

目 次

研究発表 1	3
--------	---

「地震被害を受けた鉄筋コンクリート部材におけるあと施工アンカーの付着特性」
室蘭工業大学 大学院工学研究科 もの創造系領域 教授 高瀬 裕也 氏

研究発表 2	13
--------	----

「穿孔長が深い注入式接着系あと施工アンカーの充填不良による
空隙の検出手法の検討」
富山県立大学 工学部 環境社会基盤工学科 准教授 内田 慎哉 氏

研究発表 3	25
--------	----

「孔内清掃状態の異なる接着系あと施工アンカーの電磁パルス法による
施工完成度評価に関する研究」
大阪大学大学院工学研究科 地球総合工学専攻 特任研究員 服部 晋一 氏

研究発表

1

「地震被害を受けた鉄筋コンクリート部材におけるあと施工アンカーの付着特性」

室蘭工業大学 大学院工学研究科 もの創造系領域

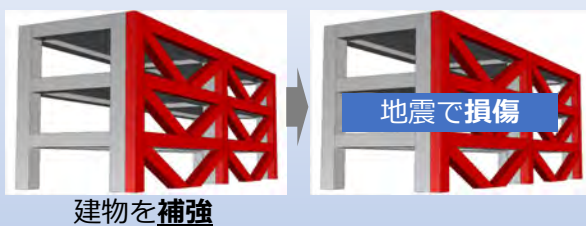
教授 高瀬 裕也 氏

地震被害を受けた鉄筋コンクリート部材における あと施工アンカーの付着特性

室蘭工業大学 高瀬 裕也

研究の背景

建物を補強した後に地震

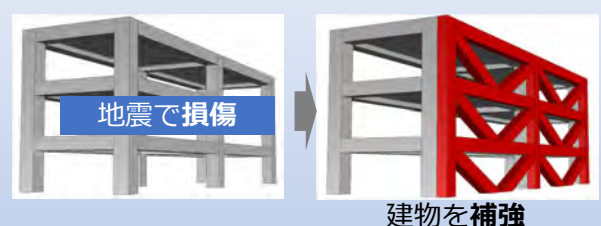


課題

補強部材があるため
既存部材の補修困難

未補修の性能を把握する
必要がある

地震で損傷した後に補強

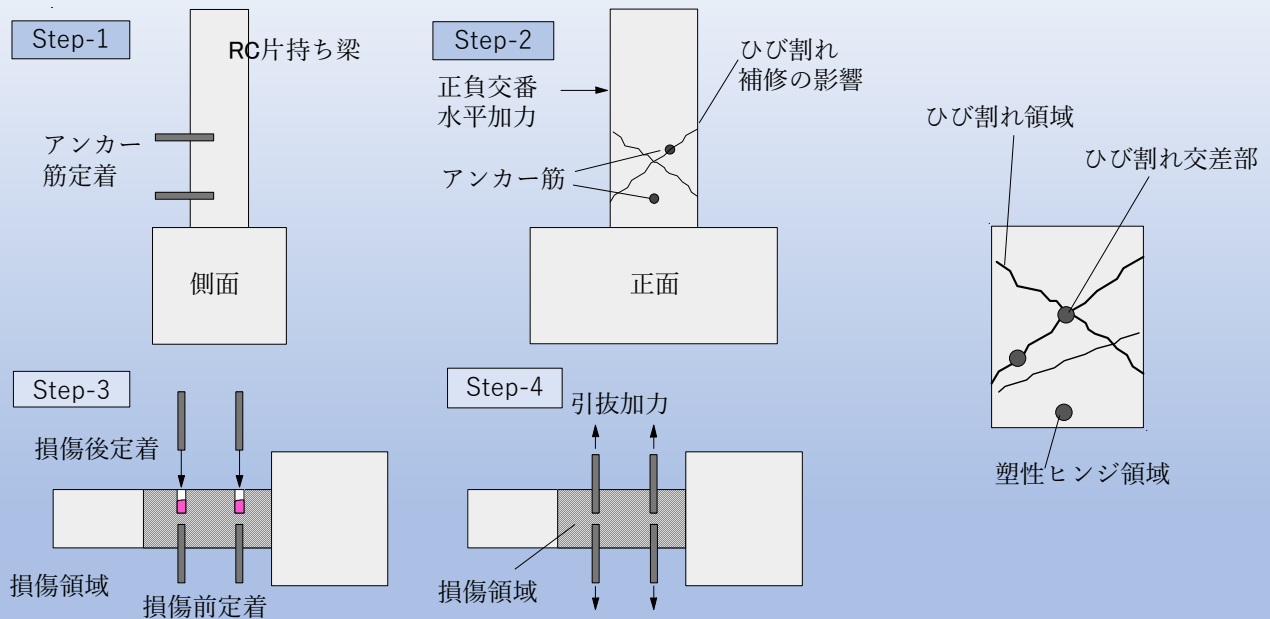


課題

損傷した部材に定着

既存部材の損傷もしくはひび割れ
補修の効果を検討して設計する
必要がある

実験概要



実験パラメータ

■ 損傷度（部材変形角 R ）

- 損傷度Ⅱ ($R=1/100$ rad)
- 損傷度Ⅲ ($R=1/75$ rad)

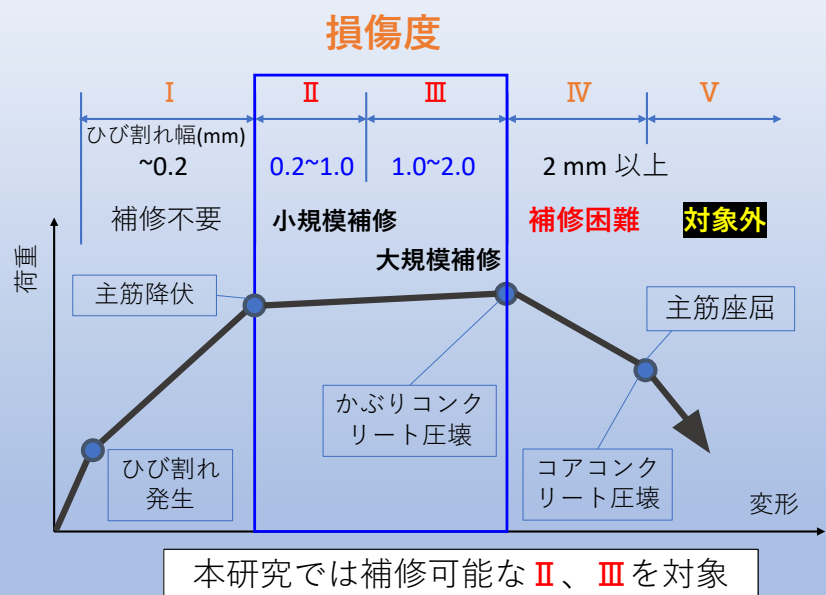
■ ひび割れ補修の有無

- 未補修
- 有機系補修
- 無機系補修

■ アンカー筋の定着時期

- 損傷後 定着
- 損傷前 定着

計20体の梁試験体を使用



実験パラメータ

■ 損傷度（部材変形角 R ）

- 損傷度II（ $R=1/100$ rad）
- 損傷度III（ $R=1/75$ rad）

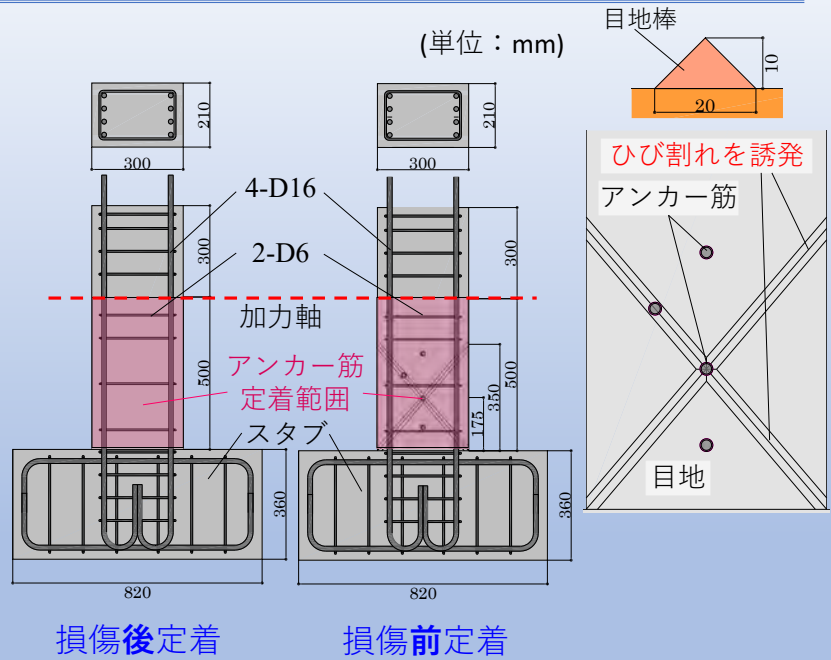
■ ひび割れ補修の有無

- 未補修
- 有機系補修
- 無機系補修

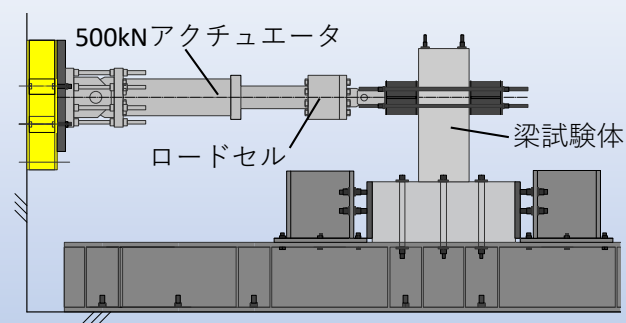
■ アンカー筋の定着時期

- 損傷後 定着
- 損傷前 定着

計20体の梁試験体を使用

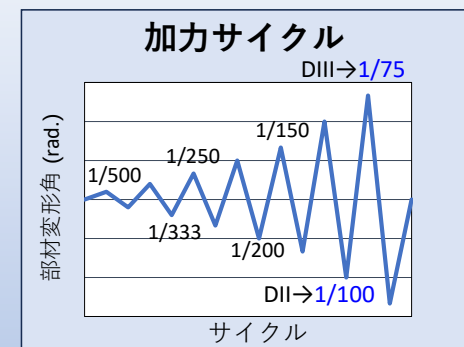
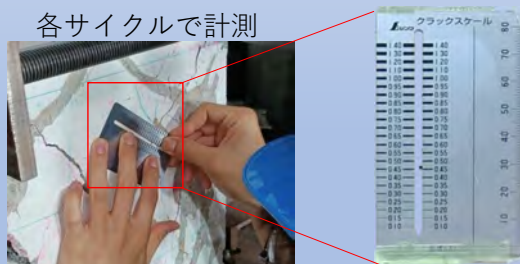


RC梁の水平加力実験



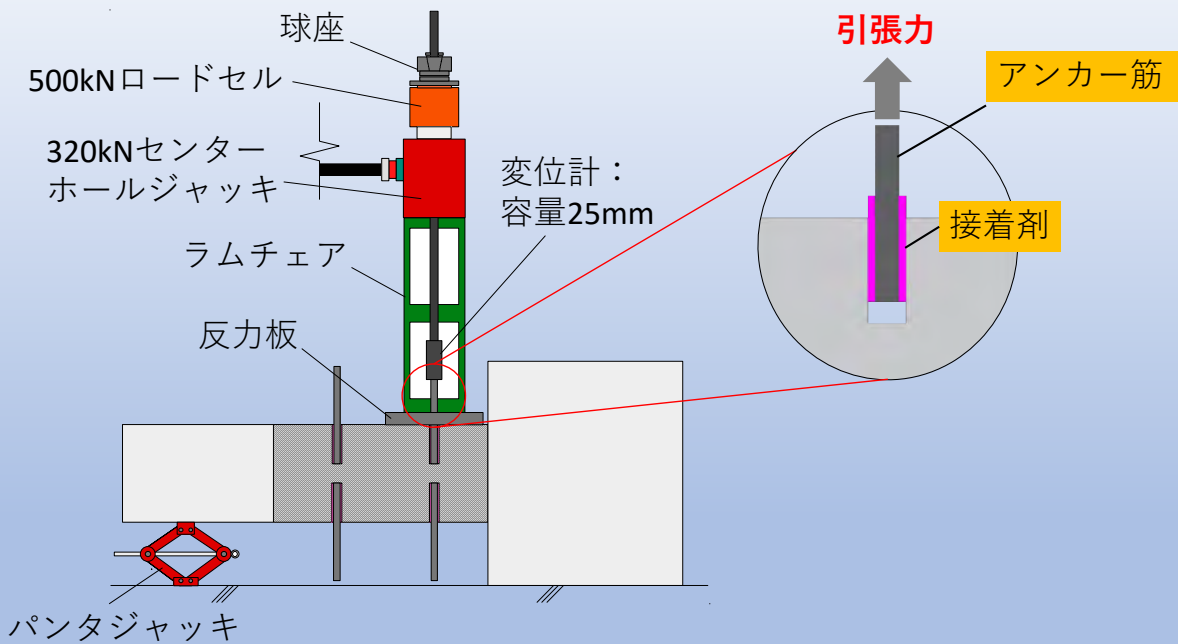
ひび割れ幅計測

各サイクルで計測

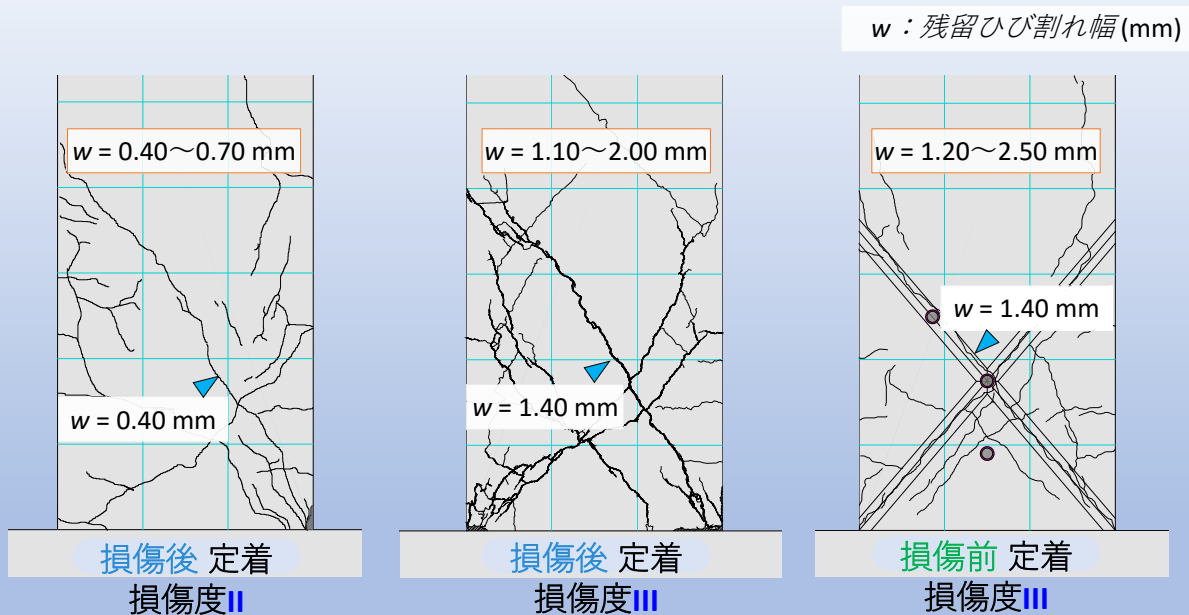


クラックスケール
で計測

あと施工アンカーの付着実験



RC梁の水平加力実験の結果

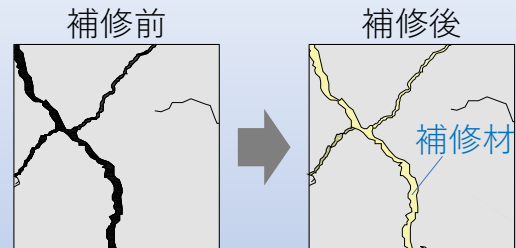


ひび割れ補修の手順

有機系，無機系の補修材を用いた**ひび割れ注入工法**



ひび割れ補修の様子

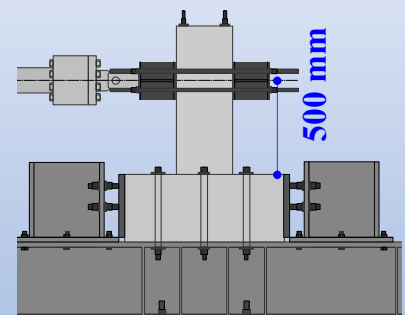
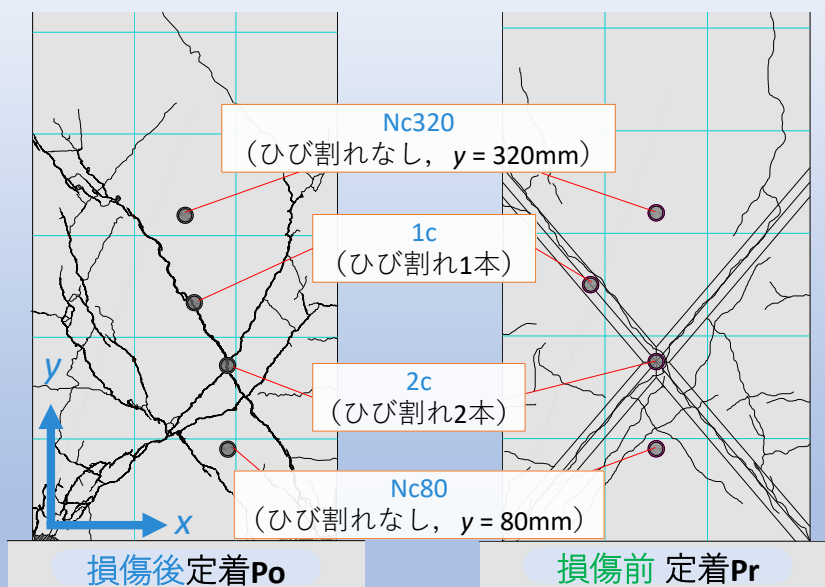


