

IV-99 砂質土の現場CBRと室内CBRの関係

運輸省第5港湾建設局 正員 ○須田 照
運輸省港湾技術研究所 , 佐藤勝久

1. まえがき

我が国のアスファルト舗装は道路、空港をとわず、路床のCBR値に基づいて設計が行なわれる。CBR試験にはモールド内の室内CBR試験と、フィールドで行なう現場CBR試験の2つの方法があるが、空港アスファルト舗装の設計には現場CBRを原則としている¹⁾。しかし、路床が未完成の場合、路床の位置が現地表面より非常に深い場合などでは、現場CBR試験は実施出来ず、室内CBR試験によらざるを得ない。この場合に、2~3の空港での路床砂に対する試験で、現場CBR値と室内CBR値の間に大きな差異が生じ、設計上大きな問題となった。W.P.M. BlackeやM. Linnehなども砂に対して同様な事実を報告しているが、その現象の詳しいメカニズム、両CBR間の定性的、定量的関係、適切な現場CBRの推定法などの研究は不十分である。この報告書では、多くの砂質土に対する試験結果から、支持力理論を利用して、両CBR間の定性的関係を導いた。また、特殊プランジャーによるモールド内の貫入試験から現場CBRを精度よく推定する方法についても述べる。

2. 調査及び試験方法

全国各地の空港における「砂及び砂質土」の現場CBRと室内CBR調査と平行して、代表的な3種の砂(細砂、粗砂、山砂)の各種室内試験が実施された。写真-1は、精度よく現場CBRを求めるための大型円形土槽内の現場CBR試験の状況である。現地調査では、CBRの他に、粒度、比重、含水比、単位体積重量などの各種土性を明らかにし、CBRとこれらの土性の間の関係を求めた。

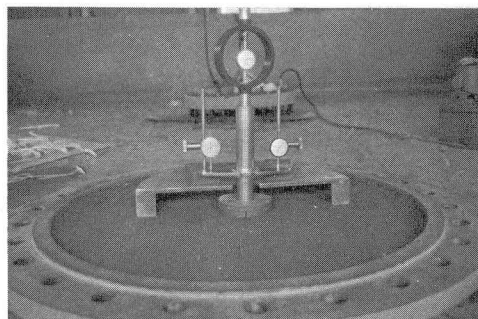


写真-1 大型円形土槽内現場CBR試験

3. 現場CBRと室内

表-1 使用試料土質試験結果一覧表

CBRの定性的関係

使用した試料の土質試験結果の一覧表が表-1であり、ASTMの統一土質分類法による試料の判別分類が試みられている。

通常CBR値には多くの土性が複雑に影響を及ぼすが、砂質土に

試料名	D ₅₀ (mm)	D ₁₀ (mm)	均等係数	75μm通過量(%)	2mm通過量(%)	4.75mm通過量(%)	統一土質分類名	比重	最適含水比(%)	最大乾燥密度g/cm ³	現場CBR	備考
野比細砂	0.47	0.17	2.76	0	88	95	SP	2.73	12.1	1.815	1/2~1/3	
野比粗砂	1.80	0.25	7.20	0	62	71	SW	2.77	9.0	1.924	1/3~1/2	
大船山砂	0.57	0.13	4.38	5	80	90	SW-SM	2.75	17.0	1.747	1	
東京埋立砂	0.23	0.074	3.10	10	87	98	SW-SM	2.70	13.9	1.683	1	
東京山砂	0.29	0.14	2.10	6	100	100	SW-SM	2.71	12.3	1.736	1	
東京、エプロン(1)	—	—	—	20~40	—	—	SM-SC	—	—	—	—	
〃 (2)	—	—	—	10~20	—	—	SM-SC	—	—	—	—	
東京、路床路盤	—	—	—	11~40	—	—	SM-SC	—	—	—	—	
新潟	0.37	0.16	2.30	2	100	100	SP	2.68	15.3	1.596	約1/2	
大阪、路床路盤	4.00	0.074	54	12	50	65	SC	2.65	7.6	2.094	約1/2	真砂
広島	0.50	0.20	2.50	5.5	98	100	SW-SM	2.64	13.5	1.669	1	
宮崎	0.28	0.17	1.65	2.9	99	99.7	SP	2.90	—	—	約1/4(?)	
鹿児島(1)	1.00	0.16	6.30	2.5	80	96	SW	—	—	—	1	シラス
〃 (2)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	シラス

