

## 新技術開発探訪

# 衝撃加速度による盛土の品質管理方法

—迅速，簡易，安価に盛土の品質を管理—

## 1. はじめに

土工の品質管理は、一般土砂による盛土では砂置換法やRI法による密度管理が、固化材により改良した材料による盛土では、投入した固化材量や盛土からサンプリングした材料の強度により管理するのが一般的である。しかし、これらの方法では、結果の判明まで時間を要したり、コストが高かったりするなどの課題がある。

そこで、盛土の品質を迅速，簡易，安価に測定して判断できる衝撃加速度試験機を開発した。

## 2. 衝撃加速度と衝撃加速度試験機

物体が地面に衝突してから静止するまでに、その物体に負の加速度が働く。図-1に示すように、ある物体を自由落下させたとき、この物体が地盤に接地してから静止するまでの加速度は、次式で示される。

$$\text{衝撃加速度} = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{式-1})$$

ここで、 $V_1$ ：物体が地面に接地したときの速度

$V_2$ ：物体が地面に静止したときの速度

$t_1$ ：物体が地面に接地したときの時間

$t_2$ ：物体が地面に静止したときの時間

$V_2, t_2 = 0$  なので、物体には負の加速度が働く。

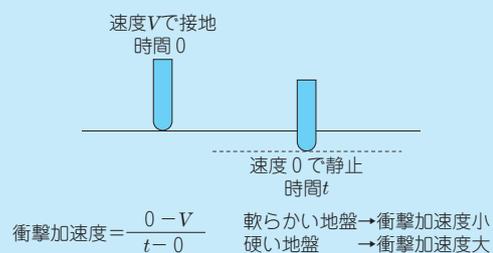


図-1 衝撃加速度の原理

軟らかい地盤では、物体が地面に接地してから、静止するまでの時間が長いため、負の衝撃加速度は小さくなる。固い地盤では、物体が地面に接地してから、静止するまでの時間が短いため、負の衝撃加速度は大きくなる。すなわち、締固め良好な地盤では、抵抗力が大きく、負の衝撃加速度は大きくなり、締固め不良な地盤では、抵抗力が小さく、負の衝撃加速度は小さくなる（図-2）。この原理を利用して、盛土の強度を衝撃加速度で測定するため、寒地土木研究所寒地地盤チームでは、写真-1，図-3に示す試験機を開発

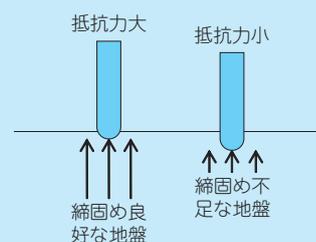
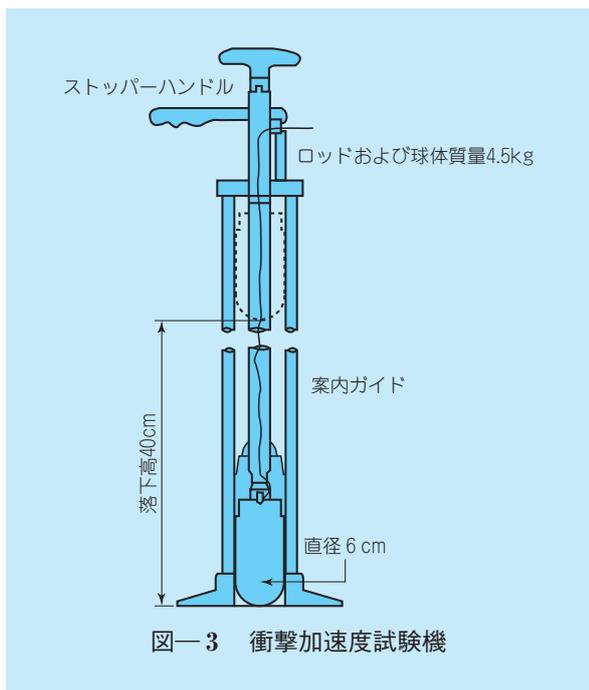


図-2 地盤の強度



写真一 衝撃加速度試験機



図一 衝撃加速度試験機

した（1995年12月8日登録特許第1995981号）。

この試験機は、3本の支柱に圧電型加速度計を内蔵したランマーを取り付けた形式である。ランマーの断面形状は直径6cmの半球状、重量は、ロッドを含めて4.5kgで、ランマーの落下高さは40cmである<sup>1)</sup>。写真一2に示すように、地盤の衝



