

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7年度 成果報告会
5/14 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。
- ・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。
- ・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」を整備。

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

(ホ) 耐火性能の検討

(ハ) 技術的資料のとりまとめ

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(建築研究所)

上野 翔平(住宅局)

柳沢 圭祐(住宅局)

松本 瑞紀(住宅局)

橋口 真依(住宅局)

種子田 翔一(住宅局)

壽川 剛平(住宅局)

七野 真弥(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)

29名

事業の工程計画(2025)

調査検討項目	2025									2026		
	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 ・曲げ加工試験体 ・品確法試験体 ・暴露試験体		実験 測定			実験 測定	試験体製作		結果分析 実験	実験実施	報告書作成	報告書作成	結果分析&報告書
(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 ・柱試験体 ・重ね継手梁試験体 ・柱梁接合部試験体		実験実施		結果分析		実験実施		結果分析		報告書作成	報告書作成	報告書作成
	実験計画		試験体製作		実験計画	試験体製作			実験実施		報告書作成	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・実験結果等のとりまとめ								性能判定基準案の作成			
(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				報告書作成
* 全体委員会の運営			6/13			9/26			12/5			
* WG定例会の運営	4/18	5/30		7/25	8/27		10/31	11/26		1/16	2/13	

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」
○正負繰り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

○加熱中の付着性能評価

(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

○加熱後の付着性能評価

(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

- ・ 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。
- ・ 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1(性能評価用)

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	試験体概要
<ul style="list-style-type: none"> 亜鉛めっき+めっき後曲げ+補修○ 	<ul style="list-style-type: none"> D25+2d (A判定) D22+2d (B判定) D13+1.5d (C判定) 丸鋼Φ13 	<ul style="list-style-type: none"> 90度 	<ul style="list-style-type: none"> 60度+乾湿繰り返し★ (80Cycle、8か月間) 	<ul style="list-style-type: none"> W/C=65% (塩分量：1%のNaCl/細骨材) 異形鉄筋：SD295又はSD345 丸鋼鉄筋：SR235 かぶり厚：2cm (直線部) 亜鉛皮膜の膜厚：100μm 曲げ部補修：亜鉛末塗料 (Zn90%以上、1種類) 試験体形状：補強筋の一部を模擬直線部と曲げ部の長さ=1:1 測定項目：目視、膜厚、化学分析、電気化学測定質量 (促進前、促進後)
<ul style="list-style-type: none"> 亜鉛めっき+めっき後曲げ+補修× 普通+曲げ 	<ul style="list-style-type: none"> D25+2d (A判定) D22+2d (B判定) D13+1.5d (C判定) 丸鋼Φ13 	<ul style="list-style-type: none"> 90度 	<ul style="list-style-type: none"> 60度+乾湿繰り返し★ (80Cycle、8か月間) 	
鉄筋種類+曲げ有無	鉄筋径	促進条件		
<ul style="list-style-type: none"> 亜鉛めっき+曲げ無し(直線部) 普通+曲げ無し(直線部) 	<ul style="list-style-type: none"> D25 D22 D13 丸鋼Φ13 	<ul style="list-style-type: none"> 60度+乾湿繰り返し★ (80Cycle、8か月間) 80度+乾湿繰り返し★ (20Cycle、8か月間) 		

(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

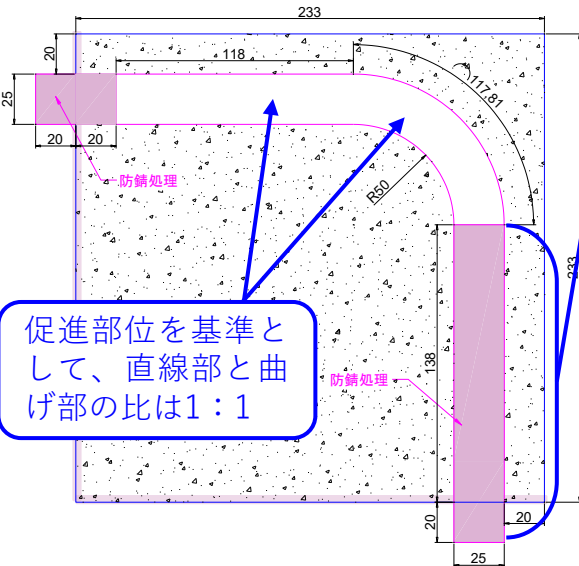
○試験体図面 (D25+2dの場合)

・ 曲げ角度90度

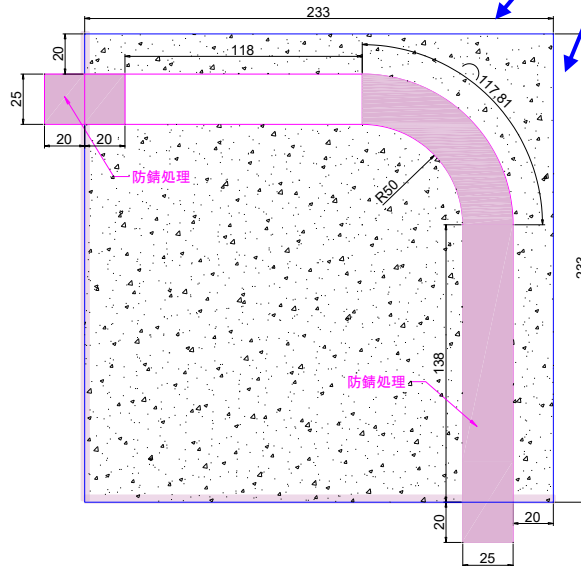
促進試験面 (その他は防錆処理)

いずれの曲げ角度も絶縁処理

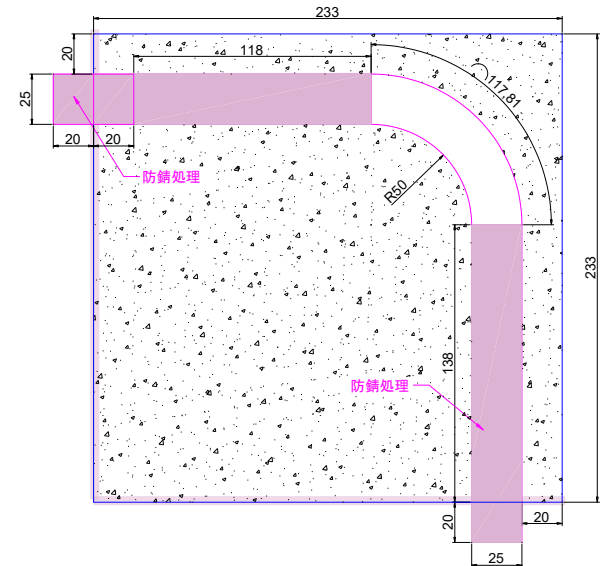
促進部位を基準として、直線部と曲げ部の比は1:1



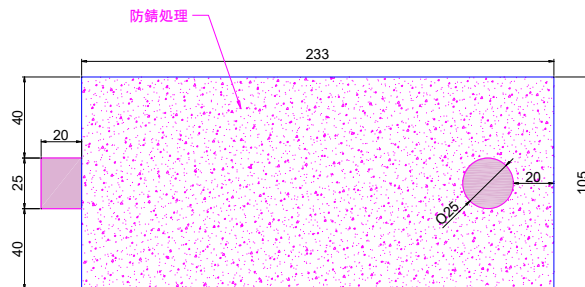
<平面図(直進部+曲げ部促進)>



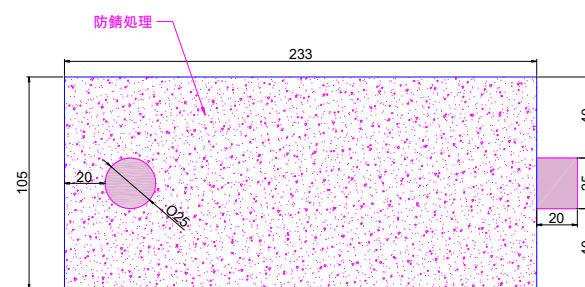
<平面図(直進部のみ促進)>



<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

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

○実験進捗 (80度試験体)



図 チャンバー内の試験体配置状況

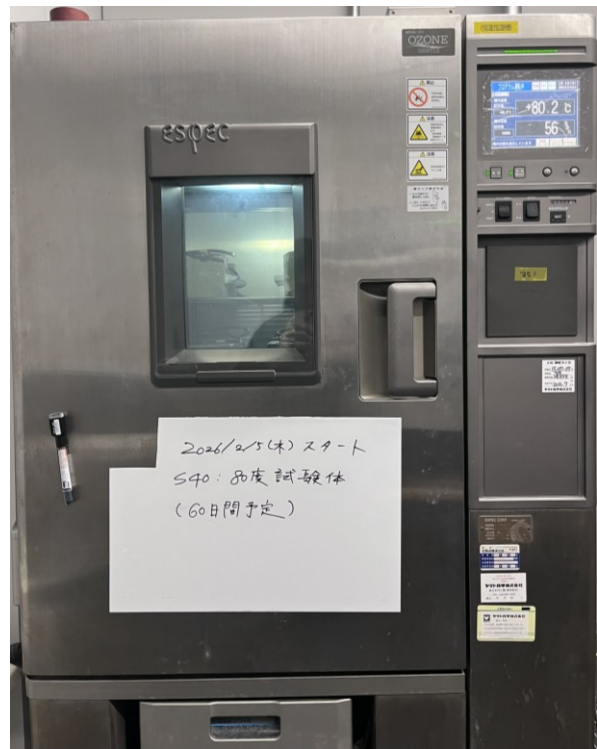


図 促進状況

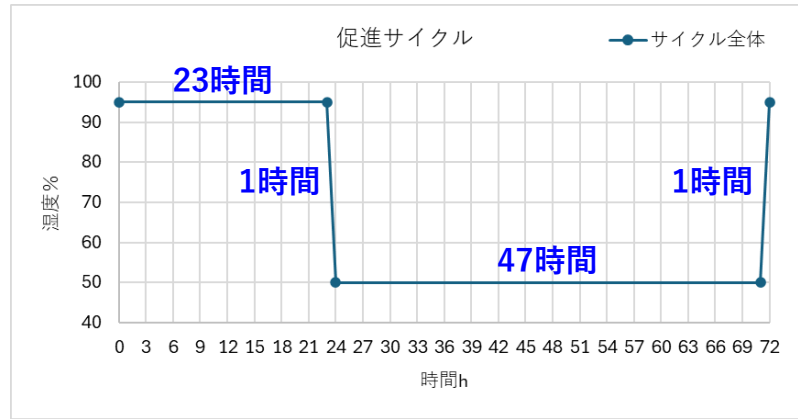


図 促進サイクル

実験進捗(80度試験体):ひび割れ幅の比較

鉄筋径別
(左: めっき、右: 普通)

鉄筋径に関わらず、ひび割れ幅は
めっき<普通である



80度においてもめっき鉄筋の母材保護
効果は正常に機能

鉄筋種・鉄筋径別
(左: メッキ、右: 普通)

Φ13 :

- (めっき・普通) 実験終了時までひび割れなし

D13 :

