

鋼コンクリート接合部に鋼材腐食が生じた港湾・海岸及び空港施設の健全度評価手法の構築

東北大学 鈴木基行(研究代表者)
○内藤英樹(共同研究者)

研究の背景

塩害環境下に限らず、**鋼とコンクリート接合部**では、鋼材の著しい腐食欠損が多く見られる。



鋼材の
埋め込み部分

コンクリートと鋼材の
境界部に隙間が生じる

2

研究の背景



表面からは確認できない。コンクリート内部で破断する。

木曽川大橋



本荘大橋



3

現状と課題の整理

接合部腐食の問題点

- ①補強・補修が困難かつ再劣化が生じやすい。
- ②構造上重要な箇所に用いられることもある。



定期点検

コンクリート上面から目視点検する。

劣化が小さい：コンクリート内部の鋼材は見えない。

劣化が大きい：塩害対策のためにコンクリート表面が厚い塗装で覆われている場合があり、腐食ひび割れが見えない。

非破壊検査

簡便かつ信頼できる方法は確立されていない

4

研究の目的

鋼コンクリート接合部の
簡易点検技術の開発

目的

コンクリート埋込部において腐食欠損が生じた鋼部材の力学的特性を把握する

•非破壊検査
コンクリート内部の
鋼材腐食量
実験的検討

•構造性能評価
埋込部が腐食した
鋼部材の耐荷力
解析的検討

5

本研究の概要

鋼コンクリート接合部を模擬した試験体を作製する。
コンクリート内部の鋼材腐食を促進させて、振動特性
(固有振動数および減衰定数)の変化を把握する。

対象とする部材

トラス部材



柱部材



6

供試体諸元

供試体寸法

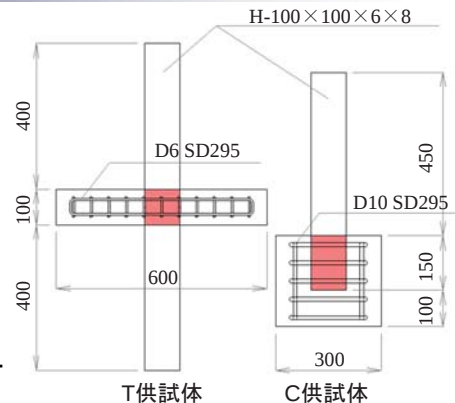
	Truss	Column
コンクリート	600×600 ×100	300×300 ×250
H鋼寸法	100×100×6×8	
H鋼長さ	900	600
腐食区間	100	150
供試体数	2体	2体

