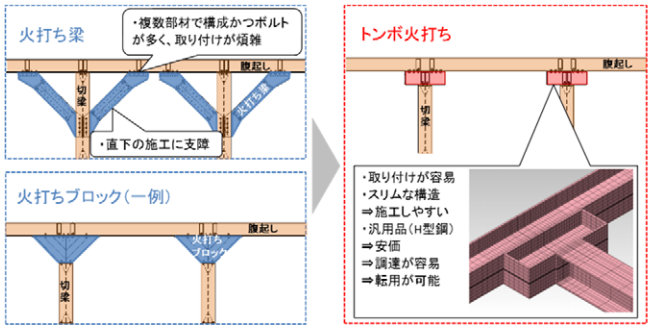
腹起しの載荷試験と設計的検討（その１：トンボ火打ちの場合）

株式会社大林組　正会員　高橋　正登　フェロー　平尾　淳一
正会員　北出　啓一郎　正会員　○髙本　寛之
ジェコス株式会社　正会員　松山　積夫　正会員　村山　正輝

１．はじめに

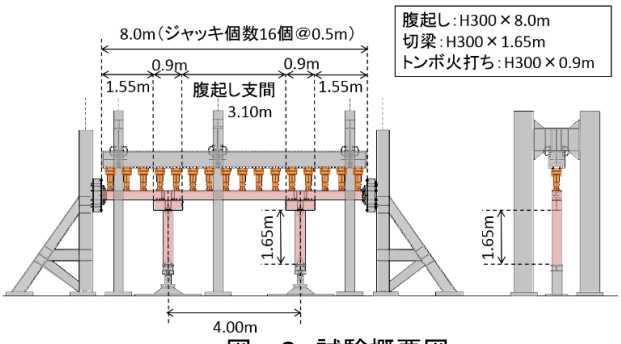
腹起し支間を短くして合理的な土留め構造とする目的で，火打ち梁や火打ちブロックが採用されている．しかし，これらは複数の部材のボルト接合が煩雑であったり，単体の重量が大きく組立てに時間を要したりするため，筆者らは代替構造として「トンボ火打ち」を考案した [1)]．トンボ火打ちとは，切梁と腹起しの接続部に腹起しと同じサイズの H 形鋼を腹起しと平行に設置し，取り付けが容易で汎用性が高いのが特徴である（図－1）．本報文では，トンボ火打ちで支えられた腹起しの実大規模の載荷実験を行い，腹起しの設計手法に関する検討結果を報告するものである．



図－1．従来品とトンボ火打ちの比較(平面図)

２．実験概要

図－2に実験の概要図を示す．切梁腹起しを鉛直に組立て，腹起しには鉛直下方に向けて載荷する構造とした．腹起し長さは 8.0m，切梁ピッチは 4.0m，トンボ火打ち長さは 0.9m とした．また，支保工部材はすべて H-300（継手無しの生材）を使用した．

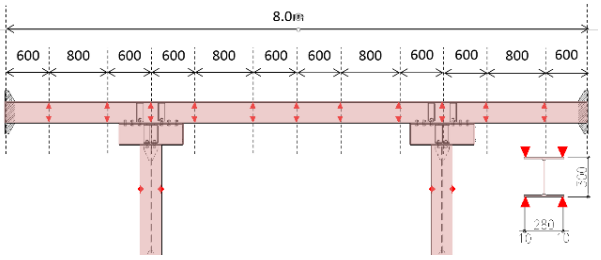


図－2．試験概要図

土留め壁から作用する一様な側圧を再現するため合計 16 個の油圧ジャッキ（容量 400kN）を 0.5m 間隔で設置し，同時載荷を行った．荷重は 20kN ごとに増加させ，部材の局部降伏を確認するまで載荷を続けた．載荷反力は床面に固定した門型フレーム 3 体で支持した載荷梁(H-500)により確保した．

腹起し端部の拘束条件は端部の回転を許容する試験条件で，切梁下端はピン構造とした．

腹起し及び切梁にはひずみゲージおよび変位計を設置し計測を行った．腹起しのひずみゲージの貼付位置を図－3に示す．



図－3．試験体ひずみゲージ貼付位置図

３．解析条件

実験値から得られる曲げモーメントに対して，下記に示す3ケースの解析値との比較を行った．

【CASE1】単純梁解析（設計指針の火打ちブロックの場合を適用 [2)]）

トンボ火打ち端部付近を支点とし支間 3.4m の単純梁として計算した．

【CASE2】FRAME 解析

腹起しを連続した梁と考えた梁バネモデルによる 2 次元 FRAME 解析を行った．荷重は，等分布荷重 200kN/m を作用させた．トンボ火打ちの幅（0.9m）には模擬的にバネ支承（切梁バネ値を火打ち幅で一様分布）とした．端部拘束条件は回転自由・鉛直水平自由とした．

写真1．載荷実験状況

キーワード　火打ち，土留め支保工，施工性向上，経済性向上
連絡先　〒108-8502　東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟　(株)大林組　ＴＥＬ03-5769-1308

【CASE3】三次元 FEM 解析

腹起し・トンボ火打ち・切梁をモデル化し，三次元 FEM 解析（弾性）を行った．等分布荷重 200kN/m を載荷し，切梁下端はピン構造，腹起し両端は回転自由・鉛直水平自由とした．

４．実験結果および解析結果

試験中の載荷荷重と腹起し中央部変位の関係を図－6に示す．載荷荷重 320kN/m で腹起しの局部降伏が生じ始めていた．また，図中には各設計手法により推定した許容荷重も併記した．現行指針を活用した CASE1 の推定値と筆者らが提案している CASE2 の推定値はいずれも十分に安全性を確保できていることが分かった．また，FEM 解析の CASE3 の手法では降伏荷重へ近づき最も経済的な部材設計が可能なことを確認した．ただし，実務設計においては，現場の施工条件の不確実性を考慮する必要があると考えている．