補修試験体

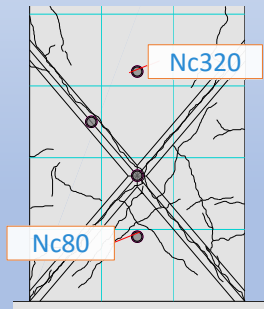
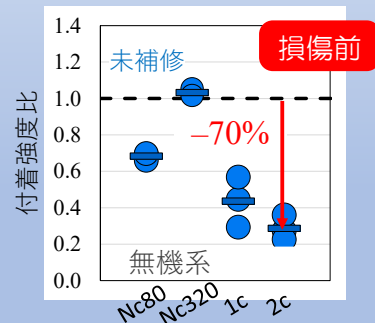
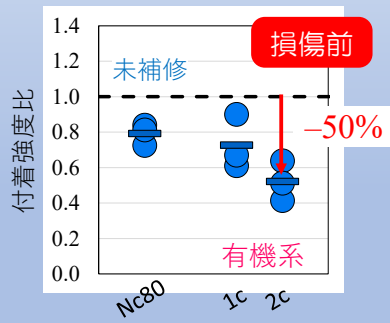
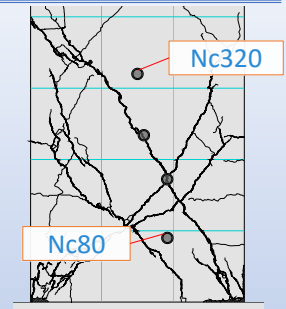
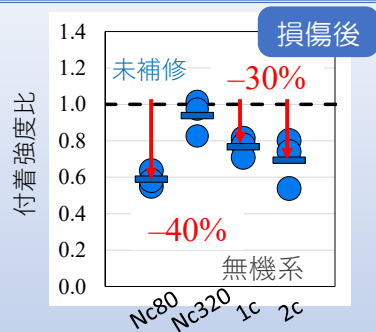
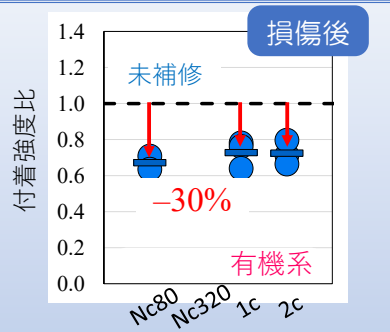
- 損傷後 定着：4体
- 損傷前 定着：6体

計10体の梁試験体を補修

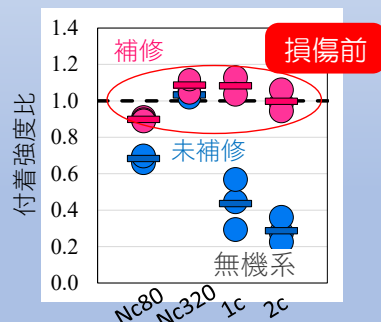
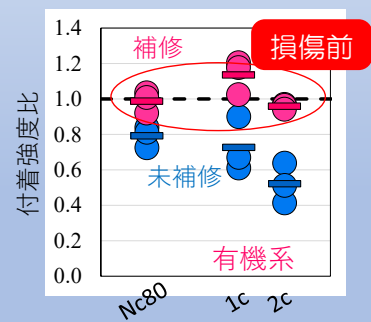
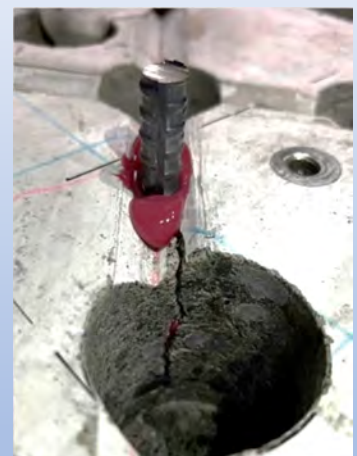
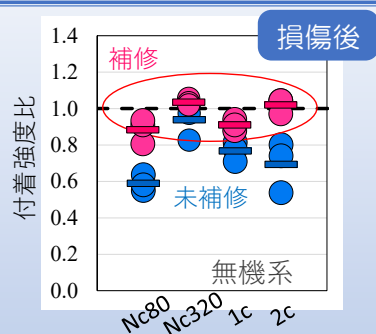
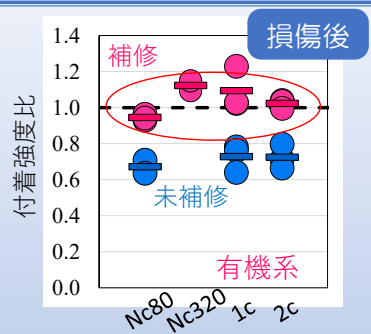
アンカー筋の定着



付着強度比（未補修）

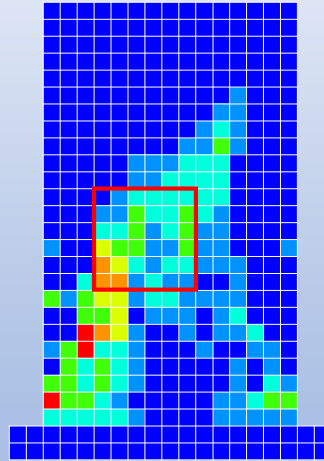
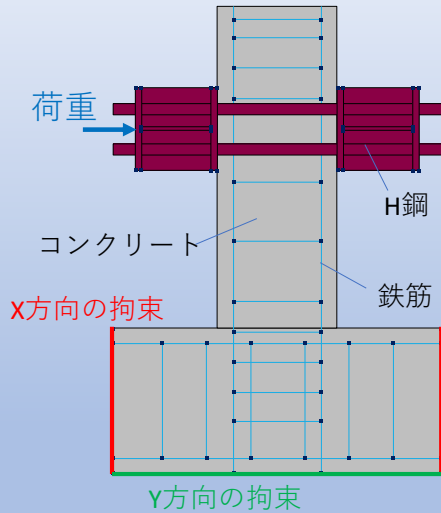


付着強度比（補修）

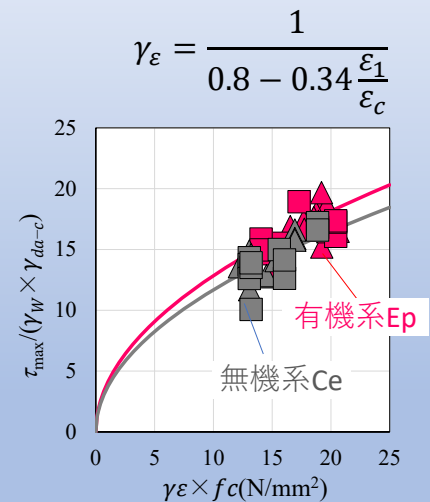


付着強度評価：FEMによる最大主ひずみ

せん断加力実験のFEM解析

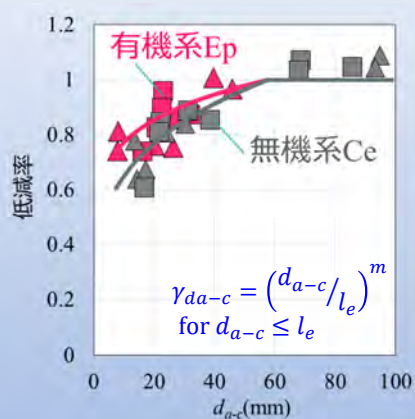


修正圧縮場理論 最大主ひずみによる圧縮強度評価

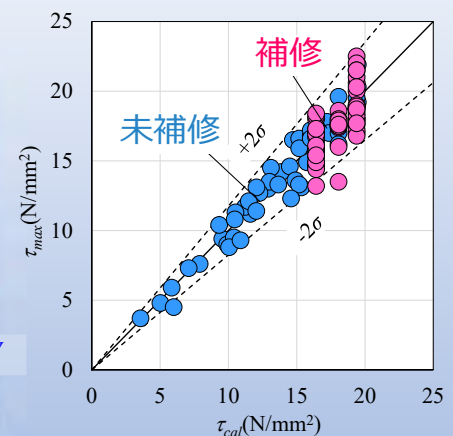
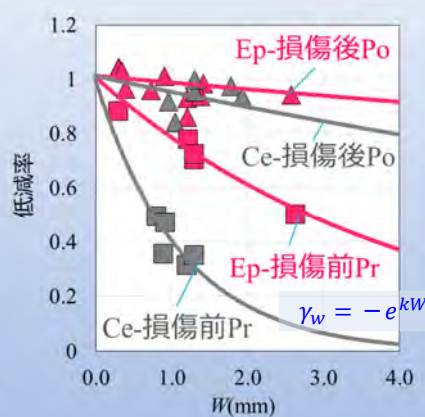


付着強度評価：FEMによる最大主ひずみ

ひび割れまでの距離 d_{a-c}



ひび割れ幅 W

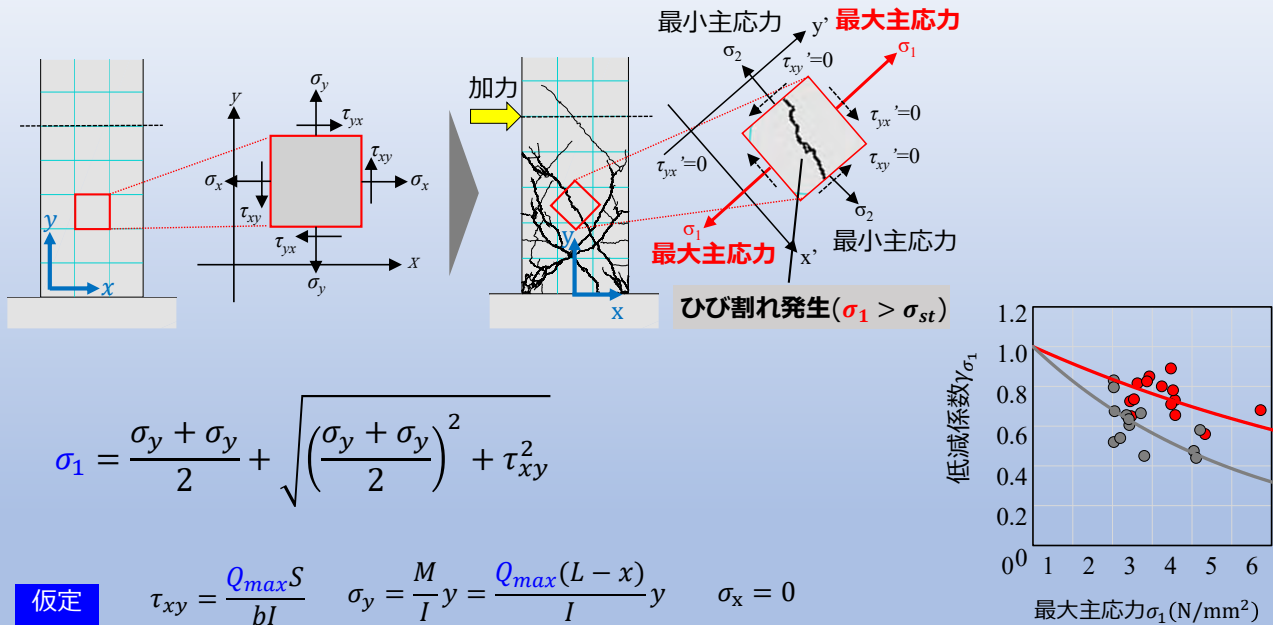


提案付着強度式

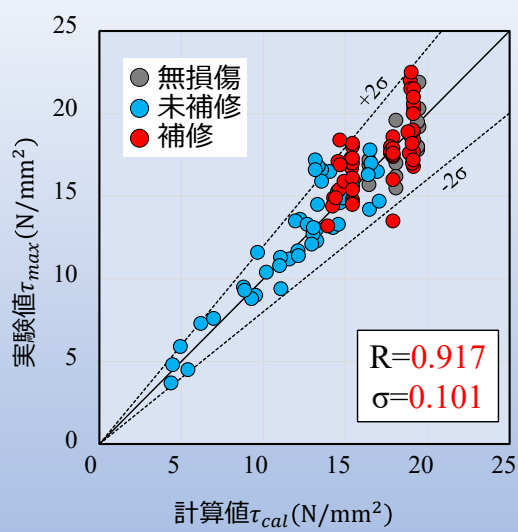
$$\tau_{cal} = \gamma_{d_{a-c}} \times \gamma_w \times \beta \frac{\varphi}{d_a} \sqrt{\gamma_\varepsilon \times f_c}$$

Yano et al.: Bond strength of post-installed anchor adhering to damaged concrete by freeze-thaw action, J. of Advanced Concrete Technology, Vol.22, pp.178~189, 2024.4 (2023年度研究助成)

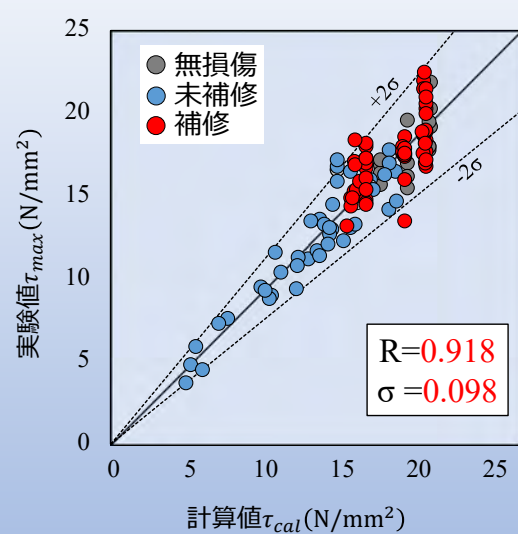
付着強度評価：簡易的な力学的計算に基づく最大主応力



付着強度評価



Q_{max} で付着強度を計算



Q_{max} の代わりに終局せん断強度 Q_{su} を代用

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.068 \cdot p_t^{0.23} \cdot (F_c + 18)}{M/(Qd) + 0.12} + 0.85 \sqrt{P_w \cdot \sigma_{wy}} \right\} \cdot b \cdot j$$

まとめ

- ✓ 水平荷重による損傷後に定着されたあと施工アンカーでは、付着強度が30%程度低下した。
- ✓ 水平荷重による損傷前に定着されたあと施工アンカーでは、付着強度が50~70%程度低下した。
- ✓ ひび割れ補修することで、概ね元の付着強度まで回復した。
- ✓ 危険断面近傍に定着された接着系アンカーでは、付着強度が20~30%程度低下し、ひび割れ補修しても元の強度まで回復しないケースもあった。
- ✓ コンクリートの損傷度合い（ひび割れ、最大主ひずみなど）を考慮することで、損傷した部材に定着されたあと施工アンカーの付着強度を推定することが可能である。

