

集中豪雨による都市域の内水氾濫と地下街浸水の被害軽減に関する研究

NUMERICAL ANALYSIS OF INUNDATION PROCESS OF UNDERGROUND SPACE IN URBAN AREA DUE TO THE HEAVY RAINFALL TO MINIMIZE ITS DAMAGE

関根正人¹・河上展久²

Masato SEKINE and Nobuhisa KAWAKAMI

1 正会員 工博 早稲田大学教授 理工学部社会環境工学科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)

2 学生会員 早稲田大学大学院理工学研究科 (同上)

Inundation process of both the ground surface and the underground space in urban area due to a heavy rainfall was studied numerically. In the present study, the plan which minimizes the damage which is expected to arise in the underground space is the object of research. Basic idea is that the inflowing water from the ground surface to the B1 level (that is, the commercial space) is to be led to the B2 level (the parking space) as soon as possible. In order to accomplish this, the arrangement and the width of stairs between B1 and B2 level are found to be important. Several effective plans other than this were also proposed here.

Key Words : inundation process, underground space, arrangement of stairs in underground space

1. はじめに

近年、都市域の水をめぐる環境は悪化の一途をたどりつつあり、「ヒートアイランド現象」と関連性の強い集中豪雨のような、従来の想定規模をはるかに越えた豪雨に見舞われるようになった。1999年9月に東京都練馬区を襲った集中豪雨もその典型的な例であり、降雨継続時間が約2時間という短時間にもかかわらず一人の尊い命が失われることとなった。著者らが継続して検討を進めてきている「東京新宿駅周辺」でも、最近夏季の夕方にかんりの規模の豪雨に見舞われることがあり、いつ甚大な被害が起きてても不思議ではない。特にこうした高度に都市化された地域では、大規模な地下街・地下鉄に加えて、繁華街における小規模地下店舗、個人所有のビルの地下室、半地下の駐車スペースなど、地下空間の高度利用が進んでおり、ひとたび地上が内水氾濫の被害に見舞われるようなことがあれば、こうした地下空間は最も甚大な被害を受けることが予想される。しかし、その利用者あるいは管理者に十分な認識と防災意識とがあるとは言い難いのが現状である。

こうした点に鑑み、著者らは、新宿駅周辺を検討の対象とし、その内水氾濫被害とその下に横たわる地下街(新宿サブナード)の浸水被害に関して、その予測手法の開発と、対象区域の水防災上の問題点の把握とに努めてきた。その結果、現状では、後述する大ガード付近にある連絡階段から地下街に雨水が浸入する可能性が高いこと、地形的に不利な状況にある歌舞伎町の一区域が深刻な浸水被害に見舞われること、などが理解された。この地下街に関しては、1981年に浸水被害を受けており、それを契機として止水板の設置をはじめとした各種の対策を講じてきているが、想定規模を越えた集中豪雨に対してもこの対策が有効であるとする根拠は見当たらない。著者らは、このような災害に対しては減災という意識を持って対策に当たるべきとの考えをもっており、今こそその被害を最

