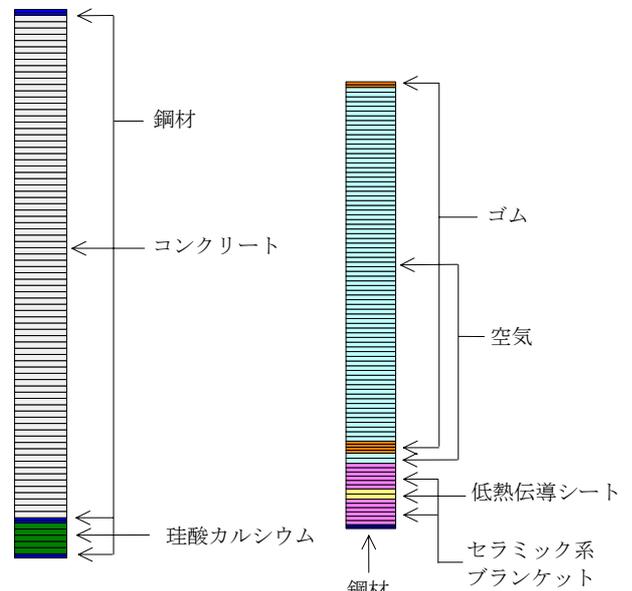


## 沈埋トンネル継手部における耐火被覆の熱伝導解析

早稲田大学	学生会員	○中井 章裕
早稲田大学	フェロー	清宮 理
国土交通省近畿地方整備局	正会員	工藤 健一
国土交通省近畿地方整備局	正会員	山本 邦夫

**1. 目的** 沈埋トンネルは耐震性および沈下対策として函体間に継手部が存在し、ここにゴム製のクラウンシール（図1）を用いた場合、トンネルの軸方向・せん断方向移動に追従して自由に変形できるという優れた特徴を発揮する。近年、トンネル内の車両火災が問題となってきており、継手部が高温に晒された場合には甚大な損傷を受けることが懸念されることから、適切な耐火被覆の設置が必須となる。本検討では、ゴム製のクラウンシールに対するブランケット型耐火被覆の有効性について、耐火実験を参考として熱伝導解析をおこない確認した。

**2. 解析モデル** 本検討では、汎用有限要素法解析ソフト（Diana ver8.1:TNO Diana BV）を用いて1次元および2次元熱伝導解析をおこなった。鋼殻一般部の耐火被覆は珪酸カルシウム（厚さ 60mm）とし、クラウンシール部の耐火被覆はセラミック系ブランケット（厚さ 100mm）と低熱伝導シート（厚さ 20mm）を組み合わせた。1次元モデルは、鋼殻の表面を着目点とした鋼殻一般部モデル（図2-a）と2次止水ゴム表面を着目点とした継手部モデル（図2-b）の2種類とし、モデル上縁には熱伝達境界を設定して外気温を15°Cに固定した。2次元モデル（図3）は、1次元モデルと同位置を着目点として継手部を含む躯体幅3m範囲をモデル化し、熱伝達境界・外気温については上縁に加え、耐火実験と同一となるようにモデルの左右両縁に設定した。各モデルに対する入力温度はRABT60分曲線とし、熱伝導率および比熱の温度依存性（表1）を考慮した。



