

III-50 衝撃的荷重による砂中の応力伝播および分布特性について

防衛大学校土木工学教室 正員 ○ 佐 藤 純 志

〃 〃 小 谷 章

〃 〃 大 平 至 徳

1. まえがき 衝撃的振動あるいは爆発による荷重を地表に受けたときの地下構造物の応答特性を検討するために、土および構造物の動的性質を個々の問題として考えるばかりでなく、荷重と土の相互作用、土と構造物の相互作用などをそれぞれ考察し、それらの結果を有機的に結びつけて考える必要がある。

本報告は、このような意図のもとに、まず重錘を載荷板上に落下衝突させて、砂層の表面の一部に衝撃的荷重を加えることにより砂中に衝撃波を発生させ、それによって砂中に生ずる最大圧力とその減衰の様相、さらに衝撃波が砂中を伝播する際に生ずる液形の変化などについて実験的に検討し、特に実験結果の解析に重要な意味をもつてくまと思われる実験の諸条件を明らかにすることに努めている。

2. 実験装置および実験方法

2.1 実験装置 実験装置の概要は図-1に示すとおりである。土槽(A)は一辺が1.2mの立方形で、その側壁に厚さ20mmのベニヤ板を張り、コンクリートスラブ上に設置してある。

載荷板(D)は直径20cmのステンレススチール製の円板で、7.5kgの重錘(G)を誘導するためのガイドロッド(F)と差動トランス型の変位計(E)を取りつけるための3本の腕がついたものである。

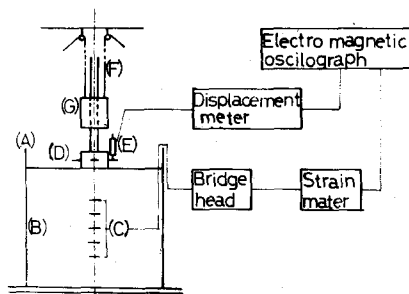


図-1

実験に用いた砂(B)は富士川で採取した比重2.69の川砂である。また測定に使用したピックアップ(C)の形状および特性は表-1に示すとおりである。

表-1

ピックアップ	形 状	最大容量	周波数範囲
土圧計	$\phi 12.5^{\text{mm}} \times 3.0^{\text{mm}}$	5.2, 1 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$	1000 Hz
加速度計	$\phi 12.5^{\text{mm}} \times 15.0^{\text{mm}}$	100g	1200 Hz

2.2 実験方法 実験はつぎのような手順で行なった

- (A) 締固め後の一層の厚さを10cmとした場合(この方法で行なった実験をシリーズ(I)の実験と呼ぶ)
- (1) 砂の含水比が2%程度にできるように調整する。
- (2) 調整の終えた砂を、締固め後の一層の厚さが10cmになるように土槽内に投入したのを整地し、重量7.5kg、直径20cmの締固め用円板を約10cmの高さから落下させて締固める。

(3) 締固めを終えた砂層の表面を整地したのち、土槽の中心に土圧計を後圧面を上にし、しかも水平になるように設置する。加速度の測定を行なうときは、加速度計と土圧計から約3cm横に離して設置する。

(4) (1)～(3)の操作によつて、深さ20～60cmの間に各層ごとに、したがって約10cm間隔でピックアップを埋設することになる。

(5) 砂の最上層だけは、最上部にあるピックアップから載荷板下面までの距離が、締固め後20cmになるように砂層をつくり、その上に載荷板を設置し、ガイドロッドと変位計をとりつける。

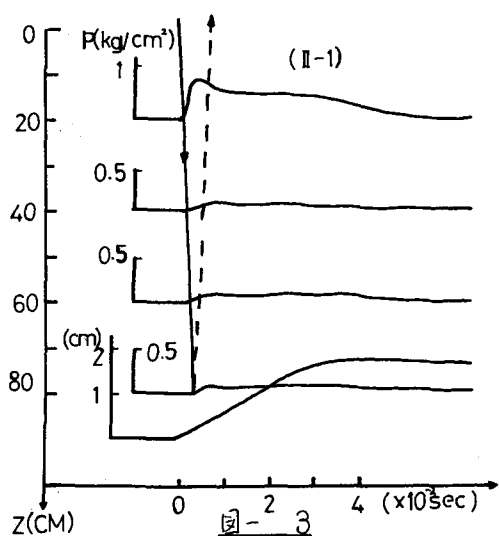
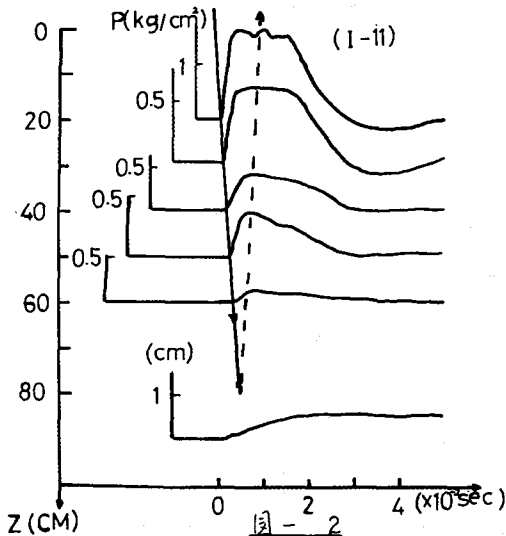
(6) 重錘を所定の高さ(シリーズ(I)の実験の場合、5, 10, 15, 20, 25, 30cm)からガイドロッドを通して自由落下させ、砂中に埋設したピックアップによつて土圧および加速度を測定する。同時に載荷板の変位も測定する。

