

太田川祇園・大芝水門 改築方策検討プロセスについて

三國谷 隆伸¹・榎谷 有吾¹

¹中国地方整備局 太田川河川事務所 調査設計第一課 (〒730-0013 広島県広島市中区八丁堀 3-20)

本研究は、太田川の計画高水流量の変更を受け、太田川と旧太田川分派部について、現河道ならびに分派施設の課題を各種水理解析によって明らかにした上で、適正な分派が可能となる河道改修計画について検討したものである。本検討では、分派に支障を及ぼす要因をFTA (Fault Tree Analysis)によって網羅し、想定可能なあらゆる対策を抽出した上で、平面二次元流況解析により対策効果を定量化することによって、計画分派が可能であり、かつ実現性の高い河道改修案を複数選定した。また、有望案に対しては、将来的な土砂堆積傾向を把握し、維持掘削の必要性を検証した。

キーワード 河道計画, 平面二次元解析, 分派施設, FTA, 維持管理

1. 祇園・大芝水門の現状と課題

祇園水門・大芝水門は広島市中心部が広がる太田川デルタの頂部に位置し、太田川放水路と市内派川とに洪水流を適正な比率で分派させるための要となる施設である。



図1 祇園・大芝水門

祇園水門は昭和39年、大芝水門は昭和40年に完成した施設であり、当時の計画高水流 $6000\text{m}^3/\text{s}$ を 2:1 (放水路側 $4000\text{m}^3/\text{s}$, 市内派川側 $2000\text{m}^3/\text{s}$) に分派させるように設計されている。しかし、その後複数回の計画高水流量の見直しを経て、現在は $8000\text{m}^3/\text{s}$ を 9:7 に分派させる計画となっており、施設と計画がそぐわない状態となっている。加えて両水門は建設から45年以上が経過しており、施設の老朽化による耐震性の不足が懸念されている。

そこで、全面改築を視野に入れた、施設の改築方策の

検討を行った。

洪水時に操作が必要となる、大芝水門の構造概要は以下の通りである。

<大芝水門(昭和39年完成)の構造概要>

固定堰と可動堰の複合堰であり、固定部は80m、可動部はローラーゲート構造で、 $13.83\text{m} \times 7.25\text{m} \times 3$ 門で構成されている。

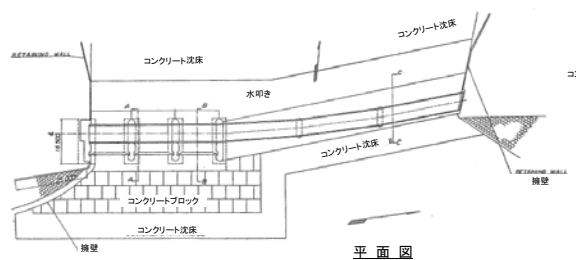
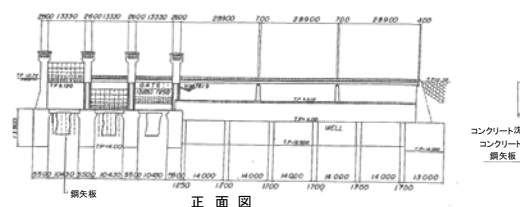
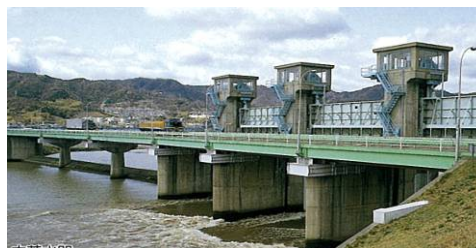


図2 大芝水門一般図

2. 分派に影響を及ぼす要因の抽出と対策案の選定

太田川の分派施設や河道改修のように、社会的影響が大きく説明責任（アカウンタビリティ）が問われるような事業計画を考案する際は、まず考え得る選択肢を全て抽出した上で、最適な方策を選定するというプロセスを踏むことが望ましい。

太田川の分派施設や河道を改修方策としての「あらゆる選択肢の抽出」には、分派に支障を及ぼす要因を網羅する必要があり、ここではFTA（Fault Tree Analysis: 故障の木解析）によって行う。

