

リサイクルプラスチックを用いた基礎ブロックの支持力特性について

On the Bearing Capacity Characteristic of Foundation Block Made of Recycling Plastics

松下英次 Eiji MATSUSHITA (長野高専)
 市川久芳 Hisayoshi ICHIKAWA (豊田興産(株))
 栗岩喜昭 Yoshiaki KURIHARA (千曲商事(有))
 水越彬 Akira MIZUKOSHI (土木管理総合試験場(株))
 山本哲朗 Tetsuro YAMAMOTO (山口大学大学院理工学研究科)

近年の建設業界においてリサイクル材料の使用の促進が図られている。そこで、本研究ではペットボトルなどから生成されるリサイクルプラスチックを加工して基礎ブロックを作製し、その支持力特性を実験的に検討した。実験には、河川の後背湿地からなる軟弱地盤の2地点において実物大の基礎ブロックを埋設し、平板載荷試験により検証した。試験には大きさおよび形状の異なる載荷板を用いて行ったため、結果は大きさおよび形状を考慮して再整理した。その結果、基礎ブロック設置により現地盤の支持力特性が改善された。さらに、有限要素法を用いてそのメカニズムを解析した結果、基礎ブロックとその中の土が一体となり、支持力特性を増加させることが推測された。

キーワード：リサイクルプラスチック，基礎ブロック，支持力 (IGC : E03)

1. はじめに

近年、リサイクル法の制定により、各分野においてリサイクル活動が盛んに行われている。建設業界においても建設リサイクル法が制定され、コンクリートや残土等のリサイクルを促しており、公共事業などにおいてもリサイクル材料の使用を積極的に取り入れている。このような現状の中で我々の生活の中で多く用いられているペットボトルなどから排出されるプラスチックは年間1千万トンにも及んでいる。現在ではこれらの72%がリサイクルされている。しかし、今だ28%が埋立てや焼却されているのが現状である¹⁾。

わが国は軟弱地盤の国として世界的に有名な国である。その原因として日本大陸が沖積層と呼ばれる層によって覆われているからである。さらに長野県長野市周辺は千曲川の河川氾濫等に深さ数十メートルにわたって軟弱な粘土層が堆積している。そのような地盤において建設物を施工する際、地盤に対して何らかの対策を施さなくてはならない。

そこで著者らは、ペットボトルなどから得られる廃プラスチックをリサイクルしたリサイクルプラスチックを用い、基礎ブロックの試作を行った。本研究は、この基礎ブロックの支持力特性を調べることを目的とし、長野県内の軟弱地盤において平板載荷試験を行った結果を報告する。さらに、有限要素法を用いてそのメカニズムについて報告する。

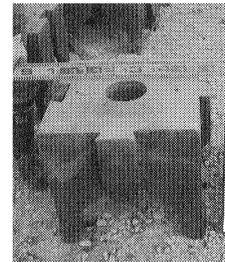


写真-1 基礎ブロックの形状

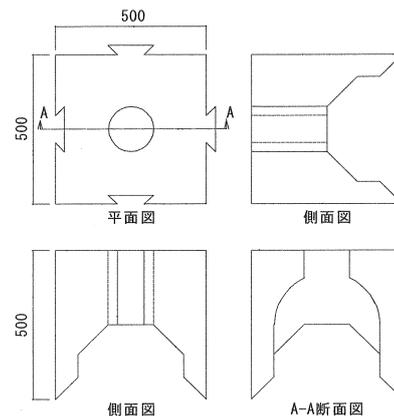


図-1 基礎ブロックの概略図 (mm)

2. 実験概要

2.1 リサイクルプラスチック製基礎ブロック

今回用いたリサイクルプラスチック製基礎ブロックの形状および概略図をそれぞれ写真-1および図-1に示す。その寸法は高さ50cm、幅50cm、奥行き50cmで、四本足の形態となっている。また、この比重は0.98と軽いものである。

