

アスファルト舗装ダムの施工管理について

建 部 英 博

A Study on Construction Control of Asphalt Facing Dams

Hidehiro TATEBE

最近フィルタイプダム等にアスファルトフェーシングが採用され初めたが、その透水性等を現場において簡単に早く知る方法として、粘性の低い空気を利用した Asphalt-Paving meter を用い、これが施工管理の1方法とし利用出来るか否かについて検討を行った。

I. 概 説

瀝青材料は防水性に富んでいるので小規模な河川堤防、用水池、水路等の工事には古くから利用されており、最近ではアースダムやロックフィルダム等の様な大規模な工事にもこの防水性を利用した工事が行なわれ始めている。これは従来のアースダムやロックフィルダムの様に、堤体中に粘土等の不透水層を心壁として入れ、堤体の中で漏水を防ぐ方法に代りアスファルト合材をダム堤体表面に舗設し、堤体表面で止水しようとする工法である。この方法によれば瀝青材はたわみ性の材料であるのでダム堤体の多少の変形に対しても、その防水性を損う事なく追隨していく事が出来、現場の立地条件によっては、より経済的なダムを作る事が出来るといわれている。アスファルト合材は従来主に道路舗装に利用されていたため各種の条件が異なる遮水壁に用いる場合には各方面から種々の検討を加えなければならぬ。本文ではその中から施工管理の点に着目し検討を行ってみたものである。すなわちこの種の遮水壁は一般の道路舗装と異り、もし施工等の不備で漏水が多く発生すればダム堤体は破壊し、それによって生ずる被害は甚大なものとなるであろう。又漏水発見後の補修に当っても水没地点では水位を下げる等非常に困難を伴うので、計画された通りの配合、施工が完全に行なわなければならない、その施工管理は特に重要である。

本報告では施工管理の一方法として空気透過量測定装置 (Asphalt Paving Meter) を用い、アスファルト合材舗設後直ちに遮水壁の空気透過量を測定し、短時間のうちに漏水の恐れのある個所を見出そうと試みたものである。

すなわち室内実験によりまず第1に瀝青混合物の空気透過量を測定し、空気透過量と空隙率及び透水係数の関係について調べた。その結果瀝青混合物供試体の空隙が約3~4%以上であれば空隙と空気透過量には片対数グ

ラフではほぼ直線関係が得られ、空気透過量と透水係数の間にも両対数グラフで直線的関係が得られた。第2に締固め方法の違いによって空気透過量が変化するかどうかを調べる為に静的に圧縮して作った供試体と動的に突固めた供試体について空気透過量を測定し空隙や透水係数との関係を比較してみた。その結果同じ空隙を持つ供試体であっても静的に作った供試体の方が空気を良く通す事が解った。しかし空気透過量と透水係数との関係では締固め方法の違いによる差は見られず舗装の透水係数を推定するに当っては問題は生じない事が判明した。

第3に室内実験で行う空気透過量の測定方法と現場で実際に行う方法とでは形式が違う為空気の流れる流線の形が異なると思われるのでその相違についての検討を行った。その結果空隙が3%程度では室内型でも現場型でも殆んど空気透過量の差は認められないが空隙が増加するにつれて現場型の空気透過量は増加し、空隙7%程度でその比は最大となり、約10倍の空気が流れるという測定結果を得た。第4にはこの空気透過量測定装置を用いて実際の現場で施工管理に使用出来るか否かについて検討を行った。その結果 Joint 部分では空気透過量が多く測定され、Joint部分が弱点となり易い事を知ると同時に遮水壁の様な急斜面でも使用し易い様な試験機 (高さ35cm, 巾20cm, 奥行15cm, 重さ5kg) を試作した。

以上の事から空隙率3%~4%以上の舗装であれば Asphalt Paving Meter による空気透過量の測定が出来、その舗装の空隙率、透水係数等を推定する事は可能である。しかし空隙率が3%~4%以下の舗装に対しては本装置での判定は困難であり、今後検討すべき問題と思われる。

II. 序

アスファルト・コンクリート舗装の防水性、耐久性、強度等に影響を及ぼす因子には (A) 骨材の性質、形状、配合、アスファルトの性質、アスファルト量、混合

温度等と(B)締固め温度, 締固め方法, 締固め量等が考えられる。(A)については舗設以前の混合時に調べる事が可能であり, もし許容範囲外であれば直ちに別の材料を用いてやり直す事が出来るが(B)締固め温度(特に Joint 部分等の先打ちアスファルト・コンクリートの部分)や締固め程度等については舗設時あるいは舗設後でなければチェックする事が出来ない。

