

衝撃加速度による盛土の品質管理方法について

佐藤厚子*

1. まえがき

現在、盛土の品質管理は土質に対する適応性の広さ、精度の良さ、操作の簡便さという利点から、ジャー式装置による砂置換法が標準的な方法とされている。しかし、この方法は試験結果の判明までかなりの時間を要するという欠点があるため、施工管理などの迅速性が要求されるような現場には、不利な方法である。土質基礎研究室ではこの問題を解決する目的で、迅速で簡易な盛土の品質管理方法の開発を行ってきた。その結果、衝撃速度による盛土の品質管理方法を策定した。平成5年度から北海道開発局制定『道路河川工事仕様書』の盛土品質管理規程に掲載したので、小文ではその管理方法¹⁾の詳細について説明する。

さらに、開発土木研究所で行った衝撃加速度についての説明会に参加された人や、現場で衝撃加速度試験を直接担当された人々に対して、衝撃加速度による盛土の品質管理に関するアンケートを行ったので、その結果についても合わせて付録として報告する。

2. 衝撃加速度

図-1に示すように物体が地面に衝突してから静止するまでには、その物体に負の加速度が働く。一般に物体が衝突したときの衝撃力は、軟らかい物に衝突したときは小さく、硬い物に衝突したときには大きい。ある物体を自然落下させたとき、この物体が地盤に接地してから静止するまでの加速度を衝撃加速度として測定した場合、土の締固め度に応じて衝撃加速度も変化すると考えられる。つまり、締固め不良の地盤では抵抗力が小さいため衝撃加速度が小さく、締固め良好な地盤では抵抗力が大きいため

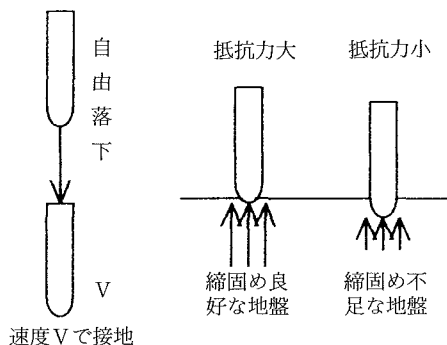


図-1 衝撃加速度の概略

衝撃加速度は大きくなる。このことから、衝撃加速度を用いることにより、施工現場でリアルタイムに締固めの良否の判定が可能と考えられる。

3. 衝撃加速度試験機

衝撃加速度を求める試験機は、図-2に示すような三本の支柱に圧電型加速度計を内蔵したランマーを取りつけた形式のものである。ランマーの断面形状は半球状で直径6cm、重量はロッドを含めて締固め試験に用いられるランマーと同一の4.5kg²⁾で、ストッパーハンドルによりランマーの落下高を40cmに調整できるものである。計測器は、衝撃加速度試験機により取り込んだ衝撃加速度を画面表示できるのでプリンターを有している。

4. 検討項目

衝撃加速度による盛土の品質管理方法を検討するため、北海道各地から採取した礫質土、粘性土、火山灰など計125試料を対象として、土粒子の密度、含水比、粒度、コンシステンシー限界、締固め特性などの土質基本物性値のほか、

