

擁壁等，土を押さえる構造物の健全度を非破壊で調べる

阿部 慶太
構造物技術研究部
(基礎・土構造 研究員)

大村 寛和
同
(同 研究員)

篠田 昌弘
同
(同 副主任研究員)

羽矢 洋
同
(同 主任研究員)



あべ けいた



しのだ まさひろ



おおむら ひろかず



はや ひろし

はじめに

列車が走る線路は、橋、トンネル、盛土など多くの土木構造物によって支えられています。したがって、列車の安全で安定な走行を保つためには、土木構造物が健全かどうか定期的に確認することが重要になります。土木構造物が健全かどうか定期的に確認することを「構造物の維持管理」、構造物の健全性を表す指標を「健全度」といいます。土木構造物の維持管理は健全度を確認することで構造物の健全性の診断を行います。健全度を確認する方法は数多くありますが、とくに構造物に損傷を与えずに簡易に健全度を確認できる方法が望まれます。そのような試験法を「非破壊試験法」と言います。小さな錘をぶついたり電車が通過したときの構造物の微小な揺れ方を確認する方法、赤外線で構造物の温度の変化を調べる方法、ハンマーで叩いたときの音を確認する方法など、様々な非破壊試験法があります。しかしながら、これらの多くは、橋、トンネルを対象としたもので、擁壁やコンクリート法面工など土を押さえることを主な役割とした土木構造物(図1)については、

目視(目で見ること)調査に基づく定性的な評価が行われているだけで、非破壊試験法についてはほとんど確立されていません。ここでは、このような土を押さえる土木構造物の非破壊試験法の確立に向けて進めている筆者らの研究開発の内容を紹介し、その可能性について述べることで目視(目で見ること)調査に基づく定性的な評価が行われているだけで、非破壊試験法についてはほとんど確立されていません。ここでは、このような土を押さえる土木構造物の非破壊試験法の確立に向けて進めている筆者らの研究開発の内容を紹介し、その可能性について述べることで

擁壁の微小な揺れ方で調べる

土木構造物に微小な力が加わると、構造物は微小に揺れます。その揺れ方は、周辺から受けた力に対して構造物がどのように抵抗するかで変化します。抵抗の度合いは構造物の健全度により変化するので、この微小な揺れ方をなんらかの方法で計測し、その違いを確認すれば、構造物の健全度を確認することができます。

筆者らはこのことに着目し、以前より「衝撃振動試験」という試験法を提案し、実際に非破壊試験法として活用しています。この方法では、構造物に30kg程度の錘をぶつけて衝撃を与え、構造物を微小に揺らし(図2)、その揺れ



図1 盛土を押さえる役割をもつ擁壁

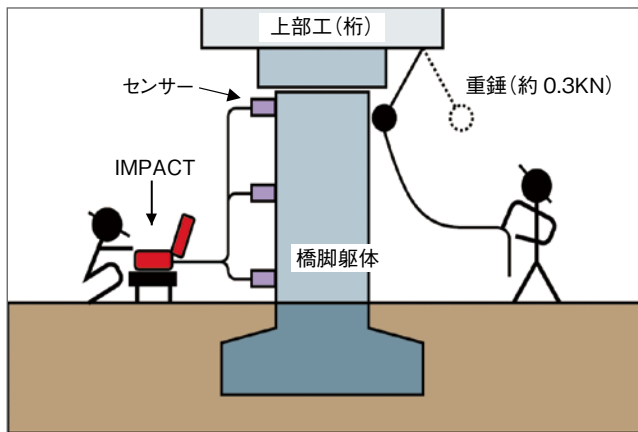


図2 衝撃振動試験の概要

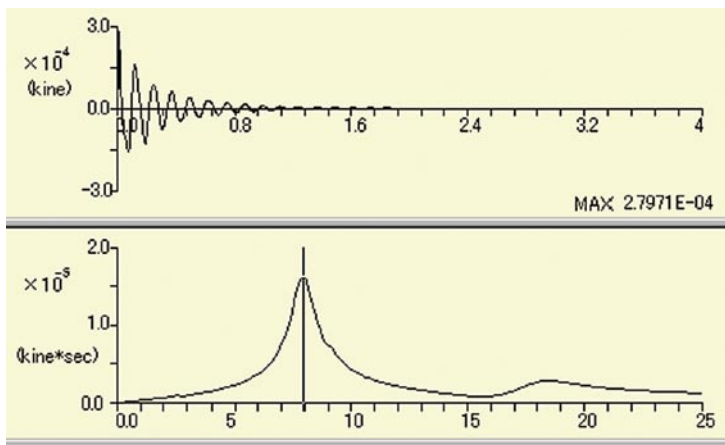


図3 衝撃振動試験の結果
(上段：波形，下段：スペクトル図)

