

# 石狩川筋元村試験築堤について

この野文のひろ  
 四かた方哲お  
 たかやす安隆お  
 高安郎

## 1. まえがき

北海道における河川改修事業は本州とくらべていちじろしく立遅れており、石狩川のような主要河川でも無堤地帯が随所にみられ、極言すれば、いまだ原始河川の域を出ていない状態である。

したがって、洪水被害の原因は無堤地帯からの出水によるものが大部分を占め、本格的な堤防欠壊による場合はほとんどない。

北海道開発局では、洪水被害を防ぐために、無堤地帯の早期解消を第1の目標として、とりあえず、暫定断面をもって築堤線を完成させようと、河川改修事業を急いでいる。これらの築堤材料は主として経済的な理由から工事現場付近から採取するのが普通であって、現状では、築堤工事の計画、設計、施工に際し、築堤材料や基盤について一般に土質工学的な見地からの検討を十分にこなっているとはいえない。

元村試験築堤は、近い将来の築堤線完成時に備えて、石狩川下流域の泥炭性軟弱地盤における一般の築堤の効果と土質工学的立場から解析を加え、無堤地域解消後における破堤阻止のための一つの基礎資料を得ようとするものである。

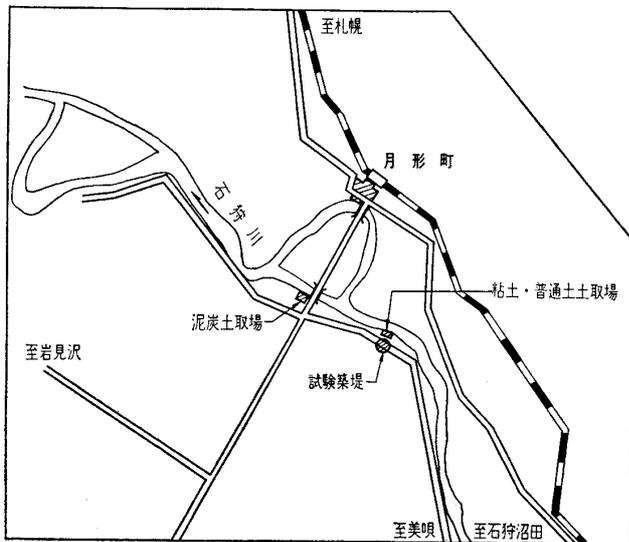
本文は、元村試験築堤の基盤の沈下と安定、ならびに昭和39年度に実施した第1回タン水試験による堤体浸透流についての中間報告である。

## 2. 試験の目的

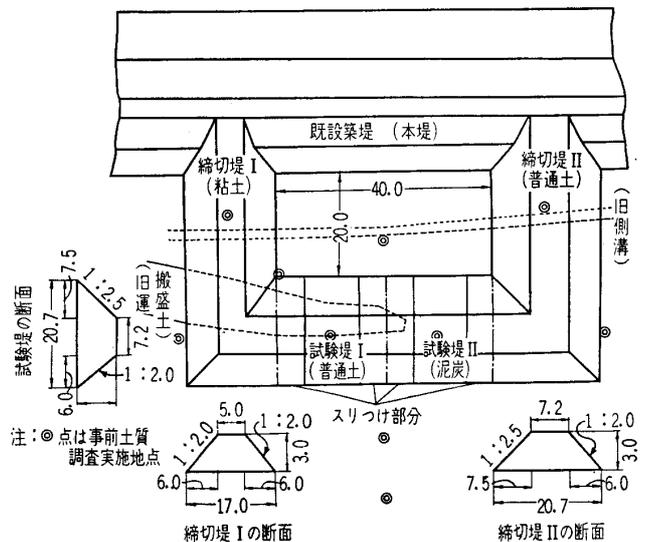
洪水時における河川築堤の効果は、堤内地に水を浸入させないことであることはいうまでもない。このためには第1に洪水により築堤が欠壊しないことが必要である。築堤欠壊の原因には、築堤天端からの越流、堤体あるいは、基盤の漏水とくにパイピング、および、築堤の部分的損壊による築堤断面の減少などが考えられる。

