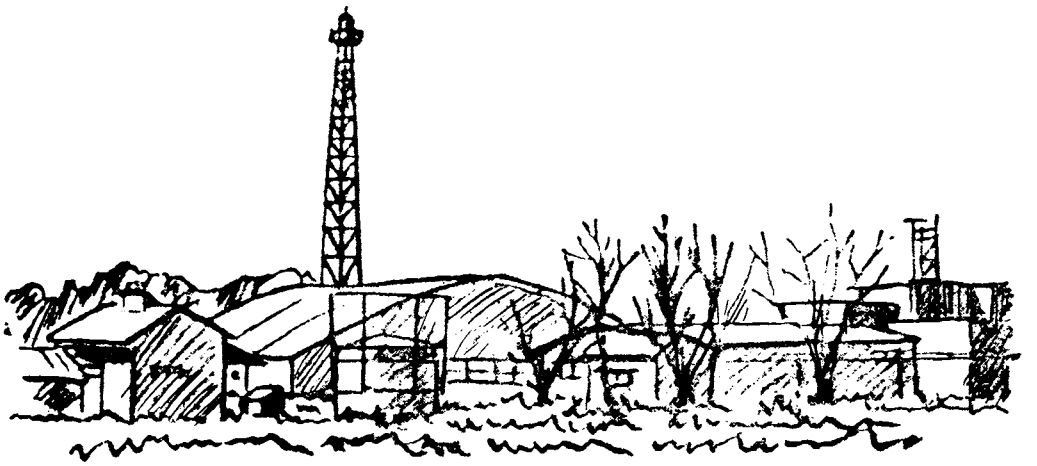
消研輯報

33



昭和54年11月

消研輯報

第33号　目　次

○接着剤の燃焼

○石油タンク間の延焼

○日本坂トンネル火災

○レーザーシュリーレン法による衝撃波速度の測定

石油タンクの底部泡注入消火法の歴史……中久喜　厚……5

接着剤からの出火危険性についての一考察……箭内　英治……10

待ち行列を用いて解析した消防自動車の必要台数…寒河江幸平……15

透水係数の間接的決定法に関する検討……越後谷晃・細野義純……18

北九州市門司区風師火災に関する調査報告……山下　邦博……25

月例研究会・報告会……30

接着剤の燃焼 （本文10ページ参照）

合成ゴム系の接着剤をベニヤ板の上に伸ばし、ライターで着火したときの燃焼状況を示す。粘稠な見掛けにも拘らず(1)、かなり離れた距離から引火し(2)、(3)、普通の可燃性液体のように勢よく炎と黒煙を出して燃える(4)、(5)。但し、あとに若干のもえかすが残る(6)。水溶性以外の多くの接着剤は、おおむねこの様に燃えると考えてよい。

(1) ◀

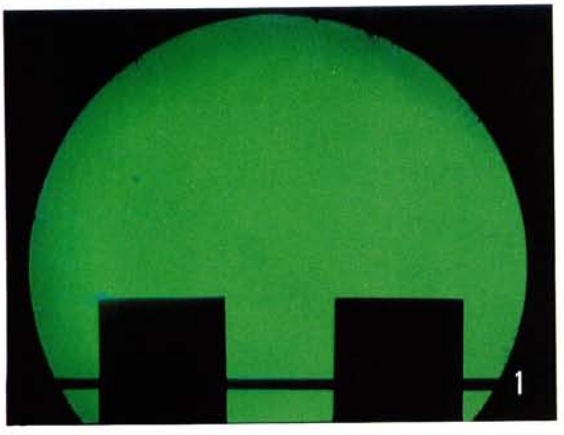
(4) ▶

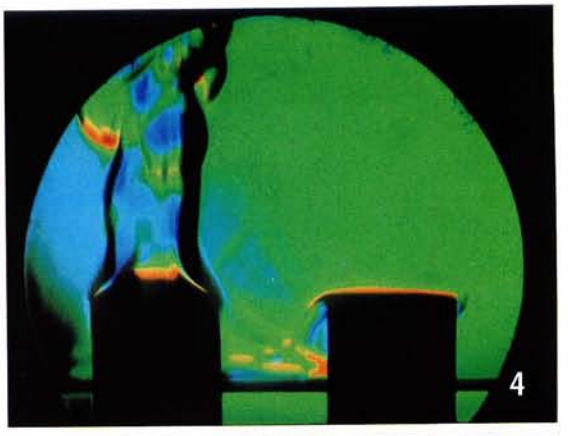
(2) ◀

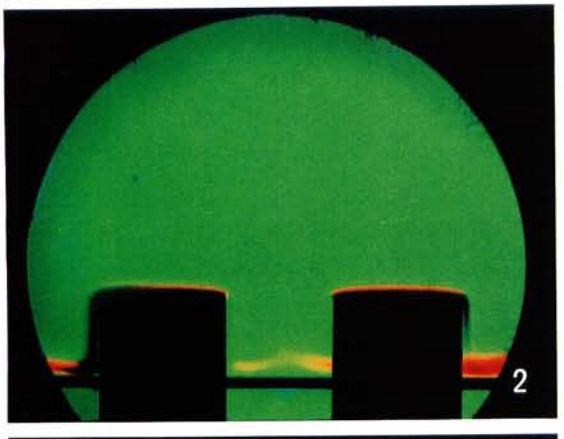
(5) ▶

(3) ◀

(6) ▶







石油タンク間の延焼 カラー・シュリーレン法によって、燃料蒸気および熱気流の可視化を行った。視野内の黒線は模型地面。タンク間距離5cm、タンク直径6cm、高さ4cm。

写真の色について：常温の空気は緑色に写り、それより密度が大きくなれば赤色が増し、その反対では青色が増す。この場合、密度を大きくするものは燃料蒸気、密度を小さくするものは温度上昇である。

写真：(1)両方のタンク共、燃料(ヘキサン)を入れる前。密度変化がないため、バックは緑色になっている。

(2)着火前、すでに両方のタンク共、燃料蒸気が流れでている。タンクの頂部と底部周辺の赤い部分およびタンク壁を伝わって下方に落ちている黒い部分が蒸気。

(3)着火直後。タンク間に蒸気(赤い部分)がたまってきている。

(4)タンク間の気体温度上昇のため、空色の部分が見えてきている。

(5)タンク間の放物線状の緑色の部分は燃料蒸気で、燃料タンクに吸い上げられている。

(6)延焼の瞬間。この瞬間、両方の炎は寄り合う。

(湯本太郎、小堀　衛)

日本坂トンネル火災

出火　昭和54年７月11日18時38分頃
鎮火　昭和54年７月18日15時頃

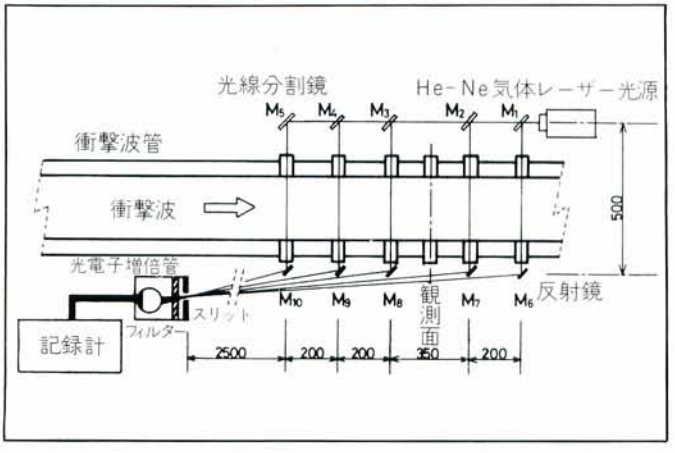
トンネル内部の状況。鉄筋入りコンクリートの天井板が全部落下している。

静岡市側抗口。トンネル中央附近の車両がまだ延焼中（７月12日17:30頃）

トンネルの外に引き出された事故車(出火車両)

避難者が一人も利用しなかった上り・下りトンネルの連絡通路

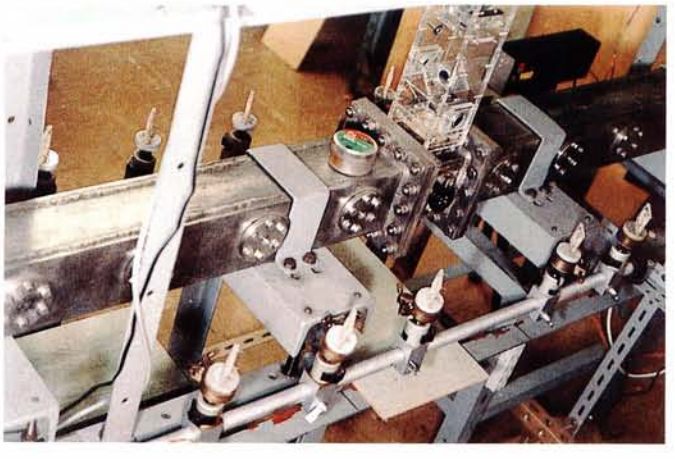
レーザーシュリーレン法による衝撃波速度の測定



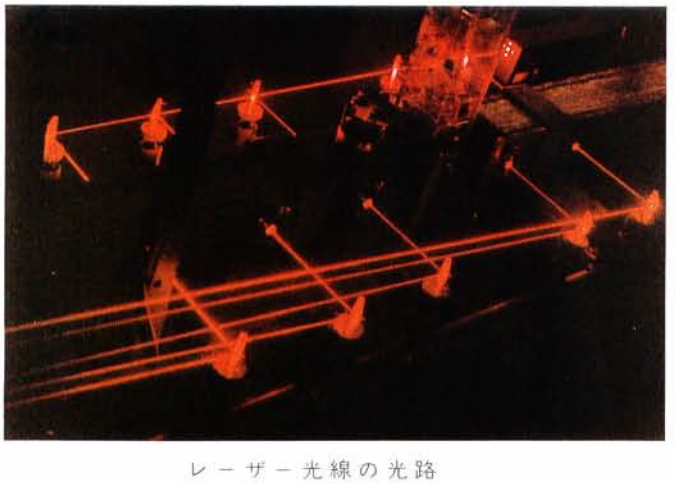
装置の模式図

衝撃波管内を伝播する衝撃波の速度を精密に測定するレーザー光線を用いたシュリーレン法について示す。光学系は、レーザー光線が光線分割鏡(M_1～M_5)によって5本の光線に分割され、衝撃波管を直角に横切り、反射鏡(M_6～M_{10})によって反射されて、光電子増倍管の前面に固定されたスリット上に集光されるように、構成されている。衝撃波が到来すると、5本のレーザー光線は、シュリーレン効果によって、それぞれ屈折され、光電子増倍管に減光として捉えられる。光電子増倍管からの電気信号(S_1～S_5)は、ラスター掃引されたオシロスコープに描かれる。電気信号の時間間隔とレーザー光線間の距離から、衝撃波伝播速度が求められる。本文39頁参照

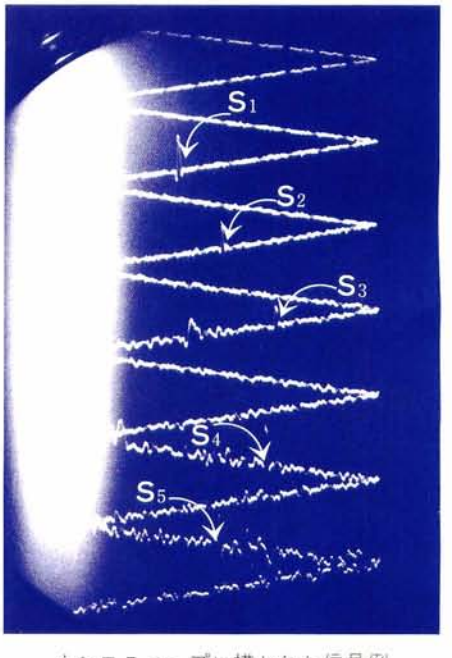
(長谷川和俊)



実験装置の写真



レーザー光線の光路



オシロスコープに描かれた信号例

石油タンクの底部泡注入消火法の歴史

中久喜　厚

1.　まえがき

石油タンクの固定泡消火設備としては、従来側壁頂部注入法が専ら使われてきた。これはタンク側壁頂部に取り付けられた泡放射口から泡を側壁に沿って油面上に流下させ、泡で油面をおおいつくし消火する方法である。しかし、発泡器と放射口は側壁頂部に設けられるため、タンク内の爆発や火災の熱により破壊され易い欠点をもつことが、多くの実火災の経験によって知られた。

このため、最近この欠点をもたない消火法として、表面下注入法が注目されるようになってきた。表面下注入法には、半表面下注入法（Semi-Subsurface Injection)、底部注入法（Subsurface Injection)の二つに分けられる。前者をSSSI、後者をSSIとよぶのが普通である。SSSIは、常時はタンク側壁低部などに格納されている可撓ホースが水圧が加わるとその先端が油面近くまで伸び、泡を油面上に放射する方法であり、SSIはタンク内の低部から直接油内に泡を放射する方法である。

SSIは、石油タンクの消火用として多くの利点のあることが長年の間認められてきた。SSIの起源は古く、既に第２次大戦中に考案され、研究が開始されている。しかし、泡発生器が高価であったことが主な原因で実用化は大幅に遅れた。1965年に非常に簡単な高背圧発泡器が開発され、消火用泡剤にふっ素系界面活性剤が利用されるようになって、急激に実用化される運びとなった。

ここではSSI消火法の研究の経過及び発展過程について述べることにする。第２章でSSIについての研究の経過、第３章でSSIによる実火災の消火実績について述べる。

2.　SSIの研究の経過

第２次大戦中、ロンドンとその郊外への大量爆撃による火災のさいに、石油タンクに取り付けられた消火装置は役に立たないため、英国の消火研究専門家によってSSIが考案された。これらの研究者によって種々の試験が行われ、機械泡が油送管を通して燃料を貯蔵するタンクの底部に注入されると、泡は液面に達し液面火災を消火しうることが示された。

米国では、英国の研究者によって得られた結果を確かめるために1942年頃から、Tuveら[1]によって系統的に室内実験が始められた。これらの研究は、英国で開発された装置によって作られる泡の性質と泡剤に集中された。この頃使用した泡は、たんぱく泡であるが、SSI消火に適する発泡倍率は、図１のように２～５で

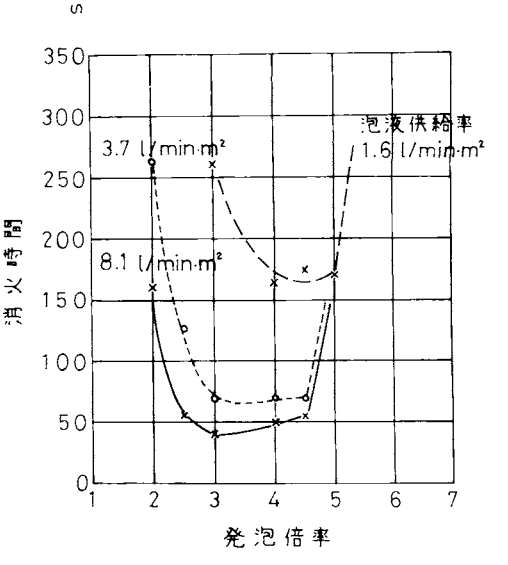


図１　各種泡液供給率における消火時間と発泡倍率の関係――たんぱく泡[1]

あり、また許容されうる最大泡入口速度は６m/sであることがこれらの実験から知られた。直径56.2cm、2.8mの小規模の消火実験に続いて1943年に直径16.8mのタンクを用いて重油（2,270kℓ）の消火実験が行われた。予燃時間は15分であったが、7.5分で消火された。泡は、タンクから180m離れたところで300mmの油送管に注入された。1945年には、直径28.4m、高さ7.8mのタンクを用いて、原油上に厚さ25.4cmのガソリンをのせ、発泡倍率４の泡で消火実験を行った。油の全体の厚さ

は60cmと5mであった。予熱時間は3分、消火時間は8.3～13.8分であった。

英国でも、1942年頃からBurgoyne[2]らによって小規模の消火実験が始められていたようであるが、その報告は1949年頃に発表された。直径55cmのタンクで重油火災のSSI消火実験が行われた。その結果、SSI消火の場合に発生する油泡の厚さは、泡適用前の高温層の厚さの約8倍となり、表面注入法の場合に発生する油泡層の厚さの約2倍となるという実験結果をえた。油泡層が厚くなると、燃える油泡はタンク壁をこえて溢出し、いわゆるSlop overを起こす。予燃時間が短かいほど泡液の適用率を低くすることによりSlop overを起こしにくくすることができるという結果もえられた。

1953年になってHinkleyら[3](英国火災研究所)によって直径2.7m、高さ9.1mのタンクを用いてガソリン火災の消火実験が行われた。泡の油による汚染率が10%以下であれば、消火可能であることが知られた。また実規模タンクの場合、泡のガソリン含有率は泡の放射浮上によってできる液面上の乱流そのほかの要因によって大きく影響を受けることが知られた。1958年に直径13.7m、高さ9.1mのタンクを用いて、泡のガソリンによる汚染率の測定が行われ、泡の消火可能性を判定した。[4] 油中を浮上する泡は、大きさ1～3mm位の雪片状に分離されて油面に達する。小さいタンクの場合には、油面に達したこれらの泡粒は周囲に既に作られている泡層の周辺で合体するが、大きいタンクでは、泡放射口の上方の液面上に形成される乱流域の直ぐ外側で合体し“いかだ”状の泡塊となる。これらの泡塊は図2のように泡の放射浮上によって生ずる油面上の対流により泡層の方に移動し、その下側にもぐり込む。この衝突によって泡層は厚くなるが、泡のガソリン含有量は大きくなる。多くの放射口を用いると、汚染率は増大したが、これは恐らく泡の浮上流が油の循環流を妨害することによる油面上の攪拌のためであろうと考えられた。

米国では、1946年から1963年までの間、SSIにそれほどの関心がなく研究も中断していた。これは、泡剤、水、空気を適当な割合に混合するために用いられる装置が非常に高価であったからである。1963年初めに、Mahleyら[5]は、直径7.6m、高さ7.6mのタンクを用いて実験を行った。燃料には300kℓのガソリン、泡剤には3%型たんぱくを用いた。発泡倍率と環元時間の種々の組合せで、燃料汚染率が最小となり、燃えない泡を作れるようになるまで実験を繰返した。ほかに直径2.4m、高さ1.8mのタンクも用いられた。直径2.4mのタンクによる消火実験の後、直径7.6mのタンクに移った。1965年初めに、当時SSIのために新しく開発されたふっ化たんぱく泡を用いる実験が企画された。また、この頃圧縮空気を必要としない非常に簡単化された高背圧発泡器が開発された。1965年の夏から冬にかけて、直径2.4mのタンクで83回、直径7.6mのタンクで26回の試験が行われた。これらの最後に公開実験が行われた。この実験ではタンク壁の冷却水や粉末消火剤を使用することなく、火災は45秒でコントロールされ、5分45秒で完全に消火された。ふっ化たんぱく泡による150回の消火実験によって、泡の燃料による汚染率が消火が可能かどうかを決定する最も重要な要因の一つであることが知られた。ガソリンの場合には、泡内の燃料含有率が25%までは消火可能であることが分った。

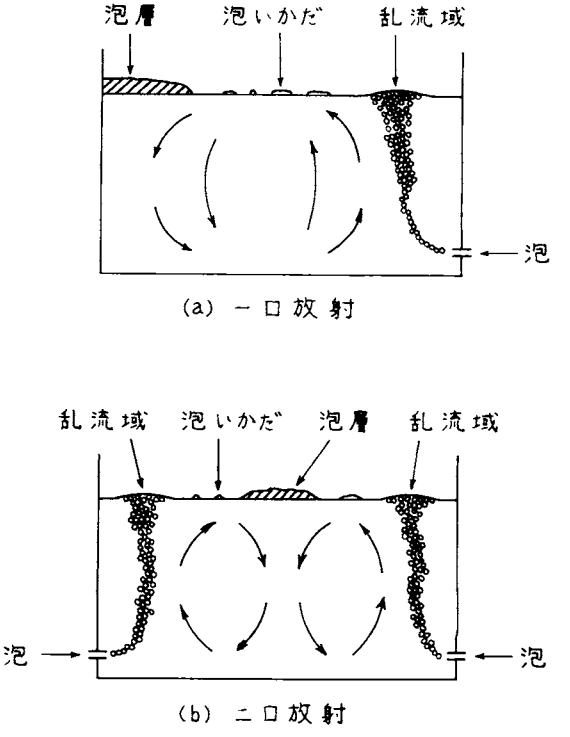


図2　各種放出形式における油面上の泡の分布と油内の循環流

1966年の8月19日に、Mesa原油を入れた直径35.7mのタンクを用いて、コールドテスト*が行われた。[5] 15分間に厚さ15cmのよい泡層を作ることができた。この原油はRVP(リード蒸気圧)** 0.46kg/cm²、引火点2℃で