表 - 1 試験ケース

	地点	ブロック	工法
1	地点 1	無	-
2	地点 1	1 個	方法 1
3	地点 1	4 個	方法 1
4	地点 2	無	-
5	地点 2	1 個	方法 1
6	地点 2	4 個	方法 1
7	地点 2	1 個	方法 2
8	地点 2	4 個	方法 2

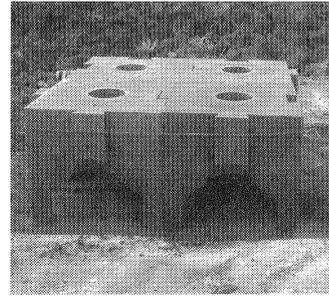


写真 - 2 基礎ブロック 4 個

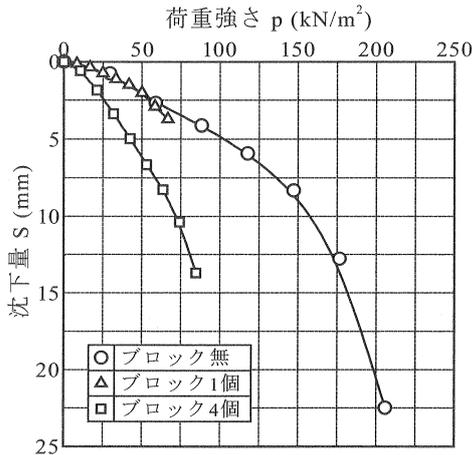


図 - 2 荷重強さと沈下量の関係 (地点 1・方法 1)

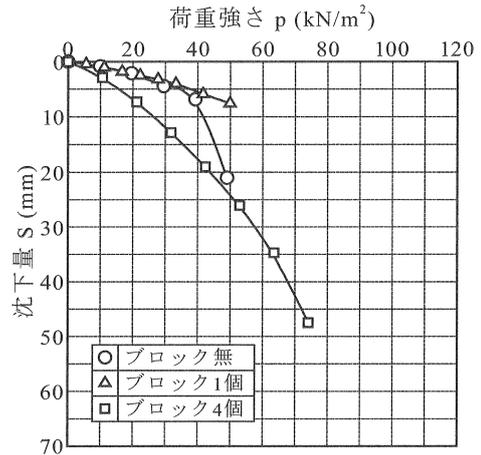


図 - 3 荷重強さと沈下量の関係 (地点 2・方法 1)

2.2 現位置試験

今回の現位置試験として平板载荷試験を実施した。現場は長野市内の軟弱地盤を 2ヶ所選定した。それぞれ、N 値が 5~6 程度と比較的固い地盤 (以下、地点 1 という) と N 値が 1~2 程度と軟弱な地盤 (以下、地点 2 という) である。これらの現場は、河川の後背湿地と考えられ、有機質粘性土の軟弱地盤からなる。

基礎ブロックの支持力特性を比較するために、現場において設置方法などを変化させて 8 ケースの平板载荷試験を行った。表 - 1 に試験ケースを示す。ブロック無の実験は通常の 30cm 円形の载荷板²⁾を用いて地盤の支持力特性を調べた。その他の 6 つは基礎ブロックを 1 個および 4 個設置した場合について 2 通りの設置方法で行った。設置方法の一つは、重機により基礎ブロックを地盤に圧入し、その際発生した隙間や上部の穴等に砂を充填する方法である (以下、この方法を方法 1 という)。もう一つは方法 1 において基礎ブロックの設置時に上面を水平にすることが難しかったことや施工性の観点から地盤にあらかじめ基礎ブロックが入る範囲を 35cm 程度掘り下げ、そこに基礎ブロックの脚部を地盤内に圧入し、その後基礎ブロック側面や基礎ブロック内の隙間に碎石を充填する方法である (以下、この方法を方法 2 という)。ここで、地点 1 において方法 2 を行わなかったのは現位置において同一地盤と思われるスペースを確保できなかったからである。また、ブロック 1 個およびブロック 4 個の大きさによる平板载荷試験を実施せず、大きさおよび形状の異なる载荷板

