

鋼輪落橋防止装置の復元力モデルの構築に関する一検討

名城大学 学生会員 ○薛 迪緯
瀋陽建築大学 王 占飛

(独) 水資源機構 馬場 貴裕
名城大学 フェロー 葛 漢彬

1. 序論

落橋防止装置は1964年新潟地震において下部構造に大きな変位が生じ、上部構造が落橋した経験から、これを防ぐ切り札として開発された。落橋防止装置は日本国固有の耐震技術であるが、今は世界中で採用されている¹⁾。1995年兵庫県南部地震により甚大な落橋事故が発生したことから、その後、落橋防止装置の要求性能に関して大幅に見直しがされた。兵庫県南部地震以降、設計地震動が強化され、また様々な構造形式や材質(ゴム等)を使用した落橋防止装置の開発が行われてきた¹⁾。しかし、近年の東北地方太平洋沖地震や熊本地震においても、落橋事故が発生していることから、落橋防止装置の強化が求められている。著者らは、新たに2つの滑車と鋼輪(鋼製のリング)からなる落橋防止装置を考案し、その開発に関する検討を行ってきた²⁾。そこで本研究では、動的解析を行う際に必要な復元力モデルに不可欠な力と変位の評価式を提案することを目的としている。

2. 解析概要

著者らが考案した落橋防止装置の詳細については文献2)を参照されたい。本検討では、汎用解析プログラムABAQUS Ver.6.11を使用した。鋼輪はソリッド要素で、滑車は剛体要素でモデル化した。材料特性はSS400鋼材の引張実験データから得られた応力-ひずみ関係により作成した。解析モデルを図-1に示す。 d は鋼輪の断面の直径、 a は鋼輪の直線部分の長さ、 R は鋼輪の曲線部分の半径、 D は滑車の直径である。滑車の境界条件については、上滑車には x 軸方向に強制変位を与え、下滑車は完全固定とした。設計パラメータ(d, a, R, D)の影響を調べるために、パラメトリック解析を行った²⁾。

3. 解析結果

考案した鋼輪落橋防止装置の力-変位特性は解析の結果²⁾によれば図-2のようになる。ここで、鋼輪の降伏荷重を $P_Y=2\sigma_Y \cdot A$ (σ_Y は降伏応力、 A は鋼輪の断面積)と定義する。この曲線から、2本の直線部分があることに着目する。荷重上昇(滑車と鋼輪が接触する)点をA点、直線から曲線に変化し始める点をB点、再び直線に変化し始める(曲げ変形から軸方向変形へと移行する)点をC点、鋼輪の降伏点をD点、最大耐力点をE点の5つの点を特徴点として定義した。これらの点における力と変位の評価式をパラメトリック解析より得られた結果から作成していく。

4. 特徴点における力と変位の評価式

本稿では紙面の都合上、再び直線に変化し始める(曲げ変形から軸方向変形へと移行する)C点の変位のみの評価式の作成手順を示す。C点は図-3のように鋼輪がほぼ直線になった時であるため、図-4に示すように変

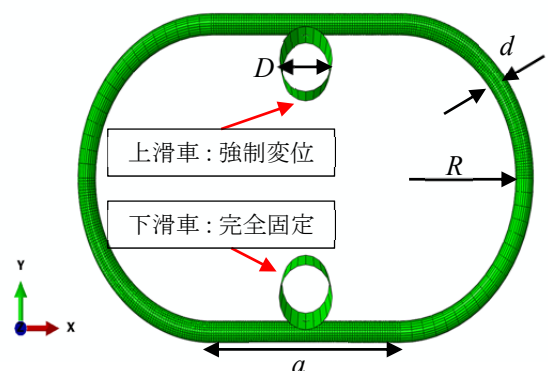


図-1 解析モデル

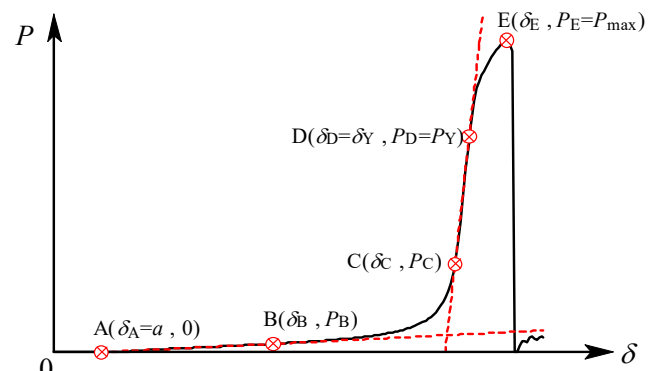


図-2 鋼輪落橋防止の力-変位特性と5つの特徴点

キーワード 免震支承, 落橋防止装置, パラメトリック解析, 復元力特性

連絡先 〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501 名城大学理工学部社会基盤デザイン工学科 TEL 052-838-2342

