

◆ 安全・安心を支える技術開発特集 ◆

首都圏外郭放水路第3立坑流入実験

岡部 勉* 末次忠司** 武富一秀*** 倪 广恒****

1. はじめに

首都圏外郭放水路（以下、外郭放水路）は、慢性的な浸水地帯である中川・綾瀬川流域の抜本的な解決策として早期に完成が望まれている圧力管方式の地下放水路である。そもそも中川・綾瀬川流域は、江戸川と荒川に囲まれたお皿のような低平な地域（図-1）であることから降った雨が溜まりやすく、また、河川の勾配が非常に緩やかなことから、ひとたび大雨が降るとなかなか河川の水位が下がらない特徴を持っている。さらに、都心から近いこともあり近年急速な都市化が進んでいる地域もある。このためここ10年間においても中川・綾瀬川流域では、平成3年9月の台風による大雨で床上・床下浸水合わせて約3万戸、平成5年8月の台風でも、床上・床下浸水合わせて約1.6万戸が浸水した。この内水被害の対策としての外郭放水路の効果を平成3年9月

の洪水を対象に推計してみると浸水面積が約 63.5km^2 から約 11km^2 に減少し、被害人口も約22.3万人から約0.5万人に減少すると考えられている。

本研究では、外郭放水路全体のちょうど中央に位置する第3立坑内の流水が流下するドロップシャフト（図-2の立坑内で流水が流下する管）の形状とドロップシャフトへ流水を流下させる導水路下流端形状（以下、導水路形状）の最適な組み合わせを見出すことを目的とする。

2. 外郭放水路の概要

外郭放水路の全体図を図-2に示す。外郭放水路は、埼玉県春日部市と庄和町に位置し、流域の5河川（大落古利根川、幸松川、倉松川、中川、18号水路）の洪水時の流水を立坑より放水路本管に流入させて江戸川に排水する全長6.3km・地下約50mに設置される放水路である。外郭放水路の諸元を表-1に示す。

工事の進捗状況としては、平成12年3月現在で第1から第4立坑本体完成、放水路本管第1から第4立坑区間約9割完成、排水機場約9割完成となっている。事業予定としては、平成14年度に第1立坑から第3立坑までが供用開始され、外郭放水路全体の供用開始は、平成18年度の予定となっている。

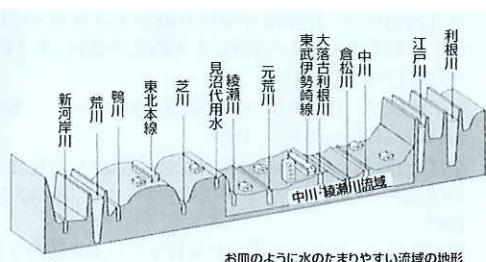


図-1 流域の地形

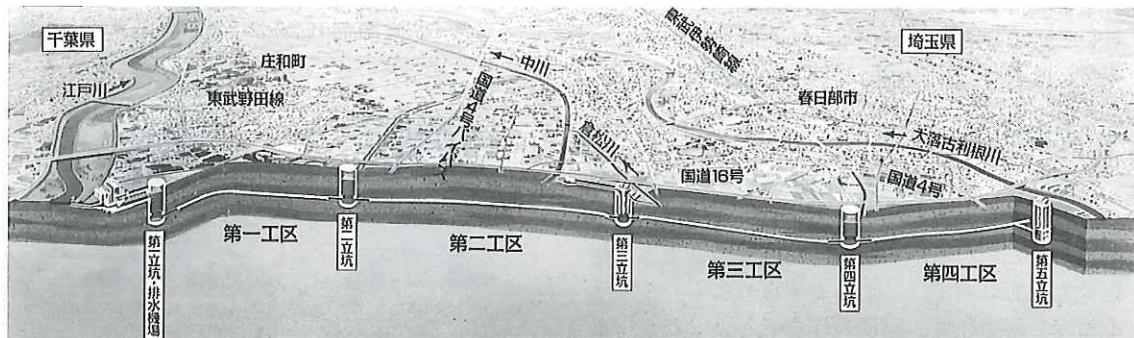


図-2 放水路全体図

Hydraulic model experiment on inlet facility of The Metropolitan Area Outer Diversion Channel

