地震による鉄道の運休期間の推計手法

他谷周一¹⁾、翠川三郎²⁾

1) 正会員 東海旅客鉄道株式会社、博士（工学）（元東京工業大学大学院生）

e-mail : sh-taya@jr-central.co.jp

2) 正会員 東京工業大学 環境・社会理工学院 建築学系、教授 工博

e-mail : smidorik@enveng.titech.ac.jp

要 約

1995年兵庫県南部地震などの過去の4地震時の鉄道の運休事例を整理し、地震による運休期間と、被害程度や被害構造種別等の各種要因との関係について検討した。その結果、被害程度・被害構造種別・地震のタイプ・震度階によって、運休期間が異なることを示すとともに、これをもとに、地震による鉄道の運休期間を路線・区間ごとに推計するためのモデルを作成した。さらに、本モデルと地震被害関数を組み合わせ、地震による鉄道の運休期間推計手順を提案した。この手順による推計例として、都心南部直下を震源とする地震を想定し、首都圏の一部路線の運休期間を推計した。その結果、各路線の構造形態が異なるために、被害状況や運休期間が異なる状況が推定されることを示した。

キーワード： 鉄道、地震被害推計、運休期間

1. はじめに

地震により鉄道構造物に被害が発生した場合、復旧するまでの間、列車は運休となる。たとえば2011年東北地方太平洋沖地震の際には、関東地方から東北地方にかけて非常に広い範囲で鉄道構造物に被害が生じ、津波被害区間を除く各区間の復旧だけでも約1ヶ月半を要した¹⁾。津波被害区間に関しては、2016年現在で未だ復旧されていない区間もある。また、今世紀前半には南海トラフを震源とする巨大地震の再発が懸念されている。同地震が発生した場合には、鉄道構造物に関しても最大で約18,000箇所被害が発生し、運休期間は半年程度に及び、最大数兆円程度の経済的影響を受けると想定されている²⁾。今後発生しうる巨大地震に対する鉄道の防災を考える上では、被害軽減のための耐震補強等の推進もさることながら、被害による影響を最小限にするため、復旧用資機材の備蓄や災害復旧訓練の徹底なども必要とされる。これら施策を効果的に推進していくためには、事前に構造物被害やそれに伴う運休期間を可能な限り具体的に推計することが重要である。

内閣府(2013)³⁾は首都直下地震発生から1か月後の首都圏在来線鉄道の状況を「震度6弱以上の揺れを受けた路線の約60%が復旧する」と想定している。これは、2011年東北地方太平洋沖地震時の在来線鉄道の復旧状況をもとに大まかに想定したものに過ぎず、路線・区間ごとの運休期間については推計されていない。東京都(2006)⁴⁾では、1995年兵庫県南部地震での鉄道の運休事例に基づき震度階と運休日数のごく大まかな関係を示した復旧曲線を作成し、これを用いて運休期間を推計する手法がとられている。高浜・翠川(2011)⁵⁾では、1995年兵庫県南部地震などの3地震での鉄道の運休事例を整理し、各区間の被

害率と運休期間の関係をモデルとして示すとともに、地震発生時の各区間の被害率から運休期間を推計する手法を提案している。東京都(2006)や高浜・翠川(2011)の手法では、個別の構造物の情報を必要とせずに運休期間を推計できるという点で利便性は高い。一方、地震による鉄道の運休期間は、構造物の被害状況をはじめとする各種要因が関係していると想定されるが、東京都(2006)や高浜・翠川(2011)の手法では、構造物の被害程度や被害構造種別のような要素は十分に考慮されているとはいえず、これら手法により推計された運休期間は精度が高いものとはいえない。

畠山ほか(2010)⁶⁾では、鉄道構造物の情報を基に解析的に求めた被害曲線を用いて地震発生時の構造物の損傷レベルや脱線発生率を予測し、損傷レベルと列車脱線の有無により営業できない日数を10日・30日・60日・120日の4区分で評価する手法を提案している。しかし、このような手法では構造物の詳細情報を必要とするため、広域にわたる路線全体に適用する際には、膨大な構造物情報の収集が必要となり、簡単に実行できるわけではない。

本研究では、構造物の被害程度や被害構造種別のような運休期間と関連性が高いと考えられる各要因を考慮に入れつつ、地震による鉄道の運休期間を簡便に推計する手法を提案することを目的とし、過去の地震時の運休事例を整理し、構造物被害等と運休期間の関係を検討し、得られた知見をもとに被害の程度や被害構造種別の影響を反映した運休期間推計モデルを検討した。また、得られたモデルと、構造種別を考慮した鉄道の地震被害関数^{7),8)}とを組み合わせた地震被害推計手順を検討した。

2. 検討用データの整理

2.1. 検討対象地震

本研究での検討対象地震の条件は(1)被害位置・被害内容が詳細に記述された資料が存在すること、(2)鉄道沿線各地点の震度を適切に推計できること、(3)長期間(30日以上)運休した地震であること、とし、1995年兵庫県南部地震(1995 兵庫)、2004年新潟県中越地震(2004 中越)、2007年新潟県中越沖地震(2007 中越沖)、2011年東北地方太平洋沖地震(2011 東北)の4地震を対象とした。(3)の条件を設けたのは、地震後の鉄道の運休による影響を月単位のような中長期的な期間で議論できるように考え、より長期間の運休データのある事例を重視したことによる。また、本研究での検討対象路線は、JR及び民鉄・公営・第3セクターの在来線普通鉄道とした。新幹線鉄道や新交通システムについては、構造物の設計基準等

図1 検討対象地震と検討対象路線

さまざまな条件が在来線普通鉄道とは異なるため、対象外とした。対象 4 地震の震央位置と対象路線の位置を図 1 に示す。なお、本研究の対象とした 4 地震以外にも数日程度の短期間運休した事例がいくつかある。しかし、高震度での被害事例数が少ないことや短期間のデータのみを追加することで平均値などを過少に評価する場合もあり、必ずしも精度向上につながるとは言えないと考え、用いなかった。

2.2. 運休期間データの整理

本研究では、2 つの「折り返し可能駅」の間を 1 つの区間として、各種データを整理することとした。鉄道では、地震により一部区間が運休とされる場合には、1 駅間ごとではなく、複数の駅間単位で判断される。これは、わたり線とよばれる隣接する線路に渡るための設備や、折り返し運転に対応するための電力・信号設備が整備された「折り返し可能駅」とそうでない駅とがあるためである。本研究では、対象地震時に実際に折り返し運転がなされた駅および時刻表上で折り返し運転が設定されている駅を折り返し可能駅として読み取った。

