

1. はじめに

実在するRC構造物は、繰り返し載荷における条件下でせん断耐力が低下する。また、せん断耐力が低下し曲げ破壊先行型にも関わらずせん断破壊が起きてしまうことが報告されている。このことから、せん断耐力の低下を考慮した耐震設計をすることが必要である。加えて、鉄筋コンクリート部材の代表的な破壊モードには、せん断破壊モード、曲げ降伏後のせん断破壊モード（以後、曲げせん断破壊モードとする）、曲げ破壊モードがある。曲げ破壊とせん断破壊の中間的な破壊モードである曲げせん断破壊モードは判定が難しいとされている。そこで、本研究ではせん断耐力の劣化を考慮した場合の破壊・非破壊の判定と破壊モードの識別とせん断劣化に影響を与える要因を明らかにするため、RC構造物である道路橋と鉄道高架橋を対象とし非線形地震応答解析を行った。

表1 解析対象物の概要

	橋脚の高さ(m)	柱幅(m×m)	固有周期(s)	せん断余裕度
α橋	19.1	11.4×3.5	1.25	1.46
β橋	8.4	3.5×3.0	0.34	2.75
愛宕高架橋 R2端部	7.5	0.85×0.85	0.23	0.89
愛宕高架橋 R4端部	9	1.05×1.05	0.24	1.25

2. 解析対象

以前の研究¹⁾で、ラーメン構造の鉄道高架橋について解析が行われた。そこで、本研究では、一本柱構造である道路橋2種類、ラーメン構造である鉄道高架橋1種類を解析対象とする。道路橋はα橋（3径間連続中空床板橋）とβ橋（2径間連続非合成鋼板桁橋）、鉄道高架橋は4径間連続1層ラーメン構造である。構造物の概要を表1に示す。

表2 入力地震波

地震名	番号	観測地点	震度	最大加速度 (gal)	T90(s)	卓越周期(s)
兵庫県南部 地震	①	神戸	5.5	302.44	9.52	0.70
			6.0	537.82		
			6.5	956.39		
			7.0	1700.72		
十勝沖地震	②	直別	5.5	320.83	22.86	1.35
			6.0	570.53		
			6.5	1014.57		
			7.0	1804.18		
根室半島南 東沖地震	③	浜中	5.5	729.68	16.24	0.13
			6.0	1297.57		
			6.5	2307.45		
			7.0	4103.29		
鳥取県西部 地震	④	松江	5.5	369.57	15.62	0.66
			6.0	657.19		
			6.5	1168.67		
			7.0	2078.23		
釧路沖地震	⑤	本別海	5.5	459.74	42.3	0.90
			6.0	817.54		
			6.5	1453.82		
			7.0	2585.3		

3. 入力地震動

入力地震動として、表2に示す5波形を用いた。それぞれ震度5.5、6.0、6.5（α橋に関しては、震度6.5の場合においても破壊が発生しなかったため震度7.0も行う）と変えたものを用いる。また、これらの地震波の概要とスペクトル解析を行い得られた結果も表2に示している。

4. 解析方法

本研究では対象となる橋脚を平面骨組みモデルとし、節点とはり要素から成る構造にモデル化した。鉄道橋と道路橋のモデル化は、各橋脚部材に非線形要素を用い、橋脚と桁部の結合部分、桁部では線形要素を用い、橋軸直角方向に地震動を入力し地震応答解析を行う。数値解析にはニューマークβ法を用いる。構造物の減衰に関してはレイリー減衰を用い、減衰定数は0.02とする。地震応答解析では各節点における変位と各はり要素に作用する曲げモーメント、曲率が得られる。せん断耐力の劣化には、図1に示すようなプリーストリーによるせん断劣化曲線²⁾をもとに提案された累積損傷モデル³⁾を採用する。

5. 解析結果

地震応答解析によって得られた解析結果の一例として、α橋に震度6.5の兵庫県南部地震で解析を行った場合の変位、曲げモーメント-曲率関係、履歴エネルギーの時刻歴、せん断耐力の時刻歴を図2に示す。曲げモーメント-曲率関係は橋脚下端、変位については橋脚上端について検証した。解析結果より、せん断余裕度が1.46であるα橋と1.25である愛宕R4では、せん断劣化を考慮した場合としない場合で破壊形式に違いが見られた。一

