

河川堤防の地盤漏水とその対策について

北	野	昭	夫*	杉	本	良	作*
いけ	かず	とし	お*	やま	むら	かず	や**
池	上	俊	男*	山	村	和	也**
かわ	せ	きん	ご*	たけ	した	しゅう	せい**
川	瀬	鉢	吾*	竹	下	周	成**
たけ	うち	はる	お*				
竹	内	治					

1. まえがき

矢作川は中央アルプスの南端長野県にその源を発し、愛知県の中央部を流れて三河湾にそそぐ河川である。この川は河床地盤がカコウ岩系の砂質であることと、緩流河川としての性質があいまって、河床材料の構成が上流部転石区間から中間的玉石、砂利の区間をほとんど経ることなくただちに砂の部分に入っているので、部分的に差異はあるが、ほとんど全川にわたって地盤漏水がみられる。高水時はもちろん平水時においても、堤体ノリ尻付近にパイピング現象が起こるために、古くから問題にされ、その対策が考えられてきたが、効果的な方法が見つからなかつた。

効果的な対策工法が見出せなかつた大きな理由は、堤体下部の透水層が厚いために、この層を上手に処理することが困難であったためである。最近も対策工法として透水性材料による裏小段、裏石張が施工されたが、施工直後の小洪水によって浸透流により土の微粒子が洗い流され裏小段、裏石張に若干の沈下が起り、さらに昭和40年9月の24号台風による出水では堤内地盤から砂が吹き上げたばかりでなく、裏石張に破壊が生じた。

そこで、よりいっそ効果的な対策をたてるため、地質調査、ピエゾメーターによる透水層の水圧観測、電気模型による実験など一連の調査、資料の検討を行なつた。その結果、リリーフウェル工法が矢作川の堤防地盤漏水に対して効果的であるという結論を得、堤内地の漏水の激しい個所にこの工法を施工することになった。この報文はその経過と結果を述べたものである。

2. 矢作川の概況

矢作川の流域は図-1のようである。

流域の山間部はほとんど天然林で造林の豊かなものは少なくところどころに荒廃地を有する。そこから生産される土砂は風化しやすいカコウ岩系で、滞積して扇状地となり三河平野を形成している。そのため標高10m以

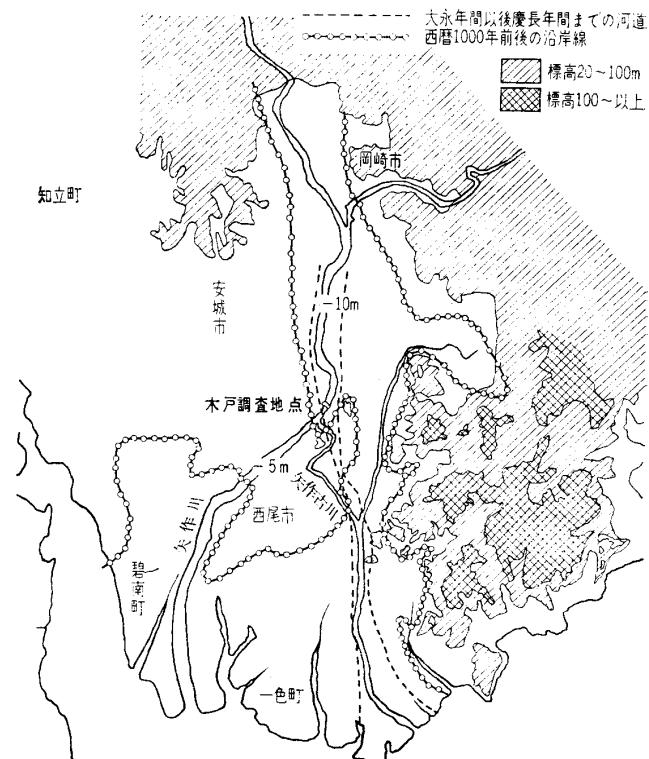


図-1 矢作川流域図

上のところはほとんど古い地層で安定しているのに対して、現河道付近は低く約1000年前は海であったといわれている。また今回漏水調査を行なつた木戸地先付近は最も地盤漏水の激しい地域で過去の本川が現在の本川へと流れの方向を変えた地点である。

3. 漏水の概況

矢作川は、多少の差異こそあれ、ほぼ全川にわたって漏水現象が見られるが、とくに右岸27~32km、右岸21~26km、左岸24~29kmの三区域は浸透水によってカングガイ用水を得ているほど地盤の浸透性が大きい。また右岸13~16kmの堤体のゼイ弱な個所では平水時においてもノリ尻付近に顕著なパイピング現象がみられ、中小洪水ではいたるところにパイピング現象が発生し、漏水に対する危険性の大きい地域である。

