

鳥取大学大学院 学生会員 ○奥井大輔

鳥取大学大学院 正会員 谷口朋代

鳥取大学大学院 正会員 小野祐輔

株式会社ソーキ 正会員 中山昭二

サンイン技術コンサルタント株式会社 非会員 松岡晃宏

1. はじめに

床版の補強対策として、既設の鉄筋コンクリート床版の下面に鋼板を接着して床版の剛性を増すことにより耐荷力の向上を図る鋼板接着工法がある（図-1参照）。しかし、経年劣化により、鋼板が床版から部分的に剥離するなどした接着不良部が内在することが明らかになっている。一般的に、この接着不良部は打音検査によりその範囲を特定することが主流であるが、この方法では作業者の労力と経験と勘を必要とするため簡易な探査法の開発が望まれる。

そこで本研究では、鋼板接着工法を模した接着不良部を持つ鋼板-コンクリート供試体（以下、供試体と呼ぶ）を作り、供試体表面を加振器で加振し、鋼板や加振器の加速度応答値から接着不良部を探査する可能性について基礎的な検討を行った。

2. 供試体の概要

実験に用いた供試体は、図-2に示すようにコンクリート床版を模したコンクリートブロック上に板厚 6mm の鋼板を、エポキシ系接着剤を用いて接着した。また、鋼板の中心から 300mm 四方の範囲は無接着とすることで接着不良部を再現した。

3. 接着不良部の固有振動数の算定

接着不良部（300mm 四方）の固有振動数は、平板の自由振動から求められる。図-3に、検討対象となる平板の座標系を示す。この平板の運動方程式は以下のように表される。

$$D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0 \quad (1)$$

ここで、 h ：板厚、 E ：ヤング係数、 ν ：ポアソン比、 ρ ：平板の密度、 D ：板の曲げ剛性、 w ：たわみ、 μ ：中央面単位面積当たりの質量である。接着不良部の境界条件は、周辺単純支持と周辺固定支持の間にあると考えられるので、それらの場合の固有振動数の理論解は次のようである。

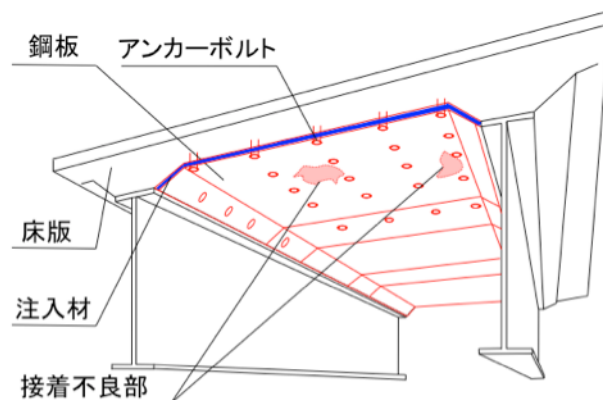


図-1 鋼板接着工法の概念図

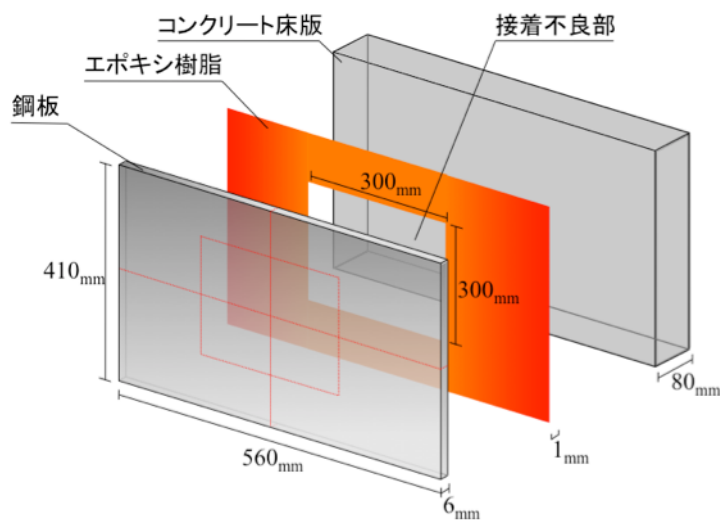


図-2 鋼板-コンクリート供試体の概念図

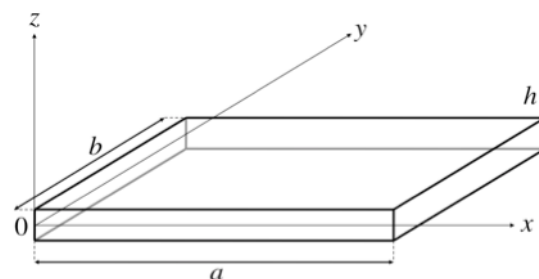


図-3 平板の座標系

(1) 周辺単純支持の場合

境界条件が、図-4に示すような周辺単純支持の場合の、1次モードの固有振動数 f_s は以下のように表される。

$$f_s = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{D}{\mu}} \left[\left(\frac{1}{a} \right)^2 + \left(\frac{1}{b} \right)^2 \right] \quad (2)$$

