

北海道におけるアスファルト舗装の 構造設計に対する考え方

久保 宏*

まえがき

北海道のような積雪寒冷地における道路舗装の構造設計は、一般に路床土のCBR、凍上対策から決まる置換厚^{1), 2)}および将来の大型車交通量などを考慮して行われる。

このうち、特に寒冷地での路床土の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地での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。したがって、路床の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CBR³⁾を求めておくことが望まれる。

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⁾では、現地から採取した自然含水状態の路

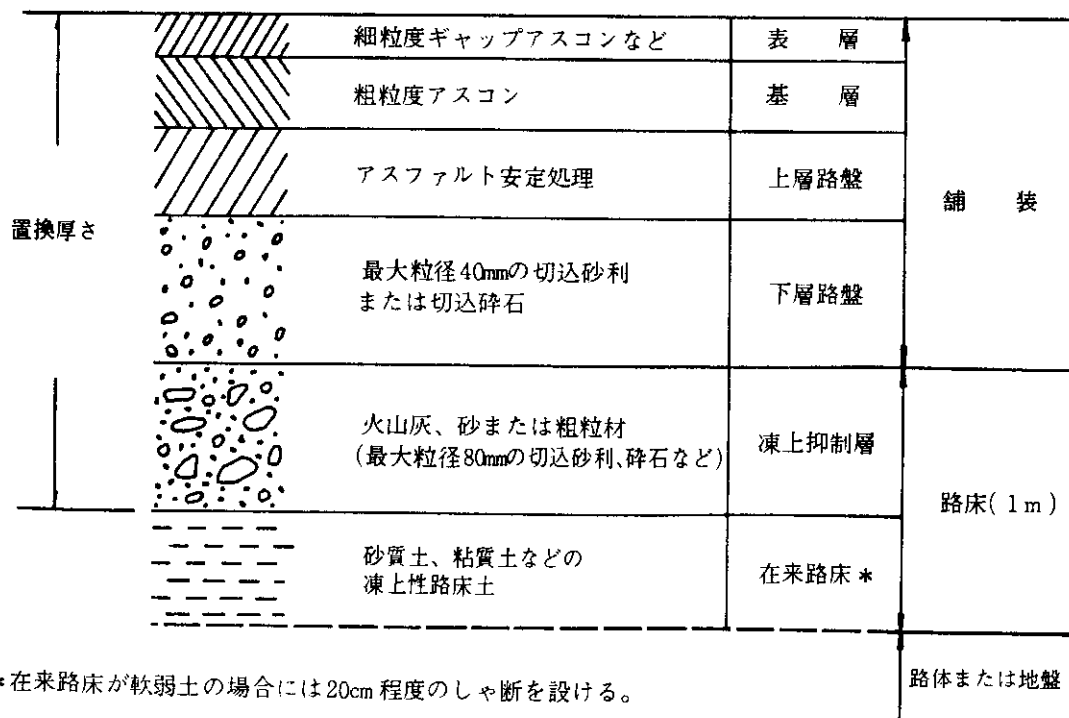
床土を室内でモールドに詰めて4日間水浸し、そのCBRを測定して設計CBRを求める方法が示されている。しかし、寒冷地においてはこれによって得られたものが春の融解期のCBR⁶⁾値をそのまま表わしているとも考えられない。

そこで、筆者らは北海道において実際に供用中の道路を対象に、春の融解期に凍上性土質からなる路床土ならびに凍上抑制層上での現場CBR⁶⁾を実測し、それに基づく設計CBR⁷⁾を推定した。

本報文は、北海道における融解期の現場CBRに関する調査結果と、それに基づいて算定した設計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。

1. 融解期の現場CBRと設計CBR

昭和44、45年の路床土の融解時に、室蘭、小樽、帯広



図一 北海道におけるアスファルト舗装の構成

*舗装研究室長

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。

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調査地点を対象に、図—1に示すアスファルト舗装構成における在来路床と、凍上抑制層の上面および在来路床上30cm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、凍上抑制層の下に在来路床土が融解した直後をねらったが、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過したと考えられるものがあった。また、凍上性の路床土が凍上抑制層の材料とこね返し状態になっているものもあった。

