

## 小口径トンネルライニング用プラスチックの 材料試験とその評価

### EXPERIMENTAL EVALUATION OF FOAMED PLASTIC APPLIED TO SMALL-DIAMETER TUNNEL LINING

田中憲二\*・森光武則\*\*・山岸康利\*\*\*・阪田秀明\*\*\*\*

By Kenji TANAKA, Takenori MORIMITSU, Yasutoshi YAMAGISHI  
and Hideaki SAKATA

In order to enable construction of a long and curved small-diameter tunneling system, a new lining method using a plastic material has been studied. After consideration of requirements for the lining material, a hard-foamed plastic was selected. The relationships between the mechanical properties of the plastic and its density were investigated. Furthermore, several experiments were carried out to discover the properties of the foamed plastic, for example, the bending strength, the bonding strength and so on.

Experimental and theoretical studies of the hard-foamed plastic showed the potential applicability of the new lining method proposed in this paper.

#### まえがき

高度情報社会を迎えた今日、ケーブル建設工事に対する認識も深まってきており、特に都市部の架空ケーブルについては美観上等から地中化の要望が高まっている。

一方、通信、上下水道、電力、ガス等の地下設備は、その大部分が、路面からの開削工法により施工されてきた。しかしながら、近年では道路交通事情の悪化、占用物件の輻輳等、施工環境の変化によって、開削工法による施工が困難な場合が多くなり、非開削工法、すなわちトンネル工法が用いられるようになってきている。通信ケーブルの分野では、小口径トンネルに対する需要が増大しており、特に今後は光ファイバケーブルの導入により、トンネルの小口径化がさらに進むことが予測される。

従来、この種の工法は、さく進工法あるいは小口径推

進工法と称せられるもので、ほとんどが発進立坑に設置された押し管装置やポーリング機械等により、鞘管（防護管）を元押しするものであった。施工長は 50~60 m<sup>1</sup> で方向修正機能を有する工法もみられるが大部分は直線施工に限られている。長距離・曲線施工が困難な理由として、元押し施工形態に起因する推進力の増大、蛇行量の増加すなわち方向制御の困難性があげられる<sup>2)</sup>。したがって、長距離・曲線施工を可能とするためには、防護管を元押しする方法にかわりシールド工法と同様な施工形態、すなわちトンネル坑内でライニング（覆工）材を形成する方法が必要となる。一方、NTT（日本電信電話（株））ではすでに内径 120 cm の小断面シールド M-2 工法を開発している<sup>3)</sup>。この M-2 工法は早強性材料による現場生成ライニングシステムに特徴があるが、掘削・排土装置、レジンモルタル材料の供給・打設装置および方向制御装置の小型化が限界近くになっており、このシステムを現在の内径 120 cm 未満のトンネルに適用することは困難である。

以上のような理由から、本論文では新しいライニング技術およびその材料を検討し、M-2 工法の利点を損うことなく内径 30 cm 程度で 250 m もの長距離トンネルを曲線施工することのできる小口径トンネル築造工法の実現性を探った。この結果、新しいライニング材料とし

\* 正会員 日本電信電話（株）茨城電気通信研究所 通信  
土木研究室 研究主任

（〒319/茨城県那珂郡東海村白方白根 162）

\*\* 正会員 工修 同研究室 調査役  
（同上）

\*\*\* 正会員 同研究室 室長  
（同上）

\*\*\*\* 同研究室 研究員  
（同上）

て、二液混合により反応・硬化する硬質発泡プラスチックを坑内で生成させることにより、これを一次ライニング材として機能させることが分った。ここでは、現場ライニング設計法に必要なライニング材料への要求条件、および発泡プラスチック材料の機械特性を明らかにしたため、その概要について述べる。

## 1. 工法の基本概念

### (1) 一次ライニング

発泡プラスチックを現場生成させ一次ライニングとする小口径トンネル築造工法は、Fig. 1 の概要図および Fig. 2 の施工プロセスに示すようにトンネル掘進機（シールド工法におけるシールド機械）を発進立坑より地山へ貫入させ、先端ヘッドの貫入および掘進機本体の推進に要する反力をライニング生成部のモールド内で生成された硬質発泡プラスチックの一次ライニング材に負担させて掘進するものである。

この一次ライニング材の原料は、二液混合による化学反応型発泡材料で発進立坑に設置した材料送給装置により、ライニング生成部までパイプ輸送される。二液はこのライニング生成部までは別々に送給され、同じく生成部内のミキサ内で初めて混合されてモールドの内部において発泡・硬化する。このような方法で一次ライニング

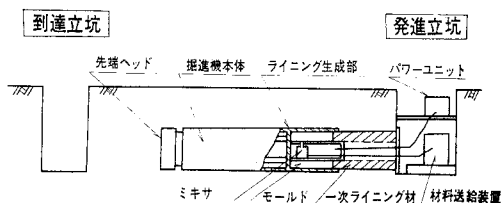


Fig.1 Outline of new tunneling method.

