

余震の影響を考慮した構造物 - 地盤系の耐震性能評価に関する基礎的研究

鹿児島大学大学院 学生会員 久保 直哉  
 鹿児島大学工学部 正会員 河野 健二  
 鹿児島大学工学部 正会員 木村 至伸

1. 目的

2004年10月に発生した新潟県中越地震の特徴として、本震発生後に多くの余震が発生したということが挙げられる。現行の性能照査型設計法においては、構造物の地震時及び地震後の機能について明確にする必要があり、本震を受けた後の構造物に対して、余震がどの程度の影響を与えるかを明確にしておくことが重要であると考えられる。また、構造物全体系の地震時挙動は、上部構造物の挙動のみならず地盤の挙動も関連している。そこで、本研究では地盤の影響を考慮した橋梁構造物を対象に、余震が構造物の耐震性能評価に及ぼす影響について検討を行った。

2. 解析モデル及び解析手法

本研究で用いた解析モデルを Fig.1 に示す。本研究では地盤の影響を考慮するために構造物 - 地盤系の一体型モデルを用いて検討を行った。上部構造物は要素数 22、節点数 23、支間長 40m、全長 120m の左右対称、梁要素モデルとして解析を行った。各橋脚の高さについては橋脚 1 及び 4 を 23m、橋脚 2 及び 3 を 30m としている。非線形性については鋼製橋脚を対象としているのでバイリニア型曲げモーメント - 曲率関係(M- 関係)で与え、2次剛性を初期剛性の 0.1 としている。また橋脚部材については、外径 2.5m、肉厚 2.0cm の円形中空断面を用いている。地盤については、要素数 210、節点数 258、幅が 250m、深さは橋脚 1 下で 25m、橋脚 2 下で 15m となっており、アイソパラメトリック要素を用い、平面ひずみ状態として解析を行った。また境界については粘性境界としてモデル化を行った。地盤の非線形性は Hardin-Drnevich モデル型の等価線形化法を用いて導入する。各層のせん断波速度については、Table1 に示す。Case1 として層全体を通して値が同一のもの、Case2 として地盤の中央で地盤特性値が急変した場合を想定し検討を行う。特に地盤の非線形性については、Fig.1 の右上に示した急変部拡大図において×印の列(要素列 1)ならびに ○印の列(要素列 2)に着目した。また橋脚下には地層 1 層分のフォーミング基礎を設けている。

入力地震動は新潟県中越地震において小千谷市で観測された南北方向波(Ojija-NS)を重複反射理論を用いて地震波の引き戻し計算を行ない、最大加速度を 800gal に基準化したものを本震として用いる。余震については本震の最大加速度の 30%(240gal)を余震の 1 波目、50%(400gal)を余震の 2 波目として用いる。

非線形地震応答解析に関しては Newmark の 法を用い、 $\alpha=0.25$  として解析を行った。

Table 1 各層のせん断波速度 (単位:m/sec)

	Case 1	Case 2	
		左部	右部
第1層	100	100	100
第2層	380	100	380
第3層	380	380	380
第4層	580	380	580
第5層	340	580	340

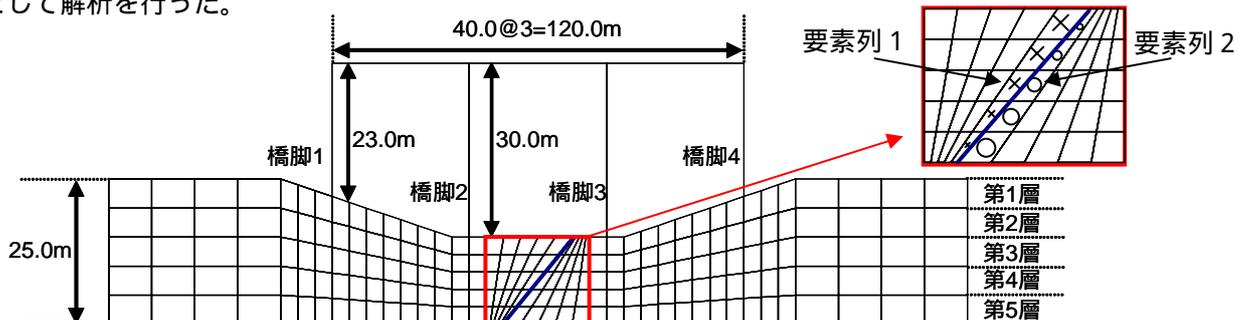


Fig.1 解析モデル

### 3. 解析結果及び考察

まず、橋脚 1 および 4 について橋脚天端の本震、余震による最大変位を Fig.2 に示す。どの橋脚に関しても余震が本震の最大変位を上回っていないことが確認できる。また、Case 1 に関しては、層全体を通して同一のせん断波速度を有しているため橋脚 1 および 4 の変位は同じ値を示していることが確認できる。一方 Case 2 に関しては、橋脚 1 の方が橋脚 4 より大きな変位を示していることが確認できる。これは地盤の非線形性が顕著に現れた結果だと考えられる。このことを明らかにするために Fig.3 に、地盤のせん断弾性係数の低下について、初期せん断弾性係数の比として示す。この図は Fig.1 に示した地盤特性値が急変する部分について示したものである。この図から Case 2 の地盤右部の第 2 層のせん断弾性係数の低下が 4 割程度なのに対し、左部の第 2 層は 8 割程度低下していることが分かる。そのため地表面での加速度が左部の方で低い値となり、Fig.2 に示したような橋脚天端の最大変位に影響したと考えられる。

