

衝撃加速度試験による盛土の品質管理のこれまでとこれから

佐藤 厚子 畠山 乃

1. はじめに

寒地地盤チームでは、これまで道路盛土や河川堤防に関する研究を行う中で、これらを施工したときの品質管理方法に関する研究も行ってきた。研究の成果は、盛土施工時の品質管理方法として、球体落下試験方法、衝撃加速度試験方法が国土交通省北海道開発局道路河川工事仕様書¹⁾に掲載されている。ここでは、衝撃加速度試験方法についてこれまでの研究成果とこれからの展望について示す。

2. 盛土の品質管理

現在、国土交通省北海道開発局において河川土工、海岸土工、道路土工などの盛土施工時には、北海道開発局道路河川工事仕様書に品質管理基準として示されている規格値により品質管理が行われている。この方法は、盛土の密度を測定して、締固め度、空気間隙率・飽和度、転圧の程度が規格値を満足するか確認するものである。具体的には、砂置換法²⁾、RI法³⁾、TS-GNSS法⁴⁾の3種類の方法のいずれかにより現場密度を測定して規格値と比較するものである。砂置換法は、盛土の密度を求めるために、直接体積を測定することが困難であることから砂の重さから体積を間接的に求める方法で広く用いられている。この方法は、比較的安価であるが人為的な誤差が発生しやすく試験に時間を要する。RI法は、放射性同位元素（radioisotope, RI）を利用して土の密度や含水比を求める方法である。この方法は、簡易で個人誤差が比較的少ないもののばらつきが大きく、小規模な土工では工事費に占める測定費の割合が高くなる場合がある。TS-GNSSを用いた盛土の締固め管理技術は、事前の試験施工により規格値を満足するまき出し厚、締固め層厚、締固め回数などの施工仕様を確定し、工法規定方式で施工する。近年多く用いられるようになり、広範囲に均一な盛土ができるが、電波受信の程度により適さない場所があること、小規模土工では工事費に占める測定費の割合が高くなる場合がある。

それぞれの問題点を解決する方法のひとつとして、盛土の品質管理を簡易、迅速、安価に行うことのできる方法について検討してきた。

3. 衝撃加速度による盛土の品質管理のこれまで^{5) 6) 7)}

3. 1 試験機開発の経緯

旧北海道開発局土木試験所土質研究室（現土木研究所寒地土木研究所寒地地盤チーム）において、当時、後藤彰研究員を中心とする能登繁幸副室長、遠藤宜世実験主任のグループにより、土の締固め管理度に関する研究が行われた。これは、後藤研究員と遠藤実験主任が土質研究室に異動になる前、構造研究室に在席していたことが大きく関係している。後藤研究員は、構造研究室において橋梁の床板や桁の応力、ひずみの挙動に関する研究を担当した。応力やひずみを測定する加速度受振器の校正として、落下式の衝撃試験機が使用されていたことに着目し、衝撃加速度と土の締固め度の間に関係があると考えた。ここでの衝撃加速度試験機とは、圧電型加速度計を埋め込んだ鋼製の重錘（以降、ランマーと称する）を一定の高さから自由落下させ、このランマーが盛土面に衝突したときの衝撃加速度を測定する装置のことである。図-1に示すように、乾燥密度の大きい固い盛土では衝撃加速度が大きくなり、乾燥密度の小さい軟弱な盛土では衝撃加速度が小さくなる。これを利用することにより、衝撃加速度による盛土の品質管理が可能と考え研究に着手した。

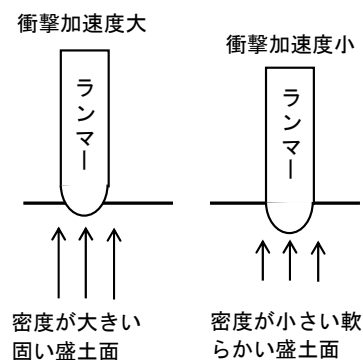


図-1 衝撃加速度と土の締固め度の関係

3. 2 試験機の開発

3. 2. 1 初期衝撃加速度試験機

研究は、図-2に示すような試験機を作製することから始まった。衝撃加速度試験機のランマーの質量は、開発時の北海道開発局道路河川工事仕様書の締固め試験として使用されていたランマーが4.5kg⁸⁾であったことからこれと同じとし、ランマーの内部に圧電型加速度計を設置した。ランマーの衝突部の断面形状は、半円である半球、一部底面が平坦な欠球台、平坦な円柱の3種類とした。ランマーは、自転車のブレーキ装置を取り付けた形式により、落下高さを10cmごとに変化させて自由落下できる。

衝撃加速度の記録は、光学系直視式電磁オシログラフを使用し、データレコーダーにより記録した。測定

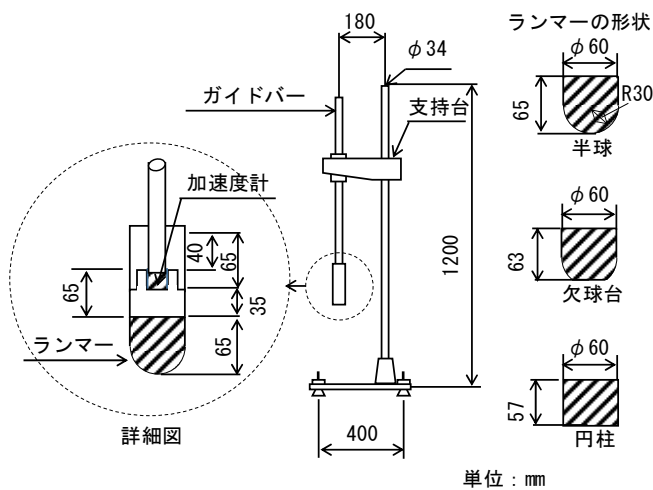


図-2 初期衝撃加速度試験機 (文献5)に加筆修正)

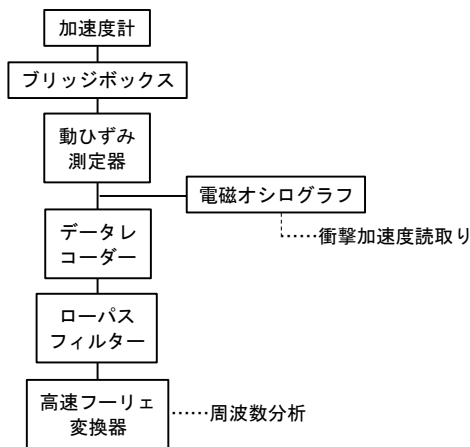


図-3 衝撃加速度測定ブロック図 (文献5)に加筆修正)

