

市街地模型氾濫実験 2

京都大学防災研究所技術室

多河英雄・吉田義則・西村和浩・辰己賢一・松浦秀起・富阪和秀

1. はじめに

昔から鴨川は暴れ川で幾度となく氾濫を繰り返してきた。最近では 1935 年 6 月の豪雨により鴨川は氾濫し、三条、四条両大橋など 40 箇所以上の橋が流出して多くの人命が失われた。京都府ではそれをきっかけに徹底した河川改修を行い、その後は洪水の時にも鴨川があふれるような水害を生じることなく今に至っている。しかし、2000 年の東海豪雨など、近年の異常降雨は過去をしのぐものもあり、氾濫や堤防の決壊など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で、昨年から引き続き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、流量の検証を目的とし、小型模型よりも実現象に近い縮尺 1/100 の市街地地上模型により、室内実験を行うものである。

本実験では、前年度に引き続き、要領 (Fig.1) に従って実験を行った。

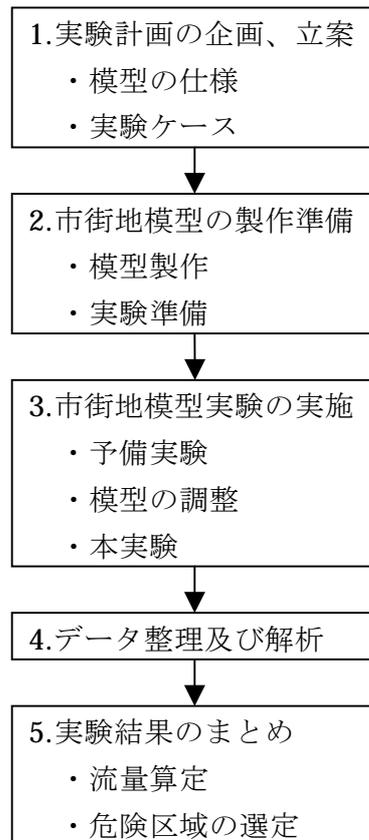


Fig.1 要領

2. 水理模型実験の実施

2.1 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からフルードの相似則を用いる。なお、本実験では流れが複雑に合流し、3次元的であるため無歪み模型とする。

本実験ではフルードの相似則より水理量の関係式は、幾何縮尺を L_r とすると、Table.1 のようになる。

Table.1 縮尺

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

2.2 実験装置

Fig.2、Fig3 にそれぞれ、京都市街地の模型平面図、模型全体の写真を示す。

次に全ての実験における初期設定を Table.2 に示す。流量の計測は合計 59 点で行った。

このとき、地下街及び下流端に流れ込む流量は、コンテナに取り付けられた容量式水位計 (Fig4) と三角堰に取り付けられたサーボ式水位計 (Fig5) を用いて測定した。水位計での信号は、アンプ (Fig.6) で増幅し、データロガ NR-1000 (Fig.7) に取り込まれた電圧をパソコンに保存した。(Fig.8)

また、模型への水の流入量は、パソコン、送流ポンプ (Fig.9)、制御用インバータ (Fig.10)、流量検出電源流速計 (Fig.11) からなる流量自動制御システムを用いた。送流ポンプから出た水は、流量検出電源流速計を通り流出され、その際、流量検出電源流量計からの信号は、制御用インバータに送られパソコンで制御された後、制御用インバータでポンプの回転数をフィードバック制御することにより、流量を精度よく一定に保つ。(Fig.12)

可視化実験においては、流れの状態を水に青いポスターカラーで着色して模型上部からデジタルビデオカメラを用い動画を撮影し、動画データを静止画像に変換した。また、斜め上部からデジタルカメラで連続静止画を撮影した。

