

東日本大震災が道路ネットワークに及ぼした影響について

村井貞規¹⁾・高橋秀典²⁾

The Influence of Tohoku Region Pacific Coast Earthquake on Road Network

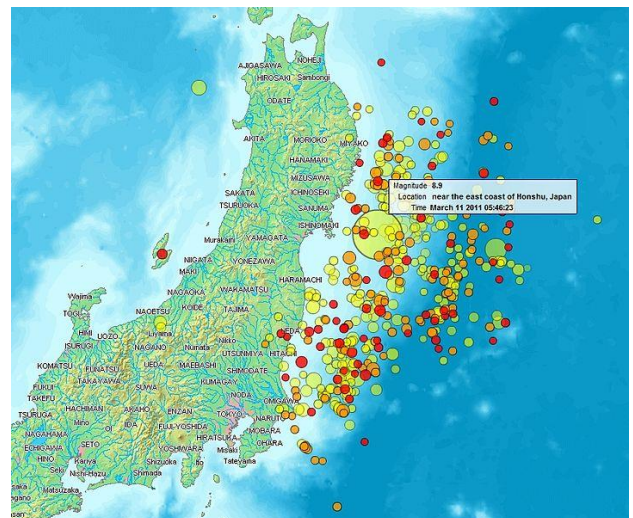
Sadanori MURAI¹⁾, Hidenori TAKAHASHI²⁾

Tohoku Region Pacific Coast Earthquake occurred on March 11, 2011 brought the serious damages in the road networks of the Tohoku district especially in coastal areas. This study organized the situation of the disaster damages of roads in Miyagi prefecture and Iwate Prefecture. And the network damages were analyzed with graphic theory with the number of circuits and isolated components, in process of time. The analyzed road networks in this study consists of national highways, main country roads and prefectural roads.

1. はじめに

平成23年3月11日に発生した「東北地方太平洋沖地震」は、我々がこれまで経験したことのない大規模なプレート境界で発生する連動地震であり、それとともに発生した津波の規模も過去に記録のある明治29年津波や昭和8年津波とは比較にならない広範な地域に影響を与えた。本研究は「東北地方太平洋沖地震」が東北地方の交通に及ぼした影響について資料の収集・整理及び分析を行い、道路ネットワークとしての被害の概要と、その経時変化を明らかにすることを目的とした。

分析対象としては、この地震による影響範囲があまりに広いことから、幾つかのテーマを設けて分析することにした。まず地震被害の概要については、宮城・岩手両県の国道・主要地方道・県道（主要地方道を除く）の被害について整理した。次にグローバルな国道ネットワークを対象にした分析結果について述べた。具体的には国土交通省の「くしの歯作戦」に挙げられている高速自動車道を含む国道網についてグラフ理論を適用した分析結果について述べた。また宮城県の沿岸市町村の道路ネットワークの津波被害についても言及した。



図ー1 前震・本震・余震

2. 地震・津波の概要

今回の東北地方太平洋沖地震は2011（平成23）年3月11日 図1 本震の前後に発生した地震(<http://ja.Wikipedia>)¹⁾ 午後14時46分に牡鹿半島の東南東約130km付近(三陸沖)の深さ約24kmを震源として発生した太平洋プレートと北アメ

1) 東北工業大学都市マネジメント学科 教授

Professor, Dept. of Civil Engineering

2) 国土交通省東北地方整備局 建設専門官

Tohoku Regional Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport

リカプレート境界域における海溝型地震で、震源域は東北地方から関東地方の太平洋沖幅約200km、長さ約500kmの広範囲に亘る所謂連動地震だった。地震の規模はマグニチュード9.0で、その前後に発生した地震は膨大な数にのぼる(図1¹⁾)。震度が最も大きかったのは宮城県栗原市で最大震度7を記録した。ちなみに栗原市は2008年6月の岩手宮城内陸地震でも震度6強を記録している。地震により東北から関東にかけての広範な地域で震度6弱以上の強い揺れが発生し、東京湾岸沿いの埋め立て地では大規模な液状化現象も起きた。地震は震源から遠く離れた九州でも観測された(図2¹⁾)。また地震により東北地方の太平洋岸では最大で約1m地盤沈下し浸水被害が続いている。

この地震によって非常に大規模な津波が発生し北海道から千葉県の沿岸に大津波が押し寄せた²⁾。岩手・宮城・福島各県では津波の高さが20mを超え、1896年の明治三陸地震

