

コンクリート構造物表層の 品質評価装置の開発

岩野 聡史*¹

森濱 和正*²

1. はじめに

筆者らは、新設コンクリート構造物が要求性能を満足しているかどうかを確認するために、非破壊・微破壊試験による検査方法の確立と、供用時には維持管理が適切に行われるように、検査に用いた非破壊・微破壊試験方法を点検にも継続して適用していく方法を検討してきた。検討した検査・点検項目は、コンクリート強度、鉄筋のかぶり厚さ、表層の品質、内部の変状など多岐にわたっている。それぞれの項目について複数の試験方法について検討している¹⁾。本稿ではそれらのうち、コンクリート表層の品質を接触時間によって評価する方法を紹介する²⁾。

コンクリートの表層は、鉄筋を塩害などから保護する性能、凍害に対する抵抗性などが要求されている。鉄筋を腐食から防ぐためには、二酸化炭素の侵入に伴う中性化に対する抵抗性や塩化物イオンの浸透抵抗性が高いこと、凍害に対してはコンクリート内部の水分の凍結融解抵抗性が高いことが求められる。これらの要求性能を確保するためには、表層が塩化物イオン、二酸化炭素などに対する所要の物質移動抵抗性(緻密性)を有していることが極めて重要である。

表層の緻密性を確認する方法には、直接的に評価する透気・透水試験方法と、弾性係数に相当する指標から間接的に評価する方法がある³⁾。両方法には一長一短あり、直接的な方法は、緻密性を直接的に評価できるという長所があるが、試験の実施に当たりコンクリート表面の状態や内部の含水状態の影響を受けやすいという短所があり、事前に接触時間が緻密性を表していることを確認しておく必要がある。間接的な方法は、得られる指標が緻密性を直接的に表しているわけではないので、評価が難しいという問題がある。しかし、試験は打撃するだけなので簡単で、短時間で実施できる。また、衝撃弾性波法によるコンクリート強度の推定と同時に試験できるなどの長所がある。

ここで紹介する方法は、衝撃弾性波法に分類される試験方法であり、コンクリート表面を鋼球やハンマーにより打撃する方法である。打撃時に鋼球やハンマーとコンクリート表面とが接触している時間を接触時間という。接触時間は、コンクリート表層の弾性係数を表す指標である。弾性係数は、強度と高い相関関係があること、また強度は、中性化抵抗性などとも高い相関関係があることが知られていることから、接触時間は表層の品質を評価することが可能と考えた。

そこで、新設するコンクリート表層部の品質評価方法として、接触時間を適用することを検討した。

*1 リック(株) 技術研究所

*2 (独)土木研究所 材料資源研究グループ 基礎材料チーム
DEVELOPMENT OF QUALITY EVALUATION DEVICE FOR SURFACE
OF CONCRETE STRUCTURES (by Satoshi IWANO et al.)

まず、配合、養生方法、型枠の種類の違いにより、表層付近の品質を変化させた供試体を用いて、接触時間を測定し、促進中性化試験による中性化深さと比較する実験などを行った。次に、実構造物への適用を考慮した接触時間の測定によるコンクリート表層の品質評価方法を考案した。最後に、実構造物において考案した方法の検証実験を行った。

2. 表層品質と接触時間

2-1. 測定原理

コンクリート表面に鋼球を落下させたときの鋼球とコンクリートとの接触時間 T_c は式(1)により示されている⁴⁾。

$$T_c = 5.97 [\rho_s (\delta_s + \delta_p)]^{2/5} \frac{R}{h^{0.1}} \quad \dots\dots (1)$$

ただし、 $\delta_p = (1 - \nu_p^2) / (\pi E_p)$ 、 $\delta_s = (1 - \nu_s^2) / (\pi E_s)$
 ここに、 ρ_s : 鋼球密度、 R : 鋼球半径、 h : 落下高さ、 ν_p : コンクリートのポアソン比、 ν_s : 鋼球のポアソン比、 E_p : コンクリートの弾性係数、 E_s : 鋼球の弾性係数