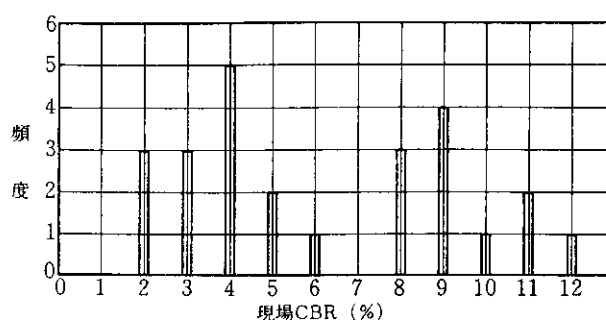
したがって、調査結果からこれらの目標とした時期および状態からはずれたものを除いて、路床を構成する凍上抑制層と在来路床土のおおよその材料別に、凍上性路床土、火山灰、砂、切込砂利など粗粒材の4種類に分類して現場CBRを取りまとめ表—1に示した。同時に現場で測定した路床土の含水比と乾燥密度ならびにアスファルト舗装要綱（以下、舗装要綱という）の方法によって求めた設計CBRもあわせて示した。

なお、ここでいう凍上性路床土とは、砂質土や粘性土など一般に凍上を起こしやすい土質を含めた在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、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から求めるのが最も実態に近く、かつ合理的なものといえる。路床を構成する各層の材料別に融解期の現場CBRを求め、それをもとに設計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、火山灰、砂利などで置き換えた層の下に



図—2 凍上性路床土の融解期における現場CBR

位置する土質である。この凍上性路床土の現場CBRに関する調査結果は図—2に示すとおりである。この図からわかるように現場CBRに相当なバラツキがあるが、これは土質が砂質土から粘性土のものまで変化し、しかも調査した地域が広いことに原因があるものと考えられる。

凍上性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¹⁾と、この路床土の設計CBRは舗装要綱で示す次式から求めることができる。

$$\text{設計CBR} = \text{各地点のCBRの平均} - \sigma \cdots \cdots (1)$$

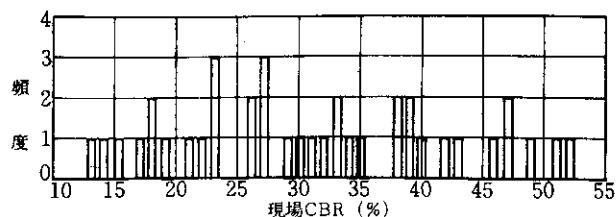
ここに、 $\sigma = (\text{CBR最大値} - \text{CBR最小値})/C$ 、 C は測定個数によって決まる係数で、この場合は10個以上であるから3.18

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、下記のようにおおよそ3とすることができる。

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

2) 路床土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—3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



図一3 凍上抑制層（火山灰）の現場CBR

火山噴出物で、未風化の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経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、34カ所は前年度に施工したもので凍結融解作用をあまり受けていない。

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。ここで、北海道の道路築造材料として最も一般的に用いられている火山灰について、材料の凍上率とCBR保存率の関係の室内実験結果が得られている。4日水浸後のCBRで、凍結融解繰返し後のCBRを除いて百分率で表わしたものをCBR保存率とすると、この値はおおよそ20～70%の範囲にある。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は次のようになる。

