

セメント安定処理路盤の改良

吉 田 信 夫*

1. ま え が き

セメント安定処理路盤は日本では札幌～千歳の弾丸道路で始めて採用されて以来、各地で施工されてきている。セメント安定処理の長所は路面のタワミと路盤に起因する路面の凹凸とが小さいことであり、これらは路面の供用性を左右するものである。また、大日試験舗装における路面のタワミ量の経時変化の測定から、セメント安定処理路盤は粒度調整路盤、れき青安定処理路盤に比べて路盤タワミ量の季節変動量が小さい。すなわち、路面温度による路面タワミ量の変動量はつぎの大きさであると推定されている¹⁾。

セメント系安定処理路盤 0.002 mm/度

れき青系安定処理路盤 0.004 mm/度

粒度調整路盤 0.004 mm/度

さらに、剛性が高いセメント安定処理路盤は他の路盤と比べて、路面荷重による変形が小さいことが穴あけベンケルマンビーム試験で明らかにされている²⁾。また、ソイルセメント試験舗装の調査結果によれば、セメント安定処理土の変形係数と引張応力、変形係数と曲げ強度の曲線において、セメント安定処理土の変形係数がこれらの交点で示された値よりも十分に大きな場合には、そのセメント安定処理路盤は路盤の底面の引張応力に耐え、版として働くことが報告されている³⁾。

これらのセメント安定処理の長所に対して、その欠点はつぎのようなものである。1) 凝結に長い時間を要する。2) 養生期間中、含水量の調節を要する。3) 粘性土の場合は経済的に処理することが困難である。4) 有機質土の場合、有機物によってセメントの水硬性が妨げられる。5) 収縮ヒビワレを防ぎえない、などである。

本報文は、3)、4)の欠点を改良する目的で、セメントにリグニンスルホン酸ソーダ $\text{Lignin}(\text{NaSO}_4)_n$ 、トリポリリン酸ソーダ $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 、その他を添加して化学的にセメント安定処理路盤の改良を図る方法と、5)の欠点を改良する目的で、市販のグラスファイバー（以下 G.F. と略する）をセメントに添加し、土に引張強度をもたせて、力学的に改良する方法をとりあげ、両者の室内試験と試験舗装とから、その改良効果を検討したものである。

前者の方法をセメント A 種安定処理といい、後者の方法

をセメント B 種安定処理ということにする。

この両方法によるセメント安定処理効果の判定は室内試験のほかに、試験舗装の構成各層の平板載荷試験から変形係数を計算し、層の等価値を表わす等値換算係数の値で判定することにした。

2. 室内試験

セメント A 種安定処理とセメント B 種安定処理の改良の考え方と室内試験結果の一例をつぎに示す。

2.1 セメント A 種安定処理

藤増⁴⁾はセメントに、

リグニンスルホン酸ソーダ

$\text{Lignin}(\text{NaSO}_4)_n$ 1.10~1.30%

トリポリリン酸ソーダ $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ 0.4~0.5%

ステアリン酸カルシウム

$\text{CaCH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ 0.2~0.3%

水酸化ナトリウム 2NaOH 0.4~0.5%

塩化カルシウム CaCl_2 1.5~2.0%

などを添加し、セメント安定処理をつぎのように改良している。すなわち、1) 有機物を含む土質にも適用できる、2) 保水性があるため、初期収縮とヒビワレの発生が少ない。3) 水和熱が減少し体積変化が小さい、などである。

これらの改良は、リグニンスルホン酸塩が水中でリグニンスルホン酸陰イオンとナトリウム陽イオンとに電離し、強い陰イオン活性を示す。これがセメント粒子に接触すると、その湿潤、吸着作用によって、セメント粒子を分散させ、その滑動性をよくし、減水剤として作用する。ステアリン酸塩類は湿潤作用が強いのみならず、溶液中でケイ酸とゲル化を行ない、ある一定時間後に急激に粘度を増し固結する作用をもつ。二価、三価の陽イオンが吸着して、凝集の状態にある土粒子にトリポリリン酸ソーダを添加すると、負の電荷のリン酸基を媒介として多量の陽イオンが吸着されるから、その分散効果が大きくなる、塩化カルシウムは凝結硬化の促進剤として使用されているが、セメントペースト中の遊離石灰と結合して不溶性の微粒子を生成する。水酸化ナトリウムは pH の低下を中和する作用をもつほかに、セメントの水和作用に大きく影響し、添加剤の分散性を補助する作用をもつ、などによるものである。

