

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震では、広域災害、津波災害、原子力災害が複合して発生し、被災地は甚大な被害を受けた。観測された地震動に対して建物や土木構造物の被害は少ない一方で、被災市町村の断水は長期にわたり、地震から 1 週間を経過しても多くの市町村が断水復旧していない状態であった。断水長期化には複数の事象が関わっており、市町村でもそれぞれその要因が異なる。図-1 に示すように広域水道が被害を被った地域の断水が長期化している¹⁾ことや、地震後の断水自治体へのヒヤリング調査に基づ

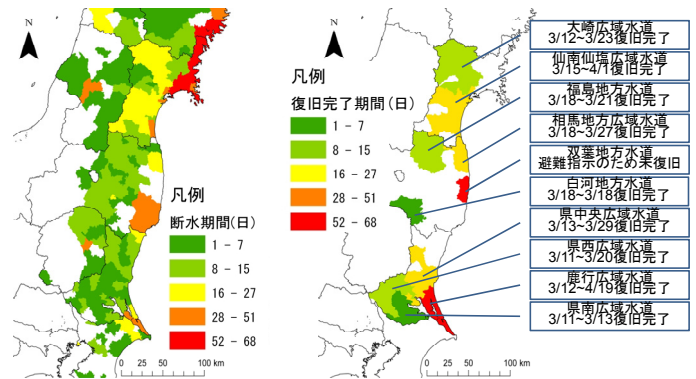


図-1 各市町村の断水期間と広域水道送水再開期間¹⁾

いた報告書から、長期断水化の要因の一つに広域水道の被害が挙げられていた²⁾が、要因が他にもあるために根本的な

要因は明確になっていない。そこで本研究では、東北地方太平洋沖地震における被災自治体の断水長期化の要因を明らかにし、配水管路の被害程度に基づいた経験的な復旧日数と比較して広域水道の被害が断水長期化に与えた影響程度を定量的に明らかにすることを目的とする。

2. 断水長期化の要因分析

水道の災害復旧は図-2 の概念図で表せられるように、まず浄水・配水施設とともに上位の導水管や送水管を充水・確認・修理・通水させ、順次下位の配水管や給水管の漏水箇所を幹線またはブロックごとに修理する。本研究では、図-3 に示すような復旧過程の特徴を加味して、地震動による管路被害に基づく経験的な管路復旧日数と、停電、広域水道、液状化要因による復旧日数を用いて水道復旧日数モデルを構築する。

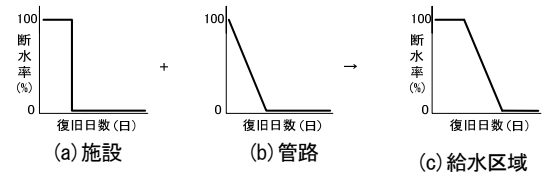


図-2 水道復旧過程概念図

高田ら³⁾は、兵庫県南部地震における配水管被害率（以下、RR）及び、顧客密度（配水管 1km あたりの給水戸数。以下、d）が水道の復旧日数と相関があることを示し、下式に示す水道管路復旧による 90%復旧日数 T_{p90} (日) の予測式を提案している。

$$T_{p90} = 0.38d^{0.86}RR^{0.59} \quad [1]$$

被災 4 県 19 市町を対象に調査を行い、管路被害率から式[1]を用いて 90%管路復旧日数を予測した⁴⁾。実 90%復旧日数 T_{obs} との比較したものを図-4 に示す。全ての分析対象市町において予測復旧日数は実復旧日数よりも短い。本地震では、復旧の資機材や復旧要員が行き届かず復旧が遅れたとも考えられるが、90%管路復旧日数の倍以上も復旧に時間を要しており、管路被害率だけでは評価できないことが自明である。

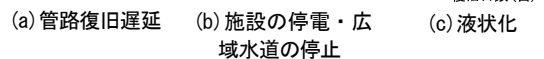


図-3 断水長期化要因が断水率に与える影響の概念図

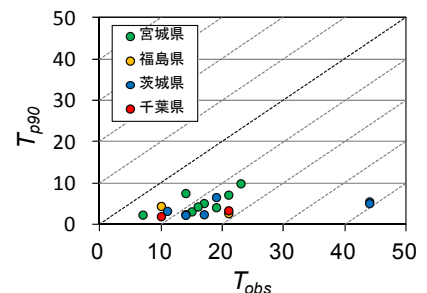


図-4 T_{p90} と T_{obs} の比較

水道復旧日数の予測モデルの拡張にあたり図-2(a)にあたる施設の復旧に代わり、自治体の自己水源における電力復旧日数（以下、 T_e ）、広域水道の復旧日数（以下、 T_i ）、液状化による配水管路復旧の遅延日数（以下、 T_l ）を本地震の断水長期化の要因として加算する。広域水道と自己水源の影響は広域水道受水割合 r で調整している。各日数を説明変数とした重回帰分析を行った。式[2]に90%復旧日数の予測モデルを示す。

$$T_{est} = k_1 T_{p90} + k_2 (1-r) T_e + k_3 r T_i + k_4 T_l \quad [2]$$

ただし、 T_{p90} ：90%管路復旧日数、 T_e ：自治体の自己水源における電力復旧日数、 T_i ：広域水道の復旧日数、 T_l ：液状化による配水管路復旧の遅延日数（復旧曲線において復旧速度が著しく鈍化し始めてから90%復旧するまでの期間）、 k_i ：偏回帰係数

