

地上火災時における地下タンクの安全性*

手 嶋 立 男** 田 辺 郁 男**
中 川 勇 幸** 米 谷 光 弘**

The security of an underground steel room in the case of a fire on the ground

Tatsuo TEJIMA, Ikuo TANABE
Masayuki NAKAGAWA, Mitsuhiro YONEYA

This paper describes the security of an underground steel room in the case of a fire on the ground. The underground room tested is cylindrical form and its dimensions are 2 m in diameter, 2m in height and the wall thickness is 3.2 mm. The structure built of wood over the ground is two storied and the floor area is 16 m². After filling up 5 ton of wood, a fire was caused.

From the experimental results and the theoretical analyses, the following conclusive remarks were drawn.

- (1) Although the grade of fire was the highest class and the scale of it was appropriate, the increase in the temperature inside the underground room was only 2 degrees.
- (2) The density of CO gas in the room was 1/500 of the fatal dose, and that of CO₂ was 1/100.
- (3) Most part of the heat transfer was conducted through the entrance of the underground room.
- (4) When the soil of 0.5 m height covers the upper side of the room, the room is regarded to be secure more than 10 hours from the viewpoint of temperature.
- (5) When the outside wall is covered with 3 pieces of the firebrick, its insidewall is freedom from danger for 10 hours.

1. ま え が き

欧米などの諸外国に比べて、非常に住宅事情の悪い日本にとって、土地の有効利用は重要な課題である。限られた面積の中で部屋の増築を考えると、2階・3階と上へ拡張するか、地下に拡張するしかない。その中で、前者は実施されているが、後者に関しては貯蔵庫的な地下室以外まだ普及していない。その理由は、従来の地下室がレンガやコンクリート構造であるため、施行が大変・建設費がかかる・地下水の漏水などの欠点があり、地下室を居室として考えられなかったことによる。

しかし鋼製の地下室（以下地下タンクと呼ぶ）を埋設することによりそれ等の欠点を解消し、同時に鋼製地下室に関する研究¹⁾より、地下タンク内は夏季20°C・冬季10°Cの室温で、騒音も地上より28ホーン低いなど地下タンクが静かで居住性抜群との好結果が得られている。だが地下タンクを人間の生活空間として考える場合、地上火災に対する安全性に関しての資料は皆無である。

そこで本研究では、地上火災時における地下タンクの安全性について検討する。

2. 装置及び方法

装置の全容を図1に示す。

地中に埋設した地下タンクは床面積3平方メートル・高さ2 m・肉厚3.2 mmの円筒型タンクで、入口部は直径0.66 m・高さ0.7 mとなっている。地下タンクは地表から2.5 mの深さに埋設し、タンクの天井に0.5 m土をかぶせてある。

地上の建築物は縦3.6 m（二間）、横4.5 m（二間半）、高さ2.7 m（一間半）の木造2階建て、延べ32 m²の大きさである。地上建築物を構成している骨組材・敷板・腐材の総量は5000 kgfである。これは防災ハンドブック²⁾から、住宅の場合の可燃物量が建物構造材で130 kgf/m²、造作家具類で30 kgf/m²となり合計160 kgf/m²に相当する。

