

平成 23 年 6 月 8 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究（C）

研究機関：2008～2010

課題番号：20560450

研究課題名（和文）鉄道施設の地震リスク解析とリスク転嫁策の研究

研究課題名（英文）Study on seismic risk assessment and risk transfer of the railway system

研究代表者

吉川 弘道（YOSHIKAWA HIROMICHI）

東京都市大学・工学部・教授

研究者番号：10220609

研究成果の概要（和文）：

- ・ 鉄道施設のような線状構造施設の地震リスク解析法を構築し、地震時システムリスク解析を実施した。このため、各種構造物（高架橋、地下構造物など）の地震損傷関数の算定法を考察し、高精度地震ハザード曲線を導入した。
- ・ 鉄道会社を対象としたリスク転嫁策（地震保険、地震デリバティブ）を調査/検討した。
- ・ 鉄道モデル路線による地震リスク解析とリスクファイナンスの有効性を検討した。

研究成果の概要（英文）：

This research deals with analytical procedure of seismic risk assessment applied to the railway system.

- ・ Seismic system risk analysis is investigated for the railway facility, including fragility functions for viaducts and box-culvert and advanced seismic hazard analysis.
- ・ Risk finance method such as earthquake insurance and derivatives are carefully examined for the railway facilities.
- ・ System risk simulations with/without risk finance strategy are carried out for the railway system located in the Kanto region.

Through analytical research and simulated seismic system risk analyses, the author would like to make an emphasis that risk quantification is quite essential to the decision-making process in the catastrophe risk management.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009 年度	600,000	180,000	780,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：地震防災

1. 研究開始当初の背景

- (1) 鉄道など社会基盤施設は 70 年以上経過し、補強対策は整備/未整備が混在し、大小の地震リスクが存在する。巨大災害の評価には、工学的リスクが最適である。
- (2) 性能設計は、土木系設計コードにて具体化され定着しつつあるが、設計地震動を超える大地震には言及していない。
- (3) 災害時の BCP の完備、事業体の高次社会的責任の全うなど、時代の要請である。

2. 研究の目的

- (1) 鉄道施設のような線状構造施設の地震リスク解析手法を確立し、リスクシミュレーションを実施する。このため、各種構造物の地震損傷関数の算定する。
- (2) リスク転嫁策として、各種のリスクファイナンスを採用と適用について検討する。
- (3) モデル路線を設定して、システムとしての広域リスクと連合キャプティブの設立を検討する。

3. 研究の方法

次のような 3 つの Phase を、3 年間に順次実施した。

Phase I : 線状構造物の地震リスク解析の確立
鉄道施設のような線状に広がる構造施設の地震リスク解析手法を確立し、リスクシミュレーションを実施する。このため、高精度地震ハザード曲線の設定と地震損傷関数の設定について考察する。

Phase II : リスク転嫁策の適用性の検討

リスク転嫁策としては、外部機関へのリスク移転（損害保険、証券化、金融保障）が検討されている。本研究では、従前からある地震保険と地震デリバティブについて検討した。この 2 手法を鉄道施設の地震リスク転嫁に適用するため、転嫁機能の解析手法を検討する。

Phase III : 首都圏でのモデル路線設定と地震リスク評価

上記の Phase I と Phase II での検討結果をもとに、鉄道モデル路線を想定して、地震リスクシミュレーションを実施し、特にリスク曲線の同定と PML 値の算定/考察した。

4. 研究成果

(1) 線状施設のリスク評価手法

連続する施設群（線状施設）の地震リスク評価について、特定施設や複数地点のポートフォリオを対象とした地震リスク評価を活用した手法を提案した。

まず、連続する施設をある分割長に等分割

し、線要素に離散化し、1 つの線要素の中央に 1 個の集約施設を定義する。線要素の中心点に構造物の資産を集約することで、線状施設に点在する各種構造物を簡易的に取り扱うことが可能となった。

ここで、分割長は、十分な分析結果を得る合理的な長さとして 100m を設定し、地盤の 250m メッシュにて評価する。線状施設のモデル化と Hazard Module の関係は、図-1 のとおりである。

