

運輸・交通システムの信頼性

Reliability of the Transport System after the Earthquake

フェロー会員 工博 神戸大学教授 工学部建設学科 黒田 勝彦 Katsuhiko KURODA

運輸・交通システムの特質

運輸・交通需要は人間の社会・経済活動に伴って派生的に発生する派生需要であり、人・物の空間的移動自体は本来の目的でない。もっとも、ツアリングや暴走等移動行為そのものを目的とする交通も若干存在するが、これらを除けばすべて派生需要である。このような需要の特質を考えると、運輸・交通システムはそれを利用しようとする需要主体がその本来の目的を達成するために空間的移動を可能ならしめるのがその機能である。通常、空間的移動にはそれなりに需要主体に犠牲（時間費用等）を強いるものであり、需要主体はそのこ

表-1 運輸・交通システムのサービスと評価尺度

サービス内容	評価尺度
安全性	事故率, 死傷率, 構造信頼性
低廉性	旅行費用, 料金, 運賃
迅速性	旅行時間, 運送時間
快適性	乗換回数, 車内サービス内容
確実性	連結信頼性, 時間信頼性

とから可能な限り犠牲を最小とする移動手段を選択しようとする。このことから、運輸・交通手段の選択行動が生まれ、一方で運輸・交通システムのオペレーターはサービスを向上させることにより顧客の獲得競争を行う。図-1は運輸・交通システムTが提供する運輸・交通サービス(s)を社会・経済活動Aの主体(v)が需要し、結果として、交通システム均衡が出現する関係を示している。

図-1において運輸・交通システムが提供するサービスの内容は、表-1に示したように、安全性、低廉性、迅速性、快適性、確実性等に分類される。これらのサービス内容を数量的に評価する尺度も同時に表に示した。

運輸・交通システムの信頼性研究

前章で述べたように、運輸・交通システムを評価する尺度は種々あり、今回の筆者に与えられたテーマ「運輸・交通システムの信頼性」は、表-1の分類から言うと、安全性・確実性の2側面が考

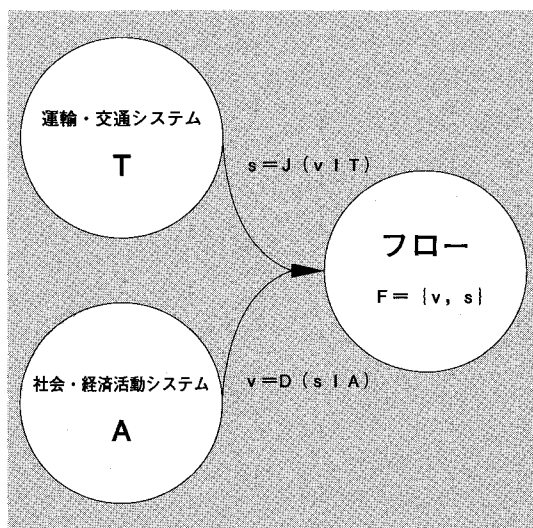


図-1 運輸・交通の市場均衡

えられる。今回の阪神・淡路大震災における運輸・交通システムを眺めるとき、以下のことが要求されていることがわかる。すなわち、安全性の視点からは、①地震外力が作用した場合にシステムの利用主体（旅客・貨物）が安全である、②システムの構造が安定しており周辺および運用者に損害を与えない、という点である。これらはいずれもシステムの構造信頼性で評価することができる。一方、現実性の視点からは、利用者がその本来の目的を支障なく達成できるか否かといった点からの結節信頼性、時間信頼性が上げられる。結節信頼性、時間信頼性は構造信頼性とも密接に関係するが、必ずしも、構造信頼性のみで評価はできない。たとえば、交通事故は構造信頼性の面では支障がないが、交通疎通機能の上では支障があり、ラインの結節性がなくなったり、旅行時間の信頼性が損なわれたりする。結節信頼性や時間信頼性を損なう要因は、交通事故、維持管理工事、その他の工事等の人為的要因のみではなく、地震・集中豪雨・斜面崩壊・濃霧、台風、火山爆発等の自然外力も考えられる。

道路網の旅行時間信頼性に関しては2つの研究の流れがある。ひとつは、原因を特定しないで、旅行時間が確率分布する場合のトリップ完結までの安全余裕出発時刻の決定や実質消費時間に関する研究である。これらは、ホール (Hall, R.W. 1983)¹⁾、加藤 (1986)²⁾、松本 (1983)³⁾ 等の研究が含まれる。他のひとつは、交通需要変動に起因する旅行時間信頼度に関する研究である。これにはローズ (Rose, G., 1987)⁴⁾、朝倉 (1989)⁵⁾ 等の研究が相当する。