*）コールドテスト：タンク内の油を燃焼させないで、泡を放射浮上させ、油面上に到達した泡の性質や汚染率などを調べるための試験である。

**）RVP：リード蒸気圧試験機により測定されたガソリンなどの混合物の蒸気圧で、その表示には測定温度(通常37.8℃)とkg/cm²(アメリカではlb/in²)が用いられる。

あった。深さ11mのMesa原油中を通過する間に泡に付着した油の含有率は、油面上の異なる4点でとられた8試料について最低で35%、最高で49%であった。1966年の8月24日、同じタンクで試験し、12分間で厚さ12.5cmのすぐれた泡層がえられた。燃料汚染率は、この実験でははるかに低くなり、8試料について14～27%であった。最初の高い汚染率は、連結配管中の原油が泡内に吸入されたためであろうと考えられた。

1966年12月に、浮屋根タンクのSSI実験が行なわれた。泡が300mmの油送管を通して防油堤の外側から注入された。泡は約30mの配管を通しタンク内へ送られた。このタンクは直径27.4mで、RVPが0.88kg/cm²の自動車用ガソリンが入っていた。燃料の深さは15.2mであった。浮屋根のくぼんだ形状と底部中央の放射口のために、ポンツーンとタンク壁との間の隙間に泡が沢山入らなかったが、実験は非常に成功だったといわれている。タンク中央の屋根下からとられた泡試料の燃料含有率は、わずか22.9%であった。これは、燃料深さに関する限り、これまでの識験のうちでは最も苛酷なものであり、15.2mのガソリン層を通過した後でも、完全に消火可能であるとの確信をうるに至った。1967年の4月に、同じ浮屋根タンクで実験を繰り返した。このときには、泡放射口は二口で、タンクの中央でなく、側壁に180°離れておかれた。一口は上方に向けられた90°エルボ、他方の一口は丁度タンク壁内側に終わる開放管である。一つの放射口から泡放射後約20分でシール部空間全体が泡によって封鎖された。浮屋根タンクにおいては、液面に到達した泡は、屋根と壁の間の隙間にある障害物の周囲を流動できるように、発泡倍率をできるだけ低くし流動性をもたせることが重要であることが知られた。

1967年の春に、直径34.8mのタンクによるSSI実験をArubaで行うことが計画された。種々の入口速度、発泡倍率に対する汚染率の決定のために3～6回の実験が計画された。また、種々の適用率、中央、側壁、二口放射など同じ回数の実験が計画された。燃料にはヘキサンが選ばれた。実験は1967年6月末に行われた[6]。充塡中の燃料の損失を防ぎ、また安全を確保するために、燃料面上には泡層が作られた。タンクに燃料が充塡されたのち、泡層を破壊するために、水のフォッグや噴霧がかけられたが、一応成功であった。しかし、タンクの中央の泡層に届くよう棒状流が向けられたときに液面にも静電気が発生し、液面、水、または泡との間に静電火花を生じ、発火した。実験指揮者はタンクから逃れるときに重傷を負い、他の二、三人もひどい火傷を負った。大規模火災のために、実験用の泡の多くは、その消火のために消費された。この結果、泡剤の不足のために、1回の消火実験だけを行うように変更された。どのような理由からか、一口泡放射で実験するように決定された。火災は非常に急激にノックダウンされ、1.5分後にコントロールされた。しかし、泡入口から遠方の液面上の火災は消火されたけれども、入口上の乱流は相当なもので、恐らく火災の強さと入口上の乱流のために、この乱流域上を有効に泡で封鎖することができなかったものと考えられる。300mmの配管から400ℓ/分の水溶液が放射されるときに、その上方の液面の乱流は相当なものになるのは当然であろう。この理由で、NFPA No.11では直径24.4m以上のタンクには、二口以上の放射口が要求されている。

1968年の5月に、直径12.2m、高さ9.1mのタンクを用いてSSI消火実験が行われた。燃料にはKuwaitとAlgeria原油800kℓとガソリン3.8kℓの混合物が、泡剤にはふっ化たんぱくが使用された。泡は長さ15.2mの100mmホースと長さ18.3mの鋼管を通してタンク底部の入口に圧入された。入口はタンク側壁の内面で開放されていた。消火栓の圧力には変動があったが、その平均値は約10.5kg/cm²であった。曇天で、気温は約10℃、風速は約4.5m/秒であった。水と泡剤の温度も約10℃であった。予燃時間は2分であった。火災は90秒でコントロールされ、10分30秒で完全に消火された。リムの冷却は行われなかった。泡剤は20ℓ缶から吸入された。吸入管は20ℓ缶から20ℓ缶へと移されたため、その度毎に空気を吸入し、泡放射口上で炎の上昇がみられた。このために消火は多少長びいたものと考えられた。

高温層の形成された原油火災にSSIを適用した場合に、どのようにしたらSlop overを防げるかどうかを試験した。泡が高温層を通過するさいに水蒸気の発生により油泡を発生し、油面が上昇し始めたときに泡放射を停止し、油面が下ったら次の放射を行い、これを繰り返し、油面の上昇なく泡の放射ができることが明らかになったら、泡を継続放射することによって消火しうることが分った。SSIを使用することにより高温層内に入る水量をコントロールしながら、Slop overを起こさずに、高温層を消散させることができる[5]。

英国のEvansら[7]は、1970年頃からSSIについて系統的な研究を始めた。直径2.7m、高さ8.2mのタンクを用いた。燃料には、ガソリンと軽油、泡剤にはたんぱくが用いられた。燃料層の深さ、泡性質、泡液供給率に対する影響が調べられた。たんぱく泡の場合、ガソリンによる汚染率が約5%以上、ふっ化たんぱく泡の場合約23%以上で自由に燃えてしまうことが分った。

表1　わが国におけるSSI消火実験

年　月	タンク 直径×高さ m	燃　料	泡　剤	泡倍率	泡　液 供給率 ℓ/分・m²	入　口 速　度 m/秒	予　燃 分	消　火 分：秒	文　献
1972. 7	4.8×3.1	灯　油	FP	2.3～3.1	4	5.7～7.3	1	2：15 ～3：17	11
1974. 2	1.5×1.5	ガソリン	FP	3.5	3.8	0.3	10	4：45	12
1975. 10	3.85×4.85	ナフサ ＋灯油 （3：1）	FP AFFF	3.3 3.7	3.35 3.34	0.88 1.0	10 10	8：00 8：00	13
1976. 10	8.7×8.0	原　油 （阿賀野）	FP AFFF	3.35 3.1	4 4	1.6 1.4	10 10、20	8：50 6：00 ～8：47	10
1977. 3	1.75×1.6	灯　油	AFFF	2.6	4		10	2：08	14

注）FP：ふっ化たんぱく　　AFFF：水成膜

Nashら[8]は、直径6.1m、高さ6.1mと直経10.9m、高さ6.1mの二つのタンクで実験した。放射口はタンクの側壁と中央に設けられた。放射口も種々の大きさのものを使用した。泡性質や汚染率は、放射口の大きさによって系統的な変化を示さなかった。浮上点附近の泡の汚染率は、タンクが大きいほど低く出る傾向を示したが、これは放射のさい分離した泡粒が増大する傾向と一致する。大きいタンクほど、泡の流量は大きくなり、泡はより結合し、液面に現われたときにはいかだ状を示し、表面積／容積の比は小さくなり、汚染率は低くなることが分った。同じ機構が、泡放射に伴って発生する液内の循環流により燃料面上に沿って泡が流れる場合にも作用していると考えられた。

1975年7月から1976年7月にかけて、伊国において直径11.4mのタンクを用いて、SSI消火実験が行われた。[9] 燃料にはトルエンを用い予熱は5分で、消火時間は1.15～2.05分であった。

わが国では、1976年10月に直径8.7mのタンクを用いて、軽質原油火災の消火実験が新潟市で行われた。[10] 燃料層の厚さは6mで、汚染率は水成膜で約1～3％、ふっ化たんぱく泡で約5％であった。予燃時間は10分と20分であった。水成膜、ふっ化たんぱく泡とも、ノックダウン時間は約1分20秒、消火時間は約6～9分であった。予燃時間の消火の傾向に対する影響はなかった。発泡倍率は水成膜泡が3.04～3.09、ふっ化たんぱく泡が3.35であった。この実験で、汚染率を低くし、消火を容易にするには、発泡倍率をとくに低くする必要のあることが知られた。

わが国で行われてきた消火実験の結果を表1に示す。[10)～14)]

3.　SSIによる実火災の消火実績

SSIが石油タンクに実用されるようになったのは、極く最近のことで、石油タンク火災を消火した実例は少ないが、最近いくつか報告されている。[15)～18)]米国における例がほとんどであるが、それらを表2に示す。浮屋根タンクの消火例が多い。これらのすべての場合に泡は油送管から注入されている。初期消火に失敗したが、流出油火災などのため、タンク火災の消火活動までに長時間を要したため、浮屋根が油内に陥没し、全液面火災に発展している。浮屋根が沈むと、泡が全液面に廻りにくくなるため、火災がコントロールされた後泡ノズルなどで最終的に消火される例が多い。

1977年の9月、シカゴ郊外で直径58mのジーゼル油に落雷し、発火した。[18]SSIによる消火が計画され、250mmの立上り管にクリスマスツリー状に10ヶの入口圧力10.5kg/cm²、泡液流量1150ℓ/分の高背圧発泡器が取付けられ、3台の化学消防車のフル運転で、泡を長さ61mの300mm管とそれに続く長さ490mの600mm油送管を通してタンクまで運ぶことになった。泡のタンク入口の速度は3m/秒と計算された。周囲の二基のガソリンタンク火災のために消火作業は遅れ、発火24時間後に泡が注入されたが、放射口の反対側のタンク内部に折れ曲った側壁の部分でポケットが形成され、この部分に泡が入り込まず、炎が残った。地上からも、側壁上からと側壁に生じた孔から泡を投入したが不成功であった。泡注入開始後50分で泡剤を使い果した。小火災は拡大し、泡注入停止後1時間で全面火災に戻った。さらに8時間以上過ぎてから、所要液量（4.1ℓ/分・m²）のSSIと上部投入を2：1の注入割合で行ったが、5分後にSSIの泡は前の注入によって形成された底部水中に注入していることが分り、モニターメズルだけから泡が放射された。ポケット部の火災は依然消えなかったので、空中はじごを下ろし、はしご上の消防隊員がこのポケット部分にあいていた小さな穴から泡ホースノズルで泡を投入し消火した。

表2　SSIによるタンク実火災の消火実績

タンク 種類	タンク 直径 m	燃料	泡剤	燃焼時間 時間	消火時間 分	泡液供給率 ℓ/分・m²	消火活動記録	文献
浮屋根	18.3	ナフサ	ふっ化たんぱく	72			底部泡注入で火勢の衰えたところを階段に登り泡ノズルで消火	15
浮屋根	17.7	ガソリン	ふっ化たんぱく	8			底部泡注入と泡ノズルの組合せで消火	
浮屋根	20.4	ガソリン	ふっ化たんぱく	8			浮屋根のゆがみのため泡が油面全体に廻らず消火に失敗	
カバー付浮屋根	21	ガソリン	ふっ化たんぱく	6		2.9	通気口を通しての消火に失敗後底部泡注入で消火	
カバー付浮屋根	20	ガソリン	水成膜	8	15	3.7	流出油火災と通気口を通しての消火に手間取ったのち底部泡注入により消火	16
コーンルーフ	9.7	トルエン		1	15	4.9	消火	17
コーンルーフ	9.7	トルエン					底板の破損で泡流を妨害、側壁の一部に残った火災を泡ノズルで消火	
コーンルーフ	57.9	ディーゼル油	ふっ化たんぱく	24		3.9	タンク内に折れ曲った側壁の一部で消火不能の小ポケットができ失敗、泡ノズルで消火	18

4. あとがき

SSIの歴史的な発展過程について述べてきた。SSIに残された問題点と、その解決の方向をうかがい知るためには、その発展過程を正確に知る必要がある。しかし、紙面の都合で、とくに最近の研究についてはごく簡単に要約せざるをえなかった。今後、これまでの研究成果を最近の知識をもとに解析し問題点解明のための資料とする必要性のあることを痛感する。SSIの泡汚染の原理、消火機構、設備上の問題点等については、別の機会に述べたいと考えている。

参考文献

1）Tuve,R.L.,and Peterson,H.B.,NRL Report 3725, PB-103775 (Aug. 1950)

2）Burgoyne.J.H.,and Katan,L.L.,J.Inst.Petrol., *35* No.312, 795 (1949)

3）French,R.J.,and Hinkley,P.L.,F.R.Note 100,H.M. Stationary Office

4）Nash,P.,Inst.Fire Eng.Quarterly,*21*,116 (1961)

5）Mahley,H.S.,A Record of a Technical Discussion on Tank Fire Fighting in Markiting Installations,A16,Shell Res.Lim. (Jun.1972)

6）Culbertson, T.L.,ESSO Research and Engineering Company (Oct.1967)

7）Evans,E.M.,and Whittle.J.,Fire Prev.Sci.Tech., No.8,121 (1974)

8）Evans,E.M.,and Nash,P.,ibid.,No.14, (1976)

9）ANIC,Anticendio e Protezione Civile,No.1 (Jan.1977)

10）SSIプロジェクトチーム（三機、宮田、住友スリーエム）、石油タンクのSSI方式による消火実験報告書、(Apr.1977)

11）アジア石油、日本ドライ、底部発泡消火装置実験記録（Jul.1972)

12）中久喜、消防研究所報告、No.44,1（1977)

13）市原消防本部、石油タンク火災に対する底部泡放出による消火実験（Mar.1976)

14）松浦地区消防本部(長崎県)、石油タンクのSSI方式による消火実験報告書（Mar.1977)

15）Herzog.G.E.,Fire J.,68-4,93 (1974)

16）住友スリーエム㈱ニュースレター、第6号(1978)

17）Mahley,H.S.,Hydrocarbon Processing.P.72 (Aug.1972)

18）Herzog,G.R.,ibid.,P.165 (Feb.1979)

接着剤からの出火危険性についての一考察

箭内　英治

1. はじめに

昭和53年９月26日午後松本市内の某洋装店で改装工事中に火災が発生し、多くの死者や負傷者を出した。この洋装店は、４階建であり、１～２階は店舗、３階は従業員用事務所等、４階は物置という構成である。この店の両隣は防火壁で仕切られていた。出火場所は、２階のカーペット張り作業をしていた部屋で、一瞬のうちに燃え広がった。火災原因とみられたのは、カーペット張りに用いられた速乾性接着剤の引火であり、２種類の接着剤が用いられていた。依頼により次の項目について調査を行なった。

(1) 接着剤の成分確認および決定
(2) 接着剤の気化（蒸発）状態
(3) 部屋の可燃性気化ガス濃度分布
(4) 部屋の完全密閉における危険性限界と有効換気について

以下は、この調査結果の概要であるが、これが単に火災原因調査として終ることなく、今後の火災防止の参考になるものと思われるのでここに報告する。

2. 実験方法および単純化モデル

(1) 接着剤の成分確認および決定

(a) 接着剤の不揮発分の測定方法

JIS K-6839に準ずる方法、すなわち、約１ｇの接着剤を共せん付き平形秤量ビンに正確に重量をはかったのち107.5±2.5℃の温度に保った電気乾燥気中で約３時間乾燥させ、シリカゲルを入れたデシケータ中で放冷する。その後、重量をはかり不揮発分の含有率を求めた。

(b) 接着剤の溶剤の同定および定量

一定量の接着剤をせん付きビンにはかりとり、これにメタノールを加え溶剤分を抽出し、ガスクロマトグラフで溶剤の各成分のピーク面積を求め、あらかじめ標準物質から得たピーク面積値から溶剤の定性および定量を行った。なお、カラムはガラスカラム（内径３㎜、長さ２ｍ）を用い、充填剤としてポラパックQS（80～100メッシュ）を詰め、カラム温度を常温から240℃まで10℃/min.の速度で昇温させた。ガスクロマトグラフ装置は日本電子製JGC-20K型を用いた。

(2) 接着剤の気化（蒸発）状態

温度20～24℃、相対湿度約50％に調整した部屋内で、10㎝角（100㎠）の紙に接着剤を1.5～2.0g（標準塗布量）塗り、上皿直示天秤によって蒸発速度を調べた。さらに、蒸気成分を調べるために、15分後（現場で接着剤を塗り始めてから出火するまでの時間）に接着剤を塗布した紙を適量（約６㎠程度）切りとり、面積を正確に測りメタノールで溶剤分を抽出し、それをガスクロマトグラフを用いて測定し、接着剤中に残っている溶剤を同定して、逆に蒸気成分を決定した。

(3) 部屋の可燃性気化ガス濃度分布

部屋の床全面に接着剤を塗布した場合を考え、しかも、時間に依らず一定量の溶剤が蒸発していると仮定する。すなわち、床上０㎝での溶剤の濃度をその部屋の温度における飽和蒸気圧濃度とする。さらに溶剤は単一成分とし、溶剤と空気は理想気体を形成し、系は定温・定圧に保たれるとし、空気は溶剤に溶解しないと仮定してモデルを考え、これを解くことにより濃度関数を求めた。この単純化モデルを図１に示す。

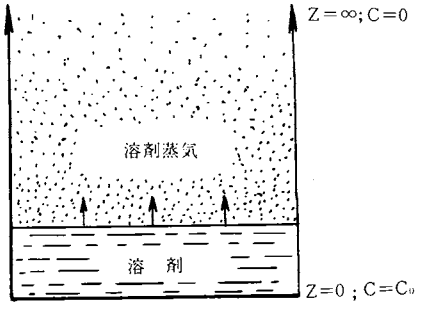


図１　溶剤の拡散モデル

(4) 部屋の完全密閉における危険性限界と有効換気について

まず初めに、標準塗布量の接着剤から蒸発する溶剤が、接着剤を塗布していた部屋のある高さ（Ｚ㎝）ま

で均一に拡散したときの濃度を求め、この濃度を接着剤の爆発下限界濃度と比較する。爆発下限界濃度より小さければ、Zcmで引火することはない。しかし、爆発下限界濃度より大きければ、Zcmで引火する可能性がある。この場合、(3)で得た濃度関数と発生した溶剤量とから、見かけの拡散係数を求め、この拡散係数を入れた濃度関数から逆にZcmでの濃度を求めた。(完全密閉の場合)

有効換気については、ある時間内に発生した溶剤量を時間平均して求めた平均蒸発速度と部屋の換気回数を用いて考察を行った。

3. 結果と考察

接着剤AとBの不揮発分はそれぞれ23.3%、22.3%であった。接着剤の溶剤組成を表1に示す。シクロヘキサンを除けばA、B共に同程度の溶剤を含んでいた。また、溶剤の性質を表2に示す。表2と各接着剤の溶剤組成表から各接着剤のモル分率を求め、さらに平均分子量を求めた。そして、次の式により接着剤の爆発下限界濃度を求めた。

表1 接着剤の溶剤組成

不揮発分及び溶剤＼接着剤		A	B
不揮発分		23.3	22.3
溶剤	アセトン	0.5	痕跡程度
	酢酸エチル	11.4	10.8
	n-ヘキサン	21.6	25.6
	シクロヘキサン	10.7	0.1
	トルエン	31.9	39.4
	その他の溶剤	0.6	1.8
合計		100.0	100.0

$$L=\frac{100}{\sum ni/Li} \qquad \text{———(1)}$$

ここで、L：混合ガス（接着剤）の爆発下限界濃度(vol%)

ni：i成分の体積濃度(vol%)

Li：i成分の爆発下限界濃度(vol%)

(1)式により求めた接着剤A、Bの爆発下限界濃度はともに1.24vol%となった。これらのまとめを表3に示す。

表3 接着剤の性質

性質＼接着剤		A	B
不揮発分		———	———
注1) 溶剤のモル分率	アセトン	0.010	———
	酢酸エチル	0.150	0.145
	n-ヘキサン	0.291	0.350
	シクロヘキサン	0.147	0.001
	トルエン	0.402	0.504
	その他の溶剤	———	———
注2) 平均分子量		88.3	89.5
25℃での飽和蒸気圧(mmHg)		81.9	76.1
爆発下限界濃度(vol%)		1.24	1.24
注3) C_0		8.79	8.21

