

## 第四章 設 計

### 第一節 設 計 資 料

我國の下水道經營は、土地の清潔を保持する目的を以て市町村自體の公設を原則とし、如何なる場合でも内務大臣の認可監督を要することは勿論で、之には下水道法に依り、實測平面圖、實測縱斷面圖、管渠の構造圖、附屬工作物構造圖、一位代價表、工費計算書、計畫説明書、下水道管理規程、歳入出豫算書、起工及竣功期限等添附圖書類一式を調製し、地方長官を経て内務大臣の認可を申請せねばならぬ、實測平面圖には市町村界、市町村名、街路、河川、視形線其他地形を表はすに必要なもの、排水區劃、沈澱池、濾過池、排出池、排水管、排水渠、人孔燈孔等を詳記し、實測縱斷面圖には計畫線の高低、排水管渠の勾配、水平距離河川の水位、海面の干満潮位等凡て必要な事項を明記し、計畫説明書には下水道築造の必要な理由、地形(接壤地をも含む)及地質、排水地域、排水區劃の面積並びに現住人口、同將來増殖すべき豫定人口、雨水及汚水の量(地下水をも含む)、下水の排除方法並びに方式、幹線選定の理由、排水管渠の斷面計算、洗滌及通風等の裝置、汚水最後の處分方法、河川に放流するものに在りては其環境並びに下流飲用者の有無、其他苟も設計上必要な事項は其計算の基礎、構造物の設計内容、工事の施工順序並びに方法等一切を詳述して、各種構造詳細圖等必要な圖面類を添附し、工費計算書には材料勞力の單價、一位代價表及工費の内譯書等一式を網羅し、歳入出豫算書には工費の收入及其支出方法、即ち收入には起債額、國庫並びに府縣費補助額、公費繰入額、受益者負擔額、雜收入見込額等一切、支出には工費、起債償還額、同利子、經常費等一切、並びに以上收支年度割明細表を調製し、下水道管理規程には下水道の修繕掃除、公設下水道と私設下水道との連絡、私設下水道に関する取締方法等必要事項一切を詳記し、受益者負擔金徴收に關しては

別に都市計畫事業認定申請書、負擔金徴收方法、金額、年度割等を詳記したる書類、國庫補助に就ては其必要なる理由を詳具したる内務大藏兩大臣宛申請書、府縣費補助に就ては同地方長官宛申請書、起債に關しては又財政上已むを得ざる事由を明かにして、内務大藏兩大臣宛に稟申し其認可を請はねばならぬ、以上の手續を市町村會の議を経て完了するのは中々の仕事で、不完全な調査や設計では殆ど認可の見込みはない譯である、而して工事中は監督官廳の監査あるは勿論、國庫補助あるものは隨時會計検査官の臨檢を受け、工事落成後は直に届出をなし監督官廳の検査を請ひ其竣功承認を受け工費の精算を行はねばならぬ、尙官有廢溝敷地無代下附の申請、河川法に依る水利使用の手續き、官有地又は公道占用の場合等には法規の定むる所に従ひ、夫々當該行政廳の許可を要することは云ふ迄もないのである。

**實測平面圖** 他町村に渉る流域の決定、排水系統の選擇、幹線管渠の配置、排出口を設置すべき河海湖沼等の地點又は汚水處理場の位置選定の爲めには、附近地一帶の地形及地勢環境等を明かにすることが肝要であるが、之には陸地測量部の調製に係る一萬分一又は二萬分一の地圖を使用することが至極便利で、之に依り一般方針を精査決定したる後進んで詳細の設計に取り係るのが順序である。

下水道設計に使用すべき實測平面圖に就ては、下水道築造認可申請方(明治三十四年七月内務省令第十一號)第一條に縮尺二千五百分一以上と規定されて居るが、後大正九年十二月一日土木局長名を以て縮尺三千分一圖面を利用するも支障なき旨各地方長官宛通牒を發して居る、即ち縮尺三千分一圖面を用ふるも差支ない譯であるが、之は實際の取扱上稍々小さ過ぎる嫌ひがある爲め、新規に圖面を調製する場合は大抵縮尺を二千四百分一に定め、設計に供するのが普通で此程度の縮尺が排水面積の決定並びに管渠其他附屬工作物の表示等に最も便宜な様である。

實測平面圖には前述した通り市町村界、大小街路の位置、軌道、鐵道、地下鐵道等交通設備一切、河川運河港灣湖沼の位置、在來の排水系統並びに主要濠渠等の所

在、人家稠密の程度、商業工業、住宅等の地帯別、公園神社佛閣田畑森林等の位置など、苟も地形を現はし下水道設計の参照に資すべき一切の天然物又は工作物を表示し、更に地勢を明かにする爲め等高線を記入することが必要で、等高線は急峻地では二、三尺から五、六尺位の間隔も已むを得ないが、平地では成る丈け細かく五寸乃至一尺の間隔を以て表示することが便利である、何分にも此平面圖に基き下水道の系統管渠の配置等一切が解決され、又排水區劃や其面積が按配せらるゝ次第なれば其精密さが肝要なのである。

**實測縱斷面圖** 下水管渠の縱斷面圖の縮尺は、縦は百分一横は實測平面圖通り即ち二千四百分一位に採るのが通常である、縱斷面の測量には成るべく前項の實測平面圖に基き、實地に就き豫め下水道敷設の中心位置を選點し其標高並びに水平距離を實測することが便利で、水平距離の間隔は街路の交叉點、屈折點又は勾配の變り目等即ち人孔燈孔等の設置箇所間を選び、標高は前掲箇所は勿論之に依り直ちに掘鑿土坪、埋戻土坪等を算定し得る様、平地部でも其中間距離を五間乃至十間位毎に急峻部では其高低差に準じて精細なる測量を行ひ、尙宅地内等の高低起伏著しき爲め等高線のみでは、明かに地勢を表示し得ざる場合等には、其地點の標高を精密に測量して排水の完璧を期さねばならぬのである。

**地質と地下水位** 排水區域内の地質調査は雨水の流下係數決定上必要なるのみならず、管渠並びに建築物其他附屬工作物の基礎設計に資すること重大なるを以て地下水位及湧水量の測定と共に充分なる實査を行ふことが肝要である、深さの大なる場合はボーリングを施して地層の含水程度其滲不透並びに強弱等を研究するのであるが、普通には管渠埋設の深度を豫定して代表的地點を選び數尺乃至數十尺の掘井を行ひ、實際に地盤の變化硬軟並びに地下水位、湧水量等を直接觀測するのが、構造物の基礎を確實にし土工費及排水費の計上を明瞭ならしむる爲め最も便利の様に思ふのである。

**河海其他の水位** 下水の放流地點又は雨水溢流先きに於ける河川、湖沼、濠渠、

海灣等の、洪水位、平水位、最低水位、満潮位などを十分に識知する事、並びに其流量、流心、流速、等の變化を確め又は潮流の方向流速、逆流の範圍、環境に及ぼす影響の程度等の調査は、放流口又は溢流口の位置選定並びに其高さの決定上、必須の要素たるに止まらず、地下水の浸透量を推定する上にも又施工上の難易にも著しい参照となるものなれば豫め精密なる攻究を遂ぐる事が最も肝要である。

**既設の造營物件** 下水道工事實施に當り最も迷惑なるは既設の地上及地下造營物の障害である、我が都市の街路は何れも狹隘にして曲折常なく、加ふるに電車軌道、各種の電柱、街路樹、交番其他の工營物は勿論、地下には已に上水道管、瓦斯管、電信電話電燈電力等の地中線縦横に埋設せられたるを以て、新に街路を擴張せずして下水道を敷設せんとするは決して容易の業ではない、就ては豫め是等の位置、大さ、深さ等に関する充分な調査を行ひ、成るべく其障害を軽減し得る様設計上留意すべきは當然で、尙交通頻繁なる道路又は鋪裝済みの街路上には大管渠類の配置を出来る限り回避することが施工を簡易にし復舊補償費其他の緊縮上最も肝要な所置である。

以上の外第三章に詳述した通り、現住人口、其稠密度、已往の増殖率、上水消費量、商工業の發展狀況、並びに降雨の強度、其頻度、地表面の状態等下水量算定の要素たるべき資料は云ふ迄もなく、其他苟も設計上参照となすべき事項は細大調査攻究して置くべきである。

## 第二節 管渠の配布

下水の設計を行ふに當り下水排除の方式と共に慎重に考慮すべきは下水道の配置である、下水道幹枝線の配布は専ら都市の地勢に順應すべきは勿論だが、同時に下水の放流先き即ち排出口又は溢流口の地點、並びに汚水處理の必要程度及其處理場の位置に左右せらるゝものなれば、先づ河海等放流先きの状態と汚水集中の地點並びに其處理方法等を研究することが必要である。

**排出口** (Out-fall or Out-let) 都市の状態が直接に其下水を附近の河川又は海岸湖岸等に放流しても、支障を生ぜぬ様な場合には排出口の位置選定並びに其構造は頗る簡單で、河川湖沼等なれば其地點に於ける水位の變化及水流等の關係、海岸なれば干満潮位の變化、潮流の方向速度等を確め、下水道の幹線配置は成る可く自然の溪谷地帯等を利用し、捷路を経て是等に直接疏通する様に工夫し、満潮又は洪水等の場合逆流の爲め環境に悪影響を及ぼさぬ程度に、其實狀を斟酌して排出口に自働式制水扉の類を設くるか又は貯溜池を備へ、或は已むを得ざれば唧筒を使用して排除する方法を講ずれば充分で、如何なる場合でも排出口の數は成る丈け制限し相當大なるものゝみを存置することが一般に便利な様である。

反對に直接汚水の放流が不可能で相當の處理を要する場合には、其處理方法の如何に拘らず遠隔の地點迄凡ての下水を集中せしむることは、管渠の設計其他の上に極めて不經濟の次第なれば、分流法に依る場合は勿論合流法を採用する場合と雖も、途中適當なる河川其他の水路を通過する毎に大部分の雨水は是等に溢流せしめ、處理を要する水量のみを遮集渠に依り流送するを通例とする故、遮集渠本來の目的に叶ひ又雨水の溢流に至便なる様下水道の幹線位置選擇の必要が生ずる、是等の雨水溢流口及分流法雨水渠排出口の位置選定方針並びに其構造等は前者の場合と格別相違はない、尙下水道網即ち下水道幹枝線の配布に関する一般方式は次記の通りである。

**垂直式** (Perpendicular system) 都市が大河川の沿岸又は海岸湖岸等に接し、水量豊富潮流の具合等良好にして充分なる稀釋力を備へ、下水を直接放流するも何等の支障を來さぬ場合には、格別顧慮の必要なく最捷路を選び總ての下水を排除すれば充分故、各流域毎に其溪谷線を辿つて下水道幹線を敷設し各枝線を之に連絡せしめ、別々に排出口を設置するを以て幹線渠は放流水路と殆ど直角に敷設せらるゝ様な形になる、但し斯様な地勢の場合には上流部は多くは急峻で下流即ち沿岸部は平坦なる爲め、勾配の激變箇所を於ける管渠の大きさや其連絡方法に關し

思案周到を缺けば、大雨の際平地部氾濫の虞れあり注意することが肝要である。

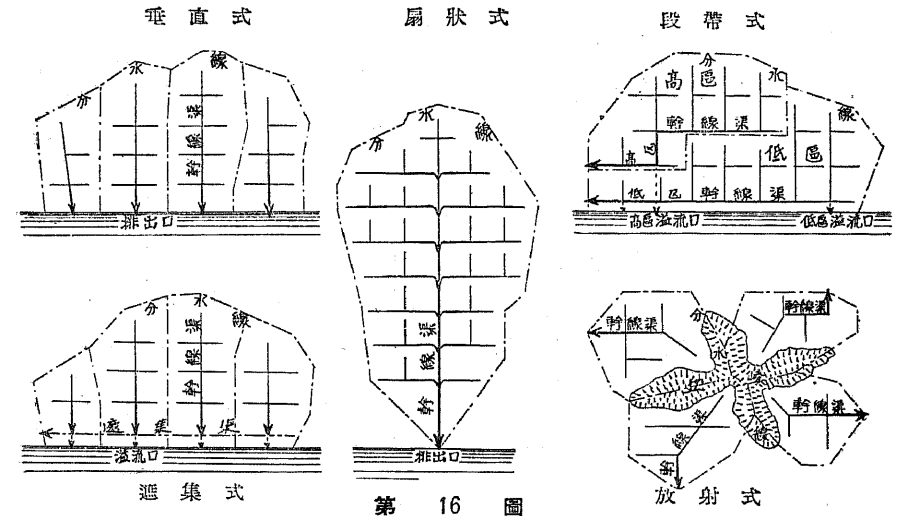
**遮集式 (Intercepting system)** 河水を飲用に供するものゝ存在する時又は河海の汚瀆を防止する意味合から、汚水を河川或は海岸湖岸等に直接放流し得ざる場合に於ては、遮集式を採用し、適當の箇所毎に溢流口を設けて雨水の大部分のみを是等河海に放流し、汚水及之と同様の處理を要する雨水の一部は遮集渠に依り汚水處理場まで流送するのが普通で、汚水量の多大なる大都市に於ける下水道は殆ど此式に據らねばならぬものゝ様である。

**段帶式 (Zone system)** 都市の地勢が起伏著しく相當の高低差を有する場合等に於て、高地部は雨水汚水の自然排除可能なるも、中間部は汚水の排除に唧筒力を要し、低地部は雨水汚水の疏通共全然唧筒の援助を必要とする様な時には、全市を高區中區低區等數段に分割し、各區別々に排水系統を定めて各自の幹線渠、遮集渠、溢流渠等を備へしめ、適當の箇所に唧筒所を設けて低區の雨水を排除し、又中區の汚水低區の汚水を揚水して高區遮集渠内に導き、是等と合併して處理場迄自然流下に依り流集せしむるを得策とする様な場合が屢々ある、之を段帶式と稱へ大都市等に廣く應用せらるゝ方式である。

**扇狀式 (Fan system)** 都市の地勢が比較的正確に上流より下流に向て相當の傾斜を保ち、且つ其附近に雨水を放流し得る様な河海等の存在せざる場合などには、全下水を處理場又は放流地點迄大渠を通じて流送する必要がある、即ち此大渠を根幹とし各枝線が樹枝狀に集中するを以て扇狀式と稱ふるのであるが小都市によく此例がある。

**放射式 (Radial system)** 都市の周圍が雨水放流に適當なる水面を以て圍繞せらるゝか又は中央部に高地あり四周に傾斜する場合等には、排水區域を市の周圍に向て放射狀に區分し各自に下水道幹線を敷設するを便利とすることが屢々である、伯林市下水道は此著名な例で合計十二の放射區を有して居るのである。

第 16 圖は叙上方式の圖解であるが、一般に都市の地勢は丘とか水路とか道路



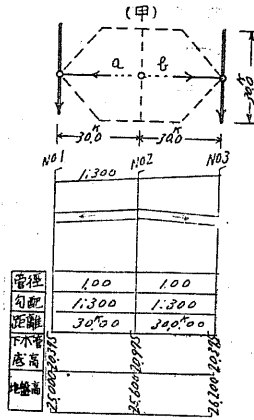
第 16 圖

の關係其他色々の原因から可なり複雑を極めて居る。

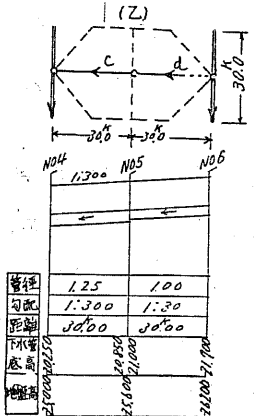
從て實際に相當廣い區域の排水系統を定め下水道の配置を行ふことは、中々容易の業ではなく到底限定された方式などに片寄ることなどは出來ないのである、畢竟は都市獨特の地勢と排出先の狀態汚水處理の必要程度などを充分に考慮し、叙上各方式の特長を加味斟酌して下水道改良の目的の貫徹を期し施工の簡便、維持の容易、工費の經濟等あらゆる方面に涉り比較研究を反復して慎重に決定すべき問題だと思ふ。

以上は主として下水道幹線の配置であるが、枝線管渠の配布方法に就ても亦研究の餘地は相當に多い、地盤が著しく軟弱であるか、湧水量が極めて夥しいか、或は掘鑿が非常に深くなるか特別の事情のない限り、管渠の築造費は其土工費よりも遙かに高率であるのが通例である、從て多少は地勢に違背しても幹線又は排水口迄の最短距離を選び、成る丈け勾配を利用して管渠口径の縮減を計るのが一般に得策かと思ふ、例へば第 17 圖に於て甲法に依るも乙法を探るも排水上の効果に格別變化はないが、甲は一部の地勢に逆行して幹線迄の最捷距離を選択せし爲め全部が一尺管のみで済むこととなり、工費に於ては乙よりも一割二分以上

第 17 圖に因る工事費の比較



費用	(甲)		(乙)	
	員數	工 費	員數	工 費
内徑 1 尺管築造費	60	619,348	30	319,674
同 敷設費	"	439,928	"	213,272
内徑 1.25 尺管築造費		—	"	404,236
同 敷設費		—	"	280,861
人 孔 築 造 費	1	128,223	1	128,223
計		1,187,499		1,336,266



第 18 圖に因る工事費の比較

内徑 (尺)	單 價 (間當)	(甲)		(乙)	
		延長	金 額	延長	金 額
1.00	12	2,700	32,400	2,700	32,400
1.25	20	50	1,000	50	1,000
1.50	28	1,800	50,400	600	16,800
1.75	35			300	10,500
2.00	44	50	2,200	650	28,600
2.25	53			400	21,200
2.50	62	50	3,100	100	6,200
2.75	71	50	3,550	150	10,650
3.00	82	100	8,200		
3.25	93	100	9,300		
3.50	105	50	5,250		
計		4,950	115,400	4,950	127,350
1.5 尺管以下の%			91.9		67.7

備考 1 間當單價は土工費を含める概算とす

の節減を來して居る、又第 18 圖に於て管渠を配置するに甲案を採る時は乙案に依るよりも、其工費に於て一割以上の節約となり而かも甲案は内徑一尺五寸未満の小管が大部分を占め、中央幹線のみが相當に深く且つ大きくなるので枝線の連絡上にも樂である、即ち下水管渠の配布に就ては多方面に渉る細心の注意が肝要である。

