

# PCa 六角形ブロックを用いた基礎の支持力発揮機構

向谷光彦\*, 松山哲也\*\*, 松原三郎\*\*\*, 小林由佳\*, 亀山剛史\*\*

## Bearing Capacity Characteristics of the Sandy Soil using Honeycomb Block Foundations

Mitsuhiko MUKAITANI\*, Tetsuya MATSUYAMA\*\*, Saburo MATSUBARA\*\*\*,

Yuka KOBAYASHI\* and Takeshi KAMEYAMA

### Abstract

The bearing capacity of honeycomb precast concrete block, such as counter measure against soft ground improvement, significantly depends on the interaction between the ground and the surface of concrete block. In general, a few blocks for foundation affects the bearing capacity. In this study, the laboratory tests using 1/10 scaled precast concrete blocks on sandy soil ground were proposed. The bearing capacities were evaluated by maximum value between the settlement and the load strength by using the model tests.

Keywords : Foundation block, Bearing capacity, Slip line, Sandy soil, Model test

## 1. はじめに

軟弱地盤対策として、従来から良質土による置換えやセメント混合処理に代表される表層安定処理や独楽型基礎等が実施されている。しかし、耐震性の確保や周辺への環境に配慮された工法としてそれぞれ十分ではないという現状がある。近年、集中豪雨や大規模地震の発生により、地盤被害が懸念され、軟弱地盤対策が改めて注目されている。今後、さらに劣悪な環境条件や既設構造物の影響を受ける条件下での施工が想定される。したがって、ボックスカルバートやL型擁壁等の支持力確保や耐震性向上を目指すには、施工性が良く低コストで、かつある程度の性能を有する軟弱地盤対策工法の普及が望まれる。こうした問題に対し、プレキャスト製六角形基礎ブロックによる軟弱地盤対策工法を想定して基礎の支持力発揮機構に関する一連の検証実験<sup>1)2)</sup>を行った。本工法では、プレキャストコンクリート(PCa)

製の基礎ブロックを単体または複数個の組み合わせ基礎を構築するものである。

本論文では、六角形基礎ブロックを鉛直載荷することにより地盤を破壊させ、六角形基礎ブロックの最大支持力を計測した。六角形基礎ブロックの2次元模型土槽を用いた1/10スケールの室内載荷実験を行い、その支持力発揮機構を検証した。そのときに発生する地盤のすべり面観測を市販のハンダ線を土中に挿入することにより離散的にとらえた。さらに、基礎ブロックの根入れ深さの影響を検討するとともに基礎ブロックの形状の比較実験を行う。これらにより、六角形基礎ブロックの支持力発揮のメカニズムを明らかにした。また、従来から使用されているプレキャストコンクリート製独楽型基礎ブロックについても1/10スケール模型を作製した。これらの総合的な検討について報告する。

## 2. 試料, 実験装置, 実験の概要

本実験は、風乾状態の海砂( $U_c=2.46$ ,  $U'_c=0.541$ ,  $D_{max}=2.00\text{mm}$ ,  $D_{60}=0.320\text{mm}$ ,  $D_{50}=0.250\text{mm}$ ,  $D_{30}=0.150\text{mm}$ ,  $D_{10}=0.130\text{mm}$ ,  $\rho_s=2.55\text{g/cm}^3$ ,

\*香川高等専門学校専攻科

\*\*日本興業(株)

\*\*\*香川高等専門学校 建設環境工学科

$\rho_d=1.31\text{g/cm}^3$ ,  $\gamma_d=13.1\text{kN/m}^3$ ,  $e=0.770$ )を使用した。  
また、比較実験として使用した礫とともに粒径加積曲線を図-2.1に示す。

