

## 第 4 回 定 期 研 究 会

## 平成 22 年度 SGST 第 4 回定期研究会 議事録

日時：平成 22 年 10 月 29 日(金) 16:00 ~ 17:30

場所：愛知工業大学 本山キャンパス 多目的室

出席者：永田，奥村（名工大），北根（名大），木下（岐阜大），小塙（名城大），川西（豊田高専），野田，行友（中日本 HW.E），柴田（名公社），安藤（日本工営），泉野，中田（玉野 C），林（協和 C），杉本（創建），加藤（中日本 C），岡本（パシ C），川瀬（日中 C），藤澤（新三重 C），神頭，吉嶺（日車），安藤，織田，中川，亀山，岩田，森田，阪野，YA，松村（瀧上）

29 名(敬称略)

### 1. 定期研究会 (16:00 ~ 17:30) (永田幹事)

講演者：立命館大学 准教授 野坂 克義 先生

講演項目：「関西道路研究会の最近の活動と鋼橋の維持管理技術の将来展望」

土木学会 CPD プログラム認定番号 JSCE10-0563

#### 講演内容

講演「関西道路研究会の最近の活動と鋼橋の維持管理技術の将来展望」：

関西道路研究会の活動として、調査・研究、講演会、道路視察、出版、表彰制度などについてご紹介頂いた。また、現在の小委員会の活動内容および所属されている「既設橋梁の損傷の簡易点検検査および緊急・応急補修工法検討小委員会」の詳細内容についてご講演頂いた。

所属される当該小委員会の中の WG-B の活動における「機械的添接・CFRP 板接着による補修・補強」の研究を事例に詳細説明を頂いた。耐荷力実験ならびに FEM 解析による検証、亀裂補修による応急処置に関する課題点などのご説明を頂いた。

以上の研究活動に加え、研究に携われているレンガ構造物（文化財）の亀裂補修に関する貴重な検討結果のご説明を頂いた。

本発表については、既設構造物の点検・応急補修に関する最先端の研究であることから、参加者の関心も高く、活発な質疑応答が行われた。

以上//

平成 22 年 10 月 29 日 H22.SGST 第 4 回定期研究会

講演題目：「関西道路研究会の最近の活動と鋼橋の維持管理技術の将来展望」

土木学会 CPD プログラム認定番号 JSCE10-0563

講演者：京都大学 教授 杉浦 邦征 先生

立命館大学 准教授 野阪 克義 先生

会場：愛知工業大学 本山キャンパス（愛知県名古屋市）

講演日時：平成 22 年 10 月 29 日（金） 16:00 ~ 17:30

講演要旨：

現在行われている関西道路研究会全体の概要についての紹介をする。また、既設橋梁の損傷の簡易点検検査および緊急・応急補修工法検討小委員会の活動内容について、今後必要とされる橋梁の維持管理技術と関連させての紹介を行う。最後に小委員会での活動内容と関連する、現在行われている研究例の紹介をする。

**関西道路研究会の最近の活動と鋼橋の維持管理技術の将来展望**

～最近の研究紹介も含めて～

立命館大学 理工学部 野阪克義

4

## 関西道路研究会の活動

- 調査・研究
  - 研究会活動の中心となるもので、設計・構造解析・施工・材料・交通・法制など道路に関する広い分野についてそれぞれ特別委員会を設置して活発な活動を実施
- 講演会
  - 会員の教養や知識のかん養を図るため、6月の総会時にユニークな講演会を催している
- 道路視察
  - 年1回、計画や工法に優れた道路あるいは関連施設等の視察を実施
- 出版
  - 研究会の活動・会務報告のほか、会員の研究発表や工事報告等を内容とする「会報」を年1回発行（昭和50年創刊）しているほか、時節に応じた記念出版
- 表彰
  - 研究会には会員の表彰制度あり

2

## Outline

- 関西道路研究会
  - これまでの関西道路研究会
  - 現在の関西道路研究会
- CFRP板を用いた鋼橋の補修・補強の可能性
  - 耐荷力
  - 亀裂補修
- 研究紹介
  - 鋼桁のせん断強度と曲げとせん断の相関
  - レンガアーチ橋の数値解析手法に関する検討

5

## 委員会活動

- 内外の学識経験者による講演や、橋梁に関する最新の動向の紹介
- 委員の調査研究成果の発表
- 長大橋など主要橋梁の設計・施工に関する報告
- 橋梁工事現場の実地見学
- 小委員会等の調査研究成果の報告

3

## これまでの関西道路研究会

- 昭和5年12月（旧）関西道路研究会創立
- 昭和14年2月 日本道路技術協会関西支部となる。
- 昭和23年6月 日本道路協会の設立に伴い、上記関西支部が解散
  - 解散式の席上、関西都市道路研究会の設立が提唱される。
- 昭和24年10月 関西都市道路研究会創立
  - （この時点をもって、関西道研究会の創立とする）
- 昭和35年6月 関西道路研究会と改称、現在に至る。

6

## 現在の小委員会活動

- 橋梁プロジェクト企画調査研究小委員会
  - 小委員長 奈良 敬 大阪大学教授
- 社会インフラのリスク評価に関する研究小委員会
  - 小委員長 古田 均 関西大学教授
- 橋梁の振動・騒音の評価、地震リスクの検討に関する小委員会
  - 小委員長 川谷 充郎 神戸大学教授
- 既設橋梁の損傷の簡易点検検査および緊急・応急補修工法検討小委員会
  - 小委員長 杉浦 邦征 京都大学教授
- 強風・波浪にもとづく外力および応答評価小委員会
  - 小委員長 白土博通 京都大学教授

<p><b>現在の小委員会活動</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・橋梁プロジェクト企画調査研究小委員会           <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 我が国が迎えている少子高齢化社会に必要な社会基盤整備について考え方、今後必要とされる社会基盤施設を企画し、その実現に必要な技術開発について調査検討を行う</li> </ul> </li>   <li>・社会インフラのリスク評価に関する研究小委員会           <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 橋梁を中心とした社会インフラの安全性を考慮したリスク評価に関する研究</li> <li>◦ 過去の橋梁の事故例から今後のリスク評価のありかたについて検討</li> <li>◦ 設計、施工、供用中、特に供用中の安全性に焦点を絞り、ならびにヒューマンエラー等にも検討を加える</li> <li>◦ 絶対的な安全性を確保することは不可能であるので、事故が起きたときの対処の方法に対しても研究を行う</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>既設橋梁の損傷の簡易点検検査および緊急・応急補修工法検討小委員会</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・損傷発生・発見時における応急対策的な補修法の確立は、交通機能維持の観点からも、現場においては重要な課題</li> </ul> <p style="text-align: center;">↓</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・橋面上からの効率的な点検検査法</li> <li>・健全性モニタリング</li> <li>・機械的添接接合およびFRPなどの新材料を貼り付ける応急補修工法</li> <li>などの技術開発動向を調査、今後の鋼橋の維持管理のあり方について提言する</li> </ul>
---	--

