

水圧変動と振動流の同時作用下での砂地盤上のブロックの沈下

酒井 哲 郎*・後 藤 仁 志**・山 本 哲 也***・柏 村 真 直****

1. はじめに

海岸砂地盤上に設置された異形ブロックが次第に沈下し地盤内に埋没してしまう現象を説明する機構として、地盤上に働く波圧による地盤内間隙水圧変動が原因の波の谷の位相における地盤骨格の鉛直有効応力の減少とその繰り返しが挙げられている。すでに室内実験で、水圧変動による模型ブロックの沈下を再現した研究（例えば善ら，1987）や、沈下に伴う周辺砂地盤の挙動を調べた研究（前野ら，1992）もある。

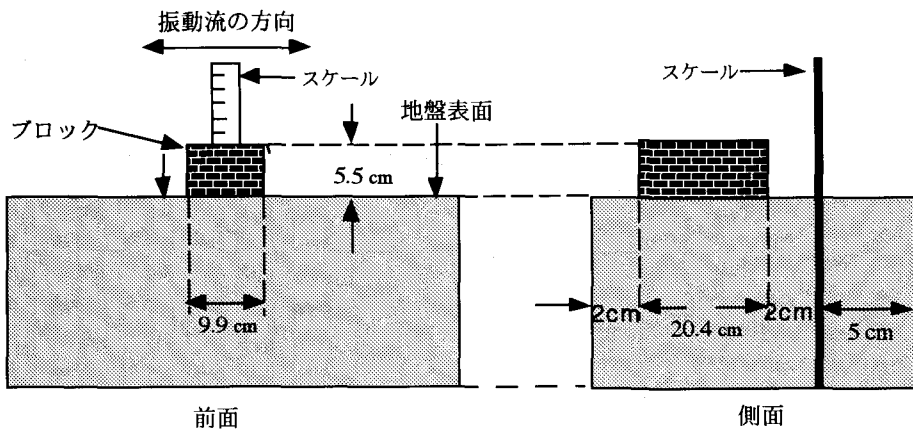
しかしながら実際の海岸では、ブロック周辺では波圧のみでなく波浪による往復流も生じており、流れによるブロック周辺の海底地盤の洗掘も同時に生じていることが考えられる。ここでは水圧変動と往復流が同時に作用する場合の砂地盤上のブロックの沈下に及ぼす両者の効果を、室内実験によって定性的に検討する。

2. 実験装置、実験条件、実験方法

(1) 実験装置

用いた実験装置は、水圧変動と振動流を同時に発生しうるものである（本論文集の酒井ら（1993）図一1 参照）。両端を閉じた U 字管型の水路（断面 30 cm×30 cm）と、水路水平部下に接続した砂槽（幅 200 cm，高さ 100 cm，奥行き 30 cm）からなる。装置前後面の水路中央部と砂層上部の部分はガラス面（60 cm×60 cm）になっており、外部から砂層表面付近を観察出来る。

この実験装置では U 字管の両端に常に空気を送風し、一方パソコンで両端のバルブの開度を制御して、U 字管内の左右の水面に正弦波状の圧力変動を加える事が出来る。左右の圧力変動の位相を一致させれば、振動流は発生せずに水圧変動のみが生じる。一方両者の位相を半周期ずらすと振動流のみが生じ、水路水平部中央では水圧変動は生じない。位相差が 0 と半周期の間の場合には振動流と水圧変動がともに生じる。



図一1 ブロックの配置

左側の U 字管鉛直部上部に水位計があり、左側の水面の高さを測定する。また U 字管水平部中央上部には水圧計があり、水圧を測定する。

地盤材料として中央粒径約 0.25 mm の砂（株）林化成

* 正 会 員 工 博 京都大学教授 工学部土木工学科
 ** 正 会 員 工 博 京都大学助手 工学部土木工学科
 *** 工 修 阪神電気鉄道（株）
 **** 学生会員 京都大学大学院工学研究科修士課程学生

コニカル硅砂 6号)を用いた。

用いた模型ブロックの大きさは、幅 9.9 cm、高さ 5.5 cm、長さ 20.4 cm、重量は約 2.0 kg である。ブロックは、図-1 に示す様に、その長い方向を振動流の方向と直交するようにして砂地盤上に置いた。ブロックの沈下を測定するためのスケールを、水槽後面から 5 cm 離れた砂層内の間隙水压センサー取付けアームに取付けた。ブロックは水槽前面とスケールの間の中間に置いたため、ブロック前面と水槽前面との距離は 2 cm であるのに対して、ブロック後面と水槽後面との距離は 7 cm である。

