

20. 浅沼式締固め施工管理システム (アマックス) の開発 (その3)

浅田 毅
溝口 義弘

要 旨

前回までの報告では、盛土の締固め施工管理システムの概要、試作装置を用いて行った試験施工の結果などについて述べた。その後、室内試験を行い、本システムで得られる衝撃加速度と、土の締固め密度ならびにCBRなどの強度定数との関係について詳細に検討するとともに、多くの盛土施工の現場に適用した結果、本システムが盛土の締固め管理に有効な手法であることを確認した。

キーワード

締固め施工管理システム／衝撃加速度／適用粒度／適用可能勾配／測定深度

目 次

1. はじめに
2. 室内試験
3. 改良したシステムの概要
4. 適用事例
5. あとがき

20. ASANUMA METHOD WITH AUTOMATIC COMPACTION CONTROL SYSTEM (Development of AMACCS construction method : Part 3)

Tsuyoshi Asada
Yoshihiro Mizoguchi

Abstract

The previous papers dealt with the general outline of compaction control system for the fill-up ground, results of test construction using prototype equipment, etc. Subsequently, experiments in laboratory were performed to study in detail the relationship among the impact acceleration obtained by the system, soil compaction density, and strength parameters including CBR. Together with the results of numerous applications to actual ground filling sites, effectiveness of this system for compaction control of the fill-up ground has been confirmed.

1. はじめに

盛土の締固め管理方法には、密度による管理、強度による管理、飽和度による管理、および施工法による管理がある。

これまで、本システムの測定方法がこれらの締固め管理手法として有効な手法であるかどうかについて検討してきた結果、本システムはこれらの管理方法のうち、密度による管理、強度による管理の2方法に適用できることがわかった。

今回行った室内試験の結果、(1)本システムで測定した衝撃加速度と締固め密度との関係、(2)同衝撃加速度と地盤強度（C B R 値）との関係、(3)適用可能な土の粒度範囲、(4)測定可能深度と測定値、(5)測定可能な地盤勾配など5項目についてその内容を明らかにすることができた。

本報告では、これらの室内試験の結果および本システムを現場へ適用した結果について述べる。

2. 室内試験

2.1 試験に用いた試料

試験に用いた試料の粒度分布を図－1に示す。試料の製作には、マサ土（大阪府枚方産）、笠岡粘土（岡山県笠岡産）、珪砂（岐阜県土岐産）、珪砂粉末および礫（大阪府淀川産）を用いた。

試料(a)は細粒分（75 μ mフルイ通過分）の含有率が60%の笠岡粘土であり、試料(b)はマサ土、笠岡粘土、および珪砂粉末からなり、細粒分含有率40%のものである。試料(c)、(d)は、それぞれ細粒分含有率30%、20%のマサ土である。試料(e)、(f)、(g)はマサ土と粒径

9.5～37.5mmの礫、珪砂粉末、珪砂からなり、礫分（粒径9.5～37.5mm）含有率をそれぞれ10%、20%、30%にしたものである。また、試料(h)、(i)は粒径9.5～37.5mmの礫分含有率を40%、50%にしたものである。表－1に、それらの試料性状を示す。

2.2 試験方法および供試体

衝撃加速度の測定方法は、建設省近畿地方建設局制定（平成8年5月）の「簡易支持力測定器による試験法」に準拠し、衝撃加速度測定器（以下、キャスポルという）を用いて測定した。

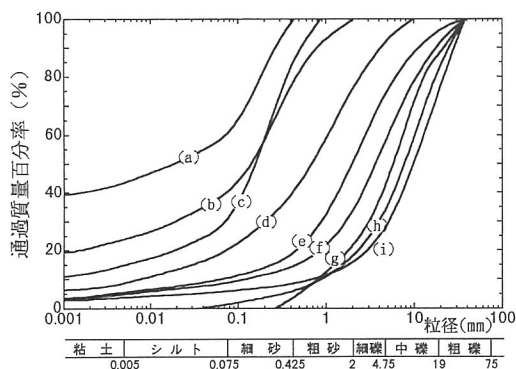
キャスポルは、本システムの測定装置と同じ機構を持つ衝撃加速度の測定器であり、建設省近畿技術事務所と共同開発したものである。キャスポルによる測定状況、その模式図を写真－1、図－2に示す。

(1) 衝撃加速度と締固め密度との関係

試料(a)～(d)、(g)、(i)について、締固め密度を変えた直径250mm、高さ250mmの円筒供試体を作製し、それら

表－1 試料の性状

試料	最大粒径 (mm)	平均粒径 (mm)	均等 係数 (U _c)	細粒分 含有率 (%)	礫分の含有率 (%)	
					2～ 37.5mm	9.5～ 37.5mm
(a)	0.425	0.019	—	60	0	0
(b)	2	0.14	—	40	0	0
(c)	0.85	0.16	—	30	0	0
(d)	9.5	0.68	157	20	25	0
(e)	37.5	1.9	47	12	50	10
(f)	37.5	3.5	45	10	65	20
(g)	37.5	5.5	9	0	80	30
(h)	37.5	7.6	12	2	82	40
(i)	37.5	9.7	20	5	85	50



