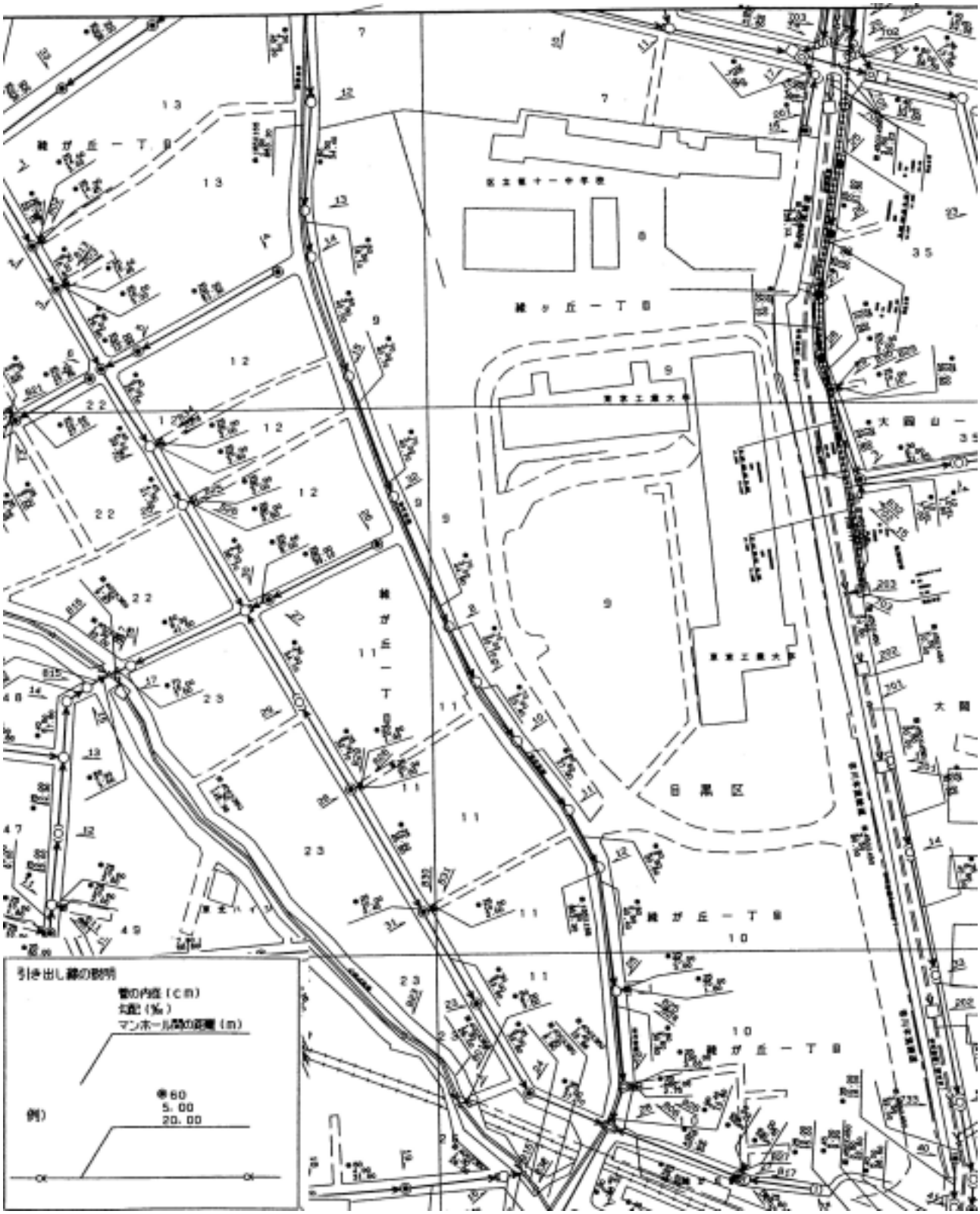
(式は、教科書 p133 の式 3.3)

この式からわかるように、下水道の枝管は、短時間の集中豪雨的な t=10 分の雨に対して設計するが、枝管が集まる本管ではもう少し、弱い雨を想定できる事になる。さらに、下流では、小さい降雨強度を想定して管渠を経済的に設計できるというわけだ。

管の設計(教科書 p135～)

下水には，懸濁物を含んではいるが，水理計算に影響するほどではないので，普通のマニング式を用いて上記の雨水量（あるいは汚水量，汚水量と雨水量の合計）を流下できるように設計する。基本的には，道路下空間を利用する。都市部の幹線管渠などでは，シールド工法などを用いて，開削しない工法で作ることもある。地表面勾配にしたがって管渠を敷設できれば最も経済的であるが，実際には，そうはいかない。まず，管の清掃頻度を小さくするため，途中で堆積を起こさないよう管内の流速は，下流へ行くにしたがって，大きくなるように設計する。実際には，流速よりも掃流力(τ)を持って設計すべしというもっともな意見もあるが，実際には，流速で設計しても掃流力で設計しても結果はあまり変わらない。下流の方が，管径が大きくなるため勾配が小さくても流速を確保できる事から勾配は下流に行くほど小さく設計し，管が必要以上に深くならないように経済性を考慮する。大雑把に言って，管内流速は，1m/s から 3m/s 程度である。

都市域における流出係数の増加や雨の降り方の将来の変化は，いずれも，計画雨水量を押し上げる要因となっている。一旦敷設した管渠を計画雨水量が増加したからといって太い管渠に交換することは地下埋設物の多い都会では不経済である。そこで，最近では透水性舗装や雨水浸透ますによって，流出係数を小さくする，遠回り管を敷設して降雨継続時間を長くし設計降雨強度を小さくする，貯留施設の建設など，迅速な排水から，**流出抑制**へと下水道の考え方の転換が起きている。合流式の場合，流出抑制策をとる方が，迅速な排水策を取るよりも，未処理の越流汚濁負荷を小さくする点でも有利である。


引き出し線の説明
管の内径（cm）
勾配（‰）
マンホール間の距離（m）
例）
60
5.00
20.00
日黒区