

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・日本大学

**令和6年度 成果報告会
5/15 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

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、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。

めっき



普通



(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

(ホ) 耐火性能の検討

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 亜鉛めっき鉄筋における継手の対象(重ね継手部の付着性能評価)
- ・防錆性能 折曲げ等により鉄筋加工した部位の母材保護効果の評価
品確法緩和を考慮した防錆性能評価
暴露環境における溶融亜鉛めっき鉄筋の防食性能(+付着性能)評価

(ロ) 構造性能の検討

○実験計画 重ね継手筋を用いた梁試験体の構造性能評価

正負繰り返し载荷を受ける柱梁接合部の構造性能

○部材試験体の製作 正負繰り返し载荷を受ける柱試験体の構造性能評価

○部材実験実施 正負繰り返し载荷を受ける梁試験体の構造性能評価

(ハ) 技術的資料のとりまとめ

○溶融亜鉛めっき鉄筋の性能判定基準案の検討

(ニ) 耐火性能の検討

○試験体製作、実験実施 加熱中における溶融亜鉛めっき鉄筋の耐火性能評価

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(日本大学)

WG

向井 智久(国土技術政策総合研究所)

小原 拓(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)

坂下 雅信(建築研究所)

中村 聡宏(建築研究所)

鹿毛 忠継(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)

11名

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(東京科学大学)

谷 昌典(京都大学)

井上 波彦(国土技術政策総合研究所)

上野 翔平(住宅局)

柳沢 圭祐(住宅局)

吉田 優一郎(住宅局)

橋口 真依(住宅局)

種子田 翔一(住宅局)

小板橋 紀哉(住宅局)

久保 寿斗(住宅局)

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)

28名

事業の工程計画(2024)

調査検討項目	2024									2025			
	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耐久性や防錆性能に関する検討		文献調査&実験計画						結果分析					
				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構造性能に関する検討		文献調査&実験計画						結果分析					
				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技術的資料のとりまとめ				(イ)と(ロ)における文献調査・実験結果のとりまとめ									
(二)(その他) 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		文献調査&実験計画									報告書作成		
(ホ)(その他) 溶融亜鉛めっき鉄筋の耐火性能評価		実験計画						結果分析					
				試験体製作&実験実施						報告書作成			
* 全体委員会の運営				7/19				11/1		1/15			
* WG定例会の運営		5/10	6/6		8/19	9/20		11/19	12/26	1/29			

事業のフロー(全体)

2023年度

2024年度

2025年度

(イ) 耐久性能・防錆性能の検討

○試験体製作、実験計画と実施、文献調査
(耐久性能: 調査要因 (A1)、亜鉛皮膜の膜厚差における付着性能 (A2))

(防錆性能: 曲げ加工部における母材保護効果 (B1)、品確法緩和を考慮した防食性能評価 (B2))

(ロ) 構造性能の検討

○実験計画
(付着余裕度等の異なる部材)
○梁試験体の製作、実験
(通し筋の場合 (シリーズ①))
(カットオフ筋の場合 (シリーズ②))

(ハ) 技術的資料のとりまとめ

・(イ)と(ロ)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

(耐久性能)
○重ね継手した亜鉛めっき鉄筋の付着の要素性能 (A3: 製作、実験)
(防錆性能)
○曲げ加工部における母材保護効果 (B1: 計画)
○品確法緩和を考慮した防食性能評価 (B2: 製作)
○暴露環境における亜鉛皮膜の防食効果 (B5: 製作)



「現行のRC造基準を適用した場合の部材の構造性能の確認」
○正負繰返し梁試験体の実験、計画
(通し筋の場合 (シリーズ①): 実験)
(重ね継手の場合 (シリーズ②): 計画)
○柱試験体 (シリーズ③: 製作)
(軸力比、せん断余裕度等の異なる部材)
○柱梁接合部試験体 (シリーズ④: 計画)
(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)、(ホ)における実験結果分析等のとりまとめ



○(イ)におけるB2、B5の実施により対応

○試験体の製作、実験

(防錆性能)
○曲げ加工部における母材保護効果 (B1: 製作、実験)
○品確法緩和を考慮した防食性能評価 (B2: 実験)
○暴露環境における亜鉛皮膜の防食効果 (B5: 実験)



○重ね継手梁試験体 (シリーズ②: 製作、実験)
○柱試験体 (シリーズ③: 実験)
(軸力比、せん断余裕度等の異なる部材)
○柱梁接合部試験体 (シリーズ④: 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)、(ホ)における実験結果分析等のとりまとめ



○(イ)におけるB2、B5の実施により対応

(イ)耐久性や防錆性能の検討

A. 防錆性能

A3. 亜鉛めっき鉄筋における継手の対象(重ね継手部の付着性能評価)

○研究背景

- ・重ね継手を有する溶融亜鉛めっき鉄筋の付着性能に関する検討事例はなく、現行基準を適用してよいのかについて判断するための技術資料がないのが現状である。

○研究目的

- ・今回の実験の拘束筋は、特定部材の継手部の配筋環境の再現ではなく、重ね継手部における付着性状の把握ができるように、最低限の配筋量を特定するために用いている。その結果、亜鉛めっき鉄筋の付着性能が普通鉄筋と同等であるか明らかにすることを目的とする。
- ・現行の設計基準(RC規準)、継手性能判定基準(黄色本)における試験方法を参考にして、両引き載荷による要素実験を行う。

○実験水準

- ・拘束筋の配筋量(コンクリートの割裂による付着強度への影響を確認するため)
- ・継手長さ(現行基準を満足する長さを含め、鉄筋降伏より付着破壊が先行する長さにおける付着挙動を確認するため)

(イ)耐久性や防錆性能の検討

A. 防錆性能

A3. 亜鉛めっき鉄筋における継手の対象(重ね継手部の付着性能評価)

○実験水準

表. 実験水準1(性能評価用)

鉄筋種類	鉄筋径	拘束筋比	継手長さ と 配筋	測定項目	試験体概要
・ 亜鉛めっき ・ 普通	・ D22	・ 0.6%	・ 40D@中央、上端 ・ 25D@中央、上端	・ 付着性能	・ 普通セメントコンクリート (Fc27) ・ 主筋 : D22-SD345 ・ 補強筋 : D10-SD295
(2)	(1)	(1)	(4)	(1)	・ 鉄筋あき : なし ・ フック曲げ角度 : なし (直線)
・ 亜鉛めっき ・ 普通	・ D22	・ 1.2% ・ 0.3%	・ 40D@中央 ・ 25D@中央	・ 付着性能	<参考> JASS5規定
(2)	(1)	(2)	(2)	(1)	・ 標準継手長さL ₁ =40d(直線) ・ 標準継手長さL _{1h} =30d(フック付き) <参考> 配筋指針規定 ・ 継手筋あき : 0.2L1かつ150mm以下

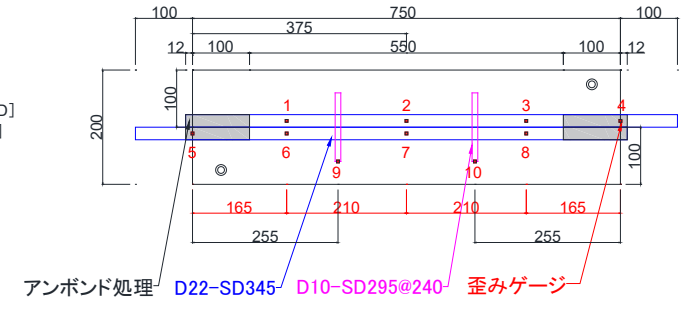
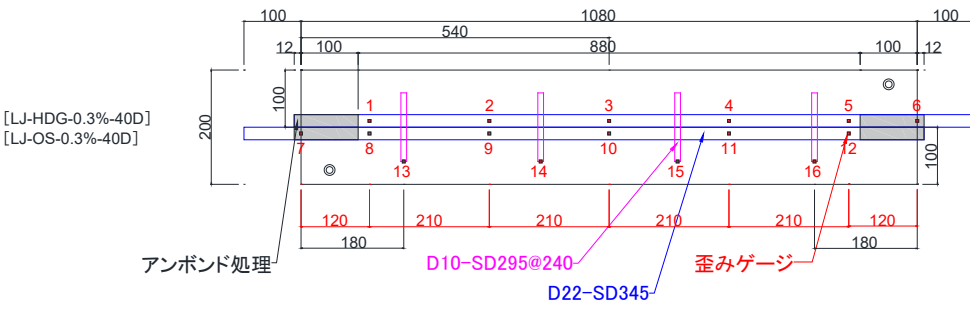
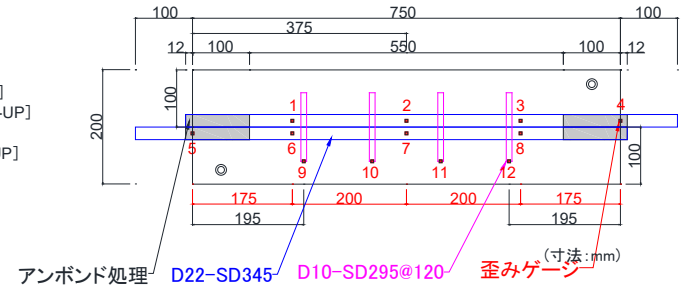
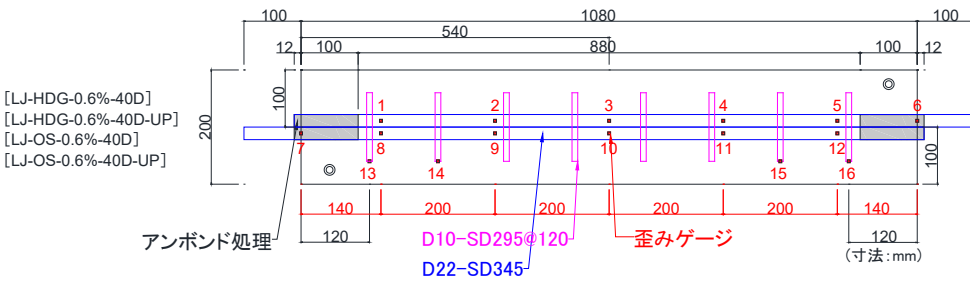
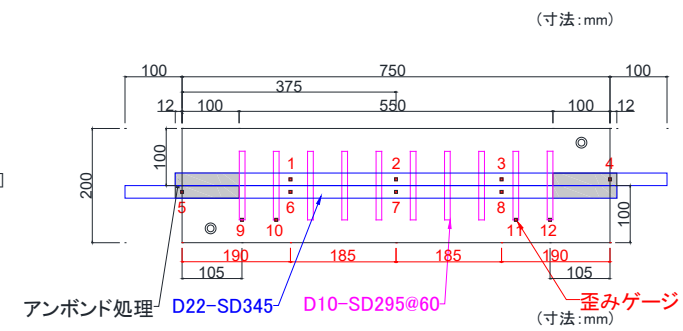
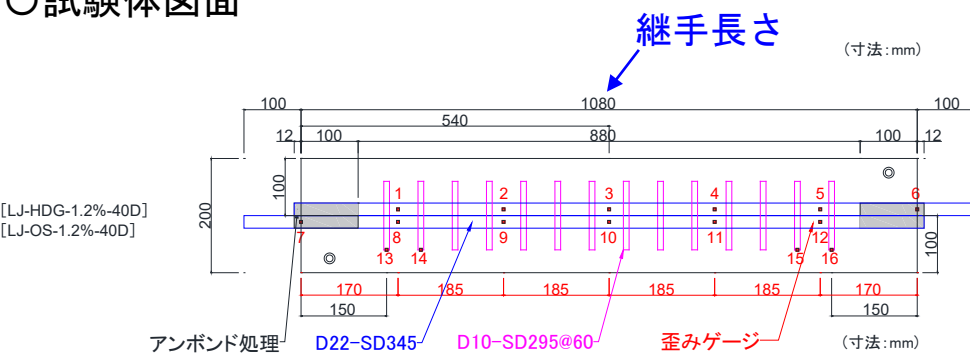
試験体合計 (2*4+2*2*2) = 16本

