

交通荷重を想定した繰り返し動的載荷による空洞進展挙動

名古屋工業大学 学生会員 ○田坂 晃一
 名古屋工業大学 正会員 前田 健一
 名古屋工業大学 学生会員 新井 拓弥
 名古屋工業大学 学生会員 佐藤 弘瑛
 名古屋工業大学 非会員 高 程鵬

1. はじめに

近年，世界各地で地盤の陥没災害が発生しており，特に都市部ではインフラストラクチャーの劣化に伴う大更新時代を迎え，その発生件数は増加傾向にある．既往の研究では，空洞条件・地盤条件によって空洞耐力が異なることが報告されている¹⁾．

そこで，本研究では空洞上に交通荷重が作用して陥没に至るまでのメカニズムを解明するため，モデル実験を行った．

2. 輪荷重載荷実験概要

図-1 に輪荷重載荷実験の簡易模型実験機の概要を示す．土槽は幅 500mm×高さ 300mm×奥行き 100mm を持ち，土槽下部の中央には縦横比 $a/b=1$ で成形した木枠を設置して，供試体作成後にこれを取り外すことで所定の空洞を成型した．供試体は，豊浦砂を相対密度 $D_r=70\%$ ，層厚 $t=50\text{mm}$ ，含水比 $w=14\%$ の条件で締固めて作成した．輪荷重を載荷させることで発生する轍を防ぐため，厚さ 0.5mm のゴム 1 枚と，その上に厚さ 5mm，幅 20mm のカットしたゴム 23 枚を約 1.5mm 間隔で接着したものを供試体表面に敷いた．その上に輪荷重載荷装置を載せて実験を行った．

表-1 に実験ケース一覧を示す．実験は，空洞上で輪荷重を少しずつ増やして陥没させる静的載荷と，

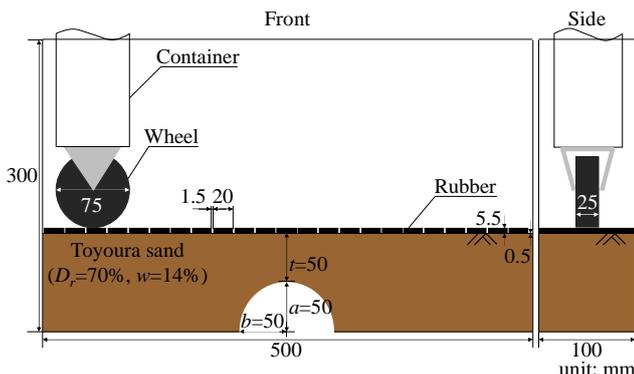


図-1 輪荷重載荷実験の概略図

表-1 実験ケース一覧

載荷方法	ケース名	輪荷重, W(kg)	接地圧, S (kPa)
静的		6.88	408
動的	Case1	6.88	408
	Case2	6.54	388
	Case3	6.20	368
	Case4	5.84	346
	Case5	5.50	326

往復周期 6 秒で陥没が発生し土塊が落下するまで繰り返し輪荷重をかける動的載荷の 2 種類実施した．動的載荷の実験は，静的載荷で陥没した輪荷重の 100, 95, 90, 85, 80% の輪荷重で行った．載荷中の表面変位の位置的・経時的変化はレーザー変位計を用いて計測した．接地圧は，輪荷重をゴムと供試体の間に敷いた感圧シートで求めた輪荷重の影響面積 ($A=1.653\text{cm}^2$) で割って算出した値である．

3. 実験結果および考察

図-2 に接地圧と陥没までの繰り返し動的載荷回数との関係を示す．この関係から，決定係数の最も精度が良い対数近似を用いて $S-N$ 近似曲線を作成した．この図より，静的載荷で陥没した時より少ない接地圧でも繰り返し動的載荷をかければ陥没する

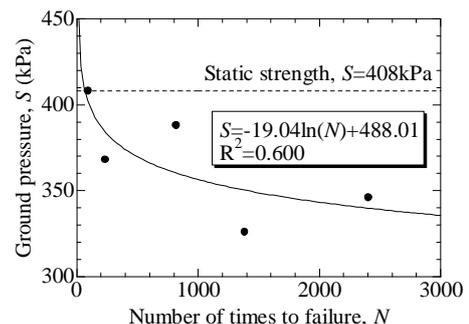


図-2 接地圧と陥没までの繰り返し動的載荷回数との関係

ことがわかった。また、近似曲線の結果からさらに少ない接地圧でも繰り返し動的载荷回数を多くすれば陥没が発生すると考えられる。

図-3に供試体の表面変位の一例を示す。この図より、载荷数 60 回あたりまでは供試体の表面全体が沈下することがわかる。これは地盤が締固まったためと考えられる。また、締固まった後端部ではほとんど表面変位はみられなかった。これに対して、空洞上では締固まった後の表面は変位し続けるが徐々に緩やかになり、载荷数 1,800 回を過ぎた後から大きく表面が変位し始めて陥没した。これは、空洞上の地盤にひずみが繰り返し生じて累積され、陥没直前に顕著な変形が発生したためであると考えられる。よって、地表面の変状を調べることで空洞の発見につながる可能性がある。さらに、空洞がない $x=\pm 100\text{mm}$ 付近まで中央の変位に伴って変位した。これより、空洞が小さくても地表面では空洞の横幅より広範囲に変状が及んでいると考えられるため、注意すべきである。

