

# **S40. RC造建築物等の長寿命化に資する 溶融亜鉛めっき鉄筋の基準整備に関する検討**

**事業主体：東京理科大学**

**令和5年度 成果報告会  
4/24 すまい・るホール**

# 事業概要

## ■長寿命化技術の開発の重要性は益々高まっている。

- ・カーボンニュートラル社会の実現に向けて建築物の長寿命化は重要。また、
- ・開発されている新しいセメント・コンクリートの多くは鉄筋の腐食に対する懸念。

## ■建築物の長寿命化に貢献する材料としての

### 溶融亜鉛めっき鉄筋に対する注目が集まりつつある。

- ・溶融亜鉛めっき鉄筋(以下、亜鉛めっき鉄筋)は、鉄筋腐食の防止策としてその有用性が確認されている。また、
- ・近年、日本建築学会においても、「溶融亜鉛めっき鉄筋を使用した鉄筋コンクリート造建築物の設計・施工指針」が整備。

## しかしながら

## ■亜鉛めっき鉄筋自体に関してはJIS規格化がされておらず、その使用にあたっての技術的な基準は定まっているとは言い難い。

- ・近年増加する環境配慮型コンクリートへの適用性についても学術的知見に乏しい。
- ・高耐久化への貢献が期待される亜鉛めっき鉄筋の防錆対策としての有用性を明確にするための基準整備が求められている。

## ■本研究プロジェクトは、**亜鉛めっき鉄筋を使用したRC構造の「材料性能」「構造性能」「耐火性能」**

**「環境配慮型コンクリートに使用した場合の性能」**など、

**確認すべき課題の解決に資する技術資料の整備を目的とした。**

# 事業概要

## (イ) 耐久性や防錆性能の検討

○試験体製作、実験の計画と実施、文献調査

耐久性：調合要因、亜鉛皮膜の膜厚差における付着性能

防錆性能：曲げ加工部における母材保護効果、品確法緩和に向けた防食性能評価

## (ロ) 構造性能の検討

○実験計画 通し筋の場合および、カットオフ筋の場合の性能確認

○梁試験体の製作、実験実施 付着余裕度等の異なる梁部材の構造実験

## (ハ) 技術的資料のとりまとめ

・文献調査のとりまとめ ➡ 溶融亜鉛めっき鉄筋の判定基準案

## (ニ) 環境配慮型コンクリートの検討

○文献調査 付着性能、防錆性能、構造性能 ○実験計画策定

## (ホ) 耐火性能の検討

○文献調査 高温環境下における性能

○実験計画策定 火災中の付着性能評価を目的とした要素試験体

# 研究組織

## 委員長

野口 貴文(東京大学)

## 事業主体

衣笠 秀行(東京理科大学)

兼松 学(東京理科大学)

崔 烘福(東京理科大学)

## WG

向井 智久(国土技術政策総合研究所)

三島 直生(国土技術政策総合研究所)

土屋 直子(国土技術政策総合研究所)

井上 波彦(国土技術政策総合研究所)

中村 聡宏(建築研究所)

坂下 雅信(建築研究所)

鹿毛 忠継(建築研究所)

松沢 晃一(建築研究所)

中田 清史(建築研究所)

鈴木 淳一(建築研究所)

西尾 悠平(建築研究所)

金 準鎬(東京理科大学)

## 全体委員会

濱崎 仁(芝浦工業大学)

山田 義智(琉球大学)

福山 智子(立命館大学)

小野里 憲一(工学院大学)

西村 康志郎(東京工業大学)

谷 昌典(京都大学)

岡野 大志(住宅局参事官付)

小原 拓(住宅局参事官付)

杉浦 美奈(住宅生産課)

瀬良 若菜(住宅生産課)

福井 亮介(住宅生産課)

茂木 伸一(日本溶融亜鉛鍍金協会)

渡会 竹志(日本溶融亜鉛鍍金協会)

飯田 勝典(日本溶融亜鉛鍍金協会)

村上 慶弘(日本溶融亜鉛鍍金協会)

平川 剛(日本溶融亜鉛鍍金協会)

仲松 庸一郎(日本溶融亜鉛鍍金協会)

富里 真史(日本溶融亜鉛鍍金協会)

酒井 正樹(大林組)

松下 哲郎(竹中工務店)

辻埜 真人(清水建設)

黒岩 秀介(大成建設)

親本 俊憲(鹿島建設)

五條 渉(日本建築防災協会)

鈴木 裕美(日本建築防災協会)

# 事業の工程計画(2023)

調査検討項目	2023									2024			
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
(イ) 溶融亜鉛めっき鉄筋の <b>耐久性や防錆性能</b> に関する検討	文献調査&実験計画				試験体製作&実験実施					報告書作成			
(ロ) 溶融亜鉛めっき鉄筋を用いた鉄筋コンクリート造部材等の <b>構造性能</b> に関する検討	文献調査&実験計画				事前解析				試験体製作&実験実施				報告書作成
(ハ) 溶融亜鉛めっき鉄筋を用いた鉄筋コンクリート造建築物等の設計施工にかかる <b>技術的資料のとりまとめ</b>	(イ)と(ロ)における文献調査のとりまとめ												
(ニ) 溶融亜鉛めっき鉄筋を使用した場合の <b>環境配慮型コンクリート</b> の性能に関する調査及び整理	文献調査&実験計画												
(ホ) 溶融亜鉛めっき鉄筋の <b>耐火性能</b> 評価	文献調査&実験計画												
* 全体委員会の運営				7/13					11/1		1/12		
* WG定例会の運営		5/24	6/29		8/22	9/22		11/28	12/22	1/29			

# 事業のフロー(全体)

2023年度

2024年度

2025年度

## (イ) 耐久性や防錆性能の検討

- 試験体製作、実験計画と実施、文献調査  
(耐久性: 調合要因、亜鉛皮膜の膜厚差における付着性能)  
(防錆性能: 曲げ加工部における母材保護効果、品確法緩和を考慮した防食性能評価)

## (ロ) 構造性能の検討

- 実験実施  
通し筋の場合、カットオフ筋の場合
- 梁試験体の製作、実験  
付着余裕度等の異なる部材

## (ハ) 技術的資料のとりまとめ

- ・(イ)、(ロ)、(ニ)、(ホ)における文献調査のとりまとめ

## (ニ) 環境配慮型コンクリート

- 文献調査(付着性能、防錆性能、構造性能)
- 実験計画策定

## (ホ) 耐火性能の検討

- 文献調査(高温環境下における性能)
- 実験計画策定(火災中の付着性能評価)

- 試験体製作、実験計画と実施  
(耐久性: 継手、定着した亜鉛めっき鉄筋の付着性能、亜鉛末塗料の影響)

- (防錆性能: 曲げ加工部・異種鉄筋接触部等における母材保護効果、亜鉛腐食物の膨張性状によるひび割れ発生への影響、実環境における亜鉛皮膜の防食効果と限界腐食量)

+

- 実験計画  
(高い付着強度を求める条件)
- 梁試験体の製作、実験  
(カットオフ筋、正負繰り返し载荷等の異なる部材)
- 柱試験体の製作、実験  
(軸力比、载荷条件、せん断余裕度等の異なる部材)

↓

- ・(イ)、(ロ)、(ニ)、(ホ)における実験結果分析等のとりまとめ

↑

- 試験体製作、実験実施(別の研究課題より)  
(環境配慮型コンクリートにおける亜鉛めっき鉄筋の付着性能、防錆性能、梁部材の構造性能評価)

- 試験体製作、実験実施

- 試験体製作、実験計画と実施  
(耐久性: 継手、定着した亜鉛めっき鉄筋の付着性能、亜鉛末塗料の影響)

- (防錆性能: 曲げ加工部・異種鉄筋接触部等における母材保護効果、亜鉛腐食物の膨張性状によるひび割れ発生への影響、実環境における亜鉛皮膜の防食効果と限界腐食量)

+

- 柱梁接合部試験体製作、実験  
(軸力比、接合部内の鉄筋の水平投影長さ等の異なる部材)

↓

- ・(イ)、(ロ)、(ニ)、(ホ)における実験結果分析等のとりまとめ

↑

- 試験体製作、実験実施

# (イ) 耐久性や防錆性能の検討

## A. 耐久性の検討

### A1. 調合要因の影響

#### ・W/C、単位水量等の違いにおける付着性能評価

めっき鉄筋はアルカリ環境下における反応性が懸念されるため、鉄筋とコンクリート間の付着性状が変動する可能性がある。水セメント比や単位水量等の違いが付着性能に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした実験的検討を実施した。