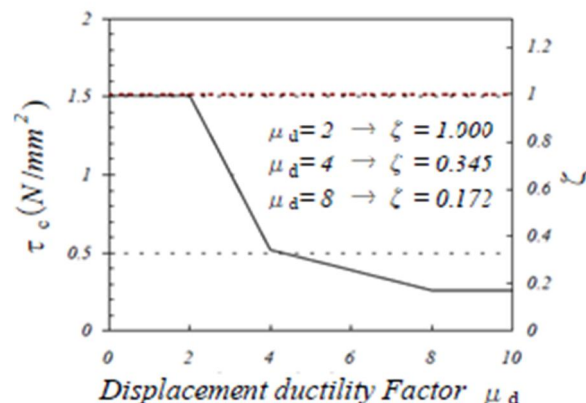


図1 プリーストリーらの提案するせん断劣化曲線²⁾

方で、せん断余裕度が 0.89 である愛宕 R2、2.76 である β 橋では、破壊形式に違いが見られなかった。このことから、せん断余裕度が 1 以下の場合や 2 以上の場合で破壊・非破壊や破壊形態がせん断耐力の劣化によって変わらないことが再確認された。また、曲げ破壊先行型でありせん断余裕度が 2 より小さい構造物は曲げせん断破壊になる恐れが高く、せん断耐力の劣化を考慮した耐震設計が必要と考えられる。塑性率とせん断耐力の劣化に着目したものの一例として α 橋におけるせん断劣化と塑性率の関係に着目したものを図 3 に示す。塑性率の値が大きくなるにつれてせん断耐力の劣化回数も多くなり、せん断耐力低下率も大きくなった。履歴エネルギーとせん断耐力の劣化に着目したものの一例として α 橋におけるせん断劣化と履歴エネルギーに着目したものを図 4 に示す。履歴エネルギーの値が大きくなるにつれてせん断劣化回数が大きくなりせん断耐力低下率も大きくなった。このことから、解析結果を見る限り、塑性率、履歴エネルギーとせん断耐力の劣化に比例的な相関関係を見出すことが出来ると考えられる。また、せん断耐力低下率とせん断劣化回数を比較するとせん断耐力低下率の方が直線的であり、塑性率や履歴エネルギーにより大きな違いが出ると考えられる。T90 や卓越周期では、T90 や卓越周期の値が大きくなるにつれて、せん断耐力の劣化が起こり、関係が見取れる構造物も一部あったが全体的にはばらつきが大きく比例的な相関関係を見出すことが出来なかった。さらに、一本柱構造の道路橋とラーメン構造の鉄道高架橋では、結果を見る限りせん断劣化に関して違いはないものと判断出来た。

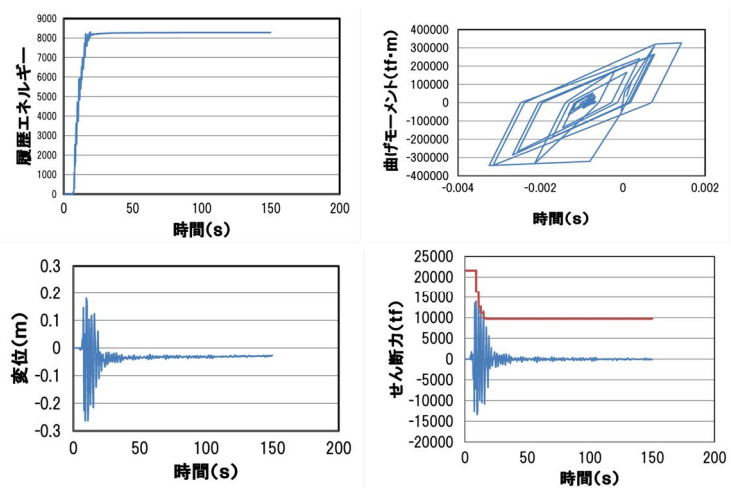


図 2 α 橋の解析結果例(地震波①、震度 6.5)

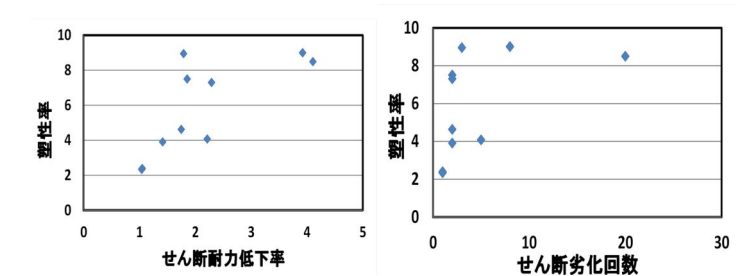


図 3 α 橋におけるせん断劣化と塑性率の関係

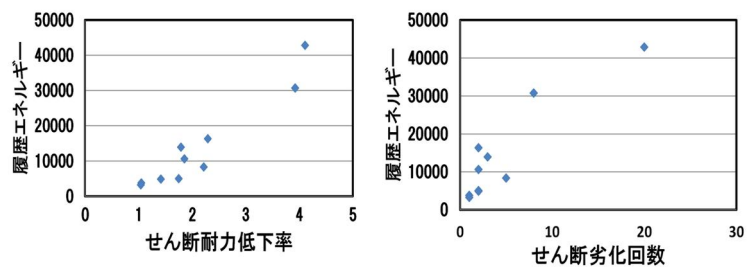


図 4 α 橋におけるせん断劣化と履歴エネルギーの関係

6. まとめ

本研究では、実在する一本柱構造の道路橋とラーメン構造の鉄道高架橋を対象とし解析を行った。解析結果より、せん断余裕度と破壊形態に関連性があることが確認された。このことから、設計段階において曲げ破壊先行型の構造物では設計する際にせん断余裕度を 2 以上に確保することが必要であることが示された。また、せん断劣化を起こす要因としては卓越周期や地震動継続時間といった地震波の周期特性よりも塑性率や履歴エネルギーといった構造物による影響によってせん断耐力の劣化に大きな違いを引き起こすことが推測され、せん断劣化回数よりせん断耐力低下率の方がより影響を受けやすいと推測される。

参考文献

- 1) 嶺澤優輝：せん断耐力の劣化を考慮した鉄道高架橋の地震応答解析、名古屋工業大学修士論文、2011
- 2) Priestley, M. J. N. and Seible, F. Calvi. G. M. : Seismic Design and Retrofit of Bridges, John Wiley & Sons, 1996
- 3) 吉川弘道・大江亮二・青戸拓起：鉄筋コンクリート橋脚の非線形応答解析とせん断劣化を考慮した動的破壊解析、応用力学論文集、vol. 3、p p 645-656、2000