

弾性波速度測定による既設コンクリートの表面付近の評価方法の検討

Study on Performance Assessment Method for Surface of Established Concrete Structures by Measuring the Velocity of Elastic Wave

○岩野 聡史 リック(株) 坂本 良憲 リック(株)
 Satoshi Iwano RIK Yoshinori Sakamoto RIK
 實藤 大夫 リック(株) 森濱 和正 独立行政法人土木研究所
 Haruo Sanefuji RIK Kazumasa Morihama Public Works Research Institute

概 要

コンクリート構造物の圧縮試験方法として提案している衝撃弾性波法について、材齢 8 年の供試体により、既設構造物の維持管理を想定した劣化状況の評価方法を検討した。その結果、既設のコンクリート構造物では入力・受信点間距離を変化させた複数点で弾性波速度を測定し、各距離での測定上の速度を比較することにより、表面劣化の有無、コンクリート内部での圧縮強度、劣化部の深さを示す速度が変化する深さ、これらを判断できることが確認された。また、この測定を継続して実施し、経年比較することにより、表面や内部での劣化の進行状況が確認できるものと考えられる。

キーワード：衝撃弾性波法，弾性波速度，維持管理，表面劣化

1. まえがき

筆者らは、衝撃弾性波法 (iTECS 法) による圧縮強度の試験方法を提案している¹⁾。本法は、コンクリート表面で弾性波の入力点と受信点の距離を変化させて、複数点で弾性波速度を測定し、設定した強度推定式から圧縮強度を推定する方法である。弾性波の入力点と受信点の距離を変化させる測定としているのは、新設時の施工管理としての試験に留まらず、供用後に同一箇所で測定し、測定結果を比較することにより、コンクリート表面の劣化の発生の有無を確認するなど、以後のコンクリート構造物の維持管理に活用されることを期待したものである。今回は、維持管理に適用される場合を想定して、材齢 8 年の供試体で測定し、各入力・受信点間距離で測定される弾性波速度の比較、新設時に設定した強度推定式による圧縮強度の推定、材齢 4 年時の測定結果との比較、これらによる劣化状況の評価方法を検討したので、その結果について報告する。

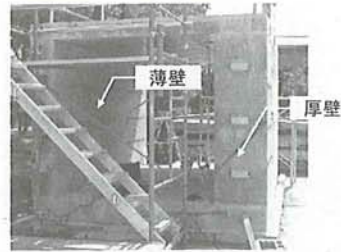


写真1 供試体外観状況

表1 供試体状況

測定部材名	配合	強度推定式係数	
		係数 α	係数 β
厚壁	18-8-20N	4.112	5.319×10^{-14}
薄壁	45-12-20N	4.443	5.650×10^{-15}

2. 実験内容

供試体の状況を写真1、表1に示す。屋外に設置された供試体で、材齢は8年である。測定部材は呼び強度45のコンクリートを使用した薄壁と、呼び強度18の厚壁で、測線数は内壁と外壁に計18測線とした。各測線での測定状況を写真2に示す。コンクリート表面に弾性波の入力点と受信点を設置し、弾性波速度を測定した。入力・受信点間距離は200mmから100mm間隔で1000mmまでの9通りである。以上の測定結果から、各入力・受信点間距離で測定される弾性波速度の比較、式(1)、表1に示す新設時に



写真2 測定状況

設定した強度推定式による圧縮強度の推定，材齢 4 年時の測定結果との比較を行った。

$$f_c = \beta \times V_p^\alpha \quad (1) \quad (f_c: \text{圧縮強度}, V_p: \text{弾性波速度}, \alpha, \beta: \text{表 1 に示す係数})$$