害を受けることが予想される。しかし、その利用者あるいは管理者に十分な認識と防災意識とがあるとは言い難いのが現状である。

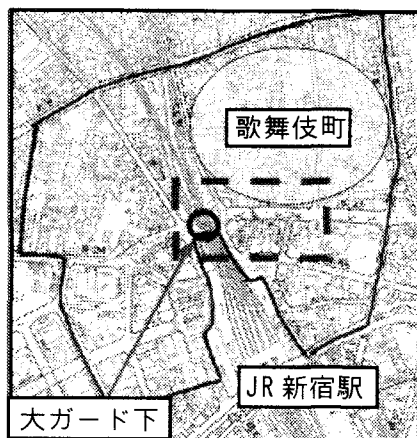


図-1 解析対象領域

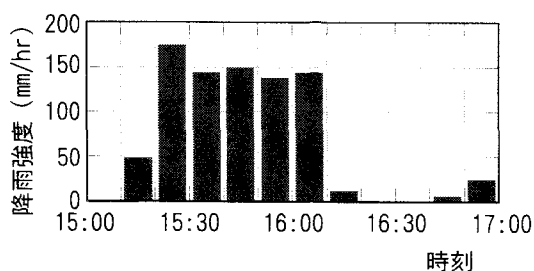
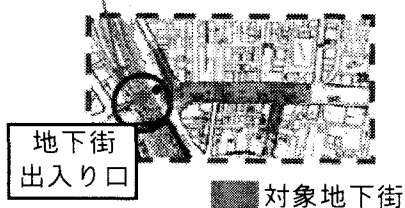


図-5 対象とする降雨データ

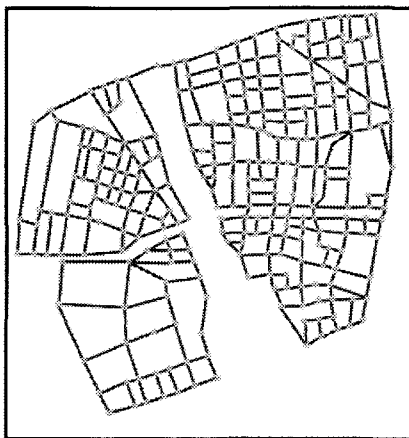


図-2 地表計算格子網

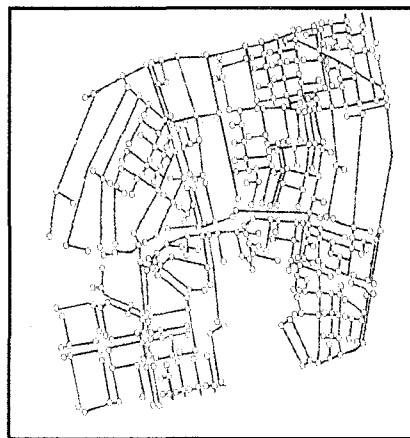


図-3 下水道計算格子網

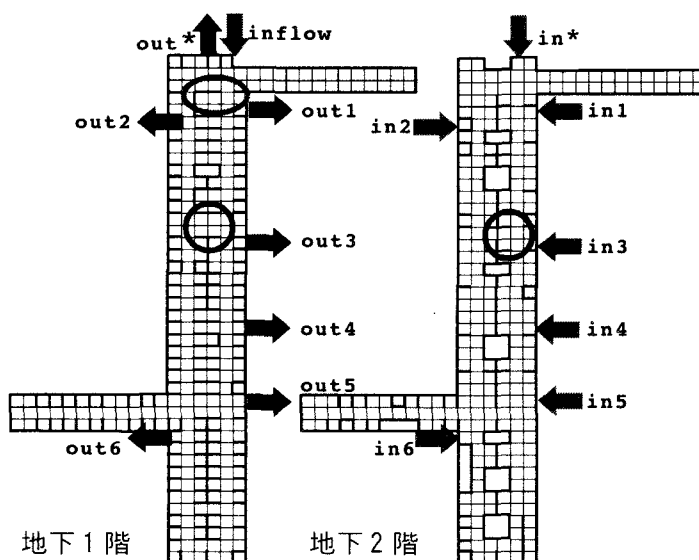


図-4 新宿地下街サブナード

小化する対策を講じる時期に来ていると認識している。本研究は、これまでの検討結果を基礎として、地下街の浸水被害を軽減することを目指して行った水理学的研究の第一歩となるものである。

2. 解析の概要

(1) 対象区域ならびに降雨データ

本研究で解析対象とするのは、前報りまでと同じ新宿駅周辺の $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 程度の区域である(図-1 参照)。この区域の特性としては、(a)大ガード下と歌舞伎町の一面を最深部としたすり鉢状の地形になっており、区域内に降った雨は概ねこの二つの地点に向かって集められるように流れる地形になっていること、(b)高度に都市化されているため、道路以外の部分には建物が林立しており、空き地のような空間がほとんどないこと、(c)大小多くの地下空間が存在しており、その地下空間への浸水

