

超音波探査を活用した熱劣化コンクリートの劣化診断手法の考案

新日本製鐵（株） 正会員 ○川上 晋作

1. はじめに

製鉄所構内には高炉設備や加熱炉設備等、コンクリート構造物が高温にさらされる環境が多い。一般的に、鉄筋コンクリート造はセメント・粗骨材・細骨材・鉄筋等の熱膨張係数が異なる材料の集合体である事から、構造物が高温に曝されると内部に微細なクラックが発生し、更には水和生成物から脱水が起こって、弾性係数や圧縮強度が低下する事が知られている。今回、この熱劣化によってコンクリートの弾性係数が低下する特徴に着目し、コンクリート構造物の配筋検査等で広く適用される超音波探査を活用した、熱影響を受けたコンクリートの劣化診断に取り組んだ。以下に、その結果を報告する。

2. 超音波探査を適用した構造物

図-1に本取組みにおいて対象とした構造物を示す。図に示す通り、柱・梁を有する幅14.4m×高さ10.68mの壁構造の鉄筋コンクリート構造物を対象に、超音波探査を用いて、弾性係数の分布を測定した。

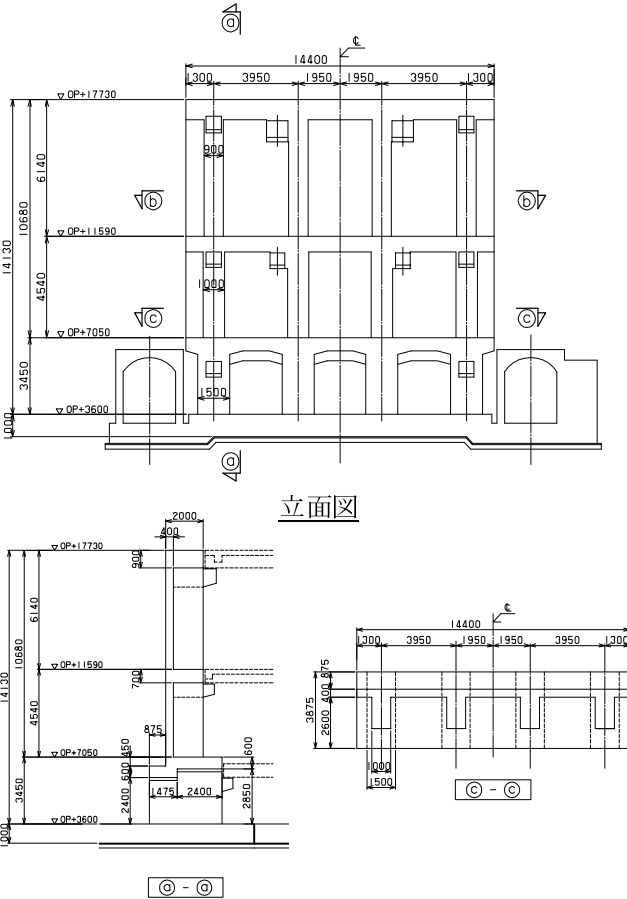


図-1 対象構造物の概要

3. 超音波探査の概要

超音波探査とは、公共工事等において構造物完成後の配筋検査や内部ひび割れ、内部欠陥の調査等に広く利用される非破壊検査方法である。コンクリート構造物における超音波の測定パターンについて、図-2に示す。

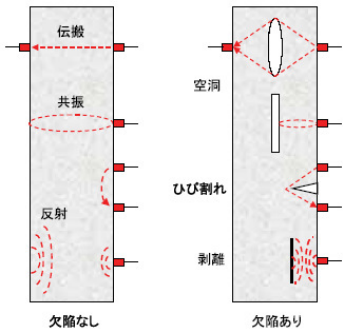


図-2 超音波の伝播計測パターン

超音波の伝播速度については、式-1に示す如く、材料の弾性係数と密接な関係がある事が知られている。一方でコンクリートは、熱劣化によって弾性係数が低下する特性があり、この双方の特性に着目し、構造物の各部位における超音波の伝播速度を計測する事で、コンクリートの熱劣化の度合いや、脆弱部の有無について調査した。

【伝播速度の理論式】

$$C = \sqrt{\frac{\text{体積弾性率}}{\text{密度}}} \Rightarrow \text{縦波伝播速度} CL = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad (\text{式-1})$$

E : 縦弾性係数 (静弾性係数の 1.04~1.37 倍)
ν : ポアソン比
ρ : 密度

4. 計測方法の概要

(1) 計測機器の仕様

今回の計測に使用した機器の仕様を表-1にまとめる。尚、各計測部位における結果について周波数分析を行って計測精度の向上を図った。

表-1 計測機器の仕様

計測範囲	送信：ひび割れ・強力センサー
	受信：ひび割れ・音速センサー
	計測厚さ 3,000mm 以下
繰り返し精度	±3 μs
機器寸法、重量	W240×H105×D245mm
許容使用温度	0~+40℃
許容使用湿度	80%RH 以下 (結露なし)
電源電圧	DC10.8~15.0V
消費電流	最大 0.5A (DC12V 時)

