

論文

衝撃加速度法による林道盛土の締固め度の推定 (I)\*  
— マサ土の場合 —

宮田 和 夫\*\*

Estimation of Degree of Compaction in Forest Road  
Embankments by the Impact Acceleration Method  
( I )\*  
— In the Case of Decomposed Granite Soil —

Kazuo MIYATA\*\*

Summary

An impact acceleration meter, a new simple and portable instrument to measure degree of soil compaction, was compared with a conventional CBR test in decomposed granite soil and other soil types. This measuring instrument is a 4.5 kgf weight cylinder with an acceleration meter inside which has a circular impact contact face of 5 cm diameter. This cylinder was dropped on compacted soils from a height of 45 cm. The results were as follows :

(1) Correlation between CBR and impact acceleration recurs as a linear equation in decomposed granite soil in Misasa (university forest) and Chizu (national forest), and in volcanic ash soil in Hiruzen (university forest). However, the power function regression is also obtained as an empirical equation which closely resembles the regression factors. It was concluded that the gradient of linear equation neglecting the constant term is useful for comparing differences of soils.

(2) Examined in detail, the gradient of linear regression between CBR and the impact

---

\* 本研究の一部は第104回日本林学会大会で口頭発表した。

\*\* 鳥取大学農学部 農林総合科学科 森林生産学講座

Department of Forestry Science, Faculty of Agriculture, Tottori University

acceleration of low CBR value under 10% was by far steeper than that of the high CBR value.

(3) In soils of paddy fields and farms, the linear correlation between dry density and impact acceleration was estimated. However because of the differences of specific density, linear equations differed in the two soils.

(4) It was proved that the moisture content at the time of compaction when the highest impact acceleration was observed was 2, or 5 % less than the optimum moisture content. The same trend has already been reported between CBR and optimum moisture content. However it is not clear whether water content at the time of compaction are equal when the peak impact acceleration and peak of CBR appear.

## I 序 論

盛土の締固め度を測定する方法としては、締固め度や間隙率等の盛土の締固め状態を規定する方式と支持力等の盛土の力学的強度を測定する方法とがある。前者の締固め状態を規定する方法では、砂置換法が代表的な方法であるが、多くの人手を要し、また結果が得られるまで時間を要するため、施工にフィードバックされていない。ラジオアイソトープ法は便利であるが試験機が高価で林道現場などでは用いがたい。強度管理試験には、平盤載荷試験や現場 CBR 試験などの方法があるが、土を積んだトラックのような大きな反力を要し、また測定に多大な労力と時間が必要で、迅速性に欠けるため林道現場で使われることは少ない。このため筆者は、前報<sup>3)</sup>で土の締固め度推定が一人で迅速に試験できその場でフィードバックできかつ非破壊的な方法として衝撃加速度法を提案し、火山灰質粘性土について、衝撃加速度と道路舗装などに使われることが多くデータが蓄積されている CBR 値とを比較し、両者が線形関係にあることを報告した。この関係が他の土質についても成立するかどうかを試験するため、今回は中国地方や関西地方に多く、火山灰質粘性土に比べて粒径の大きいマサ土を中心に、若干他の土についても調査したので報告する。衝撃加速度法とは、物体を自由落下させ地面に衝突したときに受ける衝撃加速度が、地盤の強さに関係するものと考え、締固め強度を推定する方法である。

## II 試料採取地及び試験方法

### 1. 試料採取地および採取土の性質

マサ土を採取したのは、鳥取県東伯郡三朝町大谷の鳥取大学三朝演習林及び鳥取県八頭郡智頭町芦津の国有林内で、両者とも林道の切り取りのり面下部に崩落した土である。基岩はどちらも中粒の黒雲母花崗岩である。マサ土の粒径加積曲線を図 1 に、最適含水比、最大乾燥密度等を表 1 に示す。また低 CBR 域での CBR と衝撃加速度の関係を精査するため、鳥取市湖山町南の鳥取大学構内の畑と水田の土を深さ約 10cm の所から採取した。その最適含水比、最大乾燥密度を表 2 に示す。前報<sup>3)</sup>と同じ岡山県真庭郡川上村上徳山の鳥取大学蒜山演習林の火山灰質粘性土も使用した。

