

大規模地震発生時における都市鉄道事業の継続性に関する一考察

○ [土] 栗原 彰 (日本大学大学院) [土] 金子雄一郎 (日本大学)

A Study on Urban Railway Service Continuity in the Case of Large-Scale Earthquake

○Akira Kurihara and Yuichiro Kaneko (Nihon University)

The objective of this study is to examine the continuity of urban railway service in the case of large-scale earthquake based on the experience of Great Hanshin-Awaji Earthquake and the Great East Japan Earthquake. Effective measures at various stages, seismic damage, inspection of infrastructure, disaster-relief work, resumption of train operation are shown in this study.

キーワード：大規模地震，都市鉄道，事業継続

Key Words：Large-Scale Earthquake, Urban Railway, Business Continuity

1. はじめに

政府の地震調査研究推進本部によると、2036 年までに南関東において M7 規模の地震が発生する確率は 70%とされている¹⁾。このような大規模地震が発生した際には、企業等の活動はもとより、生活に密接に関わる鉄道や道路等の交通インフラ施設、電力やガス、上下水道等のライフライン施設への甚大な影響が懸念される。このうち企業における大規模地震対策については、従来からの災害被害を最小化する防災の視点からのアプローチに加え、近年、災害時における活動の維持や早期回復を目指す事業継続の観点からのアプローチの重要性が指摘されており、そのためのガイドラインも策定されている²⁾。

一方、社会経済活動の基盤となる交通インフラ施設やライフライン施設についてもこのような視点は重要であり、施設を管理する主体の役割はきわめて大きい。これらに加えて、鉄道などネットワークを形成している施設については、被災を免れた路線や早期復旧した路線に旅客が集中し、はげしい混雑が発生する可能性があり、復旧に際して十分留意する必要がある。

以上の問題意識の下、本研究では首都直下地震などの大規模地震が発生した場合の都市鉄道事業の継続性を議論する前段として、地震発生時に想定される事象とその対応策について検討することを目的とする。

具体的には、1995 年 1 月に発生した戦後最大の都市直下型地震である阪神・淡路大震災と、2011 年 3 月に発生した東日本大震災における鉄道施設の被害状況、復旧工事実施上の課題などについて、主に既往文献に記載された内容を基に整理する。その上で、大規模地震発生時に想定される事象や課題とその対応策について検討を行う。

2. 企業における防災対策

2.1 防災と事業継続との関係³⁾

企業における従来の防災と事業継続の取り組みの違いを、各々の視点と指標から整理すると次のようになる。

まず、従来の防災の視点は、人命の安全確保や物的被害の軽減、拠点レベルでの対策、主に安全関連部門・施設部門の取り組みであるのに対して、事業継続の視点は、重要業務の継続、早期復旧などが加わる。また、指標について、従来の防災が死傷者数や物的損害額であるのに対し、事業継続は復旧時間や復旧レベル、経営ならびにステークホルダーに及ぼす影響などが加わる。

2.2 交通インフラ管理主体の取り組み

交通インフラ施設やライフラインを管理する主体では、災害被害の最小化と併せて、サービス供給の継続が防災対策の主要な目的であることから、従来から取り組んでいる防災対策が、事業継続の取り組みを包含するものと捉えられる場合も多い。しかしながら、上述したような復旧時間や復旧レベルの目標設定、経営ならびに利用者などステークホルダーに及ぼす影響の予想と対策の検討の重要性は、今後一層増していくものと思われる。

都市鉄道は日常の諸活動を支える重要なインフラ施設であり、被害の最小化はもとより、仮に被災した場合の早期復旧は社会的要請でもある。そこで以降においては、過去の大規模地震における鉄道の被害状況や復旧工事にあたっての課題と対応事例を整理するとともに、大規模地震発生時に想定される事象や課題を抽出し、その対応策について検討することで、都市鉄道事業の継続性を議論する際の一助とする。

3. 過去の大規模地震の事例整理

3.1 阪神淡路大震災^(4,5)

(1) 被害の概要

1995年1月17日未明に発生した阪神・淡路大震災は戦後最大の都市直下型地震であり、鉄道、道路、港湾等の交通インフラ施設にも甚大な被害が発生した。表1は、阪神間を結ぶJR東海道線(神戸線)、阪急電鉄神戸線、阪神電鉄本線の被害状況等について、既往文献を基に整理したものである。これより各路線とも、高架橋の倒壊や架道橋等の落下、駐車場の崩壊など甚大な被害が発生した区間(大

