

# 沈埋トンネル鋼殻構造の耐火性能確認試験

近畿地方整備局 神戸港湾空港技術調査事務所 藤本 成児

## 1 序論

沈埋トンネルは、沈埋函と呼ばれるトンネル躯体を造船ドック等で製作した後、海底に順次設置する工法により建設される。近年、この沈埋函の構造として、鋼板でコンクリートを挟んだ形状の、鋼・コンクリートサンドイッチ構造を採用する事例が増えている。国土交通省近畿地方整備局では、大阪港夢洲トンネルにおいてこの構造を採用し整備を進めている。

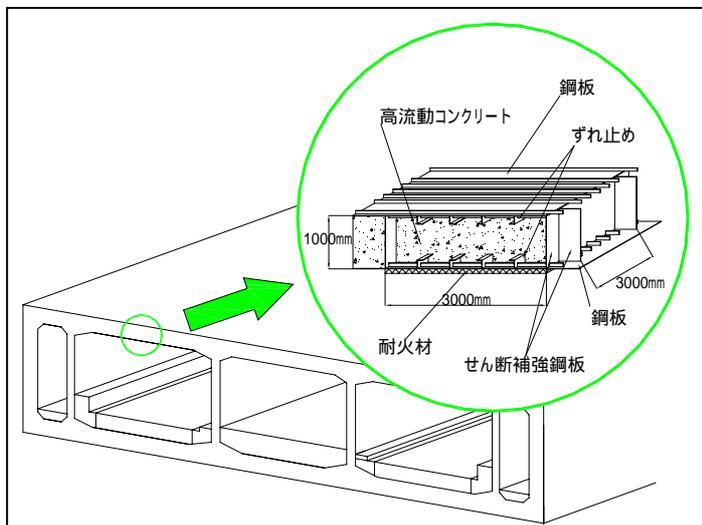


図 - 1 鋼・コンクリートサンドイッチ構造の沈埋函の一例

図-1 に示すように、本構造は鋼板が道路面に露出していることから、トンネル内で発生する恐れのある車両火災に対して、鋼板表面に施工する耐火材でトンネル躯体を守ることにしている。この耐火設計を行う際に議論となるのはトンネル構造を形成する部材の許容温度である。従来、トンネルにおける鋼材・コンクリートの許容温度は、材料強度から 350 とする事例が多い。しかしながら、沈埋函の場合には、部材内部にせん断補強鋼板が配置され、完全に密閉された構造(隔室)となっており、内部温度が 100 を上回るとコンクリート内の水蒸気圧が発生し、変形が進行する可能性がある。また、鋼材とコンクリート間の温度の違いによる変形差がずれ止めに集中する可能性がある。しかしながら、こうした沈埋函における加熱時の変形特性は十分に解明されていないのが現状である。したがって今回、鋼・コンクリートサンドイッチ構造沈埋函の車道部上床版の隔室をモデル化した供試体を作成し、加熱炉による燃焼実験により加熱時の変形特性を検証することとした。

## 2 試験方法

図-2 および表-1 に示す供試体(4200×2900×500mm)を製作し、吹付系耐火材を施工後、加熱炉による燃焼実験を行った。測定項目は 供試体内部温度、 供試体内部圧力、 加熱側鋼板のひずみ、 コンクリートのひび割れ状況である。

本実験では鋼殻表面温度が 350 に達した状態での変形特性を確認することとした。加熱炉における加熱温度 - 時間曲線としては、図-3 に示す RABT 曲線を使用し、加熱時間 60 分で鋼殻表面温度が 350 となるよう耐火材厚さを設定した。実際には燃焼時間 60 分では 350 に達しなかったため 90 分の加熱時間となった。なお、RABT 曲線と

