

# 連続練りミキサを用いたモルタル吹付け工法 におけるモルタルの基本性状と耐久性

千賀年浩\*<sup>1</sup> 河村彰男\*<sup>1</sup> 森康雄\*<sup>2</sup> 前垣創大\*<sup>3</sup>

モルタル吹付け工法における施工の効率化や設備の簡略化を目的に連続練りミキサを用いたモルタル吹付け工法を開発した。この連続練りミキサを用いて練り混ぜたモルタルの均一性、温度や水セメント比の変化を踏まえたフレッシュ性状と硬化性状、及び耐久性について検討した。その結果、連続練りミキサで練り混ぜたモルタルは、確実に練混ぜが行われ均一性が確保されていること、温度変化がモルタルに多少の W/C の変化や経過時間によるフロー値、圧縮強度の増進に影響を与えるため温度管理が重要であること、さらに、本工法のモルタルは中性化及び凍害に対する抵抗性が高く、耐久性に優れていることを確認した。

キーワード：モルタル吹付け、連続練りミキサ、フレッシュ性状、硬化性状、耐久性

## 1. はじめに

モルタル吹付け工法は、比較的小規模な設備で広範囲に施工が可能であるため、トンネル覆工や法面保護、補修・補強工事等で多く採用されている。設備としては、小規模ではあるが、モルタルを練り混ぜるためのミキサやそれを受けるホップ、圧送用のポンプやホース、吹付け時のコンプレッサ等、多くの機器が必要となる。そのため、施工箇所が変わる等の段取り替え時には、各機器の移動が発生するため、時間と労力を要する。また、施工時にはモルタル作製による水の計量作業や、練混ぜによる待ち時間が発生する等、施工性の観点からは自動化や効率化が求められる。さらに、狭隘部の施工においては、設備のスペースや作業空間が制限されるため、施工不可、又は長距離圧送による方法等の対応が必要となる<sup>1)</sup>。長距離圧送の場合、圧送可能なモルタルの配合や施工機械の検討が必要となるほか、夏期においてはホースの閉塞がしやすいことも考えられ、施工面はもちろん品質面においても懸念がある。

そこで、施工の自動化や効率化、設備の簡略化を目的に、Fig.1 に示す連続練りミキサを用いたモルタル吹付け工法（FC ライナー工法（Fast Compact Liner））を開発した。（以降、「本工法」と記す。）本工法は、ミキサ、ホップ、圧送用ポンプを一体化した連続練りミキサを用いている。モルタルの吹付け時は、専用のプレミックス材（FC モルタル）を投入し続けると共に、水は設計された水セメント比（W/C）となるように水量計により調整した量が随時ミキサへ供給される仕組みとなっており、連続的にモルタルを吹付けることができる。また、設備を一体

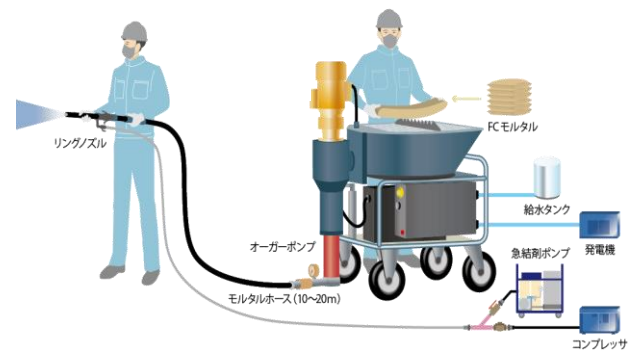
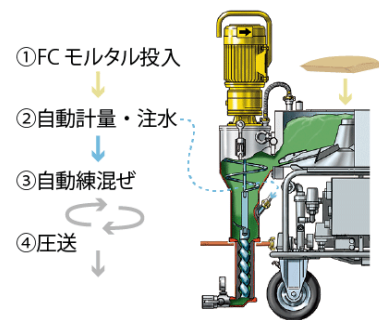
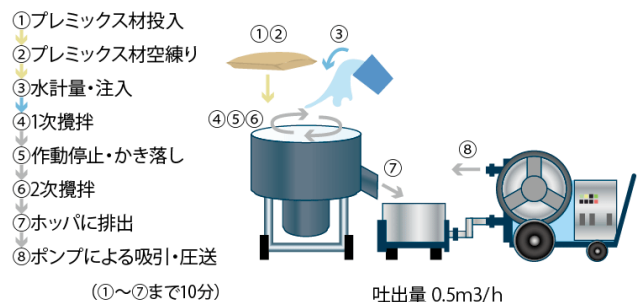