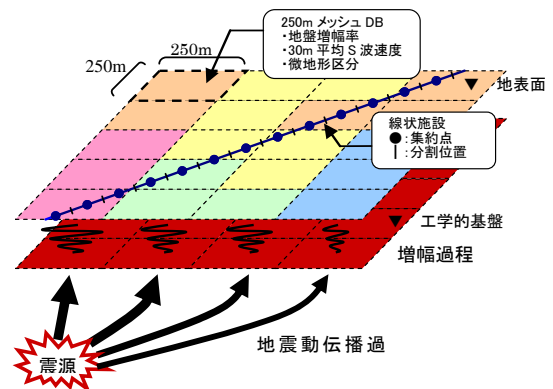


図-1 単位長さの各個別地震ロス関数

(2) 個別地震ロス関数と集約地震ロス関数の設定

地震リスク解析に関する一連の解析手法はほぼ確立し、特に、鉄道施設に用いる地震ロス関数についての成果を述べる。

鉄道を線状に繋ぐ代表的な構造物である高架橋、橋梁構造物、地中構造物、その他の盛土/切土の 4 つを選定し、統一的な解釈による地表最大速度 (PGV) を説明変数とした個別地震ロス関数を作成した (図-2)。さらに、それらを構造物の構成比率 (実路線) により集約点に対応した集約地震ロス関数を図-3 のように作成した。

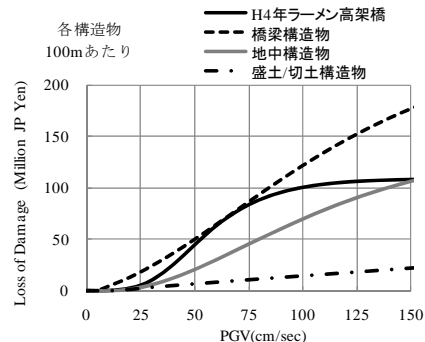


図-2 単位長さの各個別地震ロス関数

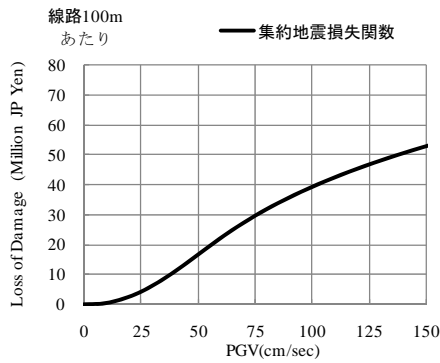


図-3 集約地震ロス関数

(3) リスク転嫁策としてのリスクファイナンス

地震リスクファイナンス手法として代表的な地震保険、地震デリバティブ、キャタストロフィーボンドに関し、その特徴を整理した。

地震保険：一定額の保険料を損害保険会社に支払うことにより、地震リスクを移転する手法である。地震により被害が生じた際には、保険金額を上限として、実際に生じた損害額を保険金として受取ることができる。

地震デリバティブ：契約締結時に取り決めたトリガーにヒットした際に決済金が支払われる金融商品であり、地震による損害の発生が必要とされない点が地震保険とは異なる。

キャタストロフィーボンド：地震リスクの証券化である。債券を購入した投資家は、地震リスクを引受ける代わりに、通常の社債よりも高い金利を受取る。トリガーとなる地震が発生した際には、投資家は購入した債券の元本の一部または全部が毀損する。キャタストロフィーボンドを発行した企業は、一定のトリガーイベントにヒットした場合に入金される決済金を、毀損した資産等の復旧や営業利益の減少額に充てることができる。

(4) 首都圏放射 4 路線によるモデル路線の設定

図-4 に示す首都圏 4 路線 (20km の直線路線) のようなモデル路線を設定した。地域条件により路線の震源との距離関係と地震増幅の差によるリスクの相違を検証することとなる。