ブロックを図-3に示す。

3. 2. 2 衝撃加速度試験機のランマーの落下高さ と断面形状

衝撃加速度は、衝撃加速度試験ランマーの落下エネルギー、ランマーの形状、盛土材料の固さの影響を受ける。図-4は、砂質土、シルト質土、粘土それぞれ2種類ずつ計6種類の試料について、落下高さ
と衝撃加速度の関係をランマーの断面形状ごとに示したものである。同じ落下高さの衝撃加速度は、半球が小さく、円柱が大きく、欠球台が中間であった。落下高に対する衝撃加速度の変化の割合は、円柱が大きく、欠球台、半球はほぼ同じであった。

次に、ランマーの落下高さ
と測定値のばらつきとして変動係数を求め図-5に示す。

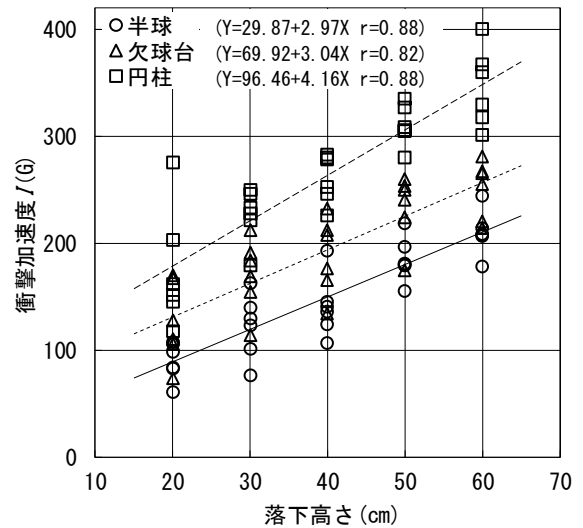


図-4 衝撃加速度試験機のランマーの落下高さ
と衝撃加速度 (文献6)に加筆修正)

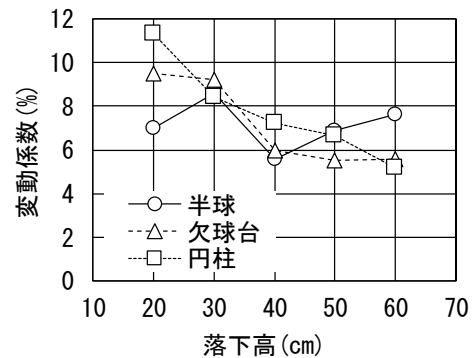


図-5 衝撃加速度試験機のランマーの落下高
と変動係数 (文献6)に加筆修正)

半球の変動係数は、落下高さにかかわらず5.5～8.4%の範囲、円柱および欠球台では、落下高さが大きくなると変動係数が小さくなる傾向が見られ、落下高さを大きくすることで測定精度が向上する。しかし、ランマーの落下高さが50cm以上となると現場で試験機としての操作が困難になることから、ランマーの落下高さを40cmとし、この落下高さで最も変動係数が小さくなる形状である半球とした。

3. 2. 3 衝撃加速度と供試体の強度

衝撃加速度による盛土の品質管理を行うために、衝撃加速度と締固めた供試体の強度の関係を求めた。強度としては、締固め試験と同じ含水比、同じ密度となるように作製した供試体について一軸圧縮強さと、非圧密非排水条件で実施した一面せん断試験の鉛直応力を200kN/m²としたときの最大せん断応力を求めた。試験は16試料で行い、その中で粘性土と砂質土の例を図-6に示す。

含水比と衝撃加速度、一軸圧縮強さ、最大せん断応力のそれぞれの関係曲線は締固め曲線と同様に凸型であり、そのピークを示す含水比は最適含水比よりも低い。最適含水比よりも湿潤側では、含水比が高くなると、乾燥密度、衝撃加速度、一軸圧縮強さ、最大せん断応力は小さくなった。北海道の大部分の土質の自然含水比が最適含水比よりも湿潤側であることから、この範囲について衝撃加速度と乾燥密度、一軸圧縮強さ、最大せん断応力の関係を求めた。粘性土の例を図-7に示す。衝撃加速度が大きくなると乾燥密度、一軸圧縮強さ、最大せん断力は大きくなった。以上より、衝撃加速度から強度や密度の推定ができることから、衝撃加速度を用いた盛土の品質管理が可能であると考えた。そこで、衝撃加速度試験機のランマーの落下高さ40cm、形状を半として、写真-1に示すように簡易に衝撃加速度を測定できる試験機を開発した。この試験機について、当時の谷村昌史主任研究員の提案に基づ

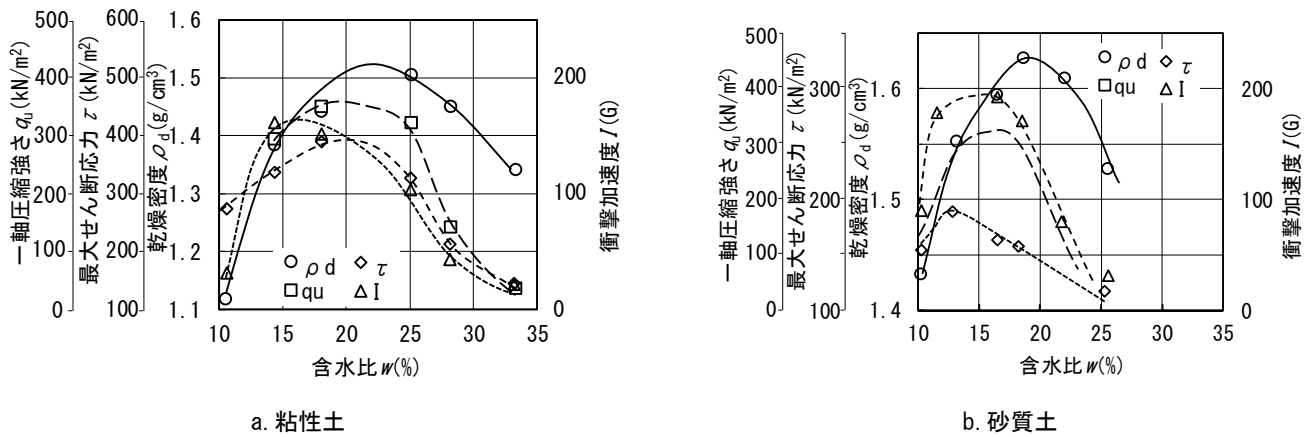


図-6 締固め曲線と強度、衝撃加速度 (文献6)に加筆修正)

