

札幌市における既設橋梁の耐震補強計画

相馬 英敏¹・小泉 健治²・木村 和之³・岩倉 敦雄⁴・阿部 昌平⁵

¹正会員 札幌市建設局土木部 工事二課 (〒060-8611 札幌市中央区北1条西1丁目)
E-mail:hidetoshi.soma@city.Sapporo.jp

²札幌市建設局土木部 工事二課 (〒060-8611 札幌市中央区北1条西1丁目)

³正会員 株式会社 構研エンジニアリング 橋梁部 (〒065-8510 札幌市東区北18条東17丁目1番1号)
E-mail:kimkaz@koken-e.co.jp

⁴株式会社 構研エンジニアリング 道路部 (〒065-8510 札幌市東区北18条東17丁目1番1号)
E-mail:iwakura@koken-e.co.jp

⁵株式会社 構研エンジニアリング 橋梁部 (〒065-8510 札幌市東区北18条東17丁目1番1号)
E-mail:s.abe@koken-e.co.jp

札幌市では、緊急輸送路上の橋梁の耐震補強計画を進めている。限られた財源を効率的に投資し、地震防災上の機能を向上させていくためには、補強優先順位を定量的に評価する必要がある。これまでは路線ごとに重要度を色分けしていたが、道路のネットワークとしての耐震性や重要度を、地震発生直後の防災活動量をひとつのパラメーターとして検討する手法を応用し、一部の地域をモデルとして試行した。

なお、橋脚自体の耐震性能は、耐力、残留変位の他、破壊形態を考慮した指標式を用いて評価した。

限定した条件下での検討ではあるが、防災活動量に与える各橋梁の影響の度合いが定量化でき、地震発生直後の橋梁ごとの重要度を評価できることがわかった。

Key Words : earthquake disaster, road network, earthquake-proof performance, antiseismic reinforcement, retrofit prioritization

1. はじめに

日本は全世界の陸地面積の0.3%にすぎない国土でありながら、世界各地で発生するマグニチュード8以上の大地震の20%が集中しており、世界でも有数の地震国である¹⁾。このため、過去に多くの地震災害を経験し、そのたびに人的・物的損害を被ってきたが、同時に、より地震に強く安全で、安心して暮らすための地震防災技術を発達させながら今日に至っている。

とくに、1995年に発生した兵庫県南部地震では、巨大災害に対する近代都市の脆弱性が露呈し、都市計画や構造物設計をはじめ、その他、多分野多方面に幅広く影響が及んだ。道路橋の設計基準²⁾では、構造物の非線形域における動的挙動を考慮した設計体系とするとともに、設計水平震度(地震時保有水平耐力法レベル)を神戸とその周辺地域の観測波形を基にして引き上げ、これをタイプII地震動として定められた。

このような耐震基準の改訂に加え既設構造物の耐震補強の必要性も強く認識されるようになり、各道路管理者は耐震性が低く緊急性の高い橋梁から順次補強を進めてきた。北海道の道路橋では、高速道路と国道の橋脚補強が順調に進捗しているが、自治体が管理する道路におい

ては、未だ道半ばというのが実情と考えられる。

札幌市では平成10年10月に策定した新しい地域防災計画³⁾の中で、道路の災害対策として緊急輸送路を指定しており、それに伴い橋梁については点検を行い必要な防災対策を促進することとしている。

これを受け建設局土木部では、平成13年度から緊急輸送路上の橋梁を対象とした耐震補強計画に着手しているが、耐震補強水準、基礎の補強、河川橋における施工方法、関係機関との協議・折衝、環境保全対策、工事の優先順位など、単純に解決できない課題も多い。このため、効率的な投資を行うための事業計画の立案と、市民に対する説明責任を果たすこと等を目的として、耐震補強に関する設計施工要領⁴⁾の作成と、耐震補強の優先順位付けを行った。

補強優先順位の評価は、わかり易さを重視し、複雑な解析が伴うことを極力避けるべきと考えたが、同時に定量的な評価ができることも要件である。とくに、これまで示されている路線の重要度評価は、行政的な判断によるものであったため、今回は定量評価の確立に向けた試みとして、モデル地区に災害発生直後の区間重要度評価を適用し、その有効性の検討を行った。

本文ではこの補強優先順位の評価法について報告する。

2. 札幌市の道路ネットワークと緊急輸送路

札幌市は北海道の経済・行政などの中心地として発展を続け、現在の人口は182万人を超えている⁹⁾。これは北海道の全人口の約1/3が集中することを意味しており、地方における一極集中現象が生じているとも言える。

市の面積は1,121.12km²であり、全国第3位の広さとなっている。都市計画区域は全市の約50%に相当する567.89km²であり、山林も多く644.09km²である。

夏の気候は湿気が少なく爽やかであるが、冬は平均気温が氷点下となり降雪量も約5mに達するなど、世界的に見ても稀な豪雪都市である。

このような都市圏の特徴もあり、自動車交通への依存度は高く、都心部の混雑緩和のために通過型交通を中心部から排除すること、隣接する市町村との社会経済活動全般にわたる密接な交流をより強化するための幹線道路の重要性が高まっている。そこで道路ネットワークは、都市内交通と広域交通の有機的な体系化を図るべく、図-1に示す「2連携1環状1バイパス11放射道路」を交通の骨格として構成している⁹⁾。