図－1 試料の粒度分布



写真－1 キャスポルによる測定状況

の衝撃加速度を測定した。

測定に用いた供試体密度を図－3に示す。

(2) 衝撃加速度と地盤強度（CBR値）との関係

試料(a), (b)について、試料密度を変えた円筒供試体を作製し、それらの衝撃加速度を測定した。

供試体は、(1)と同じ形状寸法のものを用いた。

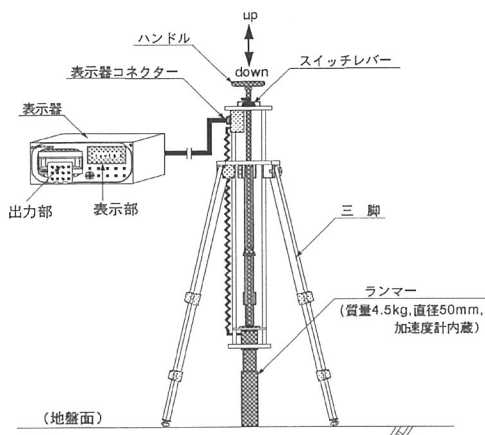
(3) 適用可能な土の粒度範囲

本システムの測定装置で、精度よく測定できる粒度範囲を検討した。

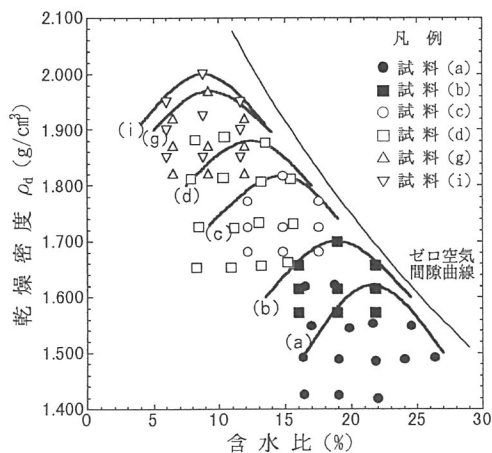
① 最大粒径

礫に測定器のランマーが直接当たる場合、当たらなかった場合に比べて高い衝撃加速度を測定する。その関係を調べて、盛土材の最大粒径を決定するための試験を次の要領で行った。

試料(d)を締固めて、直径565mm、高さ250mmの円筒供試体を作製し、その表面に19～75mmの5種類の礫（粒



図－2 カスポルの模式図



図－3 供試体密度

径19, 26.5, 37.5, 53, 75mm)を図－4に示す番号の位置に3個ずつ埋め込んで、礫にランマーを直接当てて衝撃加速度を測定した。

② 細粒分、礫分含有率

盛土材に含まれる細粒分、礫分含有率による衝撃加速度のばらつきを検討するために、試料(a)～(i)についてそれぞれの試料を締固めて、①と同じ形状寸法をもつ供試体を作製し、それらの衝撃加速度を測定した。

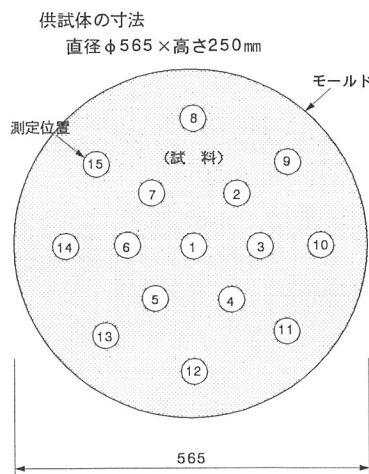
(4) 測定可能深度と測定値

①測定深度、②測定値について検討するために試料(d)を次に示す要領で締固めた供試体の衝撃加速度をキャスボルで測定した。

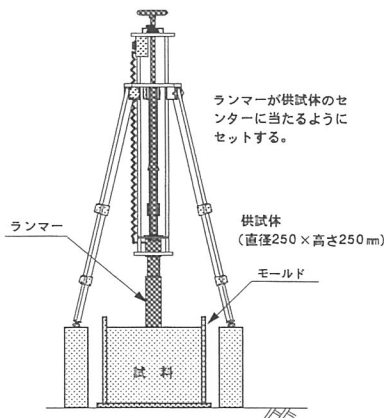
その測定状況を図－5に示す。

① 測定深度

直径250mmのモールドを用いて、締固め度 $D_r=95\%$ ($\rho_{dmax}=1.971\text{ g/cm}^3$, $w_{opt}=10.4\%$)で、高さ2.5,



図－4 供試体の模式図



図－5 衝撃加速度の測定状況

5, 10, 20, 25cmの供試体を作製し、それらの衝撃加速度を測定した。試料含水比は $w=10.4\%$ である。

② 測定値

図-6のように、直径250mmのモールドに上層、下層とで締固め度、層厚の異なる供試体 (No.1～8) および上下層とも締固め度が同じ供試体 (No.9～11) を作製し、衝撃加速度を測定した。それらの供試体の締固め度を表-2に示す。

表-2 供試体の締固め度

No.	図-6による供試体の種類	上 層 部			下 層 部			全層厚 (cm)	上下層部の平均締固め度 ¹⁾ (%)
		層厚 (cm)	含水比 (%)	締固め度(%)	層厚 (cm)	含水比 (%)	締固め度(%)		
1	供試体(a)	10	10.4	95	20	10.4	75	30	81.7
2		15			15				85.0
3		20			10				88.3
4		25			5				91.7
5	供試体(b)	10	10.4	95	10	10.4	75	20	85.0
6							80		87.5
7							85		90.0
8							80		85.0
9	供試体(c)	30	10.4	95	—	—	—	30	95.0
10		20		95	—	—	—	20	95.0
11		20		90	—	—	—	20	90.0

1) $\{(\text{上層の締固め度}) \times (\text{上層の層厚}) + (\text{下層の締固め度}) \times (\text{下層の層厚})\} \div (\text{全層厚})$

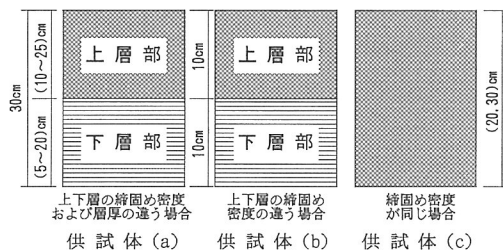


図-6 供試体の模式図

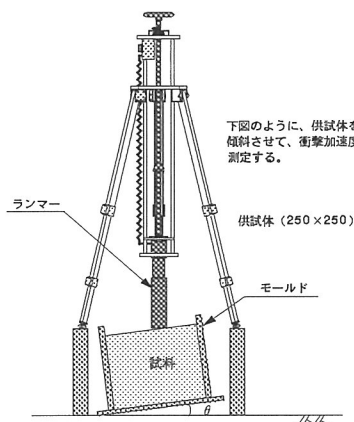


図-7 衝撃加速度の測定状況

(5) 測定可能な地盤勾配

供試体を試料(d)を直径250mmの円筒モールドに $D_c=95\%$ で高さ250mmになるように締固めて作製し、その供試体を図-7に示すように、角度 $\theta=0\sim30$ 度まで傾斜させて、衝撃加速度を測定した。

2.3 試験結果

(1)～(5)について行った試験結果を次に示す。

(1) 衝撃加速度と締固め密度との関係

測定試験の結果を表-3に示す。それらの測定値を図-3にプロットして、衝撃加速度の等高線を作成したものを図-8に示す。また、衝撃加速度を横軸に、締固め密度を縦軸に取って測定値をプロットしたものを図-9に示す。

表-3 測定結果 (試料(a)～(d), (g), (i))