式(1)より、鋼球落下による鋼球とコンクリートとの接触時間は、コンクリート表層の弾性係数によって変化することが分かる。例えば、コンクリート表層の強度が強くと、弾性係数 E_p が大きい測定点では、 δ_p が小さくなり、接触時間は短くなる。式(1)は鋼球落下による接触時間が示されているが、コンクリート表面との接触面が球形のハンマーでコンクリート表面に打撃を与えた場合は、鋼球落下による場合と同様に、接触時間はコンクリート表層の弾性係数によって変化する。この関係から、同じハンマーにより接触時間を測定し、測定結果を比較すればコンクリート表層の弾性係数を比較することとなり、コンクリート表層の品質評価に利用できると考えられる。

2-2. 測定方法

接触時間の測定状況を写真1に示す。衝撃加速度計(PCB社製350B03型)を取り付けたインパクターにより、コンクリート表面を打撃し、入力波形を測定する。インパクターとコンクリートの接触面は球



写真1 接触時間の測定状況

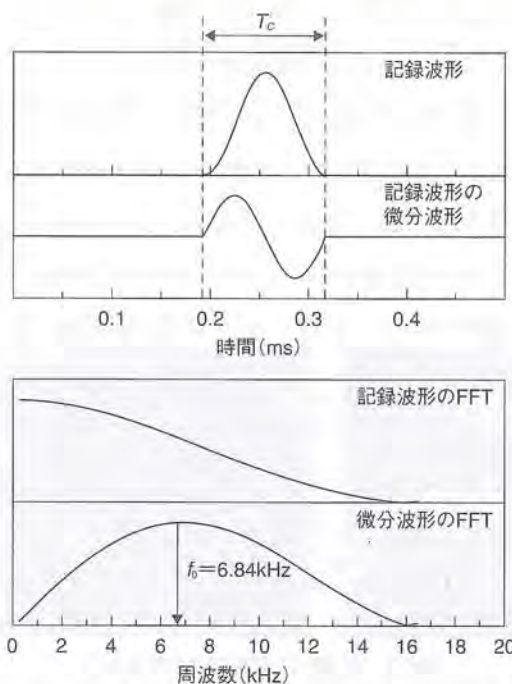


図1 測定波形(上)と周波数解析結果の例(下)

面状であり、衝撃加速度計を含む総質量は18g以下としている。ここで、インパクターの質量が重くなれば、接触時間は長くなり、より深い範囲の弾性係数を反映することとなる。本測定では、コンクリート表層部に限定した評価を対象としていることから、インパクターは小質量としている。

記録波形の例を図1上に示す。波形の立ち上がりから振幅値がゼロとなるまでの時間が接触時間 T_c である。 T_c を客観的に決定するために高速フーリエ変換(FFT)による周波数解析を行い、振幅が最大となる周波数 f_0 の逆数から T_c を決定する方法を用いている。

式(1)より、鋼球の接触時間は落下高さにより変

表1 実験に用いた供試体状況

実験名称	実験要因	供試体名称	セメント種類	水セメント比 (%)	試験条件	接触時間と比較した指標
実験1 ⁵⁾	水セメント比 水中養生期間	曲げ供試体	N	67.0	水セメント比ごとに水中養生期間1日, 3日, 7日	促進中性化試験による中性 化速度係数
				57.5		
				49.5		
				30.0		
実験2 ⁶⁾	型枠の種類	L型 供試体	A	底版 N 63.0	供試体の両側面に透水型枠と合板型枠 を使用	小径コア(φ25×約50mm) による圧縮強度
				壁 BB 59.0		
			B	底版 N 49.5		
				壁 BB 59.0		
			C	底版 N 38.0		
				壁 BB 45.5		
		ボックス 供試体	薄壁 N 35.0			
			厚壁 N 70.0			
実験3 ⁷⁾	水セメント比 養生方法	版供試体	N	40	水セメント比ごとに湿潤養生期間1日, 7日, 28日(7日脱型後, フィルム被覆 による封緘養生)	促進中性化試験による中性 化速度係数
				50		
				60		
			BB	40	水セメント比ごとに湿潤養生期間1日, 9日, 28日(9日脱型後, フィルム被覆 による封緘養生)	
				50		
				60		

