

土木研究所資料

第348号

越流堤の排水施設に関する調査報告書

昭和四十三年三月

建設省土木研究所

目

次

1 まえがき	1
2 孔あき埋設管への土砂の流入防止に関する検討	2
(1) 計画されている排水施設	2
(2) フィルター材料	2
(3) フィルター材料の選定基準	3
(4) 田中管生越流堤の設計に関連して行なわれた集水管の模型実験	4
(5) W E Sの実験	12
(6) 土研で行なつた集水管の実験	14
(7) 結 論	18
3 排水管の埋設時の強度に関する検討	20
(1) 試験に用いたパイプ	20
(2) 試験方法	20
(3) 試験結果	21
(4) 考 察	24
(5) 結 論	29

1. まえがき

渡良瀬遊水池に計画されている越流堤の構造は浚渫土砂を主体とする透水性の比較的高い材料によつて作られた盛土の表面をアスファルト舗装によつて全面被覆することに一応決定をみて、工事が進められている。

しかしながら、このような大規模な越流堤の施工例は過去において皆無であり、実際の施工に当つての問題点がいろいろ指摘されてきた。このため、土木研究所でも、そのうちいくつかの問題を担当し、現場の工事々務所と協力して検討を続けてきている。

越流堤の構造をアスファルト被覆の堤体にするに決定する際の問題点の一つに揚圧力の発生があつた。これは土砂でできた堤体を水密性の被覆でおふと、出水時河川水位あるいは貯水池水位の変動によつて、被覆の背面に過剰な圧力（水圧あるいは空気圧）が発生する恐れがあり、舗装を持ち上げたり、一部を突き破つたりしないだろうかということである。

この点に関して、42年春まで、土木研究所および工事々務所が協力し、計算および模型によつて検討を加えた。¹⁾²⁾

さらに42年12月現場に作られている試験舗装を使つて、局部的に揚圧力が作用したときの舗装版の変形の観測が行なわれ、必要な堤体の構造が考え出されてきた。

これらの結果、舗装版の厚さ、堤体内法尻付近に設ける排水施設、天端付近に設ける排気施設の容量などが決つてきた。

舗装版に作用する揚圧力を減少させるための効果は、すでに報告されているので、ここでは触れないことにし、排水施設および排気施設の構造、特に、両施設に孔あき管を埋設することが考えられているので、孔あき埋設管の強度および管の周囲を埋め戻すフィルター材料と孔の関係について検討したことを取りまとめて報告する。

2 孔あき埋設管への土砂の流入防止に関する検討

(1) 計画されている排水施設

河川水位および貯水池水位の変動によつて越流堤体内に非定常浸透流が生じた場合、条件によつては法覆の裏面にかなりの揚圧力が生じる。

この揚圧力に対して越流堤が安定であるような堤体の構造が検討され、一応、構案ができ上つた。この案によると揚圧力を減少させるための一手段として堤体の法面の下部の舗装版の裏側に排水施設を設けることが考えられている。排水施設の構造は図-1に示すように孔あき排水管の周囲をフィルター材料で埋め戻すもので、排水管の端部は適当な位置で埋体外に導びかれるが、その末端には逆流防止弁が取付けられ、

堤体の外側からこの排水管を通つて堤体内へ流入しない工夫がとられている。

埋体の裏側に発生する過剰水圧をこの排水施設によつて低下させるという考えで、直径30cm～50cmの孔あき管の設置が考えられている。

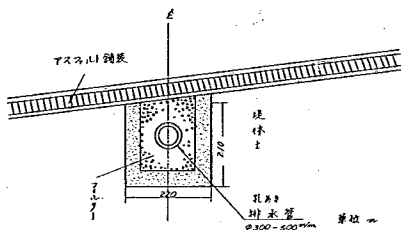


図-1 越流堤の排水施設

この排水施設の設計に関しての問題の一つに埋設管の周囲を埋め戻すフィルター材料ならびに埋設管の孔の寸法の選定がある。フィルター材料の選定方法ならびに排水管の設計に関しては、今までかなりの検討がなされているので、これらに関する文献の取りまとめを行ない、補足的に実施した埋設管内へ流入する土砂量の調査について述べる

(2) フィルター材料

一般にフィルター材料には砂、砂利が用いられているが、この他、布や紙、あるいはグラスファイバー、高分子材料のせんでできた網などが使用されることもある。しかし、砂、砂利などで作られたフィルターの安定性が最も高いようであり、適当な材料によつてできているフィルターはほぼ半永久的にその機能を保っていることが認められている。

フィルターに要求される条件を簡単に示すと次のようである。

- (i) バイピングに対する条件：フィルター内の間隙は、保護している土の微粒子が流入してこないように間隙を十分小さくしなくてはならない。
- (ii) 透水性に対する条件：フィルター材料の間隙は、保護している土から流入してくる

浸透水を完全に流しうるように大きくしなければならない。

このようにフィルターには相反する2つの条件を満足するような粒度を持つた砂または砂礫が必要となるので、場合によつてはフィルターを2重または3重に設けることが必要になることもある。

適当な粒度曲線を持つ材料があつたとしても施工時に分離を起こし部分的に不良な箇所ができたり、また締め固めを十分行なわないと間隙が大きくなりすぎて、フィルター の役目をなさないことがあるので注意を要する。

(5) フィルター材料の選定基準

フィルター材料の粒度の選定基準について、今まで行なわれてきた研究について簡単に述べる。

バートラム (Bertram, 1940) はハーバード大学の実験室で実験を行ない、次のような選定基準の妥当なことを明らかにした。

$$\frac{D_{15}(\text{フィルター})}{D_{85}(\text{土})} < 4 \sim 5 < \frac{D_{15}(\text{フィルター})}{D_{15}(\text{土})}$$

左側の条件は土の微粒子がフィルターの中へ流入しないためのものでこれをパイピング比ということもある。

右側の条件はフィルターの十分な透水性を確保するためのもので、土の中に浸透圧や過剰水圧の発生を防ぐための条件である。

バートラムの研究に引続いてアメリカの陸軍工兵隊 (1941) や開拓局 (1955) などで検討が行なわれ、バートラムが示した条件式の一部を変更したり、他の条件を追加することが試みられた。たとえば開拓局ではフィルターの最大粒径を 7.6 cm に制限したり、工兵隊は

$$\frac{D_{15}(\text{フィルター})}{D_{85}(\text{土})} \leq 5 \quad \frac{D_{50}(\text{フィルター})}{D_{50}(\text{土})} \leq 2.5$$

また碎石をフィルター材料に使用するときはパイピング比を5より小さくとるべきだとしている。しかしこれらはバートラムの示した基準と本質的に異なるものではない。この他、フィルター材料の粒度曲線と、土の粒度曲線ができるだけ平行であることが望ましいとしている。

さらにシェラード (Sherard, 1963) らによると土の中に砂利が含まれている場合には、2.5 cm 以上の粒径の砂利を除いた土についての粒度曲線を描き、これにもとづいてフィルターを設計すべきだと述べている。⁵⁾

集水管には孔あき管、スロットの付いた管が用いられたり、パイプの継手をはなした構造になっているが集水管の孔あるいは継手などのすき間の大きさとフィルター材料が流入してはならないので、フィルター材料の粒度はある程度荒くなければならない。アメリカ陸軍工兵隊の規定（１９５５）によると

$$\frac{D_{85}(\text{フィルター})}{\text{孔の直径}} > 1.0$$

またスロットの付いた管を用いるときは

$$\frac{D_{85}(\text{フィルター})}{\text{スロットの幅}} > 1.2$$

また開拓局の規定（１９６５）によると

$$\frac{D_{85}(\text{フィルター})}{\text{管の最大のすき間}} > 2$$

である。

わが国の規定は最近改訂された道路土工指針によると

$$\frac{D_{15}(\text{フィルター})}{D_{85}(\text{土})} < 5$$

$$\frac{D_{15}(\text{フィルター})}{D_{15}(\text{土})} > 5$$

$$\frac{D_{85}(\text{フィルター})}{D(\text{管の孔の径または管の継目の間隔})} > 2$$

で、すでに示した規定とほぼ同じであり、一応ここに示した規定にもとづいてフィルターの設計をすればよいことになっている。

このような規定は粘着性のシルトや粘土質の土には安全側の条件であることも認められていて、粒度配合のよいフィルターを用いれば上の規定を多少緩和してもよさそうである。

(4) 田中菅生越流堤の設計に関連して行なわれた集水管の模型実験⁶⁾

田中菅生越流堤の排水施設を設計するために利根川上流工事々務所が実施したフィルターの実験について簡単に述べる。

実施した実験は予備実験と本実験からなっている。予備実験では円筒型の容器の底

に所定の孔を等間隔にあけた円板をおき、その上にフィルター材料を2層に詰め、最上部に土を置いて上部から水を流した。そうして上の土が洗い流されないかどうか、パイピングが起らないかなどを観さつし、一定時間、水を流した後、各層の粒度分析を行ない、粒度の変化を調べると同時に、孔あき円板を通して流下した土砂量を測定した。

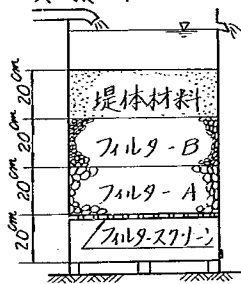
本実験では長方形の容器に実物大の集水施設の模型を作り、上部から注水し、流れの状況、砂の流出などを観測した。さらに孔あき管の孔のあける位置を集水管の上部のみとした場合と下半分のみとした場合との2通りを考え、それぞれの場合の相違を調べた。