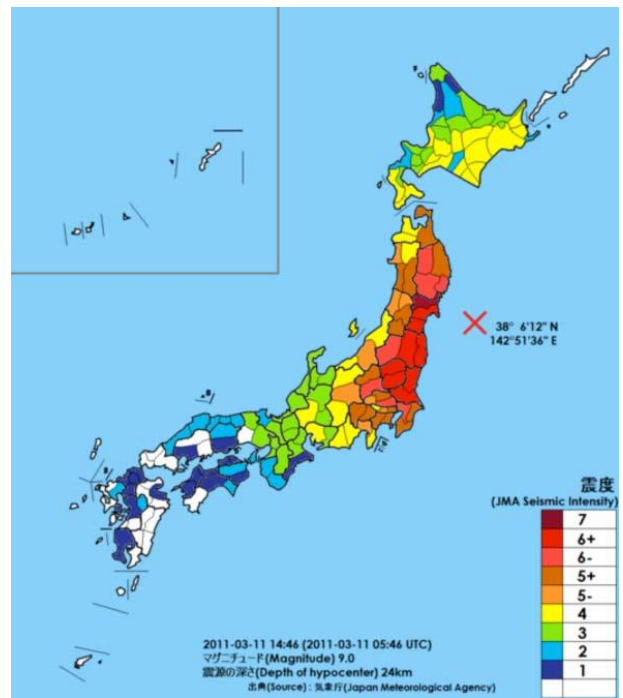


図2 震度分布 (<http://ja.Wikipedia>)¹⁾

の津波を上回る最大潮上高40.5m(宮古市)を記録するなどして海岸沿いの多くの都市や集落が水没したのをはじめ、仙台平野等では海岸線から数km内陸まで津波が浸入した(図3²⁾)。津波は関東地方の太平洋岸でも被害をもたらしたほか、環太平洋地域を中心に世界の海岸に達した。また津波は河川を遡上し、堤防を越えるなどしてかなり内陸まで被害を与えた。

3. 道路被害の概況

こうした地震と津波により東北地方の交通は大きな被害を受け、その後の復旧も必ずしも順調に進んではない。特に津波による鉄道の被害は深刻で、ほぼ1年が過ぎても全く手が付けられていない路線も数多く見られる。一方道路は被災地の復旧の要でもあり、震災直後から例え「啓開」ではあっても国道を中心にかなり急速に復旧が進んだ。



図3 東北地方太平洋岸の津波(赤は浸水域)²⁾

この状況については国土交通省、岩手県・宮城県より被災資料^{3),4)}を得ており、これらを対象に分析を行っている。他に福島県の資料もあるが、原発被害により条件が整っていないとの判断から国道に関する分析を除いて今回は対象としなかった。

図4, 5は得られた資料に基づき宮城・岩手両県を対象とした国道・主要地方道・県道（主要地方道を除く）の全面通行止め箇所数を整理したものである。震災直後から宮城県は7月15日まで、岩手県は7月29日までの道路の復旧の様子を示した。これらを見ると両県ともかなりの数の通行止め箇所があり、また地震当日よりもそれ以降の規制箇所が多い。これは今回の地震の被害が広範囲にわたったため確認に時間を要したことが原因と考えられる。

宮城県の復旧状況については、国道は3月13日以降一旦減少したもののしばらく増加傾向が続いた。主要地方道、県道は3月12日に急激に増加し、県道に至ってはその後もさらに増加している。だが3月21日以降になると、国道、主要地方道、県道の全てが減少傾向となった。ただその回復の程度は岩手県に比べるとかなり緩やかである。それでも1週間後には国道の97%が通行可能になった。この国道の早い復旧に対して、主要地方道、県道の復旧は遅く、3月21日以降規制箇所は少しずつ減少しているが、余震などにより7月15日時点での宮城県の道路復旧状況は5割程度で留まっている。この要因として、被害箇所の多さと機材の不足などにより復旧の目標を9月に設定したことが挙げら

