

道路盛土の締固めについて

まつ い まさ ひろ
松 井 正 弘*

1. まえがき

土を締固める目的は、道路盛土でも鉄道盛土でもアースダムでも宅地造成の場合でもなんら変わることはないはずであるが、それぞれが完成したときに持たなければならない必要な機能の違いなどから、締固めの規定や施工管理方式などが少しずつ異なったものになっている。本文では道路盛土の場合の締固め規定やその問題点、土を締固めるにあたって目標とすべき締固め度の値などについて述べることにする。

2. 土の締固めとその目的

道路の盛土を築造するとき土を締固めるが、なぜ土を締固めるのか、その目的は何なのか、土質工学の専門書などに詳しく述べられているが、ここで今一度ざっと振り返ってみることにする。

道路土工指針¹⁾によれば土を締固める目的は、

- (1) 土の空気間ゲキを減じ、透水性を低下させ、水の浸入による軟化、膨張を小さくして土を最も安定した状態にすること。
- (2) 盛土ノリ面の安定、交通荷重の支持など土構造物に必要な強度特性を盛土に持たせること。
- (3) 完成後の路面に悪影響をおよぼす盛土自体の圧縮沈下を少なくすること。

と述べられているように、道路盛土にとって土を締固めることは非常に大切なことである。

では一体どのように土を締固めればよいのか。土は、最適含水比 (w_{opt}) で最大乾燥密度 ($\gamma_{d max}$) になるように締固めれば、あらゆる面で最も安定した状態になるといわれている。最適含水比、最大乾燥密度は土質によって変わるが、図-1 に示すように同一土質でも突固め回数によって変わる。また土質によっては、同一の締固め回数でも試験前の含水比により最適含水比、最大乾燥密度が変わるものもある。しかしいずれの場合でも最適含水比で最大乾燥密度の状態が、おのおのの条件において最も安定した状態であり、かついずれの場合もこの状態は飽和度 (S_r) 85~95%、空気間ゲキ率 (v_a) 10~2% の領域の中にはいつている。

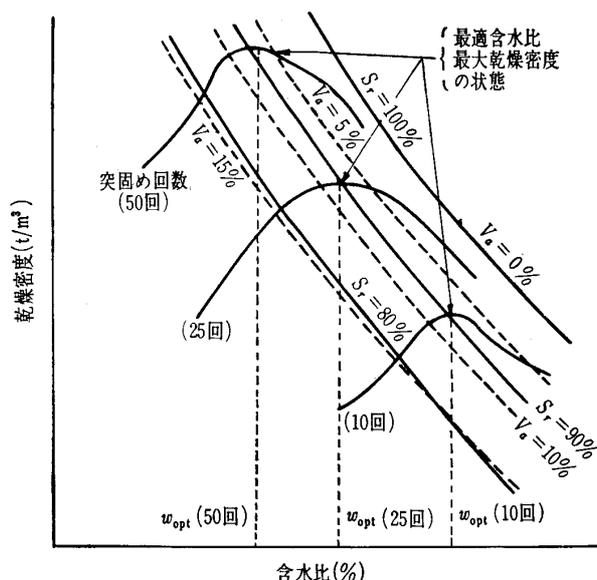


図-1 最適領域の説明図

したがって、後で述べる土の締固めを規定する方式として飽和度または空気間ゲキ率を用いるのは、土を最も安定した状態にするといった意味においては非常に合理的であるといえる。しかし、この方式を用いると図-1 からわかるように一定の締固めエネルギーで土を締固めることにはならず、含水比が低い場合には大きな締固めエネルギーで、含水比の高い場合には小さな締固めエネルギーでよいことになる。これを強度の面から考えれば、含水比の低い場合には必要以上に強いものに、含水比の低い場合にはかなり弱い状態でもよいことになるので、盛土の安定と施工に必要な強度をうるために施工含水比に注目する必要がある。

3. 締固め規定について

道路土工指針²⁾によれば、土の締固めの規定には

- (1) 乾燥密度で規定する方式(基準となる室内締固め試験の最大乾燥密度に対する百分率で締固め後の乾燥密度を規定する方法): 最も一般的に採用されている方式で、基準となる室内締固め試験の最大乾燥密度は、JIS A 1210-1970「突固めによる土の締固め試験方法」によって求め、現場における締固め後の乾燥密度は、その最大乾燥密度の90%以上でなければならない

