

(125) 1994年北海道東方沖地震による下水道被害に関する検討

金沢大学大学院	村田 晶
金沢大学工学部	正会員 宮島 昌克
金沢大学工学部	正会員 北浦 勝
福井高等専門学校	正会員 吉田 雅穂

1. はじめに

1994年10月4日に発生した北海道東方沖地震において、構造物被害、港湾被害などの他に、下水マンホールの浮上、下水道管周辺の地盤変状が顕著に見られ、道東の2市9町で下水道施設の被害が報告されている。

そこで本研究では、現地調査により得られた資料に基づき下水道施設の被害状況を分析すると共に、特に大きな被害が見られた標津町の下水道周辺地盤の地盤応答解析、および液状化危険度解析を実施し、下水道の被害原因について考察した。

2. 下水道被害の概要¹⁾

今回の地震においては、各地で下水マンホールの抜け上がりが見られた。しかし、同時に下水管渠埋設部分の沈下も見られ、マンホール周辺の地盤が沈下している場合が多いため、周辺地盤が沈下してマンホールが抜け上がっているのか、マンホール自身が浮上したのか明らかなでない場合が多かった。ここではまず、標津町の下水道管路について被害の概要を報告する。

標津町の下水道管路はφ250mmの塩化ビニル管からなっており、敷設延長は19.2kmである。また、マンホールには1号マンホールを用いている。管路の埋設深さは-3.0m~-5.5mである。今回の地震においては、そのうち敷設延長の約65%にあたる12.7kmが被災した。標津町の下水道管路における被災箇所をFig.1に示す。下水道管路の被害の他にマンホールの抜け上がりも見られたが、その相当数については周辺地盤が沈下したことに対する相対的な浮上であるとみられる。一例として、標津町の北端部に当たる新川上町の563.5mの区間においてマンホールの浮上量及び周辺地盤の沈下量をレベル測量した結果をFig.2に示す。調査マンホールは18カ所あり、原位置から比較してマンホールの浮上が0~20cm、下水管渠埋設地盤の沈下量が10~50cmとなっており、地盤沈下の方が卓越していることが言える。

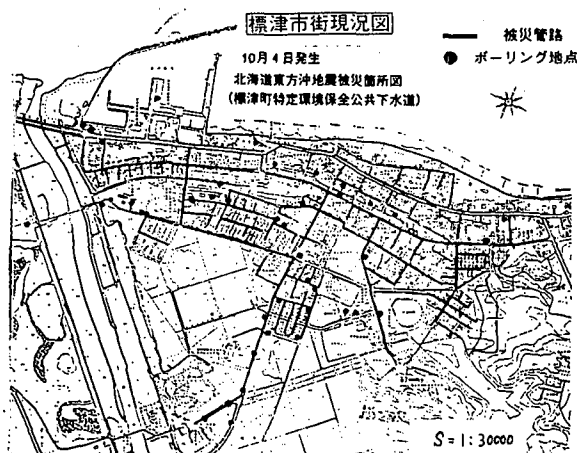


Fig. 1 Locations of damaged sewerage pipelines and site of SPT at downtown of Shibetsu Town

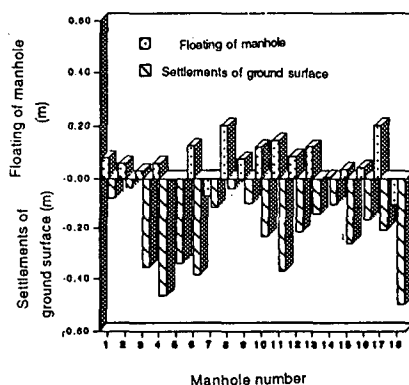


Fig. 2 Relationship between floating of manhole and settlements of ground surface at Shinkawakami-chou

