

ISSN 0386 - 5878

土木研究所資料 第3621号

マイクロフィルム用資料

土木研究所資料

道路ネットワーク耐震性評価手法に関する研究

(その2) 地震時の道路交通管理手法に関するケーススタディー

平成11年1月

建設省土木研究所

耐震技術研究センター防災技術課

Copyright[©] (1999) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

道路ネットワーク耐震性評価手法に関する研究

(その2) 地震時の道路交通管理手法に関するケーススタディー

防災技術課 課長 杉田 秀樹

主任研究員 野崎 智文

交流研究員 矢野 和彦

要 旨

大規模地震が発生した場合、地震発生直後の救急・救援活動、緊急輸送活動を支える道路ネットワークの機能は非常に重要であり、ネットワーク全体としての耐震性を確保する必要がある。本研究においては、筆者らが提案した道路ネットワーク耐震性評価手法を応用した評価システムを用い、道路区間の耐震補強等の多大な費用を要するハード対策と、地震時の交通規制に代表されるソフト対策の双方について、その特徴、利害得失を定量的に評価することを試みた。また、その結果に基づき、ハード/ソフト対策を適切に組み合わせることが有効との提言を行った。

キーワード：道路ネットワーク、耐震性、交通推計、耐震補強、交通規制、リスク評価

第1章 序 論	1
第2章 本研究における道路ネットワーク耐震性の考え方	2
2.1 災害時の交通確保対策	2
2.2 道路ネットワークの耐震性確保対策の利害得失とその評価	4
第3章 道路ネットワーク耐震性評価システムの概要	6
3.1 道路ネットワーク耐震性評価システムの概要	6
3.1.1 道路ネットワーク耐震性の概念	6
3.1.2 評価指標の算定方法	7
3.1.3 緊急交通の設定	10
3.1.4 背景交通の影響を受けたリンク速度の決定	14
3.2 道路ネットワーク耐震性評価システムの操作概要	20
3.2.1 システムの操作全体フロー	20
3.2.2 システムの操作概要	21
第4章 モデルネットワークによる耐震補強と交通規制の効果の比較	27
4.1 ネットワーク条件の設定	27
4.1.1 ネットワーク形態の設定	27
4.1.2 ネットワーク諸元の設定	28
4.1.3 総生成交通量の設定	34
4.1.4 リンクパフォーマンス関数の設定	35
4.1.5 緊急活動の単位効果量関数の設定	35
4.2 被災パターンの設定と道路ネットワーク耐震性の評価	36
4.2.1 被災パターンの設定	36
4.2.2 ネットワーク耐震性の評価と対象パターンの絞り込み	38
4.3 耐震補強と交通規制の効果比較	42
4.3.1 耐震補強区間の設定	42
4.3.2 交通規制パターンの設定	45
4.3.3 耐震補強と交通規制の効果比較	47
4.4 考 察	56
第5章 結 論	58
5.1 道路ネットワーク耐震性の観点からの地震時道路管理手法への提言	58
5.2 耐震性評価手法とその応用に関する課題	58
<参考文献>	60

第1章 序 論

道路施設や沿道・占用施設が地震によって被災した場合、当該道路区間における道路交通が制限され、あるいは通行が不可能となる。地震直後にあっては、救急、消火といった一刻を争う対策活動が必要となるが、道路被害がこれらの活動に与える影響は大きい。また、地震災害時においては、上記のような緊急活動のための交通のほか、時間的な制約がそれほど強くない避難、帰宅、見舞い等の交通が存在するため、緊急活動がさらに阻害されるおそれがある。すなわち、地震直後の緊急活動が迅速に行われるためには、緊急活動交通の迂回を少なくしたり、不急の交通による混雑の影響を緩和することにより、旅行時間を短縮し、迅速に緊急活動の目的が達成できるようにしなければならない。

緊急交通の迂回を減少させるためには、平常時において道路ネットワーク中の各区間の耐震補強や道路改築等によるリダンダンシー確保が主な対策として挙げられる。このようなハード対策は、一般交通への交通サービス供給量も増加させることになり、直接・間接の効果によって緊急交通の旅行時間が短縮されると期待される。しかしながら、ハード対策には多大な費用と時間が必要となるため、道路ネットワークシステムが緊急活動に対して提供する機能を勘案し、重要度・緊急度が高い区間から優先的に対処することが必要となる。一方、避難・見舞い等の不急の交通の混雑による緊急交通への影響を緩和するためには、地震発生後に緊急交通のための専用レーンの設定や流入規制といった交通規制対策を施すことが考えられる。このようなソフト対策は、ハード対策に比べ、少ない予算で広範囲にわたって対策を施すことができる可能性がある。このように、緊急交通に資するハード対策、ソフト対策にはそれぞれ特徴があり、これらをうまく組み合わせることにより、災害時の緊急活動を円滑に行うことが可能であると考えられる。

このようなハード／ソフト対策の組み合わせによる施策の代替案を比較する場合、定性的な論議のみならず、定量的な評価に基づく必要があるが、そのためには、道路ネットワーク全体としての耐震性や、道路区間の耐震性に与える影響の大きさすなわち重要度を定量的に評価することが必要となる。道路ネットワークの耐震性については、これまでネットワークの幾何学的特性に基づいた評価法が開発されているが¹⁾、交通の迂回等による混雑の影響を具体的に加味していない。また、道路区間の重要度については、幅員や混雑率といった区間そのものの特性に基づいた重要度づけは多く行われているが²⁾、ネットワークの特性を加味したものではない。筆者らは過年度研究において、災害時の緊急活動の持つ時間的制約に着目し、緊急交通が所定の目的を果たすことができるかどうかを示す効果量関数を定義し、その満足度からネットワーク全体の耐震性を評価する手法を提案した³⁾。

本研究では、筆者らが提案した道路ネットワーク耐震性評価手法を応用し、ハード対策としての耐震補強の効果とソフト対策としての交通規制の効果と比較検討し、地震時道路交通管理に対する提言を行う。

第2章 本研究における道路ネットワーク耐震性の考え方

本章では、震災時の緊急交通に対する道路ネットワーク機能の確保を考える上でとるべき対策を検討し、その利害得失を整理した。なお、震災時の道路ネットワーク機能の確保のためのハード対策とソフト対策それぞれの効果量を定量的に評価する手法については、第3章で詳しく記載する。

2.1 災害時の交通確保対策

地震発生直後には、救急・消火といった一刻を争う目的を持った交通（緊急交通）が生じる。震災によって道路ネットワークが被災した場合、緊急交通に要する旅行時間が迂回によって増大するため、所定の目的を達成できなくなったり、その効果が低減するおそれがある。一方、道路ネットワーク上には、緊急交通以外にも、時間的制約がそれほど強くない避難、見舞い等の目的を持った交通（背景交通）が多く流れるため、緊急交通に要する旅行時間は背景交通の影響を受けることとなる。また、道路ネットワークの被災は、背景交通による交通集中を招き、緊急交通の走行時間への影響はさらに増大する。

表-2.1.1 緊急交通と背景交通の定義

区 分	特 徴	具 体 例
緊急交通	一定時間内に到達する必要がある緊急性の高い交通。旅行時間が長いほど目的の達成が困難となる。	消防活動 救助・救急活動 物資輸送活動 等
背景交通	災害時において一刻を争うほどの緊急性は持たない交通。旅行時間は長くても目的地に到着することで目的が達成される。ただし、旅行時間の増加による経済的損失や孤立交通の発生等は可能な限り避けなければならない。	通勤・帰宅 避 難 業 務 見舞い 等

災害時には道路区間の被災によってネットワーク全体の交通サービス供給量が低下し、交通需要とのバランスが崩れ、交通の混乱の要因となる。災害時における交通確保のためのハード／ソフト対策は、交通の需給バランスに着目して図-2.1.1のような概念で整理することができる。

平常時において道路交通の多くは背景交通であり、緊急交通の全交通量に対する比率は非常に小さいが、災害時には緊急交通の量が非常に多くなる。一方、道路ネットワークは被災によって交通容量が減少し、残された交通容量は緊急交通と背景交通で分け合うこととなる。ここで、平常時の交通容量を C_0 、被災後の道路交通容量を C 、緊急交通に供される交通容量を C_{DP} 、背景交通に供される交通容量を C_{BK} とすると、 $C = C_{DP} + C_{BK}$ 、 $(C \leq C_0)$ である。防災活動を効果的に行うためには緊急交通容量 C_{DP} を大きくする必要があり、これには被災ネットワーク全体の総交通容量 C を増やす方法と、背景交通容量 C_{BK} を減じて緊急交通容量 C_{DP} を増やす方法（交通容量の割り振り）の2つが考えられる（図-2.1.1）。

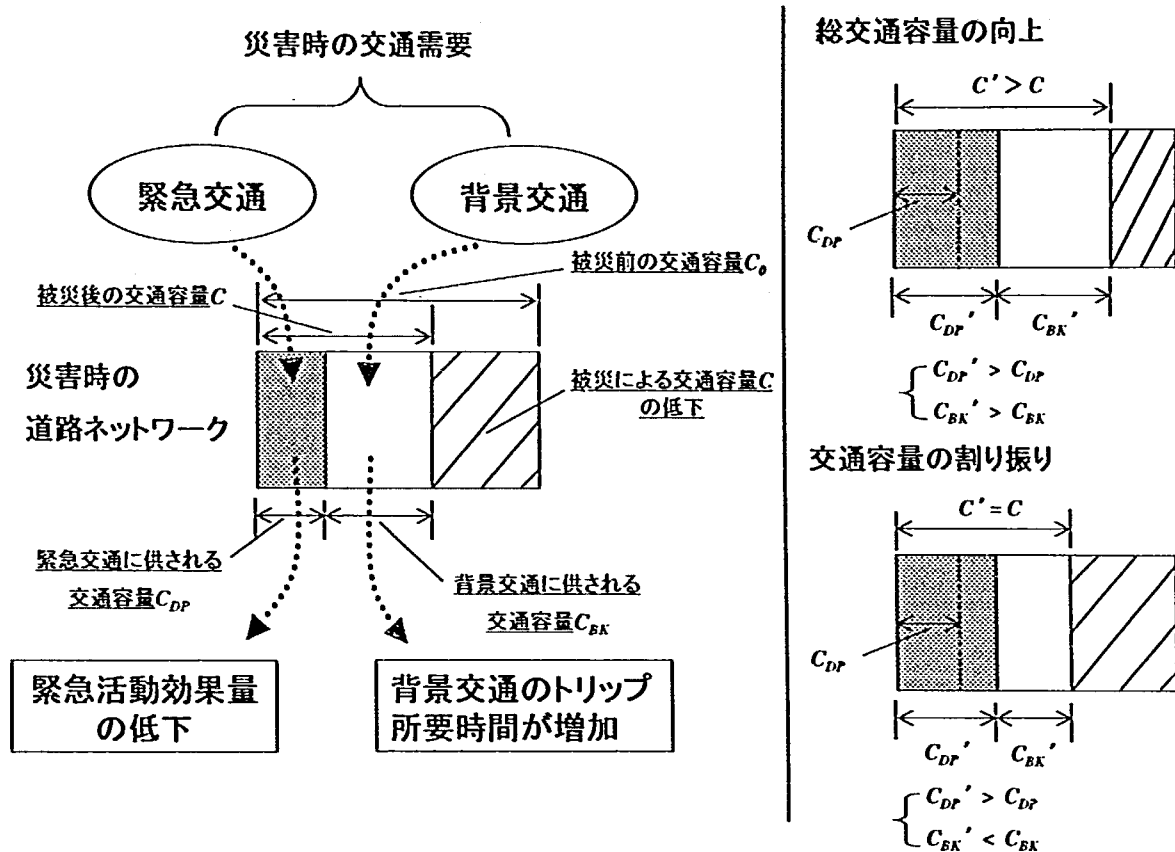


図-2.1.1 災害時における交通需給バランスと交通確保対策の概念

被災ネットワーク全体の総交通容量 C を増やす方法については、道路施設の耐震補強や改築等によるリダンダンシー確保等のハード対策が考えられる。道路施設の耐震補強については、これまでに区間ごとの補強優先度（プライオリティー）の評価手法が提案されており³⁾、ネットワーク全体の耐震性を向上させるための耐震補強対策を優先度を設定して実施する必要性が示されている。また、改築等によるネットワーク耐震性の評価も同様の手法で行うことができる。一方、背景交通容量 C_{BK} を減じて緊急交通容量 C_{DP} を増やす方法については、災害時の交通規制や交通情報の提供等のソフト対策等が考えられるが、本研究ではこれについてもネットワーク耐震性の考え方に基づき評価することを試みる。

なお、この他にも有効な対策として、交通サービスの供給量に見合った交通需要の制御が挙げられる。これは平常時には交通需要マネジメント（Transportation Demand Management：TDM）としてよく知られており、交通の需給バランスを根本的に制御することで交通混雑を解消できるものである。災害時においても、このような交通需要マネジメントが実施されるならば、災害発生後の深刻な交通の混乱は効率的に改善できると考えられる。そのためには、震災時の交通需要を的確に予測する必要があるが、これについてはいくつかの研究がなされているものの⁴⁾⁵⁾⁶⁾、確立されたモデルとはなっていない。したがって本研究におけるソフト対策としては、図-2.1.1に示す交通容量の割り振りすなわち交通規制を対象とする。

2.2 道路ネットワークの耐震性確保対策の利害得失とその評価

道路管理者が行う道路ネットワークの耐震性確保対策は、災害に備えて実施する「震前対策」と発災後に実施する「震後対策」に大別される。震前対策には、道路施設の耐震対策等による地震に強い道路ネットワークの構築などが挙げられ、震後対策としては、被災道路の応急復旧や迂回路の設定、交通規制等が挙げられる。これらの耐震性確保対策については、対策に要するコストや時間、背景交通への影響等の観点から表-2.2.1のようにその特徴を整理することができる。道路管理者は、それぞれの対策の特徴を理解し、定められた予算と工期の中で最大の効果が期待できるように努めるべきであり、必要に応じ、ソフト対策とハード対策の併用等についても検討する必要がある。

表-2.2.1 道路ネットワークの耐震性確保対策とその特徴

区 分	耐震性確保の方法	コスト	時 間	背景交通への悪影響	発災時に要する労力
震前対策 (予 防)	・道路施設の耐震補強 ・改築等による リダンダンシー確保	高 い	かかる	な し	不 要
震後対策 (危機管理)	・道路の応急復旧	高くない	かからない	な し	必 要
	・迂回路の設定				
	・交通規制			あ り	

これらの対策のうち、震前対策である道路施設等の耐震補強対策や改築等によるリダンダンシー確保、震後の応急復旧については「ネットワーク耐震性指標SP」と「区間重要性指標LI」を用いた評価手法がすでに提案されている³⁾。具体的には、道路施設等の耐震補強や震後の応急復旧に関しては、その優先度の決定に際し、LIに応じてその道路区間の対策優先度を設定し、改築等によるリダンダンシー確保に関しては、予想される被災パターンに対し、ネットワークの耐震性の低下量が小さくなるような道路ネットワーク整備を考えていけばよい。

しかしながら、ここで考えているネットワーク耐震性や道路区間の重要性は、道路ネットワークの形態のみならず、その上を流れる交通の状態によっても変化する。つまり、災害時の道路ネットワークにおいては、交通規制等によって背景交通の挙動をコントロールすることにより、道路施設等の耐震性を向上させたときと同等あるいはそれ以上の効果が期待できる場合が考えられ、その場合の道路区間の重要性、すなわち耐震補強の優先度は低くなる。反対に、交通規制を実施しても道路区間の重要性が依然として高い場合には、その区間はネットワーク耐震性上クリティカルな箇所であり、優先的に耐震補強を行うべき箇所といえる。

このようなことから、道路管理者は、地震に強い道路ネットワークを構築するために、震前における道路施設の耐震補強や改築等のハード対策の実施に際し、震後に実施されるであろう交通規制等のソフト対策を適切に考慮して耐震補強等の対策実施優先度を選定する必要がある。

第3章 道路ネットワーク耐震性評価システムの概要

道路ネットワークの耐震性を考慮した道路計画を立案する上で、計画者は、道路のネットワーク形態や耐震補強パターン、拠点立地のパターン等について吟味し、脆弱な区間の耐震補強の優先順位などについて意思決定を行わなければならない。過年度研究においては、地震直後の緊急輸送活動を対象とし、道路ネットワークシステム全体としての耐震性および各区間の耐震補強優先度を設定するための2つの指標、すなわち「ネットワーク耐震性指標 (Seismic Performance : SP)」と「区間重要性指標 (Link Importance : LI)」を提案し、簡単なモデル計算を行った³⁾。

本研究では、過年度研究で提案された手法をもとに、道路ネットワークの耐震性確保のためのハード対策とソフト対策の効果を定量的に評価するためのテストプログラムを開発するとともに、そのプログラムを用いたケーススタディを実施した。本章では、開発したシステムの概要について3.1で説明し、システムの操作概要について3.2で説明する。

3.1 道路ネットワーク耐震性評価システムの概要

3.1.1 道路ネットワーク耐震性の概念

本研究では、過年度研究で提案された道路ネットワークの耐震性の評価指標である「ネットワーク耐震性指標 SP 」と「区間重要性指標 LI 」に加え、交通規制による耐震性の向上を定量的に把握するため「ネットワーク耐震性の変化量 ΔSP 」を用いた地震後交通規制の有効性評価手法について検討する。また、背景交通については、交通規制の実施によって旅行時間の増加や孤立交通の発生などの問題が生じる可能性があるため、これらを把握するために背景交通の1台当たり走行時間を考慮する。なお、各指標の算定方法については3.1.2で説明する。

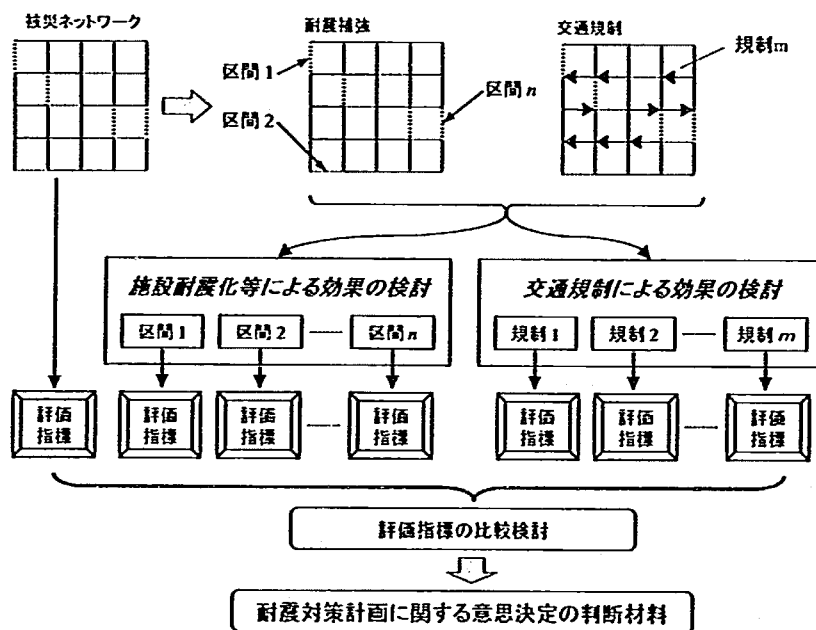


図3.1.1 道路ネットワーク耐震性評価の活用イメージ

3.1.2 評価指標の算定方法

(1) ネットワーク耐震性指標

災害時の防災活動は、救急、消火といった個々の目的を有しており、防災活動の種類によっては、出発地から目的地までの所用時間が長くなると防災活動の効果がなくなる場合や活動の効果が低減する場合がある。たとえば救急活動の場合、患者の輸送に要する時間が長すぎると患者の生命のリスクが高く（すなわち活動の効果が低く）なるのがその例である。同様のことは消防活動や物資の輸送活動等についてもいえる。このような防災活動の効果を定量的に表わすため、ここで緊急活動の達成度合いを示す効果量を定義する。すなわち、ある防災活動目的 k を持つ1つのODペアについて、OD間旅行時間 t_r と旅行時間に対する単位効果量 $E^k(t)$ を図-3.1.2のように定義する。

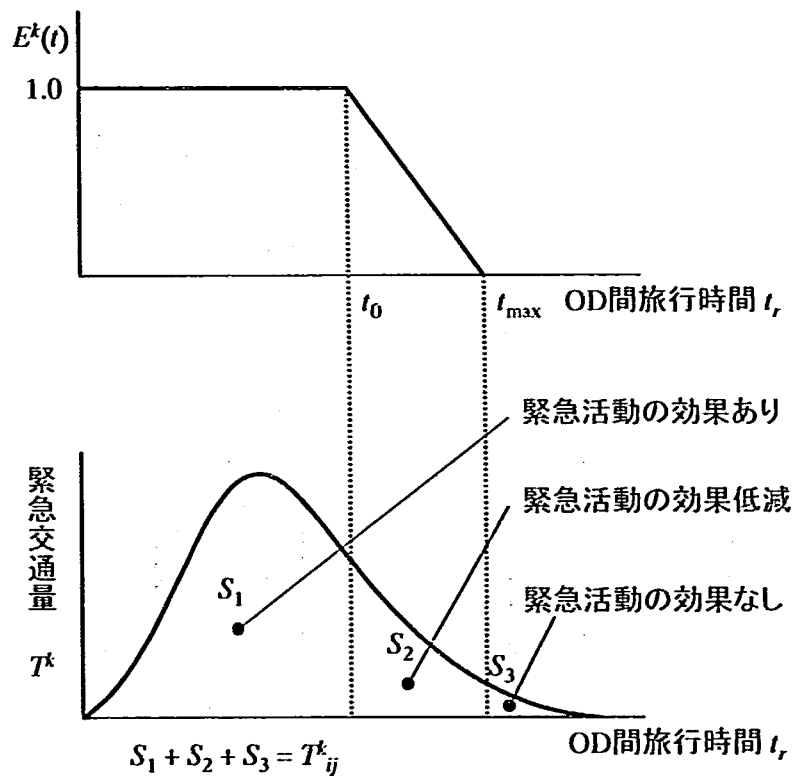


図-3.1.2 単位効果量の考え方

この $E^k(t)$ は、当該交通の所用時間すなわち旅行時間 t_r が $0 \sim t_0$ の間にある場合は目的が100%満足され($E^k(t) = 1$)、それを超えて $t_{\max}$ になるまでは効果が低減する。また旅行時間が $t_{\max}$ 以上になると、防災活動の目的は満足されなくなる($E^k(t_r) = 0$)。この単位効果量は、緊急活動の種類によって異なる形をとり、より緊急性の高い活動に対しては t_0 、 $t_{\max}$ は小さな値をとる。なお、ネットワーク全体での緊急活動効果量 E_{tot}^k はすべての緊急交通のODペアについての単位効果量を足し合わせて求められる。

「ネットワーク耐震性指標 SP 」は、こうして求められたネットワーク全体での緊急活動効果量を総交通量で除した無次元量であり、想定する被災ネットワークに対する補強パターンや交通規制パターンの組み合わせによる施策代替案に対して1つ決定される。

$$SP^k = \frac{E_{TOR}^k}{T_{TOR}^k} = \frac{\int_0^x E^k(t_r) T^k(t_r) dt_r}{\int_0^x T^k(t_r) dt_r} \quad (3.1)$$

ここで、 SP^k : 目的 k のネットワーク耐震性指標 (SP^k は0~1の範囲の値をとる。)

E_{TOR}^k : 目的 k の総緊急活動効果量

T_{TOR}^k : 目的 k の総緊急交通量

t_r : 目的 k の緊急交通のOD間旅行時間

(2) 区間重要性指標

区間重要性指標 LI は、被災後のネットワークにおける被災区間について重要性を示す指標であり、被災後のネットワークにおける耐震性 SP^k と、その状態から着目する被災区間を復活させたネットワークの耐震性 SP_I^k を比較することによって定量評価される (図-3.1.3)。

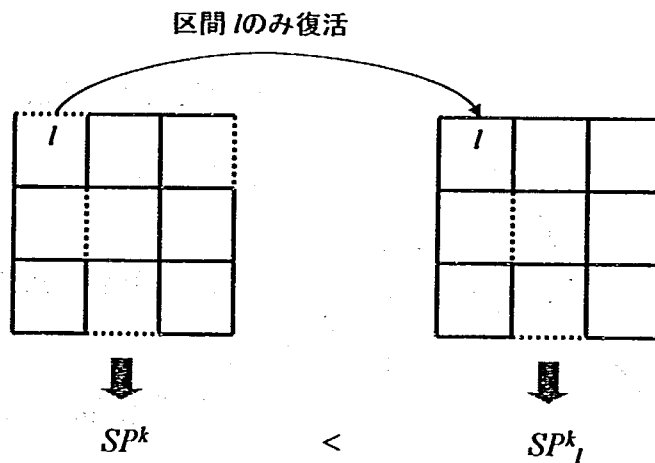


図-3.1.3 区間重要性の算法

すなわち与えられた被災パターンの目的 k に関するネットワーク耐震性を SP^k 、その状態から区間 I のみを復活させたネットワークの耐震性を SP_I^k とすると、区間 I の防災活動目的 k に関する重要性 LI_I^k は式(3.2)で得られる。

$$LI_I^k = SP_I^k - SP^k \quad (3.2)$$

(3) 交通規制の効果量

交通規制を実施することによりネットワークの耐震性は変化する。この変化量は、交通規制の実施による防災活動の効率化の度合いを示す指標であり、被災後のネットワークにおける耐震性指標 SP^k と、その状態から交通規制 m を実施した場合のネットワークの耐震性指標 SP_m^k を比較することによって定量評価される（図-3.1.4）。

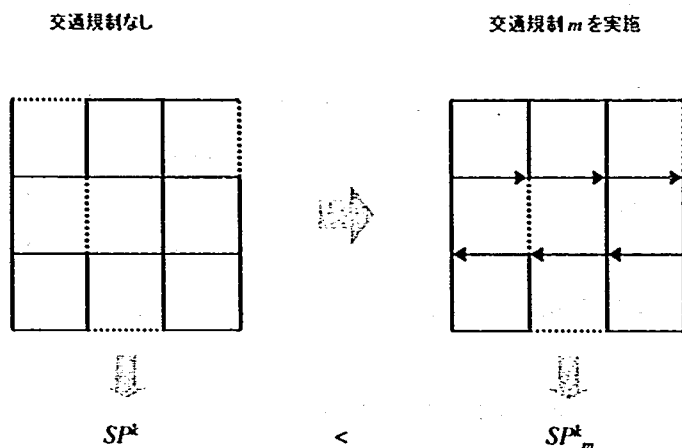


図-3.1.4 交通規制の効果量の算法

すなわち与えられた被災パターンの目的 k に関するネットワーク耐震性指標を SP^k 、その状態から交通規制 m を実施した場合のネットワークの耐震性指標を SP_m^k とすると、交通規制 m の防災活動目的 k に関する効果量 ΔSP_m^k は式(3.3)で得られる。

$$\Delta SP_m^k = SP_m^k - SP^k \quad (3.3)$$

(4) 背景交通1台当たりの旅行時間

災害時における緊急交通を優先的に通行できるように交通規制を実施すると、緊急交通の効率化が図られる反面、背景交通に対しては渋滞の深刻化など悪影響を及ぼす可能性がある。背景交通の阻害については、式(3.4)に示すように、ネットワーク全体での背景交通の総走行時間をネットワーク上に配分された総交通量（孤立ODを除く）で除することにより、背景交通1台当たりの走行時間（Travel Time Per Vehicle : $TTPV$ ）を算定し、これを評価指標として定める。

$$TTPV = \frac{\sum_i \sum_j l_{ij} T_{ij}}{\sum_i \sum_j T_{ij}} \quad (3.4)$$

なお、第4章でのモデルネットワークを用いたケーススタディーでは、参考のため背景交通の「一台当たり走行距離」と緊急交通の「一台当たり走行時間」および「一台当たり走行距離」も合わせて算定している（巻末資料3）。

3.1.3 緊急交通の設定

前項3.1.2に示したように、ネットワーク耐震性指標SPは、被災ネットワークにおける防災活動交通の発ゾーンから着ゾーン間の交通量と旅行時間に基づき計算される。すなわち指標計算のためには、発ゾーン*i*から着ゾーン*j*へ向かう各防災活動*k*の交通量 T_{ij}^k が確定しており、またその交通のゾーン間旅行時間 t_{ij} が特定されている必要がある。このうち後者のゾーン間旅行時間については3.1.4で述べることとし、本項では、緊急活動交通量 T_{ij}^k の設定方法および配分方法について述べる。

(1) 対象とする緊急交通

震災時の防災活動は、病院、消防署などの活動拠点や港湾等の交通結節拠点（拠点）または被災地を中心として展開されることが想定される。過年度研究においては、拠点間または拠点と被災地間の緊急交通について「拠点間連絡マトリックス（表-3.1.1）」を作成し、各拠点間の定量的な交通量の算定方法を検討しており、第4章においては、そのうちの被災地と医療機関を結ぶ救急活動交通に関して、被災地の人口から割り出した死傷者数等を原単位とした交通発生集中量を想定したケーススタディを実施する。

表-3.1.1 拠点間連絡マトリックス

	域外	行政（一般）	行政（府）	指定行政機関	指定公共機関	交通機関	医療機関	社会・社会	広域防災拠点	避難地・被災地	その他
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
域外	1: 域外	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
行政（一般）	2: 都道府県庁	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	3: 市町村（指定市）	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	4: 県庁所在地	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	5: 地区行政センター	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	6: 市町村広域	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
行政（府）	7: 上下水道局	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	8: 交通局	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
指定行政機関	9: 消防署（局・事務所）	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	10: 消防署（局・事務所）	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	11: その他庁舎	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
指定公共機関	12: 道路公団（局・部・事務所）	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	13: 都市高速（局・部・事務所）	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	14: ライフライン	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
交通機関	15: 鉄道駅	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	16: バス会社	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
医療機関	17: 国立・市立病院	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	18: 総合病院	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	19: 診療所・支所	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	20: 血液センター	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
社会・社会	21: 警察署	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	22: 消防署	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	23: 自衛隊	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
広域防災拠点	24: 広域防災拠点	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	25: ヘリポート	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	26: 港・空港	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	27: 駅前広場	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	28: その他防災拠点	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	29: SA, PA	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
避難地・被災地	30: 広域避難地	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	31: 被災地	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
その他	32: 放送局	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

(2) 緊急交通の生成交通量の算定方法

緊急交通の生成交通量は、式 (3.5) により与えられる。

$$G_{DP}^k i = g_{DP}^k N_R \quad (3.5)$$

ここで、 $G_{DP}^k i$ はゾーン*i*の緊急交通の生成交通量、 g_{DP}^k は人口一人あたり防災活動の需要発生率、 N_R はゾーン*i*の人口を表わす。この考えは、災害時の救急活動を例にとると、多数の負傷者が発生するような場合でも、救急活動に必要な交通手段（ここでは救急目的の自動車）は需要を負傷者の搬送を必ず満足することを前提としている。本項までの段階で、地域の全セントロイドにおける緊急交通の生成交通量が求められる。

(3) 緊急交通ODの設定

緊急交通の生成交通量は各セントロイド間ODとして分配され、道路ネットワーク上に配分される。OD分配については、各ゾーンでの生成交通量が大きく、ゾーン間で極端な偏りなくOD交通量が分配されると考えられる場合には、現在のODパターンを用いた成長率法やグラビティー・モデルが一般的に用いられる。しかし防災活動の場合、背景交通に比べて交通量自体はそれほど小さくなく、また、ごく近傍のゾーン間でトリップが完結するため、一般の交通推計手法によらず、以下のような考え方をとることとした。

① 防災拠点選択方式によるOD分配方法

ある被災地ゾーンで発生した負傷者等を病院に搬送する場合、平常時においては最寄りの病院に収容することが最も望ましい。しかし、災害時の救急活動を考えると、災害時の混乱の中で各病院までの到達所要時間を正確に把握することは困難であり、また、病院側の収容能力には限界があるため、平常時とは異なる病院を目的地として選択しなければならない場合が考えられる。本研究では、このような状況を近似的に再現するため、被災地ゾーン*i*を発生点とする緊急交通に対し、到着点となる拠点は複数存在するものと考え、緊急交通ODを次のように作成する。

いま、被災地ゾーン*i*から最も近い*n*個のゾーン*j*₁、*j*₂、…*j*_nを対象とし、ゾーン*i*からの防災活動発生量 $G_{DP}^k i$ を、ゾーン*j*₁、*j*₂、…*j*_nに分配することを考える（図-3.1.5）。このとき、ゾーン*i*からゾーン*j*₁、*j*₂、…*j*_nへの防災活動発生量 $G_{DP}^k i$ は既に決まっており、*n*個のゾーン間の交通量の分配率は、ゾーン*j*における拠点数 $N_B^k j$ とゾーン*ij*間の仮想距離 d_{ij} からグラビティー・モデルを用いて算定された仮想交通量 $\hat{T}_{DP}^k ij$ を用いて式 (3.6) のように求められる。

$$T_{DP}^k ij = G_{DP}^k i \frac{\hat{T}_{DP}^k ij}{\sum_{j=j_1}^n \hat{T}_{DP}^k ij}, \quad \hat{T}_{DP}^k ij = (N_B^k j)^\beta (\hat{d}_{ij})^\gamma \quad (3.6 \text{ a-d})$$

($j = j_1, \dots, j_n$)

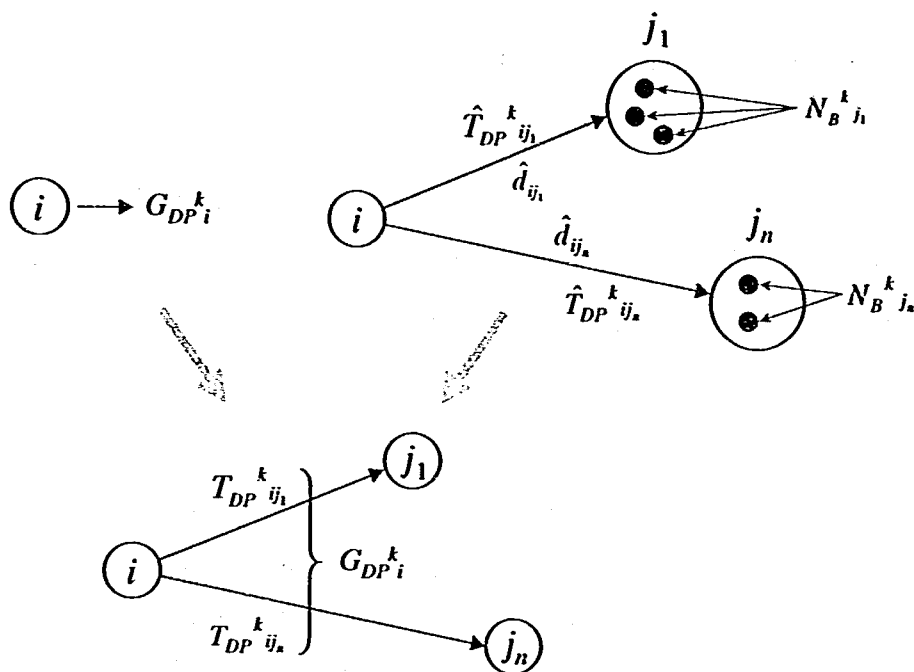


図-3.1.5 防災拠点選択の考え方

これにより、ある被災地ゾーン*i*を発生点とする緊急交通を*n*個の拠点ゾーン*j*に振り分けることができる。なお、式(3.6)中のゾーン*j*における拠点数 N_B^k およびゾーン*ij*間で定義される仮想距離 d_{ij} の設定方法については②で説明する。

② 拠点選択パターン

緊急交通の拠点選択にあたっては、被災地ゾーンから最も近い*n*個の拠点ゾーンとする。ただし、この「最も近い」拠点の選択については「旅行距離を最短」とするか「旅行時間を最短」とするかで異なり、また、ルート選択に用いる道路ネットワークを「平常時ネットワーク」とするか「被災時ネットワーク」とするかによって表-3.1.2のような組み合わせが考えられる。

表-3.1.2 緊急交通OD分配における拠点選択の考え方

	距離による拠点選択	時間による拠点選択
平常時ネットワークに基づく拠点選択 (行き先固定)	平常時ネットワーク上で距離が最短となる拠点を選択する方法 ・被災パターンによる平常時からの行き先の変更はない。 ・被災区間、交通状況に関する情報が与えられない状況を想定。	平常時ネットワーク上で所要時間が最短となる拠点を選択する方法 ・被災パターンによる平常時からの行き先の変更はない。 ・被災区間、交通状況に関する情報が与えられない状況を想定。
被災時ネットワークに基づく拠点選択 (行き先変動)	被災時ネットワーク上で距離が最短となる拠点を選択する方法 ・被災パターンによって行き先が変更される。 ・被災区間に関する情報のみが与えられ、渋滞状況に関する情報は与えられない状況を想定。	被災時ネットワーク上で所要時間が最短となる拠点を選択する方法 ・被災パターン、規制パターンによって行き先が変更される。 ・被災区間、渋滞状況に関する情報が与えられる状況を想定。

このような緊急交通の拠点選択アルゴリズムは、災害時においてドライバーにどのような交通情報が与えられるかということに対応するものである。平常時ネットワークで拠点選択を行うことは、交通情報がまったく得られない状況を表現するものであり、非効率的であることが推測できる。

また、距離を最短とするルート探索（最短距離経路探索）では、被災パターンにより、選択される拠点すなわち行き先が決定され、時間を最短とするルート探索（最短時間経路探索）では、背景交通の配分結果から得られるリンク速度に基づいて行き先が決定される。距離最短経路探索については、災害時において、緊急交通のドライバーに対して道路のどの区間が寸断されているかについての情報は与えられるが、道路混雑の状況については情報を知り得ない状況を想定したものであり、時間最短経路探索では、被災による交通混雑の状況についても緊急交通のドライバーに与えられている状況を想定したものである。

第4章で行うケーススタディでは、緊急交通について、被災ネットワークにおける距離最短経路探索により検討を行った。

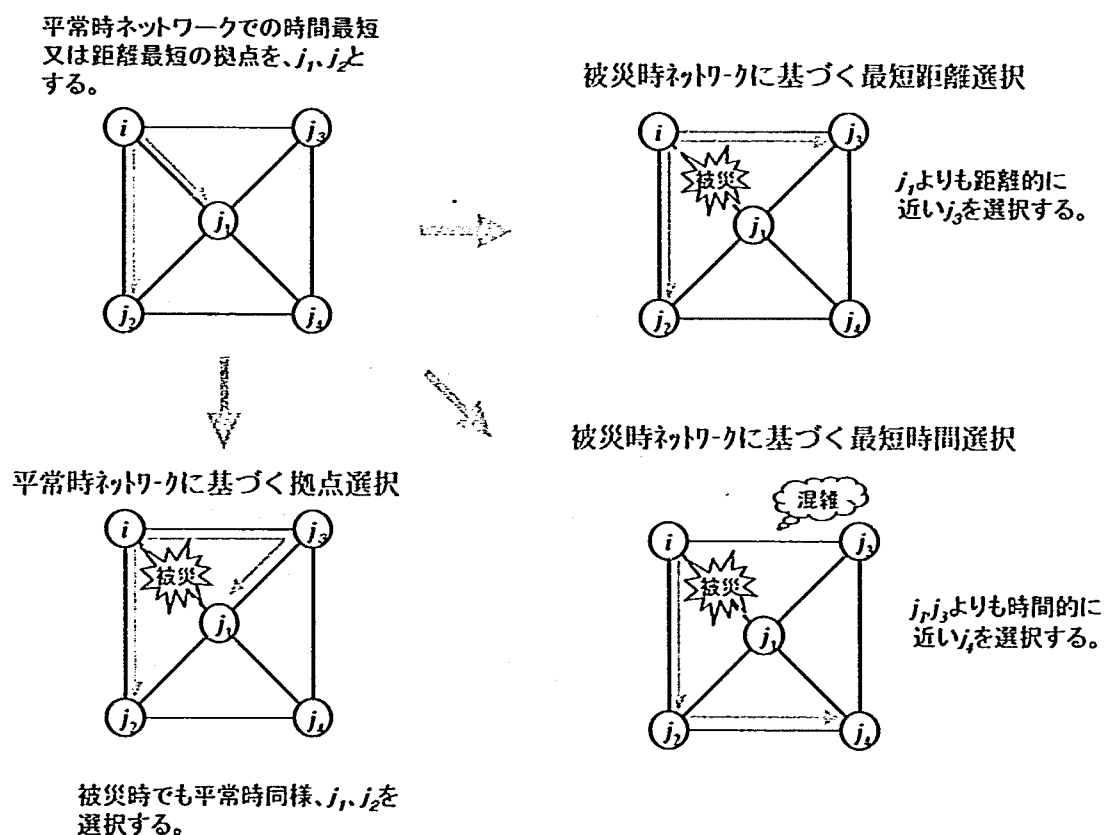


図-3.1.6 拠点選択パターンの概念

(4) 緊急交通ODのネットワーク上への配分方法

本システムにおいては、緊急交通の交通量は背景交通に比べて十分に交通量が少なく、それによってリンク走行速度は変化しないと考え、固定されたリンク速度に基づき一括配分する。このリンク速度は、背景交通ODの配分結果から得られる固定値を用いる。

3.1.4 背景交通の影響を受けたリンク速度の決定

3.1.3で述べたように、緊急交通の配分に先立って各リンクの走行速度すなわちリンク速度を求めておく必要がある。リンク速度の設定については、例えばセンサスの旅行速度などの固定値を与える方法等も考えられるが、本研究では、被災ネットワーク状態における交通状況を反映するため、より妥当な方法を採用する。

(1) 背景交通ODの設定

背景交通ODの設定は、通常の交通推計の手順を応用し、エリア全体の総生成交通量を設定した後、ゾーン間の交通量配分率をグラビティー・モデルより導かれる仮想交通量によって分配する。

背景交通の総生成交通量は、モデルネットワークの圏域面積と既知のトリップ原単位をもとに算定する。また、エリアの総生成交通量 T_{BK} を各ゾーン間に配分する方法は、背景交通の仮想交通量 $\hat{T}_{BKij}$ を用いて式(3.7)のように表される。

$$\begin{aligned}\hat{T}_{BK}^{kij} &= (N_{Pi})^\alpha (N_{Pj})^\beta (d_{ij})^\gamma \\ T_{BKij} &= T_{BK} \frac{\hat{T}_{BKij}}{\hat{T}_{BKij} + \hat{T}_{BKji}}\end{aligned}\quad (3.7 \text{ a, b})$$

ここで、 N_{Pi} はゾーン i の人口、 d_{ij} はネットワーク上におけるゾーン ij 間の最短距離である。この手順により、背景交通のODマトリックスが得られる。

なお、第4章のケーススタディーにおいては、モデルネットワークの圏域面積と関東地方建設局管内のトリップ原単位をもとにエリア全体における背景交通の総生成交通量を算定した。

