

# 目次

研究発表1 ..... 3

「繰返し荷重を受ける金属系あと施工アンカーの軸引張耐力に与える曲げひび割れの影響評価」

神戸大学 准教授 三木 朋広 氏

研究発表2 ..... 19

「接着系あと施工アンカーとコンクリートの付着性能・ひび割れ性状に及ぼすコンクリート強度・接着剤種類の影響」

千葉工業大学 工学専攻 博士課程 酒井 裕基 氏

研究発表3 ..... 41

「コーン状破壊により損傷した露出柱脚のあと施工アンカーを用いた被災後補修法」

豊橋技術科学大学 助教 仲田 章太郎 氏

---



研究発表

1

「繰返し荷重を受ける金属系あと施工アンカーの軸引張耐力  
に与える曲げひび割れの影響評価」

神戸大学 准教授 三木 朋広 氏

2023 年度 JCAA 研究助成報告

# 繰返し荷重を受ける 金属系あと施工アンカーの軸引張耐力 に与える曲げひび割れの影響評価

神戸大学 准教授 三木 朋広

## 研究の背景と目的

- **あと施工アンカー工法**は、**耐震補強**、橋梁上部構造の**落橋防止装置**等、コンクリート構造物への付帯設備の取付けなどに使用される。
  - 本研究では、**あと施工アンカー部の長期特性の把握**に向けた基礎検討として、**繰返し荷重**、**側圧**、ならびに**曲げひび割れ**があと施工アンカー部の**軸引張耐力**に与える影響について実験的に把握することを目的とした。
- 載荷実験では、  
① 金属**拡底**アンカーと ② 金属**拡張**アンカー を使用し、  
**ブロック**供試体、ならびに**RCはり**供試体を用いて、  
**側圧(圧縮力)**を作用させた状態、または**ひび割れ**が生じた状態で、  
あと施工アンカーに**軸引張荷重**を作用させた。

## 金属系あと施工アンカー

- 金属拡底アンカー



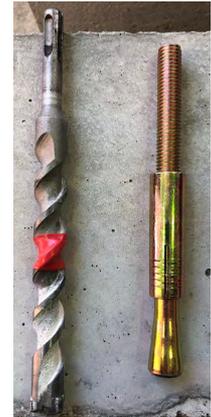
$l_e$  : 有効埋込み長さ = 48 mm  
 $D_a$  : アンカー拡径後の拡径部の直径 = 32 mm

M12ボルト (SUS304相当)  
 断面積 84.3 mm<sup>2</sup>  
 降伏強度 235 N/mm<sup>2</sup>

- 金属拡張アンカー (スリーブ打込み式)

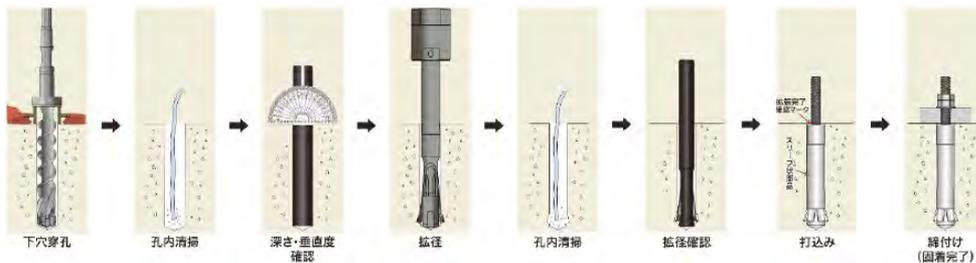
$l$  : 本体 (スリーブ) 長さ = 60 mm  
 $D_a$  : アンカー本体の直径 = 17.3 mm  
 $l_e$  : 有効埋込み長さ = 42.7 mm

M12ボルト  
 断面積 84.3 mm<sup>2</sup>  
 降伏強度 235 N/mm<sup>2</sup>



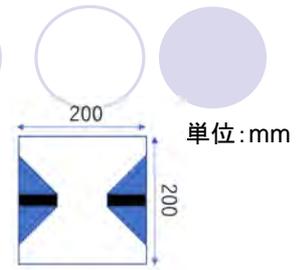
## 金属拡底アンカーの設置方法

- 母材コンクリートに穿孔 (下穴) → 清掃 → 孔の先端部を拡径 → 清掃 → 拡径確認 → アンカーを挿入し、打込み棒を使用して固着

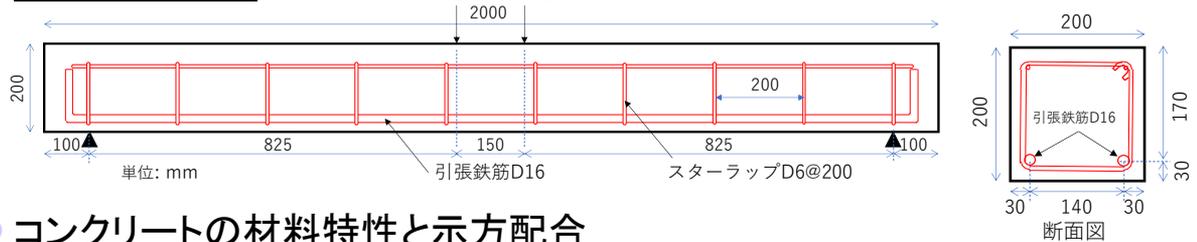


## 供試体概要

- **ブロック供試体**: 8体 × 2種類、200 × 200 × 200mm  
無筋コンクリート立方体、両側面にアンカーを設置



- **RCはり供試体**: 2体 × 2種類、断面200 × 200mm、全長2000mm

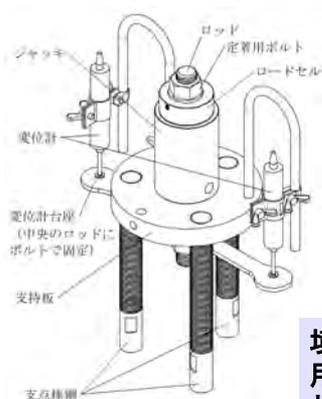


- **コンクリートの材料特性と示方配合**

圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	単位量(kg/m <sup>3</sup> )									
			G <sub>max</sub> (mm)	Slump (cm)	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	W	C	S	G	AE
37.3	2.74	24 800	20	8±2	67	4.5±1	48.7	165	246	907	956	0.492

## コンクリートブロック供試体の圧縮載荷試験

- あと施工アンカーが軸直交方向から側圧として圧縮強度の  
56%(840 kN), 40%(600 kN), 20%(300 kN), 4%(60kN)に  
相当する圧縮力を受けた状態で引張試験を実施



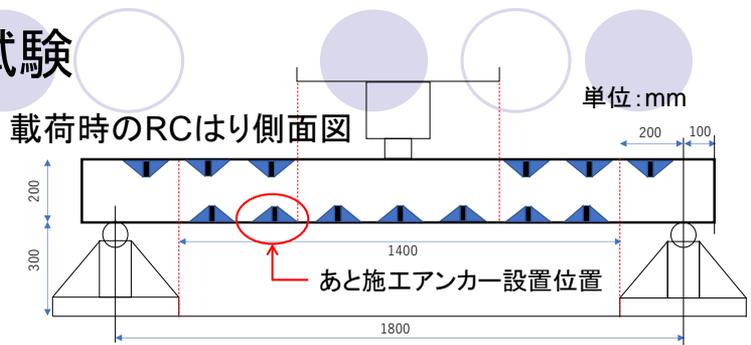
境界条件: 型鋼+鋼板を用いて、二辺を支持反力として引張力を作用  
鋼板端距離: 160mm



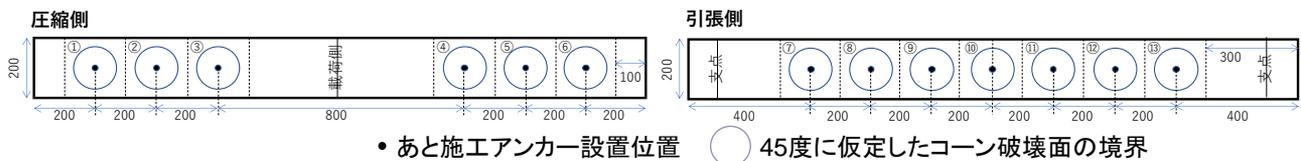
鉛直方向に生じるひび割れ幅を計測するために、パイ型亀裂変位計を水平方向に設置した

## RCはりの曲げ載荷試験

- 拡底, 拡張アンカーを使用
- 持続曲げ載荷を作用させた状態で引張試験を実施  
荷重: 60 kNと45 kN

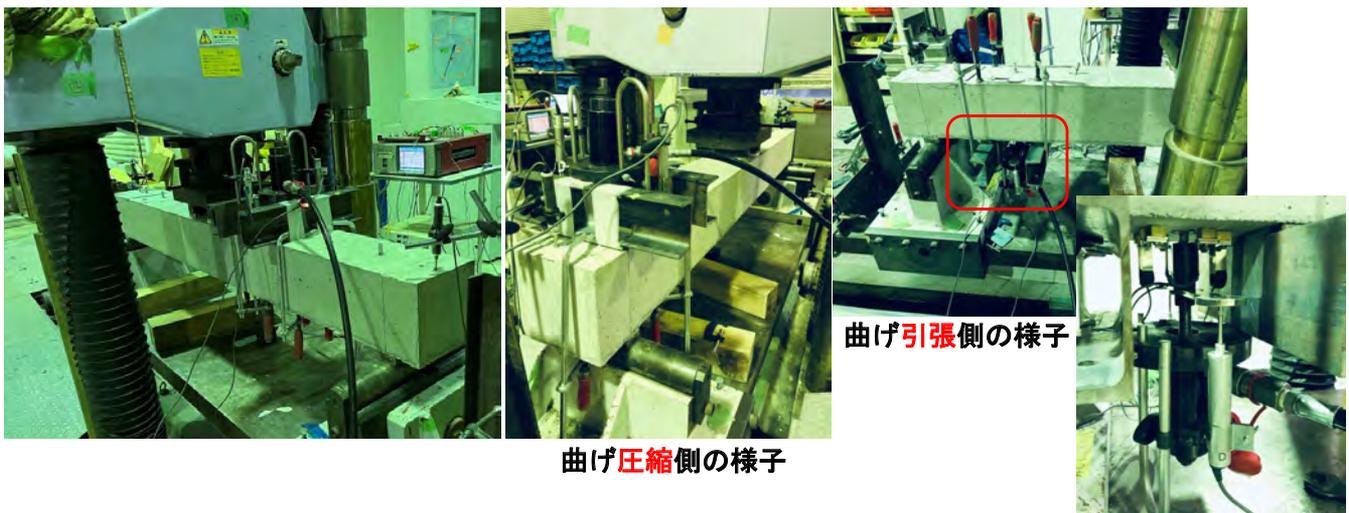


- 曲げ圧縮側: 側圧として圧縮力を受けた状態を想定  
→ 最大、コンクリート応力 $25\text{N/mm}^2$ 、コンクリートひずみ $1000\mu$ 程度
- 曲げ引張側: 母材コンクリートに曲げひび割れが生じた状態を想定  
→ 曲げひび割れ幅 $0.3\text{-}0.5\text{mm}$  (60 kN)、 $0.15\text{mm}$  (45 kN)



## RCはりの曲げ載荷試験の様子

- 曲げ荷重を作用させた状態で引張試験を実施するため、引張試験の治具、支持板、ロードセル等をコンパクトなものとした。



# 実験方法 まとめ

## ブロック供試体

ID	側圧(kN)	载荷方法
1A	840	単調
1B	840	単調
2A	840	繰返し
2B	840	繰返し
3A	600	単調
3B	600	単調
4A	600	繰返し
4B	600	繰返し
5A	300	単調
5B	300	単調
6A	300	繰返し
6B	300	繰返し
7A	60	単調
7B	60	単調
8A	60	繰返し
8B	60	繰返し

## RC梁供試体

	アンカー種類	曲げ荷重 (kN)	曲げひび割れ幅 (mm)
RCはり <b>拡底</b> _45	<b>拡底アンカー</b>	45	0.15
RCはり <b>拡底</b> _60	<b>拡底アンカー</b>	60	0.3-0.5
RCはり <b>拡張</b> _45	<b>拡張アンカー</b>	45	0.15
RCはり <b>拡張</b> _60	<b>拡張アンカー</b>	60	0.3-0.5

### ブロック供試体

あと施工アンカーが軸直交方向から側圧として圧縮強度の56%(840 kN), 40%(600 kN), 20%(300 kN), 4%(60kN)に相当する圧縮力を受けた状態

### RC梁供試体

曲げ圧縮側：60 kN载荷時に等曲げモーメント区間の圧縮縁でコンクリートが圧縮ひずみ1000 $\mu$ 程度 (25 N/mm<sup>2</sup>) 相当の圧縮力を側圧として受け状態  
 曲げ引張側：40kN载荷時 0.15mm程度, 60kN载荷時 0.31~0.54 mmの最大のひび割れ幅

# 有効水平投影面積Ac

## ● 金属拡底アンカー

$l_e$  : 有効埋込み長さ=48.1 mm

$D_a$  : アンカー拡径後の拡径部の直径=32 mm

$$A_c = \pi l_e (l_e + D_a) = \pi \cdot 48.1 \cdot (48.1 + 31.7) = 12058.6 \text{ mm}^2$$

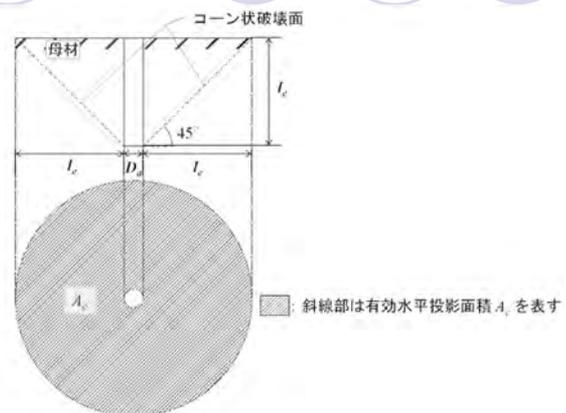
## ● 金属拡張アンカー スリーブ打込み式

$l$  : 本体(スリーブ)長さ=60 mm

$D_a$  : アンカー本体の直径=17.3 mm

$l_e$  : 有効埋込み長さ=42.7 mm

$$A_c = \pi l_e (l_e + D_a) = \pi \cdot 42.7 \cdot (42.7 + 17.3) = 8048.8 \text{ mm}^2$$



土木学会(2020):  
 コンクリートのあと施工アンカー工法の  
 設計・施工・維持管理指針(案)

# 耐力算定式

$T_{yd}$  : 設計降伏耐力

$$T_{yd} = K_t T_y / \gamma_b \quad (1)$$

ここで,

$$T_y = a_o f_{ymd}$$

$$K_t = 1.0, \gamma_b = 1.1$$

$$a_o = 84.3 \text{ mm}^2$$

$$f_{ymd} = 235/1.1 = 213.6 \text{ N/mm}^2$$

$T_{cd}$  : 設計コンクリートコーン状耐力

$$T_{cd} = K_t \alpha A_c \sqrt{f'_{cd}} / \gamma_b \quad (2)$$

ここで,

$$K_t = 1.0, \alpha = 0.31, \gamma_b = 1.6$$

$$A_c = \pi l_e (l_e + D_a)$$

$$l_e = 48.1 \text{ mm}$$

$$D_a = 31.7 \text{ mm}$$

$$f'_{cd} = 37.3/1.3 = 28.7 \text{ N/mm}^2$$

	拡張アンカー	拡底アンカー
$f'_{ck}$ N/mm <sup>2</sup>	37.3	37.3
$f'_{cd}$ N/mm <sup>2</sup>	28.7	28.7
$\gamma_c$	1.3	1.3
$a_o$ mm <sup>2</sup>	84.3	84.3
$f_y$ N/mm <sup>2</sup>	235	235
$f_{ysd}$ N/mm <sup>2</sup>	213.6	213.6
$\gamma_s$	1.1	1.1
$l_e$ mm	42.7	48.1
$l$ mm	60.0	48.1
$D_a$ mm	17.3	31.7
$T_{yd}$ kN	16.4	16.4
$K_t$	1.0	1.0
$T_y$ kN	18.0	18.0
$\gamma_b$	1.1	1.1
$T_{cd}$ kN	8.4	12.5
$K_t$	1.0	1.0
$\alpha$	0.31	0.31
$A_c$ mm <sup>2</sup>	8048.8	12058.6
$\sqrt{f'_{cd}}$	5.36	5.36
$\gamma_b$	1.6	1.6
破壊モード	コーン状破壊	コーン状破壊



## 実験結果と考察 (ブロック供試体)

# 実験結果(ブロック供試体)

設計降伏耐力Tyd 16.4 kN

設計コンクリートコーン状破壊耐力Tcd 12.5 kN

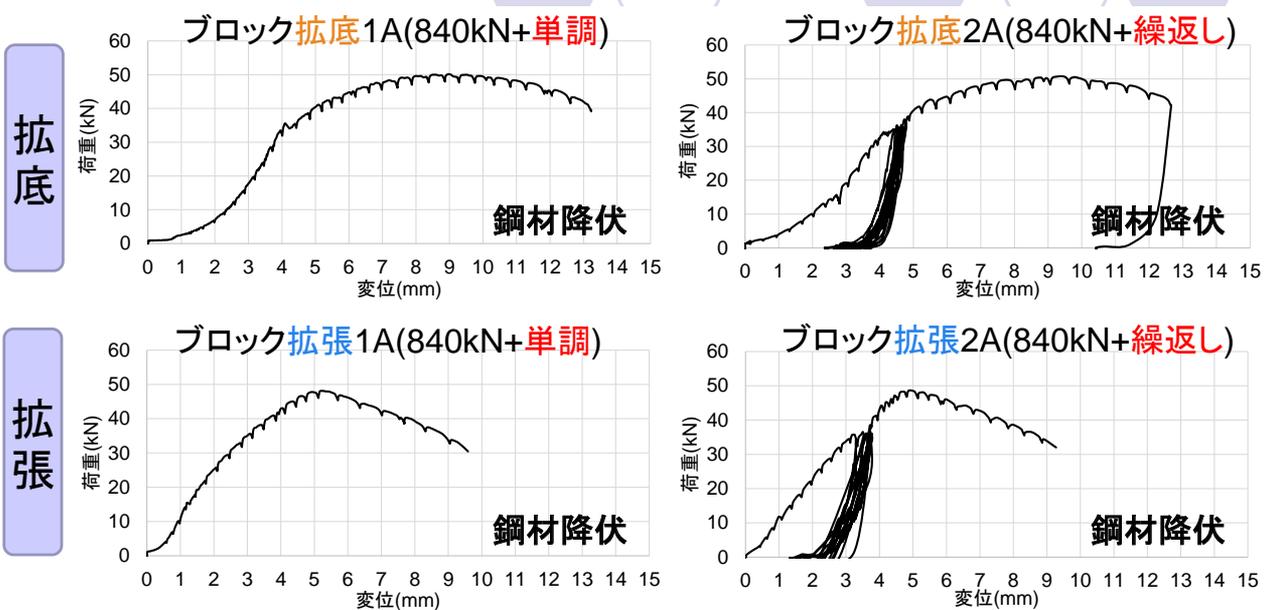
## 金属拡底アンカー

ID	側圧 (kN)	載荷方法	Pmax (kN)	Pmax時変位(mm)	破壊モード
1A	840	単調	50.1	9.0	鋼材降伏
1B	840	単調	49.9	10.1	鋼材降伏
2A	840	繰返し	50.8	9.4	鋼材降伏
2B	840	繰返し	50.7	8.5	鋼材降伏
3A	600	単調	50.4	9.2	鋼材破断
3B	600	単調	51.5	8.3	鋼材破断
4A	600	繰返し	50.8	11.7	コーン状破壊
4B	600	繰返し	49.3	8.0	鋼材破断
5A	300	単調	51.7	10.3	鋼材破断
5B	300	単調	51.5	9.0	コーン状破壊
6A	300	繰返し	51.0	8.5	鋼材破断
6B	300	繰返し	51.1	9.5	鋼材破断
7A	60	単調	46.8	7.0	割裂破壊
7B	60	単調	47.2	6.5	コーン状破壊
8A	60	繰返し	36.4	4.6	割裂破壊
8B	60	繰返し	41.9	5.2	コーン状破壊

## 金属拡張アンカー

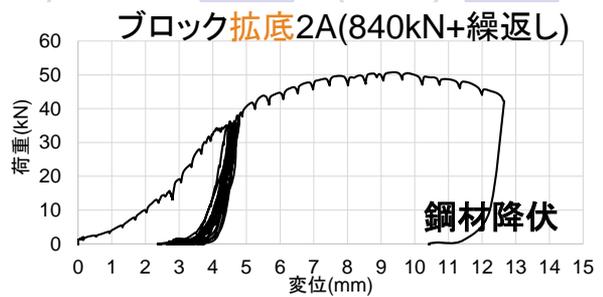
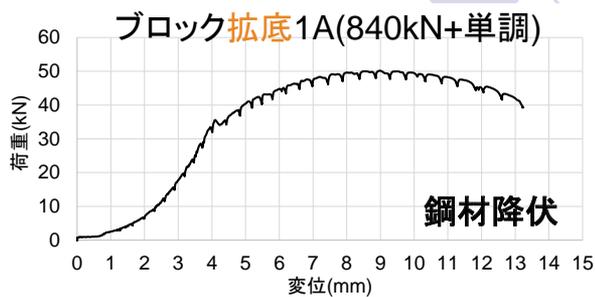
ID	側圧 (kN)	載荷方法	Pmax (kN)	Pmax時変位(mm)	破壊モード
1A	840	単調	48.1	5.3	鋼材破断
1B	840	単調	49.4	4.7	鋼材降伏
2A	840	繰返し	48.6	4.9	鋼材破断
2B	840	繰返し	48.3	5.4	鋼材破断
3A	600	単調	39.7	9.2	割裂破壊
3B	600	単調	50.6	14.9	鋼材破断
4A	600	繰返し	50.1	5.9	鋼材破断
4B	600	繰返し	50.1	7.0	鋼材破断
5A	300	単調	49.8	6.1	鋼材破断
5B	300	単調	38.7	5.4	割裂破壊
6A	300	繰返し	48.9	10.3	鋼材破断
6B	300	繰返し	49.8	6.7	鋼材破断
7A	0	単調	30.7	1.1	鋼材降伏
7B	0	単調	9.6	2.0	割裂破壊
8A	60	繰返し	34.6	4.8	割裂破壊
8B	60	繰返し	35.7	5.1	割裂破壊

# 引張荷重－変位関係(ブロック、アンカー種類)

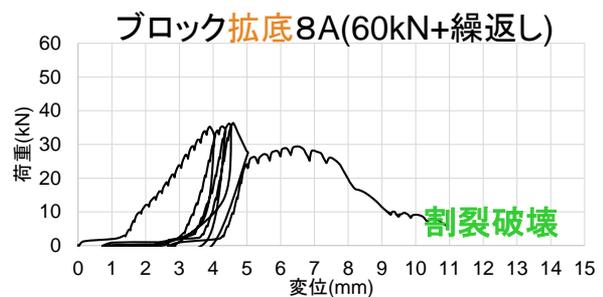
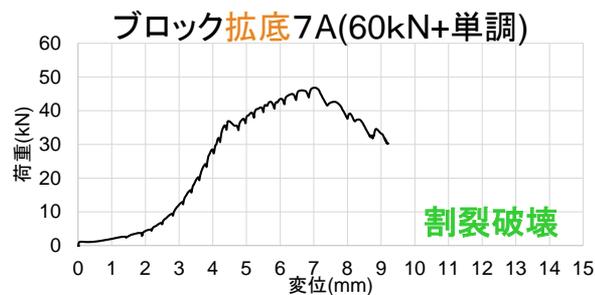


## 引張荷重－変位関係(ブロック、**拡底アンカー**)

840kN

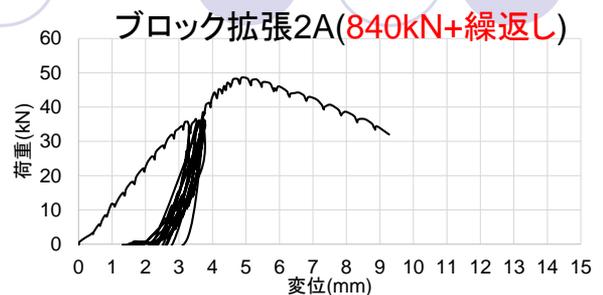
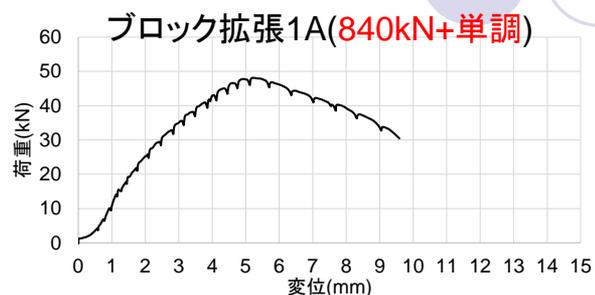