写真二 衝撃加速度測定状況

撃加速度の測定は、ハンドルを引き上げ、ランマーを自由落下させて行ったときのピーク値が計測器に画面表示させ、プリンターにより出力できる。

### 3. 従前の盛土の品質管理方法

道路および河川の盛土（以下「盛土」という）の品質管理は、締固め度や強度による方法で行う。

締固め度管理は、施工後の盛土の密度を砂置換法やRI法により測定し、盛土材料の最大乾燥密度に対する割合である締固め度を求め、基準値以上であれば、盛土を合格とする方法である。砂置換による方法は、比較的簡単であるという利点があるが、結果の判明までかなりの時間を要する。RI法は、結果は短時間で判明するが、試験器が比較的重く高額であり、維持管理費も必要である。

強度による方法は、盛土の品質を球体落下試験によるD値<sup>2)</sup>や一軸圧縮強さを測定して管理する方法である。北海道には一部の火山灰土や砂質土において、締固め試験で明確な最大乾燥密度を得ることのできない場合があり、このような材料による盛土に対してD値により品質管理する（北海道開発局道路・河川工事仕様書）。

また、盛土材料が軟弱であるため、そのまま盛土材とすることができない材料に対しては、セメントや石灰などの固化材により改良して、盛土材とする。このような盛土に対して、改良に必要な固化材量を管理する方法や一軸圧縮強さを測定し品質を管理する。投入する固化材の量で管理する場合、養生温度や混合状況、現場での強度条件を考慮する。このため、投入量と現場の強度が必ずしも一致するとは限らないことから、投入する固化材量が多くなりがちである。また、盛土の一軸圧縮強さを測定するためには、現場よりサンプリングした材料の試験となるため、多額の費用と時間を必要とする。

このほかの方法として、現場の盛土施工時に作製した供試体を所定の時間、室内で養生してから

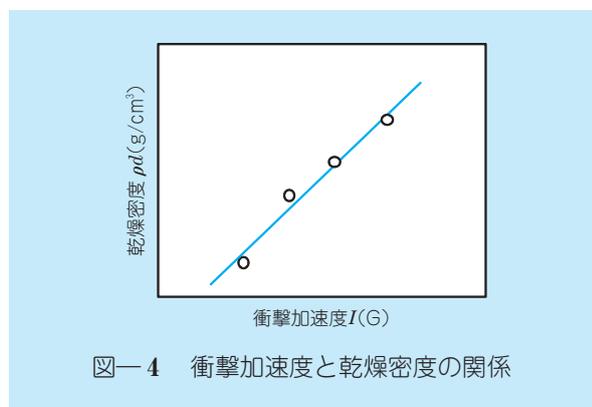
一軸圧縮強さを求め、これにより管理する方法がある。しかし、この方法では室内と現場で養生方法や締め固め方法が異なるため、室内強度が必ずしも現場強度となるわけではない。

以上の課題を解決するために、迅速、簡易、安価に盛土の品質を管理する方法を提案するために、衝撃加速度試験機を開発し、これによる盛土の品質管理方法を提案した。

#### 4. 衝撃加速度による盛土の品質管理方法

##### (1) 締め固め試験で明確な最大乾燥密度が得られる材料による盛土

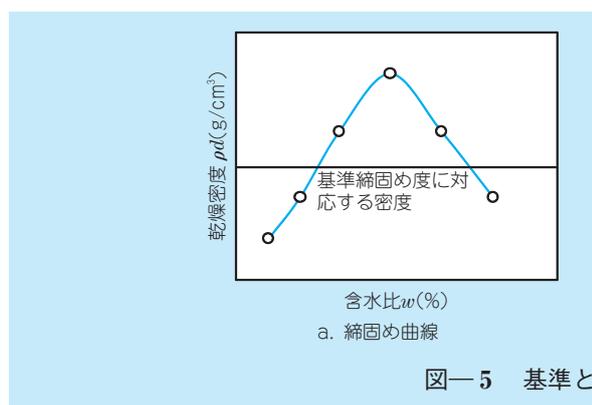
衝撃加速度と乾燥密度は、図一4の例に示すように、相関性の良い比例関係にある。北海道内の125試料について衝撃加速度と乾燥密度の関係を調べた<sup>3)</sup>ところ、101試料、全体の80%がこの関係にあった、これより、衝撃加速度から乾燥密度を推定し、締め固め度を求める方法を盛土の品質管理方法とした。



