

鉄道構造物における危機耐性の定量評価に関する試算例

田中浩平¹・坂井公俊¹・室野剛隆¹・齋藤正人²

¹正会員 博士（工学） （公財）鉄道総合技術研究所（〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38）

²正会員 博士（工学） 埼玉大学（〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保255）

1. はじめに

公共性の高い鉄道では、地震時の利用者の安全確保や地震後の運行機能の維持・早期復旧が、社会全体の復興・生産活動において特に重要である。2011年東北地方太平洋沖地震以降、現状の耐震設計の枠組みで想定されていないが、地震時に鉄道構造物において将来発生する可能性が否定できない、起きてはならない事態を適切に把握し、万が一このような事態が発生した場合にも、破滅的な状況に陥らないための対策を講じることが強く求められている。

このような要請に対し、2012年9月改訂の鉄道構造物等耐震設計標準・同解説（耐震設計）¹⁾では、新たな性能として危機耐性を導入し、これを「想定以上の地震に対しても破滅的な被害に繋がらないような性質」と定義している。実際の運用においては、耐震構造計画の段階で、以下に示すような対応を行うことが明記されている。

構造的対応としては、「構造物全体系として脆性的な破壊状態となるものを避ける」こと、すなわち橋りょう・高架橋に対しては、せん断破壊形態でなく、曲げ破壊型の構造とすることを挙げている。また、復旧の迅速化のための対応としては、「構造物の進入路、作業ヤードの確保」や「構造物の損傷想定箇所を点検や修復工事が実施しやすい箇所に想定すること」が挙げられている。

文献²⁾でも危機耐性を向上する構造的対応が示され、車両が脱線後に逸脱することを防ぐための対策³⁾、柱や橋脚などの鉛直方向の支持部材が損傷した場合に、落橋を防ぐことを目的とした自重補償機構⁴⁾、万が一構造物が倒壊した場合に周辺における構造物の損傷や人的被害の発生、幹線道路の封鎖などを極力防ぐために、倒壊方向をコントロールする機構（倒壊方向制御機構）⁵⁾などが提案されている。

このような具体的な対策が数多く提案されている一方で、各既設構造物の危機耐性や、対策の実施による危機耐性の向上効果について、定量的に評価するための枠組みは、整備の途中段階である。

そこで既報では、安全性や復旧性といった耐震性能と同様に、鉄道構造物における危機耐性を性能設計に組み込むためのフレームワークを提案した⁶⁾。このフレームワークでは、はじめに、鉄道構造物において起きてはならない事態を列挙する。これらに対して、起きてはならない事態の影響の大きさを危機得点として評価し、対象とする構造物において、地震動レベルの増加に伴って危機得点がどのように変化するかを評価する。最後に、危機得点やその変動傾向をもとに、危機耐性を評価する。

本論文では、このフレームワークに従い、ラーメン高架橋単体を対象として危機耐性を定量評価した試算例を示す。本論文の各章の構成を以下に示す。

- 2章：鉄道構造物において将来発生することが否定できない、起きてはならない事態を抽出する。
- 3章：起きてはならない事態が発生した場合の影響の大きさ（危機得点）を、一般市民を対象とした意識調査結果から評価する。
- 4章：RCラーメン高架橋単体を対象とした危機得点の定量評価例を示す。
- 5章：4章で評価された危機得点と地震動レベルの関係（危機曲線）から、危機耐性の定量評価法について考察を行う。

2. 鉄道構造物における起きてはならない事態

地震時に鉄道構造物において発生することが否定できない、起きてはならない事態を抽出した。ここでは、「国土強靱化アクションプラン」⁷⁾に記載さ

れている他分野の事例等を水平展開して、鉄道分野における起きてはならない事態を抽出した。

表-1に抽出結果を示す。4つの事態を抽出しているが、評価対象（構造物単体、鉄道システム全体等）に応じて、危機耐性を考慮する事態を適宜選定する。本検討では、耐震設計における構造物単体の危機耐性を把握することを目的としているため、構造物単体で制御することが難しい「起きてはならない事態II（直後対応）」は考慮しないこととした。

表-1 鉄道構造物における起きてはならない事態

事態Ⅰ (人命保護)	大規模地震の発生時に、鉄道利用者の人命が脅かされる。
事態Ⅱ (直後対応)	大規模地震災害の発生直後に、利用者への適切な対応がなされない。
事態Ⅲ (早期復旧)	大規模地震災害の発生後に、運行再開に時間がかかる。
事態Ⅳ (2次被害)	大規模地震災害の発生後に、制御不能な2次災害が発生する。