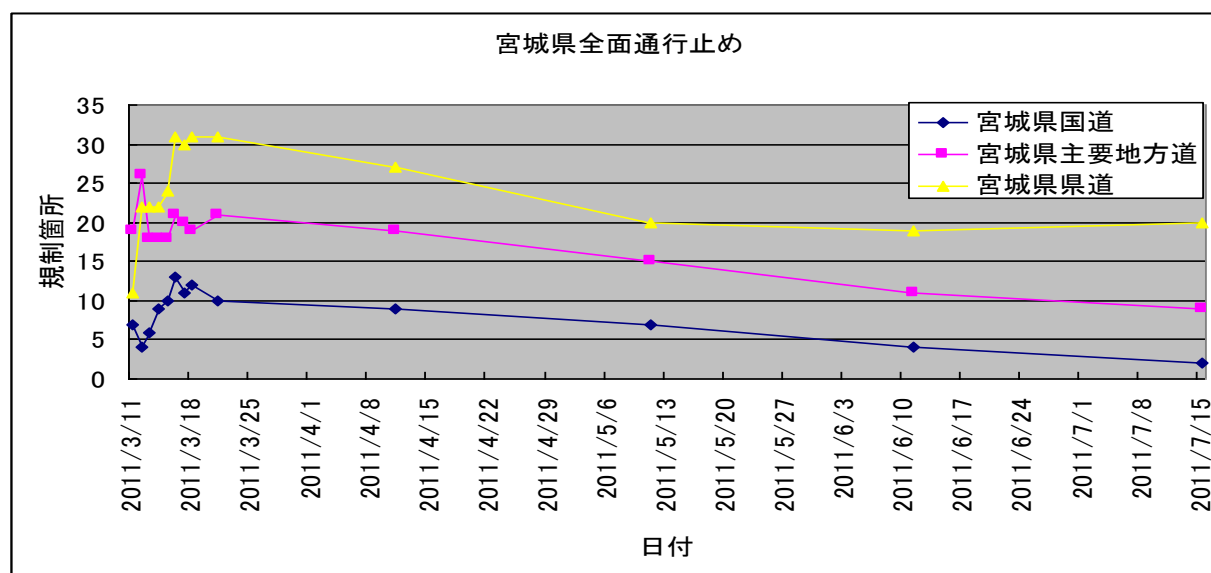


図4 宮城県の通行止め箇所数

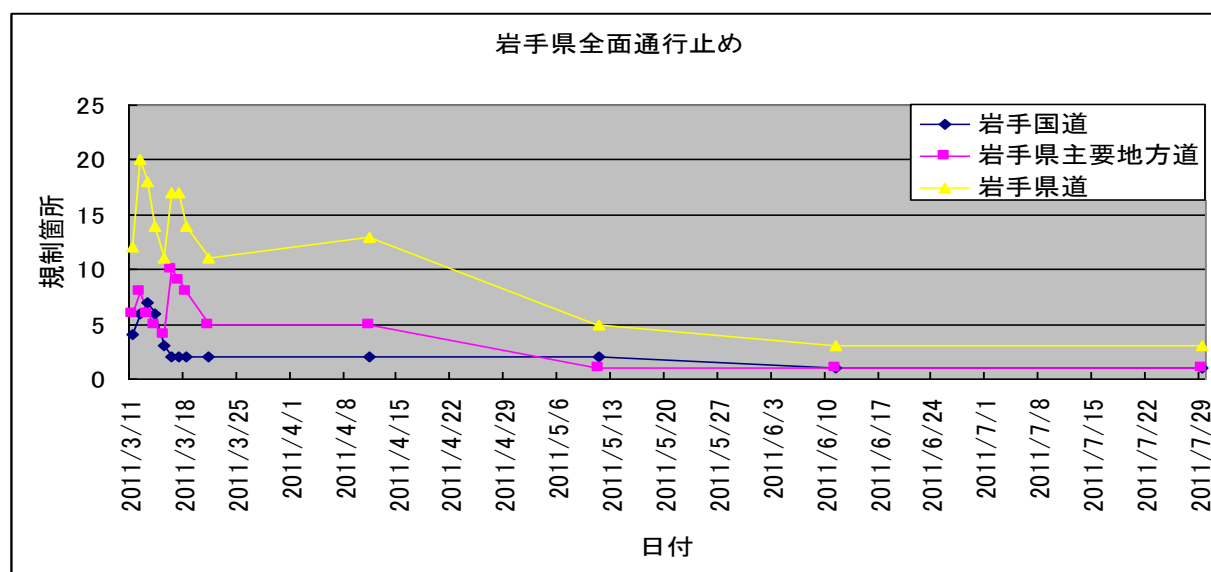


図5 岩手県の通行止め箇所数

れる。

岩手県の復旧状況については、国道、主要地方道、県道のいずれも震災当日よりも3月12日以降の規制箇所が多い。これは前述したように今回の地震の被害確認に時間がかかったことにより、当日よりも翌日以降の規制箇所が増

えたことによると考えられる。国道は3月13日時点での規制箇所数が最多であり、その後減少傾向になり、3月16日以降はほぼ横ばいになっている。岩手県の国道の復旧が早かった理由の1つには、国土交通省東北地方整備局による「くしの歯作戦」の効果が挙げられよう。くしの歯作戦とは、国道4号から津波により大きな被害を受けた沿岸部の国道45号まで、救援国道15ルートを設定したものである。主要地方道、県道も12日以降減少傾向にあったが16日に再び増加し、そこからは減少しているのがわかる。この理