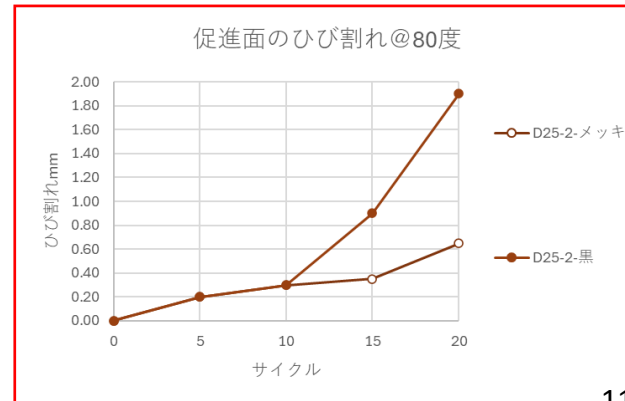
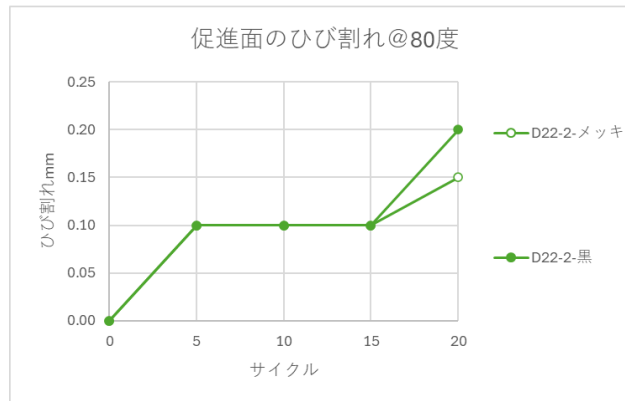
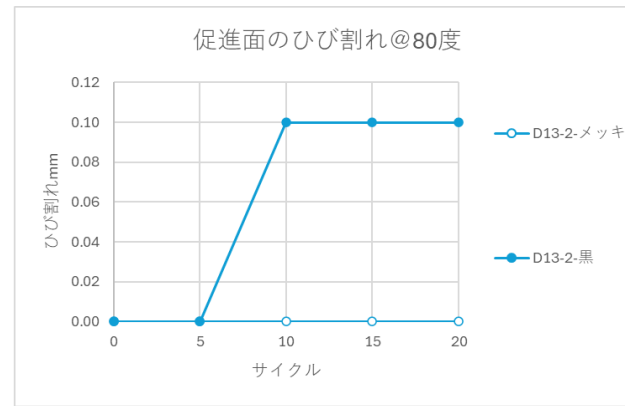
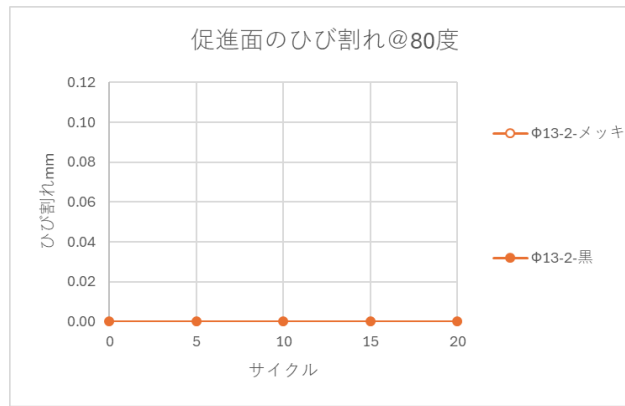
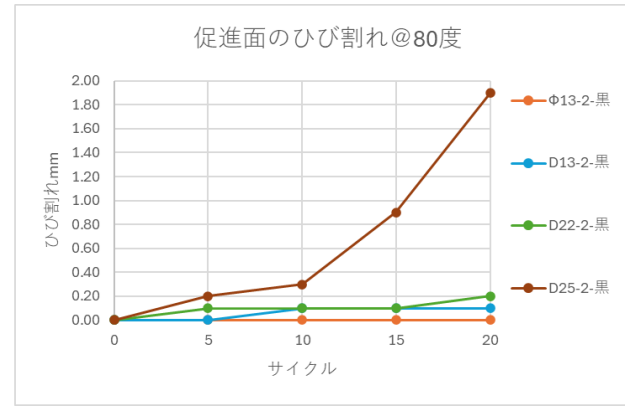
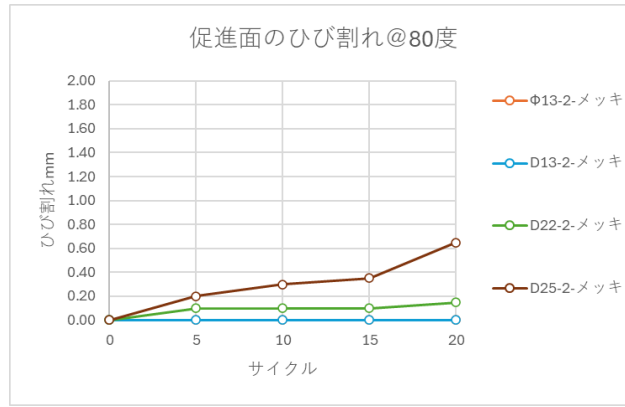
- (普通) 5サイクル時にひび割れ発生、0.1mmで収まり
- (めっき) ひび割れなし

D22 :

- (めっき・普通) 5サイクル時にひび割れ発生、0.2mmで収まり
- 両鉄筋間の差はわずか

D25 :

- (めっき・普通) 5サイクル時にひび割れ発生
- 両鉄筋間の差が大きい
(普通: 1.8mm、めっき: 0.65mm)



(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% (σ28=33.5 ~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)
			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)	初期膜厚平均 110.9 μm 標準偏差 7.2 μm
(2)	(1)	(2)	(6)		(1)	(1)

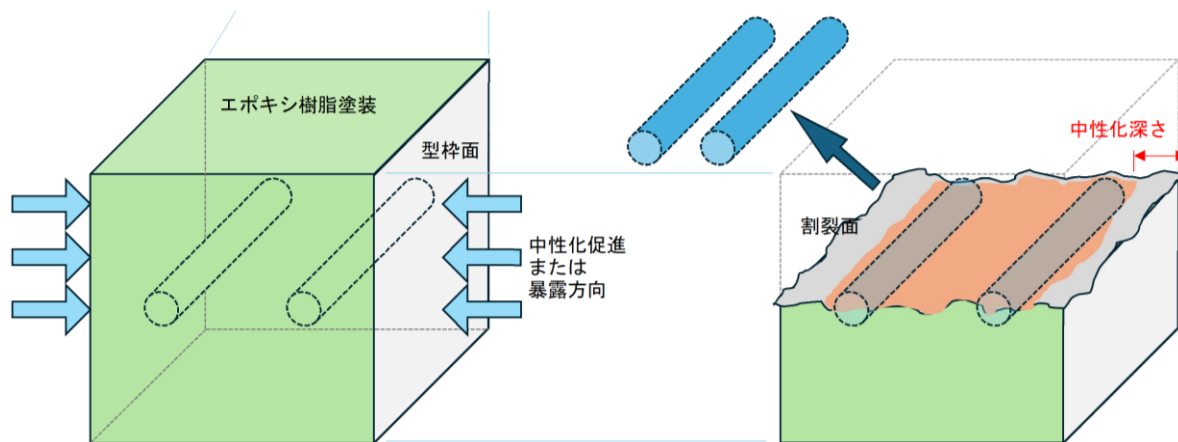
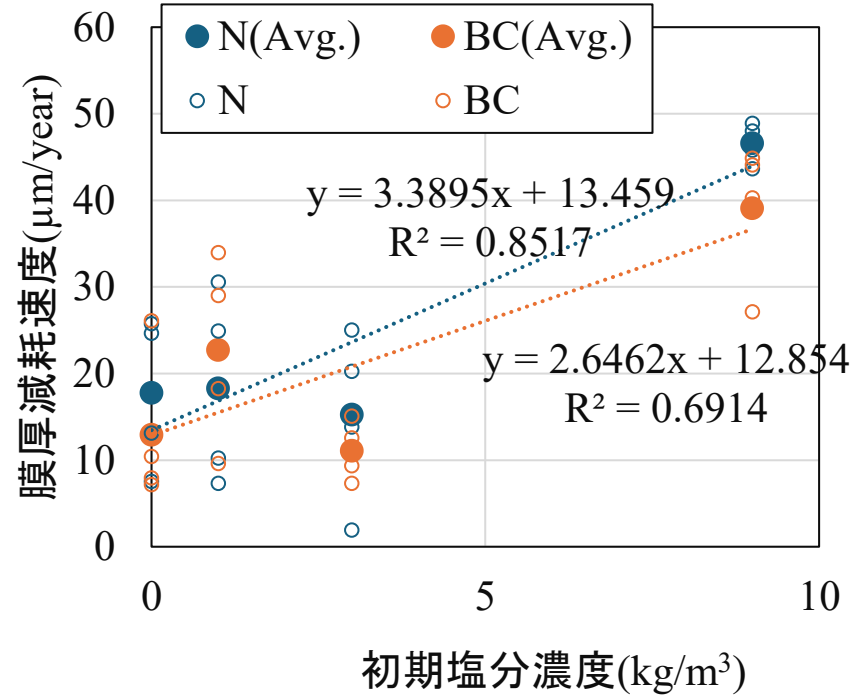
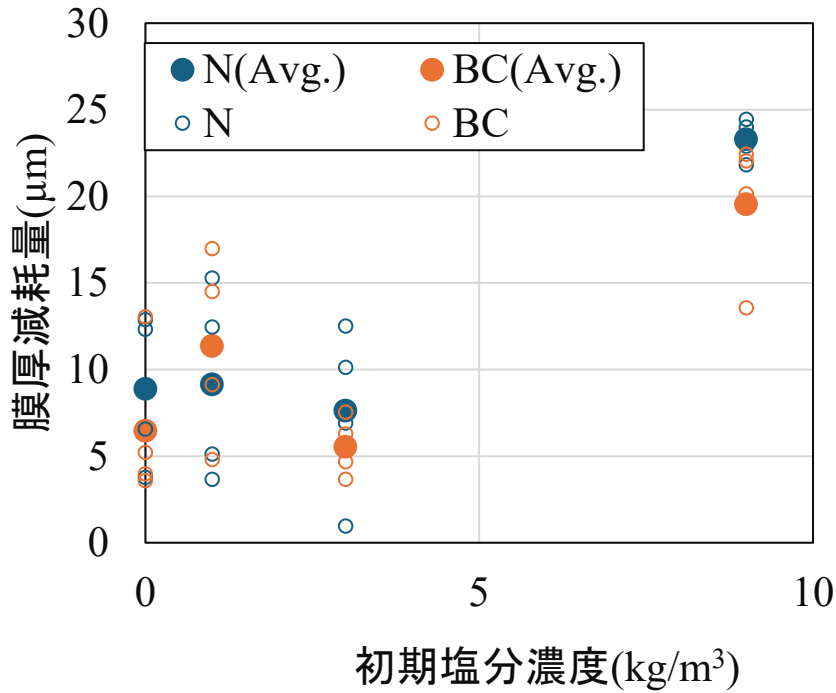


図 試験体形状

実験結果 (0.5年ばくろ)

初期平均膜厚 110.9 μm
 2σ 7.2 μm



- ・膜厚減耗量について、初期の膜厚を試験体に測定しておらず、平均値を採用。
- ・初期膜厚 2σ で $7.2\mu\text{m}$ のため、初期塩分濃度 $0\sim 3\text{kg/m}^3$ は誤差の可能性あり。
- ・目視の状況からも、 $0, 1, 3$ については腐食は始まっていない

(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
<ul style="list-style-type: none"> ・ 亜鉛めっき鉄筋 ・ 普通鉄筋 ・ エポキシ鉄筋 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 普通(N) ・ 高炉スラグC種(BC) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 暴露なし ・ 0.5年間 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 膜厚、化学分析等(2) ・ 電気化学評価(1) ・ 付着性能(3) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ W/B=55% ($\sigma_{28}=33.5\sim43.5\text{N/mm}^2$) ・ D13-SD345(L=390mm) ・ 80*80*80mm³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
<ul style="list-style-type: none"> ・ 亜鉛めっき鉄筋 ・ 普通鉄筋 ・ エポキシ鉄筋 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 健全 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 引張試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 普通(N) ・ 高炉スラグC種(BC) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 健全(28日) ・ 0.5年間 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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



図 試験体全体

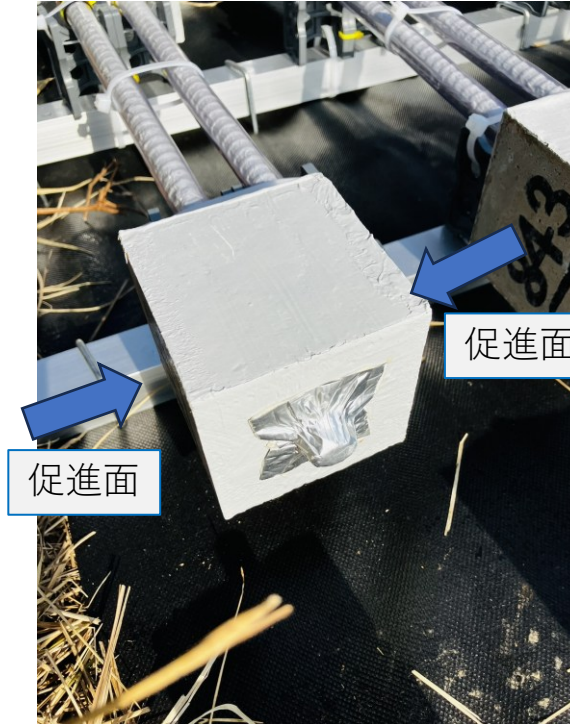


図 付着試験体@自由端側

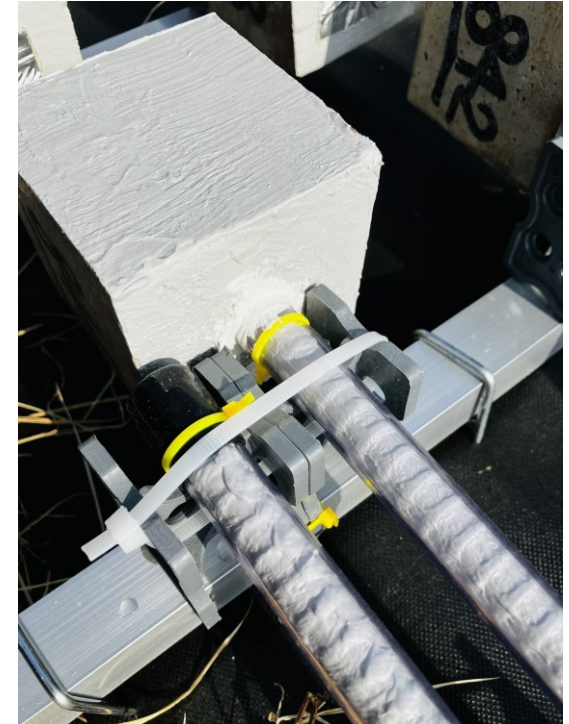


図 付着試験体@載荷端側

<進捗報告>

- ・ 2025/03/08 : 暴露開始 (0年) 済み
- ・ 2025/05/26 : 状況確認 (0.22年) 済み
- ・ 2025/09/06 : 状況確認 (0.50年) 済み
- ・ 2025/10/28 : 状況確認 ・ 回収 (0.64年) 済み
- ・ 2025/11/27 : 付着試験 (36本) = 鉄筋種類(3) × コンクリート種類(2) × 暴露有無(2) × N数(3) 済み

