

## 東海道新幹線の地震時システムリスク解析と地震リスクの可視化

東京都市大学 学生会員 ○高橋優輔  
東京都市大学 正会員 吉川弘道

## 1 はじめに

日本の大動脈である鉄道・高速道路等の線状施設が地震によって被害を受けた場合、可能な限り早期に復旧し、その影響を最小限に抑えなければならない。そのためには早期復旧の目安とするための指標を作ることが重要となる。今回は東海道新幹線を例に地震時システムリスク解析を行い、想定地震と復旧率の関係を算出すると共に、地理情報ソフトを用いたリスクの可視化を行う。

## 2 地震時システムリスク解析の概要

ある一つの構造物に対して地震などの災害により施設が損傷したり、損害が発生したりするリスクを解析することは「単体リスク解析」となる。

一方、様々な構造物が集合することで機能する鉄道路線などでは、それら全ての構造物に対して損傷確率や損失を考慮しながらリスク解析を行う必要がある。このように様々な施設を伴ったものに対して行う解析を「システムリスク解析」という。一構造物に対して行う単体のリスク解析ではその評価対象に「損傷額」が考慮されることが多いが、線状施設に対して行うシステムリスク解析では「機能停止日数」を解析対象にする場合が多い。図2に線状施設モデル化の一例を示す。

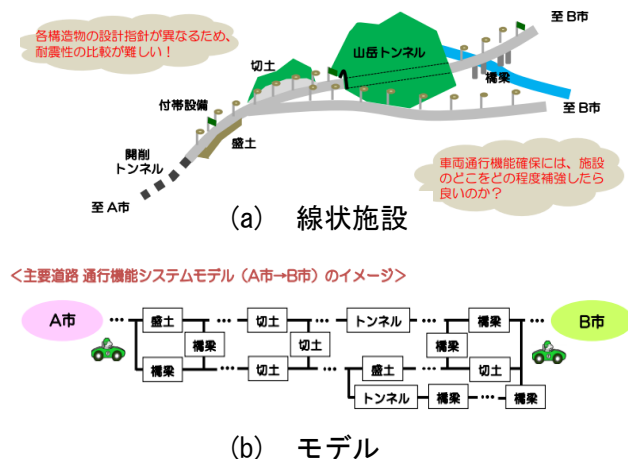


図2 施設のモデル化

## 3 解析条件

## (1) 路線モデルと各施設の諸元

東海道新幹線は昭和39(1964)年に開通した高速鉄道路線で、日本の東西を結ぶ大動脈として東京駅と新大阪駅を最速2時間25分で結んでいる。

新幹線は高速鉄道のため、他の土地から比較的高い位置に構造物が置かれていることが多く、盛土、ラーメン高架橋をはじめとし、長大橋梁や長大トンネルなど様々な構造物が存在する。東海道新幹線の路線と主要活断層の位置を表したものを以下の図3-1に示す。



図3-1 東海道新幹線と主要活断層

## (2) 想定地震

解析にあたり、東海道新幹線に大きな影響を与える100個の地震のうち、海溝型である南海トラフ地震・想定東海地震及び活断層型である富士川河口断層帯地震の3種類を選定した。マグニチュードは南海トラフ自身がM8.6、それ以外がM8.0である。それぞれの地震の諸元を以下の表3-1に示す。また、各地震の震源域を以下の図3-2及び図3-3に示す。

表3-1 想定地震の諸元

| 想定地震       | マグニチュード | 年間発生確率 |
|------------|---------|--------|
| 南海トラフ地震    | 8.6     | 0.002  |
| 想定東海(M8.0) | 8.0     | 0.050  |
| 富士川河口断層帯   | 8.0     | 0.002  |

キーワード：地震時システムリスク解析、地震リスク曲線、D曲線、ボトルネック指標、可視化

連絡先：〒241-0816 神奈川県横浜市旭区笹野台3-56-7 高橋優輔 TEL.070-5013-8878 E-mail: fukuen105@hotmail.co.jp



