

粒状体光弾性実験におけるフーチング下の伝播応力定量化の試み

佐賀大学理工学部

学○金原広和

佐賀大学低平地防災研究センター

フエロ 林 重徳

佐賀大学大学院

学 林 真也

1. はじめに

地盤内応力は地盤の沈下・変形解析や支持力・安定解析および基礎工の設計などに、直接影響を及ぼす重要な因子である。地盤内応力の推定は、一般にはブーゼンスクの図表や有限要素法(FEM)を用いて行われているが、杭・補強材を打設した場合などの極限支持力状態において、地盤には連続体とは異なる複雑な応力伝播挙動が発生すると考えられる。本研究では、粒状体光弾性実験装置を用いて地盤内応力の伝播状態を視覚的に捉え、キャリブレーション試験の結果を用い、フーチング下に伝播する応力の定量化を試みる。

2. 試料および実験方法

2.1 粒状体光弾性実験材料

粒状体光弾性実験は、光透過性粒状体(ガラスビーズ、破碎ガラスなど)とその材料と同じ屈折率を持つ間隙流動物質で作製した模型地盤に外力を作用させ、偏光および複屈折の性質を利用して模型地盤内部の応力状態を調べる実験方法である。粒状体光弾性材料には破碎した普通ガラスとバイレックスガラスを用い、間隙流動物質にはそれぞれの材料と同じ屈折率を持つ安息香酸メチルと流動パラフィンを用いた。なおこの2種類の粒状体光弾性材料はふるい分けにより最大粒径 4.75(mm)最小粒径 0.25(mm)で粒度調整したものを用いた。図-1 に粒径加積曲線を示す。表-1 には最大・最小密度試験と三軸圧縮(CD)試験の結果を含むそれぞれの材料特性を示す。

2.2 キャリブレーション試験

キャリブレーション試験は、本実験の応力定量化を試みるために行うものであり、図-2 に示す剛体の側壁を実験槽枠内に使用して、載荷幅と同じ面積の供試体に荷重をかけ、供試体の輝度の分布を Mac Scope により計測する。輝度の計測は CCD カメラからパソコンに取り込んだ供試体の画像を 0.4(cm)間隔のラインで5本のラインを描き、そのラインの1画素当たりの輝度*i*を解析する。載荷荷重が1Lineにおける輝度と相関関係にあるという仮定に基づいて1輝度当たりの応力を算定し、応力と輝度のグラフ(σ -*i* 曲線)を描き、キャリブレーションカーブを求めた。

2.3 フーチング載荷実験

フーチング載荷実験は側圧バルーンで147(kPa)の拘束圧をかけフーチング載荷速度 1.0(mm/min.)とした。実験により得られた画像およびデータはパソコンで収録し、画像処理システムを用いて解析する。なお、実験装置およびひずみ検出装置の詳細については前報²⁾を参照いただきたい。

3. 実験結果

3.1 キャリブレーションカーブ

今回、フーチング載荷実験とキャリブレーション試験において各材料ごとにフーチング載荷幅 $B=1(\text{cm})$ 、 $5(\text{cm})$ で行った。各ライン上の1(cm)当たりの応力 $\sigma = P/A(\text{kPa})$ 、各ライン上の輝度総

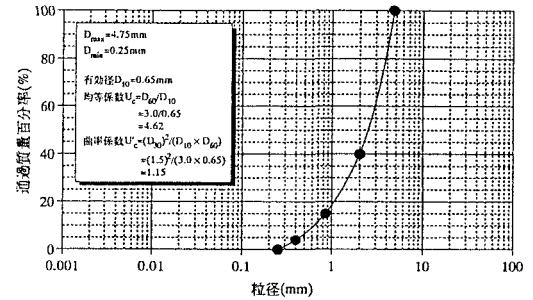


図-1 粒径加積曲線

表-1 粒状体光弾性材料の材料特性

粒状体光弾性材料	普通ガラス	バイレックスガラス
密度(g/cm ³)	2.5	2.23
屈折率	1.52	1.46
最大乾燥密度 γ_{dmax} (gf/cm ³)	1.657	1.467
最小乾燥密度 γ_{dmin} (gf/cm ³)	1.358	1.211
最小間隙比 e_{min}	0.841	0.841
最大間隙比 e_{max}	0.508	0.52
内部摩擦角 $\phi_d(^{\circ})$	42.6	43.1
粘着力 $c_d(\text{kPa})$	13.5	13.5
間隙流動物質	安息香酸メチル	流動パラフィン
密度(g/cm ³)	1.09	0.86
屈折率	1.52	1.46

