

遠心模型実験による重錘落下締固めにおける 打撃条件と地盤の圧縮・変形量

大島昭彦*・高田直俊**

概要：重錘落下締固め工法の遠心模型実験を行った。模型は半径 15 cm, 厚さ 20 cm に締固めた砂質地盤の半円柱軸対称模型で, 中心部を半円柱の模型重錘で打撃する。遠心加速度 100 g 場で重錘質量, 落下高, 重錘底面積, 打撃回数の組み合わせを変えた実験を行い, 打撃孔体積や地盤全体の圧縮および地盤変形領域は, 打撃エネルギーでなく, 重錘運動量と打撃回数の平方根に強く依存する結果を得た。

Key Words : compaction, heavy tamping, centrifuge model, ground deformation, sandy ground, ram momentum

1. はじめに

重錘落下締固め工法は高所から重錘を落下させて得られる衝撃力で地盤を動的に締固める単純な工法で, 砂・礫質地盤や岩屑盛土の地盤改良に優れた効果を発揮する。しかしその締固めメカニズムや打撃効率, は必ずしも明確でなく, 実際の設計・施工は経験的に行われているのが実状である。

筆者らはこの工法の遠心模型実験により, 重錘の地盤への貫入量に与える重錘質量, 重錘底面積, 落下高, 打撃回数の打撃仕様による影響を調べてきた。その結果, 重錘の地盤への貫入量は重錘の単位面積当たりの運動量と打撃回数の平方根に比例するため, その影響水準は重錘質量と底面積が最も大きく, 落下高と打撃回数はそれより小さく同水準であること, 重錘打撃による地盤変形は打撃孔から球根状に生じ, 改良域は打撃回数の平方根に比例的に拡がっていくことが認められた^{1)~3)}。また実際の盛土地盤で行った現場実験から, 打撃孔周辺の地盤変形は遠心模型実験と同様に重錘底を上面とする円錐台状に下方へ拡がること, 打撃点直下の土圧は重錘落下高の平方根と比例関係にあることを見出した⁴⁾。

本論文では, 総打撃エネルギー一定の条件の下で重錘質量, 重錘底面積, 落下高, 打撃回数の組み合わせを変えた遠心模型実験を行い, 打撃仕様による締固め効果の違いを重錘貫入量, 地表面沈下量, 体積圧縮量および地盤変形から調べ, 締固め機構を考察した。

2. 実験方法

(1) 模型地盤

模型地盤は図-1 に示すように, 長さ 40 cm × 幅 30

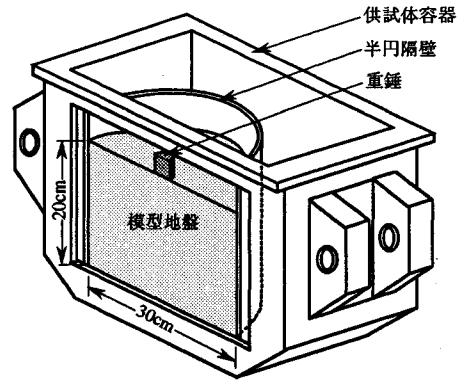


図-1 模型地盤

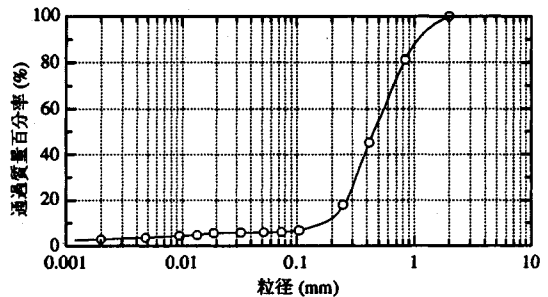


図-2 模型材料の粒度分布

cm × 深さ 28 cm のアルミニウム製の供試体容器に固定した半径 15 cm × 高さ 25 cm の鋼製半円隔壁内に層厚 20 cm に締固めて作った半円柱形の軸対称三次元模型である。その中心を同じく半円柱形の模型重錘で打撃する。模型縮尺を 1/100 に, 遠心加速度を 100 g に設定したので, この模型地盤は半径 15 m × 層厚 20 m の原型地盤に相当する。

原型地盤を礫質土と想定し, 模型材料に図-2 に示す粒度分布を持つ砂質土 ($D_{max}=2$ mm, 細粒分含有率=

* 正会員 工修 大阪市立大学助手 工学部土木工学科 (〒558 大阪市住吉区杉本 3-3-138)

** 正会員 工博 大阪市立大学教授 工学部土木工学科

表-1 実験条件

Case	模型			原型			N_f	E_1 (tf·m)	E_1 (tf·m)	mv (tm/s)	mv/A (tm/s/m ²)	$mv\sqrt{N_f}$ (tm/s)	mvN_f (tm/s)
	m	H	A	m	H	A							
1	10g	10.2cm	2cm ²	10t	10m	2m ²	80	100 [0.98]	8,000 [78.5]	140	70	1,252	11,200
2	〃	20.9	〃	〃	20	〃	40	200 [1.96]	〃	198	99	〃	7,920
3	〃	43.8	〃	〃	40	〃	20	400 [3.92]	〃	280	140	〃	5,600
4	20	5.1	4	20	5	4	80	100 [0.98]	〃	198	49	1,771	15,840
5	〃	10.2	〃	〃	10	〃	40	200 [1.96]	〃	280	70	〃	11,200
6	〃	20.9	〃	〃	20	〃	20	400 [3.92]	〃	396	99	〃	7,920
7	〃	43.8	〃	〃	40	〃	10	800 [7.84]	〃	560	140	〃	5,600
8	40	5.1	8	40	5	8	40	200 [1.96]	〃	396	49	2,505	15,840
9	〃	10.2	〃	〃	10	〃	20	400 [3.92]	〃	560	70	〃	11,200
10	〃	20.9	〃	〃	20	〃	10	800 [7.84]	〃	792	99	〃	7,920
11	〃	43.8	〃	〃	40	〃	5	1,600 [15.7]	〃	1,120	140	〃	5,600
12	80	5.1	16	80	5	16	20	400 [3.92]	〃	792	49	3,542	15,840
13	〃	10.2	〃	〃	10	〃	10	800 [7.84]	〃	1,120	70	〃	11,200
14	〃	20.9	〃	〃	20	〃	5	1,600 [15.7]	〃	1,584	99	〃	7,920
15	20	20.9	2	20	20	2	40	400 [3.92]	16,000 [156.8]	396	198	2,505	15,840
16	〃	〃	4	〃	〃	4	〃	〃	〃	〃	49	〃	〃
17	〃	〃	8	〃	〃	8	〃	〃	〃	〃	49	〃	〃
18	〃	〃	16	〃	〃	16	〃	〃	〃	〃	25	〃	〃

m : 重錘質量, H : 落下高, A : 重錘底面積, N_f : 最終打撃回数, E_1 : 1打撃当たりのエネルギー, E_t : 総打撃エネルギー, mv : 重錘運動量, []内はMJ表示

