電磁パルス法によるあと施工アンカー一定着部の定量的非破壊評価

QUANTITATIVE NONDESTRUCTIVE EVALUATION OF ANCHORAGE ZONE OF POST-INSTALLED ANCHOR BY USING ELECTROMAGNETIC PULSE METHOD

加賀敏明 — * 1 三輪秀雄 — * 2
高鍋雅則 — * 3 和高修三 — * 4
長岡康之 — * 5 濱崎 仁 — * 6

Toshiaki KAGA — * 1 Hideo MIWA — * 2
Masanori TAKANABE — * 3 Shusou WADAKA — * 4
Yasuyuki NAGAOKA — * 5 Hitoshi HAMASAKI — * 6

キーワード：

定量的非破壊評価, あと施工アンカー一定着部, 電磁パルス法, 弾性波, 評価指標

Keywords:

Quantitative nondestructive evaluation, Anchorage zone of post-installed anchor, Electromagnetic pulse method, Elastic wave, Evaluation index

Quantitative nondestructive evaluation technique of anchorage zone of post-installed anchors by using electromagnetic pulse method is presented. For quantitative evaluation, several indexes are introduced, which are derived from received signals and their frequency spectra. The effectiveness of the technique is demonstrated by experiments using anchors installed in concrete test blocks and also those installed in an existing building.

1. はじめに

構造部材または設備機器の固定や耐震補強を目的としたあと施工アンカーの施工後に行う品質検査では、自主検査として全数を対象とした接触打音検査が行われ、また必要に応じて非破壊引張試験が行われている¹⁾。しかし、接触打音検査は検査精度が検査員の技量に左右され、客観的なデータが残らない。また、非破壊引張試験は抜き取り検査であり、かつ、アンカー筋に荷重を加えるため試験後のアンカー強度に影響を及ぼす可能性がある。筆者らは電磁パルス法を用いてあと施工アンカーやロックボルトの定着部の健全性評価手法を開発している^{2)~7)}。この手法は、熟練検査員の技能を必要としない完全非破壊検査であり、試験後に客観的なデータも残る。また、検査時間が比較的短いため全数検査も可能となる。ここでは複数の評価指標を用いて、あと施工アンカー一定着部について定量的な評価を行った。まず、コンクリート塊供試体に施工したアンカーボルトや異形鉄筋を用いたアンカーについての検討を行い、次に実際の建築構造物に施工した異形鉄筋を用いたあと施工アンカーについて検討したのでその結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 測定概要

図1に測定概要を示す。アンカー筋頭部にリング状のコイルを設置しパルス電流を印加するとパルス磁場が発生する。パルス磁場の電磁力が作用してアンカー筋に弾性波が発生する。発生した弾性波をアンカー筋の頭部と近傍のコンクリート表面に設置したAEセンサ

図1 測定概要

で受信し、受信信号を解析してアンカー一定着部の健全性を評価する。

コイルはアンカー筋頭部とコイル上面が一致するようにフレキシブルアームで固定した。AEセンサは、アンカー筋頭部に1個、コンクリート表面においてアンカー筋から100mmの位置に4個設置している。AEセンサは全てホットメルト樹脂により固定した。数kHzから50kHzの周波数範囲で評価を行うため、この周波数帯でなるべく特性が平坦なAEセンサを選んだ。なお、パルス電流を印加するとアンカー筋の磁気特性が変化する。しかし、2回目以降の印加ではアンカー筋の磁気特性が飽和し受信波形が安定した。このため、パルス電流は2回印加し2回目の受信信号をデータとして取り込んだ。

^{*1} ㈱アミック マネージャー・博士 (工学)
(〒230-0051 横浜市鶴見区鶴見中央4-36-1)

^{*2} ㈱アミック 専務取締役

^{*3} ㈱アミック 部長

^{*4} ㈱アミック 技術顧問・博士 (工学)

^{*5} ㈱アミック 代表取締役

^{*6} 芝浦工業大学建築学部建築学科 教授・博士 (工学)

^{*1} Manager, AMIC Co., Ltd., Dr. Eng.

^{*2} Senior Managing Director, AMIC Co., Ltd.

^{*3} Director, AMIC Co., Ltd.

^{*4} Technical Adviser, AMIC Co., Ltd., Dr. Eng.

^{*5} President, AMIC Co., Ltd.