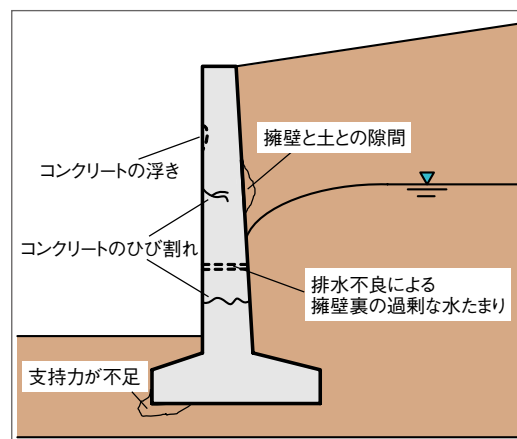


図4 擁壁の不健全と思われるものの事例

の波形を構造物に取り付けたセンサーで計測して「構造物の揺れ方」の特徴により構造物の健全性を診断します。この際、構造物の健全度を定量的に表す指標があれば、構造物の健全度を数値として明確に整理することができます。衝撃振動試験では、「固有振動数」という指標を用いて構造物の健全度を整理しています。固有振動数とは、構造物の形状、質量、剛性（構造物の変形のしやすさを表す指標、大きいほど構造物は変形しにくく、小さいほど構造物は変形しやすくなります。）などで決まる量であり、これを計測することで構造物の揺れやすさを確認することができます。そして、揺れやすい状態であることを確認した場合は、その構造物は支持力が不足するなど抵抗が小さくなったため揺れやすくなったのだと判定し、健全度が下がったと診断することができます。一般には、健全な構造物ほど固有振動数は大きく、不健全な構造物ほど固有振動数は小さくなります。

計測した波形から固有振動数を求める方法として、「フーリエスペクトル法」という方法が用いられます。その詳細については紙面の都合上省略しますが、計測した波形は、様々な波の重ね合わせになっているので、それらの波の強弱を調べて波形の特徴を分析する方法です。波形をこの方法で分析すると、振動数(1秒間に波が振動する回数)イコールほぼ固有振動数となる波が最も強度の大きい波として分析できます。図3は、橋を支える橋脚に衝撃振動試験を行っ

たときに計測した波形とそれをフーリエスペクトル法で分析した結果です。下段のスペクトル図縦軸のスペクトル振幅が上記の強度にあたり、そのピークを確認することでこの構造物の固有振動数は8.0Hzであることが分かります。そして、健全度の評価は、これまで実施した衝撃振動試験結果のうち、健全な橋脚のデータを用いて統計的に定めた診断基準値「標準値」と、対象となる橋脚の実測した固有振動数を比較することで行うことができます。

以上述べた衝撃振動試験法は、とくに構造物を支える杭など基礎の健全性の診断に有効です。これは、基礎以外のところは目視によりある程度健全度が確認できますが、基礎は地中にあるため目視では健全度をほとんど確認できないためです。構造物の揺れ方は土の抵抗も含めた基礎の抵抗によっても影響を受けるので、構造物の揺れ方を確認することで目に見えない基礎の健全性を診断することができます。目視で健全度を確認できないという点では、擁壁などの背面についても同様と言えます。擁壁表面に現れたひび割れなどは目視で確認できますが、擁壁背面と壁との間に隙間ができていたり、水が溜まっている状態などは目視で確認できません(図4)。

以上を踏まえ、筆者らは擁壁に衝撃振動試験を適用してみました。その際、表面にひび割れが大きく現れ、擁壁と土との隙間がひび割れからも見える非常に不健全と思われる擁壁、表面にひび割れがなく目視上健全であると思われ

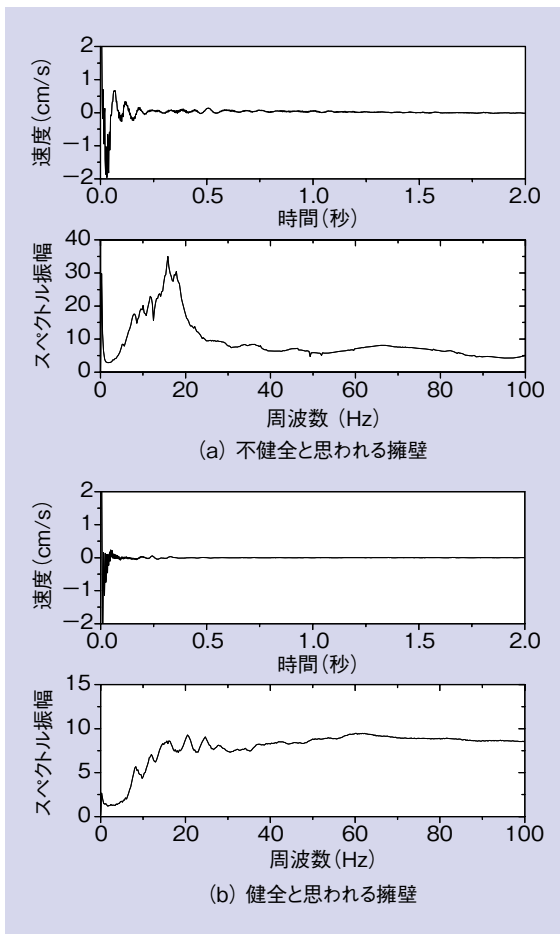


図5 擁壁の衝撃振動試験の結果
(上段：波形，下段：スペクトル図)

