

中央大学博士論文

東京東部低地(ゼロメートル地帯)における
水災害の特性と防御策に関する研究

土屋 信行

博士(工学)

平成 25 年度 3月

2014 年 3月

目 次

第1章 序論

1.1 研究の背景と目的	1-1
--------------------	-----

第2章 東京東部低地(ゼロメートル地帯)における水災害の歴史とその特性について

2.1 概説	2-1
2.2 利根川東遷事業, 荒川西遷事業が東京東部低地に与えた影響	2-1
2.3 東京東部低地における明治以降の大水害の特性と治水対策	2-5
2.3.1 明治43年東京大水害	2-9
2.3.1.1 明治43年東京大水害の被害	2-9
2.3.1.2 荒川放水路開削の概要	2-9
2.3.1.3 東京東部低地遊水機能	2-11
2.3.2 大正6年高潮水害	2-15
2.3.2.1 大正6年高潮水害の被害	2-15
2.3.2.2 葛西沖埋め立て事業(葛西臨海部の形成)	2-16
2.3.2.3 水没民有地	2-17
2.3.3 昭和の水害	2-18
2.3.3.1 昭和13年(1938)年高潮・洪水	2-18
2.3.3.2 昭和22年(1947)カスリーン台風	2-19
2.3.3.3 昭和24年(1949)キティ台風	2-20
2.3.3.4 中川放水路(新中川)開削	2-21
2.3.4 東京東部低地洪水流域	2-23
2.3.4.1 地下水の流れからみた東京東部低地洪水流域の特性	2-24
2.3.4.2 荒川左岸越流シミュレーション	2-25
2.4 第2章のまとめ	2-26
第2章参考文献	2-28

第3章 東京東部低地(ゼロメートル地帯)の形成と洪水発生の不確実性に関する研究

3.1 概説	3-1
3.2 地盤沈下と高潮被害	3-1
3.2.1 地形と地質	3-1
3.2.2 東京東部低地帯における地盤沈下の特性	3-3
3.2.3 高潮対策の経緯	3-6
3.2.4 ポンプ排水地域の形成	3-8
3.3 地震洪水の危険性について	3-9
3.4 台風の発生の不確実性と経路の不確実性について	3-11

3.5 東京東部低地における超過洪水による浸水のシミュレーション	3-13
3.5.1 浸水シミュレーションの入力条件の概要	3-14
3.5.2 解析条件	3-14
3.5.3 結果と考察	3-19
3.6 第3章のまとめ	3-19
第3章参考文献	3-20

第4章 東京東部低地(ゼロメートル地帯)の超過洪水発生と防御策に関する研究

4.1 概説	4-1
4.2 増大する水災害リスクと低下する治水安全度	4-1
4.2.1 江戸川・荒川浸水想定区域と江戸川区ハザードマップの作成とその特徴	4-3
4.2.2 昭和22年(1947)カスリーン台風時の渡河避難の実態	4-5
4.3 超過洪水による浸水域のシミュレーション	4-6
4.3.1 利根川, 栗橋付近(破堤)	4-7
4.3.2 荒川左岸, 川口市領家付近(破堤)	4-8
4.3.3 荒川(中川)左岸, 上平井水門付近(越流)	4-9
4.3.4 荒川(中川)左岸, 東京メトロ東西線付近(破堤)	4-9
4.3.5 荒川右岸, 墨田区平井付近(越流)	4-9
4.4 ゼロメートル地帯における避難高台地の必要性和有効性	4-10
4.4.1 避難高台地としての高規格堤防の有効性	4-11
4.5 荒川・中川防災ベルト構想の提案	4-13
4.5.1 荒川と中川の一体的検討	4-13
4.5.2 荒川と中川の並行流下区間の既定計画	4-13
4.5.2.1 計画高水流量	4-13
4.5.2.2 計画高水位と規定計画の荒川(中川)左岸高規格堤防案	4-14
4.5.3 荒川・中川防災ベルト構想の検討	4-15
4.5.3.1 中川全川堤防化・荒川河床掘削自然合流案(第2案)(第3案)	4-16
4.5.3.2 中川全川堤防化・排水機場設置案(第4案)(第7案)(第8案)	4-17
4.5.3.3 中川全川暗渠化案(第5案)(第6案)	4-19
4.5.3.4 その他の案(第9案)(第10案)	4-19
4.5.3.5 ポンプ施設併設に関する検討	4-20
4.5.4 荒川・中川の流路一体化についての考察	4-34
4.5.4.1 概算事業費の比較	4-34
4.5.4.2 避難高台地の効果	4-36
4.6 第4章のまとめ	
第4章参考文献	4-40

第5章 結論

5.1 今後の治水対策のあり方	5-1
5.2 河川水災害のリスク評価とコスト評価	5-1
5.3 最大被害予測と脆弱性評価	5-3
5.4 第5章のまとめ	5-3
資料(今回用いた関東流域圏モデルの概要)	資料-1

謝辞

第1章 序論

1.1 研究の背景と目的

江戸が開府されて人々が暮らすようになると、直ちに飲料水や農業水の確保、そして洪水との戦いが始まった。人々が集まって暮らすからこそ水の流れが恵みを与え、また災害にも見舞われるようになるのである。人々の非居住地に洪水が起こっても災害ではない。しかし世界四大文明を見れば明白のように、川の脅威との共存に成功した人々だけが、文明を築くことが出来たのである。東京もそうした都市のひとつである。この低地は本格的に都市利用が行われて以来、幾度となく大きな洪水に見舞われて来た。

関東地方は北に帝釈山脈、高原山、那須連山、八溝山、三国山脈、西に奥秩父山塊などの山地がそびえる、面積約1万7000平方キロメートルの日本最大の平野である。ここを流れる河川は三国山脈を水源とする利根川、足尾山地を水源とする渡良瀬川、日光連山・帝釈山地を水源とする鬼怒川・田川、八溝山地を水源とする小貝川、関東山地を水源とする烏川・荒川・多摩川、丹沢山地を水源とする相模川などがある。

このうち支流を含めた利根川の流域面積は関東平野全体の約1/2を占め、流域面積は約1万6,840km²で日本最大である。利根川は群馬県利根郡みなかみ町にある三国山脈の一つ、大水上山(標高1,840m)にその源を発する。高崎市付近まではおおむね南へ流れ、烏川合流後は東に流路の向きを変えて群馬県・埼玉県境を流れる。江戸川を分流させた後はおおむね茨城県と千葉県の境を流れ、茨城県神栖市と千葉県銚子市の境において太平洋(鹿島灘)へと注ぐ。分流した江戸川は東京都と千葉県の境をそのまま南下し東京湾に注いでいる。

荒川は埼玉県、山梨県、長野県の三県が境を接する甲武信ヶ岳(こぶしがたけ)に源を発、秩父山地の水を集めながら秩父盆地まで東に流れ、秩父盆地から長瀬溪谷まで北に、その後東に流れて大里郡寄居町で関東平野に出る。熊谷市で南南東に向きを変え、川越市で入間川を併せ、戸田市から再び東流、埼玉・東京都境を流れ、北区の新岩淵水門で隅田川を分ける。その後再び南流し、江東区と江戸川区の区境で東京湾に注ぐ。

利根川東遷事業以前は利根川と荒川の本流だった中川は江戸川の西側を平行して南に流れ、葛飾区高砂で新中川を分派し、河口から約8kmのところ綾瀬川を合わせ、その下流は荒川と接しながら並流、河口付近で荒川と合流する。これら3河川が西側の武蔵野台地、東側の下総台地の間に形成された沖積低地に集中して流下する。さらにこの地域は地下水の汲み上げのため大きな地盤沈下が発生したため洪水常襲地帯となっている。

本研究は、利根川東遷、荒川西遷、地下水汲み上げという人為的に行われた行為により形成された東京の東部に広がる東京東部低地帯における水災害の歴史及びその特性から、今日における東京東部低地帯の洪水の危機を明らかにし今後の迫り来る危機に備える施策の提言を目的にこの研究を行った。

第2章 東京東部低地(ゼロメートル地帯)における水災害の歴史とその特性について

2.1 概説

明治期以降の洪水は人口と経済の集中が顕著になっていた東京に大きな被害を与えた。これらの洪水は時の政府に対し治水事業に取り組みさせる契機となった。明治政府は帝都東京を守るため、近代的治水事業を可能とする機械化土木施工技術を学び、利根川改修事業、荒川放水路建設など大規模土木工事に取り組んだ。その結果、東京東部低地の現在の地勢が形作られたといえるのである。このことが東京を大々的に改変する契機となり、いわば治水対策としての東京大改造が始まったのである。

明治43年(1910)東京大水害により被災者150万人の大きな被害を生んだ東京では、この大洪水を契機に荒川の改修計画が策定され、翌年より岩淵から中川河口まで、全長22キロメートル、幅500メートルにもおよぶ大規模な放水路を開削する荒川放水路事業が着手されることとなった。事業は途中、第一次世界大戦に伴う不況や関東大震災などで困難を極めたが、蒸気掘削機や浚渫船を活用しながら延べ310万人の人員が動員され昭和5年(1930年)に完成した。荒川放水路と江戸川放水路が開削され、東京東部低地の治水構造を一変させた。

大正6年東京湾を襲った台風は接近時には、折しも満潮の時刻と重なり、深川や品川で高潮が発生、住宅地に押し寄せ500人以上が溺死した。また、横浜港でも3,100隻以上の船舶や舢舨が風浪により転覆、多数の沖仲仕や水上生活者が犠牲となった。同港が日本の経済活動の要所であった時代だけに、日本全体の経済活動も大きな打撃を被ることとなった。明治43年大洪水とは異なり、沿岸部での高波による被害が目立った水害となった。千葉県浦安町は全町が水没した。江戸時代を通じ、幾多の水害をくぐり抜けてきた行徳塩田も、当水害で塩田の堤防が完全に破壊され、東京湾で行われてきた数百年の製塩業の歴史は事実上幕を閉じた。大正6年(1917)の高潮が葛西臨海部の埋め立て計画に繋がった。

昭和22年(1947)のカスリーン台は埼玉県大利根町(現加須市)で堤防を決壊させ、江戸川堤防沿いを南下して首都・東京へ流入し多大な被害をもたらした。首都水没という非常事態を経験した政府は、旧内務省が昭和14年(1939)より実施していた『利根川改修増補計画』の修正を行い『利根川改訂改修計画』を纏め、根本的な河川改修を図った。利根川においては利根川と烏川が合流する直下の八斗島地点において、基本高水流量をカスリーン台風時の洪水流量である17,000 m³/sに抑えることとした。これを受け河川整備計画として全体の70%程度を堤防整備などの河川改修で対処し、残りの3,000 m³/sを上流ダム群で抑制することとした。同時に昭和6年(1931年)から進行していた鬼怒川河水統制事業も併合し、鬼怒川上流にダムを建設して利根川下流の洪水調節も図ることとした。これをきっかけにダム建設が正式に建設省の事業として推進されることとなった。

さらには大量の地下水利用のため発生した地盤沈下など、その都度洪水対策の見直しを迫られ、未だにこの地域の安全性が確立しないまま地球温暖化など新たな脅威を受けているのである。これらの歴史的経過の上にこの地域は「東京東部低地洪水地帯」とも言うべき、水災害にとって極めて脆弱な地域となったのである。

今その歴史に学び将来の国土を安全にすることが、今を生きる私たちの世代の役割である。

2.2 利根川東遷事業、荒川西遷事業が東京東部低地に与えた影響

利根川は新潟県と群馬県の県境にそびえる大水上山(おおみなかみやま)を水源として、関東平野を南東に貫流して千葉県の銚子に流れ下り太平洋に注ぐ。流路延長322km(国内第2位)、流域面積16,840 km²(国内1位)で群馬県、栃木県、茨城県、埼玉県、千葉県の5県と東京都に広がっており、流域の居住人口は約1200

万人である。(理科年表平成 21 年, 国立天文台編)

しかし、徳川家康が江戸を開府する以前の利根川は荒川と合流して住田川となり、現在の隅田川筋を下り江戸湾(東京湾)に注いでいたことが知られている。また、現在の江戸川も太日河(ふといがわ)として渡良瀬川、思川を合わせ江戸湾に注いでいた。現在、利根川の支川として合流している鬼怒川や小貝川も、利根川とは異なる流域の河川であった。(宮村, 2010; 高橋, 1971; 戸谷ら, 2007, 清水, 大熊 2004; 国土交通省利根川上流河川事務所)

徳川家康が江戸を開府するにあたり伊奈氏(関東代官頭)による瀬替え工事が開始され、利根川はその流路を東に付け替えられ、銚子に注ぐ大河川が出現することになったのである。いわゆる利根川の東遷事業である。この東遷事業は文禄 3 年(1594)「会(あい)の川の締め切り」から始まる。元和 7 年(1621)に新川通の開削工事で権現堂川の拡幅が行われた。

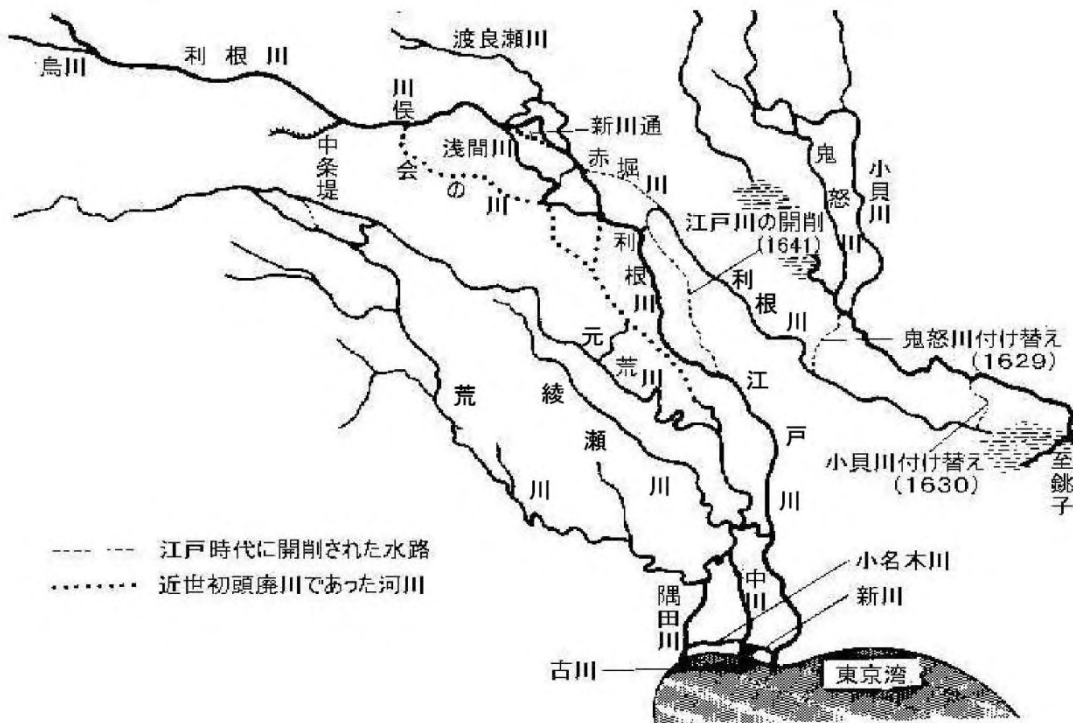


図 2-1 利根川東遷事業, 荒川西遷事業の経緯(大熊孝「洪水と治水の河川史」より近世初頭の利根川水系図を基に著者が加筆)

これにより利根川と渡良瀬川が合流し、下流域はおおよそ現在の江戸川に沿って江戸湾へと流れ出るようになった。元和 7 年(1621)年、赤堀川の掘削が始まる。赤堀川は舟運に利用するため、鬼怒川の支流である常陸川と利根川を繋ぐ水路を担う予定であった。しかし、赤堀川は下総台地を切り開く難工事であったため、寛永 12 年(1635)の工事も含めて、通水は承応 3 年(1665)年まで待たなければならなかった。寛永 6 年(1629)には、鬼怒川と小貝川の分流・付け替え工事が行われた。寛永 18 年(1641)には関宿・野田間に現在の江戸川上流部が開削され、庄内古川として旧流路を締め切り、赤堀川以外の水路が完成をみる。承応 2 年(1654)年、掘削開始から 33 年後 3 度目の赤堀川掘削工事により、ようやく赤堀川に水が流れる。「赤堀川の通水」まで約 60 年間で費やされた。

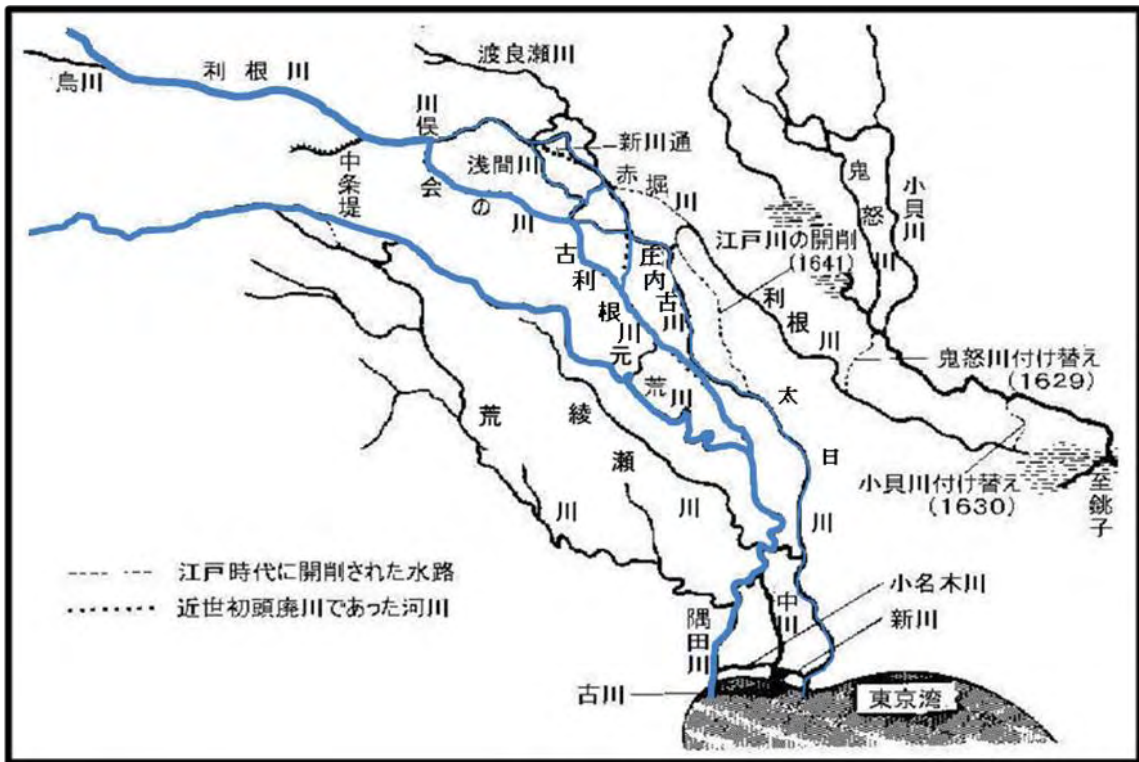


図2-1-1 利根川東遷事業, 荒川西遷事業前の流路(大熊孝「洪水と治水の河川史」より近世初頭の利根川水系図を基に著者が加筆)

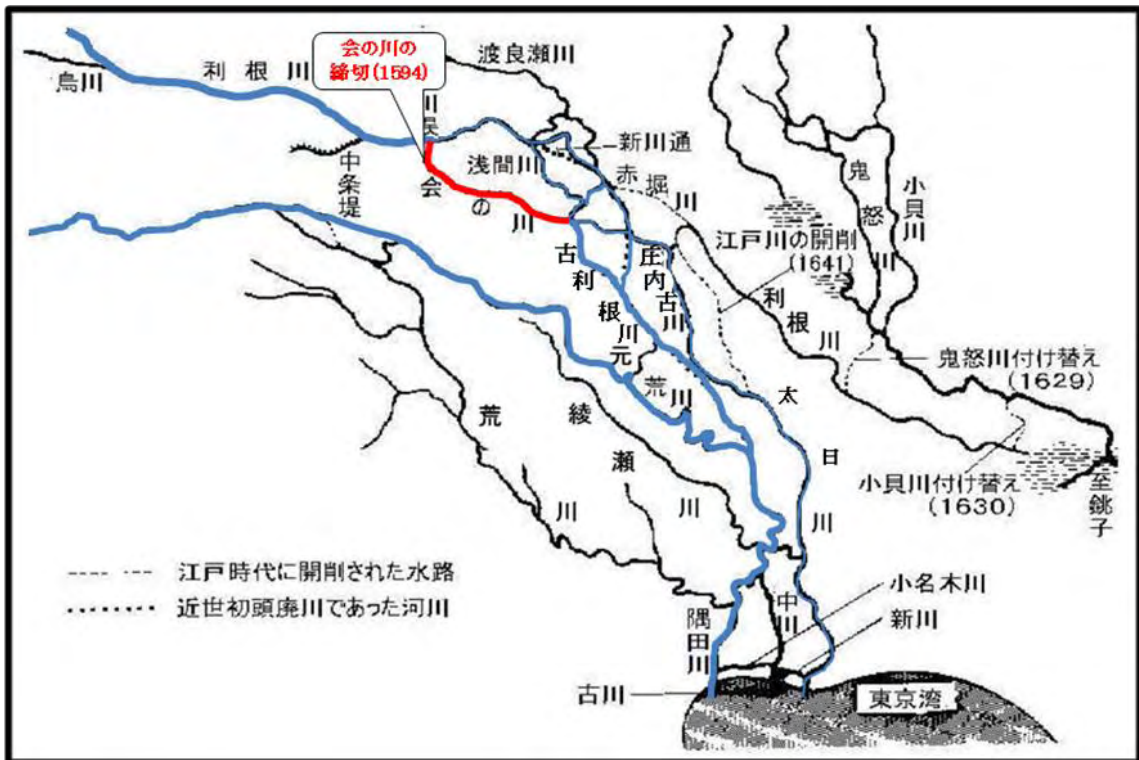


図2-1-2 会の川の締切(1594年)(大熊孝「洪水と治水の河川史」より近世初頭の利根川水系図を基に著者が加筆)

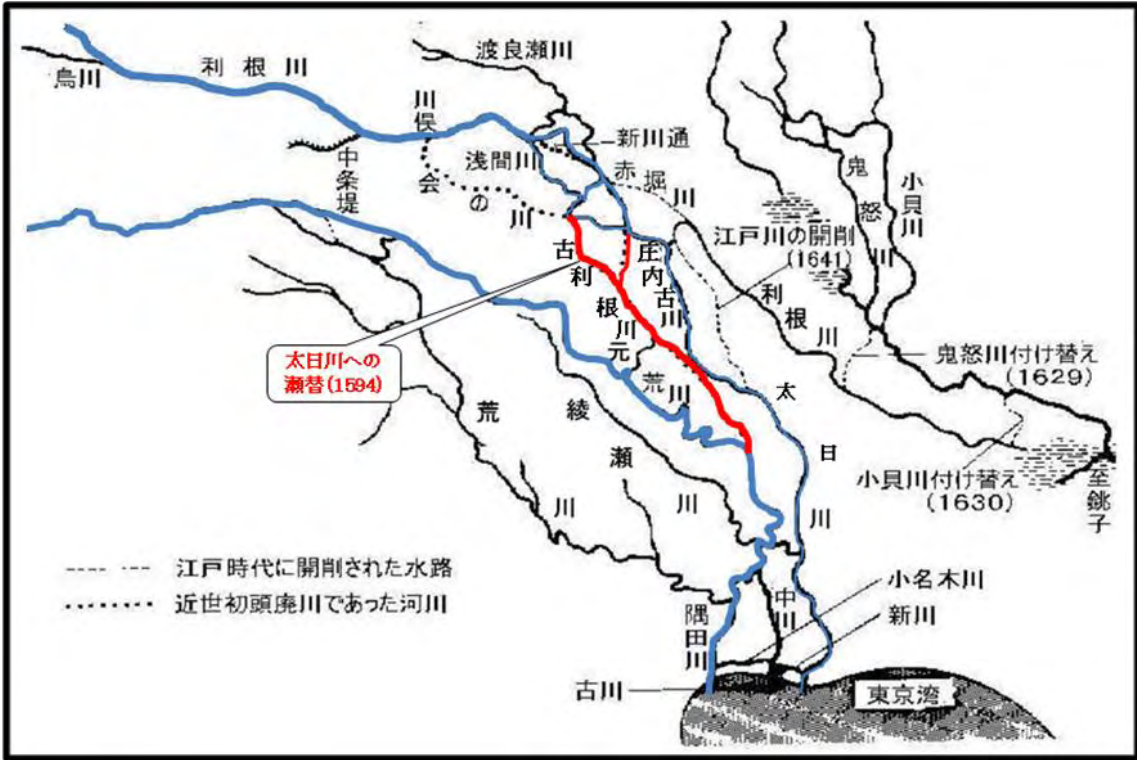


図2-1-3 古利根川を太日川への瀬替え(1594年)(大熊孝「洪水と治水の河川史」より近世初頭の利根川水系図を基に著者が加筆

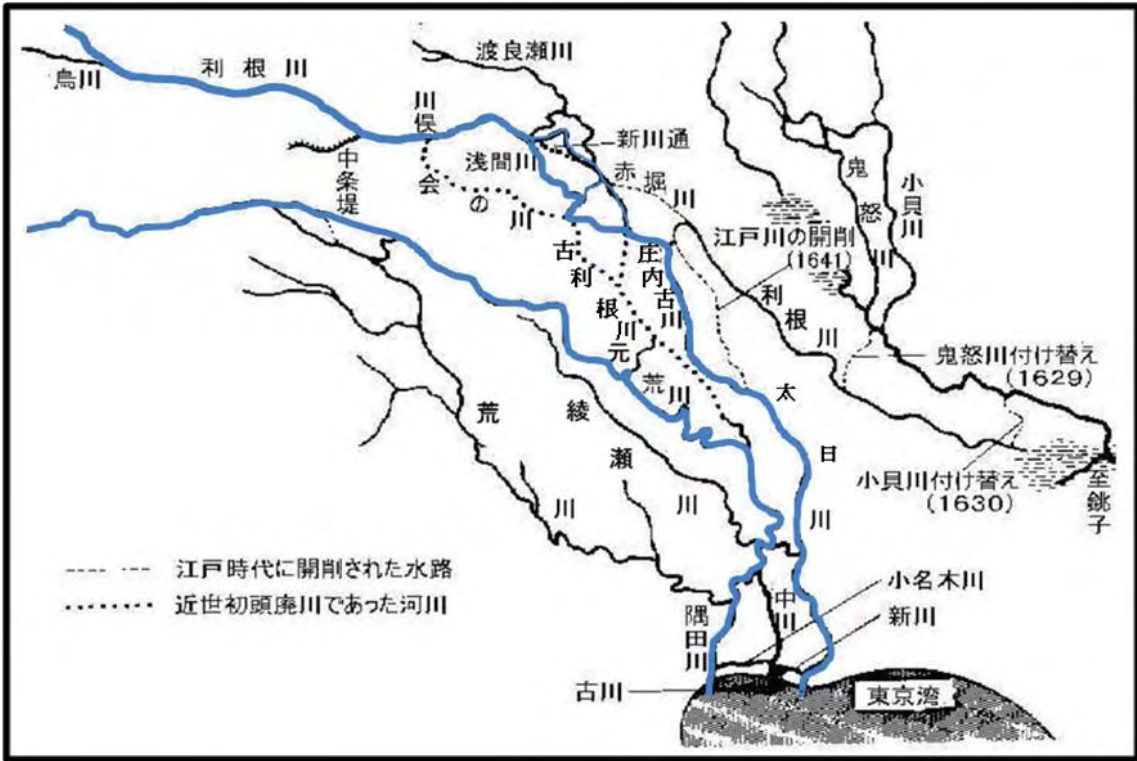


図 2-1-4 利根川が太日川へ切り替えられた(1594年)(大熊孝「洪水と治水の河川史」より近世初頭の利根川水系図を基に著者が加筆

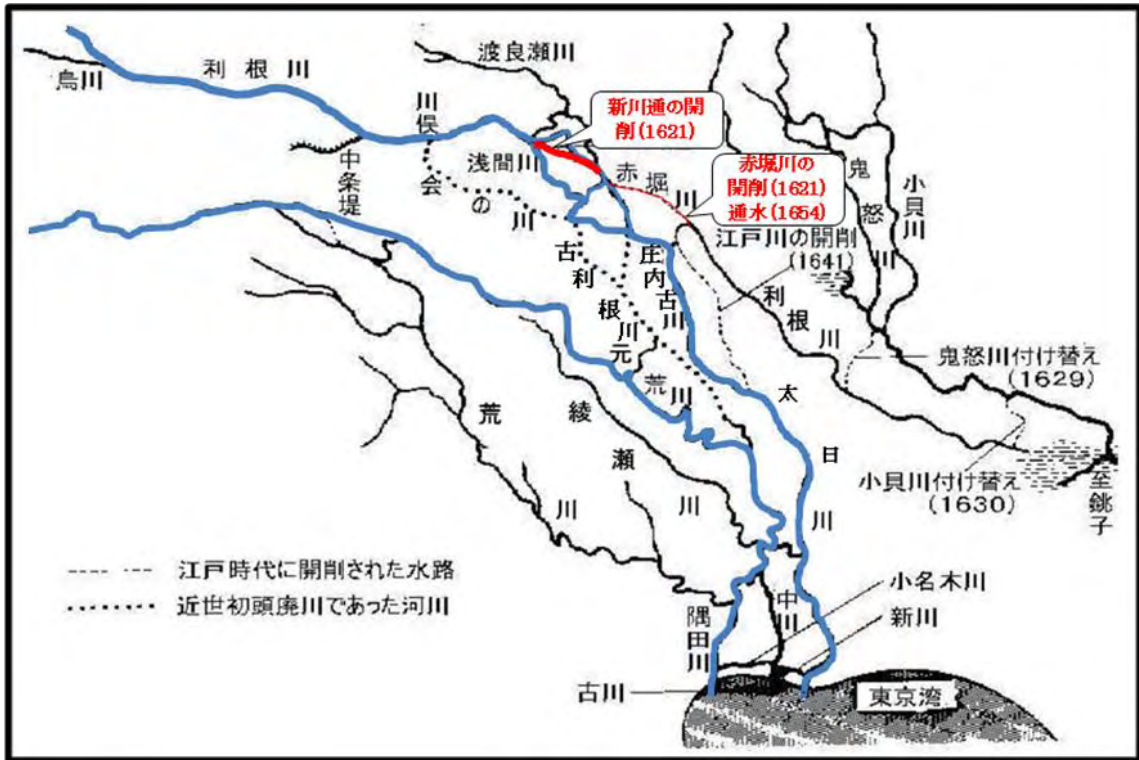


図 2-1-5 新川通の開削(1621年)赤堀川の開削(1621年)通水は1654年(大熊孝「洪水と治水の河川史」より近世初頭の利根川水系図を基に著者が加筆)

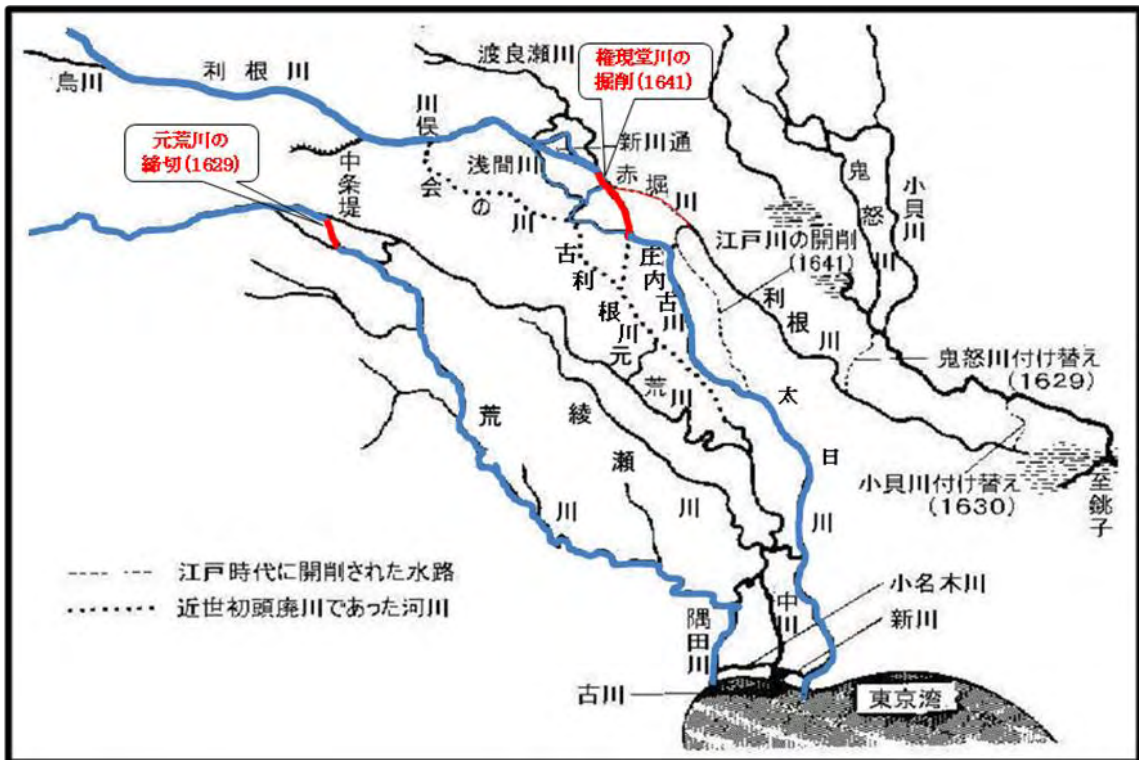


図 2-1-6 元荒川の締切(1629年)権現堂川の開削(1641年)(大熊孝「洪水と治水の河川史」より近世初頭の利根川水系図を基に著者が加筆)

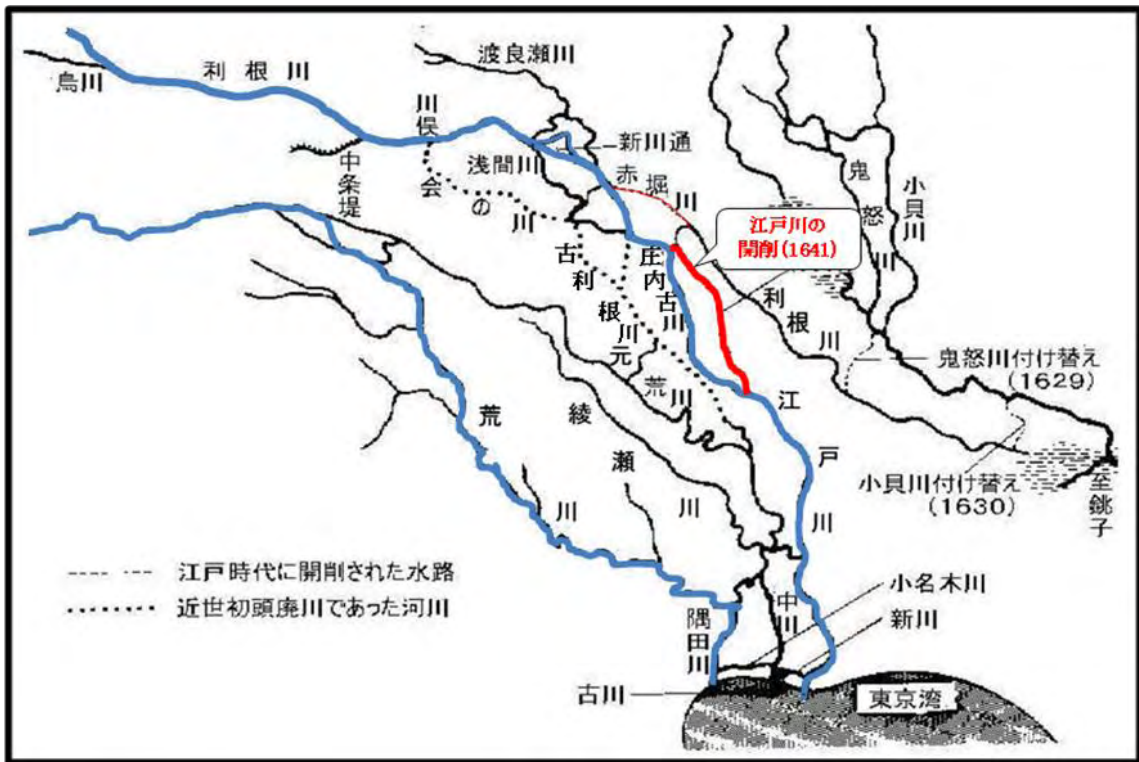


図2-1-7 江戸川の開削(1641年) (大熊孝「洪水と治水の河川史」より近世初頭の利根川水系図を基に著者が加筆)

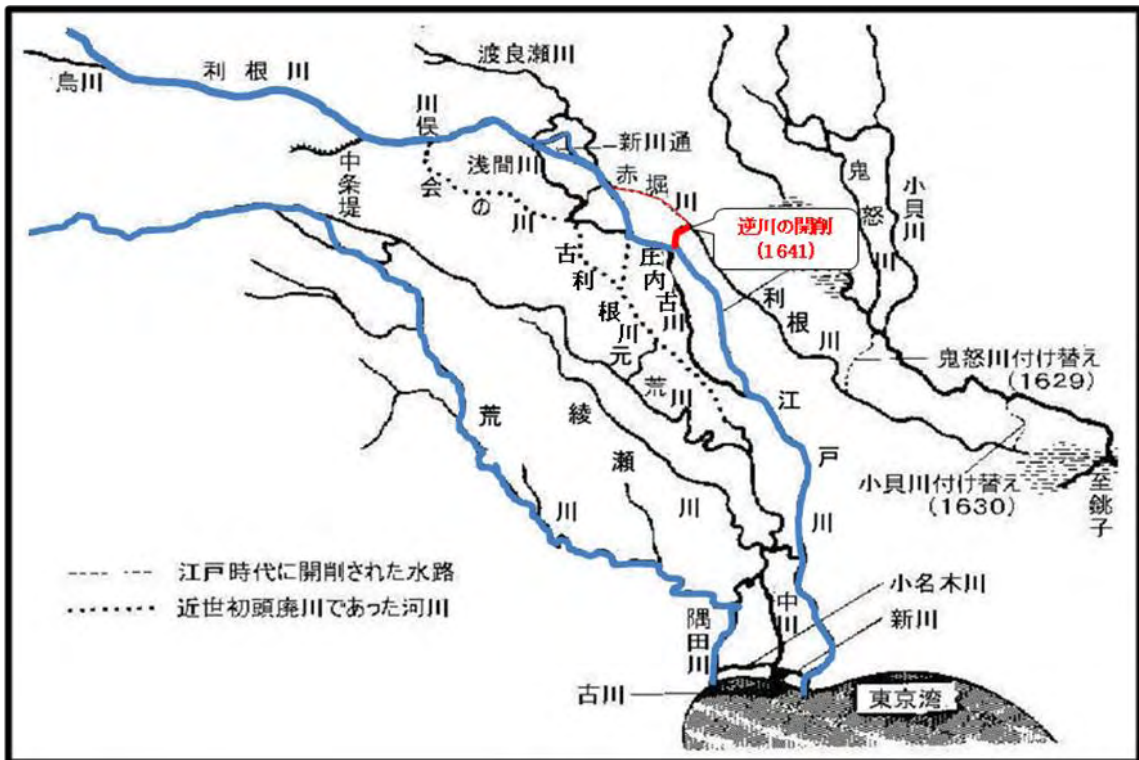


図2-1-8 逆川の開削(1641年) (大熊孝「洪水と治水の河川史」より近世初頭の利根川水系図を基に著者が加筆)

