

第Ⅴ部門

電磁パルス法による接着系あと施工アンカーの引抜耐力の非破壊評価に向けた基礎的検討

大阪大学工学部 学生員 ○木村 太郎
 大阪大学大学院工学研究科 学生員 加藤 梨花
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 服部 晋一

大阪大学大学院工学研究科 学生員 湯川 量平
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 寺澤 広基
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 鎌田 敏郎

1. はじめに

中央道笹子トンネルでの天井板落下事故を機に、近年、接着系あと施工アンカーの施工不良や耐久性に関する性能を評価する手法に対するニーズが高まっている。この評価は非破壊によるのが望ましく、そのための技術として電磁パルス法の適用に関する研究が行われてきた。既往の研究では、接着剤の充填不良等に起因する施工不良の評価のための指標の一つとして波形エネルギーが用いられているものの、引抜耐力を定量的に評価するのに適した指標の検討は未だなされていない。そこで本研究では、電磁パルス法における各種評価指標と引抜耐力との関係を把握することを目的として実験的な検討を行った。

2. 電磁パルス法による非破壊試験

2.1 供試体概要

図-1 に供試体外観を示す。コンクリート部分は縦 1000mm×横 1600mm×高さ 300mm でボルトは直径 20mm、埋込長 140mm、突出長 100mm である。本研究では引抜耐力が低下した状態を接着剤充填不良によって模擬した。接着剤充填率は図-2 に示すように 10%～50%、100%の合計 6 ケースを各 3 本ずつ用意した。ボルトは SNB7、接着剤はエポキシ樹脂を使用した。

2.2 計測概要

本実験ではリング状の励磁コイルにパルス状の電流を流すことによりコイル周辺に瞬間的な磁場を発生させ、供試体に設置されたボルトを加振した。なお計測は巻き数が 12 ターンの励磁コイルを使用し、印加電圧は 600V とした。ボルトの振動によって生じた弾性波はボルト頭部でレーザードップラー振動計を用いて受信した。計測は各ボルトにおいて 3 回ずつ行った。

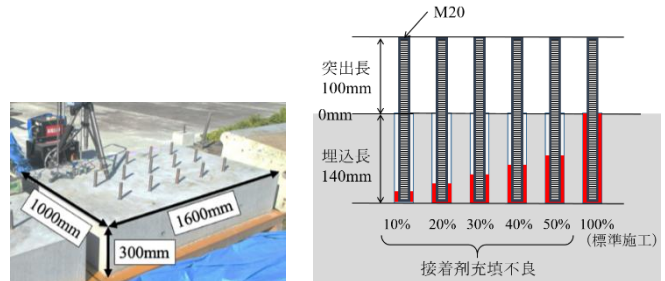


図-1 供試体外観

図-2 実験ケース

2.3 評価指標

本研究では引抜耐力を定量的に評価するために以下の 2 つの評価指標を用いた。まず、時刻歴応答波形の各サンプリング点における振幅値の 2 乗和を波形エネルギーとして、以下に示す式(1) によって算出した。

$$E = \sum_{i=0}^n y_i^2 \quad (1)$$

ここで E : 波形エネルギー, y_i : 応答波形における各サンプリング点の振幅値, n : 時刻歴応答波形におけるサンプリング数 ($n=10000: 0 \sim 10000\mu s$) である。

次に、波形の減衰速さを表す指標として、以下に示す式(2)によって対数減衰率を算出した。

$$\delta = \frac{1}{N} \times \ln \frac{a_0}{a_N} \quad (2)$$

ここで δ : 対数減衰率, $a_0 = |y_i|_{\max}$, a_N : a_0 から数えて N 番目の波のピークの振幅値である。本研究では $N=5$ と定めた。

2.4 計測結果

充填率毎の評価指標値を図-3 に示す。まず、波形エネルギー比と接着剤充填率の関係を調べた。波形エネルギー比とは、充填率 100%の標準施工の波形エネルギーを基準 (=1) とした場合の各充填率での値との比を表している。図-3(a)より接着剤充填率が低下するにつれて波形エネルギー比が増加する傾向が確認できた。