60kN

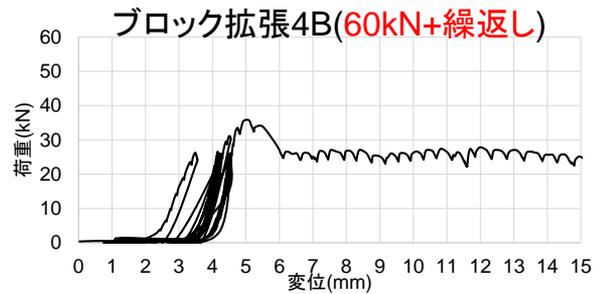
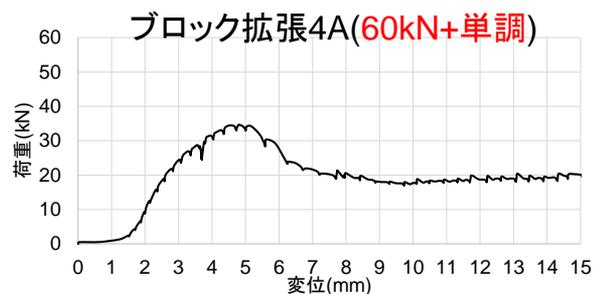


## 引張荷重－変位関係(ブロック、**拡張アンカー**)

840kN



60kN





## 実験結果と考察 (RC梁供試体)

曲げひび割れの性状



拵底60kN



拵張60kN

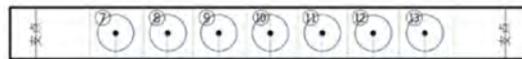
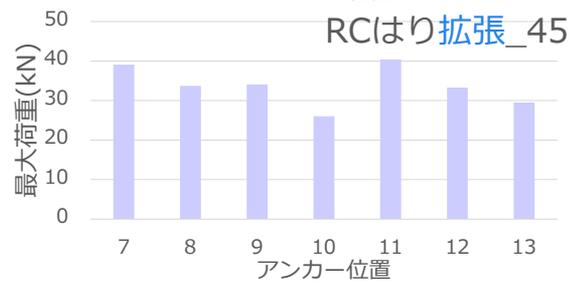
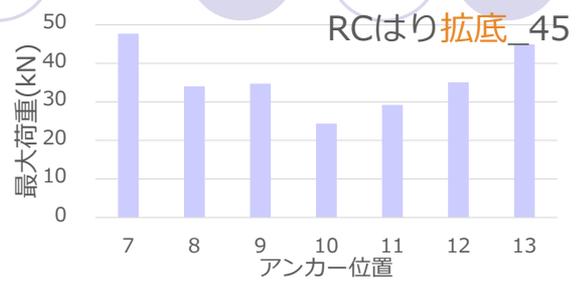
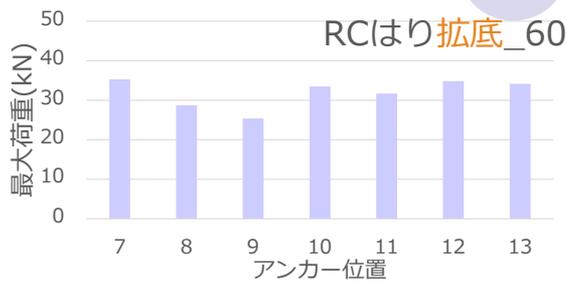


拵底45kN



拵張45kN

## 実験結果と考察(RC梁供試体, 引張耐力)



## 実験結果(RCはり, 拡底アンカー)

RCはり	設置位置	繰り返し回数	最大荷重(kN)	最大荷重時の変位(mm)	破壊モード
1	圧縮側	2回	35.36	3.02	割裂破壊
2	圧縮側	12回	49.98	8.73	鋼材降伏
3	圧縮側	11回	51.24	7.10	鋼材降伏
4	圧縮側	12回	50.04	7.29	鋼材破断
5	圧縮側	10回	47.06	5.14	コーン状破壊
6	圧縮側	6回	37.45	4.53	コーン状破壊
7	引張側	2回	35.31	6.07	割裂破壊
8	引張側	1回	28.73	5.21	割裂破壊
9	引張側	1回	25.38	3.67	割裂破壊
10	引張側	1回	33.48	4.66	割裂破壊
11	引張側	1回	31.70	6.71	割裂破壊
12	引張側	1回	34.84	3.55	割裂破壊
13	引張側	1回	34.16	8.67	割裂破壊

設計降伏耐力 $T_{yd}$  16.4 kN  
設計コンクリートコーン状破壊耐力 $T_{cd}$  12.5 kN

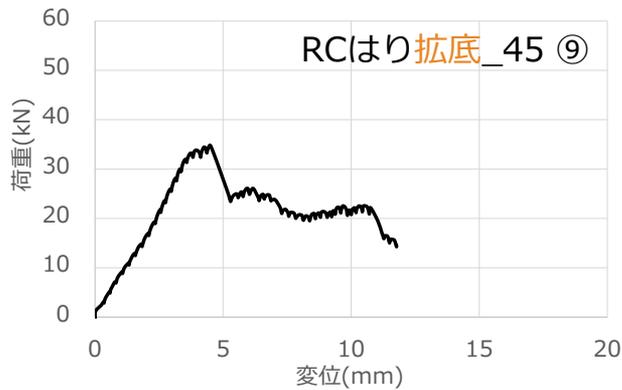
コーン状破壊の例(圧縮側No.5)



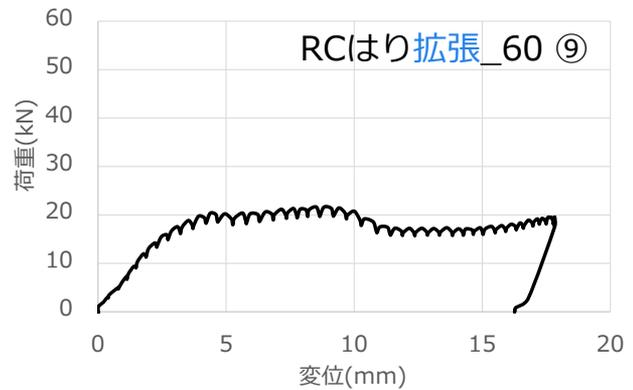
割裂破壊の例(引張側中央No.10)



## 実験結果(荷重変位関係, RC梁引張側)

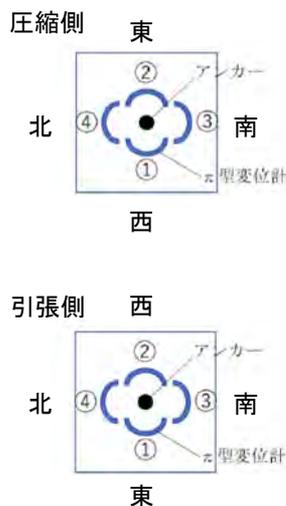
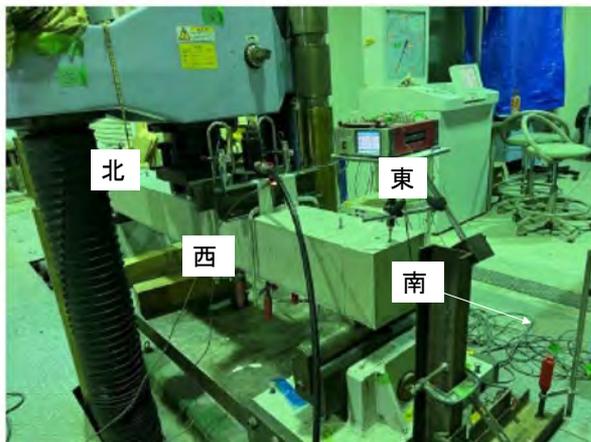


最大荷重に達した後、  
変位の増大に伴って荷重が低下



最大荷重到達後も  
荷重を保持する

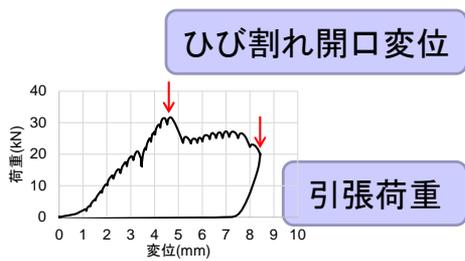
## あと施工アンカー周辺のひび割れ幅の計測



鉛直方向に生じるひび割れ幅を計測するために、パイ型亀裂変位計を水平方向に設置した



# 引張荷重とひび割れ開口変位(拡底60引張No.10)



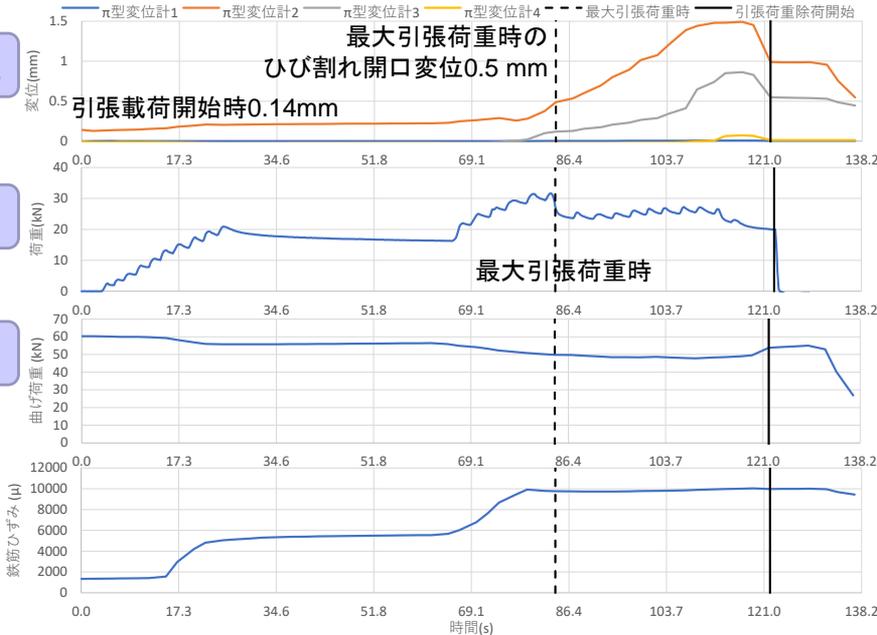
ひび割れ開口変位

引張荷重



作用曲げ荷重

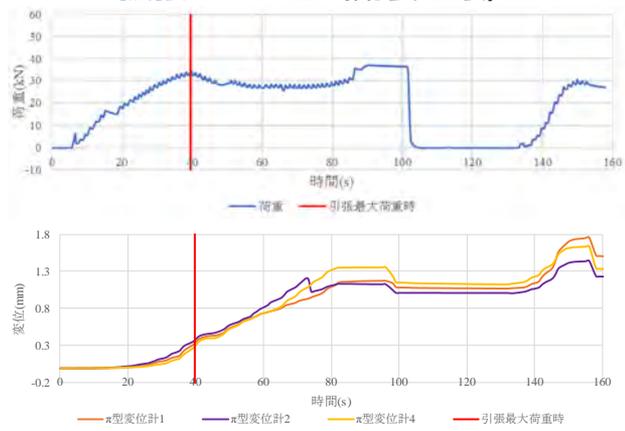
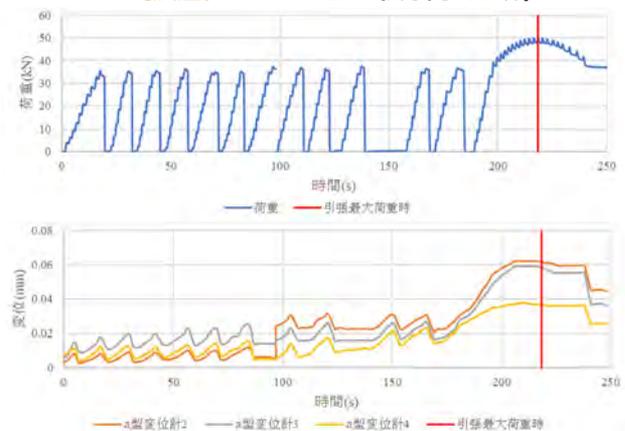
鉄筋ひずみ(中央)



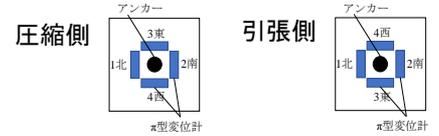
# 実験結果(ひび割れ幅の履歴, 圧縮側)

拡底60 No.2 (鋼材破断)

拡張60 No.2 (割裂破壊)

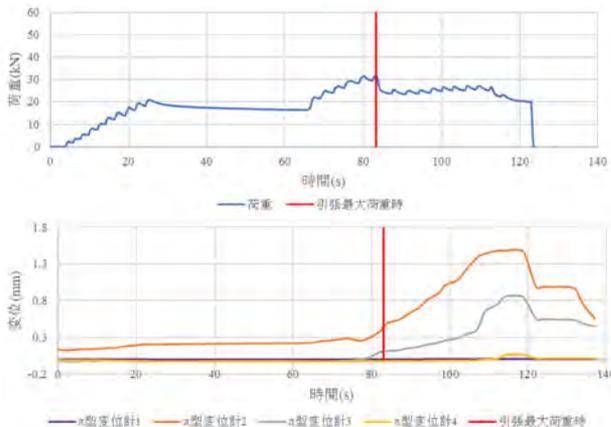


鋼材破断時に最大荷重, ひび割れ幅が最大  
 拡底0.06mm(鋼材破断), 拡張0.3mm(割裂破壊)

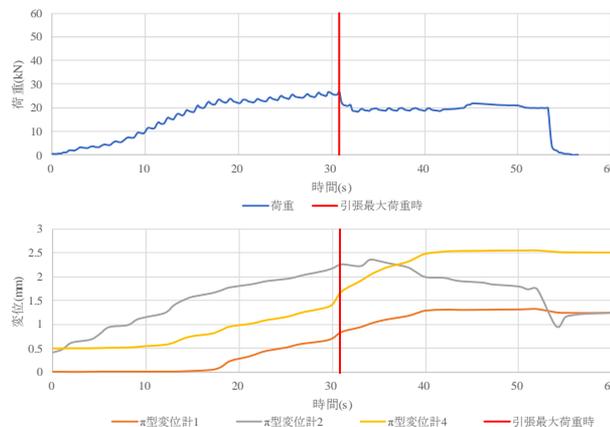


# 実験結果(ひび割れ幅の履歴, 引張側)

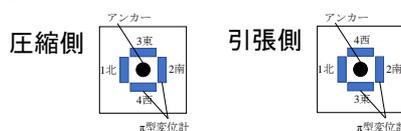
拡底60 No.10 (割裂破壊)



拡張60 No.10 (割裂破壊)



最大荷重時以降, ひび割れ幅が**増加**  
 拡底**0.5mm**(鋼材破断), 拡張**2.2mm**(割裂破壊)



# 各アンカー種類の特徴

	拡底アンカー	拡張アンカー
破壊モード	圧縮側：鋼材破断 引張側：割裂破壊	圧縮側：割裂破壊 引張側：割裂破壊
最大耐力	ひび割れの影響で低下	ひび割れの影響で低下
荷重変位関係	最大荷重到達後に荷重が <b>低下</b>	最大荷重到達後も荷重を <b>保持</b>
ひび割れ幅	最大荷重時にひび割れ幅が <b>最大</b>	最大荷重後もひび割れ幅が <b>増大</b>

## まとめ



- ブロック型供試体  
金属拡張アンカーにおいて、側圧が大きいと破壊モードは鋼材破断と割裂破壊であり、側圧が小さいと割裂破壊であった。  
一方、金属拡底アンカーでは側圧が大きいと鋼材破断とコーン状破壊がみられ、側圧が小さいと割裂破壊とコーン状破壊であった。
- RC梁供試体  
曲げひび割れが生じた領域におけるあと施工アンカー部の引張耐力は、ひび割れの影響で最大耐力が低下するが、0.13~0.5mm程度の範囲では、ひび割れ幅によらず最大耐力の低下はほぼ同程度であった。ただし、最大荷重後の挙動については、あと施工アンカーの種類による違いがみられた。

## 今後の展望



- ブロック型供試体において、側圧の違いによって破壊モードが異なることがわかった
- さらに、小型の供試体を用いて、比較的小さい側圧で周辺のコングリートによる拘束状態を再現できる可能性がある
  - ⇒ 小型供試体によるアンカーの簡易的な性能評価への展開
- 梁供試体引張側、曲げひび割れによる最大耐力の低下が確認できた
- アクティブなひび割れが生じたコングリートに対して、拡底アンカーと拡張アンカーには最大荷重後の変形挙動に違いがあった
  - ⇒ 設置環境に応じたアンカー種類の選択に役立つ

今後は、あと施工アンカーの引張耐力に与えるひび割れ幅、繰返し荷重、ならびに群効果についても引き続き研究する予定である



**ご清聴ありがとうございました**

研究発表

2

「接着系あと施工アンカーとコンクリートの付着性能・ひび割れ性状に及ぼすコンクリート強度・接着剤種類の影響」

千葉工業大学 工学専攻 博士課程 酒井 裕基 氏



## 研究背景

接着系あと施工アンカー(以下,接着系アンカー)は  
次の2つに主に用いられる.

- 耐震補強工事の新旧構造躯体の接合用.
- 設備機器を鉄筋コンクリート造(以下,RC)部材へ取付け用.

2022年3月31日の建築基準法に関する  
国交省告示第1024号の一部改正により

➔ 接着系アンカーを建築物の**主要構造部材**に  
用いることが可能となる.

今後、既存建築物の増改築、新築建築物の主筋の定着に  
接着系アンカーが用いられる可能性がある.

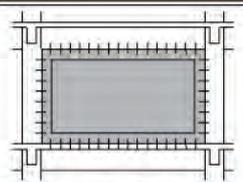
# 建築基準法の改正

## 強度指定を受けたあと施工アンカーの使用部位の拡大(告示改正概要) 国土交通省 【機密性2】

○特殊な許容応力度及び特殊な材料強度を定める件(平成13年国土交通省告示第1024号)

現 行	<p>第一 特殊な許容応力度</p> <p>十四 あと施工アンカー(既存の鉄筋コンクリート造等の部材とこれを補強するための部材との接合に用いるものをいう。第二第十三号において同じ。)の接合部の引張り及びせん断の許容応力度は、その品質に応じてそれぞれ国土交通大臣が指定した数値とする。</p>
--------	---

○ 現行の基準では、あと施工アンカーは既存の鉄筋コンクリート造の部材とこれを補強するための部材との接合に用いるものに限定されている。



【補強】RC増設壁を設置する工法の例

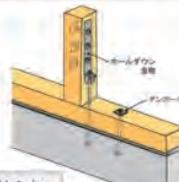


【補強】枠付き鉄骨プレースを設置する工法の例

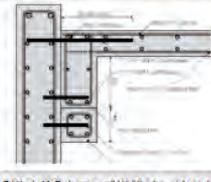
改 正 案	<p>第一 特殊な許容応力度</p> <p>十四 鉄筋コンクリート造等の部材と構造耐力上主要な部分である部材との接合に用いるあと施工アンカーの接合部の引張り及びせん断の許容応力度は、その品質に応じてそれぞれ国土交通大臣が指定した数値とする。</p> <p style="text-align: right;">※第二 特殊な材料強度 第十三号についても、同様の改正を実施。</p>
-------------	--

○ 増改築や新築において、補強以外の用途にあと施工アンカーを使用することが可能。

例)【新築】施工精度を要する箇所 など  
【増改築】床スラブ増設に伴う定着筋への適用 など



【新築】施工精度を要する箇所(施工性向上)



【増改築】床スラブ増設時の適用例

## 研究背景

接着系アンカーは短い定着長さで定着力を確保するように開発目標とされた為、付着強度が高い。

一般的なRC構造の鉄筋とコンクリートの付着強度

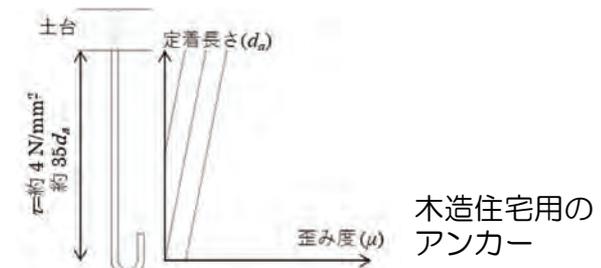
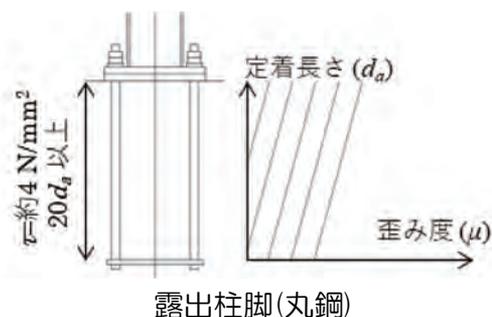
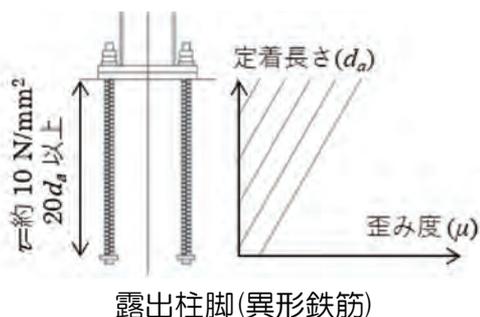
⇒10 N/mm<sup>2</sup>程度

接着系アンカーの付着強度

⇒15~30 N/mm<sup>2</sup>程度



接着系アンカーをRC部材の構造用として用いる場合付着応力度分布を制御する必要がある。



## 研究目的

### 付着応力度分布制御実験

- 付着性能の把握、付着応力度分布制御
- 実験結果をFEM解析により再現

### コンクリート強度、接着剤種類を要因とした鉄筋とコンクリートの付着性能、ひび割れ性状の把握実験

- 接着系アンカーでコンクリート強度・接着剤種類を要因とした付着性能・ひび割れ性状の把握



付着応力度分布制御実験

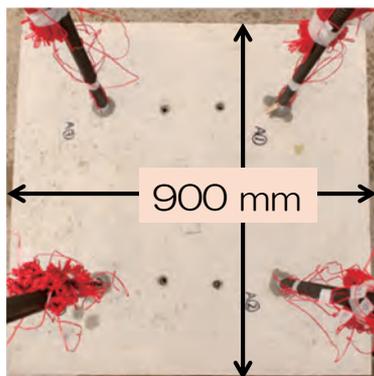


付着性能・ひび割れ性状の把握実験

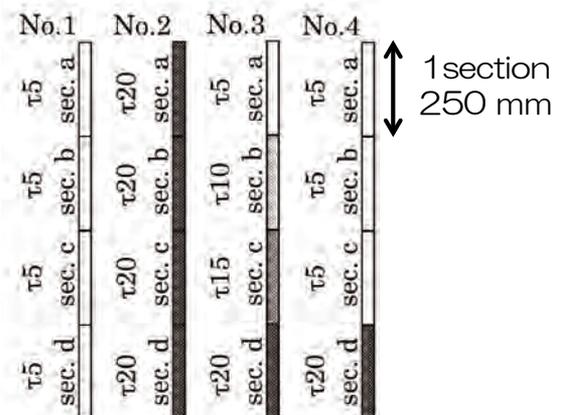
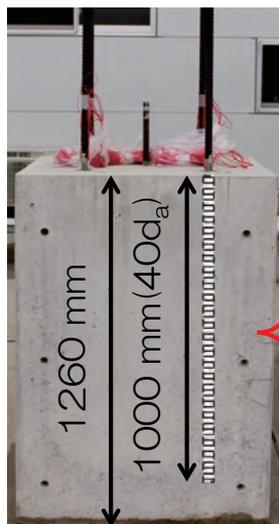
## 実験概要

### 試験体一覧

試験体名	接着剤	アンカー筋		コンクリート		グラウトの注入パターン				グラウトの材料特性			
		鉄筋	降伏点	弾性係数	圧縮強度	弾性係数	sec. a	sec. b	sec. c	sec. d	記号	圧縮強度	付着強度
			[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]						[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
1	無機系接着剤(グラウト)	D25(ねじ筋)	1194	204000	41.9	35400	τ5	τ5	τ5	τ5	τ5	12.4	3.40
2							τ20	τ20	τ20	τ20	τ10	21.8	5.90
3							τ5	τ10	τ15	τ20	τ15	33.1	9.90
4							τ5	τ5	τ5	τ20	τ20	52.2	20.1