<p><b>現在の小委員会活動</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・橋梁の振動・騒音の評価、地震リスクの検討に関する小委員会           <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 橋梁の振動・騒音の評価               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 道路交通振動の現状分析を実地調査を含めて行い、解析的検討を通して振動影響軽減対策の提案を目的とする。</li> </ul> </li> <li>◦ 橋梁の地震リスクの検討               <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ リスクマネジメントへの適用を視野に入れた橋梁地震リスクを行なうための手法を整理するとともに、情報収集と事例検討を通じて実際への適用について検討</li> </ul> </li> </ul> </li>   <li>・強風・波浪にもとづく外力および応答評価小委員会           <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 波力・潮流の設計外力の考え方について、各種設計規基準の調査、突風の確率モデルや空気力評価に関する研究調査、応答評価手法の調査と試算、風波間の相互作用に関する研究動向の調査や、外部専門家による気候変動に関する講演などを通じて検討を加える</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>既設橋梁の損傷の簡易点検検査および緊急・応急補修工法検討小委員会</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・話題提供           <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ CFRP板接着による鋼構造物の補修・補強について(野阪)</li> <li>◦ 門真ジャンクション(鋼上部工)工事(川田工業㈱ 松井委員)</li> <li>◦ 橋梁モニタリングの現状と課題(京都大学 大島先生)</li> <li>◦ 鋼道路橋の支点上補剛材の補修設計(大阪市立大学 山口先生)</li> <li>◦ 鋼道路橋の腐食した桁端の耐力特性とその設計法に関する2,3の考察(大阪市立大学 山口先生)</li> <li>◦ 阪神高速道路の橋梁管理の現状と課題(阪神高速道路㈱ 坂井委員)</li> <li>◦ 簡易な振動計測による橋梁の診断(瀧上工業㈱ 松村委員)</li> <li>◦ 鋼構造物の腐食耐久性照査マニュアル(京都大学 杉浦先生)</li> <li>◦ 鋼構造物の検査計測事例紹介(NICHIZO TECH 三谷委員)</li> </ul> </li> </ul>
---	--

<p><b>既設橋梁の損傷の簡易点検検査および緊急・応急補修工法検討小委員会</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・近年、橋梁の老朽化にともない、鋼橋では腐食による減肉や疲労亀裂といった損傷が徐々に顕在化</li>   <li>・このような損傷に対する補修や補強などの対策工技術に関する研究の重要性が増加</li>   <li>・特に、点検検査、残存性能評価、補修補強の適切なサイクルによる維持管理工程によって、老朽化する橋梁を延命化する技術の確立は急務</li> </ul>	<p><b>既設橋梁の損傷の簡易点検検査および緊急・応急補修工法検討小委員会</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・WG-A: モニタリング・簡易点検・検査手法           <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 「簡易」点検や緊急補修を扱うことを目的</li> <li>◦ 日常点検や定期点検レベルでのモニタリング技術を扱うべき</li> <li>◦ また過去の技術レビューについては鋼構造協会のテクニカルレポートに詳しく述べるので差別化が必要</li> </ul> </li> <li>・WGの方針について           <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 損傷別事例の収集</li> <li>◦ 損傷メカニズムの掘り下げ</li> <li>◦ モニタリングで検知可能な損傷程度の把握</li> <li>◦ 損傷、検知、安全性という3つの指標レベルを想定し整理</li> </ul> </li> </ul>
---	---

13

## 既設橋梁の損傷の簡易点検検査および緊急・応急補修工法検討小委員会

- WG-B: 機械的添接・CFRP板接着による補修・補強
  - 緊急・応急補修に関連した文献を調査する。
  - 発注者側(大阪市、阪高、JR他)へのアンケートを実施する。
  - 緊急・応急の定義付け
  - 機械的添接およびCFRP板接着による補修の位置付け
  - 緊急・応急の定義付けや本テーマの位置付けについては、文献調査やアンケート結果およびこれまでの経験をもとに議論し決定していく。

緊急・応急補修の対象付はどうするか?

16

## Outline

- 関西道路研究会
  - これまでの関西道路研究会
  - 現在の関西道路研究会
- CFRP板を用いた鋼橋の補修・補強の可能性
  - 耐荷力
  - 亀裂補修
- 研究紹介
  - 鋼桁のせん断強度と曲げとせん断の相関
  - [レンガアーチ橋の数値解析手法に関する検討](#)

14

## Outline

- 関西道路研究会
  - これまでの関西道路研究会
  - 現在の関西道路研究会
- [CFRP板を用いた鋼橋の補修・補強の可能性](#)
  - 耐荷力
  - 亀裂補修
- 研究紹介
  - 鋼桁のせん断強度と曲げとせん断の相関
  - レンガアーチ橋の数値解析手法に関する検討

17

## おわり

ご静聴ありがとうございました。

15

## Outline

- 関西道路研究会
  - これまでの関西道路研究会
  - 現在の関西道路研究会
- CFRP板を用いた鋼橋の補修・補強の可能性
  - 耐荷力
  - 亀裂補修
- 研究紹介
  - [鋼桁のせん断強度と曲げとせん断の相関](#)
  - レンガアーチ橋の数値解析手法に関する検討

## Overview

- 鋼桁の補強
  - 座屈, 実験
- 亀裂補修
  - 応力拡大係数
  - プレストレス
  - 応力拡大係数の低減

1

## 鋼桁の補強～実験概要～

- 連続ばかり中間支点付近断面(負曲げ)
- 変曲点を単純梁の両支点, 中間支点反力を中央集中荷重として載荷

4

## CFRP板と接着剤

- 炭素繊維強化樹脂板
- Carbon Fiber Reinforced Polymer
- 炭素繊維をエポキシ樹脂などで硬化させた板状のもの
- 比重が小さい
- 劣化しにくい
- 高強度または高弾性が可能

2

## 鋼桁の補強～実験供試体～

Specimen	$b$ (mm)	$t_f$ (mm)	$D_w$ (mm)	$t_w$ (mm)	$L$ (mm)	$F_{yf}$ (MPa)	$F_{rf}$ (MPa)
N-90	175.2	11.2	615.8	6.3	1935.0		
S-90	174.6	11.2	614.3	6.2	1937.6		
N-120	192.6	12.1	826.0	6.1	2597.4		
S-120	191.5	12.1	825.5	6.1	2603.7		