道路網の結節信頼性に関しては、原因を特定しないリンクやノードの閉塞による連結信頼性の数理解析が飯田・若林 (1989)⁶⁾ によって行われている。一方、黒田 (1989)⁷⁾ は交通事故による高速道路網の事故による道路疎通機能のダウンタイムと事故処理による機能回復のアップタイムの両者の関数として結節信頼性の算定法を提案している。

道路網の地震時信頼性に関する研究としては、

小林 (1981)⁸⁾、梶谷 (1984)⁹⁾ の研究がある。集中豪雨等の異常気象下での機能信頼性は深井等 (1986)¹⁰⁾ が、降雪時の道路機能信頼性については岡田等 (1986)¹¹⁾ が研究成果を発表している。

以上は、道路の交通疎通機能に着目した結節信頼性に関する研究を主として眺めた。他に、海上交通の輸送信頼性に関する黒田等 (1990)¹²⁾ の研究や道路盛土の構造信頼性に関する松尾・黒田 (1974)¹³⁾ があるが詳細は紙数の都合上省略する。

阪神・淡路大震災による 運輸・交通システムの故障

今回の阪神・淡路大震災は、名神自動車道・中国自動車道、山陽新幹線等主要な国土交通幹線を遮断したばかりでなく、阪神高速自動車道の破断、高架部の落橋による国道43号線の交通遮断、JR、阪急、阪神、山陽、神戸、高速神戸、市営地下鉄等地域および都市交通幹線が遮断され重大な影響を及ぼした。その大半は構造物の損壊による構造信頼性の喪失が原因ではあるが、一部残された国道2号、山手幹線道路等が極度の渋滞で交通疎通機能が著しく低下したことは周知のとおりである。前者は構造の破損による結節信頼度の喪失、後者は渋滞による時間信頼度の喪失と見ることができよう。また、あまり報じられてはいないが、都市内街路も沿道家屋の倒壊、ブロック塀・電柱・広告塔の倒壊等により通行機能が遮断され一部ネットワークとしての交通機能を喪失したブロックもある。一方、神戸港をはじめ周辺の港湾施設の被害も甚大で国際・国内物流機能が停止し、社会・経済的に大きな影響を与えていることも忘れてはならない。幸い航空交通は、関西空港・大阪空港とも被害はほとんどなく、これらが、広域交通・物流、被災地への緊急物資・人員輸送に果たした役割は大きい。

運輸・交通システムの信頼性向上の対策

阪神・淡路大震災の運輸・交通システムの被災状況およびその後の交通事情を勘案して、前述した多角的な信頼性について今後考えるべき事項に

ついて述べる。

(1) 構造信頼性について

震災直後から多方面で調査され地震外力に対する構造信頼性の照査が進められている。議論の内容は以下に要約される。

- ① 設計震度の格上げによる耐震性向上
- ② 構造的に不静定構造とするなど構造的ねばりの向上
- ③ 多様な構造形式の導入によるシステム全体の耐震性向上

(2) 結節信頼性について

構造信頼性の向上は直接的に結節信頼性の向上につながるが、さらに、以下の対策が考えられる。

- ① 鉄道については、単一の会社路線のみを対称にするのではなく、複数社の鉄道ネットワークとして考慮する必要がある。
- ② 同じく鉄道のリンクが遮断された場合の代替輸送機関による補助手段の運行にも考慮する必要がある。その際重要なことは、鉄道駅に駅前広場を備えておくこと、駅前広場を広幅員道路で幹線道路に接続しておくことが必要である。これは、鉄道の結節信頼度が都市計画によって補完できることを意味している。
- ③ 単一の道路路線（これらをリンクと呼称）のみを考慮の対象にするのではなく、起終点間で代替経路を多く持つ道路ネットワーク構造が必要である。今時の阪神・淡路大震災では、国土幹線交通軸に冗長性がなかったため東西の物流・人流が遮断されたことは記憶に新しいし、都市内幹線も十分なネットワークがなかったために至る所で東西南北の交通が遮断された。
- ④ 同一構造形式で連結するのではなく、多様な構造形式で起点・終点を複数連結しておくことが肝要である。今回、六甲・ポートアイランドが孤島状態に陥ったのは、人工島へのアクセスが橋梁一本でしかなかったことが指摘され、復興計画では、新たなトンネルによる連絡が位置づけられた。

⑤ 阪神高速3号神戸線の倒壊による国道43号線の状況からの教訓として、中央分離帯を緊急時の車線に活用できるように簡単な構造にしておくこと、沿道緑地等は緊急時に臨時歩道を確保できるように工夫しておくこと、等が提案されている。

⑥ 鉄道・道路の沿線は耐震・耐火建築とするか、十分な空間的余裕を造る工夫が必要で、沿線・沿道家屋や電柱等の火災・倒壊で結節性が消失しないように備えるべきである。

⑦ 俊敏な交通制御とマイカー規制によってボトルネックを起こさないように訓練・準備を平常時より行っておくことが肝要である。

⑧ 空輸が果たした重要な役割に鑑み、都市内に適切なヘリコプター離発着可能空地を確保し、空輸ルートの結節性を確保しておくことが重要である。同時に、報道等の航空取材にも一定の制限が必要で、特定地域（被災地等）の上空では一定のルールで飛行するような規制が必要である。