Fig. 1 連続練りミキサを用いたモルタル吹付け工法  
(FC ライナー工法)



吐出量 1.0～1.2m<sup>3</sup>/h

本工法のフロー



(①～⑦まで10分)

吐出量 0.5m<sup>3</sup>/h

従来工法のフロー

Fig. 2 本工法と従来工法の比較

\*1 技術本部 技術研究所 基盤技術研究室

\*2 土木事業本部 インフラ再生事業部

\*3 九州支店 土木部電力土木工事業 水ヶ崎発電作業所

化し小規模化したことにより狭隘部においても施工が可能である。モルタル吹付け時の本工法と従来工法を比較したフローを Fig. 2 に示す。

本工法は、連続的にモルタルの吹付けが行える一方で、練混ぜ時間は通常のみキサによる練混ぜと比較すると短く、また、水やプレミックス材の供給のばらつきやみキサの機械誤差等の変動を考慮すると、モルタルの均一性や W/C の変化が懸念される。加えて、実施工では環境温度の影響も受けることから、これらを踏まえたモルタルのフレッシュ性状や硬化性状の把握は品質を確保する上で重要となる。さらに、構造物の長寿命化の観点から、耐久性も要求される。

本稿では、上記を踏まえたモルタルのフレッシュ性状と硬化性状、及び耐久性について試験した結果を報告する。

## 2. 実験の目的

実験は、本工法のモルタルの均一性を確認すると共に、モルタルの設計 W/C を一定とした、温度の違いによるフレッシュ性状と硬化性状の把握を目的とする実験をその 1 とし、W/C の変化と温度の違いによるフレッシュ性状と硬化性状の把握を目的とする実験をその 2、耐久性の把握を目的とする実験をその 3 とした。

## 3. モルタルの均一性及び温度の違いによるフレッシュ性状と硬化性状 (実験その 1)

### 3. 1 実験概要

実験その 1 では、吹付けたモルタルの均一性及び温度の違いによるフレッシュ性状、また硬化性状を把握するため、連続練りみキサによる練混ぜ（以降、「連続練り」と記す。）と室内試験による練混ぜを実施し、Table 1 に示す試験内容により比較を行った。室内試験による練混ぜはホバート型みキサを用いた。（以降、「ホバート練り」と記す。）

温度の違いに関する試験は、フレッシュ性状の試験を対象とし、モルタルの練上がり温度と環境温度は共に、本工法の施工に適した温度範囲の上限値 30℃、下限値 15℃、標準温度の 20℃を目標に実施した。硬化性状に関する試験の温度は 20℃を目標に実施し、試験体作製後の養生温度も同一とした。

W/C に関して、本工法は吹付け時、Fig. 1 のように急結剤を用いるため、急結剤に含まれる水分量を考慮すると、吹付け前の圧送時のモルタルと吹付け時のモルタルの設計 W/C は異なり、吹付け前の設計 W/C は 48.7%、吹付け時の設計 W/C は 53.2%となる。