Table.2 初期設定

	模型	実物換算
流入量	0.001m ³ /s	100m ³ /s
流入時間	30 分	300 分
実験時間	45 分	450 分

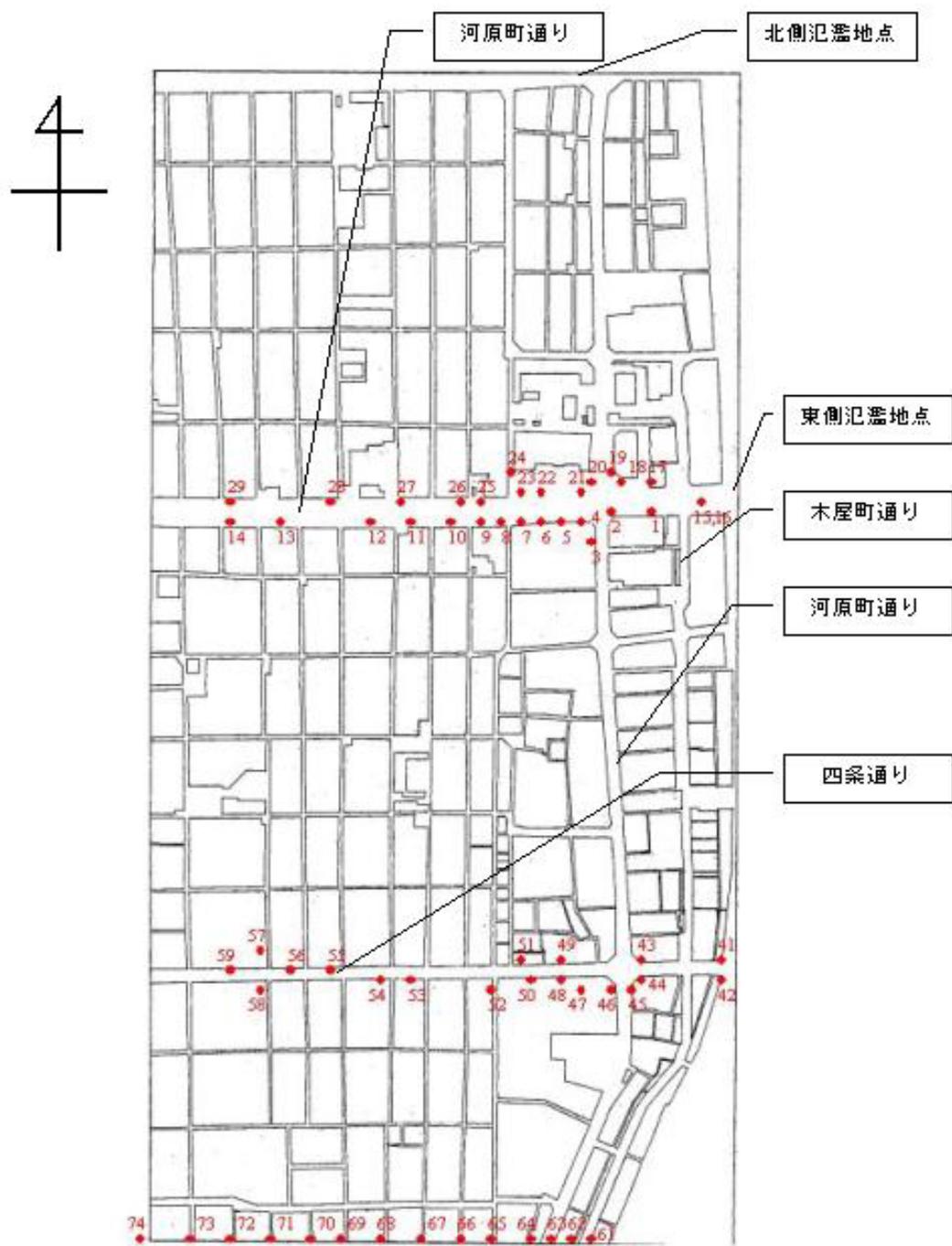


Fig.2 地上模型平面図

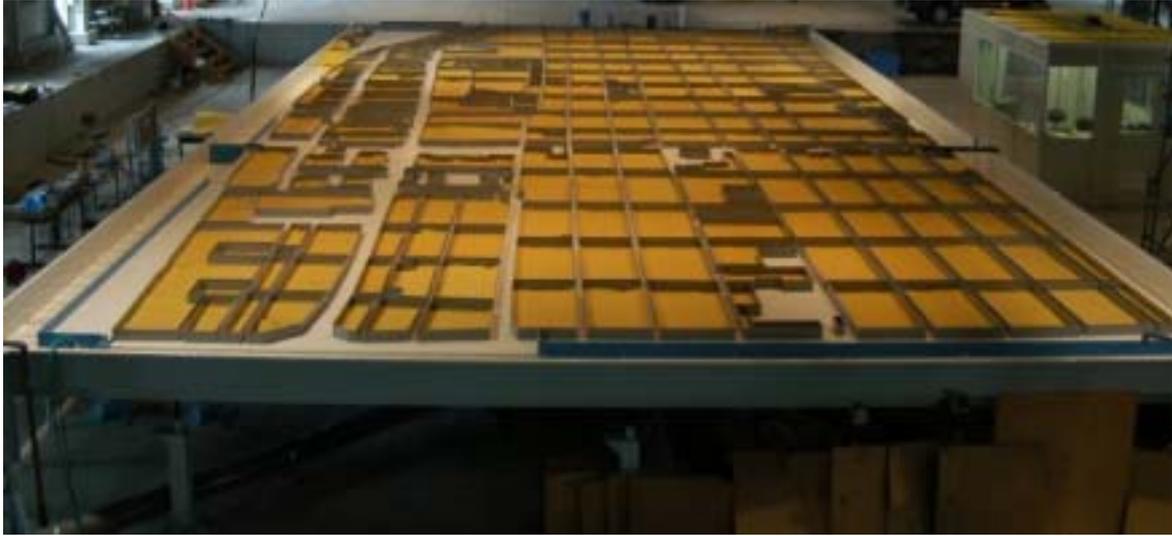


Fig.3 京都市街地模型全体



Fig.4 容量式水位計



Fig.5 サーボ式水位計



Fig.6 アンプ



Fig.7 データロガ NR-1000

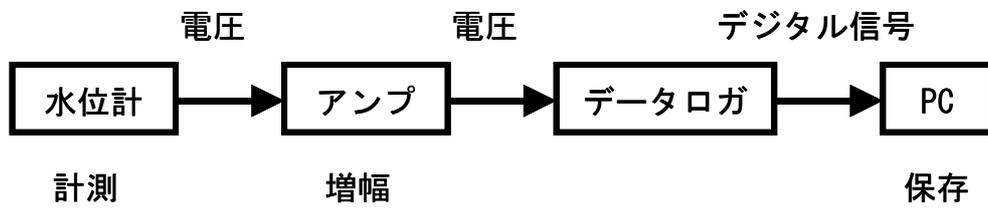


Fig.8 流量計測



Fig.9 送流ポンプ



Fig.10 制御用インバータ



Fig.11 流量検出電源流速

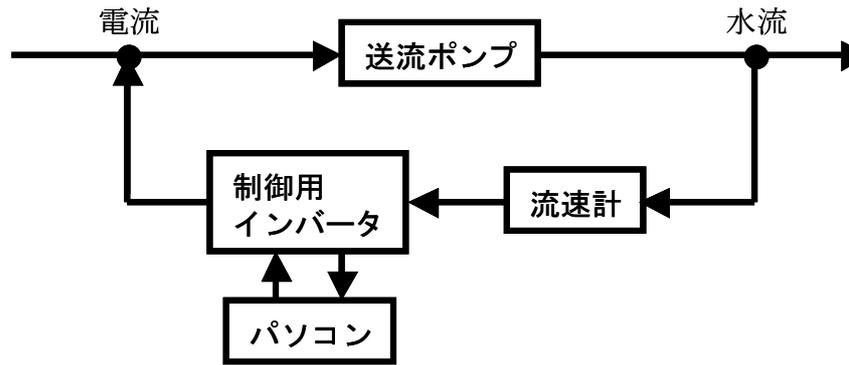


Fig.12 流量制御

2.3 実験方法

a. 流量測定実験

- ①バケツ・コンテナ・三角堰・各種水位計の設置
- ②流量自動制御システムの稼動
- ③流量計測機器の稼動
- ④下流端到達時刻の測定
- ⑤水位定常時の電圧とポイントゲージの測定
- ⑥実験後の記録データより流量算出

b. 可視化実験

- ①実験前における青のポスターカラーによる水の着色
- ②デジタルカメラ及びデジタルビデオカメラの設置
- ③デジタルカメラ及びデジタルビデオカメラの稼動
- ④流量自動制御システムの稼動
- ⑤実験中における青のポスターカラーによる水の着色
- ⑥下流端到達時刻の測定
- ⑦実験後の画像処理

2.4 実験ケース

Table3 のような実験ケース分けて実験を行った。