(イ) 耐久性や防錆性能の検討

A. 防錆性能

A3. 亜鉛めっき鉄筋における継手の対象(重ね継手部の付着性能評価)

○試験体図面

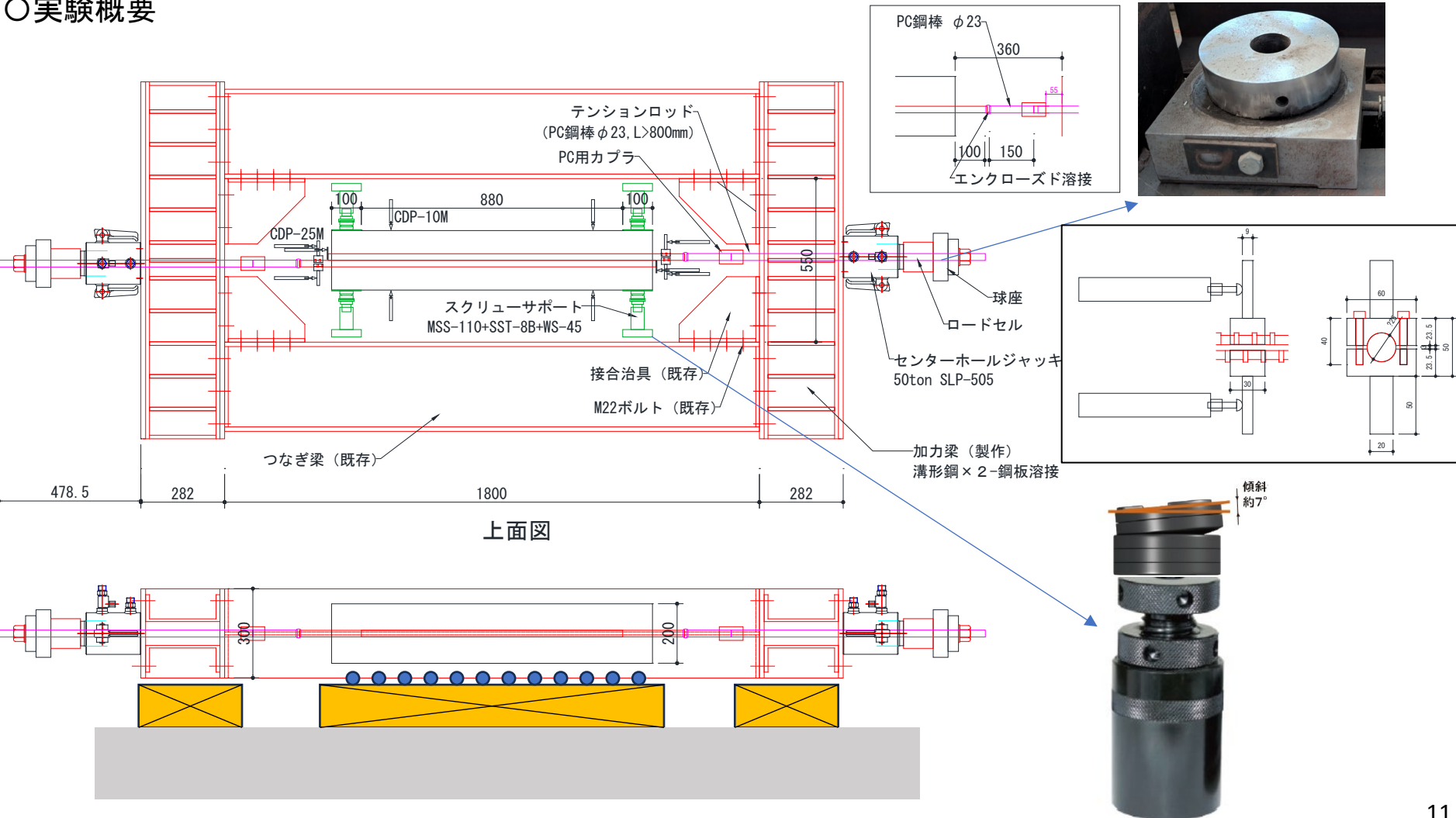


(イ) 耐久性や防錆性能の検討

A. 防錆性能

A3. 亜鉛めっき鉄筋における継手の対象(重ね継手部の付着性能評価)

○実験概要

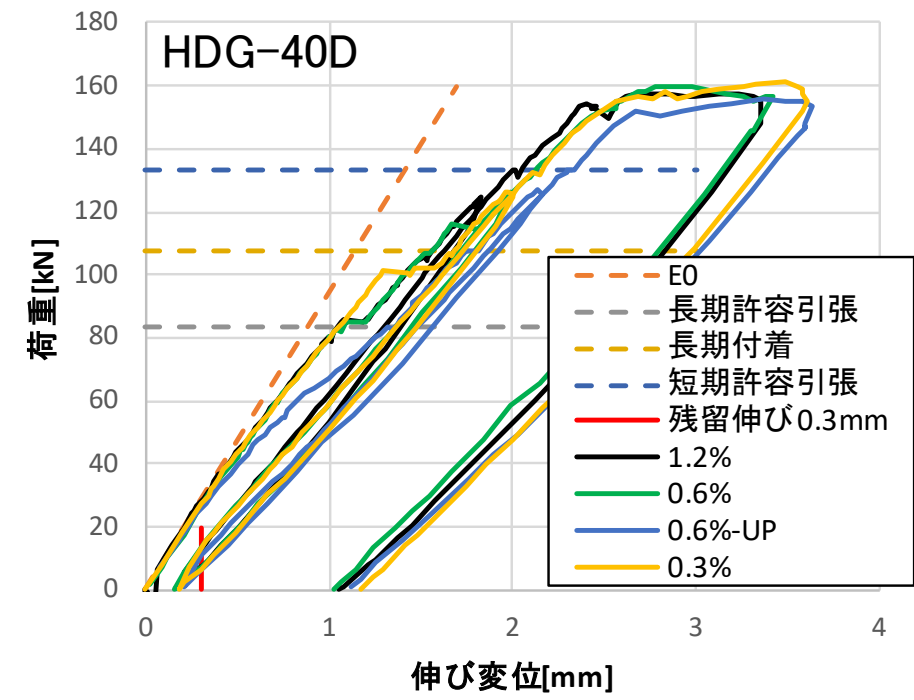
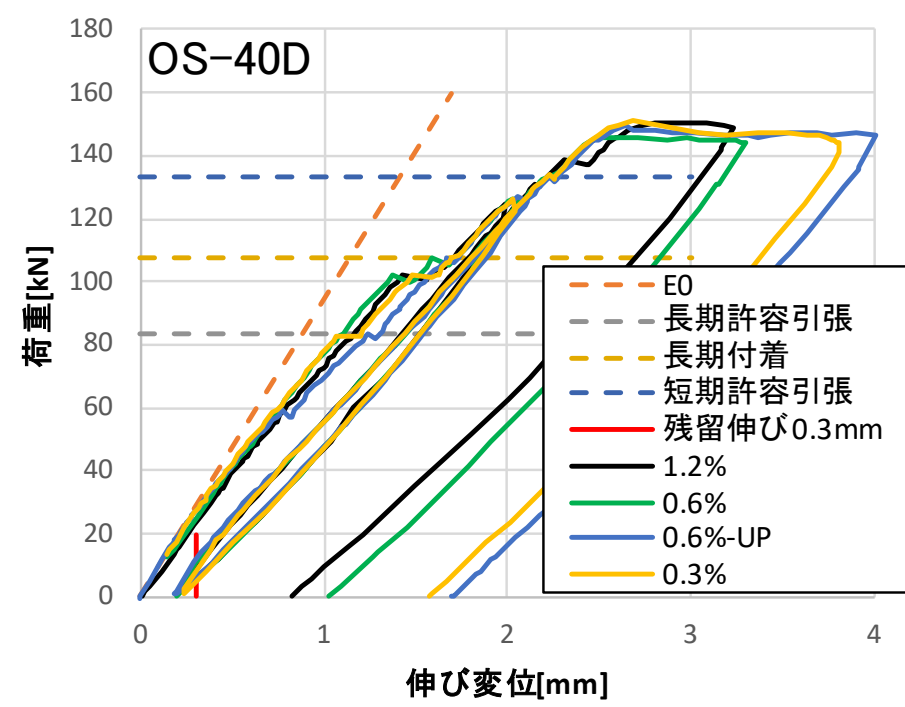


(イ) 耐久性や防錆性能の検討

A. 防錆性能

A3. 亜鉛めっき鉄筋における継手の対象(重ね継手部の付着性能評価)

○鉄筋種類別で比較



○ 補強筋比の違いによる降伏までの荷重変形関係の差異はない

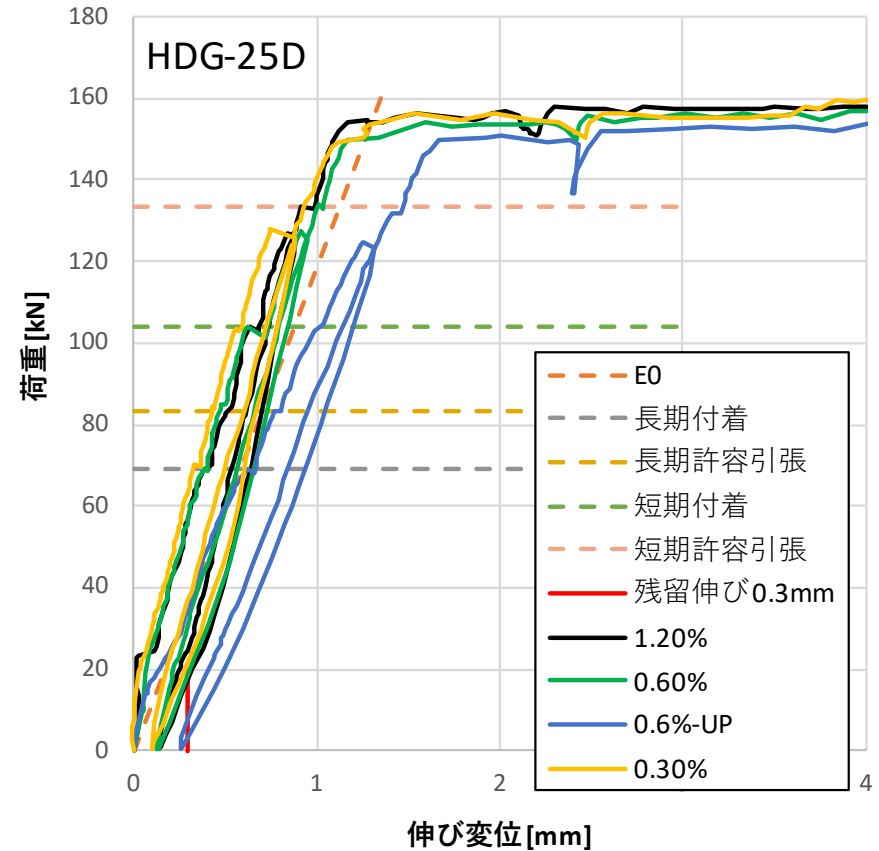
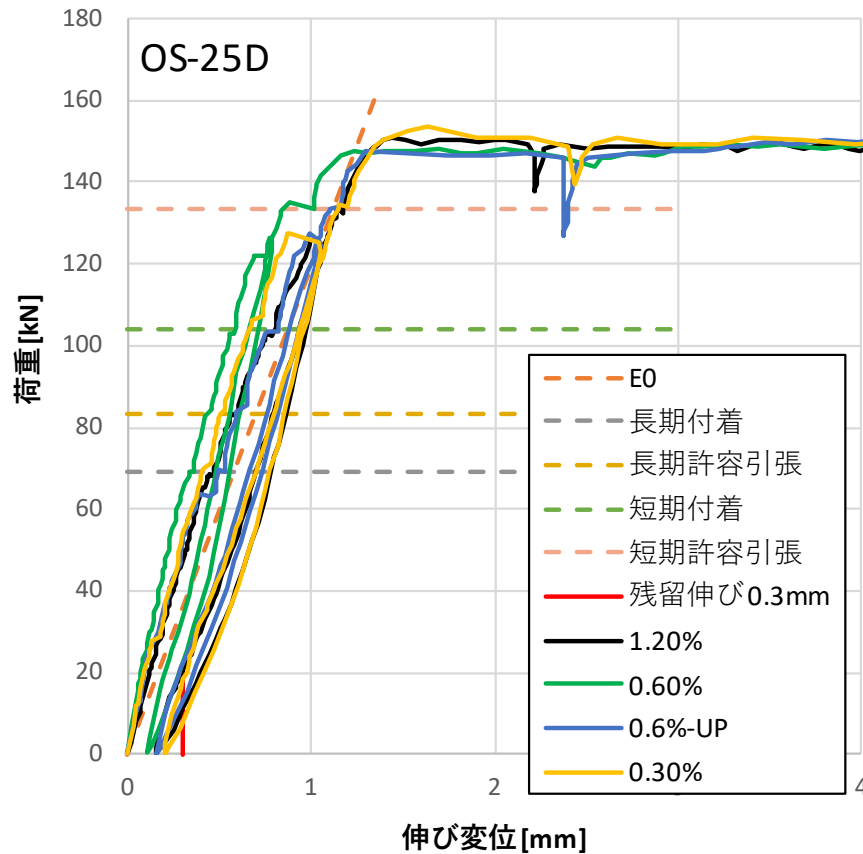
○ 主筋が上に寄っている試験体の方が、初期剛性から低下するタイミングが早いですが、短期許容引張程度以降は同等