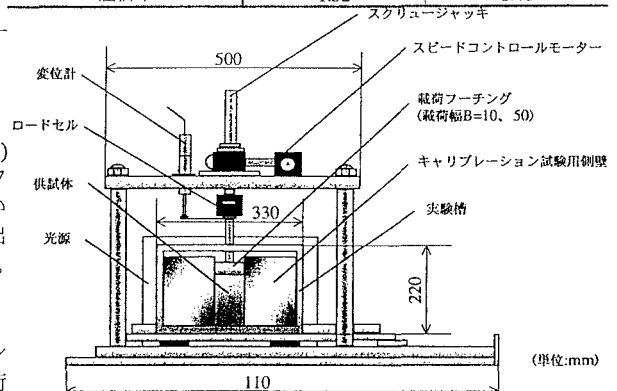


図-2 キャリブレーション試験側壁

数を Σi_n とすると $\Sigma i_i = \Sigma i_n / B$ は、1(cm)当たりの輝度総数となる。ここで1輝度当たりの応力 $\alpha = \sigma / \Sigma i_i$ (kPa)を計算し、 $\sigma_{\max} = \alpha \times i_{\max}$ ($i_{\max}$: 1Line 上における輝度の最大値)を求めた。図-3 に輝度-相対度数グラフを示す。これを見ると Line-1 は低い値の輝度の分布が多く、ラインが下に下がるにつれて輝度の分布も右に移動しそれに伴う輝度の最高値も Line-1 から Line-5 になるに従い大きくなっている。この輝度の最高値を使い、図-4 に示す輝度最大値 $i_{\max}$ -載荷荷重 P のグラフを描いた。そして図-5 に示す応力係数 α -載荷荷重 P のグラフをもとに、輝度 I -応力 $\sigma_{\max}$ キャリブレーションカーブを作成した。図-6 にバイレックスガラスのフーチング幅 $B=5$ (cm)の輝度-応力キャリブレーションカーブを示す。応力定量化に用いるキャリブレーションカーブは Line-1、Line-2、Line-3、4、5 のラインの3つの式を使い、その式は

Line-1 $y = c^{(0.370+0.528Lnx)} \dots (1)$

Line-2 $y = c^{(0.025+0.656Lnx)} \dots (2)$

Line-3、4、5 $y = c^{(-0.871+0.721Lnx)} \dots (3)$

※図4～6に共通

とした。この(1)、(2)、(3)式を使って、それぞれに対応したライン上での任意の点の応力を定量化する。

3.2 フーチング載荷実験における応力の定量化

図-7 に本実験における軸差応力コンターライン $B=5$ (cm)、 $P=2.45$ (kN)を示す。この図を見ると応力の最高値は載荷フーチングよりやや下部に見られ、そして応力値の高いところが2方向に分布しているのが見受けられる。また輝度の最高値は $i_{\max}=47$ (Line-3上)であり、この値を3.1で示した(3)式に代入すると、図-7の軸差応力コンターラインにおける応力の最高値は $\sigma_{\max}=234$ (kPa)となる。

4. まとめ

本研究では、フーチング載荷実験とキャリブレーション試験を、バイレックスガラス、普通ガラスの2種類の粒状体光弾性材料で行い、フーチング載荷実験において地盤内に伝播する応力の定量化を試みた。Line-1、Line-2、Line-3～5の輝度-応力キャリブレーションカーブに違いが見られ、フーチング載荷実験において各ラインを適用し、フーチング直下のラインとそれ以下の位置にあるラインとの応力の補正を行うことで、フーチングと粒子の接触面ならびに粒子同士の接触面の問題を考慮した。

今後、普通ガラスおよびバイレックスガラスにおける内部摩擦角 ϕ の異なる2種類の材料を用いた実験結果の比較、さらに実験結果と個別要素解析との比較、検討を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 益田義治著、馬場秋二監修入門光弾性実験、日刊工業新聞社、1970年3月
- 2) 末次大輔、林重徳：粒状体光弾性実験法を用いた地盤内応力可視化装置の開発、pp580-581、平成8年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、1997年
- 3) 内野隆文、林重徳、林真也：粒状体光弾性による地盤内応力の可視化実験装置を用いた実験と考察、pp.470-471、平成9年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集、1998年

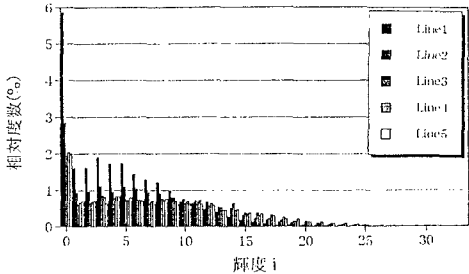


図-3 輝度 i -相対度数グラフ ($B=5$ cm)

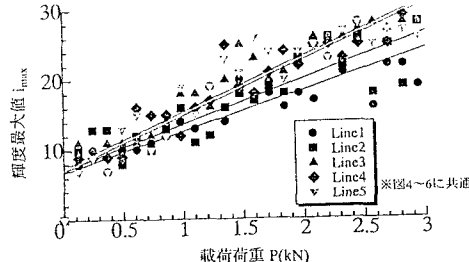


図-4 輝度最大値 $i_{\max}$ -載荷荷重 P (kN) グラフ ($B=5$ cm)

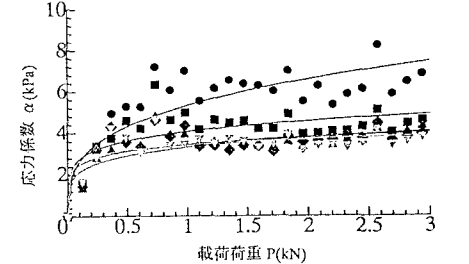


図-5 応力係数 α (kPa)-載荷荷重 P (kN) グラフ ($B=5$ cm)

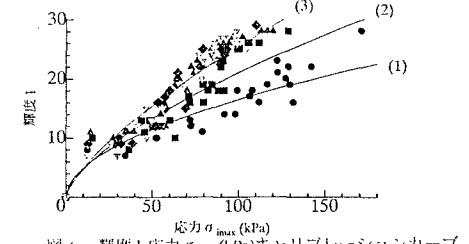


図-6 輝度 I -応力 $\sigma_{\max}$ (kPa) キャリブレーションカーブ

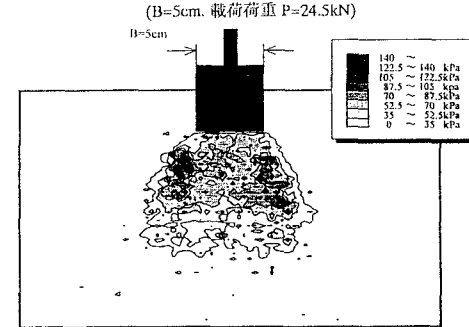


図-7 軸差応力コンターライン ($B=5$ cm $P=2.45$ kN)