由としては、国道の整備が終わり、迂回路の確保ができたことにより再び通行止めの規制が課せられたためであると考えられる。7月末で岩手県では8割方規制が解除されている。

次にこれらの岩手・宮城両県の通行止め

箇所の交通規制要因を図6に示す。最多の要因は両県とも津波である。次に多い要因は道路損傷で、各所で道路の路面亀裂、法面崩壊、道路の液状化などが見られた。それに続く要因は宮城県と岩手県で異なっており、宮城県では橋梁損傷が多いのに対し岩手県では落石・土砂崩れの被害が多くなっている。この理由として、宮城県は平野部が多いため沿岸部に橋梁が多く、地震・津波による被害が多かったことが考えられる。これに対して沿岸部まで山地が迫っているリアス式海岸の特徴として岩手県では落石・土砂崩れの被害が多くなったと考えられる。これらのうちの津波被害の内訳としては図7に示すように瓦礫、浸水・冠水、道路流出・路面損傷、土砂、護岸損傷の順で被害が挙げられている。なお資料には橋梁損傷と記載され津波被害には含まれていないが、実際には橋梁損傷は津波による被害が中心と考えられることから、津波被害はグラフで表した数値よりも多くなる。

4.ネットワーク分析

今回の分析で対象としたのは岩手県・宮城県・福島県の県庁所在地を繋ぐ国道4号から東の海岸域を含む国道の道路ネットワークとした。また既に一部開通している三陸自動車道も対象としている。現在、国道・主要地方道・県道の詳細な分析をしている所であるが、分析が終了していないことから、国道交通省が公表している「くしの歯作戦」