次に橋脚 1 および 4 について橋脚基部の M -  $\nu$  関係を Fig.3、4 に示す。Case 1 に関しては図示していないが橋脚 1 および 4 の M -  $\nu$  関係は同じ傾向を示す。一方 Case 2 に関しては橋脚 1 の方が橋脚 4 より非線形性が大きいことが確認できる。これは急変部左側において、地盤の著しい非線形化に伴い地表面の変位が増大し、地表面変位と橋脚変位との位相のずれが顕著に現れたためと考えられる。このことは地表面変位を考慮した耐震性能評価を行わなければならないことを示していると考えられる。また、余震による履歴エネルギーの増加も確認できる。履歴エネルギーは構造物の損傷評価に影響を及ぼすことが確認されているので、余震により損傷が拡大していることになる。Pier 1 に関しては余震の 1 波目でも履歴エネルギーの増加が確認でき、地盤が軟弱な場合は地盤と構造物の相互作用をより考慮することが重要であると考えられる。

### 4. まとめ

本研究では、余震の影響を考慮した構造物 - 地盤系の耐震性能評価に関する検討を行った。橋脚天端の最大変位については余震の影響は確認されなかったが、橋脚基部の M -  $\nu$  関係からは余震による履歴エネルギーの増加が確認できた。そのため構造物と地盤との相互作用を考慮した上で、余震による損傷拡大を検討することは重要だと考えられる。今後は桁部の断面力、変位への余震の影響などを検討していく必要もあると考えられる。

#### 参考文献

1) 木村至伸：「前・余震の影響を考慮した構造物の損傷指標に関する基礎的研究」土木学会第 61 回年次学術講演会,2006.9

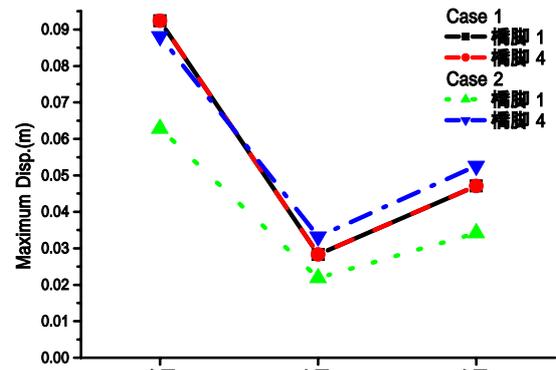


Fig.2 橋脚天端最大変位

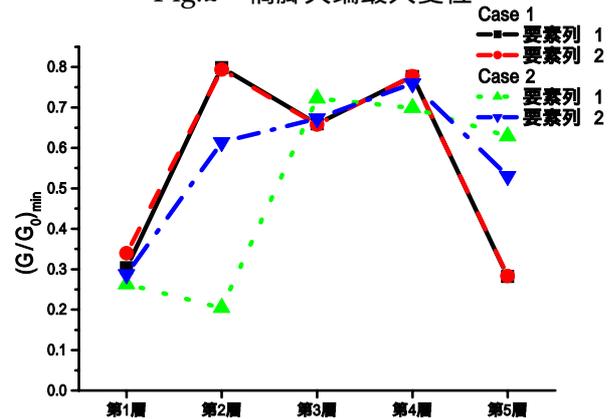


Fig.3 地盤の G/G<sub>0</sub> の最小値

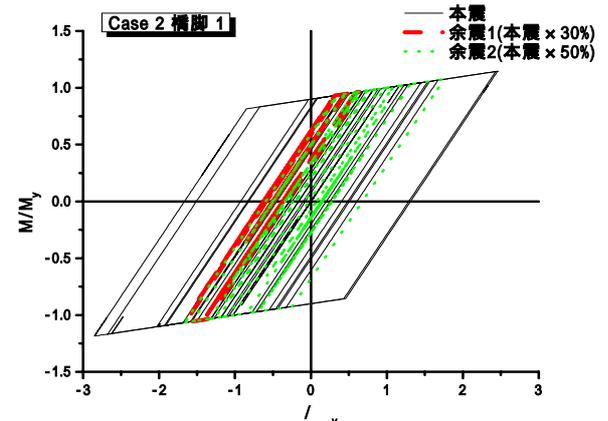


Fig.4 M -  $\nu$  関係 (橋脚 1 基部)

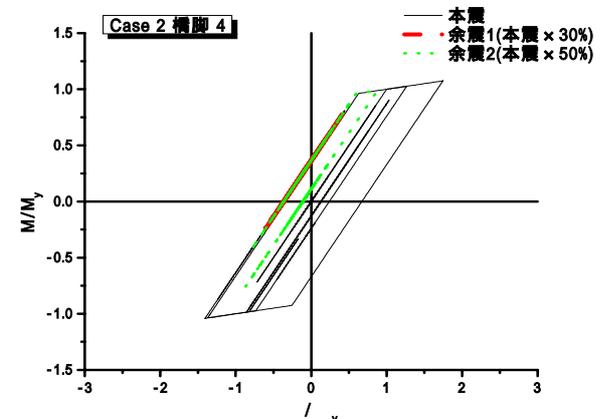


Fig.5 M -  $\nu$  関係 (橋脚 4 基部)