

大都市下水道における 豪雨時の水流管理方式に関する一考察

- 1 はじめに
- 2 既往のマンホール蓋飛散現象の概要
- 3 都内神田川の氾濫防止対策と現況
- 4 豪雨時の水流管理方式に関する考察
- 5 むすび

安川 浩*
宇井 正和*

要 約

昭和60年7月14日夕刻、東京及び関東南部を襲った大雷雨は各地で大きな被害を残したが、都内大田区では冠水した道路を自転車で通行中の男性が、大雨で蓋の外れたマンホールに落ち込み、救助に駆けつけた近所の人をの努力にもかかわらずマンホール内へ吸い込まれ死亡する事故を生じた。本論文は、これまで筆者等が関わってきた豪雨時のマンホール蓋飛散現象についての研究経緯と、この現象に密接な関係にある代表的都市河川である神田川の改修の進展状況を紹介し、そこで生じうる問題点の考察を試みるものである。

1 はじめに

昭和60年を地震と風水害、それに加えて関東地区を中心とする視点から振り返ると、以下の諸災害が挙げられる。

- (i) コロンビア・アルメロの泥流。死者・不明25,000? (11月14日)。
- (ii) メキシコ大地震 (M 8.1)。死者・不明6,000以上? (9月19日)。
- (iii) 長野の地這り。家屋の全半壊64戸、死者・不明26 (7月26日)。
- (iv) 東京・埼玉の雷雨。時間雨量61mmを記録 (7月20日)。
- (v) 北イタリア・スタバダムの崩壊。死者・不明270 (7月19日)。
- (vi) 東京及び関東南部で大雷雨。都内の床上浸水826戸、蓋の外れたマンホールに吸い込まれて

死者1 (7月14日)。

(vii) 豪雨による能登線列車転覆 (7月11日)。

(viii) チリー・サンチャゴ大地震 (M 7.7)。

4月8日現在の人的被害は死者177、負傷者約2,000、家屋の全半壊214,869戸 (3月3日)。

上記のうちコロンビア・アルメロの泥流や、メキシコ・チリーの大地震等、100年あるいはそれ以上の時間間隔で文字通り忘れた頃に襲来する自然災害を事前に察知し未然に避けうる自由度は、神ならぬ多くの現代人達の持ち合わせぬものであろう。

一方、梅雨や秋雨前線に伴う集中豪雨や雷雨といった極めてありふれた事象による一見些細な都市生活への支障もまた、都市生活者にとり一刻も早く解決せねばならない問題であろう。

昭和60年は関東地方では比較的台風被害の少ない年であり、7月はじめに襲来した台風6号に伴

* 東京都立大学都市研究センター・工学部

う降雨が床下へ流入し、断熱材への浮力によるガスパの損傷・ガス漏れ爆発が生じた被害を除けば平穏であったと言えるであろう。他方、梅雨明けの7月14日・20日の両日、大規模な雷雲が発生し、前者は東京・川崎を中心に時間雨量50～55mmの局地的豪雨を、また後者は埼玉・秩父地方から東京・多摩地方にかけて時間雨量40～60mmの降雨をもたらした。このうち7月14日の豪雨では都内の神田川・目黒川が溢れ、付近一帯に多くの浸水家屋を生じたほか、国電中央線豊田駅構内、及び南武線矢向駅構内でレールが冠水し一時不通になった。また冒頭に述べたように、大田区中央の区道交差点を自転車で通行中の男性が、増水で蓋の外れたマンホールに転落し、胸まで水に浸った男性を近所の人々が後から抱えて助けようとしたが水勢が強く、男性は自転車もろともマンホールへ吸い込まれたという（毎日新聞7月15日朝刊による）。このように強い力で人間がマンホールに吸い込まれるというのは何故であろうか。また従来も蓋の外れたマンホールに自動車車が車輪を落し、車体を損傷することはあったということであるが、死亡事故は初めてであると思われる。

このように、神田川・目黒川等の氾濫及びマンホール蓋の飛散現象は日雨量が都内で150mmを超えるような台風時はもとより、継続時間わずか1時間、総雨量50mm程度の集中豪雨により容易に発生しうることに注目せねばならない。これらの都市河川沿いの氾濫常襲地点では、河川水位の上昇とともにマンホールから先ず水が吹き出し、次いで河川堤防からの溢水が始まると言われている。マンホール蓋の飛散現象が全てここで述べた状況の下で生じる訳ではないということは次に述べるが、道路上のマンホール蓋によりその所在が知られるこの地下水路が、時には河底を伏越によりくぐり抜け、随所で合流分岐を繰り返す複雑極まる人工の水路系をなしており、都市河川の近くでは分水人孔により流水の一部を河川へ落す機能を備え、そのためにその水流管理が都市河川水位と密接な関係を有するものであることが知られるであろう。後に述べるように、従来は時間雨量30mmが限度であったとされる神田川や目黒川等の都市河川が、時間雨量50mmに耐え得ることを目標に改修

されており、他方、河川水面の降雨時の上昇により河水が分水人孔を経て下水幹線へ流入し、幹線末端の下水処理場ポンプ室が水没することが頻発した。これは同時に河水が分水人孔を通過して自由に地上へ流出することを可能にしており、最近ではこの不都合を避けるため分水人孔から河川へ通ずる雨水吐管の末端に逆流防止扉を設けるようになりつつあるといわれている。昨今、雨水の河川への流出を遅延させるため、都市河川流域に遊水のための調節池の建造が盛んであるが、開発の進んだ都市河川中流及び下流域が、分水人孔を通じて“完成された調節池”と化す現状は早急に改善されねばならないであろう。それと同時に、市街地の内水をどう処理するか、また丘陵地帯に沿う低地帯におけるマンホールをどう管理するかは、土地利用が益々高度化する大都市にとって緊急の課題と言えるであろう。以下にマンホール(人孔)蓋飛散現象の概要を述べる。

