

レジンコンクリートの強度推定技術 (1)—超音波を用いた強度推定式の構築

NTT アクセスサービスシステム研究所
NTT アクセスサービスシステム研究所
NTT 研究企画部門

正会員○奥津大, 齋藤千紘, 内堀大輔
非会員 中川雅史, 柳秀一
非会員 高橋宏行

1. 背景

レジンコンクリート(REC)は不飽和ポリエステルに代表される熱硬化性樹脂(レジン)を結合剤として骨材と炭酸カルシウムを固めた複合材料であり, 高い圧縮強度・引張強度・曲げ強度を示すことから建設材料として注目されてきた[1]. 下水道や通信の地下設備を主な対象として構造物への適用が進んできたが, NTT のレジンコンクリート製マンホール(REC 製 MH)が地中の大型構造物へ初めて適用されてからは 50 年が経過しており, 劣化の顕在化と強度の低下が予測される[2]. 鉄筋コンクリートがひび割れ・露筋などの予兆を見せた後に鉄筋腐食を伴って曲げ強度を低下させるのに対し, REC は鉄筋を複合せずに単体で強度を発揮するため, 現状の目視点検でひび割れを捉えられる頃には曲げ強度が大きく低下しており, その予兆を捉えることが難しい. いずれ劣化した現用構造物の数が増大してくることを見据えると, 適切なタイミングで補修・補強を実施するために REC の曲げ強度を測定する手段が必要になってくると考えられる.

2. REC の曲げ強度計測方法

REC の曲げ強度測定としての有効な手段は構造物からコア供試体を切り抜いて実施する破壊検査のみである. 破壊検査は構造物の形状と機能を必ず損なうことに加え, 現場作業に時間とコストを要すること, コア切り抜きを実施できない立地条件が存在することなど, 運用上の課題が多い. 上記の問題を回避するために, REC 製構造物に対して非破壊検査手法を確立することが肝要である. これを実現すれば, 現場作業・安全性評価等の維持管理に関わる作業を効率化すると共に, 構造物の躯体を損なわないという意味で点検診断の抜本的な改善が可能となる.

3. 超音波計測による曲げ強度の推定

非破壊検査手法は強度そのものを捉える手法ではないため, 強度とよく相関する特性値を見出し, これを計測するための手法を選定する必要がある. レジンコンクリートが経年劣化により曲げ強度を低下させる過程では, 水拡散による結合剤レジンの膨潤もしくは加水分解が起こっていると考えられており, 微視的には結合剤の分子結合切断が, 巨視的には材料の弾性低下が起こっている. 実際, 現用設備より採取した 10 個のレジンコンクリートサンプルに対し, 曲げ破壊強度 F および静弾性係数 E の測定を実施したところ, 図 1 に示すように決定係数 $R^2 = 0.92$ の精度で 1 次の相関($F = \alpha E + \beta$)が得られた. よって, 材料の弾性の変化から曲げ強度の変化を捉えられると考え, 材料の弾性を計測可能な超音波計測を非破壊検査手法として選定した.

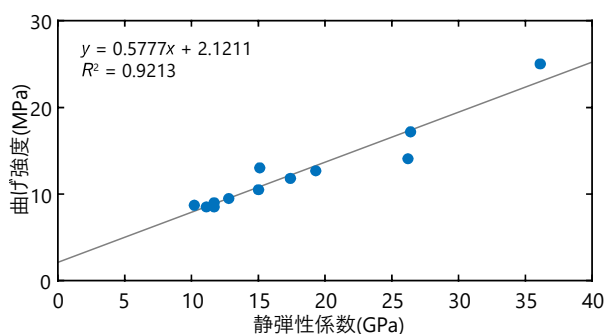


図 1. レジンコンクリートの静弾性係数と曲げ強度の相関

超音波計測手法では, 弾性波速度 V_p を測定することで式 (1) により弾性率 E を調べることが可能である.

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (1)$$

ここで, ρ は密度, ν はポアソン比である. 密度 ρ とポアソン比 ν の経年変化は E より小さいので, 超音波音速は主に弾性率 E の変化を捉えることが出来る. 超音波は, 装置からコンクリート中に打ち込まれて, 図 2 のように様々な経路で伝搬し, 図 3 のような信号波形を結果として得る. 図 3 の信号波形のうち, 最初に表れるピークは, 最短経路で受信部まで届く表面波のピークである. 一方,

最大の信号強度を示すピークは底版で反射して受信部へ到達するものである. 本技術でレジンコンクリートの曲げ強度を推定するにあたっては, 表面波の音速を説明変数として採用した. 理由は 3 つあり, 1 つ目は, 表面波が受信部へ最速で到達することから骨材反射によるピークシフトの影響を受けず, 同定しやすいこと. 2 つ目は, 材料の表面状態が曲げ強度へ大きく寄与することから表面状態を大きく反映した表面波音速が曲げ強度との相関が良いこと. 3 つ目は, 反射波音速が部材厚み方向に対し一定でなく, 内部でより速く伝搬する性質を持つため[3], 厚み方向の変化に影響を受けること, が挙げられる.