^{*6} Prof., Dept. of Architecture, School of Architecture, Shibaura Institute of Technology, Dr. Eng.

2.2 評価方法

(1) 評価指標

アンカー筋頭部とコンクリート表面に設置した AE センサで受信した信号の時間軸波形とその周波数スペクトルの振幅（以下、周波数スペクトルと略記）の特徴を、次に示す 6 種類の評価指標で数値化し評価することにした。以下、時間軸波形の振幅値を $x_i (i = 1 \sim N)$ で表し、周波数スペクトルを $H(f_i) (i = 1 \sim N)$ で表す。データ数 N は 8192、時間軸分解能は $1 \mu s$ 、周波数分解能は 122 Hz である。以下、いくつかの時間軸波形例と周波数スペクトル例を用いながら各評価指標を説明するが、例示したアンカーの諸元、施工条件、加工図については、後述する表 2、表 3、図 9 を参照頂きたい。

① 波形エネルギー比(ER)

図 2 に有機系注入（異形鉄筋）の正規施工品（施工要領に従って正しく施工したもの）および施工不良品の時間軸波形の例を示す。波形エネルギー E を次式 (1) で定義する。

$$E = \sum_{i=1}^N x_i^2 \quad (1)$$

式 (1) を用いて、アンカー筋頭部に設置したセンサで受信した時間軸波形の波形エネルギー E_a と、コンクリート表面に設置したセンサで受信した時間軸波形の波形エネルギー E_c をそれぞれ求める。まず、 E_a について正規施工品と施工不良品とを比較してみる。正規施工品では定着部が強く拘束されているのでアンカー筋は振動しにくく、一方、施工不良品では拘束が緩いので振動しやすい。このため図 2 (a) と (b) に示すように、正規施工品の E_a の方が施工不良品の E_a に比べて小さくなる。次に、 E_c について比較してみる。正規施工品では定着部が密着しているのでアンカー筋で発生した弾性波が定着部を介してコンクリートに伝搬しやすく、一方、施工不良品では密着状態が悪いので伝搬しにくい。このため図 2 (c) と (d) に示すように、正規施工品の E_c の方が施工不良品の E_c に比べて大きくなる。このような関係があるため波形エネルギー比 $ER = E_c/E_a$ の方が施工不良をより判定しやすくなる。そこで、波形エネルギー比 ER を評価指標として用いることにした。施工不良品では正規施工品に比べ ER は小さくなる傾向がある。

② 波形継続時間(DT)

波形継続時間 DT は図 3 に示すように時間軸波形の振幅絶対値 $|x_i| (i = 1 \sim N)$ が、その最大値の 10% のレベルとクロスする最も遅い時間で定義した。図 2 (a) と (b) から確認できるように、施工不良品ではアンカー筋の拘束が緩いため振動が継続しやすく、正規施工品に比べ DT が長くなる傾向がある。図 2 (c) と (d) も同様である。なお、上記レベル 10% は、正規施工品と施工不良品の複数個のデータを検討し両者の間で DT の差が明確に識別できるように設定した。

③ 周波数スペクトルの重心周波数(SC)

細かなリップルを取り除き平滑化した周波数スペクトルの例を図 4 に示す。最大ピークに対し一定レベル L 以上になるピークの中から最も低い周波数のピークを選定し、そのピークの ± 2.5 (kHz) の範囲における重心を重心周波数 SC と定義し、次式 (2) で計算した。

$$SC = \frac{f_m H(f_m) + f_{m+1} H(f_{m+1}) + \dots + f_n H(f_n)}{H(f_m) + H(f_{m+1}) + \dots + H(f_n)} \quad (2)$$

ここで f_m と f_n はそれぞれ上記範囲の下限と上限の周波数である。なお、上記レベル L はアンカー筋の種類とセンサ設置位置ごとに、正

図 2 時間軸波形例（有機系注入（異形鉄筋））

図 3 波形継続時間

図 4 周波数の最も低いピークの選定とピーク数のカウント

(a) 正規施工 No. 1 アンカー筋頭部

(b) 穿孔深い No. 4 アンカー筋頭部

図 5 周波数スペクトル例（有機系カプセル（全ねじボルト））

(a) 正規施工 No. 40 アンカー筋頭部

(b) 打込不足 No. 45 アンカー筋頭部

図 6 周波数スペクトル例（金属系本体打込み（めねじ））

(a) 正規施工 No. 46 コンクリート表面 0° 方向

(b) 空気溜り No. 48 コンクリート表面 0° 方向

図 7 周波数スペクトル例（有機系注入（異形鉄筋））

規施工品と施工不良品の複数個のデータを検討し両者の評価指標の差が明確に識別できるように設定した。L の値は図 4 参照。図 5 に有機系カプセル（全ねじボルト）の正規施工品および施工不良品の周波数スペクトルの例を示す。この図から確認できるように、正規施工品に比べ施工不良品では SC が低周波数側へシフトする傾向がある。