研究発表

2

「穿孔長が深い注入式接着系あと施工アンカーの充填不良による空隙の検出手法の検討」

富山県立大学 工学部 環境社会基盤工学科

准教授 内田 慎哉 氏

各種非破壊試験の併用による 穿孔長が深い注入式接着系アンカーの 健全性評価手法の開発

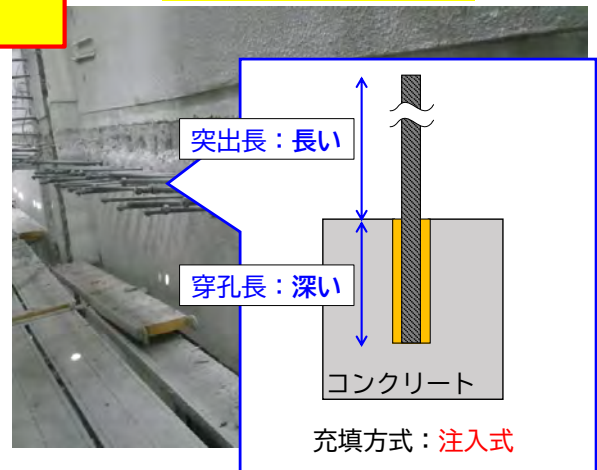
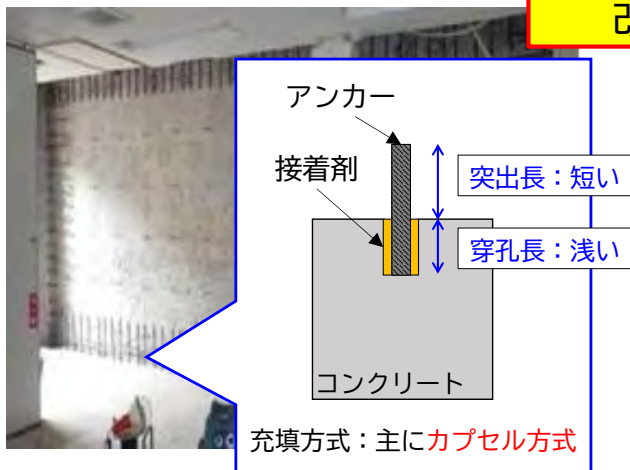
富山県立大学 内田慎哉

穿孔長が深い注入式接着系アンカー

耐震補強 : ○
新築・増改築 : ×

R4年
建築基準法
改正

耐震補強 : ○
新築・増改築 : ○

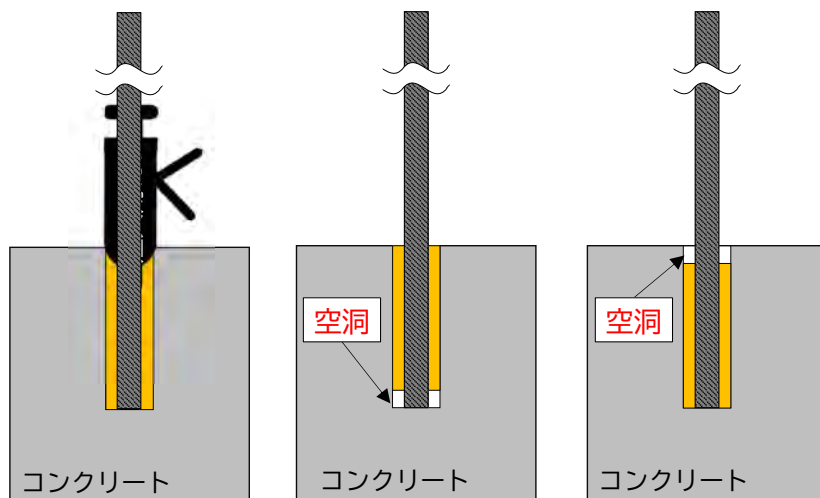


穿孔長が深い注入式接着系アンカー



接着剤の粘度が高く、
空気溜りが生じやすい

アンカーの性能確保のためには
アンカーの長さ
接着剤の充填状況
管理することが重要



アンカーの長さ・接着剤充填状況を評価する手法の確立が求められる

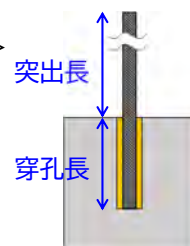
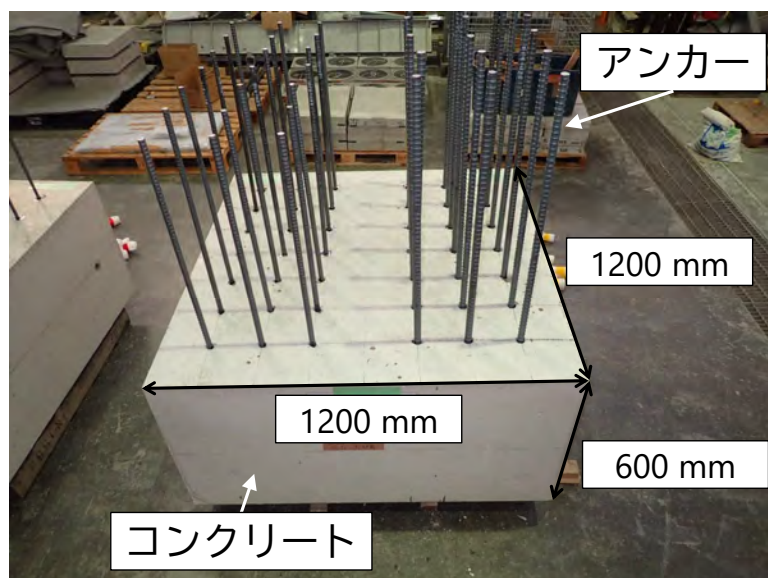
目的

本研究では、接着剤充填率の異なる
突出長が長く・穿孔長が深い注入式接着系アンカーを対象

1. 超音波法で得られる反射エコーからアンカーの長さ
2. 衝撃弾性波法により得られる波形からパワー伝送比を算出することで接着剤充填率

評価する方法について検討した。

供試体 <接着系あと施工アンカー強度指定申請ガイドラインを参考>



3種類

アンカーの呼び名	突出長 (mm)	穿孔長 (mm)
D25	1000	300
D16	640	300
D10	400	200

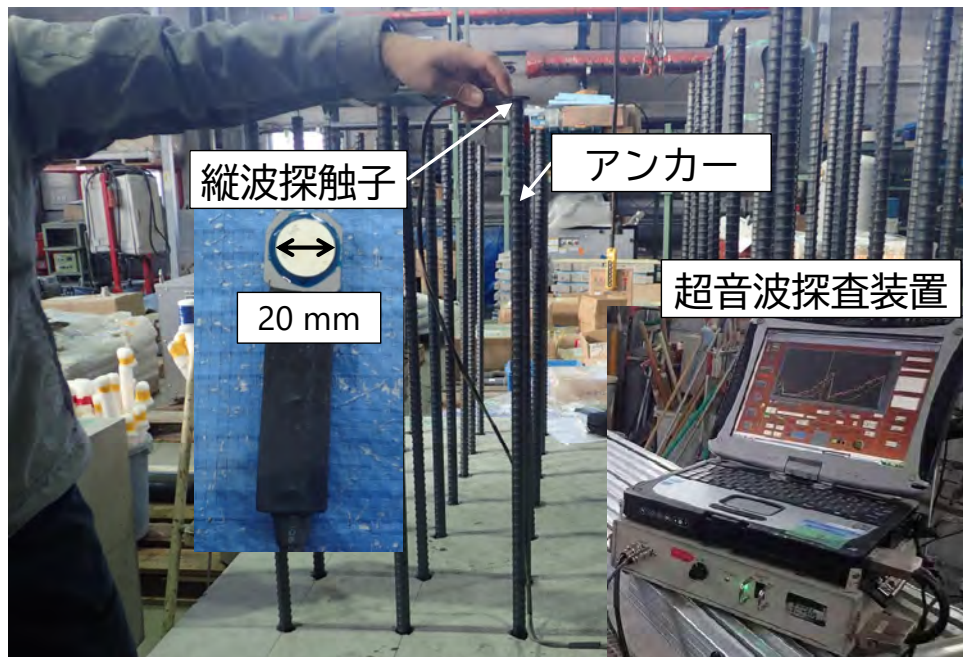
突出長：40d（主筋の定着を想定）
穿孔長：20dかつ300 mm以下

接着剤充填率

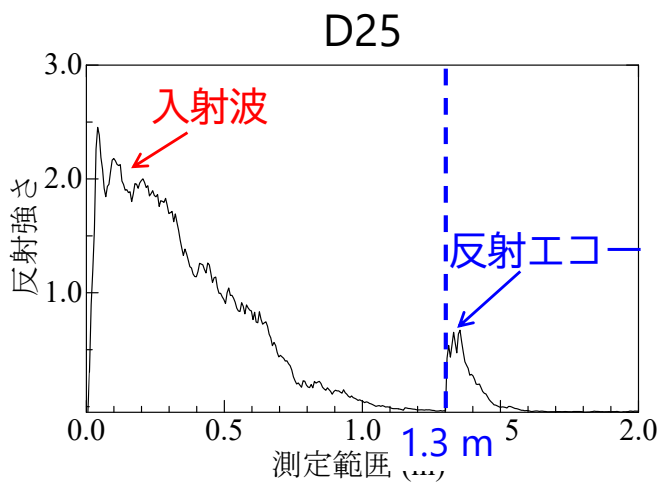
7 ケース

アンカーの呼び名	表面側充填			
D25	100 % 充填	75 %	50 %	25 %
D16	100 %	75 %	50 %	25 %
D10		75 %	50 %	25 %
		先端側充填		

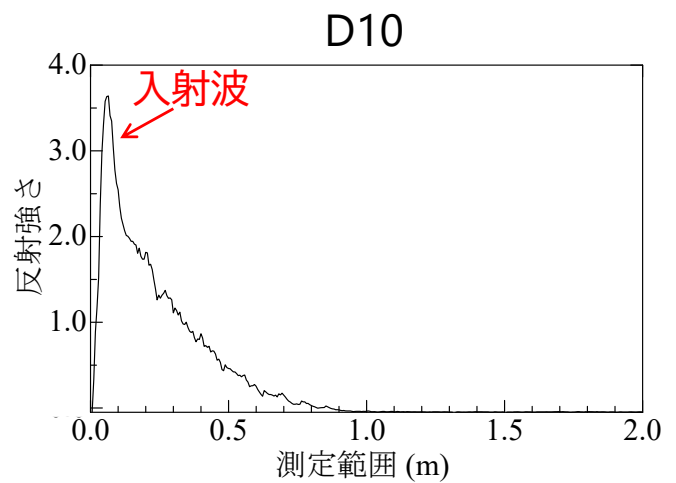
超音波法による計測状況



受信波形の例（充填率100 %）

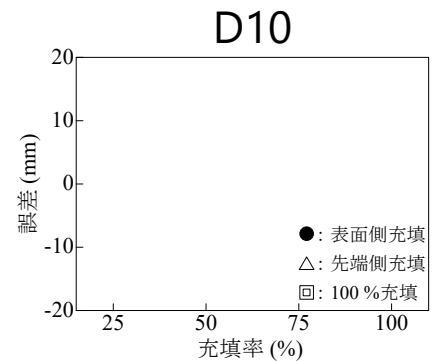
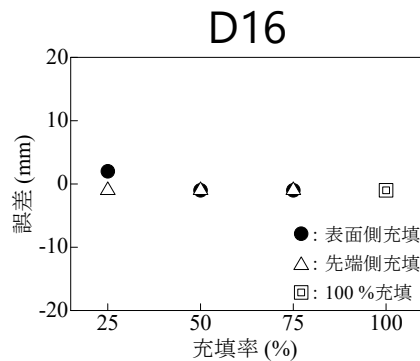
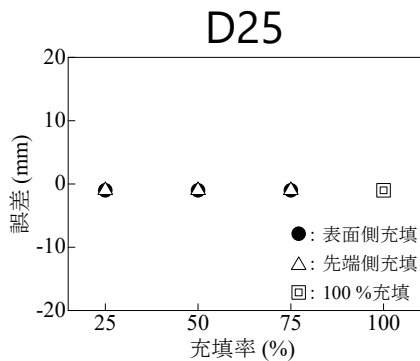


反射エコーを検出



反射エコーを検出できなかった

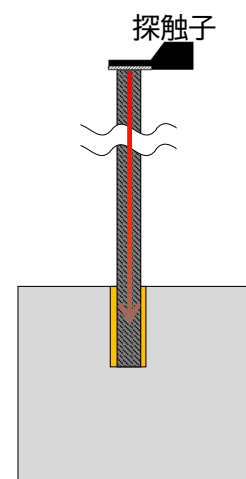
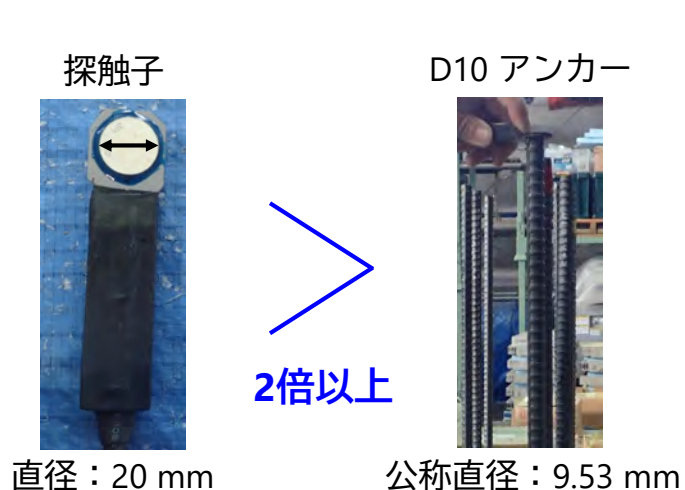
推定結果：アンカーの長さ



誤差 ± 10 mm 以内と精度よく推定可能

推定不可能

考察：探触子とアンカーの直径



超音波を適切に入力できていない／入力できたとしてもエネルギーが小さい

目的

本研究では、接着剤充填率の異なる
突出長が長く・穿孔長が深い注入式接着系アンカーを対象

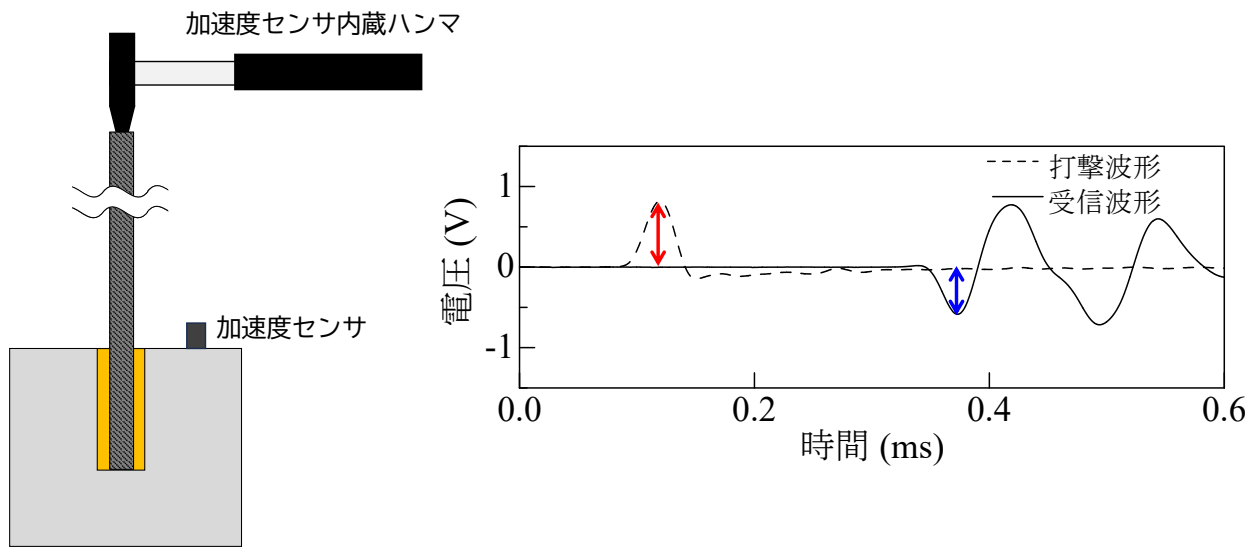
1. 超音波法で得られる反射エコーからアンカーの長さ
2. 衝撃弾性波法により得られる波形から **パワー伝送比** を算出することで **接着剤充填率**

