

5. 浅沼式自動締固め管理システム (AMACCS工法)の開発(その1)

浅 田 毅
溝 口 義 弘
佐 野 久 二*

要 旨

盛土工事における締固め管理は、一般的に、砂置換法等による現場密度試験が用いられているが、試験結果が判明するまでにはかなりの時間が必要であり、したがって、迅速に結果が分かり施工管理に反映できる方法が各方面で研究されるようになり、実施工においても使用され始めている。

今回、当社で開発した自動締固め管理システムは、タイヤローラー等の転圧機械に取り付けた衝撃加速度測定装置の目盛りを読み取ることによって、転圧機械のオペレーターが即座に締固め度を判定し、その試験結果を直ちに施工に反映させ、盛土した現場内の面的な施工管理と経済的な施工が図れるようにと考えたものである。

キーワード

応答加速度法／自動締固め管理装置／施工管理

目 次

- | | |
|---------------|----------|
| 1. はじめに | 4. ま と め |
| 2. 締固め管理システム | 5. あとがき |
| 3. 管理システムの適用例 | |

5. ASAMUMA METHOD WITH AUTOMATIC COMPACTION CONTROL SYSTEM (Development of AMACCS construction method:Part1)

Tsuyosi Asada Yosihiko Mizoguchi Kyuji Sano

Abstract

Embankment compaction operations are generally monitored using the sand replacement method on-site tests for density of soil. The fact that it takes a considerable amount of time to obtain the results under this method, however, has spurred research and usage of faster methods that can be applied to construction management.

The automatic compaction control system we have developed consists of impact acceleration measuring device mounted on a tire roller or some other rolling compaction machine. By reading the meter of this device, the roller operator can determine instantly the degree of compaction. This knowledge can then be applied directly to the construction. The system was developed as a better and more economically efficient means of managing surface grading operations in banking projects.

* 大阪本店土木部舗装課

1. はじめに

盛土工事においては、締固めを十分行うことが、管理上、最も重要とされている。その管理としては、砂置換法等による現場密度試験が一般的に用いられているが、試験結果が判明するまでにかなりの時間を要し、施工の効率化と自動化を図るためには、締固め度を即座に自動的に判定できるシステムの開発が不可欠とされる。

今回、当社では、ランマーを地表面に自由落下させたときに生ずる衝撃加速度を測定して、土の密度あるいは地盤反力係数と関連させる応答加速度法による自動締固め管理装置を考案した。本報告はその管理システムおよびそのシステムを適用した事例について述べるものである。

2. 締固め管理システム

応答加速度法による盛土の締固め管理のフローチャートを図-1に示す。作業フローは、大きく分けて(1)盛土材の土質試験、(2)盛土の締固め管理基準値の設定、および(3)盛土の施工管理、および(3)盛土の施工管理の順となっている。以下、そのシステムの概要について説明する。

2.1 盛土材の土質試験

盛土材の密度試験、粒度試験、液性限界試験および塑性限界試験等の物理試験と締固め試験を行い、土の締固め特性を調べる。図-2は締固め試験結果の例であるが、一般に、土の密度で管理する場合は、図中の最大乾燥密度に対する割合で締固め度を規定している。

2.2 盛土の締固め度の管理値の設定

2.2.1 衝撃加速度の測定（室内）

応答加速度法によって盛土の締固め管理を行う場合所定の密度に締固めた試料の衝撃加速度を前もって、室内で測定しておく必要がある。

衝撃加速度の測定装置の全景を写真-1に、模式図を図-3に示す。図に示すように、直径50mm、重量4.5kg(柄を含む)のランマーを $h=45\text{cm}$ の高さから、試料に落下させたときに生ずる衝撃加速度を加速度計で測定し、その加速度の最大値を求めて、ディスプレイに表示し、記録するシステムとしている。

