

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 4 月 9 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760363

研究課題名(和文)大口径基幹管路の地震時破断メカニズムの解明

研究課題名(英文)Earthquake damage mechanism of large-diameter pipeline

研究代表者

鎌田 泰子(kuwata, Yasuko)

神戸大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50379335

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文):東北地方太平洋沖地震やその余震で基幹管路となる大口径の送水管路に多くの被害が発生し、広域かつ長期の断水を引き起こした。本研究では、大口径管路の被害事例の中で、(1)地震動による水管橋の伸縮可とう継手管路の被害と、(2)津波浸水による水管橋流出の被害を対象にして、構造物や周辺地盤、地形などの現地調査と数値解析を通して大口径管路の被害メカニズムを明らかにした。

研究成果の概要(英文):Large-diameter pipelines had damage during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake in March 2011 and its aftershocks. Water outage was caused in wide area for a long term. This study focuses on (1) damage to flexible joint of the water-pipe bridge due to strong ground motion and (2) damage to water-pipe bridge due to tsunami wave among the damage cases for the large-diameter pipeline. These studies on damage mechanism of large-diameter pipeline were conducted by field investigation of microtremor observation to the bridge and subsurface ground and by numerical analysis.

研究分野：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：管路 水管橋 地震 津波 被害

1. 研究開始当初の背景

東北地方太平洋沖地震ならびにその後の長野県や新潟県で発生した地震によって水道施設は被害を受け、全国で 250 万戸、187 市町村（厚生労働省調べ）を超える断水の影響が生じた。巨大地震であったが液状化地域や局所的な被害が集中した地域を除けば地震動による建築物や配水管路の被害は軽微であった。その一方で、本震や余震で基幹管路となる大口径の送水管路に多くの被害が発生し、広域かつ長期の断水を引き起こした。研究開始当初は、地震から半年以上が経過していたが、学協会で大口径管路の被害メカニズムを詳細に整理・分析する動きはなかった。また、研究代表者が地震直後から被災地を回って被害情報を収集し、土木学会地震工学委員会の被害報告書をまとめたが、それ以外に大口径管路を調査・分析している学術報告もなかった。厚生労働省を通じて日本水道協会やその他の協会が管路被害について整理されつつあったが、被害件数や写真の収集程度であり、被害メカニズムを分析するまでに至っていない状況であった。

2. 研究の目的

市民生活の基盤となるライフラインの中でも、基幹管路となる大口径管路の地震被害を詳細に分析し、今後の地震対策につなげる必要がある。本研究では、大口径管路の被害事例の中で、(1)地震動による水管橋の伸縮可とう継手管路の被害と、(2)津波浸水による水管橋流出の被害を対象にして、構造物や周辺地盤、地形などの現地調査と数値解析を通して被害メカニズムを明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

現地調査では、構造物の被害形態を確認するとともに、構造物・地盤の微動測定などから、現地の橋梁や管路、地盤の設定条件を確認する。対象地点の地震動は、周辺で観測された地震動や同サイトで地震動推定を行っている協力研究者との研究成果を用いる。また、津波浸水についても現地の津波遡上シミュレーションを行っている協力研究者と共同で調査研究を行う。調査によって得られた構造物被害形態と構造物の地震応答解析等の結果から、被害要因を考察する。最後に、東北地方太平洋沖地震における大口径管路の被害が、特殊な地形、地盤条件によって生じたものか、構造物や配管設計条件によるものか、遠地地震の地震動が被害を発生させたのかなどの要因を明らかにし、今後の大口径管路における適切な地震対策の基礎資料を作成する。

4. 研究成果

(1) 地震動による那珂川水管橋の被害メカニズムの解明

本研究では、東北地方太平洋沖地震により

被害を受けた水管橋の内、最も口径の大きい茨城県水戸市の那珂川水管橋に着目した。本水管橋は茨城県企業局の用水供給事業の送水管 2 条を茨城県水戸市那珂川に架けている。支承の損傷ならびに伸縮管での漏水・脱管によって 2 条とも送水停止となった（図 1）。



図1 那珂川水管橋の被害状況

本水管橋サイトにおける本震時の地震動については、余震観測により本震を推定し、堤内地・堤外地で地震動特性が異なること、本水管橋の低次の振動モードと異なる周期帯が卓越することを協力研究者とともに明らかにした。さらに、実橋梁で微動観測を行なって振動特性を把握し、3 次元骨組み解析によって橋梁のモデル化を行った（図 2）。

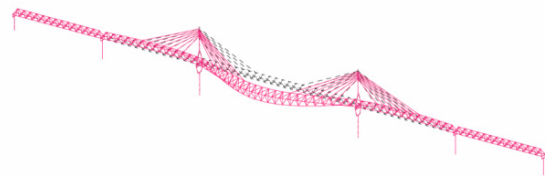


図2 橋梁モデルの固有値解析結果（1次モード）

本研究では本震時における当該水管橋の応答をより精緻に把握するために、地震動の入力方法としてフーチング下面まで地震動を引き戻し、堤内地と堤外地の異なる地震動を用いる多点入力を行った。また、地震動特性の違いが本水管橋に与える影響を把握するために、入力地震動として東北地方太平洋沖地震とは異なる兵庫県南部地震 JR 鷹取波についても検討した。

