

要素試験による鋼コンクリート界面の付着強度 および臨界エネルギー解放率の評価に関する一考察

A study on evaluation of bond strength and critical energy release
rate of steel-concrete interface by rotational shear test

大高淳文*

Junya OTAKA

*構造強度学研究室（指導教員：齊木功 准教授）

複合構造とは、複数の異なる材料を組み合わせることによって得られる、力学的に優れた構造である。複合構造の界面剥離の進展を考慮した解析を行うためには、界面の付着強度と臨界エネルギー解放率を評価する必要がある。本研究ではねじりせん断試験¹⁾の結果をもとに、界面の剥離進展再現が可能な数値解析モデルを構築し、付着強度に加えて臨界エネルギー解放率の評価を試みた。この方法により、表面状態に応じて異なる界面の力学特性を評価した。

Key Words: 複合構造, 界面, 付着強度, 臨界エネルギー解放率, cohesive モデル

1. はじめに

複合構造は、異なる材料を組み合わせることによって得られる合理的な構造である。複合構造では、異種材料の界面で一体化がなされていることが重要である。界面の付着強度を計測する方法としてねじりせん断試験が提案されている¹⁾。しかし、剥離の進展を解析するためには付着強度に加えて界面の臨界エネルギー解放率が必要となる。そこで本研究では、ねじりせん断試験の結果と、試験の再現解析を援用して臨界エネルギー解放率を評価することを試みる。

具体的には、ねじりせん断試験における界面の剥離進展を考慮可能な数値解析モデルを構築した。この数値モデルが、共同研究者が行ったねじりせん断試験の結果を再現できるように、付着強度および臨界エネルギー解放率を決定した。

2. 実験の概要

直径 90mm、高さ 200mm の鋼円柱の周囲に、縦横 300mm、厚さ 100mm のコンクリートを打設した試験体を図-1 に示す。鋼円柱に荷重アームを取り付け、コンクリートブロックの右上と左下を固定した。

図-2 に示すようにアームの左右から偶力を作用させることで、円筒状の鋼・コンクリート界面に様なせん断応力を生じさせた。鋼円柱とコンクリートの間の相対変位を 4ヶ所で計測した。

鋼表面の状態による、界面の力学特性の差異を調べるために、鋼円柱の表面として、黒皮 (case-黒皮)・無機ジンクリッチペイント・ブラスト (case-ブラスト) の各状態を採用した。また、無機ジンクリッチペイントに関しては、通常コンクリート (case-無機ジンク C) に加え、モルタル (case-無機ジンク M) を使用した試験

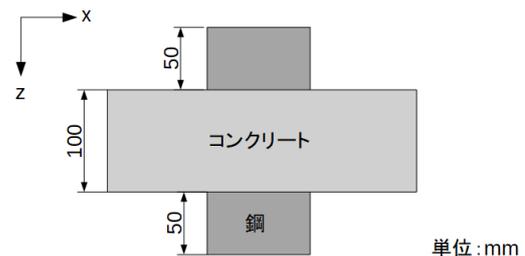
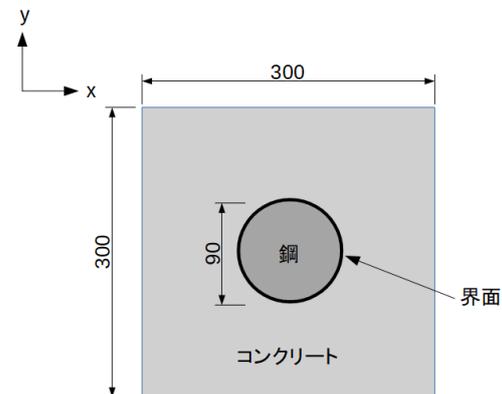


図-1 試験体

ケースを用意した。

このうち、代表的な結果として case-ブラストの荷重-相対変位関係を図-3 に示す。荷重の最大値まではほとんど相対変位が生じず、相対変位が約 2mm にかけて荷重が減少し、荷重はほぼ一定となった。