(B) 締固め後の一層の厚さを20cmとした場合(この方法で行なつた実験をシリーズ(II)の実験とする) この場合の実験方法は、締固め後の一層の厚さが20cmになるように砂を投入すること、ピックアップの埋設位置は深さ20～80cmの間に20cm間隔とすること、および重錘の落下高を10, 20, 30cmとすること以外、(A)と全く同じである。

3. 実験結果 載荷板直下の衝撃波の伝播特性などを考察するために行なつた実験は、シリーズ(I)は重錘の落下高 5, 10, 15, 20, 25, 30cmについてそれぞれ3回、またシリーズ(II)は重錘の落下高 10, 20, 30cmについてそれぞれ3回行なつた。実験結果の一部を、シリーズ(I), (II)を対比させて表-2, 図-2, 3に示した。

表-2 (Dropping Height: 10 cm)

Depth (cm)	Experimental No.		Unit weight (g/cm ³)		Water content (%)		Peak pressure (kg/cm ²)		Rise time (×10 ⁻³ sec)		Loading period (×10 ⁻² sec)		Displacement (mm)		Displacement time (×10 ⁻³ sec)	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
20	I-11	II-1	1.58	1.54	3.0	2.4	1.58	0.82	3.6	2.8	3.52	5.77	6	18	17	44
40	—	—	—	—	—	—	0.45	0.08	5.0	4.0	3.00	4.86	—	—	—	—
60	—	—	—	—	—	—	0.15	0.08	3.6	3.8	2.84	4.92	—	—	—	—



4. 考察

各項目について考察する前に、本実験において、最大圧力、圧力負荷時間などの測定値に影響すると考えられる要因をあげれば、図-4のようになる。

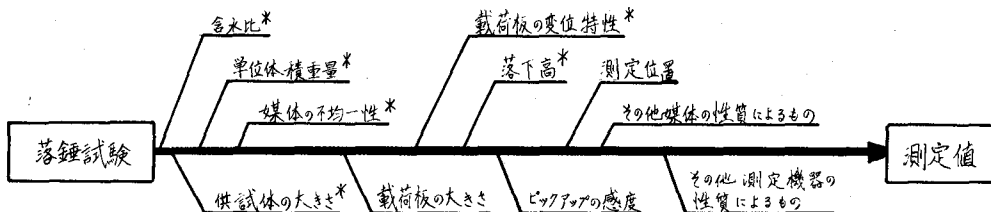


図-4 測定値に影響をおよぼす要因 (*本報告で扱ったもの)

4.1 実験装置について

(1) 砂槽の大きさ 砂槽の大きさが実験結果や解析方法にいろいろな面で影響する可能性があることは容易に推察される。たとえば、砂槽が有限の大きさを持っていることにより、実験結果に、砂槽の底面と側面における反射の影響が入ってくると思われることなどである。

本実験の場合も、図-2、3中に点線で示したように、衝撃波前面(wave front)は底面において反射すると考えられる。したがって、実験結果を反射波の影響を除外して詳細に検討する必要があるときには、wave front の反射波が到達する時間(図中に点線で示してある)以内の実験結果のみを使用しなければならぬ。実際問題として、4.2で扱ったような最大圧力の減衰特性を考察する場合(図-6,7)について考えると、底面に近い部分には明らかに反射の影響が入っているものと思われる。このことは図-2,3を見ればいさう明らかなであるが、反射波の影響の定量的な解析についてはさらに詳しく検討する必要がある。一方、本実験の場合は、底面における反射係数が約0.9とほとんど全反射に近いとはいえないが、図-6,7のように応力が砂中において急激に減衰することを考えれば、底面のごく近傍以外の部分は反射波の影響もほとんど受けないと考えても良いのであろう。