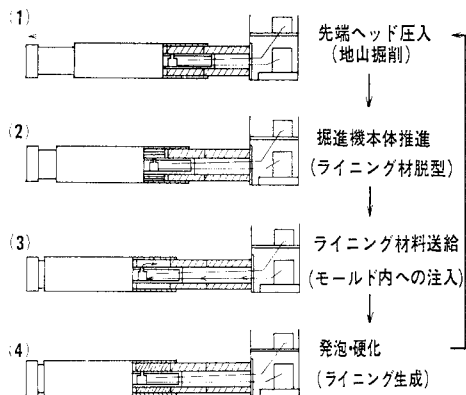


Fig.2 Lining process of new tunneling method.

Table1 System constitution and its function.

	主要構成部品	機能、動作
掘進機本体	先端ヘッド	先端地山の圧密貫入
	推進ジャッキ	先端ヘッド駆動
	モールド	ライニング生成
ライニング生成部	ミキサ	二液材料の混合
	脱型ジャッキ	ライニングの脱型、本体部の推進
材料送給装置	送給ポンプ	ライニング材料の圧送

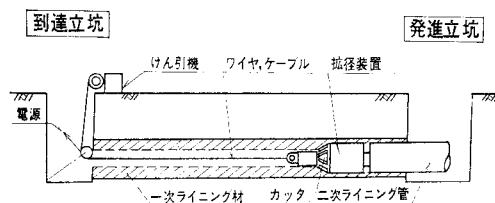


Fig.3 Example of conduit laying method.

を形成するためには、ライニング技術に関して Table 1 のような構成要素と機能が必要となり、それぞれに新しい技術を開発する必要がある。

### (2) 二次ライニング

本稿では本工法の一次ライニングを以下の理由により仮設構造物と位置付けている。すなわち本工法は全く新しい技術であり、発泡プラスチックに掘進反力を負担させようとする強度的に大きな肉厚を要するため、ライニング外径に対して有効に使用できる空間が小さくなること、および永久構造物としての信頼性を確認するためには多大なデータの蓄積と長期間を要するからである。このような状態で一次ライニングを施しておけば、発泡プラスチック材料は加工が非常に容易なため、種々の方法で二次ライニング管を施工することができる。例えば Fig. 3 に示すように、一次ライニング施工時にその中空部内に残置されたけん引用ワイヤに、カッタを有する拡張装置を取付け、到達立坑に設けられたけん引機によりけん引し、一次ライニング材の内径を所定の径に拡大する。さらに、拡張装置の端部に本来の防護管である二次ライニング管を取付け、同時にけん引布設してトンネルが完成する。複数の二次ライニング管の布設も勿論可能である。

## 2. 一次ライニング材料

### (1) 材料への要求条件

本工法で用いる一次ライニング材は、前章で述べたようにトンネル掘進中と二次ライニング管の施工までの期間に必要な物性が要求される。Table 2 に仮設材とし

Table2 Mechanical objectives of lining material.

項目	目標値	条件
圧縮強さ	3.0MPa以上	先端ヘッド径34cmの砂粒径貫入実験値200kNに耐えること。 (ライニング外径35cm,内径20cm)
圧縮弾性率	190MPa以上	圧縮変位置10cm以下
曲げ強さ	1MPa以上	土盛り5m(地下水位GL-1m, $\gamma_s = 17.5 \text{ kN/m}^3$ , $\beta = 35^\circ$ )の土圧等に耐えること。 (ライニング外径35cm,内径20cm)
耐水圧	0.1MPa以上	地下水位以下10mで漏水のないこと
付着力	ライニング材のせん断力以下	脱型時にライニング材が壊れないこと

ての材料の目標値を掲げた。

圧縮強さは先端ヘッドの圧入時に大きな圧入力を受けるが、NTTが先に開発した口径30cm相当のトンネル機械の施工実績から、最大圧入力を200kN<sup>4)</sup>とし、ライニング材の断面寸法を外径35cm、内径20cmとした時の所要圧縮強さは約3.0MPa以上となる。

圧縮弾性率は発泡プラスチックのような気相-固相系複合材料の場合特に重要である。圧縮弾性率が小さざざると先端ヘッドの圧入時に一次ライニング材に加わる圧縮力により、トンネル軸方向の変形が過大になり、現場打設が困難になる。ここで軸方向圧縮力を受ける場合の変形量と圧縮弾性率の関係をFig.4により求める。