次に対数減衰率比と接着剤充填率との関係を調べ

た．対数減衰率比とは，充填率 100%の標準施工の対数減衰率を基準 (=1) とした場合の，各充填率での値の比を表している．図-3(b)より接着剤充填率が低下するにつれて対数減衰率比が小さくなる傾向が確認できた．

3. 静的引抜試験による耐力評価

3.1 試験概要

図-1 の供試体に対して，油圧式試験機と支圧板を用いて静的拘束引抜試験を行った．その後，電磁パルス法による計測結果と引抜耐力との関係性を把握した．

3.2 引抜試験結果

充填率 10%～50%のボルトは付着破壊となり，充填率 100%の標準施工ボルトは破断を起こした．標準施工ボルトの引抜耐力は210kN以上であることを確認した．

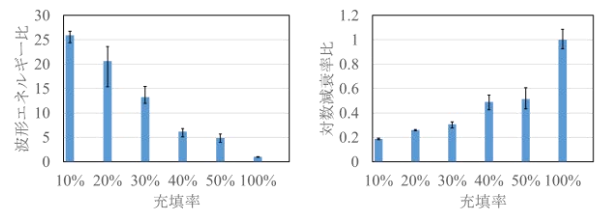
3.3 非破壊評価指標と引抜耐力との関係

波形エネルギー比と引抜耐力との関係を図-4 に示す．引抜耐力が低下すると波形エネルギー比は増大する傾向が確認できた．次に，対数減衰率比と引抜耐力との関係を図-5 に示す．引抜耐力が低下すると対数減衰率比も低下する傾向が確認できた．そしてこれらの実測値に指数近似を当てはめた結果，いずれも決定係数が 0.9 以上と高くなった．

また，図-4 と図-5 を比較すると，図-4 の波形エネルギー比は引抜耐力が低い範囲での感度が高い．これは引抜耐力が低下しボルトの拘束力が弱くなることで，ボルト頭部での振動エネルギーがより増加するためであると考えられる．一方，図-5 の対数減衰率比は引抜耐力が高い範囲での感度が高い．これはボルトの引抜耐力が高い場合は，振動の減衰に影響を与える摩擦力が大きく作用しているため，振動の減衰に着目することでその差が明瞭に現れると考えられる．よって本研究においては引抜耐力の範囲を約 150kN で 2 分割し，80～150kN は波形エネルギー比の適用範囲，150～190kN は対数減衰率比の適用範囲とすることで，より適確に引抜耐力を評価することができると考えられる．

4. まとめ

(1) 本研究の範囲において，引抜耐力と，ボルト頭部受信波形の波形エネルギー比および対数減衰率比とは良い相関を示した．



(a)波形エネルギー比

(b)対数減衰率比

図-3 充填率毎の評価指標値

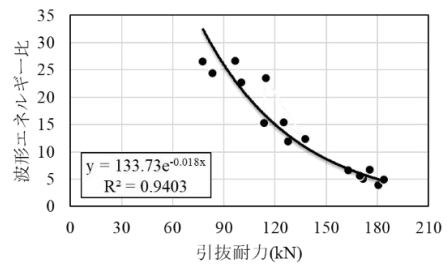


図-4 波形エネルギー比と引抜耐力との関係

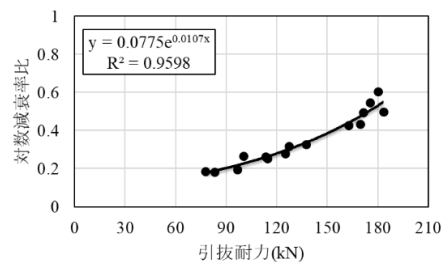


図-5 対数減衰率比と引抜耐力との関係

(2) 非破壊評価指標を組み合わせることで評価することによって，施工不良が生じた接着系あと施工アンカーの引抜耐力を評価できる可能性が示唆された．

謝辞

本研究は，大阪大学大学院工学研究科 NEXCO 西日本高速道路学共同研究講座における共同研究の一環として行ったものである．また，供試体の作製等にあたっては日本ヒルティ(株)のご助力を頂いた．ここに記して謝意を表する．

参考文献

山本貴大、鎌田敏郎、寺澤広基、服部晋一：電磁パルス法による接着系あと施工アンカーの施工不良を対象とした非破壊評価手法，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，第 17 巻，pp.95-100，2017.10