④ 周波数スペクトルの標準偏差(SD)

周波数スペクトルの標準偏差SDは、③項で選定した周波数ピークの±2.5(kHz)の範囲における標準偏差で定義し、次式(3)で計算した。

SD = \sqrt{\frac{(f_m - SC)^2 H(f_m) + (f_{m+1} - SC)^2 H(f_{m+1}) + \dots + (f_n - SC)^2 H(f_n)}{H(f_m) + H(f_{m+1}) + \dots + H(f_n)}} \tag{3}

図5から確認できるように、施工不良品では正規施工品に比べSDが小さくなる傾向がある。

⑤ 周波数スペクトルのピーク数(SP)

周波数スペクトルのピーク数SPは、図4に示すように最大ピーク値に対し一定レベルL以上になるピークの個数で定義した。Lの値は図4参照。図6に金属系本体打込み(めねじ)の正規施工品および施工不良品の周波数スペクトルの例を示す。この図から確認できるように正規施工品に比べ施工不良品ではSPが増える傾向がある。

⑥ 周波数スペクトルの相関係数(CF)

あらかじめ複数本の正規施工品の測定結果から周波数スペクトルの平均値H_{av}(f_i)(i=1\sim N)を求めておく。周波数スペクトルの相関係数CFは、評価対象品の周波数スペクトルH(f_i)(i=1\sim N)との相関係数として定義し、次式(4)で計算した。

CF = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_{av}(f_i) - \bar{H}_{av}(f)) (H(f_i) - \bar{H}(f))}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_{av}(f_i) - \bar{H}_{av}(f))^2} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H(f_i) - \bar{H}(f))^2}} \tag{4}

ここで、\bar{H}_{av}(f_i)はH_{av}(f_i)の平均値、\bar{H}(f_i)はH(f_i)の平均値である。図7に有機系注入(異形鉄筋)の正規施工品および施工不良品の周波数スペクトルの例と算出したCF値を示す。CFは正規施工品の周波数スペクトル平均値H_{av}(f_i)との類似度を表している。

(2) 判定基準

前項で示した6種類の評価指標それぞれの判定基準を表1に示す。複数本の正規施工品を測定して求めた各評価指標の最小値未満あるいは最大値超を不良と判定する。図1に示したようにアンカー筋頭部に1個、コンクリート表面に4個のセンサを設置しているため、上述した②波形継続時間DT～⑥相関係数CFについてはそれぞれ、1本のアンカーに対して5個の値が得られ、①波形エネルギー比ERについては4方向のE_cをそれぞれE_aで除して求めるため4個の値が得られる。したがって1本のアンカーに対して、5種類の指標×5個+1種類の指標×4個=29個のデータについてそれぞれ判定することになる。各データについて不良と判定した場合には、NG(No Good)ポイントを付与し、これらを点数加算することにした。付与するNGポイントの点数を表1に併せて示す。NGポイントは、コンクリート表面のセンサで受信した信号単体から求める評価指標に基準点として1点を付与した。したがってコンクリート表面合計で4点となる。アンカー筋頭部については、この合計点と同じ点数になるように4点を付与した。また、波形エネルギー比については、コンクリート表面の信号とアンカー筋頭部の信号の2つから求めているため、他の指標に比べ2倍の2点を付与することにした。正規施工品は零点となり、全てのデータについて不良と判定した場合には最大48点となる。