おいては、極端な乾燥状態を除いて含水比、飽和度などの影響は受けない。ある一つの試料についてみると、現場CBR、室内CBRのどちらも乾燥密度 γ_d （あるいは間隙比）だけに支配され、一般に図-1~3のように、ある γ_d からはほぼ直線関係になる。図-1~3では貫入量2.5mmのCBR値（CBR_{2.5}と書くことにする）でプロットしてあるが、砂質土では一般に現場CBRではCBR_{2.5} $\geq$ CBR₅であり、室内CBRではCBR_{2.5} $\leq$ CBR₅となる。これは室内CBRではモールドの拘束圧の影響を大きく受けることによるものである。

代表的な3種の砂について、 γ_d で整理した現場CBRと室内CBRの相関関係は、図-1~3に示すとおりであるが、その他の多くの試料に対する同様の試験結果なども総合的に判断し、次に示すようないくつかの定性的結論が導かれた。

(1) 74 μ フルイ通過量が5%以下の統一土壌分類法による分類名SP, SWの土では、明らかに室内CBR > 現場CBRであり、その比は砂により異なり $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{4}$ である。

(2) 74 μ フルイ通過量が5%以上の土（SW-SH, SH, SH-SC, SC）では現場CBR $\approx$ 室内CBR_{2.5}である。（ γ_d で明らかにするが粘着力の影響による。）

(3) (2)に属する土であっても粗粒子の多い土では、(1)と同じく室内CBR > 現場CBRとなる。（表-1の大阪の真砂）

(4) (1)に属する土であっても粘着力の大きいシラスなどでは、(2)の性質を示している。

(5) 砂質土では水浸によるCBRの減少はない。

4. 支持力理論による説明

ある種の砂で室内CBRが現場CBRの2~3倍もの大きな値を示す原因、74 μ フルイ通過量が5%以上の細粒分の多かった砂で両CBR間にほとんど差異がなくなる理由などを検討するためには適切な支持力理論を確立し、それに基づく解析が適当である。一般の大きなフーチングと異なり、CBRの貫入ピストンでは、ピストン径の割合に貫入量が大きく、一種の押し抜き試験に近い載荷状況を示す。そこで、図-4,5のような上り面を仮定し主応力土圧部分と受応力土圧部分のバランスある垂直面に $\tan\delta$ なる摩擦が働くものとし、主応力側の土の圧密による内部摩擦角の増加も考慮して求めた最大

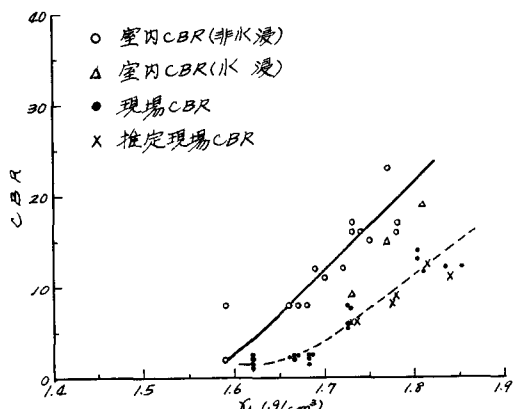


図-1 乾燥密度とCBR_{2.5}の関係1(野比細砂)

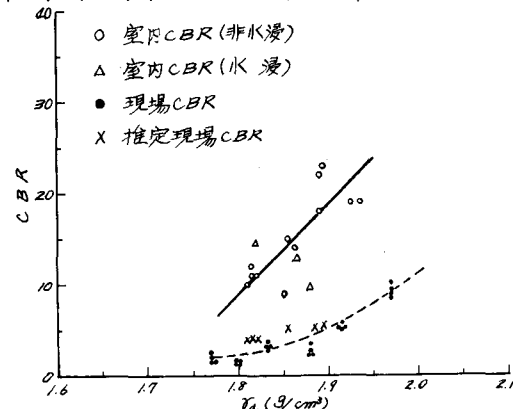


図-2 乾燥密度とCBR_{2.5}の関係2(野比粗砂)

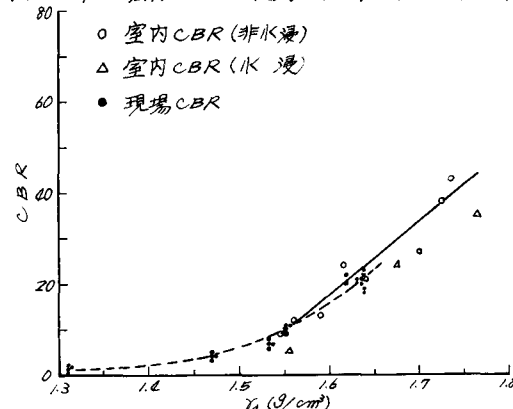


図-3 乾燥密度とCBR_{2.5}の関係3(大船山砂)

