

ラーメンサブワーキング 中間報告

早稲田大学
JR東日本

秋山充良
小林將志

CONTENTS

1. 活動方針(目次案)(秋山)
2. 耐震補強効果の定量化(秋山)
3. 津波・地震リスク評価(秋山)
4. RCラーメン構造物における被害と復旧(小林)

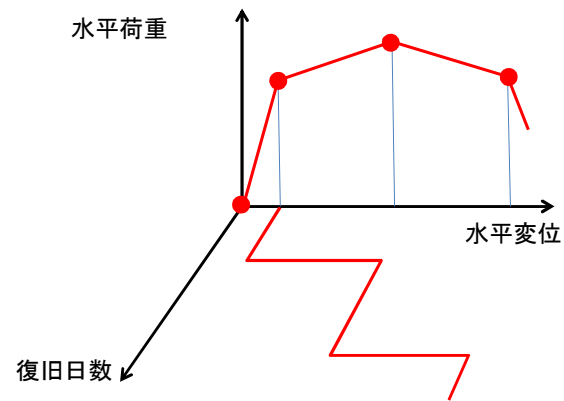
ラーメンサブワーキング 構成員

主査 秋山充良(早稲田大学)
小林將志(JR東日本)
大越靖広(熊谷組)
滝本和志(清水建設)
安同祥(早稲田大学)
宇野州彦(五洋建設)
武田篤史(大林組)
川崎佑磨(立命館大学)
施鐘淇(九州工業大学)
幸左賢二(九州工業大学)

活動方針(目次案)

1. はじめに
2. 鉄筋コンクリート柱部材の地震被害と耐震補強の変遷
→1995年の兵庫県南部地震以降の地震被害のまとめ
(コンクリート構造物全般)
→耐震設計・耐震補強の進捗
(技術の変遷, 道路橋・鉄道橋の耐震補強の現状・課題)
→耐震補強された部材が強震動を受けた場合の地震後健全性評価
→各種論文集や委員会報告書をベースとしたstate of the art
→被害程度と復旧性(復旧性から見た設計限界値への提言)

→被害程度と復旧性(復旧性から見た設計限界値への提言)



→2011年東北地方太平洋沖地震で観察されたラーメン高架橋の被害の再現解析



活動方針(目次案)

3. ラーメン構造物の被害分析

→2011年東北地方太平洋沖地震で観察されたラーメン高架橋の被害(端部の柱に大きな曲げ損傷・軸力保持機能の損失)を再現できるのか? 塑性ヒンジが連続して発生しない, ヒンジが柱の上下端に発生しない観察結果を再現できるのか?

→ラーメン構造物の施工, コンクリート品質の影響

→地中梁の影響(橋軸方向には地中梁は一体化していない)

→2003年三陸南地震と2011年東北地方太平洋沖地震の観測波を用いた応答解析

→ラーメン構造物の地震被害を大きくする要因(地盤・地震動)

被害の生じた構造物と生じなかった構造物の境界は何か?

→耐震補強効果の定量評価

→耐震性能の相対的な比較(特に新幹線高架橋と在来線の比較)

4. まとめ・提言

CONTENTS

1. 活動方針(目次案)(秋山)
2. 耐震補強効果の定量化(秋山)
3. 津波・地震リスク評価(秋山)
4. RCラーメン構造物における被害と復旧(小林)

