

1.はじめに

想定外とされた熊本地震の発生や、東海地震、東南海地震の切迫性が指摘されていることなどから、今後発生する地震に対応できるような耐震基準、補強手順は常に求められている。耐震安全性について考える上で、構造物が破壊に至るまでの変形、破壊性状を明らかにすることは重要である。一般にRC部材の破壊形態としては曲げ破壊とせん断破壊があるが、せん断耐力低下によって曲げ損傷からせん断破壊に移行する曲げせん断破壊に至る場合もあり、この破壊モードの判定は難しいとされている。そこで本研究では、自研究室の先行研究¹⁾と対象と地震波の組み合わせを変え、RC高架橋を対象に非線形地震応答解析を行い、せん断耐力の低下を考慮した際の破壊形態や耐力低下の要因について再検討を行うとともに、橋脚の高さのみを変化させた対象を新たに設定し、傾向の違いを考察することを目的とする。

2.解析方法

本研究では、対象とする高架橋をはり要素と節点からなる構造にモデル化し、橋軸直角方向に地震波を入力して地震応答解析を行う。各柱部材は非線形要素、橋脚とはりの結合部および上層ばりは剛性要素とした。数値解法にはNewmark- β 法を、構造物の減衰についてはレイリー減衰を用い、減衰定数は0.01とする。せん断耐力の劣化には、Priestleyらによるせん断劣化曲線をもとに提案された累積損傷モデル²⁾を採用した。

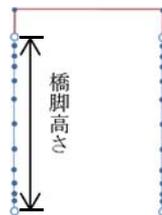


図1 モデル図

表1 解析対象物の概要

橋の高さ(m)	せん断余裕度	固有振動数(Hz)	固有周期(s)
10.5	1.36	2.95	0.34
9.0	1.12	3.96	0.25
8.3	1.00	4.65	0.22
7.5	0.87	5.71	0.18

表2 入力地震波の概要

地震名	観測地点	震度	最大加速度(gal)	T90(s)	卓越周期(s)
①東北地方太平洋沖地震	鉾田	5.0	305.41	89.91	0.28
		5.5	543.11		
		6.0	965.80		
		6.5	1717.46		
②熊本地震	豊野	5.0	230.49	156.69	1.03
		5.5	409.88		
		6.0	728.87		
		6.5	1296.14		
③熊本地震	益城	5.0	239.43	10.91	0.80
		5.5	425.77		
		6.0	757.13		
		6.5	1346.40		
④日本海中部地震	秋田	5.0	172.75	61.44	2.42
		5.5	307.19		
		6.0	546.27		
		6.5	971.42		
⑤新潟県中越地震	長岡支所	5.0	198.57	28.60	0.62
		5.5	353.11		
		6.0	679.93		
		6.5	1116.63		

3.対象構造物

実際に設計された高架橋として、1層ラーメン構造の第3愛宕高架橋R4端部(橋の高さ9.0m、9.0m橋と表記することとする)を橋軸直角方向に取り出したものを採用する。この構造物をもとに、橋脚高さのみを変化させた3つを加えて解析対象とする。対象構造物の概要を表1に示す。

4.入力地震波

地震の種類や地震動の卓越周期、継続時間(T90)などの性質の異なる5波形を入力地震波として選定した。熊本地震からは2波形を採用している。それぞれ震度5.0から6.5まで0.5刻みで振幅調整を行って用いるものとし、スペクトル解析によって得られた結果とそれらの概要を表2に示す。

5.解析結果および考察

解析結果として、9.0m橋に震度6.0の地震波①を入力したときの曲率-曲げモーメント関係、履歴エネルギーおよびせん断力とせん断耐力の時刻歴を図2に示す。曲率-曲げモーメント関係については橋脚下端について検証し、この関係より得られた曲率を用いて塑性率を算出した。

破壊形態については表3でまとめたが、橋の高さが高いほど曲げ破壊先行型、橋の高さが低いほどせん断破壊先行型となり、これは破壊モードの判定に用いられるせん断余裕度の違いに起因する。

せん断劣化の有無のみの比較では、橋の高さによる傾向には大きな違いはなく、どの構造物でも震度5.5以上でせん断耐力の低下が見られるようになり、震度5では耐力の低下は起こらなかった。