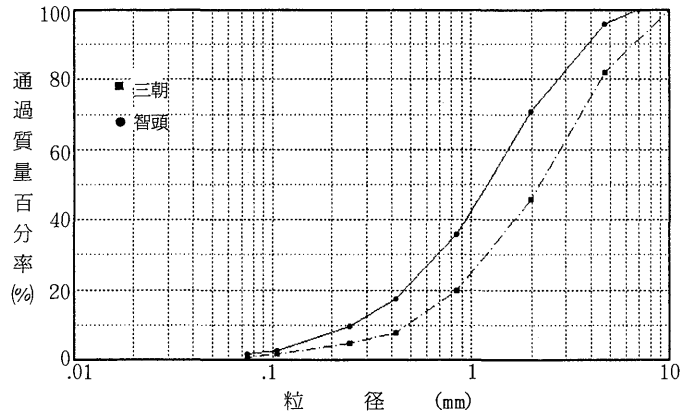


図1 粒径加積曲線

表1 マサ土の最適含水比と最大乾燥密度

採取地	自然含水比(%)	最適含水比(%)	最大乾燥密度(g/cm <sup>3</sup> )
三朝	20.2	14.8	1.828
智頭	16.8	14.2	1.846

表2 水田土と畑土の最適含水比と最大乾燥密度

採取場所	最適含水比(%)	最大乾燥密度(g/cm <sup>3</sup> )
水田	30.6	1.385
畑	23.2	1.594

## 2. 試験方法

マサ土と火山灰土の締固めには、4.5kg重のランマーと15cmの内径のモールドを用い、5層に分け、45cmの高さから1層当たり55回落下させて突固める締固め方法、すなわち土質工学会基準のDc法<sup>1)</sup>を用いた。同一締固め度の土はそのまま非水浸の状態の供試体と、突固めた後96時間水浸し吸水膨張させた供試体の2種類を作り比較試験を行なった。さらに低CBR域を精査する目的で、有機物を多く含み比較的柔らかい畑土および水田土を用いる試験を行なった。締固めは3層に分け、締固め荷重1, 2, 3, 4, 5 kgf/cm<sup>2</sup>の低荷重で、5, 10, 100回の繰り返し载荷を加える低締固めの供試体を試験した。

衝撃加速度は、重さ4.5kgf、底面の直径5cmの加速度計を内蔵した円筒を、高さ45cmから自由落下させ、円筒が締固め土と接触したときの衝撃加速度を測定した。衝撃加速度の単位は重力の加速度Gで表示した。

### III 結果および考察

#### 1. マサ土のCBRと衝撃加速度との関係

マサ土のCBRと衝撃加速度の相関を図2に示す。CBR試験は0.0017cm/secの速さで貫入させる準静的な試験であるのに対して、衝撃加速度試験は297.0cm/secの速さで衝突させる動的な試験であり、排水の遅れの影響で水浸試料と非水浸試料で回帰に差があるかどうかを検討したが、有意な差はみられなかった。採取地による差も見られないので、図2のように同一図に表わした。直線回帰とベキ関数回帰を行なったが、相関係数は近似していた。

次にマサ土と既報の火山灰質粘性土<sup>3)</sup>との比較を試みた。ベキ関数回帰では定数が二つあり比較しにくいので、回帰直線の定数項を無視して勾配を比較すると、火山灰質粘性土は既報<sup>3)</sup>のごとく1.94であるのに対して、マサ土では1.61であった。マサ土ではCBR 10~20%のときの衝撃加速度がやや大きいこと、CBR 80%近傍でやや小さいことが影響を及ぼしているものと思われる。苗村らの実験<sup>4)</sup>では落下高など衝撃加速度の測定法には筆者のものと若干違うが、現場

