

アジテータ車へのスラリー添加によるコンクリートの製造方法に関する研究

新潟大学 工学部 佐伯竜彦

研究協力者 株式会社福田組 井貝武史

新潟県生コンクリート工業組合 池浦一雄

1. 研究の背景と目的

北陸地域の沿岸部は厳しい塩害環境地域であり、また、沿岸部以外でも積雪寒冷地であることから橋梁は融雪のための凍結防止剤による塩害を受けている^{1) 2)}。高炉セメント B 種にシリカフェームを混和した 3 成分系結合材（普通セメント - 高炉スラグ微粉末 - シリカフェーム）を用いることにより、コンクリートの塩分浸透抵抗性が大きく向上すること³⁾が報告されており、塩害劣化の激しい地域ではその普及が望まれている。しかしながら、昨今の経済状況からレディーミクストコンクリート工場に新たにシリカフェーム添加設備を増設することは困難であり、また、人力による投入も少子高齢化による人口減少の中で作業員を確保することが年々困難となってきており、普及に向けた大きな課題となっている。

そこで筆者らは、昨年度、『北陸地域づくり協会 第 23 回「北陸地域の活性化」に関する研究助成事業』の支援を受け、スラリー化したシリカフェームをトラックアジテータにて添加する方法によるコンクリート製造手法の基礎的検討⁴⁾を行った。その結果、基本的に提案した手法で 3 成分系高耐久コンクリートを問題なく製造できることが確認できた。

しかし、昨年度は基礎的な検討であったため、試験練りによりベースコンクリートを決めたが、毎回試験練りを実施することはレディーミクストコンクリート工場の新たな負担となってしまう。また、新潟県を含む北陸地方では河川砂利を利用しているためコンクリート標準配合の単位水量が少ない傾向（表-1）があるため、シリカフェームスラリーに含まれる水量を単位水量から除いたベースコンクリートを用いた昨年度の方式では、地域によっては単位水量が極端に少なくなり材料分離等の不具合の発生が懸念された。

そこで、レディーミクストコンクリート工場の標準配合を用いた試験を行うことで、地域や工場によらない方法とし、北陸地域全体での普及を目指す必要がある。

本研究では、レディーミクストコンクリート工場の標準配合を用いて、トラックアジテータにてシリカフェームスラリーを添加した場合の基礎的性状の把握を目的に各種試験を行った。

表-1 地域別コンクリート標準配合（24-8-25BB）

地域	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			W	C	S	G	Ad
新潟	51.5	37.2	143	278	689	1187	0.869
長岡	51.9	39.6	139	268	750	1194	2.680
上越	53.0	40.9	146	275	756	1105	2.930

表-2 使用材料

材料名	記号	適用
水	W	上水道水
セメント	C	高炉セメントB種 (密度: 3.04g/cm ³)
混和材	SFS	シリカフェームスラリー (水粉体重量比 1:1, 比重: 1.4)
細骨材	S	阿賀野川水系産砂 (表乾密度: 2.58g/cm ³ , 吸水率: 1.85%, 粗粒率: 2.60)
粗骨材	G	阿賀野川水系産砂利 (表乾密度: 2.61g/cm ³ , 吸水率: 1.56%, 実積率: 66.0, 最大寸法: 25mm)
混和剤	Ad	高機能 AE 減水剤 (リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテル)

表-3 コンクリート配合 (室内試験)

呼び強度	目標 SL (cm)	目標 Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					スラリー (kg/m ³) SFS (W:SF)	添加後 W/B (%)
					W	C	S	G	Ad		
24	8	4.5	53.5	41.0	142	265	769	1,117	2.650	16(8:8)	54.9
24	18	4.5	53.5	43.5	162	303	777	1,023	3.030	18(9:9)	54.8
30	12	4.5	46.0	39.8	151	328	715	1,093	3.280	20(10:10)	47.6
30	18	4.5	46.0	41.8	163	354	730	1,026	3.540	21(10.5:10.5)	47.6
36	18	4.5	41.0	40.6	164	400	691	1,020	4.000	24(12:12)	42.7

試験は室内試験と実機試験に分け実施した。室内試験では、標準配合にシリカフェームスラリーを後添加した場合の性状について複数配合を用いて検討を行った。実機試験では、実際にトラックアジテータにてシリカフェームスラリーを添加した場合の性状について検討を行った。