写真-1, 2, 3は漏水個所の一例を示すもので、昭和40

* 建設省豊橋工事事務所

** 建設省土木研究所千葉支所

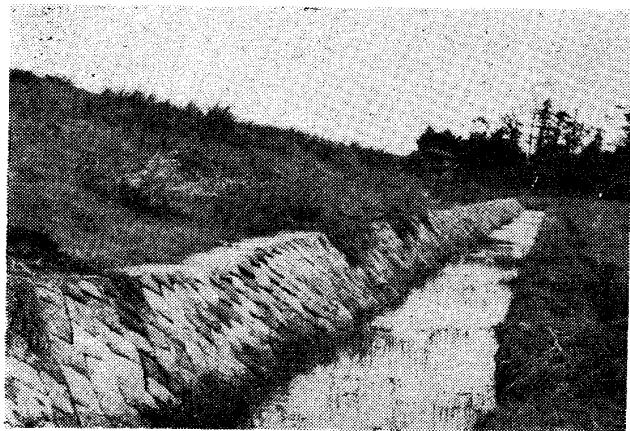


写真-1 木戸地先 (右岸 13.1km 付近)
昭和 40 年 9 月 17 日撮影 (台風 24 号前)
小洪水でも空石積が陥没している。

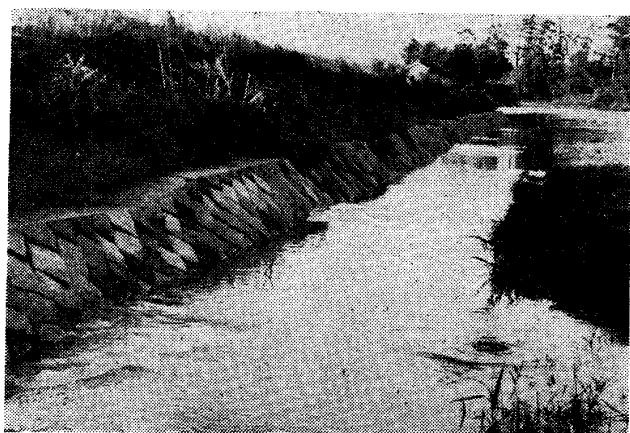


写真-2 木戸地先 (右岸 13.1km 付近)
昭和 40 年 9 月 18 日撮影 (台風 24 号通過直後)
いたる所にパイピングが起きている。

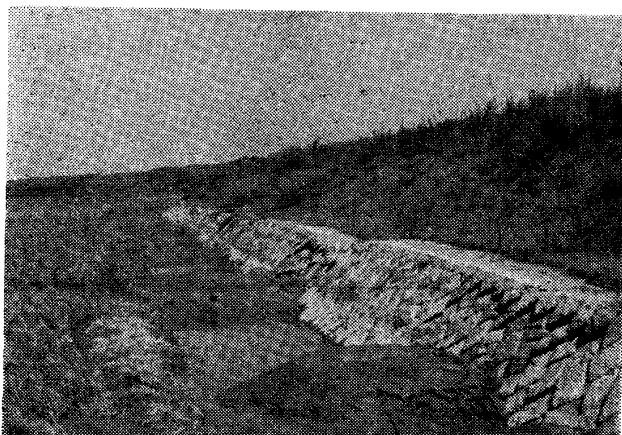


写真-3 木戸地先 (右岸 13.1km 付近)
昭和 40 年 9 月 19 日撮影 (台風 24 号通過後平水時)
パイピングの跡が側溝の中にいたる所にみち空石積の陥没がひどい。

年 9 月の 24 号台風の通過前、出水時、河川水位が平常に戻った後に撮影したものである。この場所には、昭和 38 年に漏水対策として後述するような矢板・フィルター併用工法の施工が試みられた。

写真-1 に見られるように、施工直後の小洪水にあって空石積が沈下し、小さなパイピングが空石積の下に見

られた。

写真-2 は台風 24 号によって、河川水位が上昇している時の状態を示すもので、側溝の中にいたる所パイピングが見られる。この付近の堤防の側溝、田面、畑なども写真と同様な状態で、砂を多量に含んだ水が音をたてながら噴出し、付近の住民にいちじるしい不安感を与えた。

写真-3 は河川水位が低下し、側溝の水位も下がった後の状態を示し、パイピングにより吹き上げられた砂が側溝などに滞留する一方、堤体の沈下、石積の沈下、破壊などが見られる。この砂の吹き上げにより、側溝床が上昇してその機能を失い、田畠などでは噴出した砂と水が農作物にいちじるしい被害を与えている。

以上からもわかるように、1 回の中洪水によってもこのような状態になり、このまま放置しておけば次の洪水ではさらにパイピングが激しくなり地盤の弱体化が促進され、堤体に及ぼす被害も加速度的に大きくなると予想される。また、この被害を同じ工法で補修しても、1 回の中小洪水でまた今回のような状態になるので今後も補修の繰返しになると思われる。