これを土質工学的見地から見れば、天端からの越流は軟弱地盤における築堤基盤の破壊や圧密沈下による天端高の減少がその原因となる。漏水は土質の透水性に左右され、パイピングは堤体にくらべて基盤の透水性が高いときに起こるといわれている。また、築堤の部分的損壊には、豪雨や洪水によって堤体が過含水状態となり、そのため土のせん断抵抗が低下してノリ面がスベリ破壊を起こす場合があげられる。

この試験築堤では、築堤基盤の安定と沈下、タン水時における浸透流の状態、浸潤線のノリ尻到達速度、堤体の含水比および強さの変動などを泥炭、普通土および粘



図一 土取場および試験築堤位置図



図二 試験築堤

\* 北海道開発局土木試験所 土質研究室室長

\*\* 同 主任研究員

\*\*\* 同 研究員

土の3種の異なった土質の築堤材料で築造した実物大の模型によって比較解析し、石狩川下流域における一般築堤の水防効果を検討することにした。

なお、試験築堤の設置箇所は(図-1)石狩川筋左岸美唄市地内元村であり、図-2のように、暫定断面をもつ本堤の堤外地側にコの字形にすりつけた。この位置は、基盤条件や施工条件をできるだけ、石狩川下流域の一般の築堤条件に合わせるよう、また、タンク水試験の際の取水の便などを考慮して決定したものである。

### 3. 試験地点の基盤土質

図-3は、試験堤地点の基盤の土質柱状図と強さを示したものである。土層構成は、粘土層、泥炭層、粘土層の順からなり、地表から5~6mまでは軟弱層である。図-3は、静的二重管式貫入試験とペーン・セン断試験による強さ試験結果を示したものであるが、両者はそれぞれよく似た試験結果になっている。ペーン・セン断強さの傾向を見ると、締切堤I,IIにおいては泥炭層が0.25~0.30 kg/cm<sup>2</sup>、粘土層が0.26~0.38 kg/cm<sup>2</sup>となっているのに対して、試験堤I,IIにおいては泥炭層が0.35 kg/cm<sup>2</sup>、粘土層0.42 kg/cm<sup>2</sup>のように大きくなっている。これはかつて試験堤Iから試験堤IIにかけて、本堤を築造するための運搬路の盛土があったので基盤が圧縮を受け、強さ増加を示したものと考えられる。

本試験で重要な意味をもつ基盤層の透水係数を求めるために、現地透水試験と室内透水試験を行なった。現地

透水試験は、オーガー法とチューブ法で行ない、室内透水試験は乱さない試料を採取し、変水位試験や圧密試験を実施した。これらの基盤の透水係数は、表層粘土で10<sup>-5</sup>のオーダー、泥炭層では10<sup>-2</sup>~10<sup>-3</sup>のオーダーとなっている。ただし運搬路によって圧縮された試験堤Iから試験堤IIにかけての泥炭層は、透水係数が10<sup>-3</sup>~10<sup>-4</sup>のオーダーである。

### 4. 試験堤の築造

試験堤の築造は昭和38年10月から12月にかけて実施したが、その築造に先立ちブルドーザーで側コウ(溝)の埋戻しや、前述の運搬路用盛土を除去するなどして、試験堤敷地の整地を行なった。

築堤材料には石狩川下流域で使用されている代表的なものとして、泥炭、普通土および粘土の3種類を選んだ。

泥炭の土取場は図-1に示す石狩川水系の月形橋付近に求め、普通土および粘土は図-1の試験堤付近の河岸で採取した。それら築堤材料として採取した3種類の土質試験結果を表-1に示す。

各築堤の盛土の材料は、図-2のように主試験築堤の試Iは普通土、試IIは泥炭、従試験堤である締切堤の締Iは粘土、締IIは普通土である。なお、本堤は普通土と、泥炭の混合土を築堤材料としている。

試験堤の盛土作業に際しては、盛土速度、締固め度、含水状態などについては特別な規制を設けず、従来から

一般に行なわれている施工方法によった。すなわち、写真-1に示すようにジゼル機関車に土運車を10~20両連結し、築堤の縦断方向に走らせて運搬土を横断方向にまき出し、特別な転圧作業は行なわず、土運車を盛土面にそって線路を移動させながらかさ上げする方法をとった。