- P: 外力 (圧入力)
- N: 軸方向力
- f: 地山とライニング材の単位長さ当りの摩擦力
- $\delta$ : ライニング材に生ずる変位
- E: ライニング材の圧縮弾性率
- A: ライニング材の断面積
- l: ライニング施工長

とすると、荷重点から任意の距離  $x$  における微小区間  $\Delta x$  の釣合い条件から

$$N(x+\Delta x) - N(x) + f\Delta x = 0 \dots\dots\dots (1)$$

$$N(x) = EA \left\{ \frac{\delta(x+\Delta x) - \delta(x)}{\Delta x} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

これより

$$\frac{d^2\delta}{dx^2} = -\frac{f}{EA} \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{d\delta}{dx} = -\frac{f}{EA}x + c \dots\dots\dots (4)$$

すなわち

$$N(x) = EAd\delta/dx = -fx + c' \dots\dots\dots (5)$$

このことから軸力  $N$  は長さ  $x$  に比例することが分る。いま立坑端を固定してライニングを形成していく時の軸

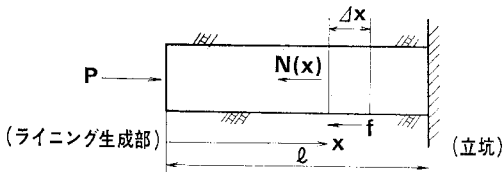


Fig.4 Forces acting on tunnel lining.

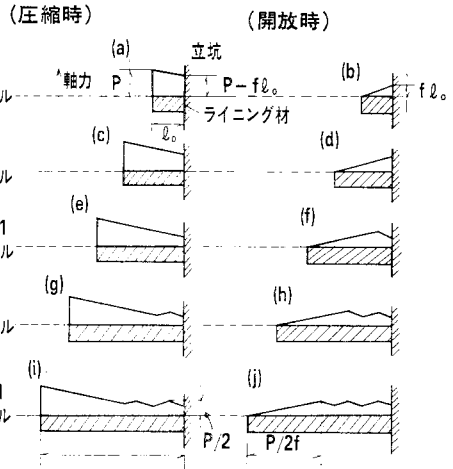


Fig.5 Distribution of axial forces.

力を Fig. 5 にモデル化して示す。ここに  $l_0$  は1ストロークの施工長である。またライニングの立坑端は軸方向の変位が無いように固定しているものとしている。まず、立坑端から1ストロークのライニングを形成した後、先端ヘッドの圧入力  $P$  が作用した時の軸力の分布は Fig. 5 (a) のように立坑に向って減衰し立坑端では  $P-fl_0$  となる。次にモールドを脱型して先端部の圧入力開放されるとライニング材は伸びるため、周辺地山との摩擦力が逆向きに作用し、軸力の分布は Fig. 5 (b) のようになり、立坑端の軸力は  $fl_0$  となる。ライニングを次々に施工していく時の軸力はこの繰り返しであり、Fig. 5 (c)~(d)~(e)…と進んでいく。軸力の最終的な値は例えば Fig. 5 の (i), (j) のように若干の起伏が生じるが、現実的には  $P/2f$  が  $l_0$  に対して大きいため、軸力は最終的には  $P/2$  に落ち着くと考えてよい。次にライニング先端部の変位を求めると以下のようなる。

【 $l \leq P/2f$  のとき】

(5) 式において例えば Fig. 5 の (b), (d) のようにライニング材の先端部が開放されている時のライニング材先端部での変位  $\delta_{10}$  は

$$\delta_{10} = f l^2 / 2 EA \dots\dots\dots (6)$$

となる。この状態からライニング材先端部に軸力  $P$  を加えた時の軸力の分布は Fig. 5 (c), (e) のように得られ、変位は

$$\delta_{20} = \frac{Pl}{EA} - \frac{f l^2}{2EA} \dots\dots\dots (7)$$

となる。故に軸力  $P$  が加わる前と後でのライニング先端部の相対変位  $\delta_0$  は次式で与えられる。

$$\delta_0 = \delta_{20} - \delta_{10} = \frac{l}{EA} (P - fl) \dots\dots\dots (8)$$

【 $l > P/2f$  のとき】

同様に、No. m サイクル以降は Fig. 5 (g), (h) のような軸力状態となるが、 $x > P/2f$  の部分についてはほぼ一様な力  $P/2$  となる。この時の相対変位は上記と同様に求めて求めると次式を得る。

$$\delta_0 = P^2/4 EAf \dots\dots\dots (9)$$

以上より施工長と最大変位の関係を求めると、Fig. 6 のようになる。すなわち、施工を始めてからライニング先端部における掘進時の圧縮変位は、施工長が  $P/2f$  までは施工長とともに増大するが、 $P/2f$  以降では一定値、 $P^2/4 EAf$  となる。したがって、前記施工実績値、 $P=200 \text{ KN}$ 、 $f=80 \text{ N/cm}$  により変位と圧縮弾性率の関係を求めると Fig. 7 のようになる。変位を 0 にすることは材料の性質上困難であるため、一定の変位量に抑えることのできる弾性率を目標とする。変位量を 10 cm とした場合の弾性率は約 190 MPa 以上となる。

