

III-50 砂中の応力波伝播に関する2,3の問題

防衛大学校 正員 ○ 佐藤 絃 志
 〃 〃 小谷 章
 〃 〃 大平 至 徳

1. まえがき 衝撃的振動や爆発のエネルギーに対する地下構造物の応答特性を検討するためには、土および構造物の動的性質を個々の問題として考えるのみならず、荷重と土との相互作用、土と構造物の相互作用なども考察し、それらの結果を有機的に結びつけて考える必要がある。この種の問題については、これまで数多くの研究がなされているにもかかわらず、現在のところ満足のいく解析法は得られていないようである。

その理由の一つは、土の動的性質、特に土中を伝播する応力波の基本的性質、すなわち土中における応力の減衰機構などがはっきりしていないことにあるようである。

本報告は、砂中の応力波の基本的性質を明らかにする目的で行なった室内実験および野外実験の結果について述べたものである。すなわち、室内実験においては、重錘と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、それにより砂中に生ずる応力波の基本的性質を検討し、あわせて砂槽中の任意の点の応力分布についても考察した。

野外実験においては、T,N,T爆薬を爆発させることにより砂中に生ずる応力波の性質、特に応力波形、最大圧力の減衰などの測定結果をできるだけ室内実験の結果と比較しながら考察した。

2. 実験方法

2.1 室内実験 室内実験の装置および方法は前回の年次学術講演会において詳しく述べたので、ここでは応力の測定装置を図-1 および 図-2 に示すだけにする。なお、シリーズ(I)の実験とは、締固め後の一層の厚さを10cmにした場合であり、シリーズ(II)の実験とは、締固め後の一層の厚さを20cmにした場合である。それぞれの場合の砂層の性質などは前回すでに報告した。

Series(I)

Series(II)

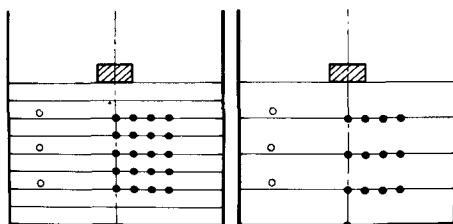


図-1.

図-2.

2.2 野外実験 野外実験の方法はつぎのとおりである。海岸砂丘にクレーンショベルで深さ2m、縦、横それぞれ約5m、2mの穴を掘り、所定の位置に土圧計を設置しつつ50cm毎に足踏みで締固め、土圧計直上の地表面にT,N,T爆薬を設置した。これを爆発させることにより砂中に生ずる応力を測定した。実験に供した砂の状態と室内実験の場合とともに表-1に示した。なお、野外実験における境界の条件は室内実験の場合ほど厳しくないものと思われる。

表-1.

	室内実験	野外実験
含水比(%)	2.3	3.0
単位体積重量(g/cm ³)	1.57	1.59

3. 実験結果および考察

3. 実験結果および考察

実験結果について、はじめに砂中の応力波の基本的な性質を知るため室内実験および野外実験で得られた実験波形について考え、つきに個々の問題、すなわち最大応力の減衰、最大応力と重錘の落下高との関係(室内実験)、応力の継続時間と深さとの関係、任意の時間における深さ方向の応力分布、最後に砂槽中の任意点の応力分布(室内実験)について述べる。

3.1 応力の実測波形

3.1 応力の実測波形 載荷板直下の各深さにおける応力-時間曲線の記録例を図-3(a),(b),(c)に示す。このうち室内実験の結果には、載荷板の変位-時間曲線も併記した。以下に、室内実験のシリーズ(I)とシリーズ(II)とにより得られた結果を検討し、野外実験による結果との違いを比較した。

(1) 室内実験の結果について 図-3(a),(b)から、シリーズ(I)と(II)とでは液形、応力の大きさ、応力の継続時間などに明らかな差が生じて

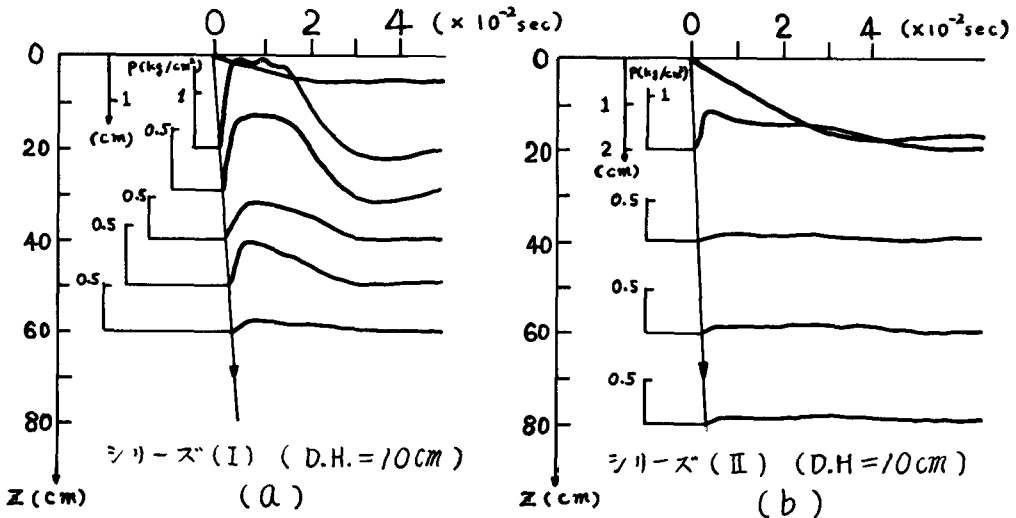
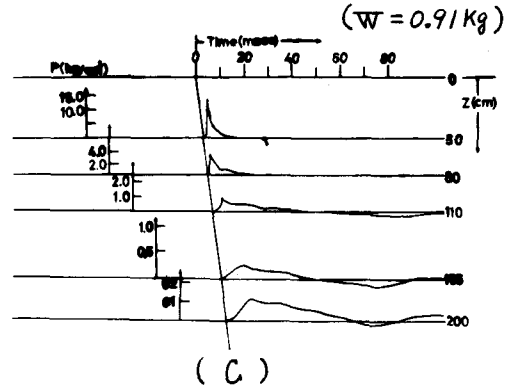


