

大阪市土木局 正会員 佐々木三男

大阪市立大学 , 三瀬 貞

大阪市立大学 , 山田 優

1. まえがき 土木工事に伴って発生する掘削残土の量は年々増加の傾向にある。このままのペースで残土を処分していくと、大阪市内の残土処分地の受容能力に限りがあることから、処分可能期間は極めて短いと予想される。そこで、今後さらに増加する掘削残土に対処するためには、(1)新たな残土処分地の確保、(2)資資源化、再資源化等の技術開発により排出量および最終処分量を減らすといった姿勢が必要になってくる。排出量および最終処分量を減らす方法の一つとして、「掘削残土の再利用」が考えられる。しかし、再利用対象によって要求される土の性状は異なり、その性状を試験するのに時間がかかるために、残土を一時仮置するなどの処置が必要となる。このことが、現在のところ残土の再利用を遅らせている1つの原因となっている。そこで、残土の再利用対象を「舗装材料」と限定し、土の力学性状(ここではCBRを採用した)を短時間に求める方法について検討した。すなわち、大阪市内の道路工事・埋設工事から発生した残土を任意に抽出して、土質試験を行ない、その結果を統計的に処理して「残土のCBRの回帰式」と「安定処理効果の回帰式」を得た。

2. 残土のCBRの予測 大阪市内の32の工事現場から発生した掘削残土について、(a)含水量試験(JIS, A 1203)、(b)粒度試験(JIS, A 1204)、(c)液性限界試験(JIS, A 1205)、(d)塑性限界試験(JIS, A 1206)、(e)CBR試験(アスファルト舗装要綱準拠)を行なった。各試験値の平均値と標準偏差は表1のようであった。

表1 土質試験結果 n=32

	平均値	標準偏差
(自然)含水比(%)	19.70	8.67
液量(%)	12.07	8.79
砂量(%)	32.06	18.34
シルト量(%)	55.83	14.79
塑性指数(%)	6.95	8.81
乾燥密度(g/cm ³)	1.68	0.19
CBR(%)	11.51	19.83

$\log CBR$ を被説明変数、他の試験値を説明変数として重回帰分析を行なった。その結果は、表2のようである。自由度を考慮した重相関係数($R_{D.F.}$)の最も大きい回帰式として式(1)を得た。式(1)で計算された値と実測値の関係を図1に示す。

$$\log CBR = -2.08 + 0.029x_1 - 0.023x_2 + 1.38x_6 \quad \text{---(1)}$$

表2 重回帰分析結果 n=32

説明変数	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	重相関係数
被説明変数	含水比(%)	液量(%)	砂量(%)	シルト量(%)	塑性指数(%)	乾燥密度(g/cm ³)	NT.D.F. D.F. 標準偏差
$\log CBR$	0.030	1.241	1.808	1.808	-0.028	2.444	-183.27 0.765 0.617 0.566
		1.732	1.702	1.704	-0.027	1.379	-172.34 0.759 0.704 0.580
		0.031		0.003	-0.026	1.495	-2.385 0.752 0.709 0.557
					-0.023	1.380	-2.083 0.752 0.720 0.547
						2.102	-3.414 0.719 0.696 0.567

式(1)はデータ数32個のみによる回帰式であるが、奈良県で598試料について同様な試験結果(ただし、P.I.は試験されていない)が得られているので、これをデ-

ータとして分析をしてみた。その結果は、表3、表4のようである。自由度を考慮した重相関係数($R_{D.F.}$)の最も大きい回帰式として式(2)を得た。

$$\log CBR = -0.39 - 0.027x_1 + 0.016x_2 + 0.008x_3 + 0.57x_6 \quad \text{---(2)}$$

表3 土質試験結果 n=598

	平均値	標準偏差
(自然)含水比(%)	14.4	9.0
液量(%)	20.5	19.0
砂量(%)	63.4	15.1
シルト量(%)	36.0	16.4
乾燥密度(g/cm ³)	1.81	0.23
CBR(%)	18.1	30.5

