

奥村式モルタルパイプシュートの開発

— 傾斜管路を自然流下させたモルタルの流下特性 —

Development of the Pipe Chute for Flowing Mortar

- Flowing Characteristic of Mortar that Nature Makes Inclination Piping Flow -

新出栄一* 小野 剛** 廣中哲也*** 石井敏之***

要 旨

コンクリートダムでは、コンクリート運搬用の設備でモルタルを運搬するため、使用量の少ないモルタルの運搬によりコンクリートの運搬効率が低下する。そこで、モルタルを斜面の専用管路により自然流下させる方法を考案し、既存のモルタル配合を基本として流下試験を実施した。その結果、流下可能な配合、品質管理項目とその範囲、モルタル付着量と流量等の流下特性、および運搬に必要な管路径の目安が得られ、実施工に適用可能であることが分かった。

キーワード：モルタル、流下特性、スランブフロー、流量、付着量

1. まえがき

コンクリートダムでは、モルタルとコンクリートをダム用クレーン等の同一の設備で運搬している。そのため、使用量がコンクリートの1～2%程度と少ないモルタルの運搬により、コンクリートの運搬効率が低下している。そこで、モルタルの運搬を通常の運搬設備から切り離し、斜面を利用した専用管路により、モルタルを製造地点から打込み地点のアジテータ車までの100m程度の距離を自然流下で運搬する方法（以下、「モルタルパイプシュート」と称す）を考案した（図-1）。

本稿では、コンクリートダムの既存のモルタル配合を基本とした流下試験を実施し、流下可能な配合、品質管理項目とその範囲、モルタル付着量と流量等の流下特性、および運搬に必要な管路径について報告する¹⁾。

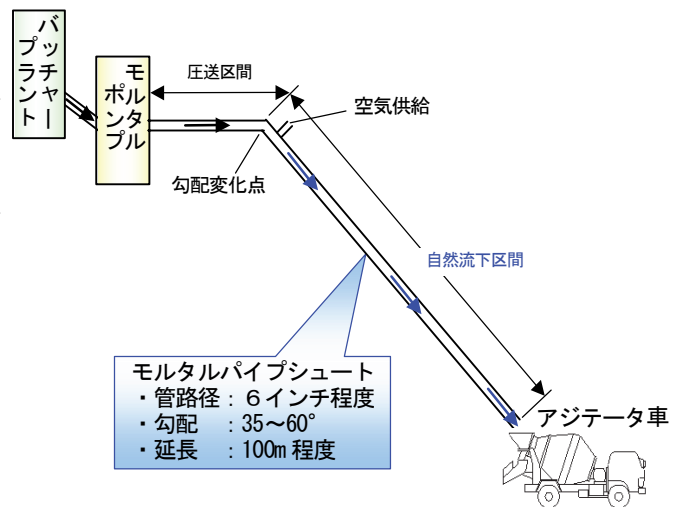


図-1 モルタルパイプシュートの概略図

2. 実験概要

流下可能な配合、および品質管理項目とその範囲の選定を目的とした流下試験シリーズIと、流下特性、および実施工への適用性の検討を目的とした流下試験シリーズIIを実施した。

2.1 配合および使用材料

表-1にモルタルの標準配合および使用材料を示す。モルタルの標準配合は、ダム現場3箇所の既存のモルタル配合を参考に決定した。結合材に水和発熱抑制のため、フライアッシュ置換率30%の中庸熟ポルトランドセメント

表-1 モルタルの標準配合および使用材料

水結合材比 W/B (%)	フライアッシュ 置換率 FA/B (%)	砂結合材比 S/B	単位量(kg/m ³)				AE 減水剤 (B×%)
			水 W	結合材B ^{a)}		細骨材 S	
				セメント C	フライアッシュ FA		
60	30	2.75	300	350	150	1360	0~1.5
【使用材料】							
セメント：中庸熟ポルトランドセメント、密度3.21g/cm ³ 、(TS社製)							
フライアッシュ：JISフライアッシュII種、密度2.29g/cm ³ 、七尾大田火力発電所2号機産							
細骨材：桜川産硬質砂岩砕砂、密度2.63g/cm ³ 、粗粒率2.73、吸水率0.84%							
AE減水剤：変型グニスホ酸化合物とセルロース-シリル複合体 (BP社製)							