これより、試験の実施方法に関して、硬化性状の試験については、ホバート練り時の W/C は吹付け時の設計 W/C

Table 1 試験内容

試験項目	試験体作製及び試験方法	実施方法	目標 W/C (%)	目標練上がり温度及び環境温度 (°C)	内容
フレッシュ性状	フロー試験 (0打, 15打)	ホバート練り	53.2	15, 20, 30 ±1	経過時間により適宜実施
		連続練り (吹付け前)	48.7±1		
	空気量試験 (単位容積質量)	JIS A 1128 (JIS A 1116)	ホバート練り		53.2
		連続練り (吹付け前)	48.7±1		
硬化性状	初期強度試験 (引抜き強度)	JSCE-G 561	連続練り (吹付け時)	53.2±1	材齢(時間)
					1, 3, 24
	圧縮強度試験	試験体作製方法 JSCE-F 506 試験方法 JSCE-F 505	ホバート練り	53.2	材齢(日)
		試験体作製方法 JSCE-F 561 試験方法 JIS A 1107	連続練り (吹付け時)	53.2±1	1, 7, 28
長さ変化試験	試験体作製方法 JIS R 5201 試験方法 JIS A 1129-3	ホバート練り	53.2	20±1	測定時期
	試験体作製方法 JSCE-G 564 試験方法 JIS A 1129-3	連続練り (吹付け時)	53.2±1		1週, 4週, 13週 (3か月), 26週 (6か月), 52週 (1年)

53.2%を基本とし、吹付け時のモルタルは、連続練りみキサによる機械誤差を考慮した W/C 53.2±1%とした。

また、フレッシュ性状の試験については、吹付け時のモルタルは急結剤の効果により急激に硬化し、試験が困難であることから、吹付け前のモルタルをフレッシュ性状の試験に供した。この場合、W/C は 48.7±1%となる。設計 W/C 53.2%とは異なるものの、時間経過に伴うフレッシュ状態の変化を把握することを目的に、ホバート練りとの比較を行った。なお、連続練りのモルタルの W/C の確認方法としては、連続練りみキサの吐出口から排出されるモルタルを一定量採取し、その質量と給水量から W/C を算出した。また、吹付け時の W/C は、急結剤の使用量から得られる水分量を加えて算出した。

使用材料については、連続練りはプレミックス材を使用し、ホバート練りについては、プレミックス材の構成材料をそれぞれ計量したものをを用いた。なお、ホバート練りによる練混ぜ時間は、連続練りを想定して、可能な限り短時間での練混ぜとなる、空練り 30 秒→注水→低速 30 秒→かき落とし→低速 30 秒とし、練混ぜ時間による影響を極力排除した。

## 3. 2 実験結果

### 3. 2. 1 フレッシュ性状

フレッシュ性状の試験結果を Table 2 に、また、時間経過に伴うフロー値の変化が顕著に現れた 15 打フローの試験結果を Fig. 3 に示す。

Fig. 3 から、ホバート練りと連続練りでは、W/C が異なることより、練上がり直後のフロー値は異なるものの、同温度で比較すると、時間経過に伴うフロー値の減少傾向は同程度となった。また、同一練混ぜ方法における温度の違いに着目すると、連続練りは、ホバート練りよりも練上がり直後のフロー値が小さいこともあるが、温度が高くなるにつれて時間経過に伴うフロー値の減少が大きい。

Table 2 フレッシュ性状の結果

実施方法	目標 練上がり温度 (°C)	練上がり温度 (°C)	目標 W/C (%)	W/C (%)	空気量 (%)	単位容積 質量 (g/cm <sup>3</sup> )
ホバート練り	15±1	15.1	53.2	53.2	4.3	2.08
	20±1	19.4		53.2	4.6	2.07
	30±1	29.7		53.2	4.6	2.07
連続練り (吹付け前)	15±1	14.9	48.7±1	48.0	5.8	2.08
	20±1	20.2		49.4	5.9	2.08
	30±1	30.4		49.3	4.5	2.08