2. 室内試験

2.1 使用材料・配合

表-2 に使用材料を、表-3 にコンクリートの配合を示す。配合は、呼び強度 24, 30, 36 の 3 種類とし、スランプ 18cm を基準に、8, 12cm に変化させた。レディーミクストコンクリート工場の標準配合に、セメントの 3% となるシリカフェームを後添加した。なお、シリカフェームを水粉体比 1:1 のシリカフェームスラリー (以下、SFS と表記) として添加するため、シリカフェームスラリーとしてはセメントの 6% (重量比) となる。

2.2 試験方法

室内試験の練混ぜは、2 軸強制練りミキサを用いて実施した。

シリカフェームスラリーの添加、フレッシュ性状の測定および供試体 (φ100×200mm の円

表-4 フレッシュ性状（室内試験）

配合	目標値	標準配合 (投入前)	SFS 投入後	外気温
24-8-25BB	SL=8±2.5cm AC=4.5±1.5%	SL=6.5cm AC=4.8% CT=23℃	SL=6.5cm AC=4.7% CT=24℃	25℃
24-18-25BB	SL=18±2.5cm AC=4.5±1.5%	SL=18.0cm AC=4.7% CT=24℃	SL=16.5cm AC=4.3% CT=24℃	26℃
30-12-25BB	SL=12±2.5cm AC=4.5±1.5%	SL=12.5cm AC=4.8% CT=24℃	SL=12.5cm AC=4.3% CT=24℃	28℃
30-18-25BB	SL=18±2.5cm AC=4.5±1.5%	SL=19.0cm AC=4.5% CT=24℃	SL=19.0cm AC=4.3% CT=25℃	29℃
36-18-25BB	SL=18±2.5cm AC=4.5±1.5%	SL=18.0cm AC=4.5% CT=25℃	SL=17.0cm AC=4.1% CT=25℃	29℃

柱供試体)の作製は、現場への運搬時間を考慮して15分静置した後に実施した。シリカフェュームスラリー添加後は45秒練混ぜを行った。円柱供試体は2日後に脱枠し、所定材齢まで標準養生(20±3℃,水中)を行った。

コンクリートの試験項目は、フレッシュ性状については、JIS A 1101によるスランプ(SL)、JIS A 1128による無注水法でのフレッシュコンクリートの空気量(AC)測定を行った。硬化コンクリートについては、JIS A 1108による圧縮強度試験(材齢7,28,91日)を行った。また、JSCE-G572を参考に、浸せきによるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験のため濃度3.5%の塩化ナトリウム水溶液中へ浸せきを行った。なお測定は材齢1年を予定している。

2.3 試験結果および考察

2.3.1 フレッシュ性状

表-4にフレッシュ性状試験結果を示す。シリカフェュームスラリーの投入前・後でフレッシュ性状に大きな差異は見られず、スラリー投入の影響は小さいことが確認できた。

2.3.2 圧縮強度

図-1に材齢28日における圧縮強度試験結果を示す。シリカフェュームスラリーを添加することで、圧縮強度が増加していることがわかる。これはシリカフェュームのポズラン反応のためと考えられる。シリカフェュームスラリーの添加により、表-3に示すようにスラリーに含ま

れる水量が単位水量に加味されるため、W/B が増加し、圧縮強度低下の要因となる。一般にコンクリートの圧縮強度はC/Wと相関があり、レディーミクストコンクリート工場において配合設計に用いられている。図-2にC/Wと圧縮強度の関係を示す。図より、添加前の近似式と比較し、添加後の近似式の傾きは同程度であり、切片が6N/mm²程度大きいことがわかる。なお、スランプの違いによる影響は見られなかった。

