

柔ジベルを用いた鉄道用非合成桁の設計手法に関する一考察

東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 正会員 ○平林 雅也
 東日本旅客鉄道(株) 東京工事事務所 正会員 吉田 一
 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター 正会員 山田 正人

1. はじめに

鋼橋において、鋼桁とコンクリートスラブをずれ止めを用いて一体化し、合成桁とするのが双方の材料の長所を生かした合理的な方法である。しかしながら長支間になるとスラブの厚さが床版として要求される厚さを上回り不経済となることがある。その対策として非合成桁化が挙げられるが、鋼桁上フランジとスラブの間のずれ止めは、ずれに追従しつつも橋軸直角方向のずれや鉛直方向の離れに対して強く抵抗するものでなければならない。このような要求に対し、上フランジに設けた過大孔にバネ座金を介してボルトを立ち上げ、過大孔の隙間にゴムを充填したずれ止め¹⁾の採用例もあるが、H形鋼を輪切りにしたずれ止め²⁾が提案され、鉄道構造物設計標準³⁾に柔ジベルとして記載されている。しかしながら、設計標準には柔ジベルの設計手法の記載が無く、事業者ごとに設計手法の構築が必要となる。そのため本稿では、柔ジベルの解析を実施し、既往の研究結果を用いることで、柔ジベルを用いた鉄道用非合成桁の設計手法について検討したので以下に報告する。

2. 柔ジベル

2-1. 柔ジベルの照査方法および設計式の提案

柔ジベルは図1に示すように、H形鋼を輪切りにした構造であり、橋軸方向にウェブがしなることでスタッドジベルのようなずれ止めよりもはるかに大きいずれを許容し、かつ橋軸直角方向には剛性を有することでずれ止めの効果を発揮する。スタッドジベルのようなズレ止めの設計は、発生するせん断応力度が許容せん断応力度を上回らないように照査を行うが、既往の研究より橋軸方向の剛性が小さい柔ジベルは許容変位を用いて照査を行うことが望ましく、研究より得られた200万回疲労限による上フランジの水平変位はH150(148x100x6x9)で1.3mmを許容変位 δ_a として用いることとした。しかしながら、長支間になると鋼桁とコンクリートスラブの相対変位が1.3mmを超えるケースも想定される。そのため、柔ジベルを上下フランジの両端を固定とした梁と仮定すると、微小梁曲げ理論の各方程式を用いることで式(1)の関係が成り立つ。

$$\delta = \frac{1}{1.5Et_w} \sigma L^2 \dots (1)$$

ここに、 δ : 上フランジの水平変位

E : ヤング率

t_w : ウェブ厚 (既往の研究: 6mm)

σ : ウェブ基部の発生応力度

L : 柔ジベル高さ

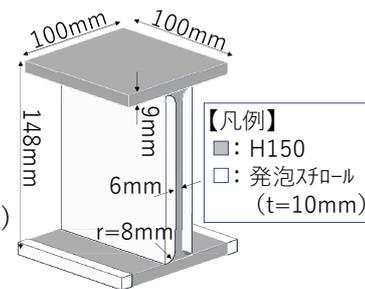
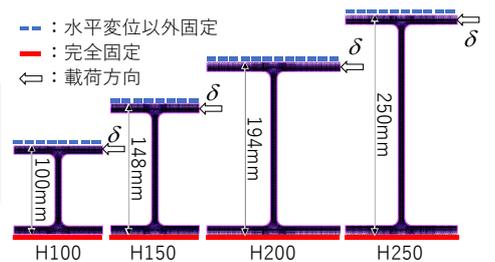


図1: 柔ジベル



式(1)より、鋼鉄の定数 E 、既往の研究疲労から決まるウェブ厚 t_w 、疲労から決まる σ を一定の値とすると、 δ と L^2 は比例関係にある。ここで、鋼桁とスラブの相対変位が大きくなる場合は、 L を大きくすることで δ_a を増加させる方法が考えられる。そのため、式(1)の関係が成り立つかFEM解析により検証した。

2-2. FEM解析を用いた検証

図2に示す異なる高さ L の市中に流通するH形鋼4種類について、2次元FEM解析を実施した。これらはウェブ厚 t_w が6mmで既往の研究と等しく、フィレット半径が6mmで統一
 キーワード 非合成桁, 柔ジベル, FEM, 設計

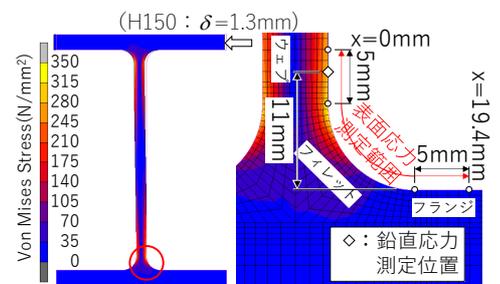


図2: 解析モデル

されている。拘束条件は下フランジ下端が固定，上フランジ上端を水平変位以外が固定とし，上フランジの右側から左方向に向けたプッシュオーバー解析を実施した。式(1)より求まる L に応じた δ の値は表1に示す通りである。また，図2に示す鉛直応力測定位置において，H150における解析結果と既往の研究での载荷試験結果に関する，表面ウェブ鉛直方向の応力度と上フランジの強制変位の関係を図3に示す。試験結果に比べて解析結果が6~8%程度大きい値となったが，概ね表現できていることがわかる。また，4種類の解析について図2に示すようなフィレット前後5mmを含む表面に沿った位置での，表1に示す変位を与えたときの Von Mises 応力度を図4に示す。これより，表面に沿った Von Mises 応力度も各解析で概ね一致することがわかる。以上より，式(1)は妥当であることがわかった。