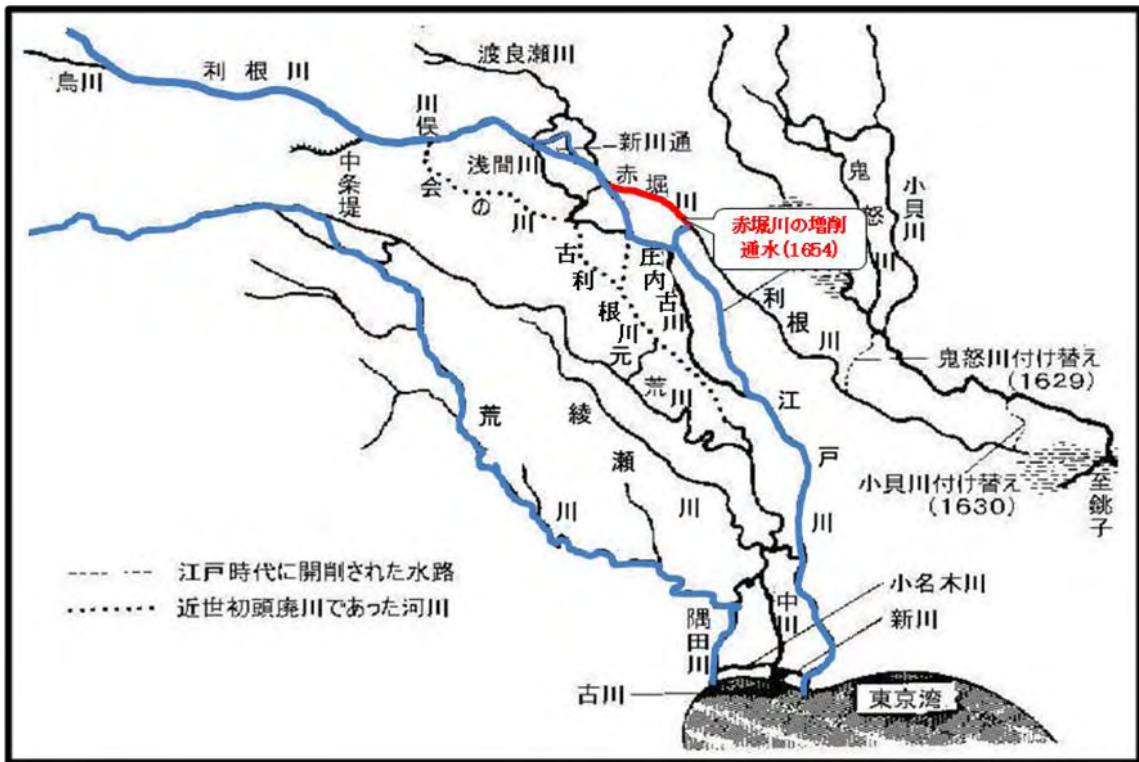


図2-1-8 赤堀川の増開削(1654年) (大熊孝「洪水と治水の河川史」より近世初頭の利根川水系図を基に著者が加筆)

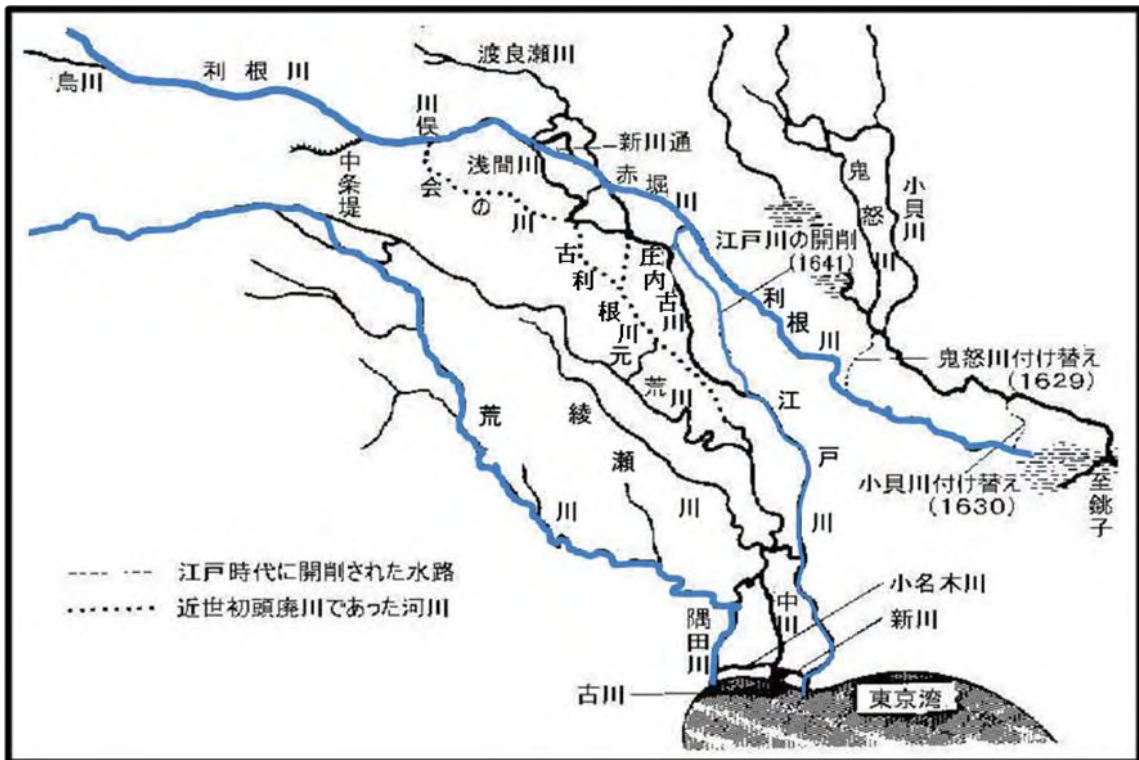


図2-1-8 利根川の東遷事業(1654年)が完成 (大熊孝「洪水と治水の河川史」より近世初頭の利根川水系図を基に著者が加筆)

承応3年(1665)、権現堂川を締め切る。これにより霞ヶ浦・銚子から常陸川・関宿・江戸川を經由し、江戸へといたる舟運の大動脈が完成することとなった。

近代までこの東遷事業は続けられ、最終的には昭和3年(1928)の権現堂川の締め切りにより現在の利根川水系の姿が完成する。(宮村, 2010; 高橋, 1971; 大熊, 戸谷ら, 2007, 清水, 2004; 国土交通省利根川上流河川事務所)

いっぽう、1600年に荒川は備前堤により下流を締め切り綾瀬川として分離、星川に通水し現在の元荒川に流路を変更した。寛永5年(1628)に荒川は熊谷市久下で締め切られて、和田吉野川より入間川に接続が行われ、綾瀬川、元荒川との流路の分離が完成する。荒川の西遷事業である。(宮村, 2010; 高橋, 1971; 大熊, 建設省関東地方整備局, 1987)

これらの事業後、江戸幕府は関東平野を開発し、見沼代用水、葛西用水を通し大穀倉地帯を形成、安全な舟運路を獲得し、265年間の江戸時代の繁栄を築くことが出来たのである。

一方、東京の低地は江戸時代、記録の確かなものだけでも約150回もの洪水に見舞われてきた。(宮村, 2010; 高橋, 1971; 戸谷ら, 2007, 清水, 2004; 国土交通省利根川上流河川事務所, 2008; 建設省関東地方整備局, 1987) 上記に示した利根川東遷事業、荒川西遷事業が現在の東京東部低地洪水流域を形成し、洪水常襲地帯を造り出したのである。

2.3 東京東部低地における明治以降の大水害の特性と治水対策

表2-1は東京東部低地の明治以降の主な洪水における被害実績を著者が整理したものである。これらの洪水は人口と経済の集中が顕著になっていく東京に、大きな被害を与えてきた。

表2-1 東京東部低地の明治以降の主な洪水における被害実績(著者が選択整理)

年月	風水害名	人的被害(人)			住家被害(戸)		その他被害		備考
		死者	行方不明	負傷	損壊	浸水	耕地(ha)	船舶(隻)	
M43.8	関東大水害 台風 長雨	1,379			約5,000	518,000	東京 下町一帯		堤防決壊 7,266箇所
T6.10	関東大水害 台風(高潮)	1,324			36,500	303,000	浦安町全 町が水没	3,100	行徳塩田破壊 製塩業終焉
S13.9	台風 (高潮)	245			(3,636)	(135,350)	(75,200)		() 東京、埼玉 茨城、足利市計
S22.9	カスリーン台風 (利根川決壊)	1,077	853	1,547	9,298	384,743	12,927		
S24.8	キティ台風 (高潮)	135	25	479	17,203	144,060	48,598	2,907	
S33.7	台風第11号	26	14	64	1,089	46,243	27,673	21	
S33.9	台風第22号 狩野川台風	888	381	1138	16,743	521,715	89,236	260	
S36.10	台風第24号	78	30	85	557	60,352	32,190	138	
S41.6	台風第4号	64	19	91	433	128,041	129,195	12	
S46.8	台風第23号	37	7	103	1,427	122,290	46,720	57	
S46.9	台風第25号	56	28	1	202	11,504	1,652	—	

明治43年東京大洪水と昭和 22 年カスリーン台風は堤防決壊による洪水、大正6年関東大水害、昭和13年台風、昭和24年キティ台風は高潮による洪水、昭和33年11号台風、昭和33年狩野川台風(22号)、昭和36年以降の各台風はいずれも内水氾濫型の洪水である。

2.3.1 明治43年東京大水害

2.3.1.1 明治 43 年東京大水害の被害

明治 43 年(1910)8 月 11 日、日本列島に接近した台風は、房総半島をかすめ太平洋上へ抜ける際に、各地に集中豪雨をもたらした。利根川、荒川水系の各河川は氾濫するとともに、各地で堤防が決壊した。関東平野一面が文字通り水浸しになった。写真 2-1 に(a)墨田区本所での浸水状況、(b)江東区亀戸での家屋倒壊の様子を示す。死者・行方不明者数 1,379 人、全壊・流出家屋約 5,000 戸、床上・床下浸水約 51 万 8,000 戸、堤防決壊 7,266 箇所、被災者 150 万人、被害総額は1億 2,000 万円でこれは当時の国民総所得の 4.2%に当たる。(荒川75年史, 国土交通省荒川下流工事事務所, 1990) 東京でも下町一帯が冠水し、浅草寺に救護所が造られた。この洪水を契機に荒川放水路、江戸川放水路が開削されることとなった。(荒川75年史, 国土交通省荒川下流工事事務所, 1990)



(a)本所陸軍被服所前道路の浸水

(b)南葛飾郡亀戸町家屋倒壊の様子

写真 2-1 明治 43 年東京大水害(荒川治水資料館記録写真)

2.3.1.2 荒川放水路開削の概要

明治 43 年の東京大水害を契機に、東京の下町を水害から守る抜本策として着手されたのが「荒川放水路」の開削事業である。この工事は北区の岩淵に水門を造って本流を仕切り、岩淵の下流から中川の河口方面に向けて延長22km、幅500mもの放水路を掘削するという大規模な計画であった。洪水時には、岩淵水門を閉めて本流(隅田川)の増水を抑え、洪水の大部分を幅広い放水路でいっきに海に流下させる計画である。工事全体の竣工には 20 年の歳月を要し、昭和 5 年に完成した。(荒川75年史, 国土交通省荒川下流工事事務所, 1990)

表 2-2 荒川放水路開削工事の概要

項目	内容
総工事費	31,446,000 円(用地取得費を除く, 現在費用換算 2300 億円)
延べ労働人員	310 万人
延長	22km
浚渫土量	9,100,000m ³
築堤土量	12,100,000m ³
鉄道端	4橋(総武線, 常磐線, 東武線, 京成押上線)
人道橋	13 橋・・・1鉄橋, 12木橋 千住橋(鉄橋), 西新井橋, 堀切橋, 江北橋等)
主な閘門および水門	閘門3ヶ所, 水門7ヶ所(小名木川, 小松川, 船堀閘門, 岩淵水門, 綾瀬水門, 墨田水門, 木下川水門, 中川水門, 新川水門, 芝川水門)
土地買収	1,098 町歩(約 1,088ha)
移転戸数	1,300(南葛飾郡の大木村, 平井村, 船橋村の3村が廃村)

表 2-3 荒川放水路開削工事の経過

年次	内容
1910 年(明治 43 年)	大洪水を契機に荒川の改修計画の立案
1911 年(明治 44 年)	放水路事業開始, 測量, 調査, 用地収用に着手
1913 年(大正 2 年)	エキスカベータ掘削機を使って高水敷の掘削開始
1914 年(大正 3 年)	バケット浚渫船を使って河口部分より低水路掘削船
1916 年(大正 5 年)	岩淵水門起工
1917 年(大正 6 年)	9 月 30 日, 高潮台風で船舶, 機械流失損傷
1917 年(大正 7 年)	新川水門, 綾瀬水門起工
1919 年(大正 8 年)	小名木水門, 墨田水門起工
1921 年(大正 10 年)	木下川水門, 中川水門起工, 綾瀬川通水
1923 年(大正 12 年)	9 月 1 日, 関東大震災, 28 ヶ所で堤防が崩壊, 亀裂が発生
1924 年(大正 13 年)	岩淵水門竣工, 荒川放水路全線通水

大正 13 年(1924)の岩淵水門完成により放水路への注水が開始され、浚渫工事など関連作業が完了したのは昭和 5 年(1930)である。その後も荒川放水路により分断された中川の付け替えや、江戸川放水路の掘削が行われ、ほぼ現在の東京東部低地の骨格が固まった。

その後「荒川放水路」は昭和 40 年(1965)に正式に荒川の本流とされ、それに伴い岩淵水門より分派する旧荒川全体が「隅田川」となった。それまでは現在の千住大橋付近までが荒川、それより下流域が隅田川と区別され

ていた。この時以来「荒川放水路」という文字が地図の上から消え、同時に水害への恐れも人々の脳裏から消えていったのではないだろうか。

2.3.1.3 東京東部低地遊水機能

図2-2は開削された放水路の位置を明示したものである。図2-3は開削工事の経年の状況を示す図である。これらの図から荒川放水路の堤防の位置は都心を守るために選定した、いわばお囲い堤の形になっている。荒川放水路が着工された明治43年当時、放水路の東側の地域は、水田と蓮田が連なる農村風景がどこまでも広がる地域だった。この時の荒川の堤防は都心部側を守る右岸堤防は高く、厚く建設されており、左岸堤は都心側よりも高さが低く、薄く造られた。この当時とすれば洪水対策として計画する放水路を、被害の大きかった都心部を守るためとして、放水路の位置を決めることも、堤防の強度に差をつけて建設することも当然の方針だった。しかし100年後の今日ではこの地域の人口は約120万人を超え、首都東京として経済、中枢機能が集積しており、国家としての治水の安全保障からすると、著しい課題を抱えたままになっていると言わざるを得ない。超過洪水を想定した場合、左岸側が先に越水することになるのである。

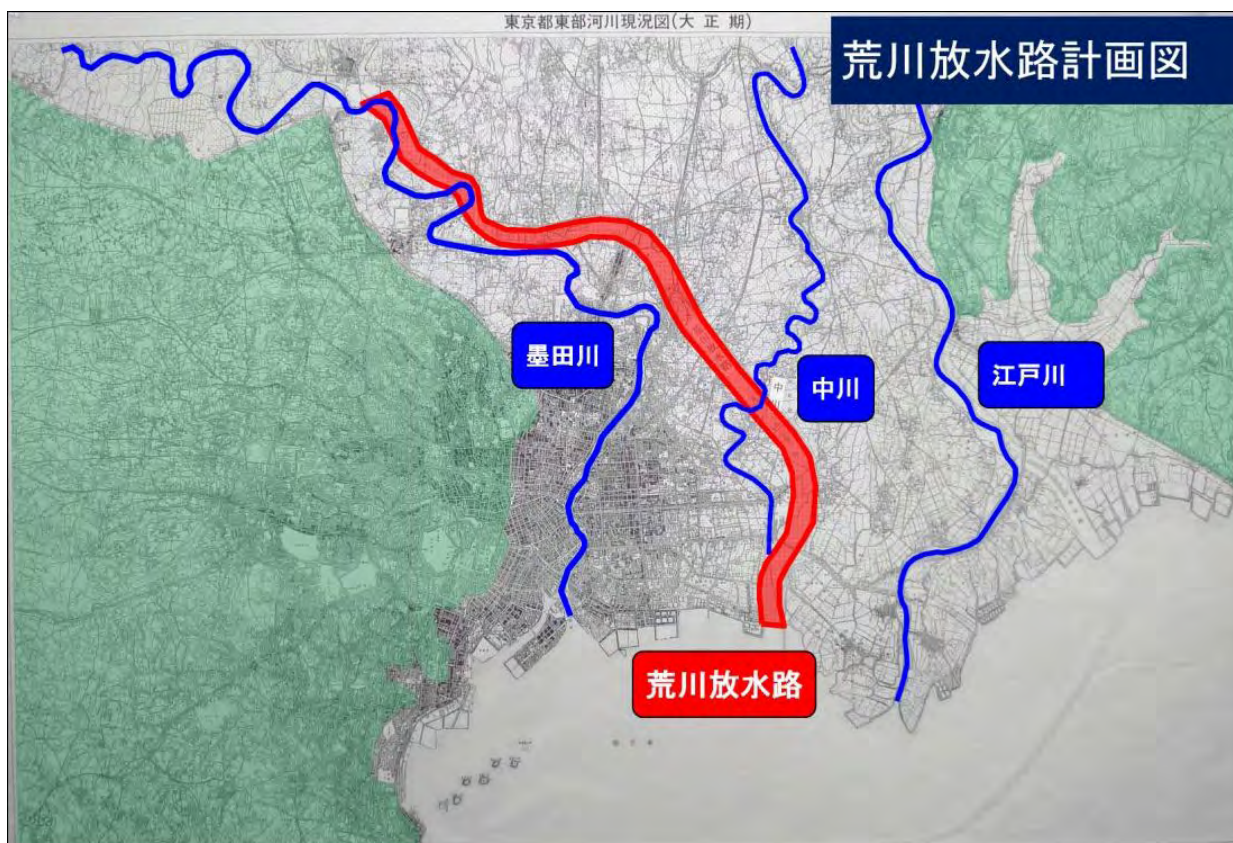
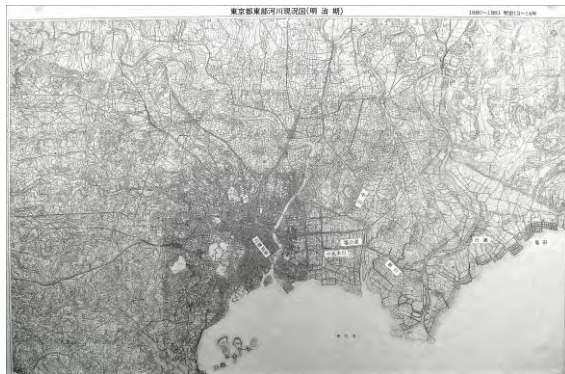


図2-2 荒川放水路計画(東京都江東治水事務所の図面を基に著者が加筆作成)



(a)明治期（荒川放水路開削以前）



(b)大正期（開削工事中概ねの流路が確認できる）



(c)昭和期（流路が完全に繋がり通水後）



(d)平成期（東京湾各地に埋立地が広がっている）

図 2-3 荒川放水路開削の変遷(東京都江東治水事務所作成)

この荒川放水路は都心を守るため開削されたことから、荒川左岸の方が都心側の荒川右岸よりも低く構築されていると言われてきた。図4に示すように、中川左岸(荒川左岸)堤防は、厚さ0.3mの嵩上げパラペット構造となっている。このパラペットを加えた高さの左右岸の比較が重要である。

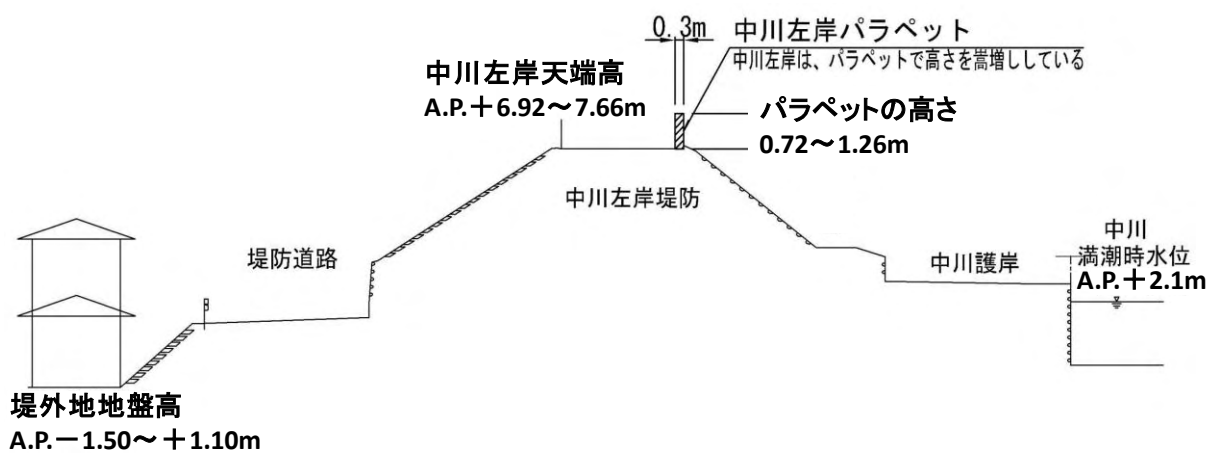


図 2-4 中川左岸(荒川左岸)の標準的な堤防断面図(河口より7.0km区間、測量結果より著者が作成)

今回、著者はこの事実を確認するため、荒川右岸(都心側、江東区側)、中堤、荒川左岸(中川左岸、江戸川区側)の縦断測量を実施した。

表 2-4 現況堤防高さ(実測結果)

測点	中川左岸	中川左岸 (パラペット)	中堤	荒川右岸	計画高水位	差(荒川 右岸-中 川左岸)	差(荒川 右岸-中 川左岸パ ラペット)
0	10.377		5.693	8.293	3.4	-2.084	
0.25	10.405		5.637	8.315	3.45	-2.09	
0.5	10.284		5.581	8.412	3.5	-1.872	
0.75	6.307	7.482	5.528	8.489	3.55	2.182	1.007
1	6.322	7.467	5.62	8.498	3.6	2.176	1.031
1.25	6.35	7.558	5.502	8.764	3.65	2.414	1.206
1.5	6.377	7.569	5.346	8.425	3.7	2.048	0.856
1.75	6.366	7.623	5.65	8.402	3.76	2.036	0.779
2	6.445	7.595	5.727	8.388	3.81	1.943	0.793
2.25	6.683	7.657	5.639	8.506	3.85	1.823	0.849
2.5	6.756	7.622	5.632	8.891	3.89	2.135	1.269
2.75	6.774	7.424	5.771	8.507	3.93	1.733	1.083
3	6.096	6.918	5.694	8.412	3.98	2.316	1.494
3.25	6.472	7.23	5.79	8.137	4.03	1.665	0.907
3.5	6.121	7.289	5.841	7.883	4.09	1.762	0.594
3.75			5.86	8.013	4.14		
4	5.905	7.135	5.872	8.306	4.2	2.401	1.171
4.25	6.169	7.384	5.848	7.744	4.26	1.575	0.36
4.5	6.288	7.396	5.861	7.812	4.32	1.524	0.416
4.75	6.334	7.356	5.978	7.179	4.37	0.845	-0.177
5	6.306	7.343	6.094	7.158	4.43	0.852	-0.185
5.25	6.491	7.361	6.137	7.132	4.49	0.641	-0.229
5.5	6.458	7.363	6.112	7.09	4.54	0.632	-0.273
5.75	6.478	7.388	6.273	7.126	4.59	0.648	-0.262
6	6.852	7.638	6.272	7.327	4.64	0.475	-0.311
6.25	6.685	7.528	6.39	7.311	4.69	0.626	-0.217
6.5	6.738	7.538	6.451	7.666	4.74	0.928	0.128
6.75	6.849	7.573	6.385	7.83	4.79	0.981	0.257
7	6.759	7.55	7.965	7.794	4.84	1.035	0.244

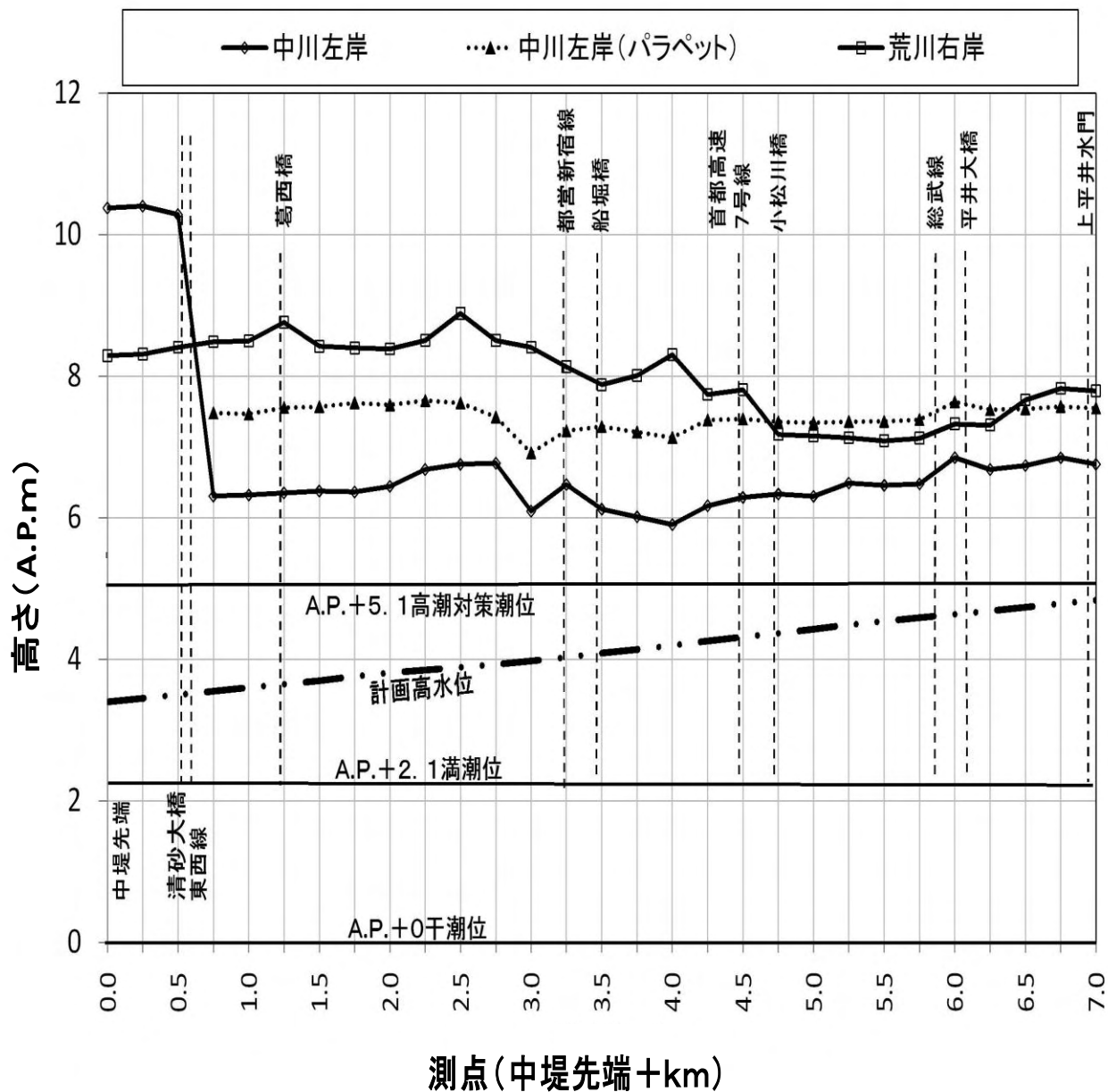


図2-5 荒川右岸、背割り堤（中堤）、荒川左岸（中川左，嵩上げパラペット）の縦断測量図
(2010年実測)

今回の実測は、荒川の河口部から7.0kmまでの上流区間を行った。この区間がいわゆる0メートル地域の中でも干潮時においても水面以下となる最も低い地域となるからである。

表2-4、図2-5は今回測量した現在の荒川右岸、背割り堤(中堤)、荒川左岸(中川左)岸の水準測量結果である。

距離表約0.5km地点の東西線鉄橋から上流部で左岸堤防が低くなっており、今回の測量区間調理表約7.0km地点まで続く。0.5km地点は旧海岸堤防(高潮対策堤防)があった地点である。荒川左岸堤防は高潮対策のため厚さ0.3mの嵩上げパラペットが付け足されており、これを加えると距離標約4.75km地点の小松川橋から上流で

は左岸堤防の方が高くなっている。距離標 6.3km地点から上流では再び左岸堤防の方が右岸堤防よりも低くなっている。

左右岸の高さの差が最大値を示したのは距離標 3.0km 地点で、2.414m の差が確認できた。嵩上げパラベットの高さを加えて比較しても、この地点では左岸の方が 1.494m 低いというのが現状の姿である。

図2-6は今回の測量結果を下に最大差が確認できた3.0km 地点の河川断面図を修正して作成したものである。

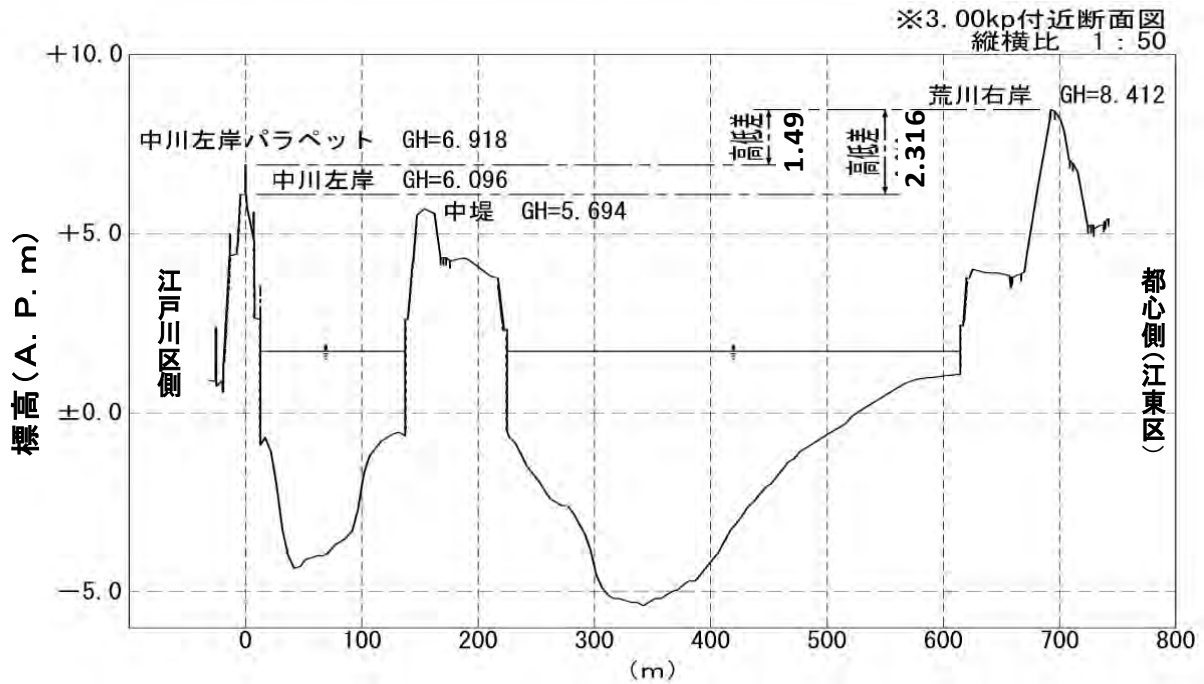


図 2-6 河口より 3.0km地点の横断面図

(右岸, 左岸, 中堤については実測, 河床断面図は荒川下流河川事務所の図面より著者が作成)

2.3.2 大正6年高潮水害

2.3.2.1 大正6年高潮水害の被害

大正6年(1917)9月30日, 台風は土佐沖から潮岬の海上を通り, 9月30日夜半に御前崎付近に上陸し箱根の西から丹沢、大宮を経て東北、北海道を縦断しオホーツク海に抜けるコースをとった。上陸した台風は、関東地方から仙台方面へ北上する途中で各地に集中豪雨をもたらした。東京湾接近時に台風は既応最大の高潮位AP+4.21mを記録した。折しも満潮の時刻と重なり、深川(江東区)、品川(港区)、葛西(江戸川区)で高潮が押し寄せ500人以上が溺死した。葛西村では298人の死者を数えた。また、横浜港でも3,100隻以上の船舶や舢舨が風浪により転覆、多数の沖仲仕や水上生活者が犠牲となった。同港が日本の経済活動の要所であった時代だけに、日本全体の経済活動も大きな打撃を被ることとなった。全国で1,324人の死者行方不明を数える大被害をも

たらし、その内東京府 563 名、神奈川県 60 名であり、全壊家屋は全国で 43,000 戸余り、内東京府 3,258 戸、神奈川県 1,475 戸など、東京府下に大きな被害を出した。床上・床下浸水は約 30 万 3000 戸に及んだ。東京府では前後 2 回にわたって高潮が押し寄せ、これにより、当時建設中だった荒川放水路、中川さらには多摩川河口付近の河川堤防・護岸などが決壊し、河口付近の干拓地の被害は甚大だった。明示 43 年(1910)の大水害とは異なり、沿岸部での高波による被害が目立った大水害となった。(別所他, 江戸川区の歴史;1978, 福地;1978, 江戸川区仲町分団記録;不明)

この高潮で千葉県浦安町は全町が水没した。江戸時代から、幾多の水害をくぐり抜けてきた行徳塩田も、この水害で塩田の堤防が完全に破壊され、東京湾で行われてきた数百年にわたる製塩業の歴史は、事実上幕を閉じる事となった。

この大水害を契機に、高潮防潮堤の計画、葛西南部臨海地域の埋め立て事業が着手されることとなったのである。(別所他, 江戸川区の歴史;1978, 福地;1978,)

2.3.2.2 葛西沖埋め立て事業(葛西臨海部の形成)

東京府内最大の犠牲者を数えた葛西村では洪水の後始末が終わると、二度とこのような大災害のない地域とするために、高潮堤防建設を求める声が高まっていった。この活動は、第 2 次世界大戦後一段と顕著になった地盤沈下により、水没民有地が拡大してくるとその回復のための埋め立て事業への取り組みと形を変えた。その取り組みは、以下に示すような工事過程で、380ha の高潮にも耐えられるスーパーランドとも言える、一大埋め立て地を形成する形で結実した。(別所他, 江戸川区の歴史;1978, 東京都第一区画整理事務所;1995)

表 2-5 葛西沖埋め立て工事の経過

年次	内容
1939 年(昭和 14 年)	東京湾埋立株式会社による埋め立て申請
1952 年(昭和 27 年)	旧海岸堤防
1957 年(昭和 32 年)	高潮の氾濫を防ぐ目的で 4,450m の防潮海岸堤防の建設
1957 年(昭和 32 年)	葛西浦の漁業権放棄, 損失補償契約
1957 年(昭和 32 年)	葛西沖開発土地区画整理事業, 都市計画決定, および事業決定
1988 年(昭和 63 年)	葛西沖開発土地区画整理事業 換地処分

図2-7は葛西臨海部の形成の変遷(東京都第一区画整理事務所;1995)の様子を示した図である。この葛西沖開発事業では、土地区画整理事業、埋め立て事業、道路事業、公園・緑地事業など様々な事業が同時に行われた。この事業で京葉線、放射 16 号、環状七号線、東京湾岸道路が建設され、公園緑地として、自然保護と回復の為に、葛西臨海公園が作られた。住宅建設事業、流通センター建設事業の他、葛西下水処理場、JR線葛西臨海公園駅が建設された。

この土地区画整理事業は、面積 379.87ha で行われた。地盤沈下により水没した民有地が存在する為、水面下にある土地を埋め立てて、区画整理を行うという前例の無い事業だった。約半分の 178 ヘクタールは水没民有地であった。水没民有地は小島町一丁目や新田一丁目・二丁目、葛西二丁目、堀江町、上蜷島町、下蜷島町(しみじま)に存在し、海岸堤防の外に広がっていた。通常の区画整理と異なり、測量の難しい海面下の土地を換地設計・仮換地指定しなければならず、埋め立て前後の地価の算定など難しい作業が必要だった。



(a) 明治期(自然地形) (陸軍参謀本部陸地測量部) (b) 昭和 47 年(地盤沈下後)



(c) 平成4年(区画整理終了後)

図 2-7 葛西臨海部の形成の変遷(東京都第一区画整理事務所; 1995)

また、この他にも、漁業補償や民間の開発会社の埋立権、砂鉄の採掘権、千葉県との都県境の確定など、複雑な権利関係の調整が行われた。昭和 47 年(1972)に工事が始まり、完成したのは 15 年後の昭和 62 年(1987)である。埋め立てには 2,500 万 m^3 の浚渫土と陸上土(建設残土)が使用された。(東京都第一区画整理事務所; 1995)

2.3.2.3 水没民有地

明治時代から始まった葛西沖地域の地盤沈下は、大正期から昭和期に入ると猛烈な勢いで、地下水を汲み上

げた。工業用水と地下水に溶け込んだ水溶性ガスの採掘が目的だった。このことにより、沈下のスピードは加速度的に進行していった。汲み上げた地下水量は昭和 45 年(1970)年には 1,699,000 m³/日にも達し、江戸川区中葛西では1年で 23 センチもの沈下を観測した。(東京都土木技術研究所)厚い沖積層の葛西地区の沈下は特に顕著で、その結果 178haの民有地が水没した。葛西沖開発事業はこれら水没民有地の回復をも目指す一大防潮事業だったのである。(江戸川区政 50 年史;2001)



図 2-8 水没民有地(網掛け:水没部)

2.3.3 昭和の水害

2.3.3.1 昭和 13 年(1938)年高潮・洪水

昭和 13 年 6 月 27 日午後 10 時頃から 29 日午前 6 時ごろにかけて襲った型破りな梅雨期の豪雨と、7 月 1 日から再び降りだした豪雨により各河川が増水し、江戸川区、葛飾区、足立区、向島区、大森区、蒲田区では、床上浸水約 7,800 戸、床下浸水約 37,000 戸にも及ぶ被害を受けた。(東京都建設局河川部;2007,東京市史稿)

さらにこの年の二百十日に当たる9月1日に襲来した台風は、豪雨による増水と併せて高潮をもたらし、中川の堤防が決壊、さらに小岩用水の東井堀・中井堀が溢水し、江戸川区内だけで3,000戸の床上浸水、2万戸の床下浸水が発生し、避難者1,000人、炊き出しを受けた人数が5,000人にも達した。⁵⁾(江戸川区史第三巻;1976a)

2.3.3.2 昭和22年(1947)カスリーン台風

カスリーン台風は昭和22年(1947)9月8日未明にマリアナ諸島東方において発生し、次第に勢力を増しながら9月14日未明には鳥島の南西400kmの海上まで北上した。その後台風は、15日未明に紀伊半島沖の南、北緯32度付近で進路を北東に変え、勢力を弱めながら同日早朝に遠州灘沖合いを通過し、夜に房総半島南端をかすめ、16日には三陸沖から北東に去って行った。利根川水源の山岳地帯に約300mm~400mm、ところによっては約600mmにも及ぶ豪雨をもたらし、主要河川は氾濫し、利根川筋の栗橋町上流地点で堤防が決壊したため大洪水が発生した。(建設省、利根川100年史;1987a)

この台風による死者は1,077名、行方不明者は853名、負傷者は1,547名及んだ。その他、流出全壊家屋23,736棟、浸水384,743棟、耕地流失埋没12,927haなど、被災者は150万人を超え、被害総額約70億円、戦後間もない関東地方を中心に甚大な被害をもたらした。(建設省、利根川100年史;1987b)

特に、群馬県の赤城山麓や栃木県の足利市などにおいては土石流や河川の氾濫が多発し、これらの被害者を中心に群馬県では592人、栃木県352人の死者を出している。また、利根川や荒川などの堤防が決壊したため、埼玉県東部から東京都23区東部にかけての広い地域で家屋の浸水が発生した。この地域で大規模な洪水が発生するのは明治43(1910)年の東京大水害以来であった。(建設省、利根川100年史;1987c)

一方、荒川では15日夜に熊谷市付近で堤防が決壊しており、洪水は16日の午前中には笠原村(現在の鴻巣市)に到達し、元荒川沿いに流下していく。(国土交通省、荒川75年史;1990)

東京では、足立・葛飾・江戸川の三区を一面の海にし、江戸川区では、小松川及び葛西地区を除き全域にわたり、床上浸水約2万、床下浸水約1万、合せて3万の浸水家屋と、13万3000人の被災者を出した。戦後2年目に起った浸水期間20日間という未曾有の大水害であった。(写真3)(江戸川区史第三巻;1976b)



写真 2-2昭和22年カスリーン台風(東武日光線上空より利根川栗橋方向を望む、国土交通省江戸川河川事務所記録写真)



写真 2-3 昭和 22 年カスリーン台風(飲料水を配る江戸川区青年団)

