

合成桁ずれ止めの FEM モデル化と曲げ部材の弾塑性挙動

首都大学東京大学院 学生会員 ○森田 哲夫
 鹿島建設(株) 正会員 山沢 哲也
 首都大学東京大学院 正会員 野上 邦栄

1. 研究背景と目的

合成桁や充填鋼管柱に代表される複合構造は、構造、経済の両面に優れており、近年その存在が見直されてきている。国内橋梁で合成構造がこれまで敬遠されてきた理由のひとつとして、異種材料を使用することによる特有の接合部挙動の煩雑さが挙げられる。近年ではその挙動も実験的に明らかにされてきているが、有限要素法による合理的な設計法に十分な精度を持って反映されていないのが現状である。さらに有限要素法で厳密にモデル化することは、分割数の増加による解析コストの問題が発生するためその対応策が求められている。本研究では合成桁の設計に有限要素法を適用するという観点から、合成桁におけるずれ止め挙動を簡易なばね系にモデル化し、実構造物の挙動と比較することによる提案モデルの有効性を検討する。

2. 接合部のモデル化

本研究で対象とする合成桁のずれ止めは、現在最も一般的である頭付きスタッドである。まず、図 2-1 に示すような押し抜き試験体の実験値¹⁾と FEM により厳密にモデル化した解析結果を比較した。

解析には汎用有限要素解析ソフトウェア MSC.MARC2005r2 を

使用し、対称性から試験体の 1/4 断面で解析を行った。スタッドは 図 2-1：押し抜き試験体 図 2-2：要素分割

図 2-2 のようにソリッド要素でモデル化した。構成則に、鋼要素は同等材種の引張試験結果を、コンクリート要素は当該実験の材料試験結果及びひずみ軟化を考慮した応力ひずみ関係²⁾を用いた。鋼・コンクリート接触面での摩擦力は図 2-3 のようにクーロン摩擦に限界摩擦応力を設定している。今回対象とする曲げ試験体は、付着切りでの実験のため付着は考慮していない。

解析結果からスタッドとコンクリートの接触面での平面方向の力の受け渡しはスタッドが受ける力を正にとると各荷重ステップに対して、図 2-4 のような分布となった。

以上の結果から、平面抵抗力が大きいずれ止め基部 $h=0\text{mm}$ から $h=30\text{mm}$ までの領域において図 2-5 のようにばね系を 4 箇所配置(4 系列)する。ばね係数は、押し抜き試験の FEM 解析でのずれ止め高さ h の要素節点に加わる接触力、摩擦力と節点変位関係から、各ずれ止め高さ h ごとに図 2-6 のように平面方向ばね係数 $k_{x,h}$ 、 $k_{z,h}$ を非線形構成則として設定した。垂直方向ばねは床版の浮き上がり防止のために鋼の構成則からばね係数 k_y とした。さらに $h=0\text{mm}$ での変位差は小さいことからフランジと床版のスタッドがある座標位置は変位を共有させたパターン(4 系列)も検討した。