3. 起きてはならない事態と危機得点の関係

(1) 危機得点の評価方法

起きてはならない事態の影響の大きさを、危機得点として評価する。しかし、表-1で抽出した事態は、構造物の崩壊に起因する死傷者の発生や輸送機能の低下、2次被害による社会的損失の発生など、多種多様である。これらに対して、相対的な比較が可能となるように危機得点を評価する必要がある。

複数の事態に対して、影響の大きさを統一的に評価できる指標としては経済損失が考えられるが、あらゆる事態に適用することは現時点では困難であり、対象とする事態が限定されてしまう可能性がある。そこで、本検討では危機得点を一般市民を対象とした意識調査により定量化する方法を採用した。この方法では、意識調査に特有のバイアスが含まれていることに注意を払う必要があるが、評価が比較的容易で、経済損失等で定量化が難しい事態にも柔軟に対応できる点を重視した。

(2) 意識調査の概要・整理結果

危機得点を評価するために、一般市民に対して実施した意識調査の概要と回答の整理結果を示す。調査は2017年1月に実施し、Web上にて回答を収集した。回答者は、アンケートモニターからランダム抽出し、日本全国における年齢構成、性別、居住地域の人口分布に一致するような集団を構成した。実施した調査の調査票の一部を以下に示す。

質問では、起きてはならない事態の各項目に対し

質問：(想定地震)が発生した場合に、(想定路線)において以下の出来事が起こるとします。このとき、あなたはどのように感じられますか。それぞれあなたのお気持ちに最も近いものをお選びください。

- ※ 想定地震(4地震)：震度4の地震、震度5-6弱の地震、震度6強-7の地震、未曾有の大地震
- ※ 想定路線(3路線)：在来線鉄道(大都市)、在来線鉄道(地方都市)、新幹線鉄道

【回答項目】

1. 列車が脱線して、多数の死者が発生する。
2. 列車が脱線して、数名の死者が発生する。
3. 列車が脱線して、負傷者が発生する。
4. 列車が脱線するが、死傷者・負傷者は発生しない。
5. 鉄道に甚大な被害が発生し、運転再開に長時間を要する。
6. 鉄道橋が崩壊し、線路周辺の建物被害や人的被害が発生する。
7. 鉄道橋が崩壊し、主要幹線道路等を封鎖することにより、都市全体の復旧活動を妨げる。

【選択肢】

- a. 許容できる、b. ある程度許容できる、c. どちらともいえない、d. あまり許容できない、e. 許容できない

て、5つの選択肢から最もあてはまる許容度を回答してもらうこととした。回答に際しては、起きてはならない事態が発生する原因となった地震として震度の異なる4ケース、事態が発生した路線として3ケースを想定し、全12ケースの質問文を設定した。この質問を、それぞれ異なる200人の回答者(全2,400人)に行い、独立に回答を得た。回答項目は、1~4が事態Ⅰ、5が事態Ⅲ、6,7が事態Ⅳに対応する。回答にあたっては、各震度レベルの一般的な被害について情報提供し、回答者の震度イメージを共有した。

回答項目ごとに「許容できる」もしくは「ある程度許容できる」を選んだ割合を、許容度(%)として整理したものを図-1に示す。回答結果から得られた知見について以下に整理した。

- ・ 人命保護に関する事態Ⅰは、事態の大きさに応じて、許容度が20~60%の範囲で変動した。車両の脱線のみであれば、許容度は60%と高い。
- ・ 早期復旧に関する事態Ⅲは、その他の事態と比べると相対的に許容度が高く、50%程度である。
- ・ 2次被害に関する事態Ⅳは、事態の具体的な内容に関係なく同程度の許容度となっており、それぞれ30%程度である。
- ・ 許容度は、震度4の地震を想定した場合にやや低くなるが、想定する地震や路線による違いはあまり見られないことがわかった。