2 既往のマンホール蓋飛散現象の概要

2.1 昭和48・49年の3度の豪雨による人孔蓋飛散¹⁾

東京都下水道局施設管理部による「人孔蓋跳ね飛び調査」によれば、都内芝浦下水処理場系統、及び森ヶ崎下水処理場系統において豪雨時に人孔蓋飛散現象が発生し、芝浦系統では昭和46年10月から昭和49年9月に至る計12回の集中豪雨により15箇所、延べ23回の蓋飛び現象が発生している。他方、森ヶ崎系統では(Ⅰ)昭和48年10月13～14日、(Ⅱ)昭和48年11月10日、(Ⅲ)昭和49年7月7日、の計3度の集中豪雨により32箇所、延べ36回発生している(図2-1)。

この現象に対処するため、東京都下水道局は蓋飛び頻発箇所に以下の3種類の改良工事を施した。即ち、

- (1) 通常の人孔蓋(写真1)から格子状で充分の空気孔面積を有する格子蓋(写真2:円形格子蓋)への変更。
- (2) 通常の人孔蓋から圧力蓋(写真3)と雨水樹型空気抜(写真4)の併設へ変更。

(3) 通常の人孔蓋から圧力蓋と立管式空気抜
 (写真5)の併設へ変更。

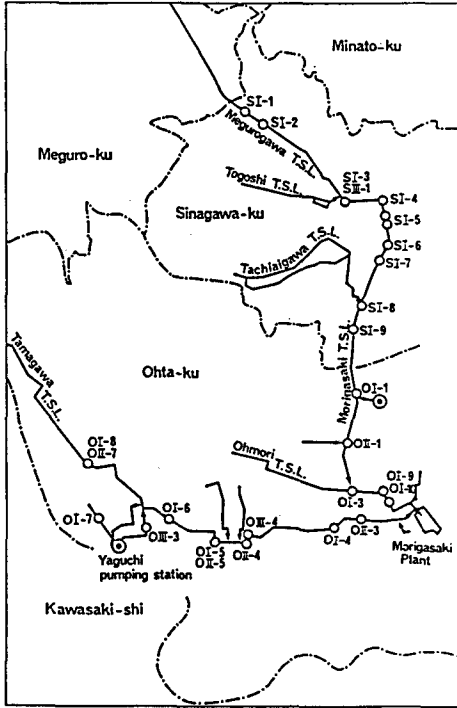


図2-1 豪雨時の蓋飛び発生状況

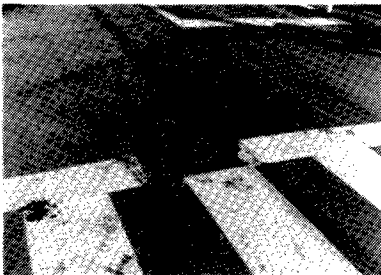


写真1 車道用円形鉄蓋



写真2 円形格子蓋



写真3 圧力蓋固定枠取付状況



写真4 雨水樹型空気抜と
 圧力蓋(右)



写真5 立管式空気抜(右上)
 と圧力蓋(左)

上記改良工事の結果、同一箇所における蓋飛び現象は解消されたが、蓋飛び発生箇所を示す図2-1、目黒川・戸越兩幹線合流点に位置するSI-3、SⅢ-1の記号で示される人孔地点において、3度目の豪雨時に舗装アスファルト中に埋め込まれた圧力蓋の取付枠が、周囲の舗装の一部と共に押し上げられ破壊される事態が生じ、これら空気抜ききの理論的解明のため、昭和52・53年の兩年度にわたり東京都立大学へ研究委託がなされた。都立大学では初年度を資料解析と他都市における

類似現象の発生状況調査にあて、次年度は森ヶ崎系統を対象に管路末端阻水扉開閉に基づく人孔蓋飛散現象に関する数値シミュレーションを実施した。その経過を以下に示す。

2.2 他都市における蓋飛び現象の発生状況

昭和52年8月現在における1)名古屋, 2)大阪, 3)神戸, 4)福岡, の4市下水道局管内の発生状況は以下の通りであった。

- (i) 名古屋市：年間2～3度の頻度で発生する集中豪雨の際に、特定の幹線区間で蓋飛び現象が発生する。尚、名古屋市の下水道は合流式で、豪雨時の管路末端阻水扉の開閉操作を行っている。
- (ii) 大阪市：東京・名古屋と同様に合流式を採用しているが蓋飛び現象は発生していない。但し、ポンプ施設の水没を防ぐ目的による阻水扉開閉操作は行ってはならないと定めている。
- (iii) 神戸市：六甲山地を背にし、下水幹線は南北に流れるものと、海岸線に沿い東西に流れるものより成る。このうち前者の傾斜地を南北に流れる区域は(雨水と汚水の)分流式で、豪雨時に雨水溝で溢水することはあっても蓋飛びは発生していない。一方、海岸沿いの低地部には一部に合流式の区域が存在し雨水のポンプ排水を要するが、この区域では蓋飛び現象がときたま発生している。
- (iv) 福岡市：合流式から分流式への移行の過程にあり、合流式区域の分水人孔には自動開閉扉を設け、雨天時の逆流防止に努めている。人孔蓋飛散現象は昭和50年度中に車輛事故として6件発生しており、車輛通過によるとみられる飛散もこの中に含まれる。昭和51年度人孔数は82,875箇所、そのうち飛散したことのある人孔数は51箇所である。

