

# 防火水そう内部の環境調査実験結果

北 坂 達 明\*  
 鳥 井 四 郎\*\*  
 三 好 和 人\*\*\*

## 1. はじめに

大規模地震対策特別措置法の制定などに伴い大規模地震に対する関心も一段と高まってきている。

当庁としても従来より大規模地震に対しては、出火防止対策を始めとして種々の対策を推進している。しかし大規模地震が発生した場合同時火災が多発し、これらが合流火災等の大規模火災に発展することも予想される。この場合多数の避難住民の安全をはかるための一つとして消防隊は避難路等を確保するための消防活動に従事する。

こうした時、場合によっては消防隊といえども合流火災等にまきこまれ退路を遮断されるということが考えられる。この場合消防隊のとるべき措置の一つとして消火活動によって使用され空とな

道路

った防火水そうの中に一時退避し、合流火災等をやりすごすということも考えられる。

以上のことから、今回防火水そうの上部において小規模な火災実験を行い、その時の防火水そう内部の湿度、ガス濃度等を測定し、環境がどのように変化するかを調査することにより、緊急時に消防隊員の一時退避場所として適当か否かの検討資料を得るための実験を行った。以下その概要について報告する。

## 2. 実験概要

### (1) 実験場所

東京都葛飾区高砂一丁目1番地

東京消防庁第七消防方面本部訓練場(図1参照)

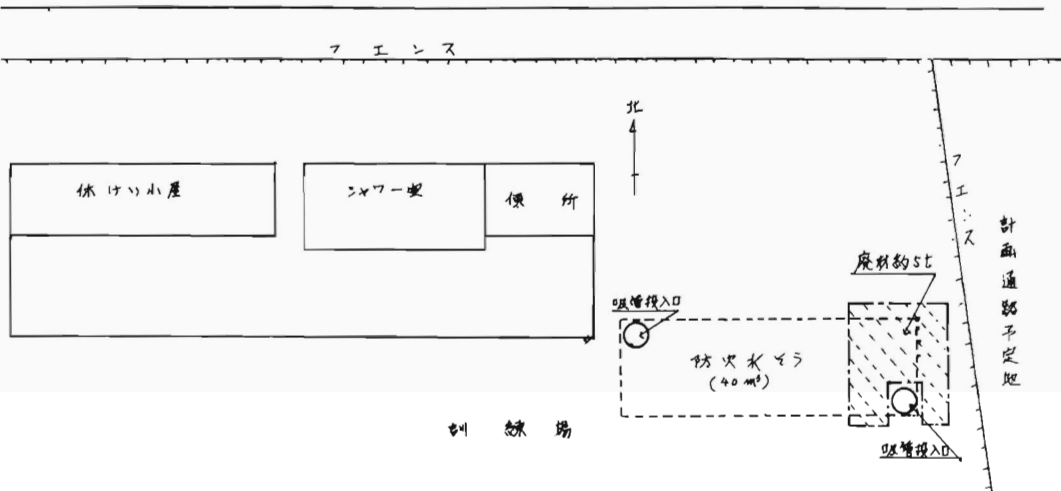


図1 実験場付近図

## (2) 実験日時、内容等

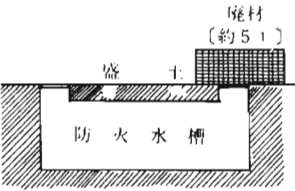
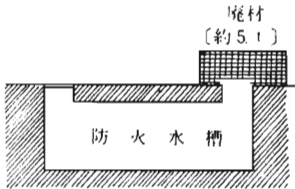
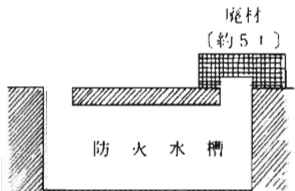
実験日時、内容等については、表1のとおりである。

## (3) 防火水そうの構造等

実験に使用した防火水そうの構造は、図2に示すように鉄筋コンクリート造で、内のは奥行8.02

m、巾2.51m、高さ2.05m、容量は約40m<sup>3</sup>である。又この防火水そうは、訓練用として併用されており吸管投入口も2箇所有り、給水は自動的に行われている。なお、この水そうの上部コンクリートは地表に直接露出していることから約30cmの盛土を行った。

表1 実験計画表

実験番号	日時	ねらい	概略図	実験内容
実験 1	10月22日(月) 14時00分 15時00分	防火水そうの蓋が閉鎖された状態の防火水そう内部の環境変化を調査する。		防火水そうの蓋を閉鎖した状態で、一方の蓋の周囲で廃材を燃焼させ、防火水そう内部および外部で各種計測を行う。  防火水そう上部の盛土は約30cmとする。(以下同じ)
実験 2	10月23日(火) 10時00分 11時00分	防火水そうの蓋が二箇所にある場合の一方が開放された状態、並びに蓋が一箇所の場合に開放された状態の防火水そう内部の環境変化を調査する。(40m <sup>3</sup> の防火水そうを想定したもの)(100m <sup>3</sup> 同上)		防火水そうの一方の蓋を開放し、開放した蓋の周囲で廃材を燃焼させ、実験1と同様に各種の計測を行う。
実験 3	10月23日(火) 14時00分 15時00分	防火水そうの蓋が二箇所にある場合の両方が開放された状態の防火水そう内部の環境変化を調査する。(100m <sup>3</sup> の防火水そうを想定したもの)		防火水そうの両方の蓋を開放し、一方の開放した蓋の周囲で廃材を燃焼させ、実験1と同様に各種の計測を行う。