(イ)耐久性や防錆性能の検討

A. 防錆性能

A3. 亜鉛めっき鉄筋における継手の対象(重ね継手部の付着性能評価)

○鉄筋種類別で比較



○ 補強筋比の違いによる降伏までの荷重変形関係の差異はない

○ 主筋が上に寄っている試験体の方が、初期剛性から低下するタイミングが早い

(イ)耐久性や防錆性能の検討

B. 防錆性能

B1. 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にする。
- ・ 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。
- ・ 2023年度は文献調査を行う。また、実験装置(@建研)を使用することを念頭においた実験計画を策定する。
- ・ 2023年度の調査結果に基づき、2024年度は実験計画を確定し、2025年度に試験体製作と実験を行う。

B2. 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する。
- ・ 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既往文献を調査し、実験の必要性を確認する。

B5. 暴露環境における溶融亜鉛めっき鉄筋の防食性能(+付着性能)

- ・ 亜鉛めっき鉄筋において適切な耐久性能評価方法の検討を目的とする。(＋B1実験との比較も含む)
- ・ B2実験(品確法緩和のための防食性能評価)と連携して試験体を作製する。(全試験体暴露のため)
- ・ 普通鉄筋との比較を想定する実験計画を策定する。

(イ)耐久性や防錆性能の検討

B. 防錆性能

B1. 折曲げ等により鉄筋加工した部位の母材保護効果の評価

○試験体水準表

表. 実験水準案

鉄筋種類＋曲げ方法＋補修有無	鉄筋径＋曲げ半径	曲げ角度	促進条件（★：基準）	試験体概要
・ 亜鉛めっき＋めっき後曲げ＋補修○ ・ 亜鉛めっき＋めっき後曲げ＋補修× ・ 普通＋曲げ ・ 亜鉛めっき＋曲げ無し(直線部) ・ 普通＋曲げ無し(直線部)	・ D25＋2d（A判定） ・ D22＋2d（B判定） ・ D13＋1.5d（C判定）	・ 90度 ・ 135度 ・ 180度	・ 促進なし（打設なし） ・ 促進なし（打設のみ） ・ 40度＋乾湿繰り返し★ (20Cycle：60日)	・ W/C＝55% ・ SD295またはSD345 (鉄筋径に対応して) ・ かぶり厚：2cm (直線部を基準とする) ・ 亜鉛皮膜の膜厚：100μm ・ 曲げ部補修：亜鉛末塗料 (Zn90%以上、1種類) ・ 測定項目： 目視、膜厚、化学分析、 電気化学評価等 ・ 実験実施：建研(促進装置)

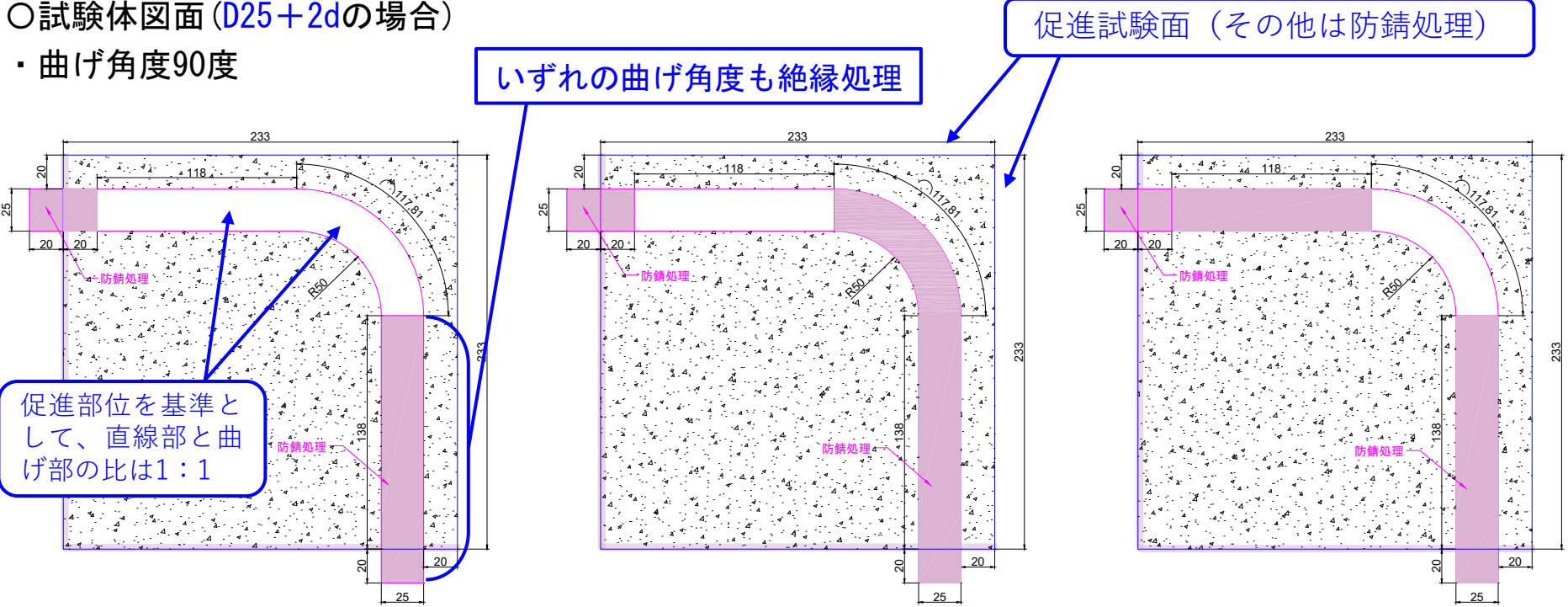
(イ) 耐久性や防錆性能の検討

B. 防錆性能

B1. 折曲げ等により鉄筋加工した部位の母材保護効果の評価

○試験体図面(D25+2dの場合)

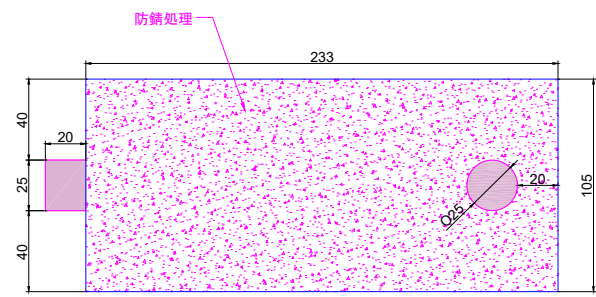
- ・ 曲げ角度90度



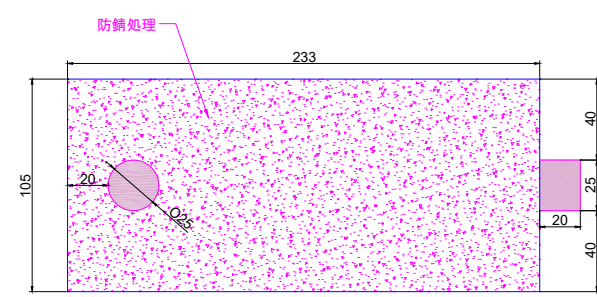
<平面図(直進部+曲げ部促進)>

<平面図(直進部のみ促進)>

<平面図(曲げ部のみ促進)>



<側面図1(非促進)>



<側面図2(非促進)>

(イ) 耐久性や防錆性能の検討

B. 防錆性能

B2. 品確法緩和を考慮した防錆性能評価

○実験水準と暴露計画

表. 実験水準

鉄筋種類(直線部)	W/B	セメント	ばくろ前中性化深さ・塩分		ばくろ環境	腐食度
・亜鉛めっき鉄筋 ・普通鉄筋 (φ13-SR235) かぶり厚は2cmにする。	55% ($\sigma_{28} = 33.5 \sim 43.5$ N/mm ²)	・普通 ・高炉スラグ (C種)	促進中性化 : なし	塩分 : 0,1,3,9(kg/m ³)	理大 (材齢56日以降開始)	限界残存膜厚 (70 μmまで減耗) 初期膜厚平均 110.9 μm 標準偏差 7.2 μm
			促進中性化 : ・0 ・かぶり厚+10 (mm)	塩分なし	理大 (中性化促進後にばくろ開始)	
(2)	(1)	(2)	(6)		(1)	(1)

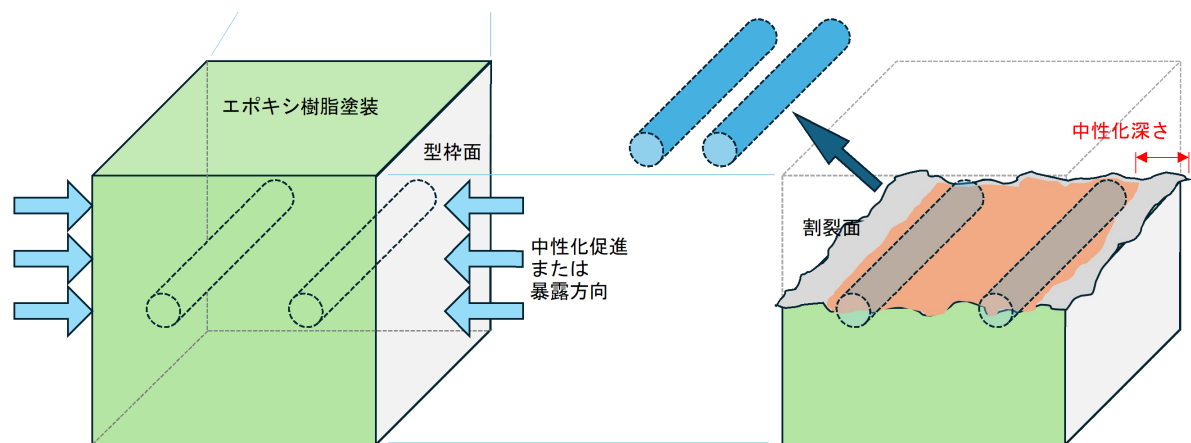


図 試験体形状

(イ)耐久性や防錆性能の検討

B. 防錆性能

B2. 品確法緩和を考慮した防錆性能評価

<スケジュール案>

- ・ 2025/02/18 : 暴露開始
- ・ 2025/08/18～08/22 : 測定期間 (0.5年)
- ・ 2026/02/16～02/20 : 測定期間 (1年)

