

13. 浅沼式締固め管理システム (AMACCS工法)の開発(その2)

浅田 毅
溝口 義弘
佐野 久二*

要 旨

前回の報告では、自動締固め管理装置を中心にした締固め管理システムの概要と現場への適用例について述べた。本報告では、締固め管理システムのうち、盛土の締固め管理値の設定の際に必要な土の締固め特性と衝撃加速度の関係について述べるものである。

キーワード

土の締固め特性／衝撃加速度／締固め管理値の設定

目 次

1. はじめに
2. 土の締固め特性と衝撃加速度について
3. 管理値を設定する上での留意点
4. ま と め
5. あとがき

13. ASAMUMA METHOD WITH AUTOMATIC COMPACTION CONTROL SYSTEM (Development of AMACCS construction method:Part2)

Tsuyosi Asada
Yoshihiro Mizoguchi
Kyuji Sano

Abstract

In the previous paper, a general outline of compaction control system detailing the automatic compaction control equipment and example applications, were given.

In this paper, the relationship between the impact acceleration and the required ground hardening characteristics for the established compaction control values of the heaped ground, is detailed.

* 大阪本店土木部舗装課

1. はじめに

締固め試験を行うことにより、土の最大乾燥密度 ρ_{dmax} と最適含水比 W_{opt} が求まる。締固め管理を乾燥密度で行う場合、前述した最大乾燥密度に対する割合で締固め管理を行うことになる。その管理手法にはいろいろな方法があるが、前回の報告で土の密度に衝撃加速度を相関させた応答加速度法を使う手法を提案した。本報告では、その管理手法に関連する土の締固め特性と衝撃加速度との関係およびその管理値を設定する上での留意点について述べる。

2. 土の締固め特性と衝撃加速度について

2.1. ランマーの落下高さとの衝撃加速度の関係

ランマーの落下高さによって衝撃加速度の値がどのように変化するかを調べるために、以下のような実験を行った。その実験に用いた笠岡粘土の粒度分布を図-1に示す。また、表-1および図-2に、それぞれ物理試験の結果と締固め試験の結果を示す。

実験は密度が一定の試料を用い、落下高さを5～65 cmまで5 cmピッチで変化させて、それぞれの高さでの衝撃加速度を測定した。

表-2は、ランマーの落下高さを変化させたときの衝撃加速度の測定結果を示す。また、図-3は、落下高さと衝撃加速度の関係を示す。この図から、ランマー

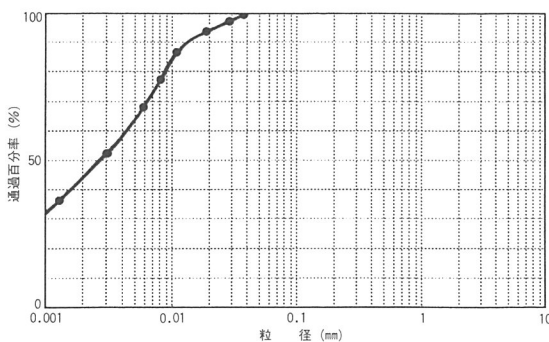


図-1 粘度分布（笠岡粘土）

表-1 物理試験の結果（笠岡粘土）

試料	日本統一分類法 による分類	密度 ρ_s (g/cm ³)	液性限界 W_{LL} (%)	塑性限界 W_{PL} (%)
粘土	{ C }	2.598	50.4	18.2

