

平成22年 6月3日現在

研究種目： 基盤研究 (B)
 研究期間： 2007～2009
 課題番号： 19360210
 研究課題名 (和文) 地中埋設管のライフサイクルコスト低減のための埋設・更新・維持管理
 方法の提案
 研究課題名 (英文) Development of efficient construction, maintenance and renewal
 methods to reduce life cycle cost of buried pipes
 研究代表者
 桑野 玲子 (KUWANO REIKO)
 東京大学・生産技術研究所・准教授
 研究者番号： 80312974

研究成果の概要 (和文)：地中埋設管の長期間における挙動、および老朽化した埋設管を開削することなく内側からライニングを施して更新する手法の合理性について、模型実験を実施して検討した。ライニング管と既設管の受け持つ外力の分担について明らかにし、既設管の損傷度合や裏込土の密度を考慮したライニング設計の方針を示した。また、破損した埋設管から土砂が流出して生じる地盤内空洞の発生・進展メカニズムについて検討した。

研究成果の概要 (英文)：Trenchless renewal method for an old existing pipe, putting inner flexible lining without ground excavation, was mainly investigated. A series of laboratory model tests was conducted to examine effects of backfill soil condition and host pipe deterioration on the behavior of flexible liner of double-layered pipe by trenchless renewal. Mechanism of the formation and expansion of underground cavity due to the soil loss from the broken part of old deteriorated buried pipe was also studied.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	5,500,000	1,650,000	7,150,000
2008年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
総計	11,200,000	3,360,000	14,560,000

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 土木工学・地盤工学

キーワード： 土構造物、埋設管、維持管理、非開削更新

1. 研究開始当初の背景

(1) 社会的背景と研究の動機

人々の生活や都市の機能維持の根幹を成すライフライン等の社会基盤施設は、その多くが地中に埋設され、正常に稼働している限り人々の意識に上りにくい。しかし、戦後の高度成長期を中心に急速に整備が進んだ各

都市のインフラ施設は、30～50年超の供用期間を経て、適切な維持管理・更新が不可欠となっている。下水道管を例にとると、東京都において、戦前に敷設された約2000kmは既に法定耐用年数(50年)を超え、その後の建設状況からも今後大量の老朽管対策を余儀なくされている。一方、東京都区部下水道

の平均敷設年数と道路陥没の発生頻度（10kmあたり発生件数）は、下水管の破損等に伴う道路陥没件数は管の老朽度と明らかに相関があるといえる。別途行われた実態調査では、供用年数 20～25 年超で不具合が増加する傾向があることがわかり、対応が急がれている。

(2) 学術的背景

今後急速に増大する老朽管に伴う問題解決のためには、まず地中埋設管及びその周辺地盤の長期挙動を明らかにする必要があるものの、本問題に関する研究、実測等は国内外を通じてほとんど報告がなく、不明な部分が多い。一方近年、地中埋設管の更新方法として非開削で内部からライニングを施す種々の方法が開発され、経済性や道路上の機能に影響を及ぼさないという利点から採用実績が増加している。しかしながら、既設管—ライニング—周辺地盤の作用、荷重伝達メカニズムやその長期挙動については一層不明な点が多く、系統的な既往の研究もわずかしかないのが現状である。

2. 研究の目的

長期間埋設された地中埋設管の挙動、埋設管の老朽化に伴う諸問題、及びその効率的な更新方法について総合的に検討し、埋設管のライフサイクルコスト低減を目指した合理的な埋設、及び維持管理に資することを目的とする。

3. 研究の方法

研究の目的を達成するために、以下に示す具体的な検討を実施した。

(1) 埋設管及び埋設構造物の長期作用土圧の検討

室内土槽内のモデル地盤に管模型を埋設し、交通荷重に相当する繰返し載荷を施して、作用土圧や内空変位をモニタリングした。埋設管の挙動に対する地盤の密度の影響を検討した。