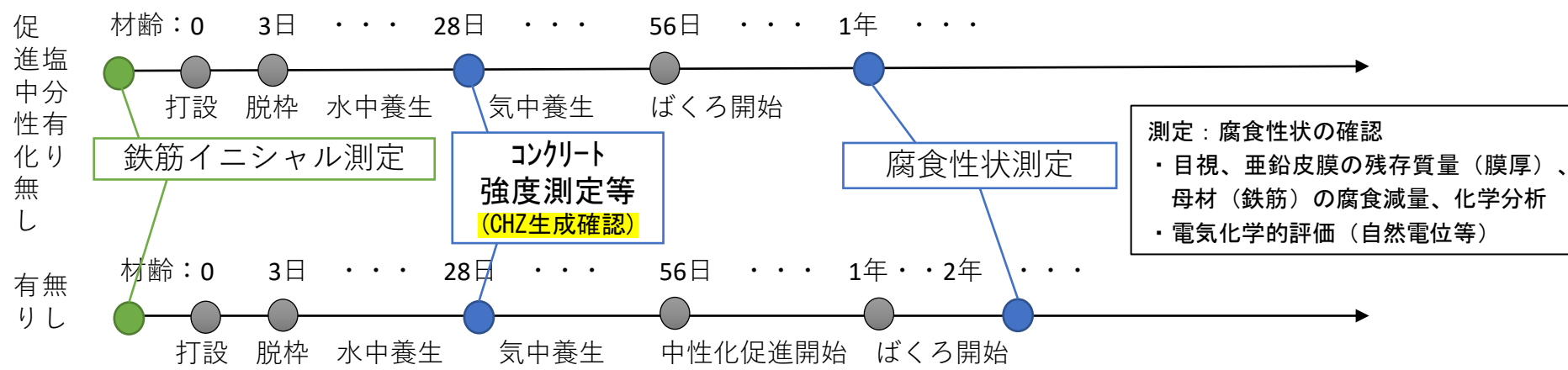
○実験水準の比較

	セメント種類	W/C	塩化物イオン量	かぶり厚さ	ばくろ場所	測定材齢※1	n数	減耗量
	—	%	Kg/m ³	cm	—	年		
崎原ら※2	N	55	0.5～8の5水準	4	沖縄	0.5、1	?	0～10 μm
S40	N, BC	55	0～9の4水準	2	理科大	0.5、1	3	

※1ばくろ開始からの期間

※2 崎原康平他、コンクリート中に埋設された溶融亜鉛めっき鉄筋の腐食予測に関する研究、日本材料学会コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム論文報告集、Vol.18, pp.167-172, 2018

(論文をお持ちでしたら共有ください。現在、AIJ指針の又引き参照状態です。)



CHZ生成確認方法：XRD？SEM？ 試験片の採取方法？

(イ)耐久性や防錆性能の検討

B. 防錆性能

B5. 暴露環境における溶融亜鉛めっき鉄筋の防食・付着性能評価

○実験目的

めっき鉄筋において適切な防錆性能評価方法（実施環境、促進条件等）の検討を目的とする。また、B1実験（曲げ加工部の母材保護効果）で実施する促進試験による耐久性能評価結果とも比較する。

○暴露試験体一覧表（暴露環境：長崎市・端島）

表. 実験水準1（性能評価用）

鉄筋種類	セメント種類	暴露時間	測定項目	試験体概要
・ 亜鉛めっき鉄筋 ・ 普通鉄筋 ・ エポキシ鉄筋	・ 普通 (N) ・ 高炉スラグ C種 (BC)	・ 暴露なし ・ 0.5年間	・ 膜厚、化学分析等 (2) ・ 電気化学評価 (1) ・ 付着性能 (3)	・ W/B=55% ($\sigma_{28}=33.5\sim43.5\text{N/mm}^2$) ・ D13-SD345 (L=390mm) ・ 80*80*80mm ³ のコンクリート ・ 付着長さ=52mm ・ 外部鉄筋と際面を被覆 ・ 暴露環境の温湿度データを計測
(3)	(2)	(2)	(5)	
試験体合計 (3*2*2*5) =60本				

表. 実験水準2（材料試験用）

鉄筋種類	暴露時間	測定項目	セメント種類	暴露時間	測定項目
・ 亜鉛めっき鉄筋 ・ 普通鉄筋 ・ エポキシ鉄筋	・ 健全	・ 引張試験	・ 普通 (N) ・ 高炉スラグC種 (BC)	・ 健全 (28日) ・ 0.5年間	・ 圧縮試験 (3) ・ 塩化物量 (1)
(3)	(1)	(3)	(2)	(2)	(4)
試験体合計 (3*1*3) =9本			試験体合計 (2*2*4) =16本（円柱12個、角柱4個）		
試験体寸法：D13-SD345 (L=600mm)			試験体寸法：円柱（圧縮用）、角柱（塩化物用）		

(イ) 耐久性や防錆性能の検討

B. 防錆性能

B5. 暴露環境における溶融亜鉛めっき鉄筋の防食・付着性能評価

<スケジュール案>

- ・ 2025/03/08 : 暴露開始 (0年)
- ・ 2025/05 : 測定期間 (0.22年)
- ・ 2025/08 : 測定期間 (0.44年)
- ・ 2025/10 : 測定期間 (0.64年)
- ・ 2025/11以降 : 付着実験

○暴露状況 (2025/03/12撮影)



図 試験体全体

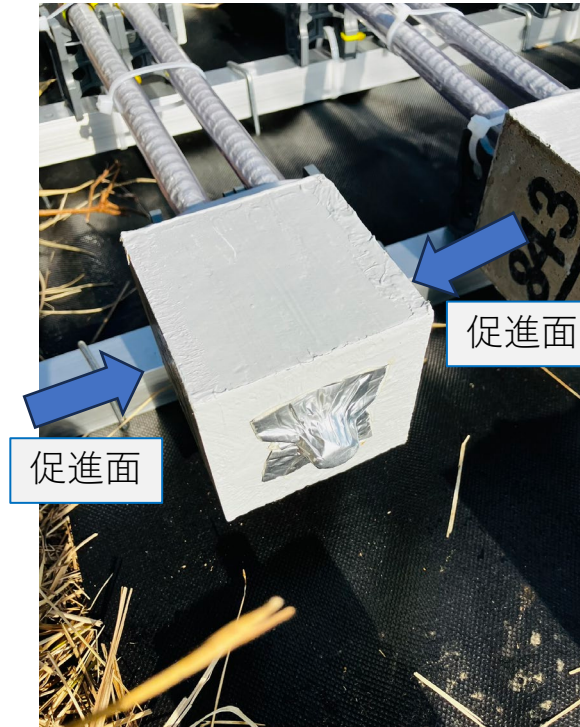


図 付着試験体@自由端側



図 付着試験体@荷端側

(ロ) 構造性能の検討

(シリーズ①) 正負繰り返し載荷を受ける梁試験体の構造性能

- ・今まで検討してきた溶融亜鉛めっき鉄筋梁試験体は単調載荷(片押し)方法による構造性能評価であったが、安全側の設計手法を提案するための技術的資料の収集において、正負繰り返し載荷を受ける場合の主筋の付着性状を確認する必要がある
- ・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。

(シリーズ②) 重ね継手筋を用いた梁試験体の構造性能評価

(シリーズ③) 正負繰り返し載荷を受ける柱試験体の構造性能

- ・軸力を受ける際における溶融亜鉛めっき鉄筋の性能評価を目的とし、一定軸力(軸力比0.1～0.2程度)を付与した載荷条件における柱試験体の構造性能評価を実施する。

(シリーズ④) 正負繰り返し載荷を受ける柱梁接合部の構造性能評価

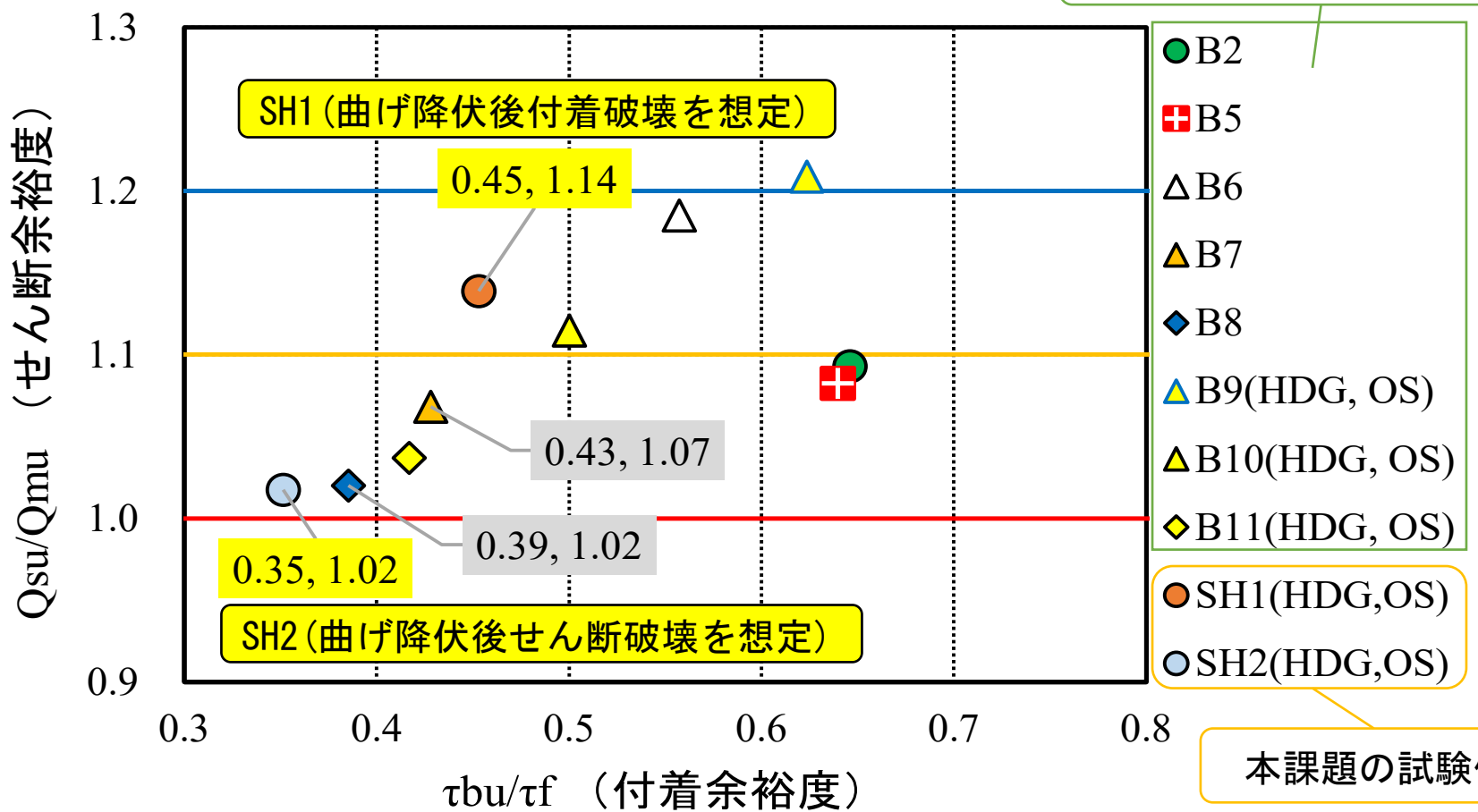
(ロ) 構造性能の検討

(シリーズ① 正負繰り返し载荷を受ける梁試験体の構造性能評価)