*) 単位結合材量(B)=単位セメント量(C)+単位フライアッシュ量(FA)

*東日本支社土木技術部 **東日本支社土木第3部 ***技術研究所

トを使用し、水結合材比、または AE 減水剤の添加率により、流動性の調整を行った。

2.2 流下試験装置

写真-1、写真-2に各シリーズの流下試験装置の外観、図-2に流下試験シリーズIIの配管図、および写真-3に空気孔を示す。流下試験シリーズIでは、流下状況を目視観察するために直径10cmの鋼管を半割りにした長さ2.8mの傾斜管路を設け、容量50Lパン型強制練りミキサで製造したモルタルを、1ケース10L流下させた。また、勾配は35~55°に変化させた。

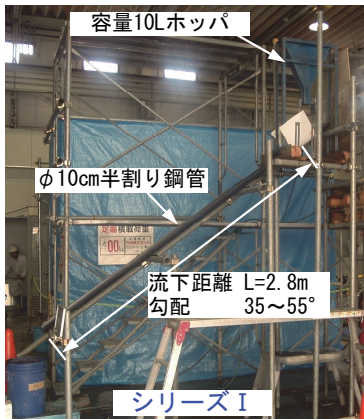


写真-1 シリーズI 流下試験装置

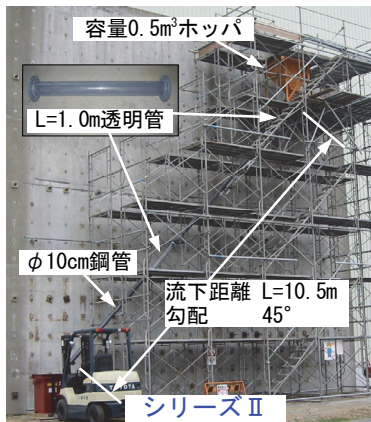


写真-2 シリーズII 流下試験装置

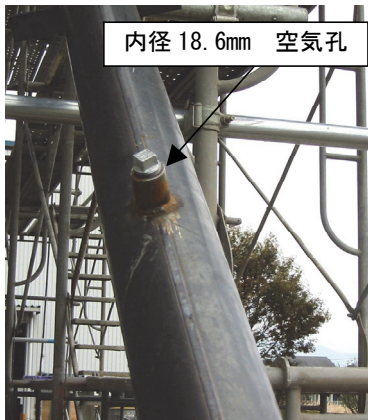


写真-3 空気孔

流下試験シリーズIIでは、直径 10cm、長さ 10.5m、勾配 45° の傾斜管路を設け、容量 150L パン型モルタルミキサで製造したモルタルを1ケース 200L 流下させた。なお、配管途中には流下状況観察用の長さ 1m の透明管を2箇所設置し、鋼管部には1m 間隔で内径 18.6mm の空気孔を設置した。

