

空洞の安定性評価に対する解析的取り組み

日本工営（株） 正会員 ○太田 敬一

日本工営（株） 正会員 スレン・ソッキアン

1. 本検討の概要と目的

道路下に形成される空洞の発生要因は、下水道管の漏水や水みちによる土砂の吸い出しなどであり、空洞が進展し場合によっては陥没事故にまで至るケースがある¹⁾。空洞の形成機構については主に遠心力実験などの実験によって検討した事例²⁾が見受けられ、更に空洞形成後の支持力の評価方法について数値解析手法を用いて検討した事例³⁾がある。下水道管の整備の進んだ都市部では今後、下水管の老朽化に伴いこれら類似の事例が生じ、空洞を検出する技術と共に空洞の形成後の道路路盤に期待できる支持力を適切に評価する技術が必要となると考えられる。そこで本稿では空洞形成後に道路路盤の支持力を評価するための数値解析モデルを検討した。従来、このような検討に際しては有限要素法に代表される連続体モデルによって評価する場合が多いが、本稿では空洞周辺の地盤のモデル化には個別要素法を用いて不連続な挙動を取り扱った。

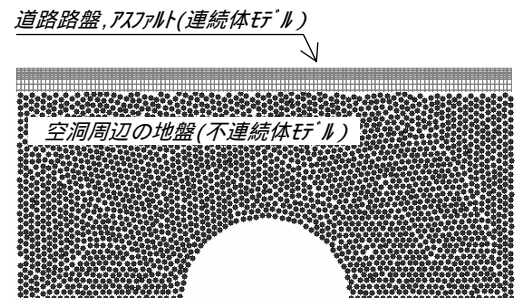


図-1 モデルのイメージ図

なお材料的な特性を踏まえると、路盤やアスファルトは連続体モデル、地盤部分は不連続体モデルで設定して検討することが望ましいと考える（図-1 参照）。それぞれを個別に検討する方法はあるが、両者を同時に取り扱うには新たな開発が必要である。そこで本稿では、先ず連続体でモデル化した場合と、不連続体でモデル化した場合の結果を比較し、今後の技術開発の必要性を示した。

2. 検討の流れ

検討の流れは以下の通りである。

空洞の形成された地盤とその天端に道路構造物を設定したモデルを作成し（図-2）、道路構造物に対し鉛直下向きに荷重を作用させた解析を行う。解析には連続体モデルである有限差分コード FLAC（Itasca co., Ltd.）を用いた。解析により荷重の作用に伴う天端の変位、および地盤内の応力の変化や塑性状況の進展を得る。

次に流状体個別要素法コード PFC（同）を用いて 同じ形状のモデルを作成し、得た天端の変位量を天端から与える。なお PFC には FLAC のような連続体モデルがないため、ここでは天端に wall モデルを設定し、それを変位させることとした（図-3）。

なお FLAC と PFC の地盤部分の材料特性は、事前に要素試験（三軸圧縮試験）を行い、変形、強度特性を整合させた。設定した荷重および材料特性を表-1 に示す。

3. 検討結果

FLAC を用いて載荷した際の鉛直変位の分布と変形図を図-5 に示す。載荷に伴い道路天端の変形が進行し、空洞の側壁部分から道路天端に向かって塑性領域が発生している（図-6）。

次に FLAC で得られた天端の変位量を PFC に与えた場合の変形を示す。なお前述の通り PFC には FLAC の連続体モデルに相当するモデルが無い場合、PFC に具備された wall モデルを天端に設定しこのモデルに FLAC で得

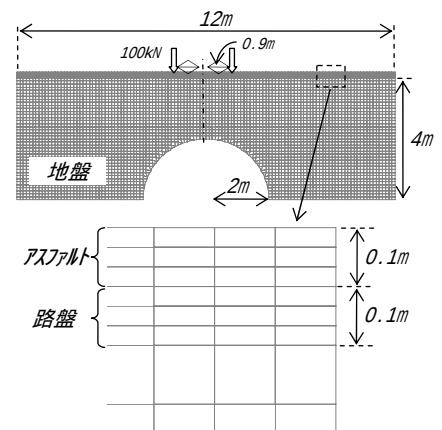


図-2 解析モデル図(FLAC)

