

貫通鉄筋を有する孔あき鋼板ジベルの非線形 FEM 解析

九州大学 学生会員 ○宗本 理 九州大学 正会員 園田 佳巨
清水建設(株) フェロー会員 興石 正己 清水建設(株) 正会員 仲山 賢司

1. はじめに

近年、土木工学の分野における複合構造では、耐久性が高く、貫通鉄筋を貫通させることで高いせん断抵抗が得られる孔あき鋼板ジベル（以下、PBL と称す）を用いた構造物が増加している。例えば、PBL の施工例として合成構造橋脚や合成桁橋などが挙げられ、今後さらに地下構造物への適用が増加することが予想される。

PBL に関する研究においてはこれまで数多くの実験が行われ、有用な強度評価式が提案されている¹⁾²⁾。一方、貫通鉄筋を有する PBL の解析に関する文献は実験に比べ少ないのが現状である。今後、実構造物への適用が増加する中で、PBL の耐荷挙動を定量的かつ精度良く評価可能な解析手法を確立することが重要である。

そこで本研究では、3 次元 FEM を用いて貫通鉄筋を有する PBL の引抜き解析を行い、その妥当性について考察した。具体的には、まずジベルの無い鋼板の引抜き解析より鋼材とコンクリートの付着特性を把握した。次に、その付着特性を用いて貫通鉄筋を有する PBL の引抜き解析について検討した。なお、解析には汎用解析ソフト MSC.MARC2010 を用いた。

2. 解析概要

2.1 解析モデル

解析は篠崎らが行った引抜き試験³⁾を参考にし、コンクリート母材（1000×1000×400mm）に 2 種類（ジベルの有無）の鋼板を 230mm の深さまで埋め込んだ試験体である。コンクリート母材にはかぶり 35mm の位置に 120mm ピッチで D13(SD345)が格子状に配置されている。また、 $\phi 35$ の孔を有するジベル鋼板には全長 60ϕ の貫通鉄筋 D10 が貫通している。本研究で用いた解析モデルを図-1 に示す。解析モデルは対称性を考慮した 1/4 モデルとし、コンクリートおよび鋼板はソリッド要素、貫通鉄筋は beam 要素とした。コンクリートと鋼板の付着には単位面積当たりの付着力-すべり関係を考慮した界面要素を設定した。さらに、PBL 孔内コンクリートのせん断破壊を表現するために、孔内コンクリートとコンクリートブロック間に薄い等方弾性体（以下、ずれ要素と称す）を設けた。なお、載荷方法は鋼板に強制変位を与えており、コンクリートや鋼板の貫通鉄筋との接触に関しては並進方向のみを考慮した剛体結合を採用した。

2.2 材料特性

材料特性について、コンクリートには圧縮域と引張域で異なる強度異なる値を設定した。これら各材料の応力-ひずみ関係

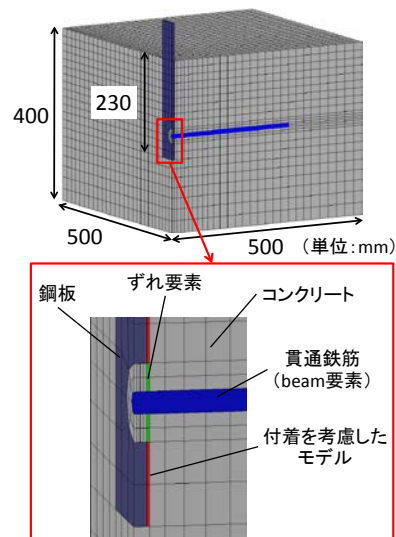
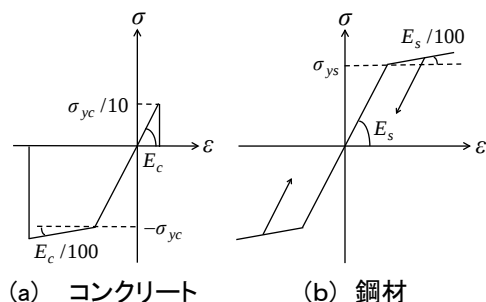


図-1 解析モデル



(a) コンクリート (b) 鋼材

図-2 応力-ひずみ関係

表-1 各種材料定数

	コンクリート	鋼材(鋼板・溝形鋼)	鉄筋D13
弾性係数 (kN/mm ²)	30.8	207.1	195.5
ポアソン比	0.17	0.3	0.3
質量密度 (g/cm ³)	2.35	7.85	7.85
圧縮強度 (N/mm ²)	41.4	512 (降伏強度)	386 (降伏強度)
引張強度 (N/mm ²)	3.15	640	546

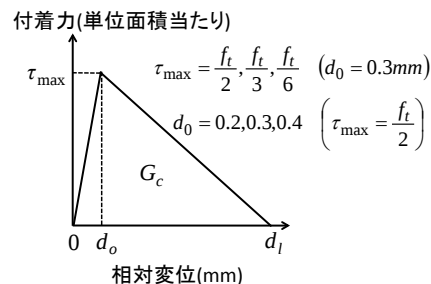


図-3 付着特性

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

ひずみ関係を図-2に示す。具体的なコンクリートと鉄筋の材料定数は表-1に示す。特性を与えた Mises の降伏条件を適用し、引張強度に達した場合と圧縮ひずみが 3500μ を超えた場合にそれぞれ引張・圧縮破壊を表現するために応力を解放している。鋼板および貫通鉄筋は圧縮・引張両域で同じ強度特性を有する Mises の降伏条件を適用し、降伏後は初期剛性の $1/100$ の剛性で等方硬化するバイリニア型モデルを用いた。また、鋼材とコンクリートの付着特性に関しては、最大付着応力 $\tau_{\max}$ と最大付着応力発生時のすべり d_0 を各々3種類、図-3に示すように仮定した。ずれ要素は既往の論文⁴⁾を参考にしてせん断弾性係数を減少させる方法を用いた。なお、偏差応力の2次不変量 J_2 がせん断強度 $\sigma_{yc}/4$ に達した時点でせん断剛性が0になるように設定し、せん断破壊を表現した。