2.3.3.3 昭和 24 年(1949)キティ台風

昭和 24 年(1949)8月31日、神奈川県茅ヶ崎付近に上陸した台風は東京周辺を平均風速25メートルの勢で北上し満潮時と重なったため、江東区南砂、江戸川区葛西の海岸堤防や、中川堤防、新川堤防などが各所で溢水あるいは破損し、一気に各所で出水、濁流は家々を呑んで惨憺たる有様となった。この台風により死者・行方不明者 160 名、流出全壊家屋 17,203 戸、浸水家屋 144,060 万戸、船舶被害 2,907 隻、耕地被害 48,598ha が発生した。



(a) 江東区南砂八丁目

(b) 平井駅前の浸水状況(最大水深 226cm)

写真 2-4 昭和 24 年キティ台風堤防破壊状況(江戸川区記録写真)

特に、江東区南砂、江戸川区平井・小松川地区いわゆる江東デルタ地帯は、堤防が決壊したため出水は中川の水位と同じになって一向に減らず、さらに追い討ちをかけるように豪雨が加わったため水位は高まり、被害を一層大きくした。江戸川区内の被災者6万2,000 余人・家屋全壊 47 戸・床上浸水 9,400 戸・堤防の決壊は 5,000mを

超えた。(別所他、江戸川区の歴史;1978;江戸川区史第三巻;1976c)大正6年以來の高潮に見舞われたのである。(写真3)写真 3(a)を見るとコンクリート製のパラペットが破壊されており、高潮による波浪の強度の強さを見せつけている。また、図2-11 に示すキティ台風による浸水区域(東京都建設局河川部, 2010)から、江戸川区平井付近では、最大水深 226cm を記録しているが、この後東京東部低地では地盤沈下が進行したため、現在では同様の規模の台風に見舞われた場合大幅に浸水域が拡大する。

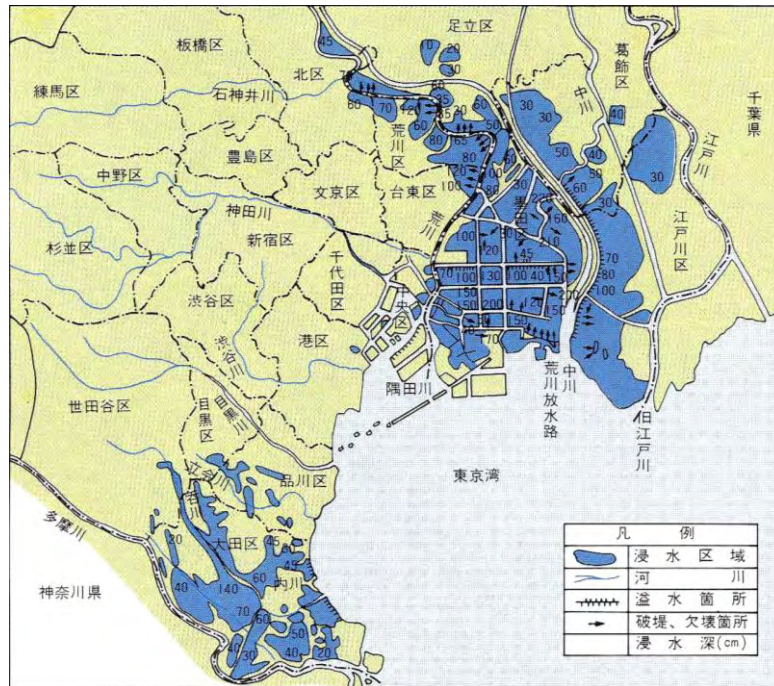


図 2-9 昭和 24 年キティ台風の浸水状況図(青:水深分布, 矢印は破堤箇所)(東京都河川部, 2010)

2.3.3.4 中川放水路(新中川)開削

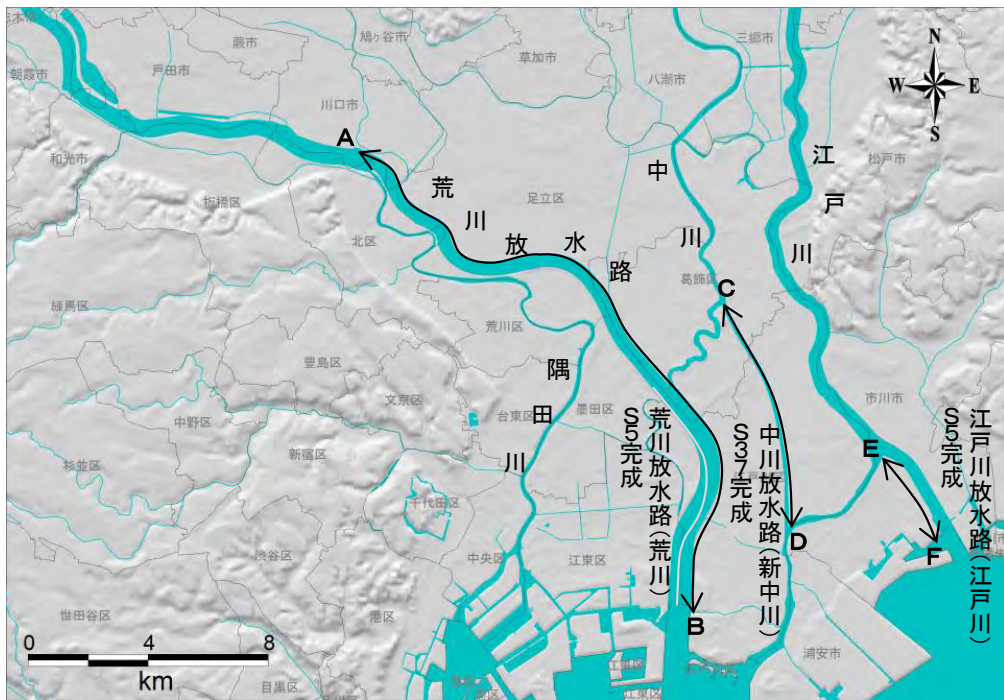
昭和 13 年の洪水被害の反省から、葛飾区高砂付近で中川を分派する新たな放水路が計画された。葛飾区、江戸川区をほぼ南に流下し 江戸川区今井付近で旧江戸川に合流する中川放水路、現在の新中川である。昭和 14 年(1939)4 月に東京府中川改修事務所が設置された。しかし戦争激化のため昭和 20 年(1945)4 月には計画は一旦中止、事務所も廃止となる。戦後工事が再開され、昭和 38 年 3 月に延長 7.9km に及ぶ「中川放水路」として完成し(東京都建設局河川部, 2010;江戸川区史第三巻;1976d)、昭和 40 年 3 月に一級河川に指定され「新中川」と改称された。(図2-10)

これらの洪水はそれぞれ時の政府に治水事業に取り組ませる契機となった。明治政府は帝都東京を守るため、近代的治水事業を可能とする機械化土木施工技術を導入、放水路建設など大規模土木工事に取り組んだ。この工事に取り組むことで土木技術者たちは大規模機械施工技術を学び、近代国家建設の大きな力となっていくのである。その結果、東京東部低地の現在の地勢が形作られたといえるのである。このことが東京を大々的に改変する契機となり、いわば東京大改造が始まったのである。明治 43 年(1910)東京大洪水により荒川放水路と江戸川放水路が開削され、大正 6 年(1917)の高潮が葛西臨海部の埋め立て計画に繋がった。昭和 13 年の高潮、昭和 22 年(1947)のカスリーン台風、昭和 24 年(1949)のキティ台風により中川放水路が開削された。



(a)明治期の東京東部低地帯

図 2-10 放水路により形成された東京東部低地帯



(b) 現在の東京東部低地帯

A;東京都北区岩淵 B;東京都江東区南砂 C;東京都葛飾区高砂 D;東京都江戸川区今井 E 千葉県市川河原町 F;千葉県市川市上妙典

図 2-10 放水路により形成された東京東部低地帯

さらには地下水利用のための地下水の汲み上げによる、葛西沖地域の地盤沈下が明治時代から始まった。大正期から昭和期に入ると、地下水に溶け込んだ水溶性ガスの採掘を目的に、猛烈な勢いで地下水を汲み上げた。このことにより、沈下のスピードは加速度的に進行していった。このため発生した地盤沈下により、その都度治水計画の見直しを迫られ、未だにこの地域の安全性が確立しないまま、地球温暖化など新たな脅威を受けているのである。これらの歴史的経過の上に、この地域は「東京東部低地洪水地帯」とも言うべき、水災害にとって極めて脆弱な地域となったのである。今その歴史を学び将来の国土を安全にすることが、今を生きる私たちの世代の役割である。

2.3.4 東京東部低地洪水流域

関東地方を概観すると北を大水上山、谷川岳などの山々、西に甲武信岳を主峰とする秩父山地、関東山地、下って平野部では西に武蔵野台地、東に下総台地に囲まれこの地域に降った雨は利根川や江戸川、荒川により東京湾に下っている。すなわち、東京東部低地は江戸川、荒川という2つの大河川が東京湾という海へ注ぐ河口部に位置している。関東地方における洪水の負担を一手に引き受ける地域となっている。私はこれを「東京東部低地洪水流域」と名付けたいと考える。図2-11 にこの地域を示す。正にこの流域は面積 13,120 km²の広大な流域が集めた降雨を、漏斗状になった河口部に一気に流下させているのである。

その最下流部に東京東部低地が存在し、さらにゼロメートル地帯となってしまう。雨水が滞留しないようポンプ施設による強制排水をしなければならず、すなわち乾いた地面、ドライランドを得るためにポンプが回り続ける地域なのである。

そのため海水面の上昇によるゼロメートル地帯の拡大や、洪水による被害の増大など、地球温暖化による気候変動の影響を真っ先に受ける地域と言える。

面積 13,120 km²の洪水流域の最下流がポンプ施設という機械に頼らなければならない現実には、この地域の安全性が極めて低いと言わざるを得ない。



図 2-11 東京東部低地洪水流域(13,120 km²)

2.3.4.1 地下水の流れからみた東京東部低地洪水流域の特性

東京東部低地洪水流域の特性を知るために、関東流域圏の水循環を新たにモデリングし(著者, 田原ら, 2009), GETFLOWS (Hiroyuki Tosaka 他, 2010)を用いてシミュレーションを行った。(関東流域圏モデルと数値シミュレータ GETFLOWS の概要については, 付録で説明している)図2-12(c)は現在の関東の地形・主要河川と得られた地表水・地下水の流線軌跡図である。この水循環モデルは主要地点での河川流量の観測値を説明できることで検証されており(著者, 多田ら, 2010)、人工系を考慮しない状態で過去の平均降雨を与え自然状態での水循環を再現し、標高 0mの平面内に任意に配置した水粒子の 3 次元流動経路を 2 次元平面内に投影表示出来るものである。



図 2-12 現在の地形・主要河川と地表水・地下水の流線軌跡

それぞれの経路には、長い時間をかけて地下深層部へ浸透する流動経路、短い滞留時間で浅層部を移動する経路などが含まれる。山地で涵養した地下水は、比較的近傍の谷筋へ集まり、表流水となって関東平野へ流出する。利根川や荒川上流の山間部では、地形起伏に応じた流線軌跡が確認できる。一方、関東平野で涵養した雨は、地下水となって、埼玉県と千葉県との県境の江戸川付近や茨城県と千葉県との県境の利根川付近に集まり、また栃木県や茨城県では、鬼怒川沿いに流下している様子が見られる。このことから、関東平野の水脈が、利根川が途中で荒川と合流し東京湾へと注いでいたことや、鬼怒川が現在の利根川下流の経路を辿っていた(大熊, 1981)等の、江戸時代以前の水脈が表れている点は興味深い。

これらがまさに利根川の洪水の「みずみち」であり、大規模な洪水が発生し昭和22年カスリーン台風の時のような埼玉県栗橋付近で破堤が起これば、いわゆる先祖返りして江戸川に流れる流路である。このようなことは日本全国の河川で存在しており、いわば旧河道という「ヤマタノオロチ」が潜んでいると言える。

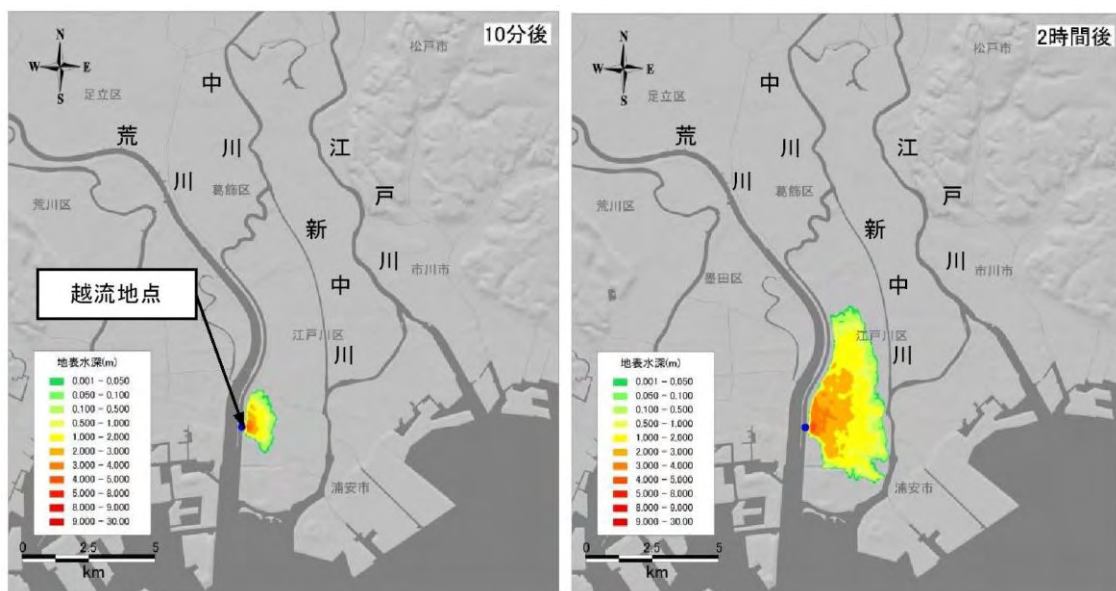
このため、東京東部低地(ゼロメートル地帯)は絶えず洪水の危険性にさらされているのである。

2.3.4.2 荒川左岸越流シミュレーション

著者は、さらに荒川の左岸堤が右岸堤よりも低い箇所において超過洪水が発生した場合の影響を調べるため、上述の関東流域モデルと GETFLOWS を用いて、この区間で越流が生じた時の数値シミュレーションを行った。

図2-13は荒川の左岸堤が右岸堤よりも低い東西線の高架北側直近において、高潮により越流が発生したという想定で超過洪水が発生した場合を想定したシミュレーションである。荒川左岸の計画高潮位の A.P. +5.1m に、地球温暖化による潮位上昇分を考慮し A.P. +5.7m の固定水位を与えた。もちろん現段階でこの地点は約 A.P.+6.3m という天端高を有しており、実際の災害対策として直ちに破堤、越流が起こるといふ議論でないことはもちろんである。

越流開始から、10 分後には約 125ha が水没する。さらに 2 時間後には水没域は約 1,400ha に広がる。東側は旧江戸川の右岸堤防に非常に近接した地域が水没することになる。このことは避難を考えた時にこの地域にとっては非常に重要なことであり、逃げられる高台地が失われることを意味している。



(a) 10 分後

(b) 2時間後

8 時間後には、江戸川区の荒川、中川、江戸川に囲まれる大部分が水没する。河川の堤防以外に逃げられる高台がないこの範囲では、4階建て以上の高さを持つマンションなどの建築物の存在が非常に重要になる。2 日後の水深は、6m 近くに達する。

高潮などを想定した場合、越流開始からわずか数時間で洪水が江戸川区内に氾濫することになる。まさに東京低地遊水池とでも言うべき状態である。ここには居住者達の命に加え、我が国の首都東京の中核機能が集積しており、この地域を守る堤防の強度は何にも増して確保しておかなければならないと考える。さらに、荒川左岸への洪水は共同溝などを通じ荒川右岸へも拡大していく可能性があり、東京の中核部にも危険が及ぶ事態となるのである。堤防で守られた区域をブロック化して守ろうという考え方や、2線堤という考え方も共同溝や地下鉄の存在により、地下が繋がっているという大きな弱点を抱えていると言える。

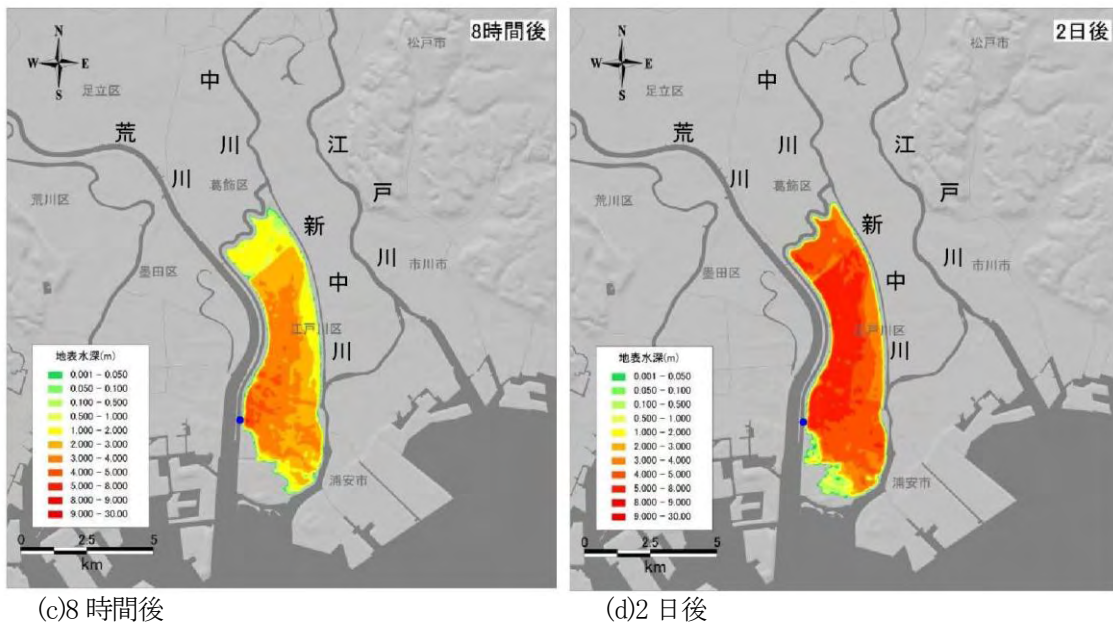


図 2-13 荒川左岸越流シミュレーション

2.4 第2章のまとめ

著者は 2.1 に於いて、江戸時代の東遷事業、荒川西遷事業が現在の東京東部低地洪水流域を形成し、洪水常襲地帯を造り出したことを明らかにした。また、2.2 に於いて東京が被ってきた洪水に対し実施してきた治水対策の結果として東京の地勢が形作られてきたことを明らかにした。さらには自然災害ではない新たな公害とも位置づけられる地盤沈下が、「地震洪水」という新たな洪水であることを指摘した。そして 2.2.4.2 に於いて、新たな数値解析による水害シミュレーションの結果「東京東部低地洪水流域」が存在することを検証した。総括するとこの「東京東部低地洪水流域」は利根川と荒川という2大河川を擁する、極めて特殊な洪水流域と見なすことが出来る。

利根川は、明治 43 年(1910)東京大水害という洪水により決壊した中条堤の復旧における下郷と上郷の争議の結果、それまでの中条堤による氾濫・遊水機能を放棄し、連続堤による河道内洪水処理の治水方式に転換した。(宮村, 2010)この連続堤による洪水処理の脆弱性を明らかにしたのが昭和 22 年(1947)9 月のカスリーン台風であった。そしてこの後、利根川改修改訂計画により計画高水を 17,000 m³/s とし、そのうち上流ダム群により 3,000

m³/s を洪水調節することし、初めてダムを洪水処理に組み込むこととなった。(国土交通省関東地方整備局:利根川・江戸川の現状と課題, 2009)

また、中流域において洪水時、渡良瀬川の合流量の全てを渡瀬遊水池において調節することし、鬼怒川からの流出合流量は田中、菅生、稲戸井調節地で処理することとした。さらに、江戸川、利根川放水路への分派量を増やすなど、上流域ではダム群、中流域では遊水池、下流域では河道という役割分担による利根川水系洪水処理計画が定まったのである。(宮村, 2010;高橋,1971;戸谷ら, 2007, 清水, 2004;国土交通省利根川上流河川事務所, 2008;建設省関東地方整備局, 1987)

その後上流域の都市化の進展による流出量の増大により昭和 55 年(1980)の工事实施基本計画では、基本高水量を 22,000 m³/s とし、その内上流ダム群で 6,000 m³/s を調節、八斗島基準点では 16,000 m³/s とした。現在、平成 18 年に策定した利根川水系河川整備基本方針では、八斗島基準点の基本高水のピーク流量を 22,000 m³/s とし、計画高水流量は 16,500 m³/s としている。そして平成25年の河川整備計画の目標流量を八斗島基準点において 17,000m³/s とし、このうち、河道では計画高水位以下の水位で 14,000m³/s 程度を安全に流下させ、洪水による災害の発生の防止又は軽減を図ることとしている。

このように利根川は洪水への対策を営々と講じてきた。このことは江戸時代のさかのぼる東遷事業という人為的な改修により、日本最大の流域面積を持つ大河川を造り上げたことに始まる。しかしそれに充分に対応した河川改修が行われたとは言い難いのが現状である。カスリーン台風に対応した堤体の改修は未だ完成しておらず、河道の流下能力は概ね約 50%程度でしかない。さらに上流ダム群は未だ建設に着手できていないダムも存在しており、その洪水調節能力の完成率は約 20%である。(国土交通省関東地方整備局:利根川・江戸川の現状と課題, 2009)

荒川においては計画の3ダム(二瀬ダム, 浦山ダム, 滝沢ダム)が完成したが、河道の流下能力は未だ 50%に達していない。(内閣府, 大規模水害対策に関する専門調査会報告:2010)

東京東部低地洪水流域はまさにこのような未解決の多くの課題を背負いつつ、歴史的経緯から形成されたとと言えるのである。

利根川水系では幸いなことに昭和22年のカスリーン台風以来、これを超える洪水に見舞われていない。このことを根拠に、ダム無用論や計画の過大論が起きている。中条堤を連続堤にして以来、洪水対策を長大な河川堤防全体に広げてしまい、大きな脅威を受けることとなっていることを直視し、ダムや遊水池という近代治水技術を手に入れた今だからこそ可能になった方法を、機能的に組み合わせた総合的な治水対策が求められている。(内閣府, 大規模水害対策に関する専門調査会報告:2010)

さらに、東京東部低地洪水地帯には、日本の経済と中枢機能が集中している。今、地球温暖化による気候変動を直視すれば、今のままの治水計画では首都東京を守りきれないのは明らかである。アメリカ、イギリス、オランダなど多くの国々が、特に世界経済、世界の国際関係で重要な立場の先進諸国では、既に地球温暖化による降雨の増大、海面の上昇を織り込んだ計画に増補変更している。今こそ、速やかに首都東京を洪水から守る対策に着手すべき時である。

第2章参考文献

- 1) 理科年表平成 21 年, 国立天文台編.
- 2) 高橋裕(1971): 国土の変貌と水害, 岩波書店.
- 3) 別所光一, 丸山典雄(1978): 江戸川区の歴史, 東京古里文庫 10.
- 4) 江戸川区仲町青年団: 仲町分団の記録.
- 5) 江戸川区(1976a): 江戸川区史第三巻, p1001-1002.
- 6) 江戸川区(1976b): 江戸川区史第三巻, p1011.
- 7) 江戸川区(1976c): 江戸川区史第三巻, p1019-1021.
- 8) 江戸川区(1976d): 江戸川区史第三巻, p1040-1044.
- 9) 福地重孝(1980): 東京南葛地区における大正 6 年の大津波について, 日本大学文理学部人文科学研究所, 研究紀要第 23 号.
- 10) 大熊孝(1981): 利根川治水の変遷と水害, 東京大学出版会.
- 11) 東京市史稿(1987), 泰成堂書店.
- 12) 建設省関東地方建設局(1987a): 利根川 100 年史, p874-875.
- 13) 建設省関東地方建設局(1987b): 利根川 100 年史, p878-880.
- 14) 建設省関東地方建設局(1987c): 利根川 100 年史, p879.
- 15) 国土交通省, 荒川下流工事事務所(1990): 荒川 75 年史, p50.
- 16) 東京都第一区画整理事業所(1995) 葛西沖開発土地区画整理事業誌.
- 17) 東京都(1995 年 3 月): 「今よみがえる葛西沖」葛西沖開発土地区画整理事業誌.
- 18) 江戸川区(2001): 江戸川区政 50 年史, p242.
- 19) 清水義彦(2004): 江戸時代の利根川中流域, 月刊地図中心, 9 月号.
- 20) 国土交通省利根川上流河川事務所(2008): 利根川 2008 事業概要.
- 21) 田原・多田・森・阪上・西岡・著者(2009): 関東流域圏の水循環モデル, 日本地下水学会秋季講演会講演要旨 p36-41.
- 22) 多田・山下・佐藤・森・登坂・著者(2010): 関東流域圏の水循環モデル, 秋季地下水学会, p268-273.
- 23) 戸谷英雄, 阿任美敏和, 清水義彦, 松尾宏(2007): 中条堤を活用した利根川の洪水氾濫被害拡大防止の可能性検討, 河川環境総合研究所報告(第 13 号).
- 24) 宮村忠(2010): 改訂水害(治水と水防の知恵), 関東学院大学出版会.
- 25) 東京都建設局河川部(2010): 東京の低地河川事業.
- 26) 内閣府(2010): 大規模水害に関する専門調査会報告.
- 27) 国土交通省関東地方整備局(2009): 利根川・江戸川の現状と課題,
- 28) 国土交通省関東地方整備局(2013): 利根川水系利根川・江戸川河川整備計画,

第3章 東京東部低地(ゼロメートル地帯)の形成と洪水発生の不確実性に関する研究

3.1 概説

日本は国土の7割を山地・丘陵地が占めるため、約10%に過ぎない沖積平野に全人口の約1/2、総資産の約3/4が集中している。三大湾(東京湾、伊勢湾、大阪湾)にはゼロメートル地帯が広がっており、その面積は577km²、居住人口は404万人にのぼっている。(国土交通省河川局:「ゼロメートル地帯の高潮対策検討会」提言, 2006)

さらに、我が国は世界でも有数の多雨地帯であるアジアモンスーンの東端に位置し、年平均降水量は世界平均の約2倍にあたる約1,690mmであることに加え、(平成22年度版, 水資源白書, 50p)台風の接近や上陸の脅威にさらされ、時間降水強度200mm/h(1982年7月23日長崎県長与で187mm/h)(理科年表平成24年度版)に迫る記録があるなど一度に激しい雨が降るといった極めて厳しい気象条件にある。そのため特にゼロメートル地帯は、台風による洪水、高潮災害等の脅威にさらされている極めて脆弱な地域と言える。

東京東部低地は非常に狭い範囲に利根川水系江戸川と荒川水系荒川、隅田川の河口を擁し、絶えず洪水の危険性を背負い続けている地域である。なかでも地盤沈下によるゼロメートル地帯の形成による地震洪水に加えてポンプ排水区域特有の内水氾濫、局地的大規模豪雨(ゲリラ豪雨)、海岸部に位置することから高潮洪水などの脅威に絶えずさらされている。

3.2 地盤沈下と高潮被害

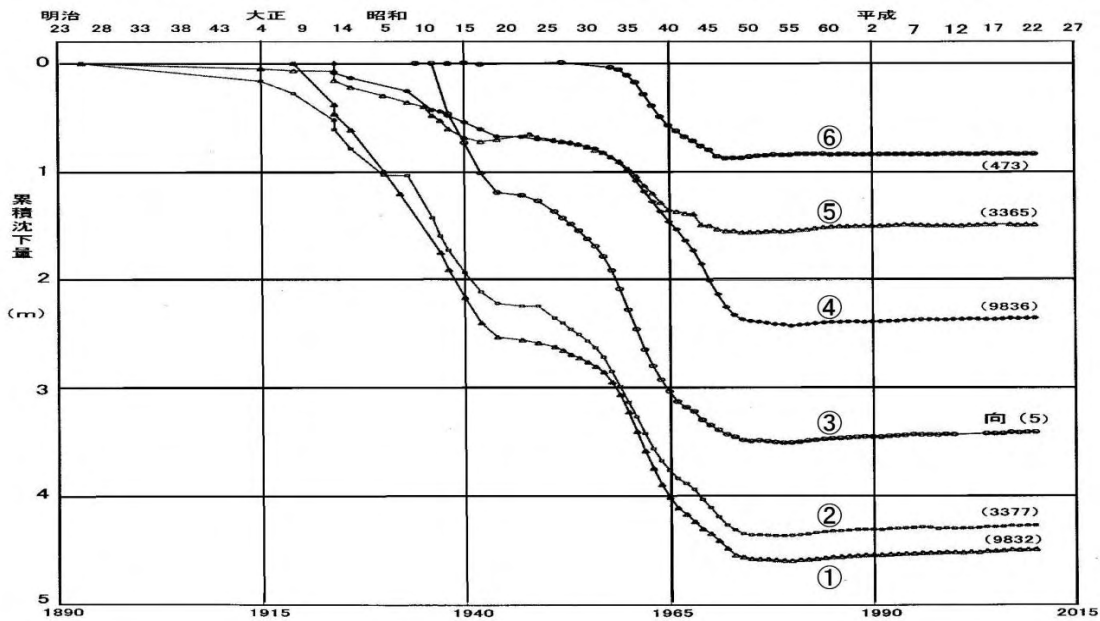
3.2.1 地形と地質

図3-1は東京東部地域を示している。その中で東部低地帯は、利根川、荒川、中川等の大きな河川が縦横に流れ、古くから河川の乱流により形成された沖積層の低地帯であり、西には山の手台地に続く武蔵野台地が広がっている。(東京都土木技術研究所, 1977)図3-2はこの東部低地帯の断面図である。この図が示すように、東京東部低地帯は沖積層と呼ばれる軟弱な土砂が厚く堆積しており、また地質は、新第三紀の上総層群を基盤とし、第四紀洪積世の下部東京層、東京礫層、上部東京層と七号地層、さらに地表近くは、沖積層の有楽町層で構成されている。有楽町層の層厚は40m程度であり、層相は上部と下部に区分され、上部は主として厚さ5~10mの緩い砂層や砂礫層、下部は柔らかい粘土層から構成されている。東京東部低地帯において地質的に軟弱地盤と呼ばれている地層は、約2万年前から堆積した有楽町層、七号地層からなる沖積層が構成している。沖積層が堆積している埋没谷(海面低下時に古東京川等が沖積層下部の東京層や江戸川層を削り取って作った谷に、その後の海面上昇時(海進)に新しい地層が堆積して埋めたものである)の主部は、足立、葛飾、江東区にかけて分布し、谷底の幅は約1~2kmと広く、谷を埋めている沖積層厚は70m前後と厚くなっている。有楽町層はゆるい砂を主体とする上部層と均質な粘土を主体とする下部層からなり、七号地層は砂・粘土互層また砂質粘土などの中間土で構成されている。(東京都土木技術研究所, 1977)

3.2.2 東京東部低地帯における地盤沈下の特性

図 3-3 は東京都内の水準基標の累積変動量とその位置を示したものである。(東京都環境局,2011)東京東部低地では明治以降の人口の増加と産業の発展に伴って、地下水の汲み上げが盛んに行われた。以来地下水の利用により地盤沈下は加速度的に進行し、第二次世界大戦末期の一時期を除き昭和 40 年代まで年々地盤の沈下量と沈下区域が拡大していった。東京東部低地においては、地下水の過剰な揚水の結果、図3-2 に示した地質断面の沖積層内のシルト層、洪積層内の「東京層」に挟在するシルト層で圧密が発生した。このため建築物の亀裂や地表面の波打ちの発生、井戸の抜け上がりなどの被害が顕在化した。(東京都環境局, 2011)

特に昭和 35 年(1960)頃からは民間会社による南関東ガス田のメタンガス(CH₄)の採取が目的に加わり、地下水のくみ上げが盛んに行われた。これらが原因となり、急激な地盤沈下が発生することとなった。汲み上げた地下水量は昭和 45 年(1970)には 1,699,000 m³/日にも達し、江東区亀戸においては、大正 7 年(1918)から昭和 13 年(1938)までの 20 年間に 1.6m という著しい沈下を示した。昭和 43 年に江戸川区西葛西二丁目水準基標で計測された年間最大沈下量は、約 23.89cm という沈下が記録されている。この数値は現在でも東京における年間最大沈下量である。累計沈下量では江東区南砂で約 4.4852m にも達している。(東京都環境局,2011)その結果、東京東部低地は水災害に対して極めて脆弱な地域となった。治水対策として開削した荒川放水路や隅田川でも沈下は同様に発生し、沈下量に追従して堤防の幅は変えずに高さだけを高くする嵩上げが実施されたため、堤防はいわゆるカミノリ堤防となっている。



番号	水準基標番号	水準基標の所在地	累積沈下量 (m)	測量開始
①	(9832)	江東区南砂二丁目	4.4852	大正7年
②	(3377)	江東区亀戸七丁目	4.2651	明治25年
③	向(5)	墨田区立花六丁目	3.4029	昭和10年
④	(9836)	江戸川区中葛西三丁目	2.3489	大正7年
⑤	(3365)	足立区千住仲町	1.4873	明治25年
⑥	(473)	板橋区清水町	0.8372	昭和7年

図 3-3 水準基標の累積変動量(東京都土木技術支援人材育成センター,平成 21 年地盤沈下報告書)

なお、地盤沈下を抑制するため、昭和 36 年(1961)1 月には「工業用水法」を、昭和 38 年(1963)7 月には「建築物用地下水の採取の規制に関する法律」を定め地下水の揚水規制が始められた。

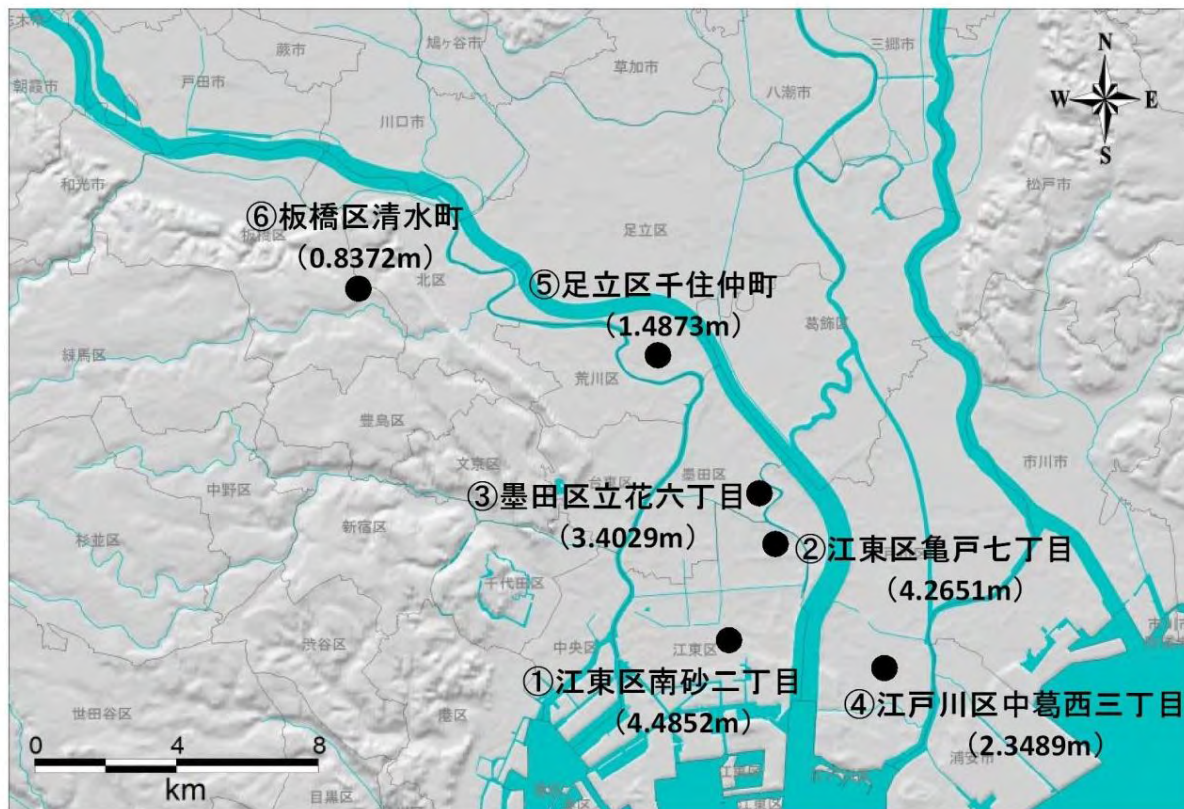


図 3-4 水準基標の位置図(東京都土木技術支援・人材育成センター
(平成 21 年地盤沈下報告書より著者が作成 2011)

この東京東部低地を形成するに至った天然ガスの埋蔵層は、「東京ガス田」とも呼ばれる図5に示した南関東ガス田に由来する。これは埼玉・東京・神奈川・茨城・千葉の 1 都4県に及び、面積は 3,500km²、埋蔵量は 3,685 億 m³と推定されている。日本国内で確認済みの天然ガス埋蔵量の 90%を占めている。地下における高い圧力下ではメタンガス(CH₄)は地下水に溶けているが、大気圧のもとでは水にほとんど溶けないことから、地下水の汲み上げを行うとメタンガスが自ら分離して発生する。南関東ガス田は他の水溶性ガス田に比べ、地下水に溶けているメタンガス濃度が非常に高いのが特徴で、非常に能率良く低コストで採掘された。東京での採掘は 1930 年代から始まり、第二次世界大戦後は江戸川区・江東区を中心とした地域で掘られた。特に地下 500m程度で深の「上総層群」の砂層・砂礫層には、天然ガスが多く溶存していることから、洪積層内の「上総層群」のシルト層で激しい圧密が発生した。(東京都環境局,2011)

このことから地盤沈下の発生を抑止するため東京都は昭和 47 年(1972)に民間企業より東京区域のガス田の鉱区権を買い取り、同年 12 月以降水溶性天然ガスの採取を全面禁止した。



図3-5 南関東ガス田(独立行政法人産業技術総合研究所,2007)

さらに昭和 50 年(1975)からは工業用水の地下水汲み上げも全面禁止した。これらの取り組みにより東京東部低地の地盤沈下もようやく収束した。

しかしこのような法的規制の実施にもかかわらず、既に発生した地盤沈下は回復せず、東京東部低地は海面よりも低い、いわゆるゼロメートル地帯となっている。そのために高潮などに対し、治水上非常に脆弱な地域となったのである。

戦後顕著になった公害問題として、大気汚染や水質汚染問題は国を挙げて取り組んだ結果、大きく改善した。しかしこの地盤沈下問題は、未だ解決の方向すら示されていない「公害問題」である。

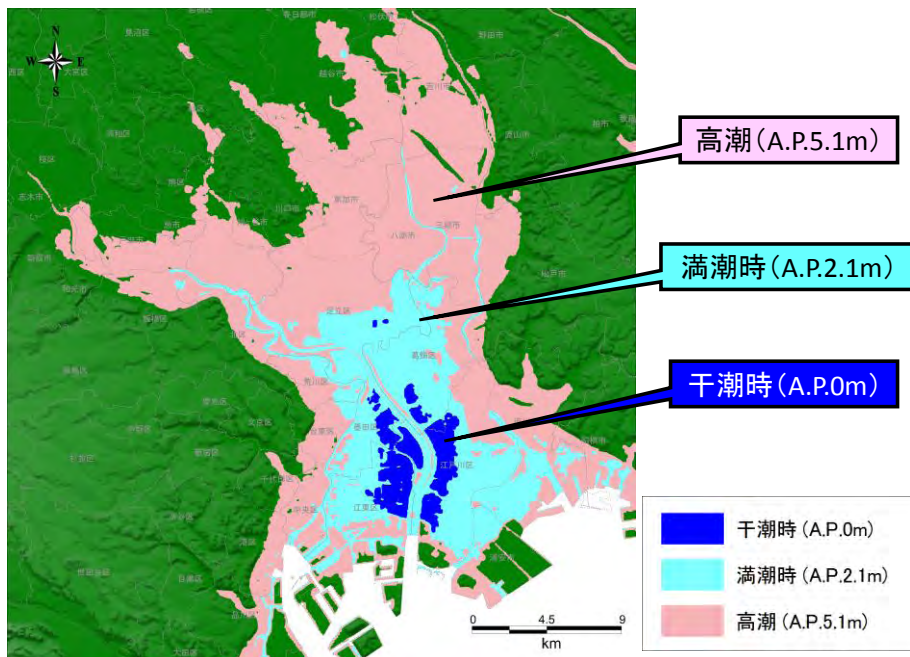


図 3-6 ゼロメートル地域の標高

図 3-6 は現在の東京東部低地を含む荒川と江戸川に挟まれた河口部の標高を示している。一番内側の濃い部分が朔望平均干潮位よりも低い地域、その外側の色の薄い部分が朔望平均満潮位よりも低い地域、さらにその外側の部分が高潮対策の高さを示している。東京東部低地だけでは無く、広範囲のエリアがゼロメートル地帯を形成するに至った事が分かる。