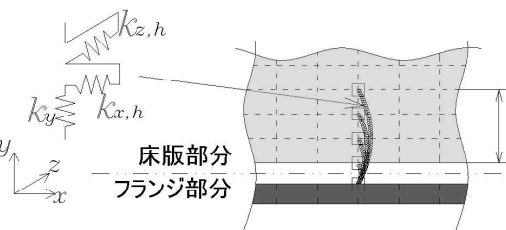


図 2-5：提案手法モデル化

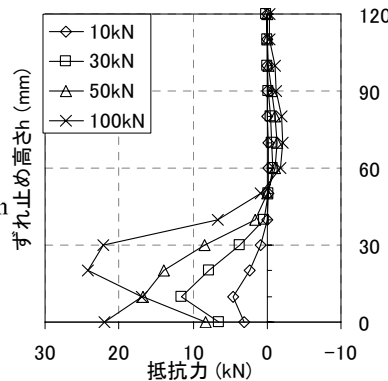


図 2-4：平面抵抗力分布

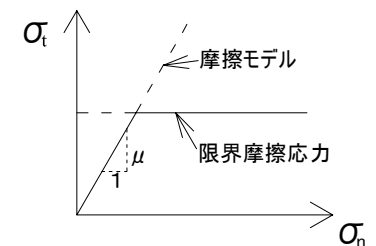
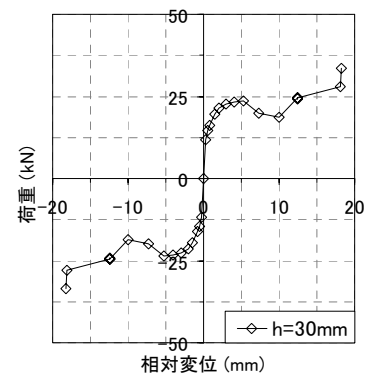


図 2-3：限界摩擦応力設定

図 2-6：平面ばね係数($k_{x,30}$, $k_{z,30}$)

3. 合成桁の弾塑性挙動

図 3-1 に示すような合成桁試験体¹⁾を対象に、2. で提案したばねモデルを用いた弾塑性解析を行う。

構造、载荷条件の対称性を考慮して、半断面で解析を行った。材料構成則、摩擦は 2. 接合部モデル化と同様である。

キーワード 合成桁、接合部モデル化、弾塑性有限要素解析

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1 丁目 1 番地 TEL0426-77-1111 (代表)

荷重は橋軸方向載荷点フランジ幅に載荷した。境界条件は、単純支持(s 系列)、両ピン支持(p 系列)の 2 ケースで解析を行った。

まず、表 3-1 に示す 4 ケースの図 3-2 に示す数値の解析値と実験値の比較結果を示す。図 3-3 に支間中央部での荷重変位関係を示す。p 系列で荷重 $P=0$ から 200kN 程度までの間において実験と良い一致を示している。図 3-4 に $P=200\text{kN}$ における支間中央部のひずみ分布を示す。コンクリート部のひずみは解析と実験とで良い一致を示したが、鋼桁部でのひずみが一致しなかった。そのため、図 3-5 に示すようにたわみは実験値よりもやや大きい結果となった。図 3-6 に桁端部の相対ずれを示す。同荷重状態時の実験値と比較し、p 系列は相対ずれが小さく、s 系列は 300kN 程度まで良い一致を示した。すべての結果において 4 系列と 4' 系列で結果に差がなく、スタッド基部 $h=0\text{mm}$ でのモデル化がばねであるか変位共有であるかによる影響は少なかった。

次に、スタッドの位置、本数を変えた合成桁の全体挙動を比較した。図 3-7 にスタッド配置 3 ケースでの 4 系列の支間中央荷重変位関係を示す。支点条件 p, s 系列、スタッド配置の差により荷重変位関係に差が出た。4 系列と 4' 系列に対し、スタッド配置 caseA, caseB, caseC それぞれの解析値及び実験値の最大荷重についてまとめたものが表 3-2 である。なお解析値の右の数値は p, s 系列の平均値である。いずれのスタッド配置についても解析の平均した値が実験値と良い一致を示した。

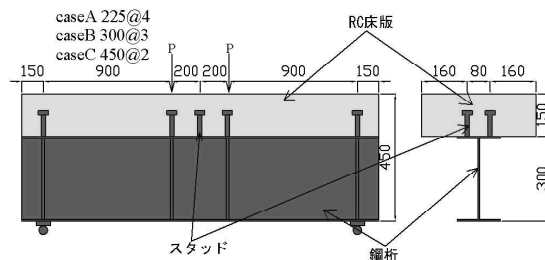


図 3-1 : 合成桁試験体

表 3-1：解析ケース

モデル名	Bp4	Bp4'	Bs4	Bs4'
スタッド間隔	caseB	caseB	caseB	caseB
支点	両ピン	両ピン	単純	単純
ばね	4段	3段	4段	3段

