

(株)建設企画コンサルタント ○正員 黒田 修 一
 同 上 正員 堀 田 光
 同 上 正員 西 剛 整

1. まえがき

1993年1月15日午後8時06分、北海道釧路沖で発生した地震の被害について、筆者らは、被災直後、現地調査の機会を得ることができた。今回の地震による被害は、釧路から帯広周辺の道路、港湾、ライフラインなどの多種多様の土木施設に及んだ。前報¹⁾でライフラインを中心とした被害状況をまとめ、特に地盤の液状化によるマンホールの浮上りの被害が冬期の凍土地域との関係にあることを示した。本稿は、このマンホールの浮上りの被害事例を対象として、周辺地盤の過剰間隙水圧を考慮した動的応答解析によりマンホールの浮上り現象について検討を行った結果を報告するものである。

2. 検討地点の被害概要

今回の地震で液状化により被害を受けた下水道マンホールについて調査を行った。調査地点を図-1に示す地盤の液状化の生じた釧路町では、大規模なマンホールの浮き上がり現象が生じた。浮き上がったマンホールは、図-1に示す国道44号沿いの歩道に埋設された約二十数基が最大で蓋を乗せたまま地上に1.5mまで突出した所があった。この付近は、20数年前埋め立てられた新しい土地で液状化の可能性の高い地盤であった。図-2はマンホールの浮き上がり近くで噴出した砂の粒度分布を示したものであるが、平均粒径 D_{50} は0.28mmと液状化しやすい粒径の砂であることがわかる。今回の被害の特徴としてマンホールの浮上り量が非常に大きかったが、その周辺の歩道及び車道に被害がほとんどなく、噴砂現象も浮上ったマンホールの際で1～2箇所見られたのみであった。筆者らは、この原因として地震の発生が冬期にあったことから地盤凍結に起因していると考え、この現象について解析検討を行った。

3. マンホールの浮上りに関する解析的検討

図-3は、釧路町木場地区の代表的な土質柱状図である。図-3には、「道路橋示方書」に基づいた F_L 値を示した。マンホールの底面・下水管は、地表面下4mの液状化の危険性の高い細砂層にあることがわかる。さらに地盤凍結の影響を検討するため、有限要素法を用いた全応力法による間隙水圧発生解析を行った。解析はマンホールのみを考慮し、その底面に作用する過剰間隙水圧の状況を探った。解析ケースは、地表面から1mが凍結した場合と凍結していない場合について実施した。解析モデル、地盤定数を図-4に示す。凍結領域のせん断波速度は、凍結砂の超音波速度試験結果から $V_s=2000\text{m/s}$ とした。加振は、2Hzの11.4sec(23波)の正弦波を入力波として加速度レベルを75, 125, 200galで加振を行った。また、間隙水圧の発生はSeedモデルを用いている。図-5、図-6に200gal加振時の過剰間隙水圧の分布を示す。これらの図より凍結を考慮しない地盤は、地表面近傍の間隙水圧が上昇するのに対して凍結を考慮したケースではマンホール底面に向かって間隙水圧が上昇する様子が伺われ、地表面に近い所での水圧の上昇は押えられていることがわかる。また、マンホール底面での過剰間隙水圧比と入力加速度の関係を図-7に示した。入力加速度の増加に伴い間隙水圧比は上昇し、凍結地盤はその度合いが大きいことがわかる。既往の研究報告²⁾によると間隙水圧比が0.7以上になると急激な浮上りを生じるとの報告があり、図-7に示す凍結地盤に間隙水圧比が0.7以上になる所が存在する。また、その時の入力加速度は、125gal以上であることがわかる。逆に、通常地盤ではマンホールが大きく浮上る間隙水圧比に至らないことがわかる。一方、マンホールの浮上り安全率を式(1)で定義する。

$$F_u = \frac{W + Q}{U_s + U_d} \quad \text{----- 式(1)} \quad \text{ただし、}$$

W : マンホールの全重量
 Q : マンホール側面の摩擦抵抗
 U_s : 静水圧による揚圧力
 U_d : 過剰間隙水圧による揚圧力

動的応答解析より得られたマンホール底面での過剰間隙水圧値を用いた浮上りの安全率を算定し、表-1に示した。表より、顕著な浮上りを生じる安全率は、 $F_u < 0.7$ にあると推察される。

4. あとがき

過去において寒冷地の冬期に起こった地震は比較的少なく、今回の地震被害は地盤凍結地帯での被害の在り方を示しているのではないと思われる。今後は、観測地震動を用いた解析を実施し、より厳密な現象の解明を行う予定である。最後に本調査を行うにあって新潟大学青山先生、日本舗道東海林氏に御協力を得た。また資料提供を頂いた釧路市下水道課殿には、紙面を借りて深く謝意を表する次第である。