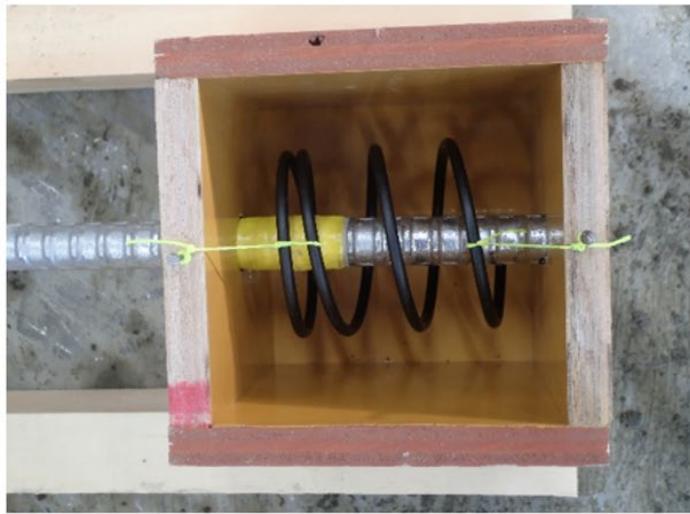
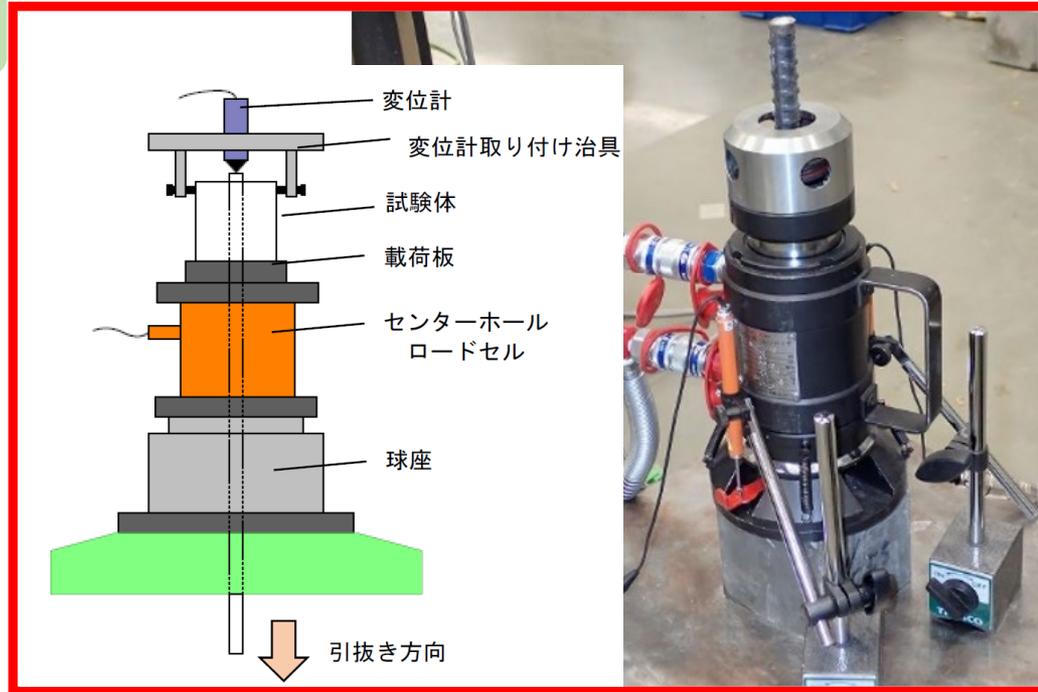
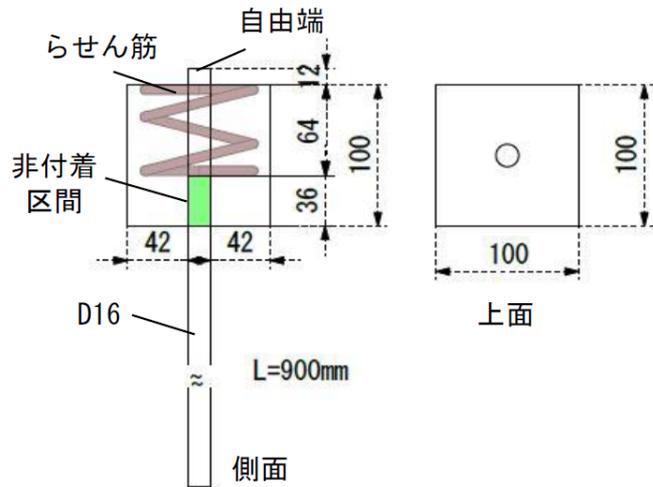
### A2. 鉄筋の影響

#### ・亜鉛皮膜の膜厚差における付着性能評価

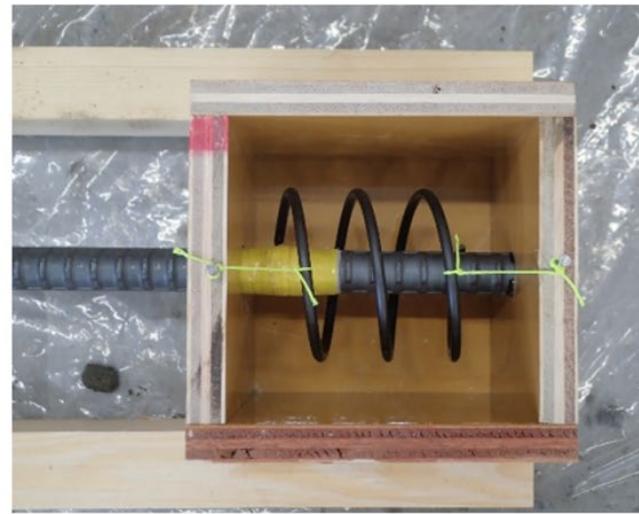
一般に、めっき鉄筋の亜鉛めっき膜厚は、製造上、一定の範囲をもって管理されているが、異形鉄筋の付着性能は、亜鉛めっきの膜厚に依存する可能性がある。亜鉛めっきの膜厚の影響は鉄筋径ごとに変化することが想定されることから、鉄筋径および膜厚を水準としてめっき鉄筋の付着性能の実験的検討を行った。

# (イ) 耐久性や防錆性能の検討

## ○ 試験体製作、実験実施



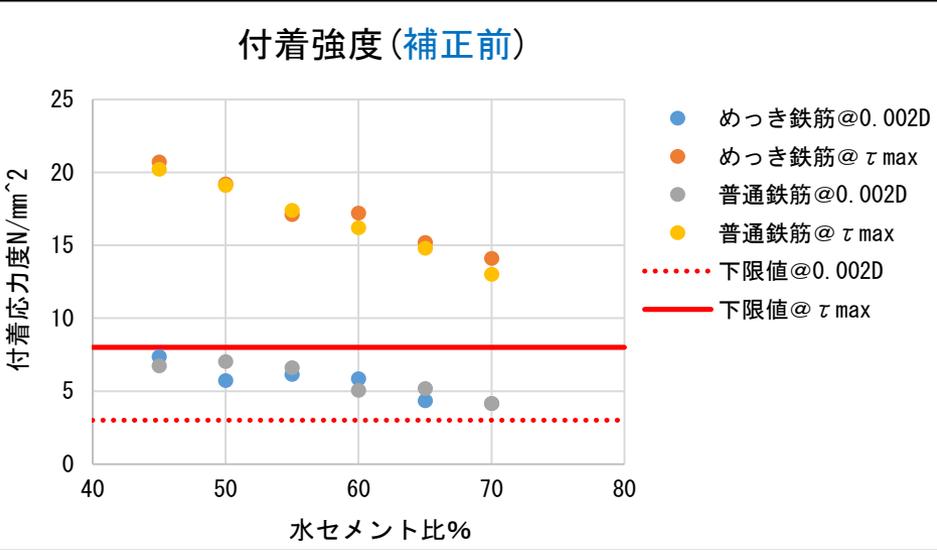
(鉄筋設置状況：亜鉛めっき) ←



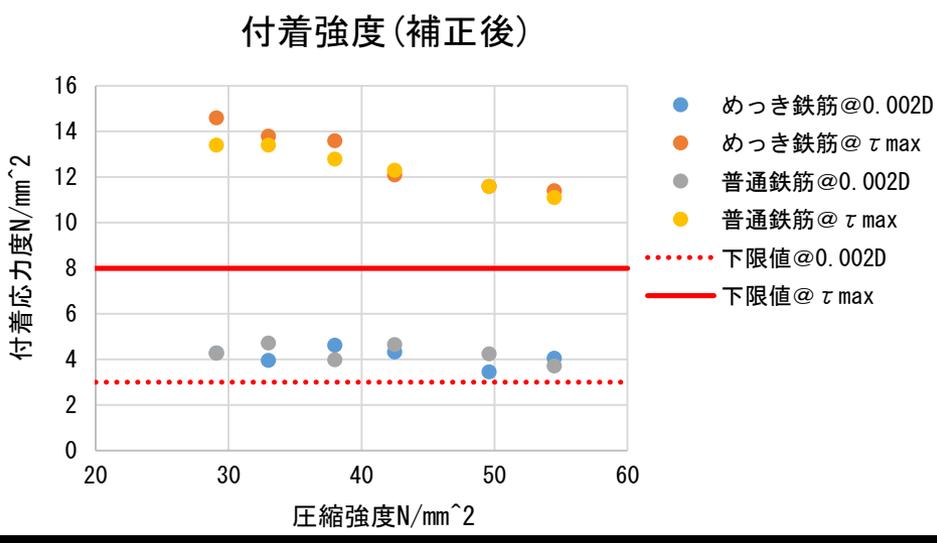
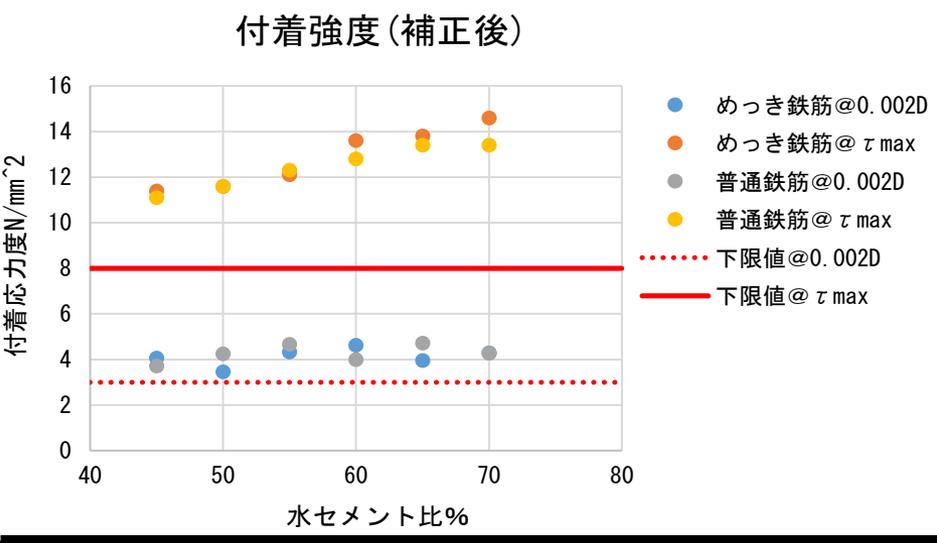
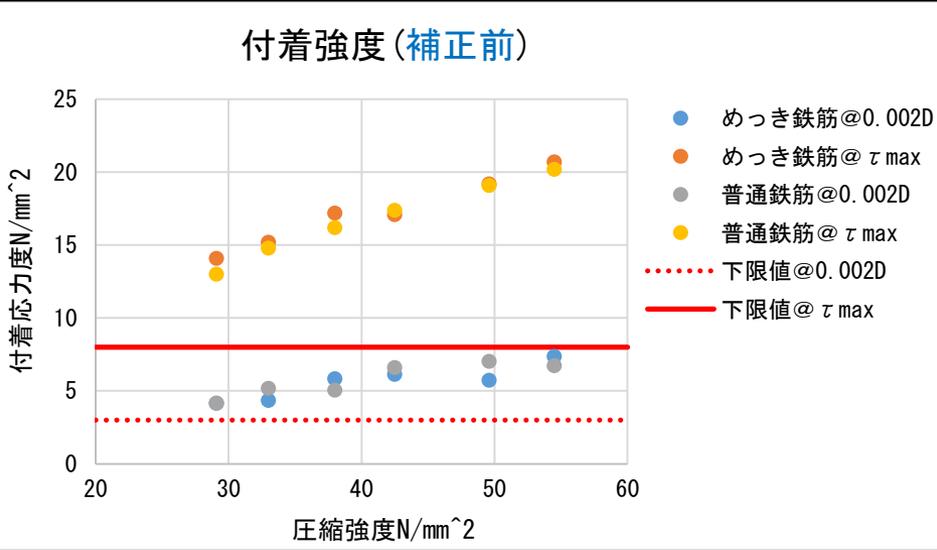
(鉄筋設置状況：普通)

