

3次元弾塑性有限要素解析を用いた孔あき鋼板ジベルの静的引き抜き解析

九州大学工学部 学生会員 ○満園 渉
 九州大学大学院 学生会員 宗本 理
 九州大学大学院 正会員 園田 佳巨
 清水建設 正会員 興石 正己

1. 緒言

鋼とコンクリートの複合構造物の境界面における有効なずれ止め工法として、鋼板に設けた孔に貫通鉄筋を配置しコンクリートを充填した孔あき鋼板ジベルが、近年注目を集めている。その理由としては、PBLがずれ止めとしての高い剛性を持ち、疲労特性に対しても有利であることなどが挙げられる。これまで、PBLの耐荷性能に関する研究は主に実験ベースで行われ、種々の耐力評価式の提案が行われている。しかしながら、PBLの耐力に影響を及ぼす因子には様々なものが挙げられており、既往の耐力評価式はそれらの影響を全て適切に評価しているとは言い難い。そこで本研究では、3次元弾塑性有限要素解析を行い、諸要因がPBLの耐力特性に与える影響について評価するための基礎的な検討を行った。

2. 解析手法の概要

2.1 解析対象

本研究の解析対象は、図-1に示すように鋼とコンクリートの複合構造物の接合部を再現した3種類の実験供試体で、弾塑性有限要素解析の妥当性を検討するために、両者の結果を比較した。5個の孔を横一列に配置したA1供試体(孔径70mm、貫通鉄筋D19)、孔5個を上3列下2列の2段に配置した上で鋼板下部にフランジを設置したA2供試体(孔径35mm、貫通鉄筋D10)およびフランジのないA3供試体(孔径35mm、貫通鉄筋D10)の計3体の供試体による引抜き実験に対する解析を行った。

2.2 解析モデル及び解析条件

解析モデルは図-2に示すような対称性を考慮した1/4モデルとした。コンクリート、鋼板、貫通鉄筋は8節点ソリッド要素、組立鉄筋と補強鉄筋は2節点トラス要素を用いて離散化した。材料はすべて弾塑性体とし、鉄筋および鋼板の材料特性はMisesの降伏条件による簡易なバイリニア型を適用した。一方、コンクリートは、側圧を変えた既往の3軸圧縮試験を参考に、圧力依存性と損傷を考慮したDrucker-Pragerモデルを適用した。本解析で用いた材料定数を表-1に示す。

また、鋼板とコンクリートの付着破壊を表現するために、鋼板とコンクリート間のせん断力をパラメータとして完全付着状態から接触状態へと変化する条件を与え、接触状態に変化した後はクーロン摩擦則を適用した。なお、鋼板とコンクリート間の摩擦係数は、既往の文献のデータを参照に0.6と設定した。

以上の条件のもとで、それぞれの供試体において鋼板に垂直上向きに強制変位を与え、終局耐力および破壊性状の比較を行った。

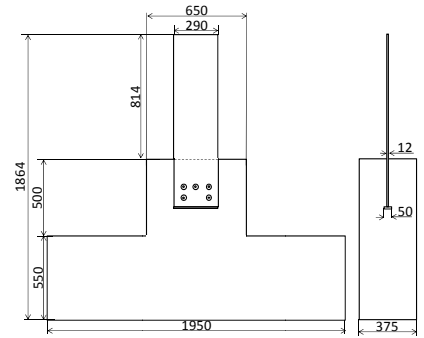


図-1 解析対象供試体の断面図 (A2)

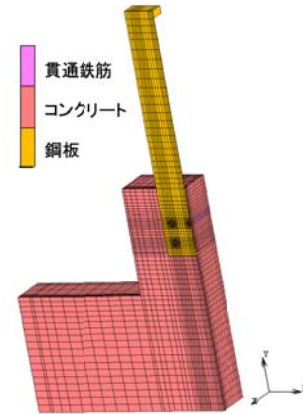


図-2 解析モデル (A2)

表-1 材料定数

	コンクリート	鋼板	鉄筋
ヤング率 (N/mm ²)	27100	205000	205000
ポアソン比	0.2	0.3	0.3
密度 (g/mm ³)	2.50E-03	7.85E-03	7.85E-03
降伏強度(引張) (kN)	24(2.4)	365	345
引張強度 (kN)	-	490	490

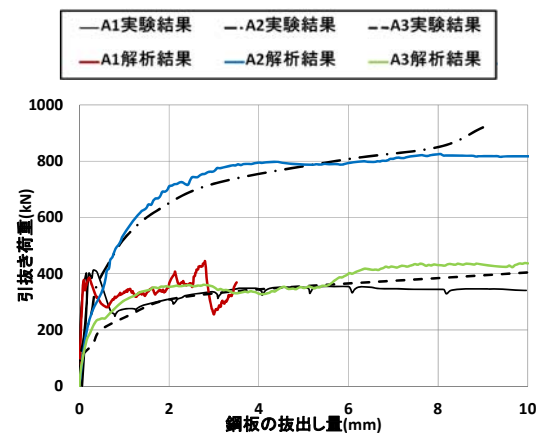


図-3 変位-荷重関係

3. 解析結果および考察

図-3 に鋼板のコンクリートからの抜け出し量を変位とした場合の変位-荷重関係を示す。A1 については、変位が 5mm に達した時点で荷重に大きな変動が生じ、計算を収束させることができなかった。これは、孔の中のコンクリートに圧縮軟化が発生し、応力が急激に低下したために耐力に大きな変動が生じたことが原因であると考えられる。しかし、変位が 5mm に達するまでの範囲では、実験結果に比較的に近い耐荷挙動を示していることが確認できる。表-2 の最大せん断力の比較から、3 ケースともに本解析によって最大せん断力を概ね評価できることが認められた。

