

# 崩壊しない堤防と調節池による首都圏治水計画 — 利根川・荒川による東京への広域氾濫流の防御 —

金子 大二郎<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 正会員 (株)遙感環境モニター, 代表取締役 工博  
E-mail: kand.rsem@gmail.com

本研究は、気候温暖化によってスーパー台風が強大化し、高潮・河川氾濫のリスクが高まっていたが、2019年の台風19号によって東日本全域に大規模な氾濫被害が発生し現実の問題として顕在化した。これまでに東京湾・伊勢湾・大阪湾の三大湾を対象として、国土交通省のゼロメートル地帯の高潮対策検討会において防護施設やまちづくりの緊急行動が検討されてきた。また、内閣府や東京都では避難対策が検討されているが、氾濫からの避難人口が大規模となり課題が多く、またその効果には限界があることが知られている。本研究は著者による2019年の発表に続き、2019年台風19号の氾濫被害を受けて利根川と共に知られた荒川の氾濫に対する東京東部の中枢部への氾濫流を防止し、崩壊しない堤防と調節池・霞堤等によって首都圏の広域氾濫被害を抑止しようとするを目的としている。北関東のダム群の貯水池容量の事前放流の活用や既存のスーパー堤防あるいは腹付による堤体拡幅、河道内調節池等と合わせた流域治水の考え方の一つとして首都圏の人口密集地帯において、津波よりも頻度が高くかつ甚大な災害をもたらす巨大水災害の一つである首都圏氾濫流を抑止する新たな対策を提案するものである。

**Key Words:** river flood, countermeasure, caisson, enforced bank, collapse-free, permeance

## 1. はじめに

本研究は、2019年の土木計画学の秋の研究発表<sup>1)</sup>において発表したスーパー台風による高潮と河川氾濫に関する対策案と法指定に続く研究および函体内蔵型堤防<sup>2)</sup>であり、2019年の台風19号によって千曲川ばかりでなく荒川支川の入間川の氾濫や、利根川の栗橋(久喜市)における計画高水位を上回る警戒水位を経験し、“崩壊しない”河川堤防に浸透流対策を取り入れたと基礎構造とした氾濫流の防止と、堤防と同時に調節池および高水敷内越流堤や霞堤による遊水機能を取り入れることにより、首都の流域治水の河川計画を提案している。

その堤防は、函体内蔵型河川堤防であるが、以下に略して破堤しない意味を込めて新型の「強靱化堤」と呼ぶ。従来は、利根川かその支川である鬼怒川が氾濫すると警戒されていた。その合流地点には治水上で重要な渡良瀬調節池があり、また合流点上流における過去の1947年に破堤した栗橋地点から、江戸幕府の関東郡代の伊奈氏によって過去に流路であった、即ち付け替え工事の前の流路を経て東京湾に流れ下った。この大規模氾濫について近年の豪雨の激甚化により利根川右岸の堤体拡幅(腹付)の増強計画が進められている。しかし、堤体が盛土主体であるかぎり、越流による洗掘によって堤体全体が崩落・流失する結果、高水敷の大流量がそのまま人々の

居住する堤内地に氾濫することになる。

2019年の台風19号は、スーパー台風ではあったが上陸前にやや衰えて通常的大型台風となり、恐れていた氾濫



図-1 巨大水災害を対象としたハード対策の課題(強靱化、景観と日常利用、広域避難地)とその要請に応える構成要件<sup>1)</sup>との関係。鎌倉市の津波防災丘陵の例を他の地域の巨大水災害を対象にして一般化。

災害は、上陸コースが首都圏よりも西にずれたために、千曲川が氾濫した。一方で、首都の北からの氾濫流ばかりでなく、東京湾の海面上昇と風波によってNew Orleans

において発災したハリケーンのカトリーナによる高潮の大災害（2005年）と同様に、日本国内においても、大都市圏のゼロメートル地帯を対象とした大規模災害の見直し<sup>3)</sup>、内閣府<sup>3)</sup>、日本学術会議<sup>4)</sup>、あるいは国土交通省<sup>5)</sup>によって検討され、その対策が提言されてきた。しかし、ハード対策の困難さから大規模な避難が検討されてきた。また、従来からハード対策として高規格堤防（スーパー堤防）<sup>6)</sup>が答申されているが、再開発事業と連携したこの整備計画は、河川堤防の全長については断面の大きさから実現は困難であって、この弱点が理解されておらず、再開発地区には有効であるが、河川の治水対策としては現実的ではない。さらに、スーパー台風は従来の様な低頻度ではなくなっており、人口密集が進んだ首都の巨大水災害への対策は、大規模な広域避難だけで困難であり、また、人的被害を免れても社会インフラを含めた経済的被害が大きすぎて、経済・社会の混乱の事態と復旧の長期化が日本の国力を低下させる事態となる。高潮・河川氾濫・津波の襲来地帯として知られる三大湾については国土交通省の「ゼロメートル地帯の高潮対策検討会」<sup>9)</sup>において防護施設やまちづくりの緊急行動が検討されてきた。一方、内閣府<sup>7)</sup>の「首都圏水害広域避難検討会」や東京都によって浸水域<sup>8)</sup>や避難対策<sup>7)</sup>が大規模かつ詳しく検討されている。本研究は、これらの検討委員会の結果を既往の成果として利用しながら、著者らは避難は取り入れつつも<sup>9),10),11)</sup>、ハード対策によって、平常時の公園と環境について日常利用に配慮した強靱化堤という、崩壊しない堤体の築造によって根本的に解決する新しい河川計画（図-1）の立場である。

