

(別紙 1)

(1) 研究課題名：ライフライン地中埋設管の経済的・効果的な液状化対策技術の開発

(2) 研究期間（元号）：平成 24 年-平成 24 年

(3) 代表者名：東畑郁生（東京大学大学院工学系研究科）

(4) 研究代表者名：東畑郁生（東京大学大学院工学系研究科）

(5) 共同研究者名：内村太郎（東京大学大学院工学系研究科）
古関潤一（東京大学生産技術研究所）
桑野玲子（東京大学生産技術研究所）

(6) 補助金交付総額（円）：18,980,000

(7) 研究・技術開発の目的：

既設地中埋設管の液状化対策と老朽化対策を兼ねた非開削での対策と、今回の地震で液状化被害を受けたライフライン地中埋設管の将来の液状化対策を兼ねた復旧を、それぞれ経済的・効果的に実施できる技術を開発することを目標とする。既設埋設管の対策として、埋め戻し土への薬液注入と老朽化防止シースの管への挿入を利用した技術を開発する。また復旧時の対策として、リサイクル埋め戻し材料の利用と管の変位防止治具の設置による技術を開発する。

(8) 研究・技術開発の内容と成果：

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震に起因する大都市のライフライン施設の被害は深刻であり、特に東京湾岸では震災後の復興に際して困難に直面する結果となった。マンホールや管路の大きな浮き上がりが広域で確認され、管路の流下勾配が変化し問題となった。さらに、液状化した土砂が管破損部から流れ込み管内を閉塞した。管内の土砂の清掃には時間と費用がかかり、迅速な復興を困難なものにした。

東北地方太平洋沖地震で発生したライフライン埋設管の被害箇所の本格的な復旧工事に加えて、今後予想される地震に対応して、新設、既設の埋設管の耐震性強化のニーズが高まっており、有効かつ低コストな工法の開発が求められる。

本研究では、上下水道などの埋設ライフラインの液状化対策を、既設の場合と、新設（あるいは地震被害の後の再設置）の場合に分けて、研究開発した。

1) ライフライン地中埋設管の新設、あるいは、液状化被害を受けた管を復旧する際に、リサイクル埋め戻し材料や管材と管形状を工夫して合理的な液状化対策も同時に実施できる技術を開発し、その効果を検証した。具体的な技術としては、環境に配慮したリサイクル埋め戻し材料の利用や、設計の観点から管の変位防止治具の設置を提案し、検証した。

リサイクル材料は、(1)廃ガラス粗粒材、(2)コンクリート再生骨材、(3)廃タイヤチップと砂の混合、(4)液状化噴砂のセメント固化改良物の 4 種類である。リサイクル材料を埋戻しに用いることで管路の液状化被害を軽減できることが立証された。この手法は、周辺原地盤が液状化する場合にも有効であるが、その場合には、リサイクル材料に夜埋め戻し部分そのものの密度が、周辺地盤と大きく異なる場合には、埋め戻し部分全体が沈下・浮上することが分かった。したがって、埋め戻し材料の密度に注意を払うことが重要である。

また、管の変位防止治具として、角の形状をした治具を埋設管上に設置する工法を提案し

た。治具の上端が道路の路床・路盤の下端に接するように設置することで、液状化中の埋設管に作用する浮き上がり力は棒部材を通して路床・路盤に直接伝達する。不飽和である表層が浮き上がり力に抵抗することで埋設管路の浮上抑制が可能となる。

管の変位防止治具に関しては、実測した結果をもとに、浮力に抵抗する地表部に一定の角度でのせん断破壊面を仮定し、そのせん断抵抗力と重力で管の浮き上がりを押さえ込むという仮定の下で、安全率の算定式を提案した。

2) 既設のライフライン地中埋設管に対して、非開削で埋め戻し地盤の液状化対策を行いながら、管の老朽化対策や交通荷重等に対する埋戻し土の強化も同時に実施できる技術を開発し、その効果を検証した。具体的な技術としては、管周辺への排水管の設置、管周辺埋め戻し土への薬液注入、老朽化防止シースの管への挿入を提案し、検証した。

排水管工法では、下水管路に沿って、一定間隔で排水管を地盤内に鉛直挿入する。地震時に発生する過剰間隙水圧の消散を促進することで、排水管周辺地盤の液状化発生を防止する。

薬液による地盤の固化改良は、構造物の直下に位置する軟弱な地盤を改良する目的で既に実用化されている。本研究では本工法を埋設ライフラインに適用し、液状化被害を軽減することを目的とした。薬液（コロイダルシリカ）の費用を抑えるため、少量の薬液を用いて十分な効果を得るために、効果的な注入方法と注入量の検討を行った。

老朽化防止シースの管への挿入は、液状化した土砂が継手破損部から管内に流入し、埋設管の断面が閉塞する問題への対策として、既設埋設管内にシース管を挿入する工法である。シース管は従来、老朽化した埋設管の機能延命に際して用いられる場合はあったが、この効果に加え、液状化時の土砂流入による管内閉塞を防止し、流下機能の確保も可能である。

3) ライフライン地中埋設管の新設、あるいは復旧のために、液状化しにくい材料で埋め戻す場合、その材料の地盤材料としての特性を把握しておく必要がある。特に、多くの埋設管が道路直下に設置されることが多いので、埋め戻し部分が多数回の繰り返し荷重を受けたときの、埋設管への応力負担を、模型実験で確かめた。また、各種材料（特にリサイクル材）の締固め、圧縮性、強度などの基本特性を、要素試験により把握した。