3. 短期荷重を負担させるアンカーを用いた実験

3.1 供試体

設備機器の固定のように比較的軽微な荷重や耐震改修のような短期荷重を負担させるアンカーを想定して実験を行った。図8にコン

表1 施工不良の判定基準およびNGポイント

評価指標	記号	受信箇所	判定基準	NGポイント
波形エネルギー比	ER	コンクリート表面/アンカー筋頭部	正規施工の最小値未満	各方向2点:計8点
波形継続時間	DT	コンクリート表面	正規施工の最大値超	各方向1点:計4点
スペクトル重心周波数	SC	コンクリート表面	正規施工の最小値未満	各方向1点:計4点
スペクトル標準偏差	SD	コンクリート表面	正規施工の最小値未満	各方向1点:計4点
スペクトルピーク数	SP	アンカー筋頭部	正規施工の最大値超	4点
スペクトル相関係数	CF	コンクリート表面	正規施工の最小値未満	各方向1点:計4点

合計48点/本

図8 コンクリート塊供試体

表2 アンカーの諸元

アンカー種類	呼び径	アンカー材質	定着種類	接着剤種類
金ねじボルト	M16	SNB7	有機系カプセル	エポキシアクリレート
			有機系注入	エポキシ
			無機系紙チューブ	セメントモルタル
金属系ボルト	M24	SUS304	金属系スリーブ打込み(めねじ)	—
			金属系本体打込み(めねじ)	—
異形鉄筋	D16	SD345	有機系注入	エポキシ

表3 アンカーの施工条件

アンカーNo.	アンカー種類	長さ (mm)	定着種類	施工種類	備考		
No. 1 No. 13 No. 25 No. 34	接着系 金ねじ ボルト	230 (埋込130)	有機系 カプセル	正規施工			
No. 2		180 (埋込80)		ボルト短い	正規80を50に切断		
No. 3		150 (埋込50)			正規80を30に切断		
No. 4		220 (埋込120)		穿孔深い	正規120mmを180mm穿孔		
No. 6		230 (埋込130)		穿孔径大	正規φ19をφ22で穿孔		
No. 5				過剰攪拌	攪拌時間延長+15秒		
No. 16				アラシ無し	下穴の清掃不良		
No. 17				水混入	水没(下穴を満水状態)		
No. 18		180 (埋込80)		φ18短い	水没(下穴を満水状態)		
No. 19		150 (埋込50)		φ15短い	正規80を50に切断		
		水混入		水没(下穴を満水状態)			
No. 26		230 (埋込130)		穿孔深い	正規130mmを180mm穿孔		
No. 27				樹脂減少	予想定着長40mm		
No. 28				穿孔径大	予想定着長60mm		
No. 29				過剰攪拌	攪拌時間延長 + 15秒		
No. 32		230 (埋込130)		有機系 注 入	正規施工		
No. 31					空気溜り	横向き施工し側面上奥側空気溜り110mm	
No. 33			奥側70mmの空気溜り、手前側60mm定着				
No. 34			奥側90mmの空気溜り、手前側40mm定着				
No. 24			260 (埋込160)		無機系 紙ふた [®]	奥側110mmの空気溜り、手前側20mm定着	
No. 30						奥側100mmの空気溜り、手前側30mm定着	
No. 14						奥側80mmの空気溜り、手前側50mm定着	
No. 37			260 (埋込160)		無機系 紙ふた [®]	正規施工	
No. 38						浸漬過多	規定浸漬時間1〜3分に対し4分浸漬
No. 11							規定浸漬時間1〜3分に対し30秒浸漬
No. 12	奥側140mmの空気溜り、手前側20mm定着						
No. 20	金属系 ボルト	230 (埋込155)	金属系 スリーブ 打込み (おねじ)	奥側100mmの空気溜り、手前側60mm定着			
No. 7				打込み不足	正規施工		
No. 15					穿孔径大	正規φ35をφ38で穿孔して支圧力不足	
No. 39					打込み不足	正規155mmを170mm穿孔して支圧力不足	
No. 9		230 (埋込170)	金属系 本体打込 (めねじ)	正規施工			
No. 43				穿孔径大	正規φ33をφ35で穿孔して支圧力不足		
No. 40							
No. 41							
No. 42				110 全長140 (埋込120)	打込み不足	正規120mmを130mm穿孔して支圧力不足	
No. 44							
No. 45	接着系 異形鉄筋	230 (埋込130)	有機系 注 入	正規施工			
No. 46				空気溜り	奥側70mmの空気溜り、手前側60mm定着		
No. 47					奥側110mmの空気溜り、手前側20mm定着		
No. 48							