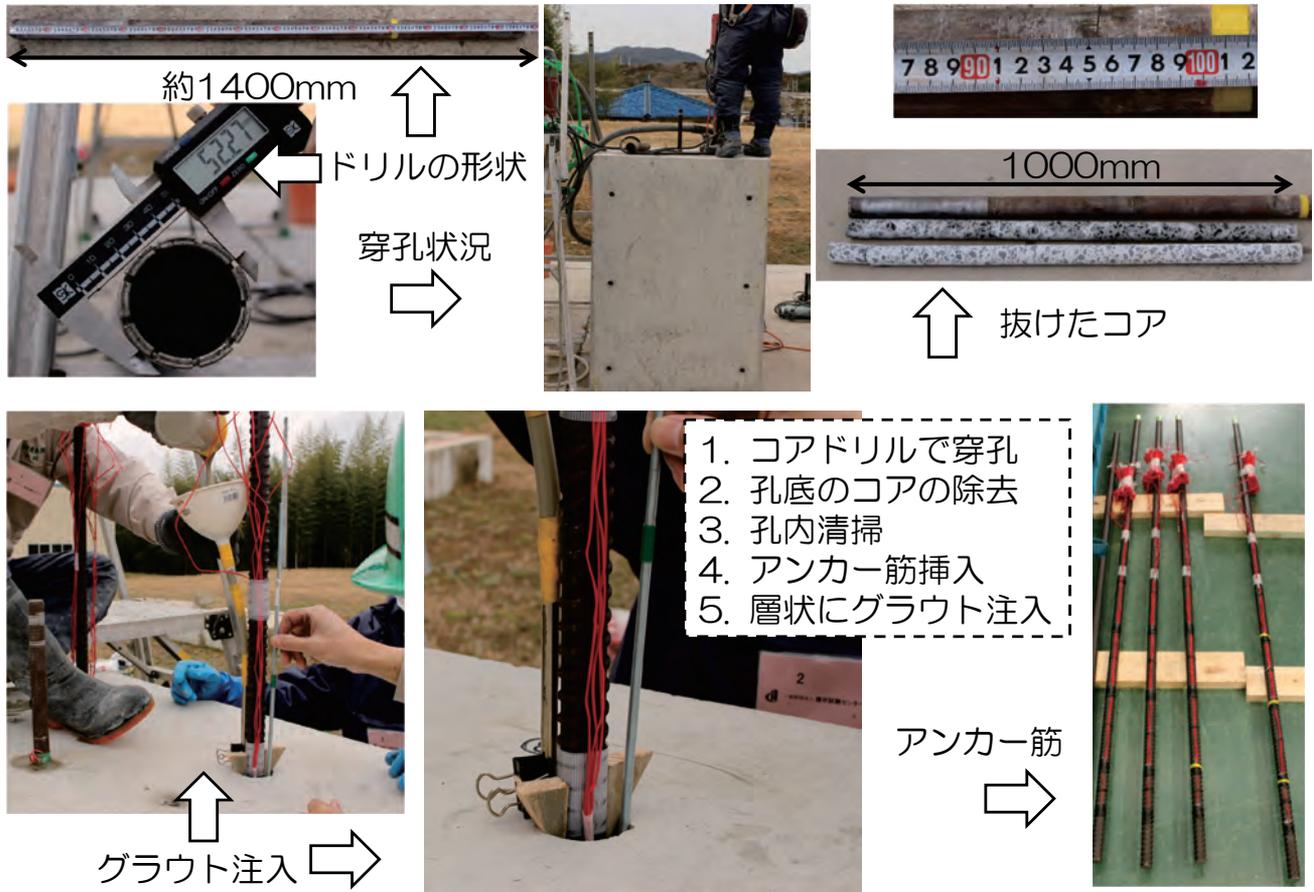


試験体形状

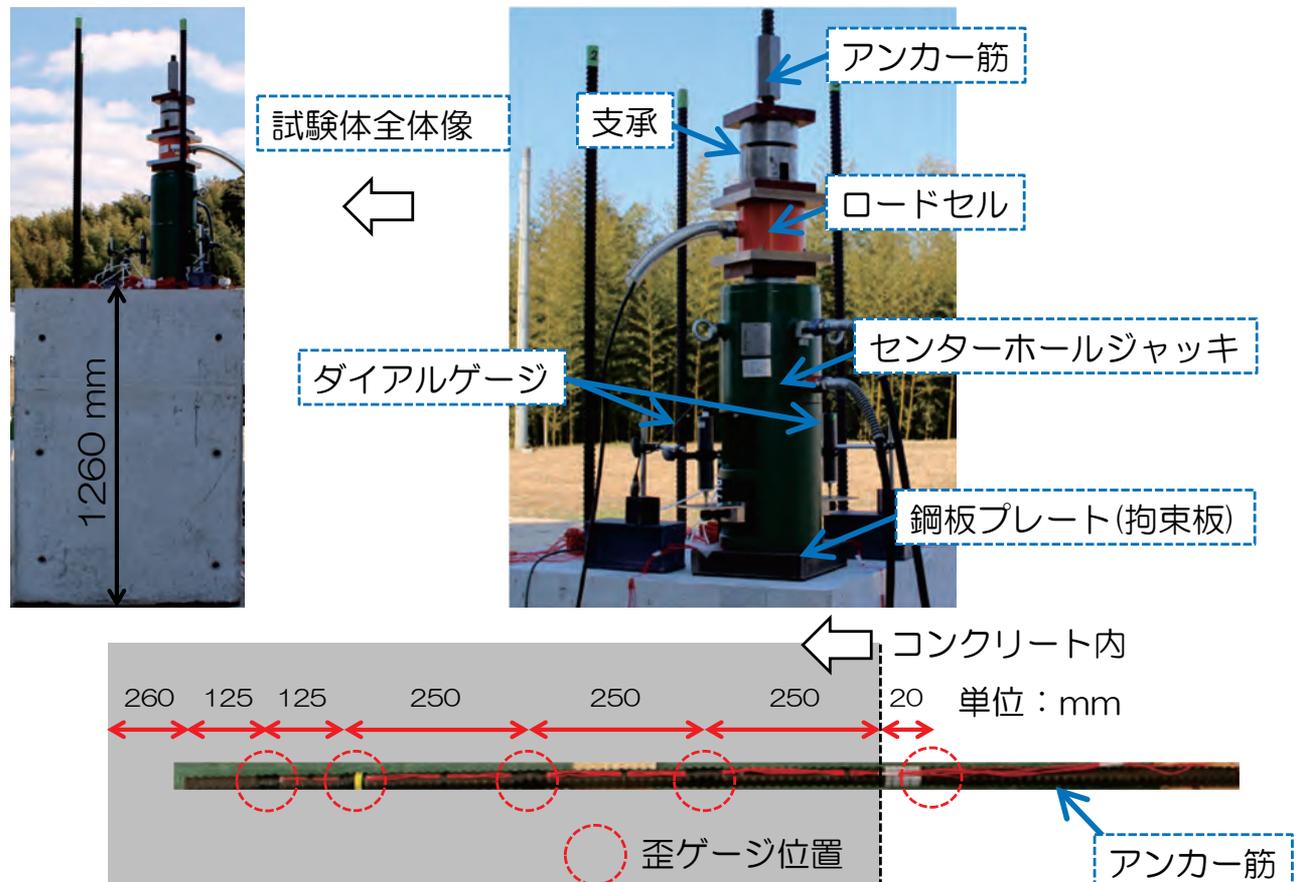


グラウト注入パターン

## 施工方法

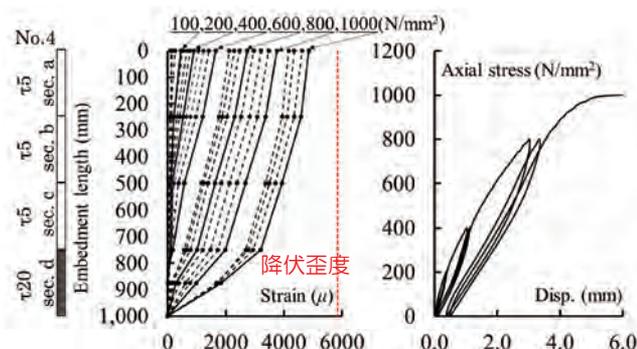
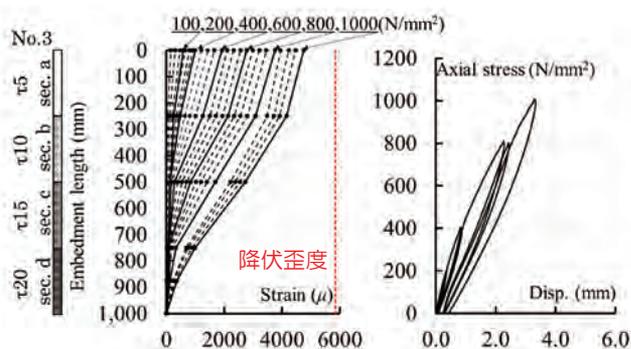
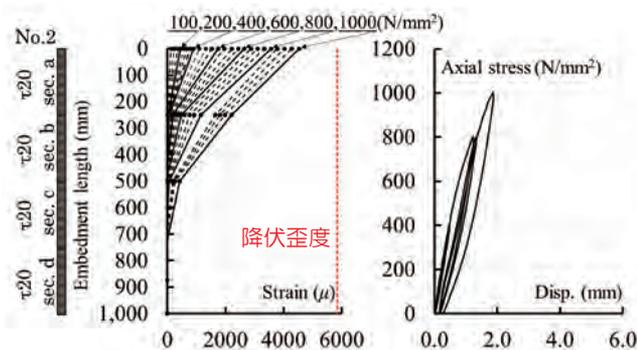
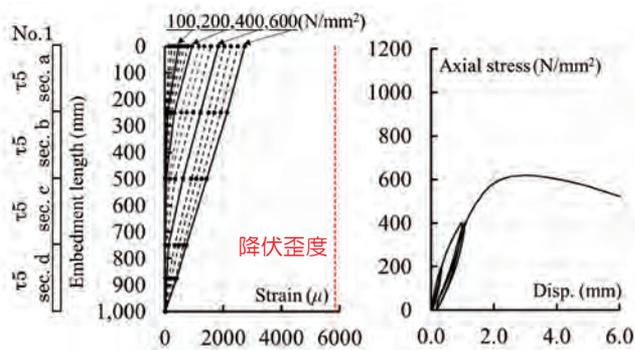


## 加力・測定方法



# 実験結果

## ◆ 歪み分布図, 軸応力度-変位の関係



グラウトの  
注入パターン

歪み度分布

軸応力度-抜け出し量の関係

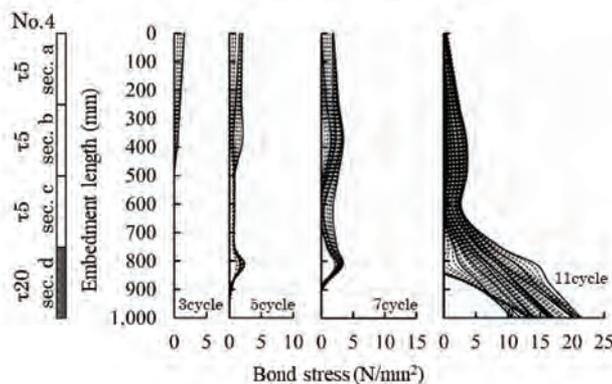
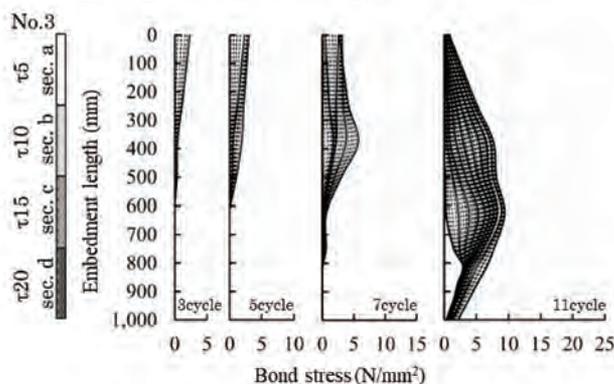
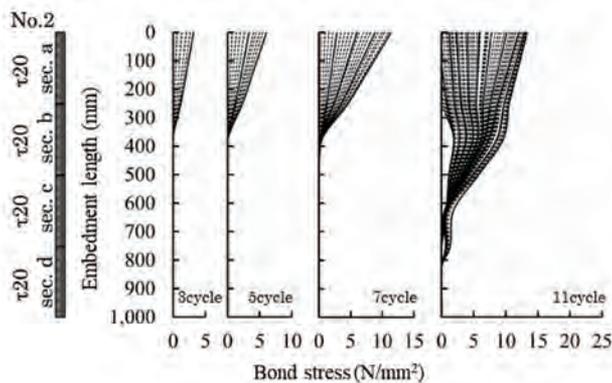
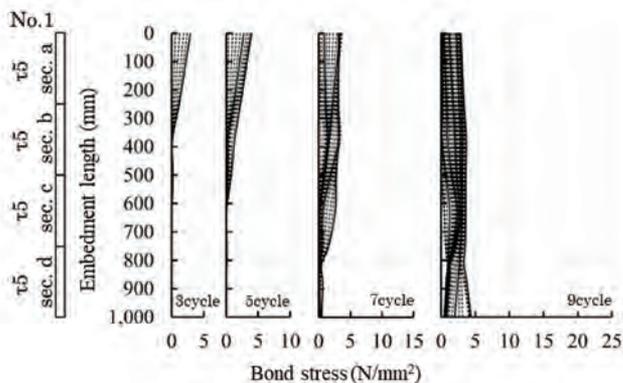
グラウトの  
注入パターン

歪み度分布

軸応力度-抜け出し量の関係

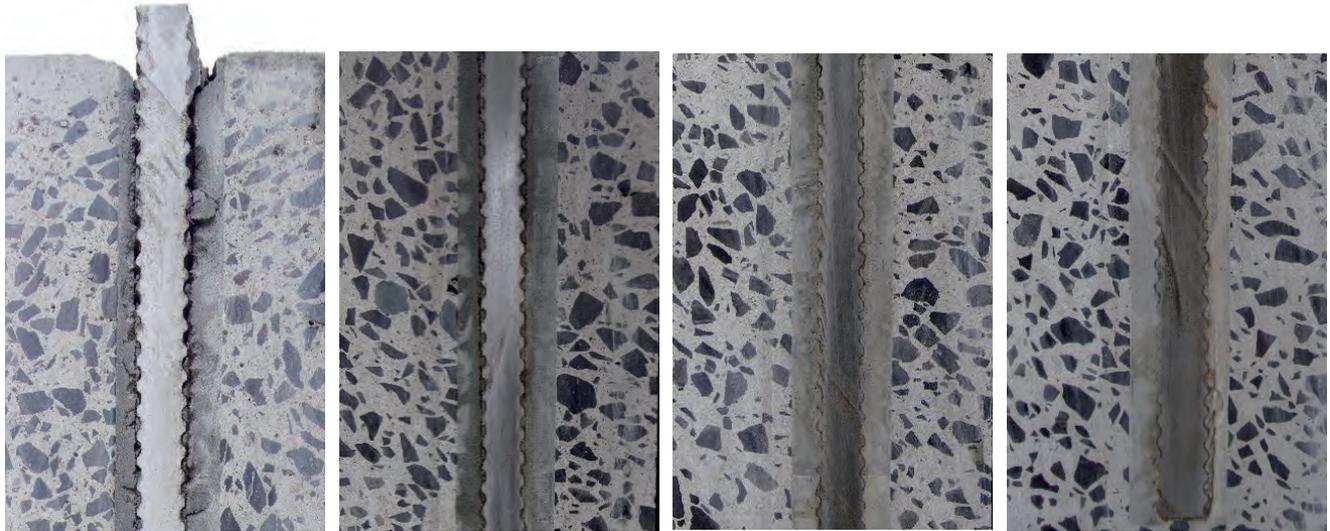
# 実験結果

## ◆ 付着応力度分布図



## 実験結果

### ◆グラウトの充填状況、破壊状況(例：No.3)



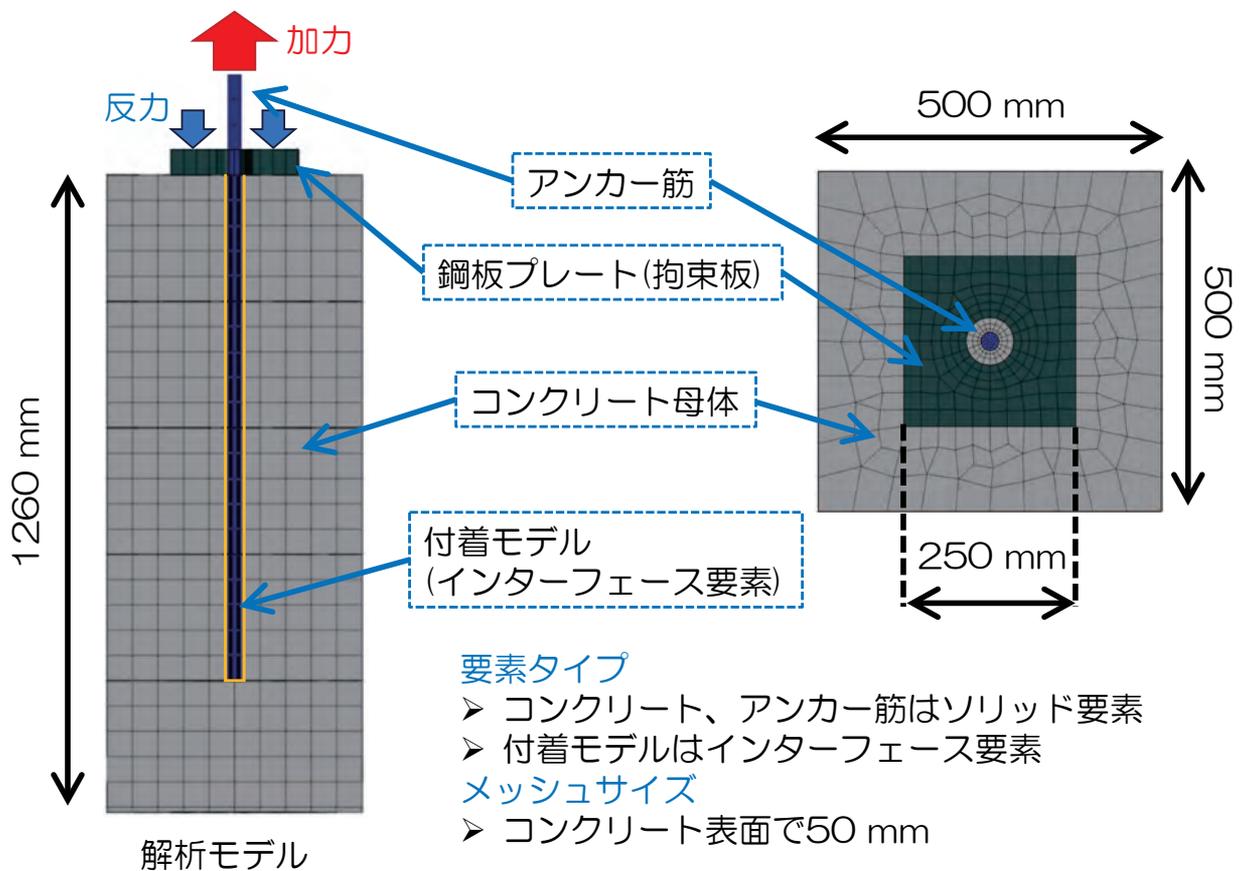
Sec.a  $\tau 5$

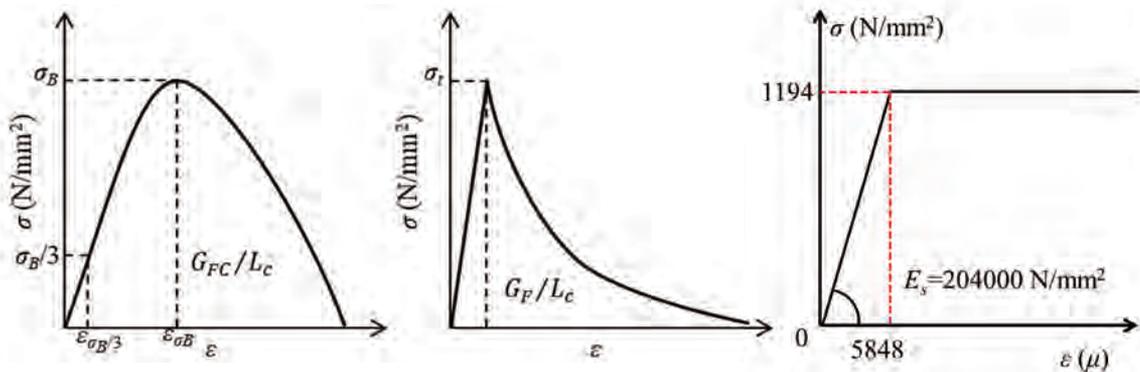
Sec.b  $\tau 10$

Sec.c  $\tau 15$

Sec.d  $\tau 20$

## FEM解析 概要





材料構成則

コンクリート構成則

- 圧縮関数：放物線 モデル
- 引張関数：Hordijk モデル
- せん断関数：Al-Mahaidi

アンカー筋

- バイリニアモデル

$\sigma_B$ ：圧縮強度

$\epsilon_{\sigma B}$ ：圧縮強度時の歪み度

$\sigma_B/3$ ：圧縮強度の1/3

$\epsilon_{\sigma B/3}$ ：圧縮強度の1/3時の歪み度

$G_{FC}$ ：圧縮破壊エネルギー(中村ら提案)

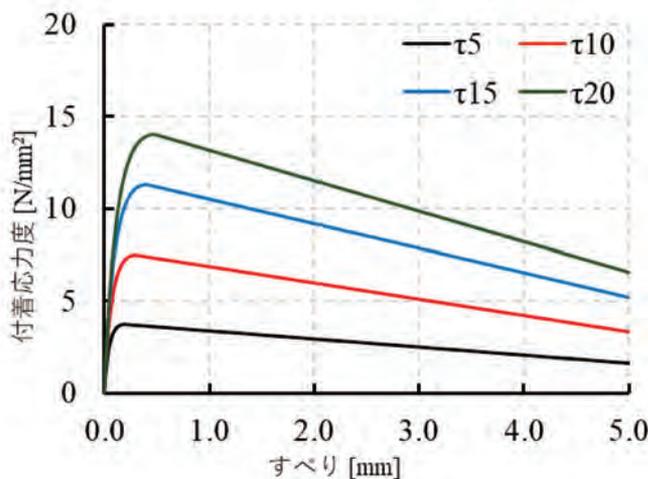
$G_F$ ：引張破壊エネルギー(大岡ら提案)

$L_c$ ：要素代表長さ

$E_s$ ：鉄筋のヤング係数

付着モデル

付着実験から最大付着強度、最大付着強度時のすべり、最大付着強度後の下り勾配を用いて森田らが提案した付着方程式よりモデル化.