3. 実験結果

3. 1 各入力・受信点間距離での測定結果の比較

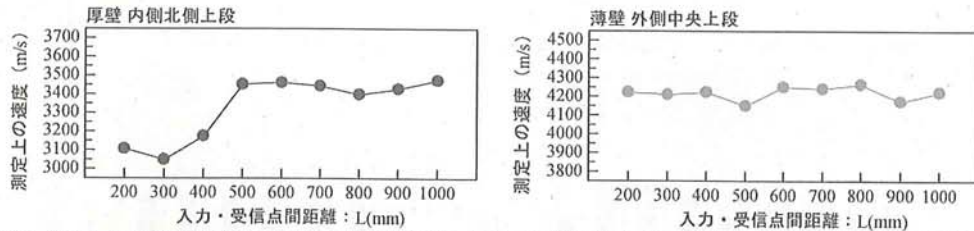


図1 測定上の弾性波速度の比較例 (左図：厚壁内側北側上段，右図：薄壁外側中央上段)

各入力・受信点間距離での測定上の速度の一例を図 1 に示す。ここで測定上の速度とは，受信点に最初に到達する振動の伝搬時間差 T_p と入力・受信点間距離 L から単純に算出した速度である。呼び強度 45 の薄壁外側中央上段では，入力・受信点間距離による変化は無く 4200m/s 程度であるが，呼び強度 18 の厚壁内側北側上段では，入力・受信点間距離 200~400mm では 3100m/s 程度，距離 500mm 以遠では 3400m/s 程度と，入力・受信点間距離によって測定上の速度が変化することが確認される。

3. 2 測定上の速度の変化の原因と速度，変化深さの決定方法

入力・受信点間距離により測定上の速度が変化するのは，コンクリート表面付近での微細なひび割れの発生による弾性係数の低下など，表面付近の劣化により，表面を伝搬する弾性波の速度が遅くなることが原因として考えられる。

この状況での弾性波の伝搬状況の模式図を図 2 に示す。入力・受信点間距離が近距離の場合では，受信点に最初に到達する振動は表面を伝搬した弾性波となる。これに対して，入力・受信点間距離が遠距離になると，速度の速い内部を経由した弾性波が，速度の遅い表面を伝搬する弾性波を追い抜いて，受信点に最初に到達する振動となる。以上から，表面付近が劣化したコンクリートでは，入力・受信点間距離によって，測定上の速度が変化することとなる。

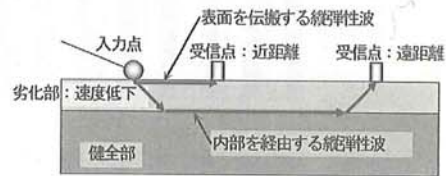


図2 表面が劣化したコンクリートでの弾性波の伝搬状況模式図

以上の性質を考えれば，既設コンクリート構造物では，入力・受信点間距離を変化させた複数点での測定上の速度を比較することにより，表面劣化の有無，表面での弾性波速度，内部での弾性波速度，速度が変化する深さ，これらを判断することが必要になると考えられる。ここで，表面での弾性波速度 V_{ps} は，表面を伝搬した弾性波の伝搬時間差 T_p が測定される L の範囲 (図 1 では $L=200\text{mm}\sim 400\text{mm}$) で，式(2)により測定した各弾性波速度 V_{ps} の平均値から判断できる。また，内部での弾性波速度 V_{pi} は，内部を経由した弾性波の伝搬時間差 T_p が測定される L の範囲 (図 1 では $L=500\text{mm}\sim 1000\text{mm}$) で，各 L と T_p の式(3)に示す関係式を最小二乗法により求め， k の逆数から判断できる。さらに，表面からどの程度の深さで速度が変化しているのかは，表面での弾性波速度 V_{ps} ，内部での弾性波速度 V_{pi} ，および，内部を経由した弾性波の伝搬時間差が測定される最小の L を L_0 (図 1 では $L_0=500\text{mm}$) として，式(4)により深さ D を算出して求められる¹⁾。

$$V_{ps} = L/T_p \quad (2)$$

$$T_p = k \times L + m \quad (k, m: \text{係数}) \quad (3)$$

$$D = L_0 \sqrt{V_{pi}^2 - V_{ps}^2} / 2(V_{pi} + V_{ps}) \quad (4)$$

3. 3 全測定点での弾性波速度, 速度変化深さ測定結果

全測定点での表面での弾性波速度, 内部での弾性波速度, 速度が変化する深さ, これらの測定結果を図3に示す。また, 内部での弾性波速度の測定結果から, 式(1), 表1に示す新設時に設定した強度推定式により, 内部の圧縮強度を推定した結果を表2に示す。呼び強度 18 の厚壁と呼び強度 45 の薄壁を比較すると, 厚壁では多くの測定点におい