6%, $U_c = 3.2$, $\rho_{dmax} = 1.71 \text{ t/m}^3$, $\rho_{dmin} = 1.36 \text{ t/m}^3$, $w_{opt} = 13.7\%$) を選んだ。これを含水比 $w = 4\%$ (100g 場で空隙水が移動しない含水状態から決めた) に調整し, 層厚 20 cm の模型地盤を 4 層に分け, 半径 15 cm, 中心角 45° の扇形底板を介して質量 2.5 kg のランマーを落下高 20 cm, 各層 8 回打撃して半円モールド内に締固めた。これによる相対密度は $D_r = 45\%$ である。

模型地盤作成時は供試体容器の前面(観測面)をアルミ剛板とし, 締固め後これを取り外し, 内側に 1 mm 厚の寒天の薄膜を塗布した強化ガラス板に取り替える。この寒天膜は模型地盤とガラス面との摩擦を切ることを目的にしている³⁾。寒天膜上には直径 2 mm の標点(幅 0.1 mm の十字線の入ったもの)をはりつけて地盤変形を捉える。

(2) 実験方法

表-1 に実験条件と各種の物理量(原型換算値, 以下原型換算値で示す)をまとめた。模型重錘は半断面であるので, 実際には表の m, A の 1/2 のものを用いている。Case 1~14 は総打撃エネルギー $E_t (=WHN, W$ は重錘重量 (tf) が 8,000 tf·m となるように, 重錘質量 $m = 10, 20, 40, 80 \text{ t}$, 落下高 $H = 5, 10, 20, 40 \text{ m}$, 最終打撃回数 $N_f = 5, 10, 20, 40, 80$ を組み合わせ, さらに重錘の底面積当たりの質量 $[m/A]$ が 5 t/m^2 となるように 10, 20, 40, 80 t 重錘の底面積 A をそれぞれ 2, 4, 8, 16 m² (直径 1.60, 2.26, 3.19, 4.51 m) に設定している^{5), 6)}。Case 15~18 は重錘底面積 A のみの影響を調べるために, $m = 20 \text{ t}$, $H = 20 \text{ m}$, $N_f = 40$ の仕様 ($E_t = 16,000 \text{ tf·m}$) で $A = 2, 4, 8, 16 \text{ m}^2$ に変えている⁷⁾。

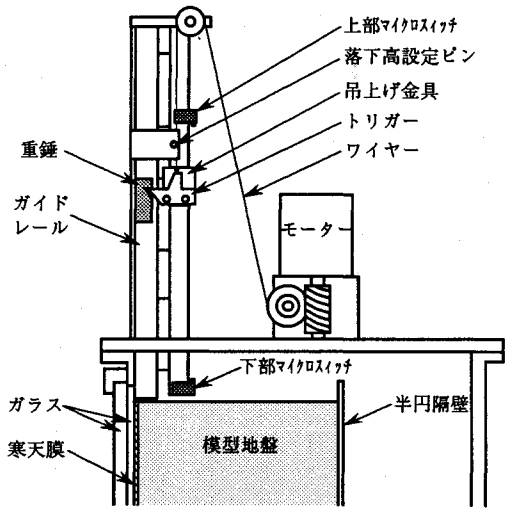


図-3 重錘落下装置

なお遠心加速度は回転半径に比例して変化するので, 模型重錘の落下高は重錘解放位置と地盤面の回転半径の違いを考慮して与えている³⁾。

用いた遠心載荷装置は大阪市立大学 Mark-V (公称回転半径 2.56 m, 最大遠心加速度 200 g, 容量 40 g·ton) である。模型地盤をまず 100 g の遠心加速度場に約 1 時間置いて自重沈下を落着かせる。この間の地盤面の沈下量は約 2.5 mm で, 平均相対密度は $D_r = 50\%$ になる。次に図-3 に示す重錘落下装置により重錘を地盤面に連続的に落下させる。遠心場では解放された重錘にコリオリの力が回転方向と逆向きに働くので, 落下装置には重錘を地盤面に垂直に衝突させるためにガイドレールを設

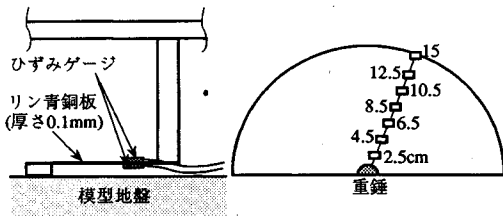


図-4 片持ち梁式沈下計と設置位置

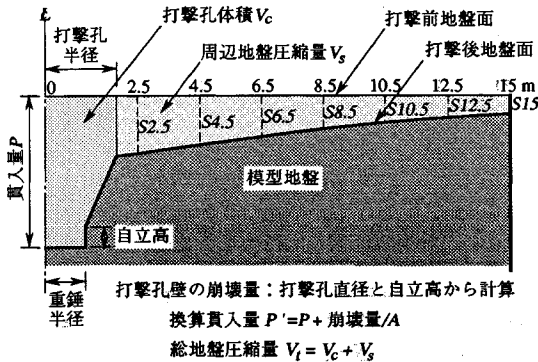


図-5 地盤圧縮量の算出方法

けている。打撃毎の重錘の地盤への貫入量は目視で測定し、地盤面沈下量は図-4に示す片持ち梁式の変位計を7連用いて、打撃中心から2.5(80t重錘では3.5)、4.5、6.5、8.5、10.5、12.5、15 cmの位置で測定する。また打撃回数5回毎に観測面の標点を写真撮影し、地盤変形を捉える。