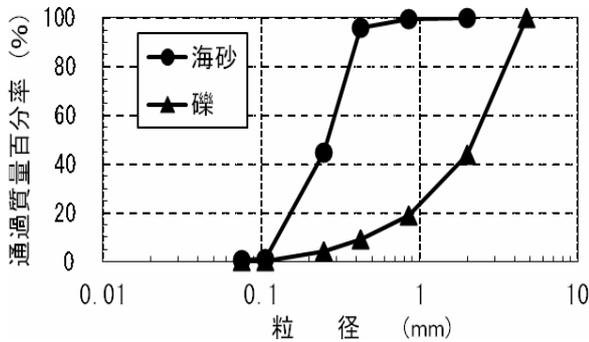


図-2.1 使用した試料の粒径加積曲線

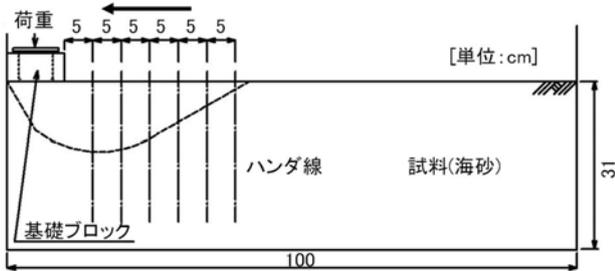


図-2.2 2次元模型土槽の側面図

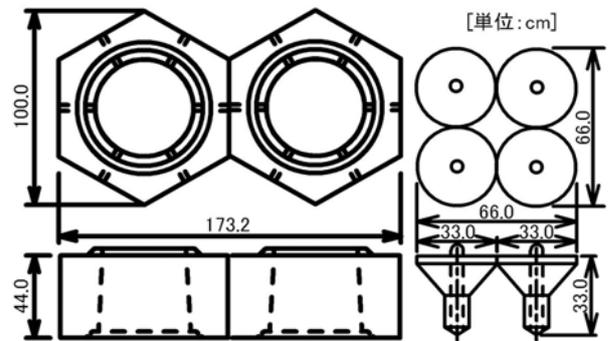


写真-2.1 模型土槽における拡幅防止状況

図-2.2 は実験に使用した 2 次元模型土槽(アクリル製、長辺方向 100cm、短辺方向 25cm、高さ 55cm、厚さ 1.5cm)である。この土槽内に最初 10cm の試料を敷き、層厚 5cm ごとに均一に堆積させ、突き固めて土層を作製する。土層厚は 31cm となる。その後、長さ 30cm ハンダ線(直径 1.2 cm)を 6 本、中央に図-2.2 のように 5cm ごとに設置する。細長い直径 0.3cm の金属管の中にハンダ線を入れ、ともに土中に挿入した後、金属管のみ取り出すことにより、ハンダ線が 27cm 挿入された状態にする。載荷後、試料を出しながら、ハンダ線が変形しないように取り出す。ハンダ線の両端は固定しておらず、土中を移動すること

は可能であるが、ハンダ線下部は移動しないと仮定して観測する。土槽内部には、模型と土槽との間の隙間ができないように剛板を入れ、2 次元の変形条件を維持できるように調整する。2 次元模型土槽の側面が載荷時に膨らむことを抑制するため、土槽の上部を写真-2.1 のように金属棒により拡幅防止装置を取り付けた。

六角形基礎ブロック、独楽型基礎ブロックの形状を図-2.3 に、六角形基礎ブロックを写真-2.2 に示す。無筋コンクリート製の実物の 1/10 スケールの六角形基礎ブロックと独楽型基礎ブロックの 2 種類を用いた。



六角形基礎ブロック 独楽型基礎ブロック

図-2.3 六角形基礎ブロックと独楽型基礎ブロックの形状(実寸)

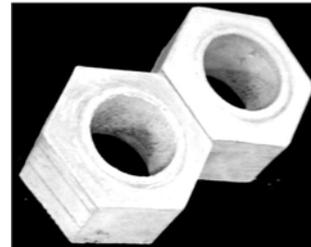


写真-2.2 六角形基礎ブロック

図-2.3 に示すように、六角形基礎ブロックは 2 個、独楽型基礎ブロックは 4 個四角形に並べ、どちらも図-2.2 のように 2 次元模型土槽の端に設置する。ただし、六角形基礎ブロックは比較のため、中央に設置した実験をする。2 次元模型土槽の端に設置した実験については、少なくとも 2 回以上実施して再現性を確認している。油圧ジャッキにより基礎ブロックの沈下量が 0.2cm/min となるようにダイヤルゲージを確認しながらジャッキを載荷する。評価項目は、最大荷重である。

比較実験として擬似的 3 次元の変形が許容できる

模型実験を行った。風乾状態の礫( $U_c=6.25$ ,  $U'_c=1.69$ ,  $D_{max}=4.75\text{mm}$ ,  $D_{60}=2.50\text{mm}$ ,  $D_{50}=2.20\text{mm}$ ,  $D_{30}=1.30\text{mm}$ ,  $D_{10}=0.400\text{mm}$ ,  $\rho_s=2.64\text{g/cm}^3$ ,  $\rho_d=1.67\text{g/cm}^3$ ,  $\gamma_d=16.7\text{kN/m}^3$ ,  $e=0.585$ )を使用した。粒径加積曲線は図-2.1 に示す。