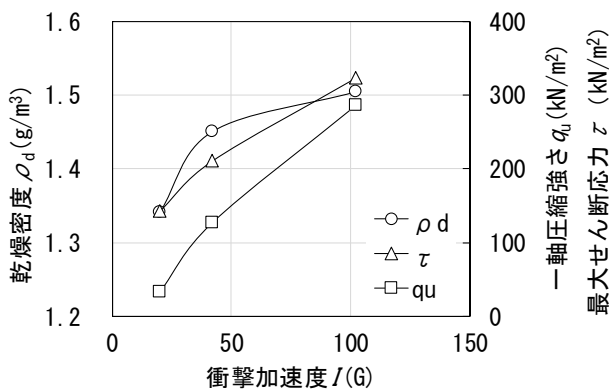


図-7 最適含水比よりも湿潤側の含水比での衝撃加速度と乾燥密度、強度の関係 (粘性土)



写真-1 衝撃加速度試験機

き、1995年12月に特許（登録特許第1995981号）を取得し、以降この試験機を用いた研究を行ってきた。また、試験機は、寒地土木研究所の実験施設（試験・測定機器）のひとつとして短期間に限り貸し出しされている⁹⁾。なお、民間では北海道以外を含め、35台以上保有している。

3. 3 衝撃加速度による盛土の品質管理方法の適用

3. 3. 1 締固め曲線において明確な最大乾燥密度が得られる材料

盛土の品質管理は、施工後の盛土の乾燥密度を測定して締固め度を求め、規格値以上であることを確認するものである。施工は自然含水比で行うことから、北海道内の107の試料についてそれぞれ自然含水比で締固め度を変えて衝撃加速度と乾燥密度の関係を求めた。図-8は、突き固め試験のランマーの落下回数と衝撃加速度および乾燥密度の関係を示した例である。突き固め試験のランマーの落下回数を多くすると乾燥密度および衝撃加速度は大きくなっている。そこで、この関係から衝撃加速度と乾燥密度の関係を求め、図

-9に示す。含水比を一定とした個々の試料では、衝撃加速度と乾燥密度は相関性の高い比例関係となった。このことから、衝撃加速度より乾燥密度の推定が可能であることがわかった。乾燥密度は土粒子密度の影響を受けることから、この影響を受けない締固め度と衝撃加速度の関係を求めた。すべての試料をまとめて同一の関係であれば、室内試験により、乾燥密度の推定は不要である。全体をまとめて衝撃加速度と締固め度の関係を図-10に示す。全体をまとめるとばらつきが大きく、衝撃加速度から締固め度を推定することはできなかった。したがって、盛土の品質管理では、個々の試料について基準の締固め度を満足する衝撃加速度を求めることとした。

具体的には、15cmモールド、突き固め試験の2.5kgランマーを使用し、自然含水比状態の試料について、突き固め回数を一層あたり10、25、40、55回として3層突き固めを行い、各突き固め回数で衝撃加速度と密度を測定し、衝撃加速度と乾燥密度との関係を求める（図-11）。突き固め試験で得られた最大乾燥密度の基準値（締固め度90%）に相当する衝撃加速度を基準値と

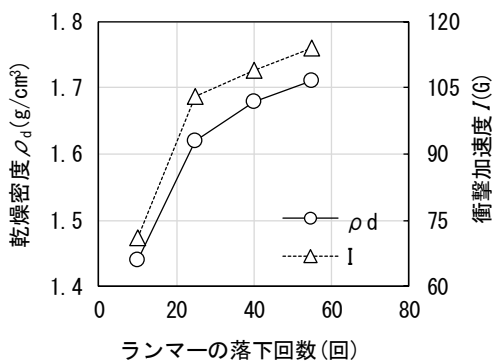


図-8 突き固め試験のランマーの落下回数と衝撃加速度および乾燥密度（文献10）に加筆修正

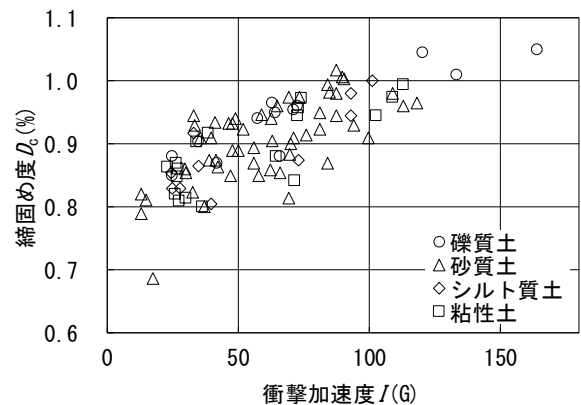


図-10 衝撃加速度と締固め度（文献10）に加筆修正

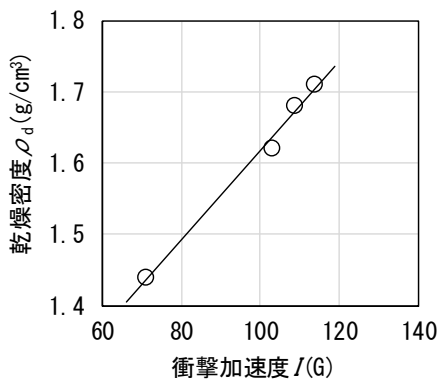


図-9 衝撃加速度と乾燥密度（文献10）に加筆修正

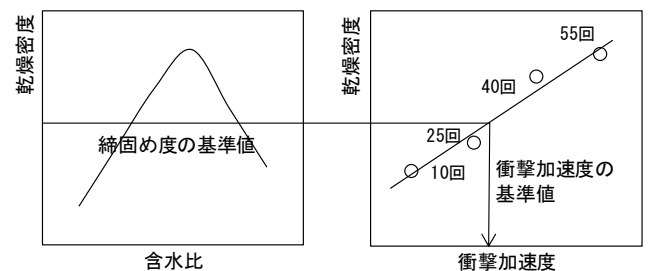


図-11 締固め曲線において明確な最大乾燥密度が得られる材料の品質管理基準値¹⁾

する。現場で計測した衝撃加速度と基準値との比較により現場の品質を管理する。

北海道の101箇所の盛土現場において、あらかじめ室内試験より衝撃加速度と乾燥密度の関係を求め、実際の盛土現場で測定した衝撃加速度から乾燥密度を推定した。また、同じ盛土現場で砂置換により乾燥密度を測定した。衝撃加速度より推定した密度と砂置換法により求めた密度の関係を図-12に示す。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はほぼ等しく、この方法によることの妥当性が確認された。