クリート塊供試体を示す。供試体は1800mm×900mm×450mmの直方体で設計基準強度は $F_c=24\text{N/mm}^2$ である。アンカー間の離隔は250mmで、1列6本を同一条件で施工した。表2にアンカーの諸元、表3に施工条件、図9に施工図を示す。施工条件は、接着系全ねじボルトが33種類、金属系ボルトが11種類、接着系異形鉄筋が有機系の注入接着で3種類である。図9(a), (b), (c) および(f)において接着剤が充填されている範囲はカラー表示している。また、図9(e)に示す金属系スリーブ打込みアンカーはめねじタイプであるため、突出部が図9(d)に示す金属系スリーブ打込みアンカーと同じになるように同寸法同材質の全ねじボルトを付加しトルク40N・mで締めた。

3.2 実験結果と考察

施工不良品について得られたNGポイントを図10および図11に示

す。図中の横軸は表3に示したアンカーの番号、左側の縦軸はNGポイントの合計点で、各評価指標のNGポイントを縦に積み重ねて示している。アンカー番号の枝番は同一施工条件で施工した6本の通し番号である。枝番1～3については測定結果がないものがあるが、これらは測定前に引張試験を行ったことによる。右側の縦軸は引張耐力で、1施工条件で6本施工した内の3本を引張試験し、最大耐力の平均値を◆印でプロットしている。正規施工品の最大耐力の平均値は、有機系カプセル(全ねじボルト) No.1:160.3kN、有機系注入(全ねじボルト) No.22:154.4kN、無機系紙チューブ(全ねじボルト) No.14:152.4kN、金属系スリーブ打込み(おねじ) No.7:214.5kN、金属系本体打込み(めねじ) No.40:104.3kN、有機系注入(異形鉄筋) No.46:153.3kNであった。また、図10と図11には日本建築学会「各

図9 アンカーの施工図

図10 接着系全ねじボルトのNGポイントと最大引張耐力

種合成構造設計指針・同解説」⁸⁾の式(20)および式(21)により求めた許容引張力(短期荷重),および、土木学会の「コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針(案)」⁹⁾の式(2.9.1)により求めた設計耐力(引張・短期荷重)も併せて横点線で示した。引張試験結果(図10と図11の◆印)が、上記文献の式により計算した許容引張力または設計耐力のどちらかを下回る施工不良アンカー(図10と図11でアンカー番号を四角で囲っているもの)には比較的高いNGポイントが付与され全て検出できた。また、現状行われている非破壊引張試験では検査荷重の例として許容引張荷重または終局引張荷重の2/3まで加力して試験することが挙げられている¹⁾。非破壊引張試験で許容引張荷重を検査荷重とした場合には、図10と図11で引張試験結果が許容引張荷重を越えている施工不良品は検出できないことになる。このような検出できない施工不良品は、図10と図11とを併せて72本(アンカー番号を四角で囲っているもの以外)があるが、7本(No2_4, No2_6, No3_4, No3_5, No3_6, No5_4, No5_6)を除き全て検出できている。No.2, No.3は埋め込み長が短いものの接着剤が十分に充填されているために、No.5は攪拌時間が長いものの接着剤の固着強度の低下が小さくかつ十分に充填されているために正規施工品との差が出なかったものと考えられる。なお、埋め込み長さは別途、アンカー筋頭部に探触子を設置して超音波パルス反射法による実験で測定可能なことを確認している。

4. 長期過重を負担させるアンカーを用いた実験

4.1 供試体

(1) コンクリート塊供試体

既存建築構造物で長期荷重を負担させるような埋込長の長い注入式の接着系あと施工アンカーの適用を想定して実験を行った。図12にコンクリート塊供試体を示す。1000mm×1000mm×300mmの直方体で、異形鉄筋のD13が17本、D19が13本、計30本が施工されている。全て、埋込長さは250mm、突出長さは500mmであり、材質はSD295Aである。表4に施工条件を示す。なお、本章に示す供試体ではAEセンサの設置スペースが狭いため、図12および後述の図13の実験ではアンカー筋から約50mmの位置にAEセンサを設置した。また本章では評価指標SPは図4に示したレベルLを30%として求め、SCとSDは図4に示した最大ピークから求めた。