### 第三節 流速及勾配

下水管渠の勾配は主として地勢に左右せらるゝ爲め一定の法則に従ひ難いが、然し勾配が餘りに急なれば流速増大して管底を磨損する憂を生じ、緩に失すれば土砂塵芥の沈澱を免れざる爲め下水道の洗掃に多くの費用を要することとなる、加ふるに流速は流量の増減に伴ひ著しく變化するものなれば、下水の如く時々刻々に其量を異にするものに在りては、豫め管渠内流速の最小及最大限度を定めて適切なる勾配を選ぶべきは設計上重要な次第なのである。

**最小流速** 下水管渠内流速の最小限度を定むるには先づ通常管渠内に流入すべき、幾多の固形物を選び其自掃に必要な流速の程度を究むることが第一かと思ふ、海外諸國に於ける實驗の成績を見るに、管渠を構成する材料の種類に依り多少の相違はあるが、次記の固形物を動かすに必要な一秒時の平均流速は大體次の様に心得て差支へない様である。

	尺		尺
軟質泥土	0.25	砂利(大豆大)	1.50
普通粘土	0.50	礫 (徑八分)	2.50
硬質眞土	0.75	玉石(鶏卵大)	3.00
河砂(小豆大迄)	1.00	碎石(同上)	3.50

下水道の最小流速に關する學者の意見を徴するに、Baldwin Latham 氏は管渠内に沈澱物を残さしめぬ爲めには少くも、直徑 6 ~ 9 吋の管には毎秒時三呎以上、直徑 12 ~ 21 吋の管には同二呎半以上、直徑 24 吋以上の管渠には同二呎

第 17 圖

第 18 圖

以上の流速が必要だと稱して居る、又英國下水學者連の調査意見では、普通口径の下水管には毎秒時少くも 2 ~ 2.5 呎の流速を與へ、細管に對しては特に同 3.3 ~ 3.9 呎の流速を與ふる時は、管内のあらゆる固形物を自掃するに支障がないと報告して居る、而してアイテルワイン氏(Eytelwein) は

$$\text{下水管の最小勾配} = \frac{1}{5d+100} \quad \text{但 } d \text{ は吋で示す下水管の直径}$$

なる公式を發表して居るが、之は小管には餘りに緩流速を與へ大管には急流速を與ふる結果を生じ面白くない様である。

**最大流速** 下水道の最大流速に就ては専ら地勢に依るを以て一定の制限を附することは至難だが、管渠底の磨損を防ぐ爲めには毎秒時の平均流速を六尺以内に採れば先づ充分の様である、海外の學者の意見では、Rankin 氏は毎秒時 4.5 呎以上を許さず、Raulinson 氏は毎秒時 4 ~ 6 呎を適度と稱へ、Folwell 氏は毎秒時 8 ~ 12 呎迄位は已むを得ずと稱し、英國の實例では毎秒時 5.9 呎を限度として制裁を設けて居る様である、故に急坂等には適宜人孔を設置し特に落差を設けて、管渠の勾配を緩にし流速を減少せしむる様努力するのであるが、然し地勢上已むを得ざる場合に於てあらゆる管に斯かる方法を講ずる時は、人孔の築造費と管渠の敷設費とは莫大なる金額に上り不經濟極まること往々なるを以て、寧ろ磨滅其用に耐ふる能はざる場合に至らば局部的に改築修理することを覺悟し、大管には其底部に煉瓦又は鋪石を施設して磨損の防止に備へ、直径一尺五寸未満の小管は陶管の使用に依り相當の對抗力を保持し得るが故に、地勢の命ずる所に従ひ一部極端なる急勾配を用ひたる例も亦決して少くはないのである、著者は以上の見地から屢々此方法を採用したが實際上格別の支障はなく、海外の實例にも相當の管渠に二十五分の急勾配を用ひ、スタットガルトの如きは十二分一迄の急勾配を許し、特に細管等には垂直に近き程の急傾斜に敷設した實例も決して乏しくはない様である。

**標準流速** 下水道の最小及最大流速に對する許容の範圍は大體前述の通りであ

るが、最も理想的な流速としては毎秒時三尺前後を適當とする様に思ふ、下水道の適切なる標準流速として歐米諸大家の説く所も多くは毎秒二尺~三尺に一致して居る、Baldwin Latham 氏の之に對する意見は 2 ~ 3 (毎秒呎) Beardmore 氏は 2.5 ~ 3 (") Phillips 氏は 2.5 ~ 3 (") Rankin 氏は 1 ~ 4.5 (") Adams 氏は 2.5 ~ 3 (") Philbrick 氏は 2 ~ 3 (") Gebhard 氏は 2 ~ 3 (") Folwell 氏は 3 ~ 5 (") 等が夫れである。

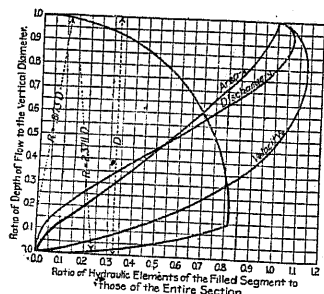
我國の既設下水道に於ても標準滿管平均流速を毎秒三尺内外に採るを最も普通とし、如何なる場合でも殆ど二尺以下は用ひぬ様で、土地が極めて緩で是等の流速を與へ得ない場合等には、卵形渠を使用して土砂塵芥類の沈澱防止に努めて居るのである、而して私設下水道又は枮類の取附に使用する細管には特に注意して毎秒四尺前後の流速を與へ、又最大流速としては局部的な特種事情のあるものは別とし普通には毎秒八尺以上に達せしめざることを原則として計畫を行ふ様である、今試みに圓形管に就き最適度の勾配を示し其流速及流量を擧ぐれば大體第 27 表の結果に歸着するのである。

第 27 表 圓形管の理想的勾配

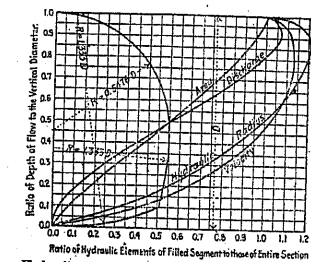
直径 (吋)	勾 配	滿管平均流速 (呎 / 秒)	滿 管 流 量 (立方呎 / 秒)	直径 (吋)	勾 配	滿管平均流速 (呎 / 秒)	滿 管 流 量 (立方呎 / 秒)
4	1: 25	3.630	0.317	18	1: 300	3.379	5.972
6	1: 50	3.569	0.701	24	1: 500	3.219	10.110
9	1: 100	3.474	1.536	36	1: 800	3.331	23.900
12	1: 150	3.537	2.778	60	1: 1,600	3.374	66.250
15	1: 200	3.621	4.445	96	1: 3,200	3.241	162.900

以上に述べた流速は凡て管渠内の平均流速を意味するのであるが、流速は管渠断面の位置に依り相當相違あるのが當然で、下水道として用ひらるゝ普通の管渠などでは其断面中の最高流速は専ら流心に生じ、周壁の粗率と動水半径等に準じ

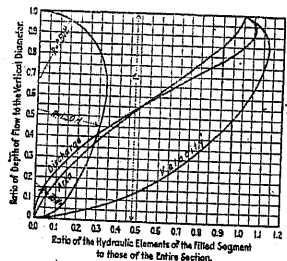
多少の變化こそあるが先づ、平均流速に對する比率は 115 から 125 %位に當るのが普通で、其最低流速は多くは管壁に沿ふて起り平均流速に對し 50 %位の割合に相當する様である、又流速は流量の増減即ち水深の移動に伴つて著しく變化するものなれば、合流法の管渠設計には大低洪水時と乾天時に於ける流量變化の割合を豫め調査し、乾天時即ち汚水のみが流るゝ場合と雖も浮游物を沈澱せしめざる様、少くも毎秒時一尺位の流速を附與し得る程度に配意することが肝要である、第 19 圖は圓形管、卵形渠、馬蹄形渠及半圓形渠に就き其流速及流量の變化を圖示したのであるが、之に依れば圓形管では流深が直徑に等しき場合も半徑に相當する場合も流速は同様で、最大流速は流深が直徑の 81 %の時に生じ、一般に流深の減失に伴ふ流速の減退は比較的遅緩なるを以て下水道としての効果は充分な譯である。



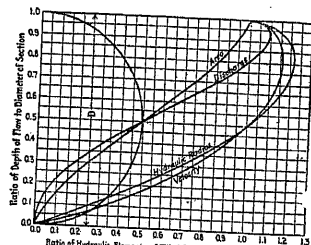
Hydraulic elements of semi-circular section.  
 $n = 0.013; s = 0.0001; D = 9 \text{ ft } 2 \text{ in.}; \text{Area} = 1.2697D^2; \text{Hydraulic radius} = 0.2946D$



Hydraulic elements of horseshoe section, Wachusett type, by Kutter's formula.  
 $n = 0.013; s = 0.0003; D = 7 \text{ ft.}; \text{Horizontal diameter, } H = 7 \text{ ft. } 8 \text{ in.}; \text{Area} = 44.74 \text{ sq. ft.}; 0.9132D^2; \text{Wetted perimeter} = 24.25 \text{ ft.}; 3.4602D; \text{Hydraulic radius} = 1.841; 0.262D$



Hydraulic elements of egg-shaped section.  
 $n = 0.015; s = 1/1,600; H = 4 \text{ ft.}; D = 6 \text{ ft.}; 1.284 \text{ diam. equiv. circle}; H = 0.836 \text{ diam. equiv. circle}; A = 1.1484 D^2; R = 0.3105D; R = 0.2997H = 0.1931D$



Hydraulic elements of circular section by Kutter's formula.  
 $n = 0.015; s = 0.005; D = 1 \text{ ft.}; \text{Area} = 0.7854D^2; \text{Wetted Perimeter} = 3.1416D; \text{Hydraulic Radius} = 0.250D$

第 19 圖

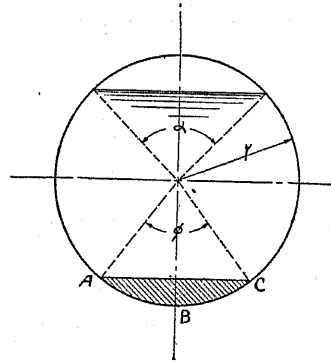
第四節 管渠の形状

下水の量は時々相異なるが故に下水管渠の形状は、流量變化するも流速の變動大ならざるものを以て最善とするのである、卵形断面は 1846 年英人ジョン・フイリツプ氏の考案に成り、底部の半徑  $r$  は上部の半徑  $R$  の半分にして全體の高さ及側壁部の半徑  $3R$  なり之を古型と云ふ、新型は底部の半徑を更に半減して  $R/4$  とせり底部細小なるを以て汚水量の少き所に適す、此外種々なる高さ半徑とを有する卵形断面あり時に之を倒立したる形状を用ふる場合も亦尠くない、我國に於ては上部を去り板石又は鐵筋混凝土板を以て覆蓋したる、所謂截頭卵形断面を使用すること多く神戸市、廣島市、松山市、明石市、大分市等の下水道に之を採用して居る、卵形断面は流速の變化極めて少き爲め下水管渠に最も適當すれども、圓形断面と比較し水頭の損失大なること、強度を與ふるに不利なること、施工簡易ならざること等の缺點がある、依て通常直徑二尺に満たざる小管又は勾配充分で常に相當の流速を附與し得る管渠には、成るべく構造簡單にして強度大に施工の容易なる圓形断面を選ぶことが得策であるが、唯土地低く充分なる勾配を採り得ざる場合、又は汚水量と雨水量との差著大なる爲流量の變化甚だしく、汚物の沈滯を自掃し得ざる場合等に限り、卵形断面を採用するのが普通の様に思ふ、而して下水道は専ら土地の地勢及排出口の高さから制限せらるゝ場合多く、其幹線管渠の如きは圓形よりも更に扁平なる形状を必要とすること往々である、即ち橢圓形を横たへたる断面、半圓形断面、馬蹄形断面、矩形断面等は皆斯かる場合に適用さるゝ形状で、是等を應用せんとするには少くも三尺前後の平均流速を與ふる様留意が必要である、尙地勢又は經濟上の關係から開渠を使用する必要も生ずる、又巴里市下水道の様に断面を著しく擴大し底部の一隅に溝渠を設けて下水を疏通せしめ上部に總ての地下埋設物を包容するものもあり、或は断面を上下二段に區分し上部を雨水渠に充て下部を汚水渠に充當するもの等、千差萬

別其形状實に多數に及んで居るのである、然れど如何なる形状と雖も其底部を弧形又は溝形となし、汚物停滯の防止に努むると同時に洗掃の簡便を圖るのが當然で、尙下水管渠には伏越箇所又は唧筒壓送管等特種のものゝ外は水壓を受けしめざることを原則とすべく、又公設下水道に本線として使用するものは洗掃其他の必要上最小の管渠でも直径七、八寸以上を用ふることが肝要である。

1. 圓形断面 (Circular shape) 同一断面積を有する下水管渠の内では最も丈夫で用材も少なく施工も簡單、其上一杯に流るゝ時でも半分丈けの時でも最大の流速が生じ、周邊も短かく角張りもせず至極圓滿なる形なれば、流れ具合もよく汚泥の滯りも少く、下水道としては經濟的な誠に恰好の断面である。

直径 =  $d = 2r$   
 断面積 (full) =  $\pi r^2$   
 圓周 (full) =  $2\pi r$   
 動水平均深 (full or  $\frac{1}{2}$ -full) =  $\frac{r}{2}$   
 弓形 ABC の面積 =  $\frac{\phi}{360} \pi r^2$   
 $-\frac{1}{2} r \cdot r \sin \phi = \left( \frac{\phi}{180} \pi - \sin \phi \right) \frac{r^2}{2}$   
 弧線 ABC の長さ =  $\frac{\phi}{180} \pi r$   
 $= 0.017453 \phi r$



第 20 圖

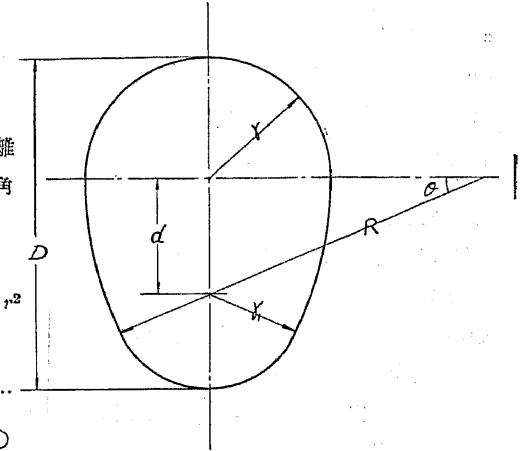
水壓なき場合、圓形管の最大流速は  $0.81d$  の位置に生じ、最大流量は  $0.95d$  の位置即ち  $\alpha = 52^\circ$  の時に起る。

2. 卵形断面 (Egg-shapes)

合流法の管渠は平時と雨天時とに依り其流量に著しき増減を生ずる、従て底部の狭小な細長い形程流速の激變を避くるに好都合である、即ち卵形断面は此意味合から合流法の管渠に恰好な譯である。

(a) 卵形断面の一般解法

$R$  = 兩側部の半徑  
 $r$  = 拱部の半徑  
 $r_1$  = 底部の半徑  
 $d$  = 拱部底部兩中心間の距離  
 $\theta$  = 側部の弧線と對稱する角度とすれば。



$(R-r_1)^2 = d^2 + (R-r)^2$   
 $R^2 - 2Rr_1 + r_1^2 = d^2 + R^2 - 2Rr + r^2$   
 $2R(r-r_1) = d^2 + r^2 - r_1^2$   
 $\therefore R = \frac{1}{2} \left\{ \frac{d^2}{r-r_1} + r + r_1 \right\} \dots$   
 .....(1)

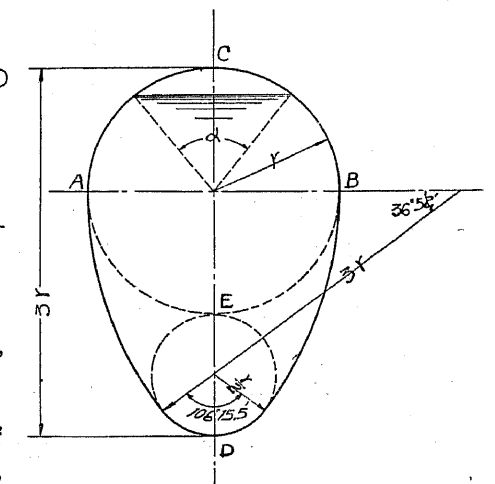
面積  $A = \frac{\pi r^2}{2} + \left\{ \frac{\pi R^2 \theta}{180} - d(R-r) \right\}$   
 $+ \frac{\pi r_1^2}{360} (180 - 2\theta)$   
 $= \frac{\pi r^2}{2} + \frac{\pi \theta R^2}{180} - dR + dr + \frac{\pi r_1^2}{2} - \frac{\pi r_1^2 \theta}{180}$   
 $= \frac{\pi}{180} \{ 0(R^2 - r_1^2) + 90(r^2 + r_1^2) \} - d(R-r) \dots$   
 .....(2)

周邊  $p = \pi r + 2 \frac{\pi R \theta}{180} + \frac{\pi r_1}{180} (180 - 2\theta) = \pi r + \frac{\pi R \theta}{90} + \pi r_1 - \frac{\pi r_1 \theta}{90}$   
 $= \frac{\pi}{90} \{ (R-r_1) + 90(r+r_1) \} \dots$   
 .....(3)

而して  $\sin \theta = \frac{d}{R-r_1}$  及  
 $\tan \theta = \frac{d}{R-r}$

(b) 舊型卵形断面 (Old or standard egg-shape)

幅  $AB = 2r$ , 高  $CD = 3r$ ,  
 底部半徑 =  $\frac{r}{2}$ , 拱部半徑 =  $r$ ,  
 兩側部半徑 =  $3r$ , なるを以て、  
 (2) 式に依り  $A(\text{full}) = 4.594r^2$   
 又 (3) 式から  $p(\text{full}) = 7.930r$ ,  
 而して水壓なき場合、最大流量は



第 22 圖



$\alpha = 62^{\circ}30'$  の時に生ずる。

(c) 新型卵形断面 (New Egg-shape)