温度測定点は図1のように地上2点・地表1点・地中3点・タンク内8点である。これ等の中で地上2点の温度とJIS-A1301³⁾の「火災の温度標準曲線」と比較し

*原稿受付 昭和68年4月4日

**長岡技術科学大学（長岡市上富岡町字長峰1803-1）

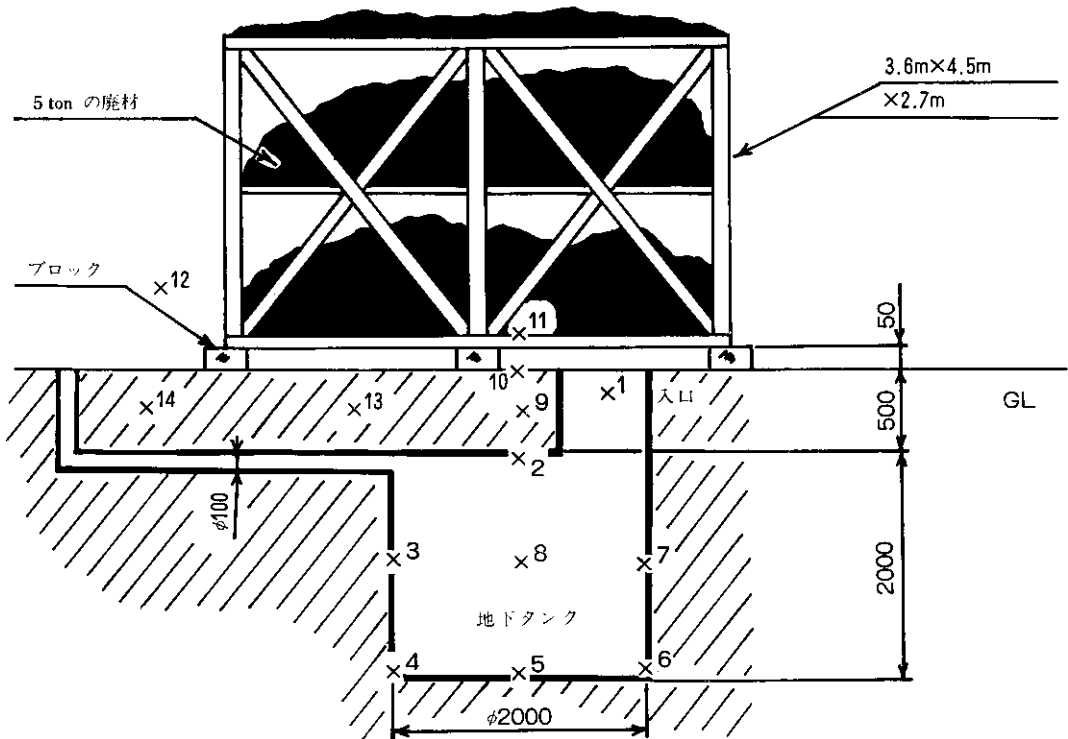


図1 地下タンクと地上構造物及び熱電対セット位置

て今回の火災の程度を調べる。次に地表から同深さ異地点の温度差の有無によってタンクの規模の妥当性(水平方向への熱の流出がない)を調べる。またタンク内の8点によって主たる熱の伝導経路を解明すると共に、人間の生存が可能な温度かどうかを調べる。温度測定にはアルメルクロメルの熱電対を使用し、インターバルは1分毎とする。

地下タンク内のガス濃度測定は特に人間に害を及ぼすと考えられる一酸化炭素と二酸化炭素の2種類について行なう。測定は地下タンクに取付けた $\phi 100 \times 12$ mのパイプ中にホースを通し、片端を地下タンク内底より0.8mの所に固定し、もう片端は地上でドレーゲル検知管を接続して行なった。インターバルは10分とし、また確認のためハムスターを2ひき入れ生存を確かめた。

火災状況の記録はカメラを火災現場に2台セットしてインターバル1分として撮影をした。

その他、環境条件を測定するため温度計、湿度計、風向計、風力計を用意した。

3. 結 果

火災の状況を図2・3・4・5・6に示す。図2: 1

階の天井付近が燃えている。この後、火災は漸次上下に燃え広がって行く。図3: 建物全体に火がまわっている。この状態で建物中央地表より1mの位置で 292°C 、地表で 53°C である。図5: 燃えた廃材が地面に積み重なっている。地上1m(図1・No. 11)で 1127°C 、地表(図1・No. 10)で 430°C である。しかし地下タンク内の雰囲気温度(図1・No. 8)は 22°C であり、その後積み重なった廃材が燃えつきるまでこの状態が続く。図6: 地表温度 268°C 、地下タンク内 23°C であった。なお、実験時の飛火は150mであった。

