

論文

[1001] 非鉄系骨材を使用した高性能無収縮グラウト材の性質

五味秀明\*1, 松永嘉久\*2, 中谷清一\*3

1. はじめに

土木, 建築分野の建設工事をはじめ鉱山等における工事用として各種グラウト材が開発され、極めて広範囲にわたって実用化されている。さらに、近年、構造体となるコンクリートの品質が高性能化, 高品質化し、構造が複雑化するにつれて、グラウト材に要求される用途および性能が多様化するとともに、高度化している。

グラウト材に要求される品質項目には、流動性, 材料分離抵抗性などの施工性に要求される基本的な品質項目のみならず、グラウト材充填後の構造体として一体性を確保するために、グラウト材にも周辺のコンクリートと同等以上の力学的性質がある。すなわち、構造材料として鉄筋継手グラウトや高強度プレキャストコンクリート用グラウトには、高強度で付着性の高いグラウト材が要求され、大型重機械台座下グラウト材には、高強度で、かつ基礎コンクリートの耐蝕、耐油保護するための超緻密性を有するとともに、重機械に作用する振動、繰り返し荷重および衝撃荷重等に対する抵抗性が要求されている[1]。

本稿は、非鉄系硬質摩耗細骨材を使用し、カルシウムサルフォアルミネート系膨張材の安定した膨張特性と、微粉末シリカによる超緻密・超高強度技術を用いた高性能無収縮グラウト材について、フレッシュモルタルおよび硬化モルタルの基礎物性と、疲労特性, 衝撃特性等について試験を行ったので、その結果について報告する。

2. 試験概要

2.1 使用グラウト材

本試験に用いたグラウト材を表-1に示す。

グラウト材AおよびBは、カルシウムサルフォアルミネート系膨張材と、超微粉シリカを主成分とする無収縮材と特殊鋼を作る際に発生するスラグに特殊加工を加えた非鉄系硬質耐摩耗細骨材(以下、硬質細骨材と記す)とからなるプレミックスタイプのセメント系高性能無収縮グラウト材であり、グラウトTは、細骨材として天然山砂を使用した汎用のセメント系無収縮グラウト材である。また、グラウト材Mは、鉄系骨材を含むプレミックスタイプのグラウト材で、重機械設備類の据付け工事に用いられている材料で、比較用として用いたものである。

表-1 使用グラウト材

種類	記号	C/S
グラウト材A	A	1/1
グラウト材B	B	1/2
グラウト材T	T	1/1
グラウト材M	M	1/1.5

グラウト材Aの化学分析値を表-2に、硬質細骨材の物理的性質を表-3に示す。また、図-1に硬質細骨材の粒度分布を示す。

\*1 電気化学工業(株)青海工場特殊混和材部研究室 副主任研究員(正会員)  
 \*2 電気化学工業(株)青海工場特殊混和材部部長  
 \*3 電気化学工業(株)特殊混和材事業部技術課担当課長(正会員)

表-2 グラウト材の化学分析値(88 $\mu$ m ふるい通過品)

種類	ig-loss	insol	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Total
A	1.1	1.6	18.8	4.6	2.7	60.2	5.6	4.8	0.21	0.15	99.76
B	1.4	1.3	21.3	4.8	2.6	60.9	2.0	4.9	0.27	0.30	99.77
T	3.8	0.8	18.8	5.7	2.7	62.2	0.8	4.3	0.31	0.36	99.77
M	1.5	2.1	20.5	5.6	3.0	61.4	2.2	2.8	0.26	0.28	99.64

表-3 硬質細骨材の物理的性質

表乾比重	吸水率 (%)	単位容重 (kg/m <sup>3</sup> )	有機不純物	粘土塊 (%)	洗い試験 (%)	塩分 (%)	安定性 (%)
3.09	0.48	1770	合格	0	0.1	0.0	0.4

## 2.2 グラウトモルタル配合

表-4にグラウトモルタルの標準配合を示す。

## 2.3 グラウトモルタルの練混ぜ方法

グラウトモルタルの練混ぜには、ハンドタイプミキサ(東芝ベビーミックス)を用い、内径30×35cmの円筒容器を用いた。投入順序は、水→プレミックス粉体の順に投入した。また、練混ぜは、低速(500rpm)でかくはんしながら全材料を投入し、投入後高速(900rpm)で90秒間練り混ぜた。