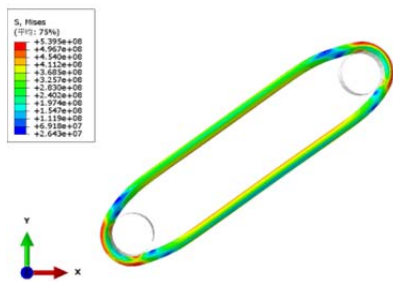


図-3 C点の変形状態

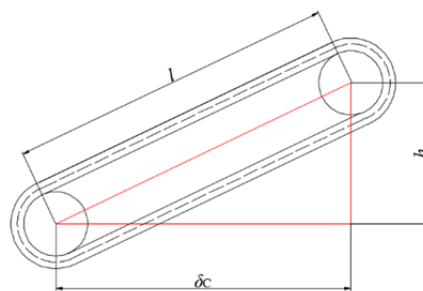


図-4 C点の変形状態(近似)

表-1 提案式の妥当性の検証

解析モデル	C点の変位(mm)		誤差(%)
	解析値	推定値	
d10-a25-R100-D40	220.7	221.6	-0.43%
d14-a25-R90-D40	193.4	193.7	-0.12%
d20-a25-R100-D25	236.5	235.9	0.29%
d32-a150-R100-D40	343.9	346.2	-0.67%

※解析モデル名の記号の後の数字は、設計パラメータを示している。

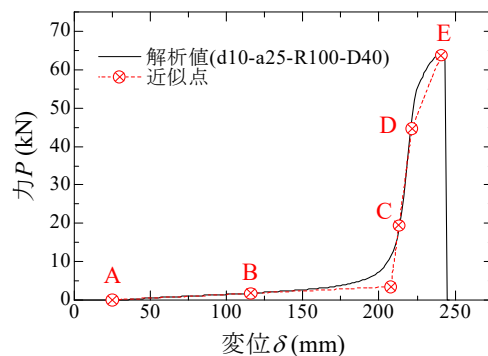


図-5 各点の推定式と解析結果の比較

形を直角三角形であると仮定すると、水平変位 δ_c は三平方の定理より以下の様に求められる。(1)

$$\delta_c = \sqrt{l^2 - h^2}$$

そして、 l と h は4つの設計パラメータより以下の式で求めることができる。

$$l = \pi \left(R - \frac{d}{2} - \frac{D}{2} \right) + a \quad (2)$$

$$h = 2R - d - D \quad (3)$$

式(2)と式(3)を式(1)に代入すると、 δ_c は次のように4つの設計パラメータより算出できる。

$$\delta_c = \sqrt{\left[\pi \left(R - \frac{d}{2} - \frac{D}{2} \right) + a \right]^2 - (2R - d - D)^2} \quad (4)$$

5. 提案式と解析値との比較

提案式の精度を検証するために、4ケースの解析より得られたC点の変位と評価式による推定値の比較を表-1に示す。表-1より、いずれのケースにおいても推定値と解析値の誤差は1%以内に収まっており、評価式は高い精度で解析結果を評価できているといえる。また、紙面の都合上C点の変位評価式しか示していないが、他の点に関しても評価式を作成しており、解析結果と評価式より算出した各点の力と変位を比較すると図-5のようになる。図-5より、各点の評価式は解析の挙動を精度よく予測することができていることが分かった。

6. 結論

本研究では、新たに考案した落橋防止装置の力学性能をパラメトリック解析により検討し、5つの特徴点における力と変位の4つの設計パラメータとの関係性を評価する近似式を作成した。そして、その精度を解析結果と比較を行うことで確認した。今後の課題として繰り返し载荷の影響も考慮した復元力モデルを構築することや動的解析を行うことなどが挙げられる。

参考文献：

- 1) 財団法人 土木研究センター：落橋防止構造設計ガイドライン(案)，2005.7.
- 2) 薛 迪緯，馬場貴裕，王 占飛，葛 漢彬：免震支承に取付けられる鋼輪落橋防止装置の力学性能に関する数値解析的検討，土木学会中部支部平成29年度研究発表会，I-13，pp.25-26，2018.3.