Table 3 練上がり温度及びW/Cの結果

実施方法	目標 練上がり温度 (°C)	練上がり温度 (°C)	目標 W/C (%)	W/C (%)
ホバート練り	20±1	19.4	53.2	53.2
連続練り(吹付け時)	20±1	20.2	53.2±1	52.2

Table 4 初期強度試験結果

実施方法	引抜き強度(N/mm <sup>2</sup> )		
	材齢 1時間	材齢 3時間	材齢 24時間
連続練り(吹付け時)	7.8	10.0	10.0

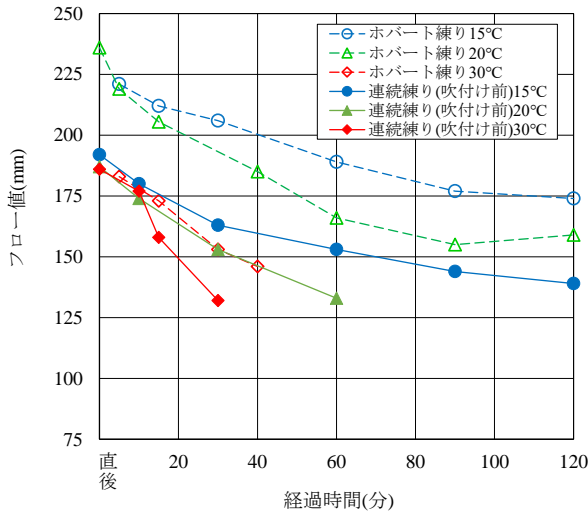


Fig. 3 フロー試験結果

これより、実際の吹付けの施工では、温度の影響を受けやすいことが推察される。

### 3. 2. 2 硬化性状

硬化性状の試験結果を Table 3 及び Table 4, Fig. 4~ Fig. 6 に示す。

Fig. 4 より、連続練りの圧縮強度は、材齢 1 日ではホバート練りよりも低い値を示したものの、材齢 7 日及び 28 日では高い結果となった。連続練りによる強度低下は認められず、練混ぜ不足は生じていないといえる。

Table 4 に示す初期強度については、材齢 3 時間から材齢 24 時間までの強度の増加が横ばいとなった。急結剤添加に伴う急激な強度発現は材齢 3 時間程度で終了することを示していると考えられる。

Fig. 5 より、乾燥収縮ひずみについては、ホバート練りと連続練りは同程度の結果となった。このことから、連続練りはホバート練りと同様に、確実に練混ぜが行われていることが認められる。また、乾燥収縮ひずみは乾燥期間 4 週で  $-800 \times 10^{-6}$  程度、52 週 (1 年) で  $-1400 \times 10^{-6}$  程度の値となった。建設省総合プロジェクト「コンクリートの耐久性向上技術の開発」において断面修復材 (モルタル) の品質規格として示されている乾燥収縮ひずみの値 (乾燥期間 13 週 (3 か月) で  $-2000 \times 10^{-6}$  以上) と比較して小さな値となっている。ただし、乾燥期間 52 週 (1 年) 経過時点においてひずみの進行が懸念されることから、注意が必要である。

