

# 論文 配合要因が硬化モルタル表層の透気性と削孔速度の関係に及ぼす影響

安江 歩夢<sup>\*1</sup>・加藤 和也<sup>\*2</sup>・藤森 繁<sup>\*3</sup>・犬飼 利嗣<sup>\*4</sup>

**要旨**：本研究では、表層コンクリートの削孔速度と簡易透気速度の関係に着目し、小径ドリル型削孔試験によるコンクリート表層部の品質評価への適用可能性を検討する前段階として、水セメント比、単位細骨材量および混和剤添加の有無を実験要因としたモルタルを対象に、簡易透気試験および小径ドリル削孔試験を実施し、モルタル表層の削孔速度と簡易透気速度の関係に及ぼす影響について検討した。実験結果より、水セメント比については簡易透気速度と削孔速度の間に相関関係が確認され、小径ドリル削孔試験によって、モルタル表層の品質を評価し得る可能性が示唆されたが、細骨材の影響についてはさらに検討を要する。

**キーワード**：配合、硬化モルタル、簡易透気速度、小径ドリル型削孔試験、削孔速度、品質評価

## 1. はじめに

建造物に対し適切な保存、修復方法を選定するには、正確な診断が不可欠となる。しかし、コア採取などの破壊試験は強度の推定精度は高いが、建物への損傷が大きく適用先が限られること、また、既存の非破壊試験方法は、推定値に対する信頼性が低いことなどの問題がある。そのため現在では、損傷が小さく、ある程度の高い精度で強度の推定が可能となる微破壊試験への期待が高まっている。

本研究で用いた小径ドリル型削孔試験機は、直径約2.8mmのダイヤモンドビットを用いて行うため、被測定体への損傷が極めて小さいのが特徴であり、既報<sup>1)</sup>において削孔速度によりコンクリートの圧縮強度を推定できる可能性が示唆されている。また、おおよそ45分程度で有用な5個の削孔データを得られることから、現場においても十分実用範囲内で、削孔試験の実施ならびに活用が期待できる<sup>2)</sup>。

しかし、コンクリート構造物の耐久性は単に圧縮強度の大小のみでなく、炭酸ガス、塩化物イオン、水分、および酸素といった劣化因子に対する物質移動抵抗性による影響を大きく受ける<sup>3)</sup>。したがって、コンクリート表層部の品質を評価する透気試験<sup>4)</sup>とドリル削孔試験の関係が明らかになれば、コンクリート表層部の品質や耐久性を評価する上での意義は大きいといえる。

そこで本報では、簡易透気試験および小径ドリル削孔試験を行った。なお、試料は使用材料や材料構成による影響がより顕著に現れるモルタルを試料とした。実験要因は、水セメント比、単位細骨材量および混和剤添加の有無の3つとし、硬化後表層の透気性とドリル削孔速度に

及ぼす影響、および透気性と削孔速度との関係について検討した。

## 2. 水セメント比と簡易透気速度および削孔速度の関係 (実験1)

### 2.1 実験要因

実験要因は水セメント比とし、それぞれ35、45、55および65%の4水準とした。

### 2.2 モルタルの使用材料および配合

表-1にモルタルの使用材料を、表-2にモルタルの配合を示す。単位細骨材量は、水セメント比による影響を明確にするためにいずれも同一とし、空気量(8±2%)とフロー値(190±20mm)も一定の範囲内に収まるように単位混和剤量で調整した。

### 2.3 実験方法

#### (1) モルタルの練混ぜおよびフロー試験

モルタルの練混ぜおよびフロー試験は、JIS R 5201「セメントの物理試験方法(10.4.3.練混ぜ方法および11.フロー試験)」に準じて行った。

#### (2) 硬化モルタルの透気試験

硬化モルタル表層の透気試験は、図-1に示すJ. W. Figgの開発したFigg-Poroscope法に準じ、以下の手順で行った。モルタル試験体上面(打込み面)に、コンクリートドリルでφ10×40mmの孔を3箇所あけ、孔内に残った削孔粉をエアブローで吹き飛ばしてシリコン栓で密封した。透気試験装置をモルタル試験体に接続し、ポンプで孔内の圧力を55kPa以上になるまで減圧し試験を開始した。試験開始後、真空圧が55kPaから50kPaまで減少するのに要する時間がほぼ一定値に収束するまで繰り返して測定し、

