

## 現場CBR試験値推定のための簡易動的貫入試験の応用例

誌名	四國農業試験場報告 = Bulletin of the Shikoku Agricultural Experiment Station
ISSN	00373702
著者	原口, 暢朗 永石, 義隆
巻/号	49号
掲載ページ	p. 50-58
発行年月	1987年11月

## 現場CBR試験値推定のための簡易動的貫入試験の応用例

原口暢朗・永石義隆

目 次	
I 緒言 .....	50
II 試験の概要 .....	50
III 試験結果と考察 .....	51
IV 摘要 .....	56
引用文献 .....	57
英文摘要 .....	58

### I 緒言

道路の設計、施工においてたわみ舗装厚さを決定するために、一般にCBR試験<sup>1)</sup>が行われる。JIS A 1211-5による現場CBR試験は、多大な労力と時間を要し、傾斜地農道の調査には不適當であり、十分に利用されない状況にある。

村山ら<sup>3)</sup>は、現場CBR値の簡易測定法として球体落下式CBR試験機（以下「球体落下試験機」と略す）を考案し、その実用性を確かめている。筆者らも傾斜地農道の調査等において球体落下試験を実施し、既設農道の路盤支持力の相互比較や、土質安定処理道<sup>4)</sup>の施工管理等に応用してきた。

しかし、傾斜地帯では礫の影響により測定値の信頼性が低下すること、また路床土の現場CBR値を求めるために一定深さに掘り返して測定する作業が不可欠であり、試験の煩雑さは依然として残る。

一方、傾斜地での地すべり調査（主として地盤調査）に用いられる簡易動的貫入試験機（以下「簡易貫入試験機」と略す）は、作業も容易で時間も短くてすむことから、これを現場CBR値の推定に用いることを前提に、室内及び現地において両者の比較試験を行った。その結果、両者の間には密接な関係があり、現地での適用性も高いと考えられたのでここに報告する。

### II 試験の概要

#### 1 試験機の概要

##### 1) 球体落下試験機

実験に使用した球体落下試験機の略図を第1図に示す。本試験機は谷藤機械製である。

測定は、一定の重さ（4.07kg）、一定の直径（9.04

cm）の球体を一定の高さ（60cm）から地面へ落下させ、そのときに生ずる地面のくぼみの直径（以下「D値」と称す）からCBR値を推定する。

村山ら<sup>3)</sup>の試験結果では、D値が30～80mmの範囲でCBR値へ対応付けられていることから、この範囲を実用的な測定範囲と考える。

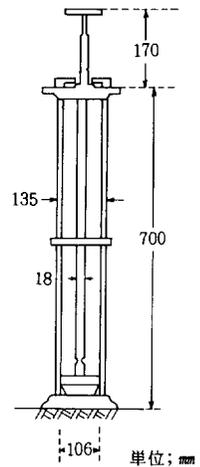
本試験は球体落下地点の微妙な凹凸にきわめて大きな影響を受けるため、礫の多い地盤での測定は信頼性が低下する。なお、試験機全体の重量は約10kgである。

##### 2) 簡易貫入試験機

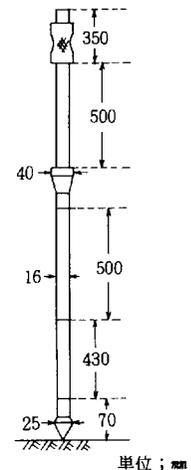
実験に使用した簡易貫入試験機の略図を第2図に示す。

本試験機は坂田電機製である。

測定は、先端コーン（先端角度60度、直径25mm）を取り付けた継ぎ足しロッド（直径16mm）を介して、ハンマー（重量5kg）をある一定の高さ（ここでは50cm）から自由落下させ、ハンマーの衝撃でコーンを打ち込んでいく。この操作をコーンが10cm程度貫入するまで繰り返す、そのときのコーン貫入深さと打撃



第1図 球体落下試験機



第2図 簡易貫入試験機

回数を測定し、10cm当りに換算した打撃回数をもって「N値」とする。本試験機の実用的な測定範囲はNが50以下とされている。

本試験法は、コーンを地中に貫入させるために地表面の微妙な凹凸による影響は比較的少なく、その点に関しては球体落下試験より優れている。しかし、地中にある礫の影響は少なくなく、測定値のバラツキの主要因である。

