

[1108] メーソンリー用グラウトの充填性と品質におよぼす 混和剤の効果

正会員 ○千歩 修 (建設省建築研究所)

正会員 馬場明生 (建設省建築研究所)

正会員 阿部道彦 (建設省建築研究所)

1. はじめに

メーソンリーとは組積式の構法のことであり、近年、従来の組積造に比べ、耐震性、耐久性、施工性などを向上させた新しいタイプの構法システムが開発されつつある¹⁾。メーソンリーの施工性を向上させるひとつの方法として、階高までユニットを組積後、一気にグラウトを充填するグラウトの階高充填工法があるが、グラウトとユニット界面の肌分け、グラウト内部のアーチ状空隙、グラウトの充填不良などの欠陥が生ずることが報告されている²⁾。これらのグラウトの欠陥は、主にユニットの吸水によって引き起こされ、ユニットに水分を奪われたグラウトは流動性が低下し、体積が減少する。この欠陥を防止するひとつの方法に保水性、膨張性を持ったグラウト用混和剤の使用が考えられる。

本研究では、各種のグラウト混和剤を用いてグラウトの充填性および打ち込まれたグラウトの品質を検討し、また非破壊試験法である超音波法を用い、切断せずにグラウト内部の欠陥の探査とグラウトの品質を推定する方法を検討した。これらの結果、グラウトの適度な膨張挙動はグラウトの欠陥を少なくすること、壁体に打ち込まれたグラウトはユニットの吸水とユニットの養生効果により品質が改善されること、また超音波法で内部の欠陥が探査できることが確認された。

2. 研究の概要

本研究では、各種のグラウト（モルタルおよびコンクリート）を充填した高さ約1mの試験体（プリズム試験体、図1）を作製し、縦方向に切断し、内部の欠陥を観察した。また、この試験体を用い、欠陥を非破壊的に探査する超音波法の可能性の検討とグラウトのコア抜きによるグラウトの品質の直接的な試験も行った。なお、この実験では、4種類のユニット、2種類の含水状態（気乾と湿潤）が用いられ、5種類の混和剤を用いた各種のグラウトが用いられた。実験の水準を表1に示す。

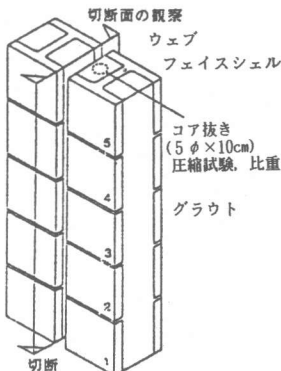


図1 試験体概念図

表1 実験の概要

グラウトの タイプ 項目	モルタル		コンクリート												
			57								68		80		
W/C (%)	57		45	57								68		80	
スランプ (cm)	21		21	21						25		21	25		
混和剤 ^{*1}	P	GA2	GA2	AE	GA1	GA2	F	NB	AE	GA2	GA2	AE	GA2		
コンクリート ユニット S			○	○ ^{*2}			○	○	○	○ ^{*2}	○	○	○	○	
コンクリート ユニット T				○		○									
れんが ユニット M	○	○		○	○ ^{*2}	○	○	○	○	○ ^{*2}	○		○	○	
コンクリート ユニット A	○	○		○											

^{*1} P: プレーン, AE: AE剤, GA1: グラウト専用混和剤 (タイプ1),

GA2: グラウト専用混和剤 (タイプ2), F: 試作品, NB: ノンブリージング剤

^{*2} グラウト作業前, ユニットは湿潤

3. 実験方法

(1) 使用材料-----ユニットの形状と品質をそれぞれ図2、表2に示す。れんがユニットMは吸水率が特に高く、またコンクリートと比較して強度の割りに超音波速度が小さい。

グラウト用混和剤の選定にあたり、ブリージング量と膨張量の予備的検討を行った。この結果を図3に示す。ここで、混和剤の添加量はメーカーの指定する標準量とし、モルタルの調合はW/C=57%、セメントと砂（表乾状態）の重量比を1：3とした。膨張量は、モルタルを鋼製シリンダに打ち込み、ダイヤルゲージを用いて測定した。この結果、膨張挙動を示さなかった混和剤（A）を除いた混和剤を本実験に用いることにした。本実験に用いた混和剤の種類を表3に示す。

