

トンネル内の車両火災による構造部材の温度解析と耐火被覆材の効果

早稲田大学理工学部 学生会員 松田 貴之
早稲田大学理工学部 フェロー 清宮 理

1.はじめに

沈埋トンネル内で発生した車両火災による構造部材に生じる温度と耐火被覆材の効果について検討した。コンクリートと鋼材による合成式沈埋トンネルと通常の鉄筋コンクリート式沈埋トンネルのそれぞれを構成する部材を有限要素モデル化し火災源として RABT の加熱曲線を与えた。熱伝導解析より得られた結果を元に温度分布状況（構造部材毎の温度 - 時間曲線等）および耐火被覆材の必要厚さについて検討した。

2.トンネル構造部材

図-1 に合成式沈埋トンネルの概要を示す。構造部材はサンドイッチ部材で鋼板が表面に位置し内部が充填コンクリートである。コンクリートの性状は温度が 100 程度までは常温のときと同じであるが、350～500 以上で急激な強度低下を示す。650～750 で強度が約半分になる。鋼板の強度は、300～400 で強度が低下し 500 以上で半減する。この状態では、部材が周囲からの土圧、水圧に対して破壊すると考えられる。

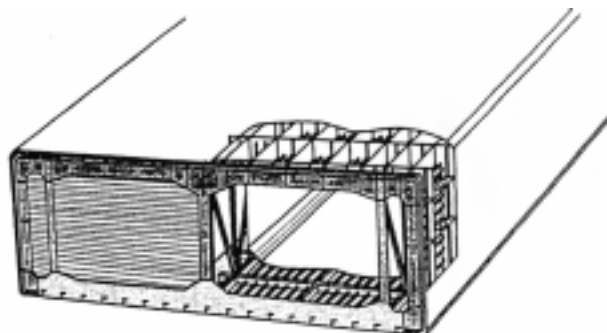


図-1.合成式沈埋トンネル

また耐火被覆材はトンネル内部の構成部材を火災による強度低下からまもるために使用する。一般に耐火被覆材には貼り付け工法、巻き付け工法、吹き付け工法等がある。今回の解析にはセラミックプロテクター（CP）を検討対象とした。CP の特長として耐火性、断熱性、耐衝撃性に優れていることが挙げられる。

3.トンネル構成部材のモデル化

今回の解析モデルは二種類である。一つは耐火被覆材とコンクリート部材のみで構成されたもの、もう一つは耐火被覆材と鋼材、コンクリートを組み合わせた合成部材とで構成されたものである。それぞれをモデル 1、モデル 2 とする。モデル 1、モデル 2 とともに耐火被覆材の厚さを 10,20,25,30 mmとし、コンクリートの厚さを 200 mmとした。そしてモデル 2 にはコンクリート部材をはさむようにして 6 mmの厚さの鋼材を配置した。要素数は約 200 程度で座標を 1 mm刻み程度とした。一次元解析モデルの概要を図-2 に示す。

解析モデル 1



解析モデル 2



図-2.解析モデルの概要

表-1 定数一覧

温度 t []	コンクリート λ [W/mK]	コンクリート c [J/kgK]	鋼材 λ [W/mK]	鋼材 c [J/kgK]	CP λ [W/mK]	CP c [J/kgK]
0	2.886	699.2	55.01	481.5	0.028	879.2
100	2.414	815.2	51.84	489.5	0.033	879.2
200	2.014	917.6	48.46	513.5	0.042	879.2
300	1.686	1006.6	44.99	553.5	0.055	879.2
400	1.431	1082.1	41.57	609.5	0.071	879.2
500	1.248	1144.1	38.32	681.4	0.091	879.2
600	1.138	1192.6	35.37	769.4	0.115	879.2
700	1.100	1227.7	32.84	873.4	0.142	879.2
800	1.134	1249.2	30.87	993.3	0.174	879.2
900	1.241	1257.3	29.57	1129.3	0.209	879.2
1000	1.420	1251.9	29.08	1281.2	0.248	879.2
1100	1.671	1233.0	29.52	1449.2	0.290	879.2
1200	1.995	1200.7	31.02	1633.1	0.336	879.2

キーワード：車両火災、耐火被覆材、熱伝導解析、沈埋トンネル

連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学 51 号館 16F-01 TEL/FAX03-5286-3852

 : セラミックプロテクター
  : 鋼材
  : コンクリート

表-1 にコンクリートと鋼材および耐火被覆材の熱伝導率と比熱の温度依存性を示す。なお、表中の λ は熱伝導率、 c は比熱である。

4. 入力加熱曲線

入力した加熱曲線は図-3 に示すドイツで用いられている RABT 曲線（道路トンネルの構築と管理に関する基準）を使用した。加熱後 5 分で最高温度の 1200 に達し、その後一定時間最高温度で熱した後、冷却する。この温度曲線は危険物掲載車両等による火災を対象としている。