インターフェース要素

$$\tau_{x1} = e \cdot \frac{\log [(e - 1)S_{x1} + 1]}{(e - 1)S_{x1} + 1}$$

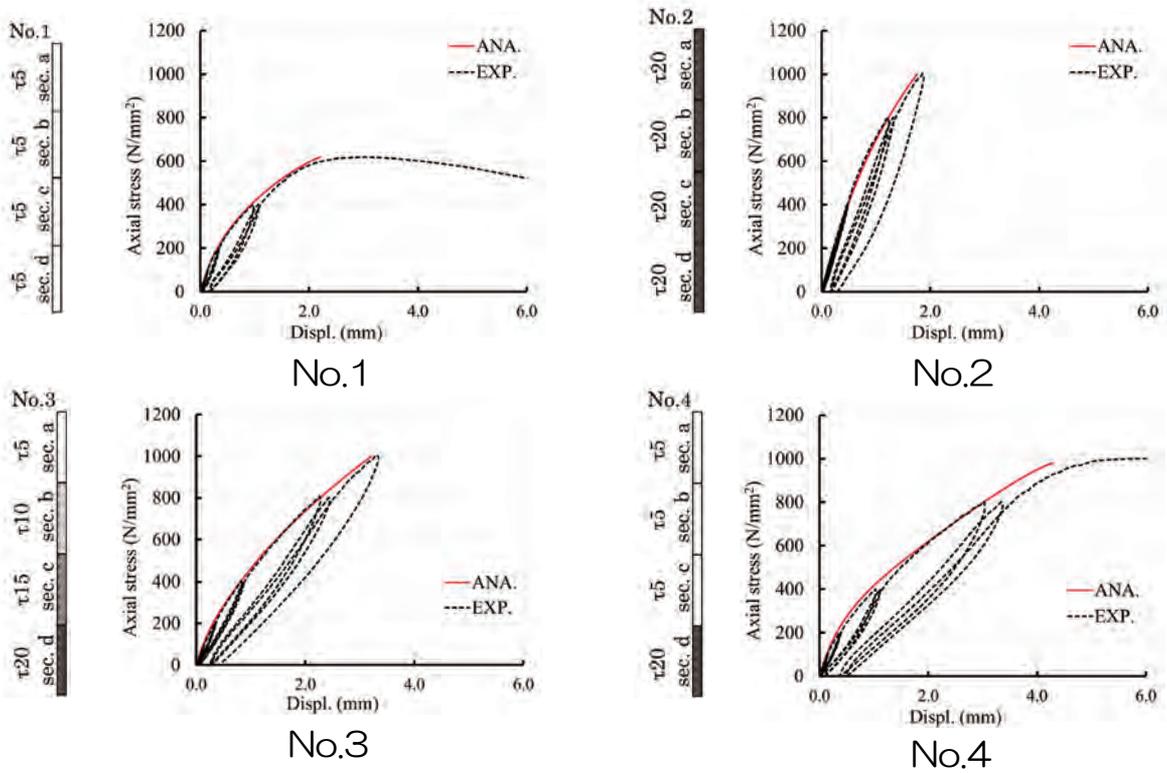
森田らが提案した付着方程式

$\tau_{x1}$ ：付着応力度/最大付着強度

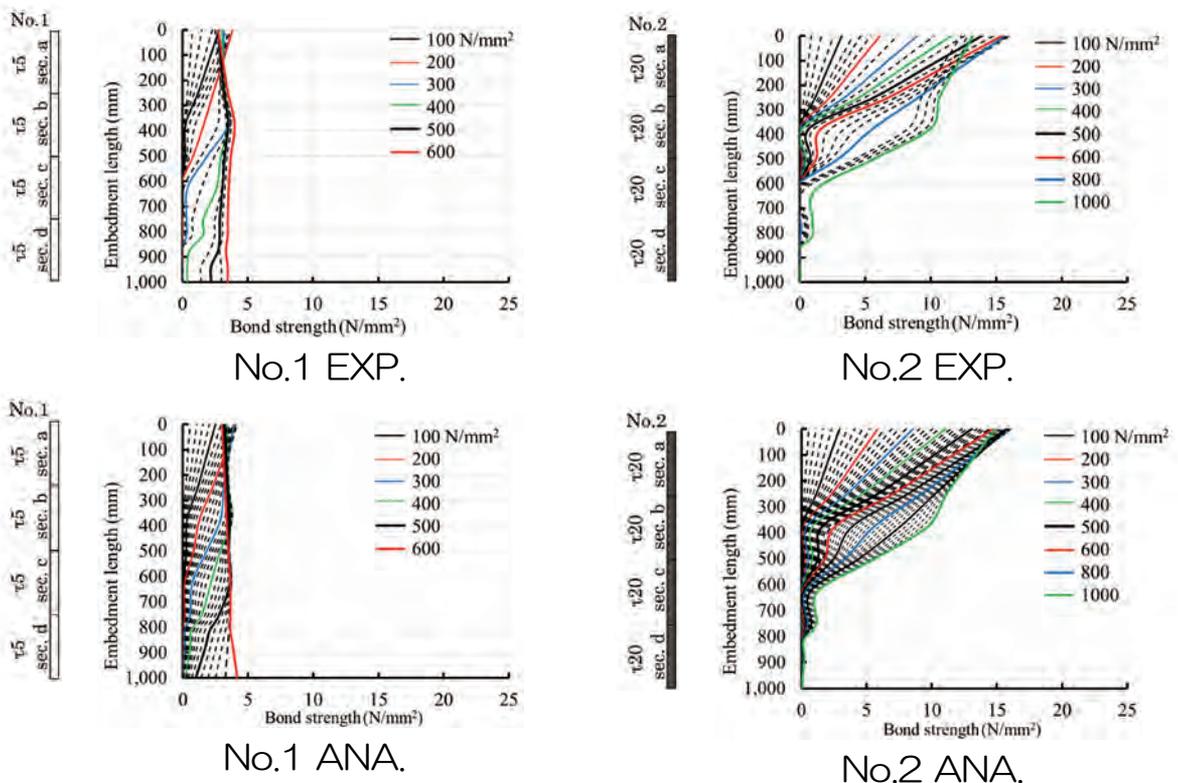
$S_{x1}$ ：すべり/最大付着強度時のすべり

- 最大付着強度までは付着方程式を用いてモデル化.
- 最大付着強度後の下り勾配は実験結果から定めた.

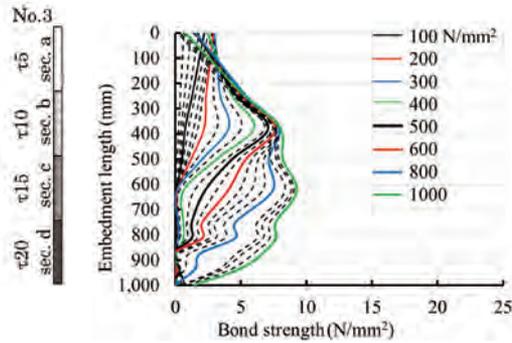
◆軸心力度—変位関係



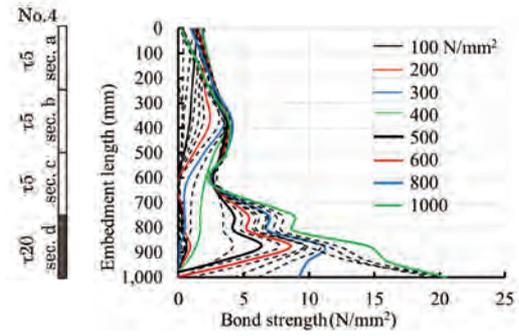
◆付着応力度分布



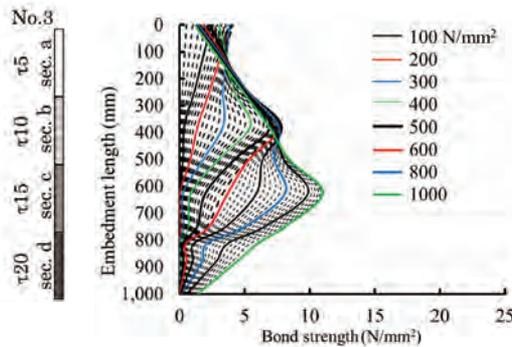
◆付着応力度分布



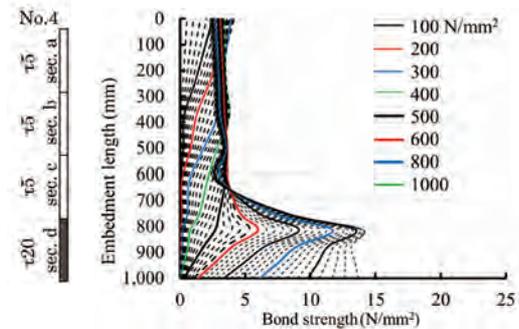
No.1 EXP.



No.4 EXP.



No.1 ANA.



No.4 ANA.

実験概要 接着系アンカーの付着性能・ひび割れ性状の把握実験

実験要因：接着剤種類，接着剤の強度，コンクリート強度  
 タイプA・B ⇒ RC四角柱の両引き試験体の単調荷重試験  
 タイプC ⇒ 片引きの引抜き試験



ひび割れ間隔・幅確認実験  
タイプA



歪み分布確認試験実験  
タイプB



付着試験  
タイプC

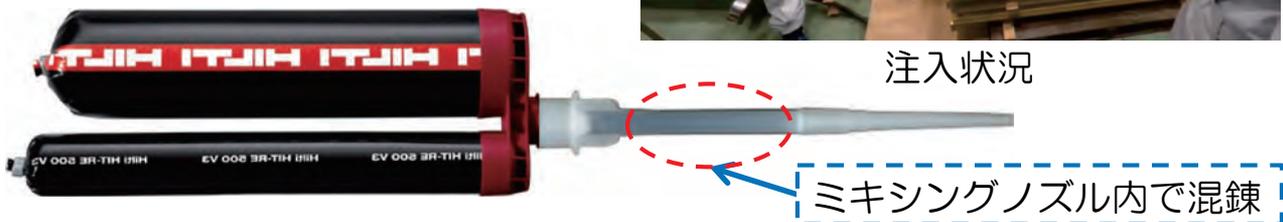
## 接着剤概要 有機系接着剤

### 工法：注入式

- 調合方式：インジェクション式
- 材料：エポキシ樹脂
- 材料特性：耐水・耐久性高い接着性に優れる



注入状況



内部状況

## 接着剤概要 無機系接着剤(グラウト)

### 工法：注入式

- 調合方法：プレ混合式
- 材料：超即硬セメント、モルタル
- 材料特性：不燃



注入状況



ミクシング



移す



カートリッジ



水+セメント



内部状況

## 実験概要 試験体一覧

### ◆ ひび割れ間隔・幅確認試験 実験タイプA



加力装置

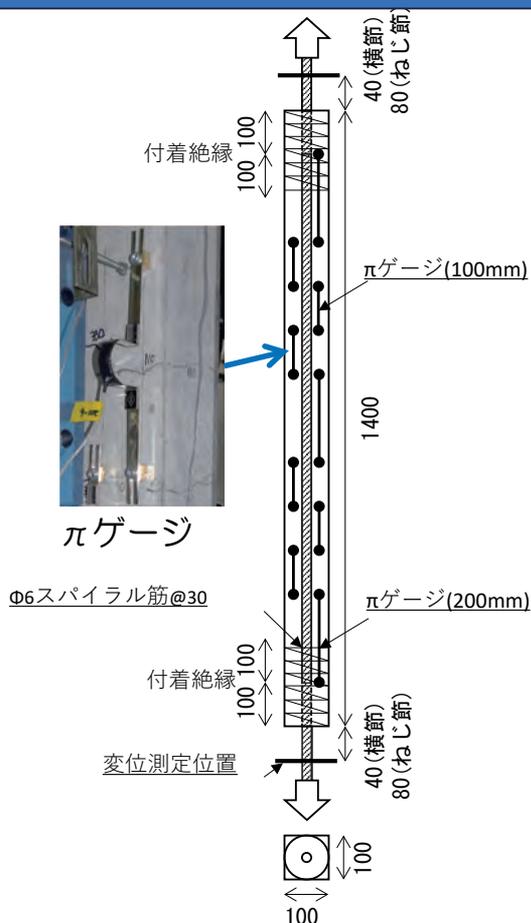
試験体	$F_c$	$\sigma_B$	鉄筋	接着剤
EA1-1	21	26.5	D19SD345	エポキシ
EA2-1	60	64.2		
EA3-1	100	96.0		
MA1-1	21	31.3		グラウト $\tau = 5$
MA2-1	60	68.0		
MA3-1	100	109		
MA1-2	21	31.3		グラウト $\tau = 20$
MA2-2	60	68.0		
MA3-2	100	109		
A1-1	21	26.6		先付RC
A2-1	60	64.3		
A3-1	100	94.1		

アンカー筋：降伏点  $385 \text{ N/mm}^2$ ，ヤング係数  $189000 \text{ N/mm}^2$   
 $\tau 5$ ：目標付着強度が  $5 \text{ N/mm}^2$   
 $\tau 20$ ：目標付着強度が  $20 \text{ N/mm}^2$

## 実験概要 試験体形状と加力・測定方法

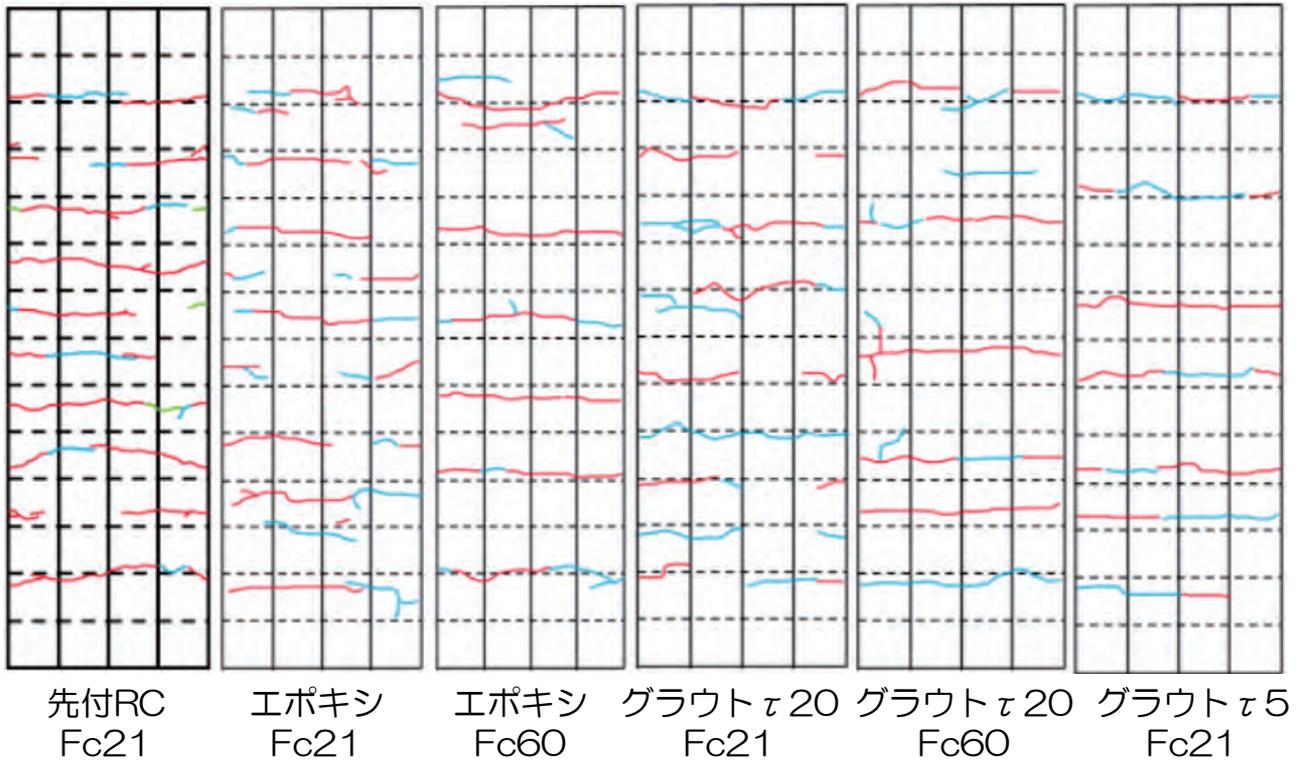


ひび割れ間隔・幅確認実験  
タイプA



## 実験結果 ひび割れ発生状況

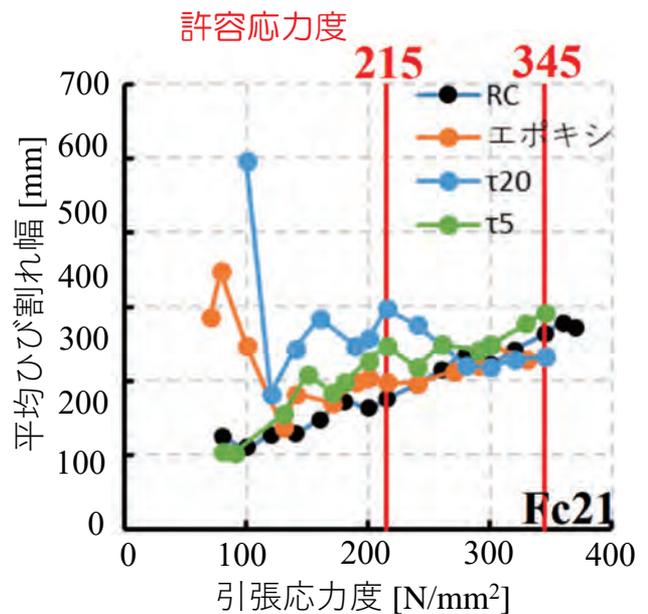
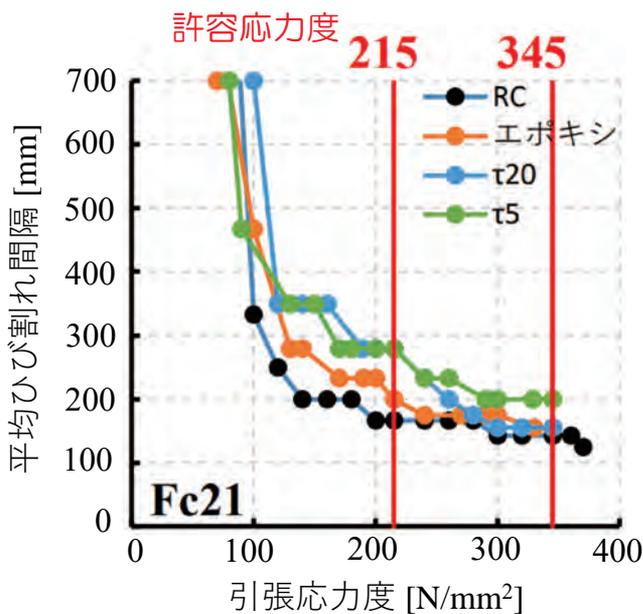
赤線：軸応力度0~215N/mm<sup>2</sup>，青線：軸応力度215~385N/mm<sup>2</sup>



## 実験結果 平均ひび割れ間隔・幅

◆ 歪み分布図, 軸応力度-変位の関係

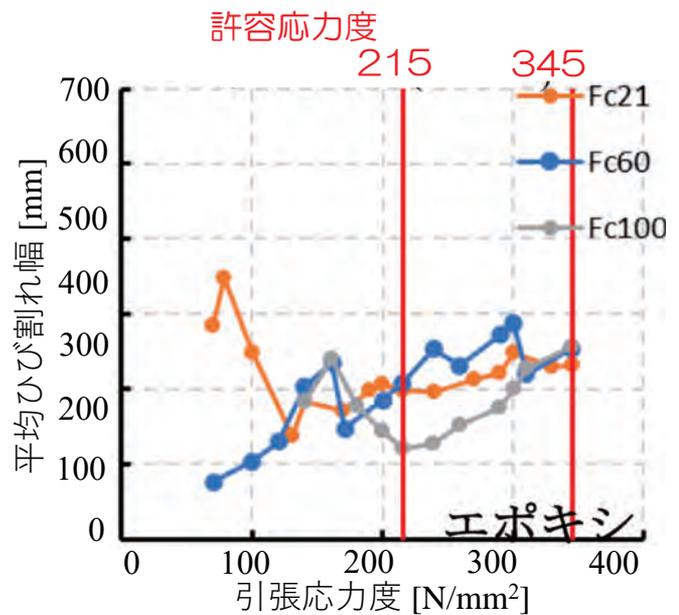
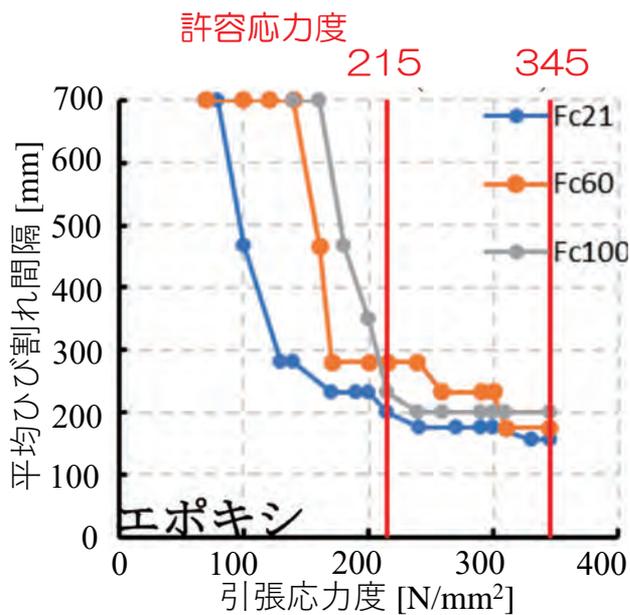
共通要因：コンクリート強度  
 変動要因：先付RC, エポキシ, τ5, τ20



## 実験結果 平均ひび割れ間隔・幅

### ◆ 歪み分布図, 軸応力度-変位の関係

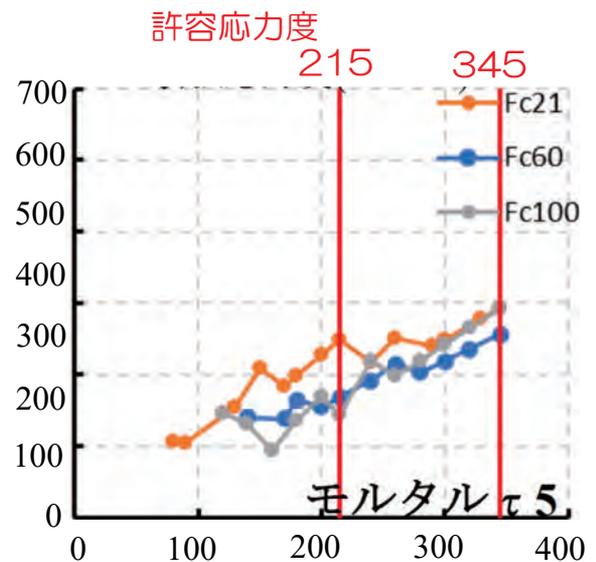
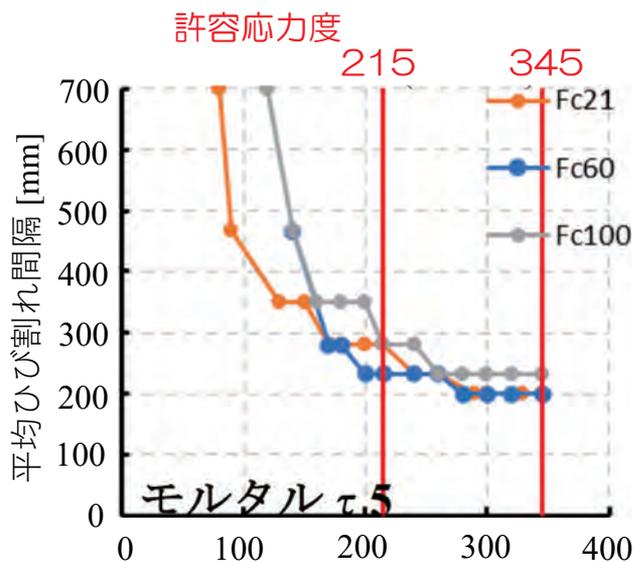
共通要因：接着剤(エポキシ)  
 変動要因：コンクリート強度



## 実験結果 平均ひび割れ間隔・幅

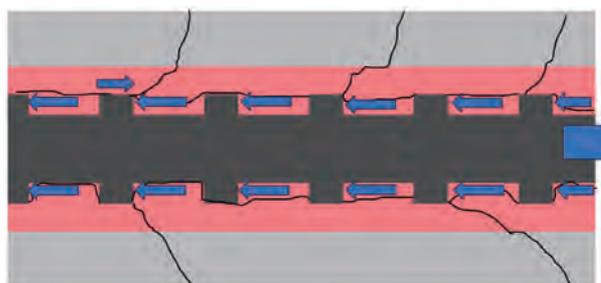
### ◆ 歪み分布図, 軸応力度-変位の関係

共通要因：接着剤(グラウト)  
 変動要因：コンクリート強度

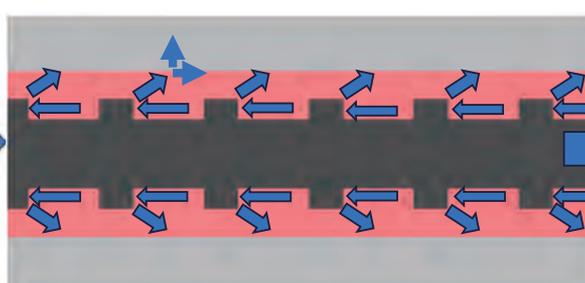


実験結果 内部ひび割れ状況

無機系(グラウト)

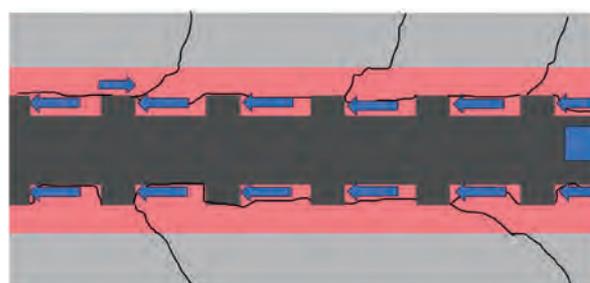


有機系(エポキシ)

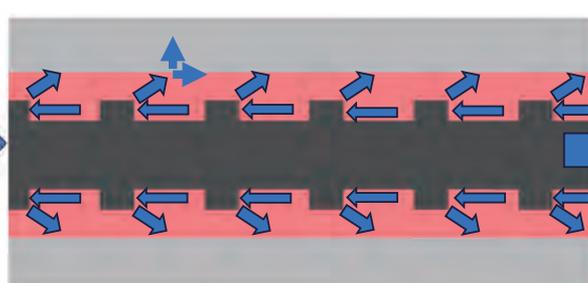


実験結果 内部ひび割れ状況

無機系(グラウト)



