

# 市街地模型氾濫実験

京都大学防災研究所技術室

辰己賢一・吉田義則・多河英雄・三浦勉・松浦秀起

## 1. はじめに

豪雨はときに甚大な洪水災害を引き起こす。鴨川の歴史をたどると1935年6月、豪雨により鴨川は氾濫し、三条・四条両大橋など40ヶ所以上の橋が流出し、多くの人命が失われた。その後、河川の改修が進み、氾濫・堤防の決壊などはおこっていないが、その危険度は現在でも解消されたわけではない。このような状況のもと、防災および水災害の立場から鴨川が氾濫した場合の想定される危険区域、水位、流量の検証を目的とし、実現象により近い縮尺1/100の市街地地上模型、同1/30の市街地地下模型により室内実験を行うものである。本実験の検討課題を以下に列記し、全体のフローをFig.1に示す。

1. 実験計画の企画・立案
2. 市街地模型の制作・準備
3. 市街地模型の実施
4. 結果のまとめ

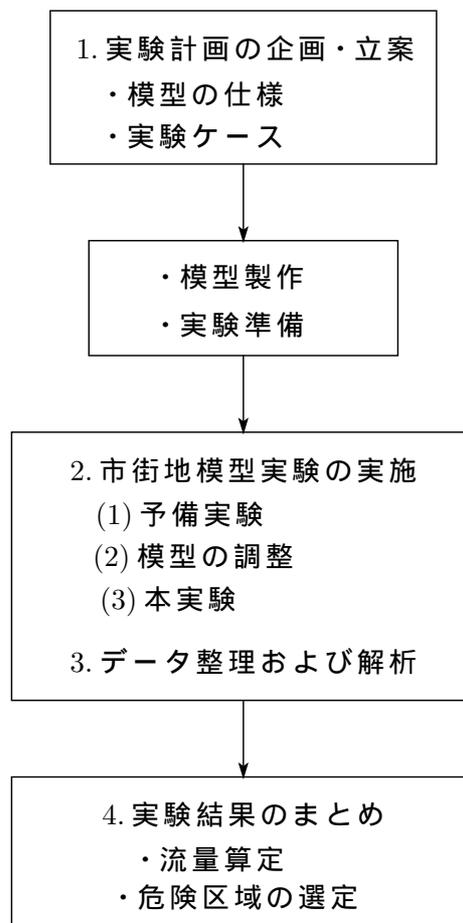


Fig. 1 実験の流れ

## 2. 水理模型実験計画

### 2.1 水理相似則にもとづく模型縮尺

対象としている流れは、固定床の開水路流れであり、重力が卓越する流れであることより、相似則にはフルードの相似則を用いる。なお、本模型実験では、流れが複雑に合流し、3次元的存在であるため、無歪み模型とする。

このような流れの場合、フルードの相似則より導かれる水理量の関係式は、幾何縮尺を  $L_r$  とすると、Table.1 のように表される。

## 2.2 実験装置および方法

Fig.2 に京都市市街地を対象とした模型平面図を示す。Fig.3 に模型全体写真を示す。実験は流入量を  $0.001\text{m}^3/\text{s}$  (実物換算で  $100\text{m}^3/\text{s}$ ) に設定し、Fig.2 に示す氾濫点から 30 分間 (実物換算で 300 分間) 水を流入させ、水位計、三角堰をもちい、地下街および下流端に流れ込む流量、地上水深の計測を行った。なお、流量の計測は合計 57 地点で行い、水深の計測は合計 8 地点で行った。模型に流れ込む流入量の設定には、流量自動制御システムを用いた。このシステムは、パソコンおよび送流ポンプ、インバーター、電磁流量計から構成され、電磁流量計の検出をインバータを介してポンプの回転数をフィードバック制御することにより、与えたいハイドログラフを精度良く供給するシステムである。流れの状態はポスターカラーを使っての可視化によって調べ、模型上部にデジタルビデオカメラを固定して上方、斜め上方から撮影を行った。これらの録画したデジタルビデオデータを静止画像に変換し、氾濫開始後の連続写真を作成した。

### 実験手順

#### a) 流量制御 (Fig.4)

1. 各装置の電源を投入する。
2. 計算機を起動させ、流量自動制御プログラムを起動する。
3. 運転条件およびハイドログラフの設定を行う。
4. 自動制御運転を開始し、水を流す。

#### b) 流量測定 (Fig.5)

1. 模型の下にバケツ、コンテナを設置し、水位計 (容量式、サーボ式) をコンテナに固定

する。

2. 水位変化により得られた電圧をデータ収集システム NR-1000 に取り込む。
3. NR-1000 に取り込まれた電圧データを計算機に保存する。
4. 水位を流量に換算する。

#### c) 動画撮影

1. デジタルビデオカメラの電源を入れる (上方 9 台、斜め上方 2 台)。
2. あらかじめポスターカラーで水に色をつけておく。
3. 模型に水を流す。
4. 水が模型に広がっていく様子をデジタルビデオカメラで撮影する。

## 2.3 実験ケース

実験ケースは Table.2 に示す流量計測に対する 4 ケース、水深計測に対する 4 ケースの合

計8ケースである。

## 2.4 実験結果

Fig.6, Fig.7, Fig.8, Fig.9に模型上方より撮影した氾濫開始後10分後, 20分後, 30分後, 60分後, 70分後, 90分後の静止画像を示す。Fig.10, Fig.11, Fig.12, Fig.13に模型斜め上方より撮影した氾濫開始後0分後, 10分後, 20分後, 30分後, 50分後, 60分後の御池通の静止画像を示す。Fig.14, Fig.15, Fig.16, Fig.17に氾濫開始後0分後, 10分後, 20分後, 30分後, 50分後, 60分後の河原町通の静止画像を示す。Table.3に各地点における積算流量値を示す。Table.4に下流端到達時間を示す。Table.5に各計測地点における平均地上浸水深を示す。Fig.18からFig.47に各計測地点における流量値を示す。Fig.48からFig.59に各計測地点における単位時間あたりの流量変化を示す。Fig.60, Fig.61に各計測地点における地上浸水深を示す。なお, Fig.6からFig.61に表示されている値はフルードの相似側により実物換算したもので, Fig.18からFig.61のラベルに表示されているコードは左から, 地点番号, 氾濫開始前の路面状態(dry, wet), 地下流入のありなし(u:あり, s:なし)である。

## 2.5 水位計測結果

Table.5, Fig.60, 61より, 以下のような特徴が見られる。

1. いずれの地点でも, 水が到達すると急激な水位上昇が見られる。
2. 地点aでは, いずれの実験ケースにおいても他地点と比較して水位の乱れが激しい。これは, 氾濫点にもっとも近く, 乱流現象を生じていることや水位計の測定誤差などが原因であると考えられる。
3. 全ての実験ケースで地上浸水深は0.2mを超えており, 氾濫が起こった場合, 京都市市街地の幅広い地域で浸水現象が顕著に現れると予想される。また, 流速も早くなっていると考えられ, 大きな人的被害が予想される。

## 2.6 流量測定結果

Table.3, Table.4, Fig.18からFig.59より, 以下の特徴が見られる。

1. 御池大橋付近で氾濫が起こった場合, 京都市役所以西および以北の地下には水がほとんど流入しない可能性が高い。
2. 地下に流入がないケースつまり, 地下街の貯水能力がなくなったとき, 下流端に流れる流量は, 河原町通で1.5倍, 木屋町通りで約2倍になると予想され, 氾濫時間が長くなるとより広域で甚大な被害がでることが予想される。

## 3. 結果のまとめ

本実験は, 京都市市街地を対象に鴨川が氾濫した場合の想定される危険区域, 水位, 流量の検証を目的として, 縮尺1/100の地上模型実験, 同1/30の地下模型実験を用いて実験的検討を行った結果を地上模型実験についてのみまとめたものである。

本水理模型実験により得られた結果から以下の特徴が見られる。

1) 御池の地下駐車場に流れ込む流量(地点15,16,a)は最大で $27000\text{m}^3$ 前後と大きく、地下流入なしのケースで水深は約1m、地下流入ありのケースで約0.65mに達し、危険度が高い。  
2) 河原町通を流れる流量(地点45,63,64)は木屋町通(地点42,61,62)と比較して3倍から4倍、水深も約2.5倍(地点hとgの比較)である。  
3) 氾濫水が下流端に到達する時間は、最短で氾濫開始後1200s前後である。  
4) 木屋町通を氾濫点より少し南に下った地点番号bでは、いずれのケースにおいても水深が1m前後となる。  
6) 京都市地下街へ流れ込む水量が非常に多く、短時間のうちに水かさが増し危険な状況を引き起こす。  
7) Fig.6, Fig.7, Fig.8, Fig.9より、少なくとも20分後には氾濫水が四条通に到達していることがわかる。

本水理実験において、鴨川が氾濫した場合の氾濫水の拡がり方を把握し、その結果として京都市市街地の洪水弱地域を明らかにした。しかしながら、構造物周辺など局所的な水位変化および水面の乱れを定量的に測定することができなかった。

