

雪国における道路の消融雪施設の安全性に関する研究

- 2004年新潟県中越地震における小千谷市について -

Study on safety of buried snow melt pipes system on the road in heavy snow fall area

- In case of Ojiya city of the 2004 Niigata-ken chuetsuoki earthquake -

池本敏和*, 宮島昌克**, 北浦 勝**, 村田 晶*

Toshikazu Ikemoto, Masakatsu Miyajima, Masaru Kitaura, Akira Murata

* 博士(工学), 金沢大学助教, 理工学域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

** 工学博士, 金沢大学教授, 理工学域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

This study aims safety of a buried snow melt pipeline covered by concrete box on the surface road in heavy snow fall area. In the center part of Ojiya city, there were a few kind of damage to the snow melt system of the 2004 Niigata-ken chuetsuoki earthquake. We investigated a relation the geological soil conditions to the damage ratio for each damage types. It is also discussed that the damage pipes were related to the damaged location of waste water system. We carried out experimental study of real snow melt pipes covered by concrete box used from 1976. We also conducted to collapse shape and collapse loading value for the specimen. Moreover, the model can be applied to the experimental data by using the rigid body spring model. The results of the experimental and numerical method show a similar tendency with the damage distribution.

Key Words : *buried snow melt pipe, damage ratio for soil types, 2004 Niigata-ken Chuetsuoki earthquake, rigid body spring model*

キーワード : *消融雪パイプ, 土質別の被害率, 2004年新潟県中越地震, 剛体バネモデル*

1. はじめに

2004年10月23日に発生した新潟県中越地震では, 消融雪管や流雪溝に被害が生じた。消融雪管が埋設されている地域での地震災害の事例はほとんどなく, 地中埋設管としてはガスや電気, 水道などの被害状況の把握および復旧に目が向けられがちであった。しかしながら, 地震による消融雪管についての研究は過去ほとんど行われておらず, 消融雪管の耐震性は低い現状がある。新潟県中越地震が発生した地域は特別豪雪地帯であり, 消融雪管の破壊による社会への影響が数多く報告された¹⁾。例えば, 被害状況や復旧のめどが立たないうちに積雪による交通網の閉塞や交通渋滞などが多発した。さらに主要交通網は自動車であり, 物流の停止や病院への緊急搬送が不可能になるなど, 生活全般への障害が発生した。これらは社会システムにおける大きな安全問題である。

そこで本研究では, 新潟県中越地震で大破した新潟県

小千谷市の現地踏査から消融雪管被害状況のGISデータを作成, それをもとに地震時に消融雪管の破壊に影響を与える要因について検討を行った。このとき, 消融雪管と下水管の位置関係が被害に与える影響についても考察した。3.では, 同型の消融雪管保護用の現場打ち無筋コンクリートを供試体として曲げ実験を行った。4.では, 離散化極限解析法を用いた解析結果と曲げ実験の結果とを比較し, 実験結果について検討を行う。さらに, コンクリートの劣化によるヤング係数とせん断強度の低下を考慮し, 老朽化による破壊荷重の変化について検討する。

2. 消融雪管被害

2.1 消融雪管被害と地質分布

消融雪管の被害に影響していると主な要因として以下の4つが考えられる。

(1) 埋設地点の地質分布(地質年代)

- (2) 消融雪管の供用年数
- (3) 消融雪管と下水管の位置関係
- (4) 消融雪管へのトラック，除雪車の荷重

これらの要因を中心に消融雪管被害を分析し，被害との関係性について検討した．小千谷市には信濃川が流れれており，市街地の大部分は氾濫原に位置している．したがって，地表の地質としては，新生代のものが分布している．堆積時期の新しい順に分類すると，完新世の氾濫原堆積物(a層)，完新世の最低位段丘堆積物(t_g層)，更新世の海成シルト砂層(U層)，鮮新世の和南津層(w層)となる²⁾．