2.3 実験ケースおよび測定項目

表-2に実験ケースを示す。流下試験シリーズIでは、水結合材比を50%から2.5%間隔で65%まで変化させて7水準とし、勾配は施工実績から35°、45°、55°の

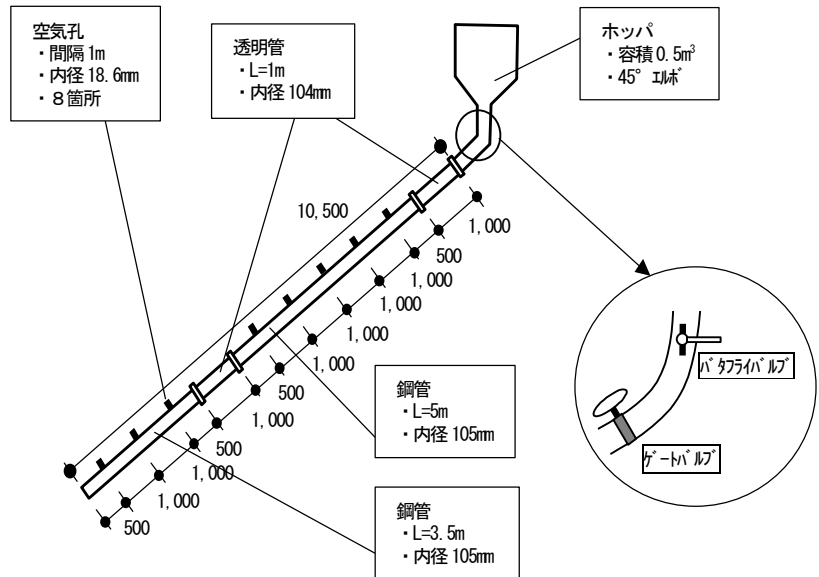


図-2 シリーズII 流下試験装置の配管図

表-2 実験ケース

要因	水準	
	流下試験シリーズI	流下試験シリーズII
水結合材比	7水準 (50、52.5、55、57.5、60、62.5、65%)	60%
勾配	3水準 (35°、45°、55°)	45°
AE減水剤量	4水準 (B×0、0.5、1.0、1.5%)	3水準 (B×0、0.5、1.0%)

表-3 主な測定項目

区分	試験項目	方法
フレッシュ性状	スランプフロー	JIS A 1150 コンクリート用コーン JIS A 1171 モルタル用コーン
	ブリーディング率	JSCE-F 522 ポリエチレン袋方法
流下性能	流下時間	管路先端での排出終了時刻-到達時刻
	流量	流量=流下モルタル体積/流下時間
	モルタル 付着量	室内 模擬 配管からかき落とした重量 ロードセルによる流下前後の重量差
硬化性状	単位付着量	単位付着量=付着量/モルタル密度/管路長
	圧縮強度	JIS A 1108 直径100mm×高さ200mm
	静弾性係数	JIS A 1149 直径100mm×高さ200mm

3水準、AE減水剤の添加率を0、0.5、1.0、1.5%の4水準とした。流下試験シリーズIIでは、水結合材比を60%、勾配を45°とし、AE減水剤の添加率を0、0.5、1.0%の3水準とした。

表-3に主な測定項目を示す。流動性については、コンクリート用コーンとモルタル用コーンによるスランプフロー、および流量を測定した。材料分離抵抗性については、ブリーディング率およびモルタルの単位付着量(単位付着量=付着量/モルタル密度/管路長)を測定した。また、モルタル流下時間は、管路先端での排出終了時刻から到達時刻(モルタルが管路先端に最初に到達した時刻)を差し引いた値とした。流量は、流下モルタル体積を流下時間で除して算出した。

3. 実験結果

3.1 流下試験シリーズI

図-3に、スランプコーンの違いによる水結合材比とスランプフローの関係を示す。モルタルの水結合材比とスランプフローに線形な関係が見られる。コンクリート用コーンの勾配の方が急であり、スランプフローに対する感度が高いことが分かる。そこで、これ以下はモルタルのスランプフローの測定にコンクリート用コーンを採用した。

図-4に、モルタル標準配合(水結合材比W/B=60%)のAE減水剤の添加率を変化させた場合のスランプフローおよびブリーディング率、図-5に、AE減水剤の添加率と鋼管への単位付着量を示す。図-4より、AE減水剤の添加率の増加に伴いスランプフローも増加しており、添加率によって流動性を調整できることを確認した。一方、ブリーディング率は、AE減水剤の添加率が1.0%以上で増加傾向を示しており、添加率2.0%のスランプフロー700mmでは細骨材が材料分離することを目視により確認した。また、図-5より、AE減水剤の添加率の増加に伴い、単位付着量は減少するが、添加率1.0%以上での付着量の減少割合は小さく、添加率0.5%で十分な付着量低減効果が得られることが分かる。

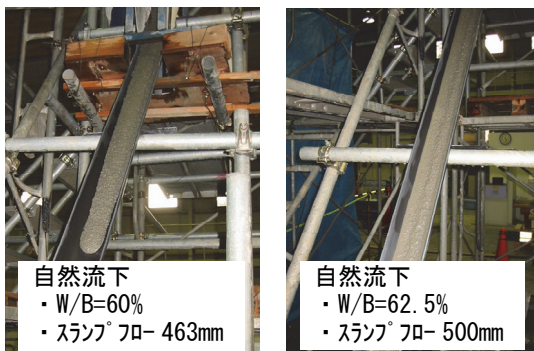


写真-4 自然流下状況 (シリーズI)