3.2.3 高潮対策の経緯

東京湾の最奥部に位置する東京東部低地は、大正 6 年(1917)、昭和 13 年(1938)、昭和 24 年(1949)と繰り返し高潮の被害を被ってきた。この間高潮の被害を受ける度にその対策も見直しを加えられ、その対策は今日も未だ営々と続けられている。(東京都建設局河川部, 2010; 東京都, 1994)

東京東部低地帯の最初の高潮対策は、死者・行方不明者数 1324 人、全壊・流出家屋約 36500 戸、床上・床下浸水約 30 万 3000 戸(総務省消防庁 2010, 消防年表)を数えた大正 6 年(1917)の高潮被害を契機に昭和 9 年(1934)(多摩川下流の直轄改修工事が完了した翌年にあたる)に護岸天端高を AP+3m とする計画を決定、昭和 18 年度を完成目標として事業が進められることとなった。(東京都建設局, 1965; 難波, 2007)しかしこの事業が進められている最中、昭和 13 年(1938)9 月 1 日に東京を襲った台風により A.P.+2.89m の高潮位が記録され、計画の改訂を迫られた。この改訂計画もその後の第二次大戦などの影響により思うように進展せず、昭和 19 年(1944)にはほぼ 60%が終了されたのみで打ち切られてしまった。

戦後の混乱が終息しつつあった昭和 24 年(1949)、キティ台風に伴う高潮で A.P.+3.15m という稀に見る高潮位を記録し、海岸堤防の不完全な部分や河川への逆流により、東京湾沿岸部に多大な被害をもたらした。江東区南砂八丁目、江戸川区葛西方面の堤防、護岸などが至るところで破壊され大災害となった。これを契機に東京都では江東デルタ地帯を中心とし、昭和 30 年(1955)完成を目標とした第 1 次高潮対策事業を開始した。この一連の事業として昭和 24 年(1949)から建設省「災害土木助成事業」の認証を受け「災害復旧工事」と合わせて「高潮防御工事」を実施した。さらに、隅田川、中川、綾瀬川などについては昭和 25 年(1950)低地対策事業として「一般高潮防御事業全体計画」事業により、護岸延長 65,413m、水門5箇所を修復した。この事業により東京東部低地帯の主要な河川堤防、護岸は、表 1 に示す高さで昭和 32 年(1957)までに整備され、キティ台風の高潮には一応対処し得ることとなった。

表 3-1 昭和 32 年(1957)までに整備された主要な河川堤防・護岸高

堤防・護岸	高さ
葛西海岸堤	A.P. +6.00~5.00m
砂町海岸堤	A.P. +5.00m
旧江戸川筋	A.P. +5.00~4.50m
中川筋	A.P. +5.00~4.00m
隅田川筋	A.P. +4.00m
江東三角地帯内部河川筋	A.P. +3.60m

しかしその後地盤沈下が戦後の復興とともに再び激化し、一方では護岸等の施設の老朽化が顕著となり、従来の嵩上げ方式による工事が困難となったため、高潮対策の再検討が要請されるようになった。その検討の結

果、護岸嵩上げ方式に代わって、防潮堤により江東デルタ地帯を囲むいわゆる外郭堤防方式が採用されることとなり、大正6年の既往最大の高潮(A.P.+4.21m)を考慮した第2次高潮対策事業が立案され、昭和32年(1957)から着手された。

この「外郭堤防修築事業」は江東区、墨田区、江戸川区の一部を包括する江東デルタ地帯の隅田川左岸、および海岸線の延長18kmにわたる堤防、護岸水門などを新たに築造し、荒川の既設右岸堤と結んで既往最大の高潮に対処するものである。隅田川沿いを東京都建設局、海岸線を東京都港湾局が分担して施工することとした。

ところが昭和34年(1959)9月、伊勢湾を中心として明治以降記録に残る災害史上稀にみる、5098人を超す死者行方不明者、負傷者38,921人(総務省消防庁2010、消防年表)を出した伊勢湾台風が襲来し、その潮位はN.P.+5.31m(T.P.+3.89m:A.P.換算+5.02m)というそれまでの想定を遥かに超えるものであった。そのため着手後間もない第2次高潮対策事業は急遽計画の改訂を迫られた。当時、伊勢湾台風級の高潮が東京を襲ったと仮定すれば約240km²の地域が水没し、70万世帯3,000万人が被災すると予想された。そこで東京湾沿岸部においても、第2次高潮対策事業の計画高潮位であるA.P.+4.12mを伊勢湾台風級に対応するよう改訂し、A.P.+5.10mを新たな高潮位として新高潮対策事業(東京都建設局)、東京港特別高潮対策事業(東京都港湾局)を昭和35年(1960)度より実施することになった。

この事業の対象区域は隅田川堤防、月島、中川左岸(綾瀬川合流点下流)、旧江戸川(今井水門下流)、葛西海岸、目黒川、立会川、内川、呑川、などであった。さらに緊急性を要するものを昭和38年(1963)度以降、緊急3カ年計画と位置づけ前倒して実施された。

その後建設局では新高潮対策事業として、港湾局では東京港高潮対策事業として現在に引き継がれている。

写真3-1は、大潮の満潮時の中川左岸の様子である。水面の高さと、堤防脇の家屋の高さを見比べれば、いかに堤内地側が低いかがわかる。写真3-2は、江戸川区役所の正面玄関に設置されたリアルタイムに荒川の水位が表示できる電光表示の水位計である。その玄関先は階段が9段あるが、この階段は庁舎が建設された時には地面と同じ高さだったが、周辺地盤が沈下した結果、9段の階段を設置して対応せざるを得なくなったものである。



写真3-1 満潮時の中川左岸(荒川左岸)



写真 3-2 江戸川区役所の水位標識と江戸川区役所の正面玄関の階段

3.2.4 ポンプ排水地域の形成

図 3-7は東京東部低地の断面図である。(平成 16 年度国土交通省, 河川局関係予算概要参考資料)隅田川、荒川、江戸川など何れの河川も天井川となっている。東京東部低地帯の下水道は合流式下水道であり、その排水能力は降雨強度が50mm/hを上限として設計されているため、これ以上の降雨があれば内水氾濫が発生する。ゼロメートル地帯では降雨後いくら時間が経過しても雨水が自然に排除されることはなく、ポンプによる強制排水しか方法がないのが現状である。

●東京と江戸川・荒川・隅田川



図 3-7 東京東部低地帯の断面図(平成 16 年度河川局関係予算概要参考資料)



図 3-8 東京東部低地のポンプ所, 排水機場

図 3-8は東京東部低地に有るポンプ所, 排水機場である。さらにここで抱える課題はこれらのポンプ所のポンプ座の高さが、下水処理のためのポンプとして設計されているため、高潮対策を考慮していない事である。実態として高潮隔壁を設置していないポンプ場が多く存在している。さらに非常用発電機の設置高さも浸水面よりも低い位置にあるポンプ所が大半であり、このままでは浸水後の排水も不可能になってしまう危険性がある。

3.3 地震洪水の危険性について

ゼロメートル地帯特有の水災害として、地震時に発生する破堤洪水がある。もともとゼロメートル地帯は海水面よりも低い地盤であるから、堤防が住民の命を水災害から守っている。この堤防が地震により破壊されれば海抜0m以下の東京東部低地には、直ちに無尽蔵の海水が進入してくるのである。このため東部低地は降雨とは関係なく365日、地震の発生によって水災害が起こる可能性があるといえる。

平成7年(1995)神戸を襲った阪神淡路大震災の際、淀川の堤防が液状化のため大規模に破壊されたことは、このような地震洪水が起こることを明らかにしたものである。(写真3-3)

もし東京東部低地を地震が襲い、地域を守っている堤防が破壊された場合、ゼロメートル地帯では海水面以下の土地であるため直ちに浸水が始まってしまう。



写真 3-3 阪神淡路大震災時の淀川左岸堤(全日本建設技術協会, 1995)

中川左岸(荒川左岸堤防)は、堤防がコンクリートの3面覆工で築堤されている。前法面がコンクリート覆工、裏法面がコンクリートブロックのため、構造物の破壊の恐れがある。コンクリート構造物で造られた堤防の怖さは、地震により多少でも破壊されれば、そこから水が侵入することで、たとえレベル 1 以下の地震であっても堤防に亀裂などが発生すれば、無尽蔵に存在する海水が浸入し、さらに破壊が進捗し大きな洪水になることが予測される。

図 3-6 で東京湾大潮満潮位高さを示したが、ゼロメートル地帯の東京東部低地では、全く雨が降らない渇水期であっても満潮位の時に地震の被害で浸水を受ければ、約116km²のエリアが洪水になってしまう。まさに年間を通して、洪水の危険性にさらされている地域であり、地震水害への備えは不断の取り組みである。

東京東部低地は、これまで地盤沈下に緊急に対応するため護岸を嵩上げて来た。(図 3-9, 写真 3-4)コンクリート構造物により必要高さに合わせたため、その堤頂部は厚みの薄い腰壁方式(パラペット)となっている。その厚みはわずか 30cm であり、高潮に対する強度としては不安がある。阪神淡路大震災以後都内の高潮護岸も耐震補強が行われているが、その強度はレベル1に留まっており、レベル2対策については今後の対策として検討中となっている。平成 23(2011)年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震(M9.0)を見れば分かるように堤防の耐震強度をレベル 1 に留めておくことは大変危険だと考える。

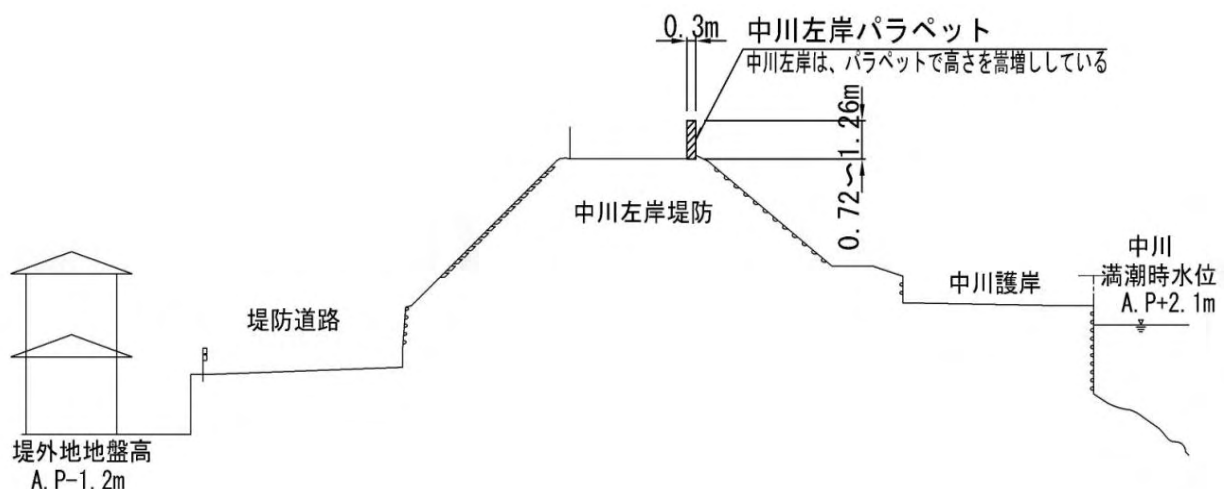


図 3-9 嵩上げされたパラペット



写真 3-4 荒川左岸嵩上げパラペット

3.4 台風の発生の不確実性と経路の不確実性について

図 3-10 は気象庁が公表している西太平洋における台風の経路を、1951 年から 2013 年まで 1641 個の台風の経路すべてを重ねて表現したものである。(国立情報学研究所, デジタル台風, 台風画像と台風情報より著者が作成)この図より台風はアジアモンスーン地帯の東経 100 度～東経 180 度、北緯 5 度～北緯 45 度の限定した範囲でしか発生せず、そしてこの範囲しか通過しない。日本はまさにその経路に位置しており、台風から逃れようもない地域に存在していることは明瞭である。

台風に対する十分な対策を講じ、備えることは当然の防災対策である。

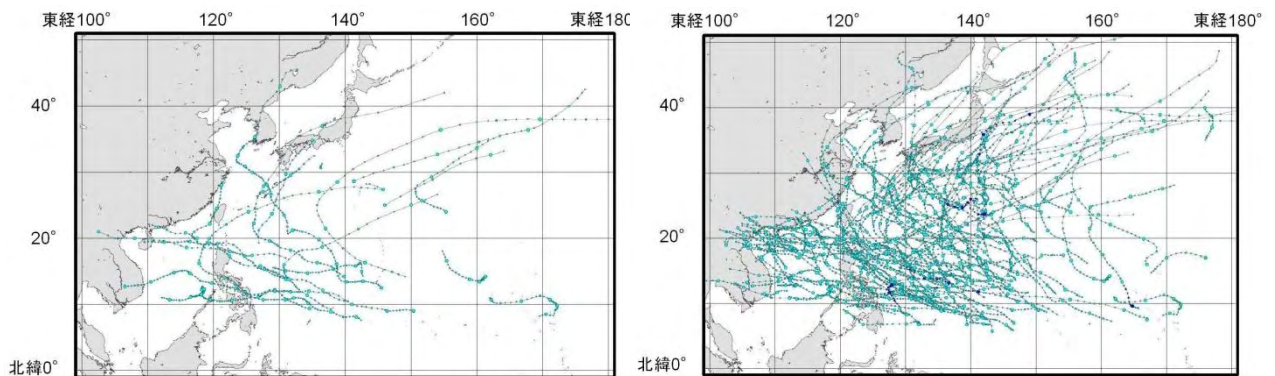


図 3-10 (a) 21 経路(1951 年)

図 3-10 (b) 120 経路(1951-1955)

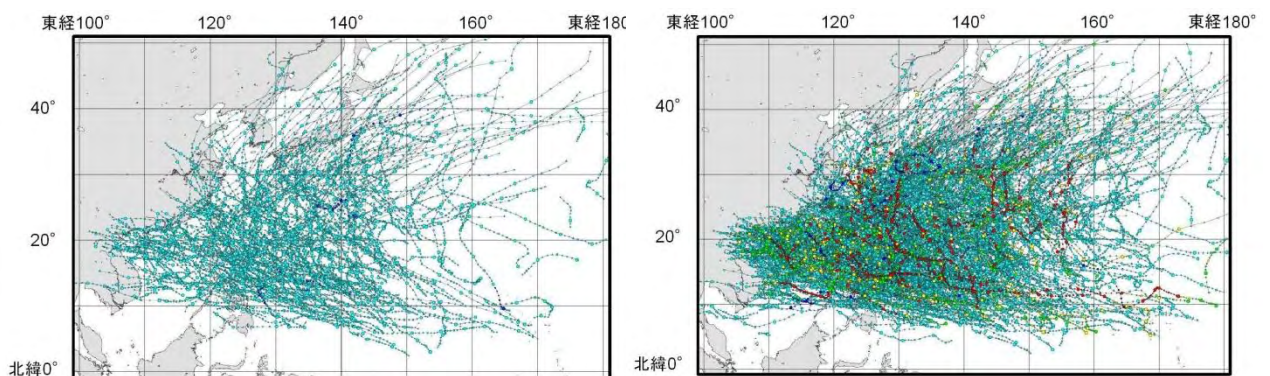


図 3-10 (c) 246 経路(1951-1960)

図 3-10 (d) 806 経路(1951-1980)

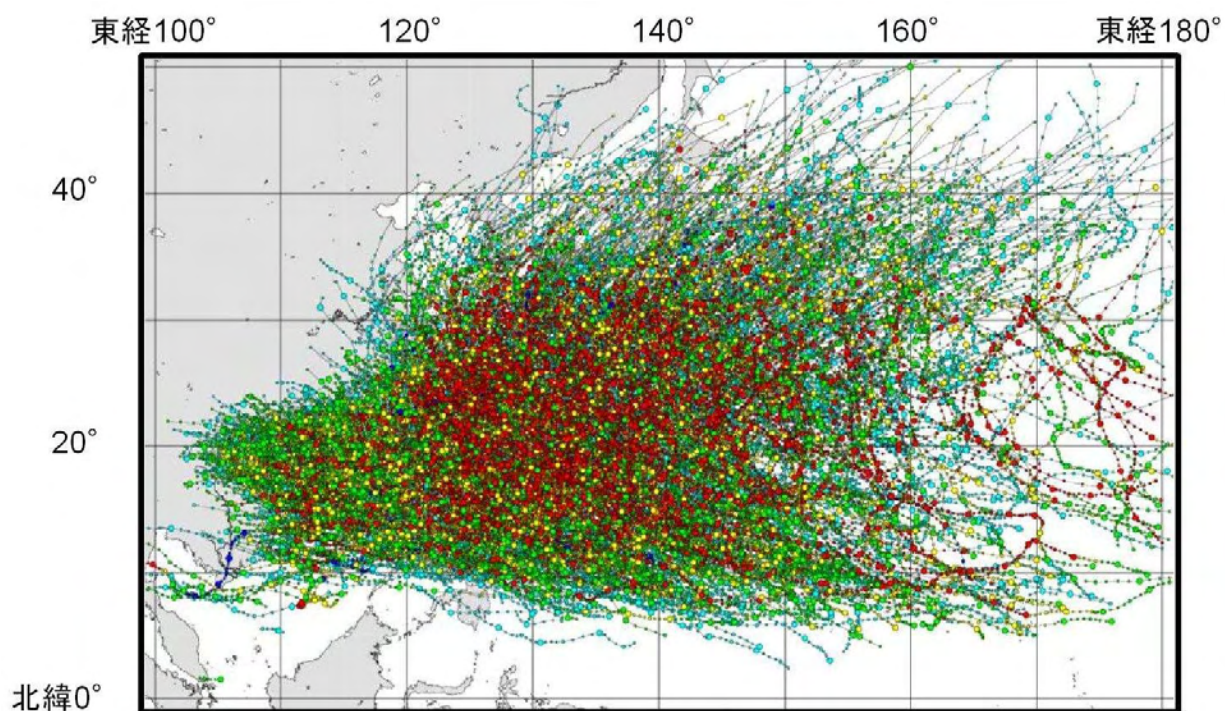


図 3-10 (e) 1641 経路(1981-2013)

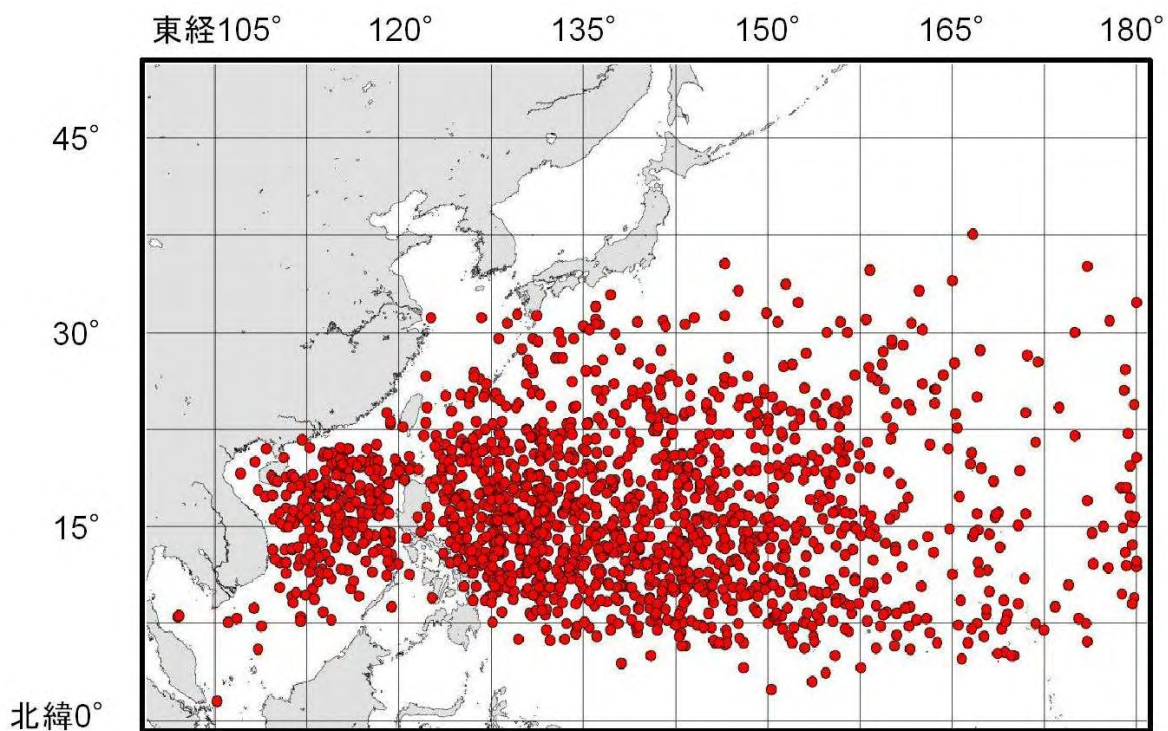


図 3-10(f) 1641 個の台風の発生箇所(1951-2013)

図 3-10 台風の経路と発生箇所図(国立情報学研究所, デジタル台風台風画像と台風情報より著者が作成)

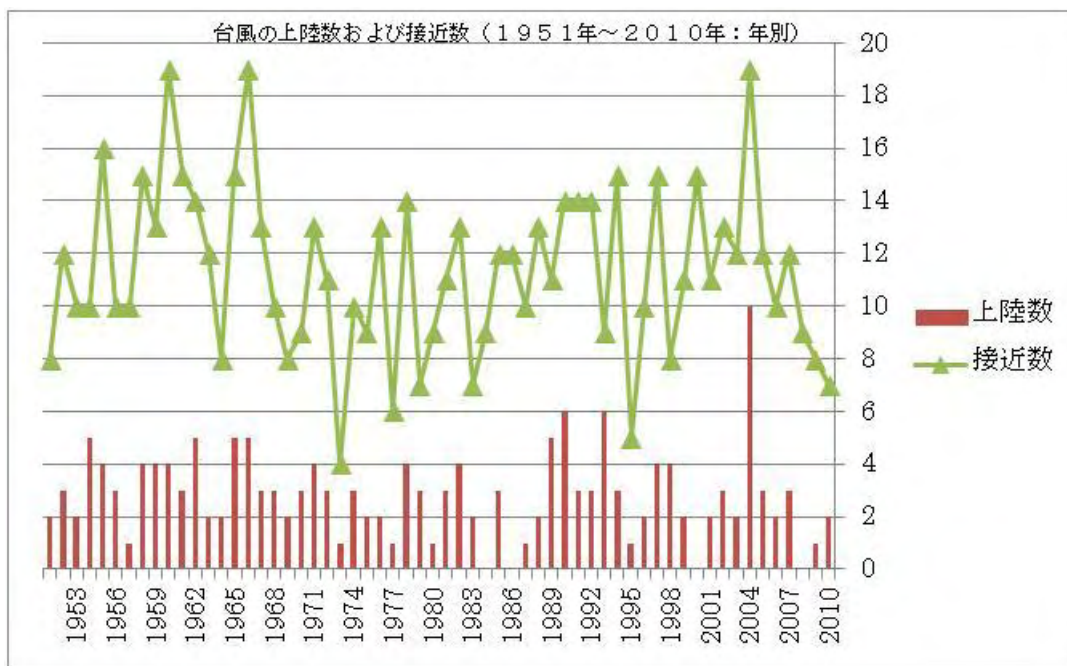


図 3-11 上陸台風数の経年変化(気象庁気象統計情報, 過去の台風の統計資料より著者が作成)

図 3-11 は上陸した台風と接近数をまとめたものである。2004 年のように 19 個の台風が接近し 10 個もの台風が上陸した年がある一方で、2008 年のように全く上陸した台風が無い年もある。気象庁の統計資料によれば、最も多く発生した年は 1967 年で 39 個、最小の年は 1998 年で 16 個、平均発生個数は 25.6 個、日本に接近した台風は平均 11.4 個、このうち上陸したのは平均 2.7 個である。このように台風の発生と経路は年により違いがあり不確実であるが、防災の観点からいえば、日本は台風の進路上に位置し、その襲来は確実とも言えるのである。

3.5 東京東部低地における超過洪水による浸水のシミュレーション

東京東部低地の水災害を考えた時、現在の利根川水系の計画高水流量の根拠となっているカスリーン台風(昭和 22 年(1947))を上回る台風の襲来の可能性や、地球温暖化による海面上昇の影響を考慮しなくてはならない。

第 2 章で使用した関東流域圏モデル(著者, 田原ら, 2009; 著者, 多田ら, 2010)を用い、汎用 3 次元流体シミュレータ GETFLOWS(Tosaka 他, 2010)により、地球温暖化による海面上昇を考慮した荒川左岸の越流に関して、いくつかのケースを想定し数値シミュレーションを行った。これまで流出解析手法は、貯留関数法に代表される集中型モデルから分布型モデルへと発展してきたが、GETFLOWS は地下空間の水と空気との 2 相流動に加えて、地表水を完全に連成し 3 次元で解析できるもので、分布型モデル以上に精緻なモデル化が可能である。

温暖化による海面上昇の影響の他、東京東部低地の水災害を検討するには、上流域の山岳地帯の各流域のダムの建設の進捗にも違いがあるので、各流域ごとの降水量の不確実性について考慮しなければならない。そのため、例えば、カスリーン台風(昭和 22 年(1947))など台風の降雨パターンの変動を考慮することにより、従来を上回る台風の襲来を検証しなければならない。

3.5.1 浸水シミュレーションの入力条件の概要

本シミュレーションでは利根川における基本高水流量を超える降雨パターン、及び八斗島基準点における最大洪水流量を評価するものである。解析に使用した降雨パターンは、昭和22年(1947)カスリーン台風(図3-12)を基本ケースとし、実際の台風通過経路と異なった2つのパターンを想定し、最大洪水流量を解析した。

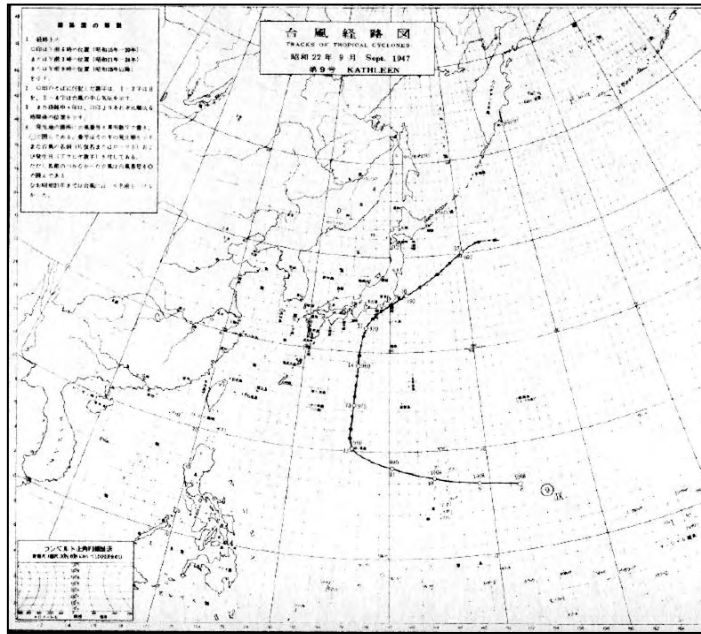


図 3-12 カスリーン台風の経路図(気象庁HP, 災害をもたらした気象事例)

3.5.2 解析条件

降雨条件として3つのケースを想定した。ケース①は、基本として実際のカスリーン台風の場合。ケース②は、カスリーン台風時の雨量分布を北へ50kmシフトさせ、ケース③は、北西へ50kmシフトさせた。

図3-13 に基準としたカスリーン台風時の利根川上流での降雨量の時間経過を示す。図3-14 は対象とした利根川上流域の範囲図である。図3-15～図3-17 に各ケースの総降雨量分布を示す。これら総降雨量と一致するよう時間雨量値をスケールして与えた。(国土交通省関東地方整備局(2011):「八ッ場ダム建設事業の検証に係る検討」第6回幹事会資料)

なお、今回の数値シミュレーションでは、地形、土地利用は現在のデータを使用した。また、今回は短期的な洪水流出を計算する為、地表水と地下水の相互交換やダムによる洪水調節機能については考慮しないこととした。

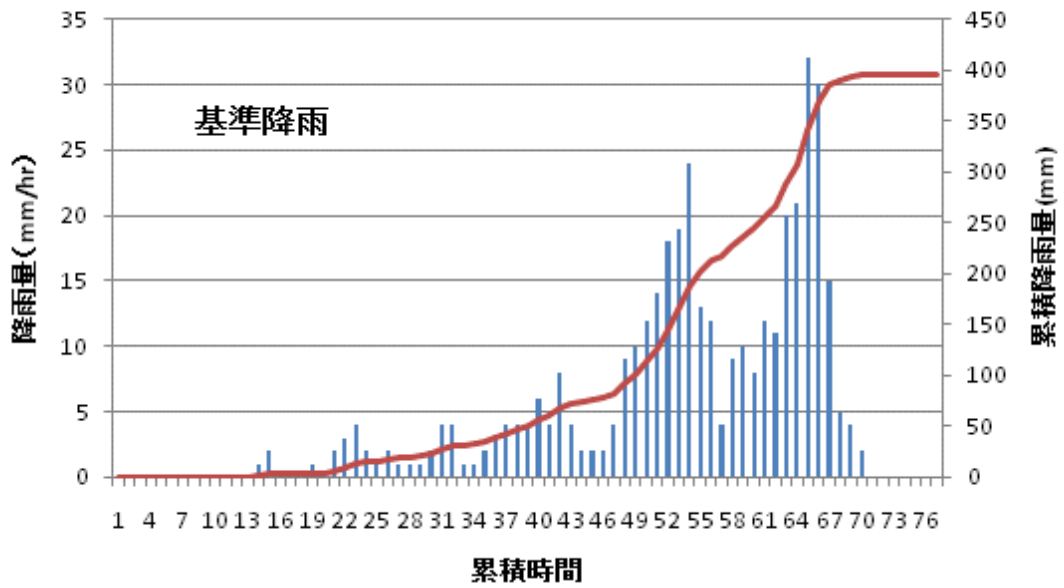


図3-13 カスリーン台風時の降雨の時間経過(国土交通省関東地方整備局, 2011)



図3-14 利根川上流域

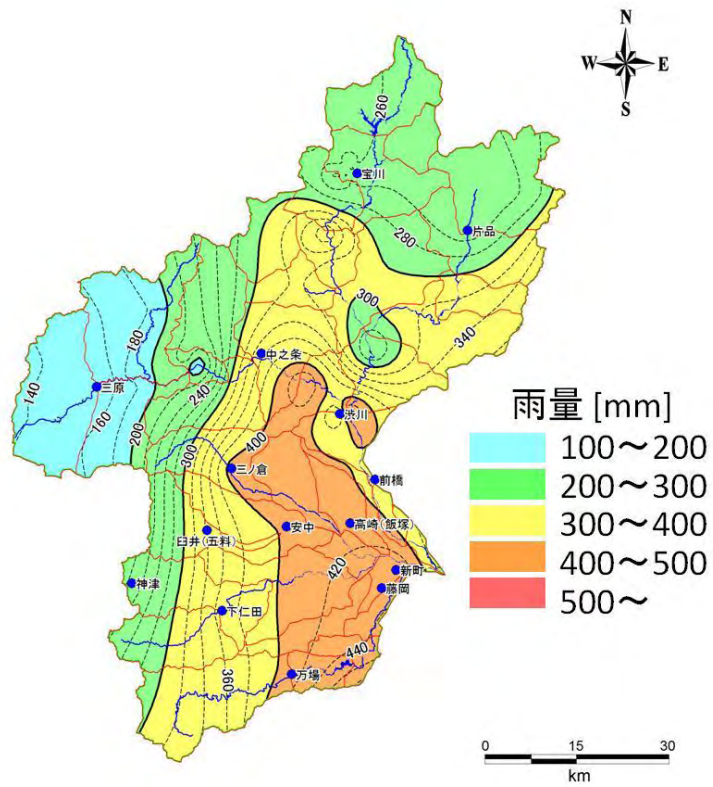


図3-15 ケース①:利根川上流域のカスリーン台風時の3日間総降雨量分布(基本ケース)

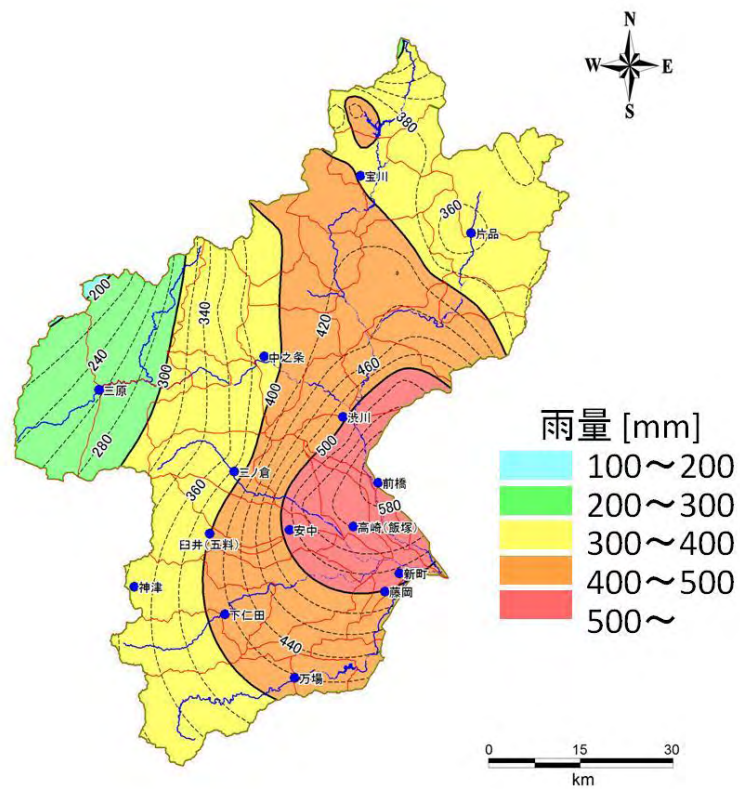


図 3-16 ケース②:カスリーン台風の降雨分布を北に 50km 移動

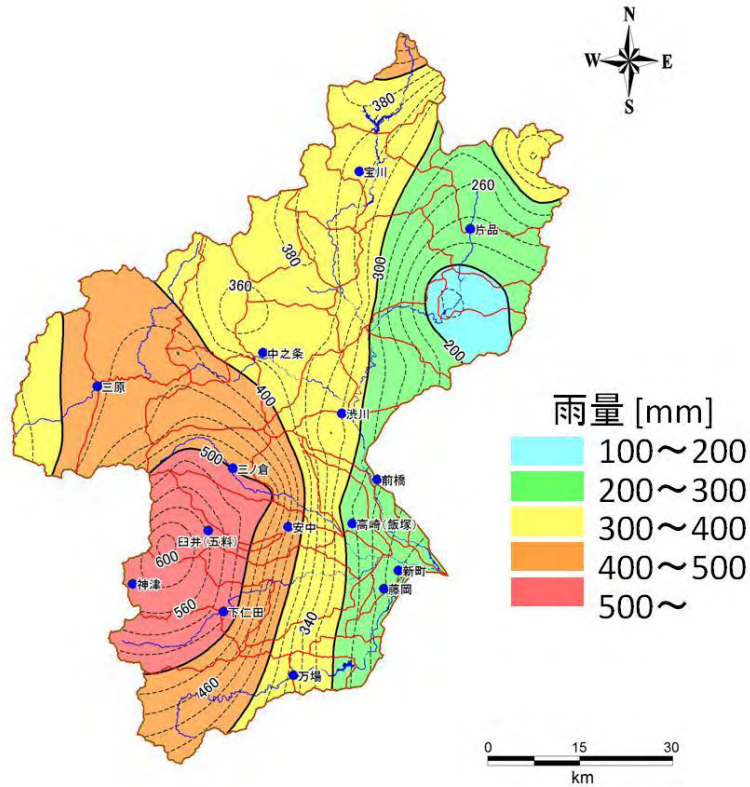


図 3-17 ケース③:カスリーン台風の降雨分布を北西に 50km 移動

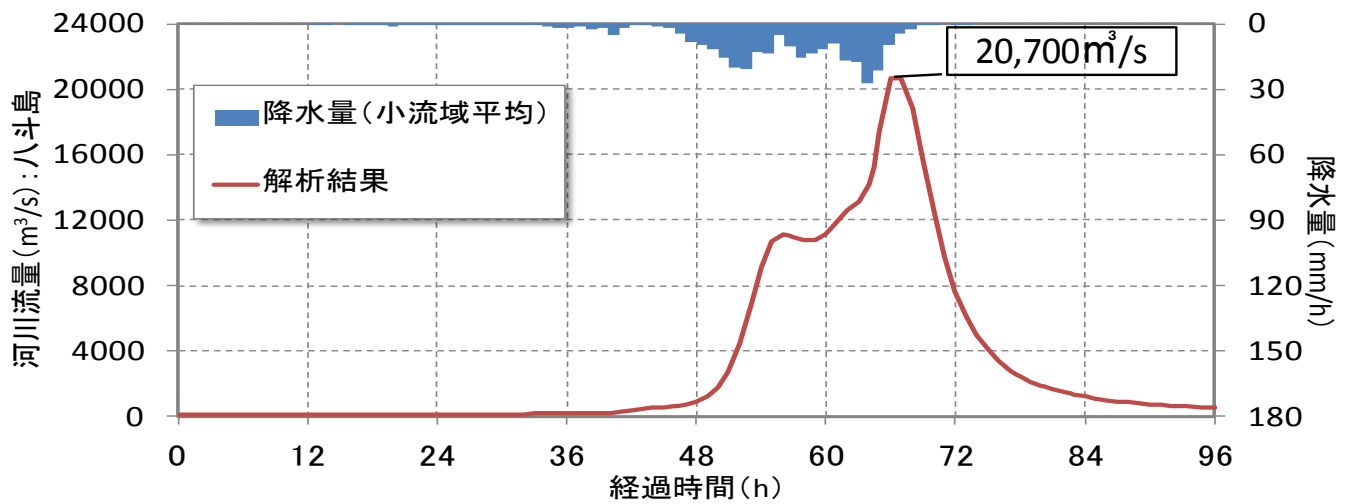


図 3-18 解析ハイドログラフ・ケース①(八斗島地点, カスリーン台風)

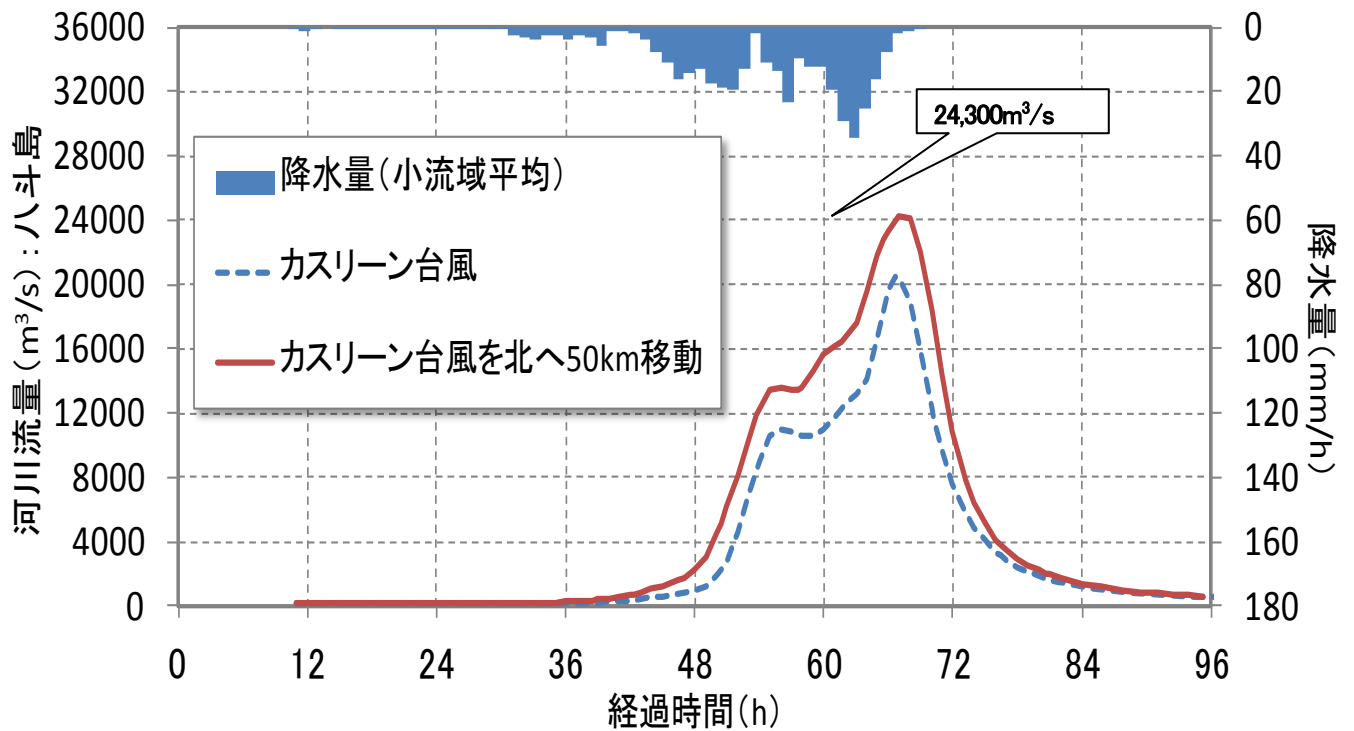


図 3-19 解析ハイドログラフ・ケース②: (八斗島地点, カスリーン台風北に 50 km移動)