# 実験計画(イ): A1試験体

## 水セメント比の影響 (付着応力度)



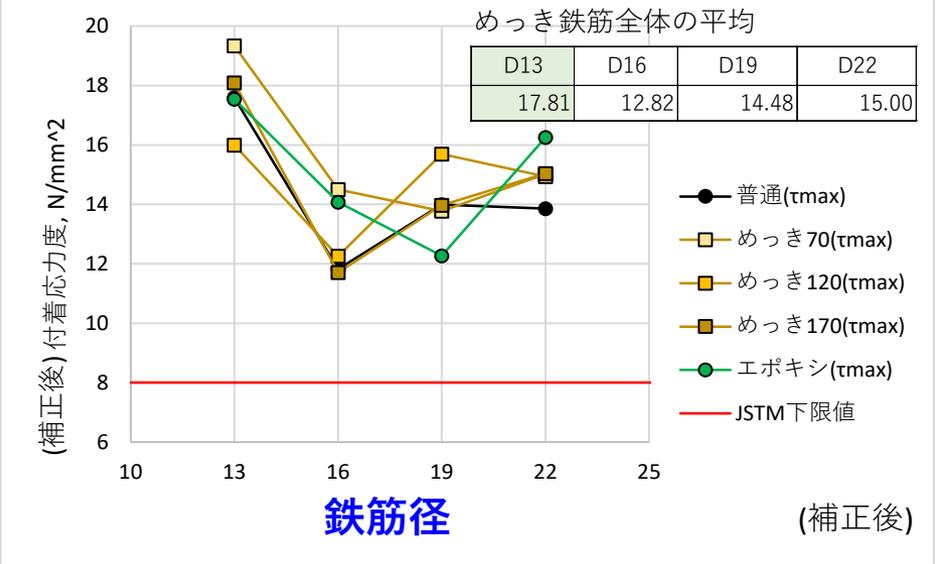
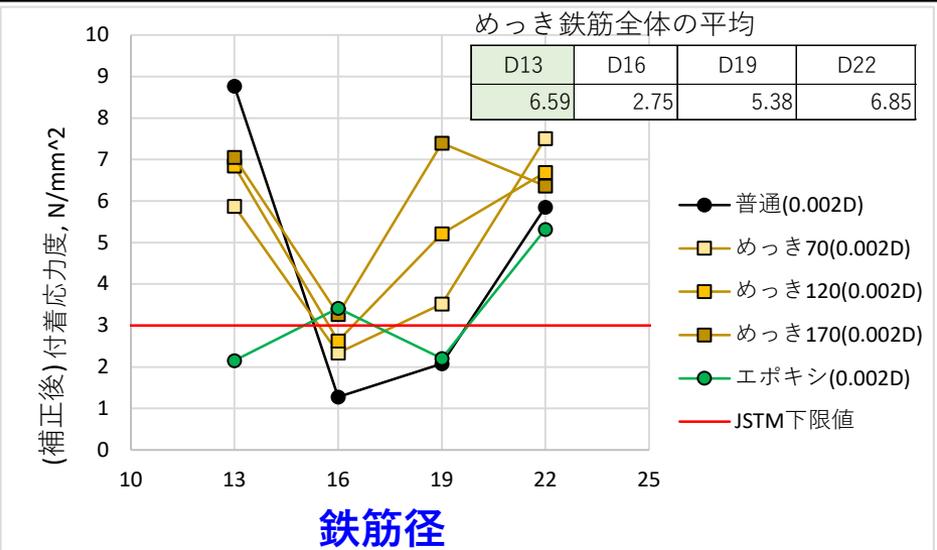
## 圧縮強度の影響 (付着応力度)



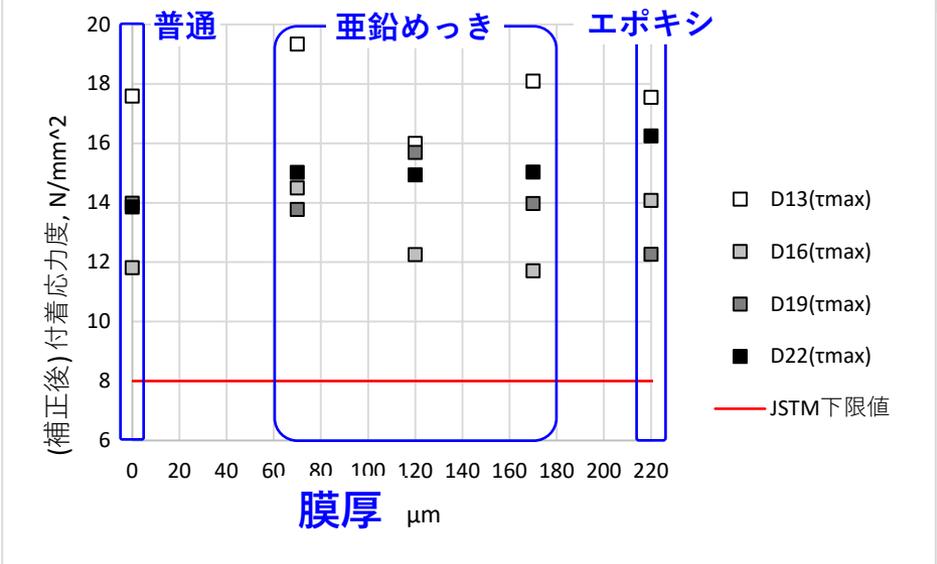
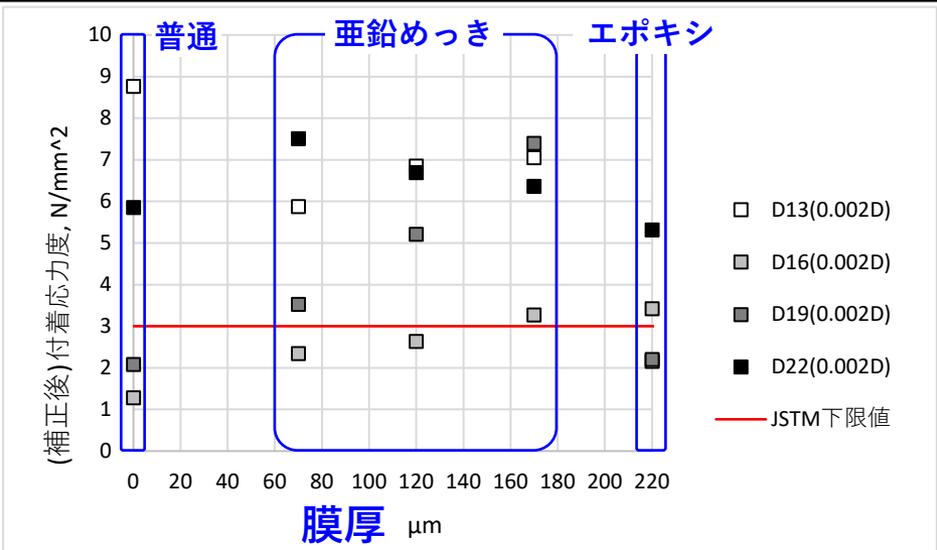
水セメント比、圧縮強度の違いに関わらず、めっき鉄筋と普通鉄筋の付着応力度は同等であることを確認

# 実験計画(イ): A2試験体

## 鉄筋径の影響 (付着応力度)



## 膜厚の影響 (付着応力度)



・めっき鉄筋と普通鉄筋の付着応力度は同等。膜厚差の影響は小さい

## (イ)耐久性や防錆性能の検討

### B. 防錆性能の検討

#### B1-1. 折曲げ等により鉄筋加工した部位の母材保護効果

- : 主筋、せん断補強筋を評価対象とする。
- : 鉄筋種類、折曲げの有無、亜鉛末塗料の有無、曲げ方法等の違いを評価する。
- : 今年度は**文献調査**を行い、**実験計画**を策定した。
- : 次年度は実験的評価を実施する。

#### B1-2. 品確法緩和を考慮した防錆性能評価のための実験計画の立案

- ・品確法における亜鉛めっき鉄筋の扱いを整理した。
- ・普通コンクリートに対する亜鉛めっき鉄筋の防錆性能については  
既往の文献を調査し、**実験計画**を策定した。

# (イ) 耐久性や防錆性能の検討

## B. 防錆性能の検討

### B1-1. 折曲げ等により鉄筋加工した部位の母材保護効果

腐食促進の  
ための水準

表. 実験水準

鉄筋の加工レベル (曲げ部) (鉄筋種類－亜鉛めっき順序・曲げ方法－曲げ部補修有無)	鉄筋径・折曲げ直径・曲げ角度 (予想される割裂レベル)	W/C	かぶり 厚さ	腐食度・腐食方法
亜鉛めっき鉄筋－めっき後曲げ(1段階、2段階)－補修あり 亜鉛めっき鉄筋－めっき後曲げ(1段階、2段階)－補修なし 亜鉛めっき鉄筋－曲げ後(1段階、2段階)めっき 普通鉄筋－曲げ(1段階)	D10@3d×90度、135度 (C) D19@4d×90度、135度 (B) D19@5d×90度、135度 (A)	65% (普通)	2cm	エポキシ鉄筋規定と同様 (塩分+乾湿繰り返し)
(7)	(6)	(1)	(1)	(1)
鉄筋種類 (直線部)		W/C	かぶり 厚さ	腐食度・腐食方法
亜鉛めっき鉄筋 普通鉄筋		65% (普通)	2cm	エポキシ鉄筋規定と同様 (塩分+乾湿繰り返し)
(2)		(1)	(1)	(1)

【備考】割裂レベルにおいて、A:めっき表面に損傷なく健全な状態、B:微細な割れはあるが耐久性上問題なし、C:目視で確認できる亀裂であり耐久性上問題あり

【備考】ISO、JIS等では、鉄筋のめっき処理はめっき後曲げを原則としている。

【備考】既往の検討(土木学会のめっき指針)より、D10は1.5D以上の折曲げ直径ではすべて亜鉛皮膜の損傷が生じることを確認した。

# (イ) 耐久性や防錆性能の検討

## B. 防錆性能の検討

### B1-2. 品確法緩和を考慮した防錆性能評価のための実験計画の立案

表. 実験水準1

鉄筋種類(直線部)	W/C	セメント	中性化深さ	塩分	ばくろ環境	腐食度
亜鉛めっき鉄筋 普通鉄筋	65%	普通 高炉スラグ(C種) フライアッシュ(C種)	中性化なし かぶり厚から +10mm	あり なし	促進劣化(高温)し たうえで、実ばく ろ実施	限界残存膜厚 (70 $\mu$ mまで減耗)
(2)	(1)	(3)	(2)	(2)	(1)	(1)

表. 実験水準2

鉄筋種類(直線部)	W/C	セメント	評価項目
亜鉛めっき鉄筋	65% 45%	普通 高炉スラグ(C種) フライアッシュ(C種)	CHZ生成の確認(材料強度発現後)
(1)	(2)	(3)	(1)