セメント A 種安定処理、高炉セメント安定処理、無処理

* 福岡大学助教授 工学部土木工学科

表—1 セメントA種安定処理

路線番号	①	②	③	④
舗装断面 (cm)				
路線名	宮崎県那珂～高岡線	熊本県鹿野～赤迫線	熊本県辛川～鹿本線	長崎県三川線
路床CBR	1.3%	3.5%	2.5%	4.5%
施工年月日	44.12.9	46.4.10	46.5.20	47.6.10
調査年月日	47.5.26	47.5.31	47.5.31	47.8.10
調査方法	各層で平板載荷試験	同左	同左	同左

路線番号	⑤	⑥	⑦	
舗装断面 (cm)				
路線名	佐賀県儀徳～田出島線	佐賀県伊万里～黒川線	福岡県唐ノ原線	
路床CBR	5.0%	4.0%	15.0%	
施工年月日	46.12.10	46.5.20	47.8.29	
調査年月日	47.5.15	47.5.24	47.9.12	
調査方法	各層で平板載荷試験	同左	同左	

表—2 セメントB種安定処理

路線番号	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
舗装断面 (舗装厚は標準断面ではなく実測値である)					
路線名	福岡県久光～西小田線	福岡県久光～西小田線	福岡県久光～西小田線	福岡県久光～西小田線	福岡県久光～西小田線
路床CBR	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%	3.1%
施工年月日	46.5.2	46.5.26	46.5.2	46.5.25	46.5.21
調査年月日	47.8.7	47.8.18	47.8.22	47.8.22	47.8.22
調査方法	各層で平板載荷試験	同左	同左	同左	同左

ある。供試体の寸法を図—2に示す。 σ_n はこの供試体を単純支持の状態で載荷試験し、破壊荷重から計算する。その後、圧縮試験から E と μ を求める。

(1)式で計算される G は引張状態にあるクラックの周囲の応力度を表わすもので、クラックの発生、伝ば防止の尺度とすることができる。すなわち、 G の値が大きいほど、その材料はぜい性を示さない。

$G.F.$ の添加によるセメントA種安定処理の効果の一例を図—3に示す。

図—3の土質は比重2.76、最大粒径2.0mm、液性限界35.5%、塑性限界25.4%、塑性指数10.1、最適含水比14.5%、最大乾燥密度1.88g/cm³、pH9.55である。安定処理土の配合はセメント量10%、含水比10%の状態、 $G.F.$ をそれぞれ、0%、0.2%、0.4%添加している。使用した $G.F.$ は日本硝子繊維KKの直径0.009mm、長さ13mmのものである。

この図—3から、圧縮応力の増加につれて G の値は減少している。すなわち、破壊に近づくほど、その材料はぜい

表—3 路盤材料と試験結果

	路線名	粒 度		セメントの種類と配合量		管理試験結果
		2.5 mm Pass(%)	0.074 mm Pass(%)			
セメントA種安定処理	①	55.0	7.0	高 炉 セ メ ン ト	8.0(%)	31.0~34.0 (kg/cm ²)
	②	3.0	1.0	"	6.0	—
	③	6.0	1.0	"	6.5	—
	④	11.0	2.7	"	6.0	—
	⑤	9.5	2.7	"	6.0	35.0~53.0
	⑥	25.0	14.0	"	6.0	35.6~44.5
	⑦	7.5	0.2	"	5.0	30.6~33.1
セメントB種安定処理 (G.F. 無添加も含む)	⑧	43.0	18.0	{ 普通ポルトランドセメント グラスファイバー }	{ 12.8 0.1 }	{ 12.1~16.9 }
	⑨	67.0	14.0	{ 普通ポルトランドセメント グラスファイバー }	{ 7.5 0.1 }	{ 23.1~25.8 }
	⑩	67.0	14.0	普通ポルトランドセメント	7.5	28.9~30.0
	⑪	43.0	18.0	{ 普通ポルトランドセメント グラスファイバー }	{ 12.8 0.5 }	{ — }
	⑫	43.0	18.0	普通ポルトランドセメント	12.8	14.3~19.5