ラーメン構造物に関する話題



1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake



2003 Sanriku Minami Earthquake



2004 Niigata-ken Chuetsu Earthquake



2011 Great East Japan Earthquake

ラーメン構造物に関する話題

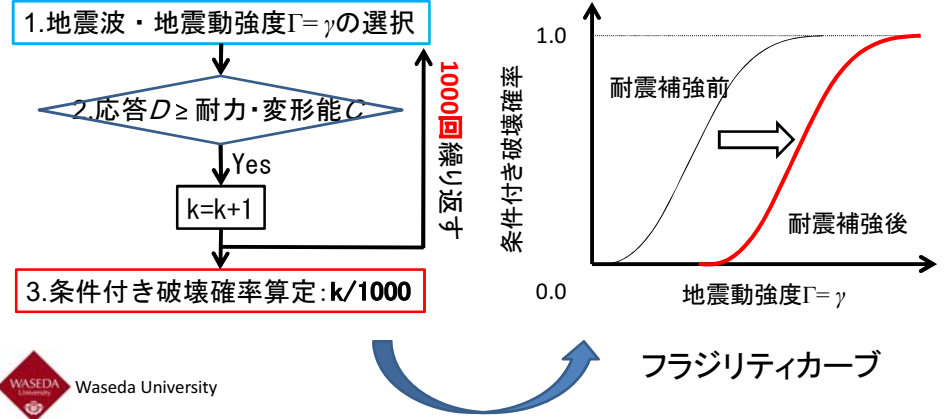


2011年東北地方陸前川口津波震災後

ラーメン構造物に関する話題

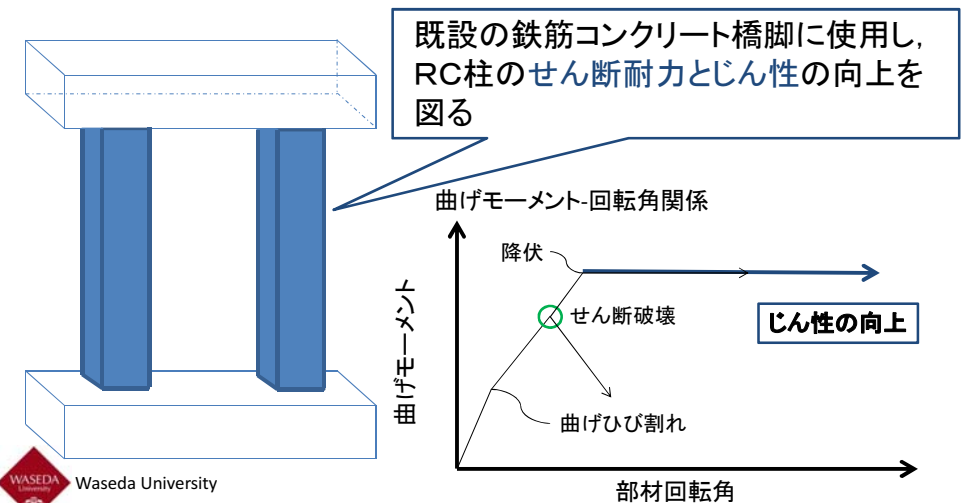
フラジリティ解析による耐震補強効果の評価

フラジリティ解析とは？



ラーメン構造物に関する話題

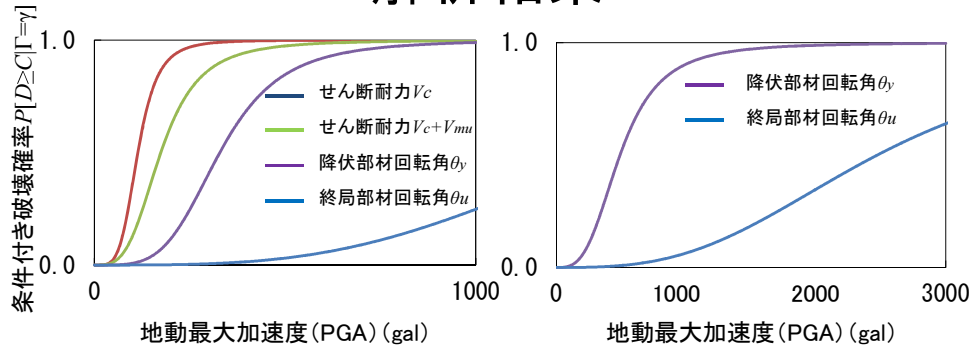
鋼板巻立て補強



ラーメン構造物に関する話題



