

鋼・コンクリート界面の破壊を考慮した複合構造の有限要素解析の再現性の検証

東北大学工学部	学生員	○高橋一生
東北大学工学部工学研究科	正員	斉木 功
東北大学工学部工学研究科	正員	岩熊哲夫

1. まえがき

鋼・コンクリート複合構造において、構造物の性能照査に有限要素解析を用いる設計手法が議論されている。しかし現状では、異種材料界面を精度よく表現できる数値モデルが確立されていない。この課題に対し、著者らは界面の付着破壊を考慮した有限要素解析を行うための数値モデルの構築を試みている¹⁾。

また、界面の付着が破壊していく挙動は脆性的であり、付着破壊が発生すると構造の力のつり合いが大きく変化する。このとき、数値計算においては解の収束が困難になる場合がある。この問題に対して、生じた不釣り合い力を分割して段階的に解消させるアルゴリズムが提案されている¹⁾。

本研究では、これらの計算手法を用いた有限要素接触解析により鋼部材とコンクリート部材の接合部を模擬した模型実験の再現解析を行い、その精度と妥当性を検証する。

2. 解析対象

I 形断面の鋼桁を RC 壁に埋込んだ複合構造の結合部の実験²⁾の再現解析を行った。実験では、接合部の鋼桁におけるスタッドの有無をパラメータとして、接合部の耐荷力の評価が行われている。本研究では、有限要素接触解析にあたり、接合部における界面の付着と摩擦が接合部の耐荷メカニズムに及ぼす影響に着目し、スタッドの無いケースの再現を試みた。

作成した有限要素モデルを図-1に示す。再現する試験体は鋼桁軸と鉛直軸でなす平面で対称な片持ち梁であり、この対称性を考慮した 1/2 モデルとした。鋼桁は桁長 3,400mm、埋込長 585mm、桁高 715mm とし、RC 壁は壁厚を 700mm とした。なお、モデルはすべて 8 節点 6 面体要素で作成し、要素数は 19,572、節点数は 24,506 とした。

鋼材料は Young 率 200GPa、降伏応力 356MPa とし、von Mises の降伏基準を用いた。コンクリート材料は Young 率 24.7GPa、圧縮強度 32.4MPa とし、Drucker-Prager の破壊基準を用いた。鋼桁-コンクリート界面では節点を鋼桁側とコンクリート側との二重節点とし

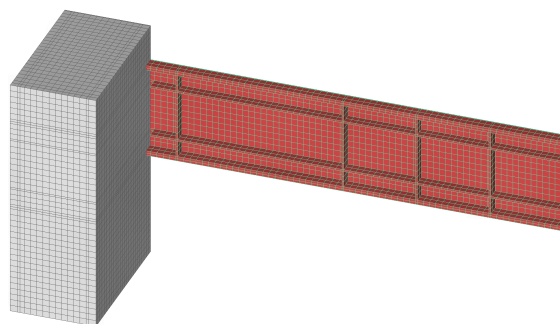


図-1 実験模型の再現モデル

て接触力を計算するとともに、接触力が付着強度に基づく降伏条件に達したとき付着破壊が起こるものとした¹⁾。軸方向鉄筋-コンクリート界面は付着破壊が起こらないものとした。

界面の付着強度は文献³⁾を参考に 1MPa もしくは 3MPa を用いた。これに加えて、0MPa（付着を考慮しない場合）、990MPa（付着が破壊しない場合）のケースを設定し、計 4 ケースで解析した。摩擦係数はすべて 0.8 とした。

鋼桁先端部の載荷点に下向きの強制変位 7.1mm を載荷し、全 100 ステップでの解析を行った。

3. 解析結果

載荷点の荷重-変位関係を図-2に示す。付着強度 1MPa のケースは、鉛直変位 1.7mm 程度までは実験値をよく表しており、以降は実験に比べ荷重を過小評価する傾向となった。一方、付着強度 3MPa のケースでは、鉛直変位 1.1 ~ 4.0mm 程度の範囲で実験より荷重を過大評価した。また同ケースでは 3.5 ~ 5.0mm の範囲で、荷重が微増減しながら付着強度 1MPa の荷重に漸近していった。鉛直変位 5.0mm 以上の範囲では、付着強度 1, 3MPa の両ケースでほぼ同じ荷重-変位関係となった。

鋼桁上フランジと RC 壁前面との相対変位を図-3に示す。なお、相対変位は鋼桁が RC 壁から抜け出す向きを負としている。付着強度 1MPa のケースは載荷荷重 40 ~ 50kN 程度の範囲で、3MPa のケースは載荷荷重 95kN 前後の範囲で、相対変位に対する荷重の勾配が他の範囲に比べ小さくなっていた。また、載荷荷重

Key Words: 有限要素接触解析, 複合構造, 鋼・コンクリート界面, 付着, 摩擦

〒 980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学工学研究科土木工学専攻社会基盤構造学講座構造強度学研究室