図-4に繰り返し動的载荷による空洞上の表面変位の経時変化を示す。ここで、 z はある時刻 t における表面変位、 z_{max} は陥没直前の時刻 t_{max} における表面変位である。この図の両軸はこれらのパラメータを用いて正規化されたものである。この図より、どのケースにおいてもグラフ上でほぼ同じ挙動を

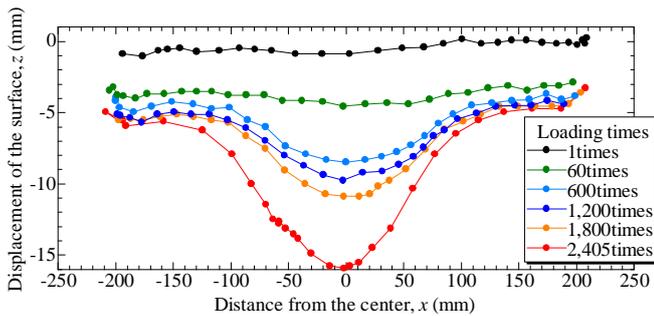


図-3 供試体の表面変位($S=346\text{kPa}$, $N=2,406\text{times}$)

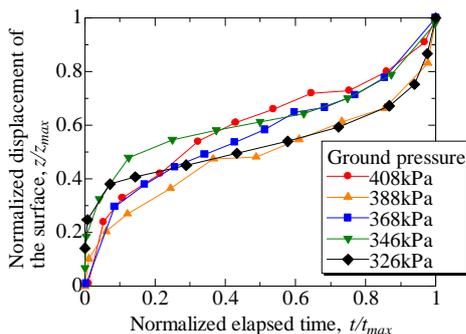


図-4 空洞上の表面変位と経過時間との関係

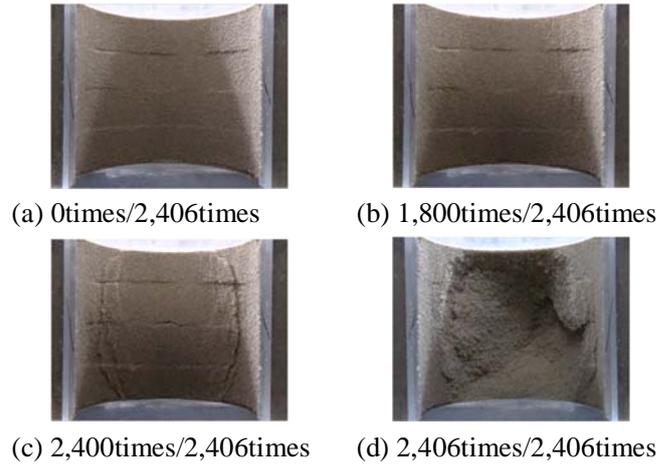


図-5 空洞天井部の進展の様子($S=346\text{kPa}$, $N=2,406\text{times}$)

(写真上側が供試体前面, 下側が供試体背面)

とることがわかった。表面変位は、経過時間が 10% までに地盤が締固まって落ち着き、その後緩やかに変位し続け、陥没直前(経過時間 80%~90%あたり)で表面が大きく変位し、陥没に至った。

図-5に供試体下部から撮影した空洞天井部の空洞進展の様子を示す。この図より、载荷数 1,800 回にはわずかに空洞天井部が変位しているものの、顕著な進展はみられない。しかし、载荷数 1,800 回以降空洞天井部に亀裂が顕著に表れ、陥没時には裏面剥離のような破壊がみられた。これは、材料が繰り返し作用を受けて破壊直前に亀裂となって表れる疲労破壊に似た現象である。

4. まとめ

静的耐力よりも少ない輪荷重を繰り返し動的载荷させることによって、空洞上や空洞周りでひずみが繰り返し生じ、陥没直前で大きく地盤が変形して陥没が発生することが明らかになった。また、地盤の変形は地表面だけでなく空洞天井部の変化からも確認することができ、陥没直前に顕著に表れることがわかった。今後は、繰り返し輪荷重を動的载荷させても陥没しない地盤の疲労限界が表れるかどうか検討し、空洞上地盤の疲労メカニズムを明らかにしていく。

参考文献: 1)佐藤弘瑛, 前田健一, 近藤明彦, 新井拓弥: 地盤の飽和度に着目した管渠周りの空洞の安定性, 土木学会第 70 回年次学術講演会概要集, pp.153-154, 2015.