(2) 二層構造管の荷重伝達メカニズム及びその長期挙動の解明

二層構造管模型を土槽内のモデル地盤に埋設し、繰返し載荷、周辺掘削等を施した際の内空変位、作用土圧等を詳細に測定し、内部ライニングへの荷重伝達メカニズムを調べた。

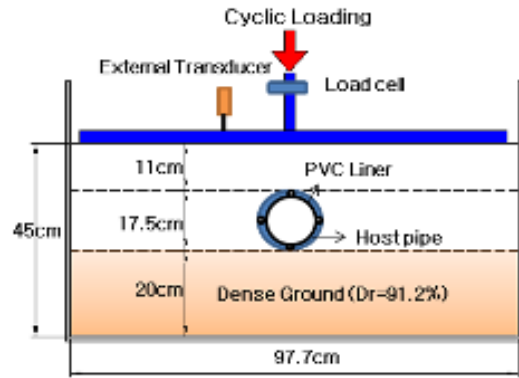


図1 二層構造管の土槽実験

(3) 地盤内空洞・ゆるみの発生メカニズムの解明

底面に開口部を設けた小型土槽を用いて、管の破損部からの土砂流出による空洞形成を模擬する実験を行い、管や埋設材の状態、地下水や降雨などの諸条件の空洞拡大速度に対する影響を調べた。また、土砂が亡失している顕著な空洞と周辺のゆるみの範囲の定量的な評価を試みた。

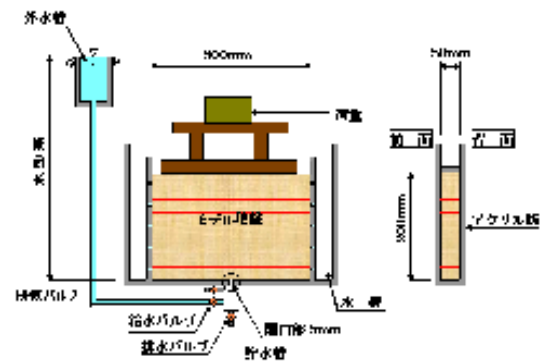


図2 管の破損部を模擬した開口部からの土砂流出による空洞生成・拡大の再現実験

4. 研究成果

本研究で得られた主な成果は以下のとおりである。

(1) 模型実験技術の構築

模型地盤内に埋設する模型管に作用する土圧を正確に計測するために、せん断力と垂直力を計測できる小型の二方向ロードセルを管周方向に8箇所設置した。また、模型実験における土槽サイズの影響を検討し、土槽壁と模型管には少なくとも模型管径の2倍以上の離隔を取る必要があることがわかった。

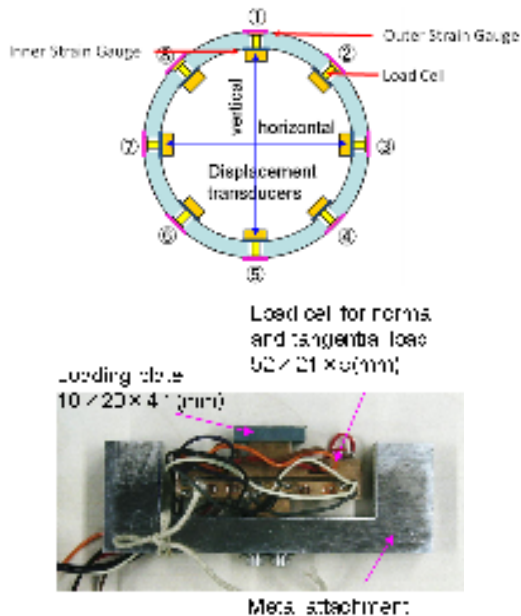


図3 埋設管への作用土圧を計測するための模型管と二方向小型ロードセル

(2) たわみ性埋設管の挙動における裏込め地盤の密度の影響の解明

ライニング管およびたわみ性管の挙動を詳細に把握するために、塩ビ管を単体で模型地盤に埋設し、裏込め地盤の密度や繰返し载荷の影響を調べた。

ゆる詰め地盤では、管頂部に応力集中が発生し管側部の裏込め地盤からの拘束も弱いため管は大きく変形した。交通荷重を想定した繰返し载荷を施すと繰返しに伴って管側部と管頂部に作用する土圧の比が徐々に増加し管周辺地盤内の応力の再分配が起こっている様子が確認された。