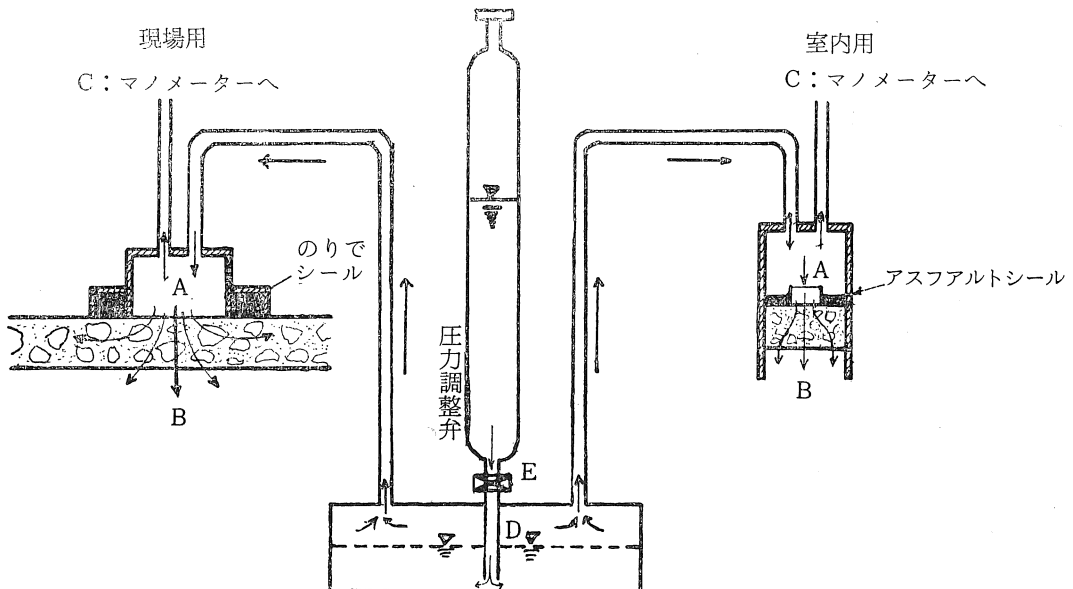
舗設後に舗装が規格通りに出来上がっているかどうかを確認する為には, 従来の道路舗装では通常ボーリングを行い, コアを採取し, このコアによって各種の試験を行い施工管理の一方法としている。しかしこの方法によるとコアを抜き取った後にアスファルト合材を埋め戻しても周りの材料と一体化しにくく, コア部分と舗装面との間に亀裂が発生している事がしばしば見受けられる。遮水壁の様な構造物の場合にはこの亀裂は漏水の原因を作る事にもなりかねずこの方法を採用する事は好ましくない。そこで施工管理の方法として非破壊で透水性等の舗装の性質を知る事が必要となってくる。透水性等を非破壊な試験によって測定するには2つの方法が考えられる。その1つは舗装の透水性を直接測定する現場透水試験による方法で他の一つは水の代りに空気等を利用して間接的に透水係数等を求める方法である。前者は舗装体中に実際に水を流入させて直接透水性を測定する方法であるが水は粘性が高い為, 高圧を必要とし, 測定にも長時間を要し, 又試験機も大きくなる為, ダム遮水壁の様な急勾配の場所では持ち運びにも不便であるという欠点を持っている。一方後者は水の代りに粘性の低

い空気を舗装体中に流すので極く低圧で実験を行う事が出来, その為試験機の小型化も可能で持ち運びも比較的簡単に測定に要する時間も短時間ですむ。しかし空気透過量から透水係数等を推定するには, あらかじめ舗設される合材について空気透過量との相関関係を得ておくのは必要な事である。空気透過量測定装置はドイツで開発された真空式のものと同アメリカで作られた加圧式の2つの方式が考えられる。

真空式のものとは真空度が大きい為アスファルト量の多い舗装に用いる場合, 温度の上昇する昼間に測定を行うと舗設されたアスファルト合材も一緒に引張られ舗装が浮き上る恐れがあり昼間の測定には向いていない様である。一方加圧式のものとはごく低圧の空気を舗装体中に流し込む為, 舗装体に与える影響はなく, 昼間でも測定が可能である。そこで加圧式の空気透過量測定装置を用い, ダム遮水壁用アスファルトコンクリート舗装の施工管理に利用出来るか否かについての検討を行った。

Ⅲ. 加圧式空気透過量測定装置

加圧式空気透過量測定装置 (Asphalt Paving Meter) はアメリカで道路用に開発されたものであるが, これはアスファルト・コンクリート舗装体中の空隙はある大きさの独立した空気の粒の集合体であり, 空隙がある程度以上になれば空気の粒がお互いに接触し, 空隙が連続した形となり, 一定圧の下では空気は一定速度で流れるはずであり, 又空隙が非常に小さければ Asphalt Paving Meter による空気の流れは認められ



(図一)

ず、すなわち水の流れも生じないという点を利用したものである。

この試験機の機構は図一1 に示す様に舗装面あるいは供試体表面から水頭で0.5inch の圧力空気を送り込み舗装体中の空隙を通過して流れる空気の量を水の量に換算して測定する装置である。すなわち試験機Aに圧力 (0.5 inch) をかけ、A からB に空気を流す。この時Aの圧力が一定である様にCのマノメーター圧力を読みながら D→Aへの流れを調節する。その流れの調節は Eにおける水の落下によって決まる。従って AからBに流れる空気量はEにおける水の落下量で測定する事が出来、この流れる量を1分間あるいは1秒当りに換算したものを Flow-Rate (cc/min) , あるいは (cc/see/cm²) で表わし、あらかじめ実験室内で瀝青混合物中を透過する 空気量 (Flow-Rate) と各種の関係を測定しておき現場におけ

る空気透過量の測定結果から舗設された舗装の性質を推定しようとするものである。

IV. 室内実験

舗設されたアスファルト舗装の品質に影響を及ぼす因子、特に施工時の条件によって大きく影響を与えるものとしてはアスファルト合材の締固め温度、締固め方法、及び締固め量等が考えられる。又空気透過量の測定は室内型と現場で用いる現場型ではその流線の形が異なると考えられるので、その相違についても検討を加えておく必要がある。そこでこれらの条件が変わった場合、舗装の空気透過量にどの程度影響を及ぼすか検討する為、各種の条件の下で空気透過量の測定を行い、同時にマーシャル安定度試験、空隙量の測定、透水試験等を行った。

実験に用いた配合は次の通りである。

A.