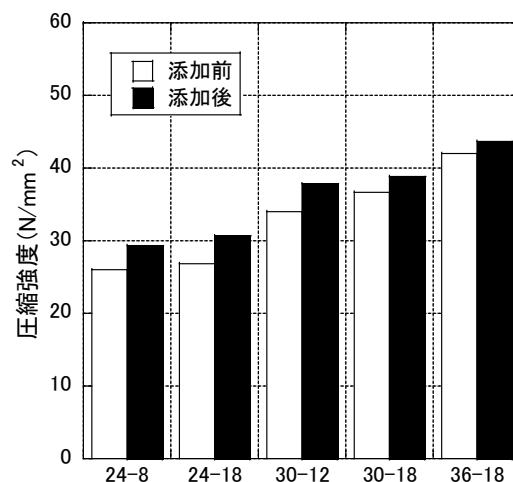


図-1 圧縮強度 (室内試験)

3. 実機試験

3.1 使用材料・配合

使用材料は室内試験と同様である (表-2 参照)。配合を表-5に示す。昨年度の実機試験は冬期 (12月~1月) に実施したことから、今回の実機試験は夏期および標準期に実施し、夏期におけるスランプロスの影響を確認する。

3.2 試験方法

試験には小型トラックアジテータ (最大混合容量 1.5m³, ドラム高速回転速度 10rpm) を使用した。

試験は、レディーミクストコンクリート工場にて1.0m³のコンクリートを練混ぜ、トラックアジテータへ積込み、すぐに練上がり直後のフレッシュ性状の確認を行った。その後現場へ運搬した。運搬時間を統一するため、練混ぜ完了から30分後を現場到着時間とし、現場到着時のフレッシュ性状の確認を行った。その後、SFSを投入し、2分間ドラムの高速回転により攪拌を行った後、フレッシュ性状の測定、供試体 (φ100×200 mmの円柱供試体) の作成を

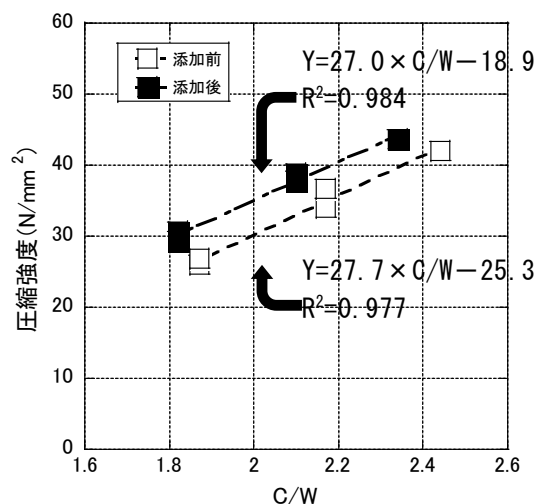


図-2 C/W と圧縮強度

表-5 コンクリート配合 (実機試験)

時期	呼び強度	目標SL (cm)	目標Air (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					スラリー (kg/m ³) SFS (W:SF)	添加後 W/B (%)
						W	C	S	G	Ad		
標準	24	8	4.5	53.5	41.0	142	265	771	1,117	2.096	16 (8:8)	54.9
夏期	30	18	4.5	46.0	41.8	163	354	730	1,026	2.832	21 (10.5:10.5)	47.6

表-6 フレッシュ性状（実機試験）

配合	目標値	標準配合 (練上直後)	標準配合 (30分後)	SFS 投入後	ドラム 中位	ドラム 後位	外気温
24-8-25BB (標準)	SL=8±2.5cm AC=4.5±1.5%	SL=13.0cm AC=6.3% CT=20℃	SL=9.0cm AC=5.5% CT=21℃	SL=8.0cm AC=4.8% CT=21℃	SL=7.5cm AC=5.3% CT=21℃	SL=6.0cm AC=4.8% CT=21℃	20℃
30-18-25BB (夏期)	SL=18±2.5cm AC=4.5±1.5%	SL=21.0cm AC=5.6% CT=30℃	SL=18.5m AC=5.2% CT=31℃	SL=17.0cm AC=4.9% CT=31℃			31℃

行った。

コンクリートの試験項目は、フレッシュ性状については、スランプ (SL) と空気量 (AC) の測定を行った。硬化コンクリートについては、圧縮強度試験 (材齢 7, 28, 91 日) を行った。圧縮強度試験では、24-8-25BB 配合を対象にドラム内でのバラツキを確認するため、ドラムからの排出位置の前・中・後位置より供試体 (材齢 28 日, 各 9 本) を採取し試験を実施した。また、24-8-25BB 配合を対象に JIS A 1148 による凍結融解試験を行った。なお、室内試験と同様に塩水浸せきを行った。

