

# 水災害時における道路ネットワーク交通への影響に関する研究

## A Study on Effect of Road Network Capacity in the case of Inundation

北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻

加賀屋誠一

内田 賢悦

Division of Urban and Environmental Engineering, Graduate School of Hokkaido University

Seiichi KAGAYA

Ken-etsu UCHIDA

### 1. はじめに

都市部では緑地空間が減り、コンクリートやアスファルトで地面が覆われる面積比率が大きくなっている。このことが主な原因となり、近年大都市において都市型水害が多発している。都市型水害は、都市化に伴い地面の保水能力が低下し、集中豪雨による大量の水が下水や川に流れ込み、その処理能力を超えたときに浸水するものである。1999年には、福岡と東京で地下室が水没し、死者も出るといった、これまでにない形の水害となっている。また2000年に発生した東海豪雨を契機に建設省（現国土交通省）は、頻発する都市水害に対応するため、「都市型水害緊急検討委員会」を組織し、同委員会より「都市型水害対策に関する緊急提言」が出された<sup>1)</sup>。こうしたことからみても、都市型水害対策が緊急課題となっていることが伺える。

現在、降雨状況に応じた都市水害予測シミュレーションモデルが既に開発されており、シナリオ別の浸水状況が分析可能となっている<sup>2),3)</sup>。こうした分析は、ハザードマップの作成にも用いられ、都市型水害対策を立てる上で重要な役割を果たしている。このように浸水状況は、正確かつ詳細に把握することが可能となりつつあるが、道路ネットワークに対する影響を分析した例は少ない。道路ネットワークは、水害時の非難支援、水防活動、復旧活動等に必要な資機材、人員等の輸送に欠かせないものである。したがって、そのような緊急時は、交通輸送に対する分析に基づき、水害時に適切な交通運用・管理により、交通機能の確保を図ることが重要となる。

そこで本研究では、都市型水害の中でも比較的起こりやすいと考えられる内水氾濫を想定し、道路交通ネットワークへの影響分析を行う。対象地域としては、低地部が多く存在し、さらに土地利用の高度化が進んだ札幌市東北部をとりあげる。分析における前提条件としては、内水氾濫により道路浸水および湛水が起こり、道路ネットワーク上に途絶区間が発生するものとする。こうした条件下における道路ネットワーク容量の変化を明らかにする。また、現状では内水氾濫により途絶すると考えられる道路区間について、将来の道路かさ上げ／下水管拡張工事等の交通対策により、内水氾濫時であっても通行可能となる場合を想定し、その効果分析も行う。この分析は、水災害時において交通機能確保を図るために交通対策による、ネットワーク交通容量の増強効果を計測するものである。

## 2. 都市型水害とその影響

都市型水害は一般に、内水氾濫、ゲリラ型洪水、地下施設への浸水に分類される。内水氾濫は、記録的な降雨や集中豪雨により、下水・河川施設の排水能力を超える出水になることに加え、都市化による地盤の保水能力の低下により、急激に雨水が排水施設に集中し、道路や市街地に溢れ出す水害現象である。ゲリラ型洪水は、都市開発の拡大に伴い、下水管の排水系統が複雑になり、その処理能力を超えた雨水が予想もできない場所のマンホールから吹き出す水害現象である。この他に、溢れ出した雨水が地下施設へ流入して浸水する水害の3つの現象が都市型水害といわれている。

都市型水害の特徴として、①都市化による降雨現象の変化、②土地利用変化や河川復旧による流出の早期化と流出量の増大、③都市部における資産集積による被害ポテンシャルの増大、④高度な土地利用による治水対策の困難性、⑤建物、下水道網、地下空間の高密度化による氾濫水の複雑挙動、の5点が挙げられる<sup>2)</sup>。

想定される被害として、都市機能の麻痺が挙げられる。その主要なものとして、「都市型水害対策に関する緊急提言」にも盛り込まれているように、ライフライン機能と交通機能が考えられる。ライフラインについては、浄水場の冠水による断水、管路の流失によるガス供給停止、電力や電話は、施設の水没、電柱の倒壊、ケーブルの切断等により障害が生じる可能性がある。1988年の長崎大洪水では、実際にこのような被害が報告されている。特に電話については、気象台が発した警報が機能せず、帰宅できなくなった人たちの自宅への連絡、被害の様子がテレビ等で報道されたことにより、全国各地からの問い合わせや見舞い電話が相次ぎ、回線の輻輳により使用不能となった。

交通機能については、浸水により道路が通行不能となることが考えられる。また、無理な自動車利用は故障を招き、こうした放置車両が道路通行を妨げる2次的な被害をもたらすことも考えられる。さらにこうした状況は、通行可能個所へ自動車を集中させ、緊急車両通行を妨害することにもなる。