*土質基礎研究室研究員

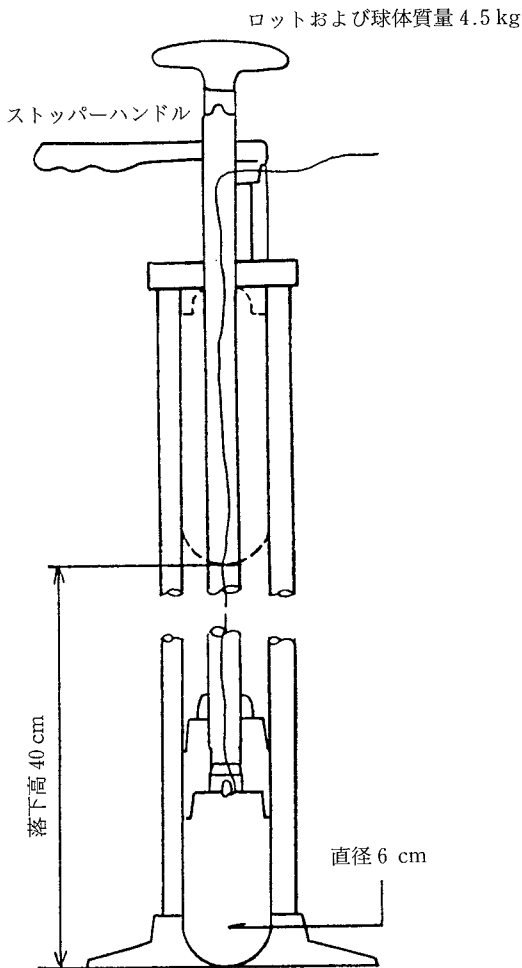


図-2 衝撃加速度試験機

一層当たりの突固め回数を10, 25, 40, 55回と変化させて、乾燥密度と衝撃加速度を測定した。この測定から、衝撃加速度と乾燥密度との関係求めたものの1例が図-3である。衝撃加速度と乾燥密度とは、きわめて相関の高い比例関係にある。検討の対象とした125試料中101試料、全体の約80%がこのような関係にあり、衝撃加速度から乾燥密度を推定することは十分可能であると考えられる。

そこで、この相関の高い101試料について、室内試験により求めた衝撃加速度と乾燥密度との関係を用いて現場で推定した密度(以下、衝撃加速度密度とする)と、砂置換により求めた現場密度(以下、砂置換密度とする)との関係を求めた(図-4)。一部の試料を除いて、衝撃

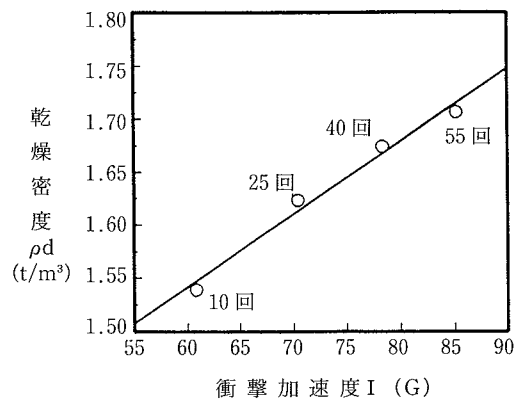


図-3 衝撃加速度と乾燥密度との関係

以下の項目について検討を行った。

- a. 衝撃加速度と乾燥密度との関係
- b. 含水比の違いによる衝撃加速度への影響
- c. 衝撃加速度による品質管理ができない試料の検討
- d. 締固め度90%のときの締固めエネルギー
- e. 衝撃加速度とD値との関係
- f. 衝撃加速度による品質管理方法
- g. 衝撃加速度の測定頻度

5. 試験結果

5.1 衝撃加速度と乾燥密度との関係

衝撃加速度と乾燥密度との関係を求めるために、15 cm モールド、2.5 kg ランマーを使用し、

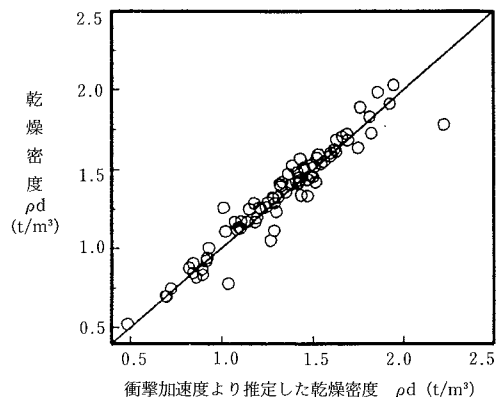


図-4 衝撃加速度より推定した乾燥密度と砂置換による乾燥密度との関係

加速度と砂置換密度はよい一致を示している。

5.2 含水比の違いによる衝撃加速度への影響

衝撃加速度は、ランマーが地盤に接地してから、止まるまでの加速度である。したがって、同じ乾燥密度でも低含水比よりも高含水比の方がランマーが静止するまでの時間は多くかかると考えられることから、異なった衝撃加速度となることが予想される。そこで、異なった含水比で、突固め回数を変えて、乾燥密度と衝撃加速度との関係を検討した。図-5は、含水比を最適含水比、最適含水比の1.2倍、1.5倍として、突固め回数を一層当たり10回、55回とした場合の乾燥密度と衝撃加速度の関係を示したものの一例である。乾燥密度1.45のときの衝撃加速度は、最適含水比で76、1.2倍最適含水比で59、1.5倍最適含水比で45Gであり、同じ乾燥密度でも、含水比が高くなるに従い衝撃加速度は小さくなっていることがわかる。