る擁壁を選び、目視から確認される結果と、衝撃振動試験の結果の比較を行いました。その結果を図5に示します。不健全と思われる擁壁では、15Hz程度で明確なピークが現れ固有振動数が特定できることが分かります。一方、健全と思われる擁壁では明確なピークが現れません。これは、図6に示すように錘を取り付ける都合上、土が存在する方向に衝撃を与えたため、与えた衝撃が擁壁と接している土に吸収され擁壁がほとんど揺れなかったためです。これでは固有振動数を用いた健全度の確認ができません。

一方、土が存在する方向と反対方向に衝撃または力を与えた方が、与えた力を土に吸収されることなく、擁壁の揺れを励起させることができ固有振動数を計測できる可能性があります。そこで筆者らは、錘に代わり小型の起振器（油圧や磁石の力で物体に振動を与える器械）で、擁壁の抵抗が小さい土が押す方向にも力を与える方法を行いました（図6）。近年では、図7に示すような小型で軽量な起振器が存在し容易に振動を与えることができます。この器械で試験した結果を図8に示します。健全と思われる擁壁で、ピークが60Hz程度で現れていることが分かります。これは、土が押す方向にも力を与えることで、振動が土に吸収

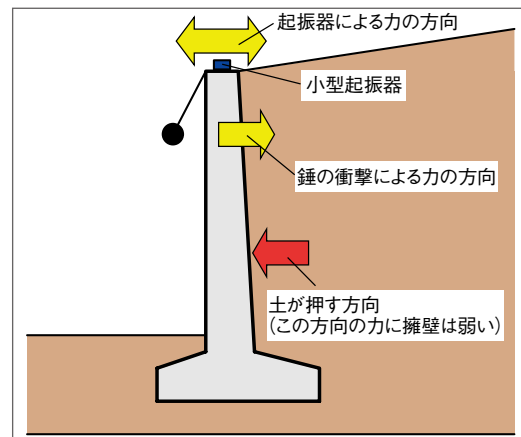


図6 擁壁の揺れ方を利用した非破壊試験



図7 擁壁上面に設置した小型起振器とセンサー

されずに揺れを計測できたためと考えられます。これで、固有振動数による健全度の確認ができたことになります。

このように擁壁への力の与え方を工夫することで、揺れ方の計測を通じた非破壊試験法を擁壁にも適用できる可能性があることが分かりました。健全度の判断のための指標の確立など今後の課題もありますが、実用化に向けて検討を進めていく予定であります。

擁壁の温度と打音で調べる

揺れ方を調べることで、直接目で見えない擁壁裏の健全度を確認できることを紹介しましたが、他に目視で確認できないものとして、擁壁表面やコンクリート法面でのコンクリートの浮きがあります（図4）。コンクリートの浮きは、放置しておくとも構造物全体の健全性の低下につながる他、コンクリート片落下事故にもつながる可能性があり、構造物の維持管理を行う上で重要な確認事項です。とくに無筋コンクリートでは、コンクリート片の落下事故防止に向けコンクリートの浮きの診断を注意して行う必要があります。その際、非破壊試験法としてよく用いられている方法がハンマーでコンクリート表面を叩いたときの「打音」の違い