## 3. 浸水時における影響分析

浸水はわずかな高低差によって状況が変化することから、浸水状況把握には微地形情報の蓄積が図られなければならない。また、降雨特性、河川、下水道等の整備状況、都市施設の状況等によっても浸水状況は異なり、特に地下空間は、公的、民間の複数の施設が地下で連結されている。したがって、空間形状、構造、地上や他施設との連結、防水対策施設の位置等、基礎情報の蓄積も図られなければならない。こうした情報を踏まえ、状況に応じた数段階のシナリオを設定し、浸水予測シミュレーションにより浸水状況の予測を行うことになる。物理的な影響の大きい浸水状況については、既に浸水予測シミュレーションモデルが開発され、精緻な予測が可能となっている。

浸水による最も大きな交通影響として、道路区間に上に通行不能個所が出現することに起因する、ネットワーク容量の低下がある。道路ネットワーク容量の低下は、通行可能個所への自動車交通の集中を招き、復旧作業にも大きな支障をきたすことは前述した。こうした影響を把握するためには、浸水予測シミュレーションによる予測を参考に、人間の行動原理に基づく交通モデルを適用して分析を行う必要がある。こうした手順により、はじめて交通機能確保を図る適切な施策の検討を行うことが可能となる。

## 4. 札幌市東北部における水害

### 4.1 台風に伴う水害による交通被害<sup>4)</sup>

札幌市東北部（北区、東区、白石区の一部）は、豊平川左岸部に位置し、低地帯が多く存在する。特に白石区東米里は、海拔4メートルの泥炭地であり、地盤沈下も激しい地域でもある。そのため、札幌市東北部

は水害常襲地帯と形容され、これまで幾度となく水害経験をしてきた。中でも昭和50年8月の台風6号や昭和56年8月の台風15号による被害は、記録的なものであった。

昭和50年8月の台風6号による被害は、浸水家屋は札幌市全域で295戸、このうち白石区東米里の床下浸水5戸を除く、290戸が北区となっており、特に北区での被害が甚大であった。台風から2日経過した時点で、北区篠路、東区中沼、白石区東米里の三地区を中心になお79世帯が床上浸水、1097世帯が床下浸水のままであり、水はけも極端に悪いことを露呈した。また土木被害については、札幌市全体で河川決壊5箇所、氾濫17箇所、道路通行不能35箇所となった。特に札幌の中心部を通る主要幹線の石狩街道には、故障のため乗り捨てられた車が列をなす状況となり、こうした放置車両は交通への2次被害を拡大させた。この台風被害を契機に、河川流域の治水対策が不十分なまま、無制限に都市化の輪を広げていくことの問題点が指摘されるようになった。

昭和56年8月の台風15号は、23日に札幌市を通過し、同市での降雨量は戦後最大規模となった。そのため、水害常襲地帯といわれる札幌市東北部だけでなく、全市的な被害をもたらした。台風15号による札幌市の被害状況をまとめたのが表1であり、全市的な被害があったものの、東北部での被害が特に大きかったことが伺える。冠水した道路は札幌市で180本、白石区東米里付近では水深1メートルを越えていた。道路破損や冠水のため、23日朝から市内各地で72本に上る交通規制が行われ、台風直撃から2日経過した時点でも、国道で14路線20区間、道道で65路線65区間が依然として通行止めになっていたままであった。市内中心部では、北1条通（国道）が冠水のため朝から午後5時まで通行止め、北12条通（市道）における陥没等の被害も報告されている。

表1. 台風15号による札幌市の被害状況（札幌市災害本部まとめ）

	家屋（棟数）			道 路		河 川		橋の破損 流 失	崖崩れ	田畠冠水 (ヶ所)
	全・半壊	床上浸水	床下浸水	陥没・破損	冠 水	溢 水	決 壊			
中央 区	0	119	111	1	47	7	4	0	4	5
北 区	0	100	939	3	37	8	0	0	0	515
東 区	1	101	1392	0	19	2	1	0	0	365
白 石 区	0	189	640	1	33	13	0	1	0	175
豊 平 区	0	15	91	18	26	8	0	1	11	165
南 区	4	135	310	7	5	37	35	9	56	92
西 区	0	103	344	0	13	17	14	5	0	88
計	5	762	3872	30	180	92	54	16	71	1405

#### 4.2 内水氾濫の影響と交通施策

札幌市東北部では、これまでに行われてきた河川の治水工事により、現在では破堤による外水氾濫の危険性は小さくなっている。一方、札幌市東北部は、土地利用の高度化が進んでおり、都市型水害の危険性は依然として高い地域もある<sup>5)</sup>。

図1は、昭和56年8月の台風15号の雨量（3日間雨量310mm）および1時間あたり最大50mm雨量を想定し、内水氾濫が始まってから40時間後の浸水状況をシミュレーションしたものである<sup>3)</sup>。図中の黒く塗りつぶされている部分が浸水を示しており、概ね20cm以上の水深となっている。内水氾濫が発生した場合、特に東苗穂（図中A）、北区役所周辺（図中B）、二十四軒周辺（図中C）地域は、特に浸水しやすい低地部となっている。水深が20cmになると自動車通行が困難になるだけでなく、自動車故障も起こると考えられる。そのため、こうした地域では通行不能となる道路区間が出現し、そこでは道路が途絶した時と同じ影響を与えることになる。このことは、札幌市東北部における道路ネットワーク機能を著しく低下させ、ひいては札幌市全体の道路ネットワークへも影響すると考えられる。