(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性能(+付着性能)評価

<初期剛性>

: Nはエポキシ、BCは全体で判定基準(3N/mm²)以下が多い

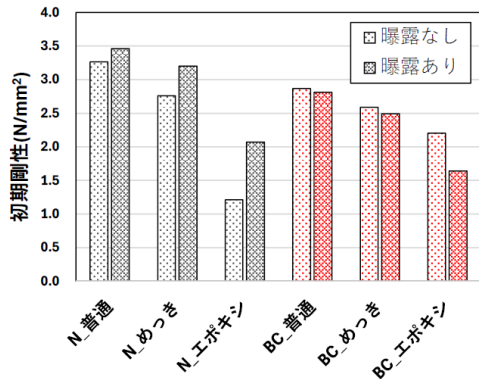
<付着強度>

: 暴露なしではN < BCであるが、暴露ありではN ≒ BCである

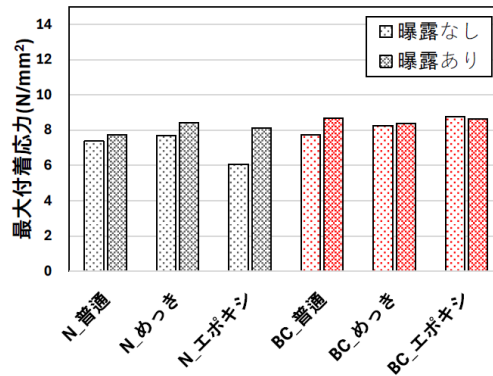
<滑り量> : N < BCの傾向にある

<暴露の影響> 短い暴露期間でも付着上昇の効果を確認

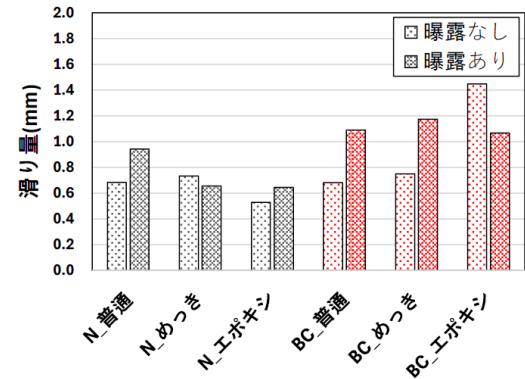
○付着試験結果 (コンクリート別比較)



(a) 初期剛性

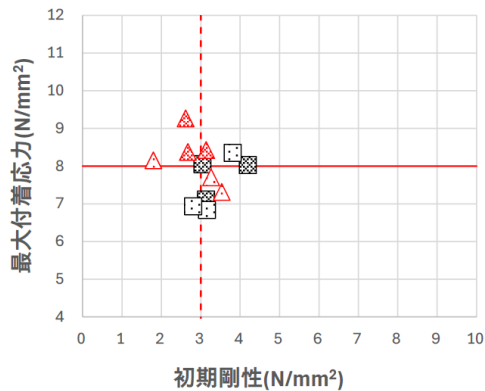


(b) 最大付着応力

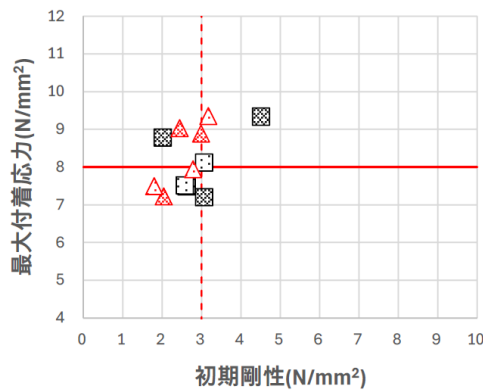


(c) 最大付着応力時の滑り量

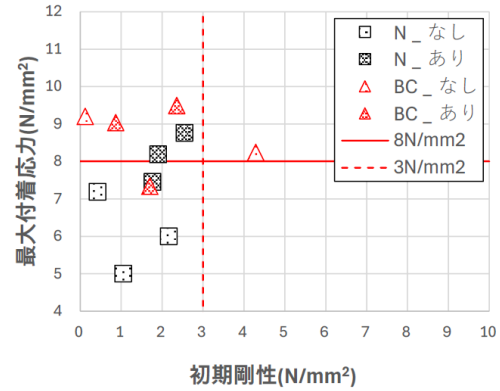
図 暴露有無における測定結果



(a) 普通鉄筋



(b) めっき鉄筋



(c) エポキシ鉄筋

図 初期剛性と最大付着応力の関係

(ロ) 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

- ・ 重ね継手を適用した構造部材（正負繰り返し载荷を受ける梁試験体）の構造性能を評価し、亜鉛めっき鉄筋において普通鉄筋と同等の性能を有するか確認する。

(シリーズ③) 正負繰り返し载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）を付与した载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) 正負繰り返し载荷を受ける柱梁接合部の構造性能評価

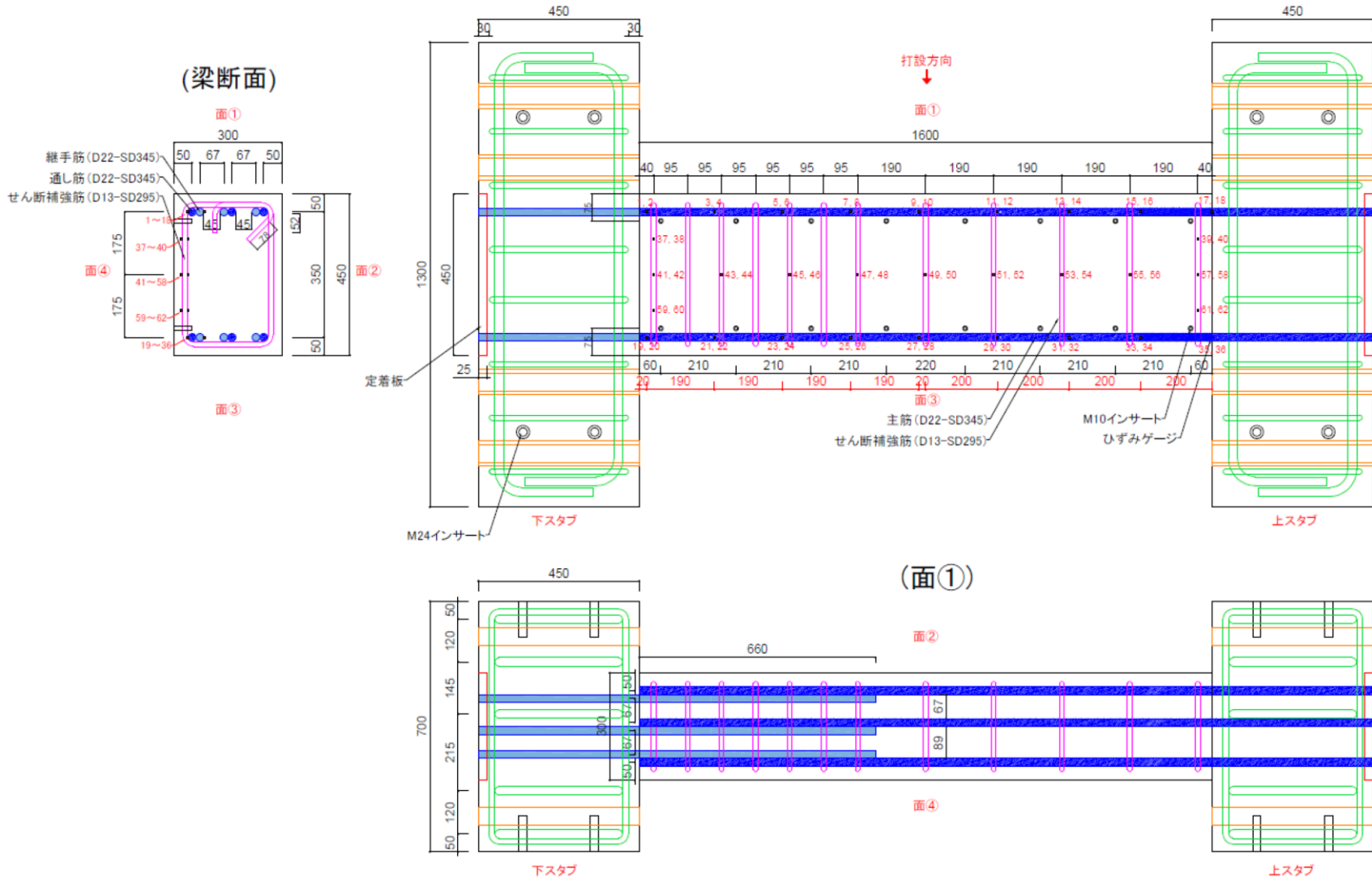
- ・ 亜鉛めっき鉄筋を用いた柱梁接合部の構造性能が普通鉄筋と同等であるか確認するために、ト形接合部を対象に構造実験を行う。

(ロ) 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)

○ 試験体詳細 (部材図面図 : LJ-L-30D-HDG、LJ-L-30D-OS)

: シアスパン比2.0、せん断補強筋比0.44% (通し筋区間)、継手筋長さ30D

: せん断余裕度1.24 (通し筋区間)、付着余裕度1.0以下 (継手筋 : 0.7程度、通し筋 : 0.7~0.8程度)

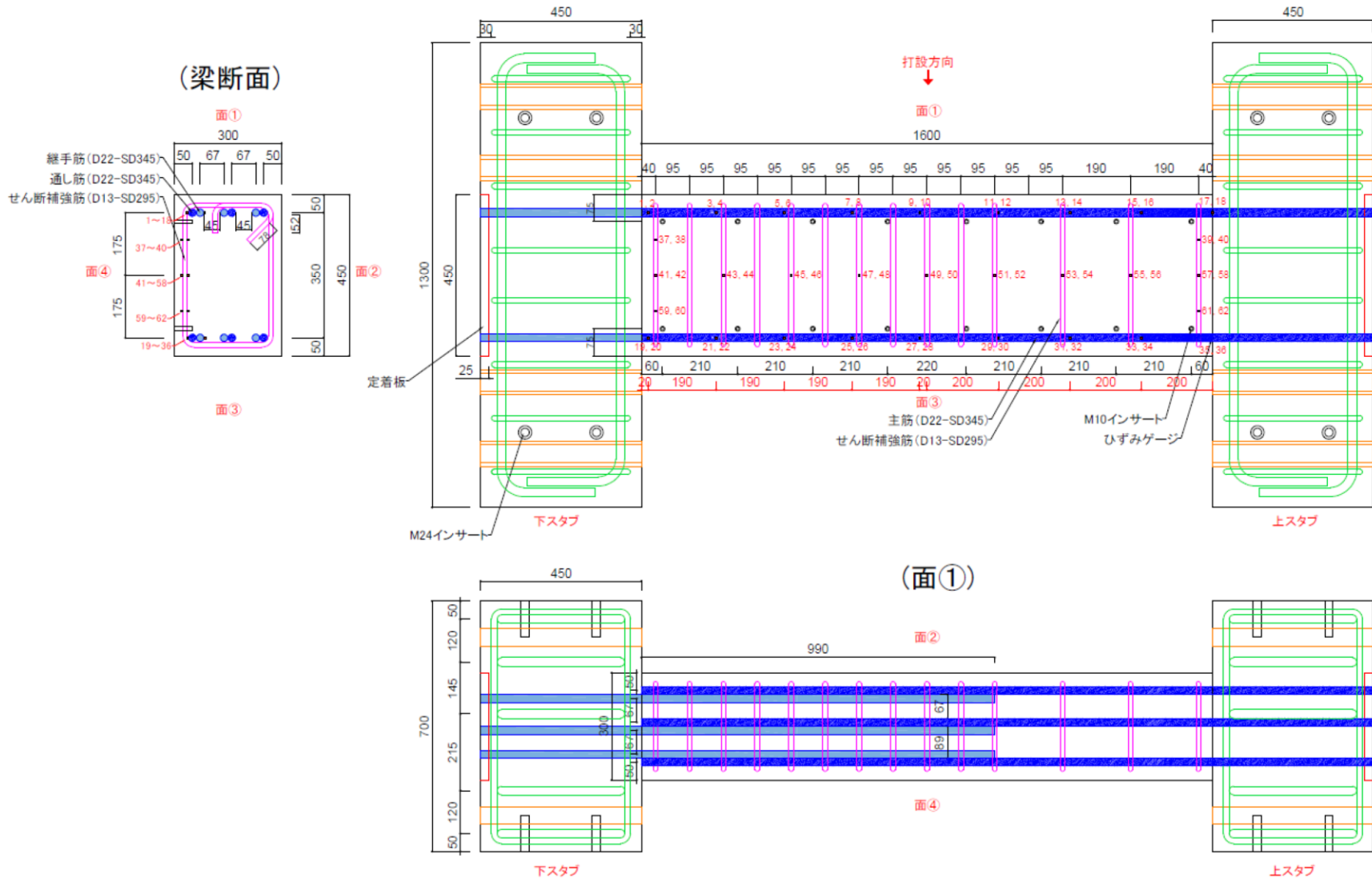


(ロ) 構造性能の検討 (シリーズ② 重ね継手筋を用いた梁試験体の構造性能評価)

