

報告 ポンプ圧送性に配慮した貧配合としての高比重コンクリートの配合選定と実施工

秋山 哲治^{*1}・森 晴夫^{*2}・本田 友之^{*3}・小澤 良一^{*4}

要旨: 細骨材として銅スラグを 100%用いた貧配合としての高比重コンクリートの実施工において、フレッシュ性状等に加え、圧送性に配慮した配合選定を行った。また施工時では、圧送前後で性状確認を行い、室内試験練りで選定した配合の妥当性を評価した。さらに、選定した高比重コンクリートとそのベースとなる JIS 配合について、圧送性の評価指標に関する比較検討を行い、その特性の違いについて考察した。その結果、銅スラグを大量混合した貧配合としての高比重コンクリートでは、ブリーディングの増加に伴う各種性能への影響として、施工時の圧送性等にも十分に配慮した配合検討を行うことが重要であることを把握した。

キーワード: 銅スラグ細骨材, 高比重コンクリート, 貧配合, 圧送性, リサイクル, 災害復旧

1. はじめに

銅スラグ細骨材は、絶乾密度 3.5g/cm³程度で天然砂よりも大きく、コンクリート材料として用いると JIS 配合の普通コンと比べて単位容積質量が大きくなる。一般に、比重の大きい材料を大量混合した高比重コンクリート（以降、高比重コンと称す）では、ブリーディングが増加することでフレッシュ性状に影響を与え、施工性等が低下する¹⁾。このため、配合選定時では各種性能を満足するよう、高比重な材料の使用量を制限したり、各種混和材を添加する等の対策が行われている²⁾。

一方、ポンプ施工の一般事項として、単位セメント量が少ない貧配合や低スランブの場合は特殊コンクリートの一つとされており³⁾、圧送が困難になることが予想される。このため、良好な圧送性を確保するための配合計画やその評価試験により、施工性の良否を事前に検討することが重要とされる。高比重コンとしては、圧送実験の事例^{1),4)}はあるものの、事前検討としての圧送性に関する室内での評価試験を行った事例は見うけられない。

今回、東日本大震災により損壊が生じた福島県小名浜港の岸壁災害復旧工事において、細骨材として銅スラグを 100%用いた貧配合としての高比重コンが採用された。本稿では、同工事での修正示方配合の策定に際し、フレッシュ性状や強度特性に加えて、特に圧送性に配慮した配合選定の結果を示す。また、実施工では圧送前後においてフレッシュ性状などの確認を行い、試験練りで策定した配合の妥当性を評価した。さらに、実施工で用いた高比重コンと、そのベースとなる JIS 配合の両者について、圧送性の評価指標に関する比較検討を別途行い、高比重コンが JIS 配合と比較して圧送性が低下傾向となる

現象を室内試験で定量的に捉え、貧配合としての高比重コンの配合検討を行う上での留意点を明らかにした。

2. 配合選定のための試験練りの計画

2.1 高比重コンの要求性能

対象工事は、小名浜港の 5・6 号ふ頭地区岸壁 (-14m)（災害復旧）工事（以降、5・6 号地区と称す）、および藤原ふ頭地区岸壁 (-10m) 外（災害復旧）工事（以降、藤原地区と称す）の 2 工事である。

表-1 に、両地区の試験練りで設定した高比重コンの品質基準（案）を示す。設計基準強度 18N/mm²以上、および単位容積質量 24.5kN/m³以上は、工事の特記仕様書に示される項目である。他の項目については、産業副産物の積極的な有効利用を考慮して銅スラグ混合率 100%とした。粗骨材最大寸法やスランブは港湾工事の無筋構造物で用いられる一般的な仕様に準拠し、空気量は施工性と耐久性を考慮して設定した。

表-1 高比重コンの品質基準（案）

項目	品質	備考
設計基準強度	18N/mm ² 以上	
単位容積質量	24.5kN/m ³ 以上	
銅スラグ混合率	CUS 混合率 100%	CUS 5-0.3
粗骨材最大寸法	40mm	
スランブ	8±2.5cm	
空気量	4±1.5%	

