

パーフォボンドストリップの三次元弾塑性有限要素解析

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・コンクリート合成部材の慣用的なずれ止めである頭付きスタッドに代わるものとして、1980年代後半に Leonhardt ら¹⁾によって提案されたのがパーフォボンドストリップ(以下 PBS)である。PBS とは、合成桁を例にとれば、複数の円孔を設けた鋼帯板を鋼桁フランジ部に垂直に連続溶接し、床版コンクリート打設時に円孔内部にも充填し、円孔内のコンクリートの 2 面せん断にてずれ抵抗するものである。PBS は従来の頭付きスタッドに比べて、耐疲労性や施工性、コスト削減などの利点を有する。本研究は、この PBS のせん断伝達機構の解明を目的とし、汎用構造解析コード：MARC²⁾を用いて有限要素法(FEM)による弾塑性解析を行った。具体的には著者らの既往の研究³⁾⁴⁾において、その妥当性が確認されている解析モデルを用い、実験では計測困難なコンクリートや帯板の内部の応力状態などについて調べた。

2. 解析方法の概要

1) 供試体の解析モデル化と境界条件: 解析対象は円孔を貫通する鉄筋の有無と孔数($\phi=40$)1~3 を実験変数とする計 6 体の引抜き実験供試体である。なお材料定数は実験より得られたものを用いた。

表-1 材料定数

Concrete			Steel			Reinforcement		
Cylinder Strength	Elastic Modulus	Poisson's Ratio	Yield Strength	Ultimate Strength	Elastic Modulus	Yield Strength	Ultimate Strength	Elastic Modulus
f_c	E_c	ν	f_y	f_{su}	E_s	f_y	f_{su}	E_s
(N/mm ²)	(N/mm ²)	(-)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(N/mm ²)
30.4	25300	0.1825	275	430	210000	324	439	274000

解析モデルでは、図-1 のようにコンクリート中央部分を対称面とする対象部分と鋼帯板のせん断力荷重方向に添う中央線を対称面とする 1/4 モデルとした。まず、両対称面上の節点は面外に移動しない拘束を与えた($\delta_y=0$ or $\delta_z=0$: apply1,2)。次に、鋼帯板部の反りを抑制するために鋼帯板の全隅角の変形を抑制し

($\delta_y=0$: apply3)、床鋼板端部はせん断方向の支持辺とした($\delta_x=0$: apply4)。一方、荷重については、コンクリート部の載荷面に強制変位を与えた($\delta_x \neq 0$: apply5)。

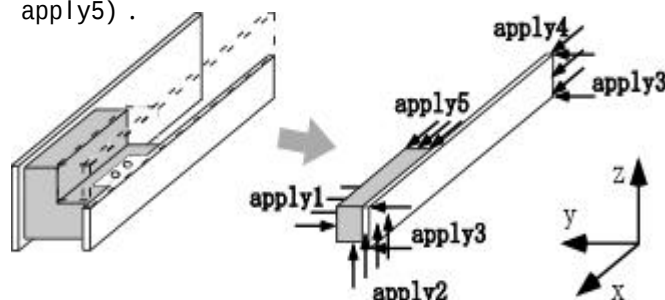


図-1 解析モデルと境界条件詳細

2) 弾塑性解析に当たっての降伏条件: 降伏条件としては以下に示すように Mohr-Coulomb の降伏曲面に外接する Drucker-Prager の降伏条件を用いた。

$$\alpha I_1 + \sqrt{J_2} - k = 0 \quad \dots(1)$$

$$\text{ただし, } \alpha = \frac{2 \sin \phi}{3(3 - \sin \phi)} ; k = \frac{6c \cos \phi}{3(3 - \sin \phi)} \quad \dots(2)$$

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$$

$$J_2 = -(s_1 s_2 + s_2 s_3 + s_3 s_1)$$

ここに、 c : 粘着力 ϕ : せん断摩擦角

σ_i : 主応力 s_i : 偏差応力 ($i=1,2,3$)

