

ポーラスアスファルト舗装のもつ都市型洪水抑制効果に関する研究

姫野賢治¹・大川秀雄²・帆苅浩三³・川村 彰⁴

¹正会員 工博 北海道大学助教授 工学部土木工学科 (〒060 札幌市北区北13条西8丁目)

²正会員 工博 新潟大学教授 工学部建設学科 (〒950-21 新潟市五十嵐二の町8050)

³正会員 工博 福田道路(株)技術研究所 (〒959-04 新潟県西蒲原郡西川町大瀧字中ノ島2031)

⁴正会員 工博 函館工業高等専門学校助教授 土木工学科 (〒042 函館市戸倉町14-1)

近年急激な都市化に伴いコンクリートやアスファルト等の非透水面積の増加により雨の流出率が大きくなっている。そのため下水道への流出が短時間に集中し、洪水ピーク流量が増大することによるいわゆる都市型洪水の危険性が增大している。

一方、ポーラスアスファルト舗装は、通常の密粒度アスファルト舗装とは異なり、使用混合物の骨材の細粒分を欠き、粗骨材を多用した混合物であるため、内部に連続した間隙を有する多孔質な構造体である。このため、雨天時には舗装表面の雨水を速やかに舗装体内の連続した間隙に浸透させるため、路面の安全性が高まるといわれている。間隙に浸透した雨水は、舗装体の間隙に一旦吸収・貯留された後、徐々に舗装体から流出する。

本研究は、数年前に東京都目黒区で生じたヒートアイランド現象による集中豪雨がもたらした下水道溢水事例を用いて、道路舗装を通常の密粒度アスファルト舗装から以上のような性質を持つポーラスアスファルト舗装とすることによりこのような都市型洪水の危険性をどの程度軽減させることができるかどうかを検討した。その結果、間隙率が20%の場合も30%の場合も、かなりピーク流量は減り、マンホールからの逆流は防げたであろうことが推定できた。

KeyWords. Porous asphalt pavement, Heat island phenomena, Urbanized flood, Sewerage

1. 緒言

近年、都市周辺部においていわゆるヒートアイランド現象による局所的な集中豪雨がしばしば発生している。これは、主として夏季の午後から夕方にかけて激しい雨が集中的に降り、コンクリートの建物や、アスファルト舗装などの流出係数の高い地表面を伝わって雨水が短時間に下水道に集中し、下水管が雨水を呑みきれずに逆流したり、近傍のマンホールから溢れ出して道路を冠水させるといった現象である。

この原因は、一面には下水道の整備が不十分であるということも考えられるが、急激な都市化に伴って熱容量が高くかつ非透水性なコンクリートの建物やアスファルト舗装などの構造物の面積が急激に増加していることが大きな要因であると言われている。すなわち、昼間直射日光で暖められた熱容量の高いコンクリートの建物やアスファルト舗装などの構造物が午後から夕方にかけてその蓄えた熱を放出し、その上空の大気を局所的に暖め、上昇気流を発生させて、短時間に激しい集中豪雨をもたらすのである。しかも、このようにして惹き起こされた豪雨は、地面にほとんど浸透することもなく、流出係数の高いコンクリートの建物やアスファルト舗装などの構造物の表面を伝わって直ちに

下水道に集中し、都市型洪水となって局所的な被害をもたらしているのである。

本研究では、このように複雑な要因が絡み合っている発生する都市型洪水について、都市全体の面積のうち15～20%を占める道路舗装を、従来から広く用いられてきた密粒度アスファルト舗装から、連続した間隙を持ち多孔質な構造であるポーラスアスファルト舗装に置き換えることによって、どの程度抑制することができるかを検討することを目的とした。

2. 研究方法

研究対象としては、1992年7月9日に実際にヒートアイランド現象による集中豪雨のために目黒川に流れ込む下水道が逆流し、マンホールの蓋を跳ね上げて、周辺部に冠水の起きた東京都目黒区4丁目の五差路を選んだ。この日は、100mm/hという降雨強度で10分間の降雨が観測されている。雨水が逆流したマンホールに係わる下水道の管路図をFigure 1に示す。