(2) 実験方法と条件

実験では左右の空気室への送風量は等しくし、左右のバルブの開度の時間波形を正弦波形になるようにした。左右の開度の正弦波形の振幅、周期は等しくし、その位

相差を種々に変化させた。ただし装置の性能上、発生波圧および振動流の時間波形は正弦波形から歪み、波圧はその波形の高圧部が尖った形となり、振動流は左および右向き最大流速に差が生じた。

ブロックの沈下量は、100 波分繰り返した後に測定した。実験開始から沈下量の測定の間に、圧力計と水位計の出力を記録した。水圧に関しては、その最大値と最小値を求め、その差を全振幅と定義した。左側水面の水位変化から、その時間勾配として左および右向き最大流速を求めた。また、何度かブロック直下の砂地盤の間隙比を測定した。

実験での砂面に働く平均水圧は、約 2 m の水深に相当する。実験は周期 3.0 s と 6.0 s の 2 種類とした。約 3 ヶ月にわたって実験を繰り返し、各周期とも約 30 ケースの実験を行った。

図-2 は、2 種類の周期についておこなった実験ケースの圧力全振幅と左右の最大流速の平均を示したものである。いずれの周期の場合も、最大の圧力全振幅は約 130 cm、最大の平均流速振幅は約 56 cm/s である。図から分かるように、水圧変動、流速振幅とも大きい場合は装置の性能上発生不可能である。なお、圧力変動と振動流の両方が生じている場合の両者の位相差はここでは議論しない。

3. 実験結果

(1) 水圧変動のみの場合の沈下量

図-3 は、2 種類の周期に関して、水圧変動のみのケースの圧力全振幅と 100 波後の沈下量との関係を示している。

両者ともばらつきは大きい、圧力振幅が増加するほど沈下量もほぼ直線的に増加する傾向が見られる。また同じ程度の圧力全振幅に対する沈下量の大きさは 2 種類の周期でほぼ同じであり、周期の影響は見られない。

図-4 は、沈下の時間的経過を示す例として、周期 6.0 s で圧力全振幅を 141 cm とした場合を示している。ここではとくに波数 300 (1800 s) と長く取っているが、波数 300 でもまだ沈下は終了していない。

(2) 振動流のみの場合の沈下量

図-5 は、2 種類の周期に関して、振動流のみのケースの平均流速振幅と 100 波後の沈下量との関係を示している。振動流が作用する場合は、一般にブロックは水槽横断方向を軸とする回転変位をも生じる。また場合によっては、振動流方向を軸とする回転変位まで生じることがある。このような場合の沈下量とは、ブロックの重心の沈下量である。