3. 被害地点の地盤動特性

地盤データとして、下水道管路付近で得られた33箇所のボーリング資料を用いた。ボーリング地点を下水道管路の被災箇所図と併せてFig.1に示す。なお、標津町の下水道管路の周辺地盤の概略は以下のようなものである。表層には数10cmの表土層があり、その下には数10cm～5m以上の厚さの泥炭層がある。また、泥炭層は砂質土層、粘性土層と互層になっていることが多い。泥炭層の N 値は非常に小さく、 $N=1\sim3$ 位である。その下には砂質土層あるいは粘性土層、レキ質土層、その下の凝灰質砂などの火山灰質土層に続いている。火山灰質土層の N 値は、概ね $N=10\sim40$ 程度である。

これらのボーリング資料を基に道路橋示方書²⁾による液状化抵抗率 F_L を求めた。解析結果の一例をFig.3に示す。また、下水道被害と地盤の固有周期との相関をFig.4に、下水道被害と液状化層厚の相関をFig.5に示す。液状化層厚については、 F_L が1.0以下となる層を液状化層として算定したものである。Fig.3より、 F_L が1.0以下となるのは、1.5m～2.5mと4.0m～6.0mの層となっている。Fig.4より、標津町の地盤の卓越周期は0.2～0.4秒が多数を占めているが、下水道被害の有無による埋設地点の卓越周期に大きな違いが見られない。Fig.5より、下水道管路の被害の見られた地点で液状化層厚は2～6m、被害の見られなかった地点では0～3mと違いが見られる。このことから下水道管路の被害については地盤の液状化に起因するものが多いのではないかと考えられる。

4. 地盤応答解析

(1) 解析モデル

解析モデルとして用いた地盤データは、液状化被害が確認された標津町新川上町におけるボーリング資料のうちFig.3に示したものに基いている。土質定数については、道路橋示方書²⁾に示されている土質分類に対する概略値を用いた。透水係数については文献³⁾より土質ごとの一般的な値を用いた。ただし、埋め戻し砂の透水係数については、一般的な値の10倍に設定した。また、文献⁴⁾より埋め戻し砂の N 値を2に設定した。泥炭の土質定

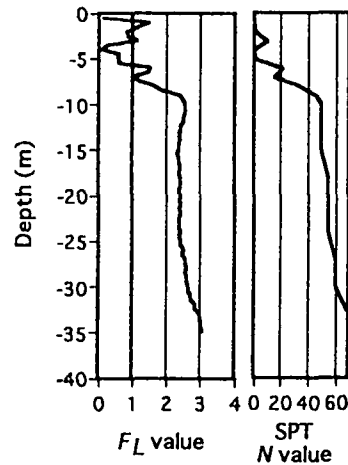


Fig. 3 Distribution of F_L value and SPT N value at Shinkawakami-chou

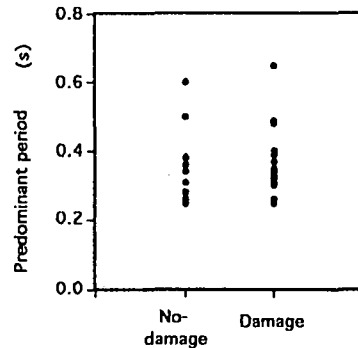


Fig. 4 Predominant period at site of damaged sewerage pipelines

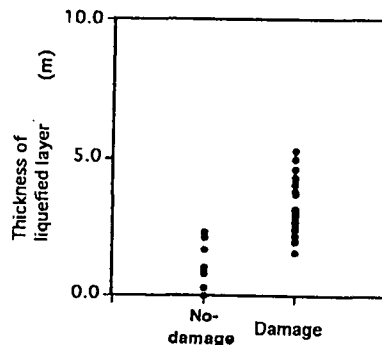


Fig. 5 Thickness of liquefied layer at site of damaged sewerage pipelines

数については北海道の泥炭の平均的な値を用いた^{5), 6)}。泥炭層の上位に存在する腐植土については、工学的性質としては泥炭に近いものと考えられるので泥炭と同様な土質定数とした。また、浮き石混じり砂については文献⁷⁾を参考に値を設定した。基盤入力地震動波形については、文献⁸⁾を参考に最大加速度が350galになるように補正した、釧路沖地震における基盤入力地震動波形データを使用した。