\*1 岐阜工業高等専門学校 建築学科 (学生会員)

\*2 大同大学 工学部建築学科

\*3 大同大学 工学部建築学科准教授 博士(工学) (正会員)

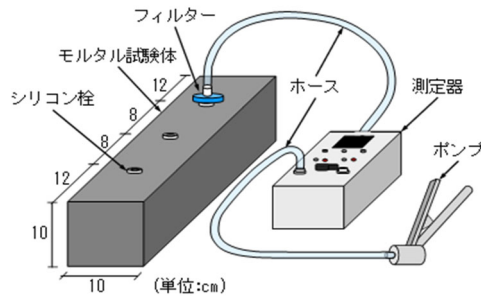
\*4 岐阜工業高等専門学校 建築学科教授 博士(工学) (正会員)

表一 モルタルの使用材料(実験1~3)

材料	種類	備考	記号
セメント	普通ポルトランドセメント	密度: 3.16g/cm <sup>3</sup> , 比表面積: 3480cm <sup>2</sup> /g	C
細骨材	乾燥珪砂(4号, 5号)	絶乾密度: 2.54g/cm <sup>3</sup> , 混合比率 1:1	S
混和剤	高性能 AE 減水剤標準形1種	密度: 1.05~1.13g/cm <sup>3</sup>	AD
水	上水道水	—	W

表二 モルタルの配合(実験1)

No.	W/C (%)	S/C (wt)	Air (%)		FL (mm)		単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
			目標値	実測値	目標値	実測値	C	W	S	AD
1	35	2.1	8	7.2	190	190	622	218	1284	5.60
2	45	2.4		8.6		194	540	243		2.84
3	55	2.7	2	8.6	20	197	479	263		1.56
4	65	3.0		8.6		191	428	278		0.75



図一 モルタルの簡易透気速度試験方法(実験1~3)

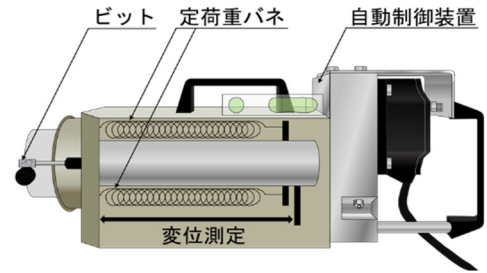
式(1)により透気性を簡易透気速度として求め、3箇所  
の平均値を試験値とした。なお、試験体の養生は、型枠脱  
型後材齢28日までは標準水中養生とし、その後は材齢1年  
まで20℃の気中養生とした。試験は材齢2年で実施した。

$$K = (X_2 - X_1) / T \quad (1)$$

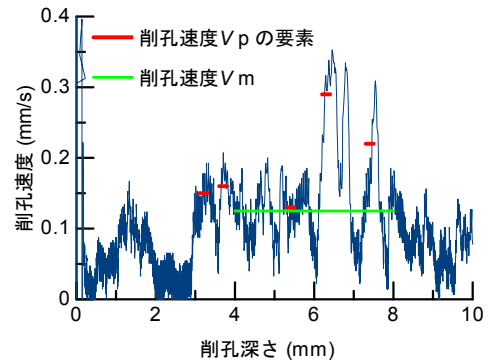
ここに、 $K$ : 簡易透気速度 (kPa/s),  $X_1$ : 測定開始時の  
真空圧 (55kPa),  $X_2$ : 測定終了時の真空圧 (50kPa),  $T$ :  
真空圧の減少時間 (s)

### (3) 小径ドリル削孔試験

小径ドリル削孔試験は、図二に示す小径ドリル型削孔  
試験機を用いた。この試験機は定荷重バネを用いて、測  
定部位にφ2.8mmのダイヤモンドビットを押しつけ、定  
トルク、定回転数に制御されたモータによって深さ  
10mm程度まで削孔する装置である。本実験では、14N×  
2の定荷重バネを使用し、削孔深さの計測間隔を100Hzと  
した。計測された削孔深さを11区間移動平均処理し、処  
理後の削孔深さから25Hzごとに削孔速度を算出した。削  
孔速度と削孔深さの関係の一例を図三に示す。削孔速度  
は、骨材を含む部分では極端に遅くなる一方、空隙部や  
界面を削孔した場合はより速くなる。そのため、本研究  
では、主にセメントペーストを削孔していると想定され  
る、削孔速度が0.13~0.4mm/sで、かつ0.2~0.4mmの間継  
続する区間を抽出した。また、削孔中に異種材料に変化  
(例えば、空隙部からセメントペーストまたは骨材など)  
した場合には、削孔速度が急激に変化するため、前述の  
区間内で削孔速度が0.2mm/s以上変化する場合は除外し  
た。図中の赤線が、抽出された主にセメントペーストを