の落下高さと衝撃加速度は相関性が高く、落下高さが高くなるにつれて、衝撃加速度が直線的に大きくなっていることが判る。

2.2. 土の締固め特性と衝撃加速度の関係

土の締固め特性と衝撃加速度の関係を調べるために礫質土、砂質土および粘土について、それぞれの締固め曲線上の5～9種類の密度で締固めた試料を使って

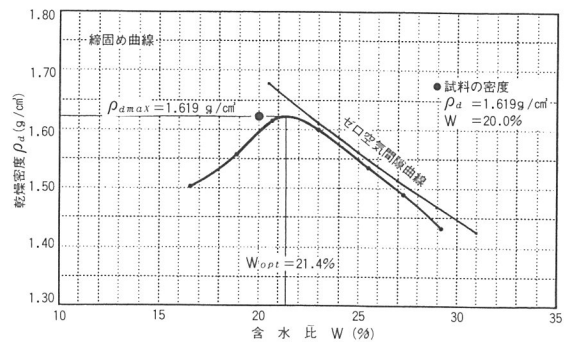


図-2 締固め曲線および試料の密度

表-2 衝撃加速度の測定結果

No.	落下高さ (cm)	衝撃加速度 (G)	No.	落下高さ (cm)	衝撃加速度 (G)
1	5.0	3.5	8	40.0	8.1
2	10.0	4.8	9	45.0	9.1
3	15.0	5.5	10	50.0	10.6
4	20.0	6.3	11	55.0	10.9
5	25.0	6.5	12	60.0	9.9
6	30.0	7.5	13	65.0	12.5
7	35.0	7.3			

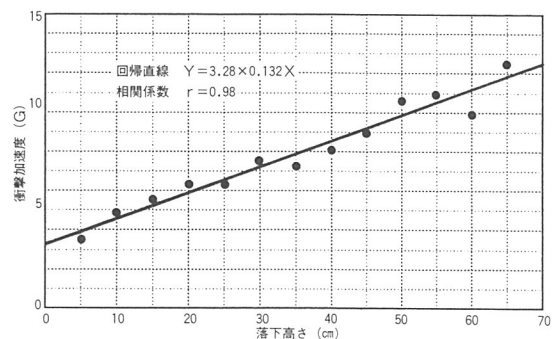


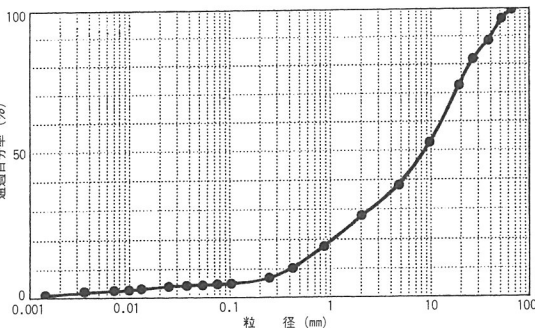
図-3 ランマーの落下高さと衝撃加速度の関係

衝撃加速度を測定した。使用した礫質土および砂質土の粒度分布を、図－4、5に示す。また、その各材料の物理試験を表－3、4に示す。粘土は、2.1.で用いた笠岡粘土を使用した。

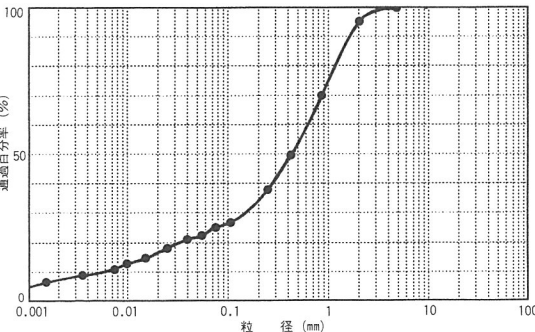
表－5、6および7はそれぞれ粘土、砂質土、礫質土の衝撃加速度の測定結果である。また、図－6、7および8はそれぞれの測定結果と締固め曲線を図示したものを示す。これらの図は含水比を横軸に、衝撃加速度と乾燥密度を縦軸に取っている。これらの図を見ると、粘土、砂質土および礫質土の衝撃加速度の最大値は、それぞれ最適含水比より3.4%,6.6%,1.0%だけ乾燥側の含水比で現れている。また、同じ乾燥密度の試料の場合、最適含水比より乾燥側の含水比の試料の衝撃加速度は、3種類の材料とも湿潤側の試料のものより大きく、粘土で1.2～2.2倍、砂質土で1.2～3.1倍、礫質土で1.2～3.6倍になっている。

