

融解期の現場 CBR とそれに基づく設計 CBR について

ESTIMATIONS OF DESIGN CBR BASED ON FIELD CBR
TESTS DURING SPRING THAW久 保 宏*
By Hiroshi KUBO

1. ま え が き

北海道のような積雪寒冷地においてアスファルト舗装道路を築造する場合、一般に、凍上対策上から決まる置換厚さ、路床土の CBR および将来の大型車交通量などを考慮して舗装厚の設計を行っている^{1),2)}。このうち、特に寒冷地の路床土の CBR は、凍結した路床土が春期に融解し、その支持力が最も低下したときに求める必要がある。しかし、舗装の設計箇所について融解時期に現場の CBR を実測することは、多くの時間と労力を要し、しかもその測定精度にも問題がある。そこで、路床土質や凍上防止のために用いられている凍上抑制層の種類ごとにあらかじめ設計 CBR を求めておくことが望まれる³⁾。一方、アスファルト舗装要綱⁴⁾や空港アスファルト舗装構造設計要領⁵⁾は、現地から採取した路床土を室内で水浸し、その CBR を測定して設計 CBR を求める方法も示されているが、寒冷地においてはこの方法によって得られたものが春の融解期の CBR 値をそのまま表示しているとも考えられない⁶⁾。したがって、北海道開発局では美々試験道路から得られた調査結果をもとに在来砂利道の凍結深さの約 80% を凍上を起こしにくい材料で置き換えたときの春の融解期に期待できる支持力が、在来路床上に約 30 cm の凍上抑制層を置いてその上面で CBR=3 として舗装を設計してきた⁷⁾。

しかし、この支持力も在来路床土や凍上抑制層の種類などによって異なるものと考えられる。そこで実際に、春の融解期に供用中の道路を対象に、路床支持力を北海道の広い範囲にわたって調査した。

本報告は、北海道における道路の融解期の現場 CBR に関する調査結果とそれに基づく設計 CBR の推定ならびにアスファルト舗装構造の簡単な設計法について述べたものである^{8),9)}。

2. 融解期の現場 CBR と設計 CBR

前年度に路床と路盤を施工した室蘭、小樽、帯広の各開発建設部管内の 73 調査地点ならびに約 10 年間舗装道路として供用した札幌、旭川の各開発建設部管内の 35 調査地点(図-1)を対象に、図-2 に示すアスファルト舗装構成における路床の融解期をねらって在来路床の上面と凍上抑制層の上面および在来路床上 30 cm で凍上抑制層の中間層でそれぞれ現場 CBR 値等を測定した。