▶ アスペクト比  
 $d_f/D_w = 0.8$   
 ▶ 横補剛間隔  
 制限値の44%  
 ▶  $V/Vu \leq 0.6$

5

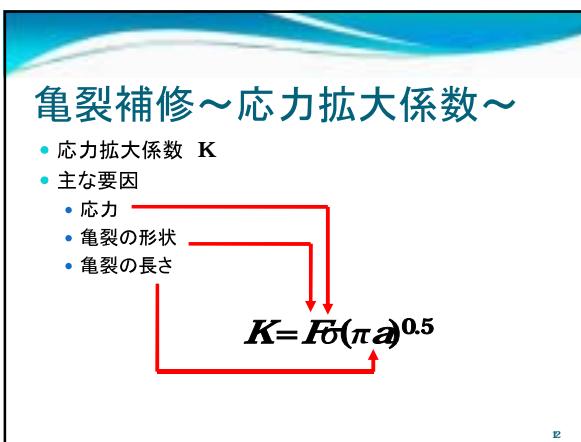
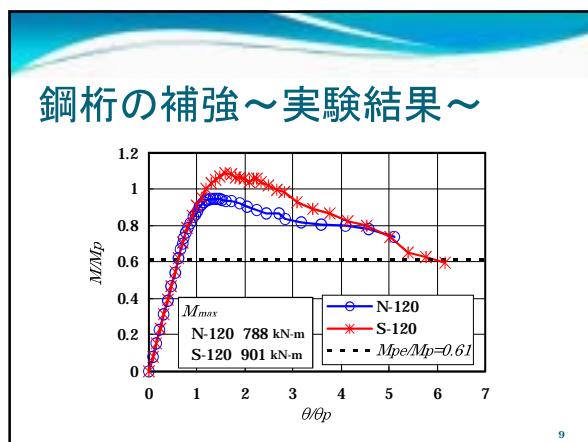
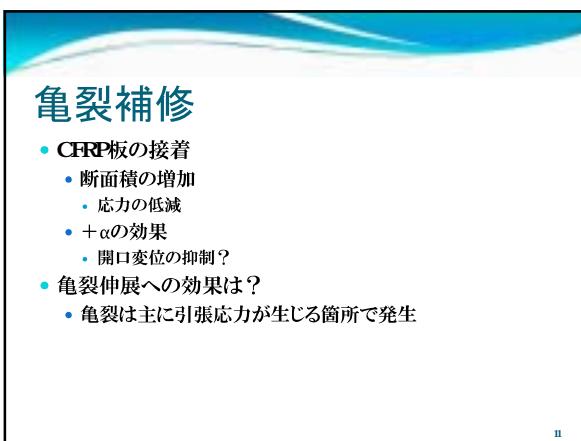
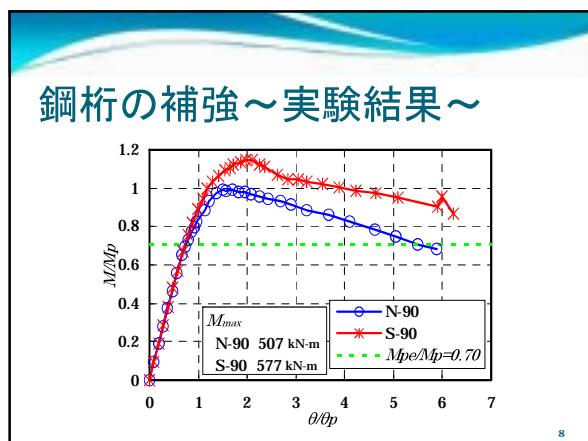
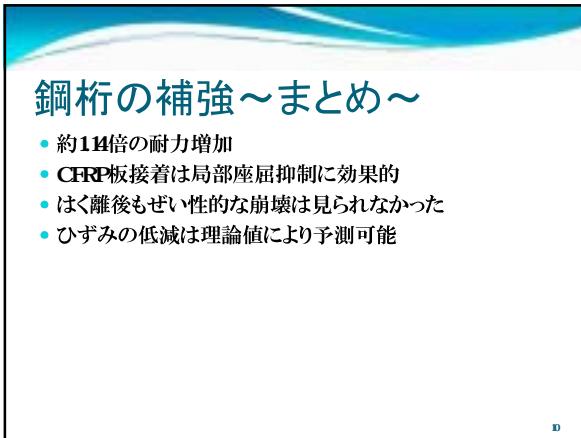
## 鋼桁の補強

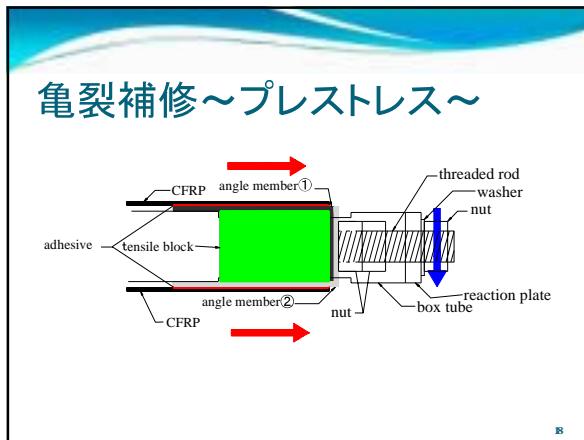
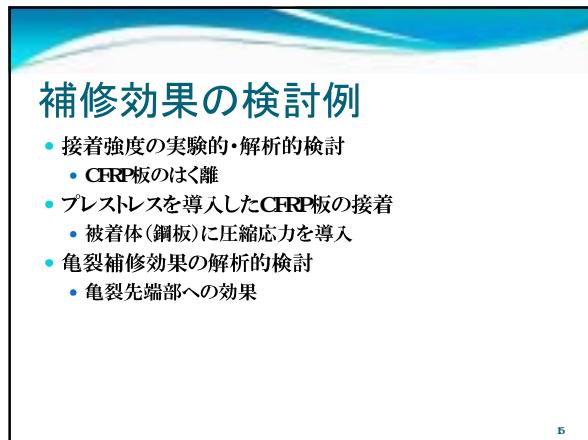
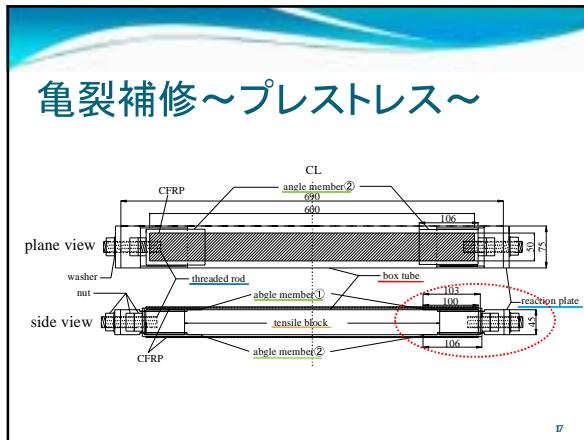
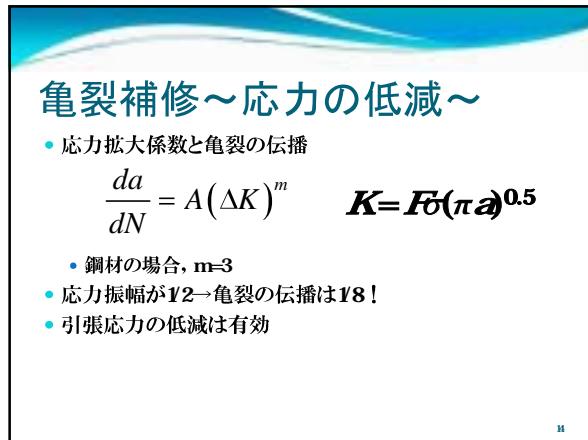
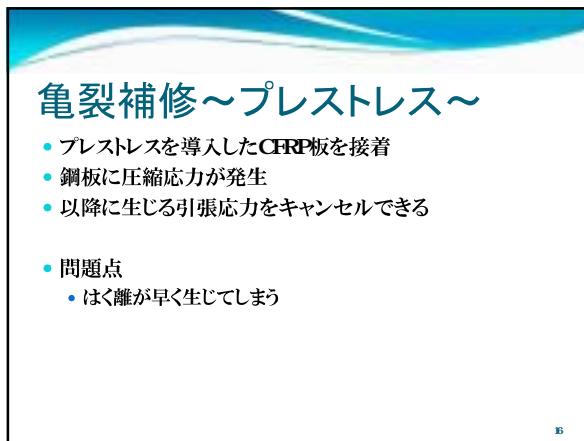
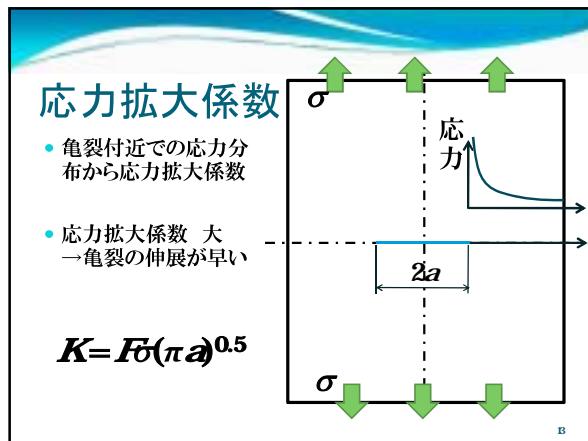
- 鋼I桁の耐荷力や塑性変形能改善にCFRP板接着補強が有効か実験的に検証
  - CFRP板接着により局部座屈発生を抑制
- 問題点
  - はく離はいつ発生するか?
  - CFRP板のはく離後はせいた性的な崩壊か

