打音診断技術を適用したグラウンドアンカーの緊張力簡易計測システムの開発（その２）

西日本高速道路（株）　正会員　○浜崎　智洋
原子燃料工業（株）　正会員　松永　嵩，小川　良太，匂坂　充行
原子燃料工業（株）　礒部　仁博，藤吉　宏彰
（有）マサクリーン　佐山　政幸，佐山　勝一

１．はじめに

高速道路の約40%が供用後30年を超過するなかで，グラウンドアンカー(以下，「アンカー」という)についてはその主たる部分が地中に存在するため，性能低下を早期に発見・把握することが肝要となる．アンカーの維持管理においては，リフトオフ試験により残存引張り力(以下，「緊張力」という)の測定が実施されているが，代替となる簡易計測法の開発が必要とされている．

本稿は，Acoustic Emission(以下，「AE」という)センサを用いた打音診断技術による緊張力簡易計測法の開発に向けて，アンカー緊張力の現地診断結果による評価・検証を試みたものである．

図-1　AEセンサを用いた打音診断状況

２．ＡＥセンサを用いた打音診断

(1) 打音診断および解析概要

図-1 に AE センサを用いた打音診断状況を示す．ハンマでアンカー頭部(以下，「頭部」という)に強制振動を加え，AE センサにより振動波形を取得し，高速フーリエ変換処理により周波数分布を得る．この周波数分布のうち，低次の固有振動を表す最も低周波側のピークに着目し，評価ピーク周波数[1)]と定義する．この評価ピーク周波数は，頭部特性に依存し，打音診断対象の拘束条件（緊張力）に伴い変化することが確認できていることから，本稿では，評価ピーク周波数と頭部特性を重回帰分析の変数として取扱い，緊張力推定に関する検討を行った．

表-1　アンカーの諸元

診断箇所	アンカー種類 ※1	アンカー区分	計測本数(本)	頭部外径(mm)	頭部長さ※2(mm)	緊張力(kN)
①	Type I	新設	16	40	116～145	228
②	Type II		45	48	161～268	320～340
③	Type III		5		193～212	423
④			11		169～236	422
⑤			52		178～244	411
⑥	Type I	既設	5	40	99～164	168～207
⑦	Type II		5	48	165～173	237～273
⑧	Type IV		5	40	101～155	93～114

※1　Type IおよびType IV; 1×Φ17.8, Type II; 1×Φ21.8, Type III; 7×Φ9.5
※2　頭部長さとは，ナット下端からアンカー上端までの長さをいう

(2) 打音診断条件

表-1 に対象としたアンカーの諸元を示す．アンカーは，多重より PC 鋼より線タイプとし，129 本の新設アンカー(表-1 の①～⑤)と 15 本の既設アンカー(表-1 の⑥～⑧)について，それぞれの緊張力状態で計測を行った．なお，新設アンカーについては，頭部の緊張・定着作業が完了した後に打音診断を行った．一方，既設アンカーについては，打音診断後にリフトオフ試験を行い，緊張力を把握した．

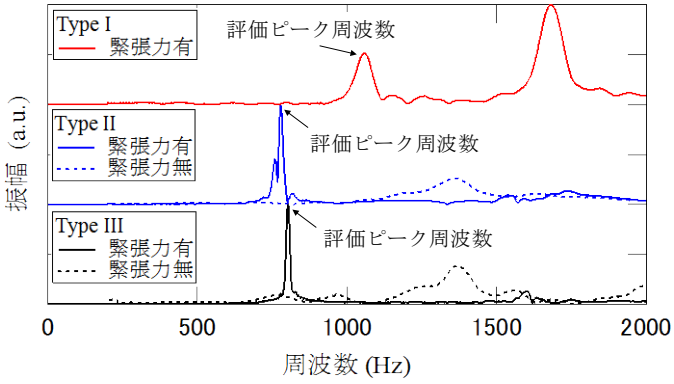

図-2　周波数分布の一例と評価ピーク周波数

３．解析結果

(1) 緊張力と周波数分布

図-2 に，新設アンカーを対象に周波数分布の一例を示した．緊張力無とは，破断などにより頭部の拘束力が著しく低下した状態を模擬したアンカーである．Type II

キーワード　グラウンドアンカー，非破壊試験，打音診断，緊張力，健全度調査
連絡先　〒812-0013　福岡市博多区博多駅東 3-13-15　西日本高速道路（株）九州支社　TEL092-260-6157

および Type III の場合のように，緊張力の有無により周波数分布の形状は大きく異なり，緊張力無のアンカーは，評価ピーク周波数の特定が困難な特異な形状となった．このように，緊張力が著しく低下している状態のアンカーを検出可能であることが示された．また，このことは緊張力の相違により評価ピーク周波数が変化することを裏付ける結果となった．