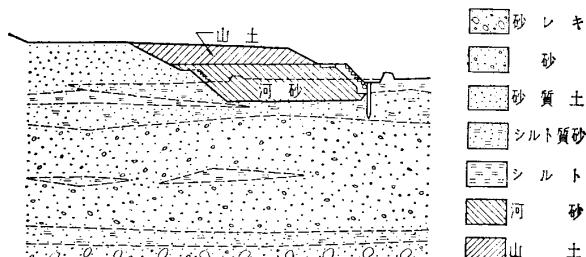


図-2 木戸地先 フィルターと土留め工と地質

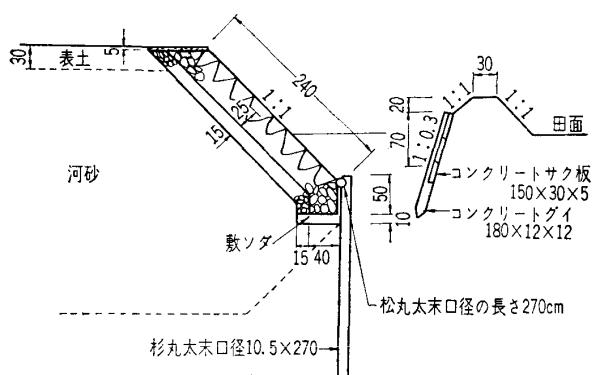


図-3 土留め工詳細図

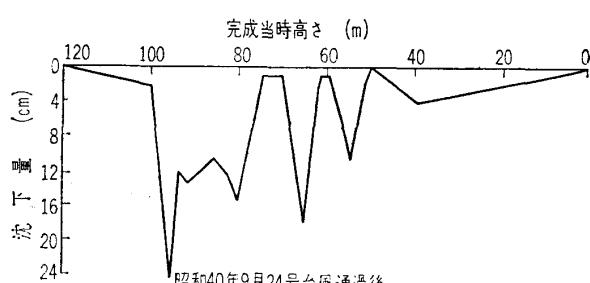


図-4 土留め工空石積肩高

この地点に施工されている矢板・フィルター併用工法の概略は図-2 のとおりで、そこに設けられた土留め工の詳細は図-3 のようである。土留め工空石積の陥没状態は図-4 のようであった。この図は施工当時の状態と昭和40年9月の24号台風後の状態との比較をしたものである。

フィルター層もところどころ大きく沈下していて、山土の部分の下部に空洞ができている。漏水箇所を精密に調査した結果、パイピングの大部分は側溝の中に打たれている土留め工のクイに沿って起こっており、土留め工のクイ自身も沈下を起こしていることがわかった。また空石積とは反対側の柵板の留めゲイに沿ってもパイピングが起きており、柵板も沈下している。

4. 現場観測

以上概況を述べた木戸地先地域は矢作川沿岸ではもっとも漏水の激しいところであるので、地盤内の浸透状態を明らかにするためこの地点で地盤各層の浸透流の水頭の測定を行なった。

一般に矢作川堤防地帯の地盤構成は、ボーリング結果によると、上部からシルト層（A層）、砂質土層（B層）、シルト層（C層）、砂レキ層（D層）の順になっていっていることがわかっている。浸透流の水頭の測定は図-5 のように各層に打込まれた水圧測定管内の水位を調べることによって行なった。水圧測定管の上端部は田面より1m強の高さにしておいたが洪水時の透水層内の水圧の上昇が大きく、大部分は河川水位が上昇するにつれ水が管の上端からあふれ出し測定は不可能になった。

A層の管内水位には河川水位に敏感なものと、そうでないものとがある。これは管の打込みによってその周囲の土が乱され管に沿ったパイピングが起ったものとそうでないものとの差によると考えられる。B層の水頭は河川水位の変動にともない大きく変化し、この層が透水層であることをはっきり示している。河川水位とB層に打込まれた測定管の管内水位との関係は図-6 のようである。C層の水頭と河川水位との相関はなく、その下のD層の水頭は河川水位の変動に応じて規則正しい