性化することを表わす。G.F. を添加すれば、Gの値は増加し、セメントB種安定処理の効果が認められる。

3. 試験舗装

3.1 調査路線と路盤材料

セメントA種安定処理、B種安定処理の効果が室内試験で確認されたので、実際に試験舗装を九州各地で実施した⁷⁾。この試験舗装の路線の路線番号、舗装断面、路線名、路床CBR、施工年月日、調査年月日、調査方法を表—1、2に示す。

セメントA種安定処理は宮崎、熊本、長崎、佐賀、福岡県の各地で実施した路線のなかで、供用開始後1~2年の代表的なものを追跡調査した。

セメントB種安定処理は福岡県甘木土木事務所管内の県道久光~西小田線において、他の粒調材料とともに試験舗装した図—4で、セメント系安定処理関係の試験区間だけをとりだしたものである⁸⁾。路線⑩、⑫はG.F. 無添加の

セメント安定処理であるが、路線⑧、⑨、⑩との比較のために表—2に示す。

路盤材料の粒度(2.5 mm通過量, 0.074 mm通過量)、セメントの種類と配合量、管理試験結果を表—3に示す。セメントB種安定処理の路線⑨、⑩の路盤材料はマサであり、路線⑧、⑪、⑫の路盤材料は山土と称する甘木市碎石場の表土である。

3.2 調査方法

セメントA種安定処理の路線①~⑦では舗装構成層の各層で1 m×1 mの面積をはざり平板載荷試験を、セメントB種安定処理の路線⑧~⑫では同様に、穴あけベンケルマンタワミ量試験と平板載荷試験を実施した。

平板載荷試験は土質工学会の土質調査法で、ベンケルマンタワミ量試験はアスファルト舗装要綱の方法である。写真—1に上層路盤面上での平板載荷試験を示す。

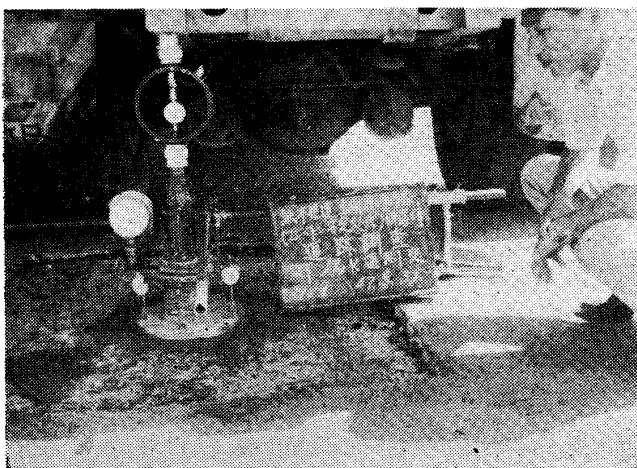
4. 解 析

4.1 ベンケルマンビームタワミ量

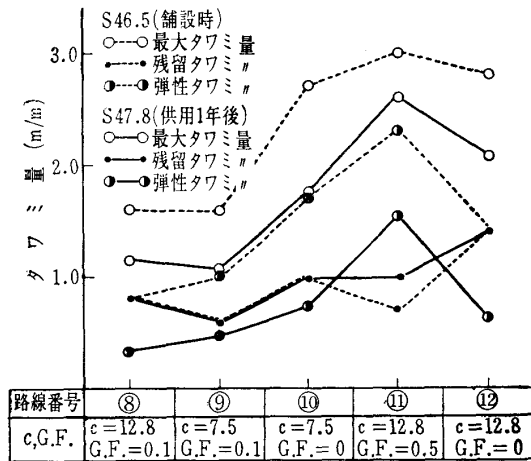
セメントB種安定処理した路線⑧~⑫の表層の各タワミ量を図—5、6に示す。

表層の各タワミ量は温度の影響を含むものと考えられるが、上層路盤の各タワミ量は、その下の下層路盤、しゃ断層の各タワミ量が路線⑧~⑫において、ほとんど一定の値であったから、図—6は上層路盤のタワミ特性を反映しているとみてよい。