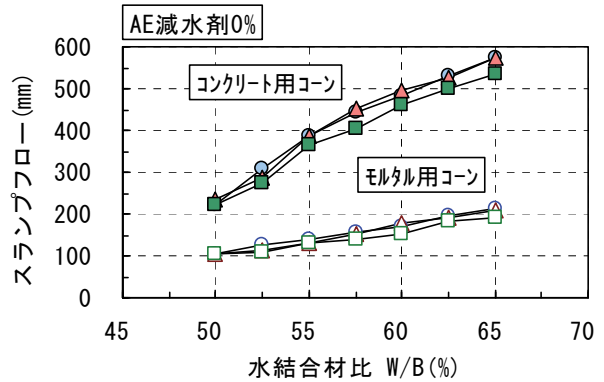


図-3 水結合材比とスランプフロー (シリーズI)

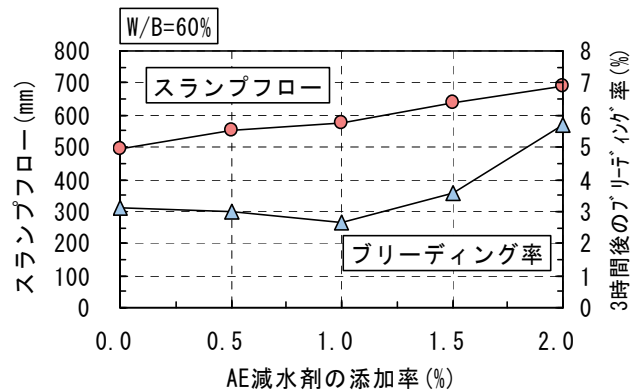


図-4 AE減水剤添加率とスランプフローおよびブリーディング率 (シリーズI)

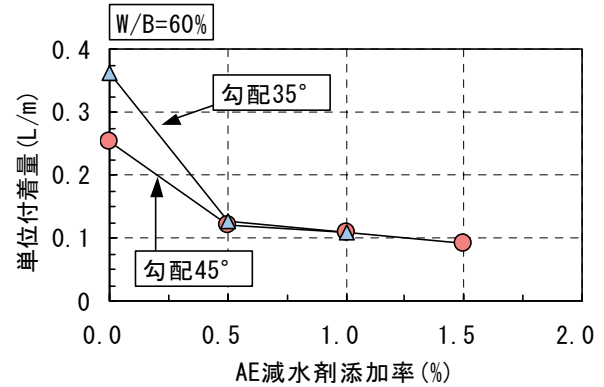


図-5 AE減水剤添加率と単位付着量 (シリーズI)

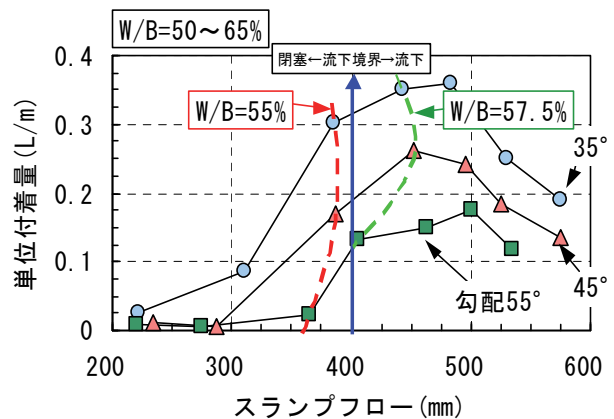


図-6 スランプフローと単位付着量 (シリーズI)

図-6に、水結合材比を50~65%に変化した場合のスランプフローと単位付着量を示す。勾配が大きくなるにしたがって単位付着量は減少している。また、勾配35~55°の流下状況は、水結合材比57.5~65%のスランプフロー400mm以上で液体状に自然流下し(写真-4)、水結合材比50~55%のスランプフロー400mm未満では塊状に滑り落ちた(写真-5)。これらの実験結果から、勾配35~55°の場合、スランプフロー400mm未満のモルタルは、閉塞の可能性があると判断した。