3. 地盤の圧縮量

地盤の圧縮量の算出方法を図-5に示した。文献(3)では孔壁崩壊を生じない状態での重錘貫入量を測定するために地盤面上に置いた貫入体を重錘で打撃する間接法を採ったが、今回は実際の工法と同じく重錘で直接地盤を打撃した。非粘性地盤では打撃とともに孔壁は崩れて孔底を埋めるため、見かけの貫入量は小さくなる。そこで孔壁の崩壊量を重錘貫入量 P に換算して加えたものを換算貫入量 P' として算出した。これは孔壁が崩壊しない場合の貫入量に相当する(厳密には崩壊した土は打撃を受けて密度増加するため、その体積減少を考慮する必要があるが、その量は10%以下であるのでここでは無視した)。 P' を求めるための孔壁の崩壊量は打撃孔直径と孔壁の自立高から求めた(図-5参照)。自立高は打撃中一定とし、打撃孔直径は初期値を重錘直径、最終値を実験後の実測値とし、遠心模型実験、現場実験で得た「打撃孔直径は打撃回数の平方根に比例する」関係⁽⁴⁾によって求めた。打撃孔体積 V_c は重錘打撃により地盤が直接圧縮される量、周辺地盤圧縮量 V_s は重錘打撃による衝撃で生じる打撃孔を除く地盤面沈下量 S で求め

表-2 実験結果の一覧 (原型換算値)

Case	m	H	A	N_f	P (m)	D (m)	P' (m)	V_c (m ³)	V_s (m ³)	V_1 (m ³)
1	10t	10m	2m ²	80	2.30	3.34	6.18	12.4	36.1	48.5
2	20	20	4	40	2.00	3.74	6.44	13.0	32.1	45.1
3	40	40	8	20	2.05	3.46	5.76	11.6	30.6	42.2
4	20	5	4	80	1.62	4.20	3.77	15.1	43.9	59.0
5	10	10	4	40	1.80	4.00	3.87	15.5	42.3	57.8
6	20	20	8	20	1.86	3.88	3.78	15.2	31.4	46.6
7	40	40	16	10	1.80	4.14	4.01	16.1	27.0	43.1
8	40	5	8	40	1.60	5.06	2.98	23.9	48.4	72.3
9	10	10	4	20	1.75	4.54	2.78	22.3	49.4	71.7
10	20	20	8	10	1.80	4.54	2.83	22.7	38.8	61.5
11	40	40	16	5	1.60	4.94	2.81	22.6	28.0	50.6
12	80	5	16	20	1.45	5.54	1.90	30.5	62.4	92.9
13	10	10	4	10	1.35	5.74	1.84	29.5	42.3	71.8
14	20	20	8	5	1.30	5.60	1.70	27.3	30.5	57.8
15	20	20	2	40	2.60	4.26	10.30	20.7	38.5	59.2
16	40	40	4	20	2.25	4.26	5.34	21.4	43.3	64.7
17	80	80	8	10	1.65	4.46	2.55	20.4	50.1	70.5
18	160	160	16	5	1.00	5.46	1.31	20.9	42.8	63.7

P : 重錘貫入量, D : 打撃孔直径, P' : 換算貫入量, V_c : 打撃孔体積, V_s : 周辺地盤圧縮量, V_1 : 総地盤圧縮量

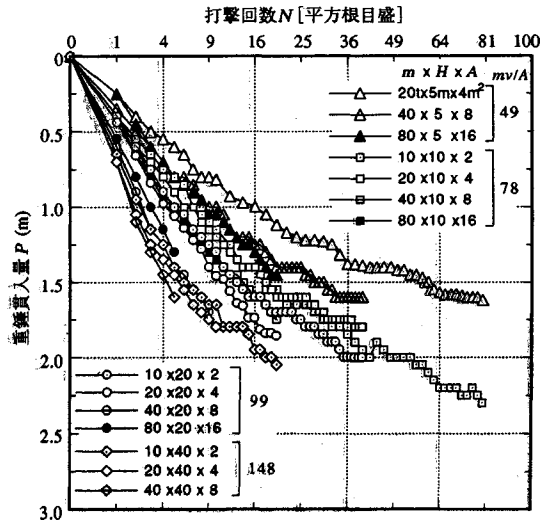


図-6 重錘貫入量と打撃回数の関係 (Case 1~14)

る圧縮量である。総地盤圧縮量 V_1 は V_c と V_s を加えたものである。

表-2に各ケースの最終状態での重錘貫入量 P 、打撃孔直径 D 、換算貫入量 P' および地盤圧縮量 V_c 、 V_s 、 V_1 をまとめた。表-1の打撃条件と併せてみると、総打撃エネルギー E_t が同じでも、また1打撃当たりのエネルギー E_1 が同じものどうしても、打撃仕様によって締固め効果はかなり異なり、締固め効果をエネルギーで整理するには無理があることがわかる。

(1) 重錘貫入量 P

図-6に Case 1~14の P と打撃回数の平方根 \sqrt{N} の関係を示した。図中同じ外形のマークは重錘の単位底面積当たりの運動量 mv/A ($v = \sqrt{2gH}$) が同じである。 P

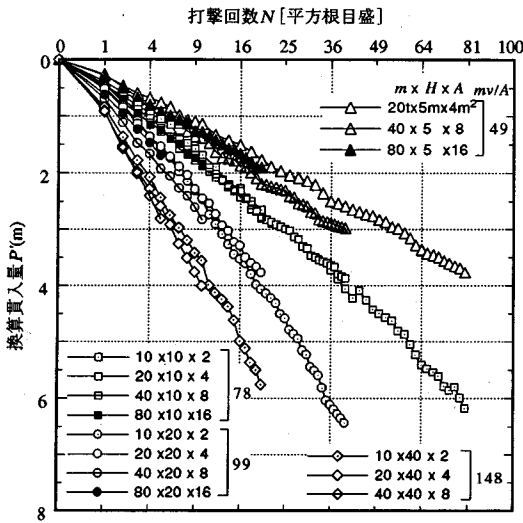


図-7 換算貫入量と打撃回数との関係 (Case 1~14)