2.3 人孔蓋の飛散に関する数値シミュレーション

昭和53年度の東京都下水道局に対する研究報告書によれば、蓋飛び現象発生の有無を調べる数値シミュレーションは以下の手順で行われた。

- (1) 人孔蓋が跳ね飛ぶのに要する人孔内圧力

P_{max} を蓋の種類(円形鉄蓋, 矩形鉄蓋)ごとに算定する。

- (2) 計算区域内の豪雨時の下水管内の流れが被圧状態にあると仮定し、管路下流端の阻水扉の開度変化により惹起された管内振動として人孔内水面の昇降速度を算定し、水面が人孔蓋より下方にあれば人孔蓋に作用する空気圧を、また水面が人孔蓋下面に達して空気孔より水流が噴出する局面では人孔蓋に作用する水圧を算定した。人孔蓋に作用する圧力が跳ね飛びに要する限界圧力 P_{max} に達したならば、人孔毎にその時刻を記録し、以後は人孔蓋の空気孔面積を人孔面積に置き替えて数値計算を続行する。

図2-2は計算対象区域と人孔番号を、図2-3は上記の数値計算流れ図を、更に図-4は前図における第4番人孔に対する計算結果を示すものであり、これにより全ての人孔に関する水位、水面の昇降速度、圧力の時間的な変化と、蓋飛び条件が満たされた場合にはその発生時刻と状況(空気圧によるか、それとも水圧か)を知ることができる。管路系全体としての蓋飛び状況は表1のように計算条件毎に出力される。

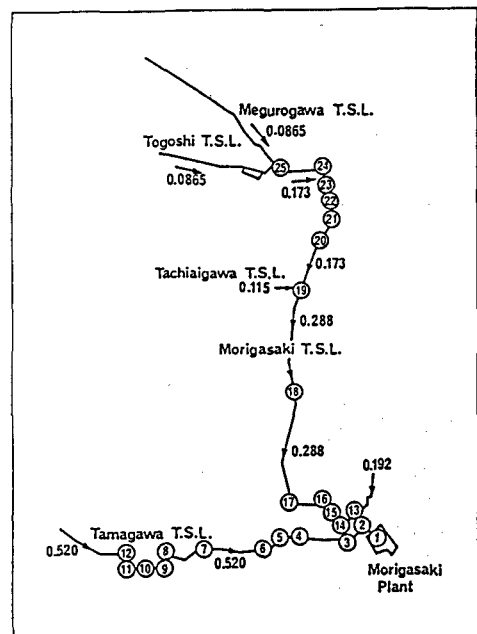


図2-2 計算対象区域と人孔番号

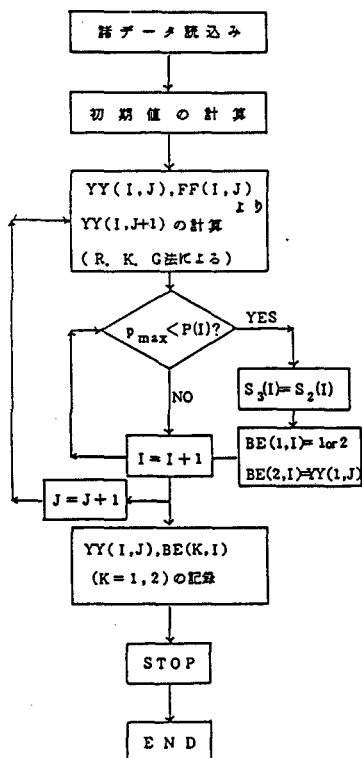


図2-3 人孔蓋飛散現象のシミュレーション流れ図

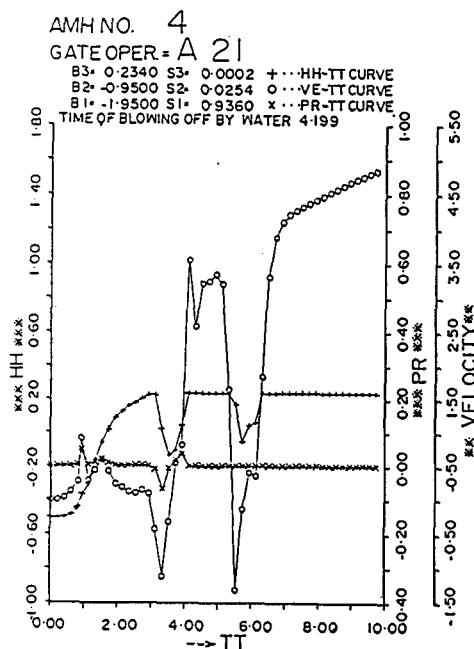


図2-4 4番人孔水位・空気圧・昇降速度

図2-1における蓋飛び発生箇所を示すS I-3 或いはO I-3等の記号のうち、最初のS、或いはOはそれらが品川区あるいは大田区に属することを示し、2番目のローマ数字は3度の豪雨のうちいずれによるか、また最後のアラビア数字はそれぞれ品川・大田両区内の蓋飛び地点の通し番号を表わす。それ故、最初の豪雨による蓋飛び地点と、表1における計算上の蓋飛び地点を比較するとき、下流部において良好な対応が認められる。この結果、昭和48・49年の2年度に訪れた3度の豪雨のうち、最初の豪雨における蓋飛び現象は管路端阻水扉の開度を3から1へ変化させることによっても生じることが明らかになった。それ故、圧力蓋と特殊空気抜の併設への改良済み人孔における前述の圧力蓋取付枠の破壊現象もまた、