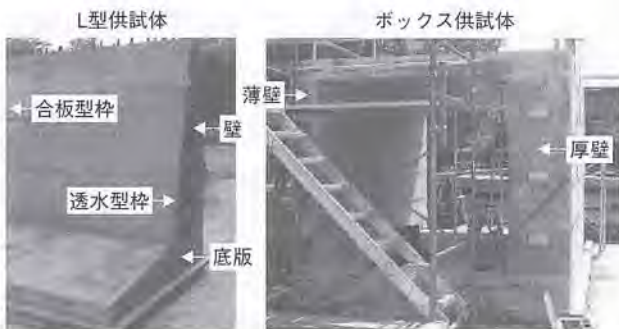


写真2 実験2での供試体外観状況

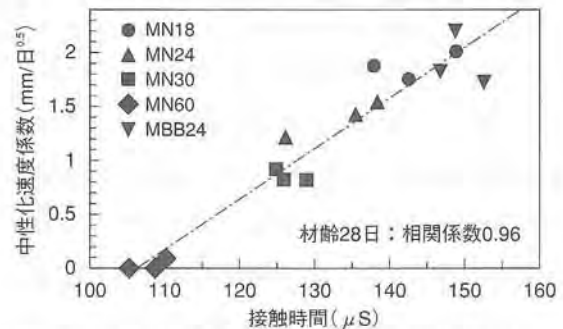


図2 実験1：促進中性化試験結果との比較

化することがわかっており、このことから、打撃による接触時間の測定値は打撃強さによってもバラツキが生じると考えられる。そこで、測定精度を向上させるため、1測定点での測定(打撃)回数を20回とし、平均化処理した結果を測定値としている。

3. 表層品質評価装置の開発実験

3-1. 実験概要

実験に用いた供試体を表1に示す。実験1⁵⁾は配合、養生期間の異なる5種類の曲げ供試体である。実験2⁶⁾は2供試体の両側面の型枠が違う8面を実験対象とした。供試体の外観状況を写真2に示す。片面は合板型枠を、反対の面は透水型枠を使用した。実験3⁷⁾は配合、養生方法の異なる6種類の壁供試体

である。

接触時間が表層品質を表していることを確認するために、実験1と実験3では促進中性化試験を実施し、配合、養生方法の相違による中性化進行速度を測定して接触時間とを比較した。実験2は、一部の供試体でφ25mm、長さ約50mmの小径コアを採取し、圧縮強度試験を行い⁸⁾、型枠の相違による表層付近の圧縮強度と接触時間を比較した。

3-2. 実験結果

実験1の接触時間と中性化速度係数の比較を図2に示す。水セメント比や養生方法によってコンクリート表層の品質は変化する。図2より、これらの変化による中性化速度係数の変化に対応して、接触