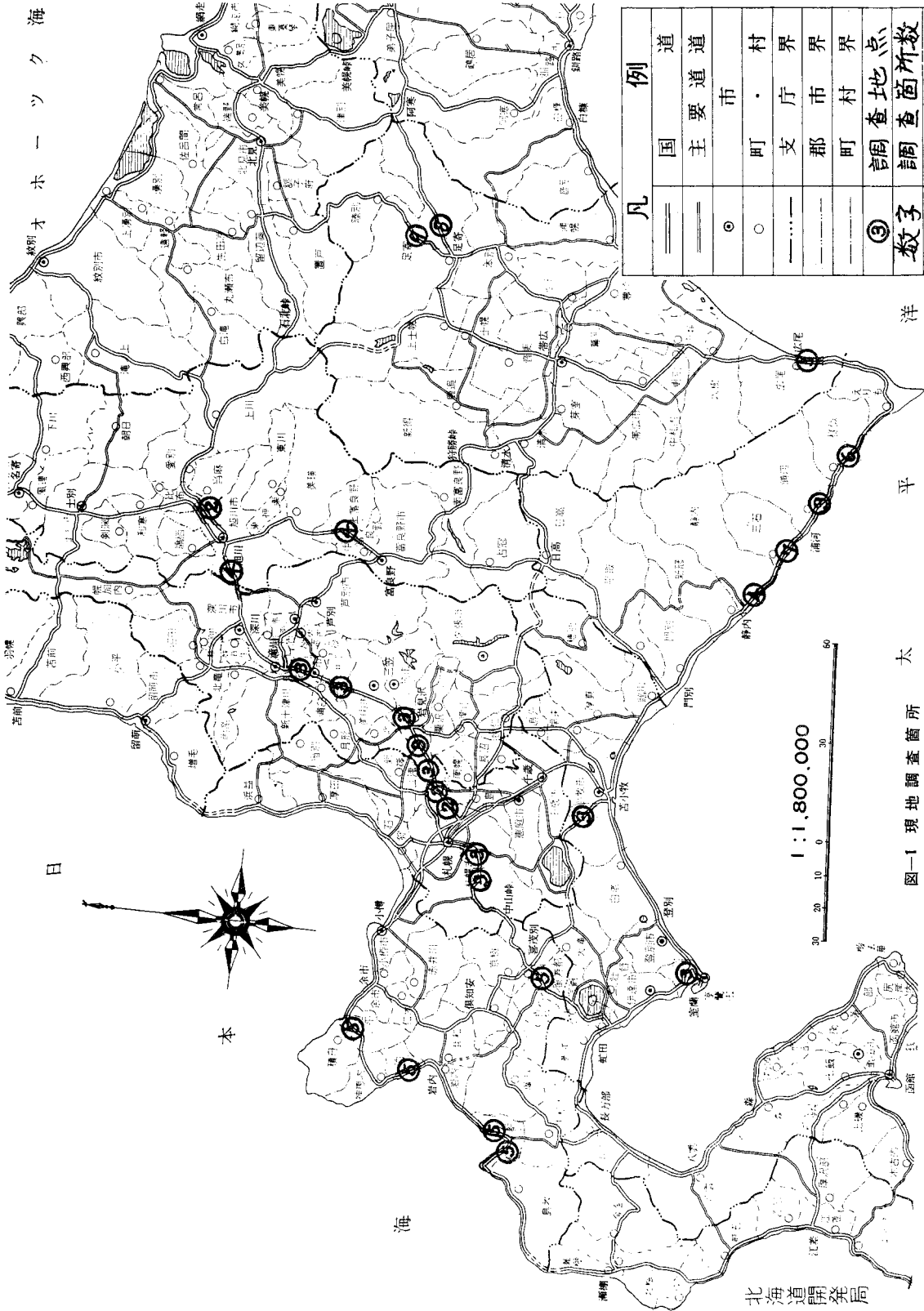
調査時期は、凍上抑制層の下の在来路床土が融解した直後を目標としたが、実際には在来路床土や凍上抑制層内に凍結がまだ存在するものや融解完了後やや日数を経たと考えられるものがあつた。また、在来路床土と凍上抑制層とがこね返し状態になっているものもあつた。したがって、調査結果からこれらの目標とした時期および状態から外れたものを除いて、路床を構成する凍上抑制層と在来路床のおおよその材料別に、① 凍上性路床土、② 火山灰、③ 砂、④ 切込砂利等粗粒材の 4 種類に分類して現場 CBR を取りまとめ表-1 に示した。同時に現場で測定した含水比と乾燥密度ならびにアスファルト舗装要綱の方法によって求めた設計 CBR もあわせて示した。なお、ここでいう凍上性路床土とは、砂質土、粘質土、粘土など一般に凍上を起こしやす土質を含めた在

表-1 現場における CBR, 含水比および乾燥密度

	現場 CBR (%)	含水比 (%)	乾燥密度 (g/cm ³)	アスファルト舗装要綱による設計 CBR (%)
凍上性路床土	2~12 (6)(3)	13~117 (37)	0.628~1.776 (1.425)	0.2~34 (4)(9)
火山灰	13~52 (31)(11)	10~54 (26)	0.915~1.548 (1.203)	2~76 (39)(26)
砂	4~15 (9)(3)	3~13 (5)	1.536~2.385 (1.915)	10~33 (17)(9)
粗粒材	9~82 (37)(22)	3~28 (7)	1.304~2.172 (1.803)	42~138 (78)(30)