幅 =  $2r$ , 高 =  $3r$ , 底部半徑 =  $\frac{r}{4}$ ,

拱部半徑 =  $r$ , 兩側部半徑 =  $2\frac{2}{3}r$

なるを以て (2) 式に依り  $A(\text{full}) =$

$4.460r^2$  又 (3) 式から  $P(\text{full}) = 7.852r$

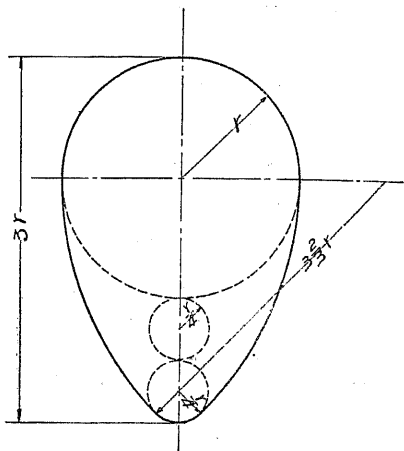
となる。

(d) ホークスレー型卵形断面 (Hawksley's egg-shape)

幅 =  $2r$ , 高 =  $2.586r$ , 兩側部半徑

=  $2r$ , 底部半徑 =  $0.586r$ , 拱部半

徑 =  $r$ , なるを以て (2) 式に依り,



第 23 圖

第 28 表

圓形断面 ( $d =$ 直径)				舊型卵形断面 ( $r =$ 拱部の半徑)			
流 深	断面積	湿 周	H. M. D	流 深	断面積	湿 周	H. M. D
full	$0.785 d^2$	$3.142 d$	$0.250 d$	full	$4.594 r^2$	$7.930 r$	$0.579 r$
$\frac{3}{4}$ full	$0.632 d^2$	$2.095 d$	$0.296 d$	$\frac{3}{4}$ full	$3.518 r^2$	$5.291 r$	$0.665 r$
$\frac{2}{3}$ "	$0.553 d^2$	$1.911 d$	$0.292 d$	$\frac{2}{3}$ "	$3.023 r^2$	$4.788 r$	$0.631 r$
$\frac{1}{2}$ "	$0.393 d^2$	$1.571 d$	$0.250 d$	$\frac{1}{2}$ "	$2.037 r^2$	$3.683 r$	$0.538 r$
$\frac{1}{3}$ "	$0.229 d^2$	$1.231 d$	$0.183 d$	$\frac{1}{3}$ "	$1.136 r^2$	$2.750 r$	$0.413 r$
$\frac{1}{4}$ "	$0.154 d^2$	$1.047 d$	$0.147 d$	$\frac{1}{4}$ "	$0.745 r^2$	$2.211 r$	$0.337 r$
新型卵形断面 ( $r =$ 拱部の半徑)				ホークスレー型卵形断面 ( $r =$ 拱部の半徑)			
full	$4.460 r^2$	$7.852 r$	$0.569 r$	full	$3.632 r^2$	$9.203 r$	$0.553 r$
$\frac{2}{3}$ "	$2.839 r^2$	$4.699 r$	$0.615 r$	$\frac{2}{3}$ "	$2.686 r^2$	$4.337 r$	$0.620 r$
$\frac{1}{3}$ "	$1.017 r^2$	$2.649 r$	$0.384 r$	$\frac{1}{3}$ "	$1.028 r^2$	$2.536 r$	$0.396 r$

$A(\text{full}) = 3.632 r^2,$

又 (3) 式から  $p(\text{full}) = 9.203 r$  に當る。

第 28 表は圓形、舊型卵形、新型卵形、ホークスレー型卵形に就き、流深の變化に對する断面積、濕周、動水平均深等を表示したものである。

(e) 以上の外卵形断面から變形したものに、Jackson's peg-shape 又は Elongated shape 等がある。

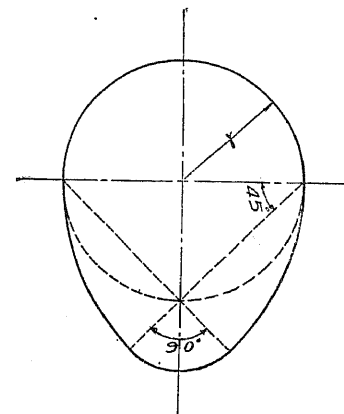
$AB = 1\frac{2}{3}d, AF = \frac{1}{4}d, GE = \frac{1}{4}d,$

$CH = \frac{1}{6}d,$

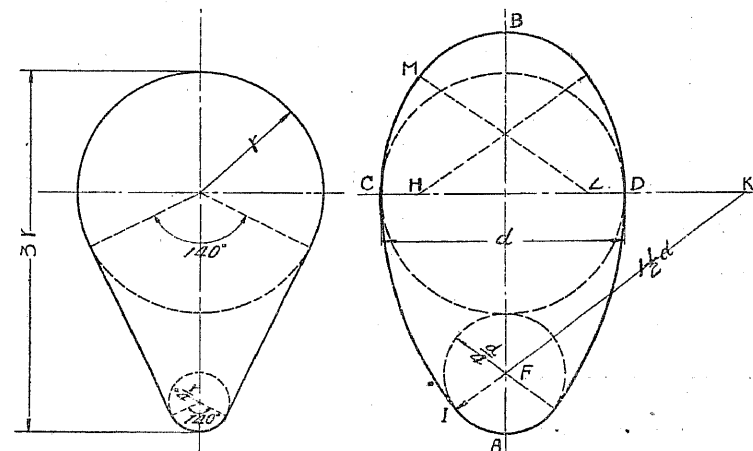
IK は GH に平行

面積  $CBDE = 0.602 d^2$

周長  $CBD = 1.849 d$



第 24 圖

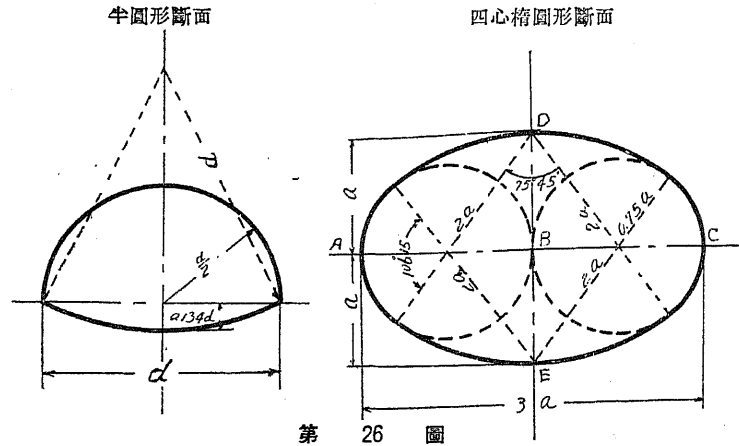


Jackson's peg-shape

Elongated shape

第 25 圖

3. 半圓形断面 (Semicircular shape) 及四心橢圓形断面 (Oval of four centers)



第 26 圖

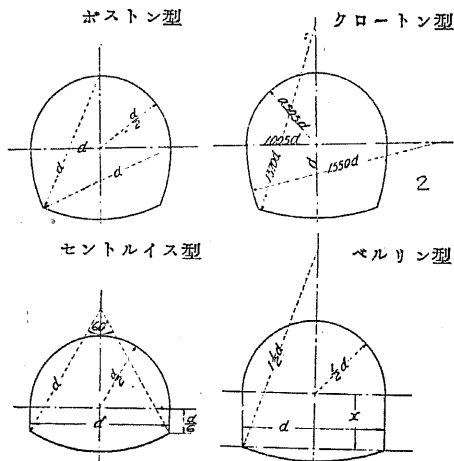
流 深	断 面 積	湿 周	H. M. D	流 深	断 面 積	湿 周	H. M. D
full	$1.918 r^2$	$5.239 r$	$0.339 r$	full	$4.671 a^2$	$7.930 a$	$0.592 a$
$\frac{2}{3}$ "	$1.457 r^2$	$3.342 r$	$0.436 r$	$\frac{2}{3}$ "	$3.328 a^2$	$4.655 a$	$0.715 a$
$\frac{1}{3}$ "	$0.657 r^2$	$2.380 r$	$0.276 r$	$\frac{1}{3}$ "	$1.362 a^2$	$3.275 a$	$0.316 a$

共に高さの低い渠を以て大流量を疏通する場合に採用せらる。

4. 馬蹄形断面 (Horse-shoe shape)

大形渠には最も広く用ひられて居る形で、大體が圓形に似てゐるので比較的高さが低くも大流量を通ずるに都合よく、掘鑿幅も少く基礎も簡便、

馬蹄形渠断面

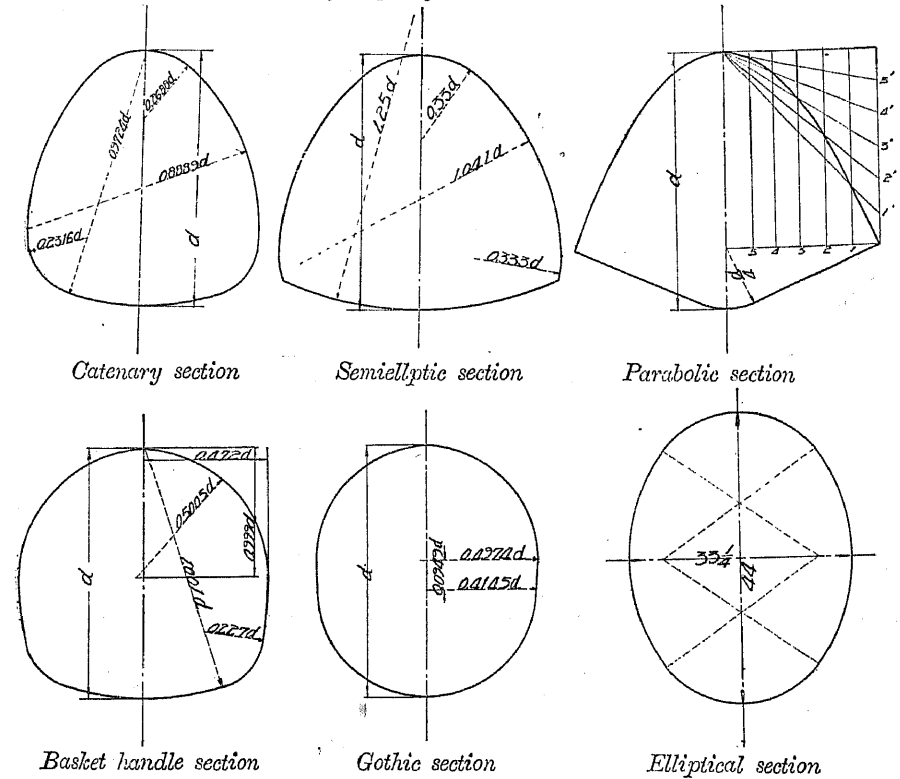


第 27 圖

上部が半圓形拱なる故大荷重の支持にも恰好ではあるが、垂直荷重から生ずる推力を支ふる爲めに側壁を厚くせねばならぬこと支けが聊か不利である、色々の型があるが第 27 圖は最も應用の廣い代表的の断面である。

5. 拋物線形断面等 (Parabolic section etc)

又理論的な断面としては、Catenary section, Gothic section, Parabolic section, Basket-Handle section, Semi-elliptic section, elliptical section 等種々の形があるが、大體は第 28 圖に示す通りである。



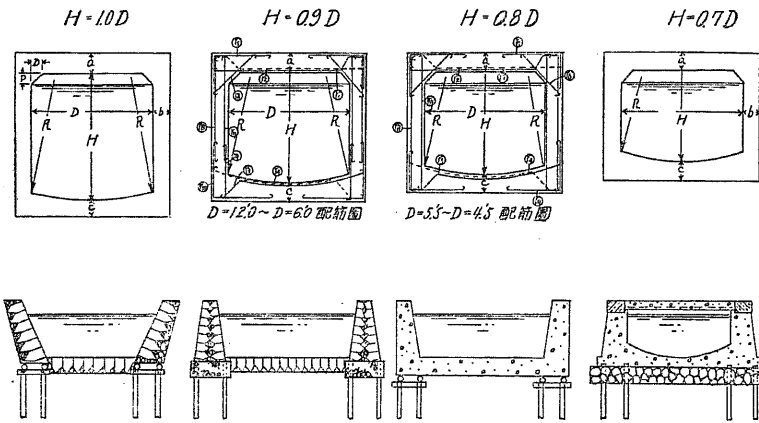
第 28 圖

6. 矩形断面 (Rectangular shape) 及開渠 (Open channels)

矩形断面及開渠は地勢上深さ又は幅員に制限がある場合等に、大形渠又は雨水

渠として最も適用される形である、此断面は流量の比較的大なること、掘鑿幅が狭くて済み型枠類が簡単に施工が容易なこと等の利益があるが、矩形渠は其天井が扁平な爲め荷重大なる場合には不利で、又開渠は繁華な中樞地區には土地の利用策上最も不適當である、第29圖は是等の模範的断面を例示したのである。

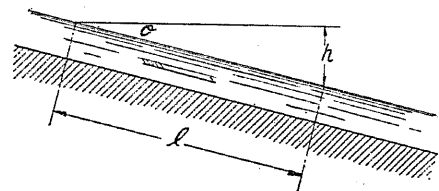
矩形渠及開渠



第 29 圖

### 第五節 管渠の流量

水の流は通常重力の作用に依て生ずるのであるが、其流速は周壁の摩擦や幾多の他の障害から妨碍を受けて遅延するを常とするのである、今  $A$  = 流水の横断面積、 $Q$  = 毎秒の流量、 $v$  = 毎秒の平均流速、 $p$  = 濡周即ち断面周邊の接水する長さ、 $r$  = 動水平均深 =  $A/p$ 、 $s$  = 水面勾配の正弦、 $c$  = 接水表面



$$s = \frac{h}{l}$$

$$= \sin \theta$$

$$\doteq \tan \theta$$

When slope is gentle.

第 30 圖

の粗率等に依る係数とすれば水理學上の原則に基き、

$$Q = Av \text{ 及 } v = c\sqrt{rs}$$

である、而して下水中には浮游物を含有すること極めて多きが如しと雖も、純水分に比し其割合は甚だ微小なるを普通とするが故に是等の水理公式を直に應用するも格別の支障は生ぜぬのである。

#### 1. バザン氏公式 (Bazin's formula)

シェジー氏公式 (Chezy, 1775) に基きダーシー氏 (H. Darcy) と共に、一般的水理公式として研究されたもので次の形をして居る。

$$v = c\sqrt{rs} \text{ 但し } c = \left\{ \frac{1}{\alpha + \frac{\beta}{r}} \right\}^{\frac{1}{2}}$$

$\alpha$  及  $\beta$  は周壁の粗率で第29表の値を採るのである。

第 29 表 バザン氏公式に於ける  $\alpha$  及  $\beta$  の値

接水表面の性質	$\alpha$ の 値		$\beta$ の 値
	英國單位	米突單位	
セメント、平滑なる木材	0.000046	0.00015	0.0000045
切石、煉瓦、普通木材	0.000058	0.00019	0.0000133
粗石積	0.000073	0.00024	0.0000600
土	0.000085	0.00028	0.0003500
玉石又は砂利	0.000122	0.00040	0.0007000

#### 2. クツター氏公式 (Ganguillet and Kutter's formula)

之れ又シェジー氏公式を基準に一般式として研究されたもので、下水管渠の断面計算には最も廣く應用せられ、我國の既設下水道の如きも殆ど全部が之に準據して居る、其形は次の通りである。

英國單位の場合 米突單位の場合

$$v = \left( \frac{41.66 + \frac{1.811}{n} + \frac{0.00281}{s}}{1 + \left( 41.66 + \frac{0.0281}{s} \right) \frac{n}{\sqrt{r}}} \right) \sqrt{rs} \quad v = \left( \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{s}}{1 + \left( 23 + \frac{0.00155}{s} \right) \frac{n}{\sqrt{r}}} \right) \sqrt{rs}$$

式中の  $n$  は接水表面の粗率に依る係数で第 30 表の値が採用されて居る。

第 30 表 クッター氏公式に於ける  $n$  の値

接水表面の性質	粗率 ( $n$ )	接水表面の性質	粗率 ( $n$ )
平滑に削られた木材面	0.009	混凝土又は普通煉瓦面	0.015
純モメント面、平滑なる鐵管 又は釉藥陶管面	0.010	玉石積又は雜割石垣の表面	0.017
1:3 配合のモルタル面又は新 規な鐵管面	0.011	堅牢なる砂利又は礫層の表面	0.020
木材面又は普通鐵管面	0.012	運河又は河川の自然表面 (土 砂の場合)	0.025
平滑な切石煉瓦普通陶管面等	0.013	同上 (轉石又は樹木竹藪等の 存する場合)	0.03~0.045

第 31 表  $c$  の値

H.M.D	$s = \frac{1}{100}$ の時					$s = \frac{1}{1000}$ の時				
	$n=.010$	.011	.013	.015	.017	.010	.011	.013	.015	.017
.1	95	83	66	54	46	94	83	65	51	45
.2	114	100	81	67	57	113	99	81	66	57
.3	125	111	90	76	64	124	109	89	74	63
.4	133	119	98	82	70	131	117	96	80	69
.6	143	129	106	90	77	142	127	104	88	76
.8	151	135	112	95	82	150	134	111	94	82
1.0	156	141	117	99	87	155	139	116	99	86
1.5	165	149	125	107	94	165	149	124	107	93
2.0	171	155	130	112	99	171	155	130	112	98
3.0	179	162	133	119	105	179	163	138	119	105
4.0	184	167	142	123	107	184	168	142	124	110
6.0	190	173	148	129	115	190	174	149	130	116
10.0	196	180	154	136	121	197	181	155	136	122

通常下水道の管渠を計算する場合には  $n$  の値を 0.013 ~ 0.017 の範囲に採るのが一般の様である、即ち完全な釉藥陶管工場製の出來の上等なモルター管又は混凝土管等で、土砂の沈澱や磨損の憂のないものには 0.013 を用ひ、現場打ちの普通混凝土、煉瓦積又は切石積管渠にして維持の完全を期し得る場合には 0.015 を採り、不良の状態にある同上の管渠又は粗石積のもの等には 0.017 を採用するのが普通の様と思ふ。

3. フライン氏簡易公式 (Flynn's Simplest formula)