(1) 解析条件

Figure 1に示すように、この五差路では、その上流の下水管からの水がすべてここに流入する。そこで、

ここの雨水を計算するため、道路地図や下水道の配管図を用いて、その流域内のすべての道路網について、幅員、延長、面積を、また、その下に埋設された下水道管網について、直径、勾配、延長を調べた。次に、すべてのマンホールに番号をつけ、それに係わる舗装の間隙率、透水係数を決め、所与の降雨強度に対して、それぞれのマンホールごとに、

1. 舗装表面から内部に流れ込む流量
2. 舗装体内に貯留された水が降雨終了後に流れ込む流量
3. 浮き水が発生するまでの時間
4. 舗装体内の雨水が排水されるまでの時間
5. マンホール間を流れるのに要する時間
6. 降雨開始から完全に排水されるまでの時間
7. 下水管の管内流速

などを定量化し、各地点での下水管内の流量を算出した。これらを流下時間をずらして足し合わせることで、最終的に、各時刻における最流下点における流量を計算した。

(2) 解析方法

道路面においては、密粒度アスファルト舗装の場合は、**Figure 2**のように、浮き水は降雨開始直後に発生し表面流により直ちに排水されるものとした。実際には、下水道に到達するまでに多少の時間遅れと損失があるはずであるが、時間雨量100mm/hに対して無視するものと考えた。

また、ポーラスアスファルト舗装の場合は、**Figure 3**のように、降雨発生前、舗装体は完全乾燥状態であり雨水は道路面に着くとすぐに舗装体内の間に吸収され、しばらく経って舗装体の貯留機能が限界になると浮き水が発生し、その後の挙動は密粒度アスファルト舗装の場合と同一で、瞬時に表面流として排水側溝へ入るものと仮定した。

降雨終了後は密粒度アスファルト舗装は表面流がなくなるため直ちに排水は終わりになる。ポーラスアスファルト舗装の場合は舗装体の排水機能によりある一定の速度で貯留された雨水が排水される。

