

鋼棒ストッパーの径が鋼棒ストッパー降伏時の変形量に及ぼす影響

埼玉大学 学生会員 ○佐藤俊介 正会員 堂内悠吾 正会員 奥井義昭

1. はじめに

熊本地震の際に、鋼棒ストッパーを有する鉄道橋梁の桁ずれが問題となった。支承部の変位はゴム支承のせん断変形量や桁の水平移動量として考慮されるが、鋼棒の変位は算出手法が確立されていないために、考慮されていない。本研究では鋼棒の降伏に着目し、FEM 非線形解析により鋼棒の降伏荷重と降伏変位の関係を定式化することを目的とした。

2. 解析概要

解析には、汎用の構造解析システムである DIANA を使用した。モデル化には、田畑ら¹⁾による実験の再現解析を参考とした。図1に解析モデルを示す。解析モデルは ZX 平面を対称面とした 3 次元 1/2 モデルとした。荷重は X 方向の強制変位とし、対称面の Y 軸方向と桁端下面の全方向について変位を拘束した。

表1に解析に用いた材料諸元を示す。コンクリートの材料構成則は引張側を Hordijk モデル、圧縮側は放物線モデルを用いた。ひび割れモデルは固定ひび割れモデル、せん断伝達モデルは Al-Mahaidi モデル、ひび割れ発生後の圧縮強度の低減モデルはコンクリート示方書モデル²⁾とした。圧縮破壊エネルギー³⁾は、 f'_c を、引張破壊エネルギー²⁾は、 f'_c と粗骨材最大寸法を用いて算出した。鋼棒ストッパーおよび鉄筋の材料構成則は完全弾塑性、さや管の材料構成則は線形とした。鉄筋は離散鉄筋モデルとし、コンクリートと鉄筋は完全付着とした。鋼棒とさや管の境界には線インターフェースを設置し、法線方向の圧縮のみ剛とした。鋼棒と桁座コンクリートの境界およびさや管と桁端コンクリートの境界には面インターフェースを設置し、クーロン摩擦モデルを用いた。

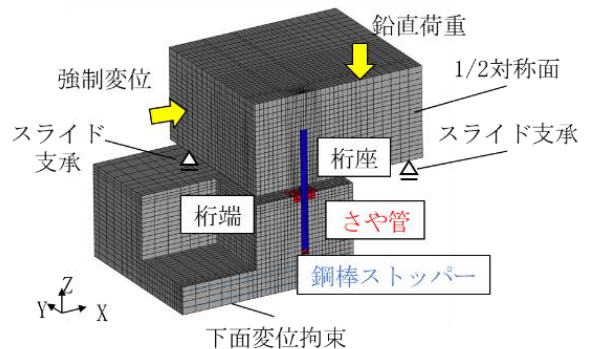


図1 解析モデル

3. 降伏変位の算出式の提案

表2に解析ケースを、図2に荷重-変位関係と鋼棒ストッパー降伏時の点を示す。鋼棒の降伏は、田畑ら¹⁾の実験結果と解析の比較を参考とし、縁引張ひずみにより判定した。Case1, Case2 では鋼棒降伏後荷重が一定となったのに対し、Case3 では鋼棒降伏後、荷重が 250kN 程度増加した後が一定となった。また、Case4 では荷重 700kN 付近でコンクリートの損傷により鋼棒降伏以前に塑性化が見られたが、塑性化後も耐力を保持した。

表1 解析に用いた材料諸元

コンクリート					
	圧縮強度	圧縮破壊エネルギー	引張強度	引張破壊エネルギー	ヤング率
	$f'_c(\text{N/mm}^2)$	$G_c(\text{N/m})$	$f_t(\text{N/mm}^2)$	$G_t(\text{N/m})$	$E_c(\text{kN/mm}^2)$
桁端	47.2	60.3	3.00	0.098	268
桁座	47.1	60.2	3.35	0.098	282
鋼棒ストッパー(SS400)		補強鉄筋: D19(SD345)			
降伏強度	ヤング率	降伏強度	ヤング率		
$f_{sy}(\text{N/mm}^2)$	$E_s(\text{kN/mm}^2)$	$f_{sy}(\text{N/mm}^2)$	$E_s(\text{kN/mm}^2)$		
296	200	364	193		

表2 解析ケース

Case	径 (mm)
1	50
2	80
3	120
4	150

キーワード 鉄道橋梁, 耐震設計, 鋼棒ストッパー, 桁ずれ, 鋼棒径, 降伏変位

連絡先 埼玉大学大学院理工学研究科 埼玉県さいたま市桜区大久保 255 TEL : 048-858-3430

図3に鋼棒降伏時に鋼棒に作用すると想定される支圧応力分布を示す。支圧応力分布を三角形分布と仮定すると、桁および桁座のストッパー埋込み部において生じる変位量 δ_1 、桁と桁座の遊間部で生じる変位量 δ_2 およびその合計 δ_y はそれぞれ以下の式(1)、式(2)および式(3)で表される。

$$\delta_1 = \frac{P_y l^3}{15EI} \quad (1) \quad , \quad \delta_2 = \frac{P_y d^3}{12EI} \quad (2)$$

$$\delta_y = \frac{P_y}{EI} \left(\frac{d^3}{12} + \frac{2l^3}{15} \right) \quad (3)$$