各試験堤の築造に要した日数は、試Iが12日間、試IIが6日間、締Iは30日間、締IIは38日間であった。しかし、試II以外の実作業日数は、上述の数字よりはるかに少ない。これは、施工方法の都合で一つの断面のみをいっきに盛上げることができないことと、10月から11月にかけての盛

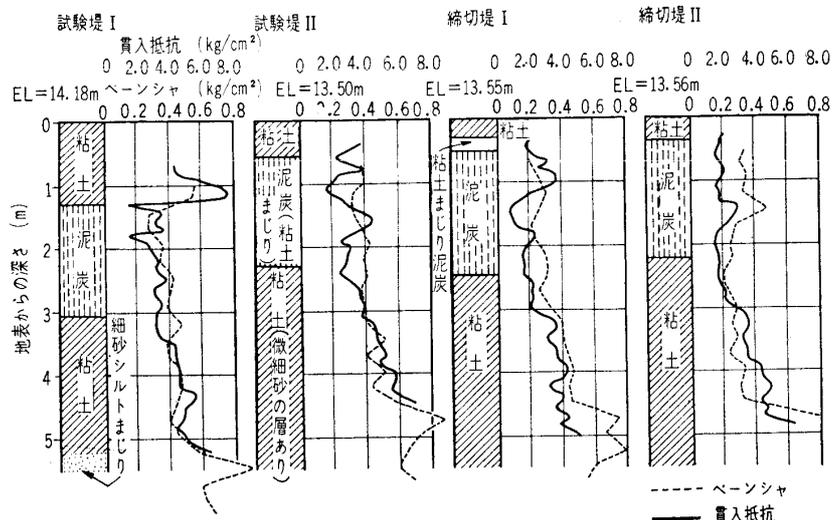


図-3 土質柱状図および基盤強さ

表-1 堤体材料の土質試験結果

名称	自然含水比 w(%)	地山密度		真比重 Gs	コンシステンシー			粒度分析				シヤク熱損失比 n(%)	突固め試験		備考
		rt (g/cm <sup>3</sup> )	rd (g/cm <sup>3</sup> )		L.L (%)	P.L (%)	P.I (%)	砂 (%)	シルト (%)	粘土 (%)	土質名		W <sub>opt</sub> (%)	rd <sub>max</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	
普通土	43.6	1.60	1.12	2.632	37.8	22.2	15.6	33	53	14	シルト質 ローム	—	22.0	1.58	いずれも3 個の試料の 平均値を示 す。
粘土	45.2	1.67	1.15	2.653	48.0	25.1	22.9	8	60	32	シルト質 粘土	—	26.7	1.47	
泥炭土	415.0	1.04	0.21	1.818	—	—	—	—	—	—	—	53.2	—	—	

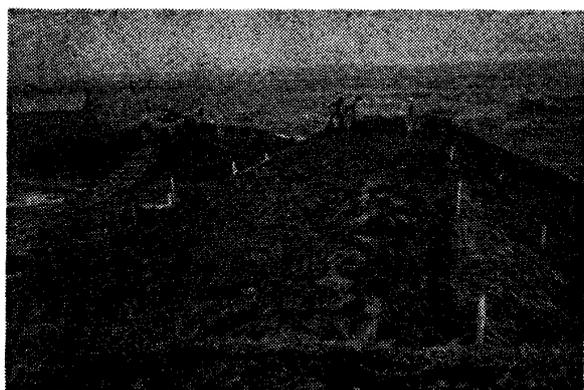


写真-1 試験堤の築造

土施工の期間中は雨の日が多かったことなどが原因となっている。

完成した試験堤の定規は図-2 に示したとおりである。

築堤断面形は、現在石狩川築堤で採用している断面とし、天端 7.2m, ノリコウ配は堤外側 1:2.5, 堤内側 1:2.0, 築堤高さは暫定的に基盤上 3m とした。ただし、締 I の断面は天端幅 5m, 堤外側のノリコウ配 1:2.0 とした。

各試験築堤の長さは 20m であるが、異種材料との接合部の不同沈下および接合部からの漏水などを避ける目的で両側に 5m のスリツケ区間を設けたため実質の試験築堤の延長は 10m である。