火災の程度を判定するため、本実験の建物中央地上1mの位置の時間—温度曲線とJIS—A1301の加熱曲線を図7に示す。

火災の規模を判定するため、深さが250mmで位置がタンクの真上とそこから水平方向に2m離れた2点についての時間—温度曲線を図8に示す。

地下タンク内の温度分布を図9に示す。

地下タンク内の一酸化炭素、二酸化炭素の濃度測定の結果を図10に示す。



図2 着火後1分



図5 着火後22分



図3 着火後9分

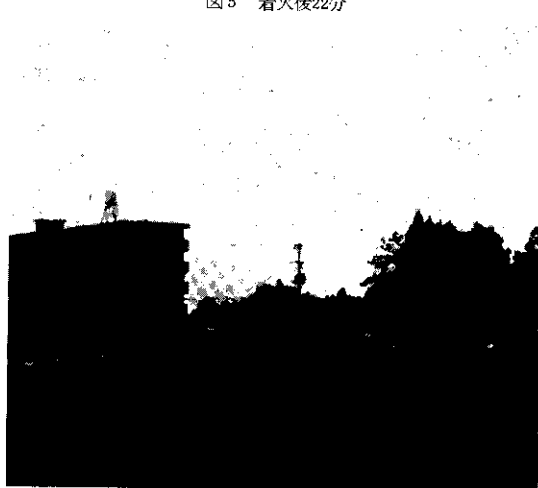


図6 着火後47分



図4 着火後14分

4. 考 察

4.1 火災の程度・規模

火災の程度は JIS・A1301 より『試験体（建築物）の大きさは壁床がそれぞれ1.8m×1.8m以上、柱長さ1.8m以上、梁長さ1.8m以上でなければならない、そこでの加熱1級曲線とは着火10分程度経過後の最高温度が1100℃以上となるもの』であり、まず本実験の地上建築物の大きさは充分であった。次に実験の結果の図7の時間—温度曲線より10分で1,000℃付近まで温度が上昇し、最高温度は1,200℃を越えており、これは JISA 1301の火災温度標準1級と同程度であった。

火災の規模は図8に示される。図より火災実験中、地中の同深さで地下タンク真上は20.3℃一定であり、またそこから2m離れた地点では22.0℃一定であった。

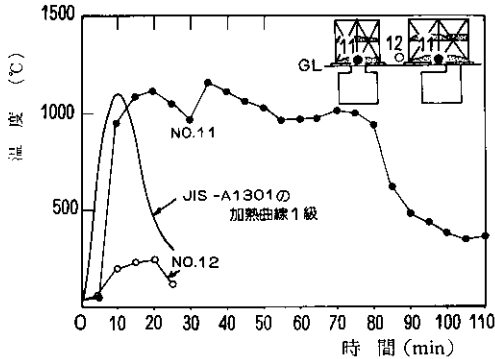


図7 地下タンク耐火試験における温度分布(火災の程度)

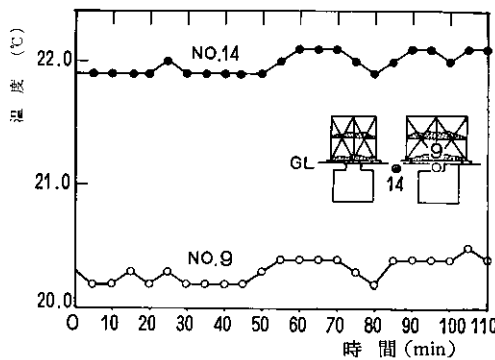


図8 地下タンク耐火試験における温度分布(火災の規模)

これより2つの事がわかる。まず第1に2時間程度の火災に於いて地表より0.25mの位置では土への熱伝導はまだない。第2に同深さでの熱の移動はむしろ地下タンクのまわりから地下タンクに流れていた。以上のことから地上構造物の延べ面積を増加しても2時間程度の最大級火災では今回の実験の結果と同じと予測でき、今回の火災が規模的に妥当であったと言える。

4.2 地下タンク内の安全性

地下タンク内の温度分布の図9で、No. 7の地下タンク内雰囲気温度は25°Cから2.5°C上昇しただけで温度の面で安全性が確認された。またフタ裏のNo. 1のみが2時間後に100°Cを超えている。これは、地表から出ている部分に断熱の目的でロックウール(10mm)をはったものが燃焼して入口の鋼板部が1000°C以上の雰囲気温度中にさらされたためである。しかしロックウールを主体とした中ブタの効果が大きく影響している。No. 1とNo. 2を比較すると主たる熱の伝導経路が地下タンク上の土からでなく、入口からであることがわかる。