3.2 流下試験シリーズII

a. 流下前後の性状

写真-6にモルタルの流下状況、写真-7に透明管のモルタル付着状況、写真-8に透明管の磨耗範囲を示す。勾配45°で、標準配合を含む水結合材比60%のスランプフロー450~600mmのモルタルは若干の脈動が見られるものの、閉塞もなく、スムーズな流下状況が確認できた。また、勾配45°のモルタルの管内流下高さは、透明管のモルタル付着状況および磨耗範囲から、直径10cmに対して4cmであった。

図-7に勾配45°、管路径10cm、管路長10.5mの傾斜管路にモルタルを3回流下した場合の流下前後のスランプフロー、写真-9に流下前後のスランプフロー試験、図-8に流下前後の圧縮強度を示す。流下後のスランプフローは、流下前に比べて小さくなっている。また、標準配合に比べてAE減水剤を使用したスランプフローの

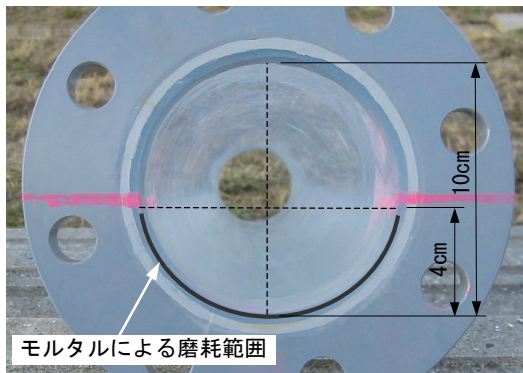


写真-8 透明管の磨耗範囲 (シリーズII)

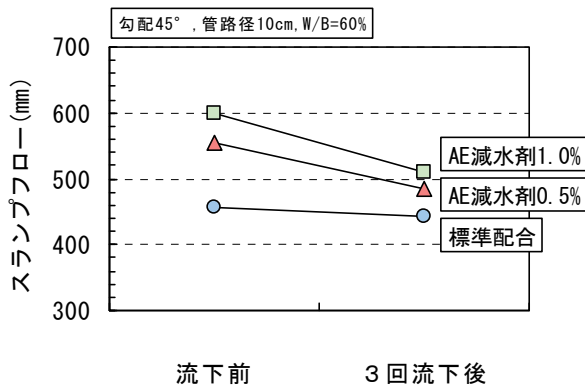


図-7 流下前後のスランプフロー (シリーズII)

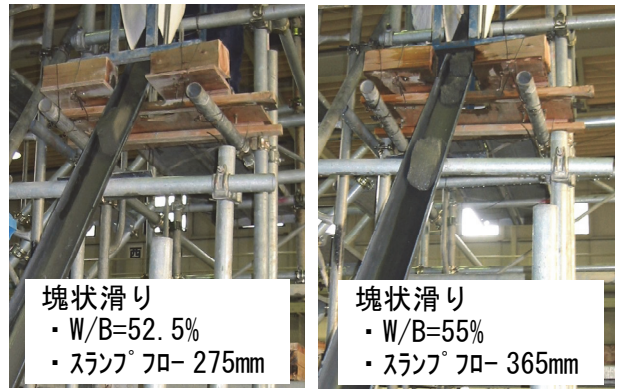


写真-5 塊状滑り状況 (シリーズI)