2.2 高比重コンの圧送性に着目した配合の目安

試験練りの検討ケースを計画するにあたり、文献¹⁾の圧送実験を参考にして配合の目安を考えた。同文献では、

*1 若築建設（株） 建設事業部門 技術設計部 技術課 主任 工修 （正会員）

*2 若築建設（株） 建設事業部門 技術設計部 次長

*3 新菱商事（株） 磐城工場 常務取締役

*4 新菱商事（株） 磐城工場 取締役工場長

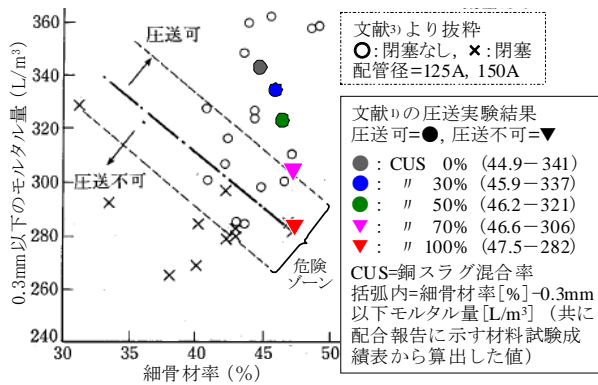


図-1 貧配合としての高比重コン圧送実験結果¹⁾と配合上の細骨材率-0.3mm以下モルタル量の関係

銅スラグ混合率を 0, 30, 50, 70, 100%に変化させた W/C=65%の貧配合としての高比重コンについて、水平換算距離 100m 程度の圧送実験を行い、銅スラグ混合率 70%以上では圧送が困難であったと記されている。この 5 ケースについて、実験結果として圧送可であったケースを●印、圧送不可であったケースを▼印で表記して、さらに配合上の細骨材率および 0.3mm 以下モルタル量を算出して、文献³⁾に示される図-1 にプロットした。同図は、貧配合の普通コンに対して圧送を行い、その結果を配合上の観点から整理したものであり、所要の細骨材率の範囲において 0.3mm 以下モルタル量が少ないと圧送負荷が増大し、閉塞を生ずる恐れがあることを表したものである。同図では、閉塞なしが○、閉塞が×としてプロットされており、圧送可、圧送不可、および危険ゾーンの各範囲を、圧送性の目安として区分している。文献¹⁾の結果を図-1 にプロットした結果、圧送可であった銅スラグ混合率 0~50%は、配合上は危険ゾーンの範囲よりも上方に位置付けられた。一方、ポンプ吐出量を大きくした際に圧送不可となった銅スラグ混合率 70 および 100%では、配合上は危険ゾーンおよび圧送不可に近い範囲にプロットされた。この結果より、貧配合としての高比重コンで長距離圧送を行う場合等、圧送性に

特に配慮が必要な場合には、同種の普通コンよりも安全側の範囲を目標とすることが望ましく、危険ゾーンより上側に在るよう配合を計画することが重要であると考えられた。

なお、本工事は災害復旧工事のため、圧送トラブルがない施工を目指す観点から、ミキサー車を型枠の近傍に配置させて、ポンプ車から配管を繋がずに打設が行える計画とした。このため、長距離圧送とはならない条件で、図-1 の危険ゾーンよりも上側になる配合とした場合、全体としてモルタル分が増加し、今回の圧送条件に対し過大な配合計画になると考えられた。このことを踏まえ、配合上は“危険ゾーンにプロットされたとしても、フレッシュ試験のコンシステンシー等が良好と評価されれば、所要の性能を有する高比重コンが打設可能”と考えて、試験練りの検討ケースを計画することとした。今回、配合選定において圧送性に着目したのは、高比重コンとして圧送性を室内試験で定量的に評価することに加えて、今後の高比重コンを用いた工事に対する施工性の評価データを蓄積すること等も勘案したことによる。