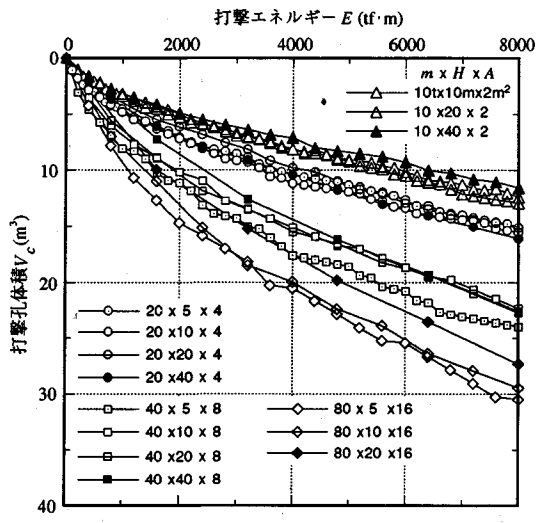


図-9 打撃孔体積と打撃エネルギーとの関係 (Case 1~14)

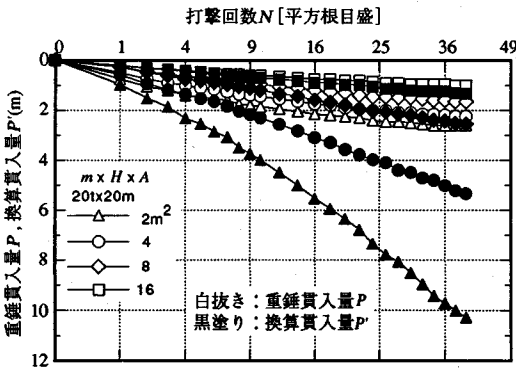


図-8 重錘底面積と貫入量—打撃回数との関係 (Case 15~18)

$-\sqrt{N}$ 関係は下に凸な曲線となる。これは打撃孔壁が崩れて孔底が埋まり、見かけの貫入量が小さくなるためである。これらを孔壁が崩れないとした前述の換算貫入量 P' で表したものが図-7である。 P' はほぼ原点を通る直線関係を有し、 mv/A が同じものはほぼ等しい $P'-\sqrt{N}$ 関係を有する。また同じ N における P' を比較すると、 mv/A が2倍になると P' は2倍となる。すなわち P' は mv/A と \sqrt{N} に比例している。

図-8に他の打撃仕様を同一にして重錘底面積 A のみを変えた Case 15~18の $P-\sqrt{N}$ 関係(白抜き記号)と $P'-\sqrt{N}$ 関係(黒塗り記号)を示した。 A の小さいものほど当然一定打撃回数に対する貫入量は大きい、貫入量が大きいほど打撃孔壁の崩れは大きくなるため、見かけの貫入量は逆に小さくなる。 P' は A が2倍になると $1/2$ 倍となる。すなわち P' は A に反比例している。

以上から、打撃孔壁が崩れる場合も崩壊量を貫入量に換算すれば、文献3)で示した次式が成り立つ。

$$P' = c \cdot mv/A \cdot \sqrt{N} \dots\dots\dots (1)$$

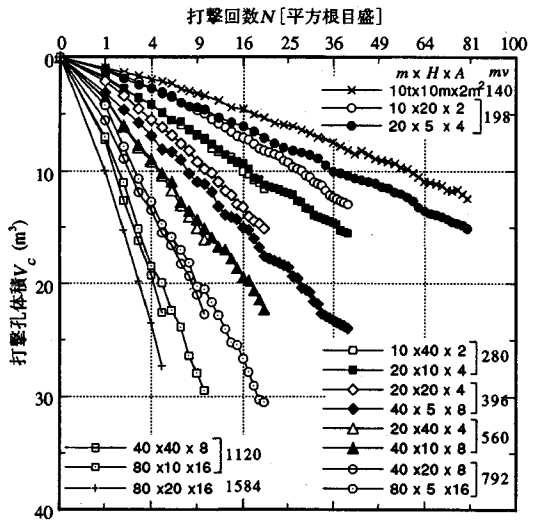


図-10 打撃孔体積と打撃回数との関係 (Case 1~14)

ここに、 c は地盤密度に関する定数である。

(2) 打撃孔体積 V_c

図-9に Case 1~14の V_c と打撃エネルギー E の関係を示した。図中同じ外形のマークは重錘質量 m が同じである。 $m=40, 80$ tで若干ばらつきがあるが、 m が同じものは H, N が変わってもほぼ等しい V_c-E 関係を有している。しかし m が大きいほど同じエネルギーにおける V_c は大きくなり、締固め効果はエネルギーでは説明できない。図-10に同じケースの V_c と打撃回数の平方根 \sqrt{N} の関係を示した。図中同じ外形のマークは重錘運動量 mv が同じである。打撃仕様によって $V_c-\sqrt{N}$ 関係は大きな幅を持つが、各ケースともほぼ原点を通る直線関係を有している。 mv が同じ場合はほぼ等しい $V_c-\sqrt{N}$ 関係を有する。また一定の打撃回数に対し

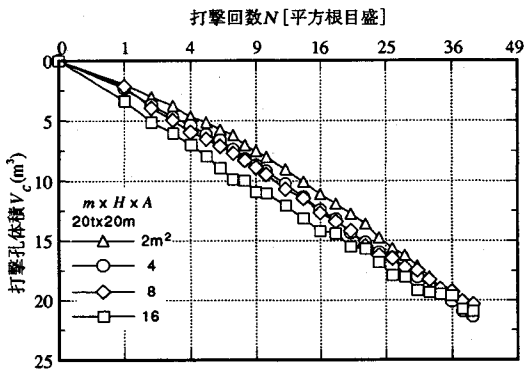


図-11 重錘底面積と打撃孔体積—打撃回数との関係 (Case 15~18)

