

非破壊試験によるコンクリート補修工事の品質管理手法に関する検討

日大生産工(院) ○岩野聡史 日大生産工 渡部 正
日大生産工(院) 中村聖馬

1 まえがき

近年コンクリート構造物では、構造物を長く供用することを目的として、構造物の力学的な性能を回復・向上させる補修工事が多く実施されている。この補修工事では、実際の施工が計画・設計通りに実施されなければ、この目的を満足できない危険性があり、品質管理が重要になると考えられる。これに対して、補修工法の一つである断面修復工では、劣化したコンクリートを除去して、ポリマーセメントモルタル（以下、PCM）を新たに打込むが、ここで使用するPCMは、施工現場において材料を計量して水と練り混ぜることが多い。PCMの品質は、このPCMと練混ぜ水の比率（以下、W/P）によって大きく変化することから、施工現場での計量がPCMの品質に大きく影響することとなる。さらに、PCMの品質は、打込み後の現場での養生方法、乾燥や温度の条件などによっても大きく変化する。以上のとおり、断面修復工でのPCMの品質は、施工現場での施工方法によって大きく変化する。従って、実際に打込み、養生をしたPCMに対して、その品質を直接試験することが有効であると考えられる。

施工後の構造物を直接試験する方法としては、構造物を壊すことなく、試験する非破壊試験が有効となる。筆者らは、コンクリートの非破壊試験の一手法である、コンクリート表面をハンマで打撃した時にハンマとコンクリート表面とが接触している時間（以下、接触時間）を測定する試験（以下、接触時間試験）について検討してきた¹⁾。接触時間はハンマによる打撃点の近傍の局部的な硬さや弾性係数によって決定される²⁾。この性質から、打込み、養生後のPCMの品質を直接評価する有効な試験方法になると期待される。また、この接触時間に基づく試験方法は（一社）日本非破壊検査協会により規格が制定され、その規格の附属書に参考として記載されている³⁾。そこで、この接触時間試験がPCMの品質評価に適用できるのかを検証することを目的とした実験を行った。実



写真1 試験状況

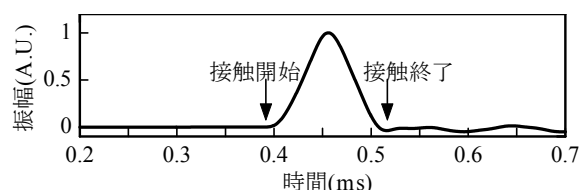


図1 測定で得られる打撃波形の例

験では、まず、水分量と養生方法を変化させた供試体を作製し、これらの条件の相違によるPCMの品質の変化と測定される接触時間との関係について実験した。次に、参考文献3)の記載内容を、実際にPCMを使用した補修工事に適用して検証した。

2 測定原理

試験状況を写真1に示す。PCMの表面を質量18gの小型のハンマで打撃し、ハンマとPCMとの接触時間を測定する。測定される打撃波形の例を図1に示す。接触を開始した時刻から振幅値が最大値となる時刻までがハンマがPCMに貫入している時間（貫入時間）、振幅値が最大値となる時刻から接触を終了した時刻までがPCMがハンマを反発している時間（反発時間）となる。測定される接触時間は、式(1)、式(2)に示す、PCMの弾性係数 E とブリネル硬さ H_B とを反映する貫入時間と反発時間から決定される²⁾。

Study on Quality Control Method for Repairing Material by Measuring the Contact time

Satoshi IWANO, Tadashi WATANABE and Seima NAKAMURA

$$t_m = \sqrt{(m\pi)/(8RH_B)} \quad (1)$$

$$t_R = (\pi/4) \cdot \sqrt{2m} \cdot \left\{ (1-\nu^2)/(RE) \right\}^{1/4} \quad (2)$$

ここで、 t_m ：貫入時間、 R ：ハンマの半径、 m ：ハンマの質量、 H_B ：ブリネル硬さ、 t_R ：反発時間、 E ：PCMの弾性係数、 ν ：PCMのポアソン比である。

式(1)、式(2)より、PCMの弾性係数 E とブリネル硬さ H_B が小さくなると、測定される接触時間は大きく。つまり、PCMの品質が低下すれば、測定される接触時間は大きくなる性質がある。