が懸念されること、などが挙げられる。注目点の一つである大ガード下付近には大規模な地下街である「新宿サブナード」へと通じる連絡口があり、周辺の水深が 1.5 m を越えると地下街への浸水が開始される。また、もう一つの注目地点である歌舞伎町は Open-book のような地形になっており、この付近の地表水はある一本の道路に集められ、その最深部に向かって流れていく。この道路の真下には比較的内径の大きな下水管が埋設されており、この区域の下水はすべてそのネットワークを通じてこの地点の下水管に集められ、区域外へと排出される。このように、この地点は地表水ならびに下水がともに集まってくる地域であるにもかかわらず、繁華街であるがゆえに床面積が小さく出入口も一箇所しかない地下空間が多数存在しており、本解析で対象とする区域の中では最も深刻な被害に見舞われる恐れのある地域といえる。

解析に用いる降雨データとしては、前述の1999

年9月東京都練馬区で記録された集中豪雨を対象とする(図-5参照)。

(2)解析モデルの概要

ここで用いる解析モデルは、基本的には前報¹⁾で説明したものと同一であるため、以下に簡単な説明のみ記す。詳細は別論文¹⁾を参照されたい。

地表の内水氾濫の解析は、図-2に示した計算格子網に対して行う。図-2の実線が道路を表す。道路で囲まれた区域は、ほとんどすべてビル等の都市施設で占られており、その施設屋上部分に降った雨水は、施設内で一時貯留されるため、計算時間内に速やかに下水道網に排出されることはない。そこで、ここでは道路以外の区域に降った雨に関しては計算の対象に加えていない。

下水道網による地表氾濫水の排除過程については、図-3に示したネットワークを対象として解析した。ただし、下水道内の流れに関しては満管状態に到ることが確認されたため、川池ら²⁾と同様にスロットモデルの考え方³⁾を取り入れた解析モデルへと修正した。

地下街における浸水過程の解析については、地下1階の店舗の基本単位である8 mを1辺とする正方形メッシュの計算格子に対して行い、店舗間の隔壁に関してはこれを通過する流れはないものとして扱った。また、この地下街は、2層構造をなしており地下1階が店舗、地下2階が駐車場となっている。各階を結ぶ連絡階段については、所定の傾斜角をもった斜面として取り扱い、その流れについては一次元的に解析した。

(3)本解析の特徴

本研究では、地下街の床の一部に凹部を設けたり、各階を結ぶ連絡階段の配置・規模などを変えることによって、浸水被害状況にどのような影響が現れるかについて検討することを目的としており、地下街においてのみ表-1に示すような5ケースの変化を与えて、雨の降り始めからの浸水被害拡大過程の数値解析を行った。地上の氾濫水がこの地下街に流入する地点は、図-4の左の地下1階のレイアウト図の上端に「inflow」と記した矢印の位置に相当し、また、地下1階から2階への流入は、たとえば同図中の「out 1」ならびに同図右の「in 1」と記した矢印の位置で生じるものとする。表-1に示した解析条件の詳細については後述する。なお、次章では地下街に生じた浸水過程の変化についてのみ説明するが、いずれのケースに対しても、(a)地上の内水氾濫に大きな変化がないこと、(b)降雨開始45分後で地下街への浸水が始まること、(c)下水道に関しては、降雨開始30～40分後に広い範囲で満管に近い流れとなった後、70分を過ぎ

表-1 想定する地下1～2階間の階段の配置ならびに規模

Case	概要
1	実在の地下街を模した構造・配置(従来研究)
2	壁の一部を除去、階段No.1の幅を拡大
3	階段No.1～6の幅を拡大
4	階段out★および、床に凹部を設置
5	床の一部に大規模な凹部を設置