図 3-2 想定東海地震の震源域

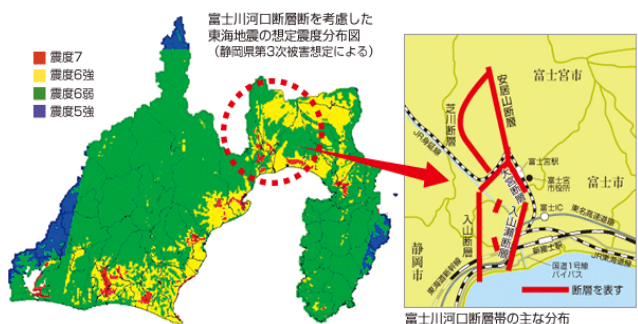
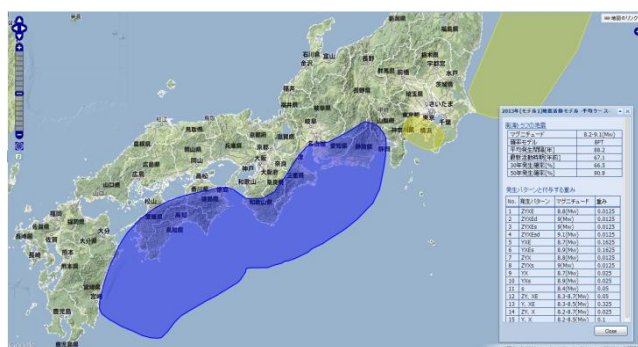


図 3-3 富士川河口断層帯の位置

図 3-4 南海トラフ地震の震源域  
(2013 年最新版)

### (3) 施設のフラジリティ特性

設定した 33 の施設におけるフラジリティを以下の表 3-2 のように設定した。また、各施設の地盤増幅率を表 3-3 のように設定した。これは地震ハザードステーション「J-SHIS」のものを使用している。

表 3-2 各施設の地盤増幅率

|       |      |       |      |
|-------|------|-------|------|
| 東京    | 1.44 | 天竜川橋梁 | 1.00 |
| 平地    | 2.27 | 浜松    | 1.42 |
| 品川    | 2.23 | 浜名湖橋梁 | 1.83 |
| 高架橋①  | 1.94 | 豊橋    | 1.32 |
| 新横浜   | 2.38 | 高架橋②  | 1.31 |
| 相模川橋梁 | 1.00 | 三河安城  | 1.32 |
| 小田原   | 1.30 | 高架橋③  | 1.81 |
| トンネル① | 1.15 | 名古屋   | 2.35 |
| 熱海    | 0.67 | 木曽川橋梁 | 1.00 |
| トンネル② | 0.93 | 岐阜羽島  | 2.32 |
| 三島    | 1.42 | 長良川橋梁 | 1.00 |
| 切土    | 1.22 | 米原    | 1.75 |
| 新富士   | 1.41 | 高架橋④  | 1.13 |
| 富士川橋梁 | 1.00 | 京都    | 1.27 |
| 静岡    | 1.30 | 高架橋⑤  | 2.28 |
| 大井川橋梁 | 1.00 | 新大阪   | 2.13 |
| 掛川    | 1.21 |       |      |

表 3-3 各施設のフラジリティ

|      | 地表面耐力中央値[kine] |    |    | 復旧日数[日] |    |     | 対数標準偏差 |
|------|----------------|----|----|---------|----|-----|--------|
|      | 無被害            | 中破 | 大破 | 無被害     | 中破 | 大破  |        |
| 平地   | 0              | 30 | 50 | 0       | 80 | 120 | 0.5    |
| 切土   | 0              | 30 | 50 | 0       | 80 | 120 | 0.5    |
| 橋梁   | 0              | 25 | 50 | 0       | 80 | 120 | 0.5    |
| トンネル | 0              | 70 | 90 | 0       | 80 | 120 | 0.5    |
| 高架橋  | 0              | 30 | 60 | 0       | 80 | 120 | 0.5    |
| 駅舎   | 0              | 40 | 70 | 0       | 80 | 120 | 0.5    |