粒 径(mm)	15~10	10~5	5~2.5	2.5~0.074	炭カル	アスファルト(60/80)
重量百分率(%)	11.7	16.5	5.9	55.3	10.6	8.0

B.

粒 径 (mm)	15~10	10~5	5~2.5	2.5以下	炭カル	消石灰	アスベスト	アスファルト(60/80)
重量百分率(%)	11.5	15	11	48.5	10	3	1	9

V. 実験方法及び結果

○マーシャル安定度試験

マーシャル安定度試験は A配合 (表層用密粒アス・コン) を用い、突固め回数を 5~50回、突固め温度80C°~130C° の供試体を作製し、それぞれのものについて空気透過量の測定を行い、マーシャル試験を行った。尚突固めはマーシャル安定度試験用自動突固めにより重さ4.5 Kgのランマーを45.7cmの高さから自由落下させる方法で行なった。その結果を図一2に示す。

これによるとマーシャル安定度と空気透過量 (Flow-Rate) との間には片対数のグラフではほぼ直線の関係が見られ (相関係数0.82) , Flow-Rate の多いものほどマーシャル安定度は低くなっている事が解る。又突固め温度による影響は 100C°以上の突固め温度ではマーシャル安定と Flow-Rate の関係はほとんど変化は認められないが80C°の突固め温度では、一定の Flow-Rate に対しては 100C°以上のものと比較してマーシャル安定度が低く測定されている。これは低温での締固めでは舗装体

中の空隙等の構造が 130C°位で締固めた場合と異って居り安定度が低くなっている事を示している。

○空気透過量 (Flow-Rate) と空隙率との関係。

B配合のものを用い、マーシャル用自動突固め機で突固め回数を 5回~30回まで(片面のみ)変化させ種々の空隙を持つ供試体を作り Flow-Rate と空隙との関係を調べてみた。なお突固め温度は全て130C°である。その結果を図一3に示す。これによると空隙率が3~4%以上であれば空隙と Flow-Rate の対数との間に相関性がある事が解る (相関係数0.90) . 尚空隙率が3~4%以下になると供試体中の空隙の粒が連続しなくなり、空気が連続して流れる事が出来ない様である。

○透水係数と Flow-Rate の関係

透水試験はマーシャル安定度試験用のモールドを用い、定水位条件の試験機を用いて行った。又骨材配合はB配合のものを用いた。供試体は直径 10cm、高さ約 4cm の大きさであり、突固め回数 5~60回で供試体を作製し

た。モールド壁部から漏水を防ぐ為に図-4 に示す様に供試体表面に直径約4cmのリングを設置し、その周囲にアスファルトを流し込み1Kg/cm²の水圧で実験を行った。又空気透過量の測定も透水試験を行う前に同じ供試体を用い同一条件の下で実験を行った。透水係数は便宜的に次式を用いて求めた。

$$k = \frac{Q \cdot L}{t \cdot h \cdot A}$$

- Q ; 時間 t に流出した水の量, (cm³)
- L ; 試料の厚さ (cm)
- A ; 試料の断面積 (cm²)
- h ; 水位差 (cm)
- t ; 時間 (sec)