図-4に加速度計から出力された衝撃加速度の波形を示す。

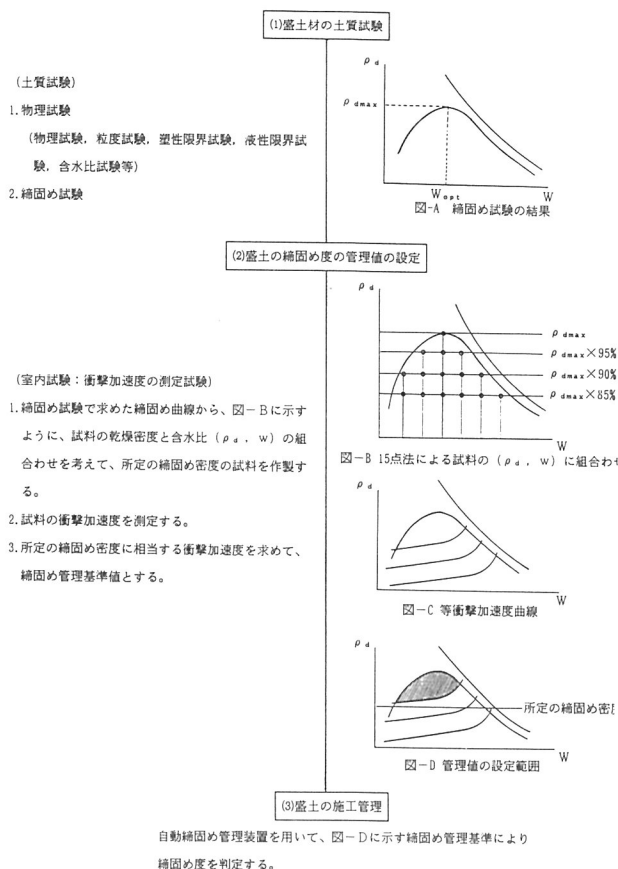


図-1 応答加速度法による盛土の締固め管理のフローチャー

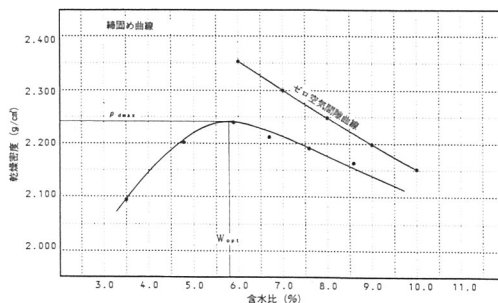
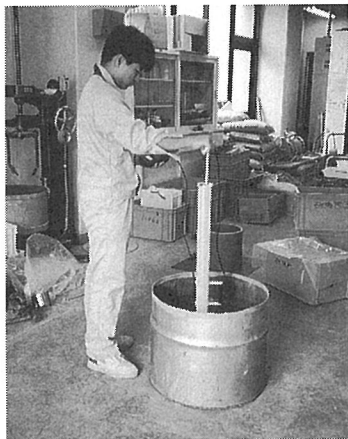
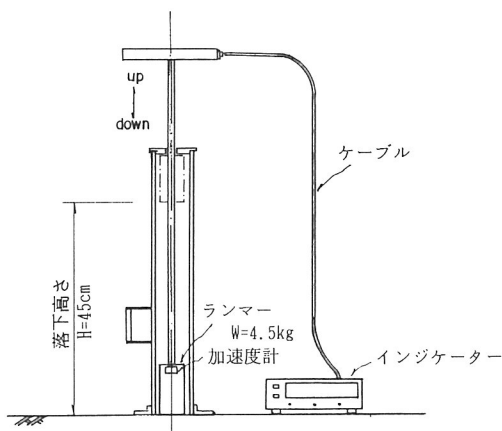


図-2 締固め試験の結果の例

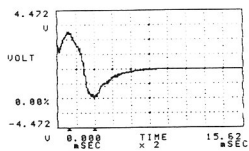
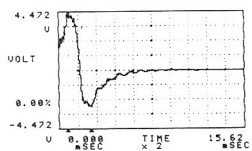


