

市街地模型による延焼性状に関する実験的研究

高原栄重・関根 孝

建設省建築研究所

Experimental Research on the Spread of the Fire

By

H. Takahara and T. Sekine

Building Research Institute, Ministry of Construction, Tokyo

Abstract

The present study is a part of "Studies on Disaster Prevention in Cities at the Time of Great Earthquake". In the present paper some characteristics of the spread of the fire obtained by experiments with models are reported.

The characteristics of the fire in densely populated areas were examined by burning the models of wooden crib-structure out in the field.

In the experiment the following problems are discussed: the rise of the flame, the temperature of the hot plume and the speed of the fire spread.

The results are summarized as follows:

- (1) The fire spreading speeds for the models are about 2.7 m/min for model A and 1 m/min for model B, respectively.
- (2) The inclination of the fire-flame is about 40 degrees to the ground surface in case of the mean wind speed of 3-5 m/sec. The maximum height of the flame is about ten times those of the models, namely, 60 cm of model A and 30 cm for model B.
- (3) The distribution of vertical plume temperature in the leeward direction from the burned models was measured. The trajectory of the plume is shown in a figure of the present paper.

1. 研究目的

密集市街地における大火の性状について研究するため、野外において、この市街地に相当する木材クリブ(Crib, 木材を井げたにくんだ積み木)に点火して市街地大火のモデルとし、その延焼の速さ、生ずる熱気流の温度、炎の上りかた、などを実験した。

建築研究所においては、この研究とは別に、市街地の大地震大火対策としての「防災拠点」に関する特別研究を昭和43年度以後実施中であるので、これらの関連研究の結果もまじえつつ、ここに報告する。

2. 経 過

2.1 総合研究開始以前のこと

建築研究所においては、昭和44年度から「近代都市施設の防災技術」という特別研究を行なっている。この内容は、密集市街地の都市計画的防災

対策に関するもので、その一項に実験的研究として「防災拠点」に関する事が含まれており、44年度以後野外火災実験を行なってきた。これは本総合研究と同よう大地震時の市街地大火対策に関するものであり、方法も大へん似ているところから、昭和45年度に始まる本総合研究で当所が「市街地模型の延焼」という課題を分担することになった。

もう少しさかのぼると、市街地大火に関してのやや大きい活動に当研究所が関与するようになったのは昭和43年度であった。すなわち43年度に、経済企画庁国土総合開発事業調整費による「東京江東地区防災拠点等防災都市建設調査」というのが起って、この調査費は建設省(住宅局)より日本建築学会へ委託されたが、この中の一項目に「防災拠点の大火上の安全性に関する火災実験」があり、日本建築学会(の都市防災実験委員会)と当所ほか数機関(東京消防庁、東京都材料

検査所)が協力して大地震の同時多発火災の模型実験が昭和44年3月25日に行なわれた。つまりこの時から当所は市街地大火の問題に改めてかわりあうようになったのである。上記の調整費はもう1年継続したため昭和44年度にも同じような火災実験が行なわれ、これに当所の特別研究も歩調を合わせた。(これらに関する報告は、「防災拠点における建築物の配置形態と安全性に関する調査報告書」、建設省住宅局、昭和45年3月、の中に含まれる。)

以上の火災実験では、大地震時の同時多発火災のモデルとして、広く並べられたクリブに一どきに点火する方法をとり、風下には防火拠点の外周に立つべき耐火高層建物の模型として高さ1.5m程度のコンクリートの壁が立てられたことが特徴である。

上述の「防災拠点の防災上の安全性」については、45年度以後は東京都(首都整備局)より引

きつづき日本建築学会に対して調査委託があり、当所の特別研究も引きつづいてこれに協同する態勢をとっている。(建築研究所年報 昭和45年度同46年度参照。)

本総合研究は45年度に始ったので、当所としては分担した課題の実施を種々の都合上、上述の防災拠点の実験と併せて実施してきた。

以上が本総合研究開発に至るまでのおよその事情である。

2.2 市街地模型による延焼性状の実験

本総合研究において、当所は「市街地模型による延焼性状の実験的研究」を分担した。市街地模型としては、前述2.1で用いられたクリブをもととし、昭和45年度には小規模の実験を、同46年度ではやや規模を広くクリブにおいて実施した。

これは、大震災として予想される密集木造市街地の大火の延焼の基本的性状をしらべるもので、延焼性状とは燃えすすみの仕方、温度分布、炎の

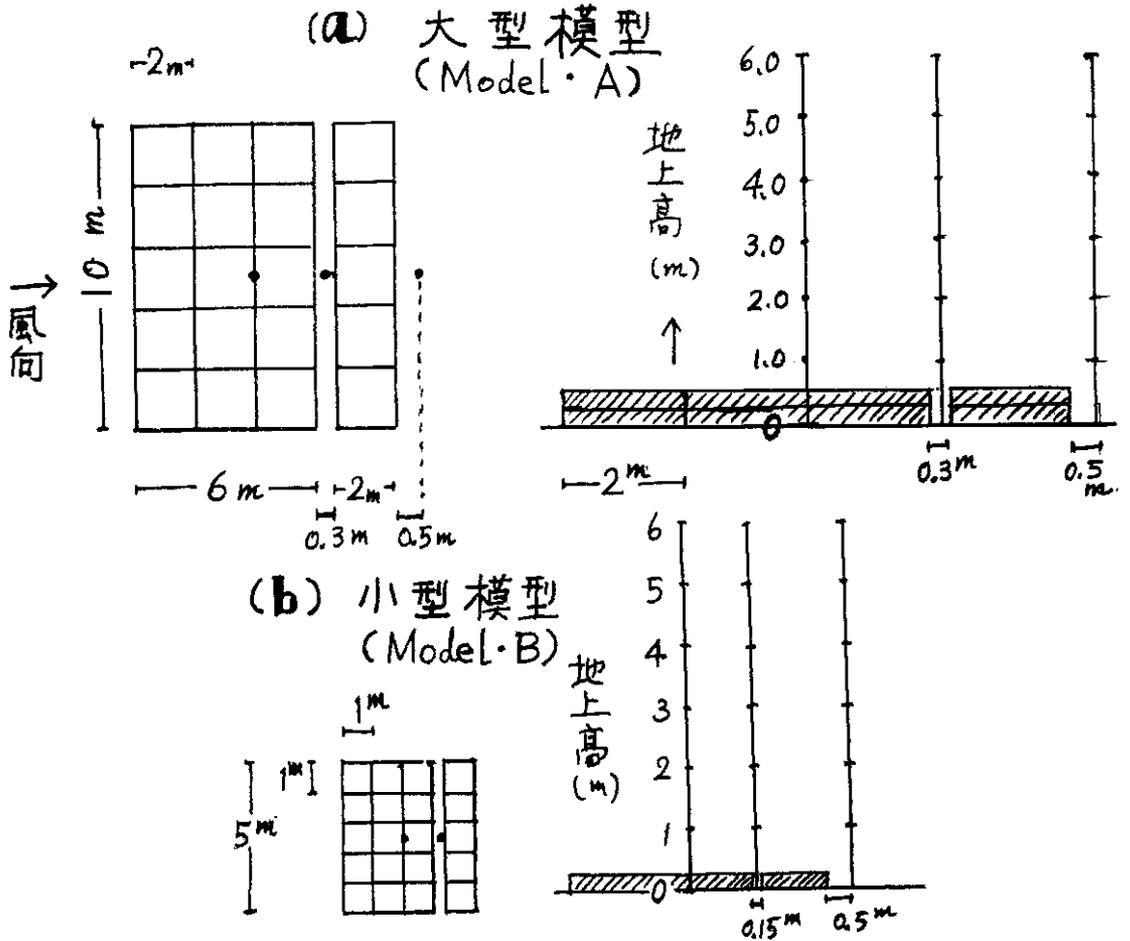


図-1 昭和45年度の実験配置

立ち上りかた、などをさすものである。

3. 研究方法

45年度46年度ともに木造密集市街地模型には、「クリブ」と称する積み木を用いた。

3.1 昭和45年度の実験

(1) 模型の大きさ

使った模型はふたとおりあり、便宜上、大型（または、model A）、小型（または、model B）、という表現を以下用いる。

大型（model A）の方法は次のとおり。木材のクリブ（1本の長さ2m、断面4cm×4cm、これを約12本並べたものを1段として数えて14段（高さ60cm）重ねたものを1単位とし、これを図-1（a）のように平面的に配置した。風上から3列目と4列目に巾30cmの隙間をおき、もうつりの状況を見た。点火は風上側の巾2mのクリブ1列に点火し、延焼させた。

小型（model B）は、クリブの長さ、重ね方が上記の大型の1/2、すなわち1本の長さ1m、（断面は同じ）、7段重ね（高さ30cm）としたものである。これを図-1（b）のように配置し、風上から3列目と4列目の間に15cmの隙間（大型の1/2）をおき、点火は風上の1列とした。

観測は、大型小型とも、クリブ内に2本、クリブの風下に1本、それぞれ高さ6mのポールに熱電対をつけて温度分布を、またクリブの風上側で風速をそれぞれ測ったほか、写真撮影を行なった。

(2) 実験日時等

実験は、江東区有明町13号埋立地において次のように実施された。

大型の実験 昭和44年2月4日、午前11時40分点火。

小型の実験 同日12時点火。なお、この日は晴天、北風で、風はクリブの点火列にほぼ直角に吹いた。

3.2 昭和46年度の実験

(1) 模型の大きさ

今年度の市街地模型に用いた材料も前年度と同じく木材を組んだクリブで、その1本の寸法は2m（断面4cm×4cm）、これを7段に組んだものを1ケとし（木材数では約87本使用）、これを合計32ケつくり、図-2のように並べたものを木造密集市街地の模型とした。