実験目的

破壊モードがコンクリートによって定まる状況下における亜鉛めっき鉄筋の構造性能・付着挙動を検討し、単調载荷時(方押し)との違い、普通鉄筋との違いを明らかにする

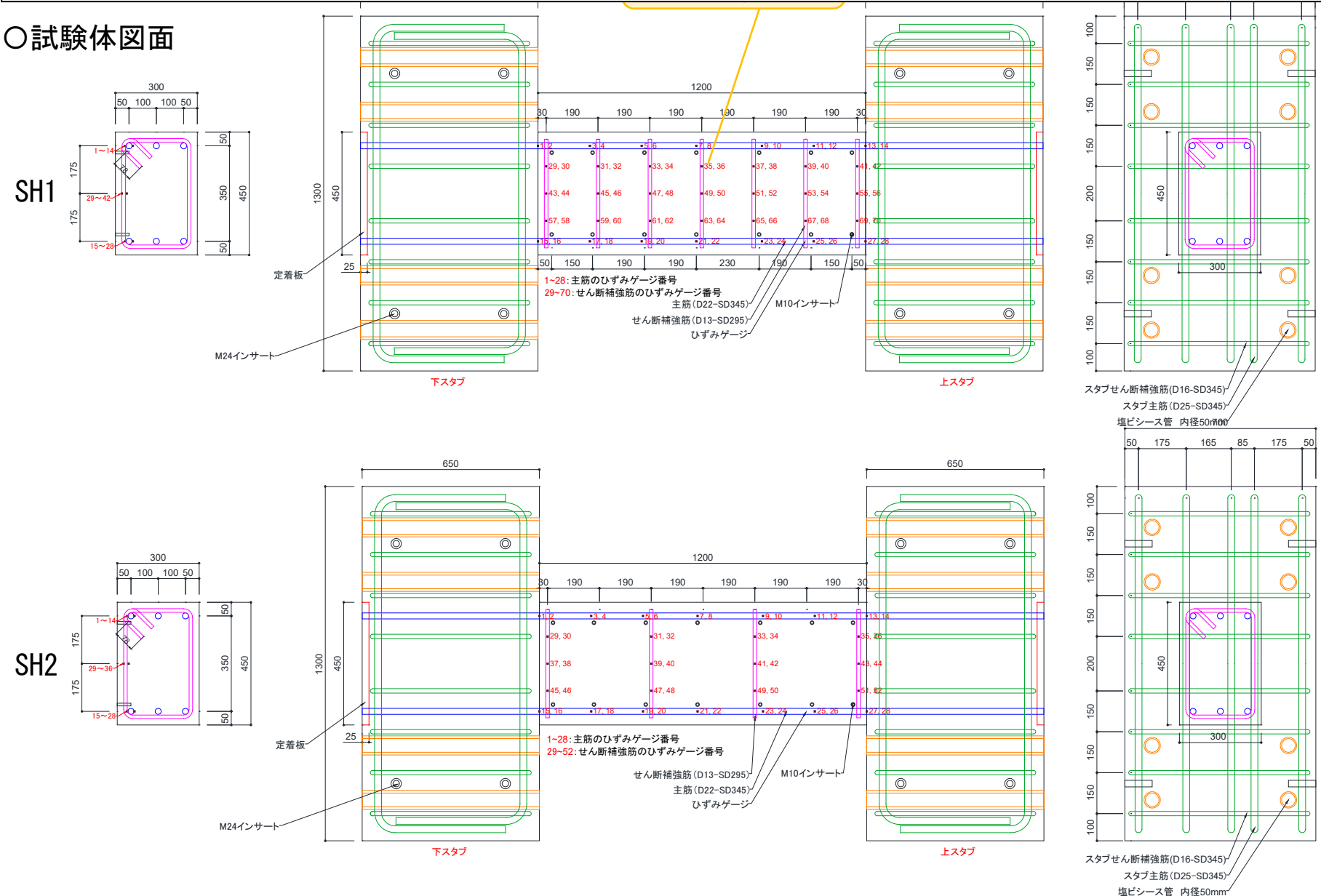
○せん断余裕度および付着余裕度分布



(口) 構造性能の検討

(シリーズ① 正負繰返し载荷を受ける梁試験体の構造性能評価)

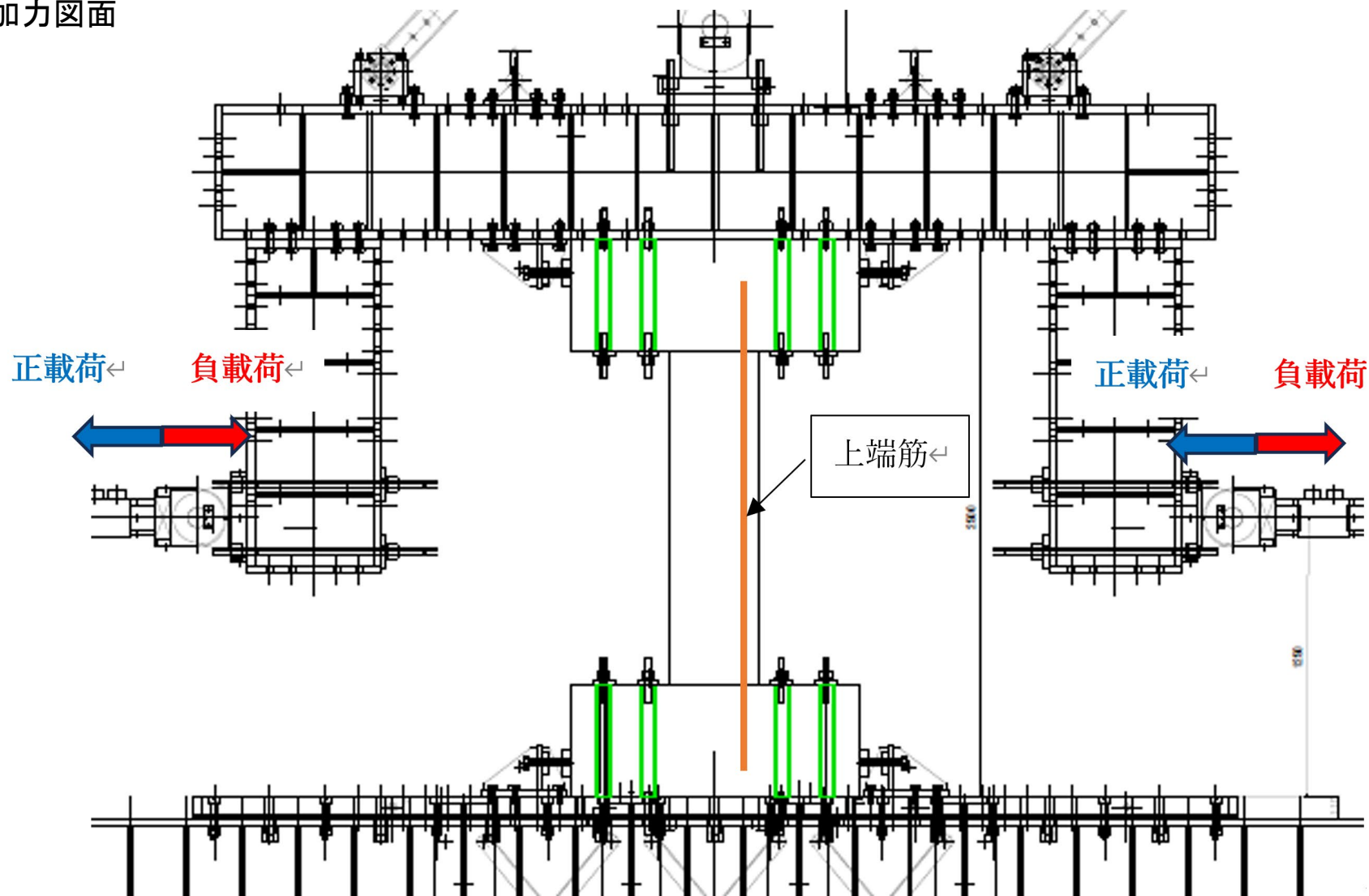
○試験体図面



(ロ) 構造性能の検討

(シリーズ① 正負繰返し载荷を受ける梁試験体の構造性能評価)

○加力図面

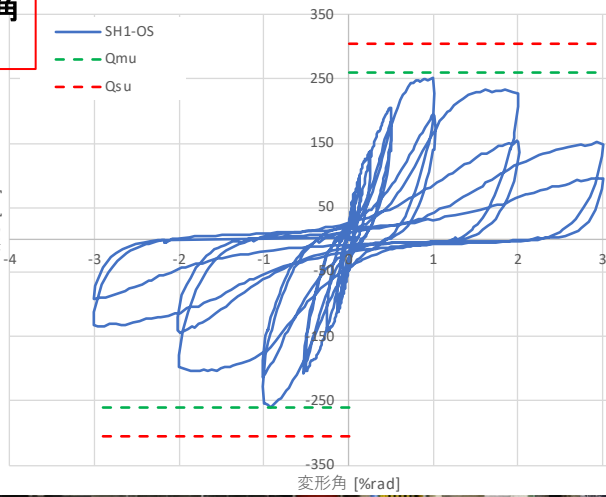


(口) 構造性能の検討

(シリーズ① 正負繰返し载荷を受ける梁試験体の構造性能評価)

降伏時変形角
(負载荷)

SG55	-0.625
SG22	-0.707
SG11	-0.708
SG61	-0.825
SG12	-0.888
SG67	-0.895
SG14	-0.917
SG15	-0.917
SG16	-0.917
SG62	-0.947
SG18	-1.005
SG48	-1.06
SG47	-1.212
SG10	-1.318
SG20	-2.753



降伏時変形角
(正载荷)

SG53	0.64
SG39	0.668
SG27	0.728
SG31	0.728
SG28	0.757
SG3	0.788
SG40	0.788
SG65	0.88
SG23	0.958
SG4	0.967
SG8	1.712
SG46	1.85

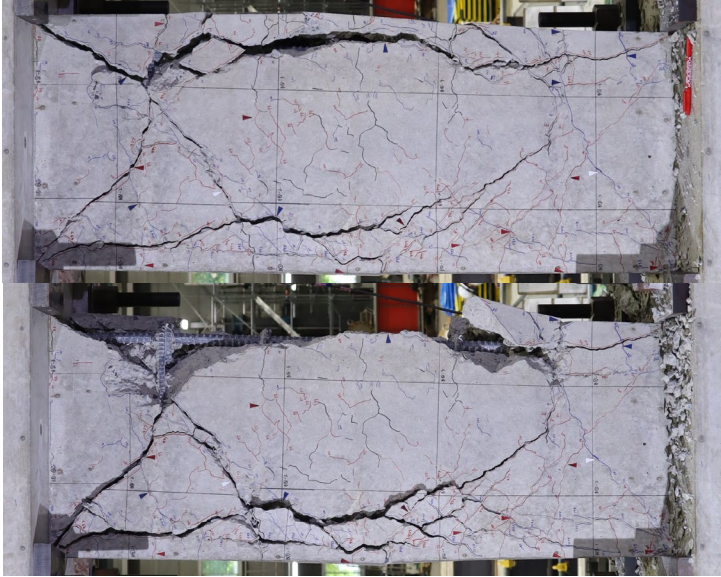
降伏時変形角
(負载荷)

SG6	-0.108
SG37	-0.617
SG67	-0.638
SG38	-0.877
SG61	-1.332
SG54	-1.965



降伏時変形角
(正载荷)