(2) 背景交通ODのネットワーク上への配分

(1)で得られた背景交通ODを道路ネットワーク上に配分し、その影響を受けた各リンクの走行速度を算出する。方法としては、背景交通を多段階配分法による。ここでは、緊急交通は背景交通に比べて交通量が少なく、走行時間に対して影響を与えないと仮定している。この手続きによってネットワーク上の防災活動の走行時間が得られる。背景交通に関する以上の手続きは図-3.1.7のように整理される。

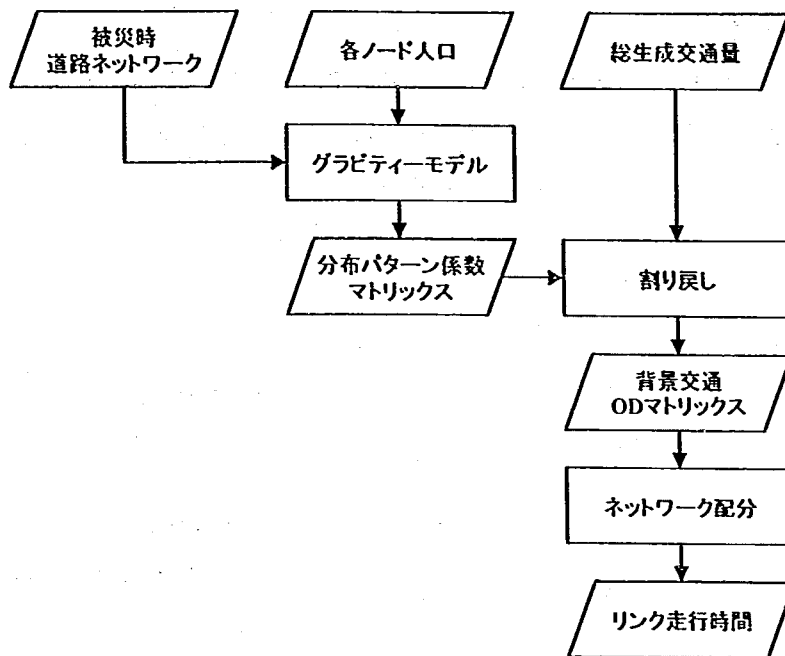


図-3.1.7 背景交通の配分結果に基づくリンク走行時間の算定

① リンクパフォーマンス関数の設定

交通ODをネットワーク上に配分すると、各リンクに交通量が与えられ、リンクの交通容量に見合ったリンク速度の低下が生じる。この交通量の増加に伴うリンク速度の低下量は、各リンクごとに与えられる交通量と走行速度の関係（Q-V関係）を用いることとする。本システムでは、Q-V式はネットワークごとに与えられるQ-V関係（図-3.1.8）と、各リンクごとに設定されるQ-Vパラメータ（交通容量 C および最大通行速度 V_d ）で決定される。

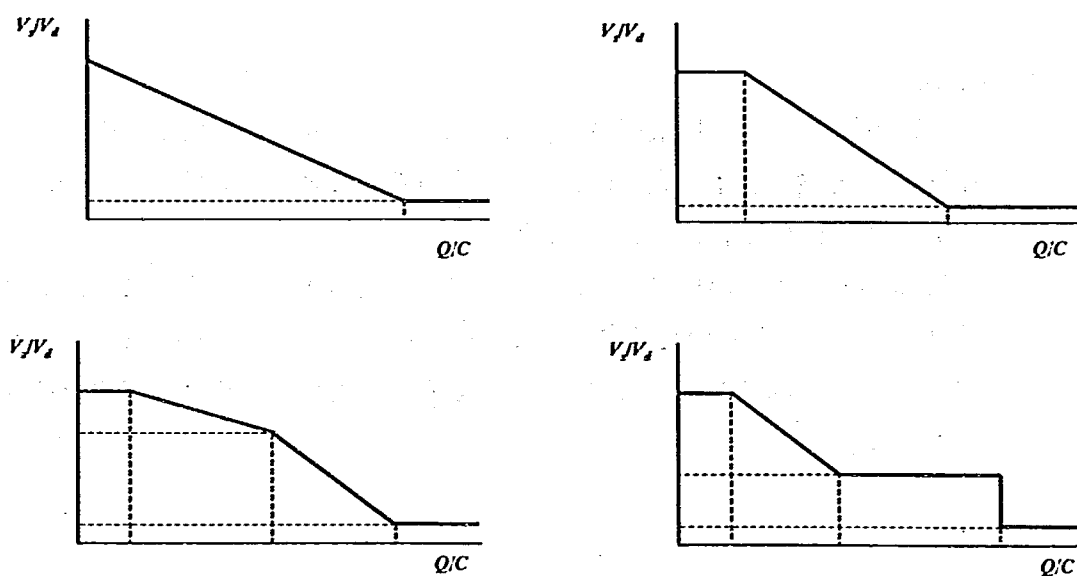


図-3.1.8 リンクにおけるQ-V関係の例

② 背景交通の多段階配分

背景交通のネットワーク上への配分に関しては多段階配分方式によって行う。具体的には、背景交通の配分において、背景交通の交通量を細分化して数回に分けて配分し、前回の配分結果から得られた交通状況を次の配分段階でのルート選択に反映させる（図-3.1.9）。

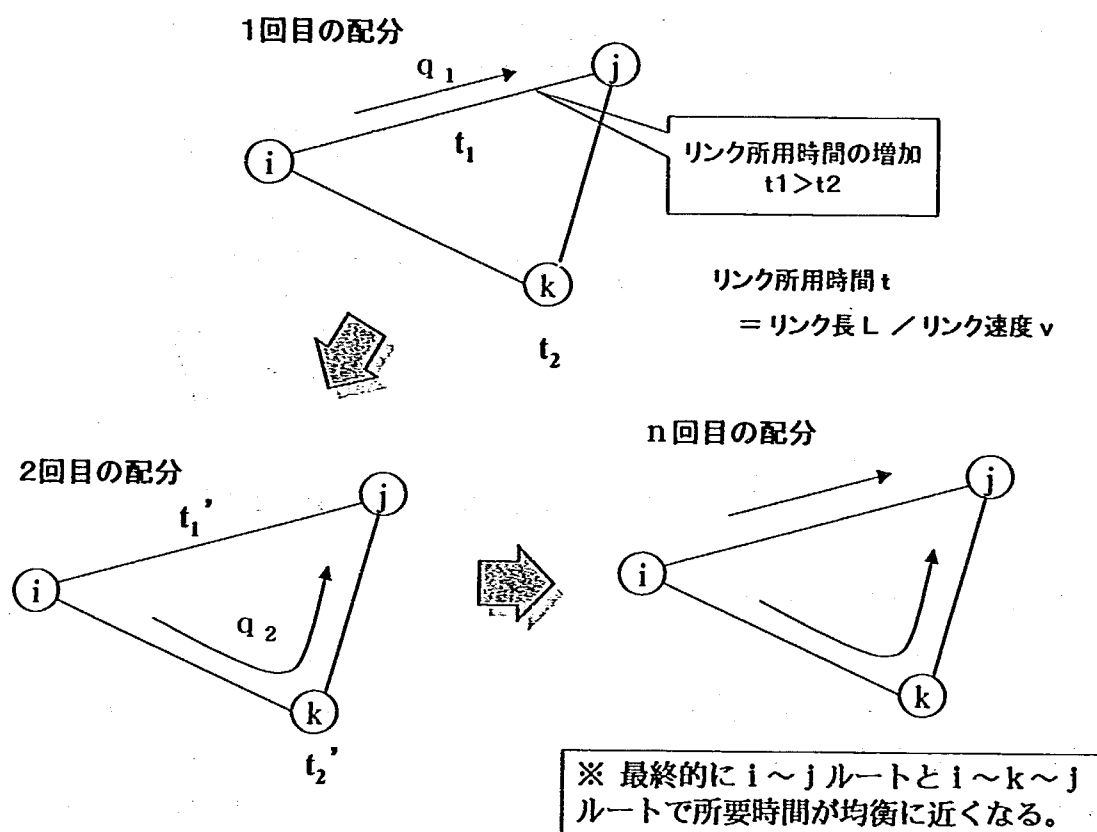


図-3.1.9 交通量の多段階配分手法

③ 交通規制の表現方法

交通規制とは、交通に関する禁止、制限行為の総称であり、走行車線の制限や速度制限等のほか、右折禁止、一方通行規制等を含む。本研究では、このうち「背景交通の方向規制」と「緊急交通専用レーン（防災レーン）の設置」を対象として取り扱う。

ここで、交通規制をシステム上に再現するための手法について解説する。本システムでは、すべてのリンクについて、上り下りそれぞれの交通容量と通行速度を与えている（図-3.1.10）。これにより、モデル上の各リンクは2本の有向リンクを双方向に設定した場合と同じように上下線のリンク属性を別々に与えることができる。

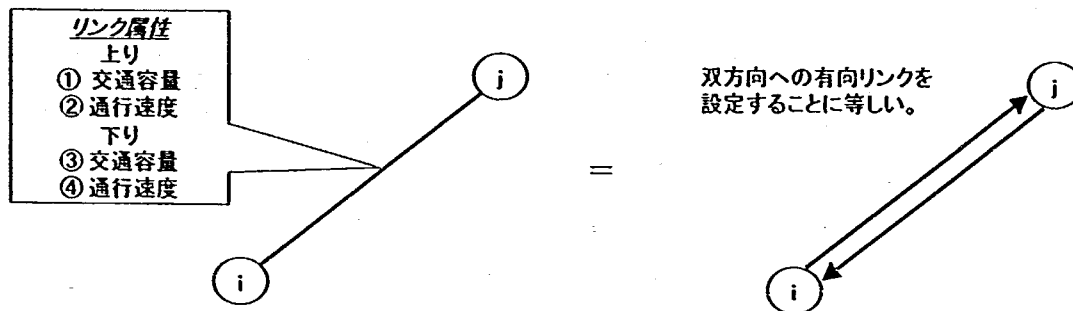


図-3.1.10 リンク属性の与え方

また、本システムでは、背景交通の混雑の影響を考慮したネットワークの耐震性を評価するために、交通ODを配分するためのネットワークを背景交通と緊急交通で別々に与えている。例えば、図-3.1.11において、ゾーン①からゾーン④への背景交通ODがあり、①～③の区間が被災していると想定した場合、背景交通は背景交通配分用のネットワーク上を①～②～④のルート（ルート1）か①～②～③～④のルート（ルート2）上に配分される。ここで②～③方向への背景交通の通行を禁止（方向規制）した場合を想定すると、ルート1上に背景交通が配分され、各区間のリンク速度 $v_1 \sim v_4$ が算定される。このリンク速度は各区間のQ-V関係から求められるものであるが、交通が配分されなかった②～③区間、③～④区間のリンク速度は低下しないため、自由走行速度 v_0 と等しい。

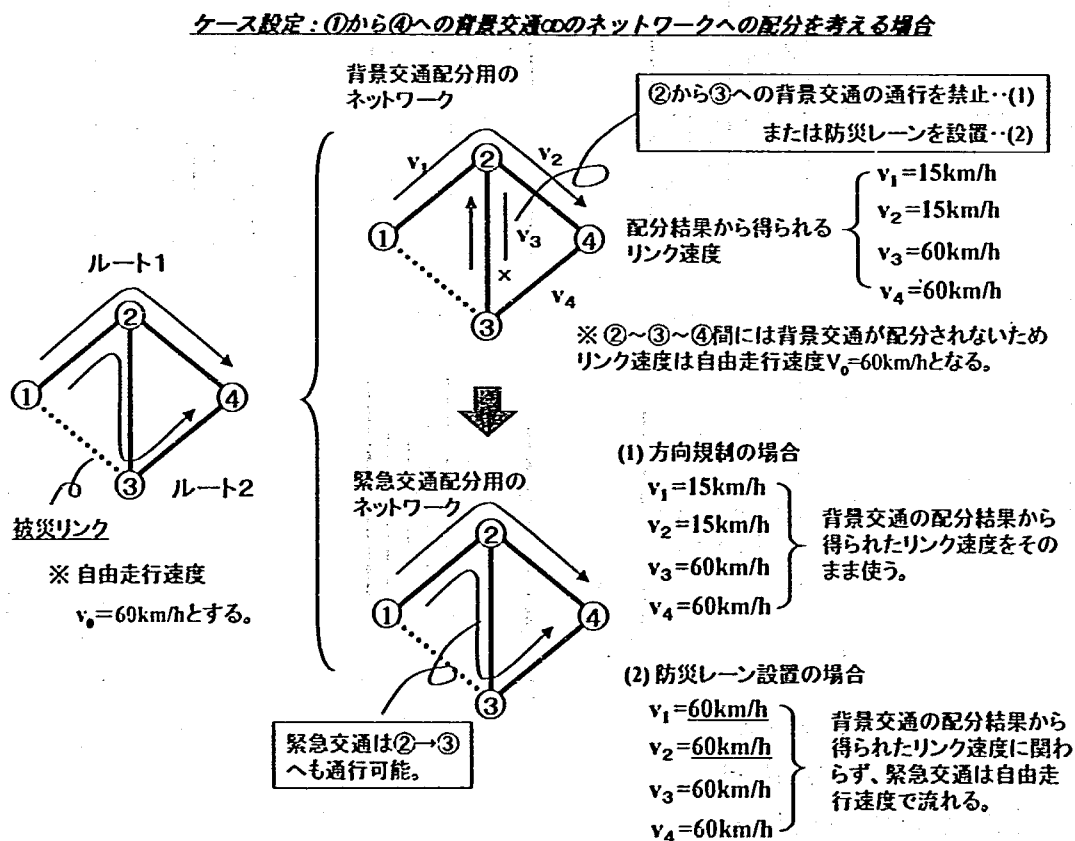
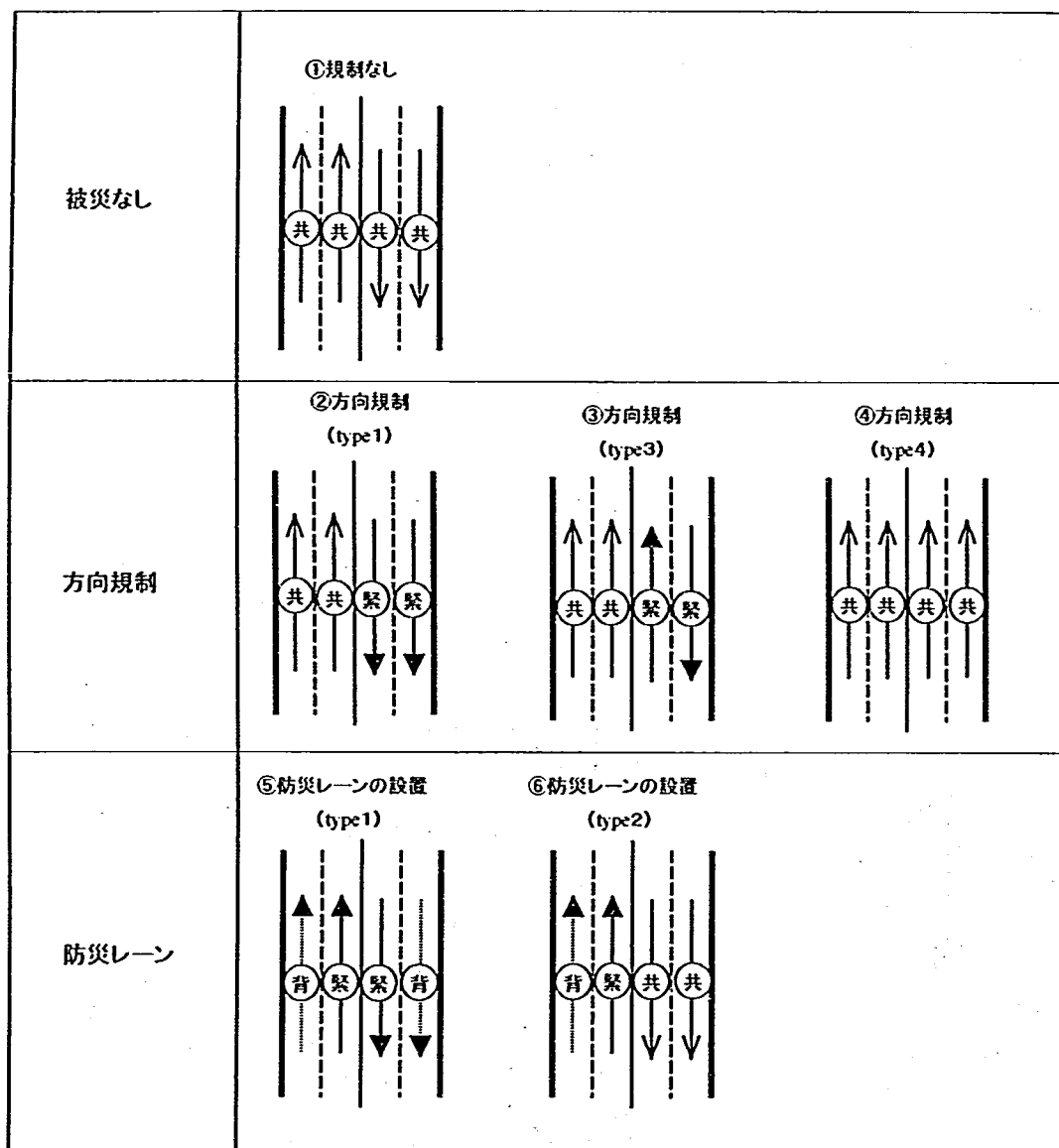


図-3.1.11 リンク属性の与え方の例

求められたリンク速度は、緊急交通配分用のネットワークのリンク属性として与えられ、緊急交通の配分に用いられる。想定する交通規制が防災レーンの設定である場合も同様であるが、求められたリンク速度を緊急交通用ネットワークのリンク属性として与える時点で、 v_1 、 v_2 を自由走行速度 v_0 とすることで、背景交通の混雑の影響を受けない防災レーンの設置対策を表現することができる。

なお、第4章のケーススタディーでは、3種2級の4車線道路を想定している。ここで、各リンクに想定された4車線（上下2車線づつ）を、背景交通用の車線、緊急交通用の車線、背景交通と緊急交通の共用車線の3通りに分けて考えると、方向規制や防災レーンの設定は、図-3.1.12のように表現される。



- ⊙ 背景交通と緊急交通
- ⊙ 緊急交通のみ通行可
- ⊙ 背景交通のみ通行可

図-3.1.12 想定する交通規制の事例

交通規制が実施されない場合は4車線とも背景交通と緊急交通の共用車線である(図-3.4.12の①)が、背景交通の方向規制では、指定方向の2車線は背景交通と緊急交通の共用車線、反対方向の2車線は緊急交通専用の車線となる(同②～④)。また、防災レーンを設置した場合には双方方向1車線ずつが背景交通用の車線であり、残りの1車線ずつが緊急交通専用となる(同⑤、⑥)。

本システムでは図-3.4.12に挙げたすべての規制パターンで解析を行うことができるが、第4章のケーススタディでは、「交通規制を行わない場合(図-3.4.12の①)」、「方向規制(同②)」、「防災レーンの設置(同⑤)」を交通規制の検討対象とした。

3.2 道路ネットワーク耐震性評価システムの操作概要

3.2.1 システムの操作全体フロー

本システムは、災害時の道路ネットワークに対し、背景交通ODと緊急交通ODをそれぞれ設定し、想定した道路ネットワーク上に配分することにより、緊急交通の活動効果量 E_{TOT}^k と背景交通の総走行時間等を求め、これらの値を加工・集計することでネットワークの耐震性を評価するものである。本システムの操作フローは図-3.2.1のように整理される。

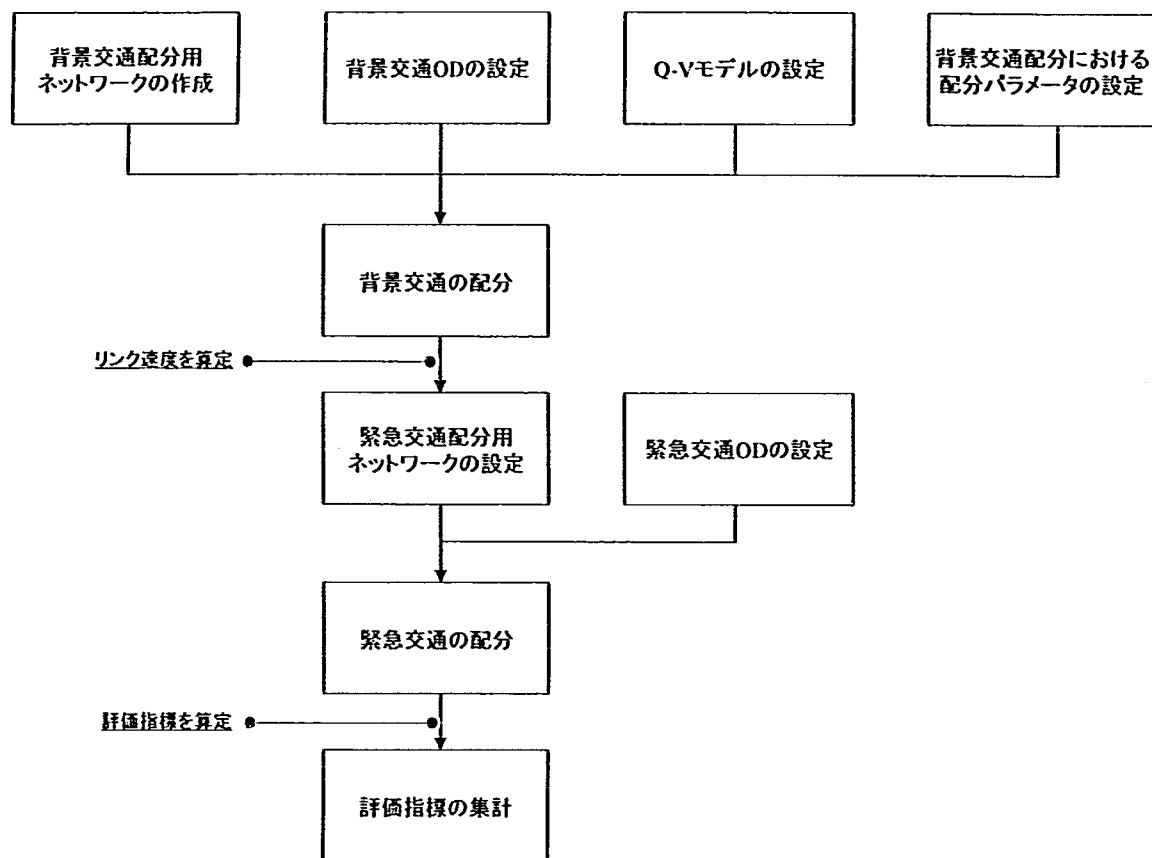


図-3.2.1 道路ネットワーク耐震性評価システムの実行フロー

本システムでは、背景交通と緊急交通を異なるネットワークデータで配分する。具体的にはオペレーターは、背景交通配分用の道路ネットワークをまず設定して交通配分を行い、得られたリンク速度を用いて、緊急交通配分用のネットワークデータを作成する。

なお、背景交通及び緊急交通のODデータについては、式(3.6)、式(3.7)の方法により自動生成させることができるほか、任意に変更することも可能である。

3.2.2 システムの操作概要

3.2.1で整理した操作フローにしたがって、具体的な操作事例を紹介する。

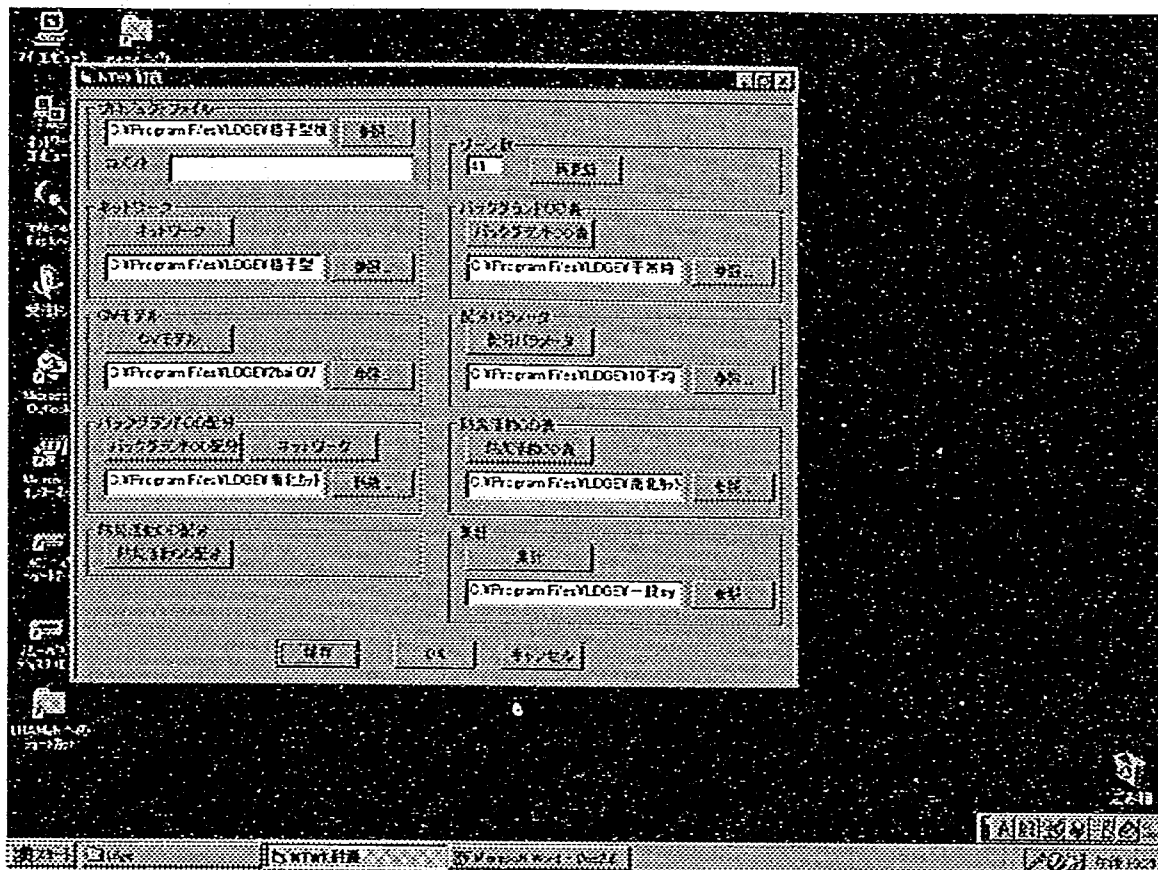


図3.2.2 システム・メインメニュー画面

(1) 背景交通OD配分用の道路ネットワークの設定

本システムでは、背景交通ODの配分と緊急交通ODの配分を別々に設定できる。これは3.1.4の③で述べたように、交通規制等を行う場合、背景交通が通行できるリンクと緊急交通が通行できるリンクが異なる場合があることに対応するものであり、具体的にはあるリンクにおいて背景交通の通行を禁止し、緊急交通のみを通行させるような場合でも、この方法により対応できる。

① 背景交通OD配分用ネットワークの作成

道路ネットワークは、GUIにより画面上でノードとリンクを組み合わせて作成する（図3.2.3）。

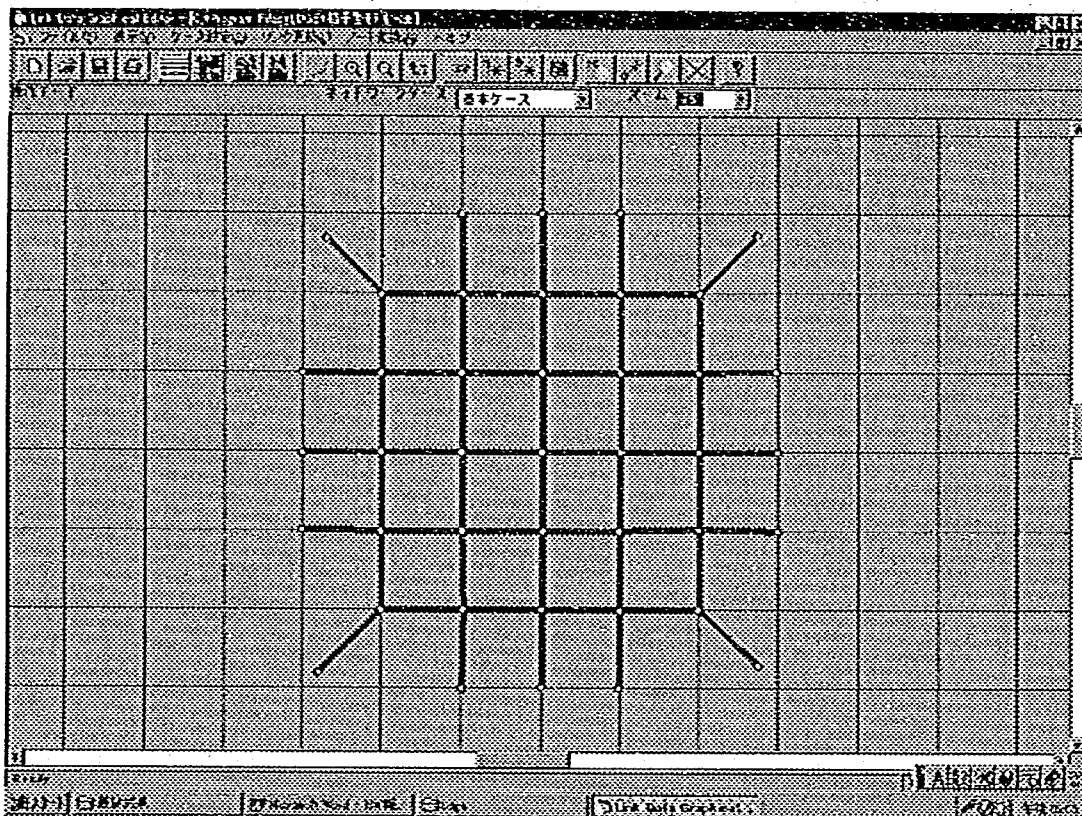


図3.2.3 ネットワークトポロジーの作成

② ノードおよびリンクの属性の設定

作成した道路ネットワークのノード、リンクにそれぞれ属性値を設定する（図-3.2.4～3.2.5）。ノード属性としては、ノード番号、ノード名称、入口、拠点数が与えられ、リンク属性としては、リンク番号、リンク名称、リンク延長、交通容量 C 、自由走行速度 V_f 、通行可能方向（双方向、上り方向のみ、下り方向のみ、通行不能の4種類）が与えられる。

以上で、背景交通ODを配分するための道路ネットワークが設定される。なお、地震による被災状況は、リンク属性値のうち通行可能方向、交通容量 C 、自由走行速度 V_f を変えることで様々な被災パターンを再現することができる。

- ・通行可能方向の指定（道路の通行可能性や指定方向外通行止めなど）
- ・交通容量 C の指定（被災または交通規制による道路交通容量の低下）
- ・自由走行速度 V_f （被災による通行可能速度の低下、速度規制等）

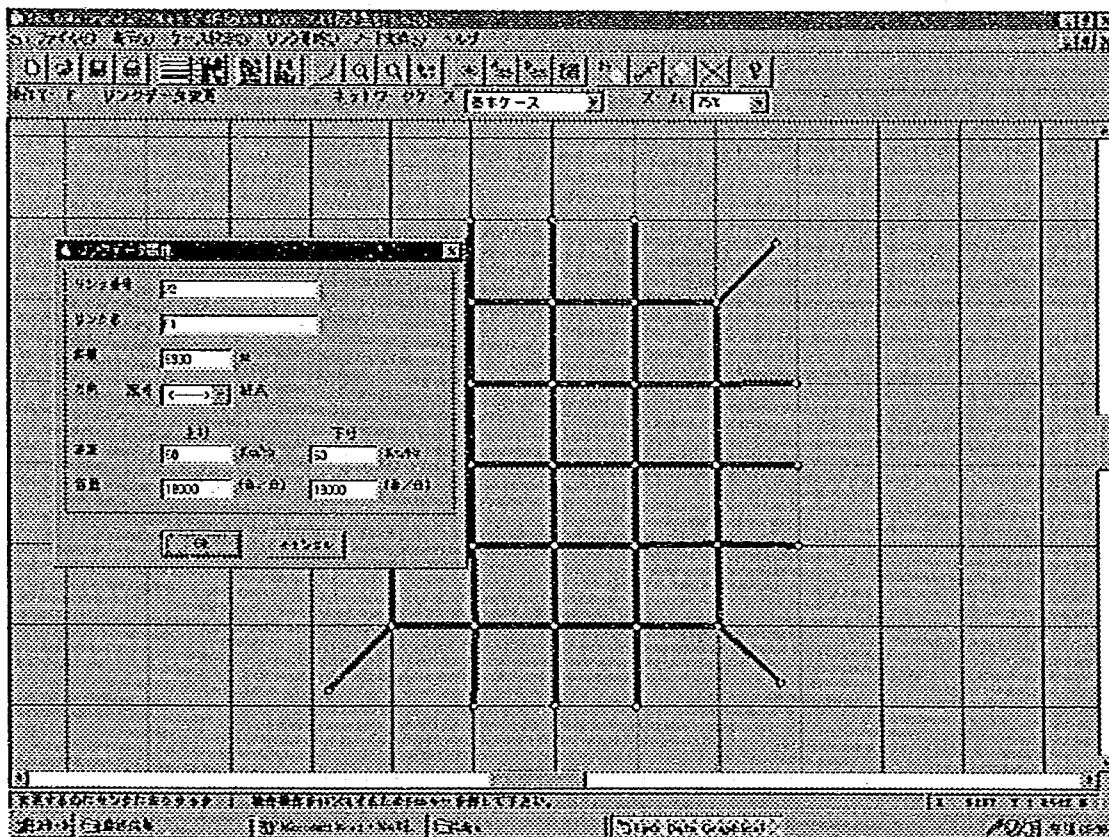


図-3.2.4 リンク属性の設定

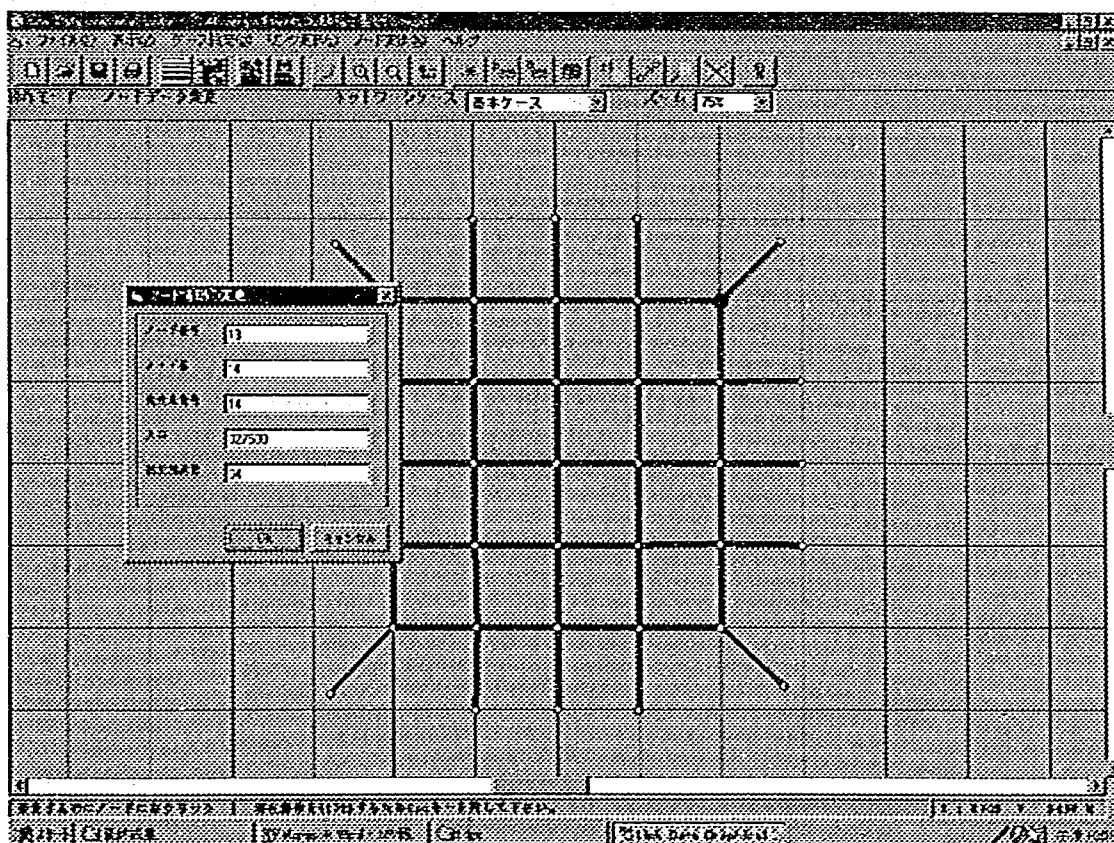


図-3.2.5 ノード属性の設定

③ Q-V関係の与え方

Q-V関係のパターンは図-3.1.8に示したように数種類の設定が可能であるが、計算時にはひとつのネットワークに対し1つを選択する(図-3.2.6)。ただし、各リンクに設定した交通容量 C および自由走行速度 V_f によって、各リンクに対し個々にQ-V特性を与えることが可能である。

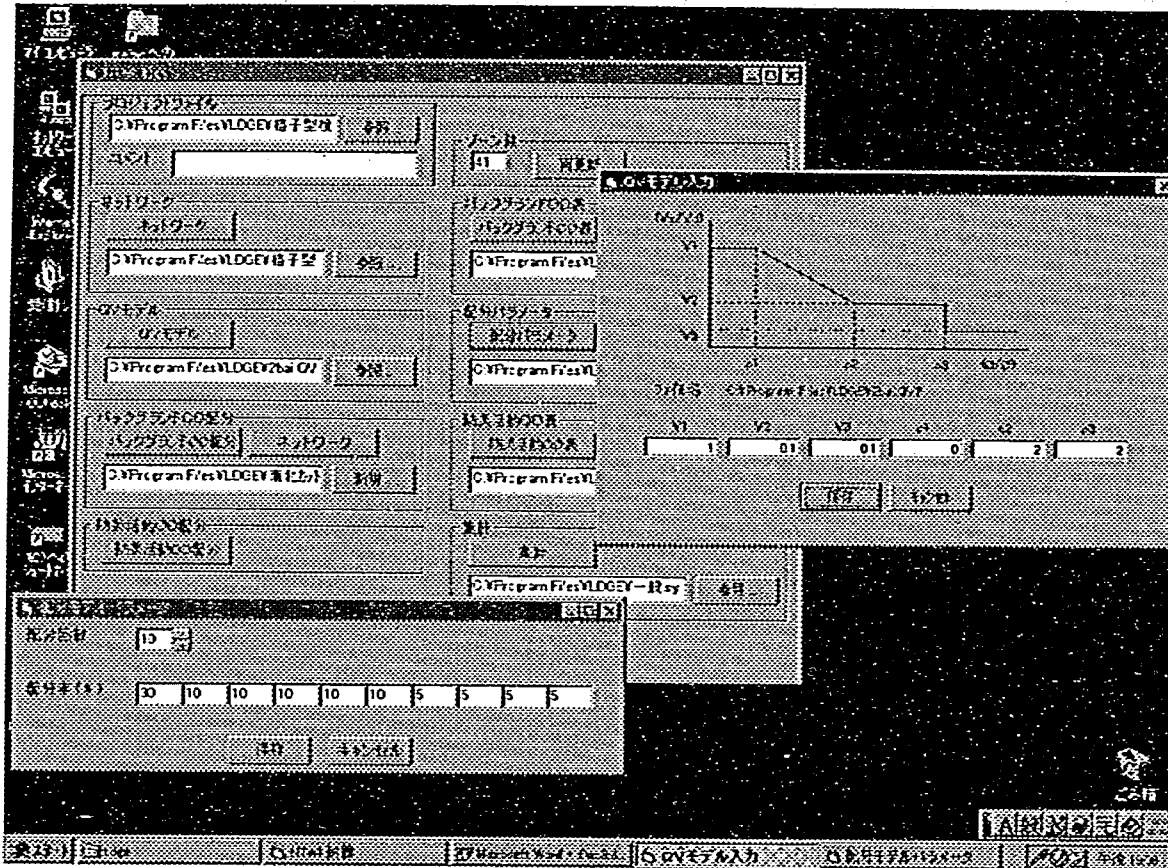


図-3.2.6 Q-V関係の設定と背景交通配分率の設定

(2) 背景交通OD表の作成

背景交通の総生成交通量は任意に設定することができる。また、背景交通ODの分配は、グラビティーモデルによって行う。したがって、背景交通ODはネットワーク上の各ゾーンの人口、ゾーン間の移動所要時間または距離に基づいてシステム上で分配され、背景交通OD表が作成される(図-3.2.7)。

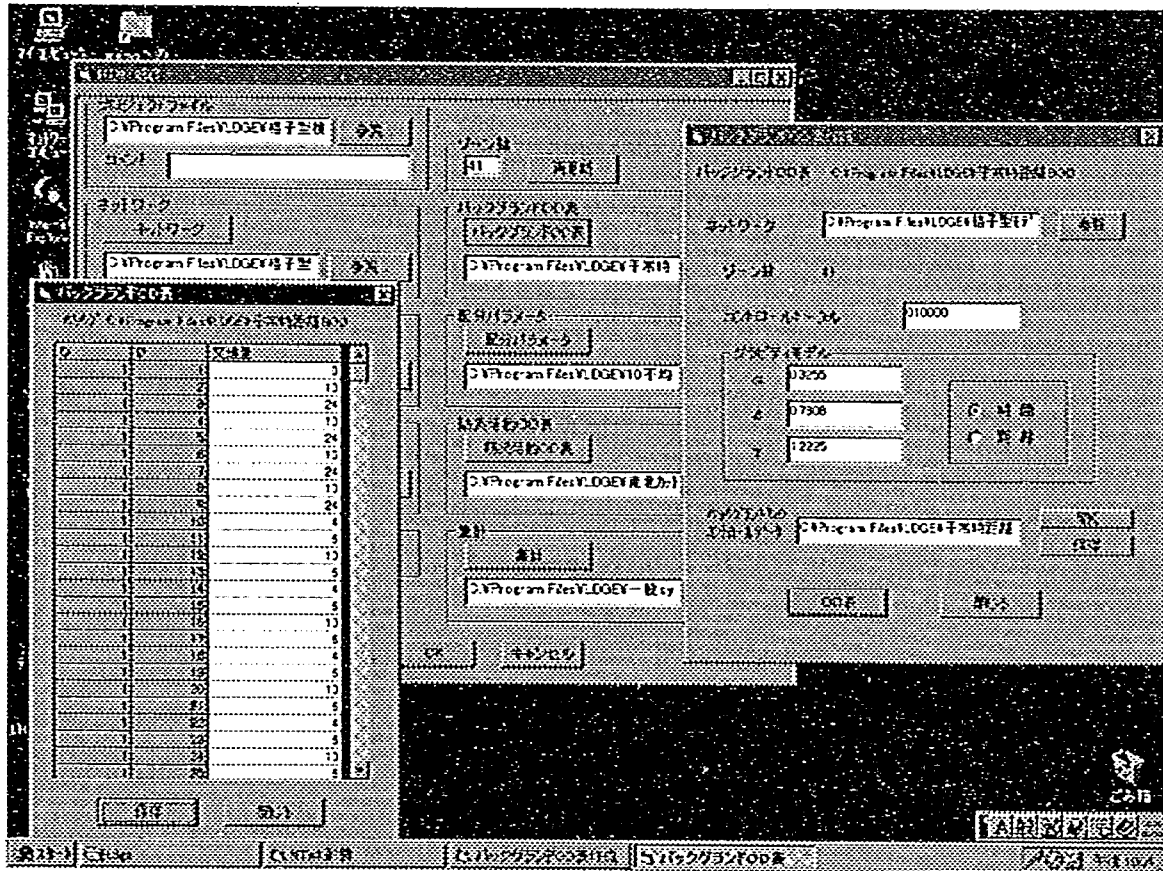


図-3.2.7 交通ODの作成

(3) 背景交通ODのネットワーク上への配分

(2)で求められた背景交通ODを(1)で設定した背景交通OD配分用ネットワーク上に配分する。背景交通の配分は、オペレーターがメインメニュー画面上のボタンをクリックすることでシステム上で自動的に行なわれる。背景交通の配分の結果、各リンクにおけるリンク速度 v_d' が算定され、システム上に緊急交通用のネットワークが自動的に生成される。ただし、交通規制等によりリンク速度 v_d' 等の属性値を変更する必要がある場合は(4)で属性値の変更を行う。

