

# 吉野山急勾配管渠 に関する調査研究

## 1. 研究目的および検討項目

### 1.1 研究目的

奈良県吉野山地区の下水道事業を整備するにあたり、地形の条件から急勾配下水道管渠を採用する必要があると判断された。本研究では、急勾配管渠で水理的に問題が大きいと考えられた「合流点」、「急曲部」および「ルート途中勾配急変点」を対象に水理模型実験を行い、対策工の諸元を決定する。

また、吉野山地区を対象とした急勾配管渠の設計、施工および維持管理の効率化を図るための設計資料を作成する。

### 1.2 検討項目

急勾配下水道管渠は、下水道としての機能の確保を前提とし施工コストの縮減を目的とした。技術的検討のうち、主な検討項目は次のとおりである。

- ① 吉野山地区全体の急勾配管渠計画精査
- ② 高流速で減勢処理工の必要箇所検討
- ③ 高流速で流下する管渠施設の減勢処理工開発および水理模型実験による検討

## 2. 対象地区の概要

### 2.1 吉野山地区の概要

本研究の対象とする吉野山地区は、大峰山脈の北端、南北に続く約8kmの尾根にあり、歴史的には、

役行者が大峰山に金剛峯寺を創建以来、修験道の聖地となり、鎌倉時代には義経・静御前の悲話の舞台、南北朝時代には南朝行宮のあった所として数々の史跡が残っている。蔵王権現の神木として植えられた“桜”は日本一の桜の名所として有名になった。紅葉の名所でもある蔵王堂から竹林院周辺の登山道は土産物店が軒を連ね、季節により観光人口増加が生じる特徴がある。

### 2.2 急勾配管渠計画の概要

本地区の下水道整備にあたり地形が急峻な条件より、急勾配管渠は、**図-1**のとおり13路線で計画され、標高EL 360～260mの落差で路線毎の最大勾配は、975～213%となっている。本地区の計画汚水量は、**表-1**のとおりである。

### 2.3 代替ルートの提案

現下水道計画においては、吉野山地区の東側主要管渠の最上流に接続する急勾配管渠G路線（管渠記号24）は、谷地部に布設する計画となっている。しかし、この谷地部は非常に急峻であり、管渠の施工および維持管理は非常に困難であり、次の3ルートと比較検討し、経済性、施工性および維持管理を総合し、**③H路線統合ルート**とする案を提案した（**図-2**）。

- ① 谷地部ルート（現計画ルート）
- ② 北側尾根部ルート
- ③ H路線統合ルート



図-1 全体ルート図

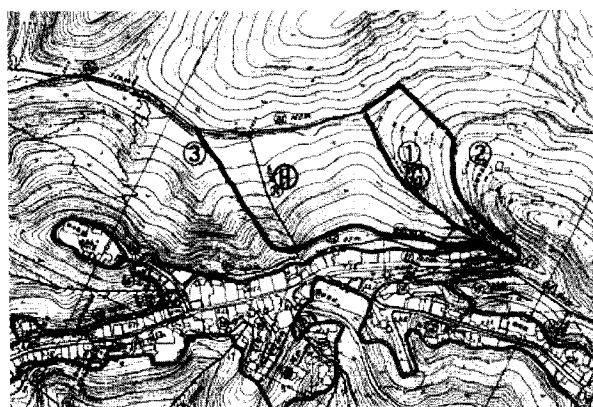


図-2 総合ルートの提案

表-1 吉野山地区の計画汚水量と最大流速

路線名	計画流量 (L/s)	最大勾配 (%)	不等流計算による最大流速 (m/s)	
			1Q時	2Q時
AA	3.4	409	2.894	3.637
A	9.5	315	3.631	4.552
B	3.5	484	3.099	3.930
C	2.8	213 *1	1.462 *1	1.814 *1
D	7.3	340	3.270	4.326
E	7.0	742 *2	3.320 *2	4.071 *2
F	4.0	415	3.144	3.877
G	12.5	515	4.722	5.869
H	3.0	975	3.906	4.790
I	1.8	895	3.218	3.983
J	1.0	634	2.390	2.973
K	0.7	781	2.345	3.145
L	4.5	786	3.922	5.022