実験の条件を簡単に示すために図-2に予備実験、図-3に本実験をまとめた。図中にはフィルターが安定かどうかを判定するためのパイピング比とフィルターの透水性の判定のための15%粒径の比、さらに孔の大きさとフィルター材料の粒度が適当かどうかを表わす孔径とフィルターの85%粒径の比を示した。

図-2 フィルターの実験条件 (予備実験)

() 中の合否は選定規準による判定を示す。

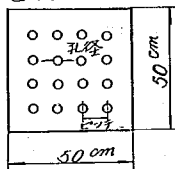
(a) 実験-1



スクリーン詳細図

孔径 6 mm

ピッチ 60 mm

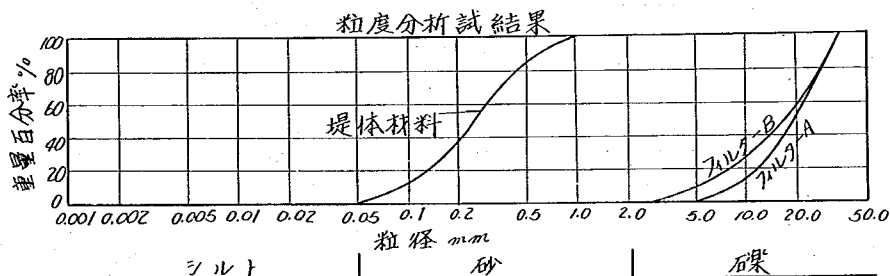


パイピング比

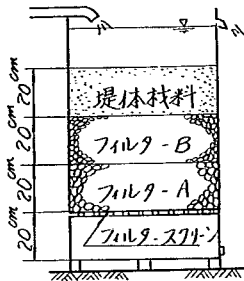
$$\begin{aligned} \frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{85}(\text{堤体材料})} &= 18.6 (\text{否}) \\ \frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{85}(\text{フィルタ-B})} &= 0.3 (\text{合}) \\ \frac{D_{85}(\text{フィルタ-A})}{D(\text{管の孔の径})} &= 5.7 (\text{合}) \end{aligned}$$

透水性

$$\begin{aligned} \frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{15}(\text{堤体材料})} &= 42.1 \\ \frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{15}(\text{フィルタ-B})} &= 0.1 \end{aligned}$$



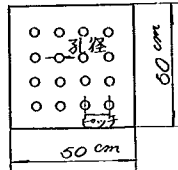
(b) 実験-2



スクリーン詳細図

孔径 6 mm

ピッチ 60 mm

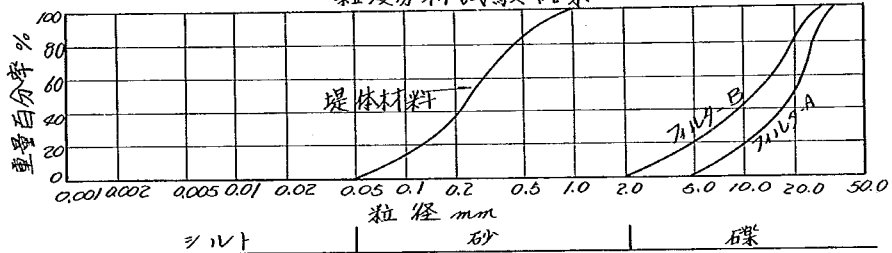


パイピング比

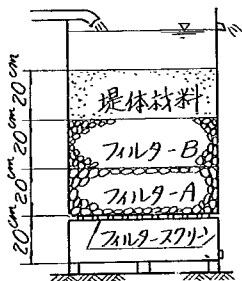
透水性

$$\begin{aligned} \frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{85}(\text{堤体材料})} &= 10.0(\text{倍}) & \frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{15}(\text{堤体材料})} &= 21.6 \\ \frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{85}(\text{フィルタ-B})} &= 0.4(\text{合}) & \frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{15}(\text{フィルタ-B})} &= 0.2 \\ \frac{D_{85}(\text{フィルタ-A})}{D(\text{管の孔の径})} &= 4.9(\text{合}) \end{aligned}$$

粒度分析試験結果



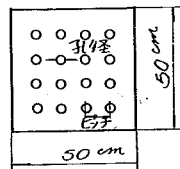
(c) 実験-3



スクリーン詳細図

孔径 6 mm

ピッチ 60 mm

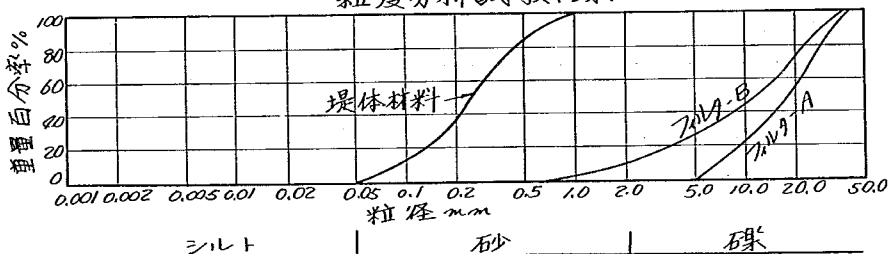


パイピング比

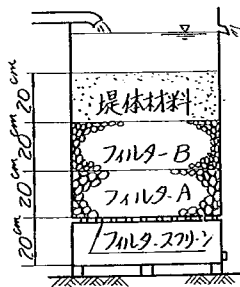
透水性

$$\begin{aligned} \frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{85}(\text{堤体材料})} &= 5.0(\text{合}) & \frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{15}(\text{堤体材料})} &= 11.4 \\ \frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{85}(\text{フィルタ-B})} &= 0.2(\text{合}) & \frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{15}(\text{フィルタ-B})} &= 4.1 \\ \frac{D_{85}(\text{フィルタ-A})}{D(\text{管の孔の径})} &= 5.2(\text{合}) \end{aligned}$$

粒度分析試験結果



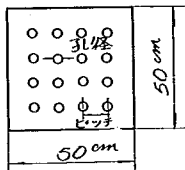
(d) 実験-4



スクリーン詳細図

孔径 9 mm

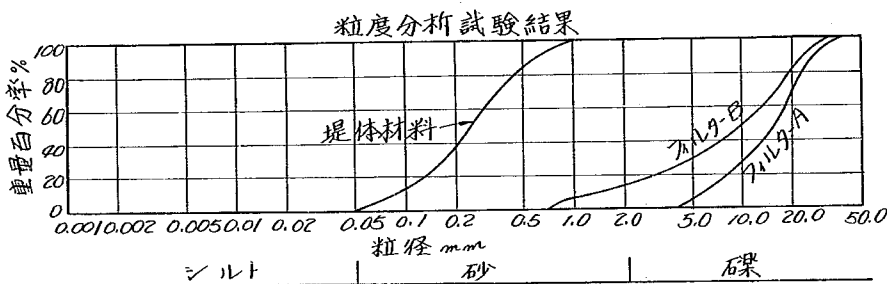
ピッチ 90 mm



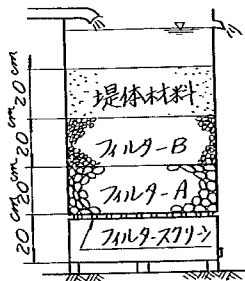
パイピング比

$$\begin{aligned} \frac{D_{15}(\text{フィルター-B})}{D_{85}(\text{堤体材料})} &= 2.9(\text{合}) & \frac{D_{15}(\text{フィルター-B})}{D_{15}(\text{堤体材料})} &= 10.6 \\ \frac{D_{15}(\text{フィルター-A})}{D_{85}(\text{フィルター-B})} &= 2.5(\text{合}) & \frac{D_{15}(\text{フィルター-A})}{D_{15}(\text{フィルター-B})} &= 4.4 \\ \frac{D_{85}(\text{フィルター-A})}{D(\text{管の孔径})} &= 3.3(\text{合}) \end{aligned}$$

透水性



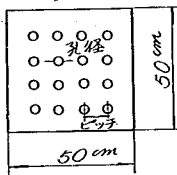
(e) 実験-5



スクリーン詳細図

孔径 9 mm

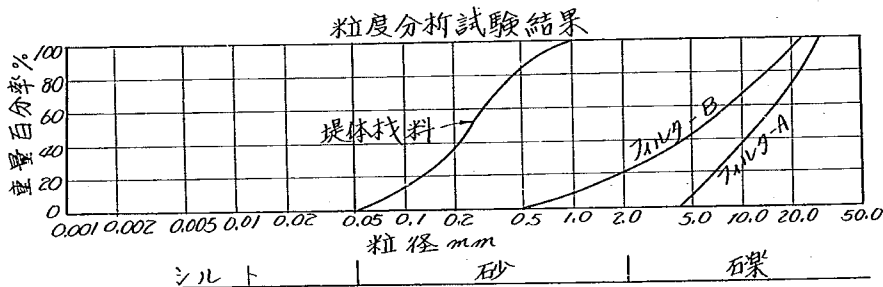
ピッチ 90 mm



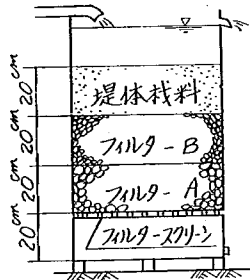
パイピング比

$$\begin{aligned} \frac{D_{15}(\text{フィルター-B})}{D_{85}(\text{堤体材料})} &= 3.9(\text{合}) & \frac{D_{15}(\text{フィルター-B})}{D_{15}(\text{堤体材料})} &= 8.4 \\ \frac{D_{15}(\text{フィルター-A})}{D_{85}(\text{フィルター-B})} &= 0.4(\text{合}) & \frac{D_{15}(\text{フィルター-A})}{D_{15}(\text{フィルター-B})} &= 3.9 \\ \frac{D_{85}(\text{フィルター-A})}{D(\text{管の孔径})} &= 2.4(\text{合}) \end{aligned}$$