#### 【腐食性状の確認】

- ・目視 ・亜鉛皮膜の残存膜厚 ・母材の腐食減量 ・電気化学的評価(自然電位、分極抵抗)
- ・化学分析(CHZ生成の確認: SEM、XRDなど)

## (ロ) 構造性能の検討

### 1. 亜鉛めっき鉄筋を使用した梁部材の基本構造性能の確認

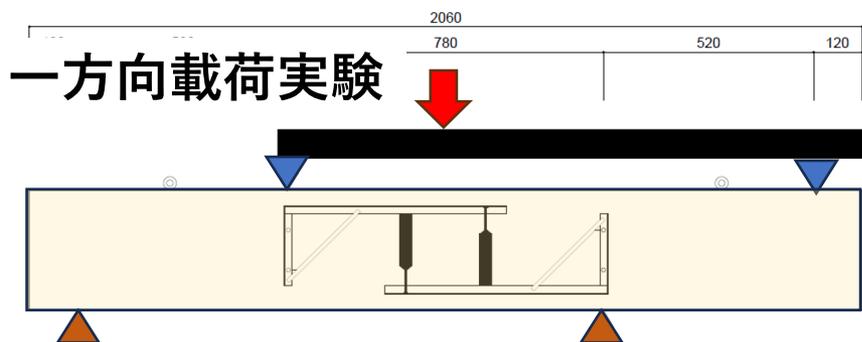
亜鉛めっき鉄筋を使用した部材の構造性能について調査研究を行なうとともに、亜鉛めっき鉄筋を使用したRC梁部材の一方向載荷実験を行い、基本構造性能について、普通鉄筋を使用した部材との性能比較を通して検討を行った。

- ・せん断余裕度(1.0、1.1、1.2)・付着余裕度は3水準(0.4、0.5、0.6)、鉄筋種類2水準(普通鉄筋、亜鉛めっき鉄筋)の計6体の梁実験

### 2. カットオフを行った場合の構造性能の確認

実部材において想定されるカットオフ筋の力学的性状を整理し、カットオフを行った亜鉛めっき鉄筋および普通鉄筋を使用した梁部材の一方向載荷実験を行い、両者の破壊性状の差を検討した。

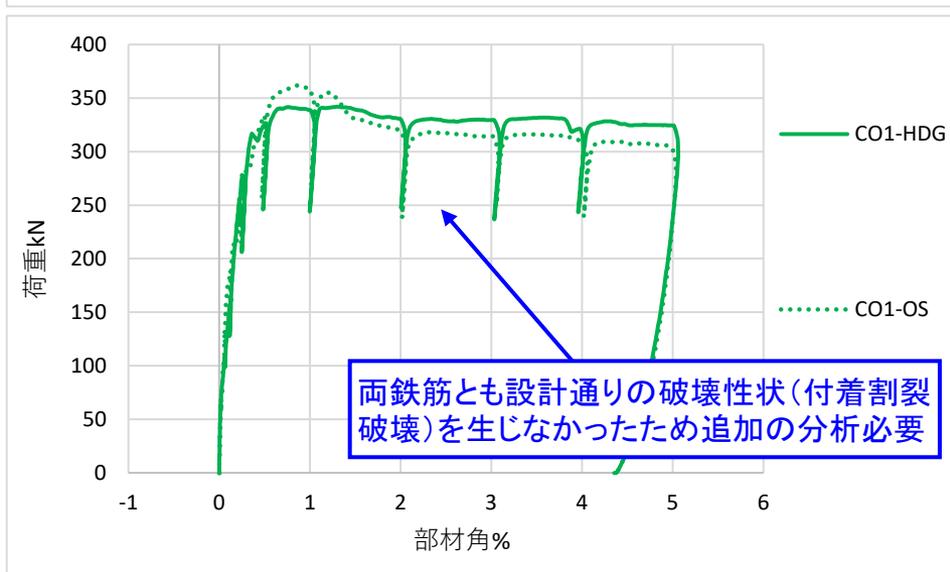
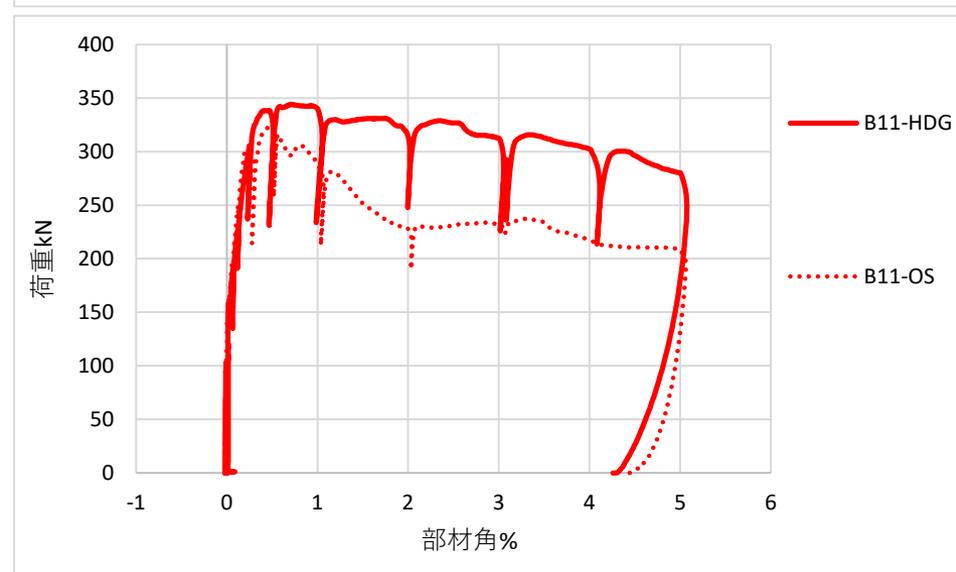
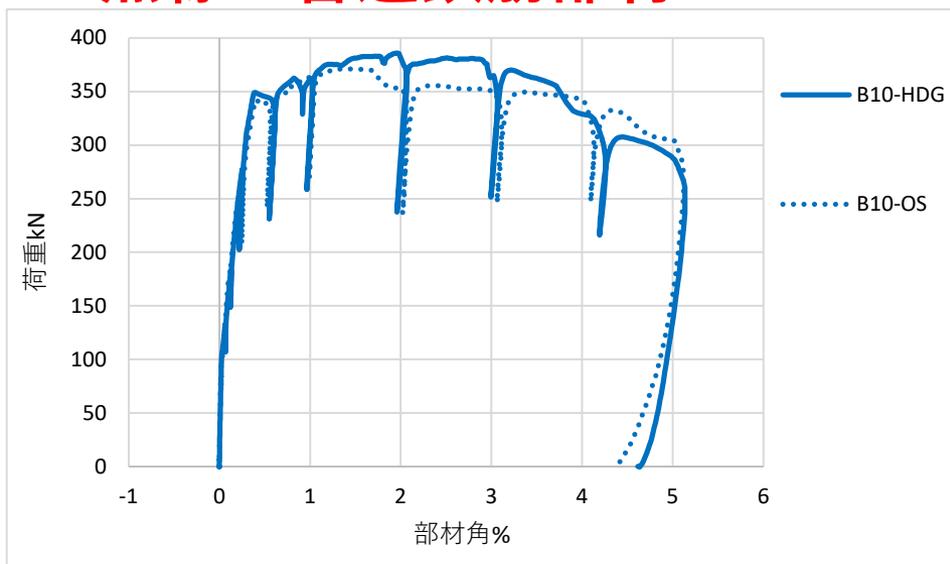
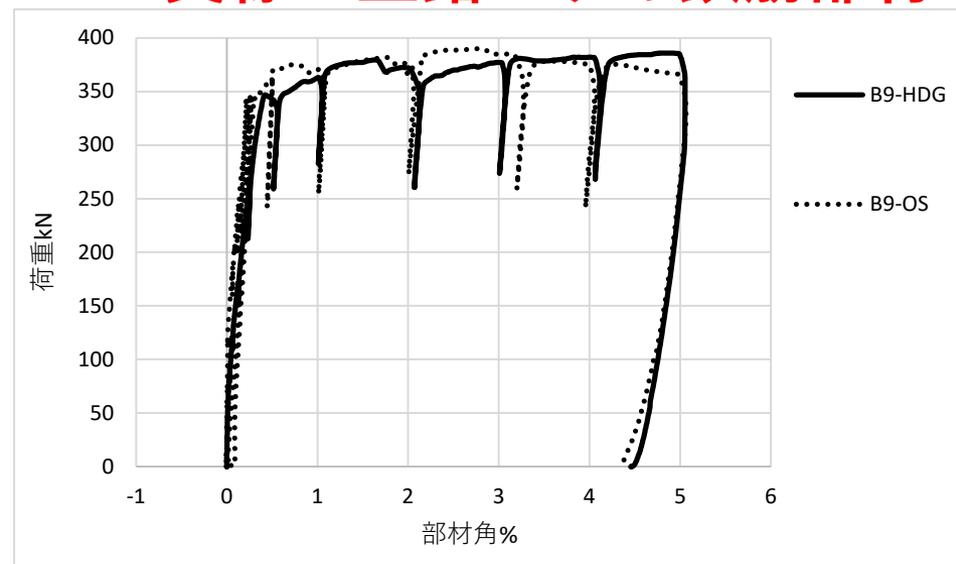
- ・鉄筋種類は2水準(普通鉄筋、亜鉛めっき鉄筋)計2体の梁実験。



# (口) 構造性能の検討 シリーズ①、②試験体

実線：亜鉛メッキ鉄筋部材

点線：普通鉄筋部材



せん断余裕度、付着余裕度の違いに関わらず、めっき鉄筋と普通鉄筋の構造性能は同等であることを確認

# (口) 構造性能の検討

# シリーズ①、②試験体

進捗：付着試験（材齢28日@12/08）、構造実験（梁試験体8本@12/11～12/15）

B9-HDG

めっき鉄筋

$P_{max}=385.9\text{kN}$   
( $R=5\%$ まで)  
耐力低下：なし  
曲げ破壊

B9-OS

普通鉄筋

$P_{max}=389.9\text{kN}$   
 $P_{R=5\%} = 361.4\text{kN}$   
 $P_{R=5\%} / P_{max} : 0.92$   
曲げ降伏後耐力低下

B10-HDG

めっき鉄筋

$P_{max}=385.6\text{kN}$   
 $P_{R=5\%} = 287.8\text{kN}$   
 $P_{R=5\%} / P_{max} : 0.74$   
曲げ降伏後耐力低下