道路全体の延長は平成10年4月現在、5,340.8kmであり、道路種別でみると、国道190.5km、道道234.4km、市道4,915.9kmである。ほとんどの道路は幅員が広く、災害時の緊急輸送路としての有効性は高いが、冬季の場合、積雪による通行障害などの発生が懸念される。また、建物密集地には幅員の狭い道路もあり、避難、救助、消火活動などの支障となることも考えられる。

その他の交通機関には鉄道があり、その延長は函館線、学園都市線、千歳線のJR3路線56.1km、札幌市営地下鉄3路線45.2km、市営路面電車1路線8.5kmである。

札幌市地域防災計画⁹⁾による緊急輸送路の指定は、消防、医療、救援物資輸送等の活動を支援するために防災拠点と結節できるよう、多重性、代替性を考慮して選定されている(表-1)。この路線では道路の機能確保のため、交通障害物の除去や除雪が優先的に行われることになっている。なお、「2連携1環状1バイパス11放射道路」はすべての路線が第1次もしくは第2次の緊急輸送路に指定されている。

3. 耐震補強事業計画のこれまでの経緯

札幌市が管理する道路橋の数は、平成12年4月1日現在1,131橋である。これらの中から、地震防災上重要かつ耐震性能の乏しい橋梁を優先的に補強する必要があるが、まず各橋梁が保有する現況の耐震性能を把握しなければならない。そして、その性能は必要な条件を満たすものであるのか否かの評価を行う。これら一連の検討作業を「耐震診断」とし、その内、構造計算を行わずに

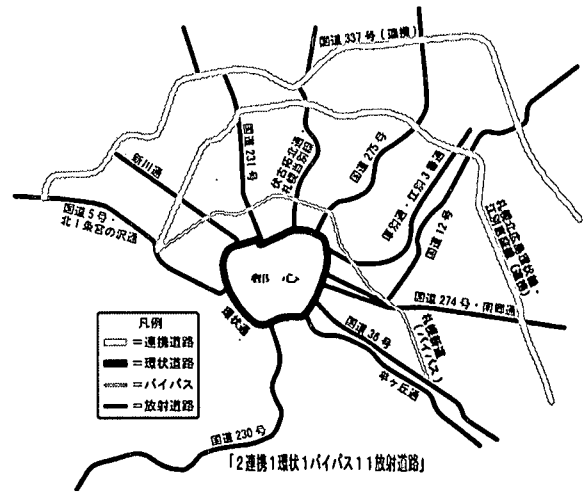


図-1 札幌圏域の道路ネットワーク

表-1 緊急輸送路の種類と延長

種別	第1次緊急輸送路	第2次緊急輸送路
定義	広域的な輸送を行う道路。 緊急車両専用の路線。 一般車両は通行禁止。	市役所、区役所、避難場所などの防災拠点を結ぶ道路。 第1次緊急輸送路の代替路線。
指定道路	高速道路、一般国道、道道、市道	道道、市道
延長	253km	435km

いくつかの評価項目による点数付けから優先順位を決めるまでの作業を「1次診断」、そこで抽出された重要橋梁に対して行う詳細な構造検討による耐震性能の把握を「2次診断」とした。

(1) 1次診断

診断の手順は次のとおりである。まず、全橋梁の中から橋長15m以上の橋梁を抽出し、その橋梁群に対して以下の評価項目による点数付けを行った。

橋梁の交差状況(鉄道、高速道路、河川 etc.)、緊急輸送路、適用示方書、断層領域上(地域防災計画の想定断層)、平日交通量、バス路線、迂回路、DID区間。

この結果113橋が抽出され、そのうち単純桁形式の30橋には落橋防止装置を設置することで耐震対策を完了とし、残りの80橋を2次診断の対象とした。

(2) 2次診断

2次診断に送られた80橋のうちJHへの委託分などを除いた対象橋梁は69橋となった。ここでの構造検討は静的照査法の範囲内で行うこととし、耐震性能の確認手法は地震時保有水平耐力法によることとした。

