

路床土支持力比試験とその簡易試験に関する研究

村山 朔郎・植下 協・山本 順一

RESEARCHES ON THE CBR TEST AND SIMPLE TESTS TO ESTIMATE CBR

by Dr. Eng. Sakuro MURAYAMA, M. Eng. Kano UESHITA and Junichi YAMAMOTO

Synopsis

The authors studied experimentally on the CBR characteristics of compacted soils, and discussed on the significance of the CBR test specified by JIS A 1211. And then, the authors made clear that it is desirable to use some strength tests estimating CBR even if the CBR test can not be carried out, and examined the simple tests to estimate CBR devised by them.

1. 緒 言

路床土支持力比試験 (CBR 試験) 法には修正 CBR (設計に用いる CBR) を求める方法に問題点があると考えられたので、この点を検討するとともにこの試験法の意義を明らかにしようとした。

CBR によるタワミ舗装の舗装厚設計法は CBR の決定さえ適当におこなわれれば、良好な設計結果を得られるが、現場の路床土について一々 CBR を求めることが面倒なため最近の傾向として路床土の物理試験だけで舗装厚の設計ができる群指数法などが利用される傾向にある。ところが強度試験をせずに物理試験のみから舗装厚を設計すると、その設計結果は不適当な場合が起こりうる。従つて時間的経済的に正規の CBR 試験がおこないえない場合でも何かそれにかわる簡単な強度試験をおこなうことが道路建設の合理化上望ましい。そのような意味で路床土支持力比を簡単に求めるための試験法についても研究した。

2. CBR 試験について

2-1. 概 説

CBR 試験は直径 50 mm の円断面貫入ピストンを 2.5 mm 路床土中に貫入させるために必要な荷重を測りこの荷重の値と標準荷重 (代表的な碎石を突固めた層についてこのピストンを 2.5 mm 貫入するときの荷重の平均値) との比で路床土支持力の大小を判定するものである。

CBR 試験は、わが国では JIS A 1211 「路床土支持力比試験方法」によつて規格されている。

著者らは礫混り砂を試料として一連の系統的な実験をおこない、締固め土の CBR 特性を調べるとともに JIS A 1211 に規定されている CBR 試験法の問題点を検討し、その試験法のもつ意味を考察した。

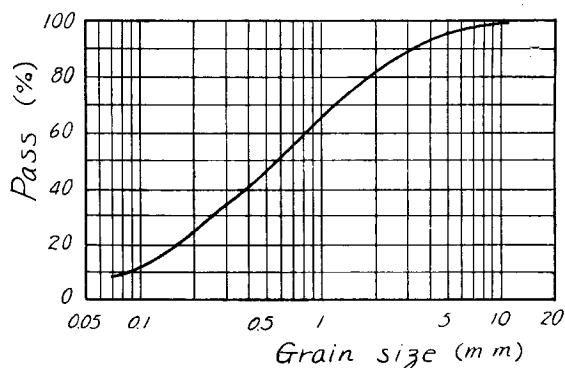


Fig. 1. Particle-size accumulation curve.

2-2. 実験方法とその結果

試料としては Fig. 1 に示す粒度分布をもつた礫混り砂を用いた。JIS A 1211 に定める内径 150mm, 高さ 175 mm のモールドに厚さ 50 mm のスパーサ・ディスクを入れてから試料を 5 層にわけて入れ、各層ごとに端面直径 50 mm, 重さ 4.5 kg, 落下高 450 mm のランマで一定回数ずつ突固めて試料の乾燥密度-含水比曲線を描くと各層の突固め回数を 55 回, 25 回, 10 回としたものに対し Fig. 2 に示すような 3 本の曲線が得られる。Fig. 2 中の数字は突固め回数すなわち突固めエネルギーをパラメーターとして示したものである。

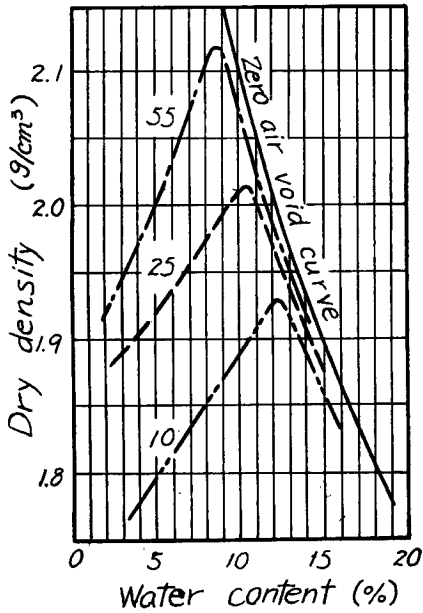


Fig. 2. Relationship between dry density and water content at three different compaction energies.

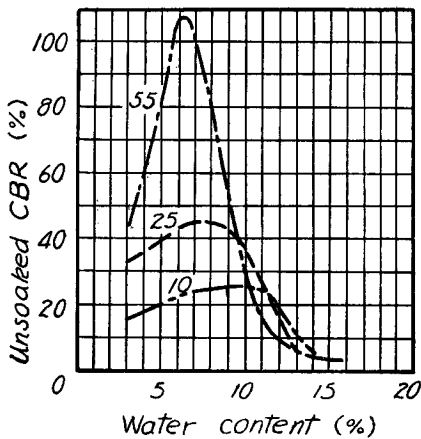


Fig. 3. Relationship between unsoaked CBR and water content at three different compaction energies.