1995年頃、この方法は北海道開発局道路河川工事仕様書盛土の品質管理法として掲載された。また、2010年発行道路土工盛土工指針¹²⁾、2012年発行地盤工学会土の締固め¹³⁾にも紹介されている。

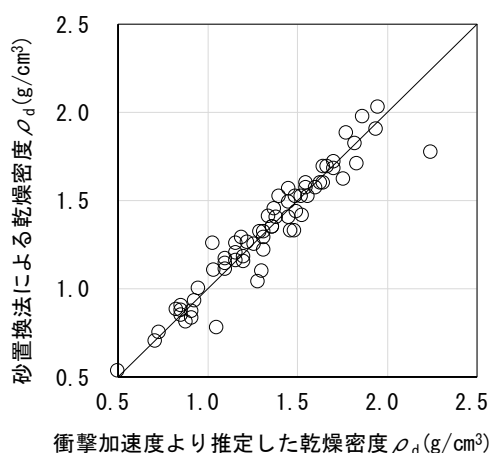


図-12 衝撃加速度より推定した密度と砂置換法により求めた密度 (文献11)に加筆修正)

3. 3. 2 締固め曲線において明確な最大乾燥密度が得られない材料

北海道の火山灰の中には、締固め曲線が平坦で明確な最大乾燥密度が存在しないものがある¹⁴⁾。このような材料に対しては、盛土の品質管理で締固め度管理を適用することはできない。北海道開発局では、明確な最大乾燥密度を得ることができない材料について盛土を施工した場合、球体落下試験によるD値により管理している。これは、このような材料であっても締固めエネルギーを大きくすることにより、乾燥密度が大きくなっていくことから、締固め度の程度を強度で評価する方法である¹⁵⁾。そこで、衝撃加速度とD値の関係を求め、図-13に示す。D値の基準値である6.3cmに対応する衝撃加速度がほぼ63Gであったことから、これを基準値とした。

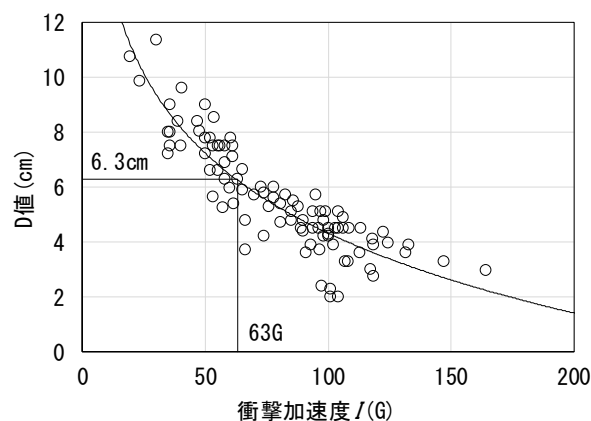


図-13 室内試験における衝撃加速度とD値の関係 (文献16)に加筆修正)

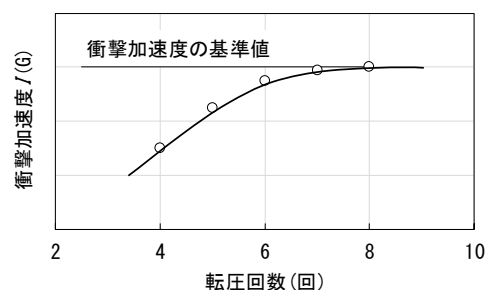


図-14 転圧回数と衝撃加速度の関係¹⁾

その後、明確な最大乾燥密度を得ることができない火山灰土についてD値を満足しても衝撃加速度が63Gを満足していない事例が発生したので、実態に合う管理方法について検討した。その結果、図-14に示すように、現場において転圧回数を変えて衝撃加速度を求め、衝撃加速度が一定値となる値を目標値とする盛土の品質管理方法が北海道開発局道路河川工事仕様書に2014年頃掲載された。

3. 3. 3 固化材により改良した材料による盛土

北海道開発局の道路盛土工事では、軟弱であるため盛土材として使用できない材料を有効利用する方法として、セメントや生石灰などの固化材により改良する方法が多く用いられている。これは、含水比を低下させる方法が安価ではあるが、積雪寒冷地である北海道では、工事期間が限られてしまうこと、曝気乾燥を行うのに適した気象条件の期間が限られてしまうことなど、制限があることによるものである。固化材による改良は、対象土に固化材を混合することにより土砂中の水分と固化材が反応し強度発現することを利用したものである。実際の工事では、対象土を含水調整して固化改良することが現実的でないことから、固化材で

改良した材料（以降固化改良土と称する）による締固め曲線を求めても実際の盛土とは条件が異なっており、締固め度による品質管理を適用することは実用的ではない。このような材料は、密度管理ではなく盛土の施工性や安定性を確保できるような強度¹⁷⁾により管理することが適している。固化改良土による盛土については、トラフィカビリティの確保と、法勾配、高さなどの盛土の形状、粘着力やせん断抵抗角などの盛土のせん断強さから求める安全率を確保できる強度の両方を満足することが目標となる。固化改良土のせん断抵抗角は0であり、粘着力で評価することから、固化土の目標強度の設定を一軸圧縮強さに対して行うこととした。

北海道内の31箇所の現場で発生した軟弱な材料について、固化材混合量を変えた固化改良土について衝撃加速度と一軸圧縮強さを測定した。その一例を図-15に示す。固化材混合量が多くなると一軸圧縮強さおよび衝撃加速度は大きくなった。そこで、衝撃加速度と

