

大阪市立大学大学院工学研究科 学生員 ○山岡 悟
 大阪市立大学工学部 熊澤 美早
 大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 鬼頭 宏明
 大阪工業大学八幡工学実験場 フェロー 園田恵一郎

1. はじめに

鋼とコンクリートからなる合成構造部材は、その機能を保持するために一般に両者が一体として挙動しなければならない。そこで、両者の接合面に必要となるのが‘ずれ止め’である。現在慣用的なずれ止めとして用いられているのは頭付きスタッドであるが、本研究の対象は1980年代後半に、ドイツのレオンハルトらに提案されたパーフォボンドストリップ¹⁾(以下 PBS)である。PBS は鋼帯板に複数の円孔を設け、鋼桁フランジに鉛直に連続溶接し、鋼帯板の円孔内にコンクリートを充填し、充填されたコンクリートの2面せん断抵抗にてずれ止めとして機能する。PBS は連続溶接施工であるため、その利点は耐疲労性や施工性にある。本研究では PBS のせん断伝達機構を解明するために、過去の実験成果²⁾をふまえ、汎用構造解析コード:MARC³⁾を用いて有限要素法(FEM)による鋼とコンクリートの接触条件を考慮した弾塑性解析を行った。そして、実験結果との対比により本解析手法の妥当性を検証した上で、実験では計測困難なコンクリートの内部、ならびに帯板の応力状態を調べた。

2. PBS のせん断強度算定式

帯板1孔当たりのせん断強度算定値¹⁾ D は次式で与えられる:

$$D = \frac{\pi}{4} d^2 \times 1.08 f_c \times 2 \quad \cdots(1)$$

ここで、 d : 孔径 (mm)、 f_c : 円柱体圧縮強度 (N/mm²)である。

3. 解析手法

1) 実験供試体の解析モデル化と境界条件 過去の実験では帯板の孔数(1, 2, 3孔)と貫通鉄筋の有無の違いで、計6体の供試体を用いられている(表1)。よって、本研究でも同様に6体について数値解析を行った。また、解析で用いる材料定数(表2)は実験から得られた値とした。

解析モデル(図1)は、構造ならびに境界条件の対称性を考慮して、1/4モデルとした。それに伴う境界条件として、まず2つの対称面上の節点が面外に移動しないように拘束した。次に、実験で固定されていた面上の節点の全変位成分を拘束した。最後に押抜き力を載荷したフランジ端面に載荷方向強制変位増分を与えた。

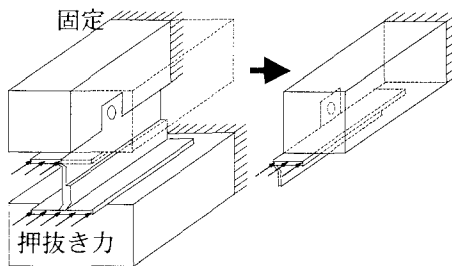


図1 実験供試体のモデル化と境界条件

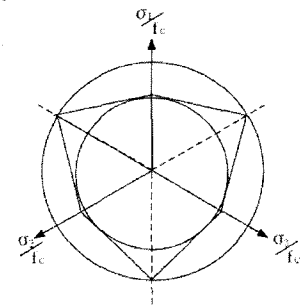


図2 Drucker-Prager と Mohr-Coulomb の降伏曲面

2) 弾塑性解析に用いた降伏条件

コンクリートの破壊基準としては次式で与えられている Drucker-Prager 則を用いた。

$$\alpha I_1 + \sqrt{J_2} - k = 0 \quad \cdots(2)$$

ここで、 α と k は、Mohr-Coulomb 材料としてのコンクリートのせん断摩擦角 ϕ と粘着力 c から求められる材料定

数である。本研究では RC 部材の直接せん断問題への適用実績のある $\phi=37^\circ$ と $c=0.138f_c^{4)}$ を用いた。これにより図2に示す偏差平面にて偏差六角形で描かれる Mohr-Coulomb の破壊曲面と式(2)で与えられる同平面上の円を、外接(圧縮主線共通)させる場合と、内接(引張主線共通)させる場合の2条件から α と k が各々与えられる。ここでは両者をそれぞれ out と in と呼称し、2種の解析を行った。これらは非破壊領域を最大と最小に設けるものであり、本来ならば作用応力状態に即して設定することが肝要とされる。なお、鋼材は弾性体と仮定した。