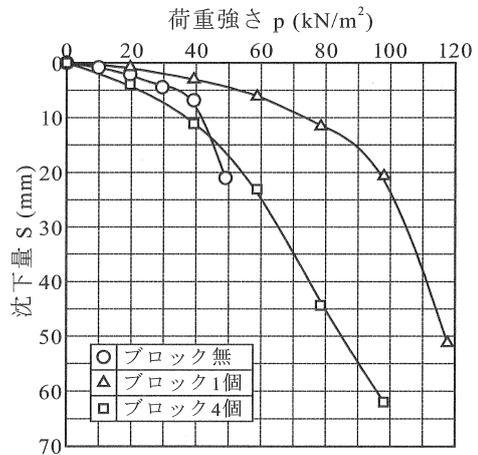


図 - 4 荷重強さと沈下量の関係 (地点 2・方法 2)

を使用した理由として先述のように同一地盤と思われるスペースを確保できなかったため、最小の試験回数で行わなければならないためである。なお、基礎ブロック 4 個の場合は写真 - 2 に示すように 4 個を連結させた状態で設置した。

3. 基礎ブロックの支持力特性

図 - 2、図 - 3 および図 - 4 にそれぞれ地点 1・方法 1、地点 2・方法 1 および地点 2・方法 2 における沈下量 S と

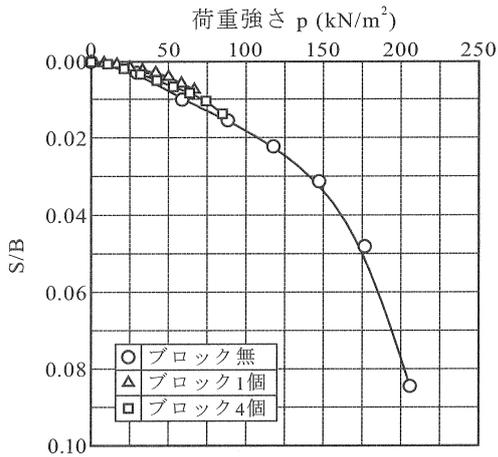


図 - 5 荷重強さと S/B の関係 (地点 1・方法 1)

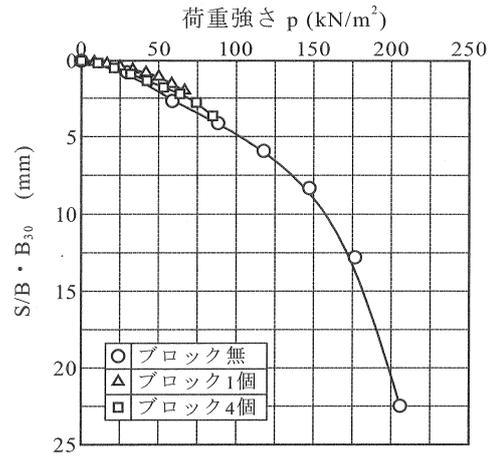


図 - 8 荷重強さと換算沈下量の関係 (地点 1・方法 1)

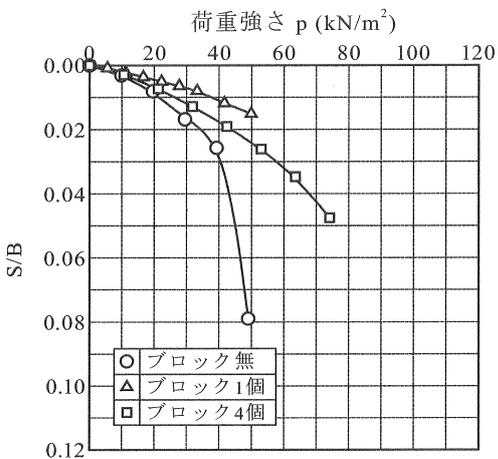


図 - 6 荷重強さと S/B の関係 (地点 2・方法 1)

