

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 m<sup>3</sup>/sであり全川堤防化では最大実績の3.5倍の700 m<sup>3</sup>/sが必要となる。しかし現在、50 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/s 以上を選定した)

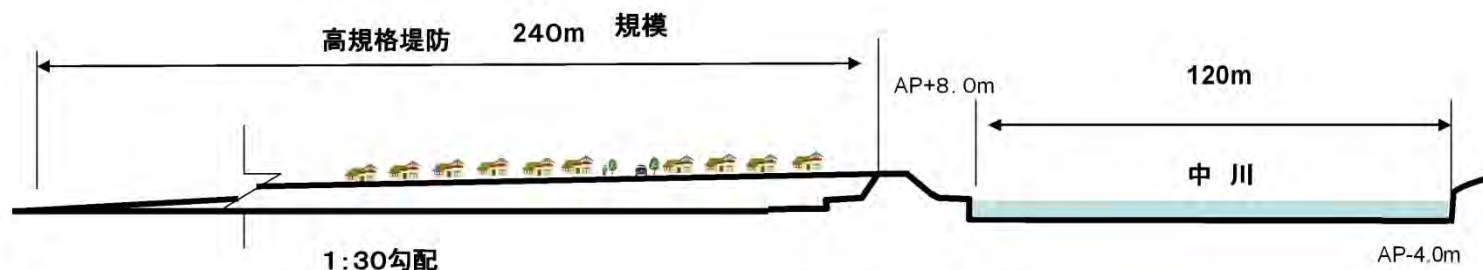
直轄・補助	工事事務所	設置場所	ポンプ名	河川名			ポンプ規模	主ポンプ				
				水系	外水河川	内水河川		形式	口径mm	吐出量m <sup>3</sup> /s	現台数	設置年
直轄・関東	江戸川	埼玉県三郷市	三郷	利根川	江戸川	三郷放水路	200	立渦	4600	50	3	S53・H7
									3000	20	1	S52
									3600	30	1	S53
直轄・関東	江戸川	埼玉県八潮市	八潮	利根川	中川	綾瀬川放水路	150	立軸	3300	25	2	H1・H6
										50	1	H10
直轄・関東	江戸川	埼玉県春日部市	首都圏外郭放水路	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

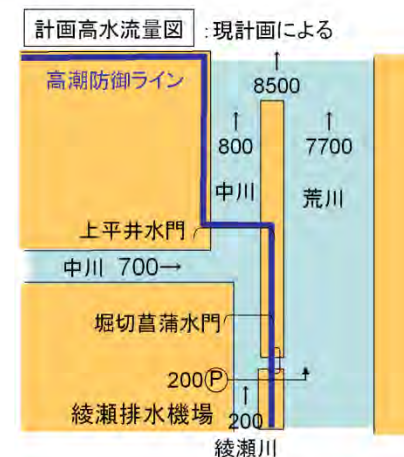
〔第1案〕中川左岸高規格堤防案(現状規定計画)【概算事業費 約6,600億円】



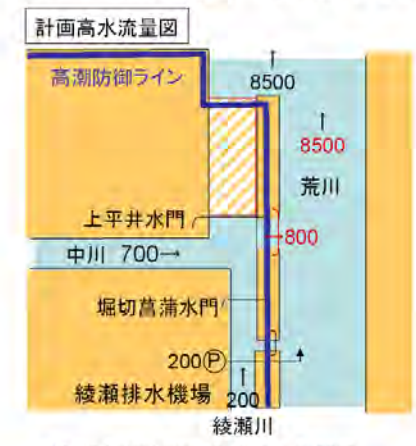
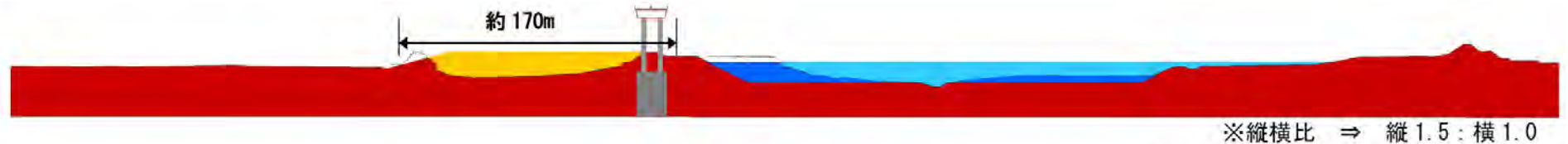
※縦横比 ⇒ 縦1.5 : 横1.0



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】



※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）

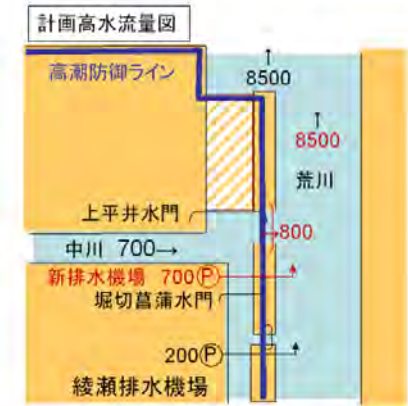
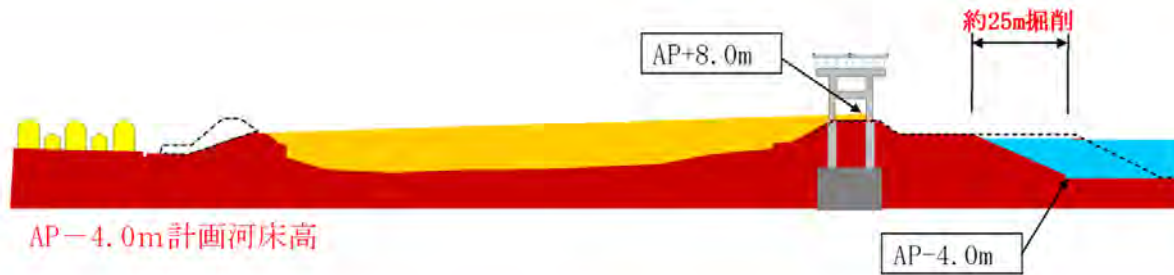