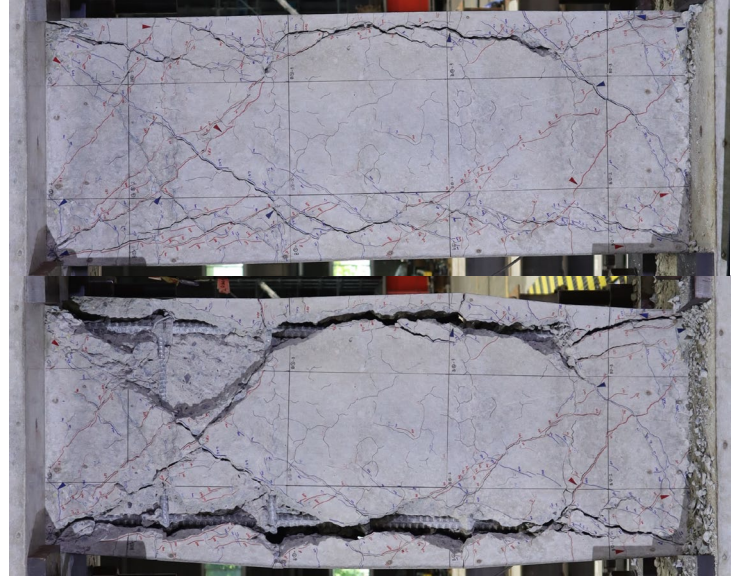
SG3	0.795
SG27	0.795
SG65	0.812
SG4	0.833
SG25	1.277
SG28	1.318
SG52	1.517
SG26	1.565
SG39	1.715
SG66	1.865
SG31	2.365
SG32	2.78



R=2. 0%サイクル
終了時

R=3. 0%サイクル
終了時

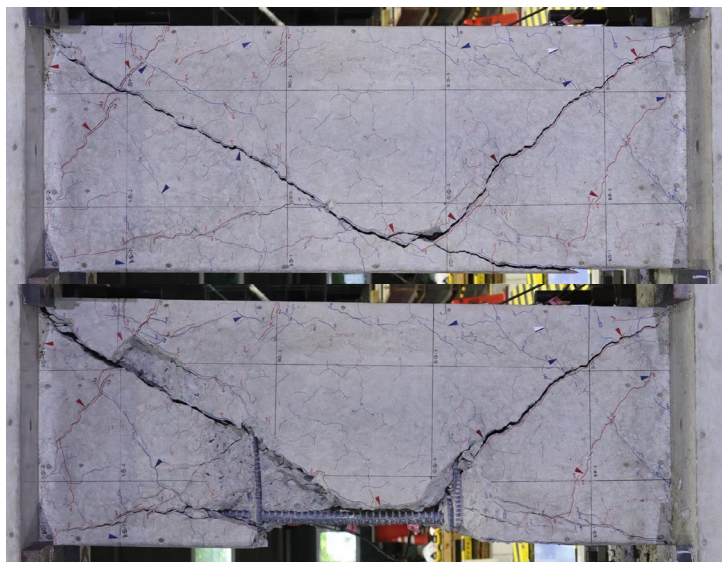
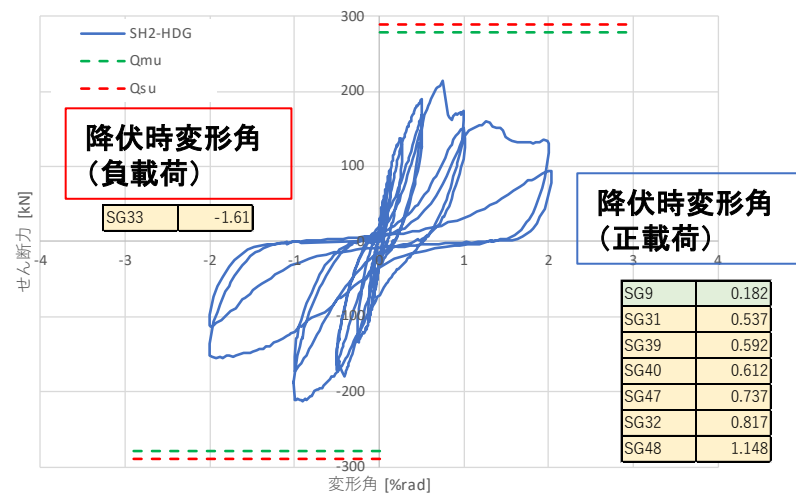
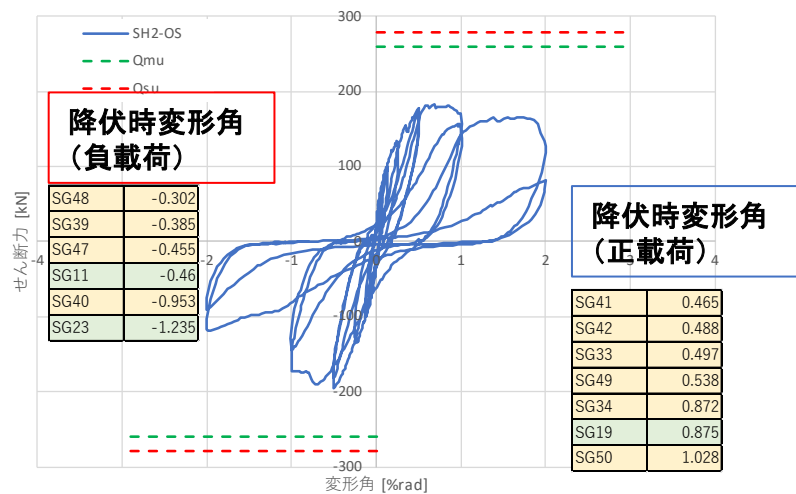
SH1-OS : 曲げ降伏後耐力低下



SH1-HDG : 曲げ降伏後耐力低下

(ロ) 構造性能の検討

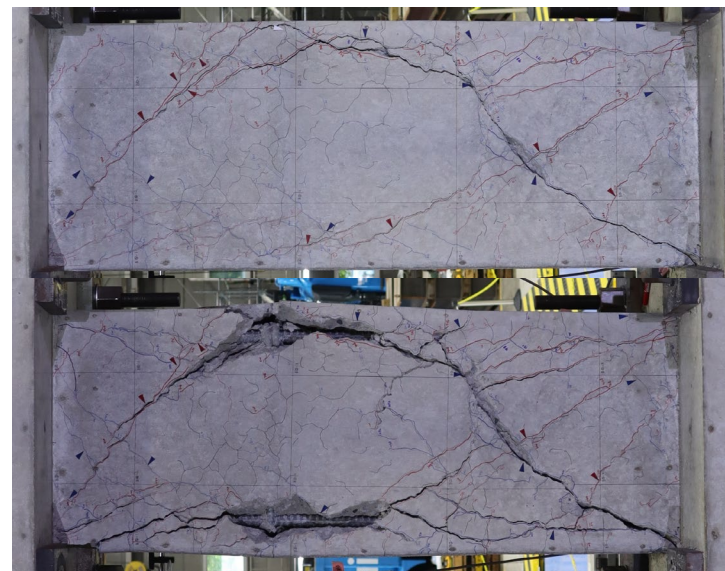
(シリーズ① 正負繰り返し载荷を受ける梁試験体の構造性能評価)



R=1.0%サイクル
終了時

R=2.0%サイクル
終了時

SH2-OS : せん断破壊



SH2-HDG : せん断破壊

(口) 構造性能の検討

(シリーズ② 重ね継手筋を用いた梁試験体の構造性能評価)

○部材試験体の製作計画 (案)

設計条件として、

- ① 付着余裕度は1.0以下とし、せん断余裕度は1.1以上になるようにする
- ② 重ね継手の位置は部材の両端部とする (曲げモーメントが最大になる断面)
- ③ 継手長さ : 要素試験体で実施した水準のうち、付着破壊を想定する条件 ($L=25D$ レベル)
- ④ シアスパン比 : 実部材の1/4スケールを想定し、短いもの～長いものまでをパラメーターにする。

○部材試験体の図面概要 (案)

- ・ 継手長さは、24年度の要素実験の結果を見て最終的に定める。
- ・ SH1 (通し筋梁試験体、曲げ後付着破壊) を参考にして試験体寸法を定める。
- ・ 要素試験体とともに製作し、単体の付着性能を確認する。
- ・ 正負繰り返し载荷を受けるように、梁試験体の両端部にスタブを設置する。

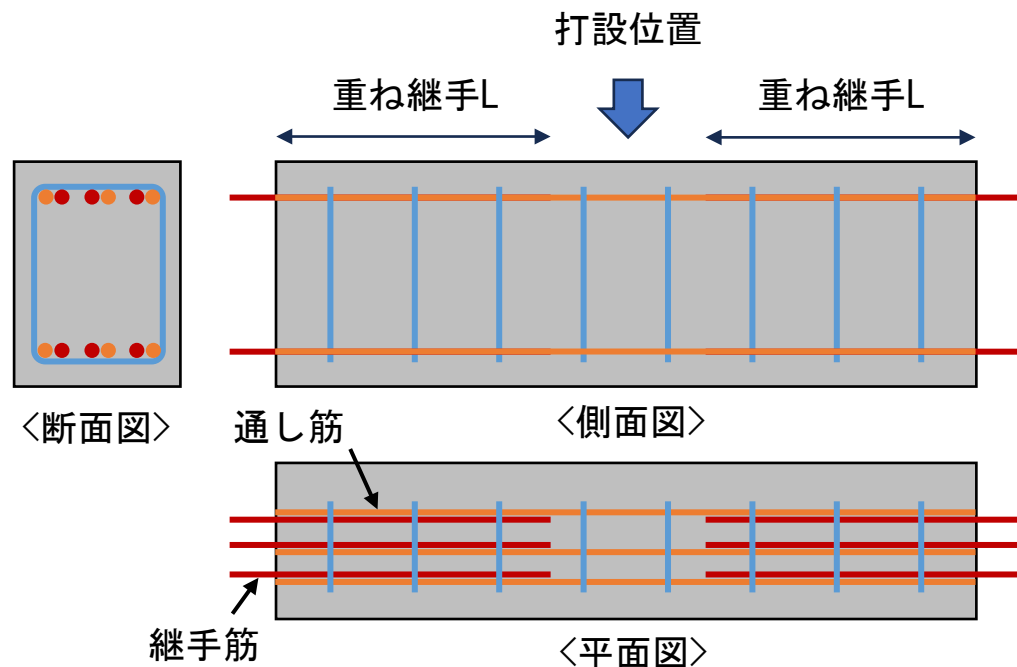


図 梁試験体概要

(口) 構造性能の検討

(シリーズ③ 柱試験体の構造性能評価)

(実験計画 & 試験体製作を実施)

- ・ 軸力を受ける際における溶融亜鉛めっき鉄筋の性能評価を目的とし、一定軸力（軸力比0.2程度）を付与した載荷条件における柱試験体の構造性能評価を実施する。

< 試験体設定のための検討事項 >

- ・ 軸力比は0.2程度とする（コンクリートの長期荷重の上限値以下）。
- ・ 実部材の1/2スケールを想定した柱の断面とシアスパンを検討し、シアスパン比は2.0前後にする。
- ・ かぶり厚は20mmにする（1/2スケールを想定するため）。
- ・ せん断余裕度は1.1前後にし、付着余裕度を1.0以下にする。
- ・ 高強度のせん断補強筋（MK785）を使用するため、Qsuのmin式によるせん断余裕度が1.1以上になる条件も検討する。

○ 試験体概要

< 試験体概要 >

試験体名	mm	mm	mm	mm	-	N/mm^2				
	幅B	せいD	クリアスパンL	シアスパンa	シアスパン比a/D	コンクリート強度 σ_B				
C1-HDG	400	400	1600	800	2.00	27				
C1-OS										
C2-HDG	400	400	1600	800	2.00	27				
C2-OS										