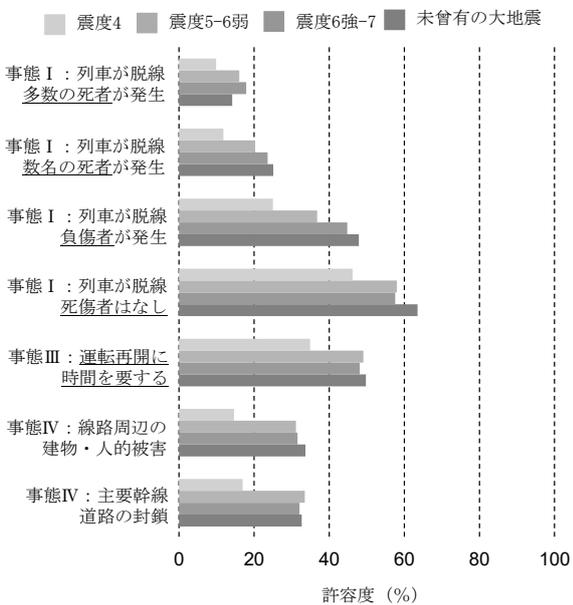
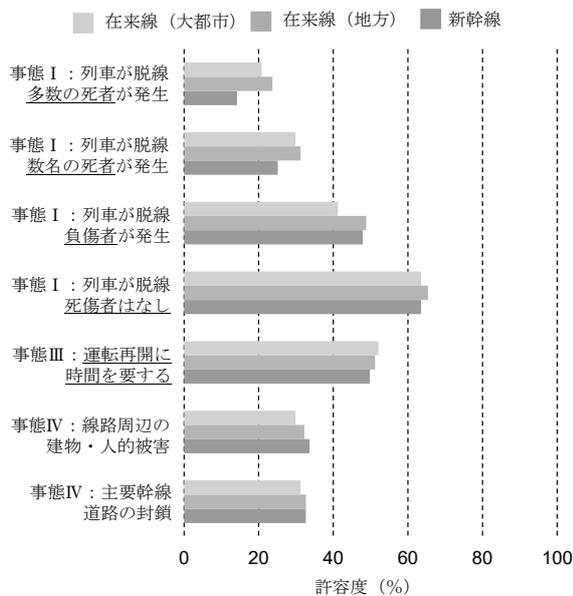


図-1 起きてはならない事態に応じた許容度

表-2 起きてはならない事態と危機得点

(a) 事態Ⅰ (人命保護)

人命保護 1 (40点)	列車が脱線するが、死者・負傷者は発生しない。
人命保護 2 (60点)	列車が脱線し、負傷者が発生する。
人命保護 3 (70点)	列車が脱線し、数名の死者が発生する。
人命保護 4 (80点)	列車が脱線し、多数の死者が発生する。

(b) 事態Ⅳ (2次災害)

2次被害 1 (35点)	線路片側に建物が近接する鉄道橋が崩壊する。
2次被害 2 (70点)	線路両側に建物が近接もしくは幹線道路を交差する鉄道橋が崩壊する。

(3) 起きてはならない事態と危機得点の関係

起きてはならない事態が発生した場合の危機得点を意識調査結果から設定する。事態Ⅰ (人命保護) の観点からは、表-2(a)に示す4つの起きてはならない事態を想定する。これらの事態に対して、図-1に示した意識調査から得られた許容度(%)を、100から引いたものを危機得点として設定した。

2次被害の具体的な内容としては、鉄道橋が崩壊することにより、線路周辺の建物・人的被害の発生することや、主要幹線道路の封鎖による復旧活動が妨げられることなどが考えられる。しかし、これらの2次災害の内容による許容度の違いは、図-1ではみられなかったため、構造物の建設地点の周辺状況と被害状況から、表-2(b)に示すように設定した。

事態Ⅲ (早期復旧) の観点からは、構造物の復旧性能に応じて危機得点を評価した。なお、危機得点の上限値は、図-1の許容度から50点となる。

構造物の復旧性能を評価するにあたっては、損傷レベルに応じた復旧時間をそのまま用いることもできるが、ここでは能島ら⁸⁾が提案している生活支障を用いることで、地震発生後の利用者の鉄道需要の影響も考慮した評価を行うこととした。生活支障は、図-3に示すように利用者の許容度曲線 $S(t)$ と構造物の復旧曲線 $R(t)$ から式(1)で評価する。

$$D(t) = (1 - R(t))(1 - S(t)) \quad (1)$$

許容度曲線により、利用者の鉄道需要の時間変化が地震の規模や路線ごとに異なることを表現できる。

許容度曲線に関する調査は、3.(2)で説明した意識調査内で実施し、以下の質問文に対して、選択形式で回答を得た。ここでの想定路線と想定地震は3.(2)と同様であり、それぞれ異なる200人の回答者(全2,400人)から回答を得た。