そこで、施工含水比と室内試験時の含水比の差がどの程度、衝撃加速度密度に影響を与えるのかを検討した。図-6は、相関係数の高い101試料について、自然含水比と砂置換密度と衝撃加速度密度の差と砂置換密度の比を示したものである。自然含水比の大小によらず、施工含水比と室内試験時の含水比の差が大きくなると、上記の比も大きくなり、特に施工含水比と室内試験時の含水比の差が7%以上になると顕著になる。このことから、衝撃加速度による品質管理は、施工含水比と室内試験時の含水比の差が

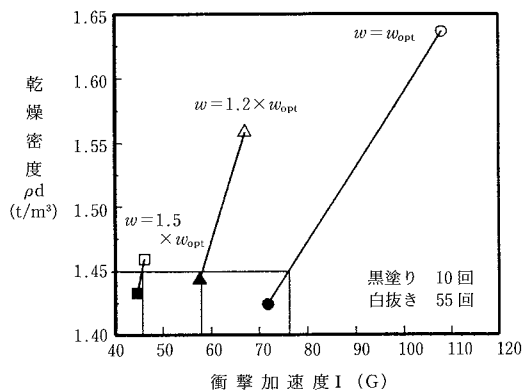


図-5 含水比の違いによる衝撃加速度への影響

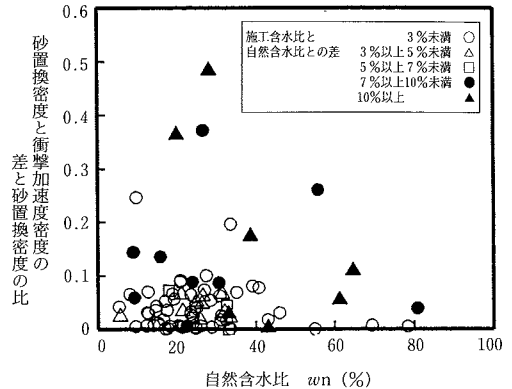


図-6 施工含水比と自然含水比の差が推定密度に与える影響

7%未満である必要がある。

5.3 衝撃加速度による品質管理ができない試料

締固め曲線は、高含水比になると零空気間隙率曲線にかなり近づくことから、比較的含水比の高い状態では、突固め回数にかかわらず、乾燥密度は同じであることが予想される。図-7は、突固めエネルギーの違いによる締固め曲線への影響を示したものの一例であるが、突固めエネルギーが大きいと最大乾燥密度は大きくなり、最適含水比は低くなっている。図中Aで示される最適含水比付近では、低い締固めエネルギーで突固めたときの乾燥密度と比較して高い締固めエネルギーで突固めたときの乾燥密度は高くなっている。これに対して、図中Bで示さ

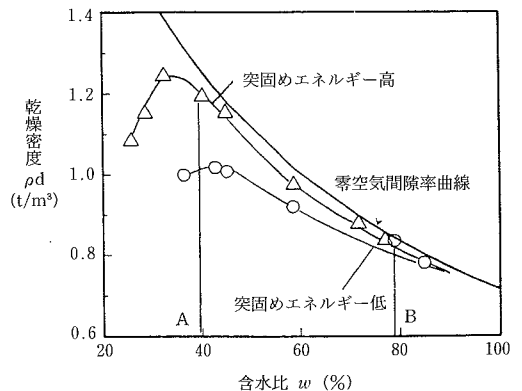


図-7 突固めエネルギー違いによる締固め曲線への影響

れる高含水比状態では、低い締固めエネルギーで突固めたときの乾燥密度と高い締固めエネルギーで突固めたときの乾燥密度ではほとんど差がないことがわかる。

一方、突固め回数が大きくなっても、乾燥密度や衝撃加速度にほとんど変化がない24試料について、基本物性値を検討したところ、19試料、約75%が北海道における不良土対策マニュアル(案)⁵⁾中の不良土の判定基準値のひとつである自然含水比が最適含水比の1.4倍よりも大きかった。このことから、自然含水比が最適含水比の1.4倍よりも大きい試料は、衝撃加速度により盛土の品質管理を行うことができないと考えられる。