表-1 外郭放水路の諸元

流入立坑	第1立坑	第2立坑	第3立坑	第4立坑	第5立坑
流入河川名	排水施設	18号水路	倉松川/中川	幸松川	大落古利根川
計画流量 (m^3/s)	-	4.7	100/25	6.2	85
ドロップシャフト内径 (m)	31.6	31.6	23.5	25.1	未定
放水路本管内径 (m)			10.6		
勾配			1/5000		
全長 (m)			6,300		

3. 実験内容

当初の計画では、第3立坑には倉松川・中川からの洪水が流入することから、2本のドロップシャフトの建設が予定されていた¹⁾。これに対してコスト縮減の観点から1本のドロップシャフトとし、立坑の埋め戻し量を少なくする流入施設を検討する事となった。この計画の変更に伴い、最適な形状を見出すために以下の実験を行った。

実験は、まず構造・施工・建設コストの面からドロップシャフト形状案と導水路形状の組み合わせを3案設け、各組み合わせ毎に水理模型実験を行い、水理的に最適な組み合わせを検討することを目的とした抽出実験を行った。次に、抽出実験により選定したケースについての水理的問題点を改善するための改良形状を見出すことを目的とした詳細実験を行った。実験は、フルードの相似則を用い、縮尺は1/22、流量は全て計画流量を用いた。また本文中の数値は、全て現地値である。

4. 抽出実験

抽出実験におけるドロップシャフト形状案を図-3, 4に示した。模型形状1は、既設の連続壁をドロップシャフトに用い、倉松川導水路下流端に

流水到達距離を短くすることを目的とした落水導水路を設けた形状である。模型形状2は、カマチ梁先端形状をドロップシャフト径とした形状である。模型形状3は、流入立坑内に建設が予定されているドライエリア(立坑内に設置される管理用施設)を除いて、ドロップシャフト形状が円形になるようにした形状である。各模型形状と導水路