上流断面 13.6 km + 60 m

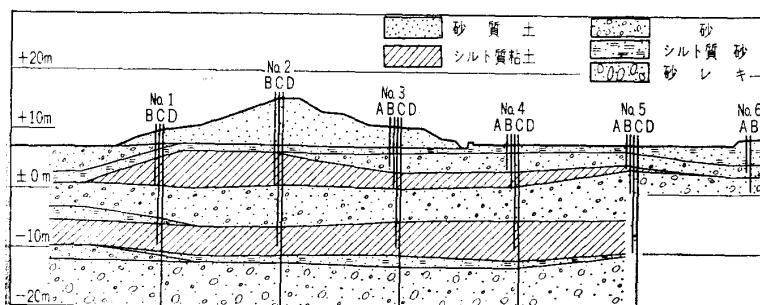
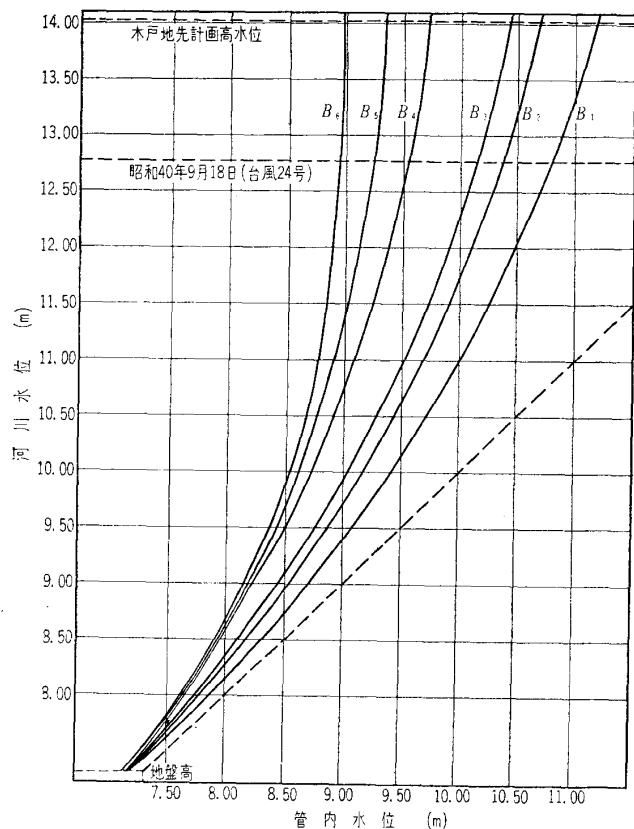


図-5 木戸地先堤防調査横断面図

図-6 矢作川木戸地先 (13.6 km 右岸)
B層における水頭平均値

変化を示すが、上部のB層ほど変動の振幅は大きくな。これはこの上部にシルト層があるため、これから

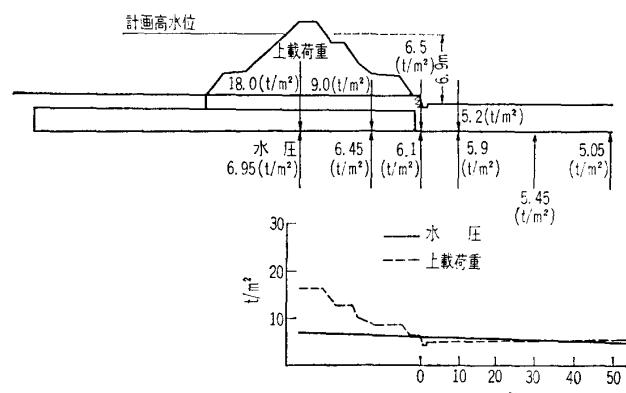


図-7 計画高水位の時、ノリ尻、田面においてパイピング現象が起こらないと仮定した時の透水層内の圧力分布

D層は地盤漏水にあまり影響しないと判断される。

以上から漏水経路は堤体直下のシルト層の下部にある砂質土層であることがわかった。浸透水はこの砂質土層を通り、表層のシルト層の最も抵抗の小さい所に吹き出し、いわゆるパイピング現象を起こし、砂質土を吹き上げ地盤内に空洞を作っている。

実際はパイピングが起こるとその付近では透水層の水圧は減少するが、いまA層にパ

イピングによる水みちが生じないと仮定し、透水層内に被圧水ができるとしたとき、計画高水位でどれ位の圧力がA層に対し上向きに働くかを図-6の観測結果をもとにして算出した結果が図-7である。この図を見ると、現在の標準断面の堤防に対して、パイピングが起らないように裏小段を設けるには、その幅を約40mにしなければならないことがわかる。

5. 漏水対策工法

漏水には堤体漏水と地盤漏水とがあるが、矢作川流域においては、調査の結果、堤体漏水は少なく、その対策として現在行なっている堤防裏ノリの土留め工法で十分である。一方、地盤漏水に対しては今まで述べてきたように、現状の矢板・フィルター併用工法では漏水対策としては不十分である。問題は透水層内の浸透水圧をいかにして減らすかであるが、その対策は大きく二つに分けることができる。すなわち堤内地に浸透してくる水を少なくする方法と、浸透してくる水を上手に流出させ漏水による害を起こさせないようにする方法とがある。

堤内地に浸透してくる水を少なくする方法には矢板工法とかプランケット工法などが考えられる。現地の地盤構成をみると、表層のシルト層が堤外側に約45m伸びており、現状でもプランケットがある状態と同じであるので、あらためてプランケットを設けてもその効果は期待できない。一方、止水矢板工法は経済的に大きな負担がかかるが、適切な施工が実施されれば漏水を防ぐという点からいって、その効果はかなり期待される。

