

論文

[1009] RMユニットの吸水特性およびグラウト用混和剤による充填性と力学的性質の改善

正会員 ○杉山 雅（藤沢薬品工業㈱筑波コンクリート研究所）

正会員 馬場明生（建設省建築研究所）

正会員 千歩 修（建設省建築研究所）

正会員 八木秀夫（藤沢薬品工業㈱筑波コンクリート研究所）

1. はじめに

近年、その高い耐久性と意匠性が見直され耐震性の高い組積構造の普及が強く求められている。RM構造は、そのような要望に応えるべく開発された新しいタイプの組積造である。つまり高強度・高品質のコンクリートRMユニット（以下ブロックと称す）、またはれんがRMユニット（以下れんがと称す）を組積後、その空洞部に鉄筋を配置しグラウト（コンクリート又はモルタル）を階高充填することにより耐震的な壁構造を構成するものであり、中層までの建築が可能である¹⁾。ところが、この研究の中でグラウトの充填性を調べてみると、①ユニットのフェイスシェルとグラウト部の肌離れ、②グラウト部のアーチ状のひびわれ、③充填不良など、の欠陥が発生することがわかった。この対策として、グラウト打設前にユニットに十分に水湿しを行うことが効果的であることは明らかになった²⁾が、実際の現場では実験室のように水湿しを確実に、完全に行うことは難しいと思われる。

著者らは、混和剤による上記の欠陥防止法を研究しており、今回はRMユニットの吸水特性と充填不良の対策、新開発した膨張系のグラウト用混和剤による充填性の確認と、これを用いた、強度、ヤング係数など力学的性質等について検討したものである。

2. 研究の範囲

次に示す3シリーズの研究を行った。

シリーズⅠ：毛細管作用（吸い上げ吸水試験）によるRMユニットの吸水特性

シリーズⅡ：グラウトの膨張作用による充填性改善の考え方と実証

シリーズⅢ：グラウト用混和剤による力学的性質への影響

3. 毛細管作用（吸い上げ吸水試験）によるRMユニットの吸水特性（シリーズⅠ）

表1にユニットの含水状態測定結果を示す。気乾状態のれんがはほとんど含水していないことがわかる。RMユニットにコンクリートまたはモルタルを充填した時のユニットが吸水する能力を調べるために通常の水浸漬法のみならず、毛細管作用（吸い上げ吸水試験）によるユニットの吸水能力を調べた。

表1. 実験に用いたRMユニットの含水状態

種類	体積 (cc)	A	B	A - B
		絶乾状態からの 体積吸水率(%Vol)	気乾状態からの 体積吸水率(%Vol)	気乾状態の 体積含水率(%Vol)
れんが RMユニット	2391	16.7	15.9	0.8
コンクリートRMユニット	5342	11.8	8.8	3.0