キーワード レジンコンクリート, 超音波, 強度推定, 非破壊検査

連絡先 〒305-0805 茨城県つくば市花畑 1-7-1 NTT アクセスサービスシステム研究所 TEL 029-868-6210

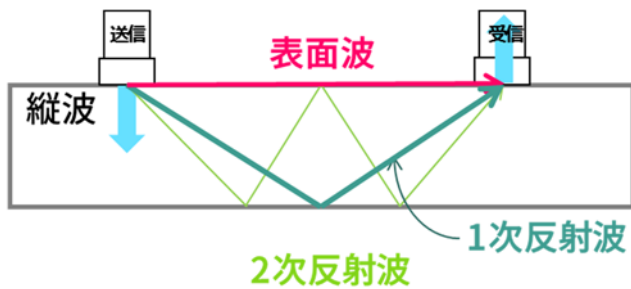


図2. コンクリート中を伝搬する超音波のイメージ

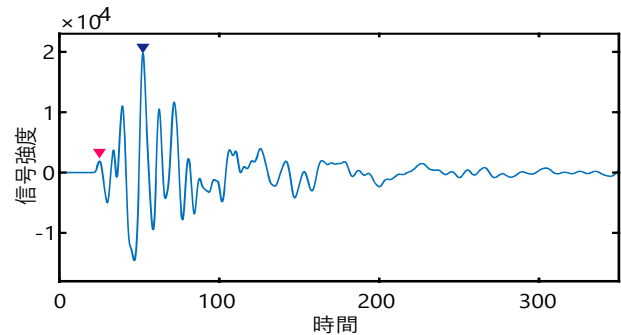


図3. 超音波計測における受信信号の例

超音波計測は、計測誤差および骨材ばらつきに由来する誤差を低減させるため3方向6間隔で行い、表面波ピーク到達時間-探触子間距離のプロットの傾きを平均することで音速の代表値を算出している(図4)。

式(1)と、弾性と曲げ強度の間に1次の相関があることから、曲げ強度 F と音速 V_p の間には2次の相関があることが期待される。50箇所の現用レジンコンクリート製マンホールにて取得した超音波計測結果と、切り出したコア供試体の曲げ破壊試験結果について、重回帰分析したところ、図5に示すような結果を得た。ただし、音速値の小さい領域では弾性と曲げ強度の1次の近似が成り立たなくなることから、2次式の式(2)ではなく1次式の式(3)でモデルを構築している。

$$\text{音速値が } 3700 \text{ m/s の場合} \quad F_f = \alpha_1 * V_s^2 + \alpha_2 * V_s + \beta \quad (2)$$

$$\text{音速値が } 3700 \text{ m/s 未満の場合} \quad F_f = A * V_s + B \quad (3)$$

式(2)および式(3)の境界は、決定係数 R^2 が最も小さくなるよう解析し求めた。決定係数 $R^2 = 0.80$ 、標準偏差 $\sigma = 1.68(\text{MPa})$ であり、表面波音速によって曲げ強度が推定できると示された。

4. まとめ

本検討により、レジンコンクリートの曲げ強度と弾性率に1次の相関があることと、表面波音速が曲げ強度と相関することが明らかとなった。これにより、超音波計測による非破壊のレジンコンクリート曲げ強度推定が可能となった。今後の課題として、本技術を現場導入する際には、作業者が発信用と受信用の探触子を正確な距離でコンクリートに設置する方法が必要となる。提案した強度推定式は、音速の計測誤差が80 m/s程度生じると強度推定に1 MPa程度の誤差が生じるため、音速の測定時には数ミリの誤差なく探触子を設置しなくてはならない。「レジンコンクリートの強度推定技術(2)」において、現場の作業者が正確かつ簡便に探触子を設置できる方法および現場導入装置を報告する。

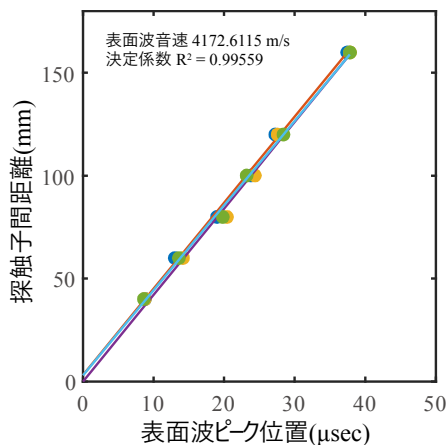


図4. 超音波計測における受信信号の例

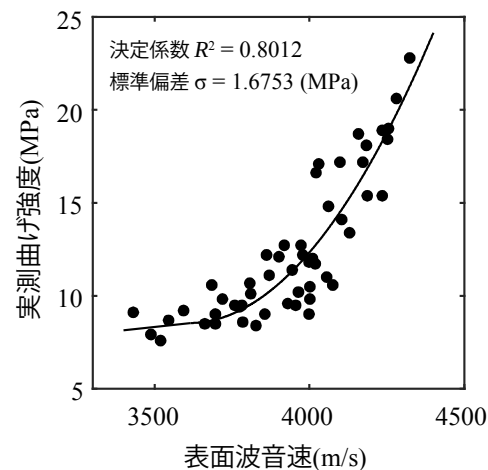


図5. 超音波計測における受信信号の例

参考文献

- [1] 村井信夫. レジンコンクリート製ブロックマンホール, コンクリート・ジャーナル, 11(4), pp.80-86, 1973.
- [2] 国枝稔, 服部篤史, 宇治公隆, 日比野誠. レジンコンクリートの特性と構造設計指針(案)について. コンクリート工学, 45(11), pp.7-12, 2007.
- [3] 国土交通省大臣官房技術調査課. 国土交通省における非破壊・微破壊試験による コンクリート構造物の強度測定の試行について. 建設マネジメント技術, 2006年11月号, pp.37-39.