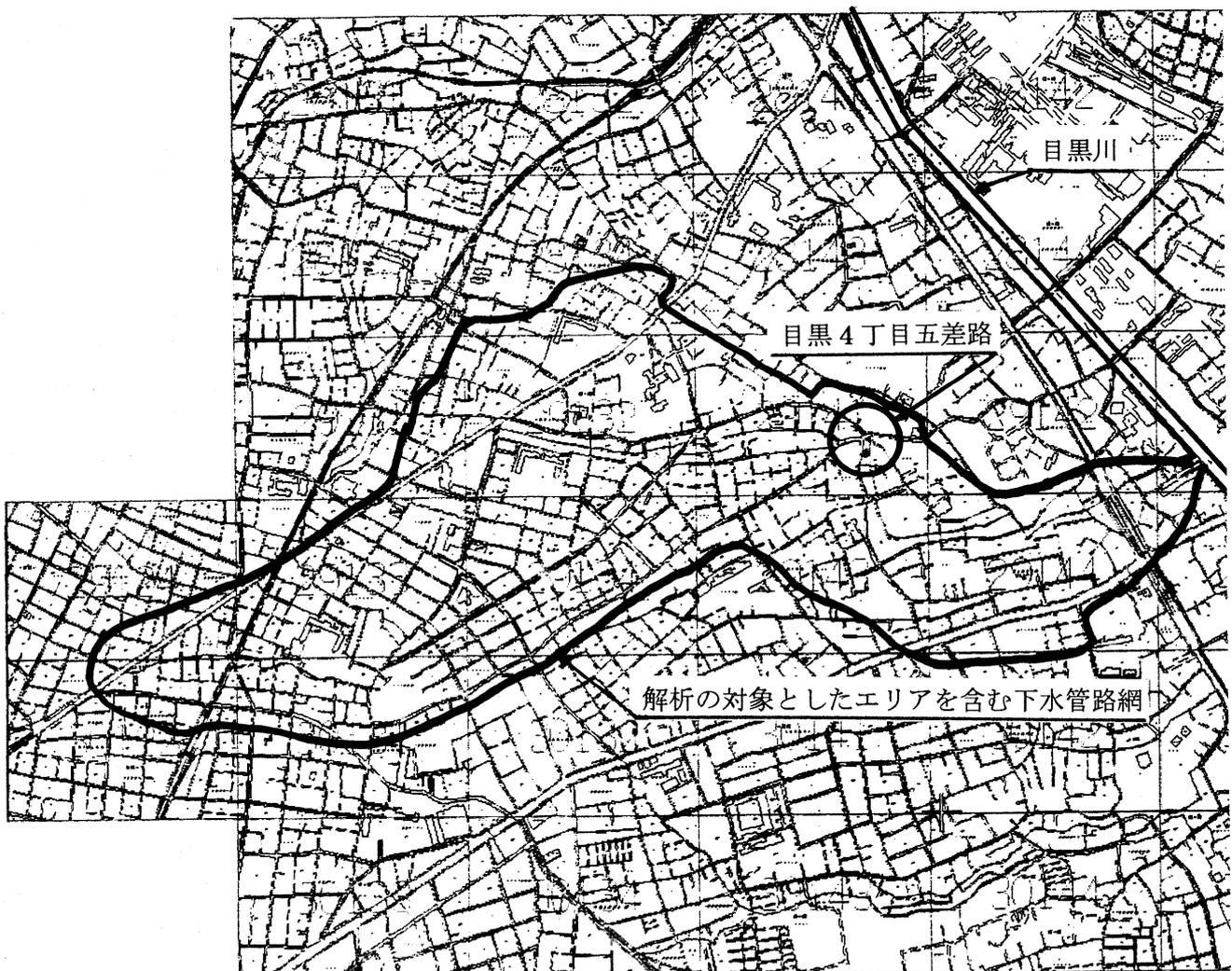


Figure 1 The network of sewer pipes in Meguro area

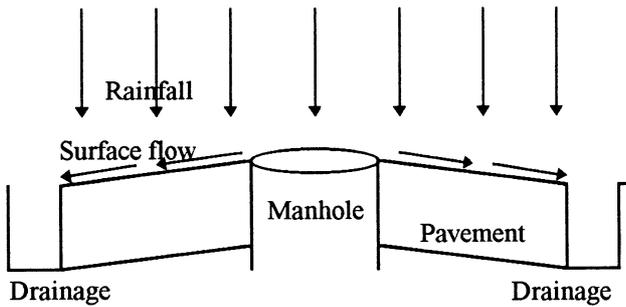


Figure 2 Water drainage on dense graded asphalt pavement

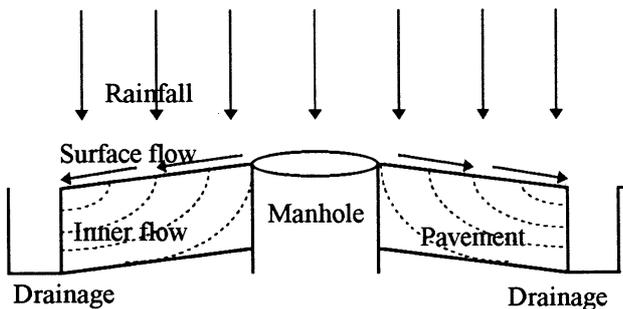


Figure 3 Water drainage on porous asphalt pavement

このような考え方は、屋外の試験舗装で実測した観測結果に基づいて合理的に決められたものである¹⁾。

ポーラスアスファルト舗装の場合に最終地点の流出流量の算出のために必要な式を示すと、以下のようになる。

まず、貯留機能が失われ、浮き水が発生する時刻を求めると、

$$T_{start} = \frac{D \cdot \lambda \cdot f_s}{R} \quad (1)$$

ここに、

D : 舗装の厚さ [m]