() および () 内の数字は、それぞれその範囲の平均値と不偏分散の平方根を示す。

* 正会員 M.S. 北海道開発局土木試験所舗装研究室長



オホーツク海

洋

平

太

日

本

海

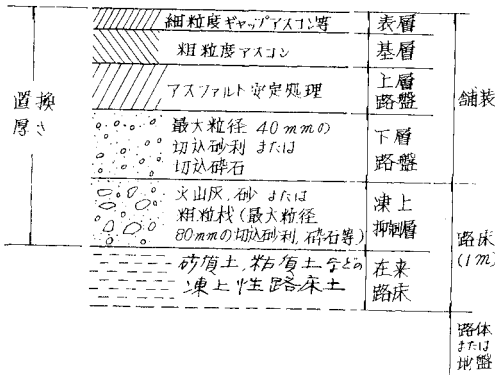


図-2 北海道におけるアスファルト舗装の構成

来路床土の総称である。

表-1 に示す路床構成材料について、現場 CBR の不偏分散の平方根が、アスファルト舗装要綱の方法で求めた設計 CBR のそれよりも明らかに小さいことから、寒冷地における設計 CBR は、春の融解期の現場 CBR から求めるのがもっとも実情に近く、かつ合理的なものと考えられる。路床を構成する各層の材料別に融解期の現場 CBR を求め、それから設計 CBR を計算すると次のようになる。

(1) 凍上性路床土からなる路床の CBR

調査対象としたこの路床土は、凍上対策から凍上を起こしにくい砂や砂利などで置き換えた層の下に位置する土質である。この凍上性路床土の現場 CBR に関する調査結果を図-3 に示す。この図からわかるように、現場 CBR に相当なばらつきがあるが、これは土質が砂質土から粘土まで変化し、調査した地域が広がったことに原因しているものと考えられる。

そこで、この路床土を置換材料と区別し、その現場 CBR が平均値を中心に正規分布すると仮定し、さらに平均値から標準偏差以上はずれるものの確率が 16% であるとすると¹⁰⁾、この路床土の設計 CBR は次式から求めることができる⁴⁾。

$$\text{設計 CBR} = \text{各地点の CBR の平均} - \sigma$$

ここに、 $\sigma = (\text{CBR 最大値} - \text{CBR 最小値}) / C$ 、 C は測定個数によって決まる係数で、この場合は 10 個以上で、

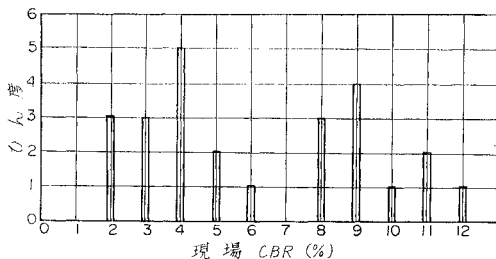


図-3 凍上性路床土の融解期における現場 CBR

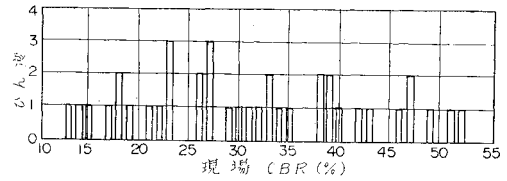


図-4 凍上抑制層(火山灰)の現場 CBR

3.18 である。

したがって、路床を構成する土質が凍上性路床土の場合の設計 CBR は、下記のように 3 とすることができる。

$$\text{設計 CBR} = 6.2 - \frac{12-2}{3.18} \approx 3$$

(2) 路床が火山灰からなる場合の CBR

路床の一部が火山灰からなる場合の現場 CBR に関する調査結果は図-4 に示すとおりである。ここでいう火山灰は、北海道に広く分布している比較的新しい時代の火山噴出物で、凍上を起こしにくい材料として一般に凍上抑制層に使われているものである。

