

1. はじめに

一般に、地震による被害予想は計測震度をもとに行われることが多い。しかし、計測震度は地震動の最大振幅に大きく依存し継続時間や多数の余震がもたらす繰返し載荷による構造物の耐力低下の影響を受けにくい指標のため、計測震度に基づく被害予想は継続時間が長い地震動や余震などによる揺れの回数の増加に対する被害を過小評価する可能性がある。本研究では、本震による影響（履歴状態）をそのまま保持（レジューム機能と呼ぶ）した場合の余震の地震応答解析を行い、本震である程度の被害を受けた場合に起こる構造物の耐力低下が余震の地震応答にどのように影響を与えるのかを検証する。

2. 解析対象

解析対象とする構造物は、文献[1]で試設計された上部工重量 11000kN、支間長 50m の 3 径間連続 3 主鋼箱桁橋の中間支点の 2 点固定橋脚である。モデルの名称は、後ろ二桁の数字が橋脚柱の高さを表している。モデルは曲げ降伏先行型の 1 本柱 RC 橋脚であり、強度はほぼ同一である。

表 1 構造物の概要

モデル名称	断面幅 (m)	断面高さ (m)	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
P10	9	2.7	4.69	0.21
P15	10	3.2	3.83	0.26
P20	11	4.2	3.32	0.30
P25	12	5.075	2.97	0.34

3. 入力地震動

入力地震動として、東北地方太平洋沖地震の地震波を本震 1 波形、余震 1 波形、新潟県中越地震の地震波を本震 1 波形、余震 2 波形を用いる。本研究では地震動継続時間と周期特性による影響を調べるため、本震の地震波の計測震度を 6.0 に余震の地震波を 5.5, 5.7, 6.0 にそれぞれ振幅調整した。それぞれの地震波の概要を表 2 に示す。地震波の時刻履歴より、東北地方太平洋沖地震では強震継続時間が比較的長いのに対し、新潟県中越地震では強い地震動がすぐに終わる。スペクトル解析を行った結果を見る限り、全ての地震動において 0.21~1.0s のように小さな値の周期が卓越していた。

表 2 入力地震波の概要

地震動	観測点	マグニチュード (M)	最大加速度 (gal)	卓越周期 (s)	T <sub>90</sub> (s)
東北地方太平洋沖地震 (2011年) (3/11 14:46)	k-net仙台 (NS)	9.0	1807.8	1.0	89.54
同余震 (4/7 23:32)	k-net仙台 (NS)	7.1	1084.5	0.40	16.64
新潟県中越地震 (2004年) (10/23 17:56)	k-net長岡 (EW)	6.8	543.9	0.31	37.92
同余震 (10/23 18:34)	k-net長岡 (EW)	6.5	351.8	0.21	13.84
(10/27 10:40)	k-net長岡 (EW)	6.1	570.2	0.27	4.24

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なる構造にモデル化した。橋脚柱は非線形はり要素、桁部は剛体要素とした。節点とはり要素からなる構造にモデル化し、橋軸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。載荷履歴を決める履歴復元力モデルには、耐力低下を考慮して作られた文献[2]で提案されている剛性低下モデルを使用した。図 1 に概要を示す。

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、モデル P15 に新潟県中越地震の本震による履歴状態を保持するレジューム機能を用いて、同余震(同日、18:34 に発生)を計測震度 6.0 に振幅調整し、作用させたケースの履歴曲線図の一例を図 2 に示す。曲げモーメントと曲率については橋脚柱下端において検証した。図より、レジューム機能を用いた場合は、始めから剛性が低下しており、履歴ループが小さ

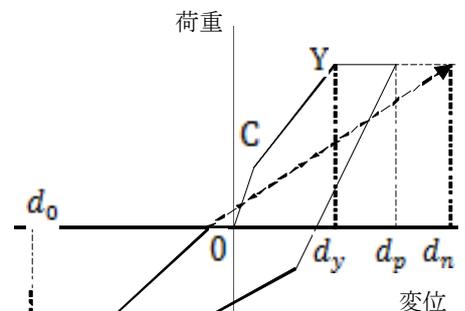
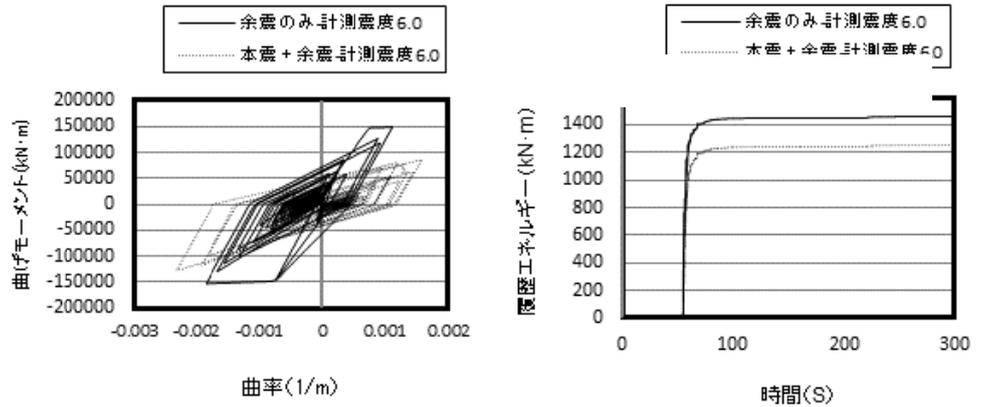