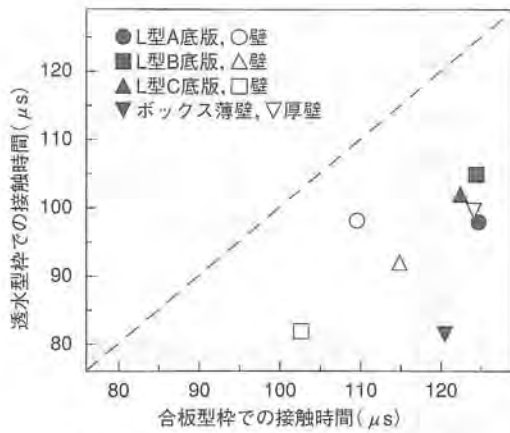


図3 実験2：型枠の相違による比較

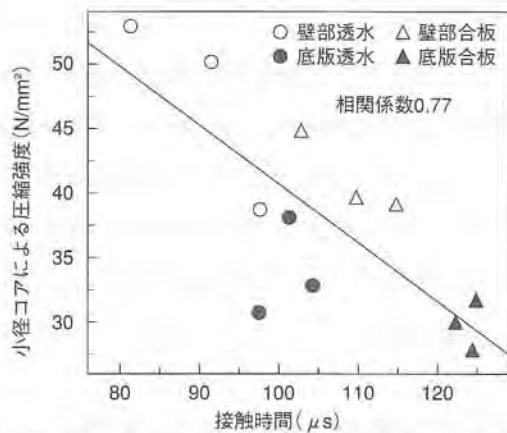


図4 実験2：小径コアによる圧縮強度との比較

時間は変化していることが確認される。相関係数は0.96となった。

実験2の型枠の相違による接触時間の比較を図3に示す。図3は、縦軸を透水型枠を使用した面の接触時間、横軸を合板型枠の接触時間とし、同一の部位の接触時間を比較した図である。この結果より、例えばL型供試体A底版では、合板型枠を使用した面で測定された接触時間は124.1 μ sであるのに対して、透水型枠を使用した面では99.9 μ sとなり、透水型枠を使用した面の方が測定される接触時間が20 μ s以上短くなる結果となった。他の部位でも同様に、透水型枠を使用した面で測定される接触時間が短くなり、コンクリート表層の弾性係数が高いことを示す結果となった。透水型枠を使用すれば、コンクリート表層の品質は向上し、弾性係数は高くなることが考えられるが、接触時間の測定結果はこの変化に対応している。また、小径コアの圧縮強度試験結果との比較を図4に示す。透水型枠を使用した面の強度

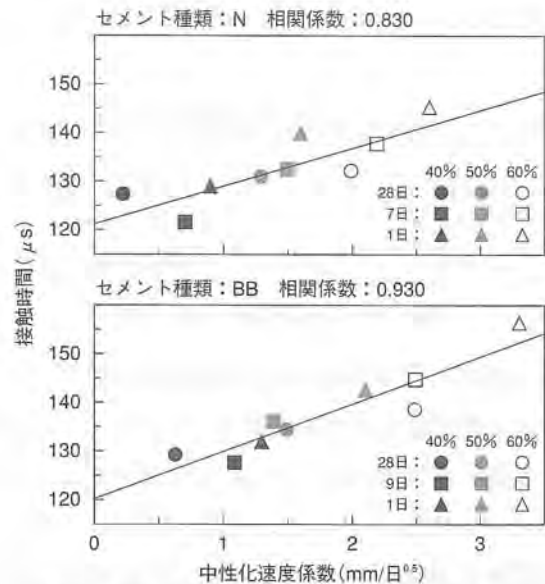


図5 実験3：促進中性化試験結果との比較

は、合板型枠を使用した面よりも高くなっている。接触時間は短くなっており、両者にはある程度の相関関係(相関係数0.77)があることが確認された。

実験3の接触時間と中性化速度係数の比較を図5に示す。前述のとおり、水セメント比や湿潤養生日数によってコンクリート表層の品質は変化し、中性化速度係数は変化することとなる。これに対して、実験1と同様に、中性化速度係数と測定される接触時間には相関関係が確認される。相関係数は普通ポルトランドセメントで0.830、高炉セメントB種で0.930であった。しかし、図5で得られた回帰直線をセメント種類で比較すると、例えば接触時間140 μ sでの中性化速度係数は、普通ポルトランドセメントでは約2.5mm/日^{0.5}、高炉セメントB種では約2.0mm/日^{0.5}である。つまり、測定される接触時間とコンクリート表層の弾性係数や中性化速度係数との関係はコンクリートの配合によって異なると考えられる。

3-3. 実構造物への適用方法の検討

以上の実験結果より、本法により測定される接触時間は、コンクリートの施工時に使用する型枠の種類、水セメント比、湿潤養生日数、これらの条件の相違によるコンクリート表層の品質の変化に対応して変化することが確認された。これらの結果から接触時間を測定することにより、施工されたコンク