透水性



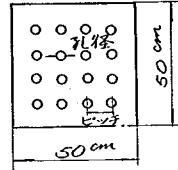
(f) 実験-6



スクリーン詳細図

孔径 9 mm

ピッチ 90 mm

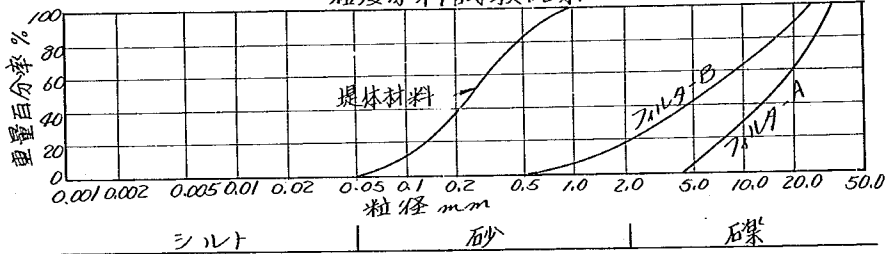


バッキング比

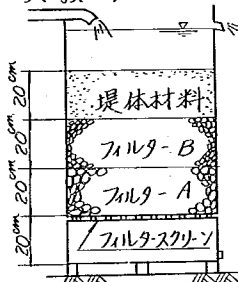
透水性

$$\begin{aligned} \frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{85}(\text{堤体材料})} &= 4.1(\text{合}) & \frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{15}(\text{堤体材料})} &= 9.1 \\ \frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{85}(\text{フィルタ-B})} &= 0.4(\text{合}) & \frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{15}(\text{フィルタ-B})} &= 4.0 \\ \frac{D_{85}(\text{フィルタ-A})}{D(\text{管の孔の径})} &= 3.6(\text{合}) \end{aligned}$$

粒度分析試験結果



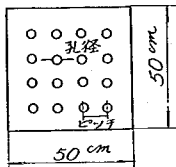
(g) 実験-7



スクリーン詳細図

孔径 9 mm

ピッチ 90 mm

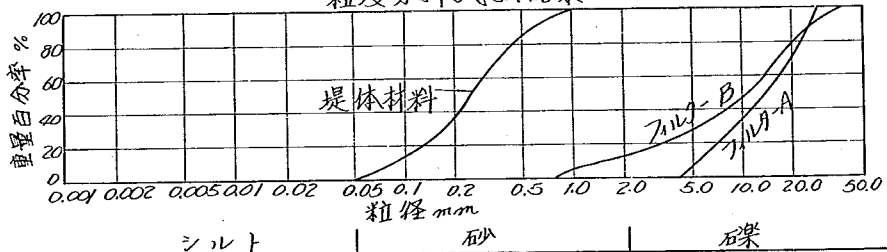


バッキング比

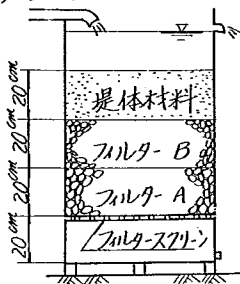
透水性

$$\begin{aligned} \frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{85}(\text{堤体材料})} &= 5.4(\text{合}) & \frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{15}(\text{堤体材料})} &= 11.9 \\ \frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{85}(\text{フィルタ-B})} &= 0.3(\text{合}) & \frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{15}(\text{フィルタ-B})} &= 3.1 \\ \frac{D_{85}(\text{フィルタ-A})}{D(\text{管の孔の径})} &= 2.7(\text{合}) \end{aligned}$$

粒度分析試験結果



(b) 実験-8



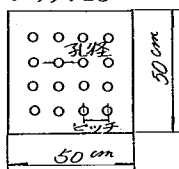
スクリーン詳細図

パイピング比

透水性

孔径 12 mm

ピッチ 120 mm

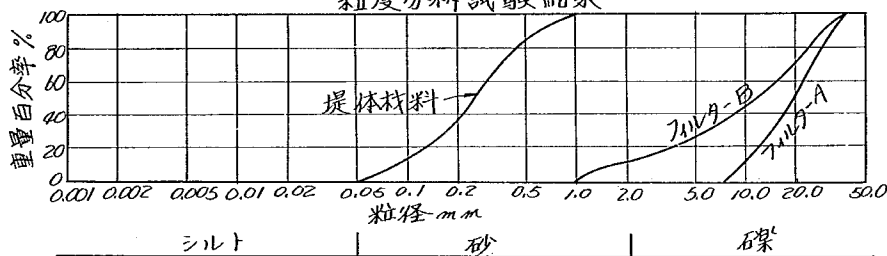


$$\frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{85}(\text{堤体材料})} = 5.9 (\text{否}) \quad \frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{15}(\text{堤体材料})} = 12.7$$

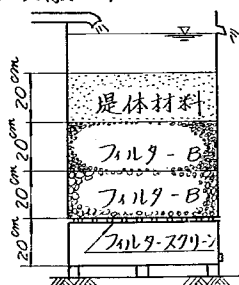
$$\frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{85}(\text{フィルタ-B})} = 0.5 (\text{合}) \quad \frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{15}(\text{フィルタ-B})} = 0.5$$

$$\frac{D_{85}(\text{フィルタ-A})}{D(\text{管の孔の径})} = 2.9 (\text{合})$$

粒度分析試験結果



(c) 実験-9



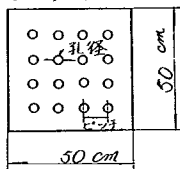
スクリーン詳細図

パイピング比

透水性

孔径 12 mm

ピッチ 120 mm

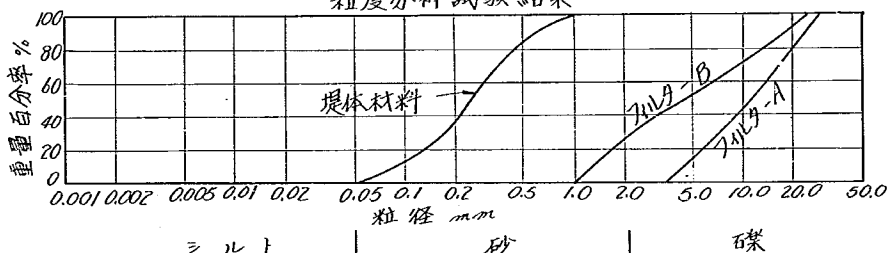


$$\frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{85}(\text{堤体材料})} = 3.1 (\text{合}) \quad \frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{15}(\text{堤体材料})} = 6.8$$

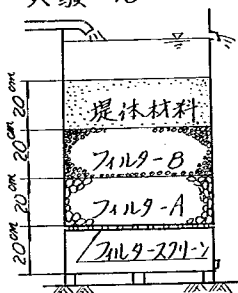
$$\frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{85}(\text{フィルタ-B})} = 0.4 (\text{合}) \quad \frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{15}(\text{フィルタ-B})} = 4.9$$

$$\frac{D_{85}(\text{フィルタ-A})}{D(\text{管の孔の径})} = 2.1 (\text{合})$$

粒度分析試験結果



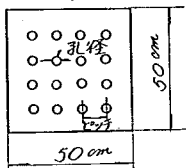
⓵ 実験 - 10



スクリーン詳細図

孔径 18 mm

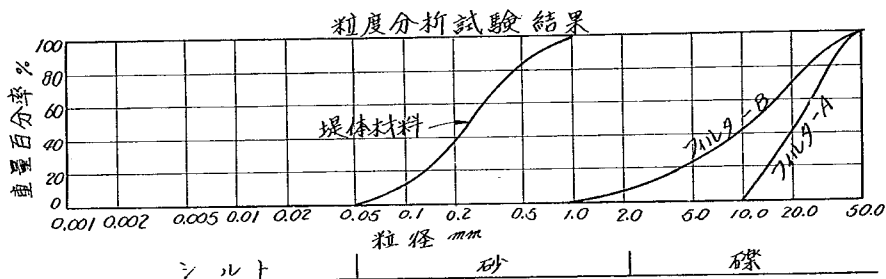
ピッチ 150 mm



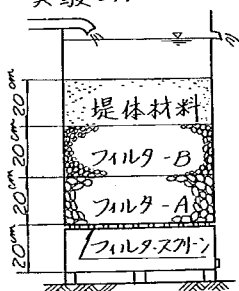
パイピング比

透水性

$$\begin{aligned} \frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{85}(\text{堤体材料})} &= 6.5 (\text{否}) & \frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{15}(\text{堤体材料})} &= 14.7 \\ \frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{85}(\text{フィルタ-B})} &= 0.5 (\text{合}) & \frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{15}(\text{フィルタ-B})} &= 5.0 \\ \frac{D_{85}(\text{フィルタ-A})}{D(\text{管の孔の径})} &= 1.3 (\text{否}) \end{aligned}$$