第 31 表に示すが如くクッター公式に於ける  $c$  の値は、 $s$  に就ては頗る鈍緩で之が變化に對する影響は極めて微々である、依て其代表値として  $s = \frac{1}{1,000}$  に採る時は  $n$  の任意の値に對してクッター公式を次の形に簡略することが出来る。

第 32 表

$$v = \left\{ \frac{k}{1 + \frac{x}{\sqrt{r}}} \right\} \sqrt{rs} \text{ 但 } k \text{ 及 } x \text{ は}$$

$n$  の變化に應ずる常數。

之をフライン氏簡易公式と稱するのであるが、大體の試算等には至極重寶である。

4. ウイリアム・ハーゼン氏公式 (William and Hazen's formula)

近來流量計算を簡便にする爲め種々な指數公式が發表せられて居るが、就中著名なのはウイリアム・ハーゼン氏公式で次の形をして居る。

$$v = cr^{0.63}s^{0.54}0.001^{-0.04}$$

式中 ( $v$  = 平均流速(呎/秒)  $r$  = 動水平均深  $s$  = 勾配  $c$  = 粗率)

此公式は最も有壓管の計算に適すると稱され、 $c$  の値としては次の數字が推奨せられて居る。

140. 新鋼管、新鉛管、ガラス管、の極めて平滑なる場合

$n$	$k$	$x$
.010	225.6	.445
.011	209.1	.486
.013	183.8	.578
.015	165.2	.667
.017	150.9	.756

- 130. 新鑄鐵管、古鉛管、極めて平滑に上塗仕揚した混凝土管等の場合
- 120. 平滑なる木管、釉薬陶管、モルター管等の場合
- 110. 普通の釉薬陶管、モルター管、混凝土管等の場合
- 100. 古鑄鐵管、良好なる煉瓦管等の場合

第 33 表はクッター氏公式に依り計算した下水管の流速及流量表である。

第 33 表 圓形管の流速及流量表

(満 流)

本表はクッター氏實驗公式に基くものにして

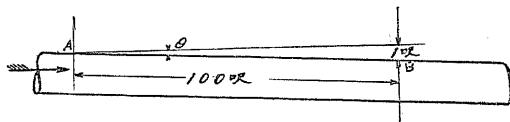
V = 流速 (呎/秒)

Q = 流量 (立方尺/秒)

n = 0.013

主として内面平滑なる陶管、モルター管、混凝土管鐵筋混凝土管等に適用す。

〔勾配〕は動水勾配にして水面傾斜角 (θ) の餘割  $\text{Cosec}\theta$  を以て表したるものなり、例へば表中勾配 100 とあるは二點(A, B)間の水位の差 1 呎に對し其間の管の延長 100 呎なる事を示す。



〔管徑〕は内徑を吋にて表す。

勾配 流速及流量 管徑	8		10		12		14		16		18		20	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
5"	7.709	1.051	6.895	0.940	6.254	0.858	5.828	0.795	5.450	0.743	5.150	0.702	4.874	0.665
6"			7.990	1.568	7.294	1.432	6.752	1.325	6.316	1.240	5.954	1.169	5.648	1.108
7"					8.248	2.204	7.636	2.040	7.142	1.908	6.733	1.799	6.388	1.707
9"											8.204	3.624	7.782	3.438

勾配 流速及流量 管徑	25		30		35		40		45		50		55	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
5"	4.359	0.594	3.979	0.543	3.684	0.502	3.445	0.470	3.247	0.443	3.081	0.420	2.936	0.400

勾配 流速及流量 管徑	25		30		35		40		45		50		55	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
6"	5.052	0.992	4.611	0.905	4.268	0.838	3.992	0.784	3.763	0.739	3.569	0.701	3.403	0.668
7"	5.712	1.527	5.214	1.393	4.827	1.290	4.514	1.206	4.256	1.137	4.037	1.078	3.848	1.028
9"	6.930	3.075	6.353	2.806	5.881	2.598	5.500	2.430	5.185	2.290	4.919	2.173	4.689	2.071
12"	8.704	6.836	7.926	6.225	7.338	5.763	6.863	5.390	6.470	5.082	6.139	4.820	5.851	4.596
15"					8.681	10.650	8.119	9.964	7.654	9.393	7.261	8.910	6.922	8.495
18"									8.761	15.480	8.311	14.68	7.924	14.00
21"													8.868	21.33

勾配 流速及流量 管徑	60		65		70		75		80		85		90	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
5"	2.811	0.383	2.700	0.368	2.602	0.355	2.513	0.343	2.433	0.332	2.360	0.322	2.293	0.313
6"	3.258	0.640	3.129	0.615	3.015	0.592	2.912	0.572	2.820	0.554	2.735	0.537	2.658	0.522
7"	3.684	0.935	3.539	0.950	3.410	0.911	3.294	0.880	3.189	0.852	3.093	0.827	3.006	0.803
9"	4.489	1.983	4.312	1.905	4.155	1.835	4.014	1.773	3.886	1.716	3.769	1.665	3.663	1.618
12"	5.601	4.399	5.381	4.226	5.186	4.072	5.008	3.933	4.849	3.808	4.705	3.695	4.570	3.590
15"	6.621	8.132	6.366	7.813	6.134	7.528	5.926	7.272	5.737	7.040	5.565	6.829	5.407	6.637
18"	7.586	13.40	7.288	12.87	7.022	12.41	6.783	11.98	6.582	11.60	6.370	11.25	6.190	10.94
21"	8.490	20.42	8.153	19.61	7.859	18.90	7.592	18.26	7.350	17.68	7.130	17.15	6.928	16.66
24"			8.982	28.21	8.654	27.18	8.359	26.26	8.094	25.42	7.851	24.63	7.629	23.96
27"							9.093	36.15	8.803	35.00	8.540	33.95	8.299	32.99
30"											9.201	45.16	8.941	43.88

勾配 流速及流量 管徑	95		100		110		120		130		140		150	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
5"	2.232	0.304	2.175	0.297	2.073	0.283	1.984	0.271	1.906	0.260	1.836	0.250	1.774	0.242
6"	2.583	0.508	2.521	0.495	2.403	0.472	2.300	0.452	2.209	0.434	2.128	0.418	2.056	0.404
7"	2.925	0.782	2.851	0.762	2.718	0.726	2.601	0.695	2.499	0.668	2.407	0.643	2.325	0.622

勾配 流速 管径	95		100		110		120		130		140		150	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	9"	3.585	1.575	3.474	1.535	3.312	1.483	3.170	1.400	3.045	1.345	2.933	1.293	2.834
12"	4.442	3.494	4.335	3.405	4.133	3.246	3.956	3.107	3.800	2.984	3.661	2.875	3.537	2.778
15"	5.263	6.459	5.131	6.293	4.890	6.002	4.631	5.744	4.496	5.518	4.332	5.316	4.185	5.138
18"	6.025	10.64	5.872	10.33	5.598	9.892	5.358	9.469	5.148	9.097	4.960	8.765	4.791	8.467
21"	6.743	16.21	6.572	15.80	6.235	15.07	5.998	14.43	5.762	13.87	5.551	13.35	5.363	12.90
24"	7.425	23.33	7.237	22.73	6.939	21.67	6.605	20.75	6.345	19.93	6.114	19.20	5.908	18.55
27"	8.077	32.11	7.870	31.29	7.505	29.84	7.184	28.56	6.902	27.44	6.650	26.44	6.423	25.54
30"	8.702	42.71	8.491	41.63	8.085	39.68	7.740	37.99	7.436	36.50	7.165	35.17	6.921	33.97
33"	9.303	55.26	9.067	53.85	8.644	51.34	8.276	49.15	7.950	47.22	7.660	45.50	7.400	44.06
35"					9.184	64.92	8.792	62.15	8.446	59.70	8.139	57.53	7.862	55.57
39"							9.293	77.09	8.927	74.08	8.602	71.36	8.309	68.93
42"									9.393	90.37	9.050	87.08	8.743	84.11
勾配 流速 管径	160		170		180		190		200		220		240	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	5"	1.717	0.234	1.655	0.227	1.618	0.221	1.574	0.215	1.534	0.209	1.482	0.199	1.399
6"	1.990	0.391	1.930	0.379	1.876	0.368	1.825	0.358	1.778	0.349	1.695	0.333	1.622	0.318
7"	2.251	0.602	2.183	0.584	2.122	0.567	2.064	0.552	2.011	0.538	1.917	0.512	1.834	0.492
9"	2.743	1.212	2.661	1.175	2.586	1.142	2.516	1.111	2.452	1.083	2.336	1.032	2.236	0.988
12"	3.424	2.639	3.321	2.603	3.227	2.535	3.140	2.467	3.060	2.403	2.916	2.291	2.791	2.192
15"	4.052	4.972	3.930	4.823	3.819	4.686	3.717	4.561	3.621	4.445	3.452	4.235	3.304	4.054
18"	4.638	8.196	4.499	7.950	4.372	7.726	4.255	7.518	4.146	7.326	3.952	6.983	3.782	6.683
21"	5.191	12.49	5.036	12.120	4.893	11.770	4.762	11.450	4.641	11.16	4.423	10.64	4.234	10.180
24"	5.717	17.98	5.545	17.42	5.389	16.93	5.244	16.48	5.111	16.06	4.871	15.30	4.663	14.65
27"	6.219	24.73	6.033	23.93	5.862	23.31	5.705	22.68	5.560	22.11	5.300	21.07	5.073	20.17
30"	6.701	32.89	3.500	31.91	6.316	31.01	6.147	30.17	5.990	29.41	5.710	28.03	5.466	26.83
33"	7.164	42.55	6.949	41.28	6.753	40.11	6.572	39.03	6.405	38.04	6.105	36.26	5.844	34.71

勾配 流速 管径	160		170		180		190		200		220		240	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	36"	7.611	53.80	7.383	52.19	7.175	50.72	6.983	49.36	6.805	48.11	6.487	45.85	6.209
39"	8.044	66.73	7.804	64.74	7.583	62.91	7.380	61.22	7.192	59.67	6.856	56.87	6.563	54.45
42"	8.464	81.44	8.211	79.00	7.979	76.77	7.765	74.71	7.568	72.81	7.214	69.41	6.906	66.44
48"	9.270	116.50	8.992	113.08	8.739	109.8	8.054	106.9	8.288	104.2	7.901	99.29	7.564	95.05
54"					9.461	150.5	9.207	146.4	8.974	142.7	8.554	136.0	8.189	130.2
60"											9.178	180.3	8.786	172.5
66"												9.358	222.3	
勾配 流速 管径	260		280		300		320		340		360		380	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	5"	1.343	.1831	1.294	.1764	1.249	.1703	1.208	.1648	1.172	.1598	1.138	.1552	1.107
6"	1.557	.3053	1.500	.2945	1.448	.2834	1.401	.2752	1.359	.2668	1.320	.2592	1.284	.2521
7"	1.762	.4708	1.697	.4535	1.638	.4379	1.585	.4237	1.537	.4109	1.493	.3991	1.453	.3883
9"	2.147	.9487	2.068	.9137	1.997	.8824	1.931	.8540	1.874	.8281	1.820	.8052	1.771	.7826
12"	2.620	2.105	2.582	2.028	2.493	1.958	2.413	1.895	2.340	1.838	2.273	1.785	2.212	1.738
15"	3.173	3.893	3.056	3.750	2.951	3.621	2.857	3.505	2.770	3.399	2.691	3.302	2.618	3.213
18"	3.632	6.419	3.499	6.184	3.397	5.972	3.271	5.780	3.172	5.606	3.082	5.446	2.999	5.299
21"	4.067	9.781	3.917	9.422	3.783	9.100	3.662	8.809	3.551	8.543	3.450	8.300	3.357	8.076
24"	4.479	14.07	4.314	13.55	4.167	13.09	4.033	12.67	3.912	12.29	3.801	11.94	3.698	11.62
27"	4.873	19.37	4.694	18.66	4.533	18.02	4.388	17.45	4.256	16.92	4.136	16.44	4.024	16.00
30"	5.250	25.77	5.058	24.82	4.885	23.98	4.729	23.21	4.587	22.51	4.456	21.87	4.336	21.29
33"	5.614	33.34	5.408	32.12	5.223	31.02	5.057	30.03	4.904	29.13	4.765	28.30	4.637	27.54
36"	5.965	42.16	5.747	40.62	5.550	39.23	5.373	37.98	5.211	36.83	5.063	35.79	4.927	34.83
39"	6.304	52.30	6.074	50.39	5.863	48.67	5.679	47.11	5.508	45.69	5.352	44.40	5.208	43.21
42"	6.634	63.83	63.91	61.49	6.174	59.39	5.977	57.50	5.793	55.77	5.632	54.19	5.481	52.74
48"	7.266	91.31	7.001	87.97	6.762	84.97	6.546	82.26	6.349	79.79	6.170	77.53	6.004	75.45
54"	7.866	125.1	7.579	120.5	7.321	116.4	7.088	112.7	6.875	109.3	6.680	106.2	6.501	103.4

第四章 設 計

勾配 距離及流量 管徑	260		280		300		320		340		360		380	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	60"	8.440	165.7	8.132	159.6	7.855	154.2	7.605	149.3	7.377	144.8	7.168	140.7	6.976
66"	8.990	213.6	8.662	205.8	8.368	198.7	8.101	192.4	7.858	186.7	7.635	181.4	7.431	176.5
72"			9.172	259.3	8.860	250.5	8.578	242.5	8.321	235.2	8.086	228.6	7.839	222.5
78"					9.336	309.7	9.038	299.9	8.768	290.9	8.520	282.7	8.292	275.2
84"									2.200	354.0	8.940	344.1	8.701	334.9
90"										9.348	413.0	9.098	402.0	
勾配 距離及流量 管徑	400		420		440		460		480		500		520	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	5"	1.097	.1471	1.052	.1434	1.027	.1401	.1004	.1369	.9830	.1340	.9627	.1312	.9435
6"	1.251	.2456	1.220	.2396	1.191	.2340	1.165	.2287	1.139	.2238	1.116	.2191	1.094	.2148
7"	1.415	.3783	1.380	.3690	1.348	.3603	1.318	.3522	1.289	.3447	1.263	.3375	1.238	.3308
9"	1.726	.7625	1.683	.7438	1.643	.7264	1.607	.7101	1.572	.6948	1.540	.6805	1.509	.6670
12"	2.155	1.692	2.102	1.651	2.054	1.613	2.007	1.576	1.964	1.543	1.924	1.511	1.886	1.481
15"	2.551	3.131	2.489	3.054	2.431	2.983	2.376	2.916	2.326	2.854	2.278	2.795	2.232	2.740
18"	2.922	5.163	2.850	5.037	2.784	4.920	2.722	4.810	2.664	4.708	2.609	4.611	2.569	4.541
21"	3.171	7.869	3.192	7.677	3.117	7.499	3.048	7.332	2.983	7.175	2.922	7.028	2.864	6.890
24"	3.603	11.32	3.516	11.04	3.434	10.79	3.358	10.34	3.286	10.32	3.219	10.11	3.155	9.914
27"	3.921	15.59	3.825	15.21	3.737	14.85	3.653	14.52	3.576	14.21	3.503	13.92	3.434	13.65
30"	4.225	20.74	4.123	20.23	4.027	12.76	3.937	19.33	3.854	18.91	3.775	18.53	3.701	18.16
33"	4.519	26.84	4.409	26.19	4.306	25.57	4.211	25.01	4.121	24.48	4.037	23.98	3.953	23.51
36"	4.802	33.94	4.685	33.11	4.576	32.35	4.475	31.63	4.380	30.96	4.290	30.32	4.206	29.73
39"	5.076	42.10	4.952	41.08	4.837	40.13	4.730	39.24	4.630	38.41	4.535	37.62	4.446	36.89
42"	5.341	51.39	5.212	50.14	5.091	48.93	4.978	47.89	4.872	46.88	4.773	45.92	4.679	45.02
48"	5.851	73.53	5.709	71.74	5.577	70.08	5.453	68.53	5.338	67.03	5.229	65.71	5.127	64.42
54"	6.336	100.7	6.182	98.32	6.039	96.05	5.905	93.92	5.780	91.93	5.662	90.06	5.552	88.30
60"	6.798	133.4	6.633	130.2	6.480	127.2	6.337	124.4	6.203	121.8	6.076	119.3	5.958	116.9

第五節 管渠の流量

勾配 距離及流量 管徑	400		420		440		460		480		500		520	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	66"	7.242	172.0	7.067	167.9	6.903	164.0	6.751	160.4	6.608	157.0	6.474	153.8	6.347
72"	7.639	216.8	7.483	211.6	7.311	206.7	7.149	202.1	6.998	197.8	6.856	193.8	6.722	190.0
78"	8.082	268.2	7.886	261.6	7.704	255.6	7.534	250.0	7.374	244.7	7.225	239.7	7.084	235.0
84"	8.480	326.3	8.275	318.4	8.084	311.1	7.908	304.2	7.739	297.8	7.583	291.8	7.434	286.1
90"	8.867	391.7	8.653	382.2	8.453	373.4	8.267	365.2	8.092	357.5	7.928	350.2	7.773	343.4
勾配 距離及流量 管徑	540		560		580		600		620		640		660	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	5"	.9253	.1261	.9082	.1238	.8919	.1216	.8765	.1195	.8618	.1175	.8477	.1156	.8344
6"	1.073	.2107	1.053	.2068	1.034	.2031	1.016	.1996	.9995	.1962	.9832	.1930	.9678	.1900
7"	1.214	.3245	1.191	.3185	1.170	.3128	1.150	.3074	1.131	.3023	1.112	.2974	1.095	.2927
9"	1.481	.6542	1.453	.6422	1.427	.6303	1.403	.6199	1.379	.6096	1.357	.5997	1.336	.5903
12"	1.850	1.453	1.816	1.426	1.783	1.401	1.753	1.376	1.724	1.354	1.696	1.332	1.669	1.311
15"	2.190	2.688	2.150	2.639	2.112	2.592	2.076	2.547	2.041	2.505	2.008	2.465	1.977	2.426
18"	2.509	4.434	2.463	4.353	2.419	4.276	2.378	4.203	2.339	4.133	2.301	4.066	2.265	4.003
21"	2.810	6.759	2.758	6.635	2.710	6.518	2.663	6.406	2.619	6.300	2.577	6.199	2.537	6.103
24"	3.095	9.725	3.039	9.548	2.985	9.380	2.934	9.219	2.886	9.067	2.839	8.921	2.796	8.783
27"	3.368	13.39	3.307	13.15	3.249	12.91	3.193	12.69	3.141	12.48	3.090	12.28	3.042	12.09
30"	3.630	17.82	3.564	17.49	3.502	17.19	3.442	16.89	3.385	16.61	3.331	16.35	3.279	16.10
33"	3.883	23.05	3.812	22.64	3.745	22.24	3.681	21.86	3.621	21.50	3.563	21.16	3.508	20.83
36"	4.126	29.17	4.051	28.64	3.980	28.13	3.912	27.65	3.848	27.20	3.786	26.76	3.728	26.35
39"	4.362	36.19	4.283	35.53	4.208	34.90	4.136	34.31	4.068	33.75	4.003	33.21	3.941	32.70
42"	4.593	44.16	4.508	43.37	4.428	42.61	4.353	41.88	4.282	41.19	4.213	40.54	4.148	39.91
48"	5.030	43.21	4.939	62.06	4.852	60.97	4.770	59.94	4.691	58.95	4.616	58.01	4.545	57.12
54"	5.447	86.62	5.348	85.06	5.254	83.57	5.165	82.15	5.081	80.81	5.000	79.52	4.923	78.30
60"	5.845	114.7	5.740	112.7	5.639	110.70	5.544	108.8	5.453	107.0	5.366	105.3	5.284	103.7
66"	6.228	147.9	6.115	145.2	6.008	142.7	5.903	140.3	5.810	138.0	5.717	135.8	5.629	133.7