注1）不揮発分は高分子ゴムなので分子量が非常に大きく、モル分率は極めて小さくなる。さらに表中の「その他の溶剤」については、主成分の溶剤に比べ含有率が少ないので無視した。

注2）接着剤から蒸発する溶剤の平均分子量は次の式で与えられる。

$$\bar{M}=\sum Mi\,Xi$$

ここで、$\bar{M}$：溶剤の平均分子量

Mi：i成分の分子量

Xi：i成分のモル分率

注3）C_0は、溶剤の飽和蒸気圧濃度が爆発下限界濃度の何倍に相当するものかを表わす量で次の式によって与えられる。

$$C_0=\sum\frac{PiXi}{760Li}\times 100$$

ここで、Pi：i成分の飽和蒸気圧(mmHg)

接着剤の溶剤成分は、約9種類程度含まれていたが、接着剤Aの主成分は、トルエン、シクロヘキサン、n-ヘキサン、酢酸エチルの4成分であり、接着剤Bの主成分は、トルエン、n-ヘキサン、酢酸エチルの3成分であった。表3から接着剤AおよびBの平均分子量、爆発下限界濃度、C_0の値を比べてみるとほとんど変わ

表2 溶剤の性質[1)]

物質＼性質	分子量	沸点(℃)	比重(20/4)	引火温度(℃) 密閉	引火温度(℃) 開放	発火温度(℃)	注1) 蒸気密度	爆発限界(vol%) 下限	爆発限界(vol%) 上限	25℃での飽和蒸気圧(mmHg)
アセトン	58.08	56.3	0.79	−19	−9	465	2.0	2.1	13.0	218
酢酸エチル	88.11	76.8	0.90	−4	−1	425	3.0	2.1	11.5	91
n-ヘキサン	86.18	68.7	0.66	−26		225	3.0	1.1	7.5	139
シクロヘキサン	84.16	80.8	0.78	−20		245	2.9	1.1	8.4	98
トルエン	92.14	110.8	0.87	4	7	480	3.1	1.2	7.1	28

注1）空気を1とした場合の値である。

らない。実際には2種類の接着剤が用いられていたわけだが、1つの接着剤を用いたとしても結果は同じと考えて差支えない。さらにこれらの接着剤はクロロプレン系のもので、カーペット張り用としては、代表的な接着剤といってよい。

(2)　接着剤の気化（蒸発）状態

接着剤の蒸発率と時間の関係を図2に示す。また15

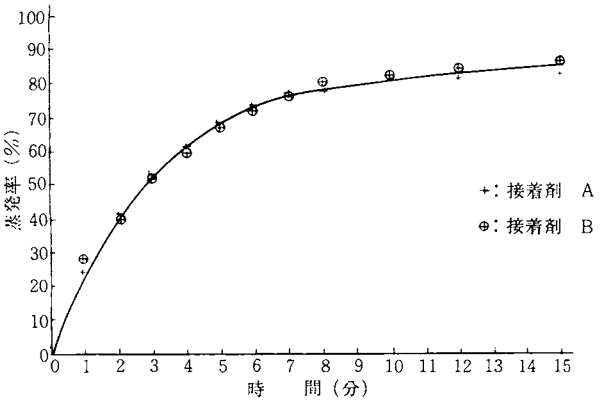


図2　接着剤の溶剤蒸発率曲線

分間蒸発させた後の接着剤中の溶剤はトルエンしか見い出せなかった。このことより、トルエンを除く溶剤は15分までには全て蒸発したことになる。

以上のことを基にして、蒸発した溶剤の発生量を求めてみる。計算を簡単にするために次のような仮定を設ける。

a)　部屋の床面積は10畳とする。現場での作業状況から、接着の塗布面積＝3.3×5＝16.5m²

b)　接着剤の塗布量＝200g/m²（標準塗布量の最大値）

c)　溶剤の成分は多成分だが単一成分と考え、その分子量を表3で求めた各接着剤の分子量の平均値とする。$\overline{M}=88.9$

d)　接着剤中の溶剤量を各接着剤の溶剤含有率の平均から求める。(溶剤含有率＝77.2%)

e)　15分間で蒸発した溶剤は、図2より求めた値を用いる。(蒸発率＝86%)

これらの値から、蒸発した溶剤量は次のように求まる。

使用された接着剤量＝16.5×200≒3300(g)

接着剤中の溶剤量＝3300×0.772≒2550(g)

蒸発した溶剤量(15分間)＝2550×0.86＝2190(g)

25℃での体積になおすと

$$\text{蒸発した溶剤量}=(2190\div 88.9)\times 22.4\times\frac{298}{273}$$

$$\fallingdotseq 600(\ell)=0.6(m^3)$$

(3)　部屋の可燃性気化ガス濃度分布

部屋の中における気化ガスの高さ方向の濃度分布を求めるために、2.(3)で示した拡散モデル（図1）を用い、微分方程式を立て[付1]初期および境界条件を入れて解くと[2]次のようになる。

$$C/C_{Z=0}=1-\mathrm{erf}\,(Z/2\sqrt{Dt})$$
$$=\mathrm{erfc}\,(Z/2\sqrt{Dt}) \qquad \text{——(2)}$$

ここで、$C_{Z=0}$：床面での溶剤濃度

D：溶剤の拡散係数

Z：床面からの高さ

t：時間

$$\mathrm{erf}(x)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^x e^{-x^2}dx$$

$$\mathrm{erfc}(x)=1-\mathrm{erf}(x)$$

蒸発した溶剤量Vは、次式によって表わされる。

$$V=A\int_0^\infty C dz$$

上式のCに(2)式を代入すると

$$V=AC_{Z=0}\int_0^\infty \mathrm{erfc}(Z/2\sqrt{Dt})dz \qquad \text{——(3)}$$

ここで、A：部屋の床面積

先に考察した定数、

V＝0.6m³(発生した溶剤量)

A＝16.5m²(部屋の床面積：10畳に相当)

$C_{Z=0}$＝10.4vol%（接着剤の飽和蒸気圧濃度）

t＝15min

を(3)式に代入して見かけの拡散係数を求めると、

D≒66cm²/min

したがって、(2)式は

$$C/C_{Z=0}=\mathrm{erfc}(Z/16.2\sqrt{t}) \qquad \text{——(4)}$$

$C_{Z=0}$に表3で求めたCoの値を用い、時間をパラメーターにして描くと高さ方向の濃度分布は図3になる。

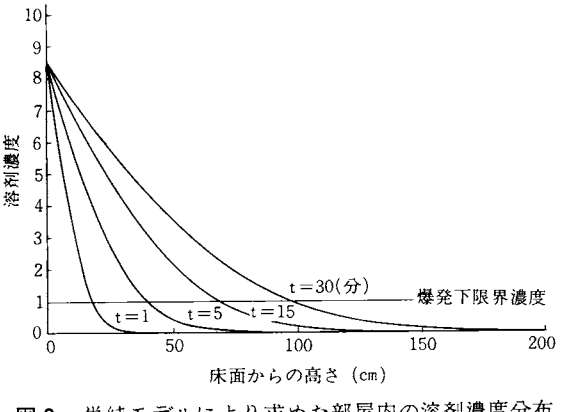


図3　単純モデルにより求めた部屋内の溶剤濃度分布

さらに、参考のために、溶剤の１つであるn-ヘキサンについて、上述と同じ拡散モデルを考え、部屋の濃度分布を求めると、図４になる。ただし、蒸発したn-

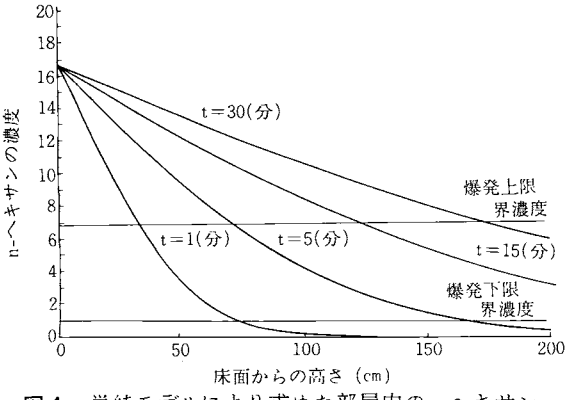


図４　単純モデルにより求めた部屋内のn-ヘキサン濃度分布

ヘキサン量を求めるために蒸発速度は、室温20℃、風速0.5m/sの条件での値5.2×10^{-3} g/cm²・minを用いた。

(4)　部屋の完全密閉における危険性限界と有効換気について

(a)　部屋の完全密閉における危険性限界

イ）接着剤から発生した溶剤がある高さ（Zcm）まで均一混合した場合

均一混合した場合の溶剤濃度Cは、次により示される。

$$C=100V/AZ \qquad (5)$$

(5)式において、

C＝1.24vol%（接着剤の爆発下限界濃度）

V＝0.6m³

A＝16.5m²

とすると

Z≒293cm

したがって、溶剤が均一混合した場合、通常の建物においては、床面から天上までの高さがほぼ３ｍであるから、部屋のいたる所で爆発下限界濃度以上になっている可能性が大きい。

ロ）溶剤の濃度分布が(2)式に従う場合

種々の仮定の下で溶剤が爆発下限界濃度となる床上の高さを表４に示す。

表４から、床面での溶剤濃度（$C_{Z=0}$）を小さく仮定するほど、見かけの拡散係数が大きくなり、したがって、爆発下限界濃度にある床上の高さは大きくなる。従来、この濃度分布を求めるに当って、床面での濃度をその部屋の温度における飽和蒸気圧濃度と仮定して来たわけであるが、実際には、時間が経

表４　種々条件での爆発下限界濃度となる床上の高さ

床面($C_{Z=0}$)での溶剤濃度(vol%)	5.0		7.0		10.4	
部屋の床面積(cm²)	16.5		16.5		16.5	
見かけの拡散係数(cm²/min)	286		146		66	
時　　間(min)	15	30	15	30	15	30
爆発下限界濃度となる床上の高さ(cm)	110	156	89	126	70	99

過するにつれて、溶剤の蒸発が小さくなってくる。（図２参照）さらに、この場合、拡散律速と考えるより蒸発律速と考えた方が妥当と思えるので、実際に当てはめる場合には、床面での濃度を飽和蒸気圧濃度より小さく仮定した方がより安全と思われる。

(b)　有効換気について

換気によって、部屋の溶剤濃度が十分に均一になると仮定すると、その時の部屋の濃度は、次の式によって与えられる。[付2]

$$C=\frac{q}{Q}\left[1-\exp\left\{-\left(\frac{R}{Q}t\right)\right\}\right] \qquad (6)$$

ここで、C：部屋の溶剤濃度(vol%)

q：溶剤ガスの発生量(m³/hr)

Q：換気量(m³/hr)

R：部屋の容積(m³)

t：時間(hr)

(6)式は、無限時間後に部屋の濃度がq/Qになることを示しているから、この値が接着剤の爆発下限界濃度より小さければ、その部屋では引火することはない。したがって、引火しないための条件は、

$C=q/Q<0.0124$

さらに、部屋の換気回数は、次式によって与えられるから、[4]

$$N=Q/R(回/hr) \qquad (7)$$

(7)式を用いて、書き直すと、

$$N>100\,q/1.24R \qquad (8)$$

ここで、qとして、蒸発した溶剤量の時間平均値をとると、

$$q=0.6\times\frac{60}{15}=2.4(m^3/hr)$$

さらに、

R＝16.5(m²)×３ｍ≒49.5m³（10畳の部屋に相当）

であるから、(8)式は、

N>3.91(回/hr)

となる。ゆえに、換気によって部屋の溶剤濃度が十分に均一になるという仮定では、引火しないための条件として、部屋の換気回数を少なくとも４回以上とる必要があるものと思われる。ただし、実際には溶剤蒸気濃度が均一になるということはあり得ないので、接着

剤の極く近くでは引火は常に起るということはいうまでもない。

4. まとめ

4つの項目について、種々検討を加えて来たが、(1)については直接実験より求めたデータである。そして、(2)以下については、種々仮定を設けて得た値であるので、これらより得たデータが現実を明確に映しているとは必ずしも言えない。しかし、判断の材料としてこれらの値を参考にすることはできるものと確信する。有機溶剤入り接着剤は粘度が高くちょっと見た目には、表面から少し離れれば引火は起こりそうに見えない。そのため、塗布などの作業中、火災危険に対する注意が怠られがちである。この報文により、その危険性が再確認されれば幸いである。

この報文において、実験を御指導下さった当研究所燃焼研究室の守川時生室長に、さらに、まとめる段階において、終始御助言、御指導下さった当研究所、危険物研究室の佐藤公雄技官に心から感射の意を表する。

参考文献

1）溶剤ポケットブック、有機合成化学協会編、P901～920、オーム社
2）移動現象論、平岡・田中著、P38～41、朝倉書店
3）大型タンカーの防災について(1)：元良誠三、安全工学、vol 9、No. 2、(1970)
4）プロパンガスの爆発：佐藤公雄、労働の科学 vol.30、No. 7、(1975)

〔付録1〕

単純化モデルによる拡散の微分方程式は次のようになる。

$$\frac{dC}{dt} = D\frac{d^2C}{dz^2}$$

ここで、D：溶剤の拡散係数

さらに、初期条件：$t=0$、$Z=0$、$C=0$

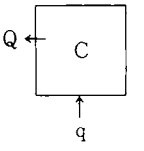
境界条件：$t>0$、$Z=0$、$C=C_{Z=0}$

$t>0$、$Z=\infty$、$C=0$

を入れて、微分方程式を解くと、

$$C/C_{Z=0} = 1-\mathrm{erf}\,(Z/2\sqrt{Dt})$$
$$=\mathrm{erfc}\,(Z/2\sqrt{Dt})$$

〔付録2〕



左図のような単純な、換気モデルを考えると、微少時間dtの間に、部屋の濃度がdCだけ変化し、部屋の容積をRとすると、

$$RdC=(q-QC)dt$$

この式を、積分すると、

$$-\frac{Q}{R}\ln\left\{\frac{R}{(q-QC)}\right\}=t+\alpha$$

ここで、$t=0$のとき、$C=0$とすると、

$$\alpha=-\frac{Q}{R}\ln\left(\frac{R}{q}\right)$$

よって、

$$\frac{Q}{R}\left[\ln\left(\frac{R}{q}\right)-\ln\left\{\frac{R}{(q-QC)}\right\}\right]=t$$

$$\frac{Q}{R}\left[\ln\left\{\frac{q}{(q-QC)}\right\}\right]=t$$

$$\exp\left(\frac{R}{Q}t\right)=\frac{q}{(q-QC)}$$

$$\therefore\ C=\frac{q}{Q}\left[1-\exp\left\{-\left(\frac{R}{Q}t\right)\right\}\right]$$

待ち行列を用いて解析した消防自動車の必要台数

情報処理研究室　寒河江　幸平

1. まえがき

消防活動を円滑に行なう為には、消防署所の配置、消防自動車の配置と台数、それに出動体制、これら三つの要素の各々の最適化が必要である。これらは、互いに相関する問題であって、消防行政、消防戦術によっても大きく変化するものである。ここでは、これらの三つの要素が互いに独立なものとして、その最適化を考えて見る。最初に街或いは町のモデル化したものを対象として、消防署所の配置の問題を探って見た。結果は街或いは町の形態に大きく左右された。次に消防自動車の必要台数の問題について待ち行列理論の利用を考えた。1件の火災に対し常に1台の消防自動車が駆け付けて消火に当ると仮定する点或いはその他の点でも、実際の消防活動と比べて単純化されすぎているという批判もあろうが、待ち行列理論を利用するという面では、それなりの意義があると考える。そこで、待ち行列とは何であるか、どう応用されるのか、特に応用の仕方については2つの例を用いて述べて見る。

2. 待ち行列とは

窓口と呼ばれるあるサービスをする場所があるとする。その窓口にサービスを受ける為、客が次々と来るものとする。その時、サービスを直ちに受けられない客は自分の番が来るまで、待たなければならない。ここに待ち行列ができる。客の来る時間間隔とサービスをする時間の分布とを、この時与えれば、待ち行列の長さとか、サービスを受ける時まで平均何分待たなければならないかを数学的に求めることができる。客の到着する時間間隔の分布を到着分布といい、サービスをする時間分布をサービス分布という。窓口の数は1個でも複数でもよい。

到着分布、サービス分布については、いろいろな場合が考察されているが、主に双方とも、指数分布の場合に、窓口の単複に関係なく理論が成立している。その他に、窓口1ヶの場合の到着分布が、単位分布、アーラン分布のときの理論が完成されている。一般分布については、上の3つの分布型の場合のように完成されておらず理論はこれからの課題である。上の指数分布は言うまでもなく下記の密度関数をもつ分布である。

$$f(x)=\begin{cases}\lambda e^{-\lambda X} & (x\geqq o)\\ o & (x<o)\end{cases}$$

単位分布は下記の式で与えられる

$$f(x)=\begin{cases}1 & (x=c)\\ o & (x\neq c)\end{cases}$$

アーラン分布とは下記の式で与えられる、同一の分布をもつ指数分布の整数個のたたみ込みで、たたみ込みの回数kが大きくなるにつれて単位分布に近づく。kが1のときは指数分布を示す分布である。

$$f(x)=\begin{cases}\dfrac{(\lambda k)^k}{(k-1)}\ x^{k-1}\ e^{-\ kX} & (x\geqq 0)\\ 0 & (x<0)\end{cases}$$

上の3つの分布の平均値及び分散は、指数分布が各々$1/\lambda$, $1/\lambda^2$、単位分布は、c, o、そしてアーラン分布は、$1/\lambda$, $1/k\lambda^2$である。アーラン分布のグラフを、図1に示す。平均値1の場合である。

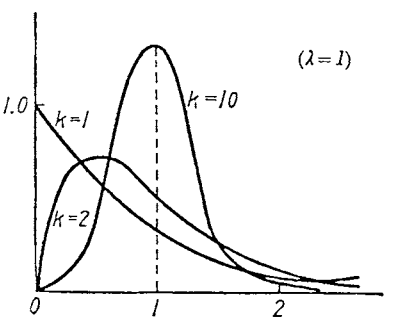


図1　位相Rのアーラン分布、平均値λ＝1の場合k＝1のときは指数分布、kをふやしていっても平均値は別にかわらないが、分散はだんだん小さくなる。γ分布の一種。（本間鶴千代「待ち行列の理論」より）

到着分布が指数分布であるとき、一定の時間幅において、到着する客数の分布はポアソン分布であることが数学的な理論により証明される。これがポアソン到

着と呼ばれる一般的な概念である。

到着分布が、指数分布、サービス分布も指数分布、窓口の数をS個とするときkendallに従って、M／M／Sと書く。この数学的理論を用いて、消防自動車の必要台数について、以下に2通りの方法を述べてみたい。

3. 消防自動車が出払ってしまわないための必要台数

ここで用いるのは、予備品数の決定問題と呼ばれるものである。単位時間当たりの火災発生件数を平均λのポアソン分布、1件の火災を消火するのに要する時間を平均$1/\mu$の指数分布、πを消防自動車が全部出払っている割合、sを消防自動車の台数とするとき、πは次のように表わされる。

$$\pi = \frac{p_0 a^s}{(s-1)!(s-a)}$$

ここで

$$a = \frac{\lambda}{\mu},\quad p_0 = \frac{1}{\left\{\sum_{n=0}^{s-1}\frac{a^r}{n!} + \frac{a^s}{(s-1)!(s-a)}\right\}}$$

である。上の式でaとπを定めれば、必要台数Sが定まる。単位時間を1時間、消火に要する時間を1時間とする。* 火災発生件数の平均をAとする。λ=0.5, 1.0, 1.5, 2.0とおいたとき、sの値に応じて変化するπの値を示したのが表1である。sの値を求めるに当って、π

表1

s　λ	0.5	1.0	1.5	2.0
1	0.50	不　定	負　値	負　値
2	0.10	0.33	0.64	不　定
3	0.040	0.090	0.24	0.44
4	0.0018	0.020	0.075	0.17
5	0.00018	0.0038	0.0201	0.060
6	0.000014	0.00060	0.0047	0.018
7	0.000001	0.000085	0.00096	0.0048
8	6.0×10^{-7}	1.0×10^{-5}	0.00017	0.0011
9	3.5×10^{-9}	1.1×10^{-6}	0.00003	0.00024
10	2.0×10^{-10}	1.1×10^{-7}	4.2×10^{-6}	0.000048