2.3.土の締固め特性と強度特性の関係

土の締固め特性と強度特性の関係を調べるために、



図－4 粒度分布（礫質土）



図－5 粒度分布（砂質土）

以下のような実験を行った。

使用した材料は、2.2.で用いた砂質土である。締固め曲線上の8種類の密度の試料を作製し、各試料の三軸圧縮試験を行った。表－8はその結果を示す。また図－9は、締固め曲線と三軸圧縮試験から得られた内部摩擦角の変化曲線を示す。この図は、横軸に含水比を、縦軸に内部摩擦角と乾燥密度を取っている。この図をみると、最適含水比より4.5%乾燥側の含水比で内部摩擦角の最大値 $\phi_{max} = 32.5^\circ$ になっている。また同じ乾燥密度の試料の場合、最適含水比より乾燥側の含水比の試料と湿潤側のものでは、前者の内部摩擦角は後者のその 1.1～1.8 倍になっている。

2.4.土の強度特性と衝撃加速度について

図－10は、砂質土の内部摩擦角と衝撃加速度の変化曲線を示す。

これを見ると、衝撃加速度は含水比 $w = 6.5\%$ で最

表－3 物理試験の結果（礫質土）

試料	日本統一分類 法による分類	密度 ρ_s (g/cm ³)	液性限界 W_{LL} (%)	塑性限界 W_{PL} (%)	均等係数 U_c	曲率係数 U_c
礫	(G)	2.742	N. P.	N. P.	26.7	1.2

表－4 物理試験の結果（砂質土）

試料	日本統一分類 法による分類	密度 ρ_s (g/cm ³)	液性限界 W_{LL} (%)	塑性限界 W_{PL} (%)	均等係数 U_c	曲率係数 U_c
砂質土	(S F)	2.678	N. P.	N. P.	101.9	5.1

表－5 衝撃加速度の測定結果（粘土）

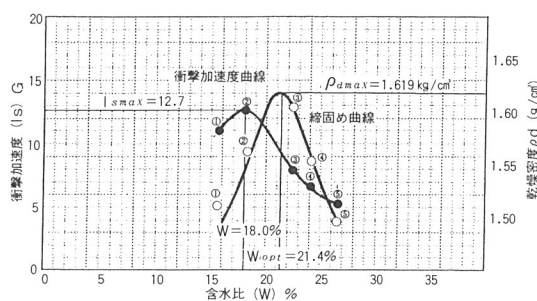
No.	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	含水比 w (%)	$\rho_{dmax} \times \square$ (%)	衝撃加速度 I_s (G)
1	1.516	15.7	93.6	11.0
2	1.569	18.0	96.9	12.7
3	1.610	22.3	99.4	7.9
4	1.552	24.2	95.9	6.7
5	1.499	26.5	92.6	5.4

表－6 衝撃加速度の測定結果（砂質土）

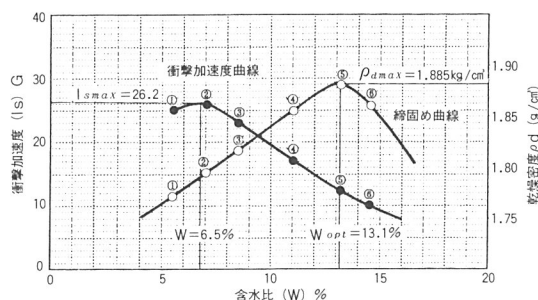
No.	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	含水比 w (%)	$\rho_{dmax} \times \square$ (%)	衝撃加速度 I_s (G)
1	1.787	5.5	94.8	25.1
2	1.810	7.0	96.0	26.0
3	1.823	8.5	96.7	22.9
4	1.870	11.0	99.2	17.4
5	1.884	13.2	99.9	12.5
6	1.853	14.5	98.3	10.1