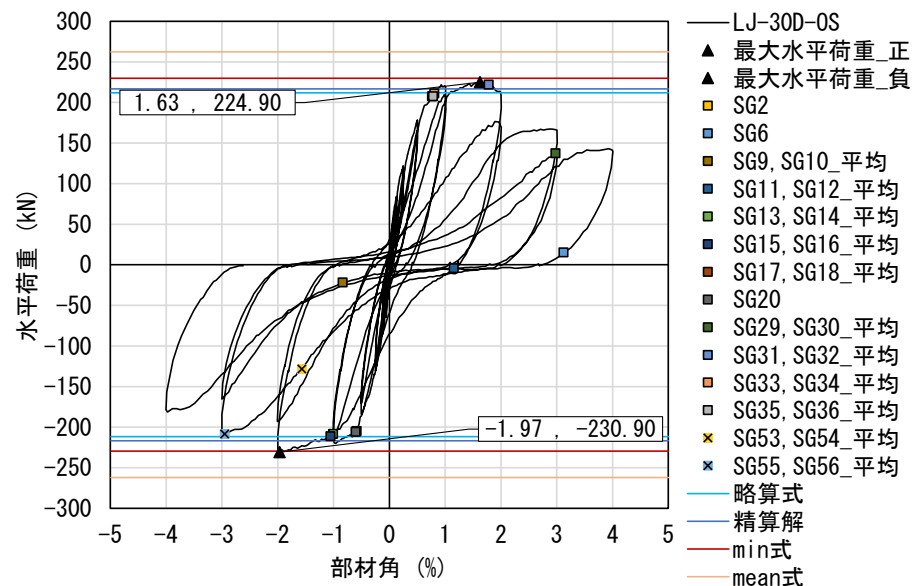
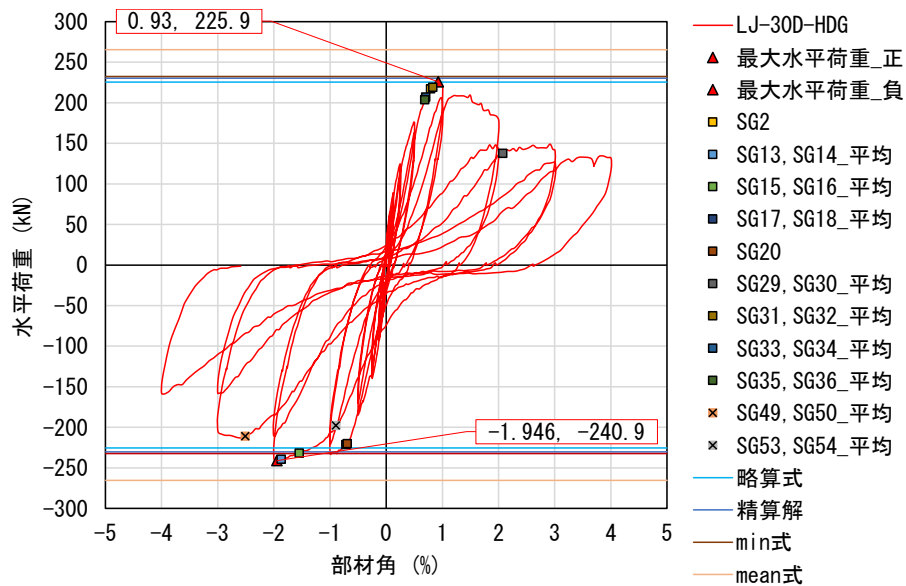
○試験体詳細 (部材図面図 : LJ-L-45D-HDG、LJ-L-45D-0S)

: シアスパン比2.0、せん断補強筋比0.44%(通し筋区間)、継手筋長さ45D

: せん断余裕度1.24(通し筋区間)、付着余裕度1.0以上@継手筋、1.0以下@通し筋(0.7~0.8程度)



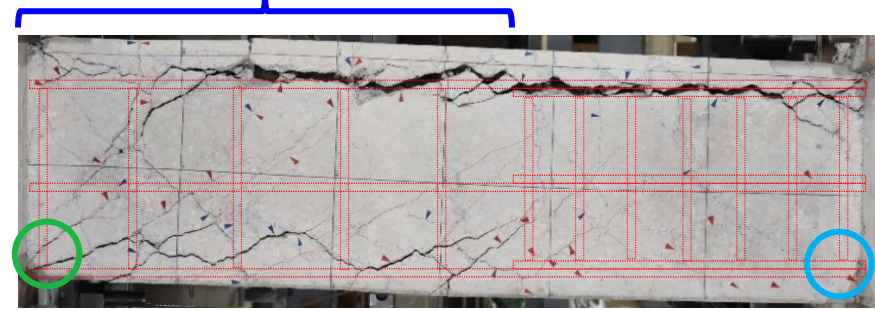
実験結果(30D): 水平荷重-部材角関係, 最終ひび割れ性状



主筋降伏
 SG35, 36 0.69%
 SG20(継手筋) -0.69%

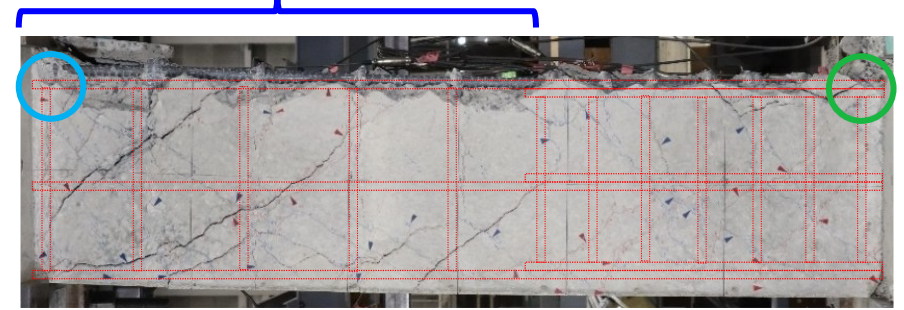
主筋降伏
 SG2(継手筋) 0.77%
 SG17, 18 -0.59%

非継手部でせん断ひび割れ進展



曲げ降伏後付着破壊

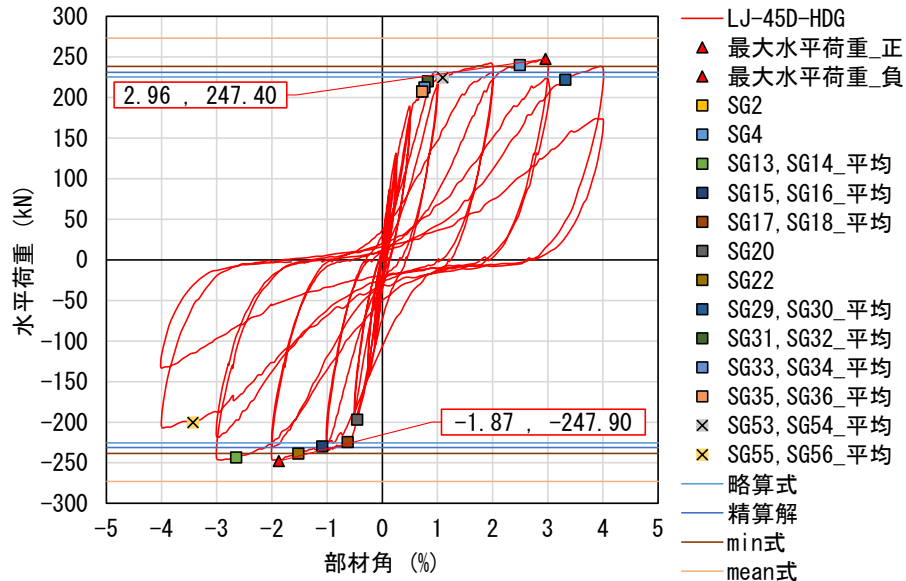
非継手部でせん断ひび割れ進展



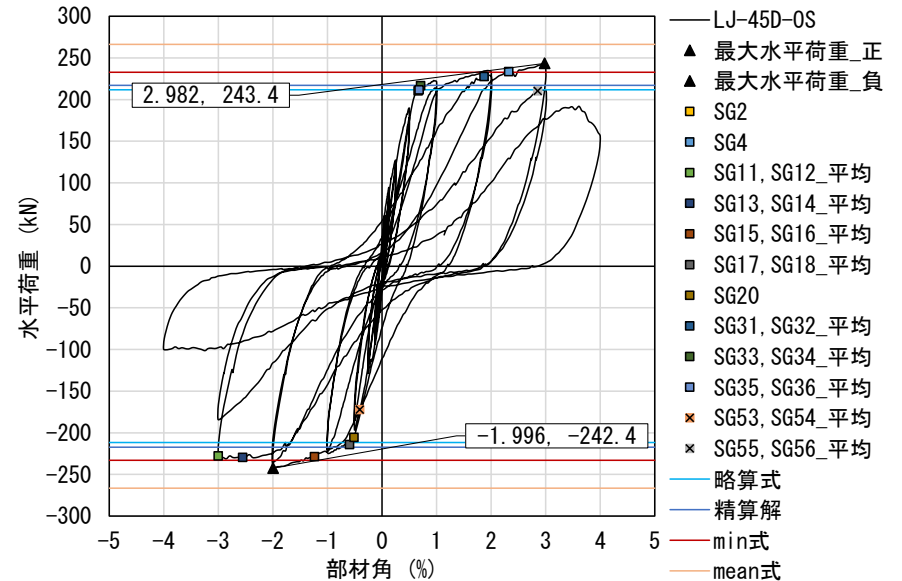
曲げ降伏後付着破壊

R=4.0%サイクル終了時

実験結果(45D): 水平荷重-部材角関係, 最終ひび割れ性状

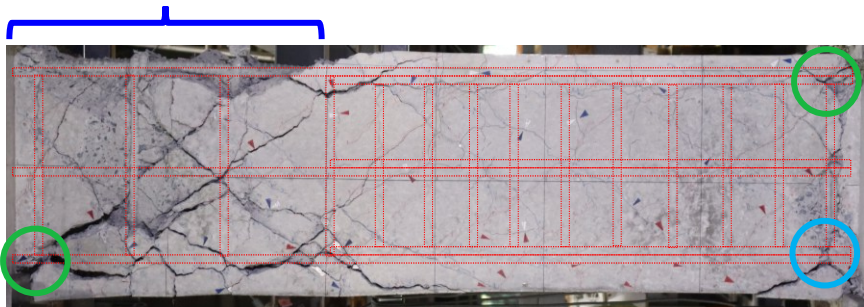


主筋降伏
 SG2(継手筋) - 35, 36 0.72%
 SG20(継手筋) -0.45%



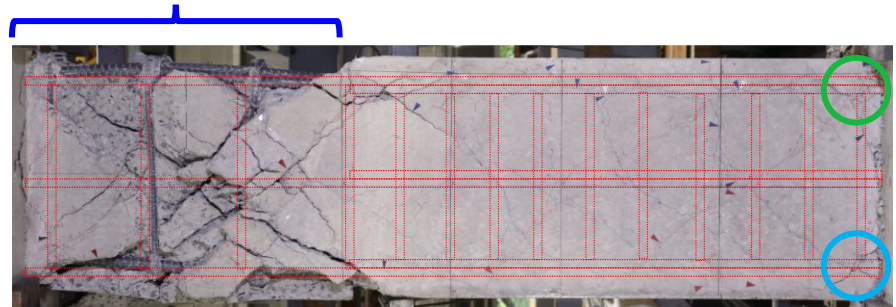
主筋降伏
 SG2(継手筋) 0.67%
 SG20(継手筋) -0.51%

非継手部でせん断破壊進行



曲げ降伏後せん断破壊

非継手部でせん断破壊進行



曲げ降伏後せん断破壊

R=4.0%サイクル終了時

(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、 Q_{su} 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。
- ・ 耐力計算時のせん断補強筋の上限値として、MK785では $25 \times F_c$ としている。

< 計算耐一覧 >

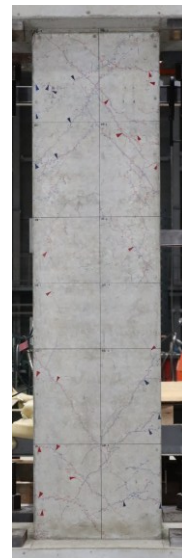
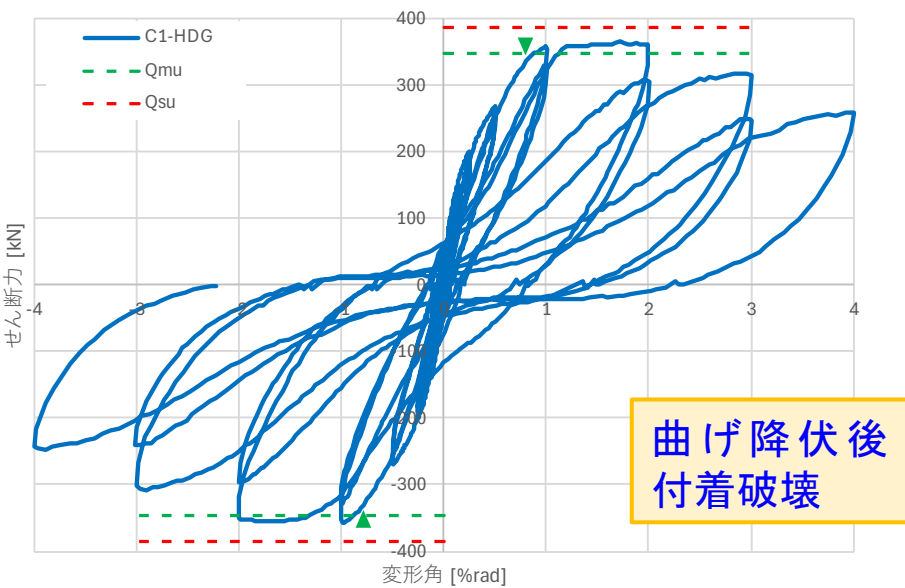
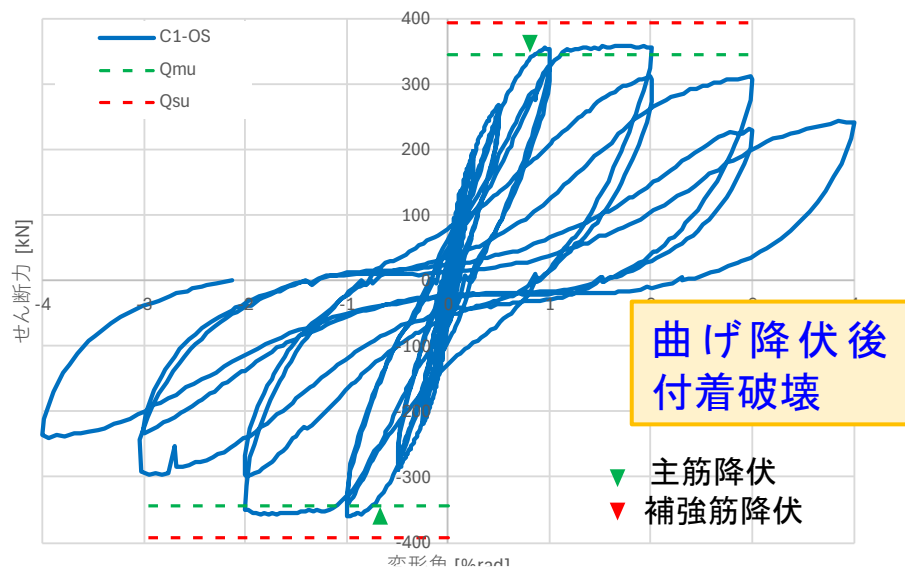
試験体名	kN	kN	kN	-	-	τ_{bu} (N/mm ²)	τ_f (N/mm ²)	$\tau_{bu} / \tau_f (-)$
	Q_{su} mean式	Q_{su} min式	Q_{mu} 精算解	せん断余裕度 Q_{su} mean/ Q_{mu}	せん断余裕度 Q_{su} min/ Q_{mu}	(1段目) 付着割裂強度	(1段目) 設計用付着応力度	(1段目) 付着余裕度
C1-HDG	392.77	357.09	354.48	1.11	1.01	3.85	3.81	1.01
C1-OS	392.77	357.09	348.65	1.13	1.02	3.85	3.72	1.03
C2-HDG	408.04	372.71	327.56	1.25	1.14	3.73	3.16	1.18
C2-OS	408.04	372.71	313.72	1.30	1.19	3.73	2.96	1.26