(1) FTA（Fault Tree Analysis）の適用

システムや製品の信頼性、安全性の向上を目的としたシステム分析の論理的、数理的、視覚的解析の代表的な手法としてFTAがある。

この手法では、システムや製品に起きてほしくない事象をトップ事象と呼び、そのトップ事象が生ずるためには何が起こらなければならないかを考え、その事象の原因となる事象を列挙し、望ましくない事象とそれらの事象との間の因果関係を論理記号で結ぶ。

次にそれらの一つ一つの事象についてその事象を起こす原因は何かと展開していき、すべての事象がもうこれ以上展開できないところ（これを基本事象という）まで続けて、できあがった樹形図（FT図）をもとに解析を行う。

一例として、図3のような回路において、電球が点灯しないという頂上事象に対するFT図を図4に示す。

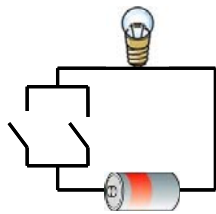


図3 回路図

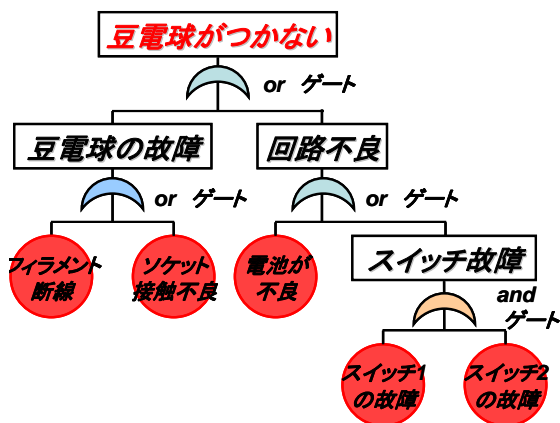


図4 FT図の例

本検討では、頂上事象を“不適切な分派”とした場合の基本事象：根本的要因を抽出し、その要因についての対策を網羅し、その組み合わせにより改築案を設定する。改修有望案選定までのフローを図5に示す。