評価する方法について検討した。

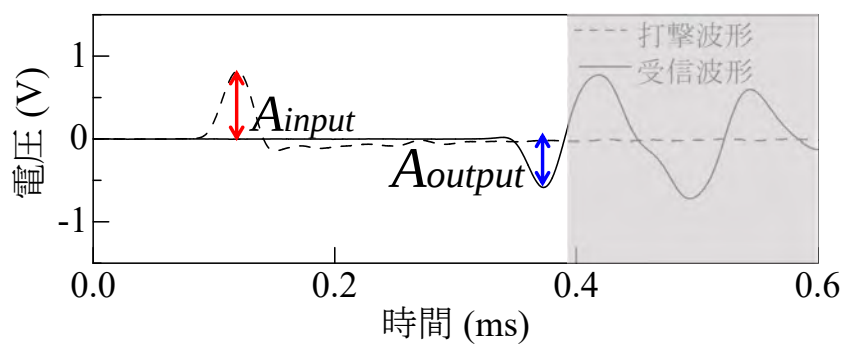
衝撃弾性波法による計測状況



受信波形の例（充填率100 %）



パワー伝送比： H (dB)

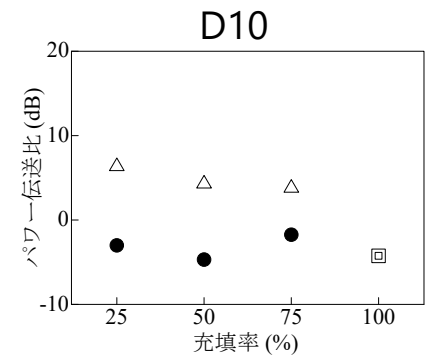
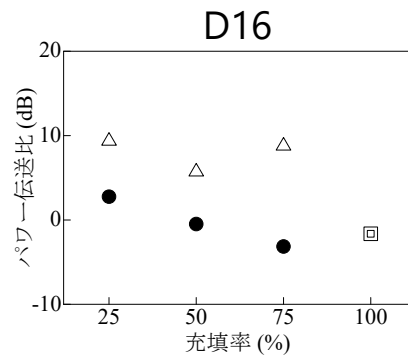
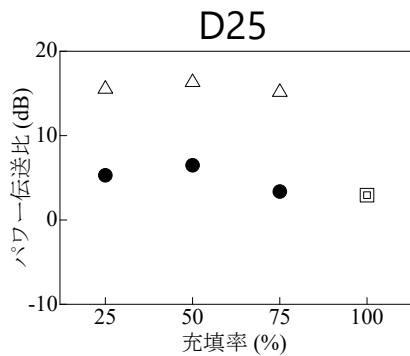
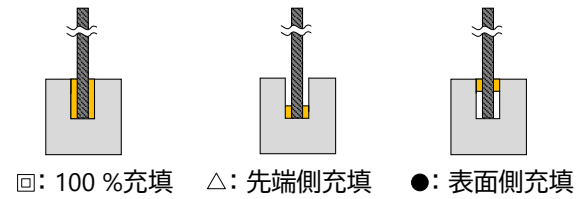


$$H = 20 \log \frac{A_{input}}{A_{output}}$$

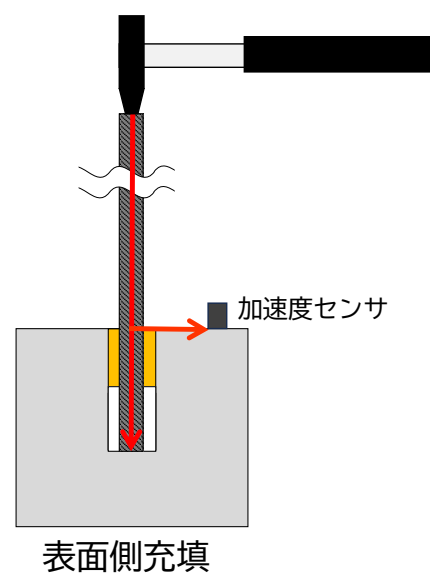
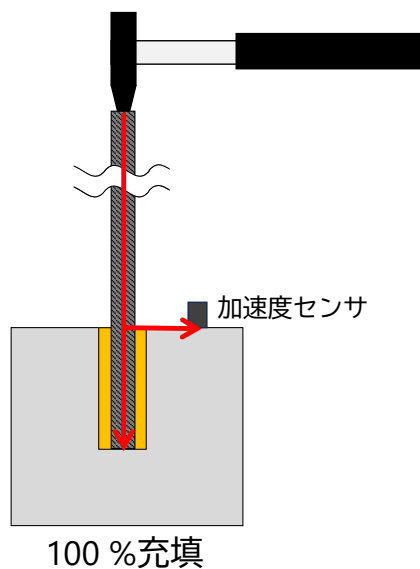
パワー伝送比	小 $\longleftrightarrow$ 大
波動の減衰	小 $\longleftrightarrow$ 大

推定結果：接着材充填率

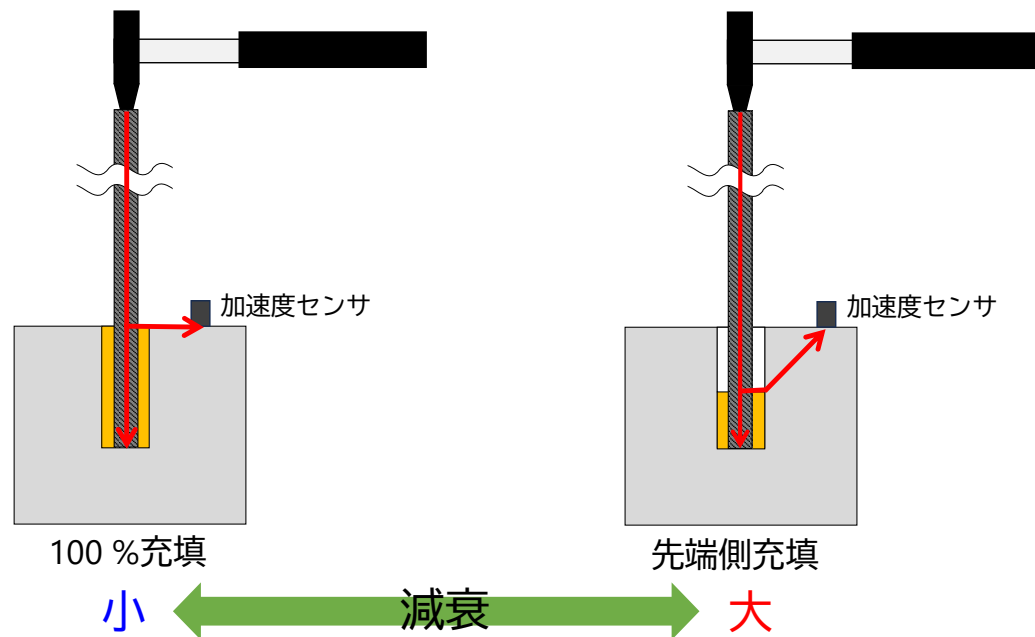
パワー伝送比	小  大
波動の減衰	小  大



考察：弾性波の伝搬経路



考察：弾性波の伝搬経路



まとめ

アンカー筋の長さ

➤ D25, D16 :

いずれの接着剤充填率においても、アンカー筋の長さを精度よく推定することが可能。

接着剤充填率

➤ D25, D16, D10 :

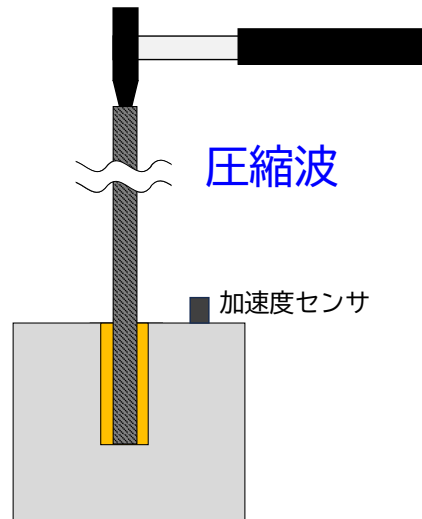
コンクリート表面側の空洞の有無は判別可能
アンカー 先端側の空洞の有無は評価困難



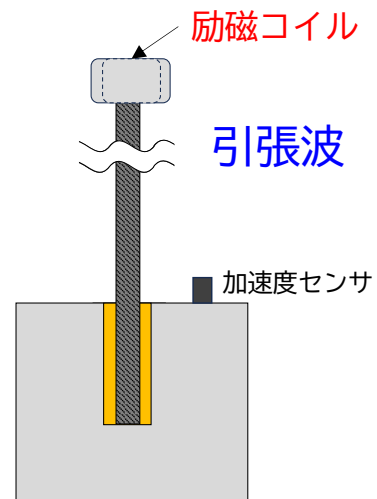
今後さらなる検討が必要である。

今後の検討(継続して実施中)

弾性波の入力：打撃



弾性波の入力：磁気



ご清聴ありがとうございました。

研究発表

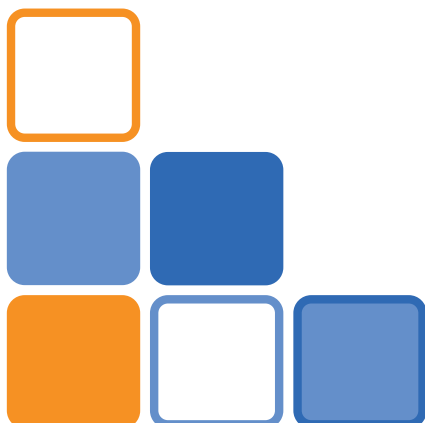
3

「孔内清掃状態の異なる接着系あと施工アンカーの
電磁パルス法による施工完成度評価に関する研究」

大阪大学大学院工学研究科 地球総合工学専攻

特任研究員 服部 晋一 氏

孔内清掃状態の異なる接着系あと施工アンカーの 電磁パルス法による施工完成度評価に関する研究



大阪大学
大学院工学研究科
特任研究員
服部 晋一

1



発表内容

■ はじめに

- ✓ 研究背景
- ✓ 研究目的

■ 孔内状態の違いが周波数成分比に与える影響

- ✓ 供試体概要
- ✓ 孔内状態の定量化
- ✓ 実験概要
- ✓ 評価指標と測定結果

■ 引抜試験

- ✓ 試験概要
- ✓ 試験結果

■ まとめ

2



研究背景

日本建設あと施工アンカー協会(JCAA)によると、
引抜試験の結果から**孔内清掃不良**による施工
不良の事例が報告されている

主な要因

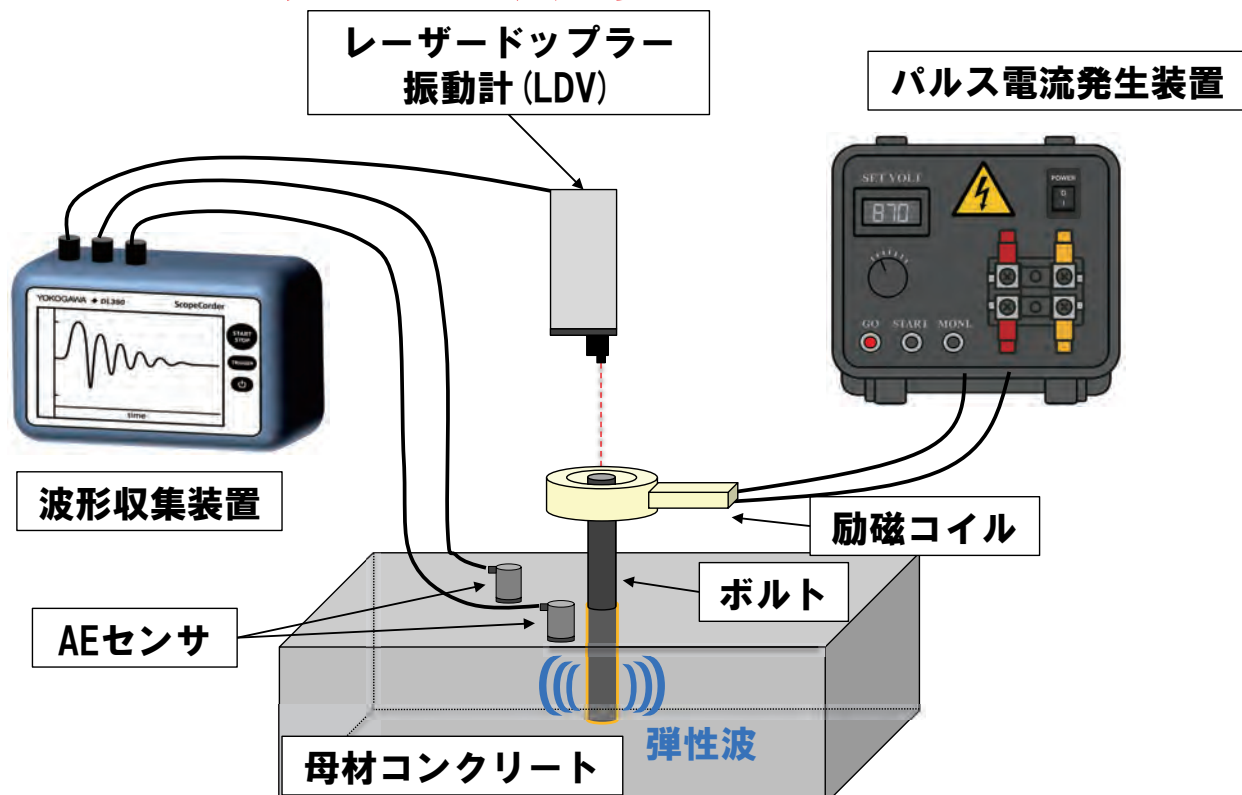
- ✓ 接着系アンカーの固着メカニズム(コンクリートの凹凸やネジ山での樹脂硬化)の理解不足
- ✓ 孔内清掃作業(特にブラシ掛け)の重要性の周知不足