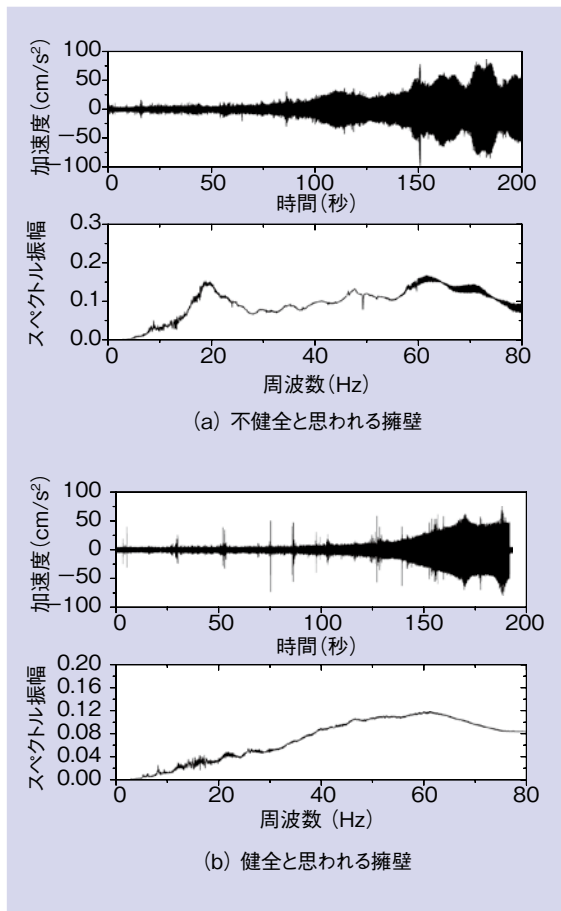


図8 起振器を使用した試験の結果
(上段：波形，下段：スペクトル図)

を確認し浮きの有無を確認する方法です。しかしながら、この方法では、打撃者の感覚により定性的に浮きの有無を判断するため、健全性の診断結果に対する根拠が明確でない場合が考えられます。

一方、近年、構造物の赤外線分布を調べることで、浮きの状態を確認する方法も使われてきています。温度が高いと赤外線を多く発すること、浮きの有無で温度の分布が異なることを応用した方法です。この方法によれば、「打音」と比べて、温度の分布により定量的に浮きの有無を判断できます。さらに、診断する範囲が大きい擁壁では、コンクリートの浮きの有無の診断を効率的に行う上でも有効な方法と言えます。筆者らは、これらの方法を前述した擁壁に対し適用し、それぞれの方法の浮きの有無の診断精度について検討しました。その結果を図9に示します。打音で浮きがあると判断されたところでは温度が高くなっており、擁壁のコンクリートの浮きの有無の診断に有効に利用できることが分かります。

なお、今回紹介した赤外線調査は小田急建設(株)殿に実施して頂きました。この検討により赤外線調査法の有効性を確認できたことで、今後、共同研究により検査法とし

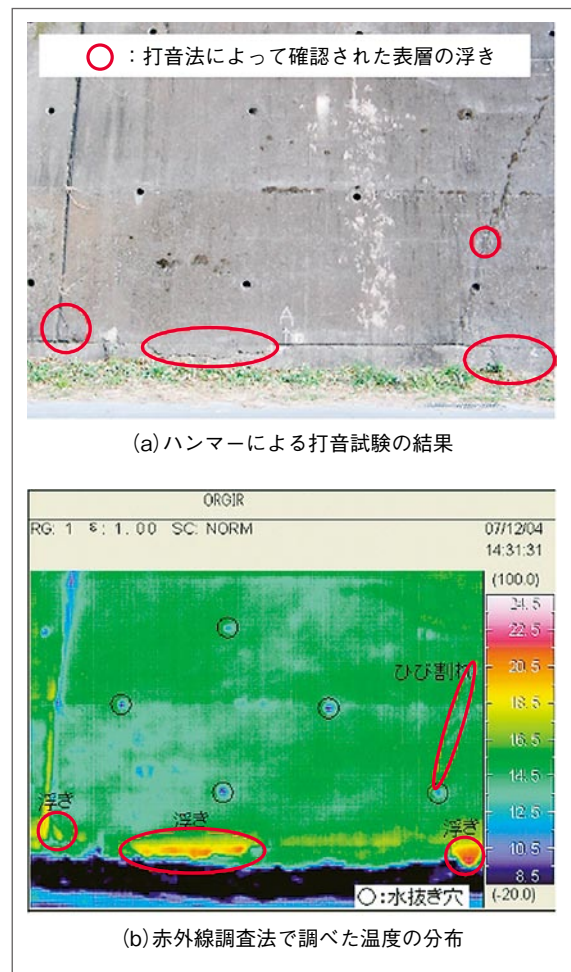


図9 コンクリートの浮きの有無の診断結果

での深度化を図る予定です。

おわりに

今回は、擁壁の非破壊試験法の確立に向け、起振器による振動試験法、赤外線調査法を擁壁に適用した事例を紹介しました。起振器および赤外線を使用することにより、従来の非破壊試験法に比べ擁壁の健全度をより良好かつ定量的に整理できる可能性について述べました。

社会基盤整備へのコスト縮減の中で、土木構造物とくに経年化した構造物が多い鉄道構造物では維持管理により既存の構造物をどのように有効活用していくかが重要になります。しかしながら、今回取り上げた擁壁などのようにいまだ維持管理手法、とくに目に見えない部分に対する非破壊試験法が明確に確立されていない構造物が数多く存在します。今後は、擁壁の維持管理手法の確立に向け研究の深度化に励むとともに、その他の構造物の非破壊試験法の確立に向けても検討を進めていきたいと考えています。RRR