## 沈埋トンネル耐火実験に対する熱伝導及び熱応力解析

早稲田大学	学生会員	〇中井	章裕
早稻田大学	フェロー	清宮	理
国土交通省近畿地方整備局		工藤	健一

**1.目的** トンネルが車両火災を受けた場合を想定した構造部材の熱応力解析については,実施された例が少なく,解析手法も未だ検討段階であり今後の発展が望まれている.本論文では,沈埋トンネルの耐火実験で得られた結果に対して空気層厚をパラメータとした熱伝導解析,および供用時に想定される軸力をパラメータとした熱応力解析を実施し,解析的にひび割れの発生状況・コンクリート応力度などを検討した結果について述べる.なお,今回想定している供試体の受熱温度は350度以内である.

2. 耐火実験結果 筆者らは,合成式沈埋トンネルに耐火 板を取り付けた実物大模型に対して RABT90 分曲線(図-1) で加熱した耐火実験を実施し,過去に報告している.図 -2 に示すのは,実験で得られた供試体各位置の温度履歴 図である.鋼板における最高温度は 400℃程度,内部コン クリート 20mm位置における最高温度は 180℃程度となり, 両者の供試体における位置が大きく異ならないにも関わら ず 220℃程度の温度差が確認された.また,耐火実験後に 供試体を切断し内部の状況を確認したところ,コンクリー トに形鋼周辺からひび割れ(図-3) が観察された.





3. 熱伝導解析 合成構造における熱伝導解析時には,鋼 とコンクリート材料間に存在する断熱効果をもつ空気層の 影響を考慮する必要がある.空気層を熱伝導体として取り 扱う場合には,温度上昇時に空気層厚が変動することから, 設定すべき層厚の指標がない.そこで,本検討では空気層 厚をパラメータとした熱伝導解析をおこない,実験と適合 する平均的な層厚の検討を試みた.解析モデルは図-4 に 示すような1次元モデルとし,モデル上縁には熱伝達境界 を設定して外気温を15℃に固定した.着目点は,鋼板表面 および内部コンクリート20mm位置とした.空気層は,耐 火板-鋼板間,鋼板-コンクリート間に設定し,層厚を 0mm, 0.2mm, 0.5mm, 1.0mm, 2.0mm と変化させた.各 部材の熱伝導率及び比熱の温度依存性を考慮した.



キーワード 沈埋トンネル,耐火被覆,熱伝導解析,熱応力解析 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

図-5 に空気層厚毎の鋼板表面および内部コンクリート 20mm 位置における最高温度を示す. 空気層厚の増加に伴 い内部コンクリート 20mm 位置の最高温度は下降する一方 で、鋼板表面の最高温度は上昇する傾向となった。断熱効 果をもつ空気層を熱伝導解析に取り入れた場合、必ずしも 全ての部材の受熱温度が低下するわけではなく、合成構造 における鋼板のように背面に空気層を有する部材の最高温 度は、空気層厚の増加に伴いむしろ上昇することがわかっ た. なお, 空気層厚を 1mm としたケースは鋼板表面の最 高温度が 440℃程度,内部コンクリート 20mm 位置におけ る最高温度が 190℃程度となり、耐火実験と比較的近い結 果となった.

4. 熱応力解析 熱伝導解析によって得られた各節点の熱 履歴を用いて熱応力解析をおこなった.分散ひび割れモデ ルでコンクリートの非線形性を考慮した.ひび割れ後の軟 図-6 引張応力ひび割れ幅関係 図-7 剥離モデル 化曲線を図-6 に示す.また、鋼板-コンクリート間につ いては接触問題が存在する為,図-7に示すような圧縮に 対しては抵抗し,引張に対しては自由に剥離するインター フェース要素を設定した.なお、インターフェース要素の せん断方向の剛性は0とした.耐火実験では供用時の断面 力を再現しておらず、供試体を無応力状態として実験を行 っている.熱応力解析では、実験と同等な条件である水平 応力 OMpa (無応力) のケースを基本として、供試体の軸 方向外力による水平応力 5Mpa, 10Mpa を導入したパラメ ータ解析を行った. 図-8(a)~(c)に各ケースの時刻 120min におけるひび割れコンター図を示す. 0Mpa のケースでは 実験と概ね等しいひび割れ性状を得ることができた.5Mpa のケースでは、水平応力の影響により、熱応力に起因する ひび割れは大きく低減する結果となった.10Mpaのケース では,熱応力による引張応力の大半を水平応力が打ち消し, ひび割れが発生しない結果となった.



図-8 ひび割れコンター図

5. まとめ 火災に対する熱伝導解析を実施する際には、空気層厚の設定が結果に大きく影響を及ぼすことが 以前から指摘されている.本検討では、空気層厚を 1mm 程度とすると実験と概ね等しい温度を得ることがで きた.熱応力解析では,耐火実験で観察されたひび割れ性状を解析で模擬した後,供用時の応力状態を想定し て、供試体に軸力を導入したパラメータ解析を行った.この結果により、ひび割れの性状が導入軸力により大 きく変わることが予想することができた.よって、今後耐火実験を行う際には供用時の断面力を考慮する必要 性がある事が考えられる.

参考文献 1) 中井,清宮,工藤,山本:サンドイッチ合成構造部材の耐火実験への有限要素解析の適用,構造 工学論文集, 2006.3, pp.1131~1138 2) 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