図二 小径ドリル型削孔試験機の概要



図三 削孔速度と削孔深さの関係の例  
(実験1 W/C=35%)

削孔していると想定される部分で、これらを平均して削  
孔速度 $V_p$ を算出している。なお、実際にはセメントペー  
ストのみを削孔した速度を抽出するのは困難であるため、  
削孔速度 $V_p$ は細骨材中の直径がビット径未満の微粒分  
を削孔した結果を含む。削孔速度の詳細な算出方法、お  
よび選出基準については文献1)を参照されたい。また、  
削孔速度に及ぼす細骨材の影響についても検討するため、  
削孔時に得られる削孔深さと時間の関係から線形近似し  
て得られる傾きより、削孔速度 $V_m$ も併せて算出し、図中  
に緑線で示した。この削孔速度 $V_m$ は、前述した削孔速度  
 $V_p$ と異なり、試験体モルタル全体の平均削孔速度を示す  
が、細骨材のみを削孔していると考えられる、明らかに  
削孔に時間がかかる区間は除外して算出している。

表三は、削孔試験の結果の一例である。削孔速度は、  
削孔回数の増加に伴うビット先端のダイヤモンド粒子の  
すり減りによって、概ね線形的に低下すること、また、  
一つのドリルビットの実用的な削孔回数は約60回程度で  
あることが報告されている<sup>1)</sup>。また、ビットによって初期  
の切れ味にばらつきがあることから、それぞれの実験で  
使用するドリルビットは一つとし、累計削孔回数が60以  
下となるようにした。そのため、同一試験体に対しての  
削孔回数は5回(実験2においては3回)を1セットとして  
削孔を行い、それぞれのセットの平均値を試験値とした。  
また、一つのドリルビットに対し、削孔試験の前後に、  
直径0.6mm以下の骨材のみを使用して作成したレファレン  
ス用のモルタルを削孔し、削孔順に削孔速度が線形的  
に低下するものとして、補正削孔速度を算出した。補正

表-3 ドリル削孔試験結果の例(実験1)

削孔対象		削孔速度 (mm/s)						平均値 (mm/s)	標準偏差 (mm/s)	削孔順	補正速度 (mm/s)
モルタル	開始時	0.216	0.193	0.206	0.217	0.206	0.242	0.213	0.015	1	
	終了時	0.173	0.181	0.191	0.177	0.180	0.158	0.177	0.010	10	
OPC	W/C=65	0.196	0.248	0.252	0.226	0.248		0.234	0.021	6	0.254
	W/C=55	0.259	0.196	0.265	0.203	0.203		0.225	0.030	7	0.250
	W/C=45	0.220	0.249	0.161	0.217	0.221		0.214	0.029	8	0.242
	W/C=35	0.149	0.182	0.146	0.185	0.222		0.177	0.028	9	0.209

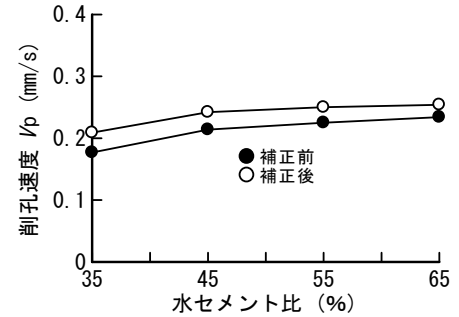


図-4 線形補正の例(実験1)

前と補正後の実験結果の例を、表-3および図-4に示す。以降はこの補正削孔速度を削孔速度 $V_p$ として扱う。なお、小径ドリル削孔試験は、簡易透気試験に用いた試験体において、簡易透気試験の試験孔の近傍にて材齢2年で実施した。