2.3 検討ケース および 配合選定のための評価項目

表-2 に試験練りでの検討ケースを、表-3 に工事で設定した配合選定のための評価項目を示す。

検討は各工事で 3 ケース行い、セメント種類は、5・6号地区は比較的寒い時期のため普通ポルトランド、藤原地区は通常期施工のため高炉 B 種とした。基本配合は、工事での設計基準強度や高比重コンのフレッシュ性状、施工性としての圧送性に配慮して設定した。また生コン工場は、高比重コンの出荷実績のある工場を選定した。

各工事の検討ケースは、基本配合に対して、石灰石微粉末（以降、石粉と称す）を 50kg/m³ 増減させた配合を考えた。これは、石粉によるブリーディングの改善のみならず、貧配合コンクリートでは一般に単位セメント量が少ないことで圧送性の低下などが懸念され、高比重コンとして用いる場合はさらなる性能低下が予想されたことも一因である。加えて、各工事の 3 ケースは、図-1

表-2 試験練りにおける検討ケース

工事名	検討ケース	セメント種類	細骨材率 [%]	単位量 [kg/m ³]						備考
				W	C	F	CUS	G	Ad	
5・6号地区	1	N	40.5	150	250	200	767	1166	2.5	
	2	N	40.5	150	250	150	833	1166	2.5	基本配合
	3	N	40.5	150	250	100	900	1166	2.5	
藤原地区	4	BB	40.2	150	250	200	756	1166	2.5	
	5	BB	40.2	150	250	150	822	1166	2.5	基本配合
	6	BB	40.3	150	250	100	889	1166	2.5	
使用材料	N：普通ポルト、密度 3.16g/cm ³ 、比表面積 3260cm ² /g BB：高炉 B 種、密度 3.04g/cm ³ 、比表面積 3740cm ² /g F：石灰石微粉末、密度 2.68g/cm ³ 、比表面積 7550cm ² /g CUS：銅スラグ 5-0.3、密度 3.50g/cm ³ 、吸水率 0.62% G：合成砕石 4005、密度 2.70g/cm ³ 、吸水率 0.59% Ad：AE 減水剤、標準形、リグニンスルホン酸系 ※石粉は配合上で細骨材の代替材として取り扱っているため、細骨材率は石粉を考慮した値として算定。									

表-3 配合選定のための評価項目

評価項目	試験内容・確認方法	評価指標
フレッシュ特性	スランプ, 空気量, コンクリート温度, 外気温	品質基準(案)に準拠
単位容積質量	配合計画書 あるいは フレッシュ試験	品質基準(案)に準拠
強度特性	圧縮強度試験	品質基準(案)に準拠
ブリーディング特性	ブリーディング試験	文献 ^{1),2)} より
施工性(圧送性)	0.3mm以下のモルタル量 及び 加圧ブリーディング試験	文献 ³⁾ より

表-4 試験練りによる配合の選定結果

評価項目	試験内容	品質基準(案)	5・6号地区			藤原地区		
			ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6
フレッシュ特性	フレッシュー式	表-1より	OK	OK	OK	OK	OK	OK
	目視・触診	—	ケース2・3より若干劣る	良好	良好	ケース5・6より若干劣る	良好	良好
単位容積質量	配合計画書	24.5kN/m ³ 以上	24.8	25.0	25.1	24.7	24.9	25.0
強度特性	圧縮強度	18N/mm ² 以上	29.2	28.0	25.8	29.1	28.1	25.4
ブリーディング特性	ブリーディング試験	0.5~0.6cm ³ /cm ² 程度以下	0.13	0.23	0.25	0.16	0.21	0.28
施工性(圧送性)	0.3mm以下モルタル量	図-2より [L/m ³]	326 圧送可	309 圧送可	292 圧送不可	324 圧送可	307 圧送可	290 圧送不可
	加圧ブリーディング試験	図-3より	良好	良好	良好	良好	良好	良好
表-3の評価項目に対する検討結果			○	○	△	○	○	△
材料費に関する経済性の観点*1			高価	中程度	安価	高価	中程度	安価
配合の選定結果				●			●	