図-2 試験装置

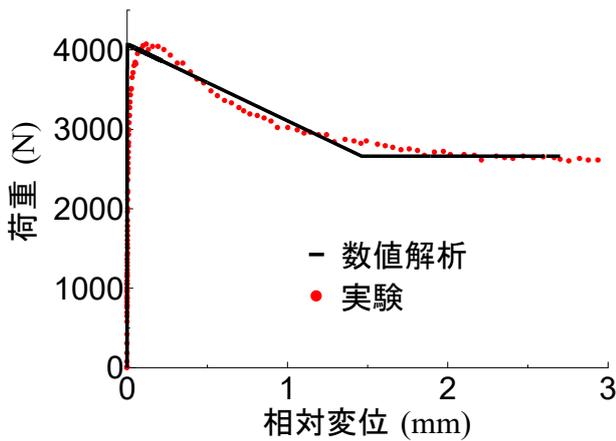


図-3 荷重-相対変位関係

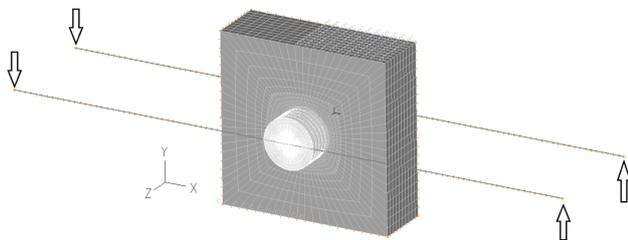


図-4 再現モデル

3. 数値モデルによる再現解析と界面の力学特性評価

コンクリートの物性値は Young 率 $3.0 \times 10^4 \text{N/mm}^2$, Poisson 比 0.20 とし, 鋼部材の物性値は Young 率 $2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$, Poisson 比 0.30 とした. 図-4 に示すように, 試験体を 8 節点 6 面体要素により, 荷重アームを梁要素によりモデル化した. 鋼円柱とコンクリートブロックの要素数はそれぞれ 16,800, 12,800 となった. 荷重アーム両端に, 変位により偶力を与えた. コンクリートブロックは右上と左下の 3 方向変位を拘束した.

鋼とコンクリートの界面には cohesive 要素²⁾を組み込んだ. cohesive 要素とは, 界面に関連する二重節点間

表-1 表面状態ごとの界面の力学特性値

case	付着強度 (N/mm^2)	臨界エネルギー解放率 (N/mm)
黒皮	0.99	0.71
無機ジンク C	(2.0)	-
無機ジンク M	0.61	0.42
ブラスト	1.1	0.81

をばね要素で結合し, 界面での表面力と相対変位を関連付けるモデルである. 表面力と相対変位のなす仕事, 臨界エネルギー解放率と等しくなった時, 表面力はゼロとなり新たな剥離面が生成される. この cohesive 要素に必要な力学特性である付着強度と臨界エネルギー解放率を, 再現解析により評価する. また, 生成された界面には接触を考慮した.

モデル中のコンクリートに収縮ひずみ³⁾を設定し, 得られた界面の法線方向の力と, 摩擦係数¹⁾ から, 変位増大後の一定の荷重は摩擦力であると判断した. 摩擦力を考慮し, 荷重の最大値と摩擦力の差を付着強度として算定した.

臨界エネルギー解放率は, 単位面積の亀裂が生成される時に必要な仕事であり, 図-3 の荷重-相対変位関係から表面力による仕事を求め, 表面力による仕事と摩擦力による仕事の差を臨界エネルギー解放率として算定した. case-ブラストの数値解析によって得られた荷重-相対変位関係を図-3 に実線で示す.

同様にして, 他の実験 case から得られた付着強度・臨界エネルギー解放率を表-1 に示す. case-無機ジンク C の臨界エネルギー解放率については, 荷重ピーク後にコンクリートブロックにひび割れが発生したため, 荷重の急低下と相対変位の急増によって, 仕事を正確に算定できなかった. そのため, case-無機ジンク C の収縮による摩擦力は, case-無機ジンク M のそれと等しいと仮定して算定したため, 更なる検討が必要である.

4. おわりに

実験と数値解析結果の比較から, 表面状態によって異なる界面の力学特性として, 付着強度と臨界エネルギー解放率を決定し, 界面の剥離進展を考慮した数値モデルを構築することができた.

参考文献

- 1) 齊木功, 菊地浩貴, 山田真幸, 岩熊哲夫: 鋼コンクリート界面の付着強度評価法に関する一提案, 応用力学論文集, Vol.13, pp.323-329, 2010.
- 2) Needleman, A.: Some issues in cohesive surface modeling, *Procedia IUTAM*, 10, pp.221-246, 2014.
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書 [設計編], 丸善, 2007.

(2021 年 2 月 8 日 提出)