火山灰についても、(1) の場合と同様に現場 CBR から設計 CBR を求めると、次のようになる。

$$\text{設計 CBR} = 31.2 - \frac{52-13}{3.18} = 18.9$$

一般に火山灰は、凍結融解の繰り返し作用によってその粒子が次第に細粒化し、融解期の支持力が大きく低下することが室内実験や現場試験からわかっている。また、今回の調査対象とした火山灰のうち、今回の調査対象と

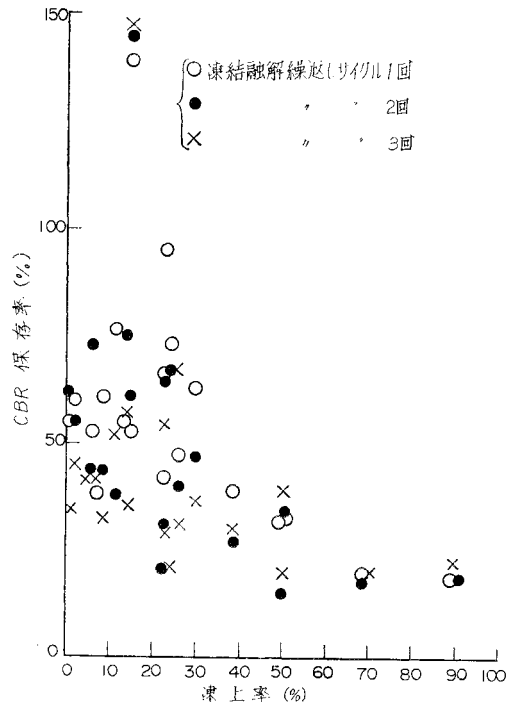


図-5 CBR 保存率と凍上率

した火山灰のうち、34箇所はその前年度に施工したもので、凍結融解作用は1回しか受けていないことになる。したがって、火山灰については上記の値をそのまま設計に用いることには危険を伴うため、適当な低減を行うことが必要である。そこで、北海道でもっとも一般的に用いられている火山灰について、その凍上率と CBR 保存率の関係を室内実験結果によって示すと、図-5 のようになる¹¹⁾。ここで、CBR 保存率とは、4日水浸後の CBR で、凍結融解繰返し後の CBR を除して百分率で表わしたものである。この図から、CBR 保存率はほぼ 20~70% の範囲にあり、しかもこれ以上凍結融解数を増加してもあまり低下しないことがわかる。したがって、設計に用いる火山灰の CBR 保存率を、この実験結果の下限値である 20% として、火山灰の設計 CBR を求めると次のようになる。

$$\text{設計 CBR} = 18.9 \times 0.20 \approx 4$$

火山灰には、細粒・粗粒の別、風化の程度、産地などによってその特性値に差異があるが、北海道産出の火山灰のおよその設計 CBR を 4 とすることができる。

(3) 路床が砂からなる場合の CBR

路床の一部が川砂または海砂である場合の現場 CBR 試験結果を図-6 に示す。

凍上抑制層として砂を用いたときの現場 CBR 試験結果では、約 10 年間供用した箇所現場 CBR が前年度施工のそれよりもほとんどの場合について大きな値を示し、この砂は凍結融解作用の影響を受けていないことがわかった。また、寒冷地で凍上抑制層として一般に用いられている砂は、凍上対策からシルト・粘土分の含有量を 6% 以下に規定しているため、その支持力低下がほとんどないことが経験からわかっている。これらのことから、砂の場合には凍結融解の繰返し作用による支持力