その結果、東北地方太平洋沖地震の推定地震動によって、支承部並びに伸縮管にける実被害と同等の状況を再現することができた。伸縮管の脱管のメカニズムとしては、支承損傷後に橋軸直角方向に生じた相対変位が伸縮管の許容偏心量を超えたためと考えられる。

また、兵庫県南部地震の JR 鷹取波が作用した場合は、本震の推定地震動の場合と比べて大部分の着目点で大きな応答加速度が発生した。さらに JR 鷹取波の場合では、中央

の斜張橋主塔橋脚の支承において橋軸方向の後に橋軸直角方向でも損傷がみられるなど、JR 鷹取波の1秒付近の周期帯と重なる橋軸直角方向の低次振動モードが多大な影響を与えていることが分かった。

本水管橋においては短周期成分が卓越する振動数特性をもつ地震動で損傷が生じたが、1秒付近が卓越する JR 鷹取波のような地震動の方がより大きな被害に繋がるということが明らかになった。このことから、本水管橋の被害の要因として、レベル2地震動に対して十分な耐力を有していなかったと考えられる。

水管橋は道路橋や鉄道橋に比べて耐震化整備が十分でなく、また地震時の動的挙動や地震対策に関する研究も少ないという状況にある。水管橋における既往の研究では、水管橋の振動実験、並びに地震応答解析を行っているものの事例は依然として少なく、特に実際に被害を受けた水管橋を対象とした研究は見当たらないのが現状であった。このような背景のもと、本研究において被害の再現ができたことは学術的に意義がある。

(2)津波遡上による矢の浦水管橋の被害メカニズムの解明

研究代表者らは、東北地方太平洋沖地震後、津波の浸水域において水管橋や橋梁の添架管の津波被害状況を調査・分析した。その結果、津波による管路被害の多くは小口径の添架管であった。上水道管路ではないが、被害を受けた水管橋で最大の口径のものが岩手県釜石市にある矢の浦水管橋であった。本水管橋は、岩手県釜石市の甲子川を横断しており、川上側の支承のサイドブロックが外れることにより、3径間のうち2径間の上部工のみが流出した(図3、図4)。上部工が流出した道路橋の被害事例が報告される中、川上側の支承のサイドブロックが外れることにより流出した事例は少ない。また、水管橋の川下側に敷設されている道路橋の矢の浦橋には目立った被害がなかった。



図3 矢の浦水管橋サイドブロックボルトの様子

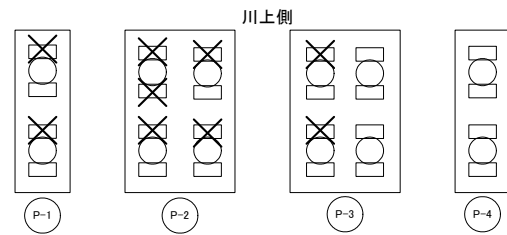


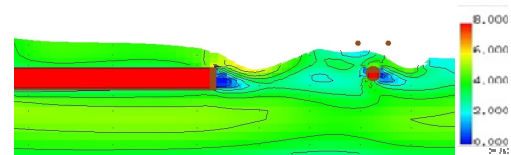
図4 支承部上面からみたサイドブロック損傷箇所(×印は損傷箇所)

矢の浦水管橋に作用する津波外力について、二次元と三次元の津波遡上解析を比較しながら検討し、水管橋の上部工に作用する外力明らかにした。そして、本水管橋に見られた川上側の支承のサイドブロックが外れた被害メカニズムについて、損傷状況からボルトの作用力機構のモデル化を行い、津波遡上解析で算出された波力を用いて評価を行った。本研究では、さらに道路橋と水管橋との離隔による作用力の違いについても着目した。

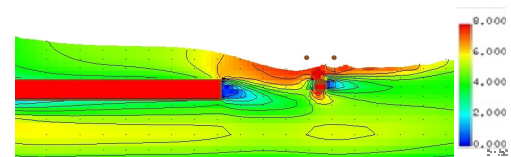
津波波力時間経過に伴う上部工の回転を考慮して本水管橋の津波作用力の評価を行った結果、水管橋は川上側のサイドブロックボルトが損傷して管路が流出したと考えられる。とくに、水管橋は上部工が縦長断面であるため、重心と浸水深のバランスにより上部工の回転モーメントが支承の破損に寄与していることが確認できた。

また、水管橋上部工の回転方向は浸水プロセスによって著しく変化することがわかった。浸水深が浅ければ上部工に作用する水平・鉛直波力により川下側への回転が優勢となった。浸水プロセスと作用力の評価により、水管橋の被害は送水管のみが浸水する初期段階で損傷したと考えられる。