(2) 砂の含水比と単位体積重量 砂層を成形するとき、深さ 20, 40, 60 cm の層にあらかじめ埋設しておいた計3個の容器を実験終了後直ちに取出し、その際容器の近傍から他の試料を採取して、それぞれ単位体積重量と含水比を測定した。

本実験の砂槽中の砂の含水比と単位体積重量との関係を図-5に示した。この図から明らかなように、この程度の含水比では、シリーズ(I), (II)とも単位体積重量の差はほとんどない。図中の各点は3個の試料についての平均値であり、いかえれば砂槽内の深さ方向の平均的な値である。

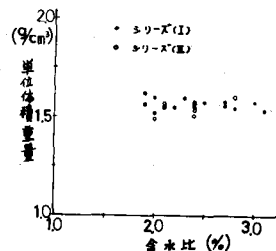


図-5

4.2 実験方法および実験結果について

(1) 締固め後の一層の厚さおよびその厚さのばかにおける密度変化 締固め後の一層の厚さの影響は、砂槽中の砂の平均的な単位体積重量には、ほとんど現れてこないにもかかわらず、表-2、図-2, 3, 6,7 から明かなように、最大圧力、圧力負荷時間など衝撃波の性質に關することおよび

載荷板の変位、変位時間には、顕著に現われている。衝撃波の性質に対する影響の原因としては辨別めることによ、砂槽中に不連続面をもつ層を作、たことをあずることができる。すなわち、砂中を伝播する衝撃波は、砂中に存在する不連続面において反射、屈折とくり返すことが考えられるので、不連続面の数と不連続面の周りの砂の性質が大きな要素になるのであろう。

(2) 載荷板の変位と衝撃波の実測液形 重錘を落下高10cmで自由落下させたときの衝撃波の実測液形は図-2,3に示してある。本実験で得られた衝撃波の実測液形は、爆圧などによ、て生ずる液形とは著しく異な、ている。この原因は主として荷重の載荷方法の違いによるものと考えられる。すなわち、爆圧などのように圧力が短時間に消滅するものと異なり、本実験の場合、重錘が載荷板に接触した直後に発生する衝撃波とその後載荷板が変位することによ、て砂中に生ずる衝撃波の両方が存在すると思われるべきであらう。そのため載荷板の変位特性が実測液形に大きく影響すると思われる。従、て載荷板の変位曲線に、図-2,3に見られるようなほぼ直線と考えられる部分が存在する場合に砂中に生ずる衝撃波の形は一度立ち上ったのち、一様な圧力を示し、その後減衰するような状態(一種の台形波)になることが考えられる。

(3) 砂槽中の砂の不均一性 砂中の応力伝播に大きな影響をおよぼすのは、砂の持つ不均一性であると言われている。本実験も実験条件とある程度まで管理したいがために一定の厚さの層に縛りつけたのであるが、このことが砂槽中に不連続な層を作、たことになり、解析をより複雑化したと考えられることとできよう。

(4) 最大圧力の減衰 載荷板直下の各点における最大圧力が深さとともに減衰する状態は、図-6,7に示すとおりである。両図から、任意の深さ(z)における最大圧力 P_{mz} は、底面における反射の影響を考えれば、

$$P_{mz} = P_{mo} \cdot \exp(\alpha z + \beta z^2) \tag{1}$$

と表わされる。ここに α, β は減衰係数であり、 P_{mo} は地表面における最大圧力である。

本実験では P_{mo} は測定できなかったため、実験結果を最小自乗法で処理して、 α, β とともに求めた。表-3はその一例である。

(1)式の右辺の βz^2 の項は、底面における反射の影響を現わすものである。図-6,7から明らかかなように、シリーズ(I), (II)では、その減衰性状および反射の影響が異なるので、表-3に示されているような結果が得られた。

5. あとがき 本報告では著者らの行、た実験の概要について述べ、主としてその実験条件を明らかにすることに努めた。ここで取り上げなかつた項目についてはさらに検討していきたいと思っている。なお、本実験の概要と実験結果の一部は第5回土質工学研究発表会(I-30)において発表した。

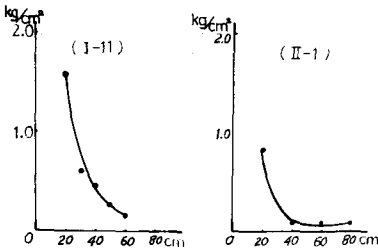


図-6 図-7

表-3

落下高	実験番号	$P_{mo} (kg/cm^2)$	α	β
10cm	I-11	4.49	-0.0667	0.000810
	II-1	15.03	-0.1803	0.001451
20	I-39	18.29	-0.1427	0.001348
	II-9	14.91	-0.1581	0.001871
30	I-43	15.34	-0.1371	0.001346
	II-11	17.82	-0.1697	0.001360