(2) 建築実構造物供試体

図13に実際の建築構造物の床(梁上端)、壁小口および梁下端に施工した上記(1)と同様に長期荷重を受ける異形鉄筋の施工写真を示す。表5に施工条件を示す。アンカー筋はD13で、材質はSD295Aである。コイルは硬質ウレタンをコイル内側に挿入することによりアンカー筋の先端部に保持した。AEセンサは床(梁上端)においてはひび割れや凹凸を避けて4個取り付けた。壁小口と梁下端においては打診棒で躯体と仕上げ材の間の浮きを確認し浮きのない場所に取り付けたが、梁下端においては浮き範囲が広く4個取り付けることが困難であったため、No.2, No.8, No.9については3個のみとした。

4.2 実験結果と考察

(1) コンクリート塊供試体

施工不良品について得られたNGポイントを図14に示す。樹脂不足の施工不良アンカーは高いNGポイントで検出できた。鉄筋側接着剤塗布と清掃不良についてはNGポイントが低い結果であった。

図11 金属系ボルトおよび接着系異形鉄筋のNGポイントと最大引張耐力

図12 コンクリート塊供試体

表4 コンクリート塊供試体のアンカー施工条件

アンカーNo.		呼び径	施工種類	備考
No. 1	No. 2	D13	正規施工	
No. 3	No. 4			
No. 5	No. 24			
No. 6	No. 7			
No. 8	No. 9	D19		
No. 10	—			
No. 11	No. 12	D19		
No. 13	No. 14	D13		
No. 15	—			
No. 16	No. 17	D19	樹脂不足 (先端・手前充填)	下穴先端のみの接着剤で定着後、穿孔手前に接着剤を塗布し蓋をする
No. 18	No. 19	D13		
No. 20	—	D13	樹脂不足 (先端充填)	下穴先端のみの接着剤で定着
No. 21	No. 22			
No. 23	No. 25			
No. 26	No. 27	D19	清掃不良	下穴にコンクリート粉が残った状態で接着剤を注入し定着
No. 28	No. 29	D13		
No. 30	—

(a) 床(梁上端) (b) 壁小口 (c) 梁下端
図13 建築実構造物に施工した異形鉄筋アンカー

(2) 建築実構造物供試体

図15に施工不良品について得られたNGポイントを示す。センサ取り付け面の状態が悪かったものの、施工不良品全てにNGポイント

が付与され実構造物においても検出できることが確認できた。また、鉄筋側の接着剤塗布と清掃不良のアンカーは上記の実験結果同様に NG ポイントが低い結果となった。参考文献 10)ではエポキシ系接着剤強度の清掃不良による影響は小さいと報告されていることから、正規施工品との差が小さく、検出しにくくなっているものと考ええる。

5. まとめ

得られた結果をまとめて以下に示す。

- ①短期荷重を受けるアンカーを想定してコンクリート塊供試体に施工したアンカーにおいて、許容引張力または設計耐力のどちらかを下回る施工不良品は、全てのアンカー種類で検出できた。
 - ②上記①の実験結果の内、現行の非破壊引張試験において検査荷重として許容引張荷重を用いた場合には検出できない施工不良品が 72 本あったが、7 本を除いて全て検出できた。
 - ③既存建築物で長期荷重を負担させる埋込長の長い注入式の接着系あと施工アンカーを想定してコンクリート塊供試体に施工された異形鉄筋アンカーにおいて、樹脂不足は全て検出できた。鉄筋側接着剤塗布と清掃不良については NG ポイントが低い結果となった。
 - ④実際の建築物に埋込長の長い異形鉄筋アンカーを施工した場合においては、コンクリート面の測定条件が悪かったものの全ての施工不良を検出できた。NG ポイントの点数が低いものもあったが、実構造物でも本手法による施工不良検出の有効性を確認できた。
- なお本研究は、経済産業省関東経済産業局による戦略的基盤技術高度化支援事業(サポイン事業)の「完全非破壊による、あと施工アンカーボルト定着部の健全度評価システムの開発」および国土交通省の建築基準整備促進事業「あと施工アンカーを用いた部材の構造性能確認方法に関する検討」において実施したものである。

参考文献

1)あと施工アンカー施工指針（案）【接着系/カプセル方式】，一般社団法人日本建築あと施工アンカー協会，pp. 46-48，p. 50，2016. 7

2)宮田，内田，鎌田，長岡，三輪，高鍋，木村，西上，劉，田中：電磁パルス法に基づくアンカーボルト固着部の健全度評価に関する実験的検討，日本非破壊検査協会平成 25 年度秋季講演大会講演概要集，pp. 33-36，2013. 11