勾配 深さ 管径	540		560		580		600		620		640		660	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	72"	6.595	186.4	6.476	183.1	6.333	179.9	6.255	176.8	6.153	173.9	6.055	171.2	5.962
78"	6.950	230.7	6.825	226.4	6.706	222.5	6.592	218.7	6.484	215.1	6.381	211.7	6.284	208.5
84"	7.294	280.7	7.162	275.6	7.037	270.8	6.918	266.2	6.805	261.9	6.697	257.7	6.595	253.8
90"	7.627	336.9	7.490	330.9	7.359	325.1	7.235	319.6	7.116	314.4	7.003	309.4	6.896	304.6
勾配 深さ 管径	680		700		720		740		760		780		800	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	5"	.8216	.1120	.8094	.1103	.7977	.1087	.7864	.1079	.7756	.1057			
6"	.9530	.1871	.9388	.1843	.9252	.1816	.9122	.1791	.8997	.1766	.8877	.1743	.8761	.1720
7"	1.078	.2882	1.032	.2839	1.047	.2798	1.032	.2759	1.018	.2721	1.004	.2685	.9917	.2650
9"	1.315	.5313	1.296	.5272	1.277	.5244	1.259	.5215	1.242	.5189	1.226	.5166	1.210	.5146
12"	1.644	1.291	1.620	1.272	1.596	1.254	1.574	1.236	1.553	1.219	1.532	1.203	1.512	1.188
15"	1.947	2.390	1.918	2.354	1.891	2.321	1.865	2.288	1.839	2.257	1.815	2.227	1.791	2.198
18"	2.231	3.943	2.198	3.895	2.167	3.829	2.137	3.776	2.108	3.752	2.080	3.676	2.053	3.628
21"	2.499	6.011	2.462	5.923	2.427	5.838	2.393	5.757	2.361	5.679	2.330	5.604	2.300	5.532
24"	2.753	8.651	2.713	8.524	2.674	8.403	2.637	8.286	2.602	8.175	2.567	8.067	2.534	7.963
27"	2.997	11.91	2.953	11.74	2.911	11.57	2.870	11.41	2.832	11.26	2.795	11.11	2.759	10.97
30"	3.230	15.85	3.183	15.62	3.138	15.40	3.094	15.19	3.053	14.98	3.012	14.79	2.974	14.60
33"	3.455	20.52	3.404	20.22	3.356	19.98	3.310	19.66	3.266	19.39	3.222	19.14	3.181	18.89
36"	3.672	25.95	3.618	25.58	3.567	25.21	3.518	24.87	3.471	24.53	3.425	24.21	3.381	23.90
39"	3.882	32.20	3.826	31.74	3.771	31.29	3.719	30.85	3.670	30.44	3.621	30.04	3.575	29.66
42"	4.083	39.31	4.027	38.74	3.970	38.19	3.915	37.67	3.862	37.16	3.812	36.67	3.763	36.21
48"	4.477	56.26	4.412	55.45	4.350	54.66	4.290	53.91	4.233	53.19	4.177	52.49	4.124	51.82
54"	4.849	77.13	4.779	76.00	4.711	74.93	4.647	73.90	4.584	72.91	4.525	71.93	4.467	71.05
60"	5.205	102.2	5.129	100.7	5.057	99.29	4.987	97.93	4.921	96.62	4.858	95.36	4.795	94.15
66"	5.545	131.7	5.465	129.8	5.388	128.0	5.314	126.2	5.243	124.5	5.175	122.9	5.109	121.3
72"	5.873	168.0	5.788	163.3	5.707	161.3	5.629	159.1	5.554	157.0	5.481	154.9	5.412	153.0
78"	6.190	205.4	6.100	202.4	6.015	199.6	5.932	196.8	5.853	194.2	5.777	191.7	5.704	189.2

勾配 深さ 管径	680		700		720		740		760		780		800	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	84"	6.493	250.0	6.402	246.4	6.312	242.9	6.226	239.6	6.143	236.4	6.063	233.7	5.987
60"	6.794	300.1	6.695	295.8	6.601	291.6	6.511	287.6	6.425	283.8	6.341	280.1	6.261	276.6
勾配 深さ 管径	820		840		860		880		900		920		940	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	6"	.8649	.1698	.8541	.1677	.8437	.1656	.8337	.1637	.8240	.1617	.8146	.1599	.8055
7"	.9791	.2600	.9669	.2584	.9550	.2552	.9438	.2522	.9328	.2493	.9222	.2464	.9119	.2437
9"	1.194	.5278	1.180	.5212	1.165	.5149	1.151	.5088	1.138	.5029	1.125	.4972	1.113	.4917
12"	1.493	1.172	1.475	1.153	1.457	1.144	1.440	1.131	1.423	1.117	1.407	1.105	1.391	1.093
15"	1.796	2.171	1.747	2.144	1.726	2.118	1.706	2.093	1.686	2.069	1.667	2.046	1.649	2.023
18"	2.027	3.533	2.002	3.538	1.978	3.498	1.955	3.455	1.932	3.415	1.911	3.377	1.890	3.340
21"	2.271	5.463	2.243	5.396	2.216	5.331	2.190	5.269	2.165	5.208	2.141	5.150	2.117	5.093
24"	2.503	7.863	2.472	7.767	2.442	7.673	2.414	7.584	2.386	7.498	2.288	7.414	2.263	7.329
27"	2.724	10.83	2.691	10.70	2.658	10.57	2.628	10.44	2.598	10.33	2.569	10.21	2.541	10.10
30"	2.937	14.41	2.901	14.24	2.866	14.07	2.833	13.90	2.801	13.74	2.769	13.59	2.739	13.44
33"	3.141	18.66	3.103	18.43	3.066	18.21	3.030	18.00	2.996	17.79	2.963	17.59	2.930	17.40
36"	3.339	23.60	3.298	23.31	3.259	23.03	3.221	22.77	3.185	22.51	3.149	22.26	3.115	22.02
39"	3.531	29.29	3.488	28.93	3.446	28.59	3.406	28.26	3.367	27.93	3.330	27.62	3.294	27.32
42"	3.716	35.76	3.671	35.32	3.627	34.90	3.585	34.50	3.545	34.10	3.505	33.73	3.467	33.36
48"	4.073	51.18	4.023	50.56	3.975	49.96	3.930	49.38	3.885	48.82	3.842	48.28	3.800	47.76
54"	4.412	70.17	4.358	69.31	4.306	68.49	4.257	67.70	4.208	66.94	4.162	66.19	4.117	65.48
60"	4.735	92.98	4.678	91.85	4.622	90.76	4.569	89.72	4.518	88.71	4.468	87.73	4.419	86.78
66"	5.046	119.8	4.985	118.4	4.926	117.0	4.869	115.6	4.814	114.3	4.761	113.1	4.710	111.9
72"	5.345	151.1	5.280	149.3	5.218	147.5	5.158	145.8	5.100	144.2	5.043	142.6	4.989	141.0
78"	5.633	186.9	5.565	184.6	5.499	182.5	5.436	180.4	5.375	178.3	5.316	176.4	5.259	174.5
84"	5.913	227.5	5.841	224.8	5.772	222.1	5.706	219.6	5.642	217.1	5.580	214.7	5.520	212.4
90"	6.184	273.2	6.109	269.9	6.037	266.7	5.968	263.6	5.901	260.7	5.836	257.8	5.773	255.0



勾配 管径	930		980		1000		1050		1100		1150		1200	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	6"	.7987	.1534	.7881	.1547									
7"	.9019	.2410	.8923	.2384	.8830	.2360	.8607	.2295	.8400	.2245	.8206	.2193	.8024	.2144
9"	1.101	.4864	1.089	.4812	1.078	.4762	1.051	.4642	1.026	.4531	1.002	.4427	.9779	.4329
12"	1.376	1.081	1.362	1.069	1.348	1.059	1.314	1.032	1.284	1.008	1.253	.9344	1.228	.9628
15"	1.631	2.002	1.614	1.930	1.597	1.930	1.557	1.911	1.520	1.865	1.486	1.823	1.453	1.784
18"	1.869	3.304	1.850	3.239	1.831	3.236	1.785	3.155	1.743	3.080	1.703	3.010	1.666	29.44
21"	2.095	5.039	2.072	4.936	2.053	4.935	2.001	4.812	1.953	4.698	1.909	4.592	1.868	4.492
24"	2.309	7.254	2.284	7.178	2.262	7.104	2.205	6.928	2.153	6.765	2.105	6.613	2.059	6.469
27"	2.513	9.995	2.487	9.890	2.462	9.788	2.401	9.547	2.345	9.321	2.291	9.111	2.242	8.914
30"	2.710	13.30	2.681	13.16	2.655	13.03	2.590	12.71	2.528	12.41	2.470	12.13	2.417	11.87
33"	2.899	17.22	2.869	17.04	2.840	16.87	2.770	16.45	2.705	16.03	2.643	15.70	2.587	15.36
36"	3.082	21.78	3.049	21.55	3.019	21.34	2.945	20.81	2.875	20.32	2.811	19.87	2.750	19.44
39"	3.259	27.03	3.225	26.75	3.192	26.48	3.114	25.83	3.041	25.22	2.972	24.66	2.908	24.13
42"	3.430	33.00	3.395	32.66	3.360	32.33	3.278	31.54	3.201	30.80	3.129	30.10	3.062	29.46
48"	3.760	47.25	3.721	46.76	3.683	46.28	3.593	45.15	3.509	44.10	3.431	43.11	3.357	42.19
54"	4.073	64.78	4.031	64.11	3.990	63.46	3.893	61.91	3.802	60.47	3.717	59.15	3.638	57.85
60"	4.373	85.86	4.327	84.97	4.284	84.11	4.179	82.03	4.082	80.14	3.991	78.36	3.903	76.69
66"	4.660	110.7	4.611	109.5	4.565	108.4	4.453	105.7	4.349	103.4	4.253	101.0	4.163	98.90
72"	4.938	139.5	4.885	138.1	4.836	136.7	4.718	133.4	4.609	130.3	4.506	127.4	4.410	124.7
78"	5.203	172.6	5.149	170.8	5.098	169.2	4.974	165.0	4.858	161.2	4.750	157.6	4.649	154.3
84"	5.462	210.2	5.405	208.0	5.351	205.9	5.211	200.9	5.100	196.3	4.987	191.9	4.811	187.8
90"	5.712	252.3	5.653	249.7	5.593	247.2	5.460	241.2	5.334	235.7	5.216	230.4	5.105	225.5

勾配 管径	1250		1300		1350		1400		1450		1500		1600	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	9"	.9591	.4237	.9395	.4151	.9210	.4068	.9035	.3991	.8868	.3918	.8711	.3848	.8417
12"	1.200	.9425	1.176	.9233	1.153	.9052	1.131	.8881	1.110	.8717	1.090	.8565	1.054	.8277

勾配 管径	1250		1300		1350		1400		1450		1500		1600	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	15"	1.422	1.746	1.394	1.711	1.367	1.677	1.341	1.646	1.317	1.616	1.294	1.587	1.250
18"	1.631	2.883	1.599	2.825	1.567	2.770	1.538	2.718	1.510	2.669	1.484	2.622	1.434	2.535
21"	1.829	4.398	1.792	4.310	1.757	4.226	1.724	4.147	1.692	4.072	1.663	4.001	1.608	3.869
24"	2.016	6.333	1.976	6.206	1.937	6.186	1.901	5.973	1.867	5.865	1.834	5.763	1.774	5.573
27"	2.196	8.730	2.153	8.555	2.110	8.389	2.071	8.232	2.033	8.084	1.998	7.944	1.932	7.683
30"	2.367	11.62	2.320	1.139	2.275	11.17	2.233	10.96	2.193	10.77	2.155	10.58	2.084	10.23
33"	2.534	15.05	2.483	14.75	2.435	14.46	2.390	14.19	2.347	13.94	2.306	13.70	2.231	13.25
36"	2.693	19.04	2.640	18.66	2.589	18.30	2.541	17.93	2.496	17.64	2.453	17.34	2.372	16.77
39"	2.848	23.63	2.792	23.16	2.738	22.72	2.688	22.30	2.640	21.90	2.594	21.52	2.510	20.82
42"	2.998	28.85	2.939	28.27	2.883	27.74	2.830	27.23	2.780	26.74	2.732	26.28	2.643	25.43
48"	3.288	41.32	3.223	40.50	3.161	39.73	3.103	39.00	3.048	38.30	2.996	37.64	2.998	36.42
54"	3.663	56.66	3.492	55.54	3.426	54.49	3.363	53.49	3.303	52.54	3.247	51.64	3.142	49.96
60"	3.825	75.11	3.750	73.63	3.678	72.23	3.611	70.89	3.547	69.65	3.488	68.46	3.374	66.25
66"	4.098	96.87	3.997	94.97	3.921	93.14	3.850	91.46	3.782	89.84	3.717	88.31	3.597	85.46
72"	4.320	122.2	4.235	119.8	4.155	117.5	4.079	115.3	4.007	113.3	3.939	111.4	3.812	107.8
78"	4.554	151.1	4.465	148.2	4.381	145.4	4.301	142.7	4.225	140.2	4.153	137.8	4.019	133.4
84"	4.781	184.0	4.687	180.4	4.599	177.0	4.515	173.8	4.436	170.7	4.360	167.8	4.220	162.4
90"	5.001	220.9	4.903	216.6	4.811	212.5	4.723	208.7	4.640	205.0	4.562	201.5	4.415	195.1

勾配 管径	1700		1800		1900		2000		2100		2200		2300	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	12"	1.021	.8016	.9901	.7776	.9620	.7555	.9360	.7351	.9117	.7160	.8892	.6984	.8682
15"	1.211	1.486	1.179	1.443	1.141	1.401	1.111	1.363	1.083	1.329	1.056	1.293	1.031	1.266
18"	1.389	2.456	1.348	2.383	1.310	2.316	1.275	2.254	1.243	2.196	1.212	2.143	1.184	2.092
21"	1.558	3.748	1.512	3.637	1.470	3.535	1.431	3.442	1.394	3.354	1.360	3.272	1.328	3.196
24"	1.719	5.400	1.668	5.241	1.622	5.094	1.579	4.995	1.539	4.834	1.501	4.715	1.466	4.607
27"	1.872	7.444	1.877	7.226	1.767	7.025	1.720	6.839	1.677	6.667	1.636	6.506	1.599	6.356

勾配 管渠の断面 管径	1700		1800		1900		2000		2100		2200		2300	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	30''	2.019	9.915	1.931	9.624	1.908	9.358	1.856	9.111	1.809	8.881	1.766	8.668	1.725
33''	2.162	12.84	2.099	12.47	2.041	12.12	1.987	11.80	1.937	11.51	1.891	11.23	1.847	10.97
36''	2.299	16.25	2.232	15.78	2.171	15.34	2.114	14.94	2.061	14.57	2.012	14.22	1.965	13.89
39''	2.432	20.18	2.362	19.59	2.297	19.05	2.236	18.55	2.181	18.09	2.129	17.66	2.080	17.25
42''	2.562	24.65	2.487	23.93	2.419	23.27	2.356	22.66	2.297	22.09	2.242	21.57	2.191	2.108
48''	2.810	35.31	2.728	34.29	2.654	33.35	2.594	32.48	2.520	31.67	2.460	30.92	2.404	30.21
54''	3.046	48.44	2.958	47.04	2.877	45.76	2.802	44.57	2.733	43.46	2.668	42.44	2.608	41.47
60''	3.271	64.23	3.177	62.38	3.091	60.68	3.010	59.11	2.936	57.65	2.867	56.29	2.802	55.02
66''	3.488	82.87	3.388	80.48	3.291	78.30	3.210	76.27	3.131	74.40	3.058	72.65	2.989	71.01
72''	3.696	104.5	3.590	101.5	3.493	98.76	3.403	96.22	3.319	93.85	3.241	91.65	3.169	89.59
78''	3.898	129.3	3.786	125.6	3.684	122.2	3.589	119.1	3.501	116.2	3.419	113.5	3.342	110.9
84''	4.093	157.5	3.976	153.0	3.868	148.9	3.769	145.0	3.677	141.5	3.591	138.2	3.510	135.1
90''	4.282	189.1	4.160	183.8	4.048	178.8	3.944	174.2	3.848	170.0	3.758	166.0	3.674	162.3
勾配 管渠の断面 管径	2400		2500		2600		2700		2800		2900		3000	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	12''	.8482	.6662											
15''	1.008	1.237	.9859	1.210	.9653	1.184	.9458	1.161	.9273	1.139	.9097	1.116	.8931	1.096
18''	1.157	2.045	1.132	2.001	1.109	1.959	1.086	1.920	1.068	1.883	1.045	1.847	1.027	1.813
21''	1.299	3.124	1.271	3.056	1.245	2.994	1.220	2.934	1.196	2.878	1.173	2.823	1.153	2.772
24''	1.433	4.504	1.402	4.408	1.374	4.317	1.347	4.231	1.321	4.150	1.296	4.070	1.273	4.000
27''	1.563	6.214	1.527	6.082	1.498	5.956	1.469	5.838	1.440	5.726	1.413	5.621	1.388	5.520
30''	1.687	8.281	1.651	8.105	1.617	7.939	1.585	7.783	1.555	7.634	1.526	7.493	1.499	7.359
33''	1.806	10.73	1.768	10.51	1.732	10.29	1.697	10.09	1.665	9.894	1.635	9.713	1.606	9.539
36''	1.922	13.58	1.881	13.30	1.843	13.03	1.807	12.77	1.773	12.53	1.741	12.30	1.710	12.09
39''	2.034	16.88	1.991	16.53	1.951	16.19	1.913	15.87	1.876	15.57	1.842	15.28	1.809	15.02
42''	2.143	20.62	2.098	20.19	2.055	19.78	2.015	19.39	1.977	19.03	1.941	18.67	1.907	18.35