#### 4. 謝辞

本実験を行うにあたり、ご指導を賜りました本学宇治川水理実験所の中川一教授、石垣泰輔助教授、北川吉男技官に深く感謝いたします。技術室の皆様に深く感謝いたします。

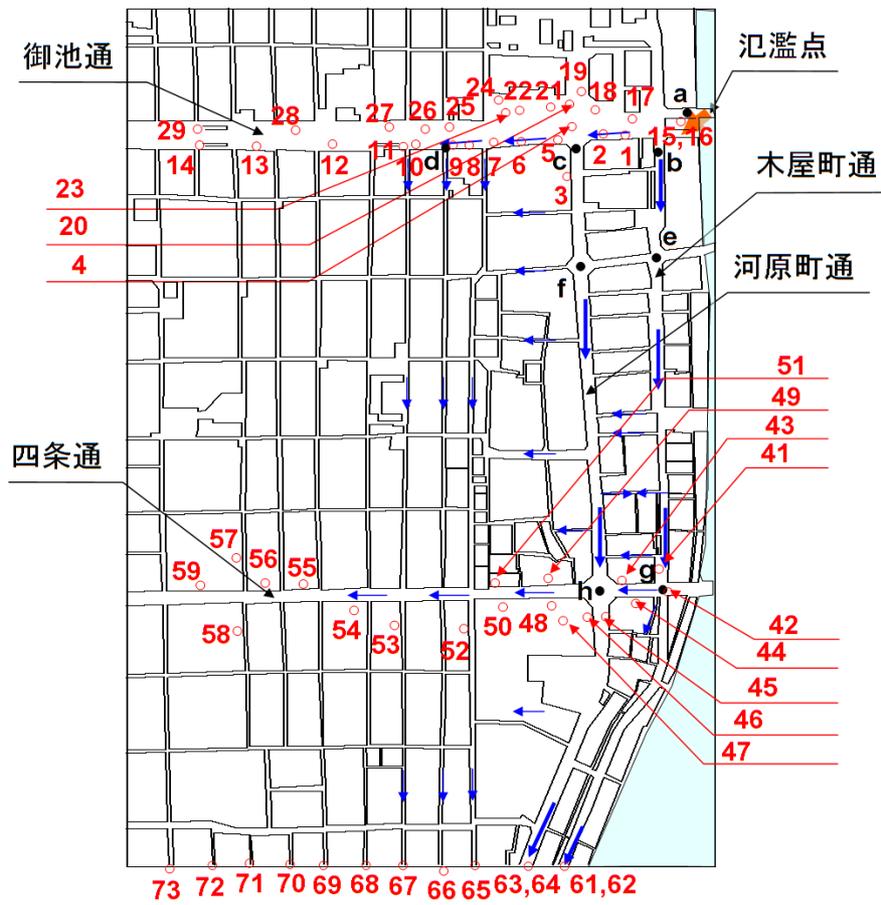


Fig. 2 地上模型平面图



Fig. 3 模型全体写真

Table. 1 原型量と模型量の関係

模型縮尺	原型量	模型量
幾何縮尺 : $L_r = 1/100$	1000 m	10 m
速度縮尺 : $V_r = L_r^{1/2} = 1/10$	100 m/s	10 m/s
面積縮尺 : $A_r = L_r^2 = 1/10000$	100 m <sup>2</sup>	0.01 m <sup>2</sup>
流量縮尺 : $Q_r = V_r \times A_r = L_r^{5/2} = 1/100000$	100 m <sup>3</sup>	0.001 m <sup>3</sup>
時間縮尺 : $t_r = L_r^{1/2} = 1/10$	100 s	10 s

Table. 2 実験ケース

測定対象	実験ケース
流量測定	地下流入ありのケース . 路面が乾いた状態から氾濫開始 .
	地下流入ありのケース . 路面が濡れた状態から氾濫開始 .
	地下流入なしのケース . 路面が乾いた状態から氾濫開始 .
	地下流入なしのケース . 路面が濡れた状態から氾濫開始 .
水深測定	地下流入ありのケース . 路面が乾いた状態から氾濫開始 .
	地下流入ありのケース . 路面が濡れた状態から氾濫開始 .
	地下流入なしのケース . 路面が乾いた状態から氾濫開始 .
	地下流入なしのケース . 路面が濡れた状態から氾濫開始 .



(a) 制御インバータ



(b) 流量発生ポンプ

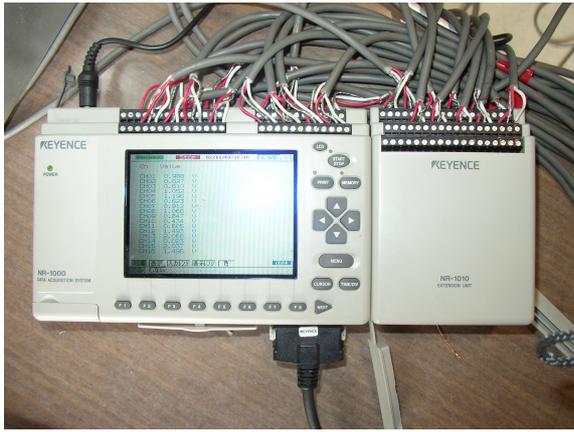


(c) 計算機



(d) 流量検出電源流速計

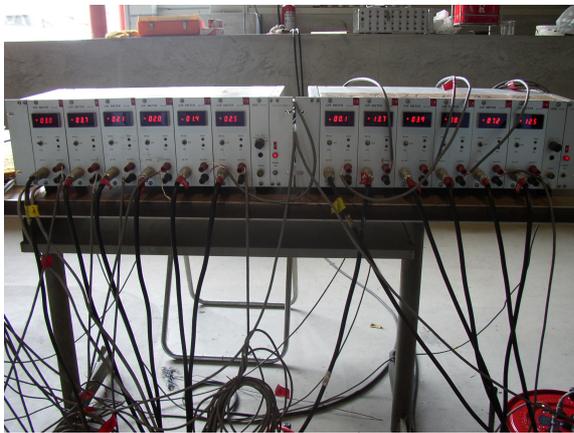
Fig. 4 流量制御システム



(a) NR-1000



(b) 容量式水位計



(c) 容量式水位計アンプ



(d) サーボ式水位計



(e) 三角堰



(f) 水位計設置全体図

Fig. 5 実験装置





(a) 10 分後



(b) 20 分後



(c) 30 分後



(d) 60 分後



(e) 70 分後



(f) 90 分後

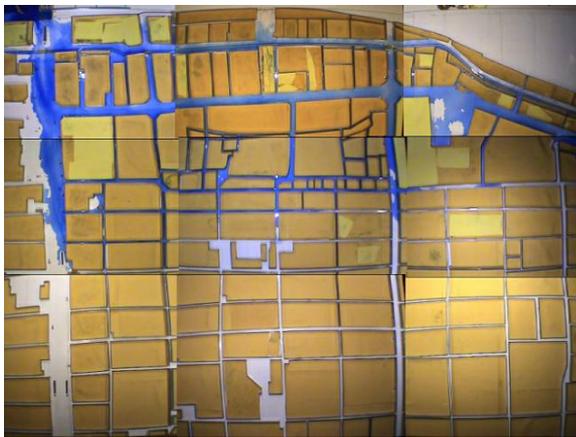
Fig. 6 氾濫開始後静止画像 (地下流入あり, 初期路面状態 dry)



(a) 10 分後



(b) 20 分後



(c) 30 分後



(d) 60 分後



(e) 70 分後



(f) 90 分後

Fig. 7 氾濫開始後静止画像 ( 地下流入あり, 初期路面状態は wet )



(a) 10 分後



(b) 20 分後



(c) 30 分後



(d) 60 分後

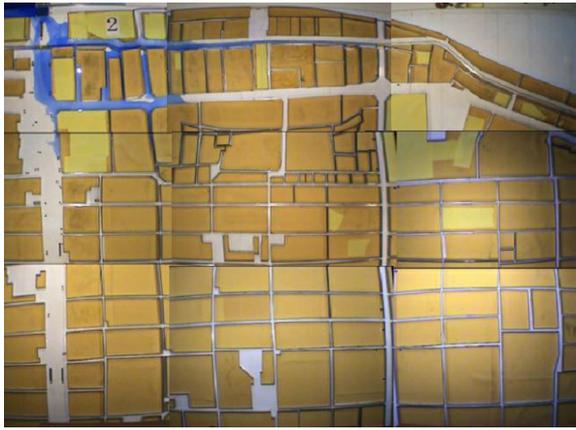


(e) 70 分後

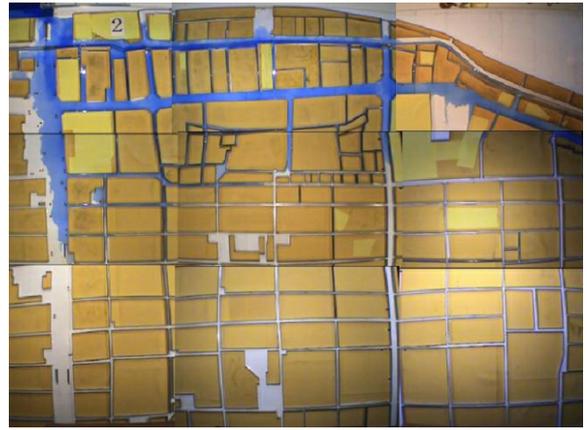


(f) 90 分後

Fig. 8 氾濫開始後静止画像（地下流入なし，初期路面状態はdry）



(a) 10 分後



(b) 20 分後



(c) 30 分後



(d) 60 分後

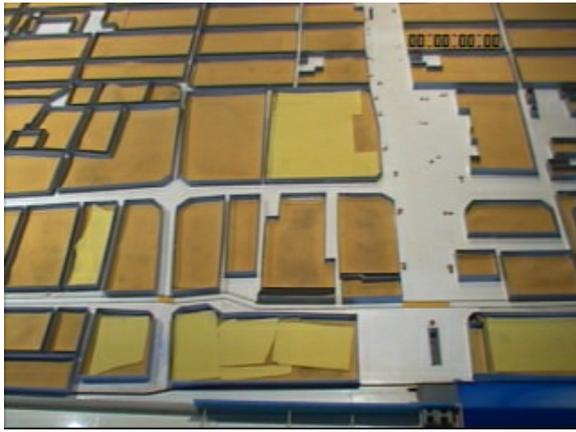


(e) 70 分後

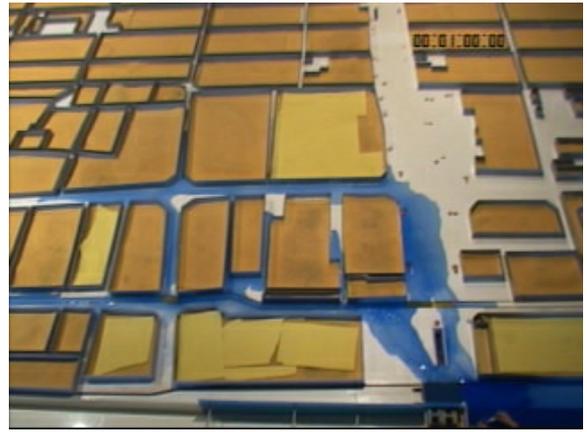


(f) 90 分後

Fig. 9 氾濫開始後の静止画像 (地下流入なし, 初期路面状態は wet)