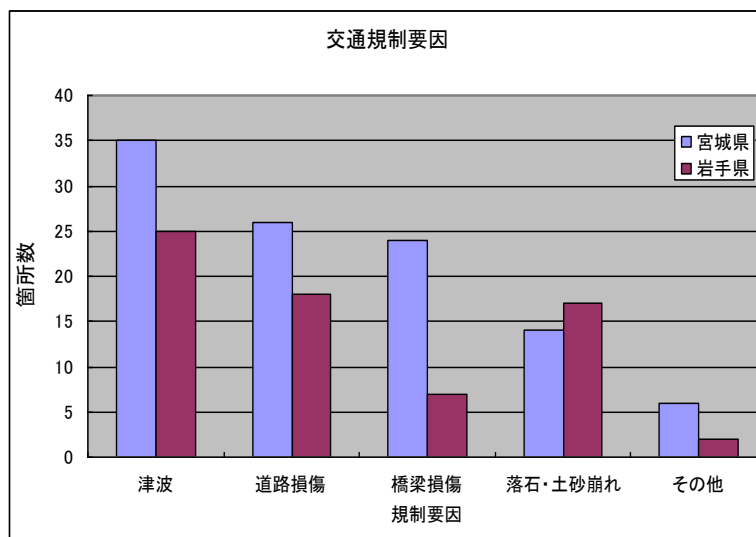


図6 交通規制要因

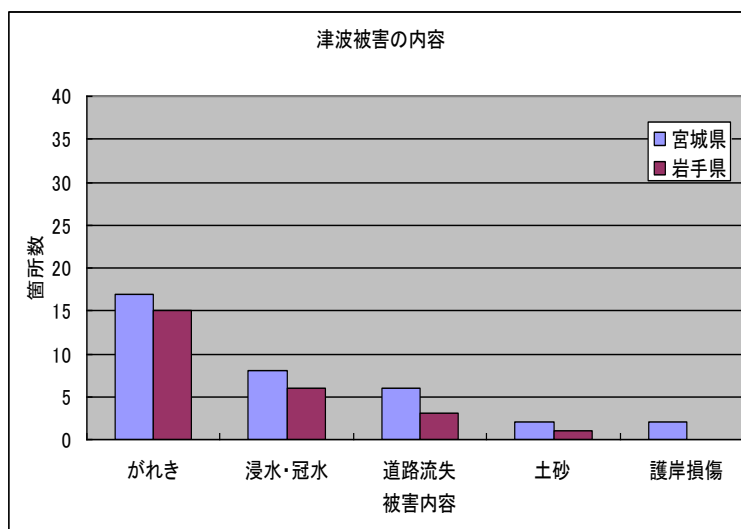
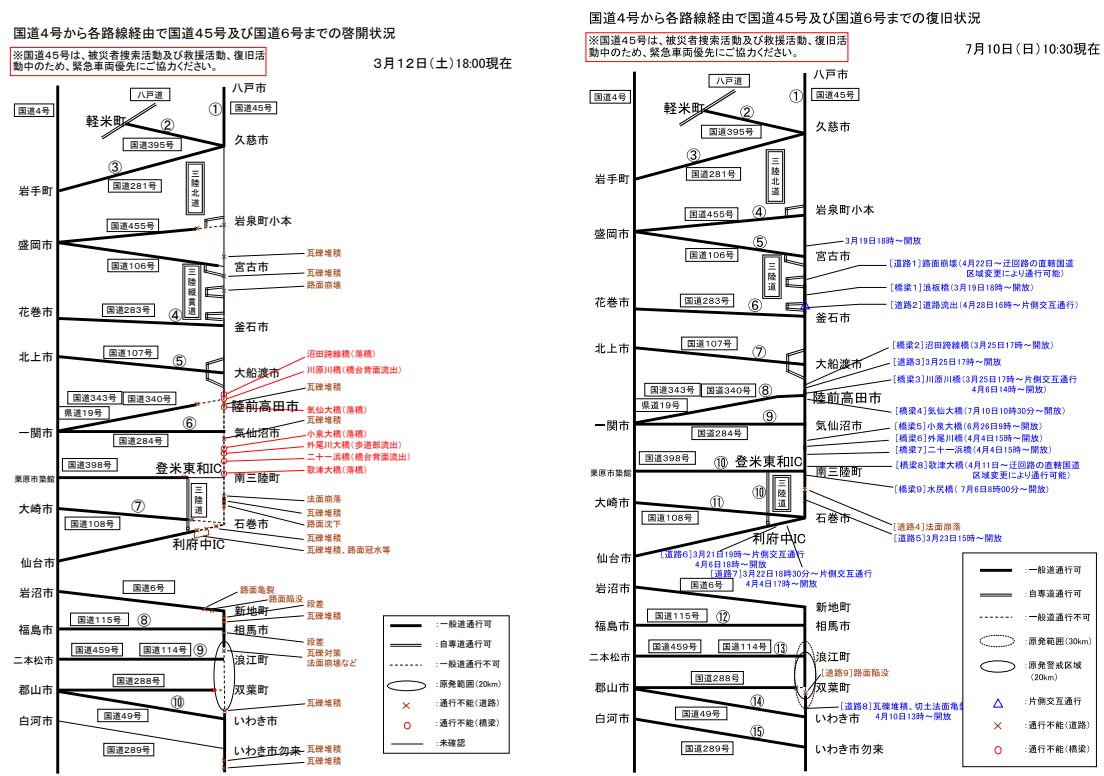
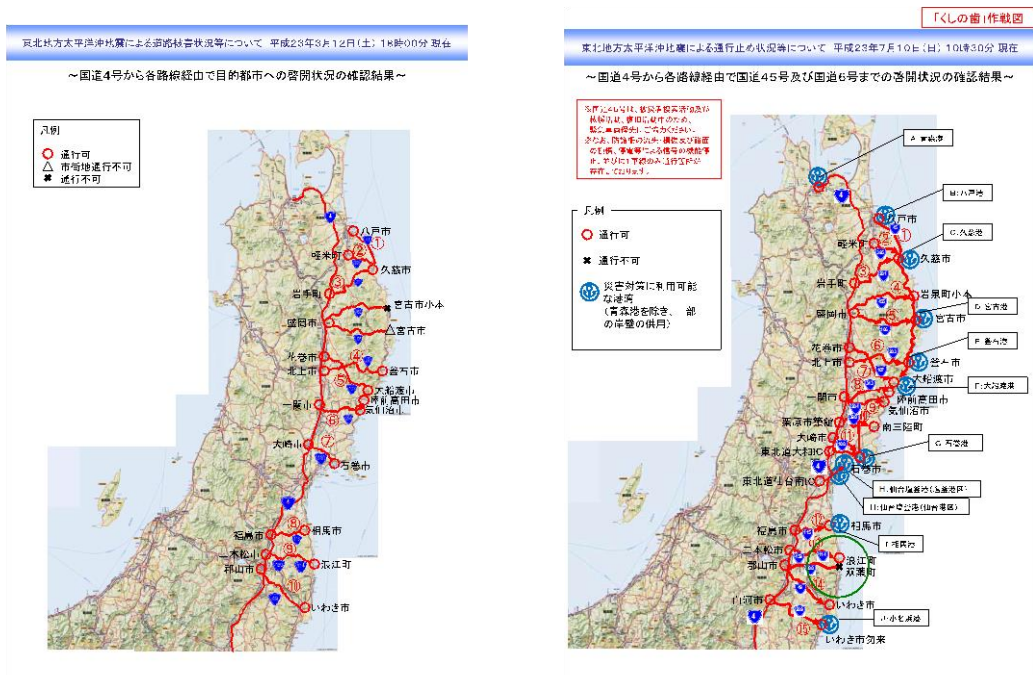