解析結果



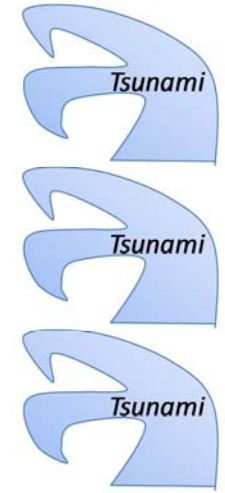
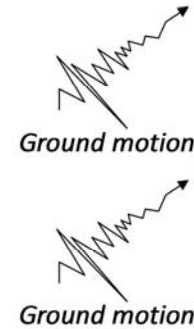
せん断耐力が曲げ耐力に比べて小さく、せん断により損傷する確率が非常に大きい (実際の地震被害に整合)

終局部材回転角を超過する応答が生じる確率は相当に小さい

ラーメン構造物に関する話題



ラーメン高架橋にとって脅威の荷重は強震動か？ 津波か？



ラーメン構造物に関する話題



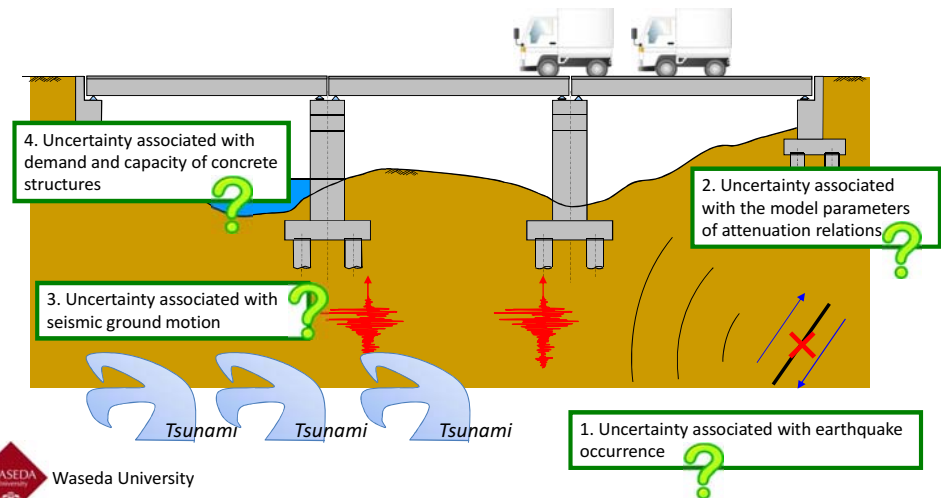
津波荷重を受けたラーメン高架橋



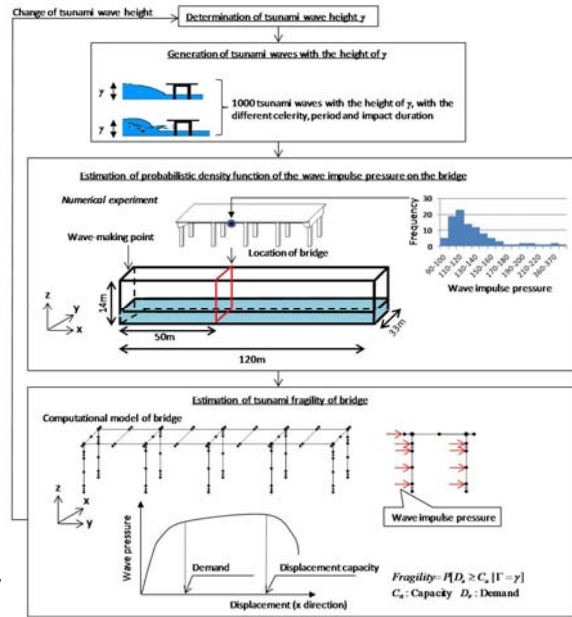
ラーメン構造物に関する話題



Uncertainties Associated with ~~Earthquake~~ Tsunami to be Considered.