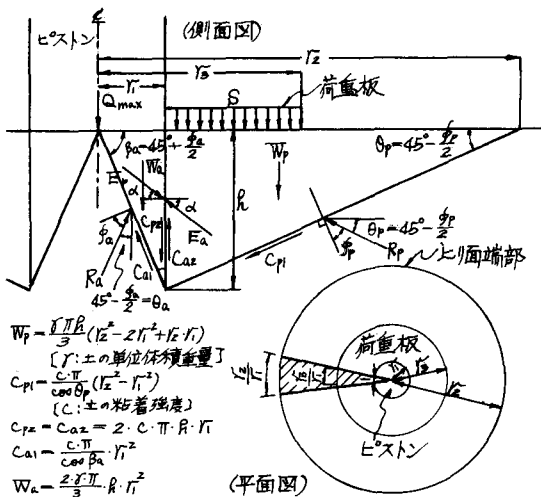


図-4 現場CBRのりり面

支持力は、現場CBRの場合には次式で示される。各種記号の意味は図中に示す。

$$Q_{max} = \{S + W_p + 2 \cdot C_{pl} \cdot \sin \theta_p + C_{pe}\} \times \left\{ \frac{\sin \alpha + \frac{\cos \alpha}{\tan \theta_a}}{\cos \alpha \cdot \tan \theta_p - \sin \alpha} \right\} + (2 \cdot C_{al} \cdot \cos \theta_a + C_{az} - W_a) \quad (1)$$

室内CBRの場合には、モールド側壁でえぎられた部分に別の受効土圧 E_{pw} が作用するものと考え、土とモールド側壁の間に切く摩擦角を δ とすると、最大支持力は次式のとおりである。

$$Q_{max} = \{S + W_{pr} + C_{p2} + C'_{p2} + 2 \cdot C_{plr} \cdot \sin \theta_p + E_{pw} (\cos \delta \cdot \tan \theta_p + \sin \delta)\} \times \left\{ \frac{\sin \alpha + \frac{\cos \alpha}{\tan \theta_a}}{\cos \alpha \cdot \tan \theta_p - \sin \alpha} \right\} + (2 \cdot C_{al} \cdot \cos \theta_a + C_{az} - W_a) \quad (2)$$

$C = 0$ と考えられる2種の砂(細砂, 粗砂)の実験値(ϕ_p は三軸試験より求めた値)と理論値の比較が図-6, 7で、細砂で $\alpha = 0.45\phi_p$, 粗砂で $\alpha = 0.4\phi_p$ の曲線によく対応する。現場CBR試験ではこの最大支持力は平均的に貫入量5mmで生じ、室内CBR試験では10mm以上である。簡単のために貫入量と荷重が直線関係にあるとし、一例として $\phi_p = 40^\circ$ について、 $C = 0$ の場合と $C = 0.1 \text{ Kg/cm}^2$ の場合の貫入量-荷重曲線を図-8に示す。貫入量5mm

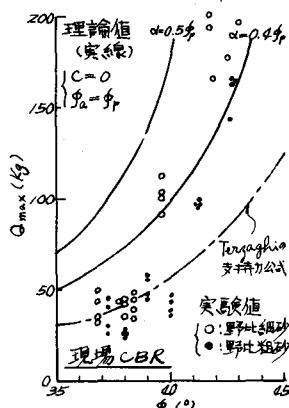


図-6 実験値と理論値の比較(1)

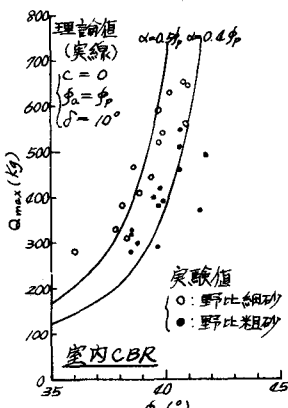


図-7 実験値と理論値の比較(2)

の室内CBRと現場CBRの荷重の比($Q_{2.5-10}/Q_{2.5-5}$)は、 $C = 0$ で2, $C = 0.1$ では1.2である。またCの増加とともに Q_{max} が生ずる貫入量も大きくなり、 $Q_{2.5-10}/Q_{2.5-5}$ の比は1に近づく。

表-2は改良型一面せん断試験機 図-8 貫入量-荷重曲線

表-2 試料の粘着力測定例

試料名	初期乾燥密度 (g/cm³)	内部摩擦角 (°)	粘着力 (kg/cm²)
野比細砂	1.68	51	0.03
野比粗砂	1.77	48	0.09
大船山砂	1.58	41	0.23
東京、埋立砂	1.55	40	0.39
東京、山砂	1.62	45	0.18
新潟	1.58	53	0.02
広島	1.58	47	0.20