またせん断耐力を劣化させる要因として、塑性率、履歴エネルギー、周期特性との相関を調べた。塑性率とせん

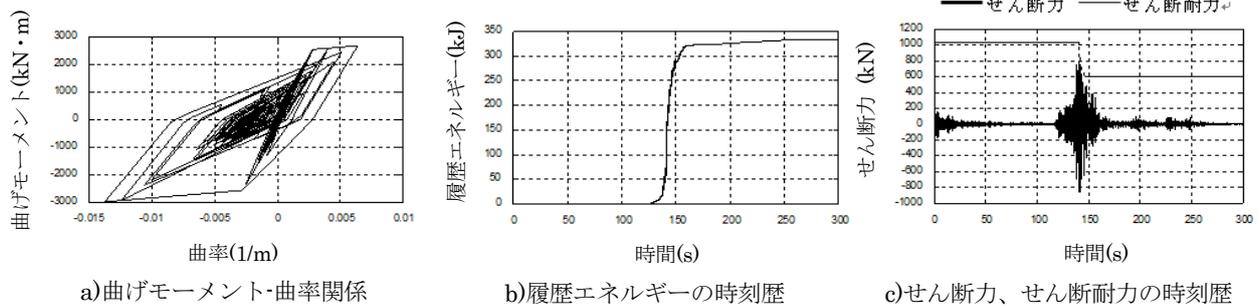


図2 解析結果(9.0m 橋・東北地方太平洋沖地震・震度 6.0)

断劣化の間には上向きの直線関係が見られたものの一部結果がばらついたが、履歴エネルギーと劣化回数およびせん断耐力低下率との間には比較的強い正の相関が得られた。対象とした4構造物すべてでこの相関関係を確認することができたが、橋の高さが高いほどせん断耐力低下率との相関は強いという結果になった。

地震波の周期特性として、せん断劣化と地震動継続時間(T90)の間には比例関係を見出すことはできなかったが、卓越周期との間には10.5m 橋、9.0m 橋と、橋の高さの高い構造物で、強くはないが上向きの直線関係を示した。

6.まとめ

本解析では、RC 高架橋を対象にせん断耐力の低下を考慮した際の破壊形態や低力低下の要因についての再検討、並びに橋脚の高さのみを変化させた対象を用いて、その傾向の違いを考察した。耐力低下の要因として、履歴エネルギーはせん断劣化に与える影響が大きく、先行研究と対象を変えた本解析でも同様の結果が得られた。この傾向はせん断耐力低下率との相関において、橋の高さが低い構造物ではやや弱まる。また、地震波の周期特性がせん断劣化に与える影響は大きくはないが、橋の高さが高い構造物では卓越周期による影響を受けやすくなることが分かった。

本研究において、特に橋の高さとせん断劣化の関係性について

はデータが少なく傾向を示すには至らなかったが、

橋の高さ1つのパラメータの変化によって構造物の変形や破壊に違いが生じることを確認できた。

参考文献

- 1) 川向誠一：せん断耐力の劣化を考慮した RC 橋脚の地震応答解析、名古屋工業大学卒業論文、2015.2 など
- 2) 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-56,59-71,2002.8

表3 破壊形態のまとめ

震度	地震番号	10.5m 橋	9.0m 橋	8.3m 橋	7.5m 橋
5.0	①	×	×	×	×
	②	×	×	×	×
	③	×	×	×	×
	④	×	×	×	×
	⑤	×	×	×	×
5.5	①	×	×	×	曲げせん断
	②	×	×	×	せん断
	③	×	曲げせん断	曲げせん断	×
	④	×	曲げせん断	×	×
	⑤	×	曲げせん断	×	×
6.0	①	曲げせん断	×	曲げせん断	せん断
	②	曲げせん断	曲げせん断	曲げせん断	せん断
	③	曲げせん断	曲げせん断	曲げせん断	せん断
	④	曲げせん断	曲げせん断	曲げせん断	せん断
	⑤	曲げせん断	曲げせん断	曲げせん断	せん断
6.5	①	曲げせん断	曲げせん断	曲げせん断	曲げせん断
	②	曲げせん断	曲げせん断	曲げせん断	せん断
	③	曲げせん断	曲げせん断	せん断	せん断
	④	曲げせん断	曲げせん断	曲げせん断	せん断
	⑤	曲げせん断	曲げせん断	曲げせん断	せん断

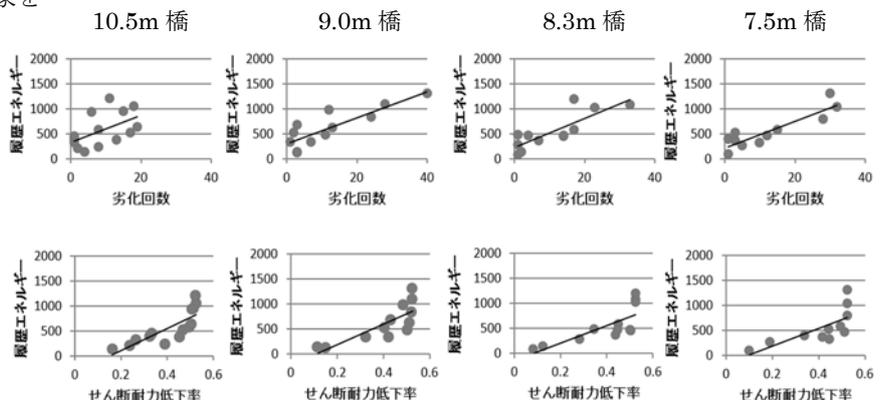


図3 せん断耐力劣化と履歴エネルギーの関係