ラーメン構造物に関する話題



ラーメン構造物に関する話題



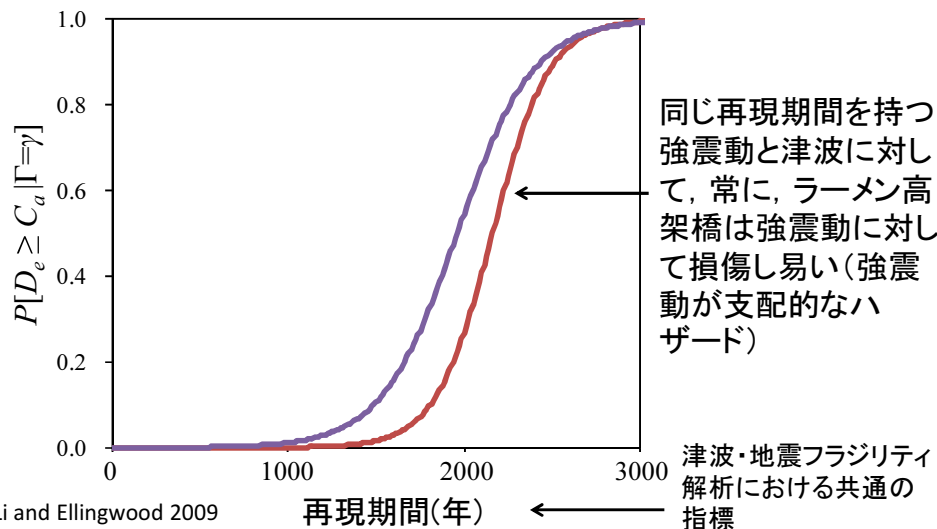
- 1970年代の基準で設計された新幹線ラーメン高架橋柱は地震に対して脆弱である。
- RC柱の鋼板巻き立ては、その耐震性能の向上に大きく寄与する。
- 鋼板巻き立てによる耐震性能の向上度、ハザード(強震動と津波)毎の脆弱性の違いの定量化、あるいは異種構造物(ラーメン高架橋と単柱式RC柱)毎の耐震性の違いを表現するのにフラジリティ解析やリスク評価は有効な手法である。



ラーメン構造物に関する話題



- 津波によるラーメン高架橋の損傷確率
- 強震動によるラーメン高架橋の損傷確率



Li and Ellingwood 2009





CONTENTS

1. 活動方針(目次案)(秋山)
2. 耐震補強効果の定量化(秋山)
3. 津波・地震リスク評価(秋山)
4. RCラーメン構造物における被害と復旧(小林)

報告内容

1. RCラーメン高架橋の地震被害
2. 構造物の損傷
3. 構造物の復旧

1. RCラーメン高架橋の地震被害 (2) 損傷度の分類

損傷度	損傷状況	
A	柱の損傷により桁、梁・スラブが落下し構造物として崩壊している。 ※写真は兵庫県南部地震での損傷例	
B1	断面を貫通するような残留ひび割れが発生し、コアコンクリートの損傷が見られる。かぶりコンクリートの剥離・剥落が広範囲で発生し鉄筋が露出している。軌道面の沈下がある。	
B2	断面を貫通するような残留ひび割れが発生している。かぶりコンクリートの剥離・剥落が広範囲で発生し鉄筋が露出している。軌道面の沈下はない。	
C	目視で確認できる残留ひび割れが(幅0.2mm以上)が発生している。かぶりコンクリートの軽微な剥離・剥落が見られる。	