(2) 頭部長さと評価ピーク周波数

図-3 は，打音診断箇所ごとの頭部長さと評価ピーク周波数との関係をとりまとめたものである(図中の凡例に示す番号は表-1 の診断箇所①～⑧に対応する)．新設アンカーである②および③～⑤の評価ピーク周波数は，緊張力が一定の場合，頭部長さが長くなるにしたがい低周波側にシフトする結果が得られた．また，②と⑦のうち頭部長さが同程度のものを対比すると，緊張力が大きい②の方が，評価ピーク周波数は高周波側となる結果が得られた．

ただし，図-2 に示すような周波数分布を有する①は，緊張力が一定にもかかわらず評価ピーク周波数のバラツキが大きくなった．

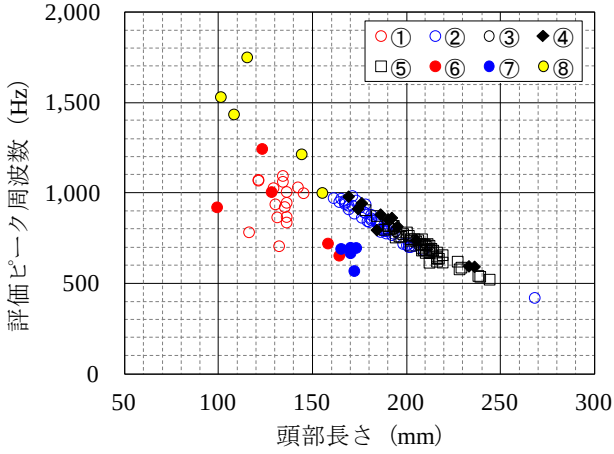

図-3 頭部長さと評価ピーク周波数の関係

表-2 重回帰分析の結果

アンカー種類	重相関係数 (R)	係数 (α)	係数 (β)	係数 (γ)
Type I	0.39	0.045	-0.446	201.3
Type II	0.87	0.235	-5.413	296.3
Type III	0.43	0.029	-0.196	397.0
Type IV	0.72	0.033	-0.223	74.3

(3) 緊張力推定式の検討および検証

緊張力推定式は，式(1)に示すように，評価ピーク周波数と頭部長さを変数とした重回帰分析を用いて検討を行った(ここに，S；推定緊張力(kN)，f；評価ピーク周波数(Hz)，ℓ；頭部長さ(m)，α･β･γ；係数)．

$$S = \alpha \cdot f + \beta/\ell^2 + \gamma \qquad (1)$$

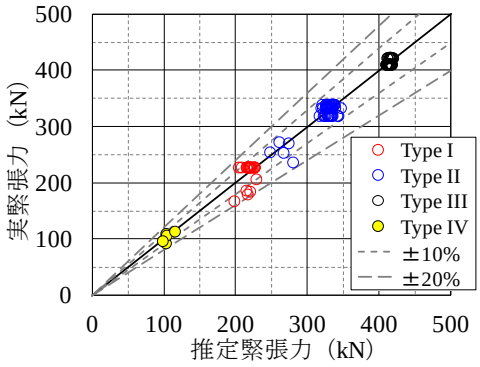

図-4 推定緊張力と実緊張力の対比

その結果を表-2に示す．Type IIおよびType IVの重相関係数はそれぞれ$R = 0.87$および$R = 0.72$が得られ，かなり強い相関があることが示された．ただし，評価ピーク周波数のバラツキが大きいType Iと，アンカー緊張力のレンジ幅が小さいType IIIについては，重相関係数が$R = 0.39$～0.43となった．

図-4 は，式(1)および表-2 により得られた係数を用いて算出した全 144 本の推定緊張力と，定着時緊張力およびリフトオフ試験による緊張力(以下，「実緊張力」という)とを対比したものである．推定緊張力と実緊張力の比は 89%～120%の範囲にあり，全アンカー144 本のうち 89%のアンカーについては，±5%の精度で緊張力の推定が可能であることが示された．

4．まとめ

AE センサを用いた打音診断技術を適用したアンカー緊張力の現地診断結果から，以下の成果を得た．

1) 緊張力が著しく低下した状態では周波数特性が特異な形状を示し，緊張力が著しく低下している状態のアンカーを検出可能であること．

2) 頭部の拘束条件(緊張力)や頭部長さに応じて評価ピーク周波数が変化し，評価ピーク周波数と頭部長さを変数として算出した推定緊張力は，実緊張力とかなり強い相関関係にあること．

参考文献

1) 浜崎，松永他：打音診断技術を適用したグラウンドアンカーの緊張力簡易計測システムの開発(その 1)，土木学会第 72 回年次学術講演会講演概要集，2017(投稿予定)