No.	密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	平均	変動係数	No.	密度 (g/cm ³)	含水比 (%)	平均	変動係数
(a)-(1)	1.427	16.4	10.2	18.0	(d)-(1)	1.654	8.8	6.8	9.7
(2)	1.493	16.3	16.8	15.6	(2)	1.726	8.5	10.3	8.8
(3)	1.550	16.9	19.5	18.3	(3)	1.812	7.9	15.0	8.4
(4)	1.620	16.5	30.2	13.4	(4)	1.882	8.2	22.2	8.3
(5)	1.426	19.0	9.2	20.7	(5)	1.653	10.9	5.2	9.9
(6)	1.490	19.0	15.9	17.7	(6)	1.725	11.1	8.9	7.3
(7)	1.545	19.8	18.0	16.6	(7)	1.814	10.3	13.1	6.2
(8)	1.624	18.7	24.9	11.2	(8)	1.887	10.4	16.2	9.3
(9)	1.420	22.0	7.0	21.0	(9)	1.656	13.2	4.7	6.4
(10)	1.487	21.8	14.1	15.4	(10)	1.734	13.0	7.7	4.6
(11)	1.554	21.6	17.1	17.5	(11)	1.807	13.2	9.0	9.3
(12)	1.618	21.7	18.5	11.6	(12)	1.877	13.5	9.6	8.8
(13)	1.490	24.0	9.9	21.3	(13)	1.663	15.2	3.6	9.6
(14)	1.549	24.5	12.5	18.8	(14)	1.732	15.6	5.1	7.1
(15)	1.493	26.3	6.1	20.5	(15)	1.812	15.4	6.9	9.3
(b)-(1)	1.658	16.0	26.6	10.8	(g)-(1)	1.921	6.5	24.8	10.3
(2)	1.615	16.0	24.0	10.5	(2)	1.872	6.5	20.2	10.2
(3)	1.573	16.0	20.9	10.4	(3)	1.822	6.5	16.8	10.2
(4)	1.700	18.9	25.5	10.0	(4)	1.970	9.2	24.9	7.0
(5)	1.615	18.9	20.6	9.7	(5)	1.872	9.2	17.7	9.2
(6)	1.573	18.9	18.1	11.1	(6)	1.822	9.2	14.9	9.7
(7)	1.658	21.8	19.2	10.6	(7)	1.912	11.9	17.1	10.4
(8)	1.615	21.8	16.8	10.4	(8)	1.872	11.9	14.8	10.2
(9)	1.573	21.8	14.6	9.4	(9)	1.822	11.9	12.5	10.7
(c)-(1)	1.773	12.1	10.0	4.4	(i)-(1)	1.950	6.0	27.6	28.8
(2)	1.727	12.1	7.9	5.4	(2)	1.900	6.0	22.8	28.2
(3)	1.682	12.1	6.8	4.7	(3)	1.850	6.0	18.6	27.1
(4)	1.818	14.8	9.0	4.2	(4)	2.000	8.8	27.5	27.3
(5)	1.727	14.8	6.9	2.5	(5)	1.925	8.8	21.4	29.1
(6)	1.682	14.8	4.9	6.1	(6)	1.825	8.8	17.0	23.8
(7)	1.773	17.5	5.6	6.1	(7)	1.950	11.6	19.0	24.7
(8)	1.727	17.5	4.0	5.5	(8)	1.900	11.6	16.2	23.2
(9)	1.682	17.5	3.9	7.1	(9)	1.850	11.6	13.9	24.9

これらの図から、試料 {(a), (b)} グループと試料 {(c), (d), (g), (i)} グループとは、各々別個に衝撃加速度と締固め密度との間に相関係数 $r=0.8, 0.9$ という高い相関関係を有していることがわかった。

(2) 衝撃加速度と地盤強度（CBR値）との関係

2つの試料について行った室内CBR試験と衝撃加速度の測定結果を表-4に示す。衝撃加速度を横軸にCBR値を縦軸に取り、測定結果をプロットしたものを図-10に示す。この図から、両者の間に相関係数 $r=0.96$ という高い相関関係があることがわかった。

(3) 適用可能な土の粒度範囲

①、②の測定結果について次に示す。

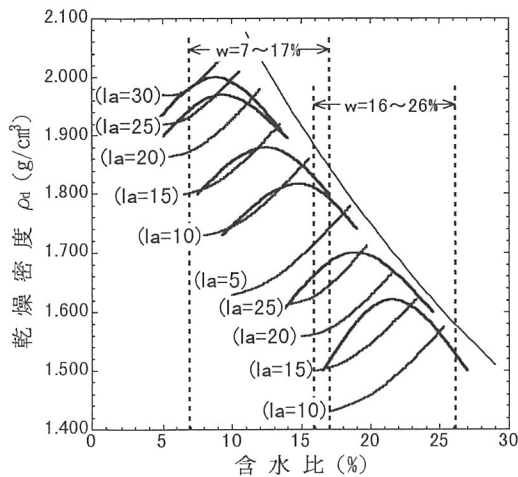


図-8 衝撃加速度の等高線
(試料(a)~(d), (g), (i))

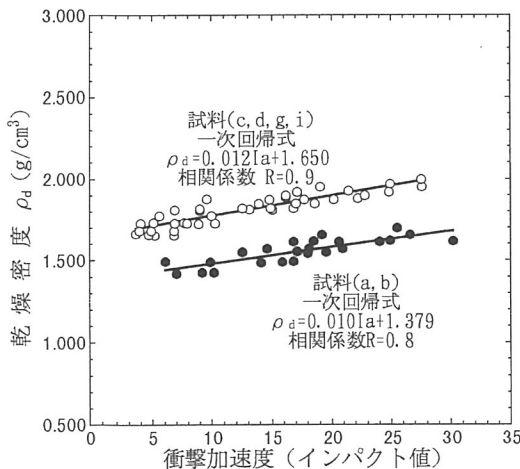


図-9 締固め密度と衝撃加速度値との関係
(試料(a)~(d), (g), (i))

① 最大粒径

衝撃加速度の測定結果を表-5に示す。この表中、供試体Aは試料(d)で作製したものであり、供試体B、Cは試料(d)で作製したものの表面に礫を埋め込んだ供試体である。これらの結果を、礫径を横軸に衝撃加速度を縦軸に取ってプロットしたものを図-11に示す。