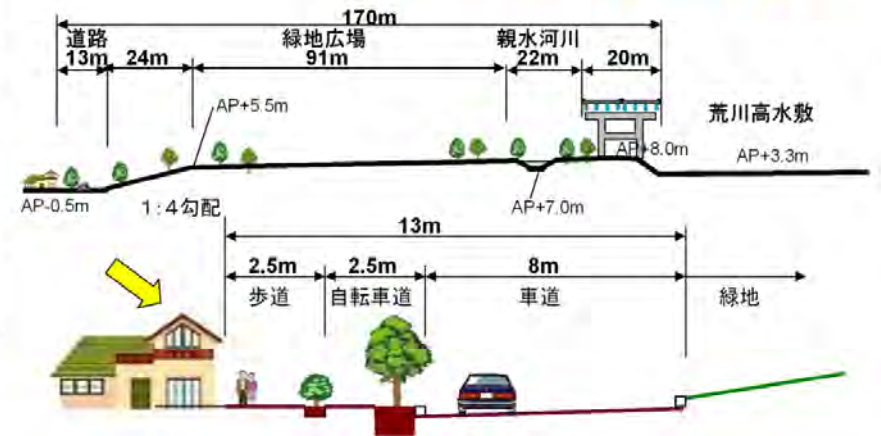
〔第4案〕中川全川堤防化・排水機場案【概算事業費 約3,800~4,200億円】



※縦横比 ⇒ 縦1.5 : 横1.0



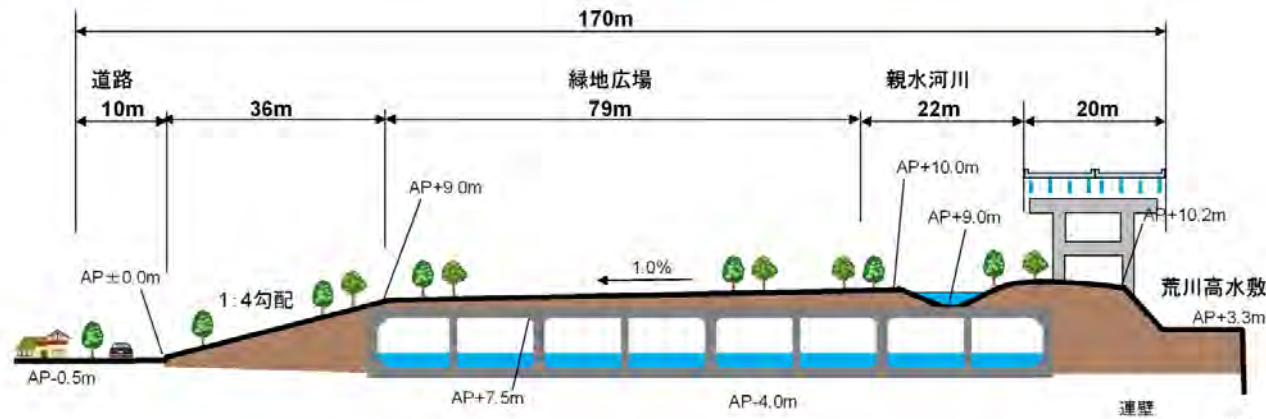
案の概要	中川を上流で荒川に合流させ、合流点下流区間を堤防化、その空間を堤防強化及び避難地等として活用する案（排水機場を設ける）
超過洪水・超過高潮対応	堤防機能の強化により対応
地震対応	地盤改良等を行った上で中川空間を堤防化することで耐震性を確保
高潮防御ライン	背割堤部に変更
避難地確保の考え方	中川を堤防化した空間の活用
案の考え方	中川流下断面は、荒川直接接続により荒川（容量拡大）で確保（対応する700 m <sup>3</sup> /s 排水機場を整備）