## 2.4 実験結果および考察

### (1) 水セメント比と削孔速度の関係

図-5に、削孔速度 $V_p$ と水セメント比の関係を示す。図中には、指数近似した相関係数 $r$ を絶対値で示した(以後、図中の $r$ も同様とする)。図より、水セメント比の増加に伴って、削孔速度 $V_p$ の値も大きくなる傾向がみられ、水セメント比と削孔速度 $V_p$ の間には強い相関関係がみられる。しかし、水セメント比の違いによる削孔速度 $V_p$ の差は、本実験の範囲内では、最大で0.045mm/sに留まっている。特に水セメント比が45%と55%、55%と65%の差は非常に小さく、それぞれ0.008mm/s、0.004mm/sとなっ

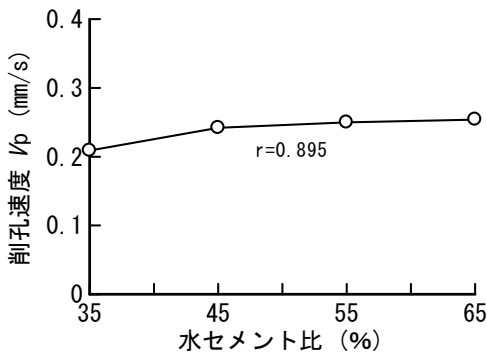


図-5 削孔速度  $V_p$  と水セメント比の関係(実験1)

ている。したがって、水セメント比の違いは削孔速度 $V_p$ に影響を及ぼすものの、その影響は小さいといえる。

図-6は、削孔速度 $V_m$ と水セメント比の関係を示している。水セメント比が55%までは、削孔速度 $V_p$ の場合と同様に水セメント比の増加に伴い、削孔速度 $V_m$ の値も大きくなっているが、水セメント比が65%では減少している。これは、 $V_m$ の要素の標準偏差が、水セメント比が35、45%では、それぞれ0.013、0.014mm/sであるのに対し、水セメント比が55、65%では、それぞれ0.041、0.033mm/sとばらつきが大きいことに起因すると推察される。

### (2) 水セメント比と簡易透気速度の関係

図-7に、簡易透気速度と水セメント比の関係を示す。図より、水セメント比が大きくなると簡易透気速度の値も大きくなる傾向にあり、簡易透気速度と水セメント比は強い相関関係にある。

### (3) 削孔速度と簡易透気速度の関係

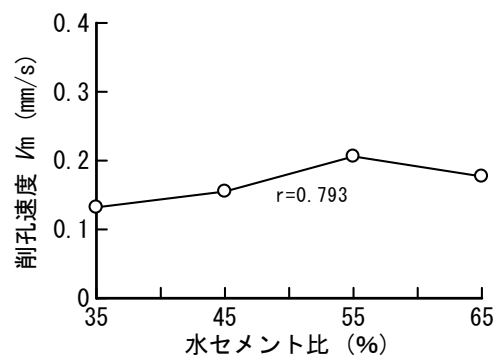


図-6 削孔速度  $V_m$  と水セメント比の関係(実験1)

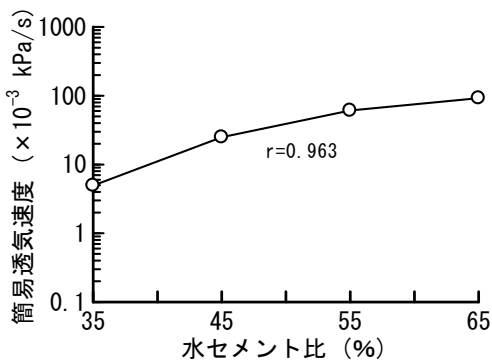


図-7 簡易透気速度と水セメント比の関係(実験1)

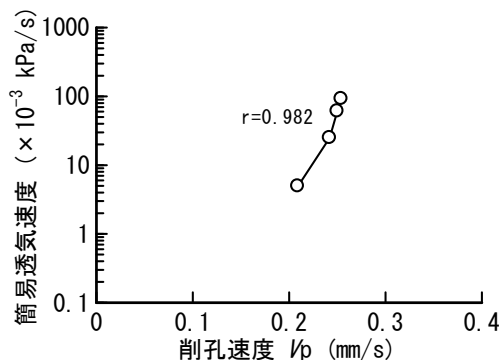


図-8 簡易透気速度と削孔速度  $V_p$  の関係(実験1)