λ : 間隙率

f_s : 全間隙に対して雨水が入る比

R : 降雨強度 [m/s]

となる。なお、ここでいう f_s は、たとえポーラスアスファルトの間隙率すべてに水が入り込むわけではないという知見から、間隙率を若干割り引いて評価するために導入した係数であるが、本解析では常に 1.0 としたため、以下数式上 f_s は省略する。

一方、浮き水発生時における各下水管ごとの流量 Q_j は、

$$Q_j = S_j \cdot R \quad (j = 1, n) \quad (2)$$

ここに、

n : 下水管の本数 (= 846)

S_j : 各下水管の流域面積 [m²]

である。また、降雨終了後の流出機能による各下水管ごとの流量 q'_j [m³/s] は

$$q'_j = s_j \cdot V_a \quad (3)$$

ここに、

s_j : 各下水管ごとの道路排水に対応するポーラスアスファルト舗装の排水断面積 [m²]

V_a : 排水機能による排水速度 [m/s] (= $k \cdot i \cdot \lambda$)

k : ポーラスアスファルト舗装の透水係数 [m/s]

i : 排水勾配

となる。なお、透水係数 k は、全間隙の飽和度により多少の変動をするが、本研究では、 8×10^{-3} [m/s] を用いた。

次に、降雨が終了して、ポーラスアスファルト舗装のもつ流出機能によって、各下水管ごとに雨水が完全に排水されるのに要する時間は、

$$T_j = \frac{S_j \cdot D \cdot \lambda}{q'_j} \quad (4)$$

なお、解析に当たっては、実際の流出現象とほぼ同様に、道路面以外の部分にも降雨を与え検討の対象とする場合には、周辺の土地利用状況がほぼ宅地であることは確認できたが、その部分の損失雨量と、宅地に降った雨が下水道に到着するまでの時間についての正確なデータがなかったため、ここでは宅地としての平均的な値を用い、さらにこれらの値が変動した場合の感度の確認を含めて、損失雨量は 0.3 および 0.4 の 2 とおりを、また、時間遅れについては 1 分および 3 分として、合計 4 とおりの組合せを設けた。

以上述べた方法により、解析の対象となる流域内のすべての舗装に、従来のように密粒度アスファルト混合物を用いた場合、間隙率が 20% のポーラスアスファルト混合物を用いた場合、間隙率が 30% のポーラスアスファルト混合物を用いた場合の 3 つの場合について、それぞれの条件を想定して、この五差路における下水道のハイドログラフを得た。

3. 解析結果

まず、Figure 4 は、仮想的な場合として、全流域のうち、道路表面上のみの降雨を考慮に入れた場合の最下点である五差路における下水道の流出量の時間変

化を求めた結果を示したものである。これは、密粒度の舗装とポーラスアスファルト舗装の違いを明確に確認しなかったためであり、この比較は、宅地からの流出はなく、道路表面にのみ降雨があり、それが流出した場合の比較を行ったことと同義である。約2時間分の図しか示していないので、ポーラスアスファルト舗装の場合には損失流量があるように見えるが、約1日をかけてゆっくりと流失しているだけで損失はない。