B10-OS

普通鉄筋

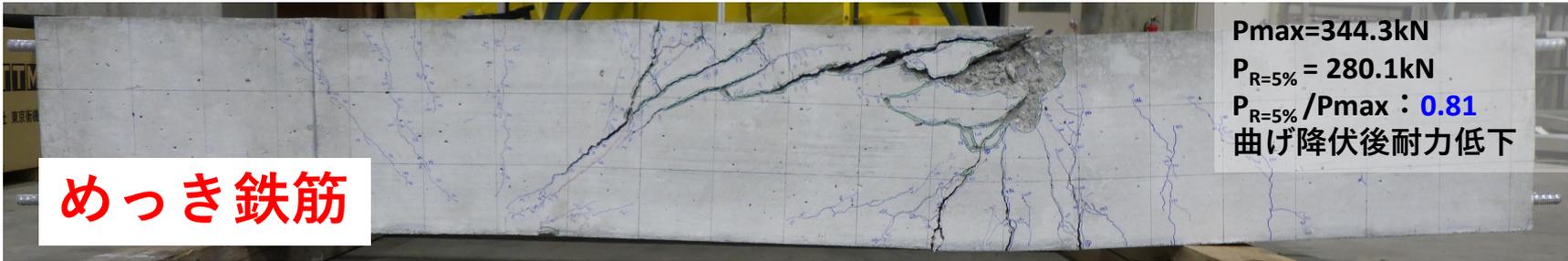
$P_{max}=371.2\text{kN}$   
 $P_{R=5\%} = 304.2\text{kN}$   
 $P_{R=5\%} / P_{max} : 0.81$   
曲げ降伏後耐力低下

# (口) 構造性能の検討 シリーズ①、②試験体

進捗：付着試験（材齢28日@12/08）、構造実験（梁試験体8本@12/11～12/15）

B11-HDG

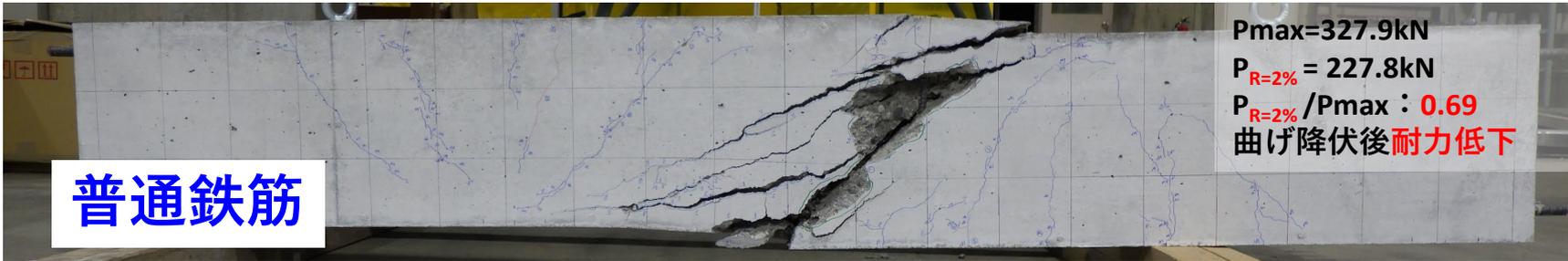
めっき鉄筋



Pmax=344.3kN  
P<sub>R=5%</sub> = 280.1kN  
P<sub>R=5%</sub> / Pmax : 0.81  
曲げ降伏後耐力低下

B11-OS

普通鉄筋



Pmax=327.9kN  
P<sub>R=2%</sub> = 227.8kN  
P<sub>R=2%</sub> / Pmax : 0.69  
曲げ降伏後耐力低下

CO1-HDG

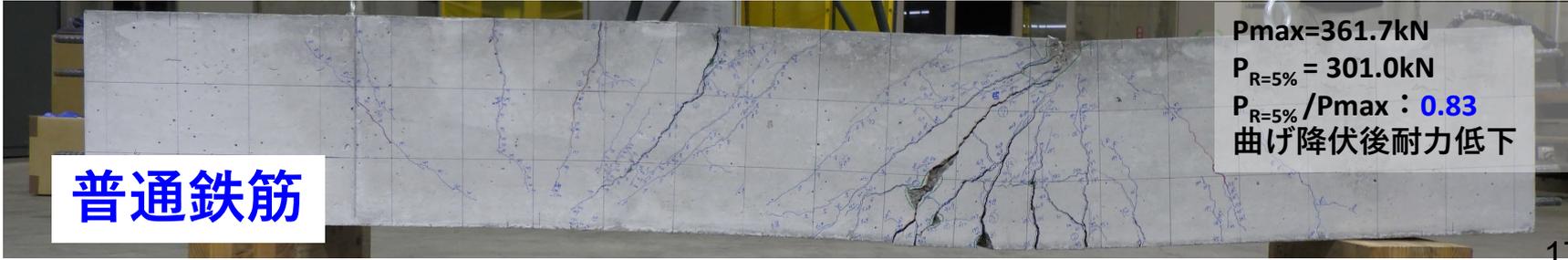
めっき鉄筋



Pmax=341.9kN  
P<sub>R=5%</sub> = 324.6kN  
P<sub>R=5%</sub> / Pmax : 0.95  
曲げ降伏後耐力低下

CO2-OS

普通鉄筋



Pmax=361.7kN  
P<sub>R=5%</sub> = 301.0kN  
P<sub>R=5%</sub> / Pmax : 0.83  
曲げ降伏後耐力低下

## (口) 構造性能の検討

### 2024年度試験体 正負繰り返し載荷の影響検討

#### ○研究背景

検討してきた溶融亜鉛めっき鉄筋を用いた梁試験体は、**一方向載荷による構造性能評価**であったため、コンクリートの損傷は限られた範囲で発生した。

一方、**正負繰り返し載荷を受ける場合**、コンクリートの損傷は広がるため**主筋の付着性状を確認する必要があるが**、亜鉛めっき鉄筋に関しては評価資料がないのが現状である。

⇒安全側の設計手法を提案するための**技術的資料の収集が必要**

#### ○研究概要

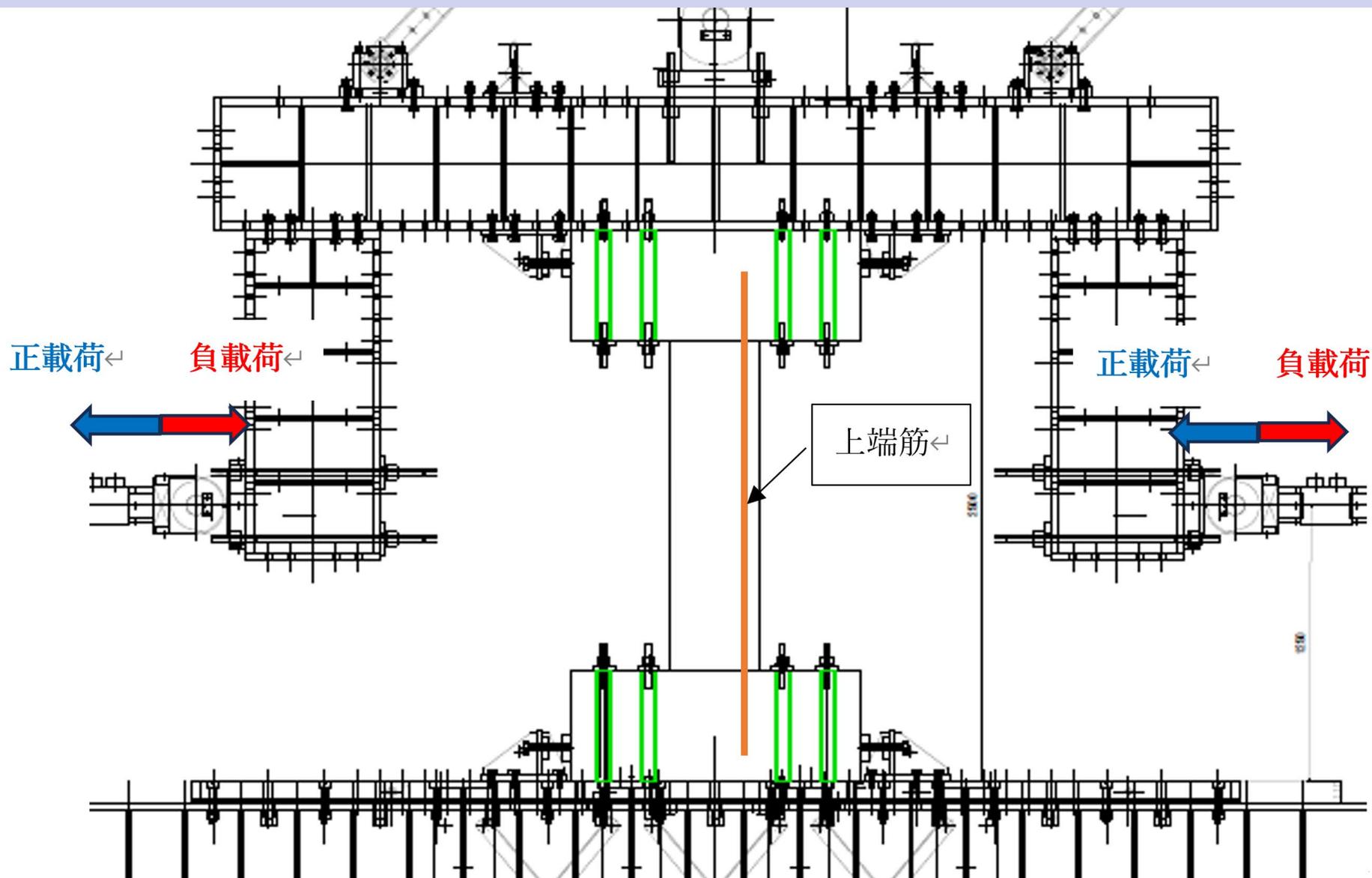
建築材料として亜鉛めっき鉄筋を有効活用するために、本課題では、**正負繰り返し載荷による構造実験**を行い、亜鉛めっき鉄筋の構造性能や付着性能を明らかにする。

