

2016 年熊本地震の通信用橋梁添架管路被害に係る地盤震動の特徴

筑波大学大学院 学生会員 ○寺寫 幹裕 筑波大学システム情報系 正会員 庄司 学

1. 目的：2016 年熊本地震では、強震動及び液状化の作用によって通信用橋梁系設備に甚大な被害が生じた^{例えば、1)}。本研究では、それらの動的応答を引き起こすと至る荷重効果を明確にするために熊本県益城町に位置する橋梁添架管路の被害地点並びに無被害地点に近接する地盤の震動特性を明らかにする。具体的には、震災前に実施されたボーリングデータを参考として当該地盤の力学的パラメータを設定した上で、YUSAYUSA-2²⁾による 1 次元有効応力解析を行い、橋梁添架管路の被害並びに無被害に関する地盤震動の影響について考察を行う。

2. 分析対象とするデータセット及び解析地点：分析対象とするデータセットは文献 1)において構築された熊本地震に暴露された橋梁添架管路データである(図 1)。これより、益城町における液状化領域内と非液状化領域内で 1 地点ずつ被災した添架管路(A 橋)と被災しなかった添架管路(B 橋)を選定し、それらの極近傍の表層地盤(A 橋地点、B 橋地点)を解析対象とする。A 橋は、地盤変状及び橋桁の振動に伴い、図 2 に示すように橋台部と管路を接合する留め具が外れ、添架管路が下方向に 0.4m 程度、橋軸方向及び橋軸直角方向ともに 0.1m 程度橋桁より相対的に変位している様子が観察された。一方、B 橋は、地震動による管路の被害は見られなかった。橋梁添架管路周辺の液状化の有無を判断するデータは、文献 3)及び文献 4)のデータにより、現地調査に基づき確認している。また、これらの地点は、下水道施設の整備に付随して、熊本地震以前にボーリング調査が実施された地点の極近傍であり、文献 5)において下水道埋設管路の被災分析の際に適用したボーリングデータを一部修正して分析している。

3. 有効応力解析の手法：図 3 には、A 橋地点の柱状図、地下水位深度、土質区分とその詳細を示す。細粒分含有率 FC の値は文献 5)の値に基づいた。その際、ボーリング記事を基に、A 橋地点の第 1 層の盛土及び B 橋地点の第 2 層の盛土を盛土(粘性土)、A 橋地点の第 6 層の砂を細砂に分類した。単位体積重量 γ_t 及びせん断弾性波速度 V_s に関して、盛土、粘土質シルトに対しては、益城町役場の敷地内において実施されたボーリング調査と PS 検層から作成された文献 6)の地盤モデルを参考とし、その第 1 層の表土、第 5 層のシルトの値をそれぞれ採用した。砂質粘土、砂、砂礫と玉石混り砂礫に対しては、益城町庁舎建設地点のボーリング調査結果を基にモデル化された文献 7)の地盤定数を参考とし、その第 1 層の粘土、第 2 層の砂、第 3 層の砂礫の値をそれぞれ採用した。礫混り砂、礫混り火山灰質シルトに対しては、KiK-net 益城検層モデル⁸⁾を参考とし、その第 2 層の砂、第 4 層の火山灰質粘土の値をそれぞれ採用した。表 1 には、A 橋地点における地盤モデルのパラメータを示す。入射波は、KiK-net 観測点 KMMH16 の地中で観測された図 4 に示す EW 方向の加速度波形を用いた。過剰間隙水圧 u_e を初期上載圧 σ_{v0} 'で除して過剰間隙水圧比 u_e / σ_{v0} 'を定義し、 u_e / σ_{v0} '=0.97 を閾値とした上で、地下水位以深の土層を液状化の判定範囲とした。なお、数値解析における時間刻み Δt は 0.01 秒、解析時間は 100 秒とした。

4. 橋梁添架管路被害に係る地盤震動の特徴：図 5 には、A 橋地点及び B 橋地点について、第 3 層及び第 6 層における加速度、変位、過剰間隙水圧比及び応力-ひずみ関係を示す。A 橋地点の第 3 層では、加速度の増幅が見られ、主要動が 20s~30s 付近のおよそ 10 秒間で顕在化し、その最大値は 4m/s^2 程度を示す。変位は 25s 付近において最大値を示し、30s 付近より残留変位として東の方向に 0.02m を示す。また、過剰間隙水圧比は 20s~25s のおよそ 5 秒間で急激に上昇し、閾値 0.97 を示し、液状化が確認できた。応力-ひずみ関係は、20s~30s の卓越する主要動により、非線形に応答しており、最大せん断ひずみは西の方向に 3%程度を示す。B 橋地点では、A 橋地点同様に加速度の増幅が見られ、変位は 25s 付近で最大値を示す。残留変位を伴うような著しい変位や過剰間隙水圧比の上昇が確認されるような応答は見られなかった。