本堤は現在暫定断面であり、築堤高さは 3.5m で堤外に幅 5m の小段をもつ複断面形である。

なお、完成時における試験堤の乾燥密度は、試 I, 締 II で JIS A 1210 による最大乾燥密度の 77%, 締 I では 81% であった。

### 5. 基盤の沈下と築堤の安定

図-4, 5 にそれぞれの試験堤断面の中心点における沈下量の、時間的推移を示した。昭和 39 年 11 月 28 日現在の基盤面における約 1 年間にいたる沈下量は、試 I が 45.9 cm, 試 II は 23.1 cm, 締 I は 76.2 cm, および締 II は 76.7 cm となっている。

築堤の盛土荷重強さは約 5.4 t/m<sup>2</sup> となるが、基盤のもつ限界荷重強さは 9.4 t/m<sup>2</sup> である。したがって、安全率は 1.7 となる。実際の盛土中および築堤完成後においても安定計算から推定したように、基盤の破壊は起こらなかった。

### 6. タン水試験用観測施設および測定方法

図-6 にタン水試験用の主な観測施設の配置を示し

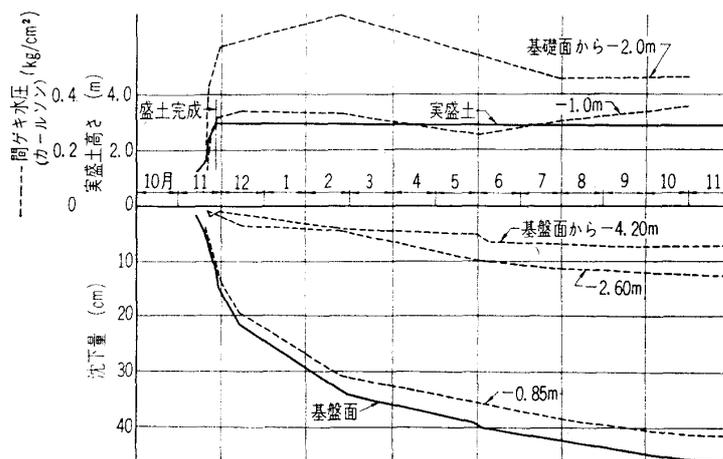


図-4 試験堤 I 中心における沈下経時変化

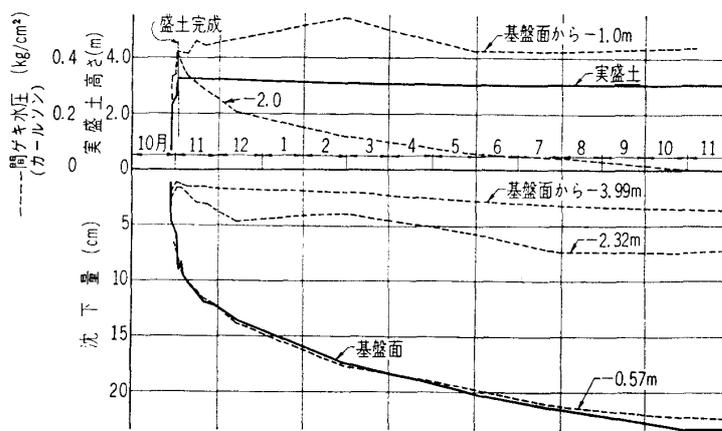


図-5 試験堤 II 中心における沈下経時変化

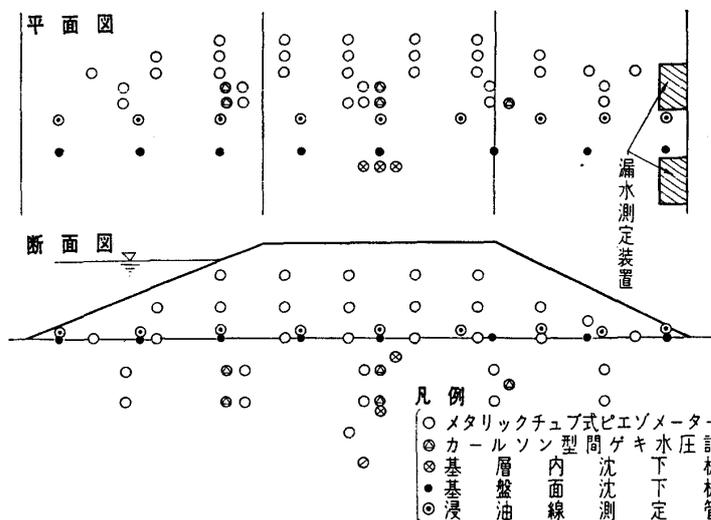


図-6 試験堤 I, II における観測施設

た。写真-2 はタン水試験中の全景を写したものである。

主要な測定項目およびその観測施設と測定方法は次のとおりである。

(1) 浸潤線 (試 I, 試 II, 締 I, 締 II, 本堤の全断面)