(4) 緊急交通配分用のネットワークの設定

緊急交通配分用のネットワークは、(3)で生成されたネットワークに必要な変更を加えて設定する。(3)で生成されたネットワークには、背景交通ODを配分した結果が反映され、リンク速度 v_d' 、交通容量 C 、通行可能方向がリンク属性として与えられている。交通規制等を想定する場合には、このリンク属性を変えることで方向規制区間や防災レーン設定区間を任意に設定することにより、再現が可能である(表-3.2.1)。

表-3.2.1 緊急交通配分用ネットワーク作成に必要な属性変更点

		必要な変更項目
耐震補強		(3)で生成されたネットワークをそのまま緊急交通OD配分用のネットワークとして利用する。
交通規制	方向規制	・通行可能方向の指定の変更
	防災レーン	・リンク速度 V_d' ・交通容量 C

(5) 緊急交通OD表の作成

緊急交通の総生成交通量は任意に設定することができる。また、緊急交通OD表は、各ゾーンに設定された拠点数、人口、各ゾーン間の移動所用時間または距離に基づいてシステム上で作成される。オペレーターは緊急交通の総生成量を入力し、拠点選択方法（距離最短／時間最短）を画面上で指定する。

(6) 緊急交通ODのネットワーク上への配分

(5)で求められた緊急交通ODを(4)で設定した緊急交通OD配分用ネットワーク上に配分する。緊急交通の配分は、オペレーターがメインメニュー画面上のボタンをクリックすることでシステム上で自動的に行なわれる。

(7) 配分結果の集計

背景交通と緊急交通の配分結果を集計する。集計される項目は次の通りであり、背景交通、緊急交通それぞれについて求められる。これらを用いてネットワーク耐震性指標 SP 、背景交通1台当たり走行時間 $TTPV$ を算定する。

①総交通量

②孤立交通量

③有効交通量（①－②）

④総走行台時（孤立交通を除く）

⑤総走行台キロ（孤立交通を除く）

⑥緊急活動効果量

ここで、②孤立交通量とは、ネットワークの被災により他のゾーンとの交通が実現できなくなる交通量であり、③有効交通量とは、①総交通量から②孤立交通量を差し引いた交通量で、実際のゾーン間を流れる交通の総量に相当する。なお、 SP は⑥緊急活動効果量を①総交通量で除して算定された値であり、 $TTPV$ は④総走行台時を③有効交通量で除して算定された値である。

第4章 モデルネットワークによる耐震補強と交通規制の効果の比較

第2章では、地震時道路交通管理対策としてネットワークの耐震補強（ハード対策）と交通規制（ソフト対策）を合わせて考える必要があることを述べたが、本章では、第3章で述べたネットワーク耐震性評価手法を用い、モデルネットワークを用いたケーススタディーによって耐震補強と交通規制を定量的に評価する。ケーススタディーの手順は次の通りである。

まず、4.1においてモデルネットワーク及び対象地域の形態・諸元を設定する。次に、4.2節において各ネットワークの被災リンクを選んで被災パターンを設定した上で、各被災パターンのネットワーク耐震性指標を計算する。また、4.3においては、4.2で設定した各被災パターンのうち、ネットワーク耐震性が低いパターンを対象として、耐震補強および交通規制を施した際の効果を比較する。

4.1 ネットワーク条件の設定

4.1.1 ネットワーク形態の設定

本研究で取り扱うネットワーク形態は、放射環状型、格子型、ラダー型の3種類を設定する（図-4.1.1）。また、本研究では、域外からの流入交通の影響を確認するため、域外ノードを設定した。

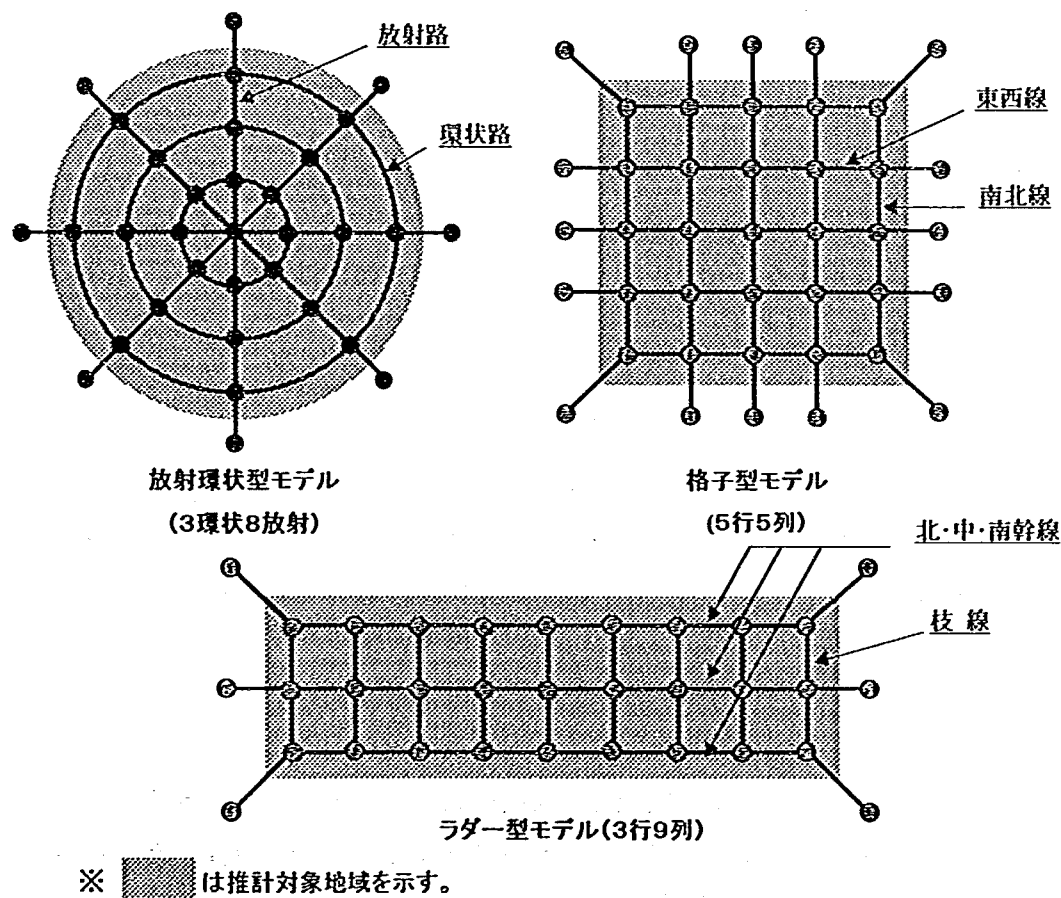


図-4.1.1 モデルネットワークの形態

4.1.2 ネットワーク諸元の設定

耐震補強や交通規制によるネットワーク耐震性の変化を、トポロジーの異なる3つのネットワークで比較検討するためには、道路密度や人口・防災拠点の分布パターンが等価となるよう諸条件を設定する必要がある。本研究では推計対象地域の面積、道路密度を表-4.1.1のように設定した。その際、3つのモデルネットワークにおいて、圏域面積が等しく、かつ道路密度も同程度である等価なネットワークとなるよう配慮した。また、総人口、総拠点数についても同一とした。以下、各条件の設定方法について説明する。

表-4.1.1 モデル地域の条件一覧

区 分		設定値	設定の根拠	備 考
圏域面積		1967.7 km ²	全国の平均的な地方生活圏の圏域面積	地方生活圏要覧（平成5年版） ⁷⁾ による。
道路密度	放射環状型	0.236 km/km ²	3つのモデルの圏域面積が等しくなるように設定した。	各モデルの道路密度はほぼ等しい。
	格子型	0.197 km/km ²		
	ラダー型	0.216 km/km ²		
人 口		919,831人	東京都を除く関東地域の人口密度1488.4人/km ² より算定	平成7年国勢調査等による。
拠 点 数		163 箇所	神奈川県における医療機関密度0.0827/km ² より算定	

(1) 圏域面積の設定

本研究のケーススタディーでは、設定した3つのモデルネットワークがカバーする圏域面積（図-4.1.1の網がけ部分）を同一と設定する。モデルネットワークの圏域面積は、全国の平均的な地方生活圏の圏域面積⁷⁾を与えるものとする（表-4.1.2）。

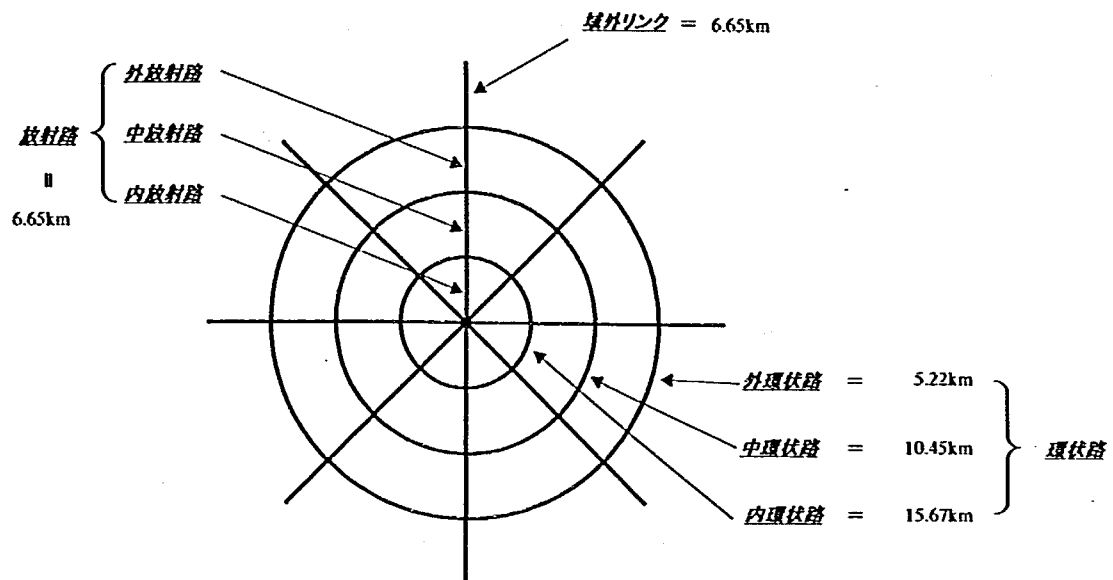
表-4.1.2 各モデルネットワークの圏域面積の設定

モデルネットワーク	圏域面積	備 考
放射環状型モデル	1,967.7 km ²	3つのモデルネットワークの圏域面積は、全国の平均的な地方生活圏の圏域面積に等しいと設定した。
格子型モデル		
ラダー型モデル		

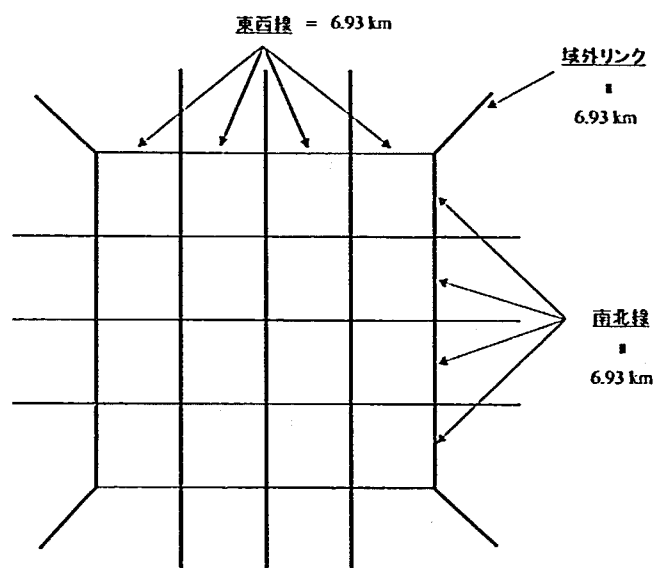
(2) リンク長の設定

想定する3つのモデルネットワークの圏域面積を同一とすることにより、各モデルネットワークのリンク長は図-4.1.2のようになる。このとき、各モデルネットワークの単位面積あたりのリンク長、すなわち道路密度は、1 km²当たり0.2km程度とほぼ等しい（表-4.1.3、巻末資料1）。

＜放射環状モデルのリンク長＞



＜格子型モデルのリンク長＞



＜ラダー型モデルのリンク長＞

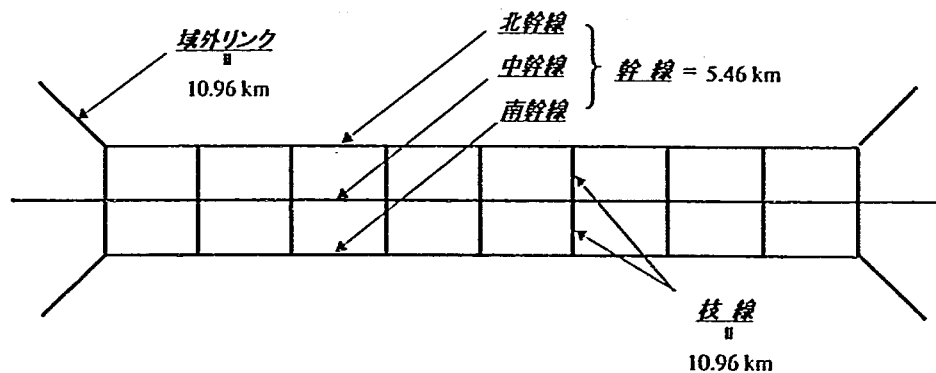


図4.1.2 各モデルのリンク長の設定

表-4.1.3 各モデルネットワークの道路密度

モデルネットワーク	総道路延長	圏域面積	道路密度
放射環状型モデル	464 km	1,967.7 km ²	0.236 km/km ²
格子型モデル	388 km		0.197 km/km ²
ラダー型モデル	426 km		0.216 km/km ²

(3) 人口および人口分布の設定

各対象地域内の総人口は、関東地方における人口密度の平均値（東京都を除く）にモデルネットワークの圏域面積を乗じて算定する。なお、想定するモデルネットワークでは、圏域面積は各モデルネットワークで統一しているため、各モデルネットワークの総人口は同一である（表-4.1.4）。

表-4.1.4 モデル地域の人口の設定

ネットワーク	圏域面積 (可住地面積)	人口密度 ※	人 口
① 放射環状型	618 km ²	1488.4人/km ²	919,831 人
② 格子型			
③ ラダー型			

※ 人口密度は、東京都を除く関東地方の平均値（平成7年国勢調査より）

人口分布については次のように設定した。まず、各モデルネットワークの全てのノードは人口を有し、背景交通のセントロイドであるものとする。また、各セントロイドの有する人口はすべて同じとした。このように設定するとき、格子型モデルとラダー型モデルでは、各ゾーンの圏域面積が同一であるため人口密度もすべてのゾーンで同一であるが、放射環状型モデルでは、中心部のゾーンよりも外縁部のゾーンの方が広い圏域面積を有することから、人口密度は中心部のゾーンで高く、外縁部のゾーンでは低い（図-4.1.3）。図中、破線は各セントロイドが持つゾーンの境界を表す。また、域外ゾーンについては、それらが接する最外縁部のゾーンと同じ面積を有すると設定する。例えば、図-4.1.3(1)のノードEのゾーン面積はノードDのゾーン面積に等しく、図-4.1.3(2)におけるノードGとノードFのゾーン面積、図-4.1.3(3)のノードKとノードJのゾーン面積はそれぞれ等しい。

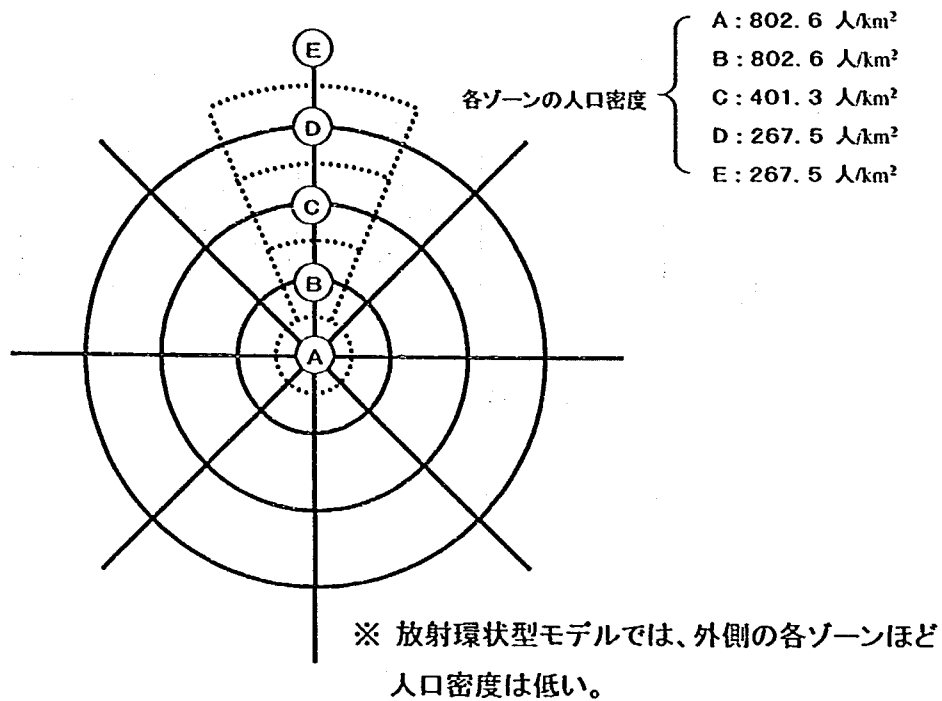
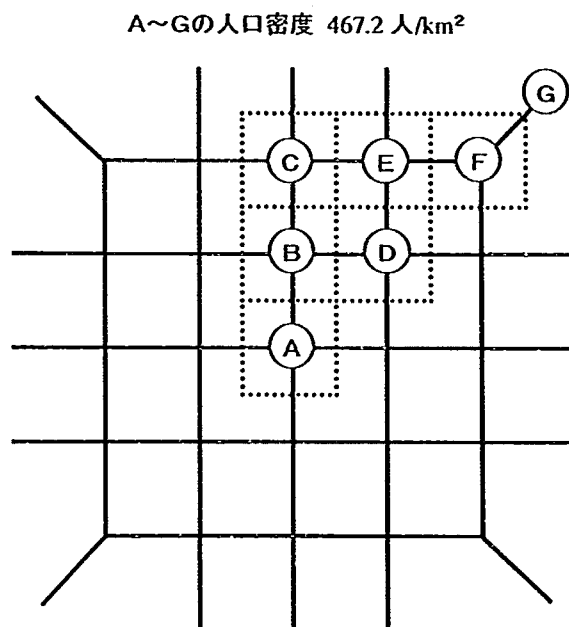


図-4.1.3(1) 各モデルにおける人口の分布（放射環状型モデル）



※ 格子型モデルでは、A~Gの各ゾーンにおいて人口密度は等しい。

図-4.1.3(2) 各モデルにおける人口の分布（格子型モデル）

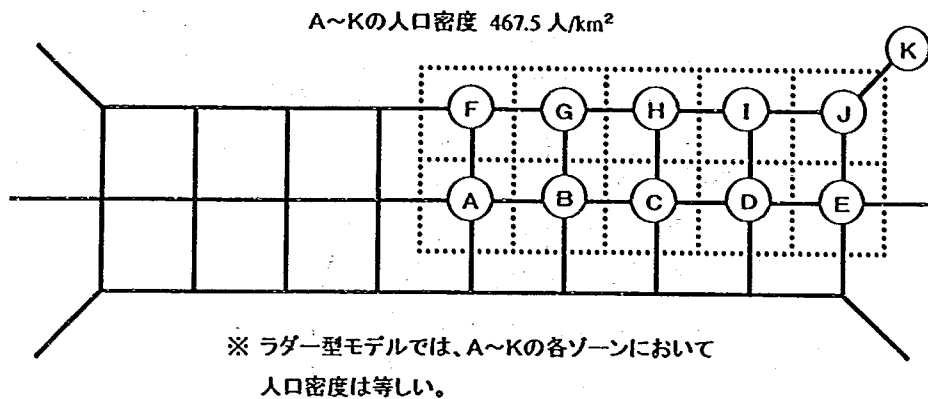


図-4.1.3(3) 各モデルにおける人口の分布（ラダー型モデル）

(4) 拠点数と拠点分布の設定

本研究では、緊急交通の対象として救急活動を想定し、対象となる拠点を医療機関とした。また、医療機関の単位面積あたり原単位として横浜・川崎を含む神奈川県全体での医療機関の密度0.0827箇所／km²を（表-4.1.5）を用いて総拠点数を設定した。

表-4.1.5 可住地面積当たりの拠点密度（単位：箇所／km²）

区 分		横浜市・ 川崎市	横浜・川崎以外			合 計
			市部	町村部	計	
行政・ ライフ ライン	一般行政機関	0.1529	0.0492	0.1045	0.0619	0.0946
	指定行政・公共機関	0.0406	0.0014	0	0.0011	0.0153
	ライフライン	0.0194	0.0042	0.0095	0.0054	0.0104
	交通関係	0.0232	0.0070	0	0.0054	0.0118
	計	0.2361	0.0619	0.1140	0.0738	0.1321
医療機関		0.1529	0.0464	0.0332	0.0434	0.0827
救急 救命	警察・自衛隊	0.0697	0.0366	0.0190	0.0326	0.0459
	消防署	0.0542	0.0338	0.0427	0.0358	0.0424
	計	0.1238	0.0703	0.0617	0.0684	0.0883
物流 拠点	ヘリポート	0.1219	0.0661	0.1045	0.0749	0.0918
	その他	0.0600	0.0521	0.0950	0.0619	0.0612
	計	0.1819	0.1182	0.1995	0.1367	0.1530
合 計		0.6947	0.2968	0.4084	0.3223	0.4561

※ 平成7年国勢調査等により集計

また、拠点の分布については、ネットワーク内における各ゾーンの拠点数を同一とした。これは、本研究では想定する緊急活動を救急活動としており、拠点となる病院は地域の人口に合わせて配置されているものと想定することができるためである。

4.1.3 総生成交通量の設定

背景交通と緊急交通の総生成量については、以下の方法で設定する。

(1) 背景交通の総生成量

各モデル地域全体の背景交通の総生成量は、関東地方建設局管内の地方生活圏内トリップ原単位（東京都を除く）をもとに設定する（表-4.1.6）。

$$\text{地方生活圏内トリップ原単位（東京都除く）} = 471 \text{トリップ} / \text{km}^2$$

（出典：平成6年道路交通センサス）

なお、各モデルネットワークの圏域面積は同一であるため、総生成量も同一となる。

表-4.1.6 背景交通の総生成量

ネットワーク	圏域面積 (総面積)	生成交通量の 原単位	総生成量 (背景交通)
① 放射環状型	1,967.7 km ²	471トリップ / km ²	926,787 トリップ
② 格子型			
③ ラダー型			

(2) 緊急交通の総生成量

ケーススタディーで扱う緊急交通は、被災地と拠点（医療施設）を結ぶ救急活動交通であり、各モデル地域全体の緊急交通の発生集中交通量は、各モデル内に発生する死者、行方不明者、負傷者（以下、「死傷者等」）の総数と、被災者数に対する交通発生原単位から求める。

阪神・淡路大震災における兵庫県内での死傷者等の合計は、41,181人であり、総人口に占める割合は0.76%であった⁸⁾。ここで、死傷者等の発生に対して拠点と被災地との間に往復のトリップが発生するものと考え、阪神・淡路大震災と同規模の災害を想定した場合におけるモデル地域の緊急交通の総生成量は表-4.1.7のように設定される。

表-4.1.7 緊急交通の総生成量

ネットワーク	モデル内の 総人口	負傷者等の数 (0.76%)	生成交通量の 原単位	総生成量 (緊急交通)
① 放射環状型	919,831人	6,991人	2トリップ / 負傷者 等の数	13,981 トリップ
② 格子型				
③ ラダー型				

4.1.4 リンクパフォーマンス関数の設定

各リンクの走行速度は、当該リンクに配分された交通量を、リンクごとに設定されたリンクパフォーマンス関数に適用して算出されるが、ここではリンクパフォーマンス関数としてQ-V関係を用いる。ケーススタディにおいては、各モデルネットワークの全ての区間で都市部の主要幹線（4車線）を想定し、各リンクのQ-V関係を図-4.1.4のように設定した。ここで V_d は設計速度、 C は設計交通容量であり、3種2級4車線の道路を想定し、道路構造令第5条の3号および第13条に基づき $V_d = 60\text{km/h}$ 、 $C = 36,000$ 台/日（1車線当たり 9,000台/日）と設定した。

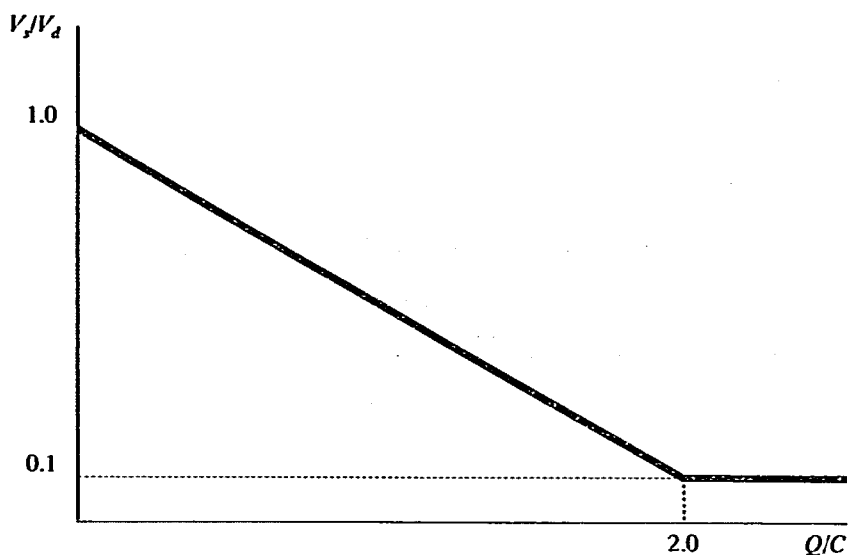


図-4.1.4 本研究で用いたリンクパフォーマンス関数

4.1.5 緊急活動の単位効果量関数の設定

緊急活動の単位効果量関数 $E^t(t)$ については、救急活動を想定し図-4.1.5に示す形状とした。

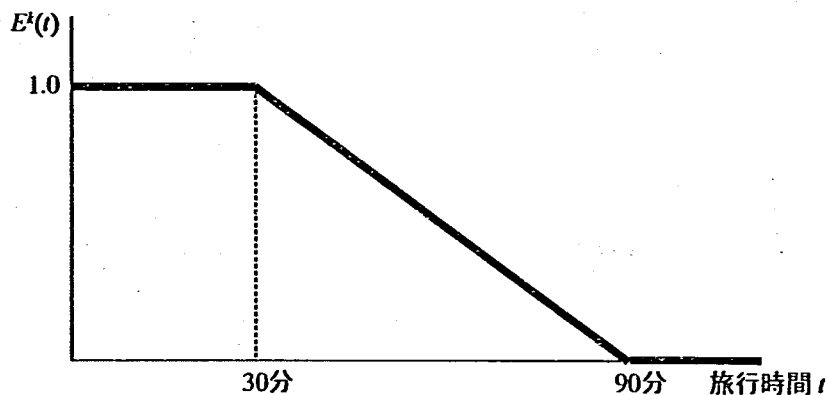


図-4.1.5 防災活動の単位効果量関数の設定

4.2 被災パターンの設定と道路ネットワーク耐震性の評価

本節では、4.1で設定した各モデルネットワークの被災パターンを設定し、それぞれについてネットワーク耐震性を計算する。また、4.3以降で耐震補強と交通規制の効果を比較するために、各パターンのうち特にネットワーク耐震性指標SPが低いものを抽出する。ここで道路ネットワークの被災に関しては、ネットワーク中のいくつかの区間が通行不能になるとし、リンクカットによって設定する。以下、被災パターンの設定、各被災パターンに対するSPの計算結果及び耐震補強と交通規制の効果比較を行うパターンの抽出について述べる。

4.2.1 被災パターンの設定

放射環状型、格子型、ラダー型の3つのモデルネットワークについて設定した被災パターンを図4.2.1(1)～(3)に示す。全パターンの共通の条件として、被災区間数すなわちカットするリンク数を4としている。この場合、各被災パターン間で総被災区間延長が異なるが、被災延長をセントロイド間の全リンク長としてもその間の一部区間であるとしても、ネットワーク耐震性指標SPの値は変わらない。被災リンクの選び方には多くの組み合わせがあるが、ここでは例えば放射路、環状路、南北幹線といった特定の路線が被災する場合や、地域中心部に被害が集中するパターンを選んだ。

カテゴリー	被災パターン		カテゴリー	被災パターン		
内環カット	内環カット1	内環カット2	内放射カット	内放射カット1	内放射カット2	内放射カット3
中環カット	中環カット1	中環カット2	中放射カット	中放射カット1	中放射カット2	中放射カット3
外環カット	外環カット1	外環カット2	外放射カット	外放射カット1	外放射カット2	外放射カット3

図4.2.1(1) 想定する被災パターン（放射環状型モデル）

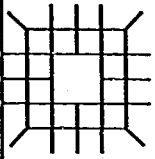
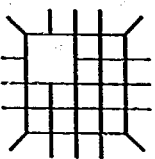
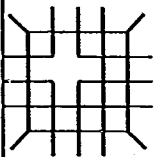
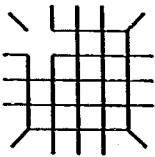
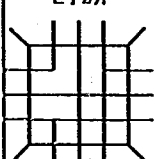
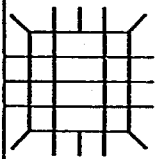
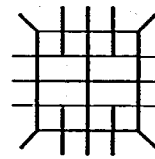
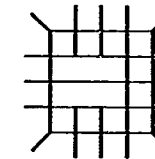
カテゴリー	被災パターン		
十字カット	都心十字カット	郊外十字カット	
			
矩形カット	都心矩形カット	郊外矩形カット	
			
L字カット	L字カット		
			
南北線カット	南北カット1	南北カット2	南北カット3
			

図-4.2.1(2) 想定する被災パターン（格子型モデル）

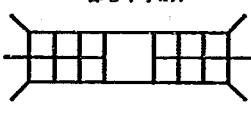
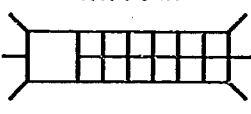
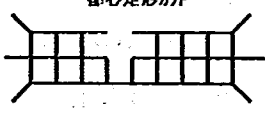
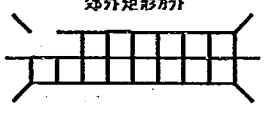
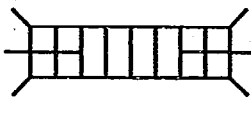
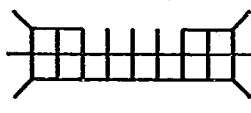
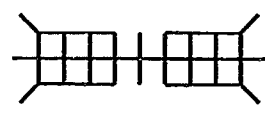
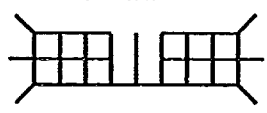
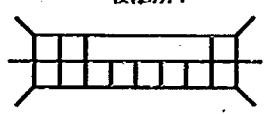
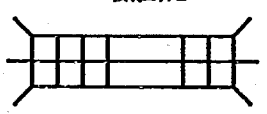
カテゴリー	被災パターン	
十字カット	都心十字カット	郊外十字カット
		
矩形カット	都心矩形カット	郊外矩形カット
		
幹線カット	中幹線カット	北幹線カット
		
	南・北幹線カット	中・北幹線カット
		
枝線カット	枝線カット1	枝線カット2
		

図-4.2.1(3) 想定する被災パターン（ラダー型モデル）

4.2.2 ネットワーク耐震性の評価と対象パターンの絞り込み

各被災パターンについてネットワーク耐震性指標 SP を算定した結果を図4.2.2～4.2.4に示す。グラフは各モデルネットワークにおける被災パターンを横軸とし、被災パターンごとの SP を縦軸に表している。また、比較のため、被災なしの場合における SP も併記した。なお、各モデルネットワークともに被災なしの場合においても SP が若干1.0を下回っているが、これは、平常時においても背景交通の混雑の影響を受けて、緊急交通が完全には満足されない状況が発生していることによる。

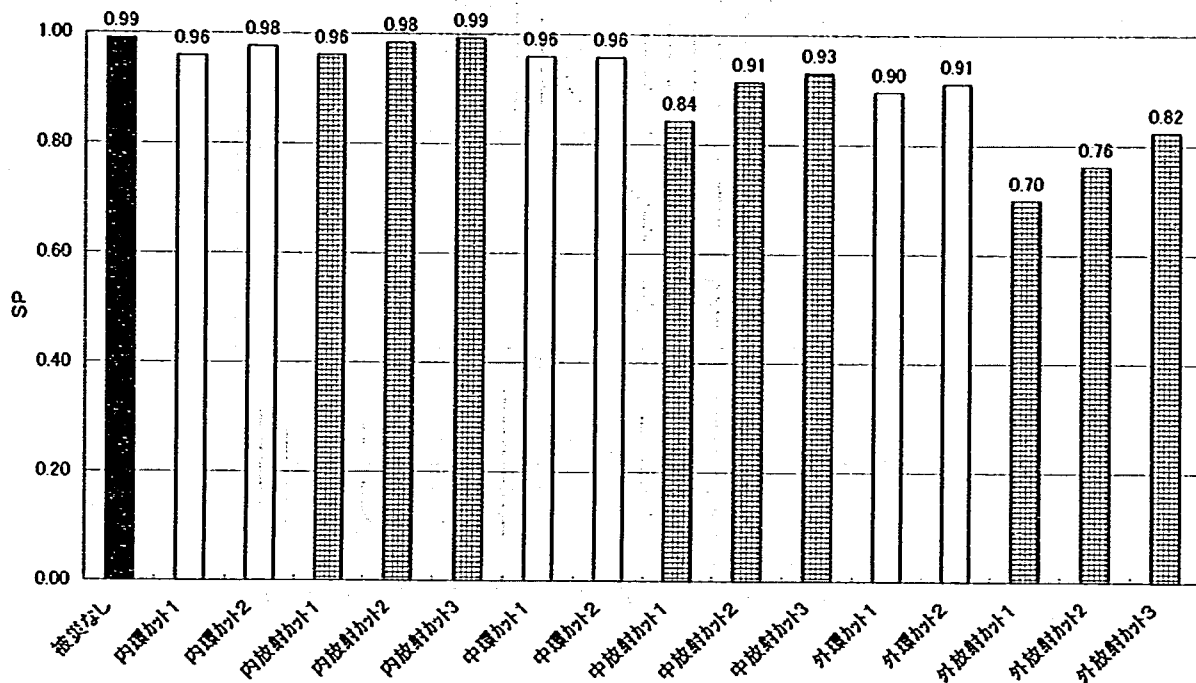


図4.2.2 被災パターンごとのネットワーク耐震性（放射環状型モデル）

放射環状型モデルにおいては、内環カットなどモデル中心に被災が集中するパターンよりも、外環カットなどモデル外縁に被災が発生するパターンの方が SP の低下が顕著である。また、外放射カット1、2、3については、連続する道路区間が被災する外放射カット1の方が、被災区間が散在する外放射カット3よりも SP が低く、同様のことは他のカテゴリーでもみられる。このことは、被災の規模が同程度であれば、迂回に要する距離が長い方がネットワーク耐震性指標 SP の低下が顕著であることを示している。

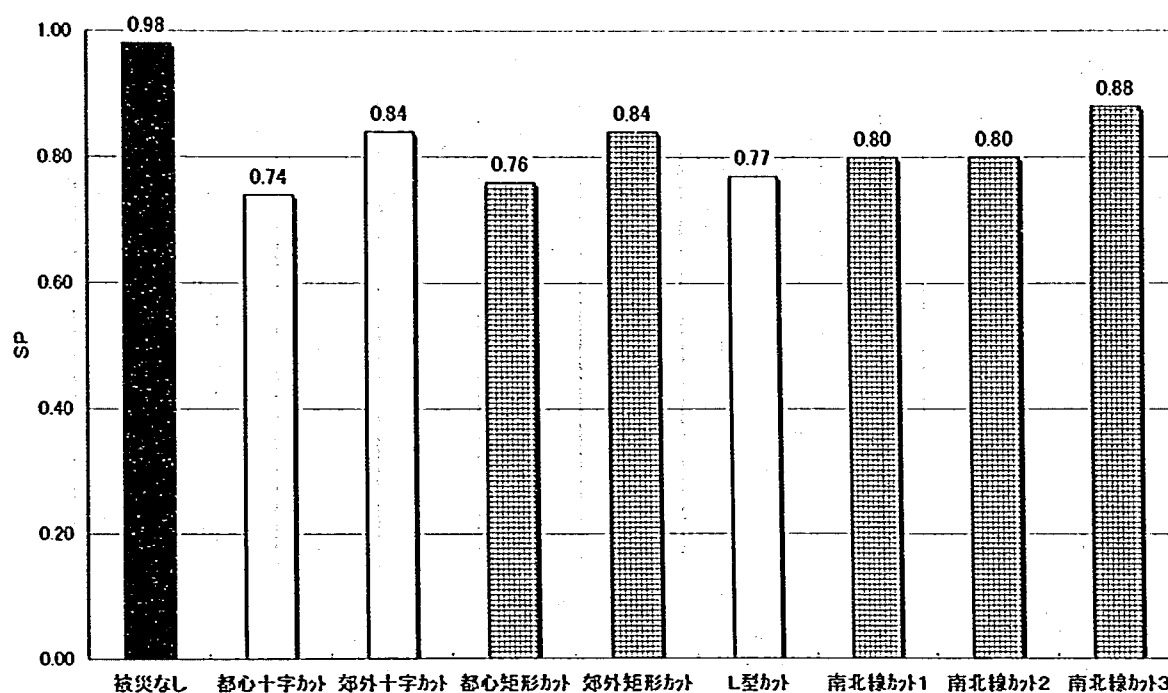


図-4.2.3 被災パターンごとのネットワーク耐震性（格子型モデル）

格子型モデルでは、ネットワーク耐震性指標 SP が放射環状型モデルに比べて全体的に低い（図-4.2.3）。これは、そもそも格子型モデルの各リンクの走行速度が放射環状型モデルに比べて小さいためであり（巻末資料2）、しかも被災なしの場合において、リンク走行時間（リンク長／リンク走行速度）がケーススタディーで設定した単位効果量関数の閾値（30分）に近い場合、被災なしの場合で緊急活動が満足されていても、わずかな被災で緊急活動の効果量が低下し、ネットワーク耐震性が低下するためである。

また、都心十字カットと郊外十字カット、都心矩形カットと郊外矩形カットを比べると、モデル中心に近い都心十字カットと都心矩形カットの方が SP の低下が大きく、多くのゾーン間最短経路が通過する中心の区間の方が外側の区間よりも区間重要性は高いと考えられる。

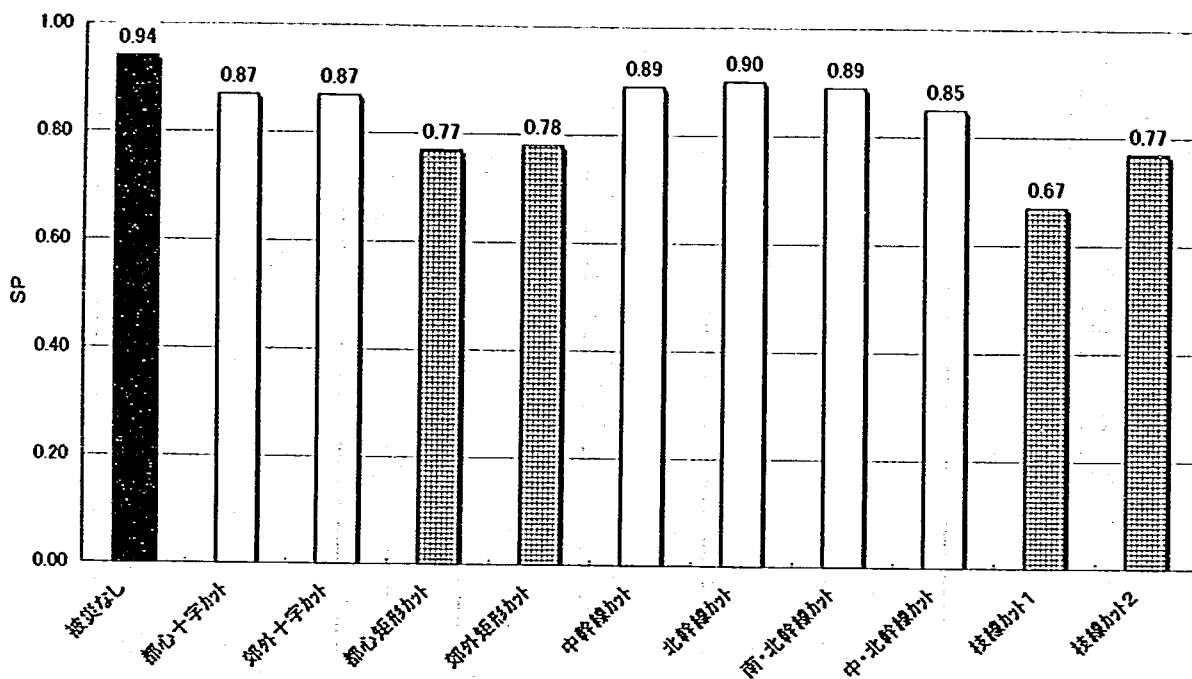


図-4.2.4 被災パターンごとのネットワーク耐震性（ラダー型モデル）

ラダー型モデルでは、ネットワーク耐震性指標 SP が放射環状型モデルに比べて全体的に低い（図-4.2.4）。これは、ラダー型モデルが東西に長く、東西方向のリンクが3本に限られ、平常時（被災なし）の場合でも幹線においてリンク速度が大きく低下していることによる（巻末資料2）。例えば、矩形カットや枝線カットでは、区間被災によって緊急交通が利用可能な幹線ルート of 走行速度が大きく低下するため、 SP の低下が著しい。ただし、十字カットでは枝線が被災しているにも関わらず SP が高いが、これは、孤立交通が生じてネットワークの交通負荷が軽減されていることによると考えられる。