5.4 締固め度90%のとき締固めエネルギー

盛土の品質管理は、締固め土が90%以上であれば合格であることから、実際の突固めでは、どの程度の突固め回数に相当するのかを検証した。突固め回数と乾燥密度は、図-5に見られるような関係にある。この関係から、締固め度90%に対応する突固め回数を推定した。その結果、検討を行った41試料のうち3/4に当たる30試料が15cmモールド、2.5kgランマーを使用した場合、一層の突固め回数が10回から25回の間で締固め度90%を満足した。

5.5 衝撃加速度とD値との関係⁴⁾

未風化火山灰や砂などの試料の中には、明確な最大乾燥密度の得られないことが多く、これらの試料では締固め度による品質管理を行うことができない。このような場合、北海道開発局では球体落下試験によるD値により盛土の品質管理を行ってきた。これまでD値により品質管理を行っていた現場でも衝撃加速度による品質管理を行う目的で、衝撃加速度とD値との関係を検討した。図-8は、明確な最大乾燥密度の得られない20試料を対象として、乾燥密度を変えて、衝撃加速度とD値との関係を求め、その結果を示したものである。北海道開発局制定道路河川工事仕様書の基準値であるD値6.3cmに対応する衝撃加速度は63Gである。図-9は、36試料についての現場試験の結果である。D値6.3cm以下である試料の衝撃加速度は63G以上であり、室内試験と現場における結果の整合

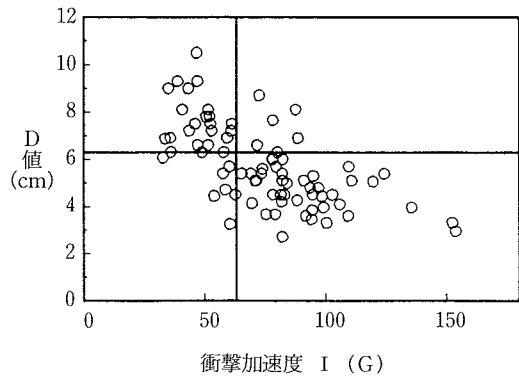


図-8 室内試験による衝撃加速度とD値との関係

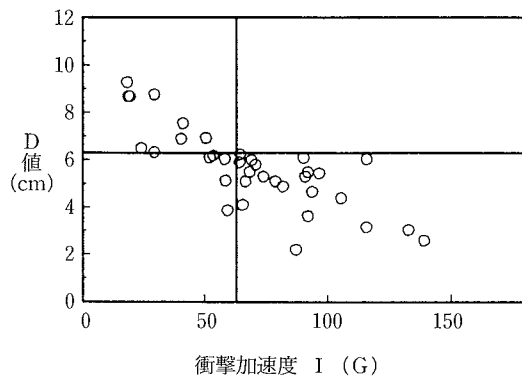


図-9 現場試験における衝撃加速度とD値との関係

性はよい。

5.6 衝撃加速度による品質管理方法

1) 基準となる衝撃加速度の決定

a. 締固め試験によって明確な最大乾燥密度が得られる試料

図-10に示す締固め曲線より、締固め度90%の乾燥密度を求める。自然含水比状態の試料について、突固め回数を変えることにより乾燥密度を変化させ、このときの衝撃加速度を測定し、乾燥密度と衝撃加との関係を求める(図-11)。締固め度90%の乾燥密度に対応する衝撃加速度を求め、基準となる衝撃加速度とする。