小千谷市の地質分布図(図1)と消融雪管被害を示すGISデータ(図1)を重ね合わせることによって地質年代と消融雪管被害の関係について分析を行った．同図より，最も新しい完新世の堆積物である氾濫原堆積物と最低位段丘堆積物が表面に分布している地点において消融雪管被害が多く発生していることがわかった．この原因としては，完新世の堆積物は堆積している期間が約1万年と短いため，粒子同士が完全に固結していないことが考えられる．このような地質では地盤支持力の弱いことが考えられる．このことは，消融雪管の破損地点において地盤の液状化が発生している地点が多々見られたことから推測される．また，消融雪管被害は最低位段丘堆積物の分布地点において最も多く発生していることがわかる．さらに，氾濫原堆積物と最低位段丘物の境目において被害が集中している．氾濫原堆積層よりも最低位段丘層にて消融雪管被害が多く発生していることがわかる．これは，小千谷市の中心市街地には最低位段丘層が広く分布していることが原因であると考えられる．

次に，被害形態と地質年代の関係について分析を行った．結果を表1から表6に示す．管路延長あたりの消融雪管の被害率を以下の式を用いて算出した．

$$\text{被害率(箇所/km)} = \frac{\text{被害数}}{\text{敷設延長}} \dots (1)$$

地質年代別の被害の結果を表1に示す．最低位段丘堆積物は氾濫原堆積物の約3.5倍の敷設延長を有している．したがって，消融雪管の被害率を算出すると氾濫原堆積物が分布している地点の方が最低位段丘堆積物の分布している地点よりも高い．小千谷市の中心部で最も新しい新生代完新世の氾濫原堆積物の分布地点において消融雪管被害が最も発生しやすいと考えられる．

次に，破壊形態別の被害率の算出

を行った．これらの結果を表2から表6に示す．管体破損及び接続部破損は，氾濫原堆積物が分布している地点の被害率が最も高く，吹き出し部，バルブ部，その他の破損は最低位段丘堆積物が分布している地点の被害率が高い傾向にある．このことより，管体破損と接続部破損の発生率は氾濫原堆積物が分布している地点の方が最低位段丘堆積物の分布している地点よりも高く，地中に埋設されている導水管の被害率は氾濫原堆積物において高いといえる．

2-2 下水管に隣接する消融雪管の被害率

2004年新潟県中越地震では，写真1のような被害箇所が多数見られた．下水管が消融雪管に並行して埋設されている地点では，下水管の埋め戻し土が液状化するために地盤が沈下する．これによって道路舗装アスファルト上の消融雪管保護用コンクリートとの間に隙間ができ(写真1の楕円範囲)，消融雪管保護用コンクリートが破損したところもあった．

そこで，新潟県中越地震での下水管被害のGISデータと消融雪管被害のGISデータを重ね合わせることで，下水管と消融雪管の被害の比較を行った．そのGISデータは紙幅の都合上，割愛せざるを得なかった．消融雪管体と下水管の被害が同位置で発生している地点は消融雪管被害数全体の約3割にあたることがわかった(表7)．また，氾濫原堆積物が分布している地点にて下水管と同位置で消融雪管破損が最も多く生じていることがわかった．最も新しい氾濫原堆積物の粒子間の固結が弱く，液状化が発生しやすいことが原因として考えられる．下水管と消融雪管が同位置で破損している地点数は29箇所であるが，その内の26箇所の被害形態は管体破損と接続部破