### 3. 急勾配管渠の問題点と減勢方式の検討

#### 3.1 急勾配管渠の問題点

急勾配管渠で発生する高速水流（射流状態）では、水理的に次のような現象の発生が考えられる。

- ① 渠縦断線形が急勾配から緩勾配に急変し、管渠内で跳水現象が発生する（図-3）。
- ② 管渠内でのわずかな突起の点から斜め方向に擾乱が起これり、これが対岸にぶつかりながら擾乱が下流に発生していき連続的に波が発生する。この場合管渠内の水面が振動した状態となる。
- ③ 流下量一定の定常状態であっても横縞状の流れとなり、縦断的に波を有するような流れ（転波）

が生じ、時間的に流量が変動する非定常状態に似た流れが生じ、管渠の振動が生じる（図-4）。

- ④ 高速水流により、空断面の空気が水流により引っ張られ（空気連行）空気の層がある速度で移動したり、水流がさらに高速になると流水に空気が取り込まれる（空気混入）現象が発生する。
- ⑤ 管渠への給排気の不備により、管渠内の水流の脈動や管渠内が負圧となり管渠断面が閉塞され、水位が急激に上昇する現象の発生（セルフプライミング現象）
- ⑥ 合流部、急曲部（流入流出角度が小さい場合）の人孔内の水位上昇による流入流出管渠の断面閉塞

上に記述した水理現象により、管渠内水位上昇、

管渠断面の閉塞、管の磨耗、内圧の増大、管渠の振動が引き起こされる。なお、これらは、それぞれが単独の事象として発生するのではなく、数種が複合した状態で発生する。即ち、管渠断面閉塞は突発的に生じ、その後管渠内水位が急激に上昇し、水位上昇が止まった後は、管渠内に溜まった汚水が一気に下流に向かって流下し、合流部等の入孔に衝突する。流水の衝突により入孔内インバートの損傷や管渠の振動が誘発される。このため、急勾配管渠全体で安全な対策を講じる必要がある。

さらに下水の特性として次のことを考慮し、入孔内での流水処理形状と構造（材質含む）の検討が必要である。

- ・ 流下量に時間変動がある。
- ・ すみやかな汚物の流下が必要。
- ・ 硫化水素の発生がある。
- ・ 維持管理作業の環境保全

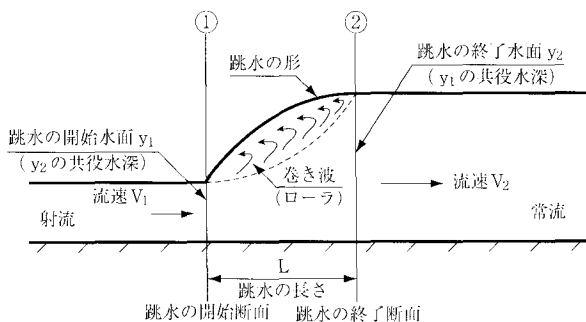


図-3 跳水現象の模式

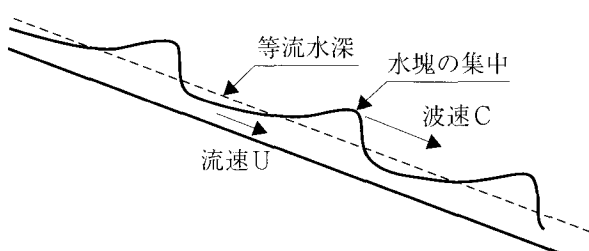


図-4 転波の概念

### 3.2 吉野山地区急勾配管渠の課題

吉野山地区の下水道全体計画においては、前出図-1に示した13路線であり、ほぼ全域が急勾配

管渠となる。急勾配管路においては射流状態となり、重力加速度によって加速される。このため、不等流計算〔管径 $d = 200\text{mm}$ 、粗度係数 $n = 0.010$ （ポリエチレン管）〕により急勾配管路の各地点の流速および水深を算定した。その結果より、吉野山地区のほぼ全域で急勾配管渠の「ルート途中」および「急勾配管渠と幹線の合流部」で流速が大きく水理的な問題の発生が懸念され、適切な減勢処理が必要と考えられる。急勾配管渠で発生が想定される現象を避けるために、次の配慮が必要不可欠である。