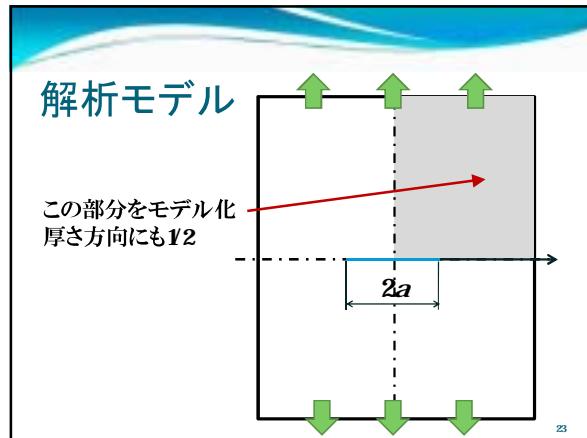
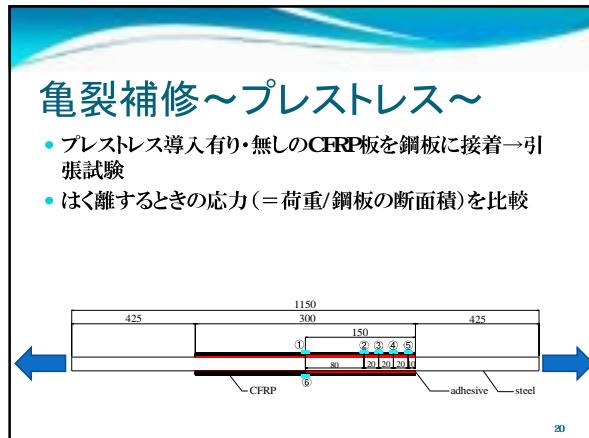
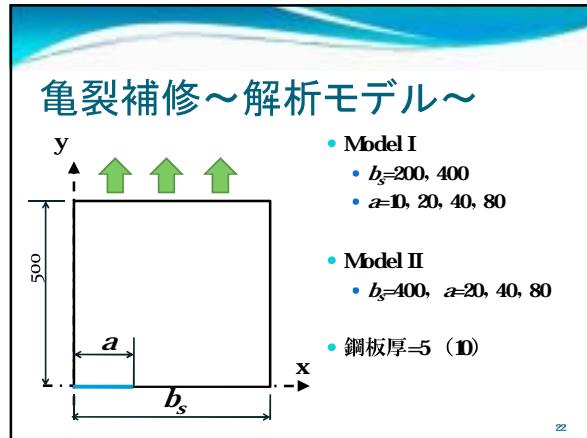
3