東北地方太平洋沖地震に
おける損傷範囲

1. RCラーメン高架橋の地震被害 (1) 対象構造物の概要

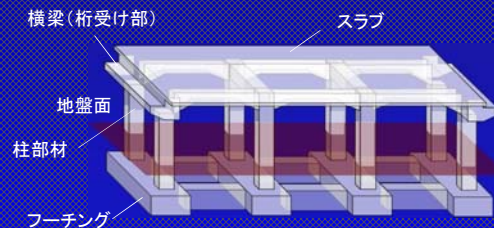
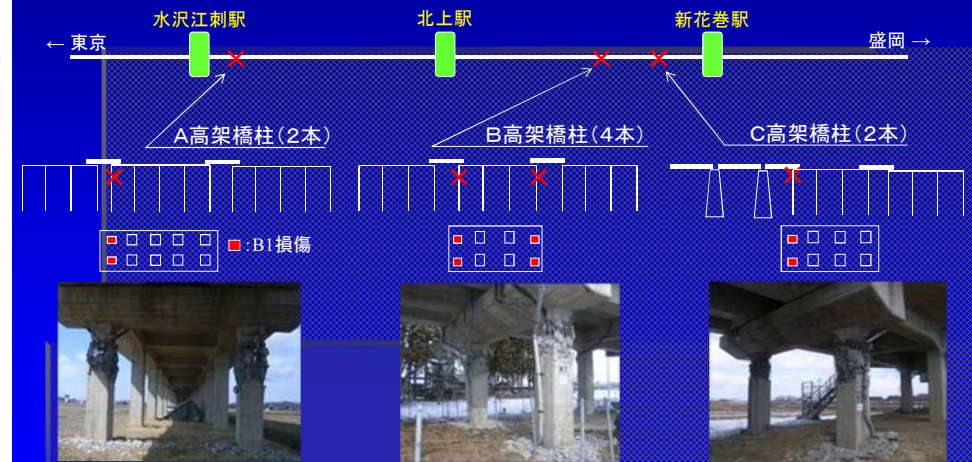


図 ビームスラブ式RCラーメン高架橋のイメージ

2. 構造物の損傷 (1) 損傷度B1の高架橋の状況



- ◆ 柱上端部のコアコンクリートの落下(写真は地震直後の点検時)
- ◆ 柱上端部の軸方向鉄筋の外方への変形(軸方向鉄筋の変形に方向性なし)

2. 構造物の損傷

(2) 周辺ブロックと損傷状況(事例:B高架橋)

No.	延長/径間	ブロック端部柱			損傷度
		断面高(m)	柱高(m)	部材じん性率 μ	
R1	35m/4	0.85	8.50	3.4	B2
R2	35m/4	0.85	8.50	3.4	B2
R3	35m/4	0.85	8.00	3.1	B2
R4	25m/3	0.90	8.00	4.6	-
R5	25m/3	0.90	8.00	4.6	-
R6	25m/3	0.80	7.00	4.4	-
R7	25m/3	0.80	7.00	4.4	B1
R8	25m/3	0.80	7.00	4.4	-
R9	25m/3	0.90	7.50	4.5	-

◆同程度の性能の周辺ブロックには、顕著な損傷が認められない。

2. 構造物の損傷

(4) 主な被害分析概要

■被災ブロック前後ブロック間の状況

- ・ 特定のブロックに損傷が集中
- ・ 同程度の性能の周辺ブロックには、顕著な損傷が認められない

■同一ブロック内の柱部材間の状況

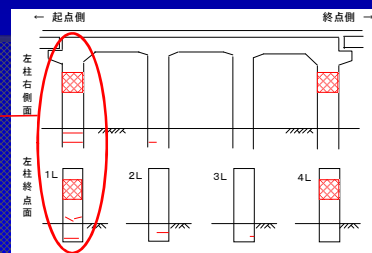
- ・ 曲げ破壊は起終点の端部に集中

■同一柱部材内の状況

- ・ 損傷位置は、柱上端から1D程度下の1D区間で発生し、コアコンクリートがほぼ抜け落ちる断面あり
- ・ 曲げ破壊した柱部材の下端部は、曲げモーメントによる残留ひび割れが数本程度

2. 構造物の損傷

(3) ブロック内の柱の損傷状況



- 曲げ破壊は起終点の端部に集中
- 曲げ破壊の位置は、柱上端部から1D程度下の1D区間で発生し、コアコンクリートがほぼ抜け落ちる断面あり
- 曲げ破壊した柱部材の下端部は、曲げモーメントによる残留ひび割れが数本程度