## 2. 従来の河川計画と治水対策

森林伐採による土地利用の開発と高度化により貯留機能の低下と流出率の増大を生じてきた。一方で、ダム整備が進み、その貯留効果によって尖頭流量が低下したが、降雨強度と継続時間の増大によって、再び河川整備によるピーク流量の削減効果が不足となった。従来の流量制御では十分な治水となっている状況が各地から報道され、昔の河川氾濫による広大な災害が出現した。主として気候温暖化によると考えられるスーパー台風や線状降水帯による確率降雨強度の変化によって、一級河川が氾濫するような過去の時代が再度に出現する時代となった。

完全ではないが、既に多くの河川整備とダム建設が進んで来たはずであったので、これ以上のダム整備は現実的ではなく、一方で、堤防を現在以上に大型化するのも破堤した場合の災害を巨大化する問題があって、本質的に革新的ではない。ダムの貯流量は水資源であるから電力や灌漑のために貨幣価値のある資源である。従って、

然るべき水位に貯留すべきであるのだが、氾濫を抑止するための緊急的な事前放流によって、有効貯水量を高めるといふダム操作が有力な方針として採用されている。しかし、その措置の実施判断は降雨予測によるのであって、必ずしも想定通りならない。放流によって下流に悪影響（流量と水位の急増）となる場合もあるから、決断には降雨レーダーによる十分な制御が必要である。しかし、当面の最も重要な対策なのであるが、ダム群であっても可流の流量と高水位の制御効果が十分にある訳ではない。他の多数の支川からの流量や中流域での合流が加わり、統合的なダム群であっても中流域で氾濫する事態が頻発している。

著者は、大災害となる河川氾濫に対し、盛土構造を主体とし被覆ブロックや根固め工あるいは水制によって氾濫を防ぐばかりでなく、破堤した場合の災害リスクの規模に応じ、他の土木構造物に広く普及されている場合と同様に、主体部が盛土ではない鉄筋を含むコンクリート構造物を重要河川または合流点付近の重要部の堤体に採用すれば良いのであると主張する。その効果は、豪雨時の大流量による高水位の時に破堤して、惨憺たる氾濫風景を繰り返しているのは、賢明な土木技術者と言えないのである。災害対策としての強靱化は、発想を変えれば例え想定以上の流量であっても、堤体が崩壊して堤体の基礎までが堤内地との水位の落差による急流によって深く堀利下げられて広大な高水敷の流量がまともに居住域

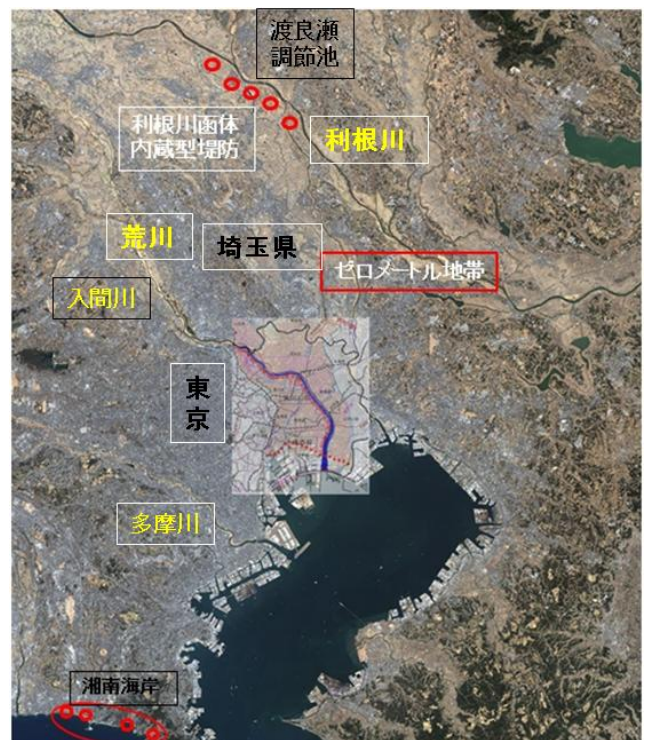


図-2 Landsat衛星上に示した巨大水災害のための利根川右岸への函体内蔵型河川堤防と、東京のゼロメートル地帯の氾濫域。首都圏の複合災害の全体図。

に流れ込み、生命・財産に影響する惨憺たる濁流の被害を繰り返してきている。

なお、従来は低頻度として解釈してきたが、2019年10月に台風19号がスーパー台風（風速65m/sec、気圧915hPa級）化し、広域的な河川氾濫被害をもたらしたことから、首都圏についても大規模な高潮・河川氾濫の発災が、以前よりも常態化することが懸念されていることを再度に強調する。また、類似する巨大災害となる高潮対策は、東京湾への歴史津波の来襲の可能性と共にそれらの対策を、計画を進めるに当たって重要なPPP(Public Private Partnership)による住民地権者の合意形成と共に別途に発表したい。