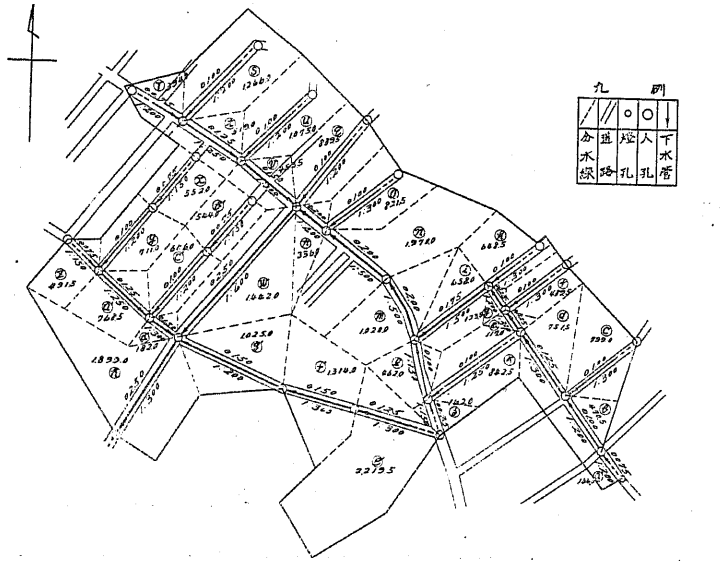
勾配 管渠の断面 管径	2400		2500		2600		2700		2800		2900		3000	
	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q	V	Q
	48''	2.352	29.55	2.303	28.94	2.257	28.36	2.213	27.81	2.171	27.28	2.131	26.78	2.095
54''	2.551	40.57	2.498	39.73	2.448	38.93	2.401	38.18	2.356	37.47	2.313	36.79	2.273	36.15
60''	2.741	53.83	2.684	52.71	2.631	51.65	2.580	50.66	2.532	49.72	2.487	48.82	2.443	48.08
66''	2.924	69.47	2.864	68.03	2.807	66.68	2.752	65.40	2.702	64.19	2.653	63.02	2.606	61.90
72''	3.100	87.66	3.036	85.85	2.976	84.14	2.919	82.52	2.865	81.00	2.813	79.84	2.762	78.12
78''	3.270	108.5	3.203	106.3	3.140	104.1	3.080	102.2	3.023	100.4	2.969	98.52	2.919	96.83
84''	3.435	132.2	3.365	129.5	3.298	126.9	3.235	124.5	3.176	122.2	3.118	120.0	3.064	117.9
90''	3.595	158.8	3.521	155.5	3.452	152.5	3.386	149.6	3.324	146.9	3.264	144.2	3.206	141.8

第六節 管渠の餘裕

下水管渠の大きさは前述の通り先づ其地勢に基いて各自の排水面積を定め、通常分流法の汚水渠には其最大汚水量と地下水滲透量の和、同雨水渠には其最大雨水量、合流法の一般管渠には其最大汚水量と最大雨水量の和、同雨水吐には大體其最大雨水量を、同遮集渠には其最大汚水量と汚水同様の取扱を要する雨水の一部及地下水滲透量と合算して其排水量となし、地勢及他の地上又は地下工作物との關係等、並びに設計上の得失排水上の便益などを相應に酌量して、其勾配を決定し、前節の公式を用ひて計算するのであるが、勾配の採り方は成るべく注意して端數を避くる方が施工の際便利である、尙下水管渠内には如何に充分に洗掃を行ふも時に多少の沈澱物を生じ其周壁に汚物の膠着を招き、或は豫想以上の出水を惹起することも決して尠くはない、特に最大降雨量の採り方に斟酌を施した場合、降雨強度觀測方法に徹底せざる憂の存する場合、又は單に實驗公式に依り流出雨水量を計算した場合等には用心が肝要で、之には管渠の大きさに常に相當な餘裕の存置を忘れてはならぬのである。

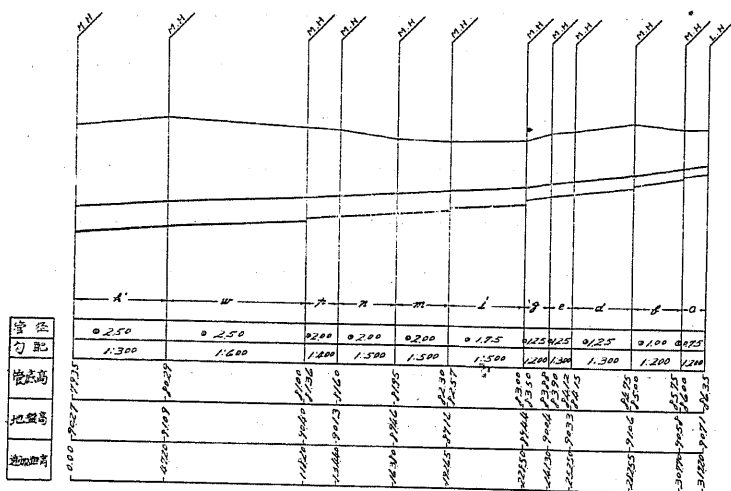
餘裕(Allowance)の程度は管渠の大小、降雨の性質、地勢の緩急、環境の狀態

巢鴨町下水道一部平面圖



九	〇	〇	〇
分	〇	〇	〇
水	〇	〇	〇
線	〇	〇	〇
路	〇	〇	〇
孔	〇	〇	〇
孔	〇	〇	〇
孔	〇	〇	〇

縦 断 圖



第 31 圖

第 34 表

Surface Slope 1:300

記 號	(坪)		(秒立方尺)			計 畫		下 水 管			掘 鑿 土 坪		
	面	積	流	雨	全	(間)	勾	工	(尺)	(秒尺)	(秒立方尺)	(尺)	立
	單	加	污	水	量	距	配	種	管	流	量	平	坪
a	144.0	144.0	0.002	0.241	0.243	11.50	1:200	甲	0.75	2.452	1.083	4.50	3.572
b	470.5	614.5	0.010	1.030	1.040	25.15	1:200	〃	1.00	3.060	2.403	5.40	9.736
c	799.0	799.0	0.012	1.238	1.250	36.95	1:300	〃	1.00	2.493	1.958	4.60	11.839
d	731.5	2,165.0	0.034	2.536	2.600	30.05	1:300	〃	1.25	2.951	3.621	6.20	14.433
e	117.0	2,282.0	0.036	2.670	2.760	11.20	1:300	〃	1.25	2.951	3.621	6.20	5.379
f	489.5	489.5	0.008	0.820	0.828	31.20	1:300	〃	1.00	2.493	1.958	5.10	11.285
g	123.5	2,895.0	0.045	3.213	3.258	12.80	1:200	〃	1.25	3.621	4.445	6.10	6.034
h	648.5	648.5	0.010	1.087	1.097	25.00	1:300	〃	1.00	2.493	1.953	4.90	8.625
i	658.0	4,201.5	0.036	4.244	4.310	35.85	1:500	〃	1.75	2.922	7.028	6.50	22.335
j	162.0	162.0	0.003	0.272	0.275	14.20	1:150	〃	0.75	2.834	1.252	4.40	4.293
k	842.5	842.5	0.013	1.306	1.319	46.50	1:250	〃	1.00	2.734	2.174	4.60	14.899
l	462.0	1,466.5	0.023	1.950	1.973	25.20	1:150	〃	1.00	3.537	2.778	5.20	9.327
m	1,020.0	6,638.0	0.104	6.046	6.150	28.85	1:500	〃	2.00	3.219	10.110	7.20	22.431
n	1,970.0	8,658.0	0.135	7.740	7.875	29.40	1:500	〃	2.00	3.219	10.110	8.00	25.746
o	821.5	821.5	0.013	1.273	1.286	40.50	1:300	〃	1.00	2.493	1.953	5.40	15.678
p	336.0	9,815.5	0.153	8.049	8.202	16.20	1:400	〃	2.00	3.603	11.320	8.80	15.836
q	889.5	889.5	0.014	1.343	1.357	41.75	1:200	〃	1.00	3.060	2.403	5.70	17.243
r	394.0	394.0	0.006	0.660	0.666	24.35	1:200	〃	0.75	2.452	1.083	4.90	8.357
s	1,266.0	1,266.0	0.020	1.747	1.767	43.20	1:200	〃	1.00	3.060	2.403	4.40	13.146
t	519.0	2,179.0	0.034	2.582	2.616	29.00	1:250	〃	1.25	3.236	3.971	6.40	14.454
u	1,075.0	1,075.0	0.017	1.527	1.544	36.50	1:200	〃	1.00	3.060	2.403	5.10	13.202
v	453.5	3,707.5	0.058	3.871	3.929	27.90	1:300	〃	1.50	3.379	5.972	8.00	19.767
w	1,442.0	15,854.5	0.247	11.523	11.773	71.00	1:600	〃	2.50	3.442	16.890	10.10	97.625
x	552.0	552.0	0.009	0.925	0.943	24.20	1:150	〃	0.75	2.834	1.252	3.70	5.999
y	711.0	1,263.0	0.020	1.743	1.763	33.90	1:200	〃	1.00	3.060	2.403	5.00	11.977
z	491.5	491.5	0.008	0.824	0.832	19.05	1:150	〃	0.75	2.834	1.252	5.20	7.016
a'	768.5	2,523.0	0.039	2.889	2.928	27.00	1:250	〃	1.25	3.233	3.971	6.90	14.707
b'	544.0	544.0	0.008	0.912	0.920	26.30	1:150	〃	0.75	2.834	1.252	5.10	9.435
c'	646.0	1,190.0	0.019	1.666	1.635	34.30	1:200	〃	1.00	3.060	2.403	6.60	16.937
d'	182.0	3,895.0	0.061	4.012	4.073	15.05	1:300	〃	1.50	3.379	5.972	8.10	10.824
e'	2,219.5	2,219.5	0.023	2.619	2.642	33.50	1:300	〃	1.25	2.951	3.621	5.20	13.169
f'	1,314.0	3,533.5	0.044	3.728	3.772	38.00	1:300	〃	1.50	3.379	3.972	5.90	18.886
g'	1,025.0	4,558.5	0.059	4.513	4.572	40.90	1:200	〃	1.50	4.143	7.326	8.00	28.978
h'	1,899.0	26,207.0	0.387	16.851	17.238	47.20	1:300	〃	2.50	4.885	23.980	10.90	61.435

等に應じ斟酌すべきは當然であるが、其最大排水量を排除する爲めに小管では全深の二分一、中管には同三分二大管には同四分三位に計算し餘裕を保たせることが普通の様で、特に急勾配から緩勾配の變り目や逆流等の憂ある場所に敷設する管渠には一層の餘裕を與へて萬全を期することが必要である、從來著者の關係した下水道では大抵、直徑二尺に満たざる管渠には二分一、夫れ以上直徑五尺迄の管渠には三分二、更に夫れ以上の大管渠には四分三を標準に餘裕を存せしめて居るが、其結果は良好で往々豫定以上の大雨に遭遇した場合でも格別の支障を耳にせぬのである。

急傾斜の小排水面積では計算の結果、五寸又は六寸位の細管でも排水上充分な場合が尠くはない、然し斯かる細管では管理維持の上に不便があるので公設下水道には、英國では最小徑を九吋に制限し我國でも大抵は七寸五分徑以上を用ひ、之れ以下の細管は私設下水道及樹類の取付用に限り採用して居るのである。第31圖及第34表は巢鴨町下水道設計の一部を實例として掲げたのである。

### 第七節 管渠の深度

下水道の深さは施工及維持の點では無論淺い方が便利であるが、一面各宅地内の排水を完ふする爲め私設下水道取付けに遺憾のない様、街路上の重い活荷重を相當に分布し其衝動を緩和し得る様、又あらゆる地下埋設物に對して互に障害のない様、尙極寒地方などでは冬季に於ても氷結等の憂のない様充分注意して其深度を定めねばならぬ、而かも是等の深さは専ら地勢上の左右を受け、下水道の起點附近や窪地などでは一二尺の覆土も覺束ない場合も生じ、又排水系統等の關係から分水嶺を横ぎり或は逆勾配を採ることも往々に起る爲め、三、四尺の掘鑿を餘儀なくせられ甚だしきは隧道を可とする様な場合も相應に實現するのである。

分流法に於ける雨水渠の深さは單に必要な覆土と其勾配を與へ得れば充分故、他に支障のない限り普通二、三尺の覆土で結構だが、同汚水渠及合流法の管渠は

私設下水道連絡の關係上常に相當の深度が必要で、是等は専ら住民の習慣や都市の地勢並びに環境の状態、即ち宅地の廣狹、建築の様式、便所の構造、地下室穴藏等の有無などから多大な制裁を受くるのである、外國の都市でも地下室や穴藏のない地方の下水道は大抵六、七尺の深度を普通とし、淺い部分には三、四尺位の覆土を與ふるに過ぎないが、地下室の充實して居る市街の下水道は相當に深く、紐育市ブルックリン區では合流法管渠の標準深度を路面下十二尺以上と定めヒラデルフィヤ市では同十四尺以上、ワシントン市では同十尺以上を規定して居るのは此實例で、尙極寒地方では氷害を防止する爲め六尺以上に埋設するのが普通の様である。

我國では道路法第二十八條第一項の規定に依る占用の許可又は承認に關する件（大正九年七月一日（内務省訓令第十一號））第九條に、下水道の本線は道路の中央に築造すること、下水本線の頂部と路面との距離は十尺以上たらしむること、但し工事又は土地の状況に依り已むを得ざる場合に限り三尺迄短縮し得ることを規定して居る、我が都市に於ける宅地の奥行は通常深くも三十間位の者故、特に地下室等の設けがない限り宅地下水取付には平地部でも三、四尺の覆土を以て充分な譯である、既設下水道は大體是等の深度を標準に埋設せられて居る様であるが、然し前述した通り下水道の深さは専ら地勢に左右せられ、尙排出する河海の水位や排出口の高さ、及連絡管渠等の關係から制限を受くるもの故管渠の起點又は排出口附近の低地部などでは覆土一尺に満たざる場合も往々で、爲めに特に土盛を行ひ又は相當防護工事を施すの必要を生じ、又は反對に非常な深度に達して施工上困難を感じることも亦決して珍らしくはないのである。

要するに下水道の深度は施工上經濟上並びに將來の維持上に及ぼす影響相應に大なるを以て、設計に際し將來の發展を度外視する譯にも往かぬが、成る可く必要以上の深さに出でしめざる様用心が肝要で、特に地盤の軟悪な湧水の多い場所や在來の溝渠數などに大管渠を敷設する場合、深さの増加する程土留費及排水費が

激増し周囲の建造物に損害を與へ莫大なる工費を要することとなり、施工も至難に陥る虞れが生ずる爲め斯かる場合は、成るべく其深度を増大せしめざる様細心の注意が肝腎である。

### 第八節 管渠の荷重

下水管渠上に働く外力は通常覆土に依て生ずる静荷重と其上を通行する車馬人畜等の動荷重である、管渠の幅員が廣く其覆土の大なる程静荷重の影響が多大で、覆土の深さが減少するに従ひ動荷重の影響が増加するのである、覆土即ち埋戻土の荷重は普通垂直力と水平力とに分れ管渠に働くので、其単位重量は土質と温度に依り多少の相違あるも大體、普通の土砂眞土等は一立方呎に付 90~100 封度位の重量で、充分浸潤した重い土砂や粘土の類でも同 120~130 封度を出づるは稀な様である、即ち土壓を考ふる場合覆土一立方尺の重量は先づ 100~120 平均 110 封度 (約 1,600~2,000 平均 1,800 kg/m<sup>3</sup>) 位に採れば充分と思ふ、而して普通土砂類の垂直土壓に對する水平土壓の割合は大略三分一程度のものゝ様である。

#### 1. フリュERING氏公式(August Fröhling's formula)

埋戻土の管渠に及ぼす垂直土壓は其深度の加はるに従ひ次第に増加し、五米の深さに到りて最大に達し五米以下は最早増進せざるものとこの假定を設け、尙路面より五米の深度に到る迄の壓力増加の割合は拋物線形の面積に正比例するものと考へ、又動荷重の管渠上に及ぼす壓力は、路面に於て最大だが深きの加はる程次第に減少し、路面から深き五米に達すれば其値は零即ち動荷重の影響は消滅し、尙路面より五米に到る迄の壓力減少の割合は、拋物線の横距に正比例するものと假定し次の公式を作製したものであるが、バーボア氏(F. A. Barbour) の其後の實驗では、此公式は路面から十五呎以内の深き迄は實際よりも稍少量の壓力を與へ、十五呎以上の深きになれば實際よりも大なる壓力を與ふる様な結果を生ずる旨報告されて居る。

#### (a) 静荷重のみの場合

$$P_1 = w \left( \frac{A}{3} - \frac{(A-t)^3}{3A^2} \right)$$

式中  $P_1$  = 管渠上の水平面に及ぼす埋戻土の土壓 (kg/m<sup>2</sup>)

$w$  = 埋戻土の重量 (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = 土壓の増進なき深きの限度 (m) = 5m

$t$  = 路面から管頂迄の深き (m)