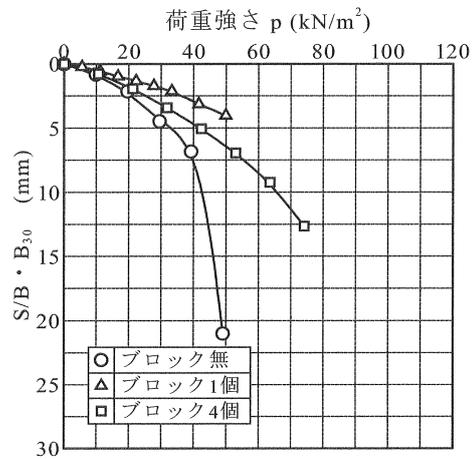


図 - 9 荷重強さと換算沈下量の関係 (地点 2・方法 1)

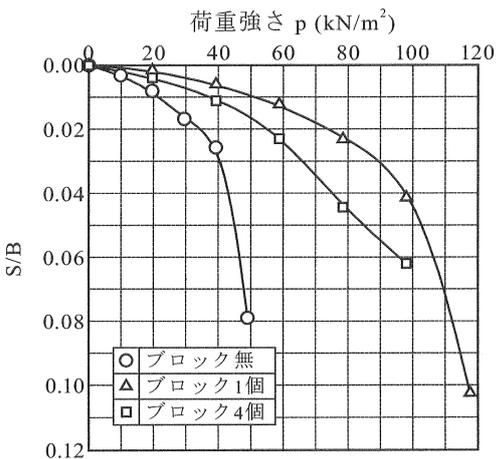


図 - 7 荷重強さと S/B の関係 (地点 2・方法 2)

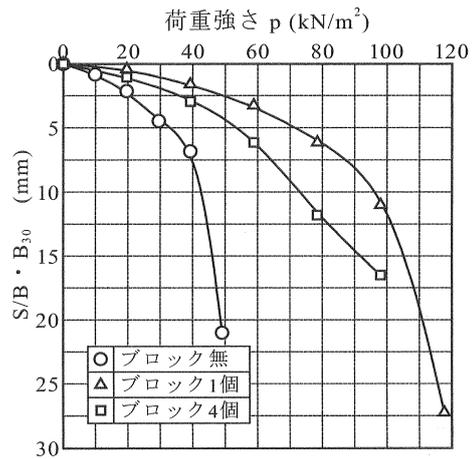


図 - 10 荷重強さと換算沈下量の関係 (地点 2・方法 2)

荷重強さ p の関係を示す。ここで、載荷板の大きさおよび形状は、ブロック無の場合は直径 30cm の円形、ブロック 1 個の場合は一辺 50cm の正方形、ブロック 4 個の場合は一辺 100cm の正方形である。また、それぞれの試験において最大の荷重強さが異なるのは現場において得られる最大の反力が異なったためである。それぞれの図において

極限支持力前の沈下量はブロック 1 個が最も小さく、ブロック無、ブロック 4 個の順で大きくなっている。ブロック 4 個の場合は他に比べて沈下量が大きく出ていることが分かる。これは、載荷板の大きさおよび形状が影響している。ここで、金谷ら³⁾は関東ローム層を対象に載荷板の大きさおよび形状効果について調べている。その結果、同じ面積

表 - 2 各地点および各方法における極限支持力および地盤反力係数

地点	方法	ブロック	地盤反力係数 (MN/m ³)	極限支持力 (kN/m ²)
地点 1	方法 1	ブロック無	20	160
		ブロック 1 個	50	—
		ブロック 4 個	30	—
地点 2	方法 1	ブロック無	6	40
		ブロック 1 個	16	—
		ブロック 4 個	9	—
	方法 2	ブロック無	6	40
		ブロック 1 個	18	100
		ブロック 4 個	14	60