半が震度7区域内)において、復旧まで長期間を要している。また、盛土の沈下や土留擁壁の崩壊が発生した区間においても、復旧まで一定の時間を要している。

これらの被害を受けた復旧の方針については、被害が軽微である区間を優先的に復旧させるとともに、被害が甚大な区間については、詳細な調査を基に、信頼性や経済性、工期などの視点から複数の工法を比較検討し、復旧方針が策定されている。例えば阪急電鉄では、構造強化による耐震性確保と早期復旧が可能な工法選定の視点からの検討が行われている。

表1 阪神・淡路大震災における阪神間の被害状況

区間	復旧 日数	被害状況							その他事項
		高架橋 橋梁	トン ネル	盛土 土留擁壁	停車場 設備	軌道 設備	電気 設備	詳細	
JR東海道線 (神戸線)	大阪～塚本	0							
	塚本～尼崎	0							
	尼崎～立花	2							
	立花～甲子園口	2						△橋梁変状	
	甲子園口～西ノ宮	8			▲(甲)	×	▲	■上下ホーム孕み(甲)	
	西ノ宮～芦屋	8			▲(西)	×	▲△	△のり面一部崩壊 ■ホーム沈下、地下道損傷(西)	
	芦屋～摂津本山	22		▲	×	▲(芦)	×	▲△ △盛土沈下、土留擁壁崩壊 ■橋上駅損傷、上下ホーム・上屋倒壊(芦)	
	摂津本山～住吉	22		▲	▲(摂)	×	▲△	△盛土沈下、土留擁壁崩壊	土留擁壁上部の市道にも被害が発生。復旧方法を道路管理者と協議。倒壊家屋を持ち主と協議の上撤去
	住吉～六甲道	81	▲		×	▲(住)	×	▲△ △高架橋桁落下、橋脚・柱破損 ■上下ホーム崩壊、屋根崩壊(住)	高架下の施設等の撤去を先行実施 当初「海側2線先行開業」から「4線同時開業」に変更 施工スペース確保のため側道は全面通行止め、主要南北道路は一部通行止め
	六甲道～灘	81	▲		×	▲(六)	×	□▲△ △高架橋桁落下、橋脚・柱破損 △高架橋一部破損 ■橋上駅舎損壊、上下ホーム・上屋倒壊(六)	
阪急電鉄神戸線	灘～三ノ宮	34			▲(灘)	×	△	△高架橋桁落下、橋脚・柱破損 △高架橋一部破損 ■高架橋一部破損(三)	高架下関係者と連絡が取れないため、被害状況の把握に時間を要した
	三ノ宮～元町	34	▲		▲(三)	×	▲	△高架橋一部破損 ■ホーム上屋傾斜(元)	
	元町～神戸	34			▲(元)		△	△高架橋一部破損 ■ホーム上屋傾斜(神)	
	梅田～武庫之荘	1							
	武庫之荘～西宮北口	1		×		×	▲	△武庫川橋梁付近盛土側方流動・路盤沈下	
	西宮北口～夙川	146	×	▲		×	▲△	△西宮高架橋倒壊・損傷	①補強案、②単線順次案、③複線同時案の3案を比較検討し、③複線同時案を中心に詳細検討
	夙川～芦屋川	80		▲	▲(夙)	×	▲	△擁壁上部が傾斜・倒壊 ■盛土式ホーム沈下・陥没、ホーム上家の柱座屈(夙)	随所での線路寸断により大型保線用機械が出勤できず、人力で対応
	芦屋川～岡本	80					□	△芦屋変電所整流器、変圧器、遮断器等損壊	
	岡本～御影	135		▲		×	▲	△擁壁傾斜・損壊	構造強化による耐震性確保と早期復旧が可能な工法選定の2条件を満たす方法を検討 騒音に対する苦情等により工法変更
	御影～六甲	27					▲		
阪神電鉄本線	六甲～王子公園	27							
	王子公園～春日野道	55			▲(王)			△高架橋損傷 ■ホーム支柱損壊(王)	高架橋は補強ではなく損傷部を撤去復旧
	春日野道～三宮	55	▲		×	×	◆	△加納町架道橋橋台損壊・橋脚傾斜・損壊	三宮駅は上層部は撤去、高架橋部分は補強
	阪神梅田～甲子園	1							
	甲子園～久寿川	9							
	久寿川～今津	9							
	今津～西宮	9			▲(今)				軌道沈下のため緊急の碎石集積基地を設けたが、避難に時間を要し1日1往復が限度
	西宮～香炉園	9				×	□▲	△阪線盛土内で軌道沈下、ロングレール区間でレール破断(香)	
	香炉園～打出	9			▲(香)	×			
	打出～芦屋	9	▲	×	▲	×	▲	△土留擁壁の傾斜、側方移動、これに伴う路盤沈下、縦割れ、ゆるみ	限界支障する倒壊家屋が存在。所有者から撤去に要する承諾書を取得するのに時間を要した
阪神電鉄本線	芦屋～深江	9	▲	×	▲(芦)	×			
	深江～青木	9				×		△擁壁の傾斜等に伴い、軌道沈下、軌道中心の間隔の広がりが	
	青木～魚崎	25	▲	×	▲(青)	×	▲	△土留擁壁の傾斜、側方移動、これに伴う路盤の沈下、縦割れ、ゆるみ	付近住民の夜間振動に対する抵抗感を考慮し、MTTの使用断念
	魚崎～住吉	25	▲	×	▲(魚)	×	▲		高架下テナントの内装を撤去する際、利用者の了解を得るのが難航
	住吉～御影	25	▲					△ラーメン高架橋の柱、梁、スラブ桁の受梁部に軽度のクラック発生	高架橋北側及び南側の側道の幅員が狭く、沿道の倒壊家屋が約70棟あり、工事着手に当たり撤去に時間を要した
	御影～石屋川	160	▲	×	▲	×	▲△	△8箇所架道橋落下、約2kmの高架橋が全区間にわたり崩壊もしくは損傷、南北交通が遮断、橋桁の仮置き場所の確保が不可	
	石屋川～新在屋	160	×	▲	▲(石)	×	▲△◆		
	新在屋～大石	160	×	▲	▲(新)	×	▲△◆		
	大石～西灘	160	×	▲	×	×	▲△◆	△西灘駅東方及び石屋川駅付近の土留擁壁倒壊・傾斜	
	西灘～岩屋	43		×	▲(西)		△	△擁壁傾斜、盛土変形によるホーム崩壊(西)	
凡例	岩屋～春日野道	34		×				△神戸トンネル区間の側壁と天井スラブの取り合いハンチ部の破りコンクリートに割離、浮きが生じた	
	春日野道～阪神三宮	34		×				同上	
	阪神三宮～元町	15		×				同上	