質問：(想定路線)が(想定地震)で運転見合わせとなった場合に、運転が再開するまでの時間としてどのくらいであれば許容できますか。

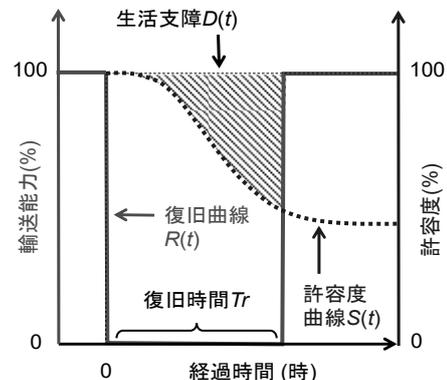


図-3 鉄道構造物における利用者の生活支障の評価方法

新幹線鉄道を対象とした場合の許容度曲線を図-4に示す。許容度は地震発生直後は高く、その後は緩やかに低下し、1ヶ月（720時間）程度が経過すると収束する。本調査では、回答者を鉄道の利用状況等で限定していないため、利用者ごとの様々な事情を反映してばらつきが大きくなっている。また、被害の発生原因となる地震の震度が大きくなるほど、許容度は高くなることがわかった。

構造物の復旧曲線は、図-3に示すように復旧時間のみをパラメータとし、地震発生から復旧時間 T_r が経過するまでの輸送能力が0%で、復旧後は100%となる曲線としてモデル化した。このとき、構造物の復旧時間 T_r までの生活支障の合計を T_r で除したものを平均生活支障として式(2)で定義する。

$$\bar{D} = \frac{1}{T_r} \int_0^{T_r} D(t) dt \quad (2)$$

上記で設定した復旧曲線と図-4の許容度曲線から、復旧時間に応じた平均生活支障を算出し、これに危機得点の上限値50点をかけたものを各復旧時間における危機得点とした（表-3）。同一の復旧時間であっても、許容度曲線が地震の規模に応じて異なるため、危機得点にも変化が見られることがわかる。

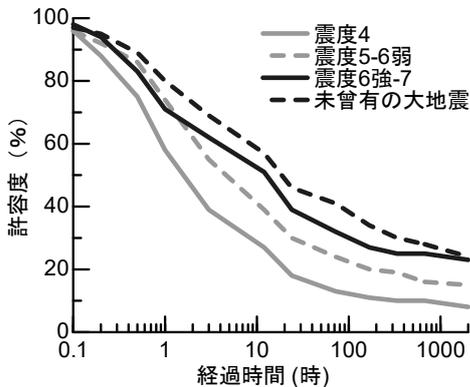


図-4 許容度曲線(新幹線鉄道)

表-3 震度レベルと復旧時間に応じた危機得点

□ 0-20点 □ 20-40点 ■ 40-50点

復旧時間	震度4	震度5-6弱	震度6強-7	未曾有の大地震
10分	4	4	3	2
30分	13	7	6	5
1時間	20	14	12	9
3時間	31	24	20	17
半日	39	32	28	25
1日	41	35	31	29
3日	44	39	35	33
1週間	45	40	37	35
2週間	45	41	38	36
1ヶ月	46	41	39	37
3ヶ月	46	42	40	39

4. ラーメン高架橋における危機得点の試算例

(1) 対象構造物の概要

新幹線に建設されたラーメン高架橋を対象とした危機得点の試算例を示す。図-5に対象構造物・地盤諸元を示すが、G3地盤上に構築された高さ7.0mのラーメン高架橋（杭基礎）である。本高架橋は、倒壊時に主要幹線道路を支障する恐れがある。

地震動レベルに応じて、構造物に生じる損傷を評価する。はじめに、プッシュオーバー解析により、構造物全体系の荷重変位関係および各変形状態における部材の損傷レベルを評価した（図-6）。構造物全体系の降伏震度 $K_{hy}=0.624$ 、固有周期 $T_{eq}=0.739$ 秒となっている。続いて、0.1~2.0倍したL2地震動スペクトルII（G1地盤）を耐震設計上の基盤（砂質土、 $N=50$ ）に入力し、基盤の入力倍率に応じた地表面地震動と地盤変位を評価した。なお、L1地震動は0.3倍程度に相当する。この地表面地震動と、構造物全体系の等価1自由度モデルから、高架橋天端の最大応答変位を評価した。最大応答変位と図-6の荷重変位関係から、応答震度をそれぞれ評価した。

図-7に入力倍率に応じた部材の損傷の発生状況の評価結果を示す。図-7(a)は慣性力設計の結果であり、最大応答変位と、図-6の荷重変位関係から各部材の損傷レベルを判定している。L1相当の0.3倍では全部材とも損傷レベル1を満足するが、0.4倍で柱が降伏して損傷レベル2に達し、0.5倍では上層梁が損傷レベル2に達する。1.0倍では、損傷レベル2以下（復旧性）となっている。また、1.2倍で柱が損傷レベル3に達し、復旧性を満足せず、1.3倍で上層梁が損傷レベル4に達する。なお、本