浸透してくる水を上手に排除する方法にはフィルター工法やリリーフウェル工法などがあげられ、考え方により非常に合理的な工法といえる。

ところで、今まで矢作川で採用されていたフィルター工法はフィルター下部にシルト層が約2~3mあり、フィルター層は押え盛土の役目しかしていないのが実状であり、地盤漏水対策に役立つフィルター層の本来の機能を果していなかったように思われる。さらに漏水地帯の現地踏査を行なったところ、堤防沿いにところどころ、小さな沼、池、湿地ができるており、このような所では出水時にはこれらの中にある多数の孔から浸透水が自然に流出して、パイピング、クイックサンド現象は起こっていないかった。このような流出口を人工的に作ったのがリリーフウェルであり、ミシシッピー川において効果をあげているといわれている。

以上のように、リリーフウェル工法と止水矢板工法は一応対策工法として有効であると思われる所以、その特徴を知るため電気模型実験をし、解析検討を行なってみた。なお、リリーフウェル工法はその解析結果にもとづき、実際に試験施工を行なった。

5.1 リリーフウェル工法

リリーフウェル工法は、鉛直なウェルを地表面から表層の不透水層を通じて透水層の中に貫入し、被圧水をすみやかに排水させようとするものである。ウェルにはパイプを用い、先端部にストレーナーを設けるが、その部分には円筒形の金網でできたカゴを付けたり、細長いスリットをパイプの周辺に縦方向にあけたもの、多くの孔をパイプにあけたものを用いる。そして、パイプの中に透水層内の砂が流れ込まないようにその周囲をフィルター材料で保護する。透水層を通った浸透水はこのウェルを通って地表面に流れ出るが、土は全然侵食されない。そうして、透水層内の水圧を有害なパイピングを起こさない程度まで減少させる。

ここでは電気模型実験の方法についての説明はいっさい省略し、結果のみ簡単に述べる。

まず、予備実験として、A層とB層の透水係数の比を求めるために、A層とB層の透水係数の比をいろいろ変えた模型を作り、透水層内の水頭分布を求め、現場観測値と照らし合わせた。その結果を図-8に示す。すなわち、 $k_A : k_B = 1 : 150$ という値を得た。

次に、ウェルの貫入深さをいろいろ変えた場合に対する実験結果は図-9のようである。実際の地層断面はA層が堤外側に約45m伸びており、図-8,9に示す模型の断面とは少し様子が違っているが、この自然プランケットがないという仮定は安全側の結果を与えることを一応ことわっておく。

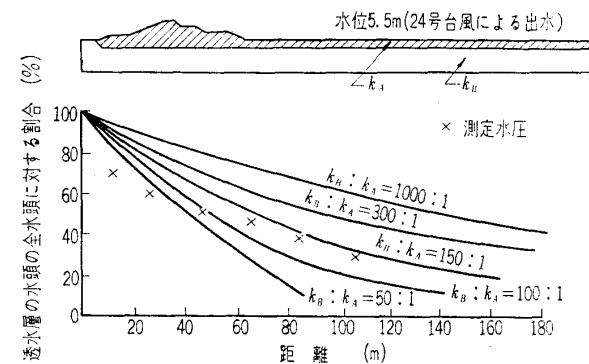


図-8 透水係数の比の決定（リリーフウェル予備実験）

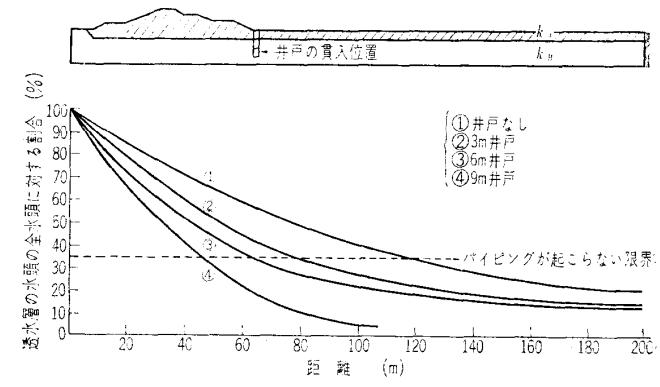


図-9 リリーフウェルの効果

なお、ミドルブルックス (Middlebrooks) とゼービス (Jervis) は立体的電気模型実験から、リリーフウェルに関して次のような結論を出している。

(i) スクリーンの長さは他の要素よりもウェルの効果に大きく影響する。

(ii) スクリーンの貫入量が透水層の 25% 以下に短くなると、浸透量は急激に減じ、ウェル相互の中間点の水頭を上昇させ、ウェルの効果は減少する。

貫入量は堤内地でパイピングが起こらない最小の深さにすることから決定される。パイピングが起こらないようにするには、不透水性の表層の直下の水圧 h が

$$h < \frac{G-1}{1+e} d$$

であればよい。ボーリング資料から、A 層の土粒子比重 G は約 2.56、間ゲキ比 e は、1.07、A 層の厚さ d は 3 m であるから $h < 2.26$ m となり、これは計画高水位 6.5 m の 34% にあたる。図-9 を見ると、6 m の貫入量でよいことがわかる。