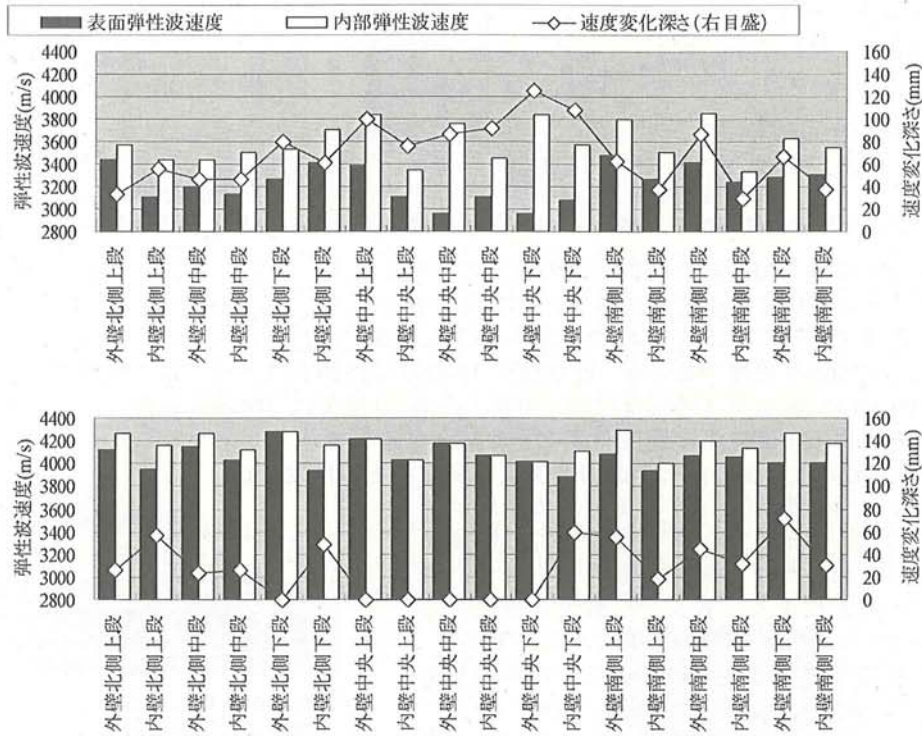


図3 全測定点での弾性波速度, 強度変化深さ測定結果 (上図: 厚壁, 下図: 薄壁)

表2 全測定点での内部の弾性波速度および圧縮強度推定結果

測定位置	厚壁		薄壁	
	内部弾性波速度(m/s)	内部圧縮強度(N/mm ²)	内部弾性波速度(m/s)	内部圧縮強度(N/mm ²)
外壁北側上段	3568	21.6	4270	75.9
内壁北側上段	3445	18.7	4158	67.4
外壁北側中段	3435	18.4	4266	75.6
内壁北側中段	3506	20.1	4117	64.6
外壁北側下段	3532	20.7	4279	76.7
内壁北側下段	3706	25.2	4156	67.3
外壁中央上段	3838	29.1	4220	72.0
内壁中央上段	3342	16.5	4030	58.7
外壁中央中段	3764	26.9	4176	68.8
内壁中央中段	3452	18.8	4067	61.1
外壁中央下段	3840	29.2	4023	58.2
内壁中央下段	3568	21.6	4109	64.0
外壁南側上段	3795	27.8	4296	78.0
内壁南側上段	3503	20.0	4007	57.2
外壁南側中段	3851	29.5	4205	70.9
内壁南側中段	3329	16.2	4141	66.2
外壁南側下段	3621	22.9	4264	75.4
内壁南側下段	3542	20.9	4181	69.1