次にシールド工法におけるセグメントのリング方向断面力の算出方法<sup>9)</sup>に準じ曲げ応力度を求めた結果、1 MPa 以下であり目標値を 1 MPa 以上とする。

耐水性は現場生成のため打継目ができることにより、この継目からの地下水の浸入を防ぐ観点から検討が必要である。小口径トンネルは比較的浅い箇所にも適用されるが信頼性の面から地下水頭 10 m の水圧で漏水の無いことが必要であるとす。

最後の付着力であるが、本工法はモールド内で発泡・硬化したライニング材を脱型ジャッキによりモールド内から脱型させて推進が行われるため、脱型力が推進力に及ぼす影響を小さくさせ、かつ発泡プラスチックの破壊

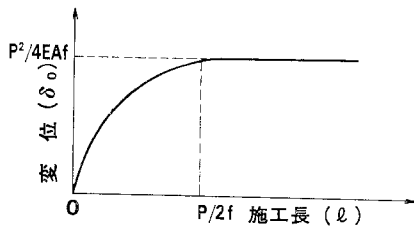


Fig.6 Maximum displacement of lining.

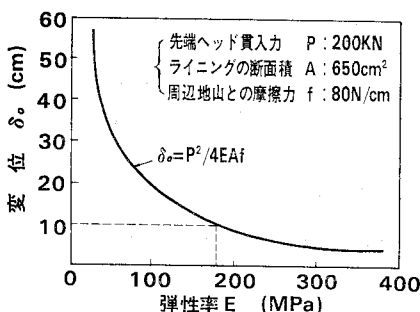


Fig.7 Relation between maximum displacement and compressive Young's modulus.

Table3 Characteristics of hard-foamed plastic.

種類	強度		生成法			パイプ輸送	評価
	圧縮	曲げ	モールド発泡	現場発泡	後処理必要性		
スチレン	○	○	×	×	×	×	×
塩化ビニール	△	△	○	×	×	×	×
フェノール	△	△	○	○	×	○	△
ユリア	×	×	○	○	×	○	△
エポキシ	×	×	○	○	○	○	○
ウレタン	○	○	○	○	○	○	◎
シリコーン	×	△	○	○	○	○	○

◎○：適用可能，△：改良が必要，×：適用不可

が生じないように発泡プラスチックとモールド間の付着力をできるだけ小さくする必要がある。ここでは発泡プラスチックの破壊が生じないように付着力は発泡プラスチックのせん断強さ以下とした。このように付着力を低下させる場合はモールド内面の表面処理等の加工が必要と考えられ、この場合の耐久性は推進長 250 m に対しモールド部の長さを 50 cm とすれば最低 500 サイクルの脱型に耐える必要がある。

(2) 使用材料の選定

次に前節に述べた条件に合う発泡プラスチック原料の選定を行った。文献<sup>9)</sup>に記載されている代表的な硬質発泡プラスチックの物性表により発泡プラスチック原料を Table 3 に評価した。表に示すように一次ライニング材の原料として強度、生成法、輸送性に優れたウレタンを選定した。

3. 材料の機械特性

前章で選定した硬質発泡ウレタンの機械特性を明らかにし、一次ライニング材として適用可能かどうかを検討するために市販原料を用い以下の実験を行った。なお硬質発泡ウレタンの強度を論ずる前に発泡プラスチックの基材となる無発泡ウレタンの強度を求めた。Fig. 8 に圧縮試験結果を示す。降伏応力は約 97 MPa、圧縮弾性率は約 1.750 MPa であった。また基材の密度は 1.195 g/cm<sup>3</sup> であった。各試験結果は次のとおりであるが、二液の重量混合比は標準配合としている。

(1) 圧縮強さ

現場生成の場合二液混合後の反応が良好で、短時間で強度が発現する必要がある。Fig. 9 は二液混合後からの経過時間と圧縮強さの関係を示している。圧縮試験片はいずれも内径 5 cm、高さ 10 cm の円筒状型枠で作製した。図にみられるように、時間経過に伴い圧縮強さも上昇し混合後 30 分で最終強さ（混合後 1~2 時間で 1 週間強度と同程度の値を示した）の 70~80% となっている。また反応

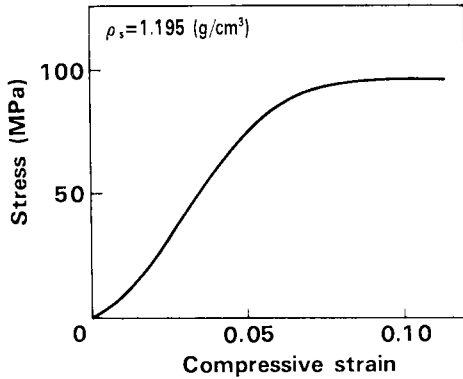


Fig.8 Stress-strain curve of plastic.