この模型の最も風上に位置する1列に点火し、

それのもえすすみに伴う炎、熱気流温度などを観測するのが実験の趣旨である。但し実際には上の趣旨は少しはずれて、着火用の灯油があやまって2列まかれてしまったため、もえすすみは急激になってしまったこと、および実験に予定した日の前に急速に発達した低気圧が通って観測器材が少々損傷したこと、によって今回の実験はやや欠けるところがあった。

(2) 観測事項

熱気流温度はAC熱電対と記録計（12点式）によった。観測のため高さ6mの鉄ポールに1mおきに上記熱電対を固定したものを7箇所配置したが、計42点の温度のデータをとる予定であったが前述の事情により完全にデータのとれたものは4ポールの測点23点であった。

風向と風速

風上の風向はピラム型風速計によりよみとり、風速は熱線風速計による。風下の風向は、森式風向計（ウイジン工業社製）を地上60cmの高さに固定し実験中自画せしめた。その他写真撮影などを実施。

(3) 実験の実施

昭和47年2月18日、午前10時52分点火。なお今回の実験は、東京都より日本建築学会都市防災実験委員会に委託された研究（防災拠点に関する野外火災実験）とあわせて実施された。その実験は風上にクリブをおき、数メートルおいて風下にコンクリートの壁を立てて、風上の延焼の壁による防御効果をしらべるのが目的であった。目的は異なるが、内容として本文の研究に参考とすべきことが多いので、今回はそれらの実験のセット3組と、本文で延べる実験とを同時に点火して、ほぼ同じ風向風速の下で実施された。

実験場所は江東区有明10号その2埋立地である。

4. 結果

4.1 45年度実験の結果

(1) 実験の状況および炎の立ち上り

これを図-3～12に掲げる。

小型模型の場合は、炎の立ち上がりは最高の高さ2m（クリブ高さの約7倍）、平均して1mぐらゐであり、点火後4分目、5分目における温度分布は図-3のようである。最風下の測点B（クリブの風下の端から0.5mはなれた位置）では、

