

京都大学	博士 (工学)	氏名	西川 源 太 郎
論文題目	水道配水用ポリエチレン管の耐震性評価に関する研究		
<p>世界有数の地震国である日本列島では、度重なる大規模地震が発生し、その都度管路被害に起因する断水が生じてきた。管路の地震時被害を分析すると、仕切弁や空気弁などの付属設備や給水装置など管から突起した部位に応力集中することが明らかになっており、これら弱点となる部位を含めた水道管路システム全体としての耐震性向上が重要と指摘されている。</p> <p>その中で、水道配水用ポリエチレン管（以降、青ポリ管）は 1991 年に使用が開始され、これまでに国内で 35,000km 以上が布設されているが、地震動による被害はゼロであり、耐震管材として国内の耐震化対策に貢献している。一方で、現行の水道施設耐震工法指針・解説によると青ポリ管の耐震計算は、理論的根拠や実績が不足していることが一因となり、その耐震設計法自体が参考扱いとされ、事業者採用の足かせとなっている。</p> <p>本研究ではこの青ポリ管を対象に耐震性評価を完了することを目的とする。特に、地震時に管と地盤との境界で発生する滑りに着目することで、配水管の挙動を捉え、被害が集中する異形管や給水装置を含めた水道管路システム全体の耐震性評価を行ったものである。</p> <p>本論文は全 1 章から構成されている。各章で得られた結果は以下の通りである。</p> <p>第 1 章は、本研究の背景および目的を述べ、近年発生した水道埋設管路の被害メカニズムについて考察を行った。ここでは、管体から突起した部位を有する付属設備（消火栓・仕切弁等）や給水装置に地震時被害が集中することを確認したため、地震時における管と地盤との滑り挙動を把握し、水道管路システム全体の耐震性評価を行うことの重要性を述べた。</p> <p>第 2 章は、対象とする管材料である青ポリ管の基本的な材料性能について述べた。地震動に対する許容ひずみの考え方については実管の繰り返し伸縮試験結果（1Hz×30 回）に基づいて、許容ひずみ 3%の妥当性について検証を行った。結果は地震動のような繰り返し伸縮に対して、6%～8%程度が限界ひずみであると考えることが妥当であり、現行採用している許容ひずみ 3%は安全率 2 以上を有することを確認した。</p> <p>第 3 章は、埋設管路の耐震設計法の概論を述べ、特に、水道管路システムとしての評価を行う上でポイントとなる管と地盤との滑りのメカニズムについて詳細な説明を行った。また、滑りの評価を行う際に重要な因子となる限界せん断応力に関しては、高圧ガス導管耐震設計指針等で引用されている既往の研究を紹介し、青ポリ管の耐震設計の課題として、限界せん断応力の実験的検証が不十分であると述べた。</p> <p>第 4 章ではこれまでの研究で不足していた青ポリ管の限界せん断応力について、各種土槽実験の結果、以下の知見が得られた。</p> <p>(1)突起部の無い管（裸管）では、管と地盤との境界で滑り（管周面の砂の破壊）が発生した以降、せん断応力は一定値に収束する結果を得た。実験結果は、バイリニアモデルによって直線近似することができ、土被り 60cm において限界せん断応力は、8.7kN/m²～11.2kN/m²（平均 10.4 kN/m²）となる結果を得た。また、限界せん断応力は土被りに応じて比例関係を示すことがわかった。</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	西川 源 太 郎
<p>(2)次に実際の配管形態を想定し、融着継手 (5m 毎) や給水分岐 (10m 毎) の突起部を有する管における土槽実験を行った結果、これらの突起部が滑りに対して抵抗となり、せん断応力が上昇する傾向を得た。実験で得たせん断応力と変位量の関係は、トリリニアモデルによって近似することが妥当であり、土槽の境界条件を考慮すると概ね 20mm 変位で突起部周辺の砂が破壊され、滑り状態に移行することが確認できた。</p> <p>(3)本研究では、20mm 変位の地点を滑り開始と定め、突起部の抵抗を含めた限界せん断応力を青ポリ管の実管路に相応しい値として採用した。結果は、限界せん断応力が 10.8 kN/m² (呼び径 200) ~ 19.5kN/m² (呼び径 50) となり、小口径の方が限界せん断応力が大きくなる結果を得た。これは、一般的に配管される給水分岐の張出面積が呼び径によらず同程度であるため、小口径の方が相対的に単位表面積あたりのせん断抵抗が大きくなり、滑りにくくなるためである。</p> <p>第 5 章は、実験で得た限界せん断応力を用いて、青ポリ管の滑りの発生の有無について、軟弱地盤から良好地盤まで 4 つのモデル地盤を想定して評価を行った。滑りの判定結果は、レベル 2 地震動以下であれば、青ポリ管は、いかなる地盤・呼び径でも滑りが発生しないことが明らかとなった。一方で、レベル 2 地震動の 1.5 倍~2.0 倍の大きな地震動を想定すると、呼び径 150 以上の青ポリ管に滑りが発生する結果を得た。管と地盤との相対変位量は、レベル 2 地震動で最大 12.2mm (滑り発生なし)、レベル 2 地震動の 2.0 倍で最大 114.7mm (滑り発生あり) となり、滑りの有無で相対変位量は大きく異なることがわかった。また、同じ条件で埋設された金属管に比べると青ポリ管は、材料剛性が 1/200 程度であり、基本的には滑りが発生せずに地盤伸縮に対して管体伸びで追随するため、分岐部への応力集中が小さく、分岐部が多数存在する中小口径管路としては合理的な管材料であることが確認された。</p> <p>第 6 章は、相対変位が 90° 曲管、T 字管およびサドル付分水栓 (給水分岐) に与える影響について検証を行った。レベル 2 地震動で想定される相対変位 12mm が異形管 (90° 曲管・T 字管) に作用した場合の発生ひずみは、最大で 0.33% 程度であり、許容ひずみ 3% に対して十分に小さいことが確認できた。次にサドル付分水栓近傍への応力集中およびサドル部のズレを検証した結果、サドル部近傍で発生したひずみは 0.05%、サドル部に作用した荷重は 4.6kN であり、耐震設計上、安全であることが確認できた。</p> <p>第 7 章は、システムの末端である給水引込み部を対象に耐震性評価を行った。給水管には青ポリ管と同材料である給水用高密度ポリエチレン管 (以降、給水青ポリ管) を用い、配水管の管軸方向に地震動が作用する場合、給水管の管軸方向に地震動が作用する場合の 2 ケースについて検証を行った。結果は、配水管の管軸方向に地震動が作用し、管と地盤との境界で最大 300mm の滑りが発生する場合を想定した場合、給水青ポリ管および金属継手による配管モデルには最大 5.1% のひずみが発生したが、管体および継手からの漏水は無く、通水機能を継続できることを確認した。また、給水管の管軸方向に地震動が作用した場合には、配管途中で使用されるエルボ近傍にひずみが集中したが、管体および継手からの漏水は無く、通水機能を継続できることを確認した。これらの結果から、給水管に給水青ポリ管を用いることにより、レベル 2 地震動で想定される地盤変位が生じた場合にも耐震性能を有することが確認された。</p> <p>第 8 章は結論であり、本研究で得られた成果を要約している。</p>			