H形鋼の材料特性

降伏強度 [N/mm ²]	引張強さ [N/mm ²]	伸び [%]	密度 [kg/m ³]
346	452	32	7827

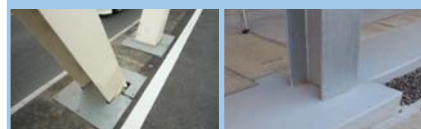
コンクリートの材料特性

圧縮強度 [N/mm ²]	動弾性係数 [N/mm ²]	静弾性係数 [N/mm ²]	密度 [kg/m ³]
26.6	35100	28200	2390



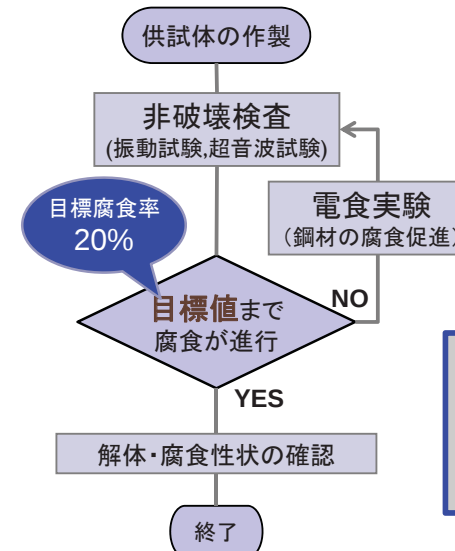
トラス部材

柱部材



7

実験フロー



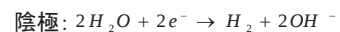
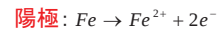
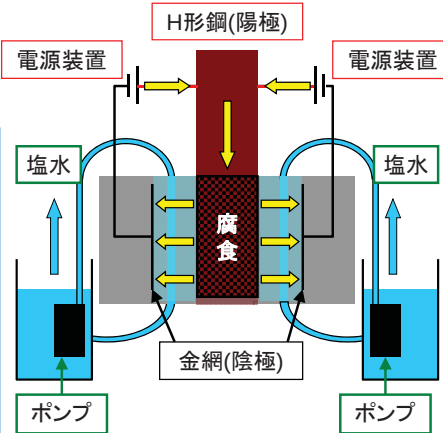
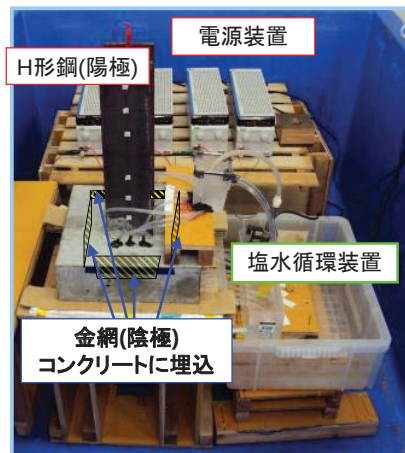
$$\text{鋼材の腐食率} = \frac{\text{腐食による質量減少量}}{\text{腐食区間の質量}}$$

■ 腐食率 ∝ 電流 × 時間

8

電食実験の概要

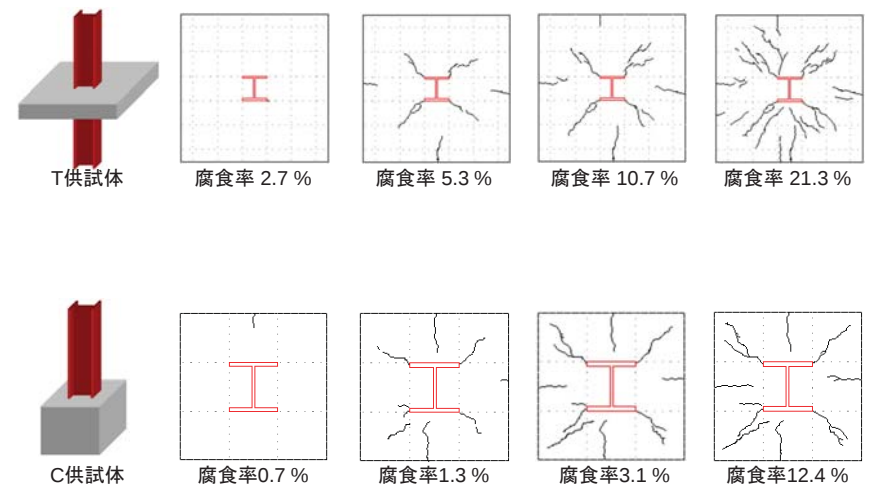
電気分解の原理を利用し、コンクリート内部のH形鋼を腐食させる。



錆び

9

腐食ひび割れの発生・進展状況

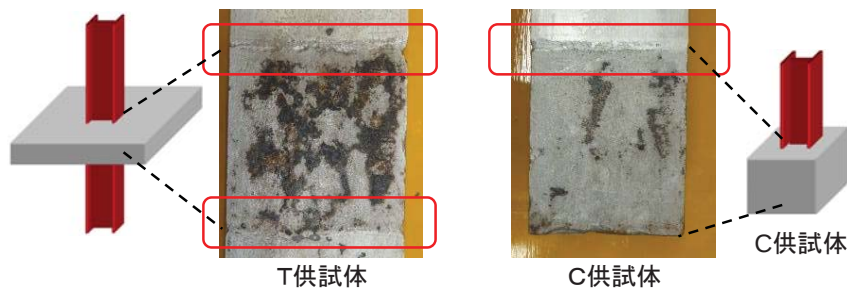


10

鋼材の腐食性状

目標腐食率 20 %

供試体名	腐食区間 [mm]	質量減少率 [%]
T1 供試体	100	21.0
T2 供試体		24.8
C1 供試体	150	12.4
C2 供試体		13.4