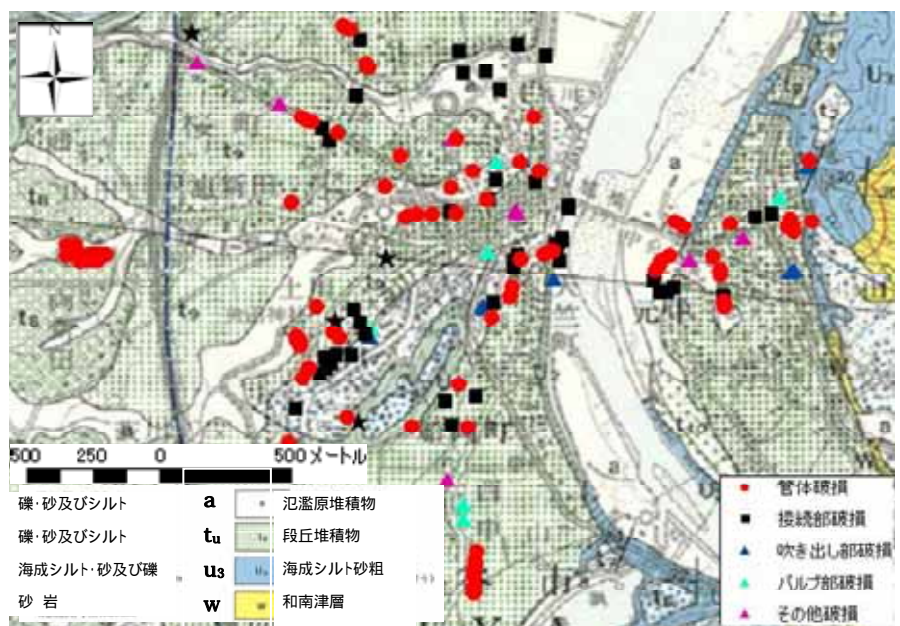


図1 小千谷市中心部の消融雪管被害と地質年代の関係

表1 地質年代別の被害率

| 地質 | 延長 (km) | 被害箇所数 (箇所) | 被害率 (箇所/km) |
|------------------------------------|---------|------------|-------------|
| a: 沓瀬原堆積物 (礫・砂・シルト) | 14.66 | 51 | 3.48 |
| t _g : 段丘堆積物 (礫・砂・シルト) | 51.32 | 76 | 1.48 |
| U ₃ : 海成シルト砂 (砂・非海成シルト) | 3.67 | 3 | 0.82 |
| S: 和南津層 (砂) | 1.83 | 0 | 0.00 |
| その他 | 1.83 | 0 | 0.00 |
| 全体 | 73.32 | 130 | 1.77 |

表2 管体破損の被害率

| 管体破損 | 延長 (km) | 被害箇所数 (箇所) | 被害率 (箇所/km) |
|------------------------------------|---------|------------|-------------|
| a: 沓瀬原堆積物 (礫・砂・シルト) | 14.66 | 29 | 1.98 |
| t _g : 段丘堆積物 (礫・砂・シルト) | 51.32 | 38 | 0.74 |
| U ₃ : 海成シルト砂 (砂・非海成シルト) | 3.67 | 2 | 0.54 |
| S: 和南津層 (砂) | 1.83 | 0 | 0.00 |
| その他 | 1.83 | 0 | 0.00 |
| 全体 | 73.32 | 69 | 0.94 |

表3 接続部破損の被害率

| 接続部破損 | 延長 (km) | 被害箇所数 (箇所) | 被害率 (箇所/km) |
|------------------------------------|---------|------------|-------------|
| a: 沓瀬原堆積物 (礫・砂・シルト) | 14.66 | 18 | 1.23 |
| t _g : 段丘堆積物 (礫・砂・シルト) | 51.32 | 22 | 0.43 |
| U ₃ : 海成シルト砂 (砂・非海成シルト) | 3.67 | 0 | 0.00 |
| S: 和南津層 (砂) | 1.83 | 0 | 0.00 |
| その他 | 1.83 | 0 | 0.00 |
| 全体 | 11.33 | 40 | 3.53 |

表4 吹き出し部破損の被害率

| 吹き出し部破損 | 延長 (km) | 被害箇所数 (箇所) | 被害率 (箇所/km) |
|------------------------------------|---------|------------|-------------|
| a: 沓瀬原堆積物 (礫・砂・シルト) | 14.66 | 2 | 0.14 |
| t _g : 段丘堆積物 (礫・砂・シルト) | 51.32 | 5 | 0.10 |
| U ₃ : 海成シルト砂 (砂・非海成シルト) | 3.67 | 1 | 0.27 |
| S: 和南津層 (砂) | 1.83 | 0 | 0.00 |
| その他 | 1.83 | 0 | 0.00 |
| 全体 | 73.32 | 8 | 0.11 |

