

### 道路下の空洞の進展に伴う路盤の挙動に関する検討

日本工営 (株) 正会員 ○太田 敬一  
日本工営 (株) スレン・ソッキアン

#### 1. 本検討の概要と目的

道路の路盤下に空洞が形成された場合の挙動について、これまで数値シミュレーションを用いて検討してきた(図1<sup>1)</sup>). その結果、空洞周辺の沈下量は空洞の発達に伴い連続的ではなく、断続的な変化を示すこと、空洞の規模が大きくなるほど、その変化は大きくなることなどを示した。これらの結果を踏まえ、今後、沈下量の計測により道路下の空洞の規模を推定できる可能性を示唆した。

これら数値シミュレーションでは、空洞周辺の地盤のモデルは粒状体でモデル化した。これは既往の空洞の発達の実験

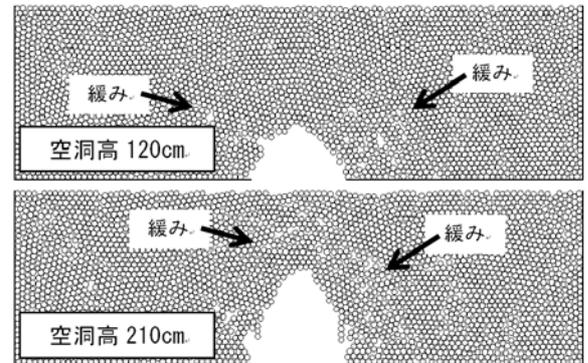


図1 解析結果<sup>1)</sup>

<sup>2)</sup>において、空洞の発達に伴う空洞周辺の地盤の崩壊は徐々に進行する現象であり、このような現象を数値シミュレーションで示すには、地盤を粒状体でモデル化することが適当と考えたためである。この数値シミュレーションに際し、地盤のモデルを粒状体でモデル化できる個別要素法 (Distinct Element Method, 以下 DEM) を用いることとし、解析コードとして PFC (Particle Flow Code, Itasca 社, 米国, 以下 PFC) <sup>3)</sup>を用いた。ただしこの解析コードでは、空洞周辺の地盤は粒状体としてモデル化することができるが、アスファルトのような連続的な構造物のモデル化に際しては何らかの工夫を要する。そこで本検討では、PFC を用いたアスファルトのモデル化を行い、その場合の空洞の発達過程における挙動を数値シミュレーションによって検討した。以下に検討内容を示す。

#### 2. 粒状体の個別要素法によるアスファルトのモデル化

PFC を用いてアスファルトをモデル化するため、図2に示すように粒状体の粒子を重ね、これをアスファルトに見立てることとした。このモデルの曲げ変形に対する妥当性を示すため、図3に示すように片持ち梁の解析を行い、数値シミュレーションで得られた変形挙動と理論値を比較し、モデルの妥当性を示した。また連続体モデルである有限差分法の解析コード FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua, 以下 FLAC) <sup>4)</sup>を用いた解析結果を併記した。図4に示すように、PFC で得られた結果について、モデル端部の変位量を用いて理論値と比較すると、理論値の約8割の変位量である。この解析では全長2mに対し端部の変位量32cm、つまり全長の16%に相当する変位の発生を想定しているが、その範囲でPFCと理論値の差が見られている。この差異は、粒子数の設定などに起因したものと考えられ、粒子数を増やすことにより徐々に理論値に近づくと考えられる。ここでは計算容量の点から、この程度の差異を有するモデルを使用することとした。表1,2はこの解析で用いた物性値を示す。

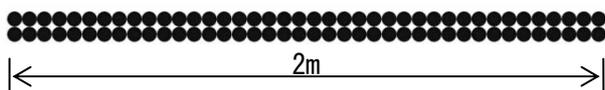


図2 粒状体の「粒子」を重ねたアスファルトのモデル



図3 片持ち梁の数値シミュレーションの様子

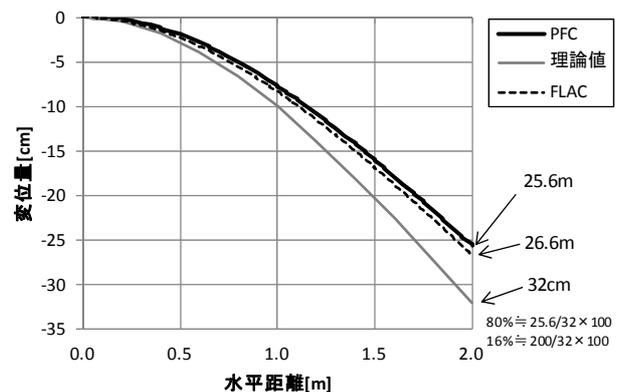


図4 解析結果

表 1 PFC での物性値の設定

粒子剛性 [kN/m <sup>2</sup> ]	粒子間剛性 [kN/m <sup>2</sup> ]	粒子の半径 [cm]
8×10 <sup>5</sup>	4×10 <sup>5</sup>	2.5

表 2 理論値および FLAC での物性値の設定

単位体積重 量[kN/m <sup>3</sup> ]	変形係数 [kN/m <sup>2</sup> ]	ポアソン比
23.0	5×10 <sup>6</sup>	0.35

3. 空洞の発達の数値シミュレーション

設定したアスファルトのモデルを地盤モデルに設定し、空洞の発達に伴う挙動を検討した。図 5 はアスファルトと地盤を設定したモデルを示し、表 3 は地盤の物性値を示す。アスファルトの物性値は表 1 に示した通りである。