有機系(エポキシ)



# 実験概要 試験体一覧

## ◆ 付着試験 実験タイプC

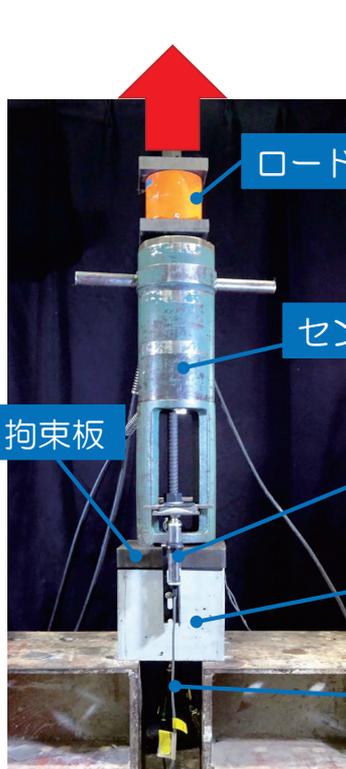


加力装置

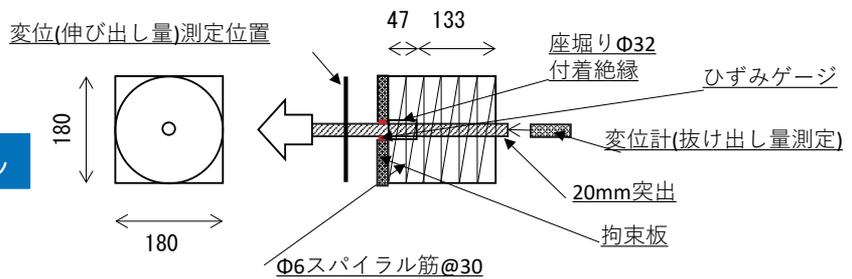
試験体	F <sub>c</sub>	σ <sub>B</sub>	アンカー筋	接着剤
		N/mm <sup>2</sup>		
CE21-1	21	31.4	D19SD685	エポキシ
CE60-1	60	68.1		
CE100-1	100	110		
Cτ5-21	21	31.4		グラウト τ=5
Cτ5-60	60	68.1		
Cτ5-100	100	110		
Cτ20-21	21	31.4		グラウト τ=20
Cτ20-60	60	68.1		
Cτ20-100	100	110		
C1-1	21	26.1		先付RC
C2-1	60	61.2		
C3-1	100	98.1		

アンカー筋：降伏点 713 N/mm<sup>2</sup>, ヤング係数 199000 N/mm<sup>2</sup>  
 τ5：目標付着強度が5 N/mm<sup>2</sup>  
 τ20：目標付着強度が20 N/mm<sup>2</sup>

# 実験概要 試験体形状と加力・測定方法

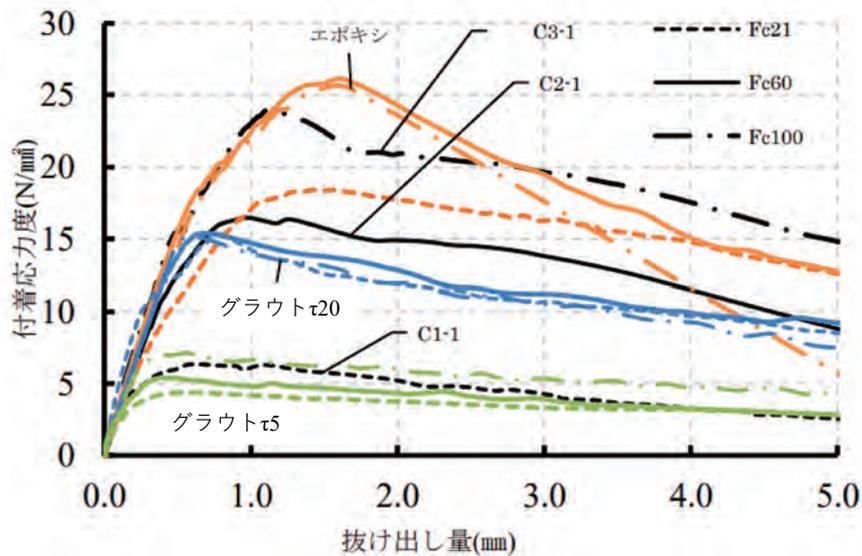


付着試験 タイプC



## 実験結果 付着応力度と抜け出し量

### ◆ 付着応力度-抜け出し量の関係 (加力側)

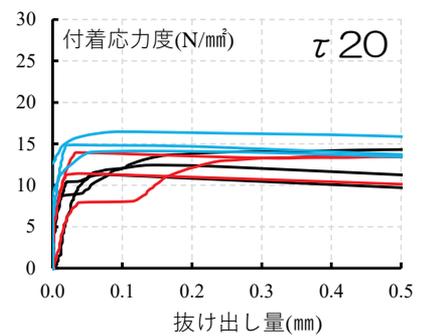
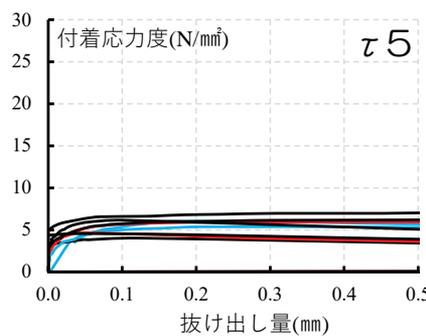
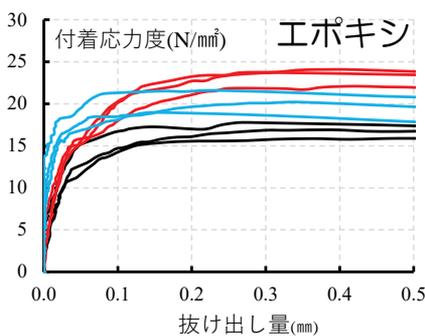


## 実験結果 付着応力度と抜け出し量

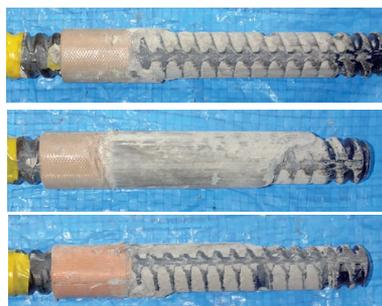
### ◆ 付着応力度-抜け出し量の関係 (自由端側)

共通要因：接着剤  
変動要因：コンクリート強度

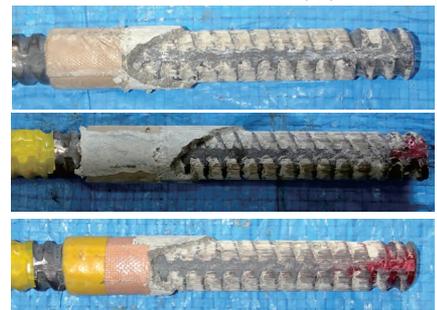
— Fc21  
— Fc60  
— Fc100



エポキシ



τ5



τ20

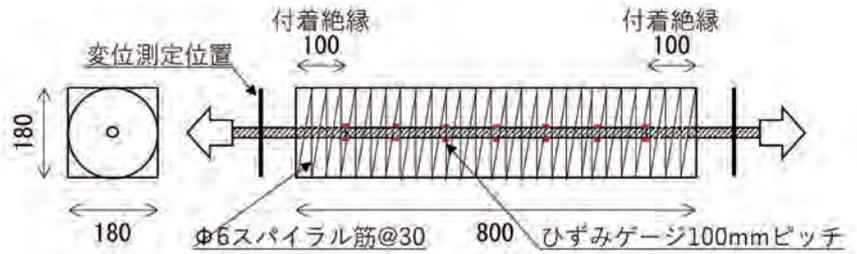
上からFc21,Fc60,Fc100 上からFc21,Fc60,Fc100 上からFc21,Fc60,Fc100

◆ 歪分布確認試験  
実験タイプB

試験体	$F_c$	鉄筋	接着剤
RB-1	21		
RB-2	60	D19SD345	エポキシ
RB-3	100		

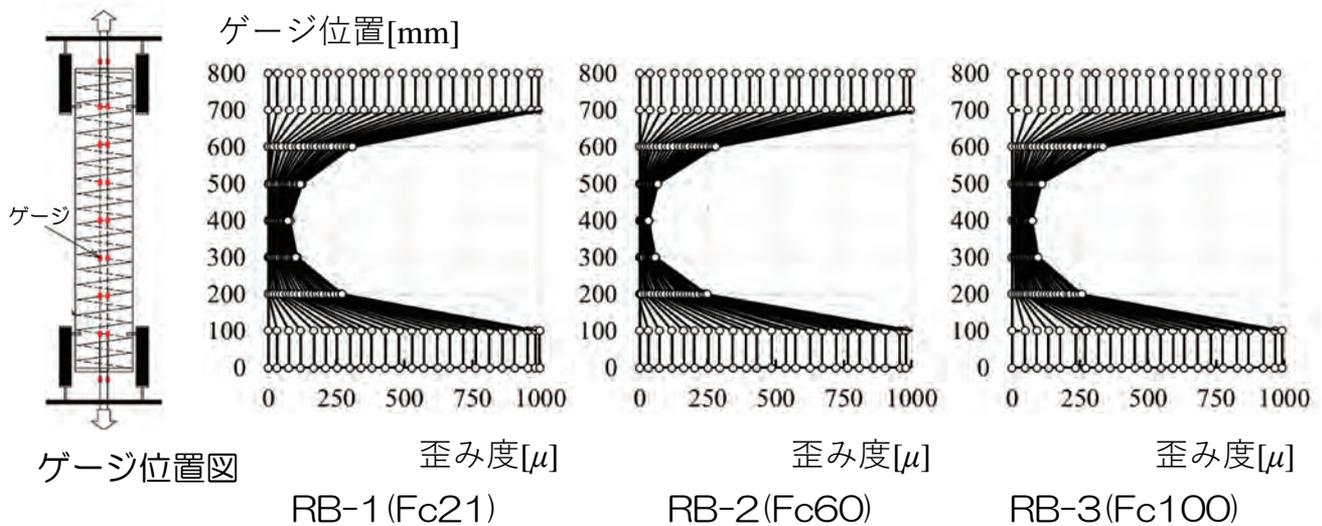


加力装置



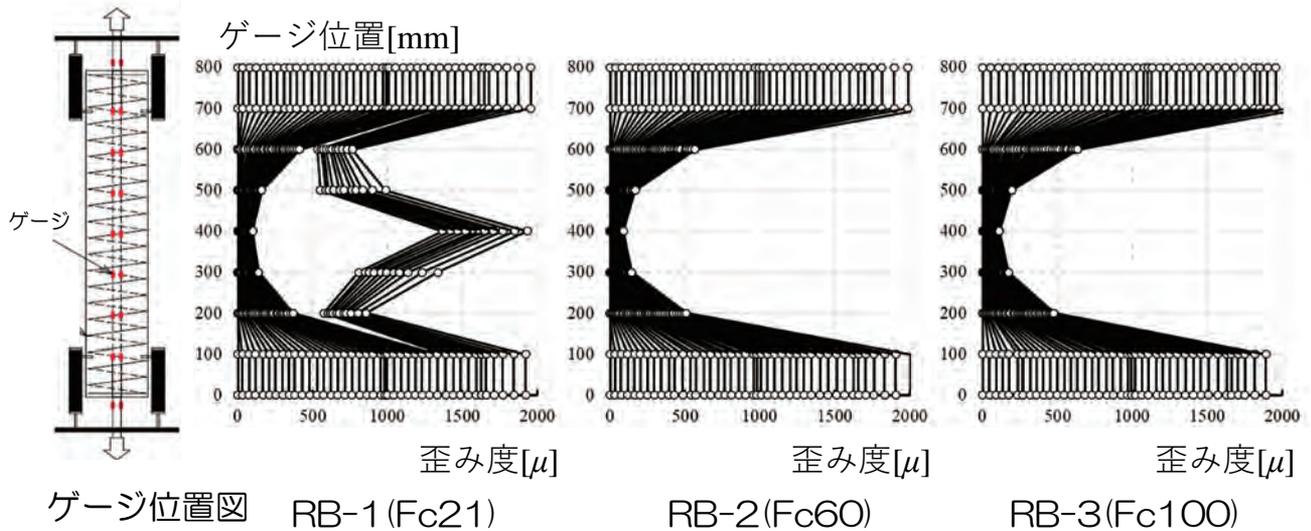
実験結果 歪度分布

◆ 歪度分布図(長期許容応力度まで)



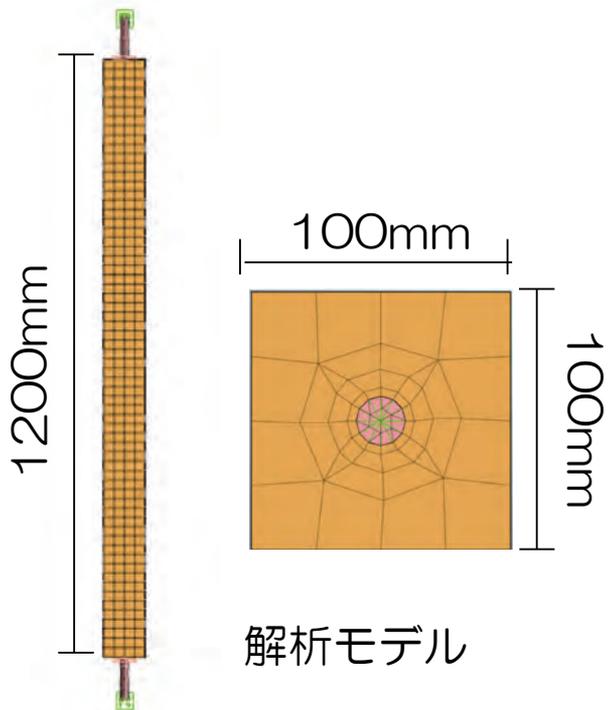
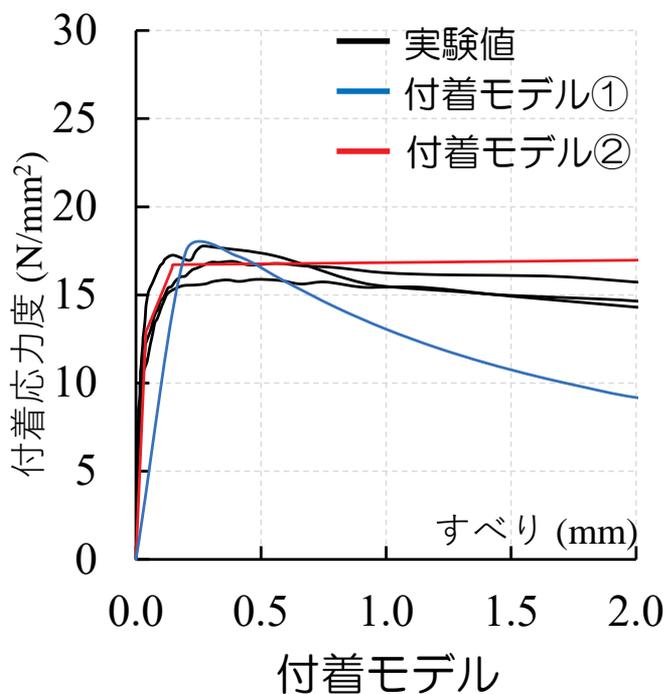
## 実験結果 歪度分布

### ◆ 歪度分布図(アンカー筋降伏まで)



## FEM解析 解析概要

### ◆ ひび割れ間隔・鉄筋歪度の解析



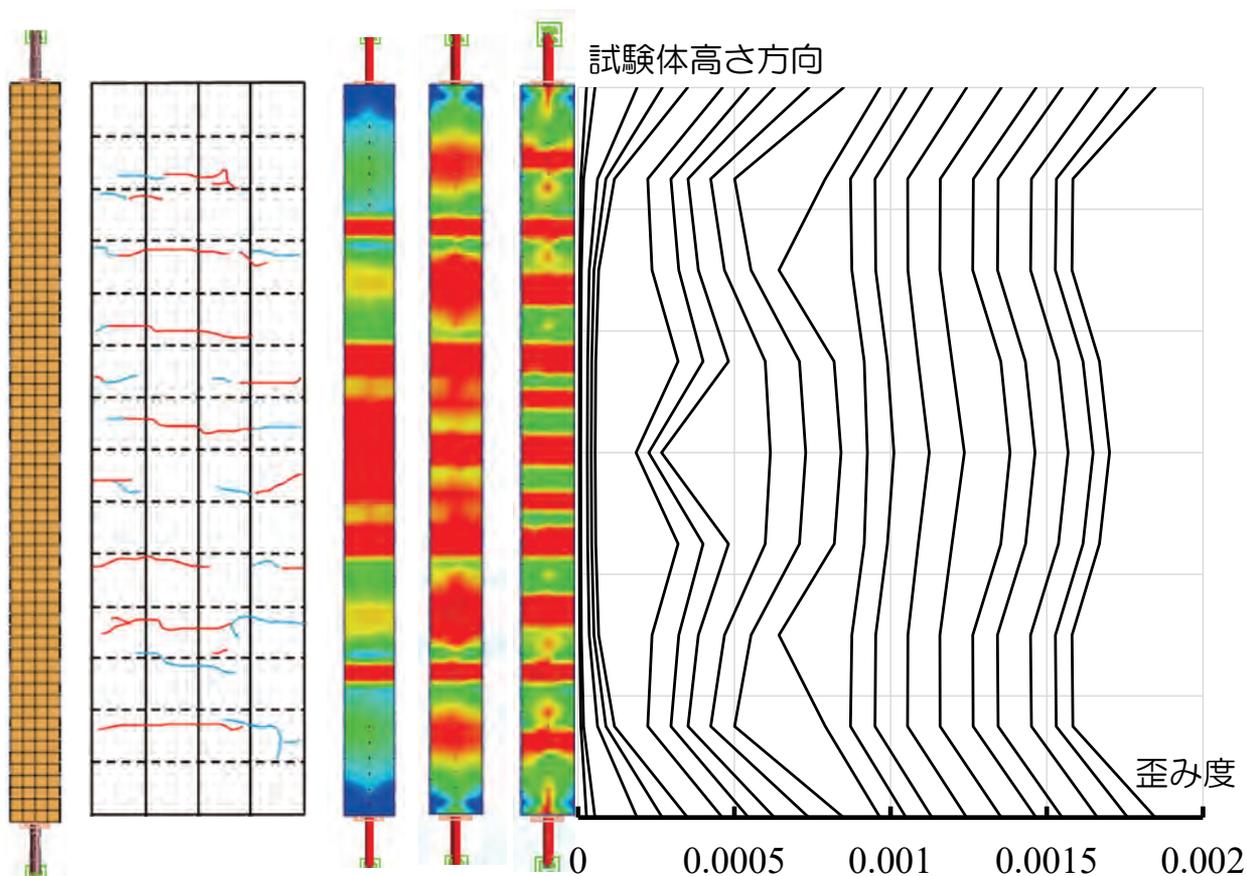
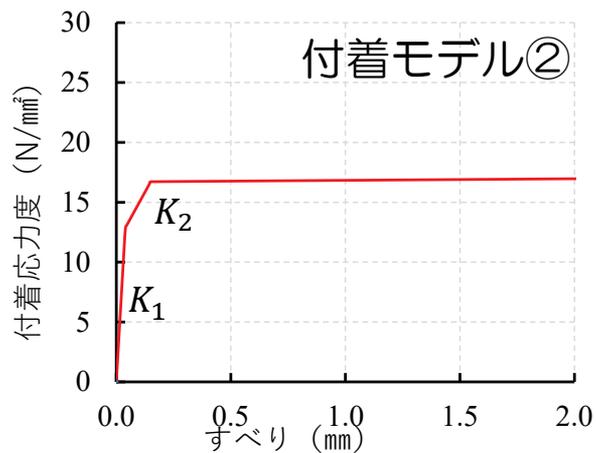
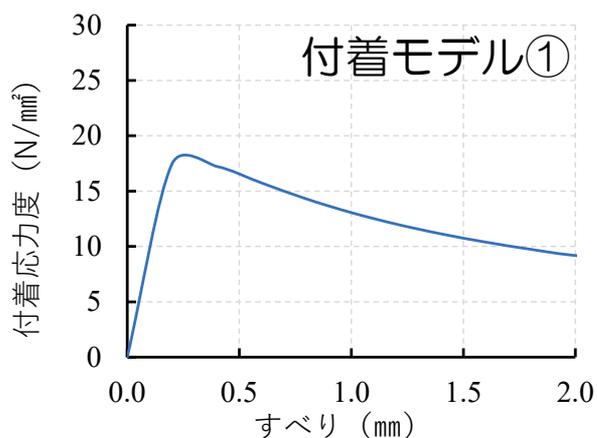
付着モデル①

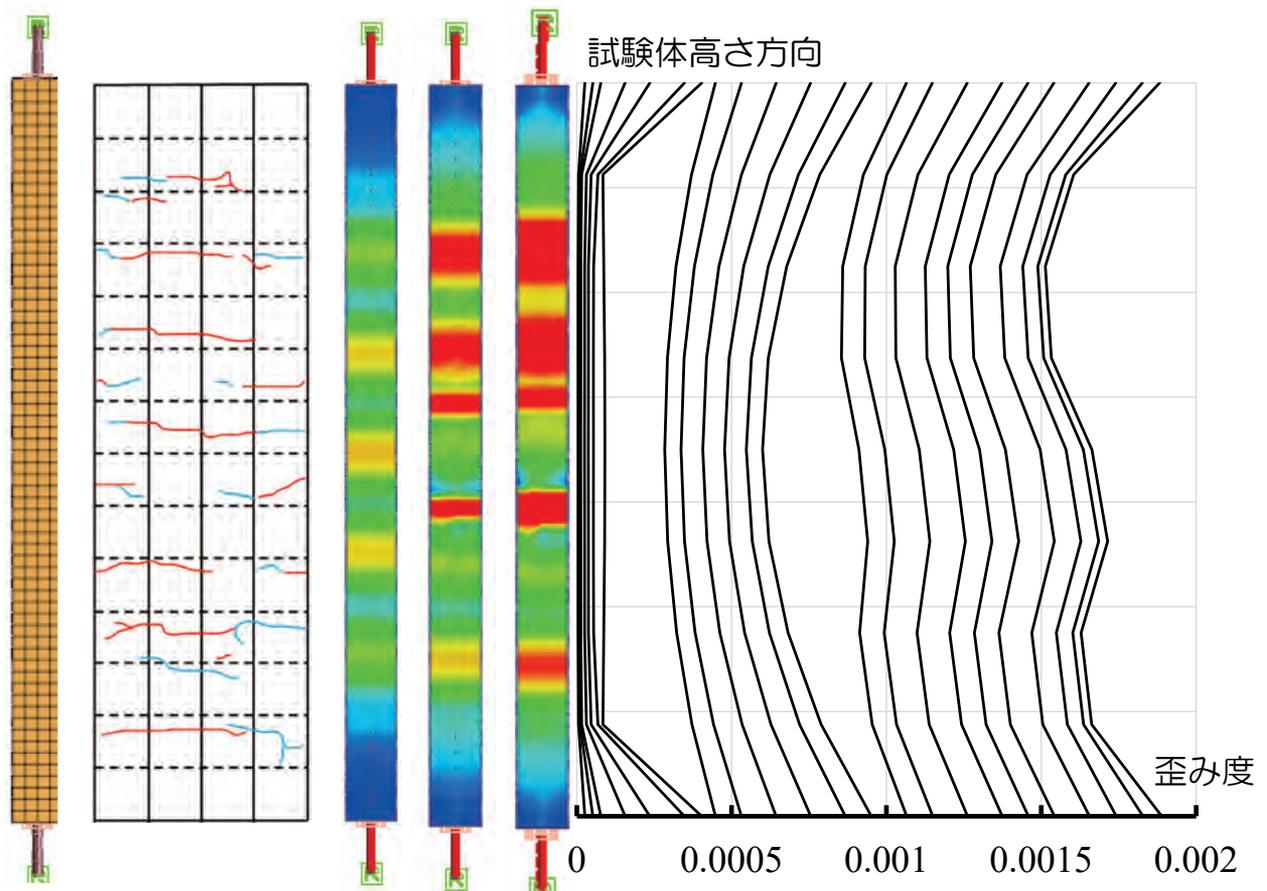
$$\tau_{x1} = e \cdot \frac{\log [(e - 1)S_{x1} + 1]}{(e - 1)S_{x1} + 1}$$

森田らが提案した付着方程式

付着モデル②

実験値から逆算し一次剛性、二次剛性を算定





## まとめ

### 付着応力度分布制御実験

- 付着強度が試験体では応力は埋込み端部まで伝達、付着強度が高い試験体では応力は孔口部に集中した.
- 付着強度の異なるグラウトを層状に固着することで付着応力度分布を制御可能.
- FEM解析により、付着応力度分布、軸応力度-変位関係を概ね再現できた.

