ＪＵＳＴ技報

印刷不可

№３２　２０１３年１２月１４日

アルミ樹脂複合板　取付けリベットの渦流探傷試験

名古屋営業所　　近藤　浩

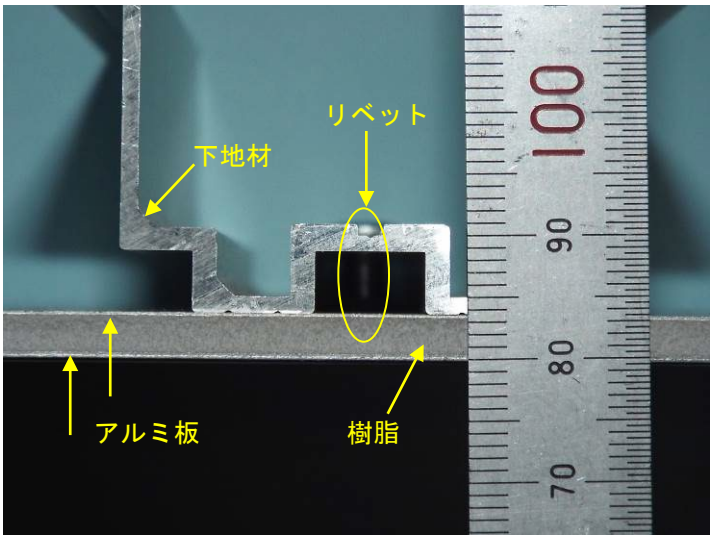
キーワード　　渦流探傷試験、アルミ樹脂複合板、天井パネル、外壁、リベット

概　要

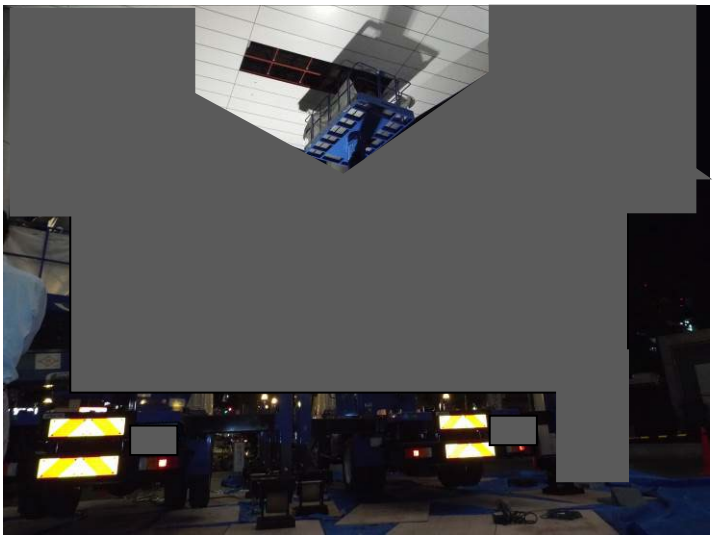
アルミ樹脂複合板の内部に打ち込まれた、下地材との締結用リベットの健全性を、複合板の外表面から渦流探傷を用いて評価できないかとの依頼があり、本社所有の渦流探傷器（Locator2：GE 社製）を用いリベットの施工不良を判別した。

１．アルミ樹脂複合版とは

芯材の樹脂（ポリエチレン）を表面処理したアルミ板で、サンドイッチした厚さ 1～8 ㎜程度の複合板。意匠性や加工性、防火性、耐久性などに優れ、近年建築の外装材（外壁、天井、カーテンウォールなど）や内装材（什器、ドアパネルなど）に多く使用されている。