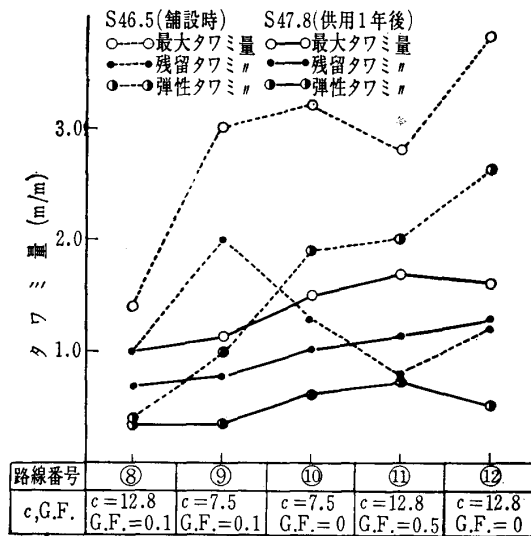
舗装時の各タワミ量の変動は大きい、供用後1年の各タワミ量は安定している。G.F. 0.1%添加した路線⑧、⑨はG.F. を添加していない路線⑩、⑫に比べて、上層路盤の各タワミ量が小さい。しかし、G.F. 0.5%添加の路線⑪の各タワミ量はG.F. を添加していない路線⑩、⑫の各タワミ量と同じ程度である。この原因はG.F. の添加量が



写真—1 路盤面での平板載荷試験



図—5 表層のベンケルマンタワミ量



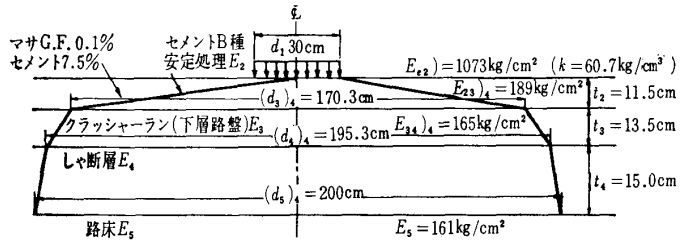
図—6 上層路盤のベンケルマンタワミ量

過大になると、転圧が十分できず、締め固め不良となり、乾燥密度が低下する。過量の G.F. 添加のための締め固め不良の現象は加熱アスファルト混合物の際にもみられるものである。

4.2 変形係数

舗装構成各層での平板载荷試験の K 値から各層の変形係数を計算した。舗装構造の層計算にはバーバー (Burber), パーミスター (Burmister), 上田などの弾性理論に基づく方法があるが、ここでは舗装各層の変形係数を荷重分散角の関係から多層弾性体として近似的に求めるナシメント (Nascimento)⁹⁾ の方法を用いた。図—7 は路線⑨のしゃ断層から上層路盤までを 4 層系とした計算例である。

路盤と、上層路盤の変形係数を表—4 に示す。セメント A 種安定処理の路線では、路線④, ⑦を除いて、路盤の変形係数は約 10,000 kg/cm² 程度である。一方、セメント B 種安定処理の路線では、路線⑪, ⑫を除いて、上層路盤の係数は大きく、リーン・コンクリートほどの値となっている。



図—7 ⑨路線の 4 層系の計算結果

5. 改良効果の評価 (等値換算係数)

舗装構成層の等価値性を表わす係数に等値換算係数がある。セメント A 種安定処理, B 種安定処理で改良された上層路盤の等値換算係数の値から、その改良効果を判定する。ところが、この等値換算係数はその層が使用されている舗装での位置、工法、材料、強度条件などによって変化する。等値換算係数を求めるために種々の提案がなされている。たとえば、