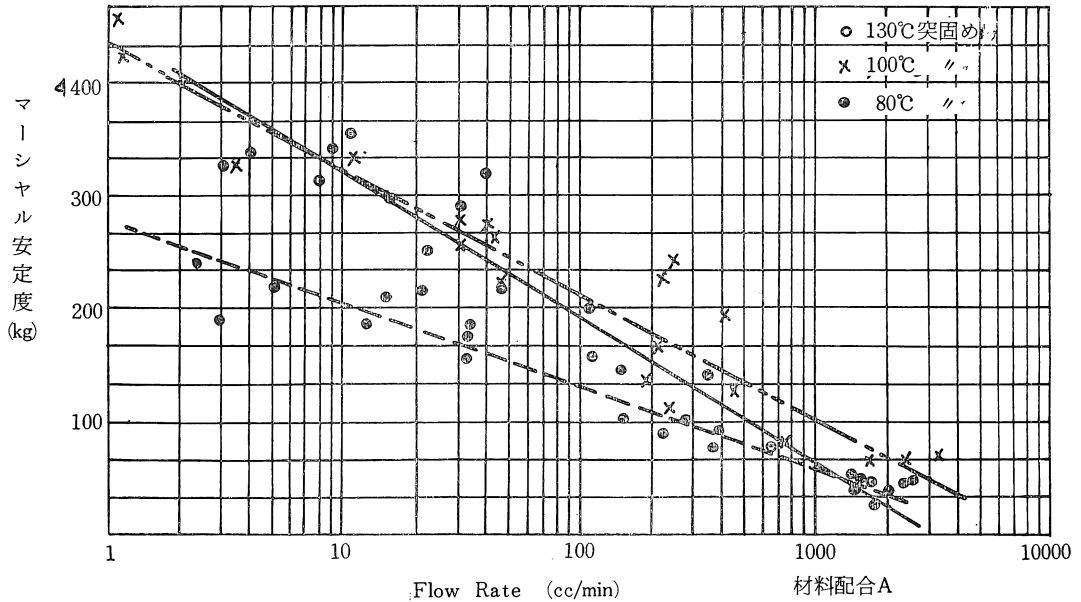


図-2

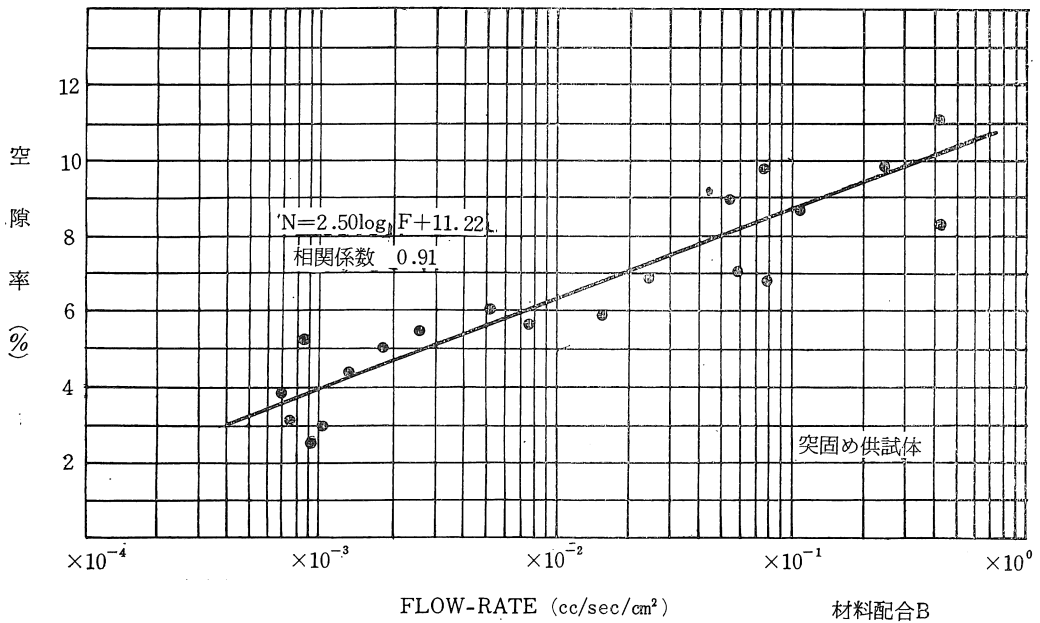


図-3

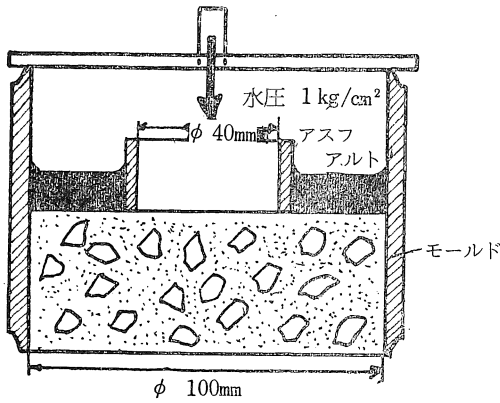


図 - 4

図一5は骨材配合、アスファルト量も一定で突固め回数だけを変化させて作った(5回~30回) 供試体について透水係数と Flow-Rate との関係を示したものであるが、両対数グラフで直線的な比例関係にあり相関係数 0.96とかなりの相関性を持っている事を示している。

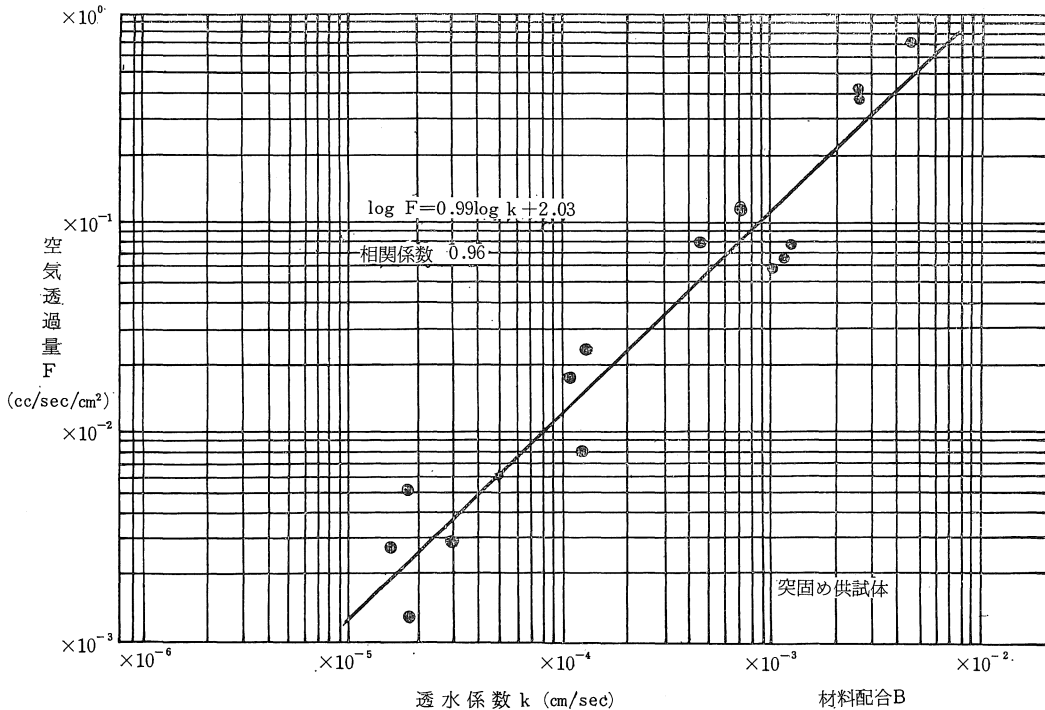
○締固め方法の違いによる影響

室内実験に用いる供試体は大半がマーシャル安定度試験用の自動突固め機を用いて作製するが実際の現場ではロードローラーあるいは振動ローラーの様なものを用いて締固めを行っている。その為この締固め方法の違いによって舗装体内部の構造が異なる事が考えられる。そこで