出典:運輸省鉄道局監修・阪神淡路大震災鉄道復興記録編集委員会編「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。及び阪神・淡路大震災調査報告編集委員会「阪神・淡路大震災調査報告10 交通施設と農業施設の被害と復旧」,土木学会,1998。を基に作成。

（2）復旧工事にあたっての課題と対応策

鉄道の早期復旧は、社会経済活動を再開する上できわめて重要な要素であるが、その過程には様々な課題が発生している。例えば阪神電鉄の復旧工事の過程では、1)落橋桁の撤去、2)高架下テナントの撤去、3)倒壊家屋の撤去の3つの課題が挙げられている。

1)については、南北交通機能の確保のため神戸市から撤去の申し入れがあり、検討の結果、落橋桁の再利用は困難と判断し、要請を承諾している。2)については、復旧工事に先立ち、高架下利用者に立ち退きをしてもらう必要が生じたが、高架下は土地貸しであり建物が高架下利用者の所有施設となっていたため、所有者との立ち退き交渉の困難化が予想された。これについては、不動産事業本部が精力的に折衝にあたったことで解決している。3)については、工事着手にあたって撤去を行う必要があったが、神戸市と協議の結果、阪神電鉄が家屋所有者から家屋撤去に必要な承諾書を取り、後日神戸市が撤去費用の負担をすることで了解を得て、早急に倒壊家屋の撤去に取り掛かっている。なお、承諾書については、遠方の避難者や家屋所有者に借家人が多数存在したものの、数週間で取得している。

（3）工期短縮の要因

阪神・淡路大震災において、鉄道施設は甚大な被害を受けたため、その復旧に1年以上要することが見込まれていた路線も存在したが、全線での運行再開までに要した日数は、JR東海道線（神戸線）が81日、阪急電鉄神戸線が146日、阪神電鉄本線が160日であった。このうち、阪神電鉄本線について、工期が約5ヶ月短縮できた要因をして、次の3点が挙げられている。