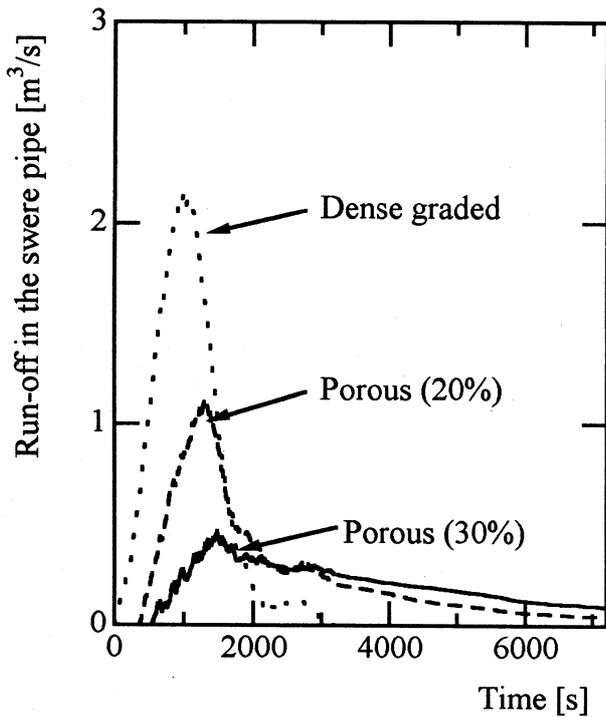


Figure 4 Discharge curve considering only the roads

これより密粒度アスファルト舗装とポーラスアスファルト舗装ではポーラスアスファルト舗装の方がピーク流量はかなり小さく、ピーク時刻もやや遅くなっており、しかも、その効果は間隙率の高い方が著しく大きいことがわかる。これはポーラスアスファルト舗装の貯留機能によるものである。もし道路面積率が100%で、すべての面積をポーラスアスファルト舗装に変えることができれば、このように、ピーク流量を約20~25%程度に低減することが可能である。

次に、道路以外の部分をすべて宅地とみなして、その流出係数を0.6および0.7、また、そこから道路の下下水道までに排出される時間を1分および3分と仮定して、宅地の損失雨量と時間遅れを考慮に入れて五差路のマンホール位置での流出量を解析した結果がFigure 5 (a)~(d)である。この流域内部の道路面積率はほぼ15%であり、その部分についてはFigure 4と同様な効果が期待できるが、残りの85%については舗装の違いに依らない排水挙動を仮定することになる。

Figure 5より、損失率が0.3の場合と0.4の場合とで多少の違いがあるが、いずれの場合も密粒度アスファルト舗装に比べて、ポーラスアスファルト舗装では、ピーク流量はかなり低減していることがわかる。また、24時間後程度の計算を行えば、各条件下ではすべての流出量の和は等しく、時間的な遅れを持ちながらもいずれは流出することが確認できている。

