

解析を用いた PBL の耐荷性能評価に関する基礎的考察

九州大学 正会員 ○宗本 理 九州大学 正会員 園田 佳巨

1. はじめに

複合構造にはずれ止めが使用されており、ずれ止めの中でも孔あき鋼板ジベル（以下、PBL と称す）は鋼板に設けた孔の中にコンクリートを充填させた上で鉄筋を貫通させることで高いずれ剛性や耐疲労特性が期待される。PBL に関する研究では引抜き試験や押抜きせん断試験を基に、様々な要因をパラメータとした有用な耐力評価式が数多く提案されている。本研究では、PBL が広範な用途に使用されることを想定し、任意の荷重条件に対する PBL の破壊形態の把握と終局耐力の予測を可能とする解析手法を提案することを試みた。具体的には、PBL の破壊によるジベル孔の移動を伴うような大変形問題を容易に表現可能なメッシュレス手法（ASPH 法）と有限要素法（FEM）を用いて、PBL の押抜きせん断解析を実施した。

2. 解析概要

2.1 SPH 法（ASPH 法）

SPH 法を概念を図-1 に示す。SPH 法は物体を粒子の集合体として離散化を行い、粒子の物理量は式(1)に示すように影響半径内に存在する周囲の粒子の物理量に距離に応じた重み W を乗じて合算（kernel 関数による重み付き平均）して求められる。

$$f(x) \approx \int f(x') W(x-x', h) dx' \quad (1)$$

$f(x)$: 任意の物理量, $W(x-x', h)$: Kernel 関数, h : 影響半径, x : 対象の粒子座標, x' : 対象以外の粒子座標である。本研究では、SPH 法の中でも直交する 3 主軸方向に独立した 3 つの kernel 関数を定義できる ASPH 法を用いた。ASPH 法では、各主軸別に剛性の低下やひび割れによる材料の異方性を表現可能である。

2.2 解析対象および解析モデル

対象とした実験は、宇都宮大学の中島らが実施した PBL の静的押抜きせん断試験¹⁾で、ジベル孔径を 30 と 90mm の 2 種類変えた孔あき鋼板（厚み 12mm, 幅 100mm）をコンクリートブロック（500×500×450mm）から静的に押抜く試験である。なお、鋼板とコンクリート間は付着を有している。解析ではジベル孔が移動した際、ジベル孔の粒子が初期座標時の影響半径外の粒子との重み付き平均の計算を行わない処理を設定した。解析モデルは図-2 のように x 方向の対称性を考慮した 1/2 モデルとし、離散化による粒子の直径は鋼板を 2mm, ジベル孔のコンクリート粒子を 2.8mm, その他の粒子を 14mm とした。影響半径は大きい粒子に合わせたものを採用した。

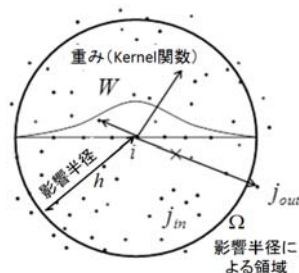
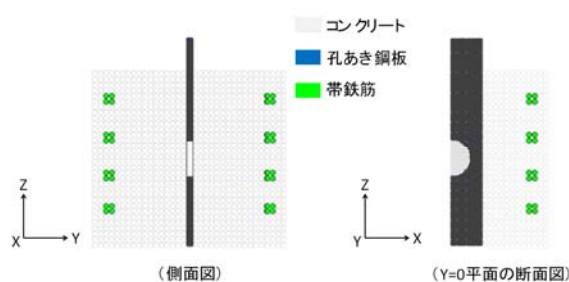
図-1 コンクリートの $\sqrt{J_2} - I_1$ 関係

図-2 解析モデル

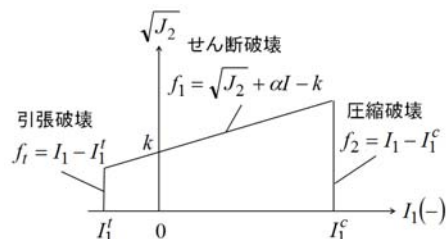


図-3 修正 Drucker-Prager の降伏基準

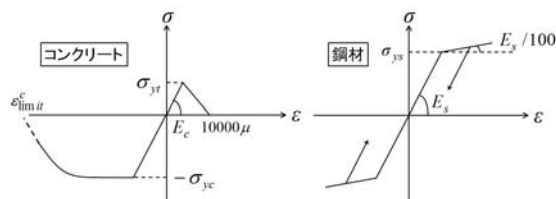


図-4 応力-ひずみの関係

表-1 各種材料定数

	弾性係数 (kN/mm ²)	強度 (kN/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	ポアソン比
コンクリート	31.1	29.2(2.8)	—	0.2
鋼板(SS400)	200	439	361	0.3
補強鉄筋(SD295)	200	548	409	0.3

キーワード 孔あき鋼板ジベル, ASPH 法, FEM, 押抜きせん断解析

連絡先 〒819-0385 福岡県福岡市西区元岡 744 ウェスト 2 号館 11 階 1102 号室

2.3 材料特性

PBL の破壊性状にはせん断破壊と圧縮破壊が想定されるため、図-3 に示す平面キャップによる圧縮破壊面を考慮した修正 Drucker-Prager の降伏基準をコンクリートに適用し、引張側と圧縮側で破壊の表現として軟化を考慮している。一方、鋼材は Mises の降伏基準とし、バイリニア型の等方硬化則を適用した。単軸で考えた場合の応力-ひずみ関係について図-4、各種材料定数を表-1 に示す。なお、鋼板とコンクリート間の付着は簡易なバネモデルを用いて予め付着に関する検討を行い、適切に設定した。