3



研究背景 電磁パルス法とは

再現性が高く、非接触で評価できる

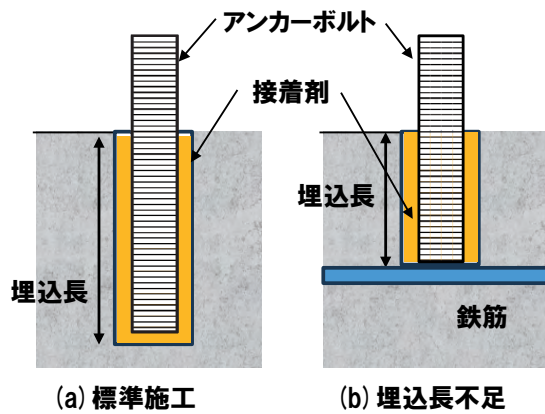


4



既往の研究での主たる評価事例

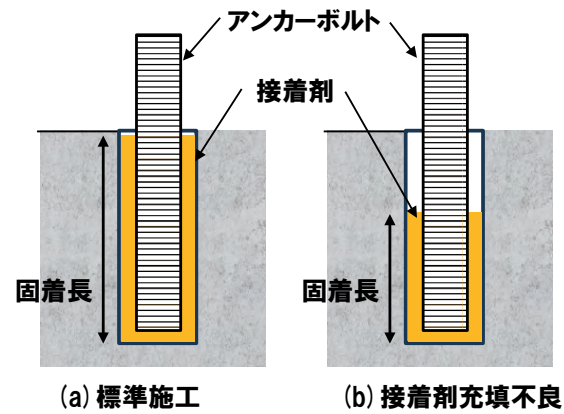
■ 施工段階の施工不良



(a) 標準施工

(b) 埋込長不足

埋込長不足



(a) 標準施工

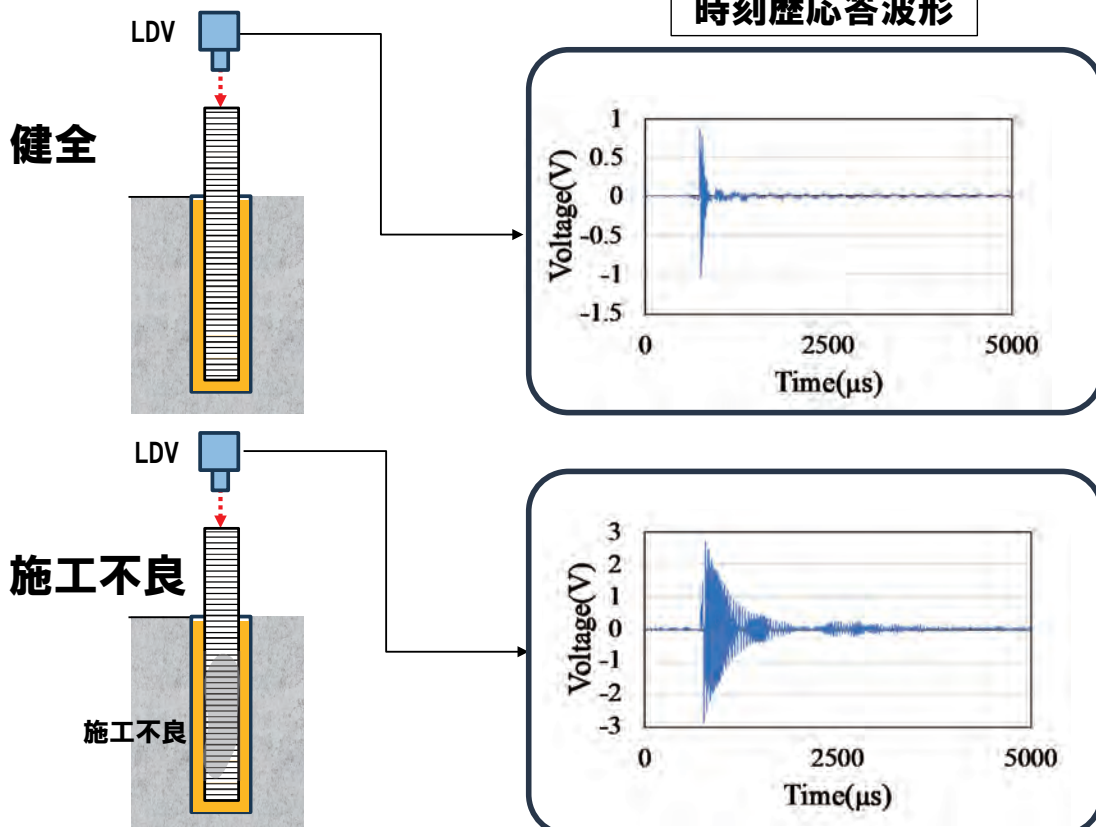
(b) 接着剤充填不良

充填不良

5



施工不良の評価方法



6

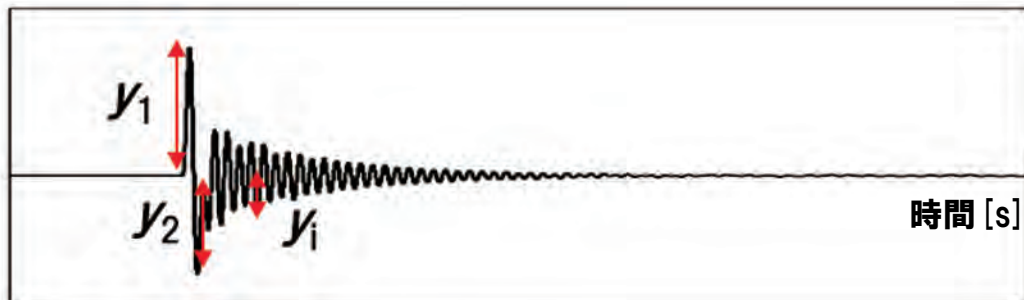


施工不良に用いる評価指標

波形エネルギーの定義

$$E = \sum_{i=1}^n y_i^2 = y_1^2 + y_2^2 \cdots + y_{n-1}^2 + y_n^2$$

(n=10,000)

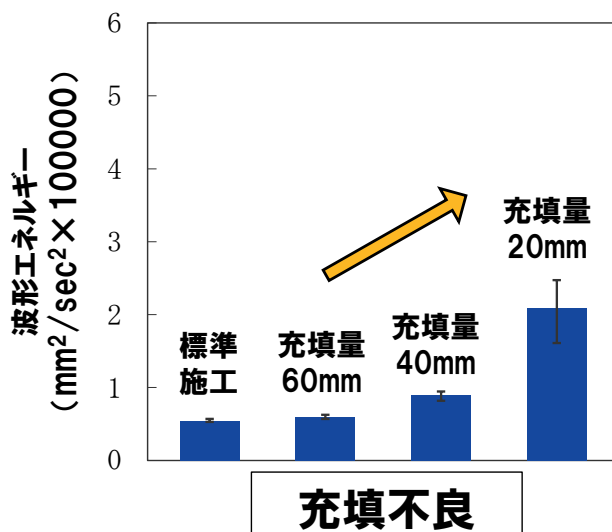


7

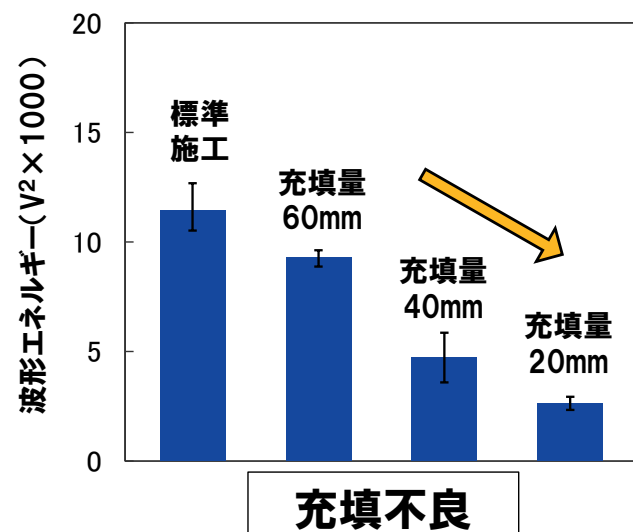


波形エネルギーによる評価事例

ボルト頭部受信



コンクリート表面受信



ボルト頭部では、波形エネルギーが増加する。
コンクリート表面では、波形エネルギーが減少する。

8



既往の研究事例

＜関東経済産業局＞
戦略的基盤技術高度化支援事業(サポイン事業)

大阪大学
(株)アミック

【目的】

(H27年度～H29年度)

- 検査対象: 施工直後(新設)のアンカーボルト
電磁パルス法による全数検査
- 検出目標:
引抜耐力が設計基準を下回るものを
ほぼ100%検出することを目標とする。

アドバイザー委員(委嘱)

他大学
道路管理会社
鉄道会社
ゼネコン
アンカー協会(JCAA)
非破壊検査工業会

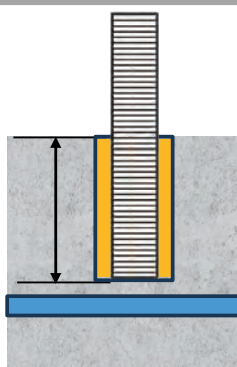


施工不良を模擬した試験体(JCAA技術センター)

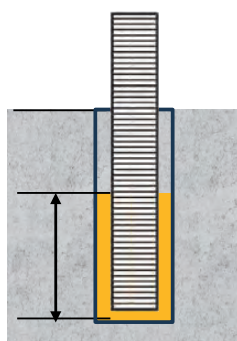
9



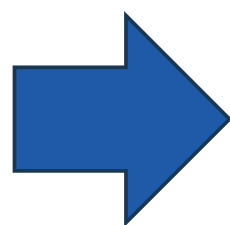
本研究が対象とするあと施工アンカー



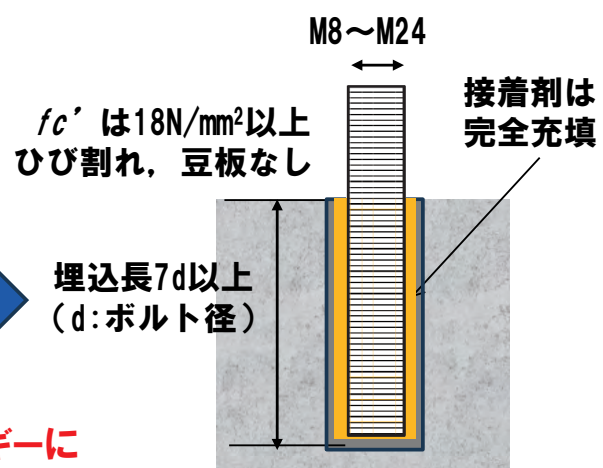
埋込長不足



充填不良



波形エネルギーに
よる評価は有効か



孔内の清掃状態が
異なるアンカー

孔内の清掃状態を非破壊で推定
できる評価指標は？

10



研究の目的

孔内清掃不良による施工不良を非破壊で
検出可能な評価方法が求められている。



電磁パルスで加振した際の弾性波の
各種評価指標と清掃状態との関係を把握



研究の目的

本研究では、施工不良要因の一つである孔内清掃不良を
非破壊的に評価するための指標を見出すことを目的とし、
清掃状態の異なるアンカーを対象に電磁パルス法を用いた
実験的検討を実施した。

11



発表内容

■ はじめに

- ✓ 研究背景
- ✓ 研究目的

■ 孔内状態の違いが周波数成分比に与える影響

- ✓ 供試体概要
- ✓ 孔内状態の定量化
- ✓ 実験概要
- ✓ 評価指標と測定結果

■ 引抜試験

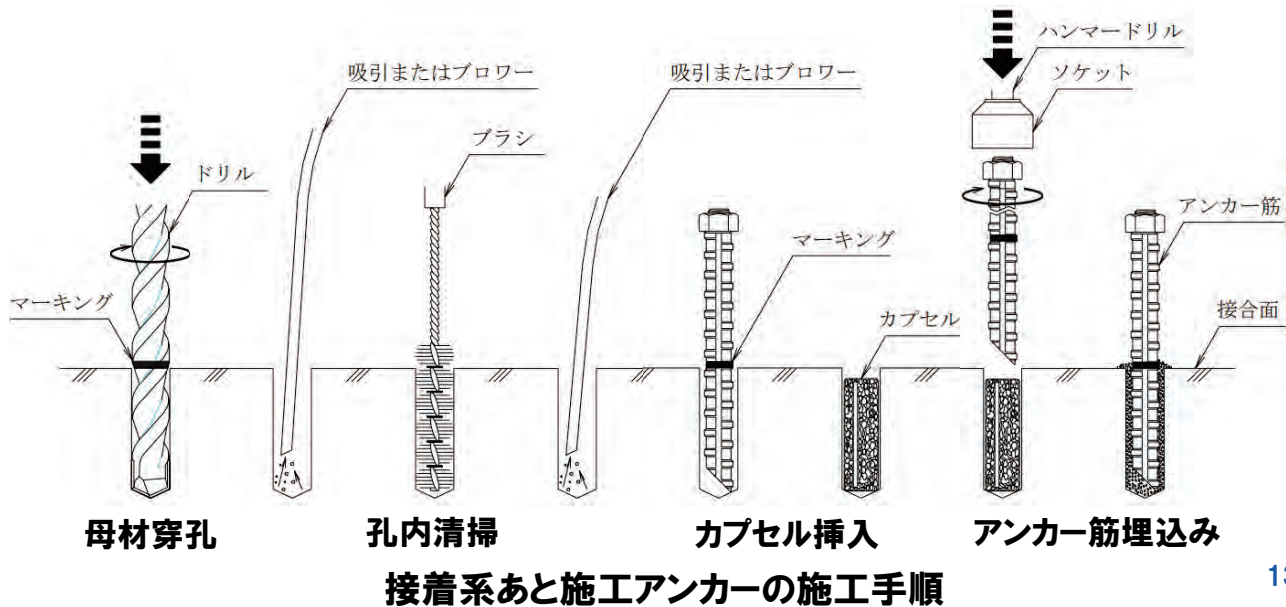
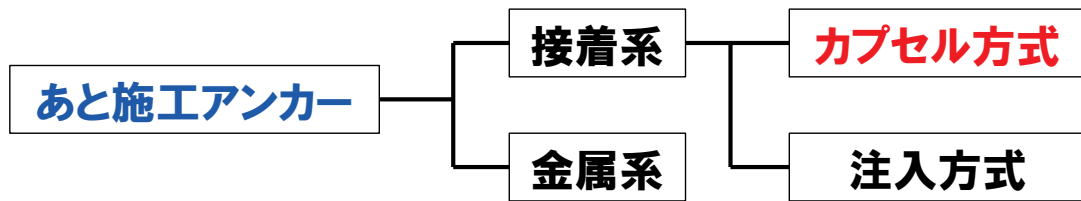
- ✓ 試験概要
- ✓ 試験結果

■ まとめ

12



対象とするあと施工アンカー



13



接着系あと施工アンカー



ねじの呼び: M16 (CB-M16×230V)
 全長: 230mm
 鉄製, 光沢クロメート処理



主剤: エポキシアクリレート樹脂 (樹脂カプセルアンカー)

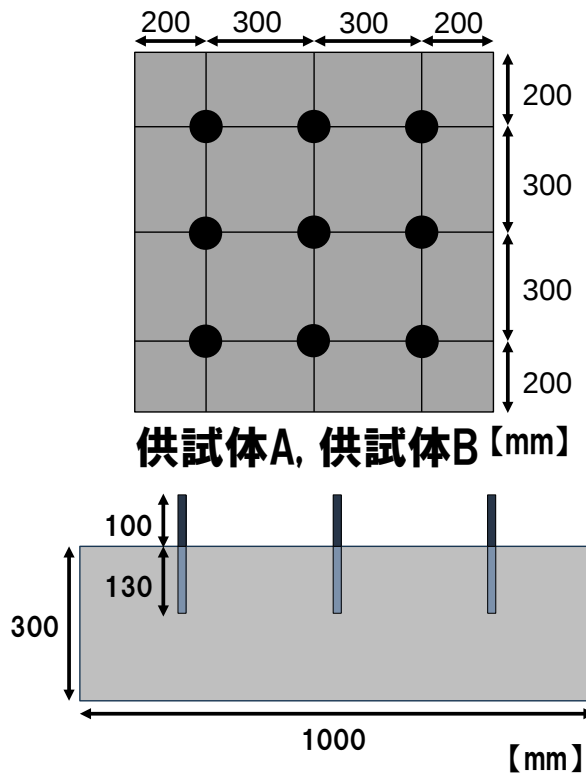
	カプセル径 (mm)	カプセル長 (mm)	容量 (cm ³)	使用ボルト 異形棒鋼	穿孔径 (mm)	穿孔長 (mm)	最大 引張荷重 (kN)	長期許容 引張荷重 (kN)	短期許容 引張荷重 (kN)
AP-16	17	125	21.5	M16,W 5/8 D16	19 20	130	62.8	25.4	38.1

14

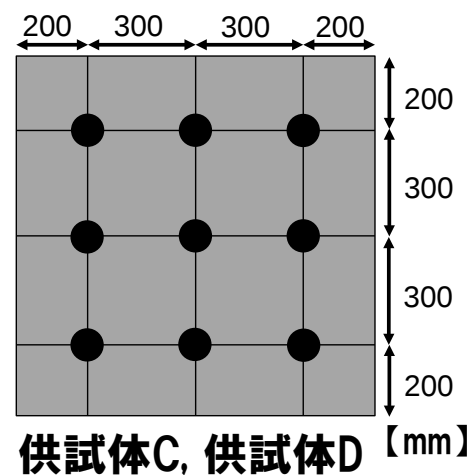


供試体概要

有資格者施工



無資格者施工



M16ボルト
 ボルト径:16mm
 孔の直径:19mm
 突出長:100mm
 埋込長:130mm

15



母材コンクリートの配合

母材コンクリートの配合表

粗骨材の 最大寸法	呼び強 度	W/C (%)	スランプ (cm)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)			
					水	セメント	細骨材	粗骨材
20	W/C率 =50%	50.0	12	43.5	175	350	745	1009