この曲線を描くために作った突固め供試体を用いて、非水浸及び 4 日水浸の CBR 試験をおこなえば、それぞれ Fig. 3 及び Fig. 4 に示すような突固めエ

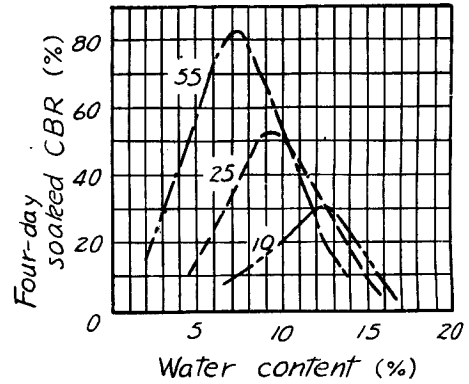


Fig. 4. Relationship between four-day soaked CBR and water content at three different compaction energies.

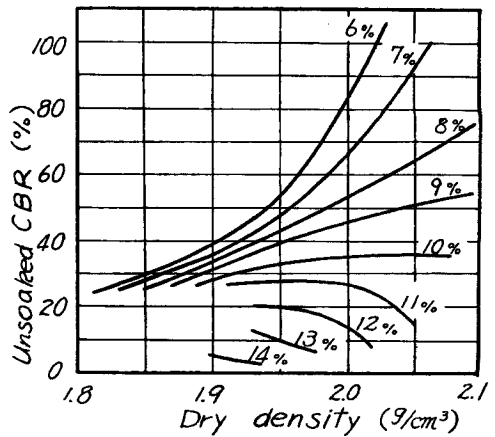


Fig. 5. Relationship between unsoaked CBR and dry density at different water contents.

エネルギーをパラメーターとした3本の CBR-突固め含水比曲線ができる。Fig. 2, Fig. 3 及び Fig. 4 から突固め含水比をパラメーターとして CBR-突固め乾燥密度曲線を描くと非水浸の場合及び4日水浸の場合でそれぞれ Fig. 5, Fig. 6 をうる。

なお上述の CBR 貫入試験では舗装厚を約20 cm と推定して、それに相当する 50 gr/cm² の荷重を加えておこなった。なお供試体水浸中はこの荷重板に浮力が働くから上載圧は 42 gr/cm² となる。

2-3. 実験結果の考察

以上の実験から次のことがわかる。

- (1) Fig. 2 と Fig. 3 の比較から、突固めエネルギー一定のときに非水浸 CBR (すなわち突固め直後の CBR) が最大となる含水比は、乾燥密度が最大となる含水比 (一般に最適含水比と呼ばれるもの) よりも20~30%低い。
- (2) Fig. 3 と Fig. 4 の比較から、4日水浸したときの CBR は、非水浸 CBR 最大に対応する含水比の附近を境にして、それより含水比が少ない範囲では水浸により CBR が減少し、それより含水比が高い範囲ではかえって水浸により CBR が増加している。
- (3) Fig. 2 と Fig. 4 の対照から、突固めエネルギー一定のときに4日水浸 CBR が最大となる突固め含水比は最適含水比とそれより20%低い含水比との間にあり、Fig. 4 の曲線のピークはそれぞれ Fig. 3 の場合のピークより右に (含水比の多い側に) ずれている。
- (4) Fig. 5 によると土の密度を高めるにしたがい CBR が増加する領域と逆に減少する領域がある。締固めによりかえって土の支持力が減少する現象を過転圧現象という。この現象はすでに2, 3の研究者が注意を喚起しているが^{1),2)}、本図によっても明示され現場で締固めをするときは過度の締固めをおこないかえ

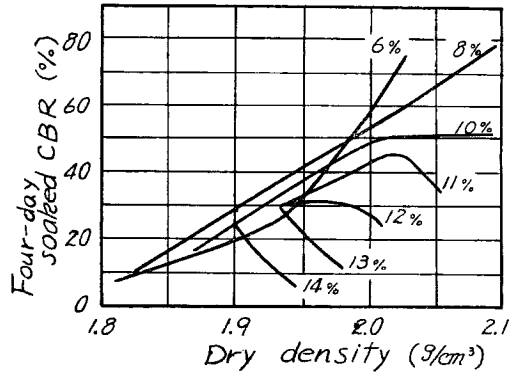


Fig. 6. Relationship between four-day soaked CBR and dry density at different water contents.

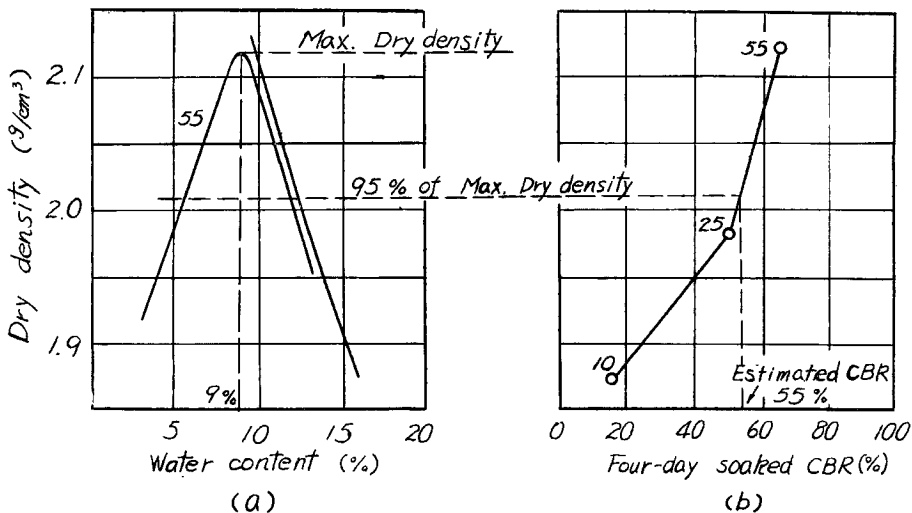


Fig. 7. The method to determine the CBR for design according to JIS A 1211.