3. 解析結果

3.1 SPH 法 (ASPH 法)

実験と2種類の解析結果によるせん断力-相対ずれ変位の関係をジベル孔径別に図-5 に示す。図-5(a) では、相対ずれ変位 2mm 程度の実験による降伏荷重を ASPH 法と FEM の両方で良好に評価できている。また降伏荷重後の波形に関して、FEM ではジベル孔内部の要素が大きく変形するため、波形が振動しているのに対し、ASPH 法では実験と約 14% の相違が見られるが、大変形領域でも安定した解析結果が得られていることが明らかである。一方、図-5(b) に関して、ASPH 法では降伏荷重に達するまでの剛性が実験に比べて大きい、FEM と同程度の解析結果が得られていることがわかる。

3.2 SPH 法 (ASPH 法)

ASPH 法による PBL の破壊性状として、相対ずれ変位 20mm 時におけるコンクリートの最大主ひずみ分布のコンター図をジベル孔径別に図-6 に示す。ピンク色で表示した領域はコンクリートの主ひずみが引張限界ひずみに達して、ひび割れが生じたと想定される領域を示している。これらの図からジベル孔径が大きくなると、ジベル孔周辺およびコンクリートブロックの主ひずみ分布が全体拡大していることが確認できる。実験では、ジベル孔径 90mm のケースでは他のケースとは異なり、コンクリートブロックにひび割れが生じていることが指摘されているため、ASPH 法による解析でも実験の定性的な傾向は評価できていることが認められる。

4. おわりに

本研究では FEM とより簡易に大変形を評価可能な ASPH 法によるジベル孔径を変えた PBL の押抜きせん断解析を実施した。その結果、ASPH 法を用いた PBL の解析ではずれ変位が小さい領域では FEM と同程度の解析精度が得られ、大変形領域まで耐荷性能を定量的に評価可能であることが認められた。

参考文献

1) NGUYEN MINH HAJ, 橋本昌利, 中島章典, 鈴木康夫: 貫通鉄筋の効果に着目した孔あき鋼板ジベルの押し抜き試験, 第 67 回年次学術講演会講演概要集, pp.27-28, 2012.

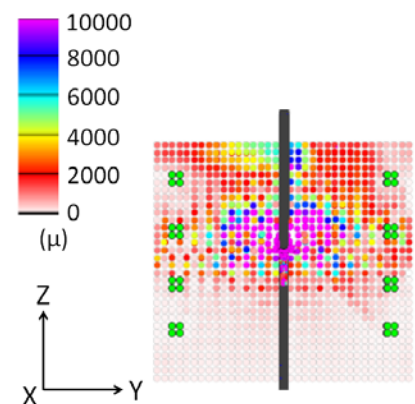
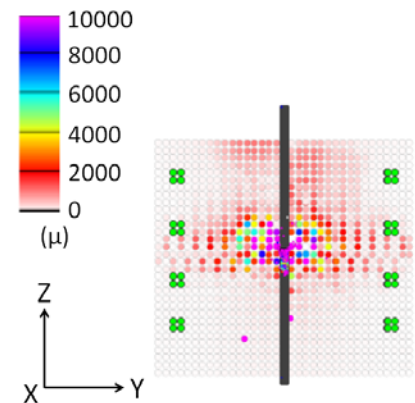
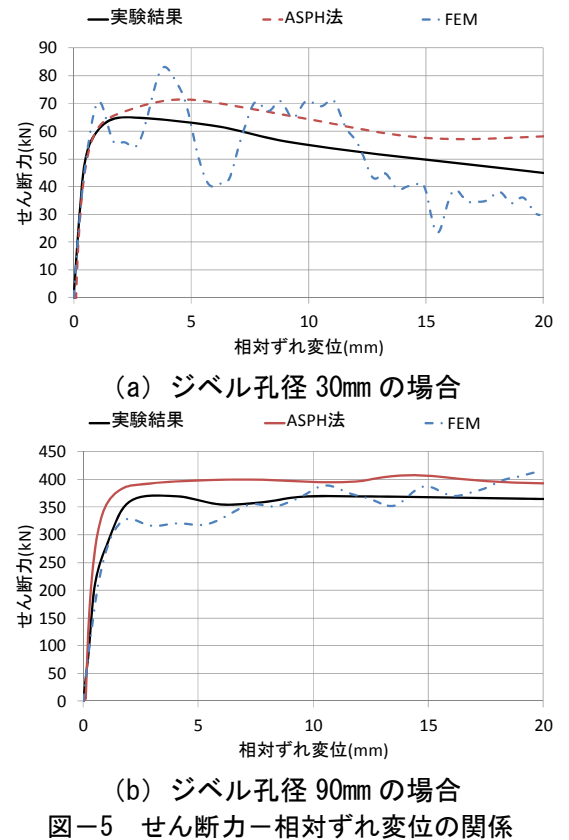


図-6 ASPH 法による PBL の破壊性状