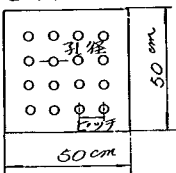
(K) 実験 - 11



スクリーン詳細図

孔径 18 mm

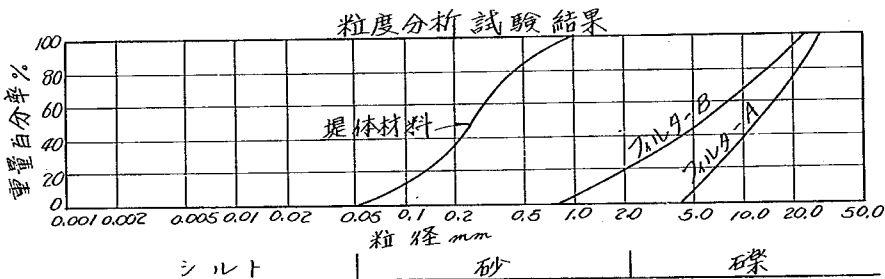
ピッチ 150 mm

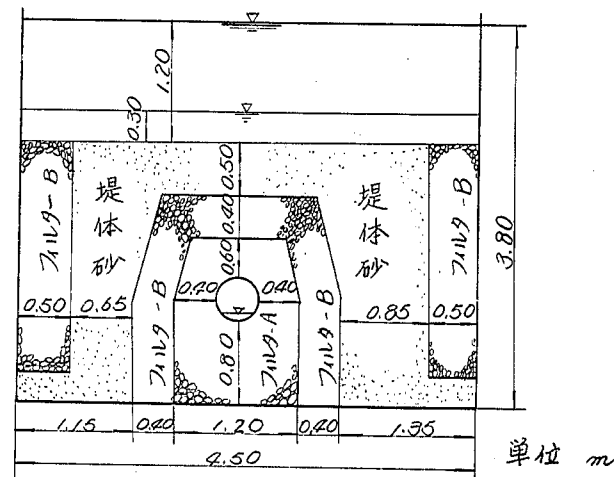
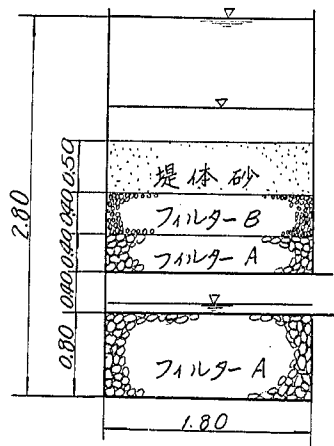


パイピング比

透水性

$$\begin{aligned} \frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{85}(\text{堤体材料})} &= 3.3 (\text{合}) & \frac{D_{15}(\text{フィルタ-B})}{D_{15}(\text{堤体材料})} &= 7.4 \\ \frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{85}(\text{フィルタ-B})} &= 0.9 (\text{合}) & \frac{D_{15}(\text{フィルタ-A})}{D_{15}(\text{フィルタ-B})} &= 4.5 \\ \frac{D_{85}(\text{フィルタ-A})}{D(\text{管の孔の径})} &= 1.3 (\text{否}) \end{aligned}$$





孔径 9 mm
ピッチ 90 mm

バイピング比 透水性

$$\frac{D_{15}(\text{フィルター-B})}{D_{85}(\text{堤体材料})} = 4.4(\text{合}) \quad \frac{D_{15}(\text{フィルター-B})}{D_{15}(\text{堤体材料})} = 10.1$$

$$\frac{D_{15}(\text{フィルター-A})}{D_{85}(\text{フィルター-B})} = 0.3(\text{合}) \quad \frac{D_{15}(\text{フィルター-A})}{D_{15}(\text{フィルター-B})} = 4.3$$

$$\frac{D_{85}(\text{フィルター-A})}{D(\text{管の孔の径})} = 3.2(\text{合})$$

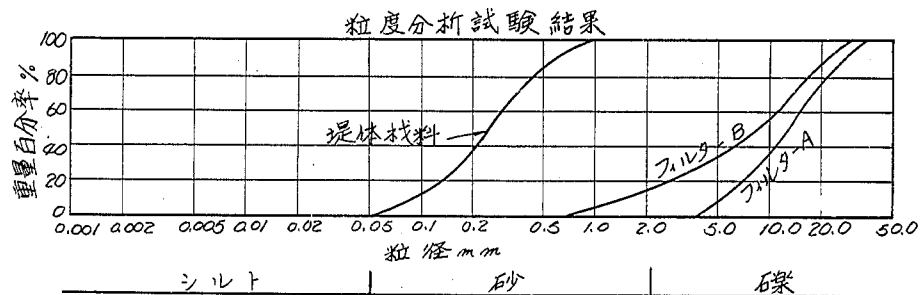


図-3 フィルターの実験条件 (本実験)

まず予備実験について述べると浸透流を起すことによつて、容器に詰めた土の表面の沈下やバイピングなどの異常が生じたり、容器の底に砂が流出したのは実験-1、2、8、10および11であつた。その他については全く異常が見られなかつた。図-2からもわかるようにこれらのいずれもがバイピング比が大きすぎ5以上の値を示しているか、孔あきパイプの孔の大きさとフィルター材料の粒度が適当でないことがわかる。

これらの試験結果はいずれも先に示したフィルター材料の粒度の規定の妥当なことを示している。

次に本実験について述べる。本実験は図-3に示すようにフィルター材料の粒度の基準にはいずれも合格である。実験は3回行なつているが第1回の実験では孔を集水管の上半分にのみ設けて通水を行なつた。実験中なんらの異常は生じなかつたが、管内へ流入する水は集水管の最上部付近にある孔からは流入せず下部の2列のみが有効であつたと述べている。これは地下水の自由水面の位置が上昇してはじめて管内へ水が流入することを示している。

第2回、第3回の実験では集水管の下半分に孔のあいている場合を調べたが、前回同様異常は全く認められなかつた。特に第3回の実験では長時間の通水を行なつたが浸透流量の低下などの現象も全く認められなかつた。

本実験では孔あき管の孔の位置をどこにするのが良いのかを調べる目的もあつたが、適当な粒度曲線を持つフィルター材料を用いれば、どこに孔が付いていてもさしつかえないことがわかつた。しかし、適正な粒度を持たないフィルター材料では当然、孔の位置の影響が現われるものと考えられ、こういう意味からはこの実験は孔の位置を決定する資料を提供しなかつたと云える。

(5) W E S の実験³⁾

すでに述べたようにアメリカの工兵隊でフィルターの実験が行なわれている。その結果がW E Sの実験として発表されている。³⁾ 実験の内容は田中管生越流堤の実験とほぼ同様であるが、この実験結果が(3)フィルター材料の選定基準で示されたフィルター材料の必要な粒度分布の基準決定の基礎資料となつているわけである。

この実験でも実物の集水管の周囲をフィルター材料で埋め戻して透水実験が行なわれている。用いられたフィルターは図-4に示す粒度曲線を持ち、この中に孔あき集水管を埋設して、通水したときに土砂が管内に流入する状態を調べた。孔あき集水管は直径15cmでタールのコーティングをしたコルゲートメタルパイプおよびコンクリートパイプであつた。孔の直径は共に1cmでコルゲートパイプでは円周の1/3にまたコンクリートパイプでは円周の半分にあけられている。集水管の延長30cm

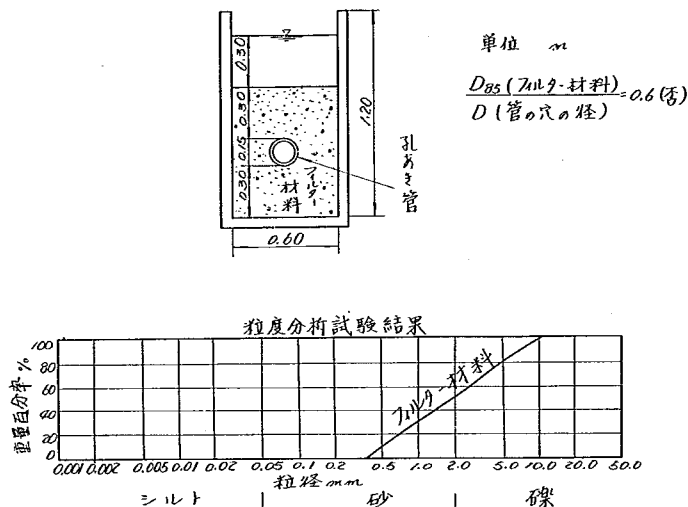


図-4 W E S の 実 験

当りにあけられた孔の数はコルゲートパイプで40、コンクリートパイプで24であった。

実験では上記2種類のパイプで孔のあいた位置を上部と下部に置いた場合の流入土砂量を比較しているが、この結果を表-1に示す。

表-1 孔あき管の実験結果(WESの実験)

パイプの種類	孔の位置	孔の径 (cm)	孔の数 (延長30cm当りの数)	流入土砂量 (孔あき管1m当りの土砂量 g)
孔あきコルゲートパイプ (タールによつてコー テング・カラーによる継 手円周の $\frac{1}{3}$ が孔あき)	管の下部	1	40	45
	管の上部	1	40	30?
孔あきコンクリートパイプ (差し込み継手、継目 はシールしない。 円周の $\frac{1}{2}$ が孔あき)	管の下部	1	24	1964
	管の上部	1	24	3475

通水時間は供給する水量による制限から20分以下におさえられたが、フィルター材料として不適当な材料を用いると多量の土砂の流入することがわかる。特に孔を管の上部に付けると多量の土砂が流入することを示している。またタールのコーティングとコルゲートパイプの波は砂の流入を減少するのに役立つようである。

この実験報告書に孔あき管の孔の位置は下側に限るべきであると述べてあるが、これはわが国の道路排水などの施工にとられている孔を上方に付ける方法とは逆になっている。

先に述べた田中越流堤の実験でも同種の実験を行なっているが、集水管の周囲を埋め戻したフィルターの粒度が、いわゆるフィルターとしての必要条件も満足していたので、孔の位置を上下いずれにしても、土砂の流入は全く起らなかった。しかし、フィルターの粒度と孔の径の選び方が適当でないと、土砂の流入が生じ、孔のあける位置の影響も当然はいつてくるものと考えられる。