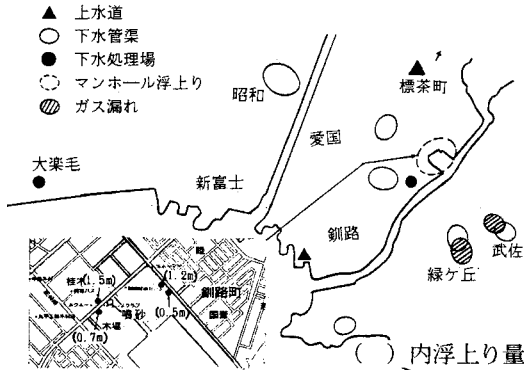


図-1 ライフラインの被害箇所

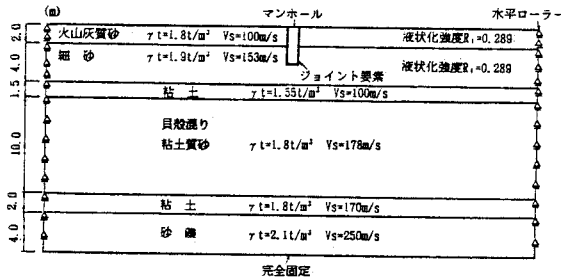


図-4 解析モデルと地盤定数

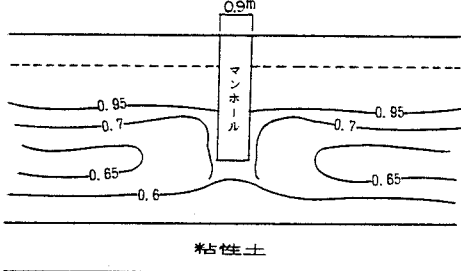


図-5 通常地盤の過剰間隙水圧比分布

表-1 マンホールの浮上り安全率

加振 速度 g	条件	安全率(動的解析値)					
		抵抗力 W (t/m)	底面△U Q (t/m)	底面△U (t/m ²)	作用 Us (t/m)	作用 Ud (t/m)	安全率 Fs
—	常時	4.320	0.130	0.000	3.600	0.000	1.236
75	通常地盤	4.320	0.130	0.332	3.600	0.299	1.141
gal	凍結地盤	4.320	0.130	0.989	3.600	0.890	0.991
125	通常地盤	4.320	0.130	1.602	3.600	1.442	0.883
gal	凍結地盤	4.320	0.130	2.925	3.600	2.633	0.714
200	通常地盤	4.320	0.130	2.222	3.600	2.000	0.795
gal	凍結地盤	4.320	0.130	3.378	3.600	3.040	0.670

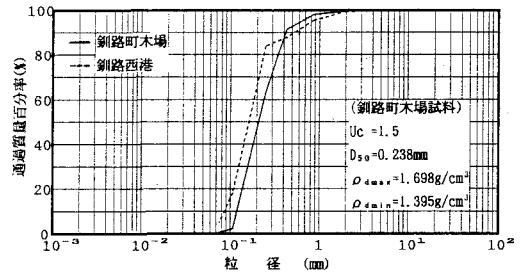


図-2 噴砂の粒度分布

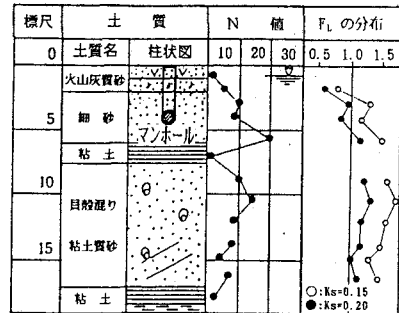


図-3 釧路町木場の土質柱状図とFL値

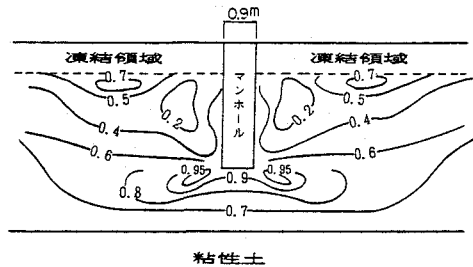


図-6 地盤凍結を考慮した過剰間隙水圧比分布

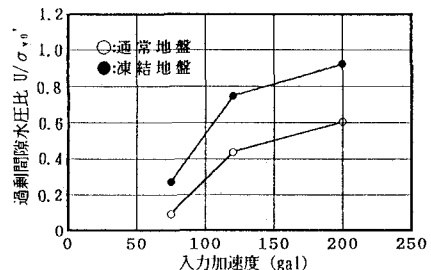


図-7 過剰間隙水圧比と入力加速度の関係

(参考文献) 1) 堀田、西、黒田「1993年1月釧路沖地震によるライフラインの被害調査」, 第28回土質工学研究発表会。2) 中野、佐々木ら「マンホールの浮上対策に関する実験的研究」, 土木学会論文集, 1989, 10。