また、枝線の被災パターンでは、枝線カット1の方が枝線カット2よりも SP が低い、これは交通の迂回に要する距離の違いによるものと考えられる。

以上の結果から、耐震補強と交通規制の効果を比較するための被災パターンとしてネットワーク耐震性指標SPが低いものを4パターンずつ選定した（表-4.2.1）。

表-4.2.1 4.3で用いる被災パターンの選定

ネットワーク	カテゴリー	被災パターン	ネットワーク耐震性指標 SP	対象パターン
放射環状型モデル	内環カット	内環カット 1	0.96	
		内環カット 2	0.98	
	中環カット	中環カット 1	0.96	○
		中環カット 2	0.96	
	外環カット	外環カット 1	0.90	○
		外環カット 2	0.91	
	内放射カット	内放射カット 1	0.96	
		内放射カット 2	0.98	
		内放射カット 3	0.99	
	中放射カット	中放射カット 1	0.84	○
		中放射カット 2	0.91	
		中放射カット 3	0.93	
	外放射カット	外放射カット 1	0.70	○
		外放射カット 2	0.76	
		外放射カット 3	0.82	
格子型モデル	十字カット	都心十字カット	0.74	○
		郊外十字カット	0.84	
	矩形カット	都心矩形カット	0.76	○
		郊外矩形カット	0.84	
	L字カット	L字カット	0.77	○
	南北線カット	南北線カット 1	0.80	○
		南北線カット 2	0.80	
		南北線カット 3	0.88	
ラダー型モデル	十字カット	都心十字カット	0.86	○
		郊外十字カット	0.86	
	矩形カット	都心矩形カット	0.77	○
		郊外矩形カット	0.78	
	幹線カット	中・北幹線カット	0.85	○
		中幹線カット	0.89	
		北幹線カット	0.90	
		南・北幹線カット	0.89	
	枝線カット	枝線カット 1	0.67	○
		枝線カット 2	0.77	

4.3 耐震補強と交通規制の効果比較

本節では、4.2で選択した被災パターンについて、耐震補強と交通規制それぞれの防災活動に対する効果すなわちネットワーク耐震性指標 SP の向上量を比較検討する。また、背景交通1台当たりの走行時間 $TTPV$ についても比較し、背景交通に対する影響の大きさを考慮する。

4.3.1 耐震補強区間の設定

耐震補強の効果は、区間重要性指標 LI を用いて算定する。ここで LI は式(3.2)で示したように、各被災パターンにおいて着目する区間を復活させたときのネットワーク耐震性指標 SP の向上度として計算される。着目する区間は図-4.3.1に示すとおりであり、それぞれのネットワークの対称性を考慮して設定した。

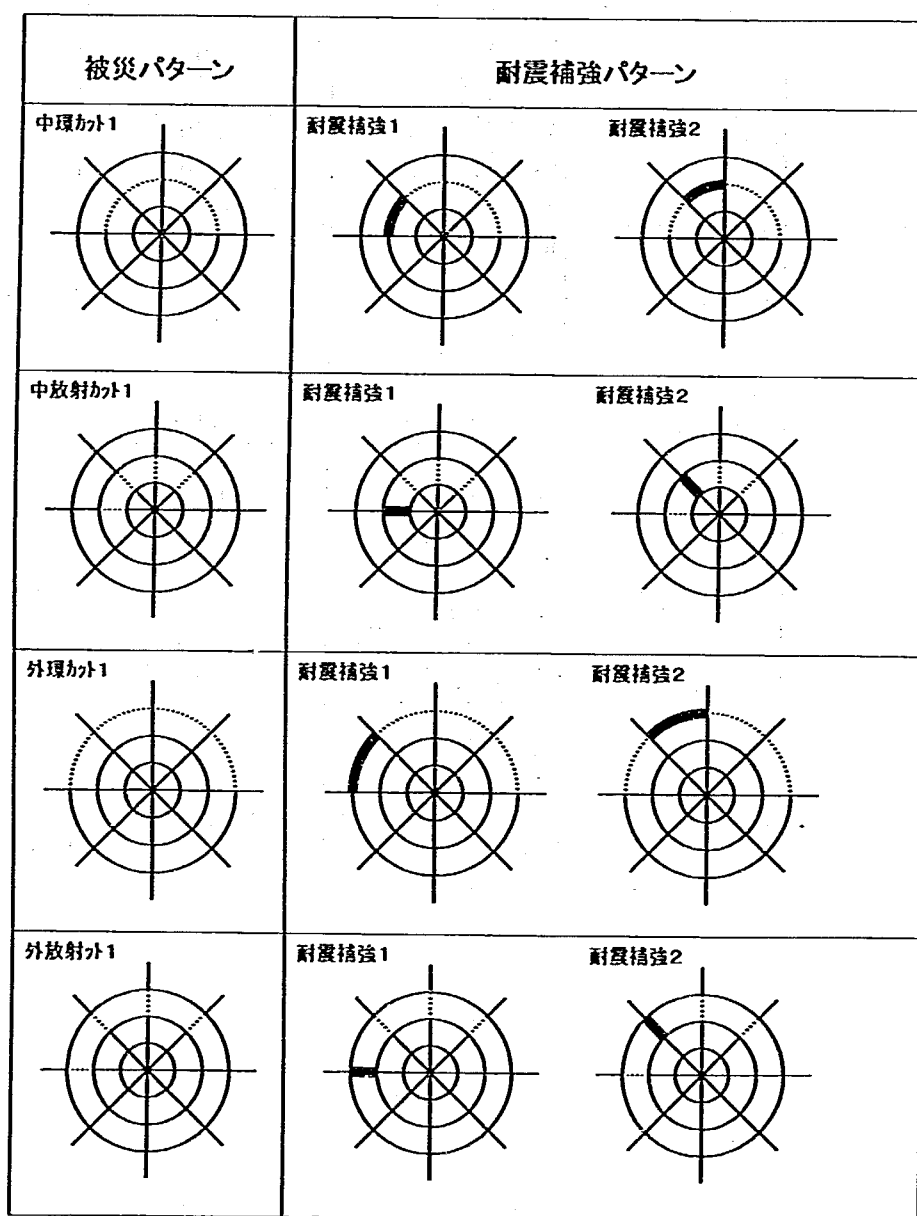


図-4.3.1(1) 耐震補強パターン (放射環状型モデル)

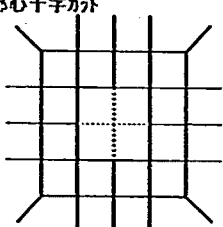
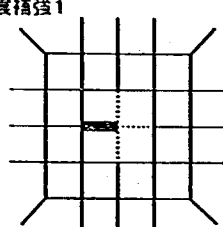
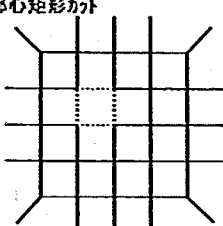
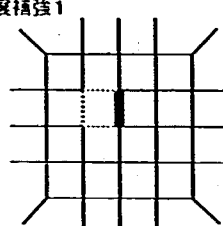
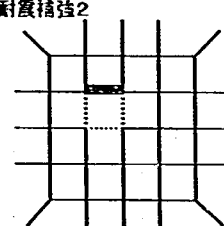
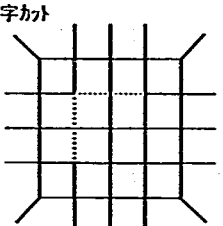
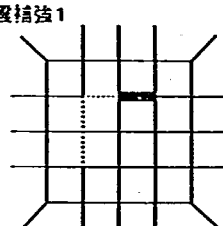
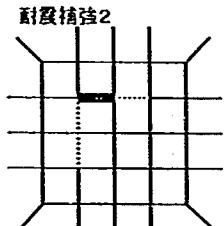
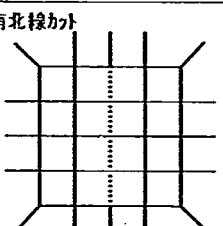
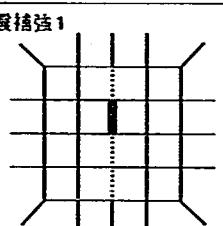
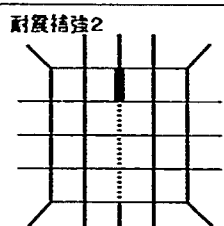
被災パターン	耐震補強パターン	
都心十字カット 	耐震補強1 	
都心矩形カット 	耐震補強1 	耐震補強2 
L字カット 	耐震補強1 	耐震補強2 
南北線カット 	耐震補強1 	耐震補強2 

図-4.3.1(2) 耐震補強パターン (格子型モデル)

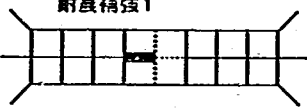
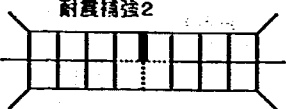
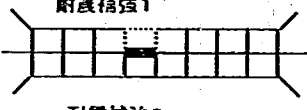
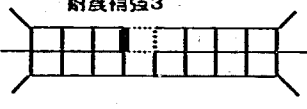
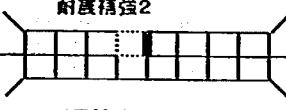
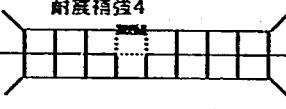
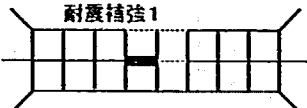
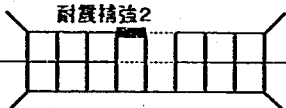
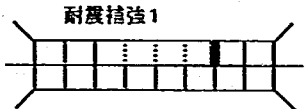
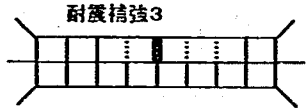
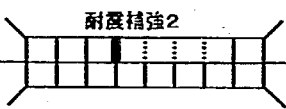
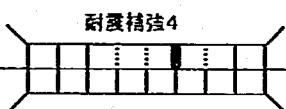
被災パターン	耐震補強パターン	
都心十字カット	耐震補強1 	耐震補強2 
都心矩形カット	耐震補強1  耐震補強3 	耐震補強2  耐震補強4 
中・北幹線カット	耐震補強1 	耐震補強2 
枝線カット1	耐震補強1  耐震補強3 	耐震補強2  耐震補強4 

図-4.3.1(3) 耐震補強パターン (ラダー型モデル)

4.3.2 交通規制パターンの設定

交通規制の効果は、式 (3.2) で示したように、交通規制の有無によるネットワーク耐震性指標の差 ΔSP を用いて算定する。災害時の交通規制には、被災道路区間とその周辺で実施する局地的な規制と、ネットワーク全体で体系的に実施される広域的な規制が考えられる。局所的な規制については被害状況等により臨機応変に実施されるため規制パターンは様々であるが、広域的な規制については平常時においてあらかじめ規制パターンが設定される。本研究では、各モデルネットワークに対し図-4.3.2(1)～(3)に示す広域的な交通規制パターンを想定する。ただしここで、方向規制については図-3.1.12に示したように背景交通に対して矢印方向のみを許し、緊急交通に対しては双方向の通行を可能とする。このため、緊急交通の走行速度は、矢印方向では背景交通の影響により低下し、その逆方向では自由走行速度 (60km/h) となる。また、防災レーンについては双方向とも緊急交通の速度が自由走行速度となる。

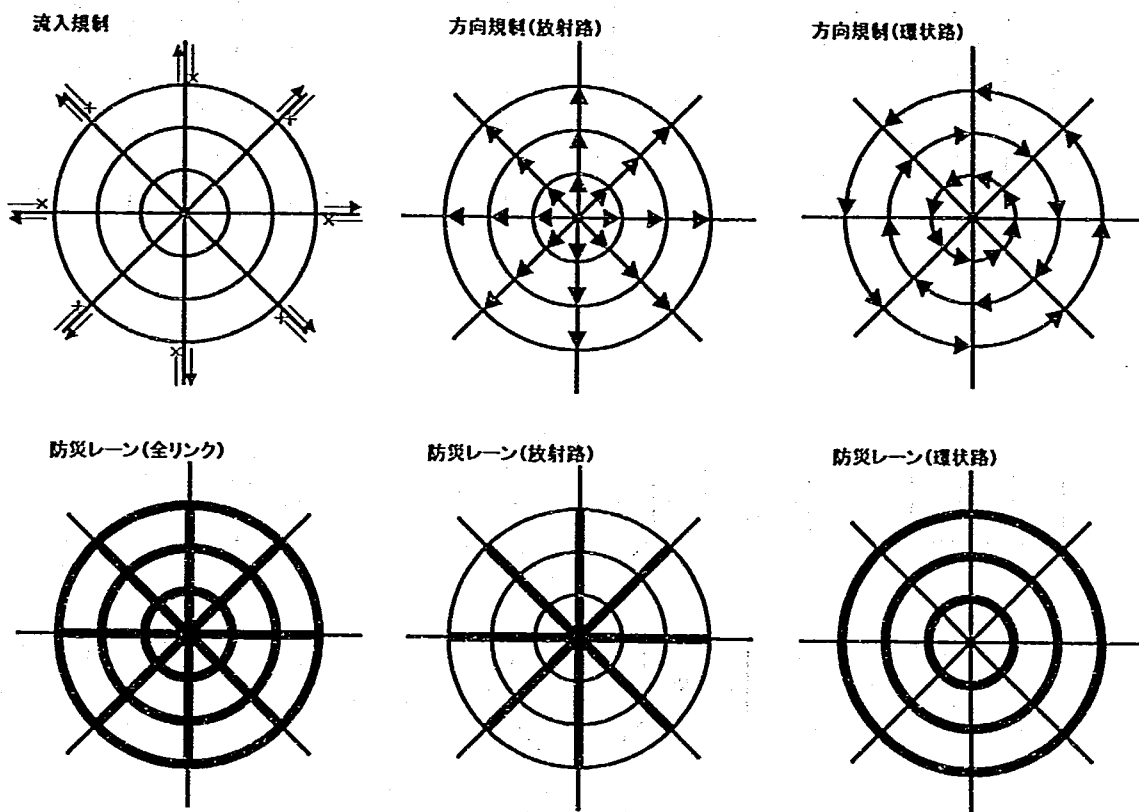
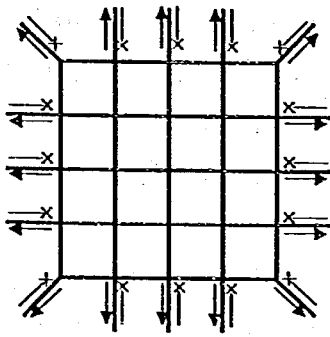
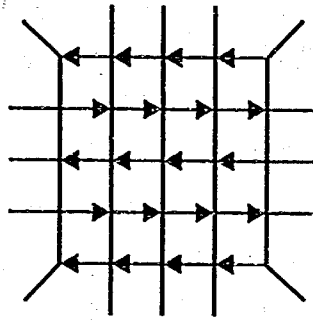


図-4.3.2(1) 交通規制パターン (放射環状型モデル)

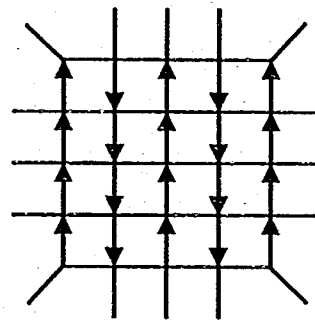
流入規制



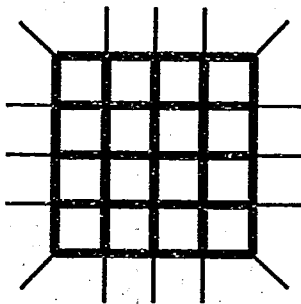
方向規制(東西線)



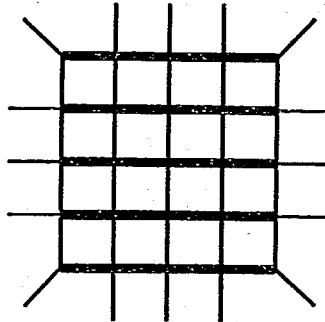
方向規制(南北線)



防災レーン(全リンク)



防災レーン(東西線)



防災レーン(南北線)

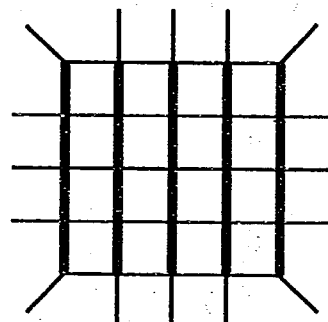
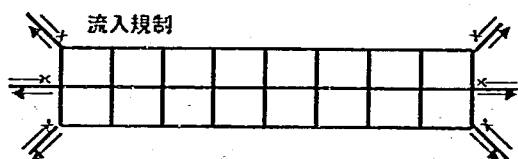
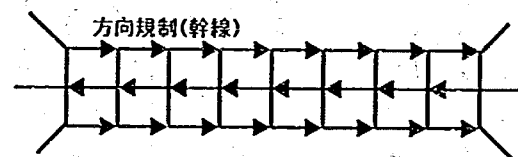


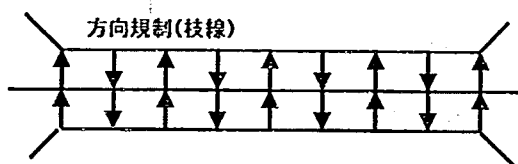
図-4.3.2(2) 交通規制パターン (格子型モデル)



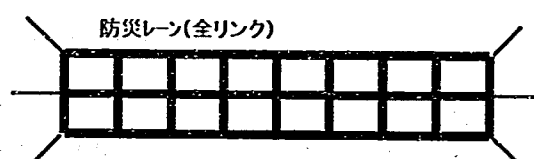
流入規制



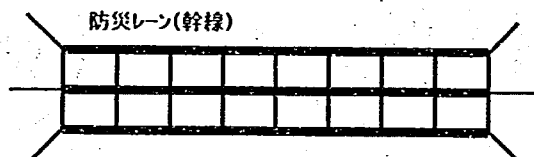
方向規制(幹線)



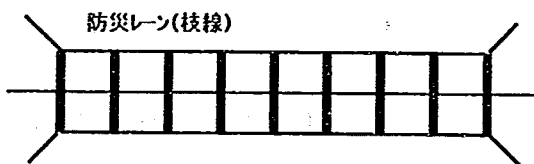
方向規制(枝線)



防災レーン(全リンク)



防災レーン(幹線)



防災レーン(枝線)

図-4.3.2(3) 交通規制パターン (ラダー型モデル)

4.3.3 耐震補強と交通規制の効果比較

区間重要性指標 LI と交通規制の効果量 ΔSP は、耐震補強または交通規制の対策実施前のネットワーク耐震性指標 SP と対策実施後のネットワーク耐震性指標 SP' との差を表すものであり、この2つの指標は等価である。そこで、各被災パターンでの LI と ΔSP をひとつのグラフ上に表し、比較検討を行う。また、背景交通1台当たりの走行時間 $TTPV$ についてもグラフ上に示し、それぞれの対策が及ぼす背景交通への影響についても検討する。各図の左縦軸には SP を示し、図の右縦軸には $TTPV$ を示す。

(1) 放射環状型モデルでの効果比較

放射環状型モデルの各被災パターンにおける耐震補強と交通規制の効果比較結果（図-4.3.3）は、次のように整理することができる。

- 耐震補強のネットワーク耐震性指標 SP は、補強しない場合に比べて必ず向上しており、耐震性向上の度合いは、被災による耐震性指標の低下が著しい被災パターンの方が大きい。また、耐震性指標向上の度合いが大きいほど、背景交通1台当たりの走行時間 $TTPV$ の減少の度合いも大きい。
- 流入規制を実施することにより、域内の背景交通量の総和は減少し（表-4.3.1）、 $TTPV$ が短縮され、 SP が向上する。ただし、域外から背景交通は流入できない。
- 放射路を対象とした方向規制では、 $TTPV$ が短縮され、 SP が向上する。これは方向規制により域内において孤立交通が生じ、域内交通量が減少しているためで、有効交通量（総生成交通量から孤立交通量を除いた交通量）は低下している（表-4.3.1）。

表-4.3.1 各ケースにおける背景交通の有効交通量比率（放射環状型モデル）

	平常時	被災時	補強1	補強2	流入規制	方向規制		防災レーン		
						(放射路)	(環状路)	(全リンク)	(放射路)	(環状路)
中環カット1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	0.64	1.00	1.00	1.00	1.00
中放射カット1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00
外環カット1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	0.61	1.00	1.00	1.00	1.00
外放射カット1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.85	0.67	1.00	1.00	1.00	1.00

※ 有効交通量比率：（総生成交通量－孤立交通量）／総生成交通量

- 環状路を対象とした方向規制では、被災パターンの違いによってネットワーク耐震性指標の変化量 ΔSP に大きな違いがみられる。具体的には、外放射カット1を除いて SP の向上はみられず、中環カット1では規制により SP は大きく低下している。また、外放射カット1における環状路の方向規制では、緊急交通をほぼ満足しているものの、 $TTPV$ は際立って増加している。これは、方向規制の場合、背景交通への交通サービス供給量が半減するため、規制パターンによっては速度が大きく低下する場合があります、このようなケースでは緊急活動が影響を受け SP が低下するが（中環カット1、中放射カット1、外環カット1）、規制されていない方向の車線を走行することにより SP が向上する場合もある（外放射カット1）。

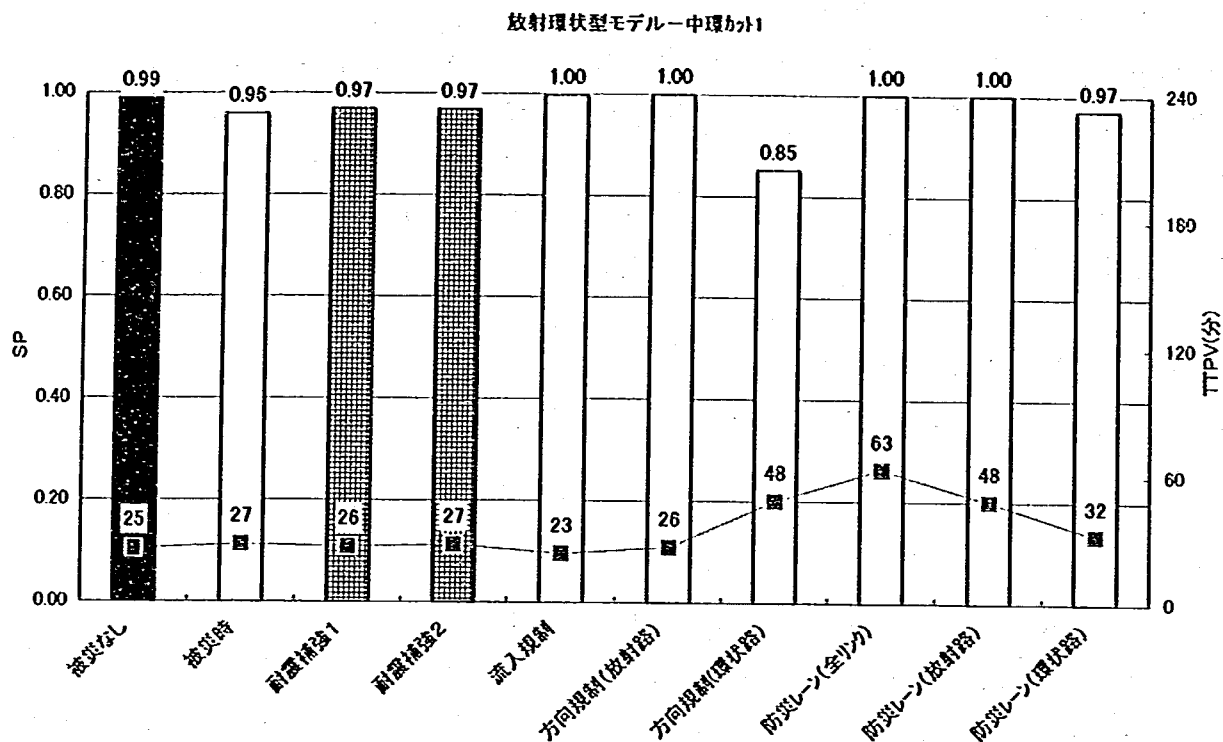


図-4.3.3(1) 耐震補強と交通規制の効果比較 (放射環状型モデル)

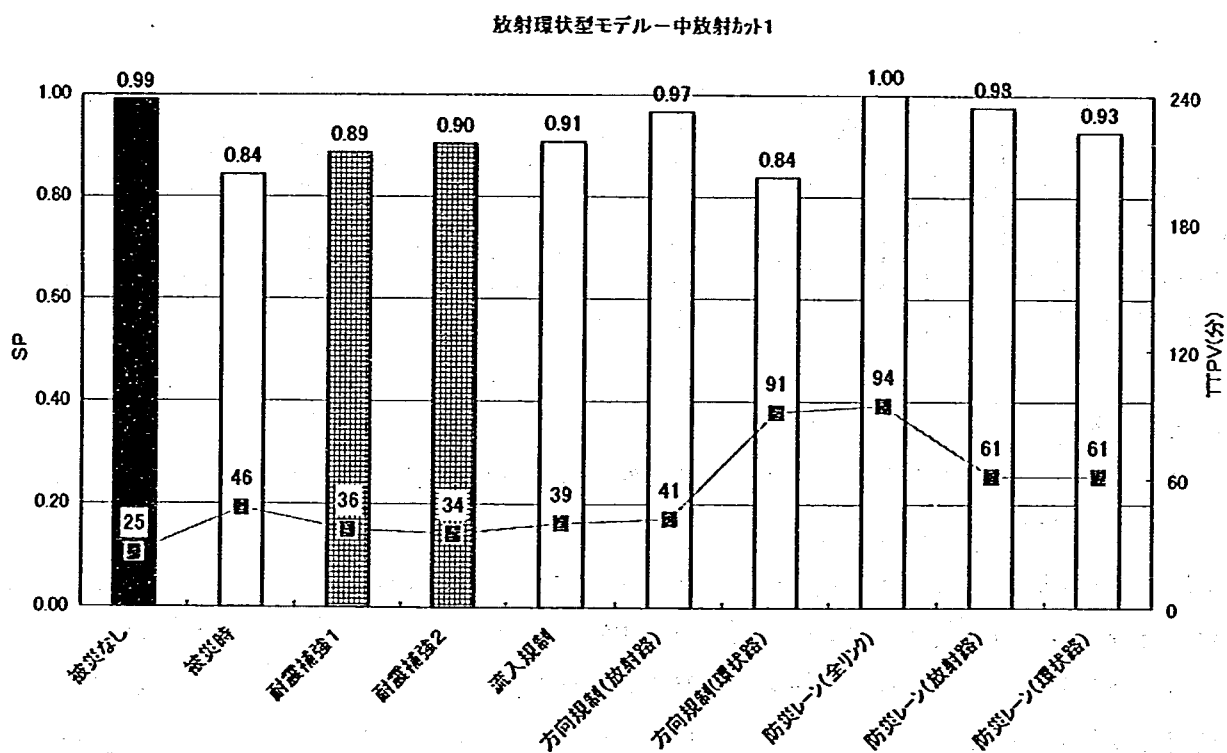


図-4.3.3(2) 耐震補強と交通規制の効果比較 (放射環状型モデル)

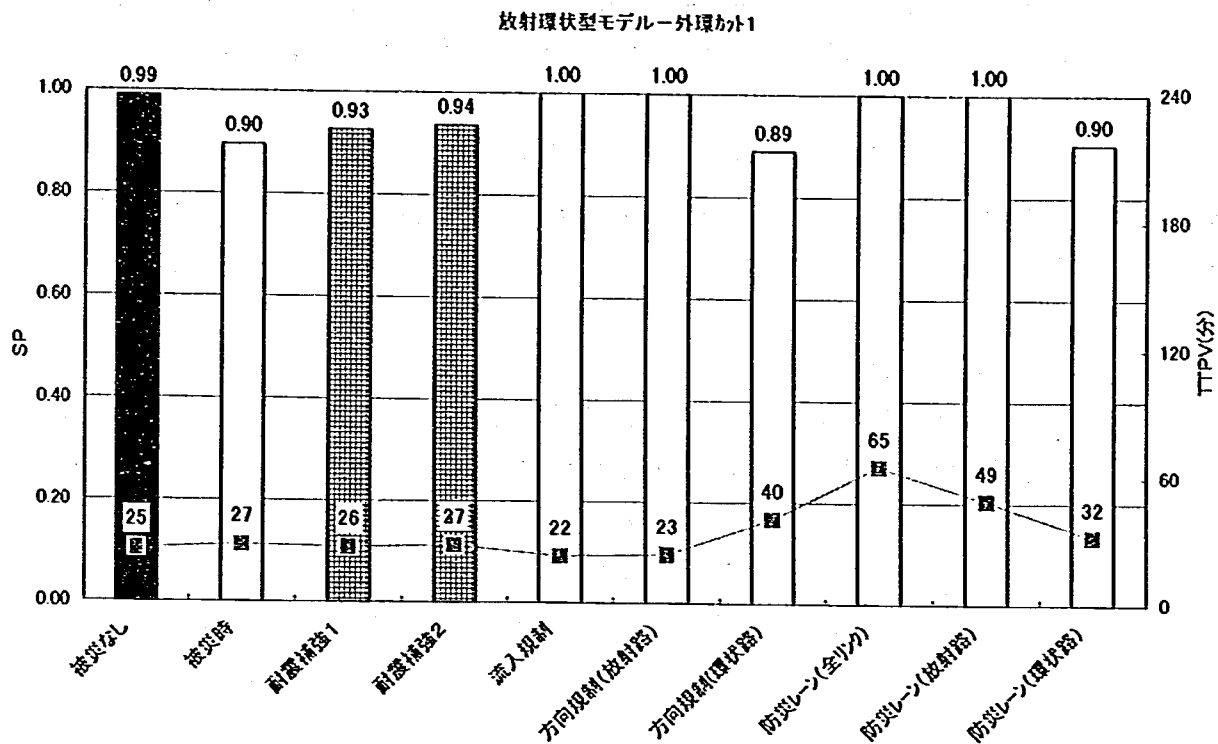


図-4.3.3(3) 耐震補強と交通規制の効果比較 (放射環状型モデル)

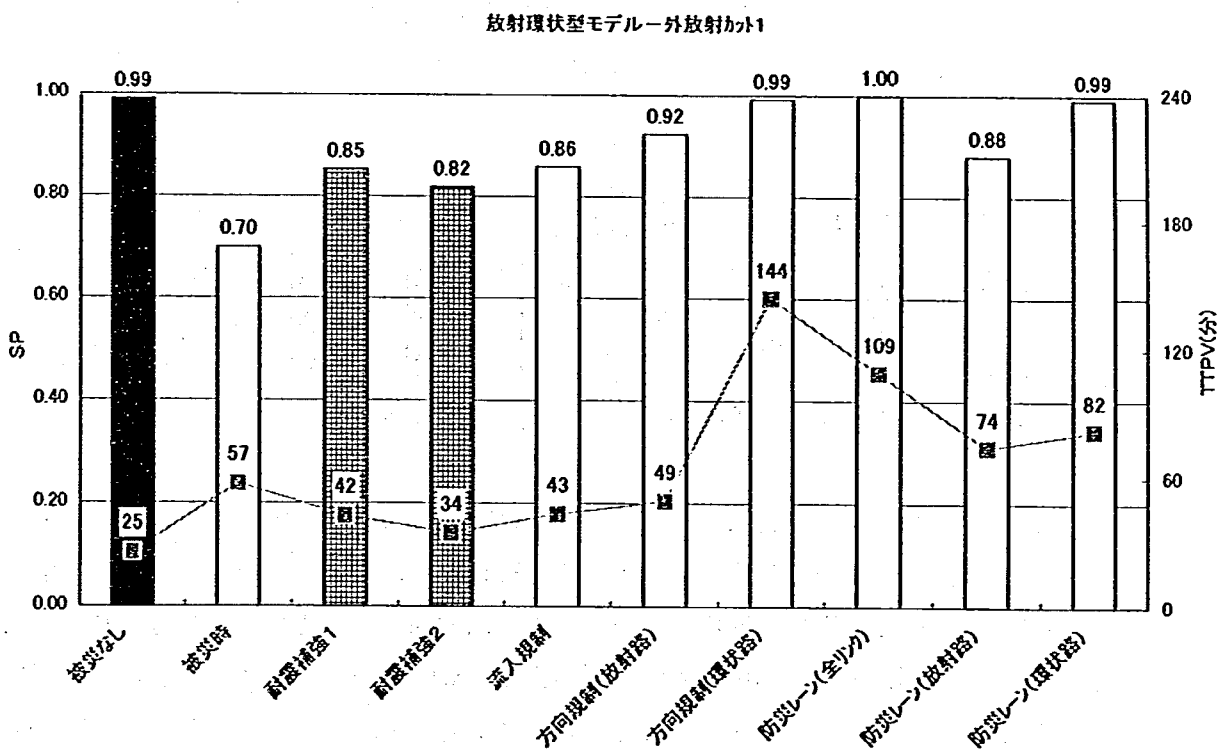


図-4.3.3(4) 耐震補強と交通規制の効果比較 (放射環状型モデル)

- 防災レーンを設置した場合、設定区間を通過する緊急交通には自由走行速度が与えられるため、ネットワーク耐震性指標SPが向上し、背景交通1台当たりの走行時間TTPVは、交通サービス供給量が減少することにより増加している。特に全リンクに防災レーンを設置した場合には、 $SP=1.0$ と、被災なしの場合の $SP=0.99$ を上回る。ただし背景交通の通行は相当制限されるため、TTPVは大きく増加する。このほか、外放射カット1において放射路にレーンを設置した場合の効果は放射路を一区間補強する効果と等しい。

(2) 格子型モデルでの効果比較

格子型モデルでは、ネットワーク耐震性指標SPが放射環状型モデルに比べて全体的に低い(図-4.3.4)。これは、そもそも格子型モデルの各リンクの走行速度が放射環状型モデルに比べて低いためであり(巻末資料2)、しかも被災なしの場合において、リンク走行時間(リンク長/リンク走行速度)がケーススタディーで設定した単位効果量関数の閾値(30分)に近い場合、被災なしの場合で緊急活動が満足されていても、わずかな被災で緊急活動の効果量が低下し、ネットワーク耐震性が低下するためである。

- 耐震補強を図った場合については、着目した区間を補強することにより、耐震補強を行わない場合に比べてSPは必ず向上しているが、着目した補強区間の違いによる耐震性の違いはあまりみられない。ただし、南北線カット1においては、補強によって連続する被災区間の延長が短くなる耐震補強1の方がSPの向上度が高く、背景交通1台当たりの走行時間TTPVも短縮されている。
- 流入規制を実施することにより、域内の交通量の総和は減少し(表-4.3.2)、TTPVが減少し、SPは向上する。

表-4.3.2 各ケースにおける背景交通の有効交通量比率(格子型モデル)

	平常時	被災時	補強1	補強2	流入規制	方向規制		防災レーン		
						東西	南北	全リンク	東西	南北
都心十字カット	1.00	0.94	1.00	-	0.65	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
都心矩形カット	1.00	1.00	1.00	1.00	0.71	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
L字カット	1.00	1.00	1.00	1.00	0.71	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
南北線カット1	1.00	1.00	1.00	1.00	0.71	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

※ 有効交通量比率：(総生成交通量-孤立交通量)/総生成交通量

- 方向規制では、南北線カット1を除くすべての被災パターンにおいてSPが向上しているが、TTPVは増加している。また、格子型モデルではモデルの対称性から、南北線カット1を除き、東西、南北の規制方向による耐震性の違いはみられない。なお、南北線カット1においては、南北方向規制ではSPが向上しているが、東西方向規制では規制前よりもSPが低下している。これは、規制により南北線の混雑度が増し、南北線を使った緊急交通が著しく阻害されたことによると考えられる。

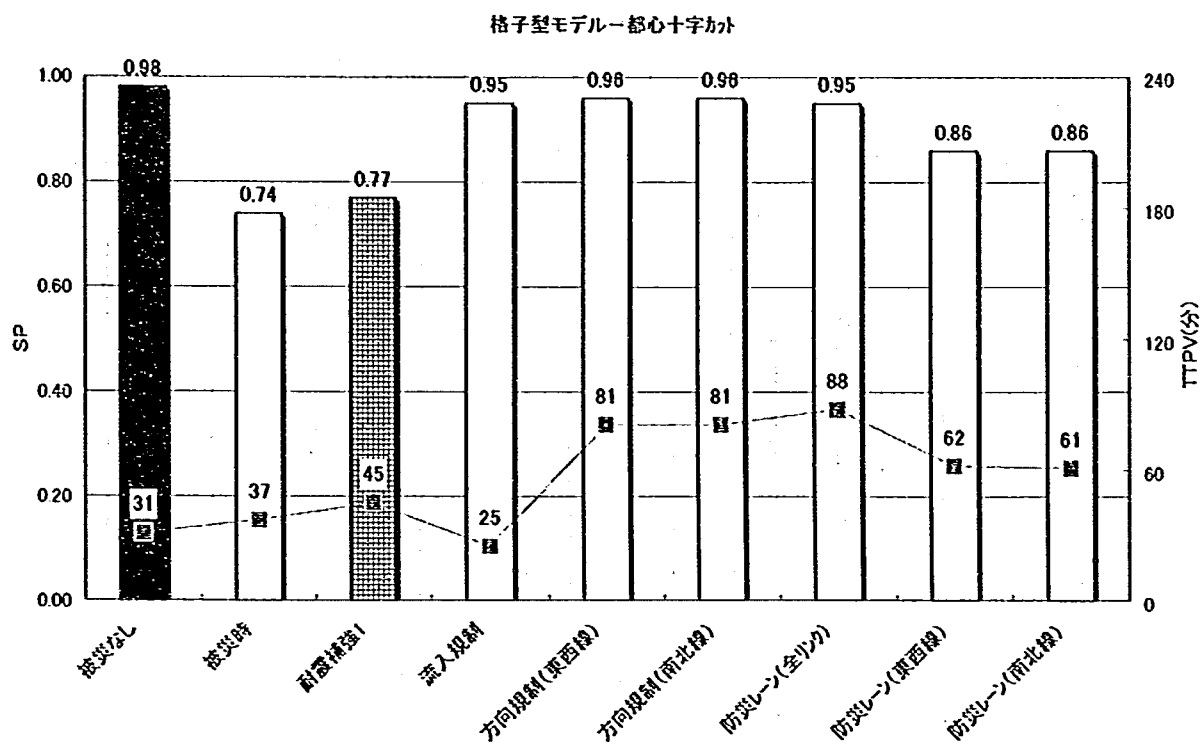


図-4.3.4(1) 耐震補強と交通規制の効果比較 (格子型モデル)

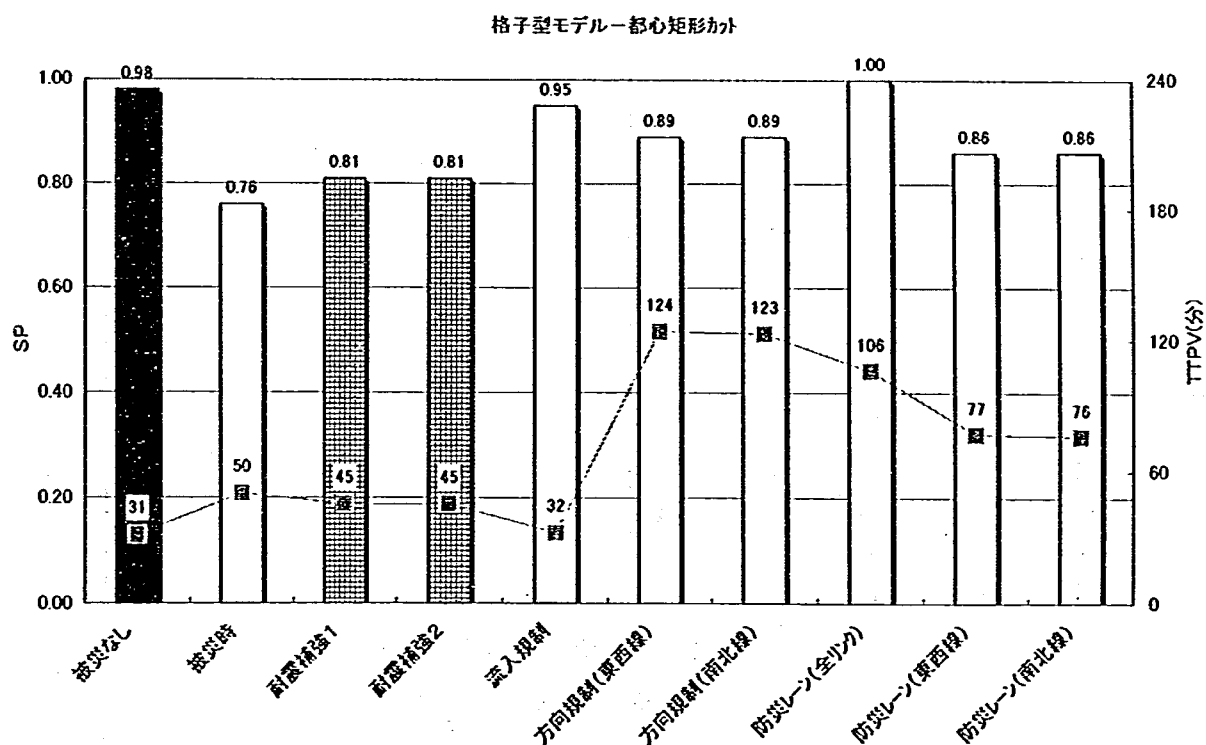


図-4.3.4(2) 耐震補強と交通規制の効果比較 (格子型モデル)

