

V-11 スラグ系注入材を用いたコンクリート 構造物の補修について

日鐵セメント㈱ 石川 政治
星 俊彦

1. はじめに

最近のコンクリート構造物は、仕上げモルタルの浮き、塩害・中性化に伴う鉄筋の発錆によるひびわれ、あるいは、有害骨材が原因と思われるひびわれ等が発生し、既設コンクリート構造物の機能維持・管理が極めて重要となっている。一般に、ひびわれ補修にはエポキシ樹脂による注入工法が行われているが、エポキシ樹脂は高価で、長期的な耐久性に問題を残していると思われる。このような中で、耐久性の面からコンクリートの素材と同質であるセメント系の補修用注入材が求められるようになっている。しかし、従来のセメント系注入材による工法では、微細なひびわれへの注入には流動性をよくするために高水比で注入するが、粒子が粗大なため注入孔付近でセメント粒子のブリッジが形成され、水だけが注入されるという現象が起きたり、たとえ注入されたとしても材料分離が生じコンクリート躯体との一体化がなされない現象が起きる。従って、微細なひびわれへの注入は行われていない。一般に、この工法では、セメント粒子自体が粗大であること、粒子の初期水和凝集による注入性の低下等を考慮して、幅2mm以上のひびわれ補修が対象とされている。しかし、これも材料分離を生じない低水比で注入しているが、硬化後の乾燥収縮によりコンクリート躯体との付着性が低下する等、耐久性に問題を残している。そこで、ひびわれ補修を対象として、従来のセメント系注入材に要求される物性（高流動性、良好な注入性、材料分離がない、材料自体がコンクリートに匹敵する強度、コンクリートとの高接着強さ、高耐久性）の観点から研究を進めた結果、超微粒子のスラグ系注入材を開発した。ここに、このスラグ系注入材（以下、HSと略記する）の基礎物性、現場施工について報告する。

2. HSの基礎物性

2-1 注入材の調製

使用材料 ; HS、当社普通ポルトランドセメント（以下、OPCと略記する）、水道水

スラリーの調製 ; HSは収縮低減剤2%添加、OPCは高性能減水剤（マイティ150）1%添加し、所定の配合にて、高速ハンドミキサーで2分間攪拌

2-2 流動性

微細なひびわれに注入される注入材の粘性は、小さければより広範囲な注入が可能である。そこで、粘性と直接関連のある流動性を把握するために、フロー試験を行った。黄銅製のJAロート（内容積1000ml）を用い、ロートにスラリーを流し込み上面をならし、流下時間（フロー値）を測定した。HSスラリーの水比は60%、70%、80%で、OPCスラリーの水比は40%、50%、60%、70%で行った。結果を図-1に示す。

図より同一フロー値を得る水比には20%の差がある。また、水のフロー値は10秒であるが、HSスラリーは水比70%以上で、OPCスラリーは水比50

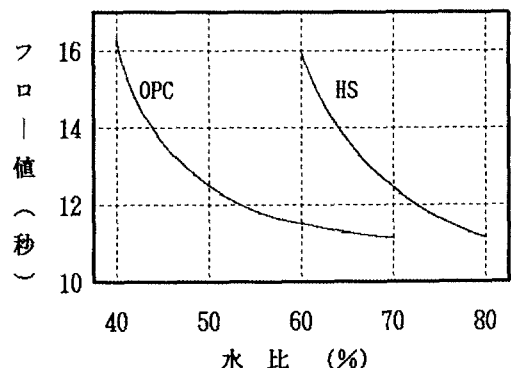


図-1 水比とフロー値

%以上で良好な流動性を示す。水比60%において、HSスラリーとOPCスラリーとではフロー値が4.5秒の差がある。これは両者において水と粒子の容積比はほぼ等しいが、粒子径の違いにより水中に分散している粒子同志の距離が異なるためである。つまり、OPCスラリーでは粒子間距離が大きいので水の粘性が支配的であるが、HSスラリーでは粒径が小さいため粒子同志が非常に接近し、水の粘性以外に粒子相互の物理化学的作用が付加されているためにフロー値に差が現れたと思われる。HSスラリーも水比70%以上では粒子相互の作用が薄らぎ水の粘性が支配的になっている。

水比60%、70%、80%のHSスラリーの粘度をB型回転粘度計にて測定したところ、それぞれ85cP、53cP、37cPであった。一般に、ひびわれ幅が0.3mm以下の場合、補修用エポキシ樹脂は低粘度(200~300cP)のものが使われているが、粘度で比較するとHSはかなり流動性が高い。