## 2.4 試験項目および試験方法

### (1) コンシステンシー試験

土木学会「膨張コンクリート設計施工指針(案)」付録2. 膨張材を用いた充てんモルタルの施工要領(案)に示されるJ<sub>14</sub>ロート法に準じ、グラウトモルタルの流下時間を20℃の温度条件下で測定した。

### (2) ブリージング試験

JIS A 1123「コンクリートのブリージング試験方法」に準じた。

### (3) 初期膨張収縮試験

土木学会「膨張コンクリート設計施工指針(案)」付属書: 膨張材を用いた充てんモルタルの膨張率試験方法に準じた。

### (4) 圧縮強度試験

JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に準じ、材齢1日、3日、7日および28日の圧縮強度を測定した。供試体寸法は、 $\phi$ 5×10cmの円柱形とし、養生は、材齢1日まで20℃型枠

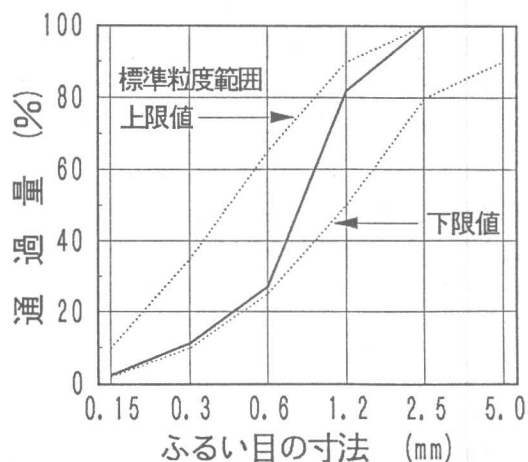


図-1 硬質細骨材の粒度分布

表-4 グラウトモルタルの標準配合

種類	水セメント比 W/C (%)	セメント砂比 C/S	単位重量 (kg/m <sup>3</sup> )	
			粉体 C+F+S	水 W
A	29.5	1/1	2080	307
B	38.0	1/2	2178	276
T	35.0	1/1	1875	338
M	45.0	1/1.5	2250	395

F: グラウト用混和材

養生とし、材齢1日脱型後、各材齢まで20°C水中養生とした。

### (5) 圧縮疲労試験

東京衡機製造所(株)製ハイドロパルス疲労試験機を用いて測定した。試験時材齢は28日とし、試験時までは20°C水中養生とした。供試体寸法は、 $\phi 10 \times 20$ cmの円柱形とし、載荷上限応力を静的圧縮強度の0.7, 0.6, 0.5とした。繰返し回数は、毎分200~400回とした。また、繰返し回数の違いによる繰返し載荷により疲労を受けたコンクリートの応力-ひずみ曲線についても測定した。なお、繰返し載荷中の供試体は、気乾状態とした。

### (6) 衝撃試験

島津製作所(株)製低容量型シャルピー式衝撃試験機を用いて測定した。試験時材齢および試験時までの養生は疲労試験と同様とし、供試体寸法は、 $2 \times 2 \times 8$ cmの直方体を用い、供試体の切欠きはなしとした。

## 3. 試験結果および考察

### 3.1 フレッシュモルタルの性状

#### (1) コンシステンシーの経時変化

20°CにおけるグラウトモルタルのJ<sub>14</sub>ロート法による流下値の経時変化を図-2に示す。

グラウト材AのJ<sub>14</sub>ロート法による流下値は、グラウト材TのJ<sub>14</sub>ロート法による流下値と同様の経時変化を示し、45分後から60分後までのフローダウンは大きい。30分後までのフローダウンは僅かであり、大規模施工や複雑な断面形状でのグラウト工事にも使用可能と言える。グラウト材Mは、時間の経過につれてフローダウンし、45分以降は測定不能となり、グラウト材AおよびTに比較して、経時変化が大きい。