↓ 靱性指針

↓ RC規準

$K \cdot f_b$ (N/mm ²)	τ_D (N/mm ²)	$K \cdot f_b / \tau_D (1)$
(1段目) 付着割裂強度	(1段目) 平均付着応力度	(1段目) 付着余裕度
3.17	3.81	0.83
3.17	3.72	0.85
3.08	3.16	0.98
3.08	2.96	1.04

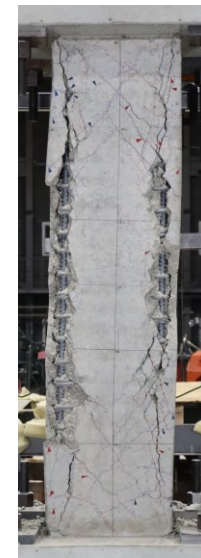
実験結果(C1)



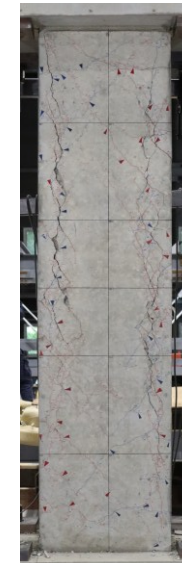
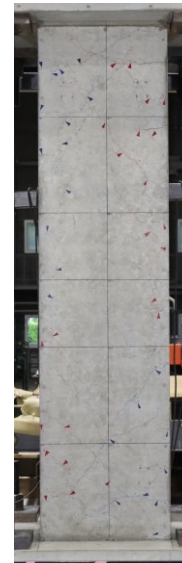
R=1.0%除荷時



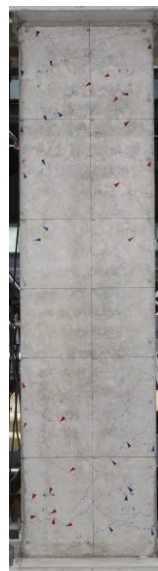
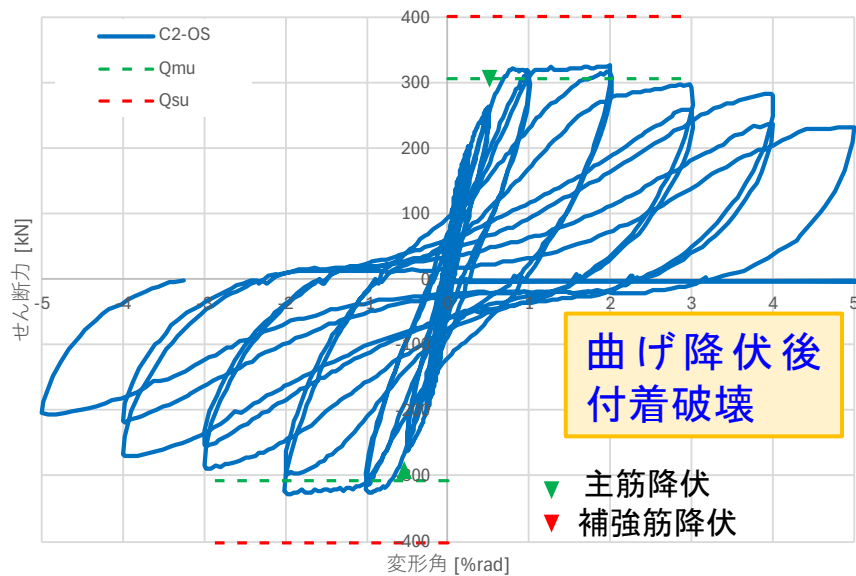
R=2.0%除荷時



R=4.0%除荷時



実験結果(C2)



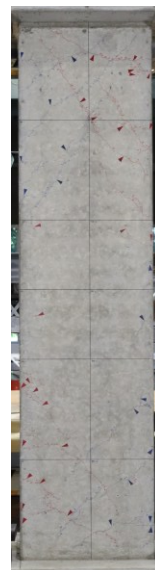
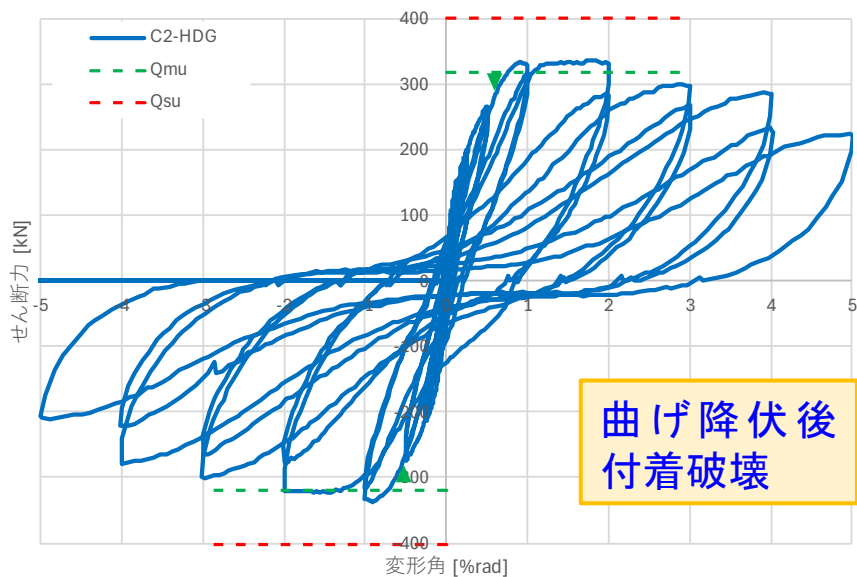
R=1.0%除荷時



R=2.0%除荷時



R=5.0%除荷時



(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

○ 試験体概要 (部材諸元)

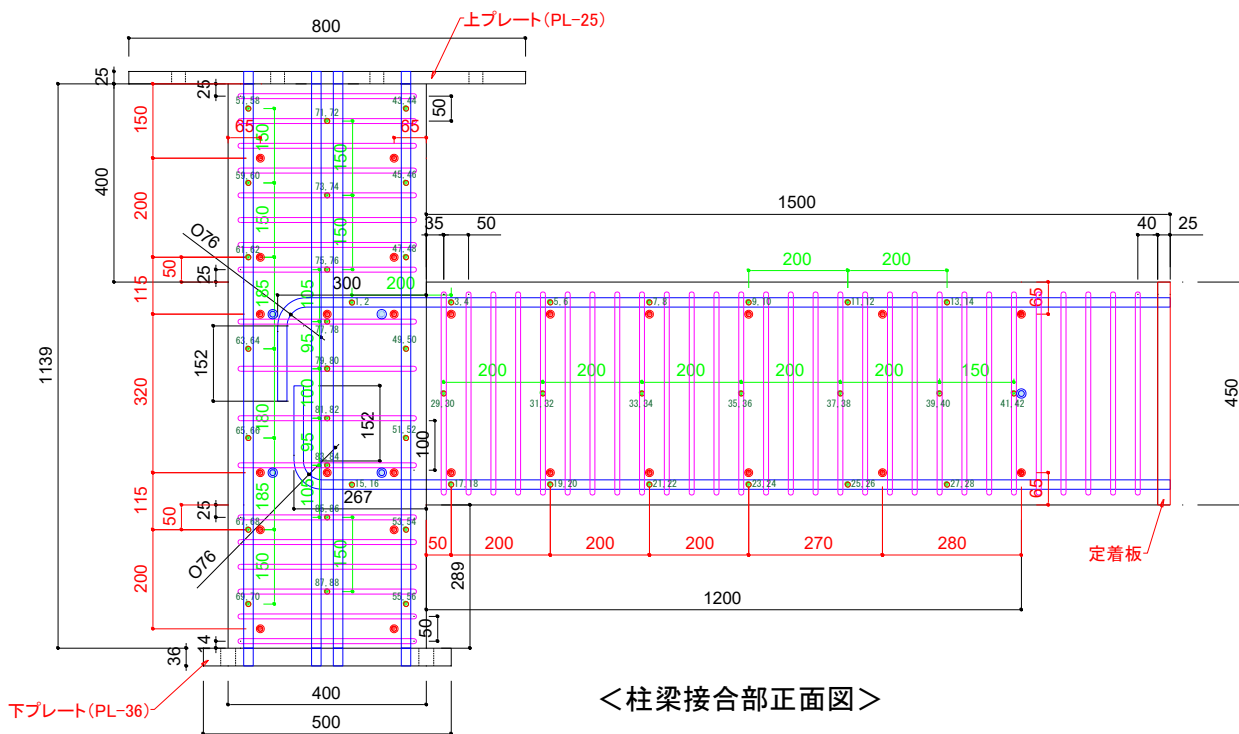
< 試験体水準の比較 >

- ・ 試験体① ((梁) 6-D22-SD345、(柱) 10-D22-SD345) : 接合部内の折り曲げ定着強度の余裕度が低い条件
- ・ 試験体② ((梁) 8-D19-SD345、(柱) 8-D19-SD345) : 接合部の強度低下率 β_j が1.0以下で、柱梁強度比が低い条件 (引張軸力時)

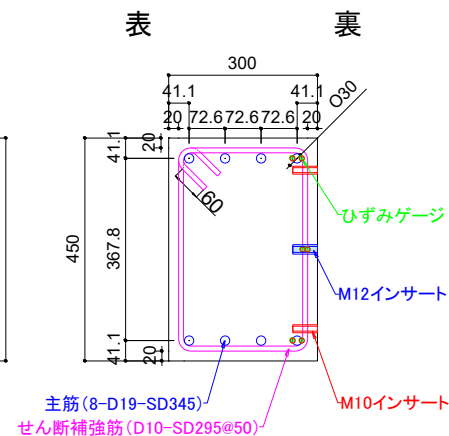
* 接合部内の補強筋比は両方とも0.3%以上とし、本試験体では補強筋間隔=100mmで、 $P_{jw}=0.39\%$

