沈埋トンネル構造部材耐火実験に対する熱伝導・熱応力解析

早稲田大学	学生会員	〇中井	章裕
早稲田大学	フェロー	清宮	理
国土交通省		宮田	亮

1.目的 サンドイッチ合成構造の沈埋トンネルは、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 下に治める耐火対策が用いられている.以前に、筆者らが沈埋トンネルの実験供試体を作成し耐火板を設置し て耐火実験をおこなったところ、各部材の温度が許容温度以内となったにも関わらず、内部コンクリートに想 定外の多大なひび割れが発生した.一般に高温に曝されたコンクリート及び鋼材は一時的に強度が低下するも のの、常温状態に戻ると次第に強度は回復すると言われている.しかしながら、一度発生したコンクリートの ひび割れは回復が不可能な事から、剛性及び耐荷力の低下、また水密性の損失が懸念される.そこで、本論文 では熱伝導解析および熱応力解析により耐火実験を模擬し、更に耐火板厚をパラメータとした解析を実施し、 内部コンクリートの損傷への影響度の確認を行った.

2. 耐火実験結果 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¹⁾を実施した. 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,かなり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,形鋼(L 字型のずれ止め)周辺に部材を貫通するひび割れ(図-3)が観察され,この結果設計温度の再検討を行う必要性が生じた.



図-3 実験終了後のひび割れ図

3. 熱伝導解析 解析モデルは図-4 に示す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. 合成構造における熱伝導解析時には、耐火板 -鋼板間、鋼板-コンクリート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.本解析では、筆者 らの以前の検討²⁾を元に、これらの位置に層厚1mmの空気 層を設定した.着目点は、鋼板表面および内部コンクリー ト20mm位置とし、耐火板厚を20mm(耐火実験の使用値)、 40mm、60mm、80mmと変化させた.なお、解析では各部 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に鋼板表面の温度履歴,図-6に内部コンクリート 20mm 位置の温度履歴を示す.実験と同様の条件である耐 火板厚 20mm のケースは実験で計測した温度履歴と概ねー 致した. また, 耐火板厚を増加したケースでは, 板厚増加 に伴い各着目点の温度が低下する事が確認できた. 図-7 に鋼板表面と内部コンクリート 20mm 位置の温度差履歴を 示す.実験で観察された内部コンクリートのひび割れは、 鋼板と内部コンクリートの温度差による内部拘束力による ものであると考えられるが、耐火板の板厚増加量に概ね逆 比例して両者の温度差が低下する結果となった.

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。解析ケースは、熱 伝導解析と同様の4ケースとした(耐火板厚を20mm, 40mm, 60mm, 80mm に設定). コンクリートの非線形性について は分散ひび割れモデルで考慮した.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、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. 図-8 (a) ~ (d) に各ケースにおけ る形鋼近傍のコンクリートのひび割れコンター図を示す. 耐火材厚 20mm のケースに対して,耐火材厚 40mm のケー スではひび割れ性状の変化は少ない結果となった。しかし ながら、耐火材厚 60mm のケースでは形鋼背面からの斜め ひび割れが発生せず,耐火材厚80mmのケースでは更に形 鋼前面からの斜めひび割れも発生しない結果となった.



(a) 耐火板厚 20mm



(b) 耐火板厚 40mm 図-8 形鋼近傍のコンクリートのひび割れ状況図



600 実験値 500 ↔ FEM(耐火板厚20mm) 400 → FEM(耐火板厚40mm) ΰ 300 ---FEM(耐火板厚60mm) 頭 200 FEM(耐火板厚80mm 100 100 200 300 400 500 600 -100 時間(min) 図-7 鋼板-コンクリート間の温度差履歴



(c) 耐火板厚 60mm

(d) 耐火板厚 80mm

5. まとめ 本論文では,耐火材厚をパラメータとした沈埋トンネル火災時の熱伝導解析及び熱応力解析を実 施した. 空気層を考慮した熱伝導解析では、各着目点の温度履歴が耐火材厚に応じて低減する事を確認した. 熱応力解析では、内部コンクリートのひび割れの発生を耐火材厚の増加により制御する事が可能である事を確 認した. 今後は, 部材温度とひび割れ性状の相関の確認を目的とした追加実験の実施と, 内部コンクリートひ び割れの有害度(耐荷力・剛性・水密性)の検討を行っていきたい.

参考文献 1) 中井章裕,清宮理,工藤健一,山本邦夫: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 Vol.52A, pp.1131-1138, 2006.3 2) 松尾幸久,溝部有人,清宮理:トンネル 内の車両火災への耐火被覆材の効果に関する熱伝導解析,土木学会論文集 No. 802/V, pp. 97-108, 2005.11