いずれにしても、振動流のみによってもブロックは沈下する。この場合も周期による相違は見られず、平均流

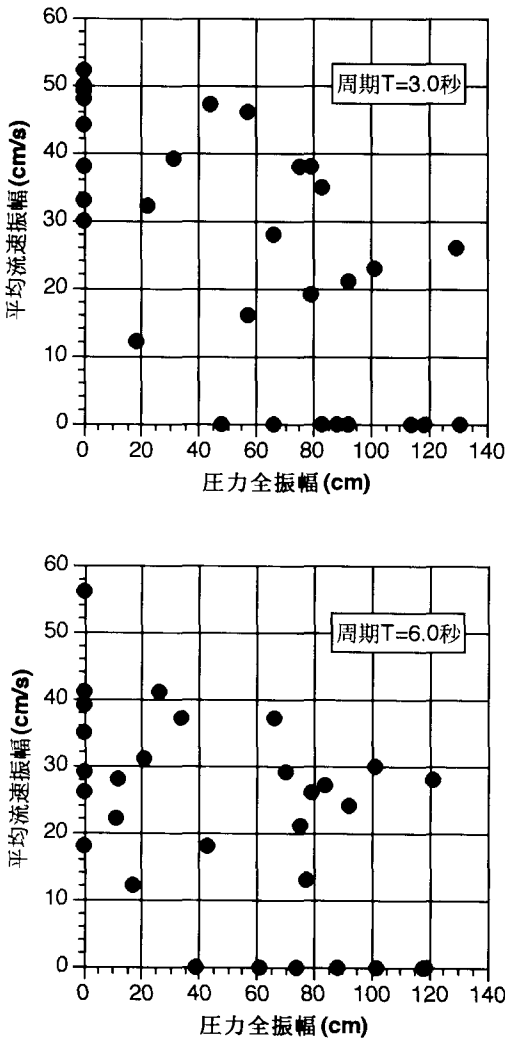


図-2 実験条件

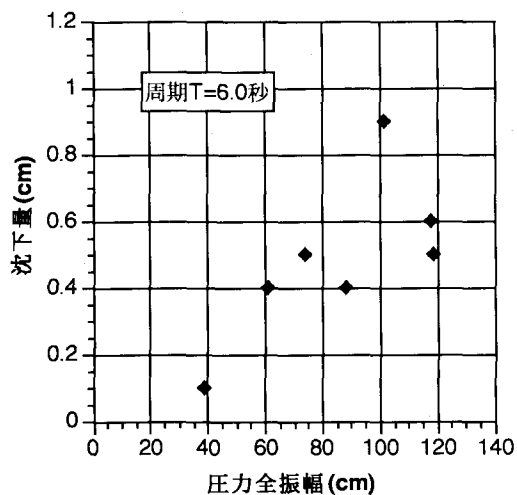
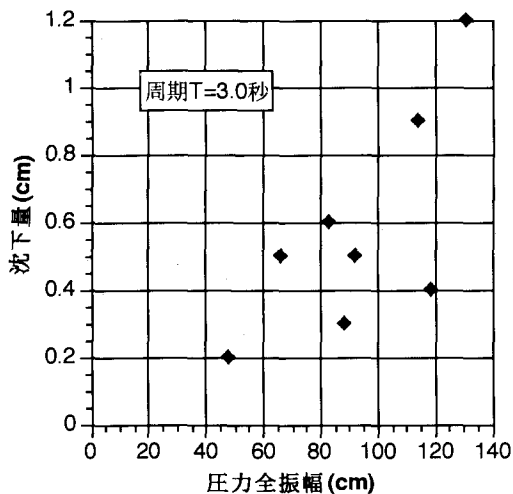


図-3 水圧変動のみの場合の沈下量

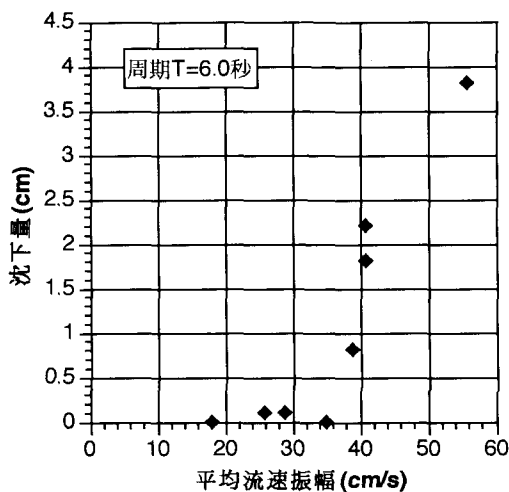
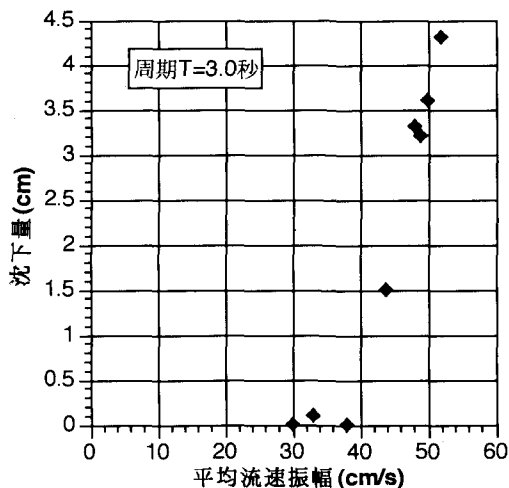