5 cm おきに小さな穴をあけた直径 2 インチの有孔硬

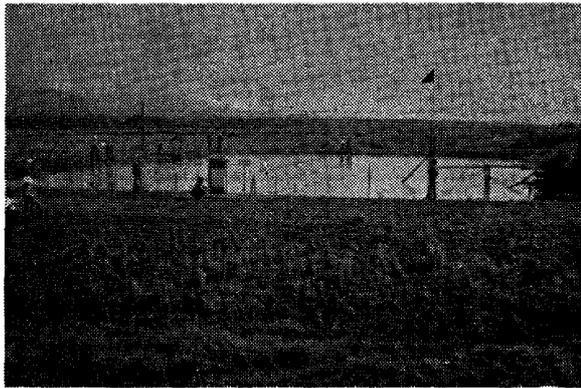


写真-2 タン水試験の全景

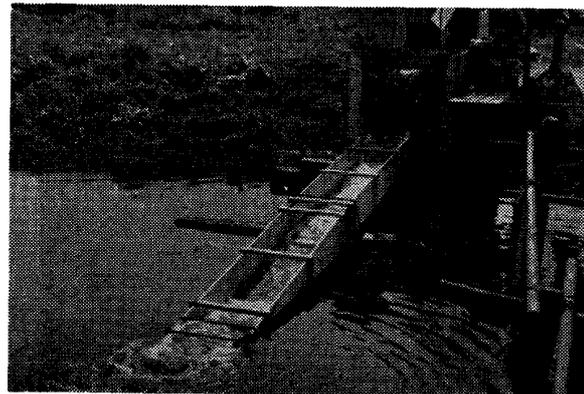


写真-4 流入装置(整水ソウ)

質塩化ビニールパイプを浸潤線測定管として築堤の基盤面近くまで押し込んだ。それぞれの試験断面には、図-6のように横断方向に9~12本の測定管を配置した。測定管の水位はテスターを用いて電氣的に測定した。この方法によればテスターからのばした両極のコードが水面に達すると、テスターの針が振れるのでコードの長さを測ることによって水位を知ることができる。写真-3は水位の測定を行なっているところである。



写真-3 浸潤線および浸透流の測定中

## (2) 等ポテンシャル線および流線(試I, 試II)

堤体内の浸透流を調べるために、メタリックチューブ式水圧計を図-6のように堤体および、基盤内の5段階に1断面33本ずつ設置した。この水圧計の水位も、浸潤線の場合と同じ方法で測定した。

## (3) 浸透水量(全断面)

浸潤線の測定管付近の外ノリ尻に、浸透水量測定装置を設置した。装置は、硬質塩化ビニール板(1.0×1.5m)2枚を用い、1枚は水平に他方は堤体の基盤面に沿ってさし込んだ。塩化ビニール板はチリ取りのような形をしており、チリ取りの柄に当たる部分に流出孔をつけたものである。測定方法は、一定時間に流出孔から出る水をメスシリンダーに取って測ることにした。

## (4) 流入水量およびタン水池の水位

取水装置には、20IPの電動ポンプと、三角ゼキを設置した3.5m<sup>3</sup>入りの整水ソウを用いた。写真-4は流入水量を三角ゼキを使って測定しているところである。

水位は、タン水池のほぼ中央に量水標を立て、一目でわかるようにした。

## (5) その他

その他、必要な施設として、試II、締IIのタン水池側のノリ面に、ノリ面破壊検出装置をとりつけた。

この検出装置はノリ面横断方向に50cmごとにクギをさし、細いワイヤーを築堤の中心までのばして緊張し、ワイヤーの移動によって、ノリ面のすべり出し部分を検出するようにした。

## 7. タン水試験

タン水試験は昭和39年7月27日10時から8月7日12時まで実施した。

タン水池に貯水する水は、本堤に沿っている農業用水路から、毎分約2.0m<sup>3</sup>の水を電動ポンプで揚水した。揚水した水は整水ソウを経由させ三角ゼキで水量を測定しながら、タン水池に入れた。