各実験においてそれぞれ、流量測定実験と可視化実験を行なった。

Table3 は以下のようなものである。

- ・ 氾濫場所は、Fig.2 での北側氾濫地点あるいは東側氾濫地点のどちらで氾濫したかということを示している。
- ・ 建物流入は建物内に水が浸入する場合としない場合を示している。
- ・ 地下流入は地下に水が入っていく場合と、それ以上地下に水が入らない場合を示している。
- ・ 路面状態では **DRY**：路面状態が乾燥している状態、**WET**：路面状態が湿っている状態を示している。

- ・ 年度において、本年度は 2003 年度行った実験を示し、昨年度は 2002 年度行った実験を示す。

Table.3 実験ケース

	氾濫場所	建物流入	地下流入	路面状態	年度
1	北側	無	無	DRY	本年度
2				WET	
3			有	DRY	
4				WET	
5		有	無	DRY	
6			有	DRY	
7	東側	無	無	DRY	昨年度
8				WET	
9			有	DRY	
10				WET	
11		有	無	DRY	本年度
12			有	DRY	

3. 実験結果

3.1 実験データ

- ・ Table.4 に Fig.2 における北側氾濫地点の総流量を示す。
- ・ Table.5 に Fig.2 における東側氾濫地点の総流量を示す。
- ・ Table.6 に Fig.2 における北側氾濫地点の下流端到達時刻を示す。
- ・ Table.7 に Fig.2 における東側氾濫地点の下流端到達時刻を示す。
- ・ Fig.13～Fig.20 に、Table.3 の（WET を除く）各実験条件における氾濫開始後 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。