3)三輪，高坂，橋本：電磁パルス法による全面定着方式ロックボルト定着部の非破壊的評価手法の検討，土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集，pp. 255-256，2015. 9

4)高鍋，三輪，宮田，高坂，加賀，長岡：電磁パルス法を用いたあと施工アンカーボルト定着部の評価に関する検討，日本非破壊検査協会平成 27 年度秋季講演大会講演概要集，pp. 75-78，2015. 10

5)高鍋，三輪，加賀，長岡：電磁パルス法によるあと施工アンカーボルトの健全性評価結果の精度に関する研究，日本非破壊検査協会平成 28 年度秋季講演大会講演概要集，pp. 91-94，2016. 10

6)加賀，長岡，三輪，高鍋，和高：電磁パルス法によるあと施工アンカーボルト定着部の健全性評価 ―評価指標の検討―，日本非破壊検査協会平成 29 年度秋季講演大会講演概要集，pp. 179-182，2017. 10

7)加賀，三輪，高鍋，和高，長岡：電磁パルス法によるあと施工アンカーボルト定着部の定量的評価，日本非破壊検査協会第 25 回超音波による非破壊評価シンポジウム講演論文集，pp. 65-182，2018. 1

8)日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説，pp. 252-254，2010. 11

9)土木学会：コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針（案），p. 46，2014. 5

10)本橋，濱崎，飯泉，渡辺，田沼，棚野，土屋：接着系あと施工アンカーの引張り強度特性に与える施工品質の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1，pp. 1337-1338，2014. 9

表 5 建築実構造物供試体のアンカー施工条件

アンカー No.	長さ (mm)	定着種類 (接着剤)	施工種類	施工場所	備考
No. 1	750 (埋込 250)	有機系注入 (エポキシ)	正規施工	梁下端	下穴先端のみの接着剤で定着
No. 2			樹脂不足 (先端充填)		下穴先端のみの接着剤で定着後、穿孔手前に接着剤を塗布し蓋をする
No. 3			樹脂不足 (先端・手前充填)		鉄筋に沿うように接着剤を塗布し、鉄筋を回転しながら挿入して定着
No. 4			鉄筋側接着剤塗布		下穴にコンクリート粉が残った状態で接着剤を注入し定着
No. 5			清掃不良		
No. 6	450 (埋込 250)	有機系注入 (エポキシ)	正規充填	梁下端	下穴先端のみの接着剤で定着後、穿孔手前に接着剤を塗布し蓋をする
No. 7			樹脂不足 (先端・手前充填)		鉄筋に沿うように接着剤を塗布し、鉄筋を回転しながら挿入して定着
No. 8			鉄筋側接着剤塗布		下穴にコンクリート粉が残った状態で接着剤を注入し定着
No. 9			清掃不良		
No. 10			正規充填		
No. 11	750 (埋込 250)	有機系注入 (エポキシ)	樹脂不足 (先端充填)	壁小口	下穴先端のみの接着剤で定着
No. 12	250)		樹脂不足 (先端・手前充填)		下穴先端のみの接着剤で定着後、穿孔手前に接着剤を塗布し蓋をする
No. 13	450 (埋込 250)		鉄筋側接着剤塗布		鉄筋に沿うように接着剤を塗布し、鉄筋を回転しながら挿入して定着
No. 14	250)		清掃不良		下穴にコンクリート粉が残った状態で接着剤を注入し定着
No. 15			正規施工		
No. 16	750 (埋込 250)	有機系注入 (エポキシ)	樹脂不足 (先端充填)	(梁上端) 床	鉄筋に沿うように接着剤を塗布し、鉄筋を回転しながら挿入して定着
No. 17			樹脂不足 (先端・手前充填)		
No. 18			鉄筋側接着剤塗布		
No. 19			清掃不良		
No. 20			正規施工		
No. 21					
No. 22					
No. 23					
No. 24					
No. 25

図 14 コンクリート塊供試体アンカーの NG ポイント

図 15 建築実構造物供試体アンカーの NG ポイント

[2018 年 6 月 5 日原稿受理 2018 年 8 月 20 日採用決定]