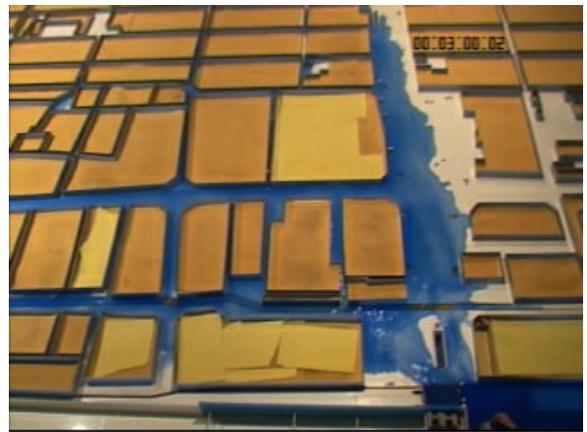
(a) 0 分後



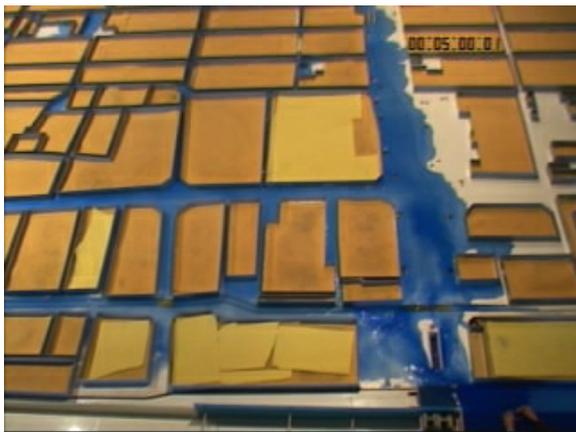
(b) 10 分後



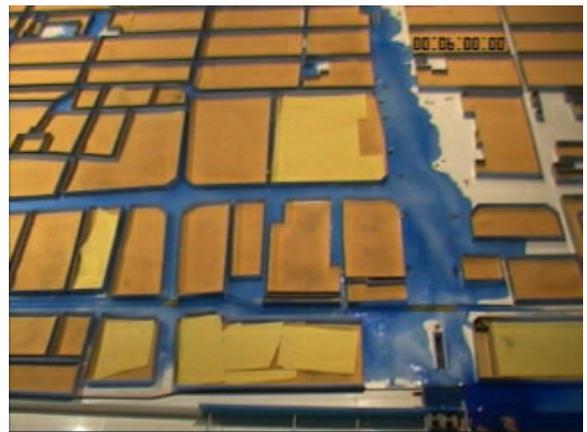
(c) 20 分後



(d) 30 分後

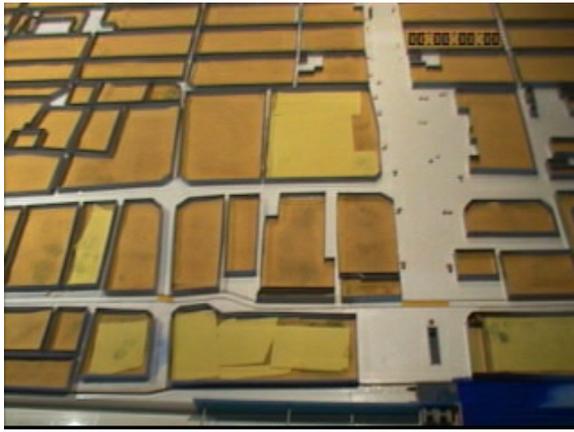


(e) 50 分後

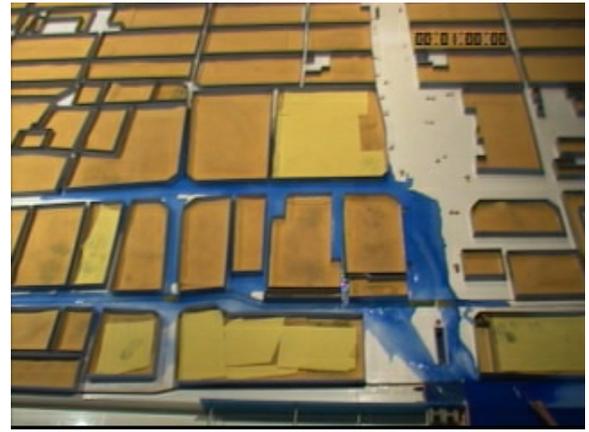


(f) 60 分後

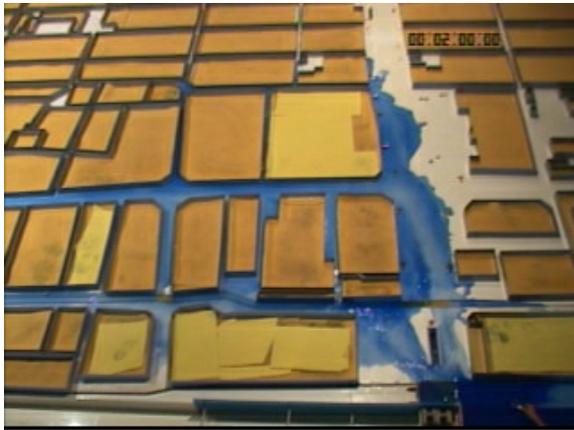
Fig. 10 氾濫開始後の御池通（地下流入あり，初期路面状態はdry）



(a) 0分後



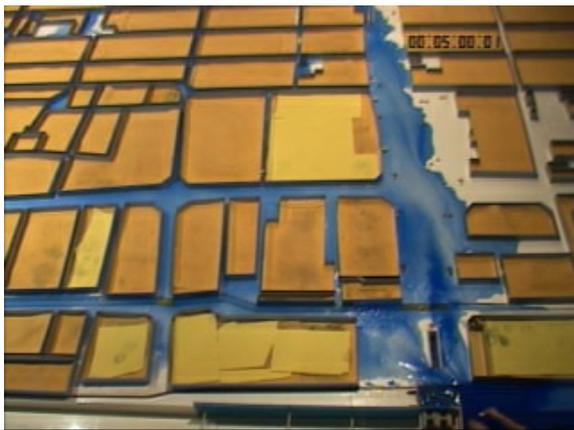
(b) 10分後



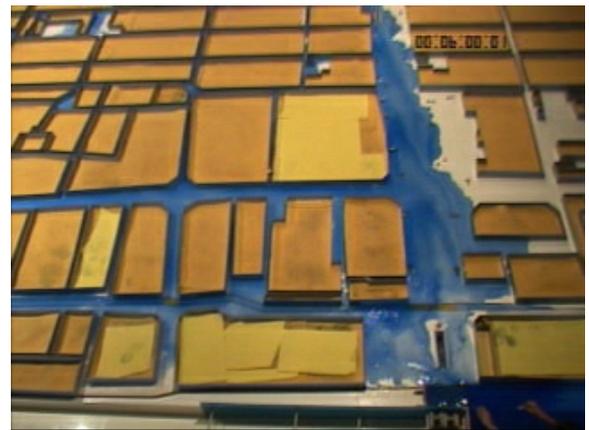
(c) 20分後



(d) 30分後

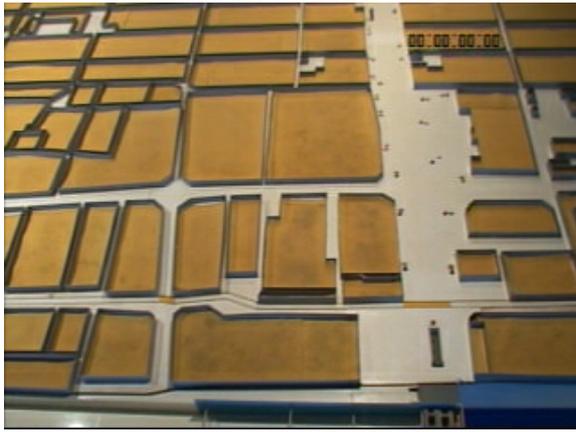


(e) 50分後

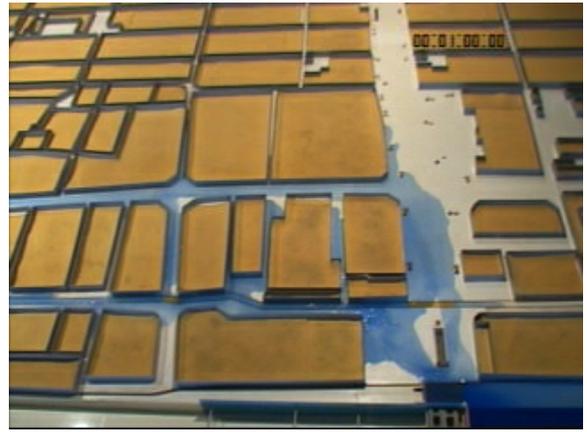


(f) 60分後

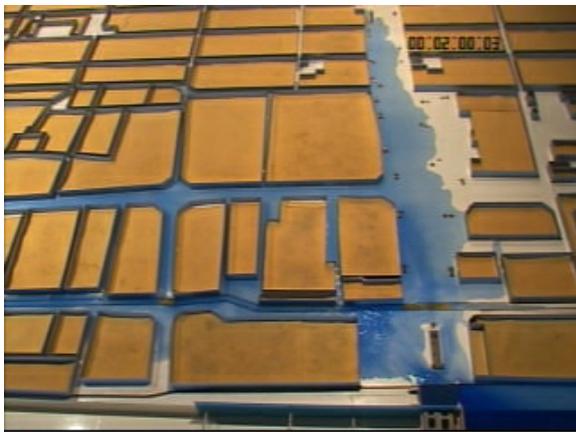
Fig. 11 氾濫開始後の御池通（地下流入あり，初期路面状態はwet）



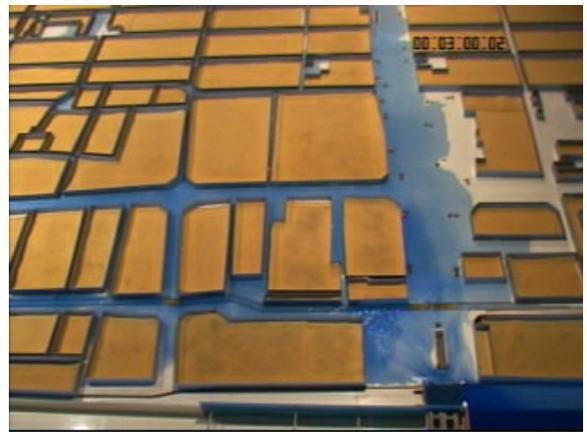
(a) 0分後



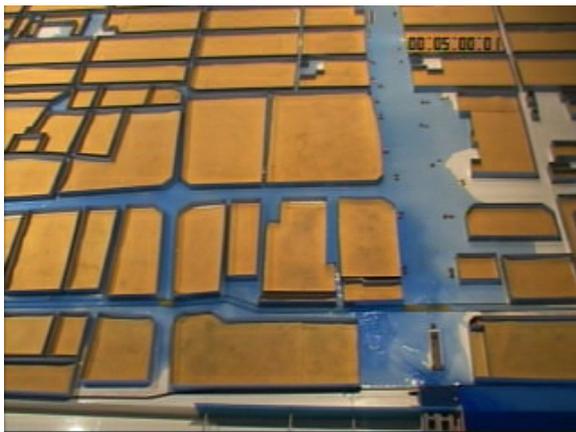
(b) 10分後



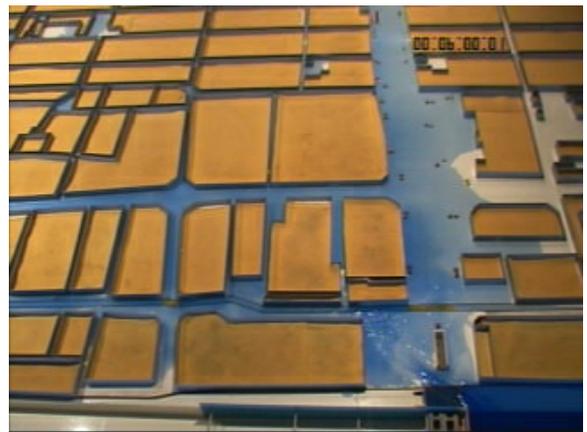
(c) 20分後



(d) 30分後

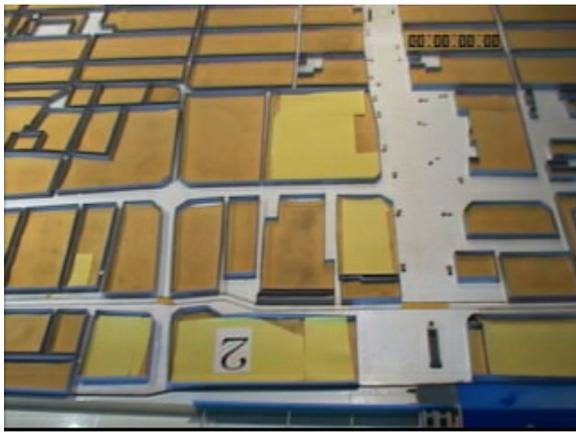


(e) 50分後

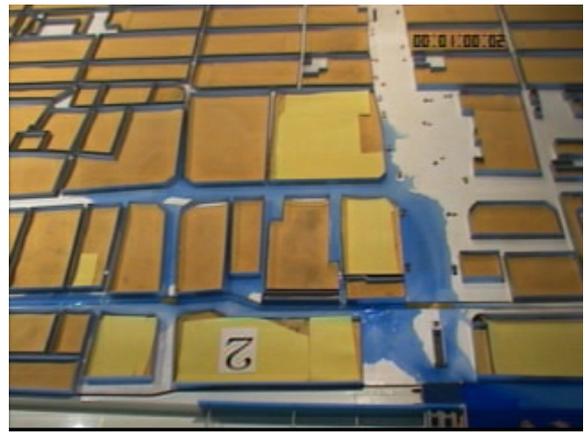


(f) 60分後

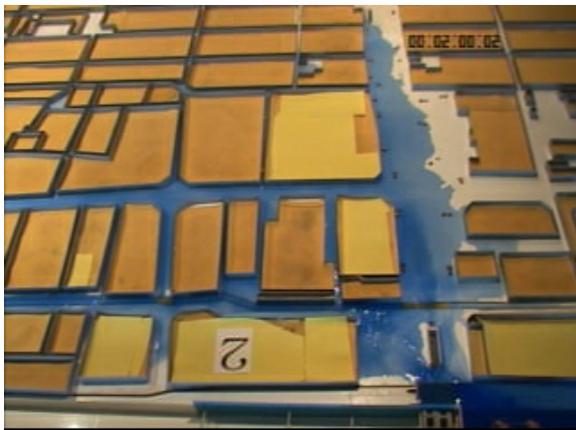
Fig. 12 氾濫開始後の御池通（地下流入なし，初期路面状態はdry）



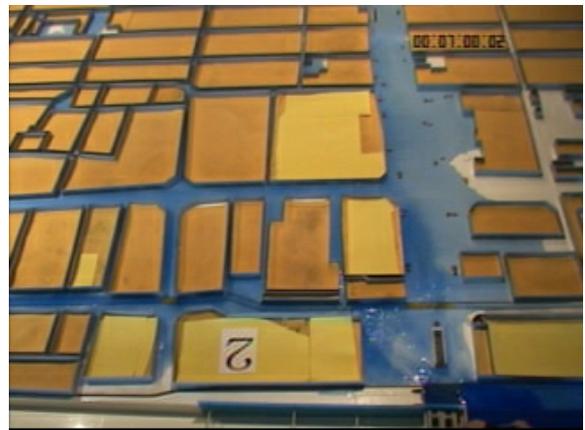
(a) 0分後



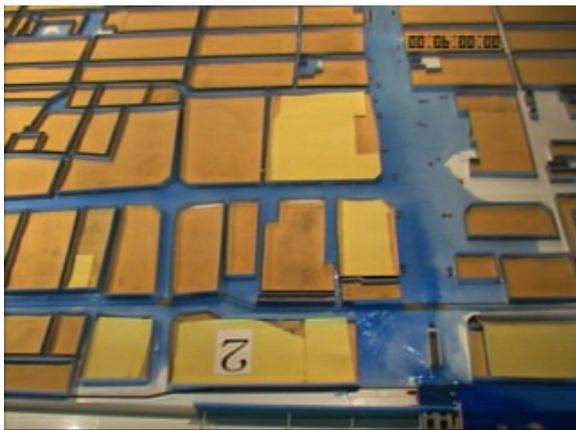
(b) 10分後



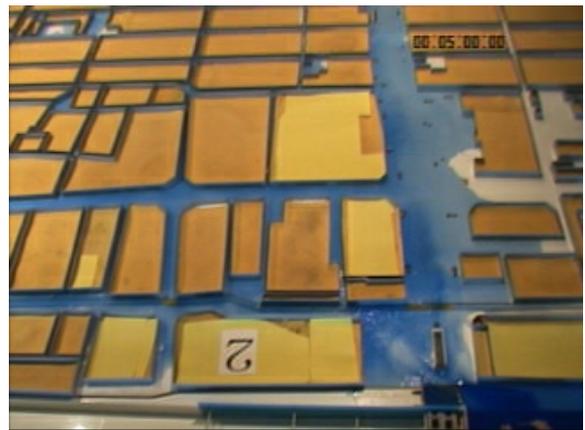
(c) 20分後



(d) 30分後



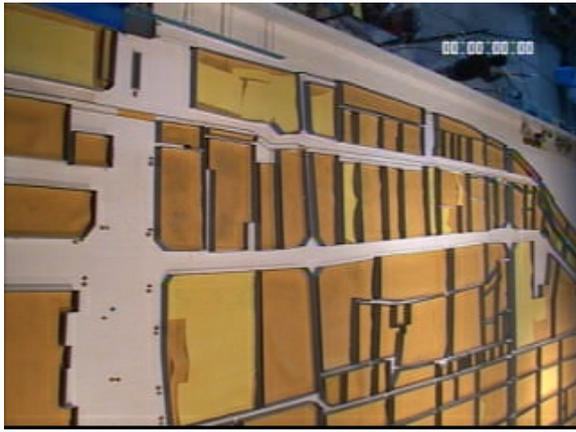
(e) 50分後



(f) 60分後

Fig. 13 氾濫開始後の御池通（地下流入なし，初期路面状態は wet）





(a) 0分後



(b) 10分後



(c) 20分後



(d) 30分後

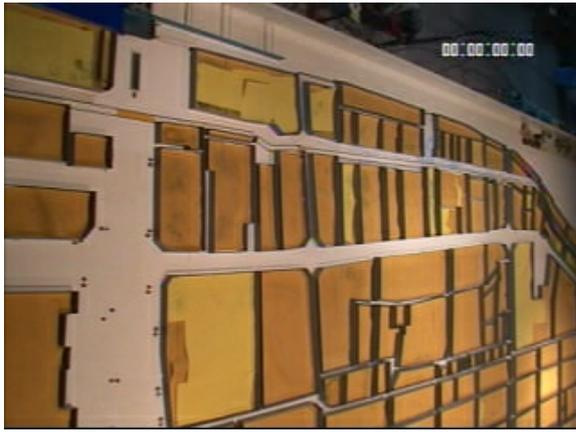


(e) 50分後



(f) 60分後