图-3.

いることがわかる。落錘試験の場合、落錘による外力を受け、載荷板が砂層表面の載荷板に接している部分を沈下させ、その沈下により砂層中に応力が生ずると考えられるので、砂層中の応力波の性質は載荷板下の砂層の状態によって違いがでてくるものと思われる。なお、図-3(a), (b)において、シリーズ(Ⅱ)の変位時間はシリーズ(Ⅰ)の約2倍、最大変位量は約3倍になっている。

(2) 室内実験と野外実験結果の違いについて 室内実験と野外実験結果については、与えた外力のオーダー、およびそれに伴う応力測定用ピックアップの感度や大きさなどが、著しく異なっているもので、応力波の基本的性質すべてにわたって比較することは難しいけれども、波の形そのものには明らかな差が生じている。この原因は、それぞれの外力の性質に差があること、また外力が砂層におよぼす影響、すなわち外力により砂層内部に生ずる変位、変位速度などの違い、言い換えれば外力と砂層との相互作用の影響によるものと思われる。同じような媒質でも対象とする外力により、

応答に著しい違いがあることから、土の動的性質を知る一つの手がかりとして、同じような土のモデルを作り、性質のある程度はつきりしている外力を加え、内部に生ずる応力などの測定を行ない、それらの結果を比較検討してみる必要があるように思われる。

3.2 最大応力と深さの関係 図-4は室内実験および野外実験によりえられた応力の最大値と深さとの関係を重錘の落下高、葉量をパラメーターとして表わしたものである。図のような減衰の形を表わす式として、すでに提示した

$$P = P_0 \exp(\alpha z + \beta z^2)$$

P : 深さ z における応力の最大値

において、 P_0 は本実験では測定できなかった地表面での最大応力であり、 α は主として土の性質および外力の性質により変化する減衰係数、 β は対象としている土の置かれている境界条件により変化すると考えられる一種の補正係数である。ここで P_0 、 α 、 β は実験結果を最小自乗法により処理して求める。計算結果の一例は図-4中に示した。図-4の減衰の形および β の値から室内実験の結果中には底面からの反射の影響が入っていることは明らかであり、一方野外実験の結果には実験条件から予想されることながら反射の影響はほとんどみられない。

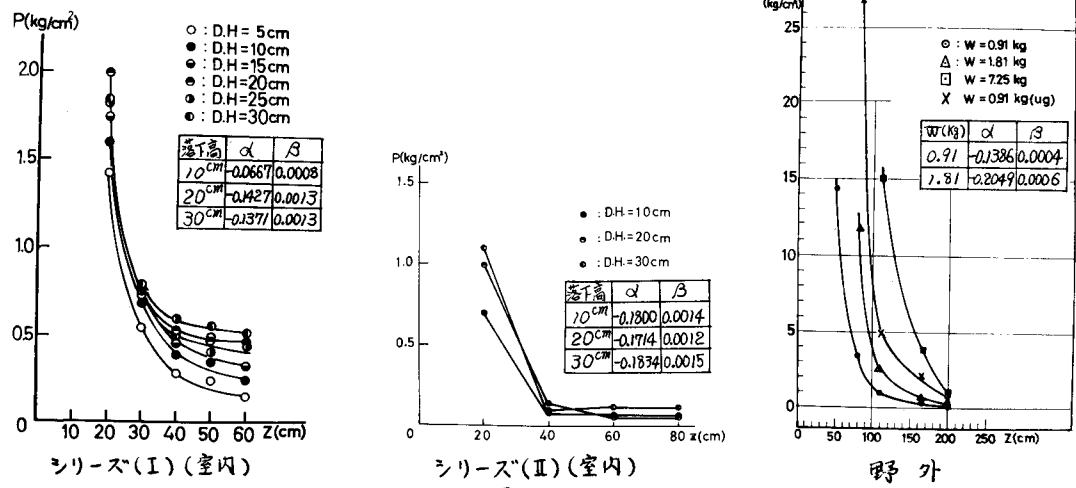


図-4

3.3 最大応力と重錘の落下高の関係 深さ20cmのところの応力の最大値と重錘の落下高との関係を図-5に示した。シリース(I)および(II)の測定値にこのような違いのある理由の一つは、動的外力の作用により砂層中に生ずる一種の非可逆的な締め付けに費されるエネルギーに差があることであろう。このことは、3.1の説明からわかるように、砂層中には応力レベルの大きさに応じて弾性波と締め付けの波が生ずることからも予想されることである。