表5 バルブ破損の被害率

| バルブ部破損 | 延長 (km) | 被害箇所数 (箇所) | 被害率 (箇所/km) |
|------------------------------------|---------|------------|-------------|
| a: 沓瀬原堆積物 (礫・砂・シルト) | 14.66 | 1 | 0.07 |
| t _g : 段丘堆積物 (礫・砂・シルト) | 51.32 | 5 | 0.10 |
| U ₃ : 海成シルト砂 (砂・非海成シルト) | 3.67 | 0 | 0.00 |
| S: 和南津層 (砂) | 1.83 | 0 | 0.00 |
| その他 | 1.83 | 0 | 0.00 |
| 全体 | 73.32 | 6 | 0.08 |

表6 その他破損の被害率

| その他の破損 | 延長 (km) | 被害箇所数 (箇所) | 被害率 (箇所/km) |
|------------------------------------|---------|------------|-------------|
| a: 沓瀬原堆積物 (礫・砂・シルト) | 14.66 | 1 | 0.07 |
| t _g : 段丘堆積物 (礫・砂・シルト) | 51.32 | 6 | 0.12 |
| U ₃ : 海成シルト砂 (砂・非海成シルト) | 3.67 | 0 | 0.00 |
| S: 和南津層 (砂) | 1.83 | 0 | 0.00 |
| その他 | 1.83 | 0 | 0.00 |
| 全体 | 73.32 | 7 | 0.10 |

損である。また、管体破損は 29 箇所中の 20 箇所が発生しており、全体の約 7 割であることがわかった。消融雪管保護用コンクリートで覆われて地中に埋設されている消融雪管体及び接続部の被害数が多い。この原因は、下水管の埋め戻し土の沈下の影響を受けて、消融雪管保護用コンクリートが曲げを受けて消融雪管保護用コンクリート及び、埋設されている消融雪管体、接続部が破損していると考えられる。



写真1 下水管の埋め戻し土の液状化による隙間の形成

表7 消融雪の管体破損と下水管被害との関係

| 管体破損 | 総数 (箇所) | 下水管と消雪管が同位置で破損している地点数 (箇所) | 割合 (%) |
|-----------------------------------|---------|----------------------------|--------|
| a: 沓瀬原堆積物(礫・砂・シルト) | 29 | 15 | 52 |
| t _g : 段丘堆積物(礫・砂・シルト) | 38 | 5 | 13 |
| U ₃ : 海成シルト砂(砂・非海成シルト) | 2 | 0 | 0 |
| 計 | 69 | 20 | 29 |

3. 消融雪管保護用のための現場打ち無筋コンクリートの曲げ実験

ここでは図2のような現象を想定し、地震後の除雪車やトラック等の荷重による消融雪管の曲げ破壊について

(信濃川堤防内の面積は除く.)

検証するための実験を行った。本実験の目的としては、地震後に発生した消融雪管が、どの程度の荷重で消融雪管コンクリートに影響があるのかを、実際に埋設されていた消融雪管保護用無筋コンクリートの曲げ実験から検証することである。

本実験に使用した供試体は、一般県道に昭和 51 年 11 月に埋設されたものの一部である。隙間を想定するために供試体を支える支承の間隔を 180(cm)とした。実験概要図を図3に示す。実験は手動の油圧ポンプ(RIKEN 製 P-7C)によって供試体に荷重を作用させ、供試体が崩落するまで行った。また、1点(図中の点)に荷重計(株東京測定器研究所製 SDP-50BS)を、6点(図中の から点)にひずみゲージ(株東京測定器研究所製 FLM30-11)を、3点(図中の から点)に変位計(株東京測定器研究所製 SDP-50BS)を設置し、それらをアンプ(KEYENCE コーポレーション製 NR-ST04, KEYENCE コーポレーション製 NR-500)にて測定を行った。想定する荷重はトラックや除雪車の輪荷重であるため、2つの載荷点の幅をコンクリート標準示方書に記載されている3等分載荷とはせず、タイヤを想定した20(cm)とした。さらに、荷重の載荷速度についてもコンクリート標準示方書に記載されている速度よりも速い、0.4~0.5(cm/s)で行った。