2-3 注入性

ひびわれ補修を対象としているので、どれだけの幅まで注入が可能であるかが論点となる。そこで、注入性を把握するために注入試験を行った。図-2に示すような、高さ204mm、内径50mm、下部に0.3mmのスリット付の鋼製円筒管を用い、水、スラリーを上面まで流し込み自由流下方式にて時間毎の流下量を測定した。HSスラリーの水比は70%、OPCスラリーはHSスラリー水比70%のフロー値(12.3秒)以下である水比50%、60%、70%で行った。その結果を図-3に示す。

水は28秒で全量流下した。HSスラリーは水より粘性が高いため時間はかかるが150秒で全量流下した。水比70%のOPCスラリーは初期の流下量がHSスラリーよりわずかに多いが、すぐに水滴のみが落ちるだけとなった。これは、OPCスラリーの粘性がHSスラリーより低いため初期においては流下量が多いが、流下し始めた時点より粗大粒子がスリットを塞ぎ始め、順次大小粒子が積み重なり水をも通し難いフィルターを形成することに起因する。

2-4 材料分離(ブリージング)

注入材がひびわれに充填された場合、コンクリート躯体と一体化するためには注入材が分離しないことが必要不可欠である。そこで、注入材の材料分離を把握するためにブリージング試験を行った。試験はポリエチレン製の袋にスラリーを流し込み密封し、初期の容積をシリンダーにて測定し、3時間後ピペットにて上澄み液を吸い取りその量を測定しブリージング率を求めた。HSスラリーの水比は60%、70%、80%、OPCスラリーの水比は40%、50%、60%で行った。

OPCは水比の増加と共に著しいブリージング率の増加がみられる。しかし、

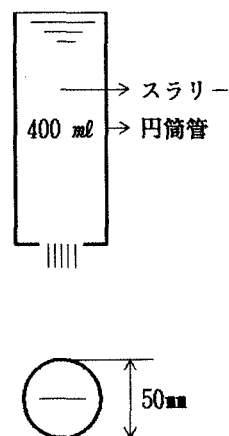


図-2 注入試験装置

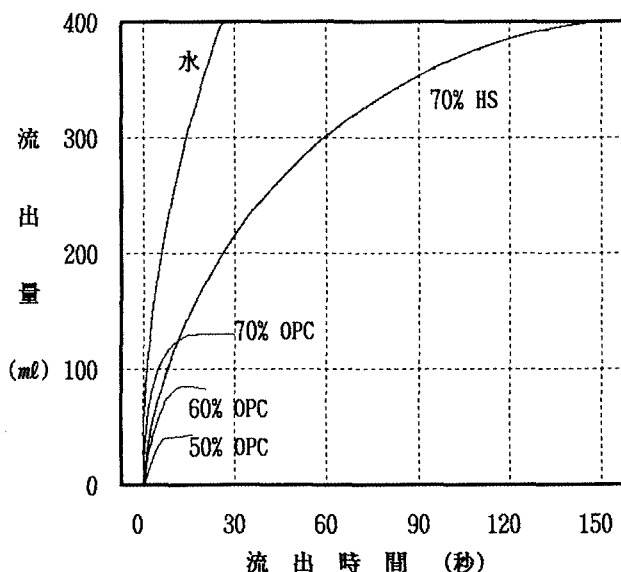


図-3 流出時間と流出量

HSはOPCとほぼ等しい流動性を示す各水比において、OPCに比べてかなりブリージングが少ない。これは、HSが超微粒子であるために保水性が良好なためと、粒子の水和反応性が高いためと思われる。

2-5 強度

ひびわれに充填された注入材はコンクリート躯体と一体化し構造部材として機能するために、コンクリートに匹敵する強度を発現することが重要である。そこで、硬化後の強度を把握するためにJIS R 5201のセメントの物理試験方法により、圧縮および曲げ強度試験を行った。また、引張強度はASTM C-190により測定した。HSスラリーの水比は、60%、70%、80%で、OPCスラリーの水比は60%で行った。結果を表-1に示す。

表-1 スラリー硬化体の強度

注入材	水比 (%)	圧縮強度 (Kgf/cm ²)			曲げ強度 (Kgf/cm ²)			引張強度 (Kgf/cm ²)		
		3 日	7 日	28日	3 日	7 日	28日	3 日	7 日	28日
HS	60	203	318	471	37	54	70	14	18	26
	70	147	266	394	30	44	55	11	15	22
	80	121	203	324	21	36	48	10	13	18
OPC	60	110	161	254	28	37	47	10	14	19