たあたりからこれが次第に解消されていくこと、などを確認している。

3. 結果と考察

ここでは、5ケースの数値実験の結果を相互に比較しながら、地下街の浸水過程において現れた相違について説明し、被害軽減にとって望ましい地下街の構造について論じる。まずはじめに、表-1に示した解析条件について、その違いを明確にしておく。まず、Case 1が実際の地下街をそのまま再現した前報までと同じ条件に対する結果である。Case 2は、地下2階へ通じる連絡階段のうち地上から進入した水が最初に到達する階段No.1(図-4の「out 1」)の幅を1.25 mから3 mに広げ、さらに図-4中の楕円で囲んだ隔壁を取り去った場合を表す。Case 3は、連絡階段No.1～6のすべての幅を上記と同様に広げた場合である。さらに、この地下街の場合には、地上からの進水予想地点が大ガード下付近の地上との連絡階段に限定できることから、この階段を降りきった地下1階の床に計算メッシュひとつ分の凹部(深さは階段1段分に相当する15cm)を設け、ここから地下2階に通じる仮想階段(図-4中の「out★」)を新たに設けた場合の解析も試みている。これをCase 4とする。一方、階段については全てを現状通りとした上で、地下1階の階段No.1より8 m下流側の断面を境にしてこの上流側の床高を1 m下げ、その下流側に向かって登り勾配1/32のスロープを設けて現状の床高にすりあわせるような構造とした場合の解析も行っている。これをCase 5とする。

想定した雨に対するこの地下街への浸水被害過程に関する全般的な傾向として、浸水開始3時間(降雨開始から3時間45分後)程度の時刻にその被害が最も深刻になることが示され、これはここで試みた全てのケースについてほぼ共通であった。