図-8に、簡易透気速度と削孔速度 $V_p$ の関係を示す。図より、削孔速度 $V_p$ の値が大きくなるほど簡易透気速度の値も大きくなる傾向がみられ、削孔速度 $V_p$ と簡易透気速度の間には強い相関関係がみられる。これは、水セメント比の違いによるモルタル表層の品質評価を、ドリル削孔試験によっても透気試験と同等レベルで把握できる可能性を示唆している。

### 3. 単位細骨材量と簡易透気速度および削孔速度の関係 (実験2)

#### 3.1 実験要因

表-4に、実験要因を示す。なお、単位細骨材量は、実験1で示した配合(表-2参照)の単位細骨材量1284kg/m<sup>3</sup>に1244、1204、および1164kg/m<sup>3</sup>加えて4水準とした。

#### 3.2 モルタルの使用材料および配合

モルタルの使用材料は、実験1と同様とした。表-5に、モルタルの配合を示す。

#### 3.3 実験方法

実験方法は、実験1と同様とした。

#### 3.4 実験結果および考察

##### (1) 単位細骨材量と削孔速度の関係

図-9に、削孔速度 $V_p$ と単位細骨材量の関係を示す。なお、水セメント比が35%で単位細骨材量が1204および1244kg/m<sup>3</sup>の試験体については、有効な試験値を得ることができなかった。図より、水セメント比で比較すると、水セメント比が45%では、単位細骨材量の増加に伴い削孔速度 $V_p$ の値が小さくなる傾向がみられるが、他の水セメント比では、削孔速度 $V_p$ の値と単位細骨材量の間と同様の傾向はみられなかった。

一方、単位細骨材量で比較すると、実験1の結果より、

表-4 実験要因(実験2)

因子	水準
水セメント比 (%)	35, 45, 55, 65
単位細骨材量 (kg/m <sup>3</sup> )	1164, 1204, 1244, 1284

表-5 モルタルの配合(実験2)

No.	W/C (%)	Air (%)		FL (mm)		S/C (wt)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
		目標値	実測値	目標値	実測値		C	W	S	AD
1	35	8 ± 2	190 ± 20	9.7	196	1.68	693	243	1164	2.77
2				9.1	187	1.80	669	234	1204	4.01
3				8.1	183	1.93	646	226	1244	5.81
4				7.2	190	2.06	622	218	1284	5.60
5	45	8 ± 2	190 ± 20	7.8	203	1.93	603	271	1164	0.60
6				7.1	201	2.07	582	262	1204	2.79
7				9.0	200	2.22	561	252	1244	3.23
8	55	8 ± 2	190 ± 20	8.6	194	2.38	540	243	1284	2.84
9				6.8	210	2.18	533	293	1164	0.53
10	65	8 ± 2	190 ± 20	6.5	198	2.34	515	283	1204	1.55
11				8.3	181	2.50	497	273	1244	1.64
12				8.6	197	2.68	479	263	1284	1.56
13				6.2	207	2.44	477	310	1164	0.00
14	65	8 ± 2	190 ± 20	6.8	209	2.61	461	300	1204	0.00
15				9.2	201	2.79	446	290	1244	0.71
16				8.6	191	3.00	428	278	1284	0.75

単位細骨材量が一定の条件では、水セメント比の増加に伴い削孔速度 $V_p$ の値は大きくなると推測されたが、単位細骨材量が1164, 1204および1244 kg/m<sup>3</sup>では、水セメント比の増加に伴って削孔速度 $V_p$ の値が大きくなる傾向はみられなかった。また、単位細骨材量が1244kg/m<sup>3</sup>では、他の単位細骨材量と比較して、水セメント比による削孔速度 $V_p$ の値の差が小さくなっている。

図-10は、削孔速度 $V_m$ と単位細骨材量の関係を示している。図より、水セメント比が35%では、単位細骨材量の増加に伴い削孔速度 $V_m$ の値が小さくなる傾向がみられた。一方、水セメント比45%以上になると、単位細骨材量が1244kg/m<sup>3</sup>までは、水セメント比が35%と同様に削孔速度 $V_m$ が小さくなる傾向がみられるが、単位細骨材量が1284kg/m<sup>3</sup>になると増加に転じている。これは、単位細骨材量の増加に伴い相対的に単位水量が減少し、セメント硬化体が緻密になることに起因するもので、以下のように考察できる。