図1. 内水氾濫による影響

内水氾濫を発生させる規模の降雨があった場合、道路交通機能を維持するための施策として以下の2点が考えられる。第1の施策は対処療法的なものであるが、道路ネットワーク容量が低下しても、ドライバーへの適切な情報提供や交通規制、交通誘導を行うことで交通需要管理を行い、必要となる交通機能確保を図るものである。

第2の施策は、道路区間での浸水そのものを防ぐものであり、具体的には浸水地域に影響する下水管拡張や、途絶する可能性の高い道路区間のかさ上げを行い、道路ネットワーク容量を低下させないものである。しかし、内水氾濫により途絶すると考えられる全ての道路区間を通行可能とするのは非現実的である。そのため、前述の交通需要管理と並列して対処する必要がある。

以下では、こうした施策検討の前段階と位置付けられる、道路ネットワークの容量解析を行う。ここでは、内水氾濫により道路区間が途絶した場合のネットワーク容量変化を明らかにする。こうした分析は、適切な交通需要管理を行う上でも必要となる。また、道路のかさ上げや下水管の拡張などによる交通対策が可能な場合、予算制約の関係から効率性評価が行わなければならない。このことも視野に入れ、途絶区間における交通対策による効果の検討も行う。

## 5. ネットワーク交通容量解析

### 5.1 ネットワーク交通容量

ここでは、ネットワーク交通容量についての説明を加える。交通ネットワーク容量とは、ネットワークを構成するリンク交通容量が与えられた場合、ネットワークが処理可能な最大交通量である。図2は3つのノードと2本のリンクからなる道路ネットワークを示している。リンクI、リンクIIのリンク交通容量はそれぞれ、50 [台/単位時間]、100 [台/単位時間]である。このとき、ノード1を起点(出発地: Origin)としノード3を終点(目的地: Destination)とする

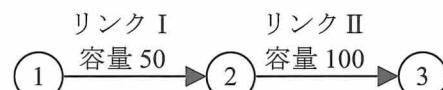


図2. ネットワーク容量

OD 交通量（需要交通量）を  $q_{13}$  [台/単位時間] と表現する。このとき、ネットワーク交通容量は50 [台/単位時間] となる。すなわち、このようなネットワークでは、リンクIIの交通容量がリンクIの交通容量よりも大きくても、リンクIがボトルネックとなり、リンクIの交通容量がネットワーク交通容量となる。たとえば図2において、リンクIの交通容量をいくら増強させても、リンクIIの容量に制約され、ネットワーク交通容量を増強することはできない。

次に途絶リンクの交通対策効果について考える。道路ネットワークの内、2本のリンクが途絶した場合を考える。このとき、交通対策により2本のリンクのうち、どちらか1本が通行可能となった場合のネットワーク容量の増分をそれぞれA、Bとする。また、2本同時に通行可能となったときのネットワーク容量の増分をCとする。 $A+B$ とCの関係から、交通対策による効果は以下に示す3つの関係に分類される。

$$C = A + B \text{ (加法関係)}$$

$$C > A + B \text{ (相乗関係)}$$

$$C < A + B \text{ (相殺関係)}$$

加法関係の簡単な例として、図3に示す道路ネットワークを考える。各リンクの交通容量は100 [台/単位時間] であり、OD 交通量は  $q_{12}$ のみとする。2本のリンクが途絶している場合を現状と考えると、現状のネットワーク容量は、100 [台/単位時間] である。途絶しているリンクのどちらかに交通対策が施されると、容量は現状より100 [台/単位時間] 増加することになる ( $A=100$ 、 $B=100$ )。2本ともに交通対策が施された場合、容量は現状より200 [台/単位時間] 増加することになる ( $C=200$ )。すなわち、途絶リンクの交通対策による効果には、加法関係が成立する。

次に相乗関係の簡単な例として、図4に示す道路ネットワークを考える。リンクI～IVのリンク容量はそれぞれ200 [台/単位時間]、200 [台/単位時間]、200 [台/単位時間]、100 [台/単位時間]、OD 交通量は  $q_{13}$ のみとする。現状のネットワーク容量は100 [台/単位時間] である。途絶しているリンクIに交通対策を施すと、ネットワーク容量は200台増加する ( $A=200$ )。リンクIIに交通対策を施しても、ネットワーク容量は増加しない ( $B=0$ )。しかし、2本ともに交通対策を施した場合、ネットワーク容量は300 [台/単位時間] 増加する ( $C=300$ )。すなわち、途絶リンクの交通対策による効果には、相乗的関係が成立する。

最後に代替関係の簡単な例として、図5に示す道路ネットワークを考える。各リンクの交通容量はすべて100 [台/単位時間] であり、OD 交通量は  $q_{13}$ のみとする。このとき、現状のネットワーク交通容量は100 [台/単位時間] となる。途絶リンクIに交通対策を施す場合、ネットワーク容量は100 [台/単位時間] 増加する ( $A=100$ )。一方、途絶リンクIIに交通対策を施す場合も、ネットワーク容量は100 [台/単位時間] 増加する ( $B=100$ )。しかし、2本ともに交通対策を施す場合、ネットワーク容量は100 [台/