表-2 导水路形状

	倉松川	中川
模型形状1	直接落下式	直接落下式
模型形状2	複断面式	直接落下式
模型形状3	複断面式	複断面式

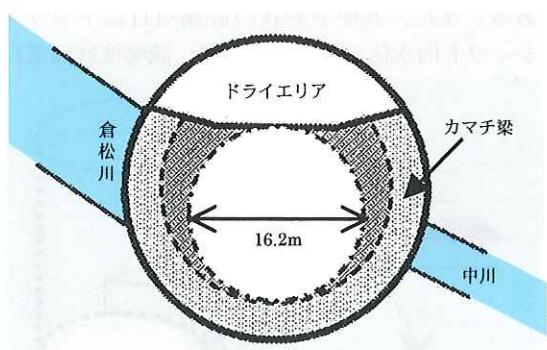


図-3 ドロップシャフトの形状案平面図

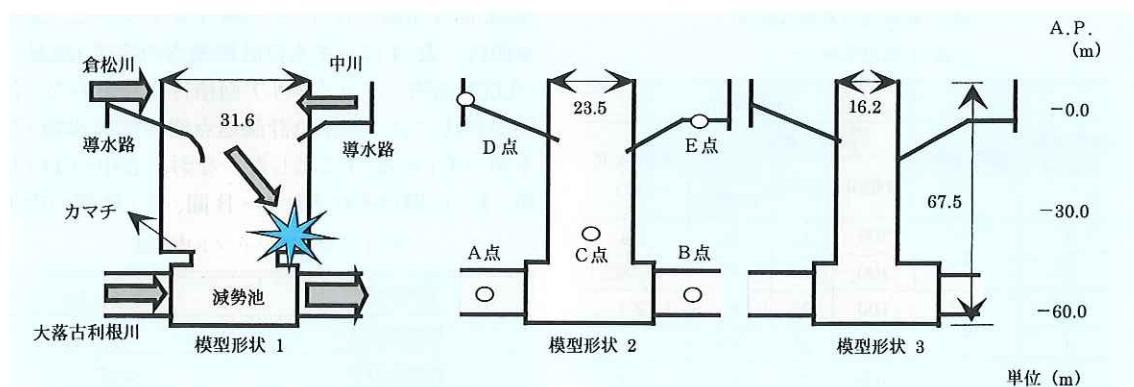


図-4 ドロップシャフト形状案断面図

形状との組み合わせを表-2に示した。各導水路の幅は、倉松川導水路が9.0m、中川導水路幅が3.5mである。導水路形状としては、2種類設けた。1つは、導水路内に何も設けない直接落下方式、もう1つは図-5に示す複断面方式である。複断面方式の特徴としては、ドロップシャフト内水位が低い時には、流水が複断面底部低水路側を通りドロップシャフト内壁に沿うように流下するため、流水の勢いをできるだけ減少させ減勢池底面部に掛かる衝撃圧を減少させる。またドロップシャフト内の水位が高い時には、流水が複断面の全幅を流下するためエネルギーを抑えることが出来る。また、抽出実験時の複断面の寸法としては過去の実験より¹⁾、開口幅a=2.0m(倉松川)、1.0m(中川)、角度b=30°(共通)、階段高さh=5.0m(形状2)、3.5m(形状3、倉松川)、2.5m(形状3、中川)である。抽出実験の実験ケースを表-3に示した。実験条件水位は計画水位A.P.2.4m(立坑内水位が高い時)と計画流量が流入する初期段階の水位A.P.-48.2m(立坑内水位が低い時)を設けた。なお、減勢池底面地盤高はA.P.-60.8mである。また、各模型形状の評価項目はドロップシャフト内水位が低い時の流況、減勢池底面部に

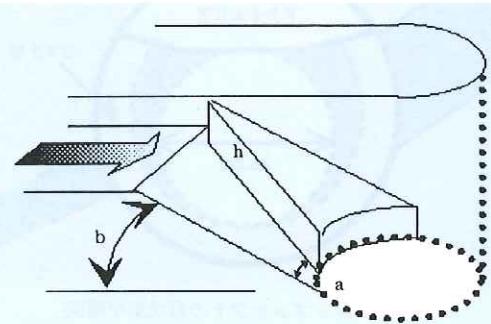


図-5 複断面方式導水路図

表-3 抽出実験ケース

抽出実験 ケース	模型形状	実験条件			
		流量(m ³ /s)			水位A.P. (m)
		倉松川	中川	大落古 利根川	
1	1	100	25	85	2.4
2		100	25	85	-48.2
3	2	100	25	85	2.4
4		100	25	85	-48.2
5	3	100	25	85	2.4
6		100	25	85	-48.2

掛かる衝撃圧、ドロップシャフト内水位が高い時の水位計測地点間(図-4)の損失水頭により比較検討を行った。

4.1 抽出実験結果

4.1.1 流況

ドロップシャフト内水位が低い時、模型形状1では倉松川からの流水がカマチ梁に直接衝突して飛沫がみられた(図-4)。また、衝突した流水の一部がカマチ梁上を伝ってドライエリア壁に衝突する事も確認された。中川からの流水は、落下する途中で倉松川からの流水と衝突・合流していた。模型形状2では、倉松川からの流水が約1/2周ほど内壁に沿って落下した。この際、流水の一部がドライエリア壁に衝突する事が確認された。中川からの流水は、落下する途中で反対側の内壁に衝突する事が確認された。模型形状3では、倉松川からの流水が約1周ほど内壁に沿って落下し、中川からの流水も約2/3周ほど内壁に沿って落下していた。これらの事より立坑内水位が低い時の流況は、流水が滑らかに流下する模型形状3が優れていることが判明した。ドロップシャフト内水位が高い時は、各模型形状とも流入水は、立坑内をゆっくり回転しながら流下していた。また、ドロップシャフト内水位が高い時、ドロップシャフト径が小さくなる程、減勢池部の流況が乱れ、放水路本管の流下に影響を与えていることが確認された。なお、立坑内水位が低い時は、各模型形状とも空気を運行したが、特に問題は生じなかった。