(a) 鋼殻一般部 (b) 継手部  
図2 解析モデル図（1次元）

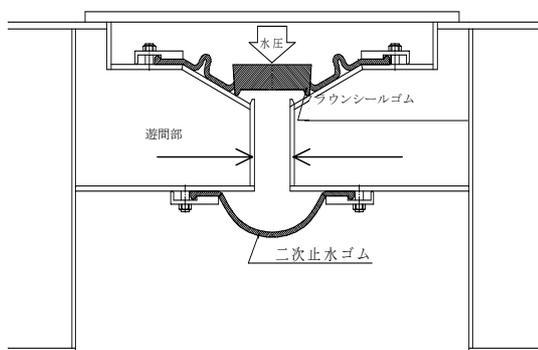


図1 ゴム製のクラウンシール概要図

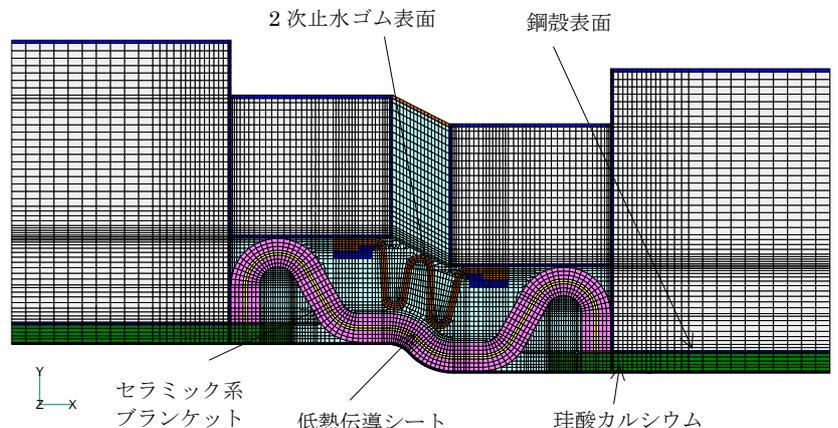


図3 解析モデル図（2次元）

キーワード 沈埋トンネル, 耐火被覆, 熱伝導解析

連絡先 〒160-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 51号館 清宮研究室 TEL: 03-5286-3852

3. 解析結果および考察 図4に150分時の継手部の

温度分布を示す。ゴム表面の温度は100℃前後となっており、コンクリート深部は高温域となっていない。図5に1次元熱伝導解析および2次元熱伝導解析における鋼殻表面の温度-時間曲線を示す。両結果とも最大温度は230℃程度と概ね等しくなり、除冷の速度も同様の傾向となった。図6に1次元熱伝導解析および2次元熱伝導解析における2次止水ゴム表面の温度-時間曲線を示す。除冷の速度が大きく異なったものの、両結果とも最大温度は135℃程度となった。本モデルにおけるゴム材の設計温度は75℃と設定されており、実物大模型実験によると2次止水ゴム表面の最大温度は63℃と計測されている。これと比較すると解析では2倍程度の結果が得られたことになる。誤差が大きくなった理由は、対流の影響を無視したことによるものが大きいと考える。一般に空気の対流は高温域から低温域に熱を運ぶ機能を有する事により、これをモデルに取り入れれない場合は空気層が断熱層として働くと考えられている。本モデルでは耐火被覆-2次止水ゴム間の空気層の厚みが薄いことより、この間では熱が正常に伝えられた一方で、周囲の空気が断熱層として作用したことによる温度の滞留が原因だと考える。今後はこの点に加えて、耐火材料の熱特性の詳細な把握、水蒸気の影響についてより詳細に検討したい。

表1 温度依存物性値

温度 ℃	鋼材		コンクリート		珪酸カルシウム		セラミック系ブランケット	
	熱伝導率 W/mK	比熱 J/kgK	熱伝導率 W/mK	比熱 J/kgK	熱伝導率 W/mK	比熱 J/kgK	熱伝導率 W/mK	比熱 J/kgK
0	55.0	481.5	2.866	699.2	0.079	1000.0	0.051	1000.0
100	51.8	489.5	2.414	815.2	0.105	1000.0	0.101	1000.0
200	48.5	513.5	2.014	917.6	0.143	1000.0	0.199	1000.0
300	45.0	553.5	1.686	1006.6	0.193	1000.0	0.345	1000.0
400	41.6	609.5	1.431	1082.1	0.255	1000.0	0.539	1000.0
500	38.3	681.4	1.248	1144.1	0.329	1000.0	0.781	1000.0
600	35.4	769.4	1.138	1192.6	0.415	1000.0	1.071	1000.0
700	32.8	873.4	1.100	1227.7	0.513	1000.0	1.409	1000.0
800	30.9	993.3	1.134	1249.2	0.623	1000.0	1.795	1000.0
900	29.6	1129.3	1.241	1257.3	0.745	1000.0	2.229	1000.0
1000	29.1	1281.2	1.420	1251.9	0.879	1000.0	2.711	1000.0
1100	29.5	1449.2	1.671	1233.0	1.025	1000.0	3.241	1000.0
1200	31.0	1633.1	1.995	1200.7	1.183	1000.0	3.819	1000.0