なお、本試験機は斜面の地すべり調査用として開発されたもので、継ぎ足しロッドを1本(=50cm)とした重量は約8kgである。

## 2 試験方法

### 1) 室内試験

試験に供した試料は花崗岩風化土(まさ土)、結晶片岩風化土、安山岩風化土の3種類で、その物理性を第1表に掲げる。

まさ土は砂質土であり、最適含水比(Wopt)は小さく、最大乾燥密度( $\rho_{dmax}$ )は大きい。結晶片岩風化土は粘質土であり、Woptは大きく、 $\rho_{dmax}$ は小さい。安山岩風化土は両者の中間に相当する。供試土の粒径は4.76mm以下のものを用いた。

供試体はJIS A 1210 T-1979<sup>2)</sup>に規定されている内径15cm、高さ17.5cmのCBR用モールドを使用し、ハンマー重量4.5kg、落下高さ45cmで、突き固め層数を7層として作成した(スペーサーディスクは使用せず)。一層当たりの厚さを2.5cmとした理由は(7層で1層当たり2.5cmとなる)、突き固めのむらをなくし、供試体を均質にするためである。供試体の密度は、土の水分量と突き固め回数を変えることにより調整した。

測定は、モールドに入ったままの供試体の裏面で球体落下試験を行い、D値を測定したのち、表面で簡易貫入試験を実施した。簡易貫入試験は表面から5cmコーンを打ち込んだ所を起点とし、そこから通常の手順に従ってハンマーを落下させ、さらに5cm貫入させたときの打撃数を数え、10cm当りに換算してN値とし

た。

球体落下試験を裏面で行った理由は、試料成形時の表面の乱れの影響を避けるためであり、また簡易貫入試験を表面から5cm打ち込んだ所から開始したのも同様な理由による。

### 2) 現地試験

傾斜地農道における路盤調査の試孔(長さ1.5m、巾80cm、深さ50cm)を利用し、中央部で現場密度試験(砂置換法)を行い、周囲で球体落下試験と簡易貫入試験を各深さ2回ずつ実施した。測定の深さは10cmごとに50cmまで5点実施し、表面をならして球体落下試験を、またその近くで簡易貫入試験を行い、一組のデータとした。

現地試験を実施した場所の路盤の物理性を第2表に掲げる。このうち、津柳地区は造成地で調査地点はまさ土を盛土した箇所であったため、他の地区と比べて礫の割合(4.76mm以上の粒子の割合)は小さい。北谷と川崎地区は結晶片岩地帯であり、調査した農道は地山を切って作られたものであったため礫の割合は非常に高く、球体落下試験のための均平なスペースを得るのも困難なほどであった。土成地区の調査地点は低平地であったが、礫の割合は非常に高かった。

## III 試験結果及び考察

### 1 室内試験

室内試験によるD値とN値の関係を第3図に示す。

両者は両対数紙上で直線関係を示し、回帰式は

$$D = 101.55 \cdot N^{-0.267}, \quad r = -0.946, \quad n = 48$$

(n; データ数)

となる。第3図を見るとNが50以上の範囲で両者の直線関係が崩れるが、これはII-1-2)で述べたように簡易貫入試験機の能力の限界と考えられ、回帰式の実用的な適用範囲もNが50以下となる。この範囲内における回帰式は高い相関を示し、N値からかなり高い精度でD値が推定できる。

室内試験におけるN及びD値と、対応する供試体の

第1表 供試土の物理的性質

供 試 土	粒 径 分 布 * (%)				コンシステンシー (%)			真比重	Wopt (%)	$\rho_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )
	2mm以上	2.0~0.074	0.074~0.005	0.005以下	WLL	WPL	IP			
花 崗 岩 風 化 土	0	81.8	18.2		NP	NP	-	2.63	11.2	1.96
結 晶 片 岩 風 化 土	11.0	42.3	34.1	12.6	68.9	50.6	18.3	2.87	37.9	1.25
安 山 岩 風 化 土	0.2	36.2	25.7	37.9	43.2	23.9	19.3	2.62	16.5	1.74