表1　λとsの関数としてのπの計算値

消火時間を平均1時間、1時間当りの出火件数の平均λを0.5, 1.0, 1.5, 2.0としたときに、s台の消防車が全部出払っている確率値πの値を示す

の値をどの程度小さくするかが問題となる。仮に0.001ととると、λ=0.5、1.0、1.5、2.0に応じて、それぞれ、Sの値は、5台、6台、7台、9台となる。

4. 火災損害と諸経費の合計を最小にするための最適台数

この方法は、店の大きさの決定問題と呼ばれるものの応用である。火災1件を消すことによって得られる単位時間当たりの平均利益**ををA円、消防自動車1台当たりの維持費等諸経費の平均を単位時間当たりB円、λ, $1/\mu$をそれぞれ、単位時間当たりの火災発生件数の平均及び消火に要する時間とする。M／M／Sの理論より、1時間当たりの損害額を、消防自動車の台数の関数としてf(s)と表せば

$$f(s) = -\mu A a \frac{E_{s-1}(a)}{E_s(a)} + sB$$

となる。ここで、

$$a = \frac{\lambda}{\mu},\ E_k(a) = e^{-a}\sum_{n=0}^{k}\frac{a^n}{n!}$$

である。s_0をf(s)を最小にするSの値とすると、s_0は

$$f(s_0-1) > f(s_0),\quad f(s_0) < f(s_0+1)$$

をみたす必要がある。

このことは

$$h(s) = a\left\{\frac{E_s(a)}{E_{s+1}(a)} - \frac{E_{s-1}(a)}{E_s(a)}\right\}$$

とおくときs_0が

$$h(s_0-1) > \frac{B}{\mu A}\quad k(s_0) < \frac{B}{\mu A}$$

をみたすことに等しい。

例として、λを1時間当たりの火災発生件数としてそれぞれ、0.5, 1.0, 1.5, 2.0を選び、消火時間$1/\mu$を1時間とするとき、h(s)の値がsに応じて、どう変化するのかを示したのが表2である。B／Aの値を0.001

表2

s　λ	0.5	1.0	1.5	2.0
1	0.26	0.30	0.29	0.27
2	0.064	0.14	0.18	0.19
3	0.011	0.047	0.086	0.12
4	0.0014	0.012	0.034	0.059
5	0.00014	0.0004	0.010	0.025
6	0.000012	0.00004	0.0028	0.0086
7	無限小	0.00006	0.00061	0.0026
8	無限小	無限小	0.00012	0.00067
9	無限小	無限小	0.00002	0.00015
10	無限小	無限小	無限小	0.00003

表2　λとsの関数としてのh(s)の計算値

消火時間を平均1時間、1時間当りの出火件数の平均λを0.5, 1.0, 1.5, 2.0としたときに、消防車数sに応じて変化するh(s)の値を示す。

及び0.0001として2つの場合を計算してみる。λ=0.5の時はs＝5台及びs＝6台であり、λ=1.0, 1.5, 2.0

*）「消化に要する時間が1時間」という意味は1時間後には直ちに、次の火災の消化に従事できるということである。短かすぎると思うが、ここでは簡単のために1時間としておく

**）火災1件を消化せずに放置したために生ずる損害額と同じ

とするとき、それぞれ、6台及び7台、7台及び9台、8台及び10台である。B／Aを0.001及び0.0001としたのは、次のような計算による。2～3軒の延焼を喰い止めたとして、Aを4000万円／時間、自動車の方は人件費等も入れて0.4万円～4万円／時間と見なしたためである。実際の比率は街の条件その他によって当然変るであろう。

また、待ち行列には平衡条件というものがあって、その条件を満足しないときには、待ち行列の長さが、サービスに関わらず、無限大になるという状態に陥いる。それは、$s > \lambda / \mu$という条件である。この条件でs，λ，μは上に述べたものと同じである。この条件は一般的に、到着分布、サービス分布が如何様であっても成立する必要がある。試みに$\lambda / \mu = a = 2$とおくと$s \geqq 3$を得る。

5. まとめ

消防自動車の必要台数、最適台数を決定する問題に対して、待ち行列理論の応用を試みた。2つの応用例を示したが、共に最も単純な取扱いの場合である。

ひとつは、火災が連続して発生する場合にそなえて、消防自動車が全部出払ってしまわないためには何台必要かという問題である。例えば、平均の火災発生件数を1時間に1件、1件の火災を消火するのに必要な時間を1時間とすると、消防自動車が出払ってしまう確率を1000分の1以下にするためには7台必要であるという結果になった。火災の連続多発は稀にしか起らないから、このように確率的に取扱ってはじめて数値的に論ずることができる。

もうひとつの応用は、投資効果的問題である。消防自動車の台数を多くすれば、火災損害は減るであろうがあまり多くしても無駄となる。最も適当な台数を求める場合への適用である。1件発生した火災による損害を1時間当り4000万円、消防自動車1台当りの諸経費を人件費もを含めて1時間当り4000円、火災発生件数と消火時間は共に前例と同じく、平均1時間に1件、1時間とすると、最適台数は6台となった。金額的な面のみを考えた場合である。

6. あとがき

以上、例を挙げて、待ち行列のうち、消防に応用できるものを説明してきたが、これらに共通する事は、各署所の消防戦術的条件はすべて同じとすることにある。要するにすべての事柄を平均的に考えることにある。また、冒頭にも述べたように、火災1件を消防自動車1台で消火するという前提の上に立っているが、火災1件を常に決まった複数台の消防自動車で消火するとしても、考え方はそのまま成立つ。例として用いた数値は、消防自動車の必要台数を実験に計算してみるための仮の数値と考えて頂きたい。また、社会の心理的な面、例えば安心料のようなものは無視されている。ただ、何んらかの形で、消防自動車等の必要数を計算して見る必要があると思われたので、試論として述べた次第である。

現実の問題を評価する際のひとつの基準的な量、或は考え方が得られるという意味で利用価値があると思う。参考文献は本間千代著「待ち行列の理論」(理工学社）によった。なお、今後は、都市の火災危険度のような概念を再検当し、さらに、消防自動車の台数のみでなく、筒先本数、消防士数、出動体制等をも考慮に入れて検討して行くつもりである。最後に、この研究を遂行するに当って、終始当所の橘房夫第一研究部長に御指導いただいた。ここに心から感謝申し上げます。

透水係数の間接的決定法についての検討

越後谷　晃*・細野　義純

1. 序　論

1856年、H.DARCYによって明らかにされた地下水の流動に関する実験は、ダルシーの法則としてよく知られ、その公式中の比例定数は、透水係数注1）として多くの場面で用いられている。

透水係数とは、現在では「水温15℃、動水勾配1：1のもとで、単位断面積を通過する水量」と定義され、また、JIS-A1218では「浸透流速と動水傾度が比例する場合の比例定数をいう」と定義している。透水係数はまた浸透係数ともよばれ、単位はcm／secである。

透水係数が重要な意味をもってくるのは、地中における地下水の移動に対する量的評価に関する場合であり、具体的に例示すれば、地下水の汲み上げに伴う地下水面の降下状況と影響の及ぶ範囲、掘削工事に伴う所要排水量の見積もり、汚染された部分等の地下水の拡大する速さ、圧密時における排水の速さ等があげられる。

とくに、石油タンク等を地中に設ける場合や、いわゆる地盤改良のための設計時には、排水の量および所要時間等に関して重視されねばならない数値である。

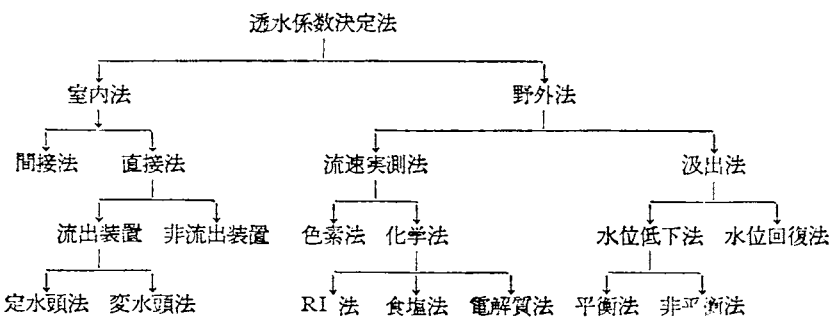
透水係数の決定法には、いくつかの方法が知られている。これらの相互の関係について、古くから提唱され、現在も広く用いられている分類法として、第1図に示すようなWENZEL[1]による図表がある。

一般に、室内法注2）と野外法注3）とを比較してみると、室内法は小規模な実験設備で実験できる点で便利であるが、試料の採取法をはじめ、技術的な問題点が数多く、しかも得られた結果は、その試料の部分についてだけにしか適用できないなどの難点がある。これに対して、野外法は原位置で行なう試験であるから、試料を乱すことがなく、自然状態を維持でき、得られた結果はある範囲にわたる平均の値を示すものであること、などの長所がある。もっとも適切な決定法は、汲み出し法注4）であると考えられているが、この辺の事情は必ずしも周知されていない。

従来、工事に先行する事前調査の段階にあっては、地下水の評価に関する一連の調査は軽視される傾向があり、方法等についても周知されていない面もあった。また、現場における揚水試験の結果から、必要な数値を求める方法は、相当のコストと技術および経験を要することから、低コストによって簡略に数値の求められる室内法のあるものが、その適用し得る条件等について、格別の考慮もないまま用いられてきた。

とくに、最近では土の粒度組成から、透水係数をみちびく、いわゆる間接法が、各所で用いられるようになってきた。

この実験報告は、いわゆる間接法について、適用し得る限界を検討することを目的としている。



第1図　　透水係数の各種の決定法（WENZEL 原著、山本荘毅[2]修正訳出）

---

*）受託研修生、千葉市消防局より派遣

注1）coefficient of permeability　注3）fild methods
注2）laboratory methods　注4）discharging well methods

2. いわゆる間接法について

土は大きさの異なる無数の粒子の集合によって構成されている。

この粒子（土粒子という）の径（粒径という）が揃ったものであるか、不揃いのものであるか、また、大きな粒径が卓越するか、逆に小さな粒径のものが多くの部分を占めるか等によって、土の物理性が異なってくる。

JIS A-1204 では土の粒度試験方法が定められている。この方法は74μより大きな試料の粒度については篩分けにより、また、74μより小さな試料（標準網篩74μを通過した試料）の粒度は比重浮秤による測定方法によって求めるものである。

粒度試験の結果は、半対数用紙の対数目盛に粒径を、算術目盛に通過重量百分率をとって図示することにより、いわゆる粒径加積曲線が得られる。その結果の一例を**第2図**に示す。

土粒子の粒径が透水性に関係をもつことは古くから注目され、土の有効径と空隙率[注1]を得て、HAZEN (1892)、SLICHTER(1899)、TERZAGHI(1925)らによる実験式が提示され、FRASER(1935)[3]がこれらを集成し、TOLMAN (1937)[4]は成書として紹介した。国内においても山本荘毅(1953)[2]によって検討が加えられた。

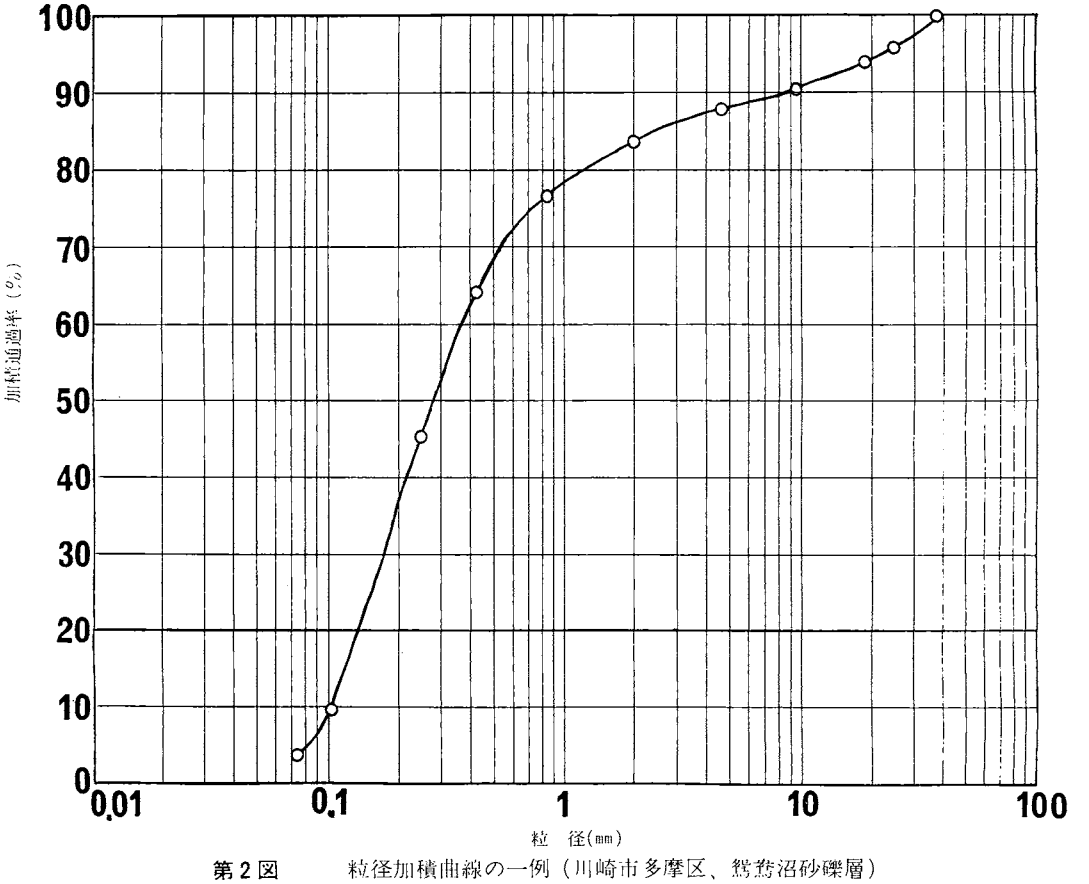
このうち、従来からよく用いられてきたHAZENの実験式についてみると、

$$K=C\ (0.7+0.03t)\ de^2 \quad (\mathrm{cm/sec})$$

ここに、Kは透水係数、Cは46～150の間を変化する係数で、tは温度である。deは有効径でJIS A-1204の10%粒径に相当し、通常D_{10}と表示する。第2図の例では、ほぼ0.1mmに近似する。

一方、CREAGER (1945)[5]は透水係数に影響する因子として、a)粒子のサイズ、分布、b)空隙率または間隙比[注2]によって測定される物質の密度、c)水温、d)有機物の存在、e)コロイド物質の存在、等を掲げたが、粘土の透水係数の値は、通常、たいして問題にならない程小さいことから、D_{20}（20%粒径）の値を用いて、粘土から細砂に至る、いろいろな土質の近似的な透水係水をみちびく表を作成した。

第1表に示したものがCREAGERによる表で、この表は水成堆積物からなる野外における平均的な状態を表わし、結果は、ザネスビル、フォートペック、キン



第2図　粒径加積曲線の一例（川崎市多摩区、鴛鴦沼砂礫層）

第1表　20%粒径にもとずく種々の土質における透水係数の近似値（CREAGER [5]による）

20%粒径	K(cm/sec)	土質分類
0.005	3.00×10^{-6}	粗粒粘土
0.01	1.05×10^{-5}	細粒シルト
0.02	4.00×10^{-5}	粗粒シルト
0.03	8.50×10^{-5}	
0.04	1.75×10^{-4}	
0.05	2.80×10^{-4}	
0.06	4.60×10^{-4}	極細粒砂
0.07	6.50×10^{-4}	
0.08	9.00×10^{-4}	
0.09	1.40×10^{-3}	
0.10	1.75×10^{-3}	
0.12	2.60×10^{-3}	細粒砂
0.14	3.80×10^{-3}	
0.16	5.10×10^{-3}	
0.18	6.85×10^{-3}	
0.20	8.90×10^{-3}	
0.25	1.40×10^{-2}	
0.30	2.20×10^{-2}	中粒砂
0.35	3.20×10^{-2}	
0.40	4.50×10^{-2}	
0.45	5.80×10^{-2}	
0.50	7.50×10^{-2}	
0.6	1.10×10^{-1}	粗粒砂
0.7	1.60×10^{-1}	
0.8	2.15×10^{-1}	
0.9	2.80×10^{-1}	
1.0	3.60×10^{-1}	
2.0	1.80	細礫

グスレー、クアビン、の各ダムでの数百の浸透試験[注3]にもとづいたものであるとされている。

ただし、この表の数字は、きわめてあらい、およその数字を示したものであるとされており、作者自身、粒径サイズや分布は透水係数を決定する第一の因子となること、一方、密度や水温は十分な効果を有すること、他の条件が同一であれば、水温が高い程地下水流量が増し、土質が密な程、減少すること。などを指摘し、この表では、これらを考慮していないことを明記している。

3. 問題のありか

土の粒径分布から透水係数をみちびく方法は、実験式、または実例から作成した表（経験値）によって決定される。

この場合、原著者はいずれも関連する多くの要因を指摘し、前提となる条件または数値を示して、ある幅をもった解釈をしている。

前掲のHAZEN の実験式の場合についてみれば、係数Cは均質な粒子の場合150、ゆるい細砂の場合116，よく締まった細砂の場合70、大小の粒子が混ざった砂で60、非常に汚れた粒子で46、を例示している。

一方、CREAGER は式を示したものではないが、前述のように、およその目安であることを述べ、注意をうながしている。

HAZEN の式にいう係数Cが土の性状で定められるものならば、ボーリング等によって採取された試料の本来の性状が明らかでない場合、または粒径加積曲線の結果のみしか与えられなかった場合、解釈には必然的に数値に幅が要求される。

第3図はボーリングによって採取した試料について粒度試験を実施し、D_{10}の値を用いて、HAZEN の式によりCを46から150まで変化させた場合の透水係数Kの数値の幅を示したものである。また、CREAGERの作成した表（第1表のもの）から得られる透水係数の値もあわせて示したものである。

この結果から、おおまかな傾向としては一致しても、細部の値については多くの問題が残されよう。

一方、工事の設計等、最近の適用例をみるとき、前提となる諸条件については、深く考慮することなく、若干、便宜的な使われ方をしている事実を指摘しなければならない。

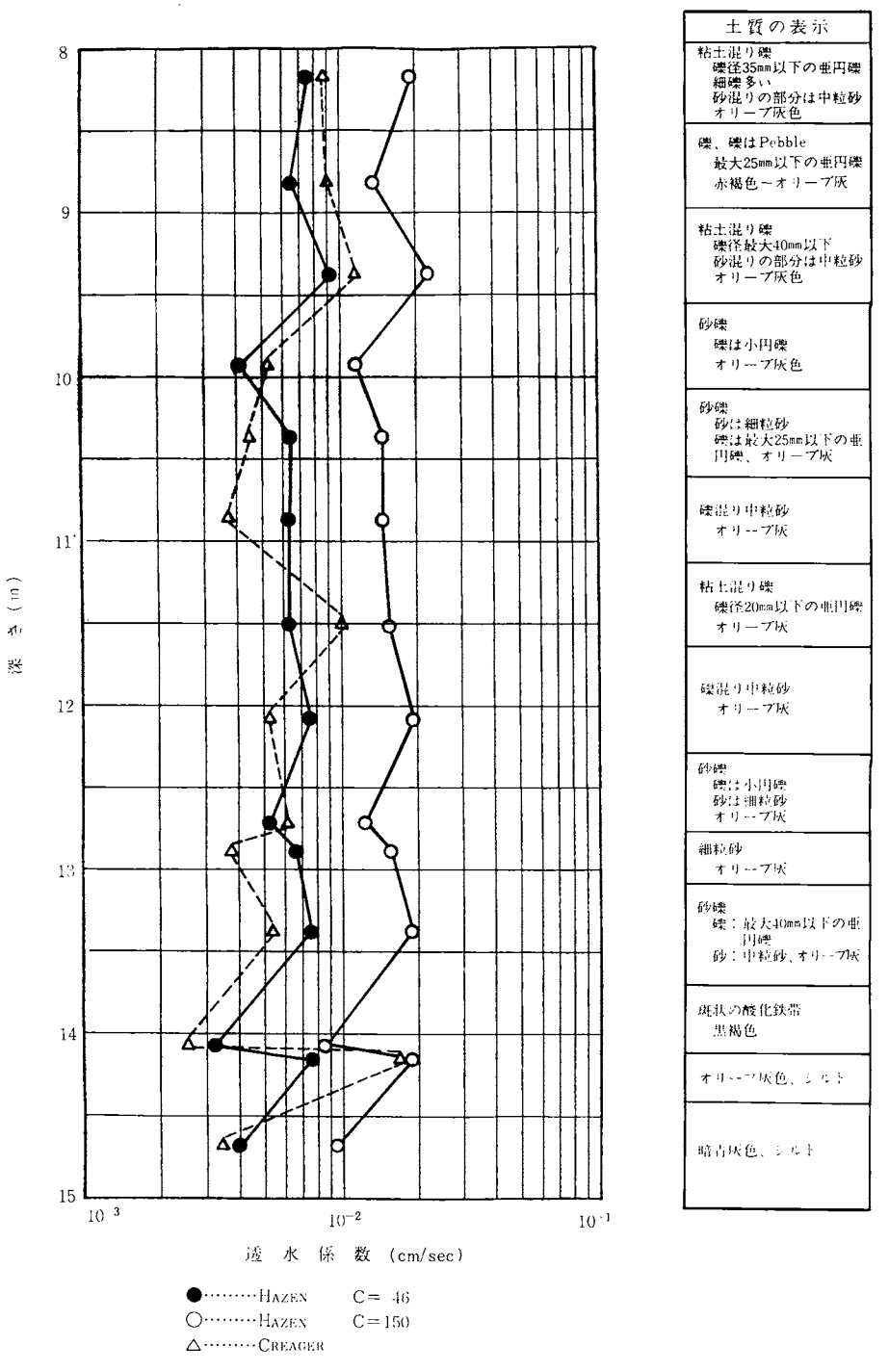
このことは、問題の性質上、1つの決定した数値を必要とする立場に起因するものとも思われるが、たとえば、HAZEN の式を簡略化して、土の条件に関係なくCを一定のものとして扱ったり、CREAGER の表について、原著のただし書きを無視して、すべての場合に適用できるよう取扱ったりすること等である。