5. 温度分布状況

耐火被覆材表面、裏面およびコンクリートの任意の深さでの火災発生源 - 温度分布状況を図-4、図-5 に示す。なお、耐火被覆材の厚さは 25 mm である。コンクリート部材、合成部材ともに耐火被覆材の裏側で温度が低くなり、コンクリート部材については内部のコンクリートの温度が最高で 150 程度に収まり、また合成部材における最高温度は 115 程度、鋼板の最高温度は 150 程度に収まって両部材とも温度上昇は大きくならず、耐火被覆材の効果が認められた。

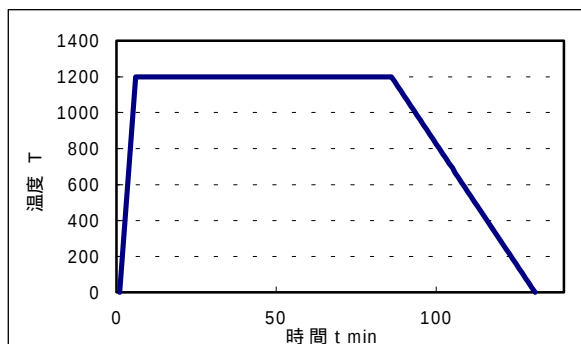


図-3. 入力する加熱曲線

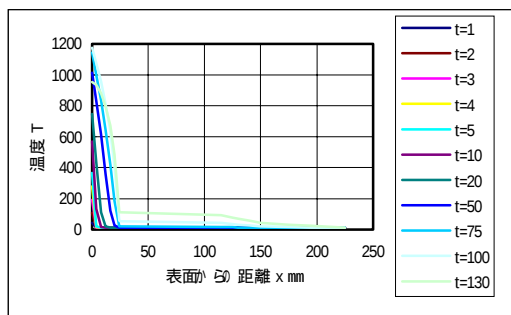


図-4. コンクリート部材での計算結果

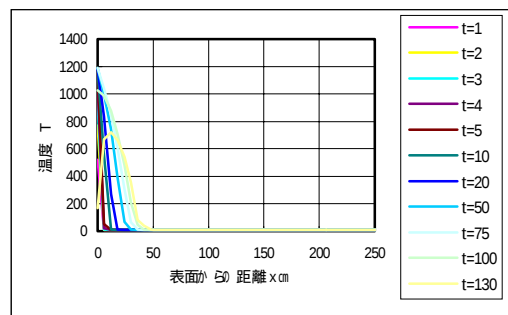


図-5. 合成部材での計算結果

6. 結論

今回の解析では主にコンクリート部材と合成部材における耐火被覆材の温度分布を求めた。その結果を図-6 に示す。耐火被覆厚さが大きくなるほど裏面の温度は低くなる。

解析結果からわかることとして、コンクリート部材に関しては 250 付近から脱水が始まり、350 付近から強度の低下をすることを考慮すると、セラミックプロテクターの厚さは図-6 からわかるように 25 mm 以上にするのが望ましい。また、合成部材に関してはセラミックプロテクターに隣接する鋼材が 300 付近まで強度を保つことができるので、セラミックプロテクターの厚さは少なくとも 20 mm 以上あれば耐火被覆材としての役割を果たすことが計算結果からわかる。

参考文献

- 1) 清宮理、飯田博光、滝本孝哉、：沈埋トンネル内の車両火災への対策の現状，トンネルと地下，2000.4，pp.63-70 . 2) 飯田博光、小林享、近信明、清宮理：沈埋トンネルの耐火被覆材の性能試験と数値解析，構造工学論文集，Vol.44A，1998.3，pp.257-262 . 3) 近信明、清宮理、飯田博光：車両火災を想定した沈埋トンネル接続部の熱伝導解析，第 52 回土木学会年次学術講演会，1997.9，第 6 部，pp.584-585

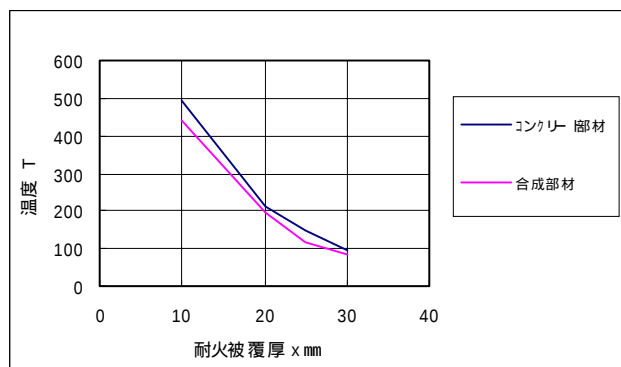


図-6. CP 裏面における最高温度と耐火被覆厚との関係