注) \* 4.76mm以下の試料についての分析結果。

第2表 現地土の物理性

地区名	深さ (cm)	粒径分布(%)			最大 粒径 (mm)	土性 〔日本統 分類〕	現場 密度 (g/cm <sup>3</sup> )	真比重	コンシステンシー(%)			Wopt (%)	ρdmax (g/cm <sup>3</sup> )
		2.0mm 以上	0.074 ~2.0	0.074 以下					WLL	WPL	IP		
津 柳 No 1	0~10	30.0	51.7	18.3	9.52	SF	1.94	2.67	29.0	21.5	7.5		
	10~20	35.0	47.6	17.4	19.1	SF	1.95	2.67	30.2	NP	-		
	20~30	36.9	47.5	15.6	25.4	SF	1.84	2.66	29.4	NP	-	12.3	1.93
	30~40	30.3	51.2	18.5	25.4	SF	1.72	2.67	30.8	NP	-		
	40~50	29.7	50.4	19.9	19.1	SF	1.74	2.66	30.5	21.6	8.9		
津 柳 No 3	0~10	22.2	57.1	20.4	9.52	SF	1.76	2.65	29.9	NP	-		
	10~20	22.0	58.9	19.1	9.52	SF	1.85	2.64	31.6	NP	-		
	20~30	23.2	57.0	19.8	19.1	SF	1.96	2.65	31.9	NP	-	12.0	1.93
	30~40	19.0	58.5	22.5	9.52	SF	1.77	2.63	37.3	26.7	10.6		
	40~50	20.6	61.4	18.0	9.52	SF	1.82	2.66	35.7	24.6	11.1		
北 谷 No 1	0~10	56.7	27.6	15.7	38.1	GF	1.93	2.72	37.5	NP	-		
	10~20	57.3	25.6	17.1	25.4	GF	1.78	2.74	34.8	NP	-		
	20~30	72.2	16.9	10.9	50.8	G-F	1.79	2.73	NP	NP	-	15.2	1.78
	30~40	78.6	13.1	8.3	50.8	G-F	1.59	2.74	36.1	25.6	10.5		
	40~50	79.5	11.5	9.0	50.8	G-F	1.37	2.71	30.8	NP	-		
川 崎 No 1	0~10	51.8	25.2	23.0	25.4	GF	2.04	2.73	29.3	20.9	8.4		
	10~20	52.8	23.8	23.4	25.4	GF	1.74	2.77	32.9	22.9	10.0		
	20~30	30.8	21.7	47.5	19.1	GF	1.62	2.73	32.4	22.9	9.5	14.0	1.83
	30~40	34.8	22.8	42.4	25.4	GF	1.56	2.74	41.8	27.2	14.6		
	40~50	43.9	21.1	35.0	25.4	GF	1.53	2.76	45.8	29.9	15.9		
土 成 No 1	0~10	57.5	25.7	16.8	38.1	GF	1.98	2.66	23.3	NP	-		
	10~20	43.2	34.0	22.8	50.8	GF	1.85	2.66	24.0	NP	-		
	20~30	35.8	29.5	34.7	38.1	GF	1.46	2.62	28.0	19.5	8.5	16.2	1.71
	30~40	16.0	39.0	45.0	19.1	SF	1.44	2.62	29.4	20.9	8.5		
	40~50	36.8	42.2	21.0	25.4	SF	1.72	2.65	25.3	NP	-		
土 成 No 2	0~10	69.2	20.4	11.4	50.8	G-F	1.78	2.63	31.5	23.2	8.3		
	10~20	75.6	14.4	10.0	50.8	G-F	1.75	2.63	27.1	NP	-		
	20~30	72.7	17.6	9.7	50.8	G-F	1.74	2.64	22.3	NP	-	19.0	1.64
	30~40	61.5	24.6	13.9	50.8	G-F	-	2.63	25.2	NP	-		
	40~50	46.0	33.7	20.3	50.8	GF	1.59	2.64	23.2	NP	-		

乾燥密度及び含水比との関係を第4図から第7図に示す。第4図と第5図においてD値と、乾燥密度及び含水比の関係をみると、3種類の土いずれにおいてもバラツキの小さい一定の関係が存在することが分かる。また、N値と乾燥密度及び含水比の関係もほぼ同様の傾向を示す。