(6) 土研で行なつた集水管の実験

WESの実験の報告書には孔あき集水管の中へ土砂の流入を防ぐため孔の位置を下側に付けるのがよいという提案を行なっているが、今までわが国で行なわれている工事では上に付けている例が多いわけでこのことはすでに述べたとおりである。

越流堤の設計では、堤体内の排水施設は法覆裏面の揚圧力を低下させる上に重要であり、集水管内への土砂の流入などによつて排水機能が低下することのないよう、たとえば集水管の孔のあけ方などについても検討が必要になつた。

実験はWESあるいは田中管生越流堤の実験と同様に、水槽の中に孔あき管を設置し、その周囲をフィルター材料で埋め戻して通水したときに管内へ流入する土砂量の測定を行なつた。集水管には集水用の孔を多数あけるが、孔のあける位置を円周の $\frac{1}{3}$ に限り、この位置を上下方向および側方に向けた場合の土砂の流入状態を調べた。

(i) 実験に用いた集水管

実験に用いた集水管は外径24cm、管厚3mmの鋼管で、越流堤に埋設される計画の集水管のうち細いものに当たる。集水管の孔のある部分の位置は円周の $\frac{1}{3}$ で、孔の直径は1cm、孔の間隔は管の円周方向に4cm、管の延長方向に3cmであつた。

図-5に示すように孔は実験水槽の幅に合わせて延長75cmの長さについてのみあけた。一方にフランジが付けられているのは流量を観測するためのパイプをつなぐためと、内部に流れ込んだ土砂を調べるために切り離しが可能なようにしたためである。

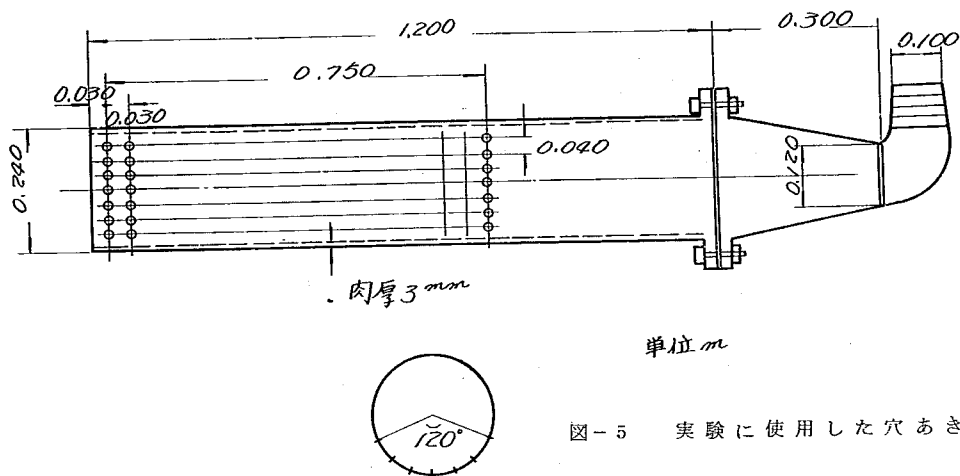


図-5 実験に使用した穴あき管

(ii) フィルター材料

集水管の孔の直径を 1 cm にしたので周囲を埋め戻すフィルター材料は

$$\frac{D_{85} \text{ (フィルター)}}{D \text{ (管の孔の径または管の継目の間隔)}} > 2$$

の条件を満足しなければならない。

このためにはフィルター材料の 85 百分径が 2 cm 以上になる。周囲のフィルター材料の粒度が適当であると集水管内へ流出する土砂のほとんどないことが田中越流埋の実験でも示されている。しかし、こゝで行なう実験は土砂の管内への流入を防ぐために適当な孔の向きを選定するのを目的としているため、上記の条件に合わないわば不適なフィルター材料を用いることにした。

実験に用いたフィルター材料の粒度曲線は図-6 に示すとおりであり、必要なフィルター材料よりはかなり粒度の細いものが用いられた。

(iii) 実験水槽

実験に用いた水槽は図-7 に示すような長方形のコンクリート槽で一方の壁に集水管を差し込む穴がけられている。水槽は中央に壁が設けられていて、同時に 2 つの実験ができるようになっていて、図からわかるようにフィルターを詰める部分は孔あき鉄板で区切られていて浸透水はその鉄板を通してフィルター内へ供給されるようになっていて。

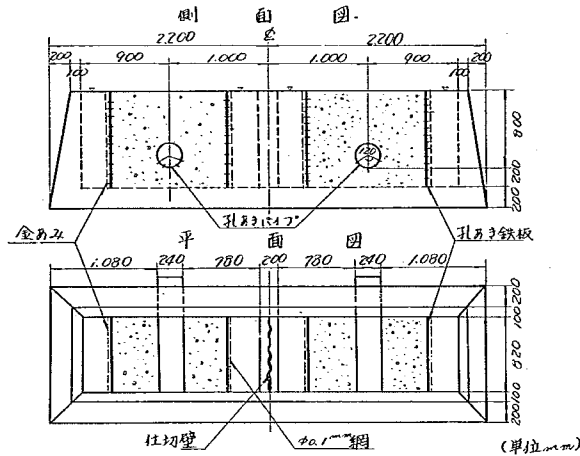


図-6 土研で実施したフィルターの実験

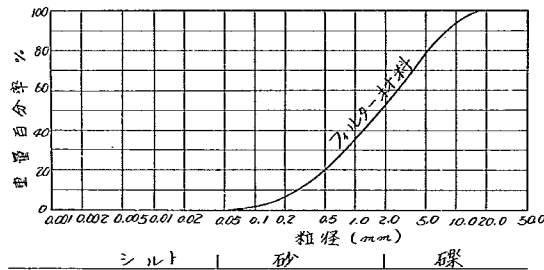
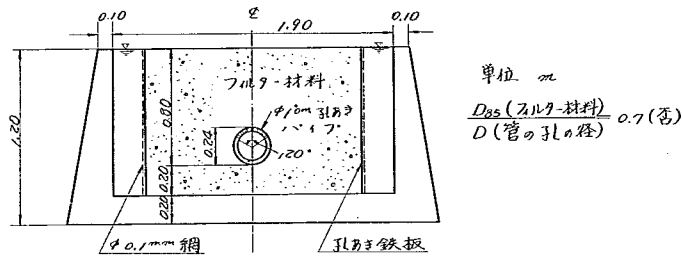


図-7 実験を行ったコンクリート水そう

(v) 実 験

実験の方法はまず孔あき集水管を水槽に取付ける。このとき孔のあいた部分の位置を所定の方角に向ける。その後、管の周囲をフィルター材料で埋戻す。埋戻しは、均一なフィルターが仕上るように30 cmごとの層にわけ、タンパーによつて締め固める。水槽から外に出ている集水管の開端部にホースを接続し、末端を高くして

おき水槽内に水を満たすとき水が流れ出ないようにしておく。準備が終ると水槽に水を注ぎ、水位を上げていくがフィルター内に気泡が残らないよう、約2時間の時間をかけて水位を除々に上昇させる。

しばらく放置した後、ホースの末端を下げ、適当な高さに保つと、水が流れ出し、集水管への浸透が起る。

ホース末端の高さを調節し、そこからあふれ出る水面と水槽内の水位との差を所定の大きさにし、流量を測定する。浸透を1時間継続した後、水槽の水を排除し、集水管の中に流れ込んだ土砂量を測定する。

集水管の孔の方向を上向き、横向きおよび下向きにして、それぞれ水位差を10 cmと20 cmにした場合の浸透状態を検討したので合計6通りの実験を行なつた。測定値にかなりのばらつきがありそうなので同じ条件の実験をおのおの2回繰返し実施した。なおフィルターは実験ごとに完全に詰め変えた。

実験の結果求められた流量および流入土砂量は表-2のとおりである。なおこれを排水管1m当りに換算してみると表-3のようになる。

表-2 実験結果

孔の位置	水位差 (cm)	第 1 回 実 験		第 2 回 実 験	
		流量 (ℓ/min)	流入土砂量 (g/hr)	流量 (ℓ/min)	流入土砂量 (g/hr)
上 側	10	1 1.2 2	2 67.00	9.2 0	282.00
	20	2 7.9 6	2 45.00	1 7.3 0	324.00
側 方	10	1 1.7 4	33.00	8.6 6	157.00
	20	2 8.4 3	1 19.00	1 5.6 3	375.00
下 側	10	1 1.4 8	29.00	2.9 0	30.00
	20	1 2.9 3	31.00	5.2 2	33.00

表-3 集水管延長1m当りの値

孔の位置	水位差 (cm)	第 1 回 実 験		第 2 回 実 験	
		流量 (ℓ/min)	流入土砂量 (g/hr)	流量 (ℓ/min)	流入土砂量 (g/hr)
上 側	10	1 4.3 9	3 42.3 2	1 1.8 0	3 61.5 5
	20	3 5.8 5	3 14.1 1	2 2.1 8	4 15.4 0
側 方	10	1 5.0 5	42.3 1	1 1.1 0	201.2 9
	20	3 6.4 5	152.5 7	2 0.0 4	480.7 9
下 側	10	1 4.7 2	37.1 8	3.7 2	38.4 6
	20	1 6.5 8	39.7 5	6.6 9	42.3 1