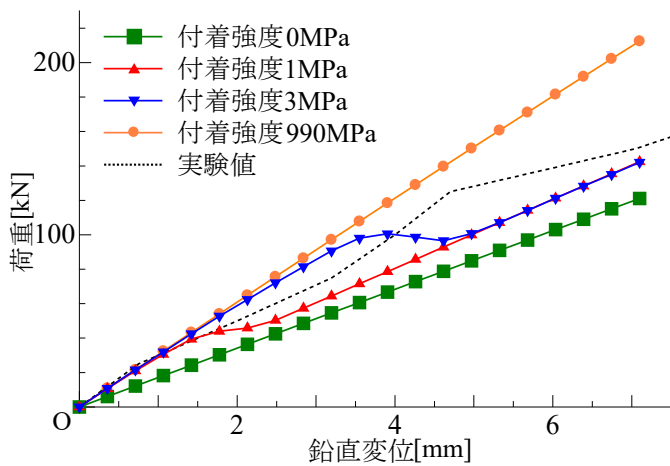


図-2 荷重-載荷点変位関係

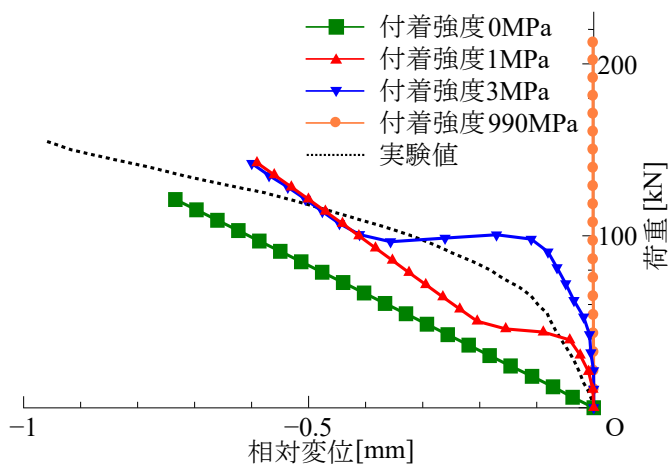


図-3 荷重-抜け出し変位関係

が95kN程度より大きい範囲では、載荷点の荷重-変位関係と同様に1, 3MPaの両ケースでほぼ同じ荷重-相対変位関係となった。

付着強度1MPaのケースでの、鋼桁のコンクリートとの界面の節点力の変化を図-4に示す。(a)～(d)は載荷の進行順となっており、また、いずれも左端から黒色の実線までがRC壁への埋込部である。黒破線は節点力が極大となった節点を結ぶ包絡線である。(b)39.4kN～(d)50.3kNは図-3において荷重の勾配が小さい区間に該当するが、この間に図-4の接合部の鋼桁ウェブでは、包絡線が黒矢印の方向に移動する様子が見られた。各節点では、節点力が最大となったのち付着破壊に至り付着力が失われた。

図-2, 3において、付着強度1MPaや3MPaのケースは、0MPaおよび990MPaのケースに比べ実験結果に近い荷重-変位関係となっていた。界面の付着破壊を考慮したことで、付着破壊を考慮しない場合に比べ接合部の挙動の再現性が向上していると考えられる。

ただし、図-2, 3ともに付着強度1, 3MPaのケース

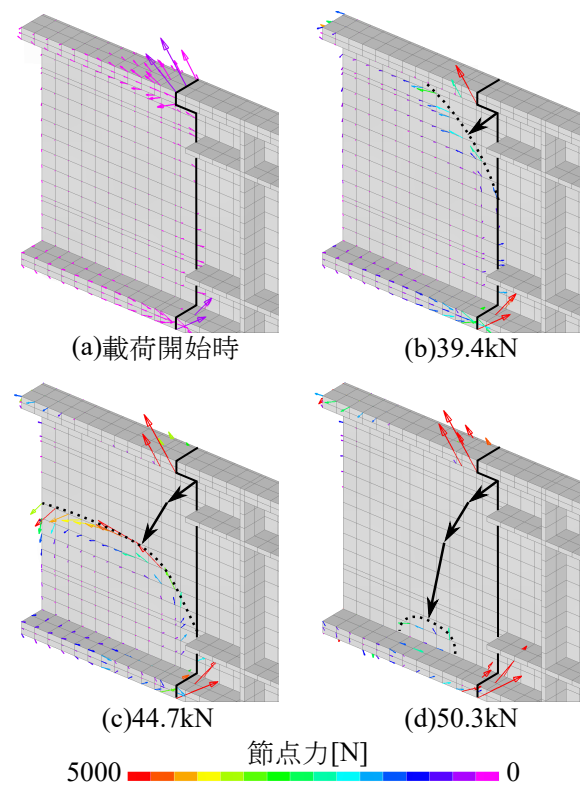


図-4 鋼-コンクリート界面の節点力分布の推移

で、ある狭い荷重範囲で変位の増加率が大きくなる様子が見られた。この解析を通して塑性変形による非線形挙動はほとんど見られなかったため、この変位増加は付着破壊によるものと判断される。

解析において特定の荷重範囲で付着破壊が進行したのは、付着強度を界面全体で一定にしていたためと考えられる。これに対して、実験では特定の荷重でのみ変位の増加率が大きくなるという様子は見られなかった。また、図-2, 3で変位に対する荷重を比較すると、鉛直変位1.7～4.0mmの範囲で1MPa、実験値、3MPaの順に荷重が大きくなっていった。このことから、現実の鋼-コンクリート界面の付着強度は均一でなく、1～3MPa程度の範囲で分布している可能性が考えられる。

なお本解析では、付着破壊が進行し、荷重が低下している段階を含め、発散することなく収束解が得られた。

参考文献

- 1) 黒澤明史, 斉木功, 岩熊哲夫: 付着を考慮した有限要素解析に関する一考察, 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, 2015.
- 2) (独) 土木研究所, 大阪工業大学, (一社) 日本橋梁建設協会: 橋台部ジョイントレス構造における鋼コンクリート接合構造の設計・施工手法に関する共同研究報告書(その1), 共同研究報告書第463号, pp.149-209, pp.230-289, 2015.
- 3) 山田真幸, 斉木功, 岩熊哲夫: 鋼コンクリート界面の付着強度評価のためのトルク型せん断試験に関する基礎的検討, 構造工学論文集 Vol. 59A, pp.39-46, 2013.