

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：12401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K14027

研究課題名(和文) 管路を流れる液状化土砂の流動メカニズムとその制御

研究課題名(英文) Mechanisms of pipe flow of liquefied sand its control

研究代表者

内村 太郎 (UCHIMURA, Taro)

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：60292885

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：2011年の東日本大震災で浦安市などで生じた、下水管への大量かつ長延長の液状化土砂の流入について、流入経路の一つとして、宅内下水管の破損箇所からの可能性を考え、その対策を検討するために模型実験を行った。管路を模擬した内径40mmの塩ビ管の上流端から、液状化砂を流入させた。その結果、細い管路の前断面が液状化砂で満管の状態になると、ほとんど流れなくなった。この時、管路の内面の全応力が極端に大きくなり、砂の閉塞を示唆した。砂が閉塞して強い全応力を示したり、閉塞が緩んで流動が再開したりする現象が見られた。これはこれまで知られていないが、水などの流体には起こらない粒状体に特有の現象であり興味深い。

研究成果の概要(英文)：In the 2011 Great East Japan Earthquake, the sewage systems had serious damages that large amount of liquefied sand flowed into the pipes for long distances. Pipes with small diameters in house areas were considered as one of possible routes for the sand to flow into the pipe system. In this study, the flow of liquefied sand through a pipe with small diameter was simulated by model tests.

As a results, the liquefied sand did not flow so much after the cross section of the pipe was filled with sand. The total stress measured along the inner surface of the pipe showed significantly large values, which suggests clogging of the sand in the pipe. Therefore, it may be difficult for the liquefied sand with a large amount through pipes with small diameter.

In addition, the inner total stress showed high values and low values alternately with periods of several seconds. Such behaviour is never observed with ordinal fluid like water, and is specific with the granular materials.

研究分野：地盤工学

キーワード：液状化 砂質土 管内流れ 下水管 模型実験

1. 研究開始当初の背景

2011年3月に起こった東日本大震災では、東京湾沿岸の埋め立て地をはじめとし、関東地方の多くの都市で液状化現象が発生した。浦安市では、下水管に液状化土砂が流入し、長距離にわたって堆積して管路を閉塞した。液状化砂の流入経路の一つとして、耐震化の進んでいない宅内下水管の破損箇所から、液状化砂が入り込み、公共下水管に入った可能性が考えられた。下水管の液状化被害として、埋戻し土の液状化による変位や破損は広く認知され、対策も進んでいる。しかし、管路内に流入した土砂による閉塞は、ほとんど研究されていない。

2. 研究の目的

管路に流入した液状化土砂が、管内を流れるときの性質を、模型実験により調べて、細い宅内下水管から入った液状化砂が、公共下水管に達するまで流下できるかどうか検証した。さらに、管内に障害板などを設けて、土砂の流動を妨げ、管路閉塞の被害を軽減する方法を考えた。

3. 研究の方法

下水管の模型として、外部から内部を観察できる透明な塩ビ管を使い、上流端に接続したコンテナに入れた砂を液状化させて管に流入させた(図1、図2)。試料は、珪砂8号、9号を3:4の割合で混合したものを使用した。東日本大震災で噴砂した砂の粒度分布において、粒径0.3mm以下の非常に細かい砂が90%を占めており、シルト系細砂や砂質シルトといった細かな砂層が液状化したと考えられるので、それに似た粒度になるようにした。流入口には間隙水圧計を設置した。また、管の内壁底面には、全応力を測るための圧力計を、流入口からそれぞれ25、55、80cmの位置に設置した。管路上流端の流入口にかかる水頭(コンテナの砂と水の量)を一定に保ち、液状化砂を管へ流下させ、流れを観察した。10秒ごとに撮影した写真から、液状化砂の水面形の上端と下端の移動距離を計測した。