水比60%において、HSはスラグ系にもかかわらず材令3日よりOPCの強度発現を上回っている。これは、HSが超微粒子であるために水和反応性が高まっているためと思われる。また、スラグの水和が長期にわたるために28日の発現が見られる。更に、HSスラリーの硬化体の強度は、一般的なコンクリートの強度と同等以上であるといえる。

2-6 HSの接着強さ

ひびわれ内部に注入されたHSスラリーのモルタル・コンクリートとの接着強さを把握するために、接着強さ試験を行った。JIS R 5201により被着体を作成し、28日間水中養生後、カッターにて半切りにし、接着面をサンディングした。接着厚さが1.0mmになるようにスぺーサをはさみ、HSスラリーが流出しないように粘着テープでシールし、微振動をかけながらHSスラリーを流し込み、1日間湿気箱中で養生し以後所定材令まで水中養生した。HSスラリーの水比は60%、70%、80%で行った。接着強さは、JIS A 6024（建築補修用注入エポキシ樹脂）に基づき、三等分点載荷により求めた。その結果を次ページの表-2に示す。

補修用注入エポキシ樹脂の規格では、接着作業前、標準（湿度65±10%）7日間、水中1日後、接着作業を行い、養生は多湿（湿度85%以上）6日間、標準1日後に試験を行った時の接着強さが、30Kgf/cm²以上となっている。HSは、水比60%、70%、80%ともに7日で30Kgf/cm²以上の接着強さを示した。また、材令7日以後の供試体は一部被着体からの破壊も見られた。

2-7 HSの透水性

ひびわれ内部に注入された注入材の硬化後の透水性は、構造物本来の機能を満足させるものでなければな

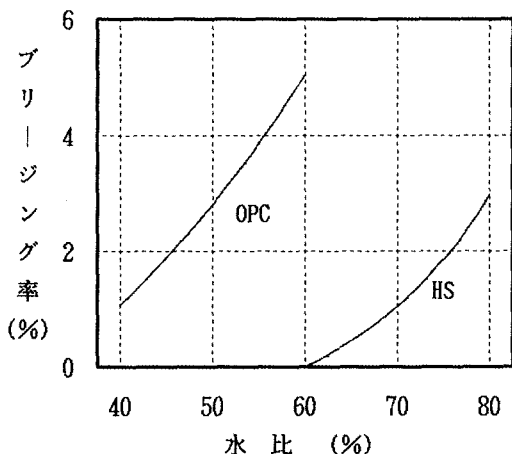


図-4 水比とブリージング率

らない。そこで、HSスラリー硬化体の透水性を把握するため透水試験を行った。HSスラリーを $\phi 5 \times 10$ cmのモールドに流し込み、1日間湿気箱中で養生し、脱型後所定材令まで水中養生した。試験は三軸圧縮試験装置を用い定水位（2 Kg/cm²）法で、HSスラリーの水比は60%、70%、80%で行った。結果を表-3に示す。

HSスラリー硬化体の透水性は、各水比とも1日では高いが、3日でおおよそ1日の1/100になる。これは、1日間の水和ではスラリー硬化体の空隙が水和物で充分満たされていないために透水性が高く、3日で水和物が硬化体内部の空隙を密充填するために透水性が下がったものと思われる。28日でおおよそ3日の1/10になる。HSはスラグ系材料なので、長期にわたって水和が進むため更に透水性は小さくなると考えられる。

表-2 HSの接着強さ (Kgf/cm²)

水 比	3 日	7 日	28日
60%	30	47	52
70%	25	42	50
80%	21	37	45

表-3 HSスラリー硬化体の透水性

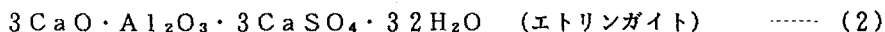
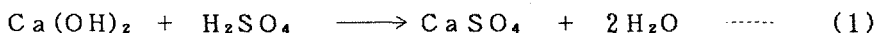
水 比	透 水 係 数 (cm/sec)		
	1 日	3 日	28日
60%	3×10^{-8}	3×10^{-10}	5×10^{-11}
70%	7×10^{-8}	5×10^{-10}	8×10^{-11}
80%	9×10^{-8}	8×10^{-10}	1×10^{-10}