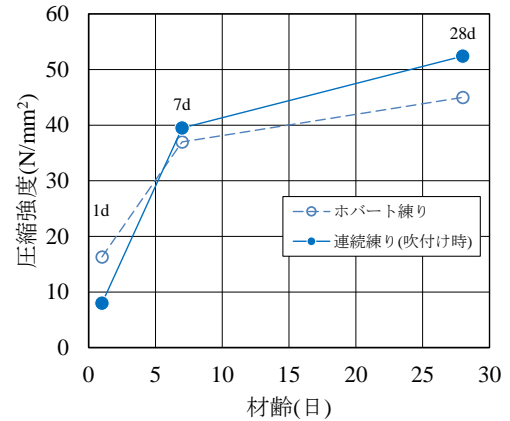


Fig. 4 圧縮強度試験結果

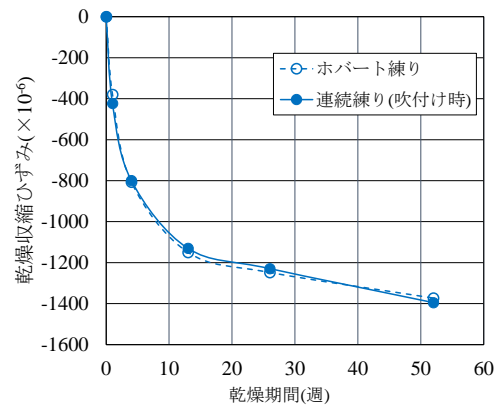


Fig. 5 乾燥収縮ひずみの結果

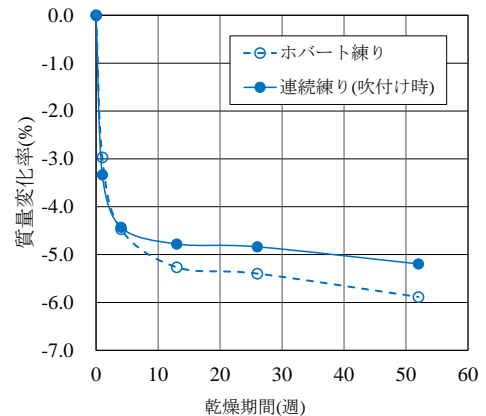


Fig. 6 質量変化率の結果

Fig. 6 より、質量変化率については、横ばい傾向となる 13 週 (3 か月) 以降では差があるものの、質量変化率の減少が大きい初期の期間 (4 週) では同程度の結果となった。試験体中の水分の逸散傾向が同様であることより、連続練りは、ホバート練りと同様に均一性が保たれていることが分かる。

上記より、連続練りとホバート練りを行ったモルタルを比較した結果、連続練りミキサにより練混ぜを行ったモルタルは均一性が確保され、確実に練混ぜが行われているものと判断される。

#### 4. W/C の変化と温度の違いによるフレッシュ性状と硬化性状 (実験その 2)

##### 4. 1 実験概要

実験その 2 の試験内容を Table 5 に示す。W/C の変化と温度の違いによるフレッシュ性状と硬化性状の試験は、共に吹付け前の連続練りによるモルタルで実施した。

W/C の変化については 48.7±1% を基準とし、その基準となる W/C の給水量から一定の水量を増減した場合に変化する W/C (3 水準) とした。

温度については、目標練上がり温度は実験その 1 と同様に 15℃、20℃、30℃の 3 水準とし、実験その 2 では、硬化性状の試験に用いる試験体の養生温度も各練上がり温度と同じとした。

##### 4. 2 実験結果

各温度及び給水量の設定による各試験 3 回の平均値の結果を Table 6 に示す。また、W/C とフローの関係及び W/C と圧縮強度の関係を Fig. 7 及び Fig. 8 に示す。

Table 6 から、W/C は、20℃の基準の給水量設定では設計 W/C 48.7%に近い値を示したが、15℃と 30℃では W/C が 2%程度低い結果となった。これは給水量の設定を変えた場合においても同様の結果を示し、温度が W/C に与える影響があることが分かる。温度の変化によって、水の供給量またはモルタル材料の供給量に多少の変化が生じている可能性がある。

Fig. 7 から、各温度共に W/C が増加するにつれてフロー値が大きくなる傾向となった。これは水量が増加したことが要因といえる。また、各温度で比較すると、フロー値は 30℃が最も小さい結果を示した。

Fig. 8 から、20℃と 15℃は W/C が増加するにつれて圧縮強度が低下する結果となった。これはフローの結果と同様に水量が増加したことが要因といえる。一方で、30℃については W/C に関わらず圧縮強度は同程度となった。これは、練上がり温度及び養生温度が高いことによる影響が考えられ、本工法のプレミックス粉体は超速硬性のセメントを用いているため、初期に硬化が急激に進み、強度の増進が停滞したことが推察される。