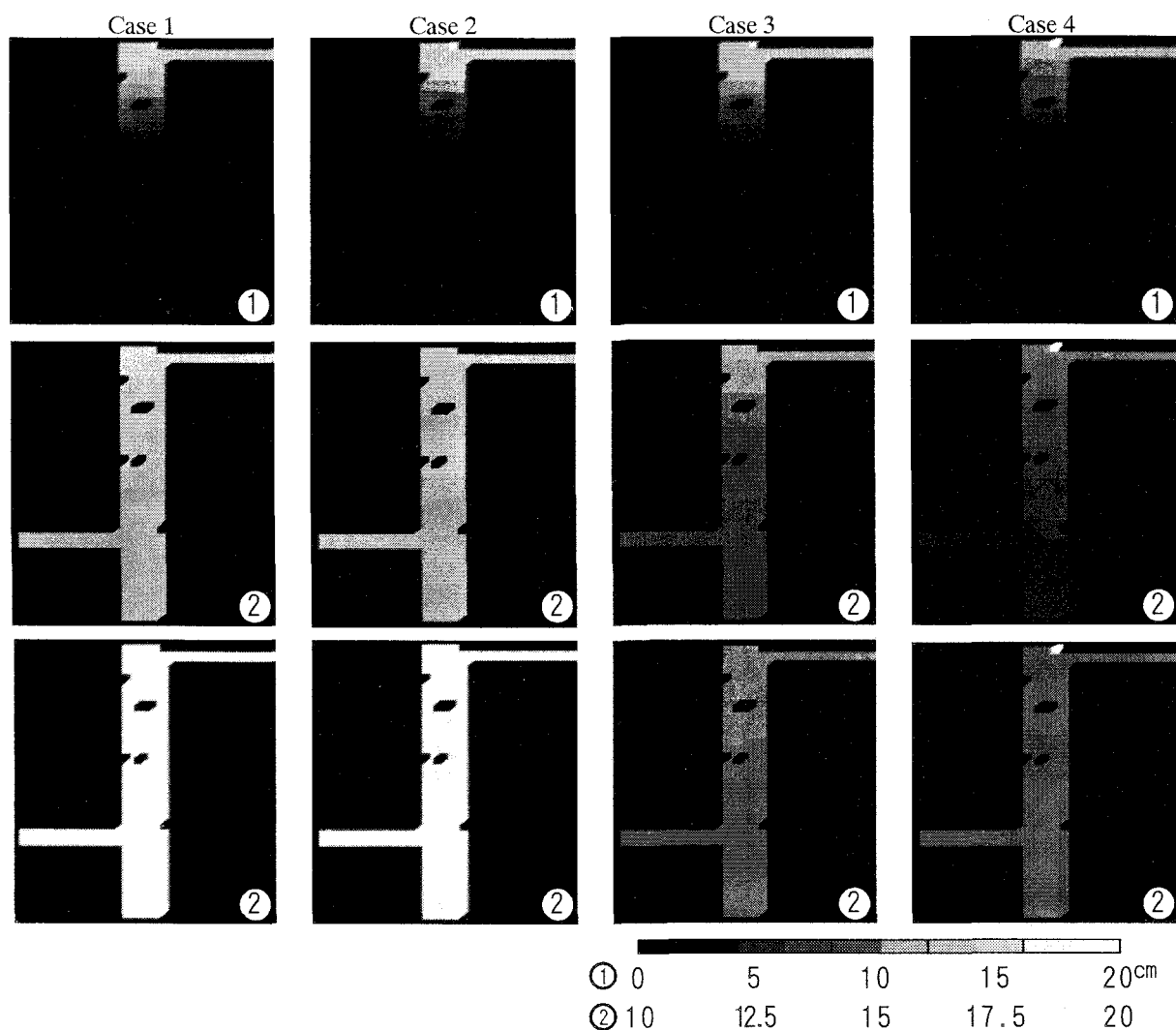


図-6 地下1階(店舗階)における浸水深のコンター図：

上段が浸水開始1時間後、中段が2時間後、下段が3時間後；図中の①②は凡例の番号を指す

図-6および図-7には、最大浸水に至るまでの過程を考察するため、地下1階と地下2階のコンター図をそれぞれ分けて示した。また、図-8にはCase 5の結果を示している。さらに、図-9(a)には地下1階から地下2階への階段を通じて輸送される水量の時間変化を、図-9(b)、図-9(c)には地下1階、ならびに地下2階の注目点(図-4の○部分)における水深の時間変化を、それぞれ示した。なお、地下1階から2階への流出流量に関しては、全ての階段を通じての流量の総和を示しており、比較のため地上からの流入流量についても併記した。以上の結果から、次のような結論が導かれる。

(1) Case 2のように、地上からの進水地点に最も近い階段No. 1の幅を広げその疎通能力を上げると、わずかながら地下2階への流出は促進されるものの地下1階の浸水状況に大きな改善は見られない。

(2) 一方、Case 3のように、すべての階段の幅を

1.25 mから3 mに広げるならば、浸水状況に大きな変化が見られ、地下1階の浸水はかなり軽減される。

(3) Case 4のように、地上から進入した水をその直下の床に設けた凹部で受け、それを直接地下2階へ排出するように新たに階段(「out *」)を設けると、その浸水はCase 3と同様にかなり軽減される。ただし、凹部の床面積との関係でその深さを越える規模の進水があったため、多くの水が地下2階へ運ばれるものの、結果的にはフローア全域に被害が及ぶことになった。ただし、浸水初期の段階において、地上からの流入地点から最も離れた地点の浸水深の時間変化を調べてみると、Case 3よりCase 4の方がゆっくりと浸水が進んでいくことが理解された。このことは、駐車場のある地下2階から地下1階への避難という観点から見ると、浸水が遅れて現れる遠方の連絡階段を使つての避難誘導が可能である分だけCase 4の方が望ましい対