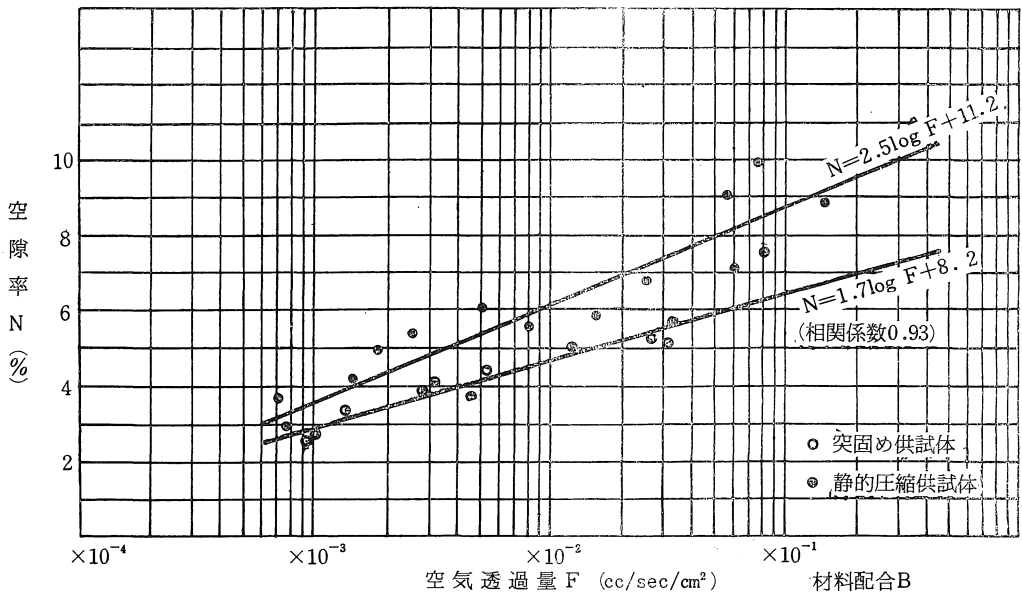
締固め方法が異った場合の空気透過量と空隙、透水係数との関係がどの程度影響を受けるかを知る為、突固めによって作った供試体(突固め回数5~30回)と静的圧縮によって締固めた供試体(63Kg/cm²~126Kg/cm²)についての比較実験を行った。

結果は図一6に示す様に空隙が約3%以上になると同じ空隙を持つ供試体であっても、静的に締固めた場合の方が突固めた場合よりも空気透過量が多く測定される傾向がある。この事は供試体内部の空隙が締固め方法によって異なるものと思われる。すなわち締固め過程における力の伝達について考えてみると、締固めは初期には大きな骨材を通して伝達されると思われるが、静的に圧縮される場合には骨材の横方向の移動は衝撃を加えて締固めた場合よりも少ないと考えられる。その為図一7の様に大きな骨材に上下方向からはさまれた部分のアスファルト・モルタルについては締固めが良く行われ、従って横方向に連続となる空隙は少なくなると考えられる。すなわち突固めによる供試体の空隙の分布は圧縮の場合よりも横方向に連続した空隙が多いものと考えられる。ここで一軸的な空気等の流体の流れの場合には、主に縦方向の空隙に比例するもので横方向の空隙の影響は少ないはずである。

その為、突固めた場合と静的に締固めた場合で同じ空隙を持つ様な供試体では圧縮による方が空気過量は多く



図一5

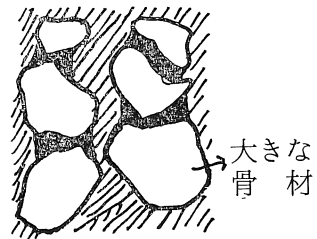


図—6

測定されると考えられる。

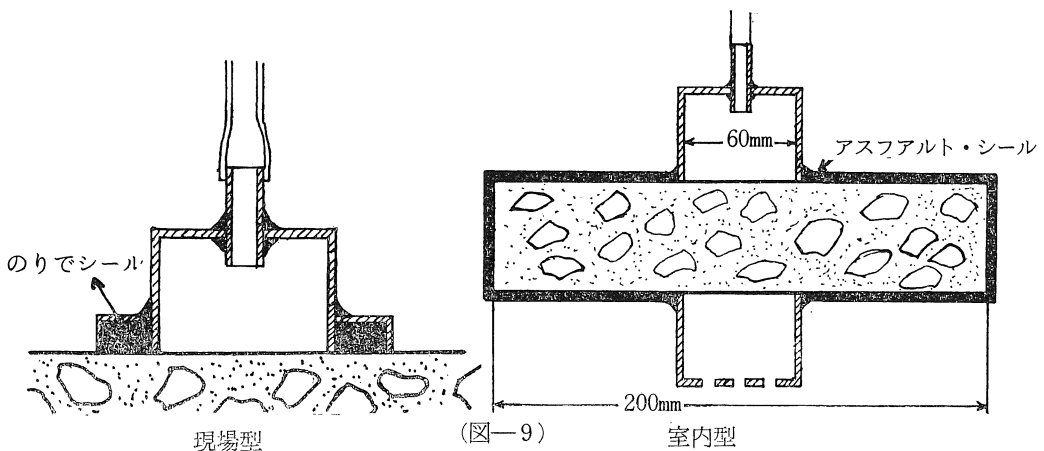
一方空気透過量と透水係数の関係は図—8に示す通り両対数グラフで直線関係が成り立ち、突固めた場合にも静的に締固めた場合にもほとんどその差は認められず一本の直線と考えられる。この事は空気の通過する空隙と水の通過する空隙はほぼ同一であり、非圧縮性流体と考えられる水の透水性を性格の違った圧縮性流体である空気を利用して、この程度の空気圧であればある定数を乗ずる事によって利用する事が出来ると思はれる。

すなわち実際の施工管理に当って、空気透過量の測定から直ちに空隙の様子を知る事は難かしいが、締固め方法に関係なく、その舗装の透水性を推定する事は実用上可能であり、有効な方法であると考えられる。



- 空隙の少ない部分
- ▨----- 空隙の多い部分

(図—7)



(図—9)

○室内型実験と現場型実験との相違について.