図7 津波被害の内訳



(図8)として挙げた国道ネットワークについて分析を行った結果について述べる。この命名からも分かるように今回の津波被害に対する復旧は極めて困難な状況下で行われたといえる。すなわち特に岩手県、福島県は県庁所在地を通る幹線国道は内陸部にあり、そこから被災地までそれぞれ北上山地、阿武隈山地を越える東西のかなりの距離の道路を場合によっては復旧させた後、さらに南北に走る海岸線沿いの国道を復旧させる必要があった。そこで東北縦貫道・国道4号から津波被害で大きな被害が想定される沿岸部の国道6号・45号への進出するための「くしの歯型」救援15ルートを通行可能にし、さらに国道6号・45号を復旧させることを緊急の目標としたものを「くしの歯作戦」と名付けたのである。このような状況にも関わらず、ほぼ4箇月というかなりの早さでネットワークが回復したのは「啓開」とはいえ関係者の尽力がいかに大きかったかが伺える。

5.分析結果

図8のネットワークを図9のグラフとして表現したものを対象に、回路階数、コンポーネ

ント数を経時的に求めた。回路階数 μ は $\mu = m - n + p$ (m : 辺数, n : 頂点数, p : コンポーネント数)により表されるグラフに含まれるサイクルの数である。最初は沿岸部の道路は八戸・久慈間を除いて全く連結されていない状況からの復旧となっている。すなわち沿岸部まで到達できない箇所が見られ、さらに沿岸部までは到達することが出来たとしても南北方向はほぼ不通となっており、そこを基点にして南北に徐々に進むしかない状況であったことが示されている。その状態から3月19日まで急激に回復し、4月30日までその状態が続いている。その後6月25日、7月9日にそれぞれ1つのサイクルが出来、ほぼネットワークのサイクルとして機能するようになったことが分かる。この様子を回路階数 μ として示したものが図10である。

図11に孤立コンポーネントの推移を示す。孤立コンポーネントとはグラフを構成するコンポーネントの中でその中から出ることの出来ない比較的小さなコンポーネントを指す言葉として導入したものである。ここでは内陸側から復旧して来た道路にアクセスできない部分を指すことにする。今回の資料からでは厳密には指摘できないが、幾つかの通行止めの位置が示されていることからそれに基づいて孤立コンポーネント数を数えた。地震発生後沿岸部では孤立コンポーネントの数は10を越えたが、10日でほぼ1/3になり、その後しばらく復旧に手間取る時期もあったが、順調に数が減っており、1箇月で孤立コンポーネントは解消された。勿論これは復旧の基幹となる最も重要な国道についての結果であり、浸水した他の道路の回復には相当の時間が掛かったと思われる。