各区間の運休期間については、各種資料^{9)~12)}より整理した。地震により被害が発生した場合の運休期間は比較的長期にわたるため、運休期間を 1 日単位で整理した。したがって、たとえば夕方に地震が発生し、翌日始発から運転再開した場合で、運休期間が 24 時間以内となるようなケースでも運休期間は 1 日となる。このような場合も含め、「地震動による被害が発生し、1 日以上運休した区間」を運休区間として整理した。一方、被害が発生したが当日に運転再開した区間については、補修が不要であったか、ごく簡単な補修作業で復旧できたものと考え、また、1 日以上運休したが被害が確認されなかった区間についても、点検等で時間を要したものと考え、いずれも、被害による運休区間ではないものとして扱うこととした。

本研究では地震動による被害と運休期間の関係について検討する。したがって、「当該区間の被害は軽微であったにも係らず隣接する区間で甚大な被害が発生した影響を受けて運休期間が長期化したと考えられる区間」「津波被害の影響を受けて運休となった区間」「福島第一原子力発電所の事故の影響を受けて運休となった区間」は、地震動による被害以外の要因が運休期間に強く影響を及ぼしていると考えられるため、検討対象外とした。また、2011 年東北地方太平洋沖地震の際には、例えば JR 東日本松島～小牛田間等の仙台近郊の各区間では、4 月 7 日に発生した宮城県沖を震源とする余震により、復旧作業の途中に再度被害が発生し、運転再開が遅れた区間があった¹³⁾。このように、2011 年東北地方太平洋沖地震にて、2011 年 4 月 8 日以降に運転再開した区間の運休期間は余震の影響を受けたと考えられるため、これも検討対象外とした。

検討対象区間数は、1995 兵庫が 54 区間、2004 中越が 9 区間、2007 中越沖が 4 区間、2011 東北が 81 区間、4 地震合計 148 区間となった。各地震時の各区間の運休期間を図 2 に示す。図 2 の震度分布は、筆者らが鉄道構造物の地震被害関数を検討した際^{7,8)}に作成したものと同様のものである。

2.3. 被害データの整理

地震により構造物に被害が発生してから運転が再開されるまでの流れは、一般的に、被害調査→復旧計画→設計→復旧工事→完成検査の順をたどり、運休期間の内訳の大半は、被害調査期間と復旧工事の工期で占められる。これらの期間は構造物の被害状況によって異なり、被害を受けた構造物の種別、被害の程度、被害件数などが復旧工事の工期、ひいては運休期間に強く影響を及ぼす要因であると想定される。

本研究では各区間の被害データとして、対象地震時の被害記録^{9)~42)}をもとに、各区間の被害程度・被害構造種別・被害数・震度階を整理した。被害程度の区分は表 1 のとおり、軽度・重度の 2 区分とした。本研究での土構造物の重度被害は「鉄道構造物等設計標準」の変形レベル 4（復旧に長時間を要する被害：沈下量 50 cm 以上）に相当し、軽度被害は変形レベル 3 以下（沈下量 50 cm 未満）に相当する。また、橋りょうや高架橋の重度被害は同標準の損傷レベル 4（補修が必要な損傷で、場合によっては部材の取替が必要な損傷）に相当し、軽度被害は損傷レベル 3 以下に相当する。各被害の内容は、資料の文面や図、画像等をもとに表 1 の中から最も近いものを適用した。被害程度を 2 区分としたのは、文献だけから被害程度を判断していく際に、被害形態が具体的に記述されていないもの（橋りょう被害とだけ書かれているもの等：この場合は軽度被害として計上した）も可能な限り被害数として計上しようとしたた

(1) 1995 年兵庫県南部地震

(2) 2004 年新潟県中越地震

(3) 2007 年新潟県中越沖地震

(4) 2011 年東北地方太平洋沖地震

図2 対象地震時の各区間の運休期間

めである。被害構造種別については、他谷・翠川(2014)⁷⁾及び他谷・翠川(2015)⁸⁾では鉄道の地震被害関数を「素地・低盛土」「盛土」「切土」「橋りょう」「トンネル」「高架橋」の6区分で作成していたが、本研究ではトンネルをさらに「山岳トンネル」と「地下トンネル」に区分し、合計7区分とした。同一区間内で複数の構造種別で被害が発生することも想定されるが、分析が複雑になることを防ぐため、本研究では1つの区間につき被害構造種別を1種類にすることとした。このため、同一区間内で重度被害と軽度被害が発生している場合は、重度被害が発生している構造種別をその区間を代表する被害構造種

表 1 被害程度及び被害内容の区分

		被害程度	
		軽度	重度
被害状況		構造全体が崩壊に至らず、修復が比較的容易と考えられる被害	構造全体に影響が及び修復に相当な時間を要すると考えられる被害
構造種別ごとの被害内容	素地・低盛土 盛土 切土	・軌道変状 ・盛土亀裂・はらみ ・盛土沈下(50cm未満) ・石積崩落 ・落石・倒木等 ・土留壁損傷 等	・盛土崩壊 ・沈下(50cm以上) ・切土崩壊 ・土留壁崩壊 ・斜面崩壊
	橋りょう 高架橋	・支承部損傷 ・柱及び橋脚亀裂・鉄筋露出 ・桁ずれ	・落橋・崩壊 ・桁逸脱
	山岳トンネル 地下トンネル	・覆工亀裂・剥離 ・坑門亀裂・剥離 ・外壁損傷 等	・覆工崩壊 ・坑口崩壊 ・開削トンネル中柱崩壊 等

表 2 運休期間の平均期間が長い構造種別順位

被害程度	順位	構造種別	区間数	平均運休期間
軽度	1	地下トンネル	3	26.3
	2	橋りょう	3	17
	3	素地・低盛土	42	12.2
	4	切土	3	10.7
	5	山岳トンネル	4	8.5
	6	盛土	8	4.8
	7	高架橋	10	3.9
重度	1	地下トンネル	1	208
	2	高架橋	5	85
	3	盛土	19	58
	4	橋りょう	1	35
	5	切土	2	23.5
	-	素地・低盛土	0	-
	-	山岳トンネル	0	-

別とした。また、同一区間内で同じ被害程度の被害が発生している場合は、表 2 に示す「運休期間の平均値が長い構造種別」の順位が高いものをその区間を代表する被害構造種別とした。表 2 は、今回整理した 4 地震の被害データのうち、単一の構造種別で被害が発生している区間のデータのみを用いて、被害構造種別ごとに運休期間の平均値を算出し、その平均値が高い順に並べたものである。