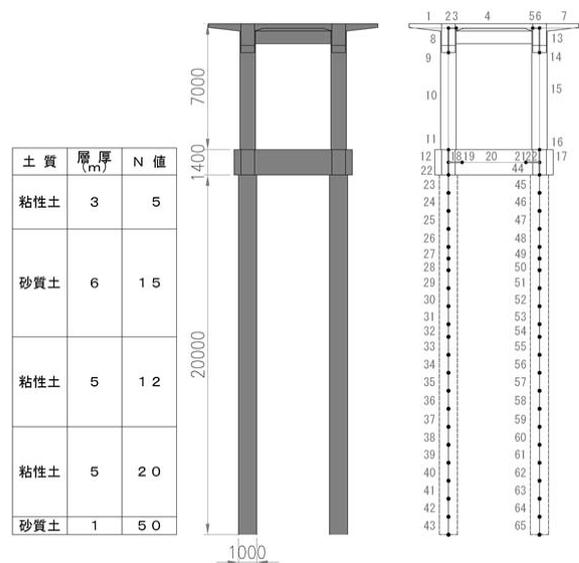


図-5 対象構造物・地盤諸元

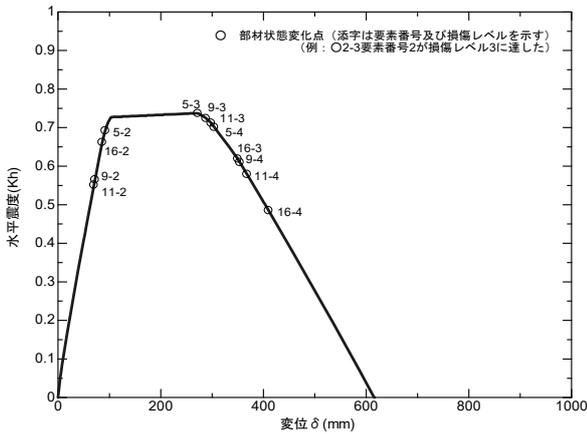
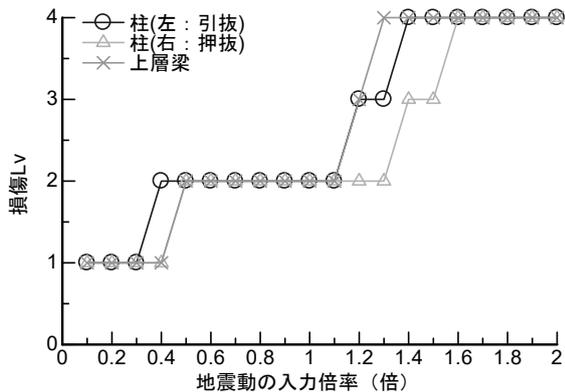
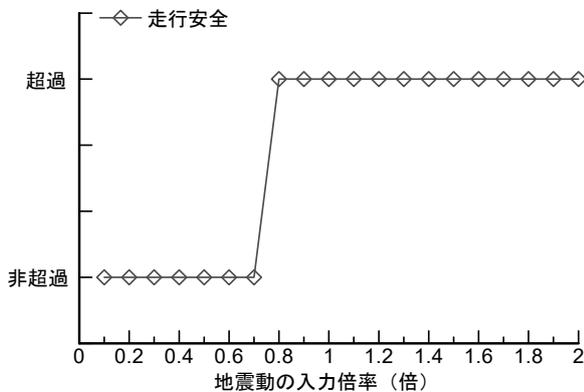


図-6 構造物全体の荷重変位関係



(a) 各部材の損傷レベル



(b) 走行安全性

図-7 対象構造物における構造解析結果

検討では、基礎の損傷については考慮していない。

図-7(b)では走行安全性の評価結果を示す。高架橋天端の加速度波形を積分して得られた最大絶対速度を指標とし、100kineを閾値として⁹⁾この値を超過する場合に脱線に至ると判断した。L1相当の0.3倍では非脱線であるが、0.8倍で脱線判定となる。

(2) 損傷レベルと起きてはならない事態の関係

図-7に示した関係から、損傷レベルを危機得点に置き換えるために、損傷レベルと起きてはならな

い事態の関係を整理した(表-4)。ここで、部材の損傷と起きてはならない事態の関係は、耐震標準¹⁾を参照して設定した。走行安全性における起きてはならない事態は、100kineの閾値を超過した段階で人命保護1が発生する(表-4(b))。早期復旧については、各部材の損傷における復旧時間を既往の復旧事例等から設定した(表-4(c))。なお、損傷箇所や復旧工法に応じた復旧時間の変化や、複数部材が損傷することによる復旧時間の長期化等は考慮しておらず、試算例のための参考値を設定している。

表-4 損傷箇所・損傷レベルと危機的事態の関係

(a) 事態I・人命保護(部材損傷について)