4.1.2 損失水頭

ドロップシャフト内水位が高い時、各模型形状の水位計測地点(図-4)の全水頭(速度水頭、圧力水頭、高度水頭の合計)を実験等より求めた。速度水頭は、表-4に示す水位計測地点の流速(流量/(立坑断面積-ドライエリア面積))より求めた。各模型形状における水位計測地点間の損失水頭(全水頭の差)を表-5に示した。なお、表中のD・C間、E・C間はそれぞれD・B間、E・B間の内訳

表-4 ドロップシャフト内流速

模型形状	速度(m/s)
模型形状1	0.22
模型形状2	0.37
模型形状3	0.61

表-5 ドロップシャフト部の損失水頭 (m)

模型形状	A・B間の 損失水頭	D・B間の 損失水頭	E・B間の 損失水頭		C・B間の 損失水頭
			D・C間	E・C間	
模型形状1	0.32	1.09	0.89	0.58	0.38
模型形状2	0.37	1.09	0.85	0.54	0.29
模型形状3	0.41	1.11	0.81	0.67	0.36

を表している。表-4, 5 よりドロップシャフト部の損失水頭は、概ね流速が速くなるほど大きくなる事が確認された。これより各模型形状の水位計測地点間の損失水頭を比較すると、ドロップシャフト内の流速が遅い模型形状1・2が小さく、流速が速い模型形状3が大きいことが確認された。

4.1.3 減勢池底面の衝撃圧

立坑内水位が低い時の減勢池底面に作用する衝撃圧を圧力センサー(6箇所)を設置し計測を行った。なお、圧力センサー設置地点は実際の流況を見ながら最も衝撃圧が作用していると思われる箇所に設置した。計測結果を表-6に示した。模型形状1では、減勢池底面に作用する衝撃圧は小さいが、カマチ梁における衝撃圧は、流水が直接衝突する為、非常に大きく79.4(m)となるのが確認された。この値は、設計上確実に安全が確保されている最大静水圧より大きい事から模型形状1は、採用できないことが判明した。また、導水路を複断面式にした模型形状2・3では、問題になるほど大きな衝撃圧は作用しない事が確認された。

4.2 抽出実験まとめ

抽出実験の結果を表-7にまとめた。結果より模型形状1は、カマチに掛かる衝撃圧が最大静水圧より大きいために採用することが不適当である。模型形状2の流況は△であるが、流況は倉松川からの流水が若干ドライエリア壁に衝突する程度の問題であり、ドロップシャフト内壁を斜めに変更することで解決可能なことから、総合的に見て損失水頭が小さい模型形状2を選定した。また、ド

表-6 減勢池底部等に作用する衝撃圧

模型形状	衝撃圧		
	最大値	最小値	平均値
模型形状1 (カマチ梁)	13.6	12.2	12.9
	79.4	0.0	24.1
模型形状2	22.7	12.0	17.1
模型形状3	20.3	13.4	16.2

減勢池底面部を0とした圧力水頭(m)