つて支持力を低下させぬようにせねばならない。

(5) Fig. 6 によると過転圧の現象は、4日水浸を判定の基準としたときにも発生していることがわかる。

2-4. JIS A 1211 の CBR 試験について

JIS A 1211 が規定する方法では、Fig. 7 (a) に示すように各層55回突固め曲線によつてその最適含水比を求め、その最適含水比に調整した試料を用いて各層55回、25回、10回突固めの3種の供試体を作り、それぞれの4日水浸 CBR を求め、CBR を横軸にとり突固め乾燥密度を縦軸にとつて Fig. 7 (b) のようにプロットすることを指示している。ついで Fig. 7 (b) の乾燥密度—CBR 曲線の示方書または現場締固め乾燥密度(図では最大乾燥密度の95%)に相当する4日水浸 CBR を求めてこの値を設計に用いる修正 CBR としている。

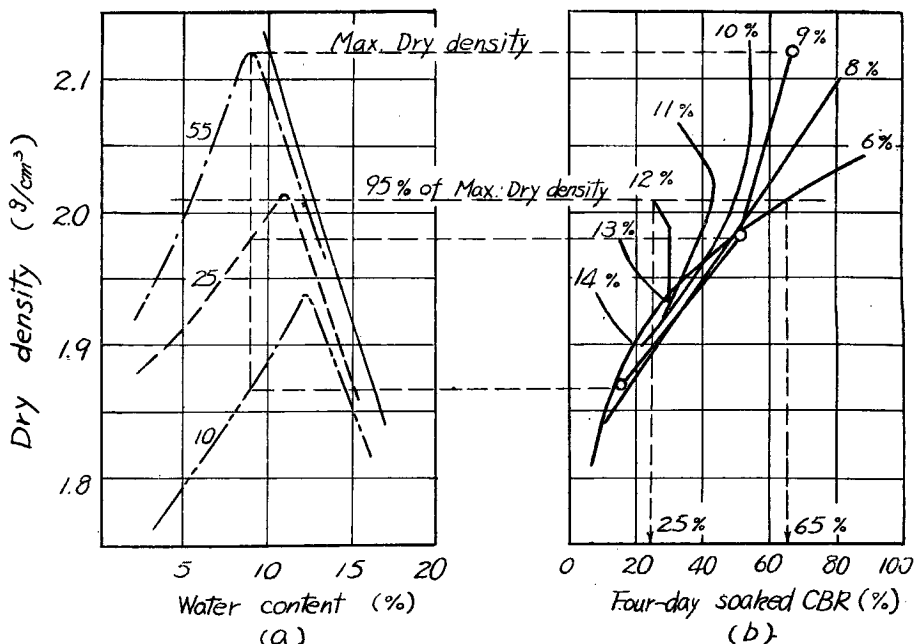


Fig. 8. The Rigorous Method to determine the CBR for design instead of Fig. 7

いま Fig. 2 と Fig. 6 を組合せて Fig. 7 に相当する図を描くと Fig. 8 (a) (b) が得られる。いま Fig. 8 (b) で、Fig. 7 と同様に最大乾燥密度の95%に対応する修正 CBR を求めると突固め含水比が6~12%と変化することに対応して25~65%の範囲の値をとる。すなわち Fig. 7 (b) の修正 CBR は現場の含水比が12%の場合には危険側であり、6%の場合には安全側となる。

2-5. JIS A 1210 の最適含水比による CBR 試験

JIS A 1210 「土の突固め試験方法」によつて求めた最適含水比は JIS A 1211 の各層55回突固め最適含水比よりも高い。しかし一般に現場で締固め作業をおこなう際の締固め度の基準には JIS A 1210 の最大乾燥密度が使われる場合が多いから、CBR 供試体を作るのに用いる突固め含水比を、JIS A 1210 の突固め試験の最適含水比で代用する試みが考えられる。

この試案の可否を照査するため JIS A 1210 の最適含水比を用いて各層55回、25回、10回突固めをおこなつて作った3つの供試体により Fig. 7 (a) (b) に相当する実験をおこないその結果を示せば Fig. 9 (a) (b) のようになる。

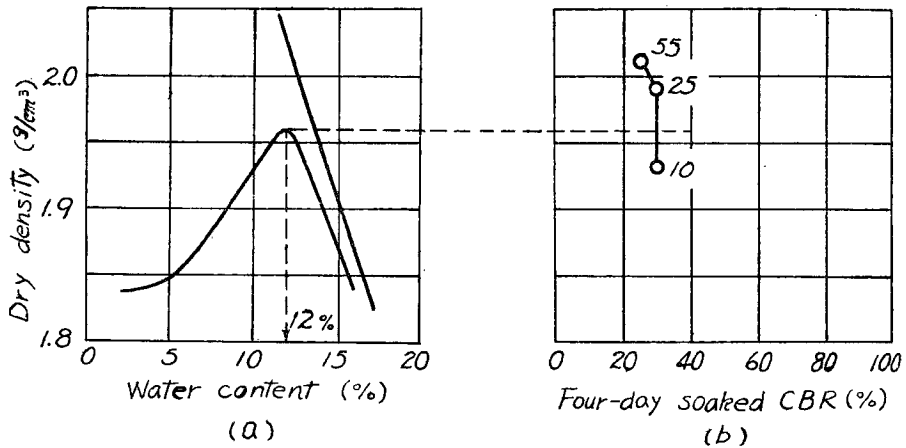


Fig. 9. Result of the CBR test using the optimum water content of JIS A 1210 compaction test.