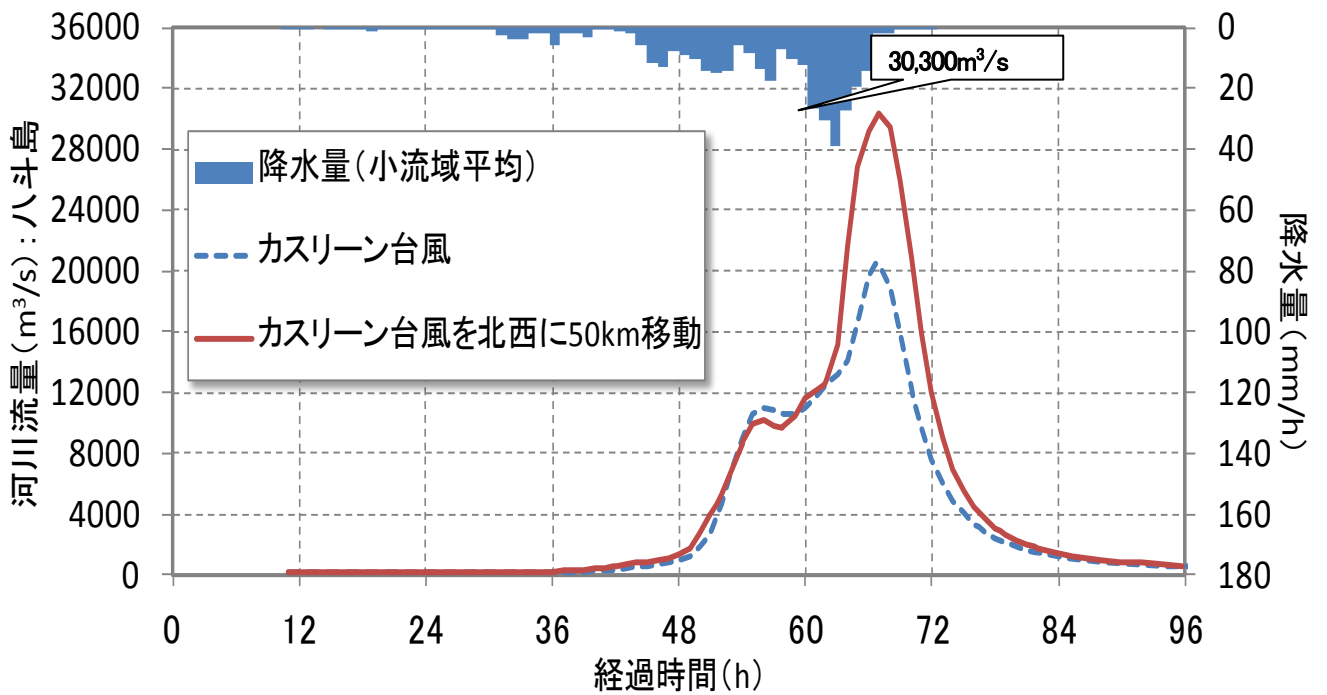


図 3-20 解析ハイドログラフ・ケース③: (八斗島地点, カスリーン台風北西に 50 km移動)

3.5.3 結果と考察

解析結果として、利根川八斗島地点でのハイドログラフで示したものを図 3-18～図 3-20 に示す。基本ケース①では、カスリーン台風の再現解析により八斗島地点の最大流量は約 20,700m³/s となり、当時の洪水流量を概ね再現することができた。(図 3-18 参照)また、台風経路が異なる2ケースの降雨パターンでは、台風の通過経路が約50km程度移動するだけで、八斗島の最大流量は北に移動した場合で24,300m³/s、北西に移動した場合は30,300m³/sとなった。台風の発生と経路が不確実である以上、八斗島地点では計画高水流量を超える可能性があり得ることが確認できた。(図 3-19, 3-20, 参照)

これらの結果から明らかのように、台風の経路の不確実性を考慮すると、容易に計画高水流量を超える超過洪水は現実には起こりうると思料できるのであり、治水対策はこれを想定して行わなければならないことが分かる。

3.6 第3章のまとめ

東京東部低地は日本の近代化がもたらした公害とでも言うべきすさまじい地盤沈下により、洪水に対し極めて脆弱な地域となった。加えて気候変動に関する政府間パネル(IPCC)では、地球温暖化に伴う気候変動などによる異常気象や海面上昇を指摘している。事実、平成 17 年(2005)九州地方に 1400mm の降雨を降らせた台風 14 号、平成 21 年(2009)、台湾に 2600mmの降雨を記録した台風 8 号、平成 23 年(2011)紀伊半島に 2400mm の累計雨量(大台ヶ原)を記録した台風12号のように、これまでの予測を超える洪水・高潮による水災害が頻発している。ツバルやバングラディッシュなどで象徴的に指摘されている地球温暖化による海面上昇の問題も、東京のゼロメートル地帯でも既定の事実として発生しているといえる。それ故にこの地域の人々の生活や経済活動、さらには日本の中枢機能も絶えず危機にさらされているのである。

これまで記録にある台風の経路や降雨を分析しても、その降雨状況は全く不確実だといわざるを得ない。本研究が明らかにしたことは、地球温暖化による気候変動の影響を受けなくても、現在の気象条件のまま台風がその経路を変えただけで、これまで以上の洪水流量が流れる可能性があることを示した。唯一確実だといえることは、このアジアモンスーン地帯に位置する日本にはかならず台風が襲来するということであり、そしてゼロメートル地帯となってしまった東京東部低地は「堤防が無ければ水没する地域であり、堤防こそがそこに住む人々の生命線」となっていると結論できる。

ゼロメートル地帯における大規模浸水は、とりもなおさずわが国の中枢機能の停止に繋がるということを、しっかりと認識しなければならない。日本全体で概観すれば東京東部低地帯のようなゼロメートル地帯は伊勢湾、大阪湾という三大都市圏に分布している。このことはゼロメートル地帯に居住しているか否かにかかわらず、すべての国民の生活や生産活動に関係する事柄である。

国及び都府県、市区町がそれぞれ具体的な行動計画を立て、「国土防衛」としてのゼロメートル地帯の洪水対策を直ちに講じなければならない。

第3章参考文献

- 1) 国土交通省, 河川局(2006):「ゼロメートル地帯の高潮対策検会」 提言.
- 2) 国土交通省(2010):水資源白書p50.
- 3) 理科年表平成 24 年:国立天文台編.
- 4) 東京都土木技術研究所(1977):東京都総合地盤図(Ⅰ)ー低地部ー.
- 5) 東京都地下水対策検討委員会(2006):「東京都の地盤沈下と地下水の現況検証について」報告書 参考資料 2 東京都における揚水規制の経緯, p67.
- 6) 東京都環境局(2011):東京都の地盤沈下と地下水の再検証について
- 7) 東京都環境局(2011):平成 22 年度地下水対策検討委員会のまとめ
- 8) 東京都土木技術支援・人材育成センター(2011):平成 21 年地盤沈下報告書.
- 9) 独立行政法人産業技術総合研究所(2007):南関東天然ガス田(水溶性ガス田)について, 資料1, 4.
- 10) 東京都建設局河川部(2010):東京の低地河川事業.
- 11) 総務省消防庁(2010):消防年表.
- 12) 東京都(1994):東京都政五十年史, 事業史.
- 13) 東京都建設局(1965):東京高潮対策事業概要.
- 14) 難波匡甫(2007):東京都・高潮対策の変遷に関する調査.
- 15) 国土交通省, 荒川下流工事事務所(1990):荒川 75 年史, p154.
- 16) 国土交通省:平成 16 年度河川局関係予算概要参考資料.
- 17) 全日本建設技術協会(1995):阪神・淡路大震災その被害と復旧, p219.
- 18) 国立情報学研究所:デジタル台風, 台風画像と台風情報.
- 19) 中村要介他(2006):ダムの増設に伴う利根川八斗島基準点における治水効果の検討, 土木学会水工学論文集, 第 50 巻.
- 20) 国土交通省関東地方整備局(2011):「ハッ場ダム建設事業の検証に係る検討」第6回幹事会資料.
- 21) 田原・多田・森・阪上・西岡・土屋(2009):関東流域圏の水循環モデル, 日本地下水学会秋季講演会講演要旨,p36-41.
- 22) 多田・山下・佐藤・森・登坂・土屋(2010):関東流域圏の水循環モデル, 秋季地下水学会,講演要旨 p268-273.

第4章 東京東部低地(ゼロメートル地帯)の超過洪水発生と防御策に関する研究

4.1 概説

治水対策は国が国民に対して備えなければならない必須の最重要施策である。これは国の責任において国が国民の命と資産を守る安全保障と捉えるべきである。

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第4次報告によれば、気候システムの温暖化は疑う余地がなく、大気や海洋の全球平均温度の上昇、雪氷の広範囲にわたる融解、世界平均海面水位の上昇が観測されていることから今や明白である。温暖化により干ばつ、熱波、洪水など極端な気象現象のリスクの増加、水災害の危険性も増大している。台風の大型化、降雨強度の増大などによりこれまで100年～200年確率を目指してきた河川でも実際には既に、治水安全度は著しく低下していると言える。

さらに、地球温暖化による気候変動というリスクの増大を捉えたとき、これまでの計画高水流量という指標を定め実施してきた水災害対策を、超過洪水をも視野に入れて検討する事が必要である。このような状況から超過洪水はもはや起こることが確実であり、これに備えることは予断を許さないところまで来ていると考える。首都圏のように中枢機能が集積している地域では、国家機能の麻痺を回避するため、被害の最小化を目指す必要がある。

しかし、洪水から発生する損害に対する備えは自治体個々に委ねられており、河川流域全体での対応がなされていないのが現状である。洪水に対する備えをどのように行うのか、避難勧告、避難指示をどの段階で出すのかという極めて基本的なことですら、自治体単位で対応することになっているのが現実である。一つの河川は多くの自治体を通りながら流下するのであるが、それぞれの自治体が独自の洪水対応をすれば、混乱は計り知れない。まさにこの点で国際河川と同様に流域全体での対応が必要である。災害は最大のリスクに対する事前のシミュレーション無くして、的確な備えは出来ないと考える。

4.2 増大する水災害リスクと低下する治水安全度

表4-1は気候変動に適応した治水対策検討小委員会(国土交通省社会資本整備審議会、2008)の報告書において示された100年後の降雨量の変化を推定したものである。これらは、IPCC第4次報告のダウンスケーリングを行い作成している。

表4-1 各地域における100年後の降雨量の変化率

地域名	降雨量の変化率	地域名	降雨量の変化率
北海道	1.24	紀伊南部	1.13
東北	1.22	山陰	1.11
関東	1.11	瀬戸内	1.10
北陸	1.14	四国南部	1.11
中部	1.06	九州	1.07
近畿	1.07		

表4-2は我が国における100年後の降水量の変化が、河川において想定される洪水の大きさに対して、及ぼす影響を検討したものである。

表4-2 100年後の降水量の変化が治水安全度に及ぼす影響

地域名	将来の治水安全度（超過確率年）					
	1/200（現計画）		1/150（現計画）		1/100（現計画）	
		水系数		水系数		水系数
北海道	—	—	1/40～1/70	2	1/25～1/50	8
東北	—	—	1/22～1/55	5	1/27～1/40	5
関東	1/90～1/120	3	1/60～1/75	2	1/50	1
北陸	—	—	1/50～1/90	5	1/40～1/46	4
中部	1/90～1/145	2	1/80～1/99	4	1/60～1/70	3
近畿	1/120	1	—	—	—	—
紀伊南部	—	—	1/57	1	1/30	1
山陰	—	—	1/83	1	1/39～1/63	5
瀬戸内	1/100	1	1/82～1/86	3	1/44～1/65	3
四国南部	—	—	1/56	1	1/41～1/51	3
九州	—	—	1/9～01/100	4	1/60～1/90	14
全国	1/90～1/145	7	1/22～1/100	28	1/2～51/90	47

委員会報告では降水量がそれぞれ 1.1 倍から 1.5 倍まで増加すると想定した場合、現河川計画が目標としている治水安全度は、200 年に 1 度程度の場合は 90～145 年に 1 度程度に、150 年に 1 度程度の確率年は 22～100 年に 1 度程度に、100 年に 1 度程度の場合は 25～90 年に 1 度程度となり、治水安全度が著しく低下していくと予測している。特に降水量の倍率が大きい北海道、東北において、洪水の発生頻度が高くなり治水安全度の低下が大きくなっている。同様に中小河川においても治水安全度の低下が想定される。このことから、将来の降水量の増加により、現計画が目標とする治水安全度は著しく低下することになり、浸水・氾濫の危険性が増えることは明らかである。（国土交通省社会資本整備審議会：2008,報告書 P17～19）

さらに、下流・沿岸域の低平地やゼロメートル地帯が広がる地域においては、降水量や短時間降雨強度の増加、海面水位の上昇、台風の激化、中流部からの洪水や氾濫水による影響等により、堤防決壊等による氾濫や浸水頻度の増加が想定される。低平地やゼロメートル地帯では、自然排水が不可能な地域であることに加え、市街化の進展により流出係数が上昇し、下水管への遮集量が増加していることから、洪水や高潮による外水や内水の氾濫による浸水が長時間に及ぶことが想定される。

我が国の下流・沿岸域には人口、資産が集積していることが多く、特に東京、名古屋、大阪の三大都市圏においては、社会経済活動の中核機能が集積している。これらの地域では水害や高潮災害等は国民の生命・財産への影響のみならず、国家機能の麻痺や国際競争力の低下につながる懸念される。

このような地域で治水対策が必要なことは当然であるが、すべての計画の完成には長期に渡る期間が必要である。以上の状況を考慮し人命保護を最優先する観点から避難高台地の確保を図ることは喫緊の課題である。

災害時の避難場所については大きく大別して人命保護のため目前窮迫の事態に一時的に身を守るために避難する場所としての緊急避難所(いつときひなんじょ, evacuation for emergency)と、災害によって短期間の避難生活を余儀なくされた場合に、一定期間の避難生活を行う施設としての収容避難所(shelter)がある。今ゼロメートル地帯にとって必要な避難場所は、まず第一に人命を守るための高台避難地(evacuation area)である。

4.2.1 江戸川・荒川浸水想定区域と江戸川区ハザードマップの作成とその特徴

図 4-1は江戸川区において作成した「江戸川区洪水ハザードマップ」である。平成17年7月に施行された水防法の改正に基づき、各河川管理者が作成した浸水想定図を基にしている。この水防法の改正により、各市区町村長がハザードマップを作成することが義務づけられ、国土交通省河川局治水課により「ハザードマップ作成の手引き」がまとめられた。法改正により市区町村長は洪水予報の伝達方法や、避難場所を住民に周知することが義務づけられている。

江戸川区の場合は国土交通省江戸川河川事務所及び荒川下流河川事務所が作成した、利根川、江戸川、荒川の流域の大降雨により、計画高水位で堤防が決壊し、洪水が氾濫した場合の浸水深の浸水想定図を基に、区内全域での地域防災拠点への避難を誘導する図面である。江戸川区の人口は現在約68万人であり、面積は約50km²、人口密度は約13,500人/km²である。これらの数値から江戸川区は人口集中度が高く、ハザードマップから分かるように区内の至近な場所に一時避難所の必要性が極めて高いと言える。

この洪水ハザードマップの作成において、著者は東京都江戸川区の防災行政の責任者として、「江戸川、利根川、荒川が氾濫した場合」の建物避難(待避施設)に関する調査を行った。表3はこの調査により得られた避難収容人数の結果である。江戸川区の災害時の避難場所としては106校の小中学校を予定している。しかし、浸水予想図(国土交通省江戸川河川事務所及び荒川下流河川事務所作成)によれば、これらの小中学校のうち浸水深と照らし合わせて1階、2階、3階の全ての階が水没せずに使える学校が106校中21校、1階部分が水没する学校が80校、2階まで水没する学校が5校もある。ここに1人/1m²ずつ避難しても、約22万人しか収容できないのが現状である。さらに4階建以上の建築物を避難対象としても約15万人、合わせて約37万人の避難しかできないという結果であった。建物避難のみでは、表1のとおり、68万区民の半分程度しか収容できない事態となっている。

さらに、江戸川区は堤防に囲まれたゼロメートル地帯であることから、国土交通省荒川河川事務所の想定によると、一度浸水すると既存の50mm降雨対応の下水道ポンプ所をフル稼働させても、排水に12日以上掛かると試算されている。

表 4-3 江戸川区建物避難(待避施設)に関する調査結果(調査 2009年)

小中学校への避難		区内高層ビルへの避難	
1階が水没する学校	80校	3階建	約4,600棟
2階まで水没する学校	5校	4階建以上	約5,800棟
全階水没しない学校	21校		
合計 106校 収容人数 220,000人		収容人数 150,000人	
収容人数合計 370,000人			



図 4-1 江戸川区洪水ハザードマップ(江戸川・利根川・荒川の外水氾濫)

そのため、江戸川区洪水ハザードマップでは、小中学校など建物への避難は、「避難する時間がない」あるいは「浸水が始まって危険性が高い」などのやむを得ない場合に限定し、それ以外は洪水予報に基づき十分な時間余裕をとり、高い場所を求めて遠距離ではあるが事前避難するよう、誘導することとした。

避難する場所として3か所の「地域防災拠点」を定めている。①大島小松川公園、②葛西南部地区、③市川市国府台(こうのだい)台地である。

歴史的にみれば別所・丸山らの「江戸川区の歴史」(1978)のカスリーン台風の報告にあるように、氾濫した河川の堤防天端が一番高い場所であり、そこに多くの避難民が集中していたのが実態である。しかし、東京東部低地帯では最大4.5mもの地盤沈下を経た結果、ゼロメートル地帯となっており、人口密集地帯における洪水避

難計画は、河川堤防を避難場所にするわけにもいかず、極めて難しいものとなっている。江戸川区のハザードマップは、全く逃げる高台のないゼロメートル地帯の抱える課題を示しているといえる。

4.2.2 昭和22年(1947)カスリーン台風時の渡河避難の実態

前述の江戸川区のハザードマップでは、避難場所の1つとして隣接の千葉縣市川市国府台台地が避難高台として指定されており、洪水氾濫時に区民は、江戸川を渡河して避難することになる。

別所・丸山らの「江戸川区の歴史」(1978)によれば、かつて昭和22年(1947)カスリーン台風の際、洪水時にも関わらず多くの住民が江戸川に架かる総武線の鉄橋を渡って、千葉県側の市川市国府台台地に避難したことが報告されている。「江戸川区の歴史」(1978)によれば以下のように記述されている。『16日、利根川の堤防が栗橋上流で決壊、その濁流は一路南下して19日には小岩町に達し、江戸川区全域を洗って20日の午後には船堀に達した。人々は次々に市川を目指して避難し、江戸川の土手には数千の群衆がひしめき、総武線の鉄橋も黒山の人だった。(写真4-1)』被害面積は江戸川区の約60%におよび、床上浸水約2万戸、床下浸水約1万500戸、被災者は人口の約70%に当たる13万3000人にのぼった。一番水深の深かったところは西小松川1丁目、2mから3mにおよんだ。』



写真4-1 カスリーン台風で総武鉄道の土手の上を江戸川区新小岩～小岩方向へ避難する住民(東京都江東治水事務所記録写真)

さらに、「20日夕刻、船堀橋が危険なため、荒川を越えて東京方面への避難を思い留まった江戸川区南部の被害者たちは、一路千葉縣市川市を目指して延々長蛇の列を作り、同日江戸川堤には夜を徹して数千の避難民がひしめきあい、総武線市川鉄橋にも避難民が黒山のように、小岩警察署では約一万人といっている。

市川市では、警察署長の指揮下に小岩方面の逃げ遅れた被害者を救出するため、千葉県浦安・行徳両漁業組合から、発動機船(約80名収容)20隻、木船(約10名収容)170隻、計190隻を借り受け、午後六時ごろから救出作業に乗り出す。一方、市川小学校に4,365名、眞間小学校に1,840名、眞間山弘法寺に500名を収容、東京都民に手厚い応急援護を行なっている。」との記載がある。(江戸川区の歴史、別所・丸山:1978) 著者は行政の責任者として今再びこのような洪水の河川を、渡河して避難をしなくてもすむ、地区内に避難できる高台の必要性を痛感した。

4.3 超過洪水による浸水域のシミュレーション

気候変動による超過洪水や超過高潮は、その発生確率の増加と発生事象の強度の増加が予想されているが、「水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について」(国土交通省社会資本整備審議会, 2008)において、以下の様な施策の方向性が示されている。

- ア. 洪水については、気候変化による外力の増加分への対応も、治水対策として取り扱う必要があり、起こり得る様々な規模の洪水を対象とし、その規模に応じて弾力的に対応すべきである。
- イ. 高潮については、海面水位の上昇や台風の激化に対応するため、高潮堤防等を的確に整備する必要があり、施設更新時などにあわせて、その時点で今後増大する外力を見込んで嵩上げを行い、浸水頻度を減少させる必要がある。

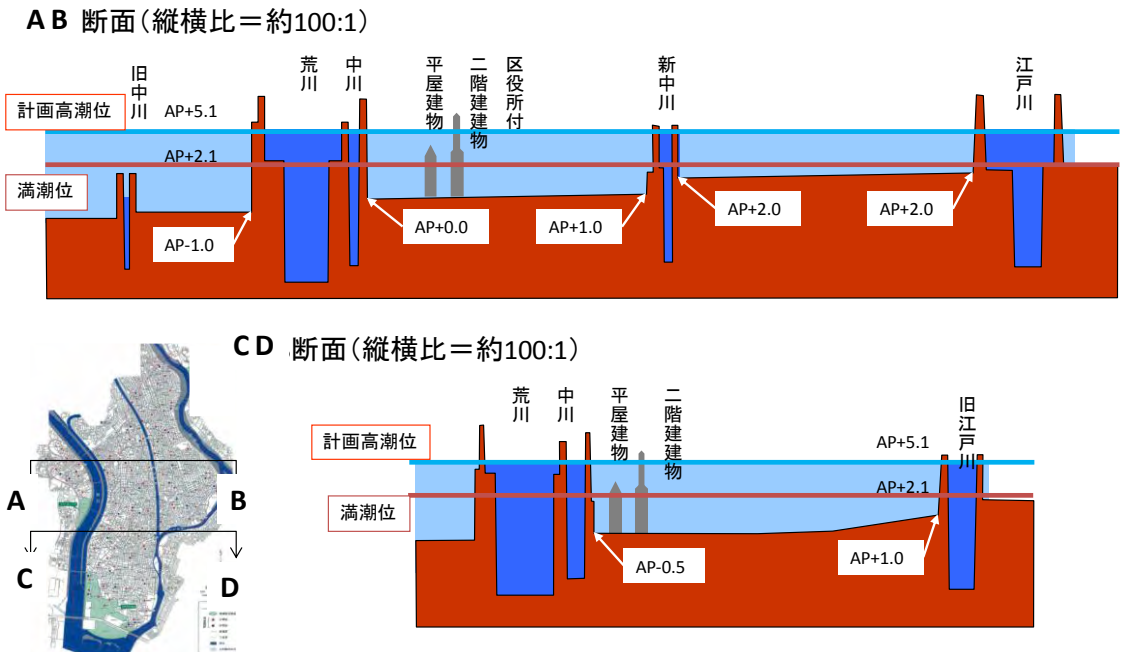


図 4-2 江戸川区の東-西方向断面図

図 4-2 は江戸川区の東-西方向の断面図である。この図より明らかなように区域の大部分の標高はゼロメートル地帯であり、洪水における破堤はもとより、満潮位における地震破堤においても大災害の危険性を有する地勢特性であることが容易に確認される。

以上の状況を踏まえ、本研究では東京東部低地帯における利根川、荒川の破堤洪水時の浸水域と最大湛水深の検討を行った。

シミュレーションは表4に示す5ケースを行った。

表 4-4 ケース分け一覧表

ケース①	超過洪水により破堤	利根川右岸栗橋付近(河口 134.4km)
		ハツ斗島で計画高水位を 10 日間継続(破堤幅 340m)
ケース②	超過洪水により破堤	荒川左岸川口市領家付近(河口 20.0km)
		水位 A.P.+8.31m(破堤幅 140m)
ケース③	超過洪水により破堤	中川左岸上平井水門付近(河口 7.0km)
		越流水位 A.P.+7.6m(越流幅 50m)
ケース④	超過洪水により破堤	荒川左岸東京外口東西線付近(河口 0.6km) (破堤幅 50m)
		計画高潮位+0.6m(温暖化による海面上昇)A.P.+5.71m
ケース⑤	超過洪水による越流	荒川水位上昇
		河口 12.0km地点で 水位を A.P.+9.8kmまで 10cm/時で上昇

4.3.1 利根川, 栗橋付近(破堤)

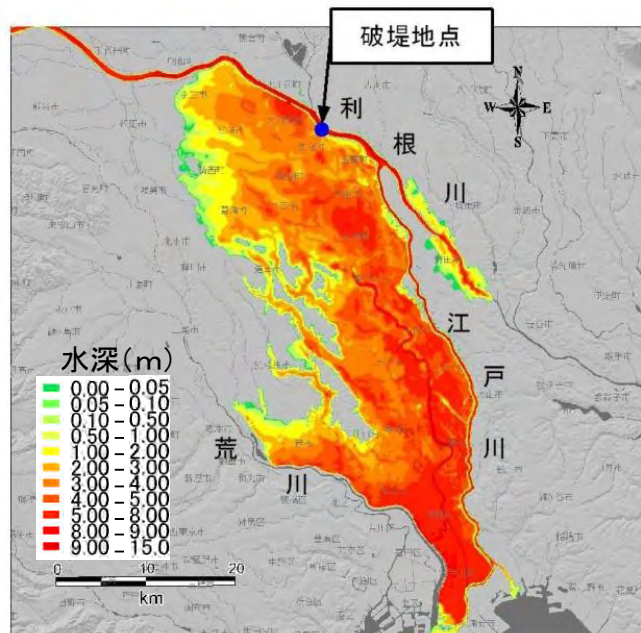


図 4-3 ケース①利根川右岸栗橋付近(約 134.4km)破堤後 10 日経過時点の氾濫湛水深の分布

ここでは、図 4-3 ケース①として、利根川水系の基準地点であるハツ斗島において現在の計画高水流量を与え、利根川右岸堤防が栗橋付近(河口から 134.4km)で破堤したとして氾濫シミュレーションを行った。堤防決壊幅としてはカスリーン台風時と同じ約 340m の破堤幅を想定し破堤後 10 日間の氾濫計算を行っている。

図 4-3 ケース①は、10 日経過時点での水深分布であり、江戸川区内に最大湛水深 8m を超える結果となっている。ここでは破堤後の水位が継続されるとしてシミュレーションしており、極限状態で起こりうる最大湛水深を想定している。各ケースとも同様の想定である。地形データ及び標高データは国土地理院の 10mメッシュを使用している。なお、洪水氾濫シミュレーションは著者らの関東流域圏モデルを利用している(著者(土屋), 田原他, 2009; 著者(土屋), 多田他, 2010)。

4.3.2 荒川左岸, 川口市領家付近(破堤)

次に、図4-4ケース②として、荒川左岸堤防の川口市領家付近(河口より約20.0km)で破堤し、洪水水位が減ることなく継続するような大規模な超過洪水を想定した。水位をA.P.+8.31mとして、洪水検討を行った。図4はその定常時の湛水深分布である。最下流に位置する江戸川区では荒川、江戸川の堤防で洪水がせき止められ堤防天端まで湛水していることがわかる。

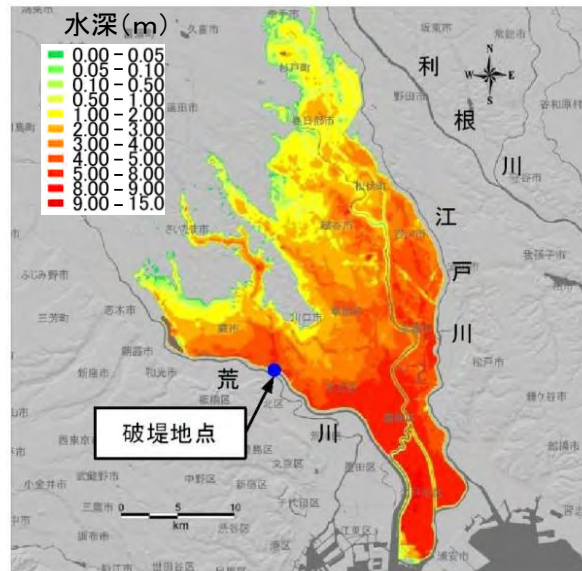


図4-4 ケース②荒川左岸川口市領家付近(約20km)破堤の氾濫湛水深の分布

4.3.3 荒川(中川)左岸, 上平井水門付近(越流)

図4-5ケース③として、中川左岸の上平井水門付近(河口より約7.0k)で越流、越流水位をA.P.+7.6mとして、洪水検討を行った。図5は、破堤2日経過後の湛水深分布である。荒川、中川、新中川に囲まれた区域の全てが堤防天端まで湛水している。

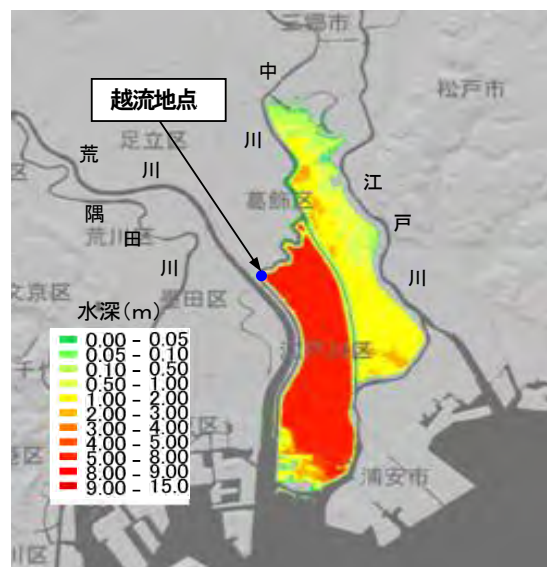


図4-5 ケース③荒川(中川)左岸, 上平井水門付近越流後2日経過時点 氾濫湛水深分布

4.3.4 荒川(中川)左岸, 東京メトロ東西線付近(破堤)

さらに、図4-6ケース④として、荒川左岸が東京メトロ東西線付近(河口より約0.6km)で高潮により破堤が発生したという想定においても氾濫シミュレーションを行った。この時には計画高潮位(A.P. +5.1m)に地球温暖化による潮位上昇分(約60cm)を考慮し破堤地点においてA.P. +5.7mの固定水位を与えている。図4-6ケース④は、破堤2日経過後の湛水深の分布である。ケース③ケース④いずれの場合も湛水深は地域を取り囲む河川堤防の天端までとなった。

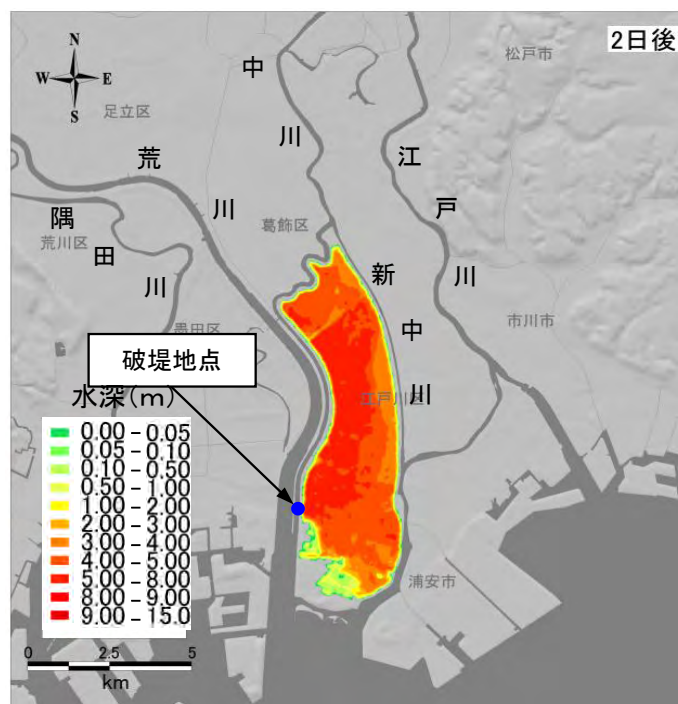


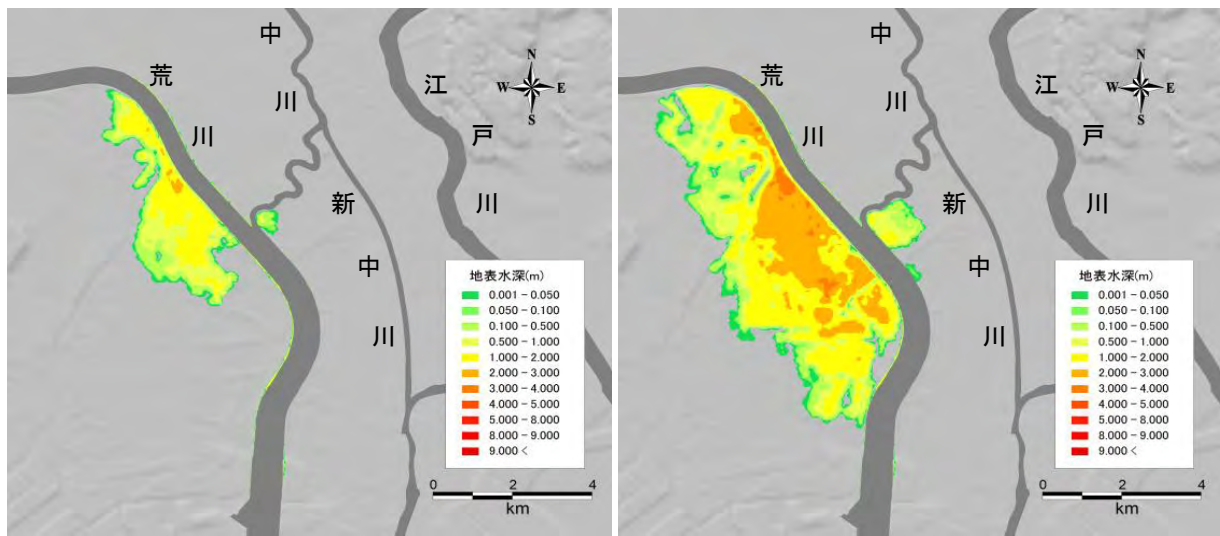
図4-6ケース④荒川左岸, 東京メトロ東西線付近越流後2日経過時点 氾濫湛水深分布

4.3.5 荒川右岸, 墨田区平井付近(越流)

最後に、図4-7ケース⑤として、超過洪水の発生を想定し、荒川の水位上昇による越流検討を行った。荒川河口から約12km地点(江戸川区平井付近)における河川水位をA.P.+9.8mまで10cm/時で上昇させた。

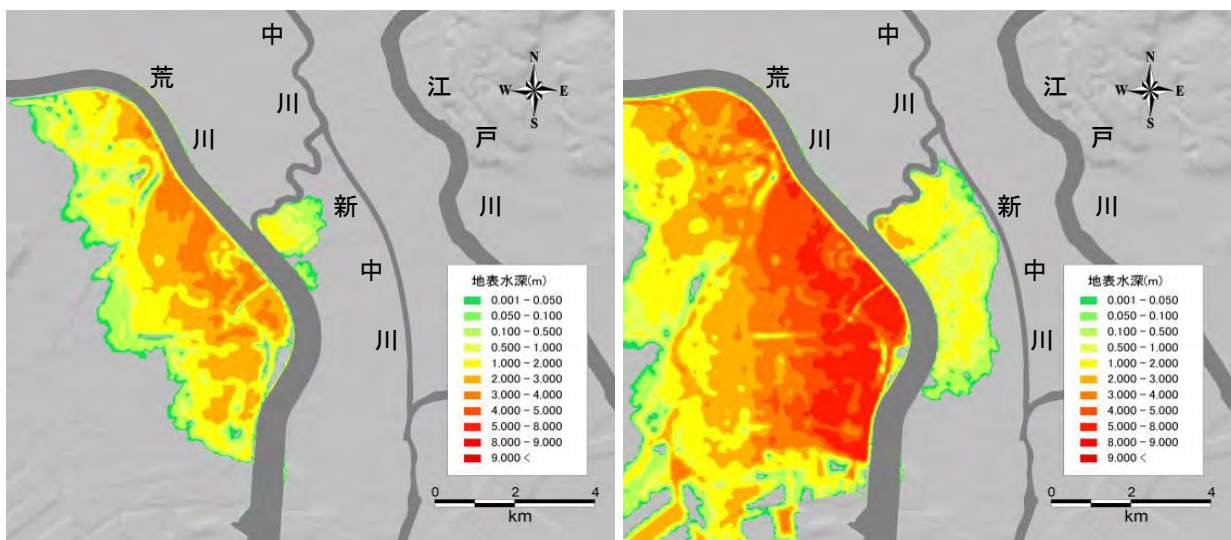
図4-7はこの計算における最大湛水深の時間変化を示している。この計算より荒川堤防には、右岸約10km付近及び左岸7km付近に堤防の低い箇所があり、そこから越流が発生していることが分かる。具体的には、12km地点の水位がA.P.+9.2mに達した時点で、荒川右岸側10.5km地点で越流が発生し、徐々に氾濫水が広がり墨田区全体を覆っている。また、12km地点の水位がA.P.+9.4mに達した時点で、荒川左岸7km地点で越流が発生し、徐々に氾濫水が江戸川区北部に広がっていることが分かる。

以上のように、ケース①～⑤何れの計算結果からも、江戸川区内に湛水深約5m～10mの大きな浸水被害を与えることが予想される結果となっており、利根川および荒川の堤防が破堤したり越流したりすると、最下流に位置する河口部の江戸川区に甚大な被害が発生することは明らかである。



(a) A.P.+9.4m

(b) A.P.+9.7m



(c) A.P.+9.8m

(d) A.P.+9.8m 到達後 14 時間経過

図 4-7 ケース⑤荒川右岸下流域の越流氾濫湛水深シミュレーションの結果

4.4 ゼロメートル地帯における避難高台地の必要性と有効性

東京東部低地帯のゼロメートル地帯での洪水に対して最も大きな課題は、避難が可能となる高台の不足である。平成23年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震による津波被害を見てもわかるように、避難高台地の存在が生存のための必須条件である。そしてその避難高台地の候補として最も確実に安全性を増すことが出来ると考えられる治水対策、防災対策が高規格堤防である。

4.4.1 避難高台地としての高規格堤防の有効性

図4-8は国土交通省荒川下流河川事務所より出されている、高規格堤防の断面図である。堤防の高さの約30倍の幅を高規格堤防特別区域として定め、この区域を盛土して高台化を図るものである。この範囲では掘り込み河川と同様の形状となり、予想を超える大きな洪水が発生し水が堤防を越えても、斜面を緩やかに流れるので堤防が破壊されることが極めて少なく、市街地への被害を最小限に抑えることができる。



図4-8 高規格堤防の断面図(荒川下流河川事務所)