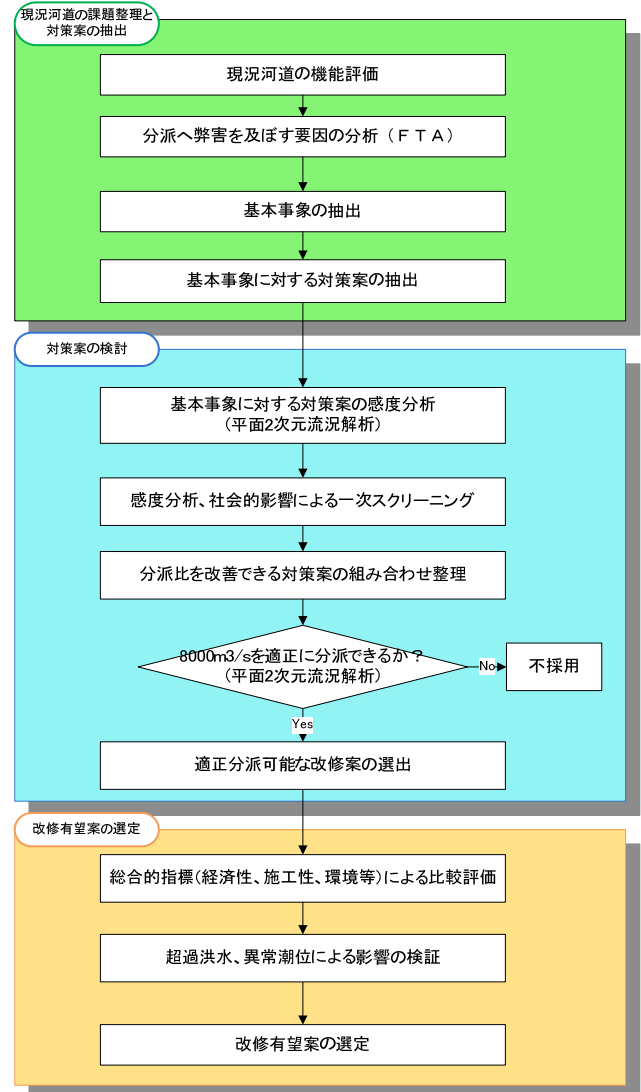


図5 検討フロー

(2) 分派に影響を与える基本事象の抽出

太田川-旧太田川分派地点下流域において、頂上事象を洪水時における“不適切な分派”とした場合のFT図を図6に示す。

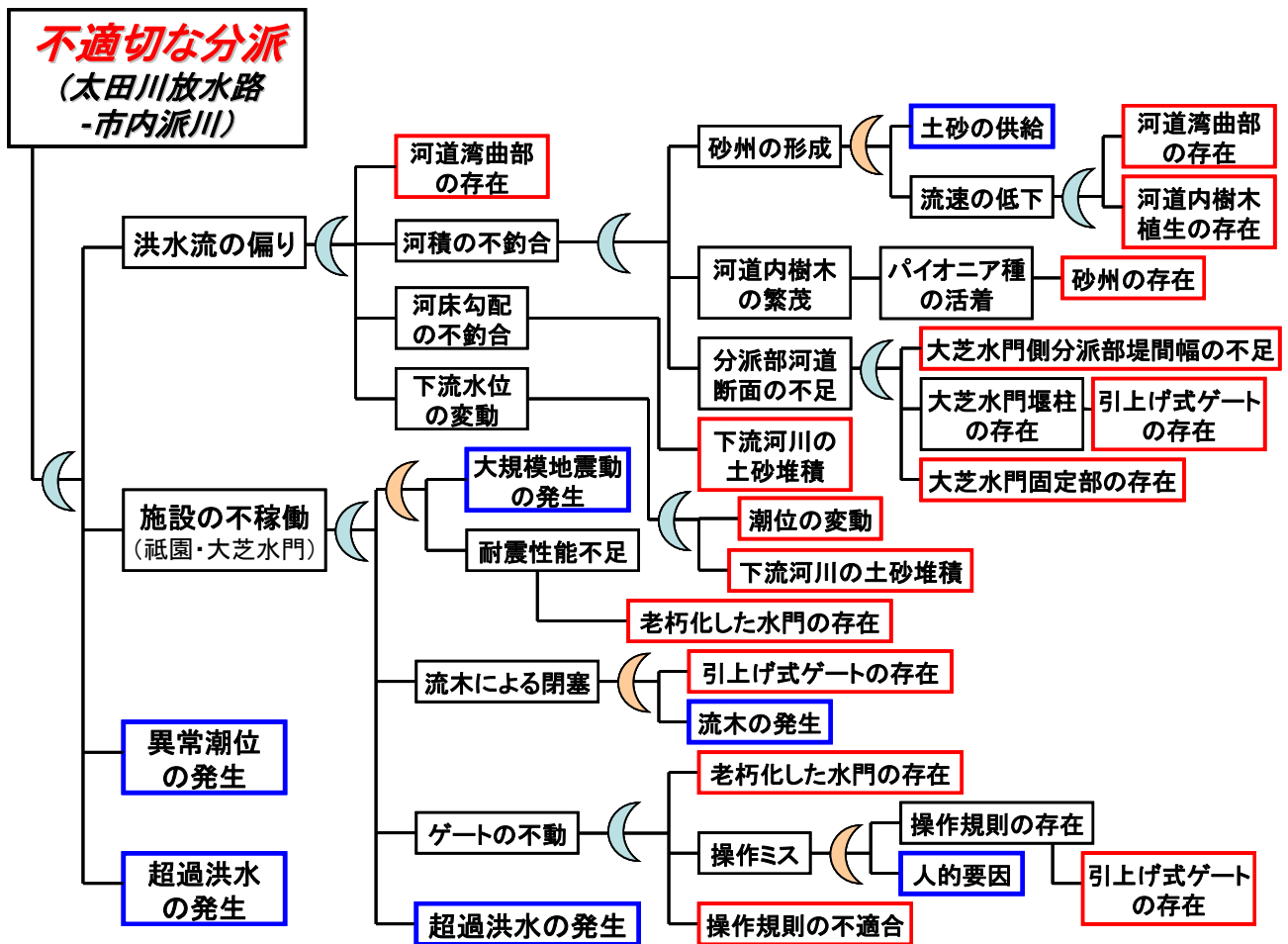


図 6 祇園大芝水門 FT 図

表 1 対策案の一覧

この結果から、以下の10項目を不適切な分派を引き起こす可能性が根本的要因（基本事象）として抽出した。

＜分派に影響を与える可能性がある基本事象＞

- ① 河道湾曲部の存在（歪な河道形状）
- ② 河道内樹木/植生の存在
- ③ 砂州の存在
- ④ 大芝水門分派部堤間幅の不足
- ⑤ 引上げ式ゲートの存在
- ⑥ 大芝水門固定部の存在
- ⑦ 下流河川の土砂堆積
- ⑧ 潮位の変動
- ⑨ 老朽化した水門の存在
- ⑩ 操作規則の不適合