この図から、粒径が37.5mm以下の礫では、ランマーに礫が直接当たっても衝撃加速度は大きくなるなどの影響を受けないことがわかった。

② 細粒分、礫分含有率

試料(a)~(i)について5個ずつの供試体を作製し、1試料につき75個（5×15個）の測定値を得た。

表-4 室内CBR試験と衝撃加速度測定試験の結果

測定番号	マサ土				笠岡粘土			
	含水比 W(%)	乾燥密度 ρd (g/cm³)	CBR (%)	衝撃加速度	含水比 W(%)	乾燥密度 ρd (g/cm³)	CBR (%)	衝撃加速度
1	8.3	1.654	4.9	6.8	16.4	1.427	15.0	10.2
2	8.5	1.726	11.9	10.3	16.3	1.493	25.8	16.8
3	7.9	1.812	22.8	15.0	16.9	1.550	34.9	19.5
4	8.2	1.882	33.2	22.2	16.5	1.620	51.5	30.2
5	10.9	1.653	4.1	5.2	19.0	1.426	12.2	9.2
6	11.1	1.725	9.8	8.9	19.0	1.490	21.9	15.9
7	10.3	1.814	19.9	13.1	19.8	1.545	26.2	18.0
8	10.4	1.887	25.1	16.2	18.7	1.624	29.7	24.9
9	13.2	1.656	3.6	4.7	22.0	1.420	7.5	7.0
10	13.0	1.734	7.7	7.7	21.8	1.487	15.9	14.1
11	13.2	1.807	12.6	9.0	21.6	1.554	20.9	17.1
12	13.5	1.877	16.0	9.6	21.7	1.618	20.5	18.5
13	15.2	1.663	2.3	3.6	24.0	1.490	12.0	9.9
14	15.6	1.732	4.2	5.1	24.5	1.549	12.4	12.5
15	15.4	1.812	7.5	6.9	26.3	1.493	6.1	6.1

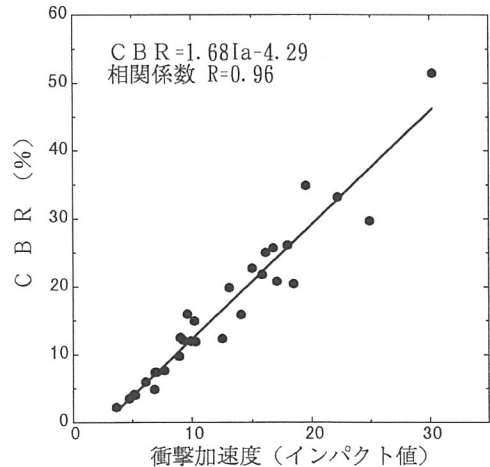


図-10 衝撃加速度とCBR値の関係

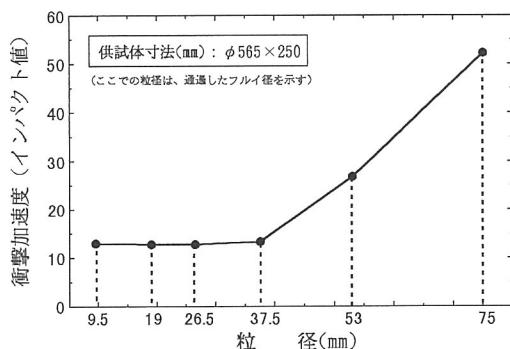
表－6 に、各試料の測定値の平均、分散、変動係数を示す。これらの結果のうち、変動係数を縦軸に、細粒分含有率または礫分（粒径9.5～37.5mm）含有率を横軸に取って、プロットしたものを図－12、図－13に示す。

これらの図から、次のことがわかった。

- (i) 礫分含有率が30%以下の試料では測定値の変動係数 $v \approx 10\%$ 程度であるが、礫分含有率が40%以上の試料では変動係数 $v \approx 18\%$ 以上となり、測定値のばらつきが大きい。
- (ii) 細粒分含有率が30%以下の試料では測定値の変動

表－5 ランマーを礫に直接当てたときの測定結果

試料(d) 最大粒径 9.5mm	供試体A	1	13.2	19mmの礫	供試体B	1	13.0
		2	12.3			2	12.7
		3	12.9			3	12.7
		4	12.1		供試体C	1	14.5
		5	13.2			2	11.7
		6	14.6			3	12.5
	平均		13.1		平均		12.9
	標準偏差		0.8		標準偏差		0.8
	変動係数		6.2		変動係数		6.5
26.5mm の礫	供試体B	4	12.9	37.5mm の礫	供試体B	7	13.4
		5	12.6			8	14.2
		6	12.9			9	12.5
	供試体C	4	11.6		供試体C	7	13.2
		5	14.6			8	14.0
		6	13.0			9	13.0
	平均		12.9		平均		13.4
	標準偏差		0.9		標準偏差		0.8
	変動係数		6.8		変動係数		6.0
53mmの礫	供試体B	10	27.4	75mmの礫	供試体B	13	86.5
		11	14.3			14	33.0
		12	39.4			15	35.6
	供試体C	10	25.9		供試体C	13	74.3
		11	34.9			14	27.1
		12	19.5			15	57.6
	平均		26.9		平均		52.4
	標準偏差		8.5		標準偏差		22.2
	変動係数		31.7		変動係数		42.5



図－11 礫径による衝撃加速度の変化

係数 $v = 10\%$ 程度であるが、その含有率が40%以上の試料では変動係数 $v \approx 12\%$ 以上となる。

以上のことから、測定値の変動係数 $v = 10\%$ の粒度範囲は、礫含有率30%以下、細粒分含有率30%以下のものであることがわかった。

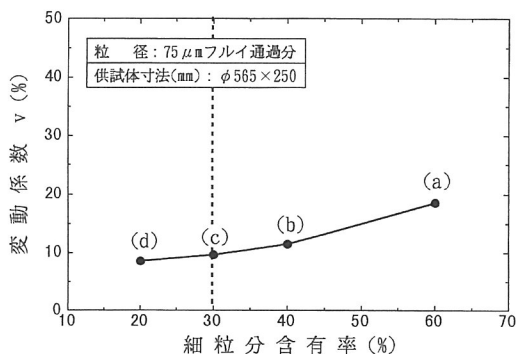
(4) 測定可能深度と測定値

① 測定深度

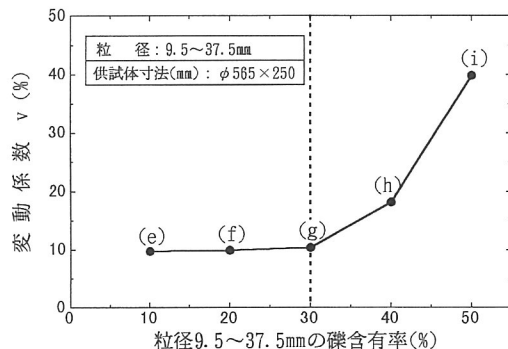
各供試体の測定試験結果を表－7に示す。図－14に、それらの結果をプロットしたものを示す。