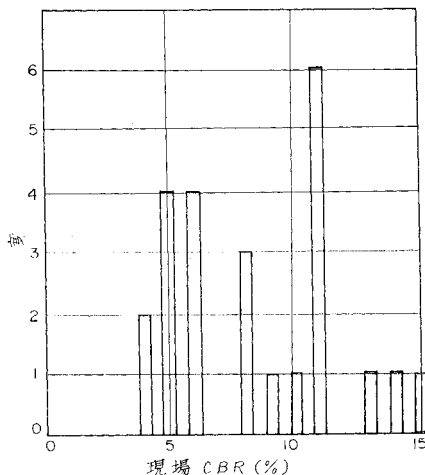


図-6 凍上抑制層(砂)の現場の CBR

低下を考えないで、次のように砂の設計 CBR を求めた。

$$\text{設計 CBR} = 8.5 - \frac{15-4}{3.18} = 5$$

北海道では、最近主として海砂が凍上抑制層に用いられているが、その設計 CBR はおおよそ 5 と考えられる。

(4) 路床が切込砂利等、粗粒材からなる場合の CBR

北海道では、凍上抑制層として現場付近で産出する砂や火山灰のほかに、最大粒径 80 mm の切込砂利、切込碎石、岩くずなどの材料が粗粒材という名称で使用されている¹¹⁾。図-7 は、路床の一部が切込砂利などの粗粒材からなる場合の現場 CBR の調査結果をまとめて示したものである。この図からわかるように、凍上抑制層に切込砂利などの粗粒材を用いたときの現場 CBR は、室内実験から求める修正 CBR の場合と同様に大きければつきを示した。これは、調査箇所の粗粒材の最大粒径が CBR 試験の貫入ピストンの寸法より大きいことに原因しているものと考えられる。切込砂利などの粗粒材についても、凍上性路床土の場合と同様に現場 CBR が正規分布し、その平均値より標準偏差だけ小さい値として設計 CBR を求めた。また、これらの粗粒材は、その材料が粗粒であるため凍上性の在来路床土が浸入して凍結融解作用による支持力低下が大きいことが経験上確かめられている。したがって、粗粒材の凍結融解繰返しによる CBR 保存率を、凍上抑制層として一般に用いられている切込砂利に関する室内実験結果¹²⁾からそのほぼ最低値の 70% にして次のように粗粒材の設計 CBR を求めた。

$$\text{設計 CBR} = 37.1 - \frac{82-9}{3.18} = 14.1$$

切込砂利などの粗粒材の設計

$$\text{CBR} = 14.1 \times 0.70 \approx 10$$

実際の現場における路床は、凍上性路床土、火山灰、砂、粗粒材の 4 種に明確に区分することが困難な場合がある。特に、切込砂利に路床土が混入したときの設計 CBR をどのようにとるかによって舗装厚さが大きく違ってくるが、たとえば凍上性の路床土の混入率や現場における地下水位の位置などによってどの設計 CBR を選択するかを決めることになる。

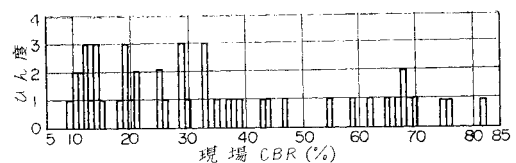


図-7 凍上抑制層(粗粒材)の現場 CBR

3. 凍上抑制層と在来路床の CBR の合成

アスファルト舗装要綱では路床土の設計 CBR は、しゃ断層の役目を果たしている凍上抑制層を含めないで在来路床土から求めることになっているが、北海道においては凍上対策からその凍上抑制層の厚さが大きく、在来路床より厚くなるのがしばしばある。また、冬の凍上被害を受けない程度に凍結深さの約 80% を、舗装厚に凍上抑制層を加えた置換厚さと決めているのが現状である¹⁾。したがって、北海道においては路床を構成する凍上抑制層と在来路床土がほぼ同じ程度に凍結融解作用を受けて支持力が低下することがわかっているため、融解期における両者の統計上の最小現場 CBR を合成して路床の設計 CBR とするのがもっとも経済的であると考えられる。

凍上抑制層と在来路床の CBR を合成するときは、両者の CBR がそれぞれ 3~12% の範囲内にあることがその適用条件である¹³⁾。調査した 4 種類の路床を構成する層の CBR はこの条件を満足するので、路床厚 1m についてアスファルト舗装要綱で示す方法に従って合成した設計 CBR を次式から求めることができる⁹⁾。

$$\text{設計 CBR} = \left(\frac{h_1 \text{CBR}_f^{1/3} + h_2 \text{CBR}_s^{1/3}}{100} \right)^3 \dots (1)$$