- ・ 管渠のルート設定で平面、縦断線形の急変個所が生じないように配慮する。
- ・ 管渠内で跳水が発生しないように縦断線形を適切に設定する。これが不可能な場合には勾配急変地点に減勢工を設ける。
- ・ 合流点、急曲部等の入孔内に適切な減勢池を設置し、流入流出管渠の断面閉塞と管渠内の水深上昇を発生させない。
- ・ 給排気施設を適切に配置する。

### 3.3 減勢処理形式

既往の事例では、単一の路線で縦断的に急勾配から緩勾配に変化する地点で急勾配管渠の流末に跳水式の減勢工を設置する方式が採用されている。

吉野山地区の場合には、幹線との合流点に急勾配管渠が接続されており、跳水式減勢工を採用する場合には、合流点の上流側に減勢工を設置することとなる。しかし、このような施設配置は、地形的に跳水式減勢工の施工が難しいことから、より合理的な合流部減勢方式が望ましい。

合流部には、維持管理を考慮して入孔を設置するものとし、入孔内で合流減勢処理する方式を基本とした。

また、合流減勢方式は、管渠断面の閉塞防止と流出管渠の流れの安定性確保を考慮し、跳水による方式が、水理的に優れているものと考えられる。

急勾配管渠流末の合流点へのルート設定は、急勾配の地形条件が支配的であるが、平面合流角度は90度とし、効果的に減勢池プールを形成させることとした。また、急曲部についても、跳水により一旦減勢した後に流向を変化させれば水理的に安定した流下状況が得られると考えた。

以上より、合流部、急曲部について、水理的に安定する跳水方式を基本とした。

なお、同一ルートの縦断勾配急変地点に設ける対策工は、既往の研究成果を参考に跳水式の減勢工を採用するものとした。

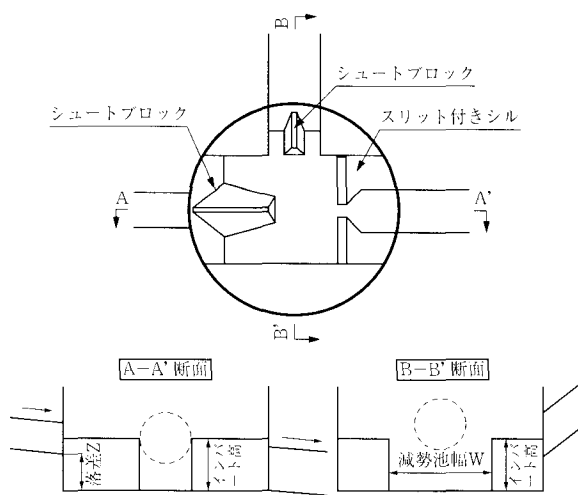


図-5 跳水方式減勢工の形状概要

## 4. 減勢工の検討

### 4.1 検討条件

水理模型実験により適切な減勢工形状を検討した。

検討した条件は、吉野山地区の急勾配管渠の問題となる個所を網羅するように、流速と計画汚水量(1Q)を総合して、合流点に流入する運動量(流水の密度×流量×流速)より選定した。

検討対象個所と実験の通水条件は、表-2のとおりである。ここに示した条件で、必要となる減勢処理の規模が定まれば、吉野山地区の全てについて机

上による設計が可能となる。

### 4.2 模型概要

模型は、90人孔を対象とした実験では縮尺1/1即ち実物大とし、120人孔を対象とする場合は、縮尺1/1.333とした。減勢工を設置する人孔への流入管渠径は、表-2に示した管渠径とした。管渠の長さは、30D(D;管渠径)とした。

### 4.3 水理模型実験

実験では、合流部、急曲部、ルート途中減勢工について、90人孔もしくは120人孔に用いる構造形式の諸元について種々の検討を行い、適切な減勢処理形状を決定した。表-2に示した各通水条件の最終案は、次の理由により選定した。