図一4 衝撃加速度と乾燥密度の関係

具体的な方法は次のとおりである。

##### ① 衝撃加速度と乾燥密度の関係を求める



盛土材料について、2.5kgランマー、15cmモールドを使用し、密度を変えた供試体を作製し、衝撃加速度を求める。密度を変えるために、1層当たりの突き固め回数を10、25、40、55回の4種類として、3層締め固める。衝撃加速度は、モールドの表面で4点求め、平均値をそれぞれの供試体の衝撃加速度とする。

##### ② 基準となる衝撃加速度を求める

図一5に示すように、衝撃加速度と乾燥密度の関係から、基準締め固め度に対応する密度となる衝撃加速度を求め、これを基準衝撃加速度 $I_0$ とする。

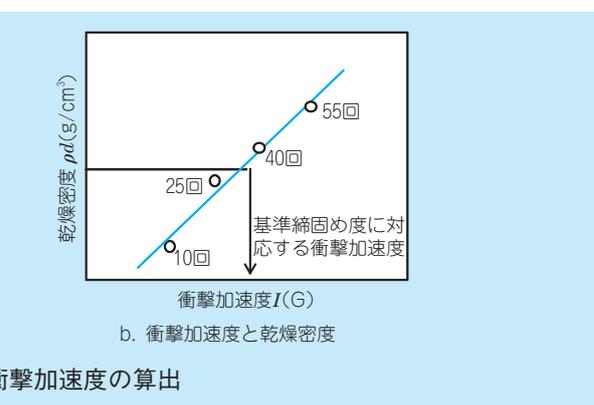
##### ③ 盛土現場で衝撃加速度を測定する

測定に当たっては、1m×1mの範囲内で衝撃加速度を10点測定する。10点の中で、測定値の大きい方から2点、小さい方から2点を除いた残り6点の平均値を盛土の衝撃加速度とする。この衝撃加速度が $I_0$ よりも大きい場合、盛土を合格とする。

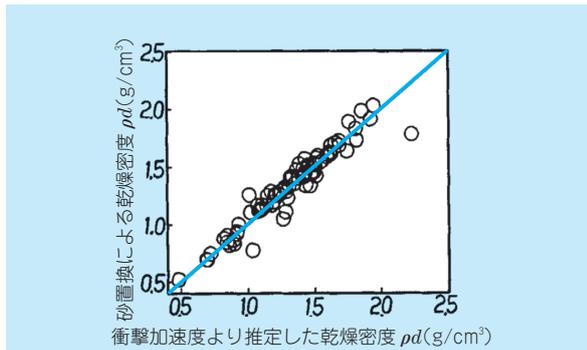
室内試験から推定した衝撃加速度と施工後の盛土の衝撃加速度を比較するため、北海道内の101カ所の盛土施工現場で、砂置換法により乾燥密度と衝撃加速度を求めた。この衝撃加速度から、図一5b.の関係を用いて推定した乾燥密度と、砂置換により求めた密度の関係を図一6に示す。ほとんどの試料で、衝撃加速度から推定した密度と砂置換により求めた密度とが等しく、衝撃加速度により、盛土の品質管理を行うことの妥当性が確認されている。