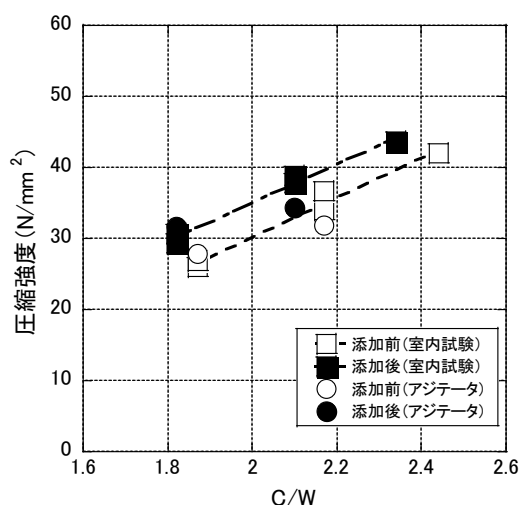


図-3 圧縮強度（アジテータ実機試験）

3.3 試験結果および考察

3.3.1 フレッシュ性状

表-6 にフレッシュ性状試験結果を示す。実機においてもシリカフェームスラリーを添加する前後において大きな差異は見られなかった。ドラム中位および後位においてスランプロスが見られたが、この要因として、ドラム後位の試験開始時間がスラリー投入から 30 分程度経過しており、経時変化によるスランプロスと考えられる。

3.3.2 圧縮強度

図-3 に圧縮強度試験結果を示す。室内試験同様に、シリカフェームスラリーを添加することで圧縮強度の増進が確認できる。

図-4 に 24-8-25BB 配合のドラム排出位置による圧縮強度の試験結果と圧縮強度の変動係数を示す。ドラム前位において、圧縮強度が中位・後位と比べ 2N/mm² 程度低い結果となった。また、バラツキを示す変動係数では、採取位置それぞれではバラツキは 1.0~1.4% と小さいものの全体のバラツキは 4.0% となった。

4. まとめと今後の展望

本検討の範囲では、基本的に提案した方法で
3 成分系高耐久コンクリートを問題なく製造
できることが確認できた。

今回は基礎的な検討であったため、1 工場のみであったが、今後は各レディーミクストコンクリート工場の標準配合を用いた試験を行うことで、地域や工場によらない方法とし、北陸地域全体での普及を目指したい。

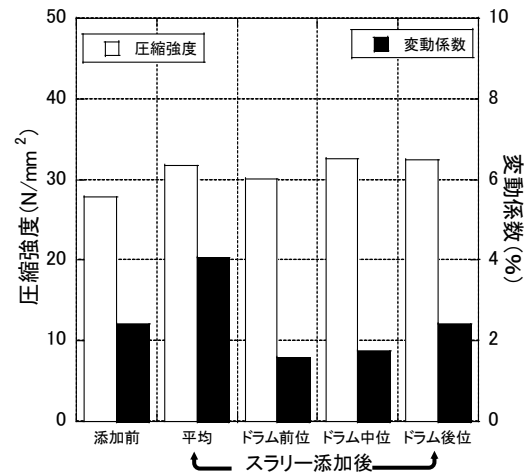


図-4 圧縮強度（排出位置の違い）

謝辞：

本研究は、北陸地域づくり協会 第 24 回「北陸地域の活性化」に関する研究助成事業として行ったものであり、ここに厚く御礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 川上英男：北陸地方の環境塩害危険度分布について，コンクリート工学年次講演会論文集，第 8 巻，pp. 81-84，1986
- 2) 石川裕夏ほか：凍結防止剤がコンクリート構造物に及ぼす影響に関する実態調査，コンクリート工学年次論文集，Vol. 34，No. 1，pp. 766-771，2012
- 3) 佐伯竜彦ほか：各種シリカフェームを用いたセメント系硬化体の塩分浸透抵抗性，セメント・コンクリート論文集，No. 68，pp. 352-359，2014
- 4) 井貝武史ほか：トラックアジテータにおけるシリカフェームスラリー添加方法に関する基礎的検討，セメント・コンクリート論文集，No. 74，2020（掲載予定）