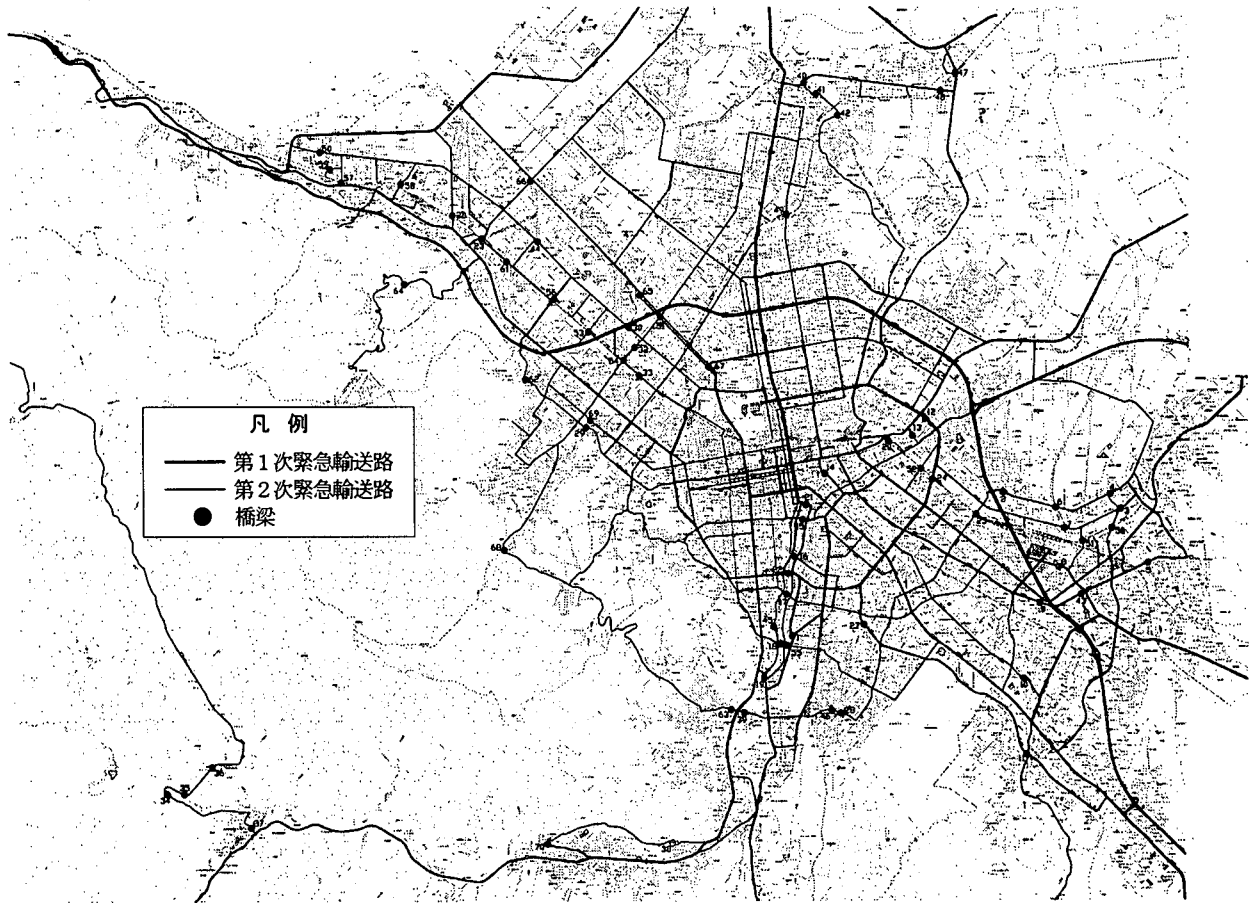


図-2 緊急輸送道路網と橋梁の位置

現況の構造検討は、柱、フーチング、基礎のすべてに対して行い、保有する耐震性能の総合的な評価のための基礎資料とした。図-2には緊急輸送道路網と2次診断の対象橋梁69橋の位置を示した。なお、緊急輸送路には国およびJHが管理しているものがあるが、それらの路線にある橋梁はこの図では示していない。

4. 補強優先順位の評価手法

(1) 基本的な考え方

耐震性能を向上させるための対策には費用を要するが、限りある財源を防災対策のみに集中投資することはできない。当然、すべての橋梁の補強完了までには長期間を要するであろうし、財政的な制約がある以上、避けられないことであり、その間被災リスクが残存することになる⁷⁾。したがって、どの橋梁から優先的に補強に着手するのがリスク対策の観点から適切なものか、定量的な分析結果による判断が必要とされる。

文献8)によると、耐震補強の予算配分は、費用便益分析に基づいて、対象橋梁の補強の必要性や他の橋と比較した相対的な補強の必要性を定めなければならないが、現在用いられている補強優先順位の設定方法の多くは、費用や便益を定量化するのではなく、相対的なリスク評

価に基づいているということが示されている。

佐藤ら(1995)⁹⁾は、大都市における既設道路橋の地震防災上の重要度の評価手法として、道路の路線・区間としての重要度と橋の被災時の影響度の2種類の因子の組み合わせによる定義・分類を提案している。

また、文献10)、11)では道路ネットワークの耐震性評価手法に関する研究を行っている。この中で、道路の耐震性評価は、道路構造物や沿道・占用施設の被害に関連した道路の区間の機能を評価する「道路の区間としての耐震性」と代替路の有無の観点から評価を行う「道路のネットワークとしての耐震性」の2つの観点により行う方法を示している。

このように、目的は橋梁の耐震補強であっても、橋梁は道路を構成する一部分であるため、優先度を評価するにあたっては道路網の機能面から検討することが重要となる。

以上の評価事例や研究成果を参考とし、札幌市の耐震補強計画においては以下に示す3つの評価要素に基づいた優先順位の検討を行うこととした。

- 緊急輸送路のネットワーク性能に対する評価
- 橋梁の耐震性能に対する評価
- 投資効果も考慮した工事コストに関する評価

このうち、現時点ではb)の耐震性能の評価が完了しているが、a)、c)に関しては検討作業中である。

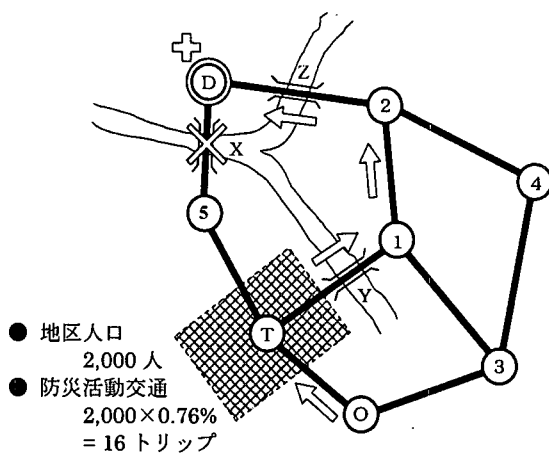


図-3 区間重要度評価のイメージ

(2) 緊急輸送路のネットワーク性能に対する評価

地震後における道路の性能評価法としては、たとえば文献 12), 13), 14) のような研究があり、道路交通等に関する十分なデータと解析に費やす時間があれば、確固たる根拠に基づいた定量評価も可能と考えられる。また、前出の文献 10), 11) についてもほぼ同様であるが、現時点ではデータが不十分でもあり不確実な要素が多すぎることから、今回の札幌市の事業計画に対して、それらを完全な形で適用することは困難と判断した。