[凡例] ○：良好, △：良好でない場合ありと評価。 *1：石粉の使用量に基づいて各工事で検討した3ケースの相対比較。

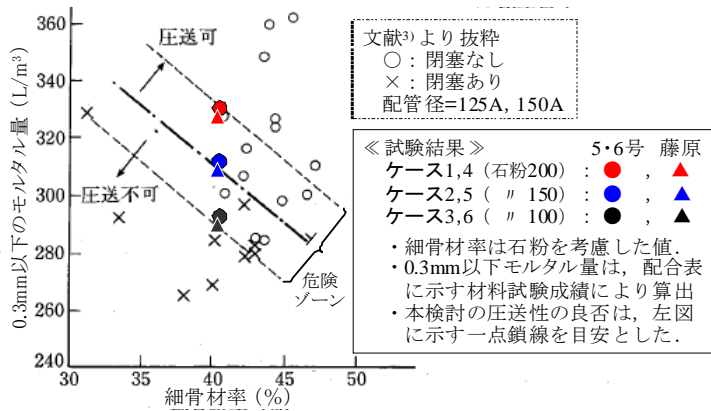


図-2 細骨材率-0.3mm以下モルタル量の関係

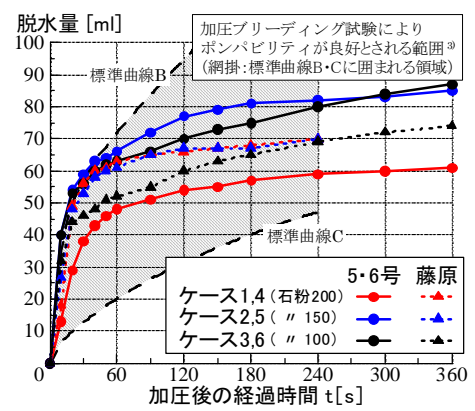


図-3 加圧ブリーディング試験の結果

に示す圧送性を配合上で評価する場合において、一点鎖線を跨いだ圧送可～圧送不可の境界範囲(長距離圧送としては危険ゾーンとなる範囲)にプロットされるケースとして選定した。

各検討ケースについて、表-3に示す評価項目の試験を行い、修正示方配合を選定した。評価項目のうち、フレッシュ特性、単位容積質量、及び強度特性は、表-1に示す品質基準(案)を用いて性能の良否を判断できる。一方、ブリーディング特性や施工性は、その性能の良否を判断する明確な基準がないことから、文献^{1)~3)}に基づいて各種性能の良否を下記指標により評価した。

ブリーディング特性の評価について、文献¹⁾ではブリーディング量0.5cm³/cm²以下であれば力学特性に及ぼす

影響は小さく、文献²⁾では良好な耐凍害性を得るにはブリーディング量を0.6 cm³/cm²程度以下にすべきと記される。本工事ではこれらの要求性能は比較的高くないと考えられるが、相対的にブリーディング量が多い場合は施工性に悪影響を及ぼすことが懸念されることも考え、ブリーディング特性の評価指標として、その上限の目安を“0.5~0.6 cm³/cm²程度以下”とした。

施工性(圧送性)の評価については、先述した貧配合コンクリートに対する“細骨材率-0.3mm以下のモルタル量の関係”および、ポンパビリティを簡易に評価できる指標として、加圧ブリーディング試験での“加圧後の経過時間-脱水量”の両者について確認を行い、その良否を評価した。