【写真１】断面の拡大写真

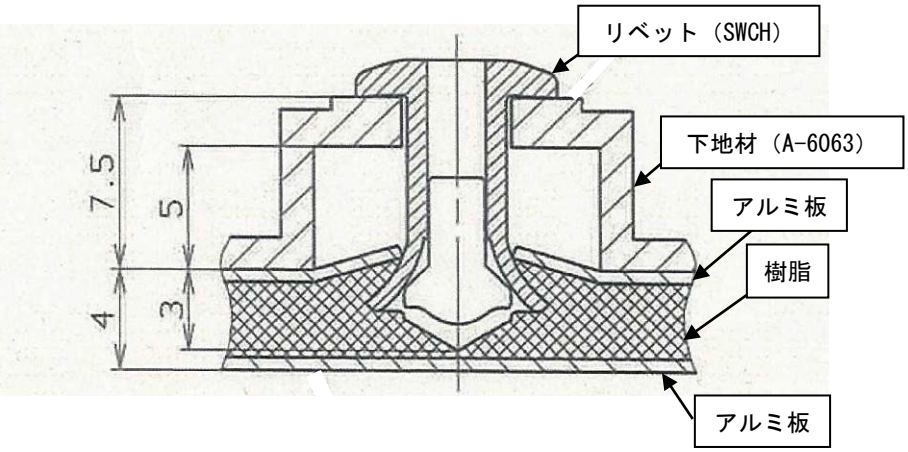


この写真特に㊙

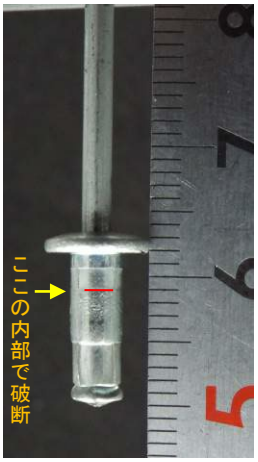
【写真２】ピロティ天井

２．リベットによる複合板と下地材の締結

リベット単体は【写真３】に示す形状で、アルミ板に削孔した下穴から樹脂内部に打ち込み、芯を引き抜くときに芯の先端部分がカバーを押し広げ、複合板と下地材が締結される。この時リベットの上部、棒状の部分はカバー内部で破断して、いわゆるリベット状の部分だけが複合版と下地材を締結した形となる。

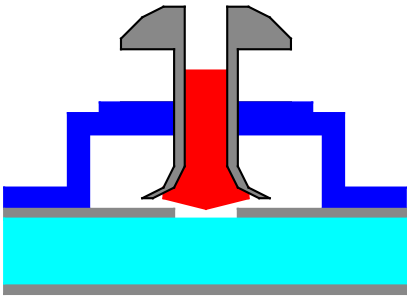


【図１】



【写真３】

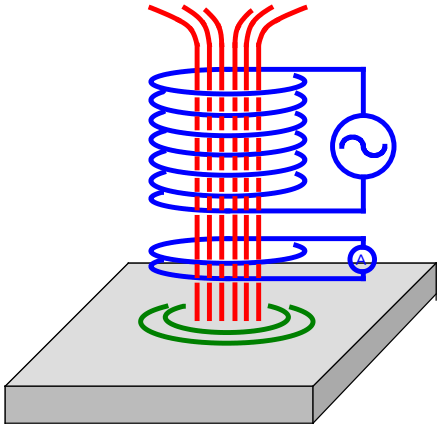
正しく施工されれば【図１】の形状になるが、不良施工の場合は【図２】のようにリベット先端が複合板に入らずに開いて、浮いた状態になる。



【図２】

３．渦流探傷試験とは

コイルに電流を流すと磁場が発生する。この電流が交流の場合、コイルを導体に近づけると、電磁誘導現象で導体内に電流（渦電流－Eddy current）が流れる。この誘導現象によって導体に流れた渦電流は新しい磁場を形成し元のコイルに影響を与える。【図３】



【図３】

渦電流は交流の表皮効果によって導体の表層部に集中して流れる性質があり、また渦電流が変化する要因としては、

①表層部のきずの存在

②試験体の形状・寸法

③導体の電磁気的性質－透磁率（μ）、導電率（σ）の変化

④交流の周波数（ｆ）の変化

⑤コイルと導体の相対距離（リフトオフ）　　などがある

これらの要因による電流の変化はとても小さいので、コイルをブリッジ回路に組んでわずかな電流の変化も検出できるようにして、さらに「同期検波回路」を設け、回路に出力される信号を電圧平面上（Ｘ－Ｙ座標）に表し、欠陥からの信号（Ｓ）と雑音（Ｎ）－試験コイルのガタ信号－を座標軸上で回転させ（位相角を変える）Ｓ／Ｎ比が最大になるようにして、試験体表層部のきずを検出する方法が渦流探傷試験である。また、前述のように交流電流（磁場）には「表皮効果」があり、渦電流は導体表層部に集中する。表面における電流密度が 37%（1/ｅ　ｅ：自然対数の底）になる深さを浸透深さ（δ）という。

$\delta = 1/(\sigma \times \pi \times \mu \times f)^{1/2}$　　σ：導電率、π：円周率、μ：透磁率　ｆ：周波数

またこの原理は、リフトオフ（プローブコイルと塗膜を介した母材との間隔）による電流の変化も大きいので膜厚測定（非磁性導体上の非導電性塗膜）に用いられ、また誘導電流による渦電流で発熱させる調理器具はＩＨ（Induction　Heating）調理器具と言われている。