ウェル間隔はミシシッピー川の方法 (参考文献 3) 参照) により計算した結果、10 m という値を得た。

以上の設計にもとづき、リリーフウェル工法の施工を行なった。

工事は矢作川木戸地先で 2 カ所、ウェルの本数は計 14 本、同じく福地地先で 1 カ所、ウェルの本数 7 本、10 m 間隔でウェル径 0.2 m、貫入量は 6 m であった。

また、土留め工の空石積の支持グアイは漏水防止に有害なので使用を止め、粗ダ、ハンゴを使用した。なお、側溝部分では表層が薄く鉛直土圧が周囲に比べて小さく浸透水の水圧がそれを上まわることが予想されるので、そ

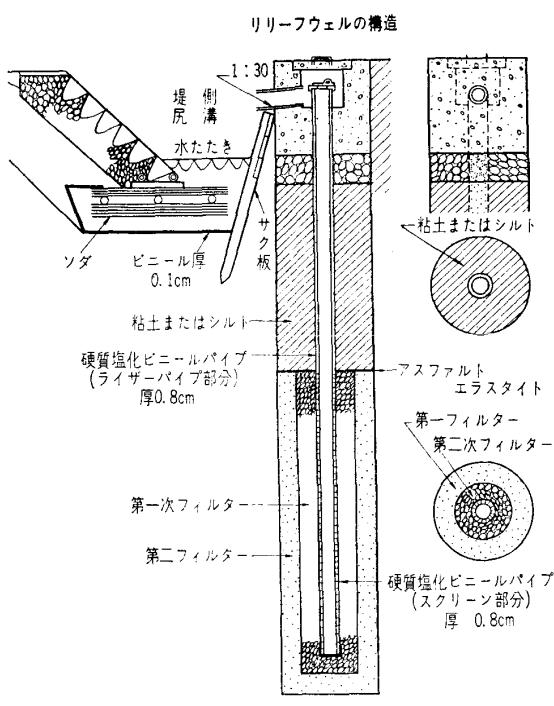


図-10

の防止として粗ダ基礎の下にビニール・シートを敷き石積の荷重がかかるようにして埋戻した。このビニール・シートにより上載荷重の不足によるパイピングの発生を防止させることにした。ライザーパイプ部分の長さは、A層の長さと同じにしている。工事の概要は図-10 のようである。

ストレーナーの穴の面積はパイプの表面積の 15% としストレーナーの穴の形としては円形では若干の疑問があるので、図-11 のように A 型と B 型を交互に使用した。

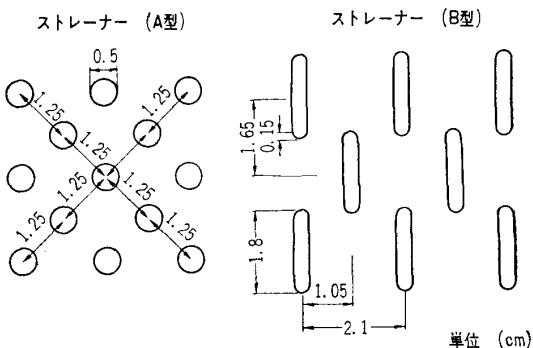


図-11 ストレーナーの穴の形

パイプの底面は側面と同様な材料で行ない、フィルター層と不透水層の境にアスファルトを入れた。フィルター材の選択はウェルの損失水頭をできるだけ小さくするということと、ウェル周囲の地層から土粒子の流入を防ぐということの二点から非常に重要なことである。上の二つの条件を満足するためには、

$$\frac{(\text{Min})D_{85} \text{ Filter}}{\text{Slot width}} \geq 1.2 \text{ or } \frac{(\text{Min})D_{85} \text{ Filter}}{\text{Hole dia}} \geq 1.0$$

かつ、

$$\frac{(\text{Max})D_{15} \text{ Filter}}{(\text{Min})D_{85} \text{ Sand}} \leq 5.0 \text{ and } \frac{(\text{Min})D_{15} \text{ Filter}}{(\text{Max})D_{15} \text{ Sand}} \geq 4$$

の関係が成立しなければならないといわれている。この工事箇所の土質とスクリーンに対して、上の式が成立するためには、フィルター層は二層になり、その粒径曲線は図-12 のようになった。

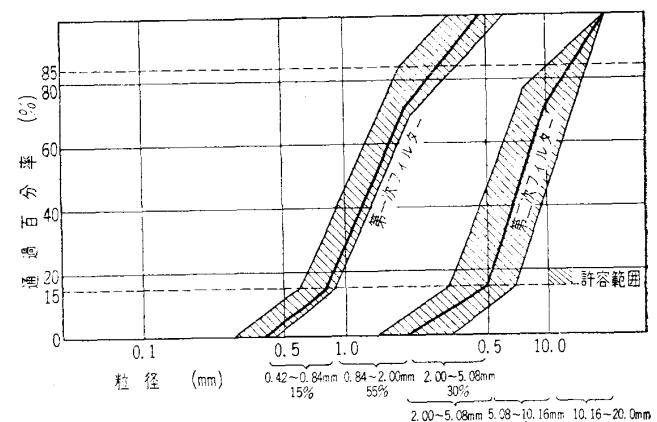


図-12 第一次フィルターと第二次フィルターの粒度曲線

5.2 止水矢板工法

止水矢板工法は透水層を矢板で閉じることにより堤内への浸透水の流入を防ぐ工法である。もし、矢板により浸透水を完全に止めることができれば、これ以上の対策工法はないであろう。しかし矢板による止水工法が必ずしも確実でないことは過去の幾多の施工例が示しておらず、また理論的実験的にも止水のむずかしいことが知られている。たとえばマンサー (Mansur C.I.) とペレット

