

界面の付着破壊を考慮した 鋼コンクリート複合構造の性能照査の試み

An Evaluation of Steel-concrete Hybrid Structures with Considering Bond of Material Interface

高橋一生*

Kazuki TAKAHASHI

*構造強度学研究室（指導教員：齊木 功 准教授）

鋼・コンクリート複合構造の性能照査に有限要素解析を活用するため、異種材料界面を精度よく表現できる数値モデルの構築が試みられている。既往の研究にて、界面の付着破壊を考慮した数値モデルおよび計算の収束性を高めたアルゴリズムが提案されており、本研究ではこれらを用いて模型実験の再現を試みた。その結果、付着破壊の考慮により解析精度の向上が見られた。

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

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。この課題に対し黒澤ら¹⁾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。また、界面の付着が破壊していく挙動は脆性的であるため、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し、数値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。本研究の有限要素接触解析では、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を含むxy平面に関して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。

鋼はYoung率200GPa、降伏応力356MPaとし、コンクリートはYoung率24.7GPa、圧縮強度32.4MPaと

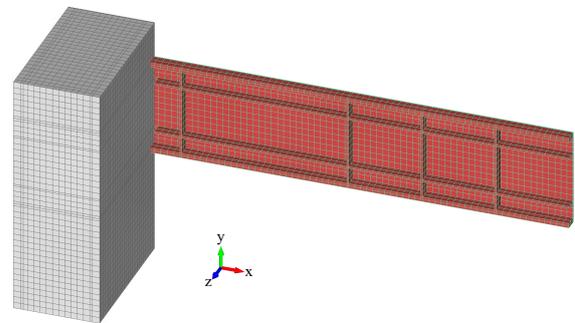


図-1 実験模型の再現モデル

した。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。

付着強度は文献³⁾を参考に1MPa, 2MPa, 3MPaを用いた。さらに、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5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。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、また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, 2, 3MPaの各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 1 MPa のケースは載荷荷重 40 ~ 50 kN 程度の範囲で、3 MPa のケースは載荷荷重 95 kN 前後の範囲で、荷重に対する相対変位の勾配が他の範囲に比べ小さくなっていた。また、載荷荷重が 95 kN 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, 2, 3 MPa の各ケースでほぼ同じ荷重-相対変位関係となった。

付着強度 1 MPa 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)39.4 kN ~ (d)50.3 kN 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 1, 2, 3 MPa のケースは、0 MPa および 990 MPa 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 のどちらも付着強度 1, 2, 3 MPa のケースで、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 ~ 4.0 mm の範囲で 1 MPa、実験値、3 MPa の順に荷重が大きくなっていた。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 ~ 3 MPa 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, 齊木功, 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, 齊木功, 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.

(2017 年 2 月 7 日 提出)

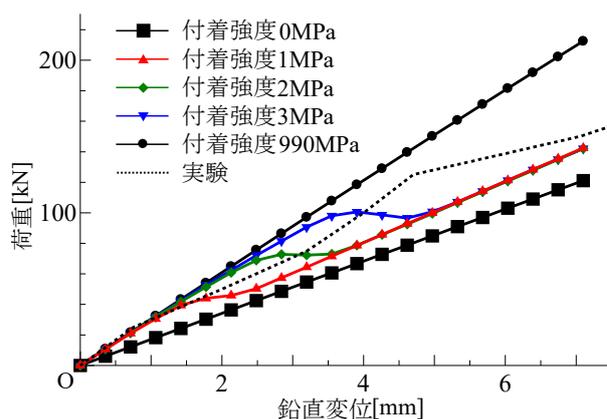


図-2 荷重-載荷点変位関係

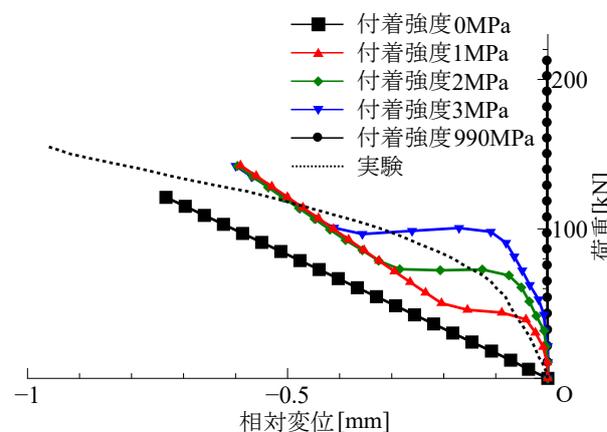


図-3 荷重-抜け出し変位関係

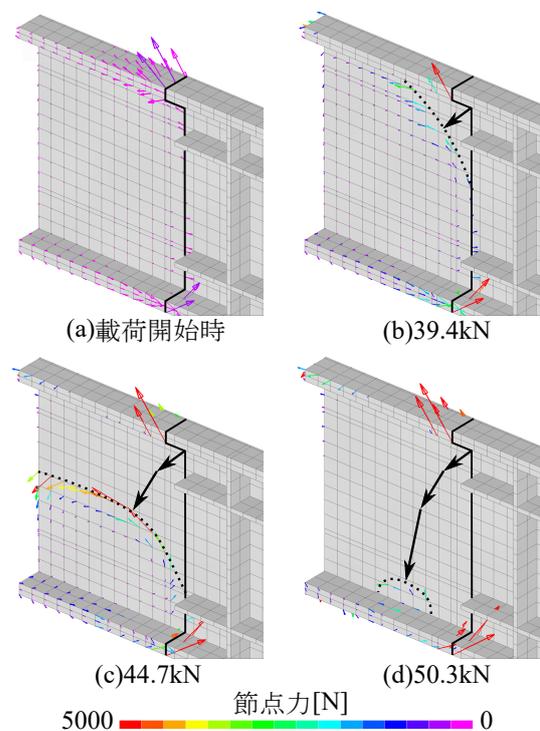


図-4 鋼-コンクリート界面の節点力分布の推移