これらの多くが、原著や専門書からではなく、普及書として刊行されたマニュアルによって利用されだしたことは、あまり望ましいことではない。

とくに、最近ではHAZEN よりも CREAGER が好まれることの背景には、D_{10}よりもD_{20}の方が粒度試験に

注1）porosity　　注2）void ratio

注3）percolation tests: 試験の内容については不明である。通常、原位置での揚水試験の場合には、pumping test または aquifer test が用いられている。



第3図　HAZEN と CREAGER の方法によって求めた透水係数の垂直分布
（川崎市多摩区、鷺沼砂礫層）

おいて容易であること。第1表に掲げたCREAGERの表は両対数紙上にプロットするとき、ほぼ直線上に乗ることから、細部の値を特定しやすく、ときには外挿して用いる等の拡大された便宜を得ること、などが指摘できる。

いずれにせよ、設計者にとっては、そう苦労することなく、設計に必要な数値を簡略に確からしく得られる印象を持つことができること。しかも、ある広がりを持った数字ではなく、単一の数値が得られることなどで、今後も重宝されるものと予想される。

今後は普及書のあり方も反省して、正確な資料が伝達されるよう望まれる。

この報告では、さしあたり急がれるべきものとして、CREAGERの表について、その適用し得る範囲を明らかにするための実験について、結果の一部を報告しようとするものである。

4. 実験の方法

この実験では、いわゆる間接法としてのCREAGERの方法について、適用し得る限界を把握するため、第一に、粒度分布の相異が透水係数をどのように変化させるものであるのかを知り、第二には、同一の粒度分布ではあっても土の密度を変化させた場合、換言すれば締め固め状況の相異がどのように影響するかを明らかにしようとするものである。

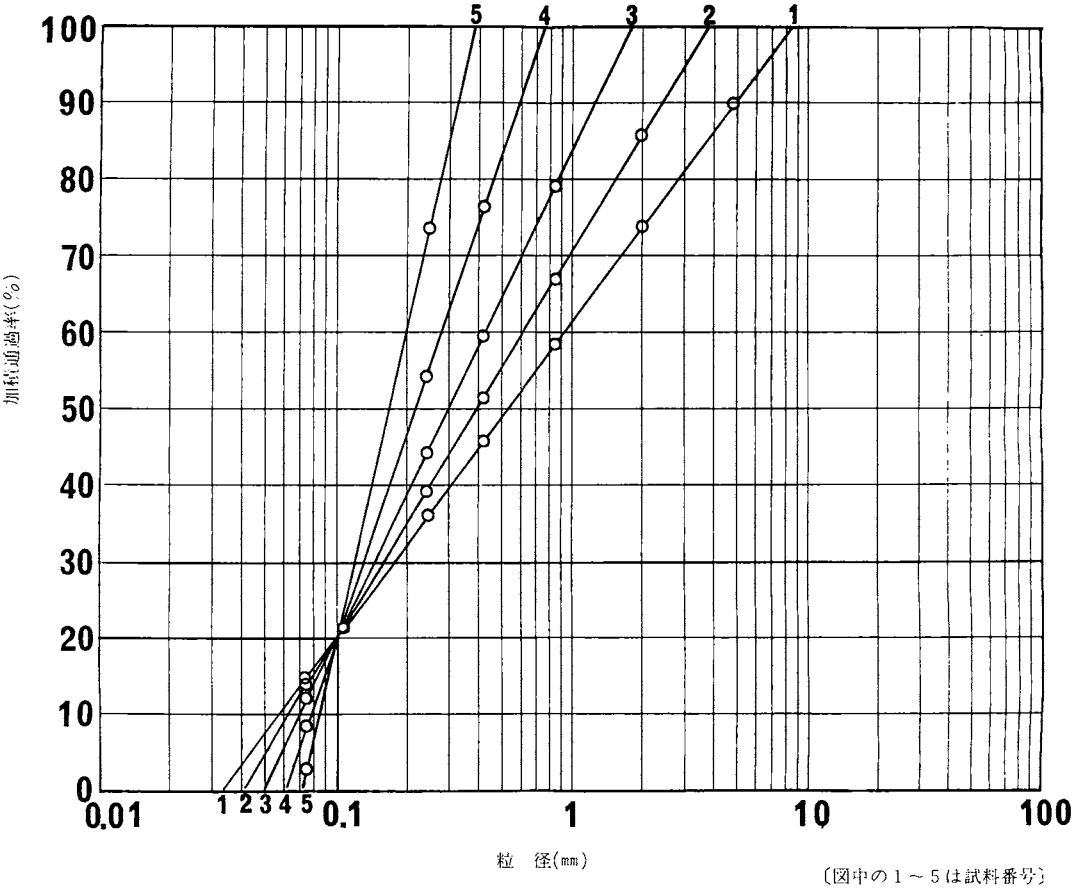
第一の問題に対しては、D_{20}がつねに一定の粒径を示す、いくつかの試料を調整し、これを同一の条件のもとに締め固めを行ない透水実験を行なうものとする。

第二の問題については、粒径加積曲線の同一な試料について、締め固め条件を変えて透水係数の変化を知ろうとするものである。

第一の問題を解決する手段として、**第4図**に示すような粒径分布となるように意図的に試料を調整した。

試料として用いた砂は、第3図に掲げた自然の砂礫層の土質であって、これを篩分けによって、粒径を区分した試料を作り出し、各粒径に区分された試料を必要量づつ混合して、目的の試料となるように調整した。

第4図から、いずれの試料もD_{20}は0.1mmに相当し、



〔図中の1～5は試料番号〕

第4図　実験に用いた試料の粒径加積曲線

CREAGER の表からみると、透水係数Kは、1.75×10^{-3} cm／secと得られなければならない。

調整した試料については、水分を変えつつ、一定の条件で突き固めを行ない、含水比の変化に伴う乾燥密度の変化の特性をJIS A-1210に定められた締め固め試験の方法によって求めた。この結果を**第5図**に掲げる。

使用したランマーは2.5kg、モールド内径は10cm、突き固め層数は3層、各層当たり突き固め回数を25として試験を実施し、第5図の締め固め曲線を得た。

締め固め試験の結果をもとに、5種の試料についていずれも最大乾燥密度の90～95%の範囲となるように含水比を定めて、再度、同様な突き固めを行ない、透水係数を測定するための試料を作成した。

透水試験は、いわゆる変水位の試験方法を採用し、試料円筒は前記の突き固めに際して使用したモールドをそのままの状態で利用した。

本報告では、これらの実験のうち、第1の問題についての結果を述べる。

5. 実験の結果

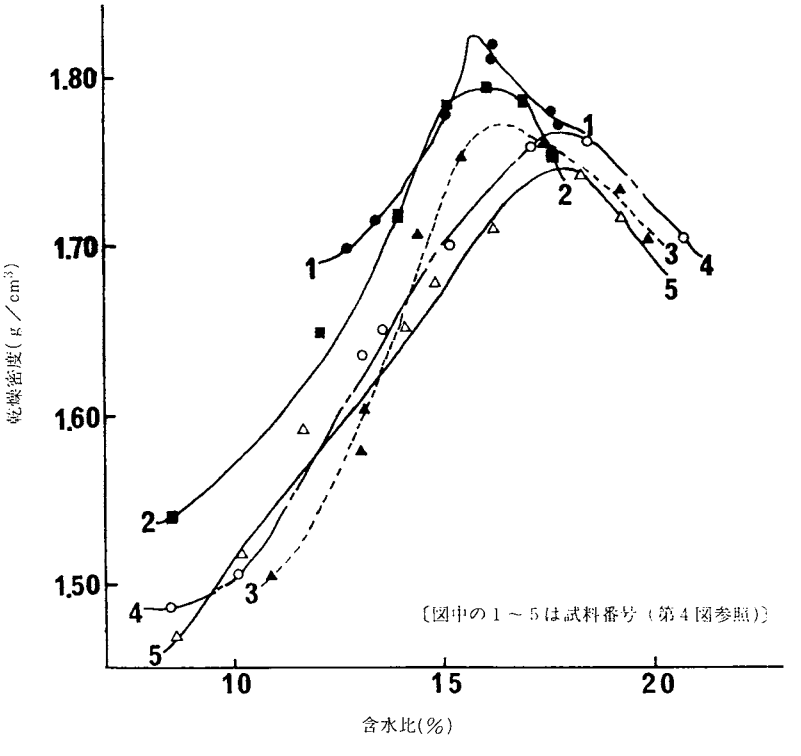
実験の結果を**第2表**に掲げる。この結果から、1)粒径組成が均一化するにしたがい、密度は小さくなり、透水係数は大きくなる傾向にあることがわかる。2)CREAGER の表わした数値、1.75×10^{-3} cm／secに対し、実に2～3桁も小さい値となっている。

このことから、CREAGER の数値はかなり相対密度の小さい条件のもとでの数字であろうと推定されるし、あるいは粒径組成についても格別に均一化された試料によっているものかもしれない。

透水係数が、一般に、数値に大きなバラツキを伴うことは、経験的に理解しているが、このように大きなひらきがあるということは例をみない。

このことは、CREAGER の数値は、締め固めという操作をほとんど行なっていない状態の試料によるものであって、モールド内に砂をそそぎ込むといった程度の、ゆる結めの状態での透水係数を示したものではないかと考えられる。

この実験で取り上げたところの締め固めの方法は、前掲のとおりであるが、これらの条件は決して過重な突き固めを行なったものではない。JIS に掲げられている方法の中では、もっとも突き固め程度のゆるい方法によったものである。



第5図　実験に用いた試料の締め固め曲線

第2表　透水試験に用いた試料の状況と透水試験の結果

試料の番号	1			2			3			4			5		
試料直径 (cm)	10.0			10.0			10.0			10.0			10.0		
試料長さ (cm)	12.8			12.8			12.8			12.8			12.8		
湿潤密度 (g/cm³)	2.07			2.05			2.01			2.00			1.98		
含水比 (%)	15.53			15.60			15.46			16.65			15.91		
乾燥密度 (g/cm³)	1.79			1.77			1.74			1.71			1.71		
測定時間 (sec)	3720	4140	4140	2400	2100	1500	600	900	600	1800	1500	1800	1500	1500	1800
初期水頭 (cm)	76.8	70.1	64.3	76.8	70.1	64.3	70.0	80.0	75.0	70.0	75.0	82.0	70.0	75.0	79.0
終期水頭 (cm)	51.9	49.2	49.6	51.9	49.2	49.6	36.2	30.1	39.0	38.9	46.8	45.9	30.9	33.1	29.9
透水係数K (cm/sec)	3.6×10^{-6}	2.8×10^{-6}	2.1×10^{-6}	5.7×10^{-6}	5.6×10^{-6}	5.5×10^{-6}	4.0×10^{-5}	4.1×10^{-5}	4.1×10^{-5}	1.2×10^{-5}	1.1×10^{-5}	1.2×10^{-5}	1.9×10^{-5}	1.9×10^{-5}	1.9×10^{-5}
平均値 (cm/sec)	2.8×10^{-6}			5.6×10^{-6}			4.1×10^{-5}			1.2×10^{-5}			1.9×10^{-5}		

したがって、この実験結果からみても、自然の状態から採取した試料を、ときほぐし、粒度分析の結果から透水係数を得て、これを自然の状態のものとみなす方法は、適切なものとは言い得ないと考える。

6. あとがき

この報告では、第一の問題として掲げた、粒度分布の相異が透水係数をどのように変化させるものであるかという点についての実験結果を報告した。その結果、傾向としては把握し得たが、問題としたCREAGER の数値とは、すでに、かなりかけ離れたものとなった。

この点に関しては、第二の問題とした、同一の粒度分布のもとで、試料の密度の変化と透水係数の関係を知る必要がある。現在、比較的粒度の整った石英砂を用いて実験中である。これらの結果については別の機会に発表する予定である。

また、試料を乱さない状態で（自然の状態そのままで）採取したものについて行なった透水実験から得られた透水係数と、CREAGER の値との関係についても、今後、検討を行なうべきものと考えている。

参考文献

1）WENZEL ,L.K.(1942)：Methods for determining permeability of waterbearing materials. *U.S. Geological Survey Water-Supply Paper*,887

2）山本荘毅(1953)：地下水調査法、古今書院

3）FRASER ,H.J.(1935)：Experimental Study of the Porosity and Permeability of Clastic Sediments, *Jour. Geol.*, vol. 43, no.8, p.910～1010,

4）TOLMAN , C. F. (1937)：Ground Water, McGraw-Hill, New York and London,

5）CREAGER , W.P., JUSTIN , J.D.and J.HINDS , (1945)：*Engineering for Dams*, Vol.III, Earth, Rock-Fill, Steel and Timber Dams, John Wiley & Sons, Inc. New York,

北九州市門司区風師火災に関する調査報告

山　下　邦　博

1．まえがき

昭和54年2月28日（春の全国火災予防運動の初日）の未明、北九州市門司区で火災が発生、強風に煽られて約2時間燃え続け、26棟を焼失させて鎮火した。この火災は急傾斜地にある住宅密集地火災の代表的な例であるのでこれについて現地調査を行い、この種の火災の特徴を明らかにした。

2．火災概要

2·1 出火場所：北九州市門司区風師1丁目3番本多アパート（コの字形に並んだ3棟のうちの空室の多い1棟の部屋から出火した）

2·2 出火日時：昭和54年2月28日（水）　2時10分頃

2·3 覚知時刻：昭和54年2月28日（水）　2時18分（119番）

火元南側の崖上の家から「風師郵便局の近くが火事です」という通報が119番にあった。

2·4 延焼阻止・鎮火日時

延焼阻止時刻　昭和54年2月28日　3時55分

鎮火時刻　昭和54年2月28日4時22分

2·5 出火原因：不明

2·6 出火時の気象状況

天候：雪、風向：西、風速　11.8m/s

気温：4.3℃、湿度：59%

（風雪波浪、異常乾燥注意報発令中）

2·7 被害状況

焼失家屋　全焼23棟

部分焼3棟

焼失延べ面積　2114m²

全焼世帯　36世帯90人

部分焼世帯2世帯3人

死者　0人

負傷者　4人（消防職員3人、市民1人）

2·8 消防隊火災出動と出動人員、車輛

第1出動（4台）		2時18分
第2出動（4台）		2時26分
第3出動（6台）		2時36分
特命出動（2台）		3時15分
出動人員	消防署	86名
	消防団	123名
出動車輛	消防署	25台
	消防団	10台

3．火災の特徴

3·1 急傾斜地上の木造密集地火災

被災区域は、関門海峡に面した北西向きの急傾斜地で、南側は西鉄市内電車軌道に、また北側は国鉄鹿児島本線に挟まれた幅約30m、長さ90mの帯状の領域である。この傾斜地に老朽木造住宅が密集して建ち並んでいて、建ぺい率は高く、空地には可燃物が山積されていた。道路は曲りくねった急坂の石段であり、そのうえ非常に狭く、出動した車輛の全てが被災区域内に進入することはできなかった。火元は急傾斜地の一番低い位置にあった。北西または西の強風に煽られ、火災は斜面地を斜め上に向って急激に拡大した。被災区域の火災前線の概要を図1に示す。

2時18分に火災発見の通報があり、直ちに第1出動の指令により4箇分隊が出動した。出動途中において現場100m近くにさしかかった時点（2時26分）で火炎を認め、小隊長より第2出動指令の要請が出された。先着隊が現場に到着した時点（2時27分）では火元の本多アパートは既に焼け落ちて朝鮮会館下方全体が火の海になり、上方及び東側方面に拡大中であった。このため、消防隊は付近住民に対して避難の指令を出すとともに避難誘導を行いながら、火点包囲の隊形をとって、放水を開始した。火災が拡大したため朝鮮会館東側の路地（幅約1m）を第1次延焼阻止線に決定して筒先を集中させた。しかし、そこは道路が急坂で狭いうえに、強風下の火災風下の正面に位置したため消火作業が思うように捗らなかった。そのうち火災が更に拡大して煙と熱気による人命危険が高まったので、

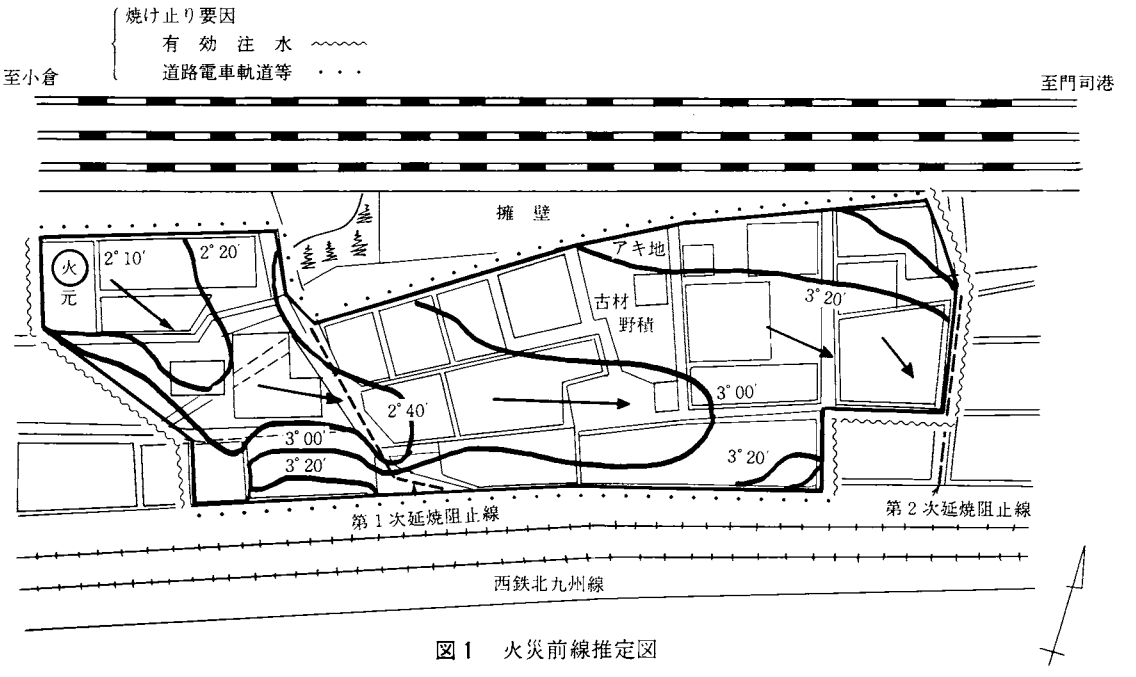


図1　火災前線推定図

撤退を余儀なくされた。消防職員がこの路地での消防活動中に顔面に火傷を負っているが、この地点での火災の拡大と煙の来襲は激しく、新聞（読売新聞、3月3日付）では走炎現象として紹介された。この路地は傾斜地の上方に位置しており、また、朝鮮会館（一部地階あり）とその他の建物の影響を受けて熱気と煙が路地に集中した。このため火災がこの路地を突破するときには、風下側の複数個の建物の外壁全体に瞬時にして延焼着火した。先着隊がこの路地に進入して消防活動を行っていたが、呼吸器を取りに行って帰って来る間に進入が不可能になっていた。この路地に熱気と煙が集中した1つの理由は、火災が急激に拡大する時期に当っていたこと、そのために可燃性ガスを含んだ多量の煙が発生し、それが地面に沿って流れたためである。火災の拡大に伴って、第3出動と特命出動が指令されるとともに現場指揮本部が設定されて消防体制が強化された。これと相前後して、消防隊は被災区域の南側の電車軌道と第2次阻止線の路地に集結した。鹿児島本線を横断してホースを展長した隊員を含めて路地に進入した隊員の安全を守るために2重の援護注水を行いながら防御活動を続けるとともに、周辺家屋への飛火警戒を行うことによって、ようやく出火から約2時間後に延焼阻止に成功した。被災区域の風下付近の住民は出火まもない時期から煙と火の粉が多くきたため、避難の準備をするとともに消防隊に協力して飛火警戒にあたった。周辺住宅に空き家が多くかつ住宅の周辺に枯草があったので飛火発生の可能性もあり町内会が中心になって、寝ている人を起こして飛火警