なお、図表に書かれているすべてのデータは実物換算値である。

また、写真において左側が北になっている。

下流端到達時刻の空欄は水が下流端に到達しなかったことを示している。

3.2 結果

- ・ 下流端に到達するのは最短で 1050 秒である。
- ・ Fig.15、Fig.16、Fig.19、Fig.20 を見ると建物流入がある場合、浸水域が狭くなっていることがわかる。これは建物に水が入り、緩衝材の役割をしていると考えられる。またこの場合、浸水域は東よりになるため、比較的西側全域では浸水が少なく安全であると考えられる。

- Fig.17～Fig.20 を見てわかるように、東側氾濫地点 (Fig.2) より氾濫した時のすべてのケースで、氾濫地点の北の地域にはほとんど浸水しないことがわかった。これは北側地域が高く全体が傾斜しているためであると思われる。
- Fig.13～Fig.16 の北側氾濫地点 (Fig.2) からの氾濫時すべてのケースで、北西の地域では浸水していないことがわかる。
- Fig.13～Fig.16 において、北側氾濫地点 (Fig.2) から氾濫し、建物に流入しなければ、御池通り以南での西側地域を含むほぼ全域で浸水することがわかった。
- Fig.16～Fig.20 において、東側氾濫地点 (Fig.2) から氾濫し、建物に流入しなければ、御池通り以南での西側地域を含むほぼ全域で浸水することがわかった。
- ただし、建物に流入する場合、御池通り以南での西側は、かろうじて浸水を免れている。これは建物に流入することで、建物流入が緩衝材の役目をしているためと考えられる。
- 建物流入がない場合、御池通り以南では 60 分でほぼ全域浸水するのに対し、建物に流入する場合、水の浸水地域の拡大を抑えられていることがわかった。
- 以上のことから、都市浸水実験において建物の流入があることを検討するとともに、その際、どの程度の水量が建物に流入するのかを考える必要がある。
- 地下への流入がある場合とない場合では、明らかに地下流入がない場合のほうが浸水の広がるスピードがはやい。そのため、地下が水でいっぱいになったときは浸水がはやく広がることがわかった。
- Fig.13～Fig.20 のすべてにおいて、浸水は徐々に西側に広がり、西側に到達すると北側に広がるため、まず西側に逃げ、その後北側に逃げればよいことがわかる。

4. 謝辞

本実験を行うに当たり、ご指導を賜りました本学宇治川水理実験所の中川一先生、石垣泰輔先生、馬場康之先生、北川吉男技官に深く感謝します。また、技術室の皆様に深く感謝します。

Table.4 北側氾濫地点の総流量(m³/sec)現地換算

	1	2	3	4	5	6
流入場所	北	北	北	北	北	北
建物流入	無	無	無	無	有	有
地下流入	無	無	有	有	無	有
乾燥状態	DRY	WET	DRY	WET	DRY	DRY
御池通り						
1 E			6935.5	6908.4		4392.3
2 E			4161.5	4165.1		3328.4
3 E			1526.4	1847.8		2599.9
4 E			3143.2	3135.6		1442.2
5 W			5073.2	5142.2		4459.8
6 W			3754.8	3800.5		2621.5
7 W			3749.3	3665.4		0.0
8 W			1729.9	1771.2		1332.8
9 W			2052.1	2022.9		1188.6
10 W			2217.2	2330.0		0.0
11 E			4313.2	4320.0		890.6
12 E			2066.9	1709.9		0.0
13 W			0.0	0.0		0.0
14 W			0.0	0.0		0.0
15 E 16			0.0	0.0		0.0
17 E			1112.0	1025.0		0.0
18 S			2252.0	2327.0		0.0
19 W			263.1	225.5		0.0
20 N			3077.2	3062.5		1790.3
21 E			885.0	900.0		0.0
22 W			2390.3	2417.9		891.5
23 W			784.0	735.0		0.0
24 N			2000.3	1922.0		221.8
25 W			828.0	1130.0		0.0
26 W			828.0	885.0		0.0
27 E			0.0	0.0		0.0
28 E			0.0	0.0		0.0
29 W			0.0	0.0		0.0