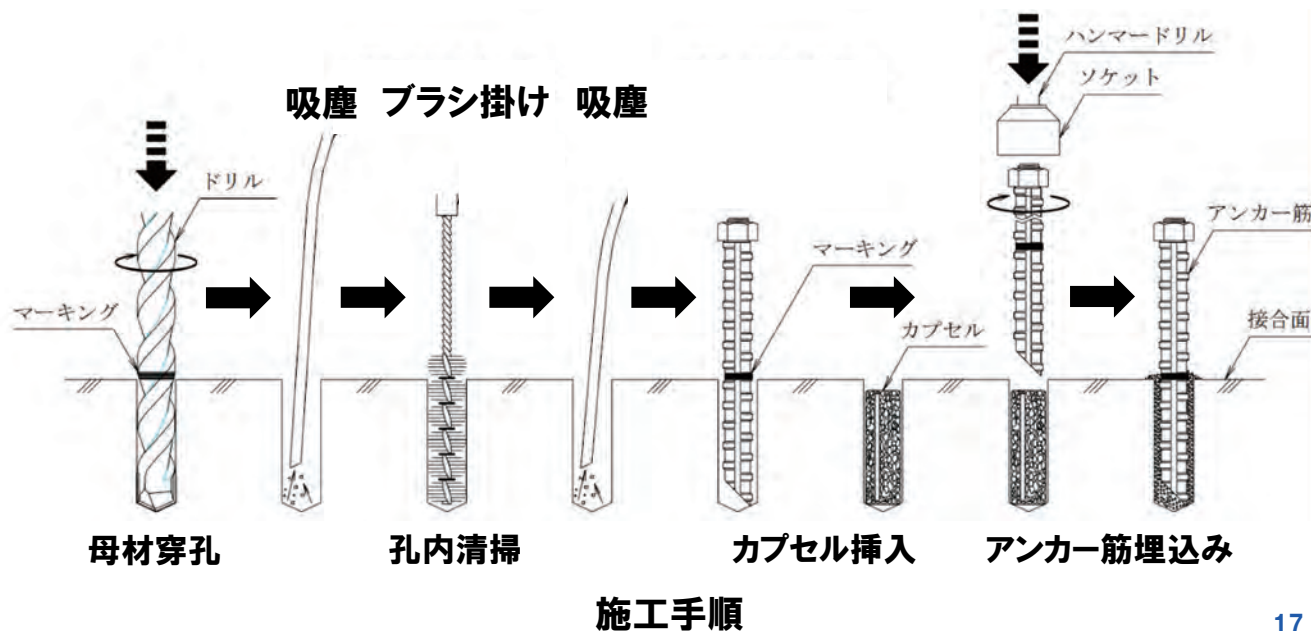


16

アンカーの施行要領

接着系あと施工アンカーの施工要領

吸塵とブラシ掛けを2～3回行う

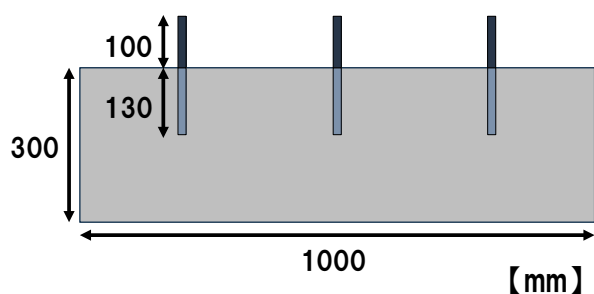
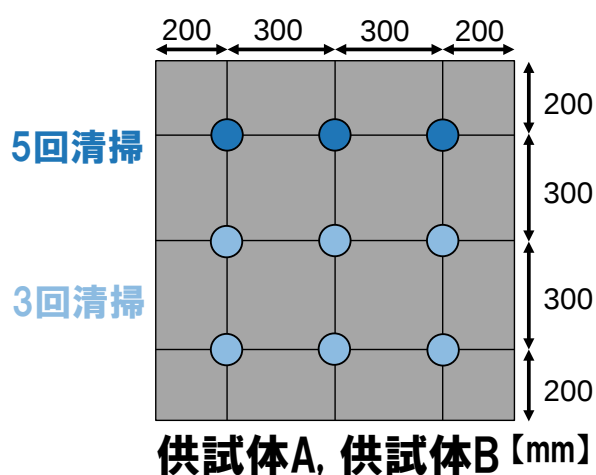


17

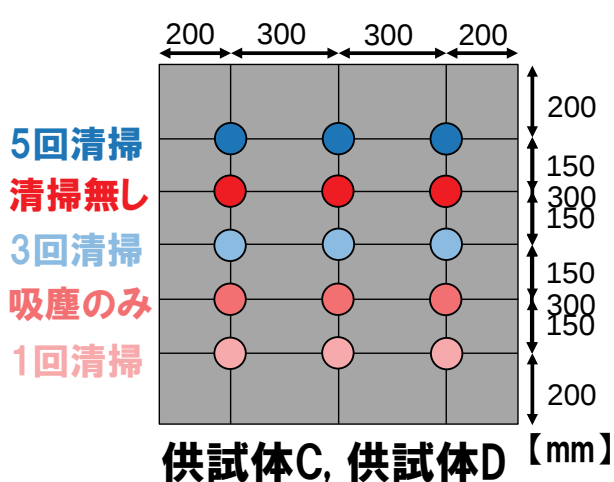


供試体概要

有資格者施工



無資格者施工



M16ボルト
ボルト径:16mm
孔の直径:19mm
突出長:100mm
埋込長:130mm

18



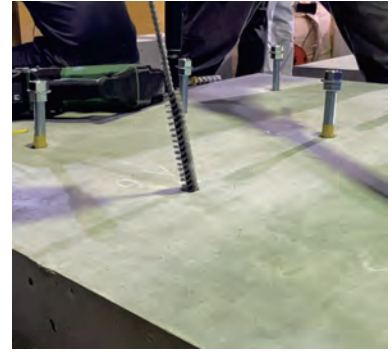
施行状況（有資格者）



穿孔



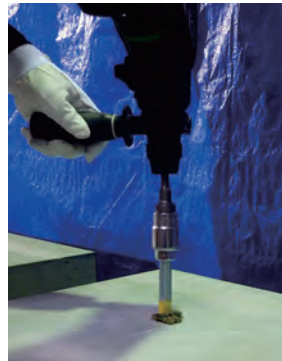
吸塵



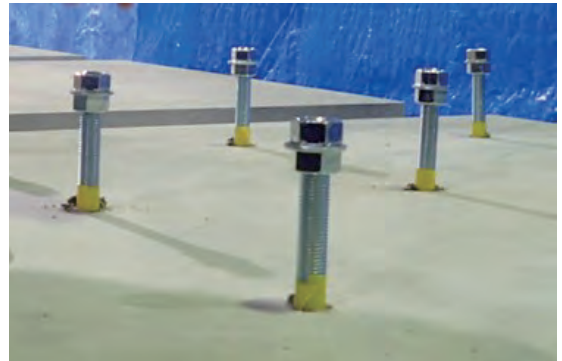
ブラシ掛け



カプセル挿入



アンカー筋埋込



19



施行状況（無資格者）

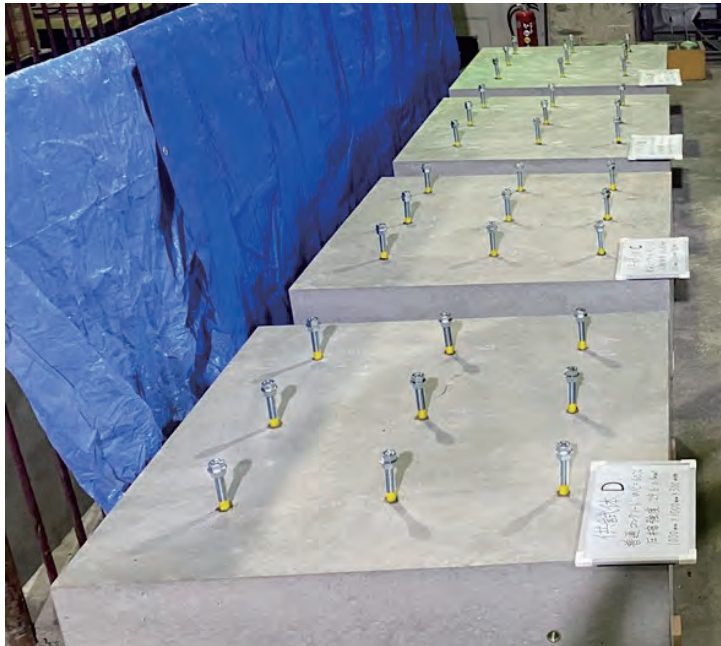


学生により施工（施工要領について学習済み）

20



供試体概要



5回清掃, 3回清掃, 1回清掃



吸塵なし, 清掃なしを追設

21

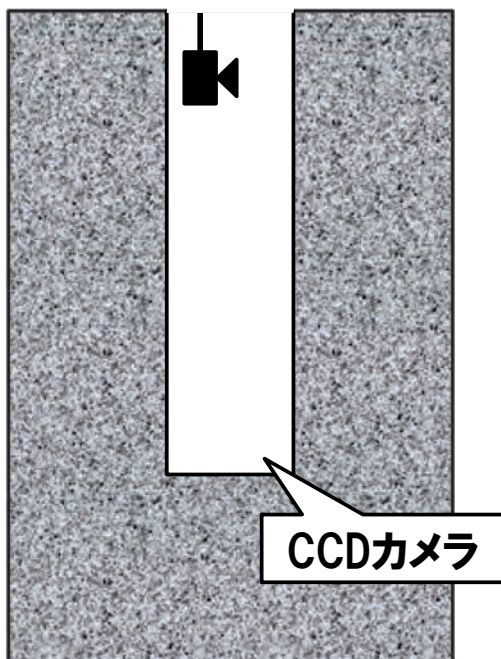


孔内清掃状態の定量化

孔内壁面を撮影した動画



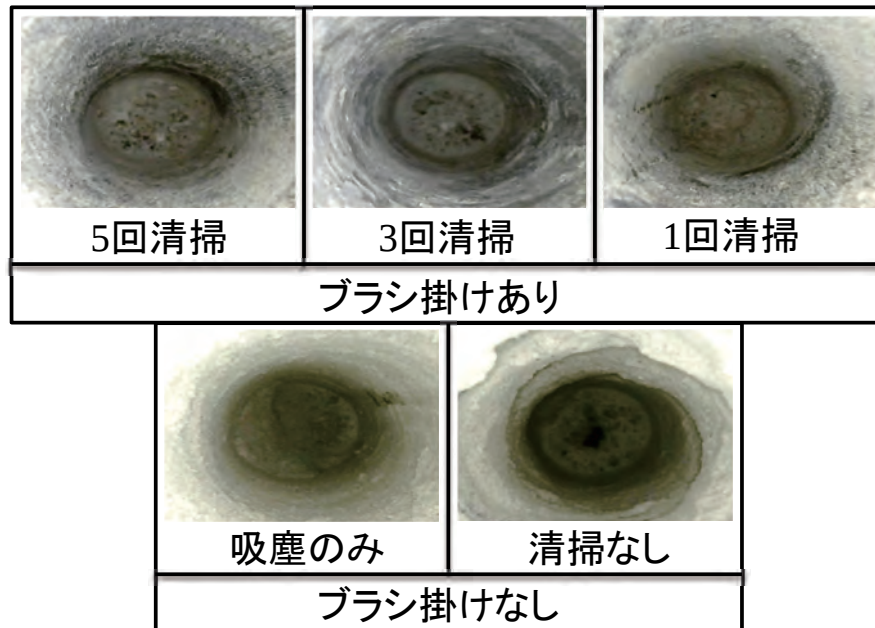
フレーム抽出



22



孔内清掃状態（孔底）

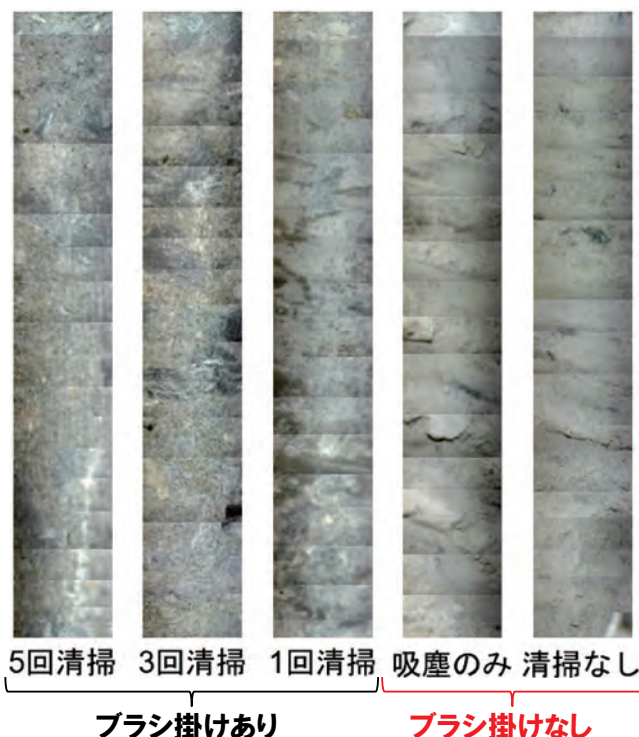


23

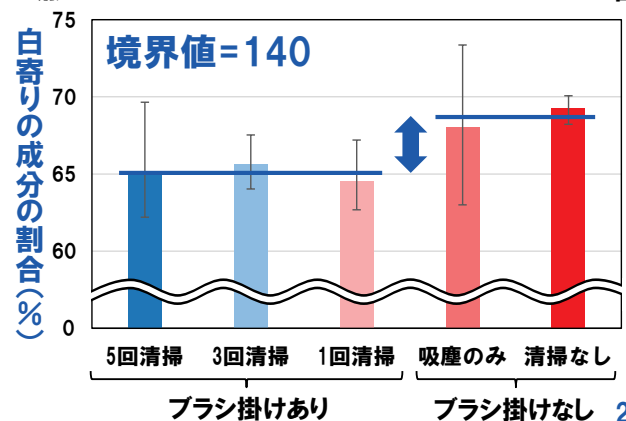
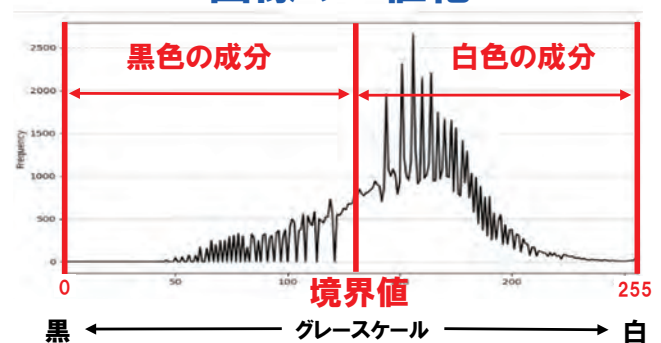


孔内清掃状態の定量化

孔内壁面の様子
(内視鏡CCD計測)