水管橋と道路橋の間隔が狭い方が、道路橋の桁上層の速い流れが直接送水管にあたるため、送水管に作用する水平波力が大きくなり、損傷しやすいことがわかった(図5参照)。



(a)道路橋との離隔が広いケース



(b)道路橋との離隔が狭いケース

図5 道路橋との間隔別の流速分布図

矢の浦水管橋は大口径管路であるが、外力や管路断面は特殊な被害事例といえる。本津波では多くの水管橋に浸水や流出の被害が発生している。そこで、今後予想される巨大地震などに伴い発生する津波に備えて適切な対策を講じられるよう、上述の研究手法を一般的な水管橋にも適用して耐津波性能を定量的に評価できる手法を検討した。そして、鉛直二次元解析によって得られた津波波力を用いて水管橋の作用力耐力評価を行い、津波作用時の水管橋安全性照査手法を提案した。本研究結果は、追って成果を発表していく予定である。

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 8 件)

- ① 中西陽一、銚田泰子、直田梓、米山望、津波浸水時の道路橋背後にある水管橋への作用力評価、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)、査読有、Vol. 70、No. 4、2014、pp. I_71-I_79
- ② 上仲亮、銚田泰子、竹田周平、東北地方太平洋沖地震における那珂川水管橋の被害メカニズム、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)、査読有、Vol. 69、No. 4、2013、pp.171-181
- ③ 銚田泰子、大野頭大、東北地方太平洋沖地震における宮城県北西部の管路被害の特徴、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)、査読有、Vol. 69、No. 4、2013、pp.734-741
- ④ 直田梓、米山望、銚田泰子、東北地方太平洋沖地震津波による矢の浦水管橋の被害に関する数値解析、土木学会論文集 B3 (海洋開発)、査読有、Vol. 69、No. 2、2013、I_353-I_358
- ⑤ 銚田泰子、池尻大介、鹿島地域の液状化による管路被害集中地域と地形変遷、日本地震工学会論文集、査読有、東日本大震災特集号第 12 巻、第 4 号 (特集号)、2012、pp.249-262
- ⑥ 渡部龍正、銚田泰子、後藤浩之、北海道浦河町の泥炭地盤震動特性と管路被害、土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)、査読有、Vol. 68、No. 4、2012、pp. I_244-I_252
- ⑦ 上仲亮、銚田泰子、微動観測による水戸市那珂川水管橋の振動特性、建設工学研究所論文報告集 査読有、第 54 号、2012、pp.111-122
- ⑧ 秦吉弥、銚田泰子、野津厚、経験的サイト増幅、位相特性を考慮した 2011 年東北地方太平洋沖地震における那珂川水管橋での地震動の評価、日本地震工学会論文集、査読有、東日本大震災特集号 12 巻、第 4 号 (特集号)、2012、pp.374- 393

[学会発表] (計 8 件)

- ① 上仲亮、銚田泰子、竹田周平、3 次元地震応答解析による大口径水管橋の被害状況の再現と要因の解明、第 14 回日本地震工学シンポジウム、2014.12.4、幕張 (千葉県)
- ② Ryo Kaminaka, Yasuko Kuwata, Damage mechanism of the Nakagawa water-pipe bridge during the 2011 off the Pacific coast of Tohoku earthquake, The 15th World Conference on Earthquake Engineering, 2014.9.27, Lisbon (Portugal)
- ③ 中西陽一、銚田泰子、直田梓、米山望、津波浸水時の道路橋背後にある水管橋への作用力評価、土木学会第 33 回地震工学研究発表会、2013.10.24、東大生産研 (東京都)
- ④ 上仲亮、銚田泰子、竹田周平、地震動の多点入力による水管橋被害の解析的検討、土木学会第 16 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム、2013.7.17、pp.1-6、土木学会 (東京都)
- ⑤ 中西陽一、銚田泰子、水管橋・添架管の津波被害とがれき堆積物との関係、平成 25 年度土木学会関西支部年次学術講演会、2013.6.5、大阪市立大学 (大阪府)
- ⑥ 中西陽一、銚田泰子、東日本大震災における水管橋・添架管の津波被害分析、日本地震工学会大会-2012、2012.11.7、pp.18-19 国立オリンピック記念青少年総合センター (東京都)
- ⑦ 上仲亮、銚田泰子、東北地方太平洋沖地震における那珂川水管橋の地震応答特性、土木学会第 67 回年次学術講演会、2012.9.7、名古屋大学 (愛知県)
- ⑧ 上仲亮、銚田泰子、微動観測による水戸市那珂川水管橋の振動特性、平成 24 年土木学会関西支部年次学術講演会、2012.6.8、神戸市高等専門学校 (兵庫県)

[図書] (計 3 件)

- ① 高田至郎、銚田泰子、共立出版、震災救命工学、2014、249 頁
- ② 土木学会、丸善出版、続・実務で役立つ耐震設計入門 (実践編)、2014、pp.129-133
- ③ 土木学会、他、丸善出版、東日本大震災合同調査報告 土木編 3 ライフライン施設の被害と復旧、2015、pp.1-5、36-37、41-43

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

銚田 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