による試験結果であり、室内CBR>現場CBRとなる砂はどれもCが0に近く、室内CBR≠現場CBRの土ではかなり大きなCの値を示す。

5. 室内試験から現場CBRを推定する方法

前章までの説明により、統一分類法のSP, SWに属する砂では、モールド側壁の影響で、室内CBR>現場CBRになることが分かった。ここでは簡便な方法により精度よく現場CBRを推定することを考える。

モールド側壁の効果の入らないように直径2cmの特殊プランジャーを製作し、これによりモールド内で貫入試験を実施した。写真-2 特殊プランジャーによる貫入試験入試験を実施した。写真-2にその状況を、図-9にその試験結果を示した。図-9の傾向は現場CBRに対する図-6と全く同じであり、その他の種々の考察の結果、D=2cmのピストンによる貫入試験ではモールド側壁の影響は入らず、支持力材料も現場CBR試験の場合と相似であることが分かった。

理論計算に基づき、ピストン径5cmの最大支持力 Q_{max-5} とピストン径2cmの最大支持力 Q_{max-2} の比($\frac{Q_{max-5}}{Q_{max-2}}$)は、 α には無関係であり、 ϕ_p による変化も小さく、平均的に7.5が採用できる。また、多くの砂の実験から、現場CBR試験では $\frac{Q_{2.5-5}}{Q_{max-5}}$ はほぼ0.8と考えられる。このような値が決まると、次の手順で現場CBRが推定できる。図-9 D=2cmピストンによる貫入試験結果

(i) 直径2cmのプランジャーによりCBR用モールド内で貫入試験を行ない Q_{max-2} を求める。

$$(ii) Q_{max-2} \times 7.5 = Q_{max-5}$$

$$(iii) Q_{max-5} \times 0.8 = Q_{2.5-5}$$

$$(iv) \text{現場CBR} = \frac{Q_{2.5-5}}{1370} \quad (1370 \text{ kg: 標準荷重})$$

図-1, 2及び図-10に、このようにして求めた現場CBRの推定値と実測値の比較が示されているが、一般の現場CBRの精度等を考えると、この推定法がかなり良い精度を持つことが理解され、実用上十分併し得るものと思われる。

6. あとがき

以上砂質土のCBRに付いて多くの性質が明らかになった。これらの結果の多くは、CBR法によっているアスファルト舗装の設計にも適用できる。その他、現場CBRへ及ぼすサッチャーの影響は小さく、設計上はこの効果を考慮する必要がないことも確かめた。

参考文献 1.) 運輸省航空局: 空港アスファルト舗装構造設計要領, 1970

2.) W.P.M. Black: The Calculation of Laboratory and In-situ Values of C.B.R. from Bearing Capacity Data

3.) M. Limerick: C.B.R. Test under Lateral Pressure, Asian Regional Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1967

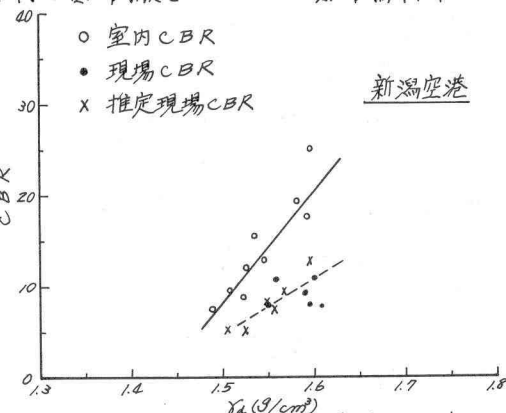
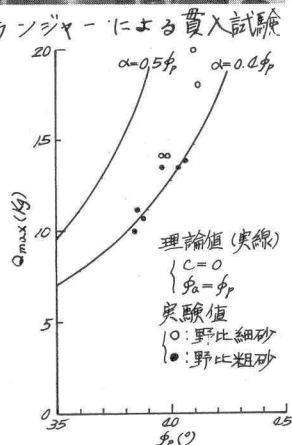
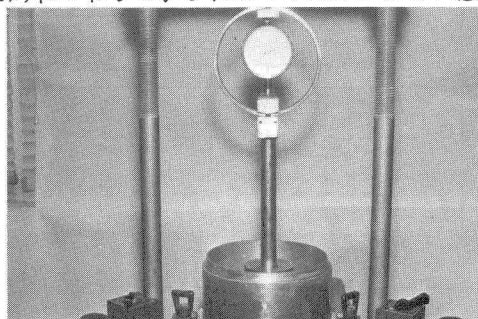


図-10 現場CBRの実測値と推定値の比較