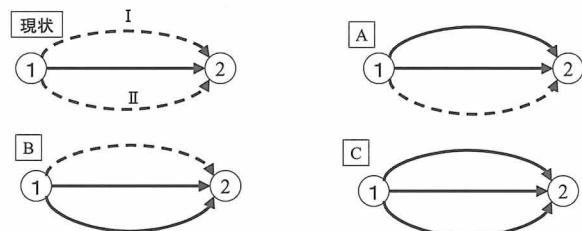


図3. 加法関係

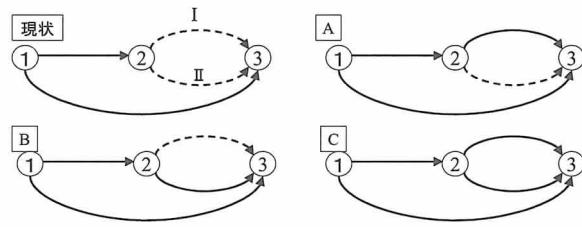


図4. 代替関係

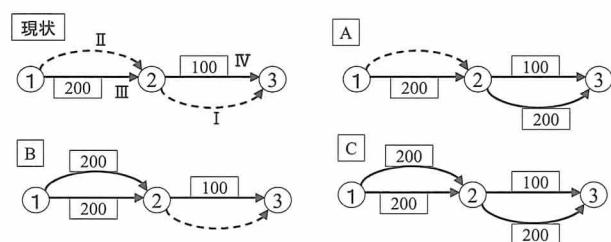


図5. 相乗関係

単位時間] しか増加しない ( $C=100$ )。すなわち、途絶した 2 本のリンクの交通対策による効果には、代替関係が成立する。

一方、実際の道路ネットワークでは、OD ペアが複数存在し、さらに OD 間の利用可能な経路も複数ある。そのため、これまでに示した例のように簡単にネットワーク容量を求めるることはできない。また、途絶リンクにおける交通対策の効果を考えた場合、相乗関係にある道路区間に交通対策を施すことが効率的である。しかし実際規模のネットワークでは、どのようなリンクの組合せが相乗関係になるかについても、簡単には判断できない。そのため、実際規模のネットワークを解析可能な手法が必要となる。

## 5.2 解析法

ネットワーク容量は一般にフロー特性 (OD 間の需要交通量、リンク交通量)、ネットワーク特性 (ネットワーク形状、リンク交通容量) および自動車利用者の経路選択によって規定される。ネットワーク容量問題は、自動車利用者の経路選択を内生化した式(4.1)～(4.7)に示す制約条件付き非線形最適化問題として定式化され、これを解くことによってネットワーク容量は求められる<sup>6)</sup>。

$$\text{Min. } Z(q_{od}) = \sum_{od} q_{od} \ln(q_{od}/\bar{q}_{od}) \quad (4.1)$$

subject to

$$\sum_{ij} \int_0^{x_{ij}} t_{ij}(w) dw + \sum_{od} \bar{u}_{od} e_{od} \leq \bar{\eta} \quad (4.2)$$

$$x_{ij} = \sum_{od} \sum_r f_r^{od} \delta_{ij,r}^{od} \quad \forall ij \quad (4.3)$$

$$\sum_r f_r^{od} = q_{od} \quad \forall od \quad (4.4)$$

$$q_{od} + e_{od} = \bar{q}_{od} \quad \forall od \quad (4.5)$$

$$e_{od} \geq 0 \quad \forall od \quad (4.6)$$

$$f_r^{od} \geq 0 \quad \forall od \quad (4.7)$$

$\hat{q}_{od}$  : OD ペア  $od$  間の目標需要交通量

$\bar{q}_{od}, \bar{u}_{od}$  : OD ペア  $od$  間の需要交通量と  $od$  間に与える十分に大きな値 (理論的には無限大に相当)

$f_r^{od}$  : OD ペア  $od$  間の  $r$  番目経路交通量

$q_{od}$  : OD ペア  $od$  間のネットワーク交通容量

$e_{od}$  : OD ペア  $od$  間において容量制約により通行できない需要交通量

$x_{ij}$  : リンク  $ij$  の配分交通量

$t_{ij}(x_{ij})$  : リンク  $ij$  の交通量が  $x_{ij}$  のときのリンク所要時間

$\delta_{ij,r}^{od}$  : OD ペア  $od$  間の  $r$  番目経路がリンク  $ij$  を含めば 1、そうでなければ 0 となる変数

$\bar{\eta}$  : OD ペア  $od$  間の需要交通量とネットワーク特性で決まる定数

リンク所要時間関数には、容量制約を表現した式(4.8)に示す閾数型を用いる。

$$t_{ij}(x_{ij}) = t_0^{ij} \left\{ 1 + \alpha \left[ \frac{x_{ij}}{C_{ij} - x_{ij}} \right] \right\} \quad (4.8)$$

