

1. はじめに

現行の示方書では、曲げ耐力と初期せん断耐力の比である耐力比(せん断余裕度)が1以上とすることでせん断力に対する安全性を確保しているが、実際は、せん断耐力は繰り返し载荷により低下するものであるため、現行の設計法に加えて、せん断耐力の低下を考慮した設計が必要とされる。加えて、破壊モードとして、曲げせん断破壊について記されていない。そこで本研究では、曲げ破壊先行型(せん断余裕度が1以上)とせん断破壊先行型(せん断余裕度が1以下)である実際に設計された鉄道RC高架橋を対象とした非線形地震応答解析を行い、RC橋脚の破壊/非破壊の判定と破壊モードの識別を行うとともにせん断耐力の劣化に及ぼす影響などについて検証する。

2. 解析対象

解析対象は表1に示す3種のRC橋脚である。鉄道橋(第3愛宕高架橋R4と第3愛宕高架橋R2と第5猪鼻高架橋)の橋脚はラーメン形式である。

表1 解析対象構造物の概要

	橋脚の高さ (m)	柱の幅 (m×m)	固有周期 (s)
第3愛宕高架橋R4端部	9.0	1.05×1.05	0.2427
第3愛宕高架橋R2端部	7.5	0.85×0.85	0.2301
第5猪鼻高架橋R12中間部	9.0	1.0×1.0	0.1766

3. 入力地震動

入力地震動として、十勝沖地震の地震波を1つ、鹿児島北西部地震の地震波を2つ、新潟中越地震の地震波を1つ、想定東海東南海複合型地震の地震波を1つ、東海地震の地震波を1つ、それぞれの地震波の震度を5.0, 5.5, 6.0と変えたものを用いる。スペクトル解析により得られた結果とともにその概要を表2に示す。これらの入力地震波を選び出した理由としては、卓越周期と地震動継続時間に違いがあり、考察などの際に比較などがわかりやすくなるよう特徴に差異があるという点です。

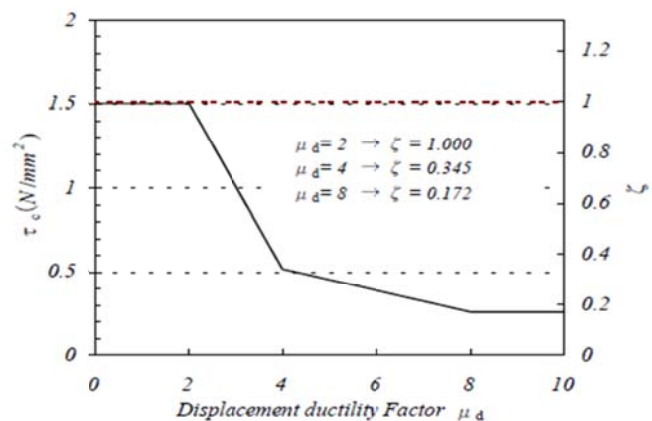
表2 入力地震波の概要

	番号	観測地点	震度	最大加速度(gal)	T90(s)	卓越周期(s)
十勝沖地震	①	青森(EW)	5.0	159.38	92.48	2.75
			5.5	284.32		
			6.0	505.81		
第2鹿児島県北西部地震	②	宮ノ城	5.0	566.60	3.68	0.12
			5.5	991.97		
			6.0	1772.06		
	③	串木野	5.0	203.37	8.32	1.76
			5.5	361.56		
			6.0	643.21		
新潟中越沖地震	④	小千谷	5.0	211.45	11.84	0.70
			5.5	378.39		
			6.0	671.06		
想定東海東南海複合型地震	⑤	伊勢市	5.0	255.94	75.08	0.29
			5.5	451.43		
			6.0	808.83		
東海地震	⑥	伊勢市	5.0	293.18	43.44	0.17
			5.5	528.17		
			6.0	941.72		

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、鉄道橋として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。

鉄道橋のモデル化は、各橋脚柱部材、上層ばりおよび下層ばりに非線形要素を用い、橋脚とはりとの接合部分では線形要素を用いる。橋脚とフーチングの境界で起こる軸方向鉄筋の抜け出しによる変位の増加現象を非線形の回転バネにより表現した。橋脚柱部の非線形要素の復元力モデルにはひび割れ限界、降伏限界、終局限界からなる曲げモーメント-曲率関係のトリリニアモデルを採用する。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。また、得られた曲率と別途算定した部材の降伏曲率から塑性率を算出し、履歴エネルギーは部材の履歴応答により算出する。また、せん断耐力の劣化には、右の図1に示すようなプリーストリーによるせん断劣化モデルをもとに提案された累乗型累積損傷モデルを採用する。