不適切な分派比を緩和、解消するためには、これらの基本事象に対する対策を施す必要がある。

(3) 基本事象に対する対策案の選定

各基本事象を解消、緩和するために考えられる対策案は以下17案（河道に関する対策12案、施設に関する対策4案、ソフト対策1案）である。

<p>a) 河道に関する対策：12案</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 大芝水門左岸側引堤 2) 大芝水門右岸側引堤 3) 分派部上流右岸堤防前出し(または高水水制設置) 4) 分派部高水敷造成(または導流堤設置) 5) 分派部上流左岸高水敷造成 6) 分派部上流右岸高水敷造成(または低水水制設置) 7) 地下放水路の構築 8) 樹木伐採 9) 砂州撤去 10) 大芝水門固定部引下げ(河道断面の確保) 11) 大芝水門下流河道掘削 12) 調節水門の構築 <p>b) 施設に関する対策：4案</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 祇園水門撤去 2) 大芝水門撤去 3) 祇園水門改築 4) 大芝水門改築 <p>c) ソフト対策：1案</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 現況施設の操作規則変更
--

これら17の対策が分派特性の改善に寄与する可能性がある全方策である。すなわち、これら17の対策を組み合わせることで、より合理的な河道を設定できる可能性がある（17の対策案を組み合わせると、計65,520通りの河道が設定できる）。

3. 対策案の効果の検証

上記のとおり設定した65,000通り以上の河道案から最適案を絞り込むために、各基本事象に対する対策の感度分析を実施し、社会環境に与える影響を加味した上で、河道案の一次スクリーニングを実施した。

(1) 感度分析における比較対象河道と着眼点

河道整備上、樹木に治水効果を期待することは困難であることから、感度分析において比較する河道（初期河道）は整備計画河道の樹木を伐採した河道とする。図-6に初期河道：整備計画河道（樹木なし）の流況を示す。樹木伐採が、分派比に与える影響は小さい。また現整備計画では分派部下流地点の水位がHWLを超過する可能性があることから、感度分析では分派比を改善でき、かつ分流部下流水位を上昇させない対策を選定する。さらに、大芝水門においては流れが可動部に集中していることから、流況の偏りが生じている。対策案はこのような流況を改善できる対策が望ましい。

(2) 感度分析、社会的影響による一次スクリーニング

社会環境に与える影響を考慮した上で、各対策案について感度分析を実施した結果を表-2に示す。

一次スクリーニング結果より、社会環境への影響が小さく分派比を改善できる対策は以下5案である。

- ① 大芝水門右岸引堤
- ② 分流部導流堤設置
- ③ 分流部上流左岸高水敷造成
- ④ 大芝水門固定部引下げ
- ⑤ 大芝水門改築（水門全面改築）

ここで、大芝水門固定部引下げることで分派比が大幅に改善することから、不適切な分派の主要因は河積比のアンバランスであると想定される。

また祇園水門で部分閉塞操作を行う（操作規則を変更する）ことで適正分派が行える可能性はあるが、洪水時の操作にはリスクが伴い、また上流の水位上昇を招くという課題があることから、ここでは不採用とする。

ただし、上記5案の単独案では計画分派は達成できないため、対策案を組み合わせることで相乗効果により、改善率を上げる必要がある。

4. 適正分派可能な改修案の抽出

以上抽出した5対策案を組み合わせ、相乗効果により分派比改善が可能かを検証する。ここではあらゆる可能性を照査するため、全ての組み合わせを考慮し、効率的な改修案を検討するものとした。