- 1) AASHO の道路試験で採用された P. S. I. (Present Serviceability Index) サービス指数による方法

$P.S.I. = f$ (縦断凹凸量, わだちぼれ深さ, ヒビワレとパッチング面積)

- 2) 英国の道路研究所で採用されている路面の永久沈下量 (わだちぼれ深さ) だけで求める方法

- 3) 竹下により, AASHO の道路試験, 土木研究所での路盤効果試験, Skok, Whiffin の資料などをもとにしての変形係数 E と相対強度係数 a との回帰式の (2) 式を用いる方法

$$a = 0.0116 E^{0.46} \dots \dots \dots (2)$$

- 4) 変形係数が異なる二つの層が層状に弾性地盤上に置かれているとき、同一荷重に対して、タワミ量が等しいとして計算する (3) 式の方法。この場合、(2) 式と相違するのは、(3) 式の誘導過程のなかで E_1 , E_2 の層厚の条件が考慮されている。

$$a_2 = a_1 \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}} \dots \dots \dots (3)$$

- 5) 南雲¹⁾, 須田¹⁰⁾らによって提案されている方法

南雲はアスファルト舗装要綱の等値換算係数を基準にした試験舗装から T_A とタワミ量, T_A と横断凹凸量とで推定している。

一方、須田は空港舗装用の円形試験舗装を製作し、実物大の航空機荷重のもとでの路床、路盤の沈下、応力ヒズミから、舗装の等価値を検討している。

このように、各種の提案がなされているが、1), 2) の方法は、わが国でも、建設省、日本道路公団、高速道路調査会などで路面の供用性の評価としては用いられている。3) の方法は変形係数、4) の方法は変形係数と層厚が求められれば簡単に計算できる。5) の南雲の方法は、路面タワミ量の小さい舗装が供用性にすぐれ、このような舗装は路盤

表—4 調査結果と等値換算係数

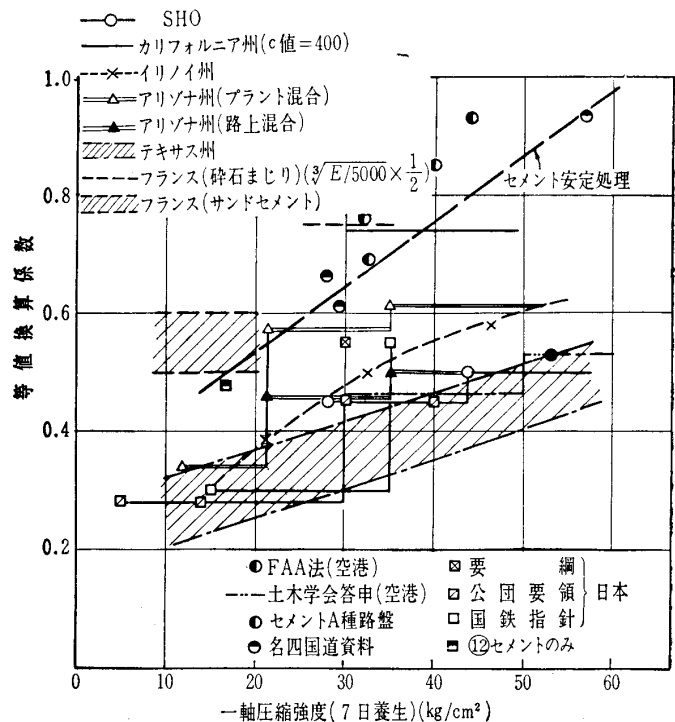
	路線 番号	路盤上の K 値 (kg/cm ³)	変形係数 (kg/cm ²)	等値換算係数 (2) 式	等値換算係数 (3) 式
セメント A 種安定処理	①	39.0	6904	0.69	0.77
	②	42.5	8425	0.76	0.83
	③	52.0	10407	0.84	0.89
	④	49.0	20449	1.04	1.11
	⑤	48.0	12885	0.93	0.95
	⑥	49.2	10764	0.85	0.90
	⑦	39.0	23364	1.21	1.16
セメント B 種安定処理	⑧	50.0	35300, 19200	1.46, 1.11	1.33, 1.09
	⑨	60.7	75600	2.07	1.72
	⑩	52.0	104000, 54800	2.07, 1.80	1.91, 1.54
	⑪	24.0	3950	0.50	0.64
	⑫	34.8	13600	0.95	0.97
セメント 供用1年後	⑬	58.6	25800	1.27	1.20
	⑭	58.8	67200	1.98	1.69
	⑮	42.6	29700	1.36	1.26
	⑯	27.2	5572	0.63	0.72
	⑰	24.0	3153	0.48	0.60

