

鋼製橋脚を有する既設乗換こ線橋の耐震性能評価

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○大島 博之
東日本旅客鉄道(株) 正会員 山田 正人

1. はじめに

当社では、大規模地震に備え駅舎の耐震補強や駅構内の天井や壁の落下防止対策を実施している。駅構内には、他に利用者が安全に線路を横断するための設備として乗換こ線橋を設置している。駅設備全体の地震時の安全性を確認するためには、既設乗換え跨線橋の耐震性能の評価が必要となる。本稿では、取得した年代や構造等が異なる様々な乗換え跨線橋の耐震性能を評価し、効率よく評価できる耐震診断フローを提案した。

2. 耐震性能の評価手順

対象数量が多いため、既設乗換え跨線橋の耐震性能は、計算が簡便な地震時保有水平耐力法で評価した。評価式を式1に示す。

$$Khc = Khy \cdot \sqrt{2\mu - 1} \quad (式1)$$

ここで、Khc：換算弾性応答加速度，Khy：降伏震度， μ ：許容塑性率

式1を適用するためには既設乗換え跨線橋の降伏震度や許容塑性率を明らかにする必要がある。降伏震度は立体解析から求めた。解析対象は、階段等による通路桁の拘束方法の違いから4種類に分類し、その中から古レール造や断面寸法が小さいものを対象に17橋を選定した。許容塑性率は、当社の設計マニュアル等¹⁾²⁾を適用した(表1)。設計マニュアルでは、許容塑性率を部材の幅厚比等の寸法から求まる変形性能クラスに応じて定めている。許容塑性率は、同じ変形性能クラスの中で最弱な断面に対しても安全となるように定めているため、実物の部材性能より小さな値となっているものがある。許容塑性率が小さいものは静的非線形解析を行い、実際に使用されている柱断面の耐震性能を再評価した。検討の流れを図1に示す。

表1 許容塑性率一覧

	変形性能クラス		
	A	B	C
個材	7.0	2.5	1.0
ラーメン	7.0	4.0	3.0
古レール	6.0		

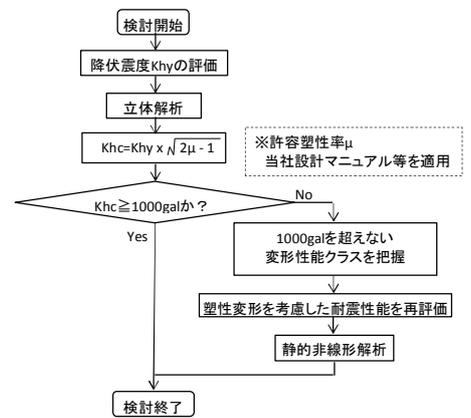


図1 検討の流れ

3. 既設乗換え跨線橋に要求する耐震性能

既設乗換え跨線橋は、兵庫県南部地震や東北地方太平洋沖地震等の大規模地震でも崩壊事例は報告されていない。同様の大規模地震を経験したRC構造物は、換算弾性応答加速度が1000gal程度以上であれば崩壊しないことが確認されている³⁾。既設乗換え跨線橋は、RC構造物の知見を準用し、換算弾性応答加速度が1000gal程度以上であれば耐震性能を有していると判断した。

4. 降伏震度の評価

降伏震度は階段部分の梁や柱をモデル化した3次元骨組み解析(立体解析)で求めた。鉛直荷重として死荷重(D)および地震時活荷重(LE)、水平荷重として地震の影響(EQ=D+LE)を考慮した。評価式を式2に示す。

$$Khy = My/M \cdot 980gal, \quad My = (\sigma y - N/A) \cdot Z \quad (式2)$$

ここで、My：橋脚基部の降伏曲げモーメント，M：慣性力作用時の柱基部の曲げモーメント

σy ：鋼材の降伏応力，N：慣性力作用時の柱基部の軸力，A：柱の断面積，Z：柱の断面係数

解析結果を表2に示す。解析結果より以下の知見を得た。

① 階段や建物による地震時慣性力の負担

慣性力作用方向が階段や建物による変位の拘束方向と合致すると降伏震度Khyは1000galを超える。これは、地震時の慣性力が柱だけでなく建物や階段等で負担したためだと考えられる。

キーワード 乗換こ線橋，鋼製橋脚，耐震性能

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木2-2-6 東日本旅客鉄道(株) 構造技術センター TEL03-6276-1251

表2 降伏震度一覧

形状	①通路と階段が直交				②通路と階段が平行		③建物と通路と直交する階段			④建物と通路と平行な階段
	単柱	ラーメン橋脚	梁柱剛結	レール造	ラーメン橋脚	単柱	ラーメン橋脚	レール造	単柱	
数量	4駅	1駅	3駅	2駅	2駅	1駅	1駅	2駅	1駅	
許容塑性率	1.0~2.5	3.0~4.0	4.0~7.0	6.0	4.0~7.0	1.0~2.5	7.0	6.0	7.0	
Khy 通路方向 (gal)	424~1014	463~468	429~1390	507~729	1300~10560	3017~4128	13191~21422	1237~13585	2180~3820	
直角方向	2970~65418	4825~7329	4572~13453	11901~12857	421~1309	489~2223	3095~3515	382~6234	652~1551	