第1回目の実験に比較し、第2回目の実験で測定した流量が小さくなっているのは締め固めを十分にしたためで、フィルターの乾燥密度 γ_d は第1回目で 1.2 t/m^3 、第2回目で 1.3 t/m^3 程度であった。

第1回目の実験で孔が下向きの場合、水位差が 2.0 cm になつても流量が増加していないのは孔が多少詰つたためと考えられる。

流入土砂量は表から見ても明らかなように上向きでは多く、下向きでは少ない。横向きの場合、値が乱れていて、フィルターの詰り具合によつて、大きく変化するように考えられる。

なお集水管内に流入した土砂の粒度分布を示すと図-8のとおりである。

(7) 結 論

- (i) 田中衛生越流堤の実験結果を含め、文献調査の結果、フィルター材料の選定基準は道路土工指針に示されている条件

$$\frac{D_{15}(\text{フィルター})}{D_{85}(\text{土})} < 5$$

$$\frac{D_{15}(\text{フィルター})}{D_{15}(\text{土})} > 5$$

$$\frac{D_{85}(\text{フィルター})}{D(\text{管の孔の径または管の継目の間隔})} > 2$$

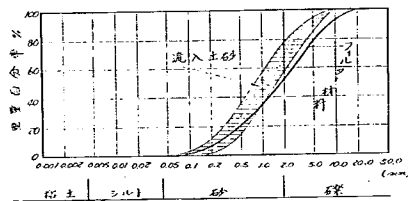


図-8 集水管に流入した土砂の粒度曲線

に従えば十分である。

- (ii) 集水管のまわりを埋め戻すフィルター材料が適当であれば、孔は全円周にわたってあけてよいと考えられる。しかし良好なフィルター材料のみで施工されるとは限らないので、土砂の流入防止のため、孔をあける位置を管の下部半分に限るのがよいと考えられる。
- (iii) 安定したフィルターを作るためには粒度分布のよい材料を用いることが大切である。

参 考 文 献

- 1) 山村和也、坂本静夫：越流堤ののり覆裏面に作用する揚圧力について、土木技術資

料 Vol. 9 No. 4 昭和 42 年 4 月。

- 2) 前田、今岡、紀陸：被覆堤体内の浸透、21 回建設省技術研究会講演概要、河川部門、昭和 42 年 11 月。
- 3) U.S. Dept. of Army, Corps of Engineer: Investigation of Filter Requirements for Underdrains, Technical Memorandum M183-1, Waterways Experiment Station, Nov. 1941,
- 4) Cedergren, Harry R.: Seepage, Drainage, and Flow Nets, John Wiley and Sons, New York. 1967
- 5) Sherard, James L.: Earth and Earth-Rock Dams, John Wiley and Sons, New York, 1963
- 6) 土質調査所：田中管生溢流堤集水管模型実験土質調査報告書、昭和 35 年 2 月。
- 7) 日本道路協会：道路土工指針、昭和 42 年。

3. 排水管の埋設時の強度に関する検討

(1) 試験に用いたパイプ

管の選定にあたって価格、施工の難易、耐酸性などを考慮して各種の管を比較した結果、高圧積層パイプを用いることにほぼ内定したので、その強度に関する一連の実験を行なった。高圧積層パイプとはクラフト紙、ガラスクロスなどの基材にフェノール樹脂を浸透させたものを重ねあわせて巻いて管にしたもので、内径、管厚を簡単に選べること、耐酸性が強いこと、軽量のため施工が容易なことなどが利点と考えられる。

実験に主として用いたパイプは次のようなものである。

材 質	クラフト紙を基材にしたもの（通常ベークライトといわれるもの）
内 径	25 cm
管 厚	8 mm、10 mm、12 mm の 3 種（市販品標準規格は 12 mm）
長 さ	30 cm
空気流入孔	パイプの下半分に直径 5 mm の孔を 50 mm 間隔にあげた列を 25 mm 間隔にならべて孔が千鳥の配列になるようにしている（図-9）個数は長さ 1 m あたりに換算して約 310 個

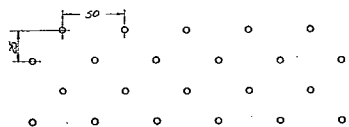


図-9 穴の配置

最初は内径 50 cm 厚さ 7 mm のものが納入されたがその後排気管の機能設計の面から内径 25 cm のものを用いることになったので主として 25 cm のものについて実験した。ベークライト製のほかに上記と同寸法でガラスクロスを基材にしたもの（FRP といわれている）も用意されたが実験は一

応ベークライト製のものに限った。

(2) 試験方法

パイプ内側の円周の 8 等分点（中心角 45° ）にストレインゲージをはり次のような実験を行なって応力を測定した（図-10）

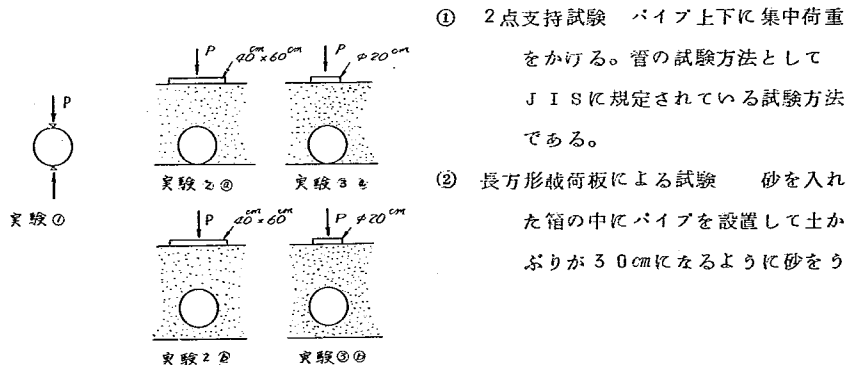


図-10 実験条件

めもどしよくつきかためた後 $60\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ の載荷板をおいて（管軸方向と載荷板の長辺が平行）その上から荷重をかける。

- ③ 円形載荷板による試験 ②の試験のおわつたあとで直径 20 cm の円形載荷板を管中央部において荷重をかける。

②、③の試験についてはさらに管底の支持条件を次のように変えた。

- ④ 平板基礎 剛性板の上に直接管をのせて管の下側の砂は特につきかためない。一点支持に近い。

- ⑤ 砂基礎 砂をつきかためた上に管をおいて管下側の砂もよくつきかためた。試験①は主としてパイプの弾性係数を知るために行なつたもので②は埋設された状態における比較的広い範囲に対する試験、③は集中荷重を受ける場合の試験と考えてよい。④、⑤は基礎の相異による影響を調べるために行なつたが実際に埋設された場合の条件は⑤に近いであろう。土かぶりを 30 cm としたのは排気管が受ける最も過酷な条件として工事中に土かぶり 30 cm 程度で重機が上を通過することが予想されるからである。

埋めもどした砂の湿潤密度は $\gamma_t = 1.51 \sim 1.61\text{ g/cm}^3$ 、含水比は $w = 8 \sim 11\%$ 、乾燥密度は $\gamma_d = 1.38 \sim 1.49\text{ g/cm}^3$ であつた。

(3) 試験結果

(i) 弾性係数

実験①のようにパイプ上下端に集中荷重を加えて鉛直方向の変形量を測定すれば次式により弾性係数が計算できる。

$$E = 0.149 \frac{P r^3}{\delta I}$$

ここで E : 弾性係数 (kg/cm^2)

P : 荷重 (kg/cm)

r : パイプの半径、すなわち内径の $1/2$ + 厚さの $1/2$ (cm)

δ : パイプの鉛直方向のたわみ (cm)

I : パイプの単位長さあたりの断面二次モーメント (cm^4)

厚さを t (cm) とすると $I = \pi t^3 / 12$

荷重 P と たわみ δ は図-11 のようになつていてこれから弾性係数を計算すると表-4 のようになつた。

表-4 パイプの弾性係数 E (kg/cm^2)

厚さ 8 ㎜	6.93×10^4
厚さ 10 ㎜	5.05×10^4
厚さ 12 ㎜	3.49×10^4
厚さ 7 ㎜ 直径 50 ㎜	1.31×10^5

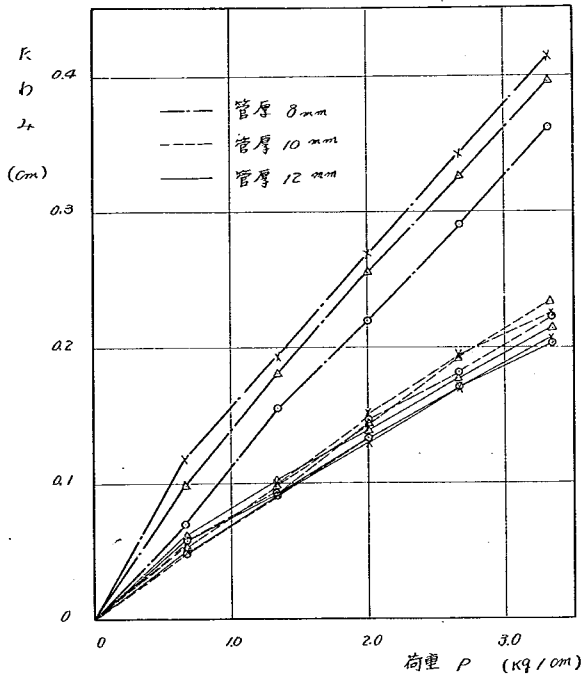


図-11 加重～管項たわみの関係

内径 50 cm のパイプにくらべて内径 25 cm のパイプの弾性係数が小さくてているのは孔あきの影響と考えられ、さらに厚さにより値がちがうのは薄い紙を何枚もはりあわせたものであるためと思われる。