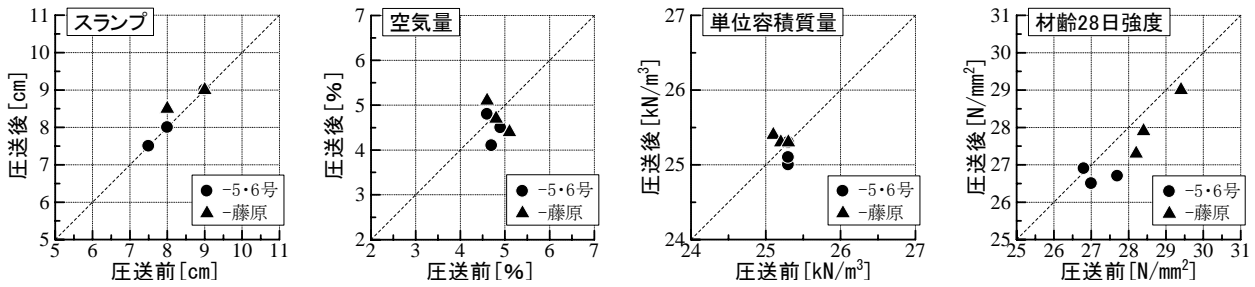


図-4 圧送前・後におけるフレッシュ性状の比較



写真-1 型枠内での締固め状況

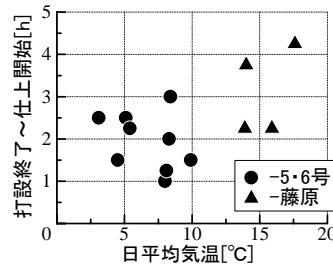


図-5 日平均気温-仕上開始まで時間

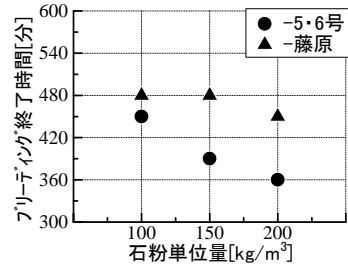


図-6 石粉量-ブリーディング終了時間

3. 配合の選定結果 と 施工時における試験結果

3.1 試験練りによる修正示方配合の選定

表-4に、試験練りによる配合の選定結果を示す。

両地区ともに、フレッシュ特性、単位容積質量、強度特性、ブリーディング特性は、すべてのケースで品質基準を満足した。フレッシュ特性について、石粉 200kg/m^3 では他ケースと比べて目視の状態が若干劣り、石粉をこれ以上多くするとパサつき感が強くなり保水性が低下すると評価した。強度特性について、石粉使用量が多くなるにつれて強度が増進したのは、水粉体比が小さくなったことが影響したと考える。ブリーディング特性について、石粉が少なくなるとブリーディング量は増加する傾向を示したが、品質基準は十分に満足していた。

図-2に細骨材率- 0.3mm 以下のモルタル量の関係、図-3に加圧ブリーディング試験の結果を示す。加圧ブリーディング試験は、すべてのケースでポンパビリティが良好な範囲にプロットされた。しかしながら、配合上の 0.3mm 以下のモルタル量は、石粉 100kg/m^3 で一点鎖線より下側に在る点線付近にプロットされたため、圧送不可と評価した。実施工では骨材表面水率の変動等により、フレッシュ性状が時々刻々変化することで圧送性が急変することがあり、このような品質変動に対しても良好な施工性を確保できる配合を目指した。ここで、石粉 150kg/m^3 では圧送可と圧送不可の境界付近にプロットされるが、先述したように本工事では型枠近傍にミキサー車を配置できる条件を鑑み、圧送可能と判断した。

この他、経済性という観点では、石粉の使用量はできるだけ少ない方が望ましいと言える。以上より、フレッシュ特性、ブリーディング特性、施工性、および経済性

を総合的に検討した結果、5・6号地区はケース2、藤原地区はケース5を修正示方配合として選定した。

3.2 施工時の圧送前・後におけるフレッシュ性状

図-4に、打設期間中に任意の3回で確認した、圧送前・後のフレッシュ性状および圧縮強度の結果を示す。

両地区共に、フレッシュ性状と強度特性などは同じ傾向を有していた。すなわち、スラブは、圧送後においても所要の品質を満足し、圧送前・後で品質変動はみられなかった。空気量は、圧送後においても所要の品質を満足し、圧送前・後で品質は同等であった。単位容積質量は、圧送後においても所要の品質を満足し、圧送前・後で品質は同等であった。材齢28日強度は、圧送後においても所要の品質を満足し、圧送後は圧送前より若干低下傾向を示したが、品質は同等と評価した。強度が圧送後で低下傾向を示したのは、圧送により空気を巻き込んだことに因るものと推察された。