グラウトに用いたセメントは普通ポルトランドセメントで、細骨材は鬼怒川産川砂、粗骨材は筑波産砕石の5号と6号を1：1の割合で混合したものを用いた。また、目地モルタル用の細骨材は、鬼怒川産川砂を2.5 mmのふるいでふるったものを用いた。

(2) 試験体の製作-----ユニットの組積は専門の組積工が行い、目地モルタルの調合はセメントと砂（表乾状態）の重量比を1：2.5とした。なお、吸水性の特に高いれんがユニットについては、目地モルタルのドライアウトを防ぐために組積前に十分な水湿しを行った。

グラウトの調合を表4に示す。ここで、グラウトの名称は4つのパラメーターから構成されている。最初のパラメーターはグラウトのタイプを示し、モルタルの場合には“m”が付き、コンクリートの場合は省略している。2番目、3番目のパラメーターはそれぞれ水セメント比とスランプを表し、最後のパラメーターは混和剤の種類を表しており、この記号は表3の記号と同じである。

グラウトは混練後、スランプ、空気量を測定し、試験体の中に一度に打ち込んだ。湿润状態の試験体は、打ち込み前にホースで水を吹き付けたもので、気乾状態の試験体は、室内に長期間放置した状態のものである。なお、グラウト

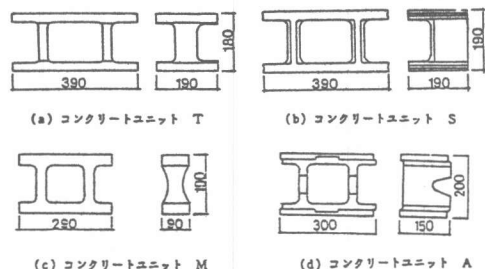


図2 ユニットの形状

表2 ユニットの性質

ユニットの名称	体積 (cm ³)	実部の体積比	絶乾比重	吸水率		気乾含水率		超音波速度 (km/sec)
				重量%	体積%	重量%	体積%	
コンクリートユニット S	5368	0.381	2.20	5.02	11.04	2.87	6.32	3.85
コンクリートユニット T	4866	0.365	2.25	4.26	9.58	2.95	6.71	4.42
れんがユニット M	2315	0.467	1.99	9.85	19.56	0.71	1.41	2.20
コンクリートユニット A	4387	0.496	2.30	3.97	9.13	3.27	7.53	3.97

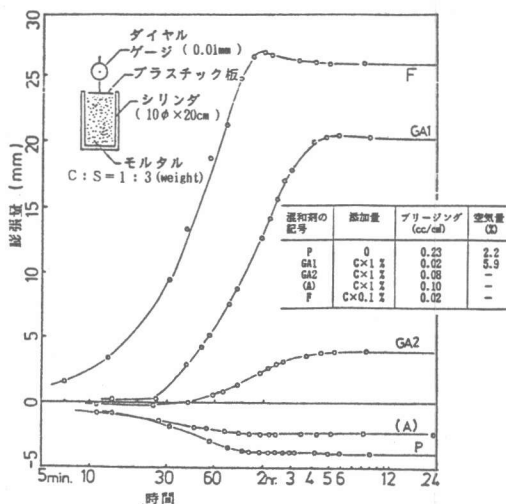


図3 グラウト用混和材料の膨張挙動を調べる予備実験結果

表3 使用混和剤の種類

記号	混和剤の種類
AE	AE剤
GA1	グラウト専用混和剤 (タイプ1)
GA2	グラウト専用混和剤 (タイプ2)
F	(試作品)
NB	ノンブリージング剤

の締め固めには直径28mmのフレキシブルバイブレーターを用いた。また、試験体頂部は、グラウト充填直後にこてを用いて平滑に整えた。

(3) 超音波速度の測定-----超音波速度の測定は、グラウトの充填性の確認とグラウトの品質を予測する目的で行った。ここでは組積造壁全体を透過する超音波速度の他に、フェイスシールのみおよびグラウトのみ(10φ×20cmシリンダー)を透過する超音波速度を測定した。