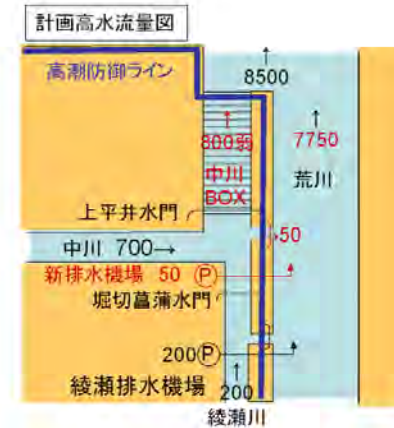
〔第5案〕中川暗渠案【概算事業費 約3,000億円】



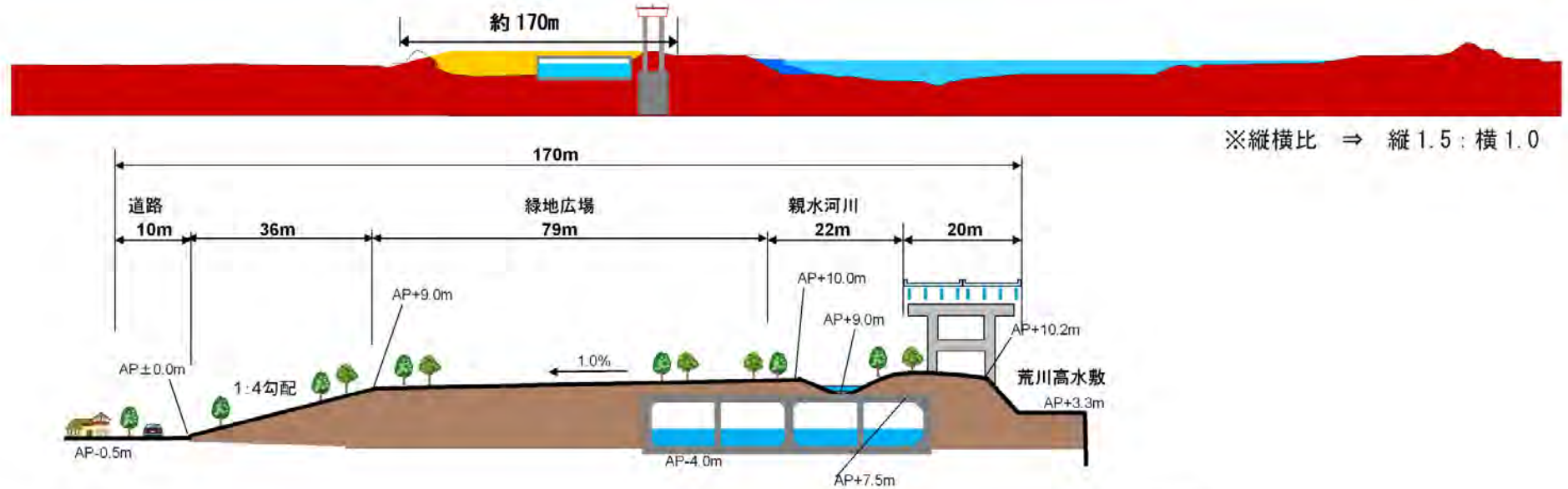
※縦横比 ⇒ 縦1.5 : 横1.0



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）

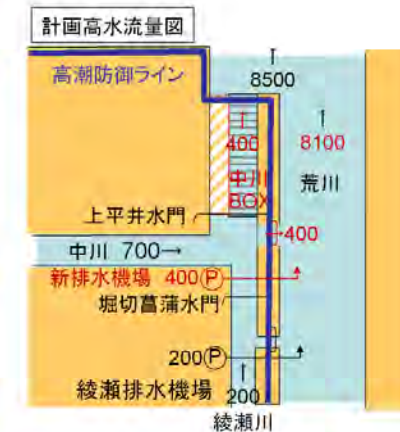


〔第6案〕 中川半幅堤防拡幅・半幅暗渠案【概算事業費 約4,300~4,700億円】

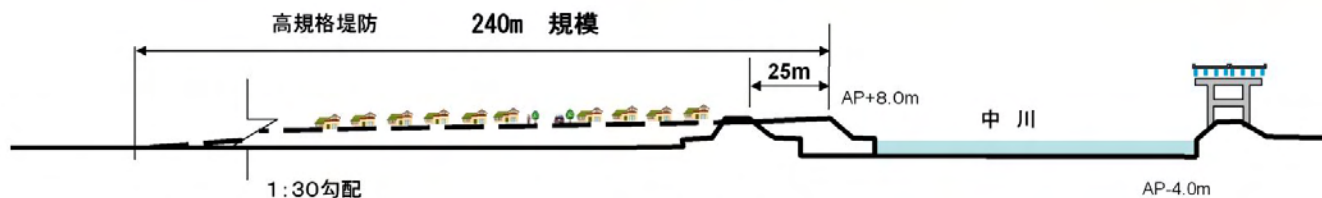
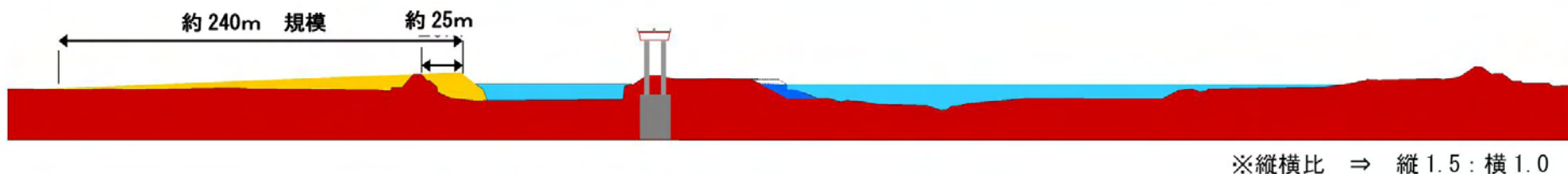


※縦横比 ⇒ 縦1.5：横1.0

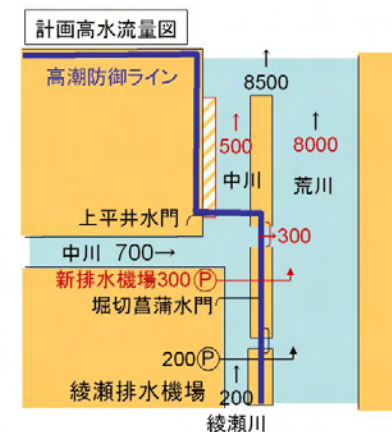
案の概要	中川の半幅を上流で荒川に合流させ、合流点下流区間の半幅を堤防拡幅し活用。残りの中川半幅を暗渠化し上部を活用する案（排水機場を設ける）
超過洪水・超過高潮対応	超過洪水・高潮に耐えられる暗渠構造で対応
地震対応	直下型地震に耐えられる暗渠構造で対応
高潮防御ライン	背割堤部に変更
避難地確保の考え方	堤防拡幅した空間及び暗渠の上部空間の活用
案の考え方	中川流下断面の減少は、荒川直接接続により荒川（容量拡大）で確保（対応する400 m <sup>3</sup> /s程度の排水機場を整備）