表1 阻水扉開度変化による蓋飛び発生状況

阻水扉開度 $\Psi = 3-1, H_0 = -4.00m(T.P)$
 $P_{max} = 0.9971$ (九重)
 $= 0.8500$ (角置)

AMH(I,1)	AMH(I,6)	BE(1,1)	BE(2,1)
人孔番号	空気孔面積	蓋飛びの種類	発生時刻
1	0.3024E+01	0.0	0.0
2	0.1200E+00	0.0	0.0
3	0.2240E-03	0.1000E+01	0.8600E+00
4	0.2240E-03	0.2000E+01	0.4199E+01
5	0.2240E-03	0.0	0.0
6	0.2240E-03	0.0	0.0
7	0.2240E-03	0.1000E+01	0.2980E+01
8	0.2240E-03	0.0	0.0
9	0.2240E-03	0.1000E+01	0.4039E+01
10	0.2240E-03	0.0	0.0
11	0.2240E-03	0.0	0.0
12	0.2240E-03	0.1000E+01	0.4339E+01
13	0.2240E-03	0.2000E+01	0.2430E+01
14	0.2240E-03	0.1000E+01	0.2400E+01
15	0.2240E-03	0.1000E+01	0.1720E+01
16	0.2240E-03	0.1000E+01	0.2420E+01
17	0.2240E-03	0.1000E+01	0.2390E+01
18	0.2240E-03	0.1000E+01	0.3610E+01
19	0.8160E-03	0.2000E+01	0.5399E+01
20	0.8160E-03	0.0	0.0
21	0.8160E-03	0.0	0.0
22	0.8160E-03	0.0	0.0
23	0.8160E-03	0.0	0.0
24	0.2240E-03	0.0	0.0
25	0.2240E-03	0.0	0.0

BE(1,1) = 0 : 蓋飛び発生せず
 BE(1,1) = 1 : 空気圧による蓋飛び
 BE(1,1) = 2 : 水圧による蓋飛び

上昇する人孔内水面の圧力蓋下面への激突によるものと判断され、その定量的解析は後に持ち越された。

2.4 新たな問題点^{2), 3)}

昭和54年春に上記報告がなされた時、森ヶ崎下水処理場の雨天時排水容量は48・49年当時の毎秒約50m³から102m³へと増設工事を既に完了していた。現場の第一線技術者達は排水容量の不足によるポンプ室水没の可能性を実質的に解消していた。都立大学ではその後、前記シミュレーション結果が、下流部では実際の蓋飛び地点と良く対応するのにに対し、最上流端の伏越部分では実際は極めて激しく跳ね飛んだと報告されている人孔において計算上飛ばないという背違に鑑み、開水路状態から始まる過渡現象に伴う蓋飛びについて検討を始めた。この頃、次の興味ある蓋飛び現象の存在を知らされた。

- (i) 都内の或る雨水用ポンプ場と300m程離れた河川堤防を結ぶ雨水渠が、ポンプ場のすぐ下流で伏越により幹線道路をくぐり抜けていた。この伏越にかかる人孔蓋が豪雨時でもないのに頻々と飛散し、当局では人孔蓋のひとつを立管式空気抜きと圧力蓋の併設に切り替えたという。他方の人孔は当局の管理用敷地内にあり、晴天時でも長い周期で空気が流入し流出するのが観察された。
- (ii) 都内23区以外の地域における流域下水道の一部は、流量の計量と降雨時のピーク・カットを目的とする調整所を經由して23区内の既設の下水幹線と接続されている。このような調整所の下流の伏越人孔の蓋がやはり晴天時に飛んだという。管路縦断面図を示す図2-5において、人孔番号6, 7, 8は調整所から遠去かる順に並び、No.6及びNo.8人孔は既に

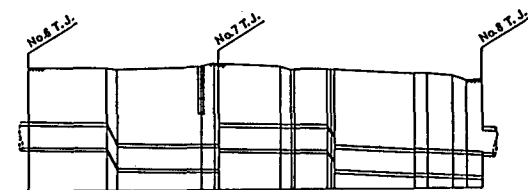


図2-5 流量調整所下流・管路縦断面形状

格子蓋に交換済みであり、No.7の人孔蓋が飛散したものである。

上記の現象はいずれも伏越に設けられた人孔に付随するものであり、図2-6に示されるように

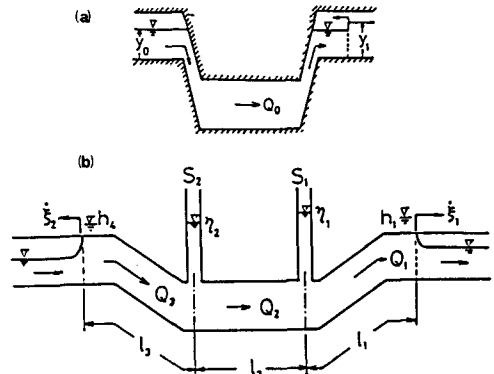


図2-6 伏越部への攪乱の入射と反射
(a) 伏越概念図 (b) 伏越人孔

開水路を伝わる攪乱波が伏越に入射する際の伝達と反射の問題として解析方法が検討された。

2.5 昭和57年台風18号に伴う9月12日豪雨による人孔蓋飛散現象

昭和57年の台風18号は9月12日午後6時頃静岡県御前崎付近に上陸後、山梨・埼玉・福島と東日本の各県を縦断した。この台風の特徴は列島上に停滞する秋雨前線を刺激し大雨を降らせたことで、伊豆天城山で368mm、静岡296mm、横浜160mm、東京167mmの日雨量をもたらし、首都圏では目黒川、呑川、神田川、石神井川、白子川等が溢れた。この豪雨に伴う人孔蓋飛散状況を調べた東京都下水道局施設管理部による「台風18号による人孔蓋飛散資料⁴⁾」は蓋飛びの発生した管理区域内の全人孔をその原因別に分類している。