4. 既往の実験結果との比較

1) せん断強度 図3は、解析で得られる2種の最大せん断力、すなわちせん断強度を、対応する実験結果と比較したものである。図中には式(1)で与えられる算定値も実線で併記した。まず、鉄筋のない供試体に対して2種の解析結果は、対応する実験値を概ねはさむように位置していた。一方鉄筋のあるものでは、両解析値は実験値を上回るものとなった。これは解析モデルでは鉄筋を弾性体としてコンクリートに完全付着させたことに起因するものと考えられる。また、鉄筋の有無を比較すると、鉄筋の存在により実験値が上昇したのに対応して、解析値も上昇していた。

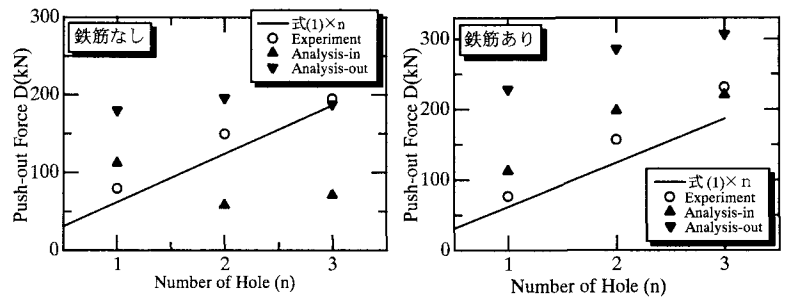


図3 せん断強度比較

2) 荷重-変位曲線 図4に供試体 push-2n の荷重すなわち押し抜き力(作用せん断力)と、変位すなわち鋼板とコンクリートの相対ずれの関係を示す。図より、両者の剛性は一致しており、Analysis-out のほうがより良好に実験に対応していた。

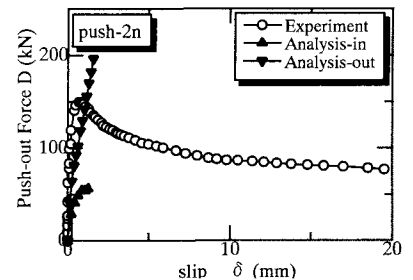


図4 荷重-変位曲線

2) 荷重-変位曲線 図4に供試体 push-2n の荷重すなわち押し抜き力(作用せん断力)と、変位すなわち鋼板とコンクリートの相対ずれの関係を示す。図より、両者の剛性は一致しており、Analysis-out のほうがより良好に実験に対応していた。

5. 解析結果と考察

1) 帯板側面上のせん断応力 まず帯板とコンクリートの境界面のせん断応力に着目し、その断面に関して解析で得られた、終局状態での水平せん断応力分布図(analysis-out)を図5に示す。図より、円孔内コンクリートに最大せん断応力が生じていることが分かる。これは実験で観察された孔部コンクリートの直接せん断破壊に対応するものであった。図中に併記した載荷方向とは、図1に示した H 型鋼に与えた押抜き力の方向を示す。

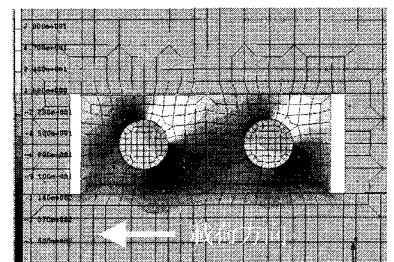


図5 push-2n の帯板平行断面のせん断応力分布

2) 帯板鉛直断面のせん断応力 次に図5と同じ条件下で帯板に直交し、円孔の中心を通る面でのせん断応力分布を図6に示す。この図からも帯板と接触するコンクリートに局所的な最大せん断応力が生じていることが認められる。

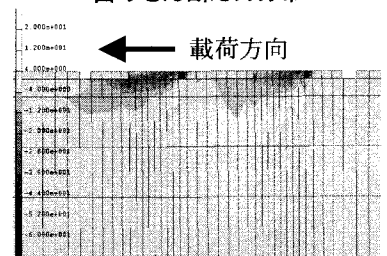


図6 push-2n の帯板鉛直断面のせん断応力分布

6. 結論

1) 本研究で用いた数値解析手法は、概ね実験供試体と同様の挙動が得られたことから、妥当なモデル設定であったと考えられる。2) 解析で得られた終局時の応力状態は実験で観察された破壊形式である孔部コンクリートのせん断破壊に対応するものであった。3) より整合性の良い解を得るためには、非線形性を記述する諸定数の更なる吟味が必要であると思われる。

参考文献

- 1) Leonhardt, F, et al: Beton-und Stahlbetonbau, pp.325-31, 1987 2) 坪田慎一: 大阪市立大学卒業論文, 2001 3) MSC Software Corp.: MSC.Marc 2000, 2000 4) 上田真稔: 東京大学学位請求論文, 1996