## 鋼桁の補強～実験供試体～

6





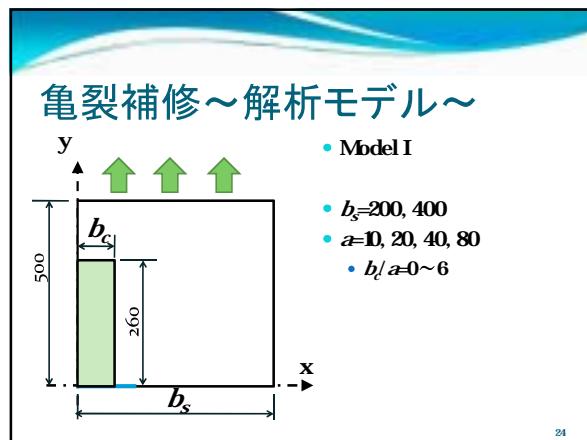


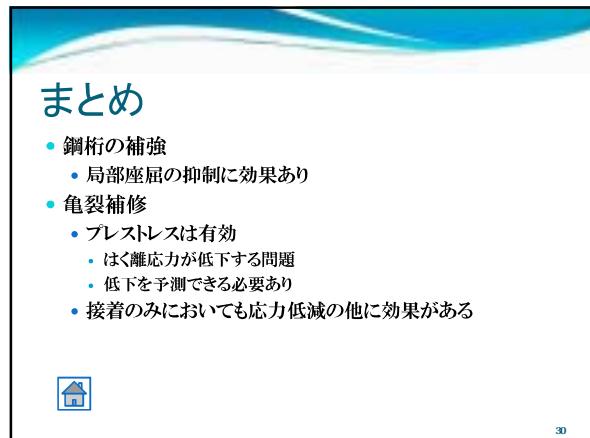
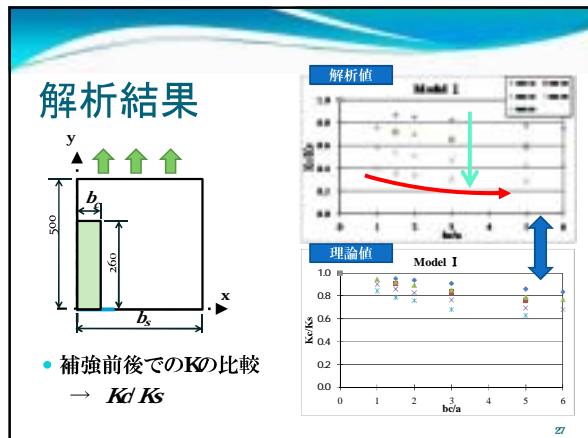
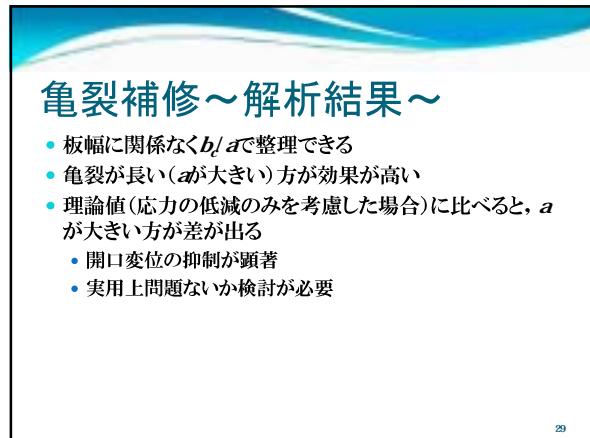
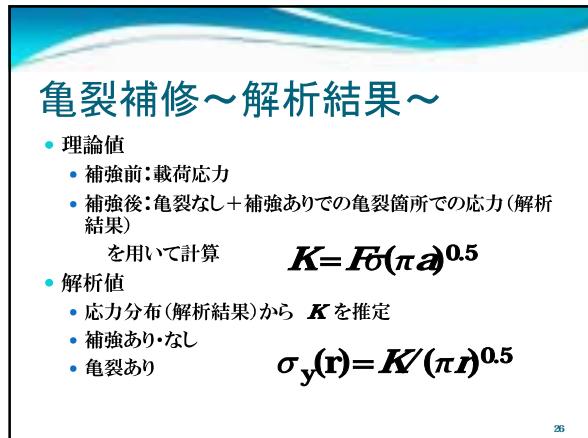
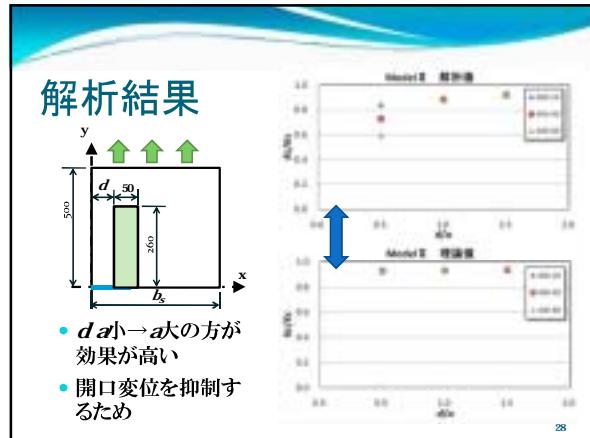
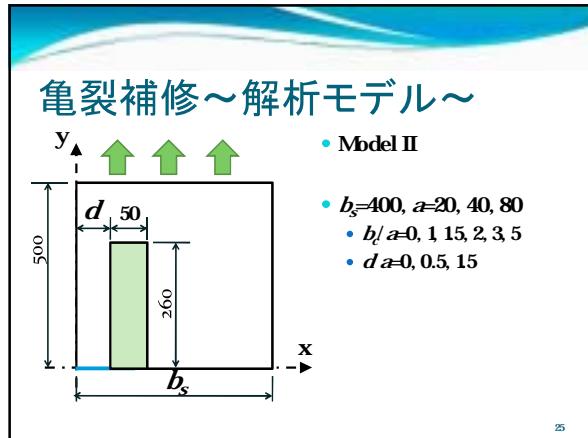
### 実験結果

- データに大きなばらつき
  - 人為的?
  - 作業は素人
- 剥離応力の低下
  - 予想よりも大きい
  - 予測する方法を検討する必要有り
- 検討した応力程度であれば疲労の影響は小さい

供試体	鋼板の幅 (mm)	鋼板の厚 さ(mm)	荷重 (kN)	剥離応力 (N/mm <sup>2</sup> )	平均値(N/mm <sup>2</sup> )
p0	31.0	19.2	1000	16	
Fp0	31.0	19.2	1000	456	455
p20	31.0	19.2	1000	24	
Fp20	31.0	19.2	1000	454	174
p30	31.0	19.2	1000	26	
Fp30	31.0	19.2	1000	163	194

21





## 鋼桁のせん断強度と曲げとせん断の相関

### 背景及び目的

□ 比較的薄肉なI形断面桁の数値解析

- せん断強度の確認
- 曲げとせん断の相関についての確認

□ 今後の指針作りの基礎資料を与える

- 我が国独自の指針作りは可能か？

□ 連続合成桁の中間支点付近を対象

- 比較的大きなせん断力を受ける
- 床版のせん断強度、曲げ強度への寄与は少ない
- 鋼桁のみをモデル化

4

### Outline

- 背景および目的
- 鋼桁の耐荷力式
- FEMパラメトリック解析の概要
- FEMパラメトリック解析結果
- まとめ

### 鋼桁の耐荷力式

□ せん断耐荷力式

- バスラーの式
- 前田らの式
- 米国 AASHTO LRFDで採用されている式

□ 曲げ耐荷力式

- 三上の式
- 米国 AASHTO LRFDで採用されている式

□ 曲げとせん断の相関

5

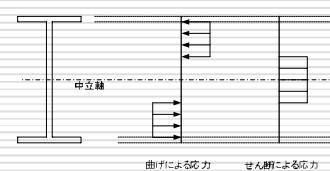
### 背景および目的

- 許容応力度設計法から性能照査型設計法へ
  - 多様な設計法
  - 限界状態→後座屈強度の考慮
- 部材数の低減→製作コストの削減
- ハイブリッド桁
  - フランジにウェブより高強度な鋼材を使用
- せん断耐荷力←ハイブリッド桁に対しては？
  - 斜張力場作用を認めるのか？
  - 曲げとせん断の相関はあるのか？
    - 曲げを受けたときのウェブの先行降伏の影響

### 曲げとせん断の相関

□ ハイブリッド桁における曲げとせん断の相関

- ウェブの先行降伏によりさらにせん断耐力が低減
- 斜張力場作用(後座屈強度)は認められていなかった
- 2004年度版LRFDにおいて斜張力場作用が認められた
  - ホモジニアス桁とハイブリッド桁で同じ耐荷力式を採用



6

### FEMパラメトリック解析の概要

- 2主桁橋を想定
- FEM解析
- 合計320体
  - 2軸・1軸対称桁

D (mm)	$2D_c/t_w$	$b_w/t_c$	$D_c/t_w$	$F_{yf}/N/mm^2$	$F_{yw}/N/mm^2$	$d_0/D$	中間垂直 補剛材厚設計
3000	125		0.50	430	235	1	道路橋示方書
	150	6	0.75		355	2	AASHTO (LRFD)
	180					3	

7

### FEMパラメトリック解析の概要

- 単純ばかり中央1点載荷
- 残留応力とウェブの初期不整を考慮
- $E=200,000N/mm^2$
- $V=0.3$
- 弹性-完全塑性を仮定
- 要素分割数
  - ウェブ:30~60
  - フランジ:6~8

10

### FEMパラメトリック解析の概要

- 5つの載荷経路
  - 曲げとせん断の相関を確認

8

### FEMパラメトリック解析結果

- 垂直補剛材の設計方法による違いは小さい
- 以降の考察では垂直補剛材がAASHTO
- LRFDで設計されたものを対象とする

	$M/M_n$	平均値	最大値	最小値	標準偏差
道路橋示方書	0.947	1.019	0.838	0.053	
AASHTO	0.942	1.021	0.838	0.055	

