

電磁パルス法に基づく接着系あと施工アンカー固着部の接着剤充填状況の非破壊評価手法

立命館大学大学院	学生会員	○木村 貴圭
大阪大学大学院	正 会 員	鎌田 敏郎
立命館大学	学生会員	前川 晴香

立命館大学	正 会 員	内 田	慎 哉
西日本高速道路（株）	正 会 員	宮 田	弘 和
大阪大学	学生会員	林 本	和 也
大阪大学大学院	学生会員	劉	軒

1. はじめに

本研究では、コンクリート中に埋め込まれた近接する 2 本の接着系あと施工アンカーボルトを対象にして、電磁パルス法によりアンカーを加振し、その振動をレーザードップラ振動計で計測し、非破壊で各ボルト固着部における接着剤の充填状況を評価する方法についての検討を行うことを目的とした。

2. 実験概要

2.1 供試体

図-1 以供試体の概要を示す。コンクリート部分の寸法は縦 1000mm×横 1000mm×厚さ 350mm であり、そこに直径 24mm、深さ 130mm の穴を 8 箇所開けた。孔内に長さ 240mm のアンカーボルト (SS400 相当材) をコンクリート表面から 110mm 突出するように設置した後、接着剤を流し込むことでボルトを固定した。接着剤の充填率としては 4 水準 (25, 50, 75, 100%) を設け、図-2 に示すように充填率ごとにボルトを 2 本設置した。なお、同一充填率における 2 本のボルトを区別するために、各ボルトの名称を「ボルト A」および「ボルト B」とし、ボルト A の中心位置からボルト B の中心位置までの距離を 100mm とした。また、ナットで鋼製プレートとボルトを固定できるようにし、ナットとプレートの有無が弾性波特性に与える影響を把握することとした。

2.2 電磁パルス法による計測の概要

写真-1 に計測概要を示す。励磁コイルは円筒形状とし、コイル上端とボルト上端が一致するように設置した。励磁コイルに瞬間的に大電流を流し、動磁場を発生させることによりアンカーボルトを振動させた。ボルト頭部に設置したレーザードップラ振動計からボルト頭部の表面にレーザーを垂直に照射することで、振動する反射面の速度成分を測定した。記録した波形から、周波数スペクトルを算出した。

3. 實驗結果

3.1 ボルトのみの状態で測定した結果

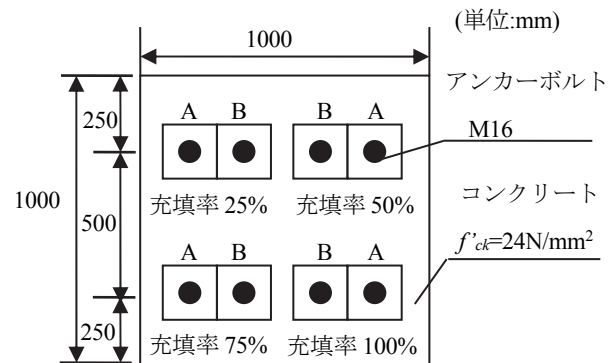


図-1 供試体概要

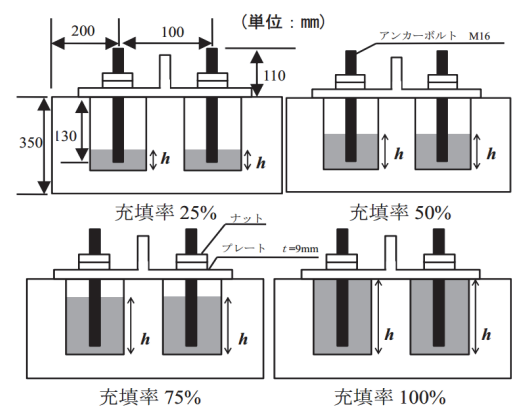


図-2 接着剤充填ケース

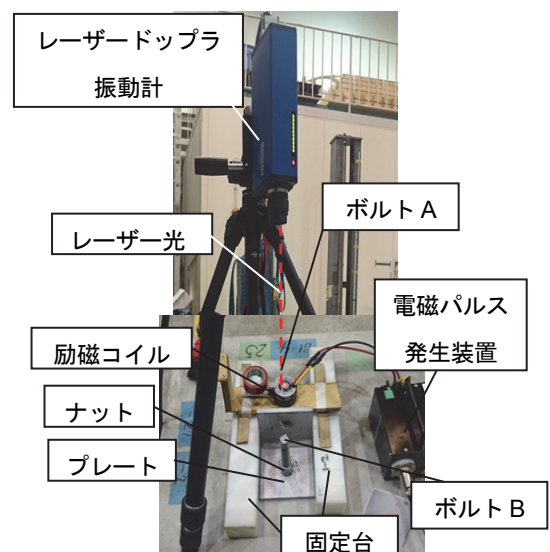


写真-1 電磁パルス法による測定状況

キーワード 接着系あと施工アンカー，非破壊試験，電磁パルス法，レーザードップラ振動計，縦波共振周波数
連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野地東1丁目1-1 立命館大学理工学事務室 TEL077-561-2625

