

機関番号：14501

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760359

研究課題名 (和文) 下水道更生管きよの耐震設計法に関する研究

研究課題名 (英文) Study on seismic design of rehabilitated sewage pipe

研究代表者

鎌田 泰子 (KUWATA YASUKO)

神戸大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：50379335

研究成果の概要 (和文)：本研究では、既設管と更生部材を充填材で頑着させて更生する複合管の耐震設計法を検討するにあたり、複合構造となる嵌合部の挙動や既設管の表面粗さや更生材強度が既設管との付着強度に与える影響を実験で確認した。さらに、それらの実験結果に基づいて管軸方向と鉛直断面の管きよモデルを構築し、更生による効果や充填材特性の違いによる管路の耐震性能への影響について明らかにした。

研究成果の概要 (英文)：This study focus on seismic design methodology of composite rehabilitation method for sewage concrete pipe. First we carried out the laboratory experiments of the infilling cement mortar changing material strength and made sure their effects to bounding strength. The parameters of material strength of cement mortar are used for seismic assessment of rehabilitated pipe in pipe-axis and cross-section directions, respectively. Effects of rehabilitation and rehabilitation method were shown.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：地震工学

科研費の分科・細目：土木工学・地震工学

キーワード：更生工法, 耐震設計, 下水道管きよ

1. 研究開始当初の背景

わが国で最初に建設された近代的な下水道は、明治 17 年に着工された東京の神田下水といわれている。本格的な下水道整備は、1963年にスタートした第1次下水道整備五箇年計画に端を発し、それ以来、生活環境の改善と浸水の防除を目的として急速に整備促進が図られ、2008年現在の処理人口普及率は68.1%に達している(国土交通省HP)。この間に投下された建設事業費は70兆円を超え、

ストック量は膨大なものとなる。一方で、2010年以降には全国的に整備促進された管きよの大半が急激に耐用年数に達する。これらの管きよに対して長期使用による老朽化やその他原因によって物理的・経済的・機能的な面から取替えや補修が必要となり、合理的な下水道運営を図る上で管きよの改築・修繕を計画的かつ段階的に行うことが急務となっている。とくに、日常時の流下機能を確保するだけでなく、最近の地震でも下水道管

きょの脆弱性が露呈されているように耐震性を考慮した管きょの改築・修繕が重要である。

管きょの改築・修繕については、「管更生の考え方」が日本下水道協会から示されている。更生工法は、既設管の中に新たな管路を挿入して改築する方法であるが、土圧および活荷重等に対して既設管の強度を期待する（自立管）、更生材と一体となって抵抗する（複合管）、更生管と外力を分担する（二層構造管）などの考え方によって分類されている。また、2008年9月には同協会から更生工法によって改築される管路を対象に、「管きょ更生工法の耐震設計の考え方（案）と計算例」が発表された。しかし、更生管の耐震設計については一体構造管もしくは、差し込み継手管として一般の管きょと同様に設計することが示されているのみで、更生管や充填材の強度、複合構造物としての継手構造特性を考慮したものではなく、合理的な耐震設計方法になっていない。これらの背景には更生材が多種多様あり一般的な設計法として規定するのが難しいことも一因であるが、老朽化した既設管と更生管で構築される管きょの地震時の応答特性が明らかになっていないことの要因が大きい。更生する管きょの耐震設計法が確立されなければ、更生工法が修繕工法の一つに止まり、耐震改修として防災投資が行われなくなる。さらに、地震に対して安全なインフラ整備の推進にも影響を与える。

2. 研究の目的

本研究は更生管きょの地震応答特性について数値解析により明らかにし、合理的な更生管きょの合理的耐震設計法を確立することを目的としている。とくに、本研究では更生管の中でも複合管を対象にしている。複合管の多くは中・大口径の管きょの更生に使用されることが多く、既設管と更生管との間に充填材を入れて管路を一体化させるものである。そのため、各々の材料特性に従うのではなく、複合構造物として挙動する。とくに既設管の継手部が、地震による地震波動や地盤変状態に対して構造上弱点となりうるが、更生管の嵌合部と充填材で止水ができるように工夫が施されている。