表－6 各試料の測定値

試料名	測定値の平均 (la)	分散 σ	変動係数 V (%)
(a)	10.0	3.5	18.6
(b)	20.7	5.7	11.5
(c)	11.1	1.1	9.5
(d)	15.5	1.8	8.6
(e)	14.3	1.9	9.8
(f)	17.3	3.0	10.0
(g)	12.7	1.6	10.0
(h)	14.0	6.5	18.2
(i)	25.1	100.3	39.9



図－12 試料(a)～(d)の測定値の変動係数
(細粒分含有率による測定値のばらつき)



図－13 試料(e)～(i)の測定値の変動係数
(礫分含有率による測定値のばらつき)

この図から、高さが20cm未満の供試体ではモールドの底板の影響を受けて高い値を示すが、高さが20cm以上の供試体では衝撃加速度が一定の値となり、底板の影響を受けていないことがわかった。

② 測定値

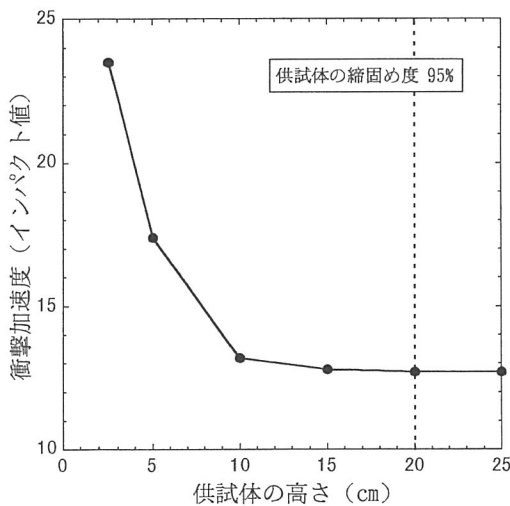
測定試験結果を表－8、表－9に、それらの結果をプロットしたものを図－15、図－16に示す。

図－15から、測定値は上層の層厚が20cmまでは徐々に大きくなり、20cmを超えると一定になっていることがわかった。

また、図－16から、締固め度が高くなるにつれて測定値が大きくなっており、上層部の平均締固め度が等しければ、測定値は同じ値になっていることがわかった。

表－7 ①の試験結果

No	供試体の高さ (cm)	衝撃加速度					平均
		①	②	③	④	⑤	
1	2.5	24.5	23.4	23.3	21.5	25.0	23.5
2	5.0	18.9	16.8	17.7	17.0	16.4	17.4
3	10.0	12.8	14.1	12.8	12.9	13.3	13.2
4	15.0	12.9	13.0	12.3	12.3	13.6	12.8
5	20.0	12.4	13.3	12.4	12.1	13.3	12.7
6	25.0	12.6	12.3	13.2	12.4	13.1	12.7



図－14 ①の試験結果

表－8 ②の試験結果(1)

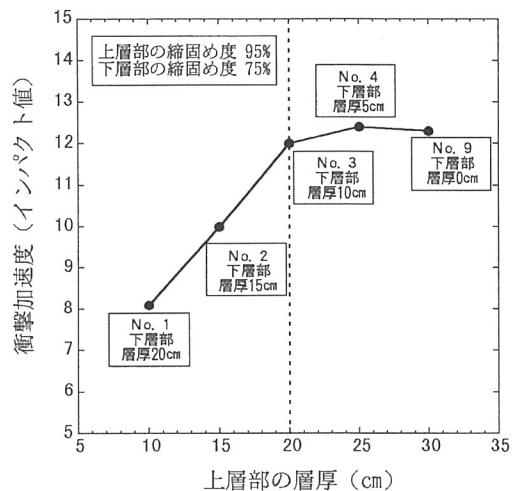
No	上層部層厚 (cm)	下層部層厚 (cm)	衝撃加速度					平均
			①	②	③	④	⑤	
1	10	20	8.1	7.7	8.1	8.8	7.9	8.1
2	15	15	9.8	10.4	9.9	9.8	10.1	10.0
3	20	10	11.3	11.3	12.0	13.1	12.2	12.0
4	25	5	12.4	12.5	12.0	12.6	12.4	12.4
9	30	—	12.7	13.3	12.3	11.6	11.8	12.3

(5) 測定可能な地盤勾配

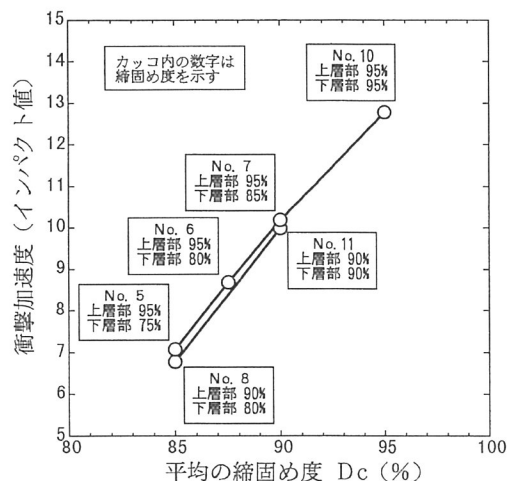
各供試体の衝撃加速度を測定した結果を表－10に示す。図－17に、それらの結果をプロットしたものを示す。

表－9 ②の試験結果(2)

No	平均締固め度 (%)	衝撃加速度					平均
		①	②	③	④	⑤	
5	85	7.1	7.2	6.9	7.0	7.1	7.1
6	87.5	9.1	8.8	8.5	9.0	8.2	8.7
7	90	10.2	10.2	10.1	10.0	10.3	10.2
8	85	6.7	6.8	7.0	6.7	6.6	6.8
10	95	13.1	13.2	12.5	12.5	12.6	12.8
11	90	10.1	10.0	10.2	10.1	9.8	10.0