写真-6 モルタル流下状況 写真-7 透明管付着状況

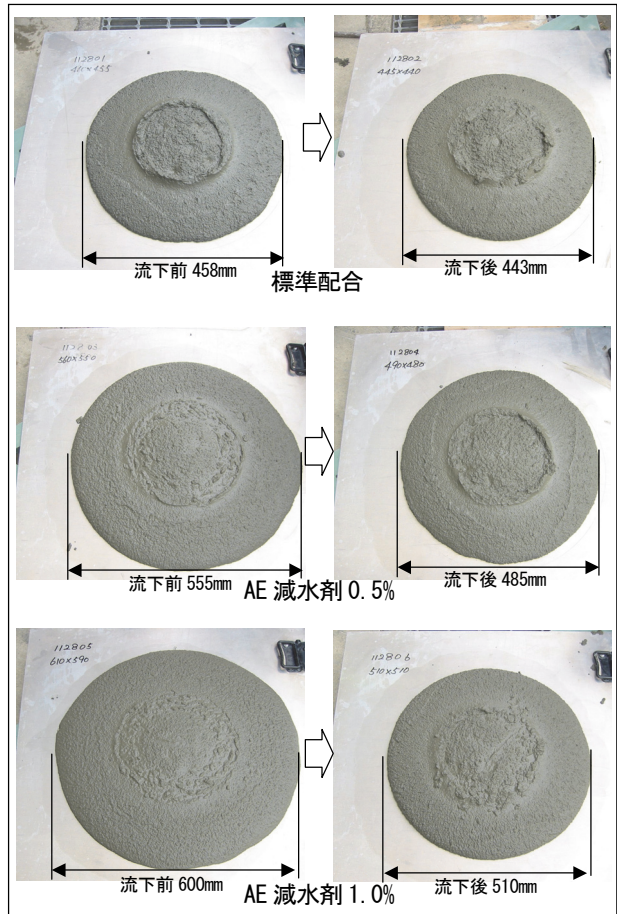


写真-9 流下前後のスランプフロー試験 (シリーズII)

方が、減少割合が大きくなっている。しかし、AE 減水剤使用配合の流下後のスランプフローは、標準配合の流下前よりも大きな値を示しており、良好な流動性および施工性を有していると考えられる。

図-8より、流下後の圧縮強度は、材齢の経過に伴って順調に強度発現し、流下前の圧縮強度の0.95~1.00倍とほぼ同程度の値が得られた。このことから、流下によるモルタルの強度低下はほとんどないことを確認した。

b. 空気孔の影響

図-9に空気孔数と単位付着量、図-10に空気孔数と流量を示す。単位付着量は、ロードセルによる流下前後のモルタル重量差を、モルタル密度と管路長で除して算出した。図-9より、空気孔数の増加に伴い、単位付着量は40%程度減少している。また、スランプフローが大きいほど単位付着量が少なくなることが分かる。

一方、図-10より、流量は空気孔数に関係なく、ほぼ一定の値を示しており、スランプフローが大きいほど流量も増加していることが分かる。これらは、自然吸気により大気圧に対する流下時の負圧が低減し、モルタルの流速の増加と流下断面積の減少が生じたことに起因していると考えられる。

c. 単位付着量と流量

図-11にスランプフローと単位付着量、図-12にスランプフローと流量を示す。図-11より、AE 減水剤の添加によりスランプフローを増加させることで単位付着量は減少し、スランプフロー500mm以上で、単位付着量は0.35L/m程度とほぼ一定の値を示していることが分かる。同様に図-12より、スランプフローの増加に伴い流量は増加し、スランプフロー500mm以上で、流量は0.5m³/min程度とほぼ一定の値を示していることが分かる。また、AE 減水剤を使用しない水結合材比60%でスランプフロー450mm程度の標準配合に比べて、AE 減水剤を0.5%以上添加したスランプフロー500mm以上の配合のモルタルが、単位付着量の減少と流量の増加が得られる良好な結果となった。

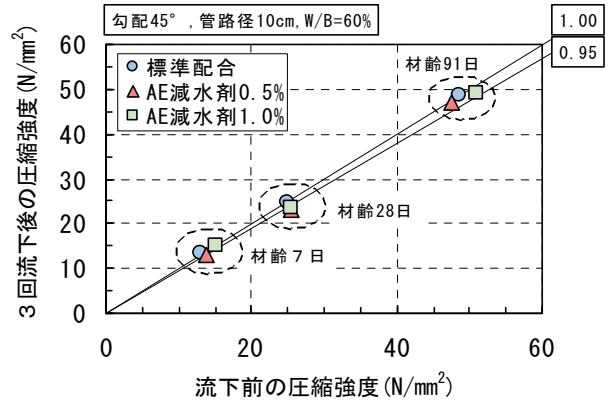


図-8 流下前後の圧縮強度 (シリーズII)