に起因する凹凸を路面に生じさせていないことを確認しながら、 T_A とタワミ量との関係にセメント安定処理路盤とれき青安定処理路盤との2本の直線を設定している。須田の方法は、路床の各種沈下、路盤の累積塑性沈下、表層、基層のヒズミ、路面全沈下、路面弾性沈下についての各種路盤の等価値を求めているが、このなかでも、路面の全沈下や弾性沈下からの等価値に信頼性をおいている。結局、5)の南雲、須田らの方法と3)、4)の変形係数から求める方法とは本質的には類似の方法といつてよさう。

そこで、(2)、(3)式で計算した等値換算係数の値を表—4に示す。両方とも同じ程度の値になる。ただし、(2)式からの等値換算係数が1.0より大きいときには、(3)式からの値が(2)式からの値より小さくなり、1.0より小さいときには、(3)式からの値が(2)式からの値よりも大きくなる。

セメントA種安定処理の等値換算係数は0.69(0.77)～1.21(1.16)で、アスファルト舗装要綱に規定されている0.55よりも大きな値である。

セメントB種安定処理の等値換算係数は供用後1年の場合で0.48(0.60)～1.98(1.69)である。このなかで、G.F. 0.1%添加の路線⑧、⑨の値はG.F. を添加していない路線⑩、⑪よりも大きな値となり、ベンケルマンビームタワミ量で認められたように、G.F. 添加の効果は大である。すなわち、路線⑧と⑫、路線⑨と⑩との等値換算係数の差は、1.27(1.20)－0.48(0.60)=0.79(0.60)、1.98(1.69)－1.36(1.26)=0.62(0.43)となり、G.F. 0.1%添加の効果は、すくなくとも0.43～0.60の等値換算係数の増加となっている。なお、()の中は(3)式による値である。



図—8 等値換算係数の規定と追跡調査結果の推定値

G.F. 0.5%添加の路線⑪では、G.F. 添加量過大のために、G.F. 0.1%添加ほどの効果はない。

さらに、舗装時と供用後1年における等値換算係数の比較をしたのが表—5である。G.F. 0.1%添加の路線⑧、⑨は供用1年後も同じ程度の値であるが、G.F. 無添加の路線⑩、⑪は約0.5低下している。

つぎに、表—3の一軸試験結果と表—4の(2)式の等値換算係数との組み合わせをプロットしたのが図—8である。図中のAASHTO、カリフォルニア州、アリゾナ州、フランス、要綱、公団要領、国鉄指針は山之内¹¹⁾がまとめたものである。FAA法(空港)、土木学会答申(空港)は須田によるものである。名四国道の資料は中部地建の上層路盤に関する経年変化報告書から計算した値で、■印はG.F. を添加していない路線⑫の値である。図—8で、名四国道資料と路線⑫の値はセメントのみによる安定処理の場合の値であるから、これらの回帰直線を示したのが図中のセメント安定処理の直線である。

セメントA種安定処理の値はこの回帰直線より約0.1大きな値であるから、一般のセメント安定処理に比べて、セメントA種安定処理により、路盤は改良されたと考えてよさう。セメントB種安定処理による上層路盤の改良効果は顕著であり、図—8にはプロットできない。