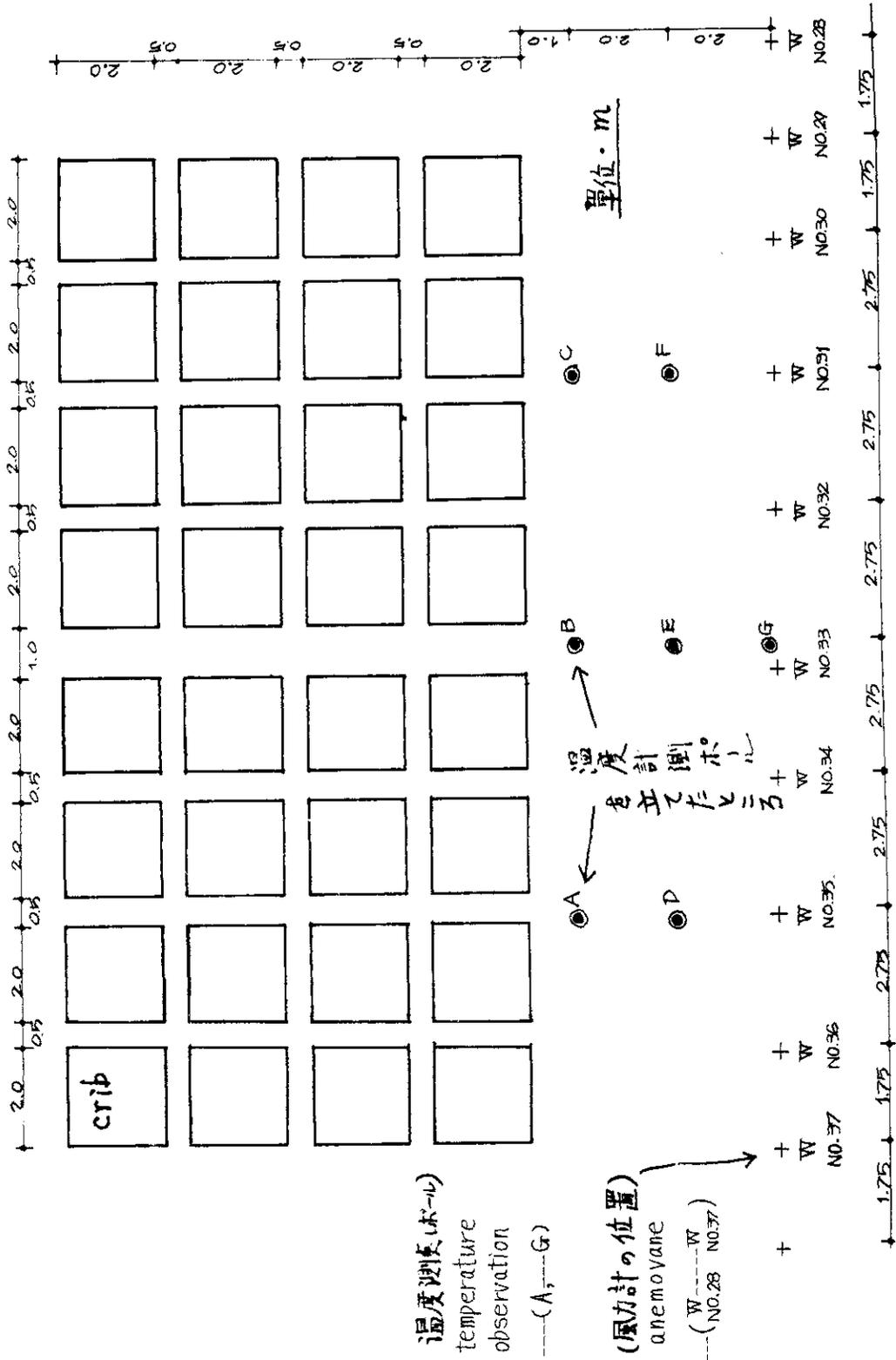


図-2 昭和46年度の実験配置

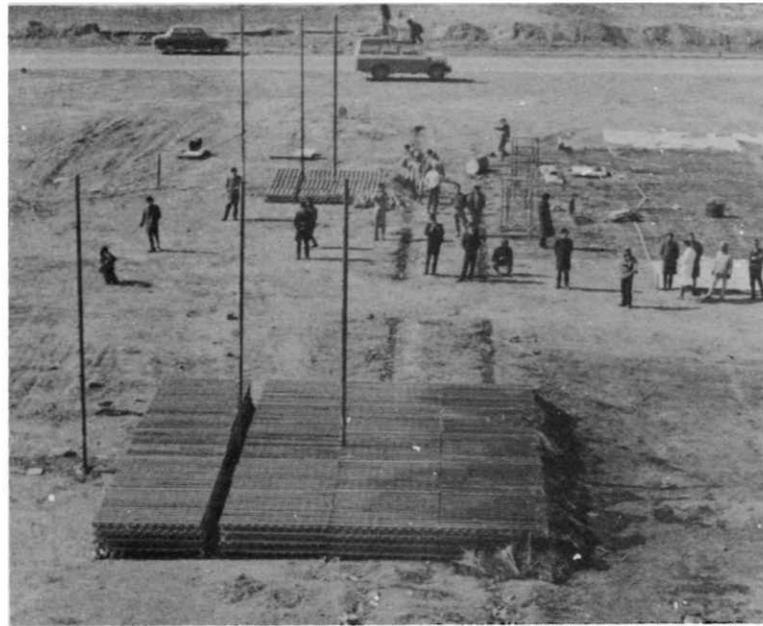


図-3 大型模型（立った棒は温度測点用ポール、長さ6m）写真上端は小型模型のクリブ



図-4 同，点火直後，主風向は写真の左から右（大体北風）



図-5 同，点火後4分目（クリブ後方から発煙筒をたいている）

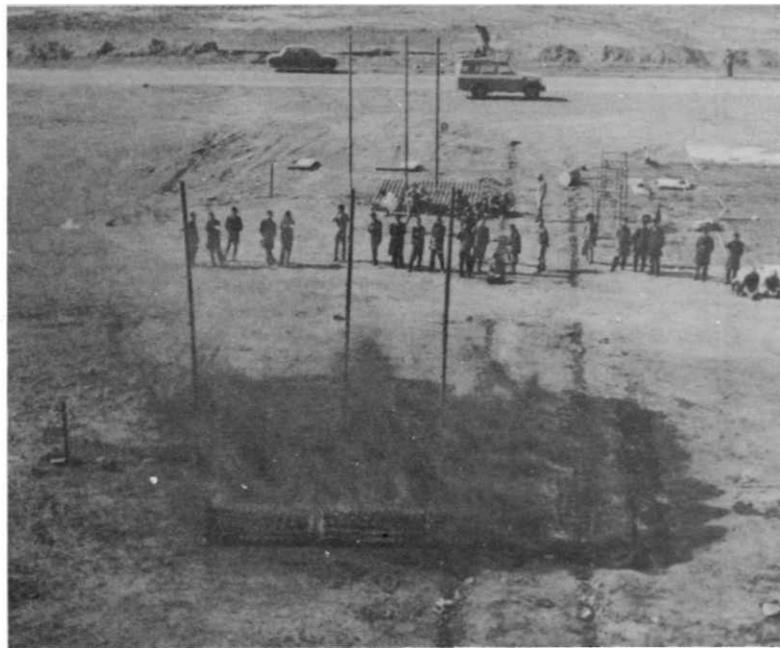


図-6 同，点火6分後（全面的にもえすすんだ）

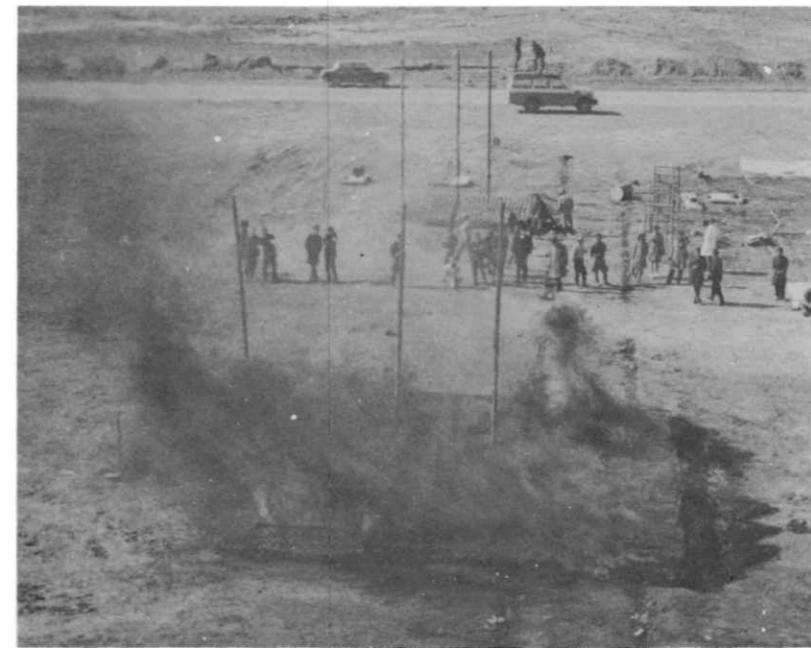


図-7 同，点火8分後（炎の立上りはこんな瞬間がある）

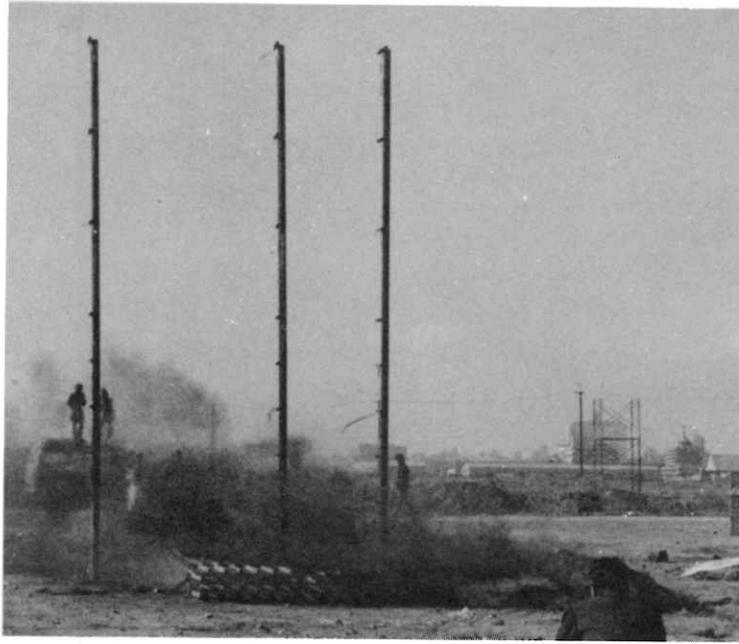


図-8 小型模型， 点火後1分（クリブは7段）

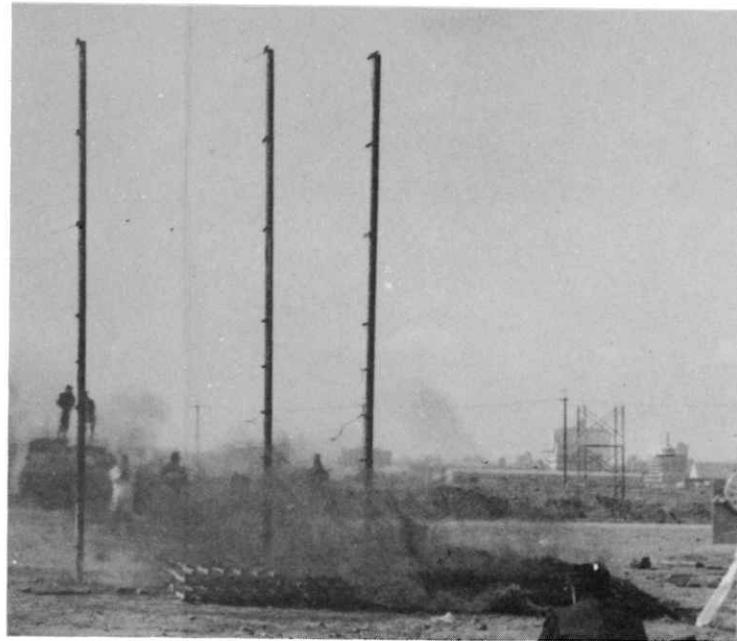


図-9 同，点火後2分

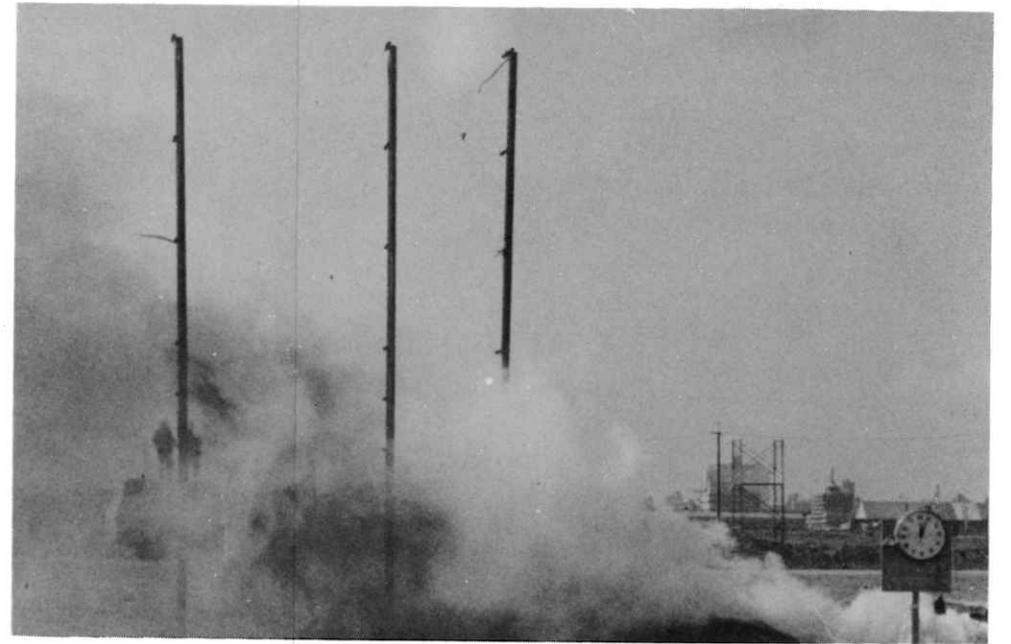


図-10 同，点火後3分

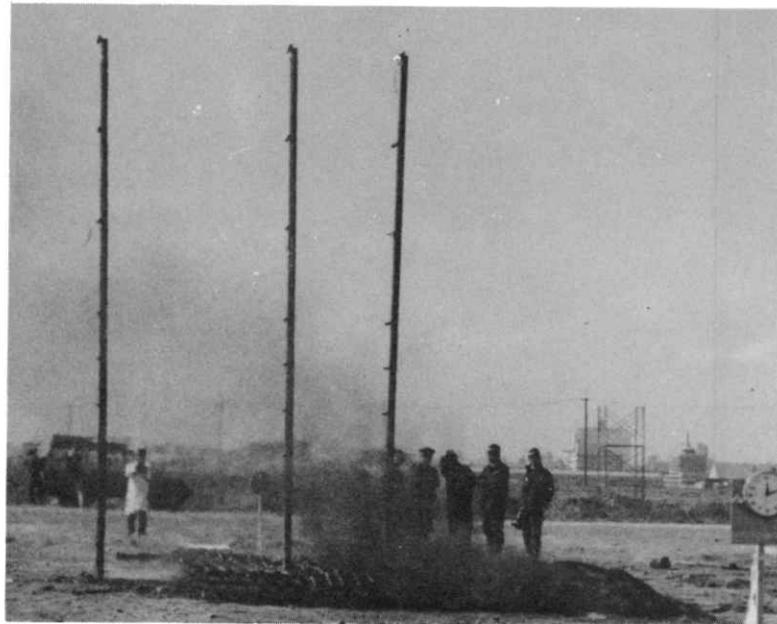


図-11 同，点火後12分

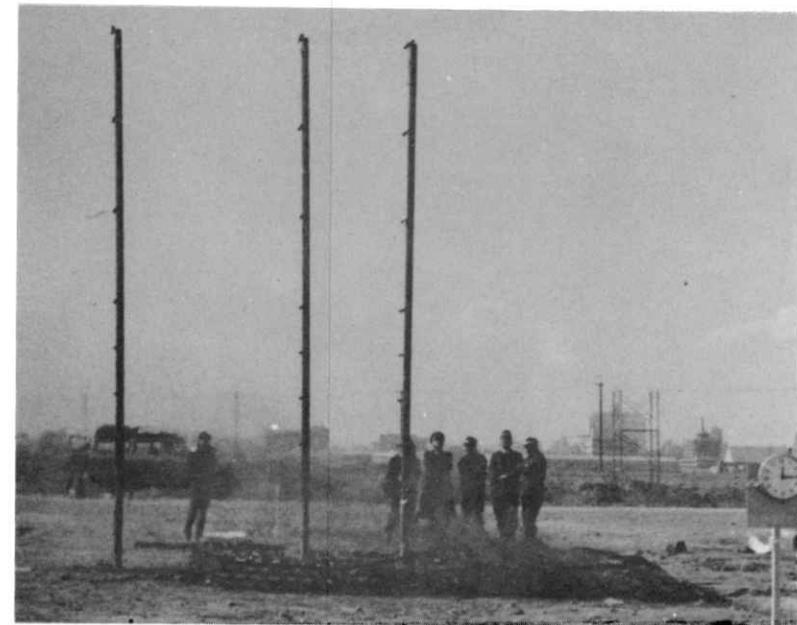
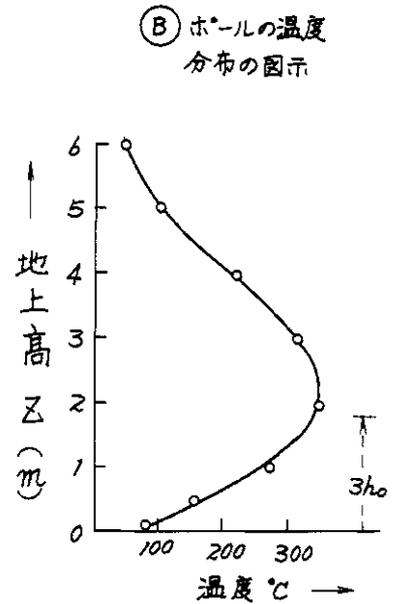
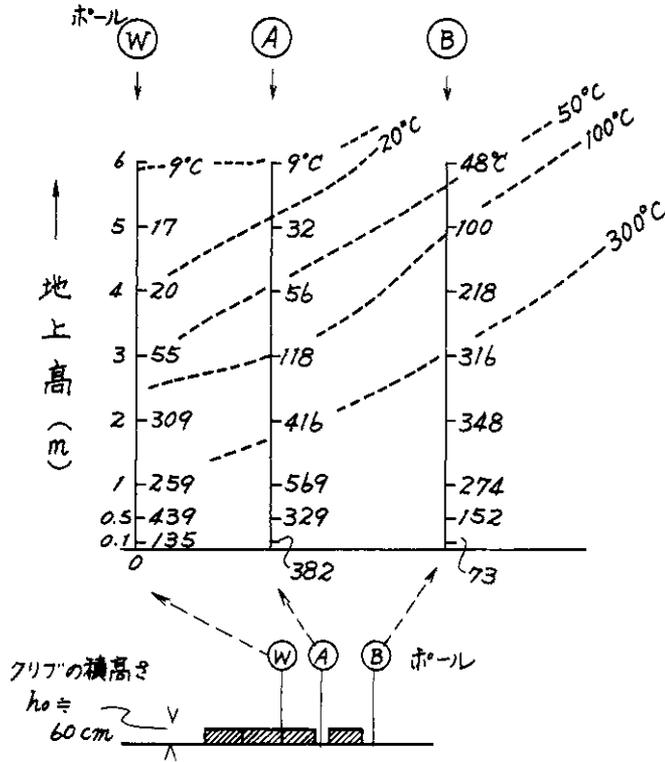
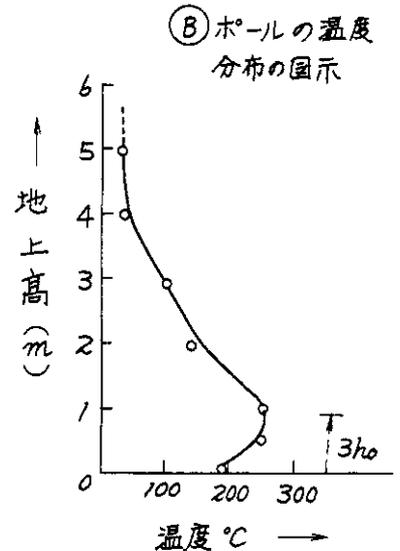
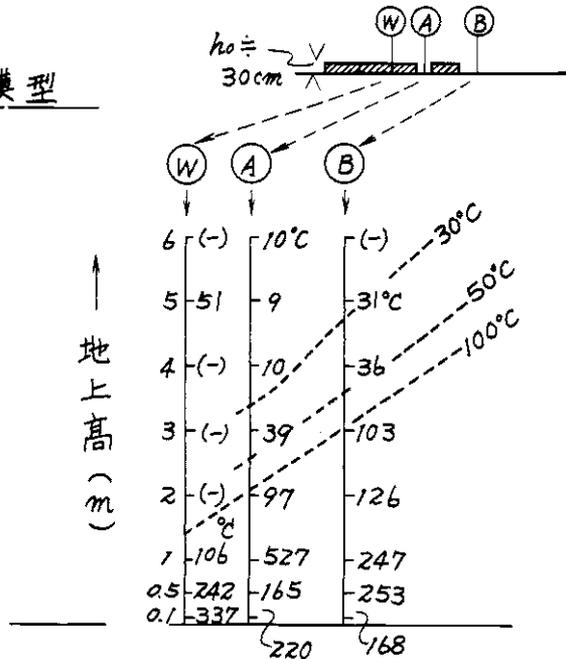