Fig. 14 氾濫開始後の河原町通（地下流入あり，初期路面状態はdry）



(a) 0 分後



(b) 10 分後



(c) 20 分後



(d) 30 分後



(e) 50 分後



(f) 60 分後

Fig. 15 氾濫開始後の河原町通（地下流入あり，初期路面状態は wet）



(a) 0分後



(b) 10分後



(c) 20分後



(d) 30分後

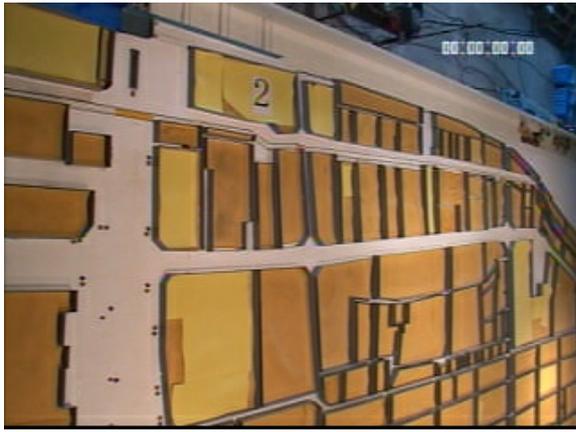


(e) 50分後



(f) 60分後

Fig. 16 氾濫開始後の河原町通（地下流入なし，初期路面状態はdry）



(a) 0分後



(b) 10分後



(c) 20分後



(d) 30分後



(e) 50分後



(f) 60分後

Fig. 17 氾濫開始後の河原町通（地下流入なし，初期路面状態はwet）

Table. 3 : 流量値 (単位は m<sup>3</sup>)

地点番号	dry-u <sup>1</sup>	wet-u <sup>2</sup>	dry-s <sup>3</sup>	wet-s <sup>4</sup>	地点番号	dry-u	wet-u	dry-s	wet-s
1	2917.1	2977.6			41	60.0	30.0		
2	4926.3	4932.7			42	4054.0	3996.0		
3	2446.6	2248.2			43	20.0	10.0		
4	3426.1	3117.6			44	3578.8	4329.1		
5	3806.9	3778.4			45	7837.4	7755.2		
6	2263.1	2245.4			46	2193.4	2299.3		
7	1832.2	1882.3			47	2720.4	2724.0		
8	1604.5	1545.0			48	2790.3	2777.3		
9	1869.2	1763.5			49	220.0	70.0		
10	968.4	913.2			50	2139.0	2246.6		
11	1110.1	1045.8			51	0.0	0.0		
12	0.0	0.0			52	1010.0	910.0		
13	0.0	0.0			53	2280.0	2280.0		
14	0.0	0.0			54	990.0	990.0		
15,16	28131.4	26716.4			55	0.0	0.0		
17	3363.2	3301.3			56	0.0	0.0		
18,19	712.4	548.1			57	0.0	0.0		
20	0.0	0.0			58	0.0	0.0		
21	0.0	0.0			59	0.0	0.0		
22	970.0	1030.0			60				
23	0.0	0.0			61,62	13772.0	13625.4	25142.0	24667.6
24	0.0	0.0			63,64	50423.8	51090.9	74062.7	72676.6
25	0.0	0.0			65	4930.2	4741.2	9599.7	9633.7
26	0.0	0.0			66	5320.5	5155.5	7424.0	7327.8