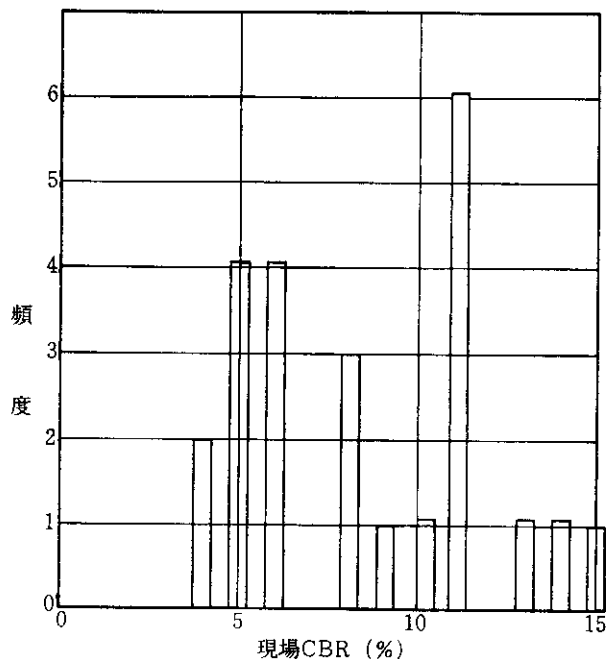
$$\text{設計CBR} = 18.9 \times 0.20 = 4$$

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、北海道産の道路用材料としての火山灰のおおよその設計CBRは4とすることができる。

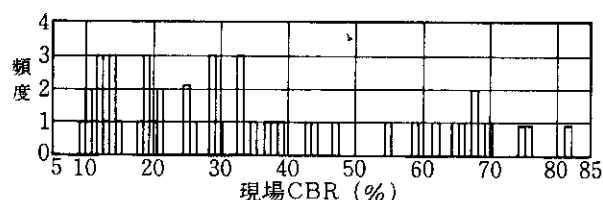
3) 路床が砂からなる場合のCBR

路床の一部が、川砂または海砂からできている場合の現場CBRの試験結果は図一4のように示される。

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年間供用した個所の現場CBRが前の年に施工したもの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、北海道で凍上抑制層として広く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か、その支持力低下がほとんどないことも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



図一4 凍上抑制層（砂）の現場のCBR



図一5 凍上抑制層（粗粒材）の現場CBR

力低下を考えないで、次のように砂の設計CBRを求めた。

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

4) 路床が切込砂利など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80mm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。^{1), 2)}

図一5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なバラツキを示した。これは調査個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も大きいことに原因しているものと考えられる。粗粒材についても、凍上性路床土の場合と同様に現場CBRが正規分布を示し、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の大きいことが経験的に確かめられている。

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。

$$\text{設計CBR} = \left(37.1 - \frac{82 - 9}{3.18} \right) \times 0.70 \div 10$$

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、切込砂利に粘性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、例えば、凍上性の路床土の混入割合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。

2. 凍上抑制層と在来路床のCBRの合成

舗装要綱では路床土の設計CBRは、しゃ断層を除いた在来路床土から求めることになっている。また、凍上抑制層についてのCBRはどうするのか明確な規定は示されていないが、“凍上抑制層としゃ断層の働きを兼ねさせることができる”という表現からすると、しゃ断層と同じ扱いをすることも読み取れる。しかし、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ことがしばしばある。さらに、在来路床が軟弱土からなる場合には、通常20cm程度のしゃ断層を凍上抑制層の下に加えて施工しているのが実態である。^{1), 2)}

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解凍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とするのが最も経済的で、かつ実態に合ったものと考えられる。

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望ましい適用条件である。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。

$$\text{設計CBR} = \left(\frac{h_1 \cdot \text{CBR}_r^{\frac{1}{3}} + h_2 \cdot \text{CBR}_s^{\frac{1}{3}}}{100} \right)^3 \dots\dots(2)$$

ここに、

CBR_r, CBR_s: それぞれ凍上抑制層と在来路床土のCBR

h₁, h₂: それぞれ凍上抑制層と在来路床土の厚さ (cm, h₁+h₂=100)

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種類であり、在来路床に相当するものの大部分が凍上性の土質である。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所、あるいはトンネル坑口近くや築堤上の道路ではこの土質以外のものから路床は構成される。

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み合わせ、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み合わせにおける合成した設計CBRを求めると表一2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それよりも小さい場合には、“上層のCBRは下層のそれより常に大きくなくてはならない”というCBR設

表一2 合成設計CBR

路床の材料	凍上抑制層材料		火山灰		砂		切込砂利、切込碎石など粗粒材	
	厚 (cm)	設計CBR	厚 (cm)	設計CBR	厚 (cm)	設計CBR	厚 (cm)	設計CBR
土		3	54以下	3			20以下	3
							21 ~ 52	4
							53 ~ 78	6
			55以上	4			79以上	8
火山灰		4				4	40以下	4
							41 ~ 72	6
							73以上	9
砂						4 (5)	24以下	4
							25 ~ 65	6
							66以上	8
切込砂利、切込碎石など粗粒材								8 (10)