Fig. 9 (b) を Fig. 7 (b) と比較すると次の2つの都合の悪い現象があらわれる。第1の現象は各層10回突固めの供試体はよく締まるが、各層55回、25回突固めの供試体はそれぞれの最適含水比をこえるので締まりにくくなり、3点の乾燥密度の差すなわち修正 CBR を求める密度の範囲がせまくなる。第2の現象は JIS A 1211 の最適含水比に従って締固めをおこなうと、一般に突固め回数が増すほど CBR が高くなつたが、JIS A 1210 の最適含水比で締固めると突固め回数が増すとかえって CBR が低下する。(この現象は14回の実験のうち12回生じた。)これは Fig. 6 にあらわれた過転圧現象で、一般に含水比が高く、締固めエネルギーが高くなるとあらわれる現象である。

したがって JIS A 1210 の最適含水比で CBR 試験をすると、JIS A 1211 の試験法の主旨は破壊されることがわかった。

3. CBR および群指数による舗装厚設計法について

3-1. 概 説

現在50種にも近いタワミ舗装厚設計法があるが、その中で最も広く利用されているものは CBR によるものである。CBR による設計法は路床土について CBR の値の決定さえ適当であれば、十分満足できる設計結果を得られるが、現場の路床土について一々 CBR 値を求めるのはかなり面倒なため現場ではさらに簡単な路床土調査法で舗装厚を設計しようとする傾向が強い^{3a)4)5)6)}。すなわち路床土の強度試験をおこなわないで、土の物理試験のみから群指数を求めて、それから設計する方法などがかなり広くおこなわれている現状である。そこで CBR で舗装厚を設計する場合と物理試験のみの群指数法による場合を多くの実験データによつて比較検討した結果、物理試験のみでは不経済な設計結果となることが多いこ

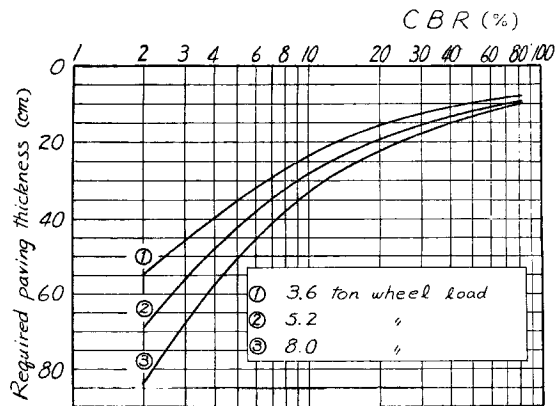


Fig. 10. Design curves of the CBR method.

とを知った。そこで CBR 試験ができない場合にも物理試験で代用することをせず、何らかの強度試験をすることがきわめて大切であることがわかった。

3-2. CBR による舗装厚設計法

CBR によつて舗装厚を設計するには、Fig. 10 に示す設計曲線を利用すればよい。Fig. 10 は 3.6 t, 5.2 t, 8 t 輪荷重の3種の設計曲線を示している。どの設計曲線を利用するかを交通量によつて決める場合には、次のように考えればよいとされている⁷⁾。

軽中交通(1日1車線交通量300台以下)のときは 3.6 t 輪荷重のもの、

重交通(1日1車線交通量 300 台以上)の

ときは 5.2 t 輪荷重のもの、

超重交通(1日1車線交通量2000台以上)

のときは 8 t 輪荷重のもの、

とする。

英国道路研究所^{3b)}での調査結果によると、実際の道路の舗装厚と、その道路の状態と、その路床土の実測 CBR から計算される必要舗装厚との関係は Fig. 11 のようであり、CBR による舗装厚設計法がかなり正確なものであることがわかる。すなわち Fig. 11 に記入した勾配 45° の破線は設計値と実際の舗装厚とが等しい場合の位置であるが、ほとこの線に沿つて破壊をおこしそうな限界の状態(⊗印)のものが存在し、それよりも実際の舗装厚が厚い場合には健全な状態(○印)にあり、それよりも薄い場合には破壊した状態(●印)にあつたことを示している。

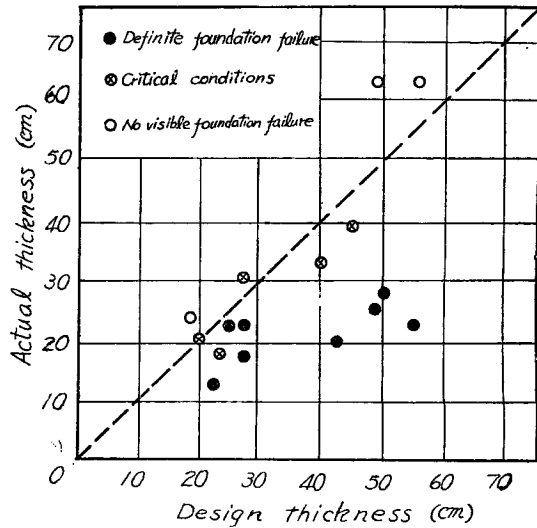


Fig. 11. Experimental evidence of the validity of the CBR method.

3-3. 群指数による舗装厚設計法 その1

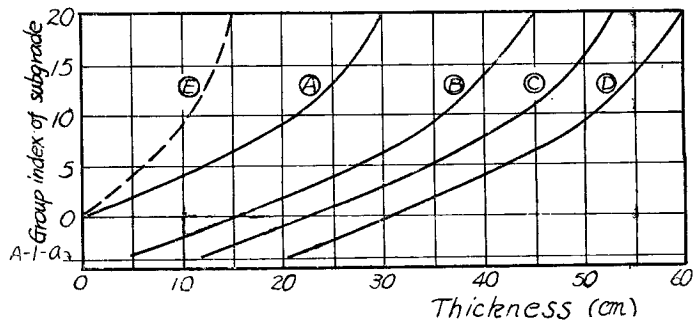
(Steele による方法)

群指数によつて舗装厚を設計するための曲線が Steele⁸⁾によつて Fig. 12 のように提案されている。群指数 GI は土の粒度、液性限界、塑性限界によつて次式から計算できるものである。

群指数 (GI)

$$= 0.2z + 0.005zc + 0.01bd \dots\dots\dots(1)$$

ここに a=74.4 網フルイ通過量の%から35%を引いた値。たゞし通過量が75%をこえた場合には75%として0~40の



- Curve A Thickness of sub-base required
 - Curve B Total thickness of surface, base and sub-base—Light traffic
 - Curve C Total thickness of surface, base and sub-base—Medium traffic
 - Curve D Total thickness of surface, base and sub-base—Heavy traffic
 - Curve E Thickness of additional base which may be substituted for sub-base of Curve A
- Light traffic < 50 commercial vehicles 1 day
 Medium traffic = 50-300 commercial vehicles 1 day
 Heavy traffic > 300 commercial vehicles 1 day

Fig. 12. Tentative design curves of the Steele's group index method.

