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

名城大学 学生会員 ○薛 廸緯 名城大学 馬場貴裕
瀋陽建築大学 王 占飛 名城大学 フェロー 葛 漢彬

1. 序論

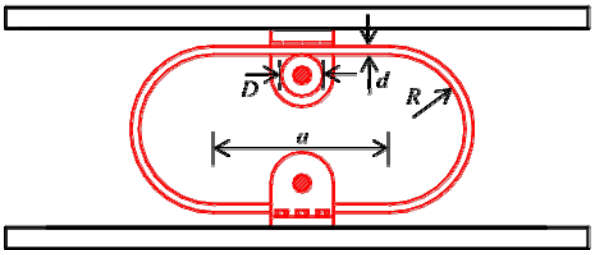
落橋防止構造は 1964 年新潟地震による甚大な被害を契機に考案された技術である．その後，長らく研究開発はほとんど行われてこなかったが，1995 年兵庫県南部地震により落橋防止構造に被害が生じたことから，落橋防止構造の大幅な見直しがされた[1)]．落橋防止構造は，桁かかり長および横変位拘束構造とともに落橋防止システムを構成する一要素で，桁かかり長を補完するものである．また，設計で想定できない現象に対して，桁かかり長を超えないように，落橋を防止するフェイルセーフ部材として位置付けられている[2) 3)]．

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，落橋防止構造の強化が求められている[3)]．そこで，本研究では過大な変位に対しても落橋させないような新たな落橋防止構造を考案し，その力学性能を数値解析により検討することで，レベル 2 地震動を上回る地震動にも耐えうるような性能を目指すことを目的とする．

2. 装置概要

本研究で提案する落橋防止構造は，特にせん断変形の大きい免震支承の側面に取付けることを想定している．装置は**図－1** に示すように，上・下部構造に固定された二つの滑車により，直線部と曲線部から成る鋼製のリング（以後，鋼輪と称する）が取り付けられる形状になっている．

構造パラメータはそれぞれ，d は鋼輪の直径，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．

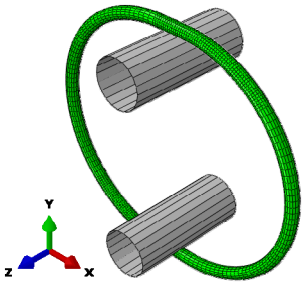


図－1 考案した鋼輪落橋防止装置

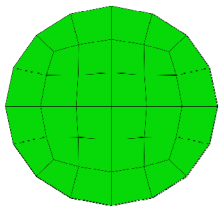
3. 解析概要

解析には汎用解析プログラム ABAQUS Ver.6.11 を使用した．鋼輪には 3 次元 8 節点低積分ソリッド要素の C3D8R を，滑車には剛体を用いてモデル化した．解析モデルを**図－2** に示す．鋼輪のメッシュ分割については，円形断面の中心から対称的に分割されるように行った（**図－3**）．メッシュサイズは鋼輪が破断する箇所を含んだ部分を 2mm とし，それ以外の部分は 10mm とした．材料特性は SS400 の引張試験データより得られた応力－ひずみ関係を用いた．材料特性は**表－1** に示す．本検討では 4 つの構造パラメータの内，a=25mm，R=100mm，D=40mm を一定とし，d のサイズのみを変化させた 10 通りの解析を行った．

滑車の境界条件は，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．鋼輪の境界条件は 2 段階に分け，滑車が鋼輪の直線部分を滑り，滑車と鋼輪が曲線部分で噛み合うまでを Step-1，それ以降を Step-2 とした（**表－2**）．



図－2 解析モデル



図－3 断面(Model-01)

表－1 材料特性

ヤング率 (GPa)	ポアソン比	降伏応力 (MPa)	質量密度 (g/cm^3)
206.0	0.3	287.6	7.87

表－2 鋼輪の境界条件

	x	y	z	θx	θy	θz
Step-1	0	1	1	1	1	0
Step-2	0	0	1	1	1	0

$x, y, z, \theta x, \theta y, \theta z$ は変位と回転，0 は自由，1 は固定を表す．

4. 解析結果

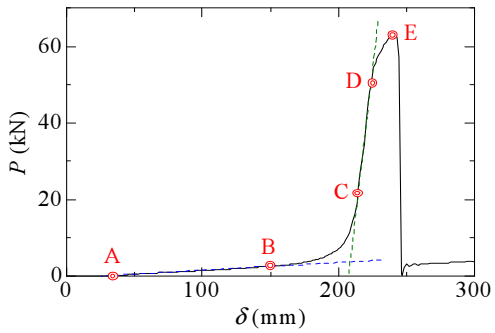
それぞれのモデルの鋼輪の直径 d および降伏荷重 P_Y，最大荷重 P_{max} は**表－3** に示す．また，Model-01 の荷重 P－変位 δ 関係は**図－4** のようになる．さらに，d の大きさによる影響を比較するため，荷重 P を降伏荷重 P_Y で除し，無次元化した P/P_Y－δ 関係を**図－5** に示す．

