

京都大学	博士 (工学)	氏名	常井 友也
論文題目	耐震補強を有する地下構造物の安全性照査に関する研究		
<p>本論文は、地下構造物の耐震安全性能の照査を行うことを目的としており、特に地下構造物の耐震補強の安全性、その効果について検証を行ったものである。</p> <p>本研究の構成は以下に述べるように3項目から成る。1つ目の項目は、小口径下水道管路（φ400mm-800mm）を対象とした新工法の安全性照査を解析と実験により明確にする。2つ目の項目は、地中構造物の中でも、特にシールドトンネルの地震時の震動特性を把握するとともに、考案した耐震対策の新工法により耐震対策を行った場合の地震時の震動特性について検証を行う。本研究においては、地下鉄や上下水道管路施設の中でも、公共下水道の幹線管路として多く採用されている大口径のシールドトンネルと中口径の新工法による埋設管路に着目して解析を行い、考案した新工法で耐震対策を実施した場合と耐震対策を施さなかった場合の震動特性の比較検討を実施する。そして、3つ目の項目は、地中埋設管路の地震リスク評価を行い、考案した新工法で耐震対策を実施した場合と耐震対策を施さなかった場合の地震リスクの差異を明らかにするとともに、地震に伴う物理的被害が損失コストに与える影響と、その損失を最小限に抑える方策を提示することである。</p> <p>本論文は、以下に示すように6章の構成となっている。</p> <p>第1章は、序論である。地下構造物の耐震対策の現状とその課題、本研究で取り扱う耐震補強の新工法の概要など、研究の目的と目標を明示し、過去の関連文献のレビューの中で本研究の位置づけを明確にした上で、論文の構成について述べている。</p> <p>第2章は、小口径下水道管路（φ400mm-800mm）を対象とした新工法の耐震安全性を含む安全性照査を、下水道協会で規定されている「偏平試験」により検討・検証を行ったものである。新工法の構造は、コイル形状のGFRP製の高剛性部とライニング部材のそれぞれが受け持つ荷重が異なる構造形式としている。コイル形状のGFRP製の高剛性部で土圧荷重と活荷重に耐え、ライニング材で水圧に耐える構造としている。偏平試験の照査は、この更生管に鉛直荷重（鉛直下向き方向）を作用させ、その時の線荷重を測定し、規定値以上の荷重に耐えることができるか、検証を行うものである。</p> <p>また、実験による照査に加え、有限要素法による数値解析シミュレーションを実施し、実験と解析の両面から照査を行っている。</p> <p>第3章は、2章で対象としたものと同じ小口径下水道管路を対象とした新工法の安全性照査を、下水道協会で規定されている「埋設実験」により検討している。埋設実験は、実際の地盤を模した地盤に管路を埋設して、その埋設挙動を確認する実験であり、この実験目的は、考案した新工法の更生管を埋設した場合の変形挙動を測定し、この結果を新工法の設計によって算出されるたわみ率及び曲げ応力の設計値と比較して、更生管の安全性を検証しようとするものである。本研究では、土被り6m相当の荷重を載荷する静的載荷実験と、トラックなどの車両の走行荷重に相当する活荷重を繰り返し加える繰り返し載荷試験の2種類の埋設実験を実施している。</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	常井 友也
<p>また、実験による検証だけでなく、有限要素法に数値シミュレーションによる検証も行い、実験と数値解析の両面からその安全性の検証を行っている。</p> <p>第4章は、立坑に接続されたシールドトンネルを想定し、3次元有限要素法によって動的解析を行い、立坑を有するシールドトンネルの地震時挙動について検討を行うとともに、新工法に対する耐震性能照査のために、耐震補強を有する埋設管路に対するレベル2地震入力時の動的解析を実施した。</p> <p>通常シールドトンネルの耐震設計には応答変位法が用いられることが多く、複雑な相互作用の影響を考慮している3次元有限要素法のような動的解析手法は主流ではない。そこで本研究では、立坑に接続されたシールドトンネルを想定し、3次元有限要素法によって動的解析を行い、立坑を有するシールドトンネルの地震時挙動について検討した。その結果、トンネル軸直角方向および軸方向の震動において、立坑がシールドトンネルに及ぼす影響を示した。また、軸直角方向に震動する場合は、シールドトンネルの回転変形と立坑のロッキングにより生じるねじれ応力を、軸方向の震動に対しては軸応力を評価し、その発生メカニズムならびに影響について考察している。</p> <p>さらに、考案した耐震対策の新工法により耐震対策を行った場合の地震時の震動特性について3次元有限要素法による動的解析に基づく検証を行っている。</p> <p>第5章は、地中埋設管の地震リスク評価について述べている。上下水道、地下鉄などを中心とするライフライン施設は公益性が高く、多くは社会資本に属するものである。地震により構造物が被災すると、補修・補強、再構築費用等の損失に加え、上記の施設が利用できないことによる社会的損失等々、社会に与える影響は甚大であると推測される。そのため、高水準の安全性が必要不可欠であるが、発生確率は低く、大規模な被害を与える大地震を意識して耐震性能の水準を合わせることは経済的に効率が悪い。</p> <p>以上のような背景をもとに、ライフライン施設に潜在するリスク性状を定量的、客観的に評価する手法が、研究者たちによって指摘され始めている。しかし、ライフライン施設の地震リスクを実施する際、被災した橋梁の損失コストの算出が正確に評価されていないのが現状である。</p> <p>ここでは、公共下水道の幹線管路のうち、開削工法により敷設された小口径管路とシールド工法により敷設された大口径管路を対象として被災した地中管路の補修・補強、再構築費用、間接的損失等の損失額を算出し、これらの情報を基に地中管路の地震リスクマネジメントを実施し、地中管路の耐震設計が損失コストに与える影響を考察している。</p> <p>第6章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。</p>			