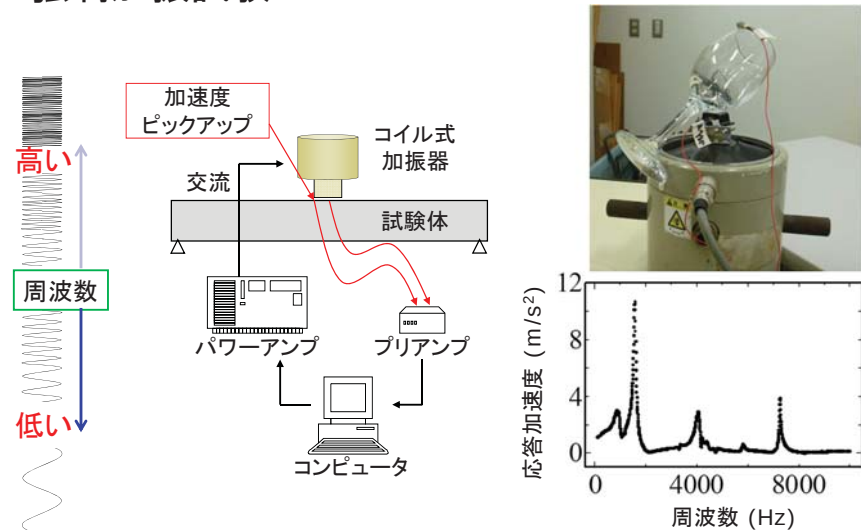
11

非破壊試験

- 強制加振試験
- 超音波試験

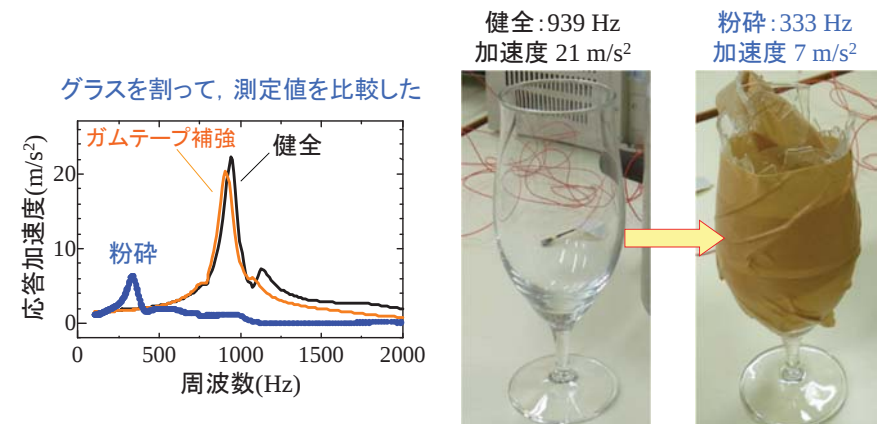
12

強制加振試験



加振器の周波数(sine波)を変化させて、ガラスの応答を測定する 13

損傷による振動特性の変化



1. 固有振動数 (共振周波数) が低下する。
2. 減衰が増加する (応答加速度が低下する)。

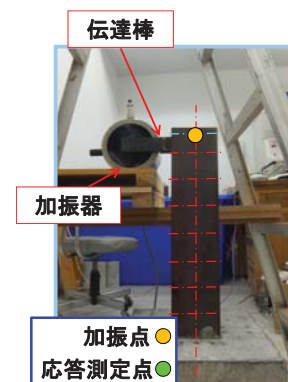
14

鋼材の振動試験

- 固有振動数
- 減衰定数

15

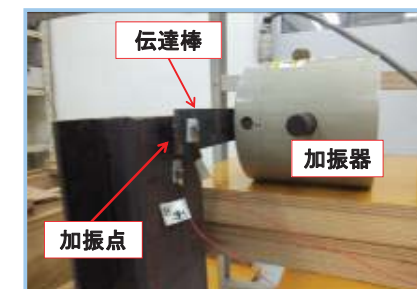
鋼材のたわみ振動



鋼材端部のフランジ面を加振して、応答加速度と位相を測定する。

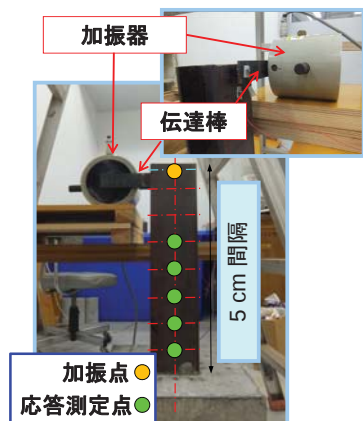
<測定条件>

- ・掃引周波数・・・600~650Hz
- ・加速度振幅・・・2m/s²で一定