図-12 同，点火後15分（クリブは大半もえおわっている）

大型模型



小型模型



(-)印は熱電対不良を示す

図-13 昭和45年度実験の温度分布, 点火後3~7分 (燃焼最盛期)の平均温度鉛直分布

最高温度は地上3mの位置（ク립高さの約10倍）で、温度は150℃程度である。

以上の実験のときのク립の風上における風速は、次の表のようであるから、ほぼ同じ風速とみてよい。したがって、炎の上りかた、温度分布などが上のようにちがうのは、ク립の大きさ、つみ方の差によるものと思われる。これらのク립の延焼速度は、大型でほぼ2.7 m/min、小型でほぼ1 m/minであった。

表 実験時の平均風速

| 地上高さ | 大型実験の時 | 小型実験の時 |
|-------|----------|----------|
| 3 m | 5.5m/sec | 5.6m/sec |
| 2.5 m | 5.3 | 5.3 |
| 1.5 m | 4.4 | 4.5 |

(2) 延焼地域（ク립の風上）および風下における温度の状況

大型、小型の実験ともに、ク립の中（前掲の図-1のW点とA点）および少し風下の位置（同図のB点）に鉄のポール（長さ6m）を立て、これの地上高さ各々6m、5m、4m、3m、2m、1m、0.5m、0.1mに熱電対（A.C.）をとりつけて温度を測った。（いずれも、ふく射をとくに遮へいしていない温度で、いわゆる「火災温度」である。）この結果の例を図-13に掲げる。

この図は、延焼が用意されたク립全面にすすんだとみられる時期（点火後3分目から7分目までの4分間についての各点温度の平均値を目盛ったもの。気温（大体9℃）はさしひいてはでない）について示した。大勢の見当をつけるためである。