	1	2	3	4	5	6
四条通り						
南側						
42N			0.0	0.0		0.0
44N			3035.9	2.6		2262.1
45N			4104.8	4252.7		5728.5
46E			1490.8	1149.4		0.0
47N			525.5	1719.1		2085.6
48N			61.1	0.0		2395.4
50N			1798.0	3081.6		0.0
52E			1205.0	1425.0		830.0
53N			2743.3	2780.9		0.0
54N			1295.0	1405.0		745.0
58E			0.0	0.0		0.0
北側						
41S			0.0	0.0		0.0
43S			0.0	0.0		0.0
49S			0.0	0.0		0.0
51S			0.0	0.0		0.0
55S			700.0	640.0		0.0
56S			155.0	210.0		0.0
57E			0.0	0.0		0.0
59S			38.0	0.0		107.0
下流端						
61,62	8466.6	9251.5	5238.1	5630.3	14366.6	9887.9
63,64	66918.1	67646.9	39885.5	39895.8	79864.1	66768.8
65	14408.1	14961.8	7735.0	8005.2	13900.9	11359.0
66	11235.1	11300.1	6432.7	6481.7	8042.9	7169.2
67	6455.1	6118.7	3665.0	3517.8	5439.4	1127.3
68	11161.5	11449.1	7180.0	7360.0	10878.4	7718.8
69	8975.3	8650.0	6845.0	6360.0	8151.6	1700.0
70	6077.4	6181.0	3965.0	3975.0	8445.1	0.0
71	2750.0	2750.0	2030.0	2075.0	3675.0	0.0
72	2680.0	2570.0	2010.0	2060.0	2700.0	0.0
73	5699.7	9668.6	7459.8	7036.8	4274.6	0.0
74	27340.0	28711.3	1071.0	0.0	1160.0	0.0
総流量	172166.9	179258.8	165812.7	164512.6	160898.6	145044.2

Table.5 東側氾濫地点の総流量(m³/sec)現地換算

	7	8	9	10	11	12
流入場所	東	東	東	東	東	東
建物流入	無	無	無	無	有	有
地下流入	無	無	有	有	無	有
乾燥状態	DRY	WET	DRY	WET	DRY	DRY
御池通り						
1 E			2917.1	2977.6		1773.3
2 E			4926.3	4932.7		3339.7
3 E			2446.6	2248.2		1732.3
4 E			3426.1	3117.6		2531.7
5 W			3806.9	3778.4		2507.4
6 W			2263.1	2245.4		3.8
7 W			1832.2	1882.3		0.0
8 W			1604.5	1545.0		87.8
9 W			1869.2	1763.5		22.8
10 W			968.4	913.2		0.0
11 E			1110.1	1045.8		13.5
12 E			0.0	0.0		0.0
13 W			0.0	0.0		0.0
14 W			0.0	0.0		0.0
15 E 16			28131.4	26716.4		16527.3
17 E			3363.2	3301.3		2211.9
18 S			712.4	548.1		0.0
19 W			0.0	0.0		0.0
20 N			0.0	0.0		0.0
21 E			0.0	0.0		0.0
22 W			970.0	1030.0		0.0
23 W			0.0	0.0		0.0
24 N			0.0	0.0		0.0
25 W			0.0	0.0		0.0
26 W			0.0	0.0		0.0
27 E			0.0	0.0		0.0
28 E			0.0	0.0		0.0
29 W			0.0	0.0		0.0

	7	8	9	10	11	12
四条通り						
南側						
42N			4054.0	3996.0		610.0
44N			3578.8	4329.1		2303.8
45N			7837.4	7755.2		3677.8
46E			2193.4	2299.3		0.0
47N			2720.4	2724.0		1980.7
48N			2790.3	2777.3		2588.6
50N			2139.0	2246.6		0.0
52E			1010.0	910.0		465.0
53N			2280.0	2280.0		890.0
54N			990.0	990.0		0.0
58E			0.0	0.0		0.0
北側						
41S			60.0	30.0		0.0
43S			20.0	10.0		0.0
49S			220.0	70.0		0.0
51S			0.0	0.0		0.0
55S			0.0	0.0		0.0
56S			0.0	0.0		0.0
57E			0.0	0.0		0.0
59S			0.0	0.0		0.0
下流端						
61,62	25142.0	24667.6	13772.0	13625.4	20326.0	13447.1
63,64	74062.7	72676.6	50423.8	51090.9	79596.3	69208.7
65	9599.7	9633.7	4930.2	4741.2	12936.0	10229.2
66	7424.0	7327.8	5320.5	5155.5	8301.6	5860.6
67	8721.9	9166.7	2990.0	2960.0	3989.0	2804.3
68	9495.9	9434.5	4160.0	3980.0	8219.8	4741.2
69	5975.3	6672.4	2800.0	3220.0	5271.3	3510.0
70	4125.5	4341.7	2470.0	2500.0	3435.0	2715.0
71	3599.0	3599.0	700.0	860.0	2700.0	1015.0
72	3252.0	3270.0	0.0	0.0	2070.0	255.0
73	6149.4	6511.9	990.0	1160.0	2045.0	0.0
74	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
総流量	157547.4	157301.9	178797.3	177756.0	148890.0	157053.3

Table.6 北側氾濫地点の下流端到達時刻(秒)