そこで、文献 10), 11) の手法をヒントにして、ある限られた地域の道路ネットワークに対する耐震性能の検討を行ってみた。

図-3 はその考え方をイメージで示したものである。区間重要度は地震発生直後の防災活動を想定して評価するため、地域防災計画で定められた災害時基幹病院を中心とした地域ごとの緊急輸送路網によって検討する。

防災活動は消火、救助などであるが、ここでは災害発生地域の負傷者を基幹病院まで搬送する場合の緊急車両の動きを考える。

緊急車両は図-3 の消防署 O から出発し、中継点である T を経由して最終目的地の基幹病院 D へ向かうものとする。このルート上には X, Y, Z の 3 橋が存在し、X 橋の機能が確保されていれば、最短ルートで基幹病院 D に到達できる。仮に X 橋が通行不能となった場合、Y 橋、Z 橋の 2 橋を通過する迂回ルートを使用することとなり、時間損失が発生する。

同様に、中継点を移動させ、また他の橋梁が通行不能となる場合についても時間損失を算定することで、この地域における各橋梁の防災活動への影響度、つまり重要度が評価できるものとする。

なお、防災活動交通の発生量は、文献 10) を参考に、対象地域の人口に対する比率を 0.76% とし、算定された数値を緊急車両台数と考え、これと走行時間を乗じた「台時」を評価に用いた。

(3) 橋梁の耐震性能に対する評価

橋梁ごとの耐震性能は、2次診断の結果を用いて評価した。地震時の性能は現行示方書の要求性能および過去の地震被害に基づく損傷形態を考慮し、次の項目を対象とした。①十分な耐力をもっているか、②十分な変形性能を持つと同時に有害な残留変形を生じないか、③段落とし部の損傷が先行しないか、④断面のせん断耐力曲げ耐力比は十分であるか、等である。

この内、④の指標は文献 15), 16) を参考としたもので、兵庫県南部地震における鉄筋コンクリート橋脚の損傷程度とせん断耐力余裕度には相関が認められる、という研究結果に基づくものである。耐震補強をする際にも、せん断耐力曲げ耐力比が小さく、せん断耐力余裕度の低い構造物を優先するのが望ましいとしている。

耐震性能指標値の算定は上記 4 つの項目を用いた算術積によることとした。算術和型の評価式も考えられたが、文献 8) を参考に、大きな評価の幅を与えることによって多数の橋梁群の中から補強すべき候補を抽出しやすくなる算術積を採用した。

2次診断の結果から耐震性指標値の算定までの流れと考え方は以下のとおりである。

a) 保有水平耐力比 (I_1)

- 慣性力と保有水平耐力の比率を算定する。

(各橋脚の橋軸方向、直角方向、タイプ I・タイプ II 地震動に対して算定)

- 算定の結果、所要の耐力をもつ(比率が 1 以上)の場合は、保有水平耐力比は 1 とする。
- 橋梁単位の保有水平耐力比を、慣性力作用方向別、地震動タイプ別に算定する(4 種類の指標値)。この際、橋梁群の中での相対的な順位が明瞭につくよう、各々の指標値は 2 乗し、全橋梁分の算術和を橋脚基数で除し、橋梁単位の保有水平耐力比とする。

$$I_1 = \left(I_{P1}^2 + I_{P2}^2 + \dots + I_{Pn}^2 \right) / n \quad (1)$$

- ひとつの橋梁で 4 つの指標値が得られるため、橋梁の代表値は安全側の評価を考え、最小値を採用する。

b) 残留変位比 (I_2)

- 残留変位量と許容変位量の比率を算定する。

(各橋脚の橋軸方向、直角方向、タイプ I・タイプ II 地震動に対して算定)

- 他の項目の評価と傾向を合わせるため、比率は逆数にして用いる(1 以上が OK 判定)。
- 所要の残留変位量である(比率が 1 以上)場合は、残留変位比は 1 とする。
- 以下の算定手法は、保有水平耐力比に準じ、橋梁の代表値として最小値を採用する。

c) 段落とし損傷先行型 (I_3)

・段落としの損傷が先行するケースは、損傷形態に関する係数として、0.8を乗ずる。

d) せん断曲げ耐力比 (I_4)

- ・基部および段落とし断面におけるせん断耐力とその断面が曲げ降伏に至るときの水平力（水平耐力）の比率を算定する。
- ・算定の結果、せん断耐力に余裕のある（比率が1以上）場合は、せん断曲げ耐力比は1とする。
- ・以下の算定手法は、保有水平耐力比に準じ、橋梁の代表値として最小値を採用する。

e) 耐震性指標

上記4項目の評価値に基づき、耐震性指標を算定する。耐震性指標の算定式は、数ケースの試算結果から式(2)を採用した。これは耐力と残留変位の指標を重視しつつも、損傷形態の影響も反映させる考えによるものである。

$$I_s = I_1 \times I_2 \times I_3^{\frac{1}{2}} \times I_4^{\frac{1}{4}} \quad (2)$$