2.4(1)で述べたように、水セメント比の違いは削孔速度に影響を及ぼすものの、その影響は単位細骨材量の影響を考慮すると小さい。すなわち、水セメント比による差異はほとんどみられなくなる、あるいは、捉えにくくなると考えられる。したがって、単位細骨材量の違いは、モルタル表層の削孔速度の値に影響を及ぼすものの、その傾向は明確ではなく、単位細骨材量以外の要因と併せた検討を要する。

##### (2) 単位細骨材量と簡易透気速度の関係

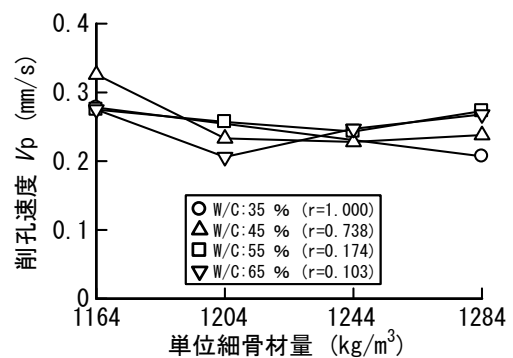


図-9 削孔速度  $V_p$  と単位細骨材量の関係(実験2)

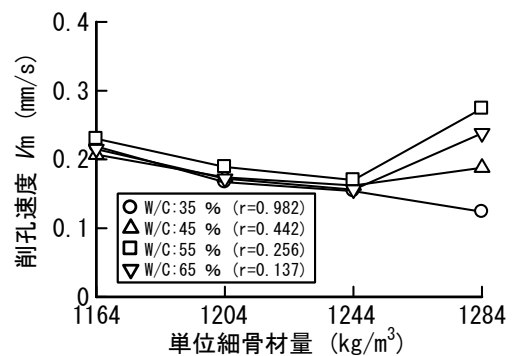


図-10 削孔速度  $V_m$  と単位細骨材量の関係(実験2)

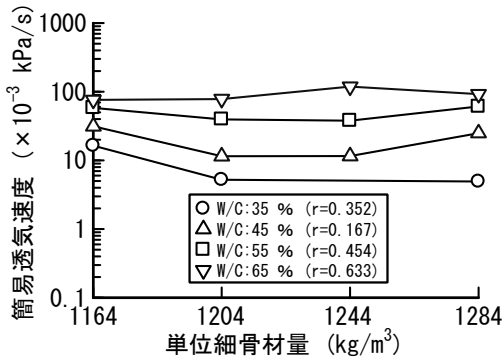


図-11 簡易透気速度と単位細骨材量の関係(実験2)

図-11に、簡易透気速度と単位細骨材量の関係を示す。なお、水セメント比35%で単位細骨材量が1244kg/m³の試料は、ばらつき大きく試験値から除外した。図より、いずれの水セメント比においても、単位細骨材量の増加に伴う簡易透気速度の値には大きな変化はみられない。したがって、本実験の範囲では、モルタル表層の簡易透気速度に及ぼす単位細骨材量の影響は小さいといえる。

(3) 簡易透気速度と削孔速度の関係

図-12に、簡易透気速度と削孔速度 $V_p$ の関係を示す。削孔速度 $V_p$ 、簡易透気速度のいずれについても、単位細骨材量との間には特定の傾向が確認できなかったものの、図より、単位細骨材量が比較的大きな1284kg/m³と1244kg/m³では、簡易透気速度が大きくなると、削孔速度 $V_p$ の値も大きくなる傾向にあり相関関係がみられた。一方、単位細骨材量の比較的小さな1204kg/m³や1164kg/m³では、簡易透気速度と削孔速度 $V_p$ との間には相関関係がみられない。これは、単位細骨材量の増加によって、試料中の遷移帯が多くなり、削孔速度 $V_p$ や透気速度が大きくなる一方、単位細骨材量の増加に伴って、同一の水セメント比の試料であっても単位水量が小さくなるため、セメントペーストが緻密になり、削孔速度 $V_p$ や透気速度が小さくなる、相反する2つの現象が生じることに起因するものと推察される。そのため、それぞれの試験結果に及ぼす影響とその割合については、より詳細な検討を要する。

表-6 実験要因(実験3)

因子	水準
混和剤の添加	あり, なし
フロー値 (±20 mm)	190, 230, 270

表-7 モルタルの配合(実験3)