吸い上げ吸水試験の試験方法を、図1に、試験結果を図2に示す。

れんがは、接水直後から急速に吸水し、ほぼ4～5時間で水中浸漬に匹敵する吸水をするのに比べ、ブロックは24時間接水しても水中

体積 = 24時間水中浸漬後の気中重量 - 水中重量

体積吸水率 = $\frac{24時間水中浸漬後の気中重量 - 絶乾重量（又は気乾重量）}{体積}$

体積

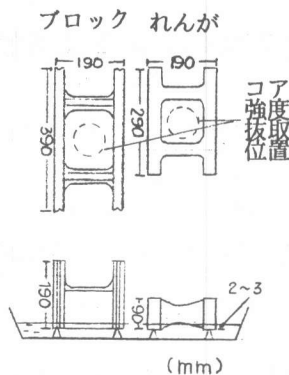


図1. 吸い上げ吸水試験法

浸漬の場合の約2割程度の吸水量であり、両者の吸水性状に差のあることがわかった。

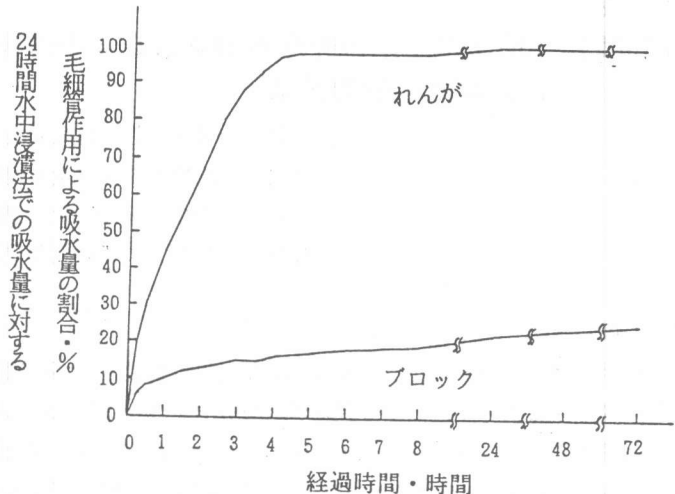


図2. 吸い上げ吸水試験による吸水量

4. グラウトの膨張作用による充填性改善の考え方と実証（シリーズⅡ）

階高充填を行う組積工法におけるグラウト部の欠陥の主な原因は、グラウト打設後、グラウトコンクリート（又はモルタル）中の水分がユニットに吸水される事によると予想される。つまり、グラウトからユニットに吸水される事によりグラウトに体積減少が生じ、これが欠陥となって現れる。そこで、ユニットに吸水される分だけ膨張させれば欠陥は防止され、ユニットとグラウトが一体化した密実な壁体が形成されると考え、以下に定義を行い、理論膨張量を算出した。

(1) 定義

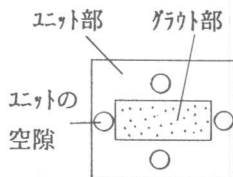


図3. モデル

- V : ユニットとグラウトの体積の和 (cm³)
- β' : ユニットの空洞比 (グラウト部の充填体積比, 無名数)
- $\therefore 1 - \beta'$: ユニットの体積比 (無名数)
- ΔW : ユニットの気乾から表乾までの体積吸水率 (% , Vol)
- (ユニットの表乾とは、24時間水中浸漬後の包水状態を指す)
- C_w : グラウトのユニットに吸水される (放出する) 水量の割合 (%) [求める膨張量の最大値]

(2) 理論膨張量の算出

グラウトの充填体積は $V \times \beta'$, ユニットの体積は $V \times (1 - \beta')$ と表現できる。
また、グラウトがユニットに吸水される量 (放出する水量) は、 $V \times \beta' \times C_w / 100$, となる。
よって、グラウト打設時の水量の釣り合い条件は下式のようなになる。

ユニットがグラウトから吸水する水量 = グラウトがユニットに吸水される (放出する) 水量

$$V \times (1 - \beta') \times \Delta W / 100 = V \times \beta' \times C_w / 100$$

$$\therefore C_w = (1 - \beta') / \beta' \times \Delta W$$

このように、 C_w は、ユニットの体積とグラウトの充填体積の比の関数として表現できる。
また C_w は、所要膨張量の最大量を示すものと考えられる。

表 2. 調合と練り上がり性状 (20℃)