整数で表わす。

$b = 74\mu$ 網フルイ通過量の%から、15%を引いた値。ただし通過量が55%をこえた場合には55%として0~40の整数で表わす。

$c =$ 液性限界から40を引いた値。ただし液性限界が60以上の場合には60として0~20の整数で表わす。

$d =$ 塑性指数から10を引いた値。ただし塑性指数が30以上の場合には30として0~20の整数で表わす。

群指数によれば、路床土は0~20の範囲に分類されることになり、砂質土の場合は値が小さく、粘土分の多い土ほど値が大きくなる。

なお Fig. 12 の設計曲線は土の締固め度と排水に関して次の仮定に立っている。

(1) 路床土の締固め度は標準 AASHO 突固め試験 (JIS A 1210 に相当) の最大乾燥密度の95%以上あること。上層および下層路盤の締固め度は100%以上あること。

(2) 路盤材料が適当に締固めできるように、路床表面は地下水位から十分上方にあることが必要で、排水溝は地下水位を路面から少くとも1m下げるに必要な位置におくこと。

英国道路研究所³⁰⁾がおこなつた実際の道路の調査結果から、実際の舗装厚、道路舗装の現況、Steele 法により群指数から求まる必要舗装厚の関係を図示すると Fig. 13 のように

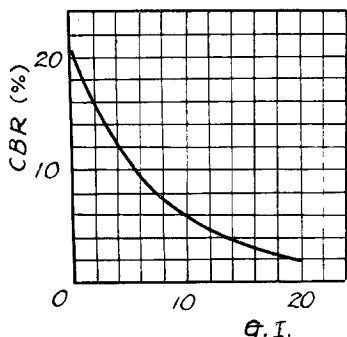


Fig. 14. Relation between CBR and group index in the Colorado method.

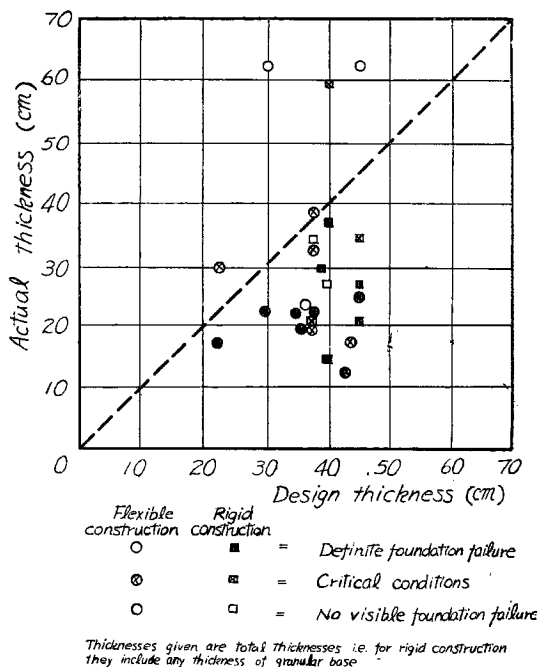


Fig. 13. Experimental evidence of the validity of the group index method.

Table 1

Group index	Measured CBR	Design thickness for heavy traffic (>300 commercial vehicles/day)		
		Group index method (cm)		CBR method (cm)
		Design I*	Design II**	
0	87~16	—	31	8~22
1	75~16	33	31	8~22
2	64~15	35	32	9~23
3	53~15	38	34	11~23
4	41~14	40	35	12~24
5	33~14	42	36	14~24
6	26~13	44	37	16~25
7	19~13	46	39	19~25
8	17~12	48	40	21~26
9	15~12	50	41	23~26
10	13~11	51	41	25~27
11	10	52	41	28

* Total thickness of surface, base and sub-base.

** Total thickness of surface and base when sub-base is not used.

なり、この方法は、CBR による場合ほど正確に設計できないことがわかる。

著者らがおこなった多くの実験にもとづいて群指数から Fig. 12 を使つて得られる舗装厚と CBR から Fig. 10 を使つて得られる舗装厚とを求めて比較すると Table 1 のようになった。ここで用いた条件は、実測 CBR は JIS A 1211 突固め密度の95%に相当するものを選び、設計条件としては1日1車線交通量を300台以上の場合とした。

Table 1 から判断すれば、群指数から steel の設計曲線を利用して設計した舗装厚は CBR から設計した舗装厚よりも、いずれも最小 10 cm 程度は厚くなり、場合によつては CBR による設計値の4倍ぐらゐのことがあり、安全すぎる場合が多いようである。この傾向は Fig. 13 によつてもうかがい知ることができる。

3-4. 群指数による舗装厚設計法 その2 (コロラド法)

コロラド法は大体 CBR を中心として設計するようになってきているが、群指数によつても設計できるようになっている。コロラド法による舗装厚設計曲線を図示することは省略するが、これによつて群指数から舗装厚を求める場合、群指数と CBR との関係は Fig. 14 のようであるということを仮定しておこなっている。

Fig. 14 の関係を著者らの実験データによつて検討してみると、Fig. 15 のようになった。たゞしここにプロットした CBR は JIS A 1211 の突固め最大乾燥密度の95%に対応するものをつた。これによるとコロラド法は Steele による方法

