

弾性合成桁を想定した頭付きスタッド押抜き試験の再現に関する解析研究

ものづくり大学 正会員 PHAM NGOC VINH, 大垣 賀津雄
ものづくり大学 学生会員 ○平木 航介
関西大学 正会員 石川 敏之
大阪工業大学 正会員 今川 雄亮
高田機工株式会社 正会員 大久保 宣人

1. はじめに

一般に、非合成桁設計された RC 床版を有する鉄桁橋は、スラブアンカーや頭付きスタッド等のずれ止めにより一体化されており、常時荷重に対して合成効果を有している。その構造性能を適切に評価する考え方に不完全合成桁の考え方があり、古くから研究されている^{1),2)}。筆者らは、このような合成桁を弾性合成桁と称して、その設計法を確立すべく調査研究を行っている³⁾。また、頭付きスタッドを有する弾性合成桁のバネ定数を評価するための押抜き試験を行った⁴⁾。その試験結果から得られる変形性能について、弾塑性有限変位理論による FEM 解析結果と比較考察した。

2. FEM 解析の概要

(1) 試験体

弾性合成桁のバネ定数を評価するための押抜き試験⁴⁾では、600×300×2000mm、600×300×1400mmの場所打ちコンクリートブロックとフランジ寸法300×16×2000mm、300×16×1400mmのCT形鋼部材が一体化された試験体を用いて押抜き試験を行った。本試験に使用した材料諸元を表-1に示す。また、本試験におけるパラメータを表-2に示す。試験体は2種類（Φ13、Φ22）の頭付きスタッドを300mm、600mm、1000mmの3パターンで軸方向配置した6体である。

(2) FEM 解析モデル

弾性合成桁のFEM解析による検討手法を確立するために、3次元弾塑性有限変位FEM解析を行った。解析モデルは図-1に示すように対称性を考慮した1/4モデルとし、解析モデルの概要は表-3に示す通りである。コンクリートブロック、鋼部材フランジおよびスタッドは20節点ソリッド要素（CHX60）で、鋼部材ウェブは8節点曲面シェル要素（CQ40S）で、埋め込み鉄筋はBar要素でモデル化した。また、鋼部材とコ

ンクリートブロックの間およびスタッドとコンクリートブロックの間のずれ挙動を考慮するために、これらの界面を8節点インターフェース要素（CQ48I）によりモデル化した^{5),6)}。さらに、各部材の材料構成則を表-3にまとめた。本解析では、図-1に示すように、スタッド周辺はサイズ10mmの細かいメッシュで、一般部はサイズ100mmの大きいメッシュで分割した。

表-1 使用材料諸元

使用材料		コンクリートブロック	H形鋼	スタッド	
				φ13	φ22
弾性係数	MPa	31,618		205,000	
ポアソン比		0.2	0.3	0.3	0.3
圧縮強度	MPa	33.6	—	—	—
降伏点	MPa	—	303	414	361
引張強度	MPa	—	443	472	451
伸び	%	—	23	28	30

表-2 試験体パラメータ

試験体	スタッド				試験結果平均バネ定数 (kN/mm/本)
	軸径 (mm)	高さ (mm)	本数 (本)	配置間隔 (mm)	
A1	φ13	150	16	300	138.0
A2			12	600	146.1
A3			8	1000	163.8
B1	φ22	150	16	300	266.7
B2			12	600	243.0
B3			8	1000	251.5

表-3 解析モデルの概要 (DIANA10.4)

部材		要素	材料構成則
コンクリートブロック		20節点ソリッド要素 (CHX60)	Eurocode2 ($\epsilon_{cl} = -0.0022$ $\epsilon_{cu} = -0.0035$ $f_{cu} = 0.85f_c$)
スタッド			降伏棚があるマルチリニア
鋼部材フランジ			バイリニア ($E'_s = E_s/100$)
鋼部材ウェブ		8節点曲面シェル要素 (CQ40S)	
埋込み鉄筋		Bar要素	
付着・滑り摩擦モデル	鋼桁とコンクリート床版の間	8節点インターフェース要素 (CQ48I)	Dorrの付着・滑りモデル ^{5),6)}
	スタッドとコンクリート床版の間		

キーワード 弾性合成桁, 頭付きスタッド, 押抜き試験, FEM 解析, 弾塑性
連絡先 〒3261-0038 埼玉県行田市前谷 333 番地 ものづくり大学 建設学科 TEL048-564-3907

3. 試験と FEM 解析結果の比較

図-2 には、弾性合成桁の押抜き試験⁴⁾から得られた試験結果と FEM 解析結果を比較するためにスタッド1本当り荷重とずれ量の関係を示す。同図中、荷重とずれ量の弾性域拡大図にてスタッドの初期剛性を示しており、破線の割線弾性率はスタッド1本当り荷重のバネ定数を意味する。同図から、FEM 解析結果から得られたスタッドのずれ量は試験値とよく近似しており、バネ定数は解析からも求められるといえる。また、表-1と表-3に示すスタッド等鋼材の最大伸びとコンクリートの最大ひずみを解析モデルに設定しており、計算プロセスが発散して途中でストップしている。この発散時点のスタッド1本当り荷重と最大ずれ量は、同図に示すように試験結果とよく一致していることが確認できる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 弾性合成桁の押抜き試験と本文で提示した FEM 解析結果を比較した結果、両者はよく一致する。
- (2) スタッドのバネ定数は FEM 解析で評価できる。
- (3) 本研究で確立した FEM 解析方法を用いることにより弾性合成桁の実挙動を評価できる。