図－15 ②の試験結果(1)



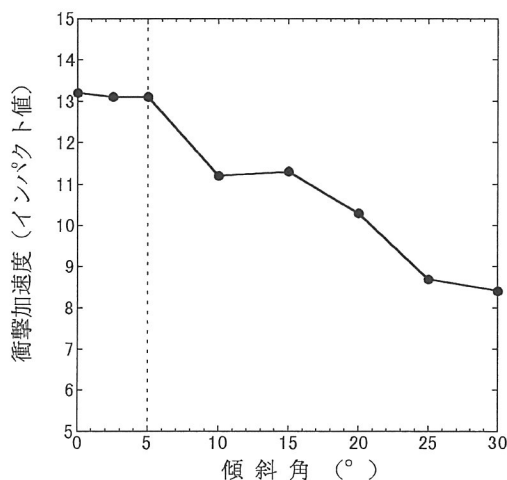
(なお、No. 5とNo. 8およびNo. 7とNo. 11とは、平均の締固め度が等しい)

図－16 ②の試験結果(2)

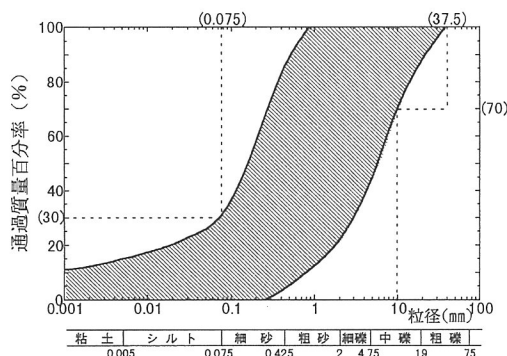
この図から、測定値は傾斜角が $\theta = 5$ 度 ($i = 8.7\%$) まではほぼ一定であるが、 $\theta = 5$ 度を超える傾斜角では小さくなることがわかった。

表－10 衝撃加速度の測定結果

No.	傾斜角 (度)	衝撃加速度					
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	平均
1	0.0	13.3	13.0	13.2	13.5	12.9	13.2
2	2.5	12.6	12.8	13.1	13.6	13.2	13.1
3	5.0	12.8	13.4	13.5	12.8	13.2	13.1
4	10.0	11.5	11.8	11.0	11.0	10.8	11.2
5	15.0	11.5	11.0	11.5	11.4	11.0	11.3
6	20.0	9.8	10.3	10.0	10.5	11.0	10.3
7	25.0	9.3	8.9	9.0	8.9	7.4	8.7
8	30.0	7.9	8.0	8.7	8.5	8.8	8.4



図－17 傾斜角と衝撃加速度の関係



図－18 本システムの適用粒度範囲

2.4 試験結果のまとめ

以上の試験結果をまとめると、次のようになる。

- (1) 粒度の似通った一定範囲の試料グループごとに、別個に衝撃加速度と締固め密度とは高い相関関係を有する。
- (2) 衝撃加速度と地盤強度（CBR値）とは、高い相関関係にある。
- (3) 粒径が37.5mm以下の礫であれば、ランマーが直接礫に当たっても衝撃加速度は大きくならない。
- (4) 細粒分含有率30%以下、粒径9.5～37.5mmの礫分含有率30%以下の粒度範囲にあるものでは、測定値のばらつきが少なく、高い測定精度が得られる。
- (5) (1)～(4)の結果から、本システムで高い測定精度が得られる粒度範囲は図－18に示す範囲である。
なお、適用粒度範囲外の盛土材であっても、室内試験で測定値のばらつきについて検討し、管理値決定時の安全率をそれに合わせて考慮すれば、本システムは適用可能である。
- (6) 本システムの測定深度は20cmで、その測定値は地盤の平均的な締固め密度（乾燥密度）に相当する衝撃加速度値である。
- (7) 本システムの測定可能な地盤勾配は $\theta = 5$ 度 ($i = 8.7\%$) 以内である。

3. 改良したシステムの概要

3.1 施工フローチャート

システムの改良と今までの適用事例をもとに、施工フローチャートの一部を見直し、図－19に示すフローを作成した。

このフローは、(1)準備、(2)施工準備、(3)衝撃加速度特性の把握、(4)盛土材の粒度確認・含水比測定、(5)管理値の決定、(6)盛土施工、および(7)品質の確認からなり、管理値の決定方法として現場試験による方法を追加した。また、盛土材の粒度・含水比を施工前に確認することにより、事前試験で決定した管理値が適用可能であるかをチェックすることとした。

3.2 システムの測定装置

改良した測定装置を転圧機械に取り付けた状況を写真－2に示す。オペレータが盛土の締固め状況をリアルタイムに確認して、その結果を直ちに施工に反映させることができるようになっている。

装置は、図－20に示すように①計測ユニット、②操作表示ユニット、および③中継ユニットの3つのユニッ

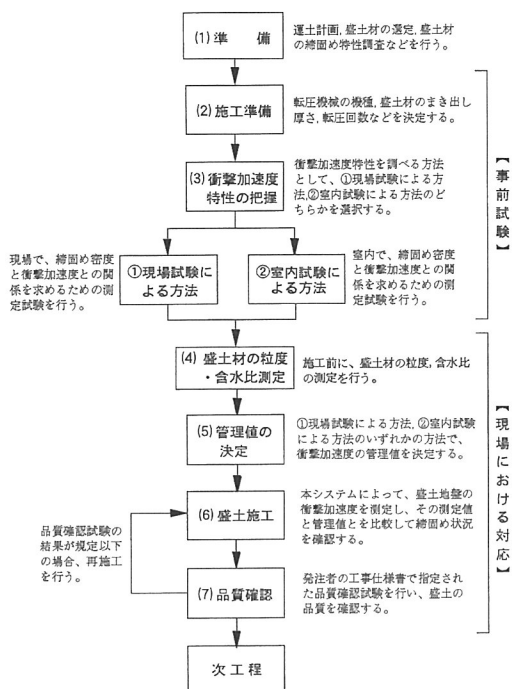


図-19 施工フローチャート



写真-2 管理装置の取付け状況

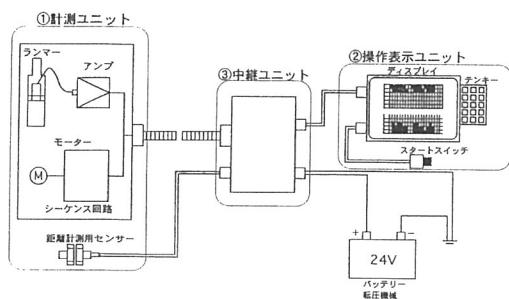


図-20 締固め管理装置の構成図

トで構成される。

① 計測ユニット

加速度計を内蔵するランマー（質量4.5kg、直径50mm）、落下したランマーを45cmの高さまで引き上げる駆動部、加速度計で計測した値から衝撃加速度の最大値を求める検出部、および距離センサーから構成される。