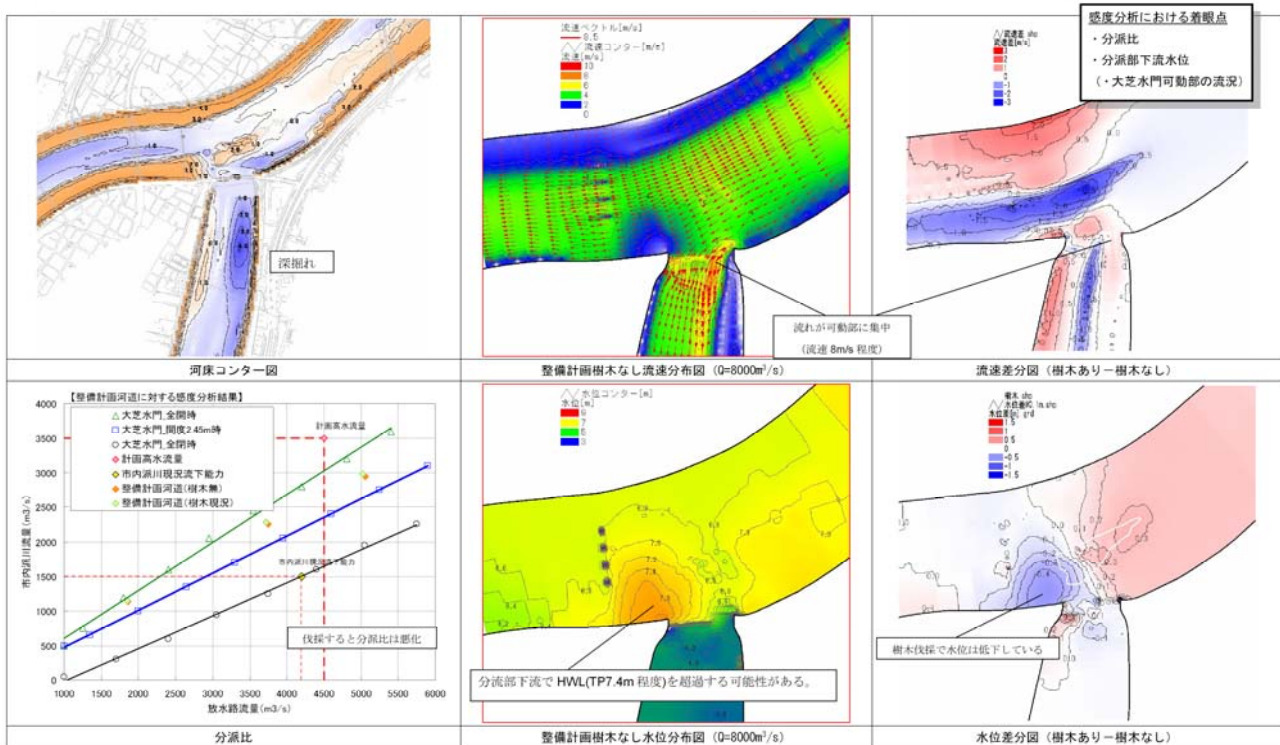


図7 整備計画河道（樹木なし）の平面二次元流況解析結果と感度分析における着眼点

表 2 基本事象に対する対策案のスクリーニング結果

基本事象に対する対策案	分派、治水に対する効果	社会環境に対する影響	評価	備考
(1) 大芝水門左岸側引堤	-河道形状、河積比が改善。	×用地買収と水門改築が必要。	×	河道形状、河積比の改善が期待されるが、社会的影響が大きく、水門改築も必要であり不経済であることから実現性に乏しい。
(2) 大芝水門右岸側引堤	△若干分派比が改善(改善率 5%)。	△官地内(大芝出張所)の拡幅のみとするが、橋の通行止めは必要。	△	分派比改善に若干寄与する。
(3) 分派部上流右岸堤防前出し	×現況河道が保持している治水能力を喪失、水位上昇を招く。	×現況川幅を狭め、越水した場合は人災と判断される可能性がある。	×	川幅を狭め、現況河道の器自体を縮減する案であり、既往事業との不整合や将来的な事業実施を困難にする可能性がある。
(4) 分派部高水敷造成	△若干分派比が改善(改善率 10%)。	○特に問題なし。	△	分派比改善に若干寄与する。(護岸水制とした場合も改善。ただし、導流堤とするとHWL超過。)
(5) 分派部上流左岸高水敷造成	△若干分派比が改善(改善率 20%)。ただし、流れは大芝水門可動部に集中する。	○特に問題なし。	△	分派比改善に若干寄与する。
(6) 分派部上流右岸高水敷前出し(または水制設置)	×感度分析の結果、分派比の改善は期待できず(改善率-5%)、水位上昇を招く。	○特に問題なし。	×	分派比改善に寄与しない。
(7) 地下放水路の構築	-河積比が改善。	×不経済である。	×	河積比の改善が期待されるが、社会的影響が大きく、不経済であることから実現性に乏しい。
(8) 樹木伐採	×感度分析の結果、現況樹木を伐採しても分派比が改善することは期待できない。	○特に問題なし。	-	計画上、樹木はないものと想定する。将来的に砂州ならびに樹木が成長した場合は伐採・維持管理が必要。
(9) 砂州撤去	×感度分析の結果、現況砂州を撤去しても、大きく分派比に影響は与えない。ただし、砂州が成長すると部派比が悪化する。	○特に問題なし。	-	将来的に砂州が成長した場合は撤去/掘削・維持管理が必要。
(10) 大芝水門固定部引下げ(河道断面の確保)	○分派比が改善(改善率 69%)。	○特に問題なし。	○	感度分析の結果、分派比の改善に有効である。
(11) 大芝水門下流河道掘削	×感度分析の結果、大芝水門下流河道を掘削しても分派比が改善することは期待できない(改善率 0%)。	△シジメ等漁業への影響が懸念される。	×	漁業等への影響が懸念される上、分派比改善は期待できない。