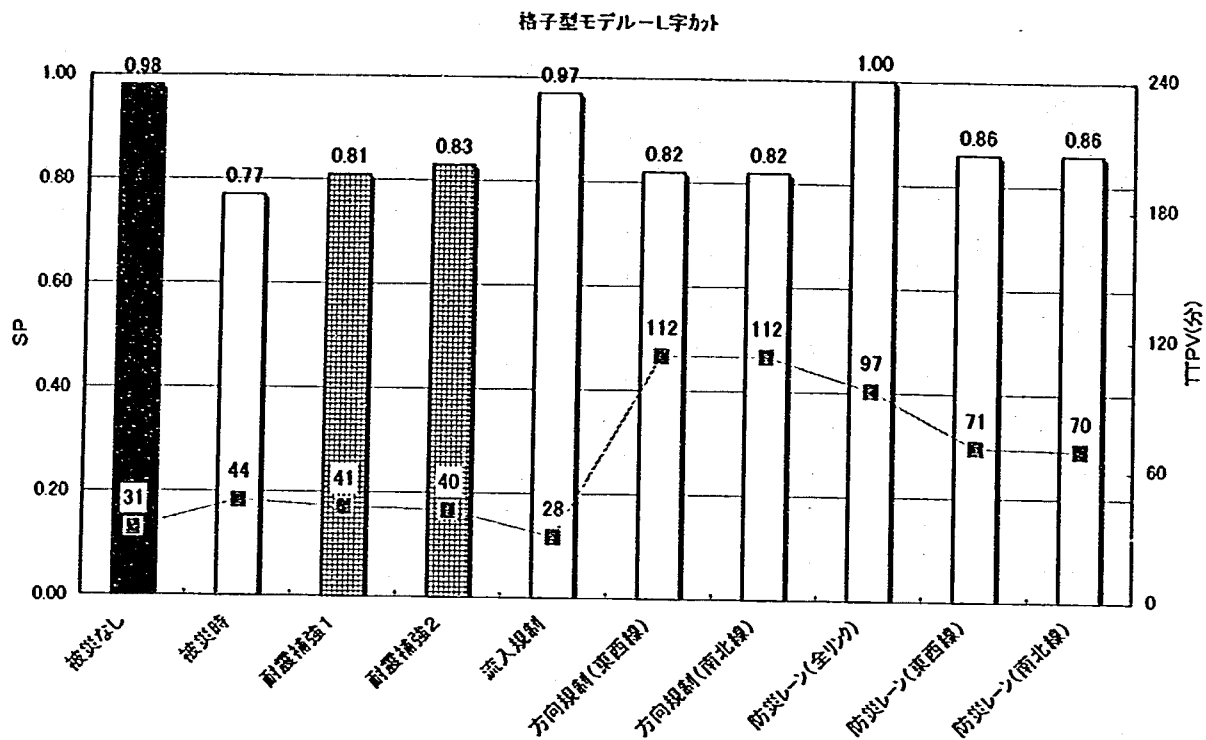


図-4.3.4(3) 耐震補強と交通規制の効果比較 (格子型モデル)

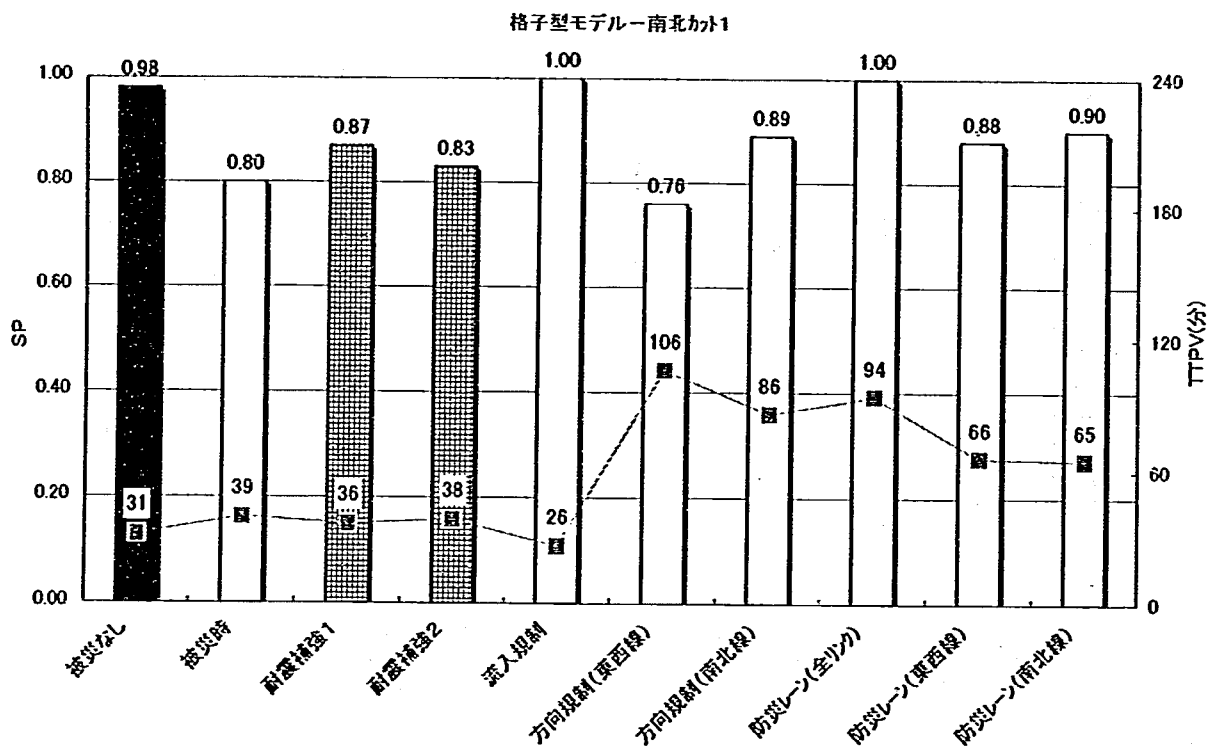


図-4.3.4(4) 耐震補強と交通規制の効果比較 (格子型モデル)

- 防災レーンを設置した場合、設定区間を通過する緊急交通には自由走行速度が与えられるため、ネットワーク耐震性指標SPが向上し、背景交通1台当たりの走行時間TTPVは、交通サービス供給量が減少することにより増加している。特に全リンクに防災レーンを設置した場合には、緊急交通の孤立が生じる都心十字カットを除き $SP=1.0$ と、被災なしの場合の $SP=0.98$ を上回る。ただし背景交通の通行は相当制限されるため、TTPVは大きく増加する。なお、格子型モデルでは、その対称性から南北線カット1を除き防災レーンの設置方向による耐震性の違いはみられないが、南北線カット1では、南北線に防災レーンを設置した方が東西線に防災レーンを設置した場合よりも効果量 ΔSP はやや高い。

(3) ラダー型モデルでの効果比較

ラダー型モデルでは、ネットワーク耐震性指標SPが放射環状型モデルに比べて全体的に低い（図-4.3.5）。これはラダー型モデルが東西に長く、東西方向の経路選択が制限されるためであり、幹線リンクにおいては被災なしの場合でもリンク速度が大きく低下している（巻末資料2）。

- 耐震補強を図った場合については、着目した区間を補強することによりネットワーク耐震性指標SPは必ず向上している。また、ラダー型モデルでは着目する補強区間によりSPの向上度に差がみられ、幹線（東西線）での耐震補強ではあまり効果がなく、枝線（南北線）の耐震補強の方が高い効果が得られた。これは、ラダー型モデルでは東西方向のルート選択肢が限られているため、幹線の混雑が他のモデルネットワークに比べても生じ易く、耐震補強によって連結リンク数が一本増えても幹線の混雑解消にさほど効果が無いことと、幹線のリンク長が枝線のリンク長よりも長く設定されているため、緊急交通が枝線に集中しているためと考えられる。また、背景交通1台当たりの走行時間TTPVは、都心十字カットを除くすべてのケースにおいて短縮される。なお、都心十字カットにおいて、耐震補強によりTTPVが増加するのは、被災状態で孤立していた交通が復活するため、交通不可が増加すると考えられる。
- 流入規制を実施することにより、域内の交通量の総和は減少し（表-4.3.3）、TTPVが減少してSPが向上する。なお、流入規制によるSPの向上度は他の2つのモデルに比べて少ない。これは域外ノード数が少ないことや、域外ノードがモデルネットワークの両端にのみ設定されていることなどが原因と考えられる。

表-4.3.3 各ケースにおける背景交通の有効交通量比率（ラダー型モデル）

	平常時	被災時	補強1	補強2	補強3	補強4	流入規制	方向規制		防災レーン		
								幹線	枝線	全リンク	幹線	枝線
都心十字カット	1.00	0.92	1.00	1.00	—	—	0.82	0.80	0.92	0.92	0.92	0.92
都心矩形カット	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.83	1.00	1.00	1.00	1.00
中・北幹線カット	1.00	1.00	1.00	1.00	—	—	0.90	0.85	0.93	1.00	1.00	1.00
枝線カット1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

※ 有効交通量比率：（総生成交通量－孤立交通量）／総生成交通量

ラダー型—都心十字カハ

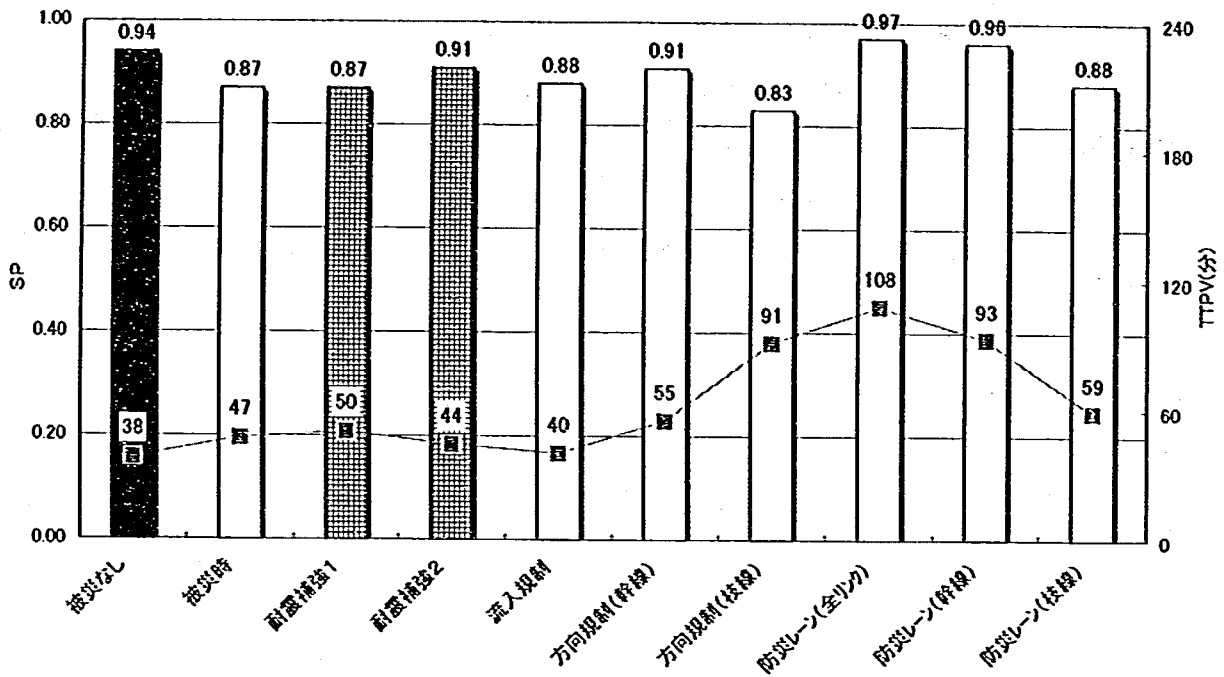


図-4.3.5(1) 耐震補強と交通規制の効果比較 (ラダー型モデル)

ラダー型—都心矩形カット

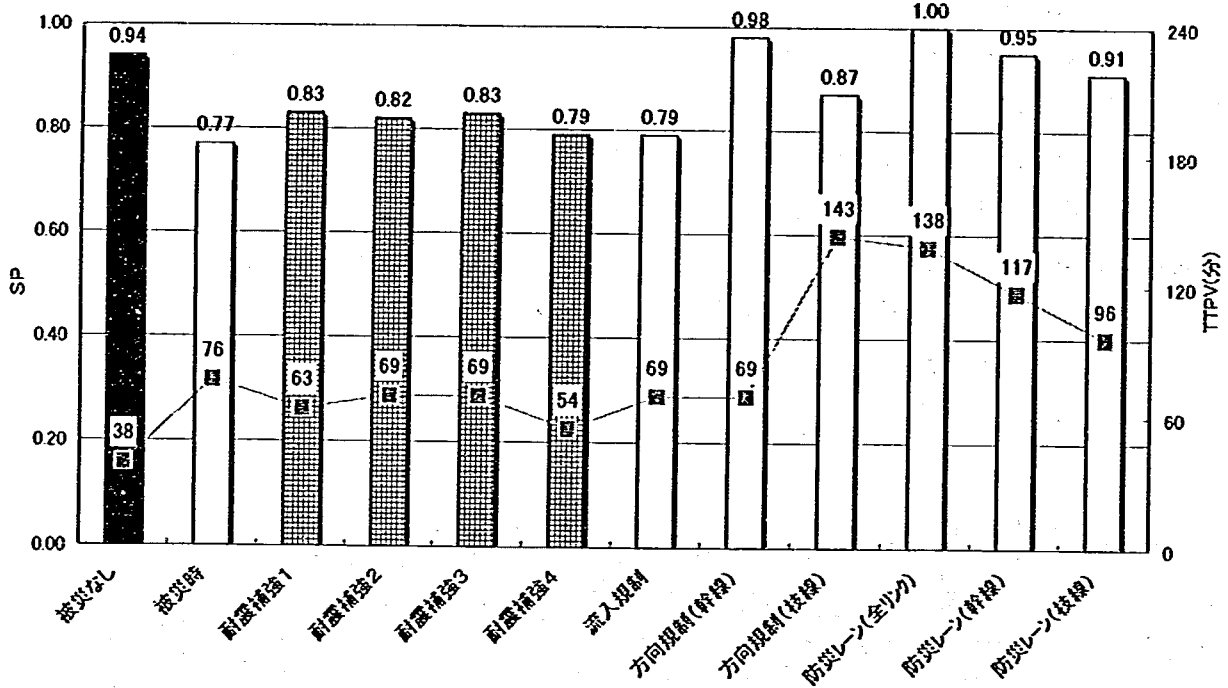


図-4.3.5(2) 耐震補強と交通規制の効果比較 (ラダー型モデル)

ラダー型モデル中・北幹線カット

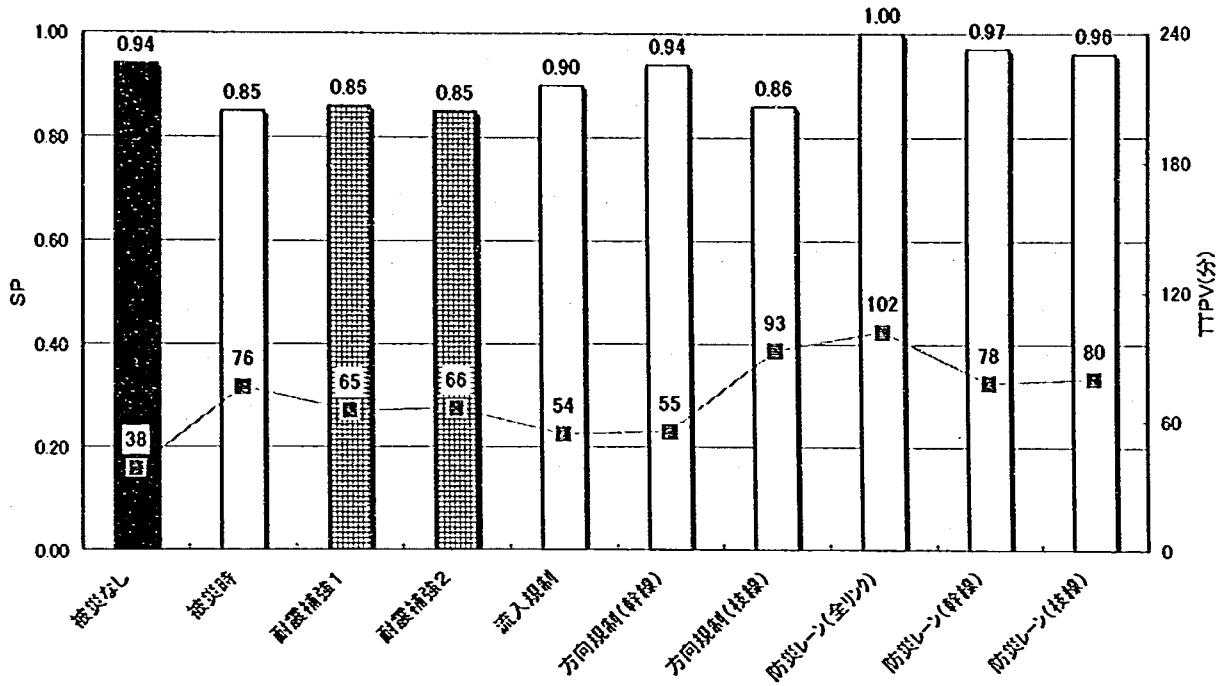


図-4.3.5(3) 耐震補強と交通規制の効果比較 (ラダー型モデル)

ラダー型モデル-枝線カット1

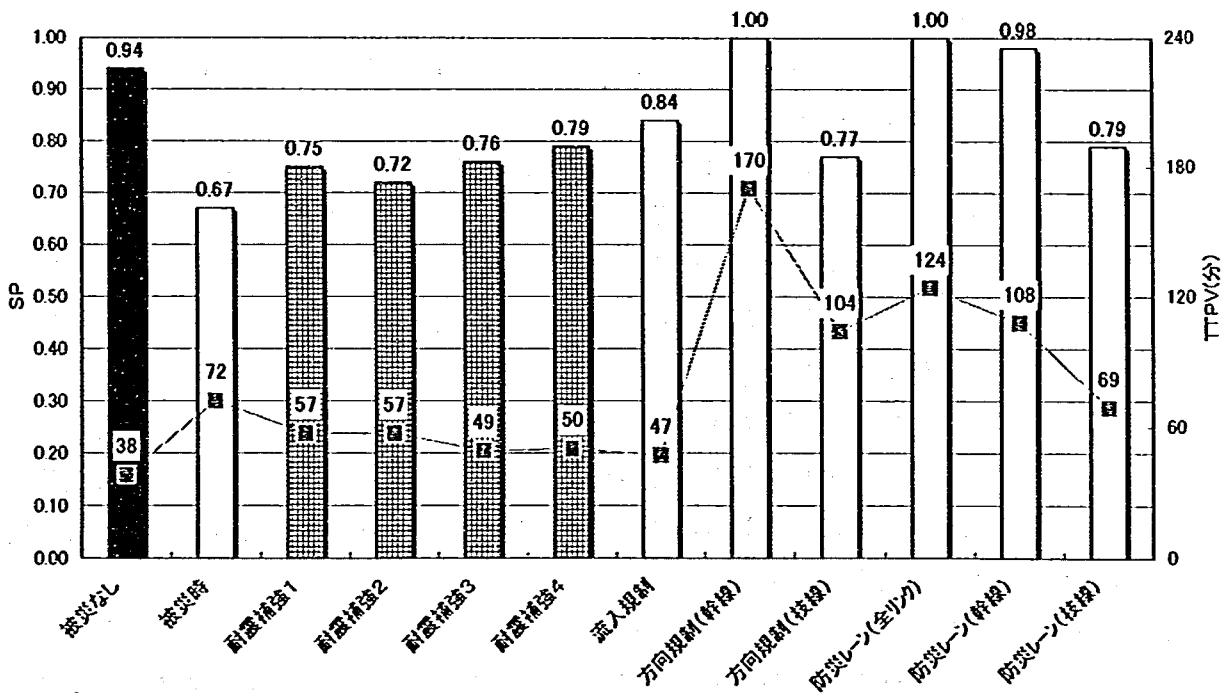


図-4.3.5(4) 耐震補強と交通規制の効果比較 (ラダー型モデル)

- 方向規制では、幹線の規制においてネットワーク耐震性指標の向上度 ΔSP は大きく、枝線の方向規制での ΔSP は小さい。また、都心十字カットでは枝線の方向規制により規制前よりもネットワーク耐震性指標 SP が低下している。これはラダー型モデルの特徴としてリンク速度の低い幹線を利用する緊急活動の効果量が低くなることと、幹線の規制によってそれまで比較的空いていた枝線のリンク速度も低下することによると考えられる。
- 防災レーンを設置した場合、設定区間を通過する緊急交通には自由走行速度が与えられるため、 SP が向上し、背景交通1台当たりの走行時間 $TTPV$ は、交通サービス供給量が減少することにより増加している。特に全リンクに防災レーンを設置した場合には、緊急交通の孤立が生じる都心十字カットを除き $SP=1.0$ と、被災なしの場合の $SP=0.94$ を上回る。ただし背景交通の通行は相当制限されるため、 $TTPV$ は大きく増加する。また、幹線に防災レーンを設置する場合では、枝線に防災レーンを設置する場合よりもネットワークの耐震性が高い。これはラダー型モデルにおいて選択経路が少ない幹線ではもともとリンク速度が低い、防災レーンを設置することにより、緊急交通が効率的に通行できるようになるためである。

4.4 考 察

4.3における検討結果から、耐震補強と交通規制の効果の特徴を次のように整理することができる。

- 耐震補強については、補強区間によらず、ネットワーク耐震性指標 SP は必ず向上し、背景交通1台当たりの走行時間 $TTPV$ も短縮される。すなわち耐震補強では、対策の効果が確実に期待できる。
- 流入規制については、域内における交通総量の減少により SP は向上し、 $TTPV$ は短縮される。ただし、域外から域内への交通需要は満足されない。
- 方向規制では、想定する被災パターンと規制方法の組み合わせによってその効果が異なる場合があり、大別すると下記①～③に示すような結果が得られた。
 - ① $TTPV$ が減少し、 SP が向上する場合。これは規制により背景交通の孤立が生じ、域内交通量が減少しているためと考えられる。（例えば、放射環状型モデル外放射カット1の放射路方向規制、ラダー型都心矩形カットの幹線方向規制）
 - ② $TTPV$ が増加し、 SP はあまり向上しないか又は低下する場合。これは規制により背景交通への交通サービスの需給バランスが悪化してリンク速度の低下を招き、緊急交通にまでその影響が及んだことによると考えられる。（例えば、放射環状型モデル中放射カットの環状路方向規制、格子型モデル南北カット1の東西方向規制）
 - ③ $TTPV$ が増加し、 SP が向上する場合。これは規制により背景交通への交通サービスの需給バランスが悪化してリンク速度が低下するが、緊急交通に大きな影響が及ばず、規制による防災交通の優先通行の効果が勝ったことによると考えられる。（例えば、放射環状型モデル外放射カット1の環状路方向規制、ラダー型枝線カット1の幹線方向規制）
- 防災レーンを設置する場合、背景交通と緊急交通を切り離すことで、防災レーンを設置した区間で

は背景交通の影響が緊急交通に及ばない。そのためネットワーク耐震性指標 SP は規制前よりも確実に高くなる。特に全てのリンクに防災レーンを設置した場合には、検討した全ての被災パターンにおいて防災活動は完全に満たされる($SP=1.0$)。一方、背景交通への影響は大きく、交通サービス供給量が半減することにより $TTPV$ は大きく増加している。なお、検討した被災ケースにおいては、全リンクに防災レーンを設置せず、設置区間を限定しても防災活動をほぼ満足し、かつ $TTPV$ も全リンクに防災レーンを設置した場合よりも短いケースがみられた。このことは、背景交通への影響を抑えながら緊急交通の効果を満足する防災レーンの設置について必要十分なルートを選択する必要性を示している。

- 方向規制および防災レーンの設置では、被災パターンに対する規制方向や規制の実施区間の設定等により、得られる効果が大きく異なる場合がある。このことは、想定される地域の被災パターンに基づいた規制の在り方をあらかじめ検討することで、より効果的な交通規制が実施できる一方、実施する交通規制が逆効果とならないよう事前に確認する必要があることを示している。

第5章 結 論

本研究は、道路ネットワークの耐震性評価手法を応用した、地震に強い道路ネットワークを構築する上での計画・意志決定支援の可能性を検討することを目的としている。第4章においては、モデルネットワークを用いて耐震補強と交通規制の道路ネットワーク耐震性向上に対する効果を整理したが、本章ではこれらの検討結果を踏まえ、災害時の交通規制と事前対策としての耐震補強に対する提言と、解析手法および応用方法に関する課題を整理する。

5.1 道路ネットワーク耐震性の観点からの地震時道路管理手法への提言

- 耐震補強と交通規制はともにネットワーク耐震性を高めることに有効であり、また、それぞれの効果には特徴があることが分かった。地震時の道路交通管理に当たっては、これらの特徴を十分に踏まえ、いつ発生するか分からない地震に備えて、その時点における最良の道路ネットワークの構築しておく必要がある。そのためには、地震発生後の交通規制等ソフト対策との適切な連携を念頭に置き、限られた費用と時間の中での効率的なハード対策の実施（耐震補強や改築によるリダンダンシー確保等）に努めなければならない。
- 地震発生後の交通規制は、道路施設の耐震補強のために要する多くの費用と時間という2つの問題をクリアするための危機管理対策のひとつとして非常に有用であると考えられる。その実現のためには、特に地震発生直後の混乱期に的確な規制誘導を行うためのITS関連技術、規制方針や要員確保に関する実践的計画、ドライバーに対する啓蒙等が必要である。また、交通規制は信頼性の高い道路ネットワークとの組み合わせによって、より高い効果が期待できると考えられるため、今後、耐震補強等と交通規制の様々な組み合わせによる効果を評価することにより、実際の道路耐震補強の参考としていくことが望ましい。
- ケーススタディーにおける格子型モデルのように、道路ネットワークが平常時から混雑している場合には、わずかな被災によって緊急交通の活動効果量が大きく低下する。地震に強いネットワークを構築する上で、改築等によって平常時に十分な機能を有する道路整備を行うことは必要不可欠である。
- 今回の試算では、交通規制の方が耐震補強よりもネットワーク耐震性指標SPの向上が顕著であることが確認されたが、背景交通を著しく阻害する場合もあり、どこまで緊急交通を優先させるべきかについての判断は非常に難しく、費用便益等を考慮した耐震補強の経済的評価に関する研究を進める必要がある。

5.2 耐震性評価手法とその応用に関する課題

これまでの検討により、地震に強い道路ネットワークを構築するためには、耐震補強等のハード対策に加え、交通規制等のソフト対策を適切に組み合わせることで大きな効果が得られることが示され

た。また、本研究で検討した手法は、一般的に用いられている交通推計手法によって指標を算出するものであり、実務における活用に大きく資するものである。

今後は、以下の見地から手法の高度化・検証・応用を図り、実際の地域における道路ネットワークの評価が可能となるよう研究開発を進める必要がある。

● 緊急交通のバリエーションの考慮

本研究で提案した手法は、緊急交通の特性により解析結果が変化する。すなわち、第4章で行ったケーススタディーにおいて得られた結果は救急活動交通を想定した拠点選択に基づく解析結果であり、トリップ特性の異なる物資輸送活動等を対象とした場合には、異なる結論が導かれる可能性がある。また、解析に用いた防災活動の単位効果量関数についても、緊急交通の種類ごとに異なるため、今後、各種の緊急交通を対象とした分析を行うことが必要である。

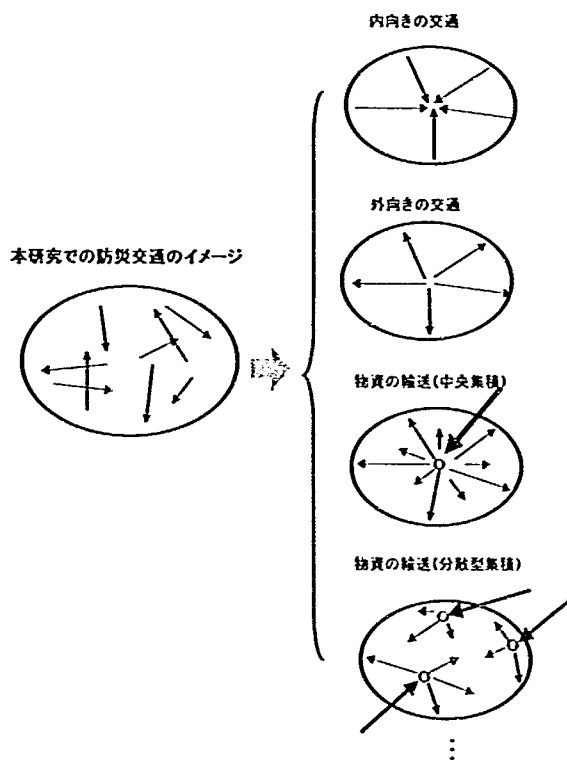


図-5.2.1 様々な緊急交通の例

● 交通推計手法の高度化

道路ネットワークの場合、ルート選択問題、交通需要の予測困難性といった特徴が、物理法則で表現しやすい他のライフライン・ネットワークに対して、道路ネットワークの耐震性を検討する際の障壁となる。特に地震後は平常時とは交通を取り巻く状況が一変するため、一般的な利用者均衡配分の妥当性には問題がある。このほか、規制情報の提供方法等に関しては、様々な視点から研究が成されている段階であり^{9) 10)}、今後、実際の交通状況をより正確に反映できる手法を検討する必要がある。また、災害時の交通需要の予測についても、基礎的研究をもとに、利用可能なモデルを開発していく必要がある。^{4) 5) 6)}

<参考文献>

- 1) 藤原健一郎・朝倉康夫・柏谷増男：道路網の機能的階層性とネットワーク信頼性指標との関連，土木計画学研究・講演集19(2)，1996年11月，pp275，土木学会
- 2) 永松善敬・大塚久哲・松田泰治・富永臣悟：緊急輸送道路網における耐震安全性評価手法の開発，自然災害西部地区部会報・論文集－22号，1998年3月，pp173
- 3) 建設省土木研究所：道路ネットワーク耐震性評価手法に関する研究（その1）ネットワーク耐震性指標の提案とその計算方法の開発，土木研究所資料，第3589号，1998
- 4) 山中清正，西村昂：震災後の瓦礫輸送・処理に関する問題点とその対策，土木計画学研究・講演集21(2)，1998年11月，pp193～195，土木学会
- 5) 小池則満，秀島栄三，山本幸司：大規模災害時における傷病者搬送計画に関する基礎的考察，土木計画学研究・講演集21(2)，1998年11月，pp197～200，土木学会
- 6) 関根 淳，小川 好，笹岡弘治：東京での震災後の社会生活上の制約から生じる交通需要の推定，土木計画学研究・講演集21(2)，1998年11月，pp201～204，土木学会
- 7) 地方生活圏要覧（平成5年版），建設省建設経済局事業調整官監修
- 8) 新時代を迎える地震対策－地震に強い道づくりへの提言－，建設省道路局道路防災対策室監修
- 9) 安野貴人，小林潔司，都明植：室内実験による交通情報の経路誘導効果に関する多重仮説検定，土木学会論文集，NO.597／IV-40，1998年7月，pp49～60
- 10) 羽藤英二，谷口正明，杉恵頼寧，桑原雅夫，森田緯之：複数交通情報リソース下における情報獲得・参照行動を考慮した経路選択モデル，土木学会論文集，NO.597／IV-40，1998年7月，pp99～111

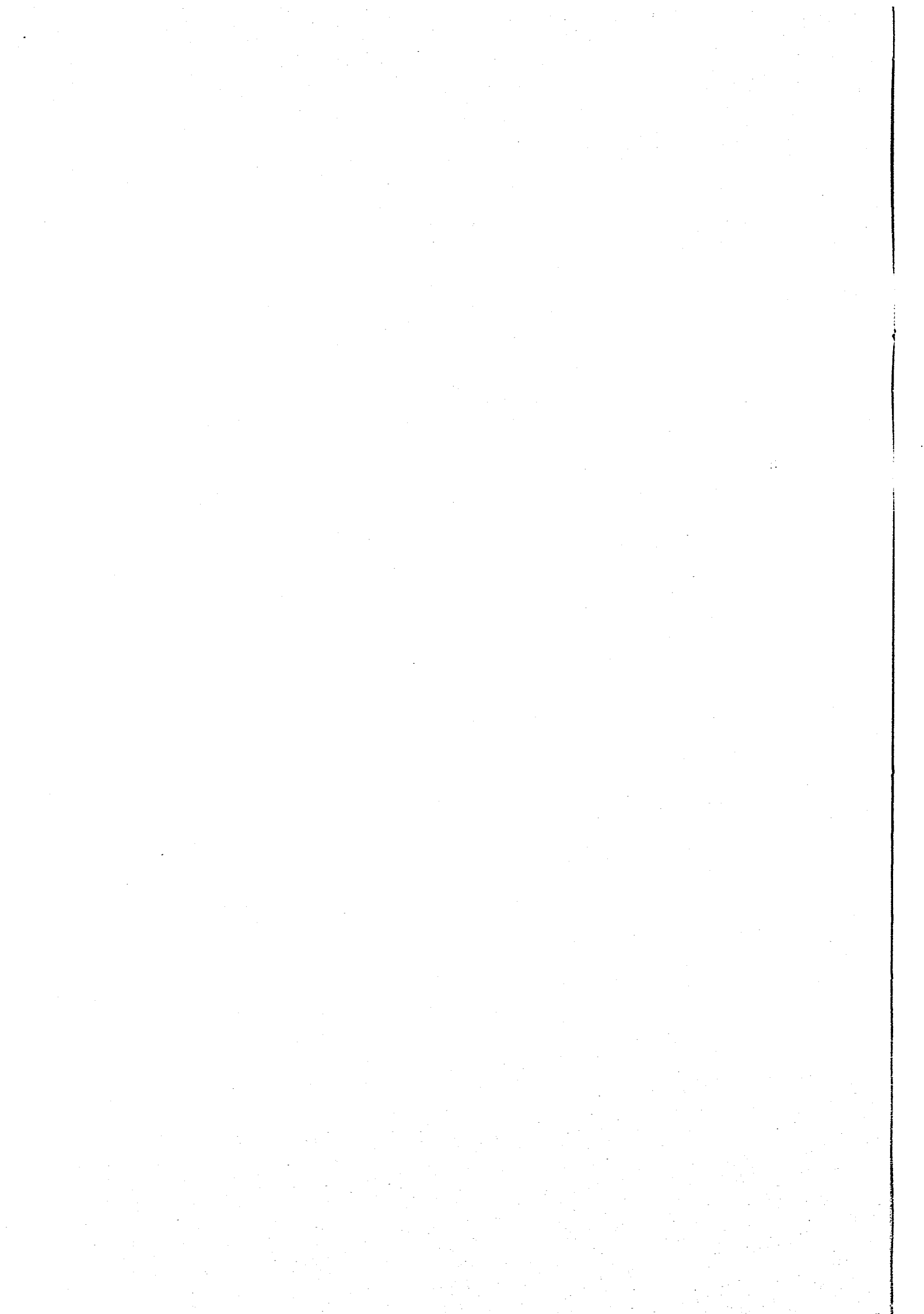
巻 末 資 料

巻末資料1 リンク長の設定

巻末資料2 ケーススタディーにおける各被災パターンのリンク速度

巻末資料3 ケーススタディーにおける耐震補強と交通規制の効果の比較結果

巻末資料1 リンク長の設定



リンク長の設定は以下の手順で行う。

- i) 各モデルネットワークにおける道路延長、圏域面積を仮想リンク長 L を用いて算定する。
- ii) 求められた圏域面積と平均的な地方生活圏の圏域面積が同じとなる仮想リンク長 L の値を各モデルごとに求める。
- iii) 求められた仮想リンク長 L を用いて、モデルの総道路延長及び各ノード間の距離を設定する。

1 条件の整理

本研究で想定する3つのモデルネットワークの道路間隔（リンク長）を以下の手順で設定する。

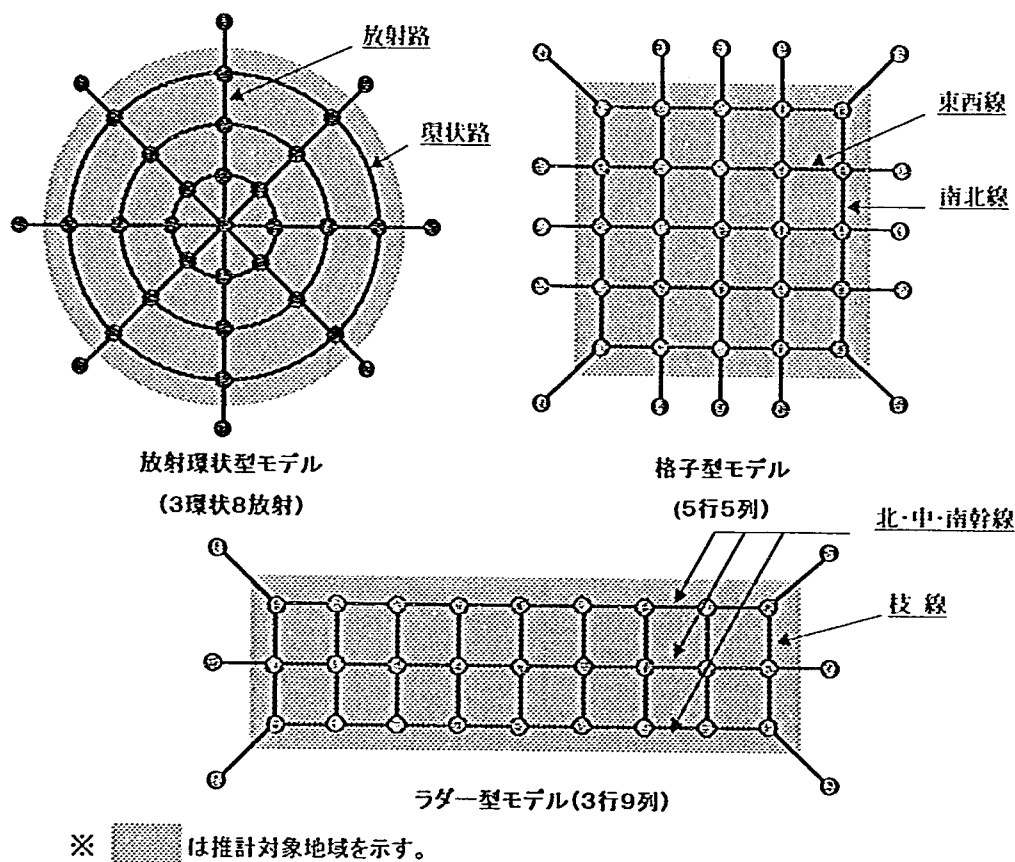


図-1.1 本研究で想定するモデルネットワーク

本研究で想定するモデルネットワーク（図-1.1）は、被災エリアに相当する域内ゾーン（図中の網がけで示された区域内的のゾーン）と被災地外に相当する域外ゾーンを有する。域外ゾーンは、域外からの流入交通の影響を確認するためのものであり、次のように設定した。

- ◆ 各モデルの外縁に位置するゾーンは、その外側にひとつの域外ゾーンを有する。
- ◆ 域外ゾーンの圏域面積は、各モデルの外縁に位置するゾーンの圏域面積と同一とする。

2 仮想のリンク長の算定

2.1 仮想のリンク長の設定

想定した3つのモデルネットワークの道路間隔を同一にするために、以下の方法で各モデルの道路延長を仮想リンク長 L_1 、 L_2 、 L_3 を用いて算定する。

(1) 放射環状型モデル

図-2.1に示すように、モデル中心から外環状路までを結ぶ各放射状道路のリンク間隔を同一とし、放射路の仮想リンク長を L_1 とする。また、外縁ゾーンと域外ゾーンを結ぶリンク長も同様に L_1 とする。このとき放射環状型モデルの各リンクの長さは表-2.1に示す通りであり、総リンク長は $69.7 L_1$ と表される。

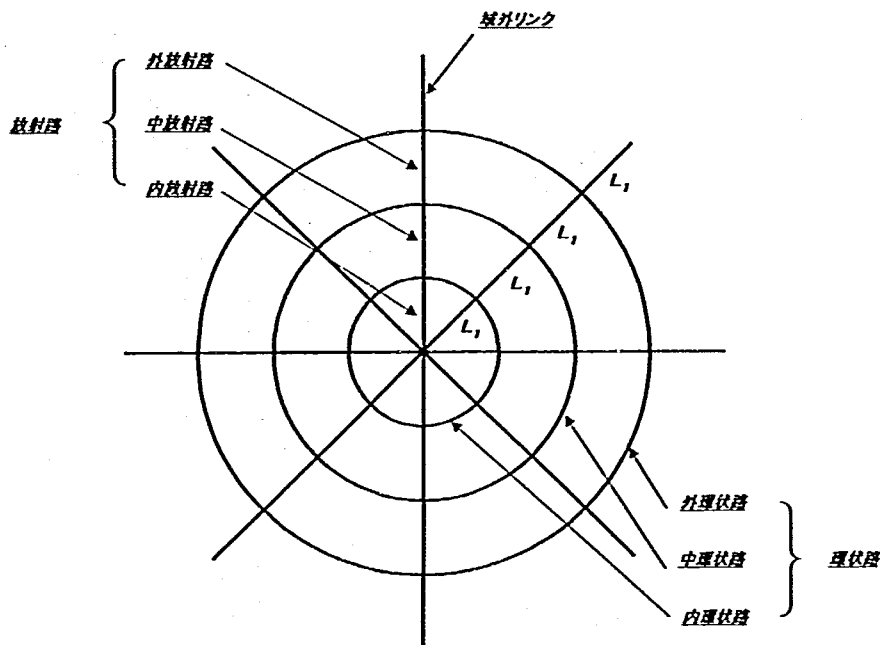


図-2.1 放射環状型モデル

表-2.1 放射環状型モデルのリンク長

リンクの種類	リンク延長	リンク数	総リンク延長
放射路	L_1	24	$24 L_1$
内環状路	$0.785 L_1$	8	$6.28 L_1$
中環状路	$1.571 L_1$	8	$12.57 L_1$
外環状路	$2.356 L_1$	8	$18.85 L_1$
域外リンク	L_1	8	$8 L_1$
合 計	—	56	$69.70 L_1$

(2) 格子型モデル

想定した格子型ネットワークモデルの格子の一边の長さを仮想リンク長 L_2 とする。また、外縁ゾーンと域外ゾーンを結ぶリンク延長も同様に L_2 と設定すると、格子型モデルの各リンクの長さは表-2.2の通りであり、総リンク長は仮想リンク長 L_2 を用いて $56L_2$ と表される。