また、管路内に、形状、大きさを変えた遮蔽板を設置した場合、管路の傾斜を変えた場合の砂の流量を比較し、管路閉塞の被害を軽減する方法を検討した。

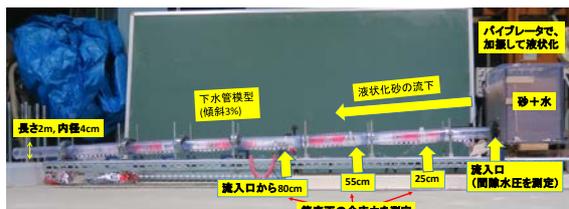


図1 液状化砂の管路流れの実験装置

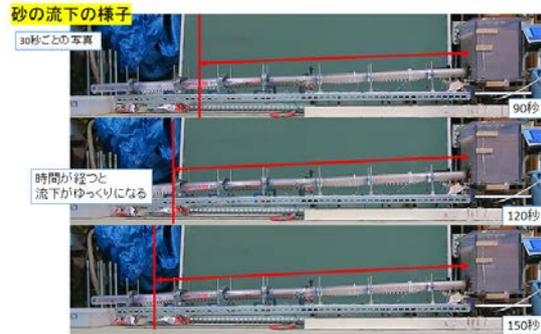
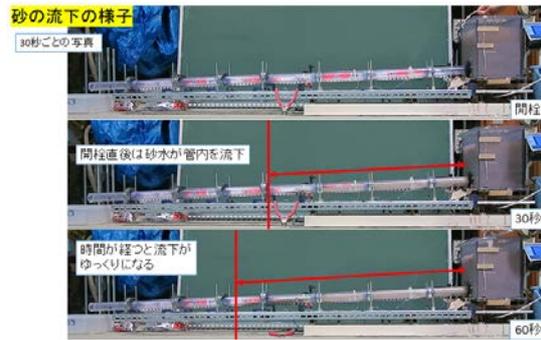


図2 液状化砂の管路流れの実験例

4. 研究成果

(1) 管路内の液状化砂の流下の観察

液状化砂は、時間の経過とともに図3に示すように流下した。流入口の栓を抜いた直後は、比較的速く流下したが、図の時間表示で60~120秒あたりから減速し、特に管の上部で砂が全く進まなくなった。下部はゆっくり進み、砂の先端面の傾斜が徐々に緩やかになって管路内に拡がるように流れたが、管路の端まで達すると、それ以上ほとんど流下しなかった。

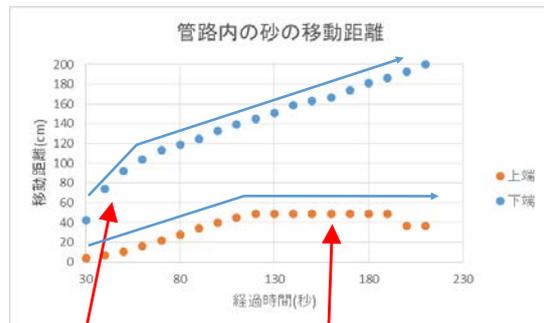


図3 液状化砂が流入口から流れた距離の測定

図4に、管の流入口の間隙水圧と、管路底面の全応力の推移を示す。流入口の間隙水圧は、加振開始(図の15秒付近)とともにコンテナ内の砂が液状化して、過剰間隙水圧が生じたが、開栓すると砂が管路に急速に流れ出すために水圧が急減し、水などの流体が流れ出すときと似た挙動を示した。その後、管内の全応力センサーの位置に砂が到達したのに応じて、それぞれ砂の自重程度の全応力が測定された。その後、60秒あたりから砂が減速したのに伴って、流入口の間隙水圧が、大きな振幅で上下しながら回復した。さらに80秒あたりからは、流入口からの距離25cmの全応力も大きく変動し、砂の自重よりもはるかに高い全応力を示した。