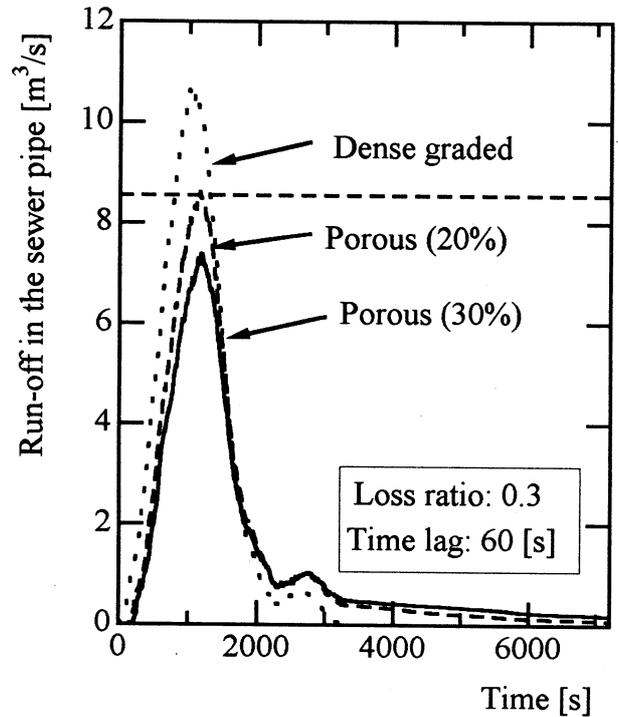


Figure 5 (a) Discharge curve considering all the area

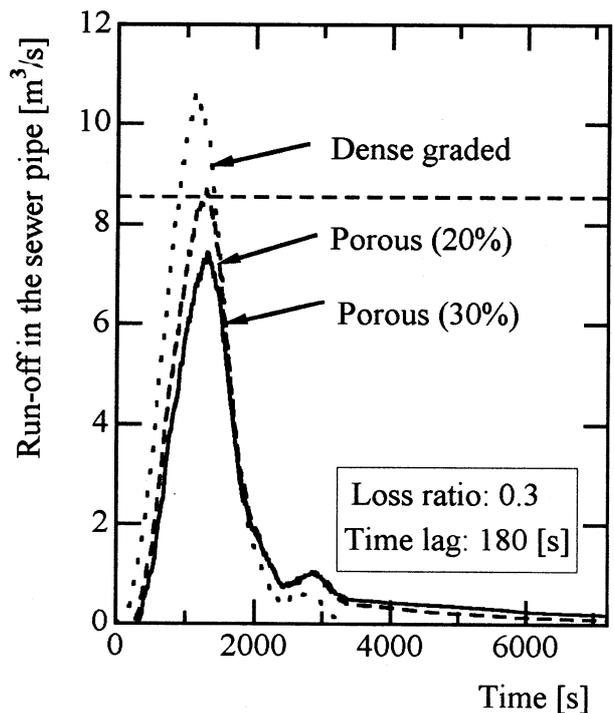


Figure 5 (b) Discharge curve considering all the area

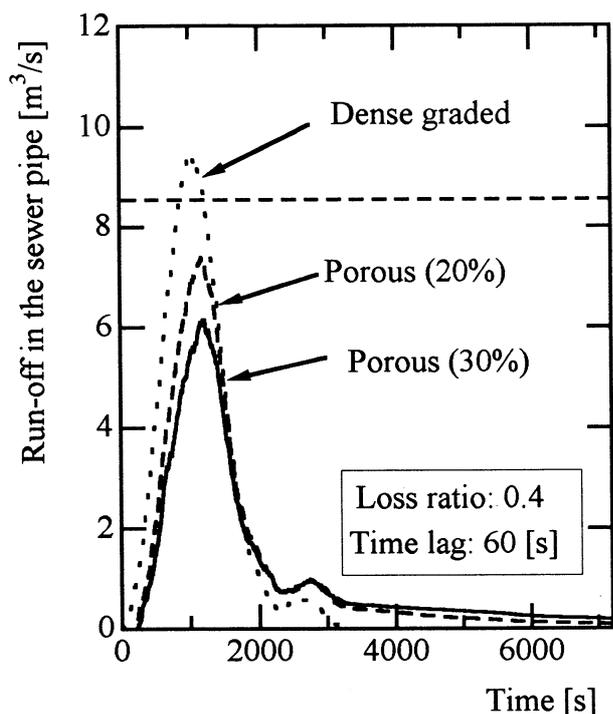


Figure 5 (c) Discharge curve considering all the area

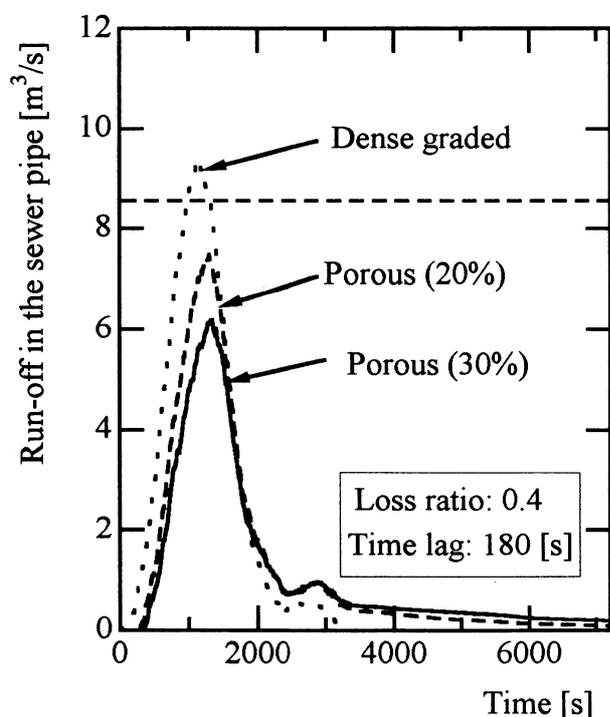


Figure 5 (d) Discharge curve considering all the area

このマンホールの直前では、下水管は150mm × 185mmの矩形をしており、かつ、排水勾配は0.4%であったので、Manning式に従えば、この地点での許容流量は、粗度係数を0.012として、8.2[m³/s]となり、図

