

周辺地盤の土質の違いとマンホールの地震時浮上がりに関する模型振動実験

関東学院大学大学院 学生会員 ○中根 美香
関東学院大学 正会員 規矩 大義
同 上 学生会員 内山明日香

1. はじめに

2003 年十勝沖地震や昨年発生した新潟県中越地震では埋戻し土の液状化に伴ってマンホールが 1m 以上も浮上りる被害が生じた。一方、1995 年兵庫県南部地震や福岡県西部地震でも被害は生じたが、浮上がり量は数 cm から高々10 数 cm に留まっている。これまでの研究¹⁾で、軟弱地盤における埋戻しと砂質土地盤での埋戻しでは、同様の施工方法を用いても地盤内部のはらみ出しによって、埋戻し後の密度が大きく異なることを平面ひずみ土槽による締固め実験で確認している。浮上がり被害の程度の違いは、埋戻し土の締固め度に依存するが、それには周辺地盤の土質の違いが大きく影響していると考え、マンホール模型を軟弱土（泥炭や腐植土）と砂質土（圭砂）に埋め戻した模型地盤を作成し、振動台実験によって浮上がり量の比較を行った。

2. マンホールの浮上がりに関する振動台実験

実験は、テーブル寸法 1.5m×1.5m の振動台上に設置した鋼製土槽(幅 200cm×高さ 70cm×奥行 30cm)に、図-1 に示すような泥炭地盤（または砂地盤）と土留矢板、人孔模型、埋戻し砂を含むモデル地盤を作成した。はじめに泥炭または圭砂で水平地盤を作成した後、土留矢板を模したアルミ板を挿入し、幅 30cm×奥行 15cm×深さ 15cm の埋戻し領域を確保し、その内部を掘削した。掘削後、スチレンブロック製の人孔模型(底面が 10cm×10cm の直方体)を GL-10cm 位置に設置し(写真-1)、周囲を砂質土で埋め戻した。埋戻し土内部には間隙水圧計と加速度計を配し、周辺地盤、埋戻し部の地表面にも加速度計を設置している。人孔模型には、浮上がりによって転倒しないようにローラーで摩擦を除去したガイドを設けて上部に変位計を取り付けた。人孔模型の比重は模型内部に鉛玉を入れ、変位計の反力との合計から、地下水位(GL-15cm)以深部分での比重が 1.2 程度になるように調整している。

砂質土地盤の場合は、泥炭と同じように掘削を行うとボイリングを生じてしまうので、矢板の根入れの深さを大きくし、周辺地盤の水位を下げながら掘削した。埋戻し方法については泥炭と同じ手順である。

加振条件は 5Hz の正弦波 10 波を 1 サイクルとし、加速度レベルを段階的に上げていくステップ加振を採用した。

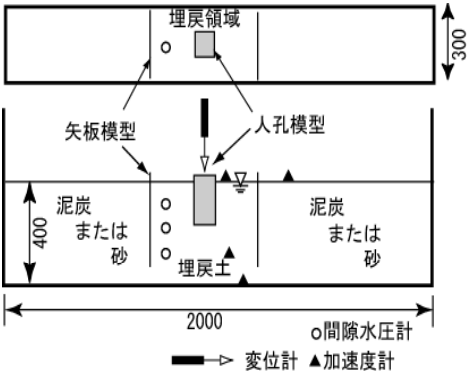


図-1 模型地盤と計測器配置



写真-1 人孔模型の設置状況

表-1 実験条件と浮き上がり量の最大値一覧

Case	周辺地盤	埋戻し土	∠u/ov (最大値)			Acc(gal)				Uplift(mm)	
			GL -15cm	GL -10cm	GL -5cm	Base	Surface (outside)	Surface (backfill)	Input Motion	Each Case	Total
1	斜里泥炭	圭砂3号	0.88	2.45	2.90	330	635	510	325	27.55	27.55
2-1	斜里泥炭	圭砂3号	0.23	0.82	0.89	95	110	140	80	0.00	0.00
2-2	斜里泥炭	圭砂3号	0.29	1.39	1.40	180	280	250	145	0.26	0.26
2-3	斜里泥炭	圭砂3号	0.73	1.63	1.65	445	850	500	350	16.39	16.65
2-4	斜里泥炭	圭砂3号	0.70	1.78	1.80	540	800	590	500	16.79	33.44
2-5	斜里泥炭	圭砂3号	0.40	1.55	1.60	195	200	200	155	3.71	37.15
3-1	圭砂5号	圭砂3号	0.09	0.10	0.10	45	75	70	65	0.00	0.00
3-2	圭砂5号	圭砂3号	0.30	0.95	0.95	100	245	180	100	0.15	0.15
3-3	圭砂5号	圭砂3号	0.60	0.95	0.95	200	555	525	225	0.70	0.85
3-4	圭砂5号	圭砂3号	0.80	0.95	0.95	700	1300	1450	495	1.23	2.08
3-5	圭砂5号	圭砂3号	1.50	0.95	0.95	400	800	2000	500	1.50	3.58