ここで、 P_y ：降伏荷重、 l ：支圧応力分布長、 E ：ヤング率、 I ：断面二次モーメント、 d ：桁と桁座の遊間長を表す。

分布長 l はストッパー埋込み部の損傷により変化するため、解析により得られた降伏変位 δ_y から式(3)を用いて逆算し、定式化に用いることとした。図4に横軸に鋼棒径 ϕ を、縦軸に逆算により得られた分布長 l をとったグラフを示す。図からわかるように、分布長と鋼棒径の間には概ね線形の関係が見られ、最小二乗法により求めた近似曲線の式は $l = 4.38\phi$ となった。この結果と式(3)から、降伏変位の算出式は以下に示す式(4)のように得られた。

$$\delta_y = \frac{P_y}{EI} \left(\frac{d^3}{12} + \frac{2(4.38\phi)^3}{15} \right) \quad (4)$$

4. まとめ

鋼棒ストッパーの変位の算出手法が確立されておらず、設計の際に考慮されていないことが、桁ずれが発生した原因の一つとして考えられる。本研究では鋼棒の降伏に着目し、FEM非線形解析により鋼棒の降伏荷重と降伏変位の関係を定式化した。この式により、鋼棒の降伏荷重 P_y から降伏変位 δ_y を算出することができるため、桁ずれに対して安全な設計が可能になるといえる。

参考文献

- 1) 田畑勝幸, 轟俊太郎, 堂内悠吾, 田所敏弥. 鋼棒ストッパー埋込み部の構造が地震時の破壊性状に与える影響. コンクリート工学年次論文集, Vol. 43, pp. 19-24, 2021.
- 2) 土木学会. コンクリート標準示方書【設計編】. 2017.
- 3) Nakamura, H. Compressive Fracture Energy and Fracture Zone Length of Concrete, Modeling of Inelastic Behavior of RC Structures under Seismic Loads. ASCE, pp.471-487, 2001.
- 4) (財)鉄道総合技術研究所. 鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造. 2004.

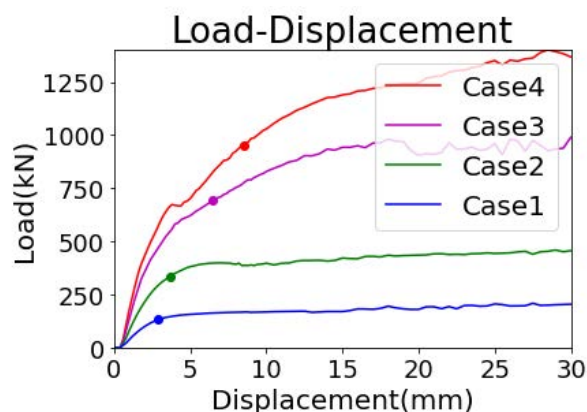


図2 荷重－変位関係

表3 解析で得られた降伏変位と降伏荷重

Case	鋼棒径 (mm)	降伏変位 (mm)	降伏荷重 (kN)
1	50	2.9	131.8
2	80	3.7	336.1
3	120	6.5	692.6
4	150	8.5	953.4

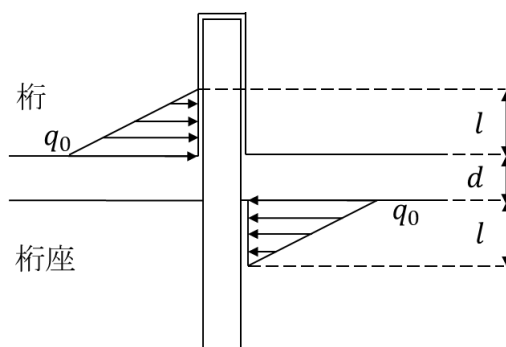


図3 鋼棒降伏時の支圧応力分布

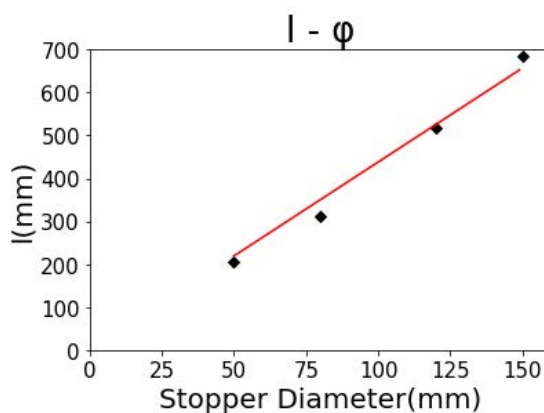


図4 鋼棒径 ϕ と分布長 l の関係