モデル

5. 解析結果

地震応答解析によって得られた解析結果の変位、曲げモーメント-曲率関係、履歴エネルギーの時刻歴、せん断力、せん断耐力の時刻歴の一例を図1に示す。これは、第3愛宕高架橋R4端部に震度6の地震波①を入力したときの解析結果である。変位については橋脚上端、曲げモーメントと曲率については橋脚下端において検証した。地震応答解析の解析結果において、塑性率と履歴エネルギー、せん断耐力劣化回数に着目したものを表3に示す。どの橋脚においても想定東海南海複合型地震では塑性率、履歴エネルギーともに大きくなり、せん断劣化回数も多い。鹿児島北西部地震では、塑性率に関して、猪鼻R12は、小さいのに対して、愛宕R4、愛宕R2は、東南海地震を超える値を記録した。これは、鹿児島県北西部(串木野)地震波が降伏点を超えてからの挙動に大きい影響を与えるためと考える。せん断耐力の劣化を考慮した解析結果を見る限り、塑性率と履歴エネルギーともにせん断耐力劣化に対して、比例的な相関関係があることがわかりました。加えて、構造物の固有周期に近い卓越周期の地震波によるせん断劣化回数が多いことから、共振の影響があると考えました。加えて、地震波特性の地震動継続時間T90と卓越周期とのせん断耐力劣化の関係については、T90とは、相関関係がないことがわかり、卓越周期とは、比例的な相関関係が認められました。卓越周期、塑性率、履歴エネルギーに対してせん断耐力の劣化に影響していると判明し、特に履歴エネルギーとの相関関係が大きいことがわかりました。さらに、曲げ破壊先行型の構造物とせん断破壊先行型の構造物によるせん断耐力劣化の違いは、結果を見る限り、あまりないものと判断できた。

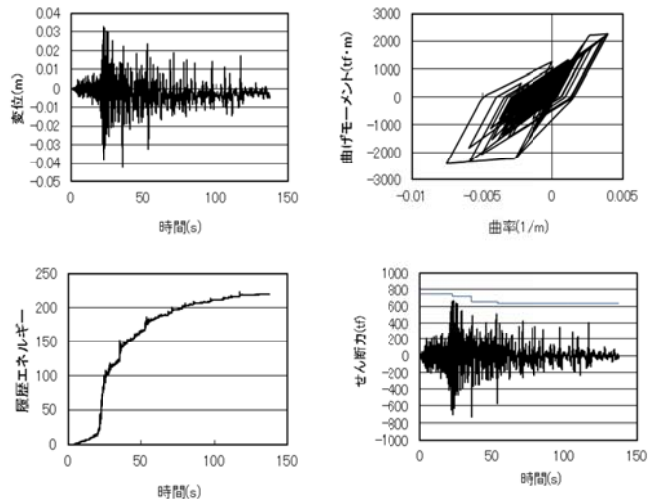
6. まとめ

本研究より、構造物のせん断余裕度と破壊傾向に関連性が確認され、設計段階におけるせん断余裕度確保の重要性が再確認された。加えて、せん断劣化を起こす要因として、履歴エネルギーと塑性率、卓越周期が大きいかかわっていることがわかり、特に履歴エネルギーの影響でせん断劣化の違いが大きく生まれることが推測された。今後は、初期せん断耐力を大きく設定することと、せん断余裕度を2以上確保することに加え、せん断劣化をあまり起こさないよう構造物の設計において、せん断劣化を考慮した事前解析をしっかりと行っていくことが必要と考える。

参考文献 1) 吉川弘道ら：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, pp. 645-656, 2000. 8.

2) 九里和也ほか：繰り返し荷重を受けるRC部材の破壊モード判定の提案, 土木学会第67回年次学術講演会公演概要集, pp. 459-460, 2012. 9.

3) 大江亮二・吉川弘道：繰り返し大変形を受ける鉄筋コンクリート単柱のせん断強度劣化の評価に関する研究, 土木学会論文集, No. 711, V-56, pp. 59-71, 2002. 8



震度6	地震波番号	塑性率	履歴エネルギー (kN・m)	劣化回数
愛宕R4 端部	①	2.86	219.2	3
	②	4.620	209.3	7
	③	6.440	252.5	4
	④	6.130	564.6	11
	⑤	6.350	697.9	19
	⑥	5.530	829.6	23
愛宕R2 端部	①	1.430	96.00	0
	②	3.122	143.90	4
	③	6.600	131.60	1
	④	3.857	258.10	7
	⑤	5.248	557.20	13
	⑥	4.368	648.30	15
猪鼻R12 中間部	①	0.4920	32.840	0
	②	0.9550	38.450	0
	③	0.8970	23.980	0
	④	0.5370	16.970	0
	⑤	1.9610	171.000	0
	⑥	1.1910	196.500	0