なお、コンクリートの引張りひ割れは、破壊エネルギーと要素寸法を考慮した Tension Softening を導入している。

3. 解析結果の検討

ここでは鉄筋の無い 3 孔を有するモデルを例示する。

1) 帯板軸方向直応力 σ_x : 図-4, 5 はモデルの対称面であり帯板中心断面(図-3 参照)でもある面上の帯板軸方向直応力分布である。記号 A, B は図-2 で示される載荷段階の違いを表す。図では色が白に近いほど引張が強く、黒に近いほど圧縮が強いことを示している。図より PBS がずれ抵抗する際の応力の分布が明らかとなっているが、注目すべき点はその応力をフランジ部ま

Key Word : Perforbond Strip, Composite Construction, FEM, Material Nonlinear Analysis

連絡先: 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院工学研究科 TEL&FAX 06-6605-2723

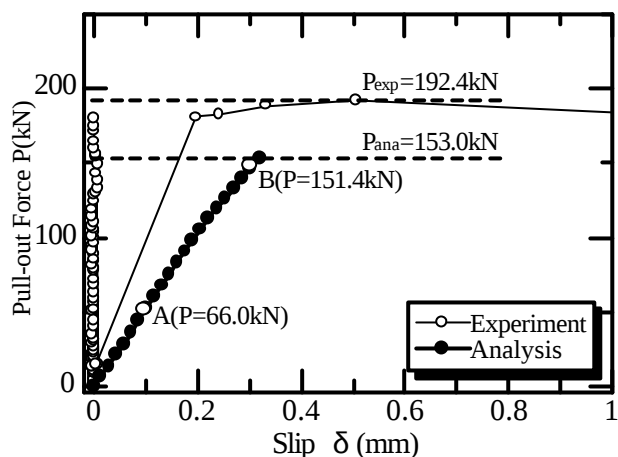


図-2 せん断力—相対ずれ関係

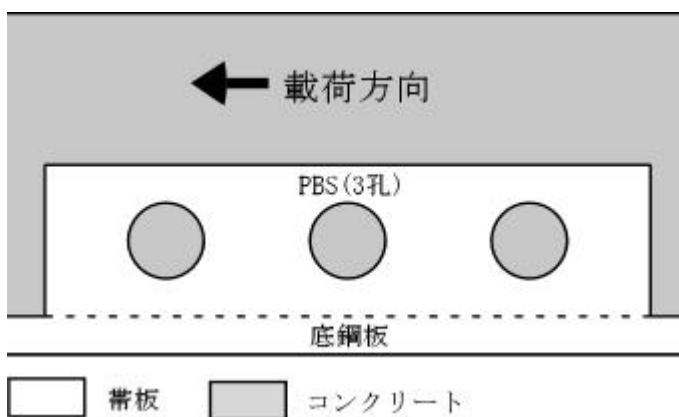
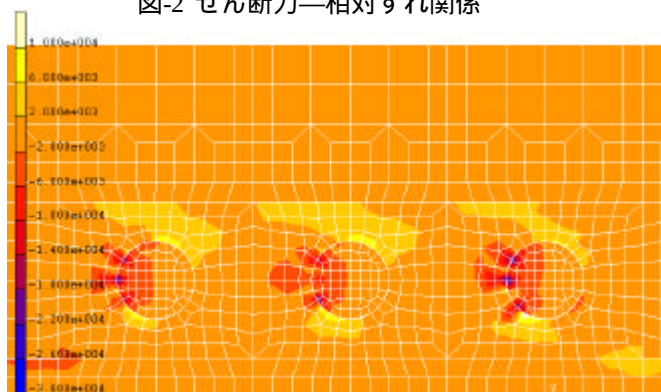
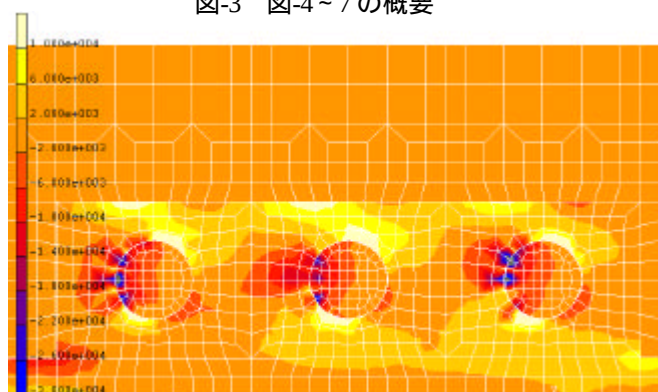
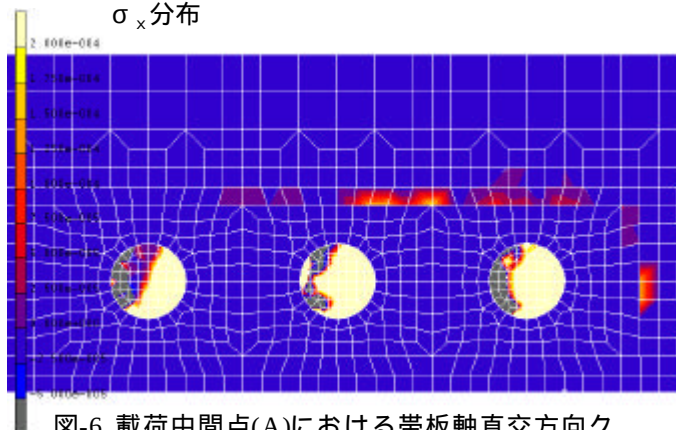
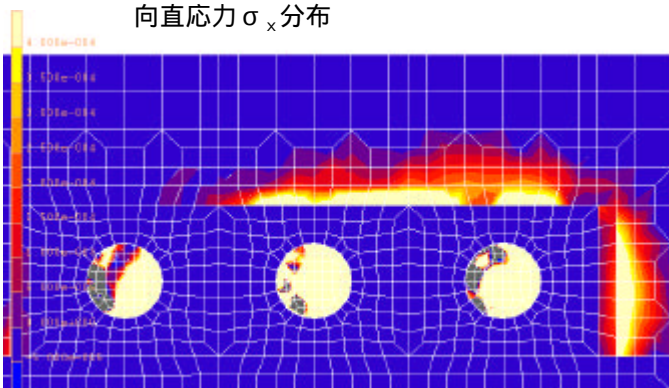


図-3 図-4～7の概要