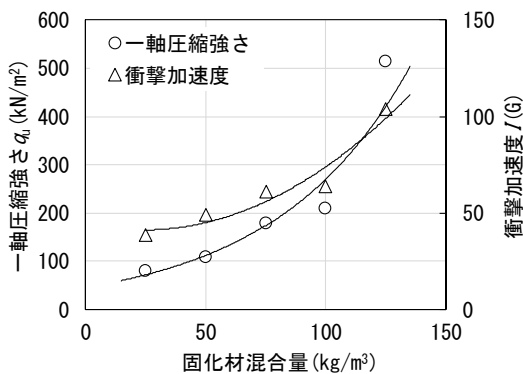


図-15 固化材混合量と一軸圧縮強さ、衝撃加速度の関係

一軸圧縮強さに相関性があると考え、その関係を求めた（図-16）。衝撃加速度と一軸圧縮強さは相関性が高く、衝撃加速度から一軸圧縮強さを推定できる。土質や固化材の種類により衝撃加速度と一軸圧縮強さを同じ関係式で表すことができれば、基準値がひとつとなるので室内試験が不要となる。

様々な試料について、セメントおよびセメント系固化材による固化改良土の衝撃加速度と一軸圧縮強さの関係をまとめて図-17に示す。全体をまとめても衝撃加速度と一軸圧縮強さは良好な相関関係にある。しかし、固化改良土の一軸圧縮強さを150kN/m²とすれば¹⁹⁾、このときの衝撃加速度は50から60Gの範囲となり、安全側の配合では、固化材量が多くなり不経済な設計となる場合がある。このため、固化改良土による盛土について、材料ごとに室内試験を行い、目標となる衝撃加速度を決めることとした。

具体的には、固化材混合量を4種類程度変えて一軸圧縮強さと衝撃加速度との関係を求め（図-18）、現

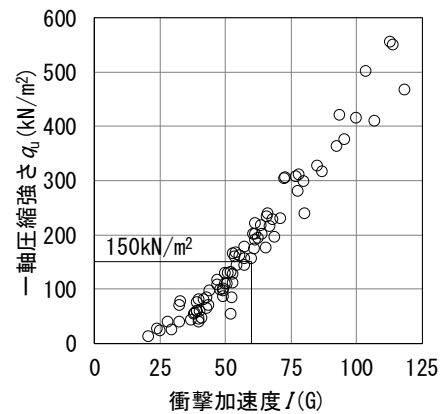


図-17 セメントおよびセメント系固化材により改良した材料の衝撃加速度と一軸圧縮強さの関係（文献18)に加筆修正)

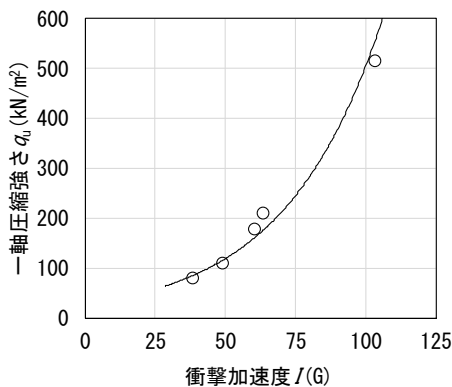


図-16 衝撃加速度と一軸圧縮強さの関係（文献18)に加筆修正)

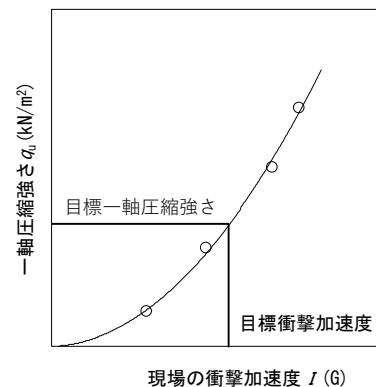


図-18 目標衝撃加速度の求め方¹⁾

場の目標標衝撃加速度を決定する。現場で測定した衝撃加速度と目標衝撃加速度との比較により盛土の品質を管理する。

北海道の固化改良土による盛土現場9箇所において、衝撃加速度とボーリングにより採取した供試体の一軸圧縮強さを測定した。あらかじめ室内試験で求めた衝撃加速度と一軸圧縮強さの関係に現場の一軸圧縮強さを当てはめて現場の衝撃加速度を推定した。現場と室内試験より推定した衝撃加速度を図-19に示す。現場と室内の衝撃加速度はほぼ一致しており、この品質管理方法の妥当性が示された。衝撃加速度による固化改良土の品質管理方法は、北海道開発局においては、様々な講習会で周知されており、1997年頃から固化改良土の現場で広く用いられてきた。

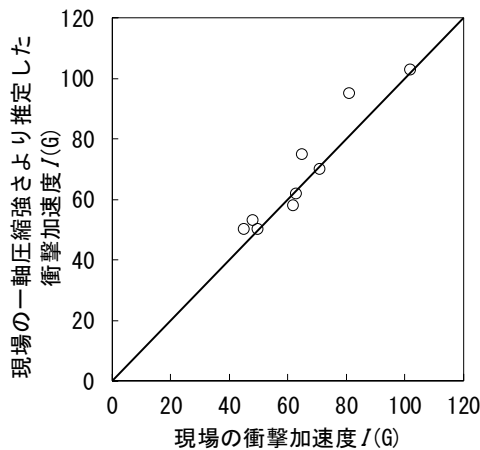


図-19 現場の衝撃加速度と現場の一軸圧縮強さより推定した衝撃加速度 (文献20)に加筆修正)

固化改良土による盛土の品質管理方法は、2013年「北海道における不良土対策マニュアル」の改定時に掲載するとともに、同年の北海道開発局道路工事仕様書に掲載された。

この頃から土研ショーケースや国土交通省地方整備局などで衝撃加速度試験による盛土品質管理方法をPRする機会が増え、国土交通省をはじめとする各機関で施工される盛土の品質管理として使用したいという要望があり、対応しているが、まだ、北海道以外では基準値として採用されていない状態である。

なお、2014年2月に「衝撃加速度による盛土の品質管理方法」としてNETIS登録 (HK-130011-A) され、その後2017年にVR、2020年にVEとして登録された。