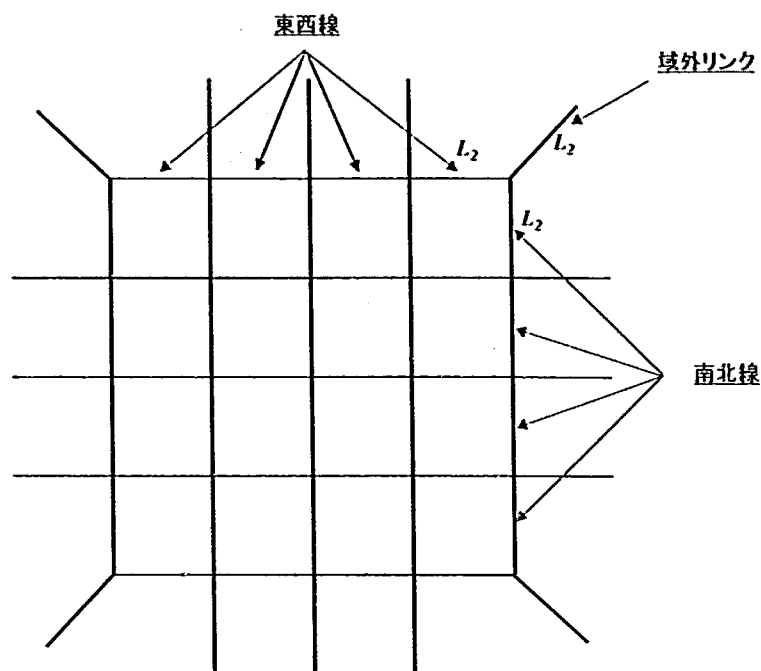


図-2.2 格子型モデル

表-2.2 格子型モデルのリンク長

リンクの種類	リンク延長	リンク数	総リンク延長
東西線	L_2	20	$20L_2$
南北線	L_2	20	$20L_2$
域外リンク	L_2	16	$16L_2$
合 計	—	56	$56L_2$

(3) ラダー型モデル

ラダー型ネットワークモデルにおいて、南北方向のリンク長を仮想リンク長 L_3 とし、東西方向のリンク長を $2L_3$ とする。また、外縁ゾーンと域外ゾーンを結ぶリンク延長を $2L_3$ と設定すると、ラダー型モデルの各リンクの長さは表-2.3のとおりであり、総リンク長は $78L_3$ と表される。

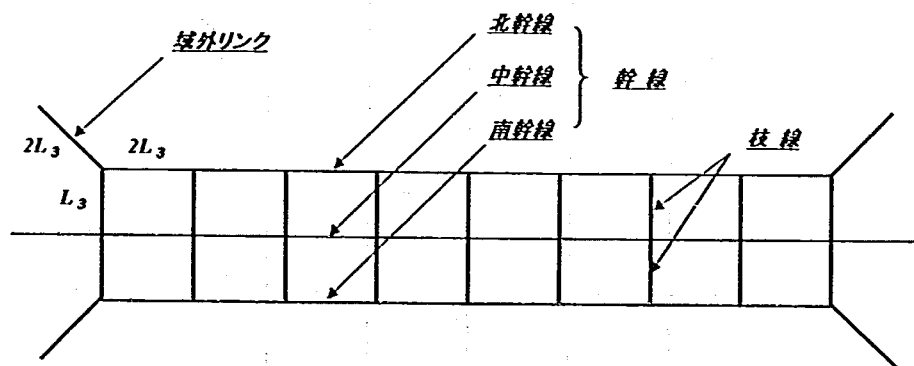


図-2.3 ラダー型モデル

表-2.3 ラダー型モデルのリンク長

リンクの種類	リンク延長	リンク数	総リンク延長
幹線	$2L_3$	24	$48L_3$
枝線	L_3	18	$18L_3$
域外リンク	$2L_3$	6	$12L_3$
合計	—	48	$78L_3$

3 仮想の圏域面積の算定

モデルネットワークがカバーする圏域面積は3つのモデルについて同一 ($1,967.7 \text{ km}^2$) である。3のモデルネットワークの圏域面積は、各モデルネットワークの仮想リンク長 $L_1 \sim L_3$ を用いて表-3.1のように表すことができる。

表-3.1 各モデルネットワークの圏域面積

モデルネットワーク	ゾーン	ゾーン数	圏域面積	
			1ゾーン当たり圏域面積	合 計
放射環状型モデル	中心ゾーン	1	$1/4 L_1^2 \pi$	$1/4 L_1^2 \pi$
	内環ゾーン	8	$1/4 L_1^2 \pi$	$2 L_1^2 \pi$
	中環ゾーン	8	$2/4 L_1^2 \pi$	$4 L_1^2 \pi$
	外環ゾーン	8	$3/4 L_1^2 \pi$	$6 L_1^2 \pi$
	域外ゾーン	8	$3/4 L_1^2 \pi$	$6 L_1^2 \pi$
	計	33	—	$44.5 L_1^2$
格子型モデル	域内ゾーン	25	L_1^2	$25 L_2^2$
	域外ゾーン	16	L_1^2	$16 L_2^2$
	計	41	—	$41 L_2^2$
ラダー型モデル	域内ゾーン	27	$2L_1^2$	$54 L_3^2$
	域外ゾーン	6	$2L_1^2$	$12 L_3^2$
	計	33	—	$66 L_3^2$

4 道路間隔の設定

前記2および3で算定された各モデルネットワークの仮想の総リンク長と仮想の圏域面積は、域内・域外を含め、表-4.1のとおりである。

表-4.1 各モデルネットワークの総リンク長と圏域面積

モデルネットワーク	総リンク長	圏域面積
放射環状型モデル	$69.7 L_1$	$44.5 L_1^2$
格子型モデル	$56 L_2$	$41 L_2^2$
ラダー型モデル	$78 L_3$	$66 L_3^2$

ここで、 L_1 ：放射環状型モデルの仮想リンク長

L_2 ：格子型モデルの仮想リンク長

L_3 ：ラダー型モデルの仮想リンク長

ここで、各モデルネットワークの仮想の圏域面積と平均的な地方生活圏の圏域面積（ $1,967.7\text{km}^2$ ）が同一となるような道路間隔を設定すると次のようになる。

$$44.5 L_1^2 = 41 L_2^2 = 66 L_3^2 = 1,967.7\text{km}^2$$

$$L_1 = 6.65 \text{ km}$$

$$L_2 = 6.93 \text{ km}$$

$$L_3 = 5.46 \text{ km}$$

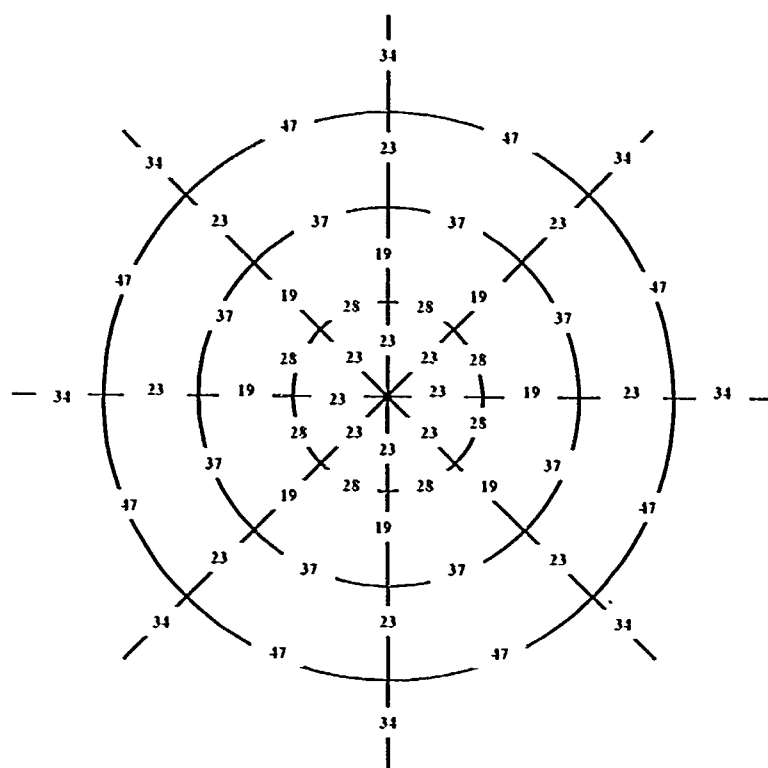
よって、各モデルネットワークの諸元は次のように整理できる。道路密度は各モデルネットワーク間で概ね一致する。

表-4.2 各モデルネットワークの諸元

モデルネットワーク	道路延長	圏域面積	道路密度
放射環状型モデル	464 km	1,967.7 km^2	0.236 km/km^2
格子型モデル	388 km		0.197 km/km^2
ラダー型モデル	426 km		0.216 km/km^2

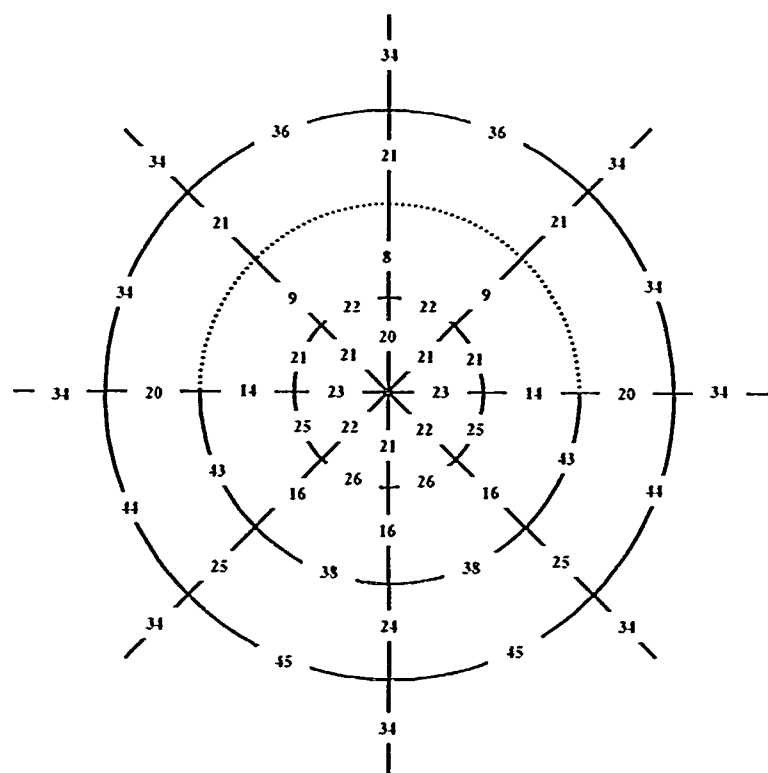
巻末資料2 ケーススタディーにおける各被災パターンのリンク速度

<放射環状型モデルー被災なし>



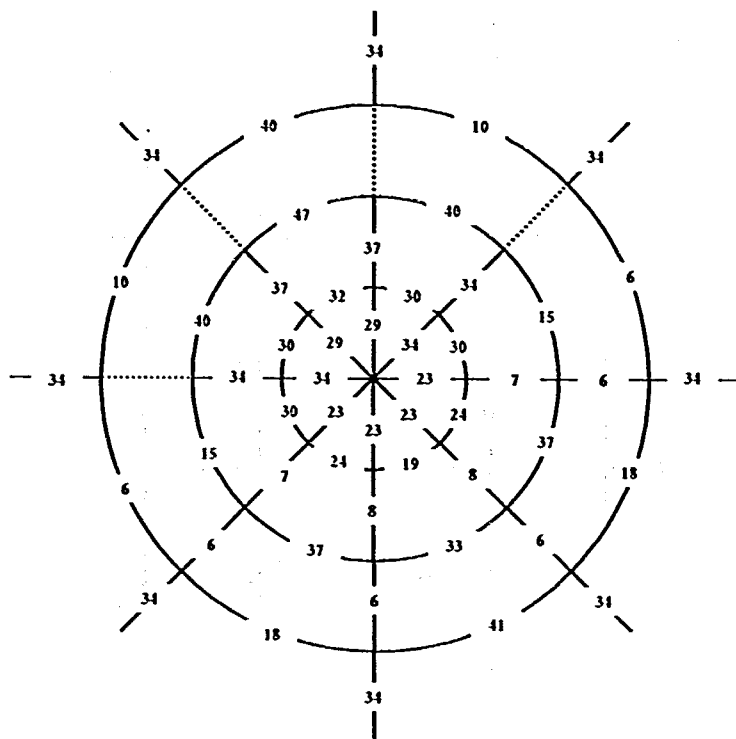
単位：km/h

<放射環状型モデルー中環カット 1>



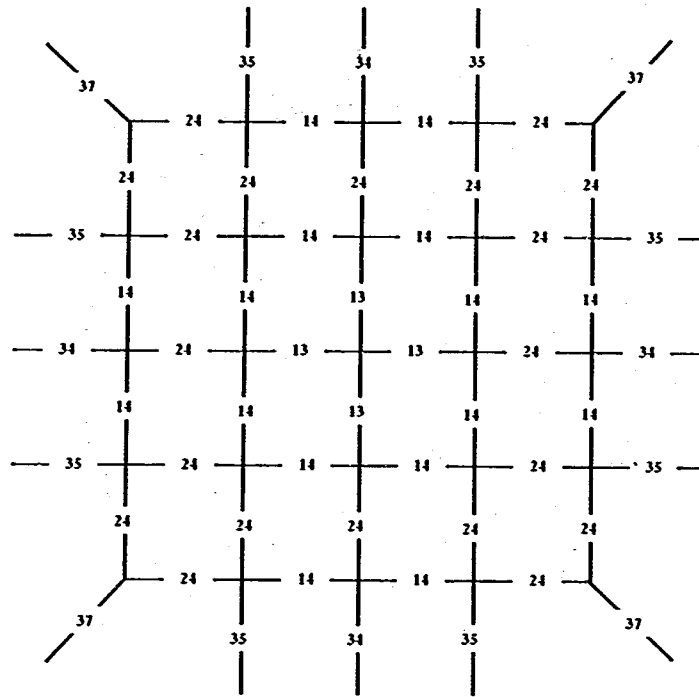
単位：km/h

<放射環状型モデルー外放射カット1>



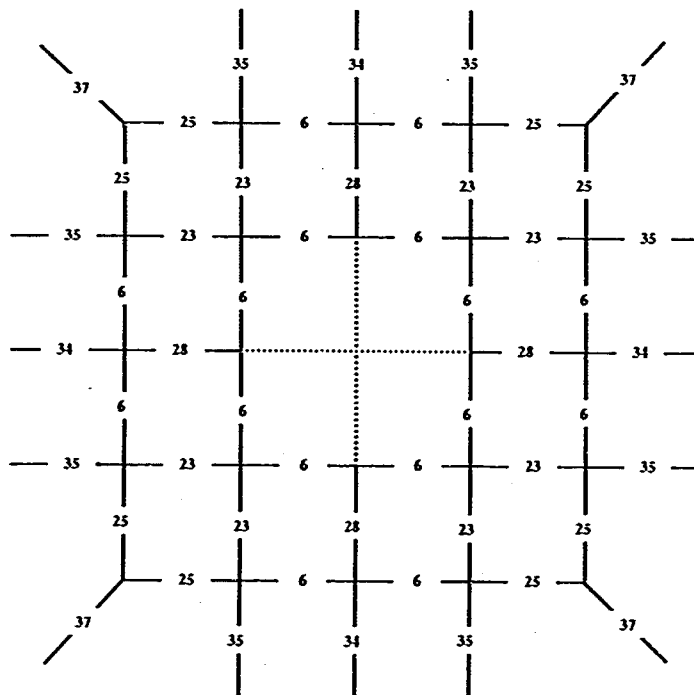
単位：km/h

<格子型モデルー被災なし>



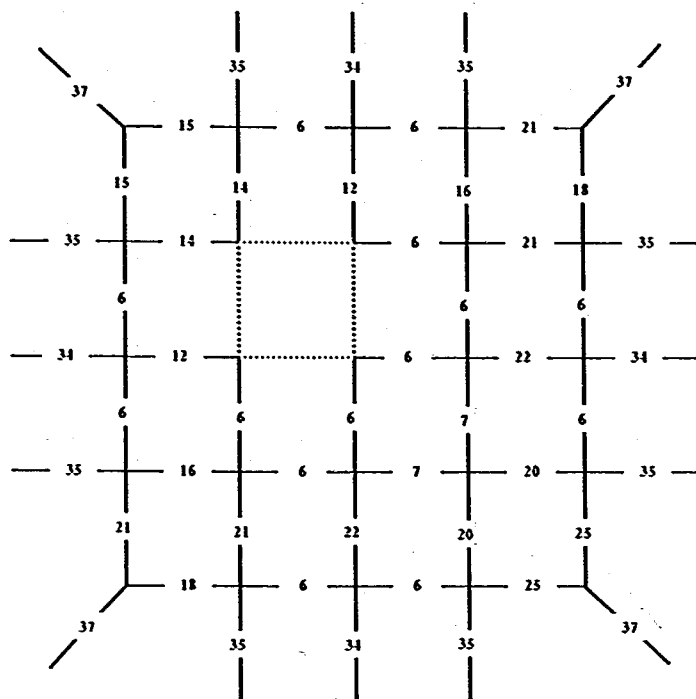
単位：km/h

<格子型モデルー都心十字カット>



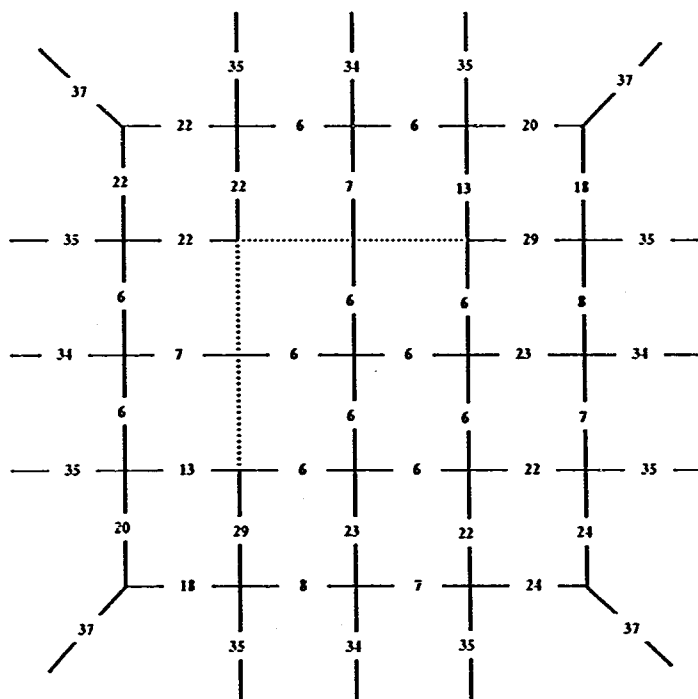
単位：km/h

<格子型モデルー都心矩形カット>



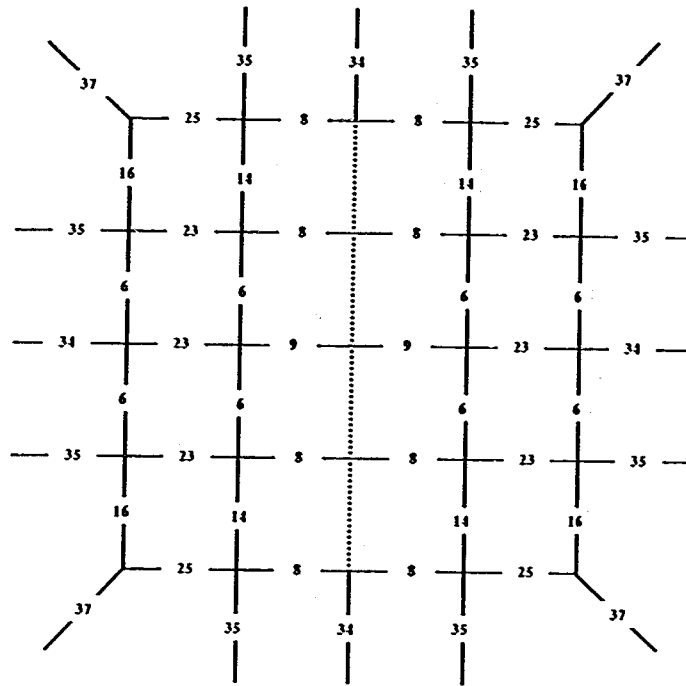
単位 : km/h

<格子型モデルーL字カット>



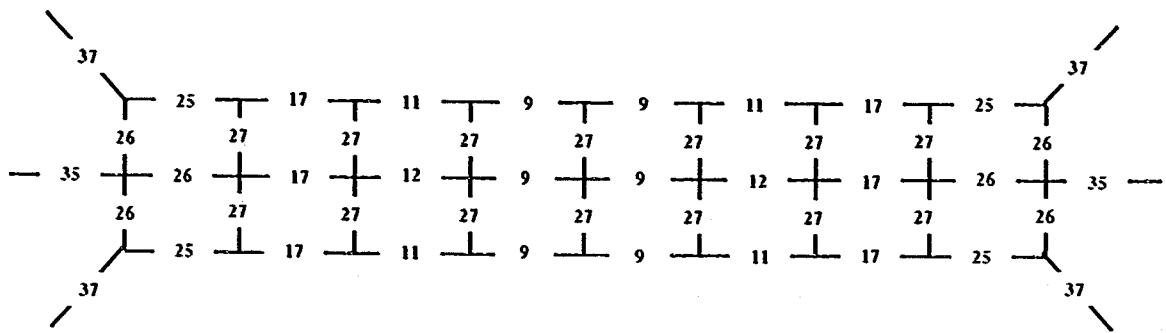
単位 : km/h

<格子型モデル-南北線カット1>



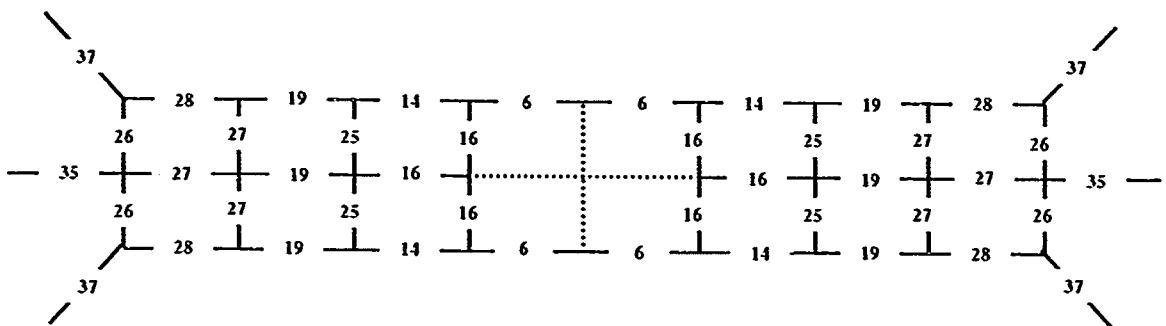
単位 : km/h

<ラダー型モデルー被災なし>



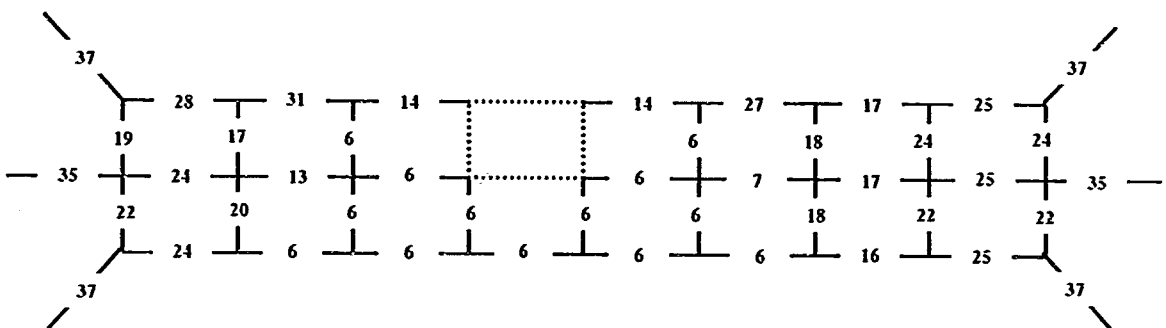
単位：km/h

<ラダー型モデルー都心十字カット>



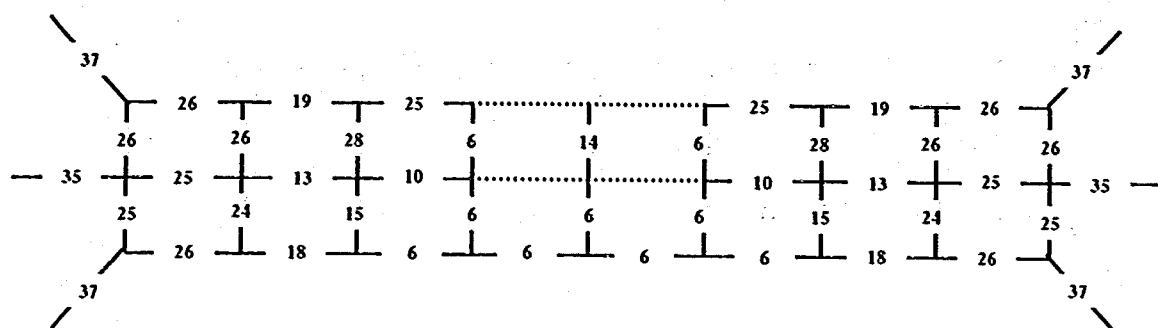
単位：km/h

<ラダー型モデルー都心矩形カット>



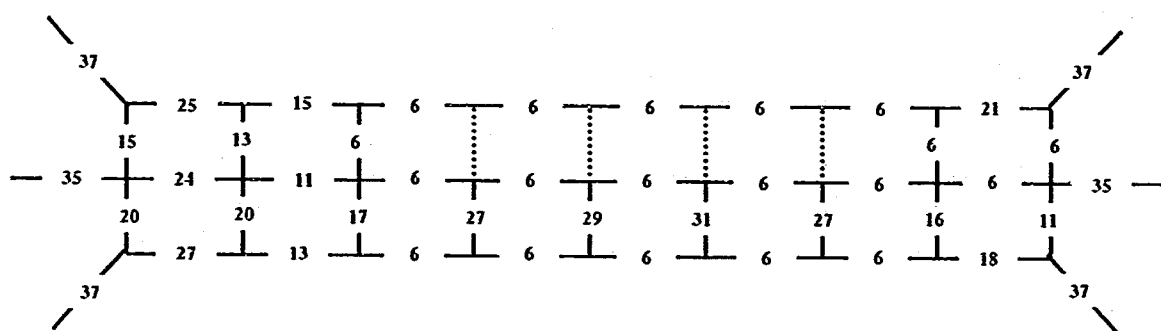
単位：km/h

<ラダー型モデルー中・北幹線カット>



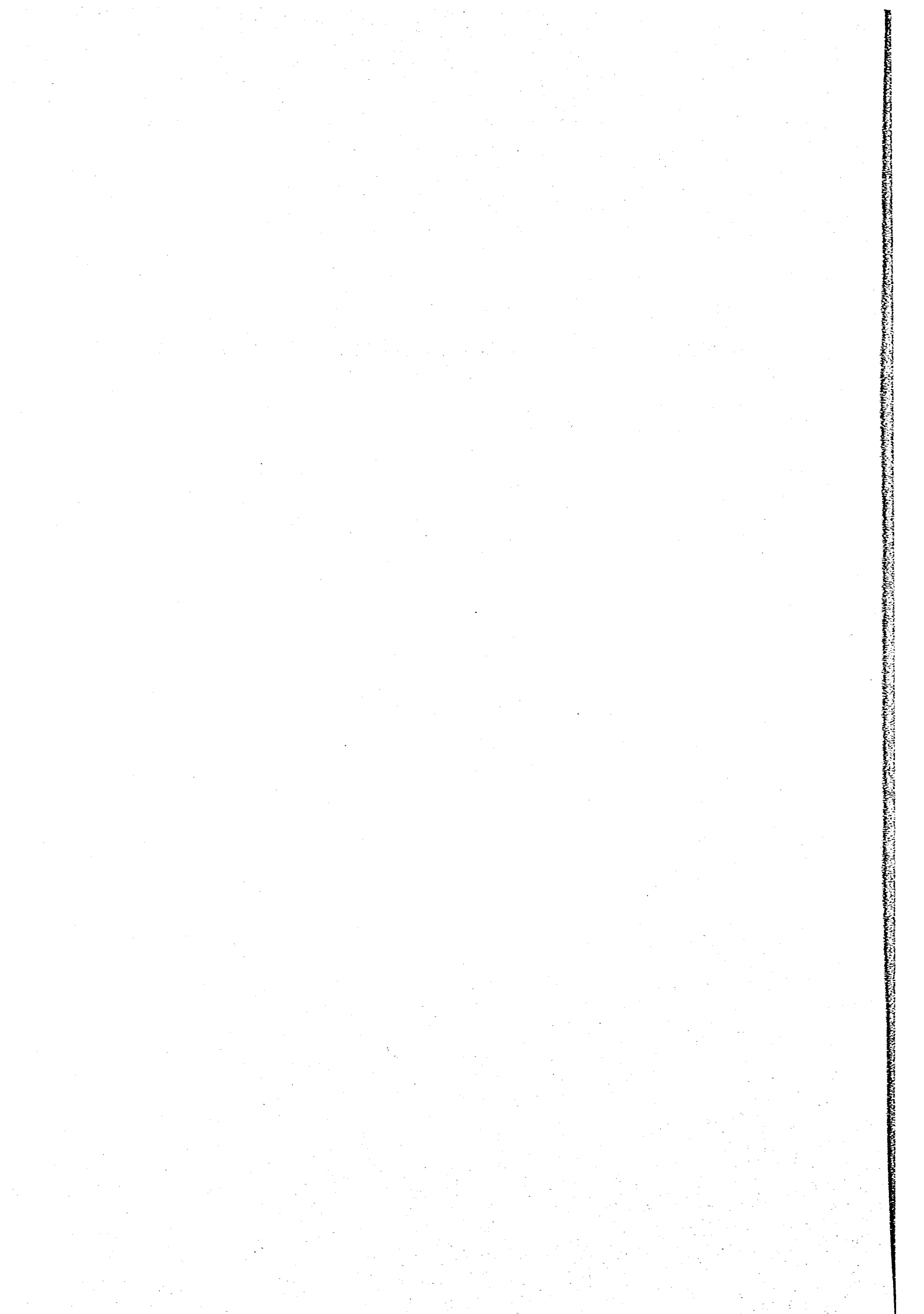
単位：km/h

<ラダー型モデルー枝線カット1>

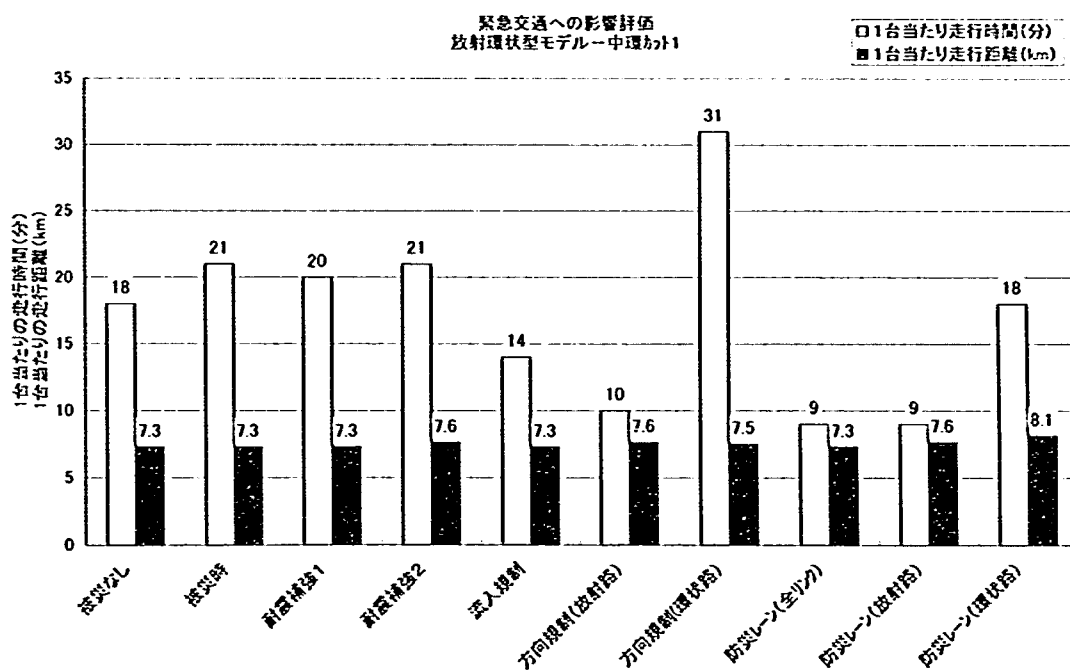
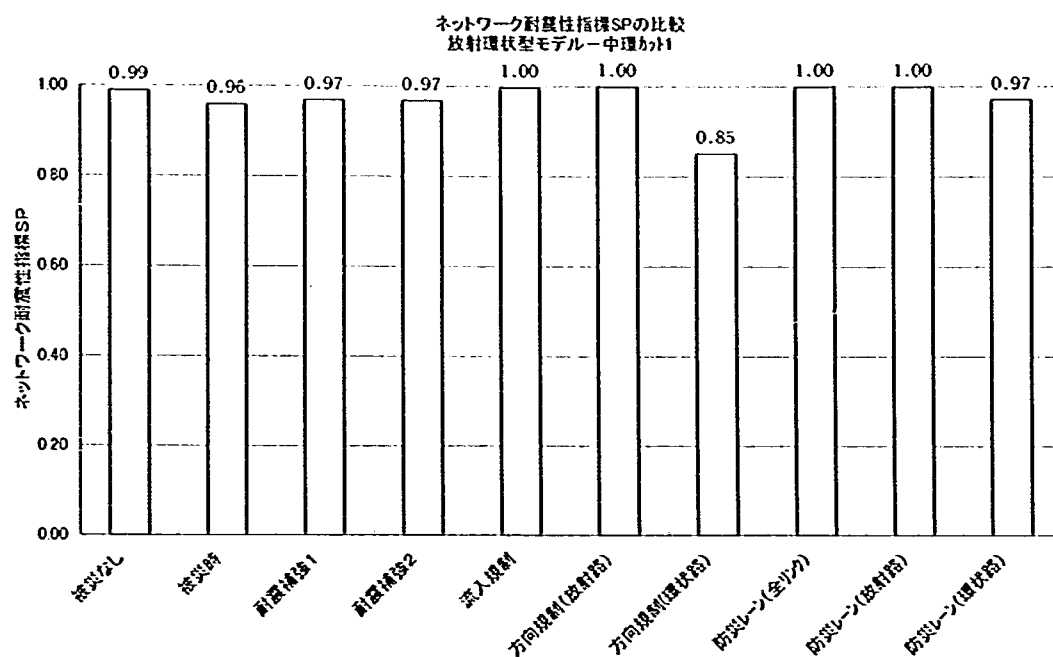


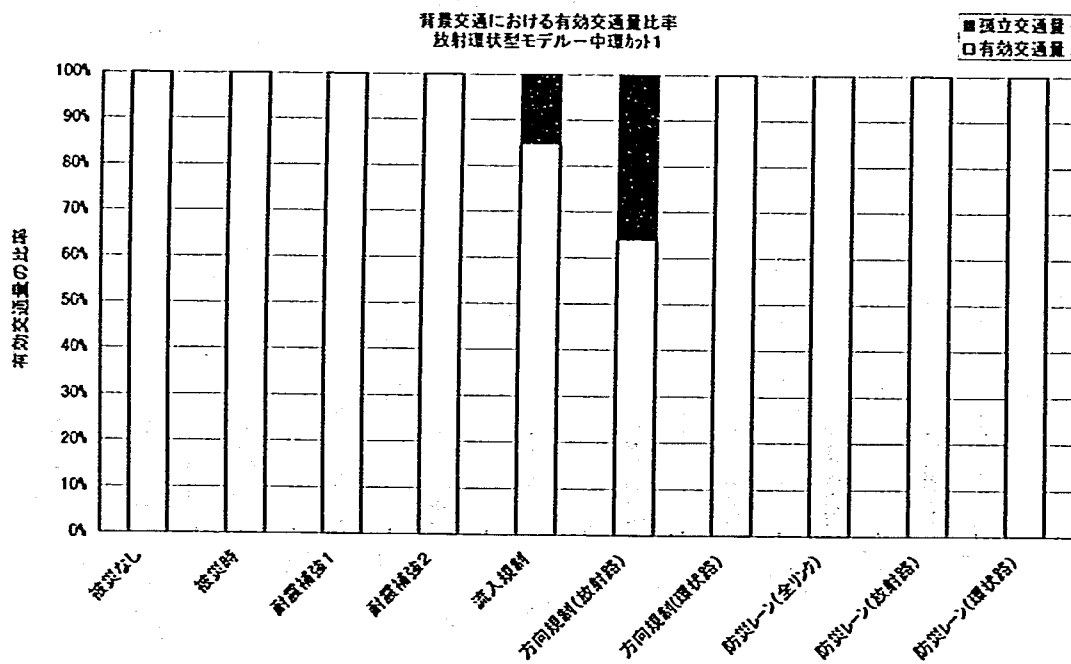
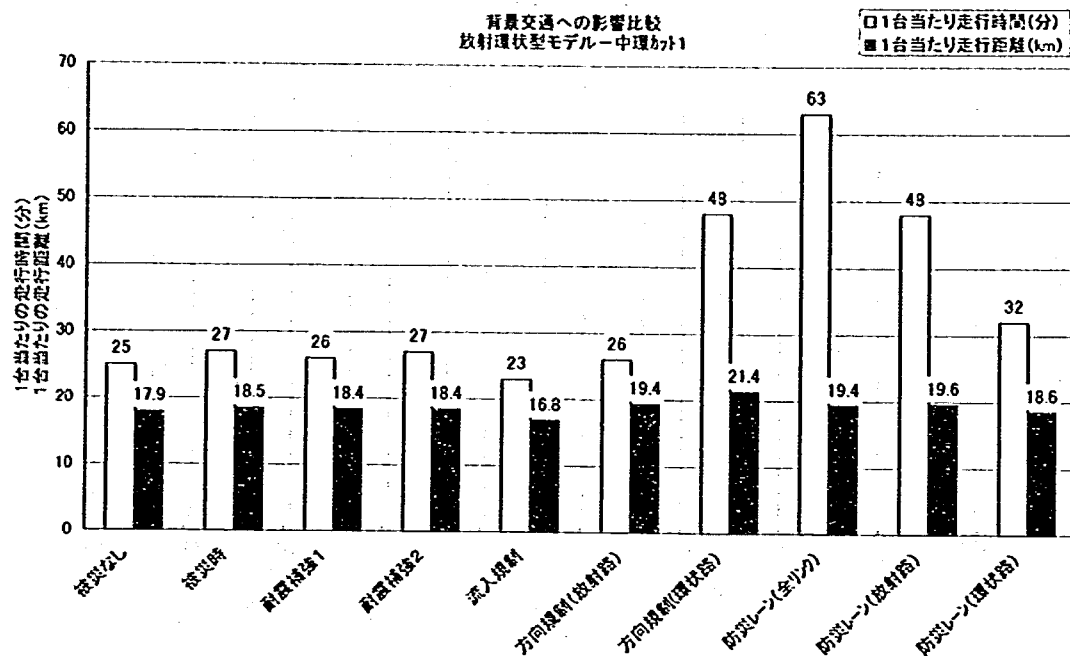
単位：km/h

巻末資料 3 ケーススタディーにおける耐震補強と交通規制の効果の比較結果

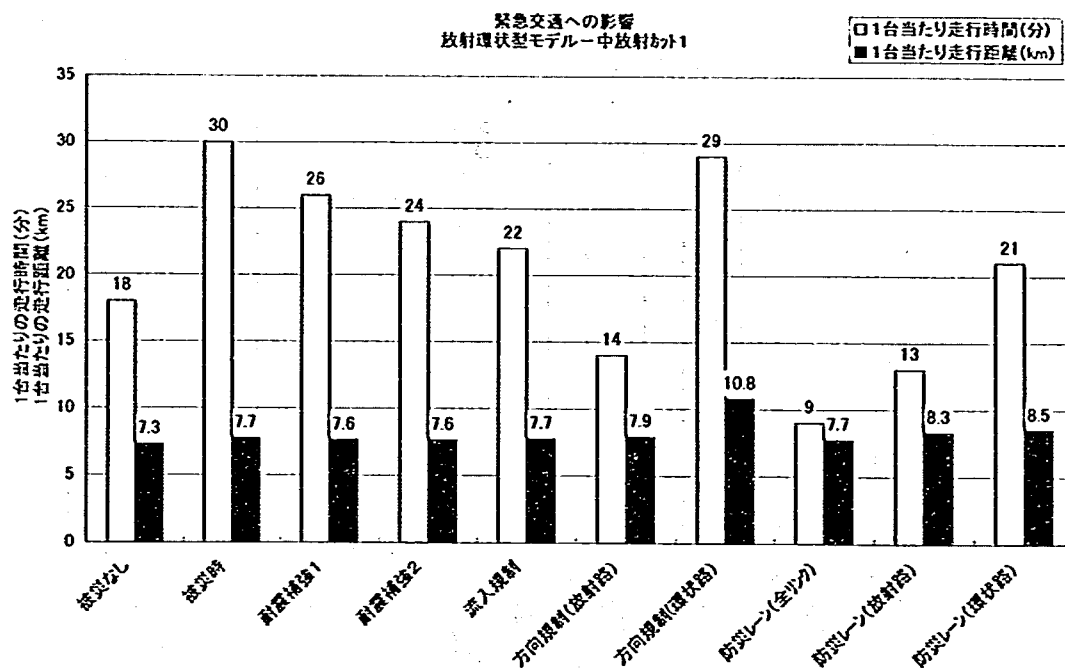
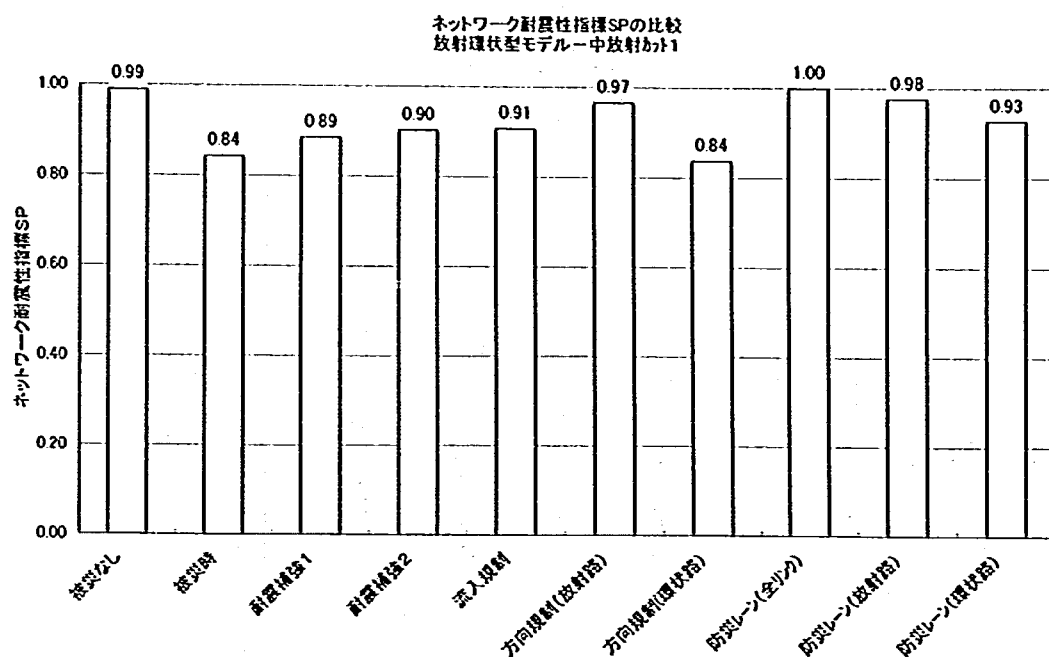