### コンクリートと鉄筋間の付着性能・ひび割れ性状に及ぼすコンクリート強度・接着剤種類の影響

- 接着系アンカーでコンクリート強度・グラウト・エポキシの付着性状の違いが  $\tau$ - $s$  関係に現れ、ひび割れ性状が異なることがわかった.



研究発表

3

「コーン状破壊により損傷した露出柱脚のあと施工アンカーを用いた被災後補修法」

豊橋技術科学大学 助教 仲田 章太郎 氏

# コーン状破壊により損傷した露出柱脚のあと施工アンカーを用いた被災後補修法

豊橋技術科学大学 助教  
仲田 章太郎

## プロフィールと研究紹介

1

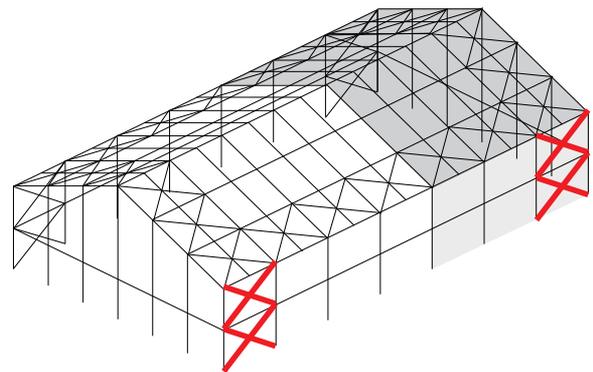
1994年 沖縄県那覇市首里にて誕生

2013年 琉球大学 入学

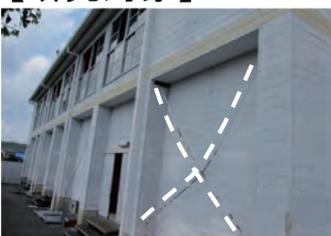
那覇市における収容避難所の耐震性能に関する研究

2017年 東京工業大学 入学

ターンバックルブレースの締め直しによる屋内運動場の被災後補修に関する研究



### 【研究対象】



ブレース



# プロフィールと研究紹介

1

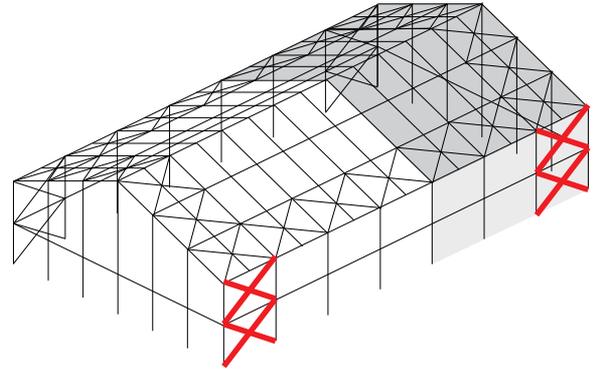
1994年 沖縄県那覇市首里にて誕生

2013年 琉球大学 入学

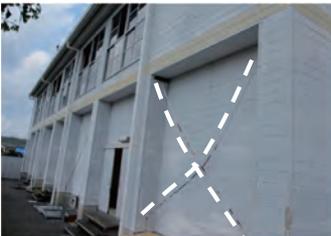
那覇市における収容避難所の耐震性能に関する研究

2017年 東京工業大学 入学

ターンバックルブレースの締め直しによる屋内運動場の被災後補修に関する研究



## 【研究対象】



ブレース



# プロフィールと研究紹介

1

1994年 沖縄県那覇市首里にて誕生

2013年 琉球大学 入学

那覇市における収容避難所の耐震性能に関する研究

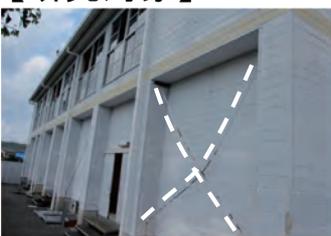
2017年 東京工業大学 入学

ターンバックルブレースの締め直しによる屋内運動場の被災後補修に関する研究

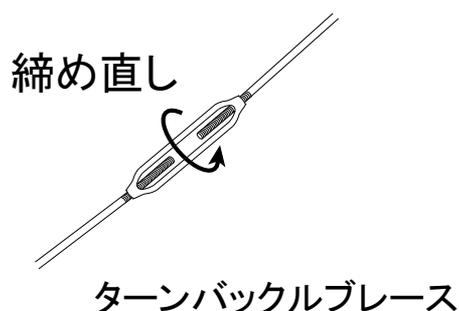
2022年 豊橋技術科学大学 助教 着任



## 【研究対象】



ブレース



# プロフィールと研究紹介

2

1994年 沖縄県那覇市首里にて誕生

2013年 琉球大学 入学

那覇市における収容避難所の耐震性能に関する研究

2017年 東京工業大学 入学

ターンバックルブレースの締め直しによる屋内運動場の被災後補修に関する研究

2022年 豊橋技術科学大学 助教 着任

LRBの復元力特性

ガオ君 (M1)

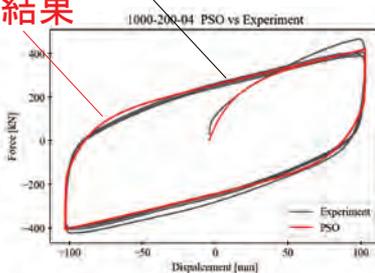


【研究対象】

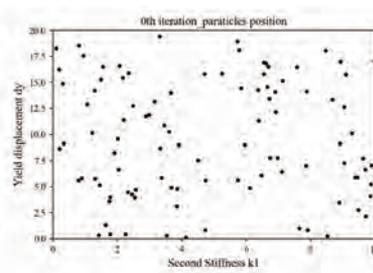


免震部材

実験結果  
解析結果



荷重変形関係



粒子群最適化

# プロフィールと研究紹介

3

1994年 沖縄県那覇市首里にて誕生

2013年 琉球大学 入学

那覇市における収容避難所の耐震性能に関する研究

2017年 東京工業大学 入学

ターンバックルブレースの締め直しによる屋内運動場の被災後補修に関する研究

2022年 豊橋技術科学大学 助教 着任

LRBの復元力特性

避難所の混雑推定

山尾君 (M1)

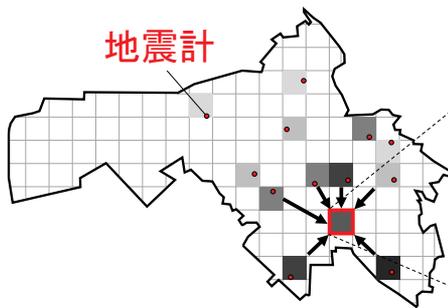


【研究対象】

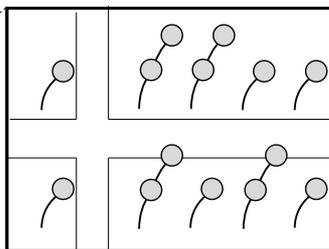


避難者数

地震計



空間補完



都市計画基礎調査

# プロフィールと研究紹介

4

1994年 沖縄県那覇市首里にて誕生

2013年 琉球大学 入学

那覇市における収容避難所の耐震性能に関する研究

2017年 東京工業大学 入学

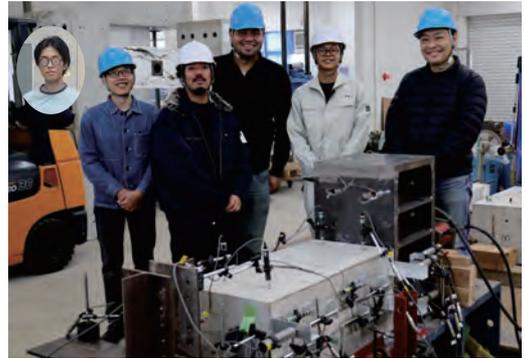
ターンバックルブレースの締め直しによる屋内運動場の被災後補修に関する研究

2022年 豊橋技術科学大学 助教 着任

LRBの復元力特性

避難所の混雑推定

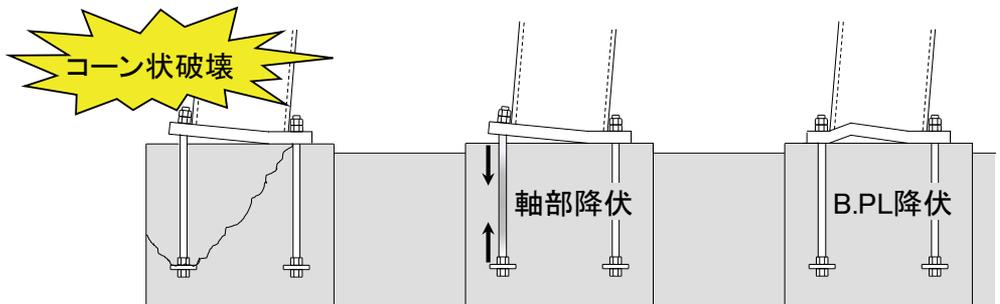
露出柱脚の被災後補修



【研究対象】



柱脚



# プロフィールと研究紹介

4

1994年 沖縄県那覇市首里にて誕生

2013年 琉球大学 入学

那覇市における収容避難所の耐震性能に関する研究

2017年 東京工業大学 入学

ターンバックルブレースの締め直しによる屋内運動場の被災後補修に関する研究

2022年 豊橋技術科学大学 助教 着任

LRBの復元力特性

避難所の混雑推定

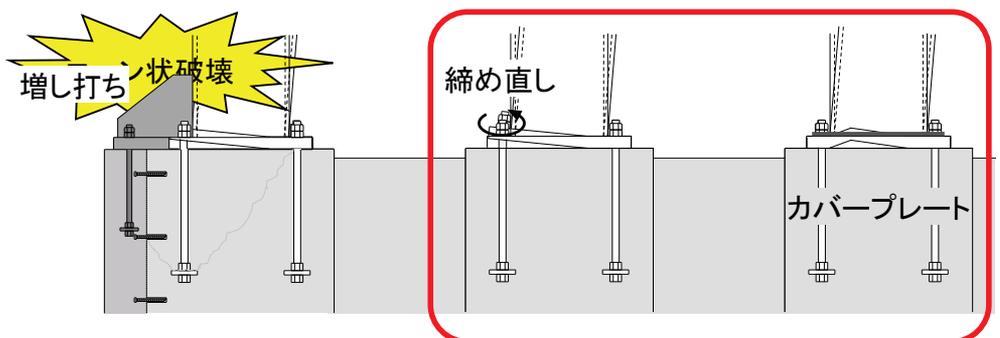
露出柱脚の被災後補修



【研究対象】



柱脚



1994年 沖縄県那覇市首里にて誕生

2013年 琉球大学 入学

那覇市における収容避難所の耐震性能に関する研究

2017年 東京工業大学 入学

ターンバックルブレースの締め直しによる屋内運動場の被災後補修に関する研究

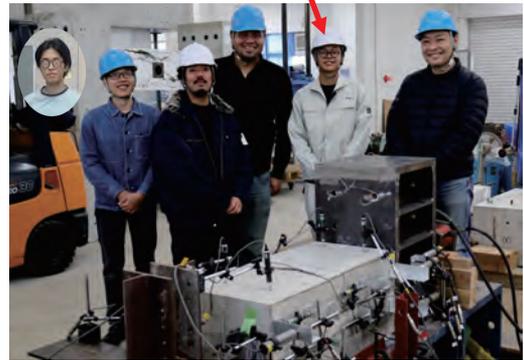
2022年 豊橋技術科学大学 助教 着任

LRBの復元力特性

避難所の混雑推定

露出柱脚の被災後補修

高橋君(B4)



【研究対象】

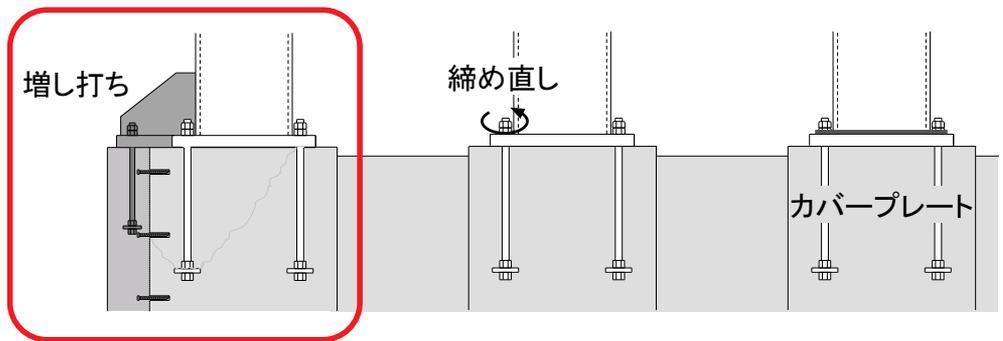


柱脚

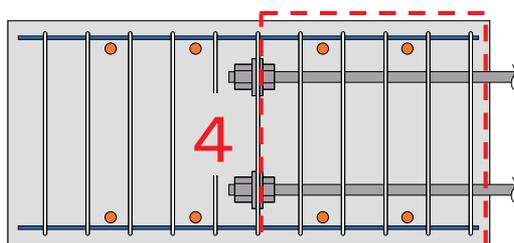
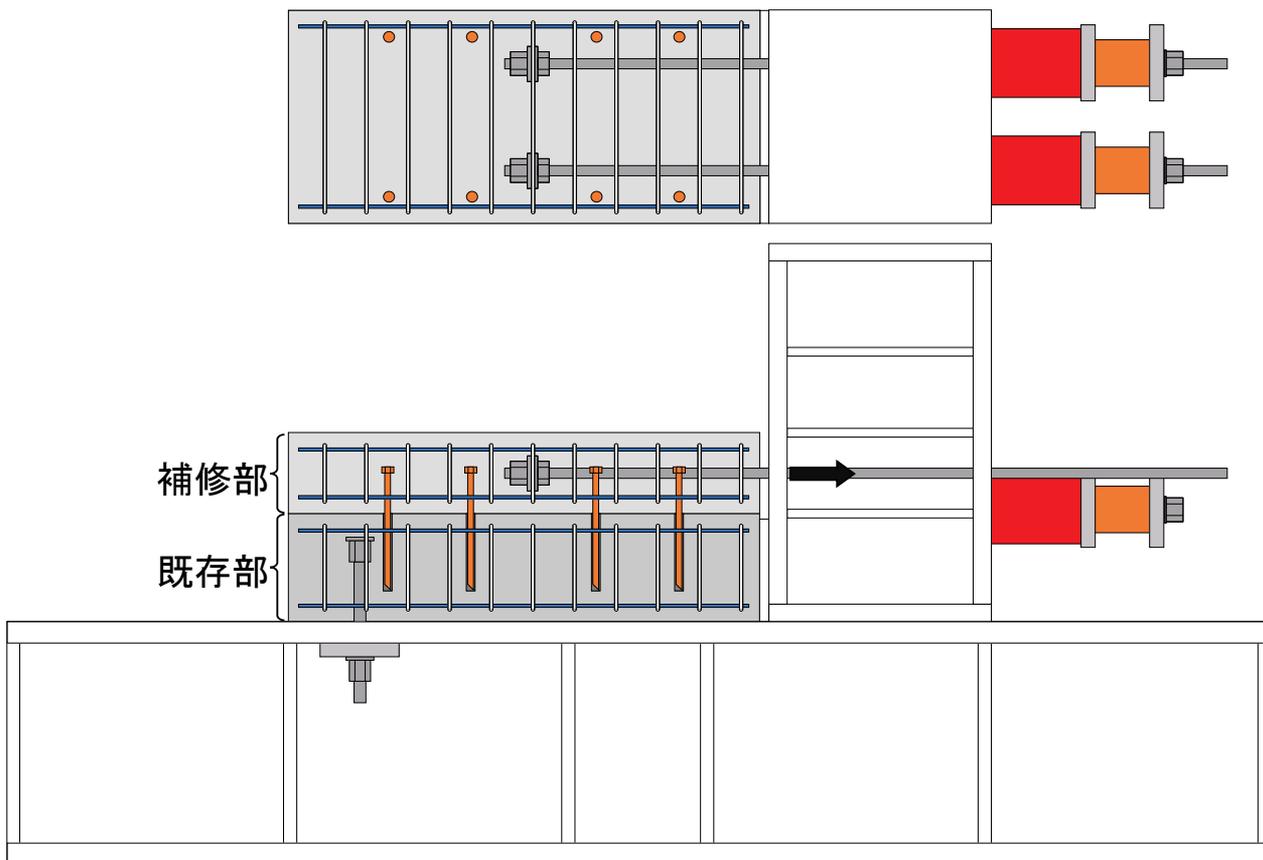
増し打ち

締め直し

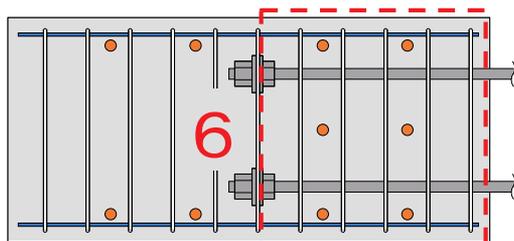
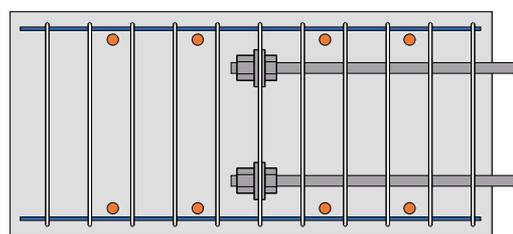
カバープレート



## 露出柱脚の増し打ちによる補修 — 要素実験 —

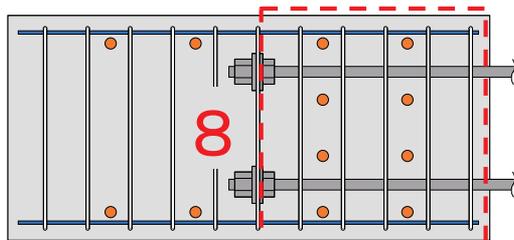
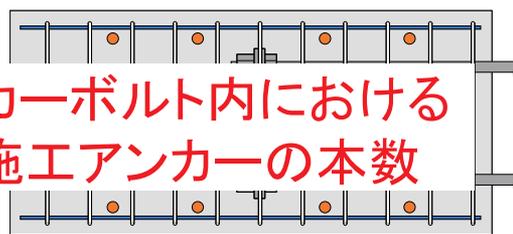


試験体 D6\_8(4)

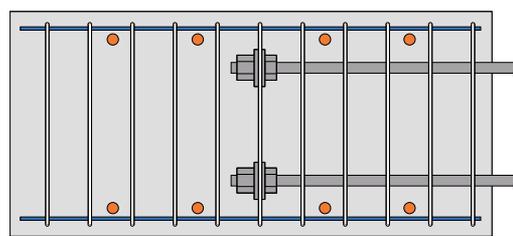


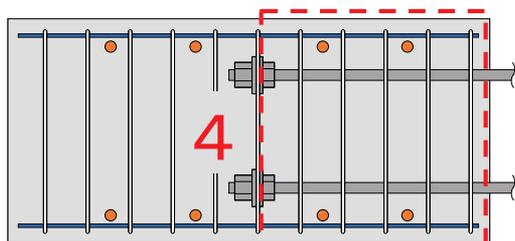
試験体 D6\_10(6)

アンカーボルト内における  
あと施工アンカーの本数

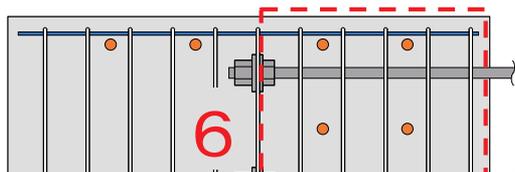
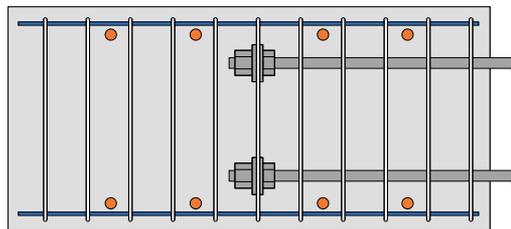


試験体 D6\_12(8)

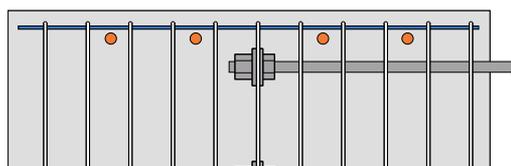




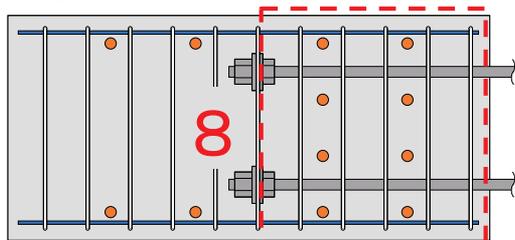
試験体 D6\_8(4)



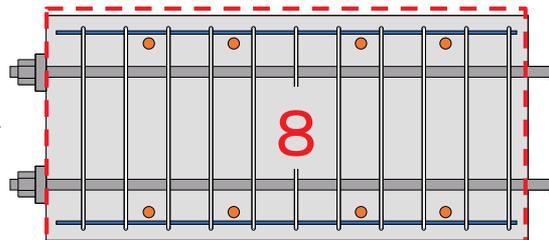
6



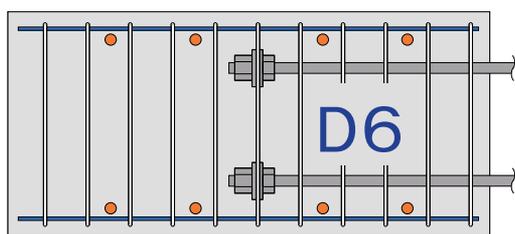
アンカーボルト内におけるあと施工アンカーの本数を同じにして比較する



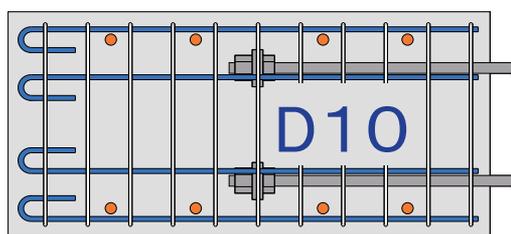
試験体 D6\_12(8)



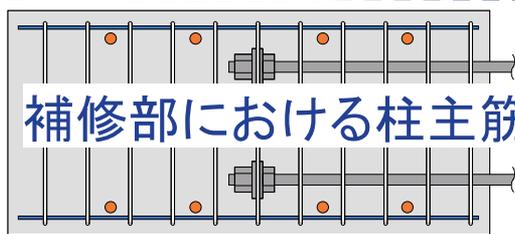
試験体 D6\_8(8)



試験体 D6\_8(4)

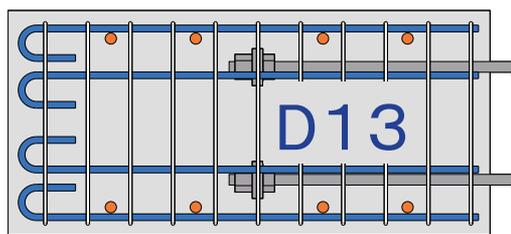


試験体 D10\_8(4)

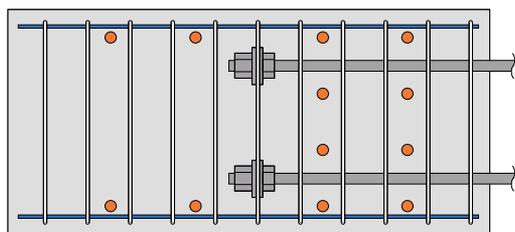


補修部における柱主筋断面

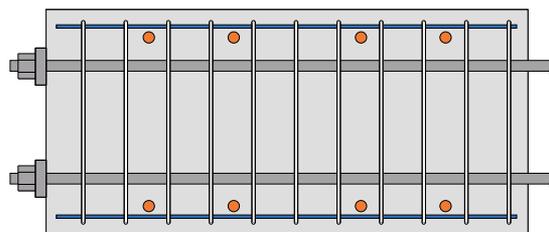
試験体 D6\_10(6)