	$M/M_n$	平均値	最大値	最小値	標準偏差
道路橋示方書	0.919	1.021	0.871	0.053	
AASHTO	0.919	1.021	0.871	0.053	

11

### FEMパラメトリック解析の概要

- 供試体名

**asy-18-2-40-A-3**

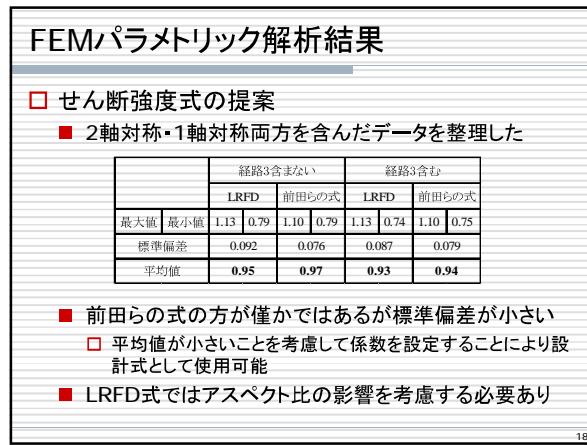
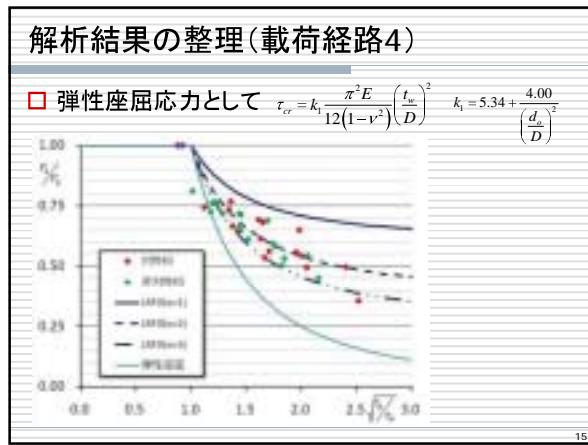
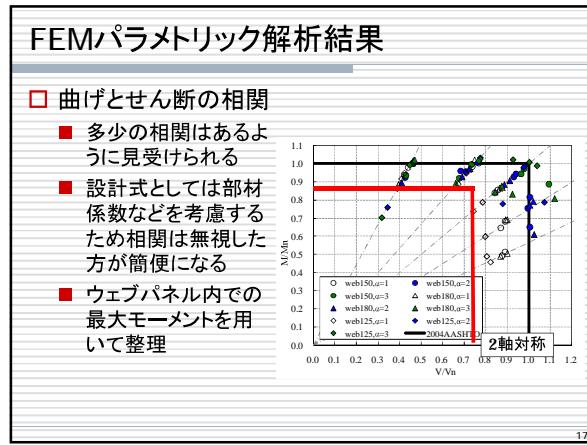
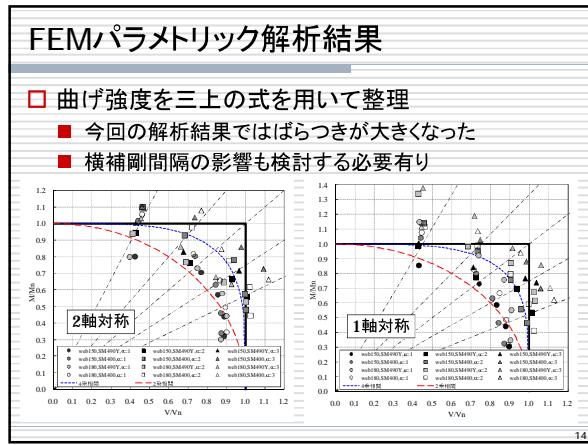
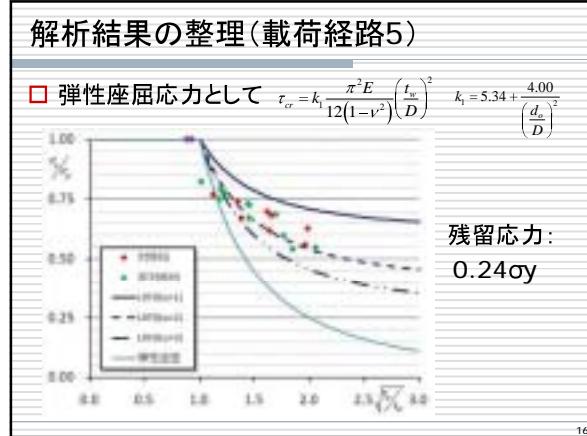
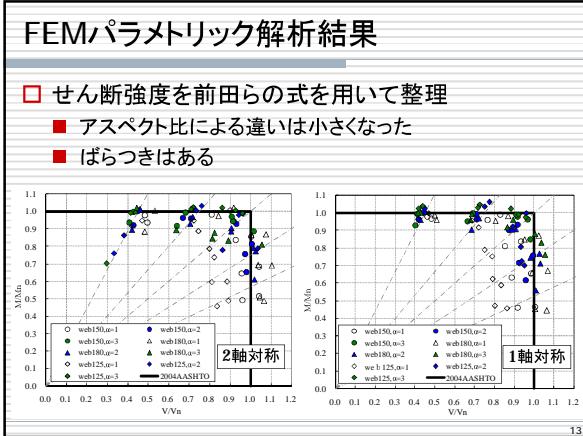
スパンの長さ:1~5  
中間垂直補剛材厚の種類:  
A (AASHTO), J(道路橋示方書), N(なし)  
ウェブ鋼材の種類:40 (SM400材) または 49 (SM490Y材)  
アスペクト比( $d_0/D$ ):1, 2, 3  
ウェブ幅厚比( $D_c/t_w$ ):12.5 (125), 15 (150), 18 (180)  
断面の対称性:asy ( $D_c/t_w=0.75$ ), sy ( $D_c/t_w=0.50$ )

9

### FEMパラメトリック解析結果

- LRFDのせん断、曲げ耐荷力で整理
  - アスペクト比の影響大
  - ウェブ鋼材の影響小

12



## FEMパラメトリック解析結果

### □ せん断強度式の提案

- 基本はAAHSTO\_LRFD式
  - アスペクト比に応じて変化する係数を用いて修正
  - $V_{n\_pro} = V_n \times f(\alpha)$
- $$f(\alpha) = \left( \frac{\sin \theta_{\alpha=2}}{\sin \theta_\alpha} \right)^\lambda$$

#### ■ $\lambda$ の決定方法

- ケースi: 無次元化耐荷力において、2軸対称桁と1軸対称桁全てを含んだ平均値が1.0となるように決定する。
- ケースii: 無次元化耐荷力において、2軸対称桁と1軸対称桁それぞれにおいて、アスペクト比による無次元化耐荷力の変化が最小となるように決定する。

19

## まとめ

### □ 得られた主な結果

- 前田らの式はアスペクト比による差は小さいがばらつきが大きくなった
- LRFD式のアスペクト比の違いを修正する係数を提案した

	LRFD	前田らの式	提案式	
			$\lambda = \lambda_1$	$\lambda = \lambda_2$
角丸柱	1.13	0.79	1.10	0.79
標準偏差	-	-	0.092	0.076
平均値	-	-	0.95	0.97
			1.00	0.98