- ・減勢工内で2qまで減勢処理できる。ただし、2q時は極度の流況悪化が生じない程度の流況とする。
- ・減勢工内の水位が、流入管渠内の水深を増大させない。
- ・流出管渠の通水断面を閉塞しない。
- ・人孔内のインバート上部に流水がはい上がらない。

合流減勢最終案の例として、通水条件③の合流減勢工を図-7に示した。シュートブロックを減勢工始端に設置したが、これは、流入水脈の効果的な拡散を促進する目的で設置した。急曲部の最終案を図-8に示した。

また、ルート途中の減勢工は、これまでの知見と同様に跳水式減勢工を検討し、図-9の形状を最終案とした。

表-2 吉野山地区の水理実験条件

検討対象	通水条件 番号		流量 (L/s)		流速 (m/s)		運動量 (kgm/s/s)			管径 (mm)			管渠勾配 (%)		
			急勾配	管線	急勾配	管線	急勾配	管線	合計	急勾配	流入 管線	流出 管線	急勾配	流入 管線	流出 管線
合流部	①	1Q	4.0	6.0	4.0	1.7	16.0	10.0	26.0	200	200	200	800	50	50
		2Q	8.0	12.0	4.9	2.1	39.2	25.2	64.4	200	200	200	800	50	50
	②	1Q	4.0	13.0	4.0	2.1	16.0	27.3	43.3	200	200	250	800	50	50
		2Q	8.0	26.0	4.9	2.6	39.2	67.6	106.8	200	200	250	800	50	50
	③	1Q	4.0	20.0	4.0	2.0	16.0	40.0	56.0	200	250	300	800	30	30
		2Q	8.0	40.0	4.9	2.3	39.2	92.0	131.2	200	250	300	800	30	30
急曲部	④	1Q	4.0	.....	4.0	.....	16.0	.....	16.0	200	.....	200	800	.....	800
		2Q	8.0	.....	4.9	.....	39.2	.....	39.2	200	.....	200	800	.....	800
ルート途中 減勢工	④	1Q	4.0	.....	4.0	.....	16.0	.....	16.0	200	.....	200	800	.....	3
		2Q	8.0	.....	4.9	.....	39.2	.....	39.2	200	.....	200	800	.....	3

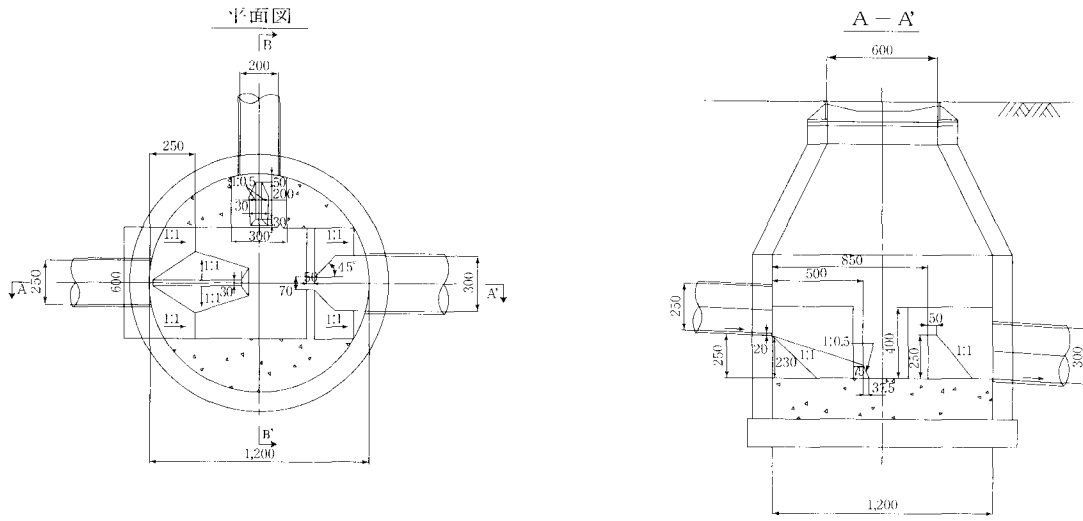
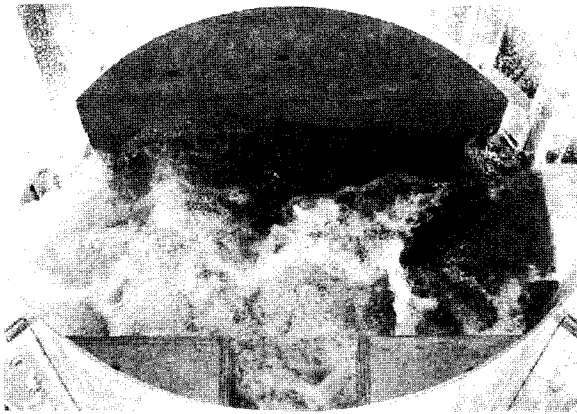
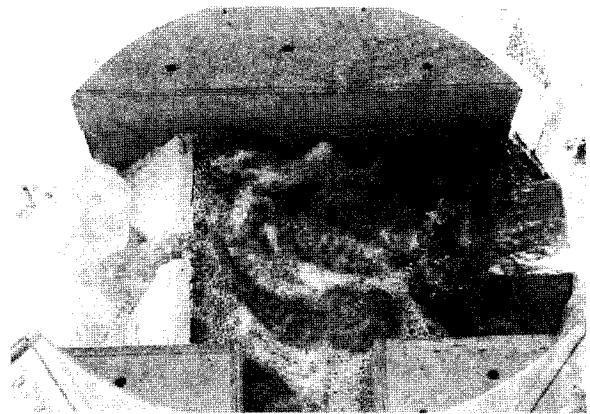