5. まとめ：本研究では、熊本県益城町に位置する通信用橋梁添架管路の被害地点並びに無被害地点に近接する地盤の震動特性を 1 次元有効応力解析により明らかにした。A 橋地点では、地殻内地震特有のおよそ 10 秒程度の強烈なパルス状の地震動により、過剰間隙水圧比が急激に上昇し、液状化が確認された。また、最大せん断ひずみは 3%を示し、

キーワード 熊本地震、橋梁添架管路、地震被害、有効応力解析、液状化被害

連絡先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 筑波大学大学院システム情報工学研究科 TEL029-853-7368

大きなひずみが生じた。B 橋地点では、加速度の増幅は見られたものの、著しい変位や液状化に至るような応答は見られなかった。

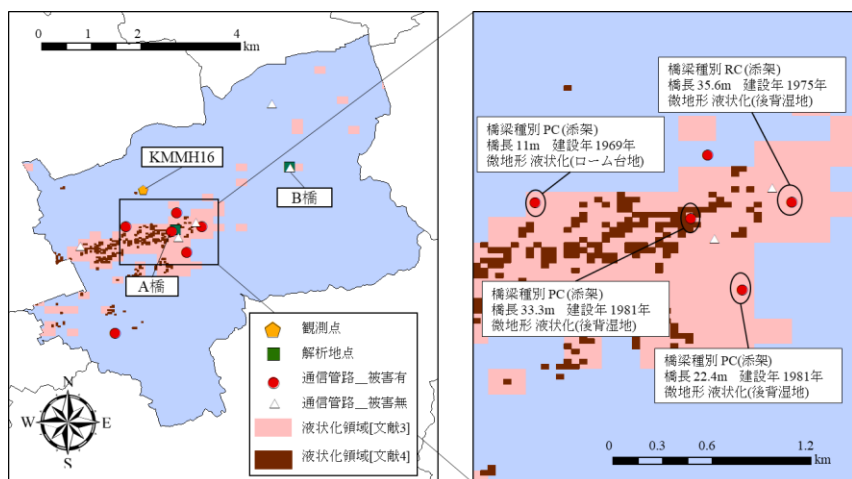


図1 益城町における橋梁添架管路被害及び解析対象地点

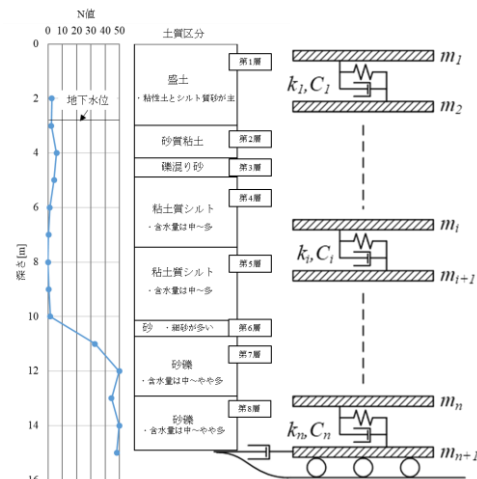


図2 A 橋地点の地盤のモデル化

表1 A 橋地点におけるパラメータ

層番号	土質	層厚 [m]	単位体積重量 [kN/m ³]	せん断弾性波速度 [m/s]	平均N値
1	盛土	3	14.72	190	3.14
2	砂質粘土	1.2	15.70	150	4.41
3	礫混り砂	0.7	15.70	240	6.60
4	粘土質シルト	2.6	17.17	180	1.25
5	粘土質シルト	2.7	17.17	180	1.00
6	砂	0.6	18.64	350	10.48
7	砂礫	2.2	18.64	440	46.56
8	砂礫	2	18.64	440	51.62