写真－１ 測定装置

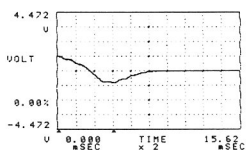


図－３ 測定装置の模式図

- (1) 礫質土 $\rho_d = 2.207 \text{ g/cm}^3$, $w = 5.8\%$ (2) 砂質土 $\rho_d = 2.179 \text{ g/cm}^3$, $w = 8.4\%$



- (3) 粘土 $\rho_d = 1.904 \text{ g/cm}^3$, $w = 16.8\%$

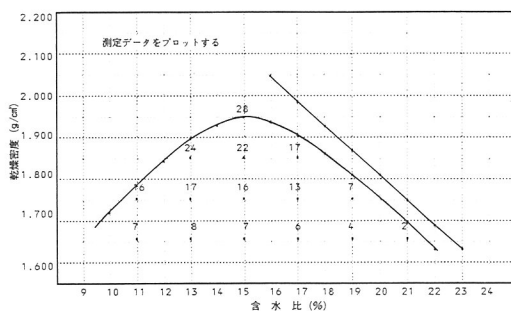


図－４ 衝撃加速度の波形

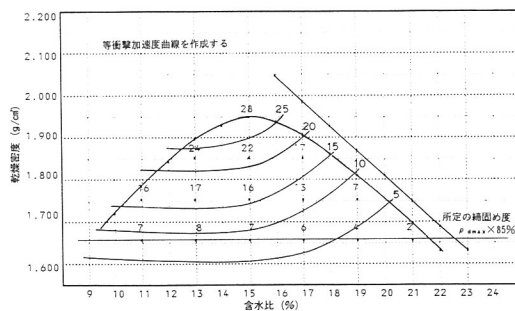
表－１ 衝撃加速度の測定データの例

No.	(ρ_d , w)	I_s	No.	(ρ_d , w)	I_s
①	(1.950, 15)	2 8	⑨	(1.755, 19)	7
②	(1.853, 13)	2 4	⑩	(1.658, 11)	7
③	(1.853, 15)	2 2	⑪	(1.658, 13)	8
④	(1.853, 17)	1 7	⑫	(1.658, 15)	7
⑤	(1.755, 11)	1 6	⑬	(1.658, 17)	6
⑥	(1.755, 13)	1 7	⑭	(1.658, 19)	4
⑦	(1.755, 15)	1 6	⑮	(1.658, 21)	2
⑧	(1.755, 17)	1 3			

* ρ_d : 乾燥密度 (g/cm^3), w : 含水比 (%)
 I_s : 衝撃加速度



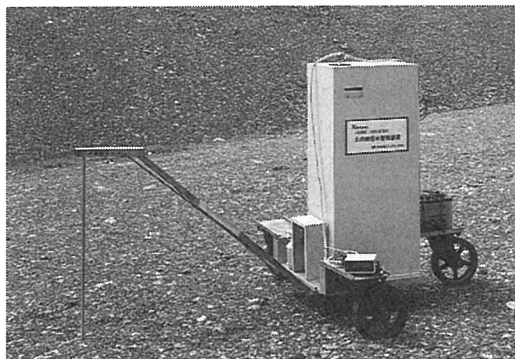
図－５ 衝撃加速度の測定データをプロットした例



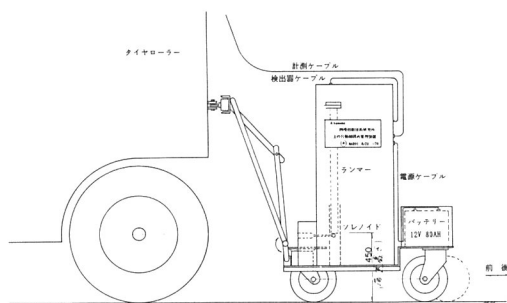
図－６ 等衝撃加速度曲線の例

2.2.2 等衝撃加速度曲線の作成および締固め管理値の設定

図－２に示す締固め曲線を使って、９点法あるいは１５点法によって、乾燥密度と含水比 (ρ_d , w) の組み合わせを作り、所定の密度に締固めた試料の衝撃加速度を測定する。測定したデータを図－２にプロットして、等衝撃加速度曲線を求める。表－１に示す測定データの例を、図－２上にプロットした例を図－５に示す。



