耐火板背面の空気層を考慮した熱伝達挙動

早稲田大学 大学院理工学研究科	学生会員	〇中井	章裕
早稲田大学 社会環境工学科	フェロー	清宮	理
株式会社エーアンドエーマテリアル 技術開発研究所		三宅	雅之
株式会社エーアンドエーマテリアル 技術開発研究所		安本	辰也

1. 目的

サンドイッチ合成構造の沈埋トンネル(図-1)は、主部材である鋼板がトンネル内空側に露出しており、 車両火災時の高温による損傷が懸念される.その為、近年は耐火板を設置し、トンネル構造体の温度を所定温 度下に収める耐火対策が用いられている.耐火板の設置方法として、以前はボルト・ナットを介して耐火板を 直接鋼板に取り付ける直貼り工法が多く用いられていたが、取付け金具を利用して鋼板から距離を持たせて設 置する浮かし貼り工法が開発された事により、後者の工法を用いる事例が増加している(図-2).浮かし貼 り工法は、耐火板と鋼板間に中空の層が存在する為、熱伝達が抑制されるという優れた特徴を有しているが、 空気層を通過する熱の伝達のメカニズムについては不明な点も多く、使用すべきパラメータや計算方法・解析 方法が確立されていない.本研究は、無限平板と見なす事ができるような中空層を有する試験体に対して加熱 試験を実施し、輻射と対流・熱伝導に分離してこれらの値を計測・検討する事により、浮かし貼り工法を用い た場合の耐火設計方法提案の第一歩とする事を目的としている.



2. 試験方法

試験体の概要図を図-3に示す.400mm×400mmの試験片を向かい合わせに配置し,試験体下面からセラ ミックヒータにより加熱した.加熱温度はセンサーの耐熱温度の制限より上限を200℃とし,試験体内部の温 度分布が定常状態となるまで加熱を継続した.各試験片には熱電対を設置し,温度履歴を計測した.輻射セン サーは輻射による熱流量のみを計測し,熱流束センサーは輻射に加えて対流・熱伝導による熱流量を計測でき るタイプを使用した.また,試験体外部の影響を少なくする事を目的として,試験体の側面及び上面を断熱材 (セラミックブランケット)で覆った.試験ケース一覧を表-1に示す.安定した計測結果が得られると想定 される鋼板×鋼板の組み合わせについては中空層厚 5mm,25mm,50mm の3 ケースの試験を実施し,耐火板× 鋼板の組み合わせについては,実際の浮かし貼り工法で使用実績の多い中空層厚 25mm の1 ケースの試験を実



キーワード 沈埋トンネル,耐火被覆,熱伝達,輻射,対流 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

5-281

3. 熱流量の算定

中空層における熱流量Qは、輻射による熱流量 Q_r と対流・熱伝導による熱流量 Q_c に分離する事ができる.

$$Q_{r} = \varepsilon \times \sigma \times \left(T_{1}^{4} - T_{2}^{4}\right) \quad \left(W/m^{2}\right) \quad \vec{x} \quad (1)$$

$$Q_{c} = \frac{Nu \times \lambda}{\ell} \times \left(T_{1} - T_{2}\right) \quad \left(W/m^{2}\right) \quad \vec{x} \quad (2) \qquad Gr = \frac{\ell^{3} \times \beta \times g \times \left(T_{1} - T_{2}\right)}{\nu^{2}} \quad \vec{x} \quad (3)$$

 $10^{4} > Gr : Nu = 1, \quad 4 \times 10^{5} > Gr > 10^{4} : Nu = 0.195Gr^{0.25}, \quad Gr > 4 \times 10^{5} : Nu = 0.068Gr^{0.33} \quad \vec{x} \quad (4)$

ここで、 ε :輻射率、 σ :シュテファンボルツマン係数、 T_1 :下側平板温度、 T_2 :上側平板温度、

 ℓ :中空層厚,eta:体積膨張率,g:重力加速度, ν :動粘性係数

熱流量の算定時に使用する各パラメータは既往の実験・研究により決定されている値であり,詳細な説明は ここでは省略する.但し,輻射率 *ε* は上下平板の材質や粗度に依存するパラメータである.

4. 試験結果

図-4に試験値と算定値の比較を示 す。いずれの試験体においても,輻射 率を0.9と仮定した算定値が試験値と よい相関を示した.また,全熱流量に 対して輻射の比率は 60~80%程度を 占める結果となった.本試験では 200℃程度の加熱温度としているが、 輻射熱は絶対温度の4 乗に比例して 増加する為、350℃程度の部材温度が 想定されるトンネル火災時には,輻射 が中空層の熱伝達の支配的な要因と なると考えられる. No.1 試験体の熱 流束計の傾向はその他の試験体とは 異なり,計測値の振動が少ない結果と なった. 今回使用した熱流東センサー は多少の空気の揺らぎも感知できる 程度の高感度タイプのものであるが, この結果より No.1 試験体では対流が 発生していないことが予想される.ま た.(4)式による判定においてもNo.1 試験体では対流が発生しないという 結果となっている.



5. 結論

2平板間の中空層の間隔を 5mm~50mm に変化させて熱伝達試験を行ったところ,間隔の狭い 5mm の試験 体では対流は発生せず,輻射と熱伝導によって熱が伝達されている結果となった.また,25mm および 50mm の試験体では対流が発生している事から,熱の伝達は輻射と対流が支配的となっている事がわかった.今回実 施した試験により,輻射・対流・熱伝導の割合を大方推定する事ができた.

参考文献

・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