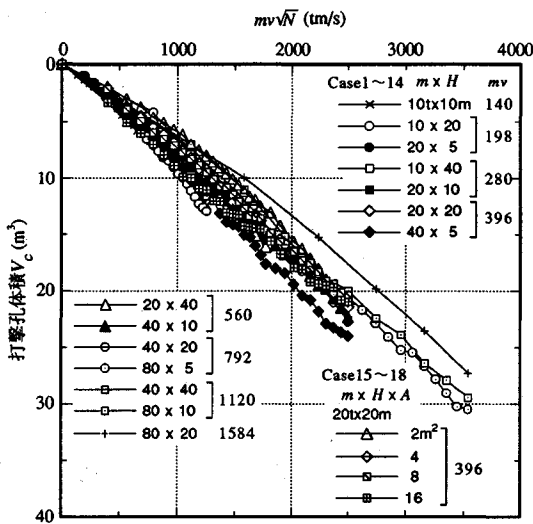


図-12 打撃孔体積と $mv\sqrt{N}$ の関係

て mv が 2 倍となると V_c は 2 倍になる比例関係が認められる。

次に A のみを变化させた Case 15~18 の $V_c - \sqrt{N}$ 関係を図-11 に示した。 A が大きいと V_c が大きくなる傾向が見られるが、 V_c に与える A の影響は小さいといえる。式 (1) を $V_c = P' \cdot A$ の関係によって書き直すと次式となる。

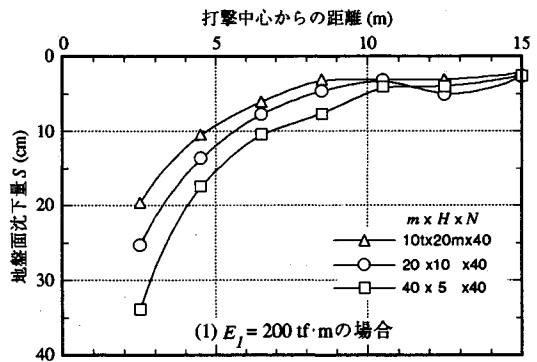
$$V_c = c \cdot mv \cdot \sqrt{N} \dots \dots \dots (2)$$

そこで全ケースを V_c と $mv\sqrt{N}$ の関係で整理すると、図-12 に示すように、ある程度の幅はあるが、式 (2) の関係が成立している。すなわち、打撃孔体積 V_c は運動量 mv と打撃回数の平方根 \sqrt{N} に比例し、重錘底面積 A は影響しない。この場合の地盤定数 c は平均的に $8.3 \times 10^{-3} (\text{m}^2/\text{t})\text{s}$ となった。

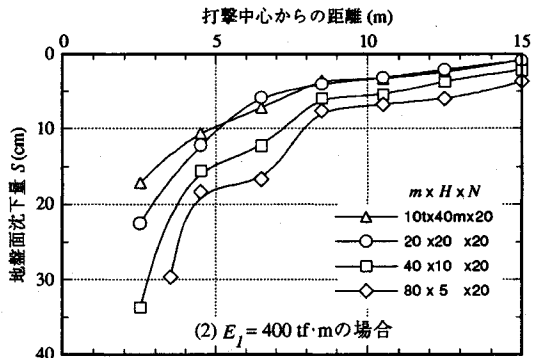
式 (2) は衝突速度が $v = \sqrt{2gH}$ であるから、

$$V_c = \sqrt{2} \cdot c \cdot m \cdot \sqrt{gHN} \dots \dots \dots (3)$$

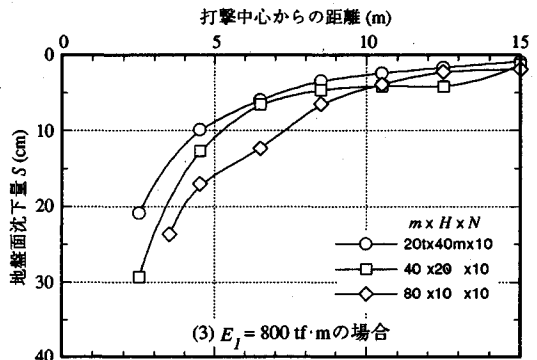
となり、総打撃エネルギーは $E_t = mgHN$ であるから、



(1) $E_t = 200 \text{ tf} \cdot \text{m}$ の場合



(2) $E_t = 400 \text{ tf} \cdot \text{m}$ の場合



(3) $E_t = 800 \text{ tf} \cdot \text{m}$ の場合

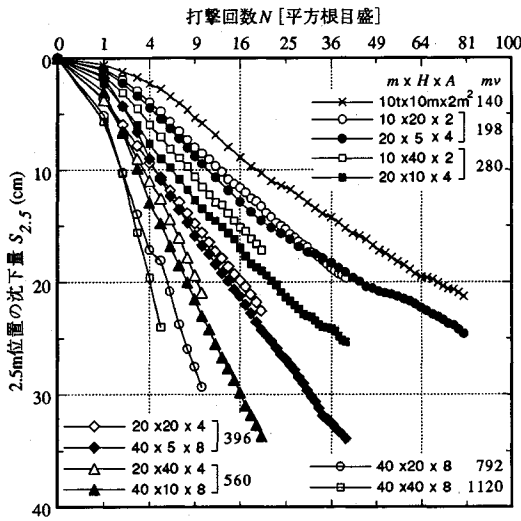
図-13 地盤面沈下量の比較

$V_c = \sqrt{2} \cdot c \cdot \sqrt{m} \cdot \sqrt{E_t} \dots \dots \dots (4)$
と書き直せる。すなわち V_c は $\sqrt{E_t}$ と \sqrt{m} に比例し、 E_t が一定の場合には H と N の組み合わせによらず (図-9 参照) \sqrt{m} のみに比例することになる。

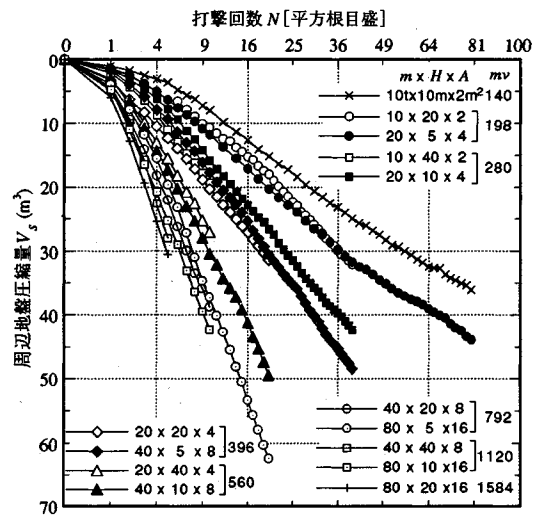
(3) 地盤面沈下量 S

図-13 (1)~(3) にそれぞれ 1 打撃当たりのエネルギー $E_t = 200, 400, 800 \text{ tf} \cdot \text{m}$ のケースの地盤面沈下量 S の比較を示した。 V_c と同様に E_t が同じでも S は異なり、いずれも m が大きいものほど S は大きい。また m が同じケースを比較すると、 H が低くかつ N が多い方が S は大きい。

