# 3DFEM を用いた孔あき鋼板ジベルの押抜きせん断解析に関する基礎的研究

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. 緒言

近年,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せん断抵抗が期待できる孔あ き鋼板ジベル(以下,PBLと称す)が連続合成桁橋などにお ける主桁とコンクリート床版のずれ止めとして用いられてい る。一方,研究の分野ではこれまで数多くのPBLに関する実 験がなされており,有用な強度評価式が提案されている。し かし,解析に関してはPBL自体を主体とした解析事例は実験 に比べて少なく,PBLの終局耐力を評価可能な解析手法は確 立されていないのが現状である。そこで,PBLの耐荷挙動を 評価可能な解析手法を確立するために,側圧に応じたコンク リートの材料特性モデルを構築し,その妥当性について孔径 を変えた PBLの引抜き解析から検証した。

## 2. 解析概要

### 2. 1側圧に依存したコンクリートの材料特性モデル

PBL の破壊性状には主にせん断破壊と圧壊が挙げられる。 また、コンクリートの3軸圧縮試験でも拘束圧が高くなるに つれて破壊形態がせん断破壊からセメントペーストの圧壊に 変わることが示唆されている。以上の事から、まず既往の側 圧を変えた3軸圧縮試験から静水圧に依存したコンクリート の材料特性モデルを 3DFE 解析によって構築した。解析には 図-1に示すような平面キャップ付き修正 Drucker-Prager モデ ルを適用した。この図では通常の線形 Drucker-Prager 形式の降 伏関数 f, に, 圧縮降伏に対応した平面キャップ f,を加えてお り,降伏関数fi上はコンクリートのせん断破壊を意味し,平 面キャップの関数 f2 上は圧縮破壊の開始を仮定した。平面キ ャップ f2にかかる静水圧 If は、側圧を変えた 3 軸圧縮試験結 果より破壊性状が斜めひび割れによるせん断破壊から圧縮破 壊に変化する際の静水圧に着目し、静水圧と関係のある塑性 体積ひずみが 0.045 に達した際の静水圧とした。次に、降伏 関数 f<sub>1</sub>上における引張破壊と圧縮破壊に関して, Ignacio Carol らが提案した, 直交する3 主応力軸の影響低減率を考慮した 異方性構成則を適用した。損傷度を決める引張限界ひずみは 引張破壊エネルギーと最小要素長から算出したひび割れ幅を もとに決定した。圧縮側では、上記の試験結果より図-2に 示す最大応力時のひずみ-静水圧の関係を決定した。これは 静水圧によって損傷度を決定するひずみが変化することで、



最大圧縮応力も変化することを意味する。さらに、試験結果 に見られる側圧に応じた最大応力後の圧縮軟化を表現する ために、図-3に示すような関数を適用した。これは静水圧 が大きい状況下では大きい終局ひずみ $\varepsilon_u$ を仮定することで、 圧縮軟化勾配を小さくし、圧縮軟化を制御した。

### 2. 2 PBL の押抜き解析概要

中島らが実施した貫通鉄筋を有した PBL の押抜き試験を 対象とし、ジベル孔の数を深さ方向に 1~3 個と変化させた シミュレーションを実施した。試験体は 300×300×400mm の コンクリートブロックに厚み 12mm,幅 100mm の鋼板が埋 め込まれている試験体である。なお、ジベル孔径は D50 と し、孔 1 つに対して接するコンクリートの長さは孔の上下 100mm としている。解析に関して、対称性を考慮した 1/4 モデルとし、8 積分点を有するソリッド要素で各部材のモデ ル化を行った。載荷条件について鋼板上面に最大 20mm の強 制変位を与えている。また鋼板とコンクリートの付着は実験 と同様に考慮していない。解析モデルおよび各材料定数を図 -4、表-1に示す。

#### 3. 解析結果

ジベル孔数が2個と3個の場合におけるPBLのせん断耐 カー相対ずれ変位について解析と実験で比較したものを図 -5に示す。さらに、各ジベル孔数における最大せん断力を 解析と実験でまとめたものを図-6に示す。まず図-5より、 ジベル孔数が増加するにつれてせん断力が増加する定性的 な傾向および降伏せん断力は実験をおおよそ再現できてい ることが認められる。しかし、図-6からも確認できるよう に、実験と解析の最大せん断力には最大30%程度の乖離が生 じている。これは、解析ではジベル孔中のコンクリート要素 がせん断破壊してもコンクリートブロックと繋がっている ために、鋼板の押抜き量が大きくなるにつれて過度の応力が 生じていることが原因と思われる。次に、ジベル孔3個の場 合に貫通鉄筋を有した PBL に関して、各ジベル孔に働くせ ん断力の分担割合を実験と解析で比較したものを図-7に示

材料定数 表-1 弾性係数 降伏強度 引張強度 ポアソン比  $(kN/mm^2)$  $(N/mm^2)$  $(N/mm^2)$ 0.2 コンクリート 33.6 35.6 4.1 鋼板 200 306 452 0.3 貫通鉄筋D13 495 0.3 200380 -ジベル孔数3個(解析) --ジベル孔数3個(実験) --ジベル孔数2個(解析) --ジベル孔数2個(実験) 600 500 斯 300 ₹ 1200 100 0 0 5 10 15 20 相対ずれ変位(mm) 図-5 せん断カー相対ずれ変位 ■実験(貫通鉄筋有り) 解析(貫通鉄筋有り) 600 500 Z 400 300 200 200 100 0 1 2 3 ジベル孔数 図-6 最大せん断力に対するジベル孔数の影響 ---上段(実験) -- 中段(実験) -- 下段(実験) ▲上段(解析) →中段(解析) 下段(解析) 70 쇱 じるせん断力の分担割 60 50 40 ्रि 30 20 10 번 0 긘 0 100 200 300 400 鋼板全体に作用するせん断力(kN) 図-7 各段の孔に作用するせん断力の分担割合

す。実験では各孔に生じるせん断力を孔間の鋼板に働いている軸力の差から求めている。一方,解析ではジベル孔 中のコンクリートと貫通鉄筋に生じる各せん断応力を孔の面積と鉄筋の断面積でそれぞれ積分したものを足すこと で算出した。それらを鋼板全体に生じるせん断力で除すことで図-7の縦軸に示すせん断力の分担割合とした。こ の図より,鋼板全体に作用するせん断力が増加するにつれて,上段の孔に働くせん断力は徐々に減少するのに対し て,中段と下段の孔に作用するせん断力が増加していく傾向が両者一致していることが認められる。

## 4. まとめ

本研究では、PBL ジベルの耐力を定量的に把握可能な解析手法を確立するために、静水圧に依存したコンクリートの材料特性モデルの妥当性について検証した。今後、ジベル孔径や鋼板に対するコンクリートブロックのかぶりを変えた際の影響、さらに動的荷重に対する PBL の耐荷挙動について 3DFE 解析を用いて検討していく予定である。