(4) 投資効果も考慮した工事コストに対する評価

橋梁の立地条件や現況耐震性能によっては大規模な工事になることも予想される。狭隘な桁下空間での仮設構造物の構築、水深の大きな河川での締切り工・栈橋、近接工事対策費用などに要する費用を考えると、投資額をライフサイクルとの関わりから評価する観点も必要であると考え、評価手法を検討中である。

5. 補強優先順位の評価結果

(1) 路線重要度について

緊急輸送路のネットワーク性能に対する評価が未完であるため、在来型の分類による路線重要度を用了優先順位の結果について説明する。

補強対象橋梁の優先順位は文献9)を参考に、図-4に示すマトリクス上で整理した。これは横軸に路線の重要度を、縦軸に橋梁の耐震性能を表しており、路線重要度の高いものはランクが高くなり、耐震性能の低いものもランクが高くなるように組まれている。

したがって、図-4の左上に位置するものは被害規模が大きくかつ影響も大きな、リスクの高い橋梁群である。それとは逆に右下の橋梁群は、保有する耐震性能が高く、路線重要度も低いいため、相対的なリスク値は低いと判断できる。

路線重要度は次のように分類している。

- 重要度5：1次緊急輸送路
- 重要度4：こ線橋（JR幹線のみ）
- 重要度3：2連携1環状1バイパス11放射道路
- 重要度2：その他の2次緊急輸送路

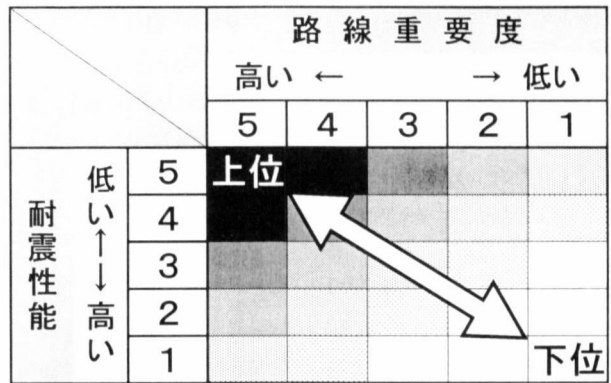


図-4 補強優先順位のマトリクス

表-2 対象橋梁の準拠示方書別分類

準拠示方書 (耐震設計編)	橋梁数					比率 (%)
	(橋)	5	10	15	20	
S.31	2	■				2.7
S.39	18	■■■■■				24.7
S.47	21	■■■■■	■■■■■			28.8
S.55	19	■■■■■	■■■■■			26.0
H.2	10	■■■■■				13.7
H.7 (復旧仕様)	3	■■■				4.1
合計	73					100.0

表-3 対象橋梁の供用年数別分類

供用年数	橋梁数					比率 (%)
	(橋)	5	10	15	20	
40年以上	1	■				1.4
35年～39年	2	■■				2.7
30年～34年	18	■■■■■				24.7
25年～29年	9	■■■■■				12.3
20年～24年	13	■■■■■	■■■■■			17.8
15年～19年	9	■■■■■				12.3
10年～14年	8	■■■■■				11.0
5年～9年	10	■■■■■				13.7
5年未満	3	■■■				4.1
合計	73					100.0

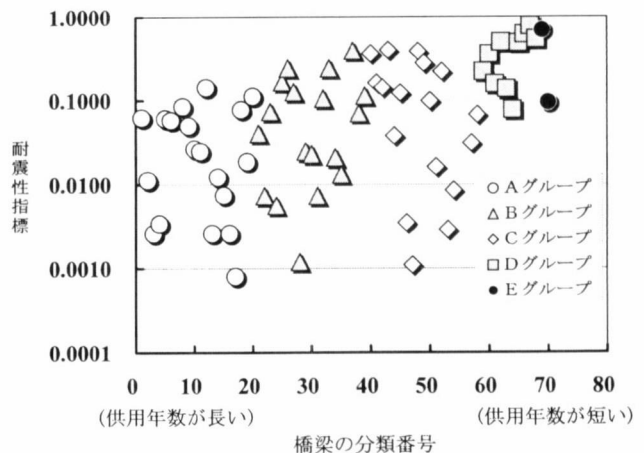


図-5 耐震性指標

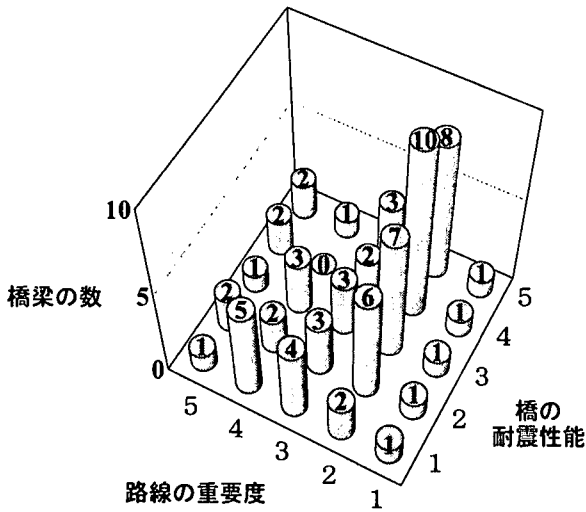


図-6 マトリクス上の橋梁分布

		路線重要度					橋梁数
		5	4	3	2	1	
耐震性能	5	2	1	3	8	1	← 15
	4	2	0	2	10	1	← 15
	3	1	3	3	7	1	← 15
	2	2	2	3	6	1	← 14
	1	1	5	4	2	1	← 13
		↑	↑	↑	↑	↑	全橋梁数
	橋梁数	8	11	15	33	5	72