図-5 振動流のみの場合の沈下量

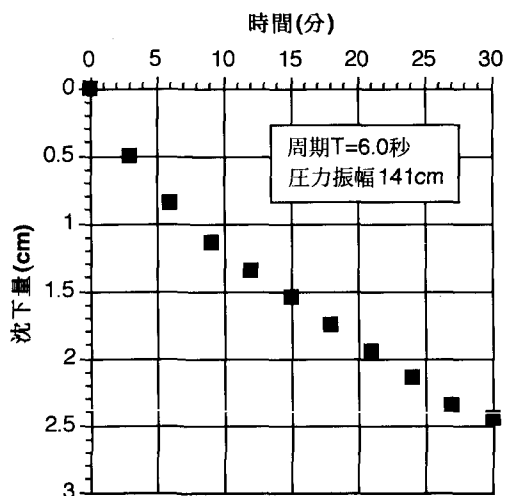


図-4 沈下量の時間変化の例

速振幅が約 35 cm/s を越すと沈下量が急激に増加する。

(3) 水圧変動と振動流がともに作用する場合の沈下量

図-6 は、2 種類の周期に関して、水圧変動と振動流がともに作用する場合の沈下量を示している。この場合は図-2 と同じ表示で、沈下量を実験条件を示す点の横に数字で示している。また後の議論の都合上水圧変動のみおよび振動流のみの場合も示している。

4. 考 察

(1) 水圧変動のみの場合

水圧変動のみを作用させてブロックの沈下を測定した善ら(1987)の実験では、ブロックの大きさは幅 6.9 cm, 高さ 19 cm, 長さ 6.9 cm である。接地圧は本実験では 9.7 g/cm^2 であるのに対し、 52 g/cm^2 である。善らの地盤の間隙比は、論文に記載されている相対密度、最大間隙比、

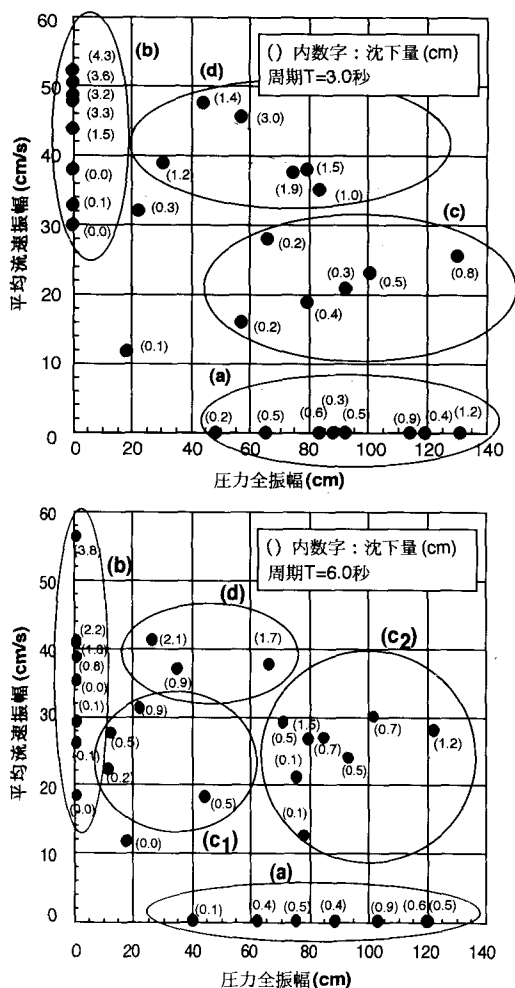


図-6 水圧変動と振動流が共に作用する場合の沈下量

最小間隙比から 0.80 であり、変動水圧の周期は 3.0 s、圧力全振幅は 566 cm である。

この条件に対応する本実験の条件としては、周期は同じ 3.0 s のものがあるが、圧力全振幅は最大でも 131 cm である。この場合の沈下量は 1.2 cm であるのに対して、波数 100 での善らの実験での沈下量は約 0.5 cm である(善らの図-23 より)。このように、善らの実験では本実験より約 4 倍の水圧変動を加えているにも拘わらず、沈下量は半分以下である。本実験での間隙比は 0.93 で、善らの 0.80 に比べてかなり大きく、これが本実験の大きな沈下量の原因の 1 つと考えられる。

この他に前野ら (1992) および岩垣ら (1992) の結果とも比較した。ブロック寸法、接地圧、圧力振幅、圧力変動周期は一致しないが、全体として本実験の方が沈下量が多い。

これは前述のように砂層間隙比が大きいことに加え、

間隙水圧変動の減衰を大きくする低い間隙水飽和度も原因として想像される。

図-4 に示した沈下の時間経過の例を見ると、単位時間あたりの沈下量は次第に減少しているが、300 波作用した時点でもまだ沈下は進んでいることが分かる。

なお沈下にとまなうブロック周辺の砂の挙動については、別に平成 5 年度の土木学会第 48 回年次学術講演会において発表する予定(酒井ら, 1993)であり、ここでは議論しない。