ここに、

$\text{CBR}_f, \text{CBR}_s$: それぞれ凍上抑制層と在来路床の CBR

h_1, h_2 : それぞれ凍上抑制層と在来路床の厚さ ($h_1 + h_2 = 100 \text{ cm}$)

北海道において凍上抑制層に用いられている材料としては、火山灰、砂、切込砂利などの粗粒材の 3 種類であるが¹⁴⁾、在来路床に相当するものは大部分が凍上性の土

表-2 合成設計 CBR

凍上抑制層材料 路床の材料	火山灰		砂		切込砂利, 切込碎石, 等粗粒材	
	厚さ (cm)	設計 CBR	厚さ (cm)	設計 CBR	厚さ (cm)	設計 CBR
凍上性 路床土	52 以下	3	28 以下	3	10 以下	3
	53 以上	3.5	29~54	3.5	11~20	3.5
			55 以上	4	21~37	4
					38~52	5
					53~78	6
79 以上	8					
火山灰		4		21 以下	4	
				22~40	5	
				41~72	6	
				73 以上	8	
砂				24 以下	5	
				25~65	6	
				66 以上	8	
切込砂利, 切込碎石, 等粗粒材						10

質である。しかし、地盤が火山灰からなる地帯や海岸近くの砂地盤からなる地帯あるいはトンネル坑口近くではこの土質以外の路床も考えられる。したがって、凍上性の路床土からなる在来路床と 3 種類の凍上抑制層の組合わせ、ならびに切込砂利などの粗粒材からなる凍上抑制層と火山灰や砂などによる路床との組合わせにおける合成した設計 CBR を求めると表-2 のようになる。ただし、凍上抑制層の CBR がその下層にある路床土の CBR よりも小さい場合には、「上層の CBR は下層のそれよりも常に大きくなってはならない」という CBR 設計法の基本条件^{10), 13)}に反するために合成しないで上層の凍上抑制層の CBR を設計 CBR とする必要がある。

以上のことから、凍上抑制層の種別と厚さならびにその下層の在来路床の種別が決まると設計する箇所の設計 CBR を、現地の現場 CBR やその他の実測によらないで簡単に求めることが可能である。

4. 寒冷地舗装における下層路盤と凍上抑制層の厚さの決定

北海道におけるアスファルト舗装の路盤では、一般に上層路盤として 5~6 cm のアスファルト安定処理が用いられ、下層路盤には切込砂利などの粗粒材が使用されている¹⁾。この下層路盤と凍上抑制層の合計厚さは、凍上対策上から必要な置換厚さ、将来の大型車交通量および凍上抑制層上面での設計 CBR から求められる。このうち、置換厚さは、実測するかあるいは計算で求めた凍結深さをもとに舗装道路に凍上被害が起きないように地域ごとに決めることができる。現在北海道では各地域ごとに次のような置換厚さの標準値を定めている¹⁾。

札幌 80~90 cm, 小樽 70~80 cm, 函館 50~70 cm, 室蘭 70~90 cm, 旭川 90~100 cm, 留萌 80~90 cm, 稚内 80~90 cm, 網走 80~100 cm, 帯広 100~110 cm, 釧路 80~100 cm。

また、置換厚さのうち表層、基層、上層路盤のアスファルト混合物からなる各層の厚さは、その地域の大型車交通量、各層の施工性、経済性などから特別に定めている。これらのことから、置換厚さ、大型車交通量、路床を構成する層の種別がわかると、不確定要素である下層路盤と凍上抑制層の合計厚さを求めることができる。

手順としてはまず、設計箇所の大型車交通量区分とその地区の置換厚さ、在来路床の種別を定め、現場近くで産出する凍上抑制層用材料を選定する。次に、アスファルト舗装要綱によって交通量の区分と在来路床の設計 CBR から所要の T_A と舗装合計厚 (H) を求める。しかし、設計 CBR は凍上抑制層の厚さによって決まり、凍上抑制層の厚さは、その上層の下層路盤の厚さが決まら