それぞれの試験堤は築造後、約1年間に前述のように約50~80cm沈下しているのので、試験堤のノリ肩まで水を入れると、タン水池内の水位は2.5mになる。そこで、高水位が築堤ノリ肩に等しくなった場合を想定して、タン水池の水位を2.5mとした。

タン水池の水位が2.5mになるには、揚水開始後28時間かかり、その時の合計流入水量は3,500m<sup>3</sup>になった。タン水池が満水してからの流入水は、タン水池内の水位が3~5cm以上さがらないように揚水した。

タン水池の貯水期間は浸透流が定常流になるまでとした。その判定は浸潤線パイプや、メタリックチューブ式水圧計などの水位の上昇が、止まったときとした。タン水池の満水期間は、7月28日16時から8月2日10時までであった。タン水池の排水に当たっては、前記のポンプが使用できず、試験堤の締Iと試IIの境界付近の断面を1mほど切って排水し、その後は5IPの発動機で排水した。タン水池の排水は8月2日10時から開始し終了まで18時間を要した。

浸潤線パイプの水位やメタリックチューブ式水圧計の

水位、および浸透水量の測定は 7 月 27 日から 8 月 7 日のタン水試験中 2 時間おきに測定した。タン水池の流入水および水位は、常に 1 人つききりでヒン繁に測定した。またノリ面および基盤の破壊やパイピングなどを調べるために、随時巡回を行なった。

タン水池の排水完了後も、浸潤線測定管やメタリックチューブ式水圧計の水位観測を続けたが水位の変化が認められなくなったので 8 月 7 日で観測を打ち切った。

### 8. 試験結果とその考察

図-7 は試Ⅱにおける浸潤線測定管の水位や、流入水量およびタン水池の水位などの時間的な経過を示している。

タン水池が満水（水位が 2.5 m）になってからの流入水量はタン水池の底面および各試験堤の浸透水量（漏水量）になる。図-7 に示したように、満水後の累計漏水量は約 1,700 m<sup>3</sup> であり、その量は一定で 16.3 m<sup>3</sup>/hr である。タン水池が満水になるまでの流入水は 125.0 m<sup>3</sup>/hr であるが、この流入水がタン水池に入ると一部分は浸透する。浸透のしかたは、池のタン水面積が広がるにつれて浸透面積も増加し浸透量が増す。すなわち、タン水試験前の池には貯水されていないから浸透量は無く、タン水されるにつれて浸透量が増し、その最大量は満水時の 16.3 m<sup>3</sup>/hr と考えることができる。

タン水池の水位は 図-7 のように 8.9 cm/hr の割合で上昇している。したがって、タン水試験における水位上昇速度は、実際の洪水時における月形橋付近の 15.6 cm/hr にくらべると約 1/2 になっている。

また、タン水池の排水時の水位低下速度は約 13.9 cm/hr で、前記の月形橋付近における出水後の水位降下速度 14.0 cm/hr にくらべると、ほぼ同じになる。

図-7 は浸潤線パイプの水位の時間経過を示したものであるが、浸潤線パイプの水位は、タン水池の水を流入した場合も、排出した場合も、ただちに変わるのでなくて、いくらかの時間を経て変化している。浸潤線水位の時間的ズレは図-7 の No. 4, No. 5, No. 6, …… , No. 9 のように、堤内地側の水位ほど大きくなっている。なお、タン水池に水を入れた場合は、浸潤線水位の時間的ズレ