(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的な性能評価

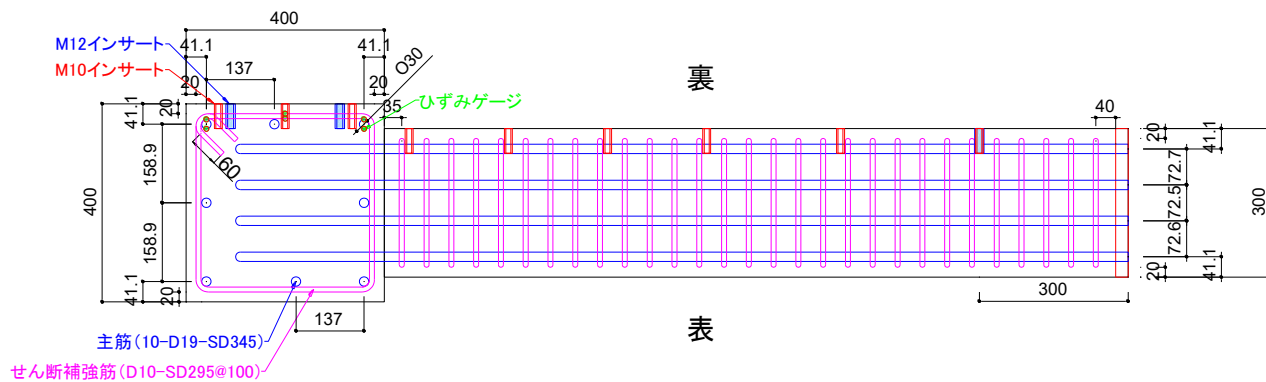
・試験体②図面



＜柱梁接合部正面図＞

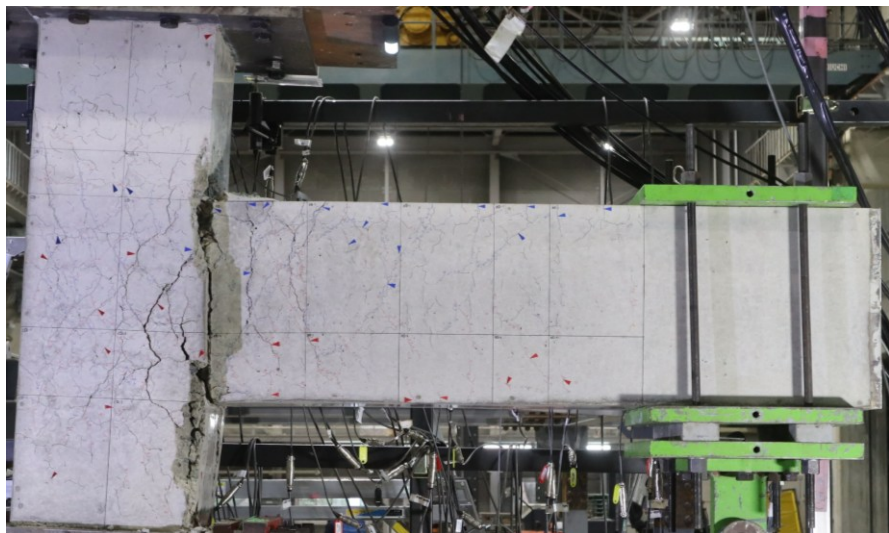
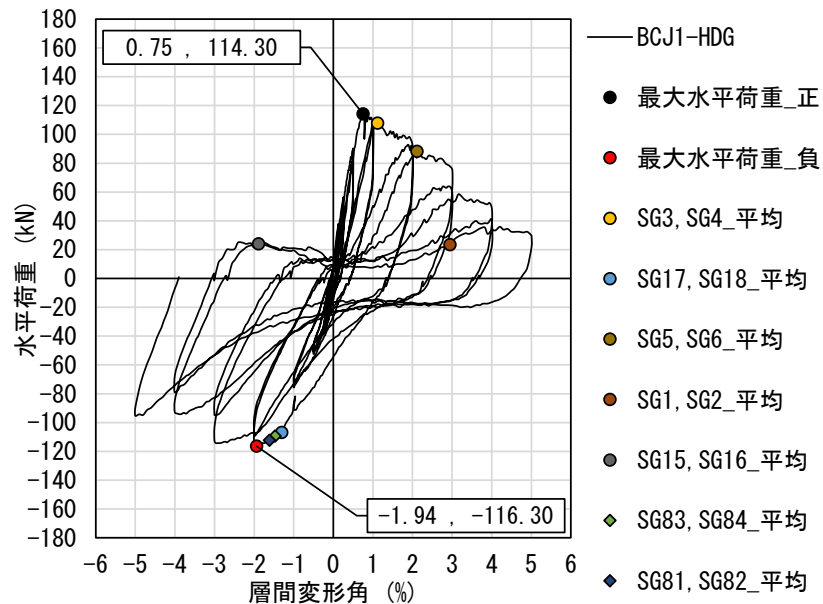
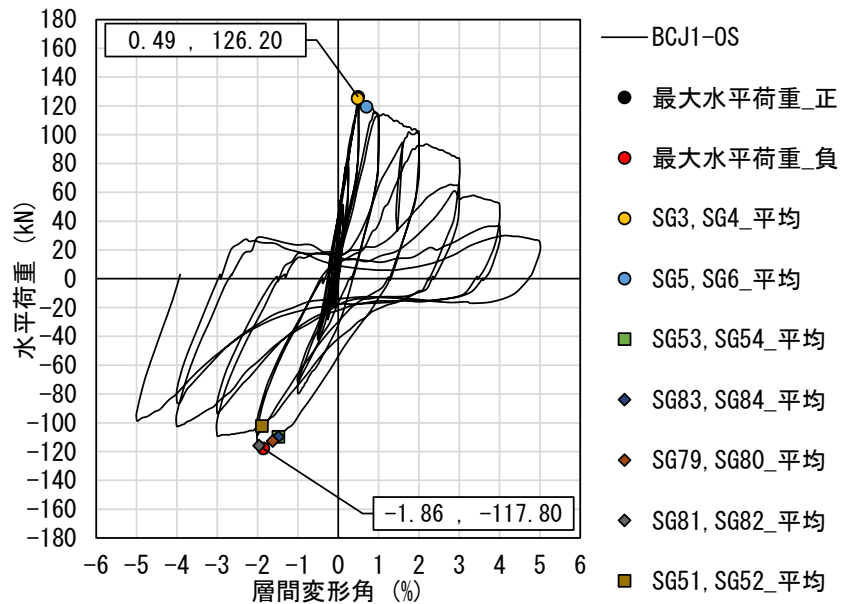


＜梁断面図＞



＜接合部断面図＞

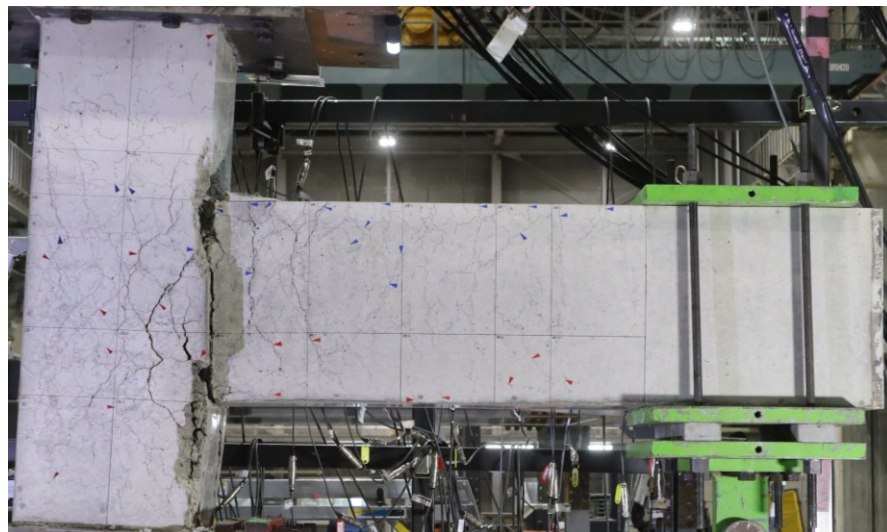
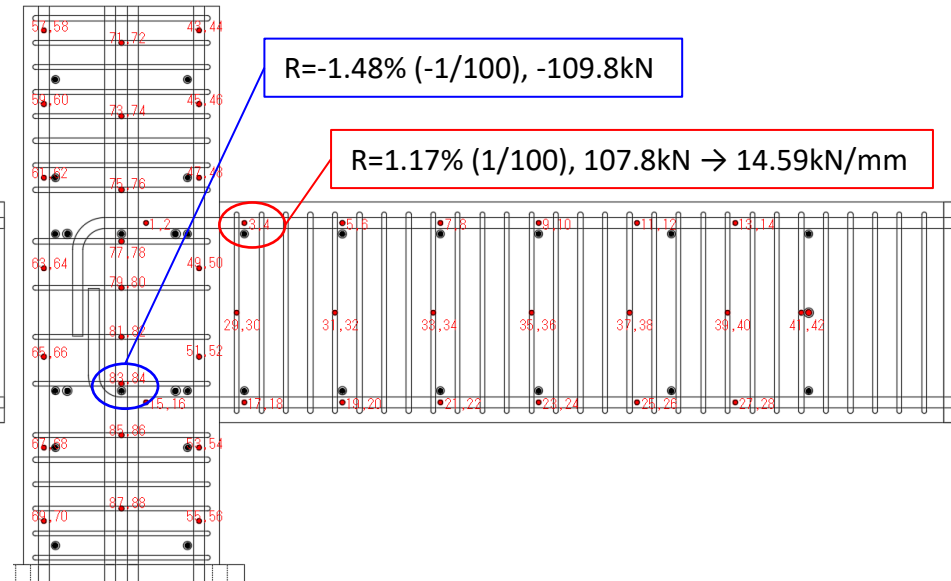
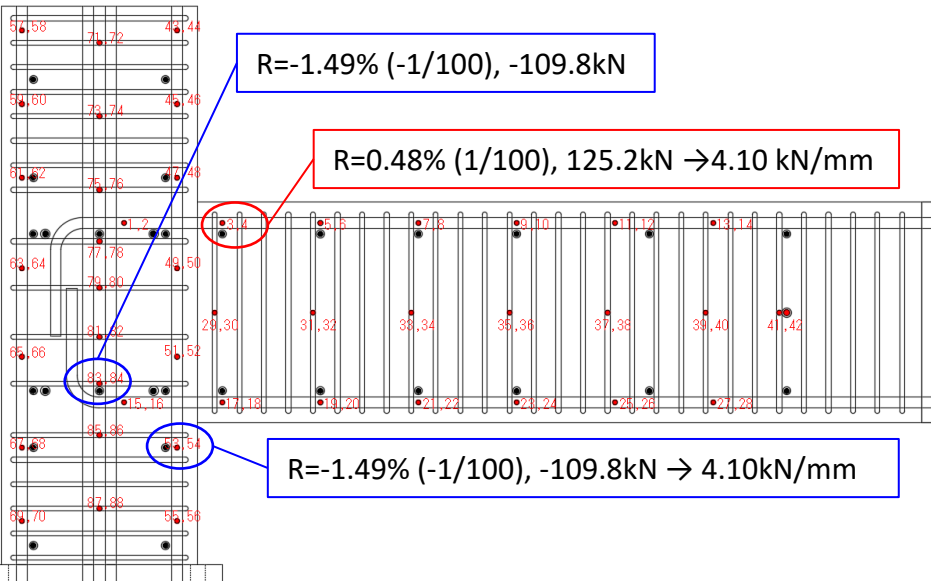
実験結果(BCJ1) : 水平荷重-層間変形角関係, 破壊性状



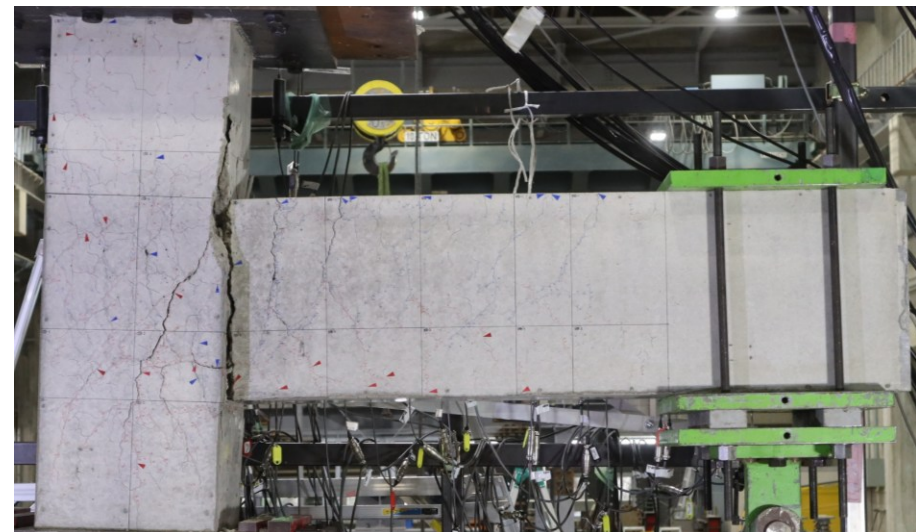
BCJ1-OS 梁降伏型破壊 (正载荷)
接合部降伏型破壊 (負载荷)