* 日本道路公団試験所 第一土質試験室室長

と規定するのが普通である。

(2) 飽和度または空気間ゲキ率によって規定する方式：
乾燥密度によって規定する方法はつぎに述べるような土には適用が困難で、そういう場合にはこの方法が便利である。

- i) 自然含水比が、規定された乾燥密度にすることができる含水比よりも高い土。
- ii) 土質の変化が著しく、各種の土が混合していて、その割合が常に変化する場合 締固めの程度は、飽和度の場合には85~95%の範囲に、空気間ゲキ率の場合には10~2%の範囲にはいるようにするのが標準である。

(3) 強度特性によって規定する方式：安定した盛土材料すなわち水の浸入による膨張、強度低下などの少ない材料の場合（岩塊、玉石、砂、砂質土など）は強度特性で締固めを規定することができる。

強度特性としてなにを測定するかについては一般的基準はなく、また各測定法における強度の基準値も一

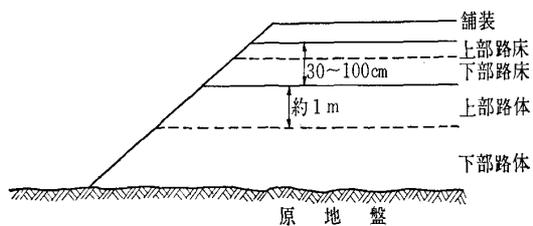


図-2 盛土の構造

表-1 材料および締固め規定（日本道路公団）

区分	規定	材 料		締 固 め		
		最大粒径	粒 度 そ の 他	仕上がり厚	締 固 め	施工時の含水比
路 床	上部路床	10 cm	-4.76 mm : 25 ~ 100% - 74 μ : 0 ~ 25% -420 μ の PI : 10 以下 仕様最小密度における水浸 CBR : 10以上	20 cm 以下	KODAN A 1211 による $\gamma_d \max$ の 95% 以上	最適含水比付近
	下部路床	15 cm	$\frac{-74 \mu}{-4.76 \text{ mm}}$: 50% 以下 -420 μ の PI : 30 以下 仕様最小密度における水浸 CBR : 5 以上	20 cm 以下	KODAN A 1211 による $\gamma_d \max$ の 90% 以上	締固め度および修正 CBR 5 以上を得る含水比
路 体	上部路体	30 cm	水浸 CBR : 2.5 以上	30 cm 以下	KODAN A 1210 による $\gamma_d \max$ の 90% 以上 飽和度 : 85~98% もしくは空気間ゲキ率 : 1~10%	水浸 CBR 2.5 以上を得ることができる含水比
	下部路体	30 cm		30 cm 以下	上部路体と同様	自然含水比

注：KODAN A 1211 は JIS A 1210 の 2.5 に相当。
KODAN A 1210 は JIS A 1210 の 1.6 に相当、ただし試料の最大粒径は 38.1 mm まで許容。

般的標準はないのでおのおのの現場で定めなければならない。

(4) 締固め機種、締固め回数によって規定する方式
土質、含水比のあまり変わらない現場においては、締固め機種と締固め回数によつて締固めを規定することができる。ただしこの場合あらかじめ(1), (2), (3)に述べた規定方式のいずれかを規準としてきめておき、現場締固め試験を行なって、基準とした規定に合格する締固め機種、締固め回数を定めておかなければならない。

(5) 簡単な施工法によって規定する方式
特に締固め程度を規定せず、敷均し時の土工機械の走行による締固めを期待して、まき厚を適当に定め、水平に敷ならして施工することのみを規定する方式などがあるが、それぞれ得失があるので土質、交通荷重などに応じて適当なものを採用すればよいとしている。

上述のように締固め規定方式はいろいろ考えられるが、どの機関でどのような締固め規定が採用されているかはつきりとわからないので、ここでは日本道路公団の道路土工で採用されている締固め規定について述べることにする。

日本道路公団が構築する道路盛土は、図-2 に示すような構成に区分されており、それぞれの構成部分に応じて使用する材料も考慮して締固め規定が設けられている。その概要を材料規定とともに表-1 に示す。

