

1. はじめに

地震が起こると多くの場合で発生した地震よりも小さな規模で余震が発生し、本震で大きく破壊が起こらない場合でも余震の揺れによって破壊が起き被害が増大する可能性がある。本研究ではRC構造物の高さによっての被害にどのような変化が出るのかを調べるため、鉄道高架橋の橋脚高さを変化させて地震応答解析を行う。

2. 解析方法

解析には多数の節点と弾塑性梁要素からなる平面骨組みモデルを採用する。連続した地震動の解析を行う場合、本震による履歴状態と残留変位を保持し、その値を初期値として与え余震の地震応答解析を行う。地震応答解析では曲げ破壊のみを判定し、応答解析結果からせん断破壊、曲げせん断破壊判定を行う。

3. 解析対象

対象構造物の概要を表1に示す。解析対象構造物として、2種の鉄道高架橋を用いる。一層ラーメン構造の甲東園高架橋R4と二層ラーメン構造の下食満高架橋R5の二つをもとに橋脚高さのみ変化させた計8つのRC構造物を解析対象とする。変位については甲東園、下食満の両方とも橋脚上部、曲げモーメント及び曲率については甲東園では橋脚下端部、下食満では中層端部で検証する。

表1 解析対象物の概要

構造名	橋の高さ(m)	柱の高さ(m)	固有周期(s)
甲東園 R4	7.5	6.5	0.26
	9.0	9.5	0.35
	10.5	8.0	0.46
	12.0	11.0	0.57
下食満 R5	10.5	4.2	0.32
	12.0	4.95	0.39
	13.5	5.7	0.47
	15.0	6.45	0.54

表2 入力地震波の概要

地震名		観測地点	最大加速度(gal)	T90(s)	卓越周期(s)
北海道胆振東部	本震	鶴川	292	14.08	1.280
	余震		568	14.35	0.585
東北地方太平洋沖	本震	鉾田	721	40.43	0.147
	余震		684	89.91	0.193
十勝沖	本震	直別	402	25.41	0.602
	余震		504	48.15	0.393

4. 入力地震動

解析で用いる地震動を表2に示す。入力地震波として近年発生した地震動3つの中から本震での震度が高いものを抽出し、本実験では計測震度を6つの地震動の平均値5.7に調整し解析を行った。継続時間で用いた $T_{90}$ とは地震動のパワーの累積値が5~95%となる値である。

5. 解析結果例

解析結果の一例として一層ラーメン構造の甲東園高架橋R4(9.0m)において十勝沖地震(震度5.7)を入力した場合の解析結果を図1、2に示す。図1の時刻応答変位図より本震の履歴状態を保持した場合の余震は本震で受けた残留変位があるため、変位が少し正方向から始まっていることが確認される。余震のみの最大変位は0.066mであるのに対して、本震の履歴を保持した場合の最大変位は0.078mとなっており、約18%増加していた。そのため塑性率は余震のみの場合、3.51であるのに対して本震+余震の塑性率は4.05と約15%増加している。図2の履歴曲線図を見ると、履歴ループの傾きが小さく、ループ自体も余震のみの場合よりも小さくなっていることから、余震のエネルギー吸収量が低下していることが読み取れる。実際に、履歴エネルギーは余震のみで452.5kN、本震の被害を保持した余震では398.4kNとなり、約12%減少した。

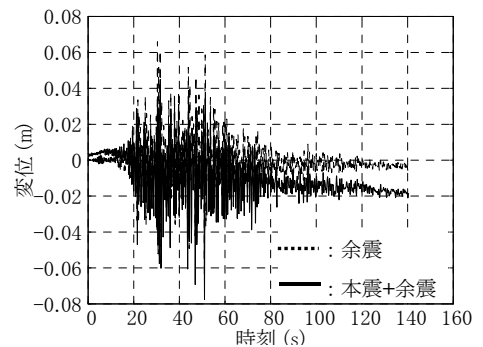


図1 時刻歴応答図

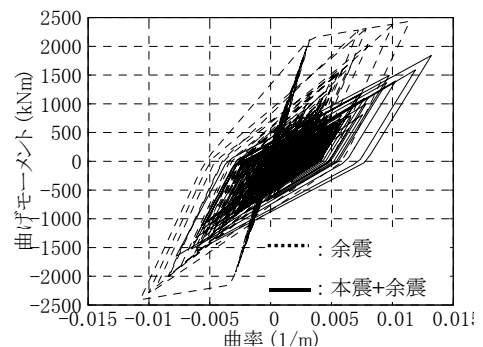


図2 履歴曲線図

表3に本震での塑性率と余震後の構造物の破壊形態を示す。本震での塑性率を見ると、北海道胆振東部地震では柱を高くした構造物で塑性化が大きく進み、逆に東北地震では全体的に塑性化は起きず、柱を高くしても塑性率は大きくなかった。十勝沖地震では全ての構造高さで塑性化が大きい結果となった。また、今回の解析では本震での曲げの損傷のみを保持した状態で余震の解析を行ったため、本震でのせん断による破壊は無視して余震の解析を行った。甲東園高架橋、下食満高架橋ともに柱高さが高いほど曲げ破壊先行型となり、柱高さが低いほどせん断破壊先行型となることが確認された。また、8つの構造物で、余震の破壊形態が本震の剛性低下を保持することで変化した。変化した場合の本震の塑性率は比較的高い場合で起こりやすくなっていることが確認された。