実験では、3次元土槽(プラスチック製、長辺方向 54.5cm, 短辺方向 34.5cm, 高さ 21.35cm)を使用する。この土槽内の表層の試料をスコップで5杯取り出し、試料が均一になるようにかきまぜ、取り出した試料を水平になるように入れ、表層を突き固めて土層を作製する。土層厚は 15cm となる。

実験には、図-2.3 に示す無筋コンクリート製の実物の 1/10 スケールの六角形基礎ブロックと独楽型基礎ブロックの2種類を用いる。

六角形基礎ブロックと独楽型基礎ブロックは3次元模型土槽の中央部に並べ、油圧ジャッキにより基礎ブロックの沈下量が 0.2cm/min となるようにダイヤルゲージを確認しながら載荷する。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 六角形基礎ブロックの支持力に及ぼす粒径の影響

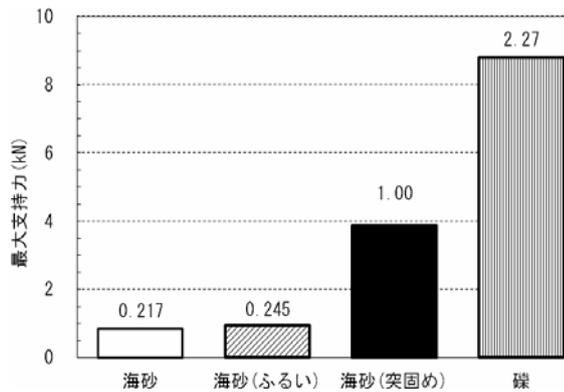


図-3.1 土質条件と支持力の関係

(六角形 2 個, 2 次元, 端配置, 根入れ 0cm)

載荷試験より得られた土質条件と支持力の関係を図-3.1 に示す。試験はすべて六角形基礎ブロック 2 個(根入れ 0cm)を用いて行った。土質条件は、海砂を土槽に直投したもの、ふるいにより落下させたもの、突き固めを行ったもの、礫を直投したものの合計 4 種類である。図より海砂と礫の最大荷重を比較すると礫の方が大きな支持力が得られることが分かる。

また、ふるいにより落下させたもの、突き固めたものの方が直投したものに比べて支持力は大きくなっている。これは、ふるい落下、突き固めることにより土槽の密度が大きくなり支持力が増加したものと考えられる。ただし、海砂では突き固めても礫ほどの大きな支持力は得られなかった。すべり線は、4 種類の土質実験のうち、「海砂(突き固め)」と「礫」の 2 種類ですべり線が観測された。したがって、土層の密度、地盤材料の粒径とすべり線の発生が関連していると考えられる。

#### 3.2 六角形基礎ブロックの支持力に及ぼす拘束条件の影響

変形の拘束条件と試料の相違が最大支持力に及ぼす影響について考察する。図-3.2 に 3 次元土槽と 2 次元模型土槽、また、礫と海砂の最大支持力の比較を示す。試料が同一である礫土槽について比較すると、2次元を基準とした場合、3次元はその 3 割程度と、最大支持力が小さくなる。2次元から3次元になることにより破壊可能な方向が多くなるため、最大支持力が減少すると考えられる。

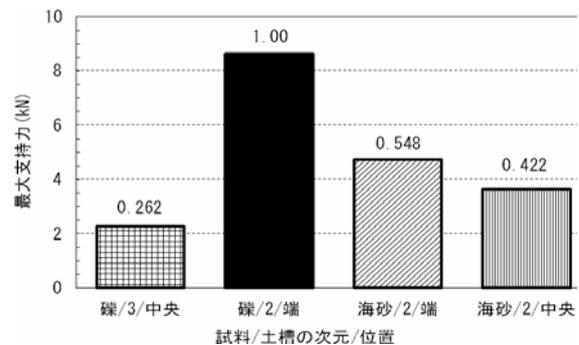


図-3.2 3次元と2次元変形条件と支持力の関係 (六角形 2 個, 根入れ 0cm)

同じ拘束条件でも土層試料の違いにより最大支持力は変わり、2次元模型土槽において礫を基準とした場合、海砂はその 5 割程度となる。礫は海砂と比べて粒径が大きいため剛性が大きく、粒子同士が噛み合わさることにより、大きなせん断抵抗力が発揮されることが理由として考えられる。海砂試料の 2次元模型土槽の基礎ブロックの位置(端と中央)の違いによる最大支持力を比較するとほぼ等しい値である。このことから、試料の粒径の違いは拘束条件に比べて最大支持力に与える影響が大きいことが分か