第一は、地元の協力である。具体的には高架下テナントの立ち退きが円滑に行えたこと、沿線倒壊家屋の撤去を鉄道事業者が実施できたこと、撤去した倒壊家屋の跡地を工事用地として一時的に借り上げできたこと、側道を大幅に占用できたことが挙げられている。

第二は、設計上の要因である。具体的にはハンチやベント筋をなくし、作業を単純なものとしたこと、早強コンクリートを使用したこと、既設フーチングが再利用できたことが挙げられている。

第三は、施工上の要因である。具体的には大量に作業人員を投入したこと（2,500人/日）、各ラーメン一斉着工として、仮設材等の転用を考慮しなかつたこと、東西幹線道路の渋滞を避け、資材置場・加工場、宿舍等を南北道路沿いに確保し、資材輸送の時間ロスを最小となるよう工事基地を選定したことが挙げられている。

また、阪急電鉄についても同様であり、従来経験のない昼夜兼行工事が、地元自治会の協力や施工会社の努力などにより可能となったことが挙げられており、このような事例は今後の復旧工事の際に参考になるものと考えられる。

3.2 東日本大震災⁶⁾

平成23年3月11日に発生した東日本大震災によって、鉄道、道路、空港などの交通インフラ施設に多大な被害が

生じた。このうち鉄道の被災状況は、沿岸部と内陸部で大きく異なっており、沿岸部では、JR在来線や三陸鉄道の駅舎や線路、橋梁が津波によって流出するなど甚大な被害が発生したのに対し、内陸部のJR新幹線や在来線、地下鉄などでは、地震動による構造物の崩壊などの大規模な損傷はなかった。高架橋などコンクリート構造物の被害が軽微であったのは、阪神・淡路大震災以降の耐震基準強化の取り組みによるものと考えられる。

都市鉄道の被災状況については、仙台市地下鉄南北線が橋梁の桁受部や橋脚が損傷したため、泉中央～台原間（約4.3km）が運休となり、4月29日に全線で運転が再開された。また、仙台空港線は施設の被害が大きく、全線での運転再開は10月1日であり、復旧まで204日を要した。

なお、仙台市地下鉄南北線については、国土交通省鉄道局・東北運輸局及びJR東日本の技術的助言を受けて復旧工法を見直したことにより、運行再開時期が1ヶ月前倒しされた⁷⁾。具体的には、損傷部分した橋脚を再建するのではなく、既存の構造物を生かしながら補強する工法を採用することにより、早期復旧が実現している。また、仙台空港線の復旧にあたっては、独立行政法人鉄道・運輸機構による技術面での支援が行われている⁷⁾。

4. 都市鉄道の事業継続に関する検討

3章の検討に基づいて、大規模地震発生時に想定される事象や課題と主な対応策を例示したのが表2である。具体的には、対象とする段階を「被害発生」、「施設点検」、「復旧工事」、「運転再開」に区分し、それぞれについて、想定される事象や課題を挙げている。これらは過去の大規模地震において実際に発生したものである。また、対応策は、過去の大震災発生時における対応に加え、諸機関における最近の検討事例を参考にしたものとなっている。

ここで、「被害発生」の対応策は、被害最小化を目的としたものであり、各種構造物の劣化状態や耐震化の有無、沿線建築物の立地状況やその構造形式などの詳細な情報が得られれば、各区間の「危険度」が正確に把握でき、より実効性の高い対策の立案が期待される。また、「施設点検」、「復旧工事」、「運転再開」の対応策は、早期復旧を目的としたものであり、可能な限り想定される事象に備えておくことで、復旧工事の円滑化が期待される。

以上の内容については、現時点では必ずしも十分網羅されているものではないことから、今後、行政や事業者等へのインタビュー調査を行うとともに、リスクマネジメント分野の知見を反映させていく必要がある。

5. おわりに

本稿では、大規模地震の発生時に想定される事象とその対応策について検討した。今後は、このような検討を深化していくとともに、被災によって運休となった場合の様々な影響についても明らかにしていく必要がある。