に前記の傾向が明らかに見られるが、排水した場合は前記の傾向がやや不明瞭である。排水後の浸潤線水位をよく見ると、排水後、5~6 時間ぐらいから水位降下が起

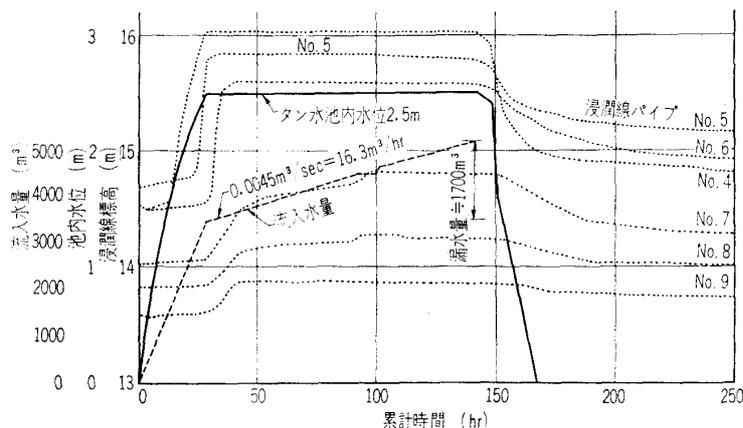


図-7 流入水量、池内水位、浸潤線水位の時間推移

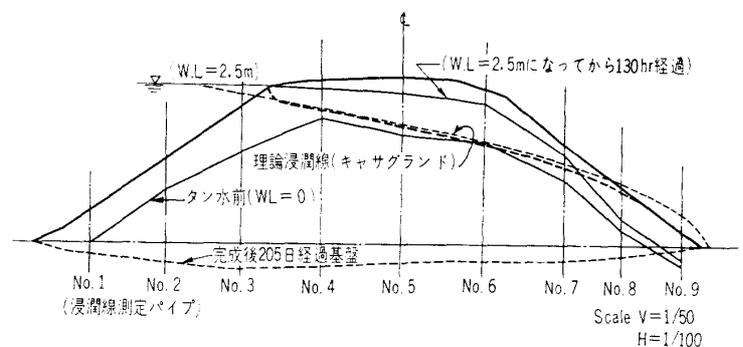


図-8 試験堤 I (普通土) における浸潤線の推移

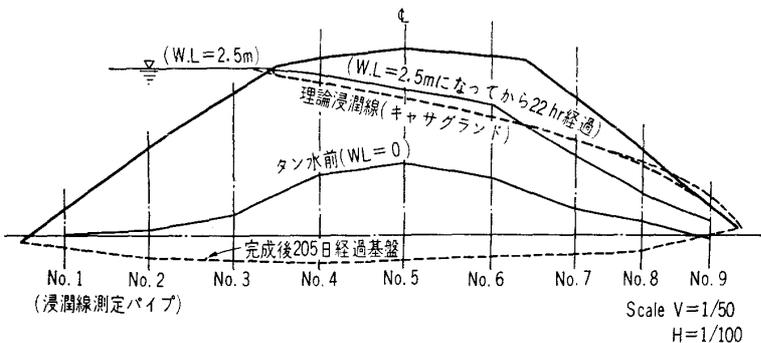


図-9 試験堤 II (泥炭土) における浸潤線の推移

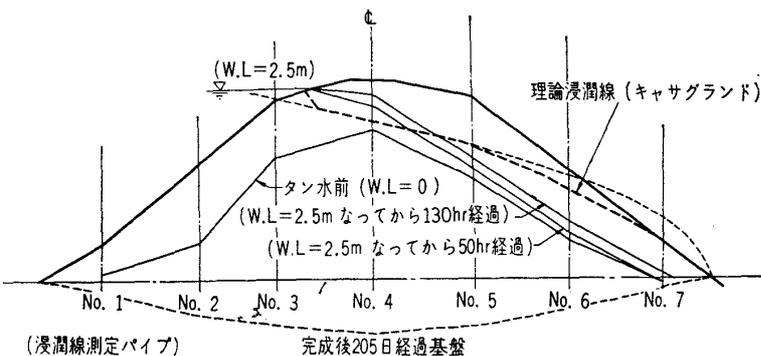


図-10 締切堤 I (粘土) における浸潤線の推移

こらなくなり、ほぼ一定になっている。しかし、排水後 100 時間すぎても、各浸潤線水位はタン水試験前の最初の浸潤線パイプの水位よりも高くなっている。すなわち、堤体に浸透した水は、自然には排除しがたいことを示しているものと考えられる。

図-8, 9, 10, 11, 12 は各試験堤断面におけるタン水試験前の浸潤線水位と、満水後堤体の浸透流が定常流になった時の浸潤線水位（以後定常流水位とよぶ）とを示している。また、各図とも、それぞれの断面にはキャサグラント (Casagrande) の理論浸潤線を併示した。