(4) 切断方法-----グラウトが十分に硬化したプリズム試験体は、図1のようにグラウトの中央部分を道路用カッターを用いて垂直に切断し、断面の観察を行った。

(5) コア供試体-----縦に切断されたプリズム試験体のグラウト部分から直径5cmのコア抜きを行い、コア側面の欠陥の状況、比重、圧縮強度を試験した。

4. 結果および考察

4.1 各種混和剤を用いたグラウトの性質

本研究に用いたグラウトの混練直後および硬化後の性質を表5に示す。ここで、まだ固まらないグラウトの空気量は圧力法により測定し、硬化後の空気量はシリンダー試験体の比重と調査表から計算した。F, GA1, GA2などの膨張性の混和剤を用いた場合には、硬化後の空気量が大きく、これは時間の経過に伴う膨張挙動によって生じたものと考えられる。

膨張性の混和剤を用いたグラウトの圧縮強度は小さな値を示し、特にF, GA1を用いたグラウトは水セメント比が57%でも約100kgf/cm²という小さなものである。しかしながら、これらの供試体は膨張を拘束しているものではなく、吸水性もない鋼製型わくに打込まれたものであり、実際に壁体内に打ち込まれたグラウトは、これらの供試体よりも大きな強度を示すことが考えられる。

表4 グラウトの調合

グラウトの名称	w/c (%)	sl. (cm)	s/a (%)	単位重量 (kg/m ³)				混和剤の添加量 (セメント重量に対する%)
				W	C	S	G	
m5721p	57	20.0	100	263	461	1449	0	0
m5721GA2	57	22.0	100	260	456	1462	0	1.0(GA2)
4521GA2	45	21.5	48	200	444	773	865	1.0(GA2)
5721AE	57	21.0	50	200	351	852	864	0.015(AE)
5721GA1	57	22.0	50	200	351	852	864	1.0(GA1)
5721GA2	57	21.0	50	207	363	839	850	0.95(GA2)
5721NB	57	21.0	50	200	351	852	864	0.6(NB)
5721F	57	20.0	50	200	351	852	864	0.1(F)
5725AE	57	24.5	54	225	395	865	747	0.03(AE)
5725GA2	57	25.0	54	225	395	865	747	1.0(GA2)
6821GA2	68	21.5	52	198	291	892	857	1.0(GA2)
8025AE	80	24.0	60	235	294	997	673	0.025(AE)
8025GA2	80	26.5	60	235	294	997	673	1.0(GA2)

表5 グラウトの性質

グラウトの名称	フレッシュグラウトの性質				硬化グラウトの性質 (10φ×20cmシリンダー, 封かん養生)			
	sl. (cm)	広がり (cm)	air (%)	単位容積重 (kg/ℓ)	比重	air (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)	超音波速度 (km/s)
m5721p	20.0	38.0	3.3	2.168	2.22	1.9	347	3.88
m5721GA2	22.0	40.5	9.6	2.028	2.02	11.2	182	3.60
4521GA2	21.5	34.0	6.0	2.239	2.17	8.6	231	4.14
5721AE	21.0	35.0	3.1	2.280	2.30	2.5	306	4.28
5721GA1	22.0	37.0	7.7	2.191	2.08	11.8	96	3.70
5721GA2	21.0	37.0	5.3	2.218	2.18	7.5	230	4.14
5721NB	21.0	33.5	4.0	2.263	2.32	1.7	300	4.37
5721F	20.0	30.5	2.4	2.306	2.05	13.1	111	3.65
5725AE	24.5	44.0	3.9	2.236	2.26	2.9	273	4.20
5725GA2	25.0	49.0	3.8	2.220	2.18	6.2	216	4.02
6821GA2	21.5	39.0	4.7	2.202	2.20	5.5	162	4.00
8025AE	24.0	48.5	4.3	2.182	2.22	3.3	169	3.99
8025GA2	26.5	51.5	3.8	2.202	2.19	4.4	178	3.91