中に示した横点線は、検討をしている五差路における下水道の排水許容能力である。どの場合も密粒度アスファルト舗装の場合はこの排水能力を上回る流量が流出していることが分かり、事実として下水道が溢れたという観測結果をうまく説明している。またポーラスアスファルト舗装の場合においては間隙率が20%、30%のどちらの場合でも下水道の排水能力の値はピーク流量をほぼ上回っており、もしすべての舗装にポーラスアスファルト混合物が用いられていれば、道路の冠水は起きなかったか起きてもわずかであったであろうと推定される。

4. 結言

道路表面にのみ降雨があるという仮想的な条件の場合にはもとより、実際の土地利用形態を考慮に入れた場合でも、ポーラスアスファルト舗装の方が下水道の最下点でピーク流量はかなり小さくなり、ピーク流量に達する時刻はやや遅くなった。そしてその程度は、下水管が格子状に結合していると仮定した前報¹⁾に比べてより顕著となったが、これは今回対象とした流域がより広がったためであり、ポーラスアスファルト舗装の効果は、局所的にではなく、今回のように広い面積に適用するほどより有効になるものと期待される。

ポーラスアスファルト舗装を用いた場合に都市型洪水の流出がかなり抑制されることが分かったが、ピーク流量に達する時間は著しくは遅くならなかったことを考えると、ポーラスアスファルト舗装は一時的にピーク流量をカットしはするが、植生や自然の土などのいわゆる保水能力とはメカニズムはやや異なるものと思われる。

謝辞： 本研究を実施するに当たり、東京都土木技術研究所の内田喜太郎研究員、および、東京都下水道局久住係長には、目黒区内の下水道の管路網についてのデータを提供して頂いた。また、北海道大学工学部土木工学科学生、岡本伸也君には解析の手伝いをして頂いた。なお、本研究では、土木学会土構造物および基礎委員会舗装工学研究委員会の活動成果の一部を引用させて頂いた。ここに謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 大川秀雄ほか、排水性舗装による都市流出係数低減効果について、第21回日本道路会議一般論文集(B), pp.426-427, 1995
- 2) 鮭川 登, 北川善廣, 都市下流域の洪水流出モデル, 土木学会論文報告集, 第325号, pp.51-59, 1982
- 3) 浅枝 隆, 都市インフラストラクチャーの表面被覆と熱収支, 都市の熱環境に関する学際シンポジウム, pp.31-39, 1995

- 4) 浅枝 隆, 北原正代, 藤野 毅, 和氣亜紀夫, 加熱された舗装面上空の大気加熱過程の解析, 土木学会論文集, No.467/II-23, pp.39-47, 1993

(1996. 10. 14 受付)

INHIBITORY EFFECT OF POROUS ASPHALT PAVEMENTS ON FLOODS IN URBAN AREAS

Kenji HIMENO, Hideo OHKAWA, Kohzoh HOKARI and Akira KAWAMURA

The surface of a rapidly urbanized city has been covered by asphalt pavements, concrete buildings, and other heat retaining structures. This coverage causes its higher temperatures even in the evening and so-called a heat island phenomenon can be found. The accumulated heat makes ambient air warmer and causes an updraft of the air, being followed by a localized torrential downpour. The materials used for these structures are usually unpermeable and help the rain water run off quickly into sewer pipe through their surfaces.

This study places an emphasis on porous asphalt mixtures that can keep the water in themselves and discharge it gradually. The effect of porous asphalt pavements preventing the flood is examined by a case study in Meguro area where an actual flood took place and wide area was covered by water.

It was found that it is very effective to employ the porous asphalt pavements to prevent this kind of flood. The void is recommended to be larger than 20%.