４.コイルの選択

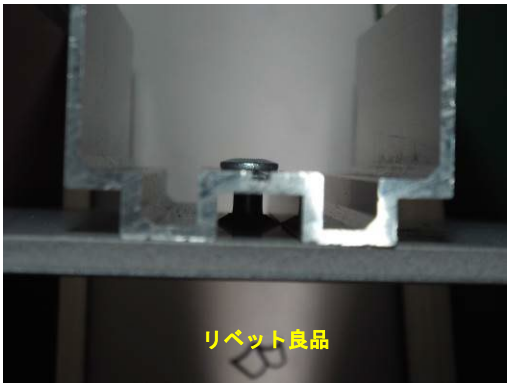
渦流探傷試験では前述した交流の表皮効果により、表面に生じたきずを検出する場合は高い周波数を選択するが、今回の場合は厚さ 0.5 ㎜のアルミ板に挟まれた樹脂の内部で、検査面から深さ 2 ㎜程度の場所に存在する強磁性材料のリベットを信号として検出し、深さ 3～4 ㎜にあるリベットは検出しない、という調整をする必要性からＪＵＳＴ本社の所有するコイル（周波数 100ＫＨｚ）では周波数が　高すぎ「内部の“欠陥”」は検出できないため、300Ｈｚ～100ＫＨｚの低周波のコイルを選択した。