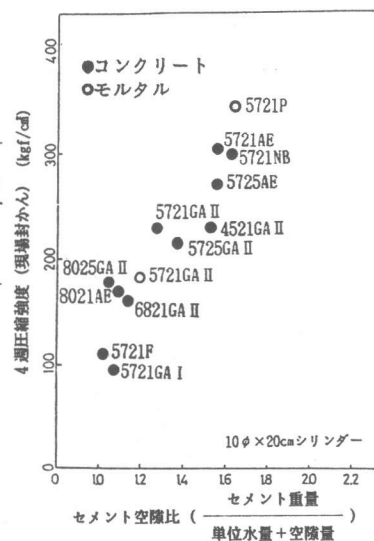


図4 グラウトのセメント空隙比と圧縮強度の関係

膨張性混和剤を用いた場合、圧縮強度は単に水セメント比の関数としては表せない。この場合の圧縮強度は、図5に示すように、セメント空隙比 (C/V)³⁾ と関連深い。

4.2 グラウトの欠陥と超音波速度

(1) 切断面の観察-----各試験体の垂直切断面を表6に示す。全体的な傾向として、グラウトの打ち込み前の水湿し、高スランプ、そしてグラウトの膨張挙動はよい充填性を与えている。コンクリートユニットの試験体の場合、フェイスシェルとグラウトの界面の肌分れが典型的な欠陥であり、試験体の上部に多く観察される。表6ではこの欠陥がユニットの境界と重なり見えにくくなっている。れんがユニットの試験体の場合、グラウトの内部のアーチ状空隙が典型的な欠陥であり、約1cmのひびわれ幅を示すものも認められた。

(2) 超音波速度の測定-----プリズム試験体については、縦に切断する前に超音波速度の測定を行い、図5に示すような超音波速度の測定結果と垂直切断面の関係を得ており、ひびわれ部分での超音波速度の低下が認められた。この図から健全部の壁の超音波速度 (V_{ws}) とひびわれ幅とひびわれ部分の超音波速度 (V_{wc}) を求めることができ、フェイスシェル部分のみの超音波速度 (V_f) と供試体 $10\phi \times 20\text{cm}$ の超音波速度 (V_{g10}) を用いると以下の値が計算される。

$$\text{壁の超音波速度: } V_{w10} = \text{壁厚} / (\text{フェイスシェル厚} / V_f + \text{グラウト厚} / V_{g10}) \text{ -----(1)}$$

$$\text{グラウトの超音波速度: } V_{gs} = \text{グラウト厚} / (\text{壁厚} / V_{ws} - \text{フェイスシェル厚} / V_f) \text{ --(2)}$$

(3) 欠陥と超音波速度の関係-----試験体の縦方向切断面について、メッシュ分割法を用いてひびわれ密度を求めた。ここでは切断面を2.5cmのメッシュに分割し、ひびわれ密度 (D) を下式によって計算した。

$$D = P / (2 a \sin(\theta + \pi/4)) \text{ -----(3)}$$

表6 プリズム試験体の垂直切断面

グラウトの種類		モルタル		コンクリート									
w/c(%)	57	45		57						25		6B	80
スランプ(cm)	21			21								21	25
混和材料	P	GA2	GA2	AE	GA1	GA2	ND	F	AE	GA2	GA2	AE	GA2
コンクリートユニットA													
コンクリートユニットB													
コンクリートユニットC													
コンクリートユニットD													
コンクリートユニットE													
コンクリートユニットF													
コンクリートユニットG													
コンクリートユニットH													
コンクリートユニットI													
コンクリートユニットJ													
コンクリートユニットK													
コンクリートユニットL													
コンクリートユニットM													
コンクリートユニットN													
コンクリートユニットO													
コンクリートユニットP													
コンクリートユニットQ													
コンクリートユニットR													
コンクリートユニットS													
コンクリートユニットT													

ここで $P = (\text{ひびわれの通過するメッシュ数}) / (\text{メッシュ総数})$

a : メッシュの寸法

θ : 水平線に対するひびわれの角度

切断面の観察の結果、ひびわれ密度および(2)項で測定あるいは計算された超音波速度などの情報をまとめて表7に示す。

4.3 組織造壁内に打ち込まれたグラウトの性質

(1) ユニットの吸水能力とひびわれ密度-----気乾の場合、ユニットは表乾と気乾の含水率の差 (C_{WA}) だけ水を吸い込むことができると考えられる。ここで、グラウトを打ち込んだ時、グラウトの水でユニットが十分に吸水されるとすると以下の式が成立する。

$$\beta'' \cdot G = C_{WA} \cdot (1 - \beta'') \text{-----}(4)$$

ここで G : グラウトの単位容積から吸水される水の量, β'' : ユニットの空洞率 (体積割合)