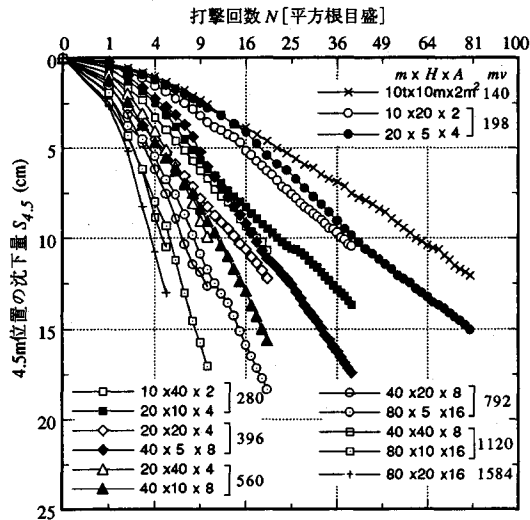
図-14, 15 に打撃中心からそれぞれ 2.5, 4.5 m 位置の地盤面沈下量 S と \sqrt{N} の関係を示した。 mv が同じもの (同じ外形のマーク) はほぼ等しい経路をたどってい



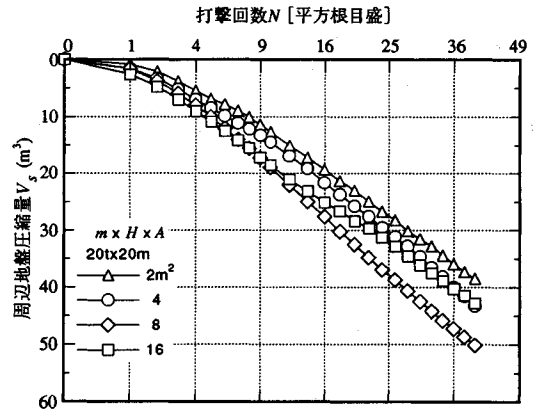
図一四 2.5 m 位置の地盤面沈下量と打撃回数の関係 (Case 1 ~14)



図一六 周辺地盤圧縮量と打撃回数の関係 (Case 1~14)



図一五 4.5 m 位置の地盤面沈下量と打撃回数の関係 (Case 1 ~14)



図一七 重錘底面積と周辺地盤圧縮量—打撃回数の関係 (Case 15~18)

る。初期には上に凸な曲線を示すが、その後は直線関係となっている。これは打撃孔周辺の地盤面の沈下は衝撃によるゆりこみで生じると考えられるが、打撃孔の底がまだ締まっていない初期には、クッション効果による衝撃の減衰が大きいと考えられる。図は省くが 3.5 ($m=80 \text{ t}$ の場合のみ)、6.5, 8.5, 10.5, 12.5, 15 m の位置でも同傾向が認められた。

(4) 周辺地盤圧縮量 V_s

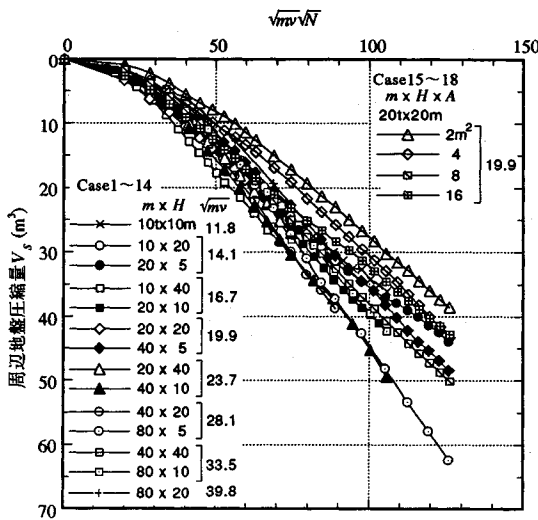
図一16に V_s と \sqrt{N} の関係を示した。同じ外形のマークは mv が同じである。打撃仕様によって $V_s - \sqrt{N}$ は幅を持つが、図一10の $V_c - \sqrt{N}$ 関係よりはるその幅は小さい。Sと同様に初期には上に凸な曲線を示すが、その後は直線関係となる。 mv が同じものはほぼ等しい関係

を有し、 mv が大きいものほど同じ打撃回数で生じる V_s が大きい。図一17に Aのみを変化させた Case 15~18 の $V_s - \sqrt{N}$ 関係を示した。 V_s に与える Aの影響はあまりないといえるが、 V_s は $A=8 \text{ m}^2$ の場合にやや大きく、 $A=2 \text{ m}^2$ の場合にやや小さい。

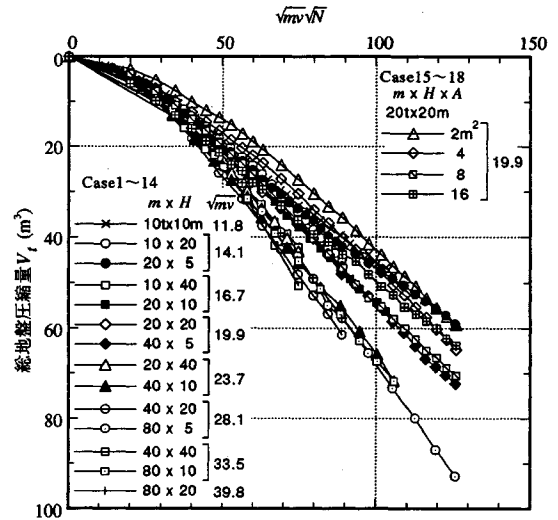
打撃による衝撃力によって土が直接押し込まれて生じる打撃孔の体積 V_c は mv に比例したが、その周辺の地盤圧縮量は衝撃力によるゆりこみに起因するため、打撃中心から離れるに従って衝撃力は減衰し、 mv の影響が小さくなると考えられる。そこで全ケースの V_s を \sqrt{mv} との関係として整理すると、図一18に示すようにせまい幅におさまり、 $\sqrt{mv}\sqrt{N}$ が 30 程度までは上に凸な曲線で、その後は直線的となる。