- ・せん断余裕度（1.02、1.14）、鉄筋2種類（普通鉄筋、亜鉛めっき鉄筋）  
の計2体の梁試験体の作成

# (口) 構造性能の検討

2024年度試験体 正負繰り返し载荷の影響検討

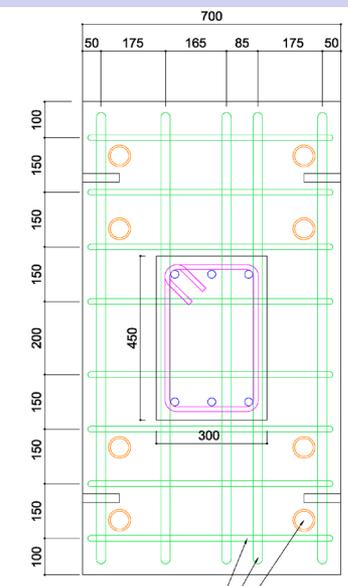
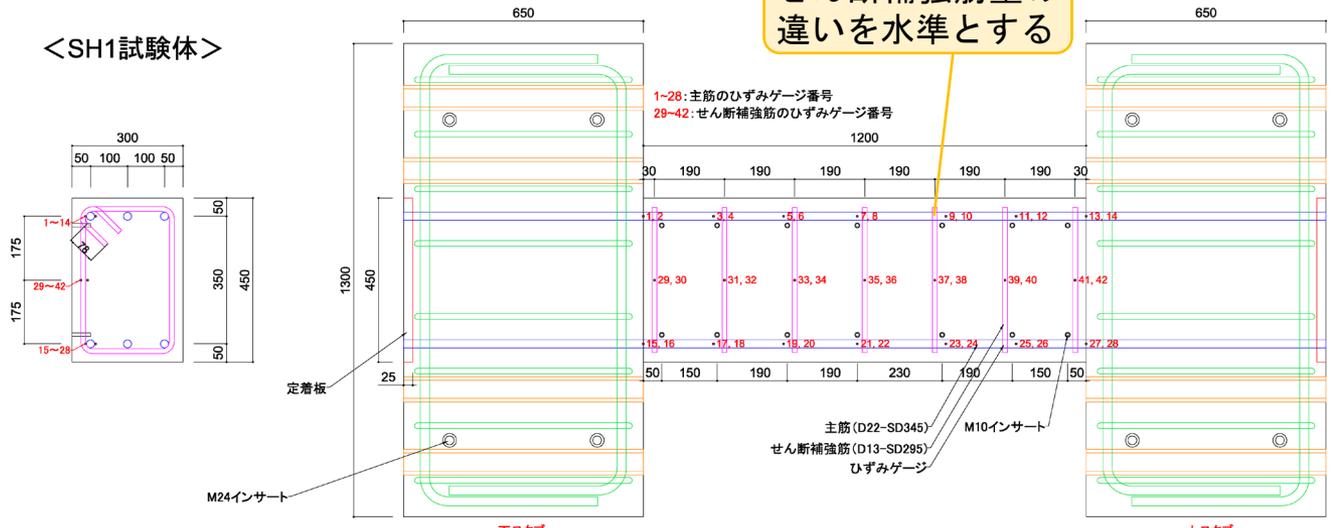
○ 実験計画



# 2024年度試験体 正負繰り返し载荷の影響検討 ○実験計画

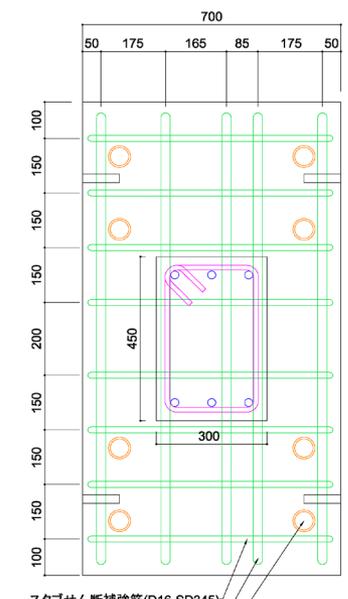
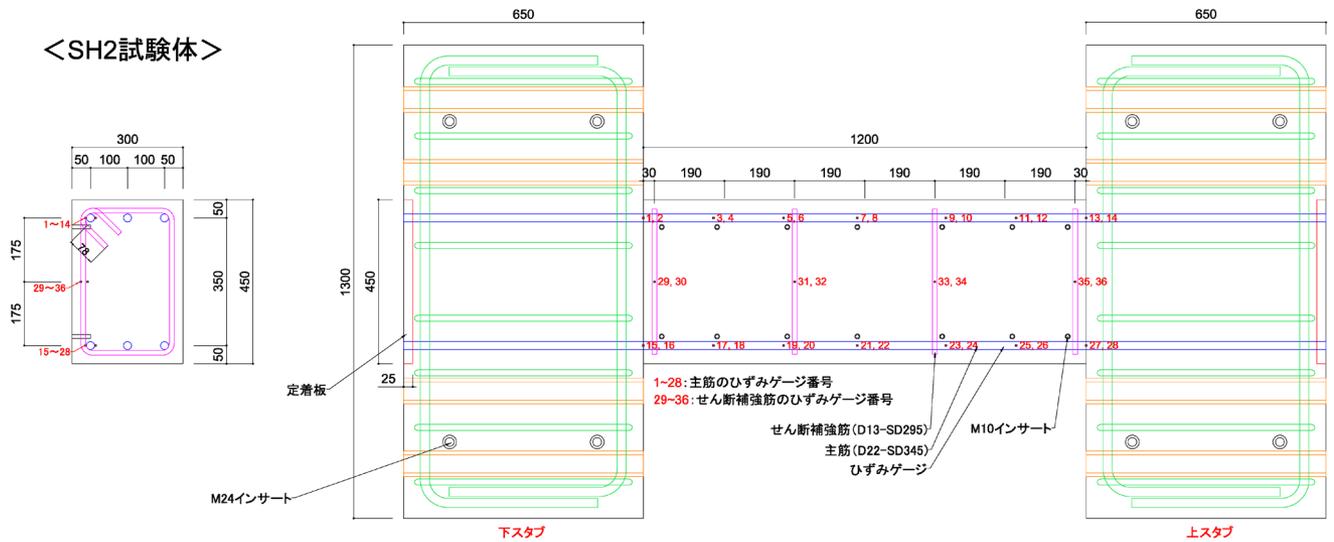
せん断補強筋量の  
違いを水準とする

<SH1試験体>



- 23/12/21 主筋ゲージ位置修正  
ゲージ番号1~6, 15~20 左に30mmずらし  
ゲージ番号9~14, 23~28 右に30mmずらし  
ゲージ番号7~8, 21~22 左に20mmずらし
- 23/12/21 M10インサート位置修正  
区間中央インサート 左に20mmずらし  
中央から2段目インサート それぞれスタブ方向に10mmずらし

<SH2試験体>



スタブせん断補強筋(D16-SD345)  
スタブ主筋(D25-SD345)  
塩ビシース管 内径50mm

# (口) 構造性能の検討

## 2024年度試験体 正負繰り返し载荷の影響検討

○実験計画



コンクリート打設



試験体脱型

## (ハ) 技術的資料のとりまとめ

### 判定基準の項目とそれらへの対応状況の整理

## 判定基準の策定概要

溶融亜鉛めっき鉄筋の各種性能および設計施工時の確認事項等について、

建設省住指発第四〇七号平成元年一〇月二五日

「**エポキシ樹脂塗装鉄筋**の防せい処理の有効性判定基準」を参考にして、

**溶融亜鉛めっき鉄筋においても同様の判定基準を提案できる技術資料**の収集と提供を目的とする。

# 耐久性に関する溶融亜鉛めっき鉄筋の判定基準案

## 検討項目1: 耐久性

(●: 両鉄筋同様に検討、▲: めっき鉄筋のみ検討)

項目	エポキシ鉄筋の評価方法、判定基準 (課長通知)	亜鉛めっき鉄筋の評価のための実施内容	亜鉛めっき鉄筋の判定基準案	担当主体	実験の 必要性
(1) 外観	<ul style="list-style-type: none"> <li>塗膜の均一性</li> <li>表面における劣化や施工不良</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>出荷される製品を対象とした検査 (●)</li> <li>【案】日本建築学会の指針、JIS H 8641を引用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視で観察し、不めっきと剥離 (全表面積の0.5%以下、面積5cm<sup>2</sup>以下)、たれとかすびき (使用上支障なし) を確認する。(めっき指針p.76)</li> </ul>	亜鉛めっき協会	
(2) 塗膜厚	<ul style="list-style-type: none"> <li>節と節の間の表面を対象</li> <li>膜厚計測値が指定範囲内にあるか</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面劣化程度の確認(例: A~C) (▲) (鉄筋径、折曲げ直径等を水準とする)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>77μm以上166μm以下 (めっき指針p.66)</li> </ul>		
(3) ピンホール	<ul style="list-style-type: none"> <li>単位長さ当たりの個数</li> </ul>	【実施しない】(亜鉛皮膜では発生しない現象であるため)	【計画と実施(2024)】		
(4) 曲げ加工性	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げ加工部における表面劣化の発生率</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>表面劣化程度の確認(例: A~C) (▲) (鉄筋径、折曲げ直径等を水準とする)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>次年度実験結果を踏まえて提案する。</li> </ul>		あり
(5) 塗膜の耐衝撃性	<ul style="list-style-type: none"> <li>衝撃エネルギーによる表面劣化の発生率</li> </ul>	【実施しない】(亜鉛皮膜はキズ程度であり、防食性能における問題がないため)			
(6) コンクリートとの付着力	<ul style="list-style-type: none"> <li>引き抜き試験</li> <li>普通鉄筋の付着強度の80%以上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 性能評価は通常の方法で実施。</li> <li>調合要因における付着性能評価 (▲) (W/C等)</li> <li>亜鉛皮膜の膜厚差における付着性能評価 (▲)</li> <li>定着、継手した亜鉛めっき鉄筋における付着性能評価 (▲)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>今年度、次年度実験結果を踏まえて提案する。</li> </ul>	大学 亜鉛めっき協会 試験機関 (八洋)	あり
(7) 塗膜の耐アルカリ性	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリート細孔の模擬溶液使用</li> <li>表面における劣化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>【文献調査のみ実施】(生コン状態での亜鉛消耗が硬化後の亜鉛皮膜の性能低下に影響ないことを説明)</li> <li>【案】日本建築学会の指針の付録にある文献を引用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>腐食電流密度が不動態領域(0.2 μA/cm<sup>2</sup>以下)であることを確認する。(めっき指針p.107)</li> </ul>		

# 防錆性能に関する溶融亜鉛めっき鉄筋の判定基準案

## 検討項目2: 防錆性能

(●: 両鉄筋同様に検討、▲: めっき鉄筋のみ検討)