## 4 解析結果と考察

### (1) 解析結果

今回の解析では、各施設における地表面最大速度 (Peak Ground velocity)、地震動の累積確率機能停止日数との関係を示した地震リスク曲線、復旧率の大きさを示す D 曲線、そして施設の弱点を求める指標となるボトルネック指標を算出した。各施設の基盤最大速度を以下の表 4-1 に、地震リスク曲線を以下の図 4-1 に、D 曲線を以下の図 4-2 に示す。また南海トラフ地震におけるボトルネック指標を以下の表 4-2 に示す。

表 4-1 各施設の地表面最大速度

|       | 地表面最大速度(kine) |        |            |
|-------|---------------|--------|------------|
|       | 南海トラフ地震       | 想定東海地震 | 富士川河口断層帯地震 |
| 東京    | 27.81         | 0      | 0          |
| 平地    | 44.65         | 0      | 0          |
| 品川    | 44.86         | 0      | 0          |
| 高架橋①  | 42.35         | 0      | 0          |
| 新横浜   | 55.08         | 0      | 0          |
| 相模川橋梁 | 29.87         | 15.88  | 15.79      |
| 小田原   | 50.31         | 28.40  | 29.49      |
| トンネル① | 46.56         | 26.59  | 28.91      |
| 熱海    | 21.78         | 16.42  | 18.66      |
| トンネル② | 42.24         | 24.88  | 28.47      |
| 三島    | 74.23         | 45.57  | 52.28      |
| 切土    | 74.27         | 47.90  | 55.61      |
| 新富士   | 101.89        | 69.93  | 86.36      |
| 富士川橋梁 | 74.68         | 51.92  | 64.59      |
| 静岡    | 93.91         | 63.87  | 52.66      |
| 大井川橋梁 | 69.70         | 46.21  | 28.27      |
| 掛川    | 82.22         | 53.34  | 24.29      |
| 天竜川橋梁 | 67.88         | 44.01  | 15.03      |
| 浜松    | 96.51         | 62.66  | 19.70      |
| 浜名湖橋梁 | 123.74        | 80.14  | 0          |
| 豊橋    | 86.89         | 55.34  | 0          |
| 高架橋②  | 72.70         | 43.85  | 0          |
| 三河安城  | 70.07         | 35.95  | 0          |
| 高架橋③  | 81.78         | 38.32  | 0          |
| 名古屋   | 98.90         | 46.77  | 0          |
| 木曽川橋梁 | 34.44         | 15.73  | 0          |
| 岐阜羽島  | 74.37         | 33.99  | 0          |
| 長良川橋梁 | 33.07         | 14.81  | 0          |
| 米原    | 50.31         | 0      | 0          |
| 高架橋④  | 33.83         | 0      | 0          |
| 京都    | 36.28         | 0      | 0          |
| 高架橋⑤  | 67.27         | 0      | 0          |
| 新大阪   | 61.78         | 0      | 0          |

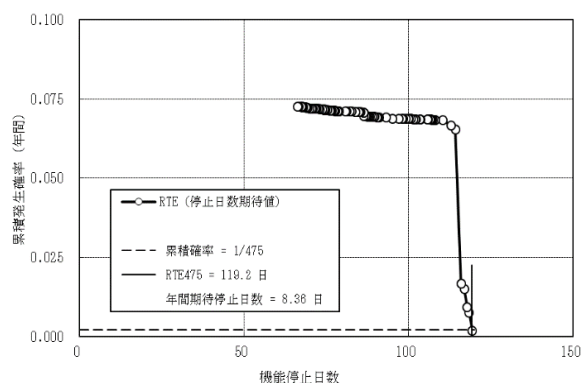


図 4-1 地震リスク曲線

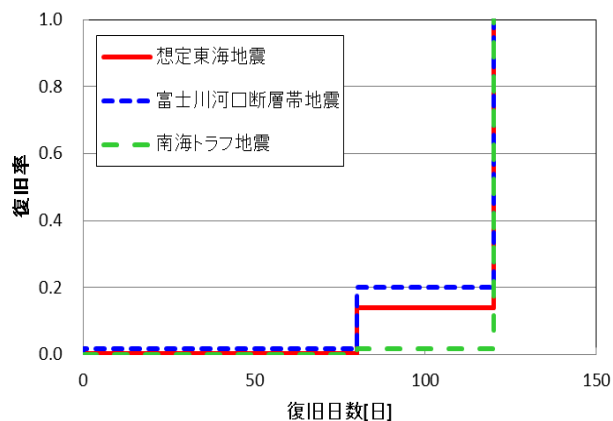


図 4-2 D 曲線

表 4-2 ボトルネック指標  
(南海トラフ地震)