(2) 周辺固定支持の場合

境界条件が、周辺固定支持の $a/b=1$ （正方形）の場合の、1次モードの固有振動数 f_F は以下のように表される。

$$f_F = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{35.98}{a^2} \sqrt{\frac{D}{\mu}} \quad (3)$$

表-1は、検討に用いた鋼板の諸元である。(2)、(3)式より、接着不良部の鋼板の固有振動数は、 $f_s = 320.71 \text{ Hz}$ ～ $f_F = 584.58 \text{ Hz}$ の間にあると考えられる。

4. 実験概要

(1) 加振振動数の決定

接着不良部を有する供試体の表面を、加振器で板の左端（接着部）から板の中心方向（接着不良部）へ移動させながら加振する（図-5参照）。まず、共振振動数を探索し、加振振動数の決定と想定すべき境界条件を明らかにした。供試体を120、220、320、420、及び520Hzの5通りの振動数で加振し、接着不良部の共振点を探索した。その結果、320Hzで加振したときに共振により応答が大きくなることが確認できたので、境界条件は周辺単純支持に近いと想定される。これより、以後の実験では、この振動数で加振することにした。

(2) 加速度応答検出点の決定

実際の床版では、広い面積の中に接着不良部が点在しており、その位置は不明であるため、応答を検出する加速度計を無作為に鋼板に貼付けて広い面積内を試行錯誤的に計測することよりも、移動しながら加振する加振器側で加速度を検出できる方が得策であると考えられる。今回の実験では、加振器側と供試体側に加速度計を取り付ける2通りの計測を実施し、両者の加速応答を比較することで加振器側に加速度計を取り付けた場合であっても良好に加速度の変化を確認できるか確かめた。また、加振する位置が応答の発現にどのような影響を及ぼすのかを調べるために、図-5に示すようにCase1からCase4の4通りの加振位置を設定した。接着不良部の高さの中点(Case1)、中点から下方へ40mm(Case2)、中点から下方へ110mm(Case3)、中点から下方へ180mm(Case4)とした。

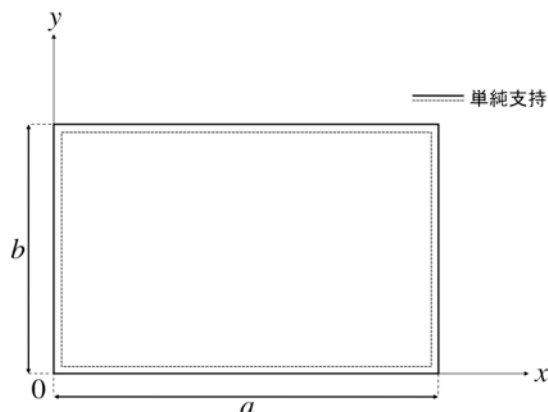


図-4 周辺単純支持

表-1 鋼板の諸元

使用金属	SS400
板厚	0.006 (m)
ヤング係数	$2.01 \times 10^{11} \text{ (N/m}^2\text{)}$
密度	7850.0 (kg/m ³)
ポアソン比	0.3
a(x軸)	0.3 (m)
b(y軸)	0.3 (m)