被害数は、土構造物については被害件数で、橋りょう、山岳トンネル、地下トンネルは被害構造物数で、高架橋については被害延長(0.1km 単位)で整理した。また、各区間の震度階は、図 2 に示した推計震度分布と鉄道路線の位置データとを照合し、区間内の最大値をピックアップすることで整理した。

ところで、鉄道施設の被害のうち、土木構造物以外にも電気設備等の被害も運休期間に影響を及ぼしうると考えられる。たとえば、2011 年東北地方太平洋沖地震の際、東北新幹線では広い範囲で多くの電化柱に損傷が発生し、復旧にも多くの時間を要したと報告されている¹¹⁾。しかし、電気設備の被害位置・被害内容については、各文献では概略的にしか記述されておらず、被害の集約が困難であった。このため、本研究では電気設備等の被害と運休期間の関係については検討対象外とした。

2. 4. 構造物被害以外の要因に関するデータの整理

構造物被害以外にも、鉄道の運休期間に影響を及ぼすと想定される要因がある。例えば、地震の規模が大きい場合には、道路網やライフライン等でも甚大な被害が発生し、鉄道構造物の復旧工事の施工性にも影響が及ぶと想定される。また、複数の路線で被害が発生した場合には路線の重要度に応じて復旧の優先順位がつけられることなども想定される。そこで本研究では、地震タイプの違いについて、広域で多様な被害が発生した 2011 東北とその他の 3 地震とで分けて検討することとした。また、路線の重要度の違いについては、利用者数が多いほど重要な路線であると考えられることから、利用者数を定量的に示す尺度の 1 つである「輸送密度」に着目し、運休期間との関係を検討することとした。

輸送密度とは、平均通過人員とも呼ばれ、乗客 1 日 1km あたりの人数を表す指標であり、各路線の年度内の旅客輸送人キロを当該路線の年度内営業キロで除し、それをさらに年度内営業日数で除すことで算出されるものである⁴³⁾。単位は人キロ／日で表される。各路線及び区間の輸送密度は資料^{43)~49)}を参照した。原則として、地震発生年度の輸送密度を参照することとしたが、JR 西日本の各路線については、1995 年当時の各路線の輸送密度が公開されていなかったため、最近のデータを参照した。

なお、復旧戦略の検討時には、このほかにも車両基地等との位置関係や乗り継ぎの利便性等のさまざまな要因も考慮されると想定されるが、これらについては定量的な検討を行うのは難しいと考え、整理対象とはしなかった。

3. 各種要因と運休期間の関係の検討

3.1. 被害程度と運休期間の関係

被害程度が重いほど復旧に時間を要し、運休期間は長期化するものと想定される。そこで、被害程度と運休期間の関係について検討した。図3に軽度被害と重度被害で色分けした各地震の運休期間ヒストグラムを示す。軽度被害についてはいずれの地震でも最長運休期間は40日未満であるが、重度被害については運休期間40日を超えるデータが複数見られる。このように、重度被害が発生した区間では、軽度被害のみが発生した区間よりも運休期間が長期にわたる傾向が明らかである。

本研究では、2.3節で述べたとおり、被害程度を軽度・重度の2段階としたが、被害程度をさらに細分化することができれば、被害程度と運休期間の関係をより詳細に表すことができると想定される。そこ

図3 被害程度で区分した運休期間ヒストグラム

図4 震度階と運休期間の関係（軽度被害）

図5 震度階と運休期間の関係（重度被害）

で、被害程度を細分化する代わりに、震度階が高いほど程度のより重い被害が発生すると想定し、同じ被害程度の中で震度階と運休期間の関係について検討することとした。鉄道構造物の被害程度と関連の良い地震動指標としては、震度階のほかに SI 値なども考えられる⁵⁰⁾が、震度階は地震直後であっても多数の地点の情報を得やすい等の利点があることから、被害推計のためには震度階の方がより実用性が高いと考え、震度階で整理することとした。

まず、軽度被害について、震度階と各区間の運休期間の関係をあらわす散布図を作成した。図 4 に示す。軽度被害については、震度階が高くなるにつれ、運休期間が長期化する傾向が明らかである。これは、同じ軽度被害の中では震度階が高いほど重度被害に近い被害が発生しているためと推察される。なお、地震間で比較すると、2011 東北が他の 3 地震と比較して全体的に運休期間が長期化する傾向が見られるが、これは 3.3 節で議論する。

重度被害について、震度階と各区間の運休期間の関係をあらわす散布図を図 5 に示す。重度被害については、震度階と運休期間の間に相関関係は見られなかった。重度被害は、盛土の崩壊や落橋、高架橋の倒壊などの「構造全体に影響が及び修復に相当な時間を要すると思われる被害形態」であり、既に被害程度としては大きなものであるため、震度階と被害程度の間に相関がほとんど見られず、震度階が高くなってもそれ以上運休期間が長期化することはないものと推察される。

3.2. 被害構造種別と運休期間の関係

土構造物は他の構造種別と比べ復旧が容易であるとの指摘⁵¹⁾があるように、被害構造種別が異なることにより運休期間が異なると想定される。被害構造種別と運休期間の関係を検討するため、各被害構造種別の運休期間の最小値・平均値・中央値・最大値を算出し、表 3 に示した。また、被害程度ごとに各被害構造種別の運休期間ヒストグラムを作成し、図 6 および図 7 に示した。3.1 節で指摘したように、軽度被害については、2011 東北と他の 3 地震とで運休期間の傾向が異なると想定されるので、ヒストグラムも 2011 東北と 1995 兵庫など 3 地震とで分けて作成した。図 6 では、データが多い「素地・低盛土」と「橋りょう」の運休期間ヒストグラムを示した。また、図 7 でも同様に、データが多い「盛土」と「高架橋」の運休期間ヒストグラムを示した。

軽度被害について、図 6 の 3 地震の素地・低盛土と橋りょうのヒストグラムを比較すると、いずれも最大のピークが 1 日～2 日にあり、すその広がり方も両者で大きな違いは見られなかった。表 3 にて素地・低盛土と橋りょうの平均運休期間を比較しても大きな違いは見られなかった。続いて、2011 東北のヒストグラムを比較すると、素地・低盛土のヒストグラムは 1～2 日をピークとする山と 27 日～28 日をピークとする山の 2 つに分かれる一方、橋りょうのヒストグラムは目立ったピークがなく 20 日～38 日にかけてなだらかなヒストグラムとなっている。一見両者は異なっているようにも見えるが、2011 東北では、3.3 節でも指摘するように、宮城・福島・茨城各県内に 20～30 日で運転再開している区間が集中しており、ヒストグラムの形状（20 日～30 日にかけて小さなピークがある）についてもこのことが関係していると想定される。すなわち、素地・低盛土と橋りょうとでヒストグラムの形状が異なるのは構造種別の違いによるものとは一概に言えないと考えられる。以上のとおり、軽度被害が発生した区間については、被害構造種別だけで運休期間の違いを説明することができるとはみられなかった。