図-7 合流減勢工構造図 通水条件③最終案



(③-2 Q通水時)



(③-1 Q通水時)

写真-1 合流減勢工水理模型実験

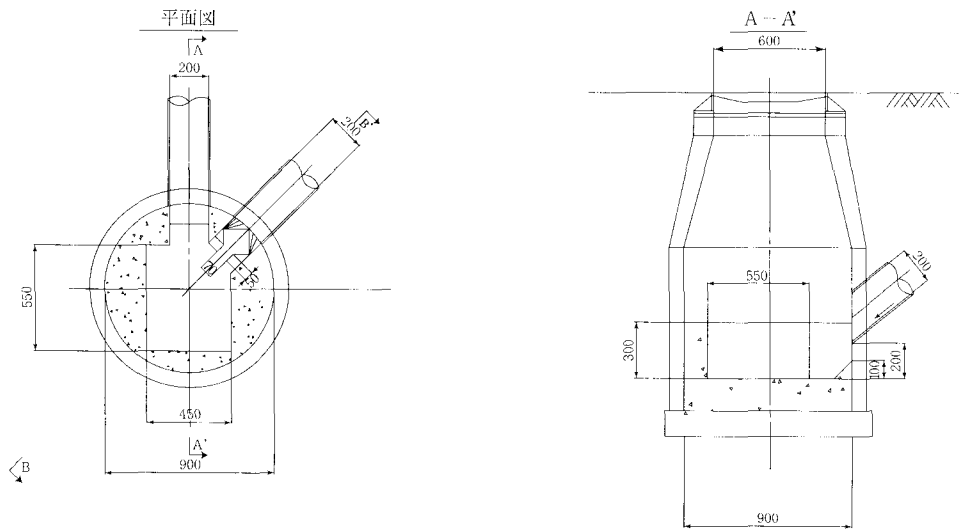


図-8 急曲部減勢工構造図 通水条件①最終案

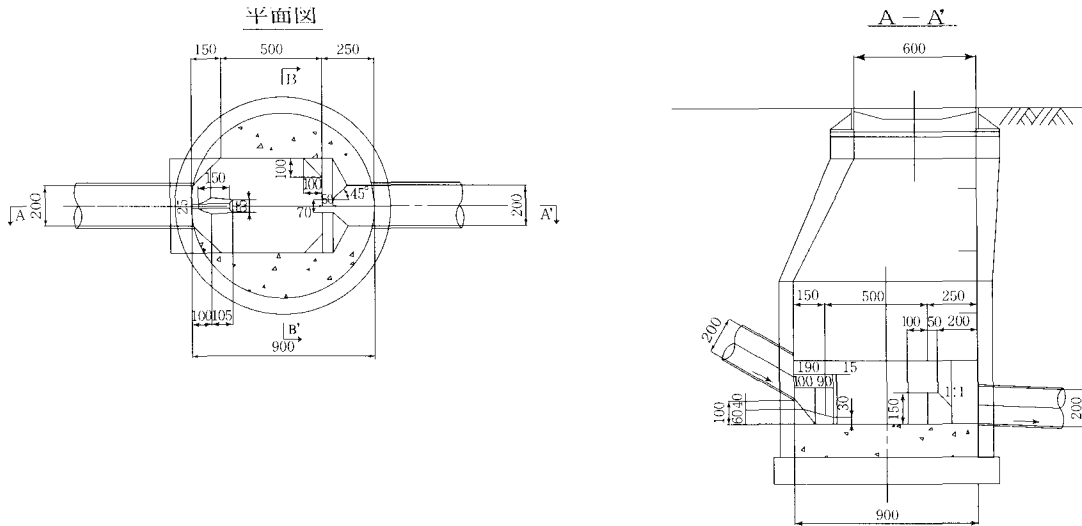


図-9 ルート途中の減勢工構造図最終案

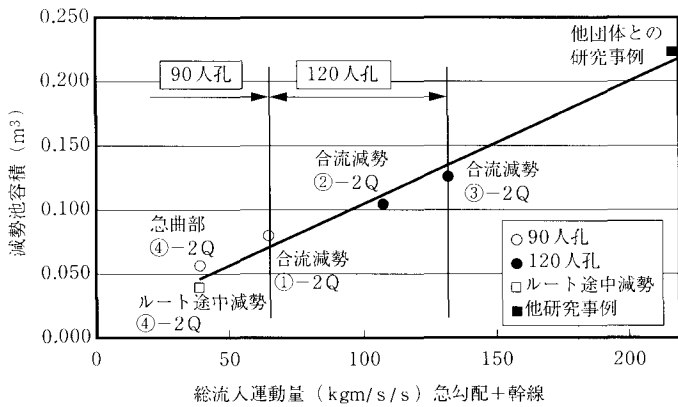


図-10 総流入運動量 (2Q時) と減勢工容積

減勢処理に必要となる容積 (ここでは、形式に係らず減勢池の底面からシル天端までの容積で定義した) と、減勢工に流入する総運動量 (2q時) の関係は、図-10のとおりである。なお、図には吉野山地区のルート途中減勢と同じ減勢処理方式の他団体との研究事例もあわせて表示した。

この図より、今回の減勢方式では総流入運動量と減勢池容積は線形関係が認められ、減勢工の基本寸法および適用する人孔径は、総流入運動量から求めることができる。