上記より、温度が W/C やフレッシュ性状、硬化性状に

Table 5 試験内容

試験項目	試験体作製及び試験方法	実施方法	W/C	目標練上がり温度 環境温度 養生温度	内容
フレッシュ性状	フロート試験 (0打)	JIS R 5201	連続練り (吹付け前)	15, 20, 30 ±1℃	練混ぜ直後に実施
硬化性状	試験体作製方法 JSCE-F 506 試験方法 JSCE-F 505	連続練り (吹付け前)	W/C 48.7±1% ○給水量設定 ・基準-0.30/分(5.60/分) ・基準(5.90/分) ・基準+0.40/分(6.30/分)	15, 20, 30 ±1℃	材齢(日) 28

Table 6 試験結果

目標練上がり温度 及び養生温度	15±1℃			20±1℃			30±1℃			
給水量設定	基準-0.30	基準	基準+0.40	基準-0.30	基準	基準+0.40	基準-0.30	基準	基準+0.40	
試験結果	W/C (%)	44.8	46.3	48.8	46.0	48.2	50.0	44.0	46.4	48.9
	フロー試験 (mm)	103	107	109	109	109	115	100	103	104
	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> ) 材齢28日	54.4	53.6	49.3	57.8	54.9	51.0	52.7	52.8	52.9

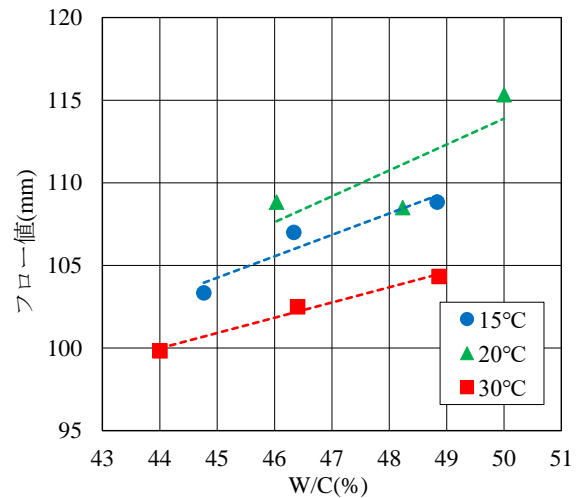


Fig. 7 W/C とフローの関係

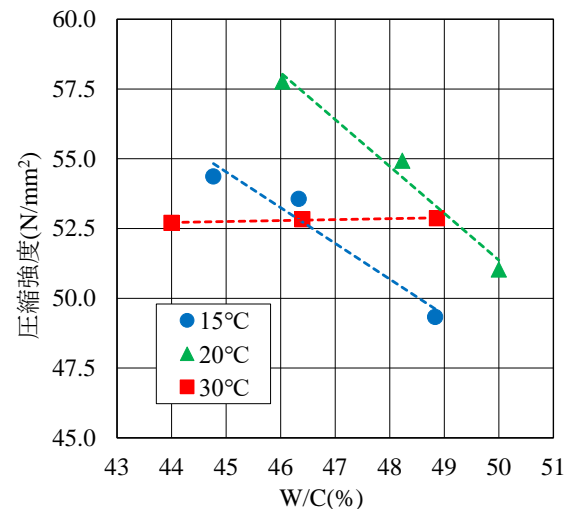


Fig. 8 W/C と圧縮強度の関係

与える影響を確認した。実際の施工では、環境温度が高い場合、モルタル圧送時のホースの閉塞等も懸念されるため、モルタルの品質はもちろん施工面においても温度管理が重要といえる。

## 5. 耐久性 (実験その 3)

### 5. 1 実験概要

実験その 3 では、耐久性の把握として、凍結融解抵抗性及び中性化抵抗性について試験を実施した。試験内容を Table 7 に示す。

試験体の作製に関して、実験その 1 から、連続練りはホバート練りと練混ぜ性能が同等であることが確認されたこと、また、吹付け時の試験体の作製精度によるばらつきを排除するため、試験体はホバート練りによって作製した。使用材料及び練混ぜ時間は実験その 1 と同様とした。