地下タンク内のガス濃度測定の結果より、二酸化炭素は実験時を通して0.02%~0.04%のたい一定値を示した。一般に二酸化炭素は事務所、デパートなどでは、

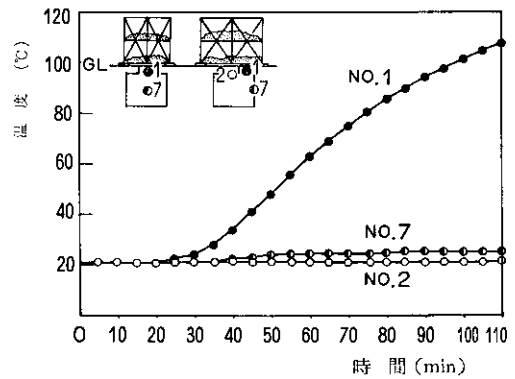


図9 地下タンク耐火試験における温度分布(タンク内)

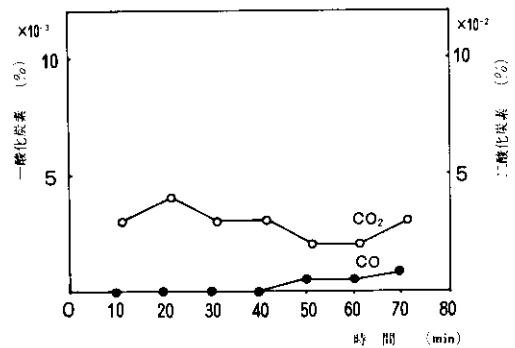


図10 耐火試験における地下タンク内の雰囲気成分

0.05~0.3%程度であるが2%を越えると呼吸困難となり6~7%を越えると生存が不可能である⁴⁾。本実験では致死量から比較すれば極めて微量の100分の1程度であった。また一酸化炭素は最初0%であったが、実験開始後50分で増加を始めた。そして70分後には 8×10^{-4} %を示した。一般に一酸化炭素は自動車の排気ガスに1~7%、煙草の煙にも0.5~1.0%程度含まれている。また0.2~0.3%で人間の中毒症状を起こさせ、換気の不良な部屋ではしばしば窒息死の原因となる⁴⁾。本実験では致死量の500分の1であった。タンク底に入れた2ひきのハムスターは普通の状態に健在だった。

4.3 火災が長時間続いた場合の理論解析

4・1, 4・2より地上火災が最大級の程度、妥当な規模であるにもかかわらず、地下タンク内は温度・ガスの2面から安全であることが確認された。しかしあくまでも2時間程度の火災であり長時間火災のデータは取っていない。そこで火災現場から採取した土の熱伝導率データをもとにして実際の火災を簡単にモデル化して数値解析し、最大級の火災が5日間程度続いた場合の時間的な考察を行なう。

表1 土の物性

種類	粒 径	重 量 (%)		
		地上から 5.00mm	地上から 15.00mm	地上から 25.00mm
水 分	—	10.3	10.9	12.7
石 (れき)	≥ 2mm	57.8	55.9	47.0
砂 (粗)	0.25-2mm	30.3	31.1	37.3
土	≤ 0.25mm	1.6	2.1	3.0

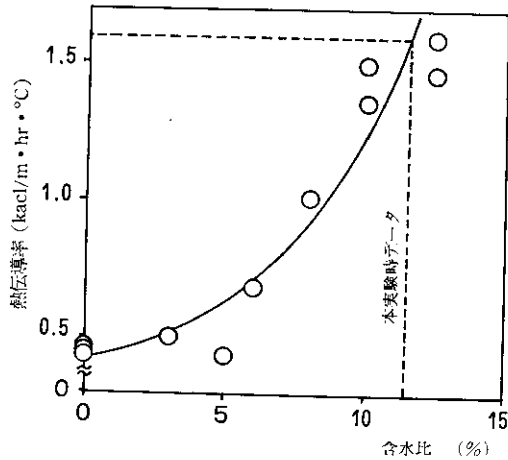
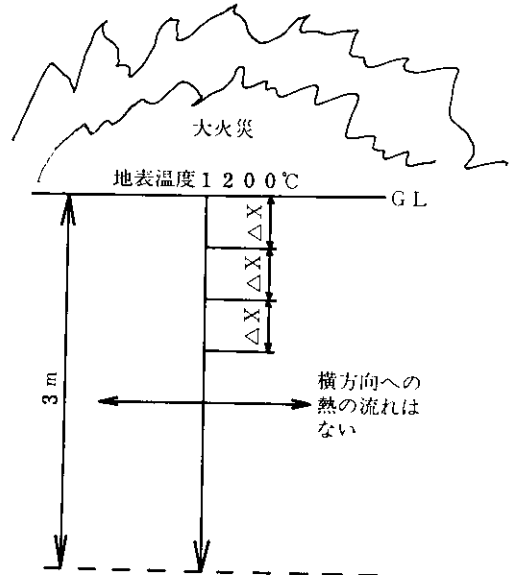