#### (2) ブリージング率および初期膨張収縮

ブリージング試験結果および初期膨張収縮試験結果を表-5に示す。すべての配合においてブリージング水は発生せず、ブリージング率は0%であった。また、初期膨張収縮は、各配合で膨張率に差は見られるが、すべて膨張側の値を示した。

### 3.2 硬化したグラウトモルタルの性状

#### (1) 圧縮強度試験

グラウトモルタルの圧縮強度試験結果を表-6および図-3に示す。グラウト材Tは、材齢1日で300kgf/cm<sup>2</sup>弱の強度発現があり、材齢の経過とともに強度増進し、材齢28日では700kgf/cm<sup>2</sup>以上の圧縮強度となった。グラウト材Mは、それと比較して各材齢で高強度が得られ、材齢28日

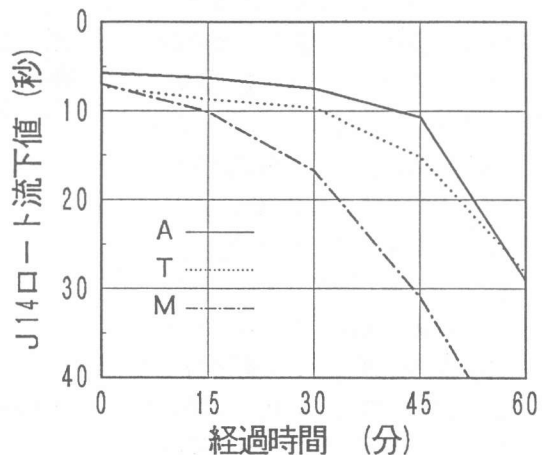


図-2 コンシステンシーの経時変化

表-5 グラウトモルタルの試験結果

種類	ブリージング率 (%)	初期膨張収縮率 (%)
A	0	+0.116
B	0	+0.165
T	0	+0.431
M	0	+0.130

で800kgf/cm<sup>2</sup>以上の圧縮強度となった。硬質細骨材を用いたグラウト材A、Bは、さらに高強度が得られ、セメント砂比(C/S)が大きいグラウト材Aは、材齢28日で1000kgf/cm<sup>2</sup>以上の圧縮強度となった。

### (2) 圧縮疲労試験

圧縮疲労試験結果を表-7に示し、縦軸に上限応力の載荷応力比(載荷応力度/静的強度)(標準目盛)をとり、横軸に破壊までの繰返し回数(対数目盛)をとったS-N曲線図を図-4に示す。

グラウト材Tは、載荷応力比0.5でも繰返し回数5万回程度で疲労破壊するが、グラウト材A、B、Mは、載荷応力比0.5では、350万回以上繰返し載荷しても疲労破壊は見られず、また載荷応力比0.6、0.7でも、疲労破壊するまでの繰返し回数に、2~5倍の差が認められた。

S-N曲線図では、グラウト材Tは、本試験の範囲では、載荷応力比の低減に伴い、繰返し回数が直線的に増加し、載荷応力比0.5で繰返し回数5万回程度で破壊しているのがわかった。それと比較して、グラウト材AおよびMは、載荷応力比の低減に伴い、繰返し回数がほぼ直線的に増加しているが、繰返し回数はグラウト材Tより多く、載荷応力比0.5では、300万回以上の繰返し載荷をしても疲労破壊していなかった。

また、配合や材齢などの静的強度に影響する因子は疲労強度にも同程度の影響を与え、疲労強度が静的強度に対する比で表されるとき、静的強度が異なっても、その比はほぼ同一となり、配合、材齢、供試体寸法によらず近似しており、また、ペーストやモルタルの疲労強度も静的強度に対する比で表わせば、コンクリートの疲労強度とほぼ同一であると言われている[2]が、本試験結果を見る限り、天然細骨材が硬質細骨材に変わることにより、圧縮強度の増大以上に疲労強度が増大することが分かった。すな

表-6 圧縮強度試験結果

種類	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )			
	1日	3日	7日	28日
A	405	662	750	1022
B	332	578	707	937
T	296	553	631	755
M	386	629	706	852