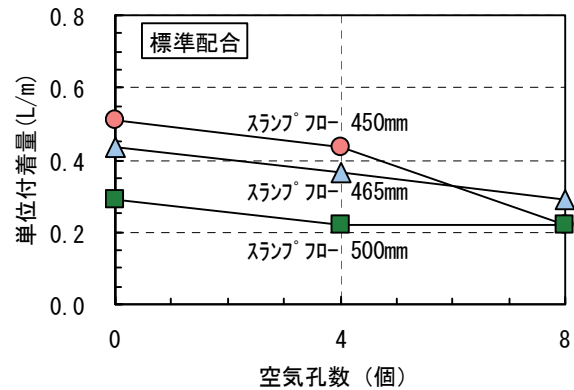


図-9 空気孔数と単位付着量 (シリーズII)

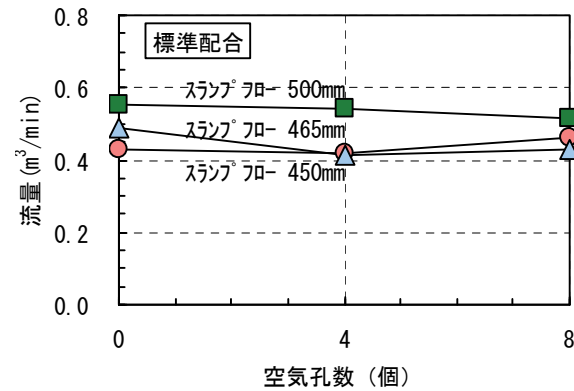


図-10 空気孔数と流量 (シリーズII)

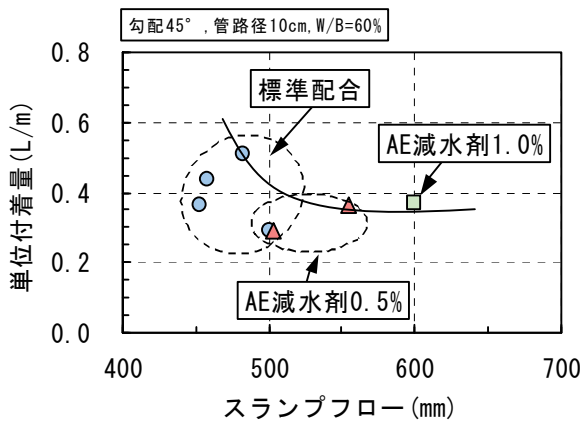


図-11 スランプフローと単位付着量 (シリーズII)

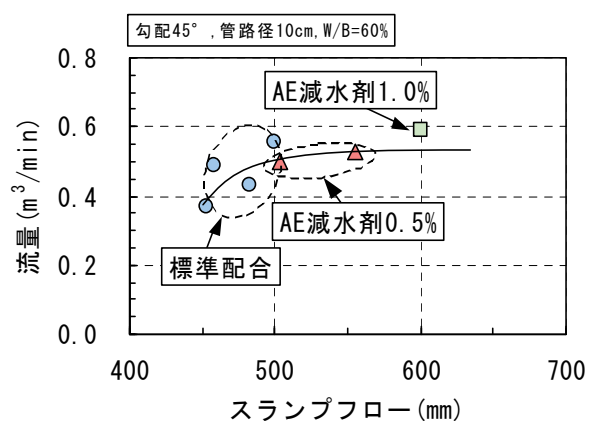


図-12 スランプフローと流量 (シリーズII)

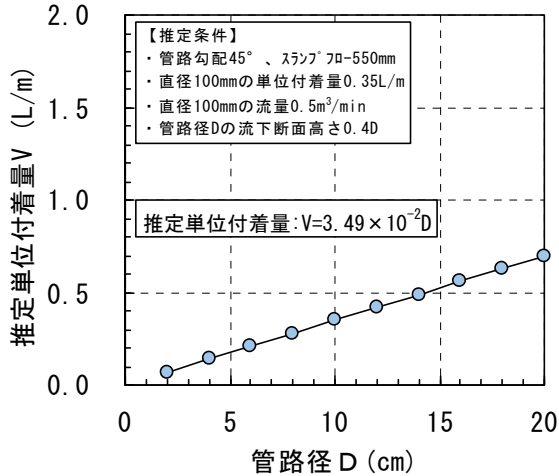


図-13 管路径と推定単位付着量 (シリーズII)