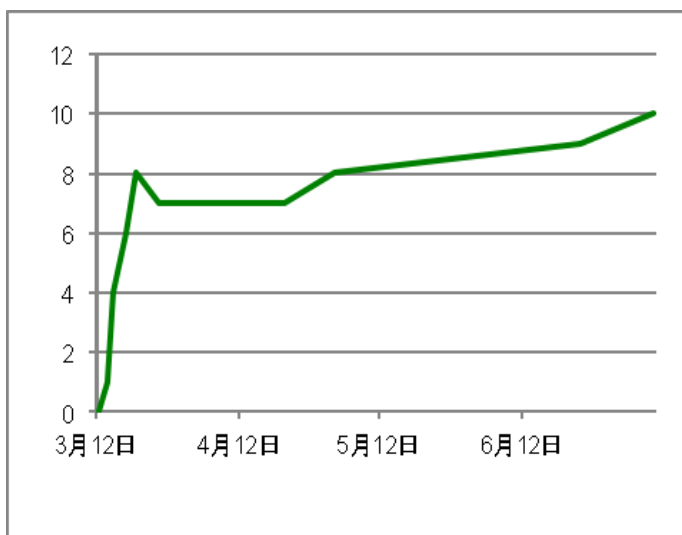


図10 回路階数 μ の推移

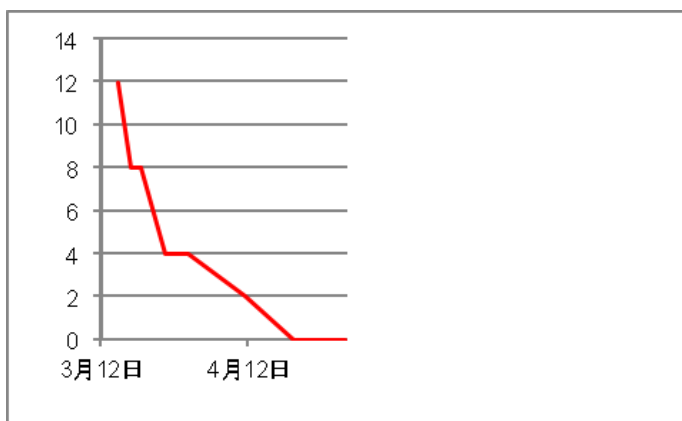


図11 孤立コンポーネントの推移

6. 沿岸市町村のネットワーク分析

東日本大震災では津波により沿岸の市町村が通常地震では考えられない大きな被害を受けた。浸水域が広範囲に及んだことから津波被害を受けなかった内陸部につながる道路

ネットワークがない市町村は救助や救援にかなり時間を要したと考えられる。また例え内陸部につながる道路があったとしても、海岸部の浸水域から先には進めない状況にあったと思われる。そこで具体的に幾つかの市町村を例にとり津波被害と道路ネットワークの関係を明らかにすることとした。ここでは宮城県の南三陸町と女川町を例にとり、津波によりそれぞれの地域の道路がどのような状況に置かれたかを明らかにした。

道路の連結状態を評価する為には道路の水準を明確にする必要がある。また単に道路水準ごとに分析することはネットワークとしての連結の可能性を確認する為には適当ではない。そこでネットワークの道路レベルを次のように設定することとした。

NL1：国道，NL2：国道＋主要地方道

NL3：国道＋主要地方道＋県道

基本的にはNL3が地域の道路網の骨格を形成している。なおこれらの分類において主要地方道は主要な県道・市町村道を合わせたものであり、道路機能的に一般県道よりレベルの高い道路区分されている。またこれらの被災状況を表す指標としては前述の5. で定義した「孤立コンポーネント」を用いることにした。一般的には都市の中心部は復旧の基点となるべき場所であるが、今回の津波は都市の中心部も軒並み飲み込んだことから一律に孤立コンポーネントとしてカウントしている。また行政区画の境界上の点を一つのノードとしており、実際は隣接する地域とつながっている可能性が高い。分析における津波による浸水域は文献5)に従った。

南三陸町の状況を図12に示す。これらの図では国道を赤、主要地方道を緑色、一般県道を茶色に色分けしている。南三陸町には主要地方道は通っていないので震災直後の孤立コンポーネント数はNL1：15，NL2：15，NL3は27となっている。これを見ると海岸線を通る国道は津波により各地で寸断されているが、内陸側の国道の通行止め箇所はない。県道は国道より海沿いにあるものについては国道同様寸断されている。一方内陸部には殆ど通行止め箇所は見られないが県道172号は通行止めとなっている。



図12 南三陸町

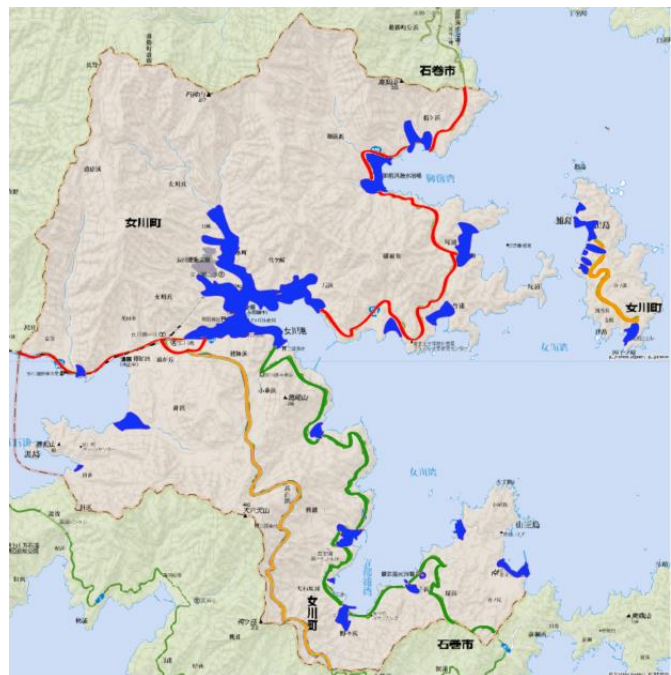


図13 女川町

女川町の状況を図13に示す。女川町も中心部が広い範囲で浸水し、海岸沿いの国道が数カ所で浸水の被害を受けていることがわかる。主要地方道も牡鹿半島の太平洋岸に面している為多くの箇所で浸水により寸断されている。一方県道については出島は海岸部が寸断されており、内陸部を通る県道220号（通称コバルトライン）は津波の被害は受けていないが、全線通行止めとなっている。これらをまとめると女川町の孤立コンポーネント数はNL1：5、NL2：14、NL3：16などとなっており、国道・主要地方道・県道それぞれが浸水の被害を受けていることがわかる。

