## Seismic Response Modification of Urban Infrastructure 都市施設の免震設計 (1) Chapter 1 Damage Experience in the Past (1)第1章 地震被害の歴史

Kazuhiko Kawashima Department of Civil Engineering Tokyo institute of Technology 東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻 川島一彦

## Does a Catfish Develop an Earthquake?



Old Japanese believed that an earthquake happens to take place when a large catfish in ground moves.

	かったと伝わる かったと伝わる かったとた を押さた。大神 た た た た た た た た た た た た た た た た た た た	要石
Kaname (Key) Stoke Katori Shrine	。 の 寺、香取・鹿島の 二柱の 大神は 天照 大油 に 一部だけ を あ ら し 、 た た に 一 赤 た に し 、 香取 ヶ 浦 付 近 に 至 っ た の 中 つ 国 を 平 定 し 、 香取 ヶ 浦 付 近 に 至 っ た の 中 つ 国 を 平 定 し 、 香取 ヶ 浦 付 近 に 至 っ た の 中 つ 国 を 来 定 し 、 香取 ヶ 浦 付 近 に 至 っ た い た の っ た に よ え る 国 で あ り 、 地 零 た い で か た に 一 部 だ い で か の た に 一 部 だ け を あ ら わ し し み 、 荒 れ さ わ い で い る 。 売 た に 一 部 だ い て い る 。 、 荒 れ さ わ い で い る た に 一 部 だ い て い る 。 、 売 れ さ わ い で い る 、 た に し 一 部 だ い で い で い る 。 、 二 れ さ わ い で い て い る 。 、 二 れ さ わ い で い で い る 。 、 た に 一 新 や し し 一 た に 一 新 一 、 た に 一 、 一 新 た 一 、 二 か で い で い で い で い る 、 た に 一 、 、 二 た た に 一 、 か し 、 つ ち で い て い て い て 、 、 か 一 、 、 た に 一 、 一 、 た 、 た ら わ し し 、 、 か し し 、 、 、 、 か で 、 、 、 、 、 た し し た か し し た い る し し し し っ た が で 、 で の た た た た た た た た た た に 一 、 一 、 、 、 で 、 、 の こ と が 出 、 の 、 の 、 、 、 れ 、 の 、 で し 、 の 、 の 、 の 二 の 、 の 、 の 、 の た の こ ら の こ ら し し こ ら し こ ら し し こ ら し し し こ ら し し こ る ら し し こ ら し し こ る ら し し こ ら し し こ ら し し こ ら し し こ ら し し こ ら し し こ ら し こ こ と が し こ ら し し こ ら し し こ ら し し こ し こ こ ら し し こ こ こ ら し こ ら し し こ こ こ ら し し こ こ ら し し こ ら し こ こ ら し し こ ら し し こ ら し し こ ら つ し こ 、 し つ し つ こ こ し こ し つ し こ ら つ ら つ こ し こ し つ こ し つ し つ こ し つ し し つ こ し つ つ し つ つ つ し つ し し つ し つ こ つ つ し つ つ つ し つ つ し つ つ つ し つ つ つ つ つ つ つ し つ つ つ つ つ つ つ つ つ つ つ つ つ	

Knowing what damage we had in the past is the most essential to mitigate the seismic damage in the future.

We need a good insight to avoid damage which we have not yet experienced.

Kazuhiko Kawashima, 1995

## 1. What Types of Damage of Urban Infrastructures Did We Have in Past?

- 1.1 Damage resulting from ground vibration
- 1.2 Damage resulting from ground deformation and failure of soils
  - 1.2.1 ground deformation
  - 1.2.2 Slope failure and rock falls
  - 1.2.3 Effect of soil liquefaction & lateral spreading
  - 1.2.4 Insufficient bearing capacity of loose clay
- 1.3 Damage resulting from fault displacement
- 1.4 Damage resulting from tsunami
- 1.5 Damage resulting from fire

# 1.1 Damage Resulting from Ground Vibration

Damage resulting from the direct effect of inertia force

 Most common type of damage due to an earthquake

•Extensive research has been conducted to mitigate this type of damage.

## (1) 1923 Kanto Earthquake, Japan

#### Toyokuni Bridge



## (2) 1947 Fukui Earthquake, Japan



## (3) 1971 San Fernando, Earthquake, USA

## Collapse of 5/14 Overcrossing



## (4) 1988 Armenia Earthquake









## (5) 1989 Loma Prieta Earthquake, USA



#### 1989 Loma Priest, USA, Earthquake









## (6) 1992 Cairo, Egypt Earthquake (M5.4)







## Adobe Construction which always resulted in extensive damage worldwide







## (7) 1994 Northridge Earthquake, USA









## (8) 1995 Kobe Earthquake, Japan









### (9) 2008 Wenchuan Earthquake, China







## (10) 2009 L'Aquila Earthquake, Italy

## Collapse of a Student Dormitory

#### Bricks





## Failure of RC columns with poor concrete



## (11) 2010 Maule, Chile Earthquake







## (12) 2011 Christchurch, New Zealand Earthquake



### (13) 2011 Great East Japan Earthquake



Shear failure at cut-off occurred at the bridges where seismic retrofit had not yet been completed

**RC** Jacketing

Fuji Bridge, Iwate-ken



#### Carbon Fiber Wrapping



Elastomeric bearings



## Sendai Bridge (Route

Bridges which were designed in accordance with the post-1990 design code suffered no damage

## Higashi Matsuyama Bride

## Shin-Tenno Bridge (Sanriku Expressway)

## Elastomeric Bearings Ruptured at Some Bridges

## East Sendai Road, NEXCO-East





## Detach of a rubber layer and a s

The steel plate bent in double in a complex manner

**NEXCO-East** 

## A Typical Shinkan-sen Viaduct



#### Damage concentrated at shorter columns



Extensive retrofit program was under the process Retrofitted columns suffered almost no damage





Courtesy of Prof. Takahashi

# Derailing or any damage did not occur for Shinkan-sen trains

The JR early warning system was effective for controlling Shin-kansen trains





Along-coast sensors

Along-line sensors 11 (Shonkaminstensian) ere in operation probably with full velocity

Yamabiko No. 61
ahead 9 second

• 265 km/h -> 235 km/h

#### Yamabiko No. 63

 Started to decrease velocity 70 second ahead of ground shaking

• 270 km/h -> 100 km/h

Hayate No. 26 • 270 km/h -> 150 km/h