b. 締固め試験によつて明確な最大乾燥密度が得られない試料

基準となる衝撃加速度を63Gとする。

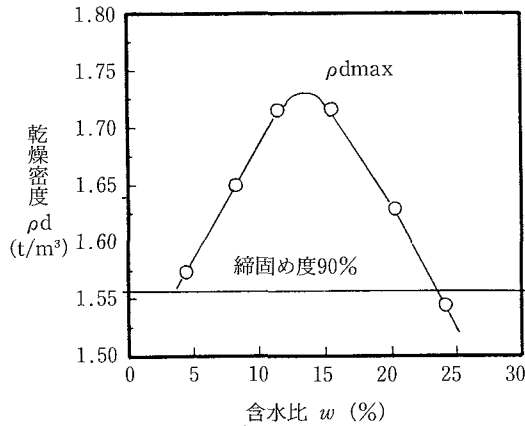


図-10 締固め曲線

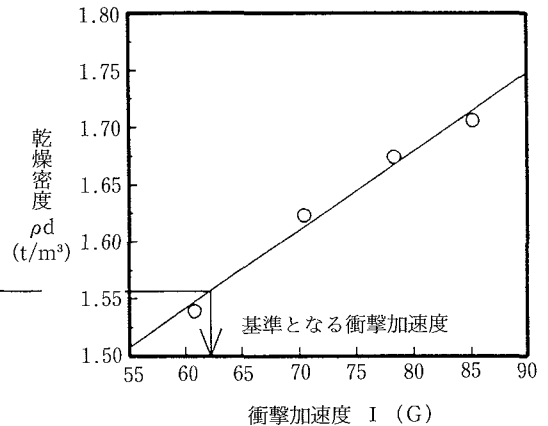


図-11 衝撃加速度と乾燥密度との関係

2) 現場試験

盛土施工直後に試験箇所を選定し、現場の衝撃加速度 (I) を測定し、基準となる衝撃加速度 (I_0) とを比較する。 $I \geq I_0$ であれば合格、 $I < I_0$ であれば不合格として盛土の品質管理を行うものである。

これらの過程を整理すると、図-12 のフローチャートになる。

5.7 衝撃加速度の測定頻度

これまで球体落下試験による D 値の測定では 1 か所当たり 10 点測定し、上限値と下限値を各 2 個ずつ除いた残り 6 個の平均を現場の D 値としていたことから、衝撃加速度もこれと同じ整理を行うこととする。なお、ばらつきを最小限にするため、1 m 四方以内で 10 点測定するものとする。

6. まとめ

これまでの検討の結果をまとめると、次のようになる。

- ① 衝撃加速度と乾燥密度とは、きわめて相関の高い比例関係にあり、衝撃加速度から乾燥密度を推定することは十分可能である。
- ② 衝撃加速度から推定した密度と砂置換により求めた現場密度とはほぼ等しい。
- ③ 同じ乾燥密度でも、含水比が高くなるに従い衝撃加速度は小さくなる。
- ④ 衝撃加速度による品質管理は、施工含水比と室内試験時の含水比の差が 7% 未満である

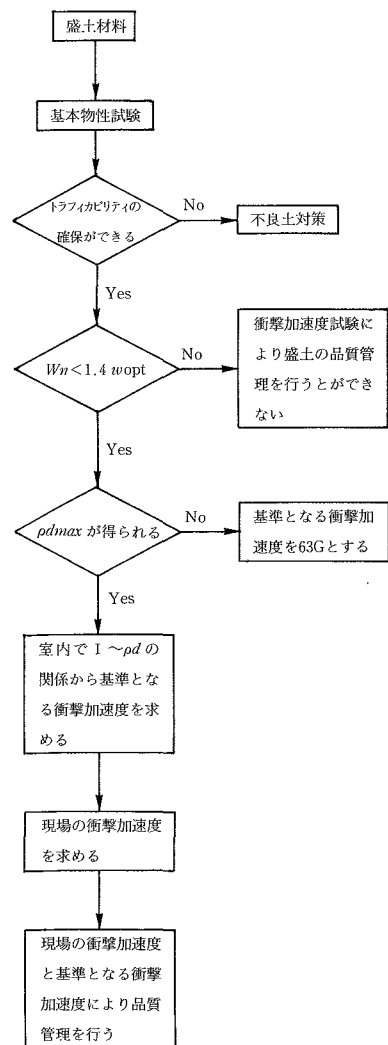


図-12 衝撃加速度試験実施フロー図

ことが必要である。

- ⑤ 自然含水比が1.4倍最適含水比よりも大きい試料については、衝撃加速度により盛土の品質管理を行うことができない。
- ⑥ D値6.3cmに対応する衝撃加速度は63Gである。
- ⑦ 衝撃加速度による品質管理は、現場の衝撃加速度と基準となる衝撃加速度との比較により行う。

7. おわりに

平成4年度の現場試験により、衝撃加速度による盛土の品質管理方法を道路河川仕様書の盛土の品質管理の項目に掲載することができた。今後、礫混入土に対する適応性についての検討を行いたと考えている。

最後に、本試験およびアンケートに対して、快く協力していただいた各開発建設部、建設会社、試験業者の皆様に対し、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 佐藤厚子, 能登繁幸, 下条晃裕: 衝撃加速度による盛土の品質管理方法, 第35回北海道開発局技術研究発表会, 1992年2月。
- 2) 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, 1987年9月。
- 3) 佐藤厚子, 能登繁幸, 谷村昌史: 衝撃加速度による盛土品質管理手法について, 第26回土質工学研究発表会, 1991年7月。
- 4) 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論文集, 1992年3月。
- 5) 土木試験所土質研究室: 北海道における不良土対策マニュアル(案)。