盛土の上部に行くほど交通荷重の影響も大きくなるので、使用材料も良質にし、締固め規定も厳しくなってい

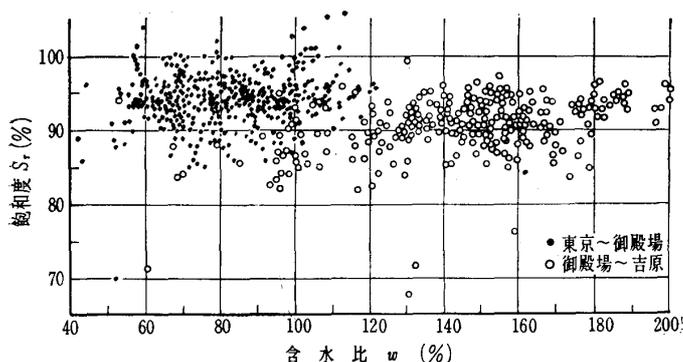


図-3 飽和度-含水比の測定結果 (関東ローム)

る締固め規定方式が適用されることになっており、同時に施工含水比も規制している。

飽和度または空気間ゲキ率による規定の場合の値 (S_r : 85~98%, v_a : 10~1%) が、道路土工指針で標準としているものと少し異なっている。当初の規定は道路土工指針と同一であったが、東名・中央両高速道路建設に際して大量に使用した関東ロームでの土工実績を考慮して変更したものである。関東ロームの場合飽和度または空気間ゲキ率算出の基準となる土粒子の比重や含水比の測定方法に問題があることや、測定値のバラツキなどのために極端な場合には飽和度が 100% 以上になるといった結果がでたりしたこと、またブルドーザによる敷均しと簡単な転圧で上限値を容易に越えてしまうことが多く、転圧の均等性をはかるために上限値を 98% 程度まで広げても極度なオーバーコンパクションにはならなかったことなどが変更の根拠になっている。関東ロームでの飽和度の測定結果の例²⁾ を図-3 に示しておく。

る。一般には前述の(1)乾燥密度による規定方式が適用されているが、路体部では材料規定もかなりゆるく広範囲な土質材料が使用可能であるので、自然含水比が高く KODAN A 1210 (JIS A 1210 の 1.6 に相当、ただし最大粒径を 38.1 mm まで許容) による締固め曲線の最大乾燥密度の 90% の密度に対応する湿潤側含水比以下の含水比にすることが困難な土、または規準となる最大乾燥密度がきめ難い土などの場合には前述の(2)飽和度または空気間ゲキ率によ