は「ドイツにおける道路トンネルの設備の運用に関する指針」で示された加熱温度 - 時間曲線で、近年の耐火実験において実績が多いものである。

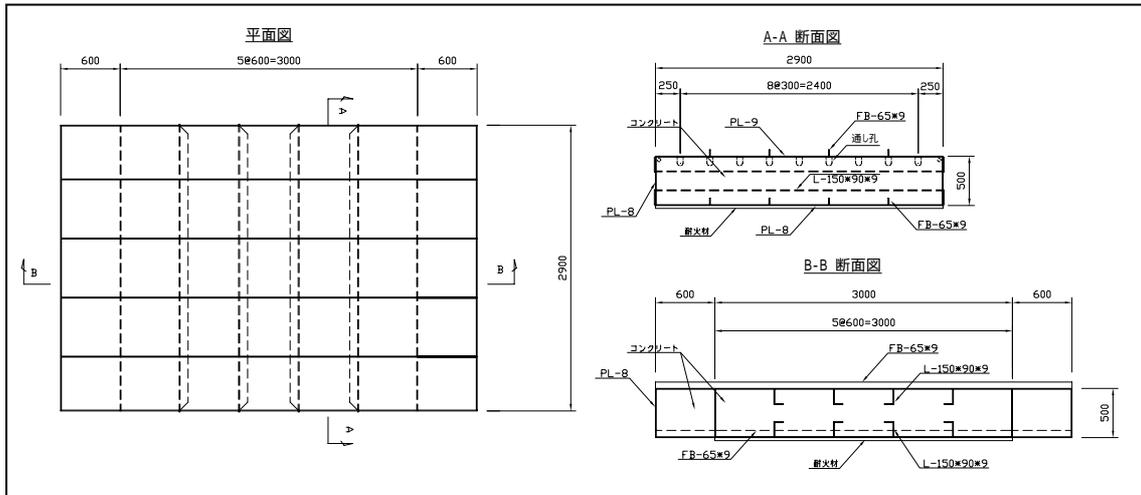


図 - 2 供試体の形状寸法

表 - 1 使用材料

種類	使用材料	備考
鋼板	SM490Y	鋼殻用
L型鋼、FB材	SS400	ずれ止め等
コンクリート	高流動	f'ck = 30N/mm <sup>2</sup>
吹付系耐火材	セメント、ハーフキュート	被覆厚15mm, メッシュ筋付

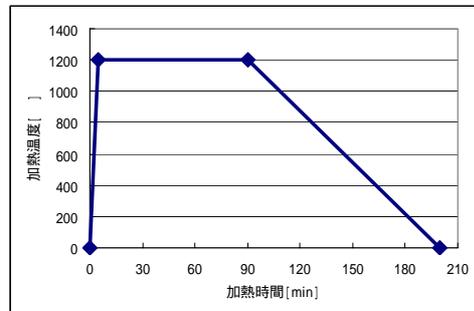


図 - 3 加熱温度 - 時間曲線

### 3 耐火試験結果および考察

#### 3.1 供試体内部温度

図-4 に供試体の内部温度 - 時間曲線を、図-5 に内部温度計測位置図を示す。最高温度は、鋼板表面で約 420 ℃、かぶり 20mm 地点のコンクリートで約 170 ℃であった。燃焼終了後、鋼板の温度は低下したが、コンクリート温度はその後も上昇し、低下は緩やかであった。鋼殻構造の場合、加熱が進むと加熱側鋼板とコンクリートとの間に隙間ができ、この空間が熱の遮断層となり、温度分布に影響を与えることが知られているが、本試験でもこの現象は確認され、加熱側鋼板とコンクリート間の温度差が大きくなっている。

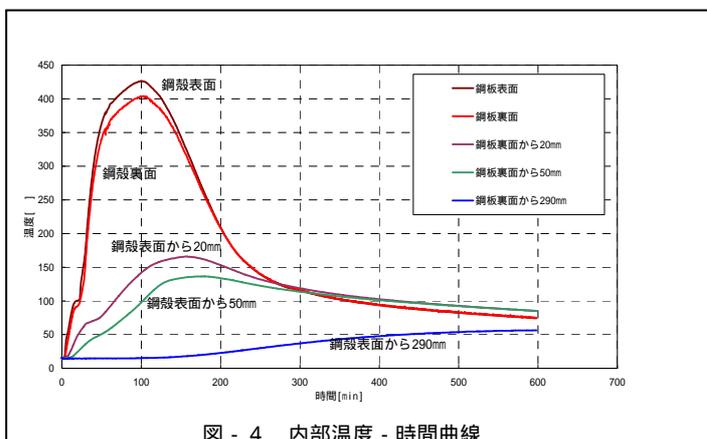


図 - 4 内部温度 - 時間曲線

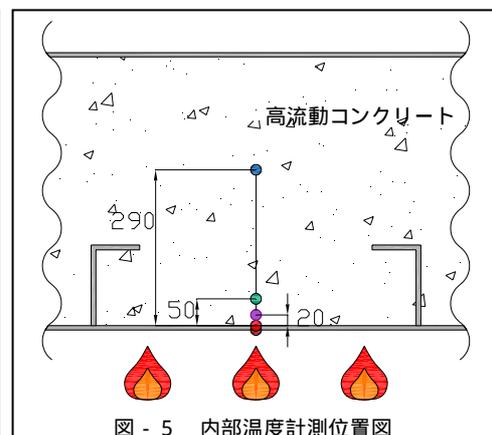


図 - 5 内部温度計測位置図

### 3.2 供試体内部圧力

図-6に内部圧力 - 時間曲線を、図-7に内部圧力計測位置図を示す。水蒸気による圧力ピークは試験開始後約200分で、100以上になるコンクリートの領域が最大となる時間とほぼ一致している。ピーク時の圧力は0.27MPaであった。仮にずれ止め間600mmの鋼板内側にこの圧力が等分布荷重として作用するとすれば、鋼板には降伏強度を越える曲げ応力が発生することとなる。