## (4) 火災荷重

大規模火災を想定しているわけであるから、火災荷重としてはかなり大量の可燃物が必要となる。しかし実験場周囲の状況から大量の可燃物を燃焼させることがむづかしく、今回は約5tの廃材を防火水そう上部で燃焼させるにとどまった。なお、この火災荷重は、平均的な木造住宅の1棟を想定したものである。

### 3. 測定方法及び位置

温度等の測定方法は、次に掲げるとおりである。

なお、測定位置は図3に示した。

#### (1) 温度測定

CA熱電対を使用して測定した。

#### (2) ガス濃度測定

エアープンプで防火水そう内部の空気をバックに採集し、ドレーゲル検知管、O<sub>2</sub>濃度計を使用してO<sub>2</sub>、CO及びCO<sub>2</sub>の濃度を測定した。

#### (3) 煙濃度測定

簡易型光透過煙濃度計を使用して減光係数を測定した。

#### (4) マウスモニター

マウス（生後4週間経過したメス）及び回転式マウス行動記録装置を用いマウスの行動を記録した。

(5) 気流測定

超音波式風向風速計を使用し、防火水そう内の

微風速を測定した。

(6) 目視等による観測

目視、35mm及び16mmカメラ並びにVTRによってその状況を観測した。

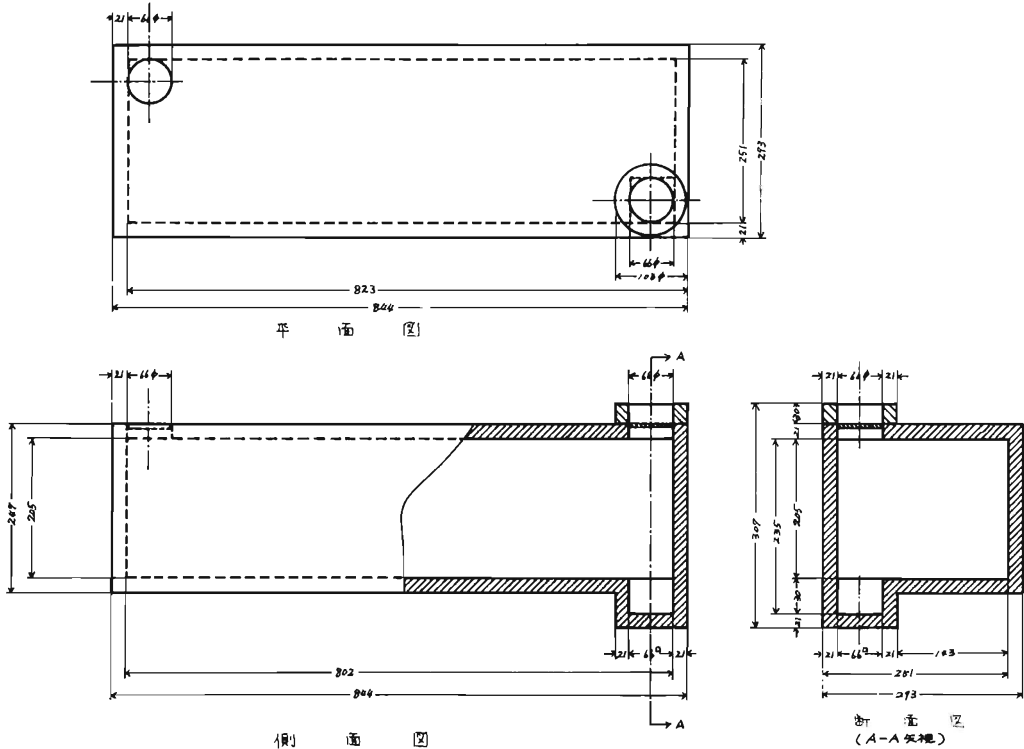


図2 防火水そうの構造等（単位cm）

4. 実験結果

(1) 気象状況

実験中における気象状況は、表2に示すとおりほぼ理想的な状況であった。しかし実験3の場合には南寄りの風が吹き、しかも記録できなかったが時々風のまわるといふ変りやすい風向であった。

表2 実験中の気象状況

実験別	天気	気温(℃)	風向	風速(%)
実験1	晴	22~27	北~北東	0.2~3.0
実験2	快晴	21~25	北~北東	2.8~4.0
実験3	快晴	23~25	南~南東	2.5~4.0

(2) 温度

ア 火災温度

各実験とも点火後約2分までは助燃剤として使用した廃油が黒煙を上げて燃焼した。その後廃材の燃焼に移行し薄い煙と火炎に変化した（写真1参照）。点火後8分~20分時に火盛り期を



写真1 実験1の点火後5分の状況(南側から撮影)

むかえ各実験の最高温度も実験1では点火後15分に1045℃（測点①B）、実験2では点火後9

分に1062°C（測点①B），実験3では点火後10分に928°C（測点①<sub>12</sub>）だった。20分すぎからは組み上げた廃材が傾きはじめ、50分頃からは全く炭化状態となった（図4、5参照）。