表－7 衝撃加速度の測定結果（礫質土）

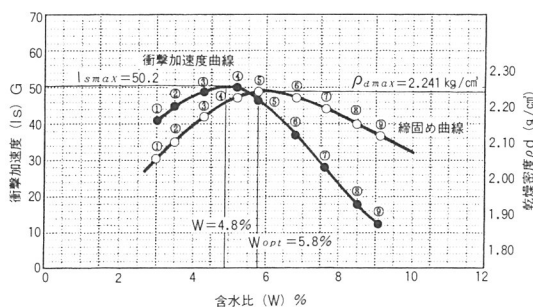
No.	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	含水比 w (%)	$\rho_{dmax} \times \square$ (%)	衝撃加速度 I_s (C)
1	2.050	3.0	91.5	41.0
2	2.084	3.5	93.0	45.0
3	2.177	4.3	97.1	48.8
4	2.220	5.2	99.1	50.0
5	2.241	5.8	100.0	46.4
6	2.218	6.8	99.0	37.0
7	2.182	7.6	97.4	28.0
8	2.150	8.5	95.9	17.9
9	2.115	9.1	94.4	13.0



図－6 締固め曲線と衝撃加速度曲線（粘土）



図－7 締固め曲線と衝撃加速度曲線（砂質土）

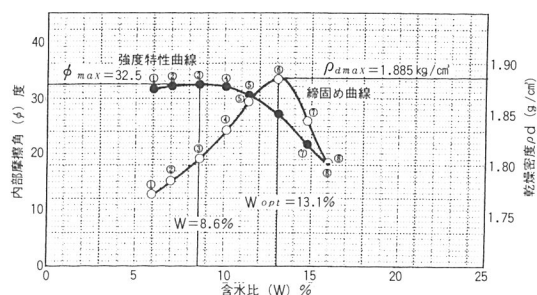


図－8 締固め曲線と衝撃加速度曲線（礫質土）

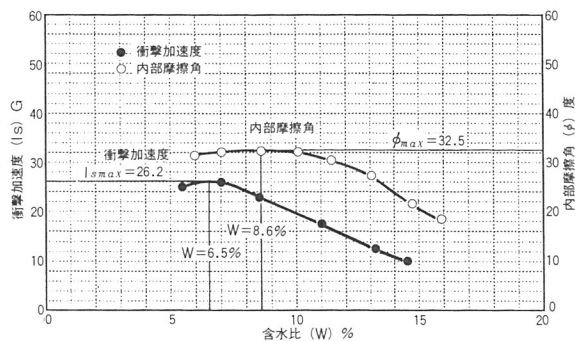
大値 $\rho_{dmax} = 26.2$, 内部摩擦角は含水比 $w = 8.6\%$ で最大値 $\phi_{max} = 32.5^\circ$ になっており、両者とも最適含水比より乾燥側の含水比で最大値を取っている。また、変化曲線も似かよった形状をしている。このようなことから、土にランマーを落させて得られる衝撃加速度は土の強度特性に類似しているものと考えられる。

表－8 三軸圧縮試験の結果（砂質土）

No.	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	含水比 w (%)	$\rho_{dmax} \times \square$ (%)	内部摩擦角 ϕ (度)	粘着力 (kgf/cm ²)
1	1.764	6.0	93.6	31.7	0.30
2	1.782	7.0	94.5	32.0	0.42
3	1.807	8.6	95.9	32.5	0.52
4	1.838	10.1	97.5	32.0	0.61
5	1.864	11.4	98.9	30.5	0.65
6	1.885	13.1	100.0	27.2	0.60
7	1.850	14.7	98.1	21.6	0.30
8	1.805	15.9	95.8	18.4	0.25