〔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】

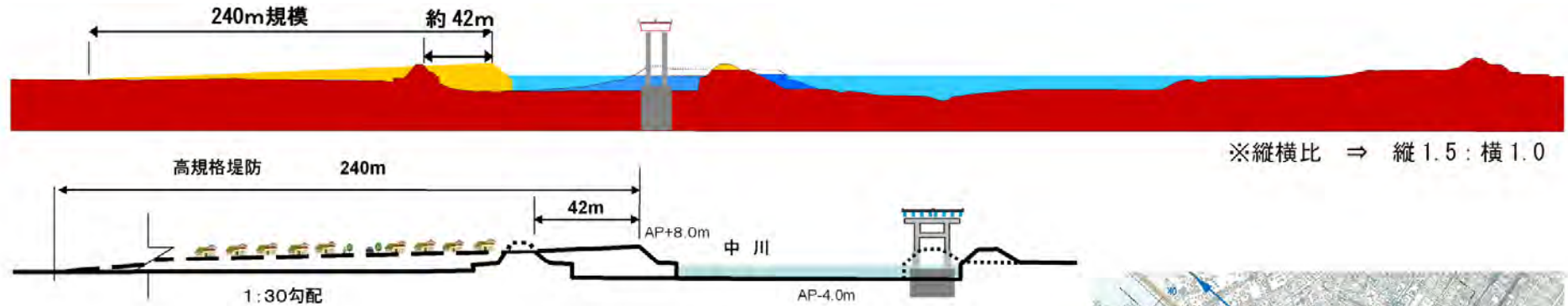


案の概要	当面の機能発揮上必要な範囲で堤防を拡幅し、将来中川左岸堤防の高規格堤防整備を計画する案（排水機場を設ける）
超過洪水・超過高潮対応	高規格堤防により対応（中川の一部堤防拡幅により当面の堤防強化を実施）
地震対応	堤防拡幅時に当面の耐震性を確保 さらに、地盤改良等を行った上で高規格堤防整備を行うことで対応
高潮防御ライン	中川左岸堤（高規格堤防）
避難地確保の考え方	堤防拡幅した空間及び堤内地側での防災コアの整備（避難地間連絡を堤防拡幅で確保）
案の考え方	中川流下断面の減少は、荒川直接接続により荒川（容量拡大）で確保（対応する 300 m <sup>3</sup> /s の排水機場を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



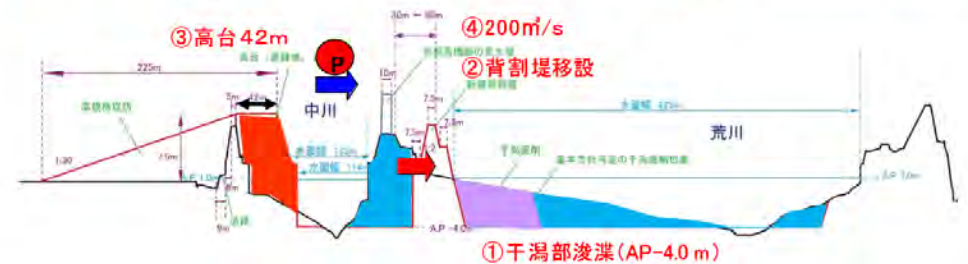
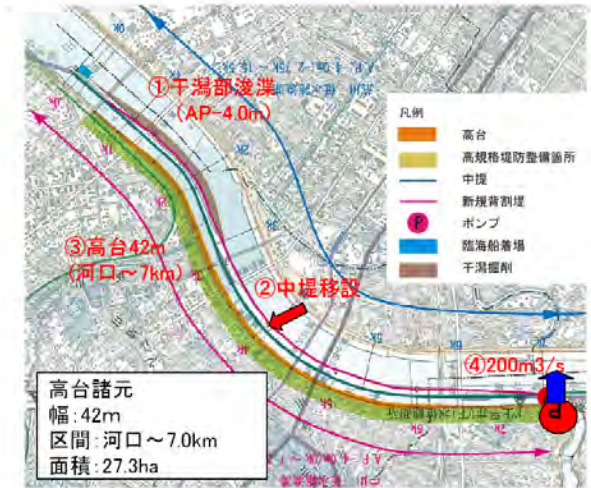
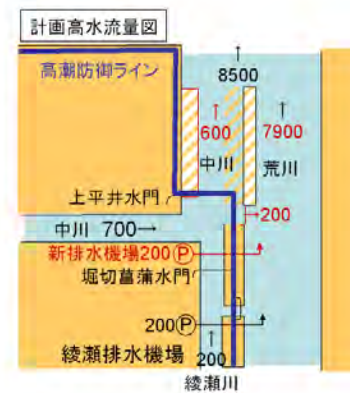


[第8案] 中川左岸堤防拡幅・背割堤移設・排水機場案【概算事業費 約6,500億円】

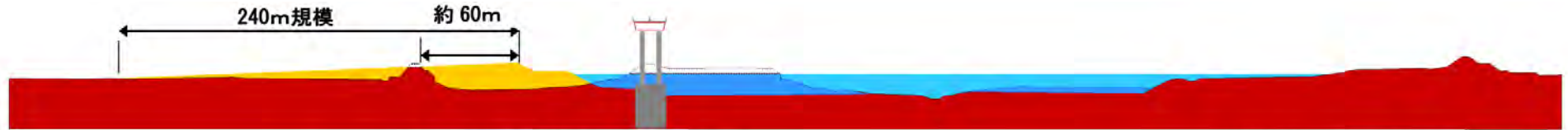


※縦横比 ⇒ 縦 1.5 : 横 1.0

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（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 <sup>3</sup> /sの排水機場とした。

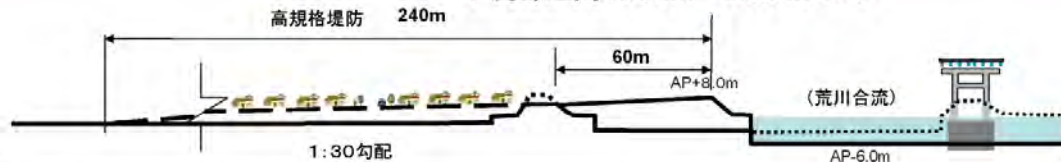


[第9案] 下流部での中川左岸堤防拡幅・荒川合流案【概算事業費 約5,500億円】

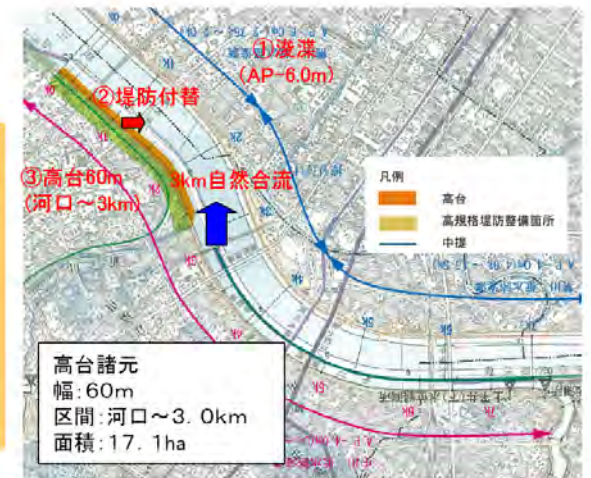
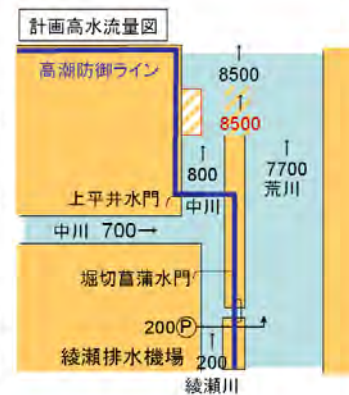