() 内は計算によって求めた合成CBR

10)
計法の基本条件に反するために、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、凍上抑制層の種類と厚さ、ならびにその下層の在来路床の種類が決まると設計する個所の設計CBRは、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できる。

3. 寒冷地の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5～6cm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。また、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。

一方、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、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。ここで置換厚さは、実測するかあるいは計算で求めた理論最大凍結深さをもとに、舗装道路に凍上被害が起きないように経験などを考慮しながら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(単位 cm)。

札幌80～90、小樽70～80、函館50～70、室蘭70～90、

旭川90～100、留萌80～90、稚内80～90、網走80～100、帯広100～110、釧路80～100。

以上のことから、置換厚さ、大車交通量ならびに路床を構成する層の種類がわかると、下層路盤と凍上抑制層の合成厚さが求められる。手順としては、まず設計個所の大型車交通量区分とその地区の置換厚さ、在来路床土の種類を定め、現場近くで産出する凍上抑制に用材料を選定する。

次に、舗装要綱によって交通量の区分と在来路床土の設計CBRから所要の T_A と舗装合計厚 (H) を求める。

設計CBRには凍上抑制の上面で求めるため、その厚さと在来路床との合成CBRによって決めることになる。しかし、設計個所について、置換厚さ、表層、基層、上層路盤のそれぞれの厚さならびに下層路盤と凍上抑制層の合計厚さは求められるが、下層路盤と凍上抑制層の厚さの割合については、凍上抑制層の厚さが変化するとその上面での設計CBRが変わるために所要の T_A から求める下層路盤の厚さも当然変わってくることになる。したがって、置換厚さ、交通区分、凍上抑制層と在来路床土の種類ごとに、凍上抑制層の厚さ、設計CBR、 T_A の間で式(2)によって繰返し計算を行い、所要の条件を満たすように下層路盤と凍上抑制層の厚さを求めることになる。

北海道において通常採用されている交通区分、置換厚

表-3 路床が凍上性路床土からなる場合

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

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一3に示すとおりである。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単位に丸めた。

4. ま と め

融解期の現場CBR試験に関する調査結果ならびにそれに基づく設計CBRの推定と舗装構造設計について、要約するとおおよそ次のようになる。

(1) 北海道において一般に凍上性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砂路床の設計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、切込砂利や切込碎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) 寒さの厳しい地域においては、路床を構成する凍上抑制層の支持力を評価し、在来路床土との合成した設計CBRとするのが最も合理的である。また、在来路床が軟弱土からなる場合には、その凍上抑制層とのこね返しを防止するために、20cm程度のしゃ断層を設けることが望ましい。

(4) 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。

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、この現場CBRの調査結果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が簡単に決められるようになった。現在では、北海道における国道、道道、市町村道の舗装構造はすべてこの方法で行われ、昭和46年以来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のバラツキ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。なお、昭和55年春期に根室、釧路管内において火山灰と砂からなる凍上抑制層と在来路床土の現場CBRを数多く実測したが、その結果は本報文のものとほぼ同じであった。

最後に、この現地調査は北海道開発局建設部道路建設課、道路維持課、各開発建設部道路課の協力のもとに舗装研究室の研究員が行い、取りまとめたものである。

参 考 文 献

- 1) 北海道開発局；昭和55年度道路工事設計基準
- 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，pp. 7～10，1978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) 久保 宏；融解期の現場CBRとそれに基づく設計CBRについて，土木学会論文報告集，第283号，pp. 117～123，1979年3月
- 8) 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
- 9) 小山・平尾・高橋・川井・上坂；切込砂利の凍上性および凍結融解後のCBRについて，土木試験所月報，第139号，pp. 8～17，1964年12月
- 10) E. Y. Yoder and M. W. Witzak；Principles of Pavement Design，2nd Edition，John Wiley & Sons，Inc. pp. 449～455，1975年
- 11) 北海道開発局；道路・河川工事仕様書，pp. 17～18