② 降伏震度 Khy

降伏震度の最小は概ね 400gal であった。最小は 382gal でレール造で細長比が大きい特徴を有していた。

5. 塑性変形を考慮した耐震性能の評価

許容塑性率が3以下となる柱断面をもつ8橋脚のプッシュオーバー解析を実施した。骨組みは全体から橋脚を切り出した平面モデルとし、作用させる軸力は立体解析結果を用いた。部材の損傷レベルは最大荷重の95%を維持する最大変位（n点）まで許容し⁴⁾、Newmarkのエネルギー一定則を用いて換算弾性水平加速度を求めた。表3に解析結果を示す。解析結果より以下の知見を得た。

① 降伏震度 Khy

平面モデルであったため、プッシュオーバー解析で求めた降伏震度は立体解析よりも小さく評価された。

③ 換算弾性水平加速度 Khc0 と降伏震度 Khy の比

換算弾性水平加速度と降伏震度の比は、許容塑性率が最も小さい変形性能クラスC（個材）でも2.32であった。その他は2.5を超える結果となった。立体解析から求めた降伏震度400galにこの値を乗じると既設乗換え跨線橋の耐震性能は概ね1000galと評価される。

6. 乗換え跨線橋の耐震診断フロー

解析結果を反映した耐震診断のフローを図2に示す。

7. まとめ

本稿では、既設乗換え跨線橋の降伏震度は概ね400galあることを確認した。また、許容塑性率が小さい柱断面であっても塑性変形を考慮すると換算弾性応答加速度は1000gal程度あることがわかった。提案した耐震診断フローは、柱断面を把握することで、概ねの耐震性能と詳細な診断の要否を判別できる。既設の乗換え跨線橋の迅速な耐震診断に貢献できると考えている。

参考文献

- 1) 東日本旅客鉄道(株)構造技術センター編：仮設構造物設計マニュアル，2014.6
- 2) 齋藤聡，長嶋文雄，工藤伸司，土屋尚登：乗換え跨線橋に用いた古レール柱の復元力特性に関する検討，土木学会地震工学論文集第30巻 pp. 244-pp. 254，2009.12
- 3) 石橋忠良，池田靖忠，菅野貴浩，岡村甫：鉄筋コンクリート高架橋の地震被害程度と設計上の耐震性能に関する検討，土木学会論文集 No. 563 pp. 95-103，1997.4
- 4) 鉄道技術総合研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，1999.8

表3 プッシュオーバー解析結果一覧

変形性能	C(個材) μ=1.0			C(ラーメン) μ=2.5			B(個材) μ=3.0						
	概要図	概要図	概要図	概要図	概要図	概要図	概要図	概要図					
解析結果	A駅(P2)	E駅	A駅(P1)	Khy (gal)	Khc0 (gal)	Khc0 / khy	E駅(P1)	Khy (gal)	Khc0 (gal)	Khc0 / khy			
	B駅	E駅(P2)	F駅	283	657	2.32	847	2972	3.51	A駅(P1)	Khy (gal)	Khc0 (gal)	Khc0 / khy
	C駅(P2)	D駅		150	411	2.74	753	2664	3.54		354	888	2.51
				207	569	2.74	損傷状況図				414	1220	2.94
				447	1256	2.80	注) F駅は細長比パラメータは標準の適用範囲を逸脱。 λ=0.598, N'/Ny=0.03						

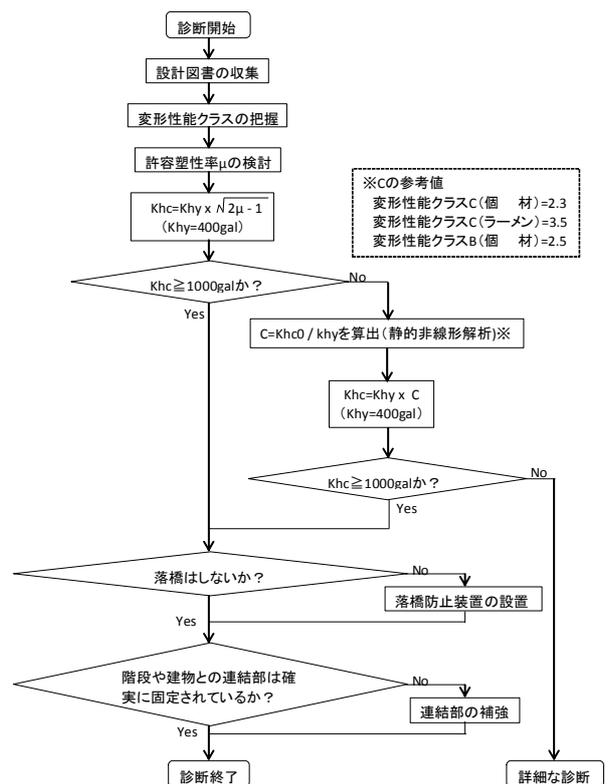


図2 耐震診断フロー