図11 含水比—熱伝導率特性

理論解析のために採取した土の粒度、含水比を表1に、またその土の含水比が変わった場合の熱伝導率を予備実験より求め図11に示す。含水比15%で土は、ぬかるみ状態となるため今回の解析は土の熱伝導率を $0.45 \sim 1.60 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ とした。

理論解析の方法として階差法 (シュミット—棚沢の法) を用いた。図12に示される様に大火災を仮定して土へ伝わった熱が水平方向へ流れないと考え、非定常一次元の熱伝導問題とした。また各境界条件は、土の表面温度を、 1200°C (一定)、土の初期温度 24°C としてその他は図のような条件とした。また地下タンクは入口の断熱をしっかりとせ (後述) 土からの熱伝導のみの解析をする。なお解析の妥当性については表2ような Heisler 線図との比較の結果を得ている。解析の結果を図13に示す。○印は乾いた土 (熱伝導率 $0.45 [\text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$) と△印は本実験時の土 (熱伝導率 $1.60 [\text{kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}]$) の解析結果である。火災が長時間続いた場合に地中は 100°C に達すると同時に湿った土は酸化熱をうばいながら含水比が次第に零に近づき、それに伴って乾燥し、熱伝導率



地中の初期温度 24°C
 土の熱伝導率 $\lambda_1 = 0.45 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$
 $\lambda_2 = 1.6 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$
 温度伝導率 $\alpha_1 = 0.0005 \text{ m}^2/\text{hr}$
 $\alpha_2 = 0.0016 \text{ m}^2/\text{hr}$
 刻み $\Delta X = 0.02 \text{ m}$

図12 階差法 Schmidt—棚沢 非定常一次元モデル

表2 熱伝導率: $1.6 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ 時における階差法と Heisler 線図の比較

	階 差 法	Heisler 線 図
加熱側表面温度	1200℃	1062℃
地表からの距離 0.125m	161℃	177℃
地表からの距離 0.25 m	26℃	36℃
地表からの距離 0.50 m	24℃	24℃

が $0.45 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ に近づく。すなわち本実験の様にある程度の含水比の土のデータは○印と△印の間にあると考えられる。たとえば地表より0.5mの位置で 24°C から 6°C 温度上昇するまでの時間は熱伝導率 $0.45 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ の乾いた土で1日間、 $1.6 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ で10時間であり、実際の時間は、この間にあると考えられる。

4.4 地下タンク入口構造の理論解析

4.2 から地下タンクへの主たる熱の伝導経路が地下タンクの入口であること、4.3 から長時間火災が続いた場合の土からの熱伝導を考慮すべきである事がわかった。この2点から地下タンクの安全性を考える場合に、地下タンクの入口構造の時間的検討をしなければならない。