従来からの避難計画の研究については、前述の概説の様に内閣府の「洪水・高潮氾濫からの大規模・広域避難検討ワーキンググループ (2018) が、高潮シミュレーションとその予測精度<sup>7)</sup>について示している。また、利根川・荒川を含む想定氾濫域に対し国土交通省の河川氾濫検討会においてまちづくりの再開発を兼ねた高規格堤防（スーパー堤防）<sup>8)</sup>による緊急行動が検討されている。これらの対策として、内閣府や東京都では大規模避難の計画と課題が詳しく検討されてきた。しかし、巨大水災害に対する避難の規模や経路等には課題があり、人的被害の軽減のためには効果的な避難の方法としては問題点と限界があった<sup>7)</sup>。

### 3. 使用データ

首都圏において巨大な高潮と河川氾濫による複合的な水災害が懸念される地域として、東京東部のゼロメートル地帯を対象として、多くのデータが防災情報の周知を目的として公開されている。最初に標高は、内閣府が提供する南海地震9系<sup>9)</sup>の海陸の水深・標高の地形データであり、10mの細メッシュで有用である。一方、これら地域内に流れる隅田川、荒川、江戸川に挟まれた人口密度の高い河川下流域は、ゼロメートル地帯と呼ばれて知られており、その人口については、(財)地図センターが提供する500mメッシュの人口密度<sup>9)</sup>と数値地図を入手した。また、河川氾濫の浸水域分布図<sup>9)</sup>については東京都庁による「想定最大規模の浸水想定区域図」である。また、国土交通省の「ゼロメートル地帯の高潮対策検討会」により緊急事業が公表されており、更に、利根川浸水図については、国土交通省の「川の防災情報」<sup>10)</sup>から取得してあり、2019年の土木計画学秋大会の発表会と同様である。次に広域データとして利根川を意識した関東全域を観測する衛星データとして、米国農商務省(USDA)から観測範囲と解像度(30m)が適した新しいLandsat8号<sup>11)</sup>を利用し、Natural画像(図-2)を作成(可視2,3,4バンドを使用)した。



2019年台風19号翌日、入間川・小群川決壊 - YouTubeyoutube.comに破堤を注記した。

図-3 2019年の埼玉県内の荒川の支川である入間川の氾濫画像。但し、戦場のカメラマンと同様に危険な撮影で問題、しかし実把握に有効。

### 4. 研究対象地域

埼玉県の北部県境は1947年の利根川氾濫地点である。一方で埼玉県南西部は、江戸時代に東京湾に流入していた入間川に新川開削によって元荒川を現在の荒川河道に人工的に合流させた河川である。河道の新川開削による河床低下ではなく、大量の良質な砂が堆積したが、その後ダムによる流送土砂量の減少によって河床低下が著しい。また、入間川に同規模の荒川を合流させたため河道幅が広く、流量の河道貯留効果が大きいのであるが、荒川放水路(現、荒川)を建設して後は、氾濫のリスクは減少していた。しかし、近年の線状降水帯やスーパー台風による集中豪雨によって2019年に、現荒川の支川となった入間川の中流域において、荒川の支川である越辺川が氾濫した。台風19号の上陸経路がより東側のコー

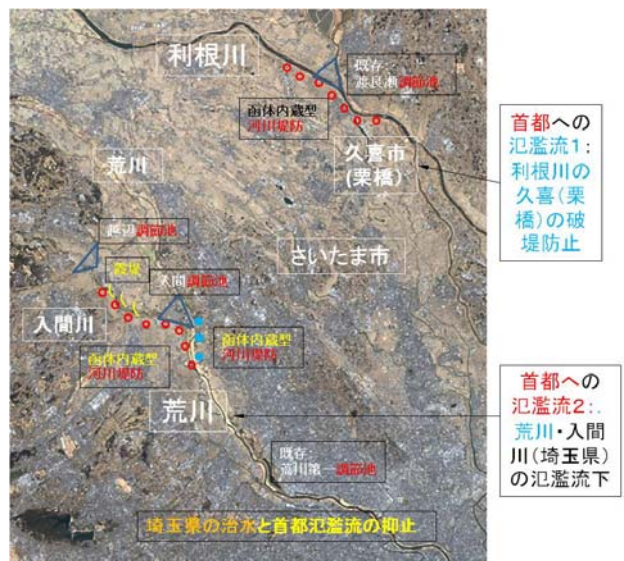


図-4 首都への氾濫流を防御するために、利根川と荒川・入間川の中流域に位置する関東平野の中欧である埼玉県の治水計画が首都氾濫流の防御のために重要。

スを取り、関東地方に豪雨をもたらしていたならば、入間川と荒川の合流地点において破堤すれば、入間川右岸の越流・破堤であれば東京の板橋区（赤羽）から北区・荒川区・台東区・中央区に氾濫流が下り、銀座・日本橋の地下街・地下鉄にも甚大な被害となるリスクが生じる。