各実験でとの火災温度を比較すると実験3が低い傾向にあるが、南寄りの風が吹いたことによるものと思われる。

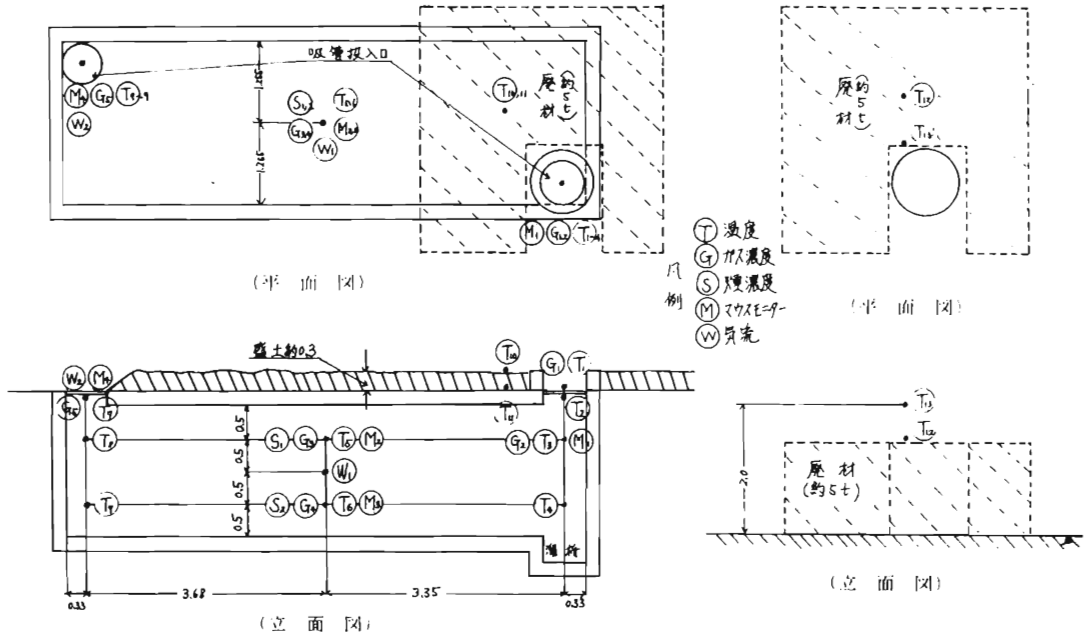


図3 各測定点位置図

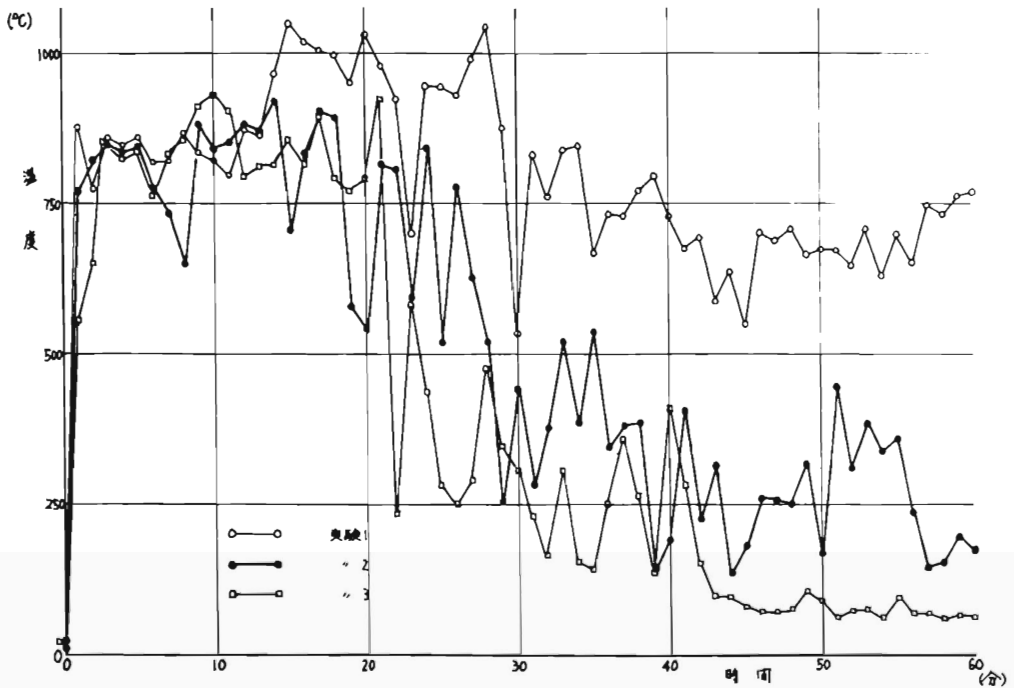


図4 廃材上部（測点①<sub>12</sub>）の温度

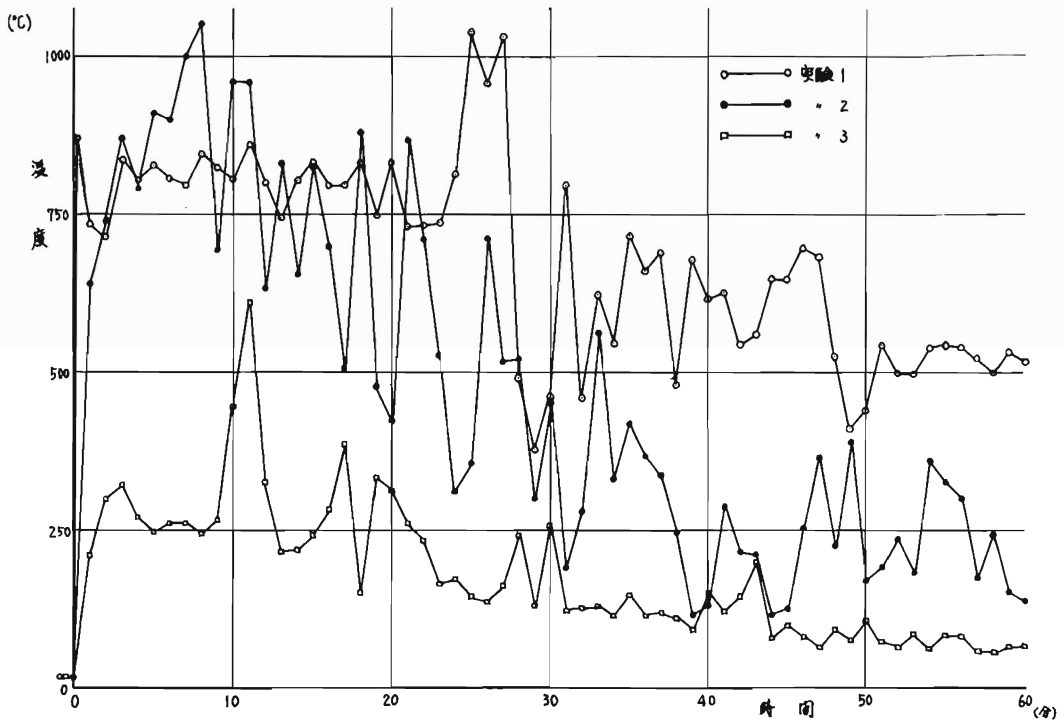


図5 廢材上部(測点⑬)の温度

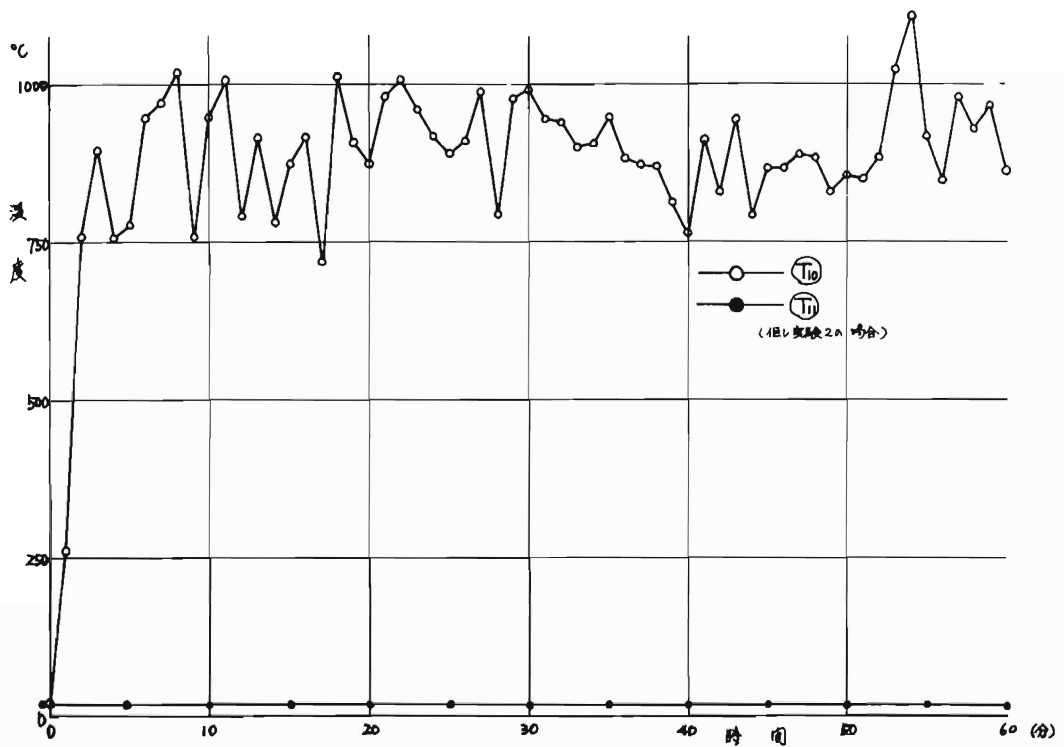


図6 盛土上部(測点⑫)と盛土中(測点⑪)の温度

## イ 盛土中の温度

盛土中の温度(測点①<sub>11</sub>)は、盛土表面の温度(測点①<sub>10</sub>)が1000℃付近に加熱されているにもかかわらずほとんど変化を示さなかった。(図6参照)。これは、昭和52年の実験(注1)と合わせて考えても盛土が遮熱性にすぐれ、盛土

を介して防火水そう内部の温度が上昇することは考えられないものと思われる。

(注1) 昭和52年8月30日東京都江東区新木場3丁目において「水袋による熱遮断実験」を実施したおりに燃焼廃材直下の土中の温度を測定した。その結果最高温度は上中5cmの位置で92℃10cmで59℃、30cmで19℃1mで1℃であり、土が遮熱性に優れていることがわかった。