図-7 補強優先順位マトリクスへの展開

重要度 1 : 緊急輸送路以外の代替性の高いルート

(2) 耐震性指標について

現況耐震性能に大きな影響を与える、準拠示方書に着目して分類したのが表-2 である。昭和 47 年の耐震設計指針までの橋梁が 56% を占めている。

また、供用年数で分類したのが表-3 である。札幌では 1972 年に冬季オリンピックが開催されたため、30～34 年の間にひとつのピークがある。

前出 4.(3) で説明した手法に基づいて算出された結果が図-5 である。図の凡例のグループ分類は、準拠示方書によるものであり、Aグループが S31, S39, Bグループが S47, Cグループが S55, Dグループが H2, Eグループが H.7 (復旧仕様) となっている。

H2 以後は概ねまとまりが見られるが、それ以前の橋梁ではばらつきが顕著である。理由のひとつとして、保有水平耐力照査が挙げられる。それぞれのグループにおける指標の最大値は右上がりの傾向をしめしていることから、多数の橋梁の耐震性能を相対的に評価して順位付

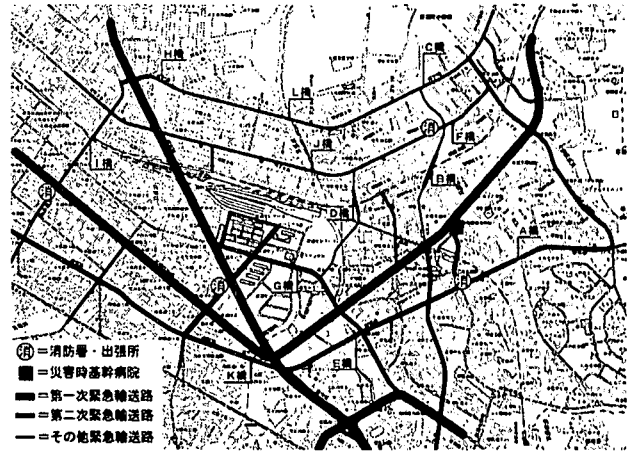


図-8 モデル地区の全体図

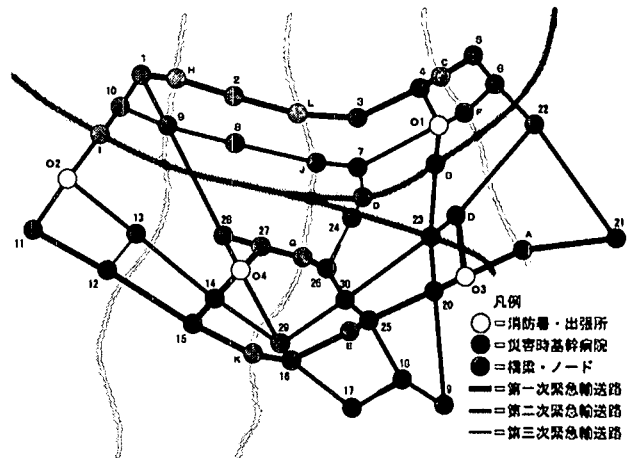


図-9 ネットワークモデル

けをする場合、この指標もひとつの目安になると考えられる。

(3) 補強優先順位マトリクスへの展開

耐震性能指標値の順序によって、橋梁の耐震性能を 5 段階に分類した結果を図-6 と図-7 に示す。

これらの図から路線重要度 2 のランクに橋梁が集中していることがわかるが、同一路線であっても人口集中地域と山間部という地域性、および影響度に当然差があると思われる橋梁が混在していることに難点がある。

したがって次項では、一つのモデル地区を取り出して区間重要度の検討を行い、図-7 のマトリクス上の評価結果との比較を行ってみる。

※ 橋梁数について

2 次診断に上がった橋梁数は 69 橋であるが、上下線で設計年次が異なり、耐震性能に差を生じると考えられたものを別々の橋梁として扱ったため、対象数は 73 橋となっている。