(ii) 破壊荷重

実験①の方法でパイプの破壊荷重を測定した結果は次のとおりであつた。

内径 50 cm 厚さ 7 ㎜ (孔あき) 370 kg/30 cm すなわち 12.3 kg/cm
 内径 25 cm 厚さ 8 ㎜ (孔あき) 565 kg/30 cm すなわち 18.8 kg/cm

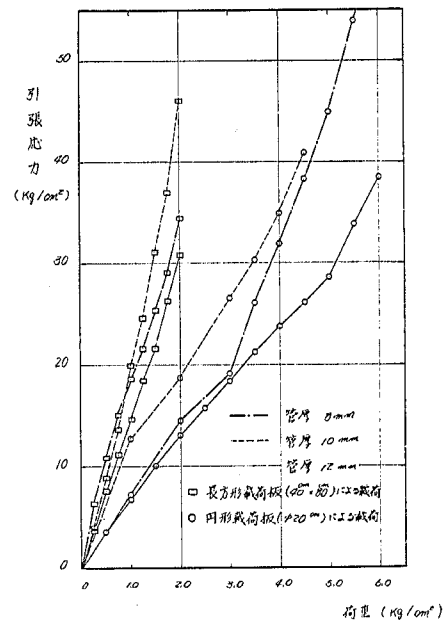
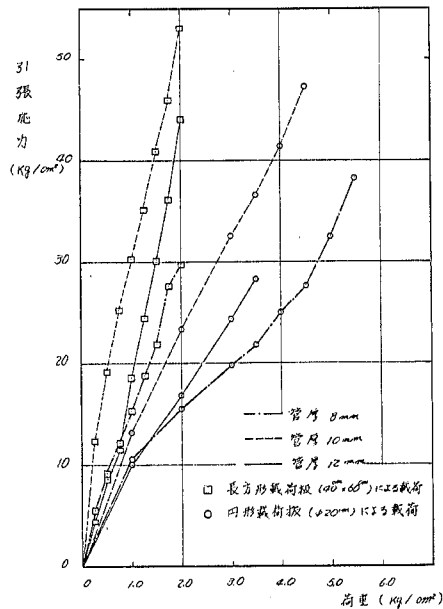
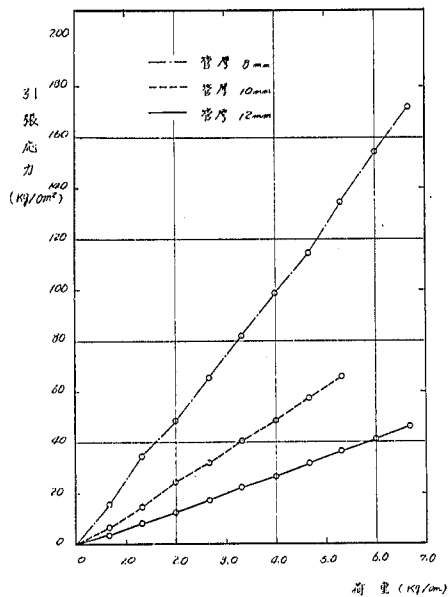


図-12 加重～応力の関係（二点指示試験）

図-13 加重～応力の関係（平板基礎）

図-14 加重～応力の関係（砂基礎）

内径 2.5 cm 厚さ 1.0 mm (孔あり) 890 kg/30 cm すなわち 29.7 kg/cm

内径 2.5 cm 厚さ 1.2 mm (孔あり) 1142 kg/30 cm すなわち 38.1 kg/cm

孔なしパイプでは管頂が破壊したが孔あきの場合ではクラックは底部の孔を管軸方向につらねた線であつた。

(iii) 最大応力

円周の 8 等分点の応力を測定したが常に最大応力の生ずるのは管頂であるので以下の議論は管頂内側に生ずる引張り応力についてのものである。管底は孔あきになつているため大きい応力が生ずると予想していたが実際には 2 点支持試験をのぞいて管頂よりかなり小さい応力しか生じない。むしろ絶対値として管頂について大きい応力は管頂から 45° あるいは 90° の点に圧縮応力として生ずることが多い。

図-12 は 2 点支持試験による荷重と最大応力の関係、図-13 は平板基礎の場合の載荷重 (荷重を載荷板面積で割つたもの) と最大応力の関係、図-14 は砂基礎の場合の同様の結果である。厚さ 8 mm の場合が 1.0 mm あるいは 1.2 mm のものより小さい応力になつてゐることが説明できないがここでは実験結果をそのまま用いて議論をすすめる。

(4) 考 察

(i) 孔あきによる強度低下

2 点支持試験における最大曲げモーメントは管頂 (荷重の作用点) において

$$M = 0.318 Pr \quad (2)$$

そのときの曲げ応力 σ は

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{0.318 Pr}{t^2/6} \quad (3)$$

である。ここで W : パイプの単位長さあたりの断面係数 (cm^3)

$$\text{厚さを } t \text{ (cm) とすると } W = t^3/6$$

内径 5.0 cm 厚さ 7 mm の孔のあいていない管の破壊荷重からこのパイプ材料の曲げ強度 σ を (3) により計算してみると $P = 12.3 \text{ kg/cm}$ 、 $r = 2.5 \text{ cm}$ 、 $t = 0.7 \text{ cm}$ であるから $\sigma = 1200 \text{ kg/cm}^2$ となつた。これはカタログに記載されている $\sigma = 1400 \sim 1700 \text{ kg/cm}^2$ よりいくらか低い値である。

さて $\sigma = 1200 \text{ kg/cm}^2$ として内径 2.5 cm の孔なしパイプの破壊強度を逆算し、これと孔あきの場合の実測破壊荷重を用いて、孔をあけたことによる強度低下を計算すると表-5 のようになる。

表-5 孔あきの強度におよぼす影響

	①孔のない場合の推定 破壊荷重 (kg/cm)	②孔あきの場合の実測 破壊荷重 (kg/cm)	強度低下の割合 ②/①
厚さ 8 ㎜	2 5.9	1 8.8	0.726
厚さ 10 ㎜	4 0.5	2 9.7	0.733
厚さ 12 ㎜	5 4.4	3 8.1	0.701

この結果、孔をあけたことによつて強度が70～73%に低下することがわかつた。すなわちパイプ材料の強度は孔あきのため仮想的に70%に低下して $\sigma=1200 \times 0.7=840 \text{ kg/cm}^2$ になると考えることができる。

同じ内径25cmの遠心力鉄筋コンクリート管(ヒューム管)のJIS規格はひびわれ荷重と破壊荷重のちがいを考慮に入れてもこの孔あき高圧積層パイプはヒューム管と同程度ないしそれ以上の強度をもっているといえる。

また上水道用の石綿セメント管(エタニットパイプ)の規格では①に類似の試験による破壊荷重が内径25cmの場合にはJIS1種管で $3460 \text{ kg/30cm} \doteq 115.3 \text{ kg/cm}$ 、JIS2種管で $1900 \text{ kg/30cm} \doteq 63.3 \text{ kg/cm}$ である。

(ii) 横断方向の強度について

地上に作用する等分布荷重 p によつて地中に生ずる応力 q は一般的に

$$q = I_0 p \quad (4)$$

の形に書くことができ影響値といわれる I_0 は地表載荷面の形状、大きさ、地中の深さ、土の性質などによつて決まる。

そして地中応力 q をうける半径 r の埋設管の最大曲げモーメントは一般的に

$$M = k q r^2 \quad (5)$$

で厚さを t とすれば曲げ応力 σ は

$$\sigma = \frac{M}{W} = 6 k \frac{r^2}{t^2} \quad (6)$$

となり、 k は主として管の支持条件によつて決まる係数である。

(4)と(6)から σ と p の関係を

$$\sigma = 6 k I_0 \frac{r^2}{t^2} p = \alpha p \quad (7)$$

という形に書けば α は I_0 と k を一諸にした係数になつて上記の I_0 と k について述べた種々の条件および管の寸法によつて決まることになる。したがつてこの係数 α を実験結果を用いて決めることができれば(7)により地上の荷重による管の応力計

算できることになる。

そこで I_0 、 k など α に関係する要因について考えてみると、まずパイプの埋設深さ 30 cm は現場で予想される最悪の条件であり管径および管厚は実際に使用されるパイプを実験に用いたため実験時と実際は同条件で、この 3 つの要因については現場条件と実験条件は一致している。また基礎条件を変えて試験④、⑤を行ない、④平板基礎の場合の方が⑤砂基礎にくらべて大きい応力を生ぜしめることが図-13 と図-14 の比較よりわかるが、施工にあたっては管の下側をよくつきかためることに留意するとすれば実際には砂基礎と同じような支持状態が現場では考えられるとしてよい。土の性質による応力分布のちがいは非常に不明確であるので一応実験条件と現場条件は同じと仮定する (Fröhlich の応力分布式にでてくる集中係数 ν については砂の方が粘土より大きいといわれているので粘性のある土よりも砂の方が荷重直下の地中応力は大きくなることになり、実験では砂を用いているので、現場で埋設されたときには管に対する荷重の集中程度はこの実験の場合より小さいといえるかもしれない) 最後に載荷面の形状と大きさについて考えてみる。

運搬機械あるいは転圧機械が地中におよぼす応力については接地面の形状と大きさが不明確なため計算が非常に困難でまた参考にできる実測値も多くはない。すでに説明したようにここでは比較的小面積上に集中的に荷重のかかる場合 (実験③) と広い面積に荷重の分布する場合 (実験②) について実験をしたがこれを実際に予想される荷重の状態の両極端と考えて議論をすすめることとする。たとえば実験②はブルドーザーのような荷重、③はトラックの輪荷重のようなものとみなしてよいであろう。