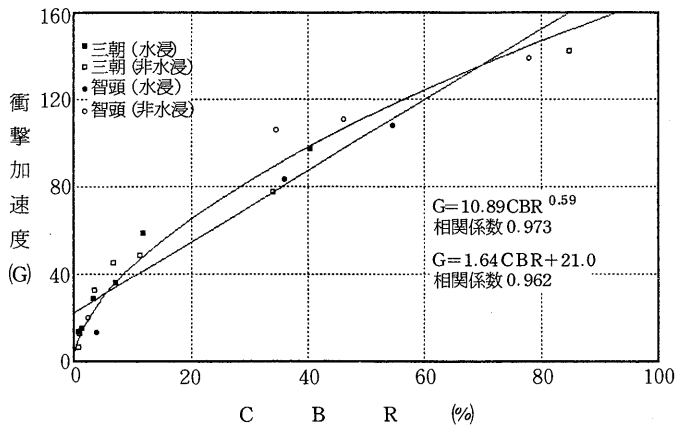


図2 マサ土のCBRと衝撃加速度の相関

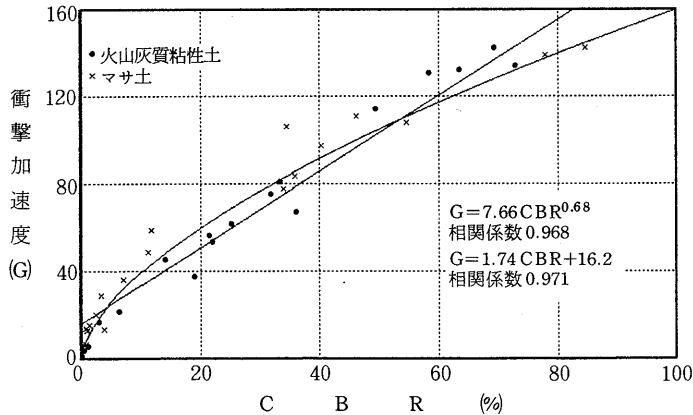


図3 マサ土と火山灰質粘性土のCBRと衝撃加速度の相関

CBRと衝撃加速度の関係を直線回帰し、1.932の勾配を得ている。マサ土と火山灰質粘性土の両者をまとめて示した CBRと衝撃加速度の関係は図3のようになる。回帰直線の勾配は1.74と両者の中間の値を示している。相関係数は0.971と高く、土質の違いにかかわらず一つの回帰線で近似して良さそうである。

## 2. 低 CBR 域における CBR と衝撃加速度の関係

図2、図3において、CBRと衝撃加速度との関係を詳細にみれば、CBR 10%以下では急勾配になっていること、回帰直線の切片が大きくプラスになっていることに気付く。このことをさらに詳細に調べるため、マサ土と火山灰質粘性土の低 CBR のデータに低締固めの水田土および畑

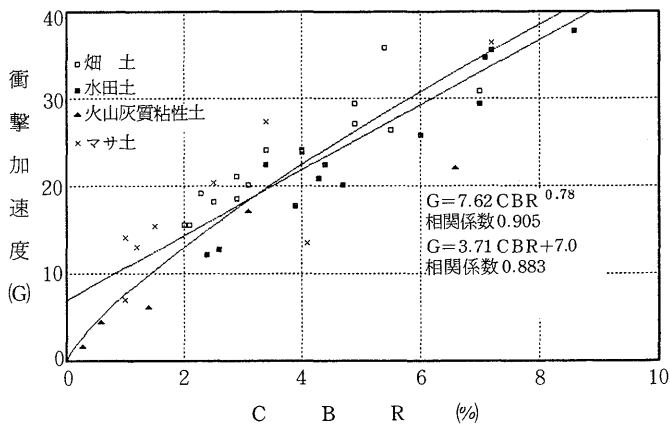


図4 低 CBR 域での CBR と衝撃加速度の相関

土の資料を加え、10%以下の CBR 値と衝撃加速度の関係を見たのが図4である。回帰直線の勾配は3.71と高 CBR 域の1.61~1.94より明らかに大きい。このことは CBRと衝撃加速度の関係は CBR 10%以下の軟弱土とそれ以上の普通土は別の線形で表わしたほうが良いことを示している。この低 CBR 域の直線回帰式においても切片はかなり大きく、CBR 2~3%以下でさらに急勾配になっているのがみられる。このことは低 CBR 域においては衝撃加速度測定法の方が CBR 測定法より値の変化が大きく締固め時含水比に対して鋭敏に反応することを意味している。しかし軟弱な土では、供試体の乱れの影響や CBR 試験の測定誤差が入りやすいので、CBR が2ないし3%以下の軟弱な土の場合は、CBR 試験を適用しない方が良いという指摘があり<sup>2)</sup>、衝撃加速度も同様に考えられるので、CBR 3%以下での衝撃加速度との関係の有効性は疑わしい。畑土は回帰線より上に、水田土は回帰線より下に多く散布する傾向がみられるが、その理由はわからない。