	1	2	3	4	5	6
流入場所	北	北	北	北	北	北
建物流入	無	無	無	無	有	有
地下流入	無	無	有	有	無	有
乾燥状態	DRY	WET	DRY	WET	DRY	DRY
61,62	1750	1520	1650	1500	1820	2050
63,64	1360	1300	1340	1440	1500	1660
65	1760	1640	1810	1800	2380	2540
66	1960	1670	1870	1830	2580	2630
67	2380	2020	2400	2220	4410	4240
68	2460	2110	2420	2330	4240	4540
69	2610	2350	2840	2790	4650	5810
70	2850	2310	3180	2860	4860	6450
71	2920	2510	3490	3100	6070	8030
72	3500	2600	3880	3310	6580	8050
73	2980	2600	3500	3300	6590	8330
74	3500	3270			14400	

Table.7 東側氾濫地点の下流端到達時刻(秒)

	7	8	9	10	11	12
流入場所	東	東	東	東	東	東
建物流入	無	無	無	無	有	有
地下流入	無	無	有	有	無	有
乾燥状態	DRY	WET	DRY	WET	DRY	DRY
61,62	1270	1230	1060	1230	1640	1550
63,64	1050	1130	1150	1170	1240	1420
65	1950	1760	2240	2090	2350	3440
66	2050	1850	2320	2170	2740	3490
67	2400	2160	3160	3050	4210	4890
68	2590	2200	3330	3160	4560	5480
69	2760	2600	4920	4290	5790	7290
70	2940	2690	4900	4370	6060	8720
71	3140	2700	5490	4740	6880	10490
72	3400	2840			7510	15800
73	3230	3090	6950	9440	10360	
74						