また、実際の管理設では必ずしも良好な締固めがされていないケースも想定されることから、管周辺地盤を部分的にゆる詰めにした実験を実施したところ、管側方部の締固めが特に重要であることがわかった。

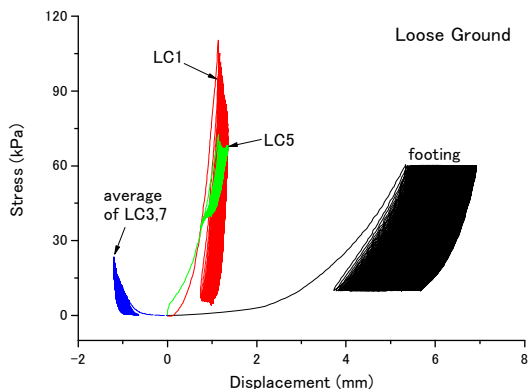


図4 模型管および載荷板上に作用する応力と変位の関係(ゆる詰め地盤、LC1:管頂、LC5:管底、LC3&7:管側)

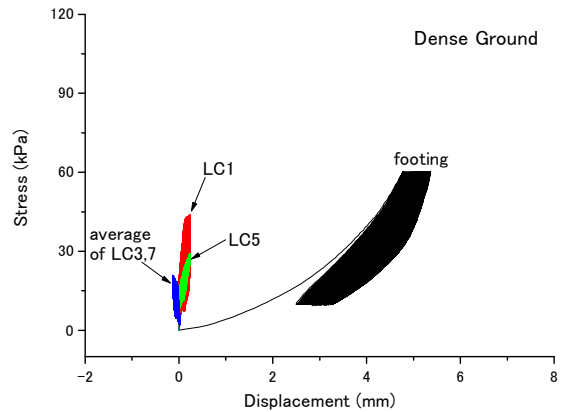


図5 模型管および載荷板上に作用する応力と変位の関係(密詰め地盤、LC1:管頂、LC5:管底、LC3&7:管側)

(3) 二層構造管における既設管と内部ライニングの外力分担の解明

老朽管を模した外側模型管とライニングを模した内側模型管で構成される二層構造管の模型実験を実施した。外管にはヒューマン管の損傷パターンとして最も典型的と考えられる4分割管および損傷が過度に進行した場合を想定した8分割管を用いた。実験の結果、二層構造管ではライニングの変形が外管によって全体的に拘束される一方で、ライニングの変形を抑制する働きをする側方からの地盤反力が直接伝わりにくいことがわかった。

管頂部に作用する土圧への外管の寄与率を Host pipe coefficient と定義したところ、4分割管では地盤の密度によらず最大 0.32 程度であることがわかった。さらに、有限要素法による数値解析で模型実験を再現し、4分割以外の損傷パターンでは Host pipe coefficient が総じて小さく、ライニング単体で埋設されている場合に比べて管頂部に作用する土圧は 0.32 以下となることが確認された。ただし、8分割パターンでは Host pipe coefficient が1を超える値となる。

(4) 二層構造管の合理的設計法の提案

模型実験結果を踏まえて二層構造管の設計法を提案した。ライニングの自立管としての現行設計法をベースにして荷重分担比を 0.32 とした。ただし、外水圧が高い場合はバックリングを起こす可能性があるため ASTM 基準で定められている肉厚を確保する必要があるとした。

(5) 地盤内空洞・ゆるみの発生メカニズムの解明

老朽埋設管の破損に伴って発生する土砂流出～地盤内空洞の生成・拡大～地盤陥没の現象について、模型による再現実験を実施し、メカニズムの解明を試みた。空洞・ゆるみが

起きやすい地盤条件、支配要因を整理し、空洞周辺のゆるみ領域を定量的に評価した。

(6) 本研究の位置づけと今後の展望

本研究では、老朽地中埋設管の合理的な維持管理・更新のために、老朽既設管の寄与を考慮したライニング管の挙動を解明し、実務に適用可能な簡便な設計法を提案した。また、従来対症療法的な対応に終始していた地盤陥没現象について、メカニズムを解明し定量的な現象把握へ向けて一步を踏み出したといえる。これらの問題は、実務的要請が強く、学術研究はこれまで置き去りにされてきた分野であるが、より詳細な検討を行いその乖離を埋めていくべきと考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