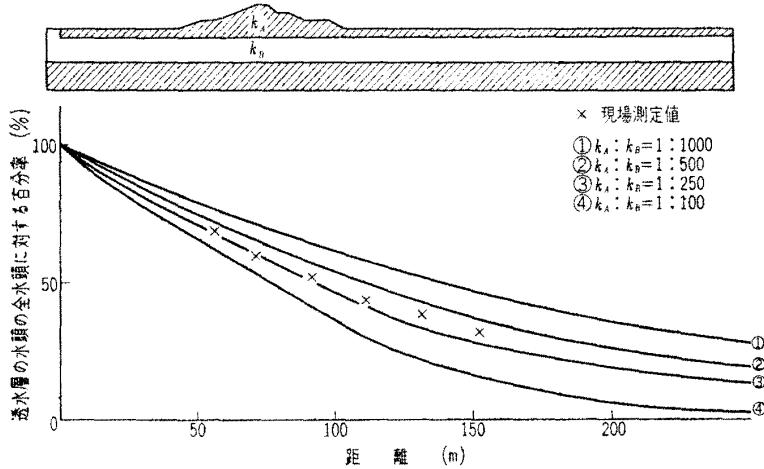


図-13 透水係数の比の決定 (矢板予備実験)

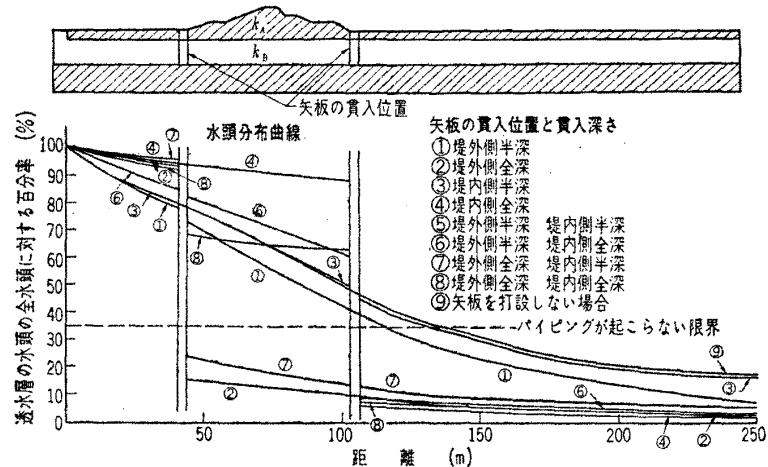


図-14 貫入位置、深さによる矢板の効果

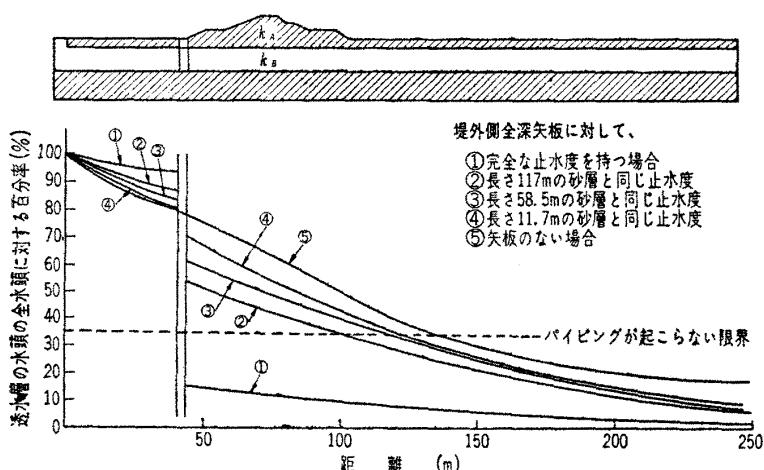


図-15 いろいろな止水度に対する矢板の効果

ト (Perret W.I.) は透水層を 95% 以上締切らねば効果がないという研究結果を出しておらず、ジャスパー (Jasper J.L.) とリングハイム (Ringheim A.S.) は透水層の底まで矢板が貫いたとしても矢板相互の継ぎ目からの漏水により、ほとんど効果を持たないことがあることを示した。