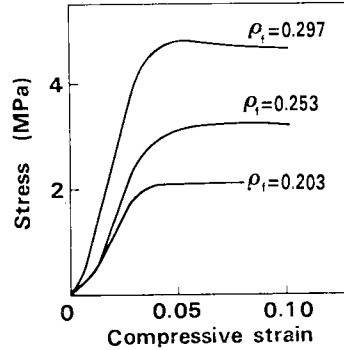


Fig.10 Stress-strain curve of foamed plastic.

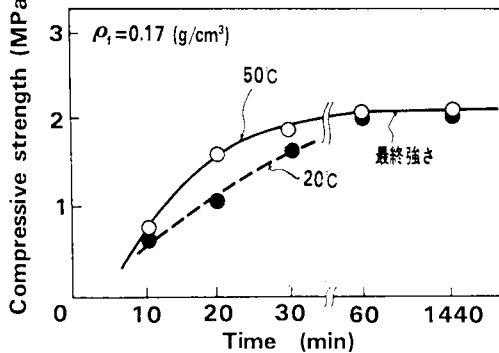


Fig.9 Relation between curing time and compressive strength.

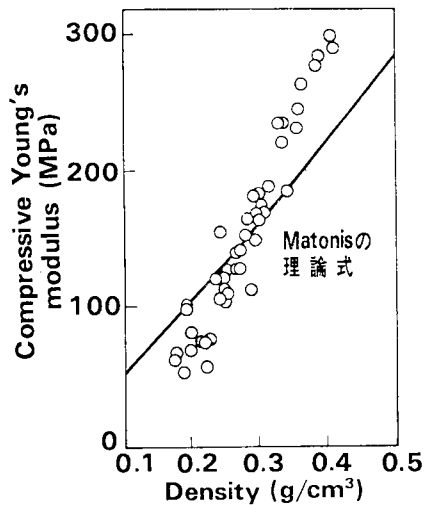


Fig.11 Compressive Young's modulus of foamed plastic.

性はモールド温度への依存性があり、常温 (20°C) における場合よりもモールド温度を 50°C 程度に上げた場合は 20~50% の強度上昇が認められ、必要であれば加熱昇温させることで硬化促進可能なことが確認された。

Fig. 10 は圧縮応力～歪曲線図である。図のように多くは降伏点を有するが、強度の低い発泡プラスチックのなかには明確な降伏点を示さないものもある。

Fig. 11 は硬質発泡ウレタンの発泡倍率を変えて種々の密度の試料を作製し、圧縮試験によって得た圧縮弾性率と密度の関係を示す。なお圧縮弾性率は Fig. 10 の傾斜部分の傾きから求めた。

Fig. 12 は同じく圧縮強さ (降伏点応力) と密度の関係を示している。

発泡材料の場合、強度と密度の間には図にみられるように密接な関係があり、古くから種々のモデルを想定して解析されている。ここで使用した硬質発泡ウレタンについても種々提案されている計算式により求めた結果、圧縮弾性率については以下の Matonis (六面体モデル) の解<sup>2)</sup>が比較的よく一致した。すなわち

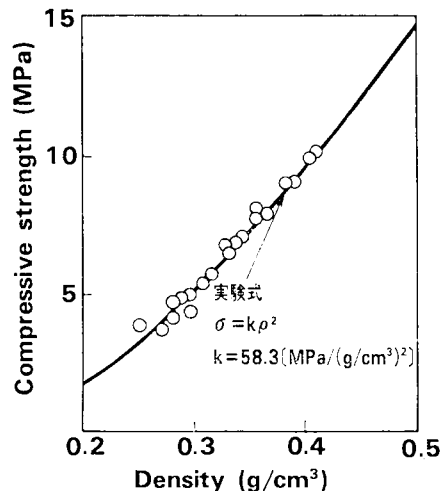


Fig.12 Compressive strength of foamed plastic.

$$E_f = \left[ 1 - \left( 1 - \frac{\rho_f}{\rho_s} \right)^{1/3} \right] E_s \dots \dots \dots (10)$$

ここに、 $E_f$ ：発泡材料の圧縮弾性率  
 $E_s$ ：基材の圧縮弾性率  
 $\rho_f$ ：発泡材料の密度  
 $\rho_s$ ：基材の密度