## 2 現地試験

現地試験におけるD値とN値(ともに2個のデータの平均値)の関係を第8図に示す。室内試験と比較してデータのバラツキは大きい。回帰式を求めると

$$D = 73.15 \cdot N^{-0.149}, r = -0.481, n = 45$$

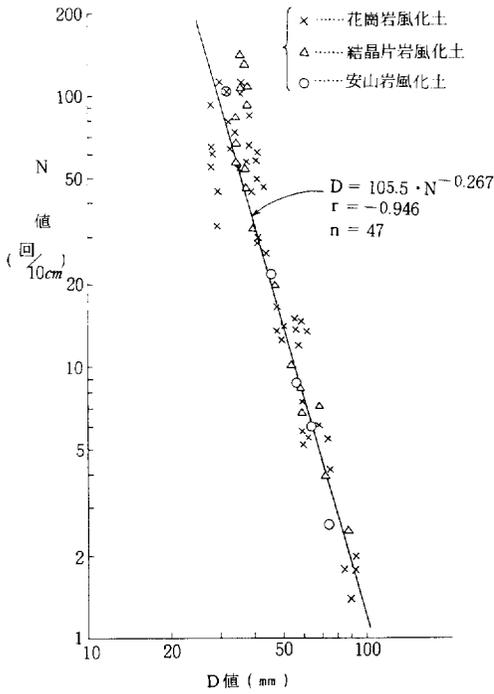
となる。この式は、室内試験による回帰式(第8図中の点線)と比較して相関係数が低く、式の係数も若干異なる。このように、現地試験による回帰式では相関

係数が低いため、推定精度は低下する。バラツキの原因は、第2表にみられるように多量の礫の存在によるものと考えられる。そこで、礫による影響を「礫の存在によりD値はより小さく、N値はより大きな値が表れる」と仮定し、これを緩和するために2回の測定値のうちDの最大値とNの最小値で回帰式を求めれば

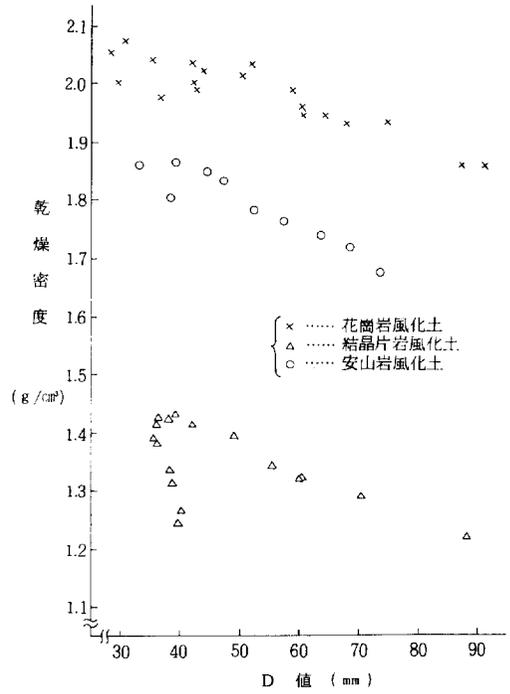
$$D = 83.54 \cdot N^{-0.191}, r = -0.671, n = 45$$

となり、多少精度の向上がみられる。

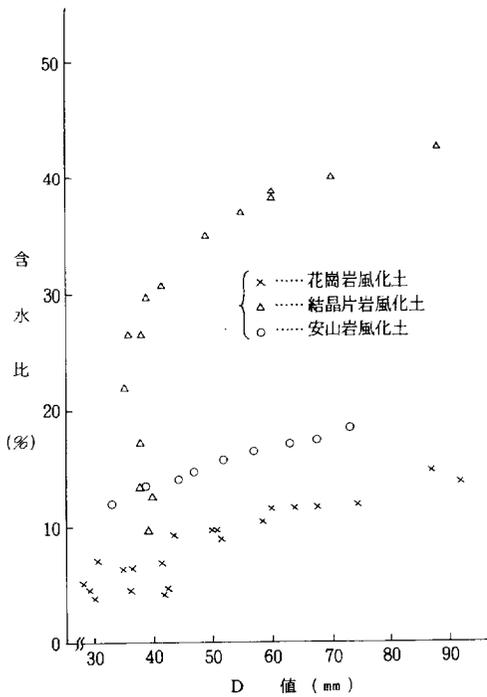
現地試験におけるN及びD値と、対応する現地の乾燥密度との関係を第9図と第10図に示す。両図とも室内試験と比較してバラツキが大きく、はっきりした関係は見いだせない。また、N及びD値と含水比との関係は一層バラツキが大きかったので、掲載しなかった。このバラツキが第8図におけるNとDの間の大きなバ