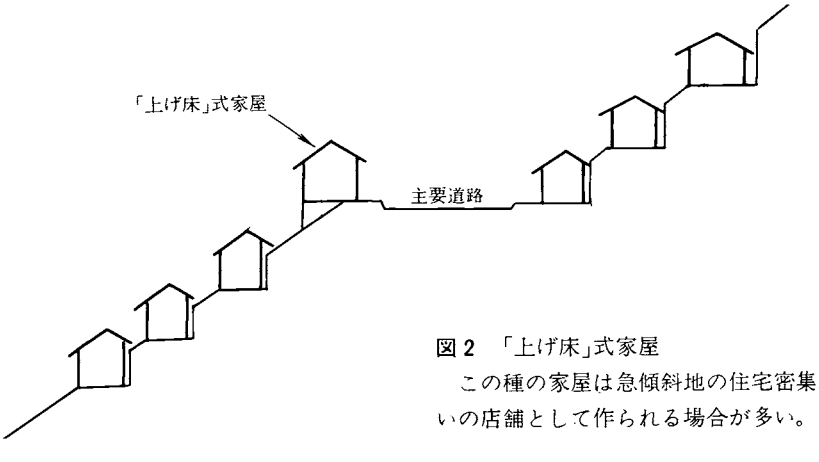


図2　「上げ床」式家屋
この種の家屋は急傾斜地の住宅密集地で主要道路沿いの店舗として作られる場合が多い。

戒にあたるように呼びかけ、バケツに水を入れたり、水道水を屋根にかけて警戒した。電車軌道の南側の住宅群は、被災地より更に高い位置にあり、かつ消防活動のために水道の水圧が下がったこともあって火災の途中で水が出なくなった。火災の鎮火直前に電車軌道沿いの南側空き家の裏側屋根が燃え出したが、発見が早くて大事に至らなかった。被災区域内の電車軌道沿いの建物は、急傾斜地に立てられた店舗で、**図2**のように「上げ床」構造になっているものが多い。このため火災が下方から接近してくる場合には防火的に弱く、これらの建物が林立していたことが延焼を促進させた1つの要因でもあったと思われる。

3・2 天候が悪化した日の火災

昭和51年の10月29日に酒田市大火があった。その冬は、この大火が引き金になったかのように、この地方で火災が多く発生した。その理由は例年に比較して非常に寒い日が長く続いたことによると思われる。この例のように火災の発生がその年またはその月（日）の気象に関係していることがしばしばある。風師火災の出火原因が不明であるため、火災の発生と直接気象を結びつけることはできないが、火災の発生した日とその前後の天候の変化を考えると火災の発生、拡大と無縁でなかったように思われる。火災発生日及びその前後日における最低気温（北九州市）と北九州市及びその周辺区域における各日ごとの火災発生件数を**表1**に示す。2月21日から26日まで比較的暖かい日が続いていたが、27日の夜から冬型の気圧配置が強まり、火災発生当日の2月28日には最低気温が0℃となって急に寒くなった日である。この日の火災発生件数は福岡市では余り増加していないが、北九州市と久留米市で増加していることが**表1**からわかる。気温が急に下がる日には火気を取扱う頻度が高くなり、その上火気の使用法が悪いことなどのため出火件数が増加すると思

表1　風師火災当日（2月28日）及びその前後日の出火件数と気象状況

	最低気温（℃）	最低湿度（%）	北九州市	福岡市	久留米市
2月21日	11.0	78	3	2	0
22日	13.0	83	0	1	0
23日	11.0	87	2	0	0
24日	8.5	52	1	0	0
25日	5.0	58	1	0	0
26日	6.0	38	2	0	0
27日	1.5	22	0	1	0
28日	0.0	33	4	1	1
3月1日	2.0	27	0	1	0
2日	3.5	53	0	1	0

われる。火元となった本多アパートには空き部屋が多く浮浪者あるいはシンナーを吸っていた青少年が普段から出入りしていたということである。火災当日に、これらの者が暖をとるためにアパートに入り込んで火気を使用し、その火の不始末が火災発生の要因になったとの説もあった。この説が正しければ火災の発生が気象条件の変化に密接していたことになる。火災現場は地形の起伏が著しい場所にあり地形の影響を受けて局地風が吹いたと思われる。火災現場付近に風向風速の観測場所がないため、周辺にある観測所の記録から推定せねばならない。観測場所として、下関地方気象台、門司消防署、門司観測局(大里)、小倉北消防署等がある。下関地方気象台の記録によると、風速は2月27日の夜8時頃から強くなり28日の夕方までは西または北西の強風が吹いた。各地点の風向風速の記録は風速の大小に幾分違いがあるが、およその傾向は類似している。火災継続中（2時10分～4時22分頃）において一般風は西よりの強風であったが、風向は西から北西の範囲で変化したため、火災の拡大方向と火の粉(煙)

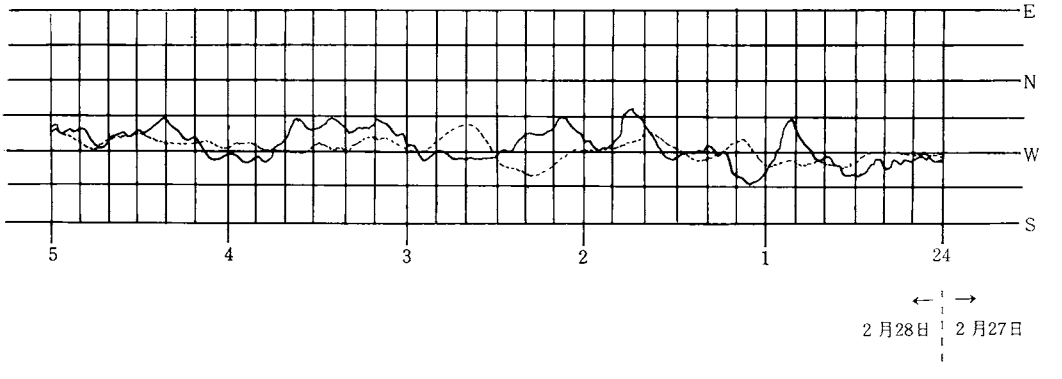


図3　火災当日の門司観測局(大里)の風向記録(点線は老松公園の記録)

の飛散方向が変わった。火災現場に近い観測所のうち、平均風向の時間変化が明確なものは火災現場から南南西に約5km離れた門司観測局（大里）の記録（風速の記録はない）であり、それを**図3**に示す。この記録によると2時10分頃（出火当時）には風向は北西であったが、徐々に西に変り2時30分頃から2時55分頃までは西の風になった。しかし、その後また徐々に西から北西に変り、3時頃から3時40分頃まで北西の風が卓越した。九州北部の他の地点の風速記録によると風向が北西のときに限り風速が特に強かった傾向がある。北西の風は被災地になった傾斜地をほぼ正面に吹き上がるのに対し、西風は傾斜地を斜めに吹き上がる風であり、火災防御活動と延焼方向に大きな相違をもたらす。火災現場においても門司観測局（大里）と同じ方向の風が吹き、かつ時間変化も同じであったと仮定すれば、火災の拡大状況は以下のようになる。

出火当時には一般風は傾斜地を吹き上がっており、火災は火元から朝鮮会館の方向に延焼していたが、火災が第1次阻止線になった路地を突破する頃には西よりの風に変っており、その路地が火災の風下正面になり路地での延焼阻止を困難にさせた。火災はその後20分位で西風に煽られて一気に被災地全体に広がったが第2次阻止線に到達した頃から風向が北西に変った。消防隊員が進入した路地が火災の風横に位置することになり、消防隊の延焼阻止活動を容易にならしめた。

この説の妥当性を確認するため、煙と火の粉の拡散方向を被災地の風下の住人の証言をもとに調べた。それによると火災初期の風向変化（北西から西へ）を支持する証言は得られたが、火災後期の風向変化（西から北西へ）を支持する証言は得られなかった。第2次阻止線になった路地は、幅員1.5m程度で極端に狭いため、強風下の街区火災は到底阻止できないと思われるが、ここで阻止できたことは特筆すべきことである。

これは早期に現場指揮本部が設置され、指揮体制が強化されたことにより消防隊の総力を結集することができたこと等による。その状況下において風向が西から北西に変化して路地での消防活動を助けたように思われるが、風向変化があったかどうか火災現場の風向であるだけに判然としない。

3·3 火災に対する住民の反応調査

北九州市消防局と門司消防署では火災発生後数十日して、被災区域とその風下側の人を対象にして、(1)火災の覚知経路、(2)火災覚知時の火災状況、(3)火の粉の飛散状況、等について面接調査（129世帯）を実施した。その調査から得られた覚知経路の状況を**図4**に、火点からの距離別の覚知経路を**表2**に示す。**図4**のように

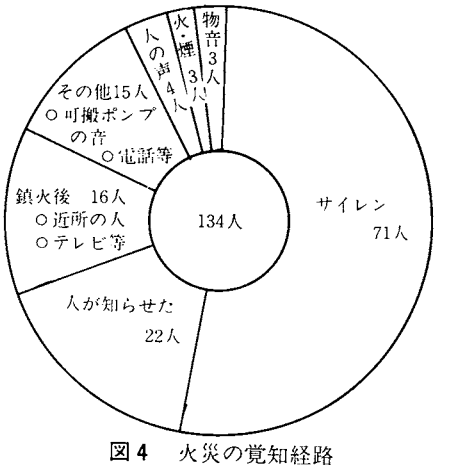
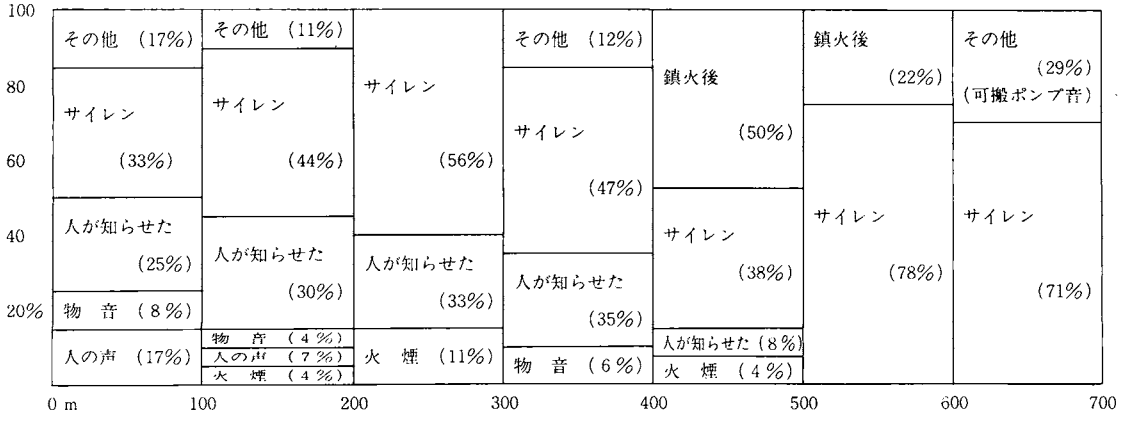


図4　火災の覚知経路

表2　距離別覚知経路



火災の発生をサイレンで知った人の割合は50%以上になるが、この割合は**表2**のように火点からの距離によって異なる。火点から離れた区域ではサイレンで覚知する人の割合は大きいが、火点に近い区域ではその割合は小さくなり、100m以内では覚知の割合はサイレン（33%），人が知らせた（25%）、人の声（17%）、物音（8%）、その他（8%）の順であった。酒田市大火の場合についても火元付近の人を対象にして類似の調査が行なわれている。その結果ではサイレン(37.7%)、人の騒ぐ声（31.1%）、実際に火を見て（12.1%）テレビ（4.6%）、電話（4.2%）、その他（11.3%）となっている。火災の覚知経路は火災の発生時刻によって大きく変る。風師火災の場合には消防隊の先着隊が少ない人数をさいて火元付近の住民に対し火災の発生を知らせて回った。これとは別に町内会が中心になって各世帯に知らせたということであり、そのために「人が知らせた」割合が高くなったと思われる。この例のように、町内会の役割は火災の覚知と飛火警戒において非常に重要であることはいうまでもないが、消防隊員が火災現場において火災の発生伝達、飛火警戒及び避難について町内会の責任者を適切に指導して町内会組織を100%活用することも大切である。今回の調査区域では消火器の普及率は38%で他の区域よりも低い。この普及率は防火意識の高低を表わす一つのバロメーターと考えられるので、普及率の特に低い地区に対しては、火災危険区域に指定するなどの方策をたてることが必要かもしれない。

まとめ

この火災から得られる教訓として次のものがある。

1．傾斜地火災の特徴と消防活動上の障害を明確にし、その障害に対する方策を確立すること。
2．鉄道沿線及び電車軌道沿線の火災に対して、初期火災対策について関係者間で密に協議すること。
3．火災危険区域等の指定区域を見直すこと。
4．急傾斜地にある密集木造建物を防火的にするとともに「上げ床」構造家屋をなくすこと。
5．気温が非常に低下し、かつ強風が吹いている日には火災警戒を強めるとともに出動体制を強化すること。
6．空き家の出火防止策を講じること。
7．傾斜地密集地火災で消防隊が高所より下方に進入する際には、火災拡大が速くなることを予測すると共に退避路を確認しておくこと。

参考文献

1．北九州市消防局：傾斜密集地火災：ALLOO－119　7月号 Vol　23(1979)
2．酒田市：酒田市大火の記録と復興への道

（謝辞）
この火災の調査にあたっては北九州市消防局の方々に終始御協力を頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

月例研究会・報告会

昭和53年11月～昭和54年9月

石油タンク間の延焼におけるタンクの高さの影響

湯本太郎（危険物研究室）11月2日

タンク間距離は延焼に対し重要な因子であるので、これまで直径、高さともに1mのオープンタンクを使い、タンク間距離だけを変え実験を行なってきたが、タンクの高さの延焼に対する影響は、まだ調べていない。

一方、タンク間の延焼は現象が過渡現象である上、下限界着火、温度こう配を持った不均一な蒸気濃度の中の火炎伝ぱと言った非常に不安定な要素を持っているため、データのバラツキが大きく、結果の解析にはかなりのデータが必要となってくる。

そこで今回は実験条件の整え易さと、できるだけ実験回数をふやす事から、1mのタンクを使わずに、直径6cmのステンレス製容器を模型オープンタンクとし、タンクの高さを最高5cmまで変化させ、延焼におけるタンク高さの影響を調べた。

燃焼タンクと隣接タンクとの距離は1.8、4、5、6、8cmの5通りとし、燃料はn－ヘキサンを使った。

延焼するまでの時間はタンクの周りに配置した放射計の出力の急激な変化から求めた。タンク間の温度分布を直径0.1mmの銅・コンスタンタン熱電対を多数使って調べた。このほか、タンク間の蒸気の流れおよび熱気流の様子をカラー・シュリーレン法によって観察した。

結果はタンク間距離が同じでも、タンクの高さが高い程、延焼するまでの時間がかかることが分った。この実験範囲では火炎伝ぱの道すじは、タンク間距離とタンク高さから得られる楕円の半周（L）で近似され、延焼するまでの時間はLの5乗に比例することが分った。

有風下における火災上昇気流の傾きに関する一考察

山下邦博（火災物理研究室）11月2日

水平気流中における垂直高温噴流の主軸を有効速度比の関数として表わす手法を用いて、有風下における火災上昇気流の傾きを表わすことを試みた。垂直高温噴流の代表運動量は噴流吹出口の値が利用されるが、火災上昇気流では火炎先端の値を採用することとした。水平気流の平均運動量を求める場合は風速プロフィールのべき法則（$U \propto Z^{\frac{1}{n}}$）が成立するものとして対象範囲の平均高度の風速から計算した。有効速度比は火災上昇気流の運動量と水平気流の運動量の比の平方根であり、速度比の他に密度比も関係し、$J=(\rho_f u_f^2/\rho_o u_o^2)^{\frac{1}{2}}$で表わされる。

種々な火災実験の結果から、火災上昇気流の傾き（$\tan\theta$）と有効速度比の関係及び火炎長とフルード数の関係を両対数目盛のグラフで調べた。その結果は次式で近似された。

$$\tan\theta = 0.92\,J^{\frac{3}{4}} \qquad \text{———(1)}$$

$$L/D = 8.14\,Fr^{0.22}\cdot\left(\frac{\dot{m}''^2}{\rho_a{}^2 g D}\right)^{0.32} \qquad \text{——(2)}$$

一方、$u_f = 0.36\times(2gL(T_f - T_a)/T_a)^{\frac{1}{2}}$とする。

上昇気流の傾きは、(1)式のように有効速度比の関数として表現される。有効速度比がフルード数の関数として近似的に表わされることから、傾きもまたフルード数の関数で表わされる。

このモデルでは上昇気流の代表風速として火炎先端の値を用いたことから火炎長が重要になり(2)式のフルード数の指数が上昇気流の傾きに強く左右した。最終の関係式は、上昇気流の傾きが$Fr^{-\frac{3}{8}}$に比例することを示し、横井の式（$\tan\theta \propto Fr^{-\frac{1}{4}}$）と異なった。

圧縮空気配管系での爆発事故の解析—潤滑油の発火とフィルムデトネーション

長谷川和俊（危険物研究室）11月16日

昭和53年4月16日、日本硝子(株)横浜工場において、空気圧縮機および全長500m以上のその主配管系（圧

縮空気圧力：3.2kg/cm²G）全域にわたる20数個所での爆発および破裂事故があった。本報はその原因および爆発過程の解析である。空気圧縮機吐出弁の不良、吐出圧縮空気温度の解析、潤滑油の発火温度についての検討などを行ない、発火過程を明らかにした。次に、主配管系の爆発について、高圧力の発生、高速現象、直進性、反射衝撃波などフィルムデトネーション特性との対応付けを明らかにし、フィルムデトネーション生起を結論付けた。（長谷川：安全工学、Vol.18、No.4 P.216(1979)参照）

初心者による消火器の取扱い

山鹿修蔵（消火第２研究室）**11月16日**

消火器は人間によって操作されるものであるので、消火器の取り扱いは習熟により上達することが十分予想される。ここでは模擬火災に対する消火作業で、作業が回を重ねるごとにどの程度上達して行くものかどうかについて使用経験のない人を対象として調べた。

実験は一辺63cm、面積4000cm²のノルマルヘプタンの四火災を消火させた。使用した消火器は炭酸水素ナトリウム主剤の粉末消火剤2.6kgをいれた重量約5.2kgの蓄圧式のもので、放射時間約15sである。被実験者は経験がないので、計３回の試練のうちに適宜必要な事項を教え乍ら、作業のやり方を観察し、消火剤の使用量と消火時間を測定した。

結果は同一人であっても必ずしも消火時間が短かくなるばかりではないので、２回目に失敗した例もある。そこで消火の効率を理論値との比で表現して見た。消火は流率と消火時間との関数であるので、同じ消火時間を得る理論値と実験値との比を取って効率とした。その結果供試人員50人について、次の表のような成績となった。