表5 土質改良材の種類

種類	
セメント	普通ポルトランドセメント
生石灰	工業用石灰(粉末)

3. 残土の安定処理効果の予測 残土のCBRの予測に用いた32試料のうちCBRが20%以下の試料について、土質改良材を加えてCBR試験を行なった。2土質改良材の種類は表5に示す。b. 添加量の決定、最初に、無添加のものと、セメントは試料の重量比の2%、生石灰は6%を添加した供試体を作成した。その供試体のCBRを求め、次にCBRが20%に近くなるように添加量を2回変えた。c. 添加方法、1試料について11kg採取し、ポリ製タライに改良材とともに入れて、均質になるよう

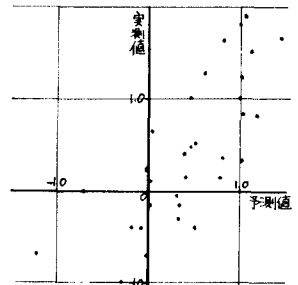
図1 $\log CBR$ の式(1)による計算値と実測値の関係

表4 重回帰分析結果 n=598

説明変数	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	重相関係数
被説明変数	含水比(%)	液量(%)	砂量(%)	シルト量(%)	塑性指数(%)	乾燥密度(g/cm ³)	NT.D.F. D.F. 標準偏差
$\log CBR$	-0.027	0.055	0.048	0.039	0.569	4.346	0.817 0.815 0.417
	-0.027	0.016	0.008		0.569	0.389	0.917 0.815 0.417
	-0.039	0.016	0.008			0.822	0.812 0.811 0.426
	-0.048	0.010				1.537	0.803 0.803 0.429

に混合した。特に、生石灰を用いた場合、混合後断面積が一定(1,150 cm^2)の容器に入れて、20 cm の恒温室で24時間放置し、その後再び混合した。 α 土質改良土のCBR試験(JIS A1211準拠)、JISと異なる点は、(i)突固め回数が67回、(ii)吸水膨張量は特に測定しなかった。(iii)供試体の養生 5 kg の有孔荷重板を供試体の上にのせ、7日間湿度20 cm の恒温室に入れた。その7日のうち、3日間は相対湿度が90%の養生箱に入れて養生し、あとの4日間は養生箱を水で濡し、水浸養生した。(iv)計算、改良土の荷重-貫入量曲線は上向きに凸になるので、図2のように最大変曲点の上側約1 cm のところに接線を引き、その接線と横軸との交点を貫入の原点として荷重-貫入量曲線を修正した。修正された原点から、貫入量が25 mm 、50 mm の荷重を読み取り、JISの式で計算を行なった。CBRは貫入量25 mm と50 mm のうち大きな値をとり、貫入量50 mm のCBRが大きい場合でも供試体を作り直さなかった。

セメントを添加した試料数16、添加量の変化が4通り、総数64個、および、生石灰を添加した試料数15、総数60個の試験結果が得られた。各試験値の平均値と標準偏差は表6の通りである。

CBRを被説明変数とし、改良材の添加量と他の試験値を説明変数として重回帰分析を行なった。その結果は、表7のようである。自由度を考慮した重相関係数($R_{\text{D.F.}}$)の最も大きい回帰式として、式(3)、式(4)を得た。

表6 土質試験結果

	セメント	生石灰
試料数	64	60
平均値	20.4	21.4
標準偏差	5.5	6.0
含水比(%)	10.6	10.9
液量(%)	56.2	52.6
塑量(%)	33.1	26.4
塑性指数	22.7	25.7
改良土の含水比(%)	2.0	3.0
CBR(%)	31.9	34.3