表3 本震時の塑性率と余震による破壊形態

地震波種		甲東園高架橋				下食満高架橋			
		7.5	9	10.5	12	10.5	12	13.5	15
北海道	本震	0.8	0.8	6.0	5.7	0.7	0.7	3.7	5.7
	余震	S	MS	MS	MS	S	S	MS	MS
	本震+余震	S	S	MS	MS	S	M	M	M
東北	本震	2.3	0.8	0.7	0.7	1.5	0.8	0.6	0.6
	余震	S	×	×	×	S	S	×	×
	本震+余震	S	×	×	×	S	S	×	×
十勝沖	本震	3.6	6.5	5.4	5.8	3.7	6.5	5.9	5.1
	余震	S	MS	×	×	S	MS	MS	×
	本震+余震	MS	MS	MS	MS	S	MS	MS	MS

※S：せん断破壊，MS：曲げせん断破壊，M：曲げ破壊

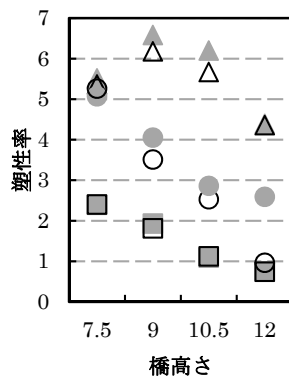


図3：塑性率(甲東園)

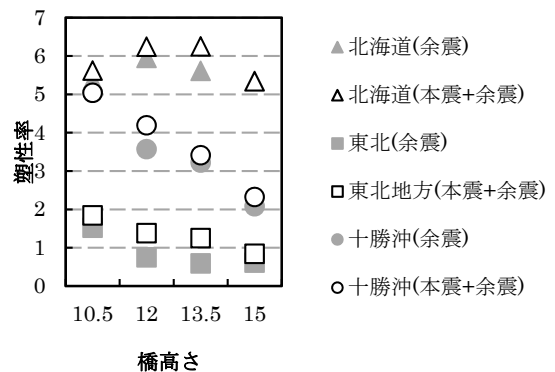


図4：塑性率(下食満)

図3,4に塑性率を示す。また、曲げ破壊が起こったケースでは、曲げ破壊時点での塑性率を示す。余震のみと本震の被害を保持した余震を比べると、甲東園高架橋では平均約16%増加し、下食満高架橋では平均約6%増加した。また、余震での破壊形態が変化していない構造物でも塑性率は低下している。また、今回の解析ケースでは柱を高くするほど塑性率は低下したが、地震動と構造物の周期特性によるところが多く、すべての地震動でこのような結果がみられるかは定かではない。また、柱高さが余震のみと本震+余震の塑性率増減の程度に与える影響はほとんど見られなかった。

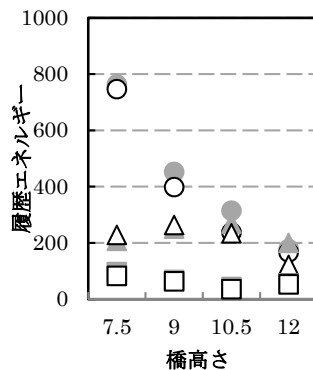


図5：履歴エネルギー(甲東園)

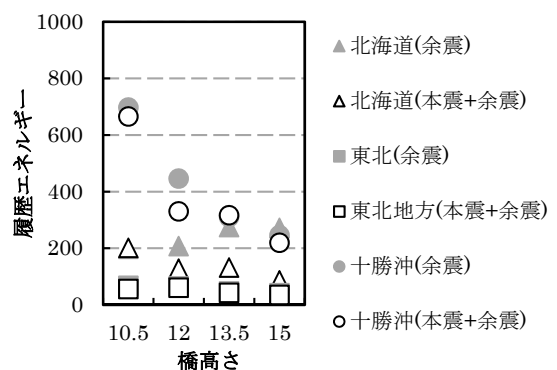


図6：履歴エネルギー(下食満)

図5,6に履歴エネルギーを示す。24ケース中20ケースで余震のみを入力した場合よりも、本震の被害を受けた状態の方ではエネルギーが低下した。甲東園では平均で約11%低下し、下食満高架橋では平均約10%低下した。塑性率同様に今回の解析ケースでは、柱を高くするほどエネルギーが低下しているが、地震動と構造物の周期特性によるところが多く、すべての地震動でこのような結果がみられるかは定かではない。また、柱高さが余震のみと本震+余震のエネルギー増減の程度に与える影響はほとんど見られなかった。

## 6. まとめ

同じ余震を入力した場合でも、入力前に本震による被害を受けることで塑性率、履歴エネルギー、破壊形態が異なる結果となった。また、柱高さ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。本研究において、特に柱高さ連続地震動の被害の関係性については、今回の解析パターンだけでは柱高さ被害変化の傾向までは示すに至らなかったが、余震の破壊形態に違いが生じることが分かった。