回　数	効　率
第１回	2.07±0.489
第２回	1.79±0.529
第３回	1.73±0.483
全　数	1.86±0.501

迷路における人間の避難行動実験 その１　歩行経路の記憶

渡部勇市（避難安全研究室）**12月14日**

建物内の避難行動の研究は、群集流に関するもの、走行性に関するもの、シミュレーションモデルに関するものがある。これらの研究では、心理的要素を考慮しないで、単に人間の流動として扱かわれており、避難時間の算定等にかなり利用されている。しかし実際の避難行動は、心理的要素が入り、複雑であり、多くの因子に影響される。例えば、初めて入った建物内において出口を見つけることが出来ずに迷ってしまうことなど、たびたび経験することである。

このように避難行動に影響を与えるものとして、流動的因子の他に心理的因子である通路記憶、通路学習等を上げることが出来る。本研究は、建物内の迷行動を解明するために、迷路を利用した人間の避難行動実験を行ったものである。特に今回は、歩行経路の記憶と歩行時の交差点数との関係について求めた。

実験は、ロープを張り巡らして作った27m×27mの格子形迷路を用いた。被験者は、地面だけ見える視界阻止用帽子をかぶり、単独で出発点から迷路内を自由に歩き回り、折り返しの信号（ブザー）が鳴ったら、その時点で折り返し、歩き進んだ歩行経路を通って正しくもとの出発点に戻る。この時、どの程度正しくもとに戻れたかにより被験者の歩行経路の記憶について調べた。

その結果、次のようなことがわかった。

(1) 進行時の交差点数が多くなるに従い、正しくもとに戻ることが困難になり、交差点を三つ曲がると約50%五つ曲がると約80%の確率で正しくもとに戻れなくなってしまう。

(2) 折り返し点、出発点近くの交差点では誤りが少なく折り返し点から四つ交差点を戻った所で、もっとも誤りが多い。折り返し点、出発点近くは憶えやすいが歩行経路の中ほど憶えにくい。

(3) 帰行時に、距離を誤るのが80%、方向を誤るのが17%、距離、方向共に誤るのが３%であり、方向感に比べて距離感は著しく不正確である。

石油タンク底板に生ずる応力
―局部的に盛り土の崩壊を有する場合―

亀井浅道（消火設備研究室）12月14日

石油タンク本体は通常盛り土の上に建設されている。本報は、何らかの原因により盛り土が局部的に崩壊した場合、底板と側板との接手部にどのような応力が発生するかを計算により調べたものである。

その結果、次の結論を得た。

(1) 最大曲げ応力はアニュラー板と側板との接合部に生じ、タンク内側表面に引張り応力が作用する。

(2) 最大曲げ応力は、タンク中心方向崩壊長さが増すと急激に大きくなる。

(3) 最大曲げ応力は、側板に沿う円周方向崩壊長さが増すと一定値に漸近的に増大する。

(4) アニュラー板の板厚を増すと最大応力は急に減少する。

(5) タンク直径、液高を増すと最大応力は、ほぼ直線的に増大する。

乱数を用いた消防署所の配置とその他

寒河江幸平（情報処理研究室）1月11日

格子の数7個、頂点の数14個の不等メッシュに分割した簡単な市街地モデルにおいて、火災発生頻度が、格子の面積のみに関係するものとして、消防署所の1ヶ所、2ヶ所、3ヶ所配置の計算をしてみた。火災は乱数で解析幾何的な手法を用いて、格子内に発生させた。ここで用いた解析幾何的な手法とは、座標変換と一点から一直線への距離を求める方法等である。座標変換は各格子を三角形分割し、各頂点に座標を与え、頂点が（0、0）、（0、1）、（1、0）の直角二等辺三角形内の乱数を各格子内の乱数として発生させるために用いた。これらを用いて複数配置の場合には、それらの点のうち、最も格子内の乱数に近い点の距離をそれら組合せの点群の代表として択んで、配置を行なった。一部、プログラムのミスにより、変な値が出たが、それほど致命的なミスではなく、ほぼ満足のゆく結果を得た。

その他として、風速の分布、家屋の大きさの分布を前者は大阪市、後者は三鷹市の場合について調べ、それらを火災のシミュレーションを行なう際に必要な為、理論的分布と比較してみた。理論的分布と云ったが、乱数の形でしか発生出来ないが、極端な相違はなかった。それらの分布の理論形にはアーラン分布を用いた。χ^2分布とも思えるが、その期待値は整数なのでまずいと思った。

また、初期火災規模としてその分布は、平均をmとしたとき

$$f(x)=\frac{3}{m}\epsilon^{-\sqrt{\frac{x}{m}}}\sqrt{x}$$

の密度函数をもつ分布に従うものとしてみた。

それに有限区間内の正規分布の分布を調べてみた。が、これはN（0、1）の乱数を逆正接で変換し、$(-\frac{\pi}{2}、\frac{\pi}{2})$の乱数を打ち出し、それを線形変換して（a、b）（a<b）の乱数を得た。その理論式はこの時点では求め得なかった。

PS－1 実験報告（昭和53年度）

笹原邦夫（特殊機材研究室）
金田節夫・笠原保信（消防機械研究室）
1月11日

野外実験によって模擬火災周辺およびその上空の状況変化を地上および空中で計測し、これら測定データの解析結果をもとにPS－1型飛行艇・改装が火災場上空を飛行する際に受ける影響および安全運航に関する指針を得ることを目的とした。

実験は、昭和53年6月6日、8日の2日間兵庫県西宮市鳴尾浜（東洋建設株式会社所有埋立地）にて実施された。

実験では、50m×50mの区画に砕石を敷き、この上、40m×40mの範囲に4m×4m（高さ約0.5m）の木材クリブを49個並べこれを一斉点火して各種測定を行なった。

この実験から次のような測定結果が得られた。

○クリブ燃焼速度

2m×2m×0.51mのクリブをクリブ群の一隅で同時に燃焼させその重量の減少量からクリブの燃焼速度を測定した。この結果、クリブの燃速速度は定常状態で、25kg/minであった。

○火災場周辺における風速の垂直分布

風杯型風速計をクリブ群端から10mの位置に支柱を3ヶ所建て、それぞれの高さ12.5m、10m、5m、3m、1mの点に設置して測定を行なった。この結果、

際立った変化を観測することができなかった。

○熱気流温度

地上における測定は、クリブ群中央部および周辺に高さ15mの支柱を設置しこれに熱電対を取付けて行い、上空は飛行艇に温度測定センサーを機首前方2ヶ所に取付け飛行艇が熱気流を通過するたびに計測した。上空における測定点の高さは機体装備の高度計によって計測した。この結果、地上における測定点は風によって熱気流の中心と思われるところが支柱よりはずれることもあったが、上空での測定は高度45mから259mまで測定することができた。

○熱気流上昇速度および水平速度

飛行艇の機首に機体迎角計、対気横滑り角計を取付け飛行艇が熱気流を通過して計測を行うことができた。この結果、かなり上空でも上昇速度が速く、また水平速度成分も数mあり、熱気流中はかなりみだれていることがわかった。

○機体が受ける加速度

機体重心位置において熱気流によって機体が受ける加速度を測定した。この結果、最大加速度は0.52gであった。

燃焼時のCO、CO_2の発生特性について

守川時生（燃焼研究室）1月11日

火災ガスには数多くの有毒物質が含まれるが、致死原因となるものはCOが多くの場合有力である。COの発生は温度、空気供給速度に支配されるため、それらをパラメーターとして、ベンゼン、n-ヘキサン、エタノールからのCOの発生をCO_2との関連において調べた。なお、上記3物質はそれぞれ、ポリスチレン、ポリエチレン、セルロースの代用物質として用いた。

COの発生は空気供給条件に非常に敏感で、ある空気供給速度で最大になり、その前後で著しく減少し、ある場合には、空気供給速度を2倍変化させるとCO発生量は1/10にも変化した。CO_2の発生は、当然のことながら、空気の供給速度と共に増加し、ある点で飽和した。三つの燃料のうちでは、エタノールからのCOの最大発生量は最小であるが、分子中のCのCOへの転換率は最大であった。COの最大発生に対する空気供給速度は燃料によって異なった。したがって、COによる毒性を調べる際、同一条件でどの材料、あるいは、物質を試験するだけでなく、COの最大発生条件での試験も必要であろう。今回は、液体物質を高分子物質の分解物に対応させて実験を行なったが、今後、高分子物質を直接用いて確かめる必要がある。

クリブモデル火災の消火諸現象の定量化

高橋　哲（避難安全研究室）2月15日

モデル火災にクリブを使用し、その上端水平面に水を注ぎ流下させる消火方法によって、消火段数Ne、注水率P、注水時間t の間に

$$Ne=\alpha p^m t^n$$

但しα、m、nは定数

で表わされる関係のあることが見い出された。

また、注水時の重量増加速度Iは、木材の炭化程度、注水経過時間に係わりなく、注水率のみで決まる次式で表わされる定数となることも見い出した。

$$I=ap-b\simeq ap-\gamma_M$$

但しa、bは定数、γ_Mは燃焼速度である。

さらに消火中のクリブの燃焼速度γは次式でよく表現できることを示し、

$$\gamma=\gamma_M\frac{No-Ne}{No}$$

ここでNoはクリブの段数。

これと消火中の重量平衡速度式

$$I=p-(\gamma+e)$$

とから、水の蒸発速度eは

$$e=p(1-a)+\gamma_M\frac{\alpha p^m}{No}t^n$$

水の総蒸発量Eは、t_eを消火時間とすると

$$E=\int_0^{t_e}e\,dt=\left[p(1-a)+\frac{\gamma_M}{n+1}\right]t_e$$

となることが誘導された。

また、消火中に消失する重量△Mは

$$\triangle M=\int_0^{t_e}\gamma\,dt=\frac{n}{n+1}\gamma_M t_e$$

となることを導出し、実験的にもほぼ立証できた。

さらに、木材の炭化程度、配列による消火の難易度も定量的に表わすことができた。

一方、限界注水率Pcを示式で定義し、

$$\frac{Mo(1-C-\phi)}{\gamma_M}>\left(\frac{No}{\alpha}\right)^{\frac{1}{n}}Pc^{-\frac{m}{n}}$$

但し、Mo、C、ϕをそれぞれクリブの初重、炭素収率、注水開始時の重量減率とする。

実測された注水率と大部分の発炎定常燃焼領域でほぼ一致することが確かめられた。

滞仏研究生活をふり返って

斉藤　直（燃焼研究室）2月15日

1977年度仏政府給費生として、同年9月に渡仏し、Vichy で3ヶ月間の語学研修を終えた後、1978年1月より12月までの一年間 Bordeaux 大学物理化学研究所に籍を置き、燃焼関係の研究を行い、またフランスのいくつかの関連研究機関を訪問することができた。以下に Bordeaux 大学物理化学研究所 Destriau 教授の下で行なった研究および訪問した研究機関について簡単に報告する。

1）Bordeaux 大学物理化学研究所

Destriau 教授の研究室は、総勢7名の小さなものだった。ここでは「燃焼反応を利用した可視部化学レーザー開発」というテーマで研究が行われており、静止系および流れ反応系装置で、炭化水素－N_2O系の反応により得られるＣＮラジカル励起状態の生成消滅に関する研究が主流であった。ハロゲンによる燃焼抑制の研究を期待したが、経費、時間の制約により、プロパン－N_2OおよびO_2系混合気、モノクロロプロパン－N_2OおよびO_2系混合気を用いて、C_2^*、CN^*収率の条件による変化を、既製の静止系装置とラピッドスキャン分光器により検討することにした。その結果、いずれも燃料濃度を増加するにつれ、また塩素が導入される事によりC_2^*、CN^*濃度の増大がみられた。しかし、この装置では、C_2^*、CN^*の発光時間が3msと短かく、掃引速度1msのラピッドスキャン分光器で測定するのは不充分だったこと、自然発火による方法では、試料導入の際問題があり、定量的解析をするには至らなかった。短期間ではあったが、流れ反応系装置を用い、C＋NO の反応について研究を行い、C＋N_2Oの結果と比較し、重要な知見を得た。以上の研究は共同研究として行なったものであり、引き続き Destriau 研で研究されている。

2）訪問した他研究機関

在仏期間に訪問できた燃焼研究機関は、燃焼高温化学反応研究所（C.R.C.C.H.T.(C.N.R.S.)）、エネルギーデトネーション研究所（L.E.D.(E.N.S.M.S.))、一般化学研究所（L.C.G.(U.P.M.C.P.)）および I.F.P.の燃焼関係部門である。燃焼研究で中心的役割をはたしている C.R.C.C.H.T. では、基礎応用両面の研究が精力的になされており、立派な装置を多数保有し、秀れた研究者、資金の豊かさ、高い技術をもつ工作工場の存在が思われた。L.E.D.では、高速燃焼の研究が行われており、2名の日本人が研究に従事していた。L.C.G., I.F.P. では、地味ながら公害関係の研究がなされ、日本の研究者との交流を望んでいた。

在仏中、フランスの研究事情のほんの一部を垣間見、より多くの仏人研究者を日本に招き、研究交流を深めるべきとの感想をもった。

水溶性液体火災の大・小規模消火実験について

星野　誠・林　幸司（消火第1研究室）3月8日

アルコール類、ケトン類などのいわゆる水溶性液体用泡消火剤として既に市販あるいは新規に開発された国内外の泡消火剤について、それらの消火性能と再燃防止性能を調べた。今回の実験は、1.5 m角1重壁、同2重壁タンク、0.7 m角燃焼皿を用いて、代表的な水溶性液体のメタノール、アセトンに対する大・小規模消火実験を行った。なお、大、または小規模実験時の泡液供給率はそれぞれ10ℓ、または5ℓ／min・m²、燃料量は600ℓ（深さ26.7cm）、または75ℓ（深さ15cm）予燃時間は30分、または5分、泡消火剤希釈用には水道水および人工海水を用いた。この実験の結果は次のように要約される。

(1) メタノール、アセトン火災に対する供試泡消火剤の効果は、主として燃料の希釈と表面張力低下作用に負うものと考えられる。この結果、供試泡消火剤は非希釈型（表面張力低下型）、中間型、希釈型の三つのタイプに分類された。その消火性能は、大・小規模消火実験のいずれでも、非希釈型が優れ、つぎに中間型、最後に希釈型になった。泡の再燃防止能力は、泡水溶液がプレミックスの場合、中間型改良たんぱく泡が最も優れ、ラインプロポーションの場合は希釈型金属石けん—たんぱく泡も良い結果が得られた。なお、非希釈型は消火は速いが、消火直後の高温の燃料に対する再燃性は劣った。

(2) 1.5m角大規模消火実験において、1重壁（内壁）と2重壁タンクの燃焼性状と消火効果を比較した場合、

２重壁タンクのほうが液温、タンク壁温度、燃焼速度のいずれも高く、きびしい燃焼条件が得られた。同時に消火時間も１重壁タンク使用時の約２倍に増大した。

(3)　予燃30分の２重壁メタノール、アセトンタンク消火実験において、燃料層が厚い場合、ホットゾーンの生成はみられなかった。しかし、消火用泡水溶液の大量供給により、燃料内部に大規模なかくはんと対流現象が急速に生ずるようになった。その結果、燃料の希釈は燃料表面のみならずタンク底部まで均一に行なわれ、また液温も消火開始前よりは著しく高くなることが明らかになった。そして、この著しい液温の上昇値は水溶性液体火災の消火の困難性を示す尺度のひとつになりうることがわかった。

(4)　国家規格用泡ノズルとしては、米国規格ノズル、(Fed. Spec. O-F-555C) が使用可能である。

腐食を有する石油タンク底板(SS41)の疲労破壊強度

平野敏行・亀井浅道（消火設備研究室）
3月8日

本報告は、石油タンク底板として長時間使用され、腐食を生じた鋼板（SS41）の疲労強度を調べたものである。その結果、次の事が明らかになった。

(1)　静的破壊強度の低下はほとんど認められないのに対し、疲労破壊強度の低下は著しい。

(2)　き裂発生時期は未使用材にくらべてかなり早い。

(3)　き裂発生場所は孔食底であるケースが多い。

(4)　破断までのサイクル数は、平均腐食量の多いほど、最深孔食深さの深いほど少ない。

石油タンク底板の腐食による減肉状態に関する研究

富田譲治・亀井浅道（消火設備研究室）
3月8日

従来、石油タンク底板の腐食の程度を表わす目安とし板厚測定値から求められる最大腐食量のみが用いられてきた。タンクの保安管理という観点からは最大腐食量の他に底板全般にわたる腐食状況を把握できるような表現方法が有効である。

本報告は、著者の一人らが先に提案した（小型試料に関する）腐食状態のヒストグラムによるパターン化をアナロージ的に実物石油タンク底板について適用し、全般的腐食状況がわかる一方法を示したものである。この方法の特徴の一つは、局所的異常腐食箇所が存在するか否かを判断するために有効であるということである。また、初期板厚にばらつきがあっても適応できる。

燃焼域の周辺気流

山下邦博（火災物理研究室）**4月12日**

大規模な燃焼域の周辺気流を簡易型風向風速計で観測し、火事場風の発生機構及びその特性について検討した。周辺気流を観測した火災実験は松尾鉱山火災実験（昭和53年８月）と空中消防火災実験（昭和53年６月）であり、実験はそれぞれ２回づつ行われた。実験に使用された可燃物は、松尾鉱山火災実験では長屋式の廃屋であり、空中消防火災実験では木材クリブであった。観測地点は燃焼域の風上、風横または風下で、観測点数は松尾鉱山火災実験では７地点（高さ1.2m）空中消防火災実験では12地点（高度1.1m）であった。風向風速計の指示値の読取りは１台に１人の担当者があたり、点火10分前から１分毎に記録した。観測資料を分析した結果、燃焼による風向風速の変化の仕方は燃焼域の風上、風横、風下で異なることが明らかになった。燃焼域の風上では風向風速は余り影響を受けないが、風速の乱れ（時間変動）は大きくなった。これは一般風の方向と燃焼によって誘起された気流の方向が一致し、一般風の乱れに誘起された気流の乱れが加わったことによる。燃焼域の風横では、気流は一般風の風向より幾分燃焼域の方向に変化し、風速も変化した。その変化の仕方は上昇気流の水平傾き角の大小によって異なり、水平傾き角が小さい場合には、同じ風横でも風下側に近い地点ほど風速が大きくなった。これは風横で気流が加速され、燃焼域の斜め風下に強風域が形成されることを示している。水平傾き角が大きい場合には強風域は形成されなかった。燃焼域の風下では一般風の風向と燃焼によって誘起される気流の方向が大きく異なるため、燃焼中の風向は著しく変化し、風速の時間変動も顕著になった。燃焼域の周辺気流は建物周辺気流に類似しているが、燃焼現象では周辺気の流入があるため強風域の生成場所と強風の発生機構が異なる点が指摘された。

雪上での消防活動（野外実験報告）

平賀俊哉（特殊機材研究室）・金田節夫（消防機械研究室）・小峰喜三蔵（工務係）
4月12日

特別研究「雪寒地消防技術の向上に関する研究」の一環として、現用消防車輌の雪上走行、雪上でのホース展張作業などの野外実験を下記の内容により行った。

実験場所：新潟県長岡市

国立防災科学技術センター　雪害実験研究所内

日程：昭和54年2月6日～9日：積雪30cm、ザラメ雪

実験参加機関：消防研究所―3名、雪害実験研究所―延5名、長岡市消防本部―車輌延5台、人員延15名

(1)ホース展開・けん引実験

現用消防ホースを人力、ホースカー、そりで雪上に展張し、その展張速度、所要けん引力を測定した。30cmの積雪上では、ホースカーが充分活用できず、舗装路上では1.88m/sの速度が1.15m/sに低下した。またアスファルト上で34.4kgであった最大けん引力が雪上では21.2kgとなった。（金田）

(2)車輌走行実験

現用消防車輌を用い、発進制動・走行限界・登坂実験を行い、駆動方式の違いによる加速・減速性能、走行可能な最大積雪深、勾配3.5度の坂道で発進・走行可能かどうかについて測定した。その結果、後輪駆動よりも四輪駆動にした方が発進制動・登坂性能ともに優れ、さらに差動器を固定することによりその性能が向上することがわかった。（金田）