3. 研究の方法

本研究では、まず、(1)実験的に複合構造物としての材料特性や継手・嵌合部の構造特性を明らかにする。口径 1m を超える大口径の実大実験は困難なため、(1)の実験は複合管きょの要素試験になる。しかし、現在使用されている工法だけでなく、充填材や更生管の継手機構の特性を変化させ、更生部材の改良を目指す。次に、実験で得られた材料・構

造特性をもとに(2)地震時の複合管の耐震性について数値解析を用いて明らかにする。解析では新設管きょの耐震設計法で規定されているように横断面方向の土圧による変形の他、縦断面方向の地震による管路ひずみや継手の回転・変位についても着目する。最後に、管断面が腐食により亀裂したり、管厚が減少して(3)老朽化している既設管に複合管を適用した場合の耐震性の効果を定量的に示す。

4. 研究成果

(1) 管軸方向の地盤ひずみに対する嵌合部の応答

本研究では、更生複合管の管軸方向の耐震性を評価するために、嵌合部や充填材の要素試験ならびに実大試験を行い、それらの構造特性について明らかにした。また、設計外力に対する耐震性評価を行うために、非線形特性をもつばね要素で管きょをモデル化して解析を行った。図1に管軸方向の複合管の管路モデルを示す。これらのモデルにL1, L2地震動や液状化による地盤ひずみを与えた時の管路挙動を確認した。

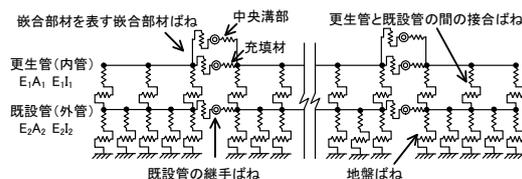


図1 二層縦断方向解析モデル

以下に本研究で得られた成果を示す。

- ・ 嵌合部材と充填材、既設管は更生されると一体化しており、剥離は既設管と充填材の界面で発生するが、付着力が頑強であるため既設管継手直下の嵌合部充填材の引張破断の方が先行して破断することが明らかになった。
- ・ 要素実験と実大試験による嵌合部特性の結果は整合的であり、本実験から数値解析のモデル化が可能であることが分かった。
- ・ 試験結果に基づいた管路モデルの数値解析結果からレベル2の地震外力を受けても分析に用いた更生管きょは水密性を保持できることが確認できた。
- ・ 二層管きょの解析モデルや引張軟化特性を考慮しなければ、地震時の更生管きょの損傷過程を把握できないことを示した。
- ・ 本研究は一工法を対象としたが、多様な工法に対して、実験や引張軟化を考慮した解析による検討を踏まえた上で、複合管の耐震設計が行われれば、より現実に近い形で現象を把握できるものと考えられる。

以上の研究成果については、雑誌論文①にまとめられている。

(2) 複合管の更生部材の一体性実験

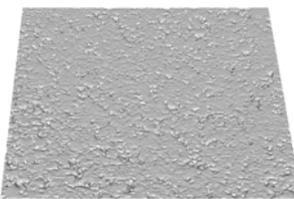
既設管と更生部材を充填材で一体化させて更生する複合管では、現場施工であることや既設管の表面劣化にばらつきがあり、工法によっては使用する充填材の材料強度も異なる。本研究では、これらのばらつきが更生管きよの鉛直断面の耐震性能に与える影響について検討した。

まず、充填材の材料特性及びコンクリートとの付着性能を測定する実験を行い、材料強度間の関係について明らかにした。試験では恣意的に凝固材の配合を変化させて、材料強度が 10 N/mm²、20 N/mm²、40 N/mm²程度にばらつくように3種類のセメントモルタル供試体を製作した。目標とする材料強度が低いものから順に充填材A、B、Cと呼ぶ。通常施工では充填材B相当のセメントモルタルが充填材として使用されている。試験では、充填材の材料強度特性を分析するための圧縮強度、静弾性係数、割裂引張強度試験を行った。また、コンクリートとの付着強度を分析するため、表面粗度の異なるコンクリート板を用いて引張付着強度試験とせん断付着強度試験を行った。各試験においてセメントモルタル供試体ごとに3~4サンプルを製作した。

図2は3D触針器でコンクリート表面データをもとに図化したものである。粗度係数は滑面で0.0094、粗面で0.0116と算出された。コンクリート管路の粗度係数は一般的に0.011~0.016の範囲にあり、本算出結果の粗面の粗度係数は一般的なコンクリートの粗



(a) 滑 (表面処理有り)