27	0.0	0.0			67	2990.0	2960.0	8721.9	9166.7
28,29	0.0	0.0			68	4160.0	3980.0	9495.9	9434.5
					69	2800.0	3220.0	5975.3	6672.4
					70	2470.0	2500.0	4125.5	4341.7
					71	700.0	860.0	3599.0	3599.0
					72	0.0	0.0	3252.0	3270.0
					73	990.0	1160.0	6149.4	6511.9
					総流量	178797.3	177756.0	157547.4	157301.9

<sup>1</sup> 地下流入あり．路面が乾いた状態から氾濫開始．

<sup>2</sup> 地下流入あり．路面が濡れた状態から氾濫開始．

<sup>3</sup> 地下流入なし．路面が乾いた状態から氾濫開始．

<sup>4</sup> 地下流入なし．路面が濡れた状態から氾濫開始．

Table. 4 : 下流端到達時間 ( 単位は second )

地点番号	dry-u	wet-u	dry-s	wet-s
61,62	1060	1230	1270	1230
63,64	1150	1170	1050	1130
65	2240	2090	1950	1760
66	2320	2170	2050	1850
67	3160	3050	2400	2160
68	3330	3160	2590	2200
69	4920	4290	2760	2600
70	4900	4370	2940	2690
71	5490	4740	3140	2700
72			3400	2840
73	6950	5440	3230	3090

空欄は、流れが到達しなかったことを表す。

Table. 5 : 平均地上浸水深 ( 9000-12000s 間の平均 , 単位は m )

地点番号	dry-u	wet-u	dry-s	wet-s
a	0.67	0.66	1.03	1.07
b	0.97	0.97	1.15	1.17
c	0.55	0.54	0.74	0.74
d	0.49	0.50	0.66	0.67
e	0.46	0.47	0.66	0.68
f	0.58	0.59	0.72	0.73
g	0.24	0.24	0.43	0.45
h	0.53	0.55	0.85	0.86

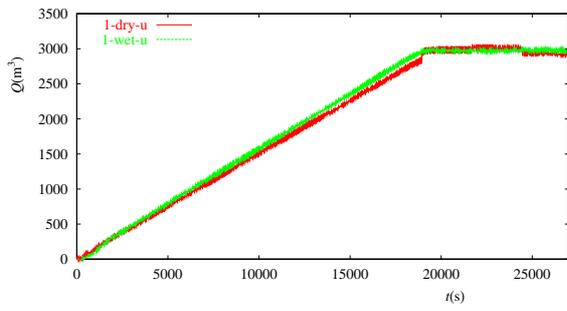


Fig. 18 流量 (地点番号 1)

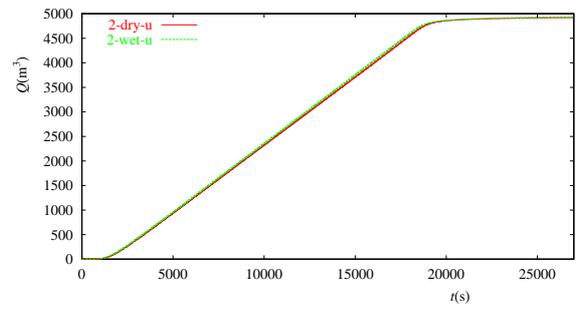


Fig. 19 流量 (地点番号 2)

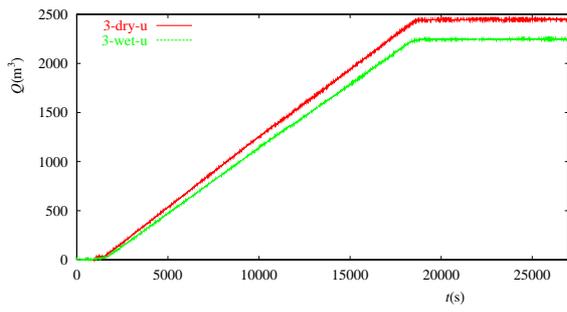


Fig. 20 流量 (地点番号 3)

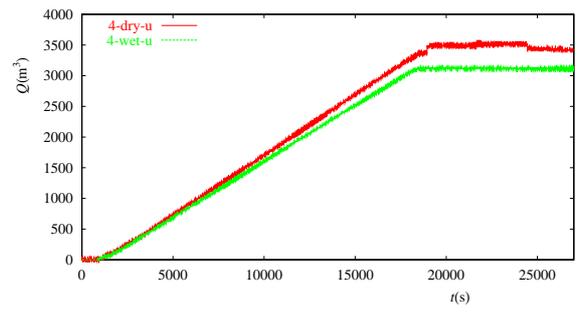


Fig. 21 流量 (地点番号 4)

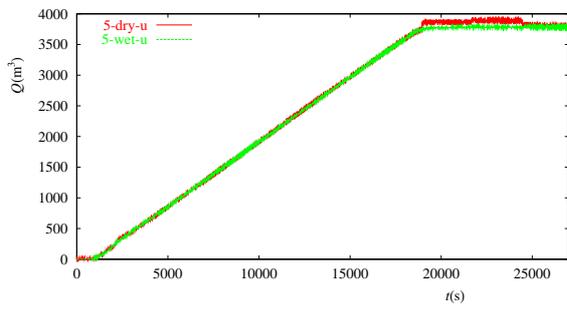


Fig. 22 流量 (地点番号 5)

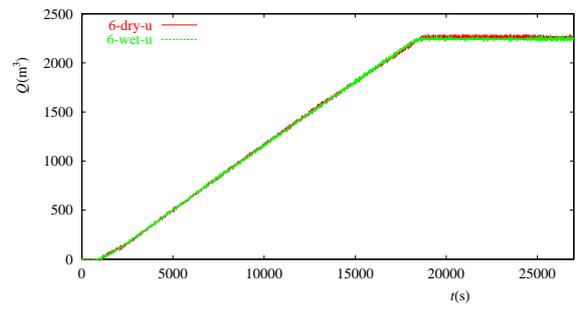


Fig. 23 流量 (地点番号 6)