(4)式を変形すると, $G = C_{WA} \cdot (1 - \beta'') / \beta'' \text{-----}(5)$

この式において、右辺はグラウトの脱水される程度を評価する指標として利用でき、ここではこの値をユニットの吸水能力と呼ぶことにする。

図6は、水セメント比が57%でスランプが21cmの場合におけるユニットの吸水能力とひびわれ密度の関係を示したものである。この図によるとひびわれ密度は、ユニットの吸水能力が大きくなるに従って大きくなる傾向が認められる。また、混和剤を用いたグラウトの一部とグラウト前の水湿しはひびわれ密度を小さくする効果が認められる。

(2) ユニットの吸水能力と超音波速度比-----図7はユニットの吸水能力と壁体のグラウト健全部の超音波速度計算値とシリンダーの超音波速度の比 (V_{GS}/V_{G10}) の関係を示す。この図で縦軸の超音波速度比が1.0 というこ

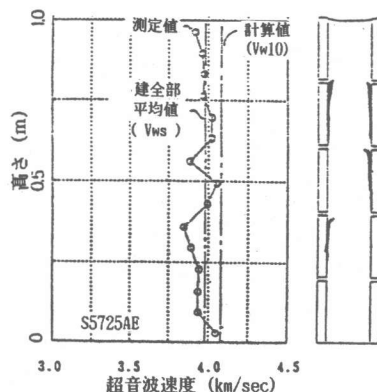


図5 試験体の超音波速度の計測値、計算値と垂直切断面

表7 切断面の観察と超音波速度の測定結果

試験体名称	頂部の下がり (mm)	クラック 密度 (cm/m)	壁体の超音波速度 (km/s)			グラウトの超音波速度 (km/s)		
			実測値 ¹⁾	計算値	実測値/計算値	実測値 ¹⁾ から計算 ²⁾	10φ×20シリンダー ³⁾	計算/10φ×20 ²⁾ × ³⁾
S4521GA2	-1.5	0	4.12	4.05	1.072	4.25	4.14	1.024
S5721AE	0.6	540	4.10	4.14	0.990	4.22	4.28	0.986
SH5721AE	0.4	100	4.13	4.14	0.998	4.27	4.28	0.998
S5721GA2	-0.6	0	4.11	4.05	1.015	4.24	4.14	1.024
S5721F	-5.5	0	4.04	3.71	1.089	4.13	3.65	1.132
S5725AE	1.2	120	3.98	4.09	0.973	4.04	4.20	0.962
SH5725AE	1.4	10	4.01	4.09	0.980	4.09	4.20	0.974
S5725GA2	-0.6	0	4.00	3.97	1.008	4.07	4.02	1.012
S6821GA2	0	0	3.93	3.95	0.995	3.97	4.00	0.993
S8025AE	1.7	50	3.76	3.95	0.952	3.72	3.99	0.932
S8025GA2	1.4	0	3.81	3.89	0.979	3.79	3.91	0.969
T5721AE	0	20	4.12	4.31	0.956	4.00	4.28	0.935
T5721GA2	-0.4	20	4.17	4.21	0.990	4.08	4.14	0.986
Mm5721P	(0)	1300	3.70	3.19	1.160	5.39	3.88	1.389
Mm5721GA2	0.3	765	3.49	3.07	1.137	4.70	3.60	1.306
M5721AE	0	1440	3.75	3.34	1.123	5.56	4.28	1.299
Mm5721AE	0.5	550	3.67	3.34	1.099	5.28	4.28	1.234
M5721GA1	0.8	125	3.77	3.11	1.212	5.64	3.70	1.524
M5721GA2	0.3	1375	3.85	3.29	1.170	5.94	4.14	1.435
M5721NB	0.9	1810	3.55	3.37	1.053	4.53	4.37	1.037
M5725AE	0.6	1330	3.52	3.31	1.063	4.80	4.20	1.143
Mm5725AE	0.6	20	3.63	3.31	1.097	5.15	4.20	1.226
M5725GA2	0.7	975	3.80	3.24	1.173	5.75	4.02	1.430
M8025AE	1.2	915	3.68	3.23	1.139	5.32	3.99	1.333
M8025GA2	0.7	750	3.60	3.20	1.125	5.05	3.91	1.292
Am5721P	0	265	3.91	3.91	1.000	3.88	3.88	1.000
Am5721GA2	0.4	10	3.91	3.73	1.048	3.88	3.60	1.078
A5721AE	0	230	4.16	4.16	1.000	4.28	4.28	1.000