試験体 No.	エント の種類	グラウト の種類と G _{MAX}	混和剤の 種類	W / C	s / a	調合 (kg/m³)						練り上がり	
						W	C	S	G	Ad	SL	AIr	
R 5-P	れんが 5段	モルタル 5mm	フルン. [P]	60	100	260	433	1475	—	—	18.0	3.8	
R 5-F	[R]	[S]	F(I). [F]										22.8 7.5
R10-P	れんが 5段	豆砕コン 10mm	フルン. [P]	60	55	223	372	921	768	—	20.5	1.6	
R10-F	[R]	[10]	F(I). [F]										21.0 5.5
R20-P			フルン. [P]	60	47	216	360	813	934	—	20.4	0.9	
R20-A	れんが 5段	コンクリート 20mm	AE減水 [A]										19.5 5.0
R20-F	[R]	[20]	F(I). [F]	60	45	182	303	804	1002	AE減	20.2	4.0	
R20-S			S(I). [S]										21.0 7.1
B20-P			フルン. [P]	60	47	216	360	813	934	—	20.1	1.0	
B20-A	ブロック 3段	コンクリート 20mm	AE減水 [A]										19.3 4.9
B20-F	[B]	[20]	F(II). [F]	60	45	182	303	804	1002	AE減	20.2	4.1	
B20-S			S(II). [S]										21.1 7.1

C: 普通ポルト (比重 3.16), S: 富士川川砂 (比重 2.62), G: 笠間砕石 (比重 2.67)
 グラウト用混和剤 F (I): 高膨張用 本研究の開発品, 膨張系 640 g/m³
 グラウト用混和剤 F (II): 低膨張用 本研究の開発品, 膨張系 640 g/m³
 グラウト用混和剤 S (I): 高膨張用 比較用米国製, 膨張系 cement×1.0%
 グラウト用混和剤 S (II): 低膨張用 比較用米国製, 膨張系 cement×0.2%
 AE減水剤: AE減水剤標準形オキシカルボン酸系

(3) 理論の実証

1) 方法

使用したユニットは、シリーズ I と同様である。れんがは 5 段、ブロックは 3 段に積み、グラウト充填後材令 1 カ月で縦方向に切断した。膨張の測定は、図 4 に示すように変位計を用いた。グラウトの調合は、W/C 60% 一定とし、骨材の最大寸法の影響を比較するためにモルタル、豆砕コンクリート、コンクリートで行った。調合と練り上がり性状を表 2 に示す。開発品 F はモルタル又はコンクリートの 1 m³ 当り 640 g を、比較用の米国品 S はメーカー使用説明書に従いセメント重量の 1 % を添加した。

2) 結果及び考察

試験体の切断面の状況を図 5 に示す。プレーン (P) や AE 減水 (A) では、充填性が悪いが、F 剤の添加により充填性の改善が認められる。図 6 は、膨張量の測定結果である。れんが (R) 用は約 6 %、ブロック (B) 用は約 1 % の膨張をした。表 3 は、理論上の膨張必要量 (最大) Cw と今回の膨張量の関係である。実験による膨張量は、れんがが計算値 Cw の約 1/2.4、ブロックは 1/3.9 であった。吸い上げ吸水試験からすると、ブロックの場合 Cw の 20 % が