〈付録〉アンケート結果

平成4年度に衝撃加速度試験に関わった人など、約220人を対象として衝撃加速度による盛土の品質管理に関するアンケートを行ったが、その結果は以下のとおりである。

なお、203人の方が回答されており、92%と高

回答率で、仕様書の作成および今後の研究課題等に参考とさせていただいた。

1. 調査を行った人について

調査の対象者は図-13のとおりで開発局職員が半数以上、建設業者は30%、試験業者は14%であった。調査対象者の年代は図-14のとおりであり、30代が最も多いが、中には60代の方もいる。この人達が、これまでどのような現場の品質管理を行ったことがあるのかを示したものが図-15である。これは複数回答であるが、現場の品質管理を行ったことのある人の

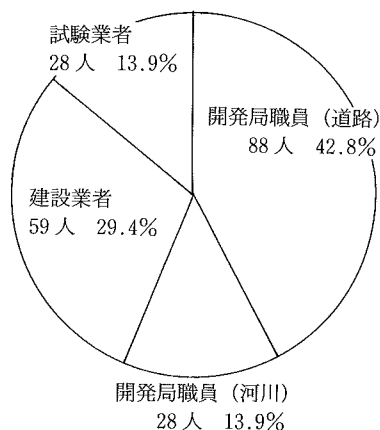


図-13 調査対象者の構成

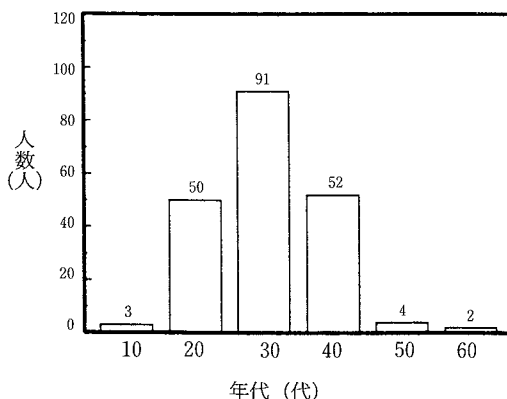


図-14 試験を行っている年代

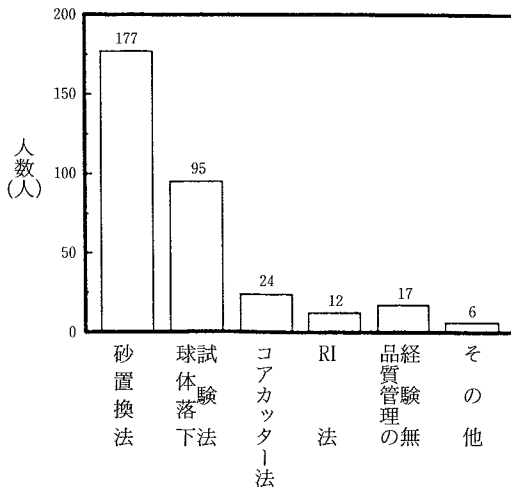


図-15 現場の品質管理方法 (複数回答あり)

95%以上が砂置換法を経験しており、砂置換法がかなり一般的であることを示している。

2. 衝撃加速度の説明会について

図-16は、衝撃加速度の知名度を示したものである。これまでほとんど広報活動を行わなかったにもかかわらず衝撃加速度試験を知っていたと答えた人は43.3%で比較的多いが、この内訳は大半が開発局職員しかも道路部門の人である。このほとんどが開発局の会議での報告によるものが大きいと思われる、平成4年度行った説明会の果たした役割はかなり大きいと評価される。図-17は、この説明会について示したものであるが、8割の人に理解していただくことが、説明会としては成功できたと自負している。