$t_0^{ij}$ ：リンク  $ij$  上の交通量が 0 台のときの所要時間

$\bar{C}_{ij}$ ：リンク  $ij$  の交通容量

$\alpha$ ：パラメータ

## 6. 解析結果

### 6.1 道路ネットワークの設定

図 6 は図 1 に太線で示した道路をもとに作成した、解析対象とする道路ネットワークの模式図である。図中の  $t_0$ 、 $c$  はそれぞれ、リンクの自由走行時間、リンク交通容量（片側、単位：台/時）を示している。ネットワークは、178本のリンクと54個のノードから構成されており、OD ペアは交通センサスのデータを基に設定し、1,497ペア（計112,436台/時）となった。路線は札幌新道、北24条通、環状通、国道12号、大通、旭山公園通、下手稻札幌線、石山通、北大通・駅前通、石狩街道、東8丁目通、東16丁目通、国道275号、国道453号および国道36号をとりあげている。これらの路線は、札幌中心部における主要幹線と位置付けられ、交通機能の重要な役割を果たしている。

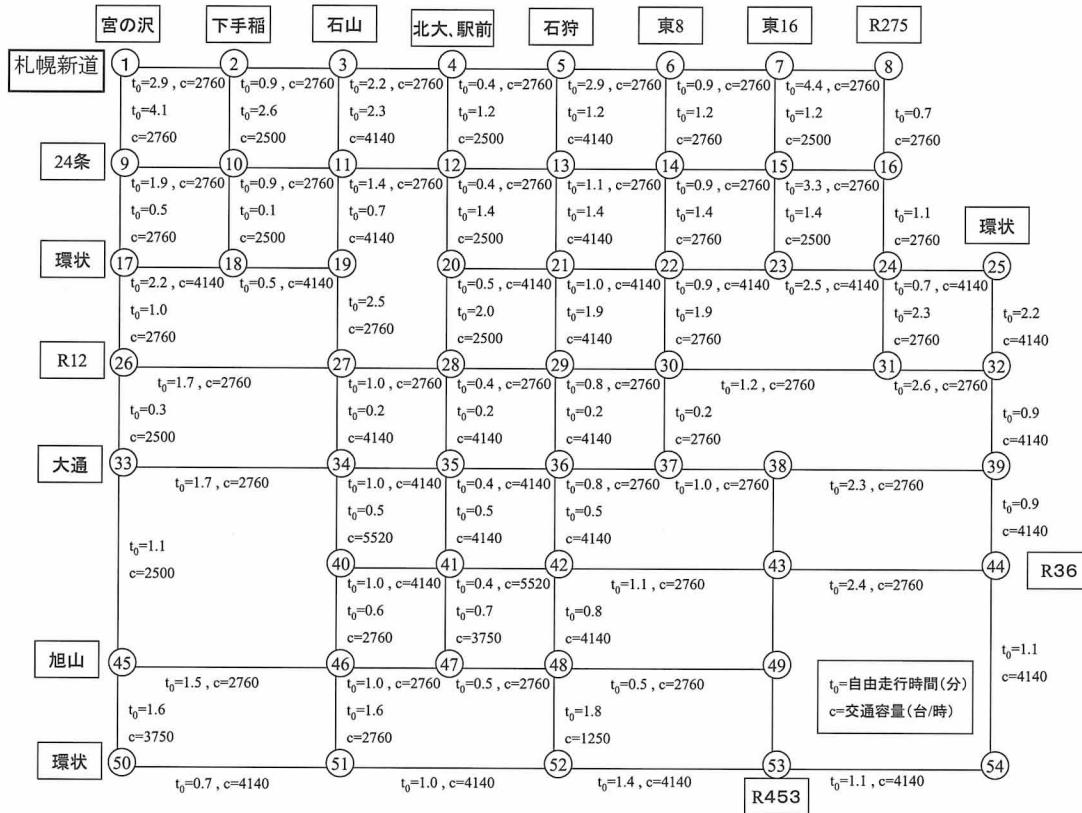


図 6. 解析対象ネットワーク

### 6.2 平常時のネットワーク交通容量

図 6 に示すネットワークを対象に容量解析を行った結果、1,497OD ペアの全需要交通量112,436台/時のうち、67%に相当する75,614台/時がネットワーク交通容量となることが明らかになった。図 7 にネットワークにおける全リンクの配分交通量を示す。解析対象ネットワークでは、札幌都心部の主要幹線のみをとりあげており、その他の細街路は含まれていない。そのため、ネットワーク交通容量が全需要交通量より小さくなつた。この結果より、実際のネットワークに細街路があることを考慮しても、内水氾濫時には、大きな交通混