室内実験では空気透過量及び透水性を測定する方法としてマーシャル安定度試験用のモールドで供試体を作製

し、モールドに供試体が入ったままの状態での空気透過量の測定及び透水試験を行った. この方法によると空気や水の流れる方向は一軸的なものであり、横方向への流れ

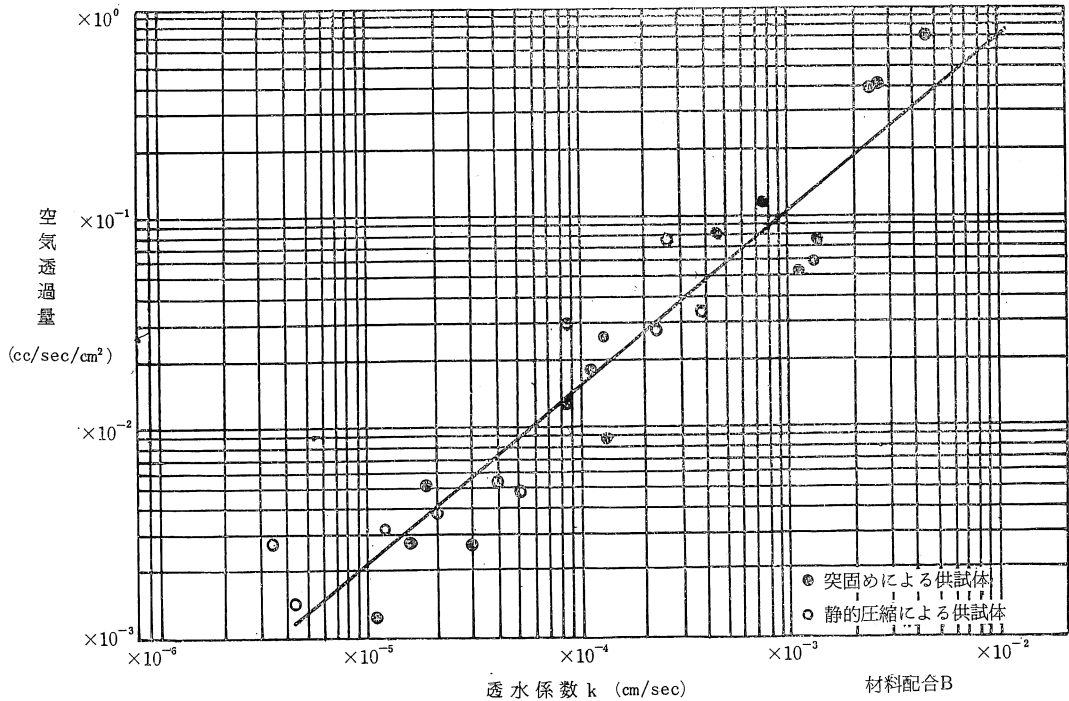


図-8.

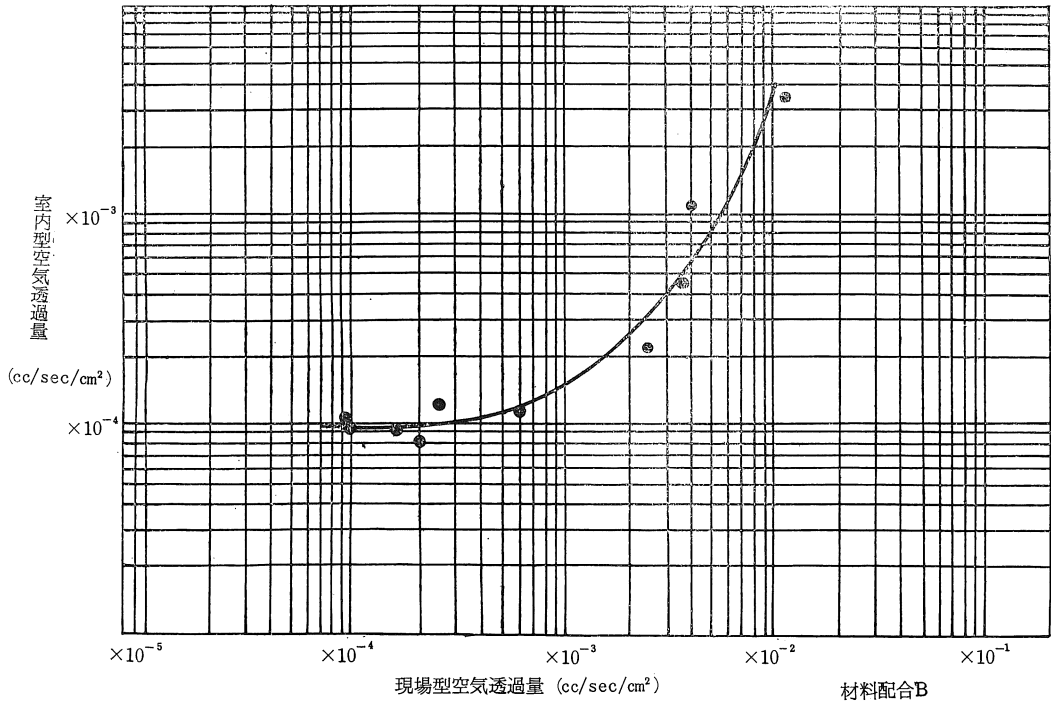


図-10.