表-3 路床が凍上性路床土からなる場合

置換厚さと凍上抑制層材料 (cm)	交通区分 厚さ (cm)	A		B		C	
		下層	凍上	下層	凍上	下層	凍上
		路盤厚	抑制層	路盤厚	抑制層	路盤厚	抑制層
60	火山灰	35	15	50	0	40	0
	砂	30	20	45	0	35	0
	粗粒材	15	35	25	20	15	20
70	火山灰	35	25	55	0	45	0
	砂	30	30	45	15	35	15
	粗粒材	15	45	25	30	15	30
80	火山灰	35	35	50	15	40	15
	砂	30	40	45	20	35	20
	粗粒材	15	55	25	40	15	40
90	火山灰	35	45	50	25	60	15
	砂	30	50	45	30	55	15
	粗粒材	15	65	25	50	30	40
100	火山灰	35	55	50	35	60	20
	砂	30	60	45	40	55	25
	粗粒材	15	75	25	60	30	50
110	火山灰	35	65	50	45	60	30
	砂	30	70	45	50	55	35
	粗粒材	15	85	25	70	30	60

なければならないという関係にある。したがって、置換厚さ、交通区分、凍上抑制層と在来路床の種別ごとに、凍上抑制層の厚さ、設計 CBR、 T_A の間で式 (1) によって繰り返し計算を行い、すべての条件を満足する下層路盤と凍上抑制層の厚さを求めることができる。北海道において通常採用されている交通区分、置換厚さ、凍上抑制層と在来路床土の種別における下層路盤と凍上抑制層の厚さの計算結果は表-3~5 に示すとおりである¹⁾。なお、これらの層の最小厚さは施工性を考慮して 15 cm とし、5 cm 単位に丸めてある。

5. 結 論

この現地調査結果ならびにそれらに対する考察から得られた結論を要約して述べると次のとおりである。

(1) 寒冷地において一般に凍上性の土質からなる在来路床土の設計 CBR は、おおよそ 3 と考えてよい。また、海岸近くの砂地盤からなる地帯の砂の設計 CBR は 5 である。

(2) 凍結融解作用を受けた火山灰からなる凍上抑制層の路床の設計 CBR は 4 である。また、切込砂利や切込砕石などの粗粒材からなる路床の設計 CBR は 10 とすることができる。

(3) 凍上抑制層と在来路床土の合成した設計 CBR を求めることによって、凍上対策上から決まる置換厚さならびに大型車交通区分をもとに、寒冷地のアスファルト舗装の構造設計が容易にできる。

表-4 在来路床土が火山灰または砂で凍上抑制層が粗粒材の場合

置換厚さと路床材料 (cm)	交通区分 厚さ (cm)	A		B		C	
		下層	凍上抑	下層	凍上抑	下層	凍上抑
		路盤厚	制層厚	路盤厚	制層厚	路盤厚	制層厚
60	火山灰	35	15	50	0	40	0
	砂	30	20	45	0	35	0
	粗粒材	15	35	25	20	15	20
70	火山灰	30	30	55	0	45	0
	砂	25	35	55	0	45	0
	粗粒材	15	45	25	30	15	30
80	火山灰	25	45	50	15	40	15
	砂	25	45	40	25	35	20
	粗粒材	15	55	25	40	15	40
90	火山灰	25	55	45	30	70	0
	砂	25	55	40	35	55	15
	粗粒材	15	65	25	50	30	40
100	火山灰	25	65	40	45	55	25
	砂	20	70	40	45	45	35
	粗粒材	15	75	25	60	30	50
110	火山灰	20	80	40	55	45	45
	砂	20	80	40	55	45	45
	粗粒材	15	85	25	70	30	60