3. 相対変位の算定方法

鋼桁とコンクリートスラブの相対変位は理論式²⁾より求められるが微分方程式を用いた手法であるため，簡便な手法として断続合成桁での計算手法⁴⁾が提案されており，式(2)(3)の通りである。

$$\delta = \Sigma M_{St} \times yu / (E \times I) \dots (2)$$

$$\Sigma M_{St} = M_{Stk} \times (e/2 - 0.1L) / 2 \dots (3)$$

ここに， δ ：相対変位

M_{Stk} ：鋼桁の分担曲げモーメント

yu ：中立軸・上フランジ天端間の距離

E ：ヤング率

I ：鋼桁の断面二次モーメント

e ：鋼桁の非合成区間長

L ：鋼桁のスパン

そこで本稿では簡便な手法を非合成桁に適用する方法を検討した。図5に鋼桁の上フランジの相対変位，モーメント分布を記載した鋼桁部分の变形イメージを示す。

ここで支間中央の相対変位がゼロとなることが構造上安定となるため，支間中央から曲げモーメントにより発生するひずみが支点部まで積み重なることで，支点部の相対変位 δ が最大となる。図5において式(3)の ΣM_{St} にあたる部分がハッチング部面積となる。この面積を式(3)では非合成区間の正曲げモーメントを受ける延長の三角形面積で近似計算しているが，モーメント分布は二次曲線を描いていることから図5のハッチング部面積を解析的に算出することとした。この ΣM_{St} を式(2)に代入することで最大相対変位を算定できる。

以上より，式(2)を用いて算出した相対変位 δ が，H150の柔ジベルの許容変位 δ_a 1.3mmを超える場合は，式(1)より算出したH200やH250の許容変位 δ_a を用いることで対応することが可能となる。

4. おわりに

柔ジベルの許容変位の算出方法を提案し，その妥当性をFEM解析により検証した。また，非合成桁の鋼桁とコンクリートスラブの相対変位の算定方法を提案し，柔ジベルを用いた鉄道用非合成桁の設計手法を提案した。今後，実橋設計への適用や技術基準化を目指す所存である。

参考文献

- 1) 谷口，星川，高木：非合成桁のスラブ止めの設計，構造物設計資料，No. 82，pp. 19-24，1985. 6
- 2) 阿部，中島，堀内：合成桁におけるスラブ分割の影響と柔ずれ止めの開発，構造工学論文集，Vol. 35A，pp. 1205-1214，1989. 3
- 3) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物設計標準・同解説 鋼・合成構造物，2009. 7
- 4) 稲葉：柔ジベルを用いた鉄道用断続合成桁の実用化に関する研究，博士論文，1996. 4

表1：H形鋼の各種寸法 (mm)

	高さ	幅	フランジ厚	ウェブ厚	フィレット半径	式(1)での δ_a
H100	100	100	8	6	8	0.59
H150	148	100	9			1.3
H200	194	150				2.23
H250	250	125				3.71

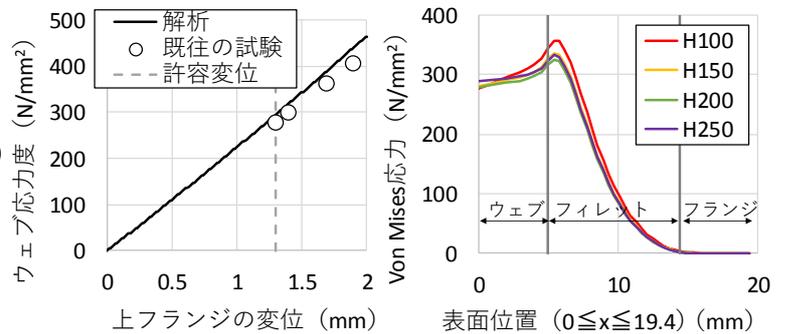


図3：H150の応力-変位関係 図4：表面位置における応力

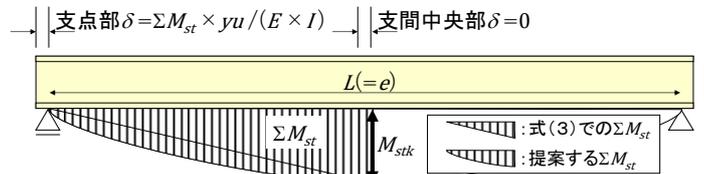


図5：鋼桁部分の相対変位とモーメント