(3)雪による木材火災の消火の可能性

実験方法と結果、（　）は消火に要した雪の量

○使用木材クリブ4cm×4cm×50cm×70本/組、OA級

○火災への雪の投込み方

①人間の素手による投込み－燃焼中のクリブの上にそっと雪を載せての実験（7.9kg/組）

②人間の素手による投込み―燃焼中のクリブへ雪を「つぶて」にして勢いよく投込んでの実験、（4.8kg/組）

③小型ロータリ除雪機利用による消火実験、除雪機：出力8PS/3600rpm、最大除雪量0.8t/分（9.0kg/組）

今回の実験で次のことがわかった。

①木材クリブ火災を水の変形である雪によって消すことは可能である。

②消火に要する雪の量は水で消す場合と大差ない。

（平賀）

地形模型による貫山附近の日射状況の観察

笹原邦夫（特殊機材研究室）佐々木弘明（情報処理研究室）・所長　熊野陽平
4月12日

昭和46年4月27日広島県呉市の山林火災において消防署員18名が殉職し、その後、昭和52年3月25日にも北九州市貫山附近の林野火災で5名が殉職するという火災があった。このうち呉市の山林火災は所内臨時研究会で熊野所長が「山林火災時の急斜面炎上（flare up）による多数焼死事故例」(46.5.27）としてアメリカの山林火災例3件と比較考察したのを始め、呉市消防局の沖林氏が第25回全国消防技術者会議で「急速炎上の類型的考察」を発表されるなどflare upの発生要因について事故例をもとに検討がされてきた。この結果として、傾斜地の向き、傾斜角度などが注目されるようになってきた。とくに傾斜地の向きが東または東南で、天気が晴、事故発生時刻が午後という例が多いことから日照時間と場所がflare up発生の要因に深い関係があるのではないかとの熊野所長の発案から、これまで佐々木、稲垣両氏が昭和53年3月25日現地（貫山）で写真による日照観察を実施している（53.6.15所内研究会)。また、稲垣氏がDEMOS-Eアプリケーションパッケージを用い貫山附近の日陰状況の時間的変化、日射エネルギーの算出を行い報告している（53.6.15所内研究会)。しかし、決定的な要因究明にまでは到っていない。

そこで、次の試みとして、赤外映像による観測を計画したが事情があって現地実測が無理となったので、模型を使用して日射状況を観測することにした。

実験は、熱伝導率の小さいコルクを材質に選び、5000分の1の地形模型を作成、これに太陽光をあて、時間とともに変化する温度分布をサーモビジョンで観測する方法をとった。

実験では、太陽光があたっている部分と日陰の部分（谷となっている部分）との温度差が明瞭に観察できた。また、太陽光の照射角度の変化による温度分布の変化も観察することができた。

この結果、模型とサーモビジョンの組合せによる観

察で太陽光による地表の温度上昇は地形と大きい関係があることは予測された。しかし、本実験に使用した模型は、材質がコルクのため熱容量が小さく日射の変化に敏感すぎ、日射の時間的経過（日射による蓄熱）による温度上昇などを観察することができなかった。

煙の中での心の動揺度

神　忠久（避難安全研究室）5月10日

被験者を密室に近い状態の実験室に閉じ込め、その室の煙濃度を少しづつ増加させ、被験者の心の動揺度を求めてみた。心の動揺度は、心拍数の変化の他に、心理学の分野で用いられている安定度検査器を用いた。

被験者には消防研究所の研究員と一般人（主に家庭の主婦）を用いた。

実験の結果、一般人の場合、煙濃度が減光係数で、0.1/mに達した時点で大部分の人が動揺し始めることがわかった。これに対して、研究員の場合には、煙濃度が0.35～0.55/mに達した時点で大部分の人が動揺し始めることがわかった。

さらに、実験後の被験者の感想なども考慮すると、今回の一般人のデータは建物内をよく知らない〝不特定者〟に関するデータとして取扱いできるものと考えられる。すなわち、不特定多数の者の出入する建物内で、火災のさい安全に避難できる限界の煙濃度は、今回の実験で、一般人のほとんどの人が動揺し始めるときの濃度0.15/mが採用できるものと考えられる。

一方、今回の研究員は煙に対して或る程度の知識をもっており、かつ、建物内を熟知している。それでも煙濃度が0.5/mを超えるとほとんどの人が動揺し始める。したがって、この研究員のデーターは建物内を熟知した者に関するデータとして取扱いできるものと考えられる。すなわち、火災建物内を安全な場所まで避難できる経路を十分知っている者に対する避難限界の煙濃度は、今回の研究員のほとんどの者が動揺し始める煙濃度0.5/mが採用できるものと考えられる。

マッチ棒行列の炎伝ぱ速度

橘　房夫（第1研究部）5月10日

マッチ棒の軸木を櫛の歯のように等間隔に立てて並べた行列をつくり、その一端に火をつけて炎の伝播速度を測定した。マッチ棒同志の間隔を変化させ、他の条件は出来るだけ同じにして実験を繰返した。

この実験は、市街地における家屋の分布密度と延焼速度の関係、焼け止まりに近い状態における延焼速度（もえ移りに要する時間）、もえ移り確率と延焼速度の関係に対する実験的な裏付けのひとつを得ることを目的とした。

実験結果を要約すると次のようになる。

(1) 間隔の増加と共に、炎の伝播速度はほぼ比例して増加する。即ち重量燃焼速度はほぼ一定である。

(2) 間隔が或る値以上になると、炎の伝播速度は減り始め、同時にもえ移り確率も小さくなる。

(3) 下向きの燃焼速度は、間隔が狭く、マッチ棒が密に並んでいる場合には非常におそくなる。

(4) 下向き燃焼速度の極大と炎の伝播速度の極大は、同じ間隔のときに得られる。

過去に、中村、関根、その他の研究者が行った類似の実験結果と比較検討し、次のような考察を行った。

(1) 燃料の間隔と炎の伝播速度の関係は、一般に山形の曲線となる。マッチ棒の場合のように、燃料が小さく形が単純だと山形曲線の左側の部分を示す。燃料が大きく、形が複雑な場合は右側の部分を示す。

(2) 上の考察から、市街地の家屋の場合は山形曲線の右側の特性を示すと推測される。即ち、家屋間隔が増すと炎の伝播速度は減少する。

(3) マッチ棒の場合は、もえ移り確率が1より小になってはじめて炎の伝播速度がおそくなる。

木材クリブ火炎の傾きについて

山下邦博（火災物理研究室）5月10日

水平気流中において、木材クリブ（正面幅1m、高さ0.18m、奥行0.2～2.2m）を燃焼させ、風速（$\overline{U}$）とクリブ奥行（D）を変えて火炎の性状（特に傾き）について調べた。木材クリブの燃焼状況を真横から35ミリカメラで撮影し、火炎の形状と傾き角を求め、フルード数（$\overline{U}^2/gD$）との関係を検討した。風速の代表値として木材クリブの風上1.5m（高さ0.3m）の点の値を代表風速として採用した。実験結果を整理する段階で、利用目的に応じて火炎の傾き角の定義の仕方として、火炎中心、火炎風上端及び火炎風下端を対象にしたものがある。しかし従来の研究ではその区別がなされていないことが分った。クリブの奥行が小さい場合には、火炎形状が長方形で近似できるため、火炎の

傾き角は対象位置によって余り変らない。一方、クリブ奥行が大きくなると火炎形状は三角形または台形に近くなり、火炎の傾きは火炎の対象位置（中心軸、風上端、風下端）によって大きく異なった。火炎の傾き（$\tan\theta$）とフルード数の関係を両対数グラフで調べた。火炎の風上端の傾きはフルード数が変化しても余りかわらなかった。これは周辺気の流入（entrainment）を受けて、弱風下（または無風下）でも大きく傾くためと思われる。

火炎中心の傾きはフルード数と共に変った。フルード数の狭い範囲で考えると、火炎の傾きとフルード数の関係は直線（両対数目盛で）になるが、広い範囲のデータを対象にすると曲線になることが明らかになった。J.R. Welker らがまとめたのと同じ方法で実験結果を整理し、その式を変形すると次式が得られた。

$$\tan\theta=\frac{\sqrt{1+\sqrt{1+4\times(0.18\times Re^{0.36}\times Fr^{0.92})^2}}}{\sqrt{2}\times 0.18\times Re^{0.36}\times Fr^{0.92}}$$

この式はFr数が小さい範囲では、$\tan\theta\propto Fr^{-0.46}$に、またFr数が大きい場合には、$\tan\theta\propto Fr^{-0.46}$になりフルード数への依存が対象範囲で異なることを示す。実験の結果から火炎の傾きはフルード数だけでなく木材クリブ周辺の障害物の有無に左右されることも明らかになった。

石油タンクの部分火災の燃焼性状

湯本太郎・小堀　衛（危険物研究室）　6月14日

石油タンク火災の最悪の場合を想定したタンク上部全面火災については、かなりの研究が行なわれているが、屋根の一部がこわれ、その部分が火災となった、いわゆるタンク上部部分火災に関する研究は非常に少ない。

そこで、このような火災が生じた時の消防活動上の基礎データを得る手初めとして、タンク屋根中央部に円形の開口部をもうけ、この部分で燃焼している時の燃焼速度、周囲への放射熱を測定し、同じ開口部面積をもつ上部全面燃焼におけるそれらと比較した。またタンク上部部分燃焼における燃焼速度に対する屋根の役割を調べた。

直径1mの鋼製タンクに中央部に円形の開口部をもつ屋根をかぶせ、上部部分燃焼用タンクとした。屋根には開口部直径が10、20、30、40、60cmのものを使った。燃焼速度に対するタンク屋根の役割を調べるため、屋根板の液面に面する側の温度を直径0.3mmの銅・コンスタンタン熱電対を使って測定した。以上の実験において、燃料はn-ヘプタンを使い、初期フリーボードはすべて3cmとした。

燃焼速度を開口部単位面積当りの重量減少速度で表わし、開口部直径の同じ上部全面燃焼と上部部分燃焼と比べると、燃焼速度は開口部直径が10cmでは全面燃焼の方が大きく、開口部直径がそれ以上の時は部分燃焼の方が大きい事が分った。また、部分燃焼においては、開口部直径が10cm以上の時、屋根は加熱板として働き、燃焼速度を増加させ、開口部直径が10cm以下の時は放熱板として働き燃焼速度を低下させる事が分った。

建物内の煙の流動（その2）水平面内の煙の拡がりについて

佐藤晃由（避難安全研究室）　6月14日

建物火災発生密度の重回帰分析

関沢　愛（火災物理研究室）　6月14日

川崎市の町丁別の出火危険度を予測・説明することを目的として、説明変数に地域特性を表す指標を用いて重回帰分析を行った。目的変数としての町丁別建物火災発生密度は、川崎市における最近9年間の建物火災データから1km²当りの年間平均出火件数を求め、これを採用した。また、説明変数は既存の統計資料から得られる項目で出火に関連があると思われるものを考察して、まず17個の変数を選択した。そして、変数減少法によって重回帰分析をくり返しながら、17変数の中から少数の有意な説明変数を抽出して行った。回帰式としての最適解は、自由度調整ずみの重相関係数（R^*）を目安にして求めた。

以下に、その結果と考察をまとめる。

(1)　回帰式の分析精度は、町丁別建物延床面積のウエイトを考慮した場合に最も良くなり、0.8 を越す重相関係数の値が得られた。

(2)　地域特性のうちで、特に説明力の大きい変数は、専用住宅床面積比率、高等教育修了者比率、店舗床

面積比率である。

(3) 専用住宅床面積比率は、発生数の多い住宅火災との相関を示し、店舗床面積比率は住宅用途以外からの火災の発生に関連があるものと解釈できる。

(4) 高等教育修了者比率は、単に居住者の学歴階層を意味するだけではなく、所得階層や生活水準の差あるいは防火安全に対する姿勢、防火意識の高低などに関係があると推察されるが、詳細については今後さらに検討が必要である。

Shock Tube による研究方法 ――レーザーシュリーレン法による衝撃波速度の測定――

長谷川和俊（危険物研究室）7月19日

レーザーシュリーレン法による衝撃波の測定方法に関して、光学系の構成に種々の改良を試み、衝撃波の伝播速度を簡便にかつ精度良く測定できるようにした計測技術について述べた。大きな改良点は、受光面でスリットを用いてレーザー光線を切ったことであり、このことによって、ナイフエッヂに比べ容易に光線の中心に合わせることができるようになり、光学系が単純化された。このときの測定精度は、(2～3)/1000 であった。また、測定感度について理論的に考察し、感度の良い光学系の構成について論じた。（長谷川：消防研究所報告、No. 48、P.35（1979)参照）

秋吉台の山焼きについて

山本忠彦（火災物理研究室）7月19日

山口県秋吉台の山焼きは、標高約200～400m、面積約130km²の起伏の多い台地を対象として毎年2月の最終日曜日に行われる。目的は、枯草〔大半は高さ2m余の鬼茅で笹がこれに次ぐ〕を焼いて、春先に多い山火事を未然に防ぎ、春草の新芽を促すためであるという。私が観た1978年の山焼きは、台地の北側斜面に残雪が多く1週延期となり、3月5日に行われた。枯草の乾燥状態は、25日夜の雨、28日夜から翌1日朝にかけての雪、3日夜から4日朝にかけての雨等のため、特に北側斜面では良好でなかったようである。

台地の南側にある博物館の屋上を観測場所とし、私は5方向を5分間隔で35ミリカラーに収め、別に助手2名に指示して8ミリカラーを撮らせた。ここから数百m北方に東から西へ向う上り斜面があり、斜面の下方に火が入れば、この斜面の延焼速度の観測に屋上は絶好の観測角度にあったが、この斜面はまず上方が部分的に焼かれ、順次下方へ部分的に焼かれたので、期待した資料は得られなかった。これは、この斜面を上りきった西方のなだらかな台地上に民有林があり、十数年前の山焼きの際これへの延焼を防止できず損害を与えて以来、上のような方法で焼いているという。屋上の測器による9～12時の風は、北～北東、4～6m/sであった。

山焼きは、台地の麓に幅約5m、総延長約18kmの防火帯が作られ、9時に、麓の十数箇所で防火帯の内側に一斉に点火された。警戒には、消防車3台と、消防団員、警察署員、地元民ら千人余が当り、延焼防止用として大半の者が松の生木の小枝を手にしていた。本部は博物館前に置かれ、無線により火線の警戒要員と連絡をとり、指示を与えていた。ここではこれまで人身事故を起したことがなく、火線の内側には人を入れないという。

9時30分を過ぎて屋上に枯草の黒い焼えかすが飛んで来始めた。9時45分ごろから風がやや強まり、煙も盛んに出始めて視界を悪くし、微小な燃えかすが眼に入るようになった。このような状態が1時間以上続いた。最盛期は10～11時とみられた。その後、風はやや弱まり、午前中に台地のほぼ全域に火が通り、16時ごろには枯草は完全に燃え尽きた。屋上に飛んで来た燃えかすの長さは、山焼き中、数cm程度を超えなかった。

報告は、動きのある8ミリカラーを映写した。写真から延焼速度を出せないかという質疑があったが、遠距離の撮影であり煙による写真ぼけもあって、写真観測だけでは火線の位置が判然としない。火線の位置を確認するためには、斜面に対する観測角度が適当な火線近くの場所から撮影することが望ましいが、大規模の山焼きの場合には危険を伴う虞があるので、計器観測を併せ行うか又はヘリ上から適当な位置でホバリング撮影を行うのも有効な方法であろうかと思われる。

粘性土の三軸圧縮試験（非圧密、非排水試験）の誤差の検討

吉原　浩（施設安全研究室）7月19日

タンク地盤などの支持力やすべりの計算に必要な、粘着力Cおよび内部摩擦角ϕを求める方法として最も信頼されている三軸圧縮試験の再現性を検討することを目的とした。

試験条件は、非圧密・非排水試験（試料を圧密させず、圧縮時に排水を許さない）とし、供試体寸法：50mmϕ×125mmh、封圧：1.0kg/cm²、ひずみ速度：1.3mm/min とした。なお、試料は、栃木県野木産の沖積粘性土を、20～30cm間隔でシンウォールチューブサンプリングしたものを用いた。

38試料について上記の試験を行ない

圧縮強さの平均値　$\overline{\chi}=0.54$kg/cm²

圧縮強さの標準偏差 $\sigma_e=0.071$kg/cm²

の結果を得た。

また、含水比、単位体積重量、土の粒子の比重、液・塑性限界試験結果を報告した。

圧縮強さのばらつきの原因として、試料の不均質性、試料採取時の乱れ、運搬方法、保管時の乾燥、試験精度等が考えられるが、いずれが原因であるかは今回の試験からは推定できず、今後の課題とする。

高層建物からの救助法

鳥崎幸三（特殊機材研究室）9月13日

はしご車等を利用して高層建物の厚板ガラス窓に開口部を設け、外部より救助袋等の避難器具を当該開口部に固定し、建物内の避難者を脱出させることを特徴とした救助方法について検討を行ったが、この救助方法の焦点であるガラス破孔について実験した結果は次の通りであった。

(1) トーチを使用した点加熱方式は亀裂発生時間が約40秒であるが、加熱面積を大きくとる必要があるため装置が重い、破孔に約300kgの押圧力を要する、ガラス破面が鋭い等実用上やや難点がある。

(2) テルミットによる線加熱方式は亀裂発生時間が20秒以内、押圧力が170kg以下と低く、かつ、ガラス破面が比較的きれいであり、トーチ方式より安全度が高い。

地下水利用による震災時用消防水利の検討　——東京区部の場合——

細野義純（施設安全研究室）9月13日

この研究は、東京消防庁水利課からの依頼に応えたものである。

「消防水利の基準」に相当する水量を、地下水から得るために、必要とされる帯水層の条件については、すでに昭和41年度から45年度に至る5年度間にわたって実施された特別研究「消防用自然水利の開発に関する研究」によって明らかにされた。

この結果を、東京区部に適用させたものである。

東京区部において、浅層地下水を包蔵するところの新しい時代に形成された地質の分布は、現在認められる地形によって区分することができる。それゆえに従来の方法によって作成される地形分類図によって、帯水層の分布を判定することができる。台地の部分のうち、下末吉面に相当する部分では砂礫層の発達は無く、良い帯水層たり得ない。武蔵野面では良好な帯水層が存在するが、場所によっては、その帯水層まで到達せぬ上位のローム層中に帯水した停滞性の地下水を採水の対象としている場合がある。低地の部分では、良い帯水層の発達は望めない。

これら、東京の地質について、実際の水位（地表から地下水面までの落差）を測定し、またはボーリングによる資料等によって補完し、一方、実際に汲み上げることによって帯水層の能力を診断した。

その結果、東京区部では台地の一部で「消防水利の基準」に定める水量を取水できる部分があるものの、下町では望むべくもない。たとえ、特殊な井戸の施工を図ったとしても無理である。台地の部分については、いわゆる水位についての問題がある。

「消防水利の基準」に定める水量にこだわらず、震災時用としての水利を考慮するとの立場にたてば、地下水の利用は無視できない。

下町低地の帯水層からは「D級動力消防ポンプ」による放水が継続して可能である。

台地の部分では「C－1級、C－2級」、場合によっては「B－2級」による放水が可能であり、前記したような武蔵野面では「水位」の問題が解決できれば、1m³/min以上の取水も可能である地域が存在する。

これら、水位の分布を地形分類との対応のもとに、現に用いているメッシュ図に書き写すことによって、将来の非常時用水利供給計画の基礎資料として利用することができる。

集電式電位計におよぼす幾何学的条件の影響
――カード電極板を用いた測定法に関する一考察――

松原美之・川崎正士（特殊火災研究室）

9月13日

取り扱いが簡便なため、静電気に関する測定によく使用されている集電式電位計について、その特性を調べた。まず、種々の条件下で計測を行ない、プローブや被測定物の近傍に導体が存在する時測定値に影響が表われる事を確認した。さらに、電位分布を計算し得る電極配置のもとで、集電式電位計とセクター型電界強度計を用いて計測を行ない、それぞれの測定値と計算値とを比較検討した。なお、電位分布の計算は代用電荷法によって行なった。その結果、プローブにガード電極板をつけた今回の実験の様な測定条件下では、集電式電位計は、電界強度計として使用できると言って良い事がわかった。なお、その使用可能範囲等については、さらに検討が必要であろう。

消　研　輯　報　第 33 号
昭 和 54 年 11 月　印刷
編集者兼
発 行 者　消　防　研　究　所
東京都三鷹市中原 3 丁目14－1
電話武蔵野三鷹(0422)44局8331