図－9 締固め曲線と強度特性曲線（砂質土）



図－10 内部摩擦角と衝撃加速度の変化曲線

3. 管理値を設定する上での留意点

3.1.室内試験における試料の乾燥密度と含水比の選定について

盛土材の締固め管理値を設定するにあたって、室内において盛土材の試料を作製して衝撃加速度の測定を行う必要がある。その試料の乾燥密度と含水比の選定を適切に行うことが重要なことはいうまでもない。

その選定法について、図-11に沿って説明する。まず、使用する盛土材の自然含水比を調査し、正規分布するものとして平均値 $\bar{x}$ と標準偏差 σ を求め、図のように平均値 $\bar{x}$ 、 $(\bar{x} \pm \sigma)$ および $(\bar{x} \pm 2\sigma)$ を通る線をそれぞれ縦軸と平行に引く。次に、決められた所定の乾燥密度（締固め密度）の前後で、その値を5%ずつ変えた乾燥密度（図の例では、所定の締固め度が $\rho_{dmax} \times 95\%$ だから、 ρ_{dmax} 、 $\rho_{dmax} \times 95\%$ 、 $\rho_{dmax} \times 90\%$ 、 $\rho_{dmax} \times 85\%$ に相当する乾燥密度）の値を通る線をそれぞれ横軸と平行に引く。このようにして得られた交点（図中の●印）の乾燥密度と含水比を試料の乾燥密度と含水比とする（15点法）。

この方法で、室内試験用の試料の乾燥密度と含水比を決定すると、現場の盛土材に合わせて適切に管理を行うことができる。また、長期に渡る盛土工事では、時期によって盛土材の含水比が変化する可能性があるため、想定される乾燥密度と含水比を十分検討した上で各試料を作製し、それらについて室内試験を行っておく必要がある。また、何種類かの盛土材がある場合は、その材料ごとに管理値を設定しなければならない。

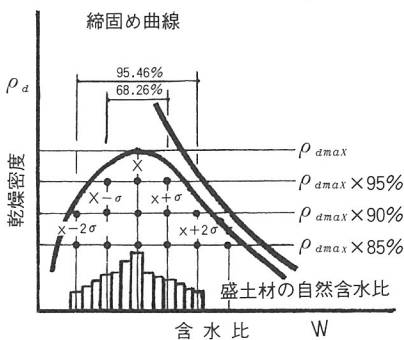


図-11 試料密度を選定する方法

3.2.土質による衝撃加速度の変化について

図-12に、3種類の材料の衝撃加速度の変化曲線を示す。この図から、衝撃加速度の変化する範囲は、粘土、砂質土および礫質土ではそれぞれ $I_s = 5 \sim 15$ 、 $10 \sim 30$ 、 $10 \sim 55$ であり、細粒分が多くなると衝撃加速度の変化の幅が小さくなっていることが判る。目安として、通常の締固め度では各土質の衝撃加速度の最大値は粘性土で $I_s = 20$ 、砂質土で $I_s = 35$ 、礫質土で $I_s = 60$ である。

3.3.礫が衝撃加速度に及ぼす影響について

ランマーが礫に直接当たると、礫の混入している土質が粘性土と砂質土で値は多少異なるが、礫に当たらないときに比べて衝撃加速度は高い値を示す。そこで礫が衝撃加速度に及ぼす影響を調べるために以下のような実験を行った。実験に用いた材料は、標準砂、笠

