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基礎的検討

大阪大学大学院　学生会員　○西上　康平
大阪大学大学院　正会員　鎌田　敏郎
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アンカーボルト固着部の健全度を非破壊で評価するための手法として，電磁力により非接触で振動することが可能な電磁パルス法に着目し，アンカーボルトとコンクリート界面における接着剤の充填状況評価の適切な計測方法および弾性波特性を，衝撃応答解析を用いて把握することを目的とした．

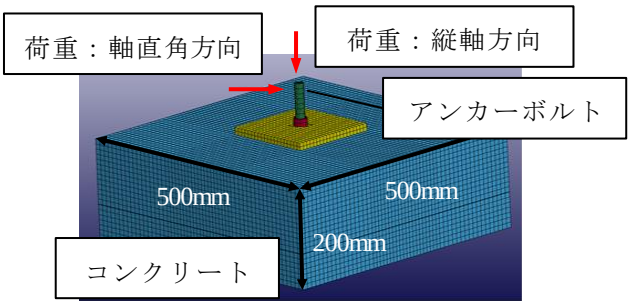
2. 解析概要

図－1 に解析モデルを示す．縦 500mm×横 500mm×高さ 200mm のコンクリートに，直径 16mm 長さ 250mm のアンカーボルトを模した鉄棒をコンクリート表面から 130mm の深さとなるまで埋め込んでいる．コンクリートとアンカーボルトの間には，接着剤の有無を模擬するための媒介層を設けた．解析モデルにおける各構成材料の材料定数は，**表－1** に示す物性値を設定した．各構成材料の要素は，いずれも 8 節点 6 面体ソリッドとし，要素の代表長さは約 10mm とした．また，境界条件としてコンクリート部分の全側面（500mm×200mm の面を 4 面）を無反射条件とした．電磁パルス法による弾性波入力には，**図－1（a）** に示すように，ボルト軸方向に荷重を与える場合と，ボルト軸直角方向の場合の 2 ケースを設定した．いずれのケースも，波形出力位置はボルト上端部の 1 節点とした．接着剤の充填状況の違いが弾性波特性に与える影響を把握するために，媒介層（長さ 130mm）を 13 等分して接着剤の有無を模擬することとした．すなわち，媒介層全要素に接着剤の物性値を設定したものを「健全度レベル 13」とし，プレート側の要素のみを接着剤，それ以外を空気として設定したものを「健全度レベル 1」とした（**図－2** 参照）．さらに接着剤の充填状況にバリエーションを持たせるため，深さ方向に接着剤要素を段階的に増やし，健全度レベルを全 13 段階に設定した．

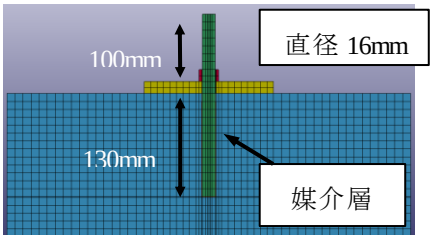
3. 解析結果および考察

3.1 ボルト軸方向入力

図－3 に解析により得られた速度波形の一例として，健全度レベル 1 およびレベル 13 を示す．図より，健全度レベル 13 では，弾性波の減衰が健全度レベル 1 よりも早いことがわかる．健全度レベル 13 では，アンカーボルト上端で入力した弾性波がボルト深さ方向に伝搬

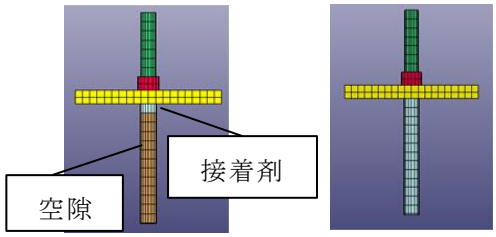


（a）アンカーボルト



（b）拡大図

図－1　解析モデル



（レベル 1）　（レベル 13（健全））

図－2　付着状況一例

表－1　解析モデルの物性値

物質	弾性係数 (MPa)	密度 (g/cm^3)	ポアソン比
コンクリート	30000	2.3	0.2
プレート	200000	7.9	0.3
アンカーボルト	200000	7.9	0.3
接着剤	2000	1.2	0.40
空気	1.6E-17	2.2E-13	2.0E-20

キーワード　アンカーボルト，固着部，健全度，非破壊試験，電磁パルス法
連絡先　〒565-0871　大阪府吹田市山田丘 2-1　大阪大学大学院 工学研究科 地球総合工学専攻　TEL 06-6879-7618

し，これがコンクリート部分に到達すると，接着剤を介してコンクリート部分にも伝搬することになる（図－4参照）．一方，健全度レベル1では，媒介層では接着剤よりも空隙が占める割合が大きいため，ボルト内部で伝搬する波の成分が多くなる（図－4参照）．これにより，上端で出力した波形に差異が生じたものと考察できる．なお，この現象は，接着剤，コンクリートおよび空気の各音響インピーダンスから計算される反射音圧比（たとえば，接着剤とコンクリート）から考えても理論どおりである．