大型、小型両実験ともにク립の真上（W点）の地上6mの点の温度はかなり低い。大体主風向にそって斜め上空へ炎、熱気流ともになびいた。

ク립の風下のB点についてだけ、温度の鉛直分布を図示すると同図右のようである。温度の極大は、B点の位置においてはク립の積み上げ高

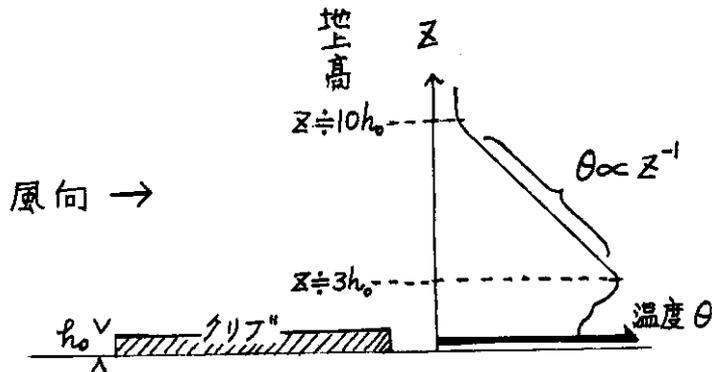


図-14 炎上ク립に比較的近い風下における火災温度の鉛直方向への減衰（模式図）

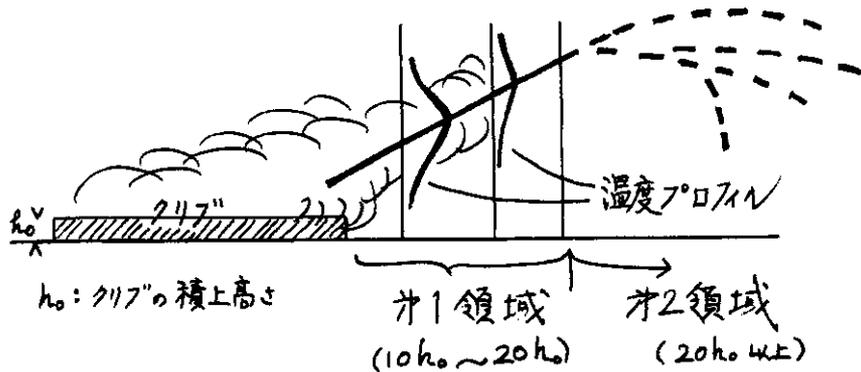


図-15 炎上ク립から風下への熱気流の移動状況

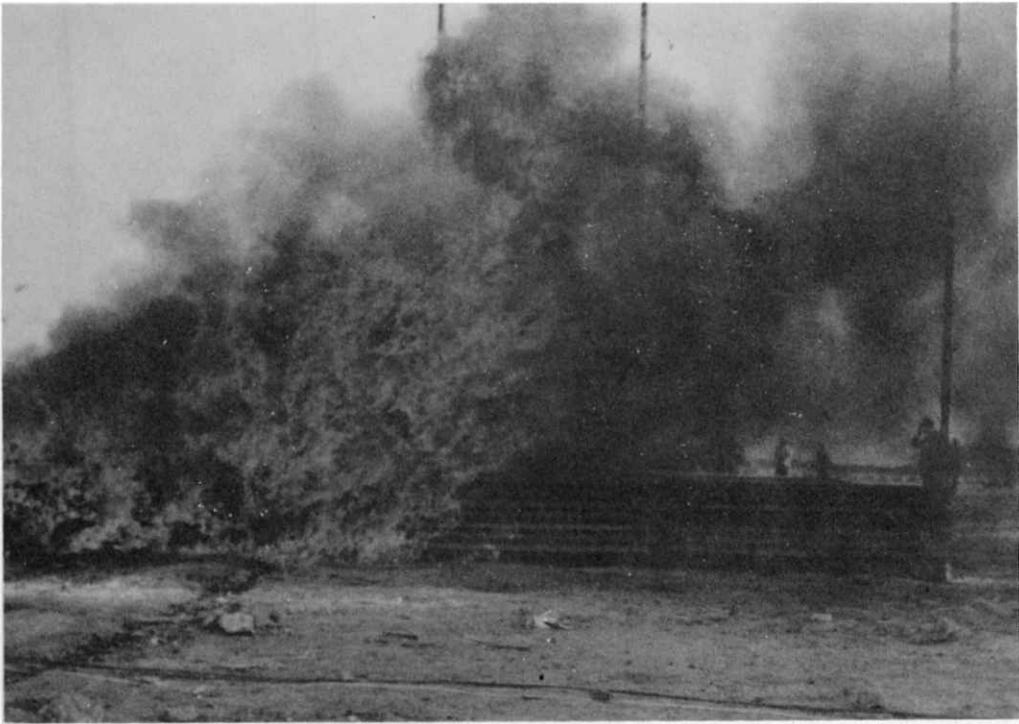


図-16 大型模型の炎，点火後1分
(真横よりうつす.)

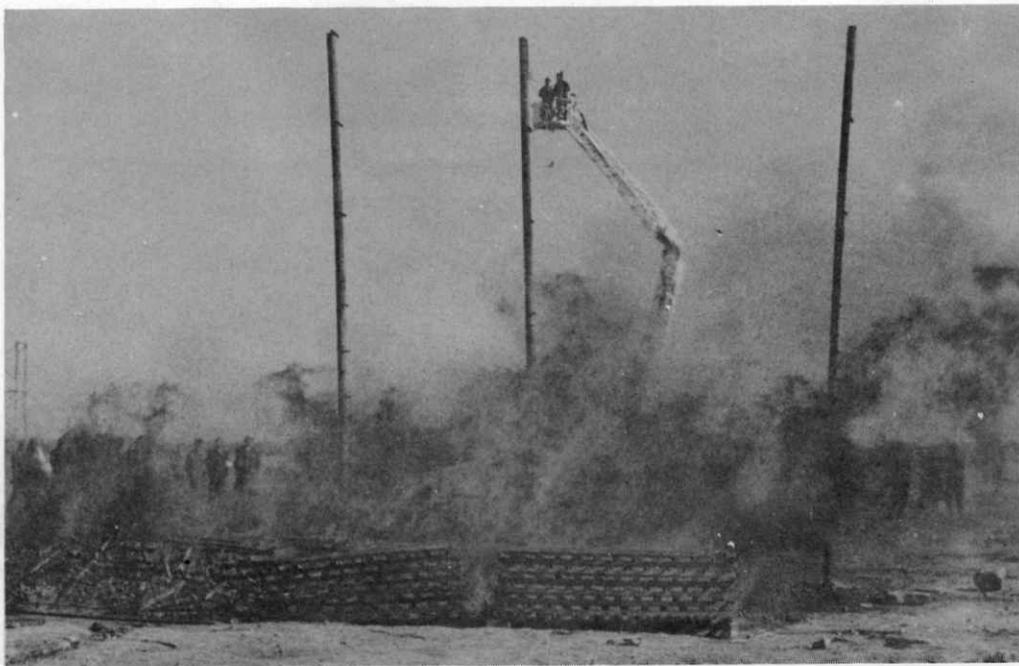


図-17 大型模型の炎，点火後8分
(同)

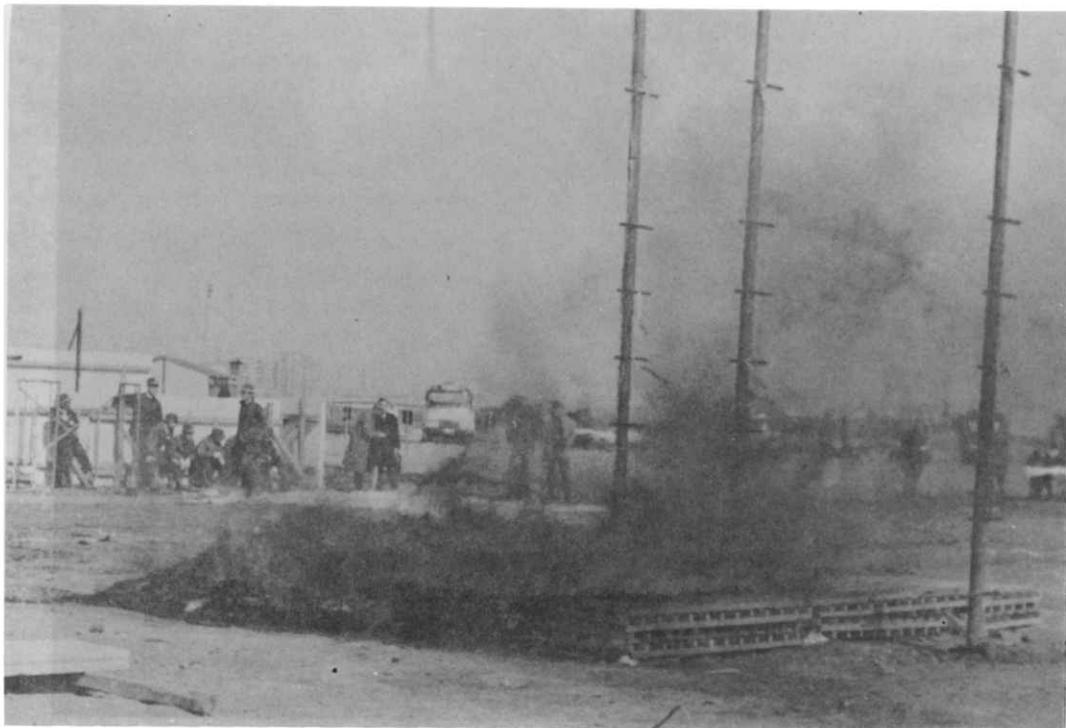


図-18 小型模型の炎，点火後30秒位

(小笠原清一氏撮影)



図-19 延焼中の熱気流と煙の挙動，大型模型
(風下のある点まで上昇，以後は蛇行している)

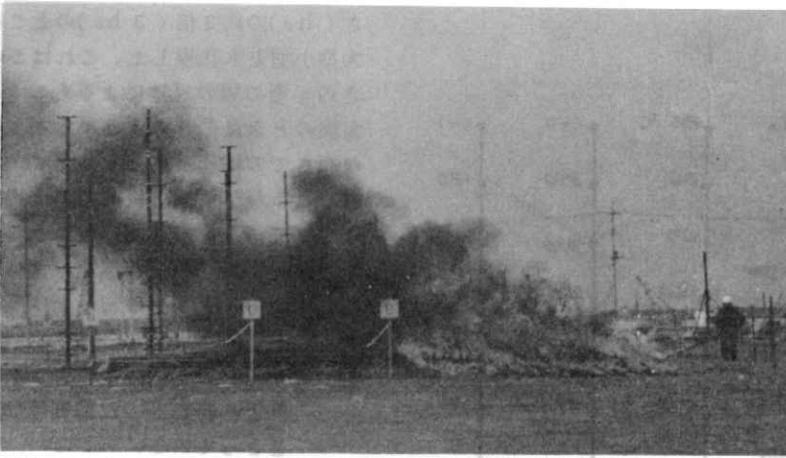
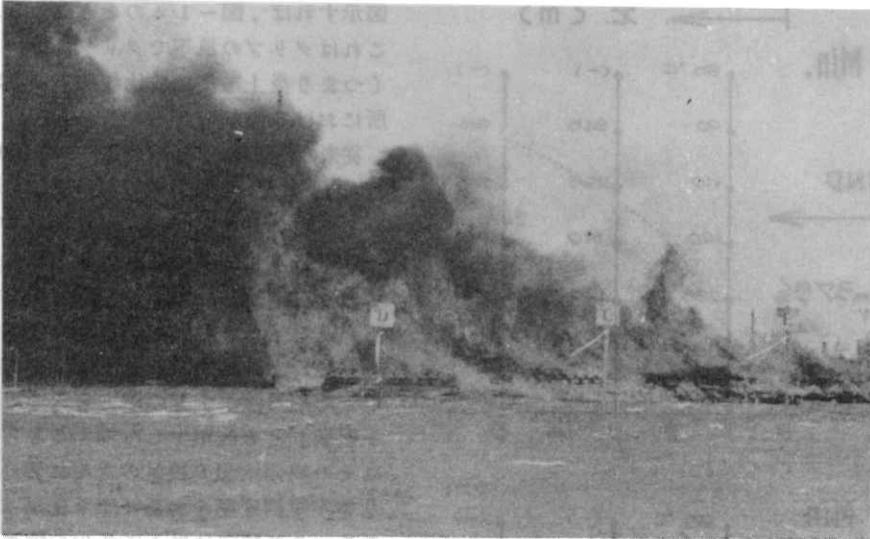


