

首都圏鉄道路線の地震時システムリスク解析(その2)
ー 仮想路線の地震後復旧シミュレーションー

東急建設(株) 正会員 前田欣昌 正会員 服部尚道 正会員 奥村幹也
(株)篠塚研究所 正会員 静間俊郎
東京都市大学 フェロー会員 吉川弘道

1.解析目的と解析対象

首都圏西部の郊外と都市中央環状線を結ぶ放射状および環状の3鉄道路線を解析対象とし、図1に示す。この東西約40km、南北約30kmの広範に敷設する鉄道路線は仮想の路線であり、図中の丸数字は主要駅である。本稿(その2)では地震時の被災箇所として鉄道高架橋に着目し、シナリオ地震における対象路線のシステムリスクを解析する。なお、シナリオ地震は対象施設周辺で発生するであろう様々な地震源と規模を特定した想定地震である¹⁾。

解析においては、高架橋の設計年代の違いによる脆弱性の差異を考慮し、脆弱性を耐震性小、中、大の3タイプに分類した。また、高架橋立地点の地盤は、普通地盤と軟弱地盤の2種類に仮定した。以上の条件設定の下、郊外から都市中央環状線に向かう上り線について、利用客数を影響度(重要性)とし、復旧曲線や復旧期間期待値(Recovery time expectancy;以下、RTE)、ボトルネック指標(Bottleneck Index;以下、B.I.)を検討した。なお、評価対象である高架橋は主要駅地点に配置している。

2.システムモデル

対象路線は、放射状路線としてA線とB線、A線とB線を結ぶ環状C線の3路線から成っており、輸送機能を図2



図1 解析対象路線

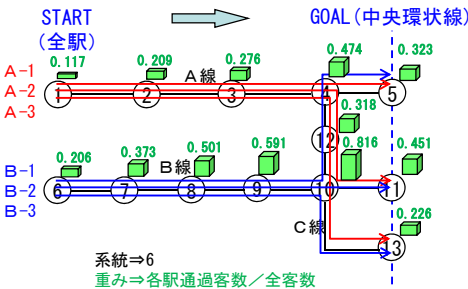


図2 システムモデルと影響度

に示すブリッジ構造を有するラダーシステムにモデル化した。また、図2には、輸送経路として考えられる6つの系統(A1~A3,B1~B3)を併記した。これら6系統を、途中駅からの乗客を考慮して、30系統の直列システム(輸送経路)に分解し、各系統の乗客比率を設定した。この30系統の乗客比率を駅(高架橋立地点)ごとに集計し、各駅の影響度を求め、その値を図2に棒グラフで表記した。

3.施設の脆弱性の評価

解析対象施設である高架橋の種類は、鉄道の設計基準の変遷を参考に3種類とした。TYPE Iは設計年代の古いせん断破壊型、TYPE IIは設計震度が低い曲げ破壊型、TYPE IIIは現行の設計基準²⁾を満足する高架橋である。

各高架橋の損傷度は小破、中破、大破の3区分とした。各損傷度に対する弾性応答加速度(耐力)は、設計震度の違いや、実構造物の耐力が材料強度の余裕や照査値の余裕等により、設計上の耐力よりも大きくなると考えられる点を考慮した。このようにして求めた各高架橋の損傷度に対する弾性応答加速度を耐力中央値として設定した。表1~表3に3種類の高架橋の各損傷度に応じた耐力中央値を復旧期間とともに示す。なお、TYPE Iの高架橋を補強した場合、TYPE IIIと同じ脆弱性になるものとした。

表1~表3の右側には耐力中央値を基盤最大加速度(以下、PBA)に換算した値を記載している。この値は、弾性応答加速度値を応答スペクトル比(地盤増幅率)と

表1 高架橋 TYPE I の脆弱性

損傷度	弾性応答 加速度 α_R (gal)	復旧期間※ (日)	基準化基礎応答 スペクトル S	普通地盤(G3)		軟弱地盤(G5)	
				増幅率 λ	基礎加速度 $\alpha_R/S/\lambda$ (gal)	増幅率 λ	基礎加速度 $\alpha_R/S/\lambda$ (gal)
無被害	0	0	1.825	1.4	0	1.6	0
大破	472	60	1.825	1.4	185	1.6	162