3 供試体実験による検証

3. 1 実験内容

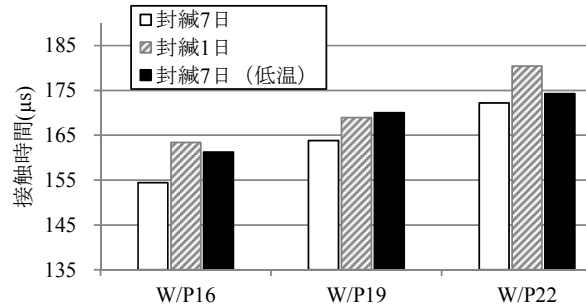
供試体の概要を表1に示す。設計寸法75mm×75mm×150mmの角柱供試体を作製した。使用したPCMはセメント、砂、粉末ポリマーなどの必要成分をあらかじめ調整混合したプレミックスタイプのものである。W/Pは、製造者の推奨値が16%であるのに対して、16%、19%、22%の3種類とした。また、養生方法は「封緘7日」、「封緘1日」、「封緘7日（低温）」の3種類とした。養生方法の詳細は以下のとおりである。「封緘7日」は材齢1日で脱型した後に食品用ラップフィルムで封緘し、材齢7日まで室温20℃の室内で養生した。その後は室温20℃の室内で気中養生とした。「封緘1日」は材齢1日で脱型した後、室温20℃の室内で気中養生を行った。「封緘7日（低温）」は打込み直後から2℃で養生し、材齢1日で脱型した後、材齢7日まで食品用ラップフィルムで封緘して2℃で養生を行った。その後は室温20℃の室内で気中養生とした。なお、供試体は各条件で3体ずつ作製し、3体で測定した接触時間の加算平均値から、各供試体での接触時間を決定している。また、参考文献3)の記載内容を参考にして、供試体は圧縮試験機により、圧縮強度試験での最大荷重の1/10の荷重を加えた状態で固定して測定した。

3. 2 測定結果および考察

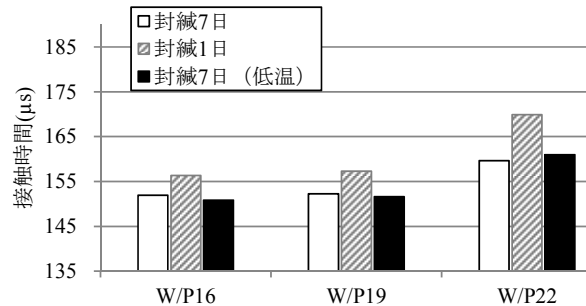
供試体の各条件で測定した接触時間を図2に示す。まず、W/Pが大きくなると測定される接触時間が大きくなることが確認される。また、図2(a)と図2(b)を比較すると、材齢が経過すると接触時間が小さくなることが確認される。次に養生方法で比較すると、図2(a)の材齢7日では封緘7日で接触時間が小さく