故に  $A = 5m$ .  $w = 1,600 \text{ kg/m}^3$  (100 lbs/cub. ft) ならば

$$P_1 = 1,600 \left( \frac{5}{3} - \frac{(5-t)^3}{75} \right)$$

#### (b) 動荷重のみの場合

$$P_2 = W \cdot B \frac{(5-t)^2}{5^2}$$

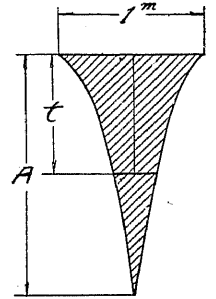
式中  $P_2$  = 管渠上の水平面に及ぼす壓力 (kg/m<sup>2</sup>)

$W$  = 路上に於ける最大動荷重 (kg/m<sup>2</sup>)

$B$  = 掘鑿幅 (m) 又は管渠の外横徑 (m)

$t$  = 路面から管頂迄の深き (m)

$W$  は  $t > B$  なる場合普通 2,500~3,500 kg/m<sup>2</sup> 即ち 360~500 lbs/sq.ft 位の等布荷重として採れば充分らしく、覆土の浅い場合は動荷重の衝動を又震災に對しては其影響を相當額慮するのが當然だが、通常管渠外横徑の二倍以上の土覆を有する場合は此必要がないと稱せられて居る、然し  $t < B$  なる時は相當實際の動荷重を顧慮して衝動其他の影響も考ふべきは至當と思ふ、又下水道の敷設後其上に重量物の通行を許す迄には通例相當の日子を經過するは當然故、埋戻土も相當に沈下緊縮し減少するは明かなるを



第 32 圖

第 35 表 マーストン氏公式中の C の値

掘鑿の深さの割合	濕潤の表土又は乾濕の砂	充分に浸潤したる表土	濕潤の黄色粘土	充分に浸潤したる黄色粘土	掘鑿の深さの割合	濕潤の表土又は乾濕の砂	充分に浸潤したる表土	濕潤の黄色粘土	充分に浸潤したる黄色粘土
0.5	0.16	0.47	0.47	0.48	6.0	2.61	2.81	3.01	3.32
1.0	0.85	0.86	0.88	0.90	7.0	2.73	2.95	3.19	3.55
1.5	1.18	1.21	1.25	1.27	8.0	2.82	3.06	3.33	3.74
2.0	1.47	1.51	1.56	1.62	9.0	2.83	3.14	3.44	3.89
2.5	1.70	1.77	1.83	1.91	10.0	2.92	3.20	3.52	4.01
3.0	1.90	1.90	2.08	2.19	11.0	2.95	3.25	3.58	4.11
3.5	2.08	2.18	2.28	2.43	12.0	2.97	3.28	3.63	4.19
4.0	2.22	2.35	2.47	2.65	13.0	2.99	3.31	3.67	4.25
4.5	2.34	2.46	2.63	2.85	14.0	3.00	3.33	3.70	4.30
5.0	2.45	2.61	2.78	3.02	15.0	30.1	3.34	3.72	4.34

以て、静動兩荷重の合影響を考ふる様な場合、土圧は其全量の三分二を採れば充分だと云はれて居る、即ち  $P$  が静動兩荷重から生ずる總壓力とすれば

$$P = \frac{2}{3} P_1 + P_2 = 2w \left( \frac{A}{3} - \frac{(A-t)^3}{9A^2} \right) + W \cdot B \cdot \frac{(5-t)^2}{5^2} \text{ である。}$$

2. マーストン氏公式(Marston's formul.)

$$W = CwB^2$$

式中  $W$  = 管渠の単位長上に働く土壓の總量

$w$  = 埋戻土單位容積の重量

$B$  = 管渠の外横徑又は掘鑿幅員

$C$  = 原地盤と掘戻土の間に生ずる摩擦係數で第35表は其値である。

第九節 圓管の應力

外壓を受くる下水管の如き比較的肉厚の薄い圓管の彎曲率及軸應力計算の一助として、著者は明治四十二年十月次記の一般法式を工學會誌第三百二十卷に發表した。

1. 垂直の方向に限定された任意擴がりに等布荷重を受くる場合

今  $w$  = 封度で示した上部等布荷重の單位重量

$w'$  = 封度で示した下部等布荷重の單位重量

$C$  = 圓周に沿ふて計れる管底  $A$  から  
の距離

$A$  = 圓管の横斷面積

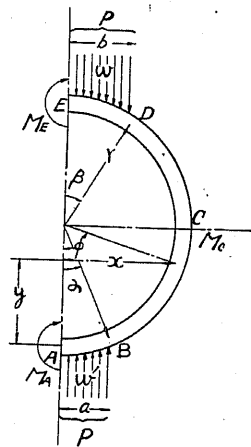
$E$  = 管材の彈率(Modulus of elasticity)

$I$  = 圓管斷面の惰率(Moment of inertia)

$M$  = 彎曲率 (Bending Moment)

$M_A, M_B, M_C, \dots$  = 夫々  $A, B, C, \dots$  等に於ける彎曲率

$N$  = 軸應力(Axial stress)



第33圖

とし  $wb = w'a = P$  とすれば

$$\begin{cases} AB \text{ 間の任意の點に於ける } M = X + \frac{w'x^2}{2} \\ \text{同點に於ける } N = -w'x \sin \phi \\ \therefore \frac{dM}{dX} = 1 \text{ 及 } \frac{dN}{dX} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} BD \text{ 間任意の點に於ける } M = X + P \cdot x - \frac{\alpha}{2} \\ \text{同點に於ける } N = -P \sin \phi \\ \therefore \frac{dM}{dX} = 1 \text{ 及 } \frac{dN}{dX} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} DE \text{ 間任意の點に於ける } M = X - \frac{Pa}{2} + \frac{Pb}{2} + \frac{wx^2}{2} \\ \text{同點に於ける } N = -wx \sin \phi \\ \therefore \frac{dM}{dX} = 1 \text{ 及 } \frac{dN}{dX} = 0 \end{cases}$$

故に  $\int \frac{M}{EI} \frac{dM}{dX} dc + \int \frac{N}{EA} \frac{dN}{dX} dc = 0$

今  $E, I$  及  $A$  を常數と假定する時は

$$\int_A^B \left( X + \frac{w'x^2}{2} \right) dc + \int_B^D \left( X + Px - \frac{Pa}{2} \right) dc + \int_D^E \left( X - \frac{Pa}{2} + \frac{Pb}{2} + \frac{wx^2}{2} \right) dc = 0$$

$$X \int_A^E dc + \frac{w'}{2} \int_A^B xdc + P \int_B^D xdc - \frac{Pa}{2} \int_B^E dc + \frac{Pb}{2} \int_D^E dc + \frac{w}{2} \int_D^E x^2 dc = 0$$

$$\begin{aligned} \text{即ち } X = & -\frac{w'}{2} \frac{\int_A^B x^2 dc}{\int_A^E dc} - P \frac{\int_A^D xdc}{\int_A^E dc} + \frac{Pa}{2} \frac{\int_B^E dc}{\int_A^E dc} \\ & - \frac{Pb}{2} \frac{\int_A^E dc}{\int_A^E dc} - \frac{w}{2} \frac{\int_A^E x^2 dc}{\int_A^E dc} \end{aligned}$$

故に  $\phi$  を圓周上の任意の點  $(xy)$  に於ける切線が水平線と交又する角度とすれば第33圖から

$$x = r \sin \phi, \quad a = r \sin \alpha, \quad b = r \sin \beta, \quad dc = r d\phi$$

之等の値を夫々挿入し積分を行へば、

$$\int_A^B dc = r \int_0^\pi d\phi = \pi r \quad \int_B^E dc = r \int_a^\pi d\phi = (\pi - \alpha)r$$

$$\int_D^E dc = r \int_{\pi-\beta}^\pi d\phi = \beta r \quad \int_B^D xdc = r^2 \int_a^{\pi-\beta} \sin\phi d\phi = r^2(-\cos\phi)_a^{\pi-\beta}$$

$$\int_A^B x^2 dc = r^3 \int_0^\pi \sin^2\phi d\phi = r^3 \left\{ -\frac{\sin 2\phi}{4} + \frac{\phi}{2} \right\}_0^\pi$$

$$\int_D^E x^2 dc = r^3 \int_{\pi-\beta}^\pi \sin^2\phi d\phi = r^3 \left\{ -\frac{\sin 2\phi}{4} + \frac{\phi}{2} \right\}_{\pi-\beta}^\pi$$

依て一般に  $M_A$  の値は

$$M_A(\text{即ち } X) = -\frac{Pr}{2\pi \sin\alpha} \left\{ -\frac{\sin 2\phi}{4} + \frac{\phi}{2} \right\}_0^a - \frac{Pr}{\pi} (-\cos\phi)_a^{\pi-\beta}$$

$$+ \frac{Pr(\pi-\alpha)\sin\alpha}{2\pi} - \frac{Pr\beta \cdot \sin\beta}{2\pi} - \frac{Pr}{2\pi \sin\beta}$$

$$\left\{ -\frac{\sin 2\phi}{4} + \frac{\phi}{2} \right\}_{\pi-\beta}^\pi \dots \dots \dots (1)$$

$$= CPr.$$

即ち(1)式から  $\alpha$  及  $\beta$  に任意の値を與ふることに依り、垂直の方向のみに働く等布荷重に對しては、一般的に  $C$  の値を求むることが出来る。

即ち  $M = CPr$  に於ける  $C$  の値

	管底	管側	管頂
$\alpha = \beta = \frac{\pi}{2}$ なる時	-0.250	+0.250	-0.250
$\alpha = \beta = \frac{\pi}{4}$ "	-0.337	+0.309	-0.337
$\alpha = \beta = \frac{\pi}{8}$ "	-0.460	+0.349	-0.460
$\alpha = \beta = 0$ "	-0.636	+0.364	-0.636

2. 同上の垂直荷重の外尙管の下半面に水平等布荷重を受くる場合

今  $E, I$  及  $A$  を凡て常數と假定し尙軸應力を無視する時は

$$V_1 = \left\{ \frac{1}{2} + \frac{\{2\phi_a r^2 - (l-2a)(r-h+e)\} + 2e(l-2a)}{2\{2r^2\phi_a - l(r-h)\}} \right\} W$$

$$V_2 = W - V_1$$

依て  $\phi_a = \frac{\pi}{6}, \phi_o = \frac{\pi}{2}, a = \frac{r}{2}, l = r \sin \frac{\pi}{3} = 0.866 r,$

$l = 2r, h = r$  の値を挿入すれば、

$$V_1 = 0.805 W$$

$$V_2 = 0.195 W$$

故に前同様の方法に依り

$$M_A = -\frac{Pr}{2\pi \sin\alpha} \left\{ -\frac{\sin 2\phi}{4} + \frac{\phi}{2} \right\}_0^a$$

$$- \frac{Pr}{\pi} (-\cos\phi)_a^{\pi-\beta} + \frac{Pr(\pi-\alpha)\sin\alpha}{2\pi}$$

$$- \frac{Pr\beta \cdot \sin\beta}{2\pi} - \frac{Pr}{2\pi \sin\beta}$$

$$\left\{ -\frac{\sin 2\phi}{4} + \frac{\phi}{2} \right\}_{\pi-\beta}^\pi + 0.180 Qr$$

$$\dots \dots \dots (2)$$

依て  $a = b = r$  即ち  $\alpha = \beta = \frac{\pi}{2}$

なる時は

$$M_A = -0.250 Pr + 0.180 Qr$$

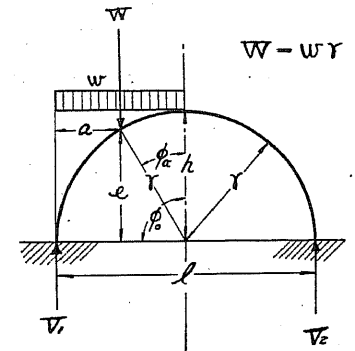
(管底に於ける彎曲率)

$$M_B = -0.250 Pr + 0.070 Qr$$

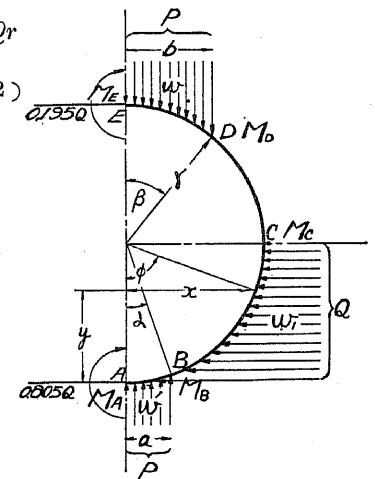
(管頂 " " )

$$M_C = +0.250 Pr - 0.125 Qr$$

(管側 " " )



第 34 圖



第 35 圖

となるのである。

即ち  $M = CPr$  に於ける  $C$  の値

	管底	管側	管頂
$Q = P$ なる時	-0.070	+0.125	-0.180
$Q = \frac{P}{2}$ "	-0.160	+0.188	-0.215
$Q = \frac{P}{3}$ "	-0.190	+0.208	-0.227
$Q = \frac{P}{4}$ "	-0.205	+0.219	-0.232

$$Q = \frac{P}{5} \text{ なる時} \quad -0.214 \quad +0.225 \quad -0.236$$

3. 垂直荷重以下管側全面に水平等布荷重を受くる場合

前同様の方法に依り

$$M_A = -\frac{Pr}{2\pi \sin \alpha} \left\{ -\frac{\sin 2\phi}{4} + \frac{\phi}{2} \right\}_0^\alpha - \frac{Pr}{\pi} (-\cos \phi)_\alpha^{\pi-\beta} + \frac{Pr(\pi-\alpha)\sin \alpha}{2\pi} Q - \frac{Pr\beta \cdot \sin \beta}{2\pi} - \frac{Pr}{2\pi \sin \beta} \left\{ -\frac{\sin 2\phi}{4} + \frac{\phi}{2} \right\}_{\pi-\beta}^\pi + 0.250 Qr \dots\dots\dots (3)$$

依て  $a = b = r$  即ち  $\alpha = \beta = \frac{\pi}{2}$

なる時は

$$M_A = M_E = -0.250 (P - Q)$$

(管底及管頂に於ける彎曲率)

$$M_B = +0.250 (P - Q) \text{ (管側に於ける彎曲率)}$$

となるのである。

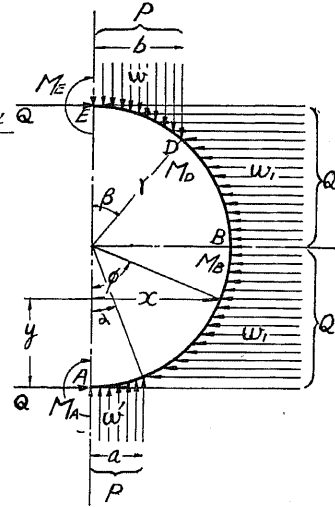
即ち  $M = CP_r$  に於ける  $C$  の値

	管底	管側	管頂
$Q = P$ なる時	0	0	0
$Q = \frac{P}{2}$ "	-0.125	+0.125	-0.125
$Q = \frac{P}{3}$ "	-0.167	+0.167	-0.167
$Q = \frac{P}{4}$ "	-0.188	+0.188	-0.188
$Q = \frac{P}{5}$ "	-0.200	+0.200	-0.200

4. 管の自重に對する彎曲率及軸應力

今  $C =$  圓周に沿ふて計れる  $A$  からの距離

$w =$  封度で示した圓周長の單位重量



第 36 圖

$w' =$  封度で示した同上の反力強度

とし  $w\pi r = w'a = P_0$  とすれば

AB 間任意の點に於ては

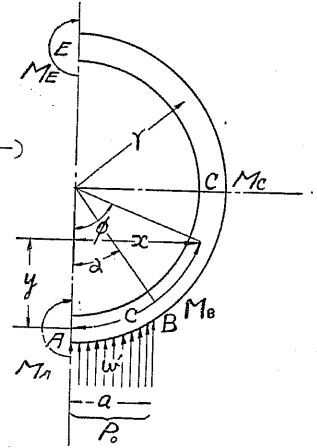
$$\begin{cases} M = X + \frac{w'x^2}{2} - Cw(x - r \sin \frac{\phi}{2}) \\ N = - (w'x - Cw) \sin \phi \end{cases}$$

BC 間任意の點に於ては

$$\begin{cases} M = X + P_0(x - \frac{a}{2}) - Cw(x - r \sin \frac{\phi}{2}) \\ N = - (P_0 - Cw) \sin \phi \end{cases}$$

CE 間任意の點に於ては

$$\begin{cases} M = X + P_0(x - \frac{a}{2}) - (\pi r - c)w \left\{ x - r \sin \frac{\pi - \phi}{2} \right\} + 2(c - \frac{\pi r}{2})w \left\{ r \cos \left( \frac{\phi}{2} - \frac{\pi}{4} \right) - x \right\} \\ N = - (P_0 - Cw) \sin \phi \end{cases}$$



第 37 圖

故に  $E, I$  及  $A$  を常數と假定すれば略前同様の計算法に依り

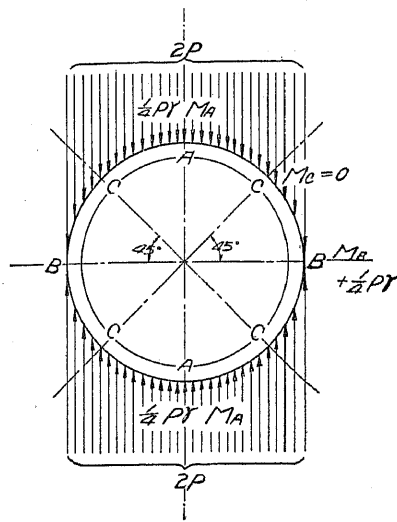
$$M_A(\text{即ち } X) = -\frac{P_0 r}{2\pi \sin \alpha} \left\{ -\frac{\sin 2\phi}{4} + \frac{\phi}{2} \right\}_0^\alpha + \frac{P_0 r(\pi - \alpha)\sin \alpha}{2\pi} - \frac{P_0 r}{\pi} (-\cos \phi)_\alpha^{\pi} + \frac{P_0 r}{\pi} - \frac{8P_0 r}{\pi^2} (\sqrt{2} - 1) \dots\dots (4)$$

