

### 1 はじめに

平成 28 年に熊本で大規模な地震が発生した。最初に発生した大地震は、4 月 14 日にマグニチュード 6.5 であった。気象庁はこの地震を本震であり、のちに発生する地震を余震とし、地震の規模が上回るとは想定していなかった。しかし、2 日後の 4 月 16 日にはマグニチュード 7.3 の地震が発生した。マグニチュード 7.3 は 1995 年に発生した兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）と同規模であった。気象庁は同日この地震を本震とし、14 日の地震を前震とした。その後も震度 5 程度の余震が続いている。

このように、大規模な地震が繰り返し起こる可能性は十分ある。しかし、地震被害予測は、主に最大振幅に大きく依存する計測震度を基にして行われており、繰り返し载荷や継続時間による影響があまり考慮されていない。そのため、地震の被害予想は、余震や継続時間による被害増大を過小評価する可能性がある。

本研究の目的は継続時間の異なる地震が続けて起きた際に RC 構造物の塑性率・履歴エネルギーがどのように推移するかを知ることである。

### 2 解析対象構造物

解析対象とする構造物は過去の研究[2]で試設計された一本柱 RC 橋脚を用いる。支間長 30m、橋脚高さ 20 m で固有振動数 3.4Hz である。

### 3 入力地震波

継続時間、周期の異なる 8 つの地震波を入力した。地震波の各継続時間の指標には  $T_{90}$  を用いる。比較的継続時間、周期が短いものと長いものの 2 つに分けてその結果を比較する。2 分する値はサンプル 119 成分の中央値をとり、継続時間は 27.1 秒、周期を 0.7 秒とした。入力地震波の概要を表 1 に示す。

表 1 入力地震波の概要

波形番号	地震波	観測地点	T90(sec)	継続時間	卓越周期(sec)	周期
1	宮城県沖地震	塩釜工場	20.44	短	0.35	短
2	十勝沖地震	白糠	40.12	長	1.31	長
3	釧路沖地震	阿寒	26.00	短	0.48	短
4	釧路沖地震	白糠	40.44	長	0.90	長
5	芸予地震	松山	9.26	短	1.75	長
6	三陸南地震	古川	37.04	長	0.28	短
7	想定東海東南海複合型地震	豊橋市	50.26	長	0.70	長
8	東南海地震	静岡市	16.04	短	0.30	短

### 4 解析方法

多数の節点とはり要素からなる平面骨組みモデルである。変位については橋脚上部、曲げモーメント及び曲率においては橋脚下端について検証する。地震応答解析を行うと解析対象物は受けた変位によって、剛性が低下していたり、残留ひずみが生じる場合があるため、余震の地震応答解析をする場合には本震によって低下した剛性を初期剛性とし、生じた残留ひずみを初期変位にした。本震による履歴状態を保持し、そのままその値を初期値として与え、余震の地震応答解析を行った。

### 5 解析結果

解析結果の例として、本震に地震動③、余震に地震動⑥を入力したときの本震+余震と、余震のみの解析結果を示す。

図 1 に変位の推移を示す。最大変位が余震のみに比べ、本震+余震のほうが大きくなっていることがわかる。余震のみの最大変位は 0.0936m なのに対し、本震+余震の最大変位は 0.0977m と大きくなっており、その差は約 1.04 倍となっている。