表-7 抽出実験評価結果

模型形状	評価項目		
	流況	損失水頭	衝撃圧
模型形状1	×	○	×
模型形状2	△	○	○
模型形状3	○	△	○

<評価> ○: 優れている △:どちらでもない ×: 問題あり

ドロップシャフト内壁を斜めに変更することで建設ずみの立坑との間の埋め戻し量が減少することから建設コスト的にも優れている。

5. 詳細実験

抽出実験より選定した模型形状2では、倉松川からの流水がドロップシャフト内壁に沿って流下する際に、ドライエリア壁に若干衝突することが課題となつた。この点を改善するために詳細実験では、倉松川導水路下流端からドライエリア壁までのドロップシャフト壁面上の距離を出来るだけ長く確保すること及び埋め戻し量の削減を目的として、ドロップシャフト内壁を斜めに改良した。改良案を図-6に示した。実験は、最適な倉松川導水路複断面形状の開口幅(=a)と角度(=b)を見出す事を目的とした複断面形状実験を行い、ドライエリア壁への流水の衝突が無いまたは少ない実験ケースを2ケース選定した。次に選定した2ケースについて、流況以外の評価項目(損失水

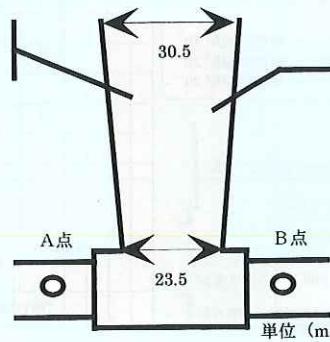


図-6 改良案

頭、衝撃圧)で比較検討を行う実験を行った。

5.1 複断面形状実験

複断面形状実験ケースを表-8に示した。実験は、過去の実験結果²⁾より導水路の開口幅を2ケース(2.50m、3.75m)、角度を3ケース(20°、30°、40°)設定し、ドロップシャフト内水位が低い時の倉松川からの流水の流況を計測した。

5.2 複断面形状実験結果

ドロップシャフト内水位が低い時の倉松川からの流水の軌跡を示したのが図-7である。図より導水路勾配が急になる程、流水の到達距離が短くなる。特に角度が40°の場合、開口幅に関係なくドロップシャフト内壁に沿ってドライエリア壁に直接衝突する流水は無くなかった。また、実験ケース4と6の到達地点を比較すると約7.5mほど差が生じた。到達地点に差が生じた原因として以下の事が考えられる。(1)ドロップシャフト内壁を斜めにしたことから従来案に比べて倉松川導水路下流

表-8 複断面形状実験ケース

実験ケース	複断面部目	
	開口幅(m)	角度(°)
実験ケース1	2.50	40
実験ケース2		30
実験ケース3		40
実験ケース4	3.75	40
実験ケース5		30
実験ケース6		20

端からドライエリア壁までの水平距離が長くなつた。(2)導水路勾配が急になるほど倉松川下流端の位置が低くなつた(20°と40°を比較すると約3m低くなつた)。また開口幅の違いによる流水の到達地点差は、殆ど生じないことが分かった。以上より最適な複断面形状は、角度が40°の実験ケース1と4である。

5.3 形状決定実験

複断面形状実験より選定した実験ケース1と4について流況以外の項目について比較検討を行つた。比較項目としては、ドロップシャフト内水位が高い時の図-6のA・B間損失水頭とドロップシャフト内水位が低い時の減勢池底面に作用する衝撃圧である。

5.4 形状決定実験結果

5.4.1 損失水頭

実験ケース1と4において3河川(大落古利根川、倉松川、中川)より計画流量を流下させ、ドロップシャフト内水位が高い時の水位計測地A・B点の全水頭(速度水頭、圧力水頭、高度水頭)より求めたA・B間の損失水頭を表-9に示した。表より、実験ケース1、4とも従来案よりも損失水頭が若干ではあるが小さくなつておらず、特に開口幅が広い実験ケース4が一番小さくなっていることが分かる。この理由として、開口幅が狭いほどドロップシャフト内の流況が乱れ易いと考えられる。以上より、A・B間の損失水頭は実験ケース4が優れている。