(5) 総地盤圧縮量 V_t

全ケースの $V_t (=V_c + V_s)$ と $\sqrt{mv}\sqrt{N}$ の関係を図一19に示した。 V_s と同様にかなりせまい幅におさまるの



図一18 周辺地盤圧縮量と $\sqrt{mv}\sqrt{N}$ の関係



図一19 総地盤圧縮量と $\sqrt{mv}\sqrt{N}$ の関係

で、総運動量 mvN が大きいほど V_t が大きくなる。また総運動量が同じでも m が大きいほど V_t が大きくなる傾向が見られる。結局、締固め効果は打撃エネルギーでなく、総運動量 mvN に強く依存していることを示している。

4. 地盤変形

実験中撮影した標点の写真を模型寸中に印画紙に焼き付け、不動点4個、標点257個（打撃中心軸から右断面195個、左断面62個）の位置を機械式の座標読み取り装置（精度0.01mm）で読み取る。4つの不動点を基準にして各打撃回数での標点の座標系を打撃前の初期座標系に変換し（中心軸近傍の左右62個の座標は左右の対応標点の座標値の平均をとった）、各標点の初期状態からの変位量を求めた。

図一20に各ケースの最終状態での変位ベクトル、等鉛直変位線、等水平変位線（等変位線の間隔は原型換算値2.5cmから2倍ずつ増える値に選んだ）を示した。図の配列の横の並びは1打撃当たりのエネルギー E_t が同じ組み合わせを、縦は重錘質量 m が同じ組み合わせを、斜めは総運動量 mvN が同じ組み合わせを表している。各ケースとも鉛直変位は打撃中心から、水平変位は打撃孔端部からそれぞれ球根状に生じている。 E_t が同じ場合を比較すると、 m が大きいものほど地盤変形は深く、かつ広範囲に及んでいる。 m が同じ場合には、 H が低くても N が多いほど地盤変形の範囲が広い。さらに斜めの並びの mvN が異なる場合を比較すると、 mvN が大きく、かつ m が大きいほど地盤変形の範囲は広い。 mvN が同じものどうしでは変形（特に鉛直変位）がよく似ている。ここでも地盤変形の及ぶ範囲は総運動量に強く依存していることがわかる。

図一21に重錘底面積 A のみを変化させた Case 14~18の地盤変形を示した。 A が小さい場合は重錘貫入量が大きい、2.5cmの鉛直変位を生じる深さは変わらない。鉛直変位が生じる範囲は $A=4, 8m^2$ で模型全域に及ぶが、 $A=2, 16m^2$ の場合は限られ、 A が大きくなって、また小さくても拡がりは小さくなる。等水平変位線の中心軸は、 A が大きいほど鉛直方向に向き、かつ大きな値を生じなくなる。すなわち重錘底面積がある値以上になると、広い範囲に衝撃を与えることができる反面、単位面積当たりの衝撃力は小さくなって締固め領域が拡がらなくなる。今回の実験条件では底面積 $8m^2$ 程度が効率の良い締固め条件を与えている。

5. まとめ

重錘落下締固め工法の打撃仕様の組み合わせを変えた遠心模型実験から以下の結論が得られた。

- 1) 重錘の地盤への貫入量は打撃孔壁の崩壊で見かけの量は小さくなるが、崩壊量を貫入量に換算して加えれば貫入量は重錘運動量と打撃回数の平方根に比例し、重錘底面積に反比例する。
- 2) 打撃孔体積は重錘運動量と打撃回数の平方根に比例し、重錘底面積の影響は小さい。
- 3) 総地盤圧縮量および地盤変形が生じる範囲は総運動量に強く依存する。
- 4) 締固め効果は打撃エネルギーでなく、重錘運動量に強く依存している。

この工法の締固め効果の及ぶ範囲は、経験的に1打撃のエネルギーの平方根、すなわち \sqrt{WH} で決まるとされているが、今回行った総打撃エネルギー一定の条件下では、重錘質量が大きく、落下高が低く、打撃回数が多いもの、すなわち総運動量大きいものほど地盤圧縮