氏名	常井 友也
----	-------

本論文は、地下構造物の耐震安全性能の照査を行うことを目的としており、特に地下構造物の耐震補強の安全性、その効果について検証を行ったものである。

ここでは特に次の3項目に着目して研究を行った。第1の項目は、小口径下水道管路（φ400mm-800mm）を対象とした新工法の耐震安全性照査を解析と実験により明確にした。安全性照査には、更生管に鉛直荷重を作用させ、その時の線荷重を測定する偏平試験と実際の地盤に更生管を埋設して実験を行う埋設実験の2種類の実験を実施し、その安全性の照査を行った。第2の項目は、地中構造物の中でも、特にシールドトンネルの地震時の震動特性を把握するとともに、考案した耐震対策の新工法により耐震対策を行った場合の地震時の震動特性について検証を行った。本研究においては、地下鉄や下水道管路施設の中でも、幹線管路として多く採用されている大口径と中口径の埋設管路に着目して解析を行い、考案した新工法で耐震対策を実施した場合と耐震対策を施さなかった場合の震動特性の比較検討を実施した。そして、第3の項目として埋設管路の地震リスク評価を行い、考案した新工法で耐震対策を実施した場合と耐震対策を施さなかった場合の地震リスクの計算を行い、地震に伴う物理的損失の提示を行った。

本論文で得られた知見および得られた成果は以下の通りである。

1. 下水道管路施設の耐震対策の新工法の安全性照査

本研究で安全性を検証する更生管モデルは、コイル形状のGFRP製の高剛性部とライニング部材のそれぞれが受け持つ荷重が異なる構造形式としている。コイル形状のGFRP製の高剛性部で土圧荷重と活荷重に耐え、ライニング材で水圧に耐える構造としている。この新工法の安全性を照査するために下水道協会の規定に準拠した2つの実験を実施した。実験としては、鉛直荷重を作用させたときの荷重を測定する偏平試験と、実際の地盤に埋設しその埋設挙動を確認する埋設実験を行った。また、実験による検証だけではなく有限要素法に数値シミュレーションによる検証も行い、許容曲げ応力や許容たわみ率の観点からその安全性を立証した。

2. シールドトンネルの震動特性及び地震時挙動

本研究では、まず立坑に接続されたシールドトンネルを想定し、3次元有限要素法によって動的解析を行い、立坑を有するシールドトンネルの地震時挙動について検討した。その結果、トンネル軸直角方向および軸方向の震動において、立坑がシールドトンネルに及ぼす影響を示した。また、軸直角方向に震動する場合は、シールドトンネルの回転変形と立坑のロッキングにより生じるねじれ応力を、軸方向の震動に対しては軸応力を評価し、その発生メカニズムならびに影響について考察した。その結果立坑とトンネルが一体となった耐震設計フローとその照査基準が必要であることを提示するとともに、考案した新工法のレベル2地震に対する耐震安全性を検証した。

3. 地中埋設管の地震リスク評価

ネットワークを構成するライフラインなどの地中埋設管の地震リスク評価を実施する際には、被災した場合の地中埋設管の損失コストをできるだけ正確に算出する必要がある。本研究では、公共下水道の代表的な幹線・支線管路としての大口径・小口径管路を解析対象として、被災した地中管路にかかる補修・補強、再構築費用、間接的損失等の損失額を正確に算出した。これらの情報を基に地中管路の地震リスクマネジメントを実施し、被災管路の損失コストを算出するための一連の手順を開発するとともに耐震対策の優先順位に関する有用な知見を提示した。

以上より、本論文は、地下埋設管に代表されるライフライン系の地下構造物の耐震安全性照査に関して、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成25年1月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。