6. 結 論

セメント安定処理の欠点とされている1)粘性土には適さない、2)有機物によって水硬性が妨げられる、3)収縮ヒビクラックがある、などの性質を改良するために、セメン

表—5 セメントB種安定処理舗設時と供用1年後の比較

路線番号	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
セメント配合量	c=12.8%	c=7.5%	c=7.5%	c=12.8%	c=12.8%
G.F.添加量	G.F.=0.1%	G.F.=0.1%	G.F.=0%	G.F.=0.5%	G.F.=0%
舗設時(2)式	1.29	2.07	1.94	0.50	0.95
供用1年後(2)式	1.27	1.98	1.36	0.63	0.48
差	-0.02	-0.09	-0.58	+0.13	-0.47

トA種安定処理, B種安定処理を用いて, 室内試験, 現道での試験舗装を実施した。

室内試験での改良例として, 図—1 のようにセメントA種安定処理によって, 収縮, 膨張量が減少することが判明した。セメントB種安定処理によつては, 図—3 のヒズミエネルギー解放率Gで示される力学的性質が改良されることを確認できた。

試験舗装での改良例としては, セメントA種安定処理は九州各県の簡易舗装の追跡調査で実施し, セメントB種安定処理は福岡県甘木市の県道久光～西小田線の試験舗装で実施した。この結果, ベンケルマンビームタワミ量試験から, セメントA種安定処理の G.F. 0.1% 添加の場合, 上層路盤の各タワミ量が減少した。平板載荷試験のK値から変形係数を求め, さらに, (2), (3)式で等値換算係数を計算したが, セメントのみの場合の安定処理に比べて, セメントA種安定処理では等値換算係数で約0.1の増加が明らかになった。セメントB種安定処理の効果は顕著であるが, G.F. の添加量が適正でなければ, その効果を十分に発揮できない。G.F. 0.1% の添加量で約0.5程度の等値換算係数が得られ, 供用後も値の低下はみられないが, G.F. を添加していないと値の低下が認められ, セメントB種安定

処理の効果が確認された。

このように, セメントA種安定処理, B種安定処理の効果は明らかであるから, 今後, 実用的な路面の供用性, 舗装の耐久性といった要因も含めての観点からセメント安定処理の改良が検討されることを望む。

なお, 本報文の概要は舗装 Vol. 8, No. 7 (1973) で, すでに報告しているが, 土と基礎の小特集号の主旨に合わせて, 加筆と資料の省略, 追加を行なったことを付記しておく。最後に, 試験舗装の追跡調査に際して, 関係官庁特に, 福岡県甘木土木事務所, 太平商工株式会社, 株式会社才田組の各位に協力いただいたことに感謝する。

参 考 文 献

- 1) 南雲, 月成: 試験舗装に取上げた路盤工種とその効果, 土と基礎, Vol. 20, No. 6 (1972)
- 2) 植下ほか: 穴あけベンケルマンビーム試験による舗装構造の解析, 土木学会論文集, No. 214 (1973)
- 3) 南雲ほか: ソイルセメント試験舗装の調査報告, 土木技術資料, Vol. 11, No. 12
- 4) 河野: 土の化学的安定処理について, 土と水, 農業土木技術研究会
- 5) 吉田: グラスファイバー添加土の基礎的実験について, 土木学会第27回年次学術講演会 (1972)
- 6) Winne, Wundt: Application of Griffith-Irwin Theory of Crack Propagation to the Brusting Behavior of Discs ASME (1958)
- 7) 太平商工(株)技術報告書 No. 1 (1972)
- 8) 吉田・百田: 各種路盤材料の等値換算係数について, 骨材資源, Vol. 4, No. 3 (1972)
- 9) 植下: 平板載荷試験から舗装各層の変形係数を算出する方法, 舗装, Vol. 6, No. 1 (1971)
- 10) 須田・佐藤: 空港舗装における各種路盤の“等価値”に関する提案, 土木学会論文集, No. 218 (1973)
- 11) 山之口: 一軸圧縮強度と等値換算係数のグラフ, 舗装, Vol. 7, No. 5 (1972)

(原稿受理 1974. 2. 13)

※ ※ ※