重度被害について、表 3 および図 7 にて、盛土と高架橋について運休期間を比較すると、盛土については、ヒストグラムのピークが 20～40 日にあり、最短 6 日で復旧している事例がある一方、高架橋では

表 3 被害構造種別ごとの運休期間最小値・平均値・最大値

被害構造種別	軽度被害										重度被害				
	1995兵庫・2004中越・2007中越沖					2011東北					4地震合計				
	区間数	最小値	平均値	中央値	最大値	区間数	最小値	平均値	中央値	最大値	区間数	最小値	平均値	中央値	最大値
素地低盛土	13	2	7.8	3.0	35	43	1	14.0	15.0	37	0	-	-	-	-
盛土	4	1	1.3	1.0	2	7	1	5.3	1.0	20	24	6	58.3	37.0	156
切土	1	2	2.0	2.0	2	3	9	20.3	21.0	31	2	14	25.5	25.5	37
橋りょう	12	1	9.3	7.5	27	10	9	25.0	25.0	37	2	35	49.5	49.5	64
高架橋	5	1	6.2	1.0	27	5	1	1.6	2.0	2	8	34	86.6	64.5	160
山岳トンネル	2	1	10.5	10.5	20	2	5	6.5	6.5	8	1	64	64.0	64.0	64
地下トンネル	3	15	26.3	30.0	34	0	-	-	-	-	1	208	208.0	208.0	208

図 6 軽度被害の構造種別ごとの運休期間ヒストグラム

図 7 重度被害の構造種別毎の運休期間ヒストグラム

ヒストグラムに明瞭なピークがなく、最短でも復旧までに 34 日を要している。また、表 3 にて盛土と高架橋とで平均運休期間を比較すると、盛土が 58.3 日であるのに対して、高架橋が 86.6 日であるように 30 日近く違いがある。盛土と高架橋以外の構造種別についてはデータが少ないため、ヒストグラムは示していないが、切土の 2 区間の運休期間は 14 日と 37 日で比較的短期に復旧しており、同じ土構造物である盛土に近いものと考えられる。また、橋りょうの運休期間は 35 日、64 日、山岳トンネル・地下トンネルの運休期間はそれぞれ 64 日、208 日と長期に及んでおり、高架橋に近いものと考えられる。以上より、重度被害においては、被害構造種別が盛土・切土等の土構造物か、その他であるか、により、運休期間の傾向が異なる可能性があるものと考えられる。

なお、復旧が容易とされる盛土においても、運休期間が最長で 156 日間に及ぶ事例も含まれている。たとえば阪急神戸線岡本～御影間や山陽電鉄本線須磨浦公園～滝の茶屋間などであるが、これらは、被害箇所の近隣に住宅や他社路線があり、復旧作業のためのスペースが限られ、復旧に時間を要したと報告されている⁹⁾。他の 3 地震の土構造物の重度被害の発生位置は住宅密集地ではなく、1995 年兵庫県南部地震の例と比較して被害位置の周辺環境の条件が良かったものと考えられる。

図 8 軽度被害の件数と運休期間の関係

図 9 軽度被害発生区間における輸送密度と運休期間の関係

3.3. 対象地震間の運休期間の比較

図 3 に戻り、各地震での運休期間の違いについて検討する。重度被害について、4 地震の最長運休期間を比較すると、1995 兵庫の運休期間の長さが目立つ。これは、図 7 に示した通り、1995 兵庫では高架橋や地下トンネルでの重度被害が発生したのに対して、他の 3 地震では高架橋での重度被害がほとんど発生していないことが関連していると考えられ、地震の違いではなく被害構造種別の違いの現れであると考えられる。

軽度被害について 4 地震の最長運休期間を比較すると、4 地震いずれも 40 日以内で復旧している。図 3 にて、ヒストグラムのピークに注目すると、4 地震いずれも 10 日以内がピークとなるものの、2011 東北については、20～30 日にも小さなピークがある形となっている。また、3.1 節及び 3.2 節で述べたように、2011 東北では他の 3 地震と比較して全体的に運休期間が長期化する傾向が見られる。図 2 を改めて見ると、2011 東北において 20～30 日で運転再開している区間は、宮城・福島・茨城各県内に集中していることが分かる。これら地域では、地域内のほぼ全路線が被災し、調査対象箇所が膨大であったことに加え、地震直後の交通渋滞やガソリン不足の影響により調査が思うように進まなかった、と報告されている¹³⁾。

以上より、軽度被害による運休に関しては、同じ被害程度の中でも、1995 兵庫・2004 中越・2007 中越沖と、2011 東北とは、地震直後の被害地域の道路事情・燃料事情等の状況が異なったこと、つまり、社会全体の機能性の低下の度合いの違いにより、鉄道の運休期間にも差が生じたものと考えられる。

3.4. 被害件数と運休期間の関係

同じ被害程度であっても、被害件数が多いほど復旧に要する手間がかかると想定されることから、被害件数についても運休期間に影響を及ぼすものと想定される。そこで、被害件数と運休期間の関係について検討することとした。図 8 に示す軽度被害の件数と運休期間の関係をあらわす散布図を作成したが、4 地震に共通する明瞭な相関関係は見られなかった。件数の多少の違いが運休期間にあまり影響を及ぼさないのは、かりに複数の箇所では被害が発生した場合でも、同時に復旧作業人員・資機材等を投入すること等により、工期を短縮することができるためと推察される。重度被害においても軽度被害と同様の検討を行ったが、こちらも被害件数と運休期間の間に明瞭な相関関係は見られなかった。

3.5. 路線の重要度と運休期間の関係の検討

軽度被害について、輸送密度と運休期間の関係を示す散布図を図 9 に示す。一見、輸送密度が高いほど運休期間が短いように見えるが、地震の違いに着目すると、運休期間が長いデータは 2011 東北に多く、運休期間が短いデータは他の 3 地震に多くある。すなわち、輸送密度の違いよりも地震の違いのほうが強く現れていると考えられる。重度被害でも同様の検討を行ったが、こちらも輸送密度の大きさと運休期間の間に相関関係は見られなかった。