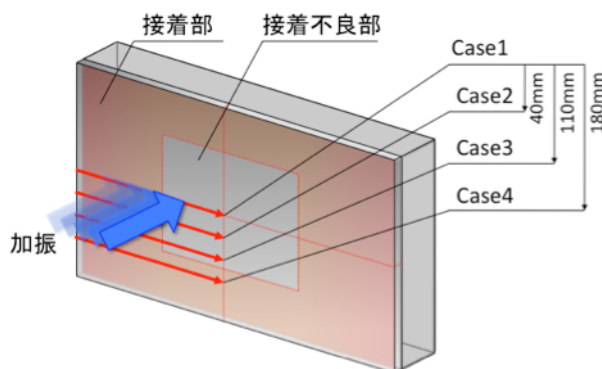


図-5 実験方法の概念図

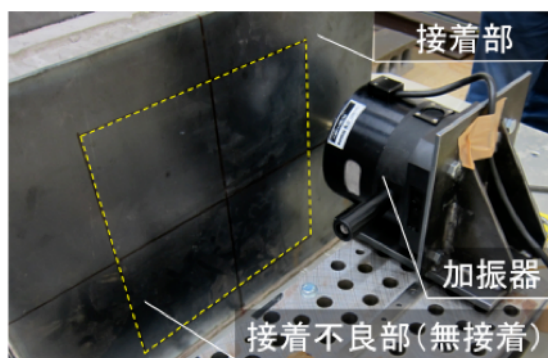


写真-1 実験風景

5. 実験結果

以下に示すグラフは、加振器を板の左端（接着部）から板の中心方向（接着不良部）へ移動させたときの加速度の時系列である。

図-6は加速度計を供試体側、図-7は加速度計を加振器側に取り付けた場合を示す。

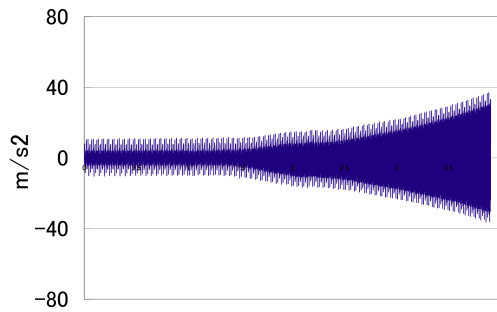


図-6a Case 1 | 供試体側に加速度計

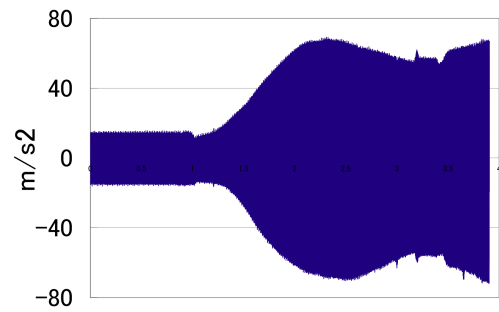


図-7a Case 1 | 加振器側に加速度計

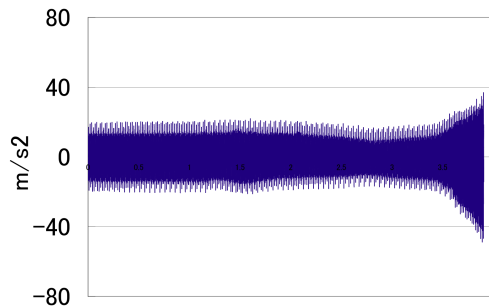


図-6b Case 2 | 供試体側に加速度計

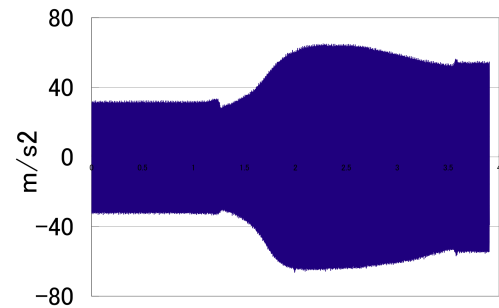


図-7b Case 2 | 加振器側に加速度計

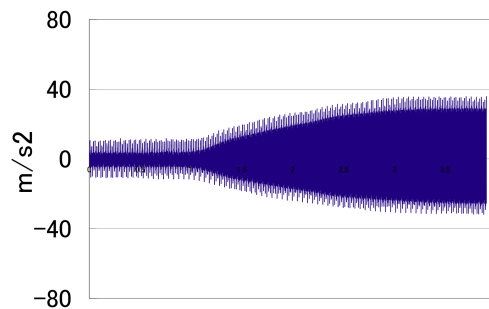


図-6c Case 3 | 供試体側に加速度計

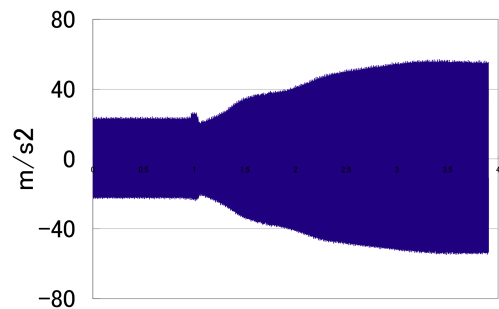


図-7c Case 3 | 加振器側に加速度計

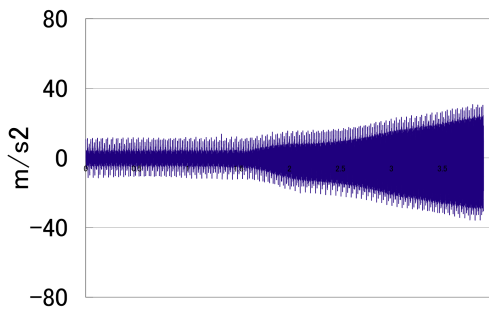


図-6d Case 4 | 供試体側に加速度計

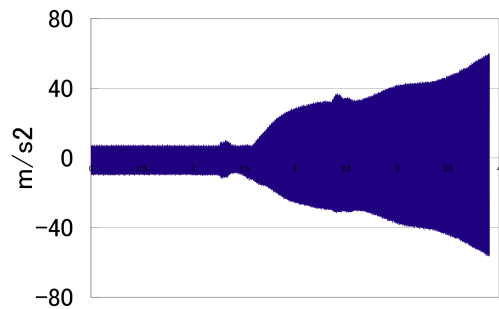


図-7d Case 4 | 加振器側に加速度計

6. 考察

(1) 加速度応答検出点について