図-3 に、ナットとプレートを設置せずボルトのみの状態で測定を行った場合の受信波形の周波数スペクトルを示す。周波数スペクトルの算出には、最大エントロピー法を適用した。図によれば、接着剤充填率が大きくなるにしたがって高周波側にピークがシフトしている。ここで、アンカーボルトの振動は、接着剤部分を固定端、他方のボルト先端を自由端とした片持ち梁の振動挙動を示すと仮定して、1 次振動モードの固有振動数を算出した。計算結果を表-1 に示す。表より、計算値と測定値は多少異なる場合があるものの、充填率が大きくなると周波数スペクトル上のピークが高周波側にシフトする傾向は合致している。

ここで、8kHz 以上の周波数範囲に着目すると、充填率 25%の場合にのみ、12kHz 周辺にピークが出現していることが確認できる。ここで、ボルト頭部で励起された弾性波がボルト底部で反射し、再度頭部に伝搬する多重反射により出現するピーク周波数の理論値は以下の式により算出できる。

$$f = \frac{V_p}{2L} \quad (1)$$

ここで、 f : 縦波共振周波数 (Hz) , L : ボルトの長さ (m), V_p : 縦波速度 (m/s) である。

式(1)より、理論値は 11kHz となり、図-3 に示す 12kHz 付近のピークと概ね一致している。充填率が低い場合は、コンクリートへ伝搬する波の成分が少なくなり、ボルト内部を伝搬する波の成分が多くなったものと解釈できる。以上より、片持ち梁の振動モードに類似した挙動に加えて、ボルト軸方向を伝搬する波の挙動も同時に捉えていることがわかった。両者の挙動に着目すれば、ボルト周辺における接着剤の充填状況を把握できる可能性がある。

3.2 プレートとナットを設置してボルトを締め付けた状態で測定した場合

図-4 にボルトをプレートとナットで締め付けた場合の受信波形の周波数スペクトルを示す。ボルトのみの状態で測定した場合(図-3 参照)は、充填率が大きくなると片持ち梁の固有振動数であるピークが高周波数側へとシフトする現象がみられたが、ナットで十分に締結されるとこうした特徴が見られなくなった。しかしながら、いずれのボルトにおいても、12kHz 周辺のピークの存在に着目すると、充填率 25%において縦波共振周波数のピークが出現していることがわかる。

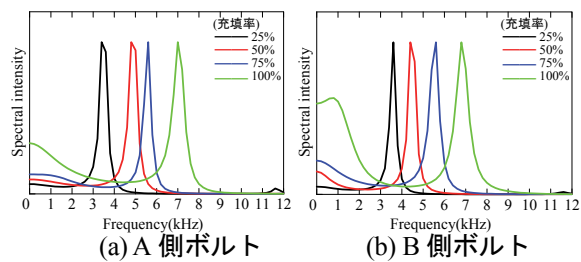


図-3 周波数スペクトル(ボルト単体)

表-1 片持ち梁 1 次モードの固有振動数

充填率	自由長(mm)	計算値 (kHz)	A側測定値 (kHz)	B側測定値 (kHz)
25%	208	2.7	3.5	3.4
50%	175	3.8	4.4	4.8
75%	143	5.7	5.6	5.6
100%	110	9.6	6.8	7.0

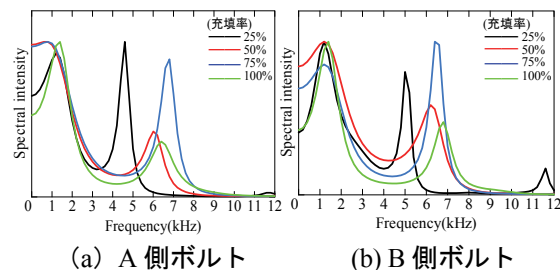


図-4 周波数スペクトル(トルクあり)

したがって、ボルト 2 本が近接する場合においても、縦波共振周波数に着目すれば、近接するボルトの影響を受けることなく、本手法により充填率が 25%程度以下の低いものを検知できることが明らかとなった。

4. まとめ

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) レーザードップラ振動計によりアンカーボルト頭部で受信する方法では、片持ち梁の振動モードに類似した挙動に加えて、ボルト軸方向を伝搬する弾性波の挙動も同時に捉えていることが明らかとなった。
- (2) 周波数スペクトル上における縦波共振周波数に着目すれば、ボルトが近接し、かつナットでボルトが締結された状態においても、アンカーボルト固着部の充填率が 25%程度以下の低いものを検出できる可能性があることがわかった。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費補助金(若手研究(B) 25820194)の援助を受けて行なったものである。ここに記して謝意を表する。