具体的には、鉄道の場合は道路と異なり、例え僅かな区

表2 大規模地震発生時に想定される事象と主な対策例

段階	想定される事象・課題	主な対応策(例)	備考
被害発生	鉄道施設の損傷 (高架橋、橋梁、トンネル、盛土、擁壁、停車場設備、軌道設備、電気設備等)	・構造物の耐震化の推進 (高架橋、橋梁、トンネル中柱、高架駅、地下駅、主要ターミナル駅、変電所等) ・隣接の変電所に変圧器を仮設置(阪)	「社会資本整備重点計画」の目標(案)に、1)平成27年度末までに、主要ターミナル駅の耐震化を概ね100%実施、2)首都直下地震等の想定地域等における橋梁及び高架橋の耐震化を推進が提示されている。
	沿線建築物の倒壊及び倒壊の危険性 (木造、RC、高層、低層等)	・沿線建築物の耐震化の推進 ・側道の整備	他のインフラにおける取り組み事例として、「東京における緊急輸送道路沿道建築物の耐震化を推進する条例」(平成23年3月18日)などある。
	跨線橋の倒壊及び倒壊の危険性(道路、鉄道等)	・跨線橋の耐震化の推進	
施設点検	点検作業の迅速化 (保守要員の参集、現場までの移動、通信の輻輳)	・保守要員等の自主参集体制の強化 ・線路上を移動する軌道自転車等の使用 ・緊急自動車や緊急通行車両の増備 ・専用通信設備、衛星携帯電話の導入 ・自転車、バイク等の配備(阪) ・関連会社のヘリコプターで全容を把握(阪) ・災害時電話、衛星携帯電話の活用(東)	国土交通省「第3回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」(平成23年9月)において、今後の検討の方向性が示されている。
復旧工事	倒壊建物の撤去	・鉄道事業者が家屋所有者から家屋撤去に必要な承諾書を受け取り、撤去を実施(阪)	
	高架下施設の立ち退き(所有者との交渉難航、連絡不遇等)	・不動産関連部署が総力を挙げて折衝(阪)	
	労働・資機材の確保	・各施工会社の能力や実績、得意分野等を勘案し、適切な配置を早期に決定(阪) ・MTTを隣接支社や同業他社より手配(阪)	国や自治体では施工会社等と災害協定を締結している例が多い。
	工事用地の確保	・撤去した倒壊家屋跡地を工事用地として一時借り上げ(阪) ・側道の占用について道路管理者と協議(阪)	
	道路渋滞による資機材の輸送時間の増大	・深夜に資機材を輸送(阪)	
	工事騒音に対する苦情等(特に夜間工事)	・工法の変更(阪)	
運転再開	単独での運転再開による旅客集中	・到着旅客のホームでの滞留を防止するための誘導・案内 ・運転時間延長等の柔軟な対応と公表 ・仮設ホームや通路、臨時改札口等の設置(阪) ・本社社員やOB等の応援(阪)	国土交通省「第3回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」(平成23年9月)において、今後の検討の方向性が示されている。
	折り返し運転の実施(分岐器、信号機等の設置)	・分岐器の予備品利用及び既設中のものを転用(阪)	
	部分開通区間における車両の確保	・車庫からトレーラーで陸送、遺留車両で運用(阪)	

注：(阪)は阪神淡路大震災時の対応事例、(東)は東日本大震災時の対応事例

出典：運輸省鉄道局監修・阪神淡路大震災鉄道復興記録編集委員会編：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、及び阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告10 交通施設と農業施設の被害と復旧、土木学会、1998、を参考に作成。

間における被災でも、一定区間が運休になる場合が多い。その場合、利用者への影響はもとより、企業経営への影響も大きくなることが想定される。この点について、一部区間が途絶した場合の周辺路線の混雑度の変化を、交通需要予測手法を用いて推計した研究が行われている⁸⁾。この方法を援用することで、途絶による当該事業者の収益への影響を定量的に把握することが可能となり、事業継続計画の策定に有効な情報を提供できるものと思われる。

参考文献

- 1) 文部科学省地震調査研究推進本部：全国を概観した地震動予測地図報告書、2006。
- 2) 内閣府防災担当：事業継続ガイドライン第二版、2009。
- 3) 内閣府企業防災ページ
<http://www.bousai.go.jp/kigyoubousai/kbn/index.html>
- 4) 運輸省鉄道局監修・阪神淡路大震災鉄道復興記録編集委員会編：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。
- 5) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告10 交通施設と農業施設の被害と復旧、土木学会、1998。
- 6) 金子雄一郎、兵藤哲朗：東日本大震災による交通システムの機能障害の発生状況と復旧について、日本都市計画学会誌「都市計画」291号、pp.82-86、2011。
- 7) 第9回交通政策審議会陸上交通分科会鉄道部会資料。
- 8) 栗原 彰：震災時における鉄道ネットワークの寸断による影響、日本大学理工学部卒業論文、2011。