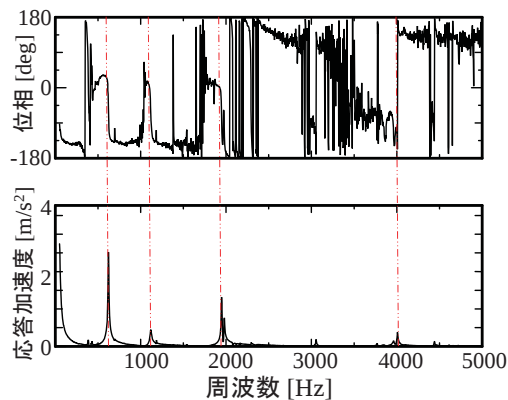


16

鋼材のたわみ振動

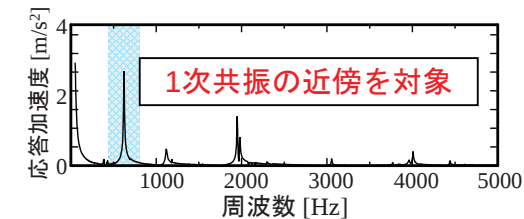
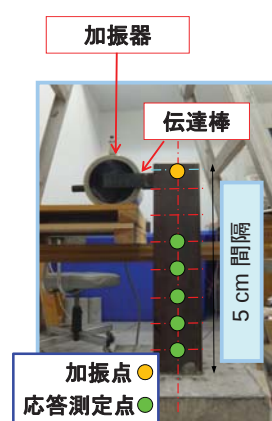


鋼材端部のフランジ面を加振して、
応答加速度と位相を測定する。



17

鋼材の固有振動数



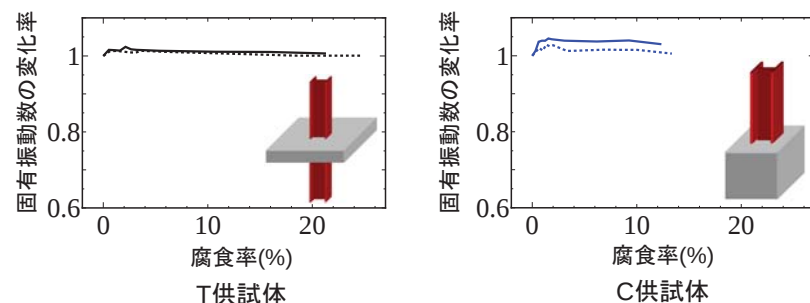
片持ち梁のたわみ振動の理論

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\lambda_n}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad \lambda_1 = 1.875, \lambda_2 = 4.694$$

	1次固有振動数	2次固有振動数
T供試体(実験値)	560 Hz	3998 Hz
C供試体(実験値)	623 Hz	3972 Hz
理論値	609 Hz	3928 Hz