図-20
(a)昭和46年度
実験, 点火後
30 sec



(b)同, 点火後2分



(c)同, 点火後10
分

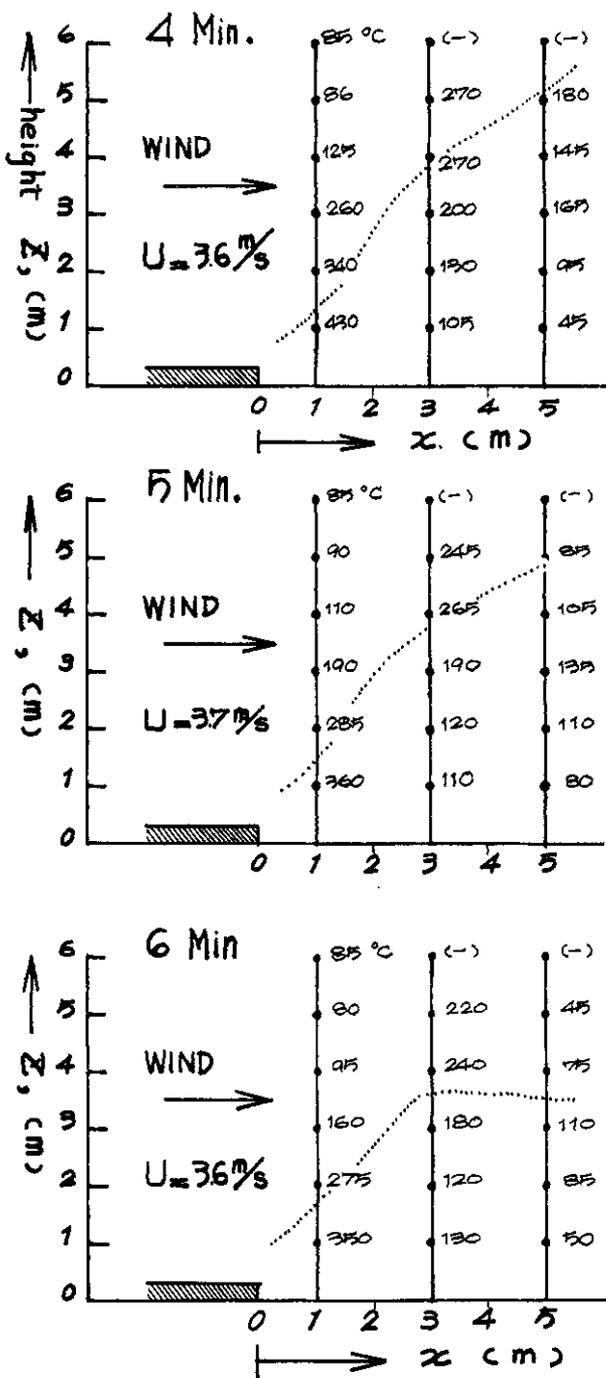


図-21 昭和46年度実験, 点火後4分, 5分, 6分における温度分布

さ (h_0) の約3倍 ($3h_0$) のところに大型小型とも出現した。これはこのときの、その場の風速によるもの(この実験のときは前述のように地上1.5mの高さでの風速が約4.5 m/sec)と思われるが、従来防災拠点の火災実験において行なってきた経験によると、地面近くのその場の平均風速(大体地上高さ1.2m, クリブの積み上げ高さ30cm, のとき)が、約1.2 m/sec以上6 m/secまでにおいては、今のような傾向——風下へ斜め上方に熱気流は傾く——をとっている。

本実験における上述の傾向を改めて図示すれば、図-14のようになる。これはクリブの風下でクリブに近い(つまり炎上市街地に比較的近い)場所における性状である。

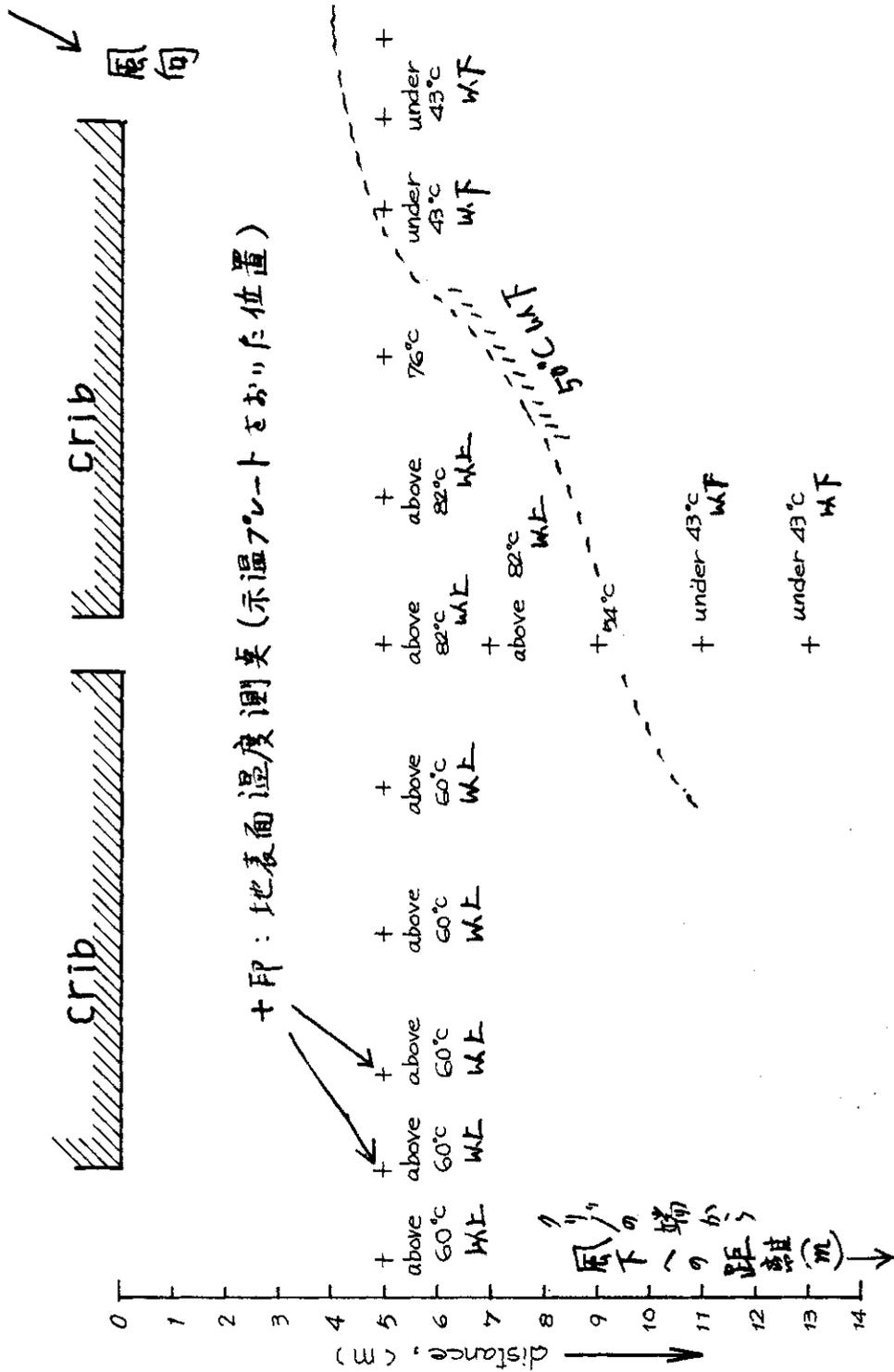
従来の野外実験の経験よりすれば、熱気流の上昇状況は主風向の方向に関して図-15のような傾向がみこめられている。(日本建築学会年次大会昭和46年大会梗概集, 計画系P.94)炎上するクリブ(つまり火源)から風下への熱気流の上昇は同図のように、まず発生した熱気流が十分の浮力をもつ「第1領域」とそれが少し冷却するとともにその場の大気の擾乱のために舞い下り等不規則運動をする「第2領域」がある。この傾向は風下に多少の障害物(拠点の模型など)があっても、なくても、余り変らない。

(3) 燃えかた

なお、燃えかたに関して若干、記録写真を付しておく。(図-16~19) 図-19は、大型模型の炎上中の煙をとったものである。風下のある高さ迄は太い直線状で上昇、以後乱れながら蛇行している。(図-15も参照)

4.2 46年度実験の結果

- (1) 実験に供した木材の平均含水率 15.4%
- (2) 実験中の平均風速 3.9 m/sec (地上1.2mの高さ), 風向 NNE.
- (3) 炎の形状



図一22 クリブ風下の地表面の温度

図-20に示す如くである。図中(a)は点火後30 sec, (b)同2 minである。

(4) 熱気流の温度分布

点火後4分, 5分, 6分目における火源の風下の温度分布を図-21に示した。延焼の状況は前項にも記した理由で速く全面的に火がまわってしまい, はっきりと把めなかった。一方, 風下の各測点で温度が最大の点をつらねると図中の点線の如くなる。風下方向へ点火約1分後に, 設置した火源(つまりクリブ32ヶ)は図-20のようにもえ拡がり, 風下方向への気流の温度(この温度はふく射によるものも加った, いわゆる火炎温度である)の拡がりを点火後4分, 5分, 6分について示したのが図-21である。熱気流の上昇の仕方は, 昨年度の小規模実験の場合と大局的には同様である。