各図によれば各試験堤断面はタン水試験前浸潤線水位面以下は水で満たされていることになる。この試験前の浸潤線水位を、初期浸潤線水位とよぶことにする。初期浸潤線水位は盛土荷重の反力として発生する間ゲキ水圧、盛土材料がもつ毛管水および降雨の浸透水、盛土材料の初期含水などによって定まるものと考えられる。すなわち、図-8, 9, 10, 11, 12 の各試験断面の初期浸潤線水位が高い原因としては、前記の間ゲキ水や毛管水のほかに、試験堤の施工中に降雨量が多く、液性限界以上の含水状態の土を盛土材料に用いたことや、盛土の土を締固めるような作業を行なわなかったために、堤体内の盛土は間ゲキが多く、この間ゲキが水で満たされていたことなどが考えられる。

また、初期浸潤線水位と透水係数の関係を見ると図-8, 9, 10, 11, 12 のように盛土の透水係数の大きいものほど初期浸潤線水位は低くなる傾向にある。たとえば、透水係数の大きい泥炭の試験断面の初期浸潤線水位面は、試験面の 40% 位まで水位面が上がっているのに対して、透水係数の小さい粘土や普通土の初期浸潤線水位面は、試験断面の 70~80% まで上昇している。

図-8, 9, 10, 11, 12 に示すタン水池の満水後の定常流水位とキャサグラントの理論浸潤線を比較すると、それぞれの試験断面とも、定常流水位は堤内地側のノリ肩付近までは理論浸透線が少し下にあるが、ノリ肩からノリ尻にかけては定常流水位より理論浸潤線の方が上にな

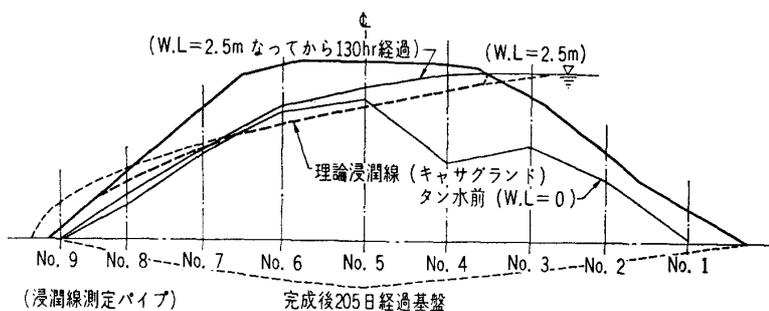


図-11 締切堤Ⅱ (普通土) における浸潤線の推移

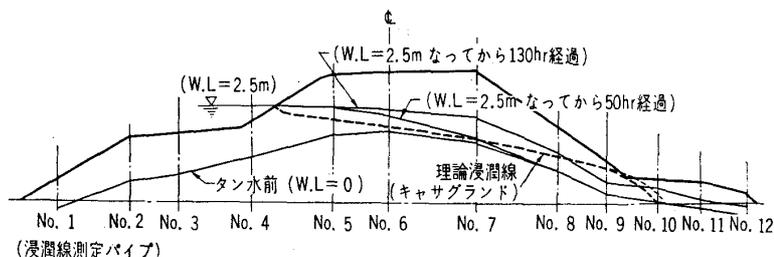


図-12 本堤 (普通土と泥炭の混合土) における浸潤線の推移

っている。すなわち、堤体内を進む浸透流の進行状況は初期浸潤線水位によって大きく左右され、理論浸潤線と定常流水位が一致していないことの一因をなしているものと考えられる。なお、タン水試験中、ノリ面スベリや基盤破壊などは起こらなかった。

## 9. あとがき

今回のタン水試験では、堤体のもつ初期浸潤線水位が予想以上に高く、堤体を通る浸透流の進行に影響を与えたようである。

また、この試験築堤がこの付近の河川築堤と同様な施工方法や盛土材料を使用していることから推定して、既設の河川堤防も初期浸潤線水位が高いのではないかと考えられる。

これらの諸問題については、今後さらに検討を加えなければならぬ。

なお、40年度以降は39年度のタン水試験の資料を検討し、不備な点を補足するとともに、スプリンクラーを用いた降雨試験や、破堤に至るまでの試験を実施する予定である。

(1965. 2 土質工学会北海道支部発行  
「技術パンフレット」第5号から転載)