図-6、図-7のCase1を比較すると、加速度計を供試体側に取り付けた場合では供試体左端（接着部）と中心（接着不良部）の振幅比が約2倍変化している。また、加振器側の場合では、この値が約3倍に変化していることが分かる。これより、加振器側に加速度計を取り付けた場合でも加速度の変化を得ることができ、接着不良部の探査は可能である。また、図-6、図-7より、Case1からCase4の全ての加振位置において加速度応答の有為な変化が見られる。これより、加振位置が応答の発現へ与える影響は小さく、下記に示す境界付近を除く接着不良部内で加振すれば、共振により応答が大きくなることを利用して接着不良部を探査できることを確認できた。

(2) 接着部と接着不良部の境界付近の変化について

実際の床版では、接着部と接着不良部との境界の検出が問題になると考えられる。しかし、今回の実験では、目視ではあるが、境界から中心方向へ約20mm入った付近で、接着不良部としての加速度応答の変化が確認できた。これより、今回の方法では接着部と接着不良部の境界を検出するのは難しいと思われる。その理由として、接着部と接着不良部の境界付近では鋼板の撓みが十分に発現しないことが原因と考えられる（図-8参照）。

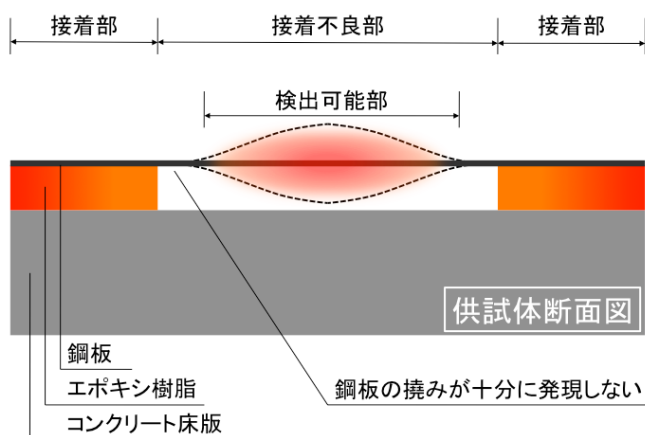


図-8 接着部と接着不良部の境界付近の概念図

(3) まとめ

今回の実験より、以下の結論を得た。

1. 加速度計を加振器に取り付けても加速度応答の振幅比の変化より接着不良区間を検出できる。
2. 加振位置が応答の発現へ与える影響は小さい。
3. 接着部と接着不良部の境界を検出するのは難しい。
4. 加振加速度は2G程度のそれほど大きくない加振で良い。

7. 今後の課題

大小の接着不良部が混在する箇所を探査する場合、検出したい接着不良部の大きさから決まる最大加振振動数と最小加振振動数の範囲内で掃引加振することにより、接着不良部を検出する方法について検討する予定である。

8. 参考文献

- 1) 近藤恭平：工学基礎 振動論，培風館，pp.195-209
- 2) 幸節雄二：構造振動学の基礎，九州大学出版会，pp234-250
- 3) 武田信之：振動工学 基礎から応用まで，共立出版会社