温度 ℃	低熱伝導シート		ゴム		空気	
	熱伝導率 W/mK	比熱 J/kgK	熱伝導率 W/mK	比熱 J/kgK	熱伝導率 W/mK	比熱 J/kgK
全温度	0.030	1000.0	0.200	1900.0	0.0241	1006.0

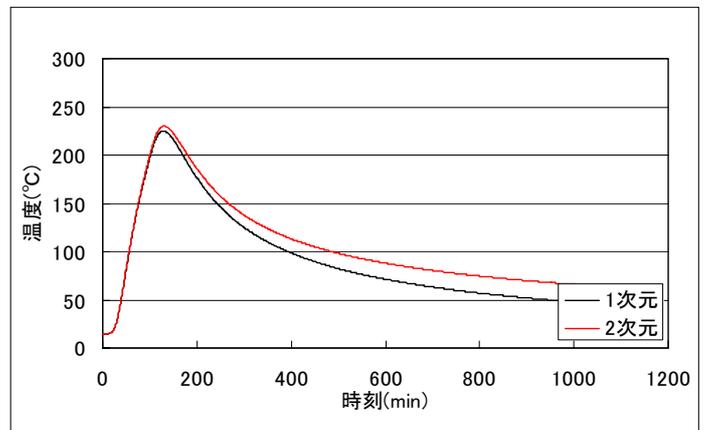


図5 鋼殻表面の温度-時間曲線

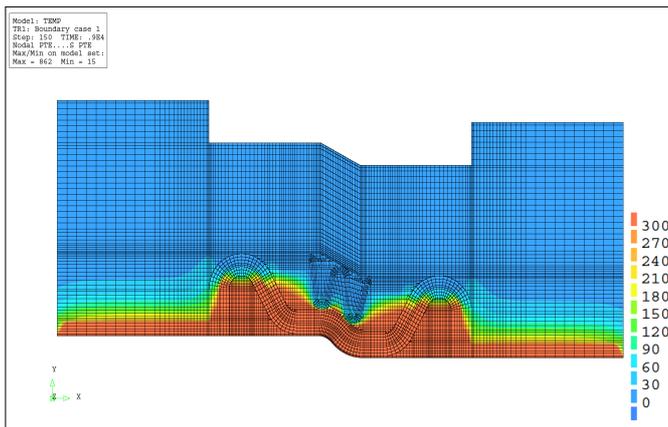


図4 150min時の温度分布

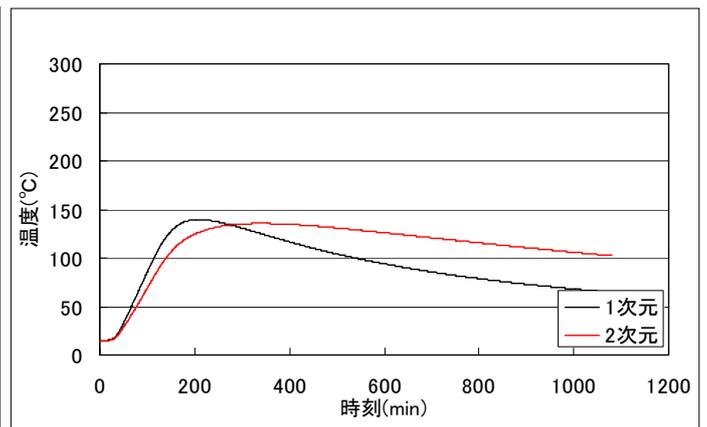


図6 2次止水ゴム表面の温度-時間曲線

4. まとめ 耐火被覆の検討では1次元熱伝導解析が用いられる事が多い。本検討では、鋼殻一般部のように主方向に形状が変化しない部位では1次元熱伝導解析と2次元熱伝導解析の結果は概ね等しくなるが、継手部のように複雑な部位では温度履歴に差が生ずることを確認した。

参考文献 1) 清宮、松田、松尾:トンネル内の車両火災への対火被覆材の効果に関する熱伝導解析、コンクリート構造物の耐火技術研究小委員会報告ならびにシンポジウム論文集、2004. 10、pp. 257~262 2) 飯田、小林、近、清宮:沈埋トンネル接合部の耐火被覆材の性能実験と数値解析、構造工学論文集、1998. 3、pp. 93~101