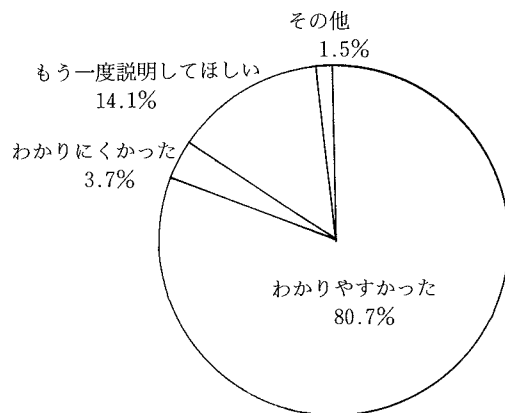


図-16 衝撃加速度試験の知名度

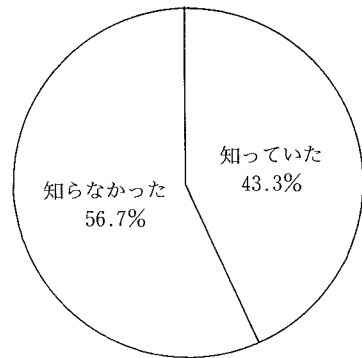


図-17 衝撃加速度の説明会について

残り2割がわかりにくかった、もう一度説明してほしい、その他意見のある人であり、疑問の点は直接筆者まで連絡願いたい。

3. 衝撃加速度試験機について

図-18, 19は、衝撃加速度試験機についての回答の結果であるが、約半数の人が普通と答えており、小さい、軽いといった意見も含めると、このままの大きさ、重さでも十分使用していただけるものとする。図-20は衝撃加速度試験機の操作性を示したものであるが、約8割の人に非常に簡単、簡単であると答えていただき機械としては現状の形で十分と考える。

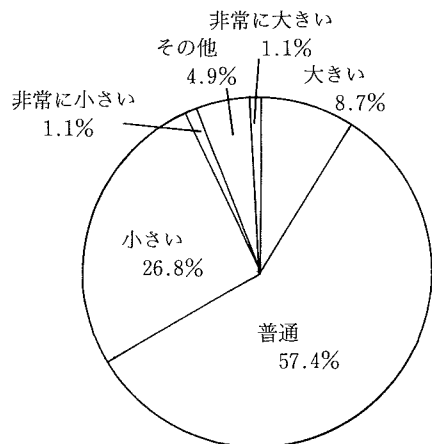


図-18 衝撃加速度試験機の大きさ

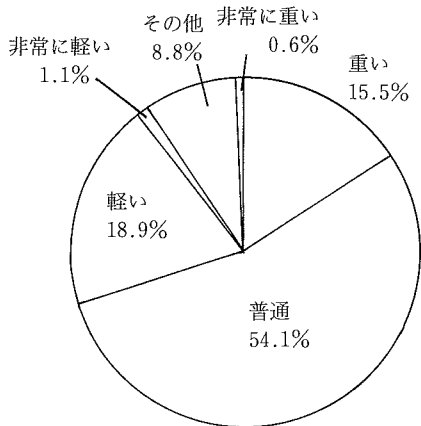


図-19 衝撃加速度試験機の重さ

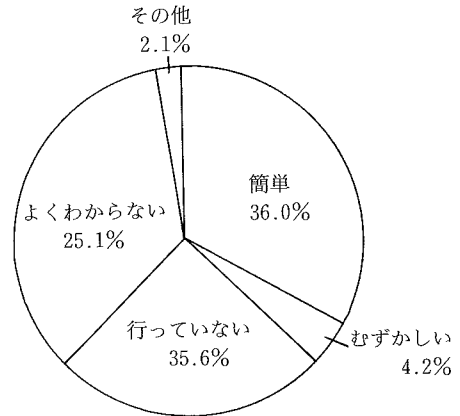


図-22 結果の整理方法について(複数回答可)

