高温による初期ひび割れを有する合成梁の耐荷力実験と有限要素法解析

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

1.目的 サンドイッチ複合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 両火災時の損傷が懸念される.その為,近年は耐火板を設置し,鋼板の温度を一定温度下に抑える耐火対策が 行われている.沈埋トンネル上床版の供試体を作成し,耐火板を設置して耐火実験を行ったところ,形鋼を中 心にコンクリートにひび割れが発生した.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が, 常温状態に戻ると強度はほぼ回復する.しかし,コンクリートのひび割れは閉じないので,構造部材の剛性及 び耐荷力の低下が懸念される.このため,耐火実験後に供試体の曲げ載荷実験を行った.耐荷力実験を行った ところ,コンクリートの損傷による,初期剛性の低下はあるが,終局強度の低下は殆ど見られず,所定の耐力 を得る事ができた.ひび割れ発生温度や初期メカニズムを確認するため,材料非線形を考慮した FEM 解析を 実施し,本実験の現象の再現を行った.

2.実験結果 トンネル内側面を模したサンドイッチ複合構造の供試体(3000×810×500mm)の耐火実験を行った後に,2点支持,2点載荷で耐荷力実験を実施した.供試体は両面が板厚9mmの鋼板で材質はSM490Yである.形鋼は150×90×9mmのL形で材質がSS400である.形鋼は60cm間隔で鋼板に溶接されている.内部コンクリートは高流動で設計基準強度が30N/mm²である.供試体の一面は隔壁用の鋼板が存在している.この供試体にボード系の耐火板を設置して鋼板最大温度を150,270,350度に設定して耐火試験を実施した.すべての供試体で試験後切断したところコンクリートにひび割れが発生した.図-1 に発生状況を示す.ひび割れは形鋼から鋼板に至る,形鋼から断面を貫通する,形鋼を水平方向に結ぶ3種類が耐火実験で観察された.耐荷力実験では,初期のひび割れ状態の初期剛性を低くなるが,影響は少なく,いずれのケースでもほぼ同程度の終局耐荷力となった.また,破壊形式もすべての供試体で曲げせん断破壊で異ならなかった.初期ひび割れの存在でも形鋼周辺の破壊は進展せず,破壊機構に基本的に変化がなかったと言える.



図 - 1 耐荷力実験終了後のひび割れ図

(赤線:耐火実験時,黒線:耐荷力実験時)

3.解析方法 供試体を図 - 2 及び図 - 3 に示すように,対称条件を考慮した二次元有限要素モデルとした. 鋼板を梁要素で、コンクリートを平面応力要素でモデル化した。また、本供試体は背面に腹板を有することか ら、平面応力要素(2重要素)でモデル化した。載荷板・支圧板は剛な梁要素でモデル化し、荷重の載荷方法 は載荷板中心位置への強制変位載荷(0.1mmの増分ピッチ)とした。

キーワード 沈埋トンネル,サンドイッチ複合構造,車両火災,初期ひび割れ,FEM
連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1早稲田大学 社会環境工学科 清宮研究室 TEL03-5286-3582



図 - 2 CASE1:初期ひび割れ無しのモデル 図 - 3 CASE2・3:初期ひび割れ考慮モデル ひび割れ面のモデル化は界面要素(インターフェース要素)とした.インターフェースの物性値は,圧縮剛, 引張自由とするが,せん断剛性の設定は今回不明なので,せん断剛性を1.0×10⁻⁶N/mm³とした CASE2,せん断 剛性を1.0×10⁸N/mm³とした CASE3 としたパラメータ解析を行った.なお,形鋼とコンクリートの間のモデル 化も界面要素(インターフェース要素)を用いた.コンクリートのひび割れは smeared モデルで再現した.

4.解析結果 初期ひび割れを考慮しない FEM 解 析した結果,耐荷力は実験値と同程度となり,発生 ひび割れ性状も実験値と同程度となった.初期 のひび割れを考慮した FEM 解析の結果は以下の通 り.せん断剛性を小さくした CASE2 は,耐荷力は実 験値を下回り,ひび割れ性状も実験値と大きく異な った.せん断剛性を大きくした CASE3 は,初期ひび 割れを考慮しない CASE1 と同様の荷重 - 変位関係 となり,また,ひび割れ性状も実験値と一致した. また形鋼とコンクリート間は開きが大きくなったも のの初期ひび割れが進展する現象は見られなかった.



図-4 荷重-変位曲線





5.まとめ 初期ひび割れを考慮した FEM 解析では, せん断剛性を大きくすると耐荷力やひび割れの進展が 実験結果とあった.また, 初期ひび割れの有無にかかわらず, 耐荷力やひずみ進展にほとんど影響はないと考 えられた.解析では, 初期ひび割れを模擬した接触面のせん断剛性は, 微小もしくは剛の2パターンであった が, 実際のひび割れ面のせん断挙動は, ひび割れ幅や骨材の寸法などに大きく依存していると考えられる.今 後の課題として, これらの影響を加味した解析を行いたい.

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 法解析の適用,構造工学論文集 Vol.52A14 部門,2006.3, pp.1131-1138 2)日本電子計算株式会社:DIANA7 ユーザーマニュアル日本語参考資料:Finite Elements in Civil Engineering Applications, Balkema