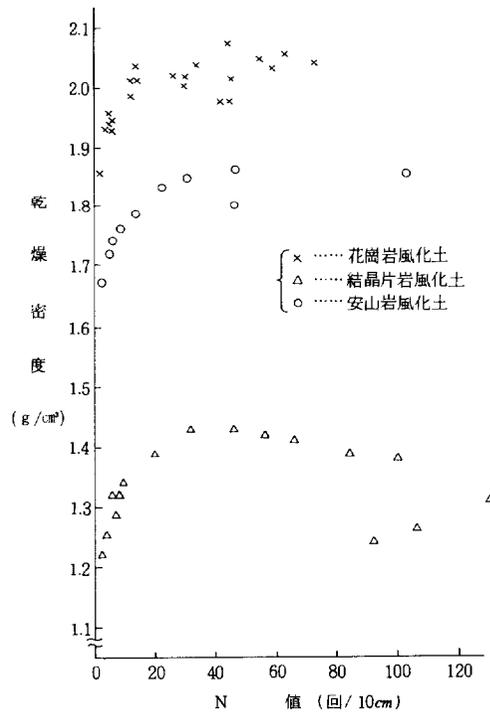
第3図 室内試験におけるD値とN値の関係



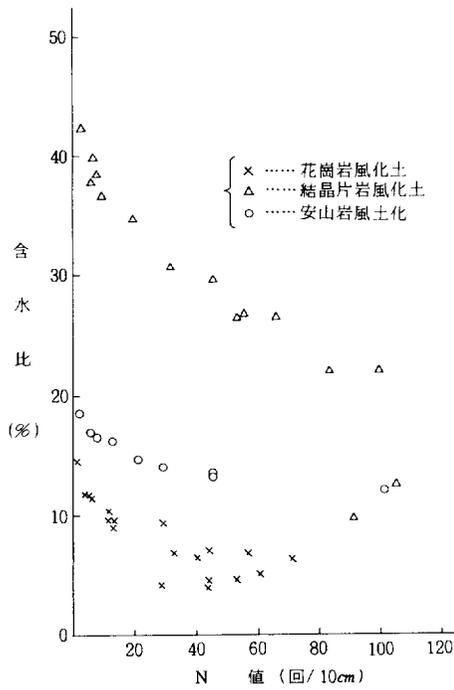
第4図 室内試験におけるD値と乾燥密度の関係



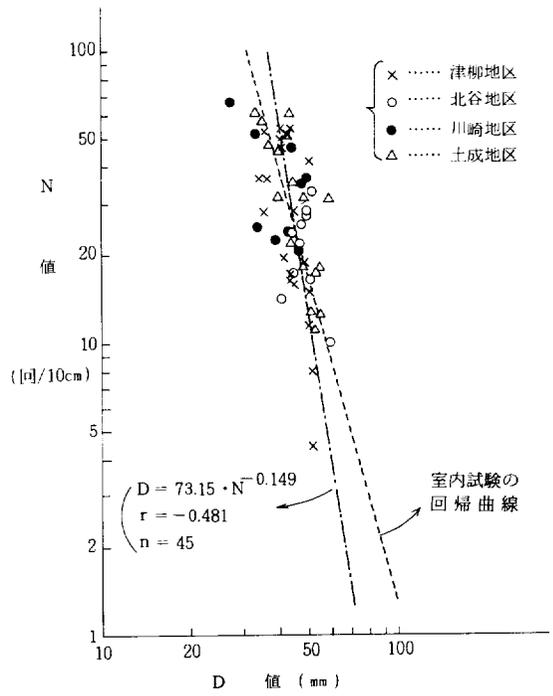
第5図 室内試験におけるD値と含水比の関係



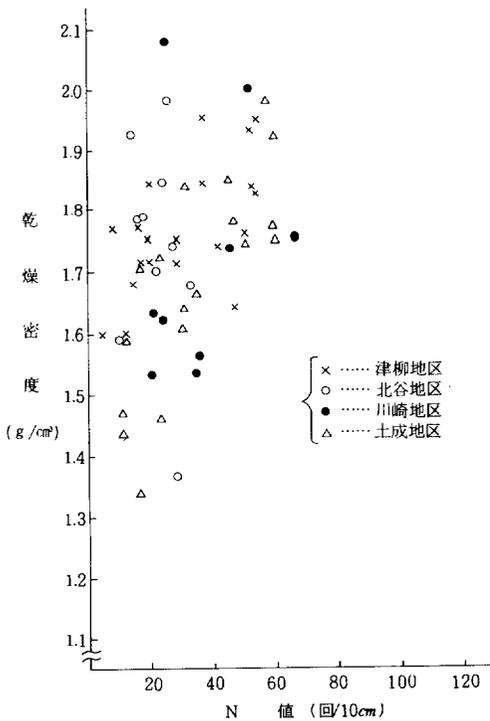
第6図 室内試験におけるN値と乾燥密度の関係



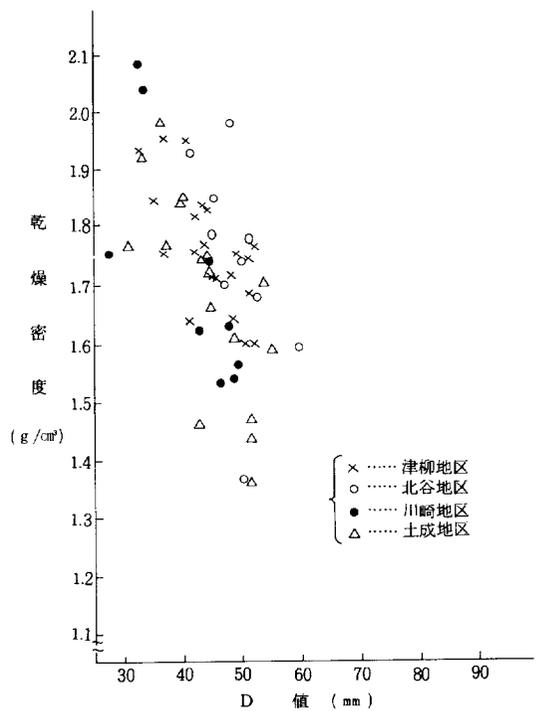
第7図 室内試験におけるN値と含水比の関係



第8図 現地試験におけるN値とD値の関係



第9図 現地試験におけるN値と乾燥密度の関係



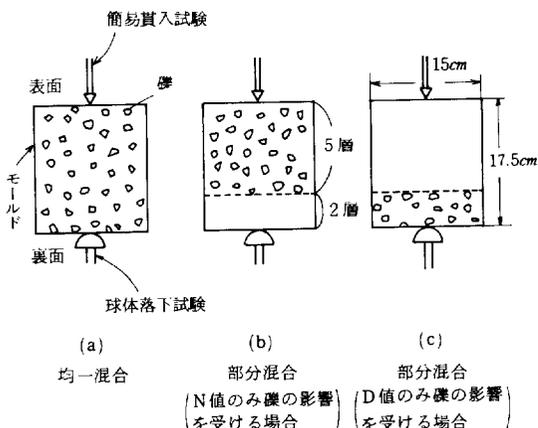
第10図 現地試験におけるD値と乾燥密度の関係

ラッキに寄与していると考えられる。

### 3 礫を混合した室内試験

現地試験で得られた結果は室内試験と異なった。この原因は、現地における礫の存在と考えられる。そこで、礫がN及びD値に及ぼす影響を調べるために、礫を混合した室内試験を行った。

供試土は第1表に示した結晶片岩風化土（一部安山岩風化土）で、試験方法は礫の混合以外はII-2-1)と同様である。混合した礫の粒度は9.52mm～19.1mmで、混合割合は10～60%（供試体の乾燥全重量に対する割合）とした。また混合方法として、①礫を供試体全体に均一に混合する法（均一混合）、②礫を供試体の一部に混合する法（部分混合）の2通りを考えた。そして、①の方法を主に実験をすすめ、②を補足的に追加試験した。各混合方法を第11図に示す。第11図に示したように部分混合の目的は、N値のみ礫の影響を受