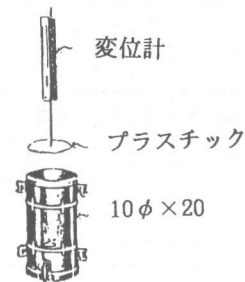


図 4. 膨張の測定

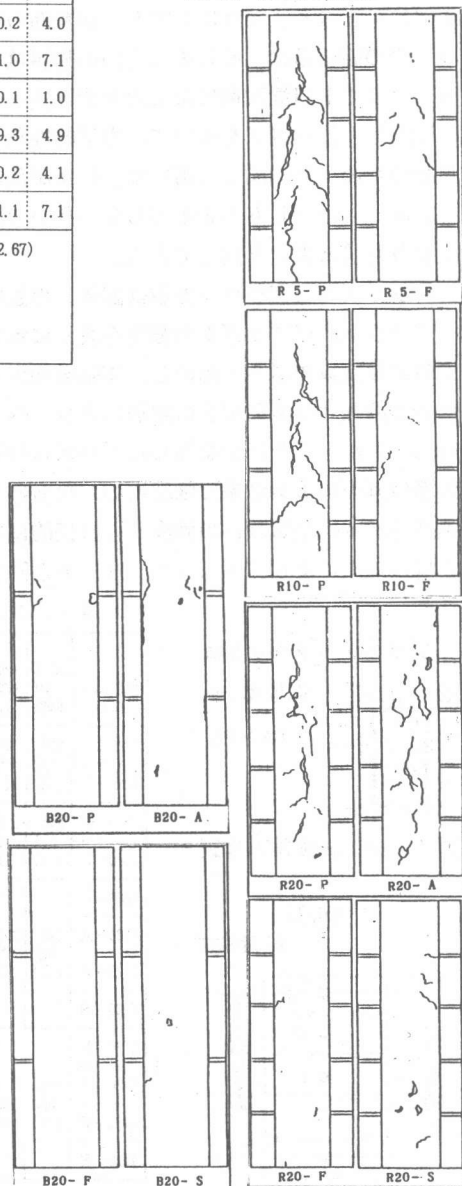


図 5. プリズムの垂直切断面の状況

表 3. 理論膨張量Cwと実験膨張量の比較

記号	空洞比 β^*	$1 - \beta^*$ β^*	ΔW	C_w	膨張量 実験値	膨張量実験値 C_w
B20- F	0.62	0.61	8.8	5.4	1.4	1 / 3.9
R20- F	0.53	0.89	15.9	14.2	6.0	1 / 2.4
R10- F	0.53	0.89	15.9	14.2	5.8	1 / 2.4
R 5- F	0.53	0.89	15.9	14.2	6.3	1 / 2.3

適当と考えられ、その場合Cwは1.8，Cwに対する膨張量実験値は1 / 1.3 となる。何れにしても、切断面の状況から、れんがとブロックの膨張量は、それぞれ今回の膨張量で適切と思われる。

5. グラウト用混和剤による力学的性質への影響（シリーズⅢ）

開発した混和剤Fを用いて、力学的性質への影響を検討した。比較のため、米国品Sも用いた。れんが及びブロックは、シリーズⅠ、Ⅱと同じものを水湿しをしないで充填した。調合と練り上がり性状は表2と同じである。

1) プリズム（グラウト充填供試体）の強度，静ヤング係数

グラウト及びプリズムの強度を表4に示す。10φ×20cmの上面を打設後鋼板でボルト締めし、膨張を拘束した試験体（図7）の

材令4週強度は混和剤Fの添加により、ベース（例えば R20-F, B20-A）に比べやや低い結果となった。しかし、F材を添加したプリズムの強度は、ベースに比べ強度増加した。これはグラウト欠陥の減少による効果で強度増加したものと思われる。このような強度性状のため、プリズムの強度を10φ拘束試験体の強度から直接的に推定することは困難である。プリズムの静弾性係数はF剤の添加によりベースコンクリートと同等以上である。骨材の最大寸法が10mm又は5mmと小

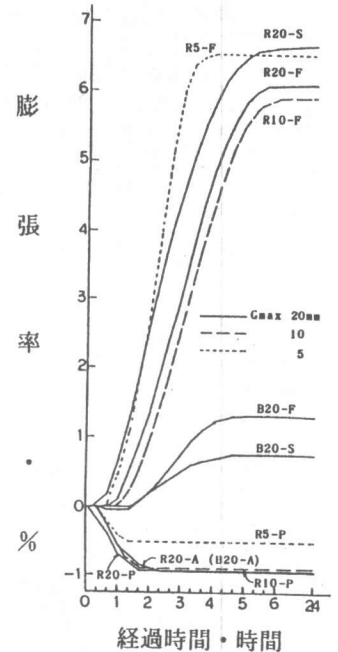


図 6. 膨張の挙動

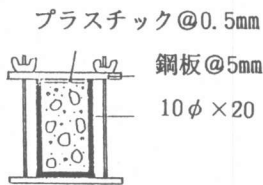


図 7. 拘束試験体の作製

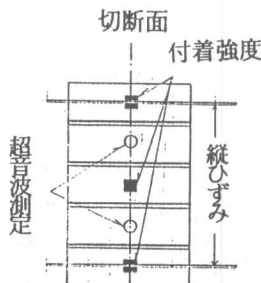


図 8. れんが試験体

表 4. コンクリートの強度とプリズムの強度，静弾性係数

試験体 No.	エポキシ の種類	グラウト の種類と G _{MAX}	混和剤の 種類 [] : 記号	材令4W 拘束強度			材令2M カラム 強度			材令2M カラム静弾性係数(E _{1/3}) ×10 ⁵ kgf/cm ²		
				10φ kgf/ cm ²	% *	% **	kgf/ cm ²	% *	% **	kgf/cm ²	% *	% **
R 5-P	ねが 5段 [R]	モルタル 5mm [5]	フルン. [P]	364	100	—	202	100	—	2.14	100	—
R 5-F	ねが 5段 [R]	F(Ⅰ). [F]	F(Ⅰ). [F]	257	71	—	294	145	—	2.15	145	—
R10-P	ねが 5段 [R]	豆砕コン 10mm [10]	フルン. [P]	392	100	—	285	100	—	1.59	100	—
R10-F	ねが 5段 [R]	F(Ⅰ). [F]	F(Ⅰ). [F]	304	78	—	387	136	—	1.97	136	—
R20-P			フルン. [P]	381	100	—	371	100	—	1.99	100	—
R20-A	ねが 5段 [R]	コンクリート 20mm [20]	AE減水. [A]	317	83	100	325	87	100	1.69	87	100
R20-F			F(Ⅰ). [F]	287	75	91	414	111	127	2.23	111	132
R20-S			S(Ⅰ). [S]	199	52	63	272	73	84	2.04	73	121
B20-P			フルン. [P]	381	100	—	234	100	—	2.04	100	—
B20-A	ブロック 3段 [B]	コンクリート 20mm [20]	AE減水. [A]	317	83	100	230	98	100	2.10	98	100
B20-F			F(Ⅱ). [F]	297	78	94	293	125	127	2.04	125	97
B20-S			S(Ⅱ). [S]	233	61	74	243	104	106	1.99	104	95

*: プレーン比

** : AE減水コンクリート比

さい場合でも、混和剤Fを添加するとプリズムの強度や静ヤング係数は大きくなり充填性の向上効果が現れている。図9はプリズムの静弾性係数とプリズムの強度の関係である。図中にRM構造設計指針の略算式³⁾を示しているが、レンガ・ブロックいずれのプリズムでもほぼ適合している。れんがプリズムのグラウト骨材寸法10mmの場合も、図中にプロットしているが、本式にある程度適合していることがわかった。