Line-1：終点の荒川流域で地盤増幅率が大きい

Line-2：武蔵野台地におけるローム台地であり比較的良い地盤が広がる

Line-3：路線中央部が多摩川流域より地盤増幅率が大きい

Line-4：荒川及び江戸川の流域から後背湿地が広がり地盤増幅率が大きい

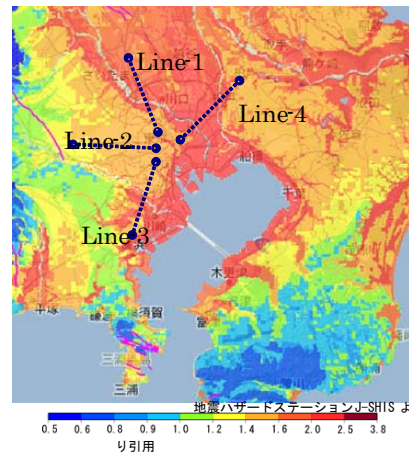


図-4 想定 4 路線と地盤増幅率

(5) 地震リスク評価結果

以上のようなモデル路線について地震リスク解析を実施し、図-5 に 4 路線の 50%非超過リスクカーブを图示した。

いずれの年超過確率の範囲においても地盤が不良な Line-4 の予測損失額が最大、地盤の良い Line-2 が最小、Line-1 と Line-3 は同程度となった。各路線のリスクカーブは、各損失額は異なるが年超過確率 10%程度から損失が大きくなり、0.5%程度で頭打ちで同様な形状を持つ。これは設定した 4 路線の互いの距離が近く、各年超過確率においてほぼ同じ震源の影響を受けるため、形状が近似している。また各地震動評価の大小が、損失額の違いを生じさせる。

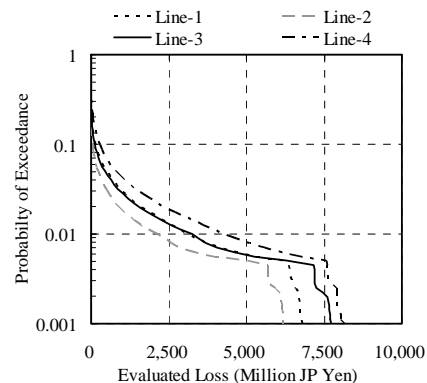


図-5 各路線の 50%非超過リスクカーブ

次に、リスク指標を整理すると、図-6 の関係となる。いずれの指標においても Line-4 が最大となる。また、Line-1 と Line-3 の比較において AEL では Line-1 が Line-3 を上回っているが、99Tail-VaR では、Line-3 が

Line-1 を上回っている。これは、前述した Line-3 の年超過確率 0.5%以下の範囲（テールリスク）におけるリスクの増大をよく表現していると言える。

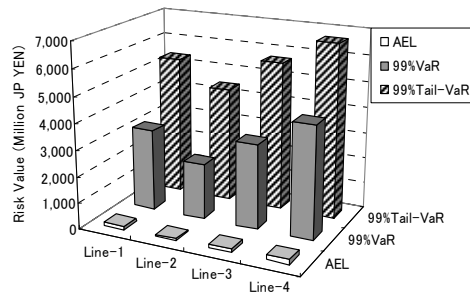


図-6 想定4路線のリスク指標値

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① 中村孝明、境茂樹、吉川弘道：損傷相関を考慮した地震時システム性能評価に関する研究、日本建築学会構造系論文集、査読有、第 76 巻 第 651 号、2011、pp.713-719
- ② 吉川弘道、若林裕子、坪田正紀、大滝健：キャパシティスペクトル法と EFM 法を援用した RC ラーメン高架橋の地震イベントリスク評価、コンクリート工学論文集、査読有、22 巻、2011、pp.33-42
- ③ 静間俊郎、中村孝明、吉川弘道：地震損傷相関を考慮した施設群の機能停止評価、土木学会論文集 A、査読有、第 65 巻 2 号、2009、pp.299-309

[学会発表] (計 6 件)

- ① 中村孝明、境茂樹、吉川弘道：製造装置の余剰性能を考慮した生産施設の地震時復旧曲線、第 13 回日本地震工学シンポジウム、2010 年 11 月 19 日、つくば国際会議場
- ② 大峯秀人、吉川弘道、矢代晴実、福島誠一郎：首都圏における鉄道施設の地震リスクとリスクファイナンス、地域安全学会梗概集 No. 27、第 27 回 研究発表会 (秋季) 大会、2011 年 11 月 6 日、静岡県地震防災センター

- ③ 福島誠一郎、矢代晴実、吉川弘道：供給量に着目したサプライチェーンの地震時業務停止期間に関するリスク評価、地域安全学会 2009 年度 第 25 回 研究発表会 (秋季) 大会、2009 年 11 月 6 日、静岡県地震防災センター

[その他]

ホームページ等

<http://www.srm-bcp.com/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉川弘道 (YOSHIKAWA HIROMICHI)

東京都市大学・工学部・教授

研究者番号：1 0 2 2 0 6 0 9

(2)研究分担者

中村 孝明 (NAKAMURA TAKAAKI)

東京都市大学・工学部・客員教授

研究者番号：6 0 4 2 4 7 7 7

(3)連携研究者

該当者なし