表-5 在来路床と凍上抑制層が同じ材料の場合

置換厚さと凍上抑制層材料 (cm)	交通区分 厚さ (cm)	A		B		C	
		下層	凍上抑	下層	凍上抑	下層	凍上抑
		路盤厚	制層厚	路盤厚	制層厚	路盤厚	制層厚
60	火山灰	40	15	55	0	50	0
	砂	40	15	55	0	50	0
	粗粒材	35	15	55	0	50	0
70	火山灰	40	20	55	0	50	0
	砂	40	20	55	0	50	0
	粗粒材	35	25	55	0	50	0
80	火山灰	40	30	55	15	55	0
	砂	35	35	55	15	55	0
	粗粒材	30	40	65	0	55	0
90	火山灰	40	40	55	20	70	0
	砂	35	45	55	20	70	0
	粗粒材	25	55	50	25	70	0
100	火山灰	35	55	55	30	70	15
	砂	35	55	55	30	70	15
	粗粒材	25	65	45	40	65	15
110	火山灰	35	65	55	40	70	20
	砂	35	65	55	40	70	20
	粗粒材	25	75	40	55	60	30

6. あとがき

積雪寒冷地の舗装構造を設計するときには、春の融解期の路床支持力低下を特に考慮しなければならないが、今回の現地調査によって凍上抑制層を含めた路床土の設計 CBR の概略値を把握することができた。さらに、路床を構成する凍上抑制層と在来路床土の種別から路床の合成した設計 CBR を推定し、置換厚さならびに交通量区分から、北海道におけるアスファルト舗装構造を簡単に決定できる方法を提案した。現在では、北海道における道路舗装の構造設計はすべてこの方法で行われ、満足のいく舗装の供用性が得られている。

しかし、在来路床土として一般的な砂質土には粘質土、粘土などが含まれており、また、切込砂利、切込碎石、岩くずなどをすべて粗粒材として分類しているためにそれらの現場 CBR のばらつきが大きくなっている。したがって、今後はより細分化した土質について設計 CBR を求め、経済的でより精度の高い舗装構造の設計を実施する必要がある。

最後に、この現地調査は北海道開発局道路建設課、道路維持課、各開発建設部道路課の協力のもとに、北海道開発局土木試験所舗装研究室が現地調査および取りまとめを行い、その結果が、北海道の国道、道道、市町村道などの道路工事設計基準に反映されていることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 北海道開発局：昭和 52 年度道路工事設計基準，pp. 50～56，1977 年 4 月。
- 2) 北海道土木部道路課：昭和 52 年度道路工事設計図書作成要領，pp. 41～45，1977 年 4 月。
- 3) Michigan State Highway Department：Field Manual of Soil Engineering，pp. 115～117，1960。
- 4) 日本道路協会：アスファルト舗装要綱（昭和 50 年版）

pp. 7～10，1975 年 10 月。

- 5) 運輸省航空局：空港アスファルト舗装構造設計要領，pp. 10～14，1976 年。
- 6) 河野文弘：寒冷地道路の凍上対策，道路，pp. 25～31，1971 年 2 月。
- 7) 小山道義：寒冷地舗装の問題点，土木施工，pp. 117～123，1966 年 11 月。
- 8) 久保・斉藤：融解期の現場 CBR とそれに基づく設計 CBR について，第 15 回北海道開発局技術研究発表会論文集，pp. 155～166，1972 年 2 月。
- 9) 河野文弘：寒冷地における路床・路盤，土と基礎，pp. 19～25，1972 年 6 月。
- 10) 松野三朗：講座，アスファルト舗装（第 8 回）舗装，pp. 24～26，1968 年 10 月。
- 11) 平尾・高橋・荻野：火山灰の凍上性と凍結融解後の CBR について，第 9 回北海道開発局技術研究発表会論文集，pp. 334～340，1965 年 2 月。
- 12) 小山・平尾・高橋・川井・土坂：切込砂利の凍上性および凍結融解後の CBR について，北海道開発局土木試験所月報，第 139 号，pp. 8～17，1964 年 12 月。
- 13) E.Y. Yoder, M.W. Witzak：Principles of Pavement Design, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc. pp. 449～455，1975。
- 14) 北海道開発局：道路・河川工事仕様書，pp. 17～18。
(1977.12.27・受付)