4. 衝撃加速度による盛土の品質管理のこれから

4. 1 小規模埋め戻し土工の品質管理への適用

供用中の道路に設置、埋設されている電信柱やガス管、上下水道などの構造物が老朽化や基準改変のために更新される時、掘削、埋め戻しの小規模な土工が必要となる。このような工事であっても締固め度管理を行わなければならないが、供用中の箇所では、掘削、埋め戻しの作業時間が限られていること、作業規模が小さいため、土質試験や密度測定のための砂置換を実施するための十分な時間の確保が困難となる。このような場合、写真確認による施工管理を行っているが、施工後時間経過にともない施工箇所が沈下する場合がある。このような事象について2012年、北海道開発局道路滝川事務所山崎達哉所長 (旧北海道開発局開発土木研究所土質基礎研究室出身) より、小規模土工の品質管理として衝撃加速度試験による方法が適用できるのではとの提案があった。

そこで、小規模土工の品質管理方法として、室内試験をしないで、短時間に品質を確認できる方法として、掘削前と埋め戻し後の衝撃加速度を測定し、埋め戻し後の衝撃加速度が掘削前以上であれば十分な締固め度であると考えた。10箇所について掘削前と埋め戻し後の衝撃加速度を測定し、図-20に示す。多くのデータでは埋め戻し後の衝撃加速度が掘削前と同程度か小さくなる傾向があった。施工数か月後における目視調査では、地山掘削埋め戻しで一部沈下が見られた。沈下した箇所は、他の箇所に比べて、埋め戻し後の衝撃加速度が掘削前より約55%低かった。今後さらにデータを増やしてこの方法を適用できるようにしたい。

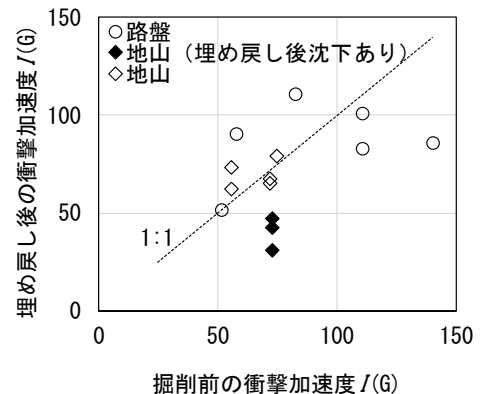


図-20 掘削前と埋め戻し後の衝撃加速度 (文献21)に加筆修正)

4. 2 固化材により改良した材料の路床への適用²²⁾

2017年度から、つくば中央研究所施工技術チーム、先端技術チーム、舗装チーム、寒地土木研究所寒地地盤チームとの共同で、「路床及び路体の締固め状態を考慮した道路舗装の設計・施工に関する研究」が始まった。寒地地盤チームは、固化改良した路床の品質管理に関する研究を分担した。

北海道開発局では、固化改良土による路床の品質管理として、2002年には、現場CBR試験を行うこととなっている。CBR試験は路床の支持力を求めるものであり、大がかりな試験装置が必要である。一方、衝撃加速度試験機は軽量の試験機であり、盛土を対象とした比較的強度な固化改良土の一軸圧縮強さと衝撃加速とは相関性が高い。衝撃加速度により路床のCBRを推定できれば、簡易に効率的に品質管理ができる。そこで、固化改良土による路床の品質管理として衝撃加速度の適用性を検討した。図-21に改良土の衝撃加速度とCBRの関係を示す。供試体の養生条件にかかわらず、衝撃加速度が大きくなるとCBRは大きくなり、衝撃加速度からCBRの推定が可能である。衝撃加速

度を路床の品質管理に適用できると考えられる。

これを確認するため、室内試験の結果に現場で測定した、衝撃加速度とCBRの関係を合わせて図-22に示す。室内と現場の衝撃加速度とCBRの関係はほぼ等しく、改良土による盛土に対して衝撃加速度による品質管理の妥当性が確認できた。北海道開発局では、路床のCBRが12%以上あれば、路盤の厚さを最小とすることができるとされている²³⁾。そこで、全試料をまとめてCBRが12%程度の範囲で衝撃加速度とCBRの関係を図-23に示す。衝撃加速度とCBRは相関性が高いものの全体をまとめるとある程度の範囲でばらつきがあることから、固化改良土による路床については、路体と同様に材料ごとに目標値を定める方法が適切と考える。今後データを増やして確認したい。

また、原位置での路床の支持力を直接評価する方法のひとつである小型FWD試験による地盤反力係数 K_{30} について衝撃加速度との関係を求め、図-24に示す。この図より、衝撃加速度と K_{30} は相関性があり、衝撃加速度から K_{30} の推定が可能である。今後データを増やして適用性を検討したい。