を求められるのである。

(1)式及(4)式に明かな如く圓管に生ずる彎曲率は、其受くる荷重の擴がり幅と之を支ふる幅員の大小に依り著しく相違するのである、故に管渠を地下に埋設する場合には成るべく荷重の擴がり与其支持面積を大ならしむることが肝要で、尙通常地下に埋設された管渠には垂直土壓の外に水平土壓が働く、普通の土砂類は前説の通り垂直對水平土壓の割合は三對一のもの故、(3)式を用ひ  $Q$  を  $P/3$  に採れば計算を自由に行ひ得るのであるが、水平土壓は其土質並びに埋戻土の搗固め程度に依り多大の相違を生ずるのみならず、是等に關する實驗乏しく其間の消息明確ならざる爲め、普通の場合では安全を期し水平土壓を無視する様である、



即ち靜動兩荷重共に垂直の方向のみに恰も管渠の外徑に等しい幅員に等布さるゝものと考へ、之に對して生ずる反力も亦埋戻しが完全な場合は凡て管渠の基礎幅員に垂直に等布するものと推定し計算を行ふのである、依て(1)式中の  $\alpha$  及  $\beta$  の値は共に  $\frac{\pi}{2}$  なりと考ふるを得べく、従て最大彎曲率の數値は管底管側管頂共に同一となり  $M = 0.25 Pr$  を以て表はすことが出来る、更に管の自重を考ふる時は管底の彎曲率が最大で(4)式から  $M = 0.25 Pr + 0.209 P_0 r$  を得るのであるが  $P_0$  は  $P$  に比し其



第 38 圖

値が一般に甚小である故之を無視する場合が多い様である、而して是等の場合水平線と四十五度の角度に當る位置、即ち第 38 圖の  $C$  點に於ては  $M = 0$  (自重を考へた場合も殆ど之に近し) である、故に管渠の弱點例へば瑕瑾部等の生じた時は成るべく此位置にそれを配することが安全と思ふ。

下水管渠の敷設には其埋戻土の搗固めに注意することが最も肝要である、特に管渠の下部に於ける埋戻しは作業困難の爲め往々不十分な結果を生じ、全面の支持は叶はず、其一部又は數點で支ふる様な状態に陥り爲めに破損等の支障を來すことも決して少くはない、特に湧水の多い場合や管渠の継手の不完全な時は其漏水の爲め、下部の土砂は次第に洗ひ流されて斯様な状態に陥ることも往々ある、基礎に梯子脚木を用ひた陶管などに最も多い例で慎むべき事柄である、例へば  $\beta = \frac{\pi}{2}$  なるも  $\alpha = \frac{\pi}{4}$  なる時は  $M_{max} = 0.366 Pr$  となり、 $\beta = \frac{\pi}{2}$   $\alpha = \frac{\pi}{8}$  ならば  $M_{max} = 0.509 Pr$ ,  $\beta = \frac{\pi}{2}$ ,  $\alpha = 0$  の時は  $M_{max} = 0.693 Pr$  である、即ち  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  を以て支持す可きものが跡埋の不完全な

爲め  $\alpha = \frac{\pi}{4}$  となれば  $\frac{0.366}{0.250} = 1.662$  なるを以て 66% 餘の強度を失ふこととなり、 $\alpha = \frac{\pi}{8}$  ならば  $\frac{0.509}{0.250} = 2.036$  なるを以て 100% 以上の強度を減じ、更に  $\alpha = 0$  ならば  $\frac{0.693}{0.250} = 2.772$  なるを以て 177% の強度を失墜する結果に陥る譯である。

實際上多くの場合管渠の底部を混凝土其他良質の材料を以て充填することは、一面に於て其厚さを増大し強度を増進せしむる爲めなるも、他面には其支持面積を確實ならしめ荷重を均一に分布し其應力を完全に發揮せしめんとする目的からである、此場合  $P$  對する  $Q$  の値は材料の性質や施工の如何で相當相違はあるが(2)式に依て計算することが出来る、著者の實驗では管の下半部に 1:4:8 混凝土を巻立てた場合 100~200% の強さを増加して居る、即ち單に管を支持したものと考へるだけでも  $Q = 2P$  位に相當する様に思ふ、(第五章第六節参照)

5. 内壓に對する應力

下水道の管渠として内壓を受くるものは、伏越又は唧筒壓送管等僅少ではあるが、其計算は大體次の様に行ふのである。

$$t = \frac{Pr}{S} \text{ 但し } t = \text{吋で示した圓管の厚さ}$$

$$r = \text{吋で示した圓管の内半徑}$$

$$P = \text{管の内面每平方吋に働く封度で示した水壓}$$

$$S = \text{每平方吋に付封度で示した管材の應張力}$$

$S$  對する安全率は構成材料の破壊強度に對し、四分一又は五分一を採るのが普通の様である。

第十節 應力の計算

鐵筋混凝土工の應力計算に於て混凝土の抗張力を無視すること普通なれども、抗張力の無視に依り鐵筋より下部に在る混凝土は全々無視せらるゝが如き結果に陥り、下水管の如く其厚さの大ならざるものに在りては其影響決して小ならざる

のみならず、平混凝土管モルター管又は陶管の如く無鐵筋の者の計算に抗張力を無視するは不合理極まるを以て、著者は自己の實驗成績等に基き、下水管の應力強度を求むる爲め次の如き算式を用いたのである。(工學會誌第三百二十卷及土木學會誌第一卷四號参照)。

1. 鐵筋なき場合

今  $f_c =$  陶管又は混凝土の受くる  
單位應壓力

$f_t =$  陶管又は混凝土の受くる單位應張力

$E_c =$  壓縮に對する陶管又は混凝土の彈性係數

$E_t =$  伸張に對する陶管又は混凝土の彈性係數

$b =$  桁の幅員

とすれば、此断面中に起る應力の總和は零なるべきを以て

$$\frac{2}{3} f_c b x - \frac{2}{3} f_t b (h-x) = 0$$

即ち  $f_c x = f_t (h-x)$

又此断面中に働く總ての力の中立線に對する彎曲率は零である。

故に  $M = \frac{5}{12} f_c b x^2 + \frac{5}{12} f_t b (h-x)^2$

然るに陶管又は混凝土の彈性係數は其彈性限度を超過せざる範圍の應力に對しては、常數と看做して大差なく又は等は應壓應張共に同一値を有すと假定 (Prof Bach, Prof. Hatt 等の說に従ふ) する時は、

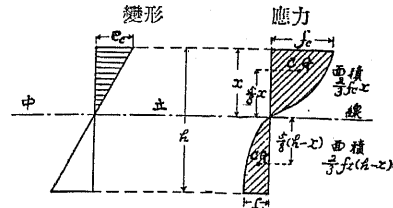
$$\frac{E_c}{E_t} = 1 \text{ なるを以て } \frac{f_t}{f_c} = n \text{ とすれば}$$

$$x = n (h-x) \quad \therefore \quad x = \frac{n}{1+n} h$$

即ち中立線の位置定まるに依て

$$f_c = \frac{M}{\frac{5}{12} b \{ x^2 + n(h-x)^2 \}} \dots\dots\dots (1)$$

著者の實驗では我國産陶管の破壊耐壓強は平均約 4,900 吋封度、同破壊耐伸強



第 39 圖

は平均約 700 吋封度なるを以て、耐壓強と耐伸強との比は約七對一に當る、故に

$$n = \frac{1}{7} \text{ とすれば } x = \frac{1}{8} h \text{ なるを以て、}$$

$$f_c = 19.2 \frac{M}{bh^2} = 4,900 \text{ 封度/平方吋 (破壊強度に對して)}$$

又混凝土の破壊耐壓強を平均約 2,500 吋封度とし、其耐壓強と耐伸強との比を

$$10 \text{ 對一即ち } n = \frac{1}{10} \text{ とすれば } x = \frac{1}{11} h \text{ なるを以て}$$

$$f_c = 26.4 \frac{M}{bh^2} = 2,500 \text{ 封度/平方吋 (破壊強度に對して)}$$

なる結果が得らるゝのである。

2. 鐵筋ある場合

今  $f_c =$  混凝土の受くる單位應壓力

$f_t =$  混凝土の受くる單位應張力

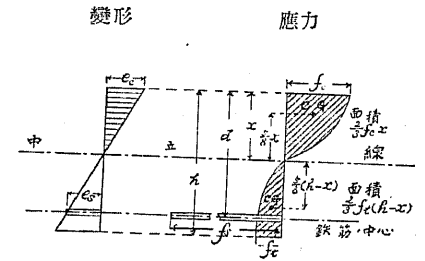
$f_s =$  鐵筋の受くる單位應張力

$E_c =$  混凝土の彈性係數

$E_s =$  鐵筋の彈性係數

$A =$  鐵筋の總斷面積

$b =$  桁の幅員



第 40 圖

とすれば断面中に起る應力の總和は零なるを以て、

$$\frac{2}{3} f_c b x - \frac{2}{3} f_t b (h-x) - f_s A = 0$$

又  $M$  を彎曲率とすれば、

$$M = \frac{5}{12} f_c b x^2 + \frac{5}{12} f_t b (h-x)^2 + f_s A (d-x)$$

然るに  $\frac{e_c}{e_s} = \frac{x}{b-x}$ ,  $E_c = \frac{f_c}{e_c}$ ,  $E_s = \frac{f_s}{e_s}$  なる故

$$f_s = \frac{f_c E_s (d-x)}{E_c x} \text{ に當る、今 } n = \frac{E_s}{E_c}, \beta = \frac{f_t}{f_c} \text{ とし}$$

$$\text{前式に代用すれば、} \frac{2}{3} b x - \frac{2}{3} \beta b (h-x) - \frac{n A (d-x)}{x} = 0$$

故に 
$$x = \frac{2\beta bh - 3nA}{4b(1+\beta)} + \sqrt{\left\{ \frac{2\beta bh - 3nA}{4b(1+\beta)} \right\}^2 + \frac{3nAd}{2b(1+\beta)}} \dots\dots(2)$$

即ち中立線の位置が定まる、故に前式より、

$$\left. \begin{aligned} f_c &= \frac{M}{\frac{5}{12}bx^2 + \frac{5}{12}\beta b(h-x)^2 + \frac{nA(d-x)^2}{x}} \\ f_t &= \beta f_c \\ f_s &= \frac{n(d-x)}{x} f_c \end{aligned} \right\} \dots\dots(3)$$

$n$  の値は通常 12 乃至 15,  $\beta$  は十分一内外を常とするを以て、彎曲率  $M$  を知るに於ては直に混凝土及鐵筋の應力を求めることが出来るのである。

3. 陶管の厚さに關する實驗公式

陶管の厚さを定むる爲め研究された實驗公式は、大體次の通りである。

(a) バーボア氏公式 (Barbour's formula; 1897)

$$t = \sqrt[1.65]{\frac{Pd}{c}} \quad (\text{破壊強度})$$

但し  $t$  = 吋で示した陶管の厚さ

$P$  = 陶管一呎に對する封度で示した外壓

$d$  = 吋で示した陶管の内徑

$c$  = 實驗上の係數 = 33,000

(b) タルボア氏公式 (Talbot's formula)

$$t = 0.976 \sqrt{\frac{Qd}{f}} \quad (\text{集合垂直荷重に對して})$$

$$t = 0.25 \sqrt{\frac{6Wd}{f}} \quad (\text{等布垂直荷重に對して})$$

但し  $f$  = 最大單位維應力 (Unit fiber stress)

$t$  = 吋で示した管の厚さ

$d$  = 吋で示した管の内徑

$W$  = 毎呎に付封度で示した總等布荷重

$Q$  = 封度で示した集合荷重

(c) マーストン氏公式 (Marston and Anderson's formula)

$$t = \sqrt{\frac{0.5Wd}{f}} \quad (\text{管の上下共 90 度丈け等布荷重を受くる場合に應用す、記號は總て前者と同じ})$$

(d) 日本陶管に對する著者の公式 (明治四十四年五月工學會誌第三百四十卷所載)

$$t = \sqrt[1.65]{\frac{Pd}{c}} \quad (\text{破壊強度})$$

但し  $P$  = 陶管長一呎に對する封度で示した外壓

$d$  = 吋で示した陶管の内徑

$t$  = 吋で示した陶管の厚さ

$c$ = 係數	管頂及管底に集合荷重を受くる場合	17,000
	管全面に等布荷重を受け基礎の完全な場合	43,000
	同上 完全に埋戻された場合	30,000

(e) 日本陶管に對する蔵谷良作氏公式 (大正三年七月工學第三號所載)

$$P = 45 \frac{t^{2.5}}{d} \quad \text{及} \quad W = 114.5 \frac{t^{2.5}}{d}$$

式中  $P$  = 陶管長一尺に對する集合荷重 (封度)

$W$  = 同上等布荷重 (封度)

$d$  = 陶管の内徑 (寸)

$t$  = 陶管の厚さ (分)

(f) 著者の第二次公式 (破壊荷重に對して) (大正八年五月發表)

今  $d$  = 陶管の内徑(吋)、 $t$  = 陶管の厚さ(吋)、 $f_c$  = 陶管の破壊應壓強度 (著者の實驗では平均 4,900 吋封度)、 $P$  = 陶管長一呎に對する等布荷重(封度)、 $w$  = 陶管の自重 (著者の實驗では一立方呎に付平均 130 封度) とすれば一般に。

$$f_c = \frac{P(t+d) + 0.083wt(t+d)^2}{10t^2}$$

$w = 130$  封度/立方呎 とすれば、

$$f_c = \frac{P(t+d) + 2.379t(t+d)^2}{10t^2}$$

管の自重を無視する時は、

$$f_c = \frac{P(d+t)}{10t^2} \quad \text{又は} \quad t = 0.05 \frac{P}{f_c} \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{40f_c d}{P}} \right)$$

(g) 中山岩藏氏公式 (大正十四年三月東京工業試驗所報告第二十回第五號所載)

$$\sigma = 120 \frac{1}{t^{0.5}}$$

式中  $\sigma$  = 陶管の皮層強度(噸/吋<sup>2</sup>) (管厚に依り其値を異にす)

$t$  = 陶管の厚さ (吋)

而して中山技師の選べる  $\sigma$  の値は次の數字である。

管 厚 (cm)	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
$\sigma$ の値 (kg/cm <sup>2</sup> )	120	104	94	87	82	77	74	71	68

## (h) 愛知縣技師水谷鏞氏公式

$$P = 67.1 f_t \frac{d^2}{D+d} \quad (\text{上下等布荷重を受けたる陶管に対して})$$

式中  $P$  = 破壊外圧力 (呎封度)

$D$  = 陶管の内徑 (吋)

$d$  = 陶管の厚さ (吋)

$f_t$  = 陶管の破壊耐伸強度 = 500 封度/平方吋

## 4. 拱厚算定に関する實驗公式

下水道として馬蹄形渠、半圓形渠、卵形渠、矩形渠等を使用せんとする場合に於ては、實際の地盤並びに荷重等を精査し其應力に準じて断面の寸法其他を決定すべきは當然であるが、概念を得んが爲め圓形、橢圓形、拋物線形等の拱厚算定上、従來行はれ來つた著名な實驗公式を例示することとする。

式中  $t_c$  = 拱頂 (Crown) に於ける厚さ、 $t_s$  = 起拱線 (Springing line) に於ける厚さ、 $\delta$  = 拱の徑間 (Clear span)、 $R$  = 拱腹の高さ (Rise of intrados)、 $r$  = 拱腹線の半徑を呎で表はしたるものである。

## (a) Trautweine's formula,

$$t_c = \frac{1}{4} \sqrt{\left(r + \frac{1}{2} s\right)} + 0.2 \quad \text{for a 1st class cut stone arch.}$$

## (b) Rankine's formula.

$$t_c = \sqrt{0.12 r} \quad \text{for a single arch.}$$

$$t_c = \sqrt{0.12 R^2/s} \quad \text{for tunnel arches.}$$

## (c) Dejardin's formula.

$$\text{If } R/s = 1/2, \quad t_c = 1 + 0.100 r \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{for circular arches.}$$

$$\text{If } R/s = 1/6, \quad t_c = 1 + 0.050 r$$

$$\text{If } R/s = 1/3, \quad t_c = 1 + 0.070 r \quad \text{for elliptical and Basket handle arches.}$$

## (d) Croizette-Desnoyer's formula.

$$\text{If } R/s > 1/6, \quad t_c = 0.50 + 0.28 \sqrt{2r}$$

$$\text{If } R/s = 1/6, \quad t_c = 0.50 + 0.26 \sqrt{2r}$$

## (e) American formula, for clear spans under 20 ft.

$$t_c = 0.03 (6+s) \quad \text{for Reinforced concrete arch.}$$

$$t_c = 0.4 (6+s) \quad \text{for 1st class ashlar and plain concrete arches.}$$

$$t_c = 0.06 (6+s) \quad \text{for 2nd class ashlar or brick arches.}$$

$$\text{And if } R/s < 1/4, \quad t_s = 1.5 t_c \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{for circular, parabolic, catenarian and 3-centered arches.}$$

$$\text{if } R/s > 1/4, \quad t_s = 2.0 t_c$$

## (f) Fryes formula, for 1st class concrete and cutstone work.

$$t_c = \sqrt{0.01s \left(\frac{s}{R} + 5\right)} + 0.25 \quad \text{and } t_s = t_c [1 + 0.02(s + 2R)]$$

## (g) Watson's formula.

$$t_c = t_s = 0.2 \sqrt{s} \quad \text{for brick sewers under side walks.}$$

$$t_c = t_s = 0.2 \sqrt{s + 0.02F} \quad \text{for brick sewers under carriage ways.}$$

where  $F$  = the depth of earth fill over the crown of the extrados in feet.

## (h) Parmley's formula,

$$t_c = \frac{14s}{s+36} \quad \text{for brick sewer.}$$

## (i) Buel and Hill's formula.

$$t_c = 0.0075(s+10R) \quad \text{for reinforced concrete arches}$$

## (j) D. B. Luten's formula.

$$t_c = \frac{3s^2(R+3F)}{4,000R-t^2} + \frac{L_c s^2}{30,000R} + \frac{L_m(s+5R)}{150R} + \frac{1}{4}$$

where  $F$  = the depth of bill over the crown of the extrados, in feet.

$L_c$  = Live load uniformly distributed in pound per square foot.

$L_m$  = Moving load that will be concentrated on single track or single roadway over entire span in tons of 2,000lb.