次に，曲げモーメントおよび変位分布図を図－7に示し，各 CASE の解析値について以下に考察を述べる．

【CASE1】 単純梁で算出される正の最大曲げモーメントは実測値の正の最大曲げモーメントに対して 5.4 倍，実測値の負の最大曲げモーメントに対して 1.8 倍程度の値を想定することになっている．

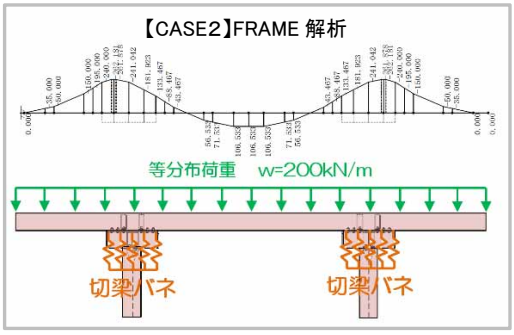
【CASE2】 中央支間部の正曲げモーメントでは，解析値は実測値の 2.0 倍程度となっていた．また，最大の負曲げモーメントを想定する位置はトンボ火打ち中央部付近で実測値の 1.7 倍程度の想定となっていた．変位分布では概ね実測値と一致した．

【CASE3】 解析値は正側負側の両方の曲げモーメントにおいて概ね一致していた．トンボ火打ちの形状効果を反映できたためと考えられる．変位分布では中央支間の解析値が若干小さいものの概ね実測値と一致した．

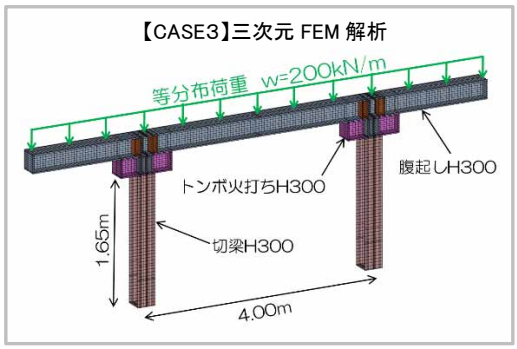
４．まとめ

今回の実験から，三次元FEM解析が実際の腹起しの応力状態を高精度で再現できることが分かった．特に，トンボ火打ちの特徴として，トンボ火打ち背面の腹起しの負側曲げモーメントが平滑化される傾向が見られるが，三次元 FEM 解析はその特徴を反映することができたと言える．一方，FRAME 解析は三次元 FEM 解析結果より安全側の解析値であることが確認できた．

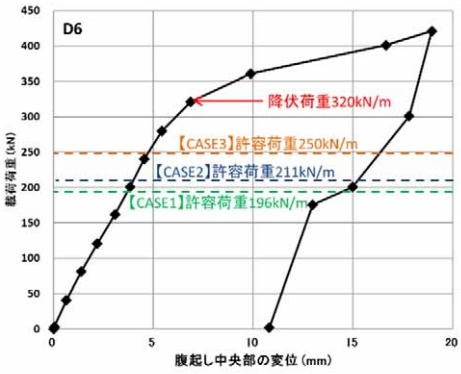
以上から，トンボ火打ちの腹起し設計手法として，正曲げ負曲げ共にある程度の安全側を確保できる 2 次元 FRAME 解析での設計手法が妥当と考える．今後も現場計測などの検証を積み重ね，より合理的な支保工構造の提案とその設計手法の検証を続けていく所存である．



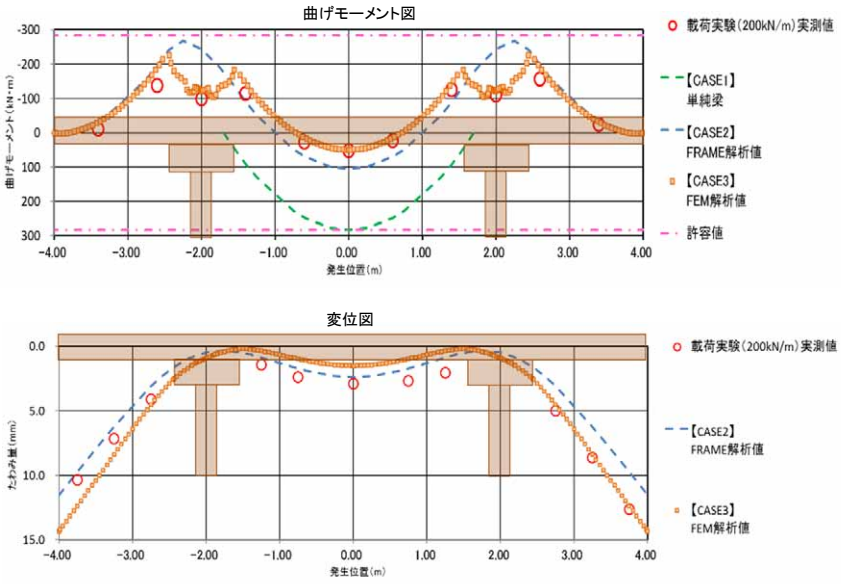
図－4．FRAME 解析モデル



図－5．三次元 FEM 解析モデル



図－6．荷重変位関係図



図－7．実測値及び解析値（モーメント分布図および変位分布図）

【参考文献】 1）吉松ほか：切梁と腹起しの接合部材に関する検討，第 71 回土木学会年次学術講演会，2016.9
2）（社）日本道路協会：道路土工 仮設構造物工指針，P.119，平成 11 年 3 月