| 南海トラフ地震ボトルネック指標 |        |            |        |
|-----------------|--------|------------|--------|
| 富士川橋梁 橋梁        | 125.77 | 平地 平地      | 103.24 |
| 大井川橋梁 橋梁        | 125.73 | 木曽川橋梁 橋梁   | 102.68 |
| 高架橋③ 高架橋        | 125.67 | 長良川橋梁 橋梁   | 99.69  |
| 天竜川橋梁 橋梁        | 125.65 | 新横浜 駅舎     | 99.53  |
| 高架橋② 高架橋        | 124.80 | 岐阜羽島 駅舎    | 98.27  |
| 高架橋⑤ 高架橋        | 123.68 | 小田原 駅舎     | 92.89  |
| 浜名湖橋梁 橋梁        | 122.20 | 米原 駅舎      | 92.89  |
| 新富士 駅舎          | 122.13 | 相模川橋梁 橋梁   | 91.44  |
| 浜松 駅舎           | 121.46 | 新大阪 駅舎     | 90.67  |
| 静岡 駅舎           | 121.04 | 品川 駅舎      | 83.44  |
| 切土 切土           | 120.72 | 高架橋④ 高架橋   | 77.40  |
| 豊橋 駅舎           | 119.57 | 京都 駅舎      | 64.11  |
| 掛川 駅舎           | 118.24 | 熱海 駅舎      | 42.42  |
| 三島 駅舎           | 115.06 | 東京 駅舎      | 40.72  |
| 名古屋 駅舎          | 113.68 | トンネル① トンネル | 33.92  |
| 三河安城 駅舎         | 112.82 | トンネル② トンネル | 27.52  |
| 高架橋① 高架橋        | 104.40 |            |        |

## (2) 考察

- 地震リスク曲線における累積分布確率と機能停止日数から、東海道新幹線において発生可能性がある地震により 1 年間に機能が停止する期待日数は 8.36 日であることが読み取れる。
- D 曲線より、同じ機能停止日数において、想定東海地震の復旧率が同じマグニチュードの富士川河口断層帯地震と比較して低いことが読み取れる。これは海溝型地震が直下型地震と比較して、広域的に被害を及ぼすためと考えられる。
- 橋梁におけるボトルネック指標が高いことが読み取れる。橋梁周辺は地盤増幅率が 1.0 であることから、基盤の速度がそのまま地表面に伝わるためと考えられる。このことから、橋梁は路線の中で優先的に耐震補強を行う必要があると言える。
- 地盤増幅率とボトルネック指標を比較すると、

品川駅、新大阪駅などでは地盤増幅率が高くともボトルネック指標が大きくなるわけではないことが読み取れる。このことから、ボトルネック指標の大きさには震源の位置と震源からの距離がかかわっていることが予想される。

- 表 4-1 及び図 4-2 より、地表面速度が高く、広範囲に影響を及ぼす南海トラフ地震は復旧率が他の 2 地震と比べて低くなることが読み取れる。

## 5 感度解析

施設の脆弱性が構造物の復旧率に与える影響を調べるため、感度解析を行った。具体的には、今回解析を行った構造物の耐力中央値を各構造物において 20kine、または 40kine 上昇させ、それぞれの条件において南海トラフ地震における復旧率及びボトルネック指標の変化を考察した。