(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.13 実験ケース 1 の氾濫後の写真



(a) 10 分後



(b) 20 分後



(c) 30 分後



(d) 60 分後

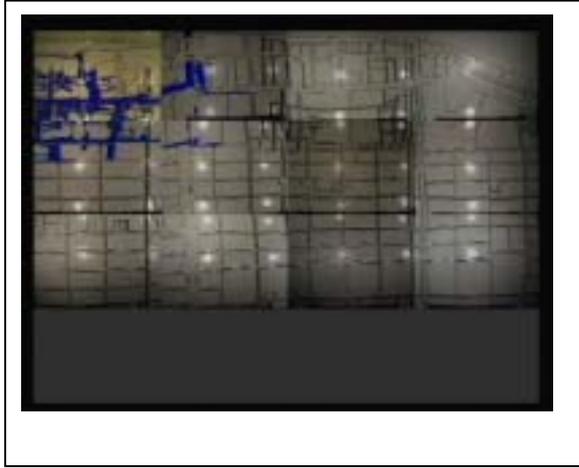


(e) 70 分後

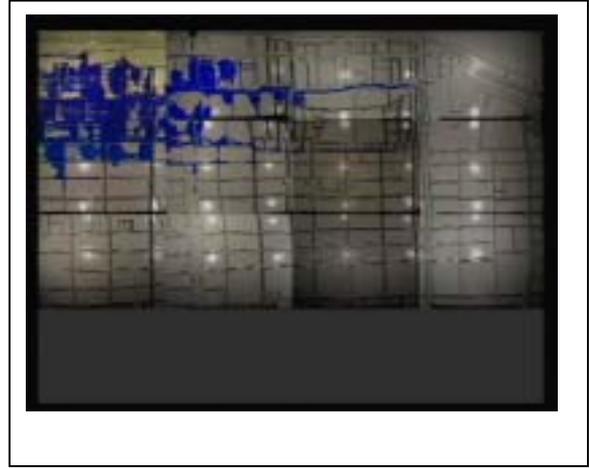


(f) 90 分後

Fig.14 実験ケース 3 の氾濫後の写真



(a) 10 分後



(b) 20 分後



(c) 30 分後



(d) 60 分後

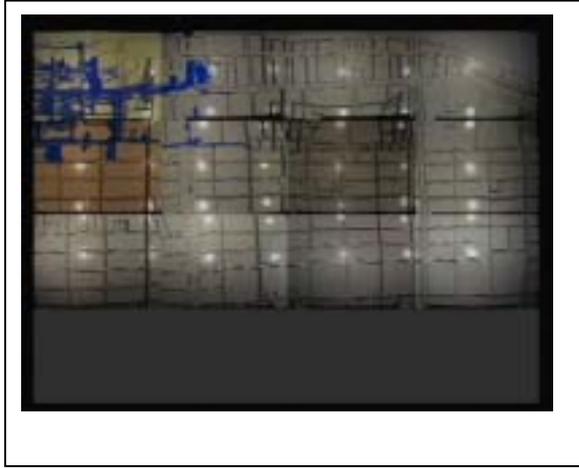


(e) 70 分後

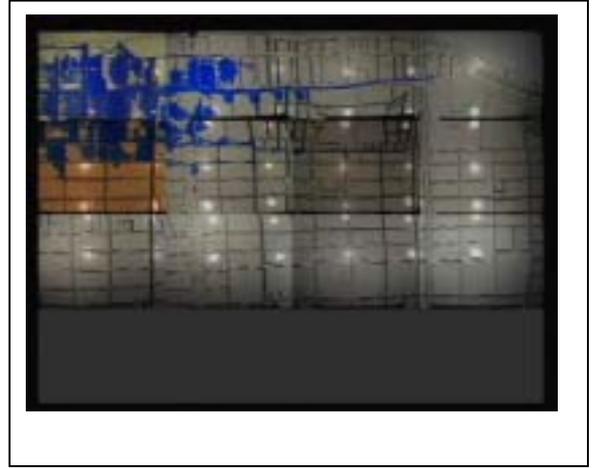


(f) 90 分後

Fig.15 実験ケース 5 の氾濫後の写真



(a) 10 分後



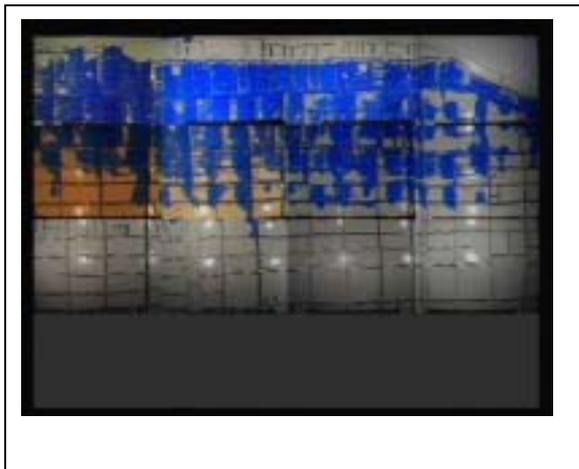
(b) 20 分後



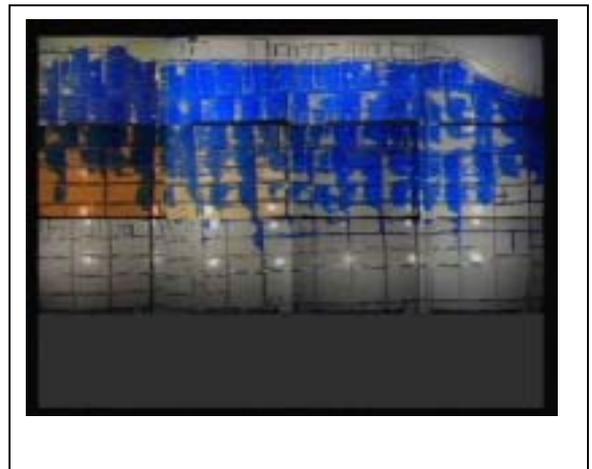
(c) 30 分後



(d) 60 分後



(e) 70 分後



(f) 90 分後

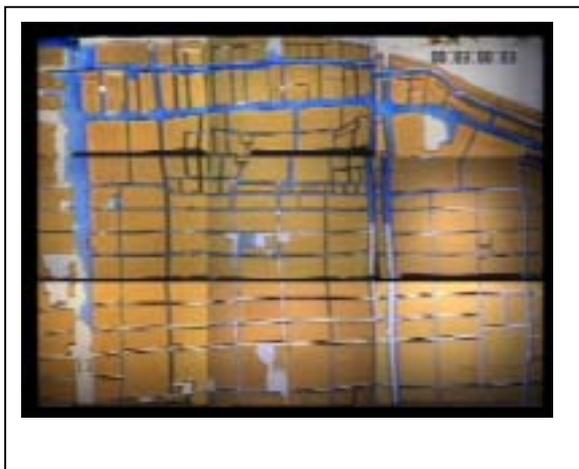