BCJ1-HDG 梁降伏型破壊 (正载荷)
接合部降伏型破壊 (負载荷) 29

実験結果(BCJ1) : 水平荷重-層間変形角関係, 破壊性状

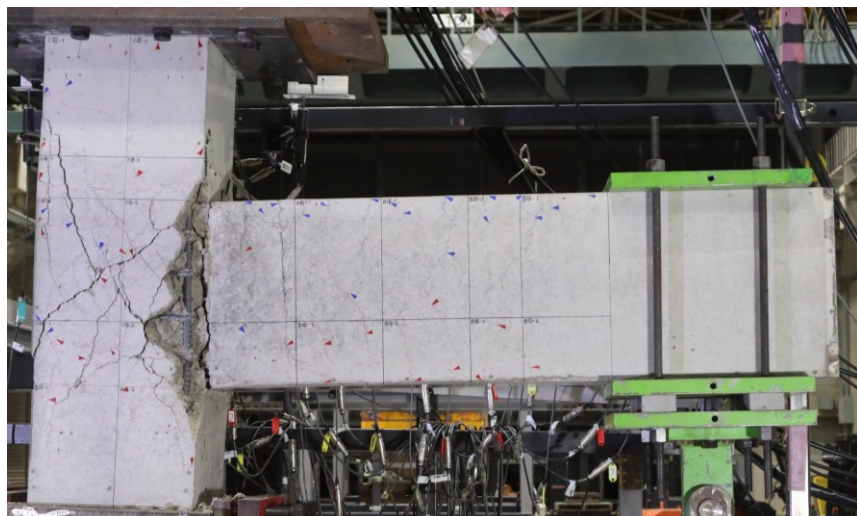
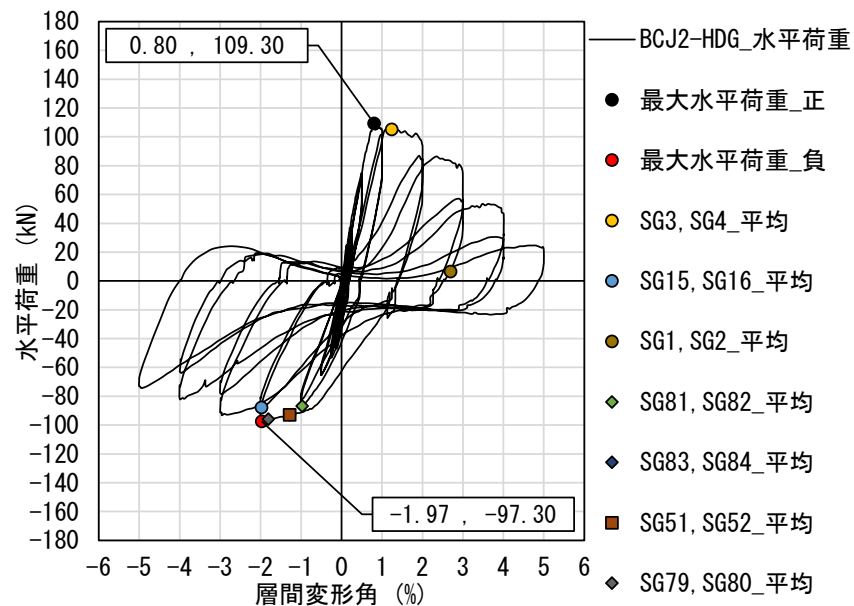
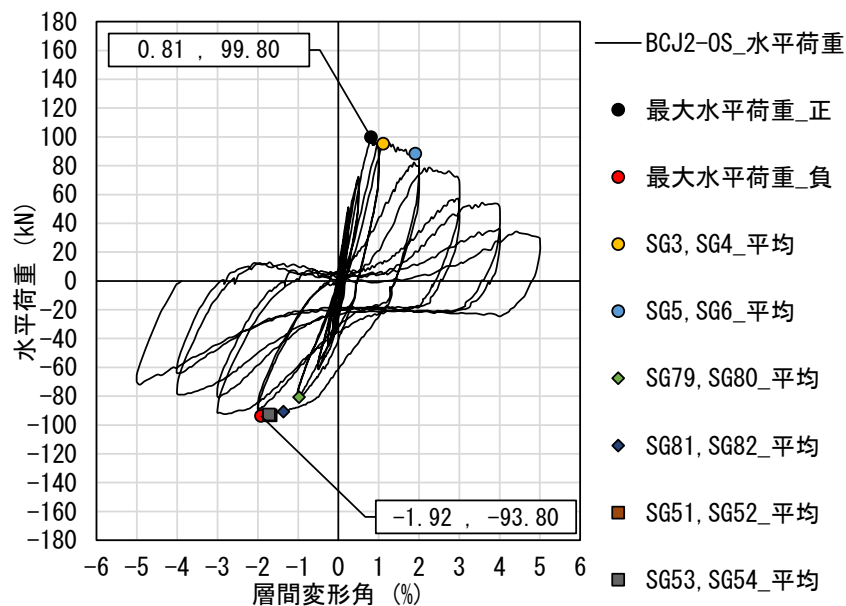


BCJ1-OS 梁降伏型破壊 (正载荷)
接合部降伏型破壊 (負载荷)

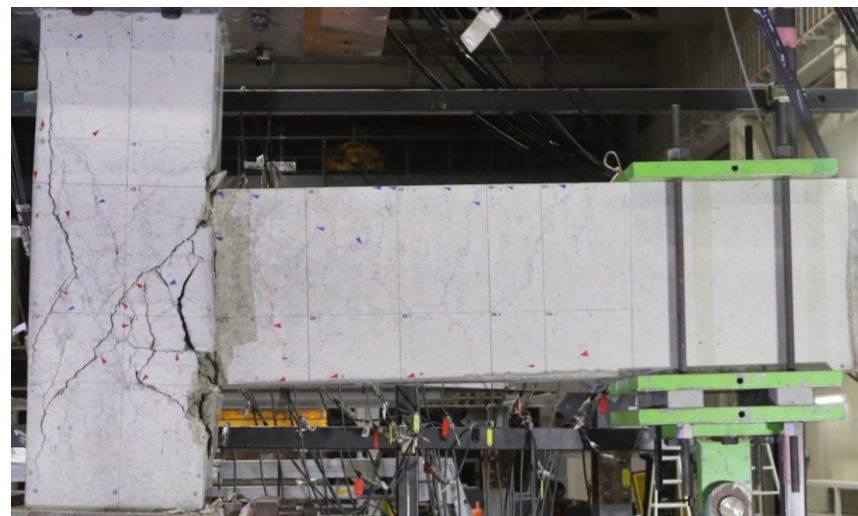


BCJ1-HDG 梁降伏型破壊 (正载荷)
接合部降伏型破壊 (負载荷) 30

実験結果(BCJ2) : 水平荷重-層間変形角関係, 破壊性状

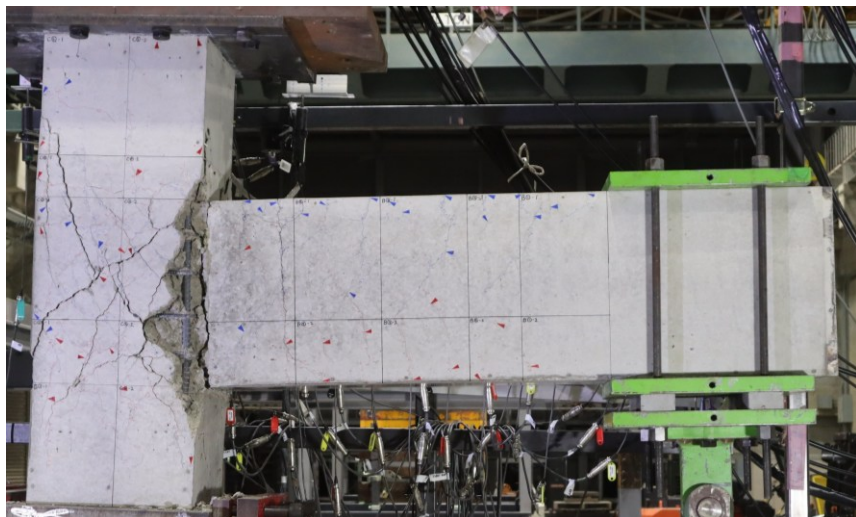
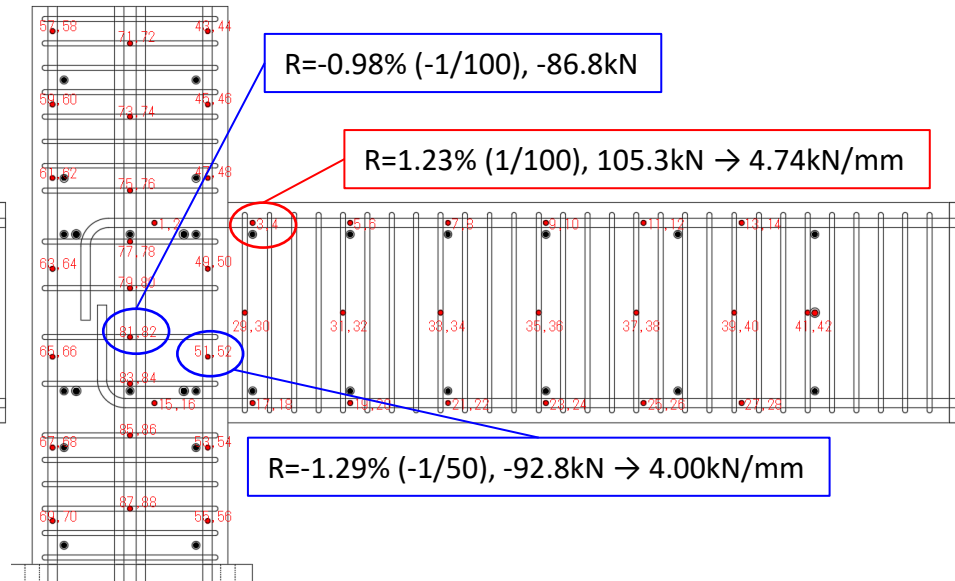
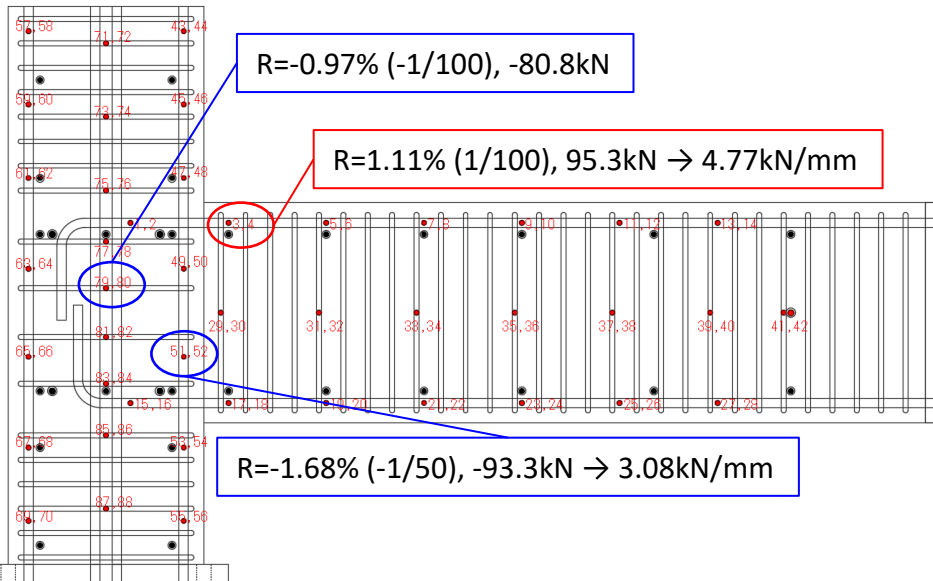


BCJ2-OS 梁降伏型破壊 (正载荷)
接合部降伏型破壊 (負载荷)

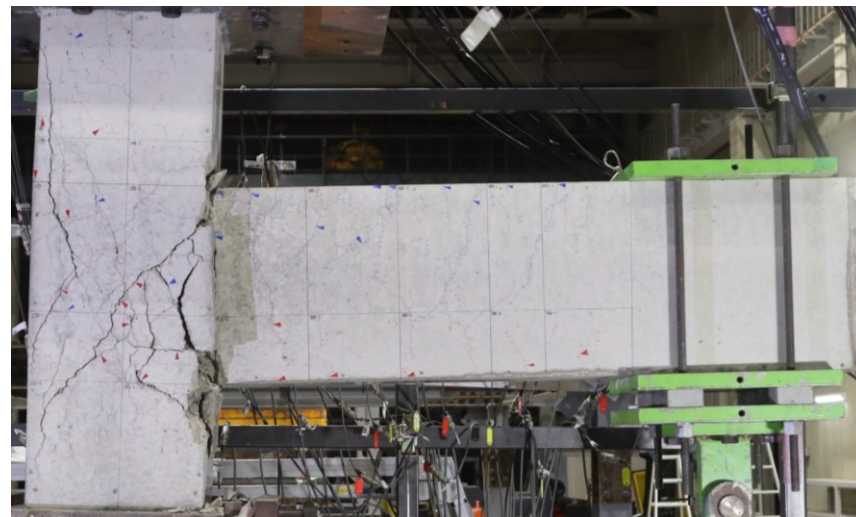


BCJ2-HDG 梁降伏型破壊 (正载荷)
接合部降伏型破壊 (負载荷) 31

実験結果(BCJ2) : 水平荷重-層間変形角関係, 破壊性状



BCJ2-OS 梁降伏型破壊 (正载荷)
接合部降伏型破壊 (負载荷)



BCJ2-HDG 梁降伏型破壊 (正载荷)
接合部降伏型破壊 (負载荷) 32

(木)耐火性能の検討

■ 目的

- 加熱後（冷却後）のめっき鉄筋の付着性能を明らかにする（冷間試験）

■ 実験概要

- 鉄筋：めっき，普通
（D16・SD345）
- 水準：常温，100～700℃@100℃
- Con.強度：30N/mm²（28日封緘）
- めっき膜厚：120μm
- 付着長：64mm（4D）

引抜試験体 試験体数（n=5）

鉄筋種	加熱温度(°C)								予備	合計
	常温	100	200	300	400	500	600	700		
めっき	5	5	5	5	5	5	5	5	2	42
普通	5	5	5	5	5	5	5	5	2	42
合計	10	10	10	10	10	10	10	10	4	84

圧縮試験体 試験体数

	標水	常温	試験時	予備	合計
圧縮	3	3	24	-	30
割裂	3	3	-	-	6
合計	6	6	24	-	36

(木)耐火性能の検討

■ 試験体

- 2024熱間試験と同調合（鉄筋寸法のみ変更）
- Con.強度：30N/mm²（28日封緘）

コンクリートの調合

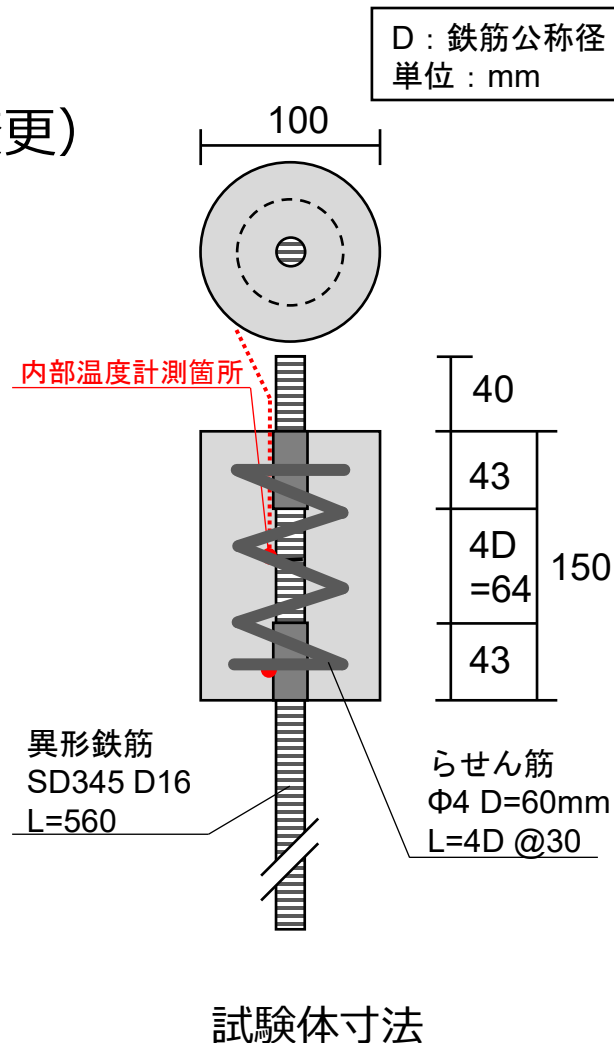
w/c (%)	s/a (%)	D _{max} (mm)	単体量(kg/m ³)				混和剤(C×%)	
			W	C	S	G	Ad	AE
70	58	10	185	264	1035	763	1.3	0.001