入間川と荒川の合流点の左岸が破堤すれば、埼玉市の浦和区や川口市を経て、かつての氾濫原であった足立区・葛飾区・隅田区・江戸川区に氾濫流が下ることになる。入間川と荒川の合流点付近の左右いずれの側であっても、首都の数百万人の人命に関わる避難が必要となる。埼玉県内において、これらの氾濫流を入間川と荒川の合流地点の上下流が治水上の弱点となり、越流と破堤による首都への氾濫流を抑止せねばならない。

本研究は三湾の中で人的被害の視点に加えて国内経済に及ぼす影響から最も重要な地域として東京湾奥部を選択し、研究対象域としている。

一方、巨大水災害による人的被害を軽減するための優先的に考慮すべき要因として、人口密度と浸水深分布または（マイナス）標高を設定した。次に、想定以上の高潮や河川氾濫および津波であっても、堤体の全断面が崩壊することが無い函体内蔵型の多目的堤防を配置するために、河川の合流・屈曲によって氾濫リスクが高いか、あるいは既往の氾濫地点を選定してその配置を提案した。この強靱化された函体内蔵型河川堤防は、現在の堤防を生かしながら二重鋼矢板仮締切を打設しながら建設事業を推進することが可能である。その断面形状は環境（景観、緑地）と日常利用（高規格道路、公園）に配慮した構造であって、全断面が崩壊するという水災害としては最悪な事態を無くしている。その結果、その大きな流速によって堤の基礎を深掘りし、氾濫流が東京東部のゼロメートル地帯の葛飾区まで流下するような1947年の利根川の事態を回避することが可能な構造なのである。

## 5. 崩壊しない堤体の特徴と配慮事項

### (1) 新規の氾濫対策の特徴

1) 従来の治水計画上の弱点は、上流においてダム群により貯留し下流への流量を削減することにより、計画高水流量を削減する一方、中流域の遊水地を効率的な調節池に変更し、氾濫に関わる尖頭流量を削減してきた。

また、下流域においては被害を受けやすい人口密集地域をさけて、放水路を新川開削しより安全な郊外地に流路を誘導してきており、それぞれ主力となる有効な河川対策であった。それらの措置が採用されてきたにも拘わらず近年の各地の河川堤防の決壊とその氾濫状況の原因は、河川堤防が水流による洗掘に弱い盛土であることに起因している。当然に水流の強い地区については、被覆コンクリート護岸として強化してあるのだが、越流・浸透・洗掘等によって一たび破堤すると急速に全断面の崩壊に

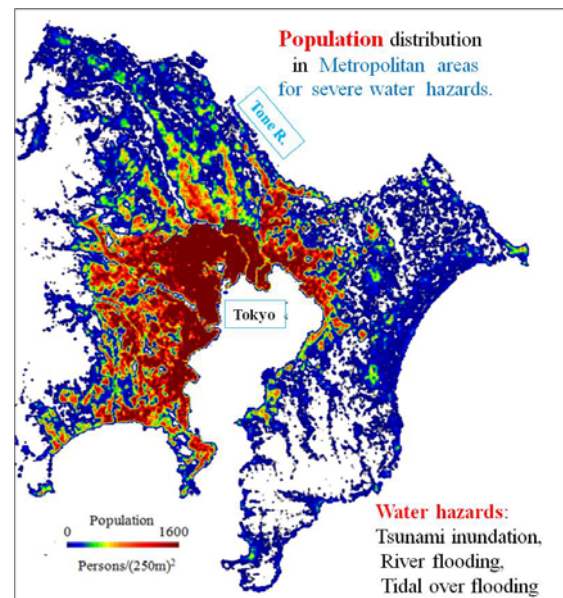


図-5 首都圏南部の巨大水災害（河川氾濫・高潮・津波）用の東京湾周辺における人口密度分布. 500m

つながり、破堤部の水位差による急流によって基礎まで掘り下がった濁流が本来守ってきた居住地という堤内地を極めて広大に濁流と浸水の被害をもたらすことである。豪雨の強度が増し河川流量と高水位増しているのだから、合流地点や地形上の川道の狭窄区域あるいは人口密集地域等の重要な河川区域において、破堤によわい盛土主体の断面構造で無く、破堤しない堤体に強化すべきなのである。従来から盛土によって河川堤防が築かれてきた理由は、堤体が大規模であって延長が極めて長い構造物であるが故に、展圧して密度を高めた盛土以外に経済的な築堤工法が考案されなかった盲点があったと考えられる。現代の地上では大規模なコンクリート構造物が溢れているにも拘わらず、写真-1に示す様に河川の堤防断面の崩壊状態が繰り返されるのは、堤体の内部が流水に弱い盛土のみであることに基本的な弱点となってきた。

- 2) 透水抑止と薬液注入固化による
- 3) 必要ならば鋼矢板止水壁が有効なのであるが、薬液注入工法であるので堤体の堤内側と堤外側にセメント深層混合処理又は薬液攪拌固化の柱状連結止水壁を作成し、堤防用の薬液注入固化工法とし、止水壁を構成させる。
- 4) 盛土が洗掘や越流によって失われても、コンクリートケーソン（函体）の横長で安定した構造によって堤体の持つ基本構造を喪失することなく、計画高水流量を上回ってもであっても堤防としての機能を維持する特性を備えていることを強調する。