ずれ止め間600mmにかかる分布荷重をずれ止めが受けると仮定し、その際の引抜きせん断力  $p$  (N/mm<sup>2</sup>) は、次式で表される。

$$\begin{aligned} p &= P / (u_p \times d) \\ &= 162,000 / (2000 \times 141) \\ &= 0.57 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

ここに、荷重：P(N)、有効高さ：d(mm)

影響範囲の周長： $u_p$ (mm)

ここで、コンクリートの許容せん断応力は、

$$\begin{aligned} a_1 &= 0.5 \text{ N/mm}^2 \\ &\text{(設計基準強度 } 30\text{N/mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

よって、

$$p > a_1$$

となる(図-8参照)。

本結果は水蒸気の圧力作用のみで、コンクリートに引抜きせん断破壊が生じる可能性があることを示している。

### 3.3 加熱側鋼板のひずみ

図-9に加熱側鋼板ひずみ - 時間曲線を、図-10に加熱側鋼板ひずみ計測位置図を示す。鋼板の降伏ひずみは  $1,700 \times 10^{-6}$  程度であり、発生ひずみは降伏ひずみを超えている。試験開始後120分に急速に引張りひずみが大きくなるのは、圧力の影響に加え、除熱に伴う鋼板の収縮をコンクリートが拘束するためと考えられる。

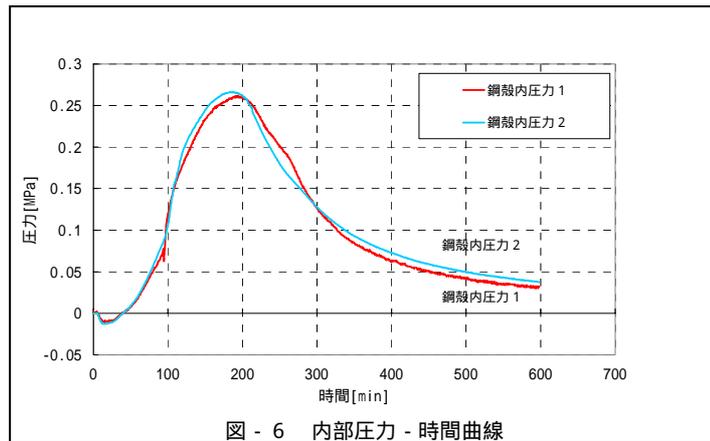


図 - 6 内部圧力 - 時間曲線

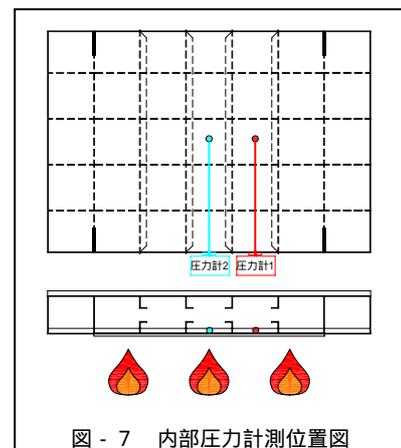


図 - 7 内部圧力計測位置図

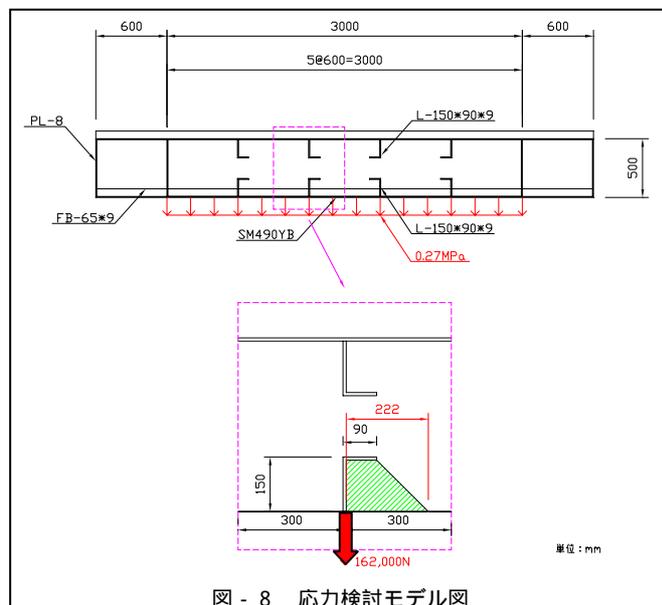


図 - 8 応力検討モデル図