つぎに、締固め規定値を再検討してみる必要があると思われる材料試験結果の例を 図-4 に示す。

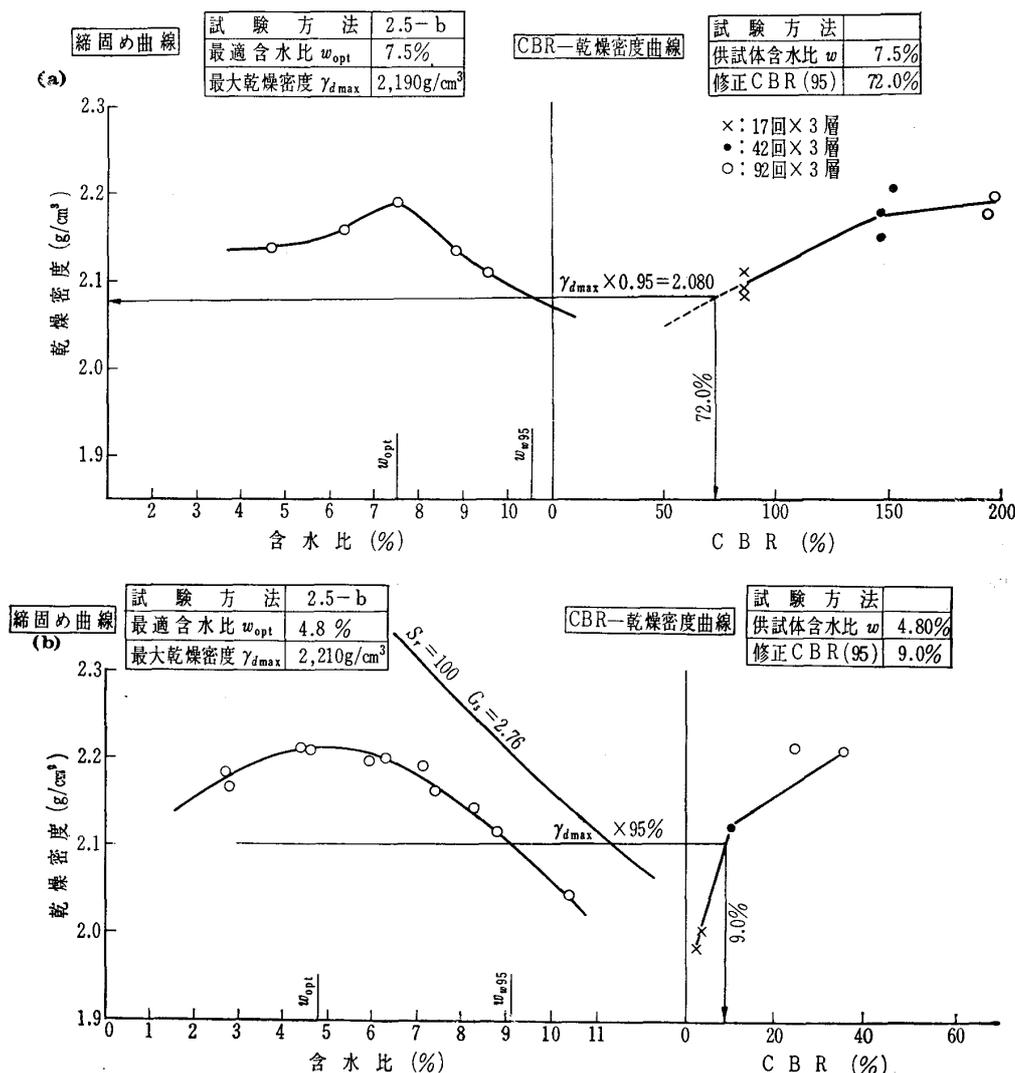


図-4 材料試験結果

図-4(a)の場合材料のCBR値そのものは大きい、比較的小さな締固めエネルギー(JIS A 1211の10回×5層に相当)で最大乾燥密度の95%以上の密度になっているので現場でも比較的容易に締固めることができると想像できること、(b)の場合わずかなエネルギーの増加により密度が急激に増加するので材料のCBR値が小さいこととも関連して使用する個所によって締固め度を95%程度にしておかなければ、将来圧縮沈下が生じる恐れがあることなどが考えられる。

数多くの材料試験を行なっていると上述のようなケースにしばしば遭遇するので、乾燥密度で規定する場合、現在の規定では使用する個所のみで締固め度の規定を設けているが、材料の締固めの難易も考慮した締固め規定にする必要があるのではないかと考える。

また渡部⁴⁾は、主として道路関係での土の締固め特性と管理との関連、管理規定の問題などについて述べられている資料を整理検討した結果、締固め規定についてつぎに述べることを考慮する必要があると提案している。

- (1) 締固め度規定では、最大乾燥密度が大なる土質ほど大なる締固め度が得やすい傾向にある。
- (2) 飽和度、空気間ゲキ率規定のいずれにおいても土質に応じて規格値を考慮する必要があるが、細粒土においては大体一定の値をとることができる。
- (3) 飽和度規定よりは、空気間ゲキ率規定の方が比較的広い範囲の土質について一定の規格値をとることができる。

以上述べたことを考慮して、ここで土の締固めの規準値について再検討する必要がある、と同時に省力化が叫ばれている今日より迅速に締固め度が判定できる試験法を開発する必要があると思われる。

4. 転圧機械について

最近の道路土工の現場をみると転圧機械の利用方法が誤解されていると同時に安易な方向へと流れて行っていると思われるところがあるので、今一度その使用方法を考えてみることにする。

転圧機械は、それぞれの土質に応じて選定し、利用する必要があり、その選定条件としてたとえば道路土工指針⁵⁾によればつぎのように述べられている。

- (1) ロードローラー 主として盛土表層あるいは路盤用として使用される。高含水比の粘質土あるいは均一な粒径の砂質土などには適さない。
- (2) タイヤローラー 砂質土あるいは含水比の少ない粘