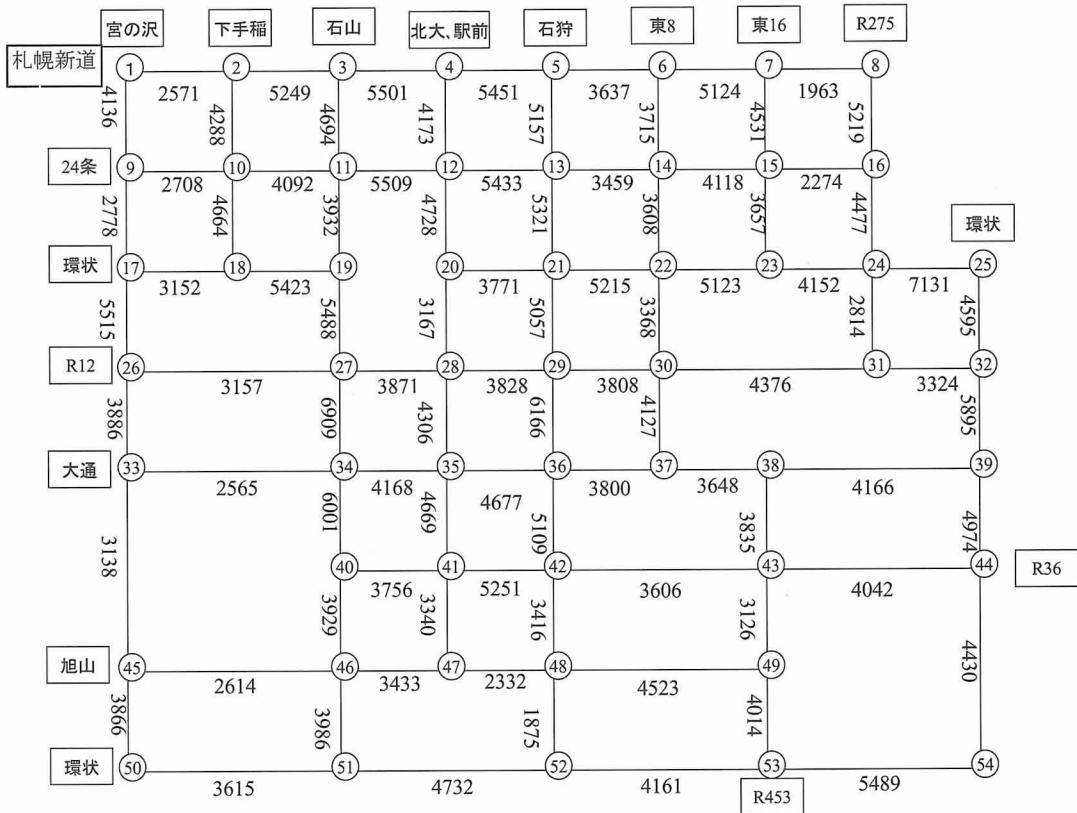


図 7. 平常時の配分交通量（単位：台/時）

乱があることが予想される。本研究では、この値を平常時におけるネットワーク交通容量と考えることにし、以下では内水氾濫時のネットワーク交通容量と途絶リンクにおける交通対策効果についての分析を行う。

### 6.3 内水氾濫時のネットワーク交通容量

はじめに、3日間雨量310mm、1時間あたり最大50mmの降雨があった場合を想定して容量解析を行う。図8は氾濫開始から40時間経過し、浸水深20cm以上となるリンクを途絶させた場合の配分交通量を示している。これらの設定は、図1に示した内水氾濫シミュレーション結果に基づくものである。ノード間8-16、15-16、16-24、23-24（東苗穂周辺）、11-12（北区役所周辺）、17-18、17-26（二十四軒周辺）の各リンクが途絶状態になると予想される。この場合、平常時よりネットワーク容量は32%減少の51,393台/時と算定された。図中の点線は、リンク交通容量に対するリンク交通量の比（飽和度）が0.9を超えるリンクと関連する途絶リンクを結んだものである。これらのリンクはネットワークのボトルネック部分であり、ネットワーク容量低下の一因となっている。

次に、全国各地で記録的な豪雨が発生している近年の気象状況を考慮し、3日間雨量360mm、1時間あたり最大100mmの降雨があった場合を想定して容量解析を行った。図9は氾濫開始から40時間経過し、浸水深20cm以上となるリンクを途絶させた場合の配分交通量を示している。これらの設定は、先述の内水氾濫シミュレーション結果に基づくものである。図8に示した途絶リンクの他に、ノード間3-11、6-7、7-8、7-15、9-10、11-19、33-30の各リンクが途絶状態になった。この場合、平常時よりネットワーク容量は45%減少の41,244台/時と算定された。一方、これらの途絶リンクに交通対策が施されたとしても、ネットワーク容量は需要交通量の影響も受けけるため、容量増強が図られるとは限らない。そこで次節では、図8に示した途絶リンクにおける交通対策による効果についての検討を行う。