図6 提案する試験手順の一例

リート表層の品質を評価できるものと期待される。ただし、測定される接触時間とコンクリート表層の弾性係数との関係はコンクリートの配合によって異なることも確認された。以上の結果から、考案した実構造物に適用するための試験手順の一例を図6に示す。

図6は、新設された構造体コンクリートが養生方法の工夫により、表層の品質が向上したことを施工管理として確認することを目的とした試験の例である。試験対象の構造体コンクリートと同一配合の円柱供試体を作製し、円柱供試体の接触時間と試験対象の構造体コンクリートの接触時間を比較して、可否を判定する手順を示している。円柱供試体の養生方法は、土木学会コンクリート標準示方書などで規

定されている方法とする。構造体コンクリートで測定した接触時間が円柱供試体で測定した接触時間より短くなれば、構造体コンクリートは養生方法の工夫により、規定されている方法で施工した場合よりもコンクリートの表層の品質が向上したと評価できる。

4. 実構造物への適用例

4-1. 実験概要

実験した構造体コンクリートの外観および測定点を図7に、構造体コンクリートの養生方法などを表2に示す。実験した構造体コンクリートは新設橋梁工事で施工された橋台のコンクリートである。構造体コンクリートには高炉セメントB種を使用し、呼び強度30である。高炉セメントB種の標準の湿潤養生期間は、コンクリート標準示方書では7日間であるが、本構造体コンクリートの養生期間は8日、9日と若干延長している。この養生方法の工夫を、図6に示した接触時間の測定による試験手順により確認できるのかを検証する実験を行った。

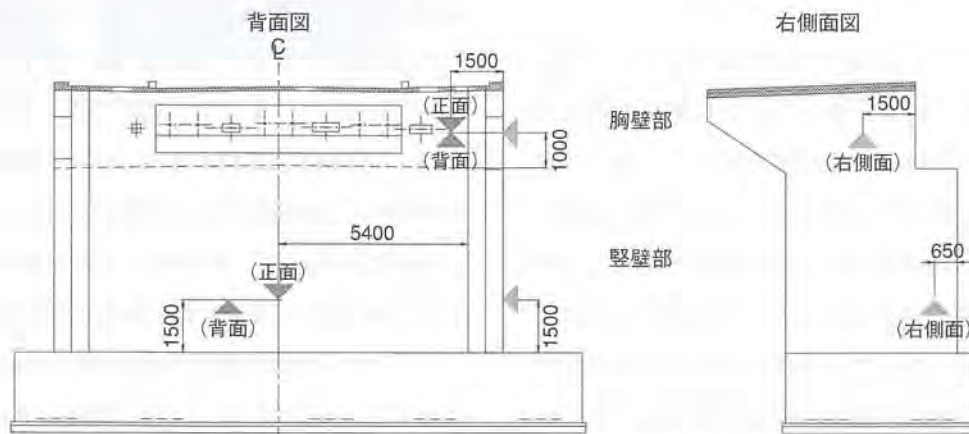


図7 実験した構造体コンクリートおよび測定点(▲)

表2 実験した構造体コンクリートの種類、養生方法等

測定部材	測定点	測定時材齢(日)	養生方法	コンクリート種類
縦壁部	背面側	15	材齢5日で脱型 ↓ 散水、シート養生3日	30-S-20BB
	右側面			
	正面側			
胸壁部	背面側	9	材齢6日で脱型 ↓ 散水、シート養生3日	
	右側面			
	正面側			