図3より、流入口から25cmの箇所、管の上部に砂が到達するのも80秒あたりであり、高い全応力が見られた時間と一致している。管の上部に砂が到達したということは、その位置で管の全断面が液状化砂に満たされたということであり、満管になることによって、細い管内で液状化砂管が詰まった結果、全応力が急激に上がったと考えられる。また、この位置の全応力は、10秒程度の周期で大きく変動しており、低下時には管内の砂の自重程度まで下がっている。それと同期して、流入口の間隙水圧も低下の回復を繰り返している。このことから、満管になった管内で液状化砂が閉塞するが、ときどき閉塞が緩んで砂が流れ、また閉塞する、ということを繰り返したと考えられる。

また、約150秒ごろから管入り口部分から25cmの全応力の変動は小さくなった。図3より、約180秒の時に、管の上部の液状化砂が抜けており、満管の状態ではなくなったために閉塞が起こらなくなったと推測した。

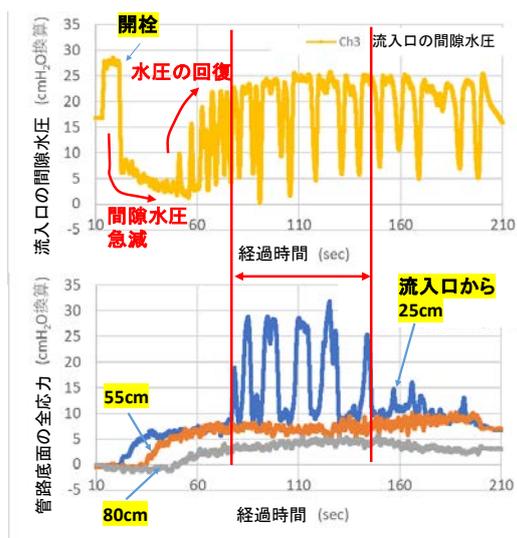


図4 流入口の間隙水圧と管路内の全応力の推移

(2) 障害板と管路の傾斜による液状化砂の流動の抑制

図1と同様の管路模型で、管路長さが1mのものを使い、管路内に、形状、大きさを変えた障害板を設置した場合、管路の傾斜を変えた場合の砂の流量を比較し、管路閉塞の被害を軽減する方法を検討した。

障害板は、たとえば図5のように管路の途中1カ所に、管路の上面から、管径の1/2あるいは2/3に達する板を設置した。板が管径の2/3の場合は、それより下流では満管でなく、水面を持った流れとなり、流路断面が小さくなることから、砂の流量が大きく減少した。しかし、板が管径の1/2しかない場合、砂が板の下流側に回り込んで上流と同じく満管で流れ、流量を制限する効果はあまり得られなかった。