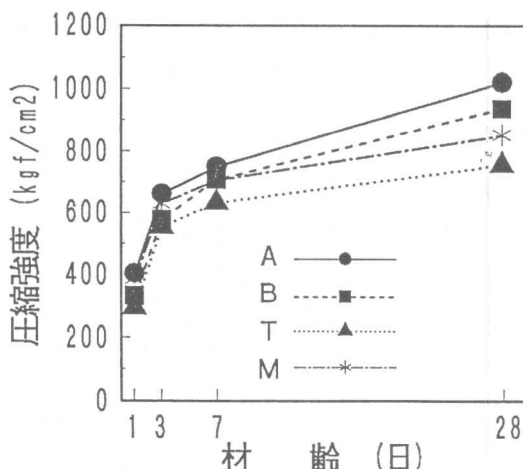


図-3 グラウトモルタルの圧縮強度

表-7 圧縮疲労試験結果

種類	載荷応力比 (%)	載荷応力度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	繰返し回数 (回)
A	50	511	≥350万
	60	613	32900
	70	715	5600
B	50	469	≥350万
	60	562	33700
	70	656	5900
T	50	378	50400
	60	453	6700
	70	529	1000
M	50	409	≥350万
	60	490	18000
	70	572	2000

わち、川砂等の天然骨材よりも、硬質細骨材や鉄粉系細骨材は、圧縮強度増大もさることながら、繰返し载荷による疲労強度の増大に効果があり、大型重機械台座下グラウト材として使用する場合に、重機械に作用する振動、繰返し荷重に対して抵抗性が大きく有効である。

繰返し载荷を受けるコンクリートの応力-ひずみ曲線は、繰返し回数によって変化する。すなわち、繰返し回数とともに初载荷のときは応力軸に対して上に凸であった応力-ひずみ曲線が、繰返し回数が増加するとともに、次第に直線に近づき、その勾配が順次緩やかになり、破壊直前にはS字形になる[3]とされている。

図-5に、グラウト材AおよびMの初载荷時の応力-ひずみ曲線と、载荷応力比0.6の場合、繰返し回数1万回、2万回、载荷応力比0.7の場合、繰返し回数1千回、2千回の繰返し载荷を受けたグラウトモルタルの応力-ひずみ曲線を示す。

グラウト材AおよびMは、弾性係数の違いはあるものの、初载荷時は上に凸の応力-ひずみ曲線を示すが、繰返し回数の増加とともにひずみ量は増加し、応力-ひずみ曲線の勾配は直線から順次緩やかになる。しかし、本試験では破壊直前の応力-ひずみ曲線が測定できなかったため、S字形になるところまでは確認できなかった。

圧縮ひずみの増加量については、グラウト材Aと比較して、グラウト材Mの方が顕著であり、圧縮疲労試験において、繰返し回数に若干の開きがあるのがうなずける。すなわち、グラウト材Aは、載