参考文献

- 1) 橋善雄，安達義雄：不完全合成桁について，土木学会論文集，No.112，1964.12

- 2) 小松定夫，佐々木孝：不完全合成格子桁橋の理論と近似計算法について，土木学会論文報告集，第329号，1983.1
- 3) 土木学会：連続合成桁における床版取替技術の現状と展開，複合構造レポート17，2021.9
- 4) 大垣賀津雄，PHAM NGOC VINH，平木航介，今川雄亮，石川敏之，大久保宣人：コンクリート床版を有する弾性合成桁の頭付きスタッドのバネ定数に関する実験研究，第12回道路橋床版シンポジウム，2022.10
- 5) Dorr, K.: Emn Beitrag zur Berechnung von Stahlbetonscheiben unter besonderer Berücksichtigung des Verbundverhaltens, University of Darmstadt, Germany, 1980.
- 6) 岡田淳，依田照彦，Jean-Paul LEBET：グループ配列したスタッドのせん断耐荷性能に関する検討，土木学会論文集，No. 766/I-68，2004.7

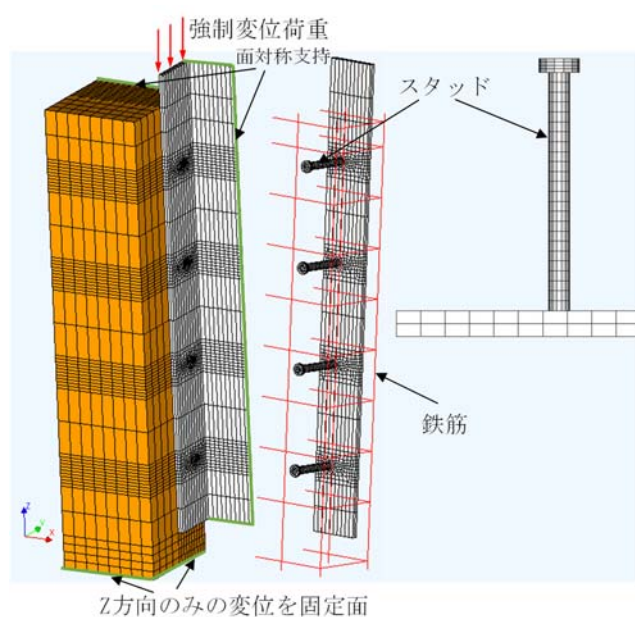


図-1 FEM 解析モデル (1/4 モデル)

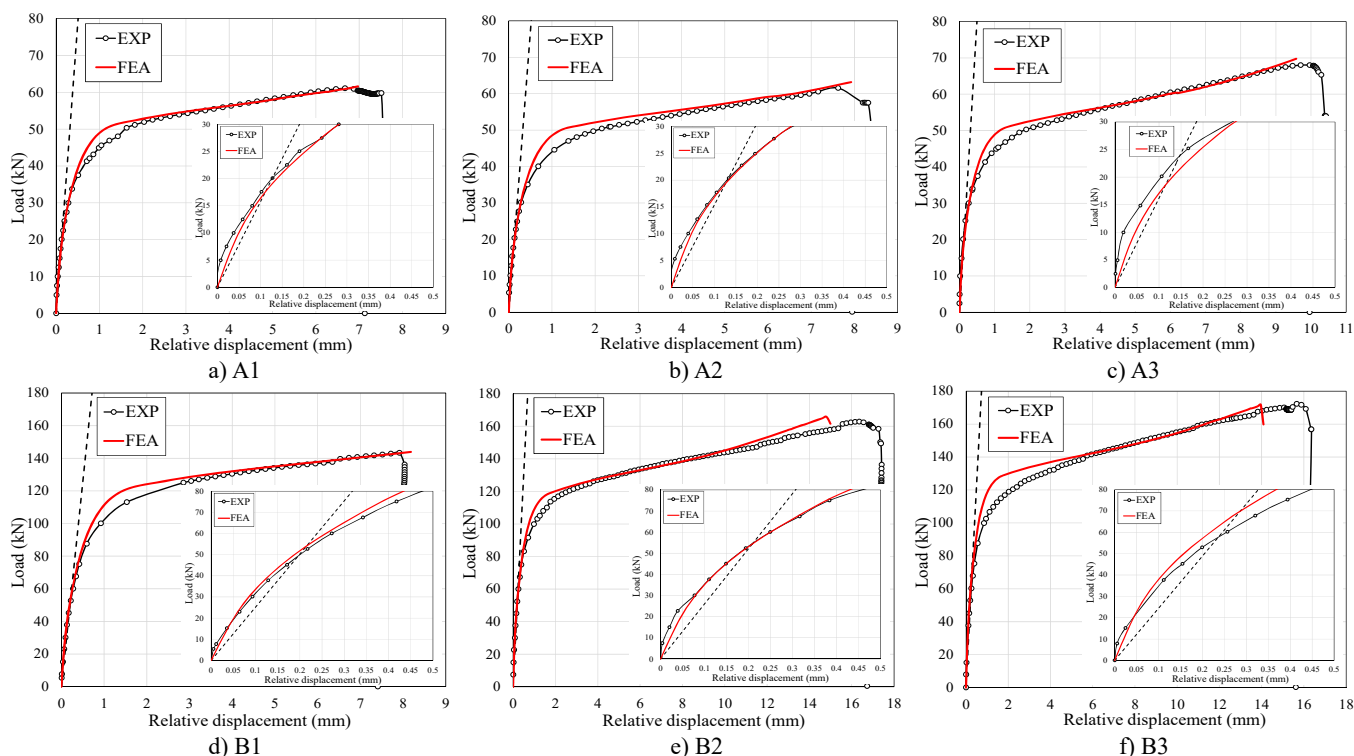


図-2 試験と FEM 解析結果の比較