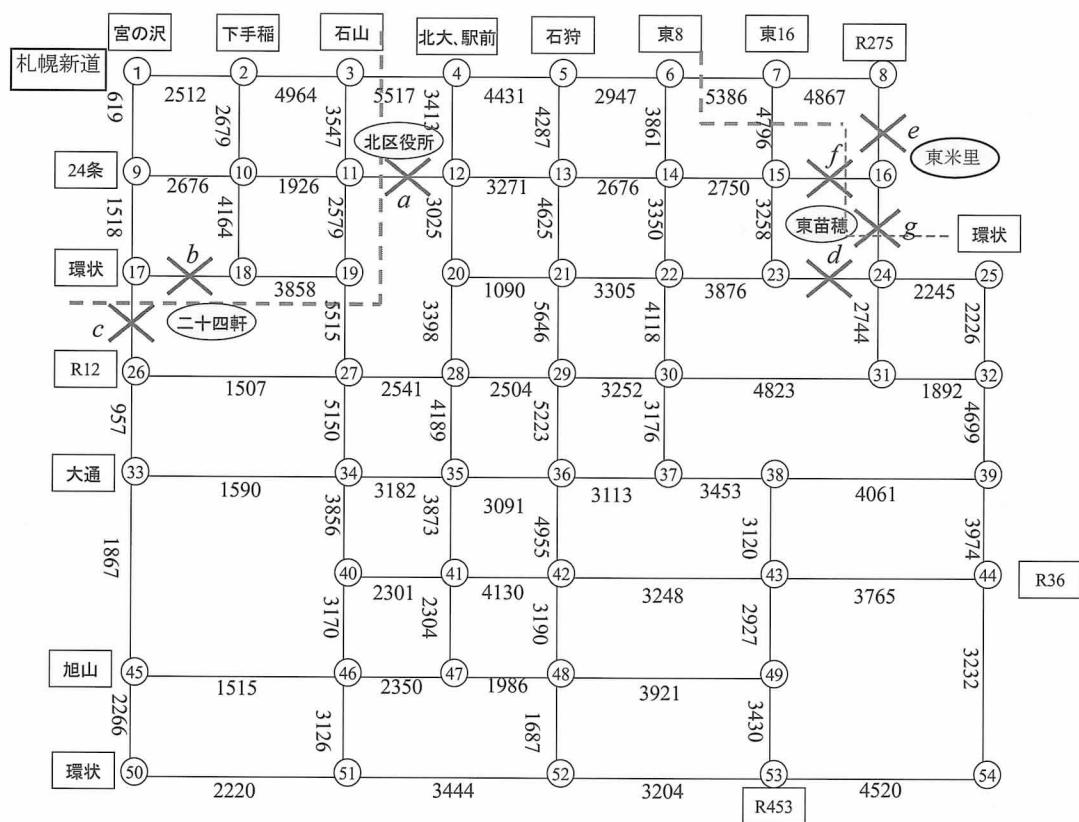


図8. 内水氾濫時の配分交通量（3日間雨量：310mm、単位：台/時）

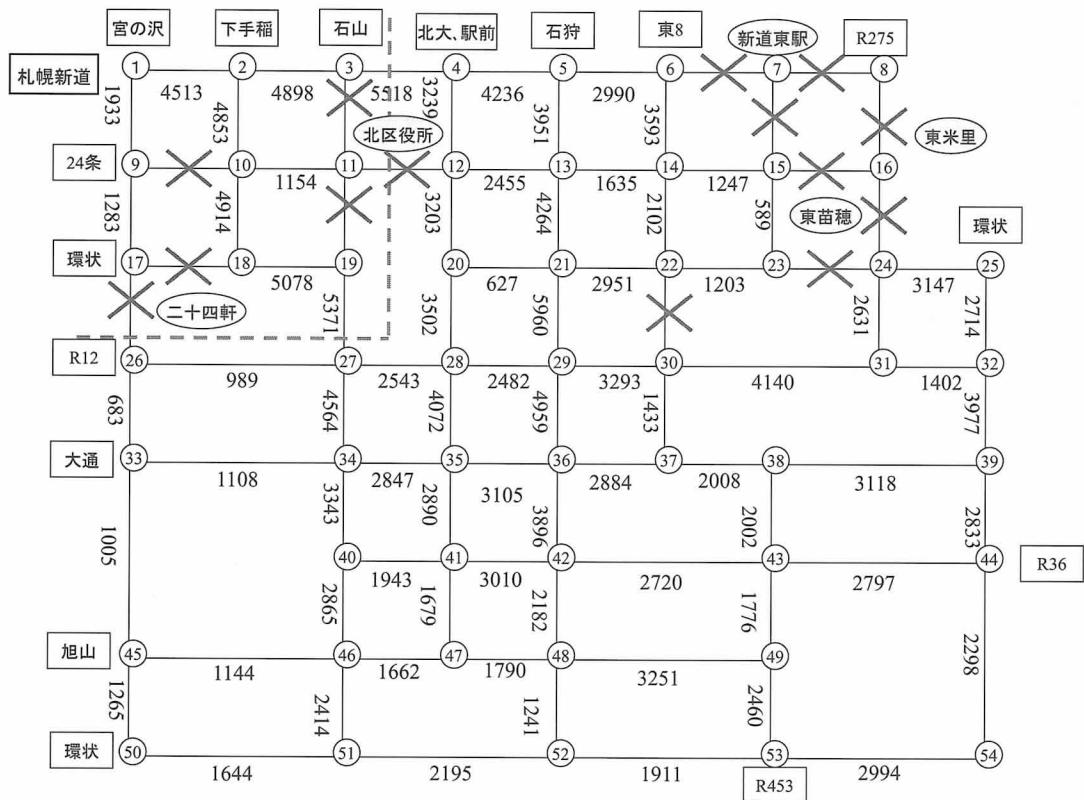


図9. 内水氾濫時の配分交通量（3日間雨量：360mm、単位：台/時）

#### 6.4 途絶リンクにおける交通対策による効果

内水氾濫時にネットワーク容量を低下させないためには、途絶する可能性のある道路のかさ上げ、または関係する下水道管の拡張を施し、交通機能を確保する必要がある。そこで、途絶リンクにおける交通対策効果、すなわちネットワーク容量の増強効果を明確にする。