■ 加熱試験

- 建研の電気炉を使用
- 昇温速度5°C/min設定・冷却は自然放冷
- 全て熱電対を挿入して温度上昇を確認し、中心温度が目標温度に達した後、2時間以上継続してから加熱終了

■ 引抜き試験

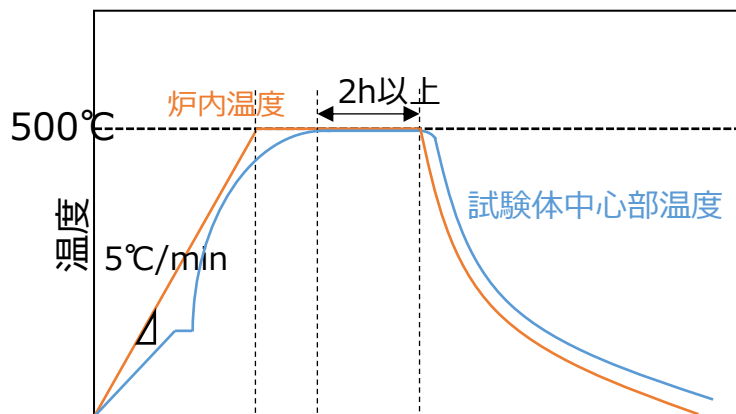
- 2024熱間試験と同方法
- JSTM C 2101に準拠して実施



(ホ)耐火性能の検討

■ 加熱試験

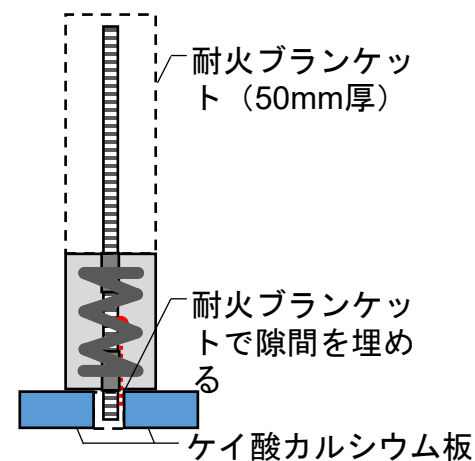
- 昇温速度 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で炉を加熱後、8時間キープ
 - ◆ 試験体内部の熱電対により、試験体中心の温度上昇を確認
- 冷却は加熱終了後自然放冷 ($2.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 程度を想定)
 - ◆ 冷却が遅い場合はダンパーの開放率を調整して冷却速度を調整
- 加熱中は、鉄筋部分を耐火ブランケットおよびケイカル板で保護
 - ◆ 熱間試験（コンクリート部分のみ加熱）との違いを抑制するため



加熱プログラム（例）



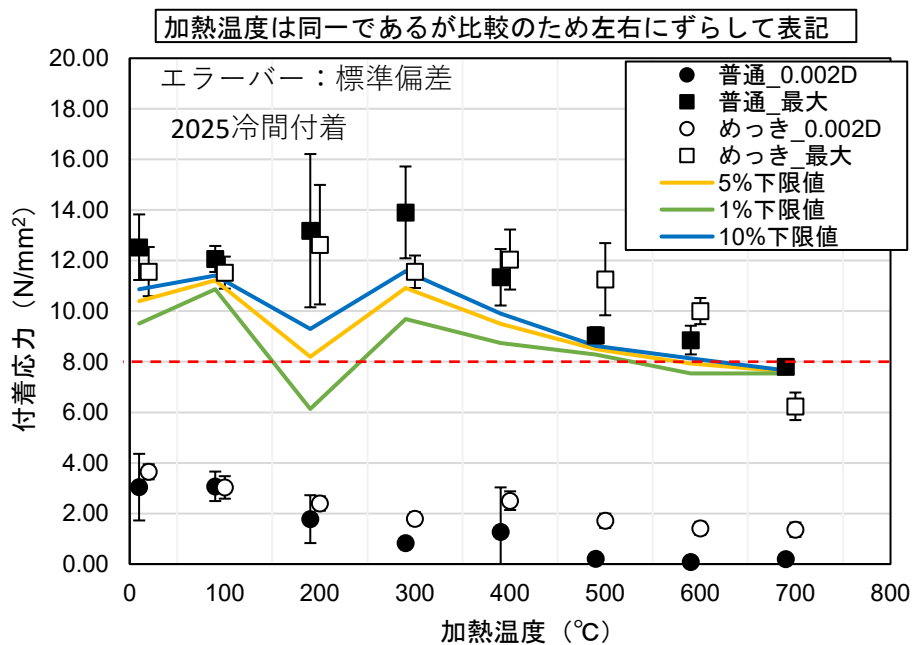
試験体の設置状況



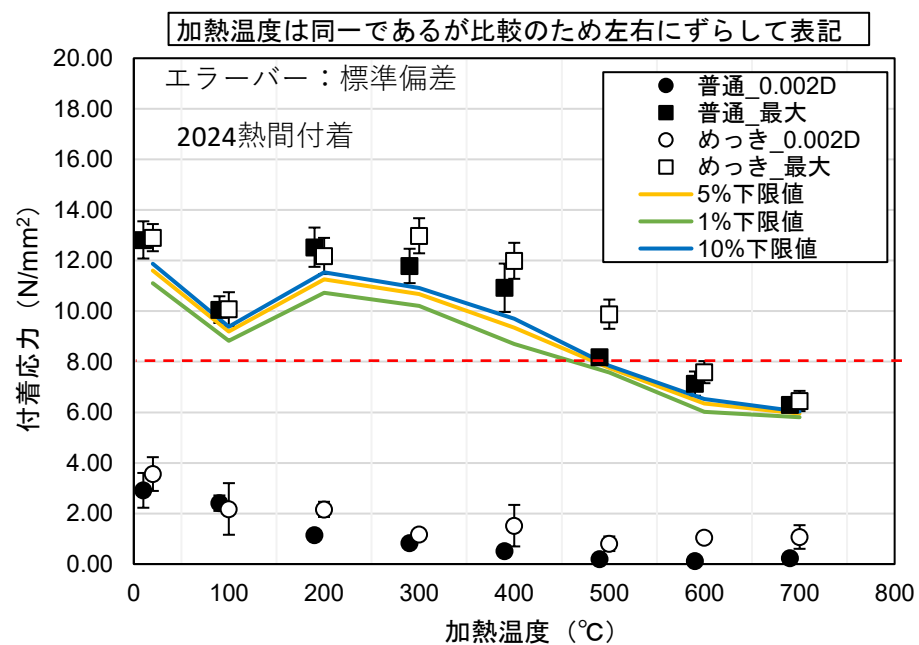
試験体の保護方法

(ホ)耐火性能の検討

■ 加熱温度と付着応力



加熱温度と付着応力の関係
2025冷間試験



加熱温度と付着応力の関係
2024熱間試験

(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。

溶融亜鉛めっき鉄筋の判定基準案

第1 適用範囲

この判定基準は、平成12年建設省告示第2464号の規定により使用が認められている異形鉄筋に、JIS H 8641 認定工場が溶融亜鉛めっきを被覆したもの（以下「溶融亜鉛めっき鉄筋」という。）について適用する。ただし、溶融亜鉛めっき時の浴温度は500度以下かつめっき浸せき時間は10分以内で加工され、めっき後の鉄筋がJIS G 3112に適合することが確認されたものに限る。溶融亜鉛めっきに使用する鉄筋は、JIS G 3112に示した異形鉄筋のうち、鉄筋径はD10～D16（SD295，SD295A），D16～D25（SD345）を原則とする。

第2 性能

1. 耐久性

次の(1)から(3)までに定める項目の試験を行い、耐久性を有することが確認されていること。

(1)外観

- ・めっき皮膜がほぼ均一で、不めっき・剝離（全表面積の0.5%以下で各々の面積が5cm²以下）、たれ・かすびき（使用上支障のあるものであってはならない）が認められないこと。判定方法は「JIS H 8641：2021 溶融亜鉛めっき」に基づく。

(2)めっき皮膜厚

- ・鉄筋全長にわたり、節と節の間の鉄筋表面において、測定値が77μm以上かつ166μm以下に入っていること。試験方法は「JIS H 0401：2021 溶融亜鉛めっき試験方法」に基づく。

溶融亜鉛めっき鉄筋の判定基準案

(3)防せい性能

- ・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 $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度（相対湿度）95～100%に1日間、温度 $60\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度（相対湿度） $50\pm 5\%$ に2日間を1サイクルとするサイクルを80サイクル与えた場合において、母材鉄筋の平均腐食面積率1%を超える腐食がないこと。なお、平均腐食面積率については、コンクリート中の母材鉄筋の腐食面積の全亜鉛めっき面積に対する割合の平均とする。ただし、すでに検証されている範囲についてはその限りではない。

2. コンクリートとの付着力

以下に示す項目について確認するものとする。試験方法は「JSTM C 2101：引き抜き試験によるコンクリートとの付着強さ試験方法」に準拠する。ただし、既に性能が検証されている範囲についてはこの限りではない。

- 1)付着強度が普通鉄筋と比較して同等であること。
- 2) 1)の性能判定は、供試体数を溶融亜鉛めっき鉄筋および普通鉄筋それぞれ5本とし、コンクリートから鉄筋を引き抜く試験を行う。溶融亜鉛めっき鉄筋の最大荷重（以下、付着強度）の平均値が、設計基準付着力を上回ること。この場合、設計基準付着力はJSTM C 2101に判定基準として記載している $8\text{N}/\text{mm}^2$ とする。

溶融亜鉛めっき鉄筋の判定基準案

3. 構造性能

以下に示す項目について確認する。ただし、すでに検証されている範囲についてはその限りではない。

- ・部材試験体を製作し、普通鉄筋を使用した部材試験体の構造性能と比較して同等であること。

4. 耐火性能

以下に示す項目について確認する。試験方法は「JSTM C 2101：引き抜き試験によるコンクリートとの付着強さ試験方法」を参考にする。ただし、すでに検証されている範囲についてはこの限りではない。

- ・最大荷重（以下、付着強度）が500°Cを下回る加熱条件においても、設計基準付着力を上回ること。この場合、設計基準付着力はJSTM C 2101に判定基準として記載されている8N/mm²とする。

上記は100°C、200°C、300°C、400°Cの加熱中の状態の試験（熱間試験）で確認すること。

供試体の数は5本以上とすること。

溶融亜鉛めっき鉄筋の判定基準案

第3 設計施工上の留意事項

1. 設計上の留意事項

溶融亜鉛めっき鉄筋は、建築物の設計に当たって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等に特別の配慮を必要とするので、別途実験等の結果に基づき、適切な設計方法及び仕様が定められていること。また、部材の内部温度が常時40°Cを超える環境にさらされる部位には使用しない。

2. 施工上の留意事項

溶融亜鉛めっき鉄筋は、鉄筋加工中および施工作業中、防せい上有害なめっき皮膜の割れ、浮き上がり、剥離等の損傷が発生した場合には、必要な補修により、第2（性能）に示す性能と同等の性能を回復すること。また、溶融亜鉛めっき鉄筋は、その保管、運搬、切断、折曲げ、組立て等に当たって特別の配慮を必要とするので、第2に示す性能を損なわないために必要な施工仕様が定められていること。

溶融亜鉛めっき鉄筋の判定基準案

第4 品質管理

溶融亜鉛めっき鉄筋は、第2に示す性能が安定して発揮でき、かつ、第3に示す設計施工上の留意事項を満足するように、適切な品質管理が行われるものであること。

第5 その他

溶融亜鉛めっき鉄筋を使用した設計方法、施工方法及び管理方法について、マニュアル等を完備し、適正な普及が図られていること。

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

(ホ) 耐火性能の検討

(ハ) 技術的資料のとりまとめ

まとめ

(イ) 耐久性や防錆性能の検討

- ・80度促進環境における直線部の亜鉛めっき鉄筋の母材保護効果は正常に機能
- ・品確法緩和に向けた防食性能評価
- ・暴露環境における付着性能評価より、亜鉛めっき鉄筋は普通鉄筋と同等

(ロ) 構造性能の検討

- ・重ね継手を用いた梁部材、柱部材、柱梁接合部の載荷実験から、亜鉛めっき鉄筋部材は普通鉄筋部材と同等の構造性能

(ホ) 耐火性能の検討

- ・加熱後の付着実験より、亜鉛めっき鉄筋および普通鉄筋の付着性能は加熱中に比べてばらつきはあるものの、両鉄筋間とも600度までの付着性能は設計基準付着力以上

(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