② 操作表示ユニット

計測条件の設定と計測データの表示などを行うディスプレイ、それを操作するキーボード、および計測開始と終了を操作するスタートボタンから構成される。

③ 中継ユニット

計測ユニットと操作表示ユニットを中継するものであり、両ユニットに電源を供給する部分と計測信号を送受信する部分から構成される。

4. 適用事例

本システムによって盛土を施工した2つの事例を次に示す。

4.1 盛土材の物理試験と締固め試験の結果

事例①、②における盛土材の物理試験結果を表-11に、粒度分布、締固め試験結果を図-21、図-22に示す。両方の盛土材とも、適用粒度範囲にある。

4.2 管理値の決定

事例①では、規定の締固め度 $D_c = 98\%$ （ $\rho_d = 1.825 \text{ g/cm}^3$ ）である。室内試験の結果から適用粒度範囲の場合、図-23に示す乾燥密度と衝撃加速度との関係式があらかじめ用意されている。

この図から規定の締固め度に相当する衝撃加速度として、 $I_a = 15$ が得られる。

したがって、管理値は、測定値のばらつき等を考慮し、この値に安全率（ F_s ）として1.2倍をかけた $I_{as} = 18$ （ $= 1.2 \times 15$ ）とする。

表-11 盛土材の物理試験結果

名称	日本統一 土質分類法	土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	均等係数 U_c	曲率係数 U_c'	液性限界 $W_L(\%)$	塑性限界 $W_p(\%)$
事例①	砂質土 (SF)	2.686	225	9.1	29.1	19.3
事例②	礫質土 (GF)	2.700	1615	5.3	39.8	21.3

事例②では、規定の締固め度は $D_c=90\%$ ($\rho_d=1.773\text{ g/cm}^3$)であり、事例①と同様にして管理値を $I_{as}=14$ に決定した。

4.3 締固め確認試験結果

本システムを用いて盛土の締固め管理を行っている状況を写真-3に示す。表-12、表-13に事例①、②

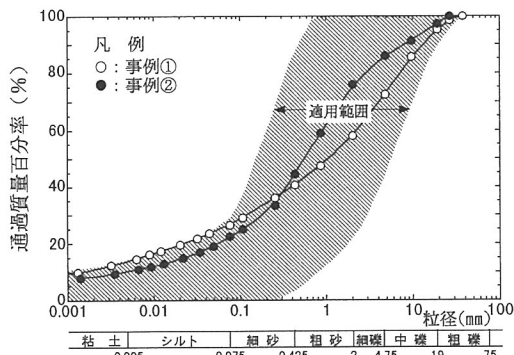


図-21 盛土材の粒土分布

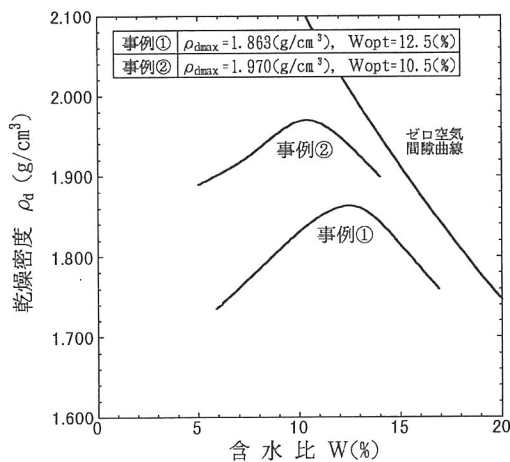


図-22 締固め試験の結果



写真-3 本システムによる盛土の施工状況

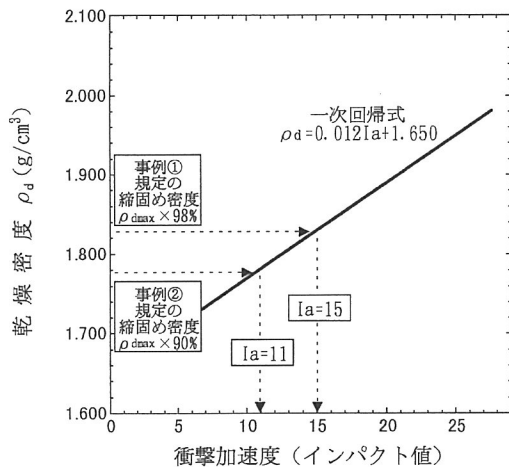


図-23 乾燥密度と衝撃加速度の関係

表-12 現場密度試験の測定結果 (事例①)

測定回数	本システム 衝撃加速度 (la)	砂置換法		R試験法 締固め度 (%)
		締固め度 (%)	含水比 (%)	
1	16.3	99.9	11.6	99.2
2	16.3	98.6	10.5	97.9
3	15.6	99.4	11.8	98.9
4	17.6	99.2	10.4	102.3
5	17.7	99.6	10.3	99.6
6	17.9	101.8	11.9	101.4
7	17.6	100.2	10.8	100.2
8	18.8	103.1	12.3	103.9
9	19.9	100.4	9.0	100.1
10	18.4	103.5	12.5	103.2
11	19.2	100.5	9.8	101.0
12	19.0	102.8	11.8	103.8
13	21.0	99.9	7.1	99.5
14	19.5	102.1	10.8	102.4
15	18.6	101.2	10.9	101.9
16	18.6	104.3	13.1	104.5
17	15.8	98.7	11.1	97.6
18	16.8	104.0	14.2	104.7
19	17.1	97.7	8.9	96.6
20	16.0	102.5	13.8	103.1
21	16.2	100.9	12.6	100.1
22	17.3	104.2	14.3	104.0
23	16.2	98.5	10.5	97.0
24	16.1	103.2	14.4	103.5
25	17.4	100.9	11.6	100.9
26	18.3	102.8	12.3	103.8
27	17.9	99.4	10.0	98.9
28	16.4	104.3	14.7	103.7
29	19.0	102.0	11.3	101.9
30	18.3	104.1	13.3	104.5
31	16.2	100.8	12.7	100.3
32	20.3	106.2	13.2	106.3
33	16.8	92.8	6.1	91.9
34	15.5	101.5	13.7	100.8
35	14.0	95.3	8.8	94.2
36	14.2	93.5	6.0	92.6
37	16.1	93.2	5.8	92.7
38	15.5	100.5	12.8	100.3
39	12.4	93.3	7.4	94.6
40	16.1	98.4	10.5	96.3
41	19.5	98.7	6.1	95.2
42	15.6	100.3	12.8	100.9
43	15.1	93.7	6.3	92.1
44	16.2	98.2	10.4	96.7
45	20.4	100.0	6.1	95.9
46	18.9	104.5	13.1	104.5
47	16.4	95.7	7.8	93.4
48	17.5	100.2	11.3	99.2