7. おわりに

本研究は東北地方太平洋沖地震が道路ネットワークに及ぼした影響を明らかにしたものである。最初に宮城・岩手各県の国道、主要地方道、県道の経時的な復旧状況を示した。また、それらの各道路区分における通行規制の主な原因を明らかにした。次に青森・岩手・宮城・福島県の内陸の幹線国道と太平洋岸の国道およびそれらを繋ぐ横断方向の国道で構成されるネットワークの復旧の状況を、国土交通省の「くしの歯作戦」に基づきグラフ理論により分析した結果について述べた。さらに各市町村の地震被害の状況を明らかにするため、ここでは宮城県の南三陸町と女川町を対象にネットワークの被害や復旧状況を明らかにした。今後はさらにこれらの分析を進め、グローバルなネットワーク分析を進めるとともに、特に沿岸部については出来るだけ多くの市町村の状況を詳細に把握しネットワーク分析を行って行きたいと考えている。

今回の東北地方太平洋沖地震により失ったものは非常に多かった。今回の震災において道路に関するものだけを取り上げても、沿岸部および内陸部を含め、東北地方の広範囲な地域にわたって多くの道路が被災し、特に太平洋沿岸部の都市部での被害は甚大であった。しかし、その後の対応は早く、「くしの歯作戦」により、被災地への交通機能が確保され、首都圏、関西圏等からの災害派遣や救援物資の輸送が可能となるなど、全くこれまで経験していない状況に対して被災時点からの対応は適切なものだったと言える。

今回の経験を踏まえて今後の道路整備について必要なことは、高速自動車国道・一般国道については、三陸縦貫自動車道の早期完成、仙台～石巻間の全線片側2車線化、国道45号の沿岸部からの移設・バイパス化が挙げられる。今回の地震・津波に対する沿岸部の道路の復旧を「くしの歯作戦」と名付けなければならなかったことがこれらの問題の所在を明らかにしていると言える。三陸縦貫自動車道が全線開通していれば「くしの歯作戦」ではなく「梯子作戦」となっていたはずであり、横断方向の復旧や移動時間の損失は必要なくなっていたと考えられる。さらに今回の津波で仙台東部道路が防波堤（浸水拡大防止）の役割を果たしたことから、沿岸部に設ける地域の幹線道路は海岸部から適切な距離を保つとともに盛土構造とし、防災対策として役立てていくことも考えられる。さらに、早急な復旧のためには、津波の被害を受けない場所に他市町村に通じる複数の道路網を整備することにより、災害時に強い緊急輸送道路を確保できると思われる。道路以外については、各市町村の高台や避難建築物のヘリポートや避難所の設置・増設、避難所の設備の改善など様々な課題が挙げられる。

今回の東日本大震災は、漠然としたイメージとしてしか捉えられていなかった三陸沖の連動地震やそれに伴う巨大津波が現実となったものである。これによりM9クラスの連動地震の発生の周期が869（貞観11）年に発生した貞観地震からのほぼ1200年であることが明確になった。他にも1793（寛政5）年のM8.2の三陸沖を震源とする津波を伴う地震など複数のM8クラスの歴史地震があるが、この寛政地震は貞観地震からほぼ900年後でありプレート型の地震であるとすればそれから200年後にM9のプレート型の地震が発生するのは周期が短すぎることから発生原因が異なる地震と考えるべきであろう。今後は東日本大震災を基準に将来の地域・都市計画を立てる必要があるが、その計画で考慮する津波の周期につい

て100年に数回発生する津波とこの長周期で繰り返される津波とを明確に分離し、近未来に現実可能な地域像を描くことが重要であると思われる。

最後に、この道路被害の資料を提供して頂いた関係機関各位と、平成 23 年度卒業論文として資料の解析を担当した東北工業大学建設システム工学科菅野脩平・藤沢紀希両君に謝意を表します。

参考文献

- 1) wikipedia (<http://ja.wikipedia.org/wiki/東北地方太平洋沖地震の前震・本震・余震の記録>)
- 2) 東日本大震災の記録, 新潮社, 2011.
- 3) 国土交通省東北地方整備局 HP くしの歯作戦
(http://www.thr.mlit.go.jp/road/jisinkannrenjouhou_110311/kushinohasakusen.html)
- 4) 県管理道路 通行止め情報 (岩手・宮城県)
- 5) 東日本大震災 復興支援地図 (昭文社)
- 6) 電子地図ソフト プロアトラス S V 7 (全国版)