2-8 HSの耐酸性

コンクリート構造物が有機酸、あるいは無機酸による浸食を受ける場合があるが、そのような特異な場所での補修を考えると注入材の耐酸性が重要となる。そこで、スラリー硬化体の耐酸性を把握するために耐酸性試験を行った。スラリーを $\phi 5 \times 10$ cmのモールドに流し込み、1日間湿気箱中で養生し、脱型後6日間水中養生した後、5%硫酸水溶液（pH=0.4）に所定期間浸漬し重量測定を行い、重量変化率を求めた。HSスラリーの水比は60%、OPCスラリーの水比は50%で行った。結果を図-5に示す。

OPCスラリー硬化体は浸漬期間とともに浸食を受け重量が減少していくが、HSスラリー硬化体は浸食をほとんど受けない。OPCの浸食機構は、おもにセメントの水和生成物である水酸化カルシウムが硫酸と反応し石膏を生成する（1）の

反応と、生成した石膏がセメント中に含まれるアルミン酸三カルシウムと反応してエトリンガイトを生成する（2）の反応の際の硬化体内部での、膨張破壊によるようである。



HSは、セメントが少ないために水和生成物である水酸化カルシウムが極端に少なく、また、相対的にアルミン酸三カルシウムもほとんどない。このために、（1）の反応は起きるが（2）の反応はほとんど起きない。更に、スラグのボゾラン反応の進行により、OPCに比べて硬化体内部が緻密な組織となるので硫酸イオンも浸透し難い。従って、硬化体表面に石膏が沈着して重量が多少増加するのみで、内部崩壊に至らない。

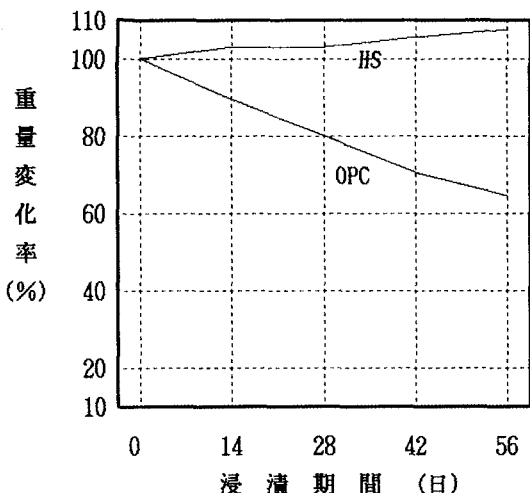


図-5 浸漬期間と重量変化率

2-9 ポリマーHSスラリーの物性

幅数■のひびわれには、硬化後の接着性の低減を防ぐためにも材料分離（ブリージング）の極力少ない注入材が要求される。これには、ポリマーを使用したブリージングの少ないポリマーHSスラリーが適すると思われる。そこで、ポリマーHSスラリーの流動性（フロー）、ブリージング、強度試験を行った。ポリマーHSスラリーの水比60%、70%、80%で、水の一部としてポリマーをHSの重量に対して10%添加して行った。結果をそれぞれ図-6、図-7、表-4に示す。

ポリマーの添加により無添加と比較してフロー値は1秒ほど長くなるが、ブリージング率は1/3程度になる。これはポリマーの添加に

よりスラリーの粘性が高くなったためと思われる。圧縮強度はやや低いが曲げ・引張強度は7日以後高くなっている。圧縮に対しては、硬化体内部にポリマーが存在することによりHSの水和反応が遅れるためと思われるが、曲げ、引張に対しては、ある程度水和反応が進むと水和生成物とポリマーが複雑にからみ合った状態となり、粘弾性のある硬化体となるためと思われる。