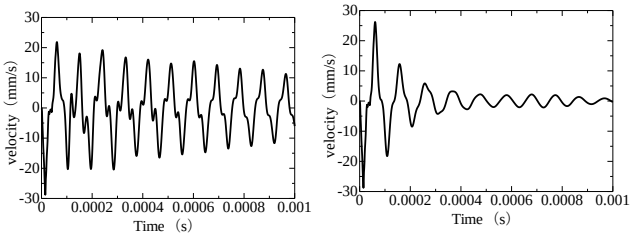
波形の減衰を定量的に表記するため，速度波形における各振幅を 2 乗した後これを総和したものを「波形エネルギー」と定義した．図－5に波形エネルギーと健全度レベルとの関係を示す．図に示す波形エネルギーは，健全度レベル 1 の波形エネルギーを 1 とした比率に換算している．レベル 1 から 6 にかけては順次エネルギーが低下していくものの，それ以降においては一定値を示している．今後は，波形の特徴をより適確に抽出する方法を検討するとともに，波形出力点をコンクリートやアンカープレート部分にも増やすことにより，エネルギーが変動しない領域においても，この方法により接着剤の充填程度を評価できると考えている．

3.2 ボルト軸直角方向入力

ボルト軸直角方向入力における波形エネルギーと健全度レベルとの関係を図－6に示す．波形エネルギーは概ね軸方向入力の場合と同様の傾向を示している．しかしながら，図より明らかな通り健全度レベルに対するエネルギーの減少程度は，ボルト軸方向入力の場合の方が直角方向の場合よりも大きい（感度が高い）．

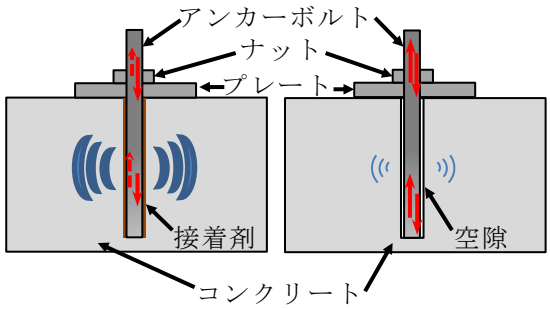
4. まとめ

電磁パルス法によりアンカーボルト固着部の健全度を評価する場合は，アンカーボルトを伝搬する波形エネルギーに着目することが有効である可能性が示された．弾性波の入力方法としては，これまで著者らが行ってきた励磁コイルを用いた方法と，今回新たに提案したアンカーボルトに導線を巻き付け，ボルトそのものに励磁コイルの役割を担わせる方法（図－7）の 2 ケースを想定した解析を行った結果，本研究の範囲内では，後者の方法の感度が高いことがわかった．

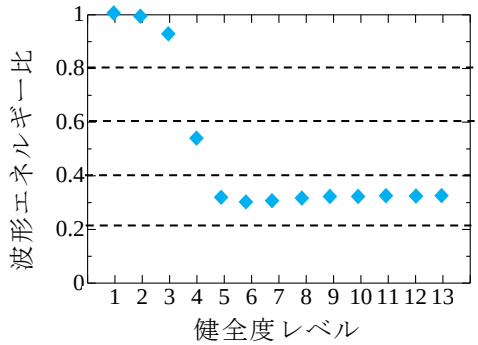


（レベル 1）　（レベル 13（健全））

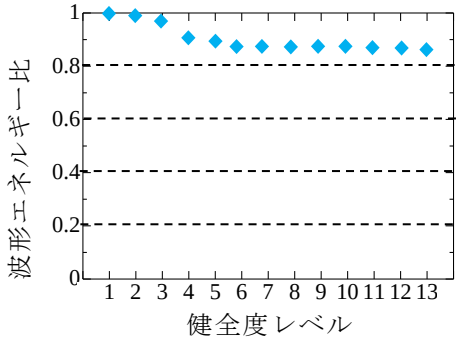
図－3 ボルト軸方向入力により得られた速度波形一例



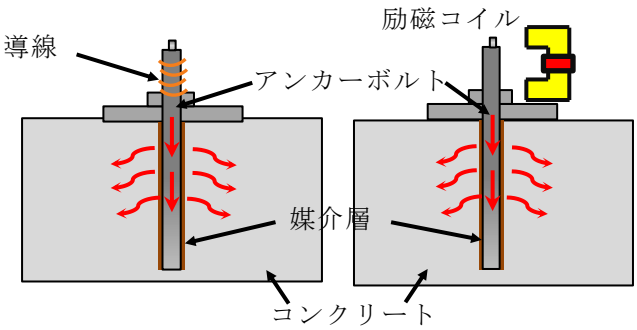
図－4 弾性波伝播挙動のイメージ



図－5　ボルト軸方向入力により得られた受信波形のエネルギー



図－6　ボルト軸直角方向入力により得られた受信波形のエネルギー



導線を巻きつける方法　　励磁コイルを用いる方法

図－7　電磁パルス法による計測の概要