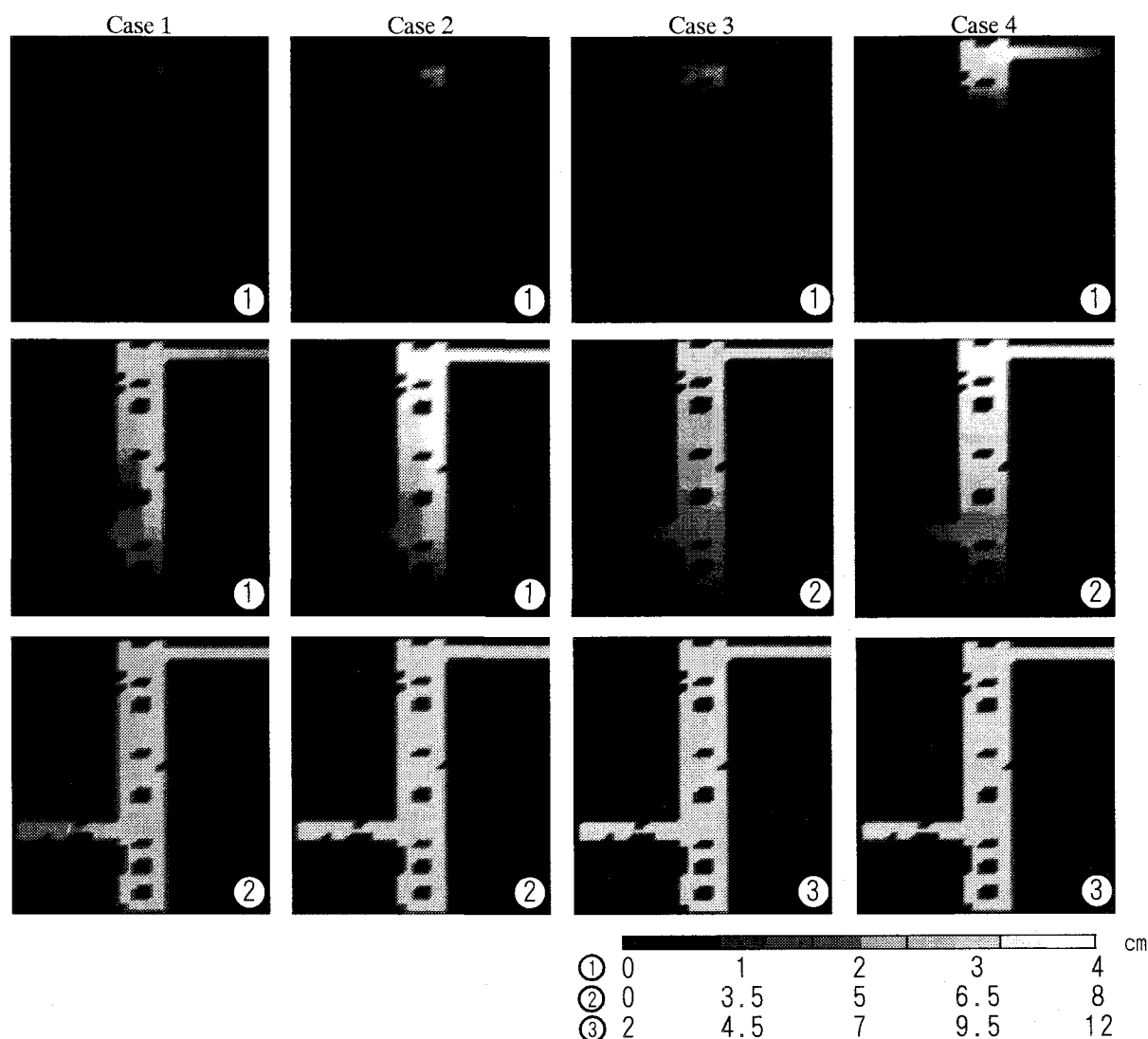


図-7 地下2階(駐車場)における浸水深のコンター図:

上段が浸水開始1時間後、中段が2時間後、下段が3時間後; 図中の①②③は凡例の番号を指す

策であることを示唆している。

(4) 次に、Case 5では、地上からの進水が予想される地点にさらに規模の大きな凹部を設け、いわば貯留槽のような機能を持たせることにし、緩やかなスロープをもって周囲と接続するような床構造とすると、浸水量と設定した空間規模との関係もあって、進入した水の全てがこの区域内に貯えられ、この区域にある連絡階段No.1を通じて排水が進むため、地下1階の浸水はこの区域のみに限定される結果となった。

以上のように、階段の規模や配置、あるいは床の構造を変えることによって、地下街の浸水被害状況にある程度改善できると判断される。序論にも述べた通り、地下街全体の浸水被害を軽減するためには、人的物的な被害が大きくなることが予想される地下1階の商店街の被害を最小化することが必要であり、その実現のためには、あらかじめ地

下2階の駐車場を閉鎖した上で、進入した水を地下2階へ速やかに運ぶ選択をすべきであると考ええる。本研究で対象とした地下街のように、地上からの水が進入する恐れのある地点が特定できる場合には、この地点付近の地下1階に進入水を一時貯留する凹部を設け、そこから階下へと効率よく水を排出できるような構造とすることが有効であり、具体的な計算事例を挙げてその効果を説明することができたと考えている。

4. 結論

本研究では、地下街の浸水被害を軽減する上で有効な方策を探るため、新宿サブナードを対象とした5ケースの数値実験を行い、その構造上の変更が浸水被害状況に及ぼす影響について検討した。最近建設される地下街の中には、複層構造をもち、

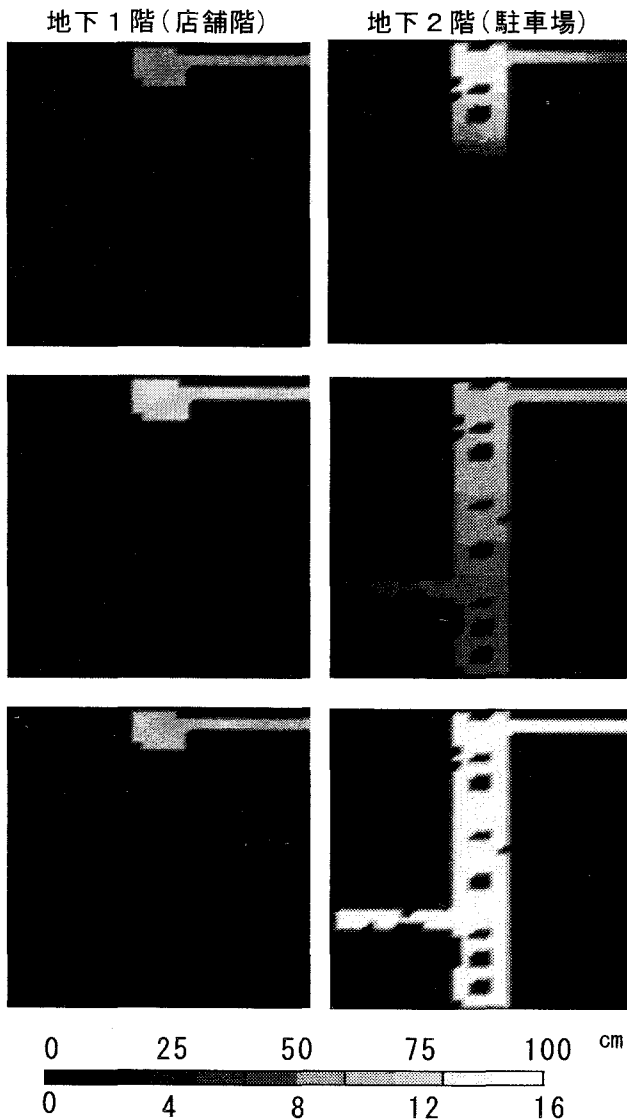


図-8 Case 5における浸水深のコンター図
上段が浸水開始1時間後、中段が2時間後、下段が3時間後
(凡例は地下1階が上段、地下2階が下段のものが対応)