エポキシ鉄筋の評価方法、判定基準 (課長通知)	亜鉛めっき鉄筋の評価のための実施内容	亜鉛めっき鉄筋の判定基準案	担当主体	実験の 必要性
<ul style="list-style-type: none"> <li>塩分を含めたコンクリートを用いる</li> <li>湿度変化をサイクルとする促進環境で実施</li> <li>表面における劣化や腐食面積率</li> </ul> <p>* 判定基準詳細</p> <p>細骨材に対する塩化ナトリウム含有量が1%に相当する塩化物を含むコンクリート中にかぶり厚さ20mmで鉄筋を埋め込み、温度80±2℃、湿度(相対湿度)95~100%に1日間、温度80±2℃、湿度(相対湿度)50±5%に2日間を1サイクルとするサイクルを20サイクル与えた場合において、塗膜のふくれ若しくははがれ又は平均腐食面積率1%を超える腐食がないこと</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 試験方法はエポキシ鉄筋と同様に実施</li> <li>* 建研の建築材料実験棟、暴露試験場を利用想定(実験する場合)</li> </ul> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 曲げ加工部における母材保護効果評価 (▲) (主筋、せん断補強筋および、亜鉛未塗料の有無の影響)</li> </ul> </div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 異種間、同種間における防錆性能の差の評価および、異種間の影響を受けないコンクリートのかぶり厚 (▲) (例: 100mm~最初かぶり厚までを水準とする実験実施)</li> <li>・ 亜鉛腐食による膨張性状評価</li> <li>・ 実環境における防錆性能評価</li> </ul> </div>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 次年度実験結果を踏まえて提案する。</li> </ul> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-top: 10px; width: fit-content;"> <p>計画(2023) 実施(2024)</p> </div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin-top: 10px; width: fit-content;"> <p>計画と実施 (2024、2025)</p> </div>	<p>大学 亜鉛めっき協会 建研他</p>	<p>あり</p>

# 設計施工上の留意事項に関する溶融亜鉛めっき鉄筋の判定基準案

## 検討項目3: 設計施工上の留意事項

(●: 両鉄筋同様に検討、▲: めっき鉄筋のみ検討)

エポキシ鉄筋の評価方法、判定基準 (課長通知)	亜鉛めっき鉄筋の評価のための実施内容	亜鉛めっき鉄筋の判定基準案	担当主体	実験の 必要性
<p>&lt;設計時&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋とコンクリートとの付着力</li> <li>鉄筋と鉄筋との継手の方法</li> <li>鉄筋端部の定着の方法</li> </ul> <p>→上記3つについて特別の配慮を必要とし、実験等を行って設計方法を検討</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>検討項目1の(6): コンクリートとの付着力の評価よりその方法を検討する。(●)</li> <li>検討項目4: 構造性能の部材実験よりその方法を検討する。(▲)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>今年度、次年度実験結果を踏まえて提案する。</li> </ul>	大学 建研他	あり
<p>&lt;施工時&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>防せいに有害な表面劣化部分は補修</li> <li>保管、運搬、切断、折曲げ、組立て時に特別の配慮を必要とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>検討項目5: 施工指針上必要な部分の確認よりその方法を検討する。(▲) (参考: JASS5、亜鉛めっき鉄筋指針)</li> <li>異種間腐食防止に関する対策の検討 (▲)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>補修、異種間については次年度実験結果を踏まえて提案する。</li> <li>その他は、めっき指針に従って判定基準を作成する。(めっき指針p.64~81)</li> </ul>	亜鉛めっき協会 (ゼネコン)	-

# 構造性能に関する溶融亜鉛めっき鉄筋の判定基準案

## 検討項目4: 構造性能 (亜鉛めっき鉄筋のみ検討)

項目	亜鉛めっき鉄筋の評価のための実施内容	亜鉛めっき鉄筋の判定基準案	担当主体	実験の必要性
(1) 梁部材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 付着割裂の影響を受けない付着余裕度、せん断余裕度の検討</li> <li>・ カットオフ筋を適用する際の構造性能評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 今年度、次年度実験結果を踏まえて提案する。</li> </ul>	大学 建研他	あり
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 正負繰り返し荷重を受ける部材の構造性能評価</li> </ul>			
(2) 柱部材	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 曲げ破壊を確保するための付着余裕度、せん断余裕度検討</li> </ul>			
(3) 柱梁 接合部	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 普通鉄筋と同程度の耐力(梁端ヒンジ状態)を確保するための設計条件検討 (例: 通り筋の付着やL形の定着を対象に、接合部内の定着時の適切な水平投影長さの検討等)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>計画と実施 (2024、2025)</li> </ul>		

\* エポキシ鉄筋では上記項目に関する判定基準なし

# 施工指針上必要な部分に関する溶融亜鉛めっき鉄筋の判定基準案

## 検討項目5: 施工指針上必要な部分 (亜鉛めっき鉄筋のみ検討)

項目	亜鉛めっき鉄筋の評価のための実施内容	亜鉛めっき鉄筋の判定基準案	担当主体	実験の必要性
(1) 受入時検査	・めっき皮膜の膜厚検査	・補修、異種間については次年度実験結果を踏まえて提案する。 ・その他は、めっき指針に従って判定基準を作成する。(めっき指針p.64~81) 情報収集(2023)	亜鉛めっき協会 (ゼネコン)	-
(2) 施工時検査	・めっき皮膜の表面検査(浮き上がり、錆など)			
(3) 鉄筋加工・組立て	・実施前後におけるめっき皮膜の損傷検査 ・異種金属製品または普通鉄筋との接触検査 ・めっき皮膜の補修状態の検査			
(4) かぶり厚さ	・最小かぶり厚さの検査			

- \* エポキシ鉄筋では上記項目に関する判定基準なし
- \* 通常の方法で実施し、日本建築学会の亜鉛めっき指針を引用する。

### 【参考】亜鉛めっき鉄筋指針(日本建築学会)での規定内容

- ・鉄筋工事担当者が亜鉛めっき鉄筋に関する知識を理解の上、工事管理を実施する。
- ・第三者試験機関に依頼して亜鉛めっき鉄筋の試験および検査を行う。  
(500本またはその端数ごとに1本の試験材を採取する。)
- ・亜鉛めっき鉄筋の品質管理は基本的にはJISとJASS 5に従い、めっき技能士が実施
- ・品質管理のために、受け入れ時の試験成績書を確認し、組み立ての適切な時期に目視検査を実施

# 耐火性能に関する溶融亜鉛めっき鉄筋の判定基準案

## 検討項目6:耐火性能 (亜鉛めっき鉄筋のみ検討)

項目	亜鉛めっき鉄筋の評価のための実施内容	亜鉛めっき鉄筋の判定基準案	担当主体	実験の必要性
(1) 加熱中の付着性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>加熱中における亜鉛めっき鉄筋の付着性能評価</li> <li>→次年度予算で実施できる場合、実験を検討する。</li> <li>→熱間評価を優先検討する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>次年度実験結果を踏まえて提案する。</li> </ul> <div data-bbox="1159 357 1323 435" style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">                     計画(2023) 実施(2024)                 </div>	大学 建研他	検討中
(2) 加熱後の構造性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>加熱後における亜鉛めっき鉄筋の構造性能評価</li> <li>→次年度予算で実施できる場合、実験を検討する。</li> <li>→(1)の評価後、実験計画を策定して熱間評価を優先検討する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>今後検討する。</li> </ul>		

\* エポキシ鉄筋では上記項目に関する判定基準なし

## (二) 溶融亜鉛めっき鉄筋と整合する環境配慮型コンクリートに関する調査及び整理

・環境配慮型コンクリートにおける溶融亜鉛めっき鉄筋の防食性能に関する**文献調査**を実施した。その結果、普通コンクリートにおける亜鉛皮膜は保護皮膜作用、犠牲防食効果、CHZ形成による保護効果と、不働態効果等を伴うため防食性能が高いことを確認したが、相対的に低アルカリ～中性化環境となる**環境配慮型コンクリートにおける溶融亜鉛めっき鉄筋の防食性能に関する評価事例は少ない**ことを確認した。

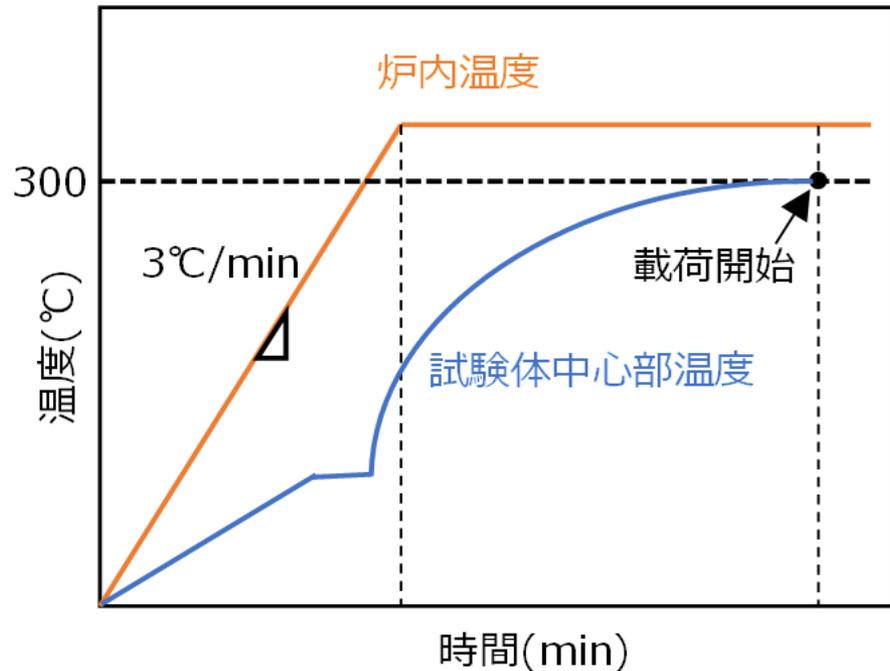
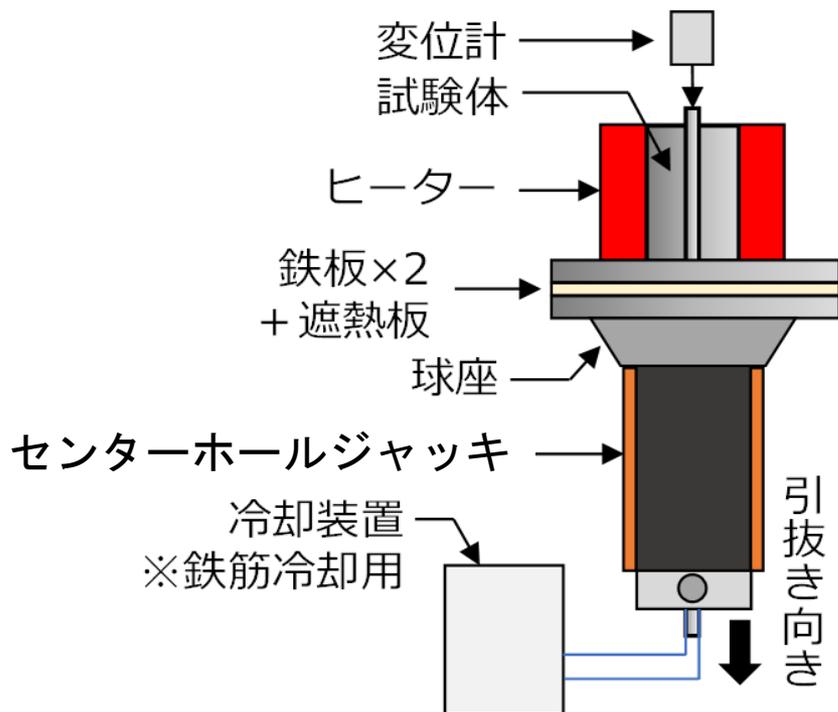
・環境配慮型コンクリートおよび溶融亜鉛めっき鉄筋を用いた梁試験体の構造性能を検討し、**普通鉄筋または普通コンクリートを使用した梁試験体との違いを検討するための実験計画を策定**した。また、コンクリートの諸特性の違いにおける構造性能の違いを確認するために、梁試験体は付着割裂破壊またはせん断破壊を想定する設計条件とした。