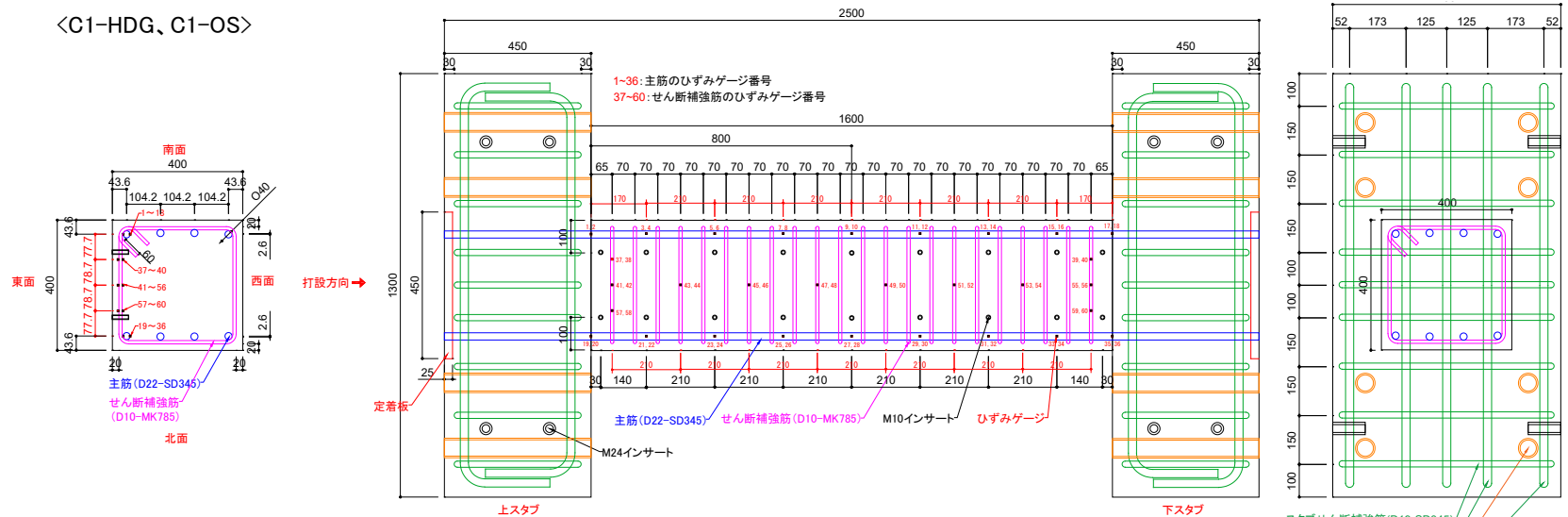
試験体名	-	-	-	-	%	-	-	mm	%	-
	主筋本数と径	主筋種類	主筋本数@1段目	主筋本数@2段目	引張鉄筋比Pt	補強筋径とピッチ	補強筋種類	補強筋間隔s	補強筋比	軸力比
C1-HDG	8-D22	SD345	4	0	1.08	D10@70	MK785	70	0.51	0.20
C1-OS	8-D22	SD345	4	0		D10@70	MK785			
C2-HDG	10-D19	SD345	5	0	0.99	D10@60	MK785	60	0.59	0.20
C2-OS	10-D19	SD345	5	0		D10@60	MK785			

(口) 構造性能の検討

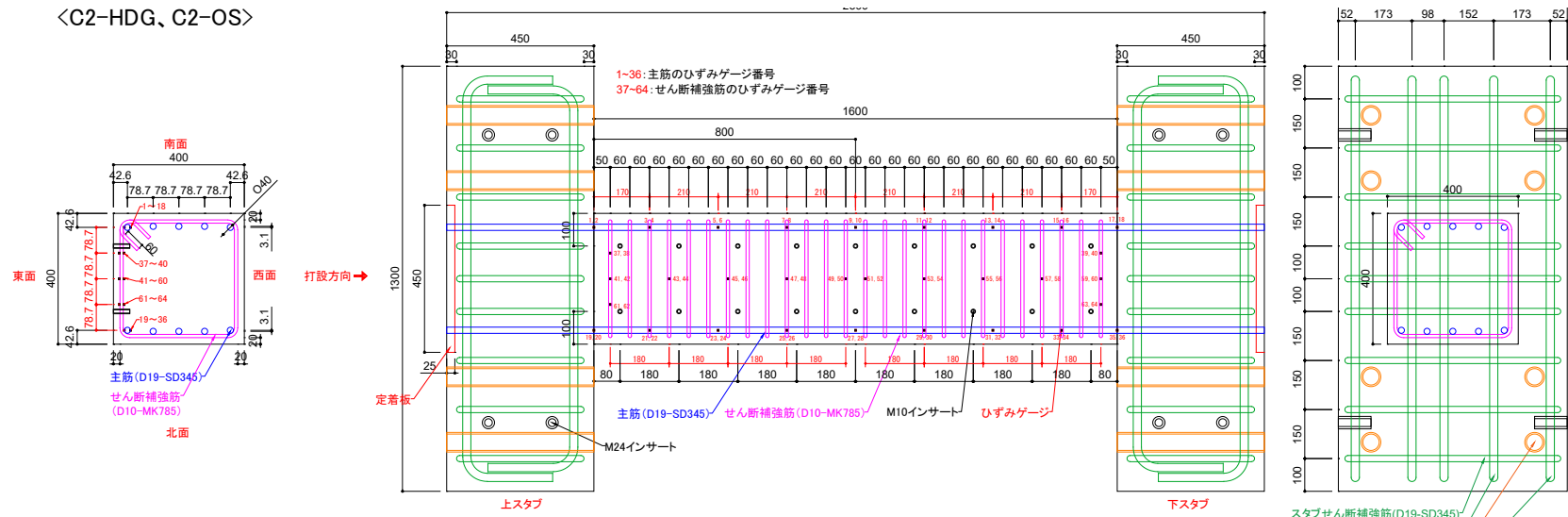
(シリーズ③) 柱試験体の構造性能評価

○試験体図面

〈C1-HDG、C1-OS〉



〈C2-HDG、C2-OS〉



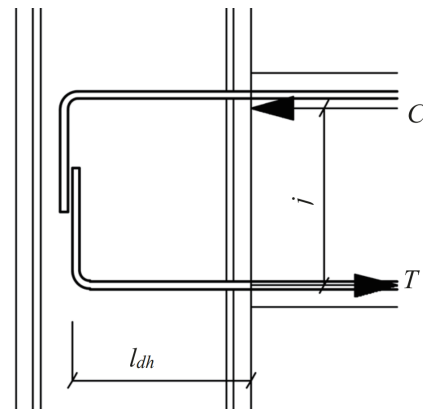
(ロ) 構造性能の検討

(シリーズ④) 正負繰り返し载荷を受ける柱梁接合部の構造性能評価

○部材試験体の設計条件(案)

- ①柱、梁両方ともせん断余裕度は1.1以上1.2付近になるようにする。
- ②曲げ終局強度(Q_{mu})は柱>梁とし、必要な柱梁耐力比を確保する。
- ③接合部2種類(ト形、十字形)×鉄筋2種類(普通、めっき)=合計4体の試験体を作製する。
- ④接合部のせん断終局強度 V_{ju} 、接合部降伏による強度低下率 β_j は規定の値を確保する。
- ⑤接合部内で付着条件が厳しくなる状態を想定して設計を行う。
- ⑥接合部内の梁の定着長さは、最小基準を満足する長さにする。
(付着余裕度1.0以上)
 - ・ト形：定着投影長さ l_{dh} (柱せい D の2/3以上@靱性指針の場合)を確保し、かき出し破壊を防止する設計を行う。
 - ・十字形：直線部の定着長さを検討対象とする。
(主筋径 d と部材せい D との関係より@黄色分の場合)
- ⑦接合部内のせん断補強筋量は最小規定の値を確保する。

$$\frac{D}{d} > \frac{f_s}{3.6(1.5 + 0.1F_c)}$$



(l_{dh} : 定着投影長さ)

図 ト形柱梁接合部の例

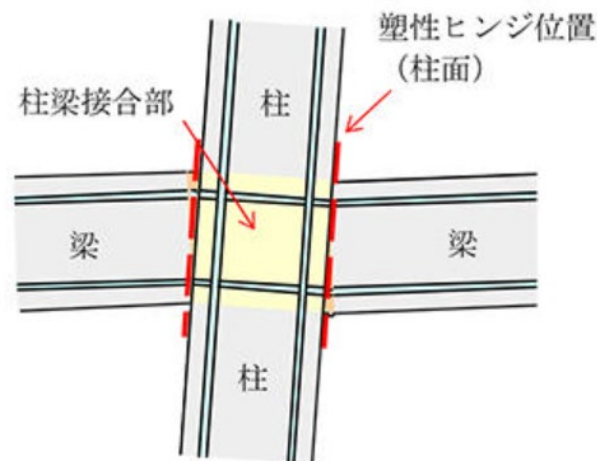


図 十字形柱梁接合部の例

(木)耐火性能の検討

■ 目的

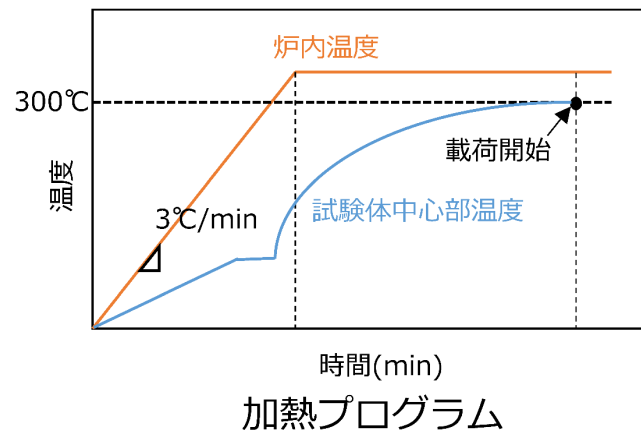
- 加熱環境下のめっき鉄筋の付着強度に問題がないことを確認する

■ 実験水準・調合

- Con.強度：30N/mm²（28日封緘）
- 水準：常温，100～700℃@100℃
- 鉄筋：普通，めっき（D16・SD345）

■ 試験条件

- 昇温：5℃/min
- 試験体中心部温度が設定温度となったら载荷開始
- 過度な温度上昇による試験機への影響を防止するため，チャック付近の鉄筋を冷却しながら実施



引抜試験体 試験体数（n=5）

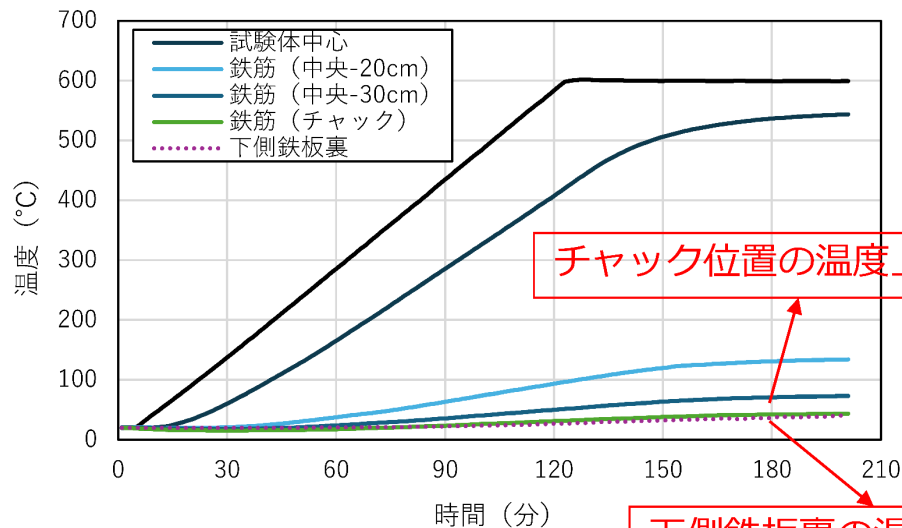
鉄筋種	膜厚 (μm)	加熱温度(℃)								合計
		常温	100	200	300	400	500	600	700	
普通	0	5	5	5	5	5	5	5	5	40
めっき	120	5	5	5	5	5	5	5	5	40
合計		10	10	10	10	10	10	10	10	80

