

大阪市立大学工学部 学生員 ○山岡 悟
大阪市立大学工学部 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

昨今、広範な適用が認められる鋼とコンクリートとの合成部材においては、その一体的な挙動を保証するために、コンクリートと鋼材の間にずれ止めを配置して、接合面での円滑な応力伝達を行う必要がある。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 らによって提案されたパーフォボンドストリップ(以下 PBS)がある。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、さまざまな利点を有する。本研究では、この PBS のせん断伝達機構を解明するために、既往の引抜き実験¹⁾と線形解析²⁾との成果を踏まえ、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適用性を検討した。

2. Leonhardt らによる PBS のせん断強度算定式⁴⁾

彼らによって提案された帯板 1 孔当たりのせん断強度算定値：D は、次の通りである。

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

ここに、d：孔径(mm)
f_c：円柱体圧縮強度(N/mm²)

3. 解析方法の概要

1) 供試体の解析モデル化と境界条件：表-1 に示す鉄筋の有無と孔数(φ=40)を実験変数とする計 6 体の引抜き実験供試体を解析対称とした。使用した材料定数を表-2 に示す。

表-1 帯板の詳細(t=12)

#	Tag	Strip Length (mm)	Number of Hole	Reinforced Bar
1	pull-1n	100	1	non
2	pull-1r	100	1	D10
3	pull-2n	200	2	non
4	pull-2r	200	2	D10
5	pull-3n	300	3	non
6	pull-3r	300	3	D10

表-2 各種材料定数

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 _{sy}	f _{su}	E _s	f _{sy}	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)
304	25300	0.1825	275	430	210000	324	439	214000

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方向に添う中央線を対称面とする 1/4 モデルとした。すなわち両対称面上の節点は、面外に移動しない拘束を与えた(apply1, 2)。また、鋼帯板部の反りを抑制するために鋼帯板の角の変形を抑制し(apply3)、床鋼板端部にはせん断方向の拘束を与えた(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ることで対応した(apply5)。

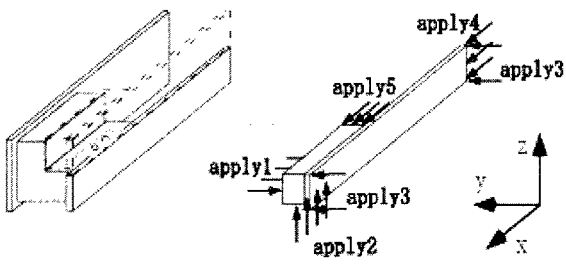


図-1 解析モデルと境界条件詳細

2) 弾塑性解析に当たっての降伏条件：降伏曲面として、Drucker-Prager による降伏条件を選んだ。Drucker-Prager 則は降伏曲面を次式で表す。

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

ただし、 $\alpha = \frac{2 \sin \phi}{3(3 - \sin \phi)}$; $k = \frac{6 c \cos \phi}{3(3 - \sin \phi)}$ $\cdots(3)$

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$$
$$J_2 = -(s_1 s_2 + s_2 s_3 + s_3 s_1)$$

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)

4. 既往実験結果との対比検討

1) 荷重変位勾配による比較: PBS の特性を評価するに当たって, まず荷重—変位関係に着目する. 典型例として図-2 に供試体 pull-1r, つまり貫通鉄筋のある円孔を1つを有する場合の結果を示す. 図を見ると, 耐力的にはほぼ対応関係が認められるが, 剛性はかなり異なるものとなった. その理由としては, 鋼とコンクリートとの界面での自然付着を考慮していないことが考えられる.