以上のとおり、路線の重要度と運休期間の間に明瞭な相関関係を見出すことはできなかった。路線の重要度が運休期間に及ぼす影響力は他の要因と比較して弱いものと推察される。

3.6. 構造物被害程度等の要因を考慮した運休期間推計モデル

3.1 節から 3.5 節では、各種要因と運休期間の関係について、比較検討を行ってきた。ここで得られた知見をもとに、各種要因の中でも特に運休期間と関連性がある要因を抽出し、運休期間推計モデルを作成する。

まず、3 章での検討結果を整理すると下記の(1)～(4)のとおりである。

- (1)3.1 節では、被害程度（軽度・重度）の違いによる運休期間の違いについて比較検討した結果、被害程度の違いにより運休期間が明確に異なることを示した。また、軽度被害については、同じ被害程度の中でも震度階が高いほど運休期間が長期化する傾向にあることを示した。
- (2)3.2 節では、被害構造種別の違いによる運休期間の違いについて比較検討した結果、重度被害の場合には被害構造種別が土構造物かその他かで運休期間が異なる傾向にあることを示した。一方、軽度被害の場合には被害構造種別だけで運休期間の違いを説明できるような関係性はみられなかった。
- (3)3.3 節では、対象地震の間で運休期間の違いについて比較検討した結果、重度被害については、地震の違いで運休期間の違いを説明できるような関係性は見出せなかったが、軽度被害については、2011 東北のような社会全体の機能性の低下が長期にわたって見られる地震では、その他の地震よりも運休期間が長期化する傾向にあることを示した。
- (4)3.4 節及び 3.5 節の結果から、被害件数と輸送密度については、運休期間との間に明瞭な相関関係は見られなかった。

この知見に基づき、運休期間に関連性のある要因を、被害程度・被害構造種別・地震タイプ・震度階の 4 つとし、要因ごとの組み合わせを表 4 の左側に示すような 10 区分として整理するとともに、各区分の運休期間と鉄道の復旧割合（当該区分のその日までの復旧区間数を総区間数で除して正規化した値）の関係を示すモデルを図 10 のとおりに作成した。図 10 を本研究の運休期間推計モデルとする。図 10 をもとに区分ごとに運休期間の最小値・50 パーセンタイル値・85 パーセンタイル値・最大値を求め、その結果を表 4 の右側に示した。なお、運休タイプ L4（軽度被害・2011 東北・震度 7）については、該当するデータがなかったため、運休期間推計モデルを作成できなかった。

ところで、本研究で作成した運休期間推計モデルは、運休期間に関係するであろう様々な要因のうち、検討可能ないくつかのものについて検討したものである。今回検討対象とした要因以外にも、電気設備や駅設備の被害状況、列車脱線の有無等も運休期間に影響を及ぼすものと考えられ、運休期間推計モデルの精度向上を図る余地が残されている。

表 4 各区分の運休期間の諸元

被害程度	構造種別	地震タイプ	区間最大震度階	運休タイプ	区間数	運休期間(日)			
						最小値	50パーセン タイル値	85パーセン タイル値	最大値
軽度	全	2011東北	5強以下	L1	24	1	1	8	21
			6弱	L2	29	1	20	31	37
			6強	L3	17	5	23	31	31
			7	L4	-	-	-	-	-
		その他	5強以下	L5	2	1	2	9	9
			6弱	L6	17	1	2	9	9
			6強	L7	10	1	5	21	27
			7	L8	10	1	15	34	35
重度	土構造物	全	6弱以上	H1	26	5	37	123	156
	その他		6弱以上	H2	12	34	64	160	208

図 10 運休期間推計モデル（区分ごとの運休期間と復旧割合の関係）

4. 地震による鉄道の運休期間の推計手順

4. 1. 運休期間推計手順の検討

3章までの検討で得られた運休期間推計モデルと、構造種別を考慮した鉄道の地震被害関数とを組み合わせ、地震による鉄道の運休期間を路線ごとに推計する手順を検討した。

(1) 構造物台帳データ及び沿線震度データの作成

2.2節で示したとおりに2つの折り返し可能駅間を単位区間として、区間ごとに路線の位置データや構造種別ごとの数量（土構造物及び高架橋は延長(km)、橋りょう及びトンネルは構造物数）を構造物台帳データとして整理する。整理方法は、他谷・翠川(2014)⁷⁾及び他谷・翠川(2015)⁸⁾と同様の方法とする。同時に、路線の位置データと推計震度分布を参照し、構造種別ごとの震度階*i*の総数（総延長または総構造物数： $S(i)$ ）を沿線震度データとして整理する。

(2) 被害関数を用いた構造種別ごと・被害程度ごとの被害数の推計

震度階*i*の構造種別ごと・被害程度ごとの被害率を示した地震被害関数 $f(i)$ （土構造物の被害率は件/km、橋りょう及びトンネルは被害構造物数/総構造物数、高架橋は0.1km単位での被害延長(km)/総延長(km)）と、 $S(i)$ を乗じて、震度階*i*の被害数を算出する。ある区間*n*の震度階*i*のある構造種別及び被害程度*T*の総数を $S_{Tn}(i)$ 、構造種別及び被害程度*T*の地震被害関数を $f_T(i)$ とすると、運転区間*n*の構造種別及び被害程度*T*の被害数 D_{Tn} は式(1)により計算される。

$$D_{Tn} = \sum_i f_T(i) S_{Tn}(i) \quad (1)$$

構造種別ごとの地震被害関数には、他谷・翠川(2014)及び他谷・翠川(2015)の被害関数^{7),8)}を適用することが考えられるが、本研究では、既往の被害関数を修正したものを適用することとした。修正内容の詳細は4.2節にて示す。なお、4.2節に示した各構造種別の被害関数は、構造種別ごとに構造物の数え方が異なることで被害率の単位も異なっているため、構造種別間で被害関数を直接比較することは困難である。

(3)運休期間推計モデルを用いた運休期間の推計

3.6節に示した運休期間推計モデルを用いて各区間の運休期間を推計するには、推計対象区間の被害程度、被害構造種別、最大震度階、地震タイプが入力値として必要となる。まず、被害程度と被害構造種別については、(2)で推計した各区間の構造種別ごと・被害程度ごとの被害数の推計結果に基づく。各区間の被害有無の判定は、被害数が0.5件（高架橋については0.05km）以上の場合に「被害あり」と判定する。なお、被害ありと判断された構造種別が複数ある場合には、下記ルールにより、被害程度・被害構造種別を判定する。

- ・ 重度被害と軽度被害が同一区間で発生している場合には、重度被害が発生している構造種別を被害構造種別とする。
- ・ 複数の構造種別で同じ被害程度の被害が同一区間内で発生している場合には、表2に示す「運休期間の平均値が長い構造種別」の順位が高いものを被害構造種別とする。