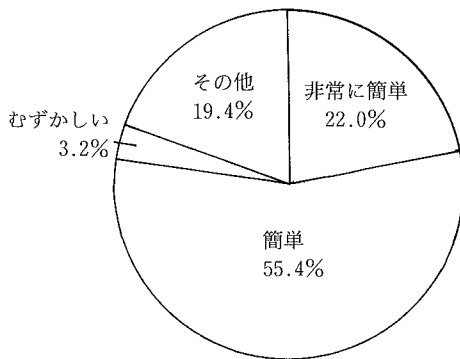


図-20 衝撃加速度試験機の操作法について

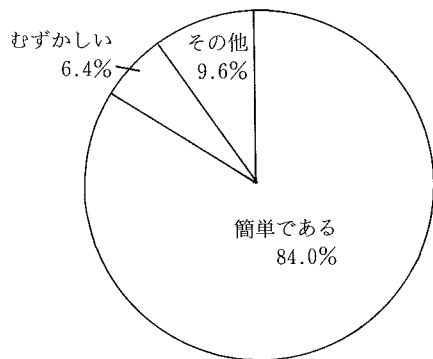


図-23 衝撃加速度試験法の総合判断

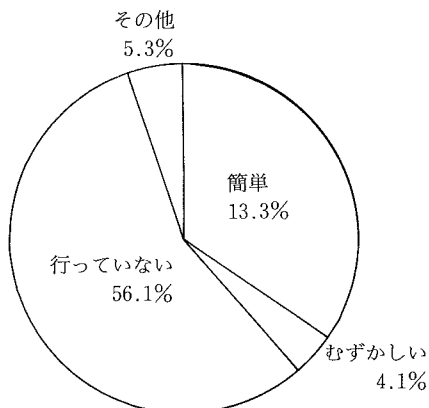


図-21 データの取りまとめ方法について(複数回答可)

4. データの取りまとめおよび整理方法について

図-21, 22 は、データの取りまとめおよび整理方法に関するものであるが、データの取りまとめおよび整理法を行っていない方がかなり多く残念である。しかし、取りまとめを行った人は簡単であると答えているので現状の方法で十分と考える。

図-23 は、衝撃加速度による盛土の品質管理についてのアンケート結果であるが、ほとんどの人に簡単であると答えていただくことができた。特に、現場の試験が簡単になる、非常に効果的という意見もいただき、嬉しく感じている。

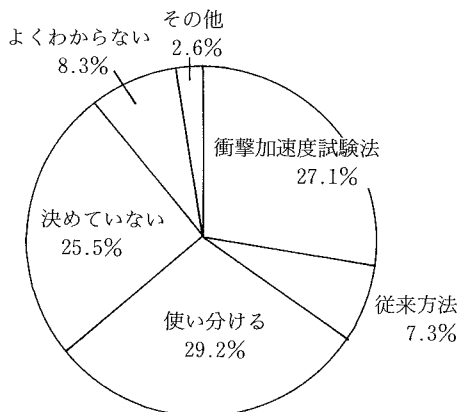


図-24 今後の盛土の品質管理方法について

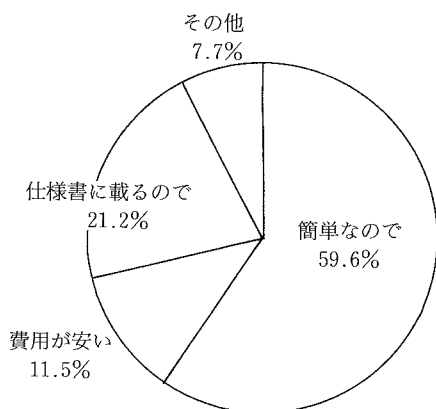


図-25 衝撃加速度試験法を使用したい理由

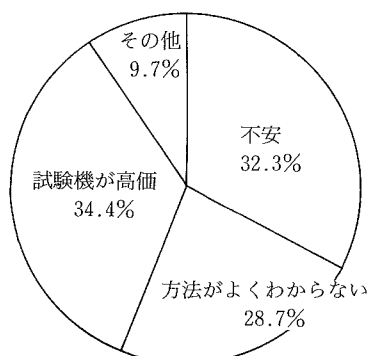


図-26 衝撃加速度試験法を使用したくない理由

5. 衝撃加速度試験による盛土の品質管理の普及について

これまでの結果を踏まえた上で、これからの盛土の品質管理をどのように行うか示したものが図-24である。27.1%の人が衝撃加速度試験を使いたいと答えている。その理由は図-25に示すように、簡単であることが約6割を占め、迅速で簡易な盛土の品質管理方法の開発という目的を十分果たしたと考えている。図-26は、今後衝撃加速度試験法によると答えた人以外の理由を示したものである。試験方法に不安がある、試験方法がよくわからないと考える人が過半数を占めているが、試験法が普及することにより、かなり解決できる。

6. 今後の課題

試験機に対する要望としては、試験機のコストダウンがかなり多く、その他耐久性に関すること、衝撃加速度試験機との一体化など、図面入りの説明もあり、今後の課題としたい。

衝撃加速度試験法については、高含水比や礫質土の試料に対する適応性を検討するような意見が多く、この内高含水比土の試料については、本文5.3で報告した。礫質土については、これまで検討を行った試料には、礫の混入率がかなり多い試料は、ほとんどなかったため、今後このような試料を対象とした検討が課題であると考えられる。