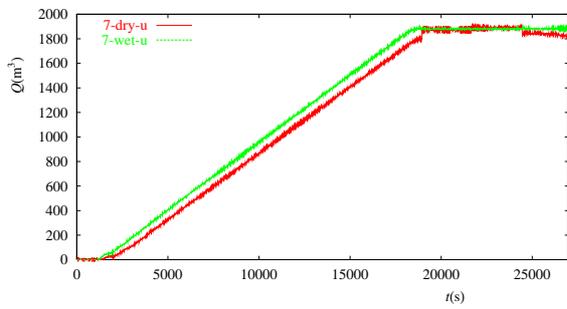


Fig. 24 流量 (地点番号 7)

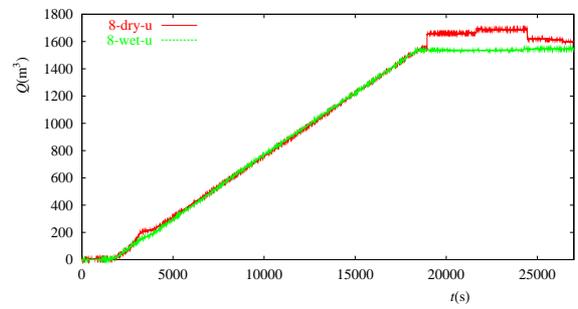


Fig. 25 流量 (地点番号 8)

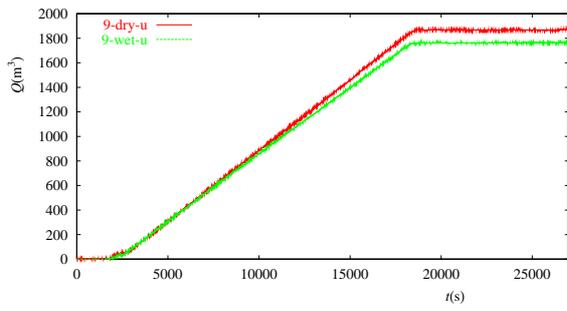


Fig. 26 流量 (地点番号 9)

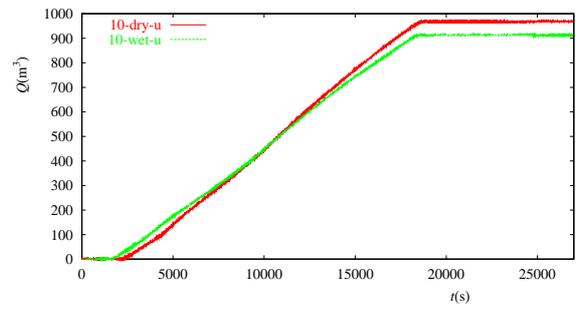


Fig. 27 流量 (地点番号 10)

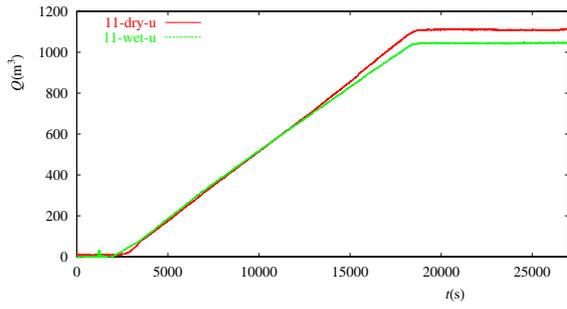


Fig. 28 流量 (地点番号 11)

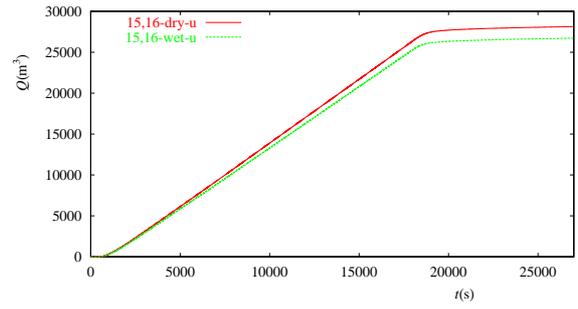


Fig. 29 流量 (地点番号 15,16)

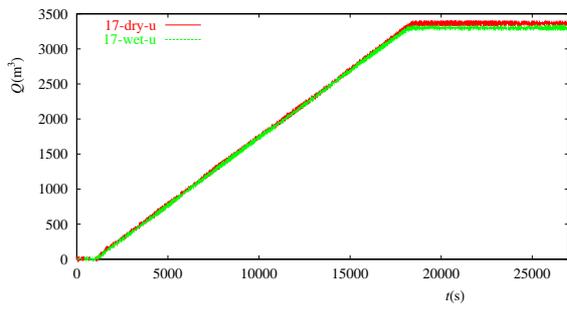


Fig. 30 流量 (地点番号 17)

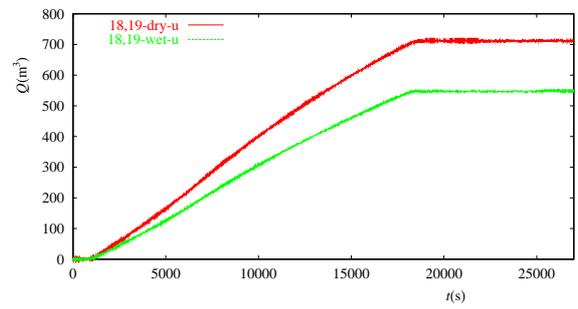


Fig. 31 流量 (地点番号 18,19)

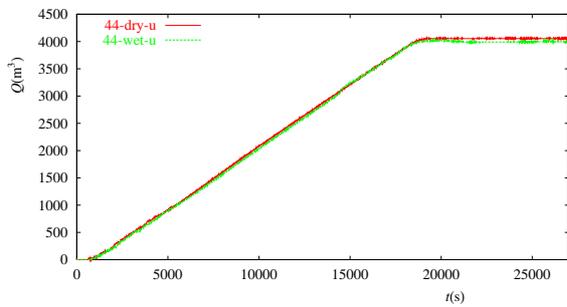


Fig. 32 流量 (地点番号 42)

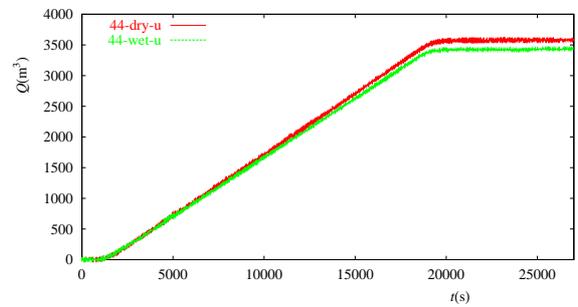


Fig. 33 流量 (地点番号 44)



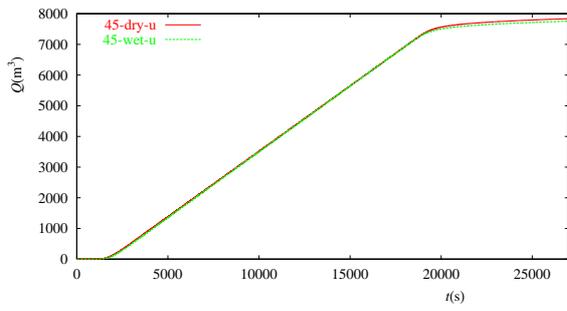


Fig. 34 流量 (地点番号 45)

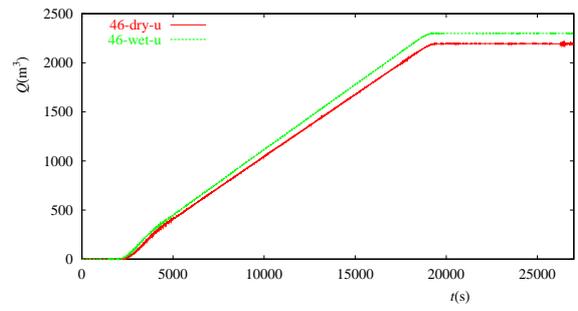


Fig. 35 流量 (地点番号 46)

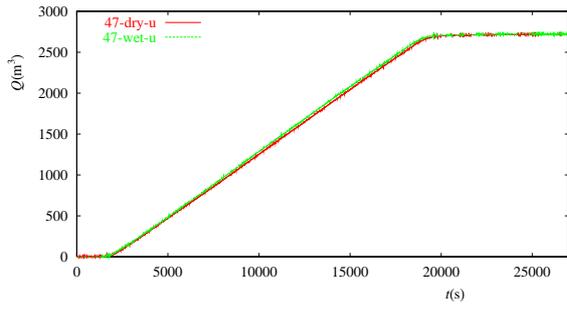


Fig. 36 流量 (地点番号 47)

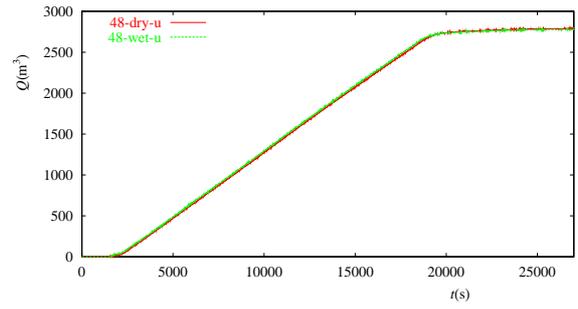


Fig. 37 流量 (地点番号 48)

