



Title	不整形地盤におけるRC池状構造物間の地震時非線形挙動に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	猪子, 敬之介
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11571号
Issue Date	2014-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/57218
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Keinosuke_Inoko_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 猪子 敬之介

学 位 論 文 題 名

不整形地盤における RC 池状構造物間の地震時非線形挙動に関する研究
(A Study on Earthquake Nonlinear Behaviors of RC Tanks on Irregular Ground)

日本の水道普及率は 97.5% に達し、改めて言うまでもなく、水道は国民生活や社会・経済活動に欠くことのできない極めて重要なライフラインとなっている。このため、地震などの自然災害による突発的な断水あるいは減水の影響は計り知れないものがあり、都市部の大規模水道、山間部や海岸地域などの小規模水道を問わず地震時・地震後の機能維持が強く求められる施設である。

1995 年兵庫県南部地震以降も、2004 年新潟県中越地震、2007 年能登半島地震、2007 年新潟県中越沖地震、2008 年岩手・宮城内陸地震、2011 年東北地方太平洋沖地震などで、水道施設の地震被害が多く報告されている。これらの地震による主な水道施設の被害を見ると、津波による被害を除けば、取り分け、不整形地盤、軟弱地盤・埋立地・液状化地盤等の地形・地質的な要因や、構造物と管路との接続部等の構造変化部などで生じている。

動的応答特性の異なる池状構造物、管路等を含めて一つの水道施設として捉えたとき、a) 地震時・地震後の水道施設のライフラインとしての重要性、b) 既往の水道施設の地震被害事例、c) 既存水道施設の耐震化を阻害する主な要因として財政的・人材的・技術的要因が挙げられている現状、などに比して既往の研究が明らかに少なく、不整形地盤、軟弱地盤・埋立地・液状化地盤、構造変化部等の複雑な条件下にある水道施設の地震時挙動、耐震計算法やそのモデル化などの耐震設計実務における技術的課題は研究途上にあり、工学的・技術的に未熟な研究領域であると言える。また、将来的には東海地震、東南海・南海地震、首都直下地震などの発生も予測されている。従って、合理的な地震対策を推進していく上で、地震被害の多い地形・地質的な要因や構造変化部などが混在した複雑な条件に対して、個々の構造物、管路のみに着目した耐震計算を行うのではなく、水道システム全体としての耐震性を向上させるために、地盤-構造物-管路系の動的相互作用を考慮した一体的な耐震計算による耐震性評価が必要であり、その有用情報の提供、手法・手順の確立、実用化が急務と考えられる。

本論文は、水道施設の動的相互作用を考慮した一体的な耐震計算法の手法・手順の確立、実用化への足掛けとなり得る、耐震設計実務における有用情報の提供を目的とする。地震被害の多い地形・地質的な要因のうち地表面や基盤面が傾斜した不整形地盤および軟弱地盤、RC 池状構造物と埋設管路の接続部に着目し、2 次元動的有限要素法を用いて RC 池状構造物の建設過程に応じたケーススタディを行い、強震動下の不整形地盤における RC 池状構造物間の地震時非線形挙動に関する研究をとりまとめたものである。

本論文では、1) 水道施設の耐震計算法に 2 次元動的有限要素法（非線形解析）を用いる場合の工学的な判断として明確にすべき解析上の条件設定・モデル化の留意点、2) 非線形特性を考慮した表層硬質地盤における既設構造物直下の基盤傾斜の有無が RC 池状構造物と周辺地盤との間の地震時の応答特性、変位挙動特性に及ぼす影響、3) 軟弱土の非線形特性を示す表層軟質地盤における RC 池状構造物と周辺地盤との間の地震時の応答特性、変位挙動特性の影響、4) 地表面傾斜が周辺地盤及び既設構造物に及ぼす影響および地表面傾斜と既設構造物との間に新設構造物が築造される場合の既設構造物に及ぼす影響、5) 継手構造の不連続な挙動を考慮し梁要素、非線形ばね要素でモデル化した管路を構造物間に設定した場合の水道管路のモデル化・基盤傾斜の影響、の 5 つの技術的課題の検討を各々 1 つの章でまとめ、以下に示す全 6 章で構成されている。