消融雪管保護用コンクリートの曲げ実験によって得られ荷重計の時間変化を図4に、変位計の時間変化を図5に、ひずみの時間変化を図6に示す。実験開始90秒後に写真2に示すようにコンクリートの中央付近にひびが入り、最大荷重53.2(kN)を記録した。その後さらに荷重をかけ続けると、560秒後に写真3のようにコンクリートは完全に破断した。

次に、変位計の時間変化に注目する。理論的には、変位計の変位が最も大きく、変位計と変位計が同程

度の値になる予定であったが、得られた実験の変位計と変位計の変位量は同程度である。さらにひずみに注目すると、ひずみゲージと、と、とはコンクリートの圧縮側と引張側の対称位置にある。このペアでは、最大荷重を記録した90秒までの記録は上下対称となる。しかし、と以外のペアは対称となっていない。図6ではひずみの単位が 10^{-6} と極めて微小であり、供試体断面のばらつきや不均質性などを原因と考えられる。また、は載荷点から10(cm)しか離れていなかったため、荷重の影響を受けたと考えられる。

構造力学の理論に基づいて算出した許容最大荷重値は142.3(kN)であったが、実験では53.2(kN)の荷重で供試体は破壊に至った³⁻⁵⁾。この値は予測よりも相当に小さな荷重値であり、コンクリートの老朽化が考えられる。供試体の供用年数は約30年間であった。また、供試体の施工性に問題があったことが推測される。供試体の舗装面以外は粗骨材がむき出しの部分が多く(写真4)、一部の粗骨材は手で容易に剥がすことが可能であった。また、供試体のコンクリートは現場で打たれ、長辺が20(cm)以上の大きさの粗骨材が集中している部分や、指先ほどの大きさの粗骨材しかない部分が存在していた。このことも、予想値より小さな値で供試体が壊れた原因であると考えられる。