において、本システムで測定した衝撃加速度と同じ地点で行った現場密度試験の結果を示す。

それらの結果を締固め度（Dc）を縦軸に衝撃加速度を横軸に取ってプロットしたものを、図-24、図-25に示す。図中、点線で示した縦線は管理値を決定する際に、図-23からそれぞれ求めた衝撃加速度値を1.0、1.1、1.2倍した値の線であり、（ $1.2 \times I_a$ ）の線は管理値に当たる。

これらの図から、事例①、②の場合とも、締固め度が高くなるにつれて衝撃加速度は全体的に大きくなっており、管理値（ I_{as} ）以上の測定値では規定の締固め度以上であることが分かる。

以上のことから、決定した管理値によって締固め管理を行えば、規定の品質以上の盛土を施工することができることが確かめられた。

表-13 現場密度試験の測定結果（事例②）

測定回数	本システム 衝撃加速度 (I_a)	砂置換法		R試験法 締固め度 (%)
		締固め度 (%)	含水比 (%)	
1	13.5	93.6	10.6	94.2
2	13.5	94.2	10.1	92.3
3	9.5	86.0	8.5	87.7
4	9.2	87.0	7.5	86.6
5	17.4	95.6	10.5	87.7
6	15.2	90.8	10.7	82.8
7	14.6	93.1	8.5	90.4
8	14.5	91.0	7.4	88.3
9	13.5	89.0	10.8	92.9
10	15.2	93.7	10.5	91.1
11	15.0	94.8	9.2	87.6
12	11.2	88.4	7.9	90.2
13	15.5	94.7	10.4	95.1
14	15.2	91.8	9.5	94.8
15	14.1	90.1	8.2	94.8
16	16.9	92.8	7.8	87.6
17	17.0	94.2	10.1	96.8
18	15.6	90.9	7.9	96.6
19	16.5	92.2	7.9	92.6
20	17.0	93.0	7.2	87.4
21	10.5	86.6	11.0	84.5
22	14.1	93.4	10.2	95.9
23	12.4	90.5	7.6	93.8
24	10.9	85.1	8.2	88.7
25	10.5	86.7	12.0	88.9
26	9.9	88.7	10.3	86.0
27	10.2	85.0	8.9	84.4
28	11.5	89.8	8.7	86.0
29	12.7	88.0	11.7	85.5
30	9.8	87.5	8.7	96.0
31	7.6	84.3	9.1	97.3
32	12.0	87.1	8.3	95.4
33	11.9	91.8	10.0	96.2
34	12.4	90.1	8.8	98.1
35	11.6	89.5	7.4	99.4
36	10.5	86.5	6.9	95.1
37	13.6	91.6	10.5	90.3
38	10.7	89.1	9.1	90.5
39	11.6	89.5	8.7	94.7
40	9.0	84.6	7.5	90.2

5. あとがき

今回行った一連の室内試験の結果および測定装置を改良して実際の盛土現場へ適用した結果から、本システムが盛土の締固め管理に非常に有効な手法であることが確認された。

また、本年度、助土木研究センターの民間開発建設技術の技術審査を受け、同センターから技術審査証明を取得した。

今後、さらに多くの盛土現場に適用を図っていくと

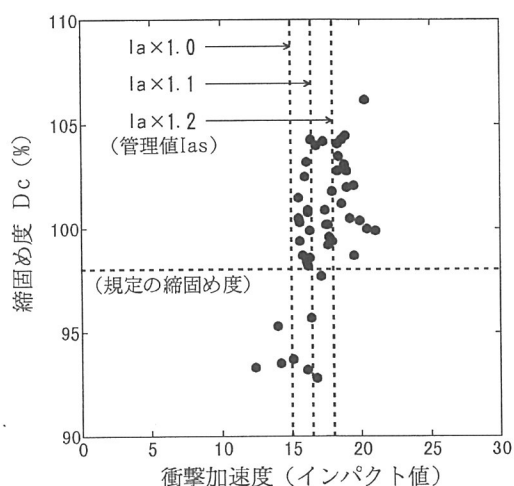


図-24 衝撃加速度と締固め度の関係（事例①）

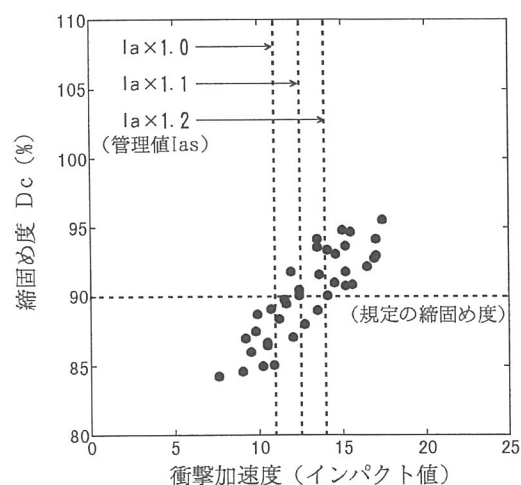


図-25 衝撃加速度と締固め度の関係（事例②）

ともに、このシステムとGPSなどを利用した自動測量システムを組み合わせ、広範囲にわたり自動的に品質確認を行いつつ盛土施工が行えるシステムづくりに取り組んでいきたいと考える。

このシステムの現場適用にあたり、協力いただいた土木部の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，pp.212～215，1991
- (2) 岩崎好則他：締固め特性と盛土施工管理，不飽和土の工学的性質研究の現状シンポジウム発表，pp.171～178，1987
- (3) 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