(5) 地上の温度

風上の地上, 図-2のWに示す位置に示温板(TEMP-PLATE, WAHL CORP. 製)をおいて, その地点の最大温度を指示せしめた。この示温板は, 受感温度範囲が(4.3°-4.8°-5.4°-6.0°C)のもの(6.5°-7.1°-7.6°-

8.2°C)のものとふた通り同一地点においてみた結果が図-22である。(火源に近いものはそれ自身もえてしまった。)この図からは, 地表面が火炎から受ける総括的温度(ふく射も含む)が50°C以下になるのは火源の風下9m以上であることが判る。

(6) 地上付近の風向

用いた風向計を図-23(a)に, 実験中(燃焼中を含む20分間)の風向の記録を, 東端より順に(b), (c), (d)に示した。セットした風力計は10ヶであるが, うち1ヶ(No.33)は焼失したので記録は9ヶしかのこっていない。

これらの風向は火源の風下端から5mの距離のところ(地上高さ60cm)に, 簡易風向風力計によった。これによれば, 主風向が大体NNEであったので, 図の右(東側)のNo.28, 29は火災気流をあまりかぶらず, ふつうの地面上の気流にちかい乱れかたであるが, No.30より西側の風向計は熱気流をかぶり, 上述の2点(No.28, 29)に比べて風向, 風力ともに変動が大きい。(この記録は点火から20分目までの20分間の風向と風力の変動の軌跡である。記録紙の黒いのは, 高

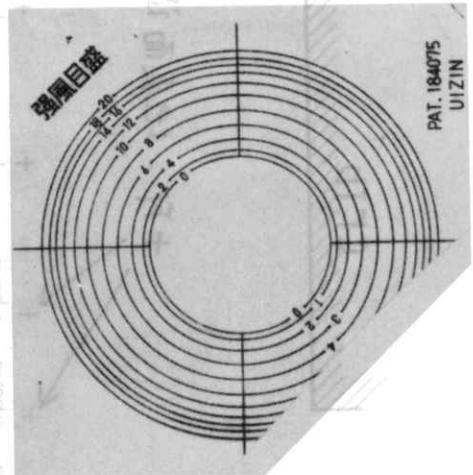
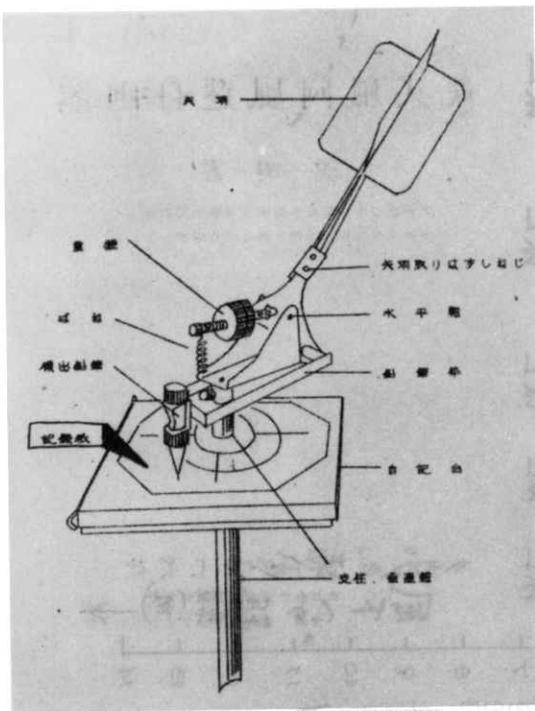
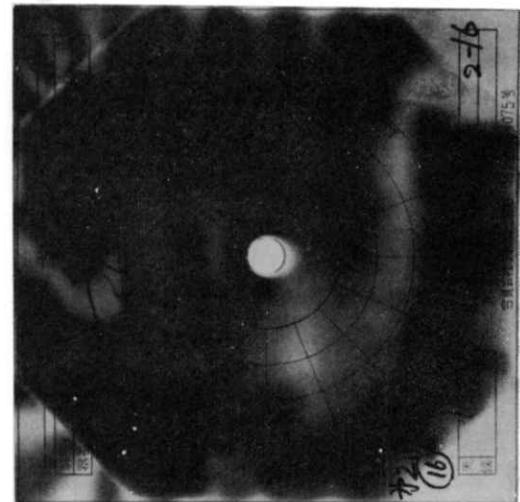
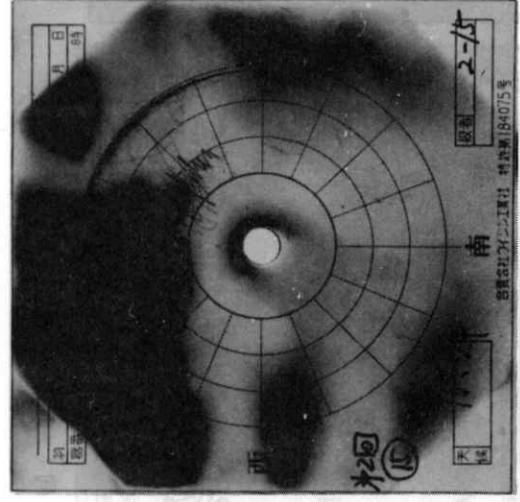
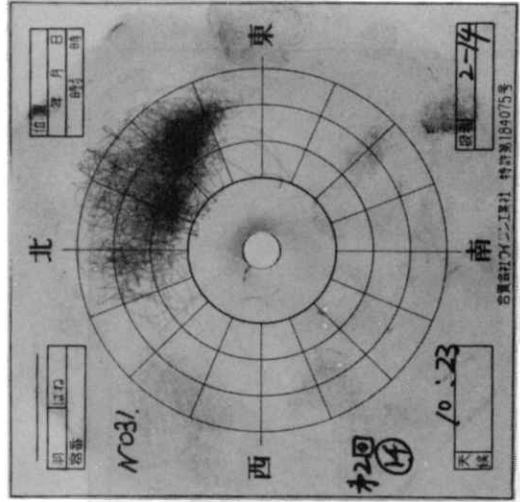
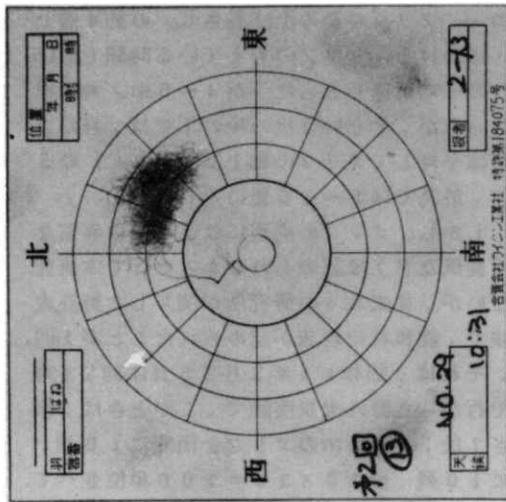
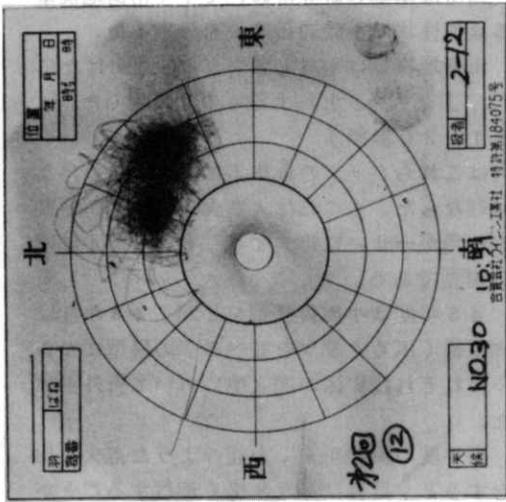
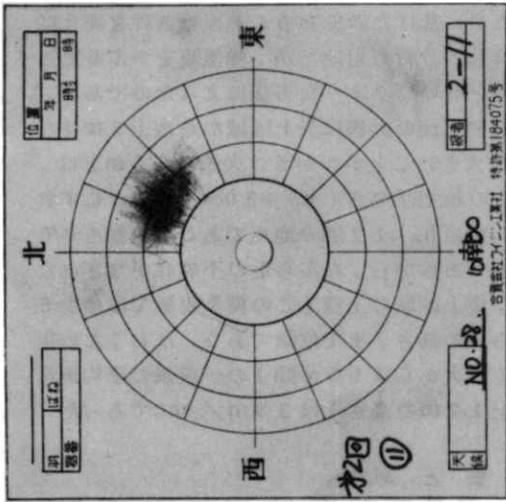


図-23(a) 風下の地上60cmにおいた風向風力計



図一 23 (b) 風向風力計記録 (左より No. 30, 29, 28, 番号は図一 2のWの記号と対応する。以下同じ)

(c) 同 (左より No. 34, 32, 31)