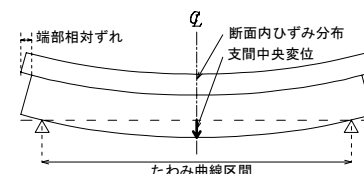


図 3-2 : 比較対象

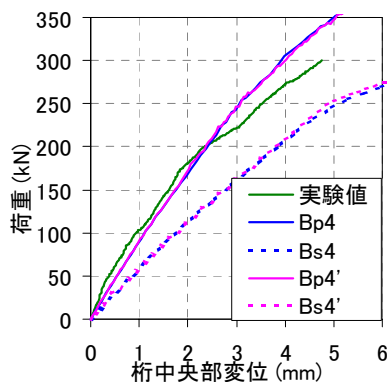


圖 3-3：支間中央變位

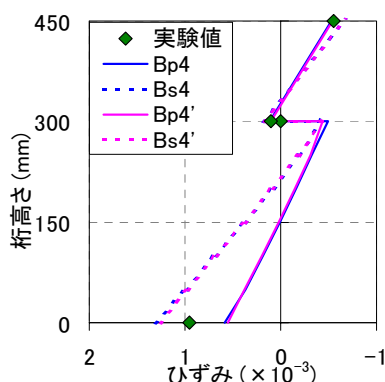


図 3-4：支間中央ひずみ分布

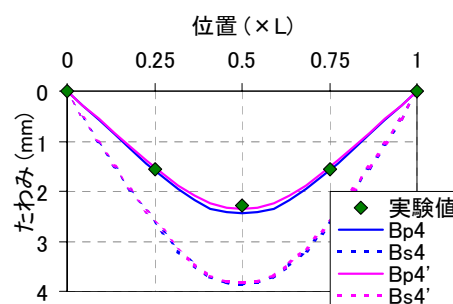


図 3-5：たわみ曲線

表 3-2：最大荷重比較

配置	支点	4系列		4'系列		実験値
		解析値	平均値	解析値	平均値	
caseA	両ピン	443.3	386.9	444.4	385.5	396.9
	単純	330.5		326.7		
caseB	両ピン	430.3	380.2	423.8	375.6	399.4
	単純	330.0		327.4		
caseC	両ピン	400.1	356.3	415.8	363.6	365.1
	単純	312.5		311.5		

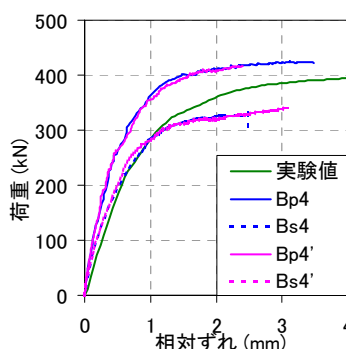


図 3-6：端部相対ずれ

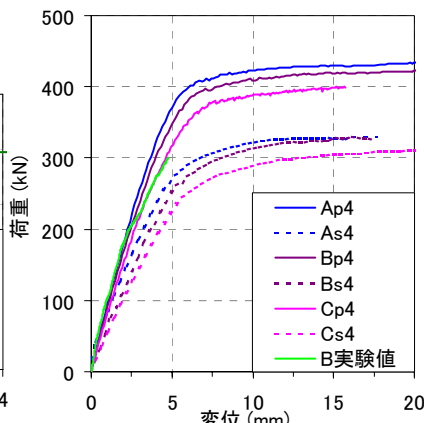


図 3-7：支間中央変位関係

4. 結論

- (1)合成桁構造においても、すれ止めを提案し 図 3-6：端部相対ずれ 図 3-7：支間中央変位関係
た簡易なばねモデルによって精度の良い解析が行える。
- (2)提案する簡易ばねモデル化は、任意のスタッド配置について対応可能である。
- (3)今後の課題として付着を考慮した簡易モデルの開発が必要となる。ばね係数をより適切に設定することで精度を上げることが可能であると考えられるので、ばねモデルによる簡易 FEM 解析手法は有効性が高い。

参考文献

- 1) 平城弘一，松井繁之，武藤和好：柔な合成作用に適するスタッドの開発，構造工学論文集，vol.44A，1998
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書，1998
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，2002