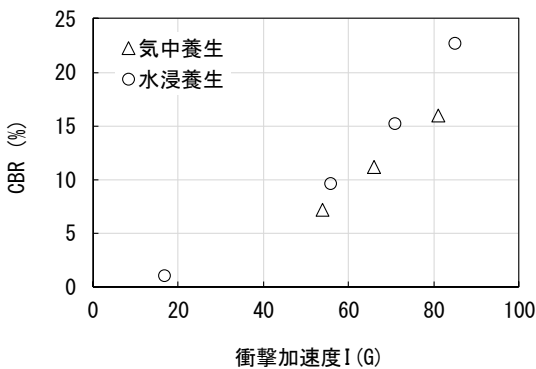


図-21 固化改良土の衝撃加速度とCBR

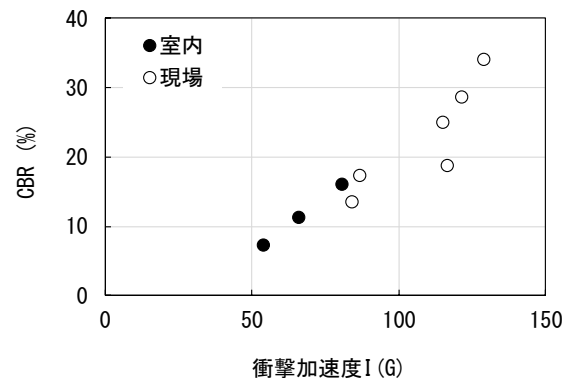


図-22 現場と室内の衝撃加速度とCBRの関係

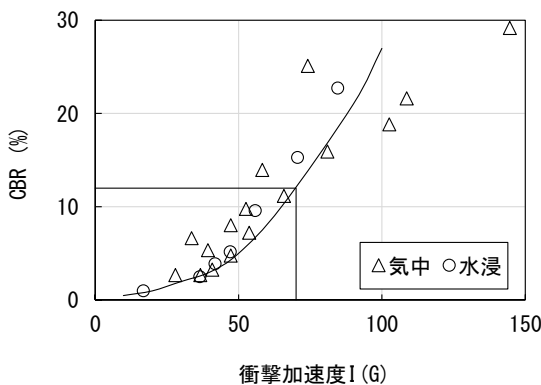


図-23 衝撃加速度からCBRの推定

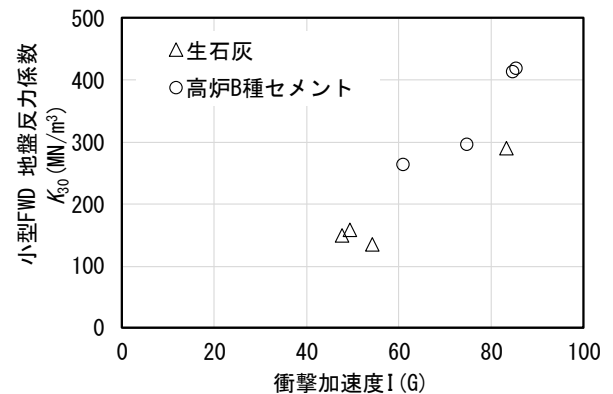


図-24 現場の衝撃加速度と地盤反力係数

4. 3 路盤への適用

路盤を施工したときの品質は締固め度により管理している。これは、締固め度が規格値を満足していれば、路盤に必要な強度であるCBRを得られているものと判断する品質管理方法である。しかし、砂置換法は結果の判明までに時間を要することから、各方面において簡易な方法による路盤の品質管理方法が検討されている^{24) 25)}。寒地地盤チームでは、衝撃加速度による盛土の品質管理方法を検討してきており、この管理方法を路盤材料に適用することも検討した。路盤材料について室内試験により衝撃加速度と乾燥密度の関係を求めた。その例を図-25に示す。路盤材料で衝撃加速度と乾燥密度は相関性の高い比例関係が見られる。北海道内で採取した15種類の路盤材でこの関係を調べてまとめたものを図-26に示す。すべての試料で衝撃加速度が大きくなると乾燥密度も大きくなり、路盤材料においても衝撃加速度と乾燥密度は相関性の高い比例関係にある。すべてで衝撃加速度に対する乾燥密度の傾きはほぼ同じであるが、同じ衝撃加速度に対して乾燥

密度は異なっていた。そこで、締固め度でまとめたものを図-27に示す。締固め度が同じであっても衝撃加速度は広い範囲であり、すべての材料をまとめて衝撃加速度から締固め度を推定することはできない。以上より路盤の品質管理を衝撃加速度で行う場合は、路体、路床と同様に試料ごとに衝撃加速度と乾燥密度の関係を求めて現場で確認しなければならない。

次に、室内と現場の衝撃加速度と乾燥密度の関係を求めた。室内と現場の関係がほぼ一致した場合もあったが、13箇所のうち8箇所で図-28に示すように砂置換で求めた乾燥密度が室内試験で推定した乾燥密度よりも大きくなった。現場では十分品質を満足していても、室内試験の結果から現場の乾燥密度を推定すると乾燥密度は小さくなり、締固め度を満足しない結果となる。このため、路盤材料に対しては、現在の機械をそのまま使用して衝撃加速度により品質管理を行うことは困難である。