また、施工時での目視観察の結果について、ポンプ車ホッパーへの高比重コン投入時では適度なコンシステンシーを有していた。圧送中は、ポンプ圧力上昇等による閉塞の予兆はなく、吐出後の筒先における性状も良好であった。さらに、写真-1に示す型枠内での締固め状況についても材料分離は認められず、余剰水の型枠外への排出等も普通コンと同等であった。

以上のことから、本工事の施工条件においては、圧送後においても高比重コンは所要の性能を満足しており、圧送前・後で品質変動は小さく、良好な施工性を確保でき、選定した修正示方配合は妥当であると評価した。

3.3 施工時の均し等に関する作業時間

図-5に均し等に関する作業時間として、全打設日の

日平均気温と仕上げ開始（打設終了～仕上開始）までの時間を示す。仕上げ開始までの時間は、5・6号地区で1～3時間、藤原地区で2.25～4.25時間となり、藤原地区が5・6号地区と比べて長いのは、セメント種類に因るものと考えられる。ブリーディング水の浮き状況は、両地区とも普通コンと同程度であり、高比重コンを用いたことによる作業性の低下は認められなかった。総じて、両工事での打設完了から仕上げ開始までの時間が、一般の普通コンと比べて大きく遅延することはなかった。

この他に、参考として、試験練り時の各ケースのブリーディング終了時間を図-6に示す。石粉の使用量が少ない（水粉体比が大きい）場合では、ブリーディング終了時間が長くなる傾向を示した。本工事では圧送距離が短く、石粉 100kg/m³の場合でも圧送性は良好であったかもしれないが、同図を踏まえると、石粉 100kg/m³の場合ではブリーディング終了時刻が比較的長くなっていったことも想定され、打設当日の作業終了が相対的に遅くなっていた可能性もある。このことから、作業性の観点からも、選定した配合は妥当であったと推察された。

4. 高比重コンと JIS 配合の圧送性評価の比較

4.1 検討対象とした JIS 配合

高比重コンは、ブリーディングの増加により各種性状に影響を与えるとされるが、圧送性について、一般の JIS 配合と比べてどの程度性状に違いがみられるかを、室内試験で定量的に評価した事例はみられない。このため、高比重コンと JIS 配合に対して、加圧ブリーディング試

験等の結果を比較することは、圧送性に配慮した配合選定を行う上で、より有用なデータを把握できると考えられる。そこで、実施工で選定した高炉 B 種の高比重コン（ケース 5）と、そのベースとなる JIS 配合について、圧送性に関する評価指標について比較検討を行った。JIS 配合を表-5に、検討時のフレッシュ試験結果と併せて示す。高炉 B 種の貧配合として、呼び強度 21N（ケース 7・8）と 18N（ケース 9・10）を選定した。スランブ 8cm は、高比重コンと同一スランブでかつ、図-7に示す一点鎖線近傍にプロットされる配合である。一方、スランブ 15cm は、0.3mm 以下のモルタル量がスランブ 8cm に対して 20L/m³程度増加するケースであり、図-7に示す上側の点線付近にプロットされる配合である。

4.2 圧送性評価に関する試験結果

図-7に細骨材率-0.3mm以下のモルタル量の関係、図-8に加圧ブリーディング試験の結果を示す。

呼び強度 21N（ケース 7・8）と高比重コン（ケース 5）の比較結果について、高比重コンは JIS 配合と比べて、加圧ブリーディング試験の最終脱水量は減少したが、加圧後 50 秒以内の初期の脱水量は増加する傾向を呈した。高比重コンの最終脱水量が JIS 配合より小さく抑制されたのは、品質改善のために石粉を使用したことに因るものと考えられる。また、呼び強度 18N（ケース 9・10）と高比重コン（ケース 5）については、最終脱水量と加圧後の初期脱水量の相対的な大小関係は、呼び強度 21N と同じ傾向を呈した。