### (2) 配慮せねばならない事項

- 1) 強靱堤は、越流に耐えるばかりでなく法尻の洗掘によって堤体の全体が崩壊するために治水計画が破綻し、高水時の大半の流量を占める高水敷以上

の河道内流量が人々の住む堤内地に向かって大規模な氾濫流となる。それ故に、人命・社会資本・個人財産に破壊的被害を与える事態を強靱化堤が回避する特性を備えている。

- 計画高水流量を上回る想定以上の確率年以上の豪雨であっても、上述の大災害を抑止することができる優れた長所を持っている。

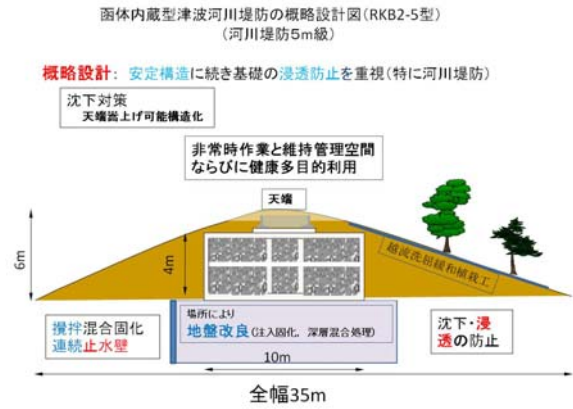
流路の合流点や河道の屈曲部については、洗掘によって破堤し易い区間であるので、従来の被覆ブロックや根固工が必要である。産業集積地帯でありながら高潮襲来地帯として知られる東京湾・伊勢湾・大阪湾の中で、国の産業・経済上で最も重要な東京湾を対象に、気候温暖化によって強化することが懸念されているスーパー台風を主として想定する。

これらの三大湾を対象としたハードによる高潮と河川氾濫の対策の基礎研究となり、今回は東京湾を対象として検討しているが、同様な問題を持つ大阪湾や伊勢湾についても、地域特性の相違があるものの同様の防災計画を立案することが可能である。

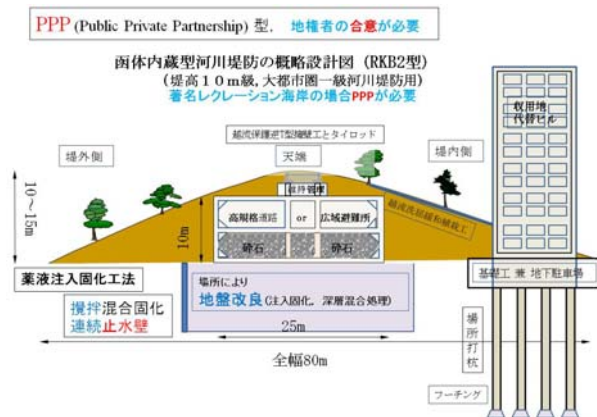
本研究は、従来からのこれら地域に対する前述した検討委員会の結果を利用しながら、著者らによる避難リスク<sup>9)10)</sup>の研究ばかりではなハード対策によって、環境と日常利用に配慮した構造物の築造によって根本的に巨大水災害を解決するという目標を立て、抜本的な解決方策として国土強靱化の提案するものである。函体内蔵型多目的堤防の堤体内部には、高規格道路や函体の2階部分に広域避難所を配備することも可能である。また、一級河川の都市域の堤体については、緑地公園として堤体法面を日常的に利用することが可能である。

## 6. 対象地域

本研究の河川氾濫災害に対する防災対策の研究対象域は、狭義の防災対象は東京東部の都心中枢部を含むゼロメートル地帯であるが、想定する氾濫の発生域は利根川と荒川の中流域であって、それぞれの支川や小支川の合流点周辺における堤体構造の強靱化や調節機能を備えさせ、発生した氾濫流が下流の首都東部に到達し、被害の甚大化を防ぐために南端は東京湾までの範囲が対象範囲である。従って、埼玉県から東京・神奈川・千葉の各県を含んでいる。これら首都圏の人口密度分布の中で、東京湾を囲む三県の人口密度分布<sup>9)</sup>を図-4に示した。首都圏整備法により首都東京への一極集中の緩和が図られてきたが、この人口密度分布によって都心の集中ぶりを確認することができる。首都圏の災害時のリスクの高さが、図-4に示した人口密度分布という主要な災害要因を介して明示され、荒川右岸に巨大な水災害の発生が懸念される。



(a) 河川堤防用の基本形。基礎は薬液注入固化



(b) 住民合意のためPPP制度の組み入れ型。

図6 函体内蔵型の強靱化堤防の形状と土地収用のための地権者・住民合意のためのPPP (Public Private Partnership)の導入による事業の円滑化。前面法先には攪拌混合固化の連続止水壁工法を採用することを想定。