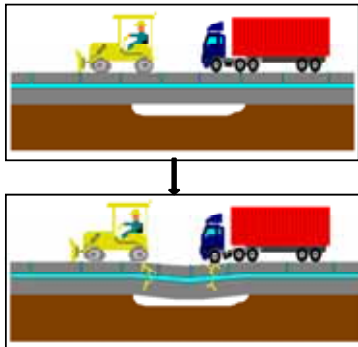


図2 消融雪管への鉛直荷重作用による被害図



写真2 実験90秒



写真3 実験560秒後



写真4 コンクリート表面



写真5 圧縮強度試験

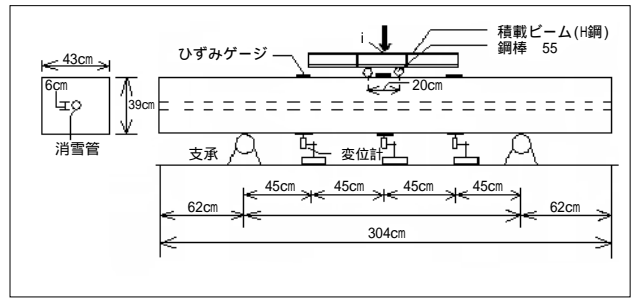


図3 曲げ実験概要図

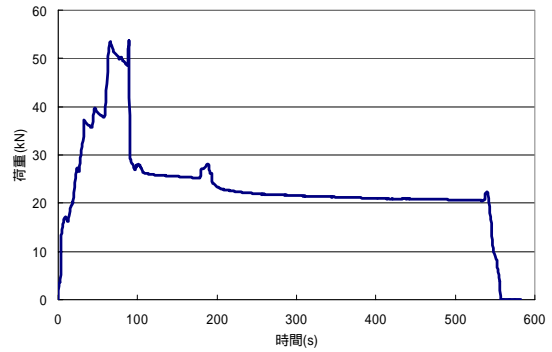


図4 荷重計の時間変化

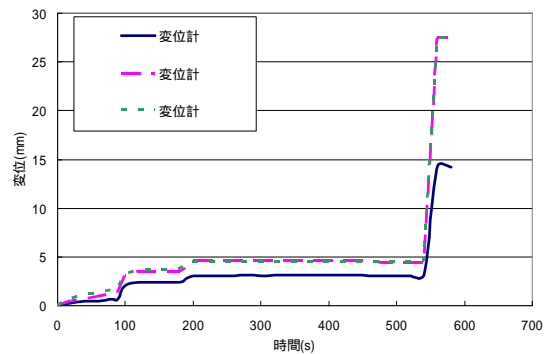


図5 変位計の時間変化

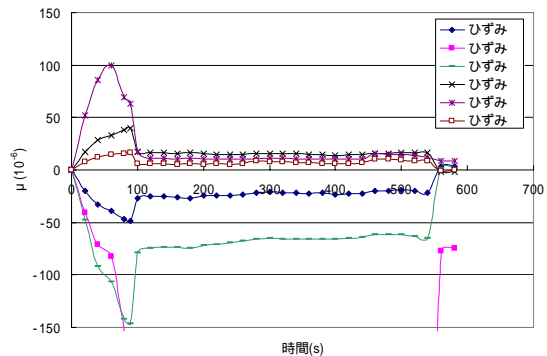


図6 ひずみの時間変化

以上の結果より、30年以上前に施工された消融雪管は地震で管下に隙間ができた場合には、除雪車やトラックなどの輪荷重によって破壊する可能性が高いと考えられる。現在施工されている道路構造令(昭和45年政令第320号)⁶⁾によると、道路および側帯の舗装はその設計に用いる自動車の輪荷重の49(kN)と定められている。今回得られた破壊荷重の53.2(kN)と比較して、差が無いことが判明した。また、除雪車(約11tf)や、8トン貨物トラック

の衝撃を考慮した場合の後輪一輪荷重の値はそれぞれ 110(kN)と, 77(kN)¹³⁾である。したがって, 走行による衝撃を考慮した場合, 供試体の破壊荷重よりも大きな荷重がコンクリートと消融雪管に作用することがわかる。以上のことより, 2004 年の中越地震で被害が報告された地震後の消融雪管の破壊の原因のひとつとして, トラックや除雪車の輪荷重が考えられる。



写真 6 内部管のサビ状況

4. 離散化極限解析

消融雪管保護用の無筋コンクリート実験を離散化極限解析で解析をするにあたり, 本実験の供試体のデータを入力する。圧縮試験の供試体は, 曲げ実験に使用した供試体から円柱型のコンクリートコアを抜き出したものである(写真 5), 実験結果は 3 供試体の平均値であり, 圧縮応力は 44.9(N/mm²)であった。

解析では, 供試体をいくつかの三角形に分割する必要がある。さらに, ヤング係数, ポアソン比, せん断強度, 内部摩擦角を用いて解析を行った(表 8)。図 7 に解析モデル(左右対象であり, 左部分のみを表した)の一例を示す。したがって荷重は 2 倍作用していることになる。

本研究では供試体の管体は写真 6 のように相当にさびており, 指の力でも簡単に剥がせることから, この部分の強度はほとんどないと考え, 消融雪管保護用コンクリート断面として解析を行う。

解析モデルの各荷重増分段階の破壊線を図 8 に示す。同図より, 消融雪管保護用コンクリートの中央部分のばねが降伏し, 供試体の崩壊に至った。このモデルでは崩壊機構条件に達した時点で解析が終了している。したがって, 算出された崩壊荷重と曲げ実験で得られた崩壊荷重との関係(表 9)を知ることができる。消融雪管保護用コンクリートの曲げ実験で得られた崩壊荷重は 53.2(kN)であり, 解析モデルの崩壊荷重は 40.6 ~ 61.2(kN)の範囲にある。また, 消融雪管保護用コンクリートの曲げ実験で得られた破壊線(図 9)は, 解析モデルの破壊線とほぼ合致している。

以上の結果より, 消融雪管の下に隙間ができた状況で, 除雪車及びトラックの輪荷重が作用して破壊に至る解析を行うことができた。対策としては, 沈下による空隙をなくすか, 消融雪管保護用コンクリートの下部に鉄筋入れて曲げ破壊強度を上げる対策が有効であると考えられる。

離散化極限解析のプログラムを用いて, 消融雪管保護用コンクリートの老朽化による影響について解析を行った。老朽化を表現する入力データとして, ヤング係数とせん断強度を変化させる。消融雪管保護用コンクリートの圧縮試験結果からヤング係数及びせん断強度の推測が可能である(せん断強度は圧縮強度の 1/4 ~ 1/6 とした⁸⁾)。