3. 解析結果

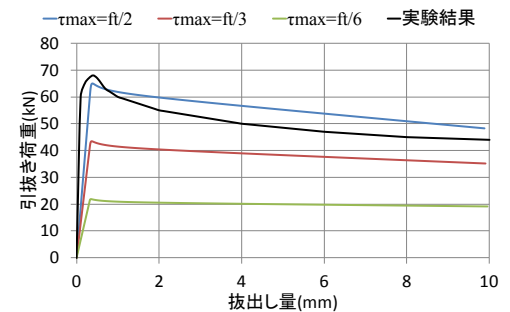
最大付着応力と最大付着応力時のすべりによる影響に関して、引抜き荷重－鋼板（孔無し）の拔出し量の関係を図-4に示す。これらの図より、引抜き荷重は最大付着応力 $\tau_{\max}$ に大きく依存することが確認できる。また実験結果と比較すると、図-4(a)では $\tau_{\max} = f_t/2$ 、図-4(b)では $d_0 = 0.2\text{mm}$ 時の場合で最も実験値に近い結果であることがわかる。次に、実験値に最も近い付着特性を用いて貫通鉄筋を有する PBL の引抜き解析結果を図-5に示す。この図より、解析による最大引抜き荷重は実験値に概ね等しいことが認められる。また、孔内コンクリートの破壊後（90kN 付近）、拔出し量が $2.5\sim 13\text{mm}$ の範囲では引抜き荷重は実験値に比べて大きくなっている。これは貫通鉄筋とコンクリートの接触を剛体結合としているためと考えられる。次に、終局時の破壊性状として、コンクリートブロックの主ひずみ分布を図-6に示す。灰色表示部分はコンクリートが引張強度に達してひび割れが生じるとみなされる領域で、実験と同様に供試体表面にはひび割れは見られず、孔内コンクリートとその近傍にひび割れが確認できる。このことから、鋼板自体のせん断耐力とコンクリートとの付着力を分離してモデル化を行う際、適切な付着特性およびせん断破壊モデルを適用することで実現現象を良好に再現できると考えられる。

4. おわりに

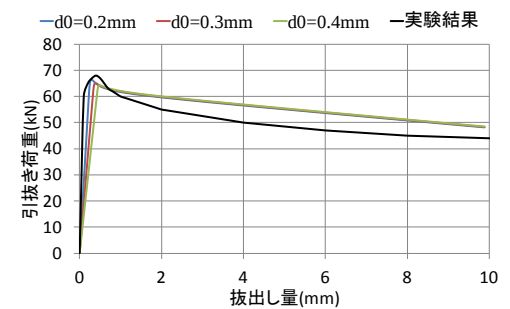
本研究では、非線形 FEM による貫通鉄筋を有する孔あき鋼板ジベルの引抜き解析を行い、解析の妥当性について考察した。今後、解析モデルは、要素寸法の依存性や破壊した要素の処理について検討を行う予定である。また、PBL の耐荷挙動に関しては、押抜きせん断試験、曲げ試験に関する検討を実施し設計耐力との比較を行う予定である。

参考文献

- 1) F. Leonhardt, et al. : Neues, vorteilhaftes Verbundmittel für Stahlverbund-Tragwerke mit hoher Dauerfestigkeit, Beton und Stahlbetonbau, pp.325-331, 1987
- 2) 2009 年制定 複合構造標準示方書（共通編），土木学会
- 3) 篠崎裕生，竹之井勇，浅井洋，三上浩：孔あき鋼板ジベルの引抜き耐荷挙動のバネモデルによる評価，三井住友建設技術開発センター報告，第7号
- 4) 園田佳巨，手嶋康博：3次元弾塑性 FEM による孔あき鋼板ジベルの設計式に関する基礎的考察，応用力学論文集，Vol.11, pp.283-290, 2008



(a) 最大付着応力 $\tau_{\max}$ の影響



(b) すべり d_0 の影響

図-4 引抜き荷重－拔出し量（孔無し鋼板）

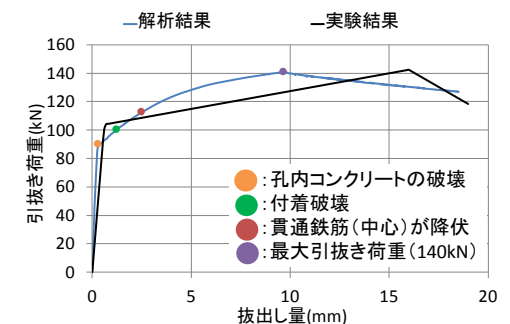


図-5 引抜き荷重－拔出し量

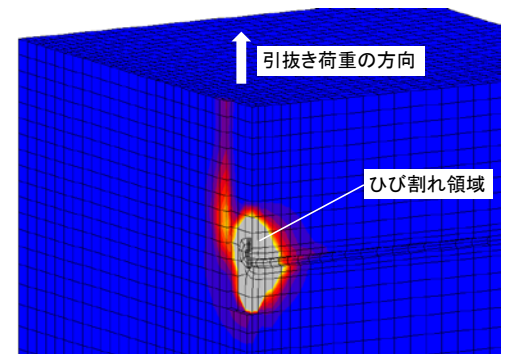


図-6 コンクリートの破壊性状（終局時）