そこで、堤内側ノリ尻、堤外側ノリ尻のどちらかまたは両方において矢板が透水層を完全に貫いた場合、半分しか貫かない場合についていろいろな矢板の止水度に対し、電気模型実験を行ない検討を加えてみた。

リリーフウェルの実験を行なうにあたって求めた A 層の透水係数と B 層のそれとの比は、前述したように、堤外側の約 45 m の自然プランケットを無視しており、現実と違ったものであるので、予備実験をやり直し改めてこの比を求めるに至った。なお、この矢板の実験では、B 層の下に、C 層として、A 層と同一の透水係数を持つ厚さ 10 m の層を仮定した。この予備実験の結果は、図-13 に示したとおりである。これから $k_A : k_B = 1 : 250$ ということがわかる。

矢板の効果についての実験結果は図-14、15 のようである。図-14 は矢板が完全な止水性を持つとした時のいろいろな貫入位置、貫入深さに対する水圧分布を示したものであり、図-15 は堤外側ノリ尻に透水層を完全に締め切る矢板を打った時、その矢板の継ぎ目からの漏水があると考え、矢板の止水度をいろいろ変えた場合の水圧分布を示したものである。

図-14 から堤外側全深の矢板でなければ効果が期待されないことがわかり、図-15 から矢板は少なくとも 120 m 以上の幅の砂層に匹敵する止水性を持たねば効果がないことがわかる。

6. 結 語

矢作川における地盤漏水の状態を考察し、その対策として、リリーフウェル工法と止水矢板工法についての検討を行なった。

止水矢板工法は、現在各河川において漏水対策として多く使用されているが、この模型実験によれば意外とその効果が期待できないことがわかる。

リリーフウェル工法については、実際に矢作川において漏水の激しい 3 カ所に施工した

が、完成後まだ高出水がないので、その結果の良否を実績から裏づけることはできない。しかし施工後低出水時の排水状態から見て、パイピングの防止に対してかなり効果を発揮するものと思われる。

矢作川におけるリリーフウェル工法は現時点では治水面での漏水対策工法として採用したのであるが、今後、矢作川の水がいっそう高度に利用されるようになれば、平時のカンガイ用井戸としても利用でき、利水面でも役立つようになるかも知れない。

参考文献

- 1) 山村和也：築堤地盤の漏水対策について、土木技術資料 Vol. 2—No. 3, 1960.
- 2) T.A. Middlebrooks and William H. Jervis : Relief

Wells for dams and levees, A.S.C.E. Transactions V. 112, 1947.

- 3) W.J. Turnbull & C.I. Mansur : Design of underseepage control measures for dams and levees, J. of Soil Mech. and Found. Div. P. of A.S.C.E. 1959, October.
- 4) Mansur, C.I. and Perret, W.I. : Efficacy of partial cutoffs for controlling seepage beneath dams and levees constructed on pervious foundations, 2nd Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Rotterdam V 299, 1948.
- 5) Jaspar, J.L. and Ringheim, A.S. : Steel sheet piling studies, 3rd Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Zurich 11, 1953.

(原稿受付, 1966. 6.16)

土質試験法スライド集作成なる

わかりやすく土質試験法を学ぶことができるスライドを作ってほしいと、学校、研究機関などから学会に対して、強く要望がありました。

そこで、土質工学会では、一年前から、スライド作成のため、スライド編集委員会（委員長 久野中央大学教授ほか委員 17 名）を発足させ、撮影、編集を行なってまいりましたが、このたび完成いたしました。

このスライド集は、下記のような内容からなっており、すべて土質工学会発行の「土質試験法」に準じて編集いたしました。

工業高校、高専、大学、研究機関などの土質試験に関して、初級者向きに編集されておりますので、非常にわかりやすく土質試験法を学ぶことができると確信し、ご購入をおすすめいたします。

なお、シナリオ解説集に、「土質試験法」の参考ページが記入してあり、「土質試験法」とあわせて用いますと、なお一層の効果があると思います。

内 容

- 1 ハカリ
- 2 土の粒度および物理試験のための試料調整法
- 3 土粒子の比重試験
- 4 土の含水量試験
- 5 粒度試験
- 6 土の液性限界試験
- 7 土の塑性限界試験
- 8 遠心含水当量試験
- 9 収縮常数試験
- 10 土の突固め試験

発 売 日：41 年 9 月 1 日から

定 價：25,000 円

1 組コマ数：311 コマ

申し込みは前金にて、下記へお申し込みください。

容

- 11-A 室内 CBR 試験
- 11-B 現場 CBR 試験
- 12-A 透水試験（定水位）
- 12-B 透水試験（変水位）
- 13 土の圧密試験
- 14 直接セン断試験
- 15 三軸圧縮試験
- 16 一軸圧縮試験
- 17 締固めて作る安定処理土の一軸圧縮試験

東京都港区西新橋 1-13-5 (東亜別館)

社団法人 土 質 工 学 会

TEL (502) 6 2 5 6

振替 東京 40786

取引銀行 三菱銀行虎の門支店