⑨ 港湾へのアクセスやイグレス道路の確保は輸送ルートの結節信頼度の向上のためにきわめて重要である。今回の阪神・淡路大震災でも港湾施設の復旧と道路の復旧のフェイズが一致していないことによるマイナスが大きい。

(3) 時間信頼性について

時間信頼性は時間価値の高い現代文明社会ではきわめて重要であると同時に、災害時の救急・救命活動や緊急輸送にとっても重要である。時間信頼性を向上させる方法として以下のことが考えられる。

① 十分な容量の幹線道路・迂回可能なネットワーク構造を持つと同時に交通需要の抑制策が重要である。

② 俊敏で適正な交通規制によって交通重要度別に時間信頼性が確保できるように平常時からシミュレーション等で机上訓練を行っておくべきである。

③ 国土利用構造として適正な産業・都市配置

および運輸・交通網を造り上げることが重要である。

おわりに

阪神・淡路大震災では、多くの公共インフラが甚大な被害を受けた。このことはきわめて残念なことではあるが、これよりいかに多くのことを教訓として学び、将来に役立てていくかが現在最も重要なことと思われる。その意味で、多くの技術者・研究者が協力してできるだけ客観的なデータを蓄積し有益な示唆を引き出して欲しい。

参考文献

- 1) Hall, R.W.: Transportation Research, Vol.178, 1983.
- 2) 加藤・門田・浜田: 土木計画学研究論文集 No.4, 1988.
- 3) 松本・角・田辺: 土木学会論文報告集, No. 337, 1983.
- 4) Rose, G.: Proc. of 10th ISTTT, 1987.
- 5) 朝倉・柏谷・熊本: 土木計画学研究論文集, No.7, 1989.
- 6) 飯田・若林・福島: 土木学会論文集IV-11, 1989.
- 7) 黒田・山下: 第44回土木学会年次学術講演集IV, 1989.
- 8) 小林: 都市計画別冊, No.16, 1981.
- 9) 榎谷: 交通工学, Vol.19, No.5, 1984.
- 10) 深井他: 第41回土木学会年次学術講演集IV, 1986.
- 11) 岡田他: 第41回土木学会年次学術講演集IV, 1986.
- 12) Kuroda, K. et al.: Proc. of 29th PIANC, Vol. II-1, 1990.
- 13) Matsuo, M. & Kuroda, K.: Soils & Foundations, Vol.15, No.2, 1975.

土木学会刊行物

構造工学シリーズ6

構造物の衝撃挙動と設計法

土木学会構造工学委員会衝撃問題研究小委員会編

B5判 312ページ 定価 5000円 (本体価格4855円) 送料480円
 会員特価 4500円 (本体価格4369円)

本書は、土木学会構造工学委員会衝撃問題研究小委員会（石川信隆委員長）が編集し、昨年12月に発行されたものである。

土木構造物の中には、その用途や環境によって車両や船舶あるいは航空機の衝突など、また落石や土石流などによって衝撃的な外力作用を受ける場合がある。このような衝撃的な外力を受ける部材や構造物の応答性状には静的な挙動と全く異なる現象が示され、衝突物や被衝突物の動弾塑性特性を考慮した過渡応答性状を詳細に検討しなければならない場合がある。

一方、衝撃問題に関する研究は本世紀初頭より盛んに行われているものの、基礎理論から構造物の耐衝撃設計法に至る内容を体系的に記述したものは未だ見あたらない。従って、技術者は構造物の重要度に応じて実証実験等を行い、その結果を基に設計を行っているのが現状である。

このような現状を鑑み、本書は構造物の耐衝撃設計に直面している技術者や研究者の参考書あるいは大学院学生のテキストとしても使用できるように、土木構造物の衝撃問題に関する現状と耐衝撃設計に関する展望を一冊に纏めたものである。第I編から第IV編までは主として基礎的な事項を、第V編から第VIII編までは主として応用問題を取り扱っている。執筆者は長年衝撃問題に携わってきた専門家から構成されており、本書によって土木工学分野の衝撃問題に関する最新の情報を得ることができる。

第I篇 衝撃理論 第II篇 衝撃実験法 第III篇 鋼・コンクリート部材 第IV篇 複合材料積層材 第V篇 落石覆工の設計法 第VI篇 土石流対策施設 第VII篇 原子力発電施設における鉄筋コンクリート・鋼構造物の設計法 第VIII篇 船舶の衝突に対する海洋構造物の設計法

●お申込みは土木学会または全国主要書店へ●

〒160 東京都新宿区四谷1丁目無番地 土木学会 TEL.03-3355-3441 振替東京 6-16728
 FAX.03-5379-2769