画像の二値化

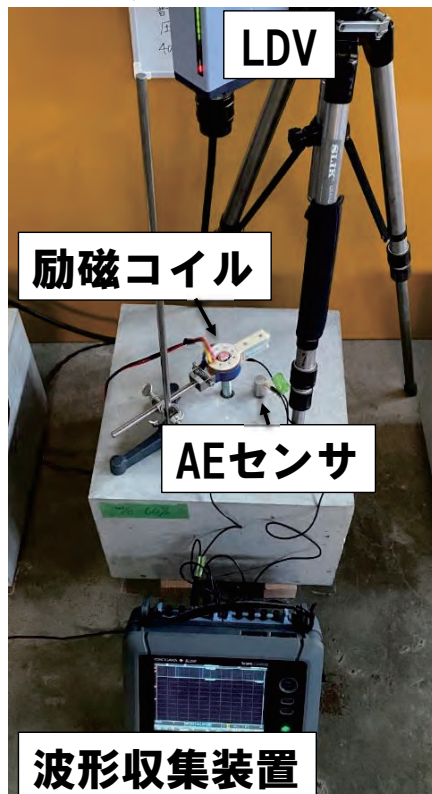


24



実験概要

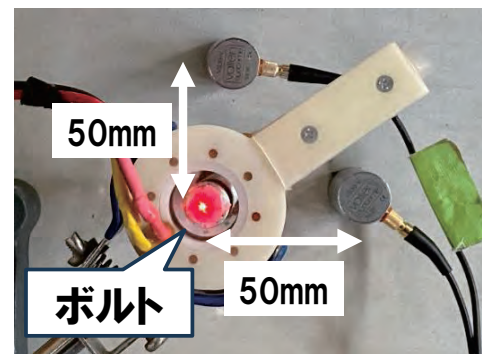
実験ユニット



測定条件

コイル巻数: 8ターン
印加電圧: 800V
受信方法: LDV(ボルト頭部)
AEセンサ(コンクリート表面)
測定回数: 各測定点につき3回

AEセンサ貼り付け位置

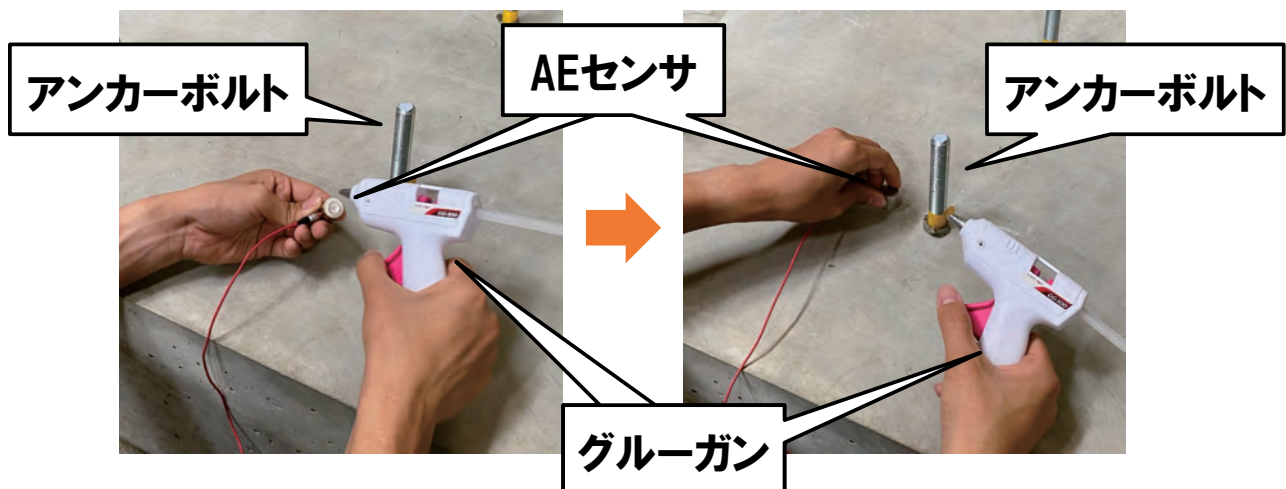


25



実験概要

AEセンサの貼り付け

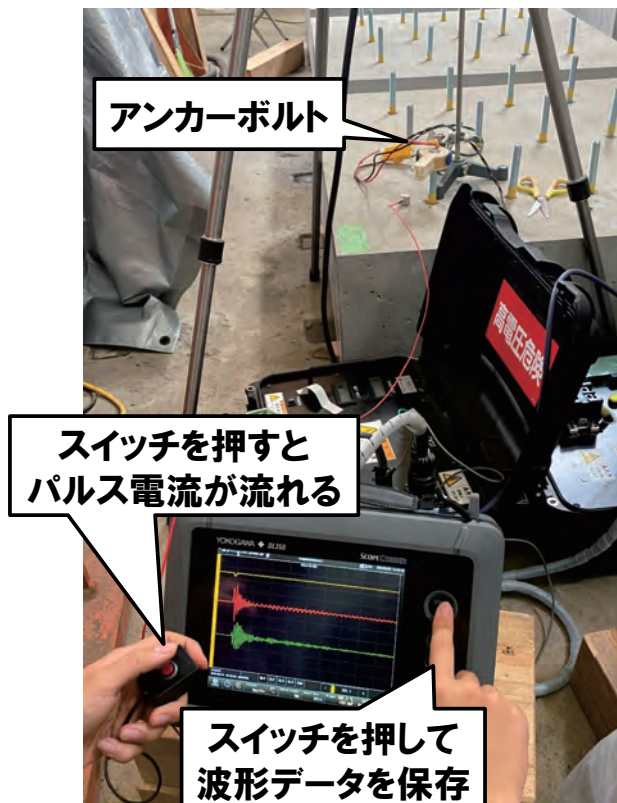


26



実験概要

実験中の様子



励磁コイル設置の様子



27



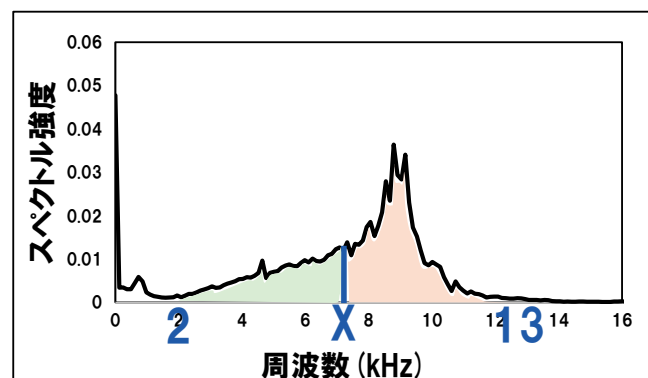
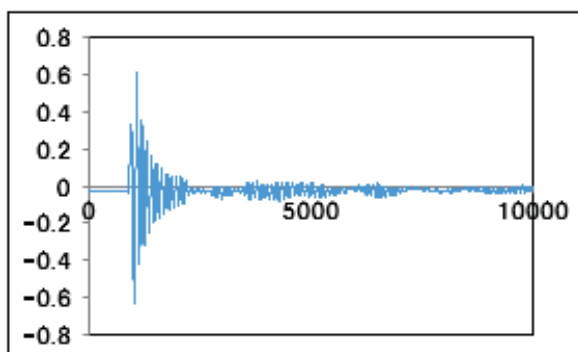
評価指標

高速フーリエ変換

時刻歴応答波形



周波数応答



周波数成分比

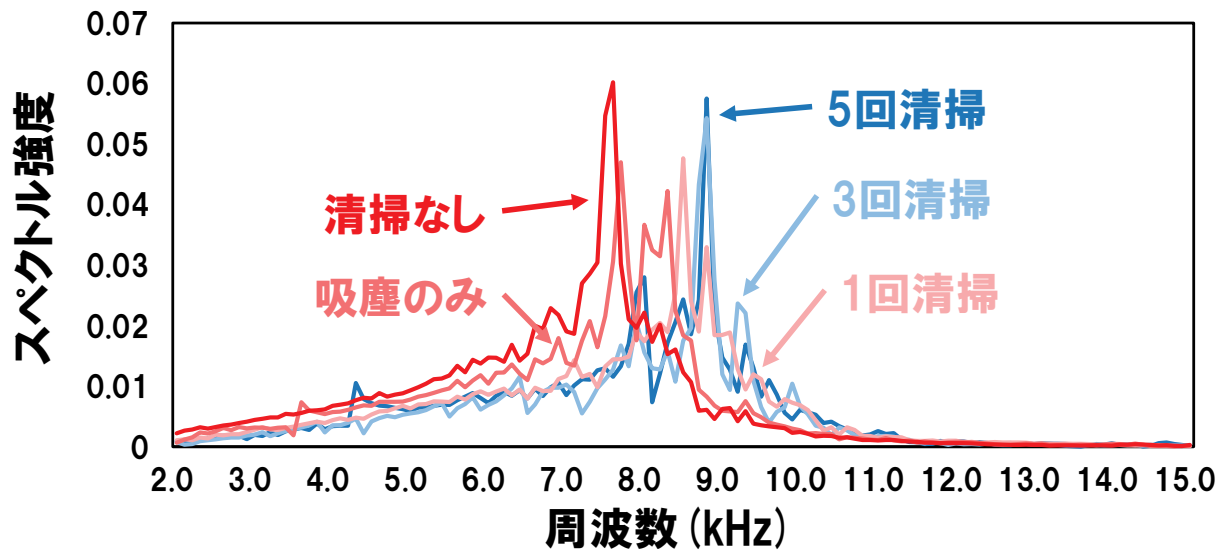
$$R_f = \frac{\text{X} \sim 13 \text{ kHz の周波数成分}}{\text{2} \sim \text{X kHz の周波数成分}}$$

28



測定結果（無資格者：周波数応答）

周波数応答の事例(供試体C, ボルト頭部)



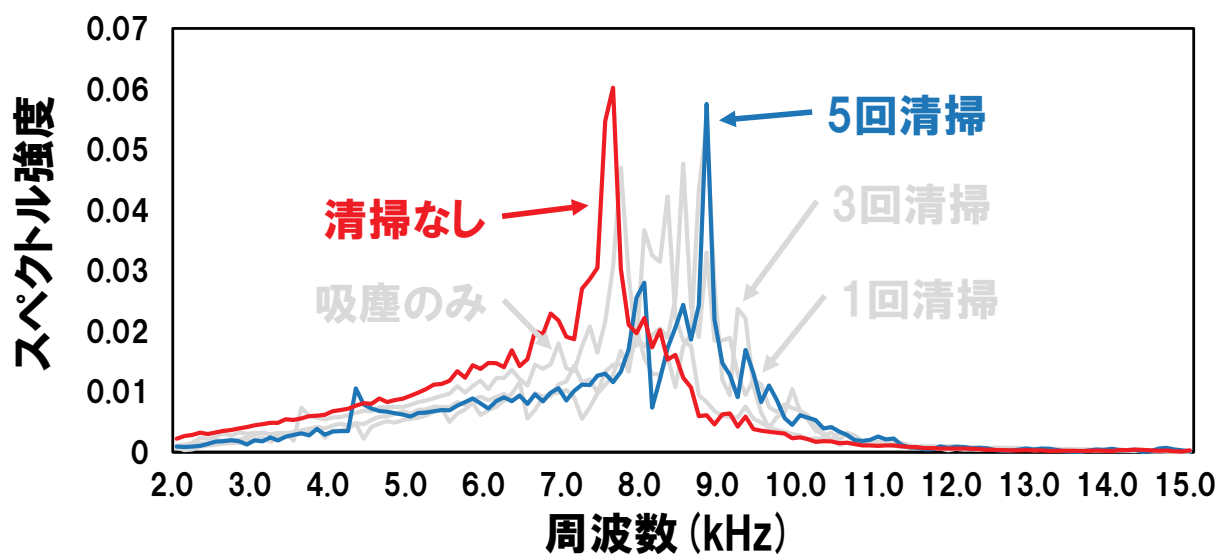
✓ 清掃状態が悪いと、低周波成分が増加した

29



測定結果（無資格者：周波数応答）

周波数応答の事例(供試体C, ボルト頭部)



✓ 清掃状態が悪いと、低周波成分が増加した
➤ 周波数成分比を用いる

30

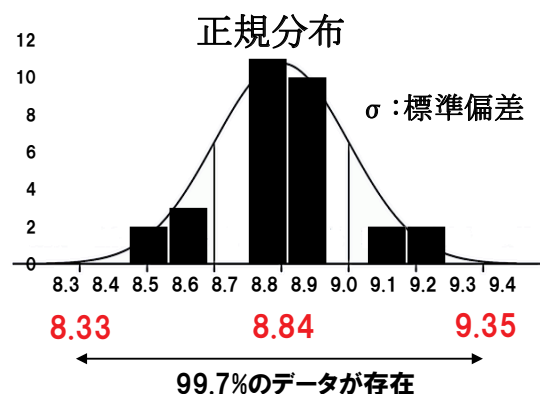


測定結果（ピーク周波数）

境界値Xの設定

3σ法

正規分布に従うデータにおいて
平均±3σの範囲に
ほぼすべてのデータが入る



標準施工におけるピーク周波数

平均値 μ : 8.84 kHz
標準偏差 σ : 0.17 kHz
 $\mu \pm 3\sigma = 8.84 \pm 3 \times 0.17$
 $= 8.33, 9.35$

※サンプル数30

- 3σ法に基づく標準施工では、ほぼすべてのデータのピーク周波数が8.33～9.35kHzの範囲にある
- ✓ 周波数応答が8.3kHz以下のピークを持つなら標準施工でない可能性が高い
- 境界値Xを8.3kHzに設定した

31

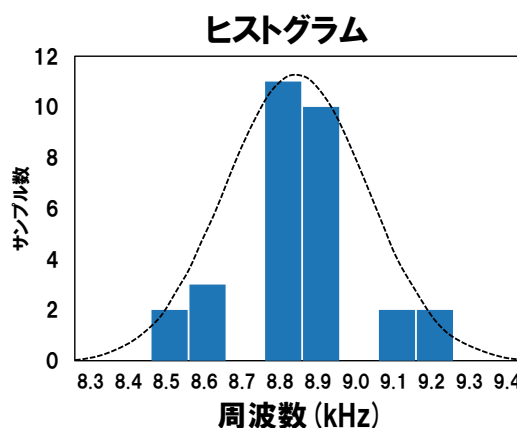


測定結果（ピーク周波数）

標準施工におけるピーク周波数

清掃条件	計測点	有資格者施工		無資格者施工	
		供試体A	供試体B	供試体C	供試体D
5回清掃	①	8.8	8.6	8.5	8.8
	②	8.9	8.9	8.8	8.8
	③	9.2	8.8	8.5	8.6
3回清掃	④	8.9	8.9	8.8	8.9
	⑤	8.9	8.9	8.8	8.8
	⑥	9.1	8.9	8.8	8.8
	⑦	9.1	8.6		
	⑧	8.9	8.9		
	⑨	9.2	8.8		

単位: kHz



平均値 μ : 8.84 kHz
標準偏差 σ : 0.17 kHz
 $\mu \pm 3\sigma = 8.84 \pm 3 \times 0.17$
 $= 8.33, 9.35$

32



測定結果（周波数成分比）

1. 孔内状態の違いと周波数成分比の関係

5パターンの清掃条件で施工した供試体C,D

2. 資格の有無と周波数成分比の関係

供試体A～Dの標準施工(5回清掃、3回清掃)