・ライフライン地中埋設管の新設、あるいは復旧のために、液状化しにくいリサイクル材料で埋め戻す場合について、埋め戻し部分が多数回の繰り返し交通荷重を受けたときの、埋設管への応力負担を、模型実験で確かめた。ゆる詰め地盤では、密詰め地盤に比べてたわみ性管に大きい応力が作用し、それに伴い大きな変位が発生した。特に、管頂部への応力集中が生じ、管の鉛直方向の作用応力が過大であった。

・一方、繰り返し荷重を行うと、ゆる詰め地盤の場合は埋設管の鉛直方向の作用応力が減少し水平方向の作用応力が増加する傾向が現れた。それに対して密詰め地盤では、鉛直および水平方向作用応力はほぼ一定かあるいは微増の傾向が現れた。管頂部のひずみは繰り返し荷重によってゆる詰め地盤では減少し密詰め地盤では増加する。

・ゆる詰め地盤では、管頂部に作用応力が集中し、管のたわみが大きい。管の変形には側方からの拘束が効果的であることから、管上部より管側部の改良を要することがわかった。

・各種材料（特にリサイクル材）の締固め、圧縮性、強度などの基本特性を、要素試験により把握した。リサイクル材料の残留ひずみは小さくであることから、いずれも埋戻しに適用可能であると考えられる。

(9) 研究成果の刊行に関する一覧表：刊行書籍又は雑誌名（雑誌の時は、雑誌名、巻数、論文名）、刊行年月日、刊行書店名、執筆者氏名

- Backfilling by recycled glass for mitigation of pipeline uplift during liquefaction
第9回地盤工学会関東支部発表会 2012年10月, Proceeding CD-ROM, Paper No. A0144
Masahide Otsubo, Liu Bangan, Toshihiko Hayashida, Minh Le'Ngoc, Gabriel Simi
Shigeru Goto, Ikuo Towhata

- An experimental study on development of effective and economical mitigations of damage in embedded pipelines during seismic liquefaction
5th Taiwan-Japan Joint Workshop on Geotechnical Hazards from Large Earthquakes and Heavy Rainfall, Tainan, Taiwan, SII-1, 2012年11月
Masahide Otsubo, Liu Bangan, Gabriel Simi, Minh Le'Ngoc, Toshihiko Hayashida, Shigeru Goto, Ikuo Towhata

- Protection of underground lifeline from seismic liquefaction problems
The 5th International Geotechnical Symposium-Inchon, 22-24, May, 2013
Ikuo Towhata, Masahide Otsubo, Taro Uchimura, Masato Shimura, Bangan Liu, Toshihiko Hayashida

- 埋設管路の液状化被害軽減に関する実験 -浮上防止治具の適用-
第48回地盤工学研究発表会 2013年7月（提出済）
大坪正英, Liu Bangan, 林田敏彦, 後藤茂, 東畑郁生

- 埋設管路の液状化被害軽減に関する実験-リサイクル材料による埋戻し-
第48回地盤工学研究発表会 2013年7月（提出済）
林田敏彦, 大坪正英, Liu Bangan, Minh Le' Ngoc, Gabriel Simi, 後藤茂, 東畑郁生

- 埋設管路の液状化被害軽減に関する実験 -薬液注入工法の利用-
第48回地盤工学研究発表会 2013年7月（提出済）
志村雅仁, 大坪正英, 内村太郎, 東畑郁生, 後藤茂

- Mitigation of liquefaction-induced damage on lifeline: Drainage pipe method
第48回地盤工学研究発表会 2013年7月（提出済）
Bangan Liu, Masahide Otsubo, Toshihiko Hayashida, Gabriel SIMI, Shigeru Goto, Ikuo Towhata

- シース管挿入による既設埋設管継手の耐震補強 ～液状化土砂の流入防止～
第68回土木学会年次学術講演会 2013年9月（提出済）
大坪正英, 林田敏彦, 志村雅仁, 東畑郁生

(10) 研究成果による知的財産権の出願・取得状況：知的財産の内容、種類、番号、出願年月日、取得年月日、権利者

現在、特許出願を準備中である。

(11) 成果の実用化の見通し：

本研究では、上下水道管などのライフライン地中埋設管の液状化対策手法として、既設の地中埋設管の液状化対策と老朽化対策を兼ねた非開削での対策と、地震で既に液状化被害を受けた地中埋設管の将来の液状化対策を兼ねた復旧を、それぞれ経済的・効果的に実施できる技術を開発した。埋め戻し土への薬液注入、老朽化防止シース管の挿入、リサイクル埋め戻し材料の利用、管の変位防止治具の設置、継ぎ手部へのシース管の挿入など、将来の実用化に結びつく技術を提案し、模型実験、材料実験に基づいてこれらの効果と妥当性を検証した。

この過程では、他大学、(独)土木研究所や、下水管の設計コンサルタント、薬液・地盤改良の施工業者などの研究者、技術者による委員会を定期的に設けて、実用化の視点からの助言のもとで研究を進めてきた。

研究期間の終了後も、提案した各工法について室内実験を継続し、検討を続けている。

現在、この中のいくつかの対策工法（薬液注入、）については、本研究の協力企業と共同で、特許出願の手続きを進めており、実現場での適用を目指した実用化研究を予定している。

(12) その他：