【写真４】溶接割探傷用コイル

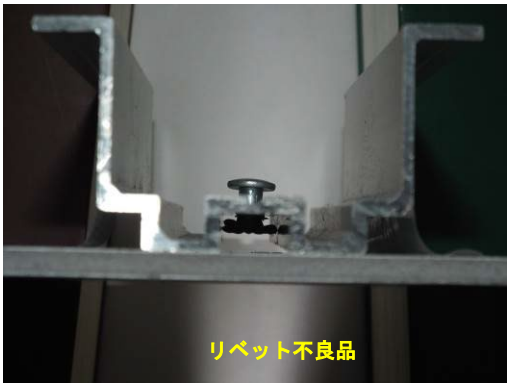
【写真 5】低周波コイル

５．実験

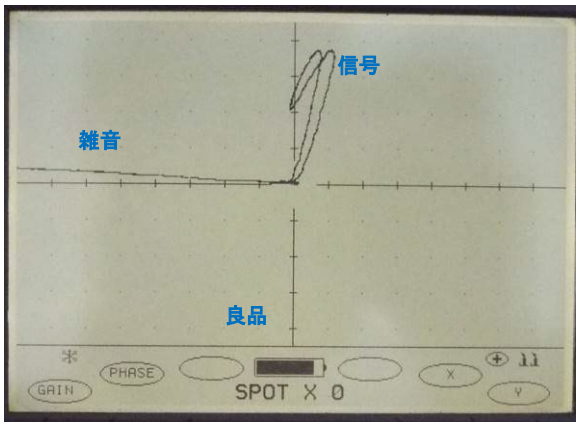
客先支給のリベットの良品、不良品のＴＰで実験をおこなった。



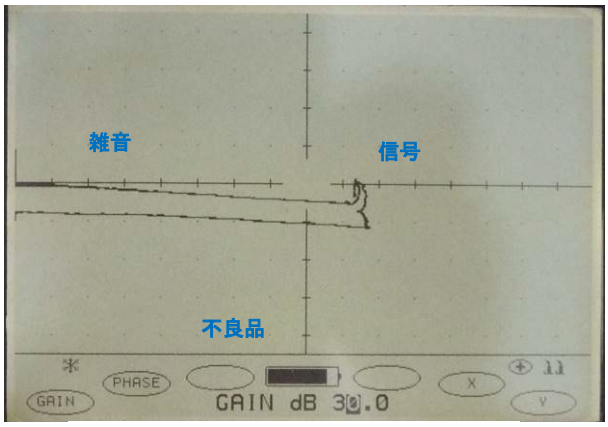
【写真 6】



【写真 7】



【写真８】　良品探傷波形（信号の軌跡）

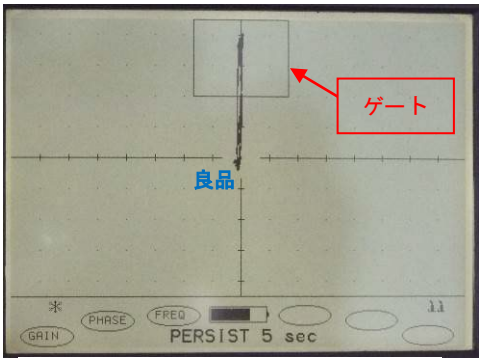


【写真９】不良品探傷波形（信号の軌跡）

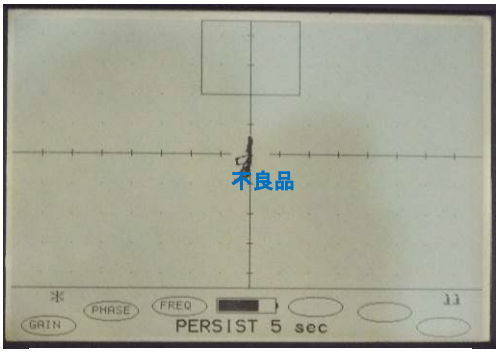
アルミ樹脂複合板の裏面にある下地材の位置で、リベットのない部分で校正をおこなった。樹脂内部においてリベットが開いているものは、強磁性体（リベット）により“信号”が検出され、リベットが不完全なものは電磁気的にリベットのない部分と変わりがないので、信号は出力されない。

【写真 8】【写真 9】の「雑音」はいわゆる“ガタ信号”で試験面とコイルの距離の微妙な変化によるものである。たまたまであるが、健全部における信号をＹ軸に出力させると、ガタ信号はほぼＸ軸に出力される。後述する実際の試験では補強のために外表面から直接打ち込んだビスが検出されたが、この信号が健全なリベットからの信号との位相角で 30°程度の差があったので、すぐ識別できた。

さらにＹ軸上の信号をＸ軸の１６倍に拡大し下の写真のように四角いゲートを設定し、このゲート内に信号が入ると警報が出るように設定した。これによって検査作業は液晶画面を見ることなく、探傷位置に対し正確にプローブを走査することに専念できた。



