

下水道マンホール起振による埋戻し土の締固め効果

(株) 日水コン 正会員 ○小西 康彦

(株) 日水コン 飯田 勉

1. はじめに

下水道マンホールの浮上防止対策は、災害時における避難行動や救急救命活動の観点から、非常に重要な地震対策の一つである。マンホール浮上の原因は、埋戻し土の締固め不足に伴う液状化リスクの増大と考えられている。筆者らは、マンホール浮上抑制対策を開発する過程で、埋戻し土の締固め不足に着目し、これを締固める方法としてマンホール内部に固定できる新たな起振機を開発し、振動数や起振時間、埋戻し条件をケーススタディとして実験を行った。その結果、締固め効果が確認されたのでここに報告する。

2. 実験内容

実験方法は、実物大の1号マンホールを土槽に設置し、砂の埋戻し条件をケーススタディとして起振後のマンホール周辺地盤の沈下量を計測する。また、起振前後の相対密度を想定するために、軽量簡易動的コーン試験を併せて行う。図-1に実験水槽図を示す。

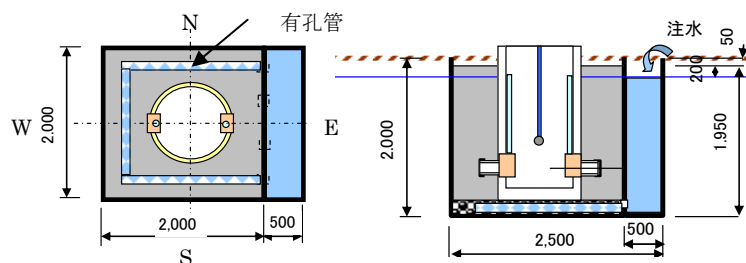


図-1 実験水槽平面・断面図

表-1 ケーススタディ

ケース	埋戻し方法	方向	起振条件	
			振動数 (Hz)	時間 (分)
ケース1	10cm毎に砂を敷き均し軽く突き固める	X	6・7・8・9	1
		Y	7・8・9・10	1
			10	5
ケース2	ケース1に引き続き、地表面を整地	X	8・9	15
		Y	9・10	15
ケース3	10cm毎に砂を敷き均し踏み固める	X	8・9・10	10
		Y	9・10	10

起振実験は表-1に示すように、埋戻し方法や起振条件を変えて3ケースについて実施した。実験土槽に使用する埋戻し用の砂には5号珪砂を使用し、10cm厚ごとに敷き均し・締固めを繰り返して埋戻しを行った。使用した砂の埋戻し前の含水比の平均値はケース1,2では3.3%,ケース3では6.3%であった。締固めには、初期相対密度40%と50%を目標に、簡易な突き固め及び人力による踏み固め方法を用いた。

開発した起振機は、下部に設置したモーターの円運動を上部に設置したウェイトの直線運動に変換してマンホールに振動を与える構造である。

初期相対密度は、水槽への砂の投入重量を基にして算出した値とコーン試験の抵抗値から推定した値を平均して、表-2に示すように、ケース1で40%,ケース2で42%,ケース3で53%であった。

表-2 初期相対密度の平均値

実験 NO.	沈下率 (%)	初期相対密度 D_{r0} (%)		
		投入量	コーン値	平均値
ケース1	1.2	44.2	36	40.1
ケース2	1.9	51.7	33	42.4
ケース3	1.3	52.2	53	52.6

3. 実験結果

マンホール近傍の沈下量をレベル及び自動計測により計測した。ケース1の自動沈下計測結果を図-2に示すが、X方向(D-01)24mmとY方向(D-02)18mmの沈下が計測された。これは、沈下率1.0%~1.4%に相当する。引き続き、起振条件を変えて行ったケース2では、図-3に示すように27mm~35mmの沈下が実測され、自動計測でもX方向40mmの沈下となり、沈下率は1.5%~2.3%となった。さらに、新たに埋戻し条件を変えて行ったケース3では、図-4に示すように、7mm~38.5mmの沈下が実測され、自動計測でもX方向19mm、Y

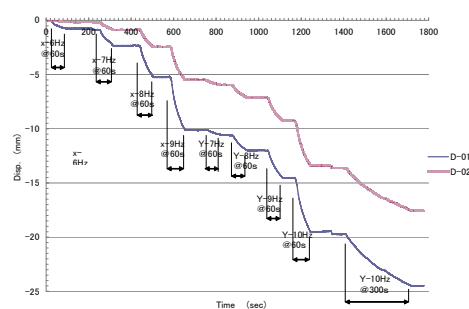


図-2 ケース1の自動沈下計測結果

キーワード 液状化, 埋戻し土, マンホール, 浮上抑制, 起振

連絡先 〒163-1122 新宿区西新宿 6-22-1 新宿スクエアター (株)日水コン下水道本部 TEL 03-5323-6332

方向 24mm の沈下が計測されて、沈下率は 0.4%～2.2% となった。

4. 起振による相対密度の改善

マンホールを開発した起振機により振動させて、マンホール近傍地盤を締固める考え方は、サンドコンパクションパイル工法に準じて¹⁾以下のように考えることができる。すなわち、改善後の沈下率 (h_f) を用いて、起振後の相対密度は式(1)により求められ、計算結果を表-3 に示す。

$$D_{r1} = \frac{e_{\max} - e_1}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100 \quad (1)$$

$$e_1 = e_0 - h_f \cdot (1 + e_0)$$

ここに、 D_{r1} : 起振後の相対密度、 $e_{\max}$: 最大間隙比 ($=0.02 F_c + 1.0$)、 $e_{\min}$: 最小間隙比 ($=0.008 F_c + 0.6$)、 F_c : 細粒分含有率、 e_0 : 起振後の間隙比、 h_f : 沈下率