途絶する7本のリンクそれぞれに交通対策を施したときのネットワーク容量の変化を表2に示す。これより、途絶リンクを1本に交通対策を施した場合に効果があるのは、リンクaおよびリンクcとなり、ともに3%のネットワーク容量増加が見込まれる結果となった。また、他のリンクに交通対策を施したとしても、ネットワーク容量の増加はないことも明らかになった。

次に途絶リンクを2本に交通対策を施した時のネットワーク容量の変化を表3に示す。これより、リンクe、リンクfの2本に交通対策を施したときに、20%の容量増加効果があることがわかる。しかし、2本に交通対策を施したとしても、リンクd、リンクgのように効果が見られない場合もある。表2と表3の比較より、単純に1本に交通対策を施したときの効果を加えると、2本に交通対策を施したときの効果になるわけではないことがわかる。たとえば、リンクaとリンクbには代替効果があり、リンクeとリンクfには相乗効果がある。

途絶リンクを3本に交通対策を施した時のネットワーク容量の変化を表4に示す。これより、リンクe、リンクf、リンクgの3本に交通対策を施したことによる容量増加は26%と高い値をとる。一方、リンクb、リンクd、リンクg等の組合せでは、効果が現れない。

途絶リンクを4本に交通対策を施したときのネットワーク容量の変化を表5に示す。これより、リンクa、リンクc、リンクe、リンクfの4本に交通対策を施したことによる容量増加は38%となり、次いでリンクb、リンクd、リンクe、リンクfによる容量増加も27%と高い。

表3から表5に示した結果より、リンクe、リンクf、リンクgへの交通対策には相乗関係があり、効果が高いことがわかる。しかし、これらの途絶リンクでは、単独に交通対策を施したことによる効果はほとんどない。したがって、交通対策が可能な途絶リンクに応じた分析を行い、その効果を検討することの重要性が示される結果となった。

表2. 対策効果（1本）

		ネットワーク容量(台/時)	増分
改修するリンク	改修無し	51,393	
	a リンク11-12	53,049	3%
	b リンク17-18	51,402	0%
	c リンク17-16	52,935	3%
	d リンク23-24	51,463	0%
	e リンク8-16	50,099	0%
	f リンク15-16	51,841	1%
	g リンク16-24	51,415	0%

表3. 対策効果（2本）

		ネットワーク容量(台/時)	増分
改修するリンク	改修無し	51,393	
	a, b	53,087	3%
	a, c	52,874	3%
	b, c	52,823	3%
	d, g	51,476	0%
	a, d	53,142	3%
	c, d	53,059	3%
	e, f	61,840	20%

表4. 対策効果（3本）

		ネットワーク容量(台/時)	増分
改修するリンク	改修無し	51,393	
	e, f, g	64,630	26%
	c, d, f	53,038	3%
	b, d, g	51,466	0%
	b, c, e	52,475	2%
	a, d, e	52,374	2%
	a, c, g	52,862	3%
	a, b, f	53,028	3%

表5. 対策効果（4本）

		ネットワーク容量(台/時)	増分
改修するリンク	改修無し	51,393	
	c, d, e, g	56,419	10%
	b, d, e, f	65,511	27%
	b, c, f, g	52,547	2%
	a, d, f, g	53,115	3%
	a, c, e, f	70,913	38%
	a, b, e, f	57,220	11%
	a, b, c, d	52,951	3%

## 7. おわりに

本研究では内水氾濫を想定した場合のネットワーク容量の変化と、道路区間のかさ上げまたは関係する下水管拡張等の交通対策による容量増強効果の分析を行った。その結果、単独道路区間ではなく、道路相互の関係によって交通対策効果が大きく異なり、これを考慮することの重要性が明らかになった。今後はフロー特性の変化を含めて、ネットワークに与える影響も分析する必要がある。

## 参考文献

- 1) 国土交通省ホームページ：<http://www.mlit.go.jp>
- 2) 爰朝夫：近年の都市水害の特徴と予測、にほんのかわ、第93号、pp. 8-20、2001.
- 3) 豊平川洪水危機管理検討委員会事務局：豊平川洪水危機管理検討委員会資料、2000.
- 4) 北海道新聞、昭和50年8月24～29日、昭和56年8月24～25日.
- 5) 加賀屋誠一：都市河川流域における土地利用高度化問題－札幌市東北部における小河川での事例、日本都市計画学会研究発表論文集、pp. 49-54、1982.
- 6) 赤松隆、宮脇治：利用者均衡条件下での交通ネットワーク最大容量問題、土木計画学研究・論文集、No.12、pp. 719-729、1994.