損傷部材	損傷Lv.1	損傷Lv.2	損傷Lv.3	損傷Lv.4
柱	-	-	-	人命保護4
上層梁	-	-	-	-

(b) 事態I・人命保護(走行安全性について)

	非超過	超過
走行安全性	-	人命保護1

(c) 事態III・早期復旧

損傷部材	損傷Lv.1	損傷Lv.2	損傷Lv.3	損傷Lv.4
柱	-	5日	10日	30日
上層梁	-	5日	10日	30日

(d) 事態IV・2次災害

損傷部材	損傷Lv.1	損傷Lv.2	損傷Lv.3	損傷Lv.4
柱	-	-	-	2次災害1,2
上層梁	-	-	-	-

(3) 危機得点の評価結果

図-7に示した各損傷レベルを、表-4から起きてはならない事態に変換し、3.(3)からそれに対応する危機得点を割り当てたものを図-7に示す。

人命保護に関する危機得点は、走行安全性の閾値を超える0.8倍で40点となり、柱が損傷レベル4に達する1.4倍で80点となる。早期復旧に関する危機得点は、柱が損傷レベル2に達する0.4倍で40点となるが、その後に柱と上層梁が損傷レベル3に達する1.2倍、上層梁が損傷レベル4に達する1.3倍では大きな変化がない。2次被害に関する危機得点は、柱が損傷レベル4に達する1.4倍で70点となる。

これらを総合した危機得点は、3段階で危機得点が増える。はじめに0.4倍で柱の降伏程度の軽微な損傷による運転再開の遅れ(40点)、0.8倍で閾値超過による脱線の可能性(80点)、1.4倍で柱の崩壊による大規模な人命損失および2次被害が発生する(190点)。これが、本検討で対象としたラー

メン高架橋における起きてはならない事態の発生シナリオおよび各段階の影響度である。

続いて、このラーメン高架橋に対して危機耐性の向上対策を実施した場合に、危機得点が「対策なし」の構造物からどのように変化するかを評価した。危機耐性の対策と起きてはならない事態に対する効果については、表-5のように設定した。

対策ごとに評価された危機得点を図-8に示す。「復旧性向上」を行った場合には、「対策なし」の結果と比べて、全体的に危機得点が40点小さくなる。「脱線防止工」は、0.8倍で危機得点が上昇しないが、1.4倍で構造物が崩壊すると「対策なし」の結果と同様になる。「倒壊方向制御機構」や「自重補償機構」は、1.4倍における危機得点の急激な上昇を抑えられる。なお、「復旧性向上」，「脱線防止

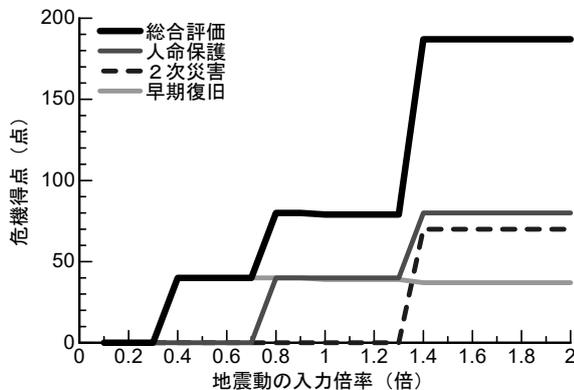


図-7 地震動の入力レベルと危機得点の関係

表-5 危機耐性の対策法とその効果の関係

復旧性向上	「早期復旧」に関する事態が発生しない
脱線防止工	「人命保護1」に関する事態が発生しない
倒壊方向制御機構	「2次災害1, 2」に関する事態が発生しない
自重補償機構	「人命保護2, 3, 4」, 「2次災害1, 2」に関する事態が発生しない

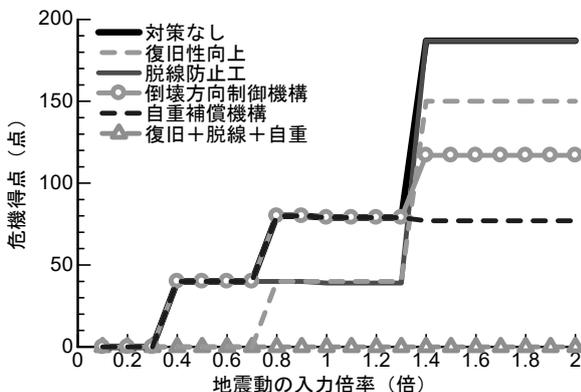


図-8 各種対策の実施における危機得点の変化

工」，「自重補償機構」の対策を全て実施した場合には、本検討で対象とした起きてはならない事態はいずれも発生せず、図-8に示すように危機得点は0点となる。

5. 危機耐性の定量化に関する考察

4章で評価された入力倍率と危機得点の関係から、危機耐性を定量化する方法について考察する。フレームワーク⁶⁾で提示した3つの評価指標に応じて、図-8に示した危機曲線から危機耐性がどのように評価できるかを以下に考察した。