図 1 剛性低下モデル概要

く描かれている。  
 同じ地震波形を入力しても初期状態が異なるだけで塑性率が1.3倍となる結果を得た。また、エネルギー吸収量についても減少していた。履歴曲線からもわかるように、曲げモーメントが小さくなり、ループの面積が小さくなっていることによるものである。本震による影響を受けた場合と、受けない場合での



東北地方太平洋沖地震の余震による塑性率の差を表したものを図3に示す。本震の影響を受けた場合の余震の塑性率の方が、本震による影響を受けない場合の余震の塑性率より大きくなっている。中には、塑性率の差が2倍近くとなるケースもあった。モデル別にみると、P10の塑性率が高くなっていることが分かる。入力した地震波は、短周期成分が卓越していたため、橋脚柱高さが高くなるほど損傷度は小さくなった。この結果から、橋脚高さが地震応答に影響を及ぼすことが確認できる。また、新潟県中越地震の余震2波についても、全体的に本震による影響を受けた場合の余震の塑性率の方が、本震による影響を受けない場合の塑性率よりも大きくなる結果を得た。履歴エネルギーについては、50%~75%の減少となった。

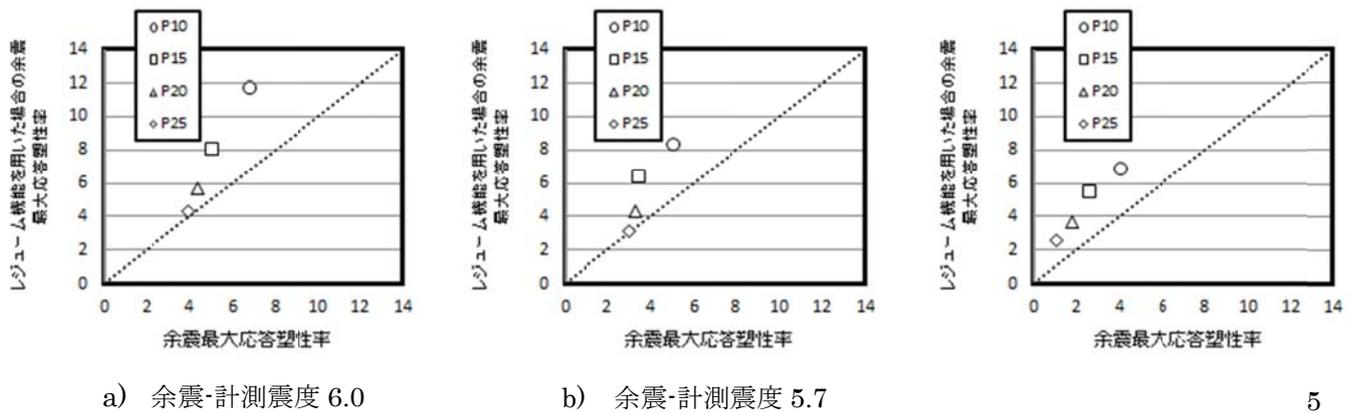


図4 本震による影響の有無による最大応答塑性率の差異

## 6. まとめ

本研究では、ある程度の大きさの本震が起こった後に、続けて本震近いレベルの余震が起こった場合を想定して地震応答解析を行った。本震で受けた履歴状態を保持した場合、塑性率は70~140%大きくなる結果を得た。本震で塑性化が進み剛性が低下していた場合、余震でも被害が拡大する結果が得られた。1つの地震だけでなく複数の地震応答について考慮しなければ地震の被害予想を小さく見積もってしまうことがわかった。

## 参考文献

- [1] 正木智弘：繰り返し载荷による耐力低下が RC 橋脚の地震時挙動に及ぼす影響、名古屋工業大学修士論文、2011。
- [2] 梅村恒、市之瀬敏勝、大橋一仁、前川純一：耐力低下を考慮した RC 部材の復元力特性モデルの開発、コンクリート工学年次論文集、Vol. 24, No. 2, pp1033-1038, 2002。
- [3] 岩本政巳、清水藤太、杉戸真太：地震動の周期特性、継続時間が RC 建物の耐震挙動に及ぼす影響に関する基礎的検討、コンクリート工学年次論文集、Vol. 32, No. 2, pp805-810, 2010。