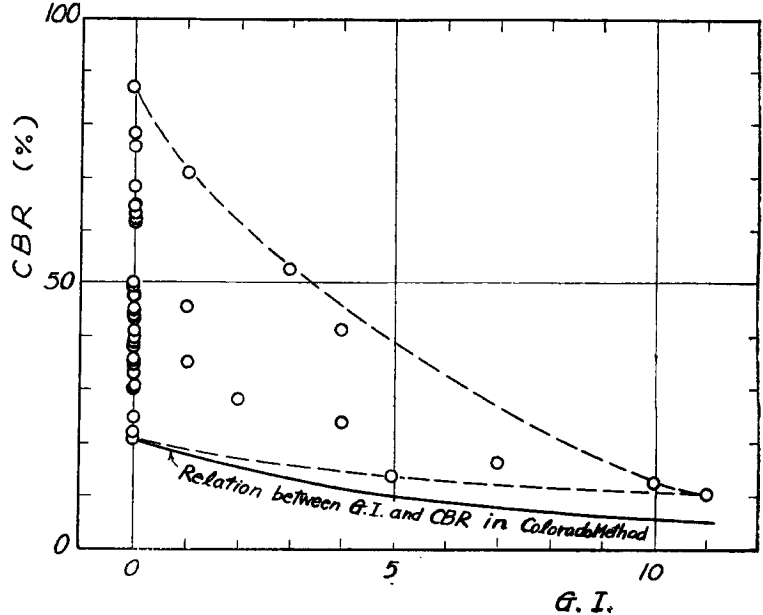


Fig. 15. Experimental evidence of the validity of the relation between G.I. and CBR in the Colorado method.

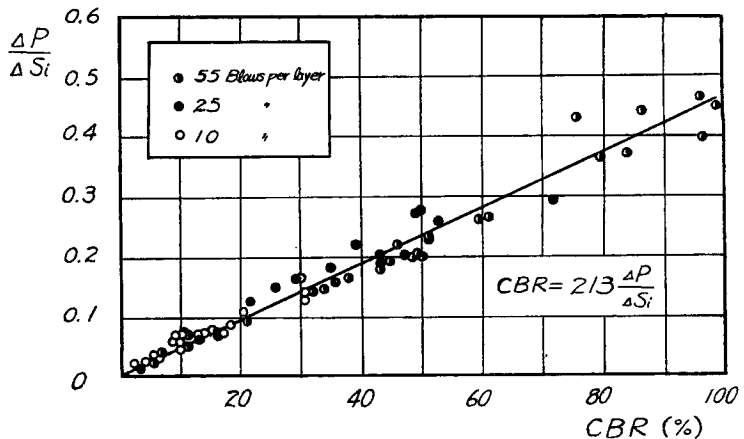


Fig. 16. Relation between initial gradient of load-penetration curve and CBR.

と同様、十分安全であるが不経済すぎることが多いようである。

5. CBR 簡易測定法について

4-1. 概 説

CBR 試験は一応信頼されているが試験に非常な労力、時間がかかるので現場ではあまり利用したがない傾向にある。しかし CBR 試験をおこなわないで、土の物理試験のみで舗装厚を設計する場合、しばしば不経済すぎる結果となることを前章で明らかにした。

そこで CBR を簡単に求めるための 2, 3 の研究をおこなった。

4-2. 軽自動車による現地 CBR の測定について

普通現地で CBR を直接求めるためには、5t 以上の荷重となりうるトラックを現地へもつてゆかねばならない。しかし山地の現場などで 5t 以上の荷重となりうるトラックを用意することは困難なことが多い。そのような荷重の小さい場合、CBR 値を求めるための荷重-貫入量曲線を規定の貫入量まで描くことが困難となる。そこでそのような場合、荷重-貫入量曲線の初期の部分(1~2mm 程度までの貫入量)で CBR 値が推定できるのではないかという予想のもとに、荷重-貫入量曲線の初期勾配と CBR との関係を実験的に調べてみた。その結果は Fig. 16 のようになり、CBR (%) は荷重-貫入量曲線の初期勾配 $\frac{\Delta p}{\Delta S_i}$ (kg/mm) からほぼ次式によつて推定できることがわかつた。

$$CBR = 213 \frac{\Delta p}{\Delta S_i} \dots\dots\dots (2)$$

したがつて重いトラックがない現場で、荷重-貫入量曲線の初期の部分しか描くことのできない場合でも CBR をほぼ正確に推定することができる。

4-3. 細い貫入棒による CBR の測定について

CBR 試験の貫入棒は直径 50mm であるが、これをさらに細い貫入棒にかえて試験すれば、使用する荷重も軽くてすみ現場調査が簡易化できる。

そこで直径 28.7mm の円柱を 1.5mm 貫入させるに必要な荷重とその土の CBR との関係を探ってみたところ、Fig. 17 に示すような結果となり、細い貫入棒で CBR もほぼ推定することはできるが、いゝ精度では困難であることがわかつた。

4-4. 球体落下による CBR の測定について

この測定法は一定直径、一定重量の球体を一定高さより落下させ、そのとき生じる地面のくぼみの直径 D (これを D 値とよぶ) を測定して CBR を推定する方法である⁹⁾¹⁰⁾。

D 値 (cm) から CBR (%) を推定する理論式として次式を得ている¹⁰⁾。

$$CBR = \frac{k \cdot W \left(H + R - \sqrt{R^2 - \frac{D^2}{4}} \right)}{1.01 D^{1.39} \left(R - \sqrt{R^2 - \frac{D^2}{4}} \right)^{1.62}} \dots\dots (3)$$

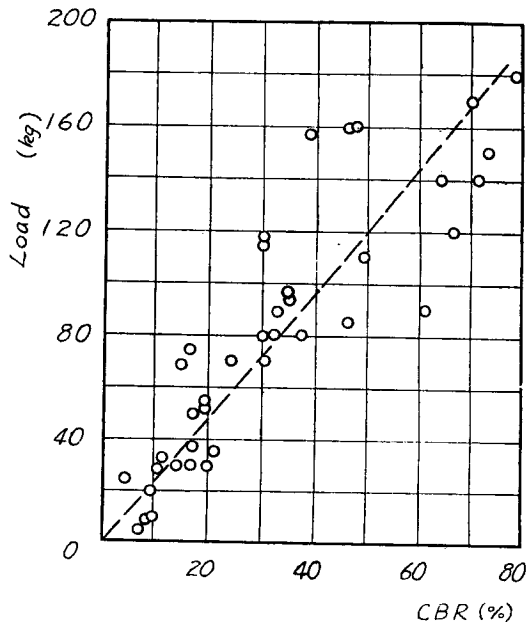


Fig. 17. Relation between CBR and load at 1.5mm penetration of a small plunger (dia. 28.7mm).