この式によって求めた計算値を Fig. 11 に示したが実測値と比較的によく一致している。また圧縮強さについては同じく Matonis の六面体モデルで計算すると、実測値よりもはるかに大きな値となった。一般に強度や弾性率が広く研究されている発泡プラスチックの密度は 0.2 g/cm<sup>3</sup> 程度以下であり、本研究で対象とした硬質発泡プラスチック（密度が 0.2~0.4 g/cm<sup>3</sup>）では圧縮弾性率、圧縮強さの両方について実測値とよく一致するモデルを得るに至らなかった。ただし、実験的に圧縮強さは密度の 2 乗に比例して増大することが分った。

これらの実験の結果、所定の圧縮強さ、圧縮弾性率を得るためには、密度が約 0.35 g/cm<sup>3</sup> 以上の発泡材料が必要であることが分った。

(2) 曲げ強さ

型枠内で硬化生成させた発泡プラスチックを 300×75×20 mm の平板状試験片に加工し、JIS A 9514 (1979年) に則り曲げ試験を行った。実際のライニングには打継目

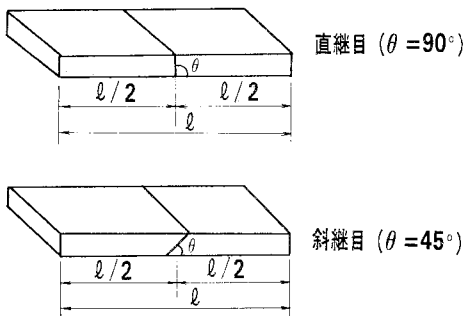


Fig.13 Joints of test piece.

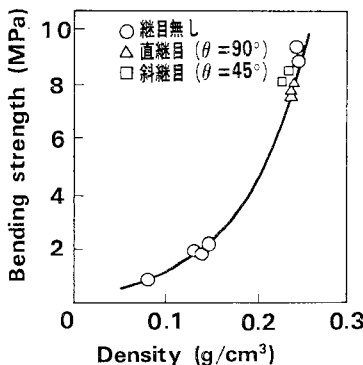


Fig.14 Bending strength of foamed plastic.

があり、構造上の弱点部となる可能性もある。そこで上記寸法の試験片中央部に Fig. 13 に示す打継目を生ずるように、既に硬化済の発泡プラスチックに新たに混合原液を注入する方法により継目を有する試験片を作製した。これらの試験片による曲げ試験結果を Fig. 14 に示す。同じ密度の場合は圧縮強さよりも曲げ強さの方が大きい値を示している。図に示すように打継目部の接着性は良好であり、継目による曲げ強度の低下は僅少であった。破壊面の状況は継目に沿って完全に剥離して破壊しているものは無く、継目以外の母材部の一部破壊を伴うものが多かった。曲げ強さについてはいずれも目標値に対して十分大きな値が得られた。

(3) 長期変形特性

発泡プラスチックを用いた小口径トンネルライニング工法に必要な材料強度について基本的な実験を行ったが、一次ライニング後の長期的な材料強度についても十分な検討が必要である。すなわち一次ライニングの後、必要に応じて口径を拡大し二次ライニング管を引込むまでの間、一次ライニングは土圧に耐え所要の空間を確保しておく必要がある。このためリング形状の試験片による発泡プラスチックの長期変形特性試験を行った。Fig. 15 にその実験例を示す。土被り 12.5 m の鉛直土圧に相当する一定荷重を長時間作用させたときのリングの変形を示した。図に示すように変形は荷重の作用時間の対数にほぼ比例して増加することが分る。これらの結果および、一次ライニングから二次ライニングまでの期間は、1 カ月もみれば十分であると思われることから、実用性のある強度を有する発泡プラスチック材料を得ることは可能であると思われる。また二次ライニング管は十分な強度を有するので、二次ライニング後はライニング内にはわずかに空間が残るものの、発泡プラスチックには基本的には等方圧が作用しあまり変形は進まないものと思われる。しかしながら、発泡プラスチックを初めてトンネル施工材料として使用するため、特に長期変形特性については今後、十分な確認実験が不可欠なことはい

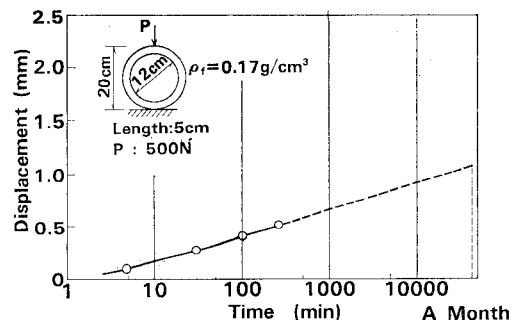


Fig.15 Displacement of foamed plastic under a static load.