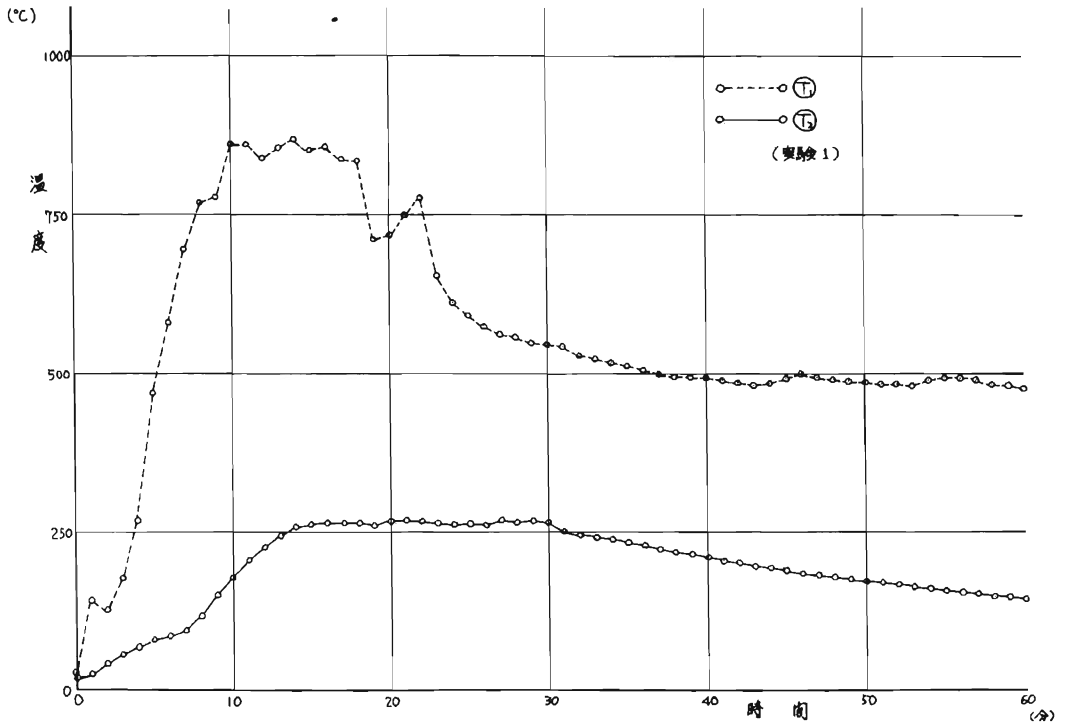


図7 鉄蓋上部(①<sub>1</sub>)と下部(①<sub>2</sub>)の温度

## ウ 防火水そうの蓋温度

蓋(鉄製)上部の温度(測点①<sub>1</sub>)は点火後急激に温度が上昇し点火後10分には850℃を記録、22分時まで750℃以上の高温が持続した。一方蓋下部の温度(測点①<sub>2</sub>)も漸次上昇し点火後14分には250℃を超え21分時に最高温度268℃に達し31分まで250℃以上の温度が持続した(図7参照)。この間蓋下部から放射された輻射熱は、約3000 kcal/m<sup>2</sup>と予想される。

## エ 防火水そう内部の温度

### (ア) 火源側の吸管投入口下部の温度(測点①<sub>3</sub>)

は、蓋を開放した実験2及び3が実験1の場合と比較して全般的に高くなっている。特に実験2の場合は点火後8分に最高温度64℃を記録した。これは蓋を開放することにより熱気流が流入するためと思われる。

それに対して実験1の場合は蓋が閉鎖されていたため蓋下部からの輻射熱によって若干の温度上昇がみられたのみであった。

(イ) 中央部の温度(測点①<sub>5</sub>)は、各実験での相違もほとんどなく、かつ温度もあまり上昇しなかった。しかし特異な現象として、実験3の場合には廃材の燃焼が下火になっているにもかかわらず点火後40分頃から急激に温度が上昇し46分には最高値21.6℃を記録した。(図8参照)この現象は、実験1及び2になかったことで、実験3の場合両方の蓋を開放したことから一時的に火源側吸管投入口から反対側の吸管投入口に熱気流が流れたことによる影響かと思われる。