表2は同資料に基づく原因別発生件数を示すが、それによれば神田川とその支流が流れる文京、新宿、中野、杉並の各管理事務所管内では発生原因1(下流側水位上昇による水圧上昇)が支配的であるのに対し、目黒川沿いの南部第2管理事務所管内では同様に発生原因1と発生原因7(下流端流入渠の阻水扉操作)が卓越しており、発生件数では発生原因1に次いで発生原因6(原因6に加えて急勾配水路からの流入)や発生原因5(原因

表2 原因別蓋飛び発生状況

発生原因 管理事務所	1	2	3	4	5	6	7	8	小計
西 部(文京)	13	4						2	19
西 部(新宿)	4	2			1	4			11
西 部(中野)	22	2		3	1	8		1	37
西 部(杉並)	10		1		3				14
中 部		1	1		3				5
渋谷東					4				4
東 部	1	1	1		2	2	1		8
北部第一					1	3	5		9
北部第二	1					1			2
南部第一	1								1
南部第二	8	3	1		1		8		21
合 計	60	13	4	3	16	18	14	3	131

但し、発生原因1=下流端水位上昇による水圧上昇
 発生原因2=原因1+伏越上・下流の影響
 発生原因3=原因1+管渠の屈曲の影響
 発生原因4=原因1+管路断面縮小の影響
 発生原因5=原因1+管路の合流の影響
 発生原因6=原因1+急勾配水路からの流入
 発生原因7=下流端流入渠の止水扉操作
 発生原因8=不 明

1 プラス管路の合流)の順になっている。上記資料により、文京区関口2丁目の神田川沿いの地区で人孔蓋の飛散現象が多発したことが明らかにされたが、写真6はそのうちのひとつである分水人孔(上)と神田川への雨水吐(下)を示す。

3 都内神田川の氾濫防止対策と現況

3.1 昭和56年7月22日豪雨による被害

昭和56年7月23日(木)の朝日・東京・毎日の各社朝刊の報道によれば、7月22日夕刻、関東地方は16日間の“真夏日”の後、寒冷前線の南下で、雷を伴う集中豪雨に見舞われた。東京周辺の雨量は羽田87mm、中新井87mm、大手町(気象庁)80mm等で、気象庁が大手町で観測した午後4時から5時までの時間雨量は55mmで、7月の記録としては昭和14年7月31日の88.7mm、同23年7月23日の64.2mmに次ぐ史上第3位の記録となった。

この雨で神田川、目黒川等は各所で氾濫し、新宿区下落合一丁目地点の神田川の濁流が橋桁を洗う状況や、文京区小石川一丁目の商店街にある下水溝から高さ2mもの水柱が吹き上がり腰近くの深さまで冠水した等の報道がなされた。これにより道路、鉄道、配電系統等への被害の他、地下鉄・地下街への浸水被害が顕著であった。

3.2 神田川氾濫防止対策工事の進捗状況

東京都建設局河川部による「神田川流域の治水施設資料集(昭和60年3月)」は神田川流域の河川改修箇所とその進捗状況を図3-1で示している。図中、豪雨の度に氾濫を生じた神田川・妙正寺川合流点付近は高田馬場分水土工として改修済み(写真7)であり、前述の昭和57年台風18号による豪雨の際に地上冠水と多くの人孔蓋飛散を生じたやや下流の江戸川橋付近も、江戸川橋分水路(写真8)が既に完了し、昭和60年3月9日現在で改修工事を実施中の箇所は、高田馬場分路上流の河道改修区間、江戸川橋下流の白鳥橋より船河原橋を経由して水道橋に至る区間(写真9)、及び豪雨時の河水貯留のための妙正時川第一調整池造成工事であった。写真10は工事中の水道橋分

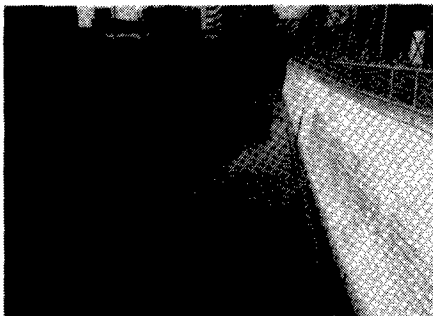


写真6 文京区関口2丁目地点の分水人孔(上)と神田川(下)