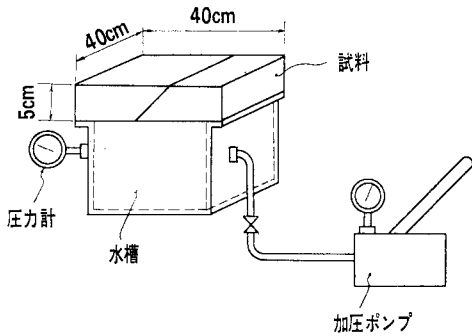


Fig.16 Test equipment of watertightness.

うまでもない。

(4) 水密性

Fig. 16 に示す加圧水槽形試験装置を用い、Fig. 13 に示したものと同様な継目を有する 400×400×50 mm の試料を作製し、水槽頂部に固定した後、加圧ポンプにより水槽内部へ送水し一定圧力 (0.1 MPa) となるようにし、その後の経過時間ごとの圧力降下と継目部からの漏水を観察した。試験結果は良好な水密性を示し、直継目、斜継目ともに継目部からの漏水は全く無く、圧力降下は7日後でもほとんど認められなかった。さらに、硬質発泡ウレタンの吸水量については、JIS A 9514 (1979年) に則り、表皮を取り除いた 100×100×25 mm の試験片を用いた吸水量試験を行った結果、1.0~1.5 g/100 cm<sup>2</sup> 程度であった。

(5) 脱型力

モールド基材と発泡プラスチックの付着力の関係を明らかにするために以下の付着力試験を行った。基材としていずれも表面処理を施さない鉄、高密度ポリエチレン、ステンレス、アルミニウムを、さらに表面処理として鉄にテフロン加工したものを選んだ。これらの種類の平板状基材の上に底面積が 30, 60, 100 cm<sup>2</sup> の矩形型枠を置き、この中に混合した原液を注入し、混合から各 10, 30, 60 分経過後の発泡プラスチックの背面に平板を当て、この平板を荷重計を付けたワイヤで基材に平行な引張り力を与え発泡プラスチックを引き、基材から剝離する瞬間の力を測定しこれを付着力とした。

a) 基材の種類と付着力

混合後 30 分における各種類ごとの付着力は次のとおりであった。ただし、付着部の底面積は 60 cm<sup>2</sup>、発泡プラスチックの密度は 0.15~0.16 g/cm<sup>3</sup> である。

鉄 (表面処理なし) .....	520 KPa
アルミニウム (〃) .....	420 KPa
ステンレス (〃) .....	157 KPa
高密度 PE (〃) .....	78 KPa

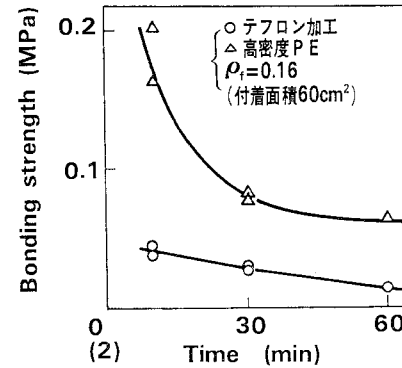
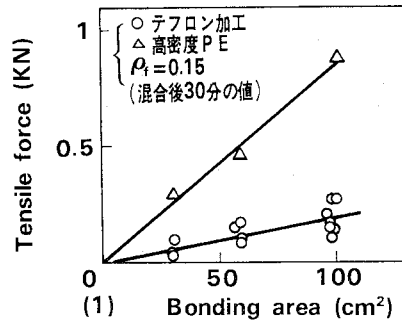


Fig.17 Friction force and bonding strength.

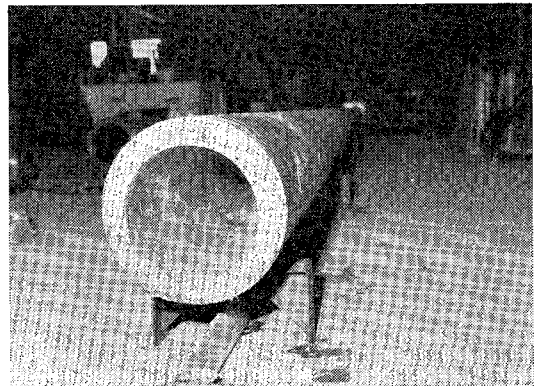


Photo 1 Model of tunnel lining.

