

[170] PC グラウト専用の新しい混和剤について

正会員 ○杉山 雅 (藤沢薬品筑波コンクリート研究所)
 正会員 八木秀夫 (藤沢薬品筑波コンクリート研究所)
 正会員 竹内 敦 (藤沢薬品筑波コンクリート研究所)

1. まえがき

従来プレストレストコンクリートのシース管中に注入する充填材としては、通常リグニン系等の混和剤を添加した比較的水量の多い (W/C 40%以上) 膨張性のセメントミルクが多用されている。しかしPC構造物の大型化、多様化に伴いPCグラウトとしては、より高性能なものが望まれており、又、耐久性、安全性からもこのグラウトの品質を改善する適切な混和剤の開発に期待がかけられている。

今回、PCグラウトの十分なてん充性、流動性を確保しながら、従来に比べ大幅に水セメント比を減少させ、しかも耐久性の面で悪影響を及ぼすと言われている硬化後の空隙やPC鋼の発錆の原因となるブリージングの低減を目的に、高性能減水剤を主剤とする混和剤に関する検討を行った。又、グラウトのてん充性、ブリージングによる沈下収縮を補完的に改善するため、併用されている膨張剤についても若干の検討を行った。

2. 試験条件

- (1)所要性能：PCグラウトの目標性能は、土木学会基準¹⁾を参考として、表-1のように設定した。
- (2)グラウトの混練：日本産業機械製のMG-100型ミキサを使用した。材料の投入は、混和剤(膨張剤)入り水、普通ポルトランドセメント(80kg)の順であり、混練時間は全材料投入後3分を標準とした。
- (3)グラウトの試験方法：コンステンシー(Jロートφ10とJAロートφ8による流下方法)、ブリージングと膨張(ポリエチレン袋による体積方法)、及び強度(おもり拘束による5φ×10cm円柱型わく法)の試験は、土木学会「PCグラウト試験方法」に準拠した。流下時間の経時変化は、混練直後にグラウトをプラスチック容器(25×40×123cm)に入れ、濡れた布を被せて静置し、30分、60分、90分後にメジャーカップで2回かきませた後測定した。材料及び試験室の温度は、5, 20, 30°C一定とした。なお、凝結時間の測定は、JIS R 5201に準じ、ビカーナット法で、又、付着強度の測定は、日本コンクリート工学協会「試験方法(案)」に準じ鉄筋(SR24, 19φ丸鋼)引抜き法によった。
- (4)混和剤の吸着量の測定：普通ポルトランドセメントに所定濃度の混和剤水溶液をW/C 35%になるように加え、3分間振盪攪拌し、7分間20°Cで静置後遠心分離し、上澄液を採取する。この液相中に残存する混和剤の各成分についてゲル濾過(GPC)カラム(Shodex PAK OH pak B-803、昭和電工社製)を用い、高速液体クロマトグラフィー(HPLC)測定波長280nmで各々分離定量し、吸着量を求めた。
- (5)ゼータ電位の測定：0.2gセメント/100mℓ溶液についてLaser ZeeTM Model 501(Pen Kem社)を用い、測定した²⁾。

表-1. PCグラウト所要性能の設定

所要性能	試験方法	目標値	土木学会示方書
W/C	—	37%以下	45%以下
コンステンシー	流下方法	混練直後 Jロート 6~12秒 60分後 Jロート 15秒以内	Jロート 6~12秒
膨張性	体積方法	最大膨張率 5~10% 最大膨張到達時間 2~3時間	10%以下
ブリージング	体積方法	最大量 0.5%以下 24時間後 0%	—
圧縮強度	型わく方法	材令28日 200kgf/cm ² 以上	200kgf/cm ² 以上

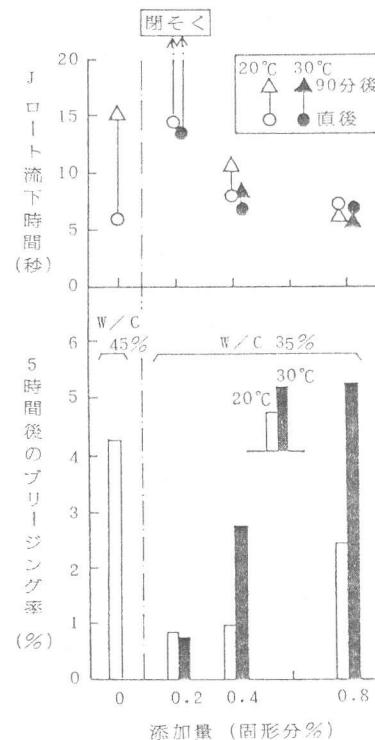


図-1. 高性能減水剤の影響

3. 試験結果及び考察

(1)コンシスティンシーとブリージングに及ぼす混和剤の影響

図-1は、試験温度20°C及び30°CでW/C 35%のグラウトを混練した際のアルキルナフタレンスルホン酸塩系高性能減水剤(NSF)の添加効果を示したものである。対セメント添加量0.4%で対照の無添加(W/C 45%)と同等のフローを示し、優れたコンシスティンシーの増大効果が認められる。一方、ブリージングは見掛け上ある程度抑えられた結果となっているが、セメント粒子の沈下による材料分離の傾向が認められ、グラウトの安定性面から問題があり、特に高温でその傾向が著しく、又、添加量増量により一層顕著となる。

従ってNSF添加により、水セメント比を下げる効果は認められるが、ブリージングの十分な抑制効果は期待できないことが判った。

一方、図-2に、PCグラウトに一般的な混和剤を添加した例として、多用されているリグニンスルホン酸塩系減水剤Aやグラウト用混和剤B(英国製)を用いたグラウトのコンシスティンシー及びブリージングの結果を示す。

従来のグラウト(A剤及びB剤を使用)では、流下時間の経時変化が大きく、又、ブリージングもやや多いことが判る。

NSFによる水セメント比の減少傾向を維持し、かつ、ブリージングを改良することを目的として混和剤に配合する第2成分について検討した結果、このNSFに特殊なリグニンスルホン酸とある種の特殊微量成分を一定量配合した混和剤(P-G)を用いれば、NSFの優れたフロー性能を損なうことなく、グラウトの物性が改善され、低水セメント比でも安定性のよいグラウトが得られることが明らかとなった。

図-3及び表-2に、それぞれ試験温度別にP-Gを内割で対セメント0.7%添加したグラウトの流下時間及びブリージングの結果を示す。Jロート流下時間9~10秒を満足する水セメント比は、温度別に36~37%(5°C), 34~35%(20°C), 33~34%(30°C)とやや変動させる必要があるが、その幅は小さく、この範囲でのブリージングは著しく減少しており、グラウトの安定性の面からも充分な物性の改善が認められる。又、流下時間の経時変化も極めて少なく(図-2参照)、従来の混和剤に比べ、低温より高温でフローロスが抑えられている点でも特徴を有している。

図-4にP-G剤の添加量を変化させた際のグラウトの流動性とその経時変化及びセメント表面への吸着挙動を示し、図-5に溶液濃度と平衡吸着量及びゼータ電位との関係を示す。P-G剤の飽和吸着量に達した対セメント添加率0.6~0.7%付近でJロートの流下時間は約8秒の極小値を示し、さらに添加量を増せば、グラウトの粘性が高まり、むしろ流下時間は長くなる傾向が認められる。

又、対セメント添加量(W/C 35%)0.7%に相応する平衡吸着濃度(0.8%水溶液)中で分散性の指標となるゼータ電位もほぼ極大値に近づいており、フロー性能と良い相関が得られている。一方、対照のNSF単独使用の結果と比較すればP-G剤の総吸着量は、NSF単独使用よりやや低い値を示し、さらにP-G剤中に配合したNSFの吸着量は単独使用に比べ著しく減少している³⁾が、P-G剤全体としてのゼータ電位は、ほぼNSF単独と同程度の値を示す。

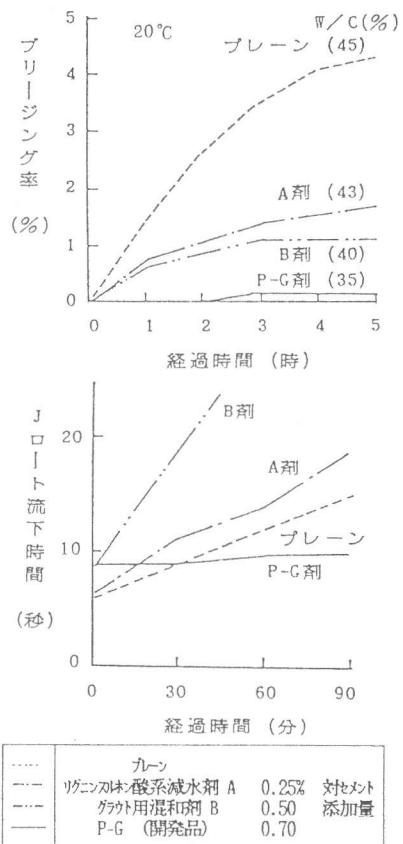


図-2. PCグラウトの品質

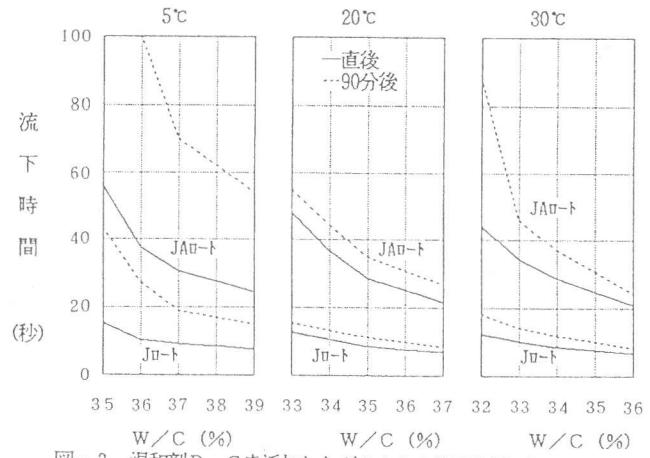


図-3. 混和剤P-Gを添加したグラウトの流下時間の経時変化

表-2. ブリージング率
(P-G剤)

温度 °C	W/C %	3時間 %	5時間 %
5	37	0	0
	39	0	0
20	35	0.27	0.27
	37	0.28	0.30
30	34	0.20	0.24
	36	0.36	0.59

のことよりP-G剤に配合したNSF以外の成分が、セメント分散系の安定性に大いに寄与していることがうかがえる。以後、この優れたフロー性能を示す対セメント0.7%の添加量で各種の性能試験を行った。

図-6に練り混ぜ時間が流下時間に及ぼす影響を示す。3分以上の混練により、ほぼ同程度の初期流下時間を示すグラウトが得られるが、混練時間が長い程経時変化が小さくなる傾向があり、5℃の際にはその寄与は大きい。従って、低温時にみられるフローロスは、混練時間を長くすることによりかなり改善される。

図-7に、グラウトの流下時間に及ぼすセメント銘柄の影響を示す。20℃、30℃の場合に比べ5℃では、特にフローロスの点でセメント銘柄差が大きい。この原因は不明であるが、低温時における対策として、前述のように混練時間を長くすることである程度は解消できると考えられる。

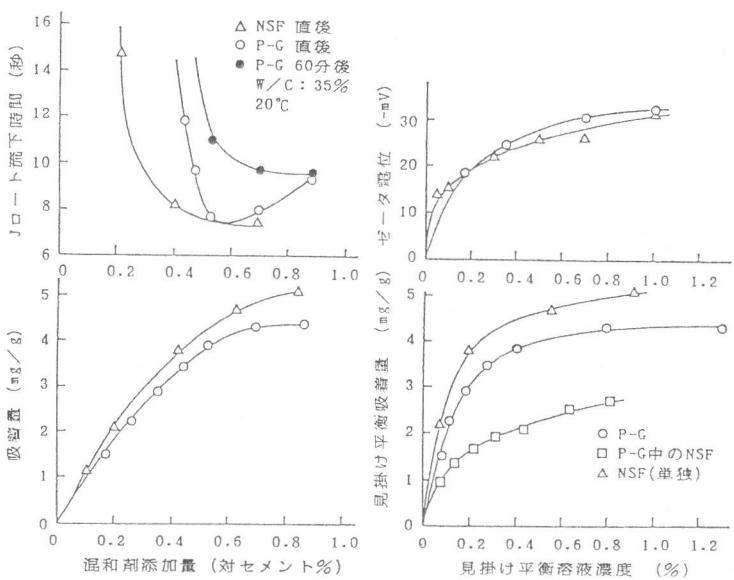


図-4. グラウトの流動性とセメントへの吸着 図-5. 平衡吸着量とゼータ電位

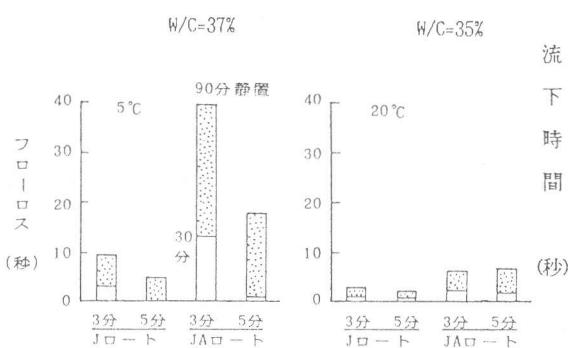


図-6. 混練時間とフローロス

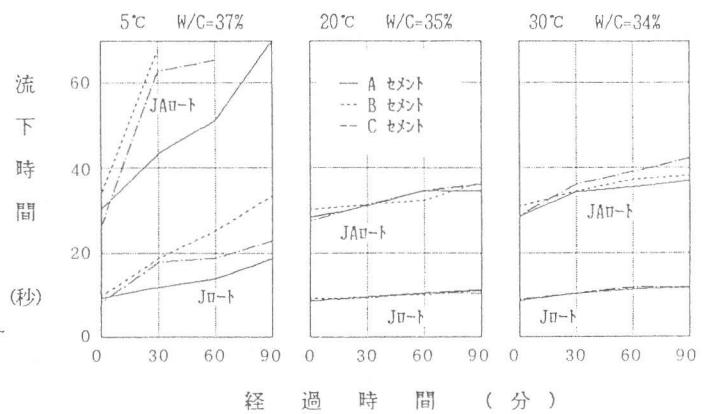


図-7. セメント銘柄と流下時間の経時変化（3分混練）

(2)アルミニウム粉末の種類及び添加量が膨張性に及ぼす影響

グラウトのてん充を補完的に促進し、耐久性の面から問題となるブリージングや沈下収縮を抑制する目的で、グラウト中には通常アルミ粉末が膨張剤として添加されている。従って、上記の目的を達するためには、アルミ粉末の膨張性が十分残っているうちにグラウトの注入を終了することは勿論のこと、注入後も徐々に膨張する性能を保持していかなければならない。この観点からアルミ粉末は、一定時間で穏やかに反応し、持続性のある膨張性能を示すものを選択する必要がある。

このアルミ粉末の膨張性能は、アルミ粉末の粒度分布や、通常アルミ粉碎工程で粉碎助剤として添加される脂肪酸の脱脂の程度により種々のものがあるが、比較的水ぬれが良く水中での分散性の良いアルミ粉末のうち、異なった膨張パターンを示す代表的な例を図-8に示す。

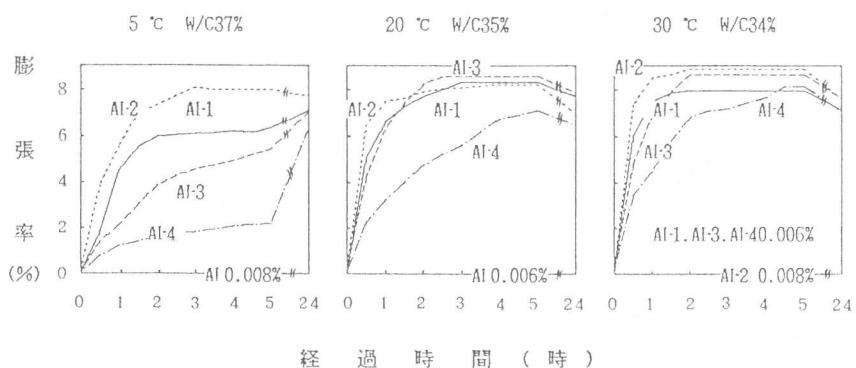


図-8. Al粉末の種類とグラウトの膨張性能

4種のアルミ粉末のうち、Al-2は、現在現場で多用されている品目であるが、20℃や30℃の場合、混練開始後30分で最高膨張の約80%相当まで膨張しており、注入に時間要する大型構造物の場合などに使用した際、注入後の膨張量が所要膨張量を下回るおそれがある。PCグラウト用アルミとして、いずれの膨張パターンを示すアルミが最適か

は議論のあるところであるが、最高膨張に達する時間が30℃の高温でもほぼ2時間程度であり、また5℃の低温でも2時間程度で大部分膨張を終了しているAl-1があらゆる条件に、より一層一般性があると考えている。

図-9は、Al-1の膨張率に及ぼす温度の影響を示しており、膨張性の悪い冬季でも添加量を増大させることで、所要量の膨張率を得ることができる。

(3)凝結、付着強度と圧縮強度

凝結試験結果を表-3に、付着強度と圧縮強度試験結果を表-4に示す。P-G剤の凝結は、フローの経時変化を抑える混合剤であるため、プレーン比でやや遅れる傾向にあるが、1日以内に凝結硬化しており、問題はないものと考えられる。又、付着強度は水セメント比が小さいほど大きくなり、P-Gが最も大きい。

P-Gの圧縮強度は、5℃養生においても材令4週で、200kgf/cm²以上を満足している。

4.まとめ

PCグラウトの品質向上を目的に、高性能減水剤を主剤として低水セメント比でノンブリージングかつフローロス低減性を有し、2～3時間で最高膨張に達する混合剤を試作し、基礎的性状に関する一連の検討を行った結果、次の知見が得られた。

①アルキルナフタレンスルホン酸塩系の高性能

能減水剤を適量添加したPCグラウトは、その減水効果により、ある程度ブリージングは抑えられるが、まだ十分な性能を有していない。

②高性能減水剤に特殊リグニンスルホン酸塩等を配合することにより、グラウトのブリージングを著しく抑制し、又、コンシステンシーの経時変化も改善される。

③これらの優れた性能は、混合剤のセメント粒子への吸着量やゼータ電位からも裏付けられる。

④温度、練り混ぜ時間、セメント鉛柄による性状差は、低温時に現れやすいが、一般に比較的小さい。

⑤膨張剤については、各種温度で平均的に2～3時間で最高膨張に達するAl-1タイプが適当と考える。

⑥グラウトの凝結は、やや遅れる傾向にあるが硬化後の強度は満足すべき結果となっている。

(参考文献) 1)土木学会:プレストレストコンクリート標準示方書(昭和53年)

2)安藤、林、坂井:セメント技術年報 Vol.37, P61 (昭和58年)

3)稻田、難波、堀本、中本:セメント技術年報 Vol.37, P152 (昭和58年)

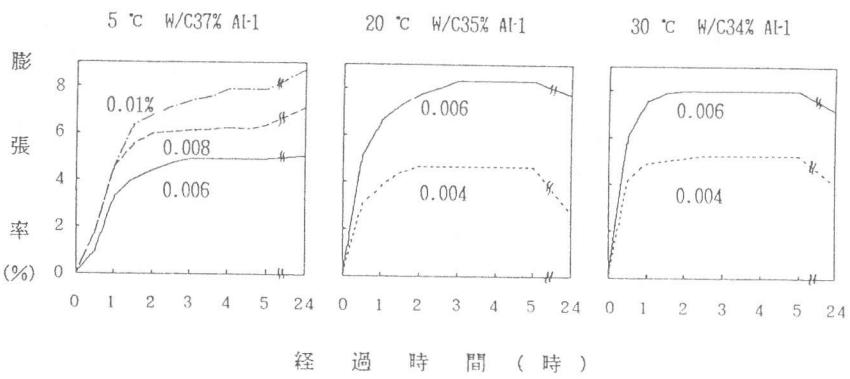


図-9. Al-1の添加量とグラウトの膨張

表-3. グラウトの凝結時間

	温度(℃)	5	20	30
	W/C(%)	37	35	34
プレーン	始発(時:分)	12:30	5:05	2:40
	終結(時:分)	15:50	7:00	3:50
P-G	始発(時:分)	18:00	14:20	7:05
	終結(時:分)	21:30	16:20	8:15

表-4. 付着強度と圧縮強度

混合剤	温度(℃)	W/C(%)	付着強度(kgf/cm ²)		圧縮強度(kgf/cm ²)		圧縮強度(kgf/cm ²)	
			7日 (膨張剤無添加)	28日 (膨張剤無添加)	7日 (膨張剤無添加)	28日 (膨張剤無添加)	7日 (膨張剤Al-1添加)	28日 (膨張剤Al-1添加)
P-G	5	37	—	—	—	—	166	249
	20	35	27.5	33.1	577	692	245	325
	30	34	—	—	—	—	335	392
カル	20	45	23.1	25.2	265	453	195	317
A	20	43	24.4	27.7	369	480	213	333
B	20	40	25.0	29.2	—	—	—	—