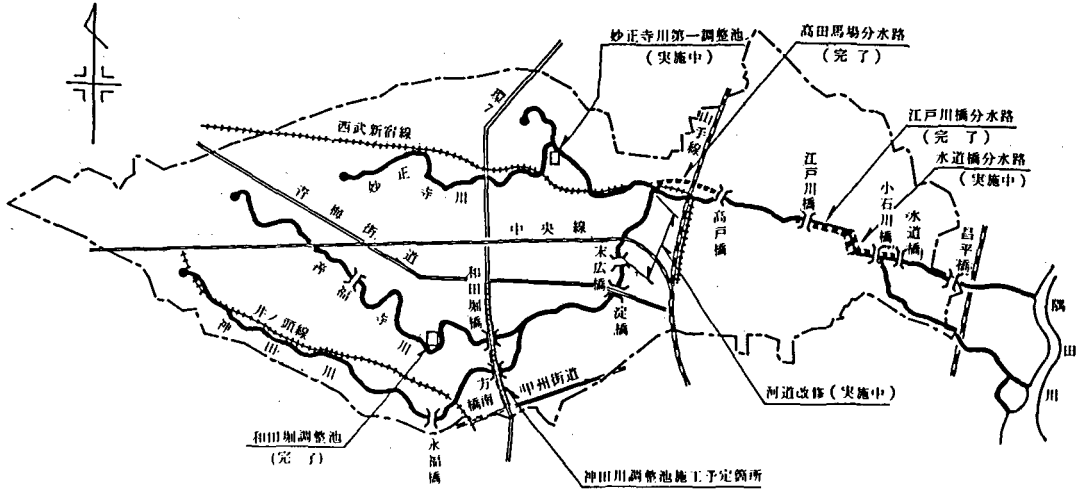


図3-1 神田川流域河川改修事業進捗状況

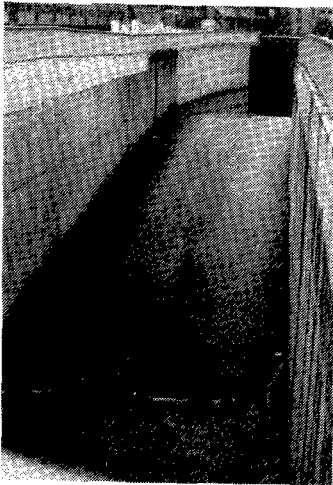


写真7 高田馬場分水土事地点(妙正寺川からの合流部分)

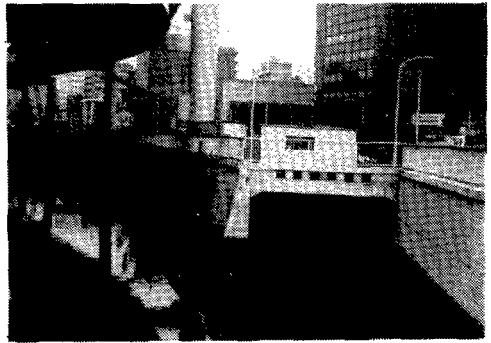


写真9 水道橋分水路出口

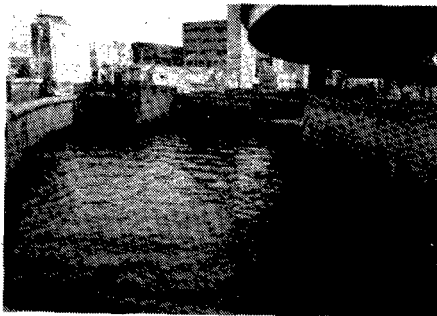


写真8 江戸川橋分水路流入部

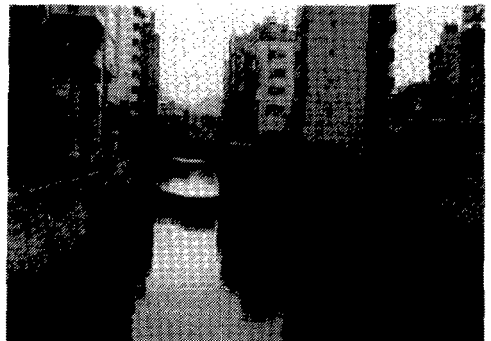


写真10 日本橋川との分岐点から見る神田川下流

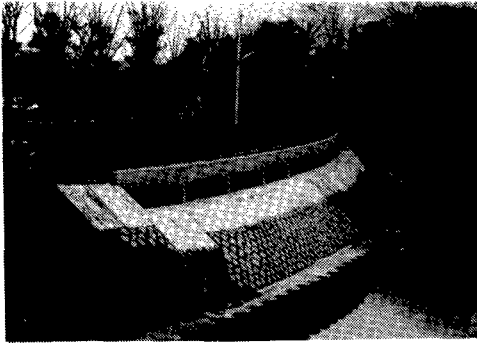


写真11 善福寺川和田堀調整池取水口

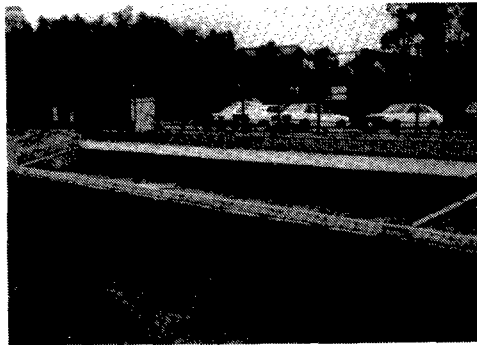


写真12 和田堀調整池取水口（裏面）

水路下流の日本橋川との分岐点を、また写真11、写真12は既に工事が完了している神田川の上流部支川、善福寺川堤防に設けられた和田堀調整池の取水施設を示す。

東京都建設局河川部発行の「東京の河川事業（昭和58年3月）」によれば、都は時間雨量50mmの降雨を対象に必要な箇所を改修し水害の解消に努めており、昭和56年7月豪雨で被害を受けた目黒川は“激甚災害対策特別緊急事業”により、また神田川や石神井川は新たに創設された“都市河川緊急整備事業”により、いずれも昭和56年度から分水路や調節池の建設が進められている。また前記資料集によれば図3-1における環状7号線道路が青梅街道及び甲州街道と交差する区間の地下55mに、直径15m、延長3km、貯留量540,000m³の神田川調節池が計画されており、また目黒・