圧縮試験体 試験体数

	標水	常温	試験時	予備	合計
圧縮	3	3	21	13	40
割裂	3	3	-	-	6
合計	6	6	21	13	46

(木)耐火性能の検討

■ 11/8 : 加熱の試し (コンクリート板60mm)

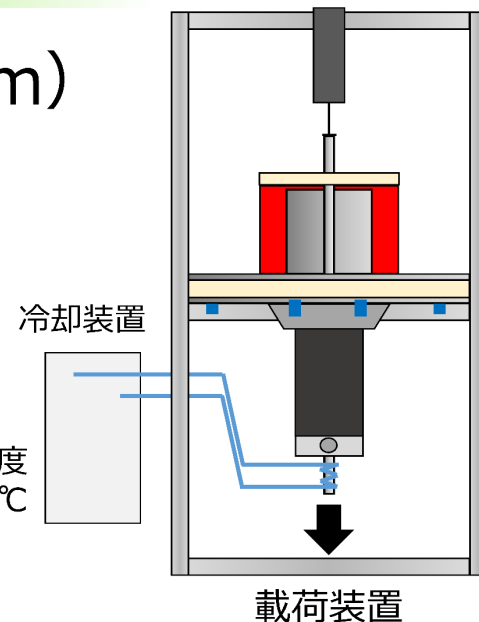


チャック位置の温度上昇なし

下側鉄板裏の温度上昇なし

加熱試し結果

※冷却水温度
10℃



■ 11/8 : 試験装置仮組み立て



試験機部分全体



ジャッキ部分拡大

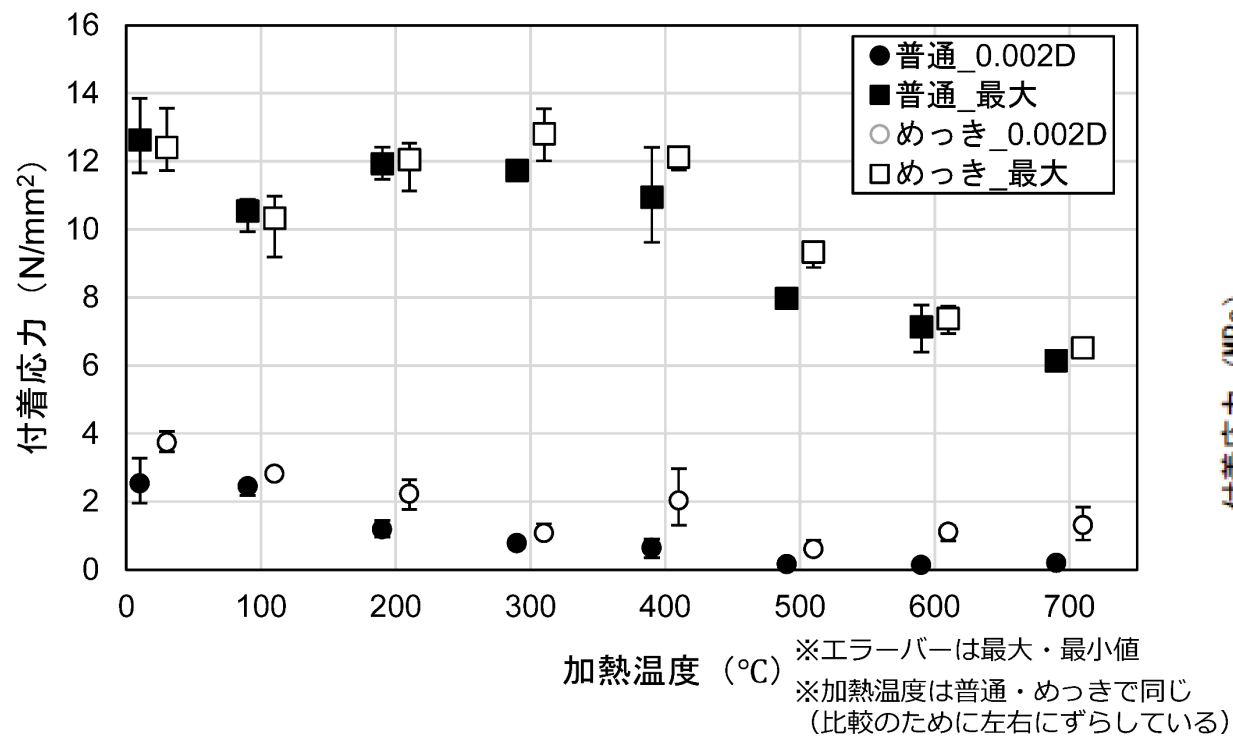


加熱試しの様子

(木)耐火性能の検討

・結果報告 (n=3)

常温・100℃～700℃の全水準に関して、n=3で実施



加熱温度と付着応力の関係

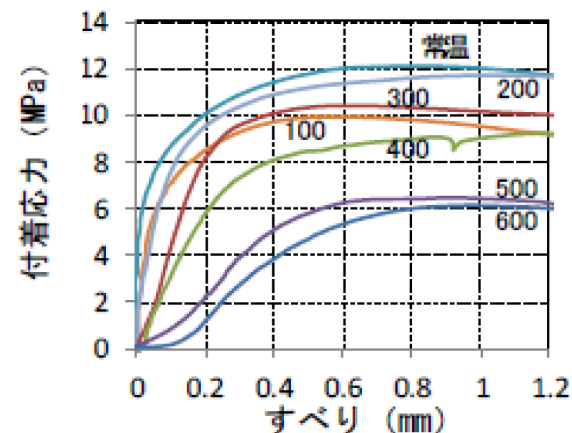


図-5 付着応力-すべり曲線拡大図

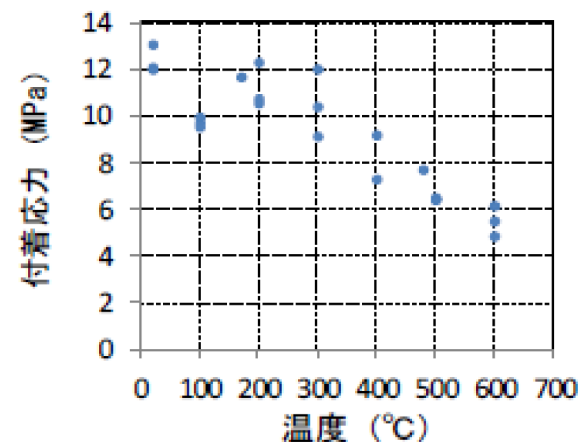


図-6 最大付着応力-温度関係

※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, 2013AJ

「引抜き試験による連続繊維補強材とコンクリートとの付着強度試験方法(JSCE-E539-1999)」に準拠

(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	・塗膜の均一性 ・表面における劣化や施工不良 情報収集(2023)	・出荷される製品を対象とした検査 (●) 【案】日本建築学会の指針、JIS H 8641を引用	・目視で観察し、不めっきと剥離 (全表面積の0.5%以下、面積5cm²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)	亜鉛めっき協会	なし
(2) 塗膜厚	・節と節の間の表面を対象 ・膜厚計測値が指定範囲内にあるか		・77μm以上166μm以下 (めっき指針p.66)		なし
(3) ピンホール	・単位長さ当たりの個数	【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(2024)、実施(2025)		なし
(4) 曲げ加工性	・曲げ加工部における表面劣化の発生率	・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)	・2025年度の実験結果を踏まえて提案する。		あり
(5) 塗膜の耐衝撃性	・衝撃エネルギーによる表面劣化の発生率	【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)			なし
(6) コンクリートとの付着力	・引抜き試験 ・普通鉄筋の付着強度の80%以上 計画と実施(2023) 計画と実施(2024)	* 性能評価は通常の方法で実施。 ・調合要因における付着性能評価 (▲) (W/C等) ・亜鉛皮膜の膜厚差における付着性能評価 (▲) ・重ね継手した亜鉛めっき鉄筋における付着の要素性能評価 (▲)	・引抜き試験を実施し、普通鉄筋と同等の付着強度であることを確認する。(具体的な方法は最終年度に提案) ・2024年度の実験結果を踏まえて提案する。	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	・コンクリート細孔の模擬溶液使用 ・表面における劣化	【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) 【案】日本建築学会の指針の付録にある文献を引用	・腐食電流密度が不動態領域(0.2μA/cm²以下)であることを確認。 (めっき指針p.107)		なし

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
・塩分を含めたコンクリートを用いる ・湿度変化をサイクルとする促進環境で実施 ・表面における劣化や腐食面積率 * 判定基準詳細 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	* 試験方法はエポキシ鉄筋と同様に実施 * 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） ・ 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、亜鉛末塗料の有無の影響) 計画(2023・2024) 実施(2025) ・ 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) ・ 亜鉛腐食による膨張性状評価 ・ 実環境における防錆性能評価 計画(2024) 実施(2025)	・ 塩分を含めたコンクリートを用いる ・ 湿度変化をサイクルとする促進環境で実施 ・ 表面における劣化や腐食面積率 * 判定基準詳細 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40±2℃、湿度（相対湿度）95～100%に1日間、温度40±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○%または亜鉛メッキの減耗量率○%を超える腐食がないこと。	・ 大学 ・ 亜鉛めっき協会 ・ 建研他	あり

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
<設計時> - 鉄筋とコンクリートとの付着力 - 鉄筋と鉄筋との継手の方法 - 鉄筋端部の定着の方法 →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	- 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。(●) - 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。(▲)	- 梁部材の実験結果を踏まえると、現行のRC造構造設計基準をそのまま適用できる。 2024年度、2025年度実験結果を踏まえて総合的に提案する。	大学 建研他	あり
<施工時> - 防せいに有害な表面劣化部分は補修 - 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。	- 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) - 異種間腐食防止に関する対策の検討 (▲)	- 補修については2025年度実験結果を踏まえて提案する。 - 異種間およびその他は、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)	亜鉛めっき協会 案: ゼネコン	あり

構造的な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: 構造的な性能 (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		・ 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 ・ カットオフ筋を適用する際の構造的な性能評価	・ 梁部材の実験結果を踏まえると、現行のRC造構造設計基準をそのまま適用できる。 ・ 2024年度、2025年度実験結果を踏まえて総合的に提案する。	大学 建研他	あり
		・ 正負繰り返し荷重を受ける部材の構造的な性能評価 (通し筋)			
		・ 正負繰り返し荷重を受ける部材の構造的な性能評価 (重ね継手)			
(2) 柱部材		・ 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			
(3) 柱梁接合部		・ 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)			

計画と実施
(2023)

計画(2023)
実施(2024)

計画(2024)
実施(2025)

計画(2024)
実施(2025)

* 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 については2025年度実験結果を踏まえて提案する。 ・ 異種間およびその他は、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 (案：ゼネコン)	あり
(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
加熱中の付着の要素性能	・加熱中における亜鉛めっき鉄筋の付着性能評価	・2024年度実験結果を踏まえて提案する。 計画(2023)・実施(2024)	大学 建研他	あり

* エポキシ鉄筋では上記項目に関する判定基準なし

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

- ・継手試験体の要素実験より、亜鉛めっき鉄筋と普通鉄筋の継手性能は同等
- ・曲げ加工部の防錆性能に関する実験計画
- ・品確法緩和に向けた防食性能評価、暴露環境における防食・付着性能評価

(ロ) 構造性能の検討

- ・梁部材の正負繰り返し載荷実験から、一方向載荷実験とともに、亜鉛めっき鉄筋部材は普通鉄筋部材と同等の構造性能
- ・繰り返し載荷の影響を検討する柱部材試験体の製作
- ・重ね継手を用いた梁部材試験体、亜鉛めっき鉄筋を用いた柱梁接合部試験体の計画

(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の作成

(ホ) 耐火性能の検討

- ・加熱中の付着実験より、温度域にかかわらず、亜鉛めっき鉄筋の付着性能は普通鉄筋と同等