表1 供試体の概要

W/P (%)	養生方法の名称	測定材齢 (日)
16	封緘7日	7日
19	封緘1日	28日
22	封緘7日（低温）	28日

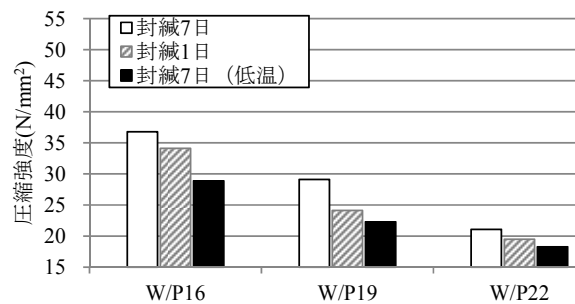


(a) 材齢7日

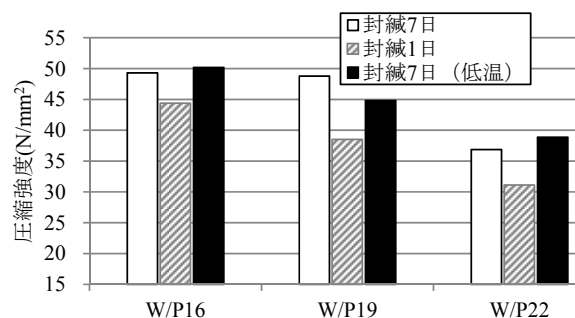


(b) 材齢28日

図2 供試体での接触時間の測定結果



(a) 材齢7日



(b) 材齢49日

図3 供試体での圧縮強度試験の結果

なるが、封緘1日と封緘7日（低温）では明確な違いは認められなかった。一方、図2(b)の材齢28日では封緘1日では接触時間が大きくなるが、封緘7日（低温）は材齢7日と比較して接触時間が小さくなり、封緘7日と同等となった。ここで、以上の接触時間の測定結果と比較するため、材齢7日と49日に圧縮強度試験を実施した。この結果を図3に示すと、先ず、W/Pが大きくなると圧縮強度が低下することが確認される。また、材齢が経過すると圧縮強度が大きくなることが確認される。次に養生方法で比較すると、材齢7日では封緘1日と封緘7日（低温）の差が小さく、材齢49日では封緘7日（低温）の強度が増加して封緘7日と同程度となった。

以上の結果より、PCMの品質はW/P、材齢、養生方法によって変化するが、測定される接触時間はこれらの品質の変化に良く対応して変化する。2章の測定原理に示したとおり、PCMの品質が低下すれば、測定される接触時間は大きくなる性質が確認された。

4 実補修工事での試験手順の検証

4. 1 実験内容

補修工事を実施した構造物は海岸沿いに建設された洞道である。塩害により劣化したコンクリートを除去して、型枠を設置して、PCMを打込み、充填する断面修復工による補修工事を行った。断面修復工の実施数量は6部材の約140m²であった。使用したPCMはグラウト用無収縮ポリマーセメントモルタルで、現地で製造会社の指定する量の水を計量して加え、練混ぜをして打込みを行った。打込み後は急激な乾燥を避けるため、3日以上湿潤養生とした。

4. 2 検証した試験手順

検証した試験手順を図4に示す。参考文献3)の記載内容に基づく試験手順である。この試験では、実際に打込み、養生をしたPCMが計画・設計通りに施工され、所定の品質を確保していることを確認することを目的としている。実際に打込みをしたPCMで、写真2のように測定した接触時間が、判定基準値を満足するのにより判定する。判定基準値は75mm×75mm×150mmの参照供試体での接触時間の測定結果から設定する。

参照供試体での測定状況を写真3に示す。この参照供試体は施工現場でのPCMの打込み時に3体作製し、W/Pは製造者の指定値から設定

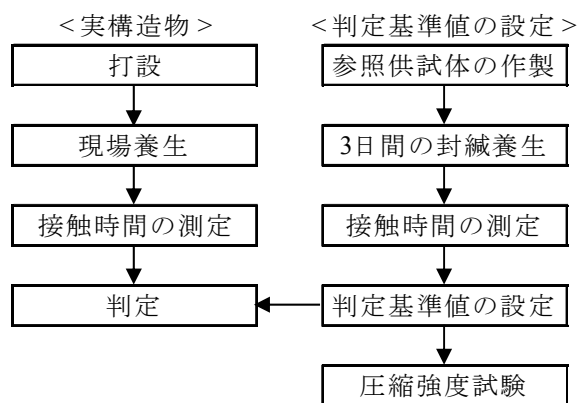


図4 検証した試験手順



写真2 実際に打込みをしたPCMでの測定状況



写真3 参照供試体での測定状況

した。養生方法は実際に打込みをしたPCMでの養生方法の施工計画に従い、3日間の封緘養生後に室温20℃の室内での気中養生とした。参照供試体での接触時間の測定材齢は、実際に打込みをしたPCMでの測定材齢と同じ7日とした。なお、参照供試体では接触時間の測定後に圧縮強度試験を実施し、製造者のカタログに示される圧縮強度と同等であることを確認して、参照供試体の水分量、養生方法、品質が適切であることを確認する方法としている。

4. 3 試験結果

参照供試体での接触時間の測定結果および判定基準値の設定結果を表2に示す。判定基準

表2 参照供試体での接触時間の測定結果および判定基準値の設定結果

参照供試体 No.	接触時間(μs)		標準偏差： σ (μs)	判定基準値 (μs)
	各測定値	全平均値： m		
01	151.5	149.3	3.5	159.7
02	147.8			
03	148.8			