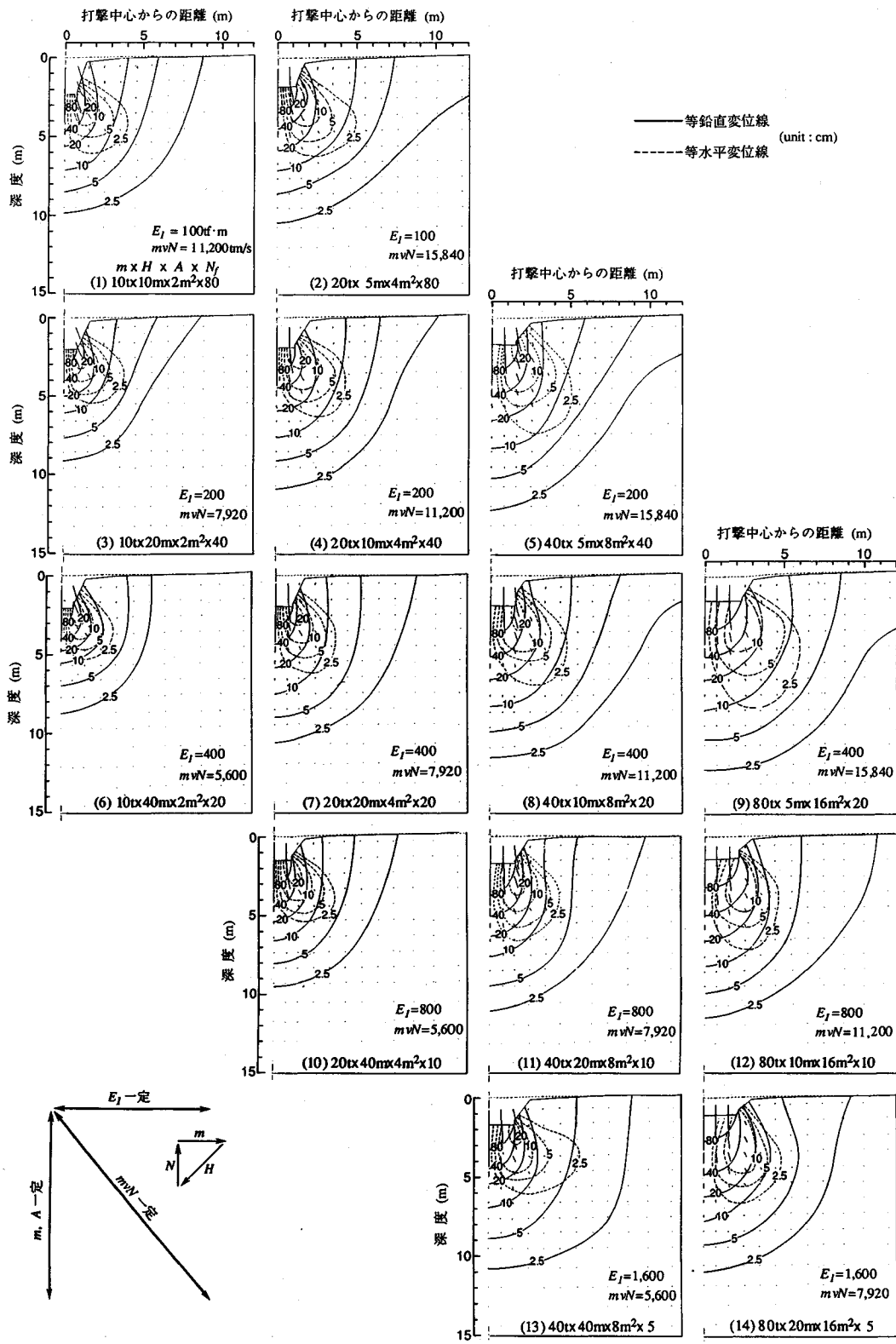


図-20 地盤変形 (Case 1~14)

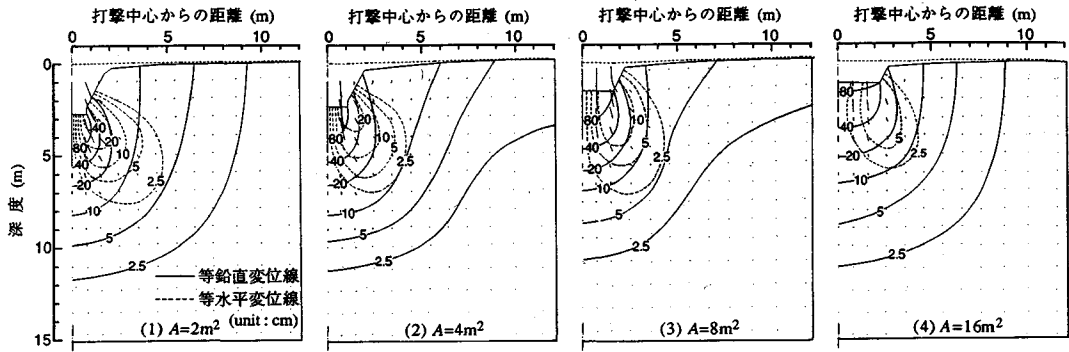


図-21 重錘底面積の違いと地盤変形 (Case 15~18, $m \times H \times N_T = 20 \text{ t} \times 20 \text{ m} \times 40$)

が大きく、締固め効果が及ぶ範囲が広がる結果を得た。

遠心模型実験に協力された山本和哉氏(当時大阪市立大学学生, 現東洋建設(株))と田中善広氏(当時大阪市立大学院生, 現(株)大林組)に謝意を表します。

参考文献

- 1) Mikasa, M., Takada N., Ikeda, M. and Takeuchi, I. : Centrifuge model test of dynamic consolidation, Proc. of Int. Conf. on Geotechnical Centrifuge Modelling (Centrifuge 88), pp.185~192, 1988.
- 2) Mikasa, M., Takada, N. and Ohshima, A. : Dynamic consolidation test in centrifuge, Proc. of 12 th ICSMFE, Vol.II, pp.947~950, 1989.
- 3) 高田直俊・大島昭彦・池田通陽・竹内功: 重錘落下締固め工法の遠心力模型実験—重錘貫入量と地盤変形—, 土

木学会論文集, No. 475/Ⅲ-24, pp. 89~97, 1993.

- 4) 高田直俊・大島昭彦・渡辺篤・池田通陽: 重錘落下締固め工法の現場実験と遠心力模型実験—地盤変形, 土圧, 強度増加—, 土木学会論文集, No. 469/Ⅲ-23, pp.127~134, 1993.
- 5) 大島昭彦・高田直俊・山本和哉: 重錘落下締固め工法における打撃仕様と効果, 第25回土質工学会研究発表会, pp.1853~1856, 1990.
- 6) 大島昭彦・高田直俊・山本和哉: 重錘落下締固め工法における打撃仕様と地盤変形, 土木学会第45回年次学術講演会概要集, Ⅲ-371, pp.778~779, 1990.
- 7) 大島昭彦・高田直俊・田中善広: 重錘落下締固め工法における重錘底面積の影響, 土木学会第46回年次学術講演会概要集, Ⅲ-516, pp.1054~1055, 1991.

(1993.1.25 受付)

EFFECT OF TAMPING CONDITIONS ON COMPACTION AND DEFORMATION BY HEAVY TAMPING IN CENTRIFUGE

Akihiko OSHIMA and Naotoshi TAKADA

A series of centrifuge model tests of heavy tamping was carried out to investigate the effect of tamping conditions, such as ram mass, drop height, ram base area and number of tamps, on ram penetration, ground compaction and ground deformation. The model is 3-D axi-symmetrical but semi-cylindrical sandy ground of 30 cm in diameter and 20 cm in height, the center of which the semi-cylindrical ram tamped in a 100 g centrifugal acceleration field. The ground compaction and deformation are governed not by the tamping energy but chiefly by the ram momentum and square root of number of tamps.