① 危機曲線の傾き

危機曲線の傾きにより危機耐性を評価する。傾きが小さい場合に危機が緩やかに進行して破滅的な崩壊に至らないと考え、危機耐性が高いと評価する。図-8では、1.3~1.4倍における危機得点の急激な増加が避けられる「倒壊方向制御機構」や「自重補償機構」の危機耐性が高いと判断できる。しかし、「対策なし」と「脱線防止工」を比較した場合には、1.3倍の時点で危機得点の大きい「対策なし」の方が、1.3~1.4倍での傾きが相対的に小さくなる。つまり、危機耐性を向上するための対策を講じた場合でも危機耐性が低く評価されてしまう可能性がある。この評価指標は、橋梁・高架橋の破壊形態を例と考えた場合に、破滅的な崩壊に至るせん断破壊型より、曲げ破壊型の方が危機耐性が高いということから着想したものであるが、この考え方を危機曲線に対して適用する際には、何らかの工夫が必要である。

② ある入力倍率における危機得点

想定している危機的事態に応じて入力倍率を設定し、その危機得点の値から、危機耐性を評価する。

例えば、設計地震動を超過する入力レベルにおいて構造物が崩壊し、危機的事態が発生すると想定するのであれば、入力倍率が非常に大きい領域の危機得点を比較すれば良い。図-8では、例えば入力倍率2.0倍の点数を参照すると、「倒壊方向制御機構」や「自重補償機構」の対策が危機耐性が高いと評価できる。また、早期復旧の観点から、軽微な損傷であっても復旧時間が長期化することで危機的事態が発生すると考えるのであれば、入力倍率0.4~0.8倍程度の危機得点を比較すれば良い。

ここで、従来の耐震設計において大きな設計地震動を設定すること(例えば1.3倍)で、より「頑丈」に設計した構造物の危機耐性が、どのように評価され

るかについて考察する。このような構造物は、「対策なし」の構造物と比べて、柱が損傷レベル4に達するときの入力倍率が大きくなる。よって、図-9に示すように、「対策なし」で1.4倍でみられた危機得点の上昇が、例えば1.7倍に移動する。

このとき、入力倍率が大きい領域の危機得点として2.0倍を参照した場合には、「対策なし」の構造物と得点が変わらないことがわかる。また、単純に設計地震動レベルを大きくして設計しただけの構造物が、小さな地震動レベルにおける軽微な損傷の発生を防ぐことや、走行安全性を向上することは考えにくいため、1.2倍以下での危機得点の値もほとんど変わらないことが予想される。よって、この評価方法によれば、より「頑丈」に設計した構造物の危機耐性は、「対策なし」の構造物とほとんど変わらないと評価される。

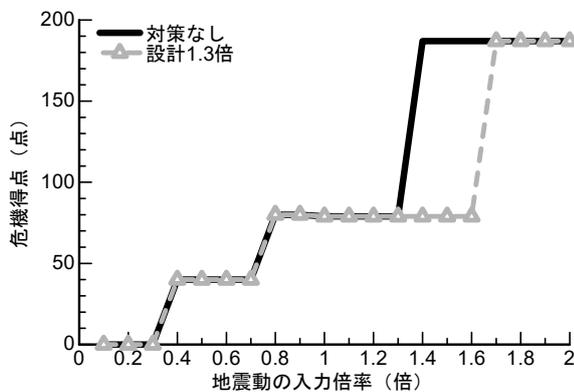


図-9 入力レベルに応じた危機得点の和

③ ある入力倍率までの危機得点の和

上述の①で考察したように、危機曲線の傾きで危機耐性を評価するためには工夫が必要であることがわかった。一方で、曲線の傾きは危機の進行度合を表現しており、危機耐性を直感的に把握する上で適切な指標ともいえる。そこで、入力倍率ごとに、0倍からその入力倍率までの危機得点の和を評価し、その増加傾向で危機耐性を評価することを考える。なお、この曲線の傾きは、図-8における危機得点に一致する。

評価した結果を図-10に示す。各入力倍率において、傾きの最も小さな対策が有効な対策であると評価できる。0.3~0.7倍は「復旧性向上」、0.8~1.3倍は「脱線防止工」、1.4~2.0倍は「自重補償機構」である。