図3 A 橋地点の管路被害

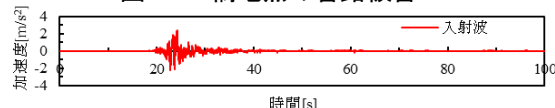


図4 KMMH16において観測された加速度波形

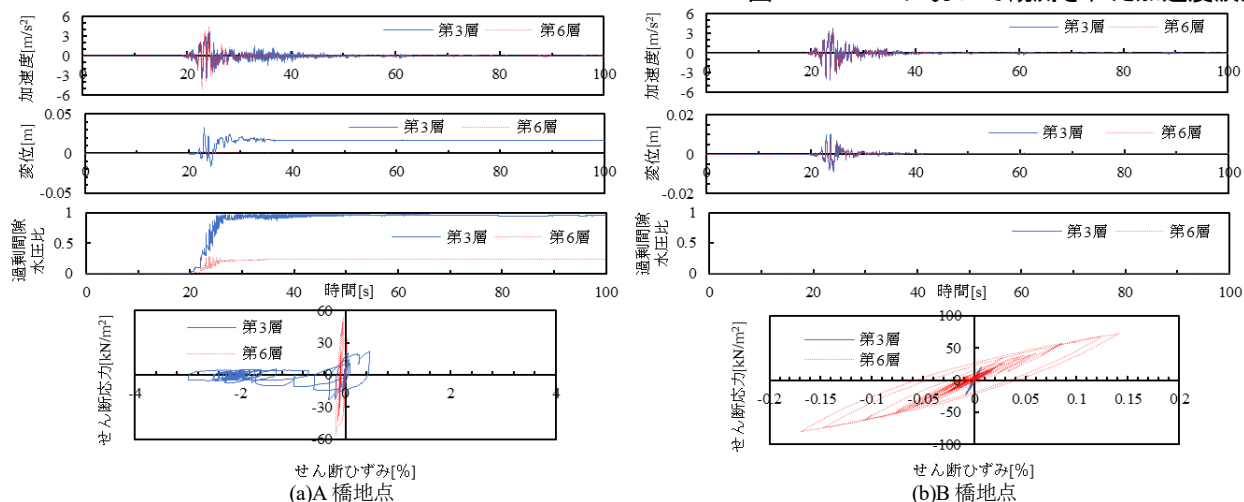


図5 第3層及び第6層における加速度、変位、過剰間隙水圧比及び応力-ひずみ関係

謝辞: 本研究は NTT アクセスサービスシステム研究所及び(財)地震予知総合研究振興会との共同研究(主査: 東洋大学, 鈴木崇伸教授)により実施され、関係各位には多々貴重なご助言を賜りました。橋梁添架管路の現地調査に当たっては(株)SYSKENの宮本三智也氏及び日本電信電話株式会社の奥津大氏に多大なご協力をいただくとともに、研究遂行に当たっての貴重な現場情報を賜りました。熊本県土木部土木技術管理課、益城町の上下水道関連部局の皆様より、益城町のボーリングデータを提供していただきました。福岡大学の村上哲先生、関東学院大学の若松加寿江先生、東京工業大学大学院の松岡昌志先生及び防災科学技術研究所の先名重樹博士より液状化領域に関わる貴重なデータを賜りました。

参考文献: 1) 寺島幹裕, 庄司学, 奥津大, 若竹雅人, 末富雄雄, 塚本博之, 鈴木崇伸: 通信用橋梁系設備の既往地震被害データに関する体系的整理と分析・考察, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.75, No.4 (登載決定) 2) 吉田望, 東畑郁生: YUSAYUSA:有効応力に基づく一次元地震応答解析, <http://www.civil.tohoku-gakuin.ac.jp/yoshida/computercodes/index.html> 3) 若松加寿江, 先名重樹, 小澤京子: 平成 28 年(2016 年)熊本地震による液状化発生の特性, 日本地震学会論文集, 第 17 巻, 第 4 号, pp.81-100, 2017.8. 4) T. Mukunoki, K. Kasama, S. Murakami, H. Ikemi, R. Ishikura, T. Fujikawa, N. Yasufuku, Y. Kitazono: Reconnaissance report on geotechnical damage caused by an earthquake with JMA seismic intensity 7 twice in 28 h, Kumamoto, Japan, Soils and Foundations 58(6), pp.947-1088. 5) 原昌弘, 庄司学: 2016 年熊本地震における下水道埋設管路被害に係る表層地盤特性, 第 15 回日本地震工学シンポジウム, pp.1824-1833, 2018. 6) 片岡正次郎, 石井洋輔: 余震観測による益城町役場地点のサイト増幅特性の分析, 第 21 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講演論文集, pp.287-290, 2018.7. 7) 中野尊治, 宮本裕司, 川辺秀憲: 2016 年熊本地震における益城町庁舎 1 階の応答シミュレーション, 日本地震学会・大会-2017 梗概集, P2-17, 2017.11. 8) 防災科学技術研究所, 強震観測網, <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>