東京東部ゼロメートル地帯における高規格堤防は、超過洪水対策、高潮対策、高台避難地の確保など、気候変動に適応する抜本的な治水対策である。また、堤防の整備にあたっては、区画整理事業や再開発事業などのまちづくり事業に合わせ実施されるので、市街地の環境改善、防災性の向上などに大きく寄与するものである。したがって高規格堤防は、市街地の環境改善などの必要な地域の優先整備、あるいは、公園・学校等の公共施設の防災コアとしての整備等、地域の課題解消を図るまちづくりと合わせ、積極的に整備すべきと考える。

高規格堤防はスーパー堤防とも表現されるが、いかにもこれまでよりも丈夫で治水安全度も格段に優れたものというイメージがある。しかし、高規格堤防計画は河川の計画高水位や、堤防高については従来通りの計画で整備される。すなわち河川の計画高水流量は増強されないのである。高規格堤防の最大の効果と目的は、超過洪水でも壊れない構造の堤防とすることができることにある。堤防の高さの30倍という厚さを持つことから、越流破堤と浸透破堤に充分対抗できる強さを持つこと。さらに液状化が予測されるような地盤では、必要に応じて地盤改良を行うことで耐震性能を有することから地震時に決壊せず、ゼロメートル地帯である堤内地を防御することが出来る。幅が非常に広いことから浸透破堤にも対応した堤防である。これらのことから、洪水や満潮位の河川水の流入に対しても、高規格堤防を安全な高台地区として市街地機能を保持し、生命・財産を保全することができる。このような特徴から、東京東部低地帯における高規格堤防の最大の効果と目的は、住民が避難することの出来る高台地が確保されることにある。この点で高規格堤防は連続性を有さず部分的な整備であっても、避難場所としての効果が十分に発揮されるのである。

表4-5に高規格堤防の効果を想定される外力ごとに整理した。いずれの外力に対しても大きな効果を持つことが分かる。

表 4-5 発生外力に対する高規格堤防(補助スーパー堤防を含む)の効果

発生する恐れのある外力 (ハザード)	現時点で 想定される 最大水位	地球温暖化に 伴う気候変動 の影響	荒川(中川)、江戸川 高規格堤防の効果			新中川、旧江戸川 補助スーパー堤防の効果		
			水害 の状況	発生したときの効果		水害 の状況	発生したときの効果	
				地区の 安全確保	避難地 としての 活用		地区の 安全確保	避難地 としての 活用
東京湾超過高潮	計画高潮位以上	海面水位(潮位)の上昇最大 59cm 熱帯性低気圧 の強度の増大	安全に 越流	—	—	(若干は 強固)	—	—
東京湾高潮	AP+5.1(計画 高潮位)+打上 高		決壊 しない	盛土上は 安全*	避難地*	決壊 しない	盛土上は 安全*	避難地*
荒川・江戸川超過洪水	一般時では高 潮位等より低 い(超過高潮・ 高潮時はそれ 以上)	気象変化:発生 確率 1/200 が 1/90~1/120 程 度に	越流して も決壊し ない	盛土上は 概ね安全 *	概ね避難 地となる *	—	盛土上は 概ね安全 *	概ね避難 地となる *
荒川・江戸川洪水 (+荒川並行区間の中川 洪水)			決壊 しない	盛土上は 安全*	避難地*	—	盛土上は 安全*	避難地*
利根川・荒川・江戸川の 上流決壊⇒洪水	地域で異なる がAP+3.0程度	気象変化:発生 確率 1/200 が 1/90~1/120 程 度に	—	盛土上は 安全*	避難地*	—	盛土上は 安全*	避難地*
中川・江戸川が地震等で 決壊⇒海水進入	満 潮 位 (AP+2.1)	海面水位(潮位)の上昇最大 59cm	決壊 しない	盛土上は 安全*	避難地*	—	盛土上は 安全*	避難地*
旧江戸川が地震等で決壊 ⇒海水浸入			—	盛土上は 安全*	避難地*	決壊 しない	盛土上は 安全*	避難地*
七曲りより上流の中川・ 新中川(内水)氾濫	地域で異なる が上記に比較 的に浅い	発生確率、強度 の増加	—	盛土上は 安全*	避難地*	決壊 しない	盛土上は 安全*	避難地*
その他提内河川等の内水 氾濫		発生確率、強度 の増加	—	盛土上は 安全*	避難地*	—	盛土上は 安全*	避難地*

4.5 荒川・中川防災ベルト構想の提案

ゼロメートル地帯には堤内地側に多くの住宅が集積して存在しており、高密度に土地利用も進んでいることから、超過洪水や超過高潮に対して速やかに対策を講ずべき地域である。しかしまちづくり事業に合せて高規格堤防事業を実施するというこれまでの実施方法では、事業の推進に多くの時間がかかっているのが現実である。そのため超過洪水や超過高潮の危険性に対処する事が出来ず、水災害の危険性が最も高まっている地域であると考えられる。特に荒川左岸として高規格堤防の整備を進めることとしている中川左岸堤防(中川)の0～7.0km区間については、第2章で明らかにしたように荒川右岸堤防(江東区側)に比べ天端高が低く、堤体厚も薄くできています。今ここで左岸堤を右岸堤と同じ諸元で再構築することは、左岸堤内地側に遅く、多くの住宅が存在しており、高密度に土地利用も進んでいることから非常に難しい。しかし、沿川すべてが干潮面以下の密集市街地であることから、災害の危険性が最も高いと考えられる。

そこで中川の最下流部である上平井水門から下流区間が荒川と並行流下しているという、他の河川にない特殊な位置関係に着目し、建設費が少なく事業期間も短縮できる堤防強化策、避難高台建設として荒川と中川を一体として考えた、中川・荒川防災ベルト構想について提案する。

著者はこの研究の中で洪水氾濫対策として、中川・荒川左岸の安全性を向上させた上で、同時にゼロメートル地帯における災害時避難高台にも活用できる堤防強化策が、速やかに実施されることが必要であると考えられる。

4.5.1 荒川と中川の一体的検討

中川(荒川並行区間)は荒川放水路開削に伴って整備された河川である。中川と荒川は並行して存在しているため、中川の堤防強化は、荒川から中川までを含めた全断面について検討することで、一体のものとして評価する事が可能になると考える。

中川は昭和5年に完成して以来、都市化によって800 m^3/s という計画高水流量を受け持つ必要性が生じるとともに、地盤沈下によって高潮や洪水の決壊による湛水深の増大の危険性が沿川市街地に生ずるようになった。中川の水辺も地盤沈下により嵩上げされたカミソリ堤防により、市街地から隔離している。そのため水辺環境へのアクセスも容易では無いことから、荒川本川ほどには、河川環境の利用は図られていない。これらのことを考慮し、洪水、高潮、地震水害の危険性の防御のための空間として、また洪水等が発生した場合の避難空間として、さらには本来中川が持っていたと考えられる地域に対する親水機能として活用を図り再構築すべきであると考えられる。

4.5.2 荒川と中川の並行流下区間の既定計画

4.5.2.1 計画高水流量

荒川の治水計画は、河川整備基本方針(国土交通省荒川下流河川事務所,平成19年平成19年3月30日策定)において、また、中川の治水計画については、利根川水系の河川整備基本方針(平成18年2月14日策定)において、図4-9に示す流量配分となっている。中川は平常時には上平井水門箇所を綾瀬川と合流し流下する。洪水時には綾瀬川の洪水量の全量200 m^3/s を堀切菖蒲園水門地点でポンプ排水し、中川については700 m^3/s を上平井水門下流で合流する雨水排水を加え、河口では800 m^3/s となって流下する。

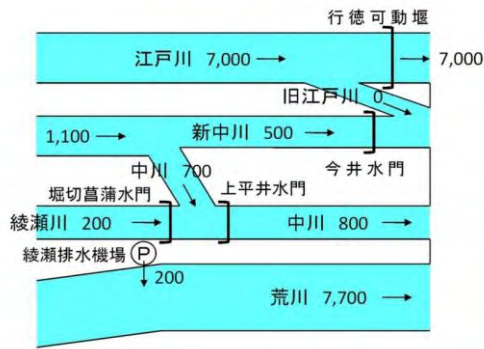


図 4-9 江戸川, 中川, 荒川の流量配分 m^3/s (利根川水系の河川整備基本方針)

4.5.2.2 計画高水位と規定計画の荒川(中川)左岸高規格堤防案

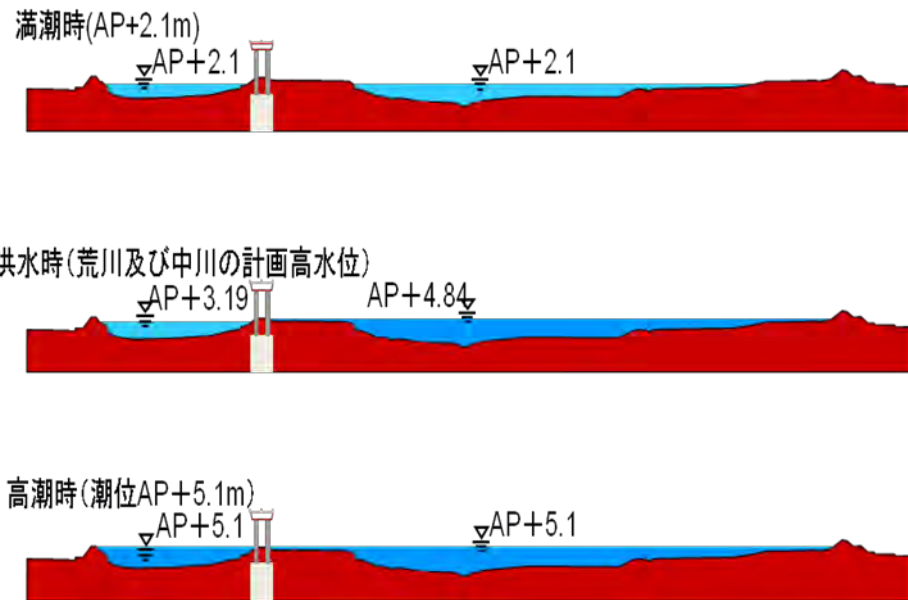


図 4-10 満潮時, 洪水時, 高潮時の中川・荒川の水位(河口より 7.0km 地点)

荒川の河口より7km地点の計画河床高は A.P.-6.0mであるが、現在、暫定的に、A.P.-4.0m まで河床を掘削し計画高水流量 7700 m^3/s (河口部)を流下させる計画となっている。また、中川については、A.P.-4.0m まで河床を掘削し計画高水流量 800 m^3/s (河口部)を流下させる計画となっている。

図4-10に示した荒川と中川の並行流下部における水位は、平常時においては干潮～満潮時、高潮時共に両河川とも水面は同じ水位となる。荒川と中川の洪水時における計画高水位を比較すると、荒川のほうが高くなる。このために荒川、中川の洪水同時発生時に二つの河川を自然合流させると、荒川の洪水が中川に侵入し遡上することになる。現在設置されている中堤は中川の洪水遡上の対応策として、荒川放水路開削時に設置されたものである。

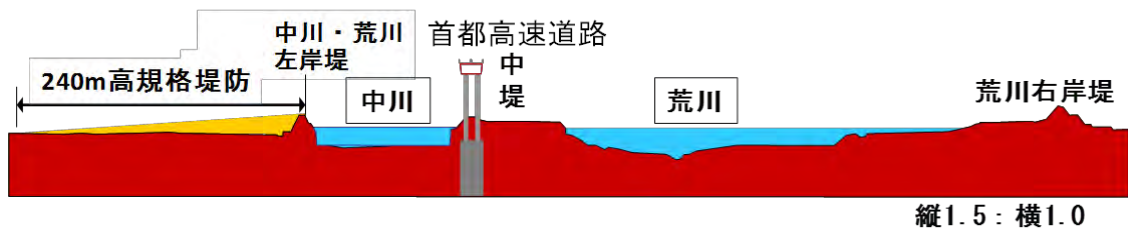


図4-11 現状規定計画中川左岸高規格堤防案

図4-11は現在の既定計画となっている中川・荒川左岸高規格堤防案である。中川左岸堤防を荒川左岸堤防と兼用堤と位置づけ、一体的に整備を図る計画となっている。左岸堤内地側には約240mの幅で高規格堤防が計画されている。この区域は密集市街地となっており、高規格堤防の整備にあたっては沿川のまちづくりと一体になって進めることとしている。そのため移転に当たって、居住者の家屋補償、営業補償、生活再建、高規格堤防の工事期間中の仮住居補償などが必要となる。これらの補償を進めるに当たっては住民合意が必要となるため、話し合いに時間を要することとなる。このことが高規格堤防事業の進捗が遅い原因となっている。そこで出来るだけ速やかに低平地の洪水対策として高規格堤防の実現を図るため、以下の「中川・荒川防災ベルト」構想を提案する。

4.5.3 荒川・中川防災ベルト構想の検討

中川・荒川防災ベルト構想の基本的考え方は、中川左岸の堤防を堤外地側で強化し、壊れない堤防の実現と災害時に避難できる高台地の構築を同時に実現することである。高規格堤防事業における住民合意に時間がかかること、移転補償費に多額の費用を要することを回避することが目的である。そのために、中川の河川区域を堤防化して避難高台化を図ろうとする本構想の実現の可否を左右するのは、中川の計画高水流量を安全に荒川本線に合流させようと、流下させることにある。

荒川と中川の並行流下開始地点(距離標 7.0km)での計画高水位は図4-10中段に示すとおり、荒川でA.P.+4.84m、中川でA.P.+3.19mと1.65mの差がある。このため単純に合流させたのでは、両河川の洪水が同時発生した場合に、荒川の洪水が中川に侵入し遡上してしまう危険性があり、中川の洪水を流下させることが出来なくなる。

荒川河口より7.0km地点には、中川の高潮時の防潮対策として、上平井水門(防潮水門)が設置されている。高潮発生時には上平井水門を閉門し、高潮防御することになっている。ここにゼロメートル地帯特有の課題が存在する。東京湾を台風が高潮をともなって襲来した場合、上平井水門を防御のため閉門することになる。この時点で中川の洪水が重なった場合には、中川上流域の洪水を全て閉鎖水域に閉じこめることになり、中川流域の内水氾濫を生ずる危険性がある。現在、上平井水門の運用管理については、中川の水位が満潮位 A.P.+2.1mを超えた場合に、高潮対応として閉門するように水門操作基準を定めている。この場合例外措置として、中川の洪水が重なり上平井水門上流の水位が、下流より高くなった場合には、一時的に水門を開けて洪水を流すという、水門の管理現場での臨機応変の開閉作業を実施しなければならないことになっている。(東京都江東治水事務所)

中川の洪水流量を、並行流下開始地点(距離標 7.0km)で荒川に合流させる場合、中川上流部に浸水などの悪影響を及ぼさないことを前提としなければならない。そのため、荒川と中川の両河川の同時洪水発生時に、中川を荒川へ合流させるための対策が必要である。荒川と中川を一体として検討する本研究では、既定の高規格

堤防整備計画を踏まえ、洪水流下能力などの安全性の確保を図り、実現の可能なものとして、以下の3案を基本として中川への影響を回避することを検討した。

これらの案は、中川と荒川は背割堤で区分されており、両河川の洪水時水位が荒川距離標 7.0km付近では荒川の水位の方が高いため、中川の治水機能を確保する対策が必要となる事。荒川及び中川(上流部)に洪水の遡上等の影響を与えない事、さらに荒川右岸の高水敷には影響を与えない事を前提として検討した。これは中川・荒川左岸の強化を図る目的において、上流部の葛飾区、埼玉県等、右岸の江東区、墨田区等の治水安全度を低下させないためである。

4.5.3.1 中川全川堤防化・荒川河床掘削自然合流案(第2案)(第3案)

前項の各事項を整理し、荒川と中川を一体として考える中川の堤防強化策の検討にあたっては、既定の高規格堤防整備計画を踏まえ、洪水流下能力などの安全性の確保を図り、実現に向け可能性の確実なものとして、規定計画を(第1案)とし、その外に9案を作成し検討を行った。

4.5.3.2 中川全川堤防化・荒川河床掘削自然合流案(第2案)(第3案)

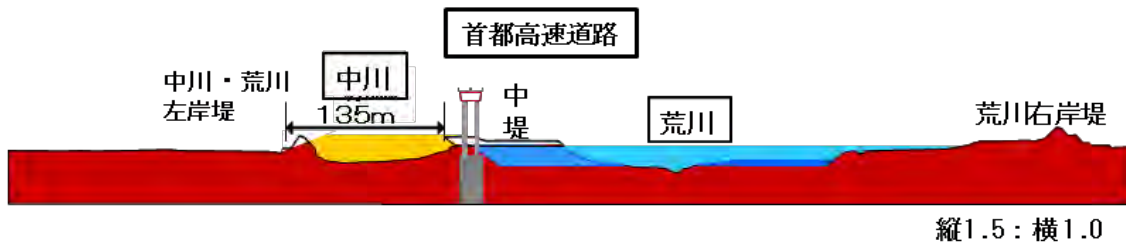


図 4-12 中川全川堤防化・荒川河床掘削自然合流案

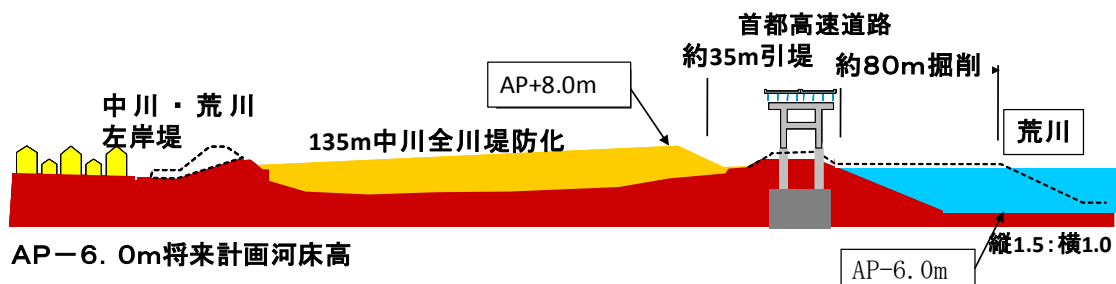


図 4-13 中川全川堤防化・荒川河床掘削自然合流案の拡大図

荒川の距離標 7.0km 位置での計画高水位は A.P.+4.84mであるが、これは暫定改修として予定されている A.P.-4.0m までの河床掘削を実施することで達成される暫定計画としている。ここで、将来の荒川の計画河床高が A.P.-6.0mであることから、暫定整備による河床高をさらに2mの河床掘削を行ない、暫定計画高水位を低下させ、荒川と中川の洪水時の水位差1.65mの逆転現象を解消させるものである。加えて本案では、さらに中川を合流させた上で両河川の計画高水流量を流せる流下河積断面を確保するため、中堤の背割堤高水敷を約 80 m掘広げることとした。橋梁等の占用許可工作物は、基本的には計画河床(A.P.-6.0m)までの河床掘削に対応できるように、河川許可条件として設計されている。以上のことにより荒川と中川の洪水時の自然合流が可能となる。

中川の空間を避難高台地として活用すると共に、超過洪水・超過高潮堤としての機能を確保することができる。

(第2案) 中川全川堤防化・荒川河床掘削案(A.P.-6.8m)

中川を荒川距離標 7.0km 付近で荒川に自然合流させることによって、中川の空間を避難高台地として活用するとともに、超過洪水・超過高潮堤としての機能を確保する。なお、中川と荒川は、背割堤で区分されており、両河川の洪水時水位は、荒川距離標 7.0km付近では、荒川の水位が高いため、中川の治水機能を確保する対策が必要である。そのために河床を掘削し荒川の計画高水位(A.P.+4.84m)を、中川の計画高水位(A.P.+3.19m)まで下げなければならない。この際荒川左岸にも高水敷を確保する河川断面とするため 20m を残し掘削、荒川河床掘削高は計画河床高である A.P.-6.0mをさらに掘り下げ、A.P.-6.8m とする。(現在の暫定整備河床高は、A.P.-4.0m)

(第3案) 中川全川堤防化・荒川河床掘削案(A. P. -6.0m)、図 4-12,図 4-13

橋梁等の占用許可工作物は、計画河床である A.P.-6.0m までの河床掘削に対応できるように設計されている。この A.P.-6.0mを荒川の掘削の限度として計画した案である。そのため荒川の流下河積断面を確保するため、背割堤位置を東に移動し荒川を拡幅する案である。

4.5.3.2 中川全川堤防化・排水機場設置案(第4案)(第7案)(第8案)

中川と荒川の洪水水位差を解消するために、ポンプ施設により中川の計画高水流量を荒川に合流させる案である。

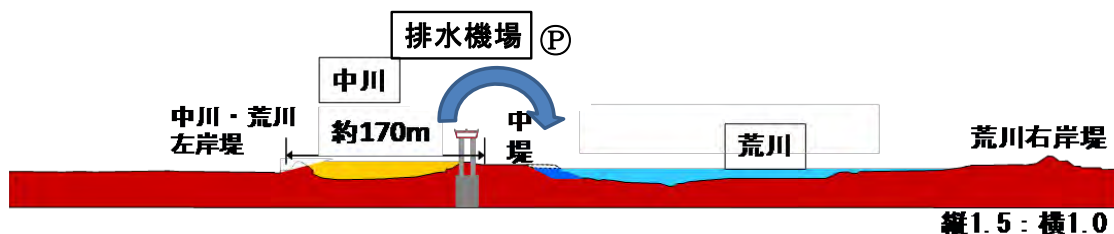


図 4-14 中川全川堤防化・排水機場設置案

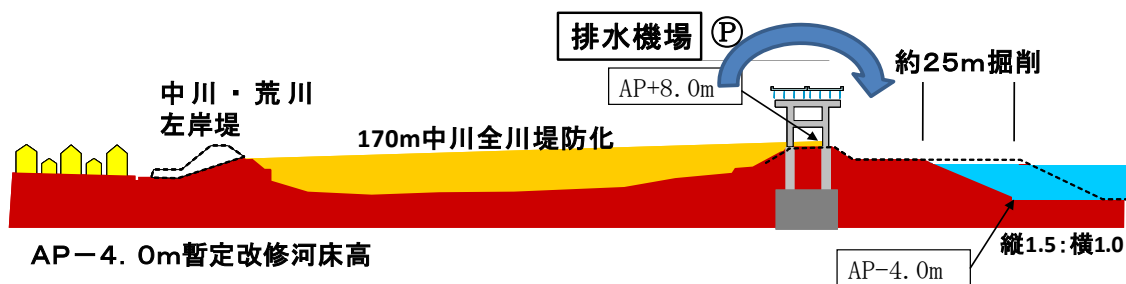


図 4-15 中川全川堤防化・排水機場設置案の拡大図

ポンプ排水を中川最下流地点で行うことは、現在自然排水である中川の広大な流域がポンプ排水エリアとなり、非常時のポンプ運転管理リスクを考慮しなければならない。その一方で、高潮時にはポンプ排水が可能となり、上平井水門の閉門時でも内水を排除することが可能となる。このことにより、中川の内水氾濫の危険性は大幅に改善される。

ポンプ排水により中川の治水安全度を確保するには、合流点に設置する排水機場は、荒川の水位が中川の水位を超えた時点でポンプを稼働することになる。通常のポンプ排水計画では、ポンプ能力を、地区内での許容浸水位を見込み、さらに床下浸水等を許容してポンプ規模を低減することができる。しかし今回の場合、対象区域がほぼ 100%市街化されており、浸水の許容が困難であると考え。中川を全川もしくは一部堤防化することは河道の切り替えであり、浸水事故を完全に回避しなければ、流域住民の理解は得られない。よって 700 m³/s 全量の排水能力のポンプが必要であると考え。

(第4案) 中川全川堤防化・排水機場案、図 4-14,図 4-15

第2案の中川全川堤防化・荒川河床掘削案その1に対し、中川と荒川の洪水水位差を解消するために、ポンプ施設により中川の計画高水流量を荒川に合流させる案である。

(第7案) 中川左岸堤防拡幅・排水機場案

中川の洪水時高水流量の全てをポンプ設備にすることは、非常に大規模なポンプ場となることから、ポンプ施設を小さくするため、中川の一部を左岸堤防強化・避難地確保に用いる。300 m³/s の排水機場を設け、その流量を荒川に受け持たせることで、中川の洪水分担を軽減させる規模に相当する中川左岸堤の拡幅強化を図る案である。

(第8案) 中川左岸堤防拡幅・背割堤移設・排水機場案

第7案の中川左岸堤防拡幅・排水機場案の排水機場対応に加え、背割堤を荒川側に移設することで、中川左岸堤の拡幅量を拡大する案である。なお、この案において排水機場の規模は、既設排水機場の最大規模である 200 m³/s の排水機場とした。

4.5.3.3 中川全川暗渠化案(第5案)(第6案)

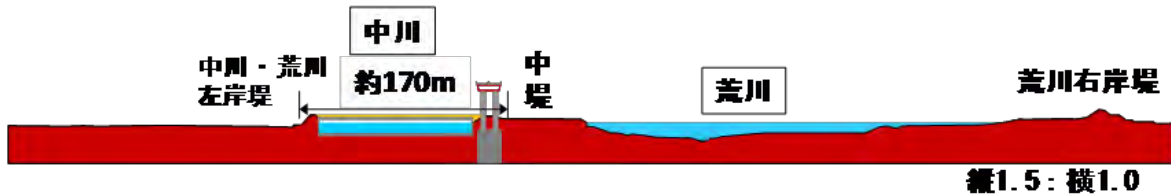


図 4-16 中川全川暗渠化案

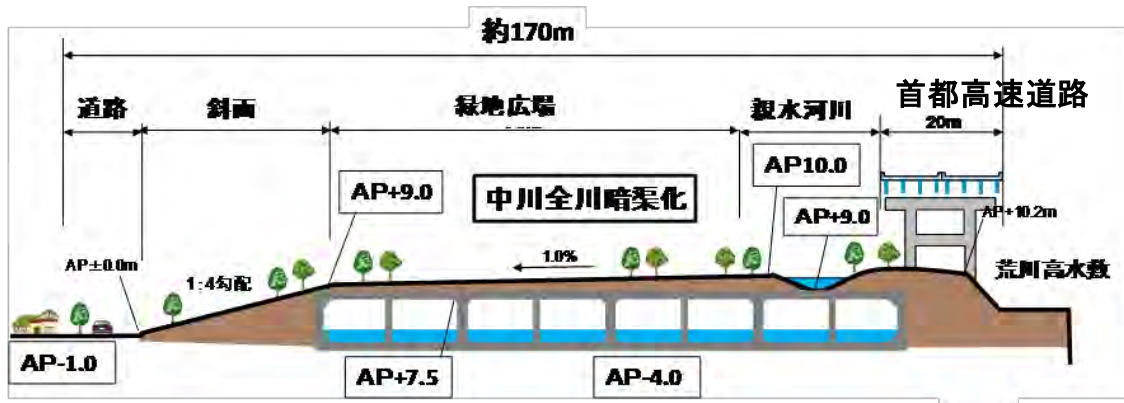


図 4-17 中川全川暗渠化案の拡大図

中川を暗渠化することによって、その上部空間を避難地等として活用する案である。中川と荒川は、背割堤で区分されており、両河川の洪水時水位は、荒川距離標 7.0km付近では、荒川の水位が高いため、中川全川堤防化案の実現のためには、荒川及び中川(上流部)に洪水の遡上等の影響を与えない事、さらに荒川右岸の高水敷には影響を与えない事が条件となる。本案は中川の治水機能を確保するため、中川の計画高水流量に関しては従来通りの背割り堤の機能を維持し、中川全川を暗渠化する案である。暗渠化に当たっては従来通りの計画高水位を確保でき、さらに河口から7.0km区間で排水される排水量 $100 \text{ m}^3/\text{s}$ を加え $800 \text{ m}^3/\text{s}$ の流下能力を可能とする河積断面を計画した。

(第5案) 中川全川暗渠案、図 4-16・4-17

中川を暗渠化することによって、その上部空間を避難地等として活用する案である。

(第6案) 中川半幅堤防拡幅・半幅暗渠案

第4案の中川全川堤防化・排水機場案と第5案の中川暗渠案の複合案として、中川の半幅を上流で荒川に合流させ、合流点下流区間の半幅を堤防拡幅し、残りの半幅を暗渠化し上部を活用する案である。

4.5.3.4 その他の案(第9案)(第10案)

(第9案) 下流部での中川左岸堤防拡幅・荒川合流案

第4案の中川全川堤防化・排水機場案に対し、維持浚渫の必要性を減ずるとともに、横断橋梁対応を少なくす

る観点から、並行開始部である荒川距離標 7.0km ではなく、洪水時の荒川と中川の水位差がなくなる距離標 3.0km で合流させ、下流部での中川左岸堤幅を図る案である。

(第10案)中川左岸堤防拡幅・地下放水路案

中川左岸堤防拡幅に必要な中川の流下断面の減少を地下放水路で対応する。地下放水路の規模は、首都圏外郭放水路規模とし、その流末には 300 m³/s の排水機場を設置する。

中川を全川堤防化する案(第2, 3, 4, 5案), 中川の一部を堤防化する案(第6, 7, 8, 9, 10 案)については、どの案についても中川の高水流量の一部もしくは全てを荒川に流入させることで流域全体の治水に対する洪水への安全を図るものである。これらの案は、第9案を除き、何れも荒川と中川が並行し始める荒川距離標 7.0km 付近において合流させるものとした。

4.5.3.5 ポンプ施設併設に関する検討


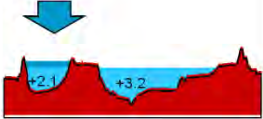


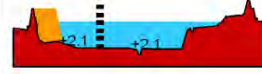
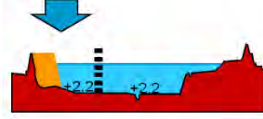
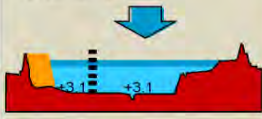
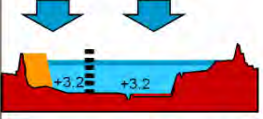




中川の洪水流量(一部または全部)を、並行流下開始地点(距離標 7.0km)で荒川に合流させる場合、「中川上流部に浸水などの悪影響を及ぼさない」ことを前提としなければならない。そのため、荒川と中川の両河川の同時洪水発生時に、中川を荒川へ合流させるための対策が必要であり、荒川洪水時には中川の洪水をポンプによって強制的に排水する能力が必要である。また、ポンプ場を設置する案は、洪水や高潮時における中川からの排水能力が向上するため、高潮時の治水安全性は向上するという効果を併せ持つ。

以上の各項目を整理し、表6表7にそれらの評価をまとめた。表4-6のグレー部分については危険側、表4-7の黄色部分については安全側である。

100 m³/s 以上の計画を持ったポンプ場について、計画ポンプ量、台数、ポンプ諸元等を整理すると表4-8の通りとなる。

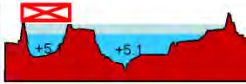

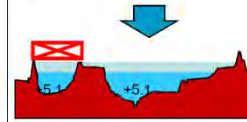
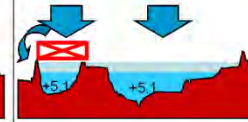

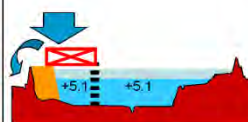
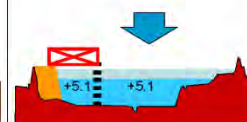
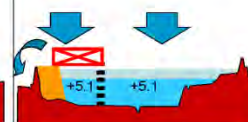


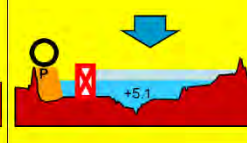
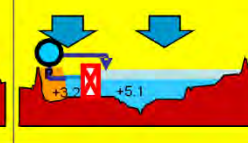
- ア. 1 台当たりの最大規模は 50 m³/s で、ポンプ形式は立軸もしくは立渦となる。
- イ. ポンプ場の規模では、既設の多くのポンプ場が横幅で 100m、縦幅で 70~100m 近くの面積を要している。
主ポンプ以外の設備、場内全体を考慮すると約 1.0ha 以上の用地が必要となる。
- ウ. 何れのポンプ場も長い年月をかけた増設し、計画ポンプ量までの能力を確保している。現行で最大のポンプ規模は 200 m³/s で三郷排水機場、首都圏外郭放水路の庄和排水機場、綾瀬排水機場などがある。
- エ. 放水路に設置されたものが比較的多い。

表 4-6 自然合流案とポンプ案の洪水時の対応評価(その1)

	平常時	中川洪水時	荒川洪水時	両河川洪水時
東京湾高潮	(通常の潮位)	(通常の潮位)	(通常の潮位)	(通常の潮位)
荒川洪水	(AP+3.19 未満)	(AP+3.19 未満)	■ 荒川洪水	■ 荒川洪水
中川洪水	(平常流量)	■ 中川洪水	(平常流量)	■ 中川洪水
現況計画	通常に流下 	通常に流下 	通常に流下 	通常に流下 
①自然合流案	[現況と同じ] 通常に流下 	[現況と同じ] 通常に流下 	[△中川への遡上が起こる] 通常に流下 (平常時でも中川への遡上が AP+3.19 まで起こる) 	[現況と同じ] ○通常に流下 (荒川洪水のバックが AP+3.19 まではかかる) 
②ポンプ案	[現況と同じ] 通常に流下 (ポンプ未稼働) 	[現況と同じ] 通常に流下 (ポンプ未稼働) 	[△ポンプ稼働が必要な場合がある] 水門閉鎖 河道内貯留、AP+3.19 まで達した場合ポンプで排水 	[△ポンプ稼働が必要] 水門閉鎖 ポンプで排水 

※江戸川区「気候変動に適応した治水対策委員会報告」より著者が作成

表 4-7 自然合流案とポンプ案の洪水時の対応評価(その2)

	高潮のみ	高潮+中川洪水	高潮+荒川洪水	高潮+両川洪水
東京湾高潮	■AP+3.19以上	■AP+3.19以上	■AP+3.19以上	■AP+3.19以上
荒川洪水	(AP+3.19未満)	(AP+3.19未満)	■荒川洪水	■荒川洪水
中川洪水	(平常流量)	■中川洪水	(平常流量)	■中川洪水
現況計画	水門閉鎖 河道内貯留、AP+3.19 まで達した場合は氾 濫の恐れ 	水門閉鎖 河道内貯留、氾濫の 恐れ 	水門閉鎖 河道内貯留、AP+3.19 まで達した場合は氾 濫の恐れ 	水門閉鎖 河道内貯留、氾濫の 恐れ 
①自然合流案	[現況と同じ] 水門閉鎖 河道内貯留、AP+3.19 まで達した場合は氾 濫の恐れ 	[現況と同じ] 水門閉鎖 河道内貯留、氾濫の 恐れ 	[現況と同じ] 水門閉鎖 河道内貯留、AP+3.19 まで達した場合は氾 濫の恐れ 	[現況と同じ] 水門閉鎖 河道内貯留、氾濫の 恐れ 
②ポンプ案	[○ポンプで排水可 能] 水門閉鎖 河道内貯留、AP+3.19 まで達した場合ポン プで排水可能 	[○ポンプで排水可 能] 水門閉鎖 ポンプで排水可能 	[○ポンプで排水可 能] 水門閉鎖 河道内貯留、AP+3.19 まで達した場合ポン プで排水可能 	[○ポンプで排水可 能] 水門閉鎖 ポンプで排水可能 

※江戸川区「気候変動に適応した治水対策委員会報告」より著者が作成

今回中川を全川堤防化もしくは一部堤防化した場合に設置するポンプにより荒川に放流することになるが、現行での最大ポンプ規模は200 m³/sであり全川堤防化では最大実績の3.5倍の700 m³/sが必要となる。しかし現在、50 m³/s/1台のポンプが開発されており、技術的には十分可能であると考ええる。

ポンプ対応案は、中川の流量を荒川に合流させるため、合流地点から下流部においては、合流した高水流量が流下できる荒川の断面確保が必要となる。この場合、荒川の洪水時の計画高水位の低下は必要ないため、自然合流案に比較して荒川断面の拡大必要量は大幅に小さくなると考えられる。

本案では工事経費を削減するため、河床掘削は行わず暫定河床高A.P.-4.0mのままとし、中堤の高水敷を25m拡幅し流下河積断面を増強することとした。ポンプ場を設置する本案は、洪水や高潮時における中川からの排水能力が向上するため、高潮時の治水安全性は向上する。

表 4-8 既設の大型排水機場の緒元(100 m³/s 以上を選定した)

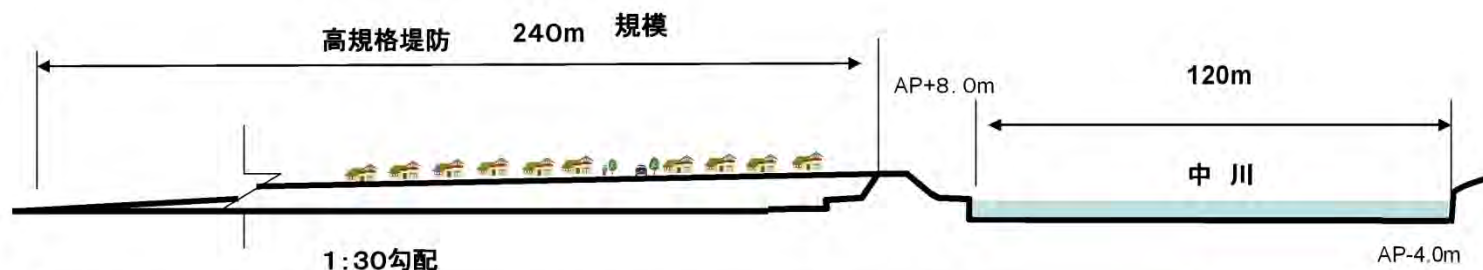
直轄・補助	工事事務所	設置場所	ポンプ名	河川名			ポンプ規模	主ポンプ				
				水系	外水河川	内水河川		形式	口径mm	吐出量m ³ /s	現台数	設置年
直轄・関東	江戸川	埼玉県三郷市	三郷	利根川	江戸川	三郷放水路	200	立渦	4600	50	3	S53・H7
									3000	20	1	S52
									3600	30	1	S53
直轄・関東	江戸川	埼玉県八潮市	八潮	利根川	中川	綾瀬川放水路	150	立軸	3300	25	2	H1・H6
										50	1	H10
直轄・関東	江戸川	埼玉県春日部市	首都圏外郭放水路	利根川	江戸川	中川、倉松川、大落古利根川	200	立渦	4600	50	4	H14・H18
直轄・近畿	淀川	京都府久世郡	久御山	淀川	宇治川	古川	120	立軸	3400	30	3	S48・H4
補助・埼玉県	杉戸土木	埼玉県幸手市	中川上流	利根川	江戸川	幸手放水路	100	立渦	3300	25	2	H10
補助・千葉県	葛南土木	千葉県市川市	真間川	利根川	江戸川	真間川	100	立斜	1800	7.5	2	S52
									2800	17.5	2	S60
補助・大阪府	枚方土木	大阪府寝屋川市	太間	淀川	淀川	寝屋川放水路	135	立渦	2400	15	3	S55・H7
									3400	30	3	H7・H8