さらに 2 次診断の結果、現行示方書の要求性能を完全に満たしている 1 橋梁については、マトリクス上にも載せなかったため、ここでの全数は 72 橋となっている。

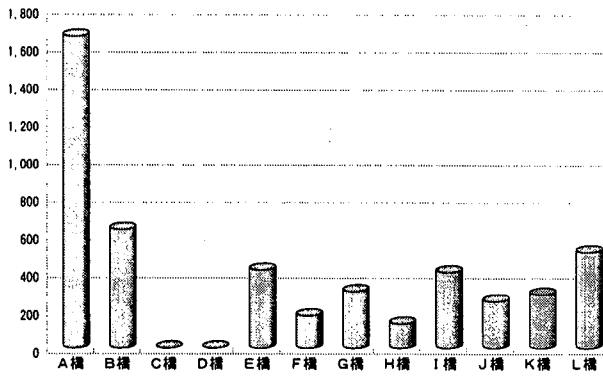


図-10 各橋梁が通行不可能となった場合の増加台時

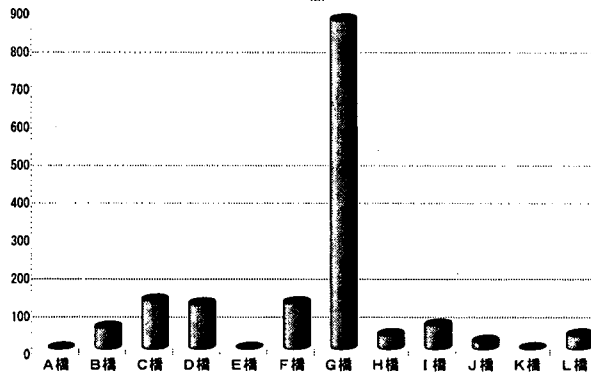


図-11 各橋梁が迂回ルートとなった場合の増加台数

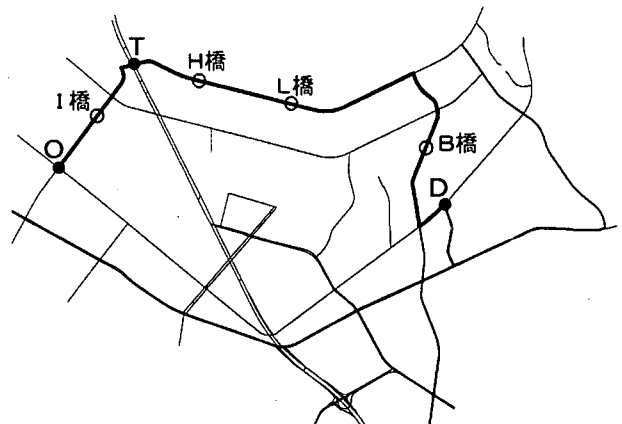


図-12 Node-1 が中継点であるときの健全時ルート

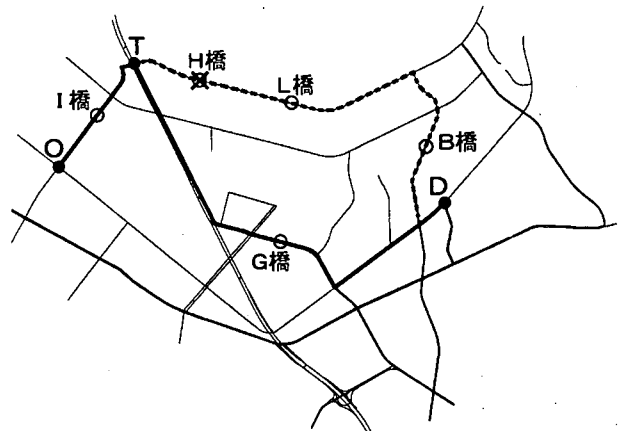


図-13 Node-1 が中継点でH橋が通行不可能となったときの迂回ルート

6. モデル地区における区間重要度の検討

(1) 検討方法

検討方法は、前出 4.(2)で説明したように、被害発生直後の防災活動に着目して行う。モデル地区は図-8 に示すとおり、札幌市の副都心周辺に設定した。この地区は災害時基幹病院のカバーエリアも比較的広く、検討する上で橋梁数も十分と考えたためである。

ネットワークモデルを図-9 に示す。ノード構成は出発点となる消防署が 4 箇所、最終目的地である災害時基幹病院が 1 箇所、防災活動対象の中継地点が 30 箇所である。このネットワークモデルには 12 の橋梁が含まれている。中継地点のノードは条丁目番号で一つのまとまりを作り、そのノードに推定死傷者数を与えた。

走行時間には道路の容量が大きな影響を与えるが、詳細なデータが不足していることから次のような仮定のもとで検討することとした。

- a) 緊急車両の走行速度は道路の車線数に比例する。
(1車線：10km/h, 2車線：20km/h, 3車線：25km/h)
- b) バックグラウンド交通は無視する。