## 7. 崩壊しない河川堤防の配置計画とその意義

東京湾奥の平均海面よりも低い標高によって水災害が繰り返され易い地域に対し、避難するばかりではなく、函体内蔵型多目的堤防は、河川氾濫流や高潮・津波の遡上による水害そのものを原因と地域に応じた各種形式の堤防によって抑止することができるという意義がある。この方策は、三大湾に共通して適用可能であり、高潮・河川氾濫・津波の被害に対応可能なハード対策である。

### (1) 函体内蔵型堤体の構造概念

函体(ケーソン)を内蔵した河川堤防の原型は、津波防波堤を基にしている。長年にわたって築造されてきた津波防波堤は、割石を使って海底から築き上げられた台形の基礎マウンドの上に、縦長の升目形状をしたコンクリートケーソンを乗せており、水面上よりも水面下に多くの堆積と重量を持ち、津波が防波堤に衝突する衝撃に耐える1000トンから1万トン以上の海岸構造物の中で最大級のコンクリート構造物であった。この津波防波堤が

釜石港に整備されていたが、東日本太平洋沖地震に伴う推定13.7mの津波によって倒壊し捨て石マウンドから崩落した。この経緯から、著者は既に倒れた形状であって横長の断面を備えて津波波力に耐える津波防波堤を考案した<sup>14), 15)</sup>、この安定な断面形は河川堤防にも応用可能であって、従来からの盛土の河川堤防がスーパー台風や線状降水帯に伴う既往最大級を越える著しい豪雨によって計画高水位を上回って堤体を越流する場合に、盛土構造の弱点である洗掘に弱い特性により、越流が直ちに堤体の崩壊に至る。すると、堤体の上部はおろか基礎部分まで破堤時の速い流速によって掘り下がる。そのため、峡谷の如く深く掘れた決壊部から濁流が近くの住宅地や首都までも流れ下るとする恐れ流量の氾濫流となる。この状態が歴史的に繰り返されてきた。戦後のダム群の築造と堤防整備により、首都や中核都市に及ぶ氾濫流は発生しなくなっていた。しかし、近年の温暖化に伴う降雨強度と継続時間の増大によって、再び平野部が広く氾濫するという治水計画の基本的破綻が散見どころか頻発の脅威が迫っており、流域の土地利用が進展していることから被害額が巨大となる脅威が生じてきた。

## (2) 流域治水と土地利用の再検討

上流のダムから中流の破堤しない堤防整備、そして都市内の地下幹線排水トンネルにいたるまで、被害額に見合った整備の見直しが迫られており、流域治水の考え方の下に各種の対策が必要となっている。豪雨と河川氾濫は、弱者の人命リスクばかりでなく豪雨の継続による避難の困難さから、人的被害の拡大の可能性がある。大規模な救出の困難さから、気候変動の時代に見合った長期計画的な居住地の制限・移転の議論の論理的な根拠となっている。

東京東部のゼロメートル地帯の荒川右岸（西岸）の臨海部に高さ6~10m級の長さ約5 kmの函体内蔵型高潮堤防を臨海公園も兼ねながら配置すると共に、現在の位置の荒川堤防に代わり高さ10m級であって長さ約20 kmの函体内蔵型河川堤防に置き換える改修をし、堤体が越流によって破堤しない構造とする。一方で、荒川左岸の江戸川区・葛飾区・足立区については、遙か北方の背後に位置する利根川からの氾濫流のリスクがあることにより、巨大水災害の防災対策としては災害から守り難い地形である。従って、過去に発生した利根川の破堤と計画高水流量を参考にしながら、利根川栗橋（現、久喜市）周辺の右岸に15m級の函体内蔵型河川堤防（図-9）を先に整備した後、次の段階の整備として同じく10m級の小型な規模の函体内蔵型河川堤防を荒川右岸（西岸）に配備する。函体内蔵型河川堤防と同型であるが更にやや小型の高潮堤防（図-10）の堤体高さについては、標高、計画高水位または高潮偏差および朔望平均満潮位、余裕高を考慮して規模（天端と基礎面の高さ等）を概略値として

利根川・荒川破堤による東京東部の氾濫流対策



<https://www.pa.ktr.mlit.go.jp/tokyo/history/へ対策記入>

図-7 荒川下流の浸水域と函体内蔵型堤防の配置計画（○印が防災丘陵型河川堤防，●印は防災丘陵型高潮海岸堤防，浸水図は東京都高潮浸水想定区域図[想定最大規模]より<sup>8)</sup>。

定めた。スーパー台風による水災害については、この高潮対策を考慮せねば、河川中流域からの氾濫流を防いでも、南からの高潮によって広域に浸水しながら強風による高波の波力を受けて被害が拡大し、同時に氾濫と高潮の対策を措置しないと、巨大水災害を防ぐことができないために、高潮対策を付記した。しかし、高潮については被害が類似する津波と共に、前述のとおり別途に発表したい。なお、強靱化堤防については、図-10に示すとおり住民地権者の合意形成のために、PPP (Public Private Partnership) の制度を取り入れて、相互に便益を得る制度を使い事業化を図る。あるいは、整備が間に合わない場合には、高潮による災害後の復興計画として事前準備すると考える。