- ① 桑野玲子、堀井俊孝、山内慶太、小橋秀俊 (2010)、老朽下水管損傷部からの土砂流出に伴う地盤内空洞・ゆるみ形成過程に関する検討、地盤工学ジャーナル、Vol. 5, No. 2, (査読有)。
- ② Mukunoki, T., Kumano, N., Otani, J. and Kuwano, R. (2009), Visualization of Three Dimensional Failure in Sand due to Water Inflow and Soil Drainage from Defected Underground Pipe using X-ray CT, Soils and Foundations, Vol. 49, No. 6, pp. 959-968, (査読有)。
- ③ 桑野玲子、榎谷有吾、堀井俊孝、山内慶太、小橋秀俊 (2007), 下水管渠の破損に伴う土砂の流出特性、土木技術資料、Vol. 49, No. 2, 2007 年 2 月号、pp. 60-65, (査読有)。
- ④ 古関潤一、三上大道、桑野玲子、佐藤剛司 (2009)、埋設管埋戻し土の液状化対策を兼ねた建設発生土の再利用に関する研究、生産研究、Vol. 61, No. 4, 通巻 669 号、pp. 88-92, (査読無)。
- ⑤ 高東熙、桑野玲子 (2009)、大型土槽を用いた繰返し載荷試験によるたわみ性埋設管の挙動特性、生産研究、Vol. 61, No. 4, 通巻 669 号、pp. 82-87, (査読無)。

[学会発表] (計 20 件)

- ① Ko, D.H. and Kuwano, R. (2010), Model tests on behavior of double-layered pipe in large soil chamber under cyclic loading, The 7th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, 28/06/2010, Zurich, Switzerland.
- ② Kuwano, R. and Kohata, Y. (2010), An

Investigation on Ground Cave-in in Old Land Fill, The 4th Japan-China Geotechnical Symposium, 14/04/2010, Okinawa Japan.

- ③ Tsutsumi, Y., Sato, M and Kuwano, R. (2010), Effect of Particle Size on Local Deformation Characteristics of Model Ground with Cavity and Loosening, The 4th Japan-China Geotechnical Symposium, 12/04/2010, Okinawa Japan.
- ④ Kuwano, R. and Kohata, Y. (2009), A case study of ground cave-in caused by subsurface erosion in large scale fill ground, The 8th International symposium on new technologies for urban safety of mega cities in Asia, USMCA, 15/10/2009, Incheon, Korea.
- ⑤ Ko, D.H., Cokorda, B.P.D. and Kuwano, R. (2008), Deformation and stresses acting on Flexible Buried Pipe in sandy backfill under repeated loading, The 2nd Japan-Korea Geotechnical Engineering Workshop, Geotechnics in Urban Areas, 10/11/2008, Tokyo, Japan.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

桑野 玲子 (KUWANO REIKO)
東京大学・生産技術研究所・准教授
研究者番号：80312974

(2) 研究分担者

古関 潤一 (KOSEKI JUNNICHII)
東京大学・生産技術研究所・教授
研究者番号：30272511
(H19→H20：連携研究者)

桑野 二郎 (KUWANO JIRO)
埼玉大学・地圏科学研究センター・教授
研究者番号：30178149
(H19→H20：連携研究者)

小橋 秀俊 (KOHASHI HIDETOSHI)
独立行政法人土木研究所・技術推進本部・
主席研究員
研究者番号：90355800
(H19→H20：連携研究者)

松宮 洋介 (MATSUMIYA YOSUKE)
国土技術政策総合研究所・下水道研究部・
下水道研究室長
研究者番号：90442904
(H19→H20：連携研究者)