※GOAL地点の復旧期間は、市街地で復旧に手間がかかると考え、復旧期間を2倍にする。

表2 高架橋 TYPE II の脆弱性

損傷度	弾性応答 加速度 α_R (gal)	復旧期間※ (日)	基準化基礎応答 スペクトル S	普通地盤(G3)		軟弱地盤(G5)	
				増幅率 λ	基礎加速度 $\alpha_R/S/\lambda$ (gal)	増幅率 λ	基礎加速度 $\alpha_R/S/\lambda$ (gal)
無被害	0	0	1.825	1.4	0	1.6	0
小破	720	3	1.825	1.4	282	1.6	247
中破	1188	10	1.825	1.4	465	1.6	407
大破	1800	60	1.825	1.4	705	1.6	616

※GOAL地点の復旧期間は、市街地で復旧に手間がかかると考え、復旧期間を2倍にする。

表3 TYPE III, TYPE I (補強後)の脆弱性

損傷度	弾性応答 加速度 α_R (gal)	復旧期間※ (日)	基準化基礎応答 スペクトル S	普通地盤(G3)		軟弱地盤(G5)	
				増幅率 λ	基礎加速度 $\alpha_R/S/\lambda$ (gal)	増幅率 λ	基礎加速度 $\alpha_R/S/\lambda$ (gal)
無被害	0	0	1.825	1.4	0	1.6	0
小破	1296	3	1.825	1.4	507	1.6	444
中破	2088	10	1.825	1.4	817	1.6	715
大破	3060	60	1.825	1.4	1198	1.6	1048

※GOAL地点の復旧期間は、市街地で復旧に手間がかかると考え、復旧期間を2倍にする。

キーワード 鉄道路線, システムリスク, 復旧曲線, ボトルネック指標, 冗長性

連絡先 〒150-8340 東京都渋谷区渋谷 1-16-14 東急建設(株) 土木技術部 土木構造・材料G TEL03-5466-5280

基盤最大加速度で基準化した基盤応答スペクトル値で除したものである。基盤面および地表面での応答スペクトルは、文献 2) の L1 地震動の値を参照し、高架橋の固有周期は 0.7~0.75s を想定した。本解析の地盤増幅率は、上記の条件において、普通地盤で 1.4、軟弱地盤で 1.6 となる。PBA 換算された耐力中央値は、様々な種類、異なる年代に設計された施設の耐震性を一元的に管理／比較することを可能とする。

4. 解析ケースと解析結果

解析ケースは 2 ケースとし、各高架橋の種類との関係を表 4 に示す。ケース 1 は無補強の場合であり、ケース 2 は TYPE I の高架橋を補強したケースである。

表 4 解析ケース

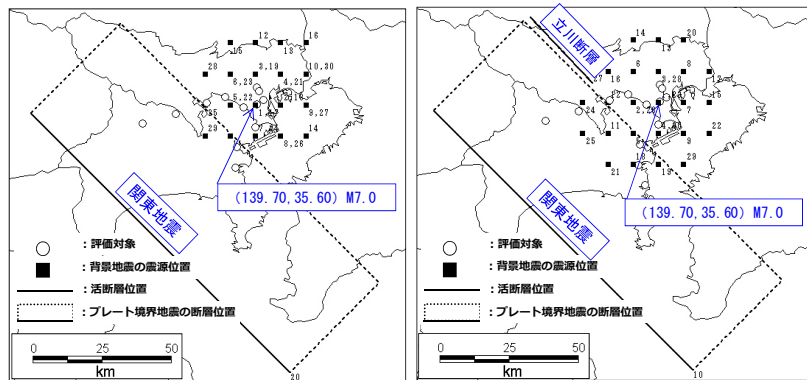
主要駅・高架橋	地盤種別	ケース1	ケース2
1 相模湖	普通 (G3)	Ⅲ	Ⅲ
2 矢部	普通 (G3)	Ⅱ	Ⅱ
3 新百合ヶ丘	普通 (G3)	Ⅱ	Ⅱ
4 柏江	普通 (G3)	I (前)	I (補)
5 渋谷	普通 (G3)	I (前)	I (補)
6 八景島	軟弱 (G5)	Ⅲ	Ⅲ
7 磯子	軟弱 (G5)	I (前)	I (補)
8 横浜	軟弱 (G5)	I (前)	I (補)
9 川崎	軟弱 (G5)	I (前)	I (補)
10 旗の台	普通 (G3)	I (前)	I (補)
11 恵比寿	普通 (G3)	I (前)	I (補)
12 都市大	普通 (G3)	I (前)	I (補)
13 大崎	普通 (G3)	I (前)	I (補)

対象施設周辺における様々なシナリオ地震を想定し、対象路線のシステムリスクを検討した。リスク解析にあたり、高架橋立地点の PBA は、安中の距離減衰式³⁾を用いて推定し、地震動の大きさおよび施設耐震耐力のばらつき(対数標準偏差)をそれぞれ 0.5, 0.3 と設定した。