キーワード : コンクリート、劣化診断、超音波探査
連絡先 : 住所；千葉県富津市新富 20 番 1 号 電話；0439-80-2547

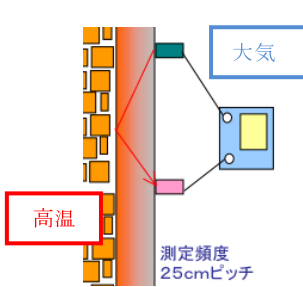
(2) 各部材における計測方法

今回対象とした構造物は、柱・梁・壁部材から構成されており、各部材における超音波伝播速度の計測方法について、表-2ならびに図-3にまとめる。

表-2 各部材の計測方法

部材	壁部材	柱部材	梁部材
計測方法	反射法	反射法、および透過法	反射法、および透過法
断面厚さ	40cm	200cm	70～90cm
計測ピッチ	@25cm	@25cm	@25cm

①壁部材の計測イメージ



②柱・梁部材の計測イメージ

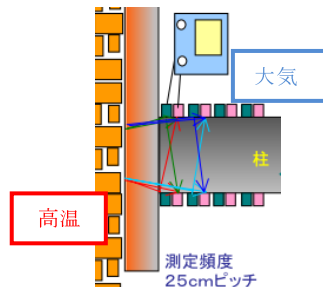


図-3 各部材の計測イメージ

(3) 内視鏡調査による計測結果の検証

上記（２）の計測に加え、壁部材については各計測部にφ30mm程度の削孔を行い、内視鏡を挿入する事で内部の劣化状況（脆弱部の厚さ、熱によるコンクリートの変色範囲¹⁾）を調査し、超音波探査結果との検証を行った。図-4に調査状況の写真を示す。



図-4 内視鏡 調査状況

5. 計測結果と劣化評価

(1) 壁部材の計測結果

壁部材における超音波の伝播速度分布を図-5に整理した。この結果から、設備からの熱影響を最も受ける壁の中央部に行くほど超音波の伝播速度が低く、熱影響が比較的小さい端部ほど、伝播速度が速くなる傾向が明らかとなった。また、同じく図-5に設備休止時に、内視鏡調査によって確認したコンクリートが脆弱化している厚さをプロットした結果、超音波の伝播速度と脆弱化した厚さに一定の相関が見受けられる事がわかる。以上の結果から、コンクリート中の超音波の伝播速度を計測する事で、熱劣化の度合いを推定できたとと言える。

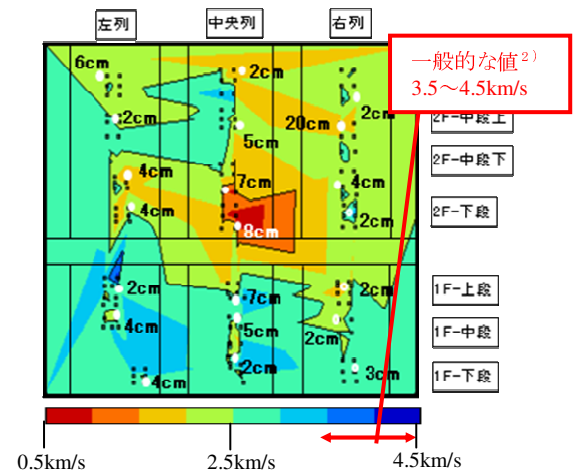


図-5 壁面にける超音波の伝播速度分布

(2) 柱・梁部材

柱・梁部材にける伝播速度の計測結果を表-3に整理する。表-3の結果から、壁面から10cmの範囲は伝播速度が大きく低下しており、熱劣化による弾性係数の低下の影響が顕著に出ている。一方で、壁面から離れるに従って、伝播速度は健全部の値に近くなり、熱影響を殆ど受けていない事がわかる。

表-3 柱・梁部材の伝播速度分布

【柱の伝搬速度】		単位: km/s			
測定位置	薄壁からの距離				
	10cm	60cm	110cm	140cm	
2F-左上段	3.53	4.07	4.26	4.35	
2F-右上段	3.36	3.99	4.34	4.44	
2F-左中段	2.85	3.53	4.43		
2F-右中段	2.90	3.65	4.26		
2F-左下段	3.02	3.24	4.18		
2F-右下段	2.99	3.70	4.26		
1F-左上段	3.63	4.02	4.27	4.22	
1F-右上段	3.20	3.52	3.76	3.95	
1F-左下段	3.03	3.45	3.78	3.79	
1F-右下段	2.51	2.86	3.26	3.26	
一般的な値	3.5～4.5	3.5～4.5	3.5～4.5	3.5～4.5	

以上の結果から、熱影響を受けたコンクリートについて、超音波探査技術を適用する事でその劣化度を推定できたとと言える。

6. おわりに

今後は、設備改修（撤去）時に、実構造物のクラック発生状況や圧縮強度試験、劣化したコンクリートの示差熱分析等の詳細調査を行い、本取組みについて検証すると共に、構造物の形状や厚さに応じた最適な計測方法の探索等に取組みたい。

参考文献

- 2) コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, 2002 コンクリートの超音波伝播に関する数値解析的研究