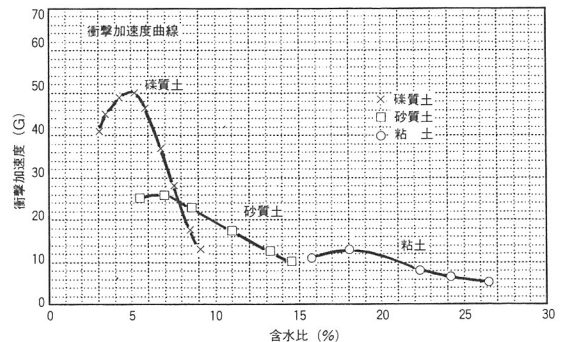


図-12 3種類の土質の衝撃加速度

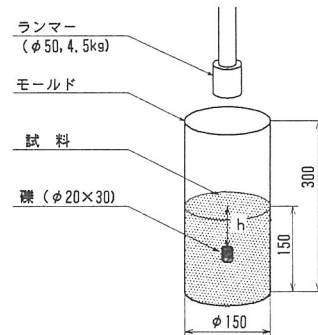


図-13 実験の模式図

岡粘土および粒径20mmの礫である。図-13は、その実験の模式図を示す。実験の条件は、礫を単体で試料表面に置いた場合、表面からそれぞれ1, 2, 3, 6 cmの位置に置いた場合の5 ケースで行った。実験に用いた標準砂の密度は $\rho_d = 1.560 \text{ g/cm}^3$ で、相対密度は76 %である。また、笠岡粘土の乾燥密度は $\rho_d = 1.619 \text{ g/cm}^3$ 、締固め度は $\rho_{dmax} \times 100\%$ で、含水率は20 %である。

表-9に、その測定結果を示す。また、図-14は、測定結果をプロットしたものを示す。

この図から、 $\phi 20\text{mm}$ の礫が単体で土中にある場合、衝撃加速度が礫によって影響されない礫の位置は3 cm以上であることが判る。

4. まとめ

今回行った実験の結果、以下のことが確認された。

- ①ランマーを土に落下させて得られる衝撃加速度は、その土の締固め曲線から求められる最適含水比より乾燥側の含水比で最大値をとり、その土の強度特性

表-9 測定結果

No.	地表面からの距離	衝撃加速度	
		標準砂	笠岡粘土
①	地表面	75.2	65.6
②	h = 1 cm	20.7	17.1
③	h = 2 cm	21.1	13.3
④	h = 3 cm	17.0	11.3
⑤	h = 6 cm	17.1	11.2
⑥	礫のない場合	17.0	11.1

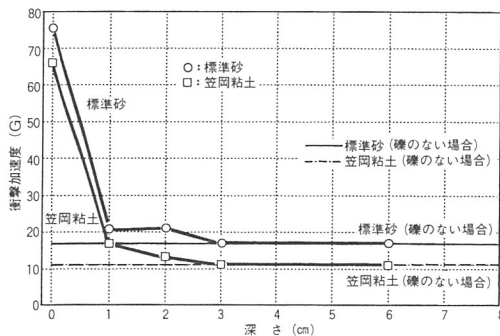


図-14 衝撃加速度の変化曲線

と相関性が高い。

- ②礫が単体で土中にある場合、ランマーの落下する地面からは礫径以上の深さになると、測定される衝撃加速度は礫による影響をあまり受けない。

今後、礫が衝撃加速度に及ぼす影響について詳細に検討し、この手法を確立していきたいと考えている。

5. あとがき

前回の報告では、応答加速度法を使った締固め管理の手法の一つを提案した。現在、今回行った一連の実験をはじめとして、室内において各種の試験を行い、この管理手法の確立を図っているところである。

今後、本システムを盛土管理に活用して、盛土工事の効率化を図っていきたく考えている。

最後に、この実験を行うにあたり、貴重なご意見とご指導をいただいた(財)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：重錘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：簡易締固め測定器を用いた施工管理例，第47回土木学会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
- (6)浅田毅・溝口義弘・佐野久二：浅沼式自動締固め管理システムの開発（その1），(株)浅沼組技術研究所報No.4，P50～56，1992
- (7)浅田毅・溝口義弘・佐野久二・坂元稔：応答加速度法による締固め管理手法について（その1），第48回土木学会年次学術講演会講演概要集第3部，P216～217,1993