下流部区間(0.0km~3.0km)のみ

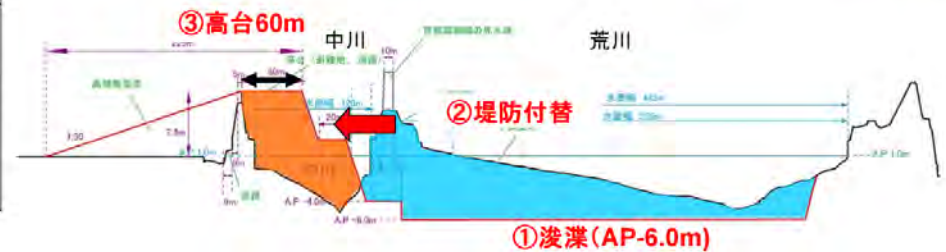
※縦横比 ⇒ 縦1.5 : 横1.0



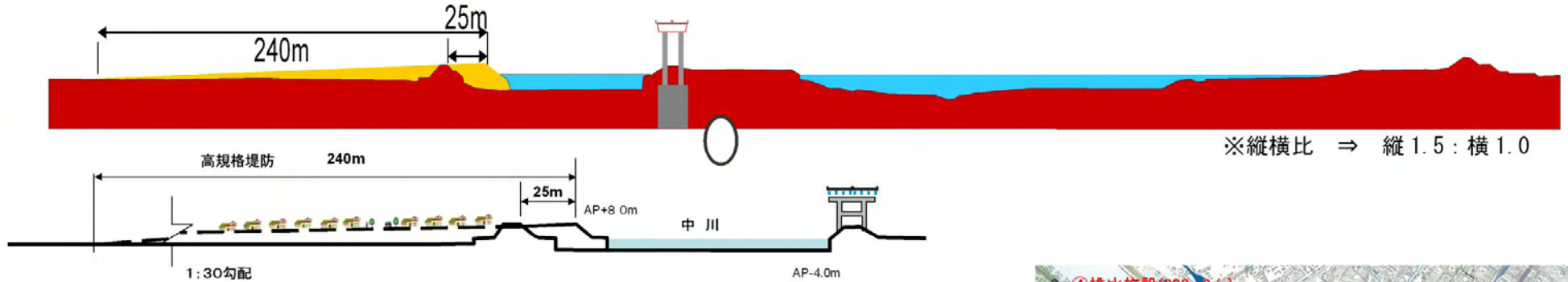
案の概要	下流0~3kmについて当面の機能発揮上必要な範囲で堤防を拡幅。下流の不足分及び上流は、将来中川左岸堤防の高規格堤防整備を計画する案
超過洪水・超過高潮対応	高規格堤防により対応（下流は中川の一部堤防拡幅により当面の堤防強化を実施）
地震対応	下流堤防拡幅時に当面の耐震性を確保 さらに、地盤改良等を行った上で高規格堤防整備を行うことで対応
高潮防御ライン	中川左岸堤（高規格堤防）
避難地確保の考え方	堤防拡幅した空間及び堤内地側での防災コアの整備（避難地間連絡を堤防拡幅で確保）
案の考え方	中川全川堤防化・荒川河床掘削案その2（第2-2案）に対し、維持浚渫、横断橋梁対応を少なくする観点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



高台諸元  
幅:60m  
区間:河口~3.0km  
面積:17.1ha

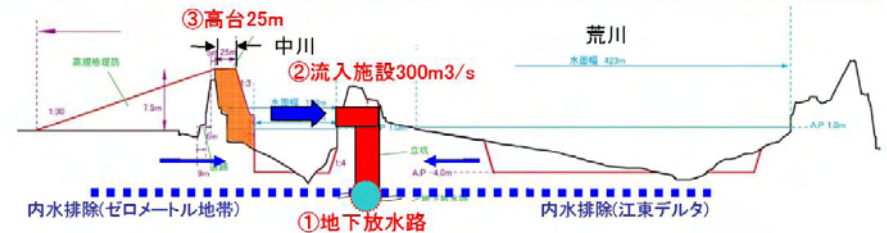
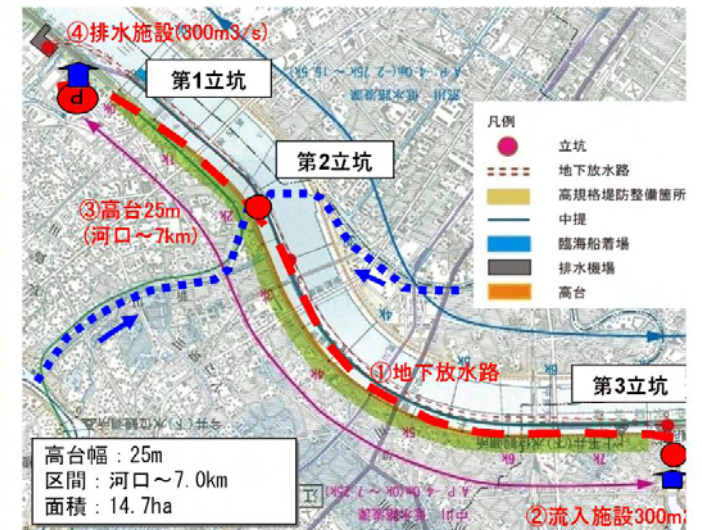
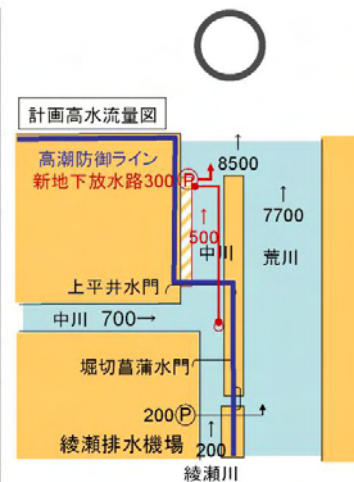