## (1) 解析結果

感度解析における解析結果のうち、南海トラフ地震の D 曲線を図 5-1 に、ボトルネック指標を表 5-1 に示す。

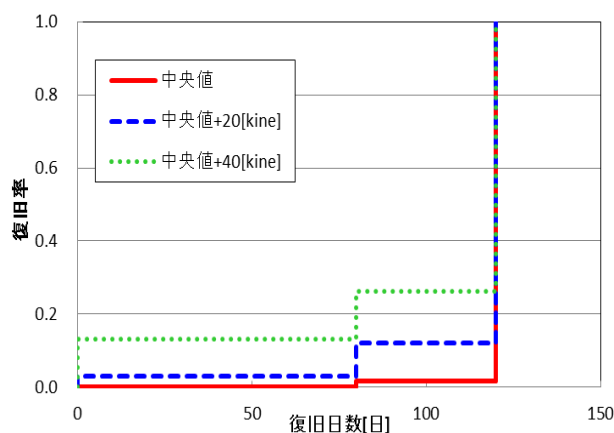


図 5-1 D 曲線 (感度解析)

表 5-1 ボトルネック指標 (感度解析)

| 基本値        |        | 加速度+20kine |        | 加速度+40kine |       |
|------------|--------|------------|--------|------------|-------|
| 富士川橋梁 橋梁   | 125.77 | 浜名湖橋梁 橋梁   | 112.19 | 浜名湖橋梁 橋梁   | 84.46 |
| 大井川橋梁 橋梁   | 125.73 | 富士川橋梁 橋梁   | 107.19 | 富士川橋梁 橋梁   | 80.02 |
| 高架橋③ 高架橋   | 125.67 | 大井川橋梁 橋梁   | 103.65 | 大井川橋梁 橋梁   | 74.37 |
| 天竜川橋梁 橋梁   | 125.65 | 天竜川橋梁 橋梁   | 102.17 | 天竜川橋梁 橋梁   | 72.15 |
| 高架橋② 高架橋   | 124.80 | 新富士 駅舎     | 99.51  | 新富士 駅舎     | 71.81 |
| ：          |        |            |        |            |       |
| 名古屋 駅舎     | 113.68 | 名古屋 駅舎     | 73.94  | 三河安城 駅舎    | 43.84 |
| 三河安城 駅舎    | 112.82 | 高岐原⑤ 高架橋   | 58.54  | 岐阜羽島 駅舎    | 35.16 |
| 高架橋① 高架橋   | 104.40 | 岐阜羽島 駅舎    | 57.38  | 新大阪 駅舎     | 29.91 |
| 平地 平地      | 103.24 | 新大阪 駅舎     | 50.35  | 高架橋④ 高架橋   | 27.35 |
| 木曽川橋梁 橋梁   | 102.68 | 木曽川橋梁 橋梁   | 47.36  | 高架橋⑤ 高架橋   | 22.36 |
| ：          |        |            |        |            |       |
| 京都 駅舎      | 64.11  | 熱海 駅舎      | 21.88  | 高架橋① 高架橋   | 8.47  |
| 熱海 駅舎      | 42.42  | 品川 駅舎      | 20.75  | トンネル② トンネル | 8.15  |
| 東京 駅舎      | 40.72  | トンネル① トンネル | 17.01  | 平地 平地      | 6.38  |
| トンネル① トンネル | 33.92  | トンネル② トンネル | 14.97  | 品川 駅舎      | 5.16  |
| トンネル② トンネル | 27.52  | 東京 駅舎      | 9.69   | 東京 駅舎      | 2.03  |



## (2) 考察

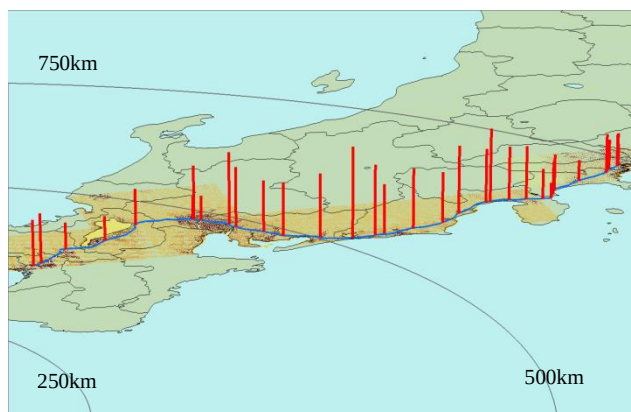
- ・施設の耐力中央値を上昇させることで同じ地震動を用いた解析でも復旧率が上昇し、またボトルネック指標は下降することが読み取れる。
- ・耐力の向上は復旧率の増加及びボトルネック指標の低減につながると言える。実際にはこれらの値と耐震施工の経済性を考慮し、一番合理的な耐震補強を施すことが重要となる。