表-2 土質条件と盛土の構成部分に応じた締固め機械

盛土の構成部分	土質区分	締固め機械										備考	
		ロードローラー	タイヤローラー 自走式	タイヤローラー 被けん引式	振動ローラー 自走式	振動ローラー 被けん引式	自走式ソイルコンパクター	被けん引式ソイルコンパクター	ブルドーザー 普通型	ブルドーザー 湿地型	振動コンパクター		ランマー・タンパー
盛土	岩塊などで、振削転圧によっても容易に細粒化しない岩				◎	◎					◎	◎	硬岩
	風化した岩、土丹などで部分的に細粒化してよく締固まる岩など	◎	◎	◎	◎	◎	◎				◎	◎	軟岩
	単粒度の砂、細粒分の欠けた切込み砂利、砂丘の砂など		◎	◎	◎						◎	◎	砂 レキ混じり砂
路体	細粒分を適度に含んだ粒度のよい締固め容易な土、マサ、山砂利など	◎	◎	◎	◎	◎					◎	◎	砂質土 レキ混じり砂質土
	細粒分は多いが鋭敏性の低い土、低含水比の開東ローム、くだけやすい土丹など	◎	◎				◎	◎				◎	粘性土 レキ混じり粘性土
	含水比調節が困難でトラフィカビリティが容易に得られない土、シルト質の土など								●				水分を過剰に含んだ砂質土
路床路盤	開東ロームなど、高含水比で鋭敏性の高い土								●	●			鋭敏な粘性土
	粒度分布のよいもの	◎	◎				◎				◎	◎	粒調材料
裏込め	単粒度の砂および粒度の悪いレキ混じり砂、切込み砂利など	◎	◎				◎				◎	◎	砂 レキ混じり砂 (ドロップハンマーを使うこともある)
	砂質土		◎	◎	◎						◎	◎	
ノリ面	粘性土		◎	◎	◎			◎	◎		◎	◎	(*メッシュローラー)
	鋭敏な粘土、粘性土									●	◎	◎	

- ◎：有効なもの
- ：使用できるもの
- ：トラフィカビリティの関係で他の機械が使用できないので止むを得ず使用するもの
- ◎：施工現場の規模の関係で、他の機械が使用できない場所のみ使用するもの

質土・粘土の盛土の締固めに使用される。被けん引式のもの傾斜面または含水比の高い粘質土の締固めに使用される。

- (3) タンピングローラー 土質の変化に応じた突起の形状が選定される。レキまたは風化岩の混入した土には突起の長いもの、粘質土には突起の短いものが選ばれるが、表層の締固めには適さない。
- (4) 振動ローラー 主として砂または砂質土の締固めに適する。小型のものは裏込めの締固めに適する。
- (5) 振動コンパクター 主としてレキまたは砂質土の締固めに適し、裏込めなどの局所の締固めに用いられる。
- (6) ランマー せまい部分の締固め、あるいは盛土ノリ面の締固めに使用される。
- (7) ブルドーザー 路体などの締固めに使用されることも多い。

以上のように土質に応じて転圧機械を使いわけが必要であるのに最近では、かつて名神・東名高速道路建設時にはどの土工現場に行っても転圧機械としてはなやかに活躍していたローラ類が影をひそめ、これに代ってブルドーザ類が頭を持ち上げている。もともとブルドーザ類は、はん用の転圧機械として開発された施工機械ではないはずである。そのブルドーザ類が“ブル転”という言葉を生み、転

圧機械として脚光をあびはじめたのは、関東ローム地帯での東名・中央両高速道路建設に際してである。関東ローム地帯では、トラフィカビリティの関係で他の転圧機械の使用が不可能であったため止むを得ずブルドーザによる転圧を行なって盛土を築造した。ブルドーザは、一般の土砂はもちろん、かなり軟弱な土質でも走行が可能であるので非常に利用しやすい機械である。この利用の簡便さのため、誤ってどのような土質にもブル転圧は有効であると意識され、それが宣伝されたために最近では一般には不適であるとされている土質でもブル転圧を行ないそれで良しとしているのではないだろうか。

しかし完成した盛土の長期安定性などを考えると、それぞれの土質条件に応じた転圧機械で十分転圧する必要があると考えられるので、ここで今一度原点に戻り転圧機械の選択について検討する必要がある。その検討の手助けとなるとされる資料⁶⁾を表-2にあげておく。