図-9に加圧ブリーディング試験について、加圧後の

表-5 高比重コンと JIS 配合の圧送性評価の比較検討ケース

呼び強度	検討ケース	配合仕様 (JIS-高炉 B 種)	W/C [%]	s/a [%]	単位量 [kg/m ³]					フレッシュ試験の結果 SL[cm],Air[%],CT[°C],BL[cm ³ /cm ²]
					W	C	S	G	Ad	
21N	7	21- 8-40	59	40.5	147	249	759	1166	3.0	SL=8.5,Air=5.3,CT=15,BL=0.31
	8	21-15-40	59	42.0	161	273	764	1102	3.3	SL=13.5,Air=5.3,CT=15,BL=0.35
18N	9	18- 8-40	65	41.1	147	226	779	1166	2.7	SL=8.0,Air=5.1,CT=18,BL=0.25
	10	18-15-40	65	42.7	161	248	784	1102	3.0	SL=13.5,Air=4.5,CT=18,BL=0.30

[注] W/C:水セメント比, s/a:細骨材率, 単位量の記号:W・C・G・Ad は表-1と同様, S:山砂, 密度 2.58g/cm³, 吸水率 1.52%.
フレッシュ試験の結果 SL:スランブ, Air:空気量, CT:コンクリート温度, BL:ブリーディング量.

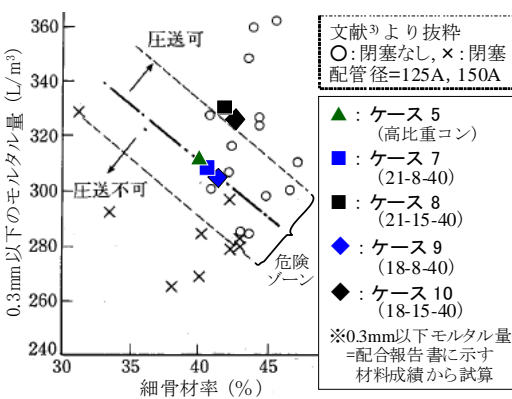


図-7 細骨材率-0.3mm 以下モルタル量の関係

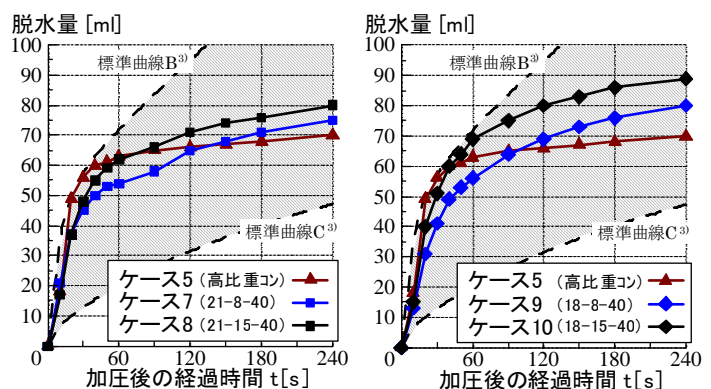


図-8 加圧ブリーディング試験の結果

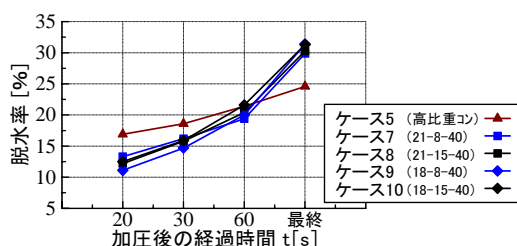


図-9 加圧ブリーディング試験の各脱水率

経過時間 20s, 30s, 60s, 最終の各脱水率で整理した。その結果、高比重コンは JIS 配合と比べて、加圧後 20~30s の初期に脱水率が相対的に大きくなった。すなわち、高比重コンでは、加圧後の比較的早い段階で脱水量が頭打ちになる傾向を有しており、加圧により脱水がじわじわと継続する JIS 配合とは異なる傾向であった。