## 6 地震リスクの可視化

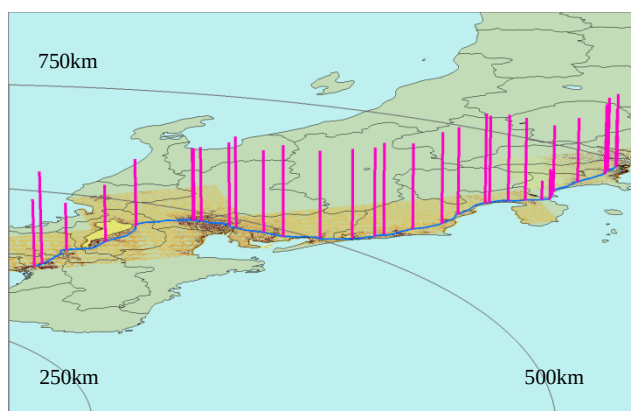
### (1) Arc-Gis による可視化手法

実際に解析されたボトルネックの値を、地理情報ソフトを使用して可視化することは、視覚的に地震リスクを捉える有効な方法となる。

今回の解析で求められた各地点の地表面速度及びボトルネック指標に対して、地理情報システムソフト「Arc-Gis」を用いて可視化を行った。図5に南海トラフ地震における地表面速度及びボトルネック指標を可視化したものを示す。



(a) 地表面最大速度



(b) ボトルネック指標

図6 地表面最大速度とボトルネック指標

## (2) 考察

- ・図5より、全体的に地表面最大速度が高い個所はボトルネック指標も大きくなる傾向になるといえる。但し名古屋駅付近など、施設によってはその限りではないことも読み取れる。
- ・上記の理由として、ボトルネック指標は構造物のフラジリティにより変動するため、地表面最大速度が低い値であってもフラジリティが低く損傷しやすい構造物が存在すると、ボトルネック指標が上がるためと考えられる。

## 7 まとめ

東海道新幹線において地震時システムリスク解析を行った。値を算出した他、数値の可視化を行うことによって体系的にリスクを捉えることが可能になったと言える。今後は構造物におけるフラジリティ等をより具体性が高いものにし、対象構造物の量を増価させて解析を行う予定である。

## <謝辞>

本研究の一部は、(財)国土技術研究センター研究開発助成(平成24年度募集)にて実施したものであり、ここに謝意を表します。

## <参考文献>

- 1) 地震ハザードステーション J-SHIS  
<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 2) 静岡県ホームページ(県地震防災センター)  
[http://www.e-quakes.pref.shizuoka.jp/data/toukei/jishubousai/77/77\\_04.html](http://www.e-quakes.pref.shizuoka.jp/data/toukei/jishubousai/77/77_04.html)
- 3) 吉川弘道：鉄筋コンクリート構造物の耐震設計と地震リスク 丸善 第6講 15章 pp210
- 4) 中村孝明 宇賀田健：地震リスクマネジメント 技報堂出版 4.2 pp118~125 2009
- 5) 静間俊郎, 中村孝明: 復旧曲線の理論的考察とBCPへの適用, 土木学会第1回地震リスクマネジメントと事業継続性シンポジウム論文報告集, pp.231-236, 2009.11
- 6) 石田瑞穂 大井昌弘: 地震情報伝達システム ROSEの開発 日本建築学会パネルディスカッション「インフォメーションテクノロジーと地震防災」2002
- 7) テクノトランスファーinかわさき2012合同出展資料  
[http://www.srm-bcp.com/lecture03/images/20120730161101\\_1.pdf](http://www.srm-bcp.com/lecture03/images/20120730161101_1.pdf)