こゝに、 R は球体の半径(cm)、 W はその重量(kg)、 H はその落下高(cm)、 k は球体の位置のエネルギーのうち球体の地盤貫入のエネルギーとして使われる有効係数で実験的に求めるものである。

直径9.04cm、重量4.07kgの球体を60cmの高さから落して得られる D 値とCBRとの関係を室内および現場で実験的に求めた結果、Fig. 18に示すようになった。図に記入した理論曲線は全実測値の平均 k 値0.45を理論式(3)に代入して描いたもので、この理論曲線は実験結果をかなりよく代表しており、実用的に好ましい方法といえる。

Fig. 10に示したCBRによる舗装厚設計曲線をもとにしてFig. 18に示したCBR- D 値関係を利用して、 D 値による舗装厚設計曲線を描くとFig. 19の実線で示す3本の設計曲線が得られる。こゝでFig. 19の設計曲線はほとんども次式で表わせることがわかった。

$$T = aD^3 \dots\dots\dots (4)$$

こゝに T は必要舗装厚(cm)、 D は D 値(cm)、 a は設計輪荷重によつてきまる定数で、3.6t輪荷重のときは0.135、5.2t輪荷重のときは0.16、8t輪荷重のときは0.19とすればよい。

(4)式で設計するとFig. 19の設計曲線を利用する場合に対し、図の点線の部分でわずかに(舗装厚にして1cm程度)相異なるにすぎない。Fig. 10のCBR設計曲線はこのように簡単な設計公式であらわしえないから、球体落下による路末土調査法はタワミ舗装厚を設計する上にきわめて好都合な性質をもっていることがわかった。

前章に述べた群指数法の場合から考えると、タワミ舗装の場合、舗装厚を誤差10%以内の精度で設計することができる簡易路床土調査法は十分満足できる調査法であると考えられるから、その程度の設計結果をうるために D 値をどの程度の精度で測定しなければならないかについて検討してみる。(4)式を微分すれば、

$$dD = \frac{1}{3} \cdot \frac{dT}{T} \cdot D \dots\dots\dots (5)$$

を得る。こゝで $\frac{dT}{T} = 0.1$ とおくと、

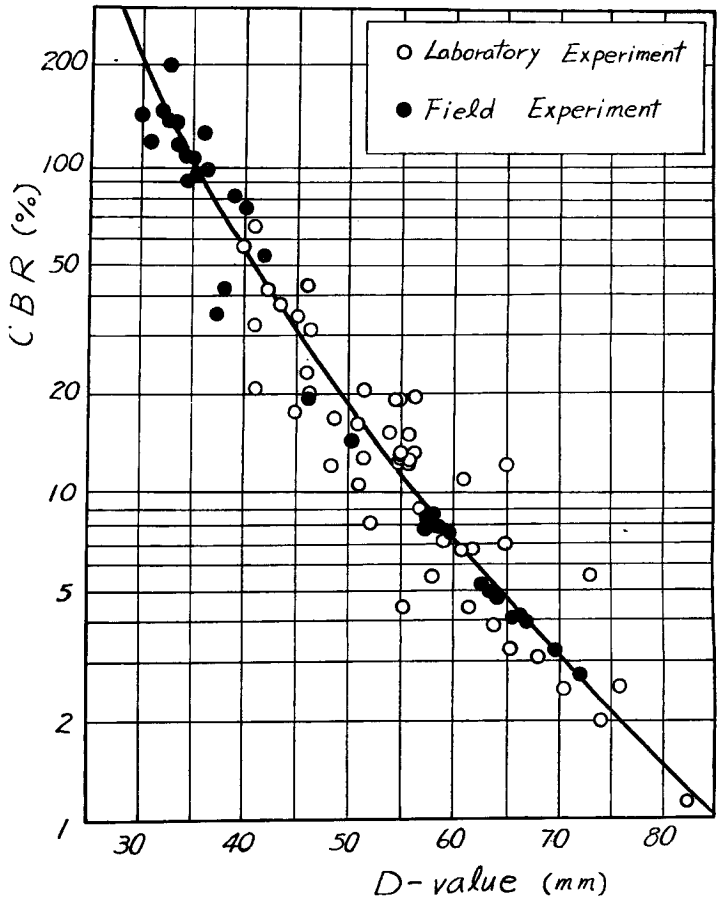


Fig. 18. Relation between CBR and D-value.

$$dD = \frac{1}{30} D \dots \dots \dots (6)$$

となり、 $D=4\text{cm}$ のときは許容誤差 $\Delta Da=1.3\text{mm}$ $D=7\text{cm}$ のときは $\Delta Da=2.3\text{mm}$ となる。この程度の測定は D 値を慎重に 4~5 回測定しそれらを平均することによって十分達せられることがわかった。

5. 結 言

路床土の破損災害の防止のため路床土に関する実験結果をもとに、締固め土の CBR 特性を調べ、JIS A 1211 に規定されている CBR 試験法を検討し、ついで CBR による舗装厚設計法と群指数による設計法を比較検討し、最後に CBR を簡単に求めるために著者らが試みた簡易測定法について述べた。