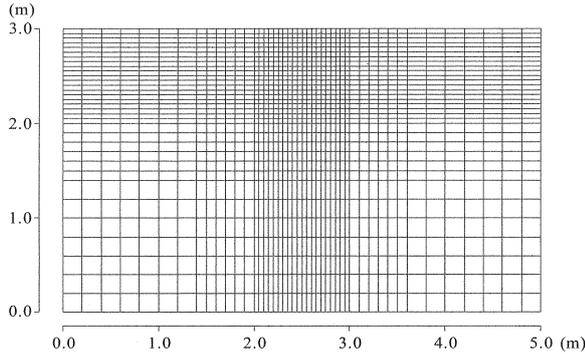


図 - 11 メッシュ図

であれば形状が異なってもほとんどその結果に影響しないことを示した。さらに、面積が大きくなるに従い同一荷重強さに対して沈下量は増加する。しかし、沈下量 S を正方形の載荷板の一辺の長さ B で除した S/B と荷重強さ p の関係は、弾性領域内（地盤が降伏する前）ではほぼ同一となることを明らかにした。

図 - 5、図 - 6 および図 - 7 にそれぞれ地点 1・方法 1、地点 2・方法 1 および地点 2・方法 2 における荷重強さと S/B の関係で再計算した結果を示す。ここで、ブロック無で行った円形の載荷板は面積の平方根を一辺の長さとし、 $B_{30}=26.59\text{cm}$ として計算を行った。地点 1・方法 1 については大きな差異が見られないが、すべての地点および方法においてブロック無、ブロック 4 個、ブロック 1 個の順で支持力特性が増加していることが見て取れる。しかし、これらの図から極限支持力は得られるが、 S/B は無次元であるため、地盤反力係数を得ることができない。そこで、ブロック無の 30cm 円形の載荷板を基準とするため、各試験結果の S/B に B_{30} をかけた $S/B \cdot B_{30}$ （以下、換算沈下量とする）として再整理した。

図 - 8、図 - 9 および図 - 10 にそれぞれ地点 1・方法 1、地点 2・方法 1 および地点 2・方法 2 における荷重強さ p と換算沈下量 $S/B \cdot B_{30}$ の関係を示す。換算沈下量はそれぞれの方法において極限支持力前でブロック 1 個が最も小さく、ブロック 4 個、ブロック無の順で大きくなるのが分かる。表 - 2 に各地点および各方法における地盤反力係数および極限支持力を示す。ここで、今回求めた地盤反力係数は各荷重強さと換算沈下量の関係において最初の直線部分の傾きとして計算した。また、極限支持力は各荷重強さと換算沈下量の関係において急激に沈下量が増加し、

表 - 3 解析用物性値

領域	単位体積重量 kN/m ³	弾性係数 MN/m ³
地盤	17	0.5
プラスチック	10	450

沈下量が直線的に増加し始める点とした。なお、各地点 1・方法 1 および地点 2・方法 1 のブロック 1 個および 4 個は現場において得られる反力が小さかったために極限支持力は得られなかった。

地盤反力係数は総じてブロック 1 個が最も大きく、ブロック 4 個、ブロック無の順で小さくなっている。地点 1・方法 2 の場合、ブロック無に比べてブロック 1 個は 2.5 倍、ブロック 4 個で 1.5 倍となっている。地点 2・方法 1 の場合、ブロック無に比べてブロック 1 個は 2.7 倍、ブロック 4 個で 1.5 倍となっている。地点 2・方法 2 の場合、ブロック無に比べてブロック 1 個で 3 倍、ブロック 4 個で 2.3 倍となっている。

極限支持力は先に述べたように地点 1・方法 1 および地点 2・方法 1 のブロック 1 個および 4 個は現場において得られる反力が小さかったために極限支持力は得られなかったが、図 - 9 および図 - 10 よりブロック無に比べて大きくなることが予想できる。地点 2・方法 2 の場合、ブロック無に比べてブロック 1 個は 2.5 倍、ブロック 4 個で 1.5 倍となっている。