以上の値を使用して作成した解析モデルは、原地盤モデル (model-1)、下水道管埋設の埋め戻し砂を考慮したモデル (model-2) の2種類を設定した。解析手法については、過剰間隙水圧の発生・消散を考慮したFEM解析を用いた⁹⁾。解析に用いた2次元有限要素メッシュをFig.6に示す。今回の解析では下水道管上部の要素9 (0.5~1.5m)、要素15 (1.5~2.5m)、要素21 (2.5~3.0m)、要素27 (3.0~4.0m)、要素33 (4.0~5.0m)と、その要素に隣接する要素8、要素14、要素20、要素26、要素32における過剰間隙水圧比について考察する。

(2) 解析結果および考察

model-1, model-2の解析結果をFig.7, Fig.8に示す。model-1の解析結果より、原地盤で液状化が発生するのは、深さ1.5m~3.0mと下水道管が埋設されている4.0m~5.0mの層であると考えられる。つぎに、model-2における解析では、深さ0.5mから下水道管が埋設されている5.0mまでの埋め戻し砂全体の層において液状化が発生すると考えられる。また、下水道管埋設の埋め戻しを行った地盤要素と、埋め戻しを行った要素に隣接する原地盤要素における過剰間隙水圧比を比較すると、明らかに埋め戻しを行った要素の方が過剰間隙水圧比の上昇の速度が速く、また、液状化が発生しやすいことがわかる。このことより、下水道管埋設の埋め戻し砂が激しく液状化したことが明らかになり、マンホールの浮上や管路埋設位置の地盤沈下などが、埋め戻し砂の液状化によって生じたものであると考えられる。ここで、この解析地点にマンホールが埋設されたとし、液状化によるマンホールの浮上量を計算した結果をFig.9に示す。マンホールの浮上量計算に際しては、文献¹⁰⁾による

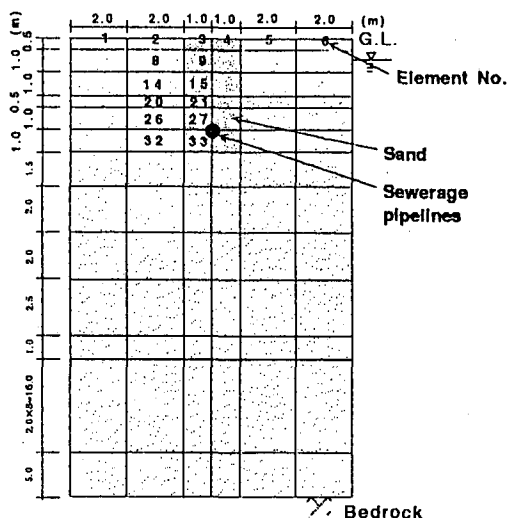


Fig. 6 2-dimensional FEM model

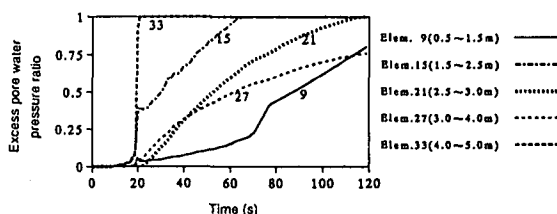


Fig. 7 Time histories of excess pore water pressure ratio (model-1)

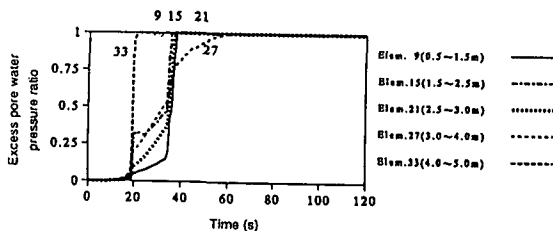
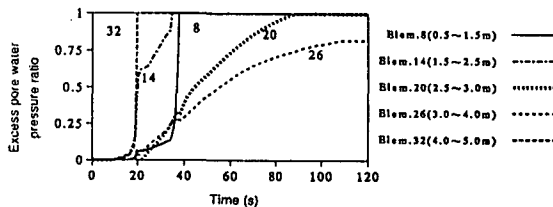