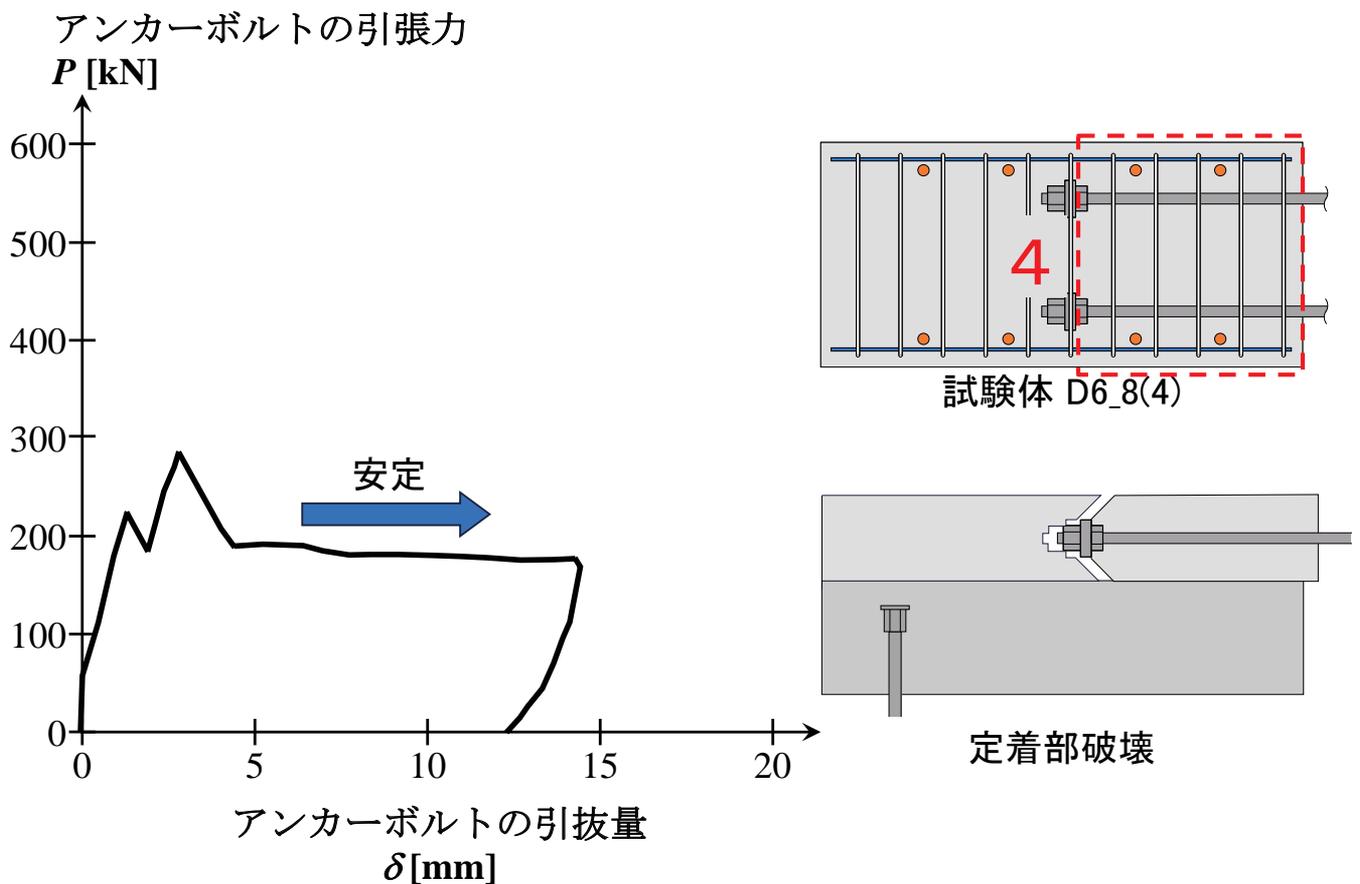
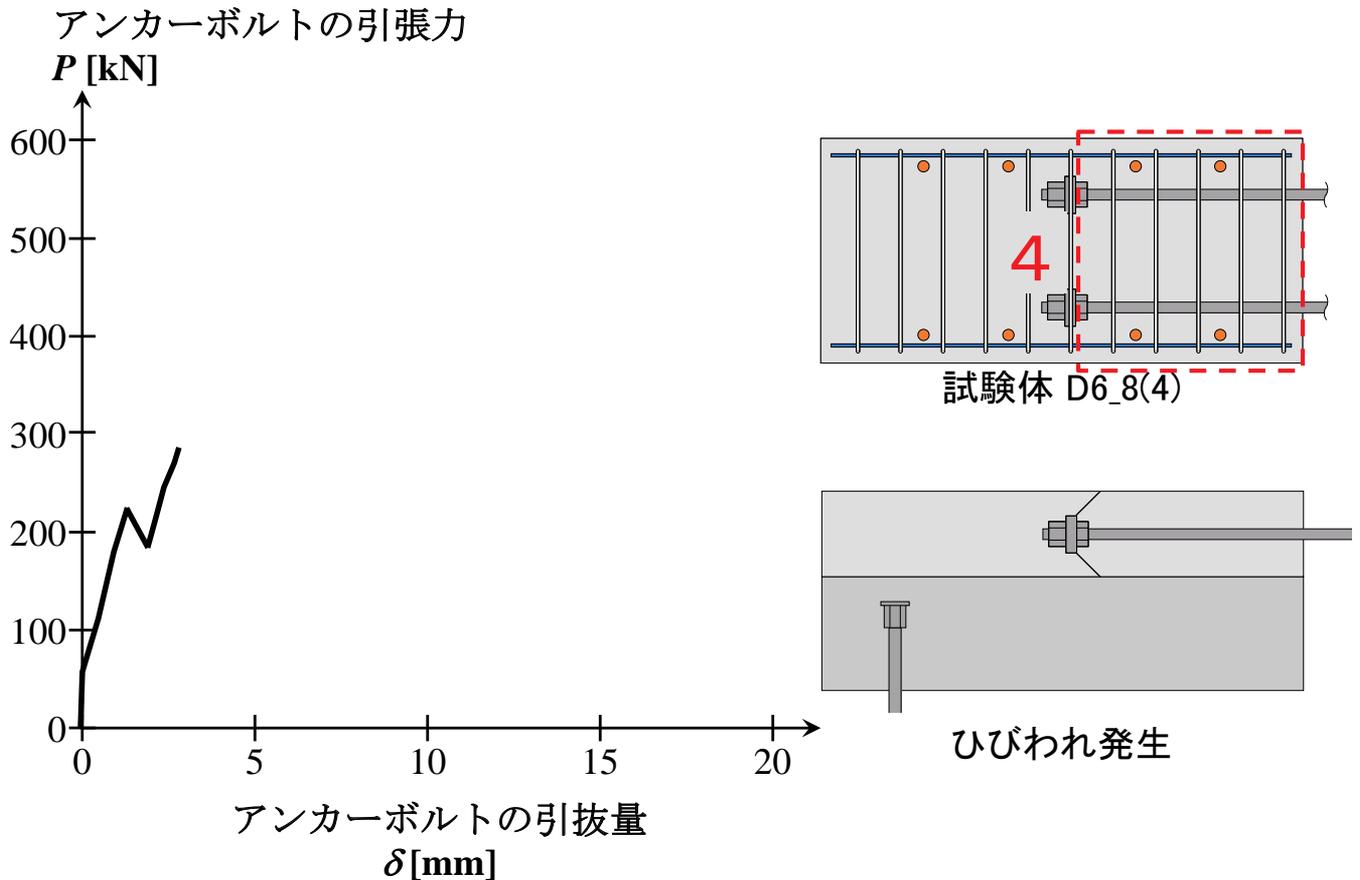
試験体 D13\_8(4)



試験体 D6\_12(8)

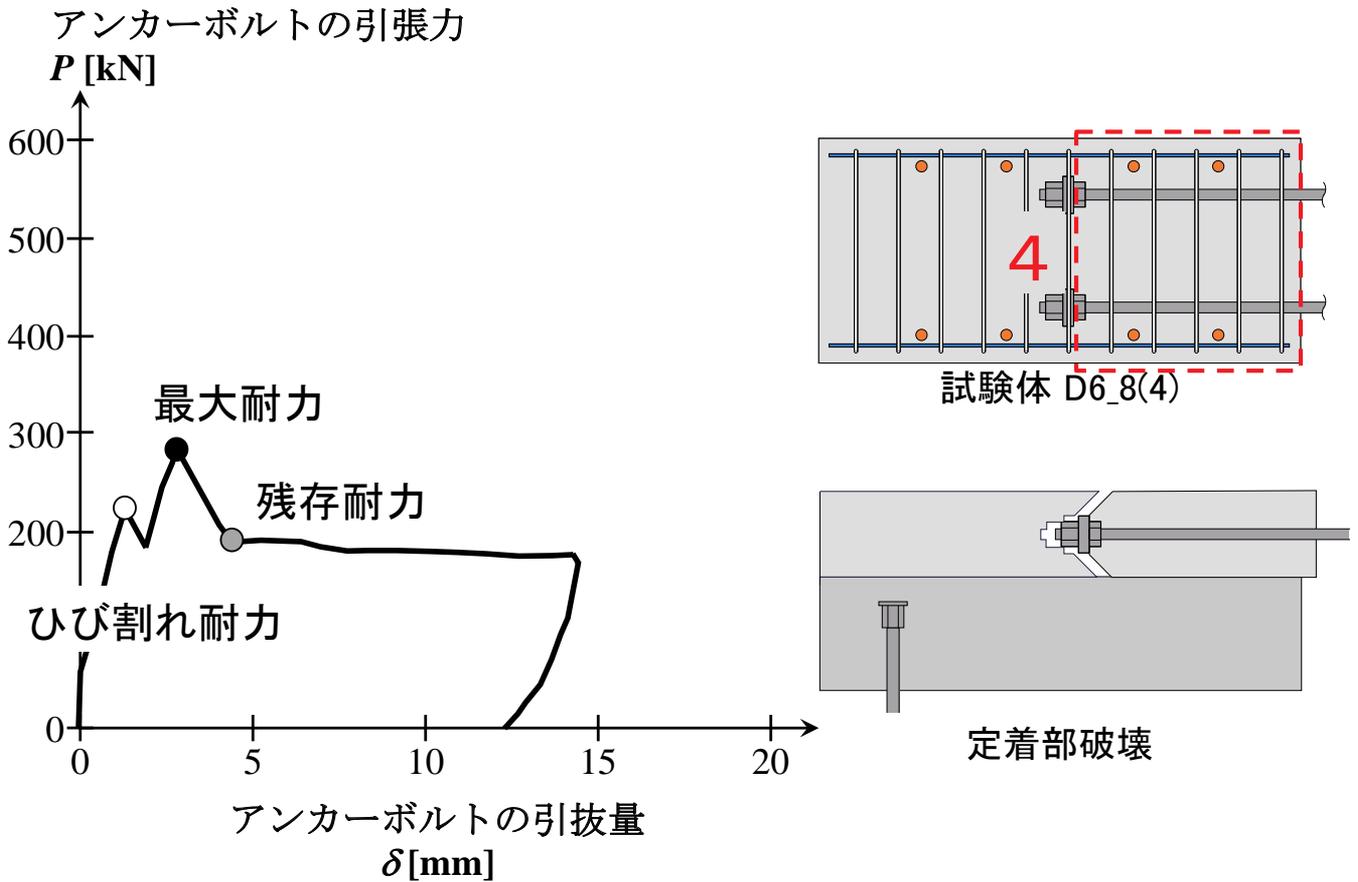


試験体 D6\_8(8)



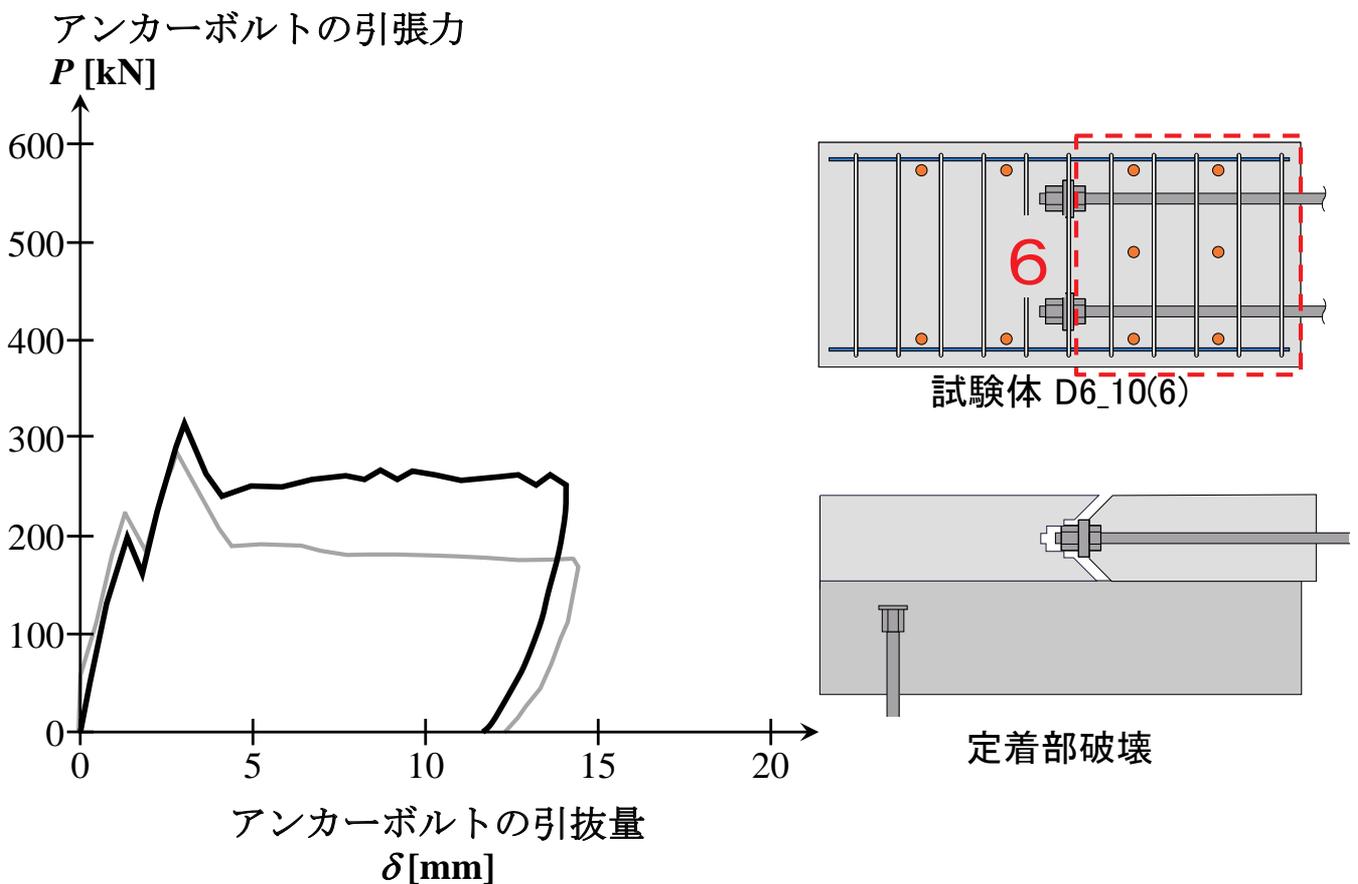
# 露出柱脚の補修 - 実験結果① -

7



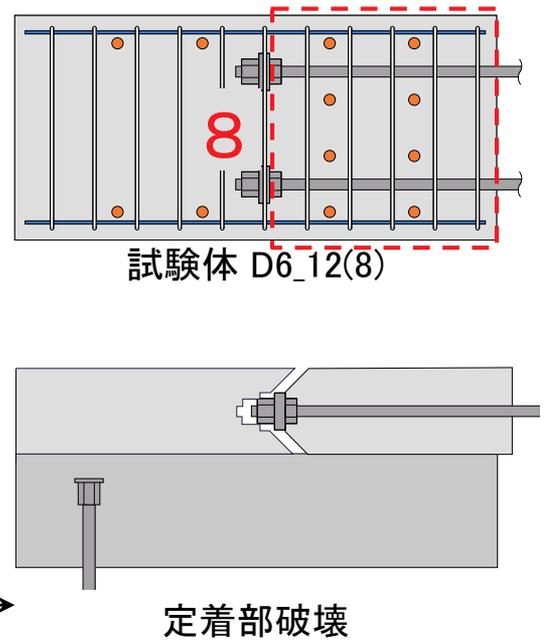
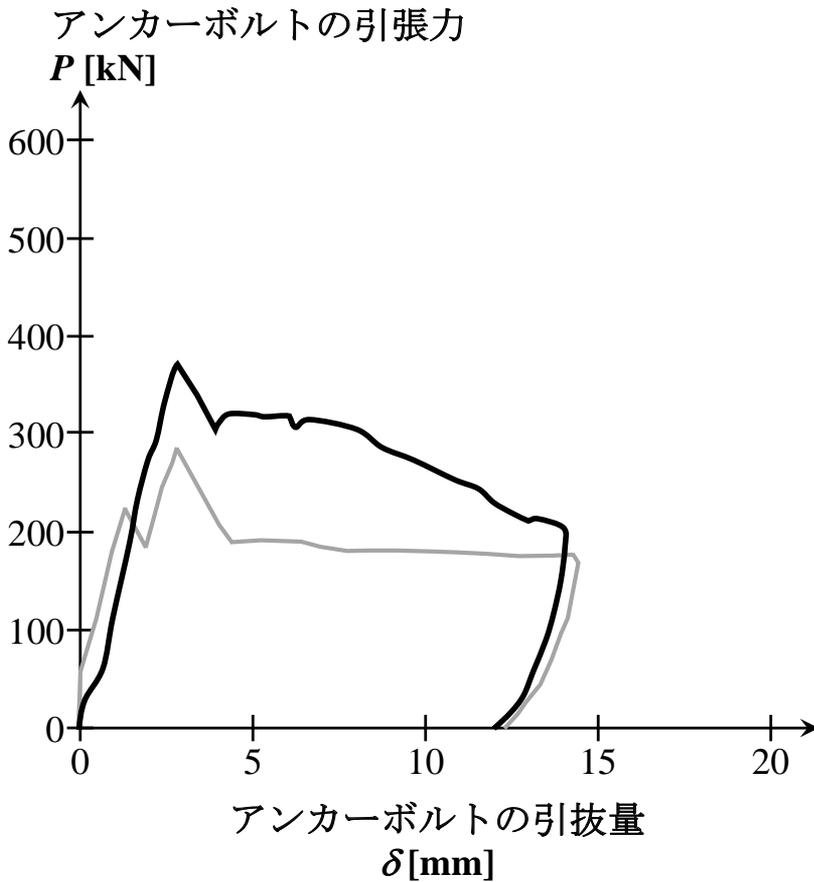
# 露出柱脚の補修 - 実験結果② -

8



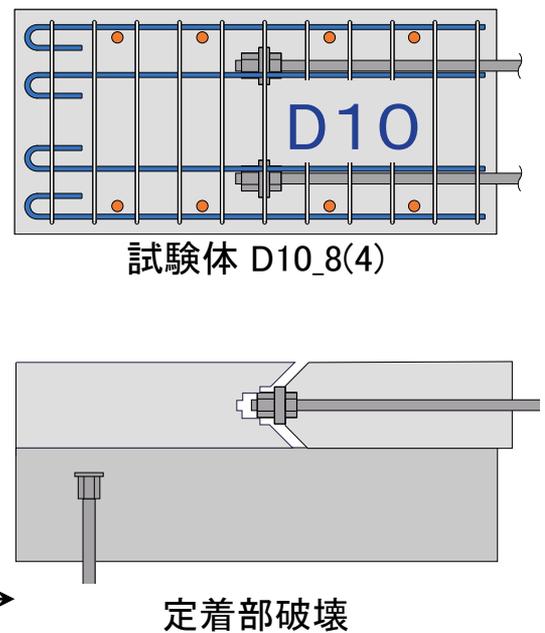
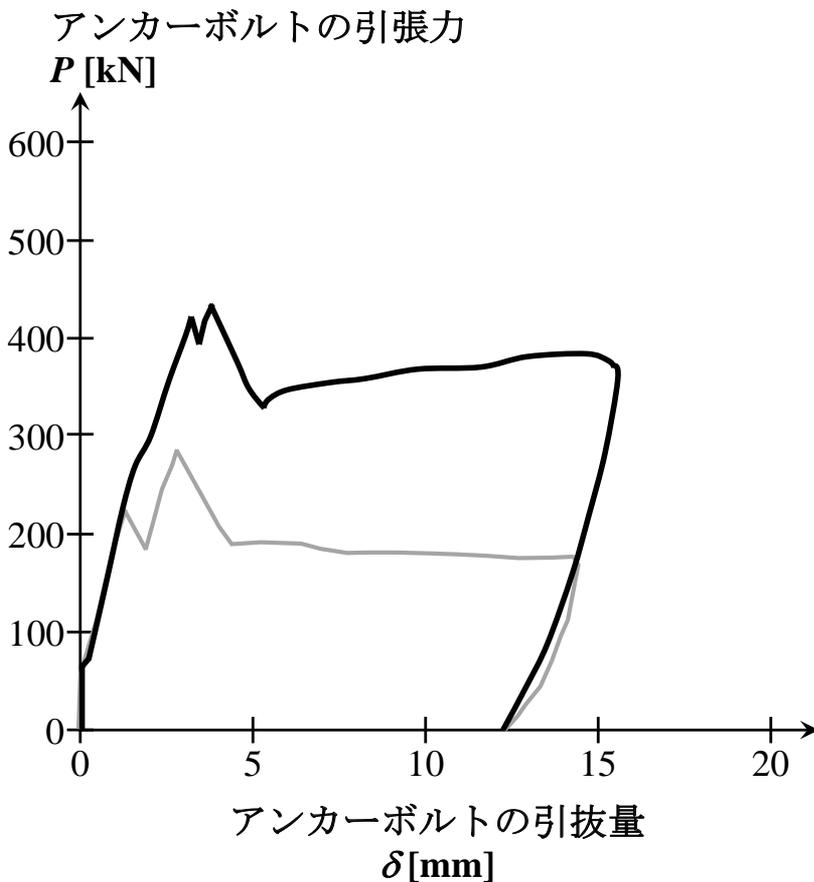
# 露出柱脚の補修 - 実験結果③ -

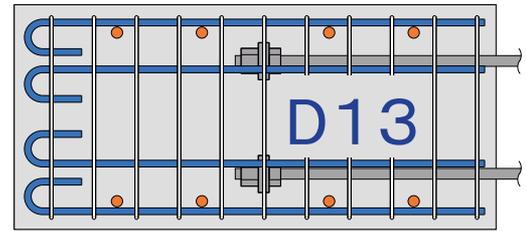
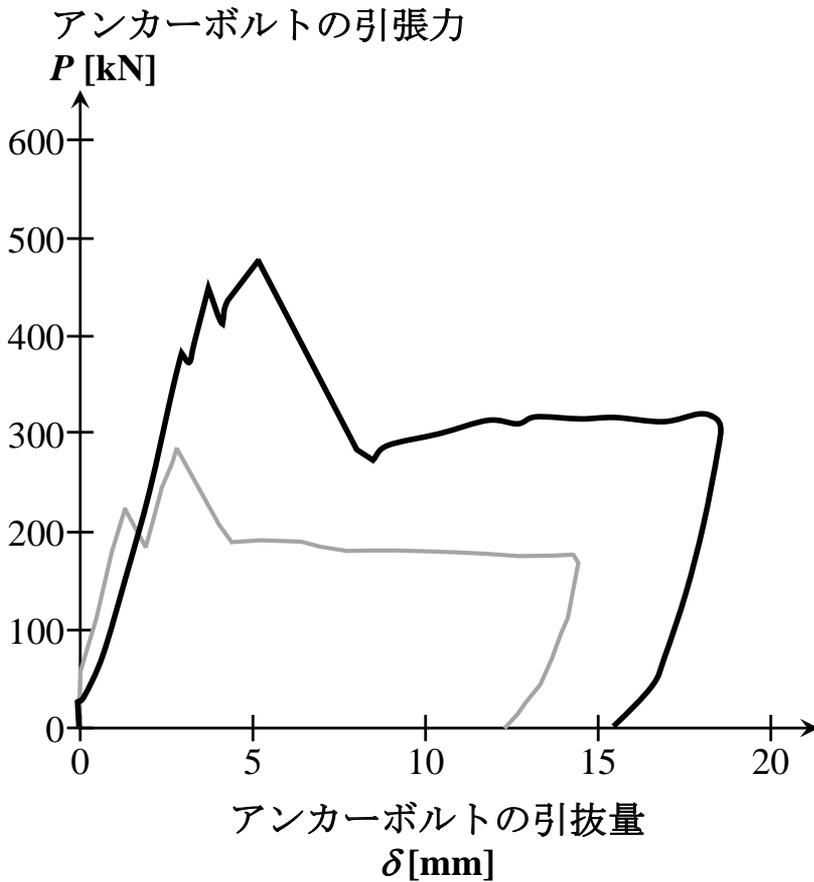
9