回帰分析の結果、決定係数は $R^2=0.93$ であり、非常にあてはまりが良いといえる。それぞれの項の回帰係数を表-1に示す。 T_{p90} の係数である k_1 以外の項の回帰係数は概ね1.0に近い値であるが、 k_1 が1.84と2倍近い値が算出されている。これは、広域災害で復旧資源が不足していたために管路復旧そのものが神戸のときよりも2倍近く時間を要していることと、停電や広域水道の停止期間が直接市町の断水長期化に影響していることを示している。

表-1 回帰分析の偏回帰係数

回帰係数	値
k_1	1.84
k_2	0.88
k_3	0.78
k_4	1.19

3. 断水長期化要因が与えた影響の定量化

本研究では式[2]の予測復旧日数 T_{est} を用い、それぞれの断水長期化の要因が断水日数、断水戸数に与えた影響を定量的に評価する。図-5に予測復旧日数とそれに示す各項の日数を示している。図に掲載した市町は、広域水道と液状化による復旧期間がそれぞれ長く、定性的にそれらが断水長期化の要因として影響が大きいと考えられた市町である。広域水道の影響は、広域水道からの受水割合が高い利府町が11日、割合にして58%と最も高かった。また、図-3(b)の示すように水道復旧過程において、広域水道による断水の影響は、広域水道停止による断水日数に全戸数を乗じることで、断水の影響に晒された延べ断水影響戸数として扱うことができる。本地震における各市町の延べ影響戸数を図-6に示す。広域水道停止の延べ影響戸数は今回対象とした自治体全体で130万戸、給水戸数の多い仙台市が延べ影響戸数50万戸、広域水道の復旧日数が大きかった神栖市が30万戸と受水市町の中でも影響が大きい。広域水道の復旧日数 T_i が大きかった市町が必ずしも延べ影響戸数が高いわけではなく、これら以外にも断水戸数や r など複数の値が、延べ影響を評価する上で重要となってくるのがわかった。

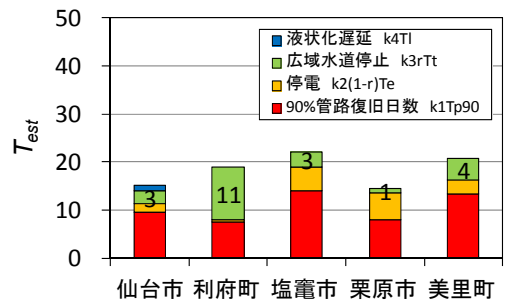


図-5 広域水道被害の大きかった地域の予測復旧日数

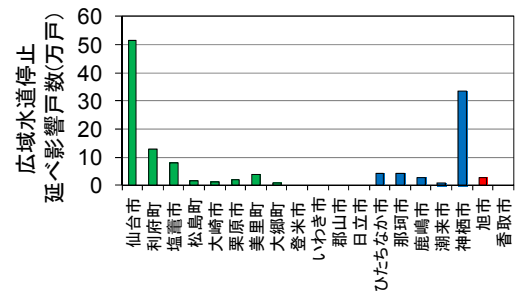


図-6 広域水道停止の延べ影響戸数

4. おわりに

本研究では東北地方太平洋沖地震における断水長期化の要因とその影響を定量的に評価することを試みた。断水長期化の要因は、広域災害による復旧資源や災害応援の遅れと、海溝型地震による広域液状化に二分される。これらはこれまで経験的な水道管路被害の復旧期間を倍増させるだけでなく、各要因が加算方式で影響していることが明らかになった。

謝辞：本研究の遂行にあたり、ヒヤリングにご協力いただきました水道事業者の皆様へ感謝致します。

参考文献

- 厚生労働省：平成23年（2011年）東日本大震災の被害状況及び対応について、2011
- 土木学会地震工学委員会：水道施設の被害，土木学会東日本大震災被害調査団緊急地震被害調査報告書，pp. 10-1-10-61, 2011.5.20
- 高田至郎，原山絵巳子，今西立彦：兵庫県南部地震における水およびガス供給被災復旧の時空間分析，神戸大学都市安全研究センター研究報告，Vol.7, pp. 213-235, 2003.3
- 日本水道協会：平成19年度水道統計施設編，2008