No.	W/C (%)	混和剤	Air (%)		FL (mm)		単位量 (kg/m³)			
			目標値	実測値	目標値	実測値	C	W	S	AD
1	45	なし	8 ± 2	6.3	190	203	644	290	1082	-
2				9.9	230	243	729	328	916	
3				6.6	270	256	792	356	794	
4		あり		7.8	190	187	603	271	1164	0.30
5				9.5	230	221				1.99
6				9.4	270	271				3.62

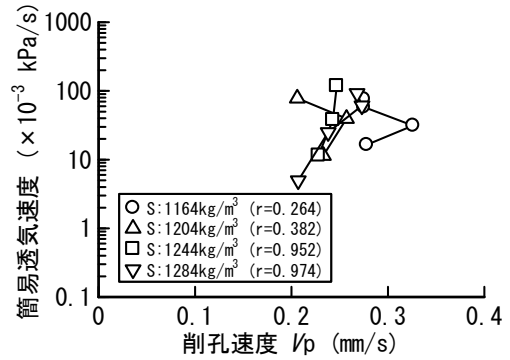


図-12 簡易透気速度と削孔速度 $V_p$ の関係(実験2)

4. 混和剤添加の有無と簡易透気速度および削孔速度の関係(実験3)

4.1 実験要因

表-6に、実験要因を示す。実験要因は、混和剤添加の有無と3水準のフロー値とした。

4.2 モルタルの使用材料と配合

モルタルの使用材料は、実験1と同様とした。表-7に、モルタルの配合を示す。水セメント比は45%とし、フロー値は配合No.1~3は単位水量で、配合No.4~6は単位水量を一定として単位混和剤量で調整した。

4.3 実験方法

実験方法は、実験1と同様とした。

4.4 実験結果および考察

(1) フロー値と削孔速度の関係

図-13に、削孔速度 $V_p$ とフロー値の関係を示す。図より、混和剤の有無によらず、フロー値の増加に伴い削孔速度 $V_p$ の値は小さくなる傾向がみられるものの、その差は小さい。また、単位水量でフロー値を調整したものが、混和剤でフロー値を調整したものよりも削孔速度 $V_p$ の値が小さくなっている。本実験においては、単位水量でフロー値を調整したものは、混和剤量でフロー値を調整したものに比べて単位セメント量が大きく、セメント硬化体の絶対量が多いことが削孔速度に大きく影響を及ぼし、相対的に削孔速度の値が小さくなったと推察される。

図-14は、削孔速度 $V_m$ とフロー値の関係を示している。図より、削孔速度 $V_p$ と同様に、単位水量でフロー値を調

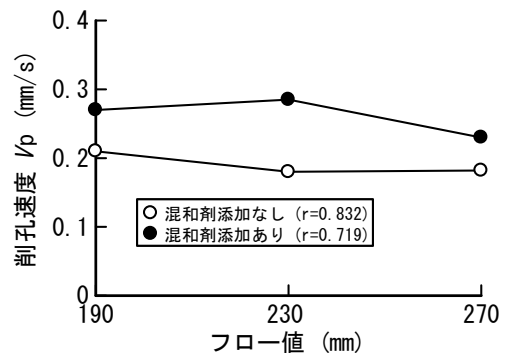


図-13 削孔速度 $V_p$ とフロー値の関係(実験3)

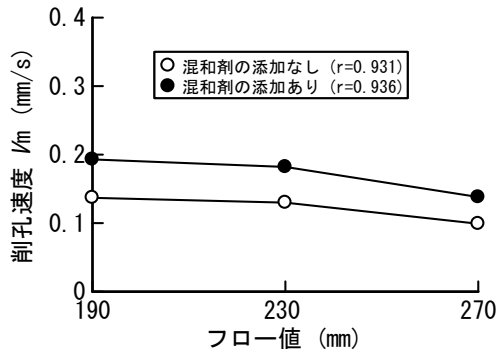


図-14 削孔速度  $V_p$  とフロー値の関係(実験 3)

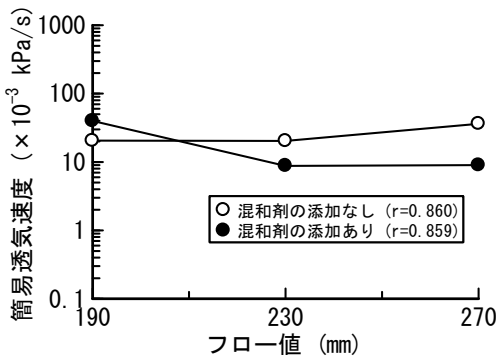


図-15 簡易透気速度とフロー値の関係(実験 3)

