

路盤陥没の発生メカニズムに関する基礎的研究

東日本旅客鉄道株式会社 秋田支社 正会員 ○安田 祐輔

東京大学 生産研究所 正会員 桑野 玲子

東京大学 大学院 学生会員 大原 勇

東京大学 大学院 学生会員 中田 祐輔

1. 目的

JR 東日本では、平成 15 年度から平成 29 年度にかけて年間約 30 件の路盤陥没の事象が発生している。主な発生原因として、線路下横断管路(以下、伏び)の破損に起因するものなどがある。そこで当社では、伏びの内視鏡検査や線路下空洞探査により変状を把握し、計画的な修繕を実施している。しかしながら、周辺に構造物がなく、明確な流出先が認められない場合など、陥没の発生メカニズムが明らかになっていないものがあり、維持管理に苦慮している。水野ら(2005 年～2007 年)¹⁾²⁾³⁾⁴⁾により、特殊な路盤の条件で陥没が発生した事例を報告している。そこで、本研究では山内ら(2004 年)⁵⁾の小型土槽模型実験を参考に 2 層地盤モデルに繰返し荷重を載荷し、給排水を行うことで陥没の発生メカニズムを把握することを試みた。

2. 実験方法

図 1 に実験概念図を示す。本研究では粒度分布の違いと水位の変動による違いに着目し、3 つのモデルで試験を実施した。

模型地盤は図 2 の粒度分布の乾燥珪砂を用い、上下の層組み合わせについては表 1 に示す。作成については、25mm ごとに相対密度 50%になるように密度管理を行いながら、25mm×6 層×上下の計 12 層 300mm で作成を行った。

給排水については、水位の基準は上下層の境界面とし、土粒子が流出しないよう給排水口に不織布を設置して試験を行った。

水位について、降雨による地下水位の変動があるモデルとして、実験①②を 2 層地盤モデルの地層の境界面で、水位を安定させる。実験開始時に、載荷と同時に給水を開始し、水位が+50mm となるまで一定の速度で上昇させ、30 分間+50mm の位置で水位を安定させる。排水口を開放し、-50mm となるまで排水し、30 分間-50mm の位置で水位を安定させる。以上を 1 サイクルとして、4 サイクル試験を行いその変化を観察する。また、地下水位が高い箇所を再現させるモデルとして実験③実験開始時に+50mm の水位で安定させ、実験①②の 4 サイクルに相当する 4 時間程度その変化を観察する。

繰返し荷重については、地盤モデル上部の中央部に 100mm×200mm の載荷板にペロフラムシンダーにより加圧し載荷を行う。載荷荷重は、列車荷重相当になるように当社の設計基準を参考に 1.4kgf/cm²=137kPa で載荷し、載荷周波数については、1.0Hz で実験開始時から終了するまで載荷を続けた。

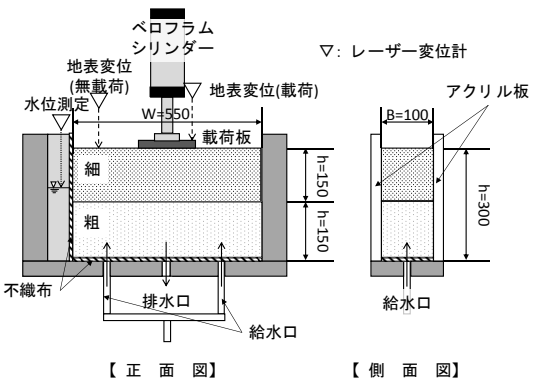


図 1 実験概念図

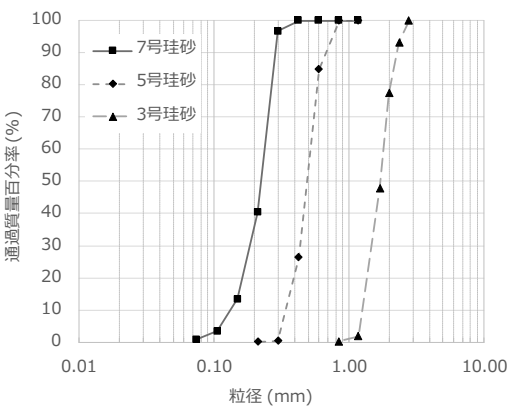


図 2 使用した珪砂の粒度分布
表 1 実験条件のまとめ

No.	荷重	上層	下層	水位変動
①	有	7号珪砂	5号珪砂	有(±5cm)
②	有	7号珪砂	3号珪砂	有(±5cm)
③	有	7号珪砂	3号珪砂	無(+5cm)