(b) 粗 (表面処理無し)

図2 表面形状イメージ

度係数の下限にあり、滑面は一般的なものよりも滑らかであると判定される。

また、粗度係数では0.001程度の差であるが、図3に示した圧縮強度-せん断付着強度

の関係からも付着強度には大きな影響を示すことがわかる。管更生に用いる既設管は劣化等によって実験のコンクリート平板以上に表面に凹凸があると考えられ、本実験よりせん断付着強度は十分あることが確認された。また、充填材の圧縮強度が高くなるにつれてコンクリート面との付着が強くなることが示された。これらの成果は以降の解析パラメータとして利用した。

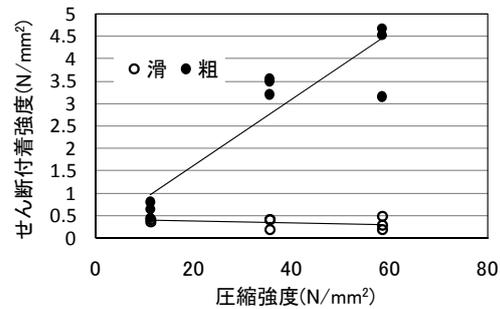


図3 圧縮強度-せん断付着強度関係

以上の研究成果については、雑誌論文②にまとめられている。

(3) 更生管きよの耐震効果に関する分析

本研究では、(2)の実験結果を用いて管きよをはりばね要素でモデル化し、FEM解析によって材料強度のばらつきを考慮した更生管きよの鉛直断面の耐震性能について評価を行った。

設計の考え方では複合管が一体な構造をもつものとして等価なはり要素で検討しているが、本研究では、充填材の付着特性について確認をするため、更生管路を3層の管路でモデル化して、等価なはりとして3層はりの各モデルについて検討を行った。既設管は劣化のない新管と、劣化を考慮した減肉された既設管の更生管きよの耐震性の違いについても検討した。減肉した既設管とは、鉄筋コンクリート管の内側コンクリートが内側鉄筋まで減肉した状態を想定した。また、その減肉管を3種類の充填材A、B、Cを用いて更生した更生管のそれぞれのケースについて解析を行った。

以下に本研究で得られた成果を示す。

- ・ 既設管と充填材との付着を考慮して解析を行ったが、L2相当の外力に対しても既設管と充填材との界面の破断に対しては十分安全余裕があることを確認した。
- ・ L1、L2の地震外力に対する複合管の安全性について検討したところ、劣化した減肉管よりも複合管の方に安全余裕があることが示された。しかし、複合管の管頂部に充填材の厚みがあり、断面力が大き

くなることから、付属部材のごく近傍が弱い箇所になることが解析結果から示された。充填材強度がばらついてもその影響は軽微であり、複合管の強度は劣化した管路よりも高いことが示された。

以上の研究成果については、雑誌論文②にまとめられている。

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 2 件)

- ① 高田至郎, 鍬田泰子, 下水道更生複合管の長手方向耐震性に関する研究, 下水道協会誌, 査読有, Vol. 47, No. 574, 8 月号, 2010, pp. 125-134
- ② 鍬田泰子, 江角勇貴, 高田至郎, 充填材強度特性実験に基づく更生管きよの耐震性能に関する研究, 建設工学研究所論文報告集, 査読有, Vol. 52, 2010, pp. 83-100

[学会発表] (計 4 件)

- ① 鍬田泰子, 江角勇貴, 高田至郎, 材料強度のばらつきが更生管きよの耐震性能におよぼす影響, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, つくば国際会議場, 2010. 11
- ② Kuwata, Y., Esumi, Y., Takada, S., Seismic evaluation of rehabilitated sewage pipe, EIT-JSCE Symposium on Engineering for Geo-Hazards, Bangkok, 2010. 9
- ③ 江角勇貴, 鍬田泰子, 高田至郎, 更生材料を考慮した下水道複合構造管の長手方向耐震性, 平成 22 年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2010. 5
- ④ 江角勇貴, 鍬田泰子, 高田至郎, 更生材料を考慮した下水道複合構造管の長手方向耐震性, 平成 22 年度土木学会関西支部年次学術講演会, 京都大学, I-50, 2009. 5

[図書] (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鍬田 泰子 (KUWATA YASUKO)
神戸大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 50379335

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし