

プレパックドコンクリートの注入モルタルの性能向上に関する検討

Development of Fillers According to Various Performance Requirements and Examination of Application to Prepacked Concrete

小林 聖 取 違 剛

要 約

プレパックドコンクリートが我が国に導入されてから、大規模な無筋コンクリートや設置ケーソンなどに適用されてきた。近年はプレパックドコンクリートの施工数は減少したが、一方で、現在でもプレパックドコンクリートを使用する工事が出件されており、施工業者として施工技術を維持し、向上させることが求められている。そこで、本論文ではプレパックドコンクリートの注入モルタルの性能向上に関して検討を行った。まず過去の充填材に関する知見を整理し、一般的な充填材の配合について検討を行った。それらに応用してプレパックドコンクリートの注入モルタル用の充填材の配合検討を行い、実際に硬化物性の確認を行った。その結果、注入モルタルとして適用可能な充填材の配合を選定することができた。さらに、コンクリートの収縮抑制対策により、コンクリートの収縮量を大幅に低減できることを確認した。

目 次

- I. はじめに
- II. 充填材の要求性能および既往の研究
- III. 充填材の配合選定試験
- IV. プレパックドコンクリートへの適用検討
- V. まとめ

I. はじめに

プレパックドコンクリートが 1953 年に我が国に技術導入されてから、港湾工事をはじめ、河川工事、橋梁の基礎工事などマッシブな無筋コンクリートや中詰めコンクリートに適した工法として注目されてきた。本州四国連絡橋児島坂出ルートの工事において設置ケーソンに大々的に採用されるなど、主に水中施工で大規模な構造物に対する合理的な施工方法として適用されてきた。しかし、プレパックドコンクリートは施工中に注入モルタルの流入状況を目視観察することが不可能であり、締固めも行わないことから、硬化後の品質の保証方法に課題がある。さらに、水中コンクリートや水中不分離性コンクリートの普及、プレパックドコンクリートに適した工事の減少に伴い、2017 年度コンクリート標準示方書からプレパックドコンクリートに関する記述は削除されている。一方で、現在でもプレパックドコンクリートを使用する工事が出件されている。さらに、混和剤の高性能化により注入モルタルの性状が向上し、確実な充填性を確保することで前述の品質保証の問題を解決できるものと考えられる。以上より、施工業者としてはプレパックドコンクリート

の施工技術を維持し、さらに向上させることが求められていると考え、本論文では、プレパックドコンクリートの注入モルタルの性能向上に関して検討を行った。

まず、プレパックドコンクリートの注入モルタルの配合を選定するにあたり、一般的に建設工事で適用されている充填材について整理し、その配合思想について理解する必要がある。充填材としては、「断面修復材」、「PC グラウト材」、「鋼管接手充填材」などがあるが、各材料に求められる性能は多様なため、おのずと試験項目と規格値は多種多様となっている。これまでに、現場の様々な要求性能に応じて、数々の充填材を開発してきた。しかし、それら各種充填材を体系的に整理できていないため、新たな要求性能が発生すると一から検討している状況であった。つまり、標準的な充填材の配合が構築できれば、現場により要求性能が異なる場合でも、適宜標準配合を改良することで対応できるため、より合理的に配合選定が可能となると考える。

近年は、社会インフラの老朽化に伴う高速道路の床版や桁の大規模更新・大規模修繕が計画されている。床版取替工事は約 1.8 兆円規模の工事が見込まれ¹⁾、その多くは既設の RC 床版をプレキャスト床版に取り替えるというものである。この際、プレキャスト部材と既設構造物との一体性、プレキャスト部材同士の一貫性確保のために、間詰めする材料が必須となり、この材料には狭隘な部分への充填性が求められる。また、現在施工中の LNG 地上タンク工事では、生産性向上を目的として、PC タンクのプレキャスト化が実施されており²⁾、適用する充填材には高い充填性に加え、低収縮性が求

キーワード: 工場製品, プレキャストコンクリート, 熱可塑性樹脂シート, 蒸気養生
Keywords: precast products, precast concrete, thermoplastic resin sheet, steam curing

Table 1 各材料の試験項目と規格値について
(Test Items and Standard Values for Each Material)

試験項目	分類	断面修復材※1	プレパックド※2	鋼管接手充填材※3	PC グラウト材※4	備考
P 漏斗	(s)	20~75	16~20 25~50(高強度)	16~22	-	JSCE-F521
JP 漏斗	(s)	-	-	-	高粘性型：14~23 低粘性型：6~14 超低粘性型：3~5	JSCE-F531
ブリーディング	(%)	0.0~1.0	0.0~3.0	-	-	JSCE-F522
		-	-	-	0.0~0.3 以下 0.0%(24 時間後)	JHS 420
膨張率	(%)	0.0~5.0	5~10 2~5(高強度)	-	-	JSCE-F522
乾燥収縮	(μ)	500(3 か月)	-	-	-	JIS A 1129
体積変化率	(%)	-	-	-	-0.5~0.5	JHS 420

※1：NEXCO 構造物施工管理要領， ※2：2012 年度制定コンクリート標準示方書， ※3：鋼管杭・鋼矢板技術協会
※4：プレストレスト・コンクリート建設業協会

められる。このように、多様な工法へのプレキャストコンクリートの適用推進に伴い、接合材としての充填材の要求性能も多様化している。

そこで、本論文ではまず初めに過去の充填材に関する知見を整理し、一般的な充填材の配合について検討を行った。そして、プレパックドコンクリートの注入モルタル用の充填材の配合検討を行い、実際に硬化物性の確認を行った。なお、ここでは、接続部や目地部および間詰めなど充填して一体化する材料のことを「充填材」と呼ぶこととした。

II. 充填材の要求性能および既往の研究

先述したように、充填材は適用する構造物や要求性能に応じて数種類に分類される。各種充填材に対する試験項目と規格値を Table 1 に示す。

断面修復材は、P 漏斗流下時間が 20~75 秒の範囲で規格化されており、ブリーディング率および膨張・収縮に規格値が設定されている。

プレパックドコンクリート用充填材は、断面修復よりも P 漏斗流下時間が短い 16~20 秒の範囲で規格化され、高い流動性が求められている。断面修復材よりもブリーディング率の規格値は大きく、ある程度のブリーディングは許容している分、膨張率の規格値が大きく設定されている。また、強度別に要求性能が異なり、高強度タイプ (40~60N/mm²) はセメント量が増え、粘性が高まるため、P 漏斗流下時間が 25~50 秒と大きく設定されている。

鋼管接手充填材は、P 漏斗流下時間が 16~22 秒の範囲で規格化されており、プレパックドと同等の流動性が要求されている。

PC グラウト材は、粘性別に JP 漏斗流下時間が設定されているが、いずれも流動性が高く、低いブリーディング率、体積変化率が要求されている。

既往の研究では、例えば、小島ら³⁾は、水結合材比 36~45% のモルタルで流動性と収縮量の検討を行い、結合材と細骨材

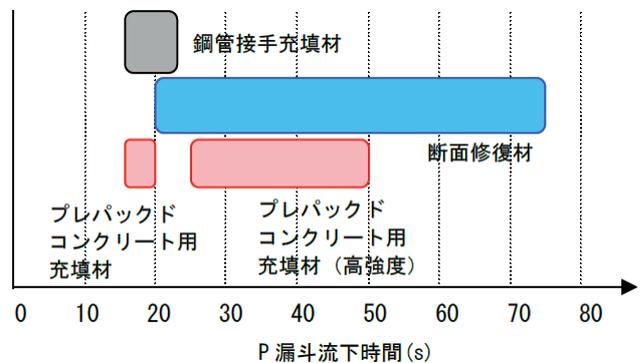


Fig.1 P 漏斗流下時間のマッピング
(Mapping of P Funnel Flow Time)

の比を 1 : 2 とすることで流動性を確保している。竹内ら⁴⁾は、水セメント比 47.3% のモルタルで流動性と収縮量の検討を行い、結合材と細骨材の比は 1 : 2.44 として流動性を確保しつつ、膨張材を用いて収縮量を低減している。以上より、流動性はモルタル中における細骨材の割合で調整することにより確保し、収縮については、膨張材もしくは収縮低減剤等を用いて抑制する手法が一般的であることが分かった。

以上より、各材料は流動性に加えて、ブリーディング、収縮・膨張が品質管理項目となっている。各材料を P 漏斗流下時間に統一して評価すると、Fig.1 に示すようなマッピングとなる。なお、PC グラウト材は、ポンプを使用して圧入する施工方法であることから、自己充填性を基本としている今回の検討対象からは除外した。マッピングの結果より、プレパックドコンクリートおよび断面修復材の規格値を満足することができるような配合を選定できれば、各種充填材の多様な要求性能に対応できると考えられる。つまり、充填材には流動性を確保しつつブリーディングを抑制することが求められることから、ここでは P 漏斗流下時間は 35 秒を上限値とし、下限値は最小規格値である 16 秒とした。ブリーディングは 0% を目標値とした。

Ⅲ. 充填材の配合選定試験

1. コンセプト

各種要求性能にアレンジする前の基本となる充填材の配合選定を試みた。ここでは既往の研究を参考に、モルタル中の細骨材の割合により流動性を確保し、膨張材もしくは収縮低減剤の添加により収縮を抑制することとした。また、既往の研究で検討されている充填材の水セメント比は30~50%程度であることから、ここでは中間値である40%を基本に検討を進めることとした。さらに、市中の生コンプラントで使用可能な材料を用いることとし、セメントは普通ポルトランドセメント（以後、OPCと称す）、海洋構造物への適用を目的とした高炉セメントB種（以後、BBと称す）の2種類とし、JIS A 5308の規格を満足する細骨材を使用することとした。

2. 細骨材の影響

充填材の流動性は細骨材の量や形状、粒度分布などの影響を大きく受けると考えられる。ここではモルタル中の細骨材の容積割合（以後、s/mと称す）をパラメータとし、細骨材がフレッシュ性状に及ぼす影響を把握した。使用材料をTable 2に、配合をTable 3に示す。なお、フレッシュ性状の評価としては、モルタルフロー（JIS R 5201を参考に15回の落下運動無し）、P漏斗流下時間（JSCE-F 521-2018）およびブリーディング試験（JSCE-F 522-2018、ポリエチレン袋法）を行った。練混ぜは回転速度1,100rpmのハンドミキサーを用いて行い、1回あたりの練混ぜ量は5Lとした。なお、後述するように、細骨材の分離を抑制することを目的として、Table 3のNo.10のケースで無機系の増粘剤であるセピオライトの使用を検討した。

s/mとモルタルフローの関係をFig.2に示す。同一s/mの場合、OPCよりもBBの場合に流動性が大きくなることが確認された。また、OPCではs/mが15%の場合にブリーディングが発生し、モルタルフロー値は423mmであった。BBではs/mが28%以下の場合にブリーディングが発生し、モルタルフロー値は488mmであった。s/mが37%の場合には、ブリーディングは発生しなかったものの、モルタルフロー値は450mmであり、練上り直後から細骨材が分離する現象が確認された。以上より、モルタルフロー値を400mmより小さく設定することで材料の分離が抑制できることが示唆された。

s/mとP漏斗流下時間の関係をFig.3に示す。いずれのセメントにおいても、s/mが低くなるとペースト分が増大するためP漏斗流下時間が早くなる傾向が確認された。また、s/mが低い場合ではセメント種類の影響はほとんど確認されず、

Table 2 使用材料 (Material)

材料名	記号	適用
水	W	水道水
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント 密度：3.15g/cm ³ 、ブレン値：3,340cm ² /g
	BB	高炉セメントB種 密度：3.04g/cm ³ 、ブレン値：3,750cm ² /g
細骨材	S1	砕砂、表乾密度2.62g/cm ³ 、F.M：2.99
	S2	山砂、表乾密度2.60g/cm ³ 、F.M：1.67
混和剤	SP	高性能AE減水剤（ポリカルボン酸系化合物）
増粘剤	V	セピオライト

Table 3 配合一覧 (Mix Proportion)

No.	W/C (%)	s/m (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)						
				W	OPC	BB	S1	S2	SP	V
1	40	49	2	279	698	-	983	277	6.98	-
2	40	41	2	322	805	-	822	232	8.05	-
3	40	37	2	344	860	-	742	209	8.60	-
4	40	28	2	393	983	-	561	158	9.83	-
5	40	15	2	464	1160	-	301	85	11.60	-
6	40	41	2	317	-	793	822	232	7.93	-
7	40	37	2	339	-	848	742	209	8.48	-
8	40	28	2	387	-	968	561	158	9.68	-
9	40	15	2	457	-	1143	301	85	11.43	-
10	40	37	2	339	-	848	742	209	8.48	3.39

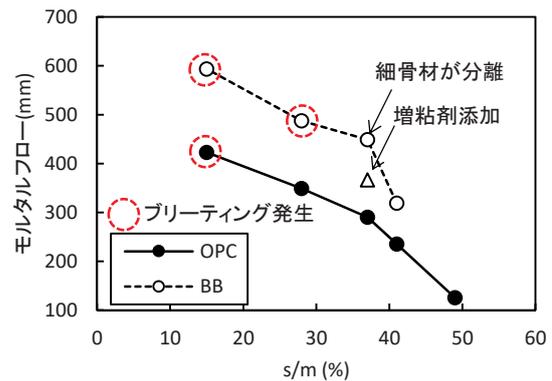


Fig.2 s/mとモルタルフローの関係 (Relationship between s/m and Mortar Flow)

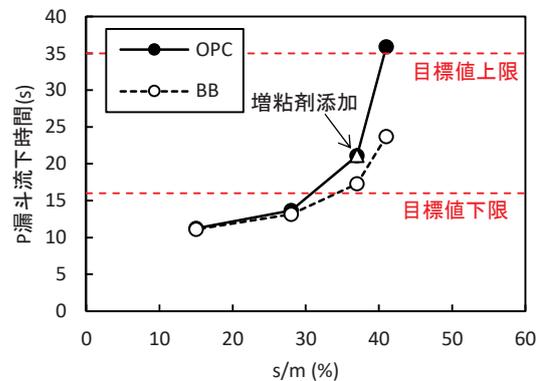


Fig.3 s/mとP漏斗流下時間の関係 (Relationship between s/m and P Funnel Flow Time)

s/mが37%以上となるとBBの方がOPCよりもP漏斗流下時間が短くなることが確認された。

以上の結果より、ブリーディングが発生しない範囲でP漏斗流下時間が目標値内で最小となる配合は、OPCおよびBBともにs/mが37%であり、それぞれP漏斗流下時間は21.5秒、17.3秒であった。しかし、BBのs/mが37%の配合は細骨材が分離している現象が確認されたため、粘性を付与することで細骨材の分離を抑制する検討を行った。その結果、無機系増粘剤によって適度な粘性が付与され、細骨材の分離は解消し、モルタルフロー値は367mm、P漏斗流下時間は21.2秒となった。以上から、無機系増粘剤の使用により、P漏斗流下時間の目標値を満足しつつ分離を抑制できることが確認された。

3. 収縮低減に関する検討

充填材はモルタルであるため単位水量が多く、コンクリートと比較して収縮量が大きくなるため、充填後の収縮により充填材にひび割れが発生する可能性がある。また、部材間に隙間が生じることにより劣化因子の侵入を助長し、構造物の耐久性低下を引き起こす可能性があり、収縮量は可能な限り小さくする必要がある。ここでは収縮量を低減する検討を行った。収縮量は拘束膨張試験(JIS A 6202, B法)により測定した。

収縮量を低減する方法として、ここでは膨張材(Ex)と収縮低減剤(SRA)の使用を検討した。膨張材は標準添加量20kg/m³の石灰系を使用し、収縮低減剤は低級アルコールのアルキレンオキシド付加物が主成分の液体タイプのものを使用した。そのほかの材料はTable 2と同じものを使用した。配合はTable 3のNo.10とし、膨張材および収縮低減剤の添加量をパラメータとした。試験ケースをTable 4に示す。まずは、海洋構造物への適用を考慮し、セメントの種類をBBのみとした。

膨張材の添加量と収縮量の関係をFig.4に示す。膨張材の添加量を多くすることで初期の膨張量が大きくなり、膨張材の添加量が20kg/m³の場合で115μ、40kg/m³の場合で300μ、60kg/m³の場合で500μの膨張量を示した。それに伴い3か月後の収縮量が小さくなる傾向が確認され、膨張材の添加量が20kg/m³の場合で420μ、40kg/m³の場合で340μ、60kg/m³の場合で160μの収縮量となることが確認された。

一方で、膨張材の添加量が多くなると、過度な膨張により圧縮強度の低下が考えられるため、圧縮強度の確認を行った。圧縮強度の試験結果をFig.5に示す。膨張材の添加量が40kg/m³以下であれば圧縮強度に及ぼす影響はほとんど確認されなかったが、60kg/m³となると圧縮強度の低下が確認された。

収縮量が小さいほどひび割れの発生リスクも低減することから、可能な限り収縮量を低減した配合が望ましい。さらに、収縮量の低減を目的とし、収縮低減剤の併用を検討した。対象とした配合は、Table 3のNo.10に対して膨張材を40kg/m³添加したものとした。試験結果をFig.6に示す。収

Table 4 試験ケース (Mix Proportion)

No.	セメント	膨張材(kg/m ³)	収縮低減剤(kg/m ³)
1	BB	0	-
2		20	-
3		40	-
4		40	6
5		40	12
6		60	-

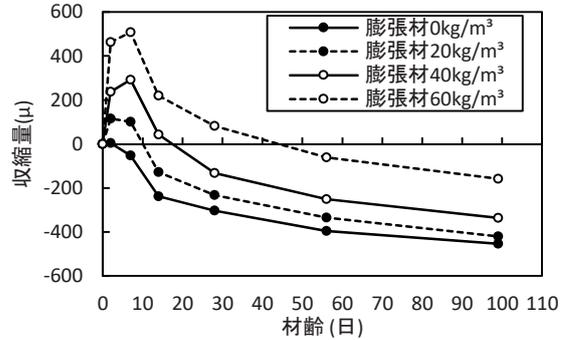


Fig.4 膨張材の添加量と収縮量の関係 (Relationship between the Amount of Expansion Material and Shrinkage)

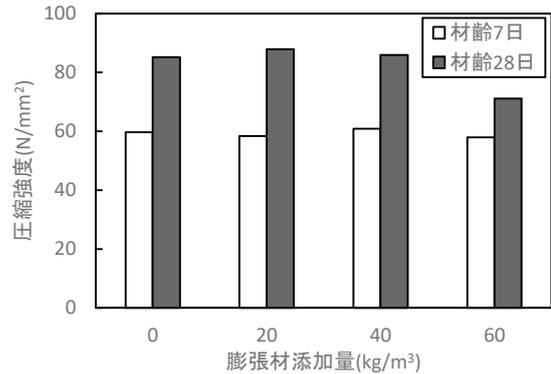


Fig.5 圧縮強度の試験結果 (Compressive Strength)

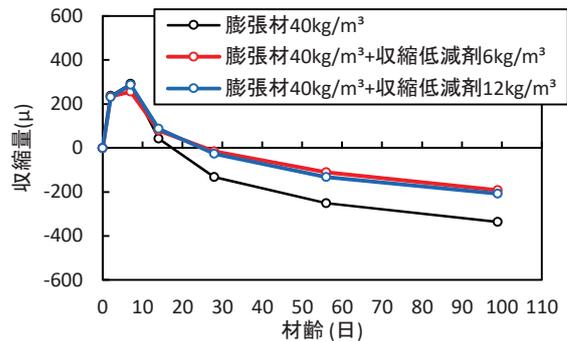


Fig.6 収縮低減剤と収縮量の関係 (Relationship between the Amount of Shrinkage Reducing Agent and Shrinkage)

Table 5 充填材の配合 (Mix Proportion)

W/C (%)	s/m (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)							
			W	BB	Ex	S1	S2	SP	V	SRA
40	37	2	339	808	40	742	209	8.48	6.78	6

縮低減剤を添加することで3か月後の収縮量が200 μ となり、無添加に対して140 μ 低減できることが確認された。しかし、縮低減剤の添加量による差は確認されず、今回の実験の範囲内では、縮低減剤の添加量は6kg/m³が適していると考えられる。

以上より、市販の材料を用いて、収縮量を200 μ 程度まで抑えることができる充填材の配合を選定することができた。配合をTable 5に示す。

4. 細骨材の種類の影響

今回の充填材の配合検討では、市中の生コンプラントで製造できる充填材を目指していることから、日本各地で製造できることを確認する必要がある。ここでは、全国各地の5か所のプラントから細骨材を取り寄せ、試験練りにより性状を確認した。使用した細骨材の概要をTable 6に、検討配合をTable 7に示す。比較用として前述の試験で使用していた細骨材Aの結果も示す。

モルタルフローとP漏斗流下時間の比較をFig.7に示す。いずれの配合もブリーディング率は0%であったが、粘性に差が確認された。BおよびDのモルタルフローが大きく、P漏斗流下時間が短いことから粘性が低下していると考えられる。一方で、A、CおよびEでは逆の傾向が確認され、粘性が増大していると考えられる。BおよびDは陸砂を使用しており、骨材試験の結果からも、微粒分量が少ないことが確認されている。一方でA、CおよびEでは砕砂を使用しているため微粒分量が多く、その微粒分に保水されることにより粘性が向上したものと考えられる。以上より、使用する細骨材の微粒分量に応じて若干の粘性の変化があるものと考えられる。しかし、いずれの細骨材を使用した場合でもP漏斗流下時間は目標値の範囲内であり、JIS規格を満足する細骨材であれば配合を修正することなく適用できる可能性が示唆された。

5. 充填材の大量製造に向けた検討

充填材の製造については、少量であれば現地にてハンドミキサーで練り混ぜ、そのまま施工することが一般的であるが、使用量が増えるにつれ、パン型ミキサーや強制二軸ミキサーなど、大型のミキサーで製造する必要がある。ここでは、そのような大型のミキサーでも練混ぜ可能であることを確認するために、練混ぜ容量55Lの強制二軸ミキサーを用いて、充填材を製造するための検討を行った。

既往の研究により、練混ぜ時間が不十分である、または練混ぜ時のせん断が不十分であると所定のフレッシュ性状が得られないことが分かっている。そこで、SECコンクリートを参考に⁵⁾、水の一部（以後、1次投入水）を先に投入してせん断をかけて練り混ぜ、

Table 6 使用した細骨材の概要 (Overview of Fine Aggregate)

産地	種類	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	微粒分量 (%)	粗粒率
A	S1:砕砂	2.63	2.59	1.21	3.50	3.00
	S2:山砂	2.60	2.56	1.66	1.22	1.62
	ブレンド	2.62	2.58	1.31	3.00	2.70
B	S1:陸砂	2.74	2.70	1.36	1.40	2.93
C	S1:砕砂	2.67	2.64	1.05	4.80	3.01
	S2:陸砂	2.70	2.67	1.34	0.30	2.11
	ブレンド	2.69	2.66	1.20	2.55	2.56
D	S1:陸砂	2.59	2.54	2.02	0.81	2.70
E	S1:砕砂	2.70	2.67	1.04	3.09	2.73

Table 7 検討配合 (Mix Proportion)

産地	W/C (%)	s/m (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)							
				W	BB	Ex	S1	S2	SP	V	SRA
A	40	37	2	339	808	40	742	209	8.48	6.78	6
B	40	37	2	339	808	40	994	-	8.48	6.78	6
C	40	37	2	339	808	40	487	487	8.48	6.78	6
D	40	37	2	339	808	40	939	-	8.48	6.78	6
E	40	37	2	339	808	40	979	-	8.48	6.78	6

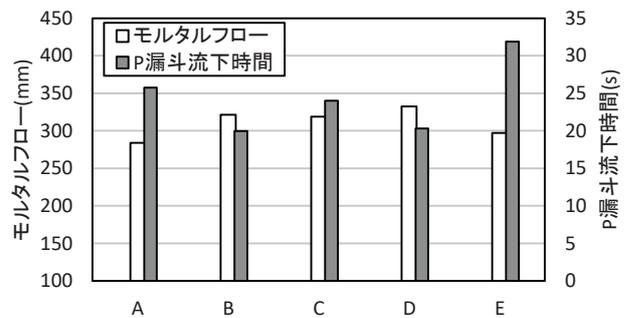


Fig.7 モルタルフローとP漏斗流下時間の比較 (Comparison of Mortar Flow and P Funnel Flow Time)

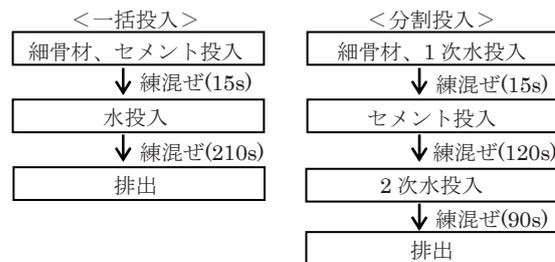
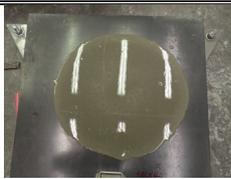
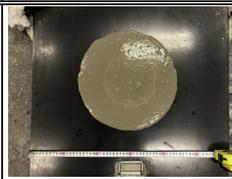


Fig.8 練混ぜ方法 (Mixing Method)

Table 8 試験結果 (Test Result)

試験項目	一括投入	分割投入
モルタルフロー	 431×409mm	 310×305mm
P漏斗流下時間	閉塞	28.5s
ブリーディング率	3.24%	0.00%

その後、残りの水（以後、2次投入水）を投入して練り混ぜる方法を検討した。1次投入水と2次投入水の割合は目視で性状を確認しながら調整し、65:35とした。比較用として水を一括投入するケースも行った。練混ぜ方法を Fig.8 に示す。

試験結果を Table 8 に示す。水を一括投入した場合、モルタルフローの状態からも、ペーストが先行して流れている状況が確認された。さらに、P 漏斗試験は閉塞し、ブリーディングも生じていることから、分離していると考えられる。一方、分割練混ぜを行うことで分離現象は確認されず、ハンドミキサで練り混ぜた場合と同等のフレッシュ性状を得ることができた。以上より、練混ぜ方法を工夫することで、大量製造が可能であると考ええる。また、一般的な材料を使って、さらに市中の生コンプラントで断面修復材を製造可能であることが分かった。

IV. プレパックドコンクリートへの適用検討

以上の充填材の検討結果を踏まえ、プレパックドコンクリート用の充填材の配合検討を行った。

1. 充填材の配合修正

これまでの検討では、Table 2 に示す砕砂と山砂の2種類を混合して使用していた。しかし、プレパックドコンクリートに適用される充填材は、細骨材の粒径が2.5mm以下、粗粒率は1.4~2.2の範囲にあるものが適当であるとされている⁶⁾。そこで、粒度および粗粒率が上記の範囲内にある細骨材を用いた場合のフレッシュ性状の変化を確認し、所定のフレッシュ性状が得られるように配合を修正した。ここでは最大寸法2.5mm、粗粒率1.67の山砂を単独で使用することとした。検討配合を Table 9 に示す。

モルタルフローおよびP 漏斗流下時間の結果を Fig.9 に示す。山砂のみを使用した場合、混合砂を使用した配合と比較して粘性が高くなった。そこで、粘性を低減するためにs/mを下げ、30%とすることでブリーディングも無く、所定の流動性が得られることが確認された。

また、プレパックドコンクリートでは、骨材との付着を確保するため充填材に膨張性が求められ、一般的にはアルミニウム粉末(Al)が使用されている。ここでは、上記の配合検討により所定のフレッシュ性状が得られた Table 9 の No.3 配合に対して、アルミニウム粉末の添加量を10g/m³、20g/m³および30g/m³として試験練りを行い、JSCE-F 522-2018 に準じて膨張率を把握した。アルミニウム粉末は純度99%以上、粉末度300メッシュ以上のものを使用した。なお、本充填材はブリーディングが生じないため、過度な膨張は硬化物性に対して悪影響を与える。そのため、アルミニウム粉末による膨張は補助的なものと捉え、膨張率は1.0%程度を目標とした。アルミニウム粉末の添加量と膨張率の関係を Fig.10 に示す。添

Table 9 検討配合
(Mix Proportion)

No.	W/C (%)	s/m (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)						
				W	BB	Ex	S	SP	V	SRA
1	40	37	2	339	808	40	946	8.48	6.78	6
2	40	32	2	366	875	40	818	9.15	7.32	6
3	40	30	2	376	900	40	767	9.40	7.52	6

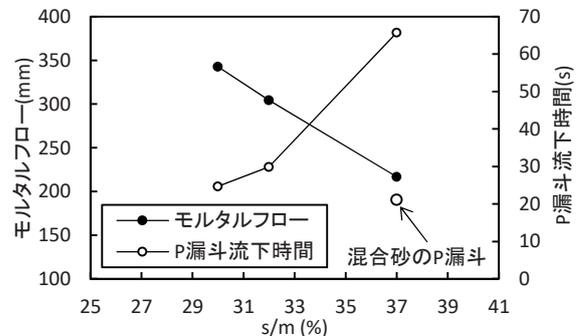


Fig.9 モルタルフローおよびP 漏斗流下時間
(Mortal Flow and P Funnel Flow Time)

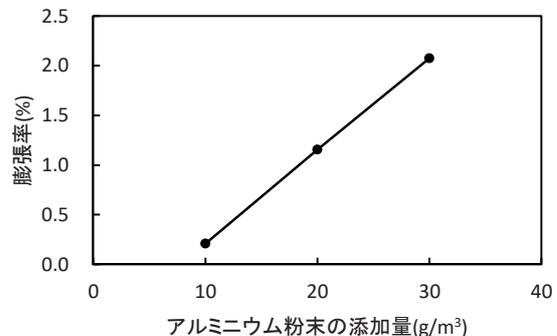


Fig.10 アルミニウム粉末の添加量と膨張率
(Amount of Aluminum Powder and Expansion Material)

加量が10g/m³では膨張率は0.21%、添加量を20g/m³とすることで膨張率は1.16%となった。実際にこれらの配合でプレパックドコンクリートを製造し、最適なアルミニウム粉末の添加率を決定する。

2. プレパックドコンクリートの製造および強度確認

プレパックドコンクリート用の充填材を用いて圧縮強度試験用の供試体を作製した。充填材の配合は、Table 9 の No.3 配合に対して、アルミニウム粉末を10g/m³および20g/m³添加した2種類を検討した。供試体の作製概要を Photo 1 に示す。供試体の作製は以下の手順で行った。まず、Φ150×300mmの鋼製モールド内に、表乾状態の粗骨材を3層で型枠に充填して各層25回突き固めた。あらかじめ設置しておいた注入管から充填材を流し込み、充填材が上面から出始めたら注入を続けながら注入管を引き抜いた。コンクリート上面を均して押し板を乗せ、12kgの重りを設置して養生した。粗骨材の最小寸法は15mm以上とされていることから⁵⁾、ここでは最大寸法40mm、最小寸法20mmの石灰石砕石を使用した。なお、表乾密度は2.70g/cm³、実積率は61.2%であった。

粗骨材の実積率より理論充填量を算出し、充填材の充填量から充填率を求めたが、各ケースの充填率は100%であった。圧縮強度の試験結果を Fig.11 に示す。アルミニウム粉末を添加していない配合に対し、アルミニウム粉末を添加した配合は圧縮強度が高くなることが確認された。アルミニウム粉末の添加に伴う膨張により、骨材との界面における付着力が確保できているものと考えられる。材齢 28 日における圧縮強度は 40N/mm² 程度であり、広く建設業界で使用されている設計基準強度 24~30N/mm² のコンクリートとして適用が可能であると考えられる。

3. プレパックドコンクリートの耐久性評価

プレパックドコンクリートは、充填材を骨材間の空隙に後から充填する手法であるため、骨材周りの遷移帯は弱部となる可能性がある。そこで、骨材界面が弱部となっていないことを確認するために、プレパックドコンクリートの供試体断面において電気泳動試験 (JSCE-G 571-2013) を行い、塩化物イオンの浸透抵抗性を測定することにより骨材界面からの劣化因子の侵入防止性能を評価することとした。

電気泳動試験により得られた実効拡散係数を Table 10 に示す。今回のプレパックドコンクリートにおける実効拡散係数は 0.666~0.833cm²/年であり、各ケースにおいて大きな差は確認されなかった。一般的な水セメント比 40%のコンクリートにおける実効拡散係数は 2.00cm²/年程度であることから⁷⁾、プレパックドコンクリートとすることで塩化物イオン浸透抵抗性が低下することは無く、耐久性は確保されているものと考えられる。

収縮量の測定は JIS A 6202 附属書 B の B 法とした。なお、供試体は圧縮強度試験用と同様に、粗骨材を型枠に充填し、端部から充填材を流し込んだ。プレパックドコンクリートの収縮量の測定結果を Fig.12 に示す。アルミニウム粉末の添加量の違いが収縮に及ぼす影響は極めて小さいことを確認した。圧縮試験および電気泳動試験の結果から、アルミニウム粉末の添加量は 10g/m³ で十分であると考えられる。材齢 91 日における収縮量は 40 μ 程度に抑えられており、さらに長期の収縮量においては、材齢 365 日で 100 μ 程度であり、非常に小さい値に抑制できている。以上の結果より、本プレパックドコンクリートは一般的なコンクリートよりも低い収縮量および高い塩分浸透抵抗性を有していると考えられる。

4. プレパックドコンクリートの無収縮化に関する検討

収縮を極限まで抑制したいという高い要求性能に対応するために、ここでは無収縮型プレパックドコンクリートの検討を行った。これまでの検討では、一般的な充填材に用いる場合は、膨張材の添加量は 40kg/m³ が妥当であると判断した。これは、膨張材の添加量を 60kg/m³ とした場合の充填材単味の圧縮強度に強度低下が顕在化したためである。しかし、プレパックドコンクリートは粗骨材が拘束体となるため、過膨



Photo 1 供試体の作製概要
(Outline of Preparation of Specimen)

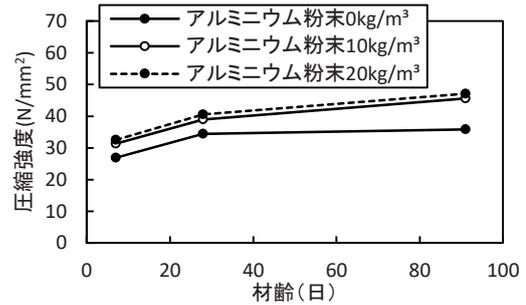


Fig.11 圧縮強度試験
(Compressive Strength Test)

Table 10 実効拡散係数
(Effective Diffusion Coefficient)

No.	アルミニウム粉末(g/m ³)	実効拡散係数(cm ² /年)
1	0	0.666
2	10	0.725
3	20	0.833

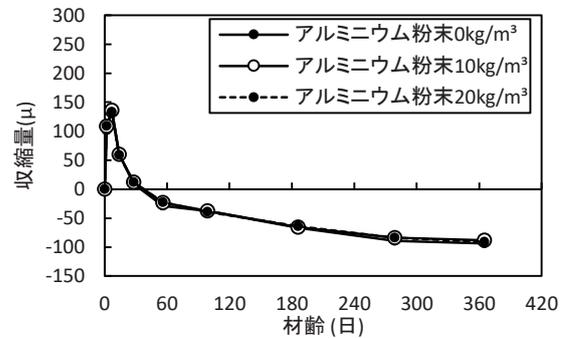


Fig.12 収縮量
(Shrinkage)

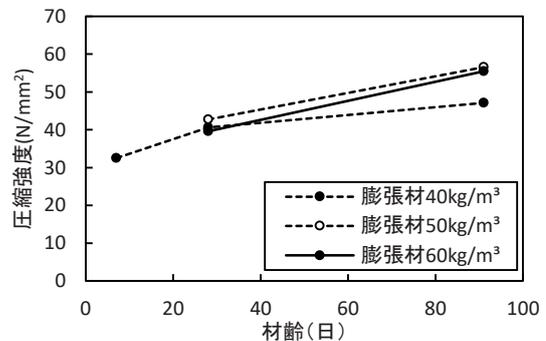


Fig.13 圧縮強度
(Compressive Strength)

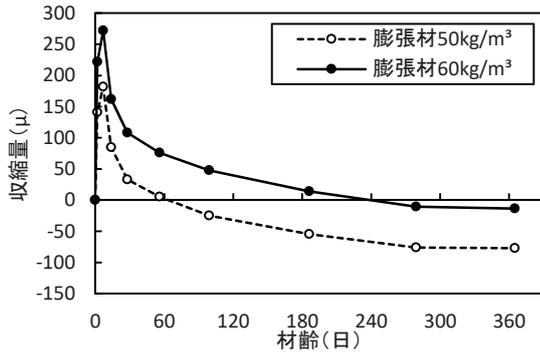


Fig.14 収縮量 (Shrinkage)

張による圧縮強度の低下は生じにくいと考えられる。そこで、さらに膨張材の添加量を増やした充填材を用いてプレパックドコンクリートを作製し、圧縮強度および収縮量の測定を行った。ここでは膨張材の添加量を 50kg/m³, 60kg/m³とした。

プレパックドコンクリートの圧縮強度の結果を Fig.13 に示す。前述のとおり、膨張材の添加量が 40kg/m³であれば膨張が圧縮強度に及ぼす影響が無いことを考慮し、この結果と比較した。膨張材の添加量が 50kg/m³, 60kg/m³の場合でも強度低下は確認されず、むしろ強度増進しており、粗骨材が拘束体となりケミカルプレストレスが導入され過膨張による圧縮強度の低下を抑制できたものと考えられる。収縮量の測定結果を Fig.14 に示す。膨張材の添加量を 50kg/m³とした場合は、材齢 365 日の収縮量が 77μであるのに対し、膨張材の添加量を 60kg/m³とした場合は 14μであり、ほとんど収縮しないことが確認された。以上の検討の結果、選定したプレパックドコンクリート用の充填材の配合を Table 11 に示す。

V. まとめ

過去の充填材に関する知見をまとめ、充填材に及ぼす配合

Table 11 プレパックドコンクリート用の充填材の配合 (Mix Proportion of Prepacked Concrete)

W/C (%)	s/m (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)							Al (g/m ³)
			W	BB	Ex	S	SP	V	SRA	
40	30	2	376	880	60	767	9.40	7.52	6	10

要因の検討を行った。その結果、プレパックドコンクリートの充填材配合を選定することができ、収縮量をほぼ 0 とすることができた。その他の要求性能に対応できる充填材の配合も選定することができ、今後はこの技術の実適用に向けて、各種検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 東・中・西日本高速道路の更新計画について； https://www.e-nexco.co.jp/assets/pdf/activity/safety/koushin/150325_01.pdf
- 2) 岩本直樹ほか；プレキャスト工法を採用した LNG タンク PC 防液堤の設計・施工—東京ガス日立 LNG 基地Ⅱ期工事—, プレストレストコンクリート, Vol.61, No.5, 2019, pp.25-30.
- 3) 小島正朗ほか；コンクリート構造物の補修・補強用無収縮モルタルの研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.2, 1997, pp.195-200.
- 4) 竹内博幸ほか；収縮低減型高流動モルタルを用いた外付け耐震補強工法の施工, コンクリート工学, Vol.44, No.2, 2006.2, pp.40-45.
- 5) SEC コンクリート, NETIS : KT-100097-VE.
- 6) 2012 年度制定コンクリート標準示方書 [施工編] .
- 7) 土木学会；コンクリートの塩化物イオン拡散係数試験方法の制定と基準化が望まれる試験方法の動向, コンクリート技術シリーズ.

Development of Fillers According to Various Performance Requirements and Examination of Application to Prepacked Concrete

Satoru Kobayashi and Takeshi Torichigai

Since the introduction of prepacked concrete in Japan, it has been applied to large-scale unreinforced concrete and installed caissons. In recent years, the number of prepacked concrete constructions has decreased, but constructions using prepacked concrete are still being proposed, and so, as a contractor, it is necessary to maintain and improve the construction technology. Therefore, in this study, we examined how to improve the performance of the injection mortar of prepacked concrete. As a result, we were able to select the composition of the filler that can be applied as the injection mortar. Furthermore, we confirmed that the amount of concrete shrinkage could be significantly reduced by taking measures to prevent concrete shrinkage.