最大震度階は、(1)の中であらかじめ整理する。地震タイプは、地震後の社会全体の機能性の低下を見込む場合には2011東北を設定し、見込まない場合には2011東北以外を設定する。

各区間の被害程度・被害構造種別・最大震度階・地震タイプをもとに表4から運休タイプを決め、対応する運休期間と照合することにより運休期間を推計する。平均的な運休期間を推計する際には表4の50パーセンタイル値を適用すれば良いが、目的に応じて他の値を適用しても良い。

4. 2. 鉄道の地震被害関数

(1)土構造物および橋りょうの被害関数

他谷・翠川(2014)⁷⁾では、2004中越と2007中越沖の被害事例データをもとに土構造物である「素地・低盛土」「盛土」「切土」及び「橋りょう」の被害関数を作成している。被害関数の単位は、個数で計上することが可能な橋りょうについては（被害数／総数）で示し、個数で計上することが難しい土構造物については（被害延長／総延長）で示している。

2004中越では震度7での被害事例が少なく、2007中越沖では震度7での被害事例がなかったため、他谷・翠川(2014)⁷⁾では震度6強と震度7の被害事例を合算し、震度6強以上として1つの階級として表していた。本研究では、図11のように、震度7での被害事例が多く含まれる1995兵庫の被害事例データも加え、震度6強と震度7をそれぞれ1つの階級として表したものを使用することとした。なお、切土は1995兵庫のデータを追加しても被害数・総数ともにデータが十分ではなく、適切な被害関数を作成できなかった。そのため本研究では、切土での被害推計時には、切土と同じ土構造物で、高さのある構造種別である盛土の被害関数を適用することとした。また、橋りょうの被害関数について、他谷・翠川(2014)では被害程度を分けていなかったが、本研究では他の構造種別と統一を取るため重度と軽度に分けた。

図 11 土構造物・橋りょうの地震被害関数

(2)地下トンネルの被害関数

他谷・翠川(2014)⁷⁾では、2004中越と2007中越沖の被害事例データをもとに山岳トンネルの被害関数を作成しているが、新潟県内には都市部でよくみられる地下トンネルがなかったため、地下トンネルの被害関数については作成されていない。山岳トンネルは矢板工法やNATM工法で掘削されるが、都市部の地下トンネルは開削工法やシールド工法で掘削され、両方で構造が大きく異なり、地震による被害の出方も異なるものと考えられる。本研究では、地下トンネルについても震度階ごとに被害率を被害トンネル数／総トンネル数で表した被害関数を新たに作成した。結果を図12に示す。

地下トンネルの被害事例データには1995兵庫のデータを用い、被害程度別（重度／軽度）、部位別（外壁／中柱）に被害関数を作成した。地下トンネルの数量を計上する際、駅部、駅間でそれぞれ1本のトンネルとして計上した。被害トンネル数は、1件以上の被害が発生している場合に1本とし、被害程度（重度：崩壊／軽度：亀裂・剥離等）ごとに計上した。数量を駅部・駅間で分けて計上したのは、駅部と駅間の境界部で構造や設置条件が変化し、別個のトンネルとして扱うのが適切であると考えたことによる。また、部位別に被害関数を作成したのは、1995兵庫の際、地下トンネルの被害は、開削トンネルの中柱で多数発生していたことが指摘されている⁹⁾ことを受け、部位ごとに被害の出方が異なると考えてのものである。

(3)高架橋の被害関数

他谷・翠川(2015)⁸⁾では、1995兵庫と2011東北の際の高架橋の被害事例から2地震それぞれの被害関数を作成・比較し、2011東北では、重度被害が大幅に減った一方、軽度被害が増加し、軽度被害と重度被害を合計した被害率は同程度であったことを示した。この原因として、耐震補強工事の効果により、重度被害が軽度被害に転換したためとの推察を示した。したがって、鉄道高架橋の耐震補強工事が完了していると想定して被害推計をする場合には、他谷・翠川(2015)⁸⁾の2011東北の被害関数を適用すればよいと考えられる。ただし、2011東北では震度7の被害事例データがなかったため、2011東北の被害関数では震度7での被害率が算出されていない。そのため、本研究では、震度7に限り、1995兵庫の震度7の被害率で代用することとした。本研究で使用する被害関数を図13に示す。高架橋の数量を計上する際、橋りょうと異なり個数で計上するのが難しいと考えたため、被害関数の単位は（被害延長／総延長）とした。図13において、軽度被害率が震度7で震度6強よりも低下しているように見えるが、重度被害は震度6強から7に上がることで被害率が大幅に上昇しており、被害全体に占める重度被害の比率が高まっている。これは、軽度被害の一部が重度被害に転換した結果が表れたものと考えられる。

図 12 地下トンネルの地震被害関数

図 13 高架橋の地震被害関数

5. 首都圏の一部路線を対象とした地震被害推計例

5.1. 想定地震と対象路線

検討した手法の適用事例の1つとして、都心南部直下地震を想定し、東京都心部―千葉方面の主要な鉄道各線・各区間の被害件数と運休期間を推計した。震度分布は首都直下地震モデル検討会のもの³⁾を使用した。対象範囲内では、高架橋主体の路線（京葉線）、トンネル主体の路線（東西線、新宿線）、

図 14 都心南部直下地震の推定震度分布と対象路線

土構造物主体の路線（総武線、京葉線）が並行しており、被害構造種別を考慮する本研究の手法の特徴を説明するのに適している。対象路線の運転区間は、時刻表を参考に、折り返し運転の設定がある駅で区分した。都心南部直下地震の震度分布と対象路線を図14に示す。

5. 2. 対象路線の構造物台帳データと鉄道沿線震度データの作成

対象路線の構造物台帳データは、国土数値情報⁵²⁾と地理院地図⁵³⁾をもとに、他谷・翠川(2014)⁷⁾及び他谷・翠川(2015)⁸⁾で示した方法により作成した。結果を図15に示す。また、構造物台帳データと面的推計震度データを照合し、各区間の最大震度階と各構造種別の震度階ごとの総延長等の鉄道沿線震度データを作成した。