これは日本道路公団が、土の締固めについて(勘)高速道路調査会に調査研究を委託してその答申として得られたものである。

5. 品質管理について

土の締固めの規定方式については3. で述べたようにい

ろいろな方式があり、中でも現在最も多く用いられているのは乾燥密度(締固め度)で規定する方式である。締固め度で規定する場合その基準として“……, その最大乾燥密度の○○%以上でなければならない。”すなわち○○%以上という表現がとられるのが一般的である。このように管理の基準値として最低値を定め、それ以上という表示がとられているため、検査の際合格・不合格の判定にのみとられて(一般に土の締固めは、検査で不合格の場合再転圧で基準値に合格させることは可能であるが)、品質管理の本来の目的からはずれてしまい、密度の測定はたんに試験のための試験になってしまっている例が多く見受けられる。

本来の意味での品質管理を考えた場合、下限値が定められたとき平均値はどの程度を目標とすべきなのだろうか。この問題を考えるため、つぎに東名高速道路で行なった品質管理試験の結果を整理した2, 3の例を図-5に示す。転圧は①の場合25tタイヤローラーで6~8回、②では12tタイヤローラーで9回、③では15tタイヤローラーで5~6回行っている。土の締固めは、材質、含水比によって左右されるので材料試験結果を表-3に、密度測定時の含水比を図-5に併記しておく。

この例では材質や含水比のバラツキを考えると比較的良

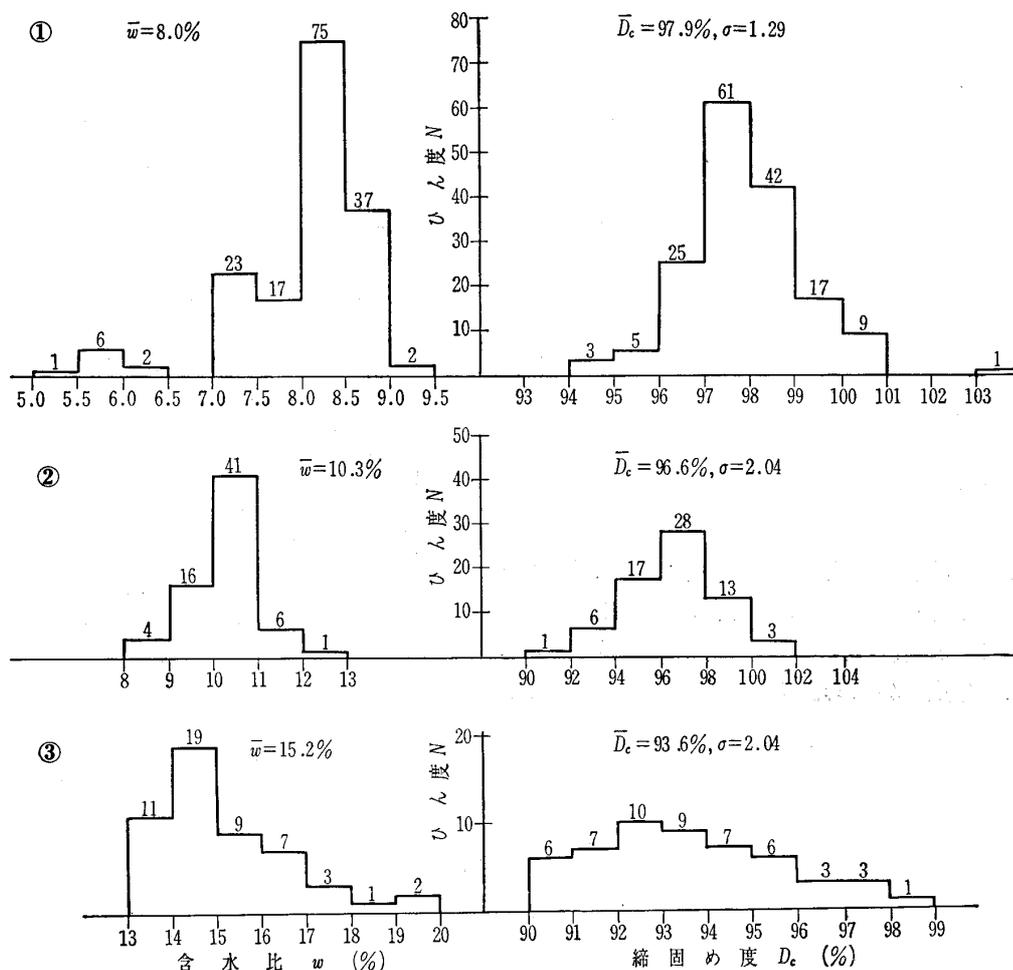


図-5 品質管理試験結果(下部路床)