## (3) 流域での函体内蔵型多目的堤防と高規格堤防（スーパー堤防）の併用

現在の堤防を強靱堤に改良する工事は、現在ある堤体の堤外地に二重鋼矢板仮締切を打設<sup>16)</sup>し、堤体内の函体の容積にあたる置き換え土量が掘削によって発生する。土工量の運搬距離は短くする原則があり、価値の低い土砂を運搬するという土工量を避けねばならない。

1) 一つの方法は、下流域であるならばスーパー堤防用の盛土に転用すれば、都市部の再開発に有効活用することが可能となる。

2) 中流域におけるもう一つの方法は、強靱堤にする死守すべき重要域ではないが、その周辺の堤防について腹付による堤体の拡幅により堤体の浸透による漏水や堤体の弱体化を回避するための断面形の増大のための盛土の増強に使用するのである。中流以上の地域では、治水の用地確保のための収用法の適用が容易なのである。

## 8. 強靱化堤の河川堤防としての浸透対策

強靱化堤を函体内蔵型多目的堤防として使い、最大級の水災害に対しハードの大型防災構造物として人命および背後地の財産・社会資本を防護すると共に、堤体内を広域避難地として機能させる利用法がある。従ってこれまでの津波対策に続いてスーパー台風による高潮・河川氾濫への応用を目的<sup>1),2)</sup>とした場合、津波防波堤として従来から多数の実績のある基礎工としての割栗石マウンドとは別に、長時間におよぶ河川水位の上昇による堤体基礎の浸透性により基礎堤体法尻の基礎部における湧出の可能性が生じる。そのため、割栗石基礎の代わりに薬液注入固化とした。一方で、基礎部への薬液注入固化では固化が一様に密になるとは限らない。そこで、浸透を止めるために、堤体法先と法尻の二か所において、薬液攪拌混合処理による浸透防止壁を築き、浸透流を止めることとする。以上の断面構造により、越流に対する堤体の安定と浸透流による堤体基礎の変形に対処し、想定を越えた豪雨時においても、崩壊しない堤体構造を計画することが可能となる。

## 9. おわりに

本研究は首都圏を巡る巨大水災害のリスクと対策の必要性を示しながら、スーパー台風による主として河川氾濫の災害に対し、統合治水を計画しながら、従来からの氾濫時の避難とは異なるハードの立場から生命・財産と社会資本を守る防災対策を提案した。なお、首都圏の場合には、河川氾濫ばかりでなく、東京湾の高潮も複合災害として起こりえるため、湾奥部の高潮海岸堤防にも付記したが、高潮対策の細部については別途に発表する。本研究では、河川氾濫に対する函体内蔵型堤防（強靱化堤）について、津波防波堤型とは異なった基礎部の浸透対策を重視した改良を加えた。

本研究による主として河川氾濫対策における新たな提案の内容を整理すると、以下に示す通りである。

1) 従来の河川堤防が盛土主体であるかぎり、越流した場合の洗掘によって堤体断面の全体が崩落・流失する結果、高水敷の大流量がそのまま堤内地の居住域に氾濫するため、堤体内に函体（ケーソン）を内蔵した構造により崩壊しない堤体としたが、巨大水災害の中で、河川氾濫の場合には高水位の継続時間が長い。そのため、横長の堤体構造から破堤はしないが、基礎部の透水に対して堤体法尻に止水壁を設けていた。しかし、湧水量を抑制するために、函体荷重の分散のための基礎上部に配置した割栗石を薬液注入固化の地盤改良の変更し、基礎の透水性を下げた。

2) 本研究の強靱化堤は横長であって地震に対しても

安定であるし、他の波力（津波を含む）に対しても強靱なので、台風の進行方向にある前線周辺に出現し易い線状降水帯による長時間の集中豪雨がもたらす河川水位の長時間の上昇が最大の重要な設計条件と判断し、薬液注入固化ばかりでなく、堤体前面法先に薬液攪拌固化（または、セメントペースト深層混合処理によって連続壁を形成し、止水壁とする方法とし、河川堤防の安定化を図るという堤体構造の改良である。

3) また、氾濫防止の恩恵を受ける人々ばかりでなく、堤体の用地取得に関連して、建設用地の地権者の合意を得やすくするために、PPP (Public Private Partnership) の制度を取り入れて、住民地権者の代替居住地と賃貸用マンションによる生活安定化をはかり、事業化の円滑な推進を図る。なお、このPPPは海岸付近の低地帯において、高潮対策について建設用地の収用対策の必要性が顕著となるので、函体内蔵型高潮海岸堤防の際に、別途に発表したい。

4) なお、この強靱化堤は、函体内蔵型堤防の優れた特徴の一つである自然環境対応型であり、堤防を強化すると周辺の景観・自然環境にそぐわない圧迫感があるコンクリート構造物とは異なり、強靱化堤も日常的に公園としての利用が可能であり、この性質も、住民合意の形成に役立つ特質であることを継続して強調したい。