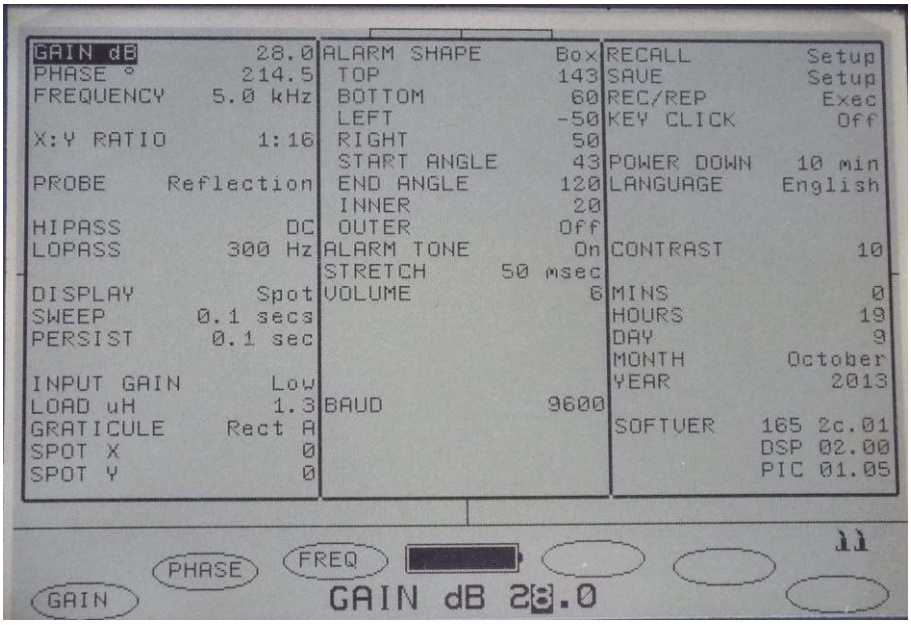
【写真 10】良品探傷波形（信号の軌跡）



【写真９　不良品探傷波形（信号の軌跡）】

【機器の調整】

探傷器の調整は以下の通り



【写真１０】　試験条件設定画面

＜左＞

GAIN　　：ＴＰで良品の信号がゲートに入り、不良品の信号がゲートに入らないように調整

PHASE　　：自動調整

FREQENCY：ＴＰで実験し 5KHz に決定

X:Y　RATIO：X 軸Ｙ軸の出力比率、雑音（X 軸）に対し信号（Y 軸）の出力を 16 倍とした

PROBE：使用するプローブコイルによる

HIPASS：ハイパスフィルター（低周波をカット）　設定ＤＣ

LOPASS：ローパスフィルター（高周波をカット）　設定 300KHz

DISPLAY：通常は SPOT

SWEEP　：DISPLAY が時間ベースの時に使用、信号スポットの画面の通過時間、掃引

PERSITI：表示の残像時間（前ページの信号の軌跡は設定を 5 秒で撮影）検査では 0.1SEC に設定

＜中央＞

ALRAM SHAPE：ゲートの設定

ALRAM TONE：アラームの ON、OFF

STRECH：アラームの時間

VOLUME：アラーム音量

バランスやリフトオフの信号（雑音）解析は自動でおこなった。特に「自動リフトオフ補正」機能はガタ信号を自動的にＸ軸に調整してくれる。

６．試験

試験結果は事情により省略し、写真に留める。

７．まとめ

この試験は「探傷」というよりは、アルミ樹脂複合板の内部に強磁性体（リベット）が存在するのか、打ち込みに失敗して強磁性体が外部に存在するのかを両者の透磁率※の違いで試験をする、いわゆる「材質試験」だった。

現場での調査はＴＰと同様に検査できたが、残念なことに試験をおこなった後の現物には他の問題が見つかり、試験結果の検証が出来なかった。

問題点等をまとめると

(1) テストピースが「良品」「不良品」の２種類しかなく、合否の閾値の設定が大雑把であった。出来るだけ多くのリベットが色々な状態に施工されているテストピースが作れると、判別の精度は格段に上がると思われる。

(2) 調査対象が天井板で調査の姿勢が上向きであり、液晶画面を見ることなくアラームで合否を知らせる方法は非常に便利だった。（ＵＴの如く画面を常に監視する必要はない）

(3) 取り替え予定の天井板を高所作業車上から検査した後、取り外して再び検査をしたところ、「上向き姿勢」で行った結果と「下向き姿勢」で検査した結果は、「下向き姿勢」でおこなった方がやや多く信号（健全部）を検出していた。

※透磁率＝比透磁率μ_s×真空中の透磁率μ_0（$4\pi\times10^{-7}$H/m）

比透磁率：空気、比磁性体など＝1.0

鉄、ニッケルなど＝数百以上

８．あとがき

アルミ複合板リベット接合部の検査を発案したのは、客先の某ゼネコンの所長（技術士）であった。ＲＴ、ＵＴ・・・と非破壊試験方法６種目の原理を見ているうちに思ついたそうだ。

渦流探傷は名古屋ではおこなった経験がないが、低周波数のコイルをデモで貸してもらったＧＥによると、プラント以外ではアルミ合金＋リベットで製作される航空機や鉄道車両の製造現場ではよく使われているとのことだった。ただし、航空機の保守検査でリベットの頭に隠れた部分の疲労割れを検出するにはまだまだの性能のようだ。

一般的に検査会社がおこなう渦流探傷試験は発電所の復水器などいわゆる熱交換器のＴＵＢＥ（細管）の検査が 99%と言ってもいいくらいで、今回のような「プローブ形コイル」を使用する渦流探傷試験はあまりない。私が過去におこなったＥＴで「プローブ形コイル」を使った検査はただ一度、原子力用のＳＵＳの丸棒の素材検査で、表面上Φ0.5 ㎜程度のきずを見つける仕様で「貫通コイル」ではとても検出できなく、「プローブ形コイルを丸棒に接触させ、丸棒のほうを回転しながら軸方向に送る」という装置を作り探傷をおこなっただけである。

それから 20 年近く経過し、探傷器の大きさはずいぶんポータブルになり（昔は１セットが袖机ほどの大きさ）、教科書やＮＤＩの試験にしか登場しなかった「多重周波数によるバッフルプレートのノイズ除去」は常識となり（日本非破壊検査四日市の課長は「バッフルの雑音が除去できない会社は検査会社とは言えない」とまで言っている）、また強磁性体の探傷は試験体を飽和するまで磁化しなければならなかったはずなのに、今回使用した探傷器の付属品として「強磁性体溶接部の表面割れ探傷用プローブ」なるものまでオプションで販売されている。（ＪＵＳＴ本社で時々使っているらしいが）

名古屋営業所では現在道路橋の点検をおこなっているが、その中で主桁縦リブの疲労割れの磁粉探傷試験を予定している。おそらく作業の 80%は塗装剥離・復旧となるが、ここで塗装を剥離することなく渦流探傷で検査がおこなえたら楽だと思われるが、割れの発生場所がほとんど溶接止端部で、ここが透磁率の境界で、しかも形状の変化点であることを考えると、現状では適用できないと思われるが、年明けにＭＴを実施する際に実験をおこなう予定である。