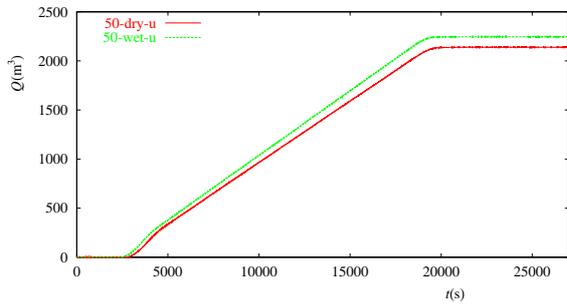


Fig. 38 流量 (地点番号 50)

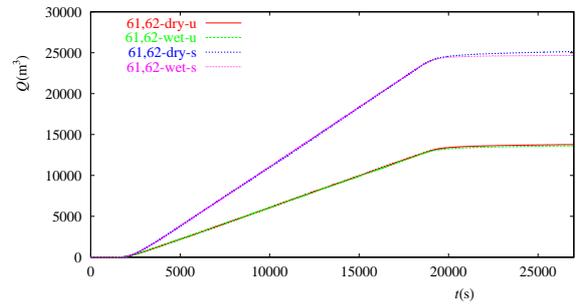


Fig. 39 流量 (地点番号 61.62)

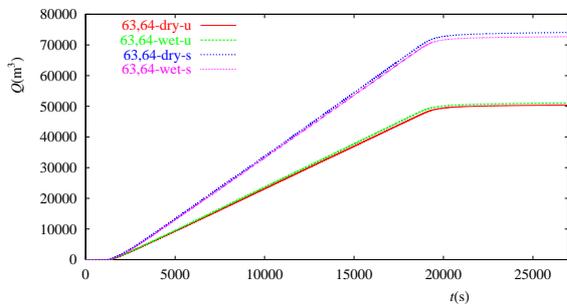


Fig. 40 流量 (地点番号 63,64)

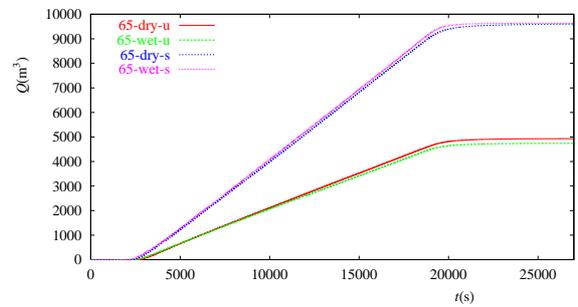


Fig. 41 流量 (地点番号 65)

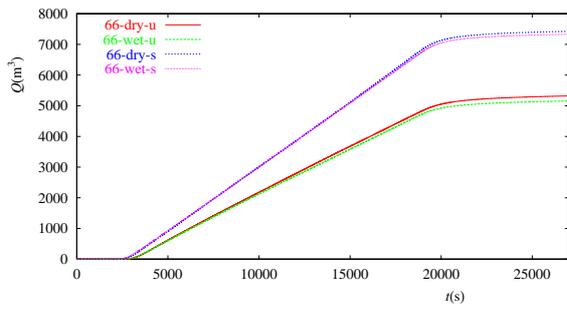


Fig. 42 流量 (地点番号 66)

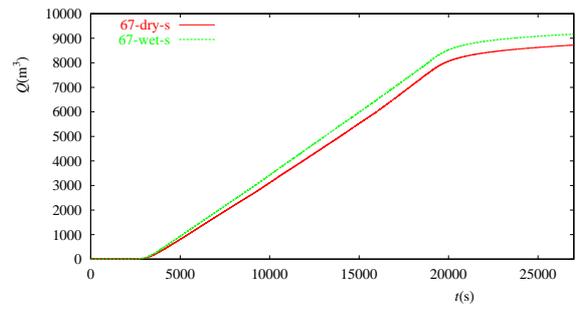


Fig. 43 流量 (地点番号 67)

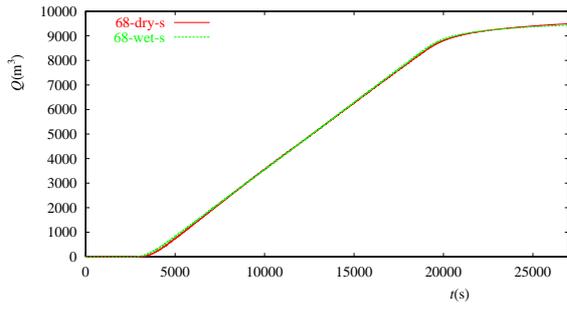


Fig. 44 流量 (地点番号 68)

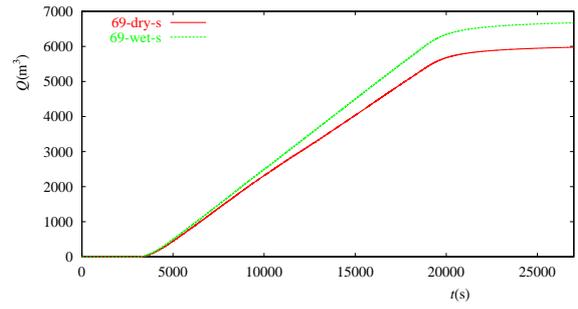


Fig. 45 流量 (地点番号 69)

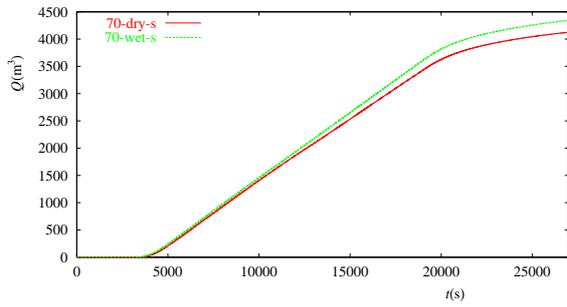


Fig. 46 流量 (地点番号 70)

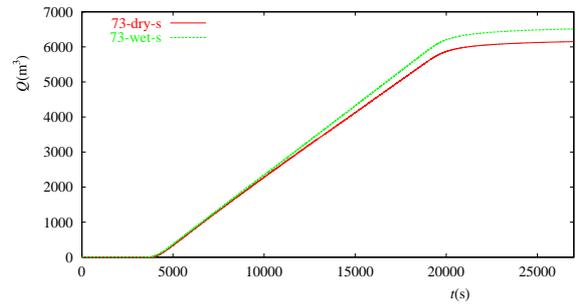


Fig. 47 流量 (地点番号 73)

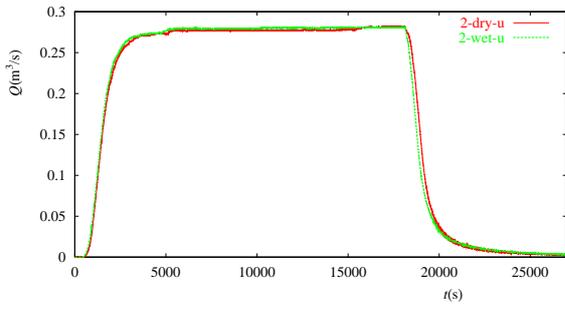


Fig. 48 流量变化 (地点番号 2)

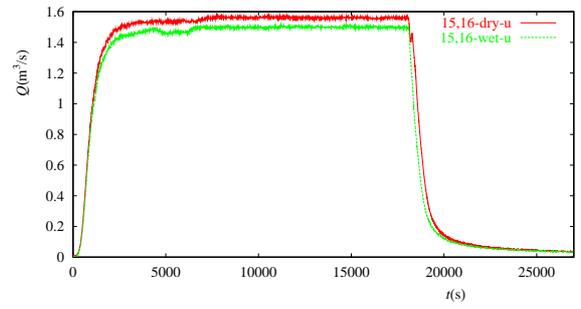


Fig. 49 流量变化 (地点番号 15,16)

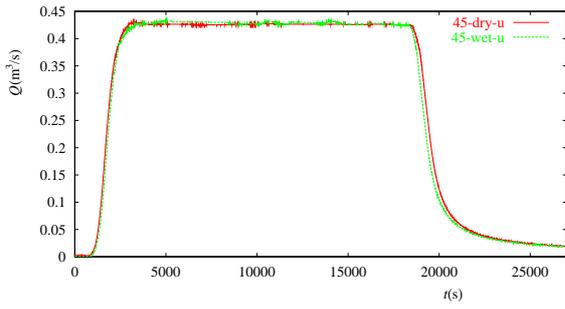


Fig. 50 流量变化 (地点番号 45)

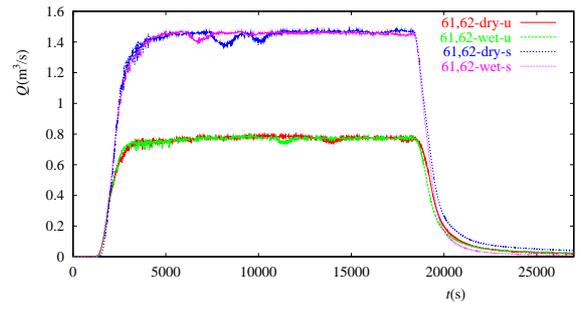


Fig. 51 流量变化 (地点番号 61,62)

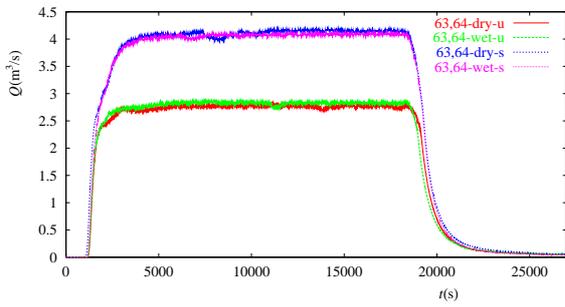


Fig. 52 流量变化 (地点番号 63,64)