18

鋼材の固有振動数



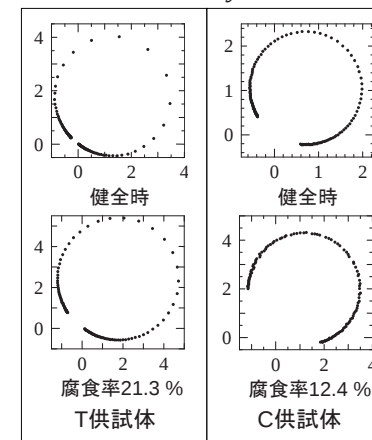
腐食による鋼材の固有振動数の変化は殆どない

19

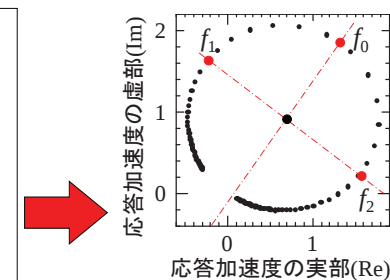
鋼材の減衰定数

1次共振近傍の位相と応答加速度よりナイキスト線図を作成する。

$x = a \cos \theta$: 実部 $y = a \sin \theta$: 虚部



ナイキスト線図



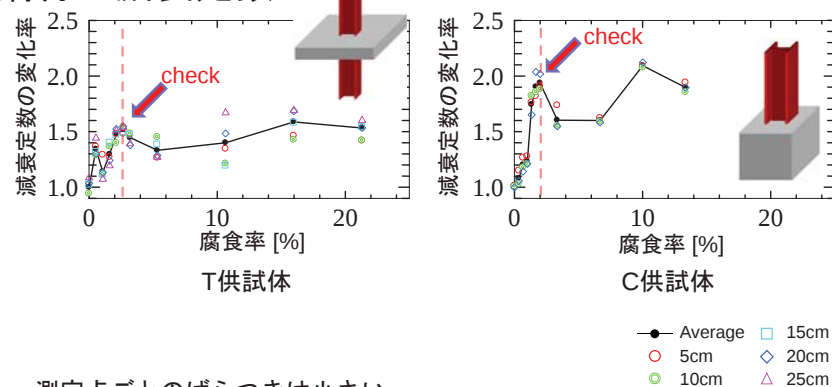
減衰定数

$$\zeta = \frac{f_2 - f_1}{2 f_0}$$

ハーフパワー法

20

鋼材の減衰定数



- ・測定点ごとのばらつきは小さい。
- ・腐食率2%程度までに減衰定数が1.5～2.0倍に増加した。
※腐食率2%は腐食ひび割れ発生前後に対応する。
- ・腐食率2%以降は、埋込形式や鋼材の拘束条件によって挙動が異なる。

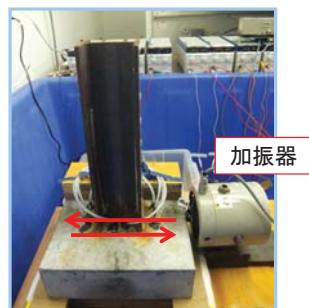
21

コンクリートの振動試験

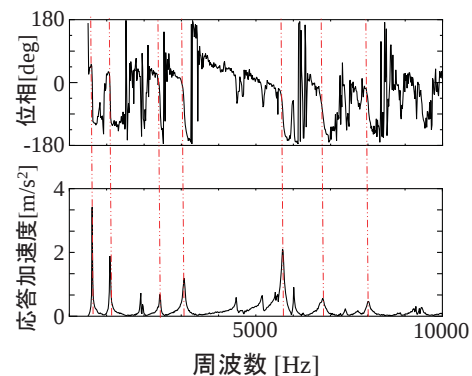
- 固有振動数
- 減衰定数

22

コンクリートの縦振動



コンクリートの側面からsine波を与えて縦振動を励起する。

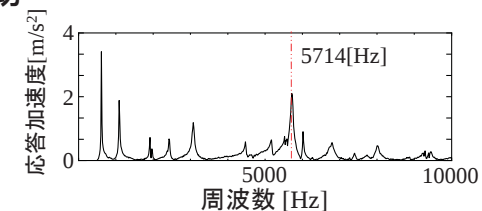
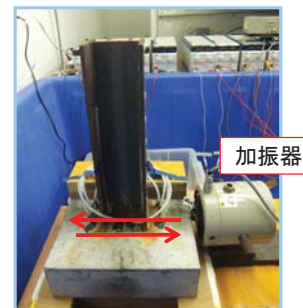


<測定条件>

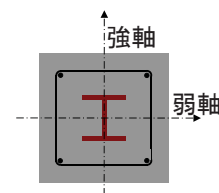
- ・周波数: 500～10,000Hz
- ・加速度振幅: 5m/s²で一定

23

コンクリートの縦振動



$$\text{理論式: } f_{n(n=1,2,\dots)} = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{E_D}{\rho}}$$

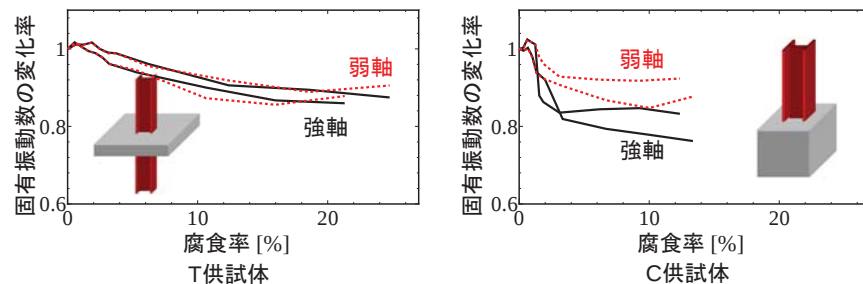


1次固有振動数

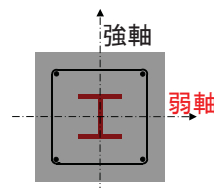
	T供試体	C供試体
測定値 [Hz]	5973	5714
理論値 [Hz]	6387	6387