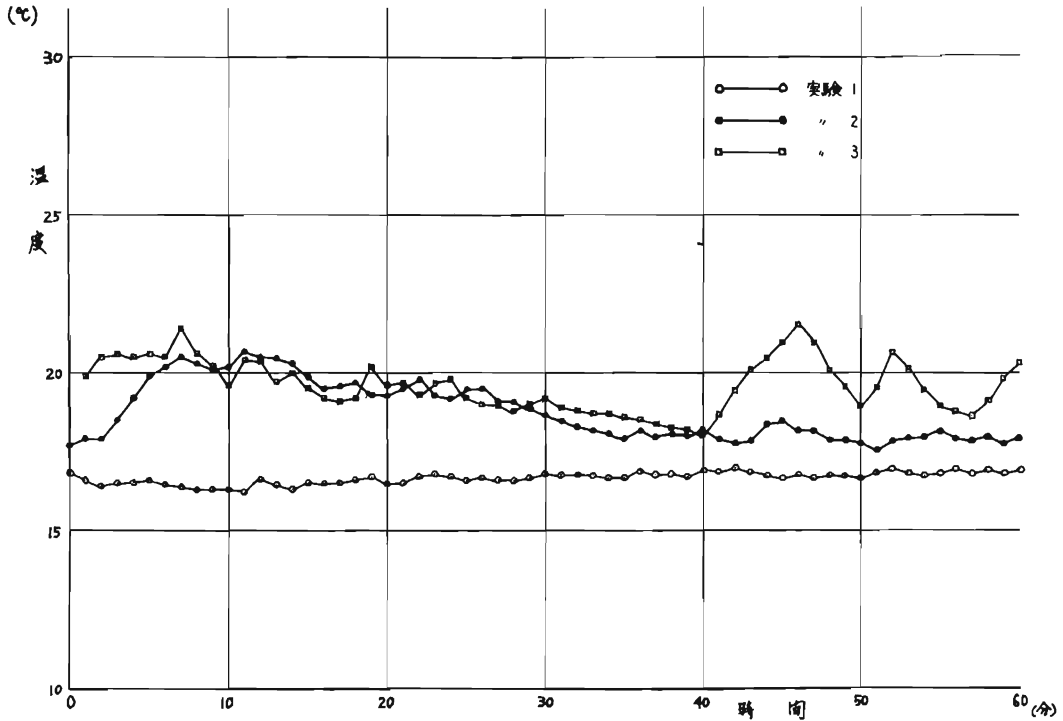


図8 防火水そう内部(①<sub>5</sub>)の温度

(3) ガス濃度

ア O<sub>2</sub>濃度

各測点(①<sub>1</sub>~①<sub>5</sub>)のO<sub>2</sub>濃度の推移は表3に示すとおりである。各測点でO<sub>2</sub>濃度が著しく減少したのは、火源側吸管投入口上部(測点①<sub>1</sub>)で実験1では点火後10分に17%、実験2では5分に15%、実験3では30分に19.4%とそれぞれ減少し、実験をとおして平均O<sub>2</sub>濃度は20%以下であった。

一方防火水そう内部においては大きな減少はなく20%~21%であった。又蓋が閉鎖されていない場合と開放されている場合を比較すれば、開放されている場合の方が低くなる傾向にあった。

イ CO濃度

各測点(①<sub>1</sub>~①<sub>5</sub>)のCO濃度の推移は表3に示すとおりである。実験1では、火源側吸管投入口上部(測点①<sub>1</sub>)で最高100ppm(点火後5分)を指示するなどかなり高濃度のCOが検出されたが防火水そう内部においてはほとんど検出されなかった。

実験2では、火源側吸管投入口直下(測点①<sub>2</sub>)

のCO濃度が点火後30分に200ppmを記録したのをはじめ、測点①<sub>3</sub>~①<sub>5</sub>においても人体に有害(注2)と思われる20~200ppmのCOが検出された。これは蓋を開放してあったことによると思われる。しかし実験3においては、両方の蓋を開放してあったにもかかわらず防火水そう内部のCO濃度は実験2より一般的に低くなっている。これは前述のとおり南寄りの風が吹いたことによることと思われ、COが防火水そう内部に流入するのは、蓋の開閉の他に風向にも影響されることが予想される。

(注2) COによる障害はその濃度と暴露時間の関係によるといわれている。一般的に100~200ppmの濃度の場合には暴露時間1時間で頭重、頭痛が起るといわれている。

(4) 煙濃度

煙濃度(Cs値)の測定結果は表4に示すとおりであり、測定上の誤差ではないと思われるほどの変化しか示さなかった。しかし防火水そう内部の写真観測結果(写真2参照)及び実験終了後の目視観測結果からは、実験2及び3の場合煙が流入していることが確認された。

防火水そう内部への煙流入経路については、火源側の吸管投入口から直接流入したとも考えられ

るが、実験終了後溜枳内に廃材の炭火物が散見で 煙が発生したことによとも考えられる。  
 できることからみれば、廃材燃焼片が落下して

表3 ガス濃度測定結果

位置	実験別	ガス別	時間						
			点火時	5分	10分	20分	25分	30分	60分
㉑1	実験 1	O <sub>2</sub> (%)	21	20.5	17	20	20.2	20.3	21
		CO (ppm)	0	1000	300	200	50	300	50
		CO <sub>2</sub> (%)	0.02	7.5	0.7	0.1	0.3	—	—
	" 2	O <sub>2</sub> (%)	21	15	19	19	16	19	20.6
		CO (ppm)	0	100	20	50	20	50	500
		CO <sub>2</sub> (%)	—	0.01	0.5	0.6	0.2	0.2	1.0
	" 3	O <sub>2</sub> (%)	21	20.5	20.5	20.1	20	19.4	19.5
		CO (ppm)	0	0	0	0	10	20	0
		CO <sub>2</sub> (%)	—	0.1	0.1	0.02	<0.1	<0.1	<0.1
㉑2	" 1	O <sub>4</sub> (%)	21	21	21	21	21	21	21
		CO (ppm)	0	0	0	0	0	0	0
		CO <sub>2</sub> (%)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.06	0.02	0.04
	" 2	O <sub>2</sub> (%)	21	20.8	21	20.8	20.8	20	20.8
		CO (ppm)	0	100	100	200	150	150	150
		CO <sub>2</sub> (%)	—	0.15	0.25	0.25	0.25	0.35	0.3
	" 3	O <sub>2</sub> (%)	21	21	21	21	21	21	21
		CO (ppm)	0	100	50	50	50	50	50
		CO <sub>2</sub> (%)	—	0.02	0.03	0.03	0.03	<0.1	<0.1
㉑3	" 1	O <sub>2</sub> (%)	21	21	21	21	21	21	21
		CO (ppm)	0	0	0	0	0	0	0
		CO <sub>2</sub> (%)	0.02	0.03	0.03	0.02	0.05	0.04	0.03
	" 2	O <sub>2</sub> (%)	21	20	20.6	20.5	20.1	20	19.5
		CO (ppm)	0	100	20	30	100	80	100
		CO <sub>2</sub> (%)	—	0.1	0.2	0.1	0.2	0.25	0.2
	" 3	O <sub>2</sub> (%)	21	20.7	20.7	20.5	20.4	20.5	20
		CO (ppm)	0	0	50	0	0	20	40
		CO <sub>2</sub> (%)	—	<0.1	<0.1	<0.1	0.03	<0.1	<0.1
㉑4	" 1	O <sub>2</sub> (%)	21	21	21	21	21	21	21
		CO (ppm)	0	0	0	0	0	0	0
		CO <sub>2</sub> (%)	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04	0.03
	" 2	O <sub>2</sub> (%)	21	21	21	21	20.8	21	20.8
		CO (ppm)	0	10	20	20	20	20	200
		CO <sub>2</sub> (%)	—	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.02
	" 3	O <sub>2</sub> (%)	21	21	21	21	21	21	21
		CO (ppm)	0	0	0	0	0	0	0
		CO <sub>2</sub> (%)	—	<0.1	<0.1	<0.1	0.03	<0.1	<0.1
㉑5	" 1	O <sub>2</sub> (%)	21	21	21	21	21	21	21
		CO (ppm)	0	0	0	0	0	0	0
		CO <sub>2</sub> (%)	0.02	0.04	0.02	0.05	0.05	0.05	0.04
	" 2	O <sub>2</sub> (%)	21	21	21	21	21	31	21
		CO (ppm)	0	70	90	70	200	50	200
		CO <sub>2</sub> (%)	—	0.2	0.2	0.3	0.2	0.05	0.2
	" 3	O <sub>2</sub> (%)	21	21	21	21	21	21	21
		CO (ppm)	0	0	20	30	0	0	50
		CO <sub>2</sub> (%)	—	<0.1	<0.1	0.03	<0.1	<0.1	<0.1