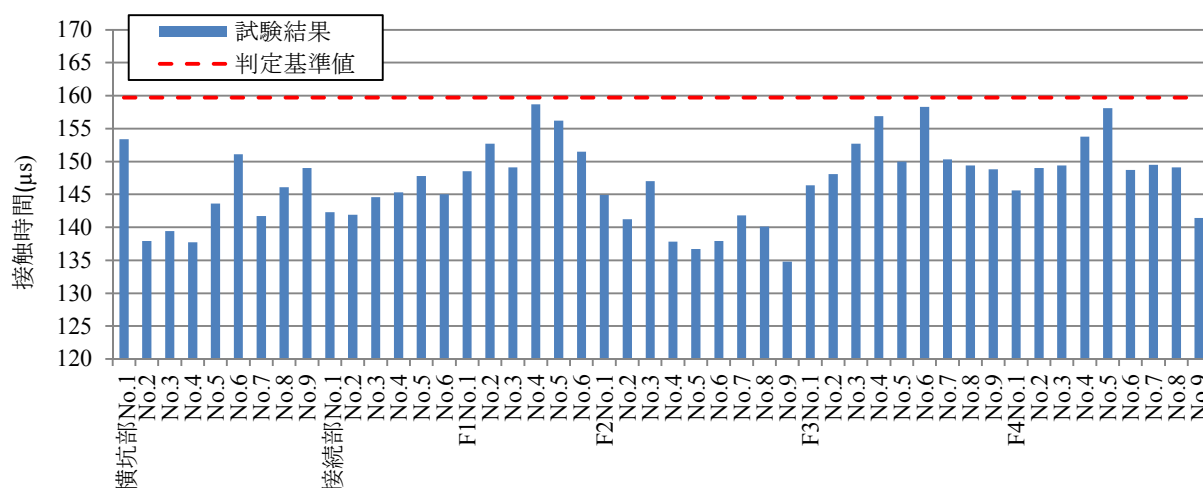


図5 実際に打込みをしたPCMでの接触時間の測定結果

値は（全平均値）＋3×（標準偏差）から設定し、接触時間が159.7μsより大きくなれば異常値であると判定した。なお、この判定基準は、「JIS Z 9021 シューハート管理図」での管理限界値を採用したものである。「JIS Z 9021 シューハート管理図」によれば、判定基準値の「（全平均値）＋3×（標準偏差）」は、1000個のデータ中に存在する3個の異常値を判定する判定基準値となる。

実際に打込みをしたPCMで測定した接触時間と判定基準値との比較を図5に示す。全測定点とも、接触時間は判定基準値以下となり、判定基準を満足する結果となった。以上の結果より、考案した試験手順により実際に打込みをしたPCMの水分量、養生方法は適切であり、品質に問題は無いと評価できる。また、参考文献3)の記載内容により、PCMの品質評価が可能であることも確認された。

5 まとめ

コンクリート構造物の補修工事で実際に打込み、養生をしたPCMの品質を、非破壊試験の一手法である接触時間試験により試験する方法について検討した。得られた結果を以下に示す。

1) ハンマ打撃により測定される接触時間は、PCMの打撃点近傍の弾性係数、硬さによって

変化する性質がある。W/P、養生方法、材齢を変化させた供試体により接触時間を測定すると、これらの条件の変化による品質の変化に良く対応して、測定される接触時間は変化した。PCMの品質が低下すれば、測定される接触時間は大きくなる性質が確認された。

2)参考文献3)の記載内容に基づく試験手順を、実際にPCMを使用した補修工事に適用して、検証した。その結果、品質が適切であることを確認した参照供試体での接触時間の測定結果と、実際に打込みをしたPCMでの接触時間とを比較することにより、実際に打込みをしたPCMの品質評価が可能であることが確認された。

「参考文献」

- 1) 岩野聡史，森濱和正：コンクリート構造物表層の品質評価装置の開発，セメント協会 セメント・コンクリートNo.797，2013年7月号，pp.36-41，2013.
- 2) NDIS 3434-2：2017：コンクリートの非破壊試験—打撃試験方法—第2部：接触時間試験方法，一般社団法人日本非破壊検査協会，pp.6-14，2017.
- 3) 前記載2)，pp.32-37，2017.