Fig. 8 Time histories of excess pore water pressure ratio (model-2)

地震時浮き上がり安全率 F_s を用いて、 F_s が1.0未満の時マンホールが浮き上がると仮定し、マンホールの浮上力と浮き上がりの抵抗力が釣り合う深度を逆算したものをを用いている。実際のマンホールの抜け上がり量は10～50cmであることから、実際の被害と計算結果の対応は概ね良好であると考えられる。また、Fig.3による液状化予測とmodel-1の解析結果を比較すると液状化層はほぼ一致している。

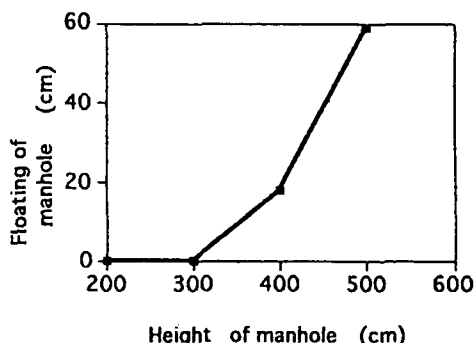


Fig. 9 Calculated floating of manhole at Shinkawakami-chou

5. 結論

以上の解析結果より、下水道管埋設地盤の沈下、およびマンホールの浮上の原因としては、マンホール、下水道管埋設の際の埋め戻し砂が液状化したためであると考えられる。その理由としては、埋め戻し砂の N 値が小さかったこと、地下水位が浅かったこと、埋め戻し砂の側面及び下面は泥炭層、粘性土層のため難透水性であり、上面はアスファルト舗装で覆われているため非排水条件に近かったこと、埋め戻し砂の周辺は非常に軟弱な泥炭層で囲まれているため、地震時に埋め戻し砂のせん断ひずみが大きくなったこと、などが考えられる。今回広範囲に渡って下水道管路が被災したことを考えると、他地域においても管渠を含めた下水道管路施設における液状化対策を講じる必要があると考えられる。

謝辞

被災直後の現地調査にもかわらず、被害状況について多くの資料を頂きました標津町の関係各位に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 北浦勝・宮島昌克・池本敏和・吉田雅穂：1994年10月4日北海道東方沖地震調査速報，1994.11.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書，同解説V耐震設計編，p.34，38，42，114，1990.
- 3) 土質工学会：土質工学ハンドブック，pp.68～70,1982.
- 4) 田中修司・塩路勝久・大塚久哲・宮嘉朗・松尾修・古関潤一：釧路沖地震により浮上した下水道マンホールの調査，土木研究所資料，第3275号，1994.4.
- 5) 能登繁幸・神谷光彦：2. 北海道の土質2. 北海道の泥炭地盤，土と基礎，37-9 (380)，pp.20～23，1989.9.
- 6) 三田地利之・池浦勲：北海道の土質工学的特徴，土と基礎，37-9 (380)，pp.3～6，1989.9.
- 7) 若松幹男・近藤務：2. 北海道の土質3. 北海道の火山灰質土，土と基礎，37-9 (380)，pp.24～29，1989.9.
- 8) 森伸一郎・三輪滋・沼田淳紀：1994年北海道東方沖地震による標津町下水道管路の被害と復旧工事に関する検討書，1994.10.
- 9) Masaru KITaura, Masakatsu MIYAJIMA and Hiroshi SUZUKI: Response analysis of buried pipelines considering rise of ground water table in liquefaction processes, Structural Eng/Earthquake Eng. Vol.4., No.1, 147s-154s. April 1987 (Proc. of JSCE No.380/I-7).
- 10) 日本道路協会：共同溝設計指針，pp.64～68，1986.