(2) 水圧変動と振動流がともに作用する場合の沈下量

議論が容易なように図-6 のデータ群を水圧変動のみの場合を (a)、振動流のみの場合を (b) とし、その他のデータも図に示したようにグループに分ける。

沈下量のデータのばらつきは大きい、次のことが言える。周期が 3.0 s の場合は、水圧変動、振動流ともにある場合のうち平均流速振幅が 35 cm/s 以下の (c) グループでは、同程度の圧力全振幅では沈下量は (a) グループと同程度である。すなわち振動流のみのグループ (b) で沈下が生じない平均流速振幅が 35 cm/s 以下では、グループ (c) においても振動流の効果はない。

一方平均流速振幅が 35 cm/s 以上のグループ (d) では、同程度の圧力全振幅でも沈下量は (a) および (c) グループのそれより大きい。データによっては同じ振動流振幅の振動流のみの場合の沈下量と同じ程度のものがあるが、中には同じ振動流振幅の振動流のみの場合の沈下量および同じ圧力振幅の水圧変動のみの場合の沈下量のいずれよりも沈下量が多いものもある。

周期が 6.0 s の場合は、ほぼ同様のことが言えるが、水圧変動と振動流がともに作用する場合のデータのうち、平均流速振幅が 35 cm/s 以下のグループには圧力全振幅が 40 cm 以下のデータも含まれている(グループ (c₁))。周期 3.0 s の場合はこの領域のデータがないので分からないが、すくなくとも周期 6.0 s の場合は、振動流のみでは沈下が生じない平均流速振幅が 35 cm/s 以下で、圧力全振幅から予想される沈下量より大きな沈下が生じている。これは、一種の水圧変動と振動流の相乗効果と考えられる。

6. 結 論

水圧変動と振動流を同時に起こす事の出来る装置を用いて、砂層上に設置した模型ブロック(幅 9.9 cm、高さ 5.5 cm、長さ 20.4 cm、重量約 2.0 kg)の、水圧変動および振動流によるブロックの 100 波作用後の沈下量を測定した。水頭換算の最大圧力全振幅は 130 cm、最大平均流速振幅は 56 cm/s、周期は 3.0 s と 6.0 s である。

(1) 水圧変動のみが作用する場合の水圧変動と沈下

量の関係は、周期に拘わらずほぼ直線的であり、圧力全振幅 130 cm の場合で 1.2 cm 程度である。

(2) 水圧変動のみの場合の従来の実験結果と比較すると沈下量がかなり大きく、従来の実験と比較して砂層の間隙比が大きく間隙水の飽和度が低いことが原因と考えられる。

(3) 振動流のみの場合も、回転変位が同時に生じるものの沈下も生じる。振動流と沈下量の関係は、周期に拘わらず平均流速振幅 35 cm/s 以上になると直線的に増加し、平均流速振幅 55 cm/s の場合で 4.5 cm 程度である。

(4) 水圧変動と振動流がともに作用する場合の沈下量は、場合によって同じ圧力全振幅の水圧変動のみの場合の沈下量および同じ平均流速振幅の振動流のみの場合の沈下量のいずれよりも大きい事がある。

なおこの研究の一部は、文部省科学研究費一般研究 B

(代表酒井哲郎) によったことを付記する。

参 考 文 献

- 岩垣雄一・西口松男 (1992): 変動水圧に伴う水底地盤上構造物の沈下現象に関する基礎的研究, 海岸工学論文集, 第 39 卷 (2), 土木学会, pp. 866-870.
- 酒井哲郎・後藤仁志・山本哲也・柏村真直 (1993): 水圧変動と振動流によって沈下するブロック周辺の砂の挙動, 土木学会第 48 回年次学術講演会概要集 II (印刷中).
- 酒井哲郎・間瀬 肇・山本哲也 (1993): 水圧変動による地盤表面付近の間隙水圧変動, 海岸工学論文集, 第 40 巻, pp. 586-590.
- 善 功企・山崎浩之・渡辺 篤 (1987): 海底地盤の波浪による液状化および高密度化, 運輸省港湾技術研究所報告, 第 26 巻, 第 3 号, pp. 125-180.
- 前野詞郎・名合宏之・馬場一浩・清水雄一 (1992): 変動水圧によるブロックの沈下に伴う周辺砂地盤の流動, 土木学会第 47 回年次学術講演会講演概要集 II, pp. 1138-1139.