図-4 載荷中間点(A)における帯板軸方向直応力 σ_x 分布図-5 最大耐力到達直前点(B)における帯板軸方向直応力 σ_x 分布図-6 載荷中間点(A)における帯板軸直交方向クラックひずみ $\varepsilon_{c,r,z}$ 分布図-7 最大耐力到達直前点(B)における帯板軸直交方向クラックひずみ $\varepsilon_{c,r,z}$ 分布

で円滑に伝えていることである。これはPBSがスタッドに対して耐疲労上で有利な点と思われる。

2) 帯板軸直交方向クラックひずみ $\varepsilon_{c,r,z}$: 図-6, 7は図-4, 5と同様の断面に着目した例であり、記号A, Bや色の違いなども図-4, 5と同様である。図から孔内及び帯板上部、右側面に大きなクラックが発生していることがわかる。クラック伝達順位は右側面、上部の順であった。

4. 結論

1) せん断に抵抗する際、PBSはその応力をフランジ部まで伝えフランジと一体となって抵抗するため、従

来の頭付きスタッドに対して耐疲労上の利点を有する。

2) コンクリート部に入るクラックはコンクリートと帯板が相対ずれを起こすときに生ずる割裂力に起因するがまず載荷側背面に発生しその後帯板上部に伝播する。

参考文献

- 1) Leonhardt, F., et al: Beton-und Stahlbetonbau, pp.32 5-31, 1987
- 2) 日本エムエスシー(株): MSC.Marc2000 日本語マニュアル, 2000
- 3) 上中, 赤城, 鬼頭, 園田: 構造工学論文集 Vol.46A, pp.1605-1616, 2000
- 4) 山岡, 鬼頭, 園田: 土木学会関西支部年次学術講演会概要集, 2002(印刷中)