[第10案] 中川左岸堤防部分拡幅・地下放水路案【概算事業費 約3,400億円】



※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 <sup>3</sup> /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	<ul style="list-style-type: none"> <li>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。</li> </ul>	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	<ul style="list-style-type: none"> <li>荒河床掘削 A.P.-6.80m (1500 万<sup>3</sup>m)</li> <li>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。</li> </ul>	約 6,200~6,800 億円
中川全川堤防化(河床 AP-6.80m)		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	<ul style="list-style-type: none"> <li>荒河床掘削 A.P.-6.00m (1450 万<sup>3</sup>m)</li> <li>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。</li> </ul>	約 5,600~6,000 億円
中川全川堤防化(河床 AP-6.80m)		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 <sup>3</sup> /s 排水機場	約 3,800~4,200 億円
中川全川堤防化・700 m <sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> )	約 4,300~4,700 億円
中川半幅堤防化・半幅暗渠化・400 m <sup>3</sup> 排水機場	・400 m <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> )	約 2,400 億円
中川 25m堤防化・300 m <sup>3</sup> 排水機場	・300 m <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> )	約 6,500 億円
中川 42m堤防化・200 m <sup>3</sup> 排水機場	・300 m <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> )	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 <sup>3</sup> /s)	・地下放水路(300 m <sup>3</sup> /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
☆中川左岸での高台避難地確保が必要と考えられるため、 ☆確保できる規模、 ☆超過高潮に対応した避難地となりうる高さ、 ☆確保される避難地が孤立しないか、 ☆輸送可能性等の観点での評価	○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 ○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 ■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 △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	◎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 ◎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 ◎渡河避難者は解消できる	◎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 ◎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 ◎渡河避難者は解消できる	◎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 ◎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 ◎渡河避難者は解消できる	◎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 ◎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 ◎渡河避難者は解消できる	◎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 ◎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 ◎渡河避難者は解消できる	○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 ■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 ■最終的に荒川西側への渡河避難者は解消されない	◎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 ○避難後の避難地間の移動・輸送効果も期待できる ◎渡河避難者は解消できる	○3km～河口部において約18haの避難地確保ができる □避難地(＋避難路)確保効果は下流部に限定される ■避難地間の移動・輸送効果は期待できない ■最終的に荒川西側への渡河避難者は解消されない	○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 ■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 ■最終的に荒川西側への渡河避難者は解消されない
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。

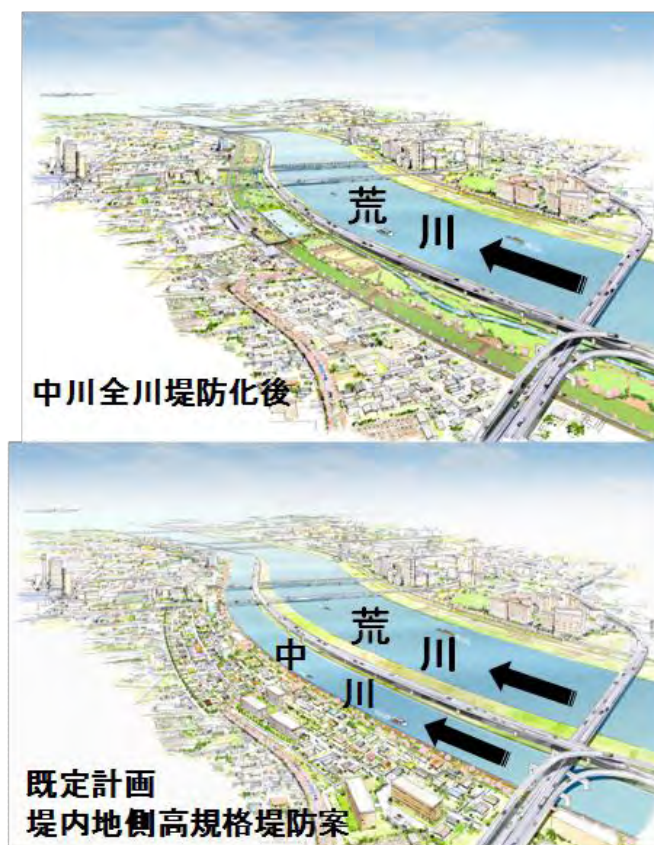


図 4-19 中川防災ベルト構想完成イメージ(上段は①②③何れの場合でも中川の河川域を活用し堤防強化を図ったイメージ。下段は既定計画の堤内地側を高規格堤防化したイメージ。)



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530km<sup>2</sup>、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944km<sup>2</sup>、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。