3.4 応力の継続時間と深さとの関係 図-6は室内実験および野外実験における応力の継続時間と深さの関係を示したものである。この図から、室内実験の場合には深さとともにやや減少する傾向があり、一方野外実験の場合は全く逆になっていることがわかる。一般にこの関係

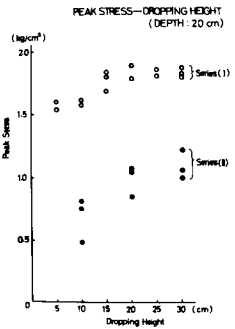


図-5

は対象とする媒質の応力-ひずみ曲線の形に依存しており、また応力-ひずみ曲線の形は媒質の置かれている諸条件、例えば荷重の大きさなど外力に関するもの、および密度など媒質自身に関するものに依存すると考えられる。本実験ではごく限られた条件のもとでの結果しか求まっていないため、応力の継続時間-深さ関係の定量的な解析をするまでには至っていない。

3.5 任意の時間における応力と深さの関係

図-7は任意時間における深さ方向の応力分布を示したものである。野外実験の場合、19 ms においてすでに上方(深さ50cm)の応力は解放されている。一方、室内実験では載荷板の変位が停止する直前まで上方(深さ20cm)の応力は解放されていない。このことは、3.1で述べたことから説明できるであろう。なお、この図は図-3のような実測波形をもとにして描いたものである。

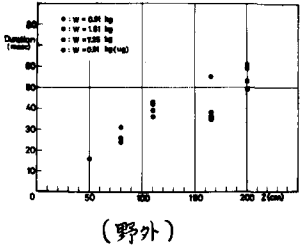
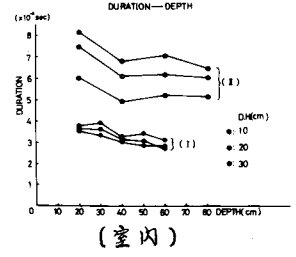


図-6

3.6 砂層中の任意の点における応力の最大値

図-8は砂層中の任意の点における応力の最大値を、望錐の落下高(10cmおよび20cm)をパラメーターとして描いたものであり、図-9は偏心距離をパラメーターとして、最大応力と深さの関係を示した。両図とも、任意点で測定された垂直方向の応力の最大値を、時間と無関係にプロットしたものである。この程度の室内実験の結果から砂層全体の応力分布を求めることは困難であるが図-8および9の結果のみから判断すれば、室内実験の場合、砂層中の応力波は、一次元的というよりむしろ円筒もしくは円すい状に伝播すると思われる。

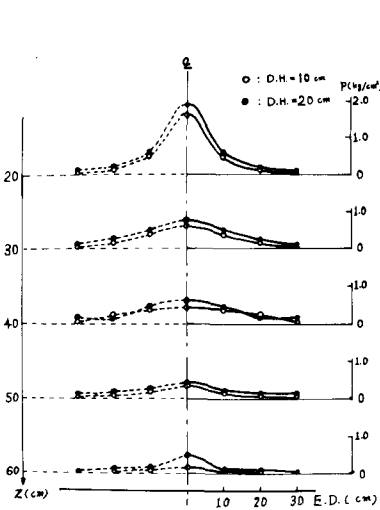
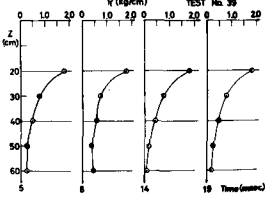
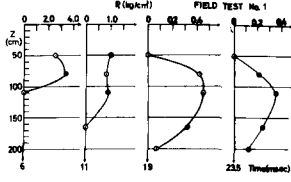


図-8



(室内)



(野外)

図-7

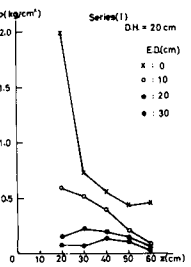
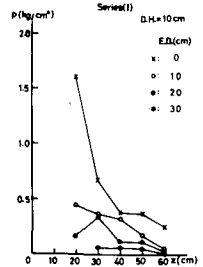


図-9

4. あとがき

本実験により、応力波の基本的性質のうち載荷直下の深さ方向については、定性的ではあるが、はっきりしてきたように思う。今後は、砂層全体の応力分布を、砂層内任意点の主応力およびそれらの時間的な変化なども測定することにより、さらに研究を進めていくつもりである。