次に、実験と解析で終局時の破壊性状を比較した結果を図-4 ~6 に示す。解析では、最大主ひずみが最大要素寸法と破壊エネルギーの関係から設定した引張り限界ひずみ 1100 μ を超えた領域でひび割れが発生したと仮定し、図中では灰色の領域で示す。さらに、主ひずみ方向に垂直にひび割れが生じると仮定し、予想されるひび割れおよび実験で観察されたひび割れを図中に太線で示した。A1 について、実験では赤丸で示す鋼板とコンクリートの境界部分にひび割れが確認される。最大主ひずみ分布より、解析でもほぼ同様のひび割れが予想されるが、解析結果は実験結果よりひび割れの範囲が狭くなっている。これは、計算結果が引抜き変位 5mm の時点のひずみ分布を基に評価したためと考えられ、より大きな変位域まで計算が可能になれば実験結果と同様のひび割れが進展していくことが予想される。A2 に関しては、実験では鋼板から外側面に達するひび割れが認められ、コンクリート母材自体が破壊していることがわかる。解析においても、最大主ひずみ分布より同様のひび割れの進展が予想され、破壊性状が適切に評価されていることがわかった。A3 についても A2 と同様に、実験では図の赤丸部分からひび割れが発生した後に鋼板から外側面に達するひび割れが生じており、コンクリート母材の破壊をともないながら鋼板が引き抜かれている。A3 については、図-6 に示すようにひび割れ方向に解析結果と実験結果の整合性が低く、解析結果の方がひび割れ領域を広く評価している。この理由の一つとして、両者の荷重 (図-6 は終局時) が実験は 390kN、解析は 437kN と 50kN 程度の差があることに加え、解析でひび割れと評価したひずみ値 1100 μ の定量的妥当性が低いことが考えられる。

4. 結言

本研究では、3次元弾塑性有限要素解析を用いた PBL の引抜き試験のシミュレーションを行い、実験結果と比較しながら、その耐荷特性や破壊性状を解析的に検討した。その結果、PBL の変位-荷重関係および破壊状況について概ね実現象を再現できることが確認できた。しかしながら、鋼板の抜け出し量が大きくなるにつれて、有限要素解析で安定した計算を進めることは難しく、何らかの解析手法の工夫が必要であることが認められた。今後、鋼板が完全に引抜かれる領域まで計算を行い、最大荷重や破壊性状を正確に予測できるような解析手法の改善を検討する予定である。

表-2 最大せん断力比較

		最大せん断力 (kN)	鋼板の抜け出し量 (mm)
A1	実験	413	0.3
	解析	386	0.22
A2	実験	852	10.00
	解析	825	8.05
A3	実験	399	9.60
	解析	438	9.94

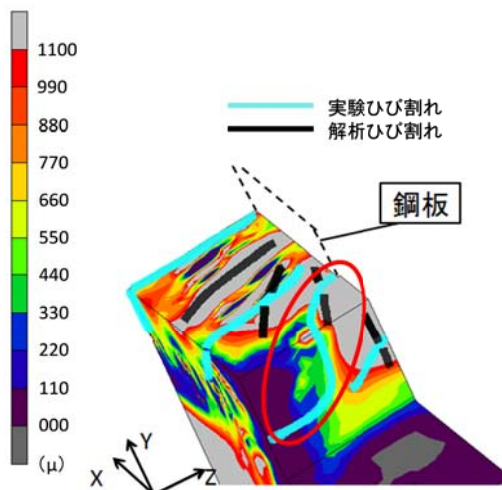


図-4 A1 破壊性状および最大主ひずみ分布

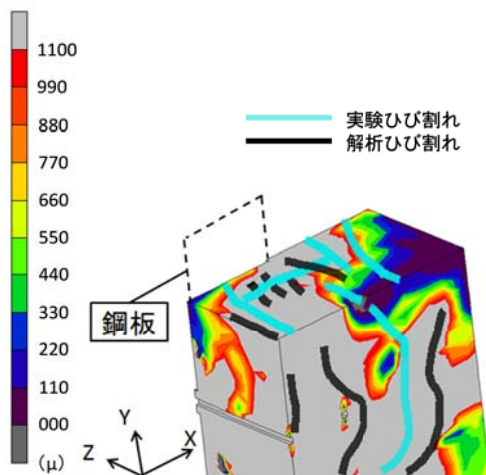


図-5 A2 破壊性状および最大主ひずみ分布

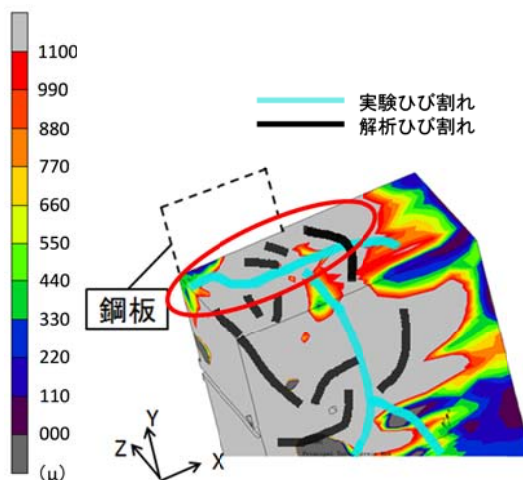


図-6 A3 破壊性状および最大主ひずみ分布