は生じない。それに対して実際の現場で空気透過量を測定するには、舗設されたアスファルト合材の遮水壁の表面に加压板を設置し空気を通し込むため、空気の流れる方向は一軸的でなく多方向に空気が流れる（いわゆる現場型）。すなわち室内型と現場型の空気透過量測定結果は、同じ状態の空隙を持つ舗装でも異った空気透過量が測定されるものと考えられる。そこで室内型測定結果と現場型測定結果との相違を知ると同時に、お互いの相関関係を知る為に対比実験を行った。

実験方法

実験にはB骨材配合を用い、直径 20cm、高さ約 4.5cm の円盤形の供試体を作製した。この供試体は種々の空隙のものを作る為、静的圧縮により荷重12ton (39.8Kg/cm²) ~40ton (122.8Kg/cm²) の締固めにより作製した。

室内型実験及び現場型実験は図-9に示す様な条件の下で行った。

現場型実験 I；供試体中央に直径 62mm の空気室をおき、図-9に示す様に空気もれ防止の為、中約1cmのシール材を置き、空気室の上に約 5Kg のおもりをのせて測定を行った。

室内型実験 II；供試体中央の上下両面の同じ位置に同直径 (φ62mm) の空気室を作り、残った面はすべてアスファルトを塗り、空気もれがない様に完全にシールを行った。

実験結果：現場型空気透過量と室内型空気透過量との関連性は図-10に示す様な曲線となり、空隙が3~4%付近では I の方法も II の方法も空気透過量はほとんど同じであるが空隙が増加するにつれて I/II の比は大きくなり、空隙率約 7%程度で最大となり約10倍もの値が示されている事が判る。それ以上の空隙になると I：II の比は小さくなる傾向が見られる。

以上の実験結果から判断すると非圧縮性流体である水の流入を推定するのに現場で透水試験を行わず、圧縮性流体である空気を極く低圧で用いるならば、Asphalt Paving Meter を用い短時間のうちに透水係数等を推定する事が可能であると考えられる。但しこの場合の空隙量は配合によって多少異ると思われるが、約3~4%以上の場合でありそれ以下の空隙の場合は空気の粒が独立した形となる為か、この程度の圧力空気ではほとんど空気の流れは見られなかった。すなわち実際の遮水壁として用いられるアスファルト舗装の表層部分は空隙が約 3% 以下になる様な設計条件となっている為、ほとんど水や空気を通さないはずであり、もし施工上の不備等で締固め等が不十分であれば Asphalt Paving Meter による測定が可能となり、その程度によって透水係数等を推定する事が出来、水漏れの可能性のある箇所として直ちに補修等適当な対策を考える事が出来る。

VI：現場実験

室内実験の結果から舗装体中に空気を流し込み、その空気透過量から舗装の空隙、透水係数等がある範囲で推定する方法が施工管理の一方法として採用出来るので、実際の現場でこの方法が適用出来るかどうかを確認する為、又遮水壁の様な急斜面においても測定が可能となるような試験機を試作するため、施工中の天津岐ダム、アスファルト・コンクリート製遮水壁において実験を試みた。

遮水壁の断面は図-11に示す通りであるが、仮に保護層、表層を通して水が浸入した場合でもその下の排水層を通して水を排水し、基層部分に多量の水が流れ込まない様に考えられている。空気透過量の実験はこの不透水層の役目をする基層部分で行った。測定は 5m 間隔に行い、施工継目部分 (Joint 部分) で36箇所、継目部分でない所15箇所について行った。その結果継目部分以外の所では Asphalt Paving Meter による空気の透過は全然認められず室内実験の結果から判断すると測定箇所は全て空隙率3~4%以下になっており、ほぼ設計通りの締固めがなされていると思はれる。一方、打ち継目部分については Hot Joint による方法が採用されているにもかかわらず36箇所の測定のうち約 2割に相当する 8箇所では空気の透過が認められ、中には空気透過量で 900cc/min (0.2cc/sec/cm²) に及ぶものあり、室内実験の結果から判断すると空隙率10%以上、透水係数10⁻¹cm/sec以上の舗装となっていると考えられる場所もあった。すなわちこの種の遮水壁を施工するに当っては、施工継目部分が非常に弱点となり易い事を示しており、完全な Hot Joint を行なわなければならない事が理解出来る。尚測定に要する時間は1箇所につき3~10分程度であった。