世田谷両区にまたがる駒沢通りの地下にも直径6.5m、貯留量200,000m³程度の貯留池が施工されている模様である。

上記の現状をふまえ、人孔蓋飛散に伴う事故の再発防止の見地から、当面の諸問題を考えてみたい。

4 豪雨時の水流管理方式に関する考察

4.1 技術的状況

既に見たように行政側が提供しうる豪雨対策は当面50mm雨量が限度であろう。地中に浸透せず地表を流れる雨水の割合を表わす流出係数の値は、以前は50%程度であったものが今日では確実に増大しており、このような状況の下では極くわずかの治水上の弱点でさえ、仮借なくその欠陥を露呈され、人孔への流入・流出量差が表3右欄の値を

表3 静的浮上に要する種類別圧力水頭

種類	自重 (Kg)	空気孔面積 a (cm ²)	限界圧力水頭 h (cm)	鉛直流量 Q (ℓ/sec)
円形鉄蓋 (直径75cm)	120	55.98	27.16	9.191
円形鉄蓋 (内径60cm)	78	38.88	27.59	6.437
円形コンクリート蓋 (内径60cm)	74	49.74	26.18	8.038
矩形鉄蓋 3枚組 75cm×120cm	348	204.3	38.67	40.23

但し、円形鉄蓋空気孔総面積： $a = \frac{\pi}{4} d^2 \times 22$

コンクリート蓋： $a = \frac{1}{2} \{ (1.2+1.6) \times (5.5-0.7) + \frac{\pi}{4} (1.2^2+1.6^2) \} \times 6$

円形鉄蓋面積： $A = 4417.86 (2827.43) \text{ cm}^2$
カッコ内は60cm鉄蓋

矩形鉄蓋面積： $A = 9000 \text{ cm}^2$

越えれば人孔蓋は浮上する。流域に原野や沼沢があれば、河川水位がいか程上昇しようとも限りなく河水の貯留がなされるに違いない。既に述べたように我々は東京にそのような貯留池を多く期待できない。現在計画中、もしくは一部実施中の地下貯留池にしても、一旦それが完全に満たされた後は一滴の水をも過剰に貯えることはできない。その意味では現代の都市河川は寛容さに乏しい、

気難かしい性格を強めていると考えられるのではなからうか。それ故、次に起こるであろう現象を正確に予測し、適確な処置を講じておくことが必要になっていると判断されよう。ここで視線を転じて、それら都市河川流域の雨水排除システムを水工学的見地から眺めてみたい。

東京が採用している（雨水と汚水の）合流式下水道の管路系では、管路内の流れは原則として自由な水面をもつ開水路流れであり、流速は0.8～3.0 m/secの範囲に入るよう設計することが推奨されており、時間的には流況は変らないが場所的には変る不等流や、場所的にも時間的にも流況の変化する不定流（もしくは非定常流）としての流れ方は、一般には想定されていない。

しかしながら下水管内水流の時々刻々の流況を正確に把握し、常に望ましい安全な状況にあるよう管理する観点に立てば、実際の下水管内の水流は一日のうちでも時間的に変動し、決して定常ではあり得ないから、特定の下水処理場系統の下水管路網を非定常な流れの系として解析し、必要箇所の水理量をモニターし、次に起こるべき流況を予測する態勢が必要なのではなからうか。例えば晴天時の或る流況において突然の雷雨により雨水が流入するとすれば、管渠内水位は刻々と変化し、或る段階で下水処理場や中継ポンプ場の雨水ポンプが作動するが、それらの運転開始が流況にどのように影響するかを予測し、監視するシステムを樹立することによって、安全性の高い水流管理が可能となるであろう。

既に2.4節で人為的な阻水扉操作なしに人孔蓋が飛ぶ現象に触れたが、現行の技術体系における省人・自動化の趨勢は下水道システムにおいても顕著であり、雨水排除用のポンプ場においても大容量排水ポンプの自動間歇運転が採用されている。雨水ポンプは流入水位が或る限度以上に高まると排水のための運転を開始し、流入水位が或る下限に達すると自動的に停止する。

このような自動制御システムは機構上は何ら支障がなさそうであるが、下流でどのような現象が生じるであろうか。排水ポンプの間歇運転は下流の放流水路に周期的な水位変動をもたらし、伏越があればその伏越人孔はU字管振動と類似の振動

を誘起され、その振動は更に下流へも伝わるであろう（図2-6参照）。このような伏越人孔における水面振動は時には人孔蓋を飛散させ、上昇する人孔内水面が特殊空気抜きと併設された圧力蓋下面に衝突する場合には、強大な力を及ぼすことになるであろう。

同様に、流域下水道からの流量計測と降雨時のピーク・カットを目的とする調整所においても、雨水の流入に伴い水位が或る限度に達すると自動的に貯留が開始され、降雨がおさまって流出側水位が他の限度に達すれば再び自動的に放流が始まる。この急激な放流が下流にどのような影響を及ぼすかは、事前に充分検討されているであろうか。

更に現在、幾つかの地下の雨水貯留池が計画・実施されつつあるが、実用に供された場合、その運転操作の巧拙がその機能に極めて明確に反映されるであろう。降雨は総雨量50～60mmとは限らないから、貯留開始のタイミングが早すぎれば、ピーク・カットの機能を失うことは言うまでもない。