図-13 に勾配 45° の管路径と推定単位付着量の関係、図-14 に勾配 45° の管路径と推定流量の関係を示す。ここでは、管路径が変化してもモルタルの管内流下高さ(写真-8参照、管路径の 0.4 倍)、単位周長当たりの単位付着量および単位断面積当たりの流量は一定の値を示すと仮定し、図-11 および図-12 の実験結果から管路径 10cm の単位付着量を 0.35L/m、流量を 0.5m³/min とし、単位周長当たりの単位付着量および単位断面積当たりの流量を算出した。その後、管路径の関数として推定単位付着量(下記の式(1))および推定流量(下記の式(2))を求めた。

$$V = 3.49 \times 10^{-2} D \quad (1)$$

$$Q = 5.00 \times 10^{-3} D^2 \quad (2)$$

ここに、

V : 推定単位付着量(L/m)

Q : 推定流量(m³/min)

D : 管路径(cm)

次に、施工実績からケーブルクレーンのモルタル1回当たりの往復運搬時間は 10 分程度とした場合、アジテータ車1台 4 m³ の流下時間を片道分の 5 分と仮定すると、モルタル流量は 0.8m³/min 必要となり、図-14 より、運搬に必要な管路径は 12.5cm 程度で良いことが分かる。これにより、実施工における設備規模の目安が付いた。

4. まとめ

モルタルパイプシュートの実施工への適用を目的にモルタルの流下試験を行い、以下の事項が明らかになった。

- i. モルタルの流動性を評価するスランプフローの測

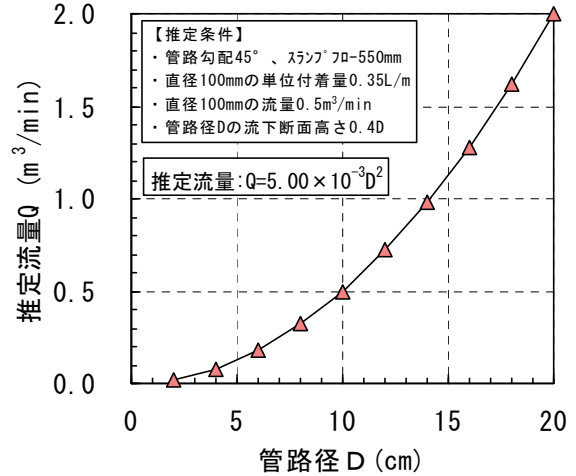


図-14 管路径と推定流量 (シリーズII)

- 定に感度の良いコンクリート用コーンを採用した
- ii. 水結合材比 57.5~65%、スランプフロー400~600mm のモルタルは自然流下した
- iii. 既存配合を含む水結合材比 60%のモルタルでは、スムーズな流下状況と流下前後の良好な品質確保が確認できた
- iv. 自然吸気させることで、モルタルの単位付着量の低減効果が得られた
- v. スランプフロー450mm 程度の既存配合に比べて、AE 減水剤を 0.5%添加した 500mm 以上の配合の方が流下後のスランプフローの確保および単位付着量の減少と流量の増加が得られ、優れた流下特性を示した
- vi. 管路径と推定単位付着量、および推定流量の関係を算出し、実施工に必要な管路径が得られた

5. あとがき

モルタルパイプシュートでの流下試験の結果、既存のモルタル配合を基本としてスランプフローを 500~600mm に調整すれば、所要の流下性能および品質が確保され、実施工に十分適用可能であることが分かった。今後、これらの結果をもとに管内洗浄方法、管内磨耗対策等の施工上の工夫を加え、技術提案への活用および実工事への普及展開を進めていきたい。

【参考文献】

- 1) 廣中哲也、新出栄一、戸澤清浩、小野 剛、大松彰吾、石井敏之、「傾斜配管を自然流下させたダムモルタルの流下特性」、土木学会第 63 回年次学術講演会講演概要集第 6 部門、pp.563-564、2008.9