第1章では、本論文の序論として、本研究の背景、既往の研究を説明し、本研究の目的を明確にした上で、本論文の内容と構成を示している。

第2章では、本論文の解析対象とした地盤・構造物の設計条件を概説し、地盤-構造物-管路系の動的相互作用を考慮した一体的な耐震計算法に2次元動的有限要素法(非線形解析)を用いる場合の工学的な判断として明確にすべき解析上の条件設定・モデル化の留意点として、特に地盤と構造物の幾何学的条件に対する動的相互作用のモデル化、力学特性のモデル化、動的解析手法の選定、空間のモデル化等に関する配慮や工夫を示している。

第3章では、硬質な傾斜基盤上に非線形特性を考慮した表層硬質地盤が堆積するモデルを用いて、既設構造物直下の基盤傾斜の有無による2種類の地盤条件を仮定し、2つのRC池状構造物と周辺地盤との間の地震時の応答特性、変位挙動特性について基礎的な検討を行っている。検討結果から、加速度と水平変位がほぼ比例関係にあるような等価線形的挙動を示す表層硬質地盤において、基盤傾斜の無い地盤に比べ基盤傾斜の有する地盤上のRC池状構造物と周辺地盤との間の応答、RC池状構造物間の相対変位量などが大きくなる傾向を示すこと、などを明らかにした。加えて、地表面や基盤面が傾斜した不整形地盤における静的・動的サブストラクチャー法の適用限界について言及している。

第4章では、第3章で用いた表層硬質地盤に変わり、軟弱土の非線形特性を示す表層軟質地盤が堆積するモデルを用いて、2つのRC池状構造物と周辺地盤との間の地震時の応答特性、変位挙動特性について考察、評価する。解析結果から、軟弱土の非線形化が生じる不整形地盤上にあっても、RC池状構造物と周辺地盤に剛性差がある場合には、周辺地盤の水平変位の減少や加速度応答の増加が見られること、2つのRC池状構造物間の相対変位に比べて、RC池状構造物と地盤との間の相対変位の方が大きくなる傾向を示すこと、などを明らかにしている。

第5章では、複数の地表面傾斜や新設RC池状構造物に隣接して既設RC池状構造物が立地している条件に対し、構造物の建設過程に応じたケーススタディを行い、地表面傾斜が周辺地盤および既設構造物に及ぼす地震時の影響、さらに地表面傾斜と既設構造物との間に新設構造物が築造される場合の既設構造物に及ぼす影響を検討している。本章では、地震時において地表面傾斜や新設構造物築造が既設構造物に対して与える影響よりも、高剛性、短周期のRC池状構造物が、軟弱土の非線形化の生じる周辺地盤に及ぼす影響の方が大きいために、低地側に位置する既設構造物への影響は少ないということを明らかにしている。

第6章では、構造物間の相対変位や水平変位応答、埋設管路の伸縮量に着目し、第3章で用いた地盤モデルを用いて、継手構造の不連続な挙動を考慮し梁要素、非線形ばね要素でモデル化した管路をRC池状構造物間に設定した場合の水道管路のモデル化・基盤傾斜の影響を検討している。検討結果から、構造物間の相対変位量が水道管路の設計照査用伸縮量を超えない範囲においては、水道管路のモデル化がRC池状構造物の応答に及ぼす影響が少ないこと、基盤傾斜の影響により地層境界付近のせん断ひずみが大きくなり、RC池状構造物が変位し易くなるため、構造物間の相対変位量の値が大きくなること、などを明らかにしている。

最後に、上記検討で得られた知見を章毎に総括するとともに、不整形地盤におけるRC池状構造物間の地震時非線形挙動に関する今後の課題を述べている。