写真－２ 自動締固め管理装置の全景



図－７ 自動締固め管理装置の模式図

図－６は、図－５をもとに等衝撃加速度曲線を作成したものである。所定の締固め度が最大乾燥密度 ρ_{dmax} の85%とすると、衝撃加速度（ I_s ）の締固め管理値は、この図から、 $I_s = 10$ となる。

このように、応答加速度法では、土の乾燥密度と含水比の2つの要素を1つの指標として表すことができる。

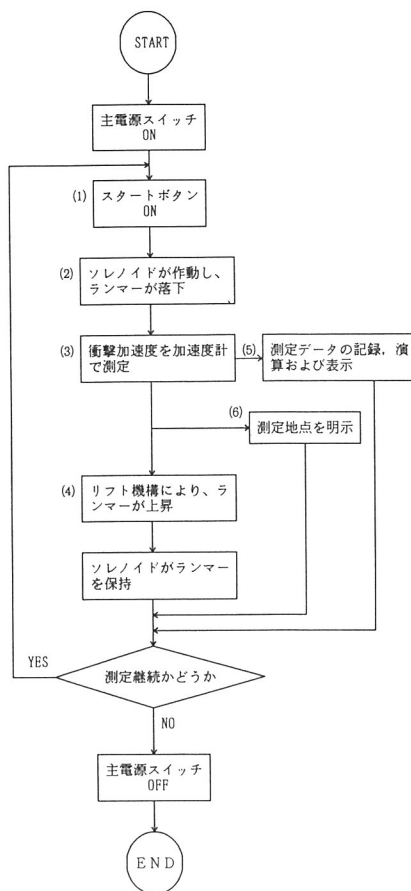
2.3 盛土の施工管理

以下に示す自動締固め管理装置を考案した。所定の締固め管理値以上を確保できるよう、盛土の施工管理を行う。

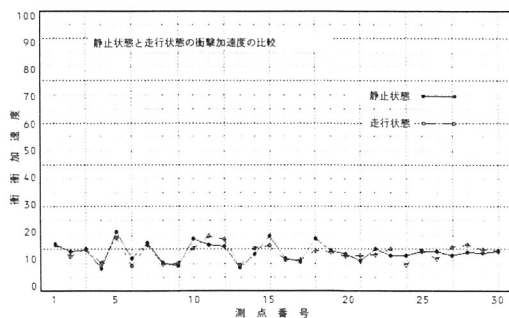
2.3.1 自動締固め管理装置

自動締固め管理装置の全景を写真－２に、その模式図を図－７に示す。

図－７に示すように、当装置は、(1)ランマーを落下させて、引き上げる機構、(2)ランマーに内蔵された加速度計で測定されたデータを記録、演算して表示する機構、および(3)牽引用の台車・取付け金具で構成されている。牽引車は一般の転圧機械であればどの機種でも取り付けられるように工夫しており、機械が前後左



図－８ 自動締固め管理装置の作動フローチャート



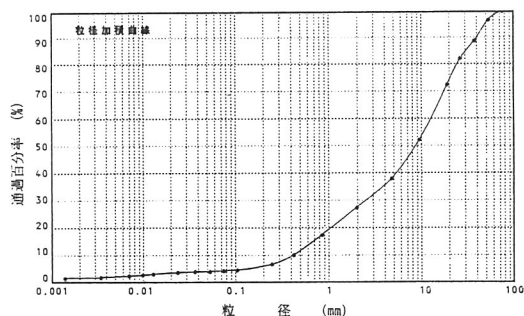
図－９ 走行時と静止時の測定データの比較

右に移動しながら測定することも可能である。さらに、簡単に運搬ができるように分解可能な構造とした。ランマーの形状、重量および落下高さや加速度計は、室内試験で用いた試験装置と同等のものである。