(12) 調節水門の構築	×感度分析の結果、潮位が分派比へ与える影響は小さい(調節水門は不要)。	○特に問題なし。	×	分派比改善に寄与しない。
i) 柵園水門撤去	-分派比改善には寄与しない。	×維持流量以外は市内派川に放流する操作ができない。	×	常時の流量調整が不可能である。
ii) 大芝水門撤去	-計画流量時の分派比改善が可能であるが、洪水時の流量調整ができず、市内派川の氾濫を招く。	×市内派川が氾濫した場合、人災となる。	×	洪水時の流量調整が不可能である。
iii) 柵園水門改築	×部分開度操作では分派比は改善できるが上流の水位上昇を招く。	△施工時には交通や周辺住環境等に影響を及ぼす可能性が高い。	×	構造上のリスクや老朽化リスク低減として有意であるが、部分開度操作とした場合は上流水位の上昇を招くためここでは不採用とする。
iv) 大芝水門改築	○河分派比が改善(改善率 48%)。	△施工時には交通や周辺住環境等に影響を及ぼす可能性が高い。	○	感度分析の結果、分派比の改善に有効である。
ソフト対策 現況施設の操作規則変更	○柵園水門(放水路側)の部分開度操作を行い、大芝水門を2.45m部分開度から全開とすることが必要。	×超過洪水に対応できず、越水した場合は人災と判断される可能性が高い。	×	柵園水門の部分開度操作を実施した場合、両水門の改修が必要となる可能性が高く、施設対策に含まれることから、ここでは採用しない。また越水した場合は人災と判断される可能性が高い。

(1) 分派比を改善可能な全河道の設定

表-3に示す計23案が分派比を改善できる可能性がある全改修河道案である(大芝水門固定部引下げ:部分改築と大芝水門改築:全改築は重複しないものとする)。この際、改修案を以下の観点で分類した。

a) 現況施設(大芝水門)改築規模による分類

- 1) 現況施設を改築しない改修案:自然流下河道案
- 2) 現況施設を部分的に改築する案:部分改築案
- 3) 現況施設を全面的に改築する案:全面改築案

b) 河道断面の拡幅有無による分類

- 1) 引堤を行わず現河道内で改修する案
- 2) 引堤を行い河道断面を拡幅する案

(2) 適正分派可能な全河道の設定

23案に対して、計画分派比を達成できる河道が設定可能か更に感度分析を実施した。分析結果の概要を示す。

- 現施設を改築しない自然流下河道では適正分派は困難であり、大芝水門固定部の引下げ、もしくは全面改築が必要である。
- 現河道内で改修する場合は、大芝水門固定部引下げのほか、上流左岸高水敷造成、TP+7.0mの護岸水制を構築することで適正分派が可能である。
- 右岸側引堤を行えば、大芝水門の固定部を引き下げる、もしくは大芝水門全面改築を行うことで適正分派が可能である。