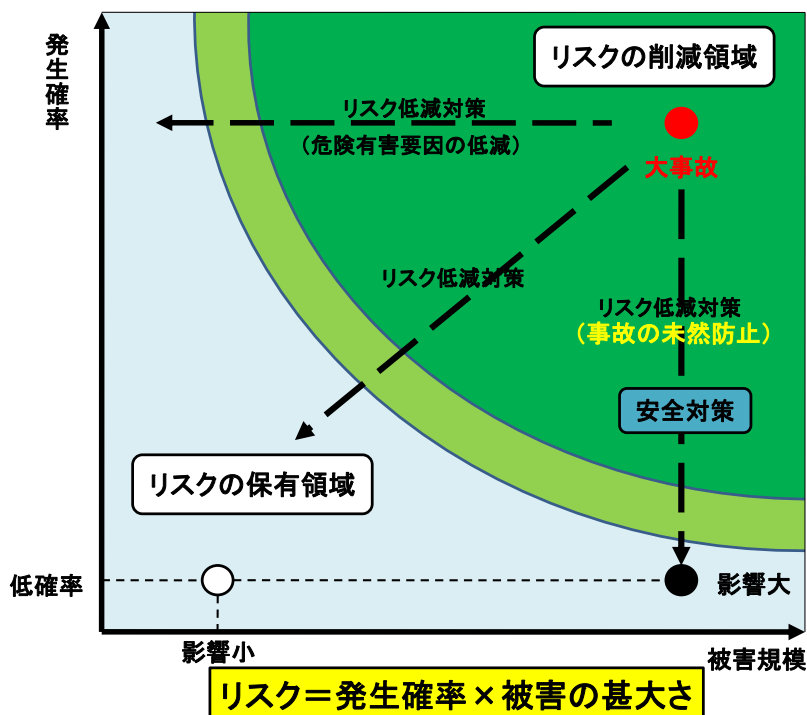


図 4-21 河川洪水のリスク図

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。

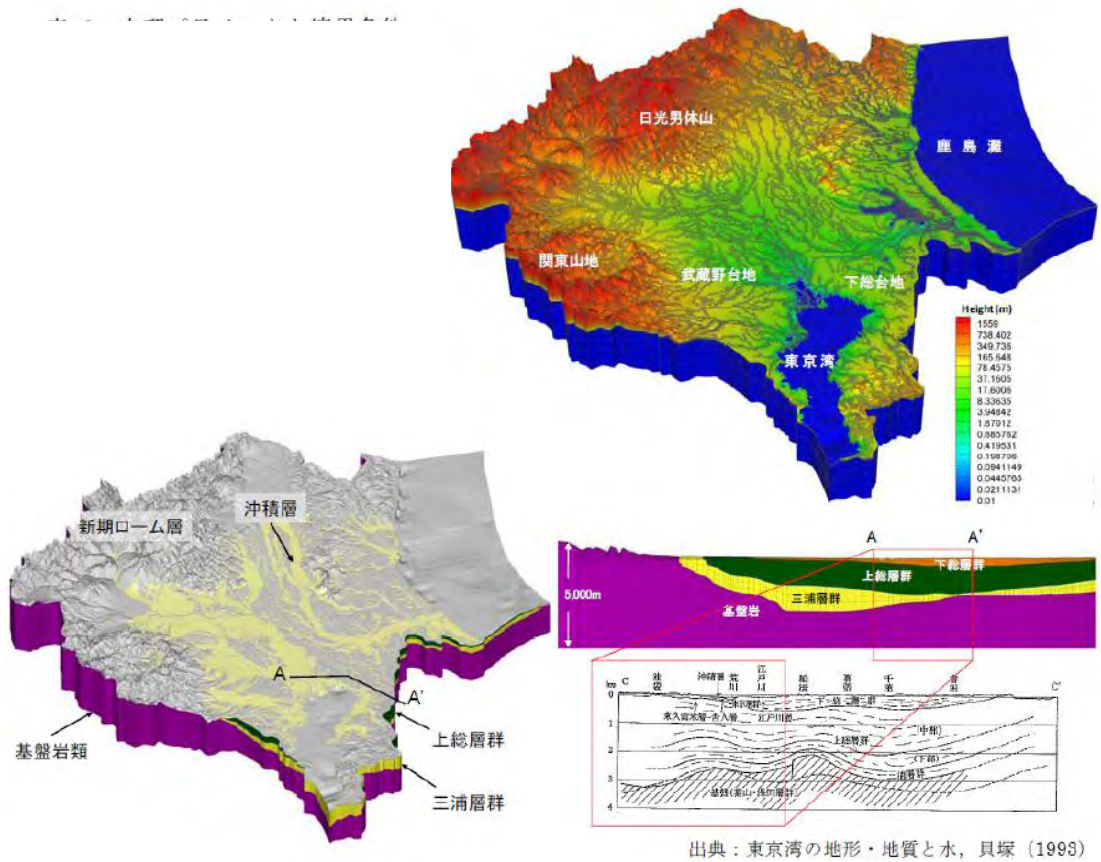
## 資料(今回用いた関東流域圏モデルの概要)

### 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。

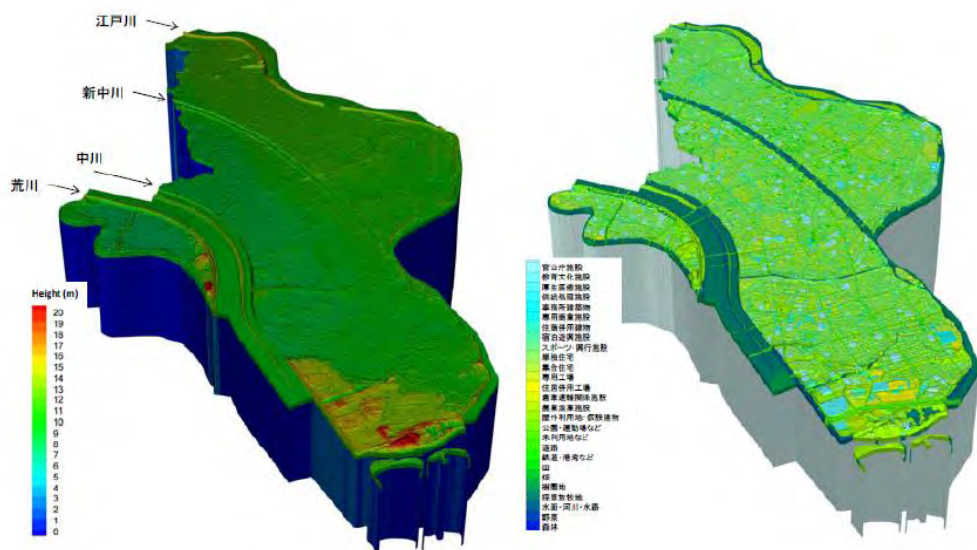
付表 1 水理パラメータと境界条件

	透水係数 (cm/sec)	有効空隙率 (%)
沖積層	$1 \times 10^{-3}$	15
ローム層	$1 \times 10^{-3}$	20
常総粘土層	$1 \times 10^{-5}$	5
下総層群	$1 \times 10^{-2}$	30
上総層群	$1 \times 10^{-4}$	20
三浦層群	$1 \times 10^{-5}$	5
基盤岩	$1 \times 10^{-7}$	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)	