ここで、ブロック 4 個の場合、1 個より地盤反力係数および極限支持力が小さくなった原因として、設置時にブロックとブロックの間に若干の隙間ができ、4 個一体となった構造ではなかったことがあげられる。また、方法 1 に比べて方法 2 の方が若干ではあるが、支持力特性の改善がされた原因として、ブロックを圧入する際に周辺地盤を乱していることや方法 2 ではブロックの中に碎石を注入しているためと考えられる。また、ブロック 4 個の場合についてもブロック 1 個より地盤反力係数が小さくなった原因として上述のブロック圧入時の周辺地盤の乱れがブロック 1 個より多くなったためと考えられる。さらに、今回の基礎ブロックの脚部は間隔が狭く、群杭としてみなした場合、群杭による低減の影響があったことも考えられる。しかし、総じてブロック無に比べて支持力特性は改善されたことは明らかである。

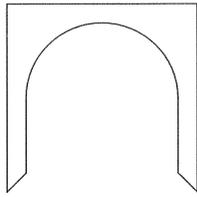


図 - 12 ブロック 1

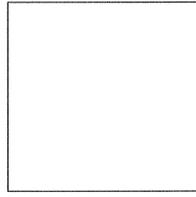


図 - 13 ブロック 2

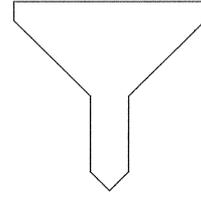


図 - 14 コマ基礎

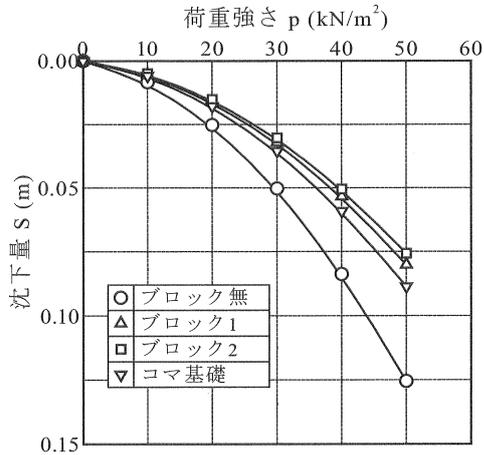


図 - 15 荷重と沈下量の関係

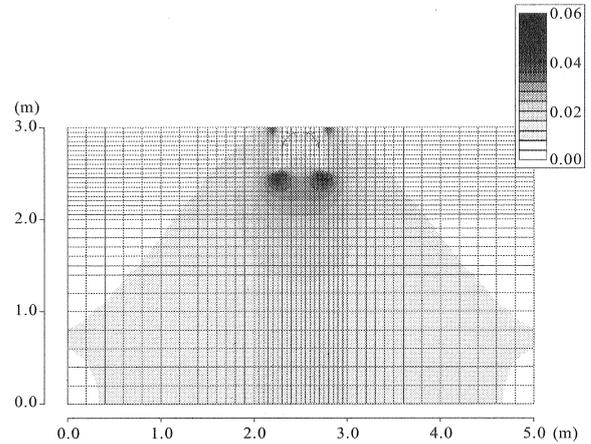


図 - 16 ブロック 1 の体積ひずみ分布

4. FEM 解析

以上のように現位置試験において今回試作した基礎ブロックの有用性が示された。ここでは、図 - 11 に示すメッシュ図 (横 5m×深さ 3m) を用いて有限要素法 (FEM) によって基礎ブロックのメカニズムを解析することにする。解析は地盤および基礎ブロックを弾性体と仮定して解析を行った。入力する物性を表 - 3 に示す。また、解析モデルとしてブロック無、今回試作したブロック形状 (以下、ブロック 1 という) およびブロック形状を四角 (以下、ブロック 2 という) とした 3 ケースについて行った。さらに、比較のため現在よく用いられているコマ基礎^{4,5)}の形状を用いた解析についても行った。図 - 12、図 - 13 および図 - 14 にそれぞれ基礎の形状を示す。これらはすべて、高さ 50cm、幅 50cm として図 - 11 に示すメッシュ図の中央上部に一つ設置して解析を行った。なお、比較のためすべての基礎に対して物性値はプラスチックを用いた。