## 5. まとめ

水理模型実験により減勢処理の対策工を検討した。その結果より、吉野山地区においては減勢処理の対策工は、人孔内へ設置することが確認できた。また、従来はひとつの水理条件に対して水理模型実験により減勢工形状が決定されていたが、今回の実験で減勢工容積と総流入運動量との相関が確認されたことより、吉野山地区の全ての水理条件について、今回検討した減勢方式を採用する場合には水理模型実験によらず減勢工の設計が可能と考えられる。

ただし、図-10は吉野山地区の水理条件をもとにした実験結果が主体であり、他地区に適用する場合には、別途実験による検証が必要と考えられる。

以上実験結果を主体に述べたが、これまでの他団体との研究成果と今回の実験結果をとりまとめた吉野山地区の急勾配管渠の計画、設計、施工、維持管理に関する設計資料を作成した。本設計資料は、管渠建設コストの縮減、工事の安全性の向上、工期の短縮、容易な維持管理の確保を目指したものであり、今後吉野山地区の急勾配管渠の適確かつ効率的な設計の実施が期待される。

### ●この研究を行ったのは

事務局次長兼企画部長 鈴木 茂  
企画部事業課長 松本 征

### ●この研究に関するお問い合わせは

事務局次長兼企画部長 鈴木 茂  
企画部事業課長 稲毛 順二