ここで，鋼輪全体の降伏荷重を $P_Y=2\sigma_Y \cdot A$（σ_Y は降伏応力，A は鋼輪の断面積）と定義する．**図－4** の曲線の形状から，最大荷重に達するまでに二つの直線部分があることに着目し，荷重上昇し始める点を 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点を C 点，降伏点を D 点，最大荷重点を E 点とする．A 点では鋼輪の変形が無いため，B～D 点における応力コンター図を**図－6** に示す．B 点では鋼輪が接触する一箇所に応力が集中し，C 点以降では滑車に沿うようにして，応力集中箇所が二つに分かれていく．そして，鋼輪全体では四つの応力集中箇所のうち，いずれかで破断に至る．また，変形初期段階では曲げ変形が卓越し，鋼輪が直線的な形状になった後は軸方向変形が卓越する．

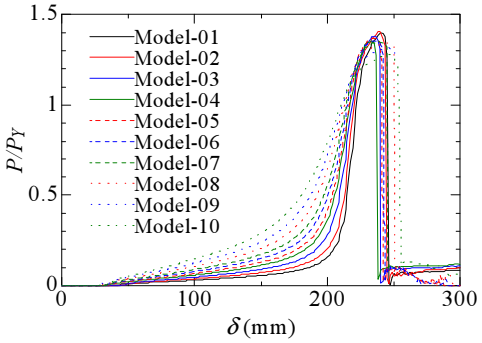
図－5 から，d が大きくなるにつれ，最大荷重に達するまでの荷重上昇が緩やかになることが分かる．すなわち，d が大きい程，急激な荷重上昇が抑えられるため，衝撃緩和効果が高いと言える．

表－3 鋼輪の直径および降伏荷重・最大荷重

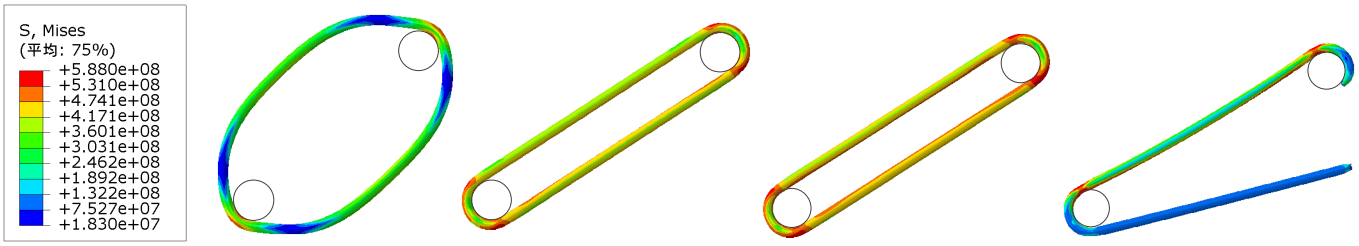
	d(mm)	P_Y(kN)	P_{max}(kN)
Model-01	10	45.2	63.2
Model-02	12	65.1	91.4
Model-03	14	88.5	122.1
Model-04	16	115.7	156.5
Model-05	18	146.4	200.5
Model-06	20	180.7	244.8
Model-07	22	218.7	295.4
Model-08	25	282.4	378.8
Model-09	28	354.2	466.0
Model-10	32	462.6	592.7



図－4 荷重－変位関係(Model-01)



図－5 P/P_Y－δ 関係



(1)B 点　(2)C 点　(3)D 点　(4)E 点

図－6 応力コンター図

5. 結論

本研究では，新たな落橋防止構造を考案し，その力学性能を数値解析により検討した．今回行った解析により，鋼輪の直径 d が大きい程，衝撃的な地震力を緩和する効果が高いことが分かった．また，今後の課題として，d 以外の構造パラメータによる影響も数値解析によって検討することが挙げられる．

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)社団法人 日本道路協会：道路橋支承便覧(改訂版)，丸善，2004.4. 3)社団法人 日本道路協会：道路橋示方書（ 耐震設計編）・同解説，丸善，2012.12.