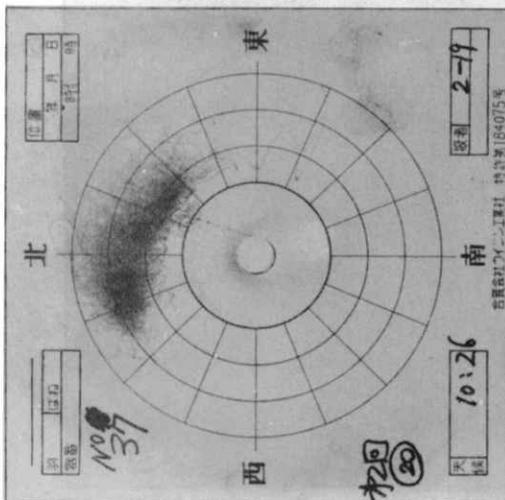
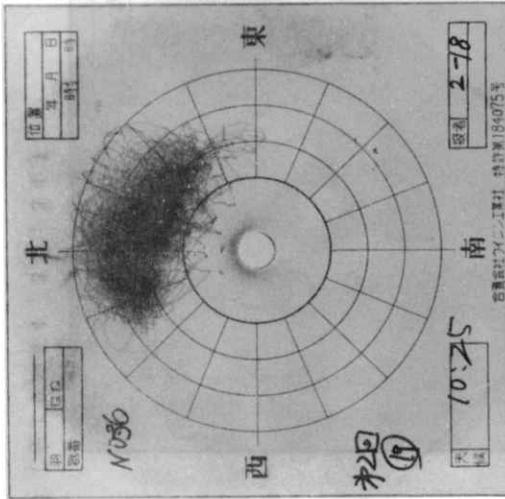
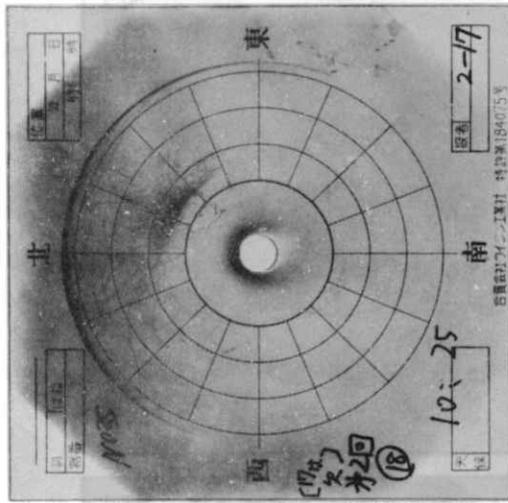


図-23(d) 同(左より)No.37, 36, 35

熱のために焦げたのである。熱線風速計を使えばより詳しい分析も可能だが、熱気流をかぶるために無理と思ひ、かような方法によつたのである。) 火災の熱気流の影響は炎上区域から地上5mはなれても大きいことがわかる。火源から5mとは、クリブの積上げ高さ($h_0 \approx 30\text{cm}$)をもとにすれば、 $5\text{m}/h_0 \approx 17$ 倍の地点である。温度も60℃以上であるから、なんらかの不燃化がなされないと、炎上区域の上空(この模型実験では地上5mぐらいの高さ)まで危険である。なお、この実験中(点火からは15分間)の一般風の平均風速(地上1.2mの高さ)は3.9m/secであった。

5. まとめ

(1) 当所は本総合研究において、「市街地模型による延焼性状の実験的研究」を分担した。

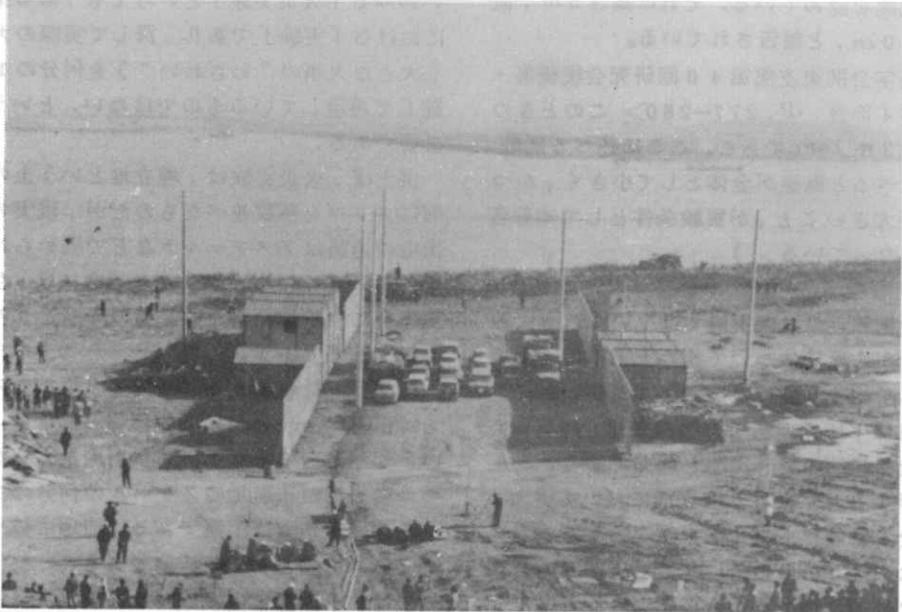
(2) 市街地模型は木材(ミツガ材)をいげたに組んだ、「クリブ」と称するものを使用した。(図-1, 3を参照)

(3) 点火はこれらクリブの最風上に主風向に直角な線状に行なった。(これは大震火災で、市街地群のある一角が一せいに出火する、という想定に対応する模型である。)

(4) 45年度は小規模模型を2回、46年度はやや大規模(広くクリブを並べる)の模型につき1回、それぞれ江東区の埋立地において野外実験をした。

(5) 2年度の実験から、上述のような点火(出火)をすると、延焼はかなり早く進行することが認められた。その場の風速(この実験では地上1.2m—クリブの積み上げ高さ h_0 の約4倍上空—における、クリブのもえている時間(約15分間)の平均風速をとった)が4~5m/sec程度であったが、そういう風の場の下では、炎の立ち上りは平均してクリブの積上高さ(h_0)の5~6倍、最高では8~10倍に達した。

(6) しかし、クリブの周辺には、とくに異常な気流(旋風など)は認められなかった。(本研究ではないが、従来我々の研究所が関与した野外火災実験で、旋風状の現象が認められたことが1回、ある。それは、昭和44年3月25日に同じく埋立地で行なった野外火災実験で、このときは、積上高さ7段、1辺2mのクリブを南北に10列、東西に10列、計 $10 \times 10 = 100$ 単位並べて、すべてのクリブに殆んど同時に点火し炎上させた



(a)



(b)

図-24 実大家屋の火災実験(昭和45年12月)

(a)点火前。(左側の家屋に点火した)

(b)点火後。(中間路上の車が炎上している)

実験であった。このとき、周辺の観察者4、5人が点火1分目にクリブ群の風下側に弱い“たつま

き・状の気流を認めている。それは高さ5m、直径20～30cm、と報告されている。

〈日本建築学会関東支部第40回研究会梗概集・昭44・第4部会・P.277-280〉このときの平均風速は3m/secである。ここに述べる延焼実験時に比べると風速が全体として小さく、かつ燃焼区域が大きいこと、が実験条件として本報告の実験と異なっている。)

(6) 炎の傾き

本研究の両年度の延焼実験では、いずれも火源(クリブ)から風下について斜め上方(地表よりの仰角にして約40度位の方向)になびいた。

この傾向は、従来の当所の特別研究(防災拠点)で実施した十数回の野外実験と同じである。また昭和45年12月、やはり埋立地において実大2階建家屋を5軒並べて行った火災実験(このときの主目的は巾20mの道路に並んだ18台の自動車に家屋火災が延焼するか否かを調べる実験で、結果として家屋に点火後2分余りで自動車に次々と移った。「大震火災時における路上自動車の延焼に関する研究」東京理大・浜田稔、昭和46年3月より引用、図-24(参考写真)を参照)における炎の傾きとも一致する。その実験では平均風速4.7m/secであった。

6. 結 び

(1) 昭和45、46両年度の野外火災実験から、密集木造市街地に大地震などが原因で発生する多数火災による延焼は、少々の風があれば風下方向に比較的速く進行し、せまい道路などでは阻止することが難しい。

大地震発生と同時に起こるであろう水道管等の断絶およびガス配管などの損傷による火災原因の累加を考慮すれば、延焼防止対策としては、かなり広い幅員の道路を必要とする。ここに行なった「実験」だけからいえば、木造家屋高さの20倍以上の巾の道路があるであろう。但し、そのさい路上に可燃物が存在しないことを前提とする。

また一方、木造密集市街地は、できるだけ不燃化し、かつ公園などの空地をとることが望ましい。

(2) ここに行なった野外模型火災実験では、特に異常な現象(旋風の如き)は起らなかった。これは、実験のスケール——炎上区域や燃焼の持続時間(火災の継続時間など)——と風速、地形地物などのかねあい、と思われ将来の問題である。

いわゆる「火災実験」といっても、ある条件の下における「実験」であり、決して実際の大火災(大きな火事の“わざわい”)を何分の1かに圧縮して再現しているものではない。という認識が必要である。

例えば、火災実験は、埋立地という土のある地面にクリブを多数並べたものだが、現実の密集市街地の道路はアスファルトなどで固められている。そこに一せいに火災がおきた場合には、生ずる熱気や炎による地面近くの熱量のやりとりの仕方もちがうはずである。

現在、火災のような高温気流と換型のスケールとの関係——いわゆる相似律——は解っていない。したがって、以上に述べた火災実験が、実際の地震火災の市街地のスケールの何分の1に当たるか、という議論は困難である。前項に述べた結論も、模型実験としての結論である。

やはり、大都市内ではいろいろな災害によって悪い環境になっても、なお人々の行動(避難とか救急とか)に「ゆとり」のある市街地にすることが終局的な対策の目標であろう。

(研究従事者代表)

45年度・入沢 恒(前第1研究部長)

46年度・高原 栄重(都市防災研究室長)

根根 孝(設備計画研究室長)