5. 3. 想定地震時の被害状況の推計

5.2節で作成した構造物台帳データと鉄道沿線震度データ、および図11～図13に示した被害関数を用いて、4章で示した方法により、各構造種別の被害程度ごとの推計被害数量を算出し、各区間の被害程度及び被害構造種別を推計した。結果を図16に示す。土構造物の重度被害が発生しているのは、山手線田町～大崎～池袋間、中央線東京～新宿間、総武線錦糸町～西船橋間、京成線京成上野～京成高砂間であった。図15を確認すると、これら区間では盛土区間が含まれており、かつ区間の大半で震度6強以上となっている。高架橋の重度被害が発生しているのは、山手線池袋～田町間、京葉線東京～南船橋・西船橋間、東西線東陽町～妙典間で、図15を確認すると、これら区間は高架橋主体で、かつ区間の大半で震度6強以上となっている。地下トンネルの軽度被害が発生しているのは地下鉄各線である。

江戸川以東では土構造物や橋りょう、高架橋で被害が発生するが被害程度は軽度でとどまっている。図15では総武線津田沼～千葉間、京成高砂～京成津田沼間、京成津田沼～千葉中央間において橋りょうで軽度被害が発生すると表されているが、実際には重複して土構造物や高架橋でも軽度被害が発生している。これら軽度被害が発生している区間の震度は大半が6弱である。

5. 4. 想定地震時の運休期間の推計

各区間の最大震度階と5.3で推計した各区間の被害程度及び被害構造種別をもとに、3.6節に示した運休期間推計モデルを適用して各区間の運休期間を推計した。ここでは平均的な運休期間を推計することとして、表4の50パーセンタイル値を適用した。また、首都直下地震発生時には、2011東北と同等以上の社会的な機能性の低下が長期的にみられると仮定し、地震タイプは2011東北とした。推計結果を図17

図 15 対象路線の構造物台帳データ

図 16 対象路線の被害構造種別・被害程度推計結果

図 17 運休期間推計結果

に示す。対象路線の大半で被害が発生し、運休期間は最短でも20日、特に高架橋の被害が発生しうる京葉線や東西線などでは運休期間が64日と推計された。京葉線や東西線と並走する新宿線、総武線、京成線では運休期間が比較的短く、新宿線で23日、総武線・京成線では37日となった。新宿線の運休期間が

他の4路線・区間と比較して短かったのは、重度被害が発生しにくい地下トンネルが大半を占めるためと考えられる。以上のように、各線の推計最大震度は6強で同等であるにもかかわらず、路線ごとに推計運休期間に違いが生ずるのは、被害構造種別の違いが反映されたものと考えられる。

なお、都心部の東西線中野～九段下間、丸の内線茗荷谷～池袋間、新宿線瑞江～本八幡間では被害および運休が発生しないと推計されたが、これら区間はほぼ全線が地下トンネルで区間最大震度が6弱であったためであると考えられる。

6. 結論

構造物の被害程度や被害構造種別などの要因を考慮に入れた、地震時の鉄道の運休期間の推計手法を提案することを目的に、1995年兵庫県南部地震、2004年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震の4地震の際の運休事例を整理し、地震による鉄道の運休期間と、各種要因として、被害程度、被害件数、被害構造種別、地震タイプ、路線の重要度（輸送密度）との関係について検討した。その結果、軽度被害が発生した区間の運休期間は、地震タイプと震度階によって傾向が異なること、および、重度被害が発生した区間の運休期間は、被害構造種別が土構造物とその他とで傾向が異なることを示した。

この知見をもとに、各種要因と鉄道の運休期間との関係について、被害程度・被害構造種別・地震規模・震度階に応じた運休期間推計モデルを作成し、このモデルと構造種別を考慮した地震被害関数を組み合わせ、地震による鉄道の運休期間推計手順を提案した。

この手順の利用例として、都心南部直下を震源とする地震を想定し、東京都心部～千葉方面の鉄道各線・各区間の運休期間を推計した。その結果、本研究で提案する手法を用いることで、各路線の構造形態が異なるために、被害状況や運休期間が異なる状況が推定されることを示した。

なお、本研究の運休期間推計手法は、比較的少ない情報で簡便におおよその運休期間を推計するものであり、事前の地震対策や事後の復旧作業の戦略検討の際には、必要となる運休期間の目安を示すほか、対象とする鉄道網の中で運休期間が長期化しやすい路線・区間を把握することなどに利用できるものと考えられる。

謝 辞

鉄道構造物被害事例データの収集にあたっては、各鉄道事業者の担当者の方々より構造物被害状況についてご教示いただきました。また、1995年兵庫県南部地震の震度分布の推計にあたっては、千葉科学大学の藤本一雄教授よりデータを、都心南部直下の推定震度分布のデータは内閣府より、それぞれ、ご提供いただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 佐久間香奈：特集「東日本大震災の取組み」運行再開への道のり、2011年。
- 2) 内閣府：南海トラフ巨大地震の被害想定について（二次報告）、
http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/nankaitrough_info.html（最終閲覧日：2016年7月31日）。
- 3) 内閣府：首都直下地震の被害想定と対策について（最終報告）
http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg/（最終閲覧日：2016年7月31日）。
- 4) 東京都防災会議：首都直下地震による東京の被害想定（最終報告）III 手法編、2006年。
- 5) 高浜勉、翠川三郎：地震時の鉄道運休時間の推定方法、日本地震工学論文集、Vol.11、No.2、2011年。
- 6) 畠山直、柴田徹、豊岡亮洋、坂井公俊、室野剛隆：地震動の解析モデルに基づいた鉄道のリスク評価手法、鉄道総研報告、Vol.24、No.11、2010年。
- 7) 他谷周一、翠川三郎：構造種別を考慮した鉄道構造物の地震被害関数の検討、日本地震工学会論文