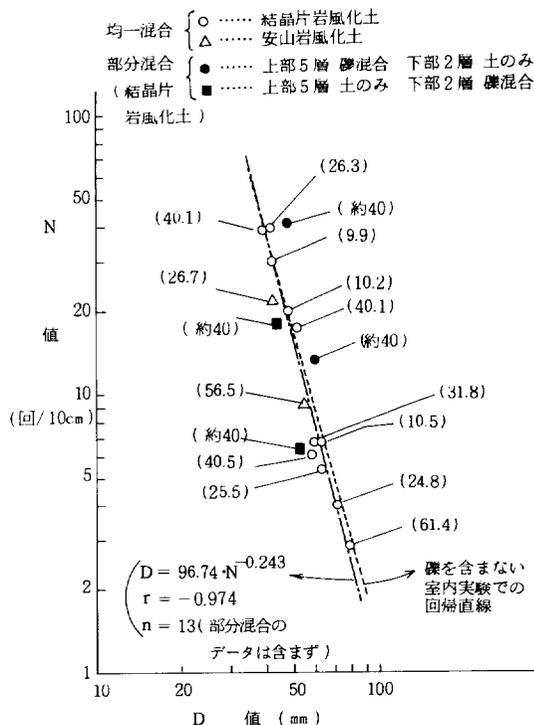


第11図 礫混合試験の模式図

けると考えられるケース (b) 図), 及びD値のみ礫の影響を受けると考えられるケース ((c) 図) を人工的に作り出すことであった。

試験の結果を第3表と第12図に示す。均一混合の場合の回帰式は、礫含量とあまり関係なく

$$D = 96.74 \cdot N^{-0.243}, r = -0.975, n = 13$$



第12図 礫混合室内試験におけるN値とD値の関係

第3表 礫を混合した室内試験結果の代表値

供試土	*1 礫含量 (%)	*2 土部分のみ の含水比 (%)	礫と土を だみにした 含水比 (%)	土部分のみ の乾燥密度 (g/cm³)	礫と土をだ みにした 乾燥密度 (g/cm³)	N 値 (回/10cm)	D 値 (mm)
結晶片岩風化土	9.91	30.96	27.92	1.434	1.495	30	42
"	25.53	42.29	31.50	1.252	1.431	5.34	62
"	31.84	39.13	26.64	1.306	1.535	6.78	60
"	40.12	39.16	23.42	1.321	1.622	17.3	52
"	61.36	44.52	17.90	1.254	1.773	2.86	79
安山岩風化土	25.69	20.73	15.41	1.648	1.800	21.58	42
"	56.53	19.39	8.42	1.718	2.070	9.26	55

注) \*1. 「礫」はここでは9.51～19.1mmの粒度をいう。

$$\text{礫含量} = \frac{\text{礫の重量}}{\text{土部分の乾重} + \text{礫の重量}} \times 100$$

\*2. 「土部分」はここでは4.76mm以下の粒度のものをいう。

となり、相関係数も高く、礫を含まない室内試験による回帰式(第12図中の点線)とはほぼ同一となった。

さて、D値のみ礫の影響を受ける場合は、礫を含まない場合の同じN値に対してより小さいD値をとると考えられ、N値のみ礫の影響を受ける場合は、礫を含まない場合の同じD値に対してより大きいN値をとると考えられる。第12図中の部分混合試験のデータはこの予測通りの結果を示しており、礫を含まない室内試験の回帰式からのバラツキも均一混合の場合より大きい傾向にある。また第12図から、D値に対する礫の影響とN値に対する礫の影響とは、回帰式をはさんで反対の方向であることが分かる。

以上の結果を総合すると次のようになる。礫の混合試験において均一に礫を混合させた場合、礫含量の値に関係なく、礫を含まない場合の室内試験とはほぼ同一の回帰式が得られた。この理由は、N、D値ともに礫の影響を受けたために互いの影響が相殺して、見かけ上礫を含まない場合と似たような結果になったと考えられる。従って、現地試験におけるN-D関係の大きなバラツキの原因として礫の影響を考えると、礫含量そのものよりも深さ方向における礫の不均一な分布及び測定精度の相違がより大きな要因であると推察された。

#### 4 試験結果の適用

礫を含まない室内試験は現地試験の理想化されたケースと考えることができる。室内試験から得られた回帰式をそのまま現地に適用してもよいが、現地での実用性を前提とすれば両者を総合した回帰式が妥当と考える。総合式は次式である。

$$D = 101.99 \cdot N^{-0.254}, \quad r = -0.902, \quad n = 93$$

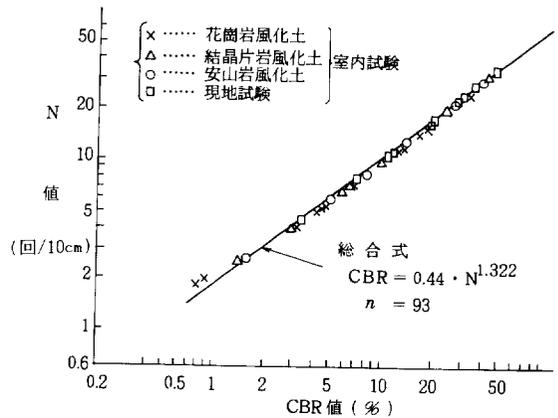
この式と、D値からCBR値を理論的に導いた村山ら<sup>3)</sup>の式

$$CBR = \frac{0.45 \cdot W \cdot (H + R - \sqrt{R^2 - D^2/4})}{1.01 \cdot D^{1.39} \cdot (R - \sqrt{R^2 - D^2/4})^{1.62}}$$