表3 分派比を改善可能な全河道の設定

改修案	基本事象に対する対策案の組み合わせ					備考
	1.大芝水門右岸側引堤	2.分派部上流左岸高水敷造成	3.分派部上流右岸高水敷造成	4.大芝水門固定部引下げ	5.柵園水門改築	
1	●					【河道】 ・大芝水門右岸側引堤 【施設】 ・現況施設
2		○				【河道】 ・分派部に高水敷(導流堤)を造成 【施設】 ・現況施設
3			○			【河道】 ・分派部上流左岸に高水敷を造成 【施設】 ・現況施設
4	●	○				【河道】 ・大芝水門右岸側引堤 ・分派部に高水敷を造成 【施設】 ・現況施設
5	●		○			【河道】 ・大芝水門右岸側引堤 ・分派部上流左岸に高水敷を造成 【施設】 ・現況施設
6		○	○			【河道】 ・分派部に高水敷を造成 ・分派部上流左岸に高水敷を造成 【施設】 ・現況施設
7	●	○	○			【河道】 ・大芝水門右岸側引堤 ・分派部に高水敷を造成 ・分派部上流左岸に高水敷を造成 【施設】 ・現況施設
8				○		【河道】 ・整備計画河道 【施設】 ・大芝水門固定部引下げ ・柵園水門改築
9	●		○			【河道】 ・大芝水門右岸側引堤 【施設】 ・大芝水門固定部引下げ ・柵園水門改築
10		○		○		【河道】 ・分派部に高水敷を造成 【施設】 ・大芝水門固定部引下げ ・柵園水門改築
11			○	○		【河道】 ・分派部上流左岸に高水敷を造成 【施設】 ・大芝水門固定部引下げ ・柵園水門改築
12	●	○				【河道】 ・大芝水門右岸側引堤 ・分派部に高水敷を造成 【施設】 ・大芝水門固定部引下げ ・柵園水門改築
13	●		○	○		【河道】 ・大芝水門右岸側引堤 ・分派部上流左岸に高水敷を造成 【施設】 ・大芝水門固定部引下げ ・柵園水門改築
14		○	○	○		【河道】 ・分派部に高水敷(導流堤)を造成 ・分派部上流左岸に高水敷を造成 【施設】 ・大芝水門固定部引下げ ・柵園水門改築
15	●	○	○	○		【河道】 ・大芝水門右岸側引堤 ・分派部上流左岸に高水敷を造成 【施設】 ・大芝水門固定部引下げ ・柵園水門改築
16	●			○		【河道】 ・整備計画河道 【施設】 ・大芝水門改築 ・柵園水門改築
17	●			○		【河道】 ・大芝水門右岸側引堤 【施設】 ・大芝水門改築 ・柵園水門改築
18		○		○		【河道】 ・分派部に高水敷を造成 【施設】 ・大芝水門改築 ・柵園水門改築
19	●		○	○		【河道】 ・分派部上流左岸に高水敷を造成 【施設】 ・大芝水門改築 ・柵園水門改築
20	●	○		○		【河道】 ・大芝水門右岸側引堤 ・分派部に高水敷を造成 【施設】 ・大芝水門改築 ・柵園水門改築
21	●		○	○		【河道】 ・大芝水門右岸側引堤 ・分派部上流左岸に高水敷を造成 【施設】 ・大芝水門改築 ・柵園水門改築
22		○	○	○		【河道】 ・分派部に高水敷を造成 ・分派部上流左岸に高水敷を造成 【施設】 ・大芝水門改築 ・柵園水門改築
23	●	○	○	○		【河道】 ・大芝水門右岸側引堤 ・分派部に高水敷を造成 ・分派部上流左岸に高水敷を造成 【施設】 ・大芝水門改築 ・柵園水門改築