衝撃加速度と乾燥密度の関係が、室内と現場で合致しない要因のひとつとして、礫質土の衝撃加速度が大

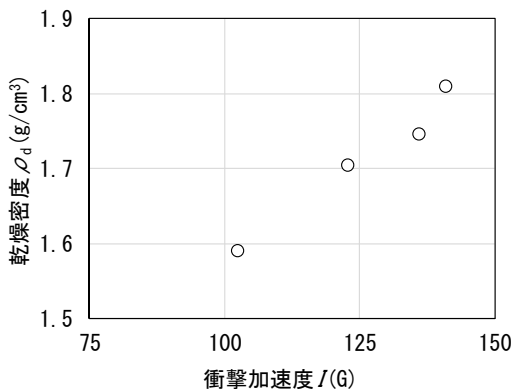


図-25 室内における路盤材料の衝撃加速度と乾燥密度 (文献26)に加筆修正

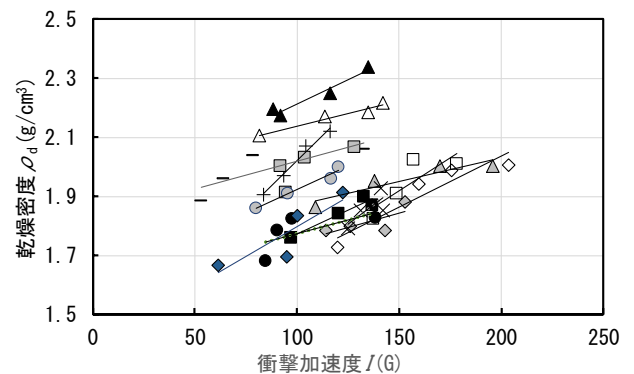


図-26 室内における路盤材料の衝撃加速度と乾燥密度 (15試料) (文献27)に加筆修正

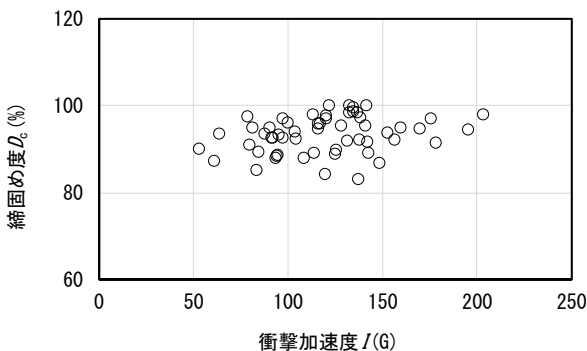


図-27 室内における路盤材料の衝撃加速度と締固め度 (文献27)に加筆修正

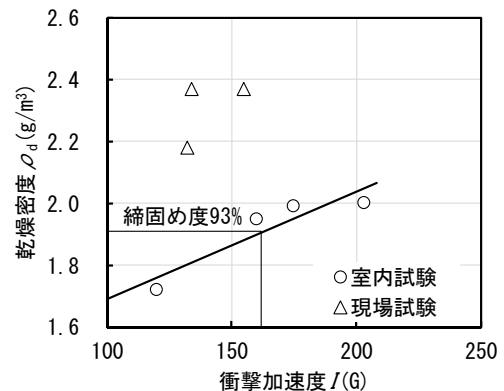


図-28 現場と室内の比較 (文献27)に加筆修正

きなばらつきを生じるためと考えた。これは、室内試験では、試料面が平坦でないために衝撃加速度試験機のランマーを自由落下させたとき、衝撃加速度が礫の方向・強度の影響を受けるためである。そこで、機械工学を専門とする山田充研究員、久慈直之研究員、樋口侯太郎研究員らは、ランマー落下時に測定対象（試料）との衝突面を平準化することにより室内試験時における衝撃加速度のばらつきを軽減できると考えた。その方法として試料には面で接触し、かつランマーが硬い物体に直接衝突しない構造とするため、衝突部分は比較的柔らかいゴムを用い、試料に接する側は鋼板を用いた2層構造とし、比較的簡易に脱可能な形状とした試験機の改良を試みている²⁸⁾。

このような試験機改良は、2014年度からの「道路土工と舗装の一体型設計に関する研究」、2017年度からの「路床及び路体の締固め状態を考慮した道路舗装の設計・施工に関する研究」により、衝撃加速度試験機による品質管理の対象が路盤へ拡大したことが大きい。今後は衝撃加速度による品質管理方法が路盤材にも適用できることが期待される。

5. おわりに

衝撃加速度は、北海道開発局の河川土工、海岸土工、道路土工（路体、路床）などの盛土の品質管理として使用されている。現在、小規模土工の掘削、埋め戻し工事、固化材で改良した材料による路床工事、路盤の品質管理方法として適用するための研究を行っており、今後これらの実用化を図りたい。

謝辞：本技術資料をまとめるにあたり、国土交通省北海道開発局の関係各位より、試料採取や関係資料の提供についてご協力をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 北海道開発局：道路河川工事仕様書 付表、2020.
- 2) 公益社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説、pp.557-578、2013.
- 3) 公益社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説、pp.592-604、2013.
- 4) 国土交通省：TS・GNSSを用いた盛土の締固め、2019.
- 5) 能登繁幸、遠藤宜世、後藤彰：衝撃加速度による

土の締固め度の予測（第1報）、土質工学会北海道支部技術報告集、第26号、1986.

- 6) 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、第412号、1987.
- 7) 後藤彰、能登繁幸：衝撃加速度による土の締固め度の予測の可能性について、昭和62年度北海道開発局技術研究発表会、1988.
- 8) 日本工業規格：突固めによる土の締固め試験方法 JIS A 1210、2009.
- 9) 寒地土木研究所施設貸付 http://www.ceri.go.jp/contents/facilities/con_faci01/index03.html
- 10) 能登繁幸、後藤彰、佐藤厚子：衝撃加速度を用いた土の締固め管理について、第24回土質工学研究発表会、1989.
- 11) 佐藤厚子：衝撃加速度による盛土の品質管理方法について、開発土木研究所月報、第481号、1993.
- 12) 公益社団法人日本道路協会：道路土工－盛土工指針（平成22年度版）、p.309、2010.
- 13) 公益社団法人地盤工学会：地盤工学・実務シリーズ30土の締固め、p.218、2012.
- 14) 火山灰質土の工学的分類委員会：北海道火山灰土の性質と利用、p.56、2010.
- 15) 北海道開発局土木試験所：火山灰土の締固め特性に関する試験調査（第1報）関係地における道路築造に関する試験調査報告書、1969.
- 16) 佐藤厚子、能登繁幸、下条晃裕：北海道における火山灰盛土の締固め管理について、火山灰に関する研究討論会、1992.
- 17) 地盤工学会：土の締固めと管理－土質基礎工学ライブラリー32－、p.71、1988.
- 18) 佐藤厚子、西川純一、野並光昭、金城徳一：衝撃加速度による安定処理土の品質管理方法について、第30回土質工学研究発表会、1995.
- 19) 土木研究所寒地土木研究所：北海道における不良土対策マニュアル、2013.
- 20) 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、1996.
- 21) 久慈直之、山梨高裕、佐藤厚子：衝撃加速度を用いた小規模な掘削埋め戻し土工の品質管理方法の検討、第32回日本道路会議、2017.
- 22) 久慈直之、畠山乃、佐藤厚子：セメント改良土の室内試験における衝撃加速度とC B Rの関係について、寒地土木研究所月報、第797号、2019.
- 23) 国土交通省北海道開発局：道路設計要領、2019.

- 24) 関根悦夫、村田修、阿部長門、丸山暉彦：FWDによる鉄道盛土の締固め管理に関する研究、第1回舗装工学講演会講演論文集、1996.
- 25) 近畿地方整備局 近畿技術事務所：簡易支持力測定器利用手引き、2005.
- 26) 佐藤厚子、山梨高広、久慈直之、川端伸一郎：路盤の品質管理への衝撃加速度の適用性に関する試験、地盤工学会北海道支部技術報告集、第58号、2018.
- 27) 久慈直之、山梨高裕、佐藤厚子：衝撃加速度試験装置を用いた路盤での品質管理について、寒地土木研究所月報、第774号、2017.
- 28) 樋口侯太郎、畠山乃、佐藤厚子、久慈直之：衝撃加速度を用いた路盤の品質管理方法の検討について～測定値のバラツキを軽減する方法について～、地盤工学会北海道支部技術報告集、第60号、2020.



佐藤 厚子
SATO Atsuko

寒地土木研究所
寒地基礎技術研究グループ
寒地地盤チーム
(地域景観チーム兼務)
主任研究員
博士(工学)
技術士(建設・総合技術監理)



畠山 乃
HATAKEYAMA Osamu

寒地土木研究所
寒地基礎技術研究グループ
寒地地盤チーム
上席研究員