以上のような仮定のもとで実験条件と現場条件を同一とみなせば(7)の α としては図-14 に示す p と σ の実験結果をそのまま用いてよいことになり、これにより任意の荷重に対する管の応力が計算できる。図-14 より $\alpha = \sigma / p$ を求めるとほぼ表-6 のようになる。

表-6 $\alpha = \sigma / p$ の値

	広く分布する荷重に対して	集中的な荷重に対して
管厚 8 mm	1.7	7.5
管厚 10 mm	2.1	9.0
管厚 12 mm	1.5	6.0

図-14 の p と σ の関係は、長方形載荷板の場合はこの実験荷重範囲内ではほぼ

直線的な関係にあるが、円形載荷板の場合では $p = 4 \text{ kg/cm}^2$ を境界にしてその関係がかわつてくる。これは管上部の土が荷重の増加とともに降伏したためで現実にも管上部の土の支持力が不足して重機のめり込みのようなことがあれば管は予想以上の応力を生ずる危険がある。しかしここでは一応このことは考えないで p と σ はほぼ直線関係にあるとする。 $p = 4 \text{ kg/cm}^2$ は全荷重になおすとほぼ $P = 1.3 \text{ t}$ に相当する（載荷板面積は 3.14 cm^2 ）が、これだけの荷重を受けるタイヤの接地半径が 10 cm 以下ということは少ないこと、また剛性載荷板とちがつて、タイヤの場合は土が降伏する以前に接地面積が増加して荷重 p は減少することなどから $P = 1.3 \text{ t}$ 以上の輪荷重に対しても表-6の集中した荷重に対する α をそのまま用いてもよいであろう。

(7)は等分布荷重 p から管の応力 σ を推算する式であるが、 p のかわりに全荷重 P を考え P から σ を推算するには(7)の α のかわりに載荷板の面積を A として

$$\alpha' = \frac{\alpha}{A} \quad (8)$$

とおけば $p = P/A$ であるから

$$\sigma = \alpha' P \quad (9)$$

となる。いま円形載荷板では $A = 3.14 \text{ cm}^2$ 、長方形載荷板では $A = 2400 \text{ cm}^2$ であるから(9)の α' はほぼ表-7のようになる。

表-7 $\alpha' = \alpha / p$ の値（単位 cm^{-2} ）

	分布する荷重に対して	集中的な荷重に対して
管厚 8 鋼	7.08×10^{-3}	23.8×10^{-3}
管厚 10 鋼	8.75×10^{-3}	28.6×10^{-3}
管厚 12 鋼	6.25×10^{-3}	19.1×10^{-3}

これを用いて簡単な試算をしてみると、まず集中荷重として 2 t が作用するとき（ 20 t トラックの前輪荷重に相当する）パイプの応力は表-7の α' を用いて(9)より

管厚 8 鋼のとき 47.6 kg/cm^2 、10 鋼のとき 57.2 kg/cm^2 、12 鋼のとき 38.1 kg/cm^2 となり、また分布した荷重として 15 t が作用するとき（たとえばブルドーザーなど）は管厚 8 鋼のとき 106 kg/cm^2 、10 鋼のとき 131 kg/cm^2 、12 鋼のとき 94 kg/cm^2 である。すでに述べたように孔あき管の場合に材料の曲げ強度が仮想的に 70 % に

低下して 840 kg/cm^2 になつたと考えても上記の推算値はまだ十分な安全性を持っているといえる。

さらに極端な場合として集中荷重 8 t (20 t トラックの後輪荷重に相当するが実際は 2 軸あるいは複輪になつてゐるので 1 車輪あたり 8 t にはならない) あるいは分布荷重 30 t (荷重をつんだタイヤローラー程度だが接地面積はおそらく実験の場合の 2400 cm^2 よりかなり大きいであろう) になつたとしても上記の推算からパイプの応力は 300 kg/cm^2 を越えることはない。

(iii) 長さ方向の曲げについて

パイプの長さ方向の曲げ応力については弾生支承上のハリの理論が適用できる。この場合には次式で定義される λ あるいは $\lambda \ell$ が重要な数値である。

$$\lambda = 4 \sqrt{\frac{K D}{4 E I'}} \quad (ii)$$

ここで D : パイプの外径 (cm)

K : 地盤反力係数、 K 値 (kg/m^3)

I' : パイプの断面二次モーメント (cm^4)

$$\text{内径を } D_0 \text{ (cm) とすると } I' = \frac{\pi}{64} (D^4 - D_0^4)$$

ℓ : 長さ (cm)

高圧積層パイプの市販品の規格は $\ell = 400 \text{ cm}$ で継手部にはゴムリングを入れてある程度の角度で曲げられるようになってゐるので一応長さ 400 cm のハリと考えらる。(ii) の λ および $\lambda \ell$ をいくつかの K 値について計算すると表-8 のようになる。

表-8 λ および $\lambda \ell$ の値 ($\ell = 400 \text{ cm}$)

	$K = 1 \text{ kg/cm}^2$		$K = 4 \text{ kg/cm}^2$		$K = 10 \text{ kg/cm}^2$	
	$\lambda (\text{cm}^{-1})$	$\lambda \ell$	$\lambda (\text{cm}^{-1})$	$\lambda \ell$	$\lambda (\text{cm}^{-1})$	$\lambda \ell$
管厚 8 mm	1.20×10^{-2}	4.78	1.69×10^{-2}	6.76	2.15×10^{-2}	8.50
管厚 10 mm	1.18×10^{-2}	4.72	1.67×10^{-2}	6.67	2.10×10^{-2}	8.39
管厚 12 mm	1.23×10^{-2}	4.93	1.74×10^{-2}	6.98	2.19×10^{-2}	8.77

$\lambda \ell$ はハリと土の相対的な剛比を示すものと考えられ、 $\lambda \ell > \pi$ のときは無限に長いハリの問題として解くことができる。

これはハリの断面がその長さに無関係であることを意味しハリの中央に集中荷重

Pの作用するときの最大曲げモーメント M' は

$$M' = \frac{P}{4\lambda} \quad (11)$$

でこれによる最大曲げ応力 σ' は

$$\sigma' = \frac{M'}{I' \frac{D}{2}} = \frac{DM'}{2I'} = \frac{DP}{8I'\lambda} \quad (12)$$

したがって

$$\frac{\sigma'}{P} = \frac{D}{8I'\lambda} \quad (13)$$

と書きなおせばこの右边を計算しておくとい任意の荷重Pに対して曲げ応力 σ' が求められる。(13)の右边の計算値を図-15に示す。

図-15を用いて $K=1 \text{ kg/cm}^2$ のとき $P=10 \text{ t}$ の集中荷重がパイプ中央に作用したとして(土かぶりを考慮しない)最大曲げ応力を計算すると

管厚8mmのとき $\sigma' = 515 \text{ kg/cm}^2$ 、10mmのとき 414 kg/cm^2 、12mmのとき 327 kg/cm^2 となる。パイプに直接10tの集中荷重のかかることもないと思われ、もしKが 1 kg/cm^2 より大きければ曲げ応力はこの値より小さくなるので、長さ方向の曲げについてもまず安全とみてよいであろう。

(5) 結 論

内径25cmの高圧積層パイプの下側半分に孔をあけたもの(径5mmの孔を長さ1mあたり約310個)の強度に関連して次の事項がわかった。

i) 孔あきパイプの強度は通常の管の試験方法である2点支持試験の破壊荷重で示するII-3-2のようになつていて、同じ内径のヒューム管のひびわれ荷重よりも大きい。

ii) 孔をあけたことによつてパイプの強度

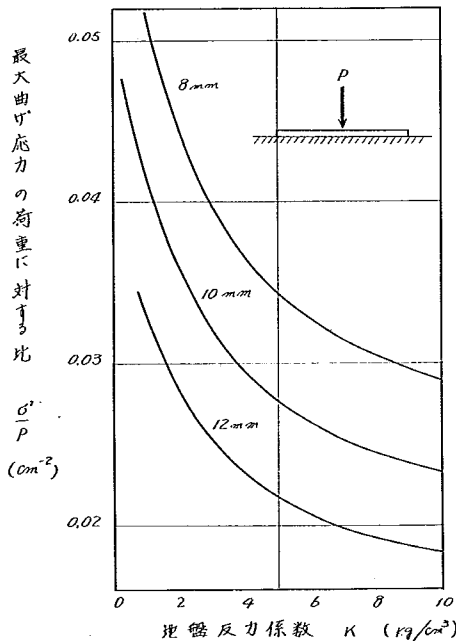


図-15 縦断方向の最大曲げ応力概算図

は約70%に低下する。

- iii) 材料そのものの曲げ強度は 1200 kg/cm^2 であるが孔をあけたことによりその強度が仮想的に 840 kg/cm^2 に低下すると考えてもよい。
- iv) 土かぶり30cmに埋設された状態で、横断方向、縦断方向ともに予想されるパイプの最大応力は 300 kg/cm^2 程度であろう。

施工においては次の点を考慮する

- v) 採用する管厚についてはこの試験結果では8mmのもので十分といえるが、実験方法が適切であるかどうか不明確な要素が多いので10mm以上のものにすることが望ましい。
- vi) 品質についてJIS規格のような規定がなく製造むらがないとはいえないので、強度試験(2点支持試験)による抜きとり検査のようなものを行なうこと。
- vii) 埋設時にはパイプ底部および側面のつきかためは十分すること。
- viii) 土かぶり30cmは最低条件として必ず守り、重機の荷重が直接パイプにかかることのないようにする。