22

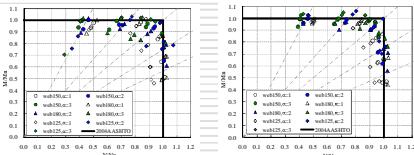
## FEMパラメトリック解析結果

### □ せん断強度式の提案

#### ■ 提案式の比較

	LRFD	前田らの式		提案式	
		ケースi	ケースii	ケースi	ケースii
最大値	1.13	0.79	1.10	0.79	1.09
最小値	0.79	0.79	0.81	0.81	0.81
標準偏差	0.092	0.076	0.058	0.058	0.045
平均値	-	-	1.00	1.00	0.98

#### ■ ケースiiが最も標準偏差が小さい→妥当



20

## まとめ

### □ ハイブリッド桁の耐荷力に関する数値解析

- 2軸対称桁・1軸対称桁、ウェブ鋼材、ウェブ幅厚比、アスペクト比のパラメータを組み合わせ、計320体の解析モデル

### □ 得られた主な結果

- LRFDで採用されているせん断耐荷力式はアスペクト比1.0でやや危険側、3.0でやや安全側
- 曲げとせん断の相関が僅かに見受けられたが、部材係数などの安全係数で対応可能であり、耐荷力式には含まれない方が簡単な式となる

21

## 研究目的・背景

- ・幕末から明治にかけてレンガ構造物が建てられた
- ・現在でも当時建設された状態で供用している構造物が多い
- ・その歴史性と意匠性から、近代化遺産としての保存・活用が注目を集めている



レンガアーチ橋の力学特性に関する基礎的な検討

1

## 橋脚の亀裂



4

## 被害事例

- ・南禅寺水路閣

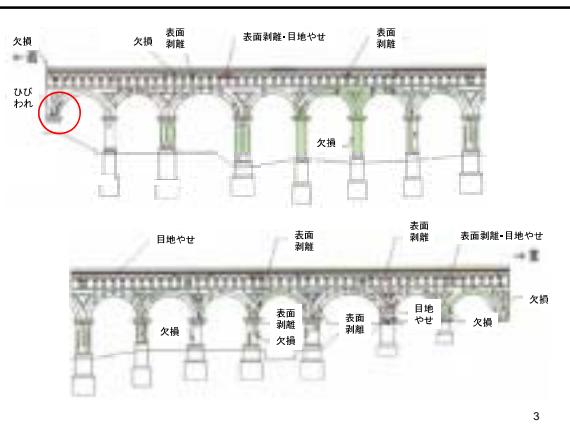


2

## 橋脚の亀裂



5

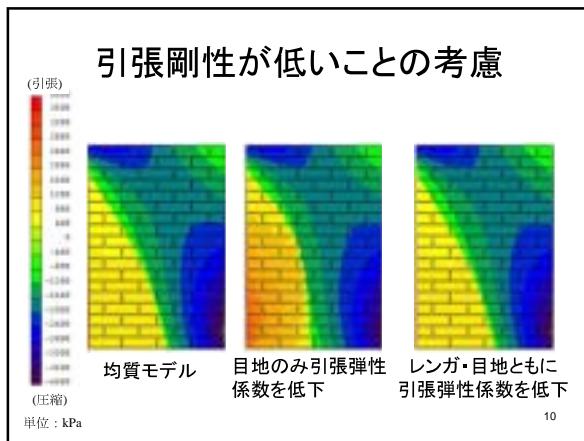
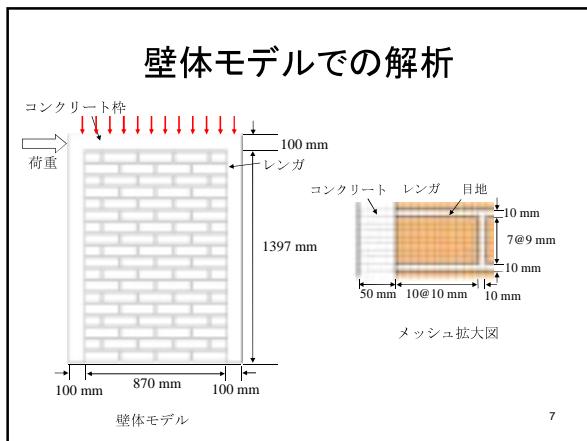


3

## 研究内容

- ・レンガ構造壁体と単径間のアーチ橋モデルを作成、有限要素法による静的解析
- ・レンガアーチ橋の目地部での損傷を弾性係数の低減により再現、橋軸方向変位および不同沈下に関する基礎的な検討

6



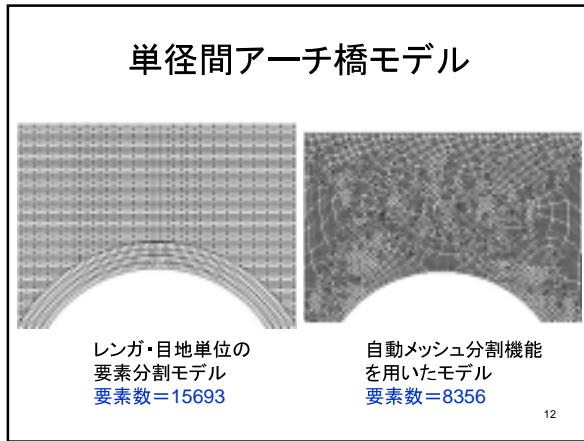
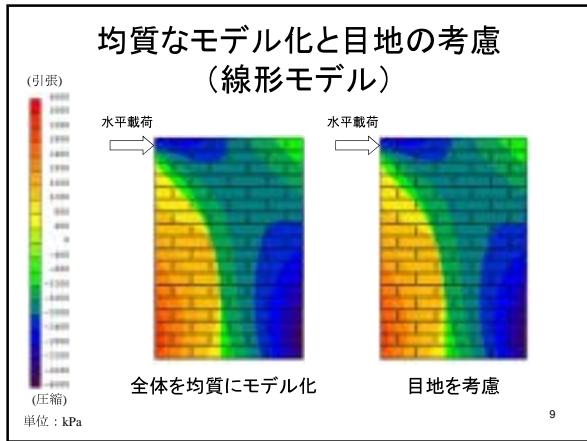
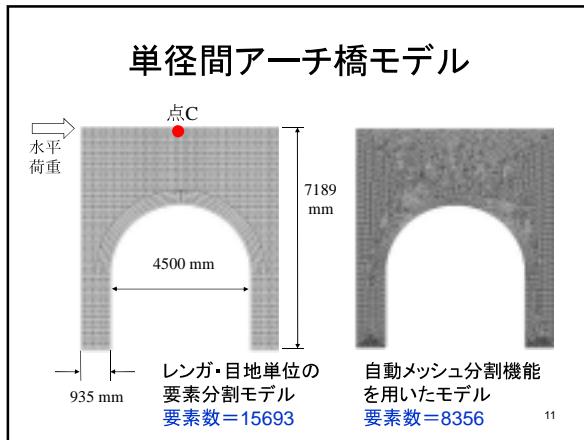
### レンガ構造壁体の材料特性