表-3 材料試験結果

試料番号		1	2	3
フルイ分け試験 (%)	38.1	83~95	88~93	80
	19.1	61~86	77~78	60
	9.52	48~75	60~65	46
	4.76	37~66	42~55	35
	2.00	28~57	35~42	28
	0.42	9~28	22~24	19
	0.074	2~12	11.1~14.1	3.8
液性限界 (w_L)	—	31.4~38.6	31.5	
塑性指数 (I_P)	N.P	11.3~14.4	10.4	
最適含水比 (w_{opt}) %	6.3~8.0	6.3~7.8	13.3	
最大乾燥密度 ($\gamma_d \max$)	2.156~2.209	2.130~2.170	1.876	

好に施工管理が行なわれたものと思われる（いずれも締固め度については正規分布をしているとみなしてもよさそうである）。なおこの例の施工部分は、日本道路公団の道路での下部路床で、締固め規定値は90%以上である。

同様に下部路床部分のデータを整理し計算した結果（9種類）、標準偏差 σ は 1.28~2.34 で材質、転圧機種・回数との相違など無関係に単純に標準偏差の平均を計算すると 1.90 になる（重いローラーで数多く転圧した方が平均値は大きく標準偏差は小さいという傾向がある）。

以上説明した東名高速道路の下部路床の施工管理試験結果を用いて目標とすべき締固め度の平均値を考えてみることにする。

下限値が定められたとき、目標とすべき平均値と下限値との間にはつぎの関係がある。

$$m = S_L + u \cdot \sigma \dots\dots\dots(1)$$

- m : 平均値
- S_L : 下限値
- u : 正規偏差
- σ : 標準偏差

正規偏差は下限値を割る確率（危険率）が 0.1% のとき 3.09, 5% のとき 1.64, 10% のとき 1.28 である。

(1)式を用いて東名高速道路での結果を下限値が90%として計算すると、危険率が 0.1% すなわちほとんどすべてが

表-4 目標とすべき締固め度

土質名	0.9+3 σ	0.9+1.6 σ
シルト質粘土ローム シルト質ローム	1.05	0.98
粘土質ローム	1.04	0.98
砂質ローム	0.98	0.94
砂質粘土 砂質粘土ローム	1.01	0.96
砂	1.05	0.98

締固め度90%以上であるためには目標とする平均値は94~97.2%, 平均的には95.9%としなければならない。危険率を5%とすれば92.1~93.8%で平均的には93.1%, 危険率を10%とすれば91.6~93.0%, 平均的には92.4%でよいことになる。

同様な趣旨で伊勢田⁷⁾は、建設省関係の主として道路盛土の路体の施工管理状態76ケースの資料を整理検討し表-4のような結果を示している。

以上の結果によれば道路土工における締固め度の目標値は、不合格率を5%としたとしても下限値を数%上回る値におく必要があり、不合格率をほとんど0にするためには10%以上もうわ回らなければならないことになる。

6. あとがき

道路土工の締固めについて主として締固め方式と品質試験の問題点とそれに対処する方法について述べたが、筆者の浅学非才のため、説明不足や独断のところがあられる。読者諸賢のご批判とご叱責をいただければ誠に有難いと考える。

参考文献

- 1) 道路土工指針（改訂版）p. 46, 日本道路協会 S. 48. 6.
- 2) 1)と同じ p. 46~47
- 3) 高速道路調査会編：関東ロームの土工 p. 237, 共立出版 S. 48. 8.
- 4) 渡部務：土工における締固め管理規定の問題，土木技術資料 Vol. 9, No. 12, p. 12~16, 土木研究会 S. 42. 12.
- 5) 1)と同じ p. 146.
- 6) 締固め研究班：土の締固めに関する調査研究報告書 p. 26, (財)高速道路調査会 S. 47. 2.
- 7) 伊勢田哲也：土工における締固め密度のパラッキについて，土木技術資料 Vol. 8, No. 8, p. 27~32, 土木研究会 S. 41. 8. (原稿受理 1974. 1. 29)

※

※

※