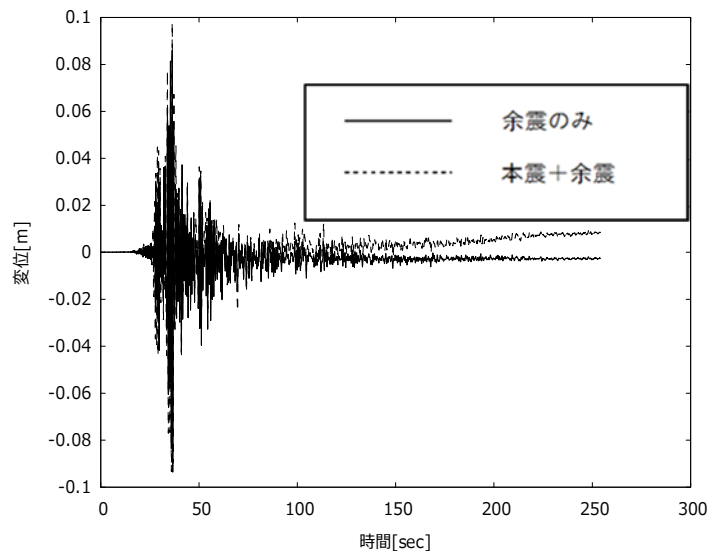


図 1 変位の推移

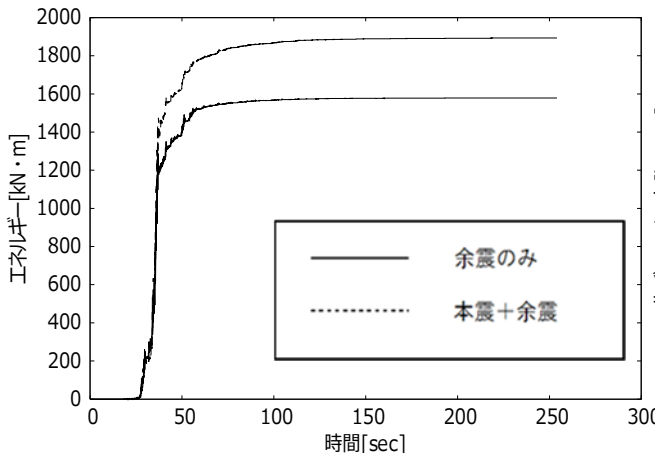


図2 エネルギーの推移

図2に履歴エネルギーの推移を示す。最終的な履歴エネルギーが本震+余震のほうが大きくなっていることがわかる。余震のみの最終的な履歴エネルギーは1579kN・mなのに対し、本震+余震の最終的な履歴エネルギーは1893kN・mと大きくなっている。その差は約1.2倍になる。つまり、本震+余震の方がより多くのエネルギーを吸収していることになる。

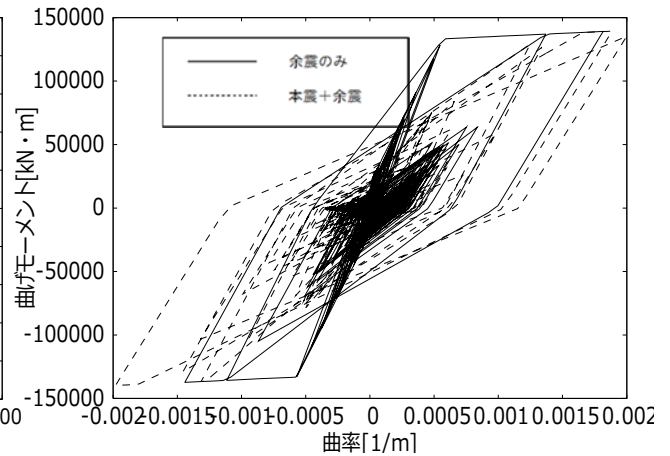


図3 時刻歴応答図

図3に時刻歴応答を示す。本震+余震は初めから剛性が低下しており、全体的にループの傾きが小さくなっている。このことから塑性化が進行していることがわかる。塑性率は余震のみの場合は3.14なのに対し、本震+余震の場合は3.47と大きくなり、約1.1倍になった。

最後に、継続時間の長さとお震・余震を分けた4パターンに分ける。それぞれのパターンごとに本震+余震と余震のみの塑性率の比を図4に示す。

図を見ると、本震に継続時間が長い地震動、余震に継続時間が短い地震動を入力した際において塑性率比が突出している。最大の塑性率比は約2.17となっており、これは、本震+余震の地震応答解析を行うと、単独で余震の地震応答解析を行った場合の約2倍もの塑性化が進んでいることになる。

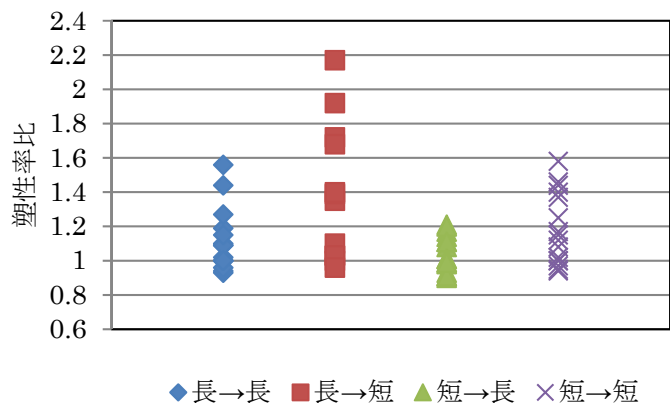


図4 パターンごとの塑性率比

さらにすべてのパターンの平均を見ても約1.15倍となっており、塑性率は本震+余震で地震応答解析すると上昇する傾向にあるといえる。

## 6 まとめ

本研究では、ある程度の本震が起こった後に、続けて本震と同程度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て余震の地震応答解析を行った。本震によって剛性が低下した状態で余震が起きると、被害が増大する結果が得られた。

本震・余震ともに継続時間が長い地震動であると、塑性率、履歴エネルギーともになりに大きくなる傾向にあった。さらに細かく見ていくと、余震に継続時間の長い地震動が起こると、塑性率、履歴エネルギーともに大きくなるような傾向にあった。また、本震に継続時間の長い地震動が起き、続けて継続時間の短い地震動が起きると地震被害予測を過小評価する可能性が大きいことがわかった。

## 参考文献

- [1] 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、2002
- [2] 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