## (木)耐火性能の検討

## ○実験計画策定

亜鉛めっき鉄筋の耐火性能に関する文献調査を実施するとともに、加熱中の付着性能評価を目的とした要素試験体を用いた実験の計画策定を行った。火災中の高温環境下におけるめっき鉄筋の付着強度に関しては、既往の文献のみでは十分な知見は得られず、熱間引抜試験を実施することにより、実態を明らかにする必要がある。

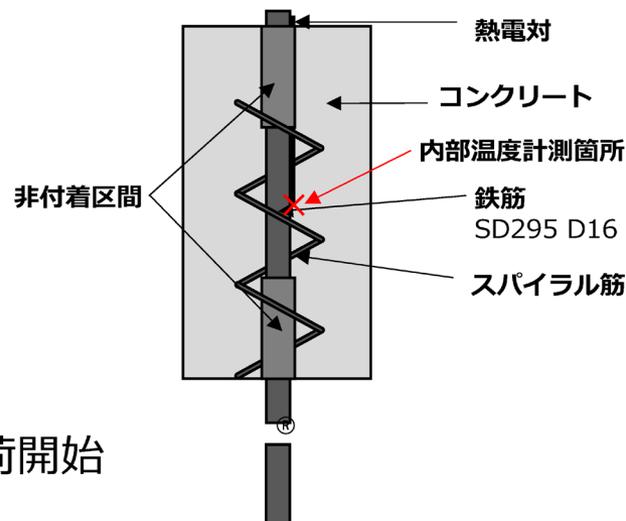
・要素試験体を用いた加熱中における付着性能評価を目的とした実験を行い、普通鉄筋と比較して性能差が生じないことを確認する。



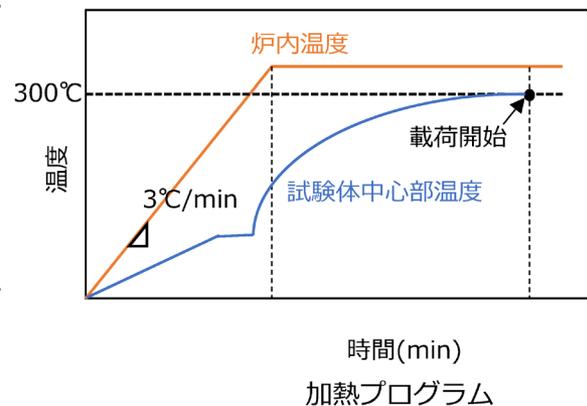
# (ホ)耐火性能の検討

## 実験計画(ホ)

- 実験目的  
普通鉄筋と比較して加熱中の付着強度に差異がないことを確認する
- 実験水準
  - コンクリート強度：30N/mm<sup>2</sup> (28日標水)
  - 水準：常温、100～700°C@100°C
  - 対象鉄筋：普通、メッキ (竹節・16D)
  - 試験体数n=5
- 試験条件
  - 昇温：3°C/min
  - 試験体中心部温度が設定温度となったら載荷開始



鉄筋種	膜厚 (μm)	加熱温度(°C)								合計
		常温	100	200	300	400	500	600	700	
普通	0	5	5	5	5	5	5	5	5	40
亜鉛めっき	120	5	5	5	5	5	5	5	5	40
合計		10	10	10	10	10	10	10	10	80



### 亜鉛皮膜の融点

- 純亜鉛層：約420度 (沸点は約906度)
- 合金層：約700度@zeta層、約900度@delta1層 (米国めっき協会：約530～780度範囲)

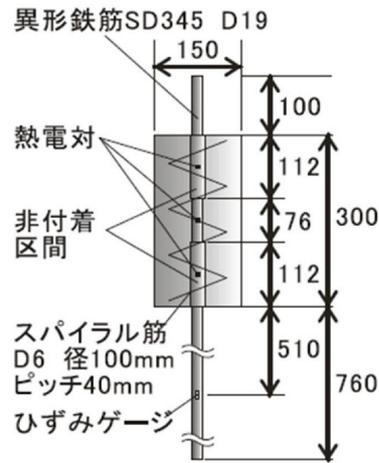


図-1 試験体図

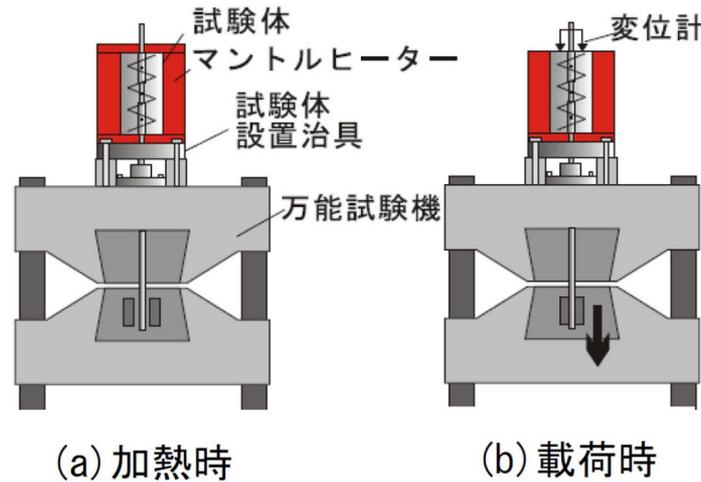
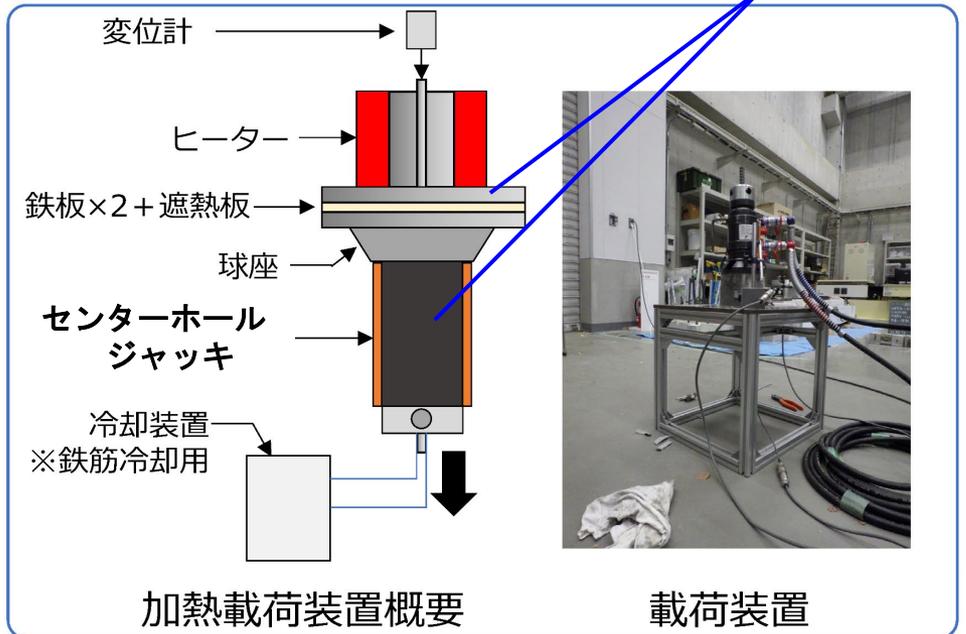
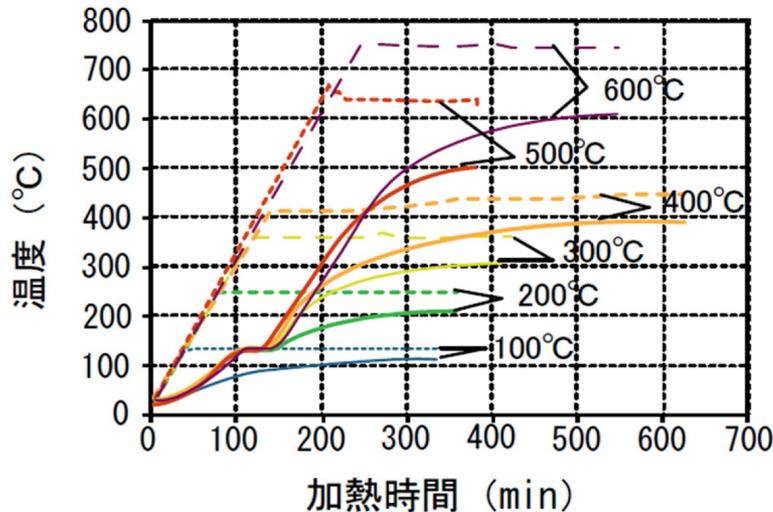


図-2 実験装置

※富永ら：高温におけるコンクリートと鉄筋の付着-すべり関係に関する研究, 2013AIJ



加熱荷重装置概要

荷重装置

# まとめ

溶融亜鉛めっき鉄筋を使用した鉄筋コンクリートにおける材料性能、構造性能、耐火性能、また、環境配慮型コンクリートに使用した場合の性能など、確認すべき課題の解決に資する技術資料の整備を目的として実施した。

(イ) 耐久性や防錆性能の検討

(ロ) 構造性能の検討

(ハ) 技術的資料のとりまとめ

(ニ) 環境配慮型コンクリートの検討

(ホ) 耐火性能の検討

# まとめ

## (イ) 耐久性や防錆性能の検討

- ・水セメント比、圧縮強度に関わらず、めっき鉄筋と普通鉄筋の付着応力度は同等
- ・鉄筋径・膜厚差に関わらず、めっき鉄筋と普通鉄筋の付着応力度は同等
- ・曲げ加工部の防錆性能、品確法緩和に向けた防食性能評価に関する実験計画

## (ロ) 構造性能の検討

- ・梁部材の一方向載荷実験から、めっき鉄筋部材は普通鉄筋部材と同等
- ・カットオフを行った場合の構造性能の確認 追加分析の必要性
- ・繰り返し載荷の影響を検討する梁部材実験の計画と試験体の製作

## (ハ) 技術的資料のとりまとめ

- ・溶融亜鉛めっき鉄筋の判定基準案を作成

## (ニ) 環境配慮型コンクリートの検討

- ・文献調査(付着性能、防錆性能、構造性能)、実験計画策定

## (ホ) 耐火性能の検討

- ・実験計画策定 加熱中の付着性能評価を目的とした要素試験体