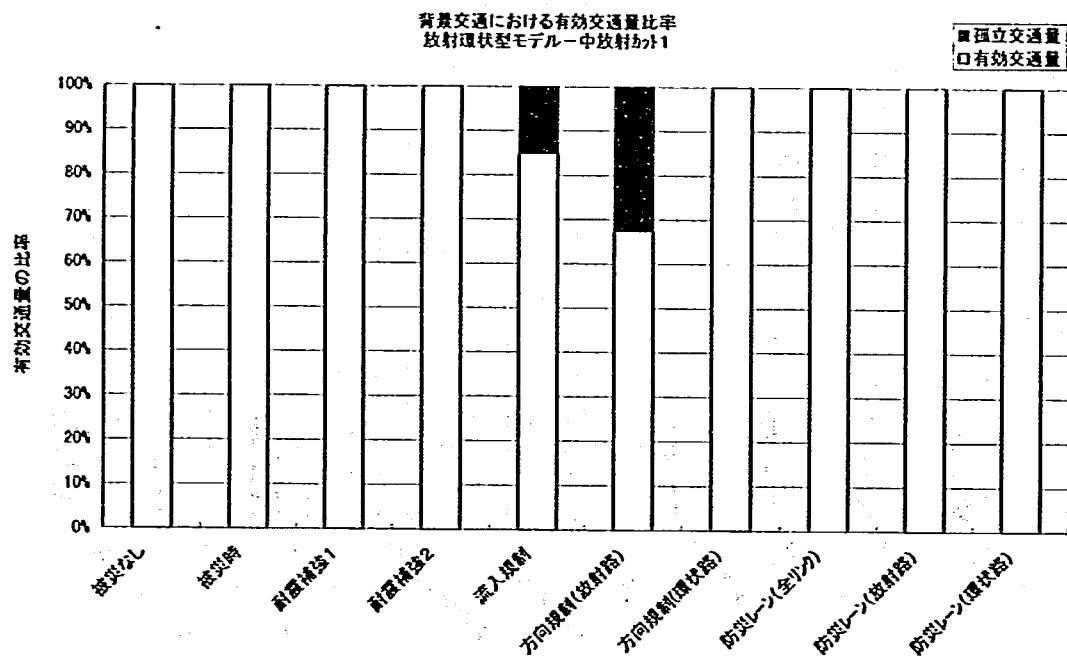
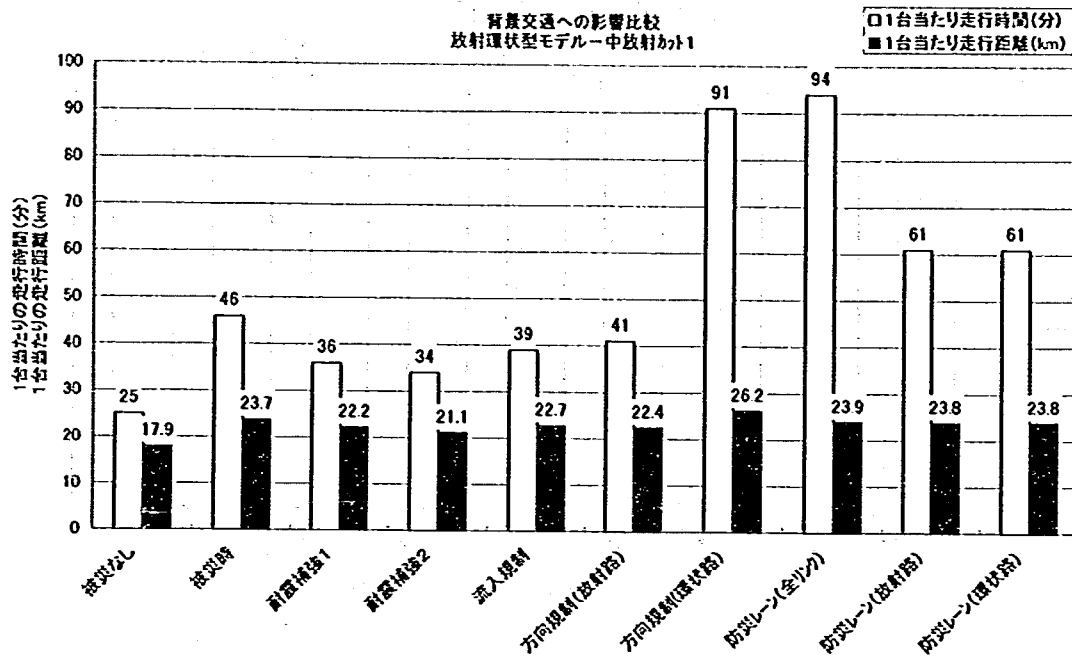
<放射環状型モデルー中環カット1>



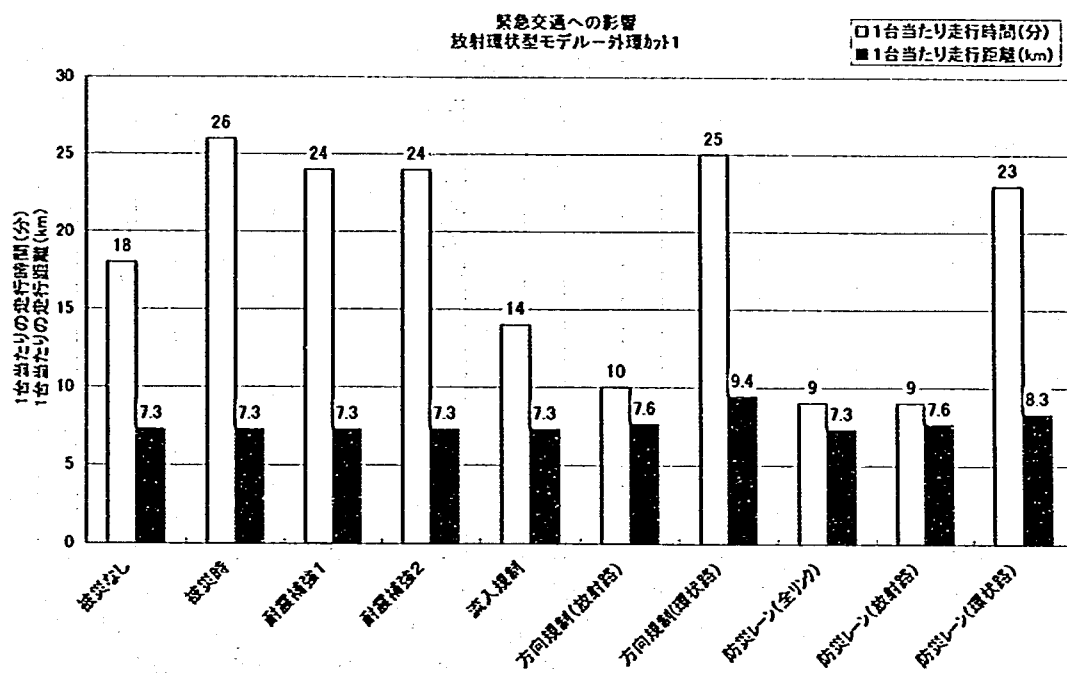
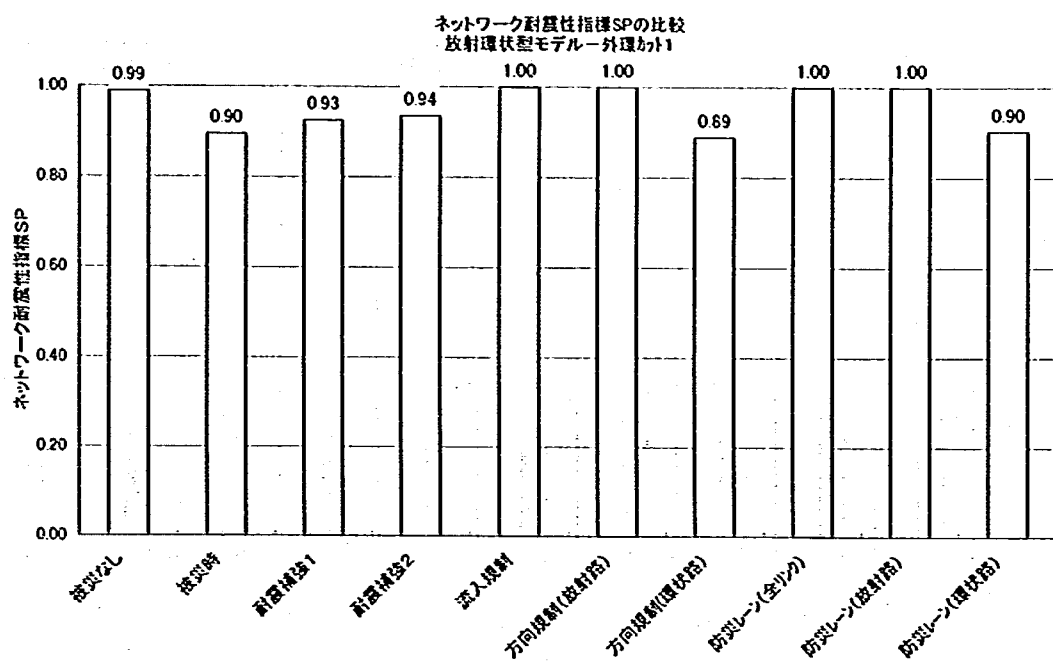


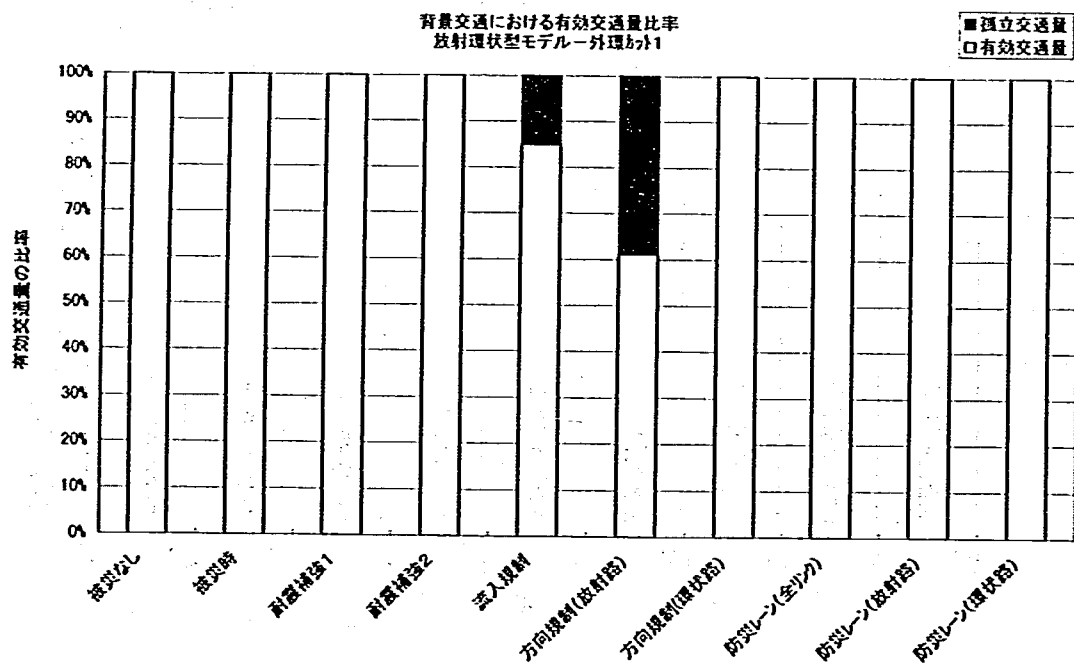
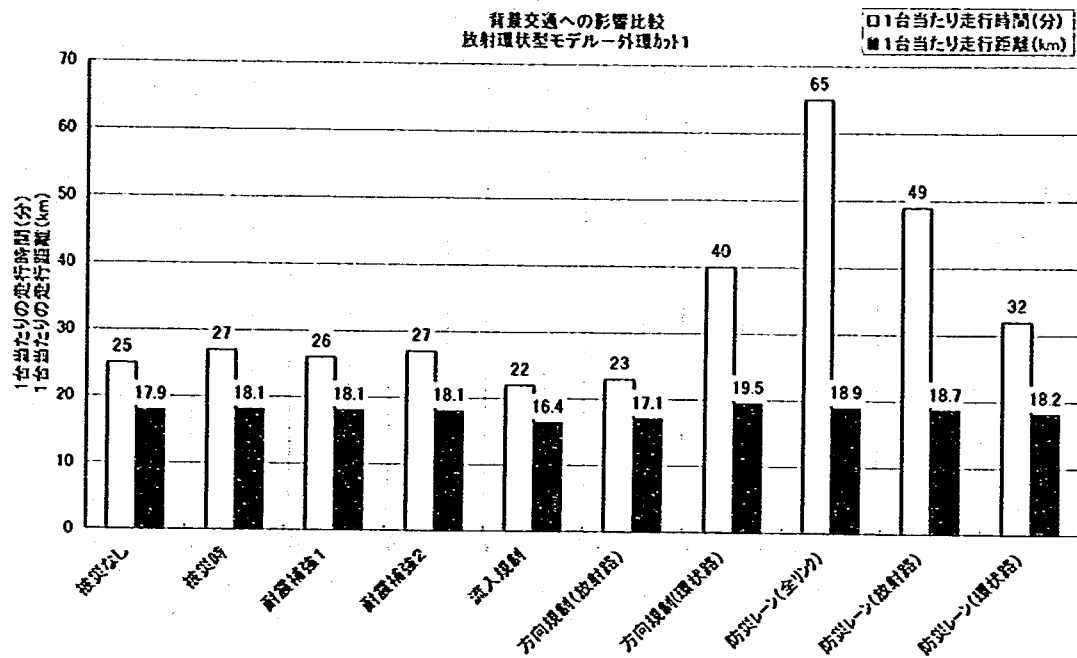
<放射環状型モデル—中放射カット1>



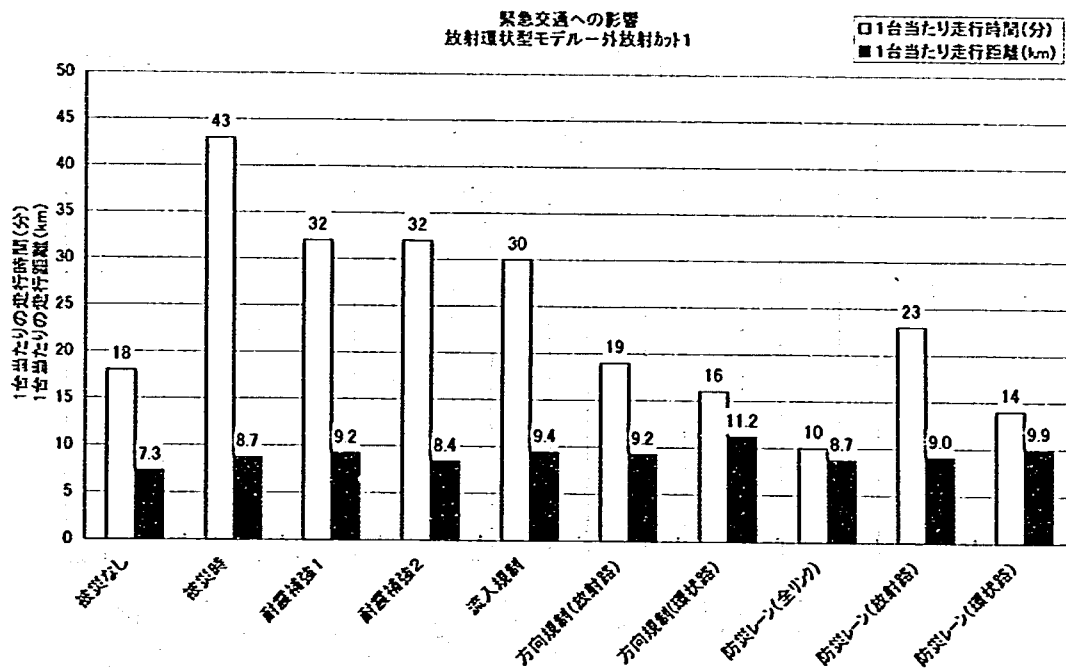
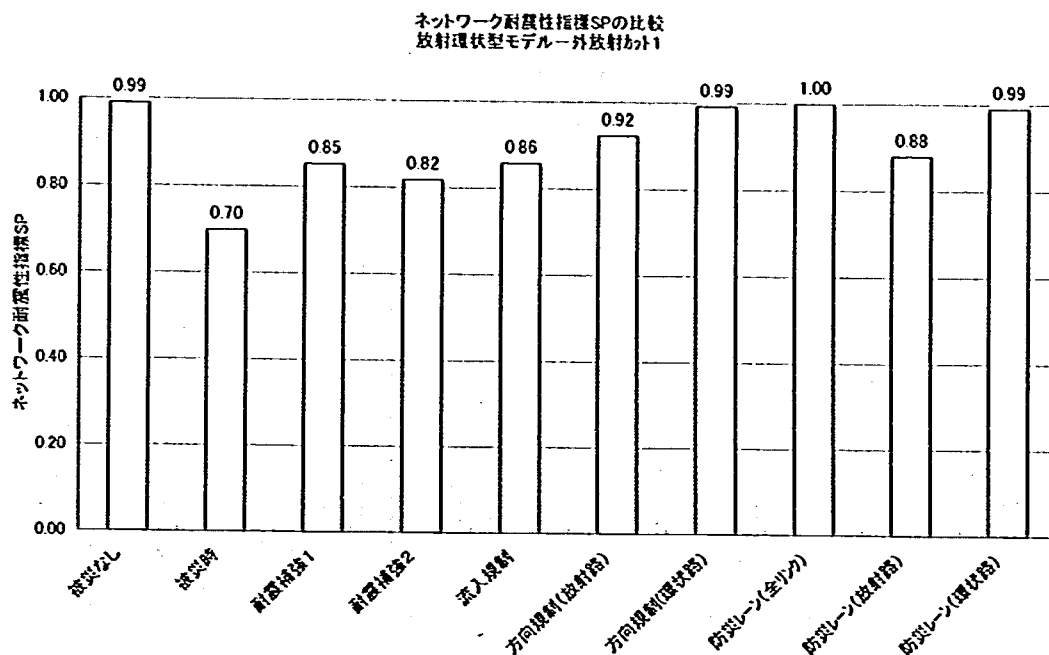


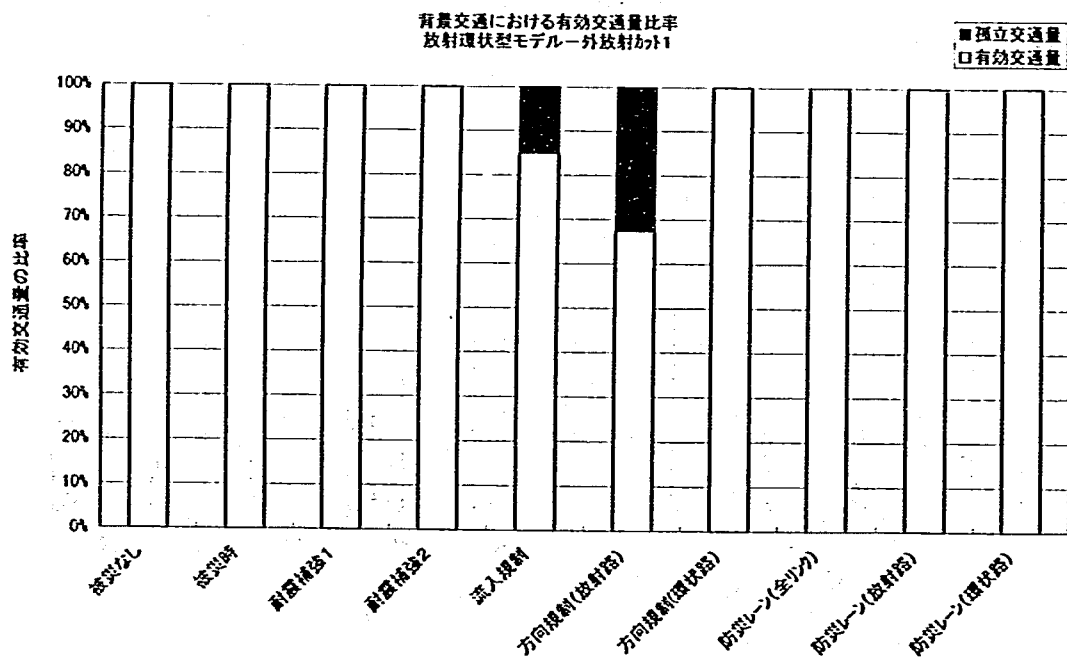
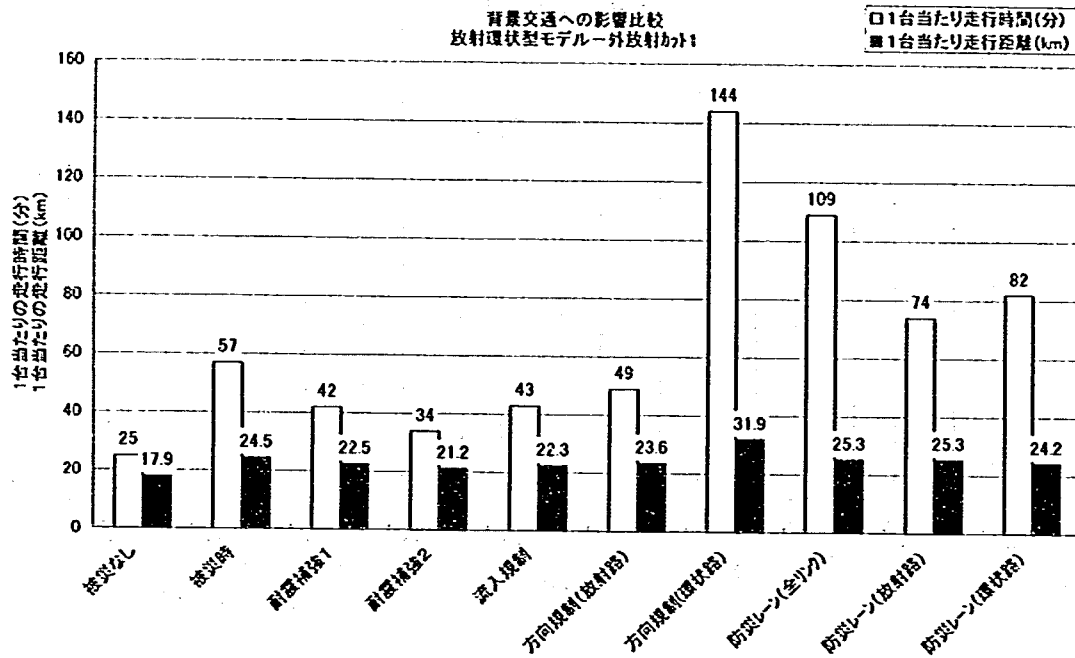
<放射環状型モデル-外環カット1>



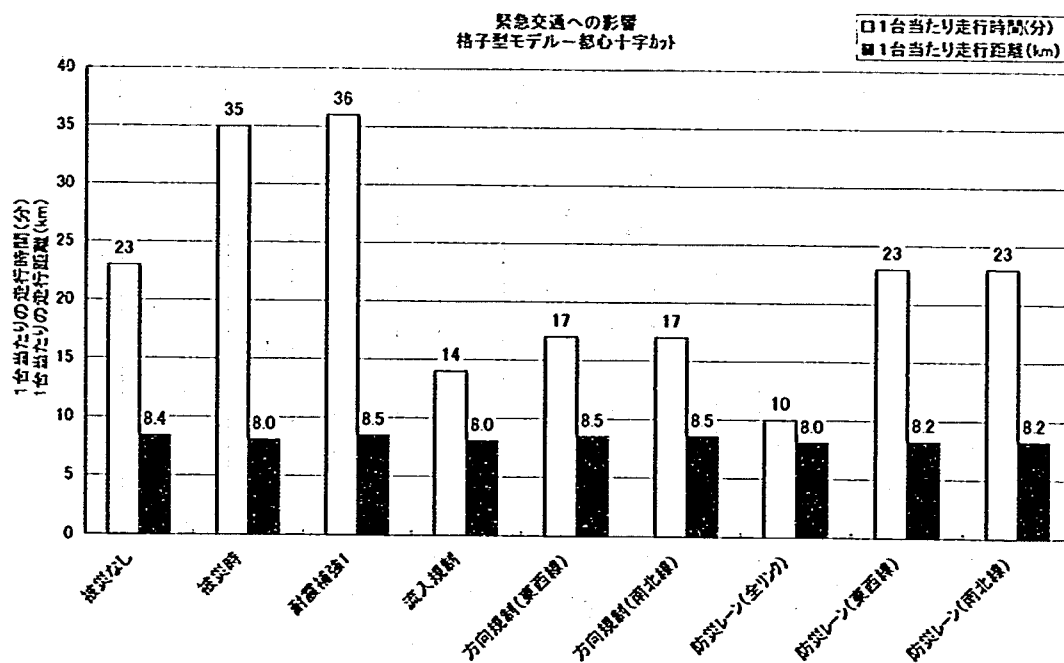
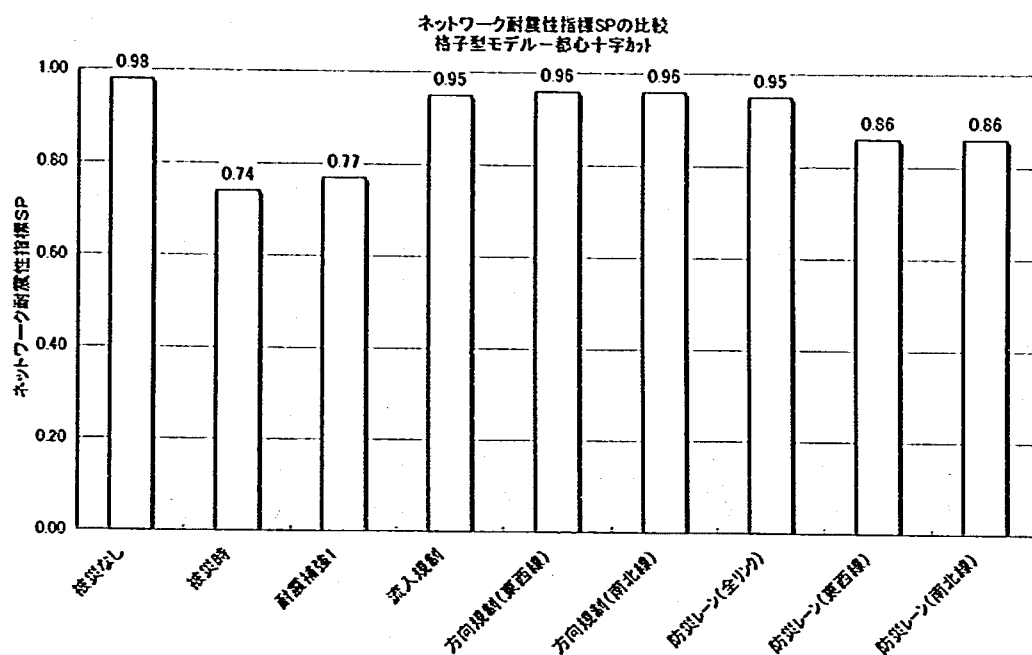


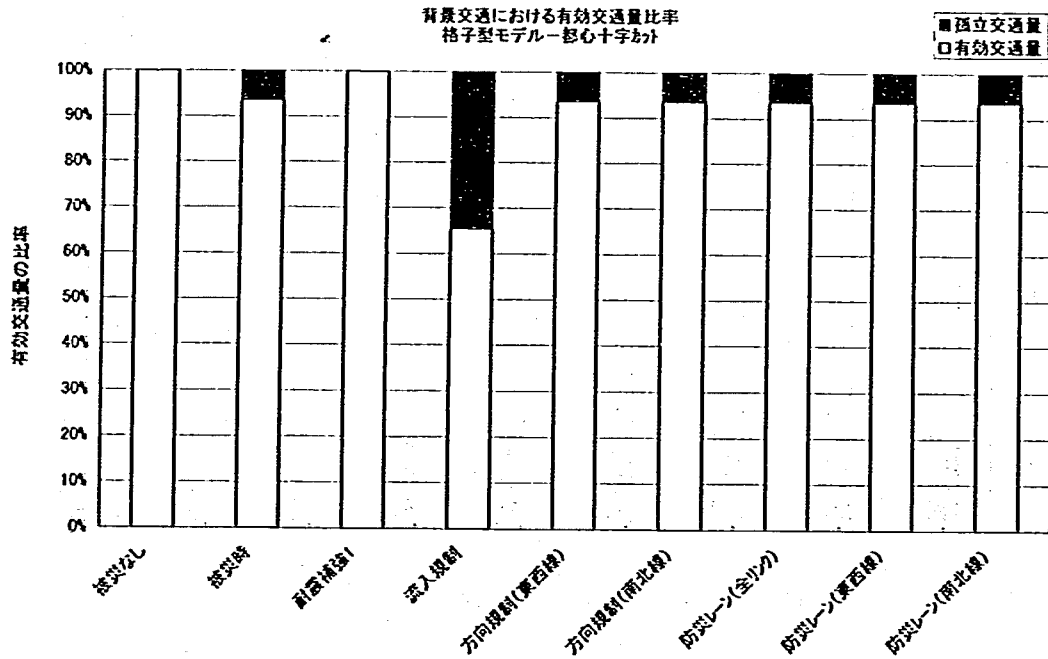
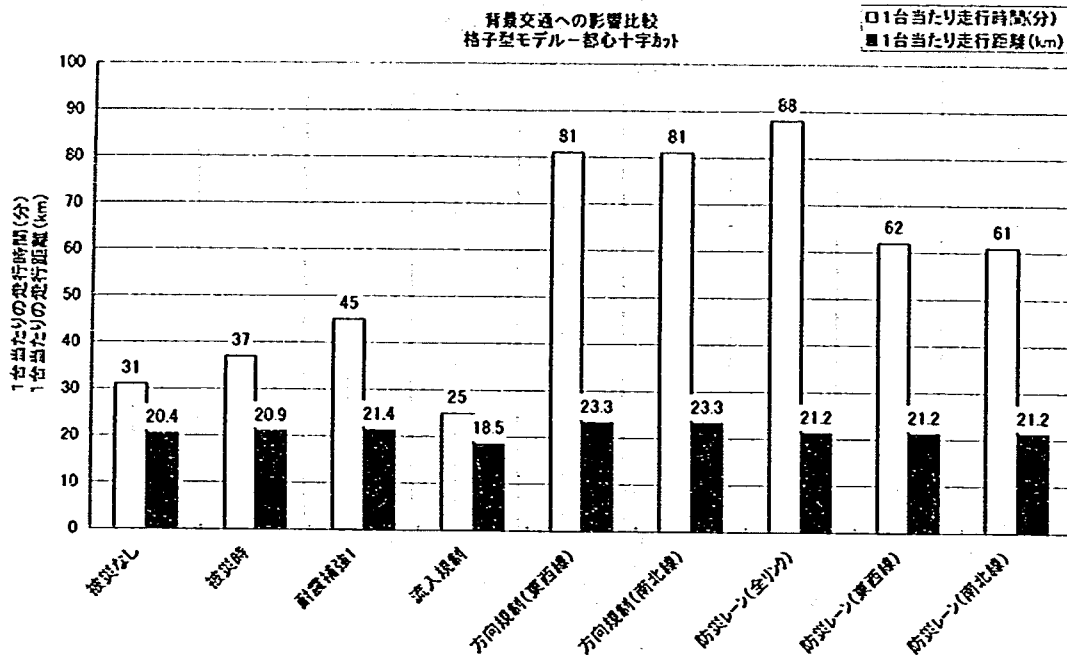
<放射環状型モデルー外放射カット1>



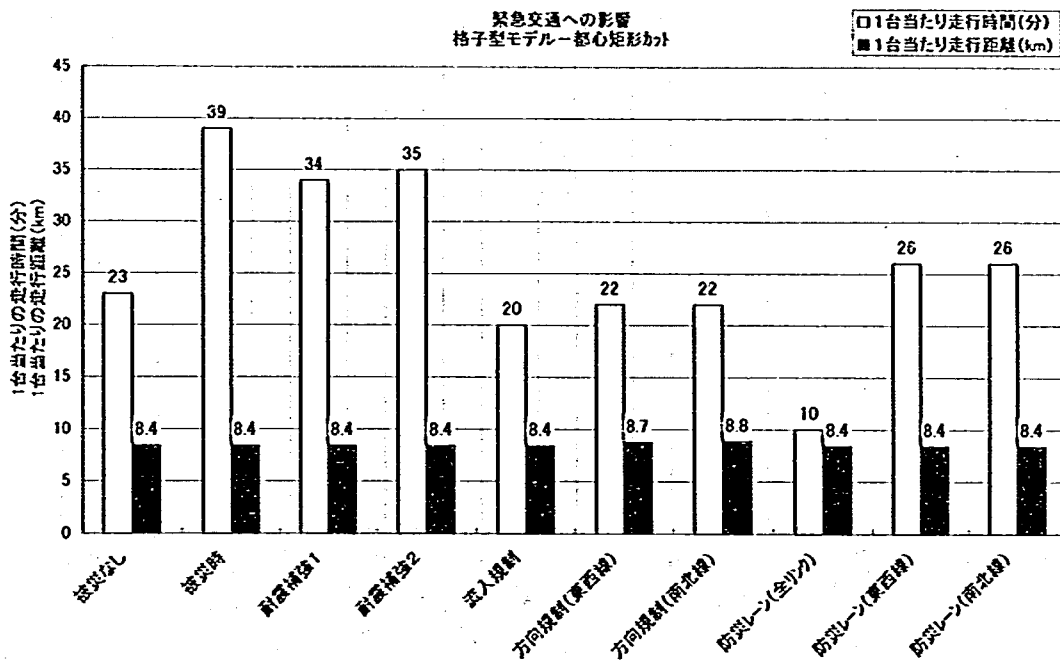
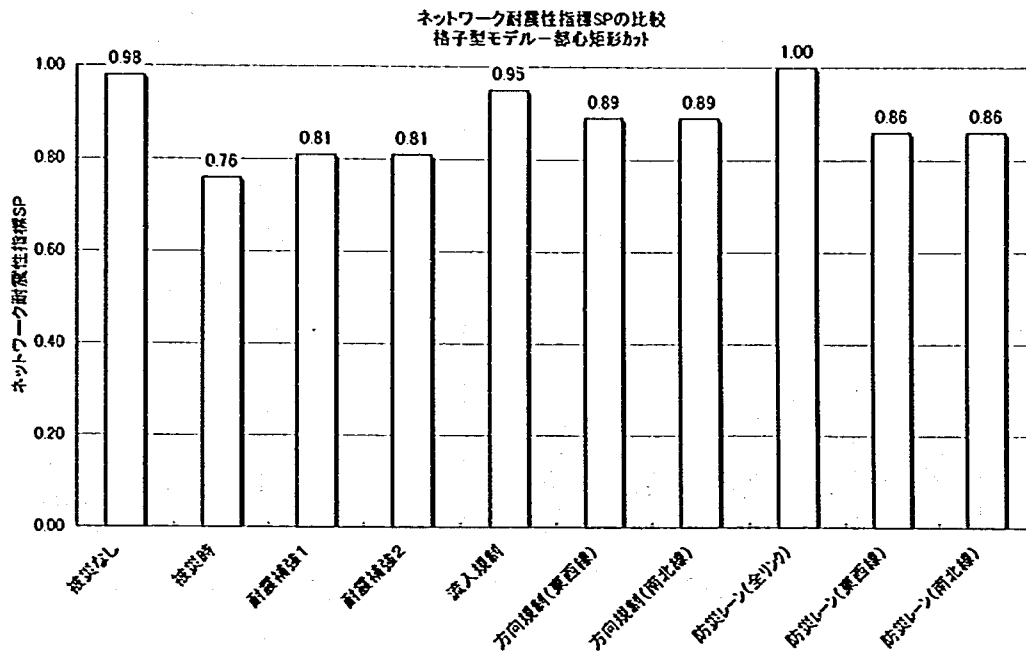


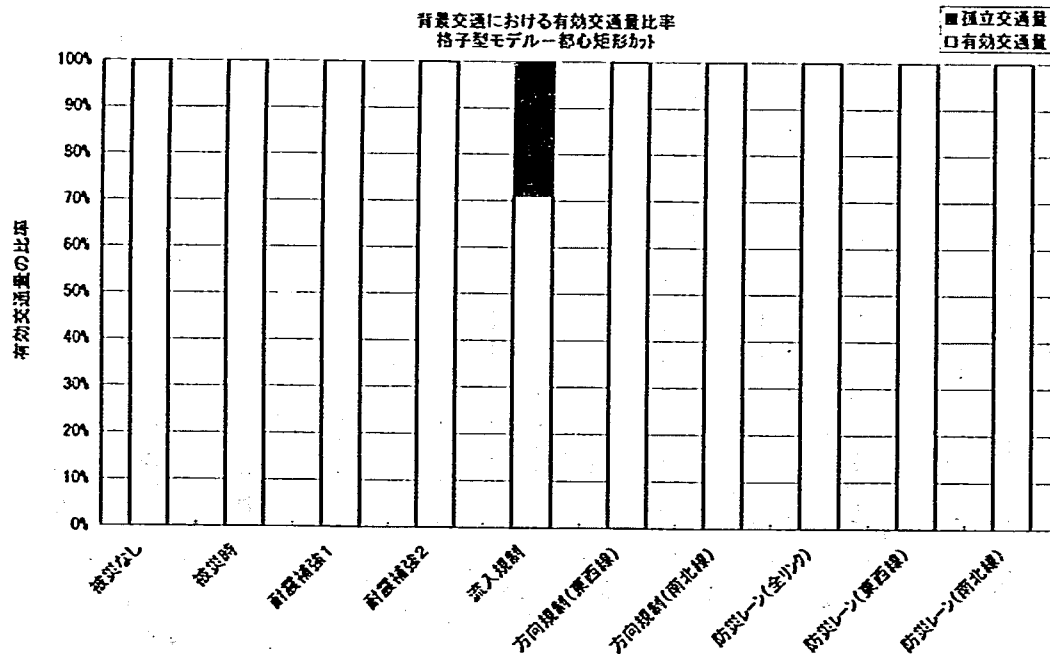
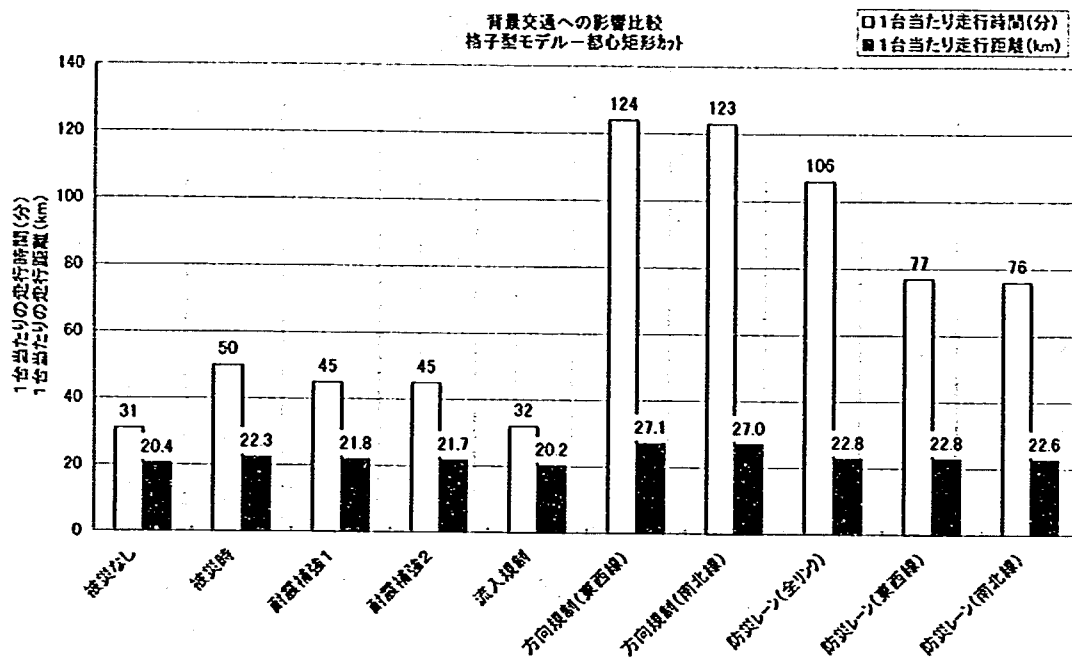
<格子型モデルー都心十字カット>