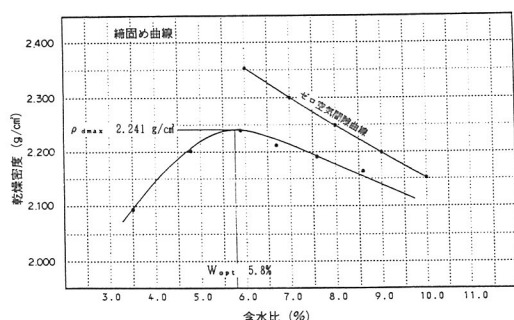
図－８は、本装置を作動させたときの機能上のフローチャートを示す。(1)測定者がスタートボタンを押すと、(2)ランマーの落下、(3)衝撃加速度の測定、(4)ランマーの引き上げ、(5)測定データの記録・演算・表示、

表－2 物理試験の結果

試料	日本統一分類法 による分類	密度 ρ_s	液性 限界 $W_L(\%)$	塑性 限界 $W_P(\%)$	均等 係数 U_c	曲率 係数 $U_{c'}$
礫	{G}	2.742	N.P.	N.P.	26.7	1.2



図－10 粒度分布



図－11 締固め試験の結果

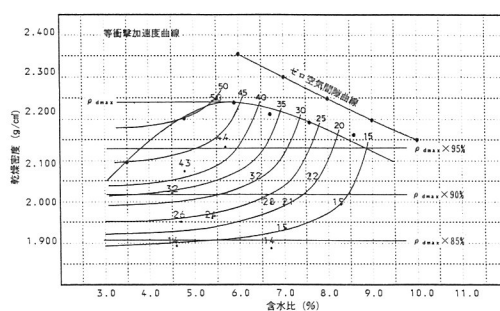
(6)測定箇所の明示と、自動的に連続して行われる。前述した例では、測定者は、ディスプレイで表示された測定値 I_s が10以上であれば、盛土の転圧は完了であり、10未満であれば、転圧不足であると判断する。測定者が転圧機械のオペレーターである場合、施工を行いながら、盛土の締固め度を即座に判断することができる。

2.3.2 走行時と静止時の測定データの比較

図－9に、装置が走行している時と静止している時に測定した衝撃加速度を比較したものを示す。走行時とは、自動締固め管理装置を転圧機械に取り付けて、時速4～6km/hで走らせている状態をいう。この図から、通常の施工では、走行状態でのデータと静止状態のデータは、ほぼ同一の値であることが分かった。

表－3 衝撃加速度の測定結果

No.	(ρ_d, w)	I_s	No.	(ρ_d, w)	I_s
①	(2.076, 4.8)	4 2	⑨	(2.065, 7.6)	2 2
②	(2.023, 4.5)	3 2	⑩	(1.995, 8.3)	1 4
③	(1.951, 4.7)	2 6	⑪	(1.949, 7.7)	1 5
④	(1.895, 4.6)	1 1	⑫	(1.908, 7.0)	1 4
⑤	(2.065, 6.3)	3 0	⑬	(2.133, 5.7)	4 4
⑥	(1.997, 6.7)	2 2	⑭	(2.140, 7.0)	3 3
⑦	(1.755, 7.0)	1 6	⑮	(2.248, 5.5)	5 0
⑧	(1.889, 6.7)	1 4			



図－12 等衝撃加速度曲線（管理値の設定）

3. 管理システムの適用例

大塚地区のスーパー堤防整備事業の築堤工事の中で本システムを適用した。

3.1 盛土材の土質

盛土材の物理試験の結果を表－2に示す。盛土材は日本統一分類法では礫{G}に属し、土の密度は2.742g/cm³と普通の値を示す。図－10は、その粒度分布である。

図－11に締固め試験の結果を示す。最大乾燥密度は $\rho_{dmax} = 2.241(g/cm^3)$ 、最適含水比は $W_{opt} = 5.8(\%)$ である。