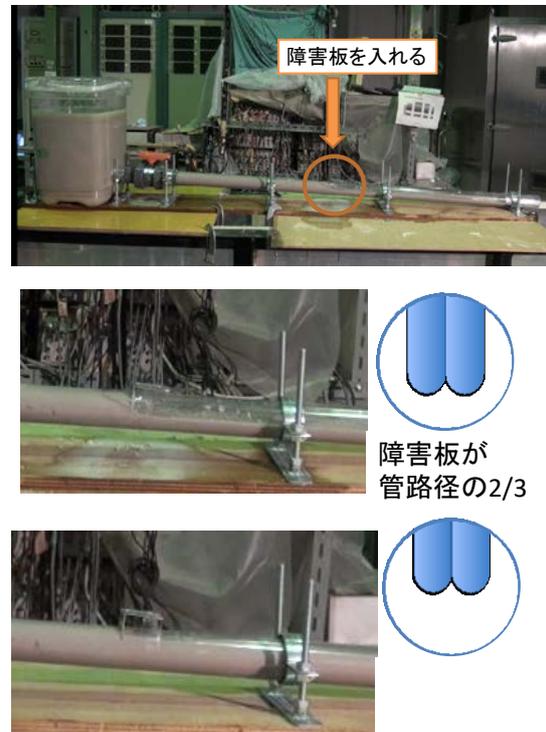


図5 管内に障害板を入れる実験

また、管路の途中にいくつかの形状、大きさの障害板を設置して比較した(図6)。障害板がない場合に比べて、管の内周面に沿って三日月型の障害板がある場合は、あまり砂の流量は減らなかった。これよりも、管路の上半分を覆うものや、図5と同じく上端から管の中心に向かって障害板が伸びるものは、砂の流量が減少した。管路の中心から上部に向かって扇形の障害板を配置した場合が最も効果があり、砂の流量は半分程度になった。砂が、水のような粘性流体と同じように流れるとすれば、管の中心で最も流速が大きくなることが予想される。そのため、管の中心を覆う障害板を設置したときに、流量を制限する効果が期待できると解釈できる。

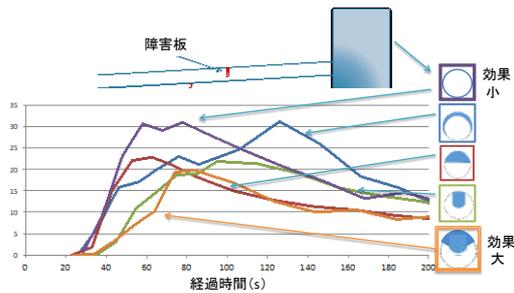


図6 管内の障害板の形状による流量比較

また、管路の傾斜角を小さくすると、流量は低下した(図7)。下水管の傾斜は、3%程度が一般的だが、特に、管の一部に傾斜が0の部分进行することで、流量制限の効果が得られることも分かった。

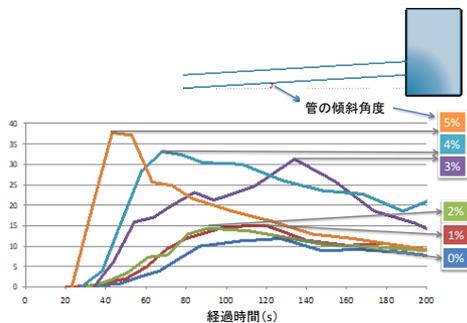


図7 管の勾配による流量比較

(3) まとめ

細い管が液状化砂で満たされると、閉塞が起こり、液状化砂はあまり流下しなかった。管の傾斜や地盤を想定したコンテナの大きさを大きくした実験でも同様だった。そのため、東日本大震災で宅地内の細い下水管が液状化砂の流入経路になった可能性は低いと考えられる。あるいは、破損した宅内下水管から入り込んだ液状化砂が、何らかの条件下で、満管にならずに公共下水管へ流入し続けた可能性が考えられる。

また、細い管が液状化砂で満管になった場合、砂が閉塞して強い全応力を示したり、閉塞が緩んで流動が再開したりする現象が見られた。このような現象は、これまであまり認識されてこなかったが、水などの普通の流体には起こらない粒状体に特有の現象であり、興味深い。

液状化砂の流量については、遮蔽板や管の傾斜の条件によっては、抑制する効果が得られたが、通常時に重力で下水を流す機能を妨げない範囲での対策を検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0件)

[学会発表] (計 2件)

① 辻田佳歩・内村太郎 (2018): 液状化砂が細い下水管内を流れる現象の再現実験, 第53回地盤工学研究発表会発表講演集, 2018/7/24-26, サポートホール高松(高松市), (印刷中).

② Samreth, K.V., Uchimura, T. (2016): A study on liquefied sand flowing in pipeline, 第51回地盤工学研究発表会発表講演集, 2016/9/13-15, 岡山大学(岡山市), pp. 1765-1766.

[図書] (計 0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計 0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内村 太郎 (UCHIMURA, Taro)

埼玉大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 60292885

(2) 研究分担者 該当なし

(3) 連携研究者 該当なし

(4) 研究協力者 該当なし