空洞は、図 6 に示すように、モデルの中心の幅 2m の範囲の粒子を徐々に掘削することにより発生させた。図 6 には空洞の発達に伴い沈下量を測定した測点の位置を示す。測点は空洞の直上の地盤内に 3 点配置し、またアスファルト表面には 1 m 間隔で 12 点の測点を配置した。

空洞の発生に伴う沈下量の内、アスファルト表面の変化を図 7 に示す。空洞の高さ 100cm から 50cm 刻みでの沈下量を示し、最終的にアスファルトを支持する地盤の粒子が全て失われた 380cm までを示す。図より、アスファルト表面の沈下量は空洞幅 2m を越えた範囲に及んでいること、空洞の発生に伴い沈下しているが、逆に隆起している箇所も見られる。これは空洞の発生に伴う地盤部分の粒子のかみ合わせなどによる影響と考えられる。図 8 は沈下量 250cm の地盤とアスファルトの粒子の分布状況を示したものであるが、空洞は高さ 250cm に達しているものの、粒子のかみ合わせにより比較的空洞は安定し、また地盤の粒子がアスファルトを押し上げているように見える。このような空洞に発生に伴うアスファルトの挙動については今後、詳細に検討する予定である。

参考文献

- 1) 太田敬一, スレンソッキアン; 道路の路盤下に形成された空洞の規模の推定に関する解析的取り組み (2012), 第 57 回地盤工学シンポジウム, pp. 199 ~ 202,
- 2) Sreng Sokkheang, Katsutoshi Ueno, Akitoshi Mochizuki, Yasuhiro Kuroyama(2003). "Formation of under-road cavity due to submergence and submersion resistance characteristic of backfill materials". Proceedings of the Sino-Japanese Symposium on Geotechnical Engineering, pp. 221 - 228,
- 3) Itasca Consulting Group(2005), Inc., PFC3D Version 3.1, User's Guide,
- 4) Itasca Consulting Group(2008), Inc., FLAC Version 6.0, User's Guide

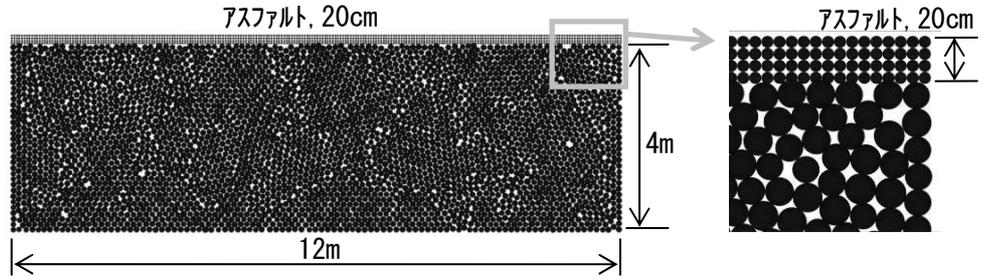


図 5 空洞の発生前の地盤とアスファルトのモデル

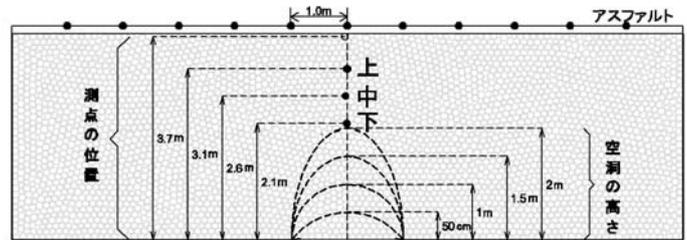


図 6 空洞の発生と沈下量を抽出する測点の配置

表 3 地盤の物性値の設定

粒子剛性 [kN/m <sup>2</sup> ]	粒子間剛性 [kN/m <sup>2</sup> ]	粒子間ボンド強度 [kN/m <sup>2</sup> ]	粒子間摩擦角[°]
4.25×10 <sup>4</sup>	2.13×10 <sup>4</sup>	50.0	26.5

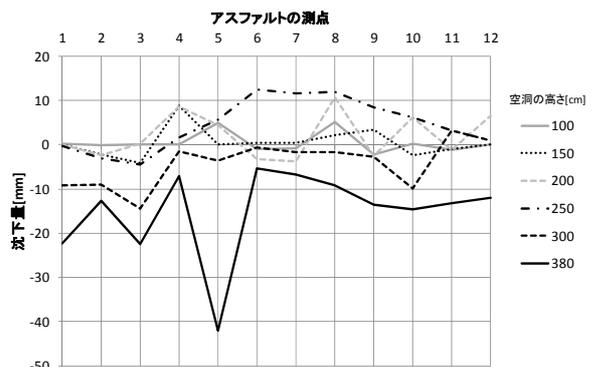


図 7 空洞の高さとアスファルト表面の沈下量の関係

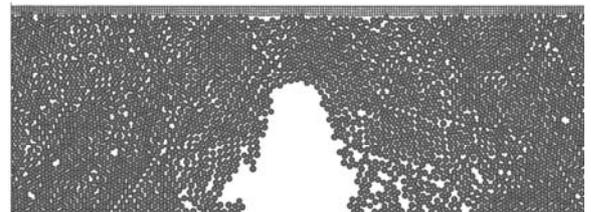


図 8 空洞の高さ 250cm の時の粒子の分布