表-1には、実験ケースと入力加速度、最大応答、加速度、過剰間隙水圧比の最大値、浮上がり量の収束値と累積値をあわせて示す。また、図-2には実験で得られた泥炭地盤の計測記録の一例を示す。加振と同時に過剰間隙水圧が上部層から上昇しはじめる。人孔埋設部より上部では完全液状化に達しているが、最深部の水圧比は0.8程度までしか上昇していない。これは既に人孔の浮上がりが生じはじめていて、負圧と相殺されていることが原因と考えらる。加速度波形は、入力動に対して周辺地盤の応答が大きく増幅している。液状化の発生に伴って人孔模型は浮上がりを開始し、加振終了と同時に停止してその後の過剰間隙水圧の消散過程で幾分沈下しているようである。

図-3は、泥炭地盤および砂質土地盤内に埋め戻された人孔の過剰間隙水圧と浮上がり変位量の履歴曲線を描いたものである。砂質土地盤ではばらつきも見られているが、いずれの加振条件においてのものが0.5を超える付近から（人孔埋設底部GL-10cmにおいて）から浮上がりが生じはじめ、過剰間隙水圧と関係は明瞭である。泥炭と砂で挙動に大きな違いは認められないが、浮上がりの絶対値は大きく異なっている。

一方、軟弱地盤内の埋戻し領域は、砂質土地盤内のそれに比べて、揺れやすいといわれているが、加速度の応答記録からだけでは砂質土地盤でも大きな増幅率を示していた。そこで加速度記録を二回積分し、変位波形の時刻歴を示したのが図-4である。この二つは入力加速度が同じケース同士で比較したものであるが、変位波形は明らかに泥炭地盤の方が大きくなっている。図-5には、入力加速度と各ステップの浮上がり量の累積値を泥炭地盤、砂質土地盤に区分してまとめたものである。今回の地盤条件では、入力加速度が150galを越えるあたりから、泥炭地盤のマンホールは浮上がりはじめ、500gal加振ではその浮上がり量は約40mmにも達している。これは実物換算で2mのマンホールが80cm浮上がったことに相当し、北海道や新潟で見られた被害を再現できたのではないかと考えられる。砂質土地盤では250galを過ぎるあたりから有意な浮上がりが確認でき、その大きさは大きな入力を与えても5mm程度、すなわち実物換算すると10cm程度である。

3. おわりに

本研究は文部科学省・学術フロンティア推進事業の補助を受けたものである。マンホールの浮上がりメカニズム、影響因子についての実験結果については、今後、順次発表してゆく予定である。

参考文献

- 1) 中根・規矩・内山：軟弱地盤に埋設された人孔の地震時浮上がりに関する振動台実験，第40回地盤工学研究発表会，2005（投稿中）

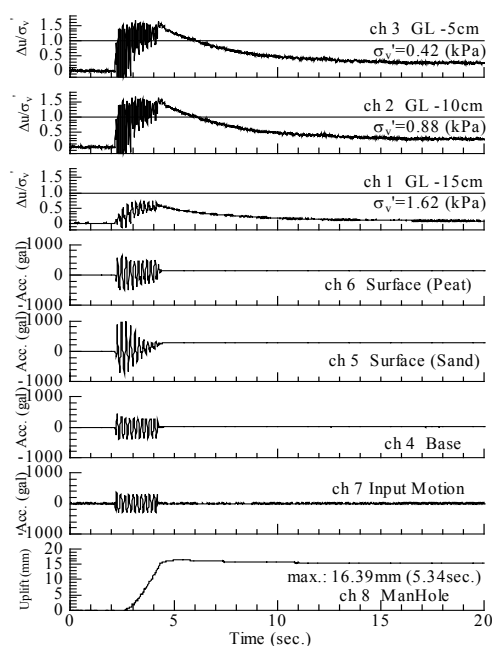


図-2 振動実験の時刻歴データの一例

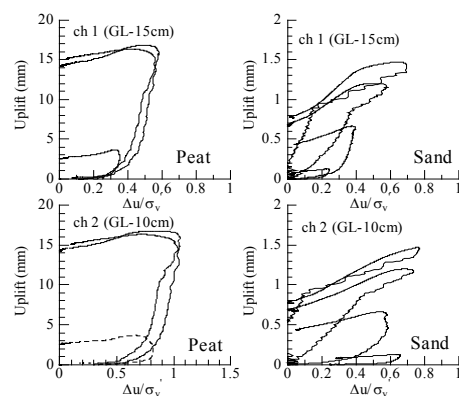


図-3 過剰間隙水圧比と浮上がり量の関係

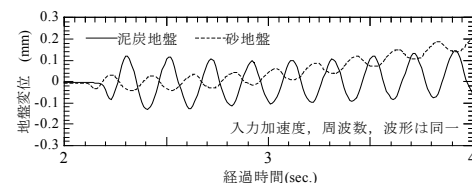


図-4 加速度波形から積分した変位波形

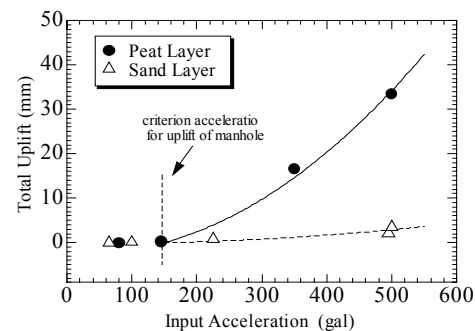


図-5 加振加速度と浮上がり量の関係