テフロン加工した鉄 ..... 20 KPa  
 高密度 PE とテフロン加工した鉄が小さい値を示した。

b) 付着面積と経過時間

上記の高密度 PE とテフロン加工した鉄について付着面積を変えた場合の付着力、および付着面積を一定としたときの混合からの経過時間と付着力の変化を測定した結果を Fig. 17 に示す。図から単位面積当りの付着力はほぼ一定の値となることを確認した。

以上の a), b) からライニングの脱型力を決定する要因である発泡プラスチックの付着力が求まり、その大きさは目標値以下であること、および混合後早期の脱型を行うためにはテフロン加工による表面処理が有効である

ことが判明した。また混合後の時間経過とともに付着力が減少する事実が認められたが、この現象を解明するまでには至らなかった。今後現象解明のためのより詳細な室内実験と実際の混合打設装置による現場での確認実験を進める必要がある。

**Photo 1** は上記研究内容を踏まえて生成した硬質発泡ウレタンによるトンネルライニングの生成状況(長さ15m)である。このように、室内実験ではあるが発泡プラスチックによるライニング生成が可能となった。

## ま と め

発泡プラスチックによる新しい小口径トンネルライニング技術の確立を目的として、施工法の概要を述べるとともに、実現上の問題点の抽出と発泡ウレタンによる室内実験を行った。その結果明らかとなった事項は以下のとおりである。

① 本方式によるライニング材への要求条件を明らかにし、このなかでライニング材の圧縮弾性率が重要な問題となることを指摘し、先端ヘッド圧入時等におけるライニング材の圧縮変形の推定法を導いた。この結果、一定の圧縮変位量に保つために必要な圧縮弾性率の値が明らかになった。

② 発泡プラスチック材料のなかでもウレタン系の材料が現場ライニングに適していることを見出した。このことから一般に入手可能な材料によりライニング材料として対応可能なことが分った。

③ 発泡ウレタンは、温度および密度等をコントロールすることにより所定の早期強度特性、弾性率等が得られること、また施工上問題となる耐水性、脱型性(付着力)等についても要求条件を満足することを確認

した。

これらの結果から発泡ウレタンがトンネルライニング材料として適していることが明らかになった。また、このライニング技術を実現させるためには、発泡プラスチックの長距離パイプ輸送、現場発泡の信頼性、長期劣化特性等の材料に関する施工性を確認するとともに、実地盤での実験を進める必要がある。

## 謝 辞

本研究は、茨城電気通信研究所小島伸哉線路研究部長、内田直也統括調査役のご指導のもとで行っており、数々のご教示を頂いた。また同研究所野村由司彦研究主任には熱心に討議して頂き貴重な助言を頂いた。ここに記して深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 高岡 博：水平アースオーガ工法の現状と将来，コンストラクション，第12巻，第7号，pp. 8~10，1974年。
- 2) 関田生一：小口径推進工法，土木施工，第22巻，第6号，pp. 27~35，1981年。
- 3) 鶴田秀典・杉本禎男・高塚外志夫・阿南修平：レジントネル自動築造技術の開発，土木学会誌，Vol. 69，No. 4，pp. 2~8，1984年。
- 4) 野村由司彦・保科 宏・塩見博司・梅津孝雄：方向制御可能なトンネル機械の設計と特性，土木学会論文集，第352号/Ⅲ-2，pp. 99~107，1984年。
- 5) 岩永三樹夫・及川 陽・山川喜弘・本田 健：通信土木施設(設計と施工)，東京出版センター，pp. 230~247，1979年。
- 6) 牧 廣・小坂田篤：プラスチックフォームハンドブック，初版，日刊工業新聞社，pp. 67~250，1973年。
- 7) 牧野正巳：気泡体の強度と剛性についての各種理論の比較考察，材料，第15巻，第155号，pp. 33~36，1966年。

(1985.3.28・受付)

## ●土木学会新刊案内●

コンクリート・ライブラリー 57号 ● 土木学会コンクリート施工研究小委員会編

# コンクリートのポンプ施工指針(案)

B5判 210ページ 4200円 会員特価 3700円(〒350)

I. コンクリートのポンプ施工指針(案) 1章 総則 2章 施工計画 3章 材料および配合 4章 コンクリートの製造および供給 5章 圧送 9章 コンクリートの打込み 7章 品質管理および検査

II. 参考資料 1. コンクリートポンプの形式および作動機構 2. コンクリートポンプの機種ならびに諸元 3. 輸送管と関連部品および付帯機器 4. コンクリートポンプ車の不具合，原因と対策 5. デストリビュータの種類と性能 6. 加圧ブリッジ試験方法 7. 試験圧送による管内圧力損失の求め方 8. 関連規準類抜粋 9. 流動化コンクリートのポンプ圧送性 10. 全圧連の概要 11. コンクリートポンプによる施工実績 12. 参考文献

正誤のお知らせ：145頁「表40 スランブの許公差」のスランブの数値3以上18以下を6以上18以下と訂正