載荷した荷重は 10kN/m²、20kN/m²、30kN/m²、40kN/m² および 50kN/m² の 5 段階載荷した。

図 - 15 にそれぞれの基礎の荷重と沈下量の関係を示す。ブロック 1、ブロック 2 およびコマ基礎の沈下量には大きな差異は見られないが、ブロック無に比べてブロック 1、ブロック 2 およびコマ基礎の沈下量は約 2/3 に減少している。このことから、地盤反力係数はブロック無に比べて 1.5 倍増加していることが分かる。

以上のことから、今回試作した基礎ブロックは地盤の支持力を改善していることが分かる。

ここで、ブロック 1 およびブロック 2 を比較することに

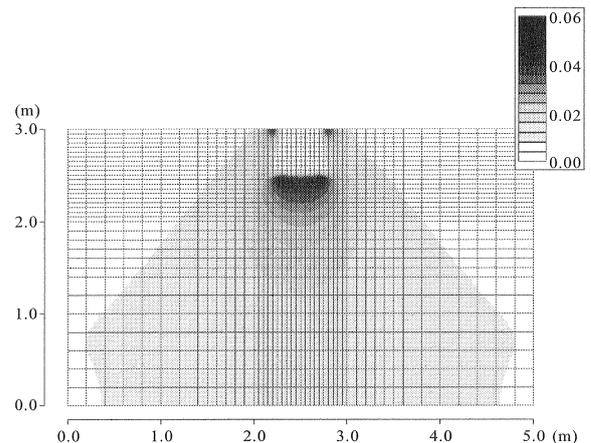


図 - 17 ブロック 2 の体積ひずみ分布

する。両者はブロックの面積が大きく異なるのに沈下量には大きな差異が見られなかった。この原因としてブロック 1 はブロック内の土を抱え込み、あたかも土を含めた一つの四角いブロックのように振舞ったと考えられる。そこで、図 - 16 および図 - 17 に各ブロックの 50kN/m² 載荷時の体積ひずみ分布を示す。ここで、図中右上の凡例に示すように最大が 0.060 で最小が 0.000 であり、色が濃いほど体積ひずみが多く発生していることを示している。ブロック 1 の場合、脚部直下の体積ひずみが最も大きく発生しているが、ブロック内の土にあまり体積ひずみは発生していない。ブロック 2 ではブロック直下のひずみが最も大きく、ブロック 1 のひずみ分布の広がりによく似ていることが分かる。このことから先に述べたようにブロック 1 はブロック内の土を抱え込み、あたかも土を含めた一つの四角いプロ