2) プリズム内部から採取したコアの性質

表5は、プリズム内部からコンクリートコア(10φ×20cm)を採取(図1参照)して試験し

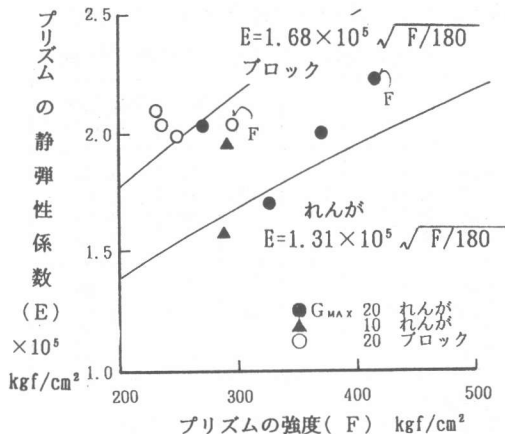


図9. プリズムの静弾性係数算出式

表5. プリズム内部から採取したコンクリートコアの性質

試験体 No.	エートの種類	グラウトの種類とG _{max}	混和剤の種類 []:記号	材令28日のコア(10φ×20cm)									
				コアの位置	比重	圧縮強度				静弾性係数(E _{1/3})			
						kgf/cm ²	平均	% *	% **	×10 ⁵ kgf/cm ²	平均	% *	% **
R20-P	れんが 5段	コンクリート 20mm	フル- [P]	上部	2.37	296	341	100	—	2.51	2.53	100	—
R20-A				下部	2.37	385				2.54			
R20-F			AE減水 [A]	上部	2.30	256	310	91	100	1.82	2.17	86	100
R20-S				下部	2.34	363				2.52			
B20-P	ブロック 3段	コンクリート 20mm	F(I), [F]	上部	2.34	353	392	115	126	2.90	2.84	112	131
B20-A				下部	2.35	432				2.78			
B20-F			S(I), [S]	上部	2.27	271	281	82	91	2.54	2.54	100	117
B20-S				下部	2.28	290				2.53			
B20-P			フル- [P]	上部	2.37	325	374	100	—	2.10	2.29	100	—
B20-A				下部	2.41	422				2.47			
B20-F	れんが 5段	コンクリート 20mm	AE減水 [A]	上部	2.33	290	327	87	100	2.29	2.55	111	100
B20-S				下部	2.34	364				2.80			
B20-F			F(II), [F]	上部	2.30	264	328	88	100	2.09	2.45	107	96
B20-S				下部	2.34	391				2.80			
B20-P	れんが 5段	コンクリート 20mm	S(II), [S]	上部	2.23	312	310	83	95	2.58	2.53	110	99
B20-S				下部	2.29	307				2.47			

*: プレーン比 **: AE減水コンクリート比

た結果である。F剤を添加した強度(F)は、ベース(A)に比べ強度も静弾性係数も同等以上の性状である。又、比重でもベースコンクリートに比べ上部、下部ともに大きな差は無く、上部のグラウトの過膨張等の問題は生じていないと考えられる。

表6は、RM構造施工指針案⁴⁾に従い、プリズム内部から採取したコンクリートコアからプリズム強度を推定し、これと実際のプリズム強度試験結果を比較したものである。実際の強度は、推定強度よりも安全側であり、下限予測式として妥当なことがわかる。

表7は、ユニットとグラウトの付着強度と超音波伝播速度の測定結果である。それぞれの測定位置は、図8及び図10に示しており、付着試験は建研式引張試験器を用いた。付着強度はF剤を用いると上中下部の差が小さくなっている。つまり、混和剤を用いることで、通常では上部に発生するユニットとグラウト部の肌離れが防止されている。この理由は、グラウト用混和剤の膨張作用によりグラウトが膨張し、フェイスシェルとの接着性が向上したことによるものと思われる。超音波伝播速度の測定は、プリズム内部の充填不良や欠陥を非破壊で調べるために行うものであ



図10. ブロック試験体

表 6. コア強度から求めたプリズムの推定強度と測定したプリズム強度の関係

	β^*	e_s	f_{cu}	推定 F_{cm}	推定強度/ プリズム 強度
R20- P	0.53	0.75	400	277	0.75
R20- A				264	0.81
R20- F				297	0.72
R20- S				253	0.93
B20- P	0.62	0.75	200	231	0.99
B20- A				209	0.91
B20- F				210	0.72
B20- S				155	0.64

推定式⁴⁾

$$F_{cm} = e_s \cdot ((1 - \beta^*) f_{cu} + \beta^* f_{cs})$$

F_{cm} : プリズムの推定強度(kgf/cm²)

e_s : 係数

β^* : RMユニットの空洞比

f_{cu} : RMユニットの規格強度(kgf/cm²)

f_{cs} : プリズムから採取したコア強度(kgf/cm²)