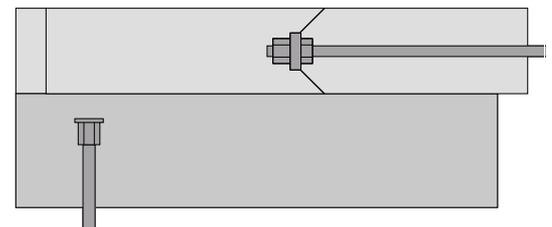
# 露出柱脚の補修 - 実験結果④ -

10

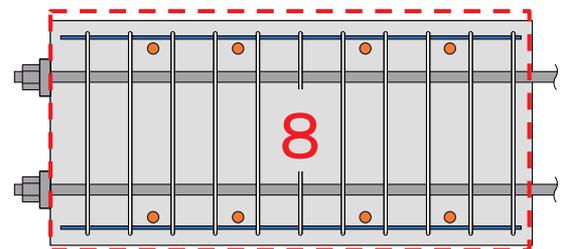
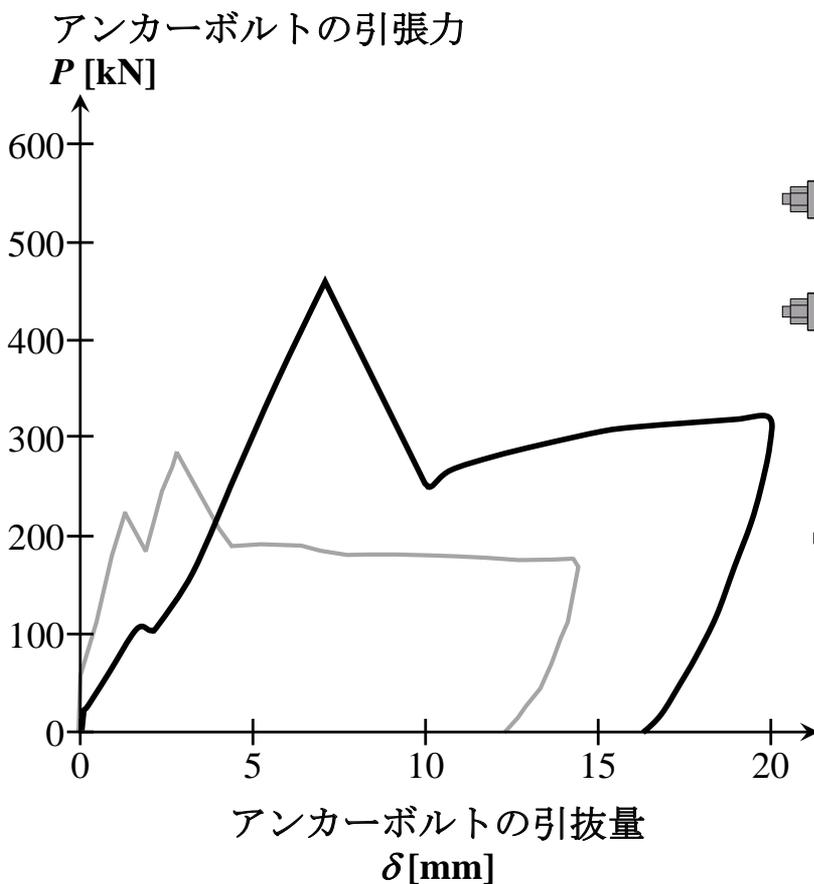




試験体 D13\_8(4)



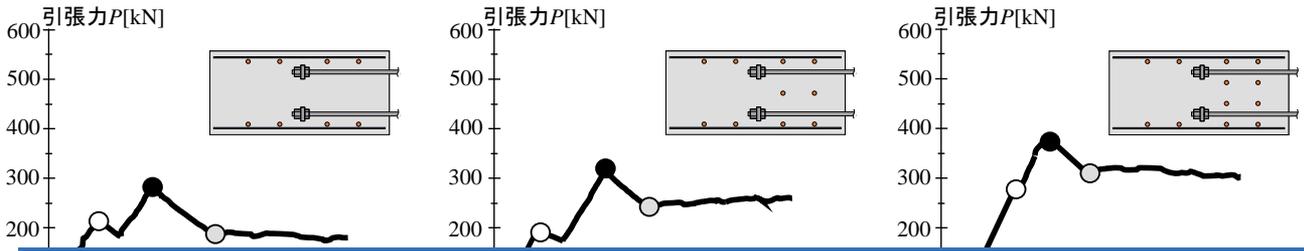
界面部破壊



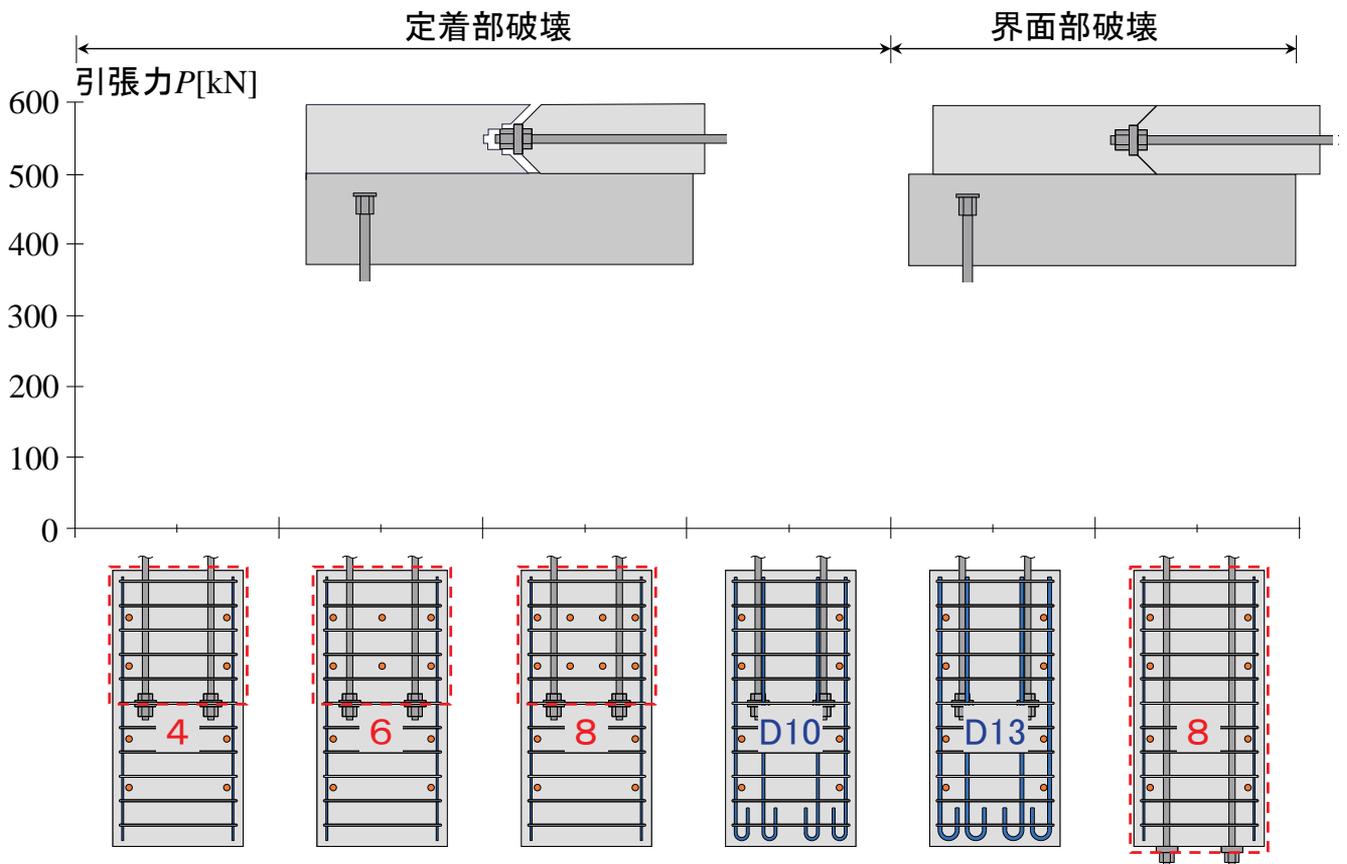
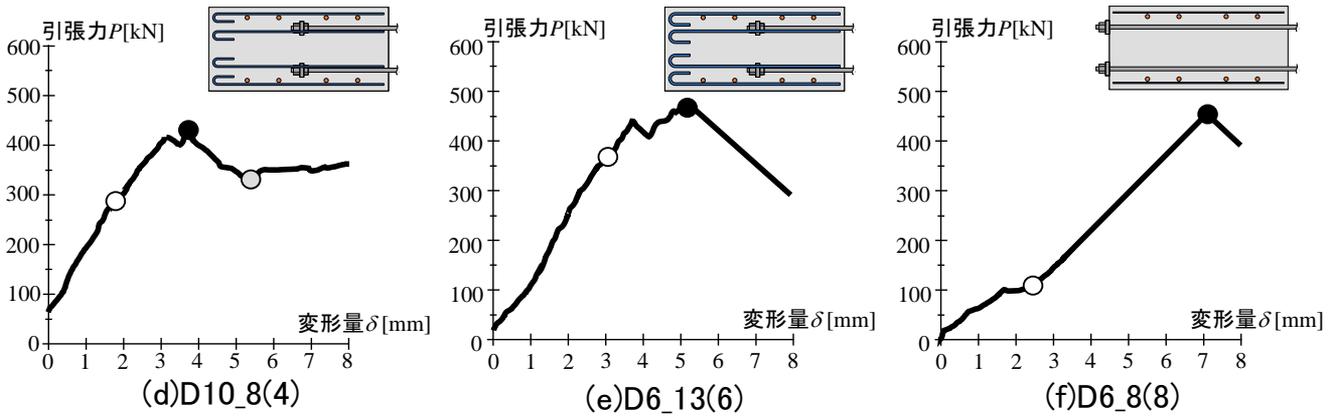
試験体 D6\_8(8)



界面部破壊

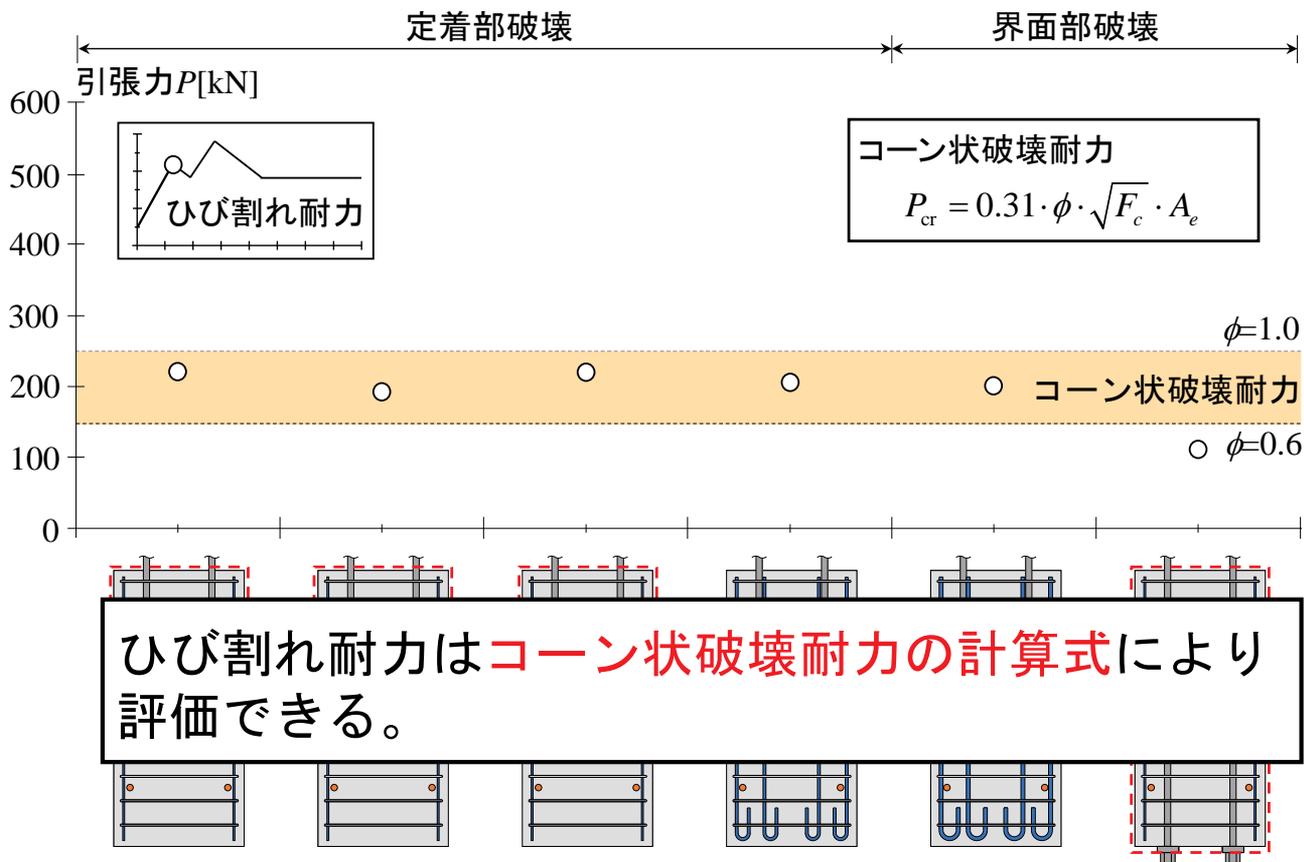


次に、全ての試験体のひび割れ耐力、最大耐力、残存耐力の比較を行う。



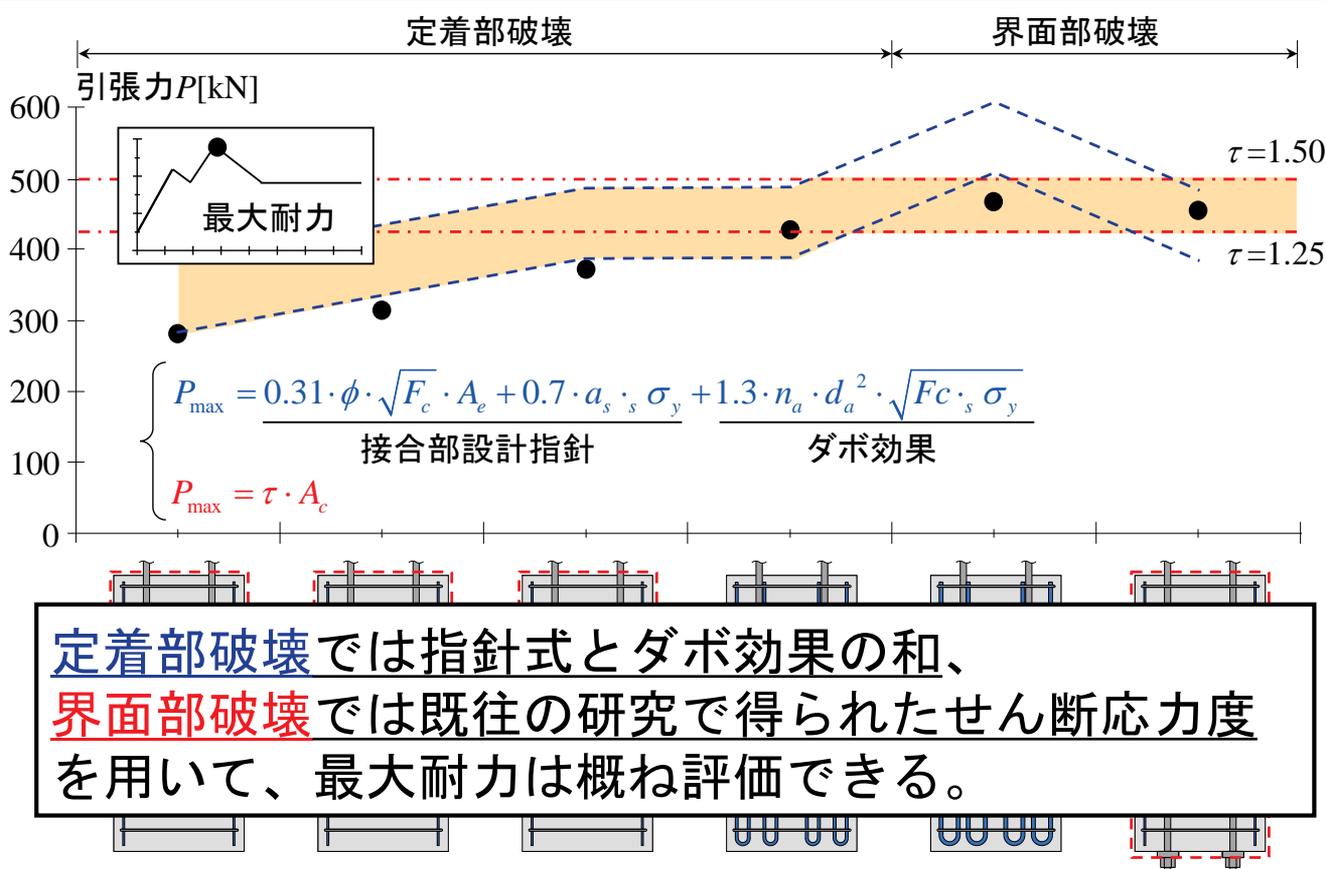
# 露出柱脚の補修 - ひび割れ耐力の比較 -

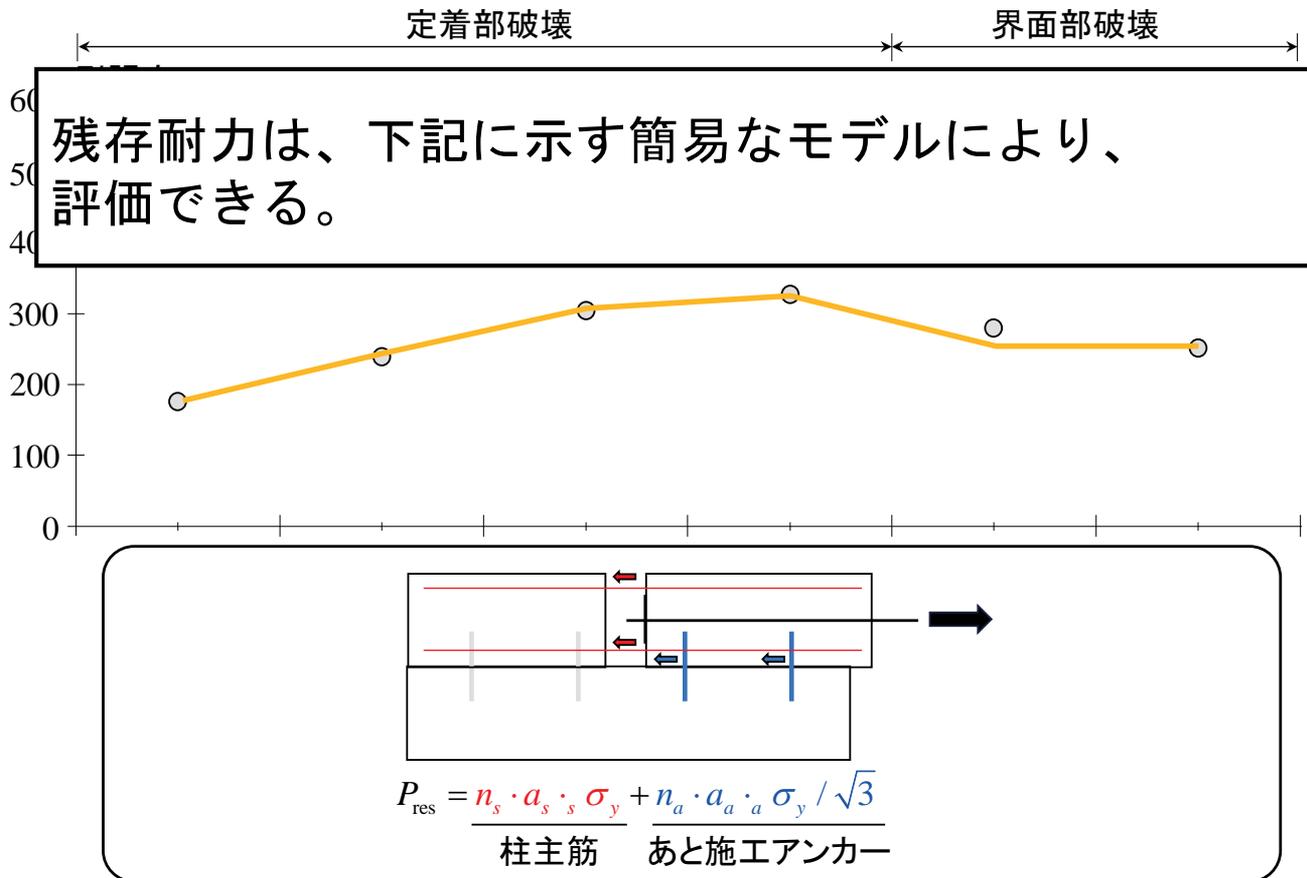
14



# 露出柱脚の補修 - 最大耐力の比較 -

15





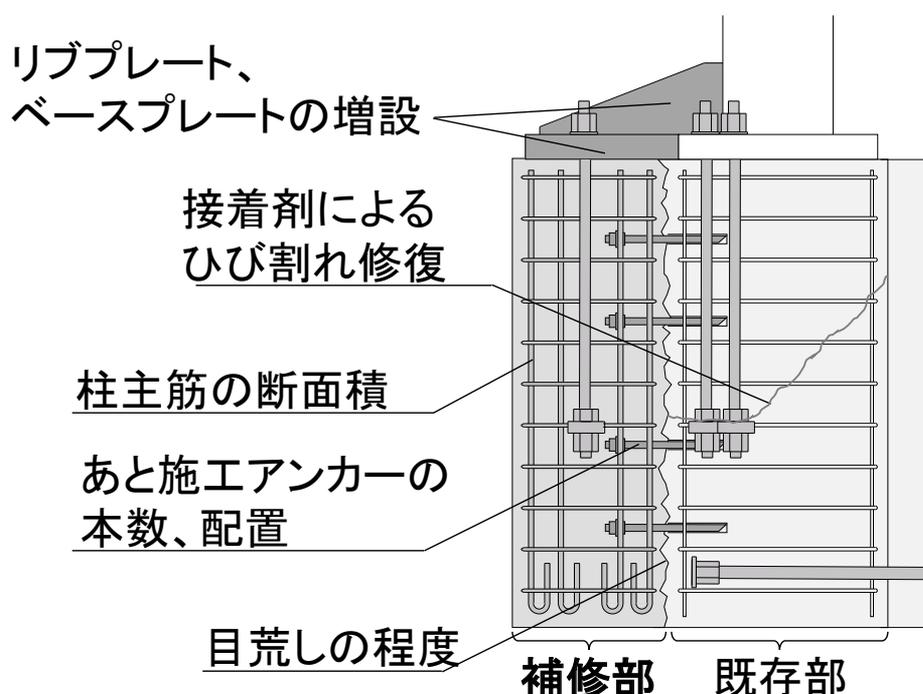
まとめ

2023年度の露出柱脚の補修に関する研究では、増し打ち部を対象とした要素実験を行い、ひび割れ耐力、最大耐力、残存耐力を評価した。本研究により得られた知見を下記にまとめる。

- [1] ひび割れ耐力は、コーン状破壊耐力の計算式により評価できることがわかった。
- [2] 最大耐力は、定着部破壊の時は指針式とダボ効果の和、界面部破壊の時は既往の研究で得られたせん断応力を用いて、評価できることがわかった。
- [3] 残存耐力は、破壊後に降伏するあと施工アンカーと柱主筋の和として評価できる。

## 今後の課題

2024年度の露出柱脚の補修に関する研究では、あと施工アンカーを用いた増打による実大実験を行い、ひび割れが補修部におよぼす影響について検討する。



本助成金により、下記に示す論文を執筆することができました。ここに記して謝意を表します。

- 1) 永松孝太郎, 高橋淳平, 仲田章太郎, 松井智哉, 吉敷祥一:あと施工アンカーを用いた増打ちによる露出柱脚の被災後補修 その1 要素実験の計画と結果の概要, 日本建築学会大会大会学術講演, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 日本建築学会, 構造Ⅲ, pp. ???-???, 2024.9
- 2) 高橋淳平, 永松孝太郎, 仲田章太郎, 松井智哉, 吉敷祥一:あと施工アンカーを用いた増打ちによる露出柱脚の被災後補修 その2 ひび割れ耐力、最大耐力および残存耐力の評価, 日本建築学会大会大会学術講演, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 日本建築学会, 構造Ⅲ, pp. ???-???, 2024.9

あと施工アンカー 技術講演会

---

2024年9月12日

一般社団法人 日本建設あと施工アンカー協会

〒101-0031 東京都千代田区東神田 2-6-9

---

本書の内容の複製または改変などを当協会の許可なく行うことは禁止されています。