3.2 盛土の締固め管理値の設定

図－11の乾燥密度－含水比曲線を用いて、15点法によって、15ケースの (ρ_d, W) の組み合わせを作成する。15ケースの試料を作製し、衝撃加速度を測定した結果を表－3に示す。

図－12は、表－3の測定結果を図－11上にプロットして、等衝撃加速度曲線を作成したものである。この図から、所定の締固め度 $(\rho_{dmax} \times 85\%)$ に相当する衝撃加速度の管理値は、 $I_s = 20$ となる。



写真-3 施工管理を行った区域の全景



写真-4 自動締固め管理装置の稼働状況

表-4 測定結果

No.	I _s 値	No.	I _s 値	No.	I _s 値
A-1 ①	38.3	A-2 ①	42.7	B-1 ①	58.5
②	38.8	②	34.1	②	48.0
③	37.1	③	41.9	③	44.1
④	48.1	④	51.0	④	47.8
⑤	46.8	⑤	43.7	⑤	53.4
⑥	52.9	⑥	42.9	⑥	36.8
⑦	42.9	⑦	45.1	⑦	33.4
⑧	39.7	⑧	40.5	⑧	27.5
No.	I _s 値	No.	I _s 値	No.	I _s 値
B-2 ①	44.4	C-1 ①	45.8	C-2 ①	40.0
②	46.1	②	33.2	②	35.1
③	55.4	③	31.4	③	34.9
④	37.3	④	48.5	④	31.0
⑤	53.2	⑤	33.4	⑤	36.2
⑥	50.0	⑥	41.2	⑥	43.7
⑦	39.7	⑦	39.7	⑦	41.0
⑧	44.4	⑧	30.2	⑧	40.2

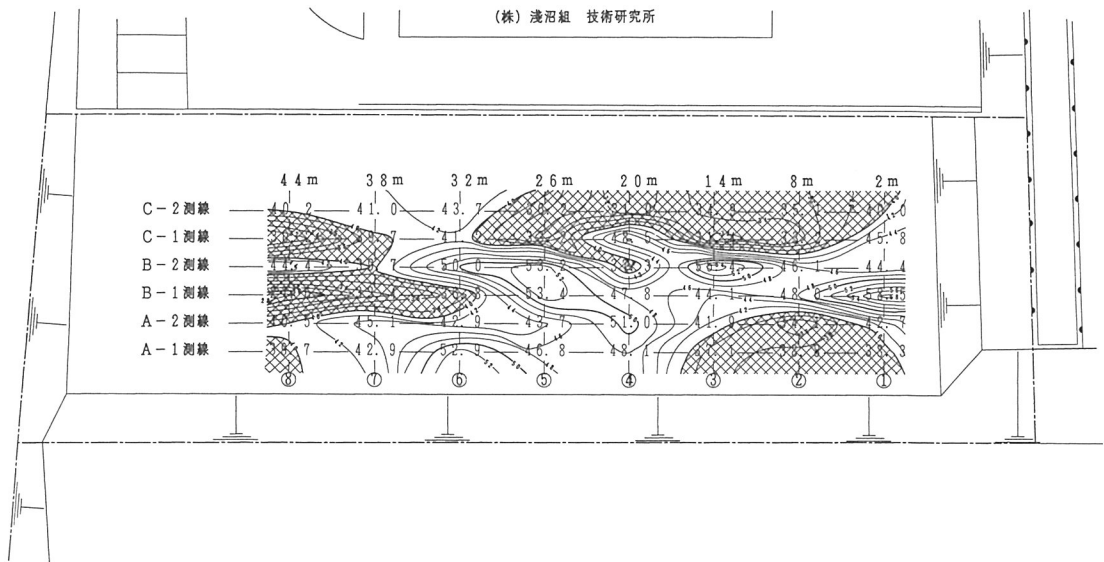


図-13 衝撃加速度の等高線図

3.3 盛土の施工管理

盛土の施工管理を行った区域の全景を写真-3に示す。

写真-4に、自動締固め管理装置をタイヤローラー

に取りつけて、盛土の締固めを管理している状況を示す。盛土の巻出し厚は $t = 30\text{cm}$ で、20tのタイヤローラーで5回以上転圧して所定の密度以上になるよう施工をしている。