※江戸川区「気候変動に適応した治水対策委員会報告」より著者が作成

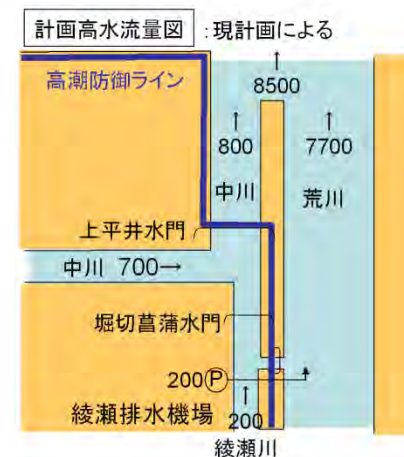
〔第1案〕中川左岸高規格堤防案(現状規定計画)【概算事業費 約6,600億円】



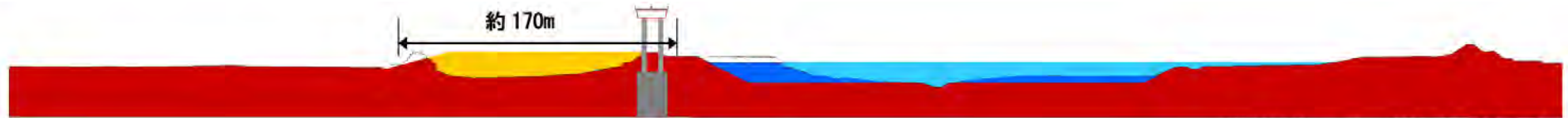
※縦横比 ⇒ 縦1.5 : 横1.0



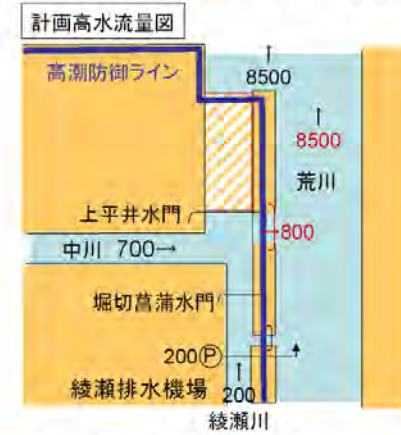
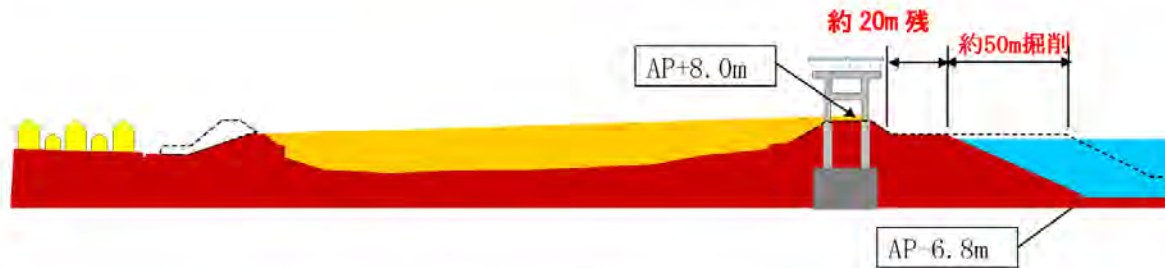
案の概要	既定計画である中川左岸堤防の高規格堤防整備
超過洪水・超過高潮対応	高規格堤防により対応
地震対応	地盤改良等を行った上で高規格堤防整備を行うことで対応
高潮防御ライン	中川左岸堤(高規格堤防)
避難地確保の考え方	堤内地側での防災コアの整備



〔第2案〕中川全川堤防化・荒川河床掘削案その1【概算事業費 約6,200~6,800億円】

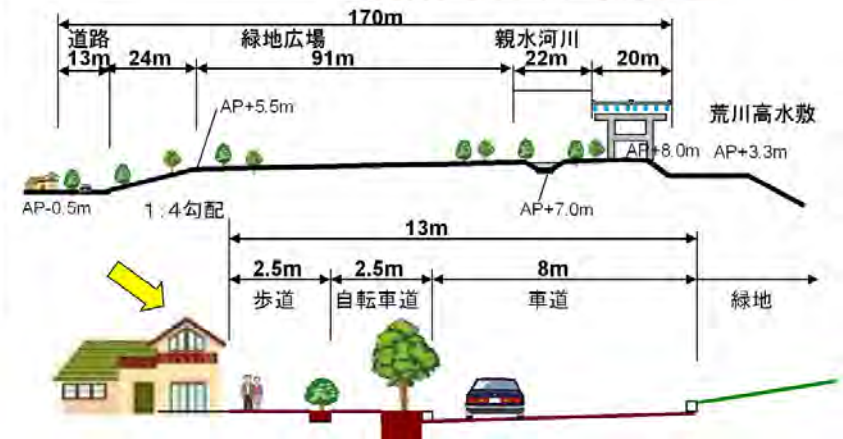


※縦横比 ⇒ 縦1.5 : 横1.0



※荒川洪水時の中川800m/s対応の工夫が必要

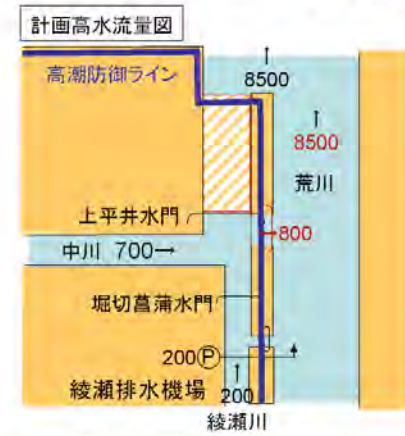
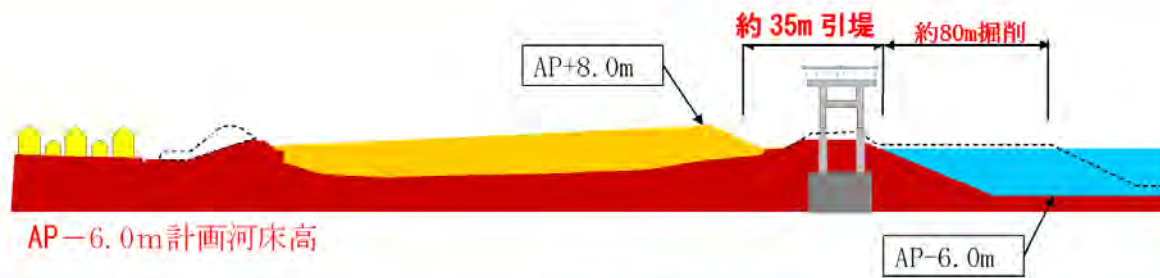
案の概要	中川を上流で荒川に合流させ、合流点下流区間を堤防化、その空間を堤防強化及び避難地等として活用する案（排水機場を設けない）
超過洪水・超過高潮対応	堤防機能の強化により対応
地震対応	地盤改良等を行った上で中川空間を堤防化することで耐震性を確保
高潮防御ライン	背割堤部に変更
避難地確保の考え方	中川を堤防化した空間の活用
案の考え方	中川流下断面は、荒川直接接続により荒川（容量拡大）で確保（排水機場を設けず、荒川河床をAP-6.8mまで掘削することで合流水位を上げないで中川を流入させる）



〔第3案〕 中川全川堤防化・荒川河床掘削案その2 【概算事業費 約 5,600～6,000 億円】

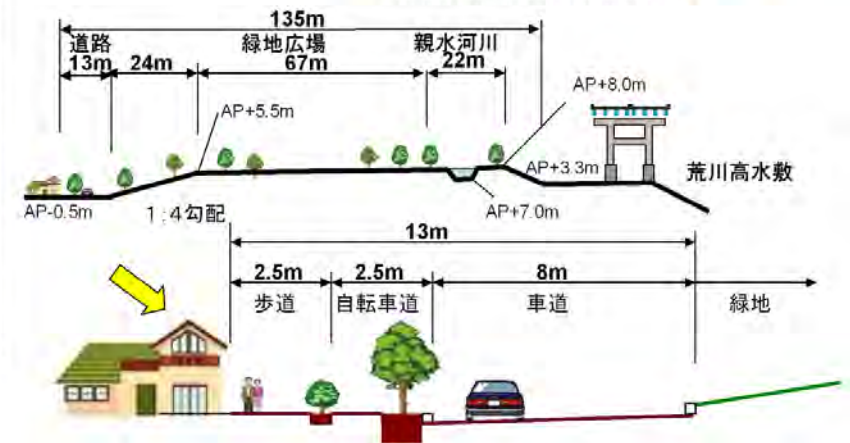


※縦横比 ⇒ 縦 1.5 : 横 1.0



※荒川洪水時の中川800m/s対応の工夫が必要

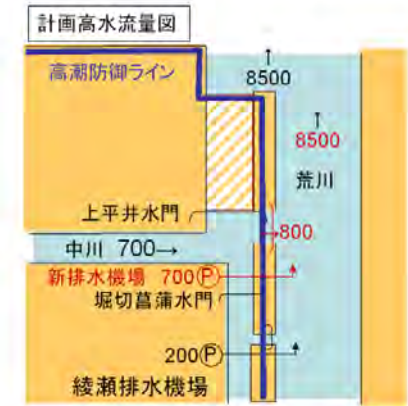
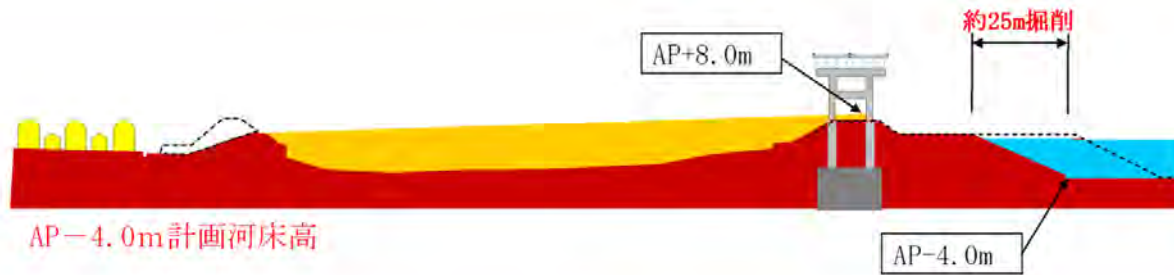
案の概要	中川を上流で荒川に合流させ、合流点下流区間を堤防化、その空間を堤防強化及び避難地等として活用する案（排水機場を設けない）
超過洪水・超過高潮対応	堤防機能の強化により対応
地震対応	地盤改良等を行った上で中川空間を堤防化することで耐震性を確保
高潮防御ライン	背割堤部に変更
避難地確保の考え方	中川を堤防化した空間の活用
案の考え方	中川流下断面は、荒川直接接続により荒川（容量拡大）で確保（排水機場を設けず、荒川河床をAP-6.0mまで掘削し、背割堤部まで切り欠くことで合流水位を上げないで中川を流入させる）



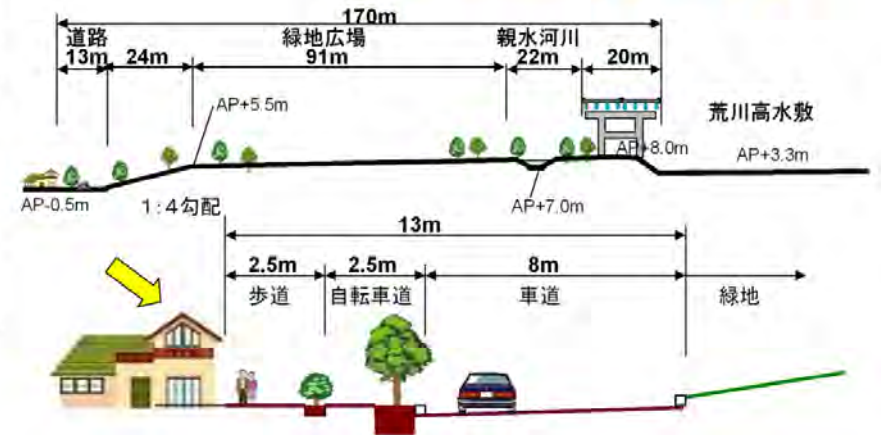
〔第4案〕中川全川堤防化・排水機場案【概算事業費 約3,800~4,200億円】



※縦横比 ⇒ 縦1.5 : 横1.0



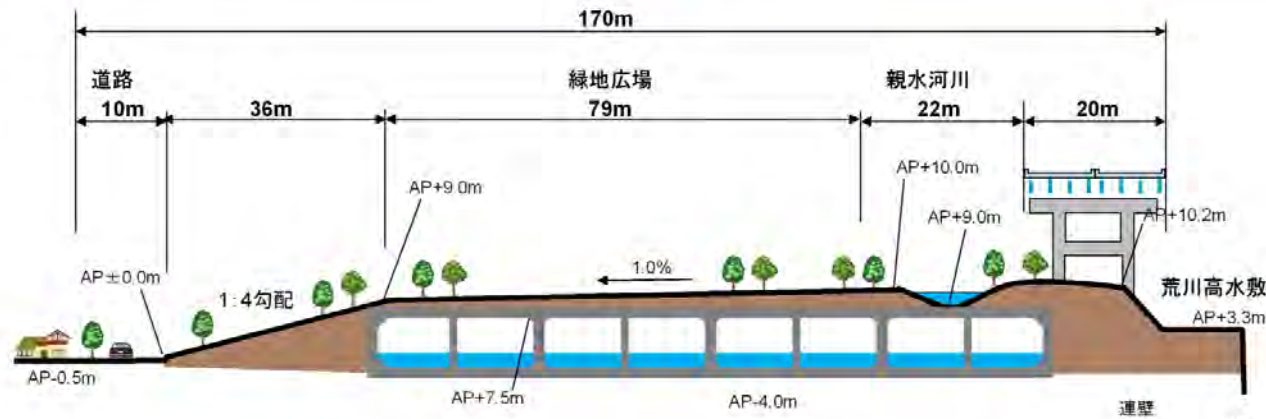
案の概要	中川を上流で荒川に合流させ、合流点下流区間を堤防化、その空間を堤防強化及び避難地等として活用する案（排水機場を設ける）
超過洪水・超過高潮対応	堤防機能の強化により対応
地震対応	地盤改良等を行った上で中川空間を堤防化することで耐震性を確保
高潮防御ライン	背割堤部に変更
避難地確保の考え方	中川を堤防化した空間の活用
案の考え方	中川流下断面は、荒川直接接続により荒川（容量拡大）で確保（対応する700 m ³ /s 排水機場を整備）



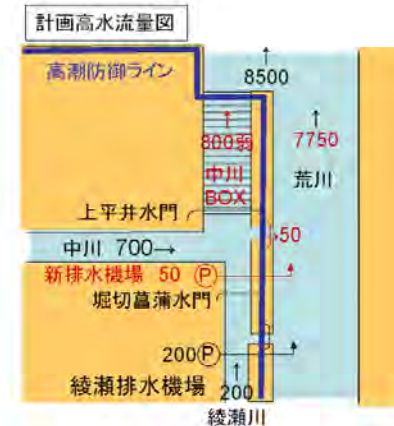
〔第5案〕中川暗渠案【概算事業費 約3,000億円】



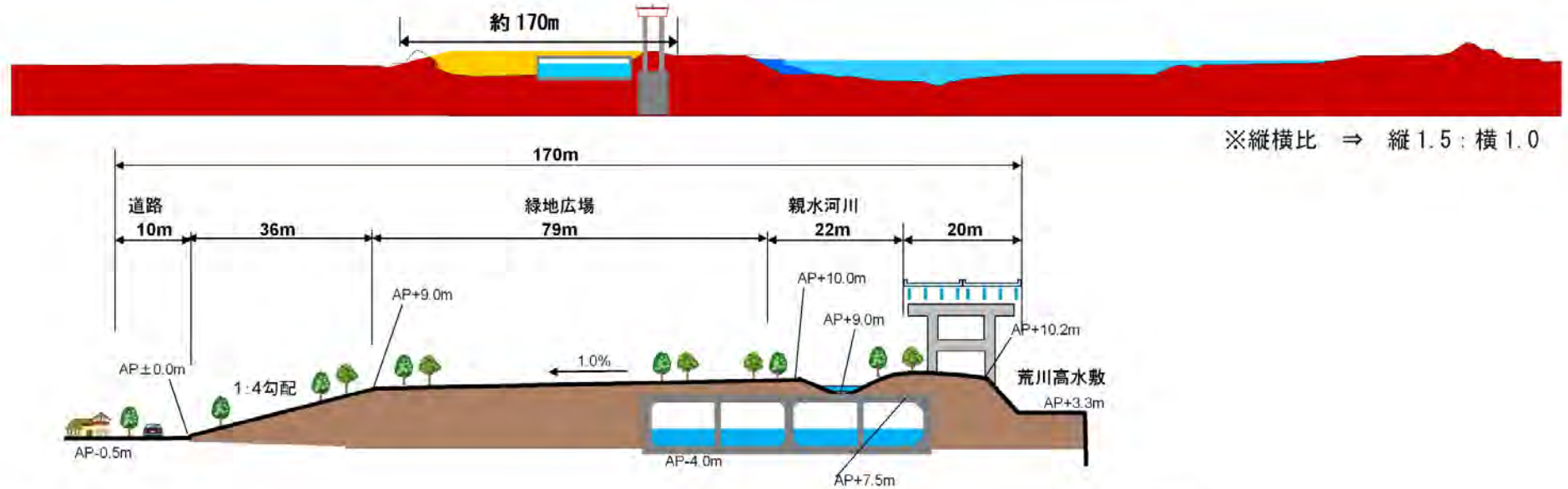
※縦横比 ⇒ 縦1.5：横1.0



案の概要	中川を暗渠化し、その上部空間を避難地等として活用する案
超過洪水・超過高潮対応	超過洪水・高潮に耐えられる暗渠構造で対応
地震対応	直下型地震に耐えられる暗渠構造で対応
高潮防御ライン	背割堤部に変更
避難地確保の考え方	暗渠の上部空間の活用
案の考え方	暗渠化による中川流下断面の減少は、荒川直接接続により荒川（容量拡大）で確保（対応する容量の排水機場を整備）

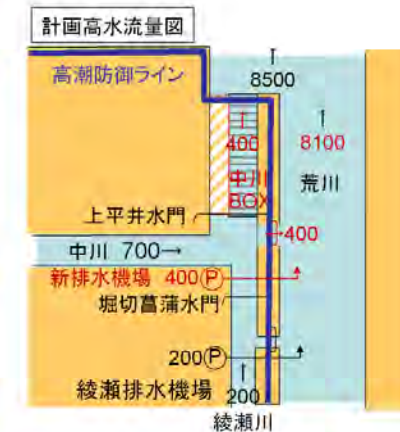


〔第6案〕中川半幅堤防拡幅・半幅暗渠案【概算事業費 約4,300~4,700億円】

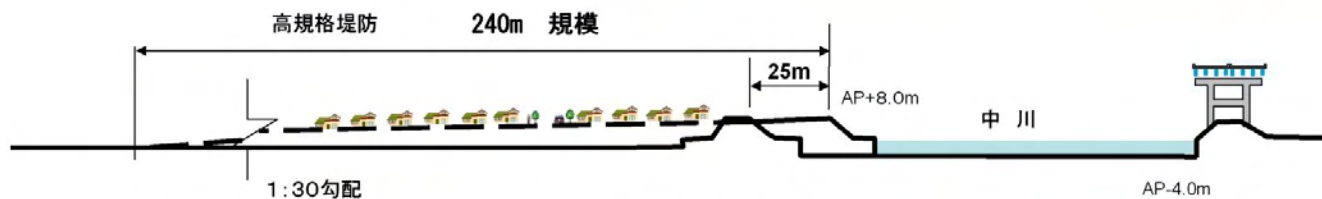
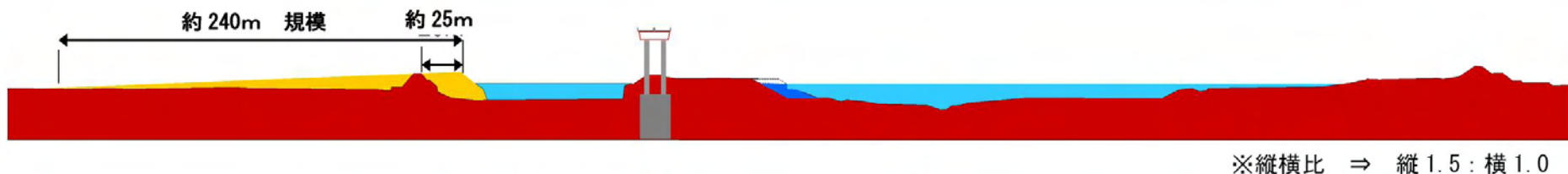


※縦横比 ⇒ 縦1.5：横1.0

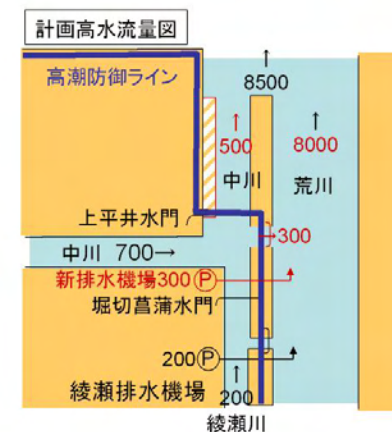
案の概要	中川の半幅を上流で荒川に合流させ、合流点下流区間の半幅を堤防拡幅し活用。残りの中川半幅を暗渠化し上部を活用する案（排水機場を設ける）
超過洪水・超過高潮対応	超過洪水・高潮に耐えられる暗渠構造で対応
地震対応	直下型地震に耐えられる暗渠構造で対応
高潮防御ライン	背割堤部に変更
避難地確保の考え方	堤防拡幅した空間及び暗渠の上部空間の活用
案の考え方	中川流下断面の減少は、荒川直接接続により荒川（容量拡大）で確保（対応する400 m ³ /s程度の排水機場を整備）



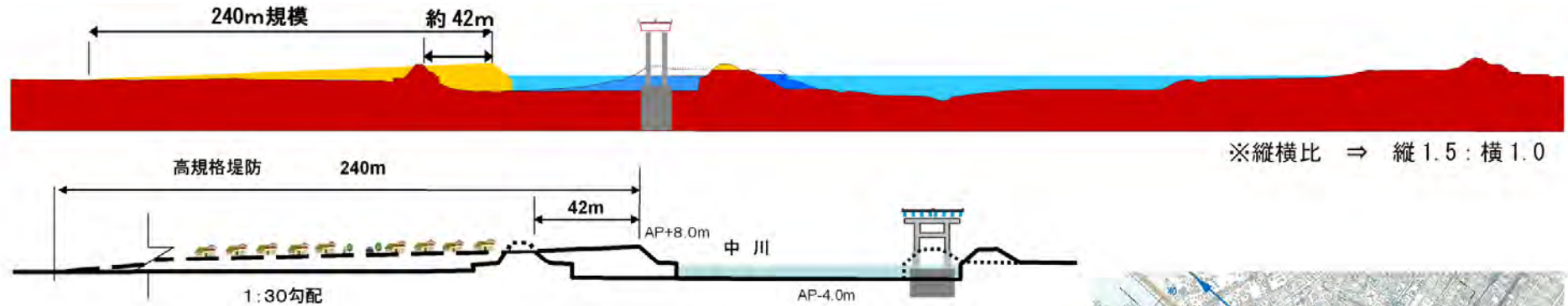
〔第7案〕 中川左岸堤防拡幅・排水機場案【概算事業費 約2,400億円】



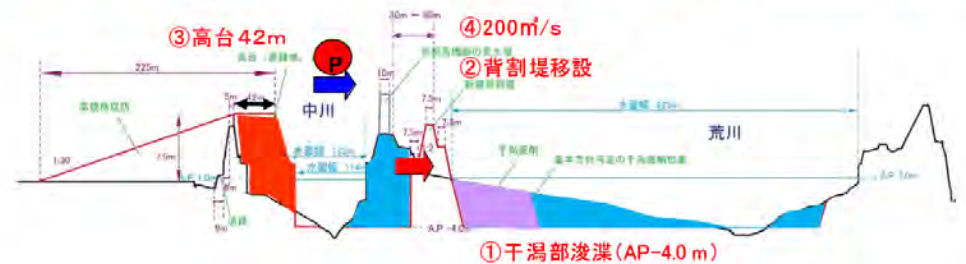
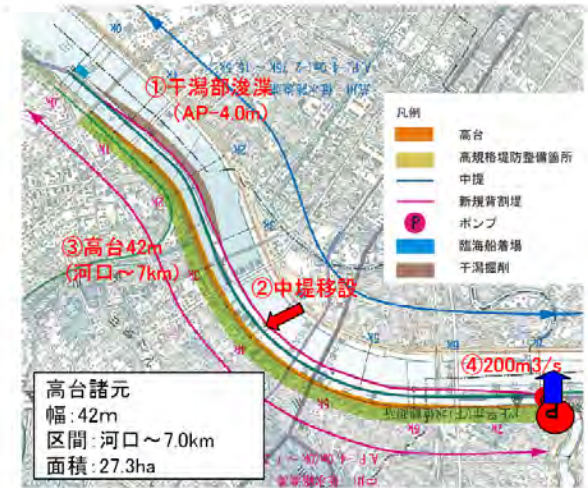
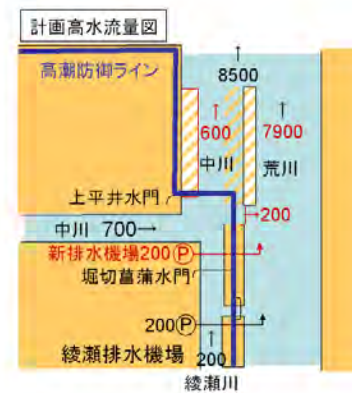
案の概要	当面の機能発揮上必要な範囲で堤防を拡幅し、将来中川左岸堤防の高規格堤防整備を計画する案（排水機場を設ける）
超過洪水・超過高潮対応	高規格堤防により対応（中川の一部堤防拡幅により当面の堤防強化を実施）
地震対応	堤防拡幅時に当面の耐震性を確保 さらに、地盤改良等を行った上で高規格堤防整備を行うことで対応
高潮防御ライン	中川左岸堤（高規格堤防）
避難地確保の考え方	堤防拡幅した空間及び堤内地側での防災コアの整備（避難地間連絡を堤防拡幅で確保）
案の考え方	中川流下断面の減少は、荒川直接接続により荒川（容量拡大）で確保（対応する300 m ³ /sの排水機場を整備）



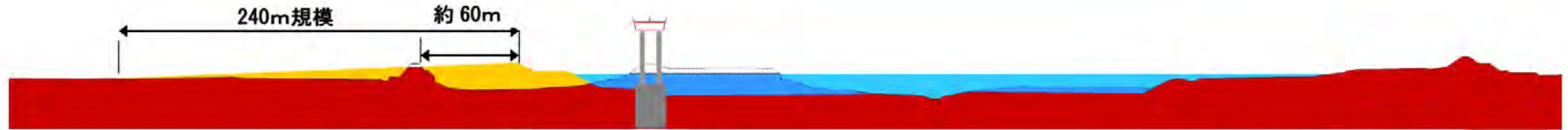
[第8案] 中川左岸堤防拡幅・背割堤移設・排水機場案【概算事業費 約6,500億円】



案の概要	当面の機能発揮上必要な範囲で堤防を拡幅し、将来中川左岸堤防の高規格堤防整備を計画する案（排水機場を設ける）
超過洪水・超過高潮対応	高規格堤防により対応（中川の一部堤防拡幅により当面の堤防強化を実施）
地震対応	堤防拡幅時に当面の耐震性を確保 さらに、地盤改良等を行った上で高規格堤防整備を行うことで対応
高潮防御ライン	中川左岸堤（高規格堤防）
避難地確保の考え方	堤防拡幅した空間
案の考え方	（第3-1案）中川左岸堤防拡幅・排水機場案の排水機場に加え、背割堤を荒川側に移設することで、中川左岸堤の拡幅量を大きくする。なお、この案では排水機場の実現性重視の点から、現行の最大規模の200 m ³ /sの排水機場とした。

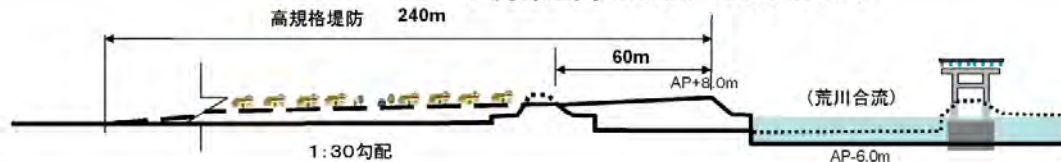


[第9案] 下流部での中川左岸堤防拡幅・荒川合流案【概算事業費 約5,500億円】

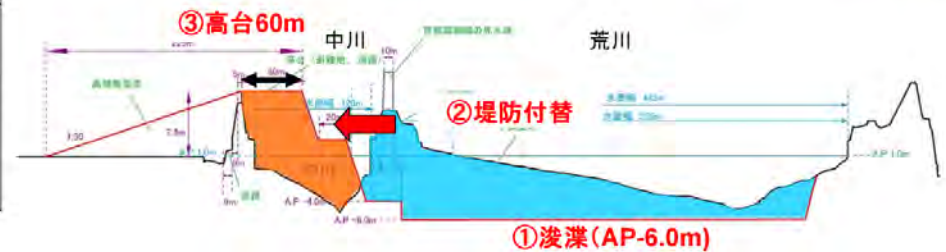
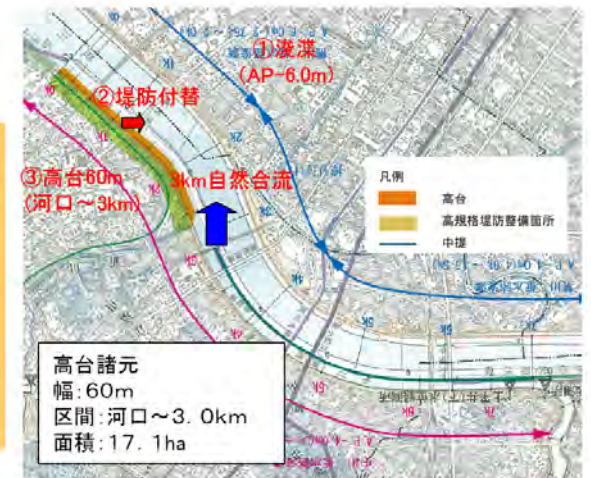
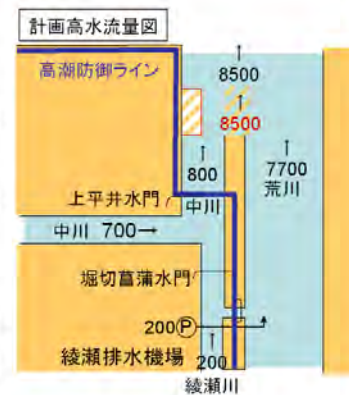


下流部区間(0.0km~3.0km)のみ

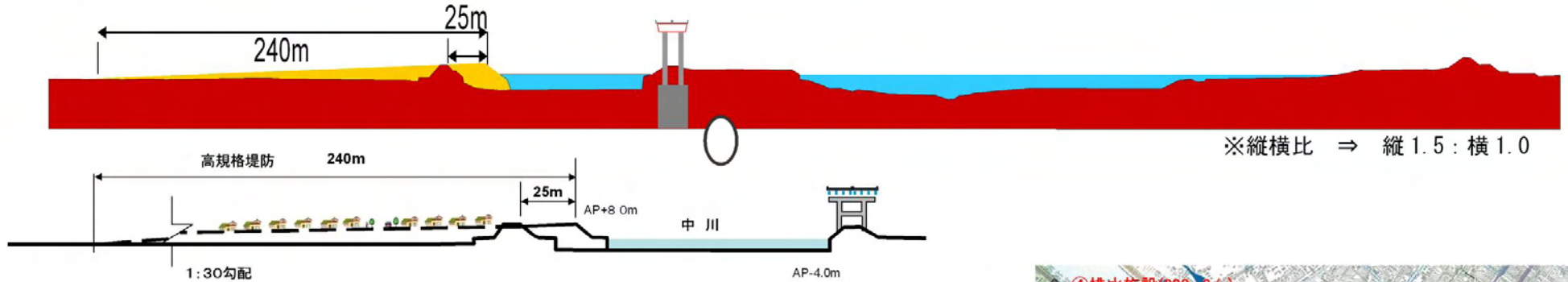
※縦横比 ⇒ 縦1.5 : 横1.0



案の概要	下流0~3kmについて当面の機能発揮上必要な範囲で堤防を拡幅。下流の不足分及び上流は、将来中川左岸堤防の高規格堤防整備を計画する案
超過洪水・超過高潮対応	高規格堤防により対応（下流は中川の一部堤防拡幅により当面の堤防強化を実施）
地震対応	下流堤防拡幅時に当面の耐震性を確保 さらに、地盤改良等を行った上で高規格堤防整備を行うことで対応
高潮防御ライン	中川左岸堤（高規格堤防）
避難地確保の考え方	堤防拡幅した空間及び堤内地側での防災コアの整備（避難地間連絡を堤防拡幅で確保）
案の考え方	中川全川堤防化・荒川河床掘削案その2（第2-2案）に対し、維持浚渫、横断橋梁対応を少なくする観点から、並行開始部である荒川距離標7.0kmではなく、排水機場等の施設にたよらず自然合流が行える荒川距離標3.0kmで合流させ、下流部での中川左岸堤防拡幅を図る案

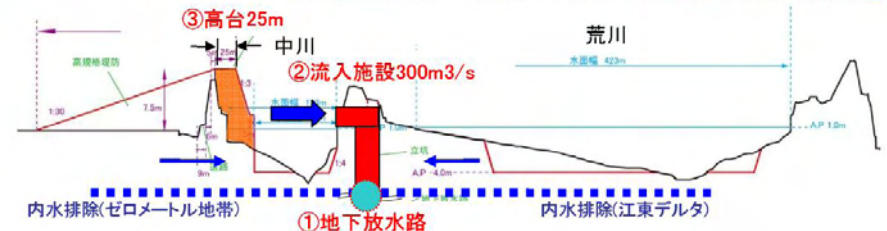
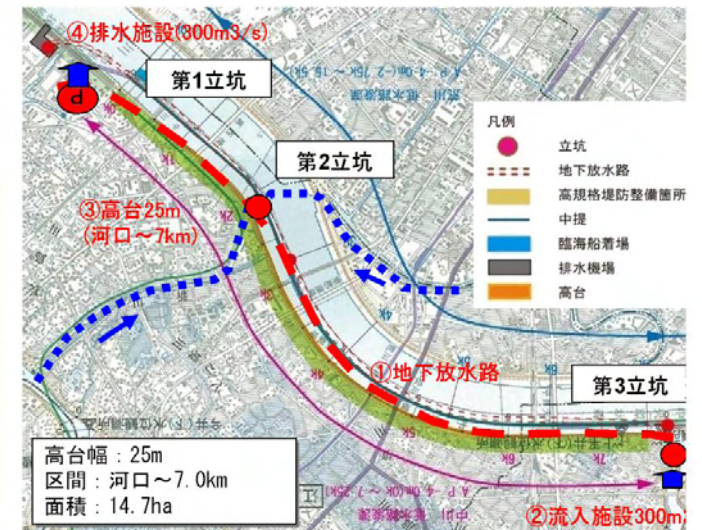
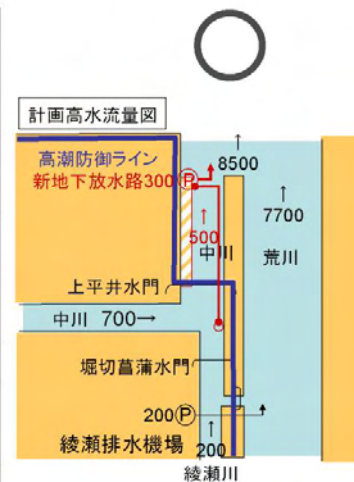


[第10案] 中川左岸堤防部分拡幅・地下放水路案【概算事業費 約3,400億円】



※縦横比 ⇒ 縦 1.5 : 横 1.0

案の概要	当面の機能発揮上必要な範囲で堤防を拡幅し、将来中川左岸堤防の高規格堤防整備を計画する案
超過洪水・超過高潮対応	高規格堤防により対応（中川の一部堤防拡幅により当面の堤防強化を実施）
地震対応	堤防拡幅時に当面の耐震性を確保 さらに、地盤改良等を行った上で高規格堤防整備を行うことで対応
高潮防御ライン	中川左岸堤（高規格堤防）
避難地確保の考え方	堤防拡幅した空間及び堤内地側での防災コアの整備（避難地間連絡を堤防拡幅で確保）
案の考え方	中川流下断面の減少を、地下放水路で対応。地下放水路の規模は、首都圏外郭放水路規模とし、その流末には 300 m ³ /s の排水施設の必要性を検討。流入施設の設置により内水氾濫対策にも寄与する。



4.5.4 荒川・中川の流路一体化についての考察

4.5.4.1 概算事業費の比較

ここまで規定計画案を含め 10 案について比較検討してきた。いずれの案も実施可能である。各案における大きな違いは、洪水時に中川の洪水をポンプ施設で合流させるか自然合流させるか否かである。ポンプ所の設置についても既に綾瀬川には洪水流量に全量対応するポンプ所が設置されており、外郭放水路や環7地下調整池も完成している。これらから、ポンプの維持管理と荒川の自然流下断面の維持管理に対する評価が決定要素となる。

表 4-9 は概算事業費の比較である。既定現計画の高規格堤防案の約 6,600 億円に比較して何れの案も同等か低い事業費用で済むと見込まれる。これは現計画の高規格堤防案が堤内地側の民地を対象とするために、大きな移転補償費を必要とするためである。また、住民との話し合いにも時間を要するものとする。実施に当たって中川全川堤防化案では、荒川の河床掘削土砂を盛土材料として活用することができ、さらに荒川の河床掘削費用を大幅に減少させることができると考えられる。同時に荒川の洪水対応能力も向上することが期待できる。

中川防災ベルト構想は何れの案も荒川・中川が平行流下河川である特殊性に着目した、堤内地に工事規模を広げることなく工事期間を短縮でき、経済性の高い避難高台地が建設できる構想である。7、9、10 案は暫定的な堤防補強はできるが、表8に示されるように避難高台として形成される面積が不足し、いずれも洪水時における避難者が荒川を西側へ渡河して避難しなければならない。この人数をゼロにすることは出来ない。費用も時間もメリットがないと考える。

表 4-9 事業費比較表

案	形 式	事 業 費
第 1 案	・規定計画、中川左岸を高企画堤防(156ha)。堤内地側を 30H 勾配に合わせまちづくりを行う。	約 6,600 億円
中川左岸(堤内地側)高規格堤防		高規格堤防工事(156ha) 約 940 億円 移転補償費 約 5,630 億円
第 2 案	・荒河床掘削 A.P.-6.80m (1500 万 ³ m)	約 6,200~6,800 億円
中川全川堤防化(河床 AP-6.80m)	・計画河床よりも深くなるため、現橋梁(13 橋)は全て架け替える。	荒川河床掘削 約 3,480 億円 近接構造物対策 約 2,000~2,600 億円 盛土堤防強化工事 約 730 億円
第 3 案	・荒河床掘削 A.P.-6.00m (1450 万 ³ m)	約 5,600~6,000 億円
中川全川堤防化(河床 AP-6.80m)	・高水敷を開削するため高水敷に橋脚のある橋梁(7 橋)の対策が必要。	荒川河床掘削 約 3,360 億円 近接構造物対策 約 1,480~1,900 億円 中堤移設 約 50 億円 盛土堤防強化工事 約 700 億円

第4案	・700 m ³ /s 排水機場	約 3,800~4,200 億円
中川全川堤防化・700 m ³ 排水機場	・高水敷を開削するため高水敷に橋脚のある橋梁(7橋)の対策が必要。	荒川河床掘削 約 510 億円 排水機場建設費 約 1,050 億円 近接構造物対策 約 1,480~1,900 億円 盛土堤防強化工事 約 730 億円
第5案	・中川全川暗渠化	約 3,000 億円
中川全川暗渠化		暗渠化工事 約 3,000 億円
第6案	・荒河床掘削 A.P.-4.00m (130 万 m ³)	約 4,300~4,700 億円
中川半幅堤防化・半幅暗渠化・400 m ³ 排水機場	・400 m ³ /s 排水機場 ・高水敷を開削するため高水敷に橋脚のある橋梁(7橋)の対策が必要。	荒川河床掘削 約 300 億円 排水機場建設費 約 600 億円 近接構造物対策 約 1,480~1,900 億円 暗渠化工事 約 1,500 億円 盛土堤防強化工事 約 400 億円
第7案	・荒河床掘削 A.P.-4.00m (130 万 m ³)	約 2,400 億円
中川 25m堤防化・300 m ³ 排水機場	・300 m ³ /s 排水機場 ・高水敷を開削するため高水敷に橋脚のある橋梁(6橋)の対策が必要。	荒川河床掘削 約 300 億円 排水機場建設費 約 450 億円 近接構造物対策 約 1,050 億円 盛土堤防強化工事 約 600 億円
第8案	・荒河床掘削 A.P.-4.00m (1,000 万 m ³)	約 6,500 億円
中川 42m堤防化・200 m ³ 排水機場	・300 m ³ /s 排水機場 ・中堤を移設するため橋梁(8橋)に加え東電鉄塔3基の対策が必要。	荒川河床掘削 約 2,300 億円 排水機場建設費 約 300 億円 中堤移設 約 850 億円 近接構造物対策 約 2,440 億円 盛土堤防強化工事 約 610 億円
第9案	・荒河床掘削 A.P.-6.00m (1,600 万 m ³)	約 5,500 億円
中川下流部(3.0km)堤防化	・中堤移設(幅60m、延長3km) ・中堤を移設するため橋梁(2橋)の対策が必要。	荒川河床掘削 約 3,680 億円 中堤移設 約 340 億円 近接構造物対策 約 1,480 億円
第10案	・中川 25m堤防化	約 3,400 億円
中川 25m堤防化・地下放水路(300 m ³ /s)	・地下放水路(300 m ³ /s) 約 9.5km	地下放水路 約 2,790 億円 盛土堤防強化工事 約 600 億円