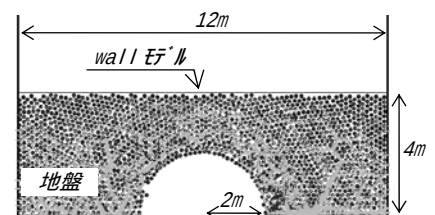


図-3 解析モデル図(PFC)

キーワード 空洞, 数値解析

連絡先 〒300-1236 茨城県つくば市稲荷原 2304 日本工営（株）中央研究所 TEL 029-871-2092

られた道路天端の変位量を設定し地盤に変形を発生させた。図-4 は道路天端の中央部における鉛直変位の変化を示したものであり、道路天端に生じた変位量を 10 ステップに分割して与えた。

図-7 は PFC の解析結果の内、10 ステップ中の 4 ステップ目の変形図、図-8 は粒子間の接触力の分布を示したものである。この時点での変形は空洞の側壁部分でやや内側に粒子が変形する様子が見られるが、空洞天端部にはそのような変形は見受けられず、また図-7 に示した接触力は地盤全体に分布しており、空洞は陥没することなく自立した状態であることを示している。

以後 1 ステップ毎に変位量を与え、最終の 10 ステップまで変位量を与えた結果、図-9 に示すように空洞の天端は崩落する結果となった。図-10 に接触力の分布を示すが、図-8 に比較して空洞の天端付近の接触力が小さくなっておりこれにより空洞の天端が崩落したと考えられる。また空洞の天端の崩落により道路天端と地盤との間には隙間が発生していることが分かる。このように地盤部分を不連続モデルで取り扱った場合、地盤の物性値にも依存するが、地盤を連続体モデルで取り扱った場合は道路天端の直下に地盤があり、それによってある程度の支持力は期待される結果となる。一方、地盤を不連続体モデルで取り扱った場合は空洞の進展により道路天端の直下の地盤は崩落してしまうため、支持力は期待できない結果となる。つまりこれらの結果は、地盤のモデルの選択・設定によっては支持力をやや過剰に見込む可能性があることを示唆している。

表-1 材料特性

FLAC				
区分	単位体積重量 [kN/m ³]	変形係数 [kN/m ²]	粘着力 [kN/m ²]	内部摩擦角 [°]
アスファルト	16.0	150,000	-	-
路盤	15.5	600,000	-	-
地盤	19.0	12,500	100	15

PFC				
区分	単位体積重量 [kN/m ³]	線形パネ [kN/m]	粒子間 引張強度 [kN/m ²]	粒子間摩擦角 [°]
地盤	20.0	25000	10.0	26.5

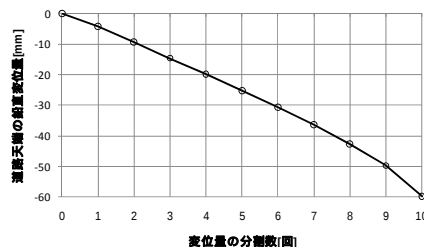


図-4 道路天端の鉛直変位の変化



図-5 鉛直変位の分布(最終)



図-7 変形図(4ステップ目)



図-9 変形図(最終)



図-6 塑性領域の分布(最終)



図-8 接触図(4ステップ目)

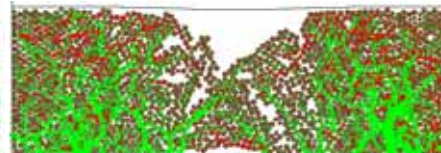


図-10 接触図(最終)

4. まとめと今後の課題

道路下の空洞形成後の地盤を連続体、不連続体でそれぞれモデル化し、モデルの違いによる道路天端の直下の挙動の違いの結果から、支持力の評価方法に対する課題を示した。今後は遠心力模型実験のデータなどの再現により本検討で用いた解析の精度を向上させる予定である。また道路構造物および地盤を同時に取り扱う手法を検討する予定である。

参考文献

- 1)高島伸哉,梶谷昌世,上野勝利,望月秋利,桂田哲郎;水浸による路面下空洞の発生・発達現象の観察,第35回地盤工学研究発表会発表講演集,pp.111~112
- 2)竹森佳代,Sreng Sokkheang,上野勝利,望月秋利;空洞天盤の崩落メカニズムに関する一考察,第39回地盤工学研究発表会平成16年度発表講演集,pp.1871~1872
- 3)空洞を有する地盤の支持力;Sreng Sokkheang,貞野哲也,上野勝利,望月秋利,第57回土木学会年次学術講演会,pp.1221~1222