これらの条件のもと、全ノードに対して橋梁健全時のルートと走行台時、および橋梁が通行不可能となった場合の迂回ルートと走行台時を求めた。

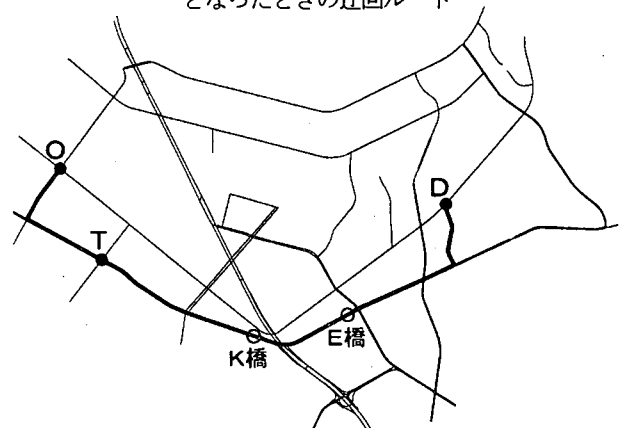


図-14 Node-12 が中継点であるときの健全時ルート

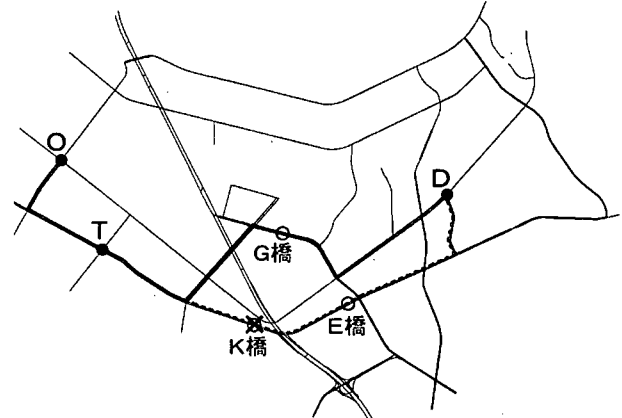


図-15 Node-12 が中継点でK橋が通行不可能となったときの迂回ルート

		路線重要度				
		5	4	3	2	1
耐震性能	5			K		
	4			H, K	G, F	
	3		D	C, E, L	A	
	2		I		J	
	1		B			

図-16 モデル地区の橋梁の優先順位マトリクス

(2) 検討結果

対象橋梁が通行不可能となった場合、どれだけの量の迂回台時が発生するのかを集計したのが図-10である。つまり、どれだけの緊急車輛が遠回りしなければならないのを示しており、圧倒的にA橋の与える影響が大きく、逆にC橋、D橋は影響を与えていない。

図-11 は各橋梁が迂回路として利用された場合の通過台数を示したものである。これによるとG橋の迂回ルートとしての機能の高さが突出しており、G橋自身が通行不能となった場合の影響だけでは、重要度を評価できないということも読み取れる。

図-12 から図-15 までは、ノードごとに最短時間ルートを検討した例を、ルート内橋梁の健全時と通行不可能時について示している。この事例は、ルート内のある一つの橋梁を通行不可能にしたことによる迂回ルートを選択により、健全である橋梁も使われなくなるケースになっている。

なお、5.で行った優先順位マトリクスからモデル地区内の橋梁を抽出して示したのが図-16 である。A橋、G橋は路線重要度では下位のランク2であるが、緊急輸送路網としての重要度は他の橋梁より高いと考えられるため、本来の重要度は今回試行したような手法により評価すべきである。

7. おわりに

札幌市では、限られた財源の効率的な投資による耐震補強を進めるため、これまでの優先度評価手法から道路網の耐震性を定量的に検討して総合評価を行う方法へシフト中であり、その一部をここに紹介させて頂いた。

このような評価手法は、橋梁の耐震構造、交通計画、財務・会計など多分野の技術とノウハウが必要である。同時に、地震前の対策だけではなく発生後の対応策との組み合わせにより、災害を最小限とするような地震防災への取組みが重要である。

今後は地震リスクマネジメント¹⁷⁾の見地から、耐震性能の評価、補強水準、対策法の選択等を検討していくことも必要と考えられるため、地震防災への効率的な投

資を検討するしくみを構築していくことにも取り組まなければならない。

参考文献

- 1) 国土交通省：広報誌 国土交通、特集「巨大地震に備える」、2002.8.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編、1996.12.19
- 3) 札幌市防災会議：札幌市地域防災計画、1998.10.10
- 4) 札幌市建設局土木部：既設橋梁の耐震補強設計施工要領、2001.11.
- 5) さっぽろ統計情報：http://www.city.sapporo.jp
- 6) 札幌市建設局：札幌の道路、2000.1.
- 7) 松尾修、村越潤：公共土木施設の地震防災におけるリスクマネジメントの活用と課題、第3回 土木学会地震災害マネジメントセミナー「地震リスクマネジメントを考える～その必要性と課題について～」、pp.7-12,2002.2.26.
- 8) 川島一彦 監訳：橋梁の耐震設計と耐震補強、1998.4.15.
- 9) 佐藤次郎、篠崎之雄、佐伯光昭、磯山龍二：大都市における既設道路橋の地震防災上の重要度の評価手法、土木学会論文集、No.513/I-31,pp.213-223,1995.4.
- 10) 建設省土木研究所 耐震技術研究センター防災技術課：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,1998.9
- 11) 建設省土木研究所 耐震技術研究センター防災技術課：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、土木研究所資料第3621号,1999.1
- 12) 能島暢呂：ネットワーク信頼性解析に基づく道路網の地震防災戦略について、第24回地震工学研究発表会講演論文集、pp.1293-1296,1997.7.
- 13) 能島暢呂、山中敏裕：道路ネットワークの地震時機能信頼性に基づく施設改善の重要度評価、第10回日本地震工学シンポジウム論文集、pp.3205-3210,1998.11.
- 14) 能島暢呂、杉戸真太、福岡淳也：想定地震による被災道路網の性能評価、第4回都市直下地震災害総合シンポジウム論文集、文部省科学研究費補助金特定領域研究「都市直下型地震」総括班、pp.175-178,1999.10.
- 15) 阿部哲子、藤野陽三、阿部雅人：1995年兵庫県南部地震による阪神高速高架橋の被害と2,3の分析、土木学会論文集、No.612/I-46,pp.181-199,1999.1.
- 16) 幸左賢二、藤井、林秀侃、中田恒和：RC単柱橋脚のマクロ的損傷分析、土木学会論文集、No.592/V-39,pp.73-82,1998.5.
- 17) 星谷 勝、中村孝明：構造物の地震リスクマネジメント、2002.4.

(2002.10.14 受付)