キーワード 陥没, 繰返し荷重, 模型実験

連絡先 〒010-0001 秋田県秋田市中通 7-1-1 東日本旅客鉄道(株) 秋田支社設備部 TEL018-825-5282

3. 実験結果

地表面での変位の推移をまとめたものを図3に示す。また30分毎の変位量をまとめたものを表2に示す。

地表面での最終変位では水位を変動させた実験①では1.5mm、実験②では1.2mmであったのに対し、水位を上部で固定した実験③では、2.4mmと約2倍の値を示した。また、30分毎当たりの変位をみると、実験①②ともに境界面より-50mmの時に比べ、+50mmの方が約5~10倍の変化量が大きくなった。実験③については、実験開始後30分は実験①②と比べて約2倍と大きな値を示し、徐々に変化量が少なくなっていく、徐々に収束していく傾向を示した。また、実験①と②の結果から、地表面での最終変位および単位時間の変位量ともに似たような傾向を示したことから、地表面の変位については下層の粒径の影響は少ないと考えられる。また、水位の条件を変えた実験②と③の結果から地下水位が高水位の時のほど変位が大きくなった。以上のことから、地表面の変位については粒度分布よりも地下水位の影響が大きいと考えられる。

次に、実験の状況の代表例として一番顕著に変化した実験③の結果を図4に示す。実験①の特徴としては、上層の7号珪砂だけではなく下層の5号珪砂の上部2層でも沈下が確認された。また、実験終了後に上下層の境界面で細粒分の流入は認められなかった。実験②③では上層の7号珪砂のみで沈下が確認され、下層の3号珪砂は沈下が見られなかった。実験終了後に上下層の境界面の中央部付近で細粒分の流入を確認し、実験②では最大深さ5mm程度の流入を確認し、実験③では半径25mm深さ25mm程度の流入しているのを確認した。以上のことから、上下の層で粒度分布に十分な差がないと発生しにくいと考えられる。

4. まとめ

本研究から粒度分布が異なる地層の境界面付近が飽和しており、かつ繰返し荷重が加わることで、地表面では沈下が発生し、土槽内部では上層から下層への細粒分の移動が観察された。これは飽和状態で土粒子の摩擦力が減少することにより、細粒分が間隙の間を自重で落下していくこと、摩擦力が減少した状態で繰返し荷重が加わることにより、土粒子が動くことにより結合が弱くなり流入が発生したと考えられ、この作用が進展することで路盤内に空洞が発生し、陥没に至る可能性があることが分かった。

以上のことから構造物がない箇所についても、過去に路盤陥没が発生した箇所やその周辺等では同じような作用が断続的に発生している可能性もあるため、線路下空洞探査により路盤内の空洞や緩みを捕捉することが重要であると再確認できた。また、降雨による地下水位の上昇により、その作用が顕在化する可能性があるため、豪雨などの際に点検を実施する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 水野, 中村, 土屋; 線路下陥現象についての地盤工学的考察, 第40回地盤工学研究発表会, 2005年
- 2) 水野, 中村, 土屋; 線路下陥現象についての地盤工学的考察(その2), 第41回地盤工学研究発表会, 2006年
- 3) 水野, 東瀬; 線路下陥現象についての地盤工学的考察(その3), 第41回地盤工学研究発表会, 2006年
- 4) 水野, 東瀬, 萩野, 中村; 地盤調査および模型実験による線路下陥没挙動の推定(その1), 第42回地盤工学研究発表会, 2007年
- 5) 山内, 桑野, 小橋, 片野; 老朽埋設管周辺地盤のゆるみ・空洞発生模型実験(その1), 第39回地盤工学研究発表会, 2004年

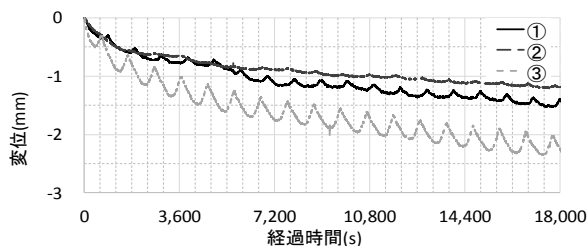


図3 地表面での変位の推移

表2 単位時間(30分間)の変位量

No	1サイクル目		2サイクル目		3サイクル目		4サイクル目		最終変位 (mm)
	高水位	低水位	高水位	低水位	高水位	低水位	高水位	低水位	
①	-0.53	-0.10	-0.21	-0.05	-0.11	-0.04	-0.09	-0.01	-1.5
②	-0.52	-0.10	-0.19	-0.06	-0.12	-0.02	-0.10	-0.01	-1.2
③	30分	60分	90分	120分	150分	180分	210分	240分	最終変位
	-0.92	-0.42	-0.24	-0.17	-0.14	-0.13	-0.13	-0.13	

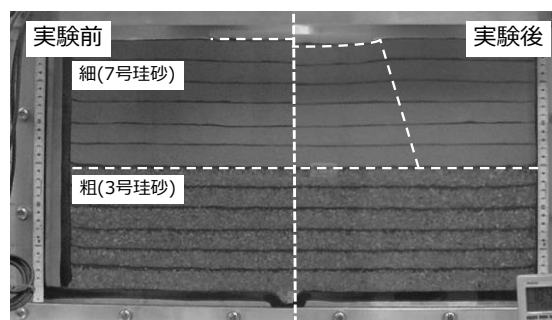


図4 実験状況(実験③)