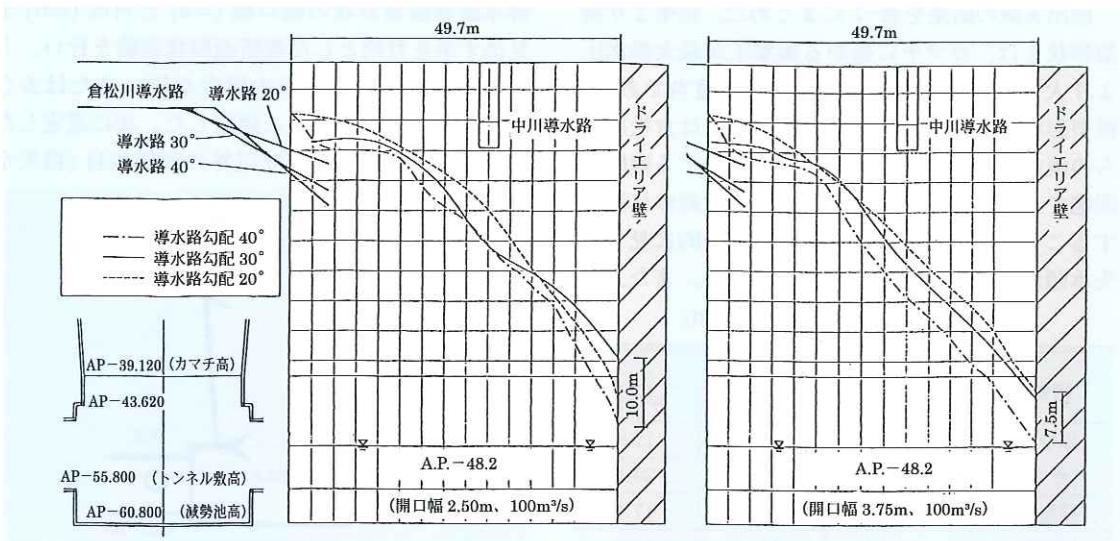


図-7 流水軌跡図

5.4.2 衝撃圧

ドロップシャフト内水位が低い時の減勢池底面部に作用する衝撃圧を把握するために圧力センサーを減勢池底面部に6箇所、ドライエリア壁に1箇所設置した。設置個所の選定は、倉松川からのみ流水を流下させた時の流況を観察しながら最大の衝撃圧が作用していると思われる地点にセンサーを設置した。計測結果を表-10に示した。ただし、減勢池底面部のデータは6つのセンサーの

5.5 詳細実験まとめ

実験結果より、流水が滑らかに流下して水理的及び構造的にも問題のない最適形状は、ドロップシャフト内壁が斜めで、中川導水路は直接落下式、倉松川は、複断面式で開口幅3.75m、角度40°とするものである。

表-9 A・B間の損失水頭

実験ケース	A・B間の損失水頭
実験ケース1	0.35
実験ケース4	0.33
従来案	0.39

(単位:m)

表-10 衝撃圧

実験ケース	減勢池底面部		ドライエリア壁	
	最大値	平均値	最大値	平均値
実験ケース1	11.9	11.2	5.1	3.0
実験ケース4	12.8	12.4	6.8	3.9
従来案	22.7	16.2	—	—

減勢池底面部を0とした圧力水頭(m)

参考文献

- 栗城稔、木内豪、田中義人：首都圏外郭放水路の流入立坑に関する水理模型実験、土木研究所資料、第3243号、1994.
- 末次忠司、大谷悟、小林裕明：首都圏外郭放水路第5立坑流入施設の水理模型実験報告書、土木研究所資料3540号、1998.

岡部 勉*



建設省土木研究所河川部
都市河川研究室
Tsutomu OKABE

末次忠司**



同 河川研究室長、工博
(前 都市河川研究室長)
Dr.Tadashi SUETSUGI

武富一秀***



同 都市河川研究室
Kazuhide TAKEDOMI

倪 广恒****



同 都市河川研究室
交流研究員、工博
Dr.Guangheng NI