氏名	西川源太郎
----	-------

世界有数の地震国である日本列島では、度重なる大規模地震が発生し、その都度管路被害に起因する断水が生じてきた。さらに、昨今の管路被害調査では、直管部の被害に加えて、仕切弁等の付属設備や給水装置の被害が数多く確認され、管路システム全体の耐震性能が求められるようになった。本研究では、水道配水用ポリエチレン管（青ポリ管）を対象に、管と地盤との境界で発生する滑り挙動に着目することで、管と地盤との相互作用を捉え、被害が集中する付属設備や給水装置を含めた管路システム全体の耐震性評価を実施した。本研究で得られた成果は以下の通りである。

1. 地震時の管と地盤との滑り挙動を把握するために重要な因子となる限界せん断応力について、実験土槽を製作し、測定を行った。実験は、青ポリ管の実配管を想定し、直管部と継手部、給水分岐部それぞれのせん断抵抗を測定した。結果は、直管部で $8.7\text{kN/m}^2 \sim 11.2\text{kN/m}^2$ となる結果を得た。次に、継手や給水分岐など突起部を有する管の場合は、それらが抵抗となり、せん断応力が増加する。突起部周辺の砂の破壊に着目すると概ね相対変位 20mm 付近で滑り状態に移行することがわかった。よって、青ポリ管の実管路を想定した限界せん断応力は、直管部に突起部のせん断抵抗を加えた、 $10.8\text{kN/m}^2 \sim 19.5\text{kN/m}^2$ となることを提案した。
2. 各種地盤モデルに青ポリ管を埋設し、レベル2地震動（100Kine）を作用させた際に滑りが発生するか否かを実験で得た限界せん断応力を用いて検証した。検証の結果、青ポリ管はレベル2地震動クラスの地震では滑りが発生せず、地震時の地盤伸縮に管体の柔軟性で追従することがわかった。また、想定される最大相対変位も 12.2mm と僅かであることが確認された。
3. 管と地盤との最大相対変位 12.2mm が、異形管や給水分岐、給水管に作用した際の影響について、同様の土槽実験によって検証を行った。結果は、異形管に発生するひずみは最大 0.33%程度と許容ひずみ 3%に対して十分小さく、給水分岐に作用する地盤反力も漏水が生じるほどではないことが確認できた。さらに給水管に対しては、滑りの影響に加えて給水管の管軸方向変位を与える実験も行った。いずれの場合も、給水管に発生するひずみは許容ひずみを下回り、十分に通水機能を継続することが確認できた。

これらの研究を通じて、レベル2地震動に対応する地盤ひずみに対して、青ポリ管は管体の柔軟性で追従するため、分岐部への応力集中が少なく、異形管、給水分岐や給水管に至るまで管路システムとしての耐震性能を確認することができた。

以上より、本論文は水道配水用ポリエチレン管を対象に、配水管から給水装置に至る一連の管路システムの耐震性評価に関して、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30年1月24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。

要旨公開可能日： 年 月 日以降