- 集、第14巻、第1号、pp.71-84、2014年。
- 8) 他谷周一、翠川三郎：鉄道高架橋区間の地震被害関数の検討、日本地震工学会論文集、第15巻、第4号、pp.1-15、2015年。
 - 9) 阪神・淡路大震災鉄道復興記録編纂委員会：よみがえる鉄路 阪神・淡路大震災鉄道復興の記録、山海堂、1996年。
 - 10) 東日本旅客鉄道株式会社：新潟県中越地震震災復旧記録誌、2005年。
 - 11) 東日本旅客鉄道株式会社：SED第29号 小特集 新潟県中越沖地震、STRUCTURAL ENGINEERING DATA、2007年。
 - 12) 日本鉄道旅行地図帳 東日本大震災の記録、新潮社、2011年。
 - 13) 東日本旅客鉄道株式会社：SED 特集「東北地方太平洋沖地震と鉄道構造物」、STRUCTURAL ENGINEERING DATA No.37、2011年。
 - 14) (財)鉄道総合技術研究所：兵庫県南部地震鉄道被害調査報告書、鉄道総研報告、特別第4号、1996年。
 - 15) 西日本旅客鉄道株式会社：阪神・淡路大震災 鉄道復旧記録誌、1996年。
 - 16) 内芝伸一、片岡孝視：阪急電鉄の震災および復旧方法、日本鉄道施設協会誌、第34巻、第1号、pp.8-13、1996年。
 - 17) 脇保仁、松井順一：阪神電鉄西灘～御影間の被災状況と復旧の概要、日本鉄道施設協会誌、第34巻、第2号、pp.6-11、1996年。
 - 18) 藪下武資、光木香：(1)神戸高速鉄道の被害と復旧工事－高架橋・大開駅一、日本鉄道施設協会誌、第34巻、第4号、pp.6-9、1996年。
 - 19) 前田昌彦、安藤信三：(2)神戸電鉄の被災状況と復旧概要、日本鉄道施設協会誌、第34号、第4号、pp.10-12、1996年。
 - 20) 中西巖：(3)山陽電気鉄道の震災および復旧方法、日本鉄道施設協会誌、第34号、第4号、pp.13-14、1996年。
 - 21) 佐俣千載：鉄道の被災と復旧(1)神戸市営地下鉄、日本鉄道施設協会誌、第34巻、第5号、pp.8-10、1996年。
 - 22) 神戸新交通株式会社：神戸新交通システム 阪神・淡路大震災復興記録集、1996年。
 - 23) 東日本旅客鉄道株式会社：特集「新潟県中越地震と鉄道」、STRUCTURAL ENGINEERING DATA、第24号、2005年。
 - 24) 東日本旅客鉄道株式会社 水戸支社：3.11東日本大震災 震災対応記録誌、2013年。
 - 25) 岩崎浩、松尾伸二：JR東日本の土木構造物の被害と復旧、日本鉄道施設協会誌2011年10月号、pp.32-35、2011年。
 - 26) 秋山敬介：民鉄・公営事業者の被害状況、日本鉄道施設協会誌2011年10月号、pp.40-42、2011年。
 - 27) 大沢美春：仙台空港線の被災と復旧状況、日本鉄道施設協会誌2011年10月号、pp.46-47、2011年。
 - 28) 鈴木佑典、水谷一樹、岡田直久：京成電鉄における被害状況と復旧の取り組み、日本鉄道施設協会誌2011年10月号、pp.46-47、2011年。
 - 29) 岩本博：つくばエクスプレス線・利根川東高架橋の復旧工事、日本鉄道施設協会誌2011年10月号、pp.52-54、2011年。
 - 30) 石川登志男：鹿島臨海鉄道の東日本大震災の被害と復旧、日本鉄道施設協会誌2012年6月号、pp.28-30、2011年。
 - 31) 大規模地震発生時における首都圏鉄道の運転再開のあり方に関する協議会報告書、2012年。
 - 32) 山形鉄道株式会社：安全報告書(平成22年度)、2011年。
 - 33) 由利高原鉄道株式会社：平成22年度由利高原鉄道安全報告書、2011年。
 - 34) 福島交通株式会社：安全報告書 飯坂線 2011年度、2011年。
 - 35) 秋田内陸縦貫鉄道株式会社：秋田内陸縦貫鉄道安全報告書 2010年度、2011年。
 - 36) 青森県(青い森鉄道)：2010年度版 安全報告書、2011年。
 - 37) わたらせ渓谷鉄道株式会社：安全報告書、2011年。
 - 38) 三陸鉄道株式会社：安全報告書 2011年(平成23年)版、2011年。

- 39) 野岩鉄道株式会社：2011 安全報告書、2011年.
- 40) 関東鉄道株式会社：2011 安全報告書、2011年.
- 41) 茨城大学工学部都市システム工学科 防災・環境地盤工学研究室：東北地方太平洋沖地震地盤被害調査報告書（速報版：その7）、2011年.
- 42) ひたちなか市：東日本大震災 ひたちなか市の記録、2011年.
- 43) 東日本旅客鉄道株式会社：路線別ご利用状況、http://www.jreast.co.jp/rosen_avr/pdf/2009_2013.pdf（最終閲覧日：2016年7月31日）.
- 44) 国土交通省鉄道局：平成6年版 鉄道統計年報、1996年.
- 45) 国土交通省鉄道局：平成7年版 都市交通年報、1996年.
- 46) 東日本旅客鉄道：路線別ご利用状況(2004～2008年度)、
http://www.jreast.co.jp/rosen_avr/pdf/2004_2008.pdf（最終閲覧日：2016年7月31日）.
- 47) 西日本旅客鉄道株式会社：データで見るJR西日本、
https://www.westjr.co.jp/company/info/issue/data/pdf/data2015_08.pdf（最終閲覧日：2016年7月31日）.
- 48) 国土交通省鉄道局：平成22年度版 鉄道統計年報、2013年.
- 49) 平成23年度版 都市交通年報、2013年.
- 50) 鈴木博人、島村誠：地震時運転規制方法の検討、JR東日本テクニカルレビューNo.3、2003年.
- 51) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（土構造物）、2013年.
- 52) 国土交通省国土政策局国土情報課：<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>（最終閲覧日：2016年7月31日）.
- 53) 地理院地図：<http://portal.cyberjapan.jp/index.html>（最終閲覧日：2016年7月31日）.

（受理：2016年4月26日）
（掲載決定：2016年7月31日）

An Estimation Method of Train Suspension Periods due to Earthquake

TAYA Shuichi ¹⁾ and MIDORIKAWA Saburoh ²⁾

1) Member, Central Japan Railway Company, Dr.Eng.

2) Member, Professor, Department of Architecture and Building Engineering, School of Environment and Society,
Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

ABSTRACT

Case histories of train suspension due to earthquake are compiled from the past four Earthquakes: the 1995 Kobe Earthquake, the 2004 Niigata-ken Chuetsu Earthquake, the 2007 Niigata-ken Chuetsuoki Earthquake and the 2011 Great Tohoku Earthquakes. Relationships between train suspension periods and some factors on the damage are examined. The results indicate that train suspension period of each section depends on factors such as damage level, type of damaged structure, earthquake type, and seismic intensity. Based on the results, models are constructed to estimate train suspension period of each railway section. An estimation method of train suspension periods is proposed by combining the models and seismic vulnerability functions of railway structures. As an example of estimation by this method, train suspension periods of railway lines due to the M7.3 Tokyo Earthquake are estimated in the eastern part of Tokyo. The results indicate that that difference of structure type causes the difference of train suspension periods at different lines.

Keywords: Railway structure, earthquake damage estimation, train suspension periods