出典：東京湾の地形・地質と水，貝塚（1993）

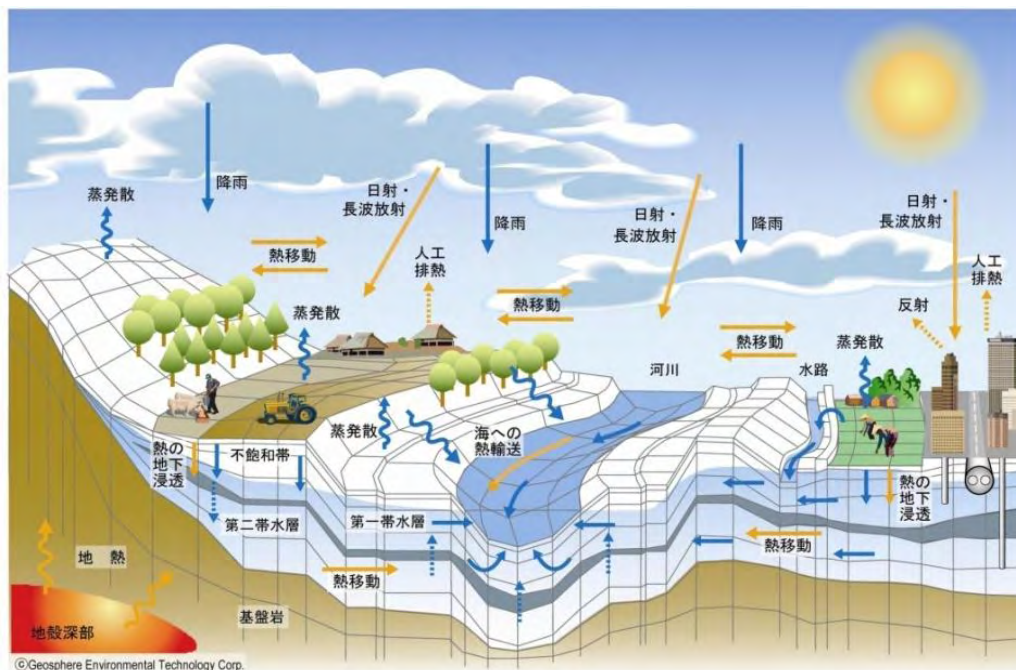
付図. 1 関東流域圏モデル(上:地形, 下:地質)



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。

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

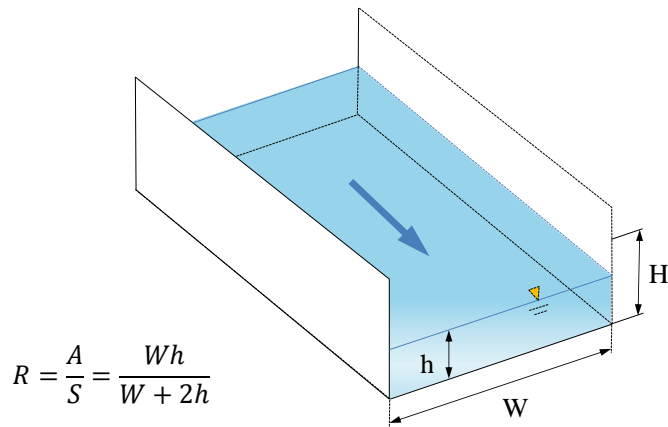
ここに、

- $\theta_x, \theta_y$  : 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<sup>-1</sup>]

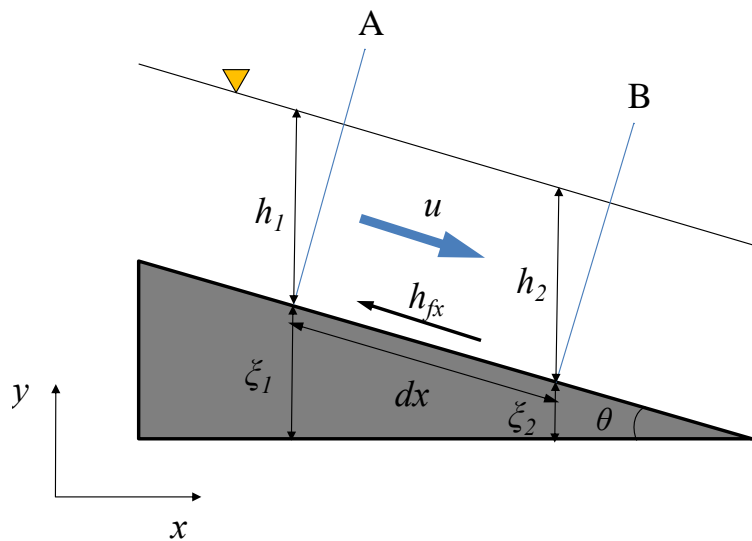


- $\xi$  : 開水路高 [L]
- $\alpha$  : エネルギー補正係数 [-]
- $\beta$  : 運動量補正係数 [-]
- $P_r$  : 降雨量 [LT<sup>-1</sup>]
- $g$  : 重力加速度 [LT<sup>-2</sup>]
- $t$  : 時間 [T]
- $x, y$  : 流動方向成分の距離 [L]

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、 $\rho$ は水の密度、 $A_j$ はj方向(j=x,y)の断面積(L<sup>2</sup>)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(-)
- $\mu_p$  : 流体相  $p(=w,g)$ の粘性係数( $Pa \cdot s$ )
- $\rho_p$  : 流体相  $p(=w,g)$ の密度( $kg/m^3$ )
- $\Psi_p$  : 流体相  $p(=w,g)$ のポテンシャル( $Pa$ )
- $\phi$  : 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( $\text{kg/m}^2/\text{s}$ )、 $p(=g:\text{gas}, w:\text{water})$ 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。