## 3. 衝撃加速度と乾燥密度の関係

衝撃加速度と乾燥密度の関係を知るため、水田土と畑土の低 CBR 域における衝撃加速度と乾燥密度の相関をみたのが図5である。水田土と畑土では土粒子の真比重が違い真比重は乾燥密度に影響を与えるので、真比重の大きい畑土の方が水田土より上方にくる。しかし両者とも直線関

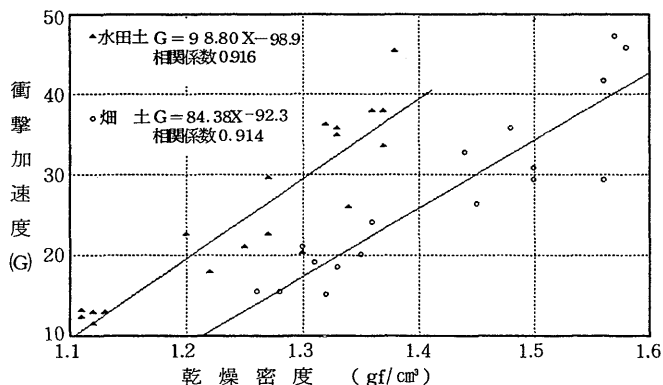
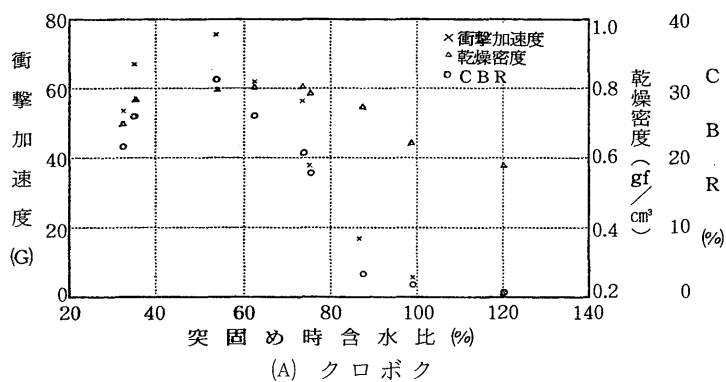


図5 乾燥密度と衝撃加速度の相関

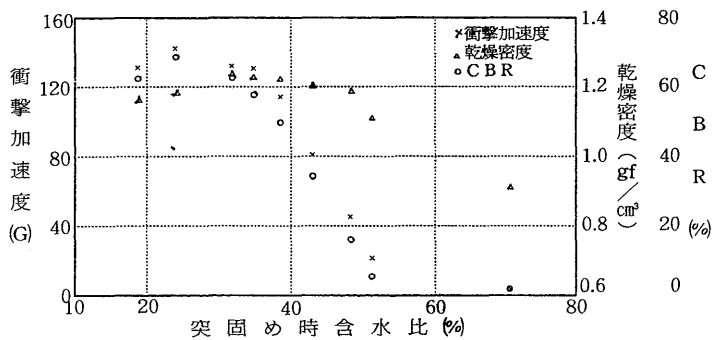
係にある。この直線回帰式では切片が水田土・畑土とも $-90$ 以下と非常に大きな値であり、この回帰線で推算すると、水田土では乾燥密度が $1.00\text{gf}/\text{cm}^3$ で、畑土では $1.09\text{gf}/\text{cm}^3$ で衝撃加速度は $0$ となるが、これらの土では乾燥密度 $1.0\text{gf}/\text{cm}^3$ 以下になることは有り得ず、この図の範囲内で比例すると考えて良い。