ポンプ圧送における配管内のコンクリートの流れは、管壁方向の水分やセメントペーストなどが移動することに因る潤滑層と密接な関係がある。この潤滑層の形成が不十分な状態ではコンクリートにスムーズな流れが生じないとされる³⁾。これらの現象に対し、加圧ブリーディング試験は、水分の移動のしやすさを定量的に把握する試験であり、圧送性を良好に保つためには加圧初期の脱水が過多でなく、かつ過少でもない“適度な水分移動”が必要である。このことから、加圧後の初期脱水量が、圧送が良好とされる範囲よりも極端に多くなる場合は、粉体と骨材との結合力が弱いと推察され、材料分離の傾向が大きくなると考えられる。図-8 及び図-9 の結果より、高比重コンは圧送性が良好とされる範囲に収まっているが、JIS 配合と比べると加圧初期に標準曲線 B に近接し、初期の脱水率が増える傾向を有するため、圧送が困難になる可能性が高いことが推察された。

今回、圧送評価に関する試験について、高比重コンと JIS 配合との比較を行うことで、加圧ブリーディング試験での初期の脱水傾向が異なることを定量的に把握した。これより、貧配合としての高比重コンをポンプ施工する場合では、配合上の 0.3mm 以下モルタル量を適正量にすることに加えて、加圧ブリーディング試験によって初期の脱水量が必要以上に増加していないか等を事前に確認し、ブリーディングの増加に伴う各種の性能低下を踏まえた事前検討を行うことが重要であると考えられる。

5. まとめ

検討結果を以下に整理する。

- (1) 施工時のトラブルがなく、確実性が求められる災害復旧工事において、工事の打設条件や圧送性などを踏まえて配合選定を行った結果、打設期間中は良好なコンクリート品質と施工性が確保できた。
- (2) 貧配合としての高比重コンの配合選定では、フレッ

シュ試験等に加え、圧送性の評価指標として、0.3mm 以下のモルタル量や加圧ブリーディング試験を用いて評価を行うことが有効であることを確認した。

- (3) 加圧ブリーディング試験において、高比重コンは、そのベースとなる JIS 配合に比べて、加圧初期の脱水量が相対的に増加する傾向があることを把握した。
- (4) 配合選定において、圧送時に閉塞の可能性が懸念されると評価した石粉 100kg/m^3 のケース（選定配合に対して石粉を低減させた配合）では、ホップ打設等を用いることで所要の品質が確保でき、より経済的な配合の選定が可能になると考えられる。

細骨材として銅スラグを大量に混合した高比重コンは、普通コンと比べて単位容積質量が大きくなる。例えば、重力式岸壁や防波堤上部工等に適用した場合は、普通コンと比べて経済的な断面にできることでコスト縮減に繋がり、根固ブロックや消波ブロックへ適用した場合は、ブロックの安定性が向上するというメリットを有する。また、銅スラグを細骨材としてコンクリート用材料で大量に用いると、産業副産物のリサイクル向上に繋がることも特徴の一つである。今後は、ケーソン等の大型の鉄筋コンクリート構造物への利用が期待されており、骨材の枯渇問題と併せて、今後ニーズは益々高まると考えられる。高比重コンのように、普通コンとは異なる特殊コンクリートを取り扱う場合は、施工に先立ち、スランブやブリーディング等の試験項目に加え、施工時の圧送性等も考慮に入れた事前検討を行うことが重要である。

本試験練りの実施にあたり、国土交通省東北地方整備局小名浜港湾事務所の皆様、および（独）港湾空港技術研究所材料研究チーム山路徹氏にご指導を頂いた。また試験に際しご協力を頂いた関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 川端雄一郎, 岩波光保, 加藤絵万: スラグ細骨材を大量混合したコンクリートの各種性状, 港研資料 No.1233, 2011.6
- 2) 土木学会: 銅スラグ細骨材を用いたコンクリートの施工指針, コンクリートライブラリー92, 1998.2
- 3) 土木学会: コンクリートのポンプ施工指針 [2012年版], コンクリートライブラリー135, 2012.6
- 4) 森晴夫, 鳥畑孝志, 松本伸郎, 本田友之: 銅スラグ細骨材を大量に混合したコンクリートの鉄筋コンクリートへの適用性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1843-1848, 2009.7
- 5) 秋山哲治, 森晴夫, 本田友之, 小澤良一: 細骨材として銅スラグを 100%用いた高比重コンクリートの実施工, コンクリートテクノ, Vol.31, No12, pp.17-22, 2012.12