温度については、目標練上がり温度と環境温度は共に 20℃とした。

### 5. 2 実験結果

#### 5. 2. 1 凍結融解抵抗性

凍結融解試験の結果を Fig. 9 に示す。300 サイクル終了時点において、相対動弾性係数 105%・質量変化率 99%の結果が得られ、凍結融解抵抗性が高いことが確認されたことから、試験サイクル数を 900 サイクルまで延長して試験を実施した。相対動弾性係数は 540 サイクルから低下する傾向が認められるものの、750 サイクル時点まで 85%以上を維持する結果を示し、極めて凍結融解抵抗性が高いことが認められた。

コンクリートの耐凍害性は、コンクリートの品質のほか、最低温度、凍結融解繰返し回数、飽水度等、多くの要因が影響し、それらを正確に評価することは容易ではない<sup>2)</sup>。土木学会「自己充てん型高強度高耐久コンクリート構造物 設計・施工指針 (案)」では、これらの影響をもとに凍害危険度に応じた凍結融解回数を設定して、凍害に対する照査を実施することとしている<sup>3)</sup>。W/C 55%のコンクリートの場合では、凍害危険度が極めて大きい地域 (凍害危険度 5) における耐用期間を 100 年とすると、必要凍結融解回数は 600 回程度と推測される。

上記より、W/C 53.2%の本工法のモルタルは、600 サイクル時点において相対動弾性係数は 97%であり、凍害に対する耐用期間として 100 年間以上を期待できるものと推察される。

#### 5. 2. 2 中性化抵抗性

促進中性化試験の結果を Fig. 10 に示す。結果から中性化速度係数の値を算出すると 1.70mm/√週 (12.24mm/√年) となり、農林水産省「農業水利施設の補修・補強に関するマニュアル (開水路補修編)」において断面修復材 (モルタル) の品質規格として示されている中性化速度係数の値 (試験期間 4 週間において 18mm/√年以下) と比較して小さな値となった。

また、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」によると、雨がかりのない屋外 (温

Table 7 試験内容

試験項目	試験体作製及び試験方法	実施方法	W/C	目標練上がり温度及び養生温度	内容
耐久性	凍結融解試験	JIS A 1148(A法)	53.2%	20±1℃	測定時期
	促進中性化試験	JIS A 1153			30サイクル毎
					1,4,8,13,26週

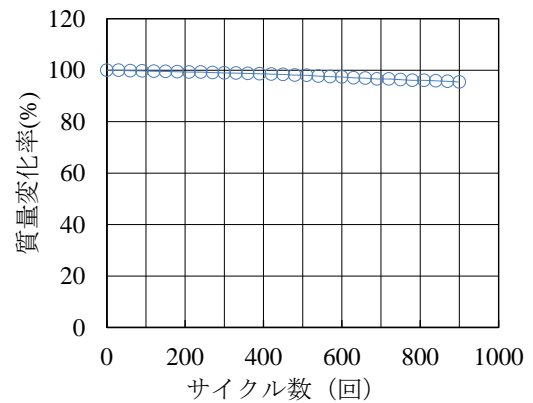
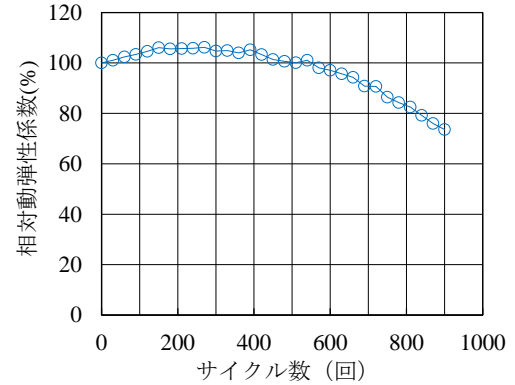