る。

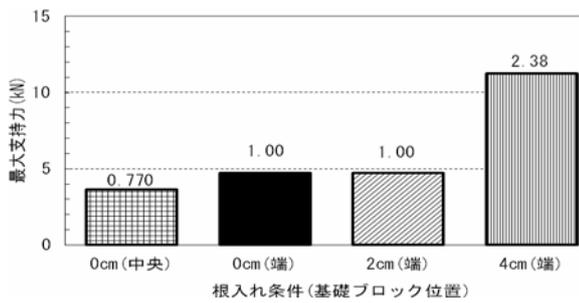


図-3.3 根入れ深さと基礎ブロック位置による最大支持力の関係 (六角形2個, 2次元, 海砂)

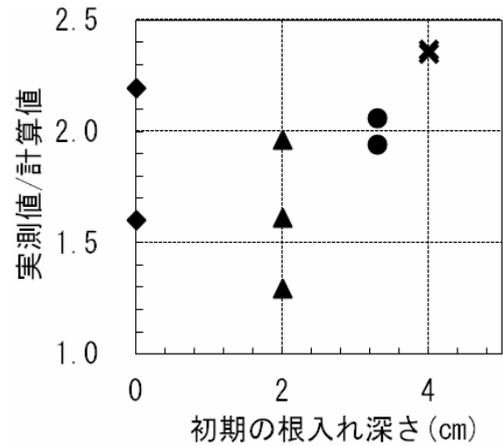
### 3. 3 六角形基礎ブロックの支持力に及ぼす根入れの影響

2次元模型土槽による根入れ深さと基礎ブロック位置別の最大支持力の比較を図-3.3 に示す。根入れ0cmにおける端部載荷を基準とすると、中央はその8割程度と差が認められるが、比較的近いことが分かる。また、基礎ブロック位置を端とした条件について根入れ深さ毎に比較すると、根入れを基礎ブロックの高さである4cmにすることにより最大支持力が増加することが分かる。これは、根入れを大きくすることにより、土塊の破壊モデルのすべり面が増加するためであると考えられる。また、前記の荷重沈下挙動より、荷重が増加するとともに沈下量が増加することがいえる。はじめから根入れをすることにより土かぶり厚が大きくなり、押し動かす試料の量が大きくなるため、最大支持力が増加すると考えられる。

今回、根入れ0cmから基礎ブロックの1/2の高さである2cmに最大支持力の増加が見られない理由は、最大支持力の取り扱いに要因がある。したがって、根入れを大きくすると最大支持力の増加が期待されるが、その上昇幅は比例関係ではないことが分かる。

### 3. 4 すべり線法による六角形基礎ブロックの支持力の推定

すべり線法により最大支持力を計算し、実測値と比較する。図-3.4 は、初期の根入れ深さごとの計算値と実測値の比である。六角形基礎ブロック、独楽型基礎ブロックともにどれも計算値の1~2.5割増しの大きな最大支持力が発生することが分かる。



◆六角形2個/0cm ▲六角形2個/2.0cm  
×六角形2個/4.0cm ●独楽型4個/3.3cm

図-3.4 すべり線法による計算値と実測値の比較 (2次元, 端配置, 海砂)

今回、すべり線法<sup>3),4)</sup>による計算では、土の内部摩擦角と粘着力の値を用いて、計算する。強度定数の内部摩擦角と粘着力は、乾燥試料の室内定圧一面せん断試験を実施し、供試体内の密度が2次元模型土槽内の試料と同じ密度になるように質量を調整して要素試験を実施した。入力する値はそれぞれ内部摩擦角 $\phi_d=49.7^\circ$ 、粘着力 $c_d=0$ である。土の強度定数は最大支持力に大きく影響を及ぼすので、その値の選定には注意を要する。

