

ASPH 法を用いた PBL の押抜きせん断解析に関する基礎的考察

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

1. 諸言

複合構造の接合部のずれ止めとして近年注目されている孔あき鋼板ジベル（以下、PBL と称す）は孔に鉄筋を貫通させることで高いせん断抵抗が期待でき、ずれ剛性や耐疲労性はスタッドジベルより優れているといった特徴を有している。PBL に関する実験的研究は多数実施され、有用な耐力評価式が提案されている。一方、解析的研究は実験に比べて少なく、任意の条件下における PBL の耐荷性能を定量的に評価できる手法は提案されていない。そこで、本研究では 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に着目し、ASPH 法を用いた 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（図-2）。解析モデルは図-3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。

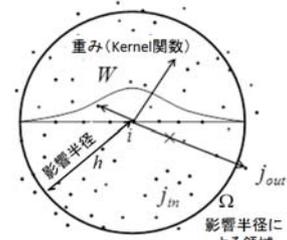


図-1 SPH 法による概念

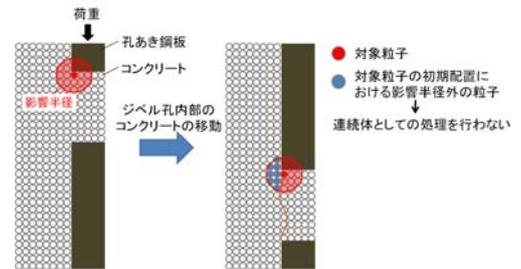


図-2 PBL に特化した ASPH 法の処理方法

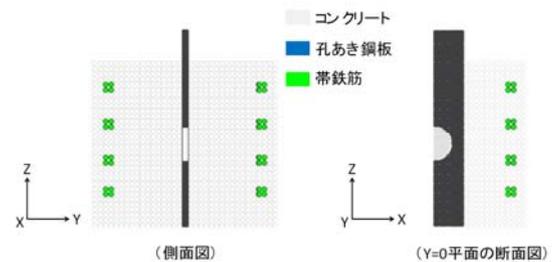


図-3 解析対象 (ジベル孔径 90mm の場合)

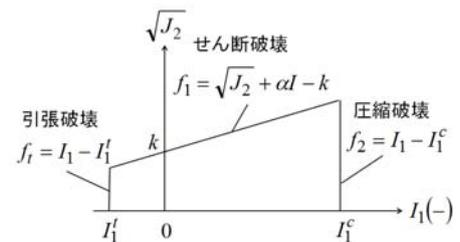


図-4 修正 Drucker-Prager の降伏基準

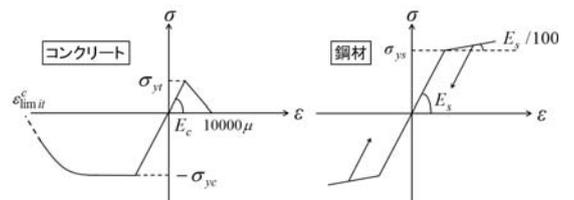


図-5 応力-ひずみの関係

表-1 各材料定数

	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

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-4**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-5**、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. PBL の押抜きせん断解析結果

3. 1 せん断力-相対ずれ変位

実験と ASPH 法による解析結果のせん断力-相対ずれ変位を比較したものをジベル孔径別に**図-6**に示す。**図-6 (a)**では、相対ずれ変位 2mm 程度の実験による降伏荷重まで解析結果は概ね一致しており、その後の波形も近い傾向が得られている。相対ずれ変位 20mm までにおける最大せん断力は実験に対して約 11% 大きい結果となった。一方、**図-6 (b)**では降伏荷重に達するまでに解析の剛性が実験に比べて大きいことがわかる。しかし、荷重が降伏する際のずれ変位に関しては、近い値が得られており、波形全体も実験と同様の傾向が見られる。また相対ずれ変位 20mm までにおける最大せん断力は**図-6 (a)**と同様に、実験に対して 11% 程度大きい結果となった。

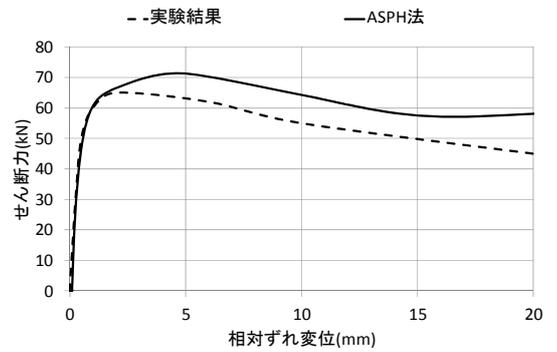
3. 2 破壊性状

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-7**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。

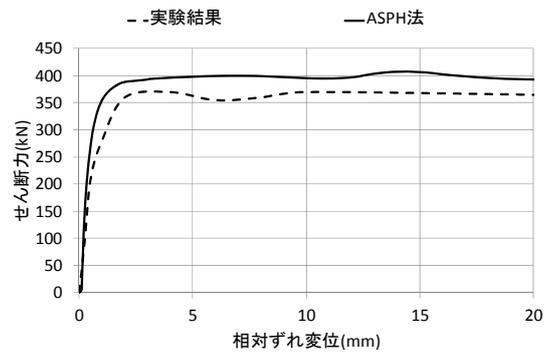
4. まとめ

本研究では大変形問題に関して FEM よりも簡易に表現可能な 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、実験による PBL のせん断力-ずれ変位を定量的に評価でき、破壊性状に関しては定性的な傾向を把握可能であることが認められた。今後、実験によるジベル孔内部のコンクリートの応力状態を把握すると共に、解析でも定量的に評価できるように、両者で検討していく必要がある。

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.

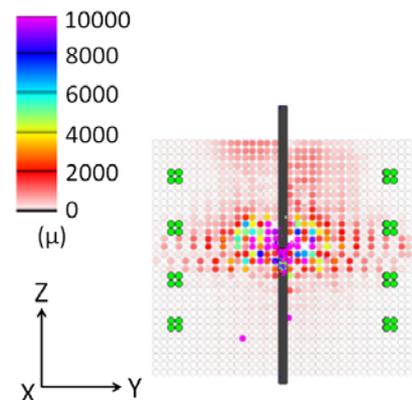


(a) ジベル孔径 30mm の場合

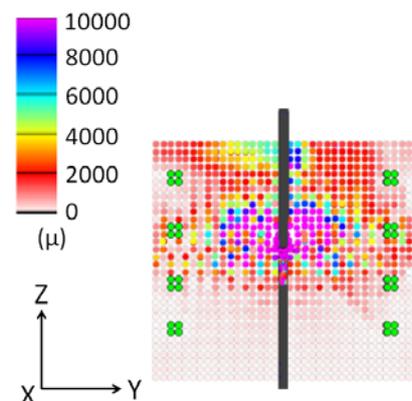


(b) ジベル孔径 90mm の場合

図-6 せん断力-相対ずれ変位



(a) ジベル孔径 30mm の場合



(b) ジベル孔径 90mm の場合

図-7 コンクリートの最大主ひずみ分布