この研究によって次の諸点が明らかとなつた。

(1) 一定エネルギーで土を突固めると、突固め直後の土の CBR を最大ならしめる含水比は土の密度を最大ならしめる含水比（最適含水比）より 20~30% 低い。

(2) 一定エネルギーで土を突固めると、4 日水浸 CBR を最大ならしめる突固め含水比は最適含水比とそれより 20% 低い含水比の間にある。

(3) 土の密度を高めてゆくと CBR が増大する場合と、逆に減少する場合がある。後者は過転圧現象と呼ばれるが、含水比が高い場合におこりやすいので、現場の締固め作業ではこの現象をおこさないように注意せねばならない。

(4) 前述の過転圧現象は 4 日水浸した後もその影響がのこつているので、土の将来の状態を考えても、好ましくないことがわかつた。

(5) JIS A 1211 では設計に用いるべき CBR をきめるのに現場の密度のみを考慮しているが、突固め含水比は 4 日水浸 CBR に対しても重要な意味をもつているので厳密には無視できないことがわかつた。

(6) JIS A 1210 の突固め試験で求められる最適含水比を利用して JIS A 1211 の CBR 試験をおこなうと、JIS A 1211 の試験法の主旨は破壊されることがわかつた。

(7) CBR によるタワミ舗装厚設計法は、群指数による設計法に比較してきわめて優れた設計結果をえられることがわかつた。したがつて正規の CBR 試験が諸種の事情で実施できない場合でも、群指数法によるよりも、何らかの強度試験を実施して CBR をできるだけ正確に推定して舗装厚を設計することが好ましい。

(8) 現場 CBR 試験はトラック荷重の都合で、完全な荷重一貫入量曲線が描けない場合がある。しかしそのような場合でもその曲線の初期の勾配さえ求めることができれば、ほぼ正確に CBR を推定することができる。

(9) 球体を落下させて路床土に生ずるくぼみの直径 D (D 値とよぶ) を測ることにより CBR をかな

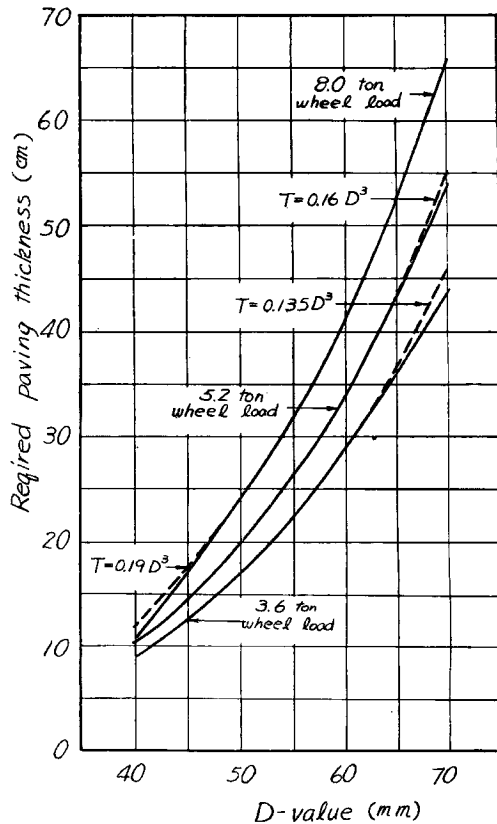


Fig. 19. Design curve of the ball-drop method for flexible pavement.

り正確に推定できることがわかつた。また D 値から直接、簡単な設計公式で舗装厚をきめることができる。

終りに著者らがこの研究をおこなうにあつて御協力いただいた日本道路公団星野出雲氏、斎藤実氏、中央開発KK湯山正次氏、京阪電鉄志茂山保夫氏、京都大学大学院学生新見吉和氏、玉置亨氏に謝意を表す次第である。

参 考 文 献

- 1) Foster, C.R. : Reduction in Soil Strength with Increase in Density. Separate No. 288, Proc. A.S.C.E. (1953) pp. 1~6.
Turnbull, W.J. and C.R. Foster : Stabilization of Materials by Compaction. Journal Soil Mechanics and Foundations Division, Proc. A.S.C.E., Paper No. 934 (April, 1956).
- 2) 谷本喜一 : 土の締固め限度について, 道路建設, 昭和32年9月号, pp. 1~6.
久保田敬一, 谷本喜一 : 土の過転圧について, 第4回日本道路会議(昭和32年)論文集(昭和33年6月), 日本道路協会, pp. 296~298.
- 3) Road Research Laboratory (Dep's Sci. & Ind. Research) : Soil Mechanics for Road Engineers. Her Majesty's Stationery Office, London, (1952), (a) p. 436, (b) p. 405, (c) p. 410.
- 4) 竹下春見 : アスファルト系舗装の厚さの設計, 土と基礎, 第16巻(1956), pp. 28~32.
- 5) Highway Research Board : Flexible Pavement Design. Bull. 80 (1953).
- 6) Scala, A.J. : Simple Methods of Flexible Pavement Design using Cone Penetrometers. Proc. 2nd Australia New Zealand Conf. on S.M.F.E. (1956) pp. 73~84.
- 7) 土質工学会 : 土質試験法解説(第1集)(1955) pp. 95~122.
- 8) Steele, D.J. : Classification of Highway Subgrade Materials. Proc. H.R.B. Vol. 25 (1945) pp. 376~384 and pp. 388~392.
- 9) 村山朔郎, 植下協, 斎藤実 : 球体の落下による CBR 値の測定法について, 土木学会第13回年次学術講演会講演概要(1958) pp. 67~68.
- 10) 村山朔郎, 植下協, 斎藤実 : 路床土支持力比(CBR 値)の簡易測定法としての球体落下試験について, 土木学会誌, Vol. 44, No. 1 (1949), pp. 9~13.