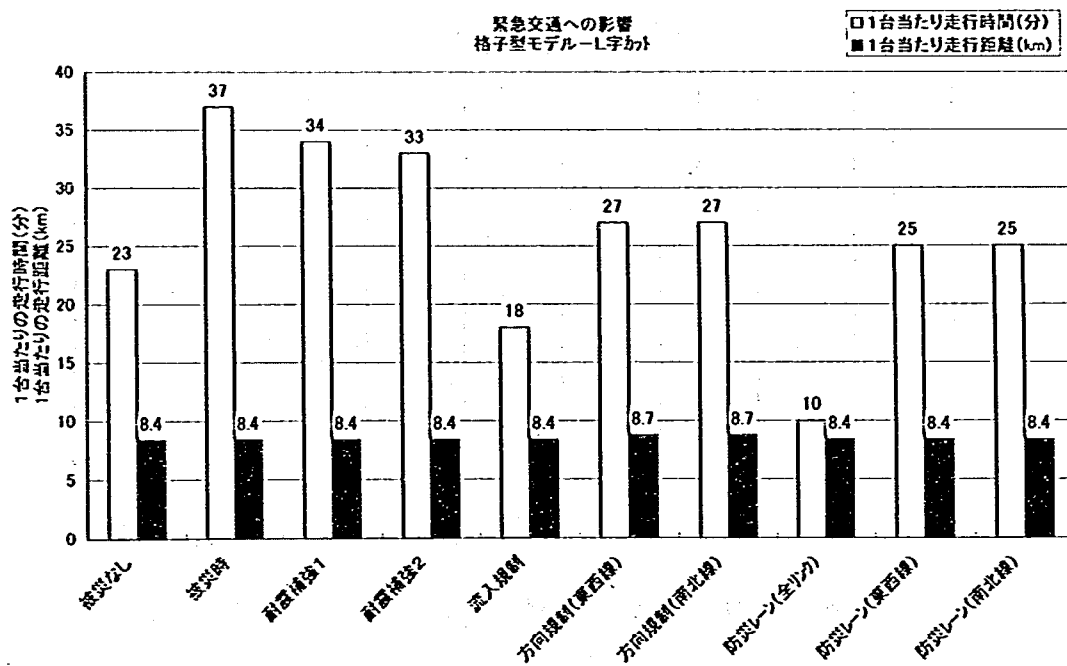
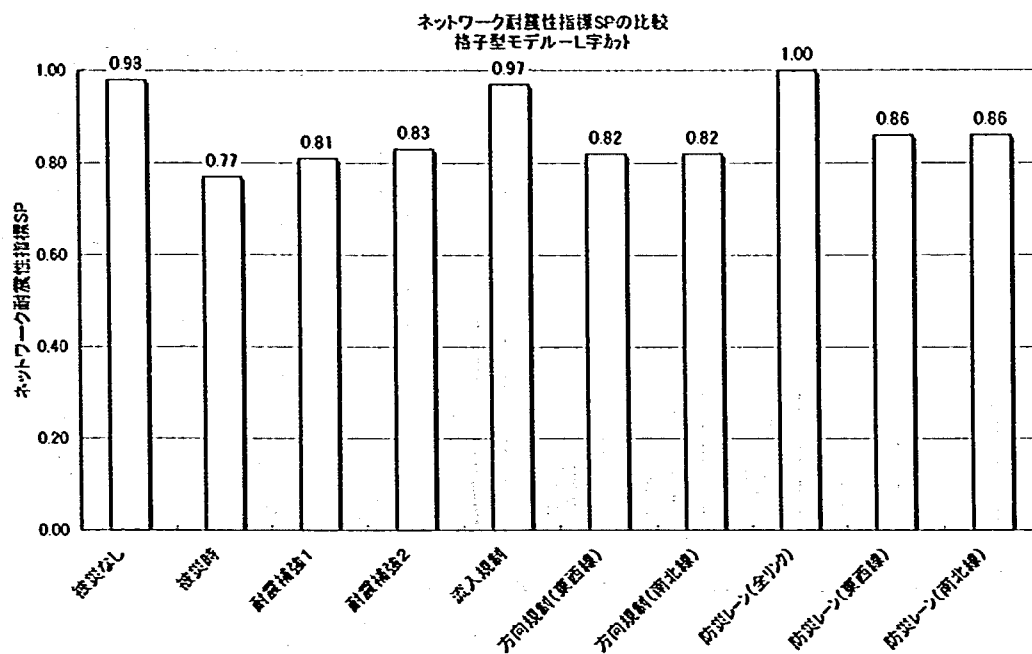


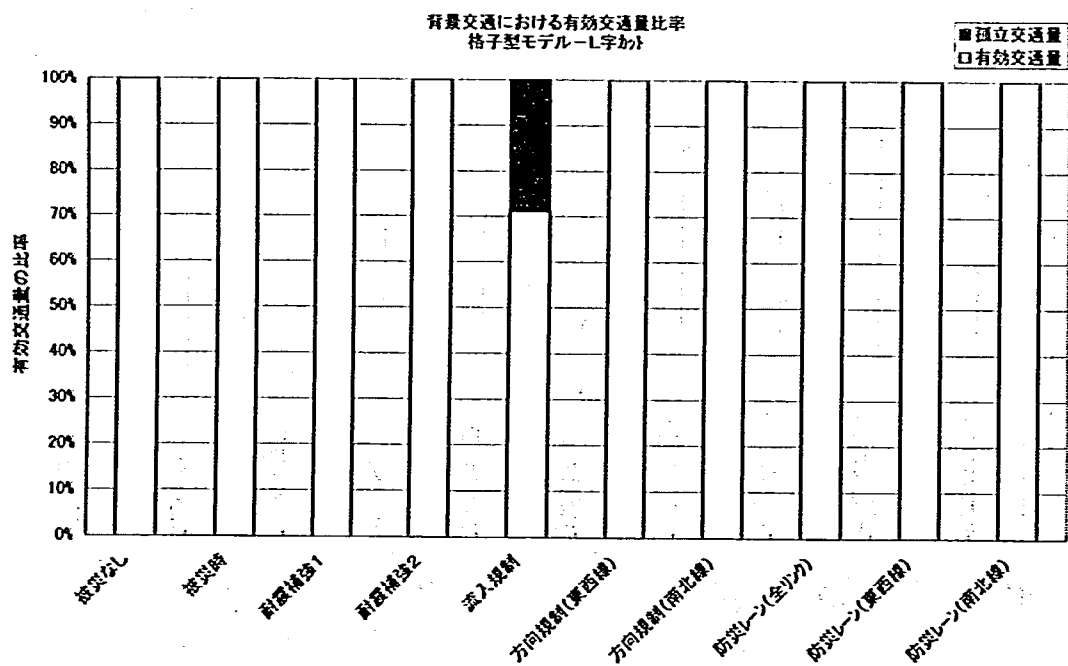
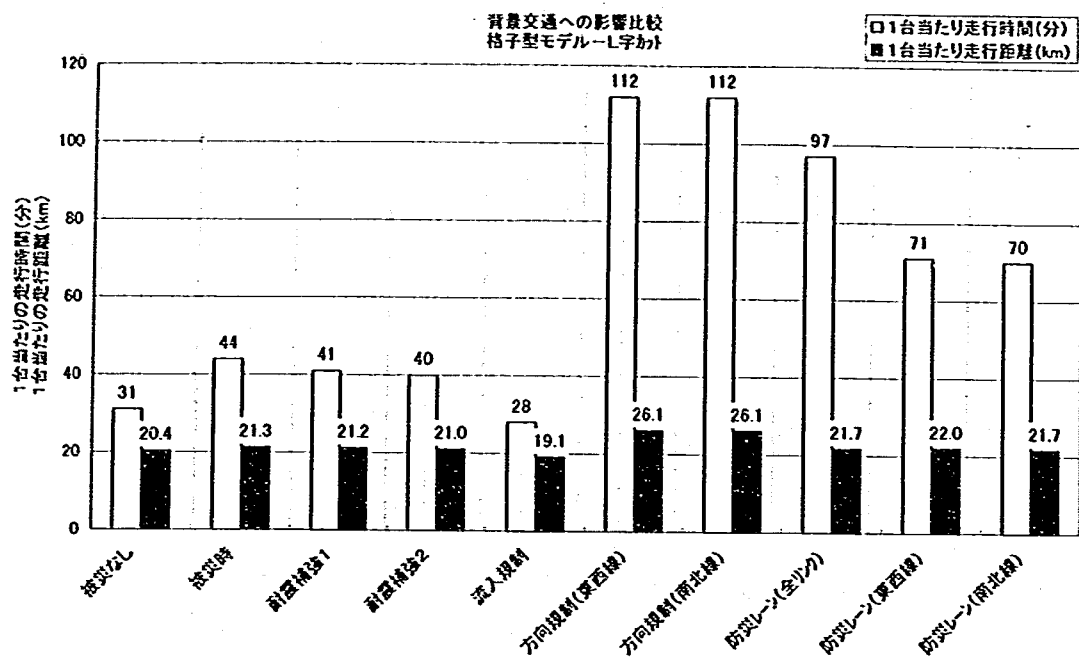
<格子型モデル-都心矩形カット>



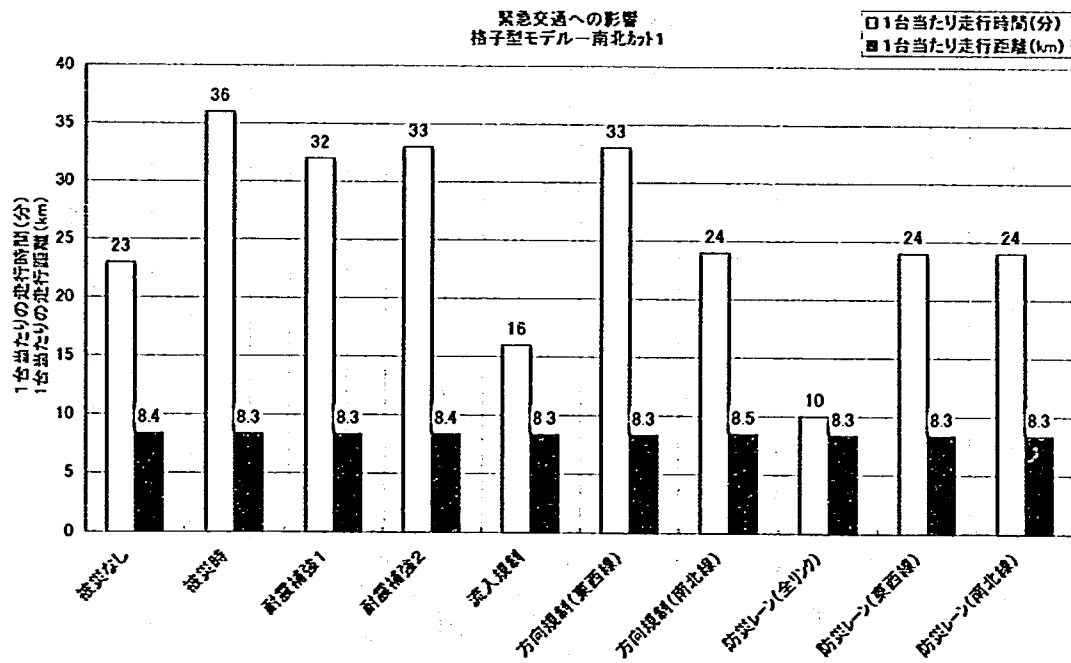
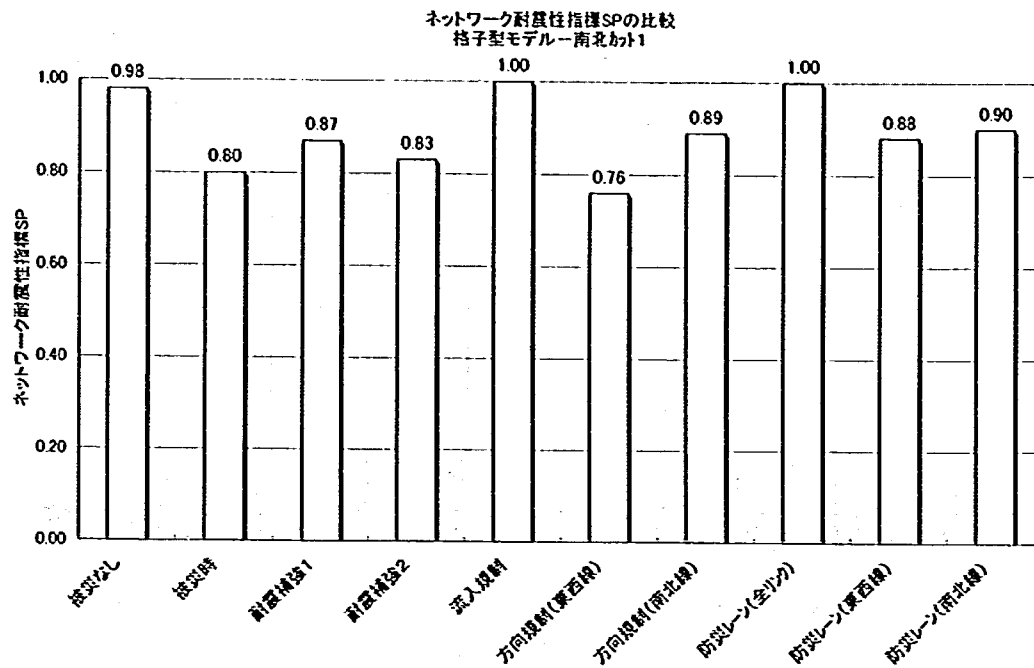


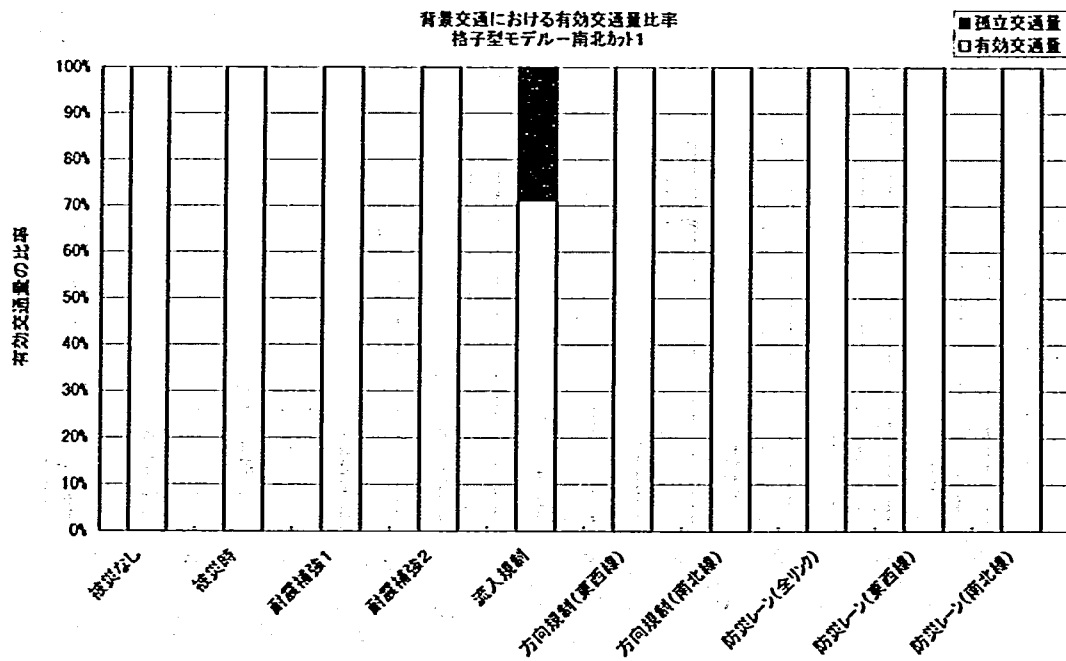
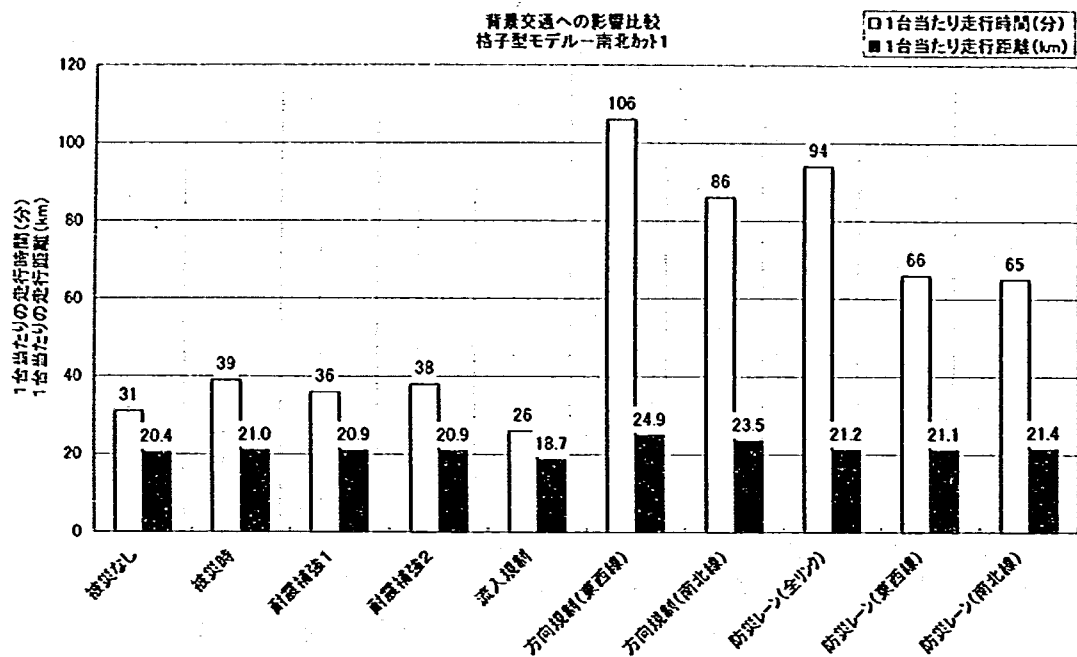
<格子型モデル-L字カット>



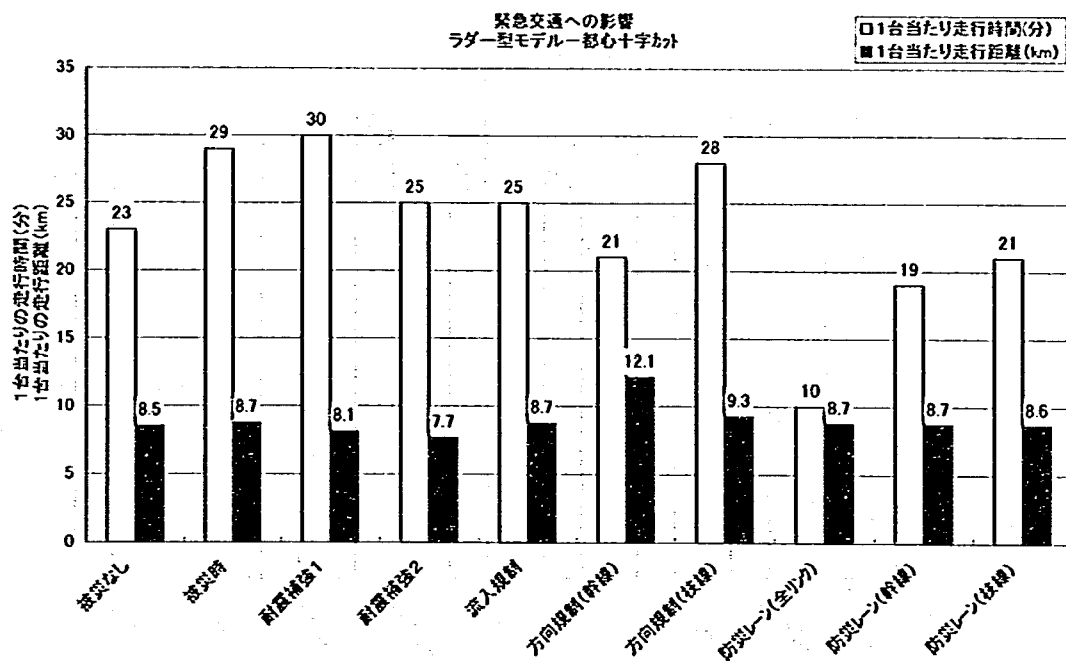
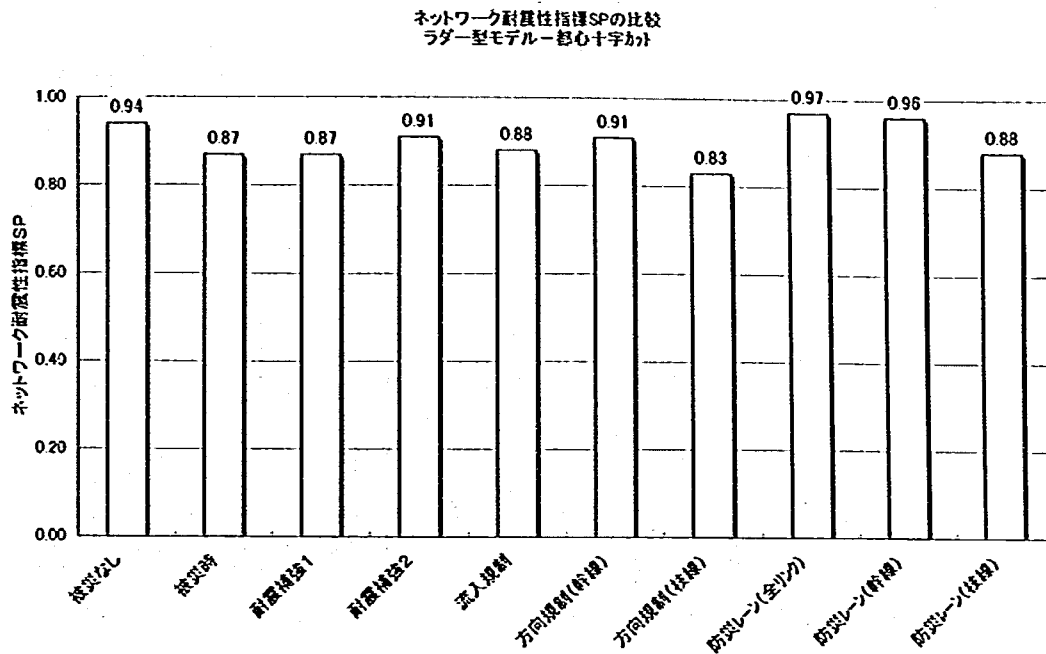


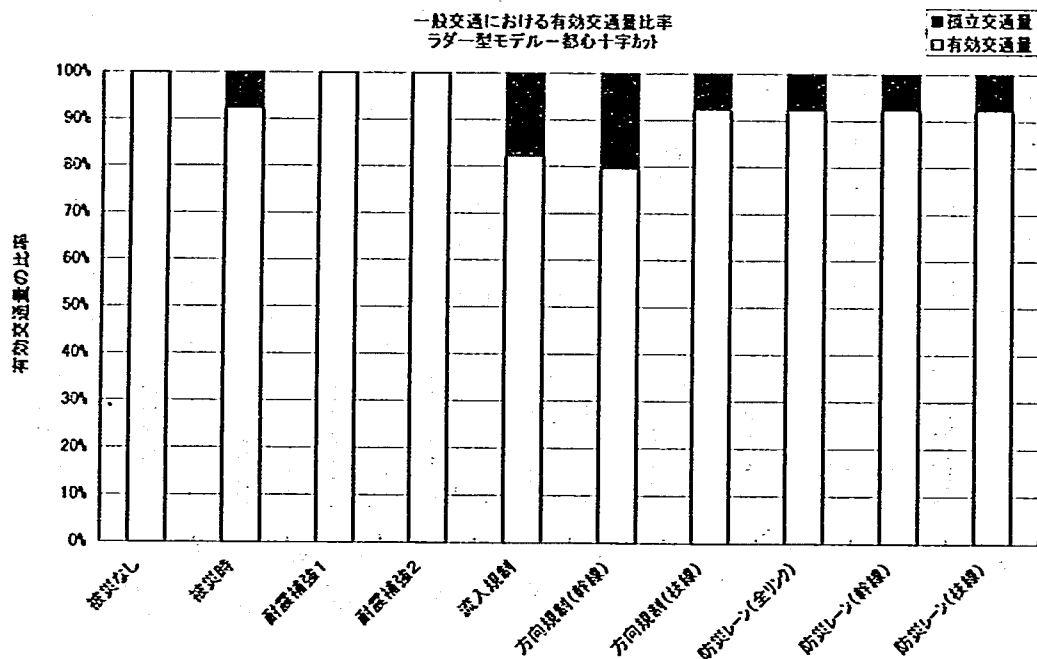
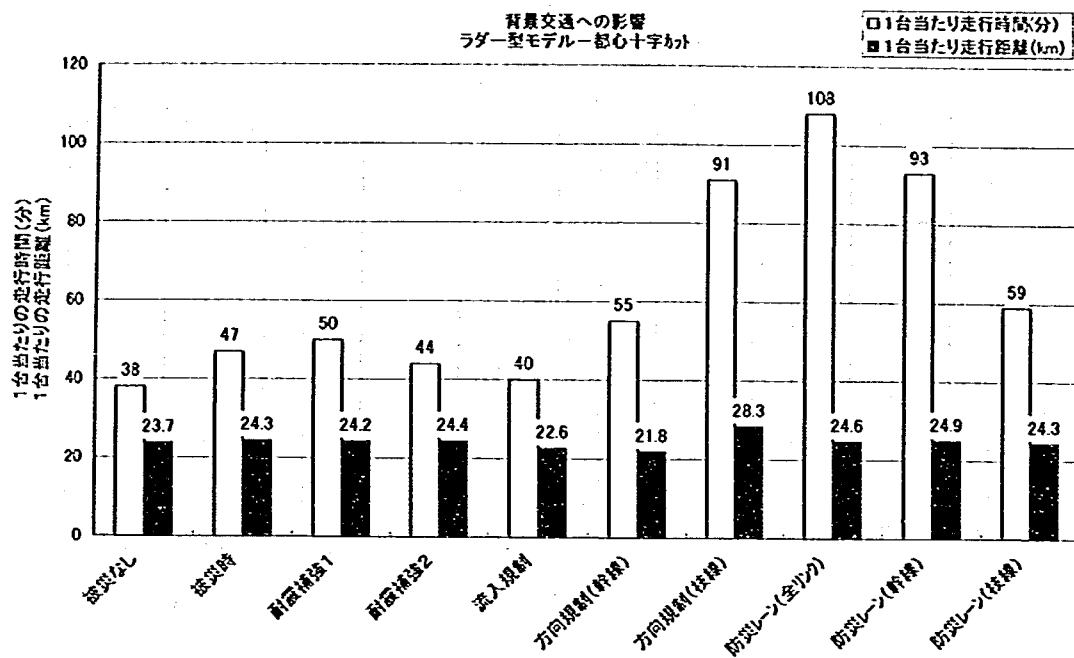
<格子型モデルー南北線カット1>



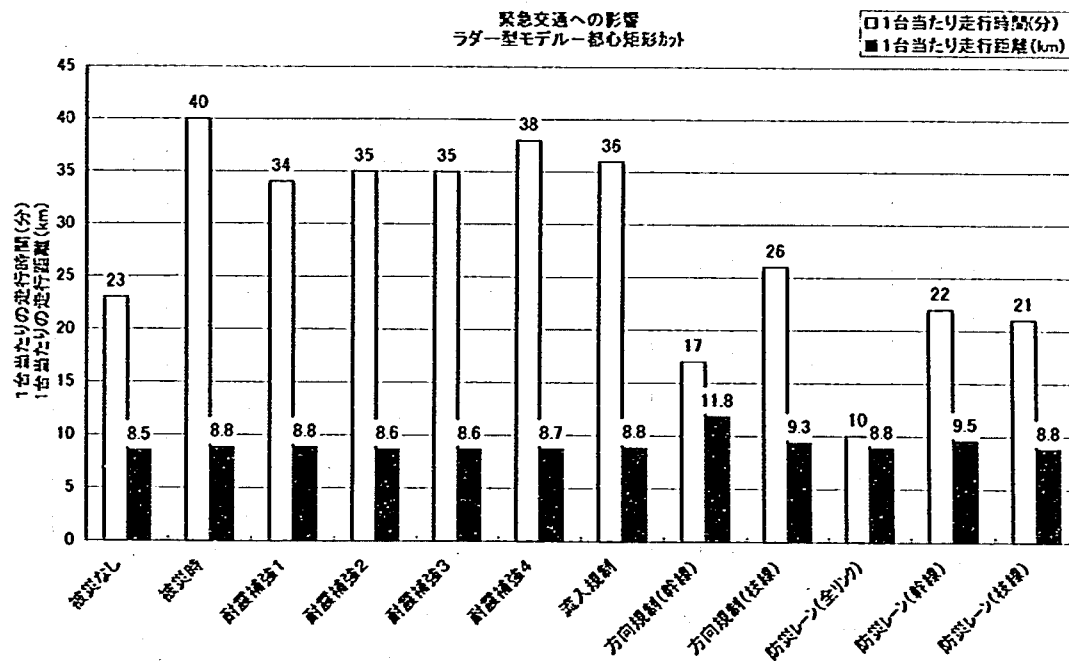
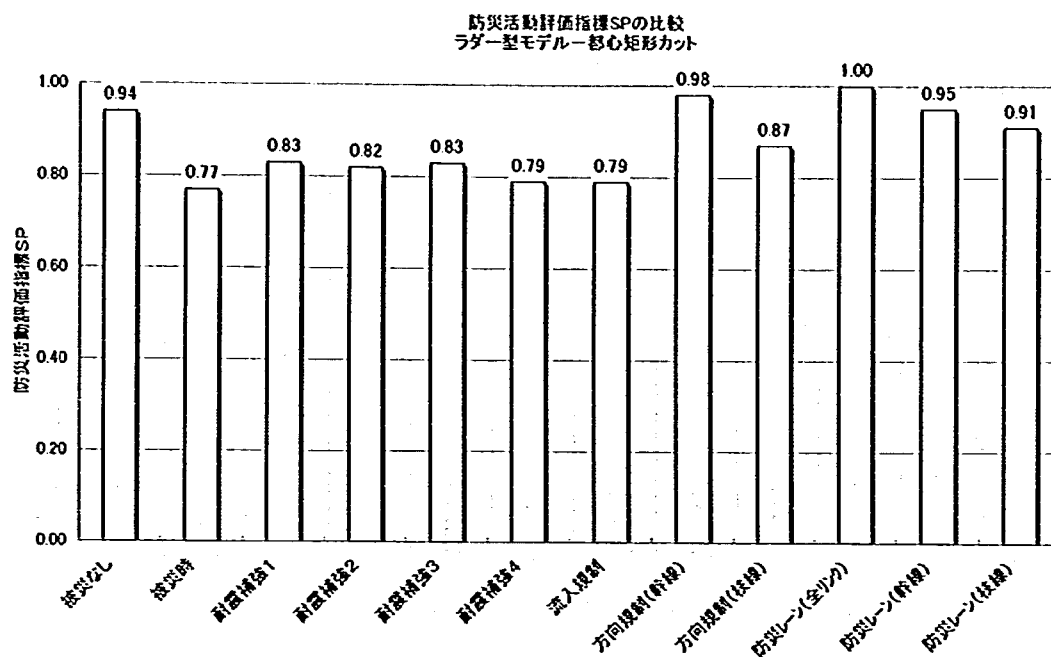


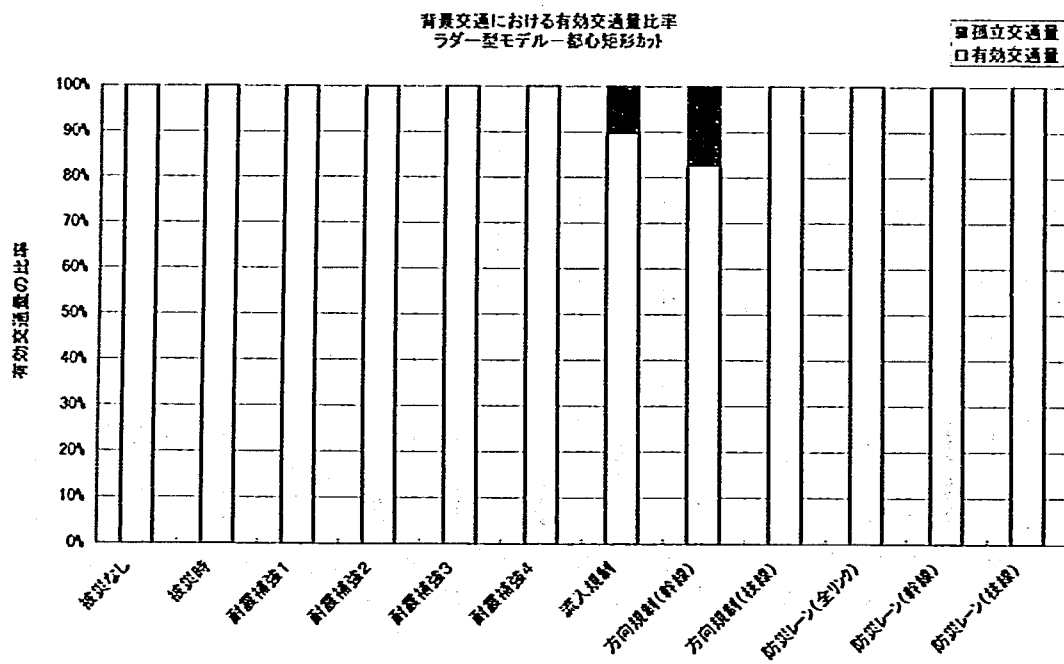
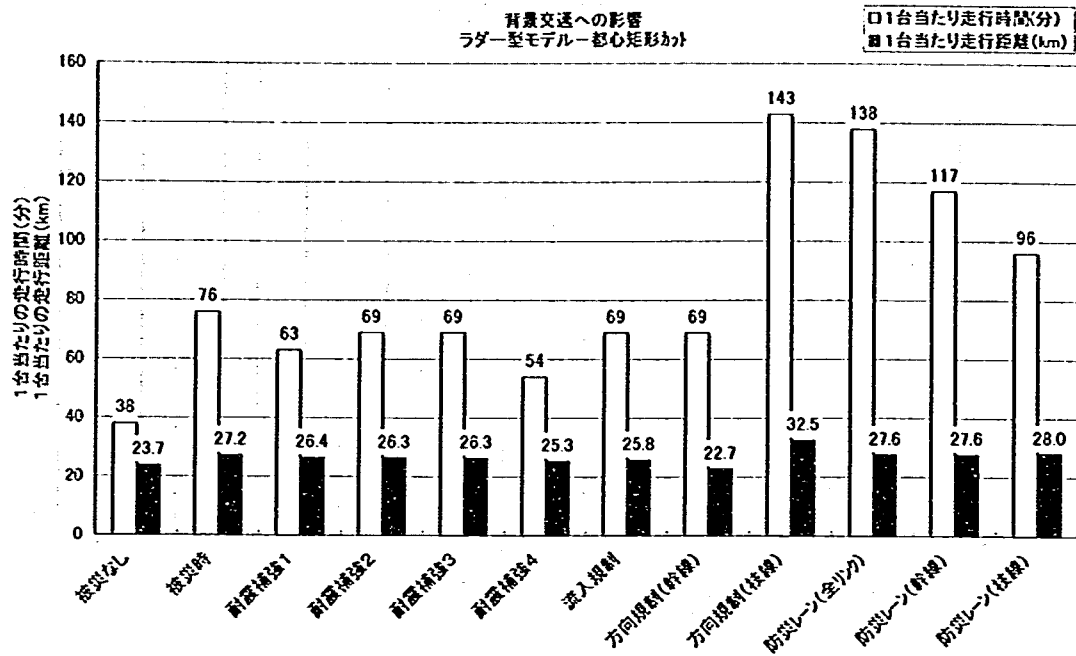
<ラダー型モデルー都心十字カット>



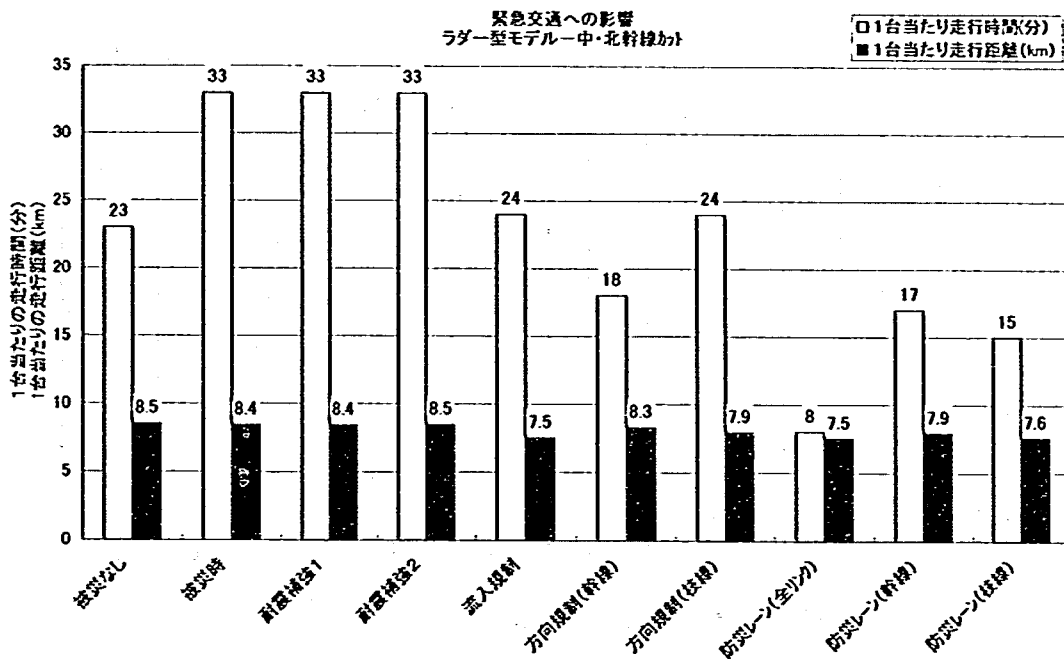
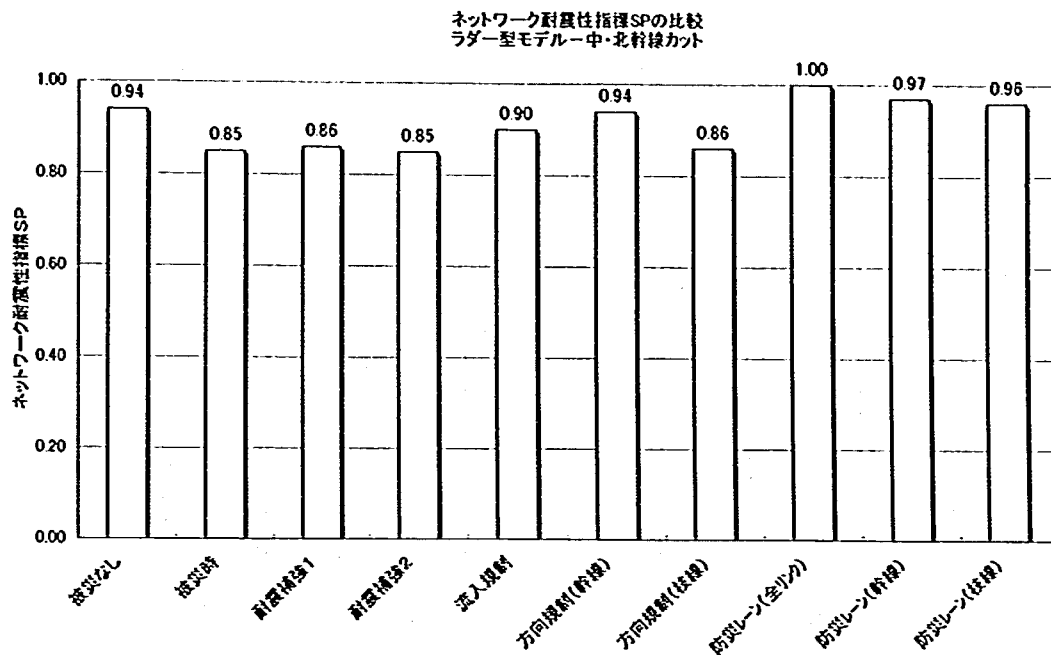


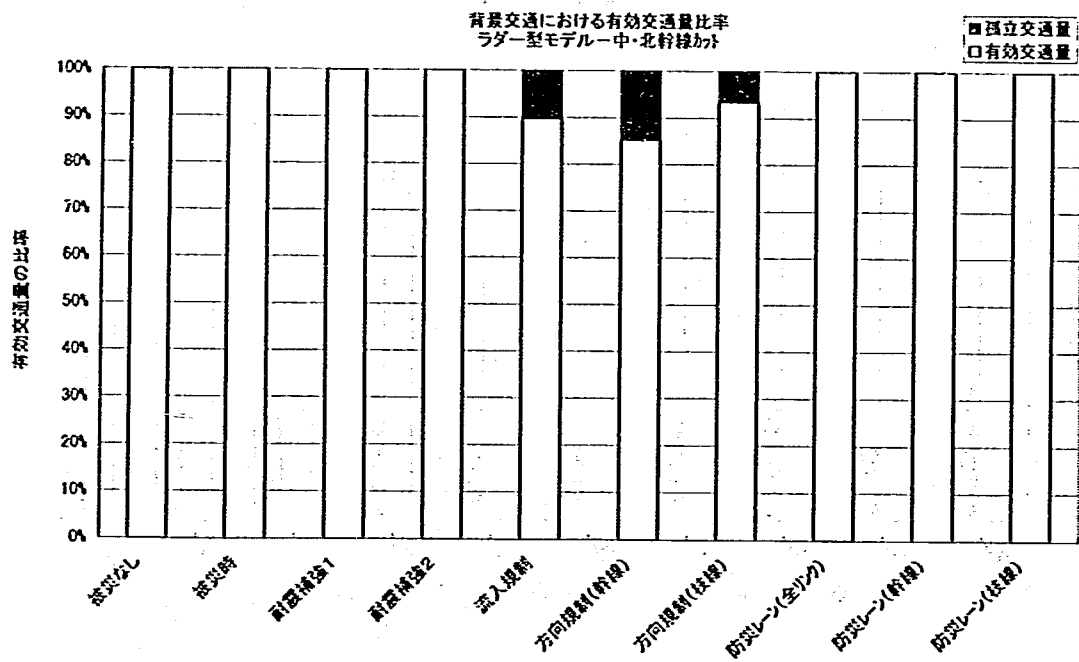
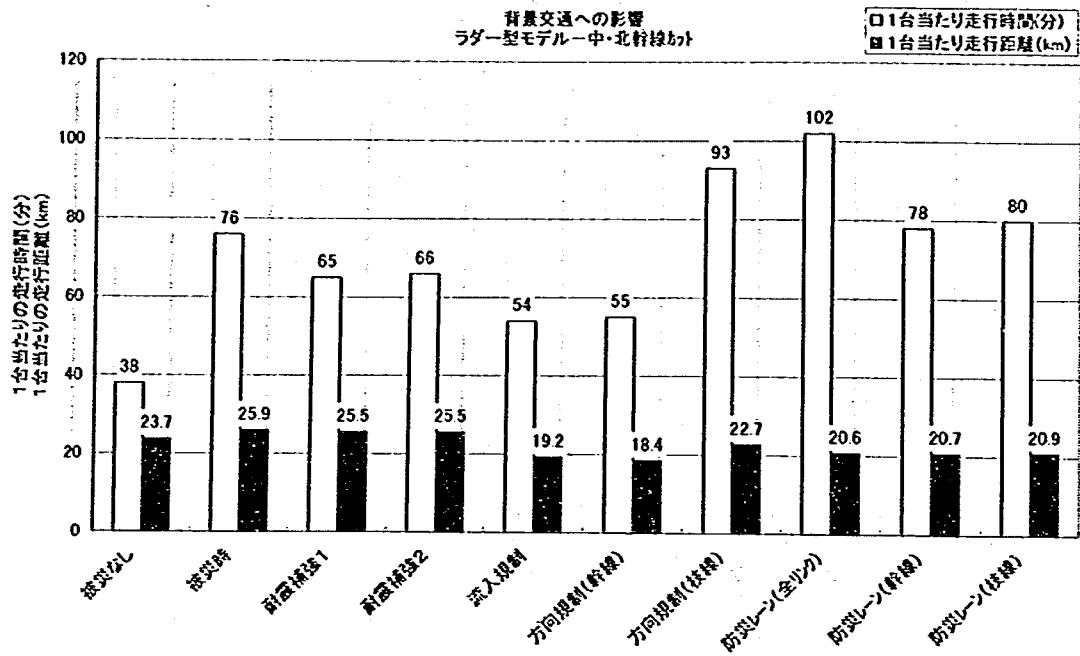
<ラダー型モデル-都心矩形カット>





<ラダー型モデル中・北幹線カット>





<ラダー型モデル-枝線カット1>