##### (2) 締め固め試験で明確な最大乾燥密度が得られない材料による盛土

北海道には、砂質土や一部の火山灰の中には、

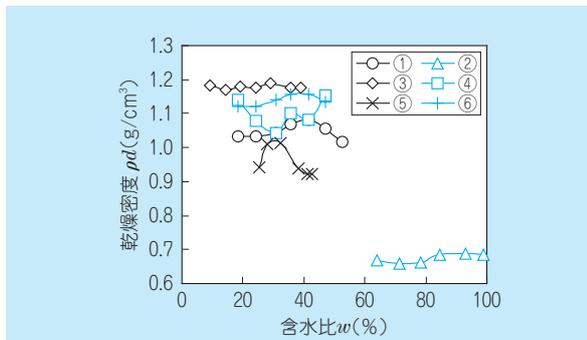


図一5 基準となる衝撃加速度の算出



図一六 盛土の衝撃加速度から推定した乾燥密度と砂置換により求めた密度の関係

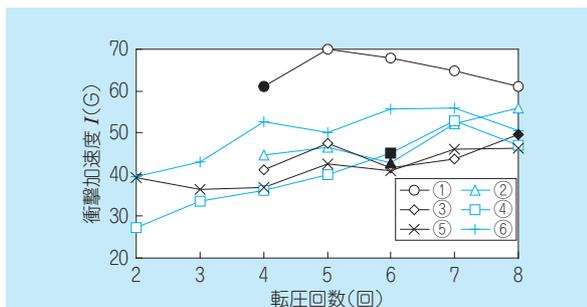
図一七に示すように、締固め曲線において、明確な最大乾燥密度を得ることのできない材料がある。このような材料を盛土材とする場合は、締固め度管理を適用できない。



図一七 火山灰の締固め曲線の例

このような材料による盛土に対して、衝撃加速度による盛土の品質管理を行うために、転圧試験を行った。図一八は、現場で転圧試験を行ったときの転圧回数と衝撃加速度の関係を示したものである。①を除いて、転圧回数を大きくすると衝撃加速度は大きくなっており、強度が増加している。

図中の黒塗りは、実際に施工を行った転圧回数



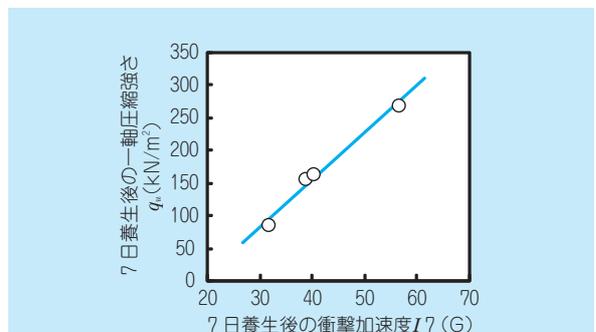
図一八 転圧回数と衝撃加速度の関係  
黒塗りは、本施工時の転圧回数と衝撃加速度

と衝撃加速度を示したものである。これらの箇所では、施工後変状がなく盛土の安定性を確認している。②では6回転圧で42Gであったが、その他の転圧回数では45G以上であった。①、③、④では、45G以上で転圧した。このことより、衝撃加速度がおおむね45G以上あれば、盛土としての品質は確保できると判断した。なお、転圧回数が少ないと盛土の品質のばらつきが大きくなることから、これまでの検討<sup>4)</sup>により転圧回数を4回以上とする。これより、明確な最大乾燥密度を得ることのできない材料に対して、盛土の品質管理は、4回以上の転圧を行い衝撃加速度が45G以上であることを確認しながら施工する。

### (3) 固化材により改良した材料による盛土

固化材により改良した材料の改良目標は、施工できる強度であることおよび改良した材料による盛土が安定した強度を保つことである。したがって固化材により改良した材料による盛土は強度で管理しなければならない。施工できる強度はコン指数により確認できるが、盛土が安定した強度を測定するためには、施工した盛土のせん断強さを測定し、得られた土質定数により盛土の形状に応じた安定計算により確認しなければならない。

固化材により改良した材料は、内部摩擦角がなく粘着力で評価できる材料である。このため、改良した材料の強度は一軸圧縮強さにより評価できる。衝撃加速度と一軸圧縮強さは、図一九に示すように非常に相関性が高い関係にある。この関係を利用して、次のような方法で盛土の品質を管理する。



図一九 衝撃加速度と一軸圧縮強さの関係

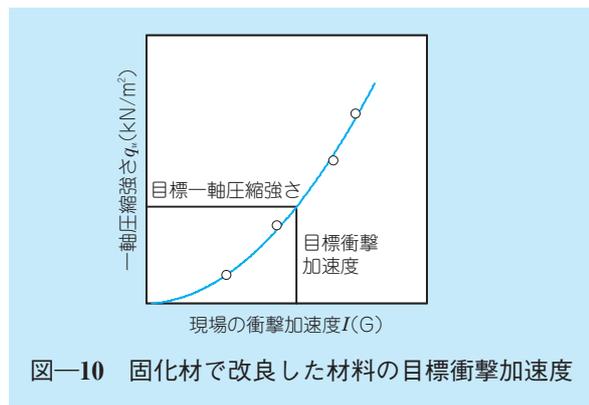
### ① 衝撃加速度と一軸圧縮強さの関係を求める

盛土材料に固化材を混合し、2.5kgランマー、15cmモールドを使用し、1層当たりの突き固め回数を55回として、3層締め固め、衝撃加速度測定用供試体とする。固化材の混合量を4種類として上記の供試体を作製する。同じ混合量、同じ密度で一軸圧縮試験用供試体を作製する。