表－５ 現場密度試験の結果

No.	現場密度試験		
	ρ_d (g/cm ³)	W(%)	推定 I_s 値
A-1 ①	2.033	3.9	38
A-1 ③	2.032	3.8	38
A-1 ⑤	2.062	3.2	44
A-2 ②	2.018	4.1	34
C-1 ②	2.003	2.8	32
C-1 ③	1.960	2.7	29
C-2 ②	2.048	3.3	37
C-2 ③	2.000	3.5	32
C-2 ④	1.965	4.1	28
C-2 ⑥	2.034	3.9	39

そのときの測定結果を表－４に示す。この結果を見ると、衝撃加速度の値（ I_s 値）はすべて20以上であり、施工区域の全域にわたって、所定の締固め度以上を確保していることが分かった。その測定データをプロットして、締固め度の等高線を作成したものを図－13に示す。この図を見ると、A－1 測線からB－2 測線の、中央から右側の区域では、 $I_s=40\sim50$ と高い値を示しており、A－1 測線からC－2 測線の左側の部分とC－1 測線の中央からC－2 測線の全体にわたって、 $I_s=30\sim40$ と周辺の締固め度より少し低い値になっていることがわかる。このように、この図から施工区域内の締固め度の相対的な評価を行い、締固め度が不足のときは再度締固め作業を行うことになる。

表－５に、砂置換法で行った現場密度試験の結果を示す。ここで、推定 I_s 値とは、現場密度試験の結果を図－12の等衝撃加速度曲線図にプロットして求めた衝撃加速度とする。推定 I_s 値と表－４の実測値を比較すると、ほぼ一致していることがわかる。

4 まとめ

本管理システムを盛土の施工管理に適用した結果、以下のことが確認された。

- ①盛土の締固め度を、即座に知ることができる。
- ②施工区域内の全域に渡っての相対的な締固め度がわ

かることで、区域内を面的に施工管理することができ、施工面にすぐに反映させることができる。

応答加速度法の場合、礫に直接ランマーが当たると大きな加速度値を示し、現状の締固め状態と異なる判断をする恐れがある。今回適用した現場での測定結果は礫の影響を比較的受けていないが、この点にも留意して、開発を進めたいと考えている。

5 あとがき

築堤工事の盛土管理に本管理システムを適用してみた結果、実際の現場で施工管理用として使用するための確認ができたと考えている。今後、実際の現場の施工管理に本システムを適用し、データの収集を行うとともに、装置の小型化・軽量化を図る等、システムの改良を行い、盛土工事の自動化施工システムづくりに取り組んでいきたいと考えている。このシステムの開発を進めるにあたり、貴重なご意見とご指導をいただいた(株)大阪土質試験所の岩崎所長、坂元副所長はじめ関係各位に、深く感謝の意を表します。

(参考文献)

- (1)土質工学会編：土の締固めと管理，土質基礎工学ライブラリー36，土質工学会，P212～215,1991
- (2)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講演集，P1851 ～ 1852,1991
- (3)後町知宏・松井美喜二・浜口武久：重錐落下方式による締固め管理の自動化の検討，第19回日本道路会議論文集，P554～555,1991
- (4)才木繁・坂元稔・本郷隆夫・藤原正明・加藤豊・北村明洋：土木学会第47回年次学術講演会講演概要集第3部，P768～769,1992
- (5)河上房義・柳澤栄司：土の締固め，土質工学基礎叢書10，鹿島出版会，1982