5) また、従来のコンクリート被覆河川堤防やスーパー堤防等との相違と共に、函体を内蔵した強靱化堤を掘削・建設する際に発生する土工量をスーパー堤防の盛土または腹付用土として利用し、現在ある堤体の強靱化法と相互活用が可能である。スーパー堤防の河川の長さ方向の治水対策の弱点を補うことができるので、低地の再開発の支援にも貢献する事も強調する必要がある。

6) これらのハード対策としての強靱化堤の主として浸透に対する強化により、人命や私有財産・社会資本を守ることができる。

## 謝辞：

本研究に使用した衛星画像と連結したGISデータは、千葉大学環境リモートセンシング研究センターの共同利用研究費による支援を受けました。記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 金子大二郎：スーパー台風による高潮と河川氾濫を想定した防護区域の法指定と函体内蔵型多目的堤防、－東京湾奥部低地帯の防災整備計画への適用－、土木学会土木計画学研究・講演集 Vol.60, 44 総合防災計画, 7059, 10p, 2019.
- 2) 金子大二郎, 細山田得三：公園を兼ねた函体内蔵型堤防の巨大災害用構要件、-多目的利用と安定性に関する規模別函体構造の概略設計-,土木学科全国大

- 会第 75 会年次学術講演会,III-1101, 2p, 2020.
- 3) 内閣府：首都圏水害広域避難検討会，資料3 避難手段・誘導に関する課題の解決に向けた検討方針について，46p, 2018.
  - 4) 日本学術会議，土木工学・建築学委員会低頻度巨大災害分科会：低頻度巨大災害分科会，第 1~第 5 議事録，2018~2019.
  - 5) 国土交通省：「ゼロメートル地帯の高潮対策検討会」提言本文，20p, 2018.
  - 6) 国土交通省：高規格堤防の効率的な整備に関する検討会，19p, 2017.
  - 7) 内閣府，首都圏水害広域避難検討会，洪水・高潮氾濫からの大規模・広域避難検討ワーキンググループ，洪水・高潮氾濫からの大規模・広域避難に関する定量的な算出方法と江東 5 区における具体的な検討，83p, 2018.
  - 8) 東京都庁防災課：高潮浸水想定区域図の公表に伴う対応について，東京都高潮浸水想定区域図 [想定最大規模] (浸水深)，5p, 2017.
  - 9) (財) 地図センター，メッシュ人口データ，府県別，2018.
  - 10) 国土交通省，川の防災情報，川の水情報，浸水想定区域：利根川水系利根川，2019.  
<https://www.river.go.jp/kawabou/ipHazardMapZoom.do?gamenId=01-0709&shinsuiCd=830280010001>
  - 11) 金子大二郎，細山田得三：衛星による木造住宅率と津波浸水深を用いた避難人命リスクの評価—地理・社会モデルの開発と鎌倉海岸への適用—，土木学会論文集 F6 (安全問題)，Vol. 73, No. 1, pp. 58-70, 2017.
  - 12) 金子大二郎：津波避難ビル群の安全特性と人命リスク評価方法の開発 - 相模湾の藤沢市への適用 -，土木学会第 73 回年次学術講演会，IV-152, 2p, 2018.
  - 13) 金子大二郎：津波避難人命リスクに対する防災丘陵の構造要件 - 概念特性と鎌倉市の津波防災への適用 -，土木学会第 74 回年次学術講演会，CS12-69, 2p, 2019.
  - 14) 金子大二郎：津波防災丘陵の断面形と丘陵内部に備えた広域避難地および多目的機能，特許庁，特許公報 (B1)，特許 2018-095381, 12p, 2019.
  - 15) 細山田得三，金子大二郎，大竹剛史：津波脆弱性海岸における盛土構造体による津波対策工評価のための数値実験，土木学会論文集 B1, Vol. 71, 特別号・水工学論文集，Vol. 59, 228, 6p, 2015.
  - 16) 鋼矢板二重式仮締切設計マニュアル，財団法人国土技術研究センター編集，山海堂，pp238, 2001.

(2021.03.07 受付)

## CONTROL OF RIVER OVER FLOWS AND STORM SURGE INTO TOKYO METROPOLITAN AREAS

Daijiro KANEKO<sup>1)</sup>

1) Member, President, Remote Sensing Environmental Monitor Inc., Dr. Eng.

### ABSTRACT

Super typhoons become both strong and frequent by the effects of climate warming on sea surface temperature, which emerge increasing risks of tidal surge and river flooding. In 2019, large-scale of flooding damages are caused by the typhoon throughout East Japan, and have resulted in real heavy disasters. The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism has examined the risks of high tide and flood for three major gulfs of Tokyo Bay, Ise and Osaka, in these areas below zero elevation level. In addition, refuge measures are considered in Cabinet Office and Tokyo, but evacuation population from the flooding becomes extremely large, which cause there many refuge problems, and are known to be a limit for countermeasures. This study proposes improved design of embankment structures to control both river flooding in well-known basins of the Arakawa and the Tone River. The author intends to restrain the wide areas of flooding damage in the metropolitan downstream areas using dikes of concrete-caisson inside the embankment, which never collapse by both extreme flood velocity and overflow, along with enforced small lakes that equipped effective water storage type of flood-ponds with low overflow dike.