Fig.16 実験ケース 6 の氾濫後の写真



(a) 10 分後



(b) 20 分後



(c) 30 分後



(d) 60 分後



(e) 70 分後



(f) 90 分後

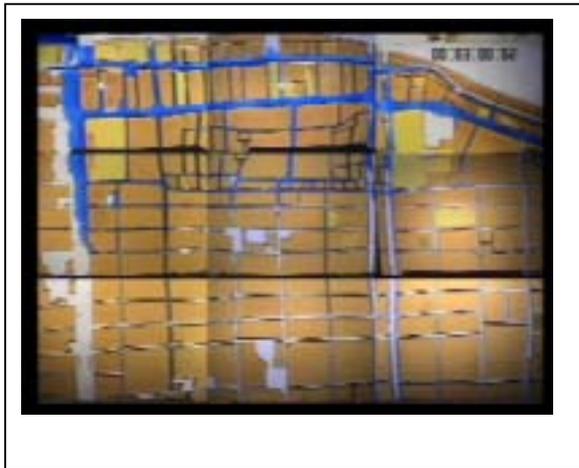
Fig.17 実験ケース 7 の氾濫後の写真



(a) 10 分後



(b) 20 分後



(c) 30 分後



(d) 60 分後



(e) 70 分後

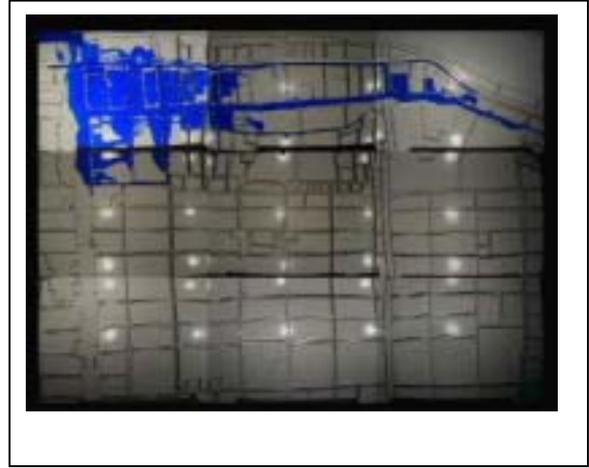


(f) 90 分後

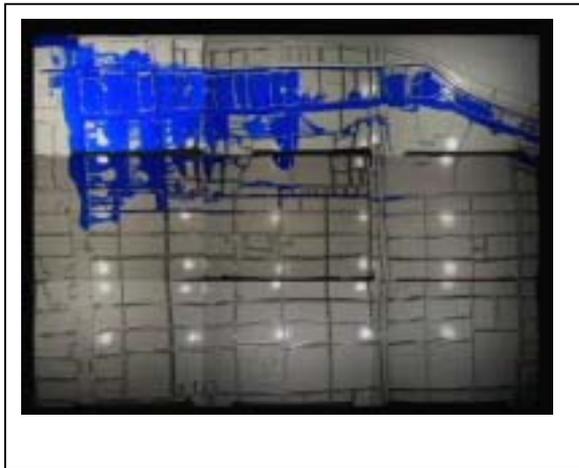
Fig.18 実験ケース 9 の氾濫後の写真



(a) 10 分後



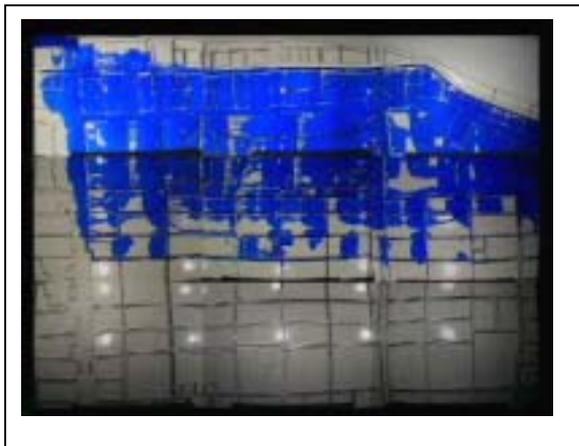
(b) 20 分後



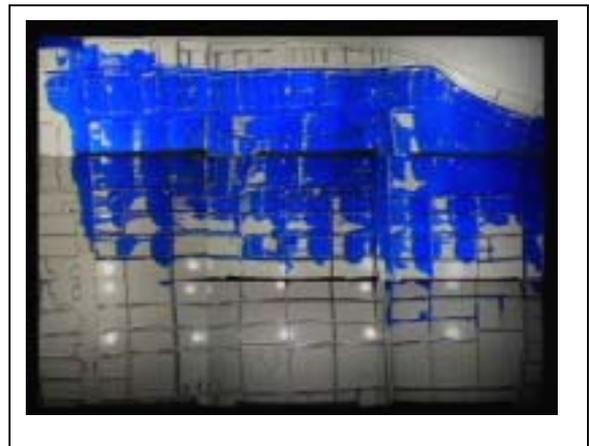
(c) 30 分後



(d) 60 分後



(e) 70 分後

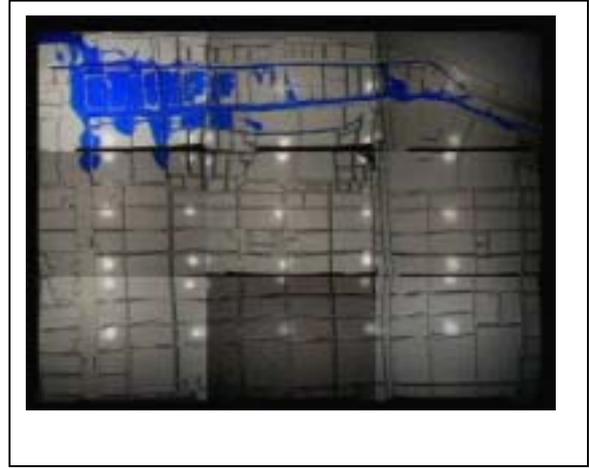


(f) 90 分後

Fig.19 実験ケース 11 の氾濫後の写真



(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.20 実験ケース 12 の氾濫後の写真