これらの供試体を20℃で養生し、7日後に衝撃加速度と、一軸圧縮強さを求める。衝撃加速度は、モールドの表面で4点求め、平均値をそれぞれの供試体の衝撃加速度とする。この試験結果より衝撃加速度と一軸圧縮強さの関係を求める。

② 目標となる衝撃加速度を求める

図一10に示すように、衝撃加速度と一軸圧縮強さの関係から、目標一軸圧縮強さに対応する衝撃加速度を求め、これを目標衝撃加速度とする。

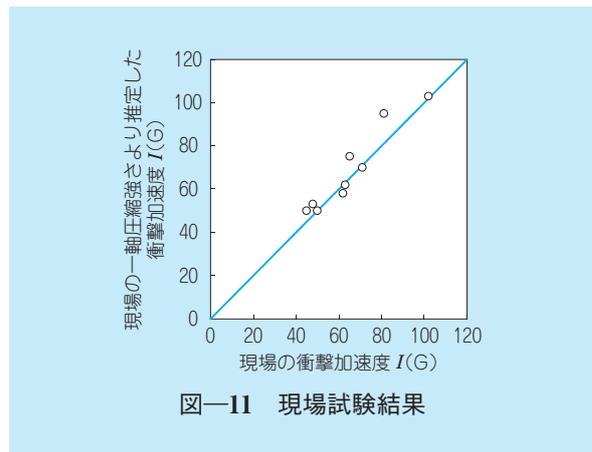


図一10 固化材で改良した材料の目標衝撃加速度

③ 盛土現場で衝撃加速度を測定する

現場での測定に当たっては、1m×1mの範囲内で10点測定する。10点の中で、測定値の大きい方から2点、小さい方から2点を除いた残り6点の平均値を盛土の衝撃加速度とする。この衝撃加速度が目標衝撃加速度よりも大きければ盛土を合格と判断する。

現場の衝撃加速度と施工後の盛土の一軸圧縮強さより推定した衝撃加速度を比較するため、北海道内の固化材で改良した9カ所の盛土で測定した衝撃加速度と現場の盛土からサンプリングして測定した一軸圧縮強さから推定した衝撃加速度を求めた(図一11)。現場の衝撃加速度と現場の一軸圧縮強さから推定した衝撃加速度とはほぼ一致し



図一11 現場試験結果

ており、固化材により改良した材料においても、衝撃加速度により、盛土の品質管理を行うことが適切であることが確認されている。

## 5. おわりに

本稿で紹介した衝撃加速度による盛土の品質管理方法「一衝撃加速度により迅速、簡易、安価に盛土の品質を管理する方法」は、2014年3月、登録番号HK-130011-AでNETIS登録された。ぜひさまざまな現場で活用していただきたい。なお、今後、衝撃加速度と盛土の強度定数であるせん断力との関係を明らかにし、盛土を密度ではなく、強度で管理する方法の確立を目指す予定である。

【参考文献】

- 1) 後藤彰, 能登繁幸: 衝撃加速度による土の締固め度の予測, 土木試験所月報, No.412, pp.1-8 (1987.9)
- 2) 北海道開発局: 道路・河川工事仕様書 (2014.6)
- 3) 佐藤厚子, 西川純一, 野並光昭: 衝撃加速度による盛土の施工管理, 第20回日本道路会議論文集, pp.95-97 (1993)
- 4) 泉澤大樹, 西本聡, 佐藤厚子: 盛土厚層化に向けた試験施工の実施—施工の合理化と品質確保の両立をめざして—, 寒地土木研究所月報, No.653, pp.20-25 (2007.10)
- 5) 佐藤厚子, 西川純一: 衝撃加速度による安定処理土の品質管理方法, セメント系安定処理土に関するシンポジウム, 地盤工学会 (1996)

独立行政法人土木研究所寒地土木研究所寒地地盤チーム 主任研究員 佐藤 厚子  
 山梨 高裕  
 首席研究員 山梨 高裕