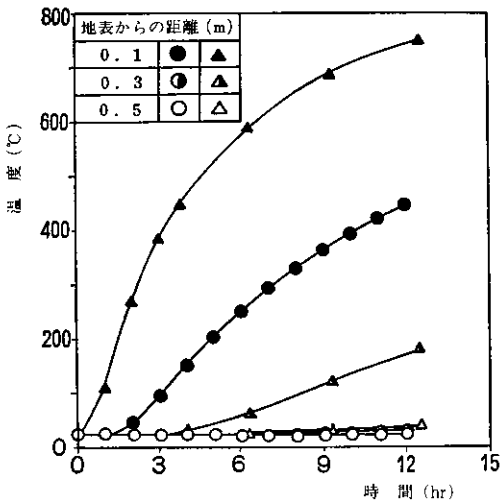


図13 階差法による地中の温度分布

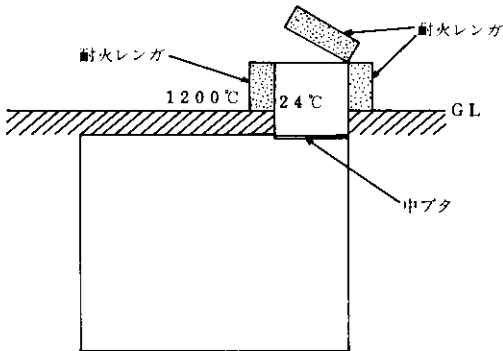


図14 地下タンク入口の構造

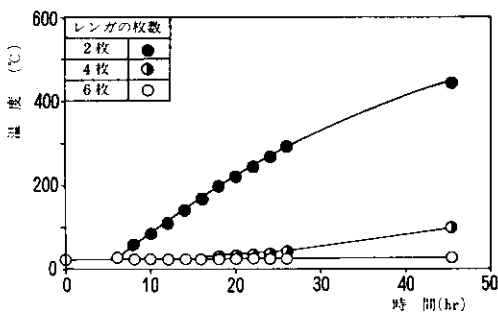


図15 A類レンガを用いた場合のタンク入口部温度

解析手法は4.3と同様にシュミット-棚沢の非定常一次元の階差法である。モデルは図14のように地下タンクの地上に出ている入口部分に炉内壁に使用されている安価

なJISのA類耐火レンガ(R2611, 熱伝導率 $0.11 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$, レンガ厚さ 65 mm) をはった場合にレンガ表面が 1200°C 一定の時, 地下タンク内壁が 24°C を保持し続けることのできる時間を解析した。なおパラメーターはレンガの厚さである。図15の結果より10時間程度の火災ならば, 最も安価なJIS・A類耐火レンガを3枚重ねれば充分であり2日間程度なら同種レンガを6枚重ねれば安全である。また実際にはレンガの接触面に熱抵抗が存在するため枚数は幾分少なくなると考えられる。しかしいずれにしてもレンガを3~6枚も重ねる事は施工及び使用上困難であり, レンガの間の熱抵抗を利用することや, 中ぶた(図14)を設けてレンガ構造部の地下タンク内壁温度の上限をもっと高くし, 外壁のレンガの枚数を減少させることが必要である。

6. 結 論

以上, 地上火災時における地下タンクの安全性の実験と理論解析から以下の結論を得た。

- ① 地上火災は, 地下タンクに対して最大級程度, 妥当的規模であった。
- ② 地下タンクの雰囲気温度は火災前より 2.5°C 上昇しただけだった。又, 雰囲気ガス濃度は, 二酸化炭素が致死量の100分の1, 一酸化炭素が致死量の500分の1であり安全であった。
- ③ 主たる熱の伝導経路は入口からであった。
- ④ 地表が 1200°C の高温に熱し続けられた時, 地中の温度が 24°C から 6°C 上昇する時間は, 地表より 0.5 m の地点では10~24時間, 地表より 1.0 m の地点では2日以上と解析された。
- ⑤ 地下タンクの入口構造として, JIS A類耐火レンガ(厚さ 65 mm) を用いた場合, レンガ表面が 1200°C でもタンク内壁が 24°C を保持し続けるレンガ枚数は, 3枚で10時間, 6枚で2日間であった。またレンガ間の熱抵抗や中ぶたの構造を考えれば, レンガ枚数を少なくできる。

文 献

- 1) 手嶋立男ほか: 長岡技術科学大学研究報告第4号 p. 59 (1982)
- 2) 防災ハンドブック委員会: 防災ハンドブック (技報堂)
- 3) 日本規格協会: 建築物の木造部分の防火試験法 JIS・A1301
- 4) 石田武ほか: 保健衛生学 (杏林書院)