Fig. 9 凍結融解試験結果

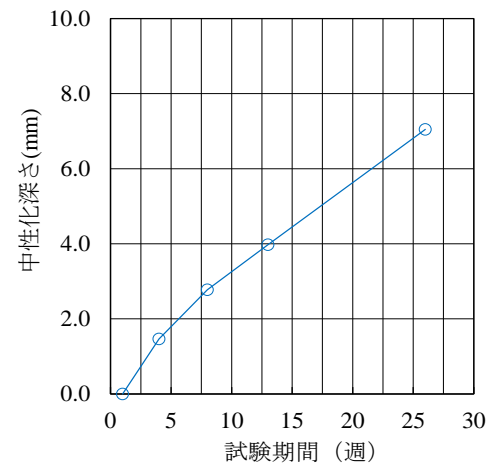


Fig. 10 中性化試験結果

度 20℃, 相対湿度 60%, CO<sub>2</sub>濃度 0.05%) の場合、促進中性化試験の結果は屋外の 100 倍の期間に相当するとされている<sup>4)</sup>。得られた中性化速度係数を用いて、試験期間 26 週時点の中性化深さ 7.0mm に相当する大気中における期

間を算定すると、およそ 33 年という結果が得られ、中性化抵抗性は高いといえる。

## 6. まとめ

本工法のモルタルの W/C や温度の影響を踏まえたフレッシュ性状と硬化性状、及び耐久性を検証した。その結果、以下の知見が得られた。

- ・連続練りミキサによる練混ぜと室内試験のホバートミキサによる練混ぜを行ったモルタルを比較した結果、連続練りミキサによって練り混ぜたモルタルは、均一性が確保され、確実に練混ぜが行われている。
- ・連続練りミキサによって練り混ぜたモルタルは、温度が高い場合、経過時間に伴うフロー値の減少が大きく、水セメント比が小さくなくても圧縮強度の増進がほとんど認められないなど、温度の影響を受けやすい。
- ・連続練りミキサの練混ぜ時、温度の影響によりモルタルに多少の W/C の変化が生じるため、温度管理が重要である。

- ・本工法のモルタルは、中性化抵抗性及び凍結融解抵抗性が高く、耐久性に優れている。

## 謝辞

本研究を行うに当たり (株) ファテックの方々に多大な協力を賜った。ここに感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 岡村祐輝, 藤原浩巳, 丸岡正知, 笹谷達也: 水平方向へ 1000m 超の長距離圧送が可能な吹付けモルタルの鉛直上方向への展開を目的とした圧送試験, コンクリート工学年次論文集, Vol. 35, No. 1, 2013
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書 設計編 2022 年制定, 2023.5
- 3) 土木学会: 自己充てん型高強度高耐久コンクリート構造物 設計・施工指針(案), pp. 117-121, 2001.10
- 4) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説, p. 117, 2016

---

## Basic properties and durability of mortar in a mortar spraying method using a continuous mixer

Toshihiro SENGA, Akio KAWAMURA, Yasuo MORI and Sodai MAEGAKI

### Abstract

We developed a mortar spraying method using a continuous mixer to enhance the efficiency of mortar spraying work and to simplify the equipment. We examined the uniformity of mortar kneaded with this continuous mixer, fresh concrete properties and hardening properties based on changes in temperature and water-to-cement (w/c) ratio, and durability. The results show that mortar kneaded with the continuous mixer is thoroughly mixed to ensure uniformity. We confirmed the importance of temperature control because temperature changes cause slight variations in the w/c ratio and affect the changes in flow value over time and the increase in compressive strength. We also confirmed that mortar made by this method is highly resistant to carbonation and to frost damage and highly durable.

Key words: Mortar spraying, continuous mixer, fresh concrete properties, hardening properties, durability

---