その最下層に地下駐車場を配したものがよく見られるが、こうした地下街の場合の被害軽減策の基本的な考え方として、この地下駐車場からの人の速やかな避難誘導を実現した上で、地上から進入した雨水を効率よく駐車場まで運び一時的に貯留させるような構造とすることが最も望ましいのではないかと考える。そのためには、各階に雨水を一時貯留できる凹部を設けるなどの床構造とすること、この雨水を効率よく運ぶ連絡階段の配置・規模とすること、などに留意する必要がある。

実在する地下街は、その建設当初において浸水の恐れがあることはもとより、連絡階段が水の通り道となることなどを想定していなかったため、近年見舞われることが懸念されている「想定規模を越えた集中豪雨」に対して、水防災上安全であ

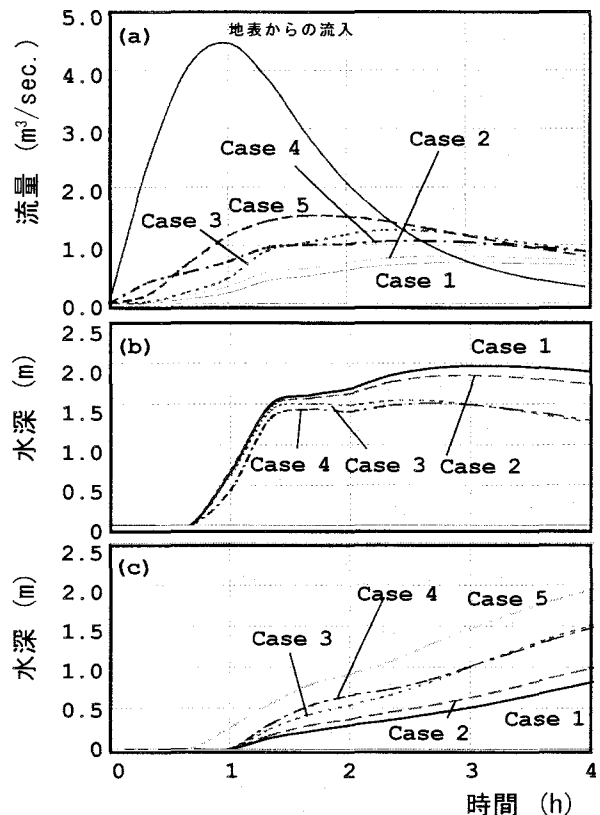


図-9 流入出入水量と注目点の水深の時間変化：
(a)地下1階から2階への流出水量の総和；(b)地下1階、
ならびに(c)地下2階の水位のハイドログラフ

るとは言い難い状況にある。近年、高齢者や障害者への配慮からバリアフリーの構造設計が随所になされつつある。しかし、たとえば連絡階段の入口にこれまで階段一段分の段差が設けられてきたが、これがもたらしてくれる水防災上の利点については十分な理解も検討もないままに無造作に放棄されてきている。今後の都市の地下街の計画に当たっては、元々の利便性の追求や防火対策の徹底と合わせて、水防災上の配慮がなされることが必要であり、今後もそのための一助となるべく研究を進めていく所存である。

参考文献

- 1) 関根正人, 河上展久: 都市における内水氾濫と地下街浸水の被害予測に関わる数値解析, 水工学論文集, 第47巻, 889-894, 2003.
- 2) 川池健司, 井上和也, 戸田圭一, 野口正人: 寝屋川流域における氾濫解析モデルの高度化, 水工学論文集, 第47巻, 919-924, 2003.
- 3) Chaudhry, M. H.: Applied Hydraulic Transients, Van Nostrand Reinhold, 1979.

(2003. 4. 11受付)