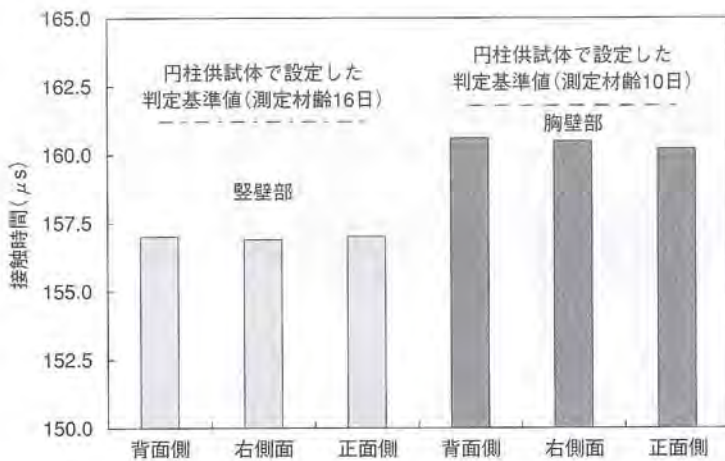


図8 構造体コンクリートでの測定結果と判定基準値との比較

4-2. 検証した試験手順

実験で実施した具体的な試験手順を以下に示す。

(1) 円柱供試体の作製

円柱供試体は試験対象の構造体コンクリートと同一配合のコンクリートにより作製した。φ100mm×200mmの供試体を3本作製した。

(2) 円柱供試体の養生

試験目的は、コンクリート標準示方書の標準の湿潤養生期間より構造体コンクリートの養生期間を若干延長したことの効果を確認することである。そのために、円柱供試体の養生方法はコンクリート標準示方書の標準の湿潤養生期間である7日間の封緘養生とした。

(3) 円柱供試体の接触時間の測定、判定基準値 t_a の設定

比較対象の円柱供試体3本で接触時間を測定し、平均値を判定基準値に設定した。円柱供試体での測定材齢は、構造体コンクリートの測定材齢は縦壁が15日、胸壁が9日であることから、16日と10日である。打撃は、供試体を圧縮強度試験機にセットし、25kN載荷して固定した状態で行った。

(4) 構造体コンクリートの接触時間 t_m の測定

図7に示す測定点で測定した。

(5) 判定

構造体コンクリートで測定した接触時間 t_m と判定基準値 t_a を比較し、 $t_m < t_a$ が確認された場合、構造体コンクリートの表層品質が向上したものと判断

した。

4-3. 実験結果

構造体コンクリートの6測定点での接触時間の測定結果と、円柱供試体での測定結果から設定した判定基準値との比較を図8に示す。構造体コンクリートで測定した接触時間は、判定基準値よりも短くなった。コンクリート標準示方書の標準の湿潤養生期間で施工した場合よりも、実際に施工されたコンクリートの表層の品質が向

上したと評価される結果であり、図6に示した試験手順に従えば、合格と判定される結果となった。提案する試験手順により、構造体コンクリートの養生方法を変化させたことによるコンクリート表層の品質の変化を評価できることが確認された。

5. まとめ

コンクリート構造物の耐久性を確保するためには表層品質が重要であり、表層品質の試験方法の研究開発が活発に行われている³⁾。各種試験方法が提案されているが、それらのうち簡易な方法である接触時間による方法の研究開発状況を紹介した。竣工検査時に品質確保の確認に適用するなど、耐久性の向上に役立てば幸いである。

【参考文献】

- 1) 土木研究所, 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, 大成出版社, 2010.8
- 2) 文献¹⁾, pp.163~165
- 3) 例えば, 半井健一郎他/構造物表層のコンクリート品質と耐久性能検証システム, コンクリート工学, Vol.51, No.2, pp.153~158, 2013.2
- 4) N.J.Carino, M.Sansalone, N.N.Hsu/A Point Source-Point Receiver, Pulse-Echo Technique for Flaw Detection in Concrete, ACI JOURNAL / March-April, pp.189~208, 1986
- 5) 文献¹⁾, pp.313~317
- 6) 岩野聡史, 森濱和正, 極檀邦夫, 境友昭/鋼球接触時間の測定によるコンクリート表層部の品質評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.1687~1692, 2005.6
- 7) 土木学会コンクリート委員会, 構造物表面のコンクリート品質と耐久性能検証システム研究小委員会(335委員会)/第二期成果報告書およびシンポジウム講演概要集, コンクリート技術シリーズNo.97, pp.348~353, 2012.7
- 8) 文献¹⁾, pp.105~120