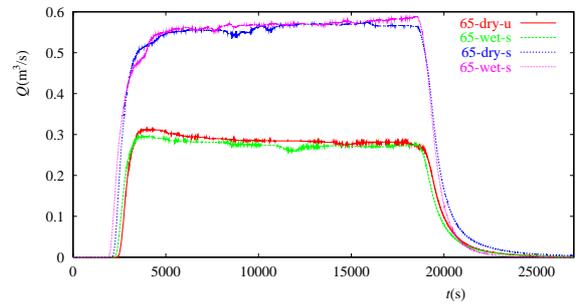


Fig. 53 流量变化 (地点番号 65)

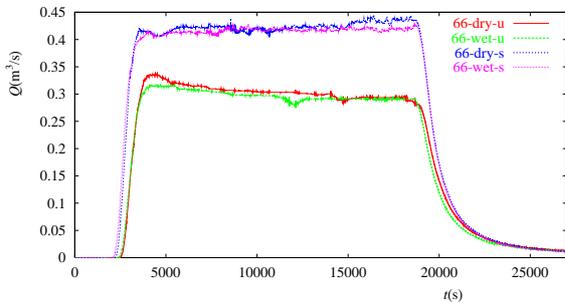


Fig. 54 流量变化 (地点番号 66)

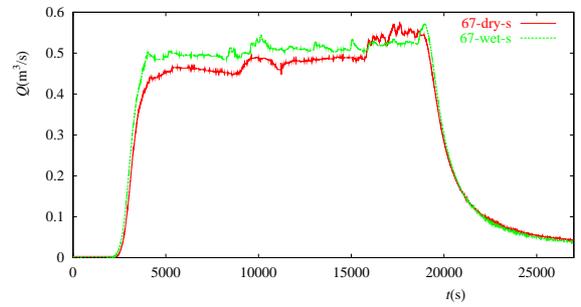


Fig. 55 流量变化 (地点番号 67)

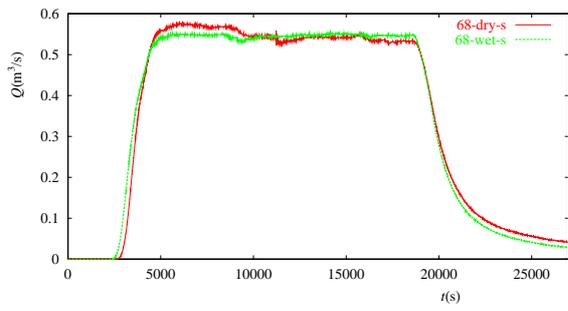


Fig. 56 流量变化 (地点番号 68)

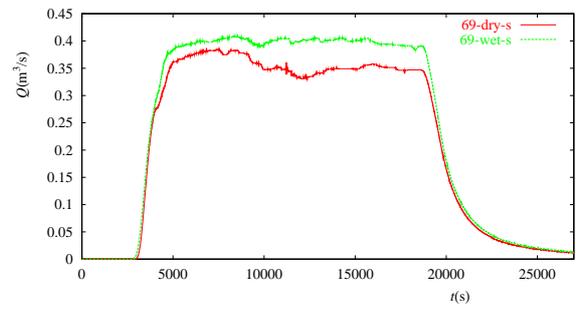


Fig. 57 流量变化 (地点番号 69)

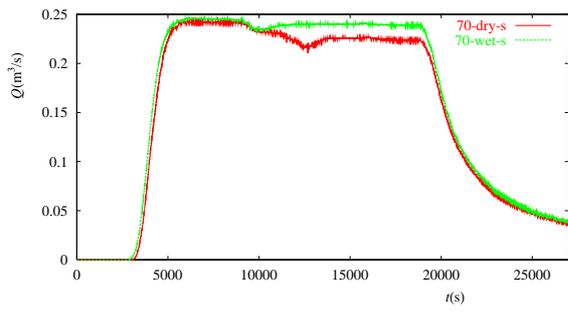


Fig. 58 流量变化 (地点番号 70)

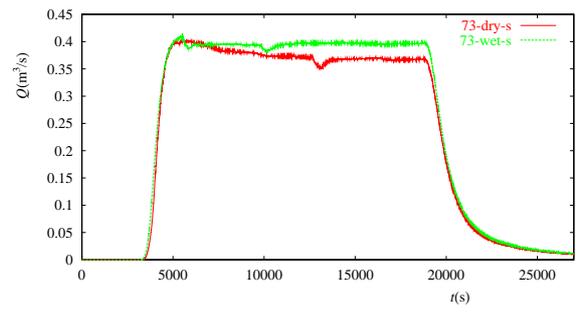


Fig. 59 流量变化 (地点番号 73)

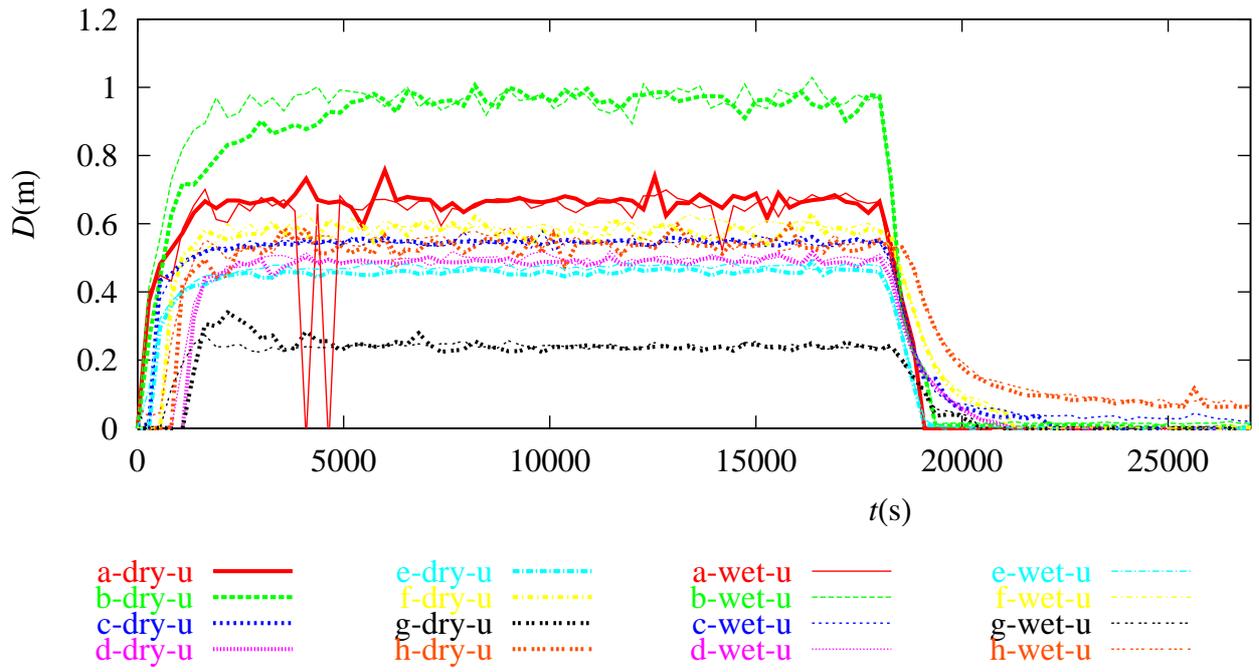


Fig. 60 地上浸水深 ( 地下流入あり )

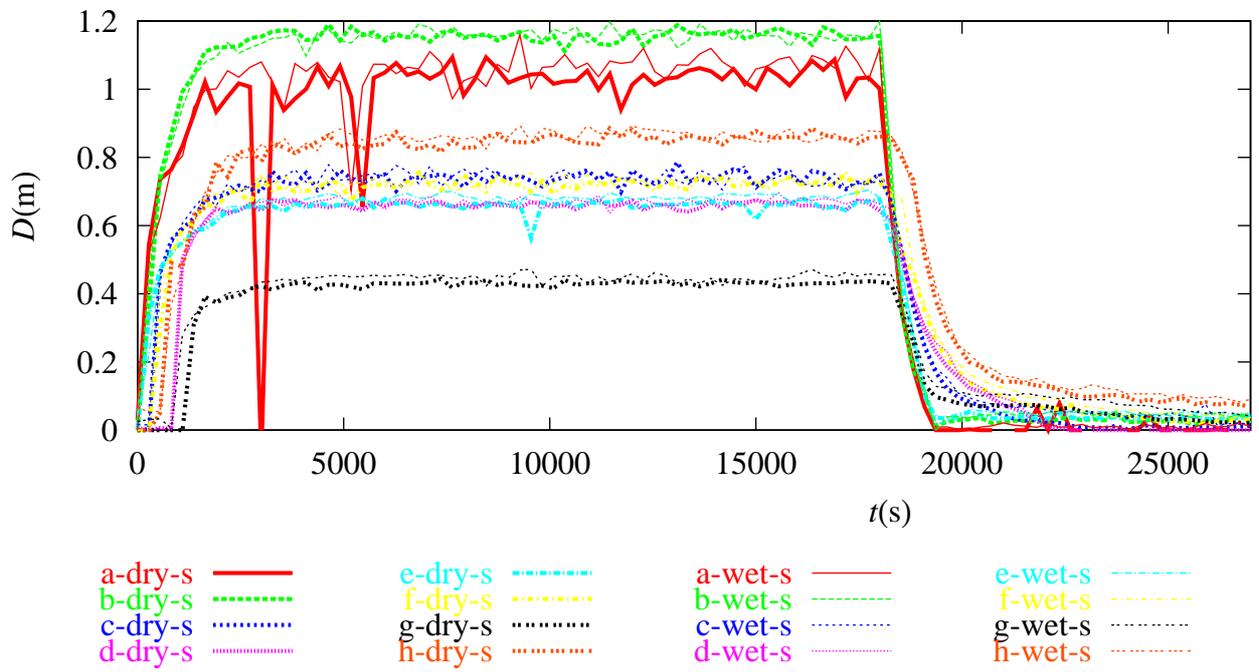


Fig. 61 地上浸水深 ( 地下流入なし )