- 実際はレンガ・目地ともに圧縮より引張の強度も弹性係数も小さく崩壊への影響も大きいと考えられる。

	レンガ	目地			
	圧縮	引張	圧縮	引張	
線形モデル	均質		8241		
	レンガ・目地	8000		6856	
非対称区分 線形モデル	均質	8241	2060	8241	2060
	レンガ・目地	8000		6856	1714
	レンガ・目地	8000	2000	6856	1714

(単位 : MPa)

7



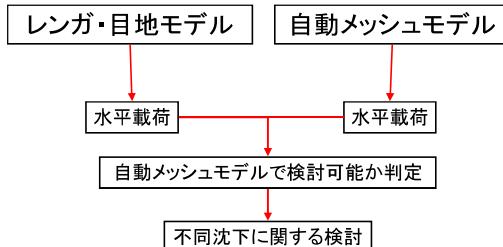
### 弾性係数と水平変位量

	レンガ		目地		水平変位量
	圧縮	引張	圧縮	引張	
Arch-A	8241	8241	8241	8241	1.09
Arch-B	8241	2060	8241	2060	1.70
Arch-B'	8241	2060	8241	2060	1.71
Arch-1	8000	8000	6856	6856	1.16
Arch-2	8000	8000	6856	1714	1.27
Arch-3	8000	2000	6856	1714	1.78

(弾性係数 : MPa, 変位量 : mm)

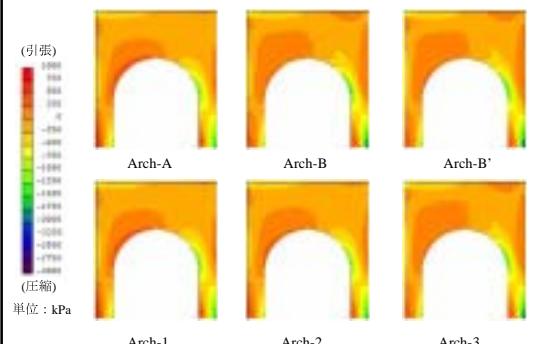
13

### 橋軸方向変位および不同沈下に関する基礎的検討



16

### 主応力分布の比較



14

### アーチ橋の弾性係数

	レンガ		目地	
	引張	圧縮	引張	圧縮
レンガ・目地モデル	2000	8000	1714	6856
自動メッシュモデル	2060	8241	2060	8241

(単位 : MPa)

17

### まとめ

- 変位: 自動メッシュ分割で再現可能
- 線形解析: 均質モデルでもOK
- 引張剛性の低下
  - 引張の弾性係数を低下させた要素の割合が影響

15

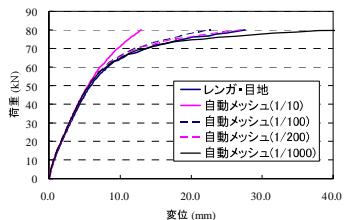
### 橋軸方向水平載荷

- 弾性限界は引張で1.1MPa, 圧縮で9.0MPa
- レンガ・目地モデル  
目地部での降伏を考慮  
弾性係数の2次勾配を初期勾配の1/10,000
- 自動メッシュ分割モデル  
2次勾配の値を1/10～1/1000と変化させて比較

18

## 橋軸方向への荷重増分解析

- 橋軸方向水平載荷の荷重一変位曲線

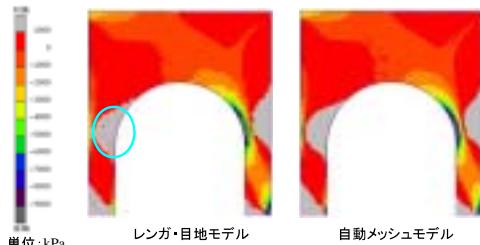


- 自動メッシュモデルの弾性係数の2次勾配を1/200としたとき、レンガ・目地モデルと同じような荷重一変位曲線を描く

19

## 主応力の分布

- 80kN載荷時

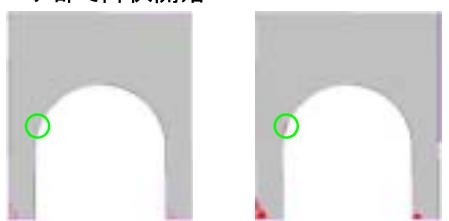


- 全体的な主応力の分布は両モデルともにほぼ同じである

22

## 降伏した要素の分布

- アーチ部で降伏開始



- 両モデルとともにアーチ左側の橋脚との境界付近で降伏が開始

20

## 不同沈下時の挙動に関する検討

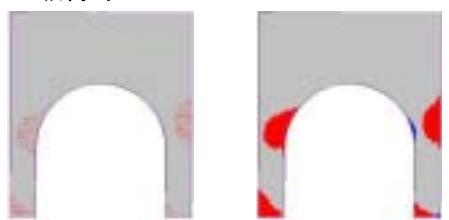
死荷重



23

## 降伏した要素の分布

- 80kN載荷時

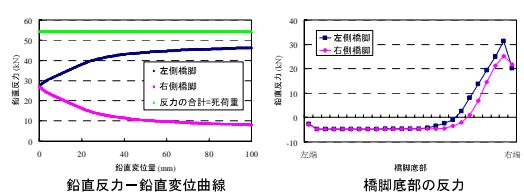


- 降伏している要素は引張・圧縮ともに野同じような分布範囲を示している

21

## 不同沈下に関する解析結果

- 橋脚底部での鉛直反力



5mm付近と30mm付近で勾配が変化している。

死荷重の85%以上が左側橋脚で受け持たれている。

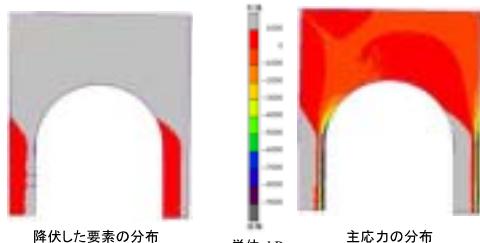
負反力が生じている部分が広い

上向きの反力(圧縮力)が働いているのは右側の1/3程度のみ

24

## 不同沈下に関する解析結果

- 降伏した要素の分布および主応力の分布図



- 橋脚ではほとんど引張による降伏が生じており、圧縮の作用している範囲はとても狭い

25

## まとめ

- 弾性係数の第2勾配を変化させることで、レンガ・目地モデルと自動メッシュモデルで同程度の解析結果を得ることが可能である。
- アーチ部での降伏を判定および塑性化の進行においても簡略化した数値解析モデルでの評価は可能である。
- 不同沈下により片側の橋脚が鉛直下向きに変位すると、両側の橋脚で引張の降伏が生じる。
- 圧縮の降伏はわずかに生じる程度である。
- 鉛直変位量が20mmの時点で橋脚底部とアーチ部に引張の降伏が発生し、目地部分の強度は失われてレンガのはく落が始まる可能性がある。
- 橋脚全体に影響が表れるのは30mmに達してからである。

26

## まとめ

- 今後はレンガ組積構造物の補修・補強工法について検討
  - 鋼板・CFRP板の接着
  - 樹脂充填
  - ピン挿入
  - など..
  - 文化財の場合は外観の保全が問題



27