24

コンクリートの固有振動数

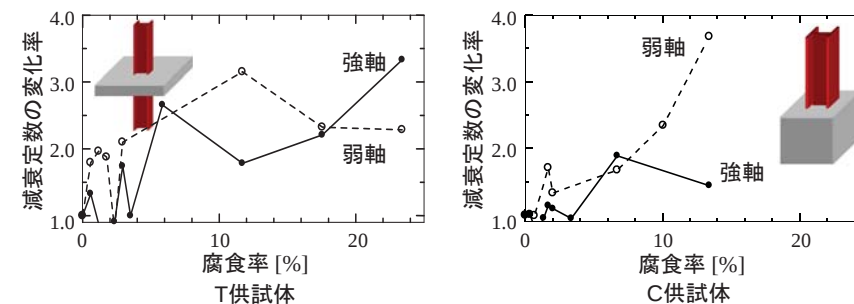


- ✓ 基礎に対して鋼材の割合が大きい場合は、固有振動数が早期に低下する。
- ✓ 鋼材の割合が大きい場合は、強軸方向の固有振動数の低下が大きい。

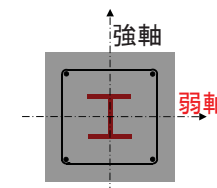


25

コンクリートの減衰定数

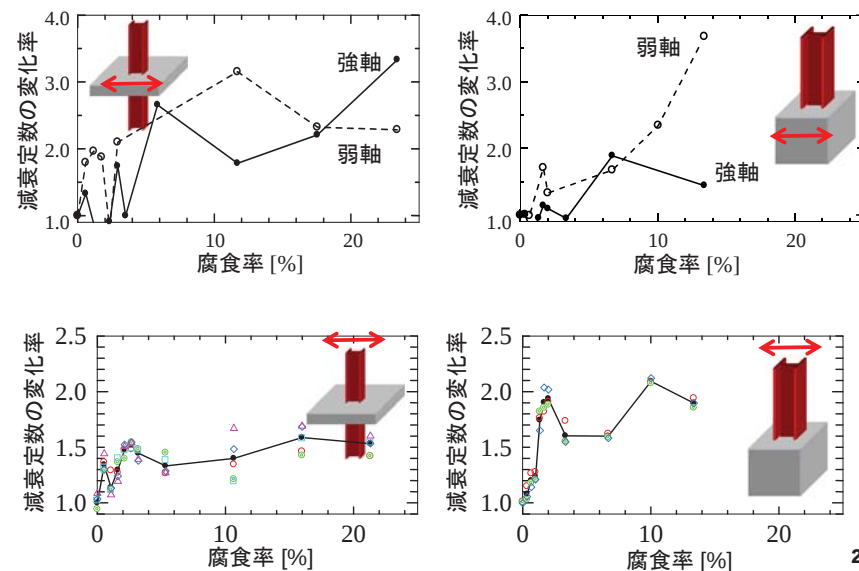


- ✓ 腐食によってコンクリートの減衰が3倍程度まで増加した。
- ✓ 橋軸および弱軸の違いが検討できるほどの精度はない。



26

鋼材とコンクリートの減衰定数の比較

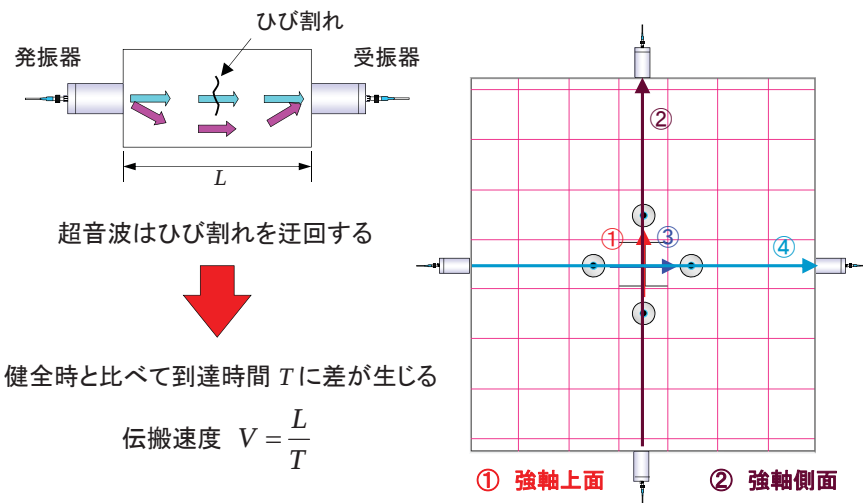


27

コンクリートの超音波試験

28

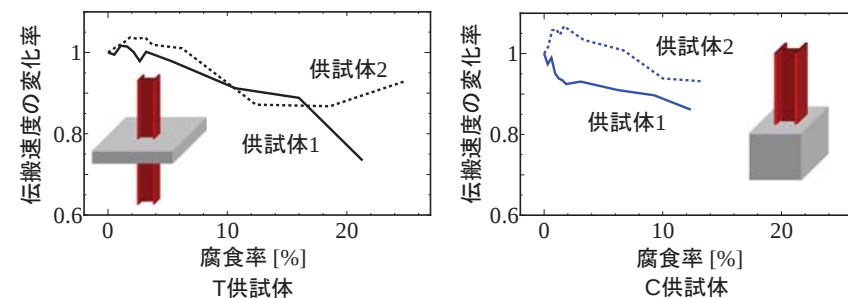
超音波試験



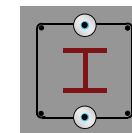
Memo: 強制加振試験は広域を揺らす。(全体) ③ 弱軸上面 ④ 弱軸側面
超音波法は探触子間を揺らす。(局所)

29