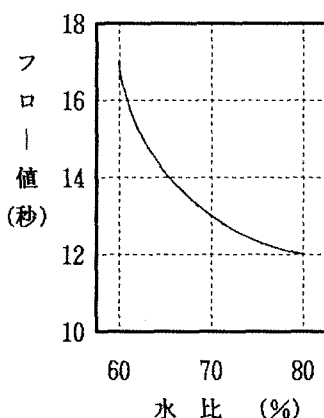


図-6 水比とフロー値

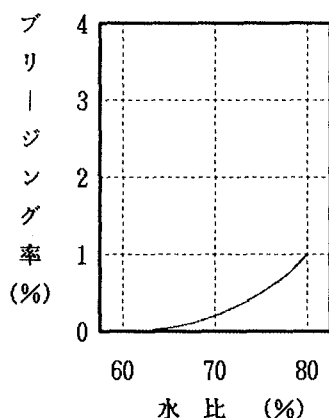


図-7 水比とブリージング率

表-4 ポリマーHSスラリー硬化体の強度

ポリマーの添加量	水比 (%)	圧縮強度 (Kgf/cm ²)			曲げ強度 (Kgf/cm ²)			引張強度 (Kgf/cm ²)		
		3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日
10%	60	177	315	461	40	64	80	12	21	30
	70	132	235	375	29	56	65	9	19	25
	80	99	201	312	21	49	60	8	16	20

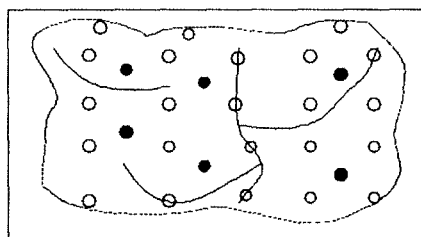
3 現場施工

3-1 アパートの補修

仕上げモルタルの浮き、ひびわれ(0.2~2 mm)

施工手順

1. 木ハンマーの軽打により、浮きの範囲を確認する。
2. モルタルの剥落を防止するためピンニングをする。
3. 注入孔、吐出孔、空気抜き孔を設ける。
4. ポリマー希薄水溶液を、洗浄と注入経路の確認を兼ね注水する。
5. ひびわれは、必要に応じてシールする。
6. HSスラリー（水比120%）を注入する。
7. 注入は下から上に、吐出孔、ひびわれからのスラリーの流出を確認し、注入圧、流出状況により水比を下げる（70%）。



- 浮き部分
- ~ ひびわれ
- 注入孔、空気抜き孔
- アンカーピン

8. 注入圧が、3 Kg/cm²を越えるときは注入を中止する。

9. 吐出孔を塞ぎ、注入を上部に移す。

3-2 ダムの補修

打設コンクリートの打ち継ぎ部のひびわれ(0.1~0.8mm)

施工手順

1. ひびわれ上にφ27mmの注入孔をコアリングする。

注入孔は、80cmピッチ、深さ50cmとする。

2. ひびわれ部分を中心に幅100mmの範囲をワイヤーブラシ・ウエス等で表面の付着物を取り除きシール材の付着がよくなるように清掃する。

3. 注入孔の中間部に注入確認の目的で、確認器具を取り付ける。

4. 残りのひびわれはすべてシールする。

5. ポリマー希薄水溶液を、ひびわれ内部の洗浄と注入経路の確認を兼ね注水する。

6. HSスラリー（水比150%）を注入する。

7. 注入は下から上へ、左右一方から、注入圧、流出状況により水比を下げる（80%）。

8. 水比の小さいスラリーが流出した注入孔、および、注入確認器具のバルブを閉じる。

9. 注入圧は、打ち継ぎ部のひびわれ拡大を防止するため、2 Kg/cm²以下で行う。

注入状況の確認

1週間後、No1(4m), No2(3m), No3(3m) のチェックコアを採取し、注入状況を確認した。No1 は1.2mまで注入され密着していた。1.2mから2mまでは未注入状態で密着不良のコアであったが、2.5mからひびわれ最深部である3.2mまでは注入され密着していた。No2, No3 は共に注入され密着していた。コアを切断し断面を調査したところ、幅0.1mm以下のひびわれまで注入されていることを確認した。

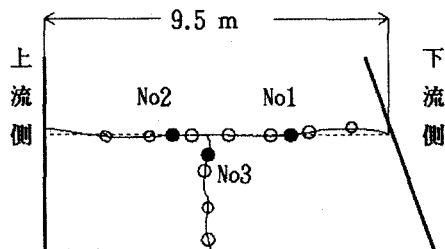
4. 結論

1. HSスラリーは流動性が良好で、ひびわれ幅0.1mmまで注入でき、材料分離が非常に少ない。

2. HSスラリー硬化体は強度面で問題なく、接着性もよい。更に、透水性が小さく耐酸性に優れている。

5. おわりに

注入による補修効果の良否は、注入工法と切り離しては考えられない問題であり、今後、現場の状況を踏まえて種々の工法との組合わせで検討を進めなければならないと考える。



～ ひびわれ
○ 注入孔
● チェック孔