W: 球体の重量(kg) H: 落下高さ(cm) R: 球体の半径(cm)を用いて、N値から直接CBR値を求めることができる。このようにして求めたN値とCBR値の関係を第13図に示す。両者の関係式は

$$CBR = 0.44 \cdot N^{1.322} \quad (N \leq 50)$$

となる。本式を用いることにより、現地で測定したN値からCBR値を直ちに求めることができる。



第13図 室内試験と現地試験を総合したN値とCBR値の関係

### IV 摘要

道路の設計・施工において、路床土の現場CBR値を求める必要性から、JIS法に代わる簡易法として球体落下試験が行われるが依然として煩雑である。そこで、傾斜地の地すべり調査で使用される簡易貫入試験を球体落下試験に代わるものとして、CBR値推定に用いる目的で室内及び現地試験を行った。結果の概要は次の通りである。

1. 室内試験の結果、簡易貫入試験のN値と球体落下試験のD値とは高い相関を示した。従って、N値から高い精度でD値を推定することができる。得られた関係式は次式の通りである。

$$D = 101.55 \cdot N^{-0.267}, \quad r = -0.946, \quad n = 45$$

上式の適用範囲はNが50以下である。

2. 一方、現地試験の結果はバラツキが大きいため、N値とD値の間の相関は室内試験と比較して低い。得られた関係式は次式である。

$$D = 73.15 \cdot N^{-0.149}, \quad r = -0.481, \quad n = 48$$

室内試験と現地試験の相違は、現地における礫の深さ方向に不均一な分布と測定精度の相違がその主な原因である。

3. 室内及び現地試験の結果を総合したN値とD値の関係式は次式である。

$$D = 101.99 \cdot N^{-0.254}, \quad r = -0.902, \quad n = 93$$

実用的見地に立ったN値からD値への推定式としては本式を提案する。また、本式を用いてN値から直接CBR値を推定する式は次式である。

$$CBR = 0.44 \cdot N^{1.322}$$

本式の適用範囲はN ≤ 50とする。

## 引用文献

- 1) 土質工学会編（1980）：土質試験法改訂第二版，第5編第2章 CBR 試験，304～333.
- 2) 土質工学会編（1980）：土質試験法改訂第二版，第5編第1章締固め試験，279～303.
- 3) 村山朔郎，植下協，斉藤実（1959）：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(1)，9～13.
- 4) 永石義隆・原口暢朗・宮崎毅（1983）：傾斜地農道に関する研究（第2報）—セメント硬化剤を使用した農道施工について，農土学会中四国支部講演要旨，100～102.

## The Application of Simple Penetration Test to Estimating CBR in the Field

Noburo HARAGUCHI and Yoshitaka NAGAISHI

(Received ; November 7, 1986)

### Summary

On the design and construction of roads, as a simple method instead of JIS method, Sphere—dropping Test is performed to estimate CBR of the roadbed. But this test is still troublesome. Then with the aim of employing Simple Penetration Test, which is used in the investigation of the land slide on sloped land, instead of Sphere—dropping Test to estimate CBR, both tests were conducted in the laboratory and in the field. The results are summarized as follows.

1. As a result of the tests in the laboratory, high correlation was observed between N value of Simple Penetration Test and D value of Sphere—dropping Test. Accordingly D value can be estimated with high precision from N value. The correlation equation between N value and D value is as follows.

$$D = 101.55 N^{-0.267}, r = -0.946, n = 45$$

This equation can be applied on condition that N does not exceed 50.

2. On the other hand, compared with the results in the laboratory, lower correlation was observed between N value and D value on the results in the field due to the high variation. The correlation equation obtained is as follows.

$$D = 73.15 N^{-0.149}, r = -0.481, n = 48$$

The difference between the results in the laboratory and in the field is primarily due to the non—uniform distribution of gravel in the vertical direction in the field and the difference of precision of measurement between two tests.

3. Putting the results in the laboratory and in the field together, the correlation equation between N value and D value is as follows.

$$D = 101.99 N^{-0.254}, r = -0.902, n = 93$$

With the aspect of the application in the field, the authors propose this equation to estimate D value from N value. Using this, the equation which directly estimates CBR from N value is as follows.

$$CBR = 0.44 N^{1.322}$$

Then this equation can be applied on condition that N does not exceed 50.