33

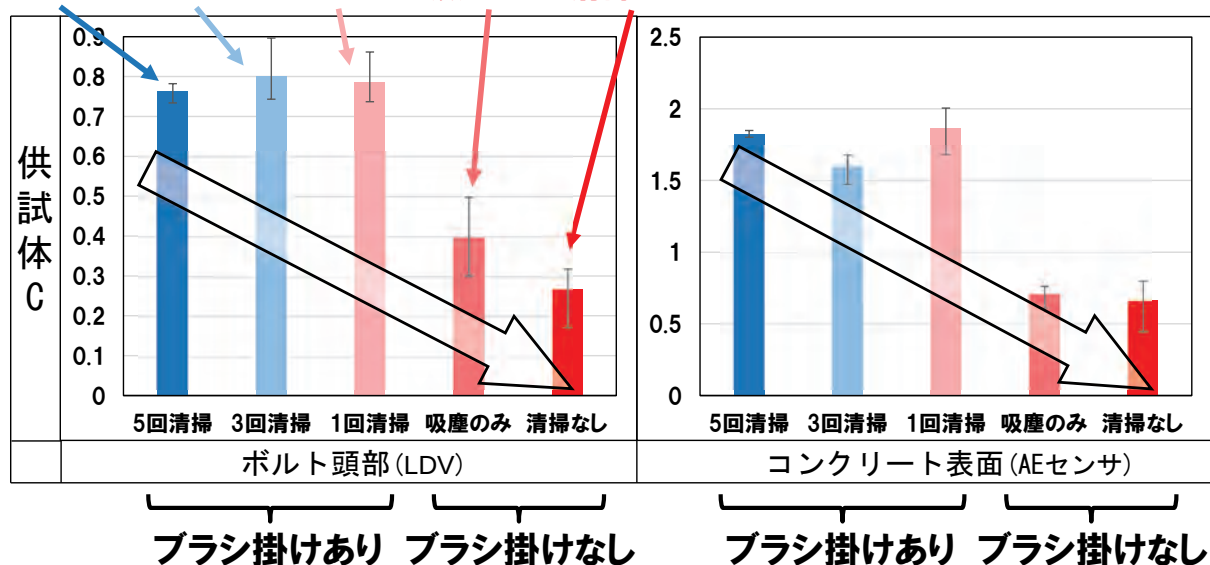


測定結果（無資格者施工：周波数成分比）

縦軸：周波数成分比 横軸：清掃条件

5回清掃 3回清掃 1回清掃 吸塵のみ 清掃なし

$$R_f = \frac{8.3 \sim 13.0 \text{ kHz の周波数成分}}{2 \sim 8.3 \text{ kHz の周波数成分}}$$



34

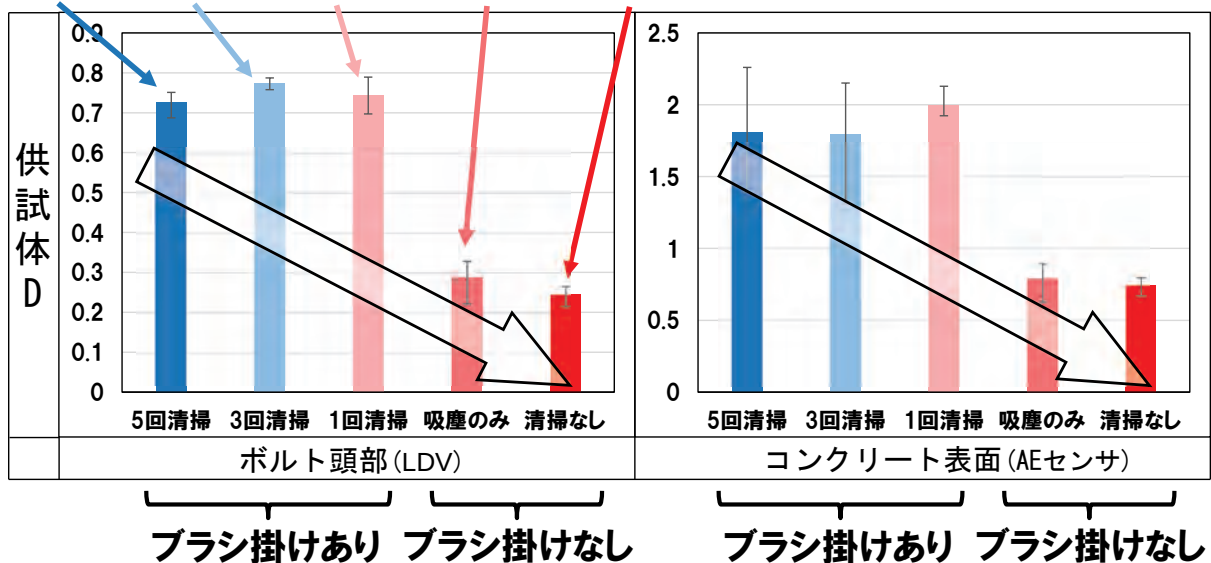


測定結果（無資格者施工：周波数成分比）

縦軸：周波数成分比 横軸：清掃条件

5回清掃 3回清掃 1回清掃 吸塵のみ 清掃なし

$$R_f = \frac{8.3 \sim 13.0 \text{kHzの周波数成分}}{2 \sim 8.3 \text{kHzの周波数成分}}$$



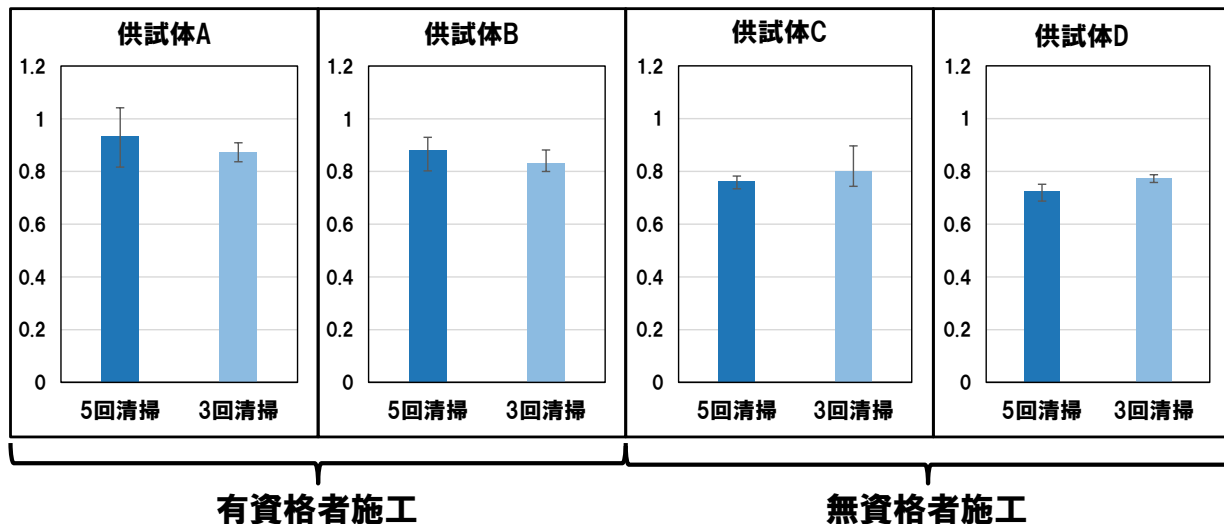
- ✓ 清掃状態が悪いと周波数成分比が小さくなる
- 標準施工における結果との比較により清掃不良を評価できる可能性が示唆された

35



測定結果（標準施工）

ボルト頭部受信(LDV)



有資格者施工

無資格者施工

- ✓ 供試体間の指標値のばらつきは、有資格者施工と無資格者施工とではほぼ同程度であった。
- 資格の有無による施工完成度のばらつきの差は小さいが、有資格者の周波数成分比の平均値は、無資格者のそれより若干大きくなった。

36



発表内容

■ はじめに

- ✓ 研究背景
- ✓ 研究目的

■ 孔内状態の違いが周波数成分比に与える影響

- ✓ 供試体概要
- ✓ 孔内状態の定量化
- ✓ 実験概要
- ✓ 評価指標と測定結果

■ 引抜試験

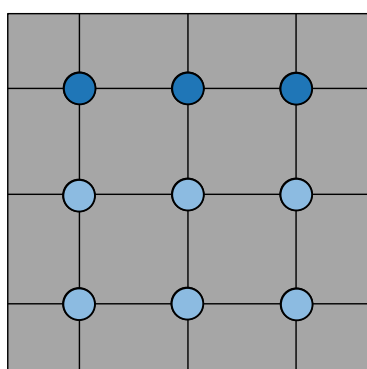
- ✓ 試験概要
- ✓ 試験結果

■ まとめ

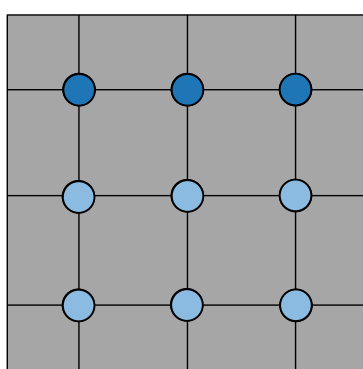
37



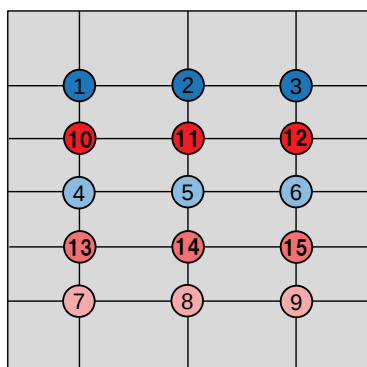
引抜試験の概要



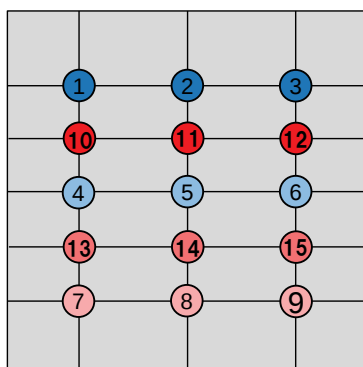
供試体A



供試体B



供試体C



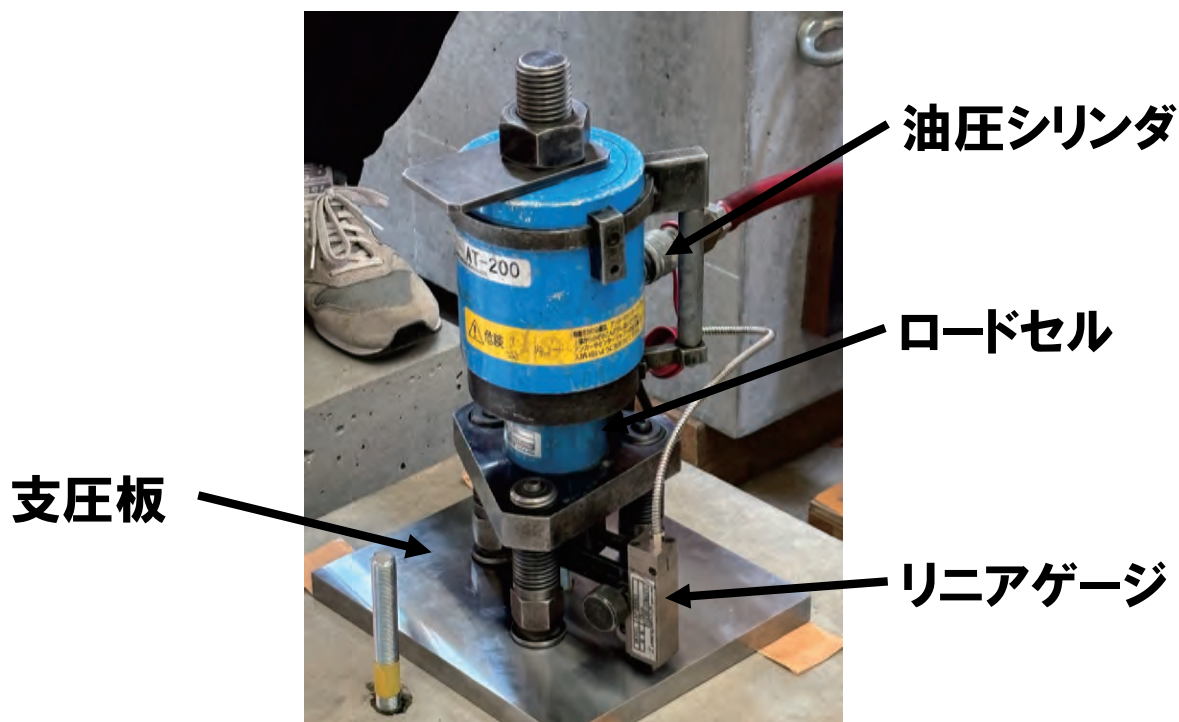
供試体D

ブラシ掛け	清掃条件
あり	5回清掃
	3回清掃
	1回清掃
なし	吸塵のみ 清掃なし

38



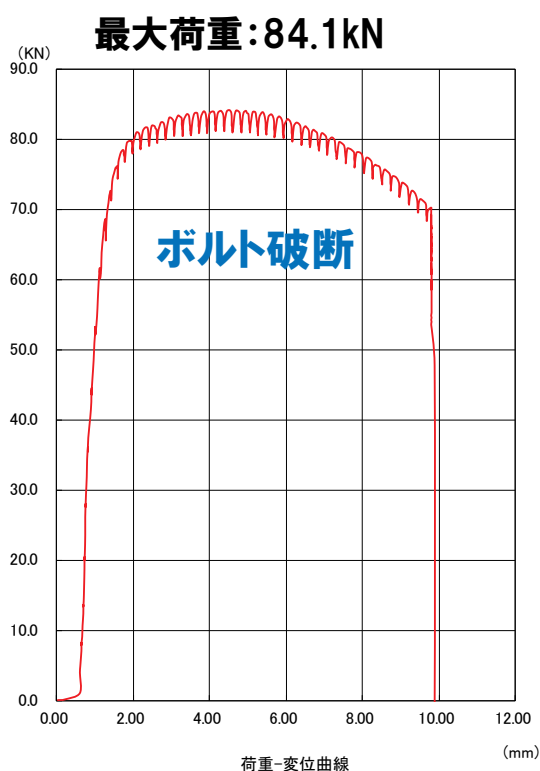
引抜試験（実験の様子）



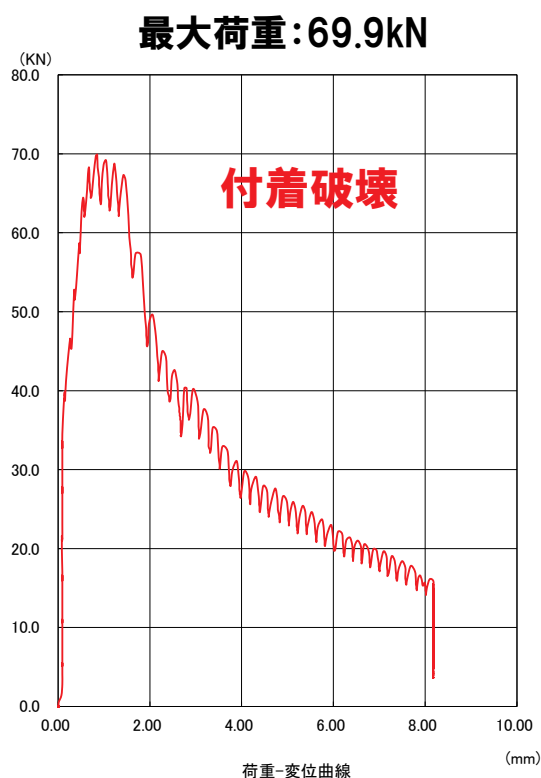
39



引抜試験結果（荷重変位関係）



C-13（吸塵のみ）



C-11（清掃なし）

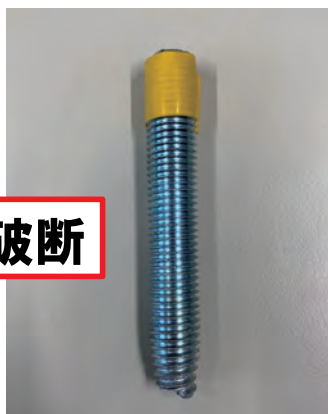
40



引抜試験結果

5回清掃

ボルト破断



最大荷重:85.8kN

清掃なし

付着破壊



最大荷重:48.3kN

41



引抜試験結果

供試体番号	清掃条件	破壊モード	最大荷重 (kN)	最大荷重時の 変位(mm)
C-01	5回清掃	ボルト破断	85.8	2.95
C-02	5回清掃	ボルト破断	76.7	2.01
C-10	清掃なし	付着破壊	48.3	0.49
C-11	清掃なし	付着破壊	69.9	0.85
C-12	清掃なし	付着破壊	65.2	0.99
C-13	吸塵のみ	ボルト破断	84.1	4.51
C-14	吸塵のみ	ボルト破断	83.0	2.56
D-11	清掃なし	付着破壊	44.7	-1.41
D-12	清掃なし	付着破壊	26.0	0.97
D-13	吸塵のみ	ボルト破断	82.8	4.01

42



まとめ



電磁パルス法による施工完成度の評価指標として、低周波成分に対する高周波成分の割合で算出される「**周波数成分比**」を用いることで、**孔内清掃状態が異なる接着系あと施工アンカー部を非破壊で評価できる可能性**が示された。



孔内清掃が不足すると周波数成分比が小さくなる傾向を明らかにし、**ブラシ掛けを行わない清掃状態が周波数成分比で評価できることを示した。**



本実験の範囲内では**有資格者の周波数成分比の平均値は、無資格者のそれより大きくなることが確認された。**

43



研究成果

1. 串田賢洋, 片岡亮太, 服部晋一, 寺澤広基, 鎌田敏郎: 孔内状態が異なる接着系あと施工アンカーの電磁パルス法による施工完成度評価に関する研究, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol. 24 pp. ???-??? 2025.10
2. 串田賢洋, 片岡亮太, 服部晋一, 寺澤広基, 鎌田敏郎: 電磁パルス法による接着系あと施工アンカーの施工完成度評価に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, V-??? 2025.9

44

あと施工アンカー 技術講演会

2025 年 9 月 18 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。