(注) 0 — 測定せず 0 < 0.1 最小測定値0.1%の検知管を使用し検出されなかったもの



表4 防火水そう内部の煙濃度 (C値)

時間	実験 1		実験 2		実験 3	
	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>
点火時	0	0	0	0	0	0
5分	0	0	0.02	0	0.01	0.004
10分	0	0	0.02	0.03	0.01	0.004
15分	0	0	0.02	0.04	0.01	0.01
20分	0	0	0.02	0.04	0.01	0.01
25分	0	0	0.03	0.06	0	0.01
30分	0	0	0.04	0.06	0	0.009
35分	0	0	0.04	0.06	0	0.004
40分	0	0	0.04	0.06	0	0
45分	0	0	0.04	0.06	0	0
50分	0	0	0.04	0.06	0	0
55分	0	0	0.04	0.06	0	0
60分	0	0	0.04	0.06	0	0

(注) 光源と受光部の距離L=1.0mとした。

(5) マウスモニター

各実験ごとに防火水そう内部にマウスを設置したが、その行動記録は表5に示すとおりである。

実験1では、火源側吸管投入口直下のマウス(測点M<sub>1</sub>)が点火後28分頃から動作が鈍くなり一時行動が停止したりしたが、実験終了後生存が確認された。又他の三匹も無事であった。

表5 マウス行動

実験	測点	時間 (分)											摘要	
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55		
実験 1	M <sub>1</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	生存
	M <sub>2</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	〃
	M <sub>3</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	〃
	M <sub>4</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	〃
実験 2	M <sub>1</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	死亡
	M <sub>2</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	生存
	M <sub>3</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	〃
	M <sub>4</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	〃
実験 3	M <sub>1</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	実験終了後30分頃死亡
	M <sub>2</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	生存
	M <sub>3</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	〃
	M <sub>4</sub>	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	〃

(注)  行動中  行動停止

(6) 防火水そう内の気流

防火水そう内中央部の位置(測点M<sub>1</sub>)においては、実験1及び2の場合は気流がまったく計測できなかった。しかし実験3の場合は両方の蓋を開

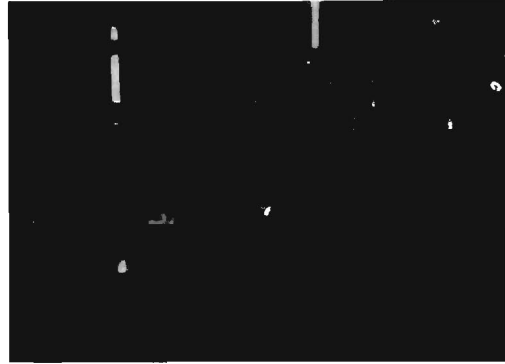


写真2 実験2点火後7分の防火水そう内部の状況

実験2では、火炎が火源側吸管投入口付近を符めたためかM<sub>1</sub>のマウスが点火後5分頃から行動が完全に停止し、実験終了後死亡していることが確認された。この行動停止時のM<sub>1</sub>付近の温度は約50℃であったが、ガス濃度についてはこの時間測定をしていなかった。なお他の3匹は無事であった。

実験3では、M<sub>4</sub>のマウスが点火後42分頃、M<sub>3</sub>のマウスが52分頃から行動をまったく停止したが、実験終了後生存が確認された。しかしM<sub>1</sub>のマウスについては、実験中は行動していたが実験終了後30分頃死亡したことが確認された。

放してあったためか0.1m/S程度の翁流が計測できた。

一方実験3の場合のみ火源側と反対側の吸管投入口直下の位置(M<sub>2</sub>)において気流を測定したと

ころ、最高で0.7m/Sを記録し他に0.1~0.6m/Sの気流が計測できた。

## 5. 考 察

大震時に予想される合流火災等の大規模火災に対し今回の実験は非常に小規模なものであった。又大規模火災時には火災旋風等の特異な現象が発生することも予想され、この程度の実験規模で防火水そうを消防隊員の一時退避場所として利用することの適否を云々することは非常に困難である。しかし、この実験結果から類推をまじえて考察してみると次のようなことがいえると思われる。