また、上記は入力倍率に応じた効果的な対策を提示しているが、危機得点の和が危機耐性の総合的な評価を表しているとも考えられる。例えば、図-10

における入力倍率2.0倍での危機得点の総和を比較するなどである。このような観点では、「自重補償機構」のような入力倍率の大きな領域で大きな効果を発揮する対策だけでなく、小さな入力倍率から効果を発揮する「復旧性向上」のような対策も、危機耐性を向上させる上で重要であることがわかる。

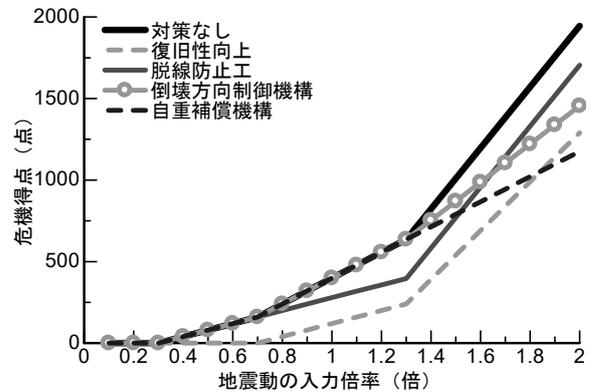


図-10 入力レベルに応じた危機得点の和

6. まとめ

本検討では、文献⁶⁾で提案された危機耐性の定量評価に向けたフレームワークに従って、ラーメン高架橋を対象とした危機耐性の評価を実施し、以下に示す知見を得た。

- ・ 起きてはならない事態の影響の大きさを定量的に評価するための意識調査を実施し、各事態に対して危機得点を評価した。
- ・ 人命保護の観点からの危機得点は40~80点の範囲、2次被害は70点、早期復旧は50点が上限値として評価された。
- ・ 意識調査から評価した許容度曲線と構造物の復旧曲線を組み合わせ、鉄道利用者の生活支障を評価する手法を構築した。この手法を用いて、復旧時間に応じた危機得点の値を算定した。
- ・ ラーメン高架橋を対象とした場合の危機得点の試算例を示し、危機的事態の発生シナリオを明確にした。危機得点は、「柱の降伏程度の軽微な損傷による運転再開の遅れ」、「脱線判定の閾値超過」、「柱の崩壊による大規模な人命損失および2次被害の発生」の3段階で大きく変化する。
- ・ 危機耐性を向上するための各種対策を実施した場合に、「対策なし」の危機曲線と比較してどのように危機得点が変わるかについて検討を行った。

- ・ 対策ごとの危機曲線を元に、危機耐性を定量評価するために指標について検討した。その結果、ある入力倍率を設定した場合の危機得点の値、もしくはある入力倍率までの危機得点の和や傾きを用いることで、危機耐性を評価できる可能性があることを示した。

今後は、本検討で示した危機得点の評価手法を高度化するとともに、構造物単体の危機耐性の評価を超えて、鉄道システム全体の危機耐性を評価することを目的とした手法の拡張を行う予定である。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善出版，2012.
- 2) 野津厚，室野剛隆，本山紘希，本田利器：鉄道・港湾構造物の設計指針と「危機耐性」，土木学会論文集A1(構造・地震工学)，Vol.72，No.4，I_448-I_458，2016.
- 3) 柳川秀明：軌道における地震時の新幹線脱線対策，第210回鉄道総研月例発表会講演集，2008.
- 4) 西村隆義，室野剛隆，本山紘希，五十嵐晃：危機耐性を高める自重保障構造の提案と成立性，第70回土木学会全国大会概要集CD-ROM，2015.
- 5) 齊藤正人，室野剛隆，本山紘希：地震時における構造物の倒壊に対する危機耐性機構の一考察，第70回土木学会全国大会概要集CD-ROM，2015.
- 6) 田中浩平，室野剛隆，坂井公俊，齋藤正人，本山紘希：鉄道構造物における危機耐性の性能規定化に向けたフレームワーク構築，第19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，pp.53-58，2016
- 7) 国土強靱化推進本部：国土強靱化基本計画—強くて、しなやかなニッポンへ—，2014，http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyoujinka/pdf/kk-honbun-h240603.pdf (2017.6.5参照)
- 8) 能島暢呂，亀田弘行，吉川徹志：ライフライン地震被害による居住生活支障の評価に関する研究，第21回地震工学研究発表会講演概要集，pp.329-332，1991.
- 9) 室野剛隆，野上雄太，宮本岳史：簡易な指標を用いた構造物および走行車両の地震被害予測法の提案，土木学会論文集A，Vol.66，No.3，pp/535-546，2010.