※江戸川区「気候変動に適応した治水対策委員会報告」より著者が作成

4.5.4.2 避難高台地の効果

0メートル地帯における洪水時に避難できる高台の存在は、命の問題として捉えなければならない。江戸川区の中川(荒川)と新中川の挟まれた区域では洪水時避難場所として大島小松川公園が指定されているが、避難にあたっては洪水が起こっている荒川を渡可して避難しなければならない計画である。そこで高規格堤防の天端や整備された平面部分に避難することが出来れば大きな効果を生むことになる。表 に整理したように第2案、第3案、第4案、第5案、第6案、第8案については渡可避難が解消される。この場合避難者一人当たりの必要面積は、江戸川区のハザードマップと同じ一時避難場所として1㎡とした。第7案、第9案、第10案についても渡可避難が完全に解消されるわけではないが、必要面積21.2haの内17.5～18.0haが確保できることから、中川の河川区域を活用した整備は非常に効果が高い事業である。

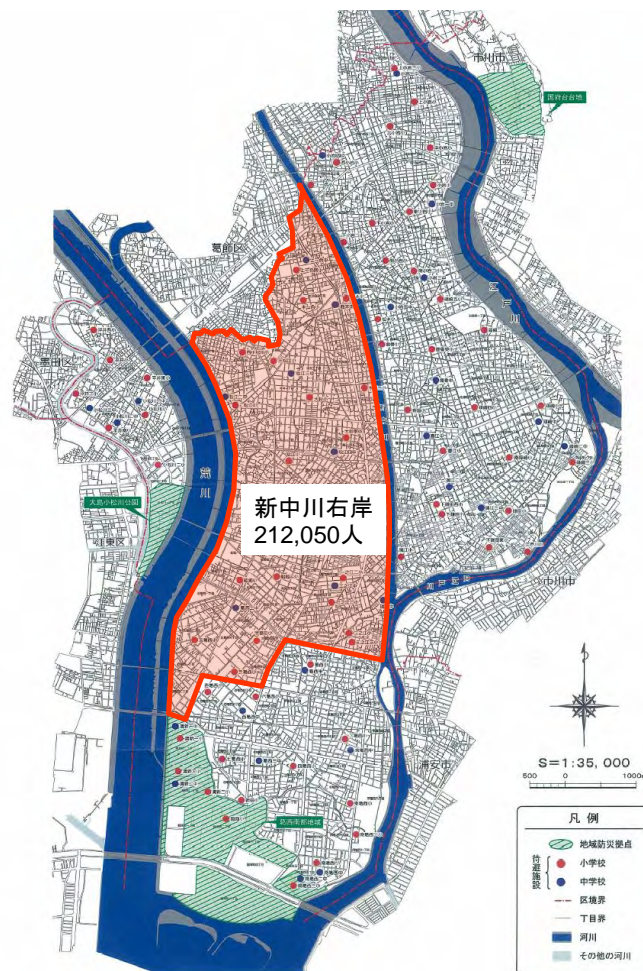


図 4-18 荒川を渡河避難しなくて済むようになる居住者人口

表4-10 避難高台としての効果比較表

	第1案	第2案	第3案	第4案	第5案	第6案	第7案	第8案	第9案	第10案
<p>☆中川左岸での高台避難地確保が必要と考えられるため、</p> <p>☆確保できる規模、</p> <p>☆超過高潮に対応した避難地となりうる高さ、</p> <p>☆確保される避難地が孤立しないか、</p> <p>☆輸送可能性等の観点での評価</p>	<p>○堤内側で防災コアの整備を行うことで避難地を確保する</p> <p>○高規格堤防整備に伴うまちづくりで公共用地を確保することで避難地の一部は確保可能</p> <p>■建設期間中の暫定時での避難地間の連絡は狭い天端に限定される</p> <p>△最終的には渡河避難者は解消できるが建設期間中は避難面積が足りない</p>	<p>◎荒川以東の江戸川区の避難地として十分な面積が確保でき、輸送確保等の観点での避難地間連絡も図れる</p> <p>◎一部範囲を計画堤防高より高く盛ることで、超過高潮にも対応できる避難地とすることも可能</p> <p>◎渡河避難者は解消できる</p>	<p>◎荒川以東の江戸川区の避難地として十分な面積が確保でき、輸送確保等の観点での避難地間連絡も図れる</p> <p>◎一部範囲を計画堤防高より高く盛ることで、超過高潮にも対応できる避難地とすることも可能</p> <p>◎渡河避難者は解消できる</p>	<p>◎荒川以東の江戸川区の避難地として十分な面積が確保でき、輸送確保等の観点での避難地間連絡も図れる</p> <p>◎一部範囲を計画堤防高より高く盛ることで、超過高潮にも対応できる避難地とすることも可能</p> <p>◎渡河避難者は解消できる</p>	<p>◎荒川以東の江戸川区の避難地として十分な面積が確保でき、輸送確保等の観点での避難地間連絡も図れる</p> <p>◎一部範囲を計画堤防高より高く盛ることで、超過高潮にも対応できる避難地とすることも可能</p> <p>◎渡河避難者は解消できる</p>	<p>◎荒川以東の江戸川区の避難地として十分な面積が確保でき、輸送確保等の観点での避難地間連絡も図れる</p> <p>◎一部範囲を計画堤防高より高く盛ることで、超過高潮にも対応できる避難地とすることも可能</p> <p>◎渡河避難者は解消できる</p>	<p>○7km～河口部において大島小松川公園避難地を補完する避難地確保ができる</p> <p>■中川～新中川間の最短距離避難に対応できない規模のため、避難者の移動が必要であり、避難地間の連絡による輸送効果は期待できない</p> <p>■最終的に荒川西側への渡河避難者は解消されない</p>	<p>◎新中川以西の避難者を受け入れに必要な避難地を確保ができる</p> <p>○避難後の避難地間の移動・輸送効果も期待できる</p> <p>◎渡河避難者は解消できる</p>	<p>○3km～河口部において約18haの避難地確保ができる</p> <p>□避難地(＋避難路)確保効果は下流部に限定される</p> <p>■避難地間の移動・輸送効果は期待できない</p> <p>■最終的に荒川西側への渡河避難者は解消されない</p>	<p>○7km～河口部において大島小松川公園避難地を補完する避難地確保ができる</p> <p>■中川～新中川間の最短距離避難に対応できない規模のため、避難者の移動が必要であり、避難地間の連絡による輸送効果は期待できない</p> <p>■最終的に荒川西側への渡河避難者は解消されない</p>
避難場所	高規格堤防整備で平坦化する中川の裏法部	堤防となる中川部分	堤防となる中川部分	堤防となる中川部分	暗渠となる中川部分の上部	①暗渠となる中川部分の上部 ②堤防となる中川部分	堤防強化に活用する中川部分	堤防強化に活用する中川部分	堤防強化に活用する中川部分	堤防強化に活用する中川部分
幅	5m	110m	90m	110m	100m	①50m ②50m	25m	42m	60m	25m
区間	6500m	7000m	7000m	7000m	7000m	7000m	7000m	7000m	3000m	7000m
避難面積	3.25ha	77.0ha	63.0ha	77.0ha	70.0ha	①35.0ha ②35.0ha	17.5ha	29.4ha	18.0ha	17.5ha

4.6 第4章のまとめ

著者はこれらの比較検討から以下のように考察する。ポンプ方式は燃料や電気供給、ポンプそのものの故障の発生など機械的リスクがある。将来的には日常的な維持管理だけではなくポンプ施設を含め排水機場の更新も必要となる。

暗渠化案はコンクリート構造物で堤体を構築するため耐用年数に限りがあり、その都度更新が必要となり、維持管理にあたっては老朽化の問題を抱えることとなる。

自然合流案は荒川の河床掘削が前提であるが、計画河床までの掘削で足りることが検証された。橋梁などの横断構造物も占用条件として、計画河床までの掘削を前提としている。以上の点で自然合流案が最適だと考える。

上平井水門から下流部の中川は、荒川放水路が開削されたときに流路を付け替えられた、人工の放水路である。すなわち治水を目指して設計された以上、放水路が完成した時点では安全性が具備されていた。時代の経過により計画高水流量の変更や、地盤沈下の発生、地球温暖化による海面上昇など、いかなる変化があっても安全であることが求められている。この点で自然公物とは異なり、人工公物は建設された時から完全に安全であり続けることが求められているといえる。

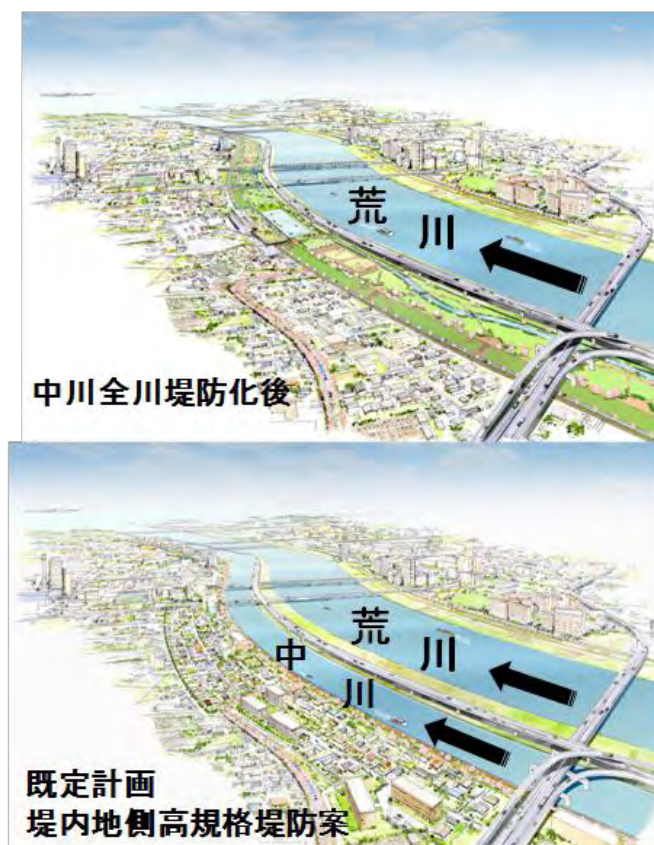


図 4-19 中川防災ベルト構想完成イメージ(上段は①②③何れの場合でも中川の河川域を活用し堤防強化を図ったイメージ。下段は既定計画の堤内地側を高規格堤防化したイメージ。)

図 4-19 は検討した3案と既定計画との比較完成イメージ図である。上段の図が防災ベルト完成後である。江戸川区のハザードマップで示されているような、洪水の発生している荒川や中川を渡河して避難しなくてすむ、逃げられる高台地の存在は安全なまちづくりの基本である。



図 4-20 中川防災ベルト構想完成イメージ(河口から3km付近上段は現況写真)

防災ベルト構想は超過洪水でも壊れることのない堤防として、平時に当たっては緑豊かな河川空間として親水河川、ビオトープ、レクリエーションなどのスペースを提供できると考える。

第4章参考文献

- 1) 別所光一, 丸山典雄(1978):江戸川区の歴史, 東京ふる里文庫 10.
- 2) IPCC Fourth Assessment Report Climate Change (AR4)(2007).
- 3) 環境省(2007)気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第4次報告書(環境省仮訳).
- 4) 社会資本整備審議会(2008):気候変動に適応した治水対策検討小委員会報告, p17-19.
- 5) 江戸川区(2008):江戸川区ハザードマップ策定委員会報告.
- 6) 東京史稿(1987), 泰成堂書店.
- 7) 江戸川区(1976):江戸川区史第三巻.
- 8) 江戸川区(2001):江戸川区政 50 年史.
- 9) 建設省関東地方建設局(1987):利根川 100 年史.
- 10) 国土交通省, 荒川下流工事事務所(1990):荒川 75 年史.
- 11) 宮村忠(2010):改訂水害(治水と水防の知恵), 関東学院大学出版会.
- 12) 江戸川区(2009):江戸川区高層建築物調査報告書.
- 13) 田原・多田・森・阪上・西岡・土屋(2009):関東流域圏の水循環モデル, 日本地下水学会秋季講演会講演要旨,p36—41.
- 14) 多田・山下・佐藤・森・登坂・土屋(2010):関東流域圏の水循環モデル, 秋季地下水学会,p268-273.
- 15) 江戸川区(2010):江戸川区における気候変動に適応した治水対策.
- 16) 江戸川区(2010a):豪雨・高潮時における水災害シミュレーション解析委託, 江戸川区業務報告書.
- 17) 江戸川区(2010b):豪雨・高潮時における水災害シミュレーションパターン解析委託, 江戸川区業務報告書.
- 18) 内閣府(2010):大規模水害に関する専門調査会報告.
- 19) 江戸川区(2010)「気候変動に適応した治水対策検討委員会」報告.
- 20) 気象庁(2011):台風12号による気象速報(9月7日).

第5章 結論

5.1 今後の治水対策のあり方

『どのような災害から、国民の生命を、どのように守るのか』そして、そのコストはどこまで受容できるのか。このことを明らかにしなければ、どのような良い施策であっても国民の支持を得て進めることは出来ない。

2005年に発生したアメリカのハリケーンカトリーナの被害は、死者・行方不明者2500人、物的被害額1、250億ドルであったが、事前に対策を講ずることが提言されていた堤防補強費は20億ドルであった。さらに2010年時点でも事後対策としての復興費用に既に900億ドルが注ぎ込まれており、今後必要となる復興費が巨額になっていくことが予想されている。事前対策を実施できなかったことがその後の経済的被害を大きくしたと言える。

2010年内閣府中央防災会議専門調査会報告「大規模水害対策(首都圏水没)」では、利根川水系に昭和22年キャサリン台風が再来したとすると、氾濫面積はキャサリン台風を上回る530km²、浸水域内人口230万人、2600人の死者と34兆円もの氾濫被害が発生すると予測している。前例としてハリケーンカトリーナの被害をきちんと検証すれば、おのずと事前対策として行う事業経費の水準も国民合意が出来るものと考えらる。

荒川流域には約1,000万人の人々が暮らし、そのうちゼロメートル地帯の洪水危険地帯居住人口は140万人、域内物的資産額は約100兆円(日本のGNPの約20%)と見積もられているが、洪水時における氾濫面積は944km²、氾濫被害は54兆円と予測されている。(荒川上流河川事務所)

さらに、地球温暖化が誘因する超過外力は確実に増大しており、台風の大型化、洪水、渇水、土砂流出、高潮等の外力が増大している。発生する大洪水は、国家に壊滅的な打撃を与えることになる。首都機能を有する東京や名古屋、大阪のゼロメートル地帯の都市機能喪失を回避するため、地球温暖化が誘因となり想定される超過外力に対応可能な適応策を遅滞なく講じるべきである。もはや諸外国では温暖化を前提とした治水計画を策定しているのである。

5.2 河川水災害のリスク評価とコスト評価

河川洪水にどれだけの費用をかけ事前対策としての治水事業を行うか、今、国民の誰もが納得出来る評価方法が求められている。リスクは発生確率と被害の甚大さの積で表される。

リスク＝発生確率×被害の甚大さ

事業評価として行う費用便益分析は、リスクを保有領域まで低減する対策事業費をコストとして、災害リスク評価を行い、死者数と被害額を便益と考える。

$B/C = (\text{人的被害} + \text{物損被害額}) / \text{リスク低減対策費用}$

また、大規模災害が頻発していることを踏まえ、甚大な被害を未然に防ぐために災害リスク評価を行い、リスクを低減させる対策を行うべきである。

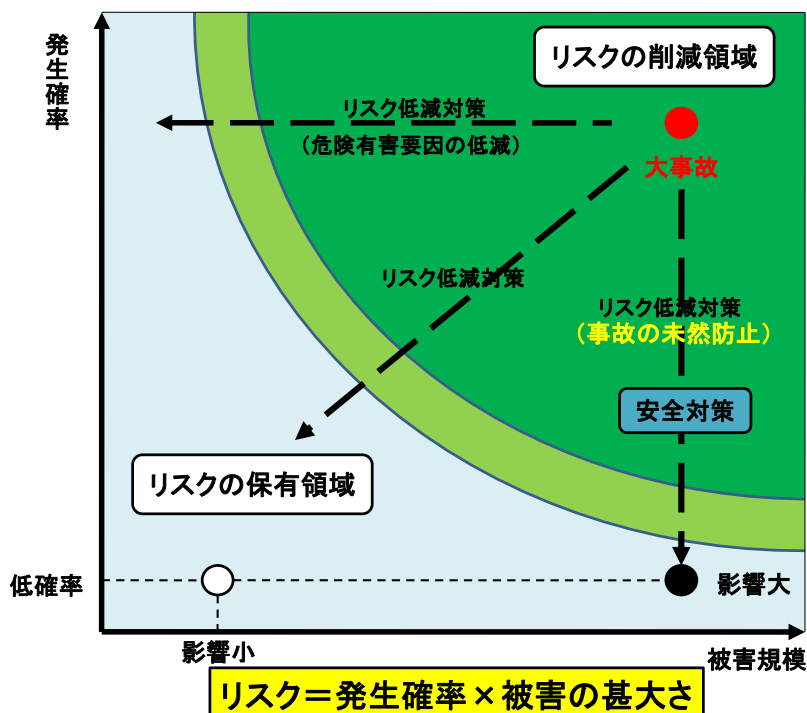


図 4-21 河川洪水のリスク図

災害のリスク分析では事前に実施される治水対策の便益が時として、不明であるかのごとき議論がされていることがある。しかし治水事業はすべてが事前対策事業であり、この事業の成果として計上する便益は想定される死者数と被害額となるべきだと考える。

そこで新たな評価軸として、最も脆弱な位置にある資産を把握するなどの脆弱性評価を行い、迫りくる危機への対応・減災対策をコストとして、費用分析を行うことが必要である。

コスト：リスクを保有領域まで低減する対策事業費

便益：死者の数＋被害額

$B/C = (\text{死者数} + \text{行方不明者} + \text{物損被害額}) / \text{リスク低減対策事業費用}$

また最近では平成21年(2009)8号台風が台湾の嘉義縣阿里山で2726mmの降雨を記録し、平成23年(2011)12号台風では奈良県上北山村で1852mmに達し、一部の地域では解析雨量が2000mmを超える(気象庁平成23年9月7日)ような、これまでにない気候の変化から台風が大型化

しており、大規模災害が頻発していることを踏まえ、甚大な被害を未然に防ぐために災害リスク評価を確立したうえで、リスク低減対策を実施すべきである。

5.3 最大被害予測と脆弱性評価

最も脆弱な立場にある国民・最も脆弱な位置にある資産を把握し、迫りくる危機への対応・減災対策をコストとして費用便益分析を行うべきである。評価指標として①洪水による死者の発生確率、②大多数の死者が洪水によって生じる確率、③経済損失を含む間接被害の発生確率、ここでは、生態系及び歴史的な文化価値、国際的風評被害の防止、社会崩壊の防止を考慮した直接被害と間接被害の合計値を取り入れる。

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)が指摘している通り、気候変動による異常気象(大雨の頻度増加、台風激化等)、海面水位の上昇などにより、大規模水害が増加していることを評価する。甚大な被害を未然に防ぐために、災害リスク評価を行い、リスクを削減させる対策を講じなければならない。

5.4 第5章のまとめ

大規模水害は広範囲な住民、自治体に被害を与える。しかし、現在の国や都道府県の防災体制は市区町村自治体が行う避難勧告や避難指示の意志決定に資する情報を提供するに留まっている。洪水の状況や被害情報は各自治体に止まり、流域自治体が他の自治体の状況を的確に把握した上で、災害対策を講ずるための情報の共有が出来ていない。国や都道府県には一定程度情報が集約されるが、その情報を流域自治体に必ず提供するという制度にはなっていない。危険が迫っている自治体相互が連絡を取り合う体制も出来ていない。

治水対策とは危機管理であり、国が国民に約束する安全保障である。

「国が、国民の命を守る。」「国が、国体を守る。」「国が、社会・経済・文化を守る。」

災害管理関連の法律には、7本の基本法、18本の災害予防法、23本の災害復旧復興、財政金融措置法があり、自治体はそれぞれの立場で防災計画を立案し責任を負っている。しかし、国は都道府県、市町村の意思決定を効果的に調整・監視し、是正措置を命ずる責任を負っていない。そのため河川流域管理制度の確立を目指し権限の一元化を図る必要があると考える。流域全体で連携した治水対策を推進するため、統一したルールのもとに、明確な指揮・命令系統による一貫した危機管理・治水対策の一元化を図っているフランスの流域河川管理局(EPTB)のような河川流域管理制度の創設が必要だと考える。そしてアメリカの「FEMA」のような国家としての危機管理省が、今こそ日本に求められているのである。

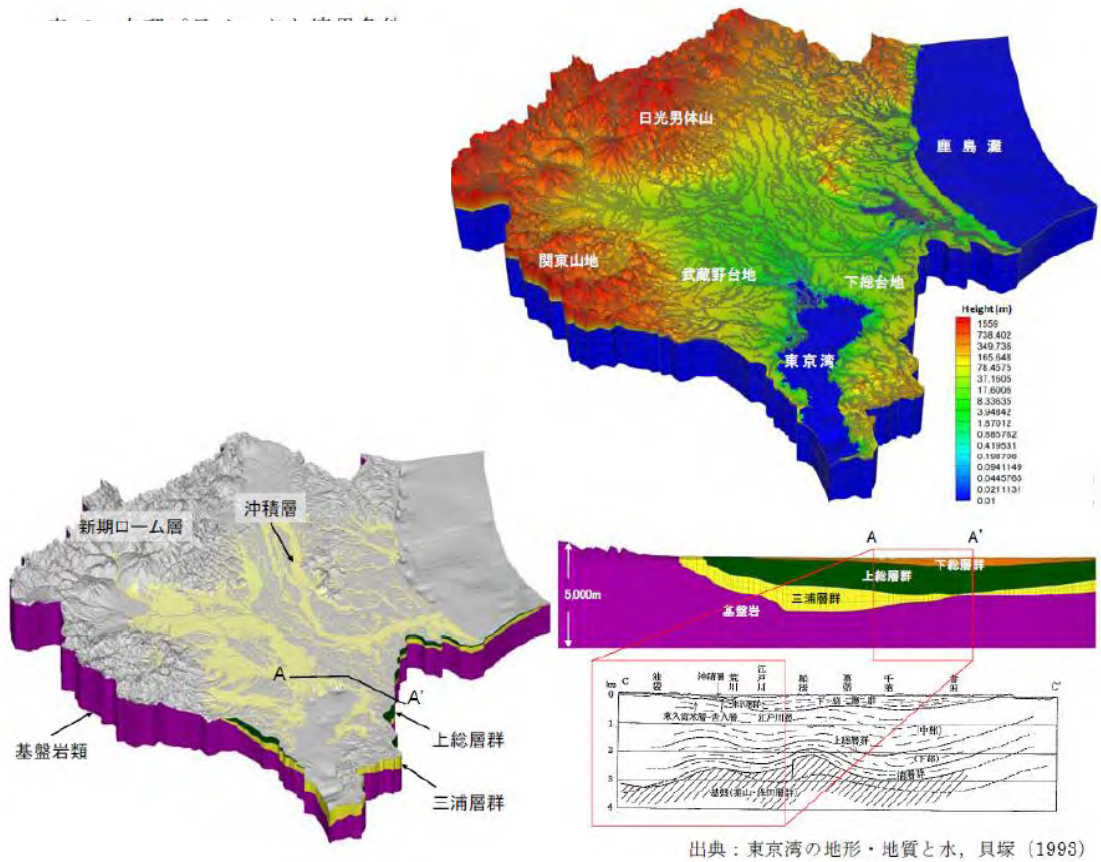
資料(今回用いた関東流域圏モデルの概要)

1. 関東流域圏モデルの概要

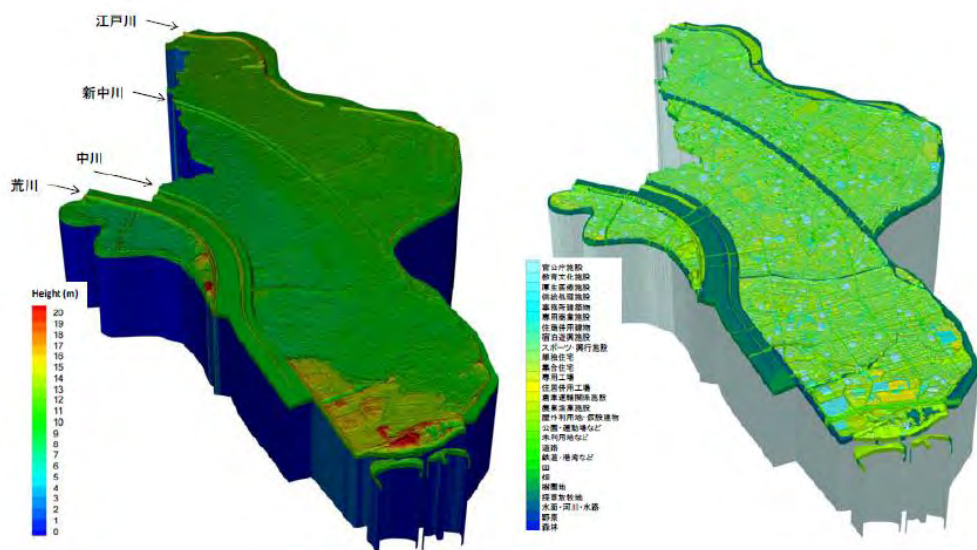
関東流域圏の三次元格子システム鳥瞰図を付図 1 に示す。平面的な離散格子システムは地形起伏を考慮し、約 1,000m の空間分解能で分割した。上流と下流の関係を論じる上で重要と考えられる主要な河道、及びその地下浅部については局部的に格子分割を細密にすることが可能な LGR(Local Grid Refinement)を適用した。深度方向は地盤中の流体移動がモデル底部と干渉しない十分な距離として標高-5,000m までをモデル化した。格子総数は 2,259,489 である。考慮した水理地質区分は、沖積層(表土層、現河床堆積物、崖錐堆積物等)、新期ローム層、常総粘土層、東京層群・下総層群、上総層群、三浦層群、基盤岩類である。関東流域圏モデルは、関東平野を代表する主要河川流域の全体を包含するものであり、源流から河口、近海域に及ぶ降水、地形、地質、土地利用等の様々な流域基本情報を統合化させた三次元数値モデルである。この関東流域圏から江戸川区を中心とした範囲を切り出し、空間分解能を 10m とした「沿岸域都市モデル」を構築した。(付図 2) 関東流域圏モデルの格子サイズとの乖離が大きいため、両者の中間的な空間分解能(50m)をもたせたモデルを準備し、沿岸域都市モデルへは中間モデルからデータを受け渡す。中間モデルは上総層上面(深度約 300~400m)までを、沿岸域都市モデルは表土層のみを考慮している。沿岸域都市モデルの鳥瞰図を付図 2 に示す。格子総数は 2,962,575 となった。このモデルは、江戸川区域のゼロメートル地帯、主要な治水施設、街区建物、不浸透域等の現在の土地利用を表現し、豪雨時の時々刻々と変化する氾濫域を高精度で解析可能なモデルである。これらのモデルに与えた透水係数、有効空隙率、境界条件を付表 1 にまとめた。

付表 1 水理パラメータと境界条件

	透水係数 (cm/sec)	有効空隙率 (%)
沖積層	1×10^{-3}	15
ローム層	1×10^{-3}	20
常総粘土層	1×10^{-5}	5
下総層群	1×10^{-2}	30
上総層群	1×10^{-4}	20
三浦層群	1×10^{-5}	5
基盤岩	1×10^{-7}	1
境界条件	海域は海水位置 E.L.0m を水位固定境界とし、その他は閉鎖境界(沿岸流域都市モデルは関東流域圏モデルから受け渡された定圧境界とした)	



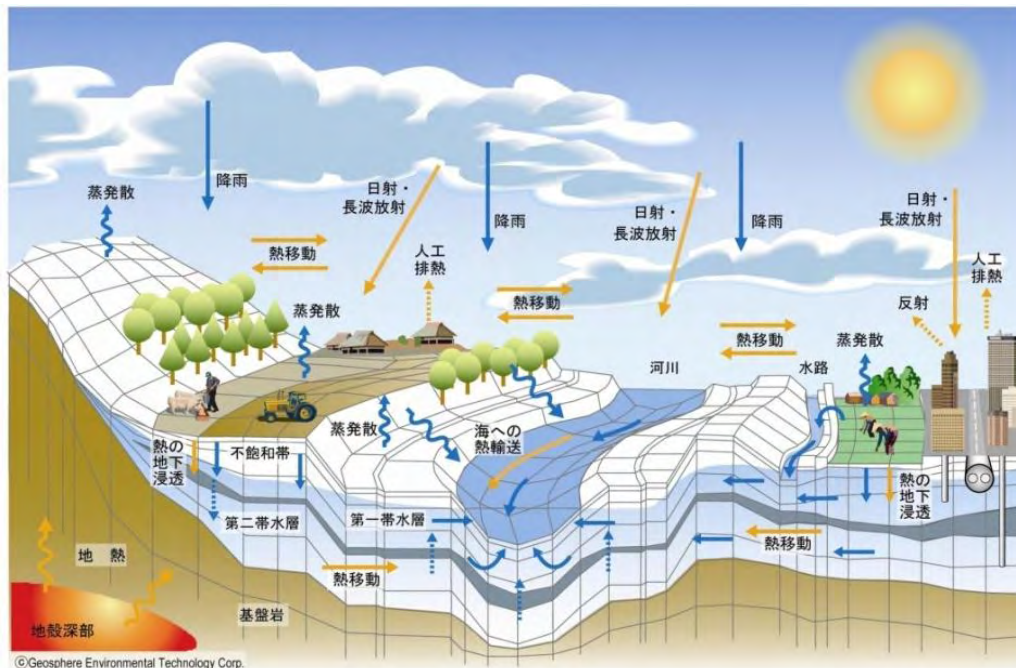
付図. 1 関東流域圏モデル(上:地形, 下:地質)



付図. 2 沿岸域都市モデル(左:地形, 右:土地利用)

2. 本検討で用いた統合型水循環シミュレータ GETFLOWS (General-purpose Terrestrial Fluid-flow Simulator) の概要

GETFLOWS は、汎用 3 次元流体シミュレーションで、地下空間におけるダルシー則に従う多孔質媒体中の水と空気の 2 相流動に加え、地表面におけるマンニングの平均流速公式に従う地表流動を完全に練成して解析することが可能である。



付図.3 統合型水循環シミュレータの概念図

(1) 地表流体流動

河川や山肌を流れる地表水流動は、開水路流れとしてモデル化される。いま、付図.4、付図.5 に示す一様斜面の開水路を流れる水塊（水流の横断面 A,B 間の水塊）の挙動を考える。水路幅に対して水深は十分小さいものとする、鉛直方向に平均化した浅水流近似を適用することができる。水流の駆動力は地形勾配及び水深勾配であり、これに底面から作用する摩擦力や系外との出入りを付与すると、運動方程式は次のように表される。

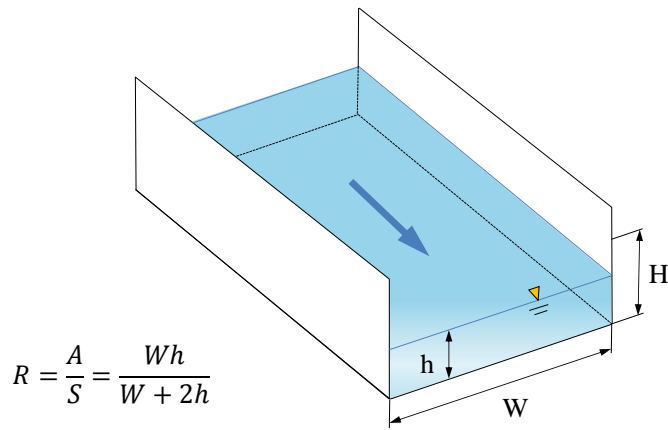
$$\beta \frac{1}{g} \frac{\partial v_x}{\partial t} = \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial x} \cos^2 \theta_x - \frac{\partial h_{fx}}{\partial x} - \frac{\alpha}{2g} \frac{\partial v^2}{\partial t} - \frac{P_f v_x}{gh}$$

ここに、

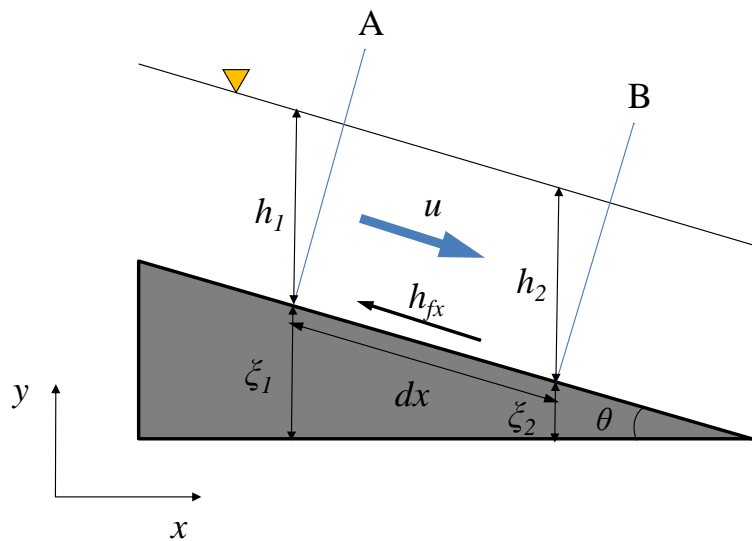
- θ_x, θ_y : 流動方向毎の斜面勾配 [—]
- h : 水深 [L]
- h_{fx}, h_{fy} : 流動方向毎の摩擦損失 [—]
- v_x, v_y : 水深で平均化した流動方向毎の流速 [LT⁻¹]

- ξ : 開水路高 [L]
- α : エネルギー補正係数 [-]
- β : 運動量補正係数 [-]
- P_r : 降雨量 [LT⁻¹]
- g : 重力加速度 [LT⁻²]
- t : 時間 [T]
- x, y : 流動方向成分の距離 [L]

上式の右辺第一項は斜面勾配による駆動力（重力項）、第二項は水深勾配による駆動力（圧力項）、第三項は摩擦による抵抗力（摩擦項）、第四項は運動量の収支（速度項）、第五項は降雨による運動量の損失項を示す。左辺は、これらの外力の帰結として生じる水流の速度変化（慣性項）を示す。



付図.4 開水路流れの模式図



付図.5 開水路の水塊の運動

連続の式

流路幅が一定でない流れに対する水塊の質量保存の関係式は、二次元平面内のそれぞれの流動方向成分に対して次のとおり表される。

$$\frac{\partial \rho v_x A_x}{\partial x} + \frac{\partial \rho A_x}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial \rho v_y A_y}{\partial x} + \frac{\partial \rho A_y}{\partial t} = 0$$

ここに、 ρ は水の密度、 A_j はj方向(j=x,y)の断面積(L²)で、特に流路幅 W_j が一定である場合は $A_j = W_j h$ であり、上式はそれぞれ次のように表される。

$$\frac{\partial (v_x h)}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial (v_y h)}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

平均流速公式

開水路の実験により、水塊の重さの流れ方向成分と潤辺に沿った摩擦抵抗が釣り合う等流条件では、以下の平均流速公式 (Manning の公式) が成り立つことが知られている。

$$v = \frac{R^{2/3}}{n} \sqrt{\frac{\partial \eta}{\partial x}} = \frac{R^{2/3}}{n} \sqrt{i_g}$$

ここに、 R は水力学的水深を表す径深 (hydraulic radius) であり、流路断面積 A および潤辺長 S (wetted perimeter) を用いて付図.5 に示す関係で定義される。 i_g は流れ方向の流路床勾配を示す。 n はマンニングの粗度係数 (Manning's Roughness Coefficient) であり、河床形状・材料、地表植生 (森林、草地、畑地など)、人工被覆 (舗装面など) に応じて個々の計算格子に対して与えられる。マンニングの粗度係数の次元は $L^{-1/3}T$ であり、SI 単位系では $m^{-1/3}s$ となる。

(2) 地下流体流動

一般化ダルシー則を適用した水・空気 2 相流れの支配方程式は、以下のように表される。

$$\nabla \cdot \left(\rho_w \frac{Kk_{rw}}{\mu_w} \nabla \Psi_w \right) - \rho_{ws} q_{ws} = \frac{\partial}{\partial t} (\rho_w \phi S_w)$$

$$\nabla \cdot \left(\rho_g \frac{Kk_{rg}}{\mu_g} \nabla \Psi_g \right) - \rho_{gs} q_{gs} = \frac{\partial}{\partial t} (\rho_g \phi S_g)$$

1

上式は多孔質媒体中の水、空気に関する質量保存則を表す。各式の左辺第1項は流動項（移流項）、第2項は生産・消滅項、右辺は貯留項を示す。

式中の記号の説明は以下のとおりである。

- K : 絶対浸透率(m^2)
- S_p : 流体相 $p(=w,g)$ の飽和度(-)
- μ_p : 流体相 $p(=w,g)$ の粘性係数($Pa \cdot s$)
- ρ_p : 流体相 $p(=w,g)$ の密度(kg/m^3)
- Ψ_p : 流体相 $p(=w,g)$ のポテンシャル(Pa)
- ϕ : 間隙率(-)
- t : 時間(s)
- q_{ps} : 流体相 $p(=w,g)$ の生産・消滅量($m^3/m^3/s$)

なお、上式中の絶対浸透率と相対浸透率の積は方向性を持ち、等方性、異方性地盤の双方が考慮される。上式中の水相、空気相のポテンシャルは、それぞれ次式で表される。

$$\Psi_w = P_g - P_{cw} + \rho_w gZ \quad 2$$

$$\Psi_g = P_g + \rho_g gZ$$

ここに、 P_g は空気相圧力、 P_{cw} は毛管圧力であり、 Z は標高（上方に正にとった距離）である。また、飽和率の間には次の関係がある。

$$S_w + S_g = 1$$

上式の未知変数は、空気相の圧力 P_g と水飽和率 S_w であり、本シミュレータでは、両状態量を同時完全陰解法により解く。

(3) 地表・地下流体の完全連成

以上に述べた陸面を流れる地表水と地下地層中の水、空気2相圧縮性流体の同時流れは、流体相毎に質量収支式に、地表水、地下流体のそれぞれの運動量保存則を与えた次の支配方程式によって一般化される。

$$-\nabla M_p - \rho_p q_p = \frac{\partial(\rho_p \phi S_p)}{\partial t}$$

ここに、 M_p は流動による質量フラックス($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)、 $p(=g:\text{gas}, w:\text{water})$ は流体相を示す添字である。地上、地下の流体相互作用は、左辺第 1 項の流動項に上述したそれぞれの運動量保存式を適用し、それらを同時陰的に解くことで考慮される。

地上流体は、上式を水相($p=w$)のみに適用し、マニング型の開水路流れを記述する浅水波方程式に拡散波近似を適用した次式で表される。

$$M_w = -\frac{\rho_w R_x^{\frac{2}{3}} W_x h}{n} \sqrt{\left| \frac{\partial h_f}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial x} \cos^2 \theta \right|} \operatorname{sgn} \left(\frac{\partial h_f}{\partial x} - \frac{\partial h}{\partial x} \cos^2 \theta \right)$$

地下流体に対しては、水、空気 2 相 2 成分流体系にダルシー型の流速公式を適用した次式により表される。

$$M_p = -\frac{\rho_p K k_{r_p}}{\mu_p} \nabla (P_p + \rho_p g Z)$$

地上、地下流体が出入りする陸面境界での質量フラックスは、疑似毛管圧力、疑似相対浸透率と呼ばれる 2 相流曲線を与えて評価する。この 2 相流曲線は地層媒体へ与える不飽和物性（相対浸透率、毛管圧）と同等の取扱いを地上の自由空間と地下のポテンシャル差を表現できるよう拡張したパラメータであり、湧水や雨水浸透、それに伴う空気の地下侵入や流出といった地上-地下間の連続した流体移動を統一的記述のもとで解析するものである。

謝辞

本研究に当たり、中央大学都市環境学科、河川・水文学研究室の山田正教授に多大なご指導をいただきました。また洪水シミュレーションに関しては東京大学工学系研究科システム創成学専攻の登坂博行教授のご指導をいただき、地圏テクノロジーの西岡氏、坂上氏、森氏にご協力をいただきました。高規格堤防(スーパー堤防)、ハザードマップに関しましては、関東学院大学名誉教授の宮村忠先生、リバーフロント研究所の竹村公太郎理事長にご指導いただきました。建物悉皆調査、現場測量作業など多くの方にご協力を頂きました。記して御礼申し上げます。