コンクリートの超音波伝搬速度

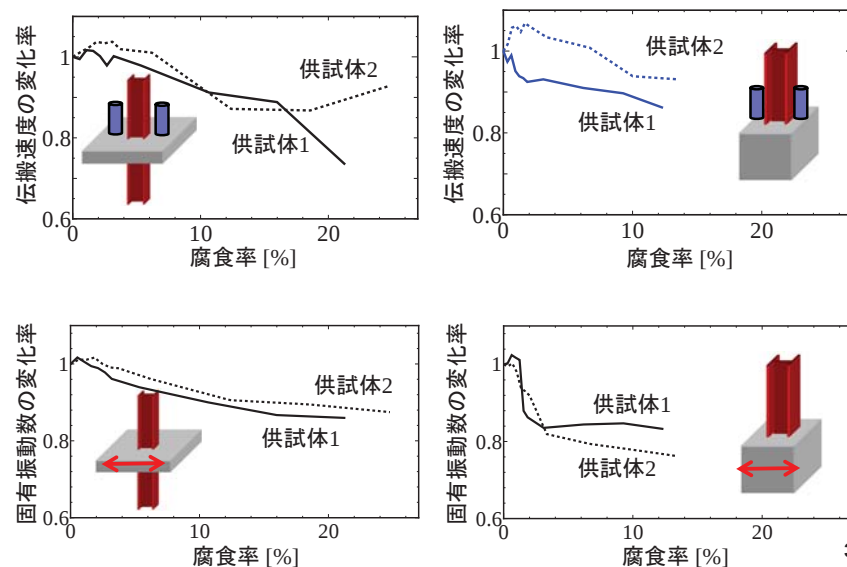


✓ 腐食に伴う超音波伝搬速度の減少傾向を見出した。



30

超音波試験と振動試験の比較



31

まとめ

固有振動数

	指標の有用性	考察・課題の整理
鋼材 (振動)	変化しない	検討は無駄
コンクリート(振動)	0.8まで低下する	基礎に対する鋼材の割合が大きい場合のみ、有用性がある
コンクリート(超音波)	0.8まで低下する	探触子間に大きな損傷がない限り、健全と判断される。

減衰定数

	指標の有用性	考察・課題の整理
鋼材 (振動)	1.5~2倍に増加する	健全値が評価できない。測定が困難
コンクリート(振動)	2~3倍に増加する	健全値が評価できない。測定が極めて困難

32



まとめ

本検討の範囲では、万能な非破壊試験は見いだせなかった。

次点として、**コンクリート基礎に対する鋼材の割合が大きい接合部**では、腐食ひび割れによってコンクリートの固有振動数が顕著に低下するため、強制加振試験が活用できる。

特に強制加振試験は、塩害対策で**表面が厚い塗膜に覆われた場合**でも、コンクリート内部の腐食ひび割れを検知できる。