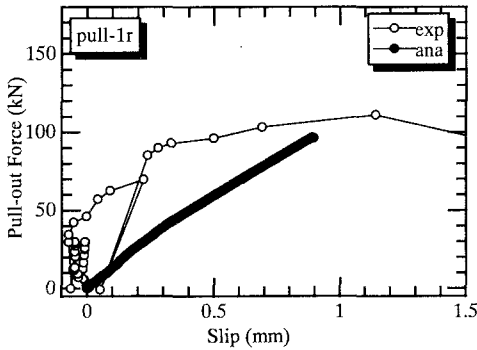


図-2 pull-1r 荷重—変位関係

2) 帯板せん断方向ひずみによる比較: 図-3 には図-2 と同じく供試体 pull-1r についての結果を示す. この図からの分かるように, 帯板近傍の位置によるひずみの大きさの割合など, 実験と解析による結果が形状的にほぼ同様の傾向を示した.

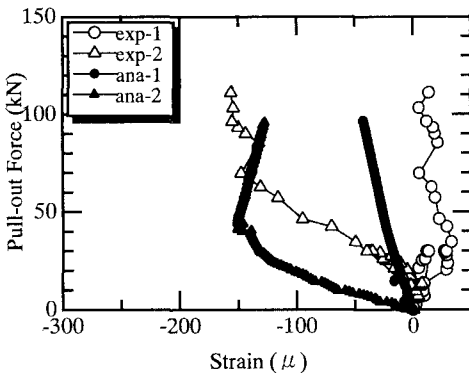
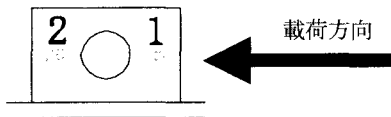


図-3 pull-1r 帯板のせん断方向ひずみ

3) 貫通鉄筋応力による比較: 図-4 にはここでも供試体 pull-1r を例に示した. 同図より良好な精度でシミュレートできていることがわかる.

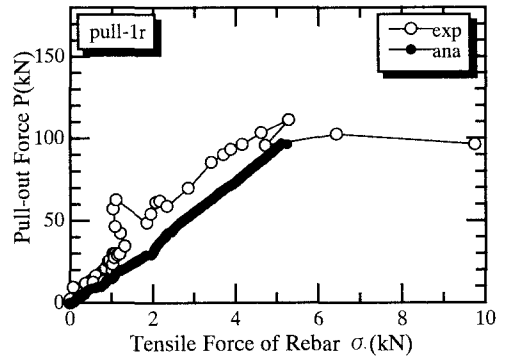


図-4 pull-1r 貫通鉄筋の応力

4) 最大せん断強度による比較: PBS の特性を評価するに当たって最も重要だと思われる最大せん断強度に着目する. 対比検討のため Leonhardt らによる最大せん断強度算定値; 式(1)も付け加えた. 図-2 に見られるように 3n を除いて概ね良好な結果を与えていた.

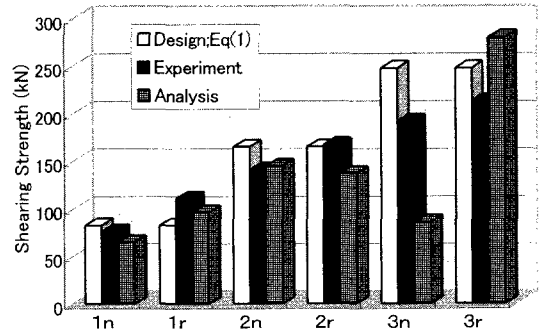


図-5 最大せん断耐力による比較

5. 結論

最大せん断強度, 帯板のせん断方向ひずみ, ならびに貫通鉄筋の応力に関する実験結果との対比を通して, ここでの解析モデルが, 概ね妥当であることが明らかとなった.

参考文献

- 1) 上中宏二郎, 赤城尚宏, 鬼頭宏明, 園田恵一郎: パーフォボンドストリップのせん断特性に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol. 46A, 2000.
- 2) 赤木尚宏, 上中宏二郎, 鬼頭宏明, 園田恵一郎: パーフォボンドストリップのせん断伝達機構に関する数値解析的研究, 土木学会第 56 回年次学術講演会講演概要 CS2-017, 2001.
- 3) 日本エムエスシー(株): MSC.Marc2000 日本語マニュアル, 2000
- 4) Leonhardt, F., et al: Beton-und Stahlbetonbau, pp. 325-31, 1987.