<改善方法>
 ○ 自然流下河道(施設改築なし)
 ● 大芝水門部分改築河道(固定部)
 ○ 大芝水門全面改築河道
 ● 河道断面拡幅河道





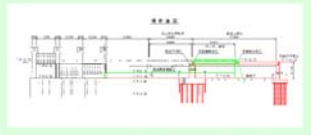
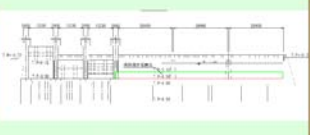
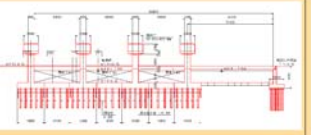
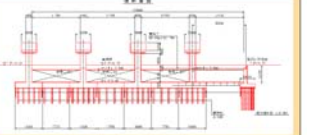
	部分改築案 9：拡幅河道の対策有望案	部分改築案 14：現河道内の対策有望案	全面改築案 17：拡幅河道の対策有望案	全面改築案 23：現河道内の対策有望案
平面図				
横断面				
概要	大芝水門右岸を引堤し、引堤範囲ならびに大芝水門固定部をTP-0.5mまで引き下げた案。	固定部を引下げ、左岸ならびに分派部高水敷を造成した上に、導流堤（護岸水制）TP7.0m高で構築する案。	大芝水門右岸を引堤し、河道を広げた上で大芝水門を全面改築する案。	現河道内で大芝水門を全面改築し、導流堤（護岸水制）TP7.0m高を構築する案。
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 現施設を有効活用可能。 ・ 案 14 よりも比較的バランスのよい流況となる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 引堤をせずに計画分派が可能。 ・ 経済的に優位である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 案 23 よりも経済的。 ・ 案 23 よりも流況のバランスが良い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 引堤をせずに計画分派が可能。
短所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 老朽化、耐震性能不足の現象がほぼ存置される。 ・ 引堤が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 老朽化、耐震性能不足の現象がほぼ存置される。 ・ 導流堤は将来的に手戻りとなる（全面改築 17 を採用した場合）。 ・ 旧太田川右岸側に流れが偏り、下流の深掘れが懸念される。 ・ 導流堤前面の深掘れ発生が懸念される。 ・ ほぼHWL相当の導流堤であり景観上の課題がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 引堤が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 案 17 と比較し不経済。 ・ 旧太田川右岸側に流れが偏り、下流の深掘れが懸念される。 ・ 導流堤前面の深掘れ発生が懸念される。 ・ ほぼHWL相当の導流堤であり景観上の課題がある。
概算事業費	22.6 億円	10.0 億円	106.1 億円	110.2 億円
超過洪水 9700m ³ /s 対応	対応可能（ゲート全閉時流量：3360m ³ /s < 3500m ³ /s）	対応可能（ゲート全閉時流量：2960m ³ /s < 3500m ³ /s）	対応可能（ゲート全閉時流量：1880m ³ /s < 3500m ³ /s）	対応可能（ゲート全閉時流量：1000m ³ /s < 3500m ³ /s；河積から想定）
評価	○部分改築有望案。ただし引堤が必要。	△経済的ではあるが、流況、構造上の課題が多い。	○全面改築有望案	×案 17 と比較し、流況、経済性とも劣る。

図 7 改修有望案比較表

5. 改修有望案の選定

以上の結果から改修有望案として改修案の分類に応じて4案（改修案9, 14, 17, 23）を抽出した。それぞれの概略は以下の通りである。

＜水門部分改築案＞

- ・ 改修案9 大芝水門固定部引き下げ
右岸側引き堤
- ・ 改修案14 大芝水門固定部引き下げ
左岸及び分派部に高水敷造成
導流堤構築

＜水門全面改築案＞

- ・ 改修案17 大芝水門全面改築
右岸側引き堤
- ・ 改修案26 大芝水門全面改築
導流堤構築

各案に対し、河床変動の長期予測ならびに1洪水における平面二次元河床変動解析を行い、改修有望案における将来的な土砂動態を検証した。また超過洪水への対応が可能か流況解析を行い、事業スケジュールへの順応性を確認した。以上の解析結果を踏まえ、各案の一般図作成/概算工事費算定を行い、比較検討を実施した（図7）。

今後、これら4案に対して更に詳細な検討を行い、分派部の改修方策を決定していく。

6. まとめ

現施設を極力延命化する有望案や全面的に改築する有望案等を複数抽出したことで、今後の改修計画や事業スケジュールの変更に柔軟に対応できる成果となった。

祇園・大芝水門改築のように、社会的インパクトの大きな事業を実施するに当たっては関係者に対する説明責任は極めて重要となる。その際に、本検討で行ったように、FTA等の論理的分析手法により考え得るあらゆる可能性やアイデアを網羅し、その全てに対して検討を行った上で最適案を選択する、というプロセスを踏むことがアカウンタビリティの向上につながる。

こういった検討プロセスは今後どのような現場に対しても活用できるものと考えられ、本成果がその一助となれば幸いである。