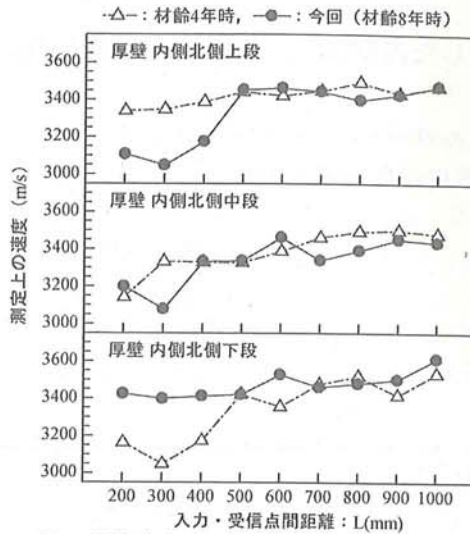


図4 弾性波速度測定結果の経年比較の例

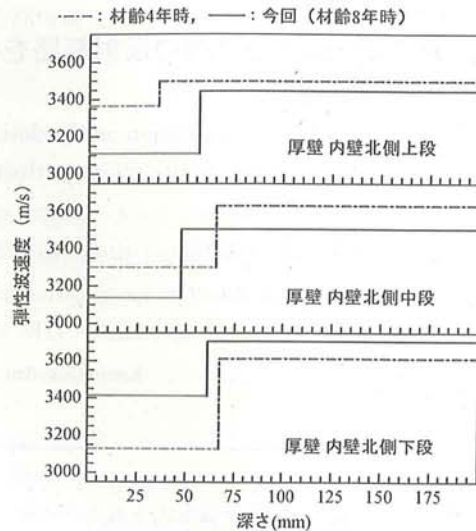


図5 弾性波速度，強度変化深さの経年比較の例

て、表面と内部で速度差が生じていること、速度が変化する深さが深くなっていることが確認される。つまり、厚壁では薄壁よりも多くの測定点でコンクリート表面に劣化が確認され、劣化部の深さも深い結果である。しかし、表 2 に示す厚壁の内部の圧縮強度の推定結果は、2 点を除いては呼び強度以上であり、厚壁では表面は劣化しているものの、内部まで劣化している箇所は少ないものと考えられる。

呼び強度 45 の薄壁では、表面と内部で速度差は小さく、全測定点とも内部の圧縮強度は呼び強度以上であり、内部の劣化は発生していないものと考えられる。

3. 4 測定結果の経年比較

各入力・受信点間距離での測定上の速度、表面での弾性波速度、内部での弾性波速度、速度が変化する深さ、これらについて、材齢 4 年時の測定結果と材齢 8 年である今回の測定結果との比較の一例を図 4、図 5 に示す。測定位置は呼び強度 18 の厚壁の内側北側の上段、中段、下段である。測定結果より、上段と中段では表面での弾性波速度の低下、速度が変化する深さが深くなる変化、これらが確認され、表面の劣化が進行している傾向が確認される。しかし、内部での弾性波速度、圧縮強度には大きな変化は無く、内部での劣化の進行の傾向は確認されない。下段では、原因は不明であるが、表面での弾性波速度は速くなった。いずれにしても、表面、内部ともに劣化の進行の傾向は確認されない結果である。

4. まとめ

既設のコンクリート構造物の維持管理における非破壊試験を想定して、衝撃弾性波法での弾性波速度の測定によるコンクリートの劣化状況の評価方法について検討した。その結果、表面付近が劣化したコンクリートでは、弾性波の入力点と受信点の距離差によって、測定上の速度が変化することから、既設のコンクリート構造物では入力・受信点間距離を変化させた複数点で弾性波速度を測定する必要があることが確認された。この測定結果から、各入力・受信点間距離での測定上の速度を比較することにより、表面劣化の有無、コンクリート内部での弾性波速度と圧縮強度、劣化部の深さを示す速度が変化する深さ、これらを判断することが可能となる。また、この測定を継続して実施し、経年比較をすることで、表面や内部での劣化の進行状況が確認できるものと考えられる。参考文献：1)独立行政法人土木研究所，社団法人日本非破壊検査協会：非破壊・微破壊試験によるコンクリート構造物の検査・点検マニュアル，pp.132-141，大成出版社，2010