表 8 コンクリートデータの緒元

| | |
|-------|--------------------------|
| ヤング係数 | 32 (kN/mm ²) |
| ポアソン比 | 0.2 |
| せん断強度 | 9.3 (N/mm ²) |
| 内部摩擦角 | 25(°) |

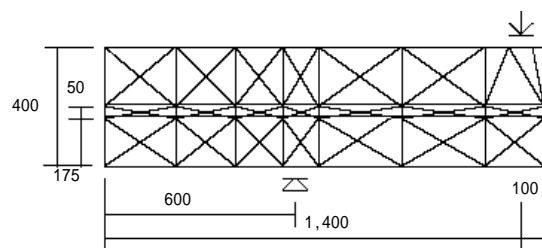


図 7 解析モデルの一例 (単位: mm)

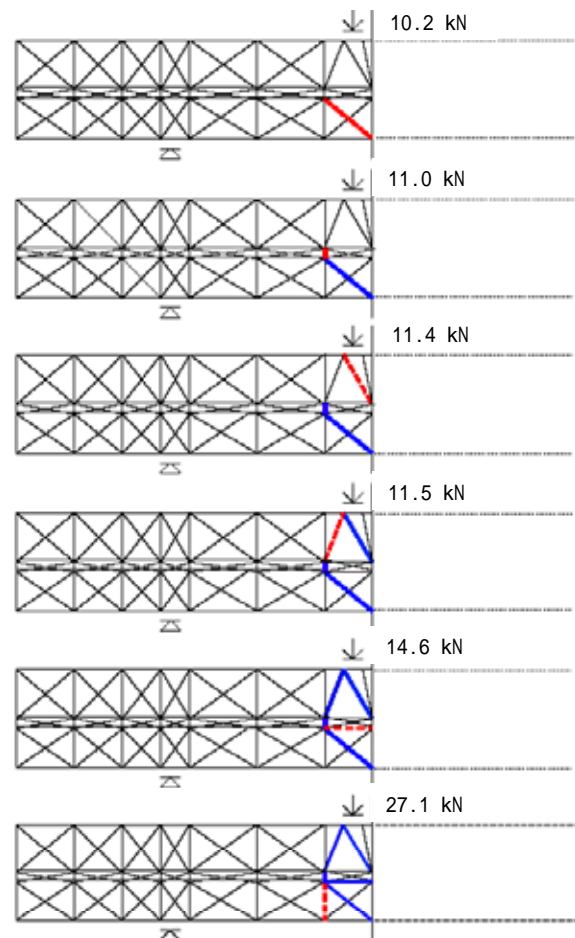


図 8 解析モデルの破壊形態



図9 消融雪管保護用コンクリートの曲げ実験の破壊

表9 曲げ崩壊荷重

| モデル | 曲げ実験結果 |
|-----------|-----------|
| 54.2 (kN) | 53.2 (kN) |

表10 老朽化の解析パターン

| | パターン1 | パターン2 | パターン3 | パターン4 | 供試体 | パターン5 | パターン6 | パターン7 | パターン8 |
|----------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|----------|-------|-----------|---------|
| 圧縮強度(N/mm ²) | 18 | 24 | 30 | 40 | 44 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| ヤング係数(kN/mm ²) | 22 | 25 | 28 | 31 | 32 | 33 | 35 | 37 | 38 |
| せん断強度(N/mm ²) | 3~4.5 | 4~6 | 5~7.5 | 6.7~10 | 7.3~11 | 8.3~12.5 | 10~15 | 11.7~17.5 | 13.3~20 |

表11 圧縮強度と崩壊荷重の関係

| | パターン1 | パターン2 | パターン3 | パターン4 | 供試体 | パターン5 | パターン6 | パターン7 | パターン8 |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|--------|
| 圧縮強度(N/mm ²) | 18 | 24 | 30 | 40 | 44 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| 崩壊荷重(kN) | 17~25 | 22~33 | 27~41 | 36~55 | 53 | 45~68 | 55~65 | 64~96 | 73~109 |