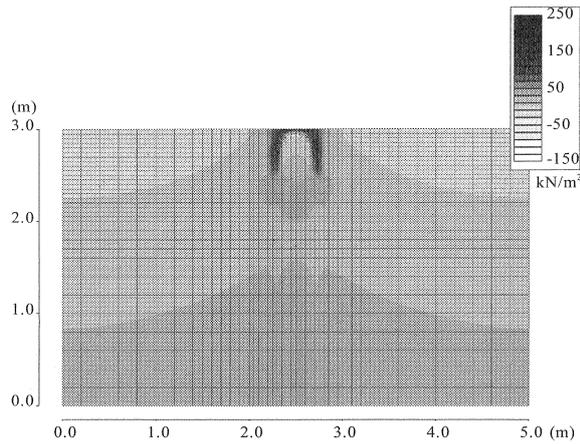


図 - 18 ブロック 1 の平均主応力分布

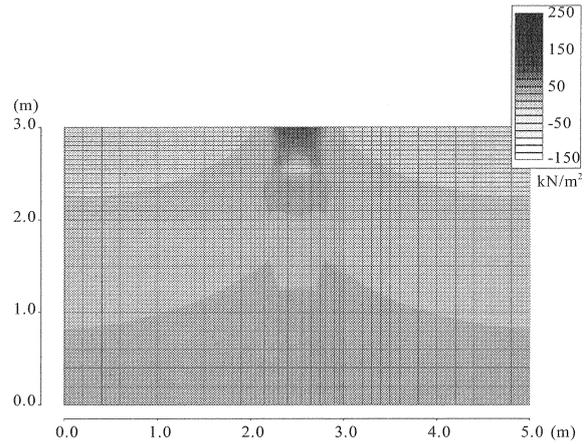


図 - 19 ブロック 2 の平均主応力分布

ックのような挙動をし、支持力特性を増加させていることが推測できる。

ブロック 1 ではブロック内の土には体積ひずみあまり発生していないことから、ブロックに大きな応力が発生していることが予想される。そこで、図 - 18 および図 - 19 にそれぞれ各ブロックの 50kN/m^2 載荷時の平均主応力分布を示す。ここで、図中右上の凡例は上が 250kN/m^2 、下が 150kN/m^2 であり、色が濃いほど平均主応力大きいことを示している。ブロック 1 ではブロック内に最大で約 240kN/m^2 もの平均主応力が発生しているのに対して、ブロック内の土にはさほど大きな平均主応力が作用していないことが分かる。ブロック 2 ではブロック内に約 120kN/m^2 とブロック 1 に対して約半分である。以上のことから、今回試作した基礎ブロックはブロック内の土を包含し、あたかも土を含めた一つの四角いブロックのような挙動をし、支持力特性を増加させるが、ブロックには大きな力が作用する。つまり、今回の解析範囲内でブロックにはある程度大きな強度が必要であることが示された。ここで、一般的な押し出し成形されたプラスチックの圧縮強度は $36\sim 69\text{MPa}^6$ とされており、今回の結果からは十分耐えるものであることが分かる。

地盤内の平均主応力分布は基礎ブロック直下においてブロックの形状の影響を受けて異なる分布をしているが、ブロック直下から横方向の分布には大きな差異は見られなかった。このことから、先述したようにあたかも土を含めた一つの四角いブロックのような挙動を示しことが考えられる。

5. まとめ

以上の実験および解析の結果から、以下の知見を得た。

- 1) 地点 2・方法 1 の場合、極限支持力はブロック無に比べ、ブロック有のほうが大きくなる。地盤反力係数はブロック 1 個が最も大きく、ブロック 4 個、ブロック無の順に小さくなっている。
- 2) 地点 2・方法 2 の極限支持力および地盤反力係数と方

法 1 の地盤反力係数はそれぞれブロック 1 個が最も大きく、ブロック 4 個、ブロック無の順に小さくなっている。

- 3) FEM 解析による体積ひずみの分布より、試作した基礎ブロックではブロック内の土に大きな体積ひずみが生じない。このことからブロック内の土を抱え込み、あたかも土を含めた一つの四角いブロックのような挙動をし、支持力特性を増加させていることが推測できる。
- 4) FEM 解析による平均主応力の分布より、試作した基礎ブロックには大きな力が作用する。つまり、ブロックには大きな強度が必要である。

参考文献

- 1) 社団法人プラスチック処理促進協会ホームページ：
<http://www.pwmi.or.jp/home.htm>, 2008.
- 2) 地盤の平板載荷試験方法・同解説編集委員会：地盤の平板載荷試験方法・同解説，土質工学会，1983.
- 3) 金谷祐二，宮崎祐介，茶谷文雄：関東ローム層における平板載荷試験（載荷板の面積および形状効果について），平板載荷試験に関するシンポジウム発表論文集，1979.
- 4) 安川郁夫，山田清臣，大西有三，斉藤実：軟弱地盤におけるこま型基礎の支持特性，第 32 回土質工学シンポジウム - 支持杭に頼らない基礎工法 - 発表論文集，pp.49-54, 1987.
- 5) 荒井克彦，町原秀夫，堀田政国，大西有三，安川郁夫：こま型基礎の変形・支持特性に関する室内実験とその解析，第 32 回土質工学シンポジウム - 支持杭に頼らない基礎工法 - 発表論文集，pp.55-60, 1987.
- 6) 社団法人日本化学会編者：化学便覧応用化学編 II，p.1119, 1981.

(2008 年 7 月 1 日 受付)