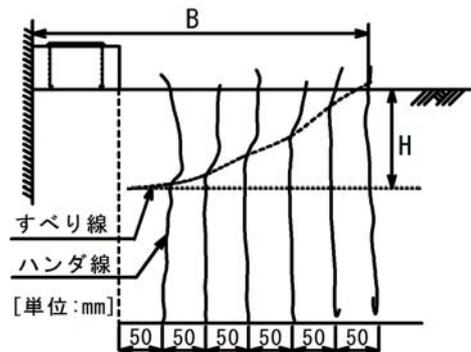


図-3.5 支持力試験後に観察されたハンダの変形状況

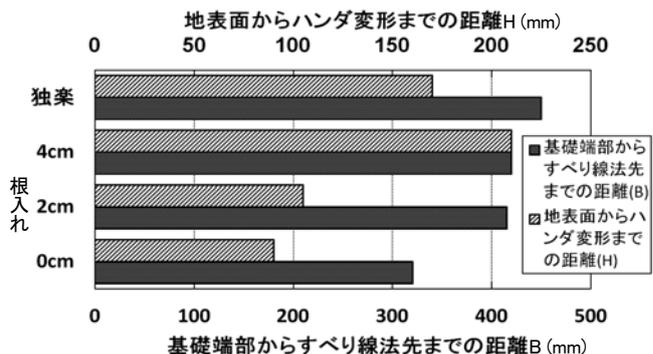


図-3.6 土中と地表面のすべり面位置の関係

### 3. 5 六角形基礎ブロックの支持力試験時に観測された土中と地表面のすべり線形状

すべり線計測により得られたすべり線の観測結果を図-3.5 に、地点面の基礎端部からすべり面法先までの距離を図-3.6 に示す。図-3.5 より基礎端部から、連続的にすべり線が発生しハンダが変形していることがわかる。また、地表面にもすべり線の法先が図のように発生した。中央部が凸になっているのは、側面の板と砂粒子間摩擦の影響が表れているものと考えられる。図-3.6 よりすべり線は、基礎端部から300~500mm の範囲で発生する傾向がみられた。また、基礎の根入れを行うことにより、すべり面法先が400mm 付近に発生し、深層方向に深いすべり線が形成されていることがわかる。したがって、根入れ深さを大きくすることにより、深層方向にすべり線が形成され、結果として支持力が増大するものと思われる。

### 4. まとめ

砂質土における2次元模型土槽にて1/10スケールの六角形基礎ブロックによる室内載荷実験により得られた地盤の支持力発揮機構について検討を行った。六角形基礎ブロックを鉛直載荷することにより、地盤を破壊させ、六角形基礎ブロックの最大支持力を計測した。また、そのときに発生する地盤のすべり面の観測はハンダ線を土中に挿入することにより離散的にとらえた。得られた結論は、以下のとおりである。

- 1) 粒径が大きい地盤材料ほど、大きな支持力が得られた。これは、基礎ブロックに対する相対的な材料の粒径が影響を及ぼしたためである。
- 2) 土層作製方法では、突固め法が最も大きな支持力が得られた。これは、突き固めを行うことにより土中の密度が大きくなったためである。
- 3) 試料や拘束条件を変化させた実験から最大支持力は基礎ブロックの位置(端,中央)の違いよりも試料の違いの方が与える影響が大きいことが分かった。
- 4) 根入れを4cmすることにより最大支持力が増加することが分かった。これは、根入れを大きくすることにより、土塊の破壊モデルのすべり面が増加するためであると考えられる。

5) 根入れを大きくすることによる最大支持力の増加量は、直線的でないことが分かった。これは、形状、個数が異なっても同じである。

6) 初期の根入れ深さごとのすべり線法による最大支持力の計算値と実測値を比較すると、六角形基礎ブロック、独楽型基礎ブロックともいずれも計算値の1~2.5割増しの大きな最大支持力が発生することが分かった。

7) 根入れを大きくすると六角形基礎ブロックは基礎ブロックからすべり面の法先までの距離； $B$ が大きくなった。そのため、根入れを大きくすることにより、すべり面が土中深くに生じると考えられる。

8) 六角形基礎ブロックの根入れ0, 2, 4cmのハンダ線によるすべり面の観測では、4cmのすべり面が最も深くなった。これは根入れを大きくすることにより、すべり面発生位置が深くなり、結果として、すべり面の距離が長くなり、大きな最大支持力が発生すると考えられる。

9) ハンダ線によるすべり面の観測では、どの場合も、すべり線法から得られたすべり面よりもやや小さな形状となった。すべり面が発生する部分は、すべり線法で予測する領域よりも表層部の領域の方が大きい。そのため、最大支持力は小さく算定されたためと考えられる。

### 参考文献

- 1) 乃村智子, 向谷光彦, 松山哲也, 右近雄大, 吉田真一郎: ローコスト型基礎ブロックの支持力に及ぼす形状と配置の影響, (公財)地盤工学会四国支部平成23年度技術研究発表会講演概要集, pp. 51-52, 2011.
- 2) 乃村智子: 六角形基礎の静的支持力特性に及ぼす根入れの影響, 平成24年度中国・四国地区高等専門学校専攻科生研究交流会<土木・建築部門>予稿集, pp. B17-B18, 2012.
- 3) 吉嶺充俊: Excelで学ぶ土質力学, pp. 77-92, オーム社, 2006.
- 4) (公財)地盤工学会: 支持力入門, pp. 15-35, (公財)地盤工学会, 2009.