#### 4. 突固め時の含水比と衝撃加速度、CBR および乾燥密度の関係

突固め時の含水比と衝撃加速度、CBR および乾燥密度の関係を火山灰質粘性土（クロボク及び赤褐色粘性土）についてみると、図6のようなになる。突固め時の含水比と乾燥密度との関係



(A) クロボク



(B) 赤褐色火山灰質粘性土

図6 突固め時含水比の違いによる衝撃加速度・CBR・乾燥密度の変化

を求める方法は最適含水比・最大乾燥密度を求める方法と同じである。クロボクおよび赤褐色粘性土とも含水比と乾燥密度関係は、ピークは高原状で見定めにくい火山灰質粘性土の典型的な形<sup>1)</sup>を示しているが、クロボクでは最適含水比はほぼ60%前後と推定されよう。これに対して衝撃加速度とCBR値のピーク値は、含水比55%付近で現われ、最適含水比より5%程度低い含水比で出現していることになる。赤褐色の火山灰質粘性土では、最適含水比は33~34%にあるが、衝撃加速度のピークは30%前後に、CBR値の最大値は含水比28%付近で現われている。上東<sup>5)</sup>は現場CBRの最大値は最適含水比より2~6%低い含水比で現われるとしているが、衝撃加速度も同様の傾向を示すものと思われる。しかし衝撃加速度とCBR値の最大値を示す締固め時の含水比が同じであるかどうかについては、さらに検討を要する。

#### IV まとめ

1) マサ土のCBR値と衝撃加速度の間には直線関係が認められた。しかし前報の火山灰質粘性土と勾配が若干異なっておりさらに検討を要するが、両者を合わせて回帰した結果も大きい相関係数が得られ、土質によらず、同一の回帰式で表しても良いと思われる。ベキ関数回帰も直線回帰と同様大きい相関が得られたが、土質の違いによるCBRと衝撃加速度との比較のためには、直線回帰の勾配を用いて比較するのが便利だと思われる。

2) CBR値10%以下の低CBR域でCBRと衝撃加速度の直線回帰を行なったところ、勾配は高CBR域よりもはるかに急になった。従ってCBR値と衝撃加速度の関係はCBR10%以上の土と10%以下の柔らかい土に分け、2本の直線で回帰すべきだと考えられる。CBR値3%以下の一段と低いCBR域では、さらに急勾配になっているのがみられるが、その領域における測定値の有効性についてはわからない。

3) 水田土と畑土の乾燥密度と衝撃加速度との間に直線関係が認められた。ただ乾燥密度は土粒子の真比重の影響を受けるので、真比重の異なる畑土と水田土は異なった線形関係を示す。

4) 締固める時の含水比と衝撃加速度及び乾燥密度の関係から、衝撃加速度のピークは、最適含水比より低い含水比のところで現われることがわかった。CBRのピークも同様に、最適含水比より低い含水比で現われる。ただCBRと衝撃加速度のピークが同じ含水比で現われるかどうかについては、さらに検討を要する。

#### 謝 辞

本研究の調査・測定に際し安嶋公平君、安井貴彦君の協力を得た。また農地工学専攻学生桑村紀幸君の実験成果を参考にさせていただいた。これらの諸君に対し厚くお礼申し上げる。

#### 引用文献

- 1) 土質試験法 (第3回改訂版) 編集委員会編: 土質試験の方法と解説, 土質工学会, 東京, pp. 201~214 (1990)
- 2) 巻内勝彦: CBR試験, (木村孟・日下部修編: 新土木実験指導書 土質編), 技報堂出版,

東京, pp. 259~270 (1993)

- 3) 宮田和夫：林道の地盤強度に関する研究（Ⅱ）衝撃加速度による砂利敷林道の支持力の推定, 103日林論, pp. 609~610 (1992)
- 4) 苗村正三・田中貢・嶋田功：新しい計測機を用いた盛土の締固め管理, 土木技術資料 32-5, pp.55~60 (1990)
- 5) 上東公民：現場締固めの施工, (土質工学会編：土の締固めと管理), 土質工学会, 東京, pp. 81~155 (1991)