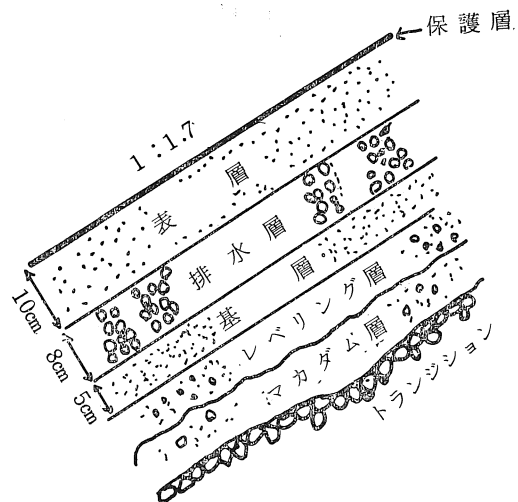
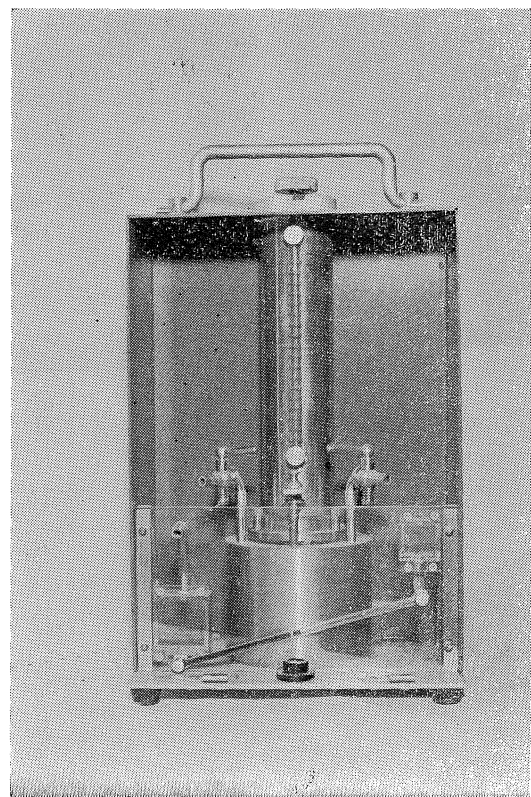
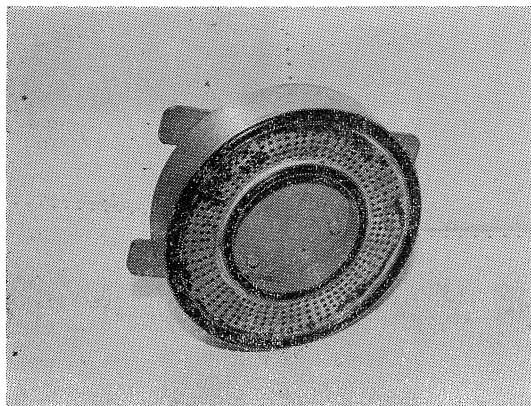


図-11

○試験機の試作

今回現場で使用した Asphalt Paving Meter は道路舗装用に開発されたもので、ダムの様な斜面での取り扱いには不都合な点が多いので、この点を改良し使い易いものを試作した。すなわち、斜面で使用する事が多いので、三脚等を利用して簡単に水平を保ち得る事、持ち運びに便利な様に小型化、軽量化する事、又試験は低圧で測定を行うが水位測定パイプが外部に露出している為、風の影響を受け易く、測定が難かしいのでその点を改良する事、又舗装面と加圧盤とのシール材としてグリース



を利用しているが、これはアスファルトをカットバックしてしまい、舗装の弱点となり易いのでグリースの代りにのりを使用する。等の点について改良を加え新しい試験機の試作を行った。試験機の本体は高さ 35cm、巾 20cm、奥行15cm、重量約5Kgで比較的手軽に持ち運びの出来るものである。

尚実験を行う際は舗装表面にアスファルトが浮き出ている事が多いのであらかじめ表面をはつってから測定を行うべきである。

Ⅶ 結 論

実験結果を要約すると次の通りである。

- 1) 舗装の空隙率が3~4%以上の場合にのみ空気透過量の測定が可能である。
- 2) 空気透過量の小さいものほどマーシャル安定度は大きい。
- 3) 空気透過量は空隙率の大きいもの程大きく、片対数グラフで直線的関係が認められる。
- 4) 空気透過量と透水係数の間には両対数グラフで直線関係にある。
- 5) 突固めた供試体と静的に締固めた供試体では同じ空隙でも静的に締固めた方が空気透過量は大きい。
- 6) 締固め方法が異った場合でも空気透過量と透水係数との関係は変化しない。
- 7) 室内型実験と現場型実験における空気透過量の差は空隙率3%~4%付近ではほとんど認められないが空隙が増加するに従って現場型の空気透過量は増大し、空隙7%付近で最大となりその比は約10倍となる。
- 8) 現場実験の結果 Joint 部分は Hot Joint にもかかわらず空気透過量が大きく測定され、漏水等に対して弱点となり易い。
- 9) 現場における空気透過量の測定は1個所につき3分から10分程度で行える。
- 10) 現場型実験の場合の加圧盤とのシール材にはのりを使用してもその役目は十分に果たす。

以上の結果から舗装の空隙が3~4%以上であれば Asphalt Paving Meter を用いて空気透過量を測定する事が出来、その空気透過量から舗装の透水係数や空隙等を推定する事が出来る。しかしそれ以下の空隙の場合には現在の所空気透過量を測定する事が出来ない。

実際のダム遮水壁に用いる舗装は空隙が約3%以下になる様な設計及び施工の条件となっているので、舗装後の舗装が3~4%の範囲にある様な場合には、この方法では問題点を残している。しかし実用上、実際の施工管理の方法として十分ではないが、1つの方法としてかなり有効な方法であろうと考えられる。すなわち、舗装面上から空気透過が認められれば、その舗装は空隙率3~4

96以上あるはずで設計条件に合致していないものとして指摘し、舗装の空隙率、透水係数等を推定する事が出来る。この方法によれば機械が小型で軽量であるので、持ち運びも比較的楽で短時間のうちに測定を行う事が出来

る。従って多くの場所についてチェックする事が出来るので、かなり有効な施工管理の方法であろうと考えられる。