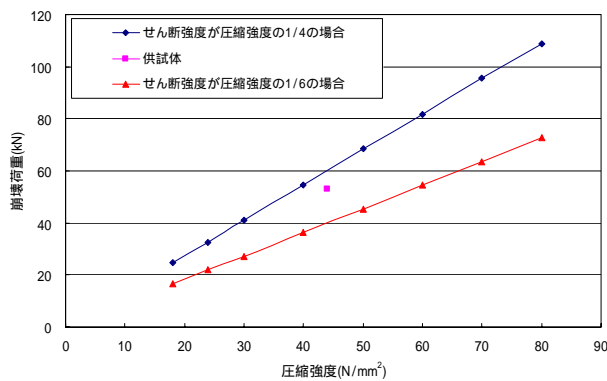


図10 圧縮強度と崩壊荷重の関係

圧縮強度の変化を表10に示す。圧縮強度の最低値は、土木構造物に使用されているコンクリートの設計強度の最低値18(N/mm²)を用いた⁹⁾。解析パターンをパターン1からパターン8とし、解析モデルに数値を代入して解析を行った。結果を表11に示す(供試体は曲げ実験結果)。また、圧縮強度と崩壊荷重の結果を図11に示す。圧縮強度と崩壊荷重はほぼ比例関係にあることがわかった。

5. まとめ

本研究では、新潟県中越地震で破損した消融雪管被害状況を表すGISデータを作成し、それをもとに被害発生状況の分析や、現地調査結果から地震時に消融雪管が破損の原因を考察した。

2.では、最も新しい地層である氾濫原堆積物において被害率が高いことがわかった。下水管の埋め戻し土の液状化が消融雪管被害に影響していることが判明した。このことから、マンホールや地中埋設管の浮き上がり防止目的だけでなく、消融雪管への影響をなくすためにも下水管の埋め戻し土の液状化対策が必要であると考えられる。

3.では、消融雪管の曲げ破壊について検証するための

実験を行った。埋設期間が約30年であり、消融雪管保護用コンクリートおよび、消融雪管の老朽化が予想以上に進行していたことが考えられる。

4.では、消融雪管保護用コンクリートの破壊に至るまでを離散化極限解析プログラムを用いてシミュレートした。また、消融雪管保護用コンクリートの老朽化による破壊荷重の影響を検討し、消融雪管保護用コンクリートの圧縮強度が84(N/mm²)以上必要であることが明らかになった。

謝辞

本研究を実施するにあたり、本学元学生の小原英人君(現:福井市役所)にご協力いただきました。また、貴重な資料をいただきました小千谷市役所の克雪係ならびに供試体をいただいた関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 地盤工学会新潟県中越地震調査委員会幹事会:新潟県中越地震の地盤災害に関わる社会への提言案, p.6, 2005.
- 2) 柳沢幸夫, 小林巖雄, 竹下圭史, 立石雅昭, 茅原一也, 加藤碩一:5万分の1地質図幅「小千谷市」地質調査所 地質調査総合センター, <http://www.gsj.jp/jishin/chuetsu1023/inyou.txt.html>
- 3) 崎元達郎:構造力学(上), 森北出版社株式会社, p.117, 1991.
- 4) 後藤幸正, 尾坂芳夫, 鈴木基行:新訂第三版コンクリート工学()設計, 国社, pp.41-42, 1993.
- 5) 財団法人日本規格協会, 社団法人土木学会:2005年制定コンクリート標準仕方書, p.376, 2005.
- 6) 国土交通省:車道及び側帯の舗装の構造の基準に関する省令について, <http://www.mlit.go.jp/road/sign/pavement.html>
- 7) 川井忠彦, 竹内則雄:コンピュータによる極限解析法シリーズ2 離散化極限解析プログラミング, 培風館, p.2, p.56, pp.120-143, 1990.
- 8) 田澤栄一:エース コンクリート工学, 朝倉書店, p.88, 2002.
- 9) 石川県:土木構造物のコンクリートに関する資料, http://www.pref.ishikawa.jp/gijyutsu/co_siryou.htm (2008年8月22日受付)