### (1) 水抜き直後の状況

実験を実施するにあたってまず防火水そうの水抜きを行ったが、その直後内部のO<sub>2</sub>、CO及び、CO<sub>2</sub>の濃度を測定した。なぜなら水抜き直後に防火水そう内部が酸欠状況であったり、又CO等の有害ガスの発生が予想されたからである。しかし、その結果は表6に示したように人間が内部進入しても生命に支障となるようなものは検出されなかった。これは、今回実験に使用した防火水そうが常時訓練用として使用され、内部に水が自動的に給水常に新鮮な状況に保たれていたことによるものと思われる。

表6 水抜き直後のガス濃度

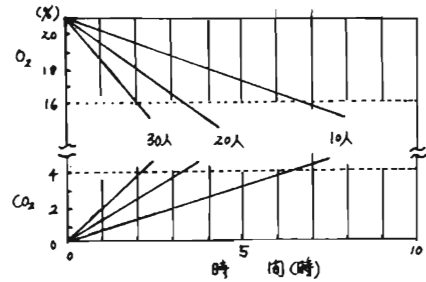
測定場所 ガス種別	吸管投入口の底部 (溜耕付近)	吸管投入口と底部 の中間
O <sub>2</sub>	21 %	21.2%
CO	検出せず※	検出せず※
CO <sub>2</sub>	0.02%	0.02%

※ 10ppmの検知管で検出できなかった。

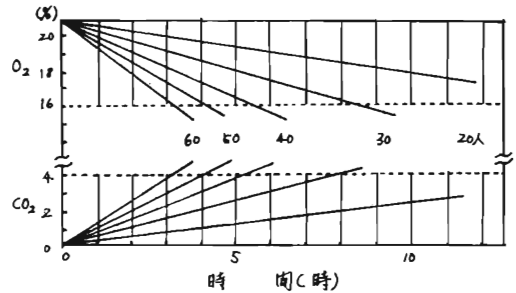
しかし、一般的には長期間貯水されているため、水の腐敗等によって細菌の発生や周囲の有毒ガス(メタン、CO等)の流入によって、水抜き直後の防火水そう内部が酸欠状況であったり、有毒ガスが滞留しているおそれがある。この場合には防火水そう内部に進入することが危険である。よって今後換水時等を利用して水抜き直後の防火水そう内部の安全性を調査して検討することがまず必要であらうと思われる。

### (2) 防火水そうの蓋を閉鎖した場合

火源側の蓋が加熱されることにより、蓋裏面から放射される輻射熱のため吸管投入口付近の温度が若干上昇したのみで、その他防火水そう内部の環境はほとんど変化がなかった。これは蓋を閉鎖することにより密閉状態となるためと思われる。大規模火災時においても鉄蓋の裏面付近を輻射熱から防護してやれば消防隊員の一時退避場所として使用できる可能性もあると思われる。



(a) 40m<sup>3</sup>防火水そうの場合



(b) 100m<sup>3</sup>防火水そうの場合

図9 ガス濃度と退避人員との関係

なお、防火水そうが完全に密閉されている状態として仮定した場合退避人員と内部のガス濃度との関係を図9に示した。これは消防隊員の行動をRMR1(軽く立っていたり、手足を動かす程度)とし、O<sub>2</sub>とCO<sub>2</sub>の安全限界を16%と4%とした場合で、たとえば40m<sup>3</sup>防火水そうならば退避人員を30人としたら約2時間でO<sub>2</sub>が約16%、CO<sub>2</sub>が約4%となり、約2時間が退避時間の限界といえる。(計算式は注3に示す。

(注3) ● O<sub>2</sub>濃度の減少割合

$$M_t = \{ [M_0/100 (A - (60/p) B) - QBt] / \{ A - (60/p) B \} \} \times 100$$

M<sub>t</sub>: t分後のO<sub>2</sub>濃度(%), M<sub>0</sub>: 初めのO<sub>2</sub>濃度(%), A: 密閉容器の容積(ℓ) 積

B: 人員(体重60kg)(人), p: 人間のみかけ密度(kg/ℓ)  
t: 時間(分)

CO<sub>2</sub>の発生割合

$$M_t (CO_2)/100 (A - (60/p) B) + QB + R / \{ A - (60/p) B \} \times 100$$

$M_t$  ( $\text{CO}_2$ ):  $t$ 分後の $\text{O}_2$ 濃度(%),  $M_o$  ( $\text{CO}_2$ ): 初めの $\text{CO}_2$ 濃度(%),  $Q$ : 1人当りの酸素消費量( $\text{L}/\text{分}$ ),  
 $R$ : 呼吸比

### (3) 防火水そうの蓋を開放した場合

蓋を閉鎖した場合と比較して、 $\text{CO}$ 及び $\text{CO}_2$ が流入し、又蓋を両方開放した場合には防火水そう内部において気流が流れることも記録された。このように蓋を開放することにより、閉鎖された場合より内部の環境は悪化する傾向にあり、大規模火災時においてはさらに $\text{O}_2$ が減少したり有毒ガスが流入することも考えられる。よってこの場合消防隊員の退避場所として利用することは、今後さらに研究を加える必要があると思われる。

## 6. あとがき

今回の実験は、実験場所等の関係でごく小規模に行わなければならない、かならずしも所期の目的を達成することはできなかったが、その環境変化の一端でも解明することができたことは幸いであった。今後もさらに規模を大きくした実験等を重ねるなどして資料の充実に努める必要があると思われる。

最後に、本実験を実施するにあたり多大なご協力をいただいた防災部水利課、第七消防方面本部、本田消防署及び関係消防署の各位に対し感謝の意を表します。