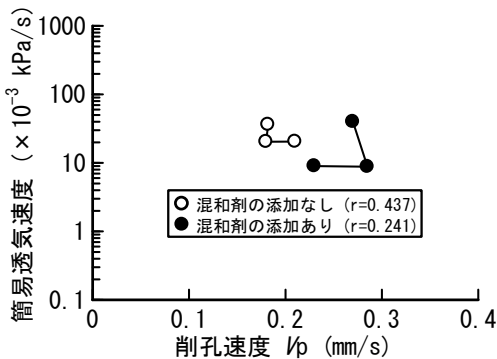


図-16 簡易透気速度と削孔速度  $V_p$  の関係(実験 3)

整したものは、混和剤量でフロー値を調整したものより削孔速度  $V_p$  の値が小さくなっている。また、削孔速度  $V_p$  に比較して、フロー値の増加に伴う削孔速度の減少が、より明確になっている。

### (2) フロー値と簡易透気速度の関係

図-15に、簡易透気速度とフロー値の関係を示す。図より、単位水量でフロー値を調整したものは、フロー値が大きくなると簡易透気速度も大きくなる傾向がみられる。一方、単位混和剤量でフロー値を調整したものは、フロー値が大きくなると簡易透気速度は小さくなる傾向がみられる。いずれの配合においても、図中に示した  $r$  から分かるように、混和剤添加の有無に関わらず指数近似した相関係数は大きいことから、本実験の範囲内に限られるものの、フロー値と簡易透気速度の間には強い相関関係がみられる。

### (3) 簡易透気速度と削孔速度の関係

図-16に、簡易透気速度と削孔速度  $V_p$  の関係を示す。図中に示した  $r$  から分かるように簡易透気速度とドリル削孔速度  $V_p$  の間に相関関係はみられない。このことから、本実験の範囲内では、混和剤量に起因する透気性の評価に削孔速度を用いるのは困難であると考えられる。

## 5. まとめ

本実験の結果から得られた知見は以下の通りである。

- 1) 水セメント比を要因とした場合、モルタル表層の簡易透気速度、削孔速度、簡易透気速度と削孔速度  $V_p$  の間には強い相関関係がみられ、小径ドリル削孔試験によるモルタル表層の品質評価の可能性が示唆された。
- 2) 単位細骨材量の差異が、モルタル表層の各試験結果に及ぼす顕著な影響はみられなかった。これは、単位細骨材量の増加による影響と、他の配合要因の影響とが相反することに起因するものと推察される。
- 3) 混和剤の有無を要因とした場合、簡易透気速度、削孔速度  $V_p$  とフロー値の間には相関関係がみられた。また、混和剤添加なしで削孔速度が小さかったが、セメント量が大きく影響した結果と推察される。一方、透気速度と削孔速度の間には顕著な傾向はみられなかった。
- 4) 透気性と削孔速度との関係を明らかにするには、削孔速度に及ぼす細骨材の影響について、より詳細な検討が必要である。

なお、透気性はセメントペースト、モルタル相の影響が大きいのと考えられる。文献2)によれば、表層付近の粗骨材を避けて削孔可能であるため、細骨材がドリルの削孔速度に及ぼす影響について検討を続けながら、今後は、コンクリートへの適用についても検討を進めたい。

## 参考文献

- 1) 朴 相俊, 藤森 繁, 青木孝義, 畑中重光: 小径ドリル型削孔試験機を用いたコンクリートの圧縮強度推定, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.2, pp.1207-1212, 2017.7
- 2) 藤森 繁, 長谷川哲也, 畑中重光, 青木孝義, 朴 相俊: 小径ドリル型削孔試験機の改良とコンクリートへの適用のための検討, 日本建築学会技術報告集, Vol.23, No.53, pp.25-30, 2017.2
- 3) 蔵重 勲, 廣永道彦: 脱型材齢や曝露環境がコンクリートの強度特性や表層透気性ならびに中性化抵抗性に及ぼす影響の実験的評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.623-628, 2010.7
- 4) 今本啓一, 下澤和幸, 山崎順二, 二村誠二: 実構造物の表層透気性の非. 微破壊試験方法に関する研究の現状, コンクリート工学, Vol.44, No.2, pp.31-38, 2006.2