るが、今回のプリズムでは顕著な差が現れなかった。

6. まとめ

(1) 吸い上げ吸水試験による吸水性状を調べ

たところ、れんがRMユニットは接水直後

から急速に吸水し、ほぼ4～5時間で水中浸漬に匹敵する吸水をする。一方、コンクリートRMユニットは、24時間接水しても水中浸漬の約2割程度の吸水であり、吸水性状に差がある。

(2) RMユニットの吸水可能な吸水量に対して、それに見合う分を膨張させればグラウトの欠陥が防止出来ると考え、理論必要膨張量の最大量 C_w を算出した。開発したRM混和剤Fを用いた実験では、れんがは C_w の約1/2.4、ブロックでは1/3.9で欠陥のない断面が観察される。

その時のプリズムの強度は添加前に比べ増加し、また、プリズムの静弾性係数は添加前と同等以上である。この事はグラウト欠陥が減少し、RMユニットとグラウトが一体化したことによるためと思われる。

(3) プリズムの静弾性係数とプリズムの強度の関係はRM構造設計指針の略算式にほぼ適合した。

(4) RM構造施工指針案に従い、プリズムから切り出したコア強度から推定したプリズム強度は、実際のプリズム強度を安全側で予測できる。

(5) 開発したRM混和剤Fを添加したプリズムのフェイスシェルでの付着強度は上中下部の差が小さく、裏面の肌離れが防止されている。

(6) 超音波伝播速度によるプリズム内部のグラウトの充填性を調べたところ、今回は顕著な差が見られていない。

(参考文献) 1). 山崎裕, 馬場明生: 中層補強組積造の開発, コンクリート工学, Vol. 27,

No. 12, pp. 9～19. 2). 阿部道彦, 他: 組積造に関する日米共同大型耐震実験研究(34) 施工方

法の合理化(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 昭和61年8月, pp. 343～344 3). 建

設省建築研究所, 日米共同組積造研究推進委員会: 中層RM構造設計指針(案)・同解説, 平成

元年3月, pp. 41 4). 建設省建築研究所, 日米共同組積造研究推進委員会: 中層RM構造施工指

針(案)・同解説, 平成元年3月, pp. 10

表 7. プリズムの付着強度・超音波伝播速度

試験体 No.	エッ の 種類	グラウト の種類と G _{MAX}	混和剤の 種類 []:記号	材令2M 付着強度 kgf/cm ²			材令2M超音 波速度km/s	
				上 ¹⁾	中 ¹⁾	下 ¹⁾	上 ²⁾	下 ²⁾
R5-P	れんが 5段	モルタル 5mm	フルン. [P]	11.1	25.0	25.3	3.14	3.16
R5-F	[R]	[5]	F(I). [F]	25.7	25.9	20.9	3.11	3.10
R10-P	れんが 5段	豆砕コン 10mm	フルン. [P]	11.0	27.0	23.4	3.30	3.30
R10-F	[R]	[10]	F(I). [F]	19.6	3.08	24.6	3.47	3.39
R20-P	れんが 5段	コンクリート 20mm	フルン. [P]	12.3	32.2	29.9	3.37	3.38
R20-A			AE減水 [A]	21.6	19.5	19.0	3.33	3.36
R20-F			F(I). [F]	29.6	22.9	27.2	3.40	3.42
R20-S	れんが 3段	コンクリート 20mm	S(I). [S]	26.4	29.7	27.3	3.26	3.34
B20-P			フルン. [P]	13.2	19.0	29.8	4.28	4.27
B20-A			AE減水 [A]	11.9	16.1	26.1	4.20	4.27
B20-F	[B]	[20]	F(II). [F]	22.1	18.0	18.8	4.13	4.21
B20-S			S(II). [S]	8.0	8.9	25.0	4.09	4.22

1) 上: れんがの時は下から5cm (フルン時は10cm)

中: " 25cm (" 30cm)

下: " 45cm (" 50cm)

2) 上: れんがの時は下から15cm (フルン時は10cm)

下: " 35cm (" 50cm)