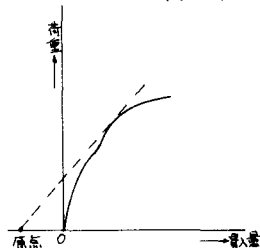


図2 荷重-貫入量の関係

$$\text{CBR} = 283 - 30x_3 - 3.2x_4 + 10x_7 \text{ --- (3)}$$

$\text{CBR} = 55 - 2.9x_1 + 1.1x_2 + 1.1x_5 + 9.5x_7 \text{ --- (4)}$ 次に、改良土のCBRを改良材の添加量の関数と見たて、その関数の諸係数が他の試験値で表わされると仮定し、分析を行なった。関数式は、次のような形とした。

$$y = ax_1^b + c \text{ --- (5)}$$

y : 改良土のCBR(%)

x_1 : 改良材の添加量(%)

a, b, c : 係数

分析の結果、各係数の回帰式は、式

(6)~式(11)のようになった。

改良材がセメントの場合

$$\ln a = 10.96 - 0.226x_1 - 0.070x_3 - 0.063x_5 \text{ --- (6)}$$

$$b = -4.52 + 0.119x_1 + 0.030x_2 + 0.051x_3$$

$$+ 0.031x_5 \text{ --- (7)}$$

$$c = -1.7 + 0.68x_2 - 0.33x_5 \text{ --- (8)}$$

改良材が生石灰の場合

$$\ln a = 388.37 - 0.101x_1 - 3.884x_2 - 3.854x_3$$

$$- 3.852x_4 + 0.030x_5 \text{ --- (9)}$$

$$b = -0.82 + 0.109x_1 + 0.038x_2 - 0.060x_5 \text{ --- (10)}$$

$$c = -9.12 + 0.46x_1 + 9.20x_2 + 9.11x_3$$

$$+ 9.11x_4 - 0.62x_5 \text{ --- (11)}$$

表8 回帰式・関数式によるCBRと

実測値との相関表

改良材	回帰式	相関係数	標準偏差	備考
セメント	式(3)	0.684	25.423	$n=64$
	式(5)(6)(7)(8)	0.773	22.233	$n=64$
生石灰	式(4)	0.755	22.704	$n=60$
	式(5)(9)(10)(11)	0.699	39.788	$n=60$

表7 重回帰分析結果

説明変数	変数	x_1 (%)	x_2	x_3	x_4	x_5	x_7	CNST	重相関係数		
									N.T.D.F.	D.F.	標準偏差
セメント	CBR	-0.857	-0.006	-2.768	-2.685	-0.402	10.214	276.504	0.756	0.668	26.085
		-0.857		-2.762	-2.678	-0.402	10.214	275.886	0.706	0.675	25.839
		-0.772		-2.780	-2.852		10.137	278.583	0.704	0.679	25.702
				-2.877	-3.219		10.038	283.362	0.701	0.683	25.573
	$n=64$				-1.100		9.340	49.549	0.573	0.553	29.122
生石灰	CBR	-2.736	6.2285	6.1033	6.1171	0.721	9.583	605.778	0.767	0.716	23.399
		-3.086	1.453		0.280	0.817	9.527	47.451	0.767	0.736	23.422
		-2.896	1.161			1.072	9.532	54.220	0.758	0.737	23.356
		-1.808	1.197				9.288	41.510	0.734	0.717	24.080
	$n=60$				-2.432		8.954	68.735	0.691	0.678	25.423

これらを用いて求めたCBRと実測値との間の相関係数と標準偏差をまとめると表8のようである。

4. あとがき 予測式としては、分析に用いた変数全てを使うのではなく、(1)被説明変数の予測に役立つ、(2)判定が容易な変数を用いた回帰式で、重相関係数($R_{\text{N.T.D.F.}}$)が高いもの程よい。今回求めた回帰式、式(1)、式(4)ならびに関数式(5)の諸係数を表わす式(6)~(11)は、変数の測定的面や変数の個数の面からも検討を必要とし、今後さらに研究を続けて行きたい。