3. 構造物の復旧

(1) 損傷度と部材の耐震性能

A(損傷レベル4)



※写真は兵庫県南部地震

B1(損傷レベル3)



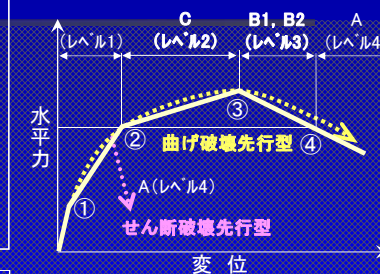
B2(損傷レベル3)



C(損傷レベル2)



■RC部材の損傷レベルと荷重変位関係



- ①: ひび割れ発生
- ②: 軸方向鉄筋の降伏
- ③: 軸方向鉄筋の変形(孕み出し) かぶりコンクリートの剥落
- ④: コアコンクリート圧壊 軸方向鉄筋低サイクル疲労破壊

3. 構造物の復旧 (2) 復旧性に関する分析

● 損傷度と復旧完了期間

	損傷度	箇所数	実績期間 (平均) (単位:日)			
			地震発生 ～着工	復旧 工事	施工 完了	復旧 完了
			本震時 (2011.3.11)	B1	3	2.7
	B2	10	4.3	4.2	8.5	11.5
	C	12	6.4	2.4	8.8	11.8
余震時 (2011.4.7)	B1	2	3.4	5.7	9.1	12.1
	B2	2	1.4	3.3	4.6	7.6
	C	9	3.9	2.2	6.1	9.1

注) 本震時の損傷度B1の復旧工事は昼夜施工

損傷度B1の構造物の復旧を昼夜施工で行った結果、復旧完了期間が、損傷度によらず同程度

電柱の復旧工事がクリティカルであったため、損傷度B1の構造物の復旧を昼夜施工を実施せず、他の1.5倍程度

● 損傷度と復旧工事の施工期間 (実績)

	損傷度	箇所数	step (単位:日)					
			step0	step1	step2	step3	step0~3	
			準備工	※1	鉄筋再配置	断面回復+養生		
本震時 (2011.3.11)	B1	3	1.5	1.8	1.3	3.5	8.2	
	B2	10	1.7	1.8	0.6	3.7	7.8	
	C	12	1.5	—	—	4.6	6.1	
余震時 (2011.4.7)	B1	2	2.5	2.0	1.1	3.6	9.2	
	B2	2	0.6	1.1	1.2	3.8	6.8	
	C	9	0.7	—	—	5.0	5.7	

注1) 本震時の損傷度B1の工事期間の施工は昼夜施工(養生期間を除く)
※1 損傷度B1は板受け、ハツリ及びジャッキアップ、損傷度B2はハツリ及びびびり割れ注入。

復旧工事完了までの施工期間は、損傷度の大きさの順で長い傾向があるが、施工期間は6~9日程度と大きくばらつかない。

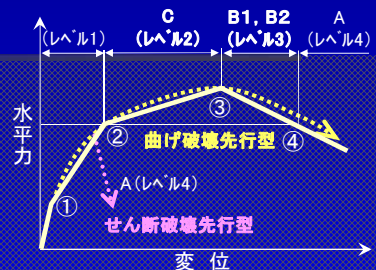
3. 構造物の復旧 (3) 復旧性に関する分析

■ 損傷レベルと復旧性 (損傷レベル2-3の場合)

◆ 昼間施工の場合：6~9日程度

※分析した構造物の条件

- ・ 構造諸元が明確
- ・ 構造物の周辺環境が良好 (側道有り)
- ・ 構造物の設置環境は全て陸上部
- ・ 損傷が気中部に集中
- ・ 水平方向の残留変形がほとんど無い



[RC部材の損傷レベルと荷重変位関係]

◆ 復旧性は、静的な荷重変位関係から、一義的に決めることが難しい。