路線システム全体の RTE 上位 30 位までのシナリオ地震源を図 3 に示す。図中の○は対象施設、■は背景地震、実線および破線に囲まれた領域はプレート境界地震の断層面を示しており、数字は RTE の順位を示している。これによれば、両ケースにおいて施設 10(旗の台)直下の背景地震 (139.70,35.60;M7.0) が最も路線システムに被害をもたらす(RTE が最大となる)地震であることがわかる。

図 4 は、代表的なシナリオ地震として、背景地震 (139.70,35.60;M7.0)、関東地震 (M8.0)、立川断層 (M7.4) に着目し、復旧曲線と RTE を示したものである。背景地震 (139.70,35.60;M7.0) の場合、完全復旧までにケース 1 で 111.1 日、ケース 2 で 12.8 日であり、RTE はケース 1 で 109.8 日、ケース 2 で 8.9 日である。補強により、両ケースにおいて完全復旧までの期間が短縮されていると同時に、復旧曲線に差が見られることが確認できる。

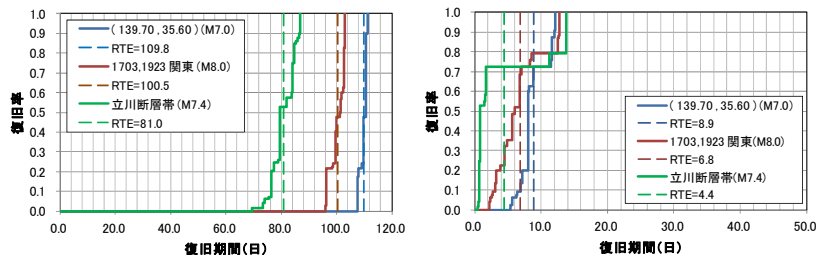
図 5 は背景地震 (139.70,35.60;M7.0) の B.I. を示したものである。ケース 1 では、復旧日数のかかる施設 11(恵比寿)や影響度が最大の施設 10(旗の台)などがボトルネック



(a) ケース 1 (無補強)

(b) ケース 2 (補強後)

図 3 RTE 上位 30 位の地震源



(a) ケース 1 (無補強)

(b) ケース 2 (補強後)

図 4 復旧曲線

地震名	(139.70, 35.60) (M7.0)	影響度	脆弱性	BI
12 恵比寿 高架橋被害	0.451	104.14	46.99	
10 旗の台 高架橋被害	0.816	52.07	42.50	
5 渋谷 高架橋被害	0.323	104.14	33.65	
9 川崎 高架橋被害	0.591	54.69	32.30	
8 横浜 高架橋被害	0.501	53.33	26.74	
4 柏江 高架橋被害	0.474	50.92	24.11	
13 大崎 高架橋被害	0.226	104.14	23.50	
12 都市大 高架橋被害	0.318	52.07	16.54	
7 磯子 高架橋被害	0.373	43.42	16.21	
3 新百合ヶ丘 高架橋被害	0.276	13.25	3.65	
2 矢部 高架橋被害	0.209	3.16	0.66	
6 八景島 高架橋被害	0.206	1.57	0.32	
1 相模湖 高架橋被害	0.117	0.00	0.00	

(a) ケース 1 (無補強)

(b) ケース 2 (補強後)

図 5 各施設の影響度、脆弱性、ボトルネック指標

となっている。また、ケース 2 では TYPE I を補強していることから、際立ったボトルネックは見られないが、高架橋 TYPE II の施設 3(新百合ヶ丘)が最上位になっており、補強によりボトルネック箇所が変化していることがわかる。

5. まとめ

本稿では、広域鉄道路線を対象に、利用客数を影響度とし、補強前後のシステムリスク解析を行った。本解析手法は、鉄道路線システムの冗長性を考慮し、復旧曲線や B.I. を定量的に評価できる。評価結果は、視覚的にも分かりやすく、BCP の策定や防災対策の立案に有用であると考え、今後は、地下トンネルや盛土など各種構造物を配置し、鉄道路線のシステムリスクを評価する予定である。

参考文献

- 1) 宇賀田健: シナリオ地震による日本全国の地震危険度評価、建築学会構造系論文集、第 541 号、pp.95-104、2001。
- 2) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等設計標準(耐震設計)、1999.10
- 3) 安中正、山崎文雄、片平冬樹: 気象庁 87 型強震計記録を用いた最大地震及び応答スペクトル推定式の提案、第 24 回地震工学研究発表会講演論文集、pp.161-164、1997。