表-3 起振後の相対密度

実験 NO.	F_c (%)	$e_{\max}$	$e_{\min}$	初期間隙比 e_0	起振後 e_1	D_{r1} (%)
ケース1	4	1.080	0.632	0.902	0.879	44.9
ケース2	4	1.080	0.632	0.893	0.857	49.8
ケース3	4	1.080	0.632	0.844	0.820	58.0

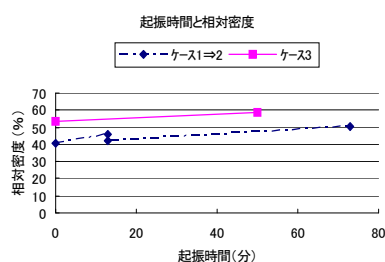


図-5 相対密度の改善効果

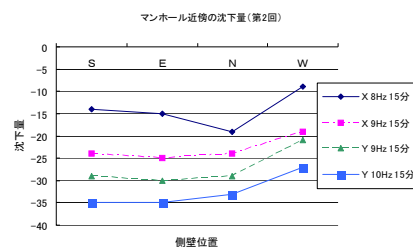


図-3 ケース 2 の沈下量

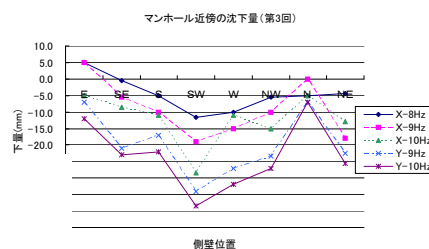


図-4 ケース 3 の沈下量

5. 考察

5号硅砂を用いた起振実験により、マンホール周辺地盤は明らかに締固まっていることが確認された。図-5に相対密度の改善効果、図-6に沈下率の改善効果を示す。ケース1から引き続き行ったケース2では、初期相対密度40%に対して約10%の改善効果が見られた。一方、初期相対密度が53%のケース3では約5%の改善効果となった。

同様に、沈下率についてもケース1⇒ケース2では3.1%，ケース3では1.3%の改善効果となった。開発した起振機的能力から、改善後の相対密度は60%前後が限界と考えられる。

起振によりマンホール周辺地盤が締固められると、液状化の発生リスクが小さくなる。それにより、地震時のマンホール側壁と周辺地盤との摩擦力に期待できる。起振によるマンホールの浮上抑制効果を定量化する手法としては、起振後の相対密度より求められる起振後の N_1 値 (Meyerhofの式²⁾) から液状化抵抗率 F_L 値と動的せん断強度比 R 値を求め、液状化層における土の内部摩擦角 δ' として常時の土の内部摩擦角 δ に表-4の土質定数の低減係数 D_E を乗じ、摩擦係数 $=\tan \delta' = \tan (\delta \cdot D_E)$ とする方法がある。

図-6 沈下率の改善効果

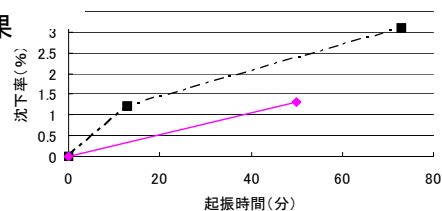


図-6 沈下率の改善効果

6. おわりに

本論は、マンホール内部に固定した起振機によりマンホール躯体を振動させ、マンホール周辺地盤の締固め効果を実験的に検証したものであり、マンホールの浮上に対して抵抗する周辺摩擦力の増強に期待ができることを示した。

参考文献

- 建設省土木研究所耐震技術研究センター動土質研究室他：液状化対策工法設計・施工マニュアル（案），平成11年3月
- Meyerhof, G.G.: Discussion on research on determining the density of sands by penetration testing, Proc. of 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering,
- (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, pp125, 平成14年3月

表-4 低減係数 D_E ³⁾

F_L の範囲	現地盤からの深度 x (m)	動的せん断強度比 R			
		$R \leq 0.3$		$0.3 < R$	
		レベル1地震動に対する照査	レベル2地震動に対する照査	レベル1地震動に対する照査	レベル2地震動に対する照査
$F_L \leq 1/3$	$0 \leq x < 10$	1/6	0	1/3	1/6
$1/3 < F_L \leq 2/3$	$0 \leq x < 10$	2/3	1/3	1	2/3
$2/3 < F_L \leq 1$	$0 \leq x < 10$	1	2/3	1	1