その意味で予測のための解析技術を伴わない管理システムは糸の切れた凧のようなものであり、またモニター装置を欠いた予測は空疎な努力となり勝ちである。東京の都市河川が豪雨時の安全弁を失いつつある今日、緊実にして精巧な、豪雨時の雨水管理システムの確立を期待したい。

4.2 人孔蓋の下で何が起きているだろうか？

マンホール（人孔）は以下の条件の下で設置される。

- (i) 管渠の起点、合流点、会合点に設置する。
- (ii) 管渠の勾配、方向、管径の変化する箇所、段差の生じる箇所に設置する。
- (iii) 直線部での間隔が長大なときの中間点に設置する。

筆者等は昭和54年以来、人孔内鉛直水流加速度を考慮した急変被圧不定流解析法の実用化⁵⁾、及び開水路区間と被圧水流区間が混在する管渠内の非定常流解析法の開発⁶⁾を目指して検討を進めてきたが、管渠の継手であるマンホール模型の内部で興味ある現象が見られた。

実験は写真13に示されるように、上下流とも内径10cmの亚克力管路を内径15cmの段落ち人孔で

接続している。

段落ち部、上下流の管底差は15cmで、下流端は水位調節水槽により満管に保たれている。ここで流量を次第に増加すると流量 $Q \approx 5 \text{ l/sec}$ 付近で時間的に継続する渦が発生し、流量 $Q \approx 6 \text{ l/sec}$ 付近では写真14に示されるような左右交互の周期的な渦となり、更に流量を増加して 9 l/sec を流すと、人孔内水面が上昇して渦の発生は止む。

このような直線的な平面配置における段落ち人孔において上記の渦の発生が見られることは、管路の曲がりやに設けられる人孔では更に容易になるであろう。冒頭で述べた人孔での人身事故においても、仮にこのような渦の発生と関わりがあるとすれば、人孔への落下は即・死へつなぐと判断せねばならない。その意味で“人孔蓋の下”の現象に関して我々の知らない多くの側面があることに驚きを禁じ得ない。

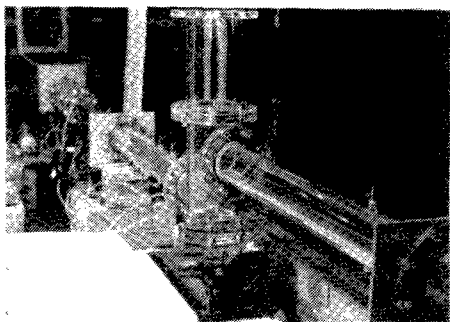
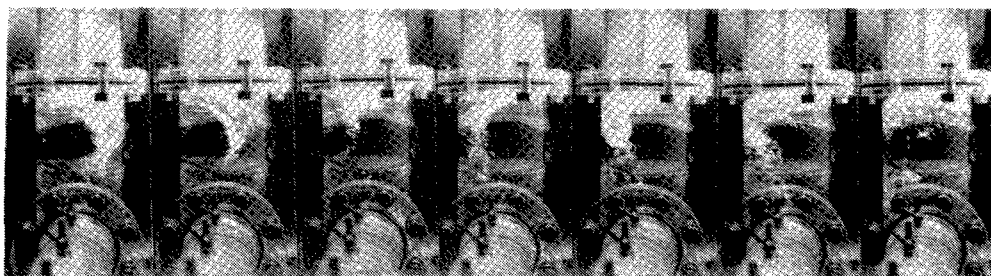


写真13 実験中の段落ち人孔模型



(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)

写真14 段落ち人孔における周期的な渦の挙動(4コマ/秒、モーター・ドライブカメラによる)

5 むすび

豪雨時の人孔蓋飛散現象が大都市の雨水排除システムと密接な関係を有することが知られるが、下水道及び都市河川という現在は異なる管理部門に属する分野が、やがて世界に誇り得る豪雨時の水流管理システムを完成させてくれることを切望するものである。

おわりに、これまで筆者等に温かい御指導と御理解を下された東京都立大学工学部川口土郎教授と東京都下水道局関係者の方々、及び昭和60年3月、神田川の見学でお世話になった自然災害科学関東地区部会長高橋裕東京大学教授並びに東京都建設局の方々に深く謝意を表する。

参考文献

- 1) 川口土郎・安川 浩
1979 「Ⅰ. 空気抜き理論的解明について」
「Ⅱ. 分水人孔の適正な構造」
『東京都下水道局委託昭和53年度研究報告書』都立大学。
- 2) 川口土郎・安川 浩
1982 「下水管渠内水流の管理システムに関する研究」
『東京都下水道局委託昭和56年度研究報告書』都立大学。
- 3) 川口土郎・安川 浩
1983 「下水管渠内水流の管理システムに関する研究」

- 『東京都下水道局委託昭和57年度研究報告書』都立大学。 論文集』vol.29, pp 675～680
- 4) 東京都下水道局施設管理部 1982 「人孔蓋飛散状況資料」
- 5) 宇井正和・安川 浩 1985 「ライザー付管路内急変不定流への Double Sweep法の適用」『第29回水理講演会
- 6) 川口士郎・安川 浩 1984 「下水管渠内水流の管理システムに関する研究」『東京都下水道局委託昭和58年度研究報告書』都立大学。

Key Words (キー・ワード)

Man-Hole Cover (マンホール蓋), **Dislocation of Man-Hole Cover** (マンホール蓋の飛散), **Heavy Rain Fall** (豪雨), **Prevention of Accident** (災害防止), **Unsteady Flow Through Sewer Line** (下水管内の非定常流), **Mixed Flow (Both Open-Channel and Pressurized)** (混合流), **Flooding of Urban River** (都市河川の氾濫).