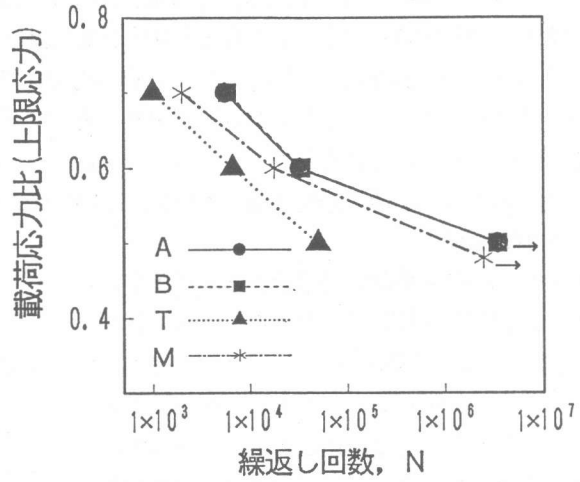


図-4 S-N曲線図

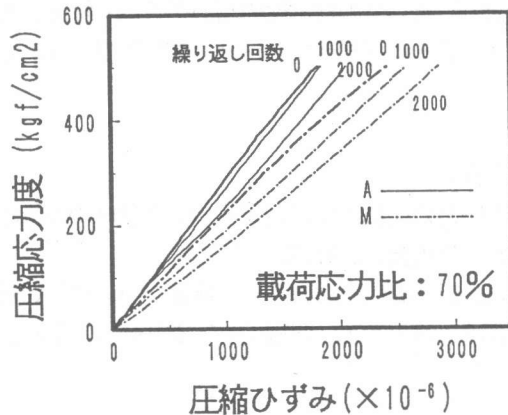
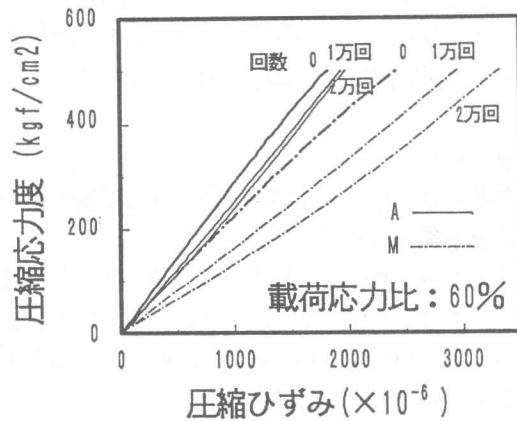


図-5 繰返し回数毎の応力-歪曲線

荷応力比0.6の場合の2万回載荷、載荷応力比0.7の場合の2千回載荷時では、圧縮ひずみの増加もそれほど大きくなく、まだ疲労破壊するまでは至っていないが、グラウト材Mは、載荷応力比0.6の2万回載荷、同じく0.7の2千回載荷時で圧縮ひずみの増加も大きく、供試体内部にはすでにマイクロクラックも発生しており、そのマイクロクラックが徐々に成長し、疲労破壊に近い状態まで達しているものと推察される。しかし、硬質細骨材と鉄粉系骨材および川砂等の天然細骨材の違いが疲労強度に及ぼす影響については、現在検討中である。

### (3) 衝撃試験

シャルピー式衝撃試験結果を表-8に示す。

グラウト材Tと比較して、グラウト材A、BおよびMは、試験片破断後のハンマー振り上がり角度も小さく、衝撃値も大きく、圧縮強度の大きいグラウト材のほうが耐衝撃性が高かった。また、細骨材量が多いほうが衝撃吸収力が大きくなり、対衝撃性が向上するものと思われる。特に、グラウト材Mは、繊維状の金属系骨材を混和しており、本試験のような衝撃曲げ試験には強いものと思われる。さらに、グラウト材に作用する衝撃力としては、衝撃圧縮力が重要であり、現在、落錘式衝撃圧縮試験を検討中である。

表-8 衝撃試験結果

種類	ハンマー角度 (°)	衝撃値 (kgf·m)
A	133	0.0352
B	134	0.0335
T	136	0.0260
M	132	0.0364

## 4. まとめ

硬質細骨材を使用し、超緻密・超高強度技術を用いた高性能無収縮グラウトモルタルについて以下の結論が得られた。

- (1)  $J_{14}$ ロート法による流下値は、練り上がり直後で高い流動性を示し、30分経過後までのフローダウンも僅かで、経時変化の小さなグラウトモルタルである。
- (2) プリージング水は発生せず、グラウトモルタルとしての機能を十分満足する。
- (3) 材齢28日の圧縮強度は、セメント砂比=1/1で1000kgf/cm<sup>2</sup>、セメント砂比=1/2で900kgf/cm<sup>2</sup>以上の高強度を示す。
- (4) 疲労強度については、疲労破壊するまでの繰り返し回数、ひずみ量の増加に差が認められ、疲労に対する抵抗性の高いグラウト材と言える。
- (5) 高性能無収縮グラウト材は、衝撃強度も高い。

### [参考